



การพัฒนาแบบจำลองเกษตรอัจฉริยะ สำหรับการพยากรณ์ผลผลิตอ้อย



ภูมินทร์ ตันอุดม

วิทยานิพนธ์เสนอบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยนเรศวร  
เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา หลักสูตรปรัชญาดุษฎีบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์  
ปีการศึกษา 2564  
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยนเรศวร

การพัฒนาแบบจำลองเกษตรอัจฉริยะ สำหรับการพยากรณ์ผลผลิตอ้อย



วิทยานิพนธ์เสนอบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยนเรศวร  
เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา หลักสูตรปรัชญาดุษฎีบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์  
ปีการศึกษา 2564  
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยนเรศวร









วิทยานิพนธ์ เรื่อง "การพัฒนาแบบจำลองเกษตรอัจฉริยะ สำหรับการพยากรณ์ผลผลิตอ้อย"

ของ ภูมินทร์ ตันอุดม

ได้รับการพิจารณาให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาปรัชญาคุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์

**คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์**

..... ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ลัษณา ระมิงค์วงศ์)

..... ประธานที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์พนมขวัญ ธิยะมงคล)

..... กรรมการผู้ทรงคุณวุฒิภายใน  
(รองศาสตราจารย์ ดร.พนัส นัถฤทธิ)

..... กรรมการผู้ทรงคุณวุฒิภายใน  
(รองศาสตราจารย์ ดร.พงศ์พันธ์ กิจสนาโยธิน)

อนุมัติ

.....  
(ศาสตราจารย์ ดร.ไพศาล มุณีสว่าง)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ชื่อเรื่อง	การพัฒนาแบบจำลองเกษตรอัจฉริยะ สำหรับการพยากรณ์ผลผลิต อ้อย
ผู้วิจัย	ภูมินทร์ ดันอุดม
ประธานที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ พนมขวัญ ริยะมงคล
ประเภทสารนิพนธ์	วิทยานิพนธ์ ปร.ด. สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์, มหาวิทยาลัย นเรศวร, 2564
คำสำคัญ	เกษตรอัจฉริยะ, การประเมินผลผลิตทางการเกษตร, การประมวลผล ภาพ, การทำเหมืองข้อมูล

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอแบบจำลองสำหรับพยากรณ์ผลผลิตอ้อยที่ช่วยลดความคลาดเคลื่อนในการประเมินผลผลิตด้วยการพัฒนาเครื่องมือประเมินผลผลิตอ้อยที่มีความน่าเชื่อถือขึ้นแบบจำลองนี้รวบรวมข้อมูลสภาพแวดล้อมที่ได้รับการสำรวจจากโรงงานน้ำตาลและภาครัฐรวมเข้ากับการวิเคราะห์ภาพถ่ายทางอากาศของแปลงอ้อยด้วยอากาศยานไร้คนขับ ภาพของอากาศยานไร้คนขับถูกใช้ในการคำนวณสัดส่วนของอ้อยที่ใช้ไม่ได้ที่เรียกว่า จุดบกพร่องในแปลงอ้อย จุดบกพร่องของอ้อยสามารถบอกถึงสภาพอากาศที่ไม่เอื้ออำนวยและปัญหาการเพาะปลูกอื่น ๆ แบบจำลองถูกพัฒนาขึ้นบนพื้นฐานของการปรับข้อมูลในรูปแบบลดรอยเชิงเส้นให้อยู่ในข้อมูลรูปแบบจำแนก วิธีการออกแบบย้อนกลับจะถูกประยุกต์ใช้ในการสกัดลักษณะเด่นของปัจจัยนำเข้าและเอาต์พุตเป้าหมาย แบบจำลองประยุกต์ใช้เครื่องจักรเรียนรู้เพื่อจดจำและจำแนกชุดข้อมูลจากแปลงอ้อย ผลการวิจัยพบว่า แบบจำลองมีประสิทธิภาพที่เหมาะสมเมื่อประกอบด้วย 1) 5 ปัจจัยนำเข้า 2) 32 เอาต์พุตเป้าหมาย และ 3) แบบจำลองประยุกต์ใช้อัลกอริทึม Random Forest ซึ่งแบบจำลองสามารถจดจำชุดข้อมูลฝึกฝนในปี 2561 ได้ด้วยความถูกต้อง 98.21 เปอร์เซ็นต์ และแบบจำลองพยากรณ์ผลผลิตจากข้อมูลทดสอบในปี 2561 ได้ด้วยความถูกต้อง 89.58 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับผลผลิตจริง จากนั้นแบบจำลองได้พยากรณ์ผลผลิตของชุดข้อมูลปี 2562 ได้ด้วยความถูกต้อง 98.69 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นแบบจำลองพยากรณ์ผลผลิตอ้อยจึงเป็นเครื่องมือที่มีความถูกต้องและน่าเชื่อถือซึ่งแบบจำลองสามารถลดปัญหาในการประเมินผลผลิตที่คลาดเคลื่อนและโรงงานน้ำตาลสามารถประเมินผลผลิตก่อนการเก็บเกี่ยวได้ดีขึ้น





**Title** THE DEVELOPMENT OF INTELLIGENT AGRICULTURE  
MODEL FOR SUGARCANE YIELD FORECASTING

**Author** BHOOMIN TANUT

**Advisor** Assistant Professor Dr. Panomkhawn Riyamongkol

**Academic Paper** Ph.D. Thesis in Computer Engineering - (Type 2.1), Naresuan  
University, 2021

**Keywords** smart farming, agricultural productivity assessment, image  
processing, data mining

### ABSTRACT

This research presents a model for forecasting the sugarcane yield that substantially reduces current rates of assessment errors, providing a more reliable pre-harvest assessment tool for sugarcane production. This model integrates various environmental data obtained from sugar mill surveys and government agencies with the analysis of aerial images of sugarcane fields obtained with drones. The images enable the calculation of the proportion of unusable sugarcane (Defect rate) in the field. Defect rates can result from adverse weather or other cultivation issues. The model is developed on the principle of determining the yield not through data in regression form but rather through data in classification form. The reverse design method is applied for feature extraction of the input factors and the target outputs. The model utilizes data mining to recognize and classify the dataset from the sugarcane field. Results show that the optimal performance of the model is achieved when: 1) the number of Input Factors is five, 2) the number of Target Outputs is 32, and 3) the Random Forest algorithm is used. The model recognized the 2019 training data with an accuracy of 98.21%, and then it correctly forecasted the yield of the 2019 test data with an accuracy of 89.58% when compared to the actual yield. The model correctly forecasted the harvest yield of a 2020 dataset with an accuracy of 98.69%. The model is therefore an accurate and robust tool that can substantially reduce the issue of sugarcane yield estimate errors and provide the sugar mill with improved pre-harvest assessment of yield.



## ประกาศคุณูปการ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้รับทุนอุดหนุน การวิจัยจากมหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชรและสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความกรุณาอย่างยิ่ง จากผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พนมขวัญ ริยะมงคล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่ได้ให้คำแนะนำทุกขั้นตอนจนงานวิจัยเสร็จสิ้นสมบูรณ์

ความสำเร็จลุล่วงของวิทยานิพนธ์นี้ได้รับความกรุณาจากคณาจารย์หลายท่าน ผู้วิจัยขอกราบขอบคุณอย่างสูงในความเมตตา กรุณา การเสียสละเวลาส่วนตัวในการช่วยเหลือในหลาย ๆ ด้านของผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พนมขวัญ ริยะมงคล ประธานที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร. พันธุ์ นฤฤทธิ์ และรองศาสตราจารย์ ดร. พงศ์พันธ์ กิจสนาโยธิน กรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ช่วยให้คำแนะนำในการทำงาน ให้คำชี้แนะเพื่อปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องของวิทยานิพนธ์นี้ด้วยความเอาใจใส่เป็นอย่างดี ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ดิชานา ระมิงค์วงศ์ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ซึ่งได้เสียสละเวลาอันมีค่าในการให้ข้อเสนอแนะและแก้ไขข้อบกพร่องในการตรวจสอบวิทยานิพนธ์จนเสร็จสิ้นสมบูรณ์

วิทยานิพนธ์นี้เกิดความสำเร็จขึ้น จากการช่วยเหลือในเรื่องของข้อมูลต่าง ๆ จากทาง บริษัท น้ำตาลนครเพชร จำกัด มหาชน จังหวัดกำแพงเพชร ซึ่งได้ให้การสนับสนุนเรื่องข้อมูล ทรัพยากร และสิ่งสนับสนุนการทำวิจัยแก่ผู้วิจัย รวมถึงบุคลากรที่มีส่วนเกี่ยวข้องท่านอื่น ๆ ที่ผู้วิจัยไม่ได้เอ่ยนามในที่นี้ ผู้วิจัยขอขอบคุณจากใจจริงที่ทุกท่านให้ความร่วมมือและให้การช่วยเหลือเป็นอย่างดี

ท้ายที่สุดแห่งความสำเร็จในการศึกษานี้ ขอขอบพระคุณ บุคคลในครอบครัวอันเป็นที่รัก ซึ่งเป็นบุคคลที่ทำให้กำลังใจกับผู้วิจัยตลอดมา คุณแม่ ช่วยเหลือในทุก ๆ สิ่ง รวมไปถึงอาจารย์และผู้มีพระคุณทุกท่านที่ให้การสนับสนุน ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณด้วยความรักและความเคารพเป็นอย่างสูง

ภูมินทร์ ตันอุตม์

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย .....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
ประกาศคุณูปการ .....	ช
สารบัญ.....	ฅ
สารบัญตาราง.....	ฉ
สารบัญภาพ.....	ค
บทที่ 1 บทนำ.....	1
ความเป็นมาของปัญหา.....	1
จุดมุ่งหมายของการวิจัย.....	10
ความสำคัญของการวิจัย.....	10
ขอบเขตการวิจัย.....	10
ข้อตกลงเบื้องต้น.....	11
นิยามศัพท์เฉพาะ.....	11
สมมติฐานของการวิจัย.....	11
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	12
ข้อมูลพื้นฐานของอ้อยโรงงานและอุตสาหกรรมน้ำตาล.....	12
ข้อมูลทางภูมิสารสนเทศ.....	18
การประมวลผลภาพดิจิทัลและการเตรียมข้อมูลภาพ.....	40
การแบ่งส่วนภาพ.....	48

การวิเคราะห์ลักษณะเด่นเชิงผิวภาพ.....	56
ข้อมูลทางอนุกรมวิธาน.....	63
ทฤษฎีการทำเหมืองข้อมูล.....	66
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	89
บทที่ 3 วิธีดำเนินงานวิจัย.....	93
ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง.....	93
เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย.....	94
การเก็บรวบรวมข้อมูล.....	96
กระบวนการพัฒนาแบบจำลองตรวจสอบจุดบกพร่องภายในแปลงอ้อย.....	104
การพัฒนาแบบจำลองการพยากรณ์ผลผลิตอ้อย.....	113
การออกแบบการทดลอง.....	125
บทที่ 4 ผลการวิจัย.....	131
ภาพรวมการทดสอบประสิทธิภาพ.....	131
การทดสอบประสิทธิภาพของแบบจำลองตรวจสอบจุดบกพร่องภายในแปลงอ้อย.....	132
ผลลัพธ์และการอภิปรายผลแบบจำลองตรวจสอบจุดบกพร่องภายในแปลงอ้อย.....	163
การทดสอบประสิทธิภาพของแบบจำลองพยากรณ์ผลผลิตอ้อย.....	166
ผลลัพธ์และการอภิปรายผลแบบจำลองพยากรณ์ผลผลิตอ้อย.....	183
การอภิปรายผลการทดลองภาพรวม.....	186
บทที่ 5 บทสรุป.....	192
สรุปผลการวิจัย.....	192
อภิปรายผล.....	194
ข้อเสนอแนะ.....	195

ภาคผนวก ..... 196

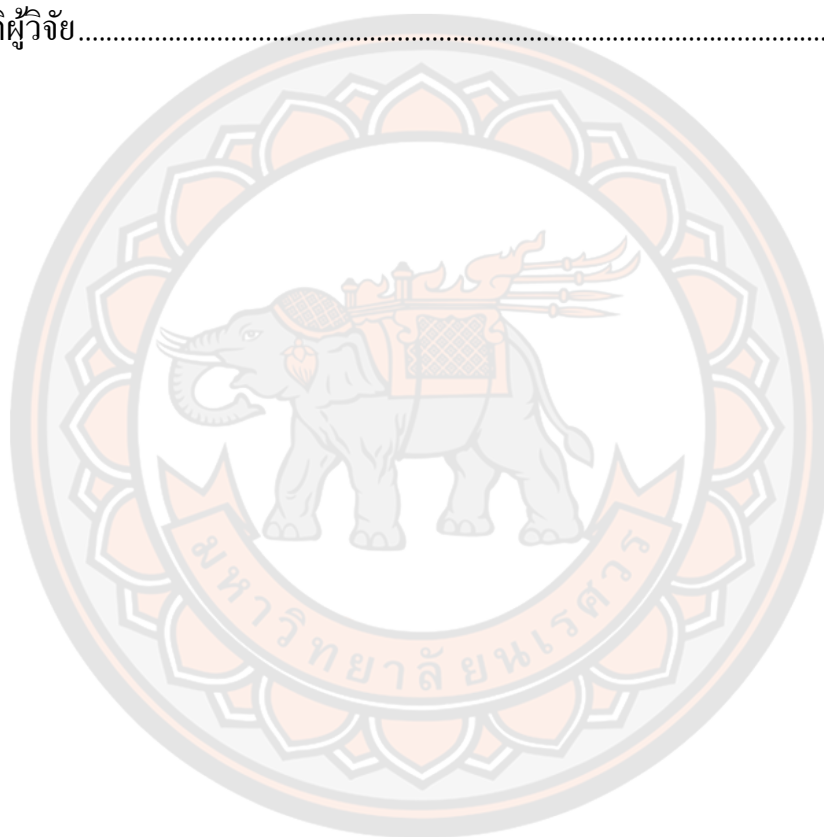
    ภาคผนวก ก ข้อมูลภาพแปลงอ้อยของกระบวนการเตรียมข้อมูล ..... 197

    ภาคผนวก ข ข้อมูลภาพของกระบวนการตรวจสอบจุดบกพร่อง..... 209

    ภาคผนวก ค ผู้เชี่ยวชาญที่ร่วมดำเนินการตรวจสอบแบบผลการทดลอง..... 221

บรรณานุกรม ..... 222

ประวัติผู้วิจัย..... 230



## สารบัญตาราง

	หน้า
ตาราง 1 ตัวอย่างข้อมูลการเพาะปลูก .....	7
ตาราง 2 ประเทศที่มีผลผลิตน้ำตาลมากที่สุด 10 อันดับในช่วงปี 2560 ถึง 2561 .....	13
ตาราง 3 ลักษณะดินตามกลุ่มชุดดิน .....	19
ตาราง 4 ลักษณะดินตามกลุ่มชุดดิน (ต่อ) .....	20
ตาราง 5 ลักษณะดินตามกลุ่มชุดดิน (ต่อ) .....	21
ตาราง 6 ลักษณะดินตามกลุ่มชุดดิน (ต่อ) .....	22
ตาราง 7 ลักษณะดินตามกลุ่มชุดดิน (ต่อ) .....	23
ตาราง 8 ลักษณะดินตามกลุ่มชุดดิน (ต่อ) .....	24
ตาราง 9 ลักษณะดินตามกลุ่มชุดดิน (ต่อ) .....	25
ตาราง 10 ลักษณะดินตามกลุ่มชุดดิน (ต่อ) .....	26
ตาราง 11 ลักษณะดินตามกลุ่มชุดดิน (ต่อ) .....	27
ตาราง 12 ลักษณะดินตามกลุ่มชุดดิน (ต่อ) .....	28
ตาราง 13 ลักษณะดินตามกลุ่มชุดดิน (ต่อ) .....	29
ตาราง 14 ลักษณะดินตามกลุ่มชุดดิน (ต่อ) .....	30
ตาราง 15 ลักษณะดินตามกลุ่มชุดดิน (ต่อ) .....	31
ตาราง 16 ลักษณะดินตามกลุ่มชุดดิน (ต่อ) .....	32
ตาราง 17 ลักษณะดินตามกลุ่มชุดดิน (ต่อ) .....	33
ตาราง 18 เมตริกเชื่อมขอบ .....	53
ตาราง 19 เมตริกเชื่อมขอบ (ต่อ) .....	54



ตาราง 20 ข้อมูลพันธุ์อ้อยและชุดดินของแปลงอ้อย .....	69
ตาราง 21 ข้อมูลสำหรับการพยากรณ์การออกเล่นบาส .....	73
ตาราง 22 แสดงตารางเมตริกซ์สับสนที่มี 2 คลาส.....	75
ตาราง 23 แสดงข้อมูลผลการพยากรณ์และผลของค่าจริงในการออกเล่นบาส 10 ครั้ง....	75
ตาราง 24 ตารางเมตริกซ์สับสนของข้อมูลสภาพอากาศก่อนออกเล่นบาสซึ่งมี 2 คลาส ...	76
ตาราง 25 ข้อมูลใหม่ที่ไม่ว่าทราบคลาสผลการออกเล่นบาส.....	79
ตาราง 26 ข้อมูลการจำแนกเสียงคำสั่งเปิด ปิด หลอดไฟ .....	80
ตาราง 27 แหล่งที่มาของข้อมูลที่ใช้ในงานวิจัย .....	96
ตาราง 28 ข้อมูลพารามิเตอร์ที่มีความแตกต่างกันของการปลูกอ้อย ของชุดข้อมูลปี 2560 .....	98
ตาราง 29 ตัวอย่างรูปแบบของกลุ่มตัวอย่างจากทั้งหมด 594 รูปแบบ .....	99
ตาราง 30 ตัวอย่างข้อมูลสภาพแวดล้อมแปลงอ้อยปี 2561 .....	101
ตาราง 31 ตัวอย่างข้อมูลสภาพแวดล้อมแปลงอ้อยปี 2562.....	103
ตาราง 32 ข้อมูลที่ใช้สำหรับการสกัดลักษณะเด่น .....	110
ตาราง 33 ปัจจัยและการแปลงข้อมูลเชิงเลข.....	116
ตาราง 34 ตัวอย่างข้อมูลสำหรับการพัฒนาแบบจำลองและทดสอบแบบจำลอง.....	116
ตาราง 35 ตัวอย่างเซตปัจจัยนำเข้า.....	122
ตาราง 36 ผลการทดลองการตรวจสอบพื้นที่เงา.....	134
ตาราง 37 ผลการทดลองการตรวจสอบพื้นที่เงา (ต่อ) .....	135
ตาราง 38 ผลการทดลองการตรวจสอบพื้นที่เงา (ต่อ) .....	136
ตาราง 39 ผลการทดลองการตรวจสอบพื้นที่เงา (ต่อ).....	137
ตาราง 40 ตัวอย่างการทดลองความเหมาะสมของกระบวนการปรับลดเงา .....	139

ตาราง 41 การทดลองความเหมาะสมของกระบวนการปรับลดเงา.....	139
ตาราง 42 การทดลองความเหมาะสมของกระบวนการปรับลดเงา (ต่อ) .....	140
ตาราง 43 การทดลองความเหมาะสมของกระบวนการปรับลดเงา (ต่อ).....	141
ตาราง 44 การทดลองความเหมาะสมของกระบวนการปรับลดเงา (ต่อ).....	142
ตาราง 45 การทดลองความเหมาะสมของกระบวนการปรับลดเงา (ต่อ).....	143
ตาราง 46 ผลการทดลองการเลือกลักษณะเด่น .....	144
ตาราง 47 ผลการทดลองการเลือกลักษณะเด่น(ต่อ).....	145
ตาราง 48 ผลการทดลองของค่า $K$ ของชุดข้อมูลที่ 1 สำหรับระเบียบวิธีเคเนียร์เรสเนเบอร์ .....	146
ตาราง 49 ผลการทดลองของค่า $K$ ของชุดข้อมูลที่ 2 สำหรับระเบียบวิธีเคเนียร์เรสเนเบอร์ .....	147
ตาราง 50 ผลการทดลองของค่า $K=31$ สำหรับระเบียบวิธีเคเนียร์เรสเนเบอร์ .....	148
ตาราง 51 ผลการทดลองการตรวจสอบพื้นที่อ้อยแบบมีต้น ไม้ของชุดข้อมูลที่ 1 .....	150
ตาราง 52 ผลการทดลองการตรวจสอบพื้นที่อ้อยแบบมีต้น ไม้ของชุดข้อมูลที่ 1 (ต่อ)..	151
ตาราง 53 ผลการทดลองการตรวจสอบพื้นที่อ้อยแบบมีต้น ไม้ของชุดข้อมูลที่ 1 (ต่อ)..	152
ตาราง 54 ผลการทดลองการตรวจสอบพื้นที่อ้อยแบบมีต้น ไม้ของชุดข้อมูลที่ 1 (ต่อ)..	153
ตาราง 55 ผลการทดลองการตรวจสอบพื้นที่อ้อยแบบไม่มีต้น ไม้ของชุดข้อมูลที่ 2 .....	153
ตาราง 56 ผลการทดลองการตรวจสอบพื้นที่อ้อยแบบไม่มีต้น ไม้ของชุดข้อมูลที่ 2 (ต่อ) .....	154
ตาราง 57 ผลการทดลองการตรวจสอบพื้นที่อ้อยแบบไม่มีต้น ไม้ของชุดข้อมูลที่ 2 (ต่อ) .....	155
ตาราง 58 ผลการทดลองการตรวจสอบพื้นที่อ้อยแบบไม่มีต้น ไม้ของชุดข้อมูลที่ 2 (ต่อ) .....	156

ตาราง 59 ผลการทดลองการตรวจสอบพื้นที่จุดบกพร่องในแปลงอ้อย.....	159
ตาราง 60 ผลการทดลองการตรวจสอบพื้นที่จุดบกพร่องในแปลงอ้อย (ต่อ) .....	160
ตาราง 61 ผลการทดลองการตรวจสอบพื้นที่จุดบกพร่องในแปลงอ้อย (ต่อ).....	161
ตาราง 62 ผลการทดลองการตรวจสอบพื้นที่จุดบกพร่องในแปลงอ้อย (ต่อ).....	162
ตาราง 63 ผลการทดลองการออกแบบเอาต์พุตเป้าหมายรอบเริ่มต้น .....	167
ตาราง 64 ผลการทดลองรอบที่ 2 กับการกำหนดกลุ่ม 16, 24, 32, 48 และ 64 .....	168
ตาราง 65 ผลการทดลองรอบที่ 3 ประกอบด้วย 24, 28, 32 ,40 และ 48 กลุ่ม .....	170
ตาราง 66 ผลการทดลองรอบที่ 4 ประกอบด้วย 24, 28, 32 ,40 และ 48 กลุ่ม .....	171
ตาราง 67 ผลการทดลองรอบที่ 5 ประกอบด้วย 30, 31, 32 ,34 และ 36 กลุ่ม .....	172
ตาราง 68 ผลการทดลองรอบที่ 6 ประกอบด้วย 30, 31, 32 ,33 และ 34 กลุ่ม .....	173
ตาราง 69 ผลการทดลองการบีบช่วงด้วยการแบ่งสองส่วนสำหรับการหากลุ่มเหมาะสม .....	174
ตาราง 70 ผลการทดลองประสิทธิภาพของชุดย่อยของปัจจัยนำเข้า .....	176
ตาราง 71 ผลการทดลองประสิทธิภาพของชุดย่อยของปัจจัยนำเข้า (ต่อ) .....	177
ตาราง 72 ผลการทดสอบประสิทธิภาพของอัลกอริทึมที่น่าจะมาพัฒนาแบบจำลอง ....	181
ตาราง 73 การเปรียบเทียบงานวิจัยที่มีการตรวจสอบจุดบกพร่อง ประกอบด้วยปัจจัย เช่น ความถูกต้องโดยรวม วิธีการจำแนก และลักษณะเด่นที่นำมาใช้ .....	187
ตาราง 74 การเปรียบเทียบงานวิจัยที่มีการตรวจสอบจุดบกพร่อง ประกอบด้วยปัจจัย เช่น ความถูกต้องโดยรวม วิธีการจำแนก และลักษณะเด่นที่นำมาใช้ (ต่อ).....	188
ตาราง 75 ภาพรวมของแบบจำลองผลผลิตอ้อยในการเปรียบเทียบกับ 10 การศึกษาก่อน หน้า ด้วยคุณสมบัติ ค่าสหสัมพันธ์ และค่าความถูกต้อง.....	189
ตาราง 76 ภาพรวมของแบบจำลองผลผลิตอ้อยในการเปรียบเทียบกับ 10 การศึกษาก่อน หน้า ด้วยคุณสมบัติ ค่าสหสัมพันธ์ และค่าความถูกต้อง (ต่อ) .....	190

ตาราง 77 ผลการวิจัยแต่ละกระบวนการของแบบจำลองตรวจสอบจุดบกพร่อง.....	192
ตาราง 78 ผลการวิจัยของแต่ละกระบวนการของแบบจำลองพยากรณ์ผลผลิตอ้อย.....	193
ตาราง 79 ผลลัพธ์กระบวนการตรวจสอบเงาและปรับลดเงา.....	197
ตาราง 80 ผลลัพธ์กระบวนการตรวจสอบเงาและปรับลดเงา (ต่อ).....	198
ตาราง 81 ผลลัพธ์กระบวนการตรวจสอบเงาและปรับลดเงา (ต่อ).....	199
ตาราง 82 ผลลัพธ์กระบวนการตรวจสอบเงาและปรับลดเงา (ต่อ).....	200
ตาราง 83 ผลลัพธ์กระบวนการตรวจสอบเงาและปรับลดเงา (ต่อ).....	201
ตาราง 84 ผลลัพธ์กระบวนการตรวจสอบเงาและปรับลดเงา (ต่อ).....	202
ตาราง 85 ผลลัพธ์กระบวนการตรวจสอบเงาและปรับลดเงา (ต่อ).....	203
ตาราง 86 ผลลัพธ์กระบวนการตรวจสอบเงาและปรับลดเงา (ต่อ).....	204
ตาราง 87 ผลลัพธ์กระบวนการตรวจสอบเงาและปรับลดเงา (ต่อ).....	205
ตาราง 88 ผลลัพธ์กระบวนการตรวจสอบเงาและปรับลดเงา (ต่อ).....	206
ตาราง 89 ผลลัพธ์กระบวนการตรวจสอบเงาและปรับลดเงา (ต่อ).....	207
ตาราง 90 ผลลัพธ์กระบวนการตรวจสอบเงาและปรับลดเงา (ต่อ).....	208
ตาราง 91 ผลลัพธ์กระบวนการตรวจสอบจุดบกพร่อง.....	209
ตาราง 92 ผลลัพธ์กระบวนการตรวจสอบจุดบกพร่อง(ต่อ) .....	210
ตาราง 93 ผลลัพธ์กระบวนการตรวจสอบจุดบกพร่อง(ต่อ).....	211
ตาราง 94 ผลลัพธ์กระบวนการตรวจสอบจุดบกพร่อง(ต่อ).....	212
ตาราง 95 ผลลัพธ์กระบวนการตรวจสอบจุดบกพร่อง(ต่อ).....	213
ตาราง 96 ผลลัพธ์กระบวนการตรวจสอบจุดบกพร่อง(ต่อ).....	214
ตาราง 97 ผลลัพธ์กระบวนการตรวจสอบจุดบกพร่อง(ต่อ).....	215
ตาราง 98 ผลลัพธ์กระบวนการตรวจสอบจุดบกพร่อง(ต่อ).....	216

ตาราง 99 ผลลัพธ์กระบวนการตรวจสอบจุดบกพร่อง(ต่อ) .....	217
ตาราง 100 ผลลัพธ์กระบวนการตรวจสอบจุดบกพร่อง (ต่อ).....	218
ตาราง 101 ผลลัพธ์กระบวนการตรวจสอบจุดบกพร่อง (ต่อ).....	219
ตาราง 102 ผลลัพธ์กระบวนการตรวจสอบจุดบกพร่อง (ต่อ).....	220
ตาราง 103 รายชื่อผู้เชี่ยวชาญ .....	221



## สารบัญภาพ

	หน้า
ภาพ 1 ภาคการเกษตรจังหวัดกำแพงเพชร .....	2
ภาพ 2 ปริมาณการอ้อยของโรงงานอุตสาหกรรมน้ำตาลจังหวัดกำแพงเพชร .....	3
ภาพ 3 ภาพตัวอย่างข้อมูลจากดาวเทียมไทยโชต .....	5
ภาพ 4 ตัวอย่างข้อมูลจากอากาศยานไร้คนขับ .....	6
ภาพ 5 กรอบแนวคิดการพัฒนางานวิจัย .....	9
ภาพ 6 อ้อยพันธุ์ สอน.12 หรือ แอลเค92-11 .....	15
ภาพ 7 อ้อยพันธุ์ เคพีเค98-40 .....	16
ภาพ 8 อ้อยพันธุ์ เคพีเค98-40 .....	16
ภาพ 9 อ้อยพันธุ์ เคพีเค98-40 .....	17
ภาพ 10 อ้อยพันธุ์อุ้มทอง 84-12 (02-2-477) .....	17
ภาพ 11 อ้อยพันธุ์ 02-2-483 .....	18
ภาพ 12 การถ่ายภาพแนวตั้ง .....	34
ภาพ 13 การถ่ายภาพต่อเนื่องเป็นแนวยาว .....	34
ภาพ 14 การถ่ายภาพซ้ำในพื้นที่เดิม .....	35
ภาพ 15 การถ่ายภาพสเตอริโอ .....	35
ภาพ 16 ภาพสี่เชิงคลื่น .....	36
ภาพ 17 ภาพแบบช่วงคลื่นเดียว .....	36
ภาพ 18 ภาพแบบช่วงคลื่นเดียว .....	37
ภาพ 19 อากาศยานไร้คนขับ .....	38

ภาพ 20 กล้องถ่ายภาพในเวลากลางวัน .....	38
ภาพ 21 ภาพถ่ายสีความละเอียดสูง .....	39
ภาพ 22 กล้องถ่ายภาพสีหลายเชิงคลื่น .....	39
ภาพ 23 ภาพดัชนีพีชพรรณ .....	40
ภาพ 24 เงาที่เกิดขึ้นในภาพจากอากาศยานไร้คนขับ .....	42
ภาพ 25 ภาพประกอบของพื้นที่สี LAB .....	43
ภาพ 26 กระบวนการตรวจสอบเงา .....	44
ภาพ 27 ผลลัพธ์ของกระบวนการตรวจสอบเงา .....	45
ภาพ 28 ผลลัพธ์จากกระบวนการปรับพื้นที่เงา .....	47
ภาพ 29 ข้อมูลตัวอย่างที่สามารถใช้การค่ากำหนดระดับความสว่าง .....	48
ภาพ 30 กราฟฮิสโตแกรมสองทาง .....	49
ภาพ 31 ผลลัพธ์จากกระบวนการแบ่งส่วนภาพ .....	50
ภาพ 32 ภาพที่มีค่ากำหนดหลายค่า .....	50
ภาพ 33 การพิจารณาพิกเซลรอบข้าง .....	51
ภาพ 34 การแบ่งภาพต้นฉบับเป็นภาพย่อย .....	52
ภาพ 35 กระบวนการตรวจจับขอบเขต .....	55
ภาพ 36 บุคคลสวมใส่เสื้อฮาวาย .....	56
ภาพ 37 ภาพการวิเคราะห์เส้นขอบเขตของวัตถุ .....	57
ภาพ 38 ภาพพื้นที่เมืองที่สนใจ พื้นที่ป่าไม้ และพื้นที่การเกษตร .....	57
ภาพ 39 ทิศทางการคำนวณค่าพิกเซลที่สนใจ .....	58
ภาพ 40 แสดงการวิเคราะห์สัญญาณด้วยการแปลงเวฟเล็ต .....	59
ภาพ 41 แสดงส่วนประกอบของย่านความถี่ Haar Wavelet Decomposition ระดับที่ 2 .....	60

ภาพ 42 การทำงานพื้นฐานของ Jacqyain's algorithm .....	61
ภาพ 43 การกระจายตัวของข้อมูลระนาบแต่ละคู่ในการเลือกลักษณะเด่นของสี.....	62
ภาพ 44 ระยะที่ 1 : การรอกของตาอ้อย.....	64
ภาพ 45 ระยะที่ 2 : การแตกกอ.....	64
ภาพ 46 ระยะที่ 3 : ระยะการเจริญเติบโตของลำต้นอ้อย.....	65
ภาพ 47 ระยะที่ 4 : ระยะการเติบโตเต็มที่ (อ้อยสุก).....	65
ภาพ 48 แสดงส่วนสูงและน้ำหนักของอ้อยจำนวน 4 แปลง.....	70
ภาพ 49 แบบจำลองต้นไม้ตัดสินใจที่สร้างจากตาราง 21.....	74
ภาพ 50 การแบ่งข้อมูลไขว้ทดสอบ 5 ส่วน .....	78
ภาพ 51 การกระจายตัวของข้อมูลคำสั่งเสียง.....	81
ภาพ 52 ตัวอย่างกระบวนการทำงานด้วยวิธี Random Forest.....	83
ภาพ 53 โครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียม .....	86
ภาพ 54 โครงสร้างโครงข่ายประสาทเทียมแบบชั้นเดียว .....	87
ภาพ 55 โครงสร้างโครงข่ายประสาทเทียมแบบหลายชั้น .....	88
ภาพ 56 หน้าต่างโปรแกรม Covert to polygon .....	94
ภาพ 57 หน้าต่างโปรแกรม Google Earth Engine .....	94
ภาพ 58 หน้าต่างโปรแกรม ArcGIS .....	95
ภาพ 59 หน้าต่างโปรแกรม Matlab 2015b.....	95
ภาพ 60 อากาศยานไร้คนขับ.....	96
ภาพ 61 ข้อมูลด้านภูมิสารสนเทศของจังหวัดกำแพงเพชร .....	97
ภาพ 62 ตัวอย่างข้อมูลจากสถานีอุตุนิยมวิทยาจังหวัดกำแพงเพชร .....	98
ภาพ 63 แปลงอ้อยตัวอย่าง ปี 2561 ที่สำรวจด้วยอากาศยานไร้คนขับ .....	100



ภาพ 64 ภาพตัวอย่างแปลงอ้อยสำหรับตรวจสอบจุดบกพร่องของปี 2561 .....	100
ภาพ 65 ภาพตัวอย่างแปลงอ้อยสำหรับตรวจสอบจุดบกพร่องของปี 2562 .....	102
ภาพ 66 ภาพตัวอย่างแปลงอ้อยสำหรับตรวจสอบจุดบกพร่องของปี 2562 .....	102
ภาพ 67 กรอบแนวคิดสำหรับแบบจำลองตรวจสอบจุดบกพร่อง .....	104
ภาพ 68 ภาพมุมมองของแปลงอ้อยที่สำรวจด้วยอากาศยานไร้คนขับ .....	105
ภาพ 69 ขั้นตอนวิธีการตรวจสอบเงา.....	106
ภาพ 70 กรอบแนวคิดในการสกัดลักษณะเด่น .....	110
ภาพ 71 ลักษณะของตัวกรอง 13 แบบ .....	111
ภาพ 72 การออกแบบส่วนติดต่อผู้ใช้งาน โปรแกรมตรวจสอบจุดบกพร่อง.....	112
ภาพ 73 กรอบแนวคิดของแบบจำลองพยากรณ์ผลผลิตอ้อย.....	113
ภาพ 74 ผลลัพธ์ของการวิเคราะห์ค่าจุดบกพร่องด้วยโปรแกรมตรวจสอบจุดบกพร่องปี 2561 .....	114
ภาพ 75 ผลลัพธ์ของการวิเคราะห์ค่าจุดบกพร่องด้วยโปรแกรมตรวจสอบจุดบกพร่องปี 2562.....	115
ภาพ 76 กรอบแนวคิดการสกัดลักษณะเด่นของแบบจำลองพยากรณ์ผลผลิตอ้อย.....	117
ภาพ 77 วิธีการหาความสัมพันธ์ที่คล้ายคลึงกันของเอาต์พุตเป้าหมาย.....	119
ภาพ 78 ตัวอย่างวิธีการแบ่งครึ่งในกราฟแนวโน้มสำหรับการกำหนด.....	121
ภาพ 79 วิธีการหาความสัมพันธ์ที่คล้ายคลึงกันของปัจจัยนำเข้า.....	123
ภาพ 80 กรอบแนวคิดการออกแบบการทดลองของแบบจำลองพยากรณ์ผลผลิตอ้อย..	126
ภาพ 81 กรอบแนวคิดการทดสอบประสิทธิภาพ .....	131
ภาพ 82 ตัวอย่างผลการเปรียบเทียบระหว่างผู้เชี่ยวชาญกับผลลัพธ์ของกระบวนการตรวจสอบเงา.....	133

ภาพ 83 ภาพรวมผลการทดลองกระบวนการตรวจสอบพื้นที่เงา.....	138
ภาพ 84 ผลการทดลองปรับค่าตัวแปร p ของชุดข้อมูลภาพ .....	143
ภาพ 85 ตัวอย่างการเปรียบเทียบระหว่างผู้เชี่ยวชาญกับผลลัพธ์ของกระบวนการ ตรวจสอบพื้นที่อ้อย.....	149
ภาพ 86 ผลการทดลองกระบวนการตรวจสอบพื้นที่อ้อย.....	157
ภาพ 87 ตัวอย่างผลการเปรียบเทียบระหว่างผู้เชี่ยวชาญกับผลลัพธ์ของการตรวจ จุดบกพร่อง .....	158
ภาพ 88 ผลการทดลองกระบวนการตรวจสอบพื้นที่จุดบกพร่อง .....	163
ภาพ 89 ผลลัพธ์ของแบบจำลองการตรวจสอบจุดบกพร่องภายในแปลงอ้อย.....	164
ภาพ 90 ผลลัพธ์จากกระบวนการตรวจสอบจุดบกพร่องร่วมกับส่วนติดต่อกับผู้ใช้งาน .....	165
ภาพ 91 ผลการทดลองและการสร้างกราฟแนวโน้มนรอบเริ่มต้น .....	168
ภาพ 92 ผลการทดลองและการสร้างกราฟแนวโน้มนรอบที่ 2.....	169
ภาพ 93 ผลการทดลองและการสร้างกราฟแนวโน้มนรอบที่ 3 .....	170
ภาพ 94 ผลการทดลองและการสร้างกราฟแนวโน้มนรอบที่ 4.....	171
ภาพ 95 ผลการทดลองและการสร้างกราฟแนวโน้มนรอบที่ 5.....	173
ภาพ 96 ผลการทดลองและการสร้างกราฟแนวโน้มนรอบที่ 6.....	174
ภาพ 97 ผลการทดลองของการกำหนดเอาต์พุตเป้าหมายและค่า PYE% ทุกตัว.....	175
ภาพ 98 ชุดย่อยของปัจจัยนำเข้าจากกระบวนการออกแบบปัจจัยนำเข้า .....	177
ภาพ 99 เมทริกซ์สับสนของการจำแนกคลาสเอาต์พุตของอัลกอริทึมเคเนียร์เรสเนเบอร์ .....	178
ภาพ 100 เมทริกซ์สับสนของการจำแนกคลาสเอาต์พุตของอัลกอริทึม Random Forest (FOR) .....	179

ภาพ 101 เมทริกซ์สับสนของการจำแนกคลาสเอาต์พุตของอัลกอริทึม Random Tree (RTR)  
 ..... 179

ภาพ 102 เมทริกซ์สับสนของการจำแนกคลาสเอาต์พุตของอัลกอริทึม REP Tree ..... 180

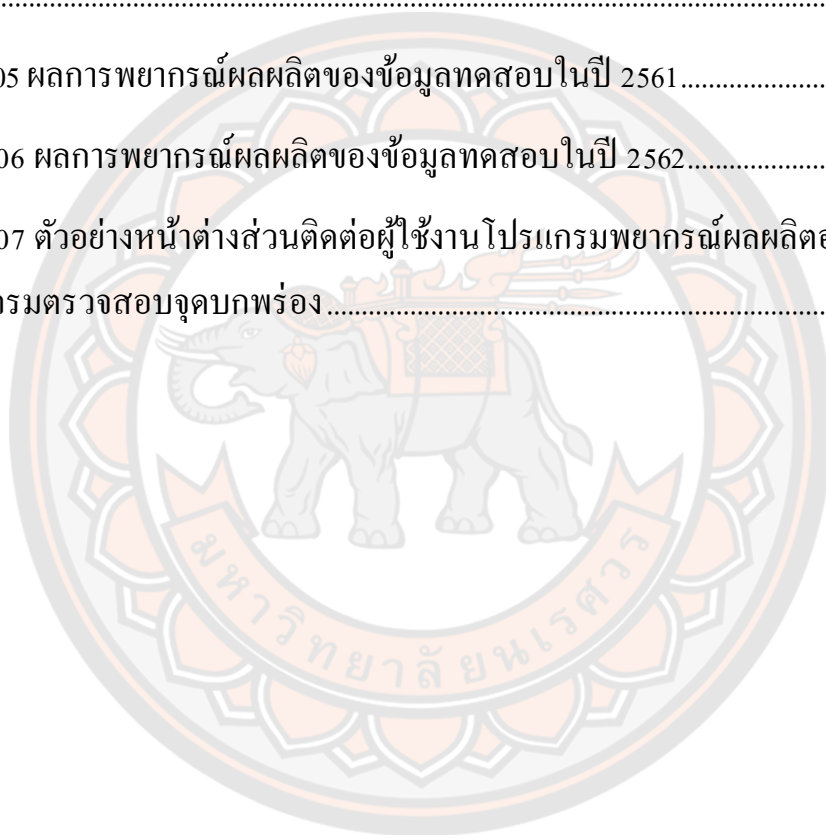
ภาพ 103 เมทริกซ์สับสนของการจำแนกคลาสเอาต์พุตของอัลกอริทึมต้นไม้ตัดสินใจ.180

ภาพ 104 เมทริกซ์สับสนของการจำแนกคลาสเอาต์พุตของอัลกอริทึมโครงข่ายประสาท  
 เทียม ..... 181

ภาพ 105 ผลการพยากรณ์ผลผลิตของข้อมูลทดสอบในปี 2561 ..... 182

ภาพ 106 ผลการพยากรณ์ผลผลิตของข้อมูลทดสอบในปี 2562 ..... 183

ภาพ 107 ตัวอย่างหน้าตาส่วนติดต่อผู้ใช้งานโปรแกรมพยากรณ์ผลผลิตอ้อยและ  
 โปรแกรมตรวจสอบจุดบกพร่อง ..... 185



# บทที่ 1

## บทนำ

### ความเป็นมาของปัญหา

อ้อยโรงงานเป็นพืชเศรษฐกิจของประเทศไทยและเป็นวัตถุดิบของโรงงานอุตสาหกรรมอ้อยและน้ำตาล ประเทศไทยมีสภาพทางภูมิศาสตร์และภูมิอากาศเหมาะสมกับการปลูกอ้อยเป็นอย่างมาก แต่มีข้อจำกัดที่ทำให้ภาพรวมผลผลิตอ้อยของประเทศต่ำ เนื่องจากเกษตรกรส่วนใหญ่ไม่มีความเชี่ยวชาญในการปลูกอ้อย และไม่สามารถเข้าถึงหรือรับรู้เกี่ยวกับเทคโนโลยีด้านการเกษตรที่เหมาะสมของแต่ละพื้นที่ ผลผลิตน้ำตาลที่ใช้บริโภคในประเทศมีปีละ 1.6 ถึง 1.7 ล้านตัน คิดเป็นมูลค่า 17,000 ถึง 19,000 ล้านบาท และมีการส่งออกน้ำตาลจำหน่ายเข้าสู่ตลาดโลกมากกว่าปีละ 3 ล้านตันและทำให้ประเทศไทยเป็นผู้ส่งออกน้ำตาลเป็นอันดับ 4 ของโลกรองจากบราซิล อินเดีย และสหภาพยุโรป (Sahu, 2018) รายงานผลผลิตอ้อยจากโรงงานน้ำตาลทั่วประเทศไทยในปี พ.ศ. 2561 มีผลผลิตอ้อยทั้งสิ้น 134 ล้านตัน แบ่งเป็นอ้อยสด 45 ล้านตันและอ้อยเผา 89 ล้านตัน ใช้ผลิตเป็นน้ำตาลทรายขาว 34 ล้านตันและน้ำตาลทรายดิบ 104 ล้านตัน (กลุ่มสารสนเทศอุตสาหกรรมอ้อยและน้ำตาลทราย, 2560) อุตสาหกรรมอ้อยและน้ำตาลได้รับการสนับสนุนและขับเคลื่อนทางเศรษฐกิจจากรัฐบาลไทยในด้านการส่งเสริมอุตสาหกรรมเกษตรและเทคโนโลยีชีวภาพ ซึ่งเป็น 1 ใน 10 ของอุตสาหกรรมที่ได้รับการส่งเสริม อีกทั้งอ้อยยังมีผลผลิตมวลรวมมากที่สุดในประเทศที่มีมูลค่าถึงร้อยละ 8.4 ของผลผลิตมวลรวมของประเทศ (GDP) และมีสัดส่วนแรงงานสูงถึงร้อยละ 40 ส่งผลให้การเกษตรเป็นอุตสาหกรรมที่มีความสำคัญเป็นอย่างยิ่งต่อเศรษฐกิจของประเทศไทย ปัจจุบันภาคการเกษตรของประเทศไทยมีผลิตภาพแรงงานอยู่ในระดับต่ำ รัฐบาลจึงส่งเสริมให้มีการเพิ่มศักยภาพและยกระดับเทคโนโลยีการเกษตรสมัยใหม่มาประยุกต์ใช้ในระบบอุตสาหกรรม เช่น การใช้ระบบเครื่องรับรู้ (Sensors) เทคนิคการวิเคราะห์ข้อมูลระดับสูง (Advance Data Analytics) และระบบอัตโนมัติ เป็นต้น (กลุ่มงานสำนักงานคณะกรรมการนโยบายเขตพัฒนาพิเศษภาคตะวันออก, 2561)

การเพาะปลูกอ้อยต้องมีสภาพพื้นที่และชนิดดินที่เหมาะสมแก่การปลูก สำหรับพื้นที่เพาะปลูกที่เหมาะสมควรเป็นที่ราบมีการระบายน้ำดีและเป็นดินร่วน ส่วนการเลือกสายพันธุ์อ้อยนั้นควรเป็นสายพันธุ์ที่ให้ผลผลิตสูง สำหรับรูปแบบของการเพาะปลูกมี 3 รูปแบบแบ่งตามช่วงเวลาของฤดูกาล ได้แก่ การปลูกอ้อยช่วงต้นฝน การปลูกอ้อยช่วงน้ำริดหรือน้ำสูบ และการ

ปลูกอ้อยขำมแล้ง เป็นต้น เมื่อทำการเพาะปลูกประมาณ 12 เดือน จะมีวิธีการเก็บเกี่ยว 3 วิธี ได้แก่ การใช้คนตัดมัด การใช้คนตัดไม่มัด และการใช้รถตัดอ้อย เป็นต้น (จิรวัดน์ เทิดพิทักษ์พงษ์, 2559)

จังหวัดกำแพงเพชร ตั้งอยู่ในเขตภาคเหนือตอนล่างมีอาณาเขตติดกับจังหวัดใกล้เคียง ได้แก่ จังหวัดตาก จังหวัดสุโขทัย จังหวัดนครสวรรค์ จังหวัดพิจิตร และจังหวัดพิจิตร มีพื้นที่ 5.4 ล้านไร่ ลักษณะภูมิประเทศของจังหวัด มีแม่น้ำปิงไหลผ่านเป็นระยะทาง 104 กิโลเมตร ลักษณะภูมิประเทศแบ่งออกเป็น 3 ลักษณะ คือ พื้นที่ตอนเหนือและตอนกลางเป็นเนินเขาต่ำสลับที่ราบ พื้นที่ทางด้านทิศตะวันตกและใต้เป็นที่ราบลุ่มแม่น้ำปิง ทางด้านตะวันตกเป็นภูเขาสูงสลับซับซ้อน ซึ่งเป็นพื้นที่เกษตร 3.2 ล้านไร่และพื้นที่ป่าไม้ 1.2 ล้านไร่ และเป็นพื้นที่อยู่อาศัย 1 ล้านไร่ มีผลิตภัณฑ์มวลรวม 107,038 ล้านบาท เป็นลำดับที่ 2 ของภาคเหนือและเป็นลำดับที่ 4 ของประเทศ พืชเศรษฐกิจสำคัญของจังหวัดกำแพงเพชรในภาคการเกษตร (เขาวลิตร์ แสงอุทัย, 2561) แสดงดังภาพ 1

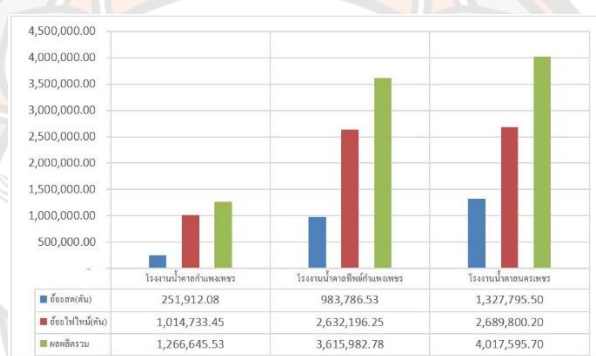


ภาพ 1 ภาคการเกษตรจังหวัดกำแพงเพชร

ที่มา: แผนพัฒนาสถิติระดับพื้นที่ จังหวัดกำแพงเพชร, 2561

จากภาพ 1 ภาคการเกษตรในพื้นที่ส่วนใหญ่ของจังหวัดกำแพงเพชรมีลักษณะดินปนทรายเหมาะสมกับการทำนาและปลูกพืชไร่ ลักษณะภูมิอากาศจัดอยู่ในประเภททุ่งหญ้าเมืองร้อน (Tropical Cross Land or Savana) มีฝนตกสลับแห้งแล้ง มีอุณหภูมิสูงเกือบตลอดปี มีสภาพอากาศแห้งแล้งในฤดูร้อนและได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ ทำให้มีพายุลมหมุนที่ทำให้เกิดความเสียหายแก่พืชผลทางการเกษตร ประชากรส่วนใหญ่ประกอบอาชีพการเกษตรกรรม เช่น ข้าว

มันสำปะหลัง ข้าวโพด อ้อย ถั่วเขียว และยาสูบ เป็นต้น และพืชที่ได้รับความนิยมมากขึ้นคือ อ้อย เพราะทนต่อสภาพแวดล้อมและลมพายุที่มีความรุนแรง (เขาวลิตร์ แสงอุทัย, 2561) จากภัยธรรมชาติดังกล่าวทำให้เกษตรกรส่วนมากเปลี่ยนมาปลูกอ้อยได้และเกิดโรงงานอุตสาหกรรมที่ผลิตน้ำตาลจากอ้อยขึ้น ปัจจุบันในจังหวัดกำแพงเพชรมีโรงงานอุตสาหกรรมที่ผลิตน้ำตาลขนาดใหญ่ 3 โรงงาน คือ โรงงานน้ำตาลกำแพงเพชร โรงงานน้ำตาลทิพย์กำแพงเพชรและโรงงานน้ำตาลนครเพชร ซึ่งทำให้เกษตรกรมีทางเลือกที่หลากหลายในการส่งผลผลิตให้กับโรงงาน และส่งผลทำให้โรงงานอุตสาหกรรมเกิดการแข่งขัน เพื่อให้ได้วัตถุดิบเข้าสู่โรงงาน (กลุ่มสารสนเทศอุตสาหกรรมอ้อยและน้ำตาลทราย, 2560) ในพ.ศ. 2561 ผลผลิตที่ได้ของแต่ละโรงงานอุตสาหกรรมแสดงดังภาพ 2



ภาพ 2 ปริมาณการอ้อยของโรงงานอุตสาหกรรมน้ำตาลจังหวัดกำแพงเพชร

ที่มา: กลุ่มสารสนเทศอุตสาหกรรมอ้อยและน้ำตาลทราย, 2561

จากภาพ 2 จะเห็นได้ว่าปริมาณอ้อยที่ได้จากการเผามีปริมาณมากกว่าอ้อยสด เนื่องจากการเผาก่อนตัดทำให้การเก็บเกี่ยวง่ายกว่าการตัดสดด้วยแรงงานคนและมีราคาถูกกว่าการตัดด้วยเครื่องจักร แต่ผลกระทบจากการเผาอ้อยทำให้เกิดมลภาวะทางอากาศ และอ้อยที่ได้จากการเผาทำให้ค่าความหวานลดลง ทำให้โรงงานอุตสาหกรรมต้องปรับตัวและวางแผนกลยุทธ์สำหรับการเก็บเกี่ยวในแต่ละฤดูกาล และส่งเสริมการเก็บเกี่ยวผลผลิตโดยใช้รถตัดอ้อยมากขึ้น รวมถึงการนำเทคโนโลยีเข้ามาช่วยในการวางแผนการจัดการผลผลิตที่เกิดประโยชน์ต่อการบริหารจัดการโรงงาน และให้บริการลูกค้าให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น แต่ในปัจจุบัน โรงงานน้ำตาลประสบปัญหาการประมาณการณ์ผลผลิตที่มีความคลาดเคลื่อน ทำให้การจัดสรรทรัพยากรสำหรับฤดูกาลเก็บเกี่ยวไม่เกิดประโยชน์เท่าที่คาดการณ์ไว้ จากปัญหาดังกล่าว โรงงานอุตสาหกรรมจึงได้พัฒนาระบบสารสนเทศเพื่อใช้ในการเก็บข้อมูลการเก็บผลผลิตขึ้น เพื่อนำมาแก้ไขปัญหาการประเมินผลผลิต

ในช่วงฤดูกาลเก็บเกี่ยวและใช้ในการบริหารจัดการทรัพยากรของโรงงาน โรงงานน้ำตาลนครเพชร นำระบบสารสนเทศในการเก็บข้อมูลการเพาะปลูกเริ่มต้นในปี พ.ศ. 2559 โดยการสำรวจแปลง อ้อยและทำความเข้าใจเกี่ยวกับภาคเกษตรกร และมีการประเมินการเพาะปลูกของเกษตรกรก่อน ฤดูกาลเก็บเกี่ยว โดยฝ่ายสำรวจไร่ของโรงงานร่วมกับข้อมูลที่ได้จากการสำรวจ พบว่า มีความคลาดเคลื่อนเกิดขึ้นค่อนข้างสูง โดยมีสาเหตุเกิดจากผู้ประเมินใช้ประสบการณ์ส่วนบุคคลที่มีความแตกต่างกันและต่างมาตรฐานในการประเมินแปลงอ้อยที่มีจำนวนมาก โรงงานน้ำตาลนครเพชรมีการประเมินผลผลิตที่มีความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยประมาณ 30 เปอร์เซ็นต์จากผลผลิตที่ประเมินไว้ก่อน ฤดูกาลเก็บเกี่ยว (บัณฑิต พาณิชย์เชษฐวงศ์, 2560) จากปัญหาและการวิเคราะห์ความต้องการของ โรงงาน จึงสรุปความต้องการได้ว่า โรงงานต้องการการประเมินผลผลิตจากการเก็บเกี่ยวของ โรงงาน โดยเริ่มจากกลุ่มของอ้อยที่เก็บเกี่ยวด้วยเครื่องจักรของโรงงานก่อน และได้ให้ข้อมูล เกี่ยวกับสาเหตุของความผิดพลาดว่า เกิดจากสภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงไปในแต่ละปีและการ ประเมินที่ผิดพลาดจากนักสำรวจแปลงอ้อยที่ขาดประสบการณ์ ผู้วิจัยมีความคิดเห็นว่า สำหรับ สาเหตุที่เกิดจากสภาพแวดล้อมนั้นยากต่อการควบคุมค่อนข้างมาก แต่สำหรับสาเหตุจากการ ประเมินจากนักสำรวจของโรงงานนั้นผู้วิจัยให้ความเห็นว่า สามารถควบคุมได้ถ้าหากมีการสร้าง บรรทัดฐานของการประเมินที่เป็นมาตรฐานเดียวกัน โดยการพัฒนาแบบจำลองการสำหรับการ ประเมินผลผลิตอ้อยขึ้น

ปัจจุบันปัญหาการประเมินผลผลิตที่คลาดเคลื่อนได้ส่งผลกระทบต่อการจัดการทรัพยากร มากเกินความจำเป็น เช่น บุคลากร เครื่องจักร รถบรรทุก เป็นต้น และส่งผลให้เกิดความเสียหาย ต่อปริมาณเป้าหมายของการผลิตและต้นทุนที่เพิ่มมากขึ้นกว่าผลผลิตจริงที่ได้ สำหรับข้อมูล พื้นฐานเกี่ยวกับการเก็บเกี่ยวผลผลิตนั้น การเก็บเกี่ยวจะเกิดขึ้นช่วงเดือนตุลาคมถึงเมษายนของทุก ปีและก่อนที่เก็บเกี่ยวโรงงานจะดำเนินการสำรวจแปลงอ้อยและประเมินแปลงอ้อย เพื่อประมาณ การผลผลิตให้ใกล้เคียงกับผลผลิตจริง

การพัฒนาแบบจำลองการพยากรณ์ผลผลิตทางการเกษตรในปัจจุบันมีค่อนข้าง หลากหลายโดยแบ่งจากแหล่งข้อมูลที่นำมาพัฒนาแบบจำลองสามารถแบ่งออกได้ 3 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มที่ใช้ข้อมูลจากดาวเทียม กลุ่มที่ใช้ข้อมูลจากอากาศยานไร้คนขับ และกลุ่มที่ใช้ข้อมูลเชิงเลข เป็นต้น และมีระเบียบวิธีการวิเคราะห์ที่หลากหลาย เช่น การประมวลผลภาพ การทำเหมืองข้อมูล และการพัฒนาสมการ เป็นต้น โดยในแต่ละกลุ่มมีรายละเอียดดังนี้

กลุ่มที่ 1 แบบจำลองหรือวิธีการประเมินผลผลิตอ้อยโดยใช้ข้อมูลจากดาวเทียมสำรวจ ทรัพยากรธรรมชาติ ประเทศไทยมีสำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศเป็นผู้ ให้บริการข้อมูลดาวเทียมแบบครบวงจรหน่วยงานเดียว (กลุ่มงานสารสนเทศสำนักงานเทคโนโลยี

อวกาศและภูมิสารสนเทศ, 2558) ซึ่งมีข้อมูลสถานีรับข้อมูลโดยตรงจากดาวเทียมสำรวจและมิกซ์ ข้อมูลภาพความละเอียดสูง กลาง ต่ำ ที่เริ่มบันทึกตั้งแต่ปลายปี 2524 ปัจจุบันสำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศให้บริการข้อมูลดาวเทียมสำรวจจำนวน 24 ดวง สามารถแบ่งออกตามความละเอียดเป็น 4 กลุ่ม ได้แก่ 1) กลุ่มความละเอียดสูงเป็นดาวเทียมที่สามารถมองเห็นสภาพพื้นที่ได้ละเอียดและชัดเจน เช่น ดาวเทียมไทยโชต และดาวเทียม SPOT6-7 เป็นต้น 2) กลุ่มความละเอียดกลางสามารถถ่ายภาพมุมบนพื้นที่ป่าไม้ พื้นที่การเกษตร ได้ดาวเทียม RAPIDEYE ที่ให้บริการ 3) กลุ่มความละเอียดต่ำสามารถถ่ายนัยบ่อยครั้งและครอบคลุมทั้งประเทศใช้ติดตามพื้นที่พิบัติภัย ดาวเทียมที่อยู่ในกลุ่มนี้ เช่น LANDSAT5 และ DEIMOS-1 เป็นต้น และ 4) ดาวเทียมระบบเรดาร์ใช้ถ่ายภาพทะลุเมฆและไม่มีแสงอาทิตย์ใช้สำหรับติดตามปรากฏการณ์ธรรมชาติ ดาวเทียมในกลุ่มนี้ เช่น Terrasar-X , Radarsat-2 เป็นต้น ตัวอย่างงานวิจัยที่พัฒนาขึ้นโดยการใช้ข้อมูลภาพจากดาวเทียมดังนี้

งานวิจัยของ (Rahman และ Robson, 2016) ได้ประยุกต์ใช้ชุดข้อมูลภาพต่อเนื่องจากดาวเทียม LANDSAT สำหรับการพยากรณ์ผลผลิตอ้อยในระดับภูมิภาค โดยใช้กรณีศึกษาในพื้นที่เมืองบันดาเบิร์ก (Bundaberg) และใช้ข้อมูลภาพ TM และ ETM โดยการคำนวณค่า GNDVI ภายในภาพ ซึ่งใช้ข้อมูลย้อนหลังในปี 2001 ถึง 2015 ผลที่ได้แบบจำลองมีค่าสหสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญ ค่าความผันแปร ( $R^2$ ) ที่ 0.69 และค่าเฉลี่ยกำลังสองอยู่ที่ 4.2 ต้นต่อเอเคอร์ ในปัจจุบันดาวเทียมสำรวจทรัพยากรธรรมชาติของไทย คือ ดาวเทียมไทยโชต (Thaichote) หรือเรียกอีกชื่อว่า ดาวเทียมธีออส (THEOS) (กลุ่มงานสารสนเทศสำนักงานเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ, 2558) และให้ข้อมูลดังภาพ 3



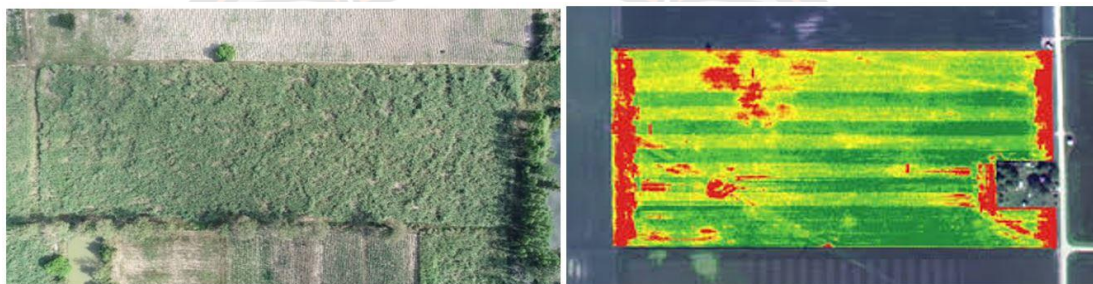
ภาพ 3 ภาพตัวอย่างข้อมูลจากดาวเทียมไทยโชต

ที่มา: สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ, 2558



จากภาพ 3 แสดงภาพผลิตภัณฑ์ที่ได้จากดาวเทียมสำรวจทรัพยากรธรรมชาติไทยโชต โดยมีตัวอย่างภาพ เช่น ภาพถ่ายแบบ Multispectral ภาพถ่ายแบบ Panchromatic และภาพถ่ายแบบ Pan-sharpening เป็นต้น ซึ่งสามารถนำภาพไปประมวลผลต่อได้

กลุ่มที่ 2 แบบจำลองหรือวิธีการประเมินผลผลิตอ้อยโดยใช้ข้อมูลจากอากาศยานไร้คนขับ ซึ่งเครื่องบินขนาดเล็กที่สามารถบินได้อัตโนมัติโดยไม่ต้องมีนักบินประจำอยู่บนอากาศยาน มีการติดตั้งกล้องถ่ายภาพคุณภาพสูงทั้งกล้องถ่ายภาพในเวลากลางวัน (Electro Optical) และกล้องอินฟราเรด (Infrared Sensor) ที่สามารถบันทึกภาพระยะไกลได้แล้วเผยแพร่สัญญาณมายังจอภาพที่สถานีภาพพื้นดิน และข้อมูลที่ได้ใกล้เคียงเวลาจริงมากที่สุด (Near Real Time: NRT) (สถาบันสำรวจและติดตามการปลูกพืชเสพติด, 2558) ลักษณะภาพที่ได้แสดงตัวอย่างดังภาพ 4



(ก) ภาพถ่ายสี่ความละเอียดสูง

(ข) ภาพ NDVI จากกล้องอินฟราเรด

ภาพ 4 ตัวอย่างข้อมูลจากอากาศยานไร้คนขับ

ที่มา: สถาบันสำรวจและติดตามการปลูกพืชเสพติด (2558, หน้า 41)

จากภาพ 4 (ก) เป็นภาพถ่ายสี่ที่มีความละเอียดสูงอยู่ในระดับ 4K และสามารถเก็บรายละเอียดได้ถึงพื้นดินได้ ส่วนภาพที่ 4 (ข) เป็นภาพตัวอย่างจากกล้องแบบอินฟราเรด ไม่มีความเกี่ยวข้องกับภาพ ก ซึ่งผ่านกระบวนการปรับข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบข้อมูลแบบ Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) หรือค่าดัชนีพืชพรรณที่สามารถนำมาวิเคราะห์ด้วยกระบวนการประมวลผลภาพหรือการสังเกตความแตกต่างได้ และมีตัวอย่างงานวิจัยที่ใช้ข้อมูลภาพจากอากาศยานไร้คนขับดังนี้

งานวิจัยของ (Kerkech, Hafiane และ Canals, 2018) ได้ประยุกต์ใช้การเรียนรู้เชิงลึกร่วมกับเมตริกซ์สีและค่าดัชนีพืชพรรณสำหรับการตรวจสอบโรคพืชภายในแปลงปลูกไวน์ (Vine Diseases) โดยใช้ภาพอากาศยานไร้คนขับ โดยใช้วิธีแบ่งส่วนภาพเป็นภาพย่อยและสกัดลักษณะ

เด่นด้วยการใช้ภาพแต่ละแชนเนลสีประกอบด้วย RGB, YUV, ExG, ExGR, GRVI, HSV, LAB, ExR, NDI, และ RGI และใช้การเรียนรู้เชิงลึกในการจดจำลักษณะเด่นและแยกประเภทของวัตถุ ผลการวิจัยมีความถูกต้องในการคัดแยกประเภทอยู่ที่ 95.8 เปอร์เซ็นต์

กลุ่มที่ 3 แบบจำลองหรือวิธีการประเมินผลผลิตอ้อยโดยใช้ข้อมูลเชิงเลขจากการเก็บข้อมูลการเพาะปลูกของโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งประกอบด้วยข้อมูลสภาพแวดล้อม เช่น สภาพอากาศ ลักษณะภูมิประเทศ ลักษณะพันธุ์พืช และลักษณะการดูแล เป็นต้น แสดงตัวอย่างข้อมูลดังตาราง 1

ตาราง 1 ตัวอย่างข้อมูลการเพาะปลูก

รหัสแปลง	ปริมาณน้ำฝน (มิลลิเมตร)	ชุดดิน	ระยะห่างของการปลูก (เซนติเมตร)	ตออ้อย (จำนวนลำต้น)	พันธุ์อ้อย	อายุอ้อย (วัน)	ผลผลิต (ตันต่อไร่)
1	997.9	7	150	13	2	438	10.39
2	1832.1	33	150	15	1	438	12.88
3	1832.1	33	150	15	1	438	11.73
4	1832.1	16	150	15	4	407	12.74
5	1832.1	33	150	15	1	438	10.85

ที่มา: ตัวอย่างข้อมูลแปลงเพาะปลูกและผลผลิตของโรงงานน้ำตาลนครเพชร, 2560

จากตาราง 1 ในส่วนของรหัสแปลงจะถูกใช้เป็นคีย์หลัก (Primary Key) ในการระบุแปลง โดยไม่ซ้ำกัน ชุดดินถูกแทนด้วยตัวเลขประกอบด้วยชุดที่ 1 ถึง 62 ซึ่งเป็นชุดดินมาตรฐานของประเทศไทย ส่วนพันธุ์อ้อยโดยปกติอยู่ในรูปแบบของชื่อสายพันธุ์ ข้อมูลจะถูกปรับให้อยู่ในรูปแบบของตัวเลขในการแทนสายพันธุ์ที่ใช้ในการเพาะปลูก โดยข้อมูลดังกล่าวเป็นตัวอย่างข้อมูลเชิงเลขโดยทั่วไปของโรงงาน ซึ่งเป็นข้อมูลที่โรงงานต้องเก็บข้อมูลการเพาะปลูกไว้ในทุกรอบของการเพาะปลูก และมีตัวอย่างงานวิจัยที่ใช้ข้อมูลเชิงเลขในการวิเคราะห์ผลผลิตดังนี้

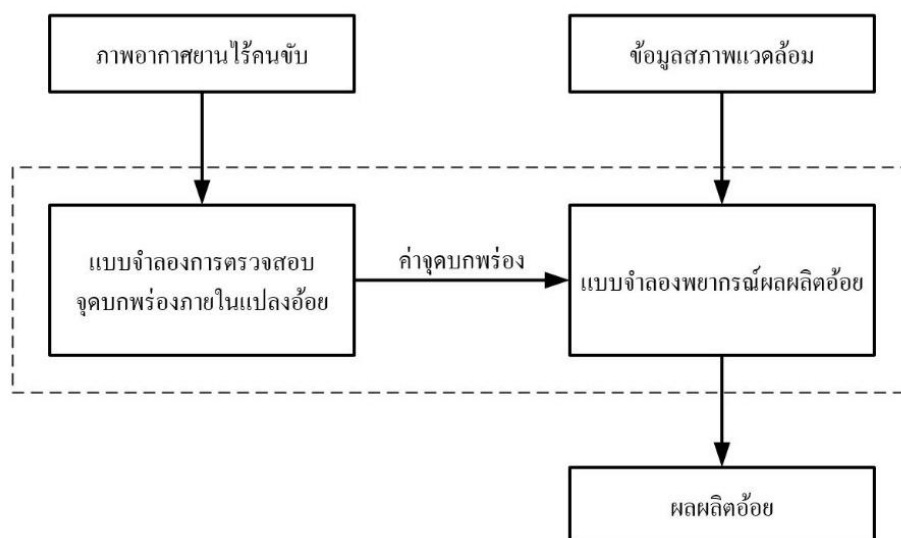
งานวิจัยของ (Natarajan, Subramanian และ Papageorgiou, 2016) ได้พัฒนาวิธีการในการแยกประเภทของผลผลิตอ้อย โดยประยุกต์ใช้ Fuzzy Cognitive Map (FCM) ร่วมกับขั้นตอนวิธี Data Driven Nonlinear Hebbian Learning (DDNHL) และขั้นตอนวิธี Genetic โดยใช้ชุดดินและตัวแปรสภาพแวดล้อม เช่น ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม กำมะถัน แมงกานีส เหล็ก สังกะสี ทองแดง โบรอน ซีลีเนียม ความหนาแน่น ความชื้นในดิน ความชื้นสัมพัทธ์ ปริมาณน้ำฝน จำนวนชลประทาน อุณหภูมิ รังสีดวงอาทิตย์ การนำไฟฟ้า อินทรีย์วัตถุ และอุบัติการณ์ของศัตรูพืช ซึ่งจะ

แบ่งคลาสของผลผลิตออกเป็น 3 คลาส จำนวนทั้งสิ้น 76 ข้อมูลตัวอย่าง ได้แก่ ผลผลิตต่ำ 25 แถว ผลผลิตปานกลาง 25 แถว และผลผลิตมาก 25 แถว โดยใช้โปรแกรม MATLAB ในการพัฒนาโปรแกรม ด้วยอัลกอริทึมที่หลากหลาย เช่น โครงข่ายประสาทเทียมแบบหลายชั้น นาวิเบย์ โครงข่ายประสาทเทียมแบบย้อนกลับ J48 ต้นไม้ LMT และต้นไม้แบบสุ่ม เป็นต้น โดยใช้โปรแกรม WEKA ผลที่ได้คือ J48 แยกแยะได้ดี จากการทดสอบอัลกอริทึมพื้นฐานแต่วิธีที่ได้พัฒนาขึ้นใหม่มีค่าความถูกต้องสูงกว่าอยู่ที่ 94.7 เปอร์เซ็นต์

ดังนั้นผู้วิจัยจึงพิจารณาทั้ง 3 กลุ่มข้อมูล เพื่อพิจารณาหาแนวทางการแก้ไขปัญหาจากการวิเคราะห์พบว่า กลุ่มที่ 1 การเข้าถึงข้อมูลในระดับแปลงจากดาวเทียมมีค่าใช้จ่ายสูงและมีข้อจำกัดด้านการปรับปรุงข้อมูลที่เป็นปัจจุบัน เนื่องจากการโคจรของดาวเทียมรอบโลกใช้เวลา 26 วัน ในการถ่ายภาพจุดที่สนใจ 1 ครั้งและมีโอกาสที่จะเกิดก้อนเมฆบดบังในแปลงที่สนใจได้ และสิ่งที่สามารถดำเนินการภายใต้ทรัพยากรของโรงงานอุตสาหกรรมในการวิจัยและพัฒนาได้นั้น จำเป็นต้องใช้ข้อมูลในกลุ่มที่ 2 และ 3 จากสาเหตุที่ได้กล่าวมานั้นผู้จัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงได้ตัดสินใจที่จะศึกษาและหาแนวทางในการแก้ไขปัญหาการประเมินผลผลิตอ้อยให้มีความใกล้เคียงกับผลผลิตที่ได้จากการเก็บเกี่ยวจริงมากที่สุด จึงเป็นที่มาของการพัฒนาแบบจำลองเกษตรอัจฉริยะสำหรับพยากรณ์ผลผลิตอ้อยขึ้น และในปี พ.ศ. 2560 โรงงานอุตสาหกรรมได้มีการดำเนินงานพัฒนาแบบจำลองในการวิเคราะห์โดยใช้ข้อมูลในกลุ่มที่ 3 คือ ข้อมูลการเพาะปลูกเชิงเลขเพียงอย่างเดียว ด้วยการใช้ข้อมูลการเก็บเกี่ยว 2560/2561 คือ รอบการปลูกในปี 2560 และเก็บเกี่ยวในปี 2561 สำหรับการฝึกฝนและการทดสอบแบบจำลองโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม โดยใช้ปัจจัยในการฝึกฝน ได้แก่ ชุดดิน ปริมาณน้ำฝน ระยะห่างของการปลูก ตออ้อย พันธุ์อ้อย อายุอ้อย(วัน) และผลผลิตต้นต่อไร่ที่เก็บเกี่ยวได้ เมื่อนำผลการพยากรณ์เปรียบเทียบกับผลผลิตจริงที่เก็บเกี่ยวในรอบปี 2561/2562 ผลที่ได้จากการทดลองพบว่า การพยากรณ์ค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยอยู่ที่ 23.69 เปอร์เซ็นต์ แต่อย่างไรก็ตามการทดสอบดังกล่าวพัฒนาขึ้นด้วยข้อมูลเพียง 317 ชุดข้อมูลและเป็นแปลงทดลองของโรงงานเท่านั้น ทางผู้วิจัยได้ตั้งสมมติฐานว่า แบบจำลองที่พัฒนาด้วยข้อมูลการเพาะปลูกเชิงเลขยังไม่เพียงพอต่อการเป็นตัวแทนปัญหาต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นระหว่างการเพาะปลูกได้ เช่น การล้มจากลมพายุ และจุดที่อ้อยไม่เจริญเติบโต เป็นต้น

ผลการทดลองของปี 2560 และปัญหาดังกล่าวในข้างต้น จึงทำให้มีแนวทางการแก้ไขปัญหาโดยการเพิ่มการวิเคราะห์ภาพจากอากาศยานไร้คนขับร่วมกับข้อมูลการเพาะปลูกเชิงเลข โดยอาศัยความร่วมมือกับโรงงานน้ำตาลนครเพชรจำกัด มหาชน ซึ่งให้การสนับสนุนด้านข้อมูลที่ใช้ในการพัฒนาแบบจำลอง การสนับสนุนกำลังคน และการอำนวยความสะดวกในด้านต่าง ๆ เพื่อได้มาซึ่งวิธีการในการประเมินที่มีมาตรฐานในการพยากรณ์ผลผลิตก่อนฤดูกาลเก็บเกี่ยวให้

ใกล้เคียงมากขึ้นและสามารถบริหารจัดการทรัพยากรของโรงงาน ได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น  
กรอบแนวคิดงานวิจัยแสดงดังภาพ 5



ภาพ 5 กรอบแนวคิดการพัฒนางานวิจัย

จากภาพ 5 เป็นกรอบแนวคิดการดำเนินงานวิจัยของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ซึ่งประกอบด้วย การพัฒนาแบบจำลอง 2 ตัวแบบ ดังนี้

1) แบบจำลองวิเคราะห์จุดบกพร่องภายในแปลงอ้อย และแบบจำลองพยากรณ์ผลผลิตอ้อย โดยแบบจำลองวิเคราะห์จุดบกพร่องภายในแปลงอ้อยจะวิเคราะห์ค่าจุดบกพร่องภายในภาพแปลงอ้อยจากอากาศยานไร้คนขับ ด้วยการวิเคราะห์ภาพสีความละเอียดสูงมุมบนเหนือแปลงอ้อยด้วยเทคนิคการประมวลผลภาพ เพื่อให้ได้มาซึ่งอัตราความบกพร่องของแปลงอ้อยสำหรับเป็นค่าตัวแทนปัญหาความไม่สมบูรณ์ของแปลง เช่น ต้นล้ม และไม่เจริญเติบโต เป็นต้น

2) แบบจำลองการพยากรณ์ผลผลิตอ้อยใช้ข้อมูลเชิงเลขที่เป็นข้อมูลการเพาะปลูกและร่วมกับค่าอัตราจุดบกพร่องที่ได้จากแบบจำลองตรวจสอบจุดบกพร่องโดยประยุกต์เทคนิคการทำเหมืองข้อมูลในการพัฒนาแบบจำลอง ซึ่งผู้วิจัยคาดหวังว่าจะทำให้ได้ปริมาณผลผลิตคาดการณ์ใกล้เคียงกับผลผลิตจริงมากที่สุด เพื่อให้โรงงานอุตสาหกรรมสามารถใช้ในการจัดสรรทรัพยากรในฤดูกาลเก็บเกี่ยวได้ในอนาคต

### จุดมุ่งหมายของการวิจัย

การพัฒนาแบบจำลองเกษตรอัจฉริยะสำหรับการพยากรณ์ผลผลิตอ้อย ประกอบด้วยแบบจำลอง 2 ตัวแบบ ดังนี้

- 1) พัฒนาแบบจำลองตรวจสอบจุดบกพร่องภายในแปลงอ้อย ด้วยภาพถ่ายสีมูมบนที่ได้จากอากาศยานไร้คนขับด้วยวิธีการประมวลผลภาพ
- 2) พัฒนาแบบจำลองการพยากรณ์ผลผลิตอ้อย โดยใช้ข้อมูลเชิงเลขและข้อมูลที่ได้จากแบบจำลองวิเคราะห์จุดบกพร่องภายในแปลงอ้อย

### ความสำคัญของการวิจัย

- 1) เพื่อประเมินปริมาณผลผลิตอ้อยก่อนที่จะเข้าสู่โรงงานอุตสาหกรรมและเป็นแนวทางในการบริหารจัดการทรัพยากรโรงงานอุตสาหกรรม เช่น แรงงานคน เครื่องจักร รถบรรทุก และต้นทุน เป็นต้น
- 2) เพื่อกำหนดเครื่องมือที่ใช้เป็นเกณฑ์มาตรฐานในการประเมินผลผลิตอ้อยของฝ่ายงานสำรวจ เพื่อลดความผิดพลาดเคลื่อนของการประเมินแปลงอ้อยที่มีจำนวนมากขึ้นของโรงงานอุตสาหกรรม

### ขอบเขตการวิจัย

- 1) พัฒนาแบบจำลองการตรวจสอบจุดบกพร่องภายในแปลงอ้อย โดยใช้ข้อมูลภาพถ่ายอากาศยานไร้คนขับ โดยมี 4 เงื่อนไข ประกอบด้วย (1) ภาพสีที่มีความละเอียดสูงระดับ (Ultra High Definition) (2) ขนาด 5,472 x 3,078 พิกเซล (3) ความสูง 200 ถึง 300 เมตรจากพื้นดิน และ (4) ภาพถ่ายไม่จำกัดช่วงเวลาและสภาพแวดล้อม
- 2) พัฒนาแบบจำลองการพยากรณ์ผลผลิตอ้อย โดยใช้ข้อมูลเชิงเลขและข้อมูลที่ได้จากแบบจำลองวิเคราะห์จุดบกพร่องภายในแปลงอ้อย โดยข้อมูลแปลงอ้อยเป็นข้อมูลแปลงที่เก็บเกี่ยวผลผลิตด้วยรถตัดอ้อยของโรงงานนครเพชร จำกัด มหาชน ในช่วงปี พ.ศ. 2560 ถึงปี พ.ศ. 2562 และเป็นแปลงอ้อยที่ปลูกในเขตจังหวัดกำแพงเพชร

## ข้อตกลงเบื้องต้น

- 1) การวิเคราะห์จุดบกพร่องไม่ได้ใช้ภาพดาวเทียมเหตุเพราะมีค่าใช้จ่ายสูง ปัญหาเมฆบดบังจุดสำรวจ และมีข้อจำกัดในการเข้าถึงข้อมูลความละเอียดสูงในระดับแปลงอ้อย
- 2) การวิเคราะห์ภาพสีจากอากาศยานไร้คนขับ โดยไม่ใช้ภาพจากกล้องอินฟราเรด เพราะมีต้นทุนสูง

## นิยามศัพท์เฉพาะ

อ้อยโรงงาน หมายถึง อ้อยที่ปลูกเพื่อส่งเข้าผลิตเป็นน้ำตาลในโรงงานอุตสาหกรรม ไม่เหมาะกับการบริโภคสด หากยังไม่ได้มีกระบวนการแปรรูป

ต่ออ้อย หมายถึง ส่วนรากฐานที่เหลือหลังจากการเก็บเกี่ยว ซึ่งอ้อยตัดหรือเก็บเกี่ยวไป 1 ครั้ง จะเรียกว่า อ้อยต่อ 1

การปลูกอ้อยต้นฝน หมายถึง อ้อยที่ปลูกปลายเดือนเมษายนถึงต้นเดือนมิถุนายน ควรเลือกปลูกอ้อยที่มีอายุเก็บเกี่ยวอยู่ที่ 9 ถึง 10 เดือน

การปลูกอ้อยน้ำрадหรือน้ำสูบ หมายถึง อ้อยที่ปลูกช่วงเดือนมกราคมถึงเดือนมีนาคม ควรเลือกปลูกอ้อยที่มีอายุเก็บเกี่ยวอยู่ที่ 11 ถึง 12 เดือน

การปลูกอ้อยข้ามแล้ง หมายถึง อ้อยที่ปลูกในเดือนพฤศจิกายนถึงเดือนธันวาคม ควรเลือกปลูกอ้อยที่มีอายุเก็บเกี่ยวอยู่ที่ 13 ถึง 15 เดือน

## สมมุติฐานของการวิจัย

แบบจำลองการพยากรณ์ผลผลิตอ้อยของโรงงานอุตสาหกรรมจะได้ปริมาณผลผลิตจากการพยากรณ์ใกล้เคียงกับผลผลิตจากการเก็บเกี่ยวจริง โดยการใช้ข้อมูลภาพสีจากอากาศยานไร้คนขับ และข้อมูลเชิงเลขจากปัจจัยสภาพแวดล้อมที่เกี่ยวข้องกับการปลูกอ้อย

## บทที่ 2

### เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

บทนี้กล่าวถึงเอกสาร ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ที่นำมาใช้เพื่อการพัฒนาแบบจำลอง เกษตรอัจฉริยะ สำหรับพยากรณ์ผลผลิตอ้อย ประกอบด้วยเอกสารและทฤษฎีพื้นฐานที่เกี่ยวข้อง 3 ส่วนหลัก ประกอบด้วย (1) เอกสารและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับข้อมูลพื้นฐานของอ้อยโรงงาน โรงงานอุตสาหกรรมน้ำตาล และข้อมูลทางภูมิสารสนเทศ (2) ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาแบบจำลองตรวจสอบจุดบกพร่องภายในภาพแปลงอ้อย เช่น การประมวลผลภาพดิจิทัล การเตรียมข้อมูลภาพ การแบ่งส่วนภาพ (Image Segmentation) และการวิเคราะห์ลักษณะเด่นเชิงผิวภาพ (Texture Analysis) เป็นต้น และ (3) ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาแบบจำลองการพยากรณ์ผลผลิตอ้อย เช่น การทำเหมืองข้อมูล(Data Mining) การเตรียมข้อมูล(Preprocessing Data) การแบ่งกลุ่มข้อมูล(Clustering Data) และการจำแนกข้อมูล(Classification Data) เป็นต้น และมากไปกว่านั้นยังมีการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องในการพัฒนาแบบจำลองเกษตรอัจฉริยะสำหรับพยากรณ์ผลผลิตอ้อย โดยมีรายละเอียดดังนี้

#### ข้อมูลพื้นฐานของอ้อยโรงงานและอุตสาหกรรมน้ำตาล

อ้อยโรงงานเป็นพืชเศรษฐกิจของประเทศไทย และเป็นวัตถุดิบหลักของอุตสาหกรรมอ้อยและน้ำตาล ประเทศไทยมีสภาพทางภูมิศาสตร์และภูมิอากาศเหมาะสมกับการปลูกอ้อยเป็นอย่างมาก แต่มีข้อจำกัดที่ทำให้ผลผลิตอ้อยในภาพรวมของประเทศต่ำ เนื่องจากเกษตรกรส่วนใหญ่ไม่มีความเชี่ยวชาญในการปลูกอ้อยและไม่สามารถเข้าถึงหรือรับรู้เกี่ยวกับเทคโนโลยีที่เหมาะสมในแต่ละพื้นที่ ผลผลิตน้ำตาลที่ใช้บริโภคในประเทศมีผลผลิตปีละ 1.6 ถึง 1.7 ล้านตัน คิดเป็นมูลค่า 17,000 ถึง 19,000 ล้านบาท และมีการส่งออกน้ำตาลจำหน่ายในตลาดโลกปีละมากกว่า 3 ล้านตันและทำให้ประเทศไทยเป็นผู้ส่งออกน้ำตาลเป็นอันดับ 4 ของโลก รองจาก บราซิล อินเดีย และสหภาพยุโรป แสดงดังตาราง 2

ตาราง 2 ประเทศที่มีผลผลิตน้ำตาลมากที่สุด 10 อันดับในช่วงปี 2560 ถึง 2561

ลำดับ	ประเทศ	ผลผลิต(ล้านตัน)	ลำดับ	ประเทศ	ผลผลิต(ล้านตัน)
1	บราซิล	38.87	7	เม็กซิโก	6.32
2	อินเดีย	32.44	8	ปากีสถาน	7.42
3	สหภาพยุโรป	21.15	9	รัสเซีย	6.50
4	ไทย	13.73	10	ออสเตรเลีย	4.70
5	จีน	10.25	11	อื่นๆ	41.82
6	อเมริกา	8.39			

ที่มา: (Sahu, O., 2018, หน้า 390)

รายงานผลผลิตอ้อยจากโรงงานน้ำตาลทั่วประเทศไทยในปี พ.ศ. 2561 มีผลผลิตอ้อยทั้งสิ้น 134 ล้านตัน แบ่งเป็นอ้อยสด 45 ล้านตันและอ้อยเผา 89 ล้านตัน โดยผลิตเป็นน้ำตาลทรายขาว 34 ล้านตันและน้ำตาลทรายดิบ 104 ล้านตัน (กลุ่มสารสนเทศอุตสาหกรรมอ้อยและน้ำตาลทราย, 2561) และอุตสาหกรรมน้ำตาลยังเป็นอุตสาหกรรมที่ขับเคลื่อนเศรษฐกิจและได้รับการส่งเสริมจากรัฐบาลของประเทศไทย ด้านการส่งเสริมอุตสาหกรรมเกษตรและเทคโนโลยีชีวภาพ ซึ่งเป็น 1 ใน 10 อุตสาหกรรมที่ได้รับการส่งเสริมและมีผลผลิตมวลรวมมากที่สุดในประเทศที่มีมูลค่าถึงร้อยละ 8.4 ของผลผลิตมวลรวมของประเทศ (GDP) และมีสัดส่วนแรงงานสูงถึงร้อยละ 40 ส่งผลให้การเกษตรเป็นอุตสาหกรรมที่มีความสำคัญยิ่งต่อเศรษฐกิจไทย ปัจจุบันภาคการเกษตรของประเทศไทยมีผลิตภาพแรงงานอยู่ในระดับต่ำ รัฐบาลจึงส่งเสริมให้เพิ่มศักยภาพและยกระดับ โดยการนำเทคโนโลยีทางการเกษตรสมัยใหม่มาประยุกต์ใช้ เช่น การใช้ระบบเครื่องรับรู้ (Sensors) เทคนิคการวิเคราะห์ข้อมูลระดับสูง (Advance Data Analytics) ระบบอัตโนมัติ เป็นต้น (กลุ่มงานสำนักงานคณะกรรมการนโยบายเขตพัฒนาพิเศษภาคตะวันออก, 2561)

#### การปลูกอ้อยและเกณฑ์การเลือกพันธุ์อ้อย

การเลือกพันธุ์อ้อยเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อผลผลิต ซึ่งสิ่งที่จะต้องคำนึงถึง ได้แก่ สภาพพื้นที่ สภาพภูมิอากาศ ช่วงเวลาปลูก วิธีการเก็บเกี่ยว โรคและแมลงศัตรูอ้อย และลักษณะทางการเกษตรของอ้อยแต่ละสายพันธุ์ (จิรวัดน์ เท็ดพิทักษ์พงษ์, 2559) โดยมีรายละเอียดดังนี้



### 1. สภาพพื้นที่และชนิดดิน

สำหรับสภาพพื้นที่ที่เหมาะสมกับการปลูกอ้อย แบ่งออกเป็น 3 ลักษณะ ซึ่งพิจารณาจากปัจจัยของปริมาณน้ำ โดยมีรายละเอียดดังนี้

1.1 สภาพพื้นที่ลุ่มมีน้ำขังช่วงฤดูฝนจะมีน้ำมาก ควรเลือกใช้พันธุ์อ้อยที่มีความทนต่อสภาพน้ำแฉะได้ดี

1.2 สภาพพื้นที่ราบมีการระบายน้ำดี เหมาะสมกับทุกพันธุ์

1.3 สภาพพื้นที่ดอนมีลักษณะขาดน้ำในหน้าแล้งและมีน้ำน้อย ควรเลือกพันธุ์ที่ไม่ชอบน้ำแฉะแต่มีความทนแล้งได้ดี

สำหรับชนิดดินที่เหมาะสมกับการปลูกอ้อย แบ่งออกเป็น 3 ชนิด ซึ่งพิจารณาจากปัจจัยของปริมาณน้ำ โดยมีรายละเอียดดังนี้

- ดินเหนียว ควรเลือกพันธุ์ที่เจริญเติบโตได้และทนต่อสภาพน้ำแฉะ

- ดินร่วน ใช้ได้ทุกพันธุ์แต่ควรเป็นพันธุ์อ้อยที่มีศักยภาพในการให้ผลผลิตที่สูง

- ดินทราย ควรเลือกพันธุ์ที่เจริญเติบโตได้ดีในดินทรายและทนต่อความแห้งแล้งได้ดี

### 2. ช่วงเวลาปลูก

การปลูกอ้อยมีอยู่ 3 ช่วง ซึ่งแต่ละช่วงของการปลูกอ้อยจะพบกับช่วงของการได้รับน้ำที่แตกต่างกัน โดยมีรายละเอียดดังนี้

2.1 การปลูกอ้อยต้นฝน จะปลูกช่วงปลายเดือนเมษายนถึงต้นเดือนมิถุนายน ควรเลือกพันธุ์อ้อยที่โตเร็ว สะสมน้ำตาลเร็ว มีอายุการเก็บเกี่ยวอยู่ในช่วง 9 ถึง 12 เดือน

2.2 การปลูกอ้อยน้ำрад หรือน้ำสูบ จะปลูกช่วงเดือนมกราคมถึงมีนาคม ควรเลือกพันธุ์ที่มีการเจริญเติบโตเร็วถึงปานกลาง มีอายุในการเก็บเกี่ยวอยู่ในช่วง 11 ถึง 12 เดือน

2.3 การปลูกอ้อยข้ามแล้ง จะปลูกในช่วงเดือนพฤศจิกายนถึงธันวาคม ควรเลือกพันธุ์ที่มีการเจริญเติบโตทางลำต้น ในช่วง 4 เดือนแรกช้า แต่มีการพัฒนาระบบรากที่ดี เพราะใน ช่วงหน้าแล้งดินมีความชื้นน้อย หากเลือกใช้พันธุ์ที่มีการเจริญเติบโตทางลำต้นในช่วงแรกเร็ว พืชจะต้องการน้ำและธาตุอาหารมาก พืชมีโอกาสได้รับน้ำและธาตุอาหารในช่วง 4 เดือนแรกไม่เพียงพอ จะชะลอการเจริญเติบโต ควรเป็นพันธุ์ที่มีอายุการเก็บเกี่ยวอยู่ในช่วง 13 ถึง 15 เดือน

### 3. วิธีการเก็บเกี่ยว

การเก็บเกี่ยวในปัจจุบัน มีทั้งการใช้แรงงานคนและเครื่องจักรกลทางการเกษตร โดยมีรายละเอียดดังนี้

3.1 การใช้คนตัดมัด ควรเป็นพันธุ์ที่มีขนาดลำปานกลางถึงใหญ่ น้ำหนักต่อลำสูง ลอกกานง่าย ไม่มีขนหลังกานใบ การหักล้มน้อย และไม่ออกดอก

3.2 การใช้คนตัดแต่ไม่มัด จะมัดโดยการใช้รถตัด ควรเป็นพันธุ์ที่มีขนาดลำต้นปานกลางถึงใหญ่ น้ำหนักต่อลำสูง ลอกกาบง่าย ไม่มีขนหลังกาบใบ และมีการหักล้มน้อย

3.3 การใช้รถตัด ควรเป็นพันธุ์ที่มีขนาดลำปานกลาง จำนวนลำต่อกอสูง น้ำหนักสูง และลอกกาบง่าย

#### 4. โรคและแมลงศัตรูอ้อยที่ระบาดทำลาย

การปลูกในพื้นที่ที่มีการกระจายตัวของโรคระบาดเป็นสิ่งที่ทำให้เกิดความเสียหายต่อแปลงอ้อยเป็นวงกว้าง สิ่งที่เกี่ยวข้องควรคำนึงถึงดังนี้

4.1 สำรวจพื้นที่ปลูกอ้อยของตนและพื้นที่ใกล้เคียงเกี่ยวกับ โรคอ้อยที่มีการระบาด เช่น โรคเหี่ยวเน่าแดง โรคเน่าคออ้อย โรคเส้ดำ โรคใบขาว เป็นต้น ควรเลือกใช้พันธุ์อ้อยที่มีความต้านทานต่อโรคที่เคยมัระบาดทำลายในสภาพท้องถิ่นนั้น ๆ

4.2 สำรวจพื้นที่ปลูกอ้อยของตนและพื้นที่ใกล้เคียงที่มีแมลงศัตรูอ้อยที่เคยมัระบาดทำลาย เช่น หนอนกออ้อย แมลงหีขาว ไรวาง หรือด้วงหนวดยาว เป็นต้น ควรเลือกใช้พันธุ์อ้อยที่มีความต้านทานต่อแมลงที่เคยมัมีการระบาดทำลายในสภาพท้องถิ่น หรือเป็นพันธุ์ที่แมลงไม่ชอบทำลาย

#### 5. พันธุ์อ้อย

พันธุ์อ้อยเป็นสิ่งที่สำคัญต่อการทำการเกษตร เพราะพันธุ์อ้อยที่ดีทำให้ได้ผลผลิตเป็นไปตามที่ต้องการ โดยพันธุ์อ้อยที่นิยมปลูกในปัจจุบันมีดังนี้

5.1 อ้อยพันธุ์ สอน.12 หรือ แอลเค92-11 เป็นอ้อยลูกผสมพันธุ์ไทยที่ได้จากการผสมระหว่างอ้อยพันธุ์ เค84-200 กับพันธุ์อ้อยเหี่ยว แสดงลักษณะดังภาพ 6



ภาพ 6 อ้อยพันธุ์ สอน.12 หรือ แอลเค92-11

ที่มา : จิรวัดน์ เทิดพิทักษ์พงษ์, 2559, หน้า 10

จากภาพ 6 พันธุ์อ้อยดังกล่าวได้ผ่านการคัดเลือกโดยศูนย์ส่งเสริมอุตสาหกรรมอ้อยและน้ำตาลภาคที่ 2 สำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย ให้ผลผลิตอ้อยเฉลี่ย 15 ถึง 16 ตันต่อ

ไร่ ความหวาน 13 ถึง 14 ซี.ซี.เอส มีอายุเก็บเกี่ยวอยู่ที่ 11.5 ถึง 13.5 เดือน การเจริญเติบโตช่วง 4 เดือนแรกค่อนข้างช้า และสามารถไว้ต่อได้ดี

5.2 อ้อยพันธุ์ เคพีเค98-40 เป็นอ้อยลูกผสมสายพันธุ์ไทยที่ได้จากการผสมระหว่าง อ้อยพันธุ์เค83-74 กับ เค84-200 แสดงลักษณะดังภาพ 7



ภาพ 7 อ้อยพันธุ์ เคพีเค98-40

ที่มา : จิรวัดน์ เทตพิทักษ์พงษ์, 2559, หน้า 11

จากภาพ 7 พันธุ์อ้อยดังกล่าวได้ผ่านการคัดเลือกโดยศูนย์ส่งเสริมอุตสาหกรรมอ้อยและน้ำตาลภาคที่ 2 สำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย ให้ผลผลิตอ้อยเฉลี่ย 14 ถึง 15 ตันต่อไร่ ความหวาน 13 ถึง 14 ซี.ซี.เอส มีอายุเก็บเกี่ยวอยู่ที่ 11 ถึง 12 เดือน การเจริญเติบโตค่อนข้างช้า สามารถไว้ต่อได้ดี

5.3 พันธุ์อ้อย เคพีเค98-51 เป็นอ้อยลูกผสมสายพันธุ์ไทยที่ได้จากการผสมระหว่างอ้อยพันธุ์เค83-200 กับ เค92-165 แสดงลักษณะดังภาพ 8



ภาพ 8 อ้อยพันธุ์ เคพีเค98-51

ที่มา : จิรวัดน์ เทตพิทักษ์พงษ์, 2559, หน้า 12

จากภาพ 8 พันธุ์อ้อยดังกล่าวได้ผ่านการคัดเลือกโดยศูนย์ส่งเสริมอุตสาหกรรมอ้อยและน้ำตาลภาคที่ 2 สำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย ให้ผลผลิตอ้อยเฉลี่ย 16 ถึง 18 ตันต่อไร่ ความหวาน 12 ถึง 13 ซี.ซี.เอส มีอายุเก็บเกี่ยวอยู่ที่ 11 ถึง 12 เดือน การเจริญเติบโตดี แดกตอมมาก สามารถไว้ต่อได้ดี

5.4 พันธุ์ขอนแก่น 3 เป็นอ้อยลูกผสมสายพันธุ์ไทยที่ได้จากการผสมระหว่างอ้อยพันธุ์เค 85-2-356 กับ เค84-200 แสดงลักษณะดังภาพ 9



ภาพ 9 อ้อยพันธุ์ เคพีเค98-40

ที่มา : จิรวัดน์ เทิดพิทักษ์พงษ์, 2559, หน้า 13

จากภาพ 9 พันธุ์อ้อยดังกล่าวได้ผ่านการคัดเลือกโดยศูนย์วิจัยและพัฒนาการเกษตรขอนแก่น กรมวิชาการเกษตร ให้ผลผลิตอ้อยเฉลี่ย 12 ถึง 22 ตันต่อไร่ ความหวาน 12 ถึง 13 ซี.ซี.เอส มีอายุเก็บเกี่ยวอยู่ที่ 12 เดือน การเจริญเติบโตดี สามารถไว้ต่อได้ดี และแตกกอปานกลาง 4 ถึง 9 ลำต่อกอ

5.5 อ้อยพันธุ์อุ้มทอง 84-12 (02-2-477) เป็นอ้อยลูกผสมสายพันธุ์ไทยที่ได้จากการผสมระหว่างอ้อยพันธุ์สุพรรณบุรี กับ อุ้มทอง 3 แสดงลักษณะดังภาพ 10



ภาพ 10 อ้อยพันธุ์อุ้มทอง 84-12 (02-2-477)

ที่มา : จิรวัดน์ เทิดพิทักษ์พงษ์, 2559, หน้า 14

จากภาพ 10 พันธุ์อ้อยดังกล่าวได้ผ่านการคัดเลือกโดยศูนย์วิจัยและพัฒนาการเกษตร สุพรรณบุรี กรมวิชาการเกษตร ให้ผลผลิตอ้อยเฉลี่ย 13 ถึง 18 ต้นต่อไร่ ความหวาน 12 ถึง 13 ซี.ซี. เอส มีอายุเก็บเกี่ยวอยู่ที่ 11 ถึง 12 เดือน การเจริญเติบโตค่อนข้างช้า สามารถไว้ต่อได้ดี และแตกกอปานกลาง 4 ถึง 5 ลำต่อกอ

5.6. พันธุ์ 02-2-483 เป็นอ้อยลูกผสมสายพันธุ์ไทยที่ได้จากการผสมระหว่างอ้อยพันธุ์ สุพรรณบุรี 80 กับ อุทอง 3 แสดงลักษณะดังภาพ 11



ภาพ 11 อ้อยพันธุ์ 02-2-483

ที่มา : จิรวัดน์ เทิดพิทักษ์พงษ์, 2559, หน้า 15

จากภาพ 11 พันธุ์อ้อยดังกล่าวได้ผ่านการคัดเลือกโดยศูนย์วิจัยและพัฒนาการเกษตร สุพรรณบุรี กรมวิชาการเกษตร ให้ผลผลิตอ้อยเฉลี่ย 15 ถึง 18 ต้นต่อไร่ ความหวาน 12 ถึง 13 ซี.ซี. เอส มีอายุเก็บเกี่ยวอยู่ที่ 11 ถึง 12 เดือน การเจริญเติบโตเร็วปานกลาง สามารถไว้ต่อได้ปานกลาง และแตกกอ 6 ลำต่อกอ

### ข้อมูลทางภูมิสารสนเทศ

ข้อมูลภูมิสารสนเทศเป็นข้อมูลชนิดหนึ่งที่เน้นนำไปบูรณาการทางเทคโนโลยีหลากหลายด้าน ได้แก่ ด้านการสำรวจ การทำแผนที่ และการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงพื้นที่เข้าด้วยกัน ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้เพื่อการศึกษา เช่น ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS) การรับรู้จากระยะไกล (RS) และระบบกำหนดตำแหน่งบนแผนที่ (GPS) ซึ่งข้อมูลเหล่านี้สามารถทำงานอย่างเป็นอิสระต่อกัน หรือนำมาใช้ร่วมกันได้ และทำให้การวิเคราะห์ข้อมูลมีประสิทธิภาพเพิ่มมากขึ้น สำหรับข้อมูลที่นำมาใช้ด้านการเกษตร ได้แก่ ข้อมูลชุดดิน ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม และข้อมูลอากาศยานไร้คนขับ โดยมีรายละเอียดดังนี้

### ข้อมูลชุดดิน

กลุ่มชุดดิน (แผนกงานพัฒนาที่ดิน, 2553) เป็นหน่วยของกรรมที่ดินและแผนที่ได้พัฒนาขึ้น โดยการรวมชุดดินที่มีลักษณะ คุณสมบัติ ศักยภาพในการเพาะปลูก และการจัดการดินที่คล้ายกันให้อยู่ในกลุ่มเดียวกัน เพื่อนำไปใช้ประโยชน์ในการแนะนำ การตรวจสอบลักษณะดิน และการจัดการดินที่เหมาะสมให้แก่เกษตรกรและผู้สนใจ จากชุดดินที่มากกว่า 300 ชุดดิน กรรมที่ดินและแผนที่ของประเทศไทยได้จำแนกใหม่ออกเป็น 62 กลุ่มชุดดิน โดยมีรายละเอียดดังตาราง 3 ถึงตาราง 17

ตาราง 3 ลักษณะดินตามกลุ่มชุดดิน

กลุ่มที่	ลักษณะเด่น	ปัญหา
1	กลุ่มดินเหนียวสีดำนี้อาจมี รอย แตกกระแหงกว้างและลึก ปฏิกริยาดินเป็นกรดเล็กน้อยถึงเป็นด่างเล็กน้อย การระบายน้ำเลวถึงค่อนข้างเลว	ดินเหนียวจัด โครงสร้างแน่นทึบ ดินแห้งแข็ง แตกกระแหงกว้างและลึก ดินเปียกเหนียวมาก ทำให้การไถพรวนยาก บางพื้นที่อาจขาดแคลนน้ำ และน้ำท่วมขังในฤดูฝน ทำความเสียหายกับพืชที่ไม่ชอบน้ำ
2	กลุ่มดินเหนียวสีดำนี้อาจพบจุดประสีเหลืองฟาง ข้าวของสารประกอบกำมะถันลึกกว่า 100 ซม. จากผิวดิน การระบายน้ำเลว ความอุดมสมบูรณ์ปานกลาง	ดินเป็นกรดจัดมาก ทำให้เกิดการตรึงธาตุอาหารและปลดปล่อยสารที่เป็นพิษต่อพืช โครงสร้างแน่น ทึบ ดินแห้งแข็งและแตกกระแหง ทำให้ไถพรวนยาก คุณภาพน้ำเป็นกรดจัดมาก ขาดแคลนแหล่งน้ำจืดและน้ำท่วมขังในฤดูฝน ทำความเสียหายกับพืชที่ไม่ชอบน้ำ
3	กลุ่มดินเหนียวสีดำนี้อาจพบชั้นดินเลนของตะกอน น้ำกร่อย อาจพบชั้นดินเลนของตะกอน น้ำทะเลที่ไม่มีศักยภาพก่อให้เกิดเป็นดินกรดกำมะถันภายในความลึก 150 ซม. จากผิวดิน ปฏิกริยาดินเป็นกลางถึงเป็นด่าง การระบายน้ำเลว ความอุดมสมบูรณ์ปานกลางถึงสูง	โครงสร้างแน่น ทึบ ดินแห้งแข็งและแตกกระแหง ทำให้ไถพรวนยาก บางพื้นที่อาจพบชั้นดินเลนที่มีเกลือสะสมอยู่ในดินล่าง และน้ำท่วมขังในฤดูฝน ทำความเสียหายกับพืชที่ไม่ชอบน้ำ

ตาราง 4 ลักษณะดินตามกลุ่มชุดดิน (ต่อ)

กลุ่มที่	ลักษณะเด่น	ปัญหา
4	กลุ่มดินเหนียวลึกมากที่เกิดจากตะกอนลำน้ำที่มีอายุยังน้อย ปฏิกริยา	โครงสร้างแน่นทึบ ดินแห้งแข็งและแตกกระแหง ทำให้ไถพรวนยาก ขาดแคลนน้ำและน้ำท่วมขังในฤดูฝน ทำความเสียหายกับพืชที่ไม่ชอบน้ำ
5	กลุ่มดินเหนียวลึกมากที่เกิดจากตะกอนลำน้ำ ปฏิกริยาดินเป็นกลางหรือเป็นด่าง การระบายน้ำเร็ว ความ	บางพื้นที่ขาดแคลนน้ำ มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ และน้ำท่วมขังในฤดูฝน ทำความเสียหายกับพืชที่ไม่ชอบน้ำ
6	กลุ่มดินเหนียวลึกมากที่เกิดจากตะกอนลำน้ำ ปฏิกริยาดินเป็นกรดจัดมากถึงเป็นกรดจัด การระบายน้ำ	ความอุดมสมบูรณ์ต่ำ บางพื้นที่ดินเป็นกรดจัดมาก ขาดแคลนน้ำ และน้ำท่วมขังในฤดูฝน ทำความเสียหายกับพืชที่ไม่ชอบน้ำ
7	กลุ่มดินเหนียวลึกมากที่เกิดจากตะกอนลำน้ำ ปฏิกริยาดินเป็นกลางถึงเป็นด่าง การระบายน้ำก่อนข้าง	โครงสร้างแน่นทึบ ดินแห้งแข็ง ทำให้ไถพรวนยาก ขาดแคลนน้ำ และน้ำท่วมขังในฤดูฝน ทำความเสียหายกับพืชที่ไม่ชอบน้ำ
8	(มีลักษณะเด่นอย่างเดียว)กลุ่มชุดดินที่มีการยกร่อง	เพื่อเปลี่ยนสภาพการใช้ที่ดินจากนาข้าวเป็นพืชผักหรือไม้ผล ทำให้ลักษณะและสมบัติดินในแต่ละพื้นที่ไม่สม่ำเสมอขึ้นอยู่กับลักษณะและสมบัติดินเดิมก่อนมีการยกร่องและวิธีการเตรียมแปลงปลูก โดยทั่วไปจะนำดินชั้นล่างที่มีโครงสร้างแน่นทึบ ความอุดมสมบูรณ์ต่ำมาก ไม่เหมาะสมต่อการปลูกพืช มีระบบป้องกันน้ำท่วมและควบคุมระดับน้ำในร่องระหว่างแปลงปลูก พัฒนาแหล่งน้ำและจัดระบบการให้น้ำในแปลงปลูก

ตาราง 5 ลักษณะดินตามกลุ่มชุดดิน (ต่อ)

กลุ่มที่	ลักษณะเด่น	ปัญหา
9	กลุ่มดินเหนียวลึกมากที่เกิดจากตะกอนน้ำทะเลที่เป็นดินเค็มและเปรี้ยวจัด ดินบนปฏิบัติการเป็นกรดรุนแรงมาก ดินต่างปฏิบัติการเป็นกลางถึงเป็นด่าง การระบายน้ำเลว ความอุดมสมบูรณ์ต่ำ-ปานกลาง	ดินเป็นกรดรุนแรงมากและมีเกลือสะสมสูง โครงสร้างดินแน่นทึบ ทำให้ไถพรวนยาก บางพื้นที่อาจมีน้ำทะเลท่วมถึง ขาดแคลนแหล่งน้ำจืด และน้ำท่วมขังในฤดูฝน ทำความเสียหายกับพืชที่ไม่ชอบน้ำ
10	กลุ่มดินเปรี้ยวจัดตื้นที่เกิดจาก ตะ ก อ น น้ำ ทะ เล ปฏิกริยาดินเป็นกรดรุนแรงมาก การระบายน้ำเลว ความอุดมสมบูรณ์ต่ำ	ดินเป็นกรดรุนแรงมากหรือเป็นดินเปรี้ยวจัดตื้นภายในความลึก 50 ซม. จากผิวดิน เกิดการตรึงของธาตุอาหาร และมีสารที่เป็นพิษต่อพืชที่ปลูก มี โครงสร้างดินแน่นทึบ ดินแห้งแข็งและแตกกระแหง ทำให้ไถพรวนยาก คุณภาพน้ำเป็นกรดรุนแรงมาก ขาดแคลนแหล่งน้ำจืด และน้ำท่วมขังในฤดูฝน ทำความเสียหายกับพืชที่ไม่ชอบน้ำ
11	กลุ่มดินเปรี้ยวจัดลึกปานกลางที่เกิดจากตะกอนน้ำทะเล ปฏิกริยาดินเป็นกรดจัดมาก การระบายน้ำเลว ความอุดมสมบูรณ์ต่ำ	ดินเป็นกรดจัดมากหรือเป็นดินเปรี้ยวจัดลึกปานกลาง ในช่วงความลึก 50-100 ซม. จากผิวดิน เกิดการตรึงของธาตุอาหารและมีสารที่เป็นพิษต่อพืชที่ปลูก มี โครงสร้างดินแน่นทึบ ดินแห้งแข็งและแตกกระแหง ทำให้ไถพรวนยาก คุณภาพน้ำเป็นกรดจัดมาก ขาดแคลนแหล่งน้ำจืด และน้ำท่วมขังในฤดูฝน ทำความเสียหายกับพืชที่ไม่ชอบน้ำ



ตาราง 6 ลักษณะดินตามกลุ่มชุดดิน (ต่อ)

กลุ่มที่	ลักษณะเด่น	ปัญหา
12	กลุ่มดินเลนเค็มชายทะเลและไม่มี ศักยภาพก่อให้เกิดเป็นดินกรด กำมะถัน ปฏิกริยาดินเป็นกลางถึง เป็นด่าง การระบายน้ำเลวมมาก ความอุดมสมบูรณ์ปานกลางถึงสูง	ดินเลนเค็มที่มีน้ำทะเลท่วมถึงเป็นประจำวัน มี ความสามารถในการทรงตัวของต้นพืชต่ำมาก ทำ ให้พืชล้มง่าย และมีน้ำทะเลท่วมเป็นประจำทุก วัน
13	กลุ่มดินเลนเค็มชายทะเลที่มี ศักยภาพก่อให้เกิดเป็นดินกรด กำมะถัน ปฏิกริยาดินเป็นกลางถึง เป็นด่าง การระบายน้ำเลวมมาก ความอุดมสมบูรณ์ปานกลางถึงสูง	ดินเลนเค็มที่มีน้ำทะเลท่วมถึงเป็นประจำวัน มี ศักยภาพก่อให้เกิดดินกรดกำมะถัน เกิดก๊าซพิษ ไข่เน่า และก๊าซมีเทน ซึ่งเป็นอันตรายต่อพืช มี ความสามารถในการทรงตัวของต้นพืชต่ำมาก ทำ ให้พืชล้มง่าย เมื่อดินแห้งจะแปรสภาพเป็นดิน กรดกำมะถันและเค็ม และมีน้ำทะเลท่วมเป็น ประจำวัน
14	กลุ่มดินเปรี้ยวจัดลึกปานกลาง และมีชั้นดินเลนที่มีศักยภาพ ก่อให้เกิดเป็นดินเปรี้ยวจัด หรือ ดินกรดกำมะถันภายในความลึก 150 ซม. จากผิวดิน ดิน บน ปฏิกริยาเป็นกรดจัดมาก และดิน ล่างมีปฏิกริยาดินเป็นกรดเล็กน้อย ถึงเป็นด่าง การระบายน้ำเลว ความอุดมสมบูรณ์ต่ำ	ดินเป็นกรดจัดมากหรือเป็นดินเปรี้ยวจัดลึกปาน กลาง ดิน ชั้น ล่างเป็นดินเลนที่มีศักยภาพ ก่อให้เกิดเป็นดินกรดกำมะถัน เกิดการตรึงของ ธาตุอาหารและมีสารที่เป็นพิษต่อพืชที่ปลูก คุณภาพน้ำเป็นกรดจัดมาก ขาดแคลนแหล่งน้ำ จืด และน้ำท่วมขังในฤดูฝน ทำความเสียหายกับ พืชที่ไม่ชอบน้ำ
15	กลุ่มดินทรายแข็งลึกมากที่เกิด จากตะกอนลำน้ำ ปฏิกริยาดินเป็น กลางหรือเป็นด่าง การระบายน้ำ เลวถึงก่อนข้างเลว ความอุดม สมบูรณ์ต่ำถึงปานกลาง	หน้าดินแน่นทึบ ความอุดมสมบูรณ์ต่ำ บางพื้นที่ ขาดแคลนน้ำ และน้ำท่วมขังในฤดูฝน ทำความ เสียหายกับพืชที่ไม่ชอบน้ำ

ตาราง 7 ลักษณะดินตามกลุ่มชุดดิน (ต่อ)

กลุ่มที่	ลักษณะเด่น	ปัญหา
16	กลุ่มดินทรายแข็งลึกมากที่เกิดจากตะกอน ลำน้ำ ปฏิกริยาดินเป็นกรดจัดมาก การ ระบายน้ำเร็ว ความอุดมสมบูรณ์ต่ำ	หน้าดินแน่นทึบ ความอุดมสมบูรณ์ต่ำ บางพื้นที่ดินเป็นกรดจัดมาก ขาด แคลนน้ำ และน้ำท่วมขังในฤดูฝน ทำ ความเสียหายกับพืชที่ไม่ชอบน้ำ
17	กลุ่มดินร่วนละเอียดลึกมากที่เกิดจาก ตะกอนลำน้ำ ปฏิกริยาดินกลางหรือเป็นด่าง การระบายน้ำเร็วถึงค่อนข้างเร็ว ความอุดม สมบูรณ์ต่ำ-ปานกลาง	ความอุดมสมบูรณ์ต่ำ บางพื้นที่ขาด แคลนนํ้านาน และน้ำท่วมขังในฤดูฝน ทำความเสียหายกับพืชที่ไม่ชอบน้ำ
18	กลุ่มดินร่วนละเอียดลึกมากที่เกิดจาก ตะกอนลำน้ำ ปฏิกริยาดินกลางหรือเป็นด่าง การระบายน้ำเร็วถึงค่อนข้างเร็ว ความอุดม สมบูรณ์ต่ำถึงปานกลาง	ความอุดมสมบูรณ์ต่ำ บางพื้นที่ขาด แคลนนํ้านาน และน้ำท่วมขังในฤดูฝน ทำความเสียหายกับพืชที่ไม่ชอบน้ำ
19	กลุ่มดินร่วนหยาบที่เกิดจากตะกอนลำน้ำ มี ชั้นแน่นทึบภายในความลึก 100 ซม. จาก ผิวดิน ปฏิกริยาดินเป็นกรดจัดมากถึงเป็น ด่างเล็กน้อย การระบายน้ำค่อนข้างเร็ว ความอุดมสมบูรณ์ต่ำ	เนื้อดินค่อนข้างเป็นทรายที่มีชั้นดาน ภายในความลึก 100 ซม. จากผิวดิน ความอุดมสมบูรณ์ต่ำ ขาดแคลนน้ำ นาน และน้ำท่วมขังในฤดูฝน ทำความ เสียหายกับพืชที่ไม่ชอบน้ำ
20	กลุ่มดินเค็มเกิดจากตะกอนลำน้ำ มีคราบ เกลือลอยหน้าหรือมีชั้นดานแข็งที่สะสม เกลือภายในความลึก 100 ซม. จากผิวดิน ปฏิกริยาดินเป็นกรดเล็กน้อยถึงเป็นด่าง การระบายน้ำค่อนข้างเร็ว ความอุดม สมบูรณ์ต่ำ	ดินเค็ม มักพบชั้นดานแข็งที่มีการ สะสมเกลือ เนื้อดินค่อนข้างเป็นทราย ความอุดมสมบูรณ์ต่ำ และขาดแคลน แหล่งน้ำจืด ในพื้นที่ดินเค็มจัด มีคราบ เกลือมาก ไม่มีแหล่งน้ำจืด และน้ำท่วม ขังในฤดูฝน ทำความเสียหายกับพืชที่ ไม่ชอบน้ำ

ตาราง 8 ลักษณะดินตามกลุ่มชุดดิน (ต่อ)

กลุ่มที่	ลักษณะเด่น	ปัญหา
21	กลุ่มดินร่วนหยาบลึกมากที่เกิดจากตะกอนลำน้ำในส่วนต่ำของพื้นที่ริมแม่น้ำ ปฏิกริยาดินเป็นกรดเล็กน้อยถึงเป็นกลาง การระบายน้ำค่อนข้างเร็วถึงดีปานกลาง ความอุดมสมบูรณ์ปานกลาง	ดินค่อนข้างเป็นทราย ขาดแคลนน้ำนาน บางพื้นที่อาจได้รับอันตรายจากน้ำไหลบ่าท่วมขังและน้ำท่วมขังในฤดูฝน ทำความเสียหายกับพืชที่ไม่ชอบน้ำ
22	กลุ่มดินร่วนหยาบลึกมากที่เกิดจากตะกอนลำน้ำเนื้อหยาบ ปฏิกริยาดินเป็นกรดจัดถึงเป็นกลาง การระบายน้ำเร็วถึงค่อนข้างเร็ว ความอุดมสมบูรณ์ต่ำ	เนื้อดินค่อนข้างเป็นทราย ความอุดมสมบูรณ์ต่ำ ขาดแคลนน้ำนาน และน้ำท่วมขังในฤดูฝน ทำความเสียหายกับพืชที่ไม่ชอบน้ำ
23	กลุ่มดิน ทรายลึกมากที่เกิดจากตะกอน ทรายชายทะเล ปฏิกริยาดินเป็นกรดเล็กน้อยถึงเป็นกลาง การระบายน้ำเร็ว ความอุดมสมบูรณ์ต่ำ	เนื้อดินเป็นดินทรายหนา ความอุดมสมบูรณ์ต่ำ ขาดแคลนน้ำ บางพื้นที่ดินอาจมีน้ำท่วมขัง และน้ำท่วมขังในฤดูฝน ทำความเสียหายกับพืชที่ไม่ชอบน้ำ
24	กลุ่มดินทรายลึกมากเกิดจากตะกอนลำน้ำที่มีเนื้อดินเป็นดินทรายหนา ปฏิกริยาดินเป็นกรด การระบายน้ำค่อนข้างเร็วถึงดีปานกลาง ความอุดมสมบูรณ์ต่ำ	เนื้อดินเป็นดินทราย ความอุดมสมบูรณ์ต่ำ ขาดแคลนน้ำ และน้ำท่วมขังในฤดูฝน ทำความเสียหายกับพืชที่ไม่ชอบน้ำ
25	กลุ่มดินตื้น ปฏิกริยาดินเป็นกรดจัดถึงเป็นด่างเล็กน้อย การระบายน้ำเร็วถึงค่อนข้างเร็ว ความอุดมสมบูรณ์ต่ำ	ดินตื้นถึงกึ่งกรวดหรือลูกรัง ภายในความลึก 50 ซม. จากผิวดิน ขาดแคลนน้ำนาน ความอุดมสมบูรณ์ต่ำ บางพื้นที่มีก้อนหินหรือลูกรังที่หน้าดินมาก และน้ำท่วมขังในฤดูฝน ทำความเสียหายกับพืชที่ไม่ชอบน้ำ

ตาราง 9 ลักษณะดินตามกลุ่มชุดดิน (ต่อ)

กลุ่มที่	ลักษณะเด่น	ปัญหา
26	กลุ่มดินเหนียวลึกถึงลึกมากที่เกิดจากตะกอนลำน้ำหรือวัตถุต้นกำเนิดดินเนื้อละเอียด ปฏิกริยาดินเป็นกรดจัดมาก การระบายน้ำดีถึงดีปานกลาง ความอุดมสมบูรณ์ต่ำ	ความอุดมสมบูรณ์ต่ำ ขาดแคลนน้ำในระยะที่ฝนทิ้งชว่งนาน และเกิดการชะล้างพังทลายสูญเสียหน้าดินในพื้นที่ที่มีความลาดชัน
27	กลุ่มดินเหนียวจัดสีแดงลึกมากที่เกิดจากหินภูเขาไฟ มีปฏิกริยาดินเป็นกรดจัด การระบายน้ำดี ความอุดมสมบูรณ์ปานกลาง	ความอุดมสมบูรณ์ของดินต่ำ ขาดแคลนน้ำ และเกิดการชะล้างพังทลายสูญเสียหน้าดินในพื้นที่ที่มีความลาดชัน
28	กลุ่มดินเหนียวลึกมากสีดําที่มีรอยแตกกระแหงกว้างและลึก ปฏิกริยาดินเป็นกลางถึงเป็นด่าง การระบายน้ำดีถึงดีปานกลาง ความอุดมสมบูรณ์ปานกลางถึงสูง	ดินเหนียวจัด แตกกระแหงกว้างและลึก ดินแห้งแข็ง ดินเปียกเหนียวมาก ไถพรวนยาก และขาดแคลนน้ำ
29	กลุ่มดินเหนียวลึกถึงลึกมากที่เกิดจากวัตถุต้นกำเนิดดินเนื้อละเอียด ปฏิกริยาดินเป็นกรดจัด การระบายน้ำดีถึงดีปานกลาง ความอุดมสมบูรณ์ต่ำ	ความอุดมสมบูรณ์ต่ำ ขาดแคลนน้ำ และเกิดการชะล้างพังทลายสูญเสียหน้าดินในพื้นที่ลาดชัน บางพื้นที่ดินเป็นกรดจัดมาก
30	กลุ่มดินเหนียวลึกถึงลึกมากที่พบในพื้นที่ภูเขา ปฏิกริยาดินเป็นกรดจัด การระบายน้ำดี ความอุดมสมบูรณ์ปานกลาง	สภาพพื้นที่ที่มีความลาดชันสูง ง่ายต่อการชะล้างพังทลายสูญเสียหน้าดิน และขาดแคลนน้ำ
31	กลุ่มดินเหนียวลึกถึงลึกมากที่เกิดจากวัตถุต้นกำเนิดดินเนื้อละเอียด ปฏิกริยาดินเป็นกลางหรือเป็นด่าง การระบายน้ำดีถึงดีปานกลาง ความอุดมสมบูรณ์ปานกลาง	ขาดแคลนน้ำ ในพื้นที่ลาดชันสูงเกิดการชะล้างพังทลายสูญเสียหน้าดิน

ตาราง 10 ลักษณะดินตามกลุ่มชุดดิน (ต่อ)

กลุ่มที่	ลักษณะเด่น	ปัญหา
32	กลุ่มดินร่วนหรือดินทรายแข็งละเอียดลึกมากที่เกิดจากตะกอนริมแม่น้ำ ปฏิกริยาดินเป็นกรดจัด การระบายน้ำดีถึงตีปานกลาง ความอุดมสมบูรณ์ปานกลาง	ขาดแคลนน้ำ บางพื้นที่อาจมีน้ำไหลบ่าท่วมขังยับยั้งปลงในระยะที่มีฝนตกหนัก
33	กลุ่มดินทรายแข็งละเอียดหรือดินร่วนละเอียดลึกมากที่เกิดจากตะกอนแม่น้ำหรือตะกอนน้ำพา รูปพืด ปฏิกริยาดินเป็นกรดเล็กน้อยถึงปานกลาง การระบายน้ำดีถึงตีปานกลาง ความอุดมสมบูรณ์ปานกลาง	ขาดแคลนน้ำในระยะที่ฝนทิ้งชว่งนาน บางพื้นที่อาจพบชั้นดานแข็งที่เกิดจากการเกษตรกรรม
34	กลุ่มดินร่วนละเอียดลึกถึงลึกมากที่เกิดจากตะกอนลำน้ำหรือวัตถุต้นกำเนิดดินเนื้อหยาบ ปฏิกริยาดินเป็นกรดจัด การระบายน้ำดีถึงตีปานกลาง ความอุดมสมบูรณ์ต่ำ	ดินปนทราย ความอุดมสมบูรณ์ต่ำ ขาดแคลนน้ำในระยะที่ฝนทิ้งชว่งนาน และในพื้นที่ที่มีความลาดชัน ดินง่ายต่อการถูกชะล้างพังทลายสูญเสียหน้าดิน
35	กลุ่มดินร่วนละเอียดลึกถึงลึกมากที่เกิดจากตะกอนลำน้ำหรือวัตถุต้นกำเนิดดินเนื้อหยาบ ปฏิกริยาดินเป็นกรดจัดมาก การระบายน้ำดีถึงตีปานกลาง ความอุดมสมบูรณ์ต่ำ	ดินปนทราย ความอุดมสมบูรณ์ต่ำ ขาดแคลนน้ำ และในพื้นที่ที่มีความลาดชัน ดินง่ายต่อการถูกชะล้างพังทลายสูญเสียหน้าดิน บางพื้นที่ดินเป็นกรดจัดมาก
36	กลุ่มดินร่วนละเอียดลึกถึงลึกมากที่เกิดจากตะกอนลำน้ำหรือวัตถุต้นกำเนิดดินเนื้อหยาบ ปฏิกริยาดินกลางหรือเป็นด่าง การระบายน้ำดีถึงตีปานกลาง ความอุดมสมบูรณ์ต่ำถึงปานกลาง	ดินปนทราย ความอุดมสมบูรณ์ต่ำ ขาดแคลนน้ำ และในพื้นที่ที่มีความลาดชัน ดินง่ายต่อการถูกชะล้างพังทลายสูญเสียหน้าดิน

ตาราง 11 ลักษณะดินตามกลุ่มชุดดิน (ต่อ)

กลุ่มที่	ลักษณะเด่น	ปัญหา
37	กลุ่มดินร่วนหยาบลึกปานกลาง ที่เกิดจากการสลายตัวหรือพัดพาตะกอนเนื้อหยาบ มาทับถมบน ชั้นหินผุ ในช่วงความลึก 50-100 ซม. จากผิวดิน ปฏิกริยาดินเป็นกรดจัดมาก การระบายน้ำดีถึงตีปานกลาง ความอุดมสมบูรณ์ต่ำ	ดินปนทราย ความอุดมสมบูรณ์ต่ำ ขาดแคลนน้ำ ในพื้นที่ที่มีความลาดชัน ดินง่ายต่อการถูกชะล้างพังทลายสูญเสียหน้าดิน
38	กลุ่มดินร่วนหยาบลึกมากที่เกิดจากตะกอนริมแม่น้ำ มีปฏิกริยาดินเป็นกรดเล็กน้อยถึงเป็นกลางการระบายน้ำดีถึงตีปานกลาง ความอุดมสมบูรณ์ปานกลาง	เนื้อดินค่อนข้างเป็นทราย ขาดแคลนน้ำใน ระยะที่ฝนทิ้งช่วงนาน บางพื้นที่อาจมีน้ำท่วมขัง หรือไหลป่าท่วมขังอย่างฉับพลันใน ระยะที่มีฝนตกหนัก
39	กลุ่มดินร่วนหยาบลึกถึงลึกมากที่เกิดจากตะกอนลำน้ำหรือวัตถุต้นกำเนิดดินเนื้อหยาบ ปฏิกริยาดินเป็นกรดจัด การระบายน้ำดีถึงตีปานกลาง ความอุดมสมบูรณ์ต่ำ	ดินปนทราย ความอุดมสมบูรณ์ต่ำ ขาดแคลนน้ำในระยะที่ฝนทิ้งช่วงนาน และในพื้นที่ที่มีความลาดชันดินง่ายต่อการถูกชะล้างพังทลายสูญเสียหน้าดิน
40	กลุ่มดินร่วนหยาบลึกถึงลึกมากที่เกิดจากตะกอนลำน้ำหรือวัตถุต้นกำเนิดเนื้อหยาบ ปฏิกริยาดินเป็นกรดจัด หรือเป็นกลาง การระบายน้ำดีถึงตีปานกลาง ความอุดมสมบูรณ์ต่ำ	ดินปนทราย ความอุดมสมบูรณ์ต่ำ ขาดแคลนน้ำ ในพื้นที่ที่มีความลาดชัน ดินง่ายต่อการถูกชะล้างพังทลายสูญเสียหน้าดิน

ตาราง 12 ลักษณะดินตามกลุ่มชุดดิน (ต่อ)

กลุ่มที่	ลักษณะเด่น	ปัญหา
41	กลุ่มดินทรายหนาปานกลาง ที่เกิดจากตะกอนลำน้ำหรือตะกอนเนื้อหยาบ ทั้อยู่บนชั้นดินที่มีเนื้อดินเป็นดินร่วนปนดินเหนียว หรือดินร่วนเหนียวปนทราย แป้ง ปฏิกริยาดินเป็นกรดเล็กน้อยถึงเป็นกลาง การระบายน้ำดี อยู่บนชั้นดินที่มีการระบายน้ำดีปานกลาง ความอุดมสมบูรณ์ต่ำ	ดินทรายหนาปานกลาง ความอุดมสมบูรณ์ต่ำ ขาดแคลนน้ำนาน ในระยะที่ฝนตกหนัก จะมีน้ำขังหรือเกิดการชะล้างพังทลาย สูญเสียหน้าดิน เกิดเป็นร่องทั่วไปในแปลงปลูก
42	กลุ่มดินทรายที่มีชั้นดานอินทรีย์ภายในความลึก 100 ซม. จากผิวดิน ปฏิกริยาดินเป็นกรดเล็กน้อยถึงเป็นกลาง การระบายน้ำค่อนข้างมากอยู่บนชั้นดินที่มีการระบายน้ำดีปานกลางถึงค่อนข้างเร็ว ความอุดมสมบูรณ์ต่ำ	ดินทรายที่มีชั้นดานอินทรีย์ภายในความลึก 100 ซม. ที่มีชั้นทรายสีขาวหนาที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำมาก ขาดแคลนน้ำ และในช่วงฝนตกหนักจะมีน้ำขังอยู่บริเวณผิวหน้าดิน
43	(มีลักษณะเด่นอย่างเดียว)กลุ่มดินทรายลึกมากที่เกิดจากตะกอนลำน้ำหรือสันทรายชายทะเล ปฏิกริยาดินเป็นกรดเล็กน้อยถึงเป็นด่าง การระบายน้ำค่อนข้างมาก ความอุดมสมบูรณ์ต่ำ	
44	กลุ่มดินทรายหนาที่เกิดจากตะกอนลำน้ำหรือตะกอนเนื้อหยาบ ปฏิกริยาดินเป็นกรดเล็กน้อยถึงเป็นกลาง การระบายน้ำค่อนข้างมาก ความอุดมสมบูรณ์ต่ำ	ดินทรายหนา ความอุดมสมบูรณ์ต่ำ ขาดแคลนน้ำนาน หน้าดินง่ายต่อการถูกชะล้างพังทลาย สูญเสียหน้าดิน เกิดเป็นร่องทั่วไปในแปลงปลูก

ตาราง 13 ลักษณะดินตามกลุ่มชุดดิน (ต่อ)

กลุ่มที่	ลักษณะเด่น	ปัญหา
45	กลุ่มดินตื้นถึงลูกรัง เศษหินหรือก้อนหิน ปฏิกริยาดินเป็นกรดจัด การระบายน้ำของดินดีถึงดีปานกลาง ความอุดมสมบูรณ์ต่ำ	ดินตื้นถึงชั้นลูกรัง เศษหินหรือก้อนกรวด ภายในความลึก 50 ซม. จากผิวดิน บางพื้นที่ พบลูกรัง เศษหิน หรือก้อนกรวดกระจายทั่ว ไปอยู่บริเวณผิวดิน ความอุดมสมบูรณ์ต่ำ ขาดแคลนน้ำ และในพื้นที่ที่มีความลาดชันจะเกิดการชะล้างพังทลาย สูญเสียหน้าดินได้ง่าย
46	กลุ่มดินตื้นถึงก้อนกรวด หรือเศษหิน ปนลูกรังหนามาก ปฏิกริยาดินเป็นกรดจัดมาก การระบายน้ำดี ความอุดมสมบูรณ์ต่ำ	ดินตื้นถึงชั้นก้อนกรวดหรือเศษหินปนลูกรัง หนามาก ความอุดมสมบูรณ์ต่ำ ขาดแคลนน้ำ เกิดการชะล้างพังทลายสูญเสียหน้าดิน ในพื้นที่ที่มีความลาดชัน และบางพื้นที่มี ก้อนกรวดหรือเศษหินกระจายอยู่ ที่ ผิวดิน
47	กลุ่มดินตื้นถึงชั้นหินพื้น ปฏิกริยาดินเป็นกรดถึงเป็นกลาง มีการระบายน้ำดี ความอุดมสมบูรณ์ต่ำ	ดินตื้นถึงชั้นหินพื้น ความอุดมสมบูรณ์ต่ำ ขาดแคลนน้ำและเกิดการชะล้างพังทลาย สูญเสียหน้าดิน ในพื้นที่ลาดชัน บางพื้นที่มี เศษหินหรือหินพื้นที่ไหลบริเวณหน้าดิน
48	กลุ่มดินตื้นถึงก้อนหินหรือเศษหิน และอาจพบชั้นหินพื้นภายในความลึก 150 ซม. จากผิวดิน ปฏิกริยาดินเป็นกรดถึงเป็นกลาง การระบายน้ำดี ความอุดมสมบูรณ์ต่ำ	ดินตื้นถึงชั้นก้อนกรวดหรือลูกรังหนามาก ความอุดมสมบูรณ์ต่ำ ขาดแคลนน้ำ และเกิด การชะล้างพังทลายสูญเสียหน้าดิน ในพื้นที่ ที่มีความลาดชัน



ตาราง 14 ลักษณะดินตามกลุ่มชุดดิน (ต่อ)

กลุ่มที่	ลักษณะเด่น	ปัญหา
49	กลุ่มดินตื้นถึงลูกรังหรือชั้นเชื่อมแข็งของเหล็กทับอยู่บนชั้นดินเหนียว ปฏิกริยาดินเป็นกรดถึงเป็นกลาง การระบายน้ำดีถึงดีปานกลาง ความอุดมสมบูรณ์ต่ำ	ดินตื้นถึงชั้นก้อนกรวดหรือลูกรังที่ทับอยู่บนชั้นดินเหนียว ความอุดมสมบูรณ์ต่ำ ขาดแคลนน้ำ และเกิดการชะล้างพังทลายสูญเสียหน้าดินในพื้นที่ที่มีความลาดชัน
50	กลุ่มดินร่วนลึกปานกลางถึงเศษหิน ก้อนหินหรือชั้นหินพื้น ปฏิกริยาดินเป็นกรดจัดมาก การระบายน้ำดี ความอุดมสมบูรณ์ต่ำ	ดินค่อนข้างเป็นทราย ความอุดมสมบูรณ์ต่ำ ขาดแคลนน้ำในระยะที่ฝนทิ้งชว่งนาน และในพื้นที่ที่มีความลาดชัน ดินง่ายต่อการถูกชะล้างพังทลายสูญเสียหน้าดิน ทำให้เกิดเป็นดินตื้นและยากต่อการปรับปรุงแก้ไข
51	กลุ่มดินตื้นถึงชั้นหินพื้น ปฏิกริยาดินเป็นกรดจัด การระบายน้ำดีถึงค่อนข้างมาก ความอุดมสมบูรณ์ต่ำ	ดินตื้นถึงชั้นหินพื้นภายในความลึก 50 ซม. บางพื้นที่มีเศษหินและหินพื้น โผล่กระจัดกระจายอยู่บริเวณหน้าดิน ความอุดมสมบูรณ์ต่ำ ขาดแคลนน้ำ และในพื้นที่ที่มีความลาดชันสูงมากจะเกิดการชะล้างพังทลายสูญเสียหน้าดิน
52	กลุ่มดินตื้นถึงชั้นมาร์ลหรือก้อนปูน ปฏิกริยาดินเป็นด่าง การระบายน้ำดี ความอุดมสมบูรณ์ปานกลางถึงสูง	ดินตื้นถึงชั้นปูนมาร์ลหรือก้อนปูน ดินแห้งแข็ง ดินเปียกเหนียว ทำให้ไถพรวนยาก ขาดแคลนน้ำ และดินเป็นด่างจัด

ตาราง 15 ลักษณะดินตามกลุ่มชุดดิน (ต่อ)

กลุ่มที่	ลักษณะเด่น	ปัญหา
53	กลุ่มดินเหนียวลึกปานกลางถึงชั้นหินพื้น ลูกรังหรือเศษหิน ปฏิกริยาดินเป็นกรดจัด การระบายน้ำดี ความอุดมสมบูรณ์ต่ำ	ดินลึกปานกลางถึงชั้นลูกรัง ก้อนกรวด เศษหินหรือชั้นหินพื้น ในช่วงความลึก 50-100 ซม. ความอุดมสมบูรณ์ต่ำ ขาดแคลนน้ำ และในพื้นที่ที่มีความลาดชันสูงจะเกิดการชะล้างพังทลายสูญเสียหน้าดินค่อนข้างสูง ทำให้เกิดเป็นดินตื้นและยากต่อการปรับปรุงแก้ไข
54	กลุ่มดินลึกปานกลางถึงชั้นมาร์ลหรือก้อนปูน ปฏิกริยาดินเป็นด่าง การระบายน้ำดี ความอุดมสมบูรณ์ปานกลาง	ดินเป็นด่างจัด และมีชั้นปูนมาร์ลหรือก้อนปูนช่วงความลึก 100 ซม. ดินแห้งแข็ง ดินเปื่อยเหนียว ทำให้ไถพรวนยาก และขาดแคลนน้ำ
55	กลุ่มดินลึกปานกลางถึงชั้นหินพื้น เศษหิน ก้อนหินหรือลูกรัง ปฏิกริยาดินเป็นกลางหรือเป็นด่าง การระบายน้ำดีถึงดีปานกลาง ความอุดมสมบูรณ์ปานกลาง	ดินลึกปานกลางถึงชั้นหินพื้น เศษหิน ก้อนกรวดหรือลูกรัง ขาดแคลนน้ำ และเกิดการชะล้างพังทลายสูญเสียหน้าดินในพื้นที่ลาดชัน
56	กลุ่มดินลึกปานกลางถึงชั้นหินพื้น เศษหินหรือลูกรัง ปฏิกริยาดินเป็นกรดจัด การระบายน้ำดีถึงดีปานกลาง ความอุดมสมบูรณ์ต่ำ	ดินลึกปานกลางถึงชั้นหินพื้น เศษหิน ก้อนกรวดหรือลูกรัง ขาดแคลนน้ำ และเกิดการชะล้างพังทลายสูญเสียหน้าดินในพื้นที่ลาดชัน บางพื้นที่เป็นดินกรดจัดมาก
57	กลุ่มดินที่มีวัสดุอินทรีย์หนา 40-100 ซม. จากผิวดิน ทั่วยุบนตะกอนน้ำทะเล ปฏิกริยาดินเป็นกรดจัดมาก การระบายน้ำเร็วมาก ความอุดมสมบูรณ์ต่ำ มีน้ำท่วมขังนานเกือบตลอดปี	เนื้อดินเป็นเศษชิ้นส่วนของพืชสะสมหนาปานกลางและเป็นกรดจัดมาก มีน้ำท่วมขังเกือบตลอดทั้งปี เมื่อดินอินทรีย์แห้ง จะเกิดการยุบตัวมาก พืชล้มง่าย ดินไผ่ง่ายและดับยาก มีธาตุบางตัวมากเกินไปจนเป็นพิษต่อพืชที่ปลูก และขาดธาตุอาหารบางตัวอย่างรุนแรง คุณภาพน้ำเป็นกรดจัดมากและขาดแคลนแหล่งน้ำจืด

ตาราง 16 ลักษณะดินตามกลุ่มชุดดิน (ต่อ)

กลุ่มที่	ลักษณะเด่น	ปัญหา
58	กลุ่มดินที่มีวัสดุอินทรีย์หนามากกว่า 100 ซม. จากผิวดิน มีปฏิกริยาดินเป็นกรด และมีการระบายน้ำเลวมาก ความอุดมสมบูรณ์ต่ำ มีน้ำท่วมขังนานเกือบตลอดปี	เนื้อดินเป็นเศษชิ้นส่วนของพืชสะสมหนา และเป็นกรดจัดมาก มีน้ำท่วมขังเกือบตลอดทั้งปี เมื่อดินอินทรีย์แห้ง จะเกิดการยุบตัวมาก พืชล้มง่าย ดินไผ่ง่ายและค้ำยาก มีธาตุบางตัวมากเกินไปจนเป็นพิษต่อพืชที่ปลูก และขาดธาตุอาหารบางตัวอย่างรุนแรง คุณภาพน้ำเป็นกรดจัดมากและขาดแคลนแหล่งน้ำ จัด
59	กลุ่มดินร่วนหยาบหรือดินร่วนละเอียดที่เกิดจากดินตะกอนน้ำพาเชิงซ้อน ชั้นดินมีลักษณะเป็นชั้นสลับ เนื้อดินไม่แน่นอน ขึ้นอยู่กับตะกอนที่มาทับถม ปฏิกริยาดินเป็นกรดจัดถึงเป็นกลาง การระบายน้ำเลวถึงค่อนข้างเลว ความอุดมสมบูรณ์ต่ำ	เนื้อดินค่อนข้างเป็นทราย ความอุดมสมบูรณ์ต่ำ ขาดแคลนน้ำนาน และบางปีอาจประสบปัญหาเรื่องการถูกน้ำท่วม
60	กลุ่มดินร่วนที่เกิดจากดินตะกอนน้ำพาเชิงซ้อน ปฏิกริยาดินเป็นกรดจัดถึงเป็นกลาง การระบายน้ำดีถึงดีปานกลาง ความอุดมสมบูรณ์ต่ำ	ดินปนทราย ความอุดมสมบูรณ์ต่ำ ขาดแคลนน้ำ และในพื้นที่ที่มีความลาดชันดินง่ายต่อการถูกชะล้างพังทลายสูญเสียหน้าดิน
61	กลุ่มดินเศษหินเชิงเขาที่เกิดจากการแตกผุพังสลายตัวของหินเชิงเขา พบเศษหินหรือก้อนหินร่วงลงมาทับถมบริเวณเชิงเขากระจัดกระจายทั่วไป ลักษณะและสมบัติดินไม่แน่นอน การระบายน้ำดี ความอุดมสมบูรณ์ต่ำ	ดินตื้นที่มีก้อนหินหรือเศษหิน กระจัดกระจายทั่วไป ในพื้นที่ลาดชันเกิดการชะล้างพังทลายและขาดแคลนน้ำ

ตาราง 17 ลักษณะดินตามกลุ่มชุดดิน (ต่อ)

กลุ่มที่	ลักษณะเด่น	ปัญหา
62	พื้นที่ลาดชันเชิงซ้อนที่มีความลาดชันมากกว่า 35 เปอร์เซ็นต์ พื้นที่บริเวณนี้ยังไม่มีการศึกษา สำรวจและจำแนกดิน เนื่องจากสภาพพื้นที่ที่มีความลาดชันสูง ซึ่งถือว่ายากต่อการจัดการดูแลรักษาสำหรับการเกษตร	มีความลาดชันสูงมาก ในพื้นที่ทำการเกษตร จะเกิดการชะล้างพังทลายสูญเสียหน้าดินอย่างรุนแรง ขาดแคลนน้ำและบางพื้นที่อาจพบชั้นหินพื้นหรือเศษหินกระจัดกระจายอยู่บริเวณหน้าดิน

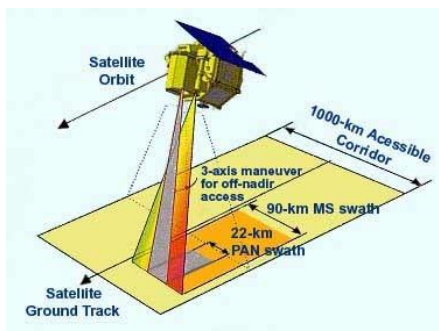
(ที่มา: กลุ่มงานสารสนเทศ แผนกงานพัฒนาที่ดิน, 2553)

### ข้อมูลดาวเทียม

ข้อมูลจากดาวเทียมสำรวจทรัพยากรถูกนำมาประยุกต์ใช้หลากหลายด้าน เช่น ด้านป่าไม้ ด้านการเกษตร ด้านการใช้ที่ดิน ด้านธรณีวิทยา ด้านอุทกวิทยา ด้านสมุทรศาสตร์ ด้านการทำแผนที่ และด้านความมั่นคงของชาติ เป็นต้น ซึ่งข้อมูลที่ได้จากดาวเทียมสามารถประมวลผลด้วยคอมพิวเตอร์ และบันทึกภาพตามเวลาการโคจรที่กำหนด ทำให้ได้รับข้อมูลที่ทันสมัยตามช่วงเวลา เพื่อการบริหารจัดการทรัพยากรและสิ่งแวดล้อมอย่างมีประสิทธิภาพและการพัฒนาอย่างยั่งยืน ซึ่งประเทศไทยมีดาวเทียมสำรวจทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม คือ ดาวเทียมไทยโชต (Thaichote) หรือ ดาวเทียมธีออส (THEOS) (กลุ่มงานสารสนเทศสำนักงานเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ, 2558) โดยให้บริการด้านการเก็บข้อมูลทรัพยากรธรรมชาติในรูปแบบต่าง ๆ ขึ้นอยู่กับรูปแบบของการถ่ายภาพ โดยมีรายละเอียดดังนี้

1. การถ่ายภาพของดาวเทียมไทยโชต มีลักษณะการถ่ายภาพอยู่ทั้งหมด 4 แบบ และในแต่ละแบบมีความแตกต่างกัน โดยมีรายละเอียดของแต่ละการถ่ายภาพดังนี้

1.1 การถ่ายภาพในแนวตั้ง (Nadir) หรือภาพในมุมเอียงไม่เกิน 11 องศา (Near Nadir) ตามแนวการโคจร แสดงดังภาพ 12

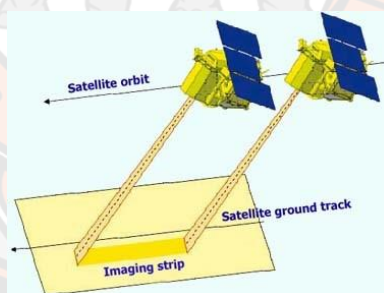


ภาพ 12 การถ่ายภาพแนวตั้ง

ที่มา : กลุ่มงานสารสนเทศสำนักงานเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ, 2558

จากภาพ 13 การถ่ายภาพลักษณะแนวตั้งมีขนาดความกว้างของแนวถ่ายภาพ 22 กิโลเมตร สำหรับกล้องช่วงคลื่นเดี่ยว (Panchromatic) และ 90 กิโลเมตร สำหรับกล้องหลายย่านความถี่ (Multi spectral)

1.2 การถ่ายภาพต่อเนื่องเป็นแนวยาว (Strip Imaging) ดาวเทียมไทยโชตสามารถถ่ายภาพเป็นแนวยาวต่อเนื่อง โดยแสดงวิธีการถ่ายดังกล่าว ภาพ 13

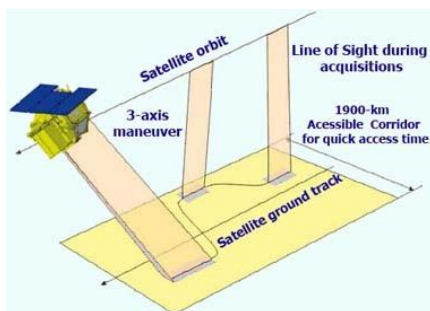


ภาพ 13 การถ่ายภาพต่อเนื่องเป็นแนวยาว

ที่มา : กลุ่มงานสารสนเทศสำนักงานเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ, 2558

จากภาพ 14 ความสามารถในการถ่ายภาพในลักษณะดังกล่าว ดาวเทียมไทยโชตสามารถถ่ายได้ด้วยความยาวสูงสุดถึง 4,000 กิโลเมตร

1.3 การถ่ายภาพซ้ำในพื้นที่เดิม ดาวเทียมไทยโชตสามารถปรับเอียงมุมกล้องโดยการเอียงมุมกล้อง โดยการเอียงดาวเทียมไปด้านซ้ายหรือขวา หรือเพิ่มความกว้างของพื้นที่ที่ถ่ายภาพ แสดงดังภาพ 14

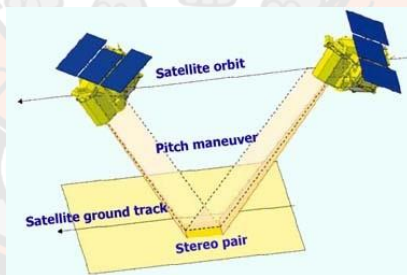


ภาพ 14 การถ่ายภาพซ้ำในพื้นที่เดิม

ที่มา : กลุ่มงานสารสนเทศสำนักงานเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ, 2558

จากภาพ 14 เป็นการเพิ่มความถี่ในการถ่ายภาพพื้นที่เป้าหมายได้บ่อยครั้งมากขึ้น เช่น ประเทศไทยอยู่ใกล้เส้นศูนย์สูตร ปกติสามารถถ่ายภาพซ้ำได้ 3 ครั้ง หากใช้มุมเอียงก็จะสามารถถ่ายภาพซ้ำได้เป็น 5 ครั้ง เป็นต้น

1.4 การถ่ายภาพสเตอริโอ (Stereo Imagine) ดาวเทียมไทยโชต สามารถถ่ายภาพ สเตอริโอ โดยแสดงวิธีการถ่ายดังภาพ 15



ภาพ 15 การถ่ายภาพสเตอริโอ

ที่มา : กลุ่มงานสารสนเทศสำนักงานเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ, 2558

จากภาพ 15 ดาวเทียมไทยโชตสามารถถ่ายภาพสเตอริโอได้ 2 วิธี คือ การถ่ายภาพในแนวโคจรเดียวกัน และการถ่ายภาพพื้นที่เดียวกันจากสองแนวโคจร

2. ข้อมูลผลิตภัณฑ์ข้อมูลจากดาวเทียมไทยโชต มีผลิตภัณฑ์ข้อมูลของดาวเทียมไทยโชตมีหลากหลายรูปแบบ โดยแต่ละแบบจะใช้เวลาผสมช่วงคลื่นที่แตกต่างกัน ทำให้รายละเอียดของผลิตภัณฑ์แตกต่างกัน แต่ที่มักใช้บ่อยมี 3 แบบ โดยมีรายละเอียดดังนี้

2.1 ผลิตรหัสภาพสีเชิงคลื่น (Multispectral Products) ผลิตรหัสภาพสีเชิงคลื่นของดาวเทียมไทยโชต ให้รายละเอียดภาพ 15 เมตร แสดงดังภาพ 16



ภาพ 16 ภาพสีเชิงคลื่น

ที่มา : กลุ่มงานสารสนเทศสำนักงานเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ, 2558

จากภาพ 16 ลักษณะการบันทึกภาพของภาพสีเชิงคลื่นจะบันทึกภาพเป็นแนวตั้ง และมีข้อมูล 8 บิตต่อจุดภาพ โดยเพิ่มข้อมูลผลิตรหัสที่ประกอบด้วยข้อมูลทั้ง 4 ช่วงคลื่น ภาพที่ได้เป็นสีเทียมจตุรัสมีขนาด 90 ก.ม. x 90 ก.ม.

2.2 ผลิตรหัสแบบช่วงคลื่นเดี่ยว (Panchromatic Products) ผลิตรหัสแบบช่วงคลื่นเดี่ยวของดาวเทียมไทยโชต ให้รายละเอียดภาพ 2 เมตร แสดงดังภาพ 17



ภาพ 17 ภาพแบบช่วงคลื่นเดี่ยว

ที่มา : กลุ่มงานสารสนเทศสำนักงานเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ, 2558

จากภาพ 17 ลักษณะการบันทึกรูปภาพเป็นการบันทึกภาพแนวตั้ง และมีข้อมูล 8 บิตต่อจุดภาพ ภาพที่ได้เป็นสีเหลี่ยมจัตุรัสขนาด 22 ก.ม. x 22 ก.ม.

2.3 ผลิตภัณฑ์ Pan-Sharped (Pan- Sharped Product) ผลิตภัณฑ์นี้จะรวมข้อมูลที่ตามองเห็นจาก 4 ช่วงคลื่น คือ สีน้ำเงิน สีเขียว สีแดง และอินฟราเรดระยะใกล้ เข้ากับข้อมูลเชิงพื้นที่ของช่วงคลื่นขาว-ดำ แสดงดังภาพ 18



ภาพ 18 ภาพแบบช่วงคลื่นเดี่ยว

ที่มา : กลุ่มงานสารสนเทศสำนักงานเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ, 2558

จากภาพ 18 ผลิตภัณฑ์แบบ Pan-Sharpened มีให้เลือกได้เฉพาะผลิตภัณฑ์ในระดับ 2A เท่านั้น ซึ่งเป็นระดับการปรับแก้เชิงภูมิศาสตร์ ภาพที่ได้เป็นภาพสีเหลี่ยมจัตุรัสขนาด 22 ก.ม. x 22 ก.ม.

### ข้อมูลอากาศยานไร้คนขับ

อากาศยานไร้คนขับ (Unmanned Aerial Vehicle) เครื่องบินไร้คนขับ หรือที่เรียกว่า โดรน (Drone) ปัจจุบันเป็นที่นิยมเป็นอย่างมากในยุคดิจิทัล เนื่องจากสามารถทำงานได้หลายอย่าง เช่น การทหาร การสื่อสาร การคมนาคม การขนส่ง และด้านการเกษตร เป็นต้น ซึ่งอากาศยานไร้คนขับจะเข้ามาช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิต การลดต้นทุนการผลิตและลดแรงงานรวมถึงประหยัดเวลา (หอการค้าไทย, 2560) ในปัจจุบันมีอากาศยานไร้คนขับที่มีความแตกต่างทั้งทางด้านราคาและฟังก์ชันการใช้งาน แสดงดังภาพ 19





ภาพ 19 อากาศยานไร้คนขับ

ที่มา : ฝ่ายเศรษฐกิจและศูนย์ข้อมูล หอการค้าไทย, 2560

ปัจจุบันอากาศยานไร้คนขับได้เข้ามามีบทบาทในภาคการเกษตรของประเทศไทยมากขึ้น โดยเฉพาะในเรื่องของการรดน้ำ การให้ฮอร์โมน การให้ปุ๋ยทางใบ รวมถึงการถ่ายภาพวิเคราะห์ ตรวจโรคพืช ที่สามารถแก้ไขปัญหาได้ตรงจุดและแม่นยำมากขึ้น โดยการใช้การควบคุมได้จากระยะไกลซึ่งมีอยู่ 2 ลักษณะ คือ การควบคุมอัตโนมัติจากระยะไกล และการควบคุมแบบอัตโนมัติ โดยใช้ระบบการบินด้วยตนเอง ซึ่งต้องอาศัยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่มีความซับซ้อนที่ติดตั้งไว้ในอากาศยานไร้คนขับ อากาศยานไร้คนขับมีการติดตั้งกล้องถ่ายภาพคุณภาพสูงทั้งกล้องถ่ายภาพในเวลากลางวัน (Electro Optical) และกล้องอินฟราเรด (Infrared Sensor) โดยมีรายละเอียดของข้อมูลภาพแต่ละรูปแบบดังนี้

1. ข้อมูลภาพจากกล้องถ่ายภาพในเวลากลางวัน (Electro Optical) เป็นกล้องถ่ายภาพสีที่มีความละเอียดสูง มีช่วงคลื่น 3 คลื่น ได้แก่ สีแดง (Red) สีเขียว (Green) และสีน้ำเงิน (Blue) แสดงตัวอย่างดังภาพ 20



ภาพ 20 กล้องถ่ายภาพในเวลากลางวัน

ที่มา : <https://www.dji.com>, 2562

เมื่อถ่ายภาพด้วยกล้องดั่งภาพ 20 จะมีความละเอียดสูงในระดับ Ultra High Definition หรือที่เรียกย่อ ๆ ว่า “4K” โดยมีความละเอียด 3,840 x 2,160 พิกเซล แสดงตัวอย่างดั่งภาพ 21



ภาพ 21 ภาพถ่ายที่มีความละเอียดสูง

จากภาพ 22 ได้จากอากาศยานไร้คนขับ ที่ความสูง 200 เมตร ซึ่งภาพที่ได้จะอยู่ในรูปแบบของภาพสี RGB ซึ่งมีความละเอียดสูงระดับ 4K

2. ข้อมูลภาพจากกล้องถ่ายภาพสีหลายเชิงคลื่น (Multispectral Camera) ซึ่งสามารถถ่ายได้ทั้งหมด 5 ช่วงคลื่น ได้แก่ สีแดง (Red), สีเขียว (Green), สีน้ำเงิน (Blue), อินฟราเรดระยะใกล้ (Near Infrared: NIR) และเส้นขอบสีแดง (Red Edge) แสดงตัวอย่างกล้องแบบหลายเชิงคลื่นดั่งภาพ 22

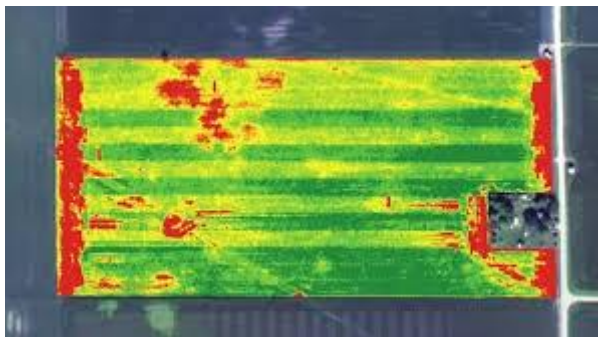


ภาพ 22 กล้องถ่ายภาพสีหลายเชิงคลื่น

ที่มา : MicaSense, 2015

จากการถ่ายภาพด้วยกล้องถ่ายภาพแบบหลายเชิงสีใน 5 ช่วง จะมีช่วงคลื่นที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางความยาวคลื่นที่ 668, 560, 475, 840 และ 717 ตามลำดับ ซึ่งข้อมูลจากกล้องที่มีหลายเชิงคลื่นจะสามารถนำไปวิเคราะห์ข้อมูล หรือผสมรวมข้อมูลได้หลากหลายกว่ากล้องภาพสีปกติ ได้แก่

การคำนวณค่าดัชนีพืชพรรณ (Normalized Difference Vegetation Index : NDVI) แสดงดังภาพ 23



ภาพ 23 ภาพดัชนีพืชพรรณ

ที่มา: สถาบันสำรวจและติดตามการปลูกพืชเสพติด, 2558, หน้าที 41

ภาพ 23 ได้จากการคำนวณจากช่วงความถี่คลื่นอินฟราเรดกับช่วงความถี่สีแดง ดังสมการ 1

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED} \quad (1)$$

โดยที่ NIR คือ การสะท้อนในช่วงคลื่นอินฟราเรด  
RED คือ การสะท้อนในช่วงของแสงสีแดง

จากสมการ 1 ทำให้การคำนวณ NDVI มีค่าอยู่ระหว่าง -1 ถึง 1 ซึ่งจะช่วยให้การแปลผลได้ง่ายขึ้น กล่าวคือ ค่า 0 หมายถึง ไม่มีพืชพรรณใบเขียวอยู่ในพื้นที่สำรวจ ในขณะที่ค่า 0.8 หรือ 0.9 หมายถึง มีพืชมักพืชพรรณใบเขียวหนาแน่นมากในพื้นที่ดังกล่าว

### การประมวลผลภาพถ่ายดิจิทัลและการเตรียมข้อมูลภาพ

นศัพชาณัณ ชินปัญชัณนะ และสุรเดช บุญลือ (นศัพชาณัณ ชินปัญชัณนะ, 2558) กล่าวถึงการประมวลผลภาพถ่ายดิจิทัลเป็นการประยุกต์ใช้สัญญาณบนระนาบ 2 มิติ ได้แก่ ภาพถ่าย และภาพวีดีโอ โดยเทคนิคและแนวคิดที่หลากหลายในการประมวลผลบนเครื่องคอมพิวเตอร์ ในปัจจุบันคอมพิวเตอร์มีราคาถูกลง และประมวลผลเร็วขึ้น การประมวลผลภาพจึงได้รับความนิยม ได้แก่ ด้านการแพทย์ ด้านความปลอดภัย ด้านภูมิศาสตร์ และด้านธรณีวิทยา เป็นต้น เพราะสามารถประมวลผลปัญหาที่ซับซ้อนได้ แม่นยำ และง่ายในการลงมือปฏิบัติ ขั้นตอนที่สำคัญในการ

ประมวลผลภาพ เช่น การทำให้ภาพมีความคมชัดมากขึ้น การกำจัดสัญญาณรบกวนในภาพ การแบ่งส่วนภาพวัตถุที่สนใจออกจากภาพไปวิเคราะห์หาข้อมูลเชิงปริมาณ เช่น ขนาด รูปร่าง และทิศทางของวัตถุในภาพ เป็นต้น จากนั้นนำข้อมูลปริมาณไปวิเคราะห์และสร้างระบบรู้จำต่าง ๆ เช่น ระบบรู้จำใบหน้าใช้ในการเข้าใช้งาน โทรศัพท์มือถือ ระบบประมวลผลค่าโภชนาการจากภาพถ่ายอาหาร เพื่อพิจารณาในการบริโภคอาหาร เครื่องคัดแยกขนาดพืชผลทางการเกษตรสำหรับการคัดแยกเกรดหรือคุณภาพของผลผลิต ระบบตรวจสอบคุณภาพบรรจุภัณฑ์ในกระบวนการผลิตบนสายพานลำเลียงของโรงงานอุตสาหกรรม การประมวลผลภาพตรวจจับของทารกแรกเกิดเพื่อตรวจคัดกรองภาวะตัวเหลืองในทารกแรกเกิด หรือแม้กระทั่งในการพัฒนาประสิทธิภาพของกล้องโทรศัพท์มือถือในการถ่ายภาพให้เข้าใกล้วัตถุได้มากขึ้นที่เรียกว่า Hybrid Zoom เป็นต้น จะเห็นได้ว่าระบบและเทคโนโลยีเหล่านี้ต้องอาศัยเทคนิคและทฤษฎีในการประมวลผลภาพ และเหมาะกับงานที่มีลักษณะการประมวลผลแบบซ้ำ ๆ หรือมีความซับซ้อน ซึ่งลักษณะงานดังกล่าวหากใช้มนุษย์วิเคราะห์ต้องใช้เวลาและแรงงานจำนวนมาก ดังนั้นการประมวลผลภาพจึงมีความสำคัญต่อการพัฒนาแบบจำลองในการวิเคราะห์จุดบกพร่องภายในแปลงอ้อย

### การเตรียมข้อมูลภาพ (Image Preprocessing)

วิทยานิพนธ์นี้ใช้ภาพนิ่งจากอากาศยานไร้คนขับที่ถ่ายภาพเหนือแปลงอ้อย ซึ่งเป็นภาพทางด้านการเกษตร ส่วนใหญ่ปัญหาที่พบจากสภาพแวดล้อมจริงในภาพ คือ เงาต้นไม้ และเงาก้อนเมฆ เป็นต้น จึงต้องมีเทคนิคการวิเคราะห์หาพื้นที่ส่วนเงาและการปรับลดเงา เพื่อเตรียมข้อมูลภาพก่อนเข้าสู่ขั้นตอนการประมวลผลภาพต่อไป

#### 1. พื้นฐานเงาในภาพสี

เงาในภาพถ่ายแปลงอ้อยเป็นปัญหาที่ไม่พึงประสงค์ในการวิเคราะห์ภาพ และในการตรวจสอบหาพื้นที่เงา จึงเป็นสิ่งสำคัญที่จะนำมาประยุกต์ใช้กับการวิเคราะห์ภาพถ่ายมุมบนจากอากาศยานไร้คนขับที่มีปัญหาเงาจากแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบบนวัตถุในภาพเป็นอย่างมาก และมีการใช้งานกับงานวิจัยที่หลากหลาย เช่น การเฝ้าระวังการจราจร การจดจำใบหน้า และการแบ่งส่วนภาพ เป็นต้น (Natarajan และคณะ, 2016) กล่าวว่า ต้นกำเนิดของเงาเกิดขึ้นเมื่อวัตถุบางส่วนหรือทั้งหมดบังโดยตรงจากแหล่งกำเนิดแสง โดยทั่วไปเงาสามารถแบ่งได้ 2 ประเภท คือ เงาตัวเองและเงาจากวัตถุอื่น 1) เงาตัวเองเกิดขึ้นในตำแหน่งของวัตถุที่ไม่ใช่แสงโดยตรง 2) เงาจากวัตถุอื่นเป็นพื้นที่ตกกระทบบนเงาโดยตรงจากทิศทางของแสง แต่ในพื้นฐานของความเข้มแสงในทางการประมวลผลภาพแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ เงาสีเข้มและเงาสีอ่อน 1) เงาสีเข้มจะเป็นส่วนที่มีมืดและมีลักษณะเด่นเชิงสีนวลน้อย 2) เงาสีอ่อนมีลักษณะที่เห็นลักษณะเชิงสีนวลที่อยู่กับพื้นหลัง ดังภาพ 24



ภาพ 24 เงาที่เกิดขึ้นในภาพจากอากาศยานไร้คนขับ

จากภาพ 24 เป็นภาพมุมบนแปลงอ้อยที่มีปัญหาไม้เงาเกิดขึ้นข้างแปลงอ้อยจากต้นไม้ ซึ่งมีลักษณะเงาที่แสดงให้เห็นเงาอ่อน (Soft Shadow) และเงาเข้ม (Hard Shadow) ภายในภาพ ภาพที่ถ่ายได้นั้นเป็นภาพสีที่อยู่ระนาบอาจีบี (RGB Color Space) ดังนั้นการตรวจสอบหาพื้นที่เงาและการปรับลดค่าความมืดของเงาจึงเป็นสิ่งที่ต้องทำให้ขั้นตอนการเตรียมข้อมูลภาพก่อนเข้าสู่กระบวนการวิเคราะห์จุดบกพร่อง งานวิจัยที่พัฒนาวิธีการตรวจสอบหาเงาหลายงานวิจัยดังนี้

(Anoopa, Dhanya และ Kizhakkethottam, 2016) คณะผู้วิจัยดังกล่าว ได้พัฒนางานวิจัยเรื่องการตรวจสอบและปรับลดเงาด้วยการประยุกต์ใช้พื้นฐานค่าแบ่งเกณฑ์สามช่วงและวิธีการจัดรูปแบบเงา งานวิจัยดังกล่าวมีวัตถุประสงค์เพื่อระบุตำแหน่งของเงาและลดเงาของภาพความละเอียดสูงจากอากาศยานไร้คนขับ โดยวิธีการแบ่งเกณฑ์สามช่วง (Triclass Threshoding) ด้วยพื้นฐานการแบ่งส่วนภาพประกอบด้วย การแบ่งส่วนเบื้องหน้า (Foreground) เบื้องหลัง (Background) และส่วนวิเคราะห์ส่วนที่เป็นส่วนที่ต้องตรวจสอบ (To-Be Determined Region) โดยวิธีการ Otsu ในส่วนนี้เท่านั้น หลังจากนั้นทำการแบ่งข้อมูลในส่วนที่ต้องการตรวจสอบด้วยการแบ่งฮิสโตแกรมสองส่วน (Bimodal histogram Splitting Method) และใช้ K-means ในการแบ่งส่วนของเงาด้วยการเปรียบเทียบอัตราส่วนของพื้นที่ที่เป็นเงาและไม่ใช่เงาในการปรับค่าแสงสว่าง ผลลัพธ์ของวิธีดังกล่าวให้ค่าความถูกต้องอยู่ที่ 90.57 เปอร์เซ็นต์

จากบทความที่ได้มีการสำรวจและรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับการตรวจสอบเงาและปรับลดเงาในภาพและวิดีโอของ (Tiwari, Singh และ Amin, 2016) ได้สรุปถึงหมวดหมู่ของการตรวจสอบเงาและการปรับลดเงา ในปัจจุบันมีการพัฒนาวิธีการในสถานการณ์ที่มีความแตกต่างกัน การพัฒนางานวิจัยของภาพในร่มและกลางแจ้ง การพัฒนาวิธีการที่กล้องคงที่หรือเคลื่อนไหว และงานวิจัยที่ตรวจตรวจจับเงาส่วนที่มีคจากดวงอาทิตย์และเงามืด และสรุปถึงการนำเทคนิคการตรวจสอบและ

การปรับลดเงาว่าเป็นกระบวนการที่ช่วยในการปรับคุณภาพของภาพที่จะนำมาวิเคราะห์ในด้านการรับรู้ภาพของคอมพิวเตอร์

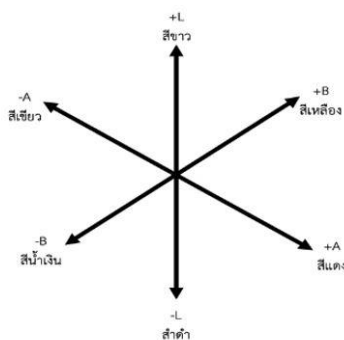
## 2. การตรวจสอบพื้นที่เงา

การตรวจสอบพื้นที่เงาเป็นกระบวนการหนึ่งที่สำคัญในการเตรียมข้อมูลภาพก่อนการประมวลผลภาพดิจิทัล ซึ่งจะทำได้สามารถแยกส่วนของพื้นที่แสงปกติและพื้นที่เป็นเงา เพื่อให้สามารถปรับเงามีค่านในพื้นที่ที่เป็นเงาได้ มีขั้นตอนวิธีที่หลากหลายและมีการพัฒนางานวิจัยดังนี้

งานวิจัยของ (Hiary, Zaghloul และ Al- Zoubi, 2018) ได้พัฒนาวิธีการตรวจสอบเงาโดยใช้ภาพเดี่ยว ซึ่งในงานวิจัยอื่น ๆ พัฒนาการใช้ภาพแบบหลายความถี่ แต่ในงานวิจัยดังกล่าวใช้ระบบควอเทอร์เนียน (Quaternion) ของภาพสีในการสกัดลักษณะเด่นของเงาจากภาพเดี่ยว โดยการแบ่งส่วนของเงาได้สำเร็จด้วยการเลือกค่าแบ่งเกณฑ์แบบอัตโนมัติ (Automatic Threshold) การทดลองของงานวิจัยใช้ 3 ชุดข้อมูลที่มีภาพธรรมชาติทั้งในร่มและที่โล่งแจ้ง ผลลัพธ์ถูกประเมินด้วยวิธีทางสถิติและคุณภาพของพื้นที่เงาที่ตรวจสอบได้ นำไปเปรียบเทียบกับวิธีการที่ทันสมัย

งานวิจัยของ (Park, Kim และ Kim, 2018) ได้พัฒนาวิธีการลบเงาของภาพถ่ายที่ต้องการแยกแยะพื้นที่เงากับมนุษย์ออกจากกัน โดยใช้กล้องแสงอินฟราเรด (Near-infrared : NIR) และกล้องตรวจจับความร้อน เพื่อลดปัจจัยจากแสงสว่างที่เปลี่ยนไปและความสว่างของพื้นหลัง โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมแบบเชิงลึก (Convolution Neural Network) ในการพัฒนาวิธีการตรวจสอบเงา ผลที่ได้จากการใช้วิธีการที่พัฒนาขึ้น สามารถตรวจสอบเงาจากสภาพแวดล้อมโดยทั่วไปได้

สำหรับภาพแปลงอ้อยมีงานวิจัยที่พัฒนาวิธีการตรวจสอบเงาของ (Sunny และ Mithila, 2013) ได้พัฒนางานวิจัยวิธีการตรวจสอบเงาและการปรับลดเงาจากภาพนิ่ง โดยการประยุกต์ใช้ระบบสีแอลเอบี (LAB Color Space) ซึ่งเป็นระบบสีที่ใช้ในการอธิบายความแตกต่างของสีได้อย่างสม่ำเสมอและใกล้เคียงกับความแตกต่างของสีที่ตามองเห็น สามารถแสดงพื้นที่สี LAB ดังภาพ 25

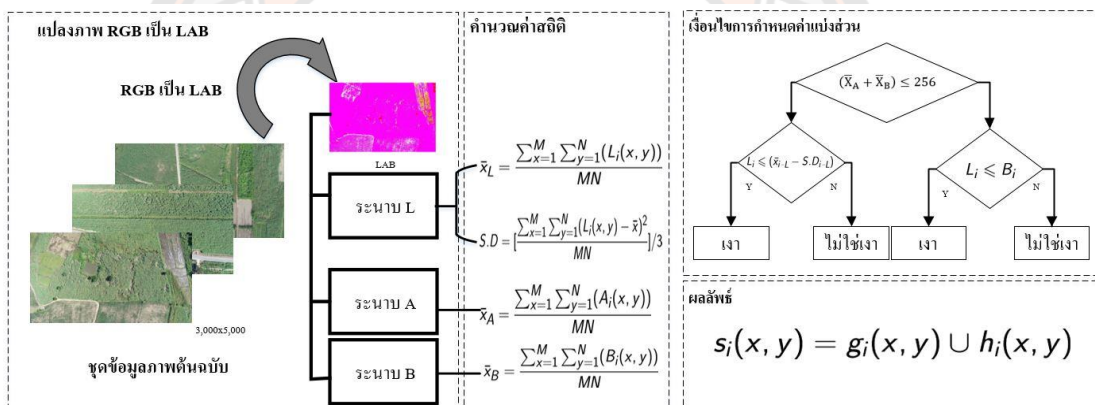


ภาพ 25 ภาพประกอบของพื้นที่สี LAB

จากภาพ 25 ระบาย LAB ได้จากการเปรียบเทียบจากค่าระบายสี RGB โดยระบาย LAB มีอยู่ 3 ระบาย โดยมีรายละเอียดดังนี้

1. ระบาย L คือ ค่าความสว่าง มีค่าอยู่ในช่วง 0 ถึง 100
2. ระบาย A คือ ค่าบรรยายสีเขียว ถึง สีแดง มีค่าอยู่ในช่วง -128 ถึง +127
3. ระบาย B คือ ค่าบรรยายสีน้ำเงิน ถึง สีเหลือง มีค่าอยู่ในช่วง -128 ถึง +127

เนื่องจากในพื้นที่บริเวณที่เป็นเงามีความมืดและความสว่างน้อยกว่าบริเวณอื่น ๆ จึงทำให้ใช้ระบาย L ในการค้นหาพื้นที่ที่เป็นเงาได้ง่าย และถ้าค่าระบาย B มีค่าน้อยกว่าพื้นที่เงาจะอยู่ในภาพถ่ายนอกอาคาร ดังนั้นถ้าหากพิกเซลที่มีค่าน้อยกว่าค่าที่กำหนดด้วยการรวมค่าจากระบาย L และระบาย B แล้ว พิกเซลดังกล่าวถือว่าเป็นพื้นที่เงาและนอกจากนั้นเป็นพื้นที่ที่ไม่ใช่เงา โดยมีขั้นตอนโดยสรุป 4 ขั้นตอนดังภาพ 26



ภาพ 26 กระบวนการตรวจสอบเงา

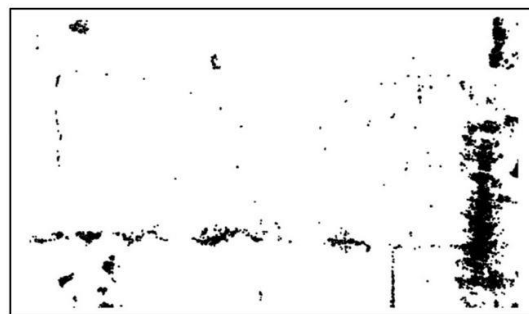
จากภาพ 26 กระบวนการตรวจสอบเงาด้วยการใช้ระบาย LAB ในการตรวจสอบพื้นที่ของเงาและพื้นที่ที่ไม่ใช่เงามีรายละเอียดดังนี้

1. นำภาพสี RGB เปลี่ยนเป็นระบาย LAB
2. คำนวณค่าเฉลี่ยของพิกเซล ของระบาย L, A และ B ในภาพตามลำดับ
3. ถ้าค่าเฉลี่ยของระบาย A บวกกับค่าเฉลี่ยของระบาย B ต้องน้อยกว่า 256 จะถูกตรวจสอบอีกครั้ง แต่ถ้าหากพิกเซล L ที่พิจารณานั้นน้อยกว่าหรือเท่ากับค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของระบาย L นั่นคือ พื้นที่เงา  $g(x,y)$  และส่วนอื่นที่ไม่ผ่านเงื่อนไข คือ ส่วนที่ไม่ใช่พื้นที่เงา  $h(x,y)$
4. ถ้าค่าเฉลี่ยของระบาย A บวกกับค่าเฉลี่ยของระบาย B ต้องมากกว่า 256 จะถูกตรวจสอบอีกครั้ง โดยถ้าหากพิกเซล L ที่พิจารณานั้นน้อยกว่าหรือเท่ากับค่าของระบาย B ที่

พิจารณา นั่นคือ พื้นที่เงา  $g(x,y)$  และส่วนอื่นที่ไม่ผ่านเงื่อนไข คือ ส่วนที่ไม่ใช่พื้นที่เงา  $h(x,y)$  เมื่อทำงานครบทุกพิกเซลภายในภาพ ผลลัพธ์ที่ได้จะแสดงผลดังภาพที่ 27 (ข)



(ก) ภาพต้นฉบับ



(ข) ผลลัพธ์การตรวจสอบพื้นที่เงา

### ภาพ 27 ผลลัพธ์ของกระบวนการตรวจสอบเงา

จากภาพ 27 ผลลัพธ์ที่ได้จากการตรวจสอบพื้นที่เงา พิกเซลที่เป็นพื้นที่เงาจะถูกแทนที่ด้วยสีดำและพื้นที่ไม่ใช่เงาจะถูกแทนที่ด้วยพิกเซลสีขาว

#### 3. การปรับลดพื้นที่เงา

การปรับลดพื้นที่เงาเป็นเทคนิคหนึ่งที่ใช้กับการดำเนินการกับพื้นที่เงา โดยการคำนวณค่าคงที่หรืออัตราส่วนความต่างของทั้งสองพื้นที่ และหาเส้นขอบของเงาด้วยตัวกรองพื้นที่ที่มีปัญหา เพื่อปรับลดพื้นที่เงาจะดำเนินการกับพื้นที่ที่เป็นเงาเข้ม ซึ่งมีการพัฒนาวิธีการปรับลดความเข้มของเงาหลายวิธีดังนี้

งานวิจัยของ (Movia, Beinat และ Crosilla, 2016) ได้พัฒนาวิธีการตรวจสอบเงาและการปรับลดเงาในภาพสีความละเอียดสูง สำหรับพื้นที่การใช้ประโยชน์ด้วยการระบุข้อมูลแบบไม่มีผู้สอน โดยการปรับลดเงาใช้อัลกอริทึม 3 รูปแบบ ได้แก่ EAOP ObP และ Cholesky และใช้การระบุสีด้วยเฉดสี (RGB) เพื่อให้ได้รูปแบบพื้นฐานของข้อมูล จากนั้นนำผลลัพธ์เปรียบเทียบกับว่าการใช้ SOM ในการร่วมระบุสีให้ผลดีที่สุดและสามารถปรับลดเงาได้อยู่ที่ประมาณ 30 ถึง 35 เปอร์เซ็นต์

งานวิจัยของ (Dare, 2005) ได้พัฒนางานวิจัยการวิเคราะห์เงาในภาพดาวเทียมความละเอียดสูงในพื้นที่เมือง ซึ่งมีปัญหาของเงาที่เกิดจากตึกสูง โดยการประยุกต์ใช้การแบ่งค่าของพิกเซลด้วยฮิสโตแกรมแบบสองส่วน (Bimodal Histogram) ในการแบ่งพื้นที่ออกเป็น 2 ส่วน คือ เงาและไม่ใช่เงา และได้นำวิธีการปรับเงามาใช้กับภาพความละเอียดสูง แต่ไม่ได้ผล ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงเสนอให้มีการวิจัยและพัฒนาต่อยอดโดยการใช้วิธีวิเคราะห์เชิงผิวภาพ



งานวิจัยของ (Xiao, 2014) ได้พัฒนางานวิจัยเกี่ยวกับวิธีการปรับลดเงาจากรูปภาพ RGB-D ซึ่งเป็นข้อมูลที่คณะผู้วิจัยงานนี้ได้พัฒนาขึ้นมา วิธีในการพัฒนางานวิจัยนี้ใช้รูปทรงสี่เหลี่ยมแล้วคำนวณจากความลึกของวัตถุ ซึ่งผลจากงานวิจัยทำให้สามารถปรับลดเงามืดสนิทและเงามืดได้ ขณะที่พื้นผิวและสียังคงเดิม

สำหรับงานวิจัยที่ได้ผลกับภาพแปลงอ้อยเป็นงานวิจัยของ (Ye, Xie และ Xu, 2012) ได้กล่าวว่า การปรับเงาสามารถปรับได้จากการคำนวณค่าแสงจากพื้นที่เงาและพื้นที่ที่ไม่ใช่เงา เมื่อได้แบ่งพื้นที่ที่เป็นเงาและไม่ใช่เงาแล้วจากกระบวนการตรวจสอบพื้นที่เงา กระบวนการปรับลดพื้นที่เงามีขั้นตอนการดำเนินการดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 ภาพผลลัพธ์จากกระบวนการตรวจสอบเงาจะถูกแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ พื้นที่เงาและพื้นที่ไม่ใช่เงา ดังนั้นภาพจะเขียนแทนด้วยสมการ 2

$$s_i(x, y) = g_i(x, y) \cup h_i(x, y) \quad (2)$$

โดยที่

$S_i(x, y)$  คือ ภาพผลลัพธ์จากกระบวนการตรวจสอบเงา

$g_i(x, y)$  คือ พื้นที่เงา

$h_i(x, y)$  คือ พื้นที่ไม่ใช่เงา

ขั้นตอนที่ 2 คำนวณแหล่งกำเนิดแสงของแต่ละระนาบสีของพื้นที่เงา ( $e_1$ ) และไม่ใช่พื้นที่เงา ( $e_2$ ) บนพื้นฐานของความมั่นคงของสี (Color Constancy) ดังสมการ 3 และ 4

$$e_{1-i} = k_{-i} \left[ \sum_{x=1}^M \sum_{y=1}^N (g_i(x, y))^p \right]^{1/p} \quad (3)$$

โดยที่  $e_{1-i}$  คือ ค่าแหล่งกำเนิดแสงของพื้นที่เงา

MN คือ จำนวนพิกเซลของพื้นที่เงา

$K_{-i}$  คือ ค่าสีของแต่ละระนาบสีแดง ( $K_R$ ), สีเขียว ( $K_G$ ), และสีน้ำเงิน ( $K_B$ ) ของพื้นที่เงา

p คือ ค่าน้ำหนักของแต่ละค่าเฉลี่ยเทาของแหล่งกำเนิดแสง

$$e_{2-i} = k_{-i} \left[ \sum_{x=1}^M \sum_{y=1}^N (h_i(x, y))^p \right]^{1/p} \quad (4)$$

โดยที่  $e_{2_i}$  คือ ค่าแหล่งกำเนิดแสงของพื้นที่ไม่มีเงา  
 MN คือ จำนวนพิกเซลของพื้นที่ไม่มีเงา  
 $K_i$  คือ ค่าสีของแต่ละระนาบสีแดง ( $K_R$ ), สีเขียว ( $K_G$ ), และสีน้ำเงิน ( $K_B$ ) ของพื้นที่ไม่มีเงา  
 $p$  คือ ค่าน้ำหนักของแต่ละค่าเฉลี่ยเทาของแหล่งกำเนิดแสง

ขั้นตอนที่ 3 คำนวณค่าคงที่ของอัตราปรับความสว่างของพื้นที่เงาและพื้นที่ที่ไม่มีเงา และนำค่าอัตราดังกล่าวปรับค่าความสว่างของพื้นที่เงา ดังสมการ 5

$$g_{hi}(x,y) = g_i(x,y) \cdot e_{2_i}/e_{1_i} \quad (5)$$

โดยที่  $g_{hi}$  คือ พื้นที่เงาใหม่ที่ผ่านการปรับความสว่าง  
 $e_{2_i}/e_{1_i}$  คือ ค่าอัตราความสว่างของพื้นที่เงาและไม่มีเงา  
 $g_i(x,y)$  คือ พื้นที่เงา

เมื่อดำเนินการทั้ง 3 ขั้นตอน จะได้ภาพที่ปรับพื้นที่เงาที่มีความสว่างขึ้น แสดงตัวอย่างภาพที่ปรับลดเงาแล้วดังภาพ 28 (ข)



(ก) ภาพต้นฉบับ



(ข) ผลลัพธ์การปรับพื้นที่เงา

ภาพ 28 ผลลัพธ์จากกระบวนการปรับพื้นที่เงา

จากภาพ 28 (ข) พื้นที่ส่วนของเงาที่เป็นเงาอ่อนและเงาเข้มจะถูกปรับลดลง และสามารถนำมาใช้ในการวิเคราะห์ต่อไปได้ เช่น การแบ่งส่วนภาพ การวิเคราะห์ลักษณะเด่นเชิงสีภาพ การจดจำลักษณะเด่น และการวิเคราะห์จุดบกพร่อง เป็นต้น ซึ่งหากข้อมูลได้ดำเนินการทั้ง 2 กระบวนการของขั้นตอนการเตรียมข้อมูลภาพแล้วเสร็จ ข้อมูลภาพก็จะสามารถเข้าสู่ขั้นตอนการวิเคราะห์ต่อไปได้

## การแบ่งส่วนภาพ

การแบ่งส่วนภาพ (Image Segmentation) เป็นการแบ่งข้อมูลภาพออกเป็นส่วนย่อย ๆ ที่อาจจะมีพื้นที่แต่ละส่วนทับซ้อนกันหรือมีพื้นที่ต่อกัน แต่ละส่วนจะเป็นพื้นที่ซึ่งอาจจะแทนวัตถุอยู่ในภาพ การดำเนินการแบ่งส่วนภาพจะแล้วเสร็จก็ต่อเมื่อ ได้วัตถุที่ต้องการหรือถูกแบ่งออกได้สมบูรณ์ ผลที่ได้จากการแบ่งส่วนภาพจะเป็นตัวชี้วัดความสำเร็จในขั้นตอนการวิเคราะห์ภาพด้วยคอมพิวเตอร์ (มหศักดิ์ เกตุฉ่ำ, 2561) ได้กล่าวถึงการแบ่งส่วนภาพสามารถแบ่งออก 3 วิธี ดังนี้

### 1. วิธีการแบ่งส่วนภาพจากแอมพลิจูด (Amplitude Segmentation Methods)

วิธีการแบ่งส่วนภาพจากค่าแอมพลิจูดหรือค่าความเข้มของจุดต่าง ๆ ในภาพ (Pixel) ซึ่งผลของการแบ่งส่วนภาพจะขึ้นอยู่กับวิธีการใช้ค่ากำหนด (Threshold) ของส่วนประกอบที่เป็นความเข้มหรือสีของภาพ ซึ่งมีอยู่หลากหลายวิธีดังนี้

1.1 ค่ากำหนดระดับความสว่าง (Level luminance threshold) ประยุกต์ใช้กับภาพบางชนิดที่ลักษณะของวัตถุที่สนใจที่มีความเข้มที่คงที่ เมื่อเทียบกับพื้นหลัง (Background) ตัวอย่าง เช่น ภาพป้ายทะเบียนที่มีตัวอักษร (Text) และจุดดำงดำบนใบหน้า เป็นต้น แสดงตัวอย่างดังภาพ 29



(ก) ทะเบียนรถ

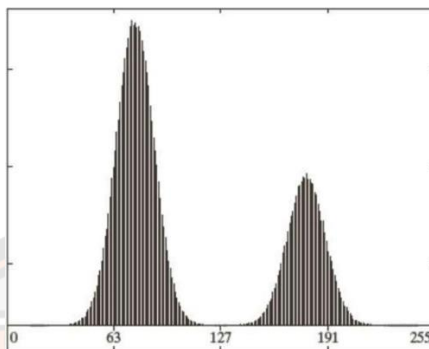


(ข) จุดดำงดำบนใบหน้า

ภาพ 29 ข้อมูลตัวอย่างที่สามารถใช้การค่ากำหนดระดับความสว่าง

จากภาพ 29 ภาพเหล่านี้จะมีความเข้มของวัตถุมากกว่าพื้นหลังที่สามารถแยกพื้นหลังได้ชัดเจน หรือมีความเข้มสองระดับ ได้แก่ ความเข้มของวัตถุและความเข้มของพื้นหลัง ซึ่งการแบ่งส่วนภาพดังกล่าว สามารถทำได้โดยการใช้เกณฑ์ค่ากำหนด (Threshold) ที่มีค่าความเข้มที่สามารถแยกความแตกต่างของวัตถุและพื้นหลังได้ เช่น ภาพป้ายทะเบียนของตัวอักษรที่มีความเข้มของตัวอักษรที่มีค่าเป็น 0 หรือสีดำ และมีค่าความเข้มของพื้นหลังเป็น 255 หรือสีขาว ดังนั้นค่ากำหนดจะมีค่าเท่ากับ 128 เพื่อที่จะให้สามารถแยกวัตถุออกจากพื้นหลัง เป็นต้น มากไปกว่านั้นยังสามารถใช้เครื่องมือ เช่น ฮิสโตแกรม (Histogram) หรือค่าการคำนวณทางสถิติ เป็นต้น

การประยุกต์ใช้ฮิสโตแกรม (Histogram) ดำเนินการกับพิกเซลทั้งหมดในภาพในแต่ละระนาบสี หรือเป็นค่าจากภาพเฉดสีเทา (Monochrome Image) ตัวอย่างการเลือกค่ากำหนดดังภาพ 30



ภาพ 30 กราฟฮิสโตแกรมสองทาง

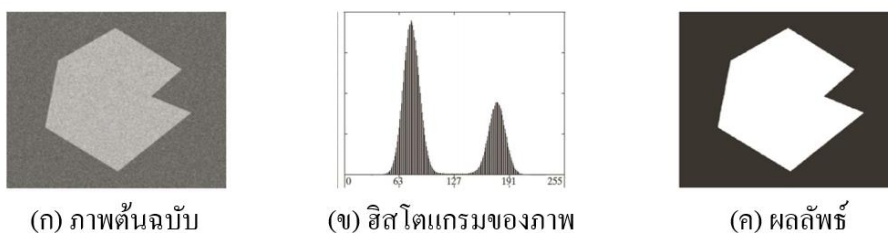
ที่มา: มหศักดิ์ เกตุน้ำ, 2561

จากภาพ 30 แสดงการหาค่ากำหนด (Threshold) โดยค่าที่ควรเลือกในฮิสโตแกรมที่อยู่จุดต่ำสุดที่อยู่ระหว่างจุดสูงสุด (Peaks) เป็นไปตามสมการ 6

$$g(x, y) = \begin{cases} 1 & f(x, y) > T \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (6)$$

โดยที่  $g(x, y)$  คือ เป็นข้อมูลภาพ ณ ตำแหน่ง  $x, y$   
 $T$  คือ ค่ากำหนด (Threshold)

จากสมการ 6 เมื่อค่าของพิกเซลมีค่ามากกว่าค่าที่กำหนดเป็นพิกเซลสีขาว และนอกเหนือจากนั้นเป็นพิกเซลสีดำ แสดงดังภาพ 31



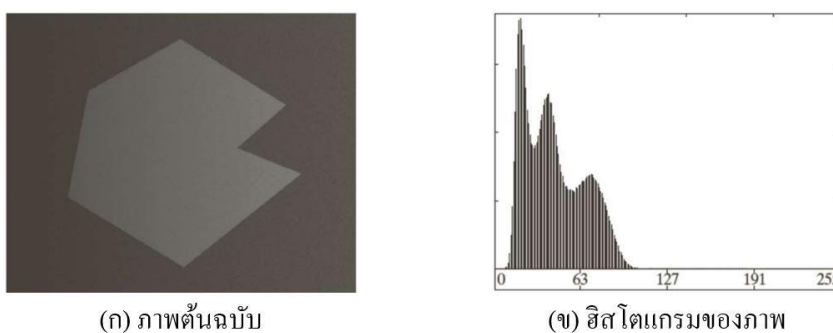
ภาพ 31 ผลลัพธ์จากกระบวนการแบ่งส่วนภาพ

ที่มา: มหศักดิ์ เกตุจำ, 2561

จากภาพ 31 เมื่อผ่านกระบวนการแบ่งส่วนภาพ วัตถุที่สนใจจะถูกแบ่งส่วนออกจากภาพพื้นหลัง ส่วนการประยุกต์ใช้ค่าทางสถิติในการคำนวณค่ากำหนด เช่น การใช้ค่าเฉลี่ยของพิกเซล การใช้ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน หรือค่าสถิติอื่น ๆ ที่คำนวณได้จากพิกเซลของภาพ เป็นต้น

#### 1.2 ค่ากำหนดระดับความสว่างหลายระดับ (Multilevel Luminance Threshold)

การกำหนดค่ากำหนดแบบหลายระดับสำหรับภาพที่ประกอบด้วยหลาย ๆ วัตถุที่มีค่าของพิกเซลหลายค่าหรือหลายกลุ่ม ทำให้ต้องใช้ค่ากำหนด (Threshold) หลายค่า ซึ่งสามารถหาได้จากฮิสโตแกรมของภาพเช่นเดียวกับการหาค่ากำหนดด้วยระดับความสว่าง แต่ในบางกรณีฮิสโตแกรมของภาพมีการเปลี่ยนแปลงโดยมีจุดต่ำสุดหลายจุด จึงไม่สามารถบอกความแตกต่างระหว่างวัตถุกับพื้นหลังได้อย่างชัดเจน วิธีที่ง่ายที่สุดที่จะทำให้ฮิสโตแกรมลักษณะนี้สามารถหาค่ากำหนด (Threshold) ได้ง่ายขึ้นคือ การใช้วิธีการตรวจสอบเส้นขอบ (Edge Detection) เพื่อพิจารณาพิกเซลต่าง ๆ ให้เป็นวัตถุมากกว่าการแบ่งออกเป็นสองส่วน แสดงตัวอย่างภาพที่มีค่ากำหนดหลายค่าแสดงดังภาพ 32



ภาพ 32 ภาพที่มีค่ากำหนดหลายค่า

ที่มา: มหศักดิ์ เกตุจำ, 2561

จากภาพ 32 มีจุดต่ำสุดของฮิสโตแกรมอยู่สองจุดคือ จุดแรก (T1) และจุดที่สอง (T2) เรียก อัลกอริทึมที่มีลักษณะนี้ว่า Multi Threshold หรือ Adaptive Threshold

## 2. วิธีการแบ่งส่วนภาพจากพื้นที่ (Region Segmentation Methods)

การแบ่งส่วนภาพจากพื้นที่จะขึ้นอยู่กับพิกเซลของภาพ ลักษณะของการแบ่งส่วนภาพ จะพิจารณาเป็นกลุ่มของข้อมูลภาพ เช่น การแบ่งกลุ่มจากค่าของพิกเซลที่ใกล้เคียงกัน หรือการ พิจารณาภาพให้เล็กลง เป็นต้น ซึ่งการแบ่งส่วนภาพจากพื้นที่มี 4 วิธี ดังนี้

### 2.1 วิธีการพื้นที่เติบโต (Region Growing Method)

วิธีการพื้นที่เติบโต มีลักษณะของการจัดกลุ่มความเข้มของพิกเซลที่มีความ ใกล้เคียงกัน การแบ่งส่วนภาพจะต้องมีการกำหนดพื้นที่ที่ต้องการแบ่ง โดยที่แต่ละกลุ่มต้องมีการ กำหนดค่าความเข้มของพิกเซล เพื่อใช้สำหรับการขยายตัวของกลุ่ม (Growth) ต้องมีกฎที่เป็น เงื่อนไขของการขยายตัว เช่น กฎการตรวจสอบความเป็นอันหนึ่งอันเดียวกันของกลุ่ม (Homogeneity) ใช้ในทุก ๆ ระยะของการขยายตัว เป็นต้น สำหรับการขยายตัวจะมีการพิจารณาจาก พิกเซลรอบข้าง (Neighborhood) ได้แก่ การพิจารณา 4 พิกเซล การพิจารณา 8 พิกเซล และการ พิจารณา 16 พิกเซล แสดงกระบวนการพิจารณาดังภาพ 33

	(x,y+1)	
(x-1,y)	(x,y)	(x+1,y)
	(x,y-1)	

(ก) 4 – พิกเซลรอบข้าง(4-Neighborhood)

(x-1,y+1)	(x,y+1)	(x+1,y+1)
(x-1,y)	(x,y)	(x+1,y)
(x-1,y-1)	(x,y-1)	(x+1,y-1)

(ข) 8 – พิกเซลรอบข้าง(8-Neighborhood)

ภาพ 33 การพิจารณาพิกเซลรอบข้าง

จากภาพ 33 การพิจารณาเข้าสู่กลุ่มใดกลุ่มหนึ่งต้องการตรวจสอบอีกทีว่าพิกเซลที่ขยายไปมี ความใกล้เคียงหรือเป็นอันหนึ่งอันเดียวกันหรือไม่ (Homogeneity) ซึ่งประสิทธิภาพของการแบ่ง ส่วนภาพวิธีการนี้จะขึ้นอยู่กับความเข้มของพิกเซลเริ่มต้นของในแต่ละกลุ่มกำหนดโดยผู้ใช้ซึ่ง กระบวนการสามารถหาได้อัตโนมัติจากฮิสโตแกรมของภาพ โดยการพิจารณาค่าสูงสุดของ ฮิสโตแกรมหรือจุดสูงสุดของพิก (Peak) มาใช้เป็นค่าความเข้มของพิกเซลเริ่มต้นของกลุ่มได้ ซึ่ง

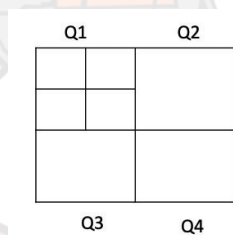
โดยปกติแล้วจะมีค่าความเข้มเริ่มต้นมากกว่าค่าต่อหนึ่งกลุ่ม ดังนั้นจึงต้องมีวิธีการรวมกลุ่ม (Merge Region) วิธีการรวมกลุ่มและแยกกลุ่ม (Split and Merge Region)

## 2.2 วิธีการรวมกลุ่ม (Merge Region)

วิธีการรวมกลุ่มเป็นวิธีการหนึ่งที่ใช้ในการหากลุ่มของพิกเซลที่มีลักษณะเหมือนกัน โดยการสแกนไปยังพิกเซลต่าง ๆ ตั้งแต่พิกเซลแรกไปจนกระทั่งถึงพิกเซลสุดท้ายของภาพตามแถวและหลักตามลำดับ และในระหว่างการสแกนก็จะมีกำหนดพิกเซลนั้น ไปยังกลุ่มต่าง ๆ

## 2.3 วิธีการแบ่งแยกกลุ่ม (Split Region)

วิธีการแบ่งแยกกลุ่มเป็นวิธีการหนึ่งในการหากลุ่มของพิกเซลซึ่งมีลักษณะตรงข้ามกับวิธีการรวมกลุ่ม (Merge Region) หรือมีลักษณะแบบบนลงได้ (Top-down Approach) โดยเริ่มต้นจากทั้งภาพมีเพียง 1 กลุ่มหากยังไม่ได้ค่าที่เหมาะสม ทำการแบ่งออกเป็น 4 กลุ่มย่อยและแบ่งย่อยไปเรื่อย ๆ จนกว่าจะได้กลุ่มของภาพที่มีสมาชิกของกลุ่มที่มีค่าใกล้เคียงกันในระดับที่ยอมรับได้ (Homogeneous) ขั้นตอนวิธีของวิธีการดังภาพ 34



ภาพ 34 การแบ่งภาพต้นฉบับเป็นภาพย่อย

ภาพ 34 การตรวจสอบในภาพย่อยแต่ละกลุ่มสามารถคำนวณได้จากผลต่างของค่าความเข้มของพิกเซลได้จากค่าความเข้มสูงสุดลบด้วยค่าความเข้มน้อยสุด และนำผลที่ได้เปรียบเทียบกับค่ากำหนด (Threshold) ถ้าค่าที่ได้ผ่านค่ากำหนดก็จะถูกยอมรับเข้ากลุ่ม ในตัวอย่างภาพ 34 เมื่อภาพมีขนาด  $N \times N$  จะสามารถแบ่งภาพได้สูงที่สุด 2 ยกกำลัง  $N$

## 2.4 วิธีแบ่งแยกกลุ่มและวิธีการรวมกลุ่ม (Split and Merge Region)

การใช้วิธีการแบ่งกลุ่มเพียงวิธีการเดียว อาจทำให้เกิดการสร้างกลุ่มใหม่เป็นจำนวนมาก ซึ่งแต่ละกลุ่มย่อยอาจมีค่าใกล้เคียงกันที่สามารถอยู่ในกลุ่มเดียวกันได้ ดังนั้นในกลุ่มย่อยเหล่านั้นที่มีความใกล้เคียงกัน สามารถใช้วิธีการรวมกลุ่มร่วมด้วย โดยมีขั้นตอนดังนี้

1) ถ้ากลุ่ม Q เป็นกลุ่มที่ไม่สามารถยอมรับเข้ากลุ่มได้ (Inhomogeneous) ต้องดำเนินการแยกกลุ่มพิกเซลออกเป็น 4 กลุ่มย่อยต่อไป

2) ถ้าหากกลุ่มสองกลุ่ม Q1 และ Q2 สามารถยอมรับได้ ต้องดำเนินการรวมกลุ่มของพิกเซลเข้าด้วยกัน

3) วิธีนี้จะหยุดทำก็ต่อเมื่อไม่สามารถแยกกลุ่มย่อยและรวมกลุ่มย่อยได้อีก จึงเป็นสาเหตุที่ทำให้สิ้นสุดกระบวนการ

### 3. วิธีการตรวจจับขอบเขต (Boundary detection)

การตรวจจับขอบเขตเป็นวิธีหนึ่งในการแบ่งส่วนภาพ โดยการค้นหาขอบของวัตถุของแต่ละกลุ่ม วิธีนี้ต่างจากวิธีการแบ่งส่วนภาพ 2 วิธีก่อนหน้านี้ โดยวิธีนี้ใช้กับข้อมูลภาพที่มีสิ่งรบกวนมาก หรือมีความแตกต่างของความเข้มระหว่างกลุ่มน้อย ทำให้ไม่สามารถหาขอบของวัตถุได้ ดังนั้นวิธีการหาขอบเขตประยุกต์ใช้วิธีการเชื่อมขอบ (Edge Linking Techniques) โดยใช้เมตริก (Matrix) ในการพิจารณาหาขอบซึ่งมีขนาดเป็น  $2 \times 2$  ดังตาราง 18 และตาราง 19

ตาราง 18 เมตริกเชื่อมขอบ

ลักษณะจุดในเมตริก	ทิศทางการเลื่อนของเมตริก	ตำแหน่งขอบของวัตถุ
● ● ● ●	-	(สถานะตั้งต้น)
X X	-	-
X X	→	X X
● ● ● ●	←	● ○ ○ ●
X X	↓	X X
● X ● X	↑	● X ○ X
X ● X ●		X ○ X ●

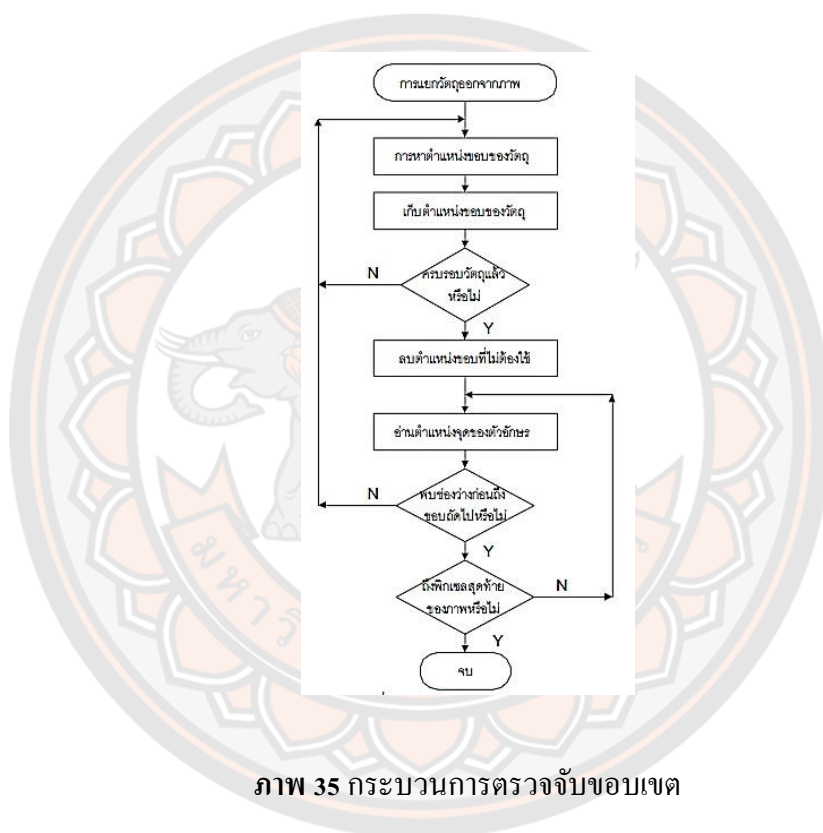


ตาราง 19 เมตริกเชื่อมขอบ (ต่อ)

ลักษณะจุดในเมตริก	ทิศทางการเลื่อนของเมตริก	ตำแหน่งขอบของวัตถุ
X ●	↑	X ○
X X		X X
● X	←	○ X
X X		X X
X X	↓	X X
● X		○ X
X X	→	X X
X ●		X ○
● X	→	-
● ●	↑	-
X ●	↓	-
● ●		-
● ●		-
● X	←	-
● ●		-
X ●	↑ หลังจาก ←	X ●
● X		○ X
X ●	↑ หลังจาก →	X ○
● X		● X
● X	→ หลังจาก ↑	● X
X ●		X ○
● X	← หลังจาก ↓	○ X
X ●		X ●

หมายเหตุ: x แทนจุดดำ, ○ แทนจุดขาว, ● แทนตำแหน่งขอบของที่เก็บ

วิธีการนี้จะทำการสแกนไปทั้งภาพโดยเริ่มจากพิกเซลแรกถึงพิกเซลสุดท้ายของภาพในแนวแถวและแนวหลักตามลำดับ โดยในช่วงระหว่างการสแกนจะนำพิกเซลรอบข้าง 4 ตำแหน่งเปรียบเทียบกับข้อมูลเมตริกในตาราง 18 และตาราง 19 ถ้าหากตรงกับเมตริกใด ๆ จะเลื่อนจากตำแหน่งปัจจุบันไปยังตำแหน่งตามทิศทางที่กำหนดไว้ แต่ถ้าหากไม่ตรงกับเมตริกใด ๆ สแกนต่อไปยังตำแหน่งถัดไป และเก็บค่าตำแหน่งที่ตรงกับเมตริกไว้ ซึ่งเป็นตำแหน่งของขอบเขตของวัตถุและตรวจสอบขอบเขตของวัตถุด้วยการเวียนกลับไปยังจุดเริ่มต้นของขอบเขต โดยมีลำดับขั้นตอนวิธีดังภาพ 35



ภาพ 35 กระบวนการตรวจจับขอบเขต

ที่มา: มหศักดิ์ เกตุจำ, 2561

จากภาพ 35 เริ่มที่จุดแรกของภาพ และดำเนินการตาม 4 ขั้นตอนดังนี้

1. หาค่าตำแหน่งของขอบวัตถุโดยการเลื่อนไปยังทิศทางที่เป็นของเส้นขอบ
2. เก็บตำแหน่งของเส้นขอบเขตและลบส่วนที่ไม่ใช่เส้นขอบเขตออก
3. ตรวจสอบเส้นขอบเขตด้วยการเวียนกลับไปยังจุดเริ่มต้น ถ้าหากการเวียนกลับไม่ครบให้ลบเส้นของเขตที่เก็บไว้ทิ้งไป

4. หากพบช่องว่างให้กลับไปกระบวนการตรวจหาคำแหน่งขอบของวัตถุอีกครั้ง ลำดับที่ห้าเมื่อถึงพิกเซลตำแหน่งสุดท้ายของภาพให้สิ้นสุดการค้นหาคำแหน่งของขอบวัตถุ

### การวิเคราะห์ลักษณะเด่นเชิงผิวภาพ

ลักษณะเด่นเชิงผิวภาพเป็นรูปแบบข้อมูลที่มีค่าเฉลี่ยต่ำกว่าค่าของข้อมูลที่สนใจ เพื่อให้สามารถใช้ในการแยกประเภทข้อมูลและการระบุประเภทของข้อมูล โดยการวิเคราะห์พื้นผิวด้วยการประเมินเนื้อหาของพื้นผิว เช่น ผิวหยาบ ผิวเรียบ หรือขรุขระ เป็นต้น ซึ่งในความหมายของความหยาบหรือความขรุขระหมายถึง การแปรผันของค่าความเข้มหรือระดับสีเทาที่แตกต่างกัน ซึ่งการวิเคราะห์พื้นผิวสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้หลากหลายด้าน เช่น การตรวจจับระยะไกล การตรวจสอบแบบอัตโนมัติ และการประมวลผลภาพทางการแพทย์ เป็นต้น การวิเคราะห์พื้นผิวยังสามารถใช้ในการค้นหาขอบเขตพื้นผิวที่เรียกว่า การแบ่งส่วนพื้นผิวได้ การวิเคราะห์พื้นผิวจะมีประสิทธิภาพมากกว่าการใช้ความเข้มและเทคนิคแบบเดิมที่ไม่สามารถแบ่งส่วนภาพได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Petrou และ Sevilla, 2006) ตัวอย่างเช่น การตรวจสอบว่าบุคคลในภาพสวมเสื้อฮาวายหรือไม่ แสดงดังภาพ 36



ภาพ 36 บุคคลสวมใส่เสื้อฮาวาย

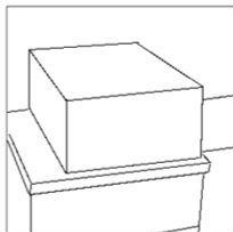
ที่มา Petrou, M., & García Sevilla, P. (2006, หน้า 1)

จากภาพ 36 ถ้าหากสนใจที่ตัวบุคคลจะไม่สามารถระบุได้ แต่ถ้าหากสนใจที่เสื้อที่สวมจะสามารถระบุได้ การวิเคราะห์ลักษณะเชิงผิวภาพที่สนใจในภาพคือ สิ่งที่อยู่ในเสื้อฮาวาย เพราะมีรูปแบบของลักษณะเด่นเชิงผิวภาพ เช่น ดอกไม้ หรือ นกบนเสื้อ เป็นต้น ซึ่งดอกไม้หรือนกแต่ละรูปแบบอาจมีลักษณะเด่นเชิงผิวที่มีค่าแตกต่างกันและสามารถจำแนกลักษณะเด่นเชิงผิวภาพได้ ซึ่งในการพิจารณาลักษณะเชิงผิวภาพมี 2 เหตุผลที่ใช้ดังนี้

1. พื้นผิวอาจมีสัญญาณรบกวนในระบบการวิเคราะห์แบบอัตโนมัติ ตัวอย่างเช่น การจดจำรูปร่างของวัตถุ ลักษณะเด่นเชิงผิวจะสร้างเส้นพิเศษในขอบเขตของวัตถุและอัลกอริทึมในการจดจำรูปทรงที่มีความซับซ้อนได้ แสดงดังภาพ 37



(ก) ภาพต้นฉบับ



(ข) เส้นของวัตถุชัดเจน



(ค) วัตถุที่มีสัญญาณรบกวน

ภาพ 37 ภาพการวิเคราะห์เส้นขอบเขตของวัตถุ

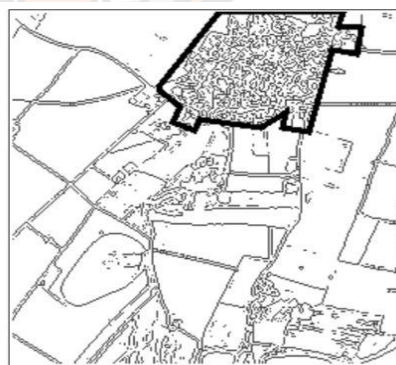
ที่มา Petrou, M., & García Sevilla, P. (2006, หน้า 2)

จากภาพ 37 (ก) เป็นภาพต้นฉบับของวัตถุที่ต้องการระบุประเภทของวัตถุในทางอุดมคติ เส้นขอบเขตที่ต้องการเป็นไปตามภาพ 37 (ข) ที่เห็นเส้นของวัตถุที่มีความชัดเจนและเป็นเส้นที่มีความแข็งแรง แต่ในทางปฏิบัติเมื่อใช้อัลกอริทึมในการหาเส้นขอบแบบอัตโนมัติมันจะมีสัญญาณรบกวนเกิดขึ้น ดังภาพ 37 (ค)

2. พื้นผิวอาจมีสิ่งสำคัญในการจดจำวัตถุ เพราะอาจมีบางสิ่งที่เกี่ยวข้องกับวัตถุในภาพที่สนใจ ตัวอย่างเช่น การแยกพื้นที่เมืองออกจากพื้นที่ป่าไม้และการเกษตร ดังภาพ 38



(ก) ภาพมุมสูงของเมืองเบลบูรี (Blewbury)



(ข) เขตเมืองมีลักษณะผิวที่มีเส้นขอบหนาแน่น

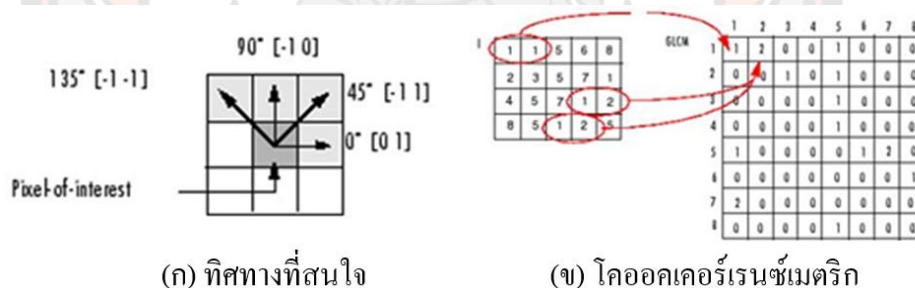
ภาพ 38 ภาพพื้นที่เมืองที่สนใจ พื้นที่ป่าไม้ และพื้นที่การเกษตร

ที่มา Petrou, M., & García Sevilla, P. (2006, หน้า 2)

จากภาพ 38 (ก) เป็นภาพมุมสูงของเมืองเบลบูรี (Blewbury) ประเทศกรีซ ที่ได้จากอากาศยาน ไร้คนขับที่แสดงให้เห็นพื้นที่เมือง พื้นที่ป่าไม้และพื้นที่ทางการเกษตร เมื่อนำมาผ่านขั้นตอนการหาเส้นขอบจะทำให้เห็นเนื้อหาพื้นผิวที่น่าสนใจคือ ในเขตเมืองจะมีลักษณะผิวพื้นที่ที่มีเส้นขอบหนาแน่น ส่วนในพื้นที่ป่าและพื้นที่การเกษตรจะมีความหนาแน่นของเส้นขอบน้อย นักวิจัย (Ma, Du, Zheng, Zhang และ Sun, 2019) กล่าวว่า ปัจจุบันมีวิธีการวิเคราะห์พื้นผิวพื้นฐานมีหลากหลายวิธีโดยแบ่งเป็น 4 กลุ่มหลัก

## 2.1 วิธีการทางสถิติ (Statistical Method)

การคำนวณค่าพื้นผิวด้วยการใช้หลักการทางสถิติซึ่งเป็นวิธีการอย่างง่ายในการพัฒนา มีความแข็งแรงและทนทานต่อการวิเคราะห์ ในวิธีการทางสถิติทั้งหมด วิธีการวิเคราะห์ระดับสีเทาด้วยโคออกเคอร์เรนซ์เมตริก (Gray Level Co-Occurrence Matrix : GLCM) ซึ่งเป็นวิธีที่ได้รับความนิยมในการประยุกต์ใช้มากที่สุดและผลลัพธ์จากการใช้โคออกเคอร์เรนซ์เมตริกให้ผลการวิเคราะห์พื้นผิวได้ดีกว่าวิธีอื่น ๆ ที่อยู่ในหมวดหมู่เดียวกัน โดยวิธีโคออกเคอร์เรนซ์เมตริกจะสร้างจากภาพเฉดสีเทา (Gray-Scale Image) จากนั้นคำนวณค่าของพิกเซลที่พบในแกนแนวตั้งแนวนอน และแนวทแยงที่เชื่อมต่อกันอยู่ติดกันดังภาพ 39



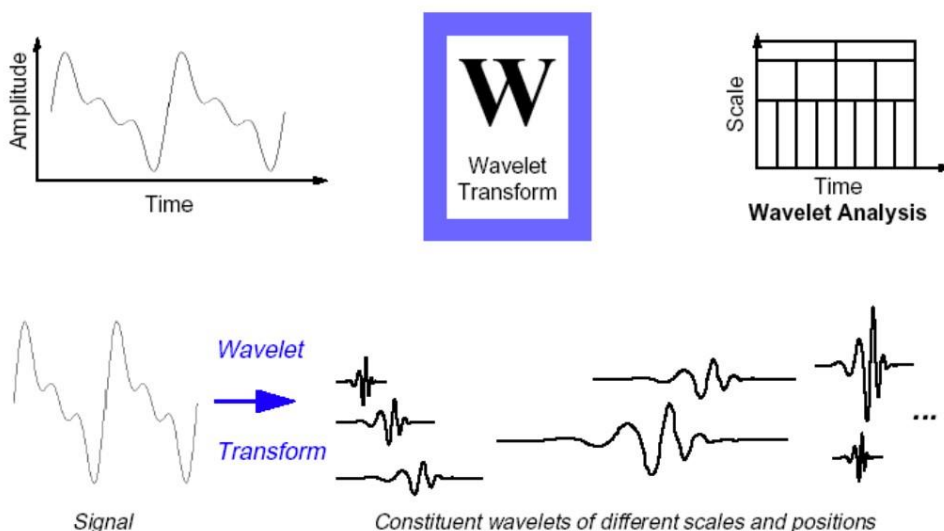
ภาพ 39 ทิศทางการคำนวณค่าพิกเซลที่สนใจ

จากภาพ 39 เมื่อได้คำนวณค่าทางสถิติที่ต้องการจากทิศทางจากภาพ 39 (ก) เช่น ค่าเฉลี่ย ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน เป็นต้น ทำให้ได้โคออกเคอร์เรนซ์เมตริก (GLCM) ดังภาพ 39 (ข) จากนั้นคำนวณค่าคุณลักษณะเด่นเชิงผิวจากโคออกเคอร์เรนซ์เมตริกด้วยสูตรทางสถิติ เช่น ค่าความแตกต่าง (Contrast) ค่าสหสัมพันธ์ (Correlation) ค่าพลังงาน (Energy) และค่าความเหมือน (Homogeneity)

งานวิจัยของ (Ma และคณะ, 2019) ได้ศึกษาการสกัดลักษณะเด่นเชิงผิวภาพของภาพ โดยประยุกต์ใช้ขั้นตอนวิธีเมทริกซ์ร่วมของเฉดสีเทา (Gray Level Co-Occurrence Matrix Fusion Algorithm) โดยข้อมูลภาพเป็นภาพที่มีความละเอียดสูงจากดาวเทียมโดยใช้ซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน (Support vector machine: SVM) ในการจำแนกพื้นที่บนภาพ ด้วยการวัดทิศทางร่วมกับการใช้ขั้นตอนวิธีเมทริกซ์ร่วมของเฉดสีเทา เมื่อประยุกต์ใช้ทั้ง 2 วิธี พบว่า สามารถจำแนกส่วนต่าง ๆ ได้ดีกว่าการรู้จำภาพ และความถูกต้องของการจำแนกอยู่บนพื้นฐานของการพัฒนาแบบมีนัยสำคัญ

## 2.2 วิธีแปลงเวฟเลต (Wavelet Transform)

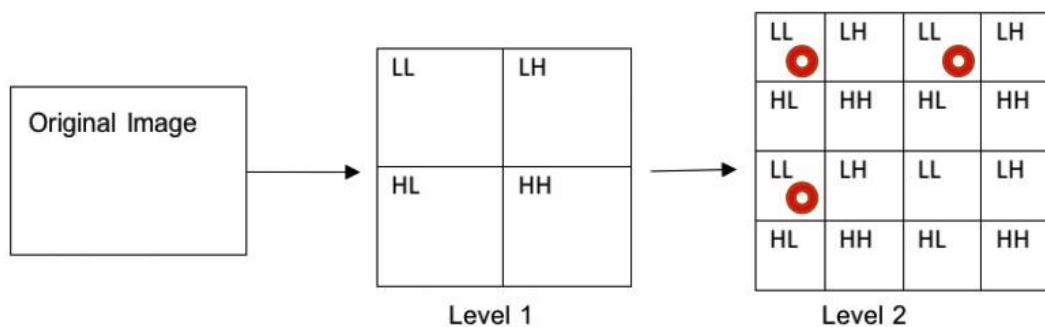
นักวิจัย (มานะ ไต่ธม, 2552) ได้กล่าวว่า วิธีแปลงเวฟเลตเป็นวิธีการวิเคราะห์สัญญาณที่ได้รับการพัฒนามาจากการแปลงฟูริเยร์ (Fourier Transform) และการแปลงฟูริเยร์ในช่วงเวลาสั้น (Short Time Fourier Transform) โดยการปรับช่วงเวลาและความถี่ให้เหมาะสมตามความต้องการผ่านกระบวนการแปลงเวฟเลต การวิเคราะห์ด้วยจะใช้กรอบวินโดว์ (Window) ซึ่งสามารถปรับขยายได้ตามที่ต้องการ เพื่อให้ได้ข้อมูลช่วงความถี่สูง กลาง ต่ำ ตามที่ต้องการ และในทางด้านการสกัดลักษณะเด่น เพื่อใช้ในการจดจำในแบบจำลองต่าง ๆ ที่มีการประยุกต์ใช้มากคือการแปลงเวฟเลตแบบไม่ต่อเนื่อง (Discrete Wavelet Transform) โดยกระบวนการแปลงเวฟเลตแสดงในภาพ 40



ภาพ 40 แสดงการวิเคราะห์สัญญาณด้วยการแปลงเวฟเลต

การวิเคราะห์สัญญาณด้วยการแปลงเวฟเล็ตข้อมูลจะถูกแปลงให้อยู่ในรูปแบบของข้อมูลเชิงเวลากับสเกล (Scale) แทนสัญญาณเชิงเวลากับความถี่จากสัญญาณต้นฉบับ เพื่อใช้เป็นลักษณะเด่นของสัญญาณ โดยมีงานวิจัยที่นำไปประยุกต์ใช้ดังนี้

นักวิจัย (กิตติยา พูนศิลป์, 2561) ได้ศึกษาการพัฒนากระบวนการรู้จำลายผ้าทอพื้นบ้าน และได้นำการแปลงเวฟเล็ตแบบไม่ต่อเนื่องมาใช้ในการหาลักษณะเด่นออกจากความถี่ต่าง ๆ ของภาพลายผ้าทอ เพื่อให้ได้ลักษณะเด่นที่ใช้ในการจำแนกลายผ้าทอได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งในงานวิจัยดังกล่าวได้ใช้อัลกอริทึมในการอธิบายสัญญาณแบบฮาร์ในระดัที่ 2 (Haar Wavelet Decomposition) สำหรับแยกภาพออกเป็นส่วนย่อย 16 ส่วนเป็นแต่ละย่านความถี่ ดังภาพ 41



ภาพ 41 แสดงส่วนประกอบของย่านความถี่ Haar Wavelet Decomposition ระดับที่ 2

ที่มา : กิตติยา พูนศิลป์, 2561, หน้า 2063

เมื่อได้แต่ละย่านทั้ง 16 ความถี่แล้ว ในกระบวนการสกัดลักษณะเด่นของลายผ้าทอ ต้องคำนวณค่าลักษณะเด่น 5 ค่า คือ ค่าเฉลี่ย (Mean), ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation), ค่าพลังงาน (Energy), ค่าการกระจายตัวในแนวนอน (Horizontal Distribution), และค่าการกระจายตัวในแนวตั้ง (Vertical Distribution) ซึ่งนำไปใช้เป็นตัวแทนลักษณะเด่นในการจดจำลายผ้าได้

### 2.3 วิธีการบีบอัด (Fractal Method)

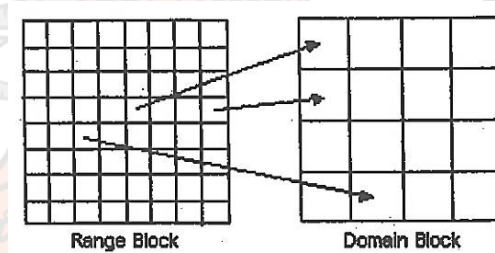
นักวิจัย (ผิน ฉัตรแก้วมณี และสมนึก กิริโต, 2561) ได้กล่าวว่า การบีบอัดข้อมูลที่นำมาประยุกต์ใช้กับรูปภาพแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ การบีบอัดข้อมูลที่ไม่มีข้อมูลสูญเสีย (Lossless Compression) ซึ่งจะได้ภาพเหมือนกับภาพต้นฉบับ และการบีบอัดที่มีข้อมูลสูญหาย (Lossy Compression) จะมีข้อมูลบางส่วนผิดเพี้ยนไปแต่ส่งกระทบกับภาพต้นฉบับเล็กน้อย แต่จะมีการควบคุมความผิดพลาดให้มีค่าน้อยที่สุด ซึ่งส่วนใหญ่เป็นการบีบอัดภาพแบบแฟร็กทัล (Fractal)

เป็นการทำงานแบบที่มีข้อมูลสูญเสียซึ่งมีทั้งการบีบอัดภาพเจดสีเทาและภาพสี ซึ่งในการบีบอัดข้อมูลภาพแบบแฟรกตอลสำหรับภาพสีตัวอย่างเช่น Jacqyain's algorithm มี 3 ขั้นตอน ดังนี้

- 1) การแบ่งภาพออกเป็นพื้นที่สี่เหลี่ยมจัตุรัสที่มี 2 ชนิดคือ โดเมน และเรนจ์ โดยโดเมนมีความกว้างแต่ละด้านเป็น 2 เท่าของเรนจ์ พร้อมทั้งเก็บข้อมูลแต่ละส่วนไว้
- 2) การค้นหาโดเมนที่มีความสัมพันธ์กับเรนจ์ ซึ่งความสัมพันธ์นั้นเรียกว่า Affire Transformation ดังสมการ 7

$$\begin{bmatrix} X_{new} \\ Y_{new} \\ C_{new} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a & b & 0 \\ c & d & 0 \\ 0 & 0 & s \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} X_{old} \\ Y_{old} \\ C_{old} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} r_x \\ r_y \\ r_o \end{bmatrix} \quad (7)$$

- 3) การเก็บข้อมูลในรูปแบบบิต โดยใช้เทคนิคการแบ่งภาพแบบต้นไม้สี่กิ่งที่สามารถปรับระดับความลึกได้ แสดงทั้ง 3 ขั้นตอนในภาพ 42



ภาพ 42 การทำงานพื้นฐานของ Jacqyain's algorithm

ที่มา: มหศักดิ์ เกตุฉำ, 2561

จากภาพ 42 เมื่อดำเนินการตามสมการ 7 จะได้เมตริกของโดเมนใหม่ ซึ่งในสมการประกอบด้วยส่วนที่ทำหน้าที่จัดการเกี่ยวกับการแปลงลักษณะของภาพ ได้แก่ ค่าของ a, b, c และ d โดยที่  $r_x$  และ  $r_y$  เป็นตัวบอกตำแหน่งของเรนจ์ และอีกส่วนหนึ่งจะทำหน้าที่เป็นตัวจัดการเกี่ยวกับลักษณะของสีที่เปลี่ยนจากค่าสีในโดเมนเป็นค่าสีในเรนจ์ คือ ค่าของ s และ o เรียกสองค่านี้ว่า Scale(s) และ Offset(o) ตามลำดับ จากนั้นนำค่าต่าง ๆ ที่ใช้เก็บลงในแฟ้มข้อมูลในรูปแบบบิต ยกตัวอย่างการประยุกต์ใช้วิธีการบีบอัดดังนี้

นักวิจัย (Dong, Li และ Sun, 2017) ได้ประยุกต์ใช้การวิเคราะห์การบีบอัดและการสกัดลักษณะเด่นของพื้นที่ป่า โดยวิเคราะห์ภาพ Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer

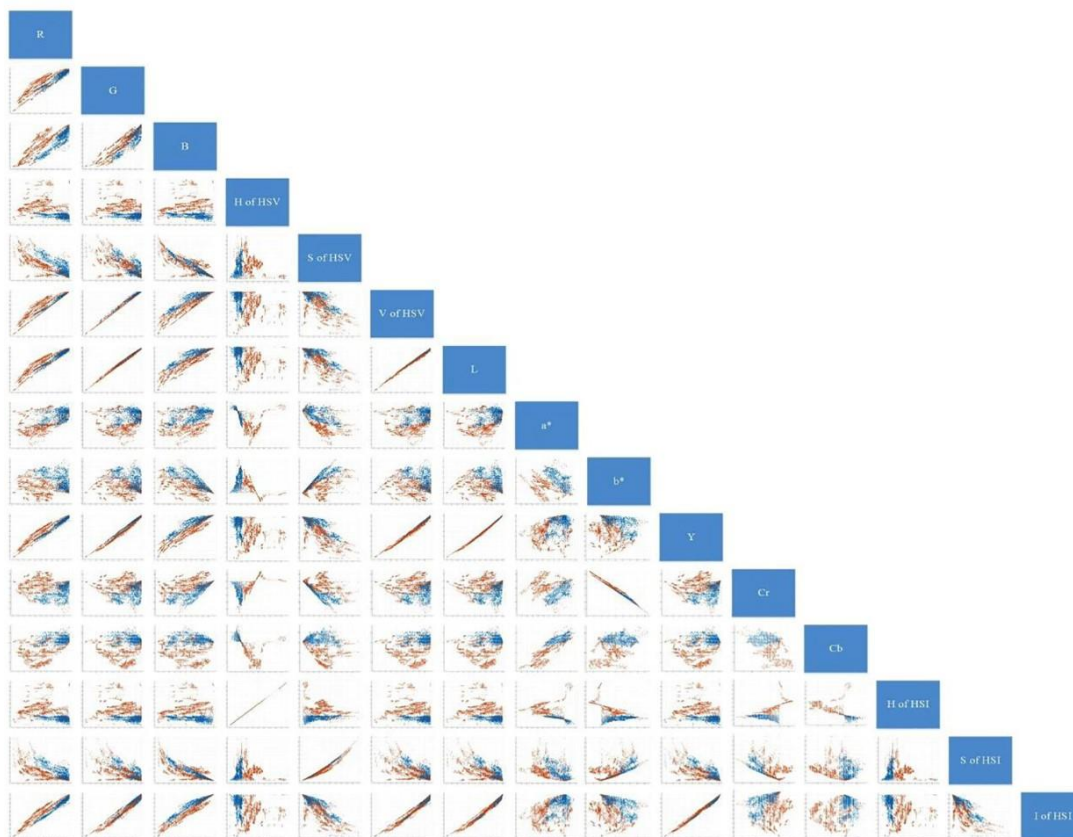


(MODIS) และภาพ Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) จากชุดข้อมูลดาวเทียม โดยการคำนวณหาค่าสัญญาณที่สูงและสัญญาณที่ต่ำของการบีบอัดในแต่ละพิกเซลของภาพถ่าย NDVI ซึ่งสัญญาณที่มีสัญญาณแฟลคตอลต่ำแสดงถึงพื้นที่ป่าในการวิเคราะห์

#### 2.4. วิธีการผสมรวม (Mixed Method)

วิธีการผสมรวมเป็นวิธีการที่ทำให้ลักษณะเด่นเชิงพื้นที่มีความคงทนต่อภาพที่ได้จากสภาพแวดล้อมจริง ซึ่งอาจมีการวิเคราะห์จากภาพเจดสีเทา ภาพสี หรือภาพในสัญญาณแบบอื่น ๆ เฉพาะงาน โดยมีหลายหลายการผสมรวมดังนี้

นักวิจัย (Ma และคณะ, 2019) ได้พัฒนางานวิจัยเรื่อง วิธีการแบ่งส่วนสำหรับการประมวลผลภาพโรคทางของใบผักในโรงเรือนกระจก โดยการใช้คุณลักษณะเด่นของสีหลากหลาย โดยการใช้ขนาดของรูปที่ 5x5 พิกเซล และใช้ระนาบสีต่าง ๆ เช่น R, G, B จากภาพสี RGB, H, S, V จากภาพสี HSV เป็นต้น และเลือกคุณลักษณะที่สัมพันธ์กับผลลัพธ์โดยใช้เพียร์สันคอรเรชันดังภาพ 43



ภาพ 43 การกระจายตัวของข้อมูลระนาบแต่ละคู่ในการเลือกลักษณะเด่นของสี

จากภาพ 43 เมื่อนำมาเปรียบเทียบและหาค่าความสัมพันธ์กับผลลัพธ์ด้วยวิธีการหาค่าสหสัมพันธ์เพียร์สัน และเลือกค่าระนาบสีที่มีค่าสหสัมพันธ์มากกว่า 0.5 ขึ้นไป ในงานวิจัยนี้จึงได้คุณลักษณะเด่นจำนวน 10 คุณลักษณะสำหรับการจดจำลักษณะของโรคใบผักในโรงเรือนกระจก

## ข้อมูลทางอุตุนิยมวิทยา

กรมอุตุนิยมวิทยาเป็นหน่วยงานภาครัฐที่ทำหน้าที่พยากรณ์อากาศ เพื่อคาดการณ์สภาพลมฟ้าอากาศในอนาคต การพยากรณ์อากาศนั้นต้องมีองค์ประกอบ 3 ประการ ดังนี้

1. ความรู้ความเข้าใจในปรากฏการณ์และกระบวนการต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในบรรยากาศ
2. สภาพอากาศปัจจุบัน
3. ความสามารถที่จะผสมผสานองค์ความรู้ทั้งข้อ 1 และ 2 เข้าด้วยกันเพื่อคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงของบรรยากาศที่จะเกิดขึ้นในอนาคต

จากองค์ประกอบทั้งสามประการที่กรมอุตุนิยมวิทยาต้องเป็นผู้ให้ข้อมูลสารสนเทศแก่ผู้ขอรับบริการหรือแจ้งข้อมูลสภาพอากาศในปัจจุบันและอนาคตในแต่ละครั้ง กรมอุตุนิยมวิทยาได้มีการเก็บบันทึกข้อมูลอุตุนิยมวิทยา เช่น แรงแลม อุณหภูมิ ความชื้น เมฆ และปริมาณน้ำฝน เป็นต้น สำหรับในกรมอุตุนิยมวิทยา จังหวัดกำแพงเพชรได้มีการตรวจวัดครบทุกข้อมูล แต่สถานีย่อยในเขตอำเภอใกล้เคียงส่วนใหญ่วัดได้เพียงปริมาณน้ำฝน ดังนั้นในข้อมูลส่วนนี้จะกล่าวถึงข้อมูลปริมาณน้ำฝนและความสำคัญต่อการได้มาซึ่งผลผลิตของภาคการเกษตรที่ทำการเพาะปลูกอ้อยดังนี้

### 1. ปริมาณน้ำฝน

นักวิจัย (นุจรินทร์ พิงพา และอรรถสิทธิ์ บุญธรรม, 2555) ได้ศึกษาเรื่องของปริมาณน้ำฝนที่มีความเหมาะสมในแต่ละช่วงอายุของอ้อย ได้กล่าวถึงปริมาณน้ำว่า เป็นปัจจัยสำคัญหลักที่สำคัญในการเพิ่มผลผลิต โดยผลผลิตอ้อยรวมทั้งประเทศจะเพิ่มขึ้นหรือลดลงขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำฝน หากมีฝนดีมีการกระจายสม่ำเสมอ ในปีนั้นผลผลิตอ้อยจะสูงมากกว่าปีที่ฝนแล้งทั้งช่วง โดยทั่วไปการปลูกอ้อยส่วนใหญ่อาศัยน้ำฝนเป็นหลัก การให้น้ำที่เพียงพอจะช่วยเสริมให้สามารถปลูกอ้อยในช่วงที่ไม่มีฝน (ปลูกอ้อยข้ามแล้ง) ซึ่งน้ำจะทำให้ความชื้นในดินเพียงพอต่อความต้องการของพืช ซึ่งอยู่ระหว่าง 50 ถึง 100 เปอร์เซ็นต์ เพราะหากความชื้นต่ำกว่า 50 เปอร์เซ็นต์อ้อยจะขาดน้ำ ทำให้อ้อยเจริญเติบโตไม่ดีผลผลิตลดลง และผลจากงานวิจัยแสดงให้เห็นถึงผลกระทบจากปริมาณน้ำฝน สภาพพื้นที่ที่มีแหล่งน้ำใกล้เคียง และการให้น้ำเสริมอ้อยเพื่อคงความชื้นในดินส่งผลให้อ้อยเจริญเติบโตในทางที่ดีทำให้อ้อยมีน้ำหนักลำและน้ำตาลสูงสุด

## 2. อุณหภูมิ

อุณหภูมิมีผลต่อการเจริญเติบโตของอ้อยในแต่ละระยะแบ่งออกเป็น 4 ระยะ ในแต่ละระยะมีความแตกต่างกันค่อนข้างชัดเจน ซึ่งเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่สถานีอุตุนิยมหาวิทยาลัยเก็บข้อมูลไว้ อุณหภูมิในแต่ละระยะของการปลูกอ้อยมีรายละเอียดดังนี้

2.1 ระยะเริ่มงอก (Germination Phase) เป็นระยะเริ่มปลูกด้วยท่อนพันธุ์จนกระทั่งหน่อโผล่พ้นพื้นดิน จะใช้เวลาประมาณ 2 ถึง 3 สัปดาห์ อุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการงอกประมาณ 28 ถึง 30 องศาเซลเซียส แสดงดังภาพ 44



ภาพ 44 ระยะที่ 1 : การงอกของตาอ้อย

ที่มา : [www.sugarcane crops.com](http://www.sugarcane crops.com), สืบค้น 17 กรกฎาคม 2562

2.2 ระยะแตกกอ (Tillering Phase) การแตกกออ้อย เริ่มตั้งแต่อายุประมาณ 2 ถึง 4 เดือน ซึ่งการแตกตัวมาหรือน้อยขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ ในระยะนี้ต้องการแสงแดดจัด และอุณหภูมิสูง โดยเฉพาะบริเวณโคนต้น อุณหภูมิอยู่ในช่วง 30 องศาเซลเซียส แสดงดังภาพ 45



ภาพ 45 ระยะที่ 2 : การแตกกอ

ที่มา : [www.sugarcane crops.com](http://www.sugarcane crops.com), สืบค้น 17 กรกฎาคม 2562

2.3 ระยะย่างปล้อง (Elongation Phase) เป็นระยะที่ต่อเนื่องจากระยะแตกกอ เมื่ออ้อยมีอายุประมาณ 3 ถึง 4 เดือน อ้อยจะมีการเพิ่มขนาดและความยาวของลำต้นอย่างรวดเร็ว โดยเฉพาะในเดือนที่ 6 ถึง 8 อ้อยจะมีการเจริญเติบโตเร็วที่สุด อุณหภูมิในระยะนี้อยู่ในช่วงประมาณ 30 องศาเซลเซียส แสดงดังภาพ 46



ภาพ 46 ระยะที่ 3 : ระยะการเจริญเติบโตของลำต้นอ้อย

ที่มา : [www.sugarcane crops.com](http://www.sugarcane crops.com), สืบค้น 17 กรกฎาคม 2562

2.4 ระยะสุกแก่ (Maturity and Ripening phase) ในสามระยะที่ผ่านมาน้ำตาลที่อ้อยสร้างขึ้นจากกระบวนการสังเคราะห์แสง โดยจะเจริญเติบโตจากอ้อยตอนอายุประมาณ 8 เดือนจนถึงเก็บเกี่ยว ต้องการแสงแดดที่เพียงพอ อุณหภูมิในแต่ละวันที่เหมาะสม และสภาพอากาศที่แห้ง จะทำให้อ้อยโตเต็มที่ได้อย่างสมบูรณ์ แสดงดังภาพ 47



ภาพ 47 ระยะที่ 4 : ระยะการเติบโตเต็มที่ (อ้อยสุก)

ที่มา : [www.sugarcane crops.com](http://www.sugarcane crops.com), สืบค้น 17 กรกฎาคม 2562

### 3. ความเร็วลม

ข้อมูลที่กรมอุตุนิยมวิทยาเก็บบันทึกจะรายงานถึงความเร็วและทิศทางของลมที่พัดที่ตรวจจับได้ที่สถานีตรวจวัด ซึ่งลมพายุเป็นปัจจัยหนึ่งของการล้มของต้นอ้อย ซึ่งมีอยู่ 3 ประเภท ดังนี้

1. พายุฝนฟ้าคะนอง มีลักษณะเป็นลมพัดย้อนไปมา หรือพัดเคลื่อนตัวไปในทิศทางเดียวกัน ซึ่งอาจเกิดจากพายุที่อ่อนตัวและพายุที่ลดระดับความรุนแรงของลมลง หรือเกิดจากหย่อมความกดอากาศต่ำ อาจมีทิศทางไม่แน่นอนหากสภาพแวดล้อมต่าง ๆ ของการเกิดฝนเหมาะสมจะเกิดฝนตกและมีลมพัด

2. พายุหมุนเขตร้อน ได้แก่ พายุเฮอริเคน พายุไต้ฝุ่น และพายุไซโคลน ซึ่งล้วนแต่เป็นพายุขนาดใหญ่ ซึ่งจะเริ่มก่อตัวในทะเล หากเกิดเหนือเส้นศูนย์สูตรจะมีทิศทางการหมุนทวนเข็มนาฬิกา หากเกิดใต้เส้นศูนย์สูตรจะหมุนตามเข็มนาฬิกา

3. พายุทอร์นาโด (Tornadoes) เป็นพายุหมุนที่เกิดในทวีปอเมริกา มีขนาดเนื้อที่เล็กหรือขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางน้อย แต่หมุนด้วยความเร็วสูงหรือความเร็วที่จุดศูนย์กลางสูงกว่าพายุชนิดอื่น ๆ สามารถเกิดได้ทั้งบนบกและในทะเล

### ทฤษฎีการทำเหมืองข้อมูล

การทำเหมืองข้อมูล (เอกสิทธิ์ พัชรวงศ์ศักดิ์, 2557) หมายถึง การค้นหาสิ่งที่มีประโยชน์จากฐานข้อมูลที่มีขนาดใหญ่ เพื่อให้ได้มาซึ่งข้อมูลสารสนเทศที่เป็นประโยชน์ โดยข้อมูลที่สามารถนำมาวิเคราะห์ได้จะต้องอยู่ในรูปแบบมีโครงสร้าง (Structure Data) และไม่มีโครงสร้าง (Unstructured Data) เทคนิคในการวิเคราะห์ข้อมูล (Data Mining) มีเทคนิค 2 ประเภทหลักๆ คือ เทคนิคการเรียนรู้แบบไม่มีผู้สอน (Unsupervised learning) และเทคนิคการเรียนรู้แบบมีผู้สอน (Supervised Learning) โดยมีเทคนิคเช่น การเตรียมข้อมูล การแบ่งกลุ่มข้อมูล การจำแนกข้อมูล เป็นต้น โดยรายละเอียดมีดังนี้

#### 1. การเตรียมข้อมูล (Data Preprocessing)

ข้อมูลเป็นสิ่งสำคัญในการวิเคราะห์หรือต้องการสังเคราะห์สารสนเทศบางอย่าง ข้อมูลในโลกความจริงนั้นไม่ได้มีเพียงข้อมูลเท่านั้นแต่อาจจะมีข้อมูลที่ไม่ต้องการปะปนอยู่หลายรูปแบบ (Han, 2006) ทำให้ข้อมูลที่จะนำมาวิเคราะห์ไม่มีคุณภาพ และทำให้คุณภาพของผลลัพธ์ในการทำเหมืองข้อมูลได้ไม่ดี ถ้าหากข้อมูลนั้นมีสิ่งที่ไม่พึงประสงค์ดังนี้

1) ข้อมูลที่ไม่สมบูรณ์แบบ (Incomplete Data) เช่น ไม่มีค่าในแอตทริบิวต์หรือเป็นค่าว่าง ไม่มีสิ่งที่น่าสนใจในแอตทริบิวต์ หรือมีข้อมูลรวมกัน เป็นต้น

2) ข้อมูลที่มีข้อผิดพลาดหรือค่าผิดปกติ (Noisy Data) เช่น ข้อมูลในแอตทริบิวต์ควรอยู่ในช่วง 1 ถึง 10 แต่ข้อมูลมี -10 อยู่ในแอตทริบิวต์นั้น เป็นต้น

3) ข้อมูลมีความไม่สอดคล้องกัน (Inconsistent Data) มีความแตกต่างที่รหัสหรือชื่อ เช่น การเก็บวันเดือนปีเกิดรูปแบบไม่เหมือนกัน การเก็บกรุ๊ปเลือดเป็นภาษาอังกฤษหรือภาษาไทย เป็นต้น

หน้าที่หลักของการเตรียมข้อมูลสามารถแบ่งออก ตามสิ่งที่จำเป็นต้องทำจากข้อมูลที่มีลักษณะที่พบแตกต่างกันดังนี้

1) การทำความสะอาดข้อมูล (Data Cleaning) จะดำเนินการโดยวิธีการเติมเต็มข้อมูล ทำให้ข้อมูลที่เป็นสัญญาณรบกวนลดลง วิธีการระบุหรือลบข้อมูล และวิธีการปรับข้อมูล และเทคนิคที่ใช้ในการจัดการข้อมูลที่ไม่ต้องการหรือไม่เข้าพวกมีหลายวิธีการ ดังนี้

1.1 วิธีการแบ่งข้อมูล (Binning) จะมีวิธีการเรียงข้อมูลและแบ่งออกเป็นส่วนๆ ซึ่งจะทำให้สามารถจัดข้อมูลให้มีความเรียบร้อย (Smooth) เช่น การใช้ค่าเฉลี่ย (Mean) การใช้ค่ามัธยฐาน (Median) และการใช้ขอบเขตข้อมูล (Boundaries) เป็นต้น

1.2 วิธีการถดถอยเชิงเส้น (Regression) การลดสัญญาณรบกวนด้วยการปรับข้อมูลด้วยฟังก์ชันถดถอยเชิงเส้น

1.3 วิธีการแบ่งกลุ่ม (Clustering) ตรวจสอบและลบข้อมูลที่อยู่นอกเหนือจากข้อมูลส่วนใหญ่

1.4 วิธีการทำงานร่วมกันระหว่างคอมพิวเตอร์กับมนุษย์ (Combined Computer and Human Inspection) ตรวจสอบค่าที่น่าสงสัยร่วมกัน เช่น การจัดการค่าผิดปกติจากการป้อนข้อมูลจากมนุษย์ เป็นต้น

2) การรวมข้อมูล (Data Integration) การรวมกันจากฐานข้อมูลหลายแหล่งหรือจากไฟล์วิธีการที่ใช้เช่น การรวมโครงสร้างในฐานข้อมูล (Schema Integration) เป็นต้น

3) การดัดแปลงข้อมูล (Data Transformation) เป็นวิธีที่ทำให้เป็นมาตรฐานเดียวกัน (Normalization) และการรวมข้อมูลที่มีความต่างเข้าด้วยกันให้มีลักษณะเป็นแบบเดียวกัน (Aggregation) มีหลากหลายวิธีในการทำให้ข้อมูลเป็นมาตรฐานดังนี้

3.1 วิธีการปรับมาตรฐานให้อยู่ในช่วงต่ำสุดและสูงสุด (Min-Max Normalization) โดยสามารถดำเนินการตามสมการ 8

$$\acute{v} = \frac{v - \min_{\max_A}}{\max_A} (\text{new}_{\max_A} - \text{new}_{\min_A}) + \text{new}_{\min_A} \quad (8)$$

โดยที่	$\acute{v}$	คือ ค่าที่ปรับมาตรฐาน
	$v$	คือ ค่าที่ต้องการปรับมาตรฐาน
	$\text{Min}_A$	คือ ค่าที่ต่ำที่สุดในชุดข้อมูล
	$\text{Max}_A$	คือ ค่าที่สูงที่สุดในชุดข้อมูล
	$\text{New}_{\max_A}$	คือ ค่าที่สูงที่สุดของช่วงข้อมูลที่ต้องการ
	$\text{New}_{\min_A}$	คือ ค่าที่ต่ำที่สุดของช่วงข้อมูลที่ต้องการ

3.2 วิธีการปรับมาตรฐานแบบ Z-score (Z-Score Normalization) โดยสามารถดำเนินการได้ดังสมการ 9

$$\acute{v} = \frac{v - \mu_A}{\sigma_A} \quad (9)$$

โดยที่	$\acute{v}$	คือ ค่าที่ปรับมาตรฐาน
	$v$	คือ ค่าที่ต้องการปรับมาตรฐาน
	$\mu$	คือ ค่าเฉลี่ย
	$\sigma$	คือ ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

3.3 วิธีการปรับมาตรฐานด้วยระดับจำนวนเต็ม (Normalization by Decimal Scaling) โดยสามารถดำเนินการได้ดังสมการ 10

$$\acute{v} = \frac{v}{10^j} \quad (10)$$

โดยที่	$\acute{v}$	คือ ค่าที่ปรับมาตรฐาน
	$v$	คือ ค่าที่ต้องการปรับมาตรฐาน
	$j$	คือ เลขจำนวนเต็มซึ่งค่าจะมีค่าน้อยกว่า 1

4) การลดทอนข้อมูล (Data Reduction) ข้อมูลจะได้รับการลดทอนข้อมูลให้แสดงผลลดลง แต่ข้อมูลนำไปสร้างผลลัพธ์ในการวิเคราะห์ยังคงเหมือนเดิม เช่น การเลือกแอตทริบิวต์ที่สำคัญ (Feature Selection) และวิธีการฮิวริสติก (Heuristic Methods) เป็นต้น

5) การแยกข้อมูล (Data Discretization) เป็นส่วนหนึ่งของการลดทอนข้อมูล แต่มีความสำคัญเป็นพิเศษ โดยเฉพาะข้อมูลที่เป็นตัวเลข เช่น การแปลงเวฟเลตแบบไม่ต่อเนื่อง (Discrete Wavelet Transform) และการแปลงฟูรีเยร์แบบไม่ต่อเนื่อง (Discrete Fourier Transform) เป็นต้น

## 2. การแบ่งกลุ่มข้อมูล (Clustering)

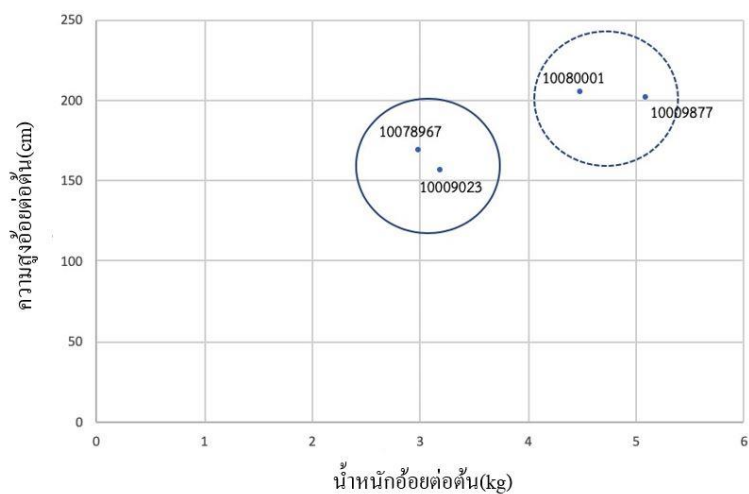
เอกสิทธิ์ พชรวงศ์ศักดิ์ (เอกสิทธิ์ พชรวงศ์ศักดิ์, 2557) กล่าวถึงการแบ่งกลุ่มข้อมูลว่าเป็นเทคนิคหนึ่งในการทำเหมืองข้อมูล (Data Mining) ซึ่งเป็นการเรียนรู้แบบไม่มีผู้สอนในการแบ่งกลุ่มข้อมูลนั้น ดำเนินการโดยการจัดข้อมูลออกเป็นกลุ่มย่อยตามลักษณะความคล้ายคลึงของข้อมูล โดยข้อมูลที่จะอยู่ในกลุ่มเดียวกัน ได้ต้องมีความคล้ายคลึงมากที่สุด หรือข้อมูลที่มีความแตกต่างจากกลุ่มมากที่สุด ยกตัวอย่างเช่น ข้อมูลความสูงอ้อยและน้ำหนักอ้อยจำนวน 4 แปลง แสดงดังตาราง 20

ตาราง 20 ข้อมูลพันธุ์อ้อยและชุดคินของแปลงอ้อย

รหัสแปลง	ชื่อ เจ้าของแปลง (สมมติ)	ความสูงอ้อยต่อต้น (cm)	น้ำหนักอ้อยต่อต้น (cm)	พันธุ์อ้อย
10080001	สมชาย	205	4.5	ขอนแก่น 3
10078967	สมหญิง	168	3	LK-92-11
10009023	สมใจ	156	3.2	LK-92-11
10009877	สมคิด	201	5.1	ขอนแก่น 3

จากตาราง 20 สามารถแบ่งอ้อยออกเป็นกลุ่มที่มีน้ำหนักและส่วนสูงโดยส่วนใหญ่พันธุ์อ้อย ขอนแก่น 3 เป็นพันธุ์อ้อยที่มีความสูงและน้ำหนักอยู่ในระดับสูง และพันธุ์อ้อย LK-92-11 เป็นพันธุ์อ้อยที่มีความสูงและน้ำหนักอยู่ในระดับน้อย โดยสามารถแบ่งกลุ่มได้ดังภาพ 48





ภาพ 48 แสดงส่วนสูงและน้ำหนักของอ้อยจำนวน 4 แปลง

จากภาพ 48 ข้อมูลแปลงอ้อยจะแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม จากความคล้ายคลึงกันภายในกลุ่ม แต่ข้อมูลแปลงอ้อยมีคุณลักษณะมากกว่าความสูงและน้ำหนักหลายคุณลักษณะ เมื่อแบ่งเป็นกลุ่มย่อย อาจมีหลายกลุ่มย่อย ดังนั้นจึงมีการพัฒนาวิธีการแบ่งกลุ่มหลายวิธี และในงานวิจัยนี้มีการประยุกต์ใช้การแบ่งข้อมูลด้วยระเบียบวิธี K-means โดยมีรายละเอียดดังนี้

#### 2.1 ระเบียบวิธีการแบ่งกลุ่มแบบ K-means (K-Means Clustering Algorithm)

เอกสิทธิ์ พัทธวงษ์ศักดิ์ (เอกสิทธิ์ พัทธวงษ์ศักดิ์, 2557) ได้กล่าวถึง ระเบียบวิธีการแบ่งกลุ่มแบบ K-means (K-Means Clustering Algorithm) เป็นวิธีการที่นิยมใช้ในการแบ่งกลุ่มข้อมูล ซึ่งใช้หลักการเปรียบเทียบความคล้ายคลึงของข้อมูลต่าง ๆ กับจุดศูนย์กลางของแต่ละกลุ่มย่อย (Centroid) หรือค่าเฉลี่ยของกลุ่มข้อมูล (Mean) ภายในกลุ่มข้อมูลนั้นและเป็นวิธีการแบ่งข้อมูลแบบพาดิชันแนล (Partitional Clustering) คือ การแบ่งกลุ่มที่ออกเป็น ส่วน ๆ ตามจำนวนกลุ่มที่ระบุ โดยการวัดความคล้ายคลึงหรือความแตกต่างของกลุ่มด้วยการใช้ฟังก์ชันการหาระยะของข้อมูลที่นิยม 3 วิธีดังนี้

1) การหาระยะห่างด้วยวิธี City Block หรือ Manhattan เป็นวิธีการหาระยะห่างแบบพื้นฐาน โดยระยะห่างหาจากผลต่างระหว่างแอดทริบิวต์ต่าง ๆ ดังสมการ 11

$$D_{\text{City-block}} = |x_1 - y_1| + |x_2 - y_2| + \dots + |x_L - y_L| \quad (11)$$

โดยที่  $x_1$  คือ แอดทริบิวต์ที่ 1 ของข้อมูลจุดที่ 1  
 $y_1$  คือ แอดทริบิวต์ที่ 1 ของข้อมูลจุดที่ 2

หมายเหตุ ข้อมูลทั้งสองตัว  $x$  และ  $y$  มีจำนวนแอดทริบิวต์เท่ากับ  $L$

2) การหาระยะห่างด้วยวิธี Euclidean เป็นวิธีการหาระยะห่างที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย โดยการหาระยะห่าง Euclidean เกิดจากรากที่สองของผลต่างระหว่างแอดทริบิวต์ต่างๆ ยกกำลังสอง ดังสมการ 12

$$D_{\text{Euclidean}} = \sqrt{(x_1 - y_1)^2 + (x_2 - y_2)^2 + \dots + (x_L - y_L)^2} \quad (12)$$

โดยที่  $x_1$  คือ แอดทริบิวต์ที่ 1 ของข้อมูลจุดที่ 1

$y_1$  คือ แอดทริบิวต์ที่ 1 ของข้อมูลจุดที่ 2

หมายเหตุ ข้อมูลทั้งสองตัว  $x$  และ  $y$  มีจำนวนแอดทริบิวต์เท่ากับ  $L$

3) การหาระยะห่างด้วยวิธี Jaccard เป็นการหาระยะห่างเช่นเดียวกับสองวิธีการที่กล่าวมา และนำไปใช้กับแอดทริบิวต์ที่มีข้อมูลที่เป็นตัวเลข ถ้าแอดทริบิวต์ที่เป็นค่าแบบนามบัญญัติ (nominal scale) หรือ ไบนารี (Binary) จะใช้วิธีการ jaccard โดยใช้หลักการนับจำนวนค่าที่เหมือนกันในแต่ละแอดทริบิวต์และหารด้วยจำนวนค่าของแอดทริบิวต์ทั้งหมด ดังสมการ 13

$$D_{\text{Jaccard}} = 1 - \frac{X \cap Y}{X \cup Y} \quad (13)$$

โดยที่  $X$  คือ ข้อมูลจุดที่ 1 ซึ่งประกอบด้วยแอดทริบิวต์  $x_1, x_2, \dots, x_L$

$Y$  คือ ข้อมูลจุดที่ 2 ซึ่งประกอบด้วยแอดทริบิวต์  $y_1, y_2, \dots, y_L$

หมายเหตุ ข้อมูลทั้งสองตัว  $X$  และ  $Y$  มีจำนวนแอดทริบิวต์เท่ากับ  $L$

## 2.2 ขั้นตอนวิธีของเทคนิคการแบ่งกลุ่มข้อมูลด้วยวิธี K-Means

ขั้นตอนที่ 1 กำหนดจุดศูนย์กลางของแต่ละกลุ่มย่อยโดยการสุ่มให้มีตามจำนวนที่กำหนด

ขั้นตอนที่ 2 คำนวณระยะห่างระหว่างข้อมูลแต่ละตัวกับจุดศูนย์กลางของแต่ละกลุ่มย่อยที่ได้จากขั้นตอนแรก

ขั้นตอนที่ 3 คำนวณหาจุดศูนย์กลางของแต่ละกลุ่มย่อยใหม่อีกครั้ง

ขั้นตอนที่ 4 ทำขั้นตอนที่ 2 และ 3 จนกว่าข้อมูลทุกตัวอยู่ในกลุ่มย่อยเดิมหรือทำงานจนถึงจำนวนรอบที่กำหนดไว้

เทคนิคการแบ่งกลุ่มข้อมูลด้วยวิธี K-Means ถูกใช้กันอย่างแพร่หลายในงานวิจัยในหลากหลายได้ ยกตัวอย่างงานวิจัยทางด้วยการวิเคราะห์ภาพข้อมูลทางการเกษตรและด้านการศึกษา ดังนี้

นักวิจัย (Natarajan และคณะ, 2016) ได้ศึกษาและประยุกต์ใช้เทคนิคการทำเหมืองข้อมูลในการตรวจสอบโรคใบพืชของต้นอ้อย ซึ่งเป็นผลที่ทำให้ผลผลิตของอ้อยเสียหาย ในการพัฒนาใช้เพียงแต่ข้อมูลโดยมีพื้นฐานจากประสบการณ์ 6 ตัวแปรได้แก่ จำนวนหน่อในแต่ละแปลง จำนวนหน่อที่เป็นโรค จำนวนขึ้นของลำต้น ประเภทของต้นอ้อยในแต่ละแปลง และปัจจัยในแต่ละแปลง ได้มีการใช้เทคนิคคาค่าไมน์นิ่ง 3 วิธีการ ในการทดลอง คือ โครงข่ายประสาทเทียมแบบหลายชั้น (Multilayer Perceptron : MLP) การแบ่งกลุ่มข้อมูลแบบเคมีน (K-means) และวิธีการ J48 Pruned Tree โดยประยุกต์ใช้โปรแกรม WEKA ในการทดลอง ซึ่งในการทดลองอัลกอริทึม K-means ใช้เวลาในการวิเคราะห์น้อยกว่าวิธีอื่น

นักวิจัย (ภูมินทร์ ต้นอุตม์, 2560) ได้ศึกษาและพัฒนาโปรแกรมตรวจกระดาษคำตอบปรนัยแบบเลือกตอบด้วยวิธีการประมวลผลภาพ โดยประยุกต์ใช้ในส่วนของการวิเคราะห์พื้นที่กากบาทที่ต้องแยกให้ได้ระหว่างกากบาทหรือเป็นส่วนการกากบาทที่เลยจากช่องอื่น โดยนำการจัดกลุ่มข้อมูลด้วยวิธีการเคมีน (K-means) ผลจากวิธีการดังกล่าว สามารถตรวจกระดาษคำตอบที่มีลักษณะของการกากบาทได้ เช่น การกากบาทเพียง 1 คำตอบ 2) การกากบาทมากกว่า 1 คำตอบ 3) ไม่มีการกากบาท 4) การกากบาทเพียง 1 คำตอบมีรอยลบลิควิดคำตอบที่กากบาทผิด และ 5) การกากบาทเพียง 1 คำตอบมีการขีดทับคำตอบที่กากบาทผิด

### 3. การจำแนกข้อมูล (Classification)

เทคนิคการจำแนกประเภทข้อมูลเป็นกระบวนการนำข้อมูลที่ต้องการจดจำมาใช้ในการเรียนรู้รูปแบบที่เกิดขึ้นในข้อมูลแล้วจึงประยุกต์สร้างเป็นสมการหรือแบบจำลอง (Model) ขึ้น เพื่อหาคำตอบให้กับข้อมูลใหม่ที่ไม่ได้ถูกเรียนรู้หรือฝึกฝนมาก่อน ยกตัวอย่างเช่น นักวิจัย (ภูมินทร์ ต้นอุตม์, 2557) ได้ศึกษา การจำแนกเสียงคำสั่งของมนุษย์ในการสั่งงานอุปกรณ์แป้นฝึกอักษรเบลล์ด้วยเสียง ซึ่งมีการนำข้อมูลเสียงคำสั่งที่พูดว่า ถัดไป และเสียงคำสั่งที่พูดว่า ก่อนหน้า มาให้คอมพิวเตอร์ทำการเรียนรู้ก่อนให้สามารถจดจำได้ จากนั้นจึงสร้างแบบจำลองการจำแนกคำสั่งเสียงและใช้เสียงใหม่ที่ไม่เคยได้รับการฝึกฝนมาก่อนที่เป็นคำสั่งเสียงทั้งก่อนหน้าและถัดไป ซึ่งผลที่เป็นไปได้เมื่อทำการวิเคราะห์เสียงจะเป็นไปได้ 2 แบบ คือ ก่อนหน้า และ ถัดไป ซึ่งคำตอบที่เป็นเสียงใดนั้นในการวิเคราะห์ข้อมูลจะเรียกว่า คลาส (Class) หรือ ลาเบล (Label) และเทคนิคหาคำตอบเหล่านี้เรียกว่า เทคนิคการจำแนกประเภทข้อมูล (Classification) โดยขั้นตอนในการจำแนกประเภทข้อมูลซึ่งโดยปกติจะแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอนหลักการดังนี้

### 3.1 ขั้นตอนการสร้างแบบจำลอง

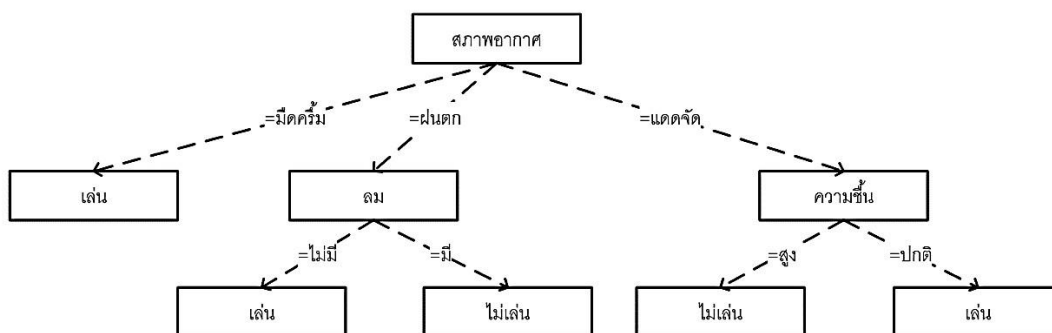
ขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนแรกในการจำแนกประเภทข้อมูล โดยการนำข้อมูลมาฝึกฝน (Training Data) หรือข้อมูลที่ใช้ในการเรียนรู้ สร้างเป็นแบบจำลองด้วยเทคนิคการจำแนกประเภทข้อมูล เช่น วิธีต้นไม้ตัดสินใจ (Decision Tree) วิธีแบบเบย์ (Naïve Bayes) วิธีเคเนียร์เรสเนเบอร์ (K-nearest Neighbors) และวิธีโครงข่ายประสาทเทียม (Neural Network) เป็นต้น ในแต่ละวิธีจะต้องมีข้อมูลฝึกฝน เพื่อให้คอมพิวเตอร์เรียนรู้จากข้อมูลตัวอย่างของข้อมูลที่ต้องการที่ต้องการ จำแนกประเภทข้อมูล โดยข้อมูลที่ใช้ในการฝึกฝนที่เป็นข้อมูลในอดีตหรือเป็นข้อมูลที่มีคำตอบสำหรับการเรียนรู้ซึ่งประกอบด้วย 2 ส่วน คือ แอตทริบิวต์ทั่วไปและแอตทริบิวต์ที่เป็นคลาสคำตอบของข้อมูล ตัวอย่างเช่น การคาดการณ์ว่าจะออกไปเล่นบาสเกตบอลได้หรือไม่จากข้อมูลสภาพอากาศย้อนหลัง 14 วัน แสดงข้อมูลดังตาราง 21

ตาราง 21 ข้อมูลสำหรับการพยากรณ์การออกเล่นบาส

ลำดับ	สภาพ อากาศ	สภาพ อุณหภูมิ	สภาพ ความชื้น	สภาพ ลม	ผลการออก เล่นบาส
1	แดดจัด	ร้อน	สูง	ไม่มี	ไม่เล่น
2	แดดจัด	ร้อน	สูง	มี	ไม่เล่น
3	มีดครึ้ม	ร้อน	สูง	ไม่มี	เล่น
4	ฝนตก	อุ่น	สูง	ไม่มี	เล่น
5	ฝนตก	เย็น	ปกติ	ไม่มี	เล่น
6	ฝนตก	เย็น	ปกติ	มี	ไม่เล่น
7	มีดครึ้ม	เย็น	ปกติ	มี	เล่น
8	แดดจัด	อุ่น	สูง	ไม่มี	ไม่เล่น
9	แดดจัด	อุ่น	ปกติ	ไม่มี	เล่น
10	ฝนตก	อุ่น	ปกติ	ไม่มี	เล่น
11	แดดจัด	อุ่น	ปกติ	มี	เล่น
12	มีดครึ้ม	อุ่น	สูง	มี	เล่น
13	มีดครึ้ม	ร้อน	ปกติ	ไม่มี	เล่น
14	ฝนตก	อุ่น	สูง	มี	ไม่เล่น

ที่มา: เอกสิทธิ์ พัชรวงศ์ศักดิ์, 2559

จากตาราง 21 แอตทริบิวต์ สภาพอากาศ อุณหภูมิ ความชื้น และลม เป็นแอตทริบิวต์ประเภททั่วไป ส่วนแอตทริบิวต์ที่เป็นคลาสหรือลาเบล คือ แอตทริบิวต์ผลการออกเล่นบาสเกตบอล หลังจากนั้นใช้เทคนิคในการจำแนกประเภทข้อมูลซึ่งจะเรียนรู้ข้อมูลฝึกฝนและสร้างเป็นแบบจำลองในรูปแบบต่าง ๆ เช่น แบบจำลองต้นไม้ตัดสินใจดังภาพ 49



ภาพ 49 แบบจำลองต้นไม้ตัดสินใจที่สร้างจากตาราง 21

ที่มา: เอกสิทธิ์ พัทธวงศ์ศักดิ์, 2559

จากแบบจำลองต้นไม้ตัดสินใจที่ได้สร้างขึ้น สามารถสรุปเป็นกฎที่ใช้ในการเขียนโปรแกรม คือ 1) ถ้า สภาพอากาศมีความมีดคริม แล้ว จะออกไปเล่นบาส 2) ถ้า สภาพอากาศมีแดดจัดและความชื้นสูง แล้ว จะไม่ออกไปเล่น

### 3.2. ขั้นตอนการทดสอบประสิทธิภาพของแบบจำลอง

ขั้นตอนการวัดประสิทธิภาพของแบบจำลองจะดำเนินการหลังจากการพัฒนาแบบจำลอง ซึ่งเป็นวิธีการที่บอกถึงความถูกต้องและประสิทธิภาพของแบบจำลอง โดยทั่วไปมีค่าของตัววัดประสิทธิภาพที่นิยมใช้กันในงานวิจัยและการทำงานต่าง ๆ อยู่ 4 ค่า คือ ค่าความแม่นยำแบบจำลอง (Precision) ค่าความถูกต้องของแบบจำลอง (Recall) ค่าตัววัดเอฟของแบบจำลอง (F1-measure) และค่าความถูกต้องของแบบจำลอง (Accuracy) ซึ่งค่าตัววัดเหล่านี้จะคำนวณจากเมตริกสับสน (Confusion Matrix) โดยลักษณะเป็นตารางแบบจัตุรัสที่มีจำนวนแถวจำนวนหลักและจำนวนคลาสเท่ากัน เช่น เมื่อมีคลาส 2 คลาส คือ ใช่กับไม่ใช่ ทำให้ตารางของเมตริกมีขนาด 2x2 แสดงดังตาราง 22

ตาราง 22 แสดงตารางเมทริกซ์สับสนที่มี 2 คลาส

ผลพยากรณ์ (Predicted) / ผลจริง (Actual)	ใช่	ไม่ใช่
ใช่	TP	FP
ไม่ใช่	FN	TN

จากตาราง 22 ประกอบด้วยคลาสใช่และไม่ใช่ และมีผลพยากรณ์และผลจริงเพื่อใช้ในการเปรียบเทียบ ซึ่งค่าที่ใช้ในการคำนวณค่าตัววัดประสิทธิภาพในตารางมีรายละเอียดดังนี้

1. TP (True Positive) คือ จำนวนข้อมูลที่ทำนายถูกว่าเป็นคลาสกำลังสนใจอยู่
2. TN (True Negative) คือ จำนวนข้อมูลที่ทำนายถูกว่าเป็นคลาสซึ่งไม่ได้สนใจอยู่
3. FP (False Positive) คือ จำนวนข้อมูลที่ทำนายผิดมาเป็นคลาสซึ่งกำลังสนใจอยู่
4. FN (False Negative) คือ จำนวนข้อมูลที่ทำนายผิดมาเป็นคลาสซึ่งไม่ได้สนใจอยู่

โดยจะทำการนับสิ่งที่ทำนายถูกและทำนายผิด ทั้งในกรณีที่สนใจและไม่สนใจโดยมีตัวอย่าง เช่น สมมติว่าได้มีการพัฒนาแบบจำลองในการคำตอบของการออกไปเล่นบาสไว้ทั้งหมด 10 ครั้ง จากข้อมูลที่ไม่เคยเรียนรู้มาก่อนซึ่งผลการทำนายและค่าที่ได้จริงแสดงดังตาราง 23

ตาราง 23 แสดงข้อมูลผลการพยากรณ์และผลของค่าจริงในการออกเล่นบาส 10 ครั้ง

ลำดับ	ค่าจริง	ค่าพยากรณ์
1	ไม่เล่น	ไม่เล่น
2	ไม่เล่น	ไม่เล่น
3	เล่น	ไม่เล่น
4	เล่น	เล่น
5	เล่น	ไม่เล่น
6	ไม่เล่น	เล่น
7	เล่น	เล่น
8	ไม่เล่น	ไม่เล่น
9	เล่น	ไม่เล่น
10	เล่น	เล่น

จากตาราง 23 เมื่อพิจารณาจากข้อมูลที่ทำนายและข้อมูลจริงมาใช้ในการเปรียบเทียบจากคลาสของคำตอบดังนี้

True Positive คือ จำนวนของข้อมูลที่ทำนายถูกว่า เล่นแล้วได้ออกไปเล่นมีจำนวน 3แถว ประกอบด้วย แถวที่ 4, 7 และ 10

True Negative คือ จำนวนของข้อมูลที่ทำนายถูกว่า ไม่ออกเล่นแล้วไม่เล่น มีจำนวน 3แถว ประกอบด้วย แถวที่ 1,2 และ 8

False Positive คือ จำนวนข้อมูลที่ทำนายผิดว่า ไม่ออกเล่นแต่ออกไปเล่น มีจำนวน 3แถว ประกอบด้วย แถวที่ 6

False Negative คือ จำนวนข้อมูลที่ทำนายผิดว่า ออกไปเล่นแต่ไม่ออกไปเล่น มีจำนวน 3แถว ประกอบด้วย แถวที่ 3, 5 และ 9 ดังนั้นจึงสามารถสร้างตารางเมตริกสับสน (Confusion Matrix) ได้ดังตาราง 24

ตาราง 24 ตารางเมตริกสับสนของข้อมูลสภาพอากาศก่อนออกเล่นบาสซึ่งมี 2 คลาส

ผลพยากรณ์ (Predicted) / ผลจริง (Actual)	ใช่	ไม่ใช่
ใช่	3	1
ไม่ใช่	3	3

หลังจากได้ตารางเมตริกสับสนดังตาราง 24 แล้ว จึงสามารถดำเนินการคำนวณค่าความแม่นยำแบบจำลอง (Precision) ค่าความถูกต้องของแบบจำลอง (Recall) ค่าตัววัดเอฟของแบบจำลอง (F1-measure) และค่าความถูกต้องของแบบจำลอง (Accuracy) ดังนี้

- 1) ค่าความแม่นยำแบบจำลอง (Precision) โดยพิจารณาแบบแยกคลาสดังสมการ 14

$$\text{Precision} = \frac{\text{True Positive}}{\text{True Positive} + \text{False Positive}} \quad (14)$$

ดังนั้น ค่าความแม่นยำของคลาส เล่น คือ Precision (ผลพยากรณ์เป็นเล่น=ผลจริงเป็นเล่น)  $= \frac{3}{4} = 75$  เปอร์เซ็นต์

- 2) ค่าความถูกต้องของแบบจำลอง (Recall) โดยพิจารณาแบบแยกคลาสดังสมการ 15

$$\text{Recall} = \frac{\text{True Positive}}{\text{True Positive} + \text{False Positive}} \quad (15)$$

ดังนั้น ค่าความถูกต้องของคลาส เล่น คือ Recall(ผลพยากรณ์เป็นเล่น=ผลจริงเป็นเล่น)  
 $=3/6 = 50$  เปอร์เซ็นต์

3) ค่าตัววัดเอฟของแบบจำลอง (F1-measure) เป็นการวัดค่า Precision และ Recall พร้อมกันของแบบจำลอง โดยพิจารณาแบบแยกคลาสดังสมการ 16

$$F1\text{-measure} = 2 \times \text{Precision} \times \text{Recall} / (\text{Precision} + \text{Recall}) \quad (16)$$

ดังนั้น F1-measure (เล่น=เล่น)  $= 2 \times 75\% \times 50\% / (75\% + 50\%) = 60$  เปอร์เซ็นต์

4) ค่าความถูกต้องของแบบจำลอง (Accuracy) เป็นการวัดความถูกต้องของแบบจำลองโดยการพิจารณาทุกคลาส คือ จำนวน True Positive ของทุกคลาสรวมกันได้เท่ากับ  $6/10 = 60$  เปอร์เซ็นต์

การวัดประสิทธิภาพและการแบ่งข้อมูลสำหรับการจำแนกประเภทข้อมูล การวัดประสิทธิภาพจำเป็นต้องแบ่งข้อมูลออกเป็น 2 ส่วน โดยที่ส่วนที่ 1 ใช้สำหรับการสร้างแบบจำลองและส่วนที่ 2 ใช้สำหรับทำนายคลาสดำตอบ การแบ่งข้อมูลเพื่อทำการทดสอบมี 3 วิธีการใหญ่ ดังนี้

#### 1) วิธีทดสอบตนเอง (Self-Consistency Test)

วิธีการนี้จะใช้ข้อมูลที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองและใช้สำหรับการทดสอบแบบจำลองเป็นชุดเดียวกัน โดยกระบวนการเริ่มจากการสร้างแบบจำลองด้วยข้อมูลฝึกฝน หลังจากนั้นนำแบบจำลองที่ได้ทำนายข้อมูลฝึกฝนชุดเดิม ตัวอย่างเช่น การนำข้อมูลในตาราง 21 มาใช้ในการสร้างแบบจำลองและทำการวัดประสิทธิภาพด้วยข้อมูลทั้งหมดอีกครั้ง ซึ่งวิธีการวัดประสิทธิภาพที่มีค่าสูงมากอาจเข้าใกล้ 100 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากเป็นข้อมูลชุดเดิมที่เคยเรียนรู้มาแล้ว ผลจากการวัดประสิทธิภาพไม่เหมาะสมกับการนำมาวัดประสิทธิภาพของแบบจำลอง แต่สามารถนำมาใช้ในการดูแนวโน้มของแบบจำลองที่พัฒนาขึ้น ถ้าผลการวัดค่าความถูกต้องในวิธีนี้น้อยหมายถึงแบบจำลองไม่เหมาะสมกับข้อมูล ดังนั้นหากมีผลเป็นเช่นนี้จึงไม่จำเป็นต้องนำไปทดสอบด้วยวิธีการแบ่งข้อมูลแบบอื่น ๆ

#### 2) วิธีการแบ่งส่วนทดสอบ (Split Test)

วิธีการนี้จะแบ่งข้อมูลด้วยการสุ่มออกเป็น 2 ส่วน คือ ข้อมูลของการสร้างแบบจำลองและส่วนของการทดสอบแบบจำลอง เช่น 70% ต่อ 30% หรือ 80% ต่อ 20% ตามลำดับของแต่ละส่วน ซึ่ง 70% คือ ส่วนของข้อมูลที่ใช้สำหรับการสร้างแบบจำลอง และ 30% คือ ส่วนของข้อมูลในการทดสอบประสิทธิภาพของแบบจำลองที่สร้างขึ้น เป็นต้น ตัวอย่างเช่น การแบ่งข้อมูลในการสร้างแบบจำลองจากราย 23 ซึ่งมี 10 แถวและคิดเป็น 70% เท่ากับ  $10 \times 0.7 = 7$  แถว และการแบ่งข้อมูลในการทดสอบประสิทธิภาพของแบบจำลองจากราย 23 ซึ่งมี 10 แถวและคิดเป็น 30%



เท่ากับ  $10 \times 0.3 = 3$  แถว เป็นต้น การทดสอบด้วยวิธีการแบ่งส่วนทดสอบ (Split Test) จะทำการสุ่มข้อมูลเพียงครั้งเดียว ทำให้เกิดการสุ่มข้อมูลที่ส่งผลให้เกิดผลการทดลองเป็นได้ 2 กรณี คือ หากสุ่มข้อมูลทดสอบที่มีลักษณะคล้ายกันกับข้อมูลที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองจะทำให้ผลการวัดประสิทธิภาพมีความถูกต้องค่อนข้างดี แต่หากสุ่มได้ข้อมูลทดสอบที่มีลักษณะแตกต่างกันกับข้อมูลที่สร้างแบบจำลองการวัดประสิทธิภาพมีความถูกต้องแย่ ดังนั้นการใช้วิธีการแบ่งส่วนทดสอบให้มีประสิทธิภาพควรสุ่มหลายครั้ง และข้อดีของวิธีการนี้ คือ ใช้เวลาในการสร้างแบบจำลองน้อย เหมาะกับชุดข้อมูลที่มีขนาดใหญ่

### 3) วิธีการแบ่งไขว้ทดสอบ (Cross-validation Test)

วิธีการนี้เป็นวิธีการที่นิยมใช้ในการทดสอบประสิทธิภาพของแบบจำลองและเป็นวิธีการที่มีความน่าเชื่อถือ การวัดประสิทธิภาพด้วยวิธีการไขว้ทดสอบ (Cross-validation Test) โดยทำการแบ่งข้อมูลออกเป็นหลายส่วนหรือเป็น K ส่วน เช่น การทดสอบแบบไขว้ 5 ส่วน (5 fold cross validation) คือ การแบ่งข้อมูลออกเป็น 5 ส่วน โดยแต่ละส่วนมีจำนวนข้อมูลเท่ากัน หรือการทดสอบแบบไขว้ 10 ส่วน (10 fold cross validation) คือ การแบ่งข้อมูลออกเป็น 10 ส่วน โดยแต่ละส่วนมีจำนวนข้อมูลเท่ากัน เป็นต้น จากนั้นนำข้อมูลหนึ่งส่วนใช้เป็นชุดข้อมูลในการทดสอบประสิทธิภาพของแบบจำลอง ทำแบบนี้จนครบทุกส่วน แสดงตัวอย่าง การทดสอบแบบไขว้ 5 ส่วน (5 fold cross validation) ดังภาพ 50

2	1	1	1	1
3	3	2	2	2
4	4	4	3	3
5	5	5	5	4
แบบจำลอง	แบบจำลอง	แบบจำลอง	แบบจำลอง	แบบจำลอง
1	2	3	4	5
ทดสอบ รอบที่ 1	ทดสอบ รอบที่ 2	ทดสอบ รอบที่ 3	ทดสอบ รอบที่ 4	ทดสอบ รอบที่ 5

ภาพ 50 การแบ่งข้อมูลไขว้ทดสอบ 5 ส่วน

จากภาพ 50 เมื่อแบ่งข้อมูลออกเป็น 5 ส่วน โดยเท่ากันทุกส่วนแล้ว จากนั้นจะนำข้อมูล 4 ส่วนไปฝึกฝนให้กับแบบจำลองและอีกส่วนเป็นข้อมูลที่ใช้ในการทดสอบ ซึ่งในการทดสอบประสิทธิภาพของแบบจำลองจะทำ 5 ครั้ง ดังนี้

รอบที่ 1 ใช้ข้อมูลส่วนที่ 2,3,4 และ 5 ในการสร้างแบบจำลองและใช้ข้อมูลส่วนที่ 1 กับแบบจำลอง เพื่อใช้ในการทำนาย

รอบที่ 2 ใช้ข้อมูลส่วนที่ 1,3,4 และ 5 ในการสร้างแบบจำลองและใช้ข้อมูลส่วนที่ 2 กับแบบจำลอง เพื่อใช้ในการทำนาย

รอบที่ 3 ใช้ข้อมูลส่วนที่ 1,2,4 และ 5 ในการสร้างแบบจำลองและใช้ข้อมูลส่วนที่ 3 กับแบบจำลอง เพื่อใช้ในการทำนาย

รอบที่ 4 ใช้ข้อมูลส่วนที่ 1,2,3 และ 5 ในการสร้างแบบจำลองและใช้ข้อมูลส่วนที่ 4 กับแบบจำลอง เพื่อใช้ในการทำนาย

รอบที่ 5 ใช้ข้อมูลส่วนที่ 1,2,3 และ 4 ในการสร้างแบบจำลองและใช้ข้อมูลส่วนที่ 5 กับแบบจำลอง เพื่อใช้ในการทำนาย

แต่ละรอบของการนำข้อมูลเข้าไปทำนายกับแบบจำลอง จะเป็นการวัดประสิทธิภาพของแบบจำลอง โดยในการทดสอบประสิทธิภาพในแต่ละรอบจะได้จำนวนของ TP, TN, และ FN และใส่ลงในตารางเมตริกสับสน(Confusion Matrix) จากนั้นจึงทำการคำนวณค่า Precision, Recall, F1-measure และ Accuracy

### 3.3 ขั้นตอนการนำแบบจำลองไปใช้งานเพื่อทำนายข้อมูลใหม่

แบบจำลองที่ผ่านการฝึกฝนและวัดประสิทธิภาพอยู่ในความน่าเชื่อถือและพอใจในค่าประสิทธิภาพแบบต่าง ๆ ขั้นตอนต่อไปจะเป็นการนำชุดข้อมูลที่ไม่เคยนำไปฝึกฝนหรือทดสอบมาก่อน ข้อมูลทดสอบนั้นถือว่าเป็นข้อมูลใหม่ที่จะนำมาใช้ในการทำนาย เช่น การพยากรณ์สภาพอากาศในระหว่างวัน และทำนายในการตัดสินใจว่าจะเล่นบาสหรือไม่ ซึ่งข้อมูลชุดใหม่ที่จะนำเข้าไปทำนายจะไม่มีคลาสกำหนด เหมือนกับข้อมูลฝึกฝน ดังตาราง 25

ตาราง 25 ข้อมูลใหม่ที่ไม่ทราบคลาสผลการออกเล่นบาส

ลำดับ	สภาพอากาศ	อุณหภูมิ	ความชื้น	ลม	ผลการออกเล่นบาส
15	แดดจัด	ร้อน	สูง	ไม่มี	?

จากตาราง 25 เมื่อนำข้อมูลเข้ามาทดสอบในแบบจำลอง แบบจำลองนั้นจะมีโอกาสทำนายได้ 2 คลาส คือ เล่น หรือไม่เล่น จากข้อมูลที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองขึ้นมา ส่วนในการสร้างแบบจำลองนั้น มีระเบียบวิธีหลากหลายวิธีซึ่งจะกล่าวถึงโดยรวมในข้อที่ 3.4

### 3.4 ระเบียบวิธีในการจำแนกข้อมูล (Classification Method)

ขั้นตอนดังกล่าวทั้ง 3 ขั้นตอนเป็นขั้นตอนในการสร้างและทดสอบประสิทธิภาพของแบบจำลองด้วยวิธีต่าง ๆ ระเบียบวิธีที่ใช้พัฒนาแบบจำลอง สำหรับการจำแนกข้อมูลมีหลากหลาย แต่ในงานวิจัยนี้จะกล่าวถึงระเบียบวิธีเคเนียร์เรสเนเบอร์ (K-Nearest Neighbors) ระเบียบวิธีต้นไม้ตัดสินใจ (Decision Tree) ระเบียบวิธี Random Forest ระเบียบวิธี Random Tree ระเบียบวิธี Reduced Error Pruning Decision Tree (REP Tree) และโครงข่ายประสาทเทียม (Neural Network) ซึ่งเป็นวิธีที่ใช้ในการพัฒนาแบบจำลองการพยากรณ์ปริมาณอ้อยดังนี้

#### 1) เคเนียร์เรสเนเบอร์ (K-Nearest Neighbors)

หลักการของวิธีเคเนียร์เรสเนเบอร์ มีลักษณะคล้ายกับการแบ่งกลุ่ม โดยการวัดระยะห่างของข้อมูลที่ต้องการทำนายกับข้อมูลที่ใกล้เคียงจำนวน K ตัว ซึ่ง K ที่เลือกนั้นต้องเป็นเลขคี่ (Odd Number) ส่วนคำตอบของคลาสที่ทำนายได้ จะหาได้จากการวัดระยะของแต่ละกลุ่ม หากข้อมูลที่มีเพื่อนบ้านในแต่ละกลุ่มใกล้เคียงกับข้อมูลรับเข้าใหม่มากที่สุด คำตอบคือ ข้อมูลรับเข้าใหม่นั้นก็จะทราบประเภทของตนเองจากข้อมูลเรียนรู้ ซึ่งเทคนิคนี้ใช้วิธีการวัดระยะห่างที่นิยมใช้มากที่สุด คือ การวัดระยะห่างแบบ Euclidean โดยการหาความแตกต่างจากรากที่สองผลต่างของแอดทริบิวต์ยกกำลังสองดังสมการ 17

$$D_{\text{Euclidean}} = \sqrt{(x_1 - y_1)^2 + (x_2 - y_2)^2 + \dots + (x_L - y_L)^2} \quad (17)$$

โดยที่  $x_1$  คือ แอดทริบิวต์ที่ 1 ของข้อมูลจุดที่ 1  
 $y_1$  คือ แอดทริบิวต์ที่ 1 ของข้อมูลจุดที่ 2

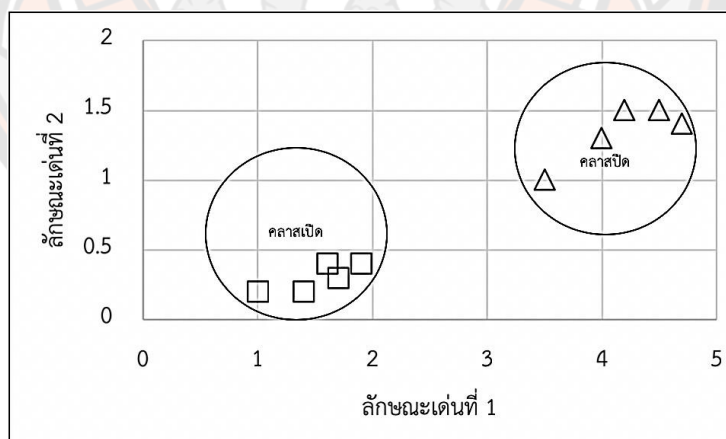
หมายเหตุ ข้อมูลทั้งสองตัว x และ y มีจำนวนแอดทริบิวต์เท่ากับ L

ดังนั้นวิธีเคเนียร์เรสเนเบอร์ จะไม่มีการสร้างแบบจำลองแต่จะใช้ข้อมูลฝึกฝนเรียนรู้ทั้งหมดสำหรับการเป็นข้อมูลพื้นฐานในการทำนายข้อมูลใหม่ โดยมีตัวอย่างชุดข้อมูลคำสั่งเสียงในการเปิดและปิดหลอดไฟที่ผ่านการสกัดลักษณะเด่นมาแล้ว และนำไปใช้ในการทำนายด้วยวิธีเคเนียร์เรสเนเบอร์ดังตาราง 26

ตาราง 26 ข้อมูลการจำแนกเสียงคำสั่งเปิด ปิด หลอดไฟ

ลำดับที่	ลักษณะเด่น 1	ลักษณะเด่น 2	คลาสคำสั่ง
1	1.40	0.20	เปิด
2	1.70	0.30	เปิด
3	1.60	0.40	เปิด
4	1.90	0.40	เปิด
5	1.00	0.20	เปิด
6	4.70	1.40	ปิด
7	4.50	1.50	ปิด
8	4.00	1.30	ปิด
9	3.50	1.00	ปิด
10	4.20	1.50	ปิด

จากตาราง 26 สามารถแสดงการกระจายตัวของข้อมูลที่ผ่านการสกัดลักษณะเด่นของคำสั่งเสียงเปิด-ปิดไฟ แสดงดังภาพ 51



ภาพ 51 การกระจายตัวของข้อมูลคำสั่งเสียง

จากภาพ 51 จุดสี่เหลี่ยมเป็นจุดของข้อมูลของคลาสเปิด และจุดสามเหลี่ยมเป็นจุดข้อมูลของคลาสปิด จะแสดงให้เห็นว่าลักษณะเด่นของเสียงที่มีลักษณะที่ใกล้เคียงกันจะอยู่ในกลุ่มเดียวกัน ซึ่งข้อมูลในตาราง 26 ทั้งหมดจะเป็นข้อมูลฝึกฝนเรียนรู้ หากมีข้อมูลใหม่เข้ามาจะ

ดำเนินการโดยการวัดระยะห่างเทียบกับข้อมูลที่อยู่ใกล้จำนวน  $K$  ตัว และวิธีการนี้ยังมีการนำไปประยุกต์ใช้หลากหลายด้านดังนี้

นักวิจัย (ณรงค์ฤทธิ์ เหลืองดิลก, 2556) ได้ศึกษา การพยากรณ์ฝน โดยใช้แบบจำลอง Modified K-Nearest Neighbor : กรณีศึกษากลุ่มน้ำชี โดยมีวัตถุประสงค์ต้องการเข้าใจถึงความแปรปรวนของปริมาณน้ำฝน เพื่อนำไปใช้บริหารจัดการน้ำและวางแผนการใช้น้ำในอนาคต โดยการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ (Correlation Map) ในการดำเนินงานแสดงถึงค่าสหสัมพันธ์ (Correlation Coefficient) ระหว่างช่วงปี 2518 ถึง 2554 จากสถานีตรวจวัด 34 สถานี โดยใช้ตัวแปร 4 ตัว ได้แก่ อุณหภูมิพื้นผิว ความกดอากาศ ความเร็วลมในแนวเส้นรุ้ง และความเร็วลมในแนวเส้นแวง และเมื่อประยุกต์ใช้แบบจำลองเคเนียร์เรสเนเบอร์และดำเนินการทดสอบด้วยวิธี Generalized Cross Validation ผลที่ได้มีความน่าเชื่อถือมากกว่า 95 เปอร์เซ็นต์

## 2) ต้นไม้ตัดสินใจ (Decision Tree)

หลักการของเทคนิคการจำแนกประเภทข้อมูลด้วยวิธีต้นไม้ตัดสินใจ (เอกสิทธิ์ พัทธวงค์ศักดิ์, 2557) ได้กล่าวว่า เป็นวิธีการที่นิยมกันอย่างแพร่หลายเนื่องจากโมเดลที่ได้สามารถแปลความหมายและเข้าใจได้ง่าย ตัวอย่างเช่น แบบจำลองในภาพที่ 49 ที่ได้กล่าวไว้ในส่วนของวิธีการสร้างแบบจำลองต้นไม้ตัดสินใจ โดยใช้ข้อมูลในตารางที่ 21

สำหรับการสร้างแบบจำลองด้วยวิธีต้นไม้ตัดสินใจ จะทำการคัดเลือกแอตทริบิวต์ที่มีความสัมพันธ์กับคลาสมากที่สุดนำมาเป็นรากบนสุดของต้นไม้ (Root Node) หลังจากนั้นดำเนินการค้นหาแอตทริบิวต์ถัดไปเรื่อย ๆ สำหรับการหาความสัมพันธ์ของแอตทริบิวต์นี้จะใช้ตัววัดที่เรียกว่า Information Gain (IG) (Ahmed, Md Siraj, Zainal, Elshoush และ Elhaj, 2016) ค่านี้คำนวณได้จากสมการดังนี้

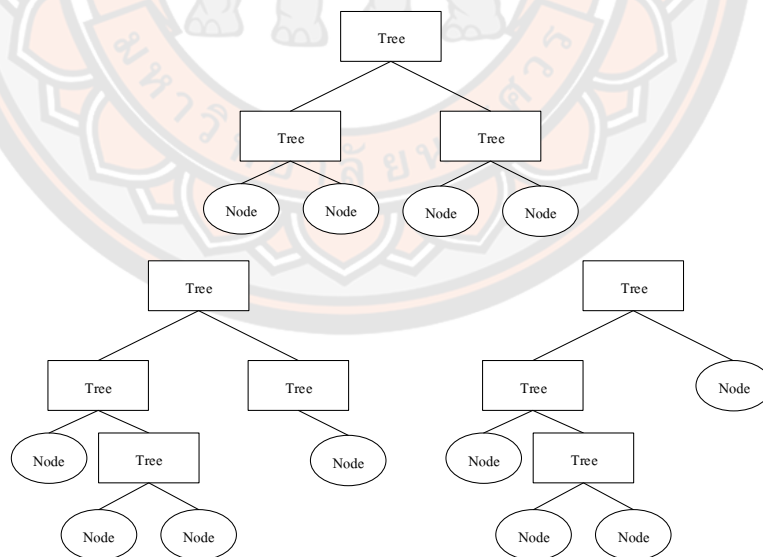
$$IG(\text{parent}, \text{child}) = Entropy(\text{parent}) - [p(C_1) \times Entropy(C_1) \times p(C_2) \times Entropy(C_2) \dots] \quad (18)$$

โดยที่  $Entropy(C_1) = -p(C_1) \log p(C_1)$  และ  $p(C_1)$  คือ ค่าความน่าจะเป็นของค่า  $C_1$  ซึ่งค่า Entropy นี้จะใช้ในการวัดความแตกต่างของข้อมูล ถ้าข้อมูลมีความแตกต่างกันน้อยค่า Entropy จะต่ำ แต่ถ้าข้อมูลมีความแตกต่างกันมากค่า Entropy จะมีค่าสูง ดังนั้นถ้าข้อมูล Entropy ของโหนดลูก (Child) สามารถแบ่งข้อมูลได้ดีจะมีค่า Entropy ต่ำและจะทำให้ค่า IG มีค่าสูงเมื่อเทียบกับโหนดบน (Parent) ในขั้นตอนการสร้างแบบจำลองของต้นไม้ตัดสินใจ จะคำนวณค่า IG ของแต่ละแอตทริบิวต์เทียบกับคลาส เพื่อหาแอตทริบิวต์ที่มีค่า IG มากที่สุดมาเป็น Root ของต้นไม้ตัดสินใจ

นักวิจัย (Zeng, Yuan, Li และ Zou, 2014) ได้ศึกษา ระบบสนับสนุนการตัดสินใจเพื่อวินิจฉัยโรคใบลำไยด้วยเทคนิคต้นไม้ตัดสินใจ โดยใช้ข้อมูลใบลำไยในการศึกษา 225 ระเบียบ ประกอบด้วย 7 ปัจจัยหลักที่เป็นสาเหตุของโรคใบลำไยจำนวน 14 โรค และประยุกต์ใช้เทคนิคต้นไม้ตัดสินใจ ผลการทดลองพบว่า ตัวแบบวินิจฉัยโรคใบลำไย มีผลให้ค่าความถูกต้องเท่ากับ 85.3% ดังนั้นระบบสามารถช่วยวินิจฉัยโรคที่เกิดขึ้นกับใบลำไย

### 3) ระเบียบวิธี Random Forest

หลักการของเทคนิคการจำแนกประเภทข้อมูลด้วยวิธี Random Forest (ไชยนา, 2562) เป็นระเบียบวิธีประเภทหนึ่งของระเบียบวิธีต้นไม้ตัดสินใจที่มีลักษณะแบบไม่ตัดกิ่ง (Unpruned) หรือต้นไม้ถดถอย (Regression Trees) ซึ่งสร้างจากการนำข้อมูลฝึกสอนไปสุ่มเลือกตัวอย่างข้อมูล และคุณลักษณะ ข้อมูลจะถูกนำมาสร้างเป็นต้นไม้ตัดสินใจและมีตัวอย่างข้อมูลส่วนหนึ่งที่จะไม่ถูกเลือกจะถูกนำมาใช้ในการทดสอบต้นไม้ตัดสินใจ ข้อมูลส่วนนี้เรียกว่า Out-of-Bag (OOB) ซึ่งเรียกวิธีนี้ว่า Bagging ผลลัพธ์ที่ได้จะอิสระจากต้นไม้ตัดสินใจแต่ละต้นจะถูกนำมาคิดเป็นผลการโหวตที่มากที่สุด ระเบียบวิธี Random Forest ไม่จำเป็นต้องมีข้อมูลทดสอบ เพื่อประมาณความผิดพลาดเพราะข้อมูล OOB นั้นจะถูกนำมาใช้ในการทดสอบต้นไม้ตัดสินใจแล้ว แสดงดังภาพที่ 52



ภาพ 52 ตัวอย่างกระบวนการทำงานด้วยวิธี Random Forest

หลักการของ Random Forest เป็นแบบจำลองที่มาจากต้นไม้ตัดสินใจหลาย ๆ แบบจำลองย่อย ๆ (ตั้งแต่ 10 แบบจำลอง ถึงมากกว่า 1000 แบบจำลอง) โดยแต่ละแบบจำลองจะ

ได้รับชุดข้อมูลไม่เหมือนกัน ซึ่งเป็นเซตย่อยของชุดข้อมูลทั้งหมด และเมื่อทดสอบโดยการโหวตผลลัพธ์ที่ถูกเลือกจากต้นไม้ตัดสินใจมากที่สุด (กรณี Classification) หรือหาค่า mean จาก Output ของแต่ละต้นไม้ตัดสินใจ (กรณี Regression) แต่ละแบบใน Random forest

นักวิจัย (วัชรวิพรรณ จิตต์สกุล, 2561) ได้ศึกษา การประยุกต์ใช้อัลกอริทึมป่าสุ่มและทฤษฎีกราฟ สำหรับวิเคราะห์ข้อความ โดยใช้ข้อความ 3 ชุดประกอบด้วย ข้อความการแสดงความคิดเห็นเกี่ยวกับภาพยนตร์ ข้อความการแสดงความคิดเห็นเกี่ยวกับร้านอาหาร และข้อความแสดงความคิดเห็นเกี่ยวกับสินค้า โดยสกัดลักษณะเด่นของข้อความด้วยอัลกอริทึม Random Forest ผลการทดลองพบว่า สำหรับค่าที่ตรงกันมีความถูกต้องสูง ส่วนค่าที่มีความคลาดเคลื่อนกันมีความถูกต้องลดลง

#### 4) ระเบียบวิธี Random Tree

หลักการของเทคนิคการจำแนกประเภทข้อมูลด้วยวิธี Random Tree เป็นระเบียบวิธีประเภทหนึ่งของระเบียบวิธีต้นไม้ตัดสินใจ โดยมีหลักการสร้างจากต้นไม้ตัดสินใจหลายๆ แบบในแต่ละโหนดแล้วเลือกมาประมวลผล โดยไม่ใช้การตัดแต่งกิ่ง Random Tree ทำงานคล้ายกับ C4.5 หรือ CART แต่ Random Tree จะสุ่มเลือกชุดย่อยของแอตทริบิวต์ก่อนที่จะนำไปใช้ ซึ่งขนาดของชุดย่อยถูกระบุโดยพารามิเตอร์อัตราส่วนย่อย

นักวิจัย (ภรณ์ษา ปาลวิสุทธิ อภินันท์ จุณกรณ์, 2563) ได้ศึกษา การพัฒนาระบบวิเคราะห์ข้อมูลเศรษฐกิจชุมชนเพื่อสนับสนุนการตัดสินใจด้วยเทคนิคเหมืองข้อมูล โดยสำรวจข้อมูลจากกลุ่มตัวอย่างเป็นนักวิจัยผู้เชี่ยวชาญ 3 คนและกลุ่มเจ้าหน้าที่องค์การบริหารส่วนตำบลจำนวน 15 คน จากผลการวิจัยพบว่า ตัวแบบที่พัฒนาขึ้นจากระเบียบวิธี Random Tree มีประสิทธิภาพสูงสุด โดยมีค่าความถูกต้องเท่ากับร้อยละ 98.13 ค่าความระลึกลับเท่ากับร้อยละ 98.20 ค่าความแม่นยำเท่ากับร้อยละ 98.10 และความเหวี่ยงเท่ากับร้อยละ 98.10

#### 5) ระเบียบวิธี Reduced Error Pruning Decision Tree (REP Tree)

หลักการของเทคนิคการจำแนกประเภทข้อมูลด้วยวิธี REP Tree (Jaree Thongkam, (2017) เป็นระเบียบวิธีประเภทหนึ่งของระเบียบวิธีต้นไม้ตัดสินใจ โดยระเบียบวิธีนี้ดำเนินการภายใต้สมมติฐานที่ว่า ชุดข้อมูลฝึกฝนจะประกอบด้วยการระบุคลาสคำตอบตามปกติให้เป็นหลายคลาส (Multiple Normal Classes)

นักวิจัย (สายชล, 2561) ได้ศึกษา การเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการทำนายผลความไม่สมดุลของข้อมูลในการจำแนกด้วยเทคนิคการทำเหมืองข้อมูล โดยประยุกต์ใช้วิธีการจำแนกข้อมูลแล้วนำมาเปรียบเทียบกันจำนวน 7 วิธี และระเบียบวิธี Rep Tree เป็นหนึ่งในนั้น จาก

ผลการวิจัยพบว่า ตัวแบบที่พัฒนาขึ้นจากระเบียบวิธี Rep Tree มีประสิทธิภาพสูงสุด โดยมีค่าความถูกต้องเท่ากับร้อยละ 84.31

#### 6) โครงข่ายประสาทเทียม (Neural Network)

วิธีการโครงข่ายประสาทเทียมเป็นวิธีการพัฒนาแบบจำลองในการวิเคราะห์ และตัดสินใจด้วยการเลียนแบบการทำงานของสมองมนุษย์ ซึ่งประกอบด้วยหน่วยประสาทหลายส่วน เหมือนกับเซลล์ประสาท(Nerve Cells) หรือเรียกว่า “นิวรอน(Neuron)” ที่เชื่อมต่อกันเป็นระบบประสาท โครงข่ายประสาทเทียมถูกนำมาประยุกต์ใช้อย่างแพร่หลาย เช่น การจัดกลุ่มข้อมูล การจำแนกข้อมูล เป็นต้น

##### 6.1) คุณสมบัติของโครงข่ายประสาทเทียม

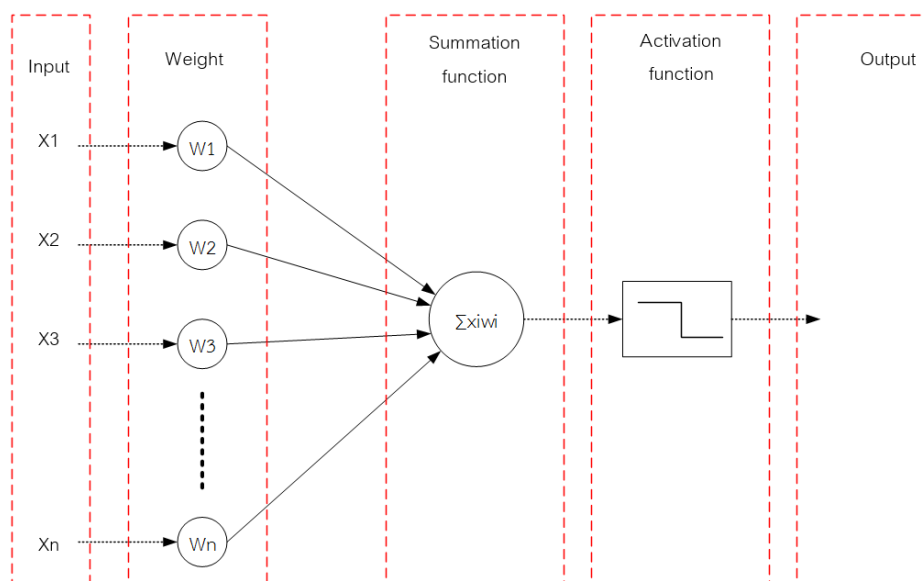
โครงข่ายประสาทเทียมมีคุณสมบัติในด้านการเรียนรู้และจดจำคล้ายกับสมองของมนุษย์ เช่น เมื่อมนุษย์ต้องการเรียนรู้ในการแยกความแตกต่างของสิ่งของบางสิ่งบางอย่างจะต้องมีตัวอย่างในการเรียนรู้จึงจะเกิดการจดจำลักษณะต่าง ๆ และเมื่อพบสิ่งที่ไม่เคยพบเห็นมาก่อนจะสามารถอนุมานว่าสิ่งของนั้นคืออะไร เป็นต้น โครงข่ายประสาทเทียมมีคุณสมบัติ 2 ประการ ดังนี้

1) การเรียนรู้ โครงข่ายประสาทเทียมสามารถเรียนรู้ได้จากข้อมูลฝึกฝน โดยการป้อนข้อมูลให้ฝึกฝนเหมือนกับการคุณภาพจุดลุ่มของแปลงอ้อยหลาย ๆ รอบ แล้วสามารถตอบได้ว่าจุดลุ่มดังกล่าวเป็นจุดที่ลุ่มหรือจุดพีชไม่เจริญเติบโต

2) การระลึกและจดจำได้ โครงข่ายประสาทเทียมสามารถเรียนรู้และสามารถจดจำได้ทั้งสิ่งที่ได้ฝึกฝนเรียนรู้และชุดข้อมูลทดสอบที่ไม่เคยทราบมาก่อนได้ และผลลัพธ์ที่ได้จากการจดจำจะอยู่ในระดับที่ยอมรับได้ ซึ่งชุดข้อมูลทดสอบในความเป็นจริงอาจจะมีสัญญาณรบกวนหรือข้อมูลที่ไม่มีลักษณะตรงกับข้อมูลที่เรียนรู้ไปตามสภาพแวดล้อมจริงที่เกิดขึ้น

โครงสร้างของเครือข่ายประสาทเทียมประกอบด้วยนิวรินอนเชื่อมต่อกันเป็นชั้นหลายชั้น ชั้นแรกเป็นข้อมูลเข้า (Input Layer) ชั้นสุดท้ายเป็นชั้นผลลัพธ์ (Output Layer) และชั้นที่อยู่ระหว่างชั้นแรกจนถึงชั้นสุดท้ายจะมีชั้นซ่อน (Hidden Layer) อยู่ระหว่างทั้ง 2 ชั้นซึ่งอาจจะมีหลายชั้นหรืออาจจะมีเลย แสดงโครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมดังภาพ 53





ภาพ 53 โครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียม

จากภาพ 53 แสดงโครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียม ในการประยุกต์ใช้ในการสร้างปัญญาประดิษฐ์ในทางคอมพิวเตอร์ ประกอบด้วย หน่วยประมวลผลหลายตัวที่เชื่อมโยงกัน เพื่อให้คอมพิวเตอร์สามารถจดจำและแสดงคำตอบในรูปแบบที่ต้องการได้ โดยหลักการของโครงข่ายประสาทเทียมประกอบด้วยหลายส่วนภายในนิวรอนแต่ละหน่วยย่อย เช่น ค่าน้ำหนัก (Weight) ฟังก์ชันผลรวม (Summation Function) และฟังก์ชันการแปลง (Activation Function) เป็นต้น โดยแต่ละส่วนสามารถอธิบายได้ดังนี้

1. ข้อมูลนำเข้า (Input) เป็นข้อมูลป้อนเข้าที่เป็นตัวเลขของแอตทริบิวต์ต่าง ๆ ของข้อมูลฝึกฝนที่ใช้ในการเรียนรู้ของระบบ หากเป็นข้อมูลรูปแบบอื่นต้องทำการแปลงให้อยู่ในรูปแบบที่โครงข่ายประสาทเทียมยอมรับได้ ซึ่งอยู่ในรูปแบบของดั่งสมการ 19

$$x = [x_1, x_2, \dots, x_n]^T \quad (19)$$

2. ข้อมูลส่งออก (Output) คือ ผลลัพธ์จากกระบวนการเรียนรู้โครงข่ายประสาทเทียม ประกอบด้วยโหนดที่เป็นคลาส ในกรณีข้อมูลที่ต้องทำนายเป็นตัวเลข จะใช้เพียงโหนดเดียวเท่านั้น

3. ค่าน้ำหนัก (Weights) คือ สิ่งที่ได้จากการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียม เรียกอีกชื่อว่า ค่าความรู้ (Knowledge) ค่านี้จะใช้ในการจดจำข้อมูลอื่น ๆ ที่คล้ายกับข้อมูลที่ใช้ในการเรียนรู้คำสั่งสมการ 20

$$w = [w_1, w_2, \dots, w_n]^T \quad (20)$$

4. ฟังก์ชันผลรวม (Summation function:  $S$ ) เป็นผลรวมของข้อมูลป้อนเข้า ( $x_i$ ) และค่าน้ำหนัก ( $w_i$ ) ดังสมการ 21

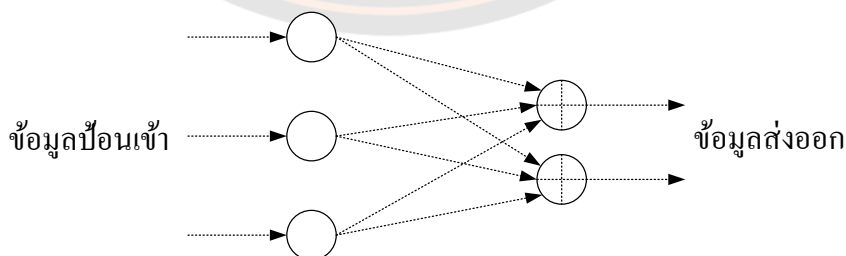
$$s = \sum_{i=1}^n x_i w_i \quad (21)$$

5. ฟังก์ชันการแปลง (Activation Function) เป็นการคำนวณแบบจำลองการทำงานโครงข่ายประสาทเทียม เช่น ซิกมอยด์ฟังก์ชัน (Sigmoid Function) ฟังก์ชันไฮเพอร์โบลิกแทนเจนต์ (Hyperbolic Tangent Function) เป็นต้น

#### 6.2) ลักษณะของโครงข่ายประสาทเทียม

โครงข่ายประสาทเทียมมีหลายรูปแบบ ทั้งที่มีชั้นซ่อน (Hidden Layer) หลากหลายชั้น หรือมีชั้นป้อนเข้าหรือชั้นผลลัพธ์ที่แตกต่างกัน ดังนั้นในพื้นฐานของโครงข่ายประสาทเทียมสามารถแบ่งออกได้ 2 แบบ ดังนี้

1) โครงข่ายแบบชั้นเดียว เป็นโครงข่ายประสาทเทียมมีเพียงแค่ชั้นข้อมูลเข้าและข้อมูลออกเท่านั้น ลักษณะโครงข่ายแบบชั้นเดียวแสดงดังภาพ 54

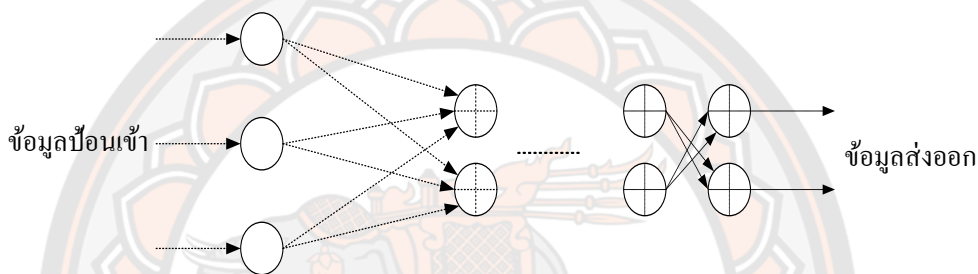


ภาพ 54 โครงสร้างโครงข่ายประสาทเทียมแบบชั้นเดียว

จากภาพ 54 เริ่มจากอินพุตโหนดรับเข้าข้อมูลจากแต่ละแอดทริบิวต์ของข้อมูล และส่งไปคำนวณด้วยฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์ ได้แก่ ฟังก์ชันผลรวม (Summation function) และฟังก์ชันการ

แปลง (Activation Function) เพื่อคำนวณหาทางคณิตศาสตร์ที่เหมาะสมกับปัญหา แล้วส่งผลลัพธ์จากการคำนวณข้อมูลส่งออกมาจากเอาต์พุตโหนด ซึ่งเป็นลักษณะโครงข่ายที่ไม่มีชั้นซ่อน เช่น โครงข่ายแบบชั้นเดียวแบบเพอเซปตรอนอย่างง่าย (Simple Perceptron) และโครงข่ายโฮบฟิลด์ (Hopfield Network) เป็นต้น

2) โครงข่ายแบบหลายชั้น เป็นลักษณะโครงข่ายประสาทเทียมที่มีชั้นซ่อน (Hidden Layer) ตั้งแต่ 1 ชั้นขึ้นไป ซึ่งชั้นซ่อนจะทำให้ระบบมีความซับซ้อนมากขึ้น เพื่อใช้ในการแก้ปัญหาที่มีความซับซ้อนด้วยคอมพิวเตอร์ได้ ลักษณะของโครงข่ายประสาทเทียมแบบหลายชั้นแสดงดังภาพ 55



ภาพ 55 โครงสร้างโครงข่ายประสาทเทียมแบบหลายชั้น

จากภาพ 55 มีลักษณะการทำงานส่วนรับเข้าและส่วนเอาต์พุตคล้ายกับแบบชั้นเดียว แต่มีโครงสร้างที่แตกต่างคือ มีการเพิ่มชั้นซ่อนเข้ามายังระบบโครงข่าย เพื่อแก้ไขปัญหาที่โครงข่ายประสาทเทียมแบบชั้นเดียวไม่สามารถแก้ไขได้ โครงข่ายประสาทเทียมแบบหลายชั้นมีหลากหลายรูปแบบ เช่น การแพร่ย้อนกลับ (Back Propagation) เซลฟ์ออร์แกนไนซิงแมปป์ (Self-Organizing Maps) และเคาน์เตอร์พรองเกชัน (Counter Propagation) เป็นต้น และมีงานวิจัยที่นำไปประยุกต์ใช้ดังนี้

(ภูมินทร์ ต้นอุดม, 2557) ได้ศึกษาการจำแนกเสียงคำสั่งของมนุษย์เพื่อนำไปใช้ในการสั่งงานอุปกรณ์เป็นฝีกอักษรเบลล์ด้วยเสียง แบบจำลองสามารถสั่งงานด้วยคำสั่งเสียงทั้งหมด 17 คำสั่ง โดยวิธีการวิจัยได้ประยุกต์ใช้อัลกอริทึมสัมประสิทธิ์เซปทรัลบนสเกลเมล (Mel Frequency Cepstral Coefficient) สำหรับการสกัดลักษณะเด่นของคำสั่งเสียงมีทั้งสิ้น 20 สายอักขระและประยุกต์ใช้โครงข่ายประสาทเทียมในการจำแนกลักษณะเด่นของคำสั่งเสียง ผลการการดำเนินการพบว่า ข้อมูลเสียงคำสั่งทดสอบที่ไม่มีสัญญาณรบกวนมีค่าความถูกต้อง 82.06 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อทดสอบด้วยชุดข้อมูลเสียงคำสั่งทดสอบจริงมีความถูกต้องอยู่ที่ 81.76 เปอร์เซ็นต์

## งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ส่วนของงานวิจัยที่เกี่ยวข้องจะเป็นงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาโดยประกอบด้วยการศึกษาส่วนที่เกี่ยวข้องกับแบบจำลองการประมวลผลภาพจากภาพความละเอียดสูงจากอากาศยานไร้คนขับ สำหรับการพัฒนาแบบจำลองวิเคราะห์พื้นที่จุดบกพร่องของแปลงอ้อย และแบบจำลองการพยากรณ์ผลผลิตอ้อยจากข้อมูลที่เป็นปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อผลผลิตอ้อย โดยมีรายละเอียดงานวิจัยที่เกี่ยวข้องดังนี้

แบบจำลองตรวจสอบพื้นที่จุดบกพร่องภายในแปลงอ้อย โดยผู้วิจัยใช้คำสำคัญในการค้น หา ได้แก่ Sugarcane Monitoring + UAV, Vegetation Monitoring + UAV, Weed Detection + UAV, UAV monitoring และ Sugarcane Detection + UAV โดยมีรายละเอียดดังนี้

นักวิจัย (Luna, 2016) ได้ศึกษาและพัฒนาการทำแผนที่ในแปลงอ้อยจากภาพอากาศยานไร้คนขับ: กรณีศึกษานำร่องในประเทศนิการากัว เนื่องด้วยปัญหาการสำรวจพื้นที่แปลงมีช่องว่างในการปลูกอ้อยด้วยการใช้ยานพาหนะทางบก งานวิจัยนี้เสนอวิธีการแก้ไขปัญหาโดยใช้วิธีการประมวลผลภาพแบบโมเสค (Mosaics) จากภาพที่ถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับขนาดเล็ก ซึ่งให้ความแม่นยำในการตรวจสอบช่องว่างถึง 92.9 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งงานวิจัยก่อนหน้านี้ได้ดำเนินการโดยใช้โครงข่ายดาวเทียมและอุปกรณ์เก็บพิกัด นอกจากนี้ในงานวิจัยนี้ยังได้เสนอแนวทางขยายไปสู่การดำเนินการกับภาพแบบหลายความถี่ เพื่อทำความเข้าใจสภาพของพืช

นักวิจัย (Girolamo Neto และคณะ, 2019) ได้ศึกษาขั้นตอนวิธีด้วยการสกัดลักษณะเด่นเชิงผิวภาพสำหรับการตรวจสอบหญ้าเบอร์มิวด้า ซึ่งเป็นหญ้าที่ขึ้นปะปนภายในแปลงปลูกอ้อยและส่งผลกระทบต่อผลผลิตของอ้อย งานวิจัยนี้ดำเนินการวิจัยในประเทศบราซิล และจากปัญหาดังกล่าวจึงได้พัฒนาวิธีการตรวจจับหญ้าเบอร์มิวด้าในแปลงอ้อยขึ้น โดยประยุกต์ใช้ภาพจากอากาศยานไร้คนขับ และได้้นำการคำนวณดัชนีพืชพรรณสีแดงสีเขียวมาใช้ร่วมกับการหาค่าเมตริกสัมพันธ์เจดสีเทา (The Gray-Level Co-Occurrence Matrix) ซึ่งวิธีการดังกล่าวทำให้สามารถจำแนกอ้อยและหญ้าด้วยความถูกต้อง 83 ถึง 92.54 เปอร์เซ็นต์

นักวิจัย (Liu, Shi, Duan และWu, 2018) ได้ศึกษาและพัฒนาวิธีการในการจำแนกพืชซึ่งได้ใช้ภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับด้วยกล้อง RGB และข้อมูลลักษณะเด่นทางสเปกตรัม (Spectrum Feature) ในการพัฒนาแบบจำลองการวิเคราะห์ได้ประยุกต์ใช้ขั้นตอนวิธีซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน (Support Vector Machine) จากการทดลองเมื่อใช้วิธีการดังกล่าวสามารถเพิ่มค่าความถูกต้องในการจำแนกพืชพรรณได้จาก 72.9 เปอร์เซ็นต์เป็น 94.5 เปอร์เซ็นต์

นักวิจัย (Boonpook และคณะ, 2018) ได้ศึกษาแนวทางการเรียนรู้เชิงลึกเกี่ยวกับการตรวจจับอาคารริมฝั่งแม่น้ำจากภาพอากาศยานไร้คนขับ โดยมีปัญหาจากอาคารที่อยู่ริมแม่น้ำมี

โอกาสเสี่ยงที่จะได้รับผลกระทบจากระดับน้ำที่ขึ้นสูง ซึ่งภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับมีความยืดหยุ่นและไร้เมฆเมื่อเปรียบเทียบกับภาพถ่ายดาวเทียม และภาพที่ได้เป็นภาพที่มีความละเอียดสูงซึ่งความท้าทายของงานวิจัยอยู่ที่การประมวลผลภาพความละเอียดสูงด้วยการประยุกต์ใช้วิธีการเรียนรู้เชิงลึก (Deep Learning) สำหรับใช้ในการแยกข้อมูลอาคาร โดยใช้สถาปัตยกรรมโครงข่ายแบบ SegNet ในการแบ่งส่วนภาพโดยใช้ข้อมูลที่ตั้งริมฝั่งแม่น้ำในฉงชิ่ง ผลการทดลองวิธีการดังกล่าวสามารถแยกพื้นที่ด้วยความแม่นยำมากกว่า 90 เปอร์เซ็นต์ และได้ทดสอบกับชุดข้อมูลการทดสอบมีความแม่นยำในการสกัดอาคารมากกว่า 93 เปอร์เซ็นต์

นักวิจัย (Matese และ Di Gennaro, 2018) ได้ศึกษาและพัฒนาวิธีการตรวจสอบไร่องุ่นโดยใช้อากาศยานไร้คนขับ ด้วยการใส่เซนเซอร์ที่ติดไปด้วย 3 ตัว ได้แก่ Multispectral (เป็นเซนเซอร์ที่มี 4 ช่องสัญญาณ ประกอบด้วย ย่านสีน้ำเงิน ย่านสีเขียว ย่านสีแดง และย่านอินฟราเรดระยะใกล้) กล้องตรวจจับอุณหภูมิ (Thermal Camera) และกล้องภาพสีความละเอียดสูง (RGB Camera) และประยุกต์ใช้ค่าดัชนีความแตกต่างของพืชพรรณ (The Normalized Difference Vegetation Index : NDVI) ในการตรวจสอบบ่งชี้ขององุ่นที่มีความแข็งแรง โดยทำการเปรียบเทียบค่าน้ำหนักที่ประกอบด้วย ค่าการถดถอยเชิงเส้นดีที่สุด ( $R^2=0.69$ ) ค่าแผนที่ดัชนีการเค้นน้ำของพืช (The Crop Water Stress Index: CWSI) และค่าแคนโนปี ซึ่งประสิทธิภาพของค่าดัชนีที่พัฒนาจากภาพสีระบุว่าพื้นที่เสียหายทั้งหมด 80 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งจากงานวิจัยดังกล่าว ได้รับการทดสอบเพื่อวัตถุประสงค์เฉพาะการปลูกองุ่นและใช้เป็นเครื่องมือที่มีคุณค่าในการตรวจสอบไร่องุ่น

นักวิจัย (Mink และคณะ, 2018) ได้ศึกษาและพัฒนาวิธีการตรวจสอบวัชพืชในแปลงปลูกชูการ์บีท (Sugar Beet) โดยใช้อากาศยานไร้คนขับ โดยใช้พื้นที่ศึกษาได้แก่ ไร่ข้าวโพดและชูการ์บีททางตอนใต้ของประเทศเยอรมันนี โดยใช้กล้องแบบหลากหลายสัญญาณ (Multi-temporal) ด้วยการคำนวณค่าดัชนีพืชพรรณร่วมกับข้อมูลความสูงของพืช ซึ่งวิธีดังกล่าวจะคำนวณว่าพื้นที่มีหรือไม่มีวัชพืช โดยพิจารณาจากข้อมูลพื้นที่ขนาด 9x9 เมตร ผลการประเมินมีความถูกต้องในการจำแนกข้อมูลของแปลงข้าวโพดอยู่ที่ 96 เปอร์เซ็นต์ และความถูกต้องของแปลงชูการ์บีท 80 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งในการประเมินแบบเดิมข้อผิดพลาดอยู่ในช่วง 1 ถึง 10 เปอร์เซ็นต์ โดยภาพรวมทั้งหมดขั้นตอนวิธีที่พัฒนาขึ้นทำงานได้ดี ในด้านการระบุพืชยืนต้นสำหรับพื้นที่ขนาดใหญ่ได้

นักวิจัย (Kumar, Mishra, Khanna และ Pragma, 2017) ได้ศึกษาและพัฒนาแบบจำลองสำหรับตรวจสอบโรคของอ้อยแบบอัตโนมัติ โดยใช้ข้อมูลที่หลากหลายในการสร้างแบบจำลอง ได้แก่ ข้อมูลจากการประยุกต์ใช้การรับส่งข้อมูลระยะไกล (Wireless Sensor Network) เช่น ค่าอุณหภูมิ ค่าความชื้นสัมพัทธ์ และความชื้น ร่วมกับการประมวลผลภาพจากอากาศยานไร้คนขับ

และพัฒนาแบบจำลองโดยขั้นตอนวิธีเคเนียร์เรสเนเบอร์ จากการทดลองพบว่า แบบจำลองที่พัฒนาขึ้นสามารถจำแนกโรคอ้อยได้ถูกต้อง 96 เปอร์เซ็นต์

นักวิจัย (Sanchez และคณะ, 2018) ได้ศึกษาประสิทธิภาพของภาพ RGB จากอากาศยานไร้คนขับ เพื่อใช้ในการประเมินและทำนายผลผลิตอ้อย ซึ่งดำเนินการเก็บข้อมูลภาพในช่วงแตกกอของการปลูก เพื่อประเมินการปิดทับของผิวหน้าและพิจารณาจากตออ้อยที่งอกขึ้นมา ด้วยการประเมินจากค่าดัชนีใบพืช (Leaf Area Index: LAI) และค่าดัชนีพืชพรรณสีเขียว-แดง (Green-Red Vegetation Index: GRVI) ซึ่งสามารถแยกพืชพรรณและดินออกจากกัน

นักวิจัย (I. H. Yano, Alves, Santiago และ Mederos, 2016) ได้ศึกษาและพัฒนาแบบจำลองในการตรวจสอบวัชพืชที่จะเป็นการแก้ปัญหาสำคัญที่ทำให้ผลผลิตลดลง โดยวิธีการที่ได้ดำเนินการคือ การดำเนินการในช่วงที่อ้อยแตกกอ ในระยะแรกโดยภาพที่นำมาวิเคราะห์ได้มาจากอากาศยานไร้คนขับ และดำเนินการสร้างแบบจำลองในการวิเคราะห์บนพื้นฐานของการรู้จำรูปแบบของภาพร่วมกับอัลกอริทึมเรคคอมฟอร์เรส วิธีการดังกล่าวให้ความแม่นยำโดยรวมอยู่ที่ 82 เปอร์เซ็นต์

นักวิจัย (I. Yano, 2017) ได้ศึกษาและพัฒนาแบบจำลองในการตรวจจับวัชพืชจากแปลงอ้อยและกล่าวถึงการถ่ายภาพดาวเทียมว่ามีข้อเสียที่ต้องเจอคือ การที่มีก้อนเมฆบังพื้นที่ที่ต้องการสำรวจ แต่ใช้เครื่องบินบังคับระยะไกล (Remotely Piloted Aircraft: RPA) จะลดปัญหาดังกล่าวและสามารถวิเคราะห์หรือจำแนกวัชพืชได้ และได้ประยุกต์ใช้วิธีเคเนียร์เรสเนเบอร์ (K-Nearest Neighbors) ในการพัฒนาแบบจำลอง จากการทดลองพบว่า สามารถจำแนกวัชพืชจากอ้อยได้ถูกต้อง 83.1 เปอร์เซ็นต์

แบบจำลองการพยากรณ์ผลผลิตอ้อยจากข้อมูลที่เป็นปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อผลผลิตอ้อย โดยผู้วิจัยใช้คำสำคัญในการค้นหาได้แก่ Sugarcane Forecasting และ Sugarcane Assessment โดยมีรายละเอียดดังนี้

นักวิจัย (อรอนงค์ บุเกตุ และ พุชยดี ศิริแสงตระกูล, 2556) ได้ศึกษาและพัฒนาแบบจำลองการพยากรณ์ปริมาณอ้อยของภาคตะวันออกเฉียงเหนือโดยการใช้โครงข่ายประสาทเทียม โดยใช้ปัจจัยที่เกี่ยวข้องได้แก่ ข้อมูลจังหวัด ปีการผลิต ข้อมูลปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย อุณหภูมิเฉลี่ย ผลผลิตอ้อยเฉลี่ยต่อไร่ และพื้นที่ปลูกอ้อย โดยประยุกต์ใช้โครงข่ายประสาทเทียม 3 โครงสร้างโดยโครงข่ายประสาทเทียมแบบ 8:4:1 ให้ความแม่นยำสูงที่สุด

นักวิจัย (Natarajan และคณะ, 2016) ได้ศึกษาและพัฒนาการพยากรณ์ปริมาณผลผลิตอ้อยจากข้อมูลปัจจัยที่มีอิทธิพลต่ออ้อยได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม ซัลเฟอร์ แมกนีเซียม เหล็ก สังกะสี ทองแดง โบรอน ค่ากรด-เบส ความหนาแน่นของดินอ้อย ความชื้นในดิน

ความชื้นสัมพัทธ์ ปริมาณน้ำฝน แหล่งชลประทาน อุณหภูมิ รังสีจากดวงอาทิตย์ ค่าการนำไฟฟ้า อินทรีย์วัตถุ และศัตรูพืช โดยได้นำขั้นตอนวิธี FCM มาปรับปรุงและพัฒนาออกมา 2 วิธี คือ Driven Nonlinear Hebbian Learning (DDNHL) และ Genetic Algorithm (GA) และ เรียกว่า FCM-DDNHL-GA. โดยแบ่งข้อมูลออกเป็น 3 คลาส ได้แก่ ผลผลิตน้อย ผลผลิตปานกลาง และผลผลิตสูง และได้พัฒนาในรูปแบบของเว็บแอปพลิเคชันที่สามารถวิเคราะห์และใช้ในการพยากรณ์ผลผลิตได้

นักวิจัย (Marcari, Rolim และ Aparecido, 2015) ได้ศึกษาและพัฒนาแบบจำลองจากข้อมูลสภาพภูมิอากาศในแต่ละเดือน ได้แก่ อุณหภูมิในอากาศ น้ำค้าง ภาวะขาดน้ำ ความสามารถในการคายน้ำ การระเหยน้ำของดิน และแสงสว่างจากดวงอาทิตย์ โดยการประยุกต์ใช้การถดถอยเชิงเส้นแบบหลายตัวแปร (Multiple Linear Regression) ซึ่งนำมาใช้ในการคำนวณผลผลิตรายเดือนต่อตันต่อตารางเมตร และคุณภาพความหวานของน้ำตาล โดยใช้ข้อมูลย้อนหลังตั้งแต่ปี 2545 - 2552 ซึ่งสามารถนำมาใช้ในการจัดการระยะเวลาหรือตารางการเก็บเกี่ยวผลผลิตได้

นักวิจัย (Srikamdee, Rimcharoen และ Leelathakul, 2018) ได้ศึกษาการพัฒนาแบบจำลองในการพยากรณ์ปริมาณอ้อยด้วยการเปรียบเทียบผลจาก 3 อัลกอริทึมที่มีความแตกต่างกัน ได้แก่ 1) การ Backpropagation Neural Network (BPNN), 2) Adaptive Evolution Strategies (A-ES) และ 3) Deep Neural Network (DNN) โดยใช้ข้อมูลจาก 24 จังหวัดของประเทศไทย ในช่วงปี 2010 ถึงปี 2014 จากการทดลองพบว่า การประยุกต์ใช้ DNN สามารถวิเคราะห์และให้ผลลัพธ์ที่ใกล้เคียงกับค่าผลผลิตจริงมากกว่าวิธีอื่น

## บทที่ 3

### วิธีดำเนินงานวิจัย

บทนี้จะกล่าวถึงขั้นตอนการดำเนินงานและการออกแบบแบบจำลองเกษตรอัจฉริยะสำหรับพยากรณ์ผลผลิตอ้อย โดยการประยุกต์ข้อมูลสภาพแวดล้อมของแปลงอ้อยและข้อมูลจากการวิเคราะห์ภาพจากอากาศยานไร้คนขับ ขั้นตอนการพัฒนาประกอบด้วย 2 ส่วนคือ (1) แบบจำลองตรวจสอบจุดบกพร่องภายในแปลงอ้อย ด้วยภาพถ่ายสีมุมบนที่ได้จากอากาศยานไร้คนขับด้วยวิธีการประมวลผลภาพ และ (2) แบบจำลองการพยากรณ์ผลผลิตอ้อยที่ใช้ข้อมูลสภาพแวดล้อมและข้อมูลที่ได้จากแบบจำลองการวิเคราะห์จุดบกพร่อง และเนื่องจากลักษณะงานวิจัยส่งผลต่อเนื่องถึงกัน จึงทำให้แบบจำลองพยากรณ์ผลผลิตต้องใช้ผลที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยแบบจำลองตรวจสอบจุดบกพร่อง ดังนั้นในบทนี้จึงมีการอ้างถึงผลลัพธ์บางส่วน of แบบจำลองตรวจสอบจุดบกพร่อง เพื่ออธิบายในส่วนของการสร้างแบบจำลองพยากรณ์ผลผลิต ซึ่งมีรายละเอียดและขั้นตอนการดำเนินงานดังนี้

#### ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากร คือ แปลงอ้อยของโรงงานน้ำตาลนครเพชร จำกัด มหาชน ที่เก็บเกี่ยวโดยใช้รถตัดอ้อยของปี 2560 ถึงปี 2562 ประกอบด้วย 1) ข้อมูลปี 2560 สํารวจช่วงแรก จำนวน 1,353 แปลง เก็บเกี่ยวได้จริง 317 แปลง 2) ข้อมูลปี 2561 สํารวจช่วงแรก จำนวน 3,442 แปลง เก็บเกี่ยวได้จริง 1,711 แปลงและ 3) ข้อมูลปี 2562 สํารวจช่วงแรก จำนวน 8,117 แปลง เก็บเกี่ยวได้จริง 2,869 แปลง

กลุ่มตัวอย่างของแบบจำลองวิเคราะห์ความเสียหายภายในแปลงอ้อย เป็นภาพแปลงอ้อยของปี 2561 และปี 2562 จำนวน 90 และ 72 ภาพตามลำดับ ซึ่งเป็นแปลงอ้อยตัวแทนทั้งหมด 594 รูปแบบที่ตรงกับแปลงอ้อยของโรงงานและไม่ซ้ำกัน รายละเอียดอธิบายไว้ในหัวข้อการเก็บรวบรวมข้อมูล

กลุ่มตัวอย่างของแบบจำลองการพยากรณ์ผลผลิตอ้อย เป็นข้อมูลสภาพแวดล้อมและค่าจุดบกพร่องจากแปลงอ้อยของปี 2561 จำนวน 745 แปลง รายละเอียดอธิบายไว้ในหัวข้อการเก็บรวบรวมข้อมูล

กลุ่มตัวอย่างสำหรับทดสอบแบบจำลองการพยากรณ์ผลผลิตอ้อย เป็นข้อมูลสภาพแวดล้อมและค่าจุดบกพร่องจากแปลงอ้อยของปี 2562 จำนวน 821 แปลง รายละเอียดอธิบายไว้ในหัวข้อการเก็บรวบรวมข้อมูล

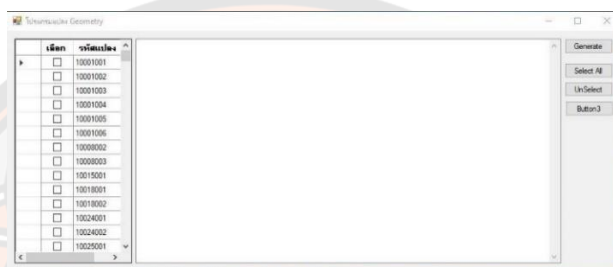


## เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้สำหรับงานวิจัยนี้ ได้มีการประยุกต์ใช้ 2 ส่วน ประกอบด้วย ซอฟต์แวร์ (Software) และ ฮาร์ดแวร์ (Hardware) โดยมีรายละเอียดดังนี้

### ซอฟต์แวร์(Software)

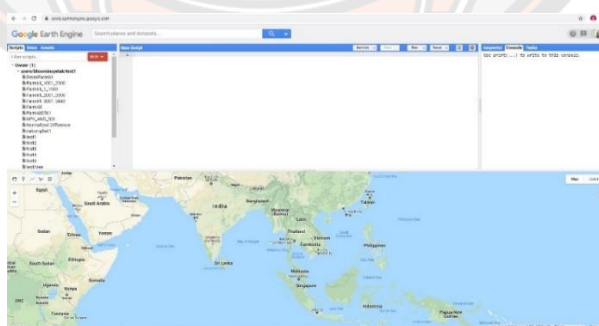
1) โปรแกรม Convert to polygon เป็นเครื่องมือแปลงพิกัด GPS เป็น ไลน์ Polygon line ใช้สำหรับการเตรียมข้อมูลพิกัดแปลงอ้อยของโรงงาน แสดงดังภาพ 56



ภาพ 56 หน้าต่างโปรแกรม Convert to polygon

ภาพ 56 แสดงหน้าต่างโปรแกรม Convert to polygon ที่ทำหน้าที่แปลงพิกัดแปลงจากฐานข้อมูลให้เป็นไลน์ในรูปแบบของ Polygon ก่อนที่จะนำเข้าสู่โปรแกรม Google Earth Engine

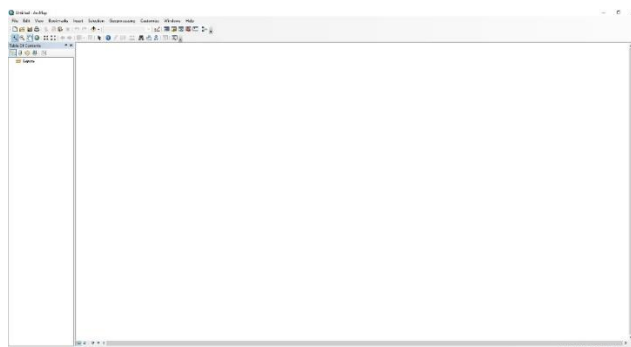
2) โปรแกรม Google Earth Engine ใช้สำหรับการแปลงพิกัดแปลงอ้อยของแปลงอ้อยให้อยู่ในรูปแบบของ Shape file ดังภาพ 57



ภาพ 57 หน้าต่างโปรแกรม Google Earth Engine

ภาพ 57 แสดงหน้าต่างโปรแกรม Google Earth Engine สำหรับการป้อนรหัสคำสั่งภาษาสคริปต์ เพื่อสั่งงานให้แสดงผลบนแผนที่ของ Google Map อีกทั้งนำเข้าและส่งออกต่อไปยังโปรแกรมข้อมูลด้านภูมิสารสนเทศได้

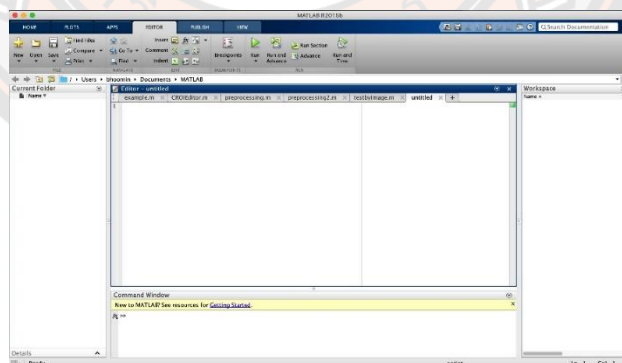
3) โปรแกรม ArcGIS ใช้สำหรับการเตรียมข้อมูลชุดดินและขอบเขตพื้นที่ของแปลง  
อ้อยของโรงงาน แสดงดังภาพ 58



ภาพ 58 หน้าต่าง โปรแกรม ArcGIS

ภาพ 58 แสดงโปรแกรม ArcGIS เป็นโปรแกรมที่ทำงานคล้ายกับ Google Earth Editor แต่สามารถทำงานในฟังก์ชันที่หลากหลาย เช่น การสร้างพื้นที่ และการยูเนียนข้อมูลพื้นที่ เป็นต้น

4) โปรแกรม Matlab 2015b ใช้สำหรับการพัฒนาแบบจำลองตรวจสอบจุดบกพร่องของภาพในแปลงอ้อยและแบบจำลองการพยากรณ์ผลผลิตอ้อยที่ใช้ข้อมูลเชิงเลขและข้อมูลที่ได้จากแบบจำลองตรวจสอบจุดบกพร่อง แสดงดังภาพ 59



ภาพ 59 หน้าต่าง โปรแกรม Matlab 2015b

ภาพ 59 แสดงโปรแกรม Matlab 2015b สามารถประมวลผลข้อมูลภาพและข้อมูลตัวเลขได้ และสามารถพัฒนาซอฟต์แวร์ที่มีความซับซ้อนได้ดี เพราะมีฟังก์ชันให้เลือกใช้หลากหลาย สะดวกต่อการใช้งานด้านการประมวลผลภาพ และการทำเหมืองข้อมูล

### ฮาร์ดแวร์ (Hardware)

อากาศยานไร้คนขับของบริษัท DJI รุ่น Phantom 4 Pro มีความสามารถในการบินได้นาน 30 นาที ด้านแรงลมได้ 10 เมตรต่อวินาที ดังภาพ 60



ภาพ 60 อากาศยานไร้คนขับ

จากภาพ 60 อากาศยานไร้คนขับถูกติดตั้งด้วยกล้องคุณภาพระดับ Ultra-High Definition : 4K ด้วยกล้องความละเอียด 20 ล้านพิกเซล

### การเก็บรวบรวมข้อมูล

ข้อมูลที่น่ามาใช้ในงานวิจัยสำหรับการพยากรณ์ผลผลิตอ้อยประยุกต์มี 2 รูปแบบ ประกอบด้วย (1) ข้อมูลภาพถ่ายแปลงอ้อยจากอากาศยานไร้คนขับสำหรับการพัฒนาแบบจำลองตรวจสอบจุดบกพร่องภายในแปลงอ้อย และ (2) ข้อมูลสภาพแวดล้อมของแปลงอ้อยสำหรับการพัฒนาแบบจำลองการพยากรณ์ผลผลิตอ้อย โดยข้อมูลดังกล่าวถูกรวบรวมในช่วงปี พ.ศ. 2560 ถึง 2562 จากโรงงานอุตสาหกรรม หน่วยงานภาครัฐ และหน่วยงานภาคเอกชน แสดงดังตาราง 27

ตาราง 27 แหล่งที่มาของข้อมูลที่ใช้ในงานวิจัย

ลำดับ	ข้อมูล	แหล่งข้อมูล
1	ข้อมูลพื้นที่จังหวัดกำแพงเพชร	บริษัท GADM
2	ข้อมูลชุดดิน	กรมทรัพยากรธรณี
3	ปริมาณน้ำฝน	สถานีอุตุนิยมวิทยากำแพงเพชร
4	พันธุ์อ้อย ตออ้อย ระยะเวลาปลูก และผลผลิตแปลง	บริษัท น้ำตาลนครเพชร จำกัด
5	ภาพถ่ายแปลงอ้อย	บริษัท น้ำตาลนครเพชร จำกัด



CLIMATOLOGICAL DATA FOR THE PERIOD 2017-2017														
Station	KAMPHAENG PHET	Elevation of station above MSL	80	Meters										
Index Station	48380	Height of barometer above MSL	81.8	Meters										
Latitude	16° 29' 12.5" N	Height of thermometer above ground	1.5	Meters										
Longitude	99° 31' 37.1" E	Height of wind vane above ground	12.4	Meters										
		Height of rain gauge	1	Meters										
Elements	N-Years	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC	Annual
Pressure(hPa)	Mean	1013.1	1013.1	1009.8	1009	1007.7	1006.9	1006.7	1006.6	1008.1	1010	1011.4	1013.7	1009.88
	Mean Daily Range	1	4.9	5.7	5.9	5.8	5	3.9	3.8	3.9	4.8	4.9	4.6	5
	Ext. Max.	1	1020.9	1022.41	1017.68	1015.87	1015.73	1011.18	1011.12	1010.97	1012.75	1017.17	1016.94	1025.09
	Ext. Min.	1	1006.84	1005.83	1004.42	1003.39	1001.55	1002.47	1000.82	1001.32	1001	1002.16	1005.78	1007.52
Temperature(Celsius)	Mean Max.	1	31.4	28.2	36.1	28.9	34.1	31.4	32.3	33	33.9	31.4	31.8	33.3
	Ext. Max.	1	33.8	37.6	39.1	39.3	38.7	35.3	34.6	35.4	36.5	35.1	35.9	35
	Mean Min.	1	21.3	19.9	23.5	25.2	25.7	25.6	24.9	25.2	25.1	24.4	23.5	23.7
	Ext. Min.	1	18.3	16.9	21.1	22.8	23.2	24	23.7	23.8	23.3	21.2	20.9	11.9
	Mean	1	25.9	26.8	28.5	30.6	28.4	28.8	27.6	28.3	28.8	27.8	27.1	24.9
	Mean	1	20	17.1	20.6	22	24.6	24.7	24.6	24.6	24.8	24	22.2	18.8
Dew Point Temp. (Celsius)	Mean	1	20	17.1	20.6	22	24.6	24.7	24.6	24.6	24.8	24	22.2	18.8
Relative Humidity(%)	Mean	1	72	59	62	63	78	80	85	82	81	81	76	71
	Mean Max.	1	89	83	85	83	93	93	96	94	94	95	91	89
	Mean Min.	1	50	34	39	42	58	60	65	63	60	61	56	49
	Ext. Min.	1	32	23	16	29	38	51	55	48	44	47	40	27
Visibility(km.)	Mean	1	9.9	5.9	5.1	8	8.8	10.9	10.5	10.8	10.9	10.4	9.6	9.5
	07.00LST	1	9.3	4.7	3.8	7.5	8.2	10.6	9.9	10.4	10.1	9.7	9	7.9
Cloud Amount(1-10)	Mean	1	4	0	2	3	6	8	9	8	7	5	5	5
Wind (Knots)	Prev. Wind	1	NW	SE	E	SE,NW	S	SE	E	NW	N	NW,NW	N,W	Vary
	Mean	1	13	17	1.9	2	17	14	14	14	15	13	16	16
	Max.	1	34	16	23	29	31	19	17	21	20	19	28	14
Pan Evaporation(mm.)	Total	1	95.3	119.5	156.7	160.1	125	107.3	90.3	113.7	118.1	94.6	84.3	87.4
	Total	1	11.7	4.5	56.9	99.5	595.9	133.3	146.6	231.9	160	182.9	14.8	25.8
Rainfall(mm)	Nun. of Days	1	8	1	6	7	18	17	27	19	15	5	3	145
	Daily Max.	1	3.4	4.5	20.2	34.9	248.9	44.5	56	26.7	43	49.9	11	15
Sunshine Duration(hr.)	Mean	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Phenomena(Days)	Fog	1	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0
	Haze	1	2	27	30	17	8	0	0	0	0	1	5	2
	Hail	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	ThunderStorm	1	0	1	0	0	1	1	0	1	0	0	0	0
	Squall	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

## ภาพ 62 ตัวอย่างข้อมูลจากสถานีอุตุนิยมวิทยาจังหวัดกำแพงเพชร

ภาพ 62 แสดงข้อมูลการเก็บรวบรวมข้อมูลสภาพภูมิอากาศจากสถานีอุตุนิยมวิทยาจังหวัดกำแพงเพชร แต่ในสถานีอื่นรอบนอก มีการเก็บข้อมูลเพียง ปริมาณน้ำฝน อุณหภูมิ และความชื้น ดังนั้นจึงเลือกทั้งสามตัวเป็นข้อมูลมาตรฐานสำหรับใช้เป็นปัจจัยในแปลงอ้อยที่กระจายอยู่ทุกอำเภอของจังหวัดกำแพงเพชร

4. ข้อมูลสภาพแวดล้อมจาก โรงงานนครเพชร ประกอบด้วย ระยะเวลาปลูกอ้อย ประเภทของตออ้อย พันธุ์อ้อย และผลผลิต โดยข้อมูลในปี 2560 มีการสำรวจการปลูกอ้อยที่จากโรงงานน้ำตาลนคร จำกัด ซึ่งทางโรงงาน ได้มีการสำรวจแปลงที่จะส่งอ้อยเข้าสู่โรงงานจำนวน 1,353 แปลง เก็บเกี่ยวได้จริง 317 แปลง และได้นำข้อมูลดังกล่าวมาใช้ในการคัดเลือกตัวอย่างภาพแปลงอ้อยที่จะนำมาพัฒนาเป็นแบบจำลองพยากรณ์ผลผลิตที่เพิ่มค่าอัตราจุดบกพร่องภายในแปลงอ้อยโดยการวิเคราะห์ภาพในปี 2561 โดยมีรายละเอียดของการคัดเลือกสำรวจภาพแปลงอ้อยจากปัจจัยสภาพแวดล้อมดังตาราง 28

ตาราง 28 ข้อมูลพารามิเตอร์ที่มีความแตกต่างกันของการปลูกอ้อย ของชุดข้อมูลปี 2560

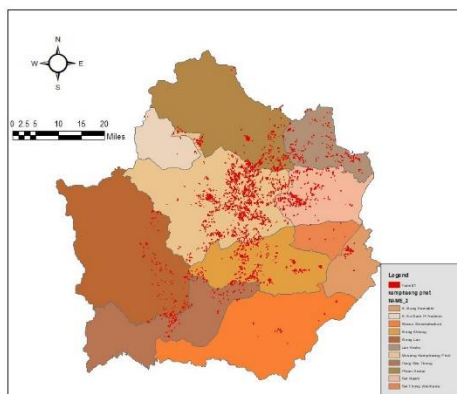
ปัจจัย	รายละเอียด
พันธุ์อ้อย	LK-91-11, ขอนแก่น 3, อุทอง 11
ตออ้อย	ตอ 1(13), ตอ 2(15), ตอ 3(18)
ชุดดิน	3, 4, 5, 6, 7, 15 ,16, 17, 18, 21, 22, 33, 35, 36, 38, 40, 44, 46, 48, 49, 55 และ 56
ระดับผลผลิตที่ได้	น้อย, กลาง, มาก

จากนั้นดำเนินการหาผลคูณคาร์ทีเซียน (Oooka และ Oguchi, 2016) ซึ่งเป็นการหารูปแบบย่อยจากชุดข้อมูลด้วยพารามิเตอร์ 4 ตัวแปร เพื่อหาจำนวนแปลงตัวอย่างที่จะเก็บเป็นข้อมูลภาพที่ใช้สำหรับการตรวจสอบจุดบกพร่อง โดยอ้างอิงรูปแบบในตาราง 28 คือ  $3 \times 3 \times 3 \times 22 = 594$  รูปแบบ แสดงตัวอย่างรูปแบบดังตาราง 29

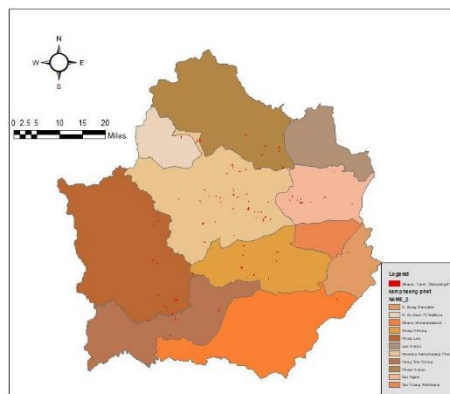
ตาราง 29 ตัวอย่างรูปแบบของกลุ่มตัวอย่างจากทั้งหมด 594 รูปแบบ

รูปแบบ	พื้นที่อ้อย	ตออ้อย	ชุดดิน	ระดับผลผลิต
1	Lk-92-11	Ratoon 1	40	Low
2	Khon Kaen 3	Ratoon 3	40	Low
3	U Thong 11	Ratoon 1	16	Low
214	Lk-92-11	Ratoon 1	15	Medium
215	Khon Kaen 3	Ratoon 1	21	Medium
216	Lk-92-11	Ratoon 3	6	Medium
474	Lk-92-11	Ratoon 1	49	High
475	Khon Kaen 3	Ratoon 2	36	High
476	U Thong 11	Ratoon 1	38	High
594	Lk-92-11	Ratoon 1	40	High

เมื่อนำรูปแบบ 594 รูปแบบมาจับคู่กับข้อมูลแปลงอ้อยที่สำรวจในช่วงแรกของการสำรวจในปี 2561 จำนวนทั้งสิ้น 3,422 แปลง พบว่า แปลงที่มีสภาพแวดล้อมในรูปแบบเดียวกันและรูปแบบไม่ซ้ำกันที่ต้องถ่ายภาพมีทั้งหมด 90 แปลง ซึ่งได้ดำเนินการเก็บข้อมูลในช่วงเดือนกันยายนถึงเดือนตุลาคม 2561 หรือก่อนเก็บเกี่ยว 2 เดือนซึ่งเป็นระยะสุกแก่ของอ้อย โดยมี 4 เงื่อนไขประกอบด้วย 1) ความสูงจากพื้นดินที่ 200 ถึง 300 เมตร 2) ไม่ควบคุมสภาพแวดล้อม 3) ไม่ควบคุมช่วงเวลาถ่ายภาพ และ 4) ขนาดของภาพ (3078 x 5472 พิกเซล) แสดงดังภาพ 63



(ก) ประชากร



(ข) กลุ่มตัวอย่าง

ภาพ 63 แปลงอ้อยตัวอย่าง ปี 2561 ที่สำรวจด้วยอากาศยานไร้คนขับ

ภาพ 63 (ก) แสดงข้อมูลแปลงอ้อยทั้งหมดของปี 2561 และภาพ 63 (ข) แสดงข้อมูลแปลงอ้อยที่เป็นตัวอย่างสำหรับการพัฒนาแบบจำลองการวิเคราะห์จุดบกพร่อง ภาพต้นฉบับแปลงอ้อยทั้ง 90 ภาพ รายละเอียดภาพต้นฉบับในภาคผนวก ก. และภาพแปลงอ้อยทั้งหมดแสดงดังภาพ 64


ภาพ 64 ภาพตัวอย่างแปลงอ้อยสำหรับตรวจสอบจุดบกพร่องของปี 2561

ดังนั้น ภาพแปลงอ้อยตัวแทนทั้งหมด 90 รูปแบบที่ตรงกับแปลงอ้อยของโรงงานและไม่ซ้ำกัน สำหรับการพัฒนาแบบจำลองตรวจสอบจุดบกพร่องภายในแปลงอ้อย และหลังจากเก็บเกี่ยวผลผลิตในปี 2561 ถูกนำมาจับคู่กับแปลงที่โรงงานรวบรวมได้ ซึ่งใช้ได้เพียง 53 แปลงตัวอย่าง ซึ่งถูกอธิบายไว้ในหัวข้อกระบวนการสร้างแบบจำลองการพยากรณ์ผลผลิตอ้อย

สำหรับข้อมูลที่เก็บรวบรวมเพื่อใช้ในการพัฒนาแบบจำลองพยากรณ์ผลผลิตอ้อย หลังจากฤดูกาลเก็บเกี่ยวในปี 2561 พบว่า ข้อมูลไม่ครบถ้วนและเกษตรกรไม่ได้ส่งอ้อยเข้าสู่โรงงานตามการสำรวจในช่วงแรกทั้งสิ้น 1,002 แปลง จึงทำให้มีข้อมูลที่ใช้ในการพัฒนาแบบจำลองทั้งสิ้น 1,711 แปลง แสดงตัวอย่างข้อมูลดังตาราง 30

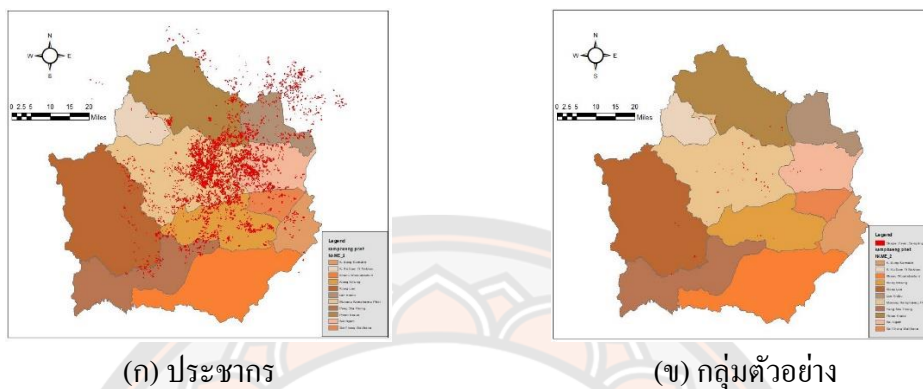
ตาราง 30 ตัวอย่างข้อมูลสภาพแวดล้อมแปลงอ้อยปี 2561

รหัสแปลง	ปริมาณน้ำฝน (มิลลิเมตร)	ชุดดิน	ระยะการปลูก (เซนติเมตร)	ต่ออ้อย	พันธุ์อ้อย	ผลผลิต (ตันต่อไร่)
10001001	978.10	7	150	2	LK-91-11	19.22
10001002	978.10	7	150	2	LK-91-11	12.59
10001003	1197.30	3	150	2	Khon Kaen 3	11.61
10001004	1197.30	3	150	2	Khon Kaen 3	3.38
10001005	1197.30	6	150	2	LK-91-11	16.54
10001006	978.10	7	150	2	LK-91-11	10.07
10008002	1197.30	35	140	1	Khon Kaen 3	10.59
10008003	1197.30	35	140	1	Khon Kaen 3	12.94
75590002	1197.30	46	140	2	Khon Kaen 3	8.83
99953002	1197.30	17	150	2	Khon Kaen 3	14.42

ดังนั้น ข้อมูลอ้อยจำนวน 1,711 แปลงได้ถูกนำไปใช้ในการฝึกฝนและทดสอบแบบจำลองพยากรณ์ผลผลิต และนำไปจับคู่กับแปลงอ้อยที่เป็นตัวแทนค่าจุดบกพร่องที่สำรวจอีก 53 แปลง ตัวอย่าง ทำให้มีข้อมูลเพียง 745 แปลง สำหรับการพัฒนาแบบจำลองกลุ่มตัวอย่างของแบบจำลองการพยากรณ์ผลผลิต ซึ่งรายละเอียดอธิบายอยู่ในหัวข้อกระบวนการสร้างแบบจำลองการพยากรณ์ผลผลิตอ้อย



เมื่อนำรูปแบบทั้ง 594 รูปแบบจับคู่กับข้อมูลแปลงอ้อยที่สำรวจในช่วงแรกของการสำรวจในปี 2562 จำนวนทั้งสิ้น 8,117 แปลง พบว่า แปลงที่มีสภาพแวดล้อมในรูปแบบเดียวกันและรูปแบบไม่ซ้ำกันที่ต้องถ่ายภาพมีทั้งหมด 72 แปลง แสดงดังภาพ 65



ภาพ 65 ภาพตัวอย่างแปลงอ้อยสำหรับตรวจสอบจุดบกพร่องของปี 2562

ภาพ 65 (ก) แสดงข้อมูลแปลงอ้อยทั้งหมดของปี 2562 และภาพ 65 (ข) แสดงข้อมูลแปลงอ้อยที่เป็นตัวอย่างสำหรับการพัฒนาแบบจำลองการวิเคราะห์จุดบกพร่อง ภาพต้นฉบับแปลงอ้อยทั้ง 72 ภาพ แสดงดังภาพ 66

10001003	10001005	10008002	10015001	10018001	10024001	10026001	10026003	10031001
10031002	10031003	10043001	10073002	10076002	10076005	10076007	10076013	10081002
10088001	10141002	10185001	10194001	10198001	10223006	10223007	10223008	10262001
10268001	10278001	10455001	10677001	10679001	10682001	10694010	10710001	11102001
11260011	11566001	11768001	14616003	15288001	15315001	15378001	15841002	21747002
21944006	24724003	25059001	25238023	25492012	26349001	30854001	30906006	30906009
30906018	30947003	30951001	30960002	30906010	50441003	54394004	55645002	56012002
56012003	65197001	65560002	73510001	75590002	75822001	98659007	99457001	99567002

ภาพ 66 ภาพตัวอย่างแปลงอ้อยสำหรับตรวจสอบจุดบกพร่องของปี 2562

ดังนั้น ภาพแปลงอ้อยตัวแทนทั้งหมด 72 รูปแบบที่ตรงกับแปลงอ้อยของโรงงานและไม่ซ้ำกัน สำหรับการพัฒนาแบบจำลองตรวจสอบจุดบกพร่องภายในแปลงอ้อย และหลังจากเก็บเกี่ยวผลผลิตในปี 2562 จะถูกมาจับคู่กับภาพแปลงที่โรงงานรวบรวมได้ ซึ่งใช้ได้เพียง 24 แปลงตัวอย่าง ดังอธิบายไว้ในหัวข้อกระบวนการทดสอบแบบจำลองและการพัฒนาโปรแกรมประยุกต์ใช้งาน

สำหรับข้อมูลที่เก็บรวบรวมเพื่อใช้ในการพัฒนาแบบจำลองพยากรณ์ผลผลิตอ้อย หลังจากฤดูกาลเก็บเกี่ยวในปี 2562 พบว่า ข้อมูลไม่ครบถ้วนและเกษตรกรไม่ได้ส่งอ้อยเข้าสู่โรงงานตามการสำรวจในช่วงแรกทั้งสิ้น 8,117 แปลง จึงทำให้มีข้อมูลที่ใช้ในการพัฒนาแบบจำลองทั้งสิ้น 2,869 แปลง แสดงตัวอย่างข้อมูลดังตาราง 31

ตาราง 31 ตัวอย่างข้อมูลสภาพแวดล้อมแปลงอ้อยปี 2562

รหัสแปลง	ปริมาณน้ำฝน (มิลลิเมตร)	ชุดดิน	ระยะการปลูก (เซนติเมตร)	ตออ้อย	พันธุ์อ้อย	ผลผลิต (ตันต่อไร่)
10001001	978.10	7	150	2	LK-91-11	19.22
10001002	978.10	7	150	2	LK-91-11	12.59
10001003	1197.30	3	150	2	Khon Kaen 3	11.61
10001004	1197.30	3	150	2	Khon Kaen 3	3.38
10001005	1197.30	6	150	2	LK-91-11	16.54
10001006	978.10	7	150	2	LK-91-11	10.07
10008002	1197.30	35	140	1	Khon Kaen 3	10.59
10008003	1197.30	35	140	1	Khon Kaen 3	12.94
75590002	1197.30	46	140	2	Khon Kaen 3	8.83
99953002	1197.30	17	150	2	Khon Kaen 3	14.42

ดังนั้น ข้อมูลอ้อยจำนวน 2,869 แปลงจะถูกนำไปใช้ในการฝึกฝนและทดสอบแบบจำลองพยากรณ์ผลผลิต และนำไปจับคู่กับแปลงอ้อยที่เป็นตัวแทนค่าจุดบกพร่องที่สำรวจได้อีก 24 แปลงตัวอย่าง จะทำให้มีข้อมูลเพียง 821 แปลง สำหรับการพัฒนาแบบจำลองกลุ่มตัวอย่างของแบบจำลองการพยากรณ์ผลผลิต ซึ่งรายละเอียดอธิบายอยู่ในหัวข้อกระบวนการทดสอบและการประยุกต์ใช้งานแบบจำลอง

## กระบวนการพัฒนาแบบจำลองตรวจสอบจุดบกพร่องภายในแปลงอ้อย

แบบจำลองตรวจสอบจุดบกพร่องภายในแปลงอ้อย ประยุกต์วิธีการประมวลผลภาพดิจิทัลกับภาพแปลงอ้อยที่ได้ทั้ง 90 ภาพที่ได้จากกระบวนการเก็บรวบรวมข้อมูล ซึ่งภาพดังกล่าวเป็นภาพสีที่มีความละเอียดสูงและมีขนาดภาพ (3,078 x 5,473 พิกเซล) ถ่ายด้วยความสูงจากพื้นดินที่ 200 ถึง 300 เมตร โดยไม่ควบคุมสภาพแวดล้อมและช่วงเวลาถ่ายภาพ ดังนั้น กระบวนการพัฒนาแบบจำลองการตรวจสอบจุดบกพร่องจึงประกอบด้วย 4 กระบวนการ แสดงกรอบแนวคิดงานวิจัย ดังภาพ 67



ภาพ 67 กรอบแนวคิดสำหรับแบบจำลองตรวจสอบจุดบกพร่อง

ภาพ 67 แสดงกรอบแนวคิดสำหรับการพัฒนาแบบจำลองตรวจสอบจุดบกพร่องภายในแปลงอ้อย ประกอบด้วย 4 ขั้นตอนหลัก ได้แก่ 1) การเก็บรวบรวมข้อมูล 2) การเตรียมข้อมูล 3) การสร้างแบบจำลองตรวจสอบจุดบกพร่อง และ 4) การพัฒนาโปรแกรมประยุกต์ใช้งานของแบบจำลองตรวจสอบจุดบกพร่อง

## 1. การเก็บรวบรวมข้อมูล

ข้อมูลแปลงอ้อยที่ได้มีการเก็บรวบรวมสำหรับการพัฒนาแบบจำลองตรวจสอบจุดบกพร่องนั้นใช้ข้อมูลของโรงงานจากการเก็บเกี่ยวในปี พ.ศ. 2560 มีการพิจารณาข้อมูลจาก 4 ปัจจัย ได้แก่ พันธุ์อ้อย ตออ้อย ชูดิน และระดับผลผลิต ดังตาราง 28 เพื่อใช้เป็นรูปแบบพื้นฐานในการสุ่มตัวอย่างแปลงที่มีลักษณะคล้ายกัน ผลลัพธ์ที่ได้จากการหาผลคูณคาร์ทีเซียนทำให้ได้รูปแบบแปลงอ้อยจำนวน 594 รูปแบบ เพื่อใช้เป็นตัวแทนค่าจุดบกพร่องและใช้สำหรับการเลือกแปลงตัวอย่างในปี พ.ศ. 2561 หลังจากการเก็บเกี่ยวเสร็จสิ้น โรงงานอุตสาหกรรมสามารถรวบรวมข้อมูลได้จำนวนทั้งสิ้น 3,422 แปลง พบว่า แปลงที่มีสภาพแวดล้อมในรูปแบบเดียวกันและรูปแบบไม่ซ้ำกันที่ต้องถ่ายภาพมีทั้งหมด 90 แปลง แสดงกลุ่มตัวอย่างดังภาพ 63 (ข) และแสดงภาพตัวอย่างแปลงอ้อยดังภาพ 68



ภาพ 68 ภาพมุมมองสูงของแปลงอ้อยที่สำรวจด้วยอากาศยานไร้คนขับ

จากภาพ 68 เป็นภาพตัวอย่างจาก 90 ภาพที่ได้จากการเก็บรวบรวม สิ่งที่พบในภาพดังกล่าวคือ ปัญหาเงาจากต้นไม้ที่อยู่ข้างแปลงอ้อยและเงาของต้นอ้อยที่มีความสูงไม่เท่ากันในทุกภาพที่ได้เก็บรวบรวม ดังนั้นก่อนที่จะเข้าสู่กระบวนการพัฒนาแบบจำลองจึงจำเป็นต้องเข้าสู่กระบวนการเตรียมข้อมูลภาพ เพื่อลดปัญหาเงาที่เกิดขึ้นภายในภาพต้นฉบับ

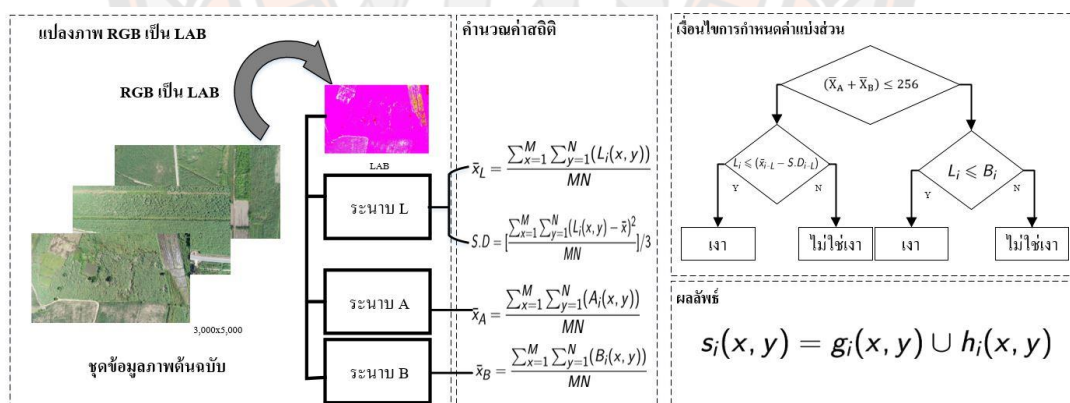
## 2. การเตรียมข้อมูลภาพ

การเตรียมข้อมูลภาพเป็นขั้นตอนที่สำคัญในการจัดการข้อมูลภาพก่อนที่จะนำภาพเข้าสู่การประมวลผลด้วยวิธีการหรือขั้นตอนต่าง ๆ ซึ่งภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับมีส่วนที่เป็นเงาของวัตถุในขณะที่ถ่ายภาพในช่วงเวลาที่แตกต่างกัน ซึ่งประกอบไปด้วย เงาของต้นไม้ และเงาจากต้นอ้อยที่มีความสูงที่แตกต่างกัน ทำให้ต้องมีกระบวนการตรวจสอบเงาและปรับลดความเข้มของ

เงาก่อนที่จะนำภาพเข้าสู่กระบวนการประมวลผลภาพ แสดงตัวอย่างภาพข้อมูลแปลงอ้อยและตัวอย่างของเงาดังภาพ 68 ซึ่งมีเงาปรากฏในส่วนมุมขวาของภาพแปลงอ้อย ด้านการประมวลผลภาพเงาสามารถแบ่งออกได้ 2 ประเภท คือ เงาสีเข้มและเงาสีอ่อน เงาของต้นไม้และเงาของคันอ้อย หากนำภาพไปดำเนินการด้วยวิธีการ Otsu's thresholding จะทำให้ส่วนที่เป็นเงาถูกตรวจสอบเป็นพื้นที่จุดบกพร่อง ซึ่งไม่ควรถูกวิเคราะห์ให้เป็นจุดบกพร่อง ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการตรวจสอบพื้นที่เงาและการปรับลดความเข้มของเงา โดยมีรายละเอียดดังนี้

### 1) กระบวนการตรวจสอบเงา (Shadow Detection)

การตรวจสอบพื้นที่เงาเป็นขั้นตอนหนึ่งของการเตรียมข้อมูลภาพก่อนเข้าสู่การประมวลผลภาพ เพราะส่วนมากแปลงปลูกอ้อยมักมีต้นไม้ข้างแปลง เพื่อให้ร่มเงาแก่เกษตรกรใช้อาศัยขณะที่ทำการปลูก ไล่ปุ๋ย ดูแลรักษา และช่วงฤดูการเก็บเกี่ยว การถ่ายภาพมุมบนแปลงอ้อยในช่วงเวลาที่แตกต่างกัน สิ่งที่เกิดขึ้นในภาพกลุ่มตัวอย่าง คือ เงาจากทิศทางของแสงอาทิตย์ที่เปลี่ยนไป ทำให้เกิดเงาของต้นไม้ ซึ่งส่งผลกระทบต่อตรวจสอบจุดบกพร่องในส่วนที่มีเงาปรากฏในภาพ ซึ่งการตรวจสอบถูกพัฒนาขึ้นในหลากหลายวัตถุประสงค์ เช่น การตรวจสอบเงาในภาพเดี่ยวในที่โล่งแจ้ง (Hiary และคณะ, 2018) และการตรวจสอบเงาด้วยการใช้กล้องอินฟราเรด (Park และคณะ, 2018) เป็นต้น สำหรับการตรวจสอบพื้นที่เงาของงานวิจัยนี้ แสดงดังภาพ 69



ภาพ 69 ขั้นตอนวิธีการตรวจสอบเงา

ภาพ 69 แสดงขั้นตอนการตรวจสอบพื้นที่เงาตามงานวิจัยของ (Sunny และ Mithila, 2013) ที่สามารถตรวจสอบพื้นที่เงาที่ปรากฏที่อยู่ภายในภาพ ประกอบด้วยขั้นตอนดังนี้

1. นำภาพสี RGB เปลี่ยนเป็นระนาบ LAB
2. คำนวณค่าเฉลี่ยของพิกเซล ของระนาบ L, A และ B ในภาพตามลำดับ

3. ถ้าค่าเฉลี่ยของระนาบ A บวกกับค่าเฉลี่ยของระนาบ B น้อยกว่า 256 ภาพจะถูกตรวจสอบอีกครั้ง โดยถ้าหากพิกเซล L ที่พิจารณานั้นน้อยกว่าหรือเท่ากับค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของระนาบ L แสดงว่าเป็น พื้นที่เงา  $g_i(x,y)$  และส่วนอื่นที่ไม่ผ่านเงื่อนไข คือ ส่วนที่ไม่ใช่พื้นที่เงา  $h_i(x,y)$

4. ถ้าค่าเฉลี่ยของระนาบ A บวกกับค่าเฉลี่ยของระนาบ B มากกว่า 256 ภาพจะถูกตรวจสอบอีกครั้ง โดยถ้าหากพิกเซล L ที่พิจารณานั้นน้อยกว่าหรือเท่ากับค่าของระนาบ B ที่พิจารณา แสดงว่าเป็น พื้นที่เงา  $g_i(x,y)$  และส่วนอื่นที่ไม่ผ่านเงื่อนไข คือ ส่วนที่ไม่ใช่พื้นที่เงา  $h_i(x,y)$  เมื่อทำงานครบทุกพิกเซลภายในภาพ ผลลัพธ์ที่ได้จะถูกนำเข้าสู่กระบวนการปรับลดเงาต่อไป แสดงขั้นตอนการทำงานดังรหัสเทียมในอัลกอริทึมที่ 1

```

Algorithm 1 Pseudo code description of a shadow detection. Input = UAV image. Output=Binary image ( $g_i(x, y)$  represents the shadow region and  $h_i(x, y)$  represents the non-shadow region)

1: Procedure Shadow detection (image)
2:     height  $\rightarrow$  Image height from image
3:     width  $\rightarrow$  Image width from image
4:     vertical scan at h:
5:     for x e (0, height) do
6:         raster scan at w:
7:         for y e (0, width) do
8:             If mean (A (x ,y)) + mean (B (x,y)) <= 256
9:                 If (L (x ,y) <= mean (L)) - standard deviation (L) /3
10:                    shadow region ( $g_i(x, y)$ )
11:                Else
12:                    non-shadow region ( $h_i(x, y)$ )
13:                end if
14:            Else
15:                If pixel (L (x ,y)) < pixel (B (x ,y))
16:                    shadow region ( $g_i(x, y)$ )
17:                Else
18:                    non-shadow region ( $h_i(x, y)$ )
19:                end if
20:            end if
21:        end for
22:    end for
23: End procedure

```

## 2) การปรับลดเงา (Shadow Adjustment)

กระบวนการปรับลดเงาเป็นอีกกระบวนการหนึ่งในการเตรียมข้อมูลภาพก่อนเข้าสู่กระบวนการรู้จำภาพและพัฒนาแบบจำลอง โดยดำเนินการหลังจากที่ได้พื้นที่เงาจากกระบวนการตรวจสอบพื้นที่เงา และในปัจจุบันมีการพัฒนาวิธีการปรับลดเงา เช่น การปรับลดเงาจากภาพสี RGB-D (Suny และ Mithila, 2013) การปรับลดเงาดีกสูงจากภาพดาวเทียม (Gonzalez และ Faisal,

2019) และการปรับลดเงาในการสำรวจพื้นที่ใช้ประโยชน์ (Shahthahmassebi, Yang, Wang, Moore และ Shen, 2013) เป็นต้น โดยขั้นตอนการปรับลดเงาของงานวิจัยนี้อาศัยการคำนวณค่าอัตราส่วนของแสงในพื้นที่เงาและพื้นที่ไม่ใช่เงาตามงานวิจัยของ (Movia และคณะ, 2016) โดยมีขั้นตอนการดำเนินการดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 ภาพผลลัพธ์จากระบวนการตรวจสอบเงาจะถูกแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ พื้นที่เงาและพื้นที่ไม่ใช่เงา แสดงได้ดังสมการ 22

$$s_i(x, y) = g_i(x, y) \cup h_i(x, y) \quad (22)$$

โดยที่

$S_i(x, y)$  คือ ภาพผลลัพธ์จากระบวนการตรวจสอบเงา

$g_i(x, y)$  คือ พื้นที่เงา

$h_i(x, y)$  คือ พื้นที่ไม่ใช่เงา

ขั้นตอนที่ 2 คำนวณแหล่งกำเนิดแสงของแต่ละระนาบสีของพื้นที่เงา ( $e_1$ ) และไม่ใช่พื้นที่เงา ( $e_2$ ) บนพื้นฐานของความมั่นคงของสี (Color Constancy) ดังสมการ 23 และ 24

$$e_{1-i} = k_{-i} \left[ \sum_{x=1}^M \sum_{y=1}^N (g_i(x, y))^p \right]^{1/p} \quad (23)$$

โดยที่  $e_{1-i}$  คือ ค่าแหล่งกำเนิดแสงของพื้นที่เงา

$MN$  คือ จำนวนพิกเซลของพื้นที่เงา

$k_{-i}$  คือ ค่าสีของแต่ละระนาบสีแดง ( $K_R$ ), สีเขียว ( $K_G$ ), และสีน้ำเงิน ( $K_B$ ) ของพื้นที่เงา

$p$  คือ ค่าน้ำหนักของแต่ละค่าเฉลี่ยเทาของแหล่งกำเนิดแสง

$$e_{2-i} = k_{-i} \left[ \sum_{x=1}^M \sum_{y=1}^N (h_i(x, y))^p \right]^{1/p} \quad (24)$$

โดยที่  $e_{2-i}$  คือ ค่าแหล่งกำเนิดแสงของพื้นที่ไม่มีเงา

$MN$  คือ จำนวนพิกเซลของพื้นที่ไม่มีเงา

$k_{-i}$  คือ ค่าสีของแต่ละระนาบสีแดง ( $K_R$ ), สีเขียว ( $K_G$ ), และสีน้ำเงิน ( $K_B$ ) ของพื้นที่ไม่มีเงา

$p$  คือ ค่าน้ำหนักของแต่ละค่าเฉลี่ยเทาของแหล่งกำเนิดแสง

ขั้นตอนที่ 3 คำนวณค่าคงที่ของอัตราปรับความสว่างของพื้นที่เงาและพื้นที่ที่ไม่ใช่เงา และนำค่าอัตราดังกล่าวปรับค่าความสว่างของพื้นที่เงา ดังสมการ 25

$$g_{hi}(x,y) = g_i(x,y) \cdot e_{2_i}/e_{1_i} \quad (25)$$

โดยที่  $g_{hi}$  คือ พื้นที่เงาใหม่ที่ผ่านการปรับความสว่าง  
 $e_{2_i}/e_{1_i}$  คือ ค่าอัตราความสว่างของพื้นที่เงาและไม่ใช่เงา  
 $g_i(x,y)$  คือ พื้นที่เงา

เมื่อดำเนินการด้วยกระบวนการปรับลดเงา พื้นที่เงาจะมีความสว่างมากขึ้นและสามารถแสดงข้อมูลที่อยู่ภายใต้เงาได้ มากไปกว่านั้นยังทำให้สามารถนำข้อมูลภาพเข้าสู่กระบวนการพัฒนาแบบจำลองตรวจสอบจุดบกพร่องของแปลงอ้อยต่อไป

### 3. การสร้างแบบจำลองตรวจสอบจุดบกพร่องของแปลงอ้อย

การพัฒนาแบบจำลองตรวจสอบจุดบกพร่องของแปลงอ้อย ประกอบด้วยการประมวลผล 4 ขั้นตอนย่อย ได้แก่ 1) การสกัดลักษณะเด่น 2) การตรวจสอบพื้นที่อ้อย 3) การตรวจสอบจุดบกพร่อง และ 4) การรวมข้อมูลผลลัพธ์ การดำเนินการจะนำค่าลักษณะเด่นที่ผ่านเกณฑ์มาประยุกต์ใช้ในกระบวนการตรวจสอบพื้นที่อ้อย และประยุกต์ใช้วิธีการเลือกเมล็ดสีในกระบวนการตรวจสอบจุดบกพร่องในพื้นที่แปลงอ้อย และนำผลลัพธ์ที่ได้จากทั้งสองกระบวนการรวมเข้าด้วยกัน โดยแต่ละขั้นตอนมีรายละเอียดดังนี้

#### 1) การสกัดลักษณะเด่น

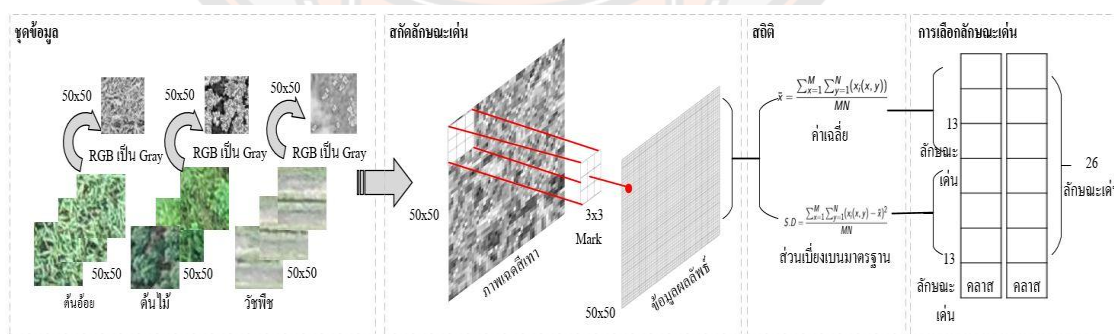
การสกัดลักษณะเด่นเป็นขั้นตอนหนึ่งที่สำคัญต่อการสร้างแบบจำลอง เพื่อใช้ในการจำแนกวัตถุที่อยู่ภายในภาพแปลงอ้อย เช่น พื้นที่อ้อย วัชพืช ดิน แหล่งน้ำ ถนน และต้นไม้ เป็นต้น ในงานวิจัยนี้ใช้วิธีการแบ่งส่วนภาพร่วมกับวิธีการสกัดลักษณะเด่นเชิงผิวภาพ จากข้อมูลภาพจากอากาศยานไร้คนขับที่ผ่านกระบวนการเตรียมข้อมูลภาพ ทั้งหมด 90 ภาพ ซึ่งมีขนาด 3,078 x 5,472 พิกเซล สำหรับกระบวนการสกัดลักษณะเด่นนั้นจะต้องปรับลดขนาดของภาพให้เหลือ 3,000 x 5,000 พิกเซล เพราะเมื่อแบ่งส่วนภาพออกเป็นส่วนย่อยที่มีขนาด 50x50 พิกเซล จะทำให้ได้ชิ้นส่วนภาพพอดีกับขอบภาพและไม่มีส่วนใดของภาพขาดหายไป จึงได้ภาพทั้งหมด 60,000 ภาพย่อยต่อ 1 ภาพ แสดงชุดข้อมูลที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองแสดงดังตาราง 32



ตาราง 32 ข้อมูลที่ใช้สำหรับการสกัดลักษณะเด่น

หมวดหมู่	ชุดข้อมูล 1		ชุดข้อมูล 2	
	ชุดข้อมูลฝึกฝน	ชุดข้อมูล	ชุดข้อมูลฝึกฝน	ชุดข้อมูล
	และตรวจสอบ	ทดสอบ	และตรวจสอบ	ทดสอบ
ต้นอ้อย	5,956	1,449	5,956	1,449
ต้นไม้	2,820	705	-	-
วัชพืช	3,144	786	3,144	786
รวม	11,890	2,940	9,100	2,235

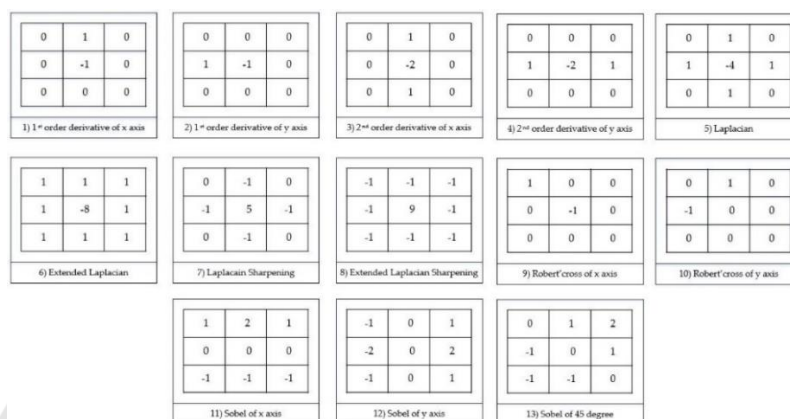
ข้อมูลจากตาราง 32 ถูกใช้เป็นข้อมูลในการฝึกฝนและทดสอบแบบจำลอง โดยแบ่งข้อมูลออกเป็น 2 ชุด ชุดที่ 1 ประกอบด้วย ภาพต้นอ้อย ภาพต้นไม้และภาพวัชพืช และชุดที่ 2 ประกอบด้วย ภาพอ้อยและภาพวัชพืช ซึ่งในแต่ละชุดข้อมูลประกอบด้วยชุดข้อมูลฝึกฝนและตรวจสอบ 80 เปอร์เซ็นต์ และชุดข้อมูลทดสอบ 20 เปอร์เซ็นต์ที่ได้จากภาพตัวอย่างทั้ง 90 ภาพ และแต่ละชุดข้อมูลมีทั้งหมด 5 ขนาด ประกอบด้วย 1)10x10 2)20x20 3 25x25 4)40x40 และ 5)50x50 ตามลำดับ ซึ่งขนาดดังกล่าวคำนวณได้จากการหาค่าการหารร่วมมากของขนาดภาพ 3,000x5,000 พิกเซล ข้อมูลดังกล่าวจะเข้าสู่วิธีการประมวลผลภาพ เพื่อดำเนินการสกัดลักษณะของชุดข้อมูล โดยมีกรอบแนวคิดของการสกัดลักษณะเด่นดังภาพ 70



ภาพ 70 กรอบแนวคิดในการสกัดลักษณะเด่น

จากภาพ 70 สามารถอธิบายการทำงาน โดยการยกตัวอย่างจากกรอบแนวคิดขนาด 50x50 ของภาพย่อยแต่ละหมวดหมู่ประกอบด้วย 4 ขั้นตอน โดยมีรายละเอียดดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 แปลงข้อมูลภาพย่อยที่อยู่ในรูปแบบของภาพสี RGB ให้เป็นภาพเฉดสีเทา  
 ขั้นตอนที่ 2 นำฟิลเตอร์ขนาด 3x3 คอนเวอรต์รูปภาพเฉดสีเทายาวขนาด 50x50 พิกเซล โดย  
 ฟิลเตอร์ที่ใช้ในการสกัดลักษณะเด่นแสดงดังภาพ 71



ภาพ 71 ลักษณะของตัวกรอง 13 แบบ

ขั้นตอนที่ 3 เป็นขั้นตอนการคำนวณลักษณะเด่นจากข้อมูลที่ผ่านมากระบวนการที่ 2 โดย  
 คำนวณค่าทางสถิติทั้ง 2 แบบจากข้อมูลที่ได้ ค่าทางสถิติ ได้แก่ ค่าเฉลี่ย และค่าส่วนเบี่ยงเบน  
 มาตรฐาน จึงทำให้ได้ลักษณะเด่นทั้งหมด 26 ค่า

ขั้นตอนที่ 4 เป็นขั้นตอนการเลือกลักษณะเด่นที่มีค่าสหสัมพันธ์กับคลาสของหมวดหมู่  
 โดยการใช้วิธีเลือกลักษณะเด่นแบบค่ากำหนด (Information Gain-Base Feature Selection) หรือที่  
 เรียกว่า การคำนวณค่าเอโทปี ด้วยโปรแกรม WEKA (Janošcová, 2016) ซึ่งลักษณะเด่นจะต้องมีค่า  
 มากกว่า 0.05 ซึ่งค่าดังกล่าวเลือกจากการนำข้อมูลไปพิจารณาการกระจายตัวแบบ T-Score และตัด  
 กลุ่มข้อมูลที่มีค่าสหสัมพันธ์กลุ่มที่น้อยออก จากนั้นนำลักษณะเด่นที่ผ่านค่ากำหนดเข้าสู่  
 กระบวนการสร้างแบบจำลองการตรวจสอบพื้นที่แปลงอ้อย

#### 2) กระบวนการตรวจสอบพื้นที่แปลงอ้อย

การตรวจสอบพื้นที่อ้อยและพื้นที่อื่น ๆ ในภาพแปลงอ้อย เป็นกระบวนการที่ใช้ใน  
 การจำแนกประเภทของพื้นที่อ้อยภายในภาพ ได้แก่ ต้นอ้อย ต้มไม้ และวัชพืช เป็นต้น โดยข้อมูลที่ใช้  
 ในการพัฒนากระบวนการแสดงดังตาราง 32 ซึ่งข้อมูลแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ประกอบด้วย  
 1) ข้อมูลที่ใช้ฝึกฝนและตรวจสอบ 80 เปอร์เซ็นต์ และ 2) ข้อมูลทดสอบ 20 เปอร์เซ็นต์  
 โดยประยุกต์ใช้วิธีการ K-nearest Neighbors (Imandoust และ Bolandraftar, 2013) ใน  
 กระบวนการพัฒนากระบวนการตรวจสอบพื้นที่แปลงอ้อย

### 3) กระบวนการตรวจสอบจุดบกพร่อง

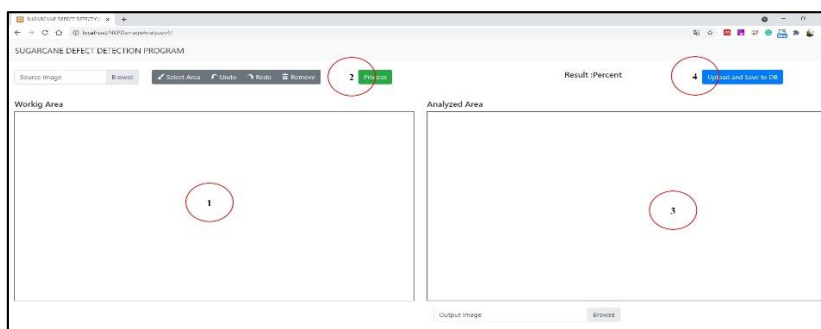
หลังจากที่ได้พื้นที่แปลงอ้อยแล้ว จะดำเนินการโดยใช้วิธีการวิเคราะห์สีและดำเนินการเลือกช่วงเฉดสี เรียกว่า วิธีการเลือกเฉดสี โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อตัดเฉดสีที่ไม่ใช่สีเขียวออกจากข้อมูลภาพพื้นที่แปลงอ้อย โดยการแปลงข้อมูลภาพสี RGB ให้อยู่ในข้อมูลภาพสี HSV และเลือกเฉดสีจากระนาบ (Hue:H) ซึ่งเป็น ระนาบค่าสีบริสุทธิ์ของพิกเซลในภาพ (WorkWithColor.com, 2019) โดยเลือกช่วงของค่าสีเขียวที่มีอยู่ทั้งหมด 3 ช่วงจากลือสี ได้แก่ 1) เขียวเหลือง (Yellow-Green) ค่าพิกเซลอยู่ในช่วง 60-80 องศา 2) เขียว (Green) ค่าพิกเซลอยู่ในช่วง 81-140 องศา และ 3) เขียวฟ้า (Green-Cyan) ค่าพิกเซลอยู่ในช่วง 141-169 องศา เมื่อเลือกจะทำให้ได้ข้อมูลเฉพาะส่วนพื้นที่ของต้น ไม้ วัชพืช และแหล่งน้ำสีเขียว และส่วนที่ถูกตัดออกได้แก่ ต้นอ้อยที่ล้มจากลมพายุ พื้นที่อ้อยที่ไม่เจริญเติบโต พื้นดิน และถนน เป็นต้น จากนั้นนำข้อมูลที่ได้จากการเลือกเฉดสีเข้าสู่กระบวนการรวมข้อมูลต่อไป

### 4) กระบวนการรวมข้อมูล

กระบวนการรวมข้อมูลเป็นกระบวนการที่นำผลลัพธ์ของกระบวนการตรวจสอบพื้นที่แปลงอ้อยและผลลัพธ์ของกระบวนการตรวจสอบจุดบกพร่อง ดำเนินการรวมในระดับบิตด้วยการใช้ตัวดำเนินการแอนด์ (And Bit Operator) เพื่อให้ได้ข้อมูลจุดบกพร่องของพื้นที่แปลงอ้อย

## 4. การพัฒนาส่วนติดต่อผู้ใช้งาน

ส่วนติดต่อผู้ใช้งาน (Graphical Users Interface: GUI) เป็นตัวกลางในการแสดงผลจากการทำงานส่วนประมวลผลถูกพัฒนาขึ้น เพื่อช่วยให้เลือกพื้นที่แปลงอ้อยที่สนใจจากภาพ มากไปกว่านั้น ส่วนติดต่อกับผู้ใช้งานยังสามารถแสดงการวาดเส้น โพลีกอน (Polygon Line) เพื่อเลือกพื้นที่ที่สนใจและช่วยลดความคลาดเคลื่อนจากวัตถุอื่น ๆ ในภาพได้ หลังจากที่ทำกรวาดโพลีกอนในพื้นที่ที่สนใจแล้ว โปรแกรมจะทำการวิเคราะห์จุดบกพร่องในพื้นที่ที่เลือก เช่น แหล่งน้ำ วัชพืช และต้นอ้อยล้ม เป็นต้น การออกแบบหน้าต่างโปรแกรมแสดงดังภาพ 72



ภาพ 72 การออกแบบส่วนติดต่อผู้ใช้งาน โปรแกรมตรวจสอบจุดบกพร่อง

จากภาพ 72 เมื่อผู้ใช้และเลือกภาพที่เก็บไว้มายังพื้นที่ทำงาน (Working Area) แสดงดัง หมายเลข 1 แล้ววาดเส้นโพลีกอนลงไปภายในภาพ จากนั้นกดปุ่มประมวลผล (Process) แสดงดัง หมายเลข 2 จะมีกล่องข้อความขึ้นมาให้รอการประมวลผล จากนั้นหากต้องการเก็บผลลัพธ์สามารถเลือกภาพที่ประมวลผลเรียบร้อยแล้วมายังพื้นที่ที่วิเคราะห์เสร็จ (Analyzed Area) แสดงดังหมายเลข 3 จากนั้น โปรแกรมจะรายงานเปอร์เซ็นต์ค่าจุดบกพร่องมุมขวามือและกดปุ่ม (Upload and Send DB) แสดงดังหมายเลข 4 เพื่อส่งข้อมูลไปยังเซิร์ฟเวอร์ (Server) และส่งไปยัง โปรแกรมผลผลิตอ้อยต่อไป

### การพัฒนาแบบจำลองการพยากรณ์ผลผลิตอ้อย

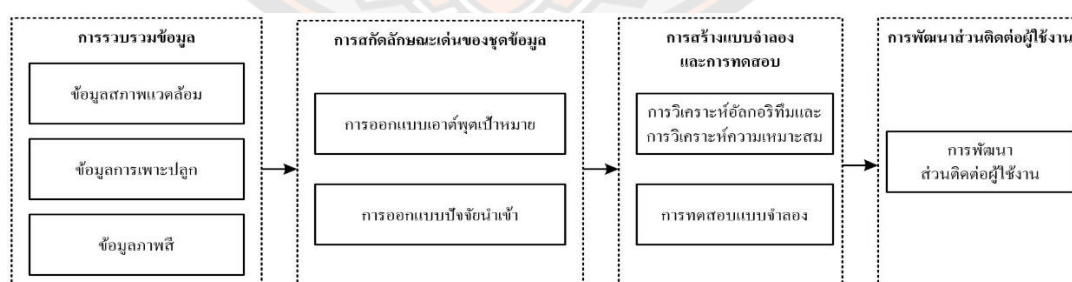
แบบจำลองการพยากรณ์ผลผลิตอ้อยโดยการประยุกต์ใช้การแปลงข้อมูลที่อยู่ในรูปแบบข้อมูลถดถอยเชิงเส้น (Regression Form) ให้อยู่ในรูปแบบของข้อมูลแบบแบ่งกลุ่ม (Classification Form) โดยอาศัยกลุ่มค่าเฉลี่ยผลผลิตของปัจจัยที่มีความคล้ายคลึงกัน เป็นงานวิจัยที่ต้องการพัฒนาแบบจำลองให้มีค่าความคลาดเคลื่อนลดลงจากการที่ใช้มนุษย์ประเมินผลผลิต

แบบจำลองการพยากรณ์ผลผลิตอ้อยทำให้เกิดสมมติฐานว่า ค่าจุดบกพร่องที่จะช่วยเป็นตัวแทนค่าปัจจัยอื่น ๆ ที่เกิดจากสภาพแวดล้อมที่ไม่เอื้ออำนวยต่อการเพาะปลูกได้ ดังนั้นเครื่องมือที่จะถูกนำมาใช้ในงานวิจัยมีดังนี้

1) โปรแกรมตรวจสอบจุดบกพร่องภายในแปลงอ้อย (Tanut และ Riyamongkol, 2020) ได้พัฒนาจากแบบจำลองการตรวจสอบจุดบกพร่องในแปลงอ้อย

2) โปรแกรมแมทแลบ 2015b สำหรับการพัฒนาแบบจำลองการพยากรณ์ผลผลิตอ้อย

กรอบแนวคิดสำหรับแบบจำลองการพยากรณ์ผลผลิตอ้อยแสดงดังภาพ 73



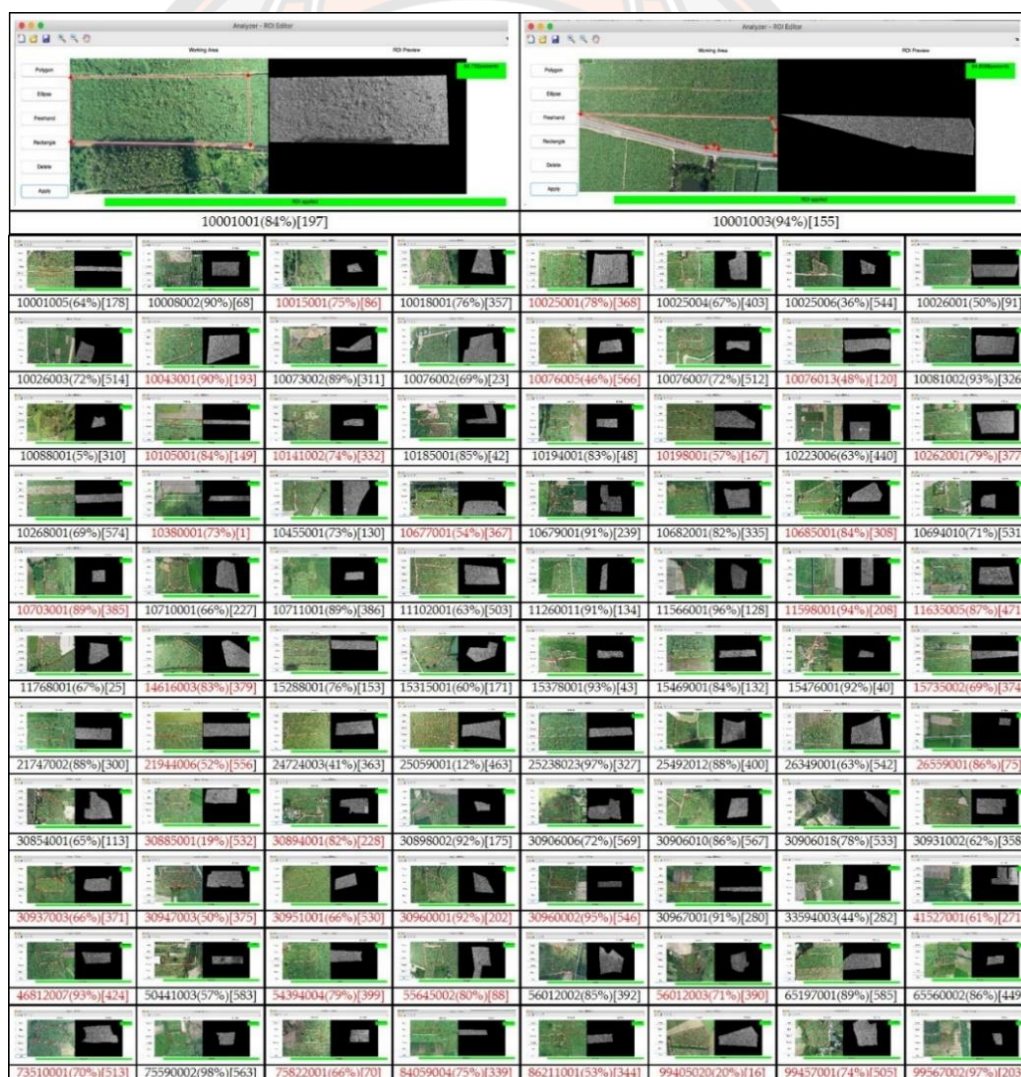
ภาพ 73 กรอบแนวคิดของแบบจำลองการพยากรณ์ผลผลิตอ้อย

จากภาพ 73 กรอบแนวคิดของการพัฒนาแบบจำลองการพยากรณ์ผลผลิตอ้อยประกอบด้วย 4 ขั้นตอน 1) การเก็บรวบรวมข้อมูล 2) การสกัดลักษณะเด่นของชุดข้อมูล 3) การสร้างแบบจำลองและการทดสอบ และ 4) การพัฒนาส่วนติดต่อผู้ใช้ โดยปัจจัยทางสภาพแวดล้อมที่

ใช้ในการพัฒนา ได้แก่ ปริมาณน้ำฝน ชุดดิน ระยะปลูก ตอฮ้อย พันธุ์ฮ้อย ผลผลิต และปัจจัยที่ได้จากโปรแกรมตรวจสอบจุดบกพร่อง คือ ค่าอัตราจุดบกพร่อง รายละเอียดของแต่ละขั้นตอนดังนี้

### 1. การเก็บรวบรวมข้อมูล

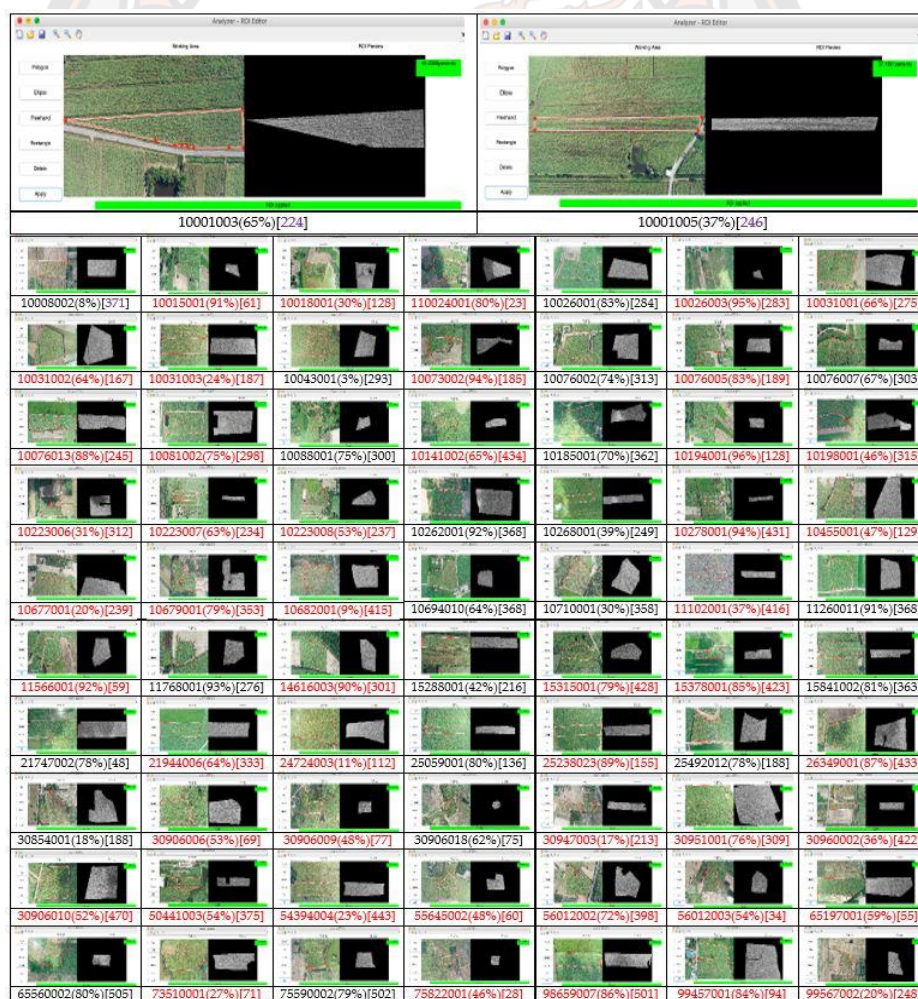
ข้อมูลแปลงฮ้อยที่ต้องเก็บรวบรวมสำหรับแบบจำลองพยากรณ์ผลผลิตฮ้อย เมื่อนำรูปแบบ 594 รูปแบบจับคู่กับข้อมูลแปลงฮ้อยที่สำรวจในช่วงแรกของการสำรวจในปี 2561 จำนวนทั้งสิ้น 3,422 แปลง พบว่า แปลงฮ้อยที่มีสภาพแวดล้อมรูปแบบเดียวกันและรูปแบบไม่ซ้ำกัน ที่ต้องถ่ายภาพมีทั้งหมด 90 แปลง แสดงการตรวจสอบค่าจุดบกพร่องของภาพที่ได้ทำการสำรวจในช่วงก่อนฤดูกาลเก็บเกี่ยว 2 เดือน โดยการวิเคราะห์ภาพด้วยการประยุกต์ใช้โปรแกรมตรวจสอบจุดบกพร่อง แสดงดังภาพ 74



ภาพ 74 ผลลัพธ์ของการวิเคราะห์ค่าจุดบกพร่องด้วยโปรแกรมตรวจสอบจุดบกพร่องปี 2561

การเก็บรวบรวมข้อมูลหลังฤดูกาลเก็บเกี่ยวของปี 2561 และหลังจากฤดูกาลเก็บเกี่ยว พบว่า ข้อมูลไม่ครบถ้วนและเกษตรกรไม่ได้ส่งอ้อยเข้าสู่โรงงานตามการสำรวจในช่วงแรกทั้งสิ้น 1,731 แปลง จึงทำให้มีข้อมูลที่ใช้ในการพัฒนาแบบจำลองทั้งสิ้น 1,711 แปลง และเมื่อนำข้อมูลจับคู่กับ ภาพตัวแทนรูปแบบ พบว่า มีรูปแบบที่ตรงกับภาพที่ได้สำรวจไว้ทั้งสิ้น 52 รูปแบบ (ตัดแปลงสีแดง ออก เพราะเป็นรูปแบบที่ตรงกับแปลงอ้อยที่เกษตรกรไม่ได้ส่งเข้าสู่โรงงาน) ผลลัพธ์จากการจับคู่ ข้อมูลแปลงอ้อยและค่าจุดบกพร่องจึงมีข้อมูลที่ตรงกันทั้งสิ้น 745 ข้อมูล

สำหรับข้อมูลปี 2562 เมื่อนำรูปแบบ 594 รูปแบบจับคู่กับข้อมูลแปลงอ้อยที่สำรวจในช่วงแรกของการสำรวจในปี 2562 จำนวนทั้งสิ้น 8,117 แปลง พบว่า แปลงอ้อยที่มีสภาพแวดล้อม รูปแบบเดียวกันและรูปแบบไม่ซ้ำกัน ที่ต้องถ่ายภาพมีทั้งหมด 72 แปลง แสดงการตรวจสอบค่า จุดบกพร่องของภาพที่ได้ทำการสำรวจในช่วงก่อนฤดูกาลเก็บเกี่ยว 2 เดือน โดยการวิเคราะห์ภาพ ด้วยการประยุกต์ใช้โปรแกรมตรวจสอบจุดบกพร่อง แสดงคิงภาพ 75



ภาพ 75 ผลลัพธ์ของการวิเคราะห์ค่าจุดบกพร่องด้วยโปรแกรมตรวจสอบจุดบกพร่องปี 2562

การเก็บรวบรวมข้อมูลหลังฤดูกาลเก็บเกี่ยวของปี 2562 และเมื่อเก็บเกี่ยวเสร็จ พบว่า ข้อมูลไม่ครบถ้วนและเกษตรกรไม่ได้ส่งอ้อยเข้าสู่โรงงานตามการสำรวจในช่วงแรกทั้งสิ้น 5,248 แปลง จึงทำให้มีข้อมูลที่ใช้ในการพัฒนาแบบจำลองทั้งสิ้น 2,869 แปลง และเมื่อนำข้อมูลจับคู่กับภาพถ่ายแทนรูปแบบ พบว่า มีรูปแบบที่ตรงกับภาพที่ได้สำรวจไว้ทั้งสิ้น 24 รูปแบบ (ตัดแปลงสีแดงออก เพราะเป็นรูปแบบที่ตรงกับแปลงอ้อยที่เกษตรกรไม่ได้ส่งเข้าสู่โรงงาน) ผลลัพธ์จากการจับคู่ข้อมูลแปลงอ้อยและค่าจุดบกพร่องจึงมีข้อมูลที่ตรงกันทั้งสิ้น 821 ข้อมูลและข้อมูลดังกล่าวทั้ง 2 ปีนั้นจะถูกแปลงให้อยู่ในรูปแบบข้อมูลเชิงเลข (Saranya และ Manikandan, 2013) แสดงตัวอย่างข้อมูลตัวอย่างดังตาราง 33

ตาราง 33 ปัจจัยและการแปลงข้อมูลเชิงเลข

ปัจจัย	การปรับ	Example
รหัสแปลง	ข้อมูลจริง	10001001, 10001002, ..., 99953002
ปริมาณน้ำฝน	ข้อมูลจริง	978.1, 1197.3, ..., 1254.3
ชุดดิน	1, 2, 3, ..., 62	Series 1(1), Series(2), ..., Series(62)
ระยะปลูก	ข้อมูลจริง	100 cm. (100), 130 cm.(130), ..., 150 cm. (150)
ตออ้อย	12, 15, 18	Ratoon 1 (12), Ratoon2 (15), Ratoon 3 (18)
พันธุ์อ้อย	1,2,3, ...	LK-91-11 (1) , Khon Kaen 3(2), U Thong 11 (3)
จุดบกพร่อง	ข้อมูลจริง	80% (80), 90% (90), ..., 98% (98)
ผลผลิต	ข้อมูลจริง	19.22 ตันต่อไร่, (19.22)

เมื่อนำข้อมูลทั้งหมดเข้าสู่กระบวนการแปลงข้อมูลเชิงเลขดังรูปแบบการเข้ารหัสตาราง 33 จะทำให้ข้อมูลอยู่ในรูปแบบที่สามารถนำไปพัฒนาแบบจำลองสำหรับการพยากรณ์ผลผลิตอ้อย การฟีกฝน และการทดสอบแบบจำลอง แสดงตัวอย่างข้อมูลดังตาราง 34

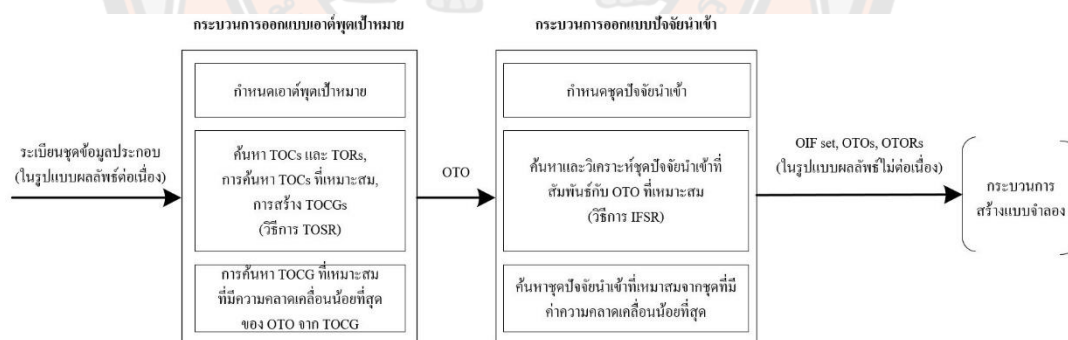
ตาราง 34 ตัวอย่างข้อมูลสำหรับการพัฒนาแบบจำลองและทดสอบแบบจำลอง

รหัสแปลง	ปริมาณน้ำฝน (mm.)	ชุดดิน	ระยะปลูก (cm.)	ตออ้อย	พันธุ์อ้อย	จุดบกพร่อง (%)	ผลผลิต (ตันต่อไร่)
10001001	978.10	7	150	15	1	84	19.22
10001002	978.10	7	150	15	1	84	12.59
99953002	1197.30	17	150	15	2	67	14.42

เมื่อข้อมูลอยู่ในรูปแบบเชิงเลขทั้งข้อมูลปี 2561 และปี 2562 แล้วผู้วิจัยนำข้อมูลปี 2561 จำนวน 745 ระเบียบ มาใช้ในกระบวนการพัฒนาแบบจำลองพยากรณ์ผลผลิต โดยข้อมูลจะถูกแบ่งเป็น 2 ชุด ประกอบด้วย ข้อมูลฝึกฝนและตรวจสอบ 616 ระเบียบ เรียกว่า เซตย่อย A และ ข้อมูลทดสอบแบบปิดตา (Blind-test Testing) จำนวน 129 ระเบียบ เรียกว่า เซตย่อย B ส่วนข้อมูลในปี 2562 จำนวน 821 ระเบียบ เรียกว่า เซตย่อย C จะถูกนำมาใช้ในกระบวนการทดสอบครั้งสุดท้ายและการพัฒนาโปรแกรมประยุกต์ใช้งาน ซึ่งข้อมูลที่รวมระหว่างข้อมูลแปลงอ้อย ข้อมูลการเพาะปลูก และข้อมูลสภาพจุดบกพร่องจะถูกเรียกว่า ระเบียบชุดข้อมูลประกอบ (Composite Records)

## 2. การสกัดลักษณะเด่นของชุดข้อมูล

การพัฒนาแบบจำลองพยากรณ์ผลผลิตอ้อยมีกระบวนการสกัดลักษณะเด่นของชุดข้อมูลด้วยการประยุกต์ใช้แนวคิดการออกแบบแบบย้อนกลับ (Reverse Design Method) วัตถุประสงค์ของกระบวนการนี้คือ การสกัดลักษณะเด่นและการสรรหา 3 องค์ประกอบที่เหมาะสม ประกอบด้วย (1) เอาต์พุตเป้าหมาย (Target Outputs: TOs) (2) คำสัมพันธ์ของเอาต์พุตเป้าหมาย (Target Outputs Relationships: TORs) และ (3) ปัจจัยนำเข้า (Input factors: IFs) โดยกรอบแนวคิดของกระบวนการสกัดลักษณะเด่นแสดงดังภาพที่ 76



**ภาพ 76** กรอบแนวคิดการสกัดลักษณะเด่นของแบบจำลองพยากรณ์ผลผลิตอ้อย

(TO=Target Output, TOR= TO Relationship, TOC=TO Cluster, TOCG=TOC Group, IF=Input Factor)

กระบวนการสกัดลักษณะเด่นมีวัตถุประสงค์ในการกำหนด 2 สิ่งที่สำคัญ ได้แก่ เอาต์พุตเป้าหมาย (Target Output) และปัจจัยนำเข้า (Input Factor) ซึ่งจะได้มาจากสองกระบวนการ ประกอบด้วย กระบวนการออกแบบเอาต์พุตเป้าหมาย (Target Output Design Process) และ กระบวนการออกแบบปัจจัยนำเข้า (Input Design Process) กระบวนการออกแบบเอาต์พุตเป้าหมาย

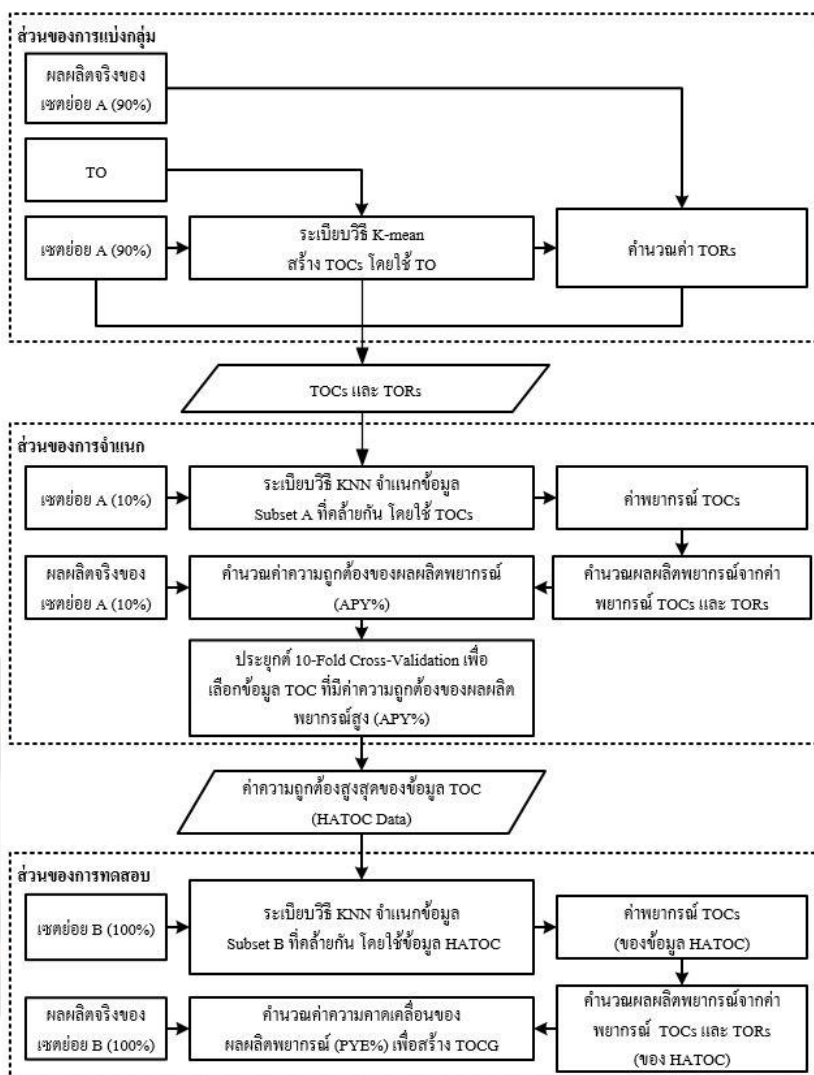


ใช้ปัจจัยทางสภาพแวดล้อมประกอบ 6 ปัจจัย ได้แก่ ปริมาณน้ำฝน พันธุ์อ้อย ตออ้อย ระยะห่างการปลูก กลุ่มดิน และค่าจุดบกพร่อง เพื่อกำหนดค่าสัมพันธของเอาต์พุตเป้าหมาย (Target Outputs Relationships: TORs) บนพื้นฐานของปัจจัยด้านสภาพแวดล้อมที่มีรูปแบบคล้ายคลึงกันของทุก ๆ เอาต์พุตเป้าหมาย และค้นหาเอาต์พุตที่มีค่าความคาดเคลื่อนน้อยที่สุด ผลลัพธ์จากกระบวนการออกแบบเอาต์พุตจะถูกใช้ในกระบวนการออกแบบปัจจัยนำเข้าซึ่งจะค้นหาชุดปัจจัยนำเข้าที่เหมาะสมที่มีความสัมพันธ์กับเอาต์พุตเป้าหมายที่เหมาะสม ทั้งสามองค์ประกอบที่สำคัญประกอบด้วย เอาต์พุตเป้าหมาย (Target Outputs: TOs) ค่าสัมพันธของเอาต์พุตเป้าหมาย (Target Outputs Relationships: TORs) และปัจจัยนำเข้า (Input factors: IFs) เป็นผลลัพธ์จากกระบวนการสกัดลักษณะเด่น โดยผลลัพธ์ดังกล่าวจะเรียกว่า ข้อมูลในรูปแบบไม่ต่อเนื่อง (Classified Data Subset: CDS) จะถูกใช้ในการสร้างแบบจำลองและทดสอบแบบจำลอง การดำเนินแต่ละขั้นตอนของกระบวนการสกัดลักษณะเด่นมีรายละเอียดดังนี้

#### 2.2.1 กระบวนการออกแบบเอาต์พุตเป้าหมาย (Target Output Design Process)

การดำเนินการลำดับที่ 1 ของกระบวนการออกแบบเอาต์พุตเป้าหมาย เอาต์พุตเป้าหมายจะถูกกำหนดทีละหนึ่งตัวด้วยการใช้ตัวเลขจากสูตร  $2^n$  ยกตัวอย่าง เช่น  $2^1, 2^2, 2^3, \dots, 2^n$  โดยที่  $n = 1, 2, 3, \dots, n$  สูตรดังกล่าวเป็นสิ่งสำคัญที่จะทำให้เข้าใจเกี่ยวกับการกำหนดเอาต์พุตเป้าหมาย ตัวเลขดังกล่าวถูกนำไปใช้ในกระบวนการออกแบบเอาต์พุตเป้าหมายตั้งแต่ต้นจนจบกระบวนการก่อนที่จะเพิ่มตัวเลขเอาต์พุตและดำเนินการในเส้นทางเดียวกัน ในทุกตัวเลขรายละเอียดจะถูกกล่าวในภายหลังซึ่งจะมีจุด ๆ หนึ่งที่จะเห็นได้ว่าเอาต์พุตเป้าหมาย (TOs) ตัวสุดท้ายที่จะใช้งานจะปรากฏ และเมื่อถึงจุด ๆ นั้นการเพิ่มค่าของเอาต์พุตเป้าหมายจะหยุดลง

การดำเนินการลำดับที่ 2 ของกระบวนการออกแบบเอาต์พุตเป้าหมายประกอบด้วยหลายขั้นตอน ทุกขั้นตอนดังกล่าวนี้เป็นวิธีการใหม่ที่เรียกชื่อว่า วิธีการหาความสัมพันธ์ที่คล้ายคลึงกันของเอาต์พุตเป้าหมาย (Target Output Similarity Relationship : TOSR) ซึ่งจะแสดงดังภาพที่ 77 การดำเนินการของวิธีการ TOSR จะใช้ปัจจัยทางสภาพแวดล้อมประกอบ 6 ปัจจัย ได้แก่ ปริมาณน้ำฝน พันธุ์อ้อย ตออ้อย ระยะห่างการปลูก กลุ่มดิน และค่าจุดบกพร่อง



ภาพ 77 วิธีการหาความสัมพันธ์ที่คล้ายคลึงกันของเอาต์พุตเป้าหมาย

(TO = Target Output, TOC = TO Cluster, TOR = TO Relationship)

ส่วนของการแบ่งกลุ่มของวิธีการ TOSR อัลกอริทึมเคมีนจะถูกประยุกต์ใช้เพื่อจัดกลุ่มของระเบียบประกอบ (เฉพาะเจาะจง 90 เปอร์เซ็นต์ของเซตย่อย A) โดยใช้ TO ที่กำหนดขึ้นมาทีละตัวผ่านกระบวนการ จากนั้นจะเป็นการสร้างกลุ่มเอาต์พุตเป้าหมาย (TO Clusters: TOCs) สำหรับ TO นั้น ๆ ส่วนค่าสัมพันธ์ของเอาต์พุตเป้าหมาย (Target Outputs Relationships: TORs) ก็จะถูกคำนวณขึ้นจากค่าเฉลี่ยของผลผลิตจริงของแต่ละกลุ่ม

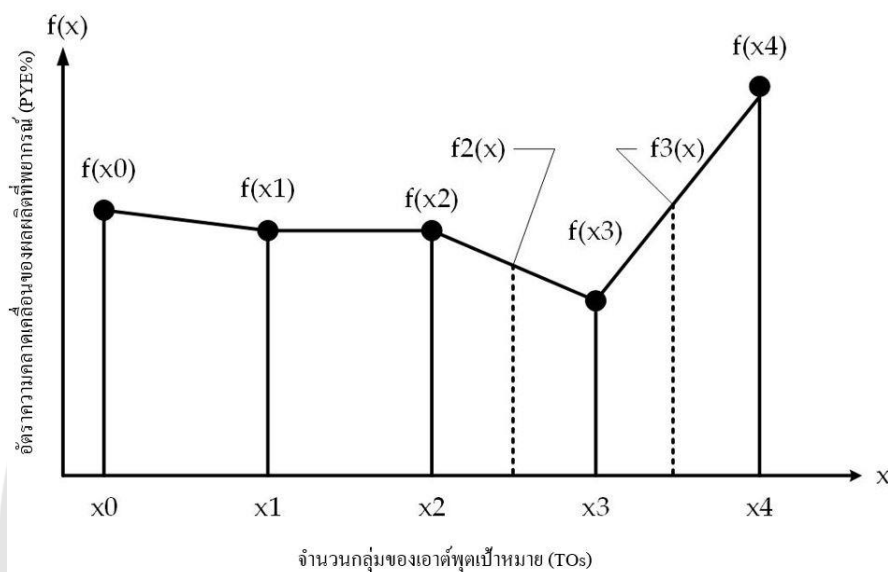
ส่วนของการจำแนกของวิธีการ TOSR อัลกอริทึมเคเน็ยเรสเนเบอร์จะถูกประยุกต์ใช้โดยกำหนดค่าเพื่อนบ้านไว้ที่ 3 เพื่อดำเนินการจำแนกความคล้ายคลึงของระเบียบประกอบ 10

เปอร์เซ็นต์ของเซตย่อย A โดยใช้ TOCs ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้คือ ค่าพยากรณ์ TOCs และค่าพยากรณ์ TOCs นั้นจะถูกแทนที่ด้วย TORs จากส่วนของการจัดกลุ่มข้อมูลเพื่อคำนวณผลผลิตพยากรณ์ จากนั้นผลผลิตที่พยากรณ์จะถูกเปรียบเทียบกับผลผลิตจริงเพื่อคำนวณค่าความถูกต้องของผลผลิต (Accuracy of Predicted Yield : APY%) และสิ่งสุดท้ายของส่วนของการจำแนกของวิธีการ TOSR จะประยุกต์ใช้ 10-fold cross validation ในการเลือกข้อมูล TOC ที่มีค่าความถูกต้องของการพยากรณ์ผลผลิต (APY%) ที่มากที่สุด (Highest Accuracy TOC Data: HATOC Data) ซึ่ง TOC ดังกล่าวจะถือว่าผ่านการวิเคราะห์ความเหมาะสมมาแล้ว

ส่วนของการทดสอบถือว่าเป็นส่วนสุดท้ายของวิธีการ TOSR จะประยุกต์ใช้ เคนเนียร์เรสเนเบอร์จำแนกความคล้ายคลึงของระเบียบประกอบด้วยการใช้ข้อมูล HATOC มาประกอบเป็นค่าพยากรณ์ TOCs ของข้อมูลเซตย่อย B แล้วค่าการพยากรณ์ผลผลิตจะถูกคำนวณอีกครั้ง และสุดท้ายค่าผลผลิตที่พยากรณ์ได้จะถูกนำไปเปรียบเทียบกับค่าผลผลิตจริงของเซตย่อย B เพื่อหาค่าอัตราความคลาดเคลื่อนของผลผลิตที่พยากรณ์ (PYE%) และส่งผลให้เกิดกลุ่มของ TOC (TOCG) ถูกสร้างขึ้นด้วย สิ่งที่ต้องจดจำคือ ตัวเลขของ TOCG เป็นรายการ ตัวอย่างเช่น TOCG-64 จะมี 64 TOCs อยู่ในตัวมัน ดังนั้น TOCG จึงมีคุณลักษณะเป็นรายการแต่ก็มีคุณลักษณะเป็นตัวนับด้วยการระบุ TOCG ควรจะเป็นเท่าไร การสร้างหนึ่ง TOCG ของแต่ละ TO ถือว่าเป็นเป้าหมายที่สำคัญขอการดำเนินการด้วยวิธีการ TOSR ดังนั้น เมื่อเสร็จสิ้นวิธีการ TOSR ก็ถือว่าการดำเนินการลำดับที่ 2 ของกระบวนการออกแบบเอาต์พุตเป้าหมาย

การดำเนินการลำดับที่ 3 ของกระบวนการออกแบบเอาต์พุตเป้าหมาย ตัวเลข TOCG ที่ถูกระบุของแต่ละ TOCG จากการดำเนินการในแต่ละลำดับขั้นตอนจะมาพร้อมกับอัตราความคลาดเคลื่อนของผลผลิตพยากรณ์ (PYE%) ซึ่งแต่ละ TOCG ก็จะมีหนึ่ง PYE% ของตนเอง ซึ่งจะถูกสร้างลงไปยังกราฟแนวโน้มน โดยมีเงื่อนไขว่าจะทำการเพิ่มลงไปทีละตัว การดำเนินการในลำดับที่ 3 นี้มี 2 สิ่งที่สำคัญในการดำเนินการคือ 1) การดำเนินการหาจุดสิ้นสุดในการเพิ่มลำดับ TOs ใหม่ และ 2) การดำเนินการหาจุดที่เหมาะสมที่มีค่าอัตราความคลาดเคลื่อนต่ำที่สุด ดังนั้นหนึ่ง TOs จะเปรียบเสมือนฟังก์ชันนับโดยแต่ละ TOs จะประกอบด้วย TOCG อยู่ในเป็นรายการ การกำหนด TOCG จะดำเนินการว่าเท่าไรที่จะนำไปใช้แล้วจะส่งผลกระทบต่อความถูกต้องอย่างไร แต่อย่างไรก็ตามจากที่กล่าวมาจะต้องพิจารณาผู้ที่ฝั่งขวามือเพื่อที่จะหยุดการเพิ่ม TOs ซึ่งแต่ละ TOCG จะถูกสร้างลงบนกราฟแนวโน้มนและ TOs ตัวสุดท้ายจะถูกพบในจุดที่มีค่าความผิดพลาดสูงผิดปกติมากกว่าตัวอื่น ๆ เมื่อเราพบ TOs ที่มีค่า PYE% ที่มีลักษณะดังกล่าวจะเป็นสัญญาณในการกำหนด TOCG ตัวสุดท้ายเข้าไปในกราฟแนวโน้มน จากนั้นจะไม่มีการเพิ่ม TOs ลงไปในกระบวนการออกแบบเอาต์พุตเป้าหมายอีก ดังนั้นจึงจะได้กราฟแนวโน้มนแบบเต็มรูปแบบ

เมื่อกราฟแนวโน้มนั้นแบบเต็มรูปแบบพร้อม วิธีการแบ่งครึ่ง (Bisection Method) จะถูกประยุกต์ใช้เพื่อค้นหา TOCG ที่เหมาะสม ซึ่งหมายความว่า เมื่อพบจุดที่มีค่าความคลาดเคลื่อนต่ำที่สุดในกราฟแนวโน้มนั้น จากนั้นจะดำเนินการบีบช่วงไปยังจุดที่มีค่าความคลาดเคลื่อนต่ำที่สุดนั้น ภาพตัวอย่างวิธีการแบ่งครึ่งแสดงดังภาพที่ 78



ภาพ 78 ตัวอย่างวิธีการแบ่งครึ่งในกราฟแนวโน้มนำสำหรับการกำหนด

เมื่อพบจุดเหมาะสมที่มีค่าความคลาดเคลื่อนรวมเฉลี่ย (PYE%) ต่ำจากกราฟแนวโน้มนั้น กระบวนการนี้จะต้องบีบช่วงพิจารณาให้แคบลง ยกตัวอย่างเช่น เมื่อพบจุดที่มีความคลาดเคลื่อนต่ำที่จุด  $f(x_3)$  จากนั้นช่วงพิจารณาจะถูกบีบเข้าใกล้จุด  $f(x_3)$  เข้ามาทั้งสองด้านทั้งด้านซ้ายและด้านขวา สำหรับตัวอย่างช่วงที่บีบเข้าใหม่ด้านซ้ายคือการคำนวณจุดกึ่งกลางระหว่าง  $x_2$  และ  $x_3$  และสำหรับตัวอย่างช่วงที่บีบเข้ามาทางด้านขวาจะคำนวณจากจุดกึ่งกลางระหว่าง  $x_3$  และ  $x_4$  หลังจากดำเนินการบีบช่วงแล้วค่าความคลาดเคลื่อน PYE% ของจุด TOCG ใหม่จะถูกคำนวณอีกครั้ง การทำซ้ำของกระบวนการจะเกิดขึ้นหลายครั้งจนกระทั่งช่วงแคบลงไปเรื่อย ๆ ในที่สุดก็จะพบ TOCG ที่เหมาะสม จุดสิ้นสุดของการดำเนินการบีบช่วงจะหยุดเมื่อไม่สามารถแบ่งช่วงได้อีกซึ่งในจุดนั้น TOCG ที่เหมาะสมจะปรากฏขึ้นในรอบสุดท้ายในกราฟแนวโน้มนั้น ผลลัพธ์ที่ได้คือ TOCs ภายใน TOCG จะถูกเรียกโดยเรียกว่า TOs ที่เหมาะสม (Optimized TOs : OTOs) และค่า OTOs จะถูกนำไปใช้งานต่อไป

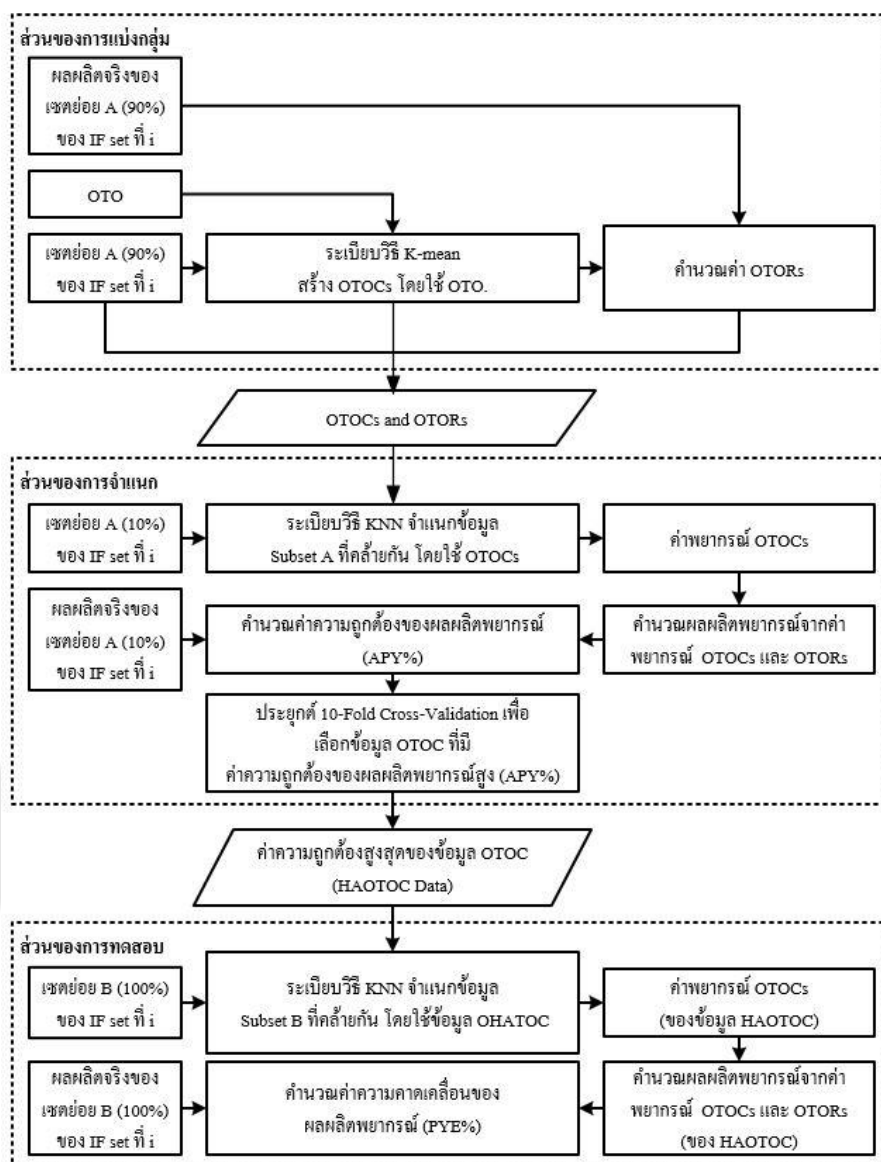
### 2.2.2 กระบวนการออกแบบปัจจัยนำเข้า (Input Design Process)

การดำเนินการลำดับที่ 1 ของกระบวนการออกแบบปัจจัยนำเข้า ชุดปัจจัยนำเข้าจะถูกกำหนดโดยการหาเซตกำลัง (Power Set) (Berrar, 2018) จากหกปัจจัยประกอบ ประกอบด้วย ปริมาณน้ำฝน ชุดดิน ระยะห่างการปลูก ตออ้อย พันธุ์อ้อย และอัตราจุกบกร่อง ผลลัพธ์ที่ได้จากการหาเซตกำลัง คือ 32 เซตที่ไม่รวมเซตว่างและมีอัตราจุกบกร่องในทุกเซต ยกตัวอย่างเช่น เซต 1 ประกอบด้วย อัตราจุกบกร่อง เซต 2 ประกอบด้วย ปริมาณน้ำฝนและอัตราจุกบกร่อง เซต 3 ประกอบด้วย ชุดดินและอัตราจุกบกร่อง จนกระทั่งถึง เซต 32 ประกอบด้วย ปริมาณน้ำฝน ชุดดิน ระยะห่างการปลูก ตออ้อย พันธุ์อ้อย และอัตราจุกบกร่อง สำหรับชุดปัจจัยนำเข้าประกอบด้วย ระเบียบประกอบ โดยมีจำนวนเท่ากับกระบวนการก่อนหน้านี้ ในแต่ละเซตทั้ง 32 เซตจะผ่านกระบวนการออกแบบปัจจัยนำเข้าหมายถึงแต่ละเซต ตัวอย่างเซตปัจจัยนำเข้าแสดงดังตารางที่ 35

ตาราง 35 ตัวอย่างเซตปัจจัยนำเข้า

เซต	ปัจจัยที่ 1	ปัจจัยที่ 2	ปัจจัยที่ 3	ปัจจัยที่ 4	ปัจจัยที่ 5	ปัจจัยที่ 6	ปัจจัยที่ 7
1	จุกบกร่อง	-	-	-	-	-	ผลผลิต
2	ปริมาณน้ำฝน	จุกบกร่อง	-	-	-	-	ผลผลิต
3	ชุดดิน	จุกบกร่อง	-	-	-	-	ผลผลิต
30	ปริมาณน้ำฝน	ชุดดิน	ตออ้อย	พันธุ์อ้อย	จุกบกร่อง	-	ผลผลิต
31	ชุดดิน	ระยะปลูก	ตออ้อย	พันธุ์อ้อย	จุกบกร่อง	-	ผลผลิต
32	ปริมาณน้ำฝน	ชุดดิน	ระยะปลูก	ตออ้อย	พันธุ์อ้อย	จุกบกร่อง	ผลผลิต

การดำเนินการลำดับที่ 2 ของกระบวนการออกแบบปัจจัยนำเข้ามีบางส่วนที่คล้ายคลึงกับการดำเนินการลำดับที่ 2 ของกระบวนการออกแบบเอาต์พุตเป้าหมายหรือวิธีการ TOSR แต่อย่างก็ตาม มีหลายองค์ประกอบที่สำคัญที่แตกต่าง ดังนั้นจึงแบ่งออกมาเป็นวิธีการหาความสัมพันธ์ที่คล้ายคลึงกันของปัจจัยนำเข้า (Input Factor Similarity Relationship : IFSR) มาประยุกต์ใช้งานในขั้นตอนนี้ โดยวิธีการดังกล่าวแสดงดังภาพที่ 79



ภาพ 79 วิธีการหาความสัมพันธ์ที่คล้ายคลึงกันของปัจจัยนำเข้า

(OTO = Optimal Target Output, OTOC = Optimal TO Cluster, OTOR = Optimal TO Relationship)

ส่วนของการแบ่งกลุ่มของวิธีการหาความสัมพันธ์ที่คล้ายกันของปัจจัยนำเข้าจะถูกใช้เพื่อจัดกลุ่มของระเบียบประกอบจากเซตย่อย A 90 เปอร์เซ็นต์โดยแต่ละเซตจะใช้นิยามหนึ่ง OTO จากกระบวนการออกแบบเอาต์พุตเพื่อสร้าง OTOC ถึงแม้ว่าเซตของปัจจัยนำเข้าจะเปลี่ยนในแต่ละครั้งค่าของ OTO จะไม่เปลี่ยน จากนั้น OTOR จะถูกคำนวณจากค่าเฉลี่ยของผลผลิตจริงของแต่ละกลุ่ม

ส่วนของการจำแนกของวิธีการหาความสัมพันธ์ที่คล้ายกันของปัจจัยนำเข้า อัลกอริทึมเคเนียร์สเนเบอร์จะถูกใช้เพื่อจำแนกความเหมือนของระเบียบประกอบเซต A จำนวน 10

เปอร์เซ็นต์ในแต่ละเขตย่อยโดยประยุกต์ใช้ OTOCs ผลลัพธ์จากการจำแนกคือ ค่าพยากรณ์ OTOCs และค่าพยากรณ์ OTOCs จะถูกใช้ OTOR จากกระบวนการแบ่งกลุ่มเพื่อใช้ในการคำนวณผลผลิตพยากรณ์ จากนั้นค่าผลผลิตที่พยากรณ์จะถูกนำไปเปรียบเทียบกับผลผลิตจริงเพื่อที่จะคำนวณค่าความผิดพลาด PYE% และเมื่อสิ้นสุดส่วนของการจำแนกของวิธีการ IFSR จากนั้นจะประยุกต์ใช้การทดสอบแบบไขว้ 10 ชุดเพื่อใช้ในการเลือกข้อมูล OTOC ที่มีค่าความถูกต้องในการพยากรณ์สูงที่สุด (APY%) ต่อจากนี้จะเรียกว่าข้อมูล OTOC ที่มีความแม่นยำสูงสุด (HAOTOC Data)

ส่วนของการทดสอบเป็นส่วนสุดท้ายของวิธีการหาความสัมพันธ์ที่คล้ายกันของปัจจัยนำเข้า ในส่วนนี้อัลกอริทึมเคเนียร์เสนเบอร์จะจำแนกความคล้ายคลึงของระเบียบประกอบของแต่ละเขตของปัจจัยนำเข้า (เขตย่อย B) ด้วยการใช้อัตราความคลาดเคลื่อนของ HAOTOC เป็นค่าพยากรณ์ของ OTOCs ค่าผลผลิตจะถูกคำนวณอีกครั้งและสุดท้ายผลผลิตพยากรณ์จะถูกเปรียบเทียบกับผลผลิตจริงของเขตย่อย B เพื่อหาค่าความคลาดเคลื่อนของผลผลิตพยากรณ์ PYE% ดังนั้น เมื่อเสร็จสิ้นวิธีการ IFSR ก็ถือว่าสิ้นสุดการดำเนินการลำดับที่ 2 ของกระบวนการออกแบบปัจจัยนำเข้า

การดำเนินการลำดับที่ 3 ของกระบวนการออกแบบปัจจัยนำเข้า มีวัตถุประสงค์เพื่อค้นหาเขตของปัจจัยที่มีความเหมาะสมเพียงหนึ่งเขตที่จะส่งผลให้อัตราความคลาดเคลื่อนของผลผลิตพยากรณ์น้อยที่สุด เพื่อค้นหาเขตปัจจัยนำเข้าทุก ๆ เขต ได้แก่ เขตปัจจัยนำเข้าที่ 1 เขตปัจจัยนำเข้าที่ 2 เขตปัจจัยนำเข้าที่ 3 จนกระทั่งถึงเขตปัจจัยนำเข้าที่ 32 และอัตราความคลาดเคลื่อน PYE% ของแต่ละเขตจากการดำเนินการลำดับที่ผ่านมาจะถูกนำมาสร้างกราฟแผนภูมิ จากนั้นเขตปัจจัยนำเข้าที่มีค่าความคลาดเคลื่อน PYE% ที่ต่ำที่สุดในกราฟจะถูกเลือก เขตปัจจัยนำเข้าดังกล่าวนี้คือ เขตปัจจัยนำเข้าที่เหมาะสม (Optimized IF set : OIF set) ดังนั้น เขตปัจจัยนำเข้าที่เหมาะสม (OIF set) เอาต์พุตเป้าหมายที่เหมาะสม (Optimized TOs : OTOs) และค่าสัมพันธ์ของเอาต์พุตเป้าหมายที่เหมาะสม (Target Outputs Relationships: TORs) ทั้งสามองค์ประกอบจะถูกเรียกว่า ข้อมูลในรูปแบบไม่ต่อเนื่อง (Classified Data Subset: CDS) และข้อมูลพื้นฐานของแบบจำลองจะถูกนำไปใช้ในการสร้างแบบจำลองพยากรณ์ผลผลิตอ้อยต่อไป

### 3. การสร้างแบบจำลองและการทดสอบ

ข้อมูลที่ผ่านการสกัดลักษณะเด่นในรูปแบบไม่ต่อเนื่อง (Classified Data Subset: CDS) ของการเก็บเกี่ยวในปี 2561 (745 ระเบียบ) จะถูกนำไปใช้ในการทดสอบ โดยผู้วิจัยได้นำ 6 อัลกอริทึมมาใช้ในการสร้างแบบจำลองและเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแต่ละอัลกอริทึมในการจดจำ OTOCs และพยากรณ์ที่ถูกต้องของผลผลิต กระบวนการนี้จะระบุอัลกอริทึมที่ดีที่สุดเพื่อนำไปใช้สำหรับการสร้างแบบจำลอง ส่วนอัลกอริทึมทั้ง 6 อัลกอริทึมในการทดลองซึ่งเป็น

อัลกอริทึมที่ได้รับความนิยมในการจำแนกข้อมูล ประกอบด้วย อัลกอริทึมเคเนียร์เรสเนเบอร์ (K-Nearest Neighbor : KNN) อัลกอริทึม Random Forest (RF) อัลกอริทึม Random Tree (RT) อัลกอริทึม Reduced Error Pruning Decision Tree (REP Tree) อัลกอริทึมต้นไม้ตัดสินใจ (Decision Tree : DT) และโครงข่ายประสาทเทียมแบบหลายชั้น (Multilayer Perceptron : MLP) แต่ละอัลกอริทึมจะถูกแบ่งข้อมูลออกเป็นข้อมูลสำหรับฝึกฝนและทดสอบแบบจำลอง โดยมีรายละเอียดดังนี้ ส่วนแรกของข้อมูลที่ผ่านมาการสกัดลักษณะเด่นในรูปแบบไม่ต่อเนื่อง (Classified Data Subset: CDS) ของปี 2561 จำนวน 616 ระเบียบ ซึ่งข้อมูลดังกล่าวนี้จะถูกตรวจสอบด้วยวิธีตรวจสอบแบบไขว้ 10 ชุด (10-fold validation) สำหรับการฝึกฝนและทดสอบ โดย 9 ชุดข้อมูลจะถูกนำไปฝึกฝนและอีกหนึ่งชุดจะถูกใช้สำหรับทดสอบ ส่วนที่สองของข้อมูลที่ผ่านมาการสกัดลักษณะเด่นในรูปแบบไม่ต่อเนื่อง (Classified Data Subset: CDS) เหลืออีกจำนวน 129 ระเบียบ จะถูกใช้ในการทดสอบแบบจำลองแบบปิดตา (Blind test) ในการสร้างแบบจำลองซอฟต์แวร์ WEKA จะถูกนำมาประยุกต์ใช้ในการฝึกฝนและทดสอบแบบจำลองเพื่อค้นหาอัลกอริทึมที่สามารถจดจำ OTO ได้ดีที่สุดและสามารถพยากรณ์ค่าผลผลิตเข้าใกล้ผลผลิตจริงมากที่สุด เมื่อแบบจำลองถูกพัฒนาขึ้นจะถูกทดสอบกับข้อมูลที่ผ่านมาการสกัดลักษณะเด่นในรูปแบบไม่ต่อเนื่อง (CDS) ของชุดข้อมูล C จำนวน 821 ระเบียบ ซึ่งจะเป็นการตรวจสอบว่าแบบจำลองสามารถทำงานได้อย่างถูกต้องสำหรับข้อมูลในทุกปี ผลลัพธ์ที่ได้จากการทำการทดสอบครั้งสุดท้ายนี้จะเป็นการยืนยันว่าแบบจำลองมีประสิทธิภาพในการพยากรณ์ผลผลิต

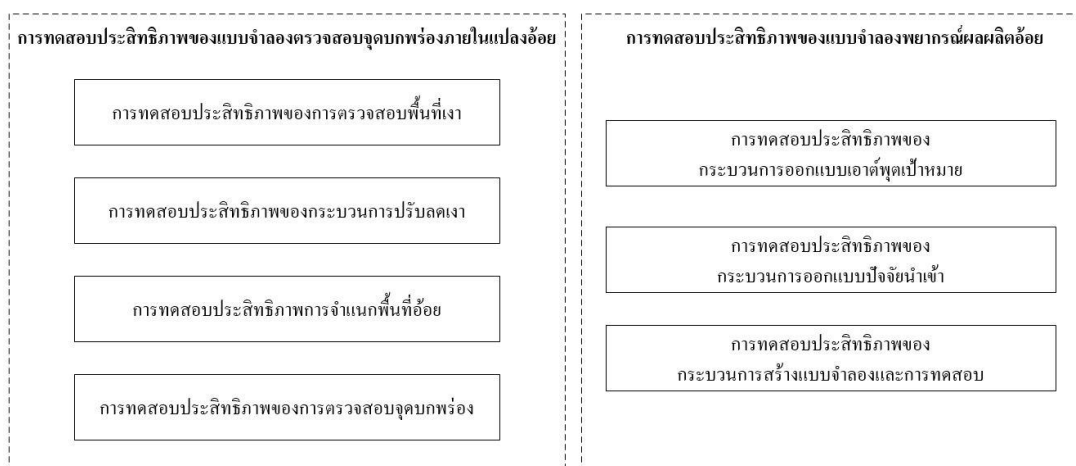
#### 4. การพัฒนาส่วนติดต่อผู้ใช้งาน

แบบจำลองที่พัฒนาขึ้นจะถูกพัฒนาขึ้นเป็นแอปพลิเคชันสำหรับผู้ใช้งานที่สามารถทำงานในเว็บไซท์ภายในของโรงงานน้ำตาล แบบจำลองพยากรณ์ผลผลิตจะทำงานร่วมกับโปรแกรมตรวจสอบจุดบกพร่อง (Sugarcane Defect Detection Program: SDDP) ที่ได้พัฒนาไว้ก่อนหน้านั้นเพราะว่าอัตราจุดบกพร่องเป็นสิ่งที่ระบุถึงลักษณะสภาพแวดล้อมและปัญหาด้านการเพาะปลูกของแปลงอ้อยก่อนที่จะทำการวิเคราะห์ด้วยแบบจำลองพยากรณ์ผลผลิต

#### การออกแบบการทดลอง

การทดลองของการพัฒนาแบบจำลองเกษตรอัจฉริยะ สำหรับพยากรณ์ผลผลิตอ้อย ผู้วิจัยได้แบ่งการทดลองออกเป็น 2 ส่วนหลัก ประกอบด้วย 1) การทดสอบประสิทธิภาพของแบบจำลองตรวจสอบจุดบกพร่องภายในแปลงอ้อย และ 2) การทดสอบประสิทธิภาพของแบบจำลองพยากรณ์ผลผลิตอ้อย โดยการทดลองมีรายละเอียดดังกรอบแนวคิดการทดสอบประสิทธิภาพดังภาพ 80





ภาพ 80 กรอบแนวคิดการออกแบบการทดลองของแบบจำลองพยากรณ์ผลผลิตอ้อย

จากกรอบแนวคิดการออกแบบการทดลองจะได้แบบจำลองทั้ง 2 ตัวแบบที่สามารถดำเนินการตรวจสอบจุดบกพร่องภายในภาพและพยากรณ์ผลผลิตได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยประกอบด้วย (1) การทดสอบประสิทธิภาพของแบบจำลองตรวจสอบจุดบกพร่องภายในแปลงอ้อย ซึ่งประกอบด้วย การทดสอบประสิทธิภาพ ได้แก่ 1) การตรวจสอบพื้นที่เงา 2) การปรับลดเงา 3) การจำแนกพื้นที่อ้อย และ 4) การตรวจสอบจุดบกพร่องในแปลงอ้อย เป็นต้น และส่วนที่ (2) การทดสอบประสิทธิภาพของแบบจำลองพยากรณ์ผลผลิตอ้อย ได้แก่ 1) การทดสอบประสิทธิภาพของกระบวนการออกแบบเอาต์พุตเป้าหมาย 2) การทดสอบประสิทธิภาพของกระบวนการออกแบบปัจจัยนำเข้า และ 3) การทดสอบประสิทธิภาพของกระบวนการสร้างแบบจำลองและทดสอบ โดยมีรายละเอียดของการทดสอบประสิทธิภาพดังนี้

### 1. การทดสอบประสิทธิภาพของแบบจำลองตรวจสอบจุดบกพร่องภายในแปลงอ้อย

การพัฒนาแบบจำลองตรวจสอบจุดบกพร่องภายในภาพถ่ายแปลงอ้อย เพื่อประเมินค่าจุดบกพร่องเกิดขึ้นภายในแปลงอ้อยที่เป็นสาเหตุของการประเมินผลผลิตที่คาดเคลื่อน แบบจำลองใช้ภาพสีความละเอียดสูงจากอากาศยานไร้คนขับ แบบจำลองนี้ดำเนินการ 4 ขั้นตอน ประกอบด้วย 1) การเก็บรวบรวมข้อมูลภาพ 2) การเตรียมข้อมูลภาพ 3) การสร้างแบบจำลองตรวจสอบจุดบกพร่องของแปลงอ้อย และ 4) การพัฒนาส่วนติดต่อผู้ใช้งาน สำหรับการทดสอบประสิทธิภาพผู้วิจัยได้ออกแบบการทดลอง โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 4 ส่วน ได้แก่ 1) การทดสอบประสิทธิภาพของการตรวจสอบพื้นที่เงา 2) การทดสอบประสิทธิภาพของกระบวนการปรับลดเงา

3) การทดสอบประสิทธิภาพการจำแนกพื้นที่อ้อย และ 4) การทดสอบประสิทธิภาพของการตรวจสอบจุดบกพร่องในแปลงอ้อย โดยรายละเอียดการทดลองดังนี้

#### 1.1 การทดสอบประสิทธิภาพของการตรวจสอบพื้นที่เงา

กระบวนการตรวจสอบพื้นที่เงาเป็นขั้นตอนวิธีที่อยู่ในกระบวนการเตรียมข้อมูลภาพ ซึ่งผู้วิจัยจะดำเนินการทดลองโดยนำภาพถ่ายที่ได้จากอากาศยานไร้คนขับให้ผู้เชี่ยวชาญระบุพื้นที่เงาและพื้นที่ไม่ใช่เงา ด้วยการแบ่งส่วนภาพออกเป็นตารางขนาด  $100 \times 100$  พิกเซล ลงไปยังภาพขนาด  $3,000 \times 5,000$  พิกเซล จะทำให้ได้พื้นที่พิจารณาทั้งหมด 1,500 ส่วน จากนั้นนำภาพให้ผู้เชี่ยวชาญ โดยมีรายละเอียดในภาคผนวก ค โดยทำหน้าที่ระบุชิ้นส่วนแต่ละชิ้น โดยมีข้อตกลงการระบุพื้นที่เงาภายในช่องมากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ของแต่ละชิ้นส่วน โดยผู้เชี่ยวชาญใช้โปรแกรม Microsoft Power Point ในการทำเครื่องหมาย จากนั้นนำเครื่องหมายมาวางทับกับภาพผลลัพธ์ที่ได้จากกระบวนการตรวจสอบพื้นที่เงา จากนั้นนำภาพผลลัพธ์ทั้งสองเปรียบเทียบกับโปรแกรมแมทแลบ โดยดำเนินการจะเปรียบเทียบทีละชิ้นส่วนย่อยและดำเนินการทั้ง 90 ภาพ เมื่อเปรียบเทียบผลลัพธ์แล้ว จำนวนที่ระบุถูกต้องและจำนวนที่ระบุผิดพลาดจะถูกบันทึกลงในเมตริกสับสน (Confusion matrix) และนำผลที่ได้ไปหาค่าความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนของการจำแนกประเภทพื้นที่เงาถูกต้อง (True Positive Rate: TP) และไม่ถูกต้อง (False Positive Rate: FP) จากนั้นนำใช้สถิติตรวจสอบผลลัพธ์ของกระบวนการตรวจสอบพื้นที่เงา ได้แก่ ค่าความไวหรือค่าสัดส่วนของการพยากรณ์ถูกในกลุ่มที่สนใจ (Sensitivity) และค่าสัดส่วนของการพยากรณ์ถูกในกลุ่มที่ไม่สนใจ (Specificity) จากนั้นตรวจสอบโดยเส้นโค้ง ROC (Receiver-Operating Characteristic curve) (วีรพันธ์ พงศาภักดี, 2541) เส้นโค้งที่ได้หากประชิดมุมมากแสดงว่ามีค่าความถูกต้องสูง สังเกตได้จากค่าพื้นที่ใต้เส้นโค้ง (Area Under Curve: AUC) ที่แสดงถึงประสิทธิภาพของกระบวนการ

#### 1.2 การทดสอบประสิทธิภาพของกระบวนการปรับลดเงา

กระบวนการปรับลดเงานั้นประยุกต์ใช้พื้นที่เงาที่ได้จากกระบวนการตรวจสอบพื้นที่เงาและพื้นที่ดังกล่าวจะต้องถูกปรับลดความเข้มหรือทำให้พิกเซลมีความสว่างมากขึ้น โดยงานวิจัยนี้ได้ใช้สมการการหาอัตราของแหล่งกำเนิดแสงของพื้นที่เงาและไม่มีเงา เพื่อนำอัตราแหล่งกำเนิดแสงดังกล่าวมาปรับในพิกเซลที่มีปัญหาเงา โดยสมการ Minkowski norm (Nag, 2017) (สมการ 25 และ 26) สิ่งที่ต้องดำเนินการทดลอง คือ ตัวแปร  $p$  ที่เป็นตัวปรับเพิ่มความสว่างของค่าพิกเซล โดยจะทำการปรับค่า  $p$  ตั้งแต่ 1-10 โดยจะเลือกค่า  $p$  ที่เหมาะสม โดยการเลือกจาก 3 ปัจจัย ได้แก่ ค่าความสว่าง (Brightness), ค่าความมืด (Contrast), และค่าเฉลี่ยทิศทาง (Average Gradient) โดยเทียบกับพื้นที่ที่ไม่มีเงา ผลลัพธ์จากการทดลองจะได้ค่า  $p$  ของแต่ละภาพและค่า  $p$  โดยส่วนใหญ่ของทั้งหมด 90 ภาพที่ถ่ายจากสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน

### 1.3 การทดสอบประสิทธิภาพการจำแนกพื้นที่อ้อย

การดำเนินการทดลองในส่วนนี้ ประกอบด้วยการดำเนินงาน 2 กระบวนการ ประกอบด้วย กระบวนการสกัดลักษณะเด่น และกระบวนการสร้างแบบจำลองการจำแนกประเภทพื้นที่อ้อย โดยมีรายละเอียดดังนี้

#### 1) การทดสอบกระบวนการสกัดลักษณะเด่น

การสกัดลักษณะเด่นเป็นส่วนหนึ่งที่ต้องดำเนินการสร้างแบบจำลอง เพราะจะทำให้แบบจำลองสามารถจดจำและแยกประเภทของวัตถุได้อย่างมีประสิทธิภาพ และขนาดของภาพวัตถุ มีผลต่อความละเอียดในการวิเคราะห์เช่นกัน ในการทดลองนี้ต้องมีการทดลองโดยการเลือกขนาด และลักษณะเด่นที่มีความสัมพันธ์กับคลาสคำตอบ โดยมีระเบียบวิธีพิจารณาจากค่าเกณฑ์ความสัมพันธ์ ที่เรียกว่า Information Gain-Base Features (Janošcová, 2016) โดยจะทดสอบกับข้อมูล 2 ชุด โดยมีรายละเอียดดังนี้

ข้อมูลชุดที่ 1 ได้แก่ ข้อมูลภาพอ้อย ข้อมูลภาพต้นไม้ และข้อมูลภาพวัชพืช ซึ่งจะต้องทำการทดลองโดยปรับขนาดของภาพออกเป็น 5 ขนาด ได้แก่ 1) 10x10 2) 20x20 3) 25x25 4) 40x40 และ 50x50 ตามลำดับ

ข้อมูลชุดที่ 2 ได้แก่ ข้อมูลภาพอ้อย และข้อมูลภาพวัชพืช ซึ่งจะต้องทำการทดลองโดยปรับขนาดของภาพออกเป็น 5 ขนาด ได้แก่ 1) 10x10 2) 20x20 3) 25x25 4) 40x40 และ 50x50 ตามลำดับ

#### 2) การทดสอบประสิทธิภาพกระบวนการจำแนกประเภทพื้นที่อ้อย

การทดสอบนี้เป็นการทดสอบการจดจำลักษณะเด่นที่ได้ทำการคัดเลือกมา จากข้อมูลทั้ง 2 ชุด และทั้ง 5 ขนาด ซึ่งแบบจำลองสร้างขึ้นจากระเบียบวิธีเพื่อนบ้านใกล้เคียง (K-nearest neighbors algorithm) โดยการปรับค่า K โดยที่ K เป็นจำนวนเลขคี่ ตั้งแต่ 3-35 จากนั้นเลือกค่า K ที่ให้ค่าการจำแนกประเภทพื้นที่อ้อยได้ดีที่สุดมาพัฒนาเป็นแบบจำลอง และทดสอบประสิทธิภาพด้วยการเปรียบเทียบพื้นที่ที่เป็นพื้นที่อ้อยกับไม่ใช่พื้นที่อ้อย ระหว่างผู้เชี่ยวชาญกับผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลอง และตรวจสอบโดยเส้นโค้ง ROC เหมือนกับการทดสอบประสิทธิภาพของการตรวจสอบพื้นที่เงา

### 1.4 การทดสอบประสิทธิภาพของการตรวจสอบจุดบกพร่องในแปลงอ้อย

พื้นที่จุดบกพร่องภายในแปลงอ้อยประยุกต์ใช้วิธีการเลือกเฉดสี (Color Selection) และนำผลลัพธ์พื้นที่อ้อยที่ได้จากแบบจำลองจำแนกพื้นที่อ้อยมารวมกัน ในการทดสอบ

ประสิทธิภาพจะทำการเปรียบเทียบพื้นที่ที่เป็นพื้นที่จุดบกพร่องกับพื้นที่อ้อย ระหว่างผู้เชี่ยวชาญกับผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลอง และตรวจสอบด้วยเส้นโค้ง ROC เหมือนกับการทดสอบประสิทธิภาพของการตรวจสอบพื้นที่เงา

## 2. การทดสอบประสิทธิภาพของแบบจำลองพยากรณ์ผลผลิตอ้อย

การพัฒนาแบบจำลองการพยากรณ์ผลผลิตอ้อยของโรงงานอุตสาหกรรม มีวัตถุประสงค์เพื่อลดการประเมินผลผลิตที่คลาดเคลื่อน และศึกษาผลกระทบของการนำค่าการวิเคราะห์จุดบกพร่องมาใช้ในการวิเคราะห์ร่วมกับข้อมูลสภาพแวดล้อม แบบจำลองที่ออกแบบมีพารามิเตอร์ที่ต้องการความเหมาะสมของแต่ละกระบวนการ ดังนั้นผู้วิจัยจึงออกแบบการทดลองออกเป็น 3 การทดลอง ประกอบด้วย 1) การทดสอบประสิทธิภาพของกระบวนการออกแบบเอาต์พุตเป้าหมาย 2) การทดสอบประสิทธิภาพของกระบวนการออกแบบปัจจัยนำเข้า และ 3) การทดสอบประสิทธิภาพของกระบวนการสร้างแบบจำลองและทดสอบ โดยมีรายละเอียดของการทดสอบประสิทธิภาพดังนี้

### 2.1 การทดสอบประสิทธิภาพของกระบวนการออกแบบเอาต์พุตเป้าหมาย

การทดสอบนี้จะดำเนินการกับข้อมูลระเบียบประกอบ (Composite Records) เพื่อค้นหาเอาต์พุตเป้าหมายที่เหมาะสมที่จะนำไปใช้สร้างแบบจำลอง ซึ่งกระบวนการออกแบบเอาต์พุตเป้าหมายได้ประยุกต์ใช้ 3 ลำดับขั้นตอนหลัก ประกอบด้วย (1) การกำหนดเอาต์พุตเป้าหมาย (2) การทดสอบหาค่าความสัมพันธ์ที่คล้ายคลึงกันของเอาต์พุตเป้าหมาย (Target Output Similarity Relationship : TOSR) และ (3) การพิจารณาเอาต์พุตเป้าหมายที่เหมาะสม โดยกลุ่มเริ่มต้นที่จะใช้ในการทดลองจะเริ่มต้นจากการกำหนดค่าของเอาต์พุตเป้าหมาย ได้แก่  $2^1=2$ ,  $2^2=4$ ,  $2^3=8$ , จนกระทั่งถึง  $2^n = n$  หรือ 2, 4, 8 จนกระทั่งถึง  $n$  กลุ่ม โดยจะกำหนดไปที่ละกลุ่มโดยไม่ตัดปัจจัยนำเข้าใด ๆ ทั้งซึ่งประกอบด้วย ปริมาณน้ำฝน พันธุ์อ้อย ตออ้อย ระยะห่างการปลูก กลุ่มดิน และค่าจุดบกพร่อง จากนั้นจะนำค่าที่กำหนดขึ้นทดสอบด้วยการหาค่าความสัมพันธ์ที่คล้ายคลึงกันของเอาต์พุตเป้าหมายที่ละตัว และสร้างลงไปบนกราฟแนวโน้มที่ละตำแหน่ง จนกระทั่งสังเกตเห็นกราฟแนวโน้มมีค่าความคลาดเคลื่อน  $PYE\%$  สูงกว่าจุดอื่น ๆ จึงหยุดกำหนดค่าเอาต์พุตเป้าหมาย จากนั้นการพิจารณาเอาต์พุตที่เหมาะสมจะดำเนินการบิเซกชัน โดยการประยุกต์วิธีการแบ่งครึ่ง (Bisection Method) และเมื่อพบว่าจุดใดเป็นจุดต่ำที่สุดจะทำการแบ่งครึ่งเข้าไปอีกอย่างต่อเนื่อง ไปจนกระทั่งไม่สามารถแบ่งช่วงต่อได้อีก ดังนั้นผู้วิจัยจะพบจุดที่เหมาะสมในการบิเซกชันรอบสุดท้ายและจุดดังกล่าวจะมีค่า  $PYE\%$  ต่ำที่สุด

## 2.2 การทดสอบประสิทธิภาพของกระบวนการออกแบบปัจจัยนำเข้า

การทดสอบนี้จะดำเนินการกับข้อมูลระเบียบประกอบและเอาต์พุตเป้าหมายที่ได้จากการทดลองที่ 2.1 เพื่อค้นหาชุดปัจจัยนำเข้าที่เหมาะสมกับเอาต์พุตเป้าหมายที่ได้ ซึ่งกระบวนการออกแบบปัจจัยนำเข้า ได้ประยุกต์ใช้การปรับเปลี่ยนปัจจัยนำเข้าด้วยการหาเซตย่อยของปัจจัยนำเข้าทั้ง 6 ปัจจัยด้วยวิธีการหาเซตกำลัง (Power Set) เพื่อเป็นการตัดปัจจัยที่อาจจะส่งผลกระทบต่อการจัดจำเอาต์พุตที่ได้จากกระบวนการออกแบบเอาต์พุตเป้าหมาย ผลที่ได้จากการหาเซตกำลังจะได้ทั้งสิ้น 32 ชุดปัจจัยนำเข้าซึ่งทุกชุดปัจจัยนำเข้ามีอัตราจุดบกพร่องประกอบอยู่ทุกชุด จากนั้นแต่ละชุดปัจจัยนำเข้าจะถูกนำไปหาค่าหาความสัมพันธ์ที่คล้ายคลึงกันของปัจจัยนำเข้า (Input Factor Similarity Relationship : IFSR) จากนั้นจะได้ค่าความคลาด PYE% โดยการดำเนินการจะดำเนินการไปที่ละชุดปัจจัยนำเข้าและสร้างแผนภูมิแท่งแสดงความคลาดเคลื่อน และเมื่อดำเนินการจนครบทุกชุดปัจจัยนำเข้าแล้ว เลือกรูปแบบปัจจัยนำเข้าที่มีค่าความคลาดเคลื่อน PYE% ที่ต่ำที่สุด ผลที่ได้จากการพิจารณาเลือกรูปแบบปัจจัยนำเข้าที่มีค่าความคลาดเคลื่อน PYE% ที่ต่ำที่สุดนั้นคือ ชุดปัจจัยนำเข้าที่เหมาะสมที่การทดลองนี้ต้องการค้นหา

## 2.3 การทดสอบประสิทธิภาพของกระบวนการสร้างแบบจำลองและทดสอบ

การทดสอบนี้จะใช้ข้อมูลที่ผ่านการสกัดลักษณะเด่นในรูปแบบไม่ต่อเนื่อง (Classified Data Subset: CDS) ในปี 2561 ในการทดสอบอัลกอริทึมที่ดีที่สุดเพื่อเลือกไปใช้สำหรับการสร้างแบบจำลอง อัลกอริทึมทั้ง 6 ในการทดลองประกอบด้วย อัลกอริทึมเคเนียร์เรสเนเบอร์ (K-Nearest Neighbor : KNN) อัลกอริทึม Random Forest (RF) อัลกอริทึม Random Tree (RT) อัลกอริทึม Reduced Error Pruning Decision Tree (REP Tree) อัลกอริทึมต้นไม้ตัดสินใจ (Decision Tree : DT) และโครงข่ายประสาทเทียมแบบหลายชั้น (Multilayer Perceptron : MLP) หากอัลกอริทึมใดที่สามารถจัดจำข้อมูลได้ดีที่สุดและเลือกอัลกอริทึมนั้นมาใช้ในการสร้างแบบจำลอง จากนั้นจะนำแบบจำลองที่ได้มาทดลองอีกครั้งด้วยข้อมูลที่ผ่านการสกัดลักษณะเด่นในรูปแบบไม่ต่อเนื่อง (Classified Data Subset: CDS) ของปี 2562 เพื่อยืนยันถึงประสิทธิภาพของแบบจำลองและผลลัพธ์ของการทดสอบนี้คือ ค่าประสิทธิภาพการทำงานของซอฟต์แวร์ที่ได้พัฒนาขึ้น

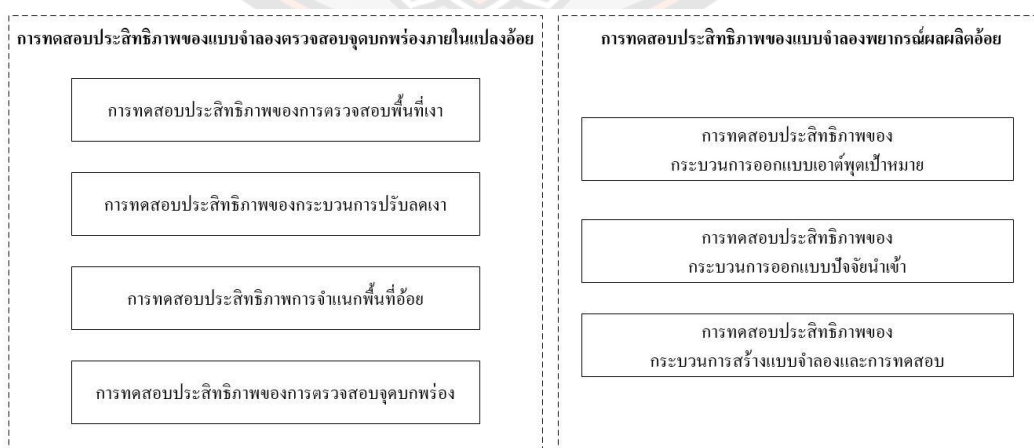
## บทที่ 4

### ผลการวิจัย

บทนี้นำเสนอผลการทดลองของการพัฒนาแบบจำลองเกษตรอัจฉริยะ สำหรับการพยากรณ์ผลผลิตอ้อย โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินผลผลิตโดยรวมของอ้อยที่จะเข้าสู่โรงงานก่อนถึงฤดูกาลเก็บเกี่ยว และแก้ไขปัญหาการประเมินผลผลิตที่มีความคาดเคลื่อนของโรงงานอุตสาหกรรม แบบจำลองที่ผู้วิจัยได้ทำการออกแบบและพัฒนาประกอบด้วยแบบจำลอง 2 ตัวแบบ ได้แก่ แบบจำลองตรวจสอบจุดบกพร่องภายในแปลงอ้อย และแบบจำลองพยากรณ์ผลผลิตอ้อย สำหรับการทดลองได้แบ่งออกเป็น 2 ส่วนหลัก ประกอบด้วย 1) การทดสอบประสิทธิภาพของแบบจำลองตรวจสอบจุดบกพร่องภายในแปลงอ้อย และ 2) การทดสอบประสิทธิภาพของแบบจำลองพยากรณ์ผลผลิตอ้อย เพื่อให้ได้มาซึ่งแบบจำลองที่มีประสิทธิภาพและมีความแม่นยำในการพยากรณ์ผลผลิตมากที่สุด ดังนั้นการทดสอบประสิทธิภาพก่อนนำไปประยุกต์ใช้งานจึงมีความสำคัญเป็นอย่างมาก

#### ภาพรวมการทดสอบประสิทธิภาพ

การทดสอบแบบจำลองเกษตรอัจฉริยะ สำหรับการพยากรณ์ผลผลิตอ้อย ผู้วิจัยได้แบ่งการทดสอบออกเป็น 2 ส่วนหลัก ประกอบด้วย 1) การทดสอบประสิทธิภาพของแบบจำลองตรวจสอบจุดบกพร่องภายในแปลงอ้อย และ 2) การทดสอบประสิทธิภาพของแบบจำลองพยากรณ์ผลผลิตอ้อย โดยการทดสอบมีรายละเอียดตามกรอบแนวคิดการทดสอบประสิทธิภาพดังภาพ 81



ภาพ 81 กรอบแนวคิดการทดสอบประสิทธิภาพ

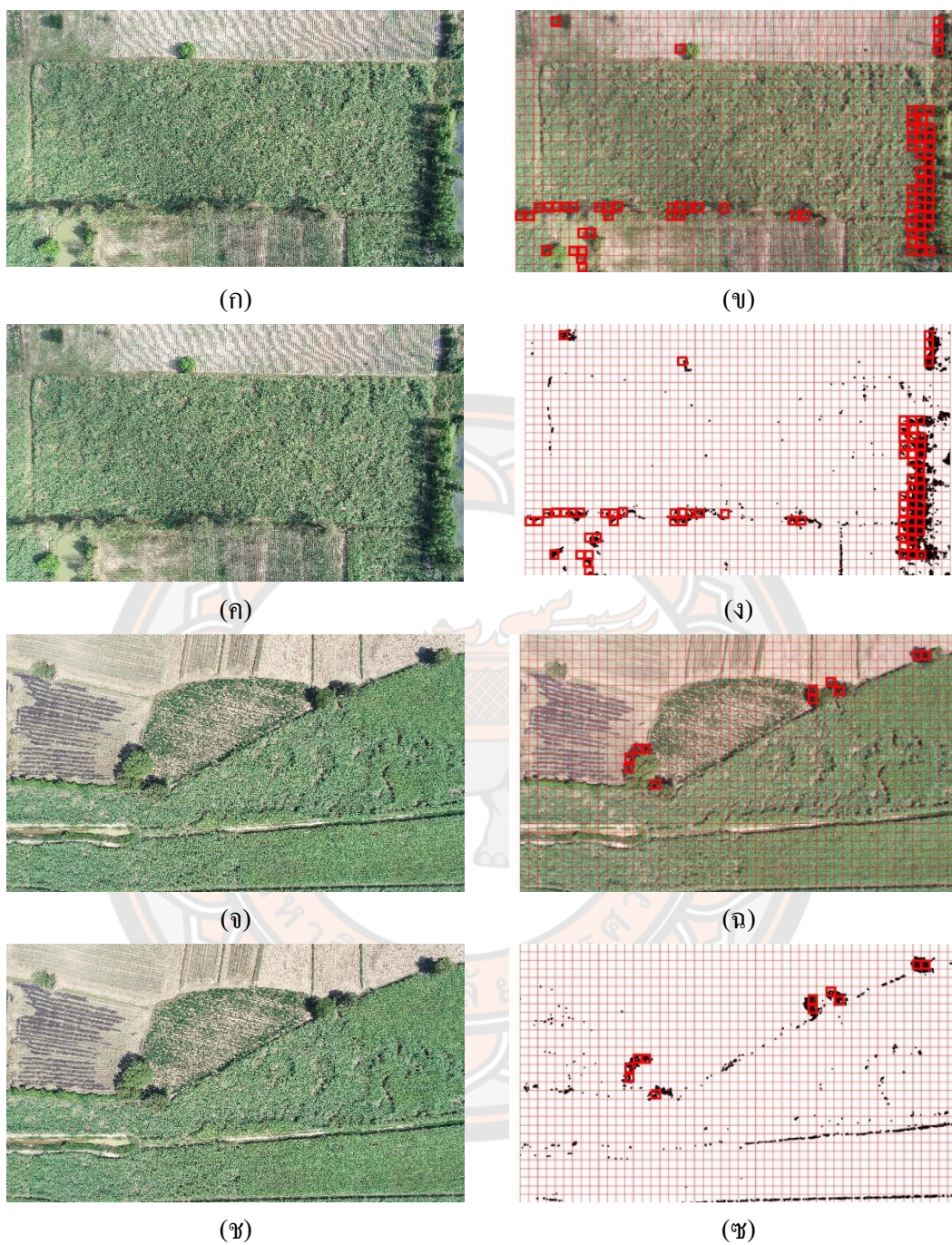
จากกรอบแนวคิดการออกแบบการทดลองจะได้แบบจำลองทั้ง 2 ตัวแบบ เพื่อให้สามารถดำเนินการตรวจสอบจุดบกพร่องภายในภาพและพยากรณ์ผลผลิตได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยประกอบด้วย (1) การทดสอบประสิทธิภาพของแบบจำลองตรวจสอบจุดบกพร่องภายในแปลงอ้อย มีการทดสอบประสิทธิภาพ ได้แก่ 1) การตรวจสอบพื้นที่เงา 2) การปรับลดเงา 3) การจำแนกพื้นที่อ้อย และ 4) การตรวจสอบจุดบกพร่องในแปลงอ้อย เป็นต้น และส่วนที่ (2) การทดสอบประสิทธิภาพของแบบจำลองพยากรณ์ผลผลิตอ้อย ได้แก่ 1) การทดสอบประสิทธิภาพของกระบวนการออกแบบเอาต์พุตเป้าหมาย และ 2) การทดสอบประสิทธิภาพของกระบวนการออกแบบปัจจัยนำเข้า และ 3) การทดสอบประสิทธิภาพของกระบวนการสร้างแบบจำลองและทดสอบ โดยมีรายละเอียดของการทดสอบประสิทธิภาพดังนี้

### **การทดสอบประสิทธิภาพของแบบจำลองตรวจสอบจุดบกพร่องภายในแปลงอ้อย**

การพัฒนาแบบจำลองตรวจสอบจุดบกพร่องภายในภาพถ่ายแปลงอ้อย เพื่อประเมินค่าจุดบกพร่องเกิดขึ้นภายในแปลงอ้อยที่เป็นสาเหตุของการประเมินผลผลิตที่คาดเคลื่อน แบบจำลองใช้ภาพสีความละเอียดสูงจากอากาศยานไร้คนขับ แบบจำลองนี้ดำเนินการ 4 ขั้นตอน ประกอบด้วย 1) การเก็บรวบรวมข้อมูลภาพ 2) การเตรียมข้อมูลภาพ 3) การสร้างแบบจำลองตรวจสอบจุดบกพร่องของแปลงอ้อย และ 4) การพัฒนาส่วนติดต่อผู้ใช้งาน สำหรับการทดสอบประสิทธิภาพผู้วิจัยได้ออกแบบการทดลอง โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 4 ส่วน ได้แก่ 1) การทดสอบประสิทธิภาพของการตรวจสอบพื้นที่เงา 2) การทดสอบประสิทธิภาพของกระบวนการปรับลดเงา 3) การทดสอบประสิทธิภาพการจำแนกพื้นที่อ้อย และ 4) การทดสอบประสิทธิภาพของการตรวจสอบจุดบกพร่องในแปลงอ้อย โดยรายละเอียดการทดลองดังนี้

#### **1. การทดสอบประสิทธิภาพของการตรวจสอบพื้นที่เงา**

กระบวนการตรวจสอบพื้นที่เงาเป็นขั้นตอนวิธีที่อยู่ในกระบวนการเตรียมข้อมูลภาพจะดำเนินการตามกรอบแนวคิดการตรวจสอบพื้นที่เงาดังภาพ 69 ดำเนินการทดลองโดยการนำภาพถ่ายที่ได้จากอากาศยานไร้คนขับให้ผู้เชี่ยวชาญระบุพื้นที่เงาและพื้นที่ไม่ใช่เงา ด้วยการแบ่งส่วนภาพออกเป็นตารางขนาด 100 x 100 พิกเซล ลงไปยังภาพขนาด 3,000 x 5,000 พิกเซล จะทำให้ได้พื้นที่พิจารณาทั้งหมด 1,500 ส่วน จากนั้นนำภาพให้ผู้เชี่ยวชาญระบุชิ้นส่วนแต่ละชิ้น โดยมีข้อตกลงการระบุพื้นที่เงาภายในช่องมากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ของแต่ละชิ้นส่วน โดยผู้เชี่ยวชาญใช้โปรแกรม Microsoft Power Point ในการทำเครื่องหมาย จากนั้นนำเครื่องหมายมาวางทับกับภาพผลลัพธ์ที่ได้จากกระบวนการตรวจสอบพื้นที่เงา แสดงภาพตัวอย่างการดำเนินการดังภาพ 82



ภาพ 82 ตัวอย่างผลการเปรียบเทียบระหว่างผู้เชี่ยวชาญกับผลลัพท์ของกระบวนการตรวจสอบเงา

จากภาพ 82 (ก,ค) เป็นภาพต้นฉบับของแปลง 1008002 ภาพ 82 (ข) เป็นภาพผลลัพท์จากผู้เชี่ยวชาญ และ (ง) เป็นภาพผลลัพท์จากกระบวนการตรวจสอบพื้นที่เงา ส่วนภาพที่ 82 (จ,ช) เป็นภาพต้นฉบับของแปลง 10073002 ภาพ 82 (ฉ) เป็นภาพผลลัพท์จากผู้เชี่ยวชาญ และ (ซ) เป็นภาพ



ผลลัพธ์จากระบบการตรวจสอบพื้นที่เงา จากนั้นนำภาพผลลัพธ์ทั้งสองเปรียบเทียบด้วยโปรแกรมแมทแลบ โดยดำเนินการเปรียบเทียบทีละชิ้นส่วนย่อยและดำเนินการทั้ง 90 ภาพ เมื่อเปรียบเทียบผลลัพธ์แล้ว จำนวนที่ระบุถูกต้องและจำนวนที่ระบุผิดพลาดจะถูกบันทึกลงในเมตริกสับสน (Confusion matrix) และนำผลที่ได้ไปหาค่าความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนของการจำแนกประเภทพื้นที่เงาถูกต้อง (True Positive Rate: TP) และพื้นที่เงาไม่ถูกต้อง (False Positive Rate: FP) ส่วนประเภทพื้นที่อื่น ๆ ถูกต้อง (True Negative Rate: TN) และพื้นที่อื่น ๆ ไม่ถูกต้อง (False Negative Rate: FN) จากนั้นนำจำนวนที่ได้มาคำนวณหาค่าประสิทธิภาพ ประกอบด้วย Precision, Recall, F1-Measure และ Accuracy รวมถึงค่าสถิติตรวจสอบผลลัพธ์ของกระบวนการตรวจสอบพื้นที่เงา ได้แก่ ค่าความไวหรือค่าสัดส่วนของการพยากรณ์ถูกในกลุ่มที่สนใจ (Sensitivity) และค่าสัดส่วนของการพยากรณ์ถูกในกลุ่มที่ไม่สนใจ (Specificity) แสดงผลการทดลองดังตาราง 36 - 39

ตาราง 36 ผลการทดลองการตรวจสอบพื้นที่เงา

ลำดับ	รหัส	Precision	Recall	F1-Measure	Accuracy	Sensitivity	Specificity
1	10001001	0.95	0.93	0.94	0.99	0.86	1.00
2	10001003	0.64	1.00	0.72	0.99	1.00	0.99
3	10001005	0.84	0.80	0.82	0.97	0.62	0.99
4	10008002	0.85	0.84	0.85	0.96	0.70	0.98
5	10015001	0.89	0.80	0.84	0.94	0.61	0.99
6	10018001	0.77	0.96	0.84	0.99	0.93	0.99
7	10025001	0.90	1.00	0.94	1.00	1.00	1.00
8	10025004	0.84	0.92	0.87	0.99	0.85	0.99
9	10025006	0.76	0.84	0.79	0.97	0.70	0.98
10	10026001	0.76	0.84	0.79	0.97	0.70	0.98
11	10026003	0.70	1.00	0.79	0.99	1.00	0.99
12	10043001	0.62	0.89	0.68	0.98	0.80	0.98
13	10073002	0.67	0.99	0.75	0.99	1.00	0.99
14	10076002	0.65	0.99	0.73	0.98	1.00	0.98
15	10076005	0.53	0.99	0.55	0.99	1.00	0.99
16	10076007	0.64	1.00	0.72	1.00	1.00	1.00

ตาราง 37 ผลการทดลองการตรวจสอบพื้นที่เงา (ต่อ)

ลำดับ	รหัส	Precision	Recall	F1-Measure	Accuracy	Sensitivity	Specificity
17	10076013	0.63	1.00	0.71	0.99	1.00	0.99
18	10081002	0.75	1.00	0.83	1.00	1.00	1.00
19	10088001	0.81	0.87	0.84	0.98	0.75	0.99
20	10105001	0.54	0.99	0.57	0.98	1.00	0.98
21	10141002	0.83	1.00	0.89	0.99	1.00	0.99
22	10185001	0.83	0.80	0.82	0.97	0.62	0.99
23	10194001	0.79	0.96	0.85	0.98	0.94	0.98
24	10198001	0.81	0.95	0.86	0.99	0.90	0.99
25	10223006	0.81	0.95	0.86	0.99	0.90	0.99
26	10262001	0.70	0.99	0.79	0.99	1.00	0.99
27	10268001	0.71	1.00	0.79	0.99	1.00	0.99
28	10380001	0.96	0.92	0.94	0.99	0.84	1.00
29	10455001	0.77	0.95	0.84	0.99	0.90	0.99
30	10677001	0.97	0.79	0.85	0.96	0.58	1.00
31	10679001	0.90	0.95	0.92	0.99	0.90	0.99
32	10682001	0.58	1.00	0.64	1.00	1.00	1.00
33	10685001	0.68	0.79	0.72	0.99	0.60	0.99
34	10694010	0.82	0.86	0.84	0.98	0.74	0.99
35	10703001	0.80	0.97	0.87	0.99	0.95	0.99
36	10710001	0.82	1.00	0.89	1.00	1.00	1.00
37	10711001	0.75	0.99	0.83	0.98	1.00	0.98
38	11102001	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
39	11260011	0.59	0.87	0.64	0.99	0.75	0.99
40	11566001	0.90	0.83	0.86	0.96	0.66	0.99
41	11598001	0.76	0.98	0.84	0.98	0.97	0.98
42	11635005	0.63	0.70	0.66	0.99	0.42	0.99
43	11768001	0.77	0.96	0.84	0.98	0.93	0.98

ตาราง 38 ผลการทดลองการตรวจสอบพื้นที่เงา (ต่อ)

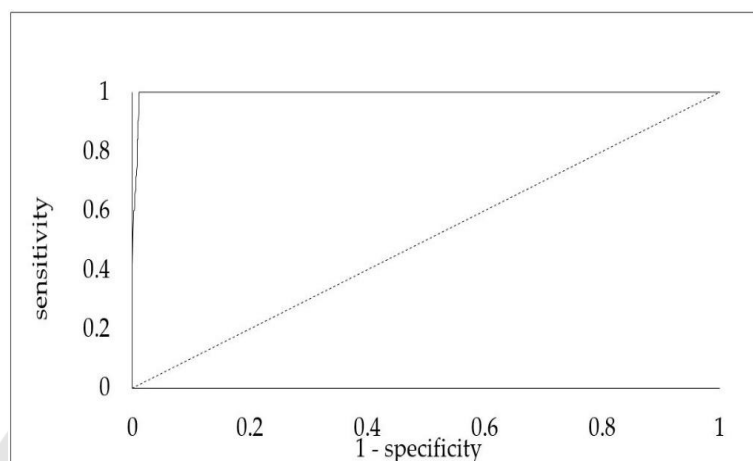
ลำดับ	รหัส	Precision	Recall	F1-Measure	Accuracy	Sensitivity	Specificity
44	14616003	0.81	0.99	0.88	0.99	1.00	0.99
45	15288001	0.58	0.93	0.63	0.97	0.89	0.97
46	15315001	0.92	1.00	0.95	0.99	1.00	0.99
47	15378001	0.85	0.80	0.82	0.98	0.60	0.99
48	15469001	0.75	1.00	0.83	0.99	1.00	0.99
49	15476001	0.89	0.82	0.85	0.97	0.66	0.99
50	15735002	0.89	0.82	0.85	0.97	0.66	0.99
51	21747002	0.83	0.91	0.87	0.99	0.84	0.99
52	21944006	0.83	0.91	0.87	0.99	0.84	0.99
53	24724003	0.77	0.90	0.82	0.99	0.80	1.00
54	25059001	0.55	1.00	0.59	0.99	1.00	0.99
55	25238023	0.58	1.00	0.64	0.99	1.00	0.99
56	25492012	0.75	1.00	0.83	1.00	1.00	1.00
57	26349001	0.78	0.95	0.84	0.99	0.90	0.99
58	26559001	0.69	0.75	0.72	0.97	0.53	0.98
59	30854001	0.89	0.92	0.90	0.98	0.86	0.99
60	30885001	0.77	0.96	0.84	0.99	0.93	0.99
61	30894001	0.70	0.85	0.75	0.97	0.72	0.98
62	30898002	0.59	1.00	0.66	0.99	1.00	0.99
63	30906006	0.85	0.93	0.89	0.99	0.88	0.99
64	30906010	0.83	0.81	0.82	0.99	0.63	1.00
65	30906018	0.74	0.87	0.79	0.97	0.78	0.97
66	30931002	0.80	0.87	0.83	0.98	0.75	0.99
67	30937003	0.78	0.85	0.81	0.98	0.71	0.99
68	30947003	0.86	0.88	0.87	0.99	0.77	0.99
69	30951001	0.86	0.88	0.87	0.99	0.77	0.99
70	30960001	0.78	0.92	0.84	0.98	0.85	0.99

ตาราง 39 ผลการทดลองการตรวจสอบพื้นที่เงา (ต่อ)

ลำดับ	รหัส	Precision	Recall	F1-Measure	Accuracy	Sensitivity	Specificity
71	30960002	0.86	0.82	0.84	0.98	0.64	0.99
72	30967001	0.62	0.99	0.69	0.99	1.00	0.99
73	33594003	0.61	0.99	0.67	0.98	1.00	0.98
74	41527001	0.63	0.94	0.69	0.98	0.91	0.98
75	46812007	0.79	0.91	0.84	0.99	0.82	0.99
76	50441003	0.84	0.96	0.89	0.99	0.93	0.99
77	54394004	0.77	1.00	0.85	1.00	1.00	1.00
78	55645002	0.71	0.99	0.79	0.99	1.00	0.99
79	56012002	0.76	0.94	0.83	0.98	0.89	0.99
80	56012003	0.79	0.90	0.84	0.98	0.83	0.98
81	65197001	0.73	0.99	0.81	0.99	1.00	0.99
82	65560002	0.69	0.79	0.73	0.98	0.60	0.98
83	73510001	0.84	1.00	0.90	0.99	1.00	0.99
84	75590002	0.64	0.99	0.72	0.99	1.00	0.99
85	75822001	0.69	0.99	0.77	0.98	1.00	0.98
86	84059004	0.67	1.00	0.75	1.00	1.00	1.00
87	86211001	0.96	0.92	0.94	0.99	0.84	1.00
88	99405020	0.67	1.00	0.75	1.00	1.00	1.00
89	99457001	0.59	0.78	0.64	0.96	0.59	0.96
90	99567002	0.83	0.83	0.83	0.98	0.67	0.99

เมื่อดำเนินการทั้ง 90 ภาพและเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้จากกระบวนการตรวจสอบพื้นที่เงากับภาพจากการระบุจากผู้เชี่ยวชาญ โดยวัดค่าประสิทธิภาพ พบว่า ค่าความแม่นยำเฉลี่ยอยู่ที่ 75.92 เปอร์เซ็นต์ ค่าความถูกต้องแบบแยกคลาสอยู่ที่ 92.23 เปอร์เซ็นต์ ค่า F1 เฉลี่ยอยู่ที่ 80.11 เปอร์เซ็นต์ และค่าความถูกต้องรวมของแบบจำลองเฉลี่ยอยู่ที่ 98.44 เปอร์เซ็นต์ จากนั้น ใช้สถิติตรวจสอบผลลัพธ์ของกระบวนการตรวจสอบพื้นที่เงา ได้แก่ ค่าความไวหรือค่าสัดส่วนของการพยากรณ์ถูกในกลุ่มที่สนใจ (Sensitivity) และค่าสัดส่วนของการพยากรณ์ถูกในกลุ่มที่ไม่สนใจ (Specificity) จากนั้นตรวจสอบโดยเส้นโค้ง ROC (Receiver-Operating Characteristic curve) โดยการกลับค่า

แกน x ของกราฟ ROC (1-Specificity) เพื่อวิเคราะห์ค่าประสิทธิภาพของกระบวนการตรวจสอบพื้นที่เงาจากทั้ง 90 ภาพ ผลลัพธ์ที่ได้แสดงดังภาพ 83



ภาพ 83 ภาพรวมผลการทดลองกระบวนการตรวจสอบพื้นที่เงา

จากการทดลองการตรวจสอบเงา เมื่อดำเนินการทดสอบกับภาพทั้ง 90 ภาพ พบว่า ค่า Sensitivity เฉลี่ยอยู่ที่ 85.80 เปอร์เซ็นต์ และค่า Specificity เฉลี่ยอยู่ที่ 98.88 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีค่าที่สูงทั้งคู่ ส่งผลให้เส้นโค้งของกราฟประชิดมุมซ้ายมาก และมีพื้นที่ใต้เส้นโค้งเฉลี่ยอยู่ที่ 99.67 เปอร์เซ็นต์ จึงทำให้วิธีการตรวจสอบพื้นที่เงาด้วยวิธีดังกล่าวมีประสิทธิภาพสูง

## 2. การทดสอบประสิทธิภาพของกระบวนการปรับลดเงา

การปรับลดความเข้มของพื้นที่เงาเป็นอีกขั้นตอนหนึ่งในกระบวนการเตรียมข้อมูลภาพก่อนเข้าสู่การสกัดลักษณะเด่นและการพัฒนาแบบจำลอง ซึ่งดำเนินการต่อจากกระบวนการตรวจสอบพื้นที่เงา โดยกระบวนการปรับลดเงาดำเนินการกับพื้นที่เงาภายในภาพ โดยการปรับค่าของพิกเซลในพื้นที่เงาให้ใกล้เคียงกับค่าของพื้นที่ไม่ใช่เงาดำเนินการด้วยสมการ Minkowski norm (สมการ 25 และ 26) โดยการทดลองดำเนินการปรับค่าของพิกเซลให้มีความใกล้เคียงด้วยการปรับค่าพารามิเตอร์  $p$  ของสมการ 25 และ 26 โดยปรับค่าตั้งแต่  $p=1$  ถึง 10 และเปรียบเทียบค่าปัจจัย 3 ปัจจัย ได้แก่ ค่าความสว่าง (Brightness) ค่าความเข้ม (Contract) และค่าเฉลี่ยเกรเดียนต์ (Average Gradient) ของแต่ละภาพ แสดงตัวอย่างผลการทดลองแปลงเลขที่ 10008002 ดังตาราง 40

ตาราง 40 ตัวอย่างการทดลองความเหมาะสมของกระบวนการปรับลดเงา

ลักษณะพื้นที่ และค่า p	ค่าความสว่าง			ค่าความเข้ม			ค่าเฉลี่ยเกรเดนต์		
	(Brightness)			(Contract)			(Average Gradient)		
	R	G	B	R	G	B	R	G	B
พื้นที่เงา	46.60	67.54	63.82	21.63	22.62	21.02	3.29	3.85	3.52
p=1	130.28	146.91	126.16	52.53	46.05	45.43	77.33	77.25	74.22
p=2	130.05	146.84	126.27	52.45	46.03	45.47	77.16	77.20	74.30
p=3	129.87	146.76	126.31	52.39	46.00	45.50	77.02	77.14	74.35
p=4	129.74	146.69	126.36	52.35	45.99	45.50	76.92	77.10	74.35
p=5	129.66	146.64	126.39	52.32	45.97	45.52	76.85	77.07	74.38
p=6	129.59	146.60	126.42	52.30	45.96	45.53	76.80	77.04	74.40
p=7	129.55	146.57	126.45	52.29	45.96	45.54	76.76	77.02	74.42
p=8	129.51	146.55	126.48	52.28	45.95	45.55	76.74	77.01	74.43
p=9	129.48	146.54	126.50	52.27	45.95	45.55	76.71	77.00	74.45
p=10	129.46	146.53	126.52	52.26	45.95	45.56	76.69	76.99	74.46
พื้นที่ไม่มีเงา	130.32	146.92	126.15	51.89	45.75	45.71	71.45	73.17	70.84

จากตาราง 40 เมื่อดำเนินการปรับค่า p จากนั้นเลือกผลลัพธ์ที่มีค่าใกล้เคียงกับค่าของพื้นที่ในส่วนที่ไม่มีเงามากที่สุด จากทั้งสามปัจจัยและในแต่ละระนาบสีของภาพ โดยผลการทดลองของค่า p ที่ใกล้เคียงค่าในพื้นที่ไม่มีเงาในแต่ละภาพแสดงดังตาราง 41 - 45

ตาราง 41 การทดลองความเหมาะสมของกระบวนการปรับลดเงา

รหัสแปลง	p	ค่าความสว่าง			ค่าความเข้ม			ค่าเฉลี่ยเกรเดนต์		
		R	G	B	R	G	B	R	G	B
10001001	2	130.07	157.05	124.07	53.47	53.43	43.33	97.02	97.13	91.14
10001003	1	123.57	144.65	113.81	45.18	42.88	41.44	80.67	82.23	79.17
10001005	1	153.45	166.61	127.70	44.73	45.96	40.09	87.17	89.05	85.52
10008002	1	130.28	146.91	126.16	52.53	46.05	45.43	77.33	77.25	74.22

ตาราง 42 การทดลองความเหมาะสมของกระบวนการปรับลดเงา (ต่อ)

รหัสแปลง	p	ค่าความสว่าง			ค่าความเข้ม			ค่าเฉลี่ยเจดสี		
		R	G	B	R	G	B	R	G	B
10015001	2	143.63	162.59	132.55	50.94	45.51	43.33	81.44	81.19	78.23
10018001	1	141.13	155.53	127.96	49.13	43.71	41.62	82.17	81.38	79.23
10025001	1	146.14	171.15	127.48	45.20	42.70	40.55	82.72	84.43	81.70
10025004	1	138.13	162.13	121.34	45.60	43.18	40.77	80.16	81.54	78.35
10025006	1	107.48	129.38	101.78	47.33	43.82	41.44	71.83	72.36	70.17
10026001	1	119.20	148.65	115.72	34.09	31.54	30.65	62.05	62.82	61.43
10026003	1	111.52	132.78	105.00	43.35	36.80	38.88	66.25	67.30	65.28
10043001	1	132.49	156.91	123.59	43.16	42.53	38.38	88.43	90.03	87.05
10073002	1	146.91	164.02	136.84	50.76	41.01	42.01	70.65	71.51	69.80
10076002	1	137.78	156.37	135.23	41.65	37.66	40.51	63.66	64.61	63.13
10076005	1	157.60	158.79	121.44	41.62	40.46	42.32	68.03	68.76	67.02
10076007	1	143.76	162.69	129.74	44.58	40.19	40.34	74.12	74.86	73.12
10076013	1	140.40	158.24	129.63	29.06	27.07	27.29	55.00	55.44	54.55
10081002	1	113.85	140.59	111.72	44.09	42.11	39.38	88.34	89.95	87.17
10088001	1	144.01	155.51	105.92	46.26	44.40	40.72	76.17	76.84	73.57
10105001	1	151.16	167.04	134.89	41.55	36.88	38.43	64.85	65.32	63.06
10141002	1	138.58	152.49	123.56	45.96	45.11	40.75	88.51	89.89	86.79
10185001	1	125.63	156.28	119.54	48.27	45.21	40.17	80.44	81.56	77.34
10194001	1	151.57	165.93	136.24	50.22	44.59	43.98	79.79	79.24	76.51
10198001	2	113.10	126.21	90.55	37.00	37.80	33.35	80.43	81.67	78.87
10223006	1	134.49	146.08	121.66	44.72	34.35	35.02	57.80	57.10	56.44
10262001	1	140.11	164.42	125.58	47.31	43.05	41.36	76.43	76.19	74.26
10268001	1	141.83	161.25	130.62	42.11	36.10	37.97	67.66	68.57	67.38
10380001	1	133.43	149.16	127.80	45.69	37.58	40.66	57.31	57.19	54.88
10455001	1	139.56	157.27	126.23	45.15	41.62	41.08	69.40	70.32	67.75
10677001	1	130.98	146.89	113.34	52.14	51.24	43.37	93.38	93.40	85.62

ตาราง 43 การทดลองความเหมาะสมของกระบวนการปรับลดเงา (ต่อ)

รหัสแปลง	p	ค่าความสว่าง			ค่าความเข้ม			ค่าเฉลี่ยเนคตี		
		R	G	B	R	G	B	R	G	B
10679001	1	106.50	130.39	104.30	55.52	49.98	46.72	83.47	86.29	81.47
10682001	1	110.82	137.92	101.76	38.69	35.77	35.06	69.61	71.28	68.48
10685001	1	129.21	146.34	123.04	59.72	51.31	50.41	85.97	87.57	84.14
10694010	1	139.22	157.88	128.74	50.28	42.98	46.59	70.72	70.93	68.47
10703001	1	137.23	159.38	124.04	45.04	40.62	38.53	70.96	71.28	68.53
10710001	1	118.58	141.64	104.27	43.97	35.07	35.55	58.46	58.60	56.13
10711001	1	134.58	164.57	121.45	32.75	30.22	28.18	56.23	57.35	55.74
11102001	1	145.22	159.13	122.37	42.75	41.56	39.68	79.74	80.52	78.37
11260011	1	129.07	157.22	118.59	40.87	37.87	38.28	68.72	70.10	68.19
11566001	1	133.38	150.27	127.40	49.56	44.51	42.81	53.46	54.00	51.73
11598001	1	134.21	157.31	130.49	44.82	36.05	40.70	60.01	60.76	58.89
11635005	1	130.32	152.10	123.33	45.88	43.25	39.15	82.21	83.63	79.55
11768001	1	147.56	159.34	129.92	49.87	44.73	51.25	59.84	60.13	58.19
14616003	1	139.46	164.15	126.06	46.87	43.79	39.67	77.33	77.17	73.90
15288001	1	144.56	159.74	126.73	47.45	46.90	39.88	90.91	92.31	87.16
15315001	1	147.22	164.68	134.30	43.62	39.63	38.37	71.51	71.71	69.83
15378001	1	134.64	159.67	118.23	44.23	35.70	40.49	61.63	61.88	60.42
15469001	1	145.57	161.62	133.12	45.57	44.05	40.46	81.39	82.30	79.12
15476001	1	135.11	150.08	116.83	49.24	38.93	42.88	55.02	53.04	52.09
15735002	1	137.47	160.04	124.42	44.84	41.61	42.09	81.36	81.36	80.38
21747002	1	125.49	156.67	118.54	41.17	41.56	37.80	85.61	87.23	84.03
21944006	1	146.17	160.42	110.42	37.03	37.04	32.15	71.86	73.09	71.34
24724003	1	151.45	158.64	115.71	41.60	41.53	38.79	85.19	86.76	84.25
25059001	3	142.37	157.35	108.10	42.80	43.54	39.29	87.78	89.10	86.38
25238023	1	123.43	152.25	119.68	42.95	43.16	37.70	89.66	91.06	87.22
25492012	1	130.74	154.99	117.18	49.45	45.14	43.57	75.00	74.26	72.53



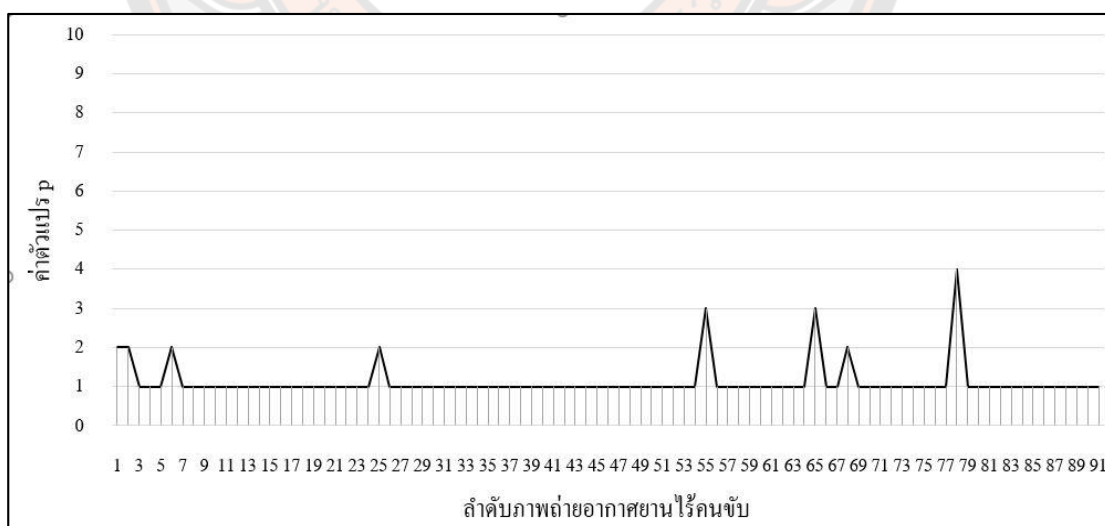
ตาราง 44 การทดลองความเหมาะสมของกระบวนการปรับลดเงา (ต่อ)

รหัสแปลง	p	ค่าความสว่าง			ค่าความเข้ม			ค่าเฉลี่ยเจดสี		
		R	G	B	R	G	B	R	G	B
26349001	1	140.12	153.23	124.28	45.66	44.60	38.68	83.99	84.77	80.13
26559001	1	116.40	141.18	111.26	41.78	31.69	38.06	49.88	49.61	47.67
30854001	1	143.12	156.61	129.57	51.13	47.21	46.66	67.66	68.35	65.00
30885001	1	144.23	168.99	129.80	32.04	28.97	29.23	55.13	55.59	54.62
30894001	1	122.92	145.59	112.67	44.33	37.09	39.29	63.37	63.63	61.62
30898002	1	141.66	157.60	140.50	38.18	31.18	33.83	47.05	47.44	46.13
30906006	1	132.24	152.37	122.38	52.87	46.74	41.81	65.77	66.44	63.77
30906010	3	141.43	164.07	123.72	44.04	41.34	38.10	77.14	78.55	75.65
30906018	1	124.59	139.30	121.18	57.33	48.52	47.33	66.45	66.38	64.30
30931002	1	122.84	134.69	106.77	39.13	38.00	34.15	75.18	76.02	72.42
30937003	2	116.11	138.05	100.42	34.25	31.44	29.07	64.40	65.67	63.78
30947003	1	131.09	147.29	125.24	46.39	41.90	40.27	70.83	71.09	68.45
30951001	1	138.59	159.27	112.05	29.26	29.72	28.28	71.57	72.41	71.36
30960001	1	122.62	144.70	110.19	38.71	36.36	32.58	66.03	66.49	63.51
30960002	1	104.58	124.40	98.26	46.02	39.74	41.54	62.64	63.46	60.42
30967001	1	121.14	141.25	108.92	41.69	38.96	37.03	77.46	78.04	75.42
33594003	1	147.57	163.68	135.70	36.65	31.97	36.77	51.73	52.20	51.50
41527001	1	128.74	150.19	128.64	47.37	41.35	38.44	57.46	57.10	55.84
46812007	1	111.66	137.68	106.47	43.91	42.78	38.39	88.25	89.85	85.52
50441003	1	141.28	150.16	121.84	54.44	47.70	49.35	63.60	62.87	60.21
54394004	4	123.23	153.42	110.75	42.39	42.11	37.47	82.44	84.36	81.27
55645002	1	140.32	160.61	129.78	47.50	42.73	43.29	66.87	67.24	64.96
56012002	1	126.07	142.72	124.24	45.83	39.04	36.12	56.79	56.54	54.06
56012003	1	127.76	142.57	118.86	52.50	44.35	46.62	59.50	58.49	56.99
65197001	1	143.34	160.28	124.35	47.03	43.12	42.45	77.94	78.11	75.53
65560002	1	136.04	162.41	119.79	44.35	36.19	42.05	65.87	66.05	64.17

ตาราง 45 การทดลองความเหมาะสมของกระบวนการปรับลดเงา (ต่อ)

รหัสแปลง	p	ค่าความสว่าง			ค่าความเข้ม			ค่าเฉลี่ยเจดสี		
		R	G	B	R	G	B	R	G	B
73510001	1	135.03	160.40	141.37	42.73	36.92	33.53	53.43	53.37	51.07
75590002	1	132.13	157.94	127.05	41.29	31.67	37.47	54.52	54.90	53.64
75822001	1	144.01	155.57	127.85	41.72	41.23	36.12	73.05	73.73	71.39
84059004	1	127.80	159.65	120.10	31.52	31.07	28.29	62.26	63.86	62.15
86211001	1	122.14	141.23	108.91	41.65	38.95	37.03	76.46	78.03	74.42
99405020	1	154.33	159.50	130.91	42.23	39.28	37.95	57.15	55.51	54.82
99457001	1	141.71	158.24	130.22	55.02	48.35	50.30	75.68	75.48	72.45
99567002	1	143.76	160.61	137.99	48.21	38.43	36.80	62.46	62.54	60.93

เมื่อดำเนินการปรับค่า p ตั้งแต่ 1 ถึง 10 จากนั้นเลือกผลลัพธ์ที่มีค่าใกล้เคียงกับค่าของพื้นที่ในส่วนที่ไม่มีเงามากที่สุด จากทั้งสามปัจจัยและในแต่ละระนาบสีของภาพ โดยผลการทดลองของ p ที่ใกล้เคียงค่าในพื้นที่ไม่ใช่งานในแต่ละภาพแสดงดังภาพ 84



ภาพ 84 ผลการทดลองปรับค่าตัวแปร p ของชุดข้อมูลภาพ

จากภาพ 84 ผลที่ได้จากการทดลองพบว่า ส่วนใหญ่ค่าของการยกกำลังของตัวแปร  $p=1$  แต่มีภาพบางส่วนที่มีค่า  $p=2, 3$  และ  $4$  ซึ่งเกิดจากแสงในพื้นที่ที่ไม่มีเงามีค่าสว่างกว่าพื้นที่ที่มีเงาค่อนข้างมากจึงจำเป็นต้องปรับค่า  $p$  เพิ่มขึ้นให้ใกล้เคียงกับพื้นที่ที่ไม่มีเงามากที่สุด

### 3. การทดสอบประสิทธิภาพการจำแนกพื้นที่อ้อย

การทดสอบประสิทธิภาพการจำแนกพื้นที่แปลงอ้อย เป็นขั้นตอนในการระบุประเภทของวัตถุภายในภาพแปลงอ้อย ได้แก่ ต้นอ้อย ต้นไม้ วัชพืช และอื่น ๆ การทดสอบได้แบ่งการทดลองออกเป็น 2 การทดลอง ได้แก่ 1) การทดลองเลือกลักษณะเด่น และ 2) การทดลองการสร้างแบบจำลองจำแนกพื้นที่อ้อย โดยการทดสอบดำเนินการกับข้อมูลสำหรับการพัฒนาแบบจำลอง 2 รูปแบบ ประกอบด้วย ข้อมูลชุดที่ 1 (ต้นอ้อย ต้นไม้ และวัชพืช) และข้อมูลชุดที่ 2 (ต้นอ้อย และวัชพืช) โดยแต่ละชุดข้อมูล โดยการแบ่งข้อมูลสำหรับการฝึกฝนและตรวจสอบ 80 เปอร์เซ็นต์ และข้อมูลสำหรับการทดสอบ 20 เปอร์เซ็นต์ โดยมีรายละเอียดการทดลองดังนี้

#### 3.1 การทดสอบกระบวนการสกัดลักษณะเด่น

กระบวนการสกัดลักษณะเด่นดำเนินการตามกรอบแนวคิดการสกัดลักษณะเด่นดังภาพ 70 ซึ่งจากกระบวนการจะทำให้ได้ลักษณะเด่น 26 ค่า จากนั้นจะนำเข้าสู่กระบวนการเลือกลักษณะเด่นเป็นส่วนหนึ่งของขั้นตอนการจำแนกพื้นที่อ้อย โดยดำเนินการด้วยการเลือกลักษณะเด่นที่มีความสัมพันธ์กับคลาสของแต่ละหมวดหมู่ที่ได้แบ่งไว้ดังตาราง 32 กับภาพย่อยของทั้ง 2 ชุดข้อมูล เมื่อผ่านกระบวนการนี้จะได้ลักษณะเด่นที่สำคัญที่ผ่านเกณฑ์ที่กำหนด โดยค่าที่กำหนดได้ค่าแบ่งกลุ่มที่มีความสำคัญน้อยที่สุดโดยพิจารณาจากการกระจายตัวแบบ T-Score ผลลัพธ์ที่ได้จะเป็นลักษณะเด่นที่มีสัมพันธ์กับคลาसอยู่ในระดับปานกลางถึงมาก จากนั้นนำลักษณะเด่นไปฝึกฝนแบบจำลอง มากไปกว่านั้นยังสามารถลดลักษณะเด่นที่มีความสำคัญน้อยได้ โดยผลการทดลองการเลือกลักษณะเด่นแสดงดังตาราง 46 - 47

ตาราง 46 ผลการทดลองการเลือกลักษณะเด่น

ลักษณะ/ ขนาด	ชุดข้อมูล 1					ชุดข้อมูล 2				
	10x10	20x20	25x25	40x40	50x50	10x10	20x20	25x25	40x40	50x50
Mean1	<u>0.027</u>	<u>0.047</u>	0.056	0.074	0.083	<u>0.026</u>	<u>0.038</u>	<u>0.045</u>	0.061	0.070
Mean2	<u>0.033</u>	0.055	0.066	0.085	0.100	<u>0.030</u>	<u>0.046</u>	0.055	0.068	0.077
Mean3	0.056	0.084	0.090	0.115	0.123	<u>0.048</u>	0.064	0.072	0.085	0.096
Mean4	0.057	0.087	0.099	0.120	0.127	<u>0.049</u>	0.067	0.076	0.094	0.102

ตาราง 47 ผลการทดลองการเลือกลักษณะเด่น(ต่อ)

ลักษณะ/ ขนาด	ชุดข้อมูล 1					ชุดข้อมูล 2				
	10x10	20x20	25x25	40x40	50x50	10x10	20x20	25x25	40x40	50x50
Mean5	0.068	0.103	0.116	0.138	0.145	0.057	0.081	0.093	0.104	0.115
Mean6	0.068	0.104	0.115	0.137	0.146	0.057	0.084	0.094	0.106	0.117
Mean7	0.065	0.107	0.121	0.149	0.156	0.055	0.088	0.099	0.117	0.124
Mean8	0.069	0.108	0.122	0.148	0.160	0.057	0.088	0.099	0.118	0.126
Mean9	<u>0.048</u>	0.076	0.086	0.105	0.120	<u>0.041</u>	0.063	0.068	0.082	0.093
Mean10	0.054	<u>0.029</u>	<u>0.019</u>	<u>0.005</u>	<u>0.004</u>	0.080	0.056	<u>0.041</u>	<u>0.017</u>	<u>0.014</u>
Mean11	0.048	0.020	0.015	0.008	0.011	0.074	<u>0.037</u>	<u>0.030</u>	<u>0.023</u>	<u>0.025</u>
Mean12	0.058	<u>0.023</u>	<u>0.013</u>	<u>0.005</u>	<u>0.008</u>	0.094	0.059	<u>0.047</u>	<u>0.028</u>	<u>0.023</u>
Mean13	<u>0.046</u>	<u>0.017</u>	<u>0.009</u>	<u>0.005</u>	<u>0.008</u>	0.076	<u>0.038</u>	<u>0.030</u>	<u>0.014</u>	<u>0.018</u>
Std1	0.090	0.224	0.295	0.465	0.519	<u>0.012</u>	0.108	0.176	0.371	0.458
Std2	0.099	0.262	0.340	0.497	0.548	<u>0.016</u>	0.148	0.228	0.430	0.513
Std3	0.096	0.187	0.235	0.363	0.419	<u>0.011</u>	0.062	0.105	0.239	0.309
Std4	0.116	0.238	0.295	0.432	0.481	0.023	0.113	0.173	0.332	0.402
Std5	0.175	0.329	0.398	0.534	0.570	<u>0.065</u>	0.203	0.284	0.457	0.522
Std6	0.147	0.264	0.325	0.469	0.521	<u>0.040</u>	0.132	0.192	0.360	0.438
Std7	0.319	0.503	0.551	0.607	0.611	0.249	0.486	0.560	0.669	0.690
Std8	0.197	0.363	0.431	0.559	0.592	<u>0.090</u>	0.252	0.337	0.513	0.571
Std9	0.100	0.242	0.310	0.479	0.533	<u>0.018</u>	0.113	0.182	0.381	0.466
Std10	0.100	0.221	0.287	0.448	0.504	<u>0.017</u>	0.096	0.158	0.348	0.438
Std11	0.095	0.227	0.296	0.468	0.533	<u>0.013</u>	0.108	0.176	0.391	0.491
Std12	0.105	0.255	0.332	0.507	0.566	<u>0.021</u>	0.138	0.219	0.445	0.536
Std13	0.105	0.231	0.300	0.472	0.533	<u>0.025</u>	0.111	0.182	0.394	0.492

จากตารางค่าจากการสกัดลักษณะเด่นจากภาพย่อยแต่ละขนาดของชุดข้อมูลแต่ละชุด เมื่อผ่านกระบวนการเลือกลักษณะเด่น จะให้ค่าความสัมพันธ์กับคลาสประเภทของวัตถุ ลักษณะเด่นที่

ไม่ผ่านเกณฑ์ที่กำหนดแสดงในส่วนที่ขีดเส้นใต้ และลักษณะเด่นที่ผ่านค่ากำหนดจะถูกนำไปใช้ในการบวนการฝึกฝนและสร้างแบบจำลองต่อไป

### 3.2 การทดสอบประสิทธิภาพกระบวนการจำแนกประเภทพื้นที่อ้อย

การทดสอบนี้เป็นการทดสอบการจดจำลักษณะเด่นที่ได้ทำการคัดเลือกมา จากข้อมูล ทั้ง 2 ชุด และทั้ง 5 ขนาด ซึ่งแบบจำลองสร้างขึ้นจากระเบียบวิธีเพื่อนบ้านใกล้เคียง (K-nearest neighbors algorithm) โดยปรับค่า K จำนวนเลขคี่ ตั้งแต่ 1 - 35 ผลการทดลองดังตาราง 48 - 49

**ตาราง 48** ผลการทดลองของค่า K ของชุดข้อมูลที่ 1 สำหรับระเบียบวิธีเคเนียร์เรสเนเบอร์

K	ชุดข้อมูล 1(10-fold validation)					ชุดข้อมูล 1(Blind test)				
	10x10	20x20	25x25	40x40	50x50	10x10	20x20	25x25	40x40	50x50
1	76.34	82.13	83.89	86.72	88.85	72.71	78.61	78.44	82.46	83.31
3	79.66	84.48	86.28	89.10	90.61	76.19	81.42	81.55	83.96	84.65
5	80.54	85.46	87.19	89.77	91.15	76.93	81.75	83.13	84.63	85.65
7	81.55	85.55	87.59	90.02	91.18	76.93	82.06	82.79	84.73	85.48
9	81.62	86.01	87.54	90.23	91.44	77.37	82.59	83.02	84.63	85.75
11	81.77	86.08	87.68	90.49	91.29	77.47	83.13	83.43	85.07	85.55
13	81.94	86.22	88.06	90.41	91.38	77.67	82.46	83.56	85.20	85.41
15	81.94	86.19	88.20	90.60	91.35	77.80	82.73	83.72	85.34	85.15
17	82.20	86.50	88.14	90.58	91.36	77.84	82.66	83.59	85.27	85.51
19	82.03	86.53	88.29	90.54	91.44	77.97	82.49	83.36	85.47	85.35
21	82.10	86.50	88.38	90.56	91.48	77.67	82.73	83.36	85.37	85.52
23	82.03	86.55	88.49	90.50	91.42	77.67	82.86	83.42	85.57	85.62
25	82.18	86.48	88.51	90.47	91.47	77.74	82.46	83.46	85.43	85.68
27	82.09	86.60	88.47	90.49	91.43	77.87	82.76	83.26	85.43	85.52
29	82.04	86.63	88.53	90.45	91.38	77.67	82.75	83.26	85.50	85.48
31	81.85	86.69	88.52	90.51	91.38	77.90	82.79	83.36	85.47	85.65
33	81.99	86.59	88.36	90.52	91.38	77.97	82.89	83.49	85.47	85.51
35	82.06	86.57	88.51	90.58	91.49	78.07	82.93	83.59	85.24	85.75

ตาราง 49 ผลการทดลองของค่า K ของชุดข้อมูลที่ 2 สำหรับระเบียบวิธีเคเนียร์เรสเนเบอร์

K	ชุดข้อมูล 2(10-fold validation)					ชุดข้อมูล 2(Blind test)				
	10x10	20x20	25x25	40x40	50x50	10x10	20x20	25x25	40x40	50x50
1	85.55	90.03	91.82	94.71	95.66	81.29	88.96	89.88	93.47	93.69
3	86.24	91.74	93.60	96.12	96.52	84.58	91.06	92.02	94.48	94.57
5	87.20	92.52	94.13	96.47	96.60	84.97	90.54	92.46	94.43	94.87
7	87.45	92.70	94.34	96.49	96.59	85.94	90.93	92.42	94.70	94.57
9	87.75	93.11	94.39	96.43	96.64	86.07	91.15	92.73	94.96	95.14
11	87.74	93.01	94.26	96.39	96.57	85.89	91.46	92.77	94.57	94.84
13	87.73	92.93	94.28	96.38	96.62	86.24	91.54	92.81	94.65	94.97
15	87.77	92.72	94.41	96.34	96.63	85.72	91.59	92.59	94.57	94.97
17	87.62	92.76	94.37	96.38	96.62	85.63	91.72	92.64	94.61	94.92
19	87.71	92.81	94.35	96.22	96.65	85.72	91.63	92.42	94.61	94.88
21	87.76	92.74	94.34	96.22	96.72	85.94	91.46	92.29	94.61	94.97
23	87.60	92.82	94.35	96.25	96.76	86.24	91.50	92.46	94.61	94.83
25	87.72	92.86	94.35	96.18	96.73	85.81	91.68	92.20	94.48	94.96
27	87.54	92.71	94.38	96.18	96.75	85.85	91.59	92.33	94.52	95.05
29	87.37	92.77	94.37	96.11	96.74	85.98	91.72	92.38	94.57	95.05
31	87.49	92.85	94.32	96.06	96.75	86.16	91.55	92.42	94.61	95.01
33	87.46	92.76	94.19	96.04	96.70	86.33	91.46	92.33	94.39	94.66
35	87.33	92.62	94.23	96.05	96.70	86.20	91.50	92.33	94.52	95.69

จากนั้นเลือกแบบจำลองที่มีความสามารถในการจำแนกพื้นที่อ้อยได้ถูกต้องมากที่สุด มาประยุกต์เป็นแบบจำลองทำการฝึกฝนและตรวจสอบแบบจำลองด้วยวิธีการ 10 fold validation กับข้อมูลจำนวน 80 เปอร์เซ็นต์ และทดสอบด้วยข้อมูลที่ไม่เคยฝึกฝนจำนวน 20 เปอร์เซ็นต์ ผลการทดลองพบว่า ที่ K=31 เป็นจำนวนเพื่อนบ้านที่ให้ค่าความถูกต้องทั้งข้อมูลฝึกฝนและข้อมูลทดสอบมากที่สุด โดยรายละเอียดผลการทดลองได้แสดงดังตาราง 50

ตาราง 50 ผลการทดลองของค่า K=31 สำหรับระเบียบวิธีเคนเนียร์เรสเนเบอร์

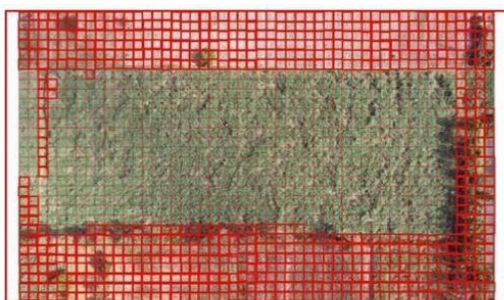
ขนาดภาพ	ชุดข้อมูล 1		ชุดข้อมูล 2		ค่าเฉลี่ย ความถูกต้อง
	ข้อมูลฝึกฝน ตรวจสอบ	ชุดข้อมูล ทดสอบ	ข้อมูลฝึกฝน ตรวจสอบ	ชุดข้อมูล ทดสอบ	
10x10	81.85	77.90	87.49	86.16	83.35
20x20	86.69	82.79	92.85	91.55	88.47
25x25	88.52	83.36	94.32	92.42	89.66
40x40	90.51	85.47	96.06	94.61	91.66
50x50	91.38	85.65	<u>96.75</u>	<u>95.01</u>	92.20

จากตาราง 50 ผลการทดลองพบว่า ข้อมูลชุดที่ 1 ขนาด 50x50 พิกเซล มีค่าความถูกต้องสูงที่สุด โดยข้อมูลฝึกฝนและตรวจสอบเฉลี่ยอยู่ที่ 91.38 เปอร์เซ็นต์ และข้อมูลทดสอบค่าเฉลี่ยความถูกต้องอยู่ที่ 85.65 เปอร์เซ็นต์ ส่วนข้อมูลชุดที่ 2 ขนาด 50x50 พิกเซล มีค่าความถูกต้องสูงที่สุด โดยข้อมูลฝึกฝนและตรวจสอบเฉลี่ยอยู่ที่ 96.75 เปอร์เซ็นต์ และข้อมูลทดสอบค่าเฉลี่ยความถูกต้องอยู่ที่ 95.01 เปอร์เซ็นต์ จากการทดลองพบว่า ขนาดที่ให้ความถูกต้องของชุดข้อมูลต้องมีขนาด 50x50 พิกเซล และพัฒนาด้วยวิธีการวิธีเคนเนียร์เรสเนเบอร์ จากนั้นแบบจำลองทั้ง 2 จะถูกสร้างขึ้นเพื่อใช้ในการจำแนกประเภทของพื้นที่อ้อย โดยมีรายละเอียดดังนี้

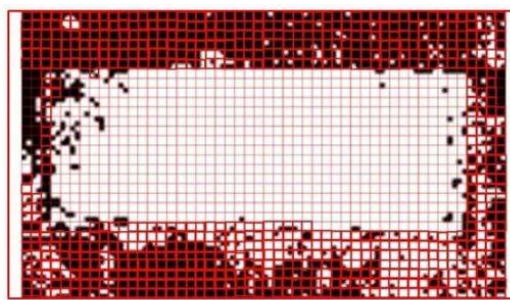
แบบจำลองแรกจะใช้ข้อมูลชุดที่ 1 สร้างขึ้น ประกอบด้วย ข้อมูลภาพอ้อย ภาพต้นไม้ และภาพวัชพืช แต่มีความถูกต้องอยู่ที่ 85.65 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งผู้เชี่ยวชาญจะต้องพิจารณาโดยทำเครื่องหมายที่พื้นที่ต้นไม้ และวัชพืช เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบกับผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลอง

แบบจำลองที่สองจะใช้ข้อมูลชุดที่ 2 สร้างขึ้น ประกอบด้วย ข้อมูลภาพอ้อย และภาพวัชพืช มีความถูกต้องอยู่ที่ 95.01 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งผู้เชี่ยวชาญจะต้องพิจารณาโดยทำเครื่องหมายพื้นที่เป็นวัชพืชเท่านั้น เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบกับผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองที่มีเพียงแค่ 2 หมวดหมู่

กระบวนการทดสอบจะดำเนินการทดสอบกับภาพทั้งหมด 90 ภาพ จากนั้นนำภาพต้นฉบับให้ผู้เชี่ยวชาญระบุขึ้นส่วนที่เป็นพื้นที่อ้อย โดยมีข้อตกลงการระบุพื้นที่ที่ไม่ใช่ต้นอ้อยมากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ของชิ้นส่วนย่อยแต่ละชิ้น แสดงตัวอย่างการดำเนินการทดลองดังภาพ 85



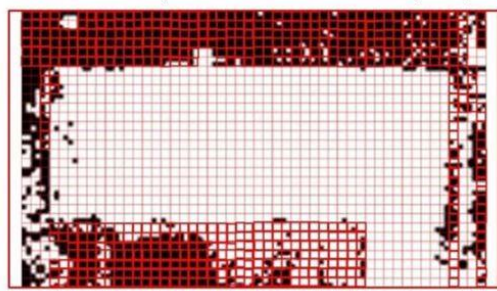
(ก) ผลลัพธ์การระบุพื้นที่อ้อยจากผู้เชี่ยวชาญของชุดข้อมูล 1



(ข) ผลลัพธ์การระบุพื้นที่อ้อยจากแบบจำลองของชุดข้อมูล 1



(ค) ผลลัพธ์การระบุพื้นที่อ้อยจากผู้เชี่ยวชาญของชุดข้อมูล 2



(ง) ผลลัพธ์การระบุพื้นที่อ้อยจากแบบจำลองของชุดข้อมูล 2

### ภาพ 85 ตัวอย่างการเปรียบเทียบระหว่างผู้เชี่ยวชาญกับผลลัพธ์ของกระบวนการตรวจสอบพื้นที่อ้อย

จากนั้นนำภาพผลลัพธ์ทั้งสองเปรียบเทียบด้วยโปรแกรมแมทแลบ โดยดำเนินการเปรียบเทียบทีละชิ้นส่วนย่อยและดำเนินการทั้ง 90 ภาพ เมื่อเปรียบเทียบผลลัพธ์แล้ว จำนวนที่ระบุถูกต้องและจำนวนที่ระบุผิดพลาดจะถูกบันทึกลงในเมตริกสับสน (Confusion matrix) และนำผลที่ได้ไปหาค่าความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนของการจำแนกประเภทพื้นที่อ้อยถูกต้อง (True Positive Rate: TP) และพื้นที่อ้อยไม่ถูกต้อง (False Positive Rate: FP) ส่วนประเภทพื้นที่อื่น ๆ ถูกต้อง (True Negative Rate: TN) และพื้นที่อื่น ๆ ไม่ถูกต้อง (False Negative Rate: FN) จากนั้นนำจำนวนที่ได้มาคำนวณหาค่าประสิทธิภาพ ได้แก่ Precision, Recall, F1-Measure และ Accuracy เป็นต้น รวมถึงค่าสถิติตรวจสอบผลลัพธ์ของกระบวนการตรวจสอบพื้นที่อ้อย ได้แก่ ค่าความไวหรือค่าสัดส่วนของการพยากรณ์ถูกในกลุ่มที่สนใจ (Sensitivity) และค่าสัดส่วนของการพยากรณ์ถูกในกลุ่มที่ไม่สนใจ (Specificity) ผลการทดลองของทั้ง 90 ภาพกับแบบจำลองจากชุดข้อมูลที่ 1 แสดงดังตาราง 51 – 54 และ ผลการทดลองกับแบบจำลองจากชุดข้อมูลที่ 2 แสดงดังตาราง 55 – 58



ตาราง 51 ผลการทดลองการตรวจสอบพื้นที่อ้อยแบบมีต้นไม้ของชุดข้อมูลที่ 1

ลำดับ	รหัสแปลง	Precision	Recall	F1-Measure	Accuracy	Sensitivity	Specificity
1	10001001	0.80	0.69	0.71	0.79	0.41	0.96
2	10001003	0.84	0.86	0.85	0.89	0.81	0.92
3	10001005	0.73	0.76	0.74	0.86	0.62	0.91
4	10008002	0.84	0.82	0.82	0.83	0.74	0.91
5	10015001	0.86	0.81	0.83	0.86	0.68	0.95
6	10018001	0.85	0.84	0.84	0.84	0.77	0.91
7	10025001	0.55	0.68	0.57	0.88	0.48	0.89
8	10025004	0.71	0.77	0.73	0.79	0.73	0.80
9	10025006	0.65	0.65	0.65	0.68	0.76	0.54
10	10026001	0.62	0.73	0.64	0.82	0.63	0.84
11	10026003	0.62	0.66	0.60	0.63	0.73	0.59
12	10043001	0.54	0.60	0.55	0.88	0.30	0.90
13	10073002	0.84	0.83	0.83	0.84	0.76	0.90
14	10076002	0.77	0.86	0.79	0.82	0.95	0.78
15	10076005	0.79	0.87	0.81	0.83	0.95	0.79
16	10076007	0.85	0.81	0.83	0.85	0.70	0.93
17	10076013	0.81	0.81	0.77	0.77	0.99	0.63
18	10081002	0.62	0.74	0.65	0.90	0.57	0.92
19	10088001	0.66	0.65	0.65	0.65	0.56	0.74
20	10105001	0.90	0.90	0.90	0.90	0.83	0.97
21	10141002	0.87	0.84	0.85	0.86	0.73	0.95
22	10185001	0.77	0.73	0.75	0.85	0.54	0.93
23	10194001	0.92	0.92	0.92	0.93	0.89	0.95
24	10198001	0.57	0.69	0.53	0.67	0.71	0.66
25	10223006	0.75	0.89	0.79	0.89	0.90	0.89
26	10262001	0.64	0.79	0.68	0.86	0.69	0.88
27	10268001	0.84	0.87	0.84	0.85	0.97	0.78

ตาราง 52 ผลการทดลองการตรวจสอบพื้นที่อ้อยแบบมีต้นไม้ของชุดข้อมูลที่ 1 (ต่อ)

ลำดับ	รหัสแปลง	Precision	Recall	F1-Measure	Accuracy	Sensitivity	Specificity
28	10380001	0.78	0.78	0.76	0.76	0.92	0.63
29	10455001	0.71	0.82	0.73	0.81	0.83	0.81
30	10677001	0.68	0.63	0.64	0.74	0.37	0.89
31	10679001	0.71	0.72	0.71	0.73	0.71	0.74
32	10682001	0.67	0.85	0.68	0.77	0.95	0.75
33	10685001	0.55	0.54	0.53	0.55	0.36	0.72
34	10694010	0.81	0.79	0.80	0.83	0.69	0.90
35	10703001	0.77	0.78	0.77	0.77	0.80	0.76
36	10710001	0.84	0.88	0.84	0.85	0.98	0.79
37	10711001	0.93	0.92	0.92	0.92	0.98	0.86
38	11102001	0.76	0.85	0.79	0.89	0.78	0.91
39	11260011	0.89	0.94	0.91	0.92	0.99	0.88
40	11566001	0.89	0.91	0.89	0.90	0.93	0.89
41	11598001	0.90	0.91	0.91	0.91	0.93	0.89
42	11635005	0.89	0.91	0.90	0.94	0.88	0.95
43	11768001	0.86	0.88	0.87	0.88	0.89	0.87
44	14616003	0.65	0.73	0.67	0.81	0.63	0.83
45	15288001	0.81	0.77	0.79	0.91	0.58	0.96
46	15315001	0.67	0.75	0.69	0.82	0.66	0.84
47	15378001	0.50	0.48	0.34	0.45	0.45	0.51
48	15469001	0.88	0.86	0.87	0.88	0.78	0.94
49	15476001	0.50	0.52	0.46	0.76	0.77	0.27
50	15735002	0.79	0.79	0.79	0.82	0.71	0.87
51	21747002	0.71	0.76	0.73	0.88	0.62	0.91
52	21944006	0.90	0.95	0.92	0.94	0.95	0.94
53	24724003	0.52	0.66	0.50	0.87	0.44	0.88
54	25059001	0.52	0.57	0.51	0.85	0.28	0.87

ตาราง 53 ผลการทดลองการตรวจสอบพื้นที่อ้อยแบบมีต้นไม้ของชุดข้อมูลที่ 1 (ต่อ)

ลำดับ	รหัสแปลง	Precision	Recall	F1-Measure	Accuracy	Sensitivity	Specificity
55	25238023	0.53	0.67	0.54	0.93	0.40	0.94
56	25492012	0.75	0.86	0.77	0.81	0.95	0.78
57	26349001	0.83	0.89	0.85	0.91	0.85	0.93
58	26559001	0.90	0.81	0.83	0.86	0.99	0.63
59	30854001	0.78	0.79	0.78	0.81	0.75	0.84
60	30885001	0.67	0.66	0.66	0.66	0.75	0.57
61	30894001	0.85	0.88	0.85	0.85	0.97	0.78
62	30898002	0.93	0.89	0.91	0.91	0.98	0.80
63	30906006	0.76	0.79	0.75	0.76	0.87	0.70
64	30906010	0.82	0.82	0.82	0.85	0.75	0.89
65	30906018	0.58	0.62	0.59	0.76	0.80	0.44
66	30931002	0.60	0.75	0.56	0.67	0.85	0.65
67	30937003	0.75	0.84	0.75	0.77	0.97	0.71
68	30947003	0.70	0.77	0.71	0.75	0.81	0.73
69	30951001	0.60	0.83	0.61	0.82	0.84	0.82
70	30960001	0.95	0.95	0.95	0.95	0.96	0.94
71	30960002	0.84	0.90	0.86	0.88	0.92	0.87
72	30967001	0.82	0.86	0.83	0.84	0.89	0.82
73	33594003	0.63	0.58	0.47	0.50	0.93	0.22
74	41527001	0.86	0.84	0.84	0.84	0.94	0.75
75	46812007	0.82	0.81	0.81	0.92	0.66	0.96
76	50441003	0.77	0.78	0.76	0.76	0.88	0.68
77	54394004	0.58	0.71	0.59	0.81	0.59	0.82
78	55645002	0.86	0.86	0.86	0.87	0.83	0.90
79	56012002	0.83	0.90	0.85	0.87	0.97	0.83
80	56012003	0.39	0.34	0.36	0.54	0.65	0.04
81	65197001	0.85	0.89	0.86	0.89	0.89	0.88

ตาราง 54 ผลการทดลองการตรวจสอบพื้นที่อ้อยแบบมีต้นไม้มองชุดข้อมูลที่ 1 (ต่อ)

ลำดับ	รหัสแปลง	Precision	Recall	F1-Measure	Accuracy	Sensitivity	Specificity
82	65560002	0.75	0.75	0.72	0.72	0.59	0.92
83	73510001	0.65	0.73	0.55	0.57	0.98	0.48
84	75590002	0.95	0.95	0.95	0.95	0.98	0.92
85	75822001	0.88	0.88	0.88	0.88	0.94	0.81
86	84059004	0.92	0.92	0.92	0.92	0.90	0.94
87	86211001	0.73	0.75	0.69	0.69	0.92	0.57
88	99405020	0.68	0.68	0.66	0.66	0.78	0.57
89	99457001	0.89	0.83	0.85	0.86	0.69	0.97
90	99567002	0.49	0.38	0.41	0.69	0.70	0.06

ตาราง 55 ผลการทดลองการตรวจสอบพื้นที่อ้อยแบบไม่มีต้นไม้มองชุดข้อมูลที่ 2

ลำดับ	รหัสแปลง	Precision	Recall	F1-Measure	Accuracy	Sensitivity	Specificity
1	10001001	0.78	0.78	0.78	0.92	0.62	0.95
2	10001003	0.86	0.85	0.86	0.90	0.76	0.94
3	10001005	0.75	0.80	0.77	0.90	0.68	0.93
4	10008002	0.84	0.82	0.83	0.84	0.73	0.91
5	10015001	0.83	0.90	0.86	0.91	0.89	0.92
6	10018001	0.80	0.77	0.77	0.77	0.62	0.91
7	10025001	0.58	0.66	0.60	0.89	0.39	0.92
8	10025004	0.72	0.81	0.75	0.85	0.77	0.86
9	10025006	0.76	0.75	0.71	0.71	0.56	0.94
10	10026001	0.72	0.76	0.73	0.90	0.58	0.94
11	10026003	0.76	0.80	0.78	0.85	0.72	0.88
12	10043001	0.50	0.51	0.50	0.89	0.11	0.92
13	10073002	0.91	0.93	0.92	0.93	0.92	0.93
14	10076002	0.77	0.91	0.81	0.87	0.98	0.85

ตาราง 56 ผลการทดลองการตรวจสอบพื้นที่อ้อยแบบไม่มีต้นไม้มองชุดข้อมูลที่ 2 (ต่อ)

ลำดับ	รหัสแปลง	Precision	Recall	F1-Measure	Accuracy	Sensitivity	Specificity
15	10076005	0.79	0.86	0.82	0.85	0.87	0.85
16	10076007	0.80	0.89	0.83	0.89	0.89	0.89
17	10076013	0.75	0.80	0.72	0.73	0.98	0.62
18	10081002	0.65	0.71	0.67	0.95	0.45	0.97
19	10088001	0.76	0.77	0.77	0.80	0.70	0.84
20	10105001	0.98	0.98	0.98	0.98	1.00	0.97
21	10141002	0.89	0.87	0.88	0.89	0.79	0.95
22	10185001	0.55	0.63	0.56	0.88	0.35	0.90
23	10194001	0.94	0.97	0.95	0.96	0.99	0.95
24	10198001	0.58	0.64	0.60	0.92	0.35	0.94
25	10223006	0.80	0.90	0.84	0.93	0.86	0.94
26	10262001	0.63	0.77	0.67	0.88	0.64	0.90
27	10268001	0.87	0.90	0.88	0.89	0.96	0.85
28	10380001	0.86	0.88	0.86	0.86	0.96	0.80
29	10455001	0.71	0.90	0.76	0.87	0.93	0.86
30	10677001	0.73	0.59	0.59	0.75	0.22	0.97
31	10679001	0.85	0.80	0.82	0.89	0.64	0.96
32	10682001	0.55	0.79	0.56	0.85	0.73	0.85
33	10685001	0.65	0.60	0.58	0.64	0.31	0.88
34	10694010	0.86	0.84	0.85	0.90	0.73	0.94
35	10703001	0.81	0.82	0.82	0.83	0.80	0.85
36	10710001	0.87	0.91	0.88	0.89	0.97	0.86
37	10711001	0.87	0.87	0.86	0.86	0.98	0.76
38	11102001	0.78	0.83	0.80	0.91	0.72	0.93
39	11260011	0.92	0.95	0.93	0.94	0.97	0.93
40	11566001	0.93	0.93	0.93	0.94	0.90	0.95
41	11598001	0.91	0.91	0.91	0.91	0.89	0.92

ตาราง 57 ผลการทดลองการตรวจสอบพื้นที่อ้อยแบบไม่มีต้นไม้ออกของชุดข้อมูลที่ 2 (ต่อ)

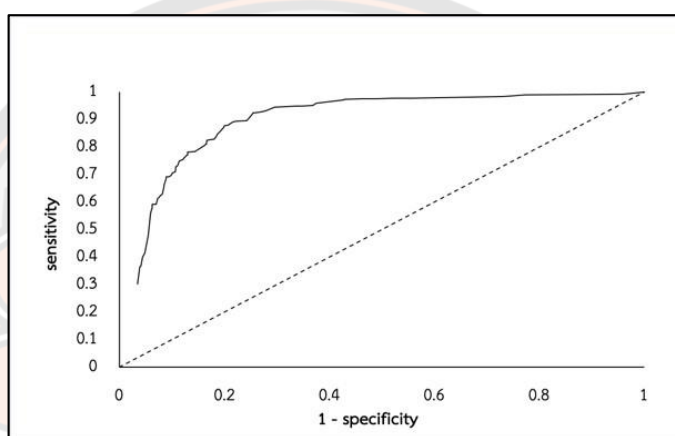
ลำดับ	รหัสแปลง	Precision	Recall	F1-Measure	Accuracy	Sensitivity	Specificity
42	11635005	0.93	0.95	0.94	0.96	0.92	0.97
43	11768001	0.88	0.88	0.88	0.89	0.84	0.92
44	14616003	0.64	0.74	0.66	0.84	0.63	0.86
45	15288001	0.73	0.70	0.71	0.90	0.43	0.96
46	15315001	0.66	0.74	0.69	0.84	0.62	0.87
47	15378001	0.66	0.67	0.57	0.57	0.42	0.91
48	15469001	0.89	0.85	0.86	0.88	0.72	0.97
49	15476001	0.83	0.81	0.82	0.84	0.90	0.72
50	15735002	0.76	0.71	0.72	0.78	0.50	0.91
51	21747002	0.70	0.77	0.72	0.90	0.62	0.92
52	21944006	0.95	0.95	0.95	0.96	0.93	0.98
53	24724003	0.51	0.74	0.50	0.91	0.57	0.91
54	25059001	0.53	0.57	0.53	0.89	0.22	0.92
55	25238023	0.51	0.56	0.51	0.96	0.14	0.97
56	25492012	0.90	0.96	0.93	0.95	0.96	0.95
57	26349001	0.89	0.89	0.89	0.94	0.82	0.96
58	26559001	0.87	0.86	0.86	0.86	0.95	0.77
59	30854001	0.73	0.79	0.75	0.81	0.76	0.82
60	30885001	0.70	0.70	0.70	0.70	0.72	0.68
61	30894001	0.82	0.88	0.84	0.87	0.89	0.86
62	30898002	0.91	0.89	0.90	0.90	0.97	0.81
63	30906006	0.82	0.83	0.82	0.84	0.79	0.87
64	30906010	0.76	0.76	0.76	0.84	0.62	0.90
65	30906018	0.66	0.70	0.65	0.67	0.63	0.76
66	30931002	0.68	0.78	0.71	0.87	0.68	0.89
67	30937003	0.81	0.88	0.84	0.89	0.87	0.89
68	30947003	0.75	0.74	0.74	0.79	0.61	0.87

ตาราง 58 ผลการทดลองการตรวจสอบพื้นที่อ้อยแบบไม่มีต้นไม้ออกของชุดข้อมูลที่ 2 (ต่อ)

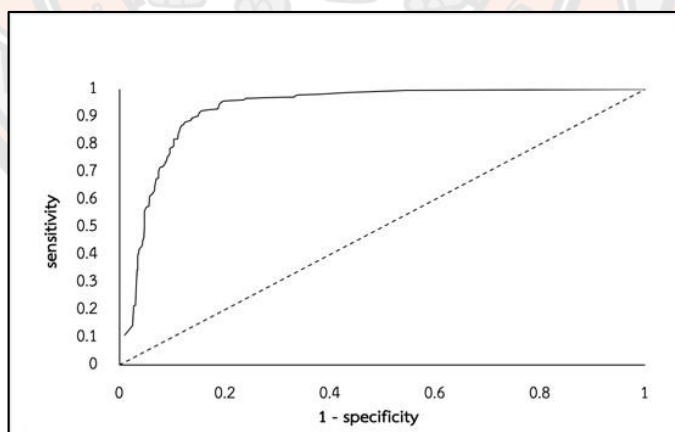
ลำดับ	รหัสแปลง	Precision	Recall	F1-Measure	Accuracy	Sensitivity	Specificity
69	30951001	0.63	0.81	0.67	0.88	0.74	0.89
70	30960001	0.92	0.92	0.92	0.92	0.90	0.94
71	30960002	0.85	0.92	0.87	0.91	0.92	0.91
72	30967001	0.90	0.90	0.90	0.91	0.86	0.94
73	33594003	0.69	0.67	0.62	0.62	0.89	0.46
74	41527001	0.83	0.83	0.82	0.82	0.91	0.75
75	46812007	0.92	0.78	0.83	0.94	0.58	0.99
76	50441003	0.82	0.85	0.83	0.84	0.90	0.81
77	54394004	0.59	0.68	0.61	0.88	0.46	0.90
78	55645002	0.76	0.88	0.80	0.88	0.88	0.87
79	56012002	0.80	0.90	0.83	0.88	0.91	0.88
80	56012003	0.90	0.90	0.90	0.90	0.93	0.88
81	65197001	0.87	0.88	0.87	0.90	0.82	0.93
82	65560002	0.79	0.75	0.74	0.75	0.58	0.93
83	73510001	0.65	0.77	0.59	0.64	0.97	0.57
84	75590002	0.94	0.93	0.93	0.93	0.97	0.90
85	75822001	0.85	0.85	0.85	0.85	0.88	0.83
86	84059004	0.92	0.92	0.92	0.92	0.90	0.94
87	86211001	0.73	0.77	0.72	0.73	0.88	0.67
88	99405020	0.68	0.69	0.68	0.68	0.72	0.66
89	99457001	0.74	0.80	0.76	0.84	0.74	0.86
90	99567002	0.68	0.69	0.69	0.70	0.72	0.66

จากนั้นทำการเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้จากกระบวนการตรวจสอบพื้นที่อ้อยกับภาพทั้งหมด 90 ภาพ โดยวัดค่าประสิทธิภาพของแบบจำลองที่พัฒนาด้วยข้อมูลฝึกฝนชุดที่ 1 ที่มีต้นไม้ออก พบว่า ค่าความแม่นยำ (Precision) เฉลี่ยอยู่ที่ 67.44 เปอร์เซ็นต์ ค่าความถูกต้องแบบแยกคลาส (Recall) อยู่ที่ 70.19 เปอร์เซ็นต์ ค่า F1 (F1-Measure) เฉลี่ยอยู่ที่ 66.67 เปอร์เซ็นต์ และค่าความ

ถูกต้องรวม (Accuracy) ของแบบจำลองเฉลี่ยอยู่ที่ 69.38 เปอร์เซ็นต์ ส่วนแบบจำลองที่พัฒนาด้วยข้อมูลฝึกฝนชุดที่ 2 ที่ไม่มีต้นไม้ม พบว่า ค่าความแม่นยำ (Precision) เฉลี่ยอยู่ที่ 77.58 เปอร์เซ็นต์ ค่าความถูกต้องแบบแยกคลาส (Recall) อยู่ที่ 80.79 เปอร์เซ็นต์ ค่า F1(F1-Measure) เฉลี่ยอยู่ที่ 77.53 เปอร์เซ็นต์ และค่าความถูกต้องรวม(Accuracy) ของแบบจำลองเฉลี่ยอยู่ที่ 85.66 เปอร์เซ็นต์ จากนั้นบันทึกค่าด้วยตารางเมตริกสับสนและคำนวณค่าความไว(Sensitivity) และค่าจำเพาะ(Specificity) และหาค่าความสัมพันธ์ระหว่าง True Positive Rate (Sensitivity) กับ False Positive Rate (Specificity) แสดงความสัมพันธ์ดังภาพ 86



(ก) ผลการทดสอบแบบจำลองที่ 1



(ข) ผลการทดสอบแบบจำลองที่ 2

**ภาพ 86** ผลการทดลองกระบวนการตรวจสอบพื้นที่อ้อย

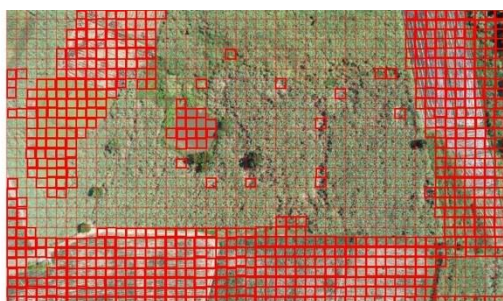
จากภาพ 86 เมื่อดำเนินการทดลองการตรวจสอบพื้นที่อ้อยกับภาพทั้ง 90 ภาพ พบว่าแบบจำลองที่พัฒนาด้วยข้อมูลชุดที่ 2 ให้ค่า Sensitivity เฉลี่ยอยู่ที่ 74.03 เปอร์เซ็นต์ และค่า



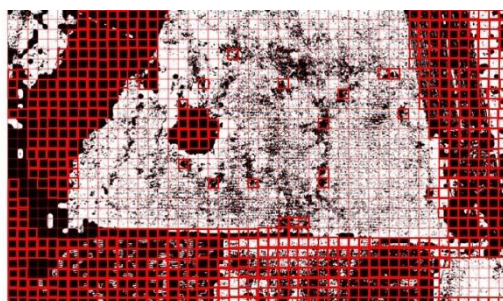
Specificity เฉลี่ยอยู่ที่ 87.54 เปอร์เซ็นต์ ส่งผลให้เส้นโค้งของกราฟประจิมุมซ้าย และมีพื้นที่ใต้เส้นโค้งเฉลี่ยอยู่ที่ 92.27 เปอร์เซ็นต์แสดงดังภาพที่ 86 (ข) จึงทำให้วิธีการตรวจสอบพื้นที่อ้อยด้วยวิธีดังกล่าวมีประสิทธิภาพมากกว่า แบบจำลองที่พัฒนาด้วยข้อมูลชุดที่ 1 ซึ่งให้ค่า Sensitivity เฉลี่ยอยู่ที่ 69.38 เปอร์เซ็นต์ และค่า Specificity เฉลี่ยอยู่ที่ 71.01 เปอร์เซ็นต์และมีพื้นที่ใต้เส้นโค้งเฉลี่ยอยู่ที่ 89.42 เปอร์เซ็นต์ แสดงดังภาพที่ 86 (ก) จากการทดลองแบบจำลองทั้ง 2 ไม่สามารถจำแนกต้น ไม้้ออกจากแปลงอ้อยได้ทั้งคู่ ดังนั้นจึงเลือกแบบจำลองชุดที่ 2 เพราะสามารถแยกพื้นที่อ้อยกับพื้นที่อื่นได้ดีมากกว่า 2.85 เปอร์เซ็นต์

#### 4. การทดสอบประสิทธิภาพของการตรวจสอบจุดบกพร่องในแปลงอ้อย

กระบวนการตรวจสอบพื้นที่จุดบกพร่องภายในแปลงอ้อยประยุกต์ใช้วิธีการเลือกเฉดสี (Color Selection) เพื่อพิจารณาเฉพาะพื้นที่สีเขียว และนำผลลัพธ์พื้นที่อ้อยที่ได้จากแบบจำลองจำแนกพื้นที่อ้อยมารวมกัน ซึ่งกระบวนการตรวจสอบจุดบกพร่องเป็นการทดลองสุดท้าย หลังจากผ่านกระบวนการตรวจสอบพื้นที่เงา กระบวนการปรับลดเงา และกระบวนการจำแนกพื้นที่อ้อย การทดลองนี้จะประกอบด้วยผลของกระบวนการเลือกเฉดสีและกระบวนการรวมข้อมูลภาพ จากนั้นดำเนินการทดลองโดยการนำภาพต้นฉบับให้ผู้เชี่ยวชาญระบุชิ้นส่วนที่เป็นจุดบกพร่องได้แก่ จุดที่มีการล้มของต้นอ้อยและจุดที่อ้อยไม่ขึ้นภายในภาพแปลงอ้อย โดยใช้โปรแกรม Microsoft Power Point และทำการเปรียบเทียบกับผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองตรวจสอบจุดบกพร่อง คล้ายกับการทดลองการตรวจสอบเงาและการตรวจสอบพื้นที่อ้อย แต่จุดบกพร่องทั้งหมดในภาพที่ค่อนข้างมาก จึงต้องทำการทดลองโดยใช้ผู้เชี่ยวชาญ 4 ท่าน โดยการแบ่งการพิจารณาภาพออกเป็น 4 ส่วน โดยแบ่งพิจารณาส่วนละ 375 ส่วน จากนั้นจึงนำผลที่ได้จากทั้ง 4 ท่านมารวมกันเพื่อคำนวณค่าความเชื่อมั่น และความถูกต้องต่าง ๆ แสดงตัวอย่างการทดลองดังภาพ 87



(ก) ผลลัพธ์ของผู้เชี่ยวชาญ



(ข) ผลลัพธ์กระบวนการตรวจสอบจุดบกพร่อง

ภาพ 87 ตัวอย่างผลการเปรียบเทียบระหว่างผู้เชี่ยวชาญกับผลลัพธ์ของการตรวจจุดบกพร่อง

จากนั้นนำภาพผลลัพธ์ทั้งสองเปรียบเทียบด้วยโปรแกรมแมทแลบ โดยดำเนินการเปรียบเทียบทีละชิ้นส่วนย่อยและดำเนินการทั้ง 90 ภาพ เมื่อเปรียบเทียบผลลัพธ์แล้ว จำนวนที่ระบุถูกต้องและจำนวนที่ระบุผิดพลาดจะถูกบันทึกลงในเมตริกสับสน (Confusion matrix) และนำผลที่ได้ไปหาค่าความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนของการจำแนกประเภทพื้นที่ที่จับบกพร่องถูกต้อง (True Positive Rate: TP) และพื้นที่ที่จับบกพร่องไม่ถูกต้อง (False Positive Rate: FP) ส่วนประเภทพื้นที่อื่นๆ ถูกต้อง (True Negative Rate: TN) และพื้นที่อื่น ๆ ไม่ถูกต้อง (False Negative Rate: FN) จากนั้นจำนวนที่ได้มาคำนวณหาค่าประสิทธิภาพ ได้แก่ Precision, Recall, F1-Measure และ Accuracy เป็นต้น รวมถึงค่าสถิติตรวจสอบผลลัพธ์ของกระบวนการตรวจสอบพื้นที่ที่จับบกพร่อง ได้แก่ ค่าความไวหรือค่าสัดส่วนของการพยากรณ์ถูกในกลุ่มที่สนใจ (Sensitivity) และค่าสัดส่วนของการพยากรณ์ถูกในกลุ่มที่ไม่สนใจ (Specificity) ผลการทดลองของทั้ง 90 ภาพกับกระบวนการตรวจสอบจับบกพร่องแสดงดังตาราง 59 – 62

ตาราง 59 ผลการทดลองการตรวจสอบพื้นที่ที่จับบกพร่องในแปลงอ้อย

ลำดับ	รหัสแปลง	Precision	Recall	F1-Measure	Accuracy	Sensitivity	Specificity
1	10001001	0.80	0.81	0.80	0.89	0.69	0.93
2	10001003	0.93	0.94	0.93	0.95	0.91	0.96
3	10001005	0.64	0.71	0.56	0.58	0.92	0.50
4	10008002	0.89	0.88	0.88	0.89	0.83	0.93
5	10015001	0.77	0.83	0.79	0.83	0.83	0.84
6	10018001	0.86	0.86	0.86	0.86	0.84	0.88
7	10025001	0.58	0.91	0.60	0.85	0.98	0.84
8	10025004	0.69	0.84	0.71	0.79	0.90	0.78
9	10025006	0.83	0.86	0.83	0.83	0.77	0.95
10	10026001	0.75	0.81	0.78	0.92	0.66	0.95
11	10026003	0.82	0.87	0.84	0.90	0.82	0.91
12	10043001	0.53	0.65	0.53	0.91	0.38	0.92
13	10073002	0.93	0.92	0.92	0.92	0.88	0.96
14	10076002	0.80	0.86	0.82	0.87	0.85	0.87
15	10076005	0.22	0.49	0.24	0.31	0.99	0.00

ตาราง 60 ผลการทดลองการตรวจสอบพื้นที่จุดบกพร่องในแปลงอ้อย (ต่อ)

ลำดับ	รหัสแปลง	Precision	Recall	F1-Measure	Accuracy	Sensitivity	Specificity
16	10076007	0.87	0.88	0.88	0.90	0.85	0.92
17	10076013	0.83	0.82	0.80	0.80	0.97	0.67
18	10081002	0.65	0.86	0.70	0.91	0.80	0.92
19	10088001	0.58	0.53	0.43	0.51	0.93	0.13
20	10105001	0.94	0.94	0.94	0.94	0.92	0.96
21	10141002	0.82	0.84	0.82	0.82	0.93	0.75
22	10185001	0.76	0.86	0.80	0.91	0.80	0.92
23	10194001	0.90	0.94	0.91	0.93	0.96	0.92
24	10198001	0.57	0.70	0.44	0.49	0.97	0.44
25	10223006	0.75	0.93	0.81	0.90	0.98	0.89
26	10262001	0.78	0.91	0.82	0.90	0.91	0.90
27	10268001	0.85	0.88	0.85	0.85	0.99	0.78
28	10380001	0.89	0.90	0.89	0.89	0.96	0.85
29	10455001	0.72	0.85	0.74	0.81	0.91	0.79
30	10677001	0.66	0.70	0.65	0.67	0.76	0.63
31	10679001	0.69	0.76	0.68	0.72	0.83	0.68
32	10682001	0.59	0.76	0.56	0.68	0.85	0.67
33	10685001	0.73	0.72	0.71	0.71	0.84	0.59
34	10694010	0.75	0.88	0.78	0.82	0.98	0.79
35	10703001	0.81	0.83	0.81	0.81	0.90	0.77
36	10710001	0.74	0.75	0.66	0.66	0.99	0.50
37	10711001	0.88	0.87	0.87	0.87	0.97	0.78
38	11102001	0.68	0.81	0.69	0.76	0.88	0.73
39	11260011	0.92	0.95	0.94	0.94	0.98	0.93
40	11566001	0.87	0.91	0.88	0.89	0.98	0.83
41	11598001	0.95	0.96	0.95	0.95	0.99	0.92
42	11635005	0.96	0.95	0.95	0.97	0.92	0.98

ตาราง 61 ผลการทดลองการตรวจสอบพื้นที่จุดบกพร่องในแปลงอ้อย (ต่อ)

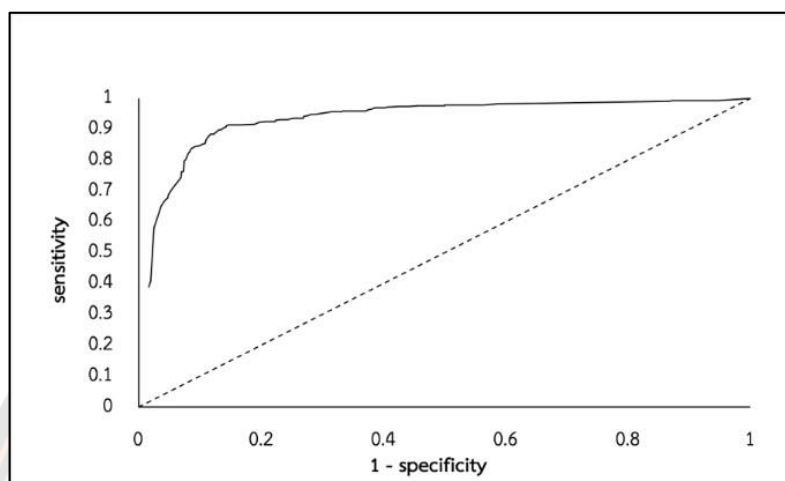
ลำดับ	รหัสแปลง	Precision	Recall	F1-Measure	Accuracy	Sensitivity	Specificity
43	11768001	0.78	0.82	0.78	0.79	0.93	0.72
44	14616003	0.65	0.78	0.68	0.84	0.70	0.86
45	15288001	0.55	0.64	0.51	0.63	0.65	0.63
46	15315001	0.67	0.78	0.67	0.74	0.84	0.72
47	15378001	0.66	0.67	0.56	0.56	0.41	0.93
48	15469001	0.94	0.96	0.95	0.95	0.96	0.95
49	15476001	0.84	0.80	0.81	0.83	0.94	0.65
50	15735002	0.81	0.79	0.80	0.82	0.70	0.89
51	21747002	0.71	0.80	0.74	0.89	0.68	0.92
52	21944006	0.70	0.79	0.67	0.70	0.96	0.62
53	24724003	0.49	0.48	0.06	0.07	0.91	0.05
54	25059001	0.53	0.66	0.29	0.35	1.00	0.32
55	25238023	0.63	0.68	0.65	0.96	0.39	0.97
56	25492012	0.90	0.96	0.92	0.95	0.96	0.95
57	26349001	0.69	0.83	0.70	0.77	0.92	0.75
58	26559001	0.88	0.85	0.85	0.86	0.97	0.73
59	30854001	0.63	0.70	0.59	0.62	0.84	0.56
60	30885001	0.73	0.72	0.72	0.73	0.81	0.62
61	30894001	0.83	0.89	0.85	0.88	0.91	0.86
62	30898002	0.92	0.89	0.90	0.91	0.97	0.81
63	30906006	0.83	0.87	0.85	0.86	0.87	0.86
64	30906010	0.77	0.80	0.78	0.83	0.74	0.86
65	30906018	0.63	0.64	0.63	0.65	0.67	0.61
66	30931002	0.63	0.81	0.65	0.80	0.82	0.80
67	30937003	0.74	0.85	0.75	0.80	0.93	0.77
68	30947003	0.69	0.65	0.64	0.66	0.87	0.44
69	30951001	0.63	0.86	0.65	0.81	0.91	0.80

ตาราง 62 ผลการทดลองการตรวจสอบพื้นที่จุดบกพร่องในแปลงอ้อย (ต่อ)

ลำดับ	รหัสแปลง	Precision	Recall	F1-Measure	Accuracy	Sensitivity	Specificity
70	30960001	0.93	0.94	0.93	0.93	0.96	0.91
71	30960002	0.79	0.89	0.82	0.87	0.93	0.85
72	30967001	0.89	0.92	0.90	0.91	0.94	0.89
73	33594003	0.72	0.69	0.61	0.62	0.97	0.41
74	41527001	0.85	0.85	0.84	0.84	0.94	0.76
75	46812007	0.91	0.87	0.89	0.95	0.76	0.98
76	50441003	0.71	0.73	0.66	0.66	0.91	0.54
77	54394004	0.65	0.76	0.69	0.91	0.58	0.93
78	55645002	0.76	0.89	0.80	0.87	0.91	0.86
79	56012002	0.81	0.91	0.85	0.89	0.94	0.88
80	56012003	0.81	0.78	0.77	0.77	0.96	0.60
81	65197001	0.88	0.93	0.90	0.92	0.96	0.91
82	65560002	0.87	0.90	0.88	0.89	0.90	0.89
83	73510001	0.65	0.77	0.60	0.64	0.96	0.57
84	75590002	0.94	0.94	0.94	0.94	0.98	0.90
85	75822001	0.96	0.95	0.95	0.97	0.92	0.98
86	84059004	0.83	0.83	0.82	0.82	0.95	0.71
87	86211001	0.75	0.80	0.74	0.74	0.93	0.66
88	99405020	0.58	0.53	0.41	0.47	0.93	0.13
89	99457001	0.72	0.84	0.73	0.78	0.95	0.74
90	99567002	0.82	0.77	0.78	0.81	0.92	0.62

จากนั้นทำการเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้จากกระบวนการตรวจสอบพื้นที่จุดบกพร่องกับภาพทั้งหมด 90 ภาพ โดยวัดค่าประสิทธิภาพของกระบวนการเลือกเจดสีและกระบวนการรวมข้อมูลภาพ พบว่า ค่าความแม่นยำ (Precision) เฉลี่ยอยู่ที่ 76.06 เปอร์เซ็นต์ ค่าความถูกต้องแบบแยกคลาส (Recall) อยู่ที่ 81.49 เปอร์เซ็นต์ ค่า F1 (F1-Measure) เฉลี่ยอยู่ที่ 79.73 เปอร์เซ็นต์ และค่าความถูกต้องรวม (Accuracy) ของแบบจำลองเฉลี่ยอยู่ที่ 87.20 เปอร์เซ็นต์ จากนั้นบันทึกค่าด้วย

ตารางเมตริกสับสนและคำนวณค่าความไว (Sensitivity) และค่าจำเพาะ (Specificity) และความสัมพันธ์ระหว่าง True Positive Rate (Sensitivity) กับ False Positive Rate (1-Specificity) แสดงความสัมพันธ์ดังภาพ 88



ภาพ 88 ผลการทดลองกระบวนการตรวจสอบพื้นที่จุดบกพร่อง

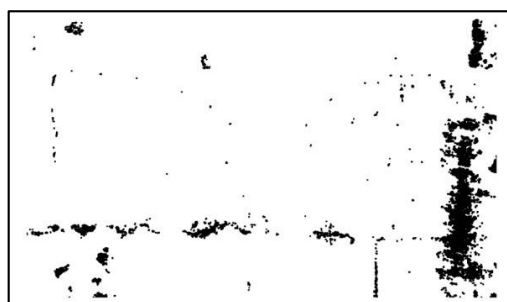
จากภาพ 88 เมื่อดำเนินการทดสอบการตรวจสอบพื้นที่จุดบกพร่องกับภาพทั้ง 90 ภาพ พบว่า ค่า Sensitivity เฉลี่ยอยู่ที่ 87.20 เปอร์เซ็นต์ และค่า Specificity เฉลี่ยอยู่ที่ 75.78 เปอร์เซ็นต์ ส่งผลให้เส้นโค้งของกราฟประชิดมุมซ้าย และมีพื้นที่ใต้เส้นโค้งเฉลี่ยอยู่ที่ 92.95 เปอร์เซ็นต์ แสดงดังภาพ 88 ดังนั้นจึงสามารถนำค่าพารามิเตอร์และแบบจำลองไปประยุกต์ใช้ในการพัฒนาโปรแกรมประยุกต์ต่อไป

### ผลลัพธ์และการอภิปรายผลแบบจำลองตรวจสอบจุดบกพร่องภายในแปลงอ้อย

การพัฒนาแบบจำลองการตรวจสอบจุดบกพร่องภายในแปลงอ้อย ดำเนินการด้วยเทคนิคการประมวลผลภาพกับภาพความละเอียดสูงที่ได้จากอากาศยานไร้คนขับ มีกระบวนการประมวลผลประกอบด้วย การตรวจสอบพื้นที่เงา การปรับลดเงา การสกัดลักษณะเด่น การจำแนกพื้นที่อ้อย การเลือกเฉดสีและการรวมข้อมูลภาพ โดยแต่ละกระบวนการได้ผ่านการทดลองและได้นำผลที่ได้จากการทดลองมาพัฒนาเป็นโปรแกรมประยุกต์สำหรับตรวจสอบจุดบกพร่องของภาพถ่ายแปลงอ้อย ผลลัพธ์ของแบบจำลองตรวจสอบจุดบกพร่องทั้งหมด แสดงดังภาพ 89



(ก) ภาพต้นฉบับ



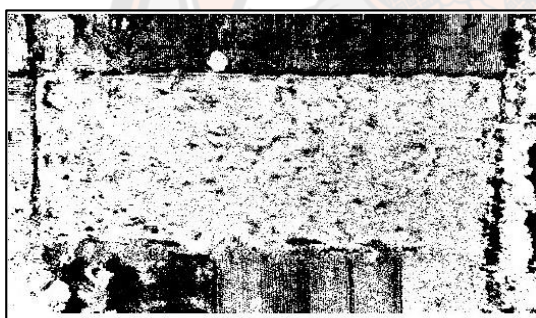
(ข) ผลลัพธ์การตรวจสอบเงา



(ค) ผลลัพธ์การปรับลดเงา



(ง) ผลลัพธ์การตรวจสอบพื้นที่อ้อย



(จ) ผลลัพธ์การเลือกแฉดสี



(ฉ) ผลลัพธ์การตรวจสอบจุดบกพร่อง

ภาพ 89 ผลลัพธ์ของแบบจำลองการตรวจสอบจุดบกพร่องภายในแปลงอ้อย

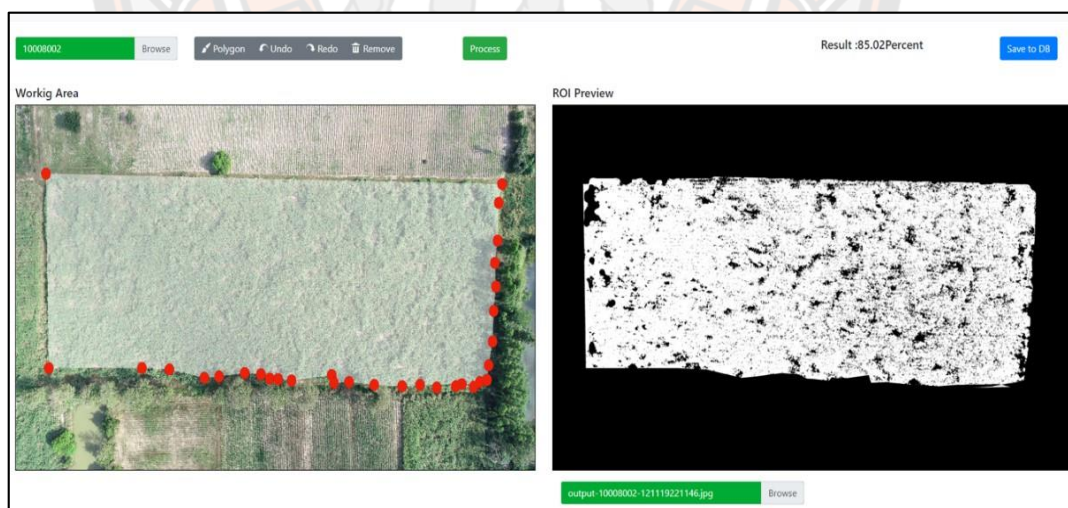
กระบวนการเตรียมข้อมูลภาพ ประกอบด้วย กระบวนการตรวจสอบพื้นที่เงาและกระบวนการปรับลดเงา ผลการทดลองพบว่า กระบวนการตรวจสอบพื้นที่เงามีความถูกต้องในการตรวจสอบพื้นที่เงาเฉลี่ยอยู่ที่ 97.04 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการตรวจสอบพื้นที่เงาของต้นไม้อ้อยได้แสดงดังภาพ 89 (ข) ส่วนกระบวนการปรับลดความเข้มของเงาก็สามารถปรับพื้นที่เงาให้กลับมาใกล้เคียงพื้นที่ไม่ใช้เงาได้ใกล้เคียงและสามารถนำไปประมวลผลต่อได้ แสดงผลลัพธ์ดังภาพ 89 (ค)

กระบวนการสร้างแบบจำลองสำหรับการจำแนกพื้นที่อ้อย ประกอบด้วย กระบวนการเลือกลักษณะเด่นจากการทดลองพบว่า ลักษณะเด่นที่ได้จากภาพ 50x50 พิกเซล ทั้งหมด 22

ลักษณะเด่น ที่ทำให้แต่ละหมวดหมู่ของวัตถุในแปลงอ้อยมีความแตกต่างกัน ทำให้ผลการทดลอง ในการสร้างแบบจำลองการจำแนกพื้นที่อ้อยมีประสิทธิภาพ และจากการทดลองการจำแนกพื้นที่ อ้อย พบว่า แบบจำลองที่สร้างด้วยชุดข้อมูลที่ประกอบด้วย อ้อย ต้นไม้ และวัชพืช ไม่สามารถแยก ระหว่างอ้อยและต้นไม้ได้ และแบบจำลองด้วยชุดข้อมูลที่ประกอบด้วย อ้อย และวัชพืช แม้จะ ไม่สามารถแยกระหว่างต้นอ้อยกับต้นไม้ได้เช่นเดียวกัน แต่ก็สามารถแยกต้นอ้อยกับวัชพืชออกจากกัน ได้ด้วยความถูกต้องมากถึง 92.27 เปอร์เซ็นต์จากพื้นที่ได้เส้นโค้ง แสดงผลลัพธ์ของแบบจำลองการ จำแนกพื้นที่อ้อยดังภาพ 89 (ง)

กระบวนการตรวจสอบจุดบกพร่อง ประกอบด้วยกระบวนการเลือกเมล็ดแสดงดังภาพ 89 (จ) และกระบวนการรวมข้อมูลภาพที่ได้จากกระบวนการจำแนกพื้นที่อ้อย พบว่า กระบวนการที่ ดำเนินการด้วยวิธีการดังกล่าวสามารถตรวจสอบจุดบกพร่องได้ความถูกต้อง 92.95 เปอร์เซ็นต์จาก พื้นที่ได้เส้นโค้ง แสดงผลลัพธ์ของกระบวนการตรวจสอบจุดบกพร่องดังภาพ 89 (ฉ)

จากผลที่ได้จากการทดลองทั้งหมด พบว่า วิธีการที่ได้พัฒนาขึ้นสามารถตรวจสอบ เปอร์เซ็นต์เฉลี่ยของจุดบกพร่องในแปลงอ้อยได้ เช่น แหล่งน้ำ จุดที่อ้อยล้ม และจุดที่อ้อยไม่ เจริญเติบโต เป็นต้น แต่อย่างไรก็ตามแบบจำลองยังไม่สามารถจำแนกต้นอ้อยกับต้นไม้ได้ เพื่อ แก้ไขปัญหาการพิจารณาต้นไม้ในแปลงอ้อยจึงพัฒนาส่วนติดต่อกับผู้ใช้งานดังภาพ 90



ภาพ 90 ผลลัพธ์จากกระบวนการตรวจสอบจุดบกพร่องร่วมกับส่วนติดต่อกับผู้ใช้งาน

จากภาพ 90 แสดงหน้าต่างโปรแกรมสำหรับตรวจสอบจุดบกพร่องในภาพแปลงอ้อยของ รหัสแปลง 10008002 และแสดงค่าความเสียหายที่มุมขวาของหน้าต่าง การเลือกขอบเขตสามารถ



ลดปัญหาการแยกต้นไม้ออกจากต้นอ้อยได้ จากการประเมินความพึงพอใจด้านการใช้งานของผู้ใช้ มีความพึงพอใจอยู่ในระดับมาก เฉลี่ยอยู่ที่ 4.53 จึงทำให้โรงงานอุตสาหกรรมสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการประเมินความเสียหายในแปลงอ้อยและใช้ในการพยากรณ์ผลผลิตในอนาคตได้

ดังนั้น การพัฒนาแบบจำลองสำหรับการตรวจสอบจุดบกพร่องภายในแปลงอ้อยจากภาพความละเอียดสูงที่ถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับเหนือแปลงอ้อย แบบจำลองที่พัฒนาขึ้นใช้กระบวนการตรวจสอบพื้นที่เงา กระบวนการปรับลดเงา การสกัดลักษณะเด่น การพัฒนาแบบจำลองจำแนกพื้นที่อ้อย การบวนการเลือกเมล็ดและรวมข้อมูลภาพ วิธีการที่นำเสนอมีความแตกต่างกับงานวิจัย (Matese และ Di Gennaro, 2018) - (Kumar และคณะ, 2017) ที่ช่วงเวลาก่อนการเจริญเติบโตของอ้อย ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้นำเสนอวิธีการพิจารณาในช่วงก่อนเก็บเกี่ยวที่อ้อยอยู่ในระยะโตเต็มที่ โดยผลที่ได้จากการวิเคราะห์สามารถตรวจสอบจุดบกพร่องในแปลงอ้อย ได้แก่ จุดที่อ้อยล้มจากลมพายุ จุดที่อ้อยไม่เจริญเติบโต และจุดที่มีวัชพืช เป็นต้น สำหรับวิธีการใหม่ที่ผู้วิจัยได้นำเสนอได้แก่ กระบวนการสกัดลักษณะเด่นที่ดำเนินการด้วยการใช้ตัวกรองทั้ง 13 รูปแบบร่วมกับการคำนวณค่าทางสถิติซึ่งใช้วิธีการวิเคราะห์เชิงพื้นที่ ซึ่งมีความคล้ายคลึงกับงานวิจัยการจำแนกโรคใบพืชรูปร่างที่ใช้วิธีการพิจารณาเมล็ดที่หลากหลาย (Ma และคณะ, 2019) แต่การจำแนกพื้นที่อ้อยสำหรับงานวิจัยนี้ใช้วิธีการวิเคราะห์เชิงพื้นที่และสามารถแยกพื้นที่อ้อยได้ด้วยความถูกต้อง 92.27 เปอร์เซ็นต์ และกระบวนการเลือกเมล็ดสามารถตรวจสอบจุดบกพร่องในแปลงอ้อยได้ด้วยความถูกต้อง 92.95 เปอร์เซ็นต์ และมากกว่านั้นแบบจำลองยังสามารถแยกพื้นที่แหล่งน้ำ และถนนได้แต่อย่างไรก็ตามวิธีการที่ได้นำเสนอยังมีจุดที่ต้องพัฒนาส่วนของการจำแนกระหว่างต้นไม้กับต้นอ้อย ให้มีการจำแนกแบบอัตโนมัติแทนการวาดพื้นที่สนใจผ่านหน้าต่างส่วนติดต่อผู้ใช้ ดังนั้นกระบวนการวิเคราะห์ที่พัฒนาขึ้นสามารถตรวจสอบจุดบกพร่องในแปลงอ้อยได้ และสามารถประยุกต์ใช้กับการพยากรณ์หรือการประมาณการผลผลิตของโรงงานอุตสาหกรรมต่อไป

### การทดสอบประสิทธิภาพของแบบจำลองพยากรณ์ผลผลิตอ้อย

การพัฒนาแบบจำลองการพยากรณ์ผลผลิตอ้อยของโรงงานอุตสาหกรรม มีวัตถุประสงค์เพื่อหาแบบจำลองที่สามารถพยากรณ์ผลผลิตได้คลาดเคลื่อนน้อยที่สุดและศึกษาผลกระทบของการนำค่าจุดบกพร่องมาใช้ร่วมกับข้อมูลสภาพแวดล้อมในแบบจำลองการพยากรณ์ มากกว่านั้น การทดลองนี้มีความสำคัญเป็นอย่างมากสำหรับการกำหนดค่าตัวแปรที่ใช้ในการพัฒนาแบบจำลองที่เหมาะสมที่สุด ดังนั้นผู้วิจัยจึงออกแบบการทดลองออกเป็น 3 การทดลอง ประกอบด้วย 1) การทดสอบประสิทธิภาพของกระบวนการออกแบบเอาต์พุตเป้าหมาย 2) การทดสอบประสิทธิภาพของ

กระบวนการออกแบบปัจจัยนำเข้า และ 3) การทดสอบประสิทธิภาพของกระบวนการสร้างแบบจำลอง และการทดสอบ โดยมีรายละเอียดดังนี้

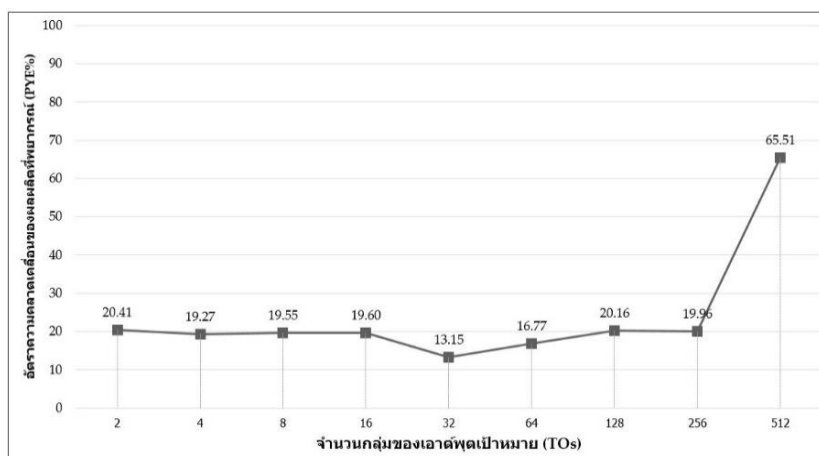
### 1. การทดสอบประสิทธิภาพของกระบวนการออกแบบเอาต์พุตเป้าหมาย

การทดลองกำหนดค่ากลุ่มของเอาต์พุตเป้าหมายด้วย  $2^n$  โดยใช้ปัจจัยนำเข้าทั้ง 6 ตัวแปร ประกอบด้วย ปริมาณน้ำฝน พันธุ์อ้อย ตออ้อย ระยะห่างการปลูก กลุ่มดิน และค่าจุดบกพร่อง จากนั้นนำค่ากลุ่มของเอาต์พุตเป้าหมายที่กำหนดไปหาค่าความสัมพันธ์ที่คล้ายคลึงกันของเอาต์พุตเป้าหมาย (Target Output Similarity Relationship : TOSR) โดยการทดลองทดลองพบว่า เมื่อกำหนดค่า  $n=9$  หรือ 512 กลุ่ม ค่า PYE% สูงกว่าการกำหนดค่า  $n$  ตัวอื่น ๆ ทำให้ทราบถึงจุดสิ้นสุดของการกำหนดค่ากลุ่มของเอาต์พุตและยังเป็นข้อมูลสำหรับกราฟเริ่มต้น โดยค่า  $n$  ที่กำหนดเริ่มจาก 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 หรือ 2, 4, 8, 16, 32, 64, 128, 256 และ 512 กลุ่ม ตามลำดับ ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 63

ตาราง 63 ผลการทดลองการออกแบบเอาต์พุตเป้าหมายรอบเริ่มต้น

จำนวนกลุ่ม	ชุดข้อมูล	APY%	ผลผลิตจริง (ตันต่อไร่)	ผลผลิตพยากรณ์ (ตันต่อไร่)	PYE%
2	1234567810	98.47	1570.64	1891.16	20.41
4	1234678910	97.78	1570.64	1873.25	19.27
8	1234678910	100.00	1570.64	1877.72	19.55
16	1234678910	99.98	1570.64	1878.52	19.60
32	1245678910	99.11	1570.64	1777.20	13.15
64	1234678910	99.53	1570.64	1834.05	16.77
128	1245678910	98.90	1570.64	1887.32	20.16
256	1234578910	97.91	1570.64	1884.10	19.96
512	1245678910	96.359	1570.64	2599.55	65.51

จากการทดลองพบว่า จะพบค่า PYE% ของการแบ่งชุดข้อมูลออกเป็น 512 กลุ่มมีความคลาดเคลื่อนสูงนั่นถือเป็นสัญญาณในการหยุดการกำหนดเอาต์พุตเป้าหมาย ดังนั้นจึงทำให้สามารถสร้างกราฟแนวโน้มเริ่มต้นได้ แสดงกราฟแนวโน้มดังภาพที่ 91



ภาพ 91 ผลการทดลองและการสร้างกราฟแนวโน้มรอบเริ่มต้น

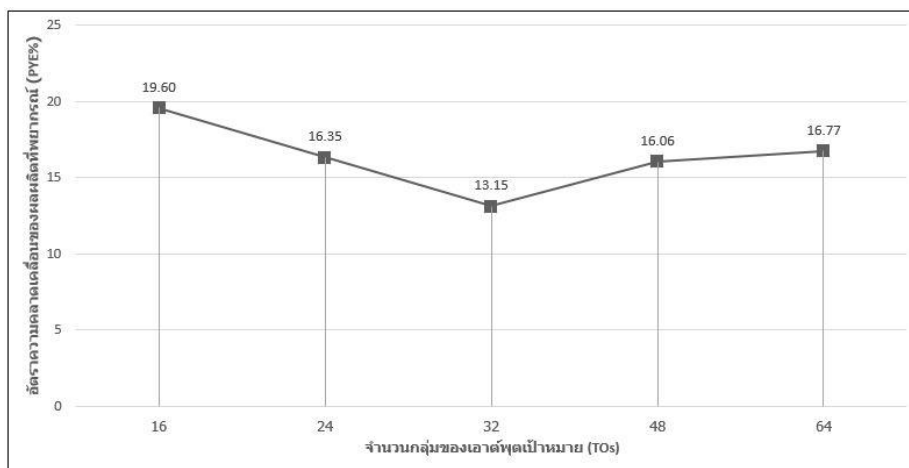
จากผลการทดลองรอบเริ่มต้น พบว่า ค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนของผลผลิตพยากรณ์ (PYE%) ของการแบ่งข้อมูลออกเป็น 32 กลุ่มมีค่าความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุดเฉลี่ยอยู่ที่ 13.15% ซึ่งอาจเป็นจุดที่เหมาะสมที่สุด ดังนั้นจึงทำการบีบช่วงเข้าใกล้โดยปรับลดช่วงของการวิเคราะห์กลุ่มที่เหมาะสมจะลดลง 2 ช่วง และช่วงที่เหมาะสมที่เหลือจะอยู่ในช่วง 16 ถึง 64 กลุ่ม สำหรับการทดลองรอบถัดไป

การทดลองที่รอบที่ 2 กำหนดค่ากลุ่มคงเหลือจากการบีบช่วง คือ 16, 32 และ 64 ดำเนินการบีบช่วงด้านซ้ายและขวาของข้อมูล 32 กลุ่มด้วยวิธีการแบ่งครึ่ง และคำนวณกลุ่มย่อยภายใน ประกอบด้วย กลุ่มระหว่างกลางด้านซ้าย  $(16+32)/2=24$  กลุ่ม และ กลุ่มระหว่างกลางด้านขวา  $(32+64)/2=48$  กลุ่ม แสดงผลการทดลองดังตารางที่ 64

ตาราง 64 ผลการทดลองรอบที่ 2 กับการกำหนดกลุ่ม 16, 24, 32, 48 และ 64

จำนวนกลุ่ม	ชุดข้อมูล	APY%	ผลผลิตจริง (ตันต่อไร่)	ผลผลิตพยากรณ์ (ตันต่อไร่)	PYE%
16	1234678910	99.98	1570.64	1878.52	19.60
24	1234678910	99.27	1570.64	1827.46	16.35
32	1245678910	99.11	1570.64	1777.20	13.15
48	1235678910	99.96	1570.64	1822.89	16.06
64	1234678910	99.53	1570.64	1834.05	16.77

ผลการทดลองการแบ่งกลุ่มออกเป็น 16, 24, 32, 48 และ 64 พบว่า มีค่าความคลาดเคลื่อนของผลผลิตพยากรณ์ (PYE%) อยู่ที่ 19.60%, 16.35%, 13.15%, 16.06% และ 16.77% ตามลำดับ จากนั้นนำค่าเฉลี่ยของแต่ละกลุ่มสร้างกราฟแนวโน้มและพิจารณาโดยประยุกต์ใช้วิธีการแบ่งครึ่งสองส่วน ในการบีบช่วงพิจารณาให้ลดลง แสดงกราฟแนวโน้มดังภาพ 92



ภาพ 92 ผลการทดลองและการสร้างกราฟแนวโน้มรอบที่ 2

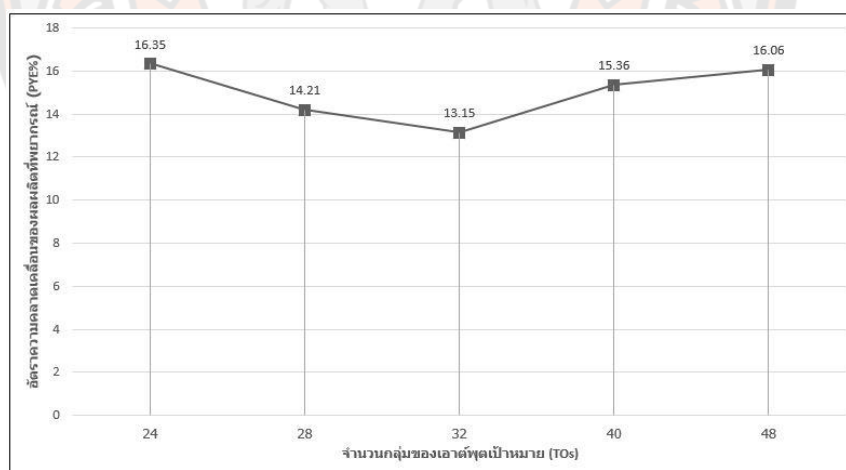
ผลการทดลองรอบที่ 2 พบว่า ค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนของผลผลิตพยากรณ์ (PYE%) ของการแบ่งข้อมูลออกเป็น 32 กลุ่มมีค่าความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุดเฉลี่ยอยู่ที่ 13.15% ซึ่งอาจเป็นจุดที่เหมาะสมที่สุดอยู่ เพราะมีค่าความคลาดเคลื่อนต่ำที่สุด ดังนั้นจึงทำการบีบช่วงเข้าใกล้โดยปรับลดช่วงของการวิเคราะห์กลุ่มเหมาะสมจะลดลง 2 ช่วง และช่วงที่เหมาะสมที่เหลือจะอยู่ในช่วง 24 ถึง 48 กลุ่ม สำหรับการทดลองรอบถัดไป

การทดลองที่รอบที่ 3 กำหนดค่ากลุ่มคงเหลือจากการบีบช่วง คือ 24, 32 และ 48 ดำเนินการบีบช่วงด้านซ้ายและขวาของข้อมูล 32 กลุ่มด้วยวิธีการแบ่งครึ่ง และคำนวณกลุ่มย่อยภายใน ประกอบด้วย กลุ่มระหว่างกลางด้านซ้าย  $(24+32)/2=28$  กลุ่ม และ กลุ่มระหว่างกลางด้านขวา  $(32+48)/2=40$  กลุ่ม แสดงผลการทดลองดังตารางที่ 65

ตาราง 65 ผลการทดลองรอบที่ 3 ประกอบด้วย 24, 28, 32, 40 และ 48 กลุ่ม

จำนวนกลุ่ม	ชุดข้อมูล	APY%	ผลผลิตจริง (ตันต่อไร่)	ผลผลิตพยากรณ์ (ตันต่อไร่)	PYE%
24	1234678910	99.27	1570.64	1827.46	16.35
28	1234678910	99.91	1570.64	1793.75	14.21
32	1245678910	99.11	1570.64	1777.20	13.15
40	1234678910	99.96	1570.64	1811.93	15.36
48	1235678910	99.96	1570.64	1822.89	16.06

ผลการทดลองการแบ่งกลุ่มออกเป็น 24, 28, 32, 40 และ 48 พบว่า มีค่าความคลาดเคลื่อนของผลผลิตพยากรณ์ (PYE%) อยู่ที่ 16.35%, 14.21%, 13.15%, 15.36% และ 16.06% ตามลำดับ จากนั้นนำค่าเฉลี่ยของแต่ละกลุ่มสร้างกราฟและพิจารณาโดยประยุกต์ใช้วิธีการแบ่งครึ่งสองส่วนในการบีบช่วงพิจารณาให้ลดลง แสดงกราฟแนวโน้มดังภาพ 93



ภาพ 93 ผลการทดลองและการสร้างกราฟแนวโน้มรอบที่ 3

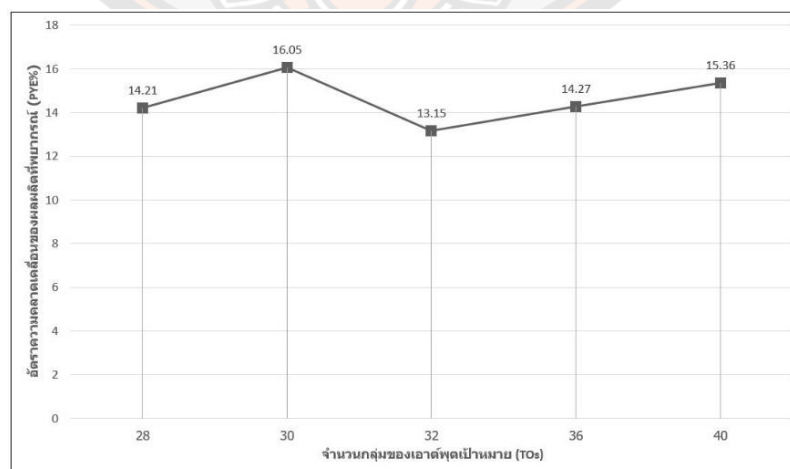
ผลการทดลองรอบที่ 3 พบว่า ค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนของผลผลิตพยากรณ์ (PYE%) ของการแบ่งข้อมูลออกเป็น 32 กลุ่มมีค่าความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุดเฉลี่ยอยู่ที่ 13.15% ซึ่งอาจเป็นจุดที่เหมาะสมที่สุดอยู่ ดังนั้นจึงทำการบีบช่วงเข้าใกล้โดยปรับลดช่วงของการวิเคราะห์กลุ่มเหมาะสมจะลดลง 2 ช่วง และช่วงที่เหมาะสมที่เหลือจะอยู่ในช่วง 28 ถึง 40 กลุ่ม สำหรับการทดลองรอบถัดไป

การทดลองรอบที่ 4 กำหนดค่ากลุ่มคงเหลือจากการบีบช่วง คือ 28, 32 และ 40 ดำเนินการบีบช่วงด้านซ้ายและขวาของข้อมูล 32 กลุ่มด้วยวิธีการแบ่งครึ่ง และคำนวณกลุ่มย่อยภายในประกอบด้วย กลุ่มระหว่างกลางด้านซ้าย  $(28+32)/2=30$  กลุ่ม และกลุ่มระหว่างกลางด้านขวา  $(32+40)/2=36$  กลุ่ม แสดงผลการทดลองดังตารางที่ 66

ตาราง 66 ผลการทดลองรอบที่ 4 ประกอบด้วย 24, 28, 32, 40 และ 48 กลุ่ม

จำนวนกลุ่ม	ชุดข้อมูล	APY%	ผลผลิตจริง (ตันต่อไร่)	ผลผลิตพยากรณ์ (ตันต่อไร่)	PYE%
28	1234678910	99.91	1570.64	1793.75	14.21
30	1235678910	99.97	1570.64	1822.75	16.05
32	1245678910	99.11	1570.64	1777.20	13.15
36	1245678910	99.57	1570.64	1794.81	14.27
40	1234678910	99.96	1570.64	1811.93	15.36

ผลการทดลองการแบ่งกลุ่มออกเป็น 28, 30, 32, 36 และ 40 พบว่า มีค่าความคลาดเคลื่อนของผลผลิตพยากรณ์ (PYE%) อยู่ที่ 14.21%, 16.05%, 13.15%, 14.27% และ 15.36% ตามลำดับ จากนั้นนำค่าเฉลี่ยของแต่ละกลุ่มสร้างกราฟและพิจารณาโดยประยุกต์ใช้วิธีการแบ่งครึ่งสองส่วนในการบีบช่วงพิจารณาให้ลดลง แสดงกราฟแนวโน้มดังภาพ 94



ภาพ 94 ผลการทดลองและการสร้างกราฟแนวโน้มรอบที่ 4

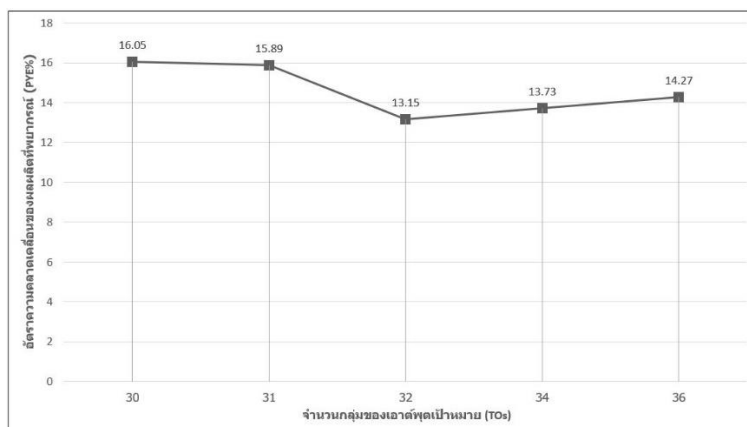
จากผลการทดลองรอบที่ 4 พบว่า ค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนของผลผลิตพยากรณ์ (PYE%) ของการแบ่งข้อมูลออกเป็น 32 กลุ่มมีค่าความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุดเฉลี่ยอยู่ที่ 13.15% ซึ่งอาจเป็นจุดที่เหมาะสมที่สุดอยู่ ดังนั้นจึงทำการบีบช่วงเข้าใกล้โดยปรับลดช่วงของการวิเคราะห์กลุ่มที่เหมาะสมจะลดลง 2 ช่วง และช่วงที่เหมาะสมที่เหลือจะอยู่ในช่วง 30 ถึง 36 กลุ่ม สำหรับการทดลองรอบถัดไป

การทดลองรอบที่ 5 กำหนดค่ากลุ่มคงเหลือจากการบีบช่วง คือ 30, 32 และ 36 ดำเนินการบีบช่วงด้านซ้ายและขวาของข้อมูล 32 กลุ่มด้วยวิธีการแบ่งครึ่ง และคำนวณกลุ่มย่อยภายในประกอบด้วย กลุ่มระหว่างกลางด้านซ้าย  $(30+32)/2=31$  กลุ่ม และกลุ่มระหว่างกลางด้านขวา  $(32+36)/2=34$  กลุ่ม แสดงผลการทดลองดังตารางที่ 67

ตาราง 67 ผลการทดลองรอบที่ 5 ประกอบด้วย 30, 31, 32, 34 และ 36 กลุ่ม

จำนวนกลุ่ม	ชุดข้อมูล	APY%	ผลผลิตจริง (ตันต่อไร่)	ผลผลิตพยากรณ์ (ตันต่อไร่)	PYE%
30	1235678910	99.97	1570.64	1822.75	16.05
31	1245678910	99.03	1570.64	1820.28	15.89
32	1245678910	99.11	1570.64	1777.20	13.15
34	1245678910	99.71	1570.64	1786.31	13.73
36	1245678910	99.57	1570.64	1794.81	14.27

ผลการทดลองการแบ่งกลุ่มออกเป็น 30, 31, 32, 34 และ 36 พบว่า มีค่าความคลาดเคลื่อนของผลผลิตพยากรณ์ (PYE%) อยู่ที่ 16.05%, 15.89%, 13.15%, 13.73% และ 14.27% ตามลำดับ จากนั้นนำค่าเฉลี่ยของแต่ละกลุ่มสร้างกราฟและพิจารณาโดยประยุกต์ใช้วิธีการแบ่งครึ่งสองส่วนในการบีบช่วงพิจารณาให้ลดลง แสดงกราฟแนวโน้มดังภาพ 95



### ภาพ 95 ผลการทดลองและการสร้างกราฟแนวโน้มรอบที่ 5

ผลการทดลองรอบที่ 5 พบว่า ค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนของผลผลิตพยากรณ์ (PYE%) ของการแบ่งข้อมูลออกเป็น 32 กลุ่มมีค่าความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุดเฉลี่ยอยู่ที่ 13.15% ซึ่งอาจเป็นจุดที่เหมาะสม ดังนั้นจึงทำการบีบช่วงเข้าใกล้โดยปรับลดช่วงของการวิเคราะห์กลุ่มเหมาะสมจะลดลง 2 ช่วง และช่วงที่เหมาะสมที่เหลือจะอยู่ในช่วง 30 ถึง 34 กลุ่ม สำหรับการทดลองรอบถัดไป

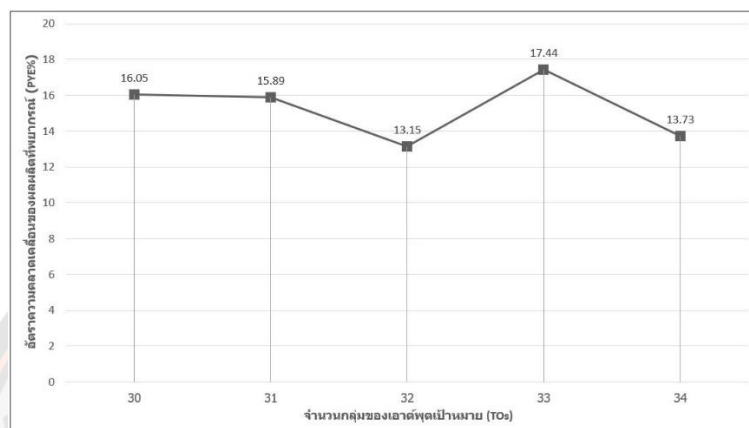
การทดลองรอบที่ 6 กำหนดค่ากลุ่มคงเหลือจากการบีบช่วง คือ 30, 32 และ 34 ดำเนินการบีบช่วงด้านขวาของข้อมูล 32 กลุ่มด้วยวิธีการแบ่งครึ่ง ส่วนด้านซ้ายไม่สามารถที่จะแบ่งได้แล้ว และคำนวณจำนวนกลุ่มระหว่างกลางด้านขวา  $(32+34)/2=33$  กลุ่ม ซึ่งจะเห็นได้ว่าสิ้นสุดกระบวนการแบ่งช่วงเพราะไม่สามารถแบ่งอีกต่อไปได้ แสดงผลการทดลองดังตารางที่ 68

ตาราง 68 ผลการทดลองรอบที่ 6 ประกอบด้วย 30, 31, 32, 33 และ 34 กลุ่ม

จำนวนกลุ่ม	ชุดข้อมูล	APY%	ผลผลิตจริง (ตันต่อไร่)	ผลผลิตพยากรณ์ (ตันต่อไร่)	PYE%
30	1235678910	99.97	1570.64	1822.75	16.05
31	1245678910	99.03	1570.64	1820.28	15.89
32	1245678910	99.11	1570.64	1777.20	13.15
33	1234678910	99.81	1570.64	1844.50	17.44
34	1245678910	99.71	1570.64	1786.31	13.73



ผลการทดลองการแบ่งกลุ่มออกเป็น 30, 31, 32, 33 และ 34 พบว่า มีค่าความคลาดเคลื่อนของผลผลิตพริก (PYE%) อยู่ที่ 16.05%, 15.89%, 13.15%, 17.44% และ 13.73% ตามลำดับ จากนั้นนำค่าเฉลี่ยของแต่ละกลุ่มสร้างกราฟและพิจารณาโดยประยุกต์ใช้วิธีการแบ่งครึ่งสองส่วนในการบิบบช่วงพิจารณาให้ลดลง แสดงกราฟแนวโน้มดังภาพ 96



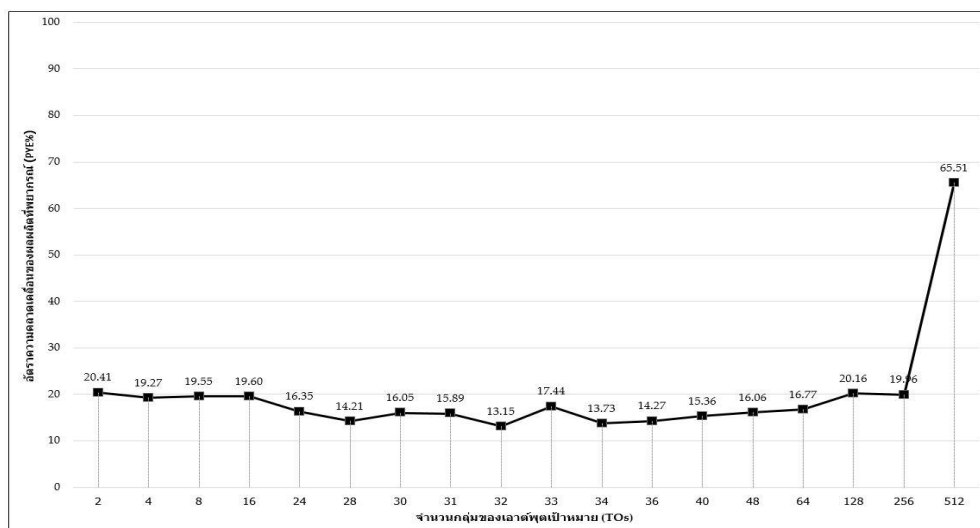
ภาพ 96 ผลการทดลองและการสร้างกราฟแนวโน้มรอบที่ 6

จากผลการทดลองรอบเริ่มต้น พบว่า ค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนของผลผลิตพริก (PYE%) ของการแบ่งข้อมูลออกเป็น 32 กลุ่มมีค่าความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุดเฉลี่ยอยู่ที่ 13.15% ซึ่งเป็นจุดที่เหมาะสมที่สุดและไม่สามารถบิบบช่วงต่อไปได้แล้ว ดังนั้นจึงหยุดการบิบบช่วง และสามารถสรุปผลการทดลองทั้งหมดดังตาราง 69

ตาราง 69 ผลการทดลองการบิบบช่วงด้วยการแบ่งสองส่วนสำหรับการหากกลุ่มเหมาะสม

รอบที่	ช่วงเริ่มต้น	จุดซ้ายสุดของเอาต์พุต	จุดขวาสุดของเอาต์พุต
1	2,4,8,16,32,64,128,256,512	16	64
2	16,32,64	24	48
3	24,32,48	28	40
4	28,32,40	30	36
5	30,32,36	31	34
6	31,32,34	32	33

กระบวนการบีบช่วงจะดำเนินการจนกว่าจะไม่สามารถแบ่งช่วงต่อได้อีก จากการทดลองพบว่า ดำเนินการทั้งสิ้นทั้งหมด 6 รอบ จึงทำให้ได้กลุ่มที่เหมาะสม กราฟแนวโน้มของแต่ละเอาต์พุตเป้าหมายแสดงดังภาพที่ 97



ภาพ 97 ผลการทดลองของการกำหนดเอาต์พุตเป้าหมายและค่า PYE% ทุกตัว

การทดสอบประสิทธิภาพของกระบวนการออกแบบเอาต์พุตเป้าหมาย พบว่า กลุ่มที่เหมาะสมกับชุดข้อมูล อยู่ที่ 32 กลุ่ม โดยมีแนวโน้มค่าเฉลี่ยการคลาดเคลื่อนในระดับแปลง (PYE%) อยู่ที่ 13.15 เปอร์เซ็นต์ จากการแบ่งข้อมูลออกเป็น 32 กลุ่มและมีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยน้อยที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับทุกกลุ่มที่ทำการทดลอง หลังจากได้กลุ่มที่เหมาะสมแล้วนำผลการทดลองของกลุ่มดังกล่าวเข้าสู่การทดสอบประสิทธิภาพของกระบวนการออกแบบปัจจัยนำเข้าต่อไป

## 2. การทดสอบประสิทธิภาพของกระบวนการออกแบบปัจจัยนำเข้า

การทดลองของกระบวนการออกแบบปัจจัยนำเข้าดำเนินการหลังจากที่ได้กลุ่มที่เหมาะสมแล้ว ซึ่งจากการทดลองที่ผ่านมา พบว่า การแบ่งข้อมูลออกเป็น 32 กลุ่ม เป็นกลุ่มที่เหมาะสมที่สุด จากนั้นจะต้องแบ่งข้อมูลออกเป็น 32 คลาส แต่ต้องปรับเปลี่ยนปัจจัยนำเข้าด้วยการประยุกต์ใช้เซตกำลังซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จะ ได้ทั้งหมด 64 เซตย่อยหรือชุดย่อย โดยมีชุดย่อยที่ประกอบด้วย อัตราจุดบกพร่องอยู่ทั้งหมด 32 ชุดย่อย ชุดย่อยที่ประกอบด้วยอัตราจุดบกพร่องทั้ง 32 ชุดจะถูกดำเนินการ โดยถูกนำไปหาค่าความสัมพันธ์ที่คล้ายคลึงกันของปัจจัยนำเข้า (Input Factor Similarity Relationship : IFSR) ทีละชุด เพื่อหาชุดปัจจัยนำเข้าที่เหมาะสมและถือว่าการตัดตัวแปรออก

อย่างมีระบบ เมื่อแต่ละชุดปัจจัยย่อยผ่านวิธีการ IFSR จะได้ค่าความคลาดเคลื่อนการพยากรณ์  
ผลผลิต (PYE%) ของแต่ละชุดย่อยของปัจจัยนำเข้า แสดงผลการทดลองแต่ละปัจจัยดังตารางที่ 70

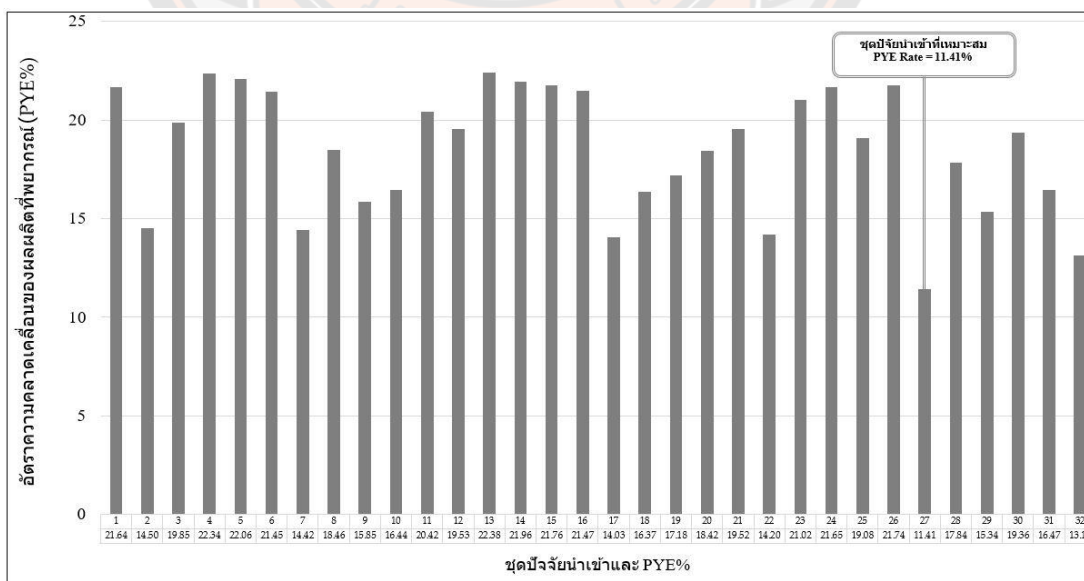
ตาราง 70 ผลการทดลองประสิทธิภาพของชุดย่อยของปัจจัยนำเข้า

ชุดปัจจัย นำเข้า	ชุดข้อมูล	APY%	ผลผลิตจริง (ตันต่อไร่)	ผลผลิตพยากรณ์ (ตันต่อไร่)	PYE%
1	2345678910	98.67	1570.64	1910.60	21.64
2	2345678910	99.70	1570.64	1798.42	14.50
3	1234567910	97.71	1570.64	1882.43	19.85
4	2345678910	98.78	1570.64	1921.56	22.34
5	2345678910	98.61	1570.64	1917.11	22.06
6	2345678910	99.90	1570.64	1907.55	21.45
7	1234678910	99.71	1570.64	1797.19	14.42
8	2345678910	99.65	1570.64	1860.63	18.46
9	1235678910	99.90	1570.64	1819.65	15.85
10	2345678910	99.78	1570.64	1828.85	16.44
11	1234567810	99.74	1570.64	1891.36	20.42
12	1234567910	96.60	1570.64	1877.36	19.53
13	1234567910	98.67	1570.64	1922.16	22.38
14	1234567910	99.45	1570.64	1915.49	21.96
15	1245678910	98.76	1570.64	1912.44	21.76
16	1234567910	98.25	1570.64	1907.80	21.47
17	1245678910	99.99	1570.64	1790.98	14.03
18	1234678910	99.78	1570.64	1827.76	16.37
19	2345678910	99.96	1570.64	1840.46	17.18
20	2345678910	99.21	1570.64	1859.89	18.42
21	2345678910	99.63	1570.64	1877.20	19.52
22	1234678910	99.87	1570.64	1793.71	14.20
23	1234567910	99.92	1570.64	1900.85	21.02

ตาราง 71 ผลการทดลองประสิทธิภาพของชุดย่อยของปัจจัยนำเข้า (ต่อ)

ชุดปัจจัย นำเข้า	ชุดข้อมูล	APY%	ผลผลิตจริง (ตันต่อไร่)	ผลผลิตพยากรณ์ (ตันต่อไร่)	PYE%
24	2345678910	99.29	1570.64	1910.61	21.65
25	1234678910	96.60	1570.64	1870.29	19.08
26	2345678910	99.28	1570.64	1912.04	21.74
27	1245678910	99.49	1570.64	1749.82	11.41
28	1235678910	99.88	1570.64	1850.88	17.84
29	1234678910	99.62	1570.64	1811.51	15.34
30	2345678910	99.45	1570.64	1874.78	19.36
31	2345678910	99.35	1570.64	1829.29	16.47
32	1245678910	99.11	1570.64	1777.20	13.15

แต่ละชุดปัจจัยนำเข้าจะมี PYE% ของตนเอง จากนั้นผู้วิจัยจะนำมาพิจารณาโดยการหาชุดปัจจัยย่อยที่มีค่า PYE% ที่ต่ำที่สุด มาใช้เป็นปัจจัยนำเข้าสำหรับการสร้างแบบจำลอง โดยแผนภูมิแสดงผลการทดลองแสดงดังภาพที่ 98



ภาพ 98 ชุดย่อยของปัจจัยนำเข้าจากกระบวนการออกแบบปัจจัยนำเข้า

จากการดำเนินการทดลองทั้ง 32 ชุดย่อย ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดได้จากปัจจัยนำเข้าชุดที่ 27 ซึ่งมีค่าความคลาดเคลื่อนการพยากรณ์ (PYE%) น้อยที่สุดอยู่ที่ 11.40% โดยชุดปัจจัยนำเข้าชุดที่ 27 ประกอบด้วย 5 ปัจจัย ได้แก่ ปริมาณน้ำฝน ชุมดิน ระยะห่างการปลูก ตออ้อย และค่าจุกบกร่อง ส่วนพันธุ์อ้อยเป็นส่วนที่ถูกตัดออกไปจากชุดย่อยปัจจัยนำเข้า ปัจจัยทั้ง 5 จะถูกนำไปใช้ในกระบวนการสร้างแบบจำลอง

**3. การทดสอบประสิทธิภาพของกระบวนการสร้างแบบจำลองและทดสอบ**

การทดลองนี้ดำเนินการเพื่อหาอัลกอริทึมไปใช้ในการสร้างและฝึกฝนแบบจำลองโดยจะใช้ชุดข้อมูลที่ผ่านการสกัดลักษณะเด่นที่ประกอบด้วย 3 องค์ประกอบ (1) ปัจจัยนำเข้า (OIF set) ประกอบด้วย ปริมาณน้ำฝน ชุมดิน ระยะห่าง ตออ้อย และอัตราจุกบกร่อง (2) เอาต์พุตเป้าหมาย (OTOs) ของแบบจำลองจะถูกออกแบบให้มี 32 เอาต์พุต และ (3) ค่าเฉลี่ยของคลาสเอาต์พุต (OTORs) ทั้งหมด 32 ค่า แบบจำลองพยากรณ์ผลผลิตถูกพัฒนาและเปรียบเทียบผลการจดจำเอาต์พุตเป้าหมายและผลการพยากรณ์ผลผลิตด้วย 6 ระเบียบวิธี ผลการทดลองของแต่ละระเบียบวิธีแสดงดังภาพที่ 99 – 104

		K-Nearest Neighbor (KNN), K=3																																																	
	1	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0							
	2	0	26	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
	3	0	2	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0		
	4	0	0	0	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
	5	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
	6	0	0	0	0	0	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
	7	0	0	0	0	0	0	16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
	8	0	1	0	0	0	0	0	34	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
	9	0	0	0	0	0	1	0	0	51	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	189	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	25	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	17	0	6	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	18	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	21	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	22	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	24	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	28	0	0	0	0	0	2	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	29	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	31	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	32	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32																		

ภาพ 99 เมทริกซ์สับสนของการจำแนกคลาสเอาต์พุตของอัลกอริทึมเคเนียร์เรสเนเบอร์



Actual Class	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	
2	0	28	2	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
3	0	1	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
4	0	0	0	8	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
5	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
6	0	0	0	0	0	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	
7	0	0	0	0	0	0	17	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
8	0	0	0	0	0	0	0	35	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
9	0	0	0	0	0	0	0	0	53	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	188	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	
16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
17	0	5	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
18	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	
19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
21	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	0	0	0	0	0	0	0	0	
23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	29	0	0	0	1	0	0	0	0	
24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	0	0	0	0	0	0	0	0	
25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15	0	0	0	0	0	0	0	
26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	
27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	0	0	0	0	0	
28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11	0	0	0	0	
29	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11	0	0	0	
31	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	
32	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	

ภาพ 102 เมทริกซ์สับสนของการจำแนกคลาสเอาต์พุตของอัลกอริทึม REP Tree

Actual Class	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
1	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
2	0	29	2	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
3	0	2	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	
4	0	0	0	8	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
5	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
6	0	0	0	0	0	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
7	0	0	0	0	0	0	17	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
8	0	0	0	0	0	0	0	35	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
9	0	0	0	0	0	0	0	0	53	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	188	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0		
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	
16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
17	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	6	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	30	0	0	0	0	0	0	0	0	
24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	0	0	0	0	0	0	0	0	
25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15	0	0	0	0	0	0	0	
26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	
27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	8	0	0				

Multilayer Perceptron (MLP), ANN=5:18:32, L=0.3, M=0.2, 500 Epoch																																																	
1	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0										
2	0	30	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0								
3	0	1	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0							
4	0	0	0	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0						
5	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0						
6	0	0	0	0	0	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0						
7	0	0	0	0	0	0	15	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0						
8	0	1	0	0	0	0	0	34	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0						
9	0	0	0	0	0	0	0	0	53	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0						
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0					
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	189	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0					
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	26	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
26	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
29	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
31	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
32	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32																	

ภาพ 104 เมทริกซ์สับสนของการจำแนกคลาสเอาต์พุตของอัลกอริทึมโครงข่ายประสาทเทียม

จากภาพที่ 99 - 104 อัลกอริทึมที่กำหนดจะถูกทดสอบด้วยการฝึกฝนและตรวจสอบแบบไขว้ 10 ชุด และวิเคราะห์จากตัววัดประสิทธิภาพ ได้แก่ ค่าความถูกต้อง (Accuracy) และค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (MSE) ดังตารางที่ 72

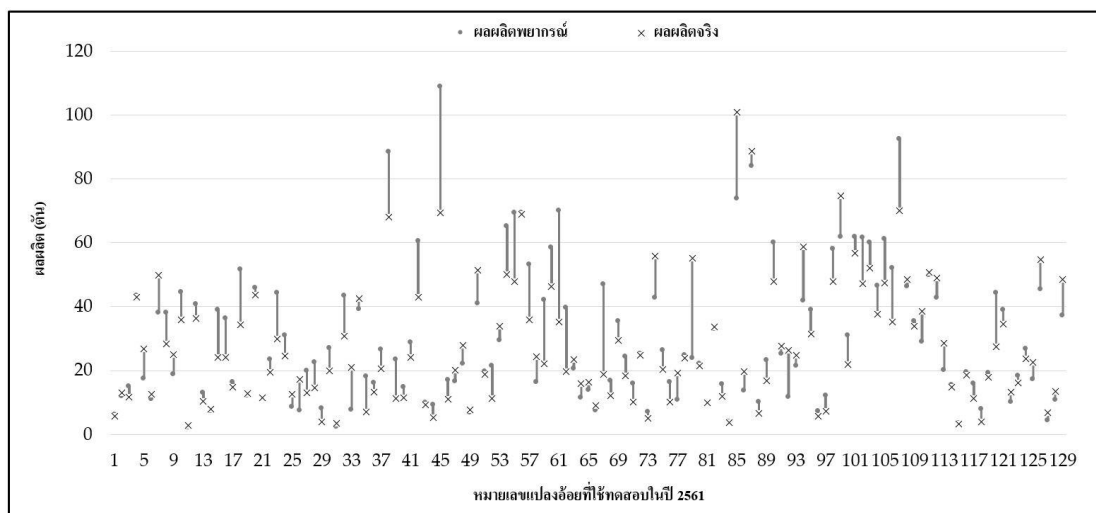
ตาราง 72 ผลการทดสอบประสิทธิภาพของอัลกอริทึมที่น่าจะมาพัฒนาแบบจำลอง

อัลกอริทึม	KNN	FOR	RTR	REP	DEC	MLP
ค่าความถูกต้อง	90.42	98.2143	97.4026	93.9935	97.2403	95.2922
ค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย	0.06	0.0326	0.0403	0.0533	0.0396	0.047

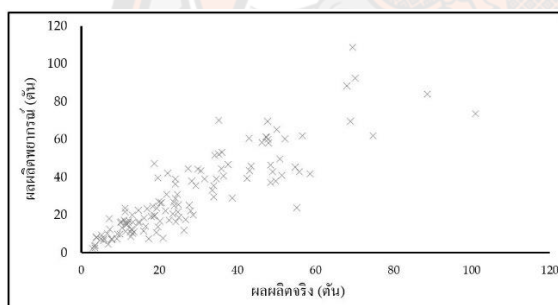
จากการวิเคราะห์ค่าประสิทธิภาพของแต่ละอัลกอริทึม พบว่า การใช้อัลกอริทึม Random Forest (FOR) มีค่าความถูกต้องมากกว่าอัลกอริทึมแบบอื่น ประกอบด้วย ค่าการจำแนกถูกคลาสเฉลี่ยอยู่ที่ (TP Rate) อยู่ที่ 0.982 ค่าการจำแนกผิดคลาส (FP Rate) อยู่ที่ 0.002 ค่าความแม่นยำ อยู่ที่ 0.983 ค่าความถี่ของโมเดลแบบแยกคลาส (Recall) อยู่ที่ 0.982 ค่า F1-Measure อยู่ที่ 0.982 จึงทำให้ค่า ROC Area เฉลี่ยอยู่ที่ 0.998 ซึ่งเข้าใกล้ 1.00 ซึ่งหมายถึง แบบจำลองมีประสิทธิภาพที่จะสามารถจำแนกคลาสได้ถูกต้องและแม่นยำ ดังนั้น แบบจำลองจึงถูกพัฒนาขึ้น โดยประยุกต์ใช้



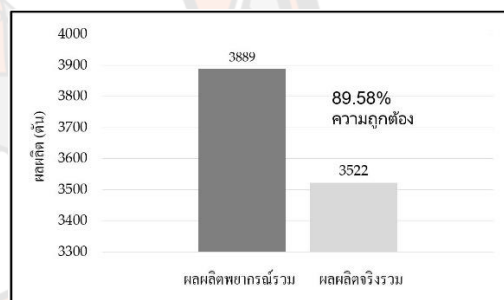
อัลกอริทึม Random Forest (FOR) จากนั้นนำแบบจำลองจะถูกทดสอบด้วยข้อมูลแบบปิดตา 129 ระเบียบ ผลลัพธ์ของการพยากรณ์ผลผลิตแสดงดังภาพที่ 105



(ก) เส้นความแตกต่างระหว่างผลผลิตพยากรณ์และผลผลิตจริงของแต่ละแปลง



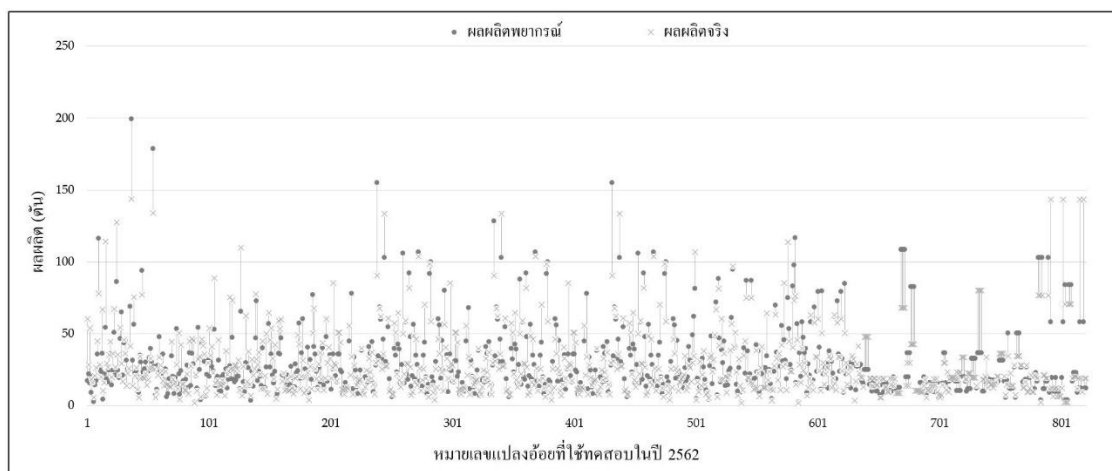
(ข) สหสัมพันธ์ระหว่างผลผลิตพยากรณ์และผลผลิตจริง



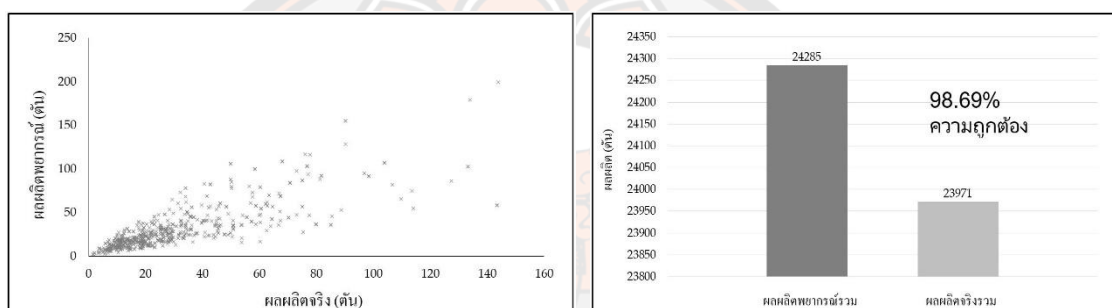
(ค) ผลผลิตพยากรณ์รวมเปรียบเทียบกับผลผลิตจริง

ภาพ 105 ผลการพยากรณ์ผลผลิตของข้อมูลทดสอบในปี 2561

เมื่อกำหนดค่าสหสัมพันธ์ระหว่างผลผลิตพยากรณ์และผลผลิตจริงของทั้งหมด 129 แปลง ค่าสหสัมพันธ์มีค่า  $R=0.88$  ( $P<0.01$ ) นั้นเป็นการระบุว่ามีความสัมพันธ์เข้มแข็งเชิงบวกอย่างมีนัยสำคัญ แบบจำลองสามารถพยากรณ์ผลผลิตรวมได้ถูกต้อง 89.58 เปอร์เซ็นต์จากพื้นที่ทั้งหมด 2,204 ไร่ หรือ 871 เอเคอร์ จากนั้นแบบจำลองจะถูกนำไปตรวจสอบอีกครั้งกับข้อมูลของแปลงย่อยในปี 2562 เพื่อให้ยืนยันถึงประสิทธิภาพการพยากรณ์ของแบบจำลอง โดยผลการทดลองแสดงดังภาพที่ 106



(ก) เส้นความแตกต่างระหว่างผลผลิตพยากรณ์และผลผลิตจริงของแต่ละแปลง



(ข) สหสัมพันธ์ระหว่างผลผลิตพยากรณ์และผลผลิตจริง (ค) ผลผลิตพยากรณ์รวมเปรียบเทียบกับผลผลิตจริง

### ภาพ 106 ผลการพยากรณ์ผลผลิตของข้อมูลทดสอบในปี 2562

เมื่อกำหนดค่าสหสัมพันธ์ระหว่างผลผลิตพยากรณ์และผลผลิตจริงของทั้งหมด 821 แปลง ค่าสหสัมพันธ์มีค่า  $R=0.80$  ( $P<0.01$ ) ซึ่งมีความใกล้เคียงกับค่าสหสัมพันธ์ที่ผ่านมา  $R=0.88$  สำหรับการจำแนกข้อมูลที่ผ่านมาการสกัดลักษณะเด่นในรูปแบบไม่ต่อเนื่อง (CDS) ของชุดข้อมูล B นั้นเป็นการระบุว่ามีความสัมพันธ์เข้มแข็งเชิงบวกอย่างมีนัยสำคัญอีกครั้ง แบบจำลองสามารถพยากรณ์ผลผลิตรวม ได้ถูกต้อง 98.69 เปอร์เซ็นต์จากพื้นที่ทั้งหมด 13,868 ไร่ หรือ 5483 เอเคอร์

### ผลลัพธ์และการอภิปรายผลแบบจำลองพยากรณ์ผลผลิตอ้อย

การพัฒนาแบบจำลองการพยากรณ์ผลผลิตอ้อยของโรงงานอุตสาหกรรม แบบจำลองประกอบด้วย 4 กระบวนการ ได้แก่ 1) การเก็บรวบรวมข้อมูล 2) การสกัดลักษณะเด่นของชุดข้อมูล 3) การสร้างแบบจำลองและการทดสอบ และ 4) การพัฒนาส่วนติดต่อผู้ใช้ ผลลัพธ์จากการดำเนินงานวิจัยมีรายละเอียดดังนี้

ผลของการดำเนินการกระบวนการที่ 1 การเก็บรวบรวมข้อมูล พบว่า จำนวนแปลงอ้อยที่จะต้องเก็บเกี่ยวในปี 2561 มีทั้งหมด 1,711 แปลง โดยต้องมีการสำรวจและถ่ายภาพด้วยอากาศยาน

ไร้คนขับจำนวน 90 แปลงตัวอย่าง หลังจากนั้นข้อมูลสภาพแวดล้อมของแปลงเก็บเกี่ยวรวมเข้ากับ อัตราจุดบกพร่องจากภาพที่เก็บรวบรวม ผลลัพธ์จากการรวมข้อมูลปี 2561 มีทั้งสิ้น 745 ระเบียบวน ประกอบ ระเบียบวนประกอบนี้จะถูกนำไปใช้ในการฝึกฝนและการตรวจสอบแบบจำลอง มากไปกว่า นั้นข้อมูลในปี 2562 มีทั้งหมด 2,869 แปลง และได้ถ่ายภาพแปลงอ้อยด้วยอากาศยานไร้คนขับ จำนวน 72 แปลง หลังจากรวมเข้ากับอัตราจุดบกพร่องมีข้อมูลทั้งสิ้น 821 ระเบียบวนประกอบ เพื่อนำไปใช้ในการทำการทดสอบครั้งสุดท้าย

ผลของการดำเนินการกระบวนการที่ 2 การสกัดลักษณะเด่น กระบวนการดังกล่าว ดำเนินการบนพื้นฐานของแนวคิดการออกแบบแบบย้อนกลับ (Reverse Design Method) และใช้วิธีการหาค่าความสัมพันธ์ของลักษณะความคล้ายคลึงระหว่างชุดปัจจัยและเอาต์พุตเป้าหมายที่เป็น ผลลัพธ์ของกระบวนการออกแบบเอาต์พุตเป้าหมาย พบว่า ข้อมูลพื้นฐานของแบบจำลองจะต้องถูก กำหนดให้มี 32 เอาต์พุตเป้าหมาย (TOCs) พร้อมกับค่าสัมพันธ์ของเอาต์พุตเป้าหมาย (TORs) และ ผลลัพธ์ของกระบวนการออกแบบปัจจัยนำเข้าพบว่า ชุดปัจจัยที่เหมาะสม (OIF set) กับชุดระเบียบวน ประกอบที่ใช้ในการฝึกฝน ประกอบด้วย 5 ปัจจัย ประกอบด้วย ปริมาณ น้ำฝน ชุดดิน ระยะห่างการปลูก ตออ้อย และอัตราจุดบกพร่อง ดังนั้นข้อมูลที่ผ่านมาผ่านการสกัดลักษณะเด่นในรูปแบบ ไม่ต่อเนื่อง (CDS) จะถูกดำเนินการมาจาก 2 กระบวนการโดยทดสอบด้วยวิธีการ TOSR และ วิธีการ IFSR ซึ่งมีค่าความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุดอยู่ที่ 11.40 เปอร์เซ็นต์ จากนั้นข้อมูลที่ผ่านมาผ่านการ สกัดลักษณะเด่นในรูปแบบไม่ต่อเนื่อง (CDS) จะถูกนำไปใช้ในการสร้างแบบจำลอง

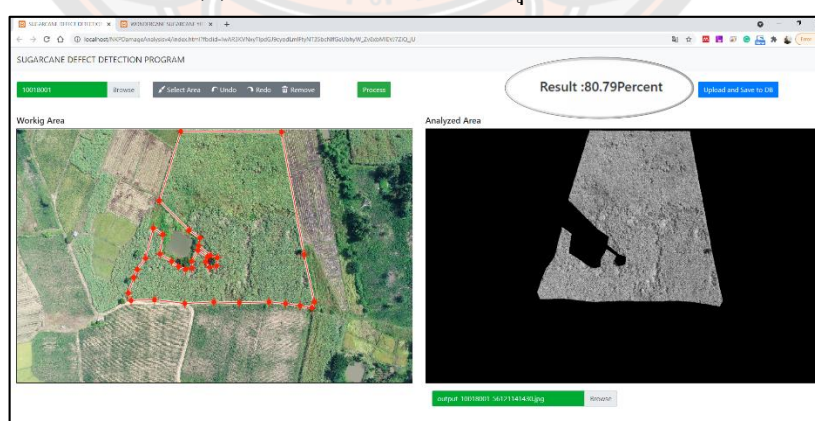
ผลของการดำเนินการกระบวนการที่ 3 การสร้างแบบจำลอง แบบจำลองพยากรณ์ผลผลิต อ้อยที่ถูกฝึกฝนด้วยข้อมูลที่ผ่านมาผ่านการสกัดลักษณะเด่นในรูปแบบไม่ต่อเนื่อง (CDS) ในปี 2561 จาก กระบวนการสกัดลักษณะเด่นและแบบจำลองถูกพัฒนาและทดสอบเพื่อจดจำข้อมูล ECR ด้วย อัลกอริทึมคู่แข่งทั้ง 6 อัลกอริทึม ประกอบด้วย อัลกอริทึมเคเนียร์เรสเนเบอร์(K-Nearest Neighbor : KNN) อัลกอริทึม Random Forest (FOR) อัลกอริทึม Random Tree (RTR) อัลกอริทึม Reduced Error Pruning Decision Tree (REP Tree) อัลกอริทึมต้นไม้ตัดสินใจ (Decision Tree : DT) และ โครงข่ายประสาทเทียมแบบหลายชั้น (Multilayer Perceptron : MLP) ผลการทดลองพบว่า อัลกอริทึม Random Forest มีประสิทธิภาพสูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับอัลกอริทึมอื่น ๆ โดยมีค่าการ วิเคราะห์ประสิทธิภาพ ได้แก่ ค่าการจำแนกถูกคลาสเฉลี่ยอยู่ที่ (TP Rate) อยู่ที่ 0.982, ค่าการจำแนก ผิดคลาส (FP Rate) อยู่ที่ 0.002, ค่าความแม่นยำอยู่ที่ 0.983, ค่าความต้องของโมเดลแบบแยกคลาส (Recall) อยู่ที่ 0.982, ค่า F1-Measure อยู่ที่ 0.982 จึงทำให้ค่า ROC Area เฉลี่ยอยู่ที่ 0.998 ซึ่งเข้าใกล้ 1.00 ซึ่งหมายถึง แบบจำลองมีประสิทธิภาพที่จะสามารถจดจำความสัมพันธ์ระหว่างเอาต์พุต เป้าหมายและชุดปัจจัยนำเข้าได้อย่างถูกต้องและแม่นยำ และหลังจากที่แบบจำลองจะถูกนำไป

ตรวจสอบอีกครั้งกับข้อมูลของแปลงอ้อยในปี 2562 เพื่อให้ยืนยันถึงประสิทธิภาพการพยากรณ์ของแบบจำลอง พบว่า แบบจำลองถูกทดสอบด้วยข้อมูลที่ผ่านการสกัดลักษณะเด่นในรูปแบบไม้ต่อเนื่อง (CDS) ของปี 2562 จากการทดลองพบว่า แบบจำลองสามารถพยากรณ์ผลผลิตได้ถูกต้องอยู่ที่ 98.63 เปอร์เซ็นต์คลาดเคลื่อนไป 1.37 เปอร์เซ็นต์ หรือคลาดเคลื่อนเฉลี่ย 3.64 ตันต่อไร่ โดยคิดจากผลผลิตจริงทั้ง 821 แปลง

ผลของการดำเนินการกระบวนการที่ 4 การพัฒนาส่วนติดต่อผู้ใช้ แบบจำลองพยากรณ์ผลผลิตอ้อยจะถูกพัฒนาให้มีส่วนติดต่อผู้ใช้งานที่สามารถทำงานได้ภายในเว็บไซต์ของบริษัท ภาพที่ 107 (ก) แสดงหน้าจอหลักของโปรแกรมพยากรณ์ผลผลิตอ้อย ภาพที่ 107 (ข) แสดงหน้าต่างของโปรแกรมตรวจสอบจุดบกพร่องซึ่งจะใช้ในการอัปโหลดภาพแปลงอ้อยและเลือกพื้นที่ของแปลงอ้อยที่จะวิเคราะห์จุดบกพร่อง

Field	Value	Unit
Plant Name	10018001	
Defect	81	%
Rainfall	1014.7	
Soil Series	23	
Distance	150	cm
Ratoon	2	
Result (Tons/acre)	4.88	
Total Area	1.88	acres
Total Result (Tons)	9.18	

(ก) โปรแกรมวิเคราะห์พื้นที่จุดบกพร่อง



(ข) โปรแกรมพยากรณ์ผลผลิตอ้อย

ภาพ 107 ตัวอย่างหน้าต่างส่วนติดต่อผู้ใช้งานโปรแกรมพยากรณ์ผลผลิตอ้อยและโปรแกรมตรวจสอบจุดบกพร่อง

ผู้ใช้งานจะต้องเปิดโปรแกรมตรวจสอบจุดบกพร่องขึ้นมาก่อนและจะพบเป็นหน้าจอหลักที่ใช้ในการอัปเดตภาพอากาศยานไร้คนขับของแปลงอื่นที่ต้องการวิเคราะห์ เมื่อผู้ใช้งานนำเครื่องมือเลือกพื้นที่สำหรับการระบุในโปรแกรมซึ่งเป็นส่วนหนึ่งในการตรวจสอบจุดบกพร่องวัตถุที่เช่น ต้นไม้จะสามารถนำออกได้จากการเลือกพื้นที่ เมื่อเลือกพื้นที่เรียบร้อยแล้วคลิกที่ปุ่มประมวลผลจะเป็นการเริ่มต้นวิเคราะห์จุดบกพร่อง อัตราจุดบกพร่องจะถูกแสดงออกมาเป็นเปอร์เซ็นต์ในมุมมองบนหน้าจอโปรแกรม หลังจากนั้นกดปุ่มบันทึกและส่งข้อมูลไปยังหน้าต่างโปรแกรมพยากรณ์ผลผลิตอ้อยซึ่งจะเปิดขึ้นมาโดยอัตโนมัติที่แท็บใหม่ ในโปรแกรมพยากรณ์ผลผลิตอ้อยผู้ใช้งานต้องเติมข้อมูลสภาพและพื้นที่ทั้งหมดที่ต้องการลงไป ผลผลิตพยากรณ์สุดท้ายจะแสดงออกมาใน 2 รูปแบบ ประกอบด้วย อัตราผลผลิตหน่วยตันต่อเอเคอร์และอัตราผลผลิตรวมหน่วยตัน

### การอภิปรายผลการทดลองภาพรวม

การพัฒนาแบบจำลองเกษตรอัจฉริยะ สำหรับการพยากรณ์ผลผลิตอ้อย มีข้อจำกัดและความแตกต่างของแต่ละพื้นที่ แต่โดยส่วนใหญ่จะแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มคือ กลุ่มที่ใช้สภาพแวดล้อมเพียงอย่างเดียวได้ เพราะสภาพแวดล้อมเหมาะสมกับการเพาะปลูกและไม่มีภัยธรรมชาติที่เป็นปัจจัยทำให้เกิดค่าความคลาดเคลื่อน แต่ในบางพื้นที่ที่ใช้ข้อมูลภาพเข้ามาเกี่ยวข้อง ไม่ว่าจะเป็นภาพจากดาวเทียม หรือภาพจากอากาศยานไร้คนขับโดยส่วนมากประสบปัญหาการเพาะปลูกที่มีความเกี่ยวข้องกับสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมหรือเกิดภัยธรรมชาติ เช่น ลมพายุหรือความแห้งแล้ง เป็นต้น และเป็นสาเหตุหลักของการประเมินผลผลิตโดยรวมที่คลาดเคลื่อน ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้ศึกษาและพัฒนาแบบจำลอง 2 ตัวแบบ เพราะพื้นที่ศึกษามีภัยธรรมชาติและมีสภาพพื้นที่ที่แตกต่างกัน ซึ่งประกอบด้วย แบบจำลองตรวจสอบจุดบกพร่องในแปลงอ้อย และแบบจำลองพยากรณ์ผลผลิตอ้อย โดยมีรายละเอียดดังนี้

แบบจำลองสำหรับการตรวจสอบจุดบกพร่องภายในภาพแปลงอ้อย มีวัตถุประสงค์เพื่อใช้ในการประเมินจุดบกพร่องที่เกิดขึ้นกับแปลงอ้อยในช่วงที่อ้อยเจริญเติบโตเต็มที่ จุดบกพร่องที่ต้องการศึกษามีสาเหตุจากลม พายุและวัชพืช การตรวจสอบจุดบกพร่องในแปลงอ้อยประยุกต์ใช้เทคนิคการประมวลผลภาพจากภาพความละเอียดสูงที่ได้จากการสำรวจด้วยอากาศยานไร้คนขับงานวิจัยนี้เสนอวิธีการตรวจสอบจุดบกพร่องในภาพถ่ายสีเหนือแปลงอ้อย ประกอบด้วย 4 กระบวนการ ได้แก่ 1) การเก็บรวบรวมข้อมูลภาพ 2) การเตรียมข้อมูลภาพ 3) การสร้างแบบจำลองตรวจสอบจุดบกพร่องของแปลงอ้อย และ 4) การพัฒนาโปรแกรมประยุกต์ใช้งาน แบบจำลองที่ได้พัฒนาขึ้นด้วยการประยุกต์ใช้วิธีการสกัดลักษณะเด่นทั้งหมด 26 ค่า โดยใช้ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบน

มาตรฐานจากตัวกรองทั้งหมด 13 รูปแบบ และพัฒนาแบบจำลองด้วยวิธีการเคเนียร์เรสเนเบอร์ สำหรับการจำแนกพื้นที่อ้อย และประยุกต์ใช้วิธีการเลือกเฉลี่ยในการตรวจสอบจุดบกพร่องที่อยู่ในแปลงอ้อย ผลการทดลองพบว่า แบบจำลองสามารถจดจำและจำแนกพื้นที่อ้อยจากการฝึกฝนด้วยลักษณะเด่นที่ได้ โดยมีความถูกต้องอยู่ที่ 96.75 เปอร์เซ็นต์ และทดสอบโดยเทียบกับการประเมินจากผู้เชี่ยวชาญมีความถูกต้องสัมพันธ์กันอยู่ที่ 81.19 เปอร์เซ็นต์ และวิธีการเลือกเฉลี่ยสามารถตรวจสอบจุดบกพร่องภายในแปลงอ้อยได้ โดยมีความถูกต้องอยู่ที่ 92.95 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับการประเมินจากผู้เชี่ยวชาญ และเมื่อได้เปรียบเทียบกับงานวิจัยที่ได้กล่าวถึงในบทที่ 2 มีความแตกต่างทั้งวิธีการหรือทรัพยากรที่นำมาประยุกต์แสดงดังตาราง 73

ตาราง 73 การเปรียบเทียบงานวิจัยที่มีการตรวจสอบจุดบกพร่อง ประกอบด้วยปัจจัย เช่น ความถูกต้องโดยรวม วิธีการจำแนก และลักษณะเด่นที่นำมาใช้

แปลง	สถานะ	การ	ความ	วิธีการ	ลักษณะเด่น
		ตรวจสอบ	ถูกต้อง		
อ้อย (งานวิจัยนี้)	โตเต็มที่	วัชพืช	96.75%	KNN	ภาพสี ลักษณะเด่นเชิงผิว ค่าสถิติ 2 ค่า
อ้อย (Girolamo Neto และคณะ, 2019)	โตเต็มที่	วัชพืช	92.54%	RF	ภาพหลายย่านความถี่ ค่าดัชนีพืชพรรณ(VI) ลักษณะเด่นเชิงผิว
หัวบีท (Mink และคณะ, 2018)	แตกกอ	วัชพืช	96%	CHM	ภาพหลายย่านความถี่ ค่าดัชนีพืชพรรณ(VI)
ข้าวโพด (Mink และคณะ, 2018)	แตกกอ	วัชพืช	80%	CHM	ภาพหลายย่านความถี่ ค่าดัชนีพืชพรรณ
ไวน์ (Matese และDi Gennaro, 2018)	โตเต็มที่	จุดเสียหาย	80%	CWSI	ภาพหลายย่านความถี่ ค่าผลต่างดัชนีพืชพรรณ (NDVI)
อ้อย(Kumar และคณะ, 2017)	โตเต็มที่	โรคใบพืช	96%	KNN	ภาพสี ข้อมูลจากเซ็นเซอร์

ตาราง 74 การเปรียบเทียบงานวิจัยที่มีการตรวจสอบจุดบกพร่อง ประกอบด้วยปัจจัย เช่น ความถูกต้องโดยรวม วิธีการจำแนก และลักษณะเด่นที่นำมาใช้ (ต่อ)

แปลง	สถานะ	การตรวจสอบ	ความถูกต้อง	วิธีการ	ลักษณะเด่น
อ้อย (Sanchez และคณะ, 2018)	แตกกอ	อ้อยล้ม	-	-	ภาพสี ค่าผลต่างดัชนีพืชพรรณ (GRVI)
อ้อย (I. Yano, 2017)	แตกกอ	วัชพืช	82%	RF	ภาพสี ลักษณะเด่นเชิงผิว ค่าสถิติ 9 ค่า

หมายเหตุ: SVM: Support Vector Machine; RF: Random Forest; KNN: K-Nearest Neighbors; CHM: Canopy Height Model; VI: Vegetation Index; NDVI: Normalized Difference Vegetation Index; GRVI: Green-Red Vegetation Index

วิธีการของแบบจำลองตรวจสอบจุดบกพร่องที่สร้างขึ้นมีความแตกต่างจากวิธีการของการศึกษาที่ผ่านมา นักวิจัย (Girolamo Neto และคณะ, 2019) และ (Kumar และคณะ, 2017) ใช้การวิเคราะห์พืชเกษตรในระยะสุกแก่ซึ่งคล้ายกับวิธีการของแบบจำลองนี้ แต่มีความแตกต่างในด้านลักษณะเด่นและวิธีการที่นำมาประยุกต์ใช้ที่ส่งผลให้มีความถูกต้องที่แตกต่างกัน เมื่อเปรียบเทียบผลลัพธ์ของการศึกษานี้และการศึกษาอื่น ๆ พบว่า แบบจำลองตรวจสอบจุดบกพร่องมีค่าความถูกต้องรวมอยู่ที่ 96.75 เปอร์เซ็นต์ซึ่งสูงกว่าวิธีการอื่น ๆ ที่วิเคราะห์ในระยะสุกแก่ สำหรับค่าความถูกต้องที่สูงของแบบจำลองเกิดจากการนำกระบวนการตรวจสอบเงาและปรับลดเงาที่เข้ามาช่วยในขั้นตอนเตรียมข้อมูลภาพและที่สำคัญผู้จัดทำได้พัฒนาวิธีการสกัดลักษณะเด่นโดยประยุกต์ใช้ค่าเฉลี่ยและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจาก 13 ตัวกรองร่วมกับวิธีการวิเคราะห์เชิงผิวภาพ จากการสกัดลักษณะเด่นผู้จัดทำไม่ได้ใช้ค่าทางสถิติอื่น ๆ เช่น ค่าความโด่ง (Kurtosis) ค่าความเบ้ (Skewness) และค่าความแปรปรวน (Variance) เป็นต้น ที่เหมือนกับการศึกษาของ (I. Yano, 2017) ที่มีค่าความถูกต้องอยู่ที่ 82 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งน้อยกว่าวิธีการที่พัฒนาขึ้น ส่วนวิธีการอื่น ๆ ไม่สามารถเปรียบเทียบได้เนื่องจากเป็นการตรวจสอบที่ดำเนินการในระยะแตกกอและเป็นพืชเกษตรอื่น ๆ ที่แตกต่างกัน ดังนั้นแบบจำลองตรวจสอบจุดบกพร่องภายในแปลงอ้อยที่พัฒนาขึ้นมีค่าความถูกต้องมากกว่าวิธีอื่นและใช้ค่าทางสถิติน้อยกว่า มากไปกว่านั้นภาพที่ใช้เป็นภาพสีจากกล้องที่ติดมากับอากาศยานไร้คนขับจึงไม่จำเป็นต้องใช้กล้องหลายย่านความถี่ และสามารถประยุกต์ใช้เป็นเครื่องมือในประเมินความเสียหายที่เกิดจากลม พายุ และจุดบกพร่องภายในแปลงอ้อย รวมถึงอัตรา

เฉลี่ยของจุดบกพร่องดังกล่าวยังสามารถนำไปใช้เป็นปัจจัยในการแก้ไขปัญหาการประเมินความเสียหายภายในแปลงอ้อยได้

แบบจำลองพยากรณ์ผลผลิตสามารถประเมินผลผลิตได้สอดคล้องกับผลผลิตจริงโดยมีความคลาดเคลื่อนน้อย แบบจำลองมีความคงทนต่อปัญหาด้านการเพาะปลูกด้วยการนำอัตราจุดบกพร่องเข้ามารวมด้วยและด้วยการนำวิธีการออกแบบย้อนกลับมาประยุกต์ใช้ทำให้สามารถหาความเหมาะสมของเอาต์พุตเป้าหมาย ปัจจัยนำเข้า และระเบียบวิธีในการจำแนกข้อมูลได้ ผลลัพธ์ของแบบจำลองพยากรณ์ผลผลิตอ้อยมีประสิทธิภาพโดดเด่นกับเมื่อเทียบกับการศึกษาที่ผ่านมาในส่วนของงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ภาพรวมของแบบจำลองพยากรณ์ผลผลิตอ้อยในการเปรียบเทียบ 10 การศึกษาก่อนหน้า ด้วยคุณสมบัติ ค่าสหสัมพันธ์ และค่าความถูกต้อง ตารางที่ 75 -76

ตาราง 75 ภาพรวมของแบบจำลองผลผลิตอ้อยในการเปรียบเทียบกับ 10 การศึกษาก่อนหน้า ด้วยคุณสมบัติ ค่าสหสัมพันธ์ และค่าความถูกต้อง

การศึกษา	แปลง	ขนาด	FC	IFs	Images	วิธีการ	R <sup>2</sup>	OA
วิทยานิพนธ์ฉบับนี้:	อ้อย	ฟาร์ม	821	5	Drone : RGB	RF	0.80	98.69
การศึกษาก่อนหน้า:								
(อรอนงค์ บุญเกตุ และ พุทธดี ศิริแสงตระกูล, 2556)	อ้อย	ภูมิภาค	-	8	-	ANN	-	99.80
(Hammer, Sentelhas และ Mariano, 2020)	อ้อย	ภูมิภาค	-	18	-	RF	0.43	66.00
(Srikamdee และคณะ, 2018)	อ้อย	ภูมิภาค	-	9	-	AES	-	94.01



**ตาราง 76** ภาพรวมของแบบจำลองผลผลิตอ้อยในการเปรียบเทียบกับ 10 การศึกษาก่อนหน้า ด้วยคุณสมบัติ ค่าสหสัมพันธ์ และค่าความถูกต้อง (ต่อ)

การศึกษา	แปลง	ขนาด	FC	IFs	Images	วิธีการ	R <sup>2</sup>	OA
การศึกษาก่อนหน้า:								
(Adisa และคณะ, 2019)	ข้าวโพด	ภูมิภาค	-	7	Satellite	ANN	0.75	93.79
(Prathumchai, Nagai, Tripathi และ Sasaki, 2018)	อ้อย	ภูมิภาค	-	7	Satellite	LAI	0.88	91.70
(Rahman และ Robson, 2016)	อ้อย	ภูมิภาค	-	1	Satellite	GNDVI	0.69	69.00
(Matese และ Di Gennaro, 2018)	ไร่อ้อย	ฟาร์ม	3	7	Drone: IF+RGB	CWSI+NDVI	0.69	80.00
(Mink และคณะ, 2018)	ซูการ์บีท	ฟาร์ม	1	7	Drone: IF+RGB	CHM+VI	-	80.00
(Som-ard, Hossain, Ninsawat และ Veerachitt, 2018)	อ้อย	ฟาร์ม	2	2	Drone : RGB	OBIA+GLCM	-	90.00
(Sanches และคณะ, 2018)	อ้อย	ฟาร์ม	15	2	Drone : RGB	GRVII+LAI	0.79	79.00

หมายเหตุ : FC=จำนวนแปลง, IFs=จำนวนปัจจัยนำเข้า, R<sup>2</sup>=ค่าสหสัมพันธ์ระหว่างผลผลิตพยากรณ์ผลผลิตจริง, OA=ค่าความถูกต้องภาพรวม, RF=Random Forest, ANN=Artificial Neural Network, AES=Adaptive Evolution Strategies, LAI=Leaf Area Index, GNDVI=Green Normalized Difference Vegetation Index, CWSI=Crop Water Stress Index, CHM=Canopy Height Model, VI=Vegetation Index, OBIA=Object-Based Image Analysis, GLCM=Grey-Level Co-occurrence Matrix, GRNI=Green-Red Vegetation Index

แต่ละการศึกษาก็ถูกเปรียบเทียบในตารางที่ 75 – 76 บนพื้นฐานของปัจจัยสภาพแวดล้อม และวัตถุประสงค์ จึงมีการเปรียบเทียบในหลายลักษณะ การศึกษาแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม (1) กลุ่ม

การศึกษาที่ใช้เพียงข้อมูลสภาพแวดล้อม (Onnong Buket, 2013), (Hammer และคณะ, 2020), และ (Srikamdee และคณะ, 2018) และ (2) กลุ่มการศึกษาที่ใช้ข้อมูลสภาพแวดล้อมร่วมกับภาพ (Adisa และคณะ, 2019), (Prathumchai และคณะ, 2018), (Rahman และ Robson, 2016), (Matese และ Di Gennaro, 2018), (Mink และคณะ, 2018), (Som-ard และคณะ, 2018) , และ (Sanches และคณะ, 2018) การใช้ข้อมูลภาพเป็นวิธีการเข้าถึงจุดบกพร่องในแปลงเพาะปลูก ดังนั้นการศึกษาในกลุ่มแรกจึงไม่ได้ถูกนำมาใช้ให้เกิดประโยชน์ในส่วนนี้ ขณะที่กลุ่มที่ 2 ดำเนินการร่วมกับจุดบกพร่อง ได้แก่ ต้นอ้อยที่ล้มระหว่างสภาพอากาศ ต้นอ้อยที่ไม่ขึ้นด้วยวัชพืช หรือปัญหาอื่นด้านการเพาะปลูก สำหรับการศึกษาในระดับภูมิภาคที่ร่วมกับภาพ (Adisa และคณะ, 2019), (Prathumchai และคณะ, 2018), และ (Rahman และ Robson, 2016) ส่วนใหญ่ใช้ภาพถ่ายดาวเทียมเพื่อเข้าถึงโรคพืช และตรวจสอบการเจริญเติบโตของพืช ในทางตรงกันข้ามหากต้องการศึกษาในระดับแปลงจะมีการศึกษาของ (Matese และ Di Gennaro, 2018), (Mink และคณะ, 2018), (Som-ard และคณะ, 2018) , และ (Sanches และคณะ, 2018) ภาพอากาศยานไร้คนขับจะถูกใช้แทนที่ในฤดูกาลสำรวจ ซึ่งต้นทุนในการดำเนินการด้วยโดรนต่ำกว่าราคาภาพถ่ายดาวเทียม โดรนสามารถเข้าแปลงอ้อยได้ง่ายกว่าสำหรับภาพในระยะใกล้ ภาพถ่ายดาวเทียมมีความเสี่ยงที่จะมีเมฆปกคลุมในขณะที่โดรนบินได้เมฆ (Matese และ Di Gennaro, 2018) และ (Mink และคณะ, 2018) ใช้โดรนที่ติดตั้งอุปกรณ์ถ่ายภาพไม่เพียงแต่ภาพสีเท่านั้นแต่ยังมีย่านอินฟราเรดด้วย แต่อย่างไรก็ตามการเพิ่มต้นทุนของกล้องอินฟราเรดนั้นไม่ได้ทำให้ได้ผลลัพธ์ของการพยากรณ์เพิ่มขึ้น (Som-ard และคณะ, 2018) และ (Sanches และคณะ, 2018) ใช้โดรนที่มีต้นทุนต่ำกว่าใช้เพียงกล้องภาพสีเท่านั้นและความถูกต้องของการพยากรณ์สูงกว่าการศึกษาที่ดำเนินการด้วยภาพอินฟราเรด การศึกษาโดย (Som-ard และคณะ, 2018) และ (Sanches และคณะ, 2018) ทั้งสองมีความคล้ายคลึงกับงานวิจัยนี้ การประยุกต์ใช้การวิเคราะห์ภาพสี RGB เพื่อประมาณการผลิต ผลการศึกษาของ (Som-ard และคณะ, 2018) มีค่าความถูกต้องการพยากรณ์สูง แต่มีแปลงอ้อยในทดลองเพียง 2 แปลงซึ่งค่อนข้างน้อย ส่วนการศึกษาของ (Sanches และคณะ, 2018) ใช้ข้อมูลมาขึ้นเล็กน้อยจำนวน 15 แปลง แต่มีความคลาดเคลื่อนสูงขึ้น ในการศึกษาี้แบบจำลองพยากรณ์ผลผลิตอ้อยใช้ข้อมูลมากกว่าการศึกษาของ Som-ard และ Sanches และค่าความถูกต้องภาพรวมสูงกว่าทั้งสองการศึกษา แบบจำลองพยากรณ์ผลผลิตที่พัฒนาขึ้นมีความโดดเด่นสำหรับการดำเนินการกับข้อมูลที่มีปัญหาทางสภาพอากาศและจุดบกพร่อง เช่น ความเสียหายของต้นอ้อยและปัญหาด้านการเพาะปลูก ผลที่ได้จากการศึกษาี้แบบจำลองพยากรณ์ผลผลิตอ้อยสามารถพยากรณ์ผลผลิตรวมจากปี 2562 ด้วยความถูกต้อง 98.69 เปอร์เซนต์ ในอนาคตยังไม่มีเหตุผลใดที่แบบจำลองจะไม่สามารถปรับเปลี่ยนและประยุกต์ใช้กับแปลงพืชอื่นที่มีลักษณะคล้ายกับอ้อย เช่น ข้าวโพดและมันสำปะหลัง เป็นต้น

## บทที่ 5

### บทสรุป

การพัฒนาแบบจำลองเกษตรอัจฉริยะ สำหรับการพยากรณ์ผลผลิตอ้อย เป็นการวิจัยและพัฒนาเครื่องมือสำหรับประเมินผลผลิตอ้อยก่อนฤดูการเก็บเกี่ยวของโรงงานอุตสาหกรรมและน้ำตาล การพัฒนาแบบจำลองดังกล่าวจะถูกนำไปใช้ประโยชน์ในการวางแผนจัดสรรทรัพยากรให้เพียงพอในช่วงฤดูการเก็บเกี่ยว ซึ่งในบทนี้จะกล่าวถึงการสรุปผลการวิจัย การอภิปรายผล และข้อเสนอแนะในการพัฒนาต่อในอนาคต

#### สรุปผลการวิจัย

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นการพัฒนาแบบจำลองด้านการเกษตร สำหรับอุตสาหกรรมอ้อยและน้ำตาล มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาเครื่องมือที่เป็นเกณฑ์มาตรฐานในการประเมินผลผลิตอ้อยของฝ่ายงานสำรวจที่ประสบปัญหาความคลาดเคลื่อนในการประเมินผลผลิตประจำปีก่อนช่วงฤดูการเก็บเกี่ยว สำหรับเครื่องมือหรือระเบียบวิธีที่พัฒนาขึ้นประกอบด้วยแบบจำลอง 2 ตัวแบบที่ถูกพัฒนาให้อยู่ในรูปแบบของโปรแกรมประยุกต์ โดยรายละเอียดของแต่ละแบบจำลองดังนี้

แบบจำลองตรวจสอบจุดบกพร่องภายในภาพแปลงอ้อย พัฒนาขึ้นมาเพื่อประเมินความเสียหายที่เกิดขึ้นจากภัยธรรมชาติและตรวจหาจุดบกพร่องที่เกิดขึ้นภายในแปลงอ้อยในช่วงของการเพาะปลูก โดยประยุกต์ใช้เทคนิคการประมวลผลภาพดิจิทัลกับภาพมุมสูงจากอากาศยานไร้คนขับ สำหรับกระบวนการที่ใช้ในการพัฒนามี 4 กระบวนการหลัก ประกอบด้วย กระบวนการตรวจสอบพื้นที่เงาและปรับลดเงา กระบวนการสกัดลักษณะเด่นของวัตถุภายในภาพ กระบวนการจำแนกประเภทพื้นที่อ้อยและพื้นที่อื่น และตรวจสอบจุดบกพร่อง ซึ่งผลการวิจัยโดยสรุปของแบบจำลองตรวจสอบจุดบกพร่องภายในภาพแปลงอ้อยแสดงดังตารางที่ 77

ตาราง 77 ผลการวิจัยแต่ละกระบวนการของแบบจำลองตรวจสอบจุดบกพร่อง

กระบวนการ	ค่าความถูกต้อง (เปอร์เซ็นต์)	ความเที่ยงตรง (เปอร์เซ็นต์)	AUC (เปอร์เซ็นต์)
ตรวจสอบพื้นที่เงาและปรับลดเงา	98.67	75.92	99.67
สกัดลักษณะเด่นของวัตถุภายในภาพ	95.01	95.00	98.60
จำแนกประเภทพื้นที่อ้อยและพื้นที่อื่น	85.66	77.58	92.27
ตรวจสอบจุดบกพร่อง	87.20	76.06	92.95

แบบจำลองมีประสิทธิภาพในการจำแนกและตรวจสอบจุดบกพร่องอยู่ที่ 92.95 เปอร์เซนต์ เมื่อเปรียบเทียบกับการจำแนกจากผู้เชี่ยวชาญ และเมื่อเปรียบเทียบผลการวิจัยกับการศึกษาที่ได้แสดงในตารางที่ 73-74 พบว่า แบบจำลองสามารถจำแนกอ้อยและวัชพืชในภาพแปลงอ้อยได้ด้วยความถูกต้องรวมอยู่ที่ 96.75 เปอร์เซนต์ซึ่งสูงกว่าวิธีการอื่น ๆ ที่ใช้วิธีการวิเคราะห์ในระยะสุกแก่เหมือนกัน สำหรับค่าความถูกต้องของการจำแนกพื้นที่อ้อยและวัชพืชที่สูงของแบบจำลองนี้เกิดจากการนำกระบวนการตรวจสอบเงาและปรับลดเงาที่เข้ามาช่วยในขั้นตอนเตรียมข้อมูลภาพและที่สำคัญผู้จัดทำ ได้พัฒนาวิธีการสกัดลักษณะเด่น โดยประยุกต์ใช้ค่าเฉลี่ยและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจาก 13 ตัวกรองร่วมกับวิธีการวิเคราะห์เชิงผิวภาพ จากนั้นผู้วิจัยได้นำข้อมูลสารสนเทศที่ได้จากการวิเคราะห์จุดบกพร่องในภาพ ไปใช้เป็นปัจจัยตัวแทนของความเสียหายที่เกิดขึ้นในแปลงอ้อย เพื่อศึกษาและทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับการพยากรณ์ผลผลิตอ้อยให้สามารถประเมินผลผลิตอ้อยภายใต้ความเสียหายที่เกิดจากภัยธรรมชาติและปัญหาการเพาะปลูกที่เกิดภายในแปลงอ้อยได้

แบบจำลองพยากรณ์ผลผลิตอ้อยได้ประยุกต์ใช้ระเบียบวิธีที่มีแนวคิดจากการรวมกลุ่มของปัจจัยที่มีลักษณะความคล้ายคลึงกันของสภาพแวดล้อมร่วมกับค่าอัตราจุดบกพร่องที่ได้จากแบบจำลองตรวจสอบจุดบกพร่อง สำหรับกระบวนการของแบบจำลองพยากรณ์ผลผลิตอ้อยมี 3 กระบวนการหลัก ประกอบด้วย กระบวนการสกัดลักษณะเด่น กระบวนการพัฒนาแบบจำลองพยากรณ์ และกระบวนการทดสอบการพยากรณ์ผลผลิต ซึ่งผลการวิจัยโดยสรุปของแบบจำลองพยากรณ์ผลผลิตอ้อยแสดงดังตารางที่ 78

**ตาราง 78** ผลการวิจัยของแต่ละกระบวนการของแบบจำลองพยากรณ์ผลผลิตอ้อย

กระบวนการ	ค่าความถูกต้อง (เปอร์เซนต์)
สกัดลักษณะเด่นเอาต์พุตเป้าหมาย	86.85
สกัดลักษณะเด่นปัจจัยนำเข้า	88.58
สร้างแบบจำลองจดจำลักษณะเด่น	98.21
ทดสอบการพยากรณ์ผลผลิต	98.69

แบบจำลองพยากรณ์ผลผลิตอ้อยมีประสิทธิภาพในการพยากรณ์ผลผลิตรวมของปี 2562 ด้วยความถูกต้อง 98.69 เปอร์เซนต์ เมื่อเทียบกับผลผลิตที่เก็บเกี่ยวได้จริง และเมื่อเปรียบเทียบกับผลการวิจัยกับการศึกษา ที่แสดงในตารางที่ 75-76 พบว่า แบบจำลองสามารถพยากรณ์ผลผลิตอ้อยได้ด้วยความถูกต้องรวมอยู่ที่ 98.69 เปอร์เซนต์ซึ่งสูงกว่าวิธีการอื่น ๆ ที่ใช้วิธีการวิเคราะห์ด้วย

ข้อมูลสภาพแวดล้อมและข้อมูลภาพ เช่น ภาพดาวเทียม ภาพอากาศยานไร้คนขับที่มีภาพสีร่วมกับ ภาพอินฟราเรด และภาพอากาศยานไร้คนขับที่มีภาพสีเพียงอย่างเดียว สำหรับค่าความถูกต้องของการพยากรณ์ผลผลิตอ้อยที่สูงของแบบจำลองเกิดจากการพัฒนากระบวนการสกัดลักษณะเด่นโดยอาศัยแนวคิดการออกแบบย้อนกลับเข้ามาช่วยในขั้นตอนสกัดลักษณะเด่นทำให้สามารถเปลี่ยนปัญหาการพยากรณ์ข้อมูลแบบต่อเนื่องให้อยู่ในรูปแบบข้อมูลแบบไม่ต่อเนื่องได้ จึงส่งผลให้สามารถประยุกต์ใช้เทคนิคหรืออัลกอริทึมต่าง ๆ ในการทำเหมืองข้อมูลได้ง่ายขึ้น และแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นสามารถประยุกต์ใช้ในการพยากรณ์ผลผลิตอ้อยในระดับฟาร์มหรือในระดับ โรงงานอุตสาหกรรมได้ และสามารถประเมินผลผลิตอ้อยภายใต้ภัยธรรมชาติได้ เนื่องจากการนำค่าจุดบกพร่องจากแบบจำลองตรวจสอบจุดบกพร่องเข้ามาใช้เป็นปัจจัยตัวแทนผลกระทบที่เกิดขึ้นในระหว่างการเพาะปลูก เช่น อ้อยเน่าจากน้ำท่วมขัง อ้อยลมจากลมพายุ หรือความไม่สมบูรณ์จากการเพาะปลูก เป็นต้น เมื่อโรงงานอุตสาหกรรมสามารถพยากรณ์ผลผลิตได้แม่นยำมากขึ้นจะส่งผลให้การจัดสรรทรัพยากรในฤดูกาลเก็บเกี่ยวมีประสิทธิภาพ

## อภิปรายผล

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้มีการวิจัยและพัฒนาโปรแกรมประยุกต์สำหรับพยากรณ์ผลผลิตอ้อย โดยการพัฒนาแบ่งออกเป็น 2 ส่วนหลัก โดยมีรายละเอียดดังนี้

โปรแกรมตรวจสอบจุดบกพร่องภายในแปลงอ้อยได้ประยุกต์ใช้ระเบียบวิธีการสกัดลักษณะเด่นเชิงสีภาพเข้ามาช่วยในการจำแนกพื้นที่อ้อยและชิ้นส่วนอื่นภายในภาพ และนำมาการคำนวณค่าทางสถิติอย่างง่าย สิ่งที่มีความโดดเด่นของโปรแกรมนี้อีกหนึ่งคือ ผู้ใช้งานสามารถใช้ภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับซึ่งถ่ายในช่วงเวลาใดก็ได้ในตอนกลางวัน จากนั้น โปรแกรมจะตรวจสอบจุดบกพร่องที่อยู่ในภาพแปลงอ้อยซึ่งเป็นสาเหตุของการประเมินผลผลิตที่คาดเคลื่อน เช่น ความไม่สมบูรณ์จากปัญหาการเพาะปลูก ความเสียหายที่เกิดจากความแห้งแล้ง และสภาพแวดล้อมที่ก่อให้เกิดความเสียหายในแปลงอ้อย เป็นต้น แบบจำลองตรวจสอบจุดบกพร่องมีความแม่นยำสูงเมื่อเปรียบเทียบการการระบุจุดบกพร่องโดยผู้เชี่ยวชาญและการเปรียบเทียบผลลัพธ์กับการศึกษาอื่น ๆ พบว่า แบบจำลองสามารถจำแนกอ้อยและวัชพืชในภาพแปลงอ้อยได้ด้วยความถูกต้องรวมอยู่ที่ 96.75 เปอร์เซ็นต์ซึ่งสูงกว่าวิธีการอื่น ๆ ที่วิเคราะห์ในระยะสุกแก่ สำหรับค่าความถูกต้องที่สูงของแบบจำลองเกิดจากการนำกระบวนการตรวจสอบเงาและปรับลดเงาที่เข้ามาช่วยในขั้นตอนเตรียมข้อมูลภาพและที่สำคัญผู้จัดทำได้พัฒนาวิธีการสกัดลักษณะเด่นโดยประยุกต์ใช้ค่าเฉลี่ยและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจาก 13 ตัวกรองร่วมกับวิธีการวิเคราะห์เชิงสีภาพ จากการสกัดลักษณะเด่นผู้จัดทำไม่ได้ใช้ค่าทางสถิติอื่น ๆ เช่น ค่าความโด่ง (Kurtosis) ค่าความเบ้ (Skewness) และค่า

ความแปรปรวน (Variance) เป็นต้น เหมือนกับการศึกษาของ (I. Yano, 2017) ที่มีค่าความถูกต้องอยู่ที่ 82 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งน้อยกว่าวิธีการที่พัฒนาขึ้น

ส่วนโปรแกรมพยากรณ์ผลผลิตอ้อยได้นำปัจจัยทางสภาพแวดล้อมและค่าจุดบกพร่องจากการวิเคราะห์ภาพ ส่งผลให้โปรแกรมพยากรณ์ผลผลิตสามารถประเมินผลผลิตอ้อยในแบบแปลงต่อแปลงได้และยังสามารถประเมินผลผลิตในแปลงอ้อยที่ไม่สมบูรณ์หรือแปลงอ้อยได้รับผลกระทบจากสภาพแวดล้อมก่อให้เกิดความเสียหายในแปลงอ้อยได้ ซึ่งเป็นผลจากการนำอัตราจุดบกพร่องจากการวิเคราะห์ภาพมาขึ้นเป็นปัจจัยหนึ่งในการสร้างแบบจำลองพยากรณ์ผลผลิต แบบจำลองที่พัฒนาขึ้นมีความคลาดเคลื่อนน้อยประมาณ 1.31 เปอร์เซ็นต์ จากข้อมูลการพยากรณ์ผลผลิตเทียบกับข้อมูลที่เกี่ยวข้องได้จริงในปี 2562 แสดงให้เห็นถึงการประเมินผลผลิตของแบบจำลองพยากรณ์ผลผลิตอ้อยมีความแม่นยำกว่าการประเมินของผู้เชี่ยวชาญที่มีความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยประมาณ 30 เปอร์เซ็นต์ในแต่ละปี เมื่อสามารถประเมินผลผลิตได้แม่นยำมากขึ้นจะช่วยให้โรงงานอุตสาหกรรมอ้อยและน้ำตาลสามารถจัดสรรทรัพยากรในฤดูกาลที่เกี่ยวข้องได้อย่างเหมาะสม เช่น แรงงานคนรถตัดอ้อย รถบรรทุกอ้อย ค่าใช้จ่าย และการเก็บเกี่ยวอ้อยให้ทันต่อช่วงเวลาเก็บเกี่ยว เป็นต้น เมื่อโรงงานอุตสาหกรรมสามารถจัดการทรัพยากรที่จำเป็นได้อย่างมีประสิทธิภาพจะส่งผลให้เกษตรกรเผาอ้อยลดลง มลพิษทางอากาศลดลง และช่วยเพิ่มศักยภาพให้กับโรงงานอุตสาหกรรมในการนำเทคโนโลยีการเกษตรสมัยใหม่มาประยุกต์ใช้ต่อไปในอนาคต

### ข้อเสนอแนะ

การดำเนินงานและการออกแบบแบบจำลองเกษตรอัจฉริยะ สำหรับพยากรณ์ผลผลิตอ้อยในส่วนของแบบจำลองตรวจสอบจุดบกพร่องในแปลงอ้อยยังมีข้อจำกัดในเรื่องของการจำแนกพื้นที่อ้อยกับต้นไม้ไม่ได้ เนื่องจากมีลักษณะเด่นเชิงสีภาพที่คล้ายคลึงกันมาก ผู้ที่สนใจสามารถพัฒนาต่อยอดในส่วนนี้ได้ ด้วยการปรับเปลี่ยนกระบวนการสกัดลักษณะเด่นหรือวิธีการวิเคราะห์ด้วยวิธีอื่น


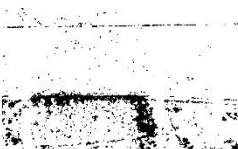


















## ภาคผนวก ก

## ข้อมูลภาพแปลงอ้อยของกระบวนการเตรียมข้อมูล

























กระบวนการปรับลดความเข้มของพื้นที่เงาเป็นอีกขั้นตอนหนึ่งในกระบวนการเตรียมข้อมูลภาพ ก่อนเข้าสู่การสกัดลักษณะเด่นและการพัฒนาแบบจำลอง และดำเนินการต่อจากกระบวนการตรวจสอบพื้นที่เงา ผลลัพธ์แสดงดังตาราง 77 - 88

ตาราง 79 ผลลัพธ์กระบวนการตรวจสอบเงาและปรับลดเงา

























รหัสแปลง	ภาพต้นฉบับ	ตรวจสอบเงา	ปรับลดเงา
10001001			
10001003			
10001005			
10008002			
10015001			
10018001			



























ตาราง 80 ผลลัพธ์กระบวนการตรวจสอบเงาและปรับคดเงา (ต่อ)

รหัสแปลง	ภาพต้นฉบับ	ตรวจสอบเงา	ปรับคดเงา
10025001			
10025004			
10025006			
10026001			
10026003			
10043001			
10073002			
10076002			

























ตาราง 81 ผลลัพธ์กระบวนการตรวจสอบเงาและปรับลดเงา (ต่อ)

รหัสแปลง	ภาพต้นฉบับ	ตรวจสอบเงา	ปรับลดเงา
10076005			
10076007			
10076013			
10081002			
10088001			
10105001			
10141002			
10185001			








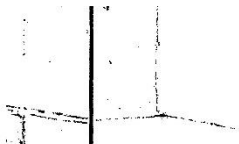
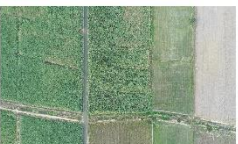










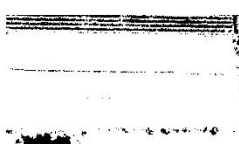




ตาราง 82 ผลลัพธ์กระบวนการตรวจสอบเงาและปรับลดเงา (ต่อ)

รหัสแปลง	ภาพต้นฉบับ	ตรวจสอบเงา	ปรับลดเงา
10194001			
10198001			
10223006			
10262001			
10268001			
10380001			
10455001			
10677001			














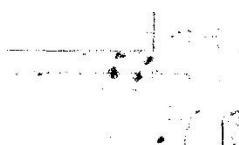










ตาราง 83 ผลลัพธ์กระบวนการตรวจสอบเงาและปรับคดเงา (ต่อ)

รหัสแปลง	ภาพต้นฉบับ	ตรวจสอบเงา	ปรับคดเงา
10679001			
10682001			
10685001			
10694010			
10703001			
10710001			
10711001			
11102001			

























ตาราง 84 ผลลัพธ์กระบวนการตรวจสอบเงาและปรับคดเงา (ต่อ)

รหัสแปลง	ภาพต้นฉบับ	ตรวจสอบเงา	ปรับคดเงา
11260011			
11566001			
11598001			
11635005			
11768001			
14616003			
15288001			
15315001			

























ตาราง 85 ผลลัพธ์กระบวนการตรวจสอบเงาและปรับคดเงา (ต่อ)

รหัสแปลง	ภาพต้นฉบับ	ตรวจสอบเงา	ปรับคดเงา
15378001			
15469001			
15476001			
15735002			
21747002			
21944006			
24724003			
25059001			

ตาราง 86 ผลลัพธ์กระบวนการตรวจสอบเงาและปรับคดเงา (ต่อ)

























รหัสแปลง	ภาพต้นฉบับ	ตรวจสอบเงา	ปรับคดเงา
25238023			
25492012			
26349001			
26559001			
30854001			
30885001			
30894001			
30898002			

ตาราง 87 ผลลัพธ์กระบวนการตรวจสอบเงาและปรับคดเงา (ต่อ)

























รหัสแปลง	ภาพต้นฉบับ	ตรวจสอบเงา	ปรับคดเงา
30906006			
30906010			
30906018			
30931002			
30937003			
30947003			
30951001			
30960001			















ตาราง 88 ผลลัพธ์กระบวนการตรวจสอบเงาและปรับลดเงา (ต่อ)

รหัสแปลง	ภาพต้นฉบับ	ตรวจสอบเงา	ปรับลดเงา
30960002			
30967001			
33594003			
41527001			
46812007			
50441003			
54394004			
55645002			

ตาราง 89 ผลลัพธ์กระบวนการตรวจสอบเงาและปรับคดเงา (ต่อ)

รหัสแปลง	ภาพต้นฉบับ	ตรวจสอบเงา	ปรับคดเงา
56012002			
56012003			
65197001			
65560002			
73510001			
75590002			
75822001			
84059004			

ตาราง 90 ผลลัพธ์กระบวนการตรวจสอบเงาและปรับคดเงา (ต่อ)




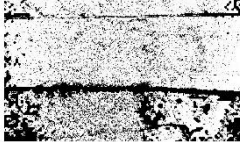







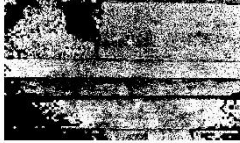



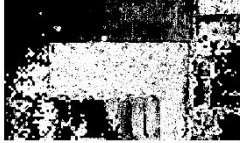


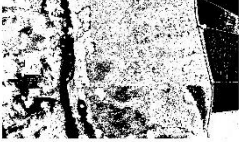





รหัสแปลง	ภาพต้นฉบับ	ตรวจสอบเงา	ปรับคดเงา
86211001			
99405020			
99457001			
99567002			

## ภาคผนวก ข



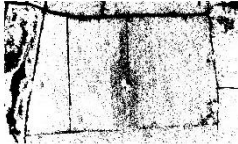



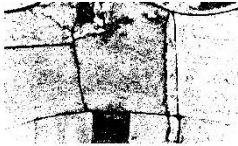
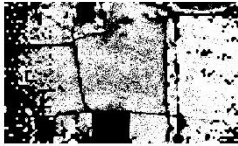










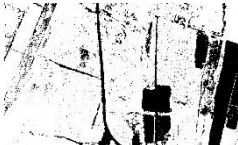




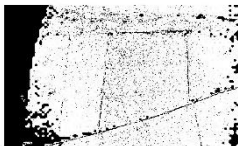

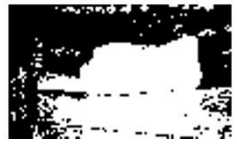

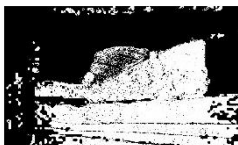



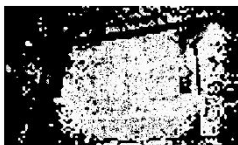
## ข้อมูลภาพของกระบวนการตรวจสอบจุดบกพร่อง

กระบวนการตรวจสอบจุดบกพร่องมี 2 กระบวนการที่มีความเกี่ยวข้องหลัก ได้แก่ กระบวนการจำแนกพื้นที่อ้อย และกระบวนการเลือกเมล็ดร่วมกัน ผลลัพธ์แสดงดังตาราง 89 - 100







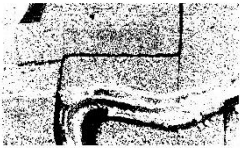




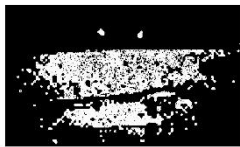

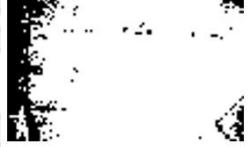







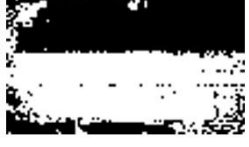







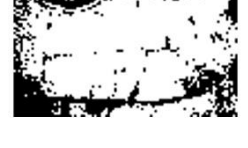
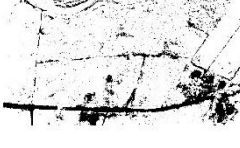

ตาราง 91 ผลลัพธ์กระบวนการตรวจสอบจุดบกพร่อง

ปรับลดเงา	ตรวจสอบพื้นที่อ้อย	เลือกเมล็ด	ตรวจจุดบกพร่อง
			
			
			
			
			
			



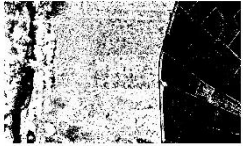
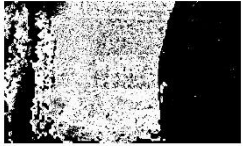






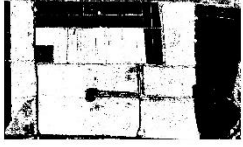



















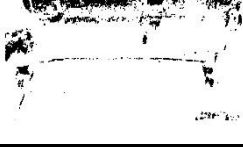
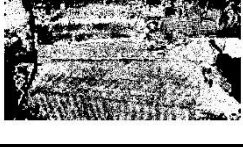
ตาราง 92 ผลลัพธ์กระบวนการตรวจสอบจุดบกพร่อง(ต่อ)

ปรับลดเงา	ตรวจสอบพื้นที่อ้อย	เลือกเมล็ด	ตรวจจุดบกพร่อง
			
			
			
			
			
			
			
			







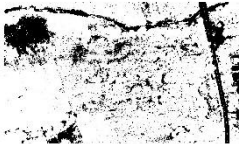
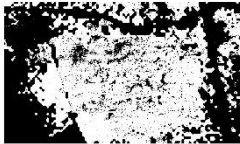











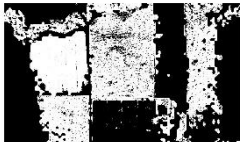



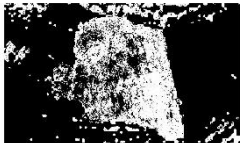





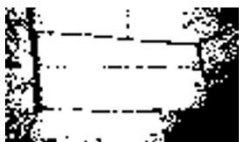
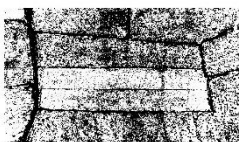
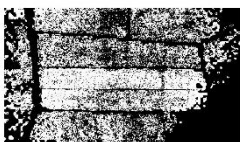
ตาราง 93 ผลลัพธ์กระบวนการตรวจสอบจุดบกพร่อง(ต่อ)

ปรับลดเงา	ตรวจสอบพื้นที่อ้อย	เลือกเมล็ดสี	ตรวจจุดบกพร่อง
			
			
			
			
			
			
			
			

ตาราง 94 ผลลัพธ์กระบวนการตรวจสอบจุดบกพร่อง(ต่อ)



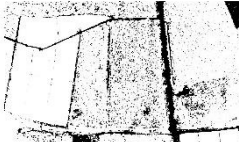




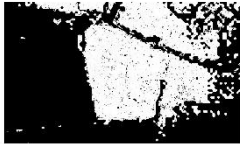


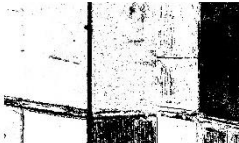












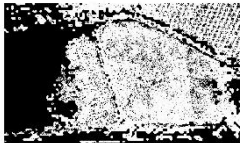
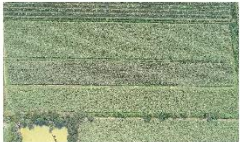







ปรับลดเงา	ตรวจสอบพื้นที่อ้อย	เลือกเมล็ดดี	ตรวจจุดบกพร่อง
			
			
			
			
			
			
			
			

ตาราง 95 ผลลัพธ์กระบวนการตรวจสอบจุดบกพร่อง(ต่อ)






















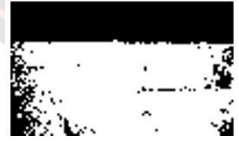
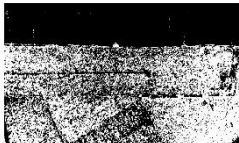
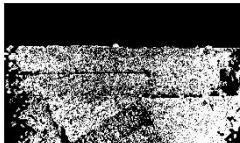


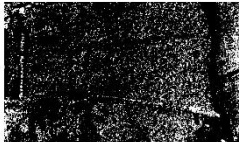
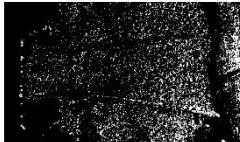




ปรับลดเงา	ตรวจสอบพื้นที่อ้อย	เลือกเมล็ดดี	ตรวจจุดบกพร่อง
			
			
			
			
			
			
			
			









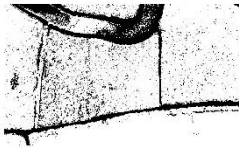
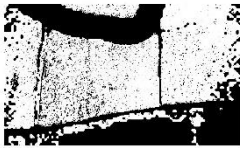










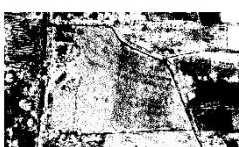
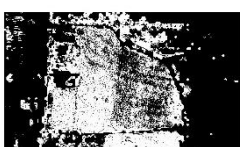












ตาราง 96 ผลลัพธ์กระบวนการตรวจสอบจุดบกพร่อง(ต่อ)

ปรับลดเงา	ตรวจสอบพื้นที่อ้อย	เลือกเมล็ด	ตรวจจุดบกพร่อง
			
			
			
			
			
			
			
			



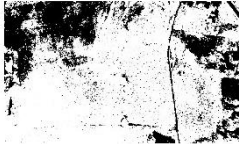
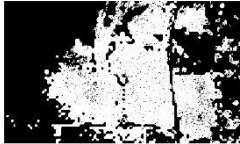






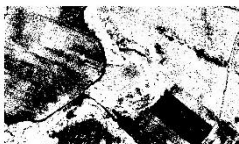
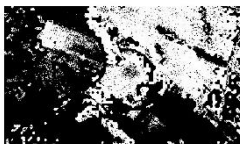



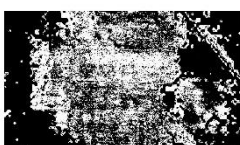










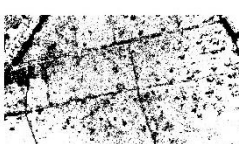
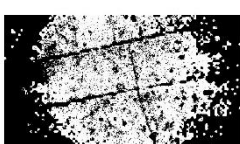



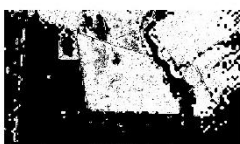
ตาราง 97 ผลลัพธ์กระบวนการตรวจสอบจุดบกพร่อง(ต่อ)

ปรับลดเงา	ตรวจสอบพื้นที่อ้อย	เลือกเมล็ดดี	ตรวจจุดบกพร่อง
			
			
			
			
			
			
			
			







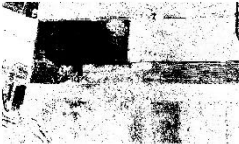




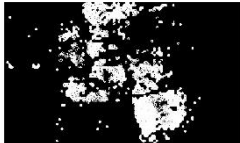






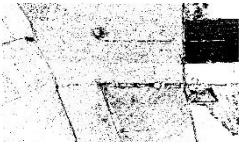








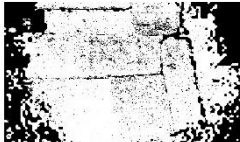




ตาราง 98 ผลลัพธ์กระบวนการตรวจสอบจุดบกพร่อง(ต่อ)

ปรับลดเงา	ตรวจสอบพื้นที่อ้อย	เลือกเมล็ดดี	ตรวจจุดบกพร่อง
			
			
			
			
			
			
			
			




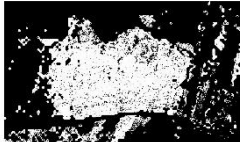


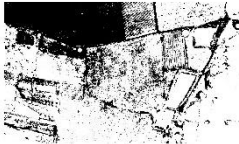
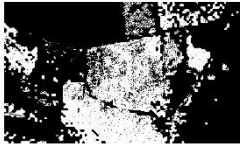



















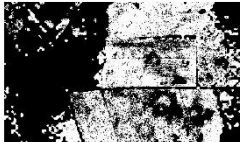




ตาราง 99 ผลลัพธ์กระบวนการตรวจสอบจุดบกพร่อง(ต่อ)

ปรับคณา	ตรวจสอบพื้นที่อ้อย	เลือกเมล็ด	ตรวจจุดบกพร่อง
			
			
			
			
			
			
			
			







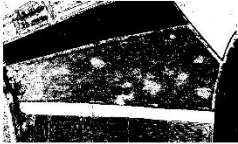




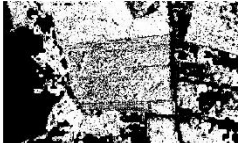




ตาราง 100 ผลลัพธ์กระบวนการตรวจสอบจุดบกพร่อง (ต่อ)

ปรับลดเงา	ตรวจสอบพื้นที่อ้อย	เลือกเมล็ดดี	ตรวจจุดบกพร่อง
			
			
			
			
			
			
			
			

ตาราง 101 ผลลัพธ์กระบวนการตรวจสอบจุดบกพร่อง (ต่อ)

ปรับลดเงา	ตรวจสอบพื้นที่อ้อย	เลือกเมล็ดดี	ตรวจจุดบกพร่อง
			
			
			
			
			
			
			
			

ตาราง 102 ผลลัพธ์กระบวนการตรวจสอบจุดบกพร่อง (ต่อ)

ปรับลดเงา	ตรวจสอบพื้นที่อ้อย	เลือกเมล็ดสี	ตรวจจุดบกพร่อง
			
			
			
			

## ภาคผนวก ก

## ผู้เชี่ยวชาญที่ร่วมดำเนินการตรวจสอบแบบผลการทดลอง

ผู้เชี่ยวชาญ หมายถึง ผู้ที่ดำเนินการระบุพื้นที่เงาและไม่ใช่พื้นที่เงาของกระบวนการทดสอบประสิทธิภาพของการตรวจสอบพื้นที่เงา ระบุพื้นที่อ้อยและไม่ใช่พื้นที่อ้อยกระบวนการทดสอบประสิทธิภาพการจำแนกพื้นที่อ้อย และระบุจุดบกพร่องในแปลงอ้อยของกระบวนการทดสอบประสิทธิภาพของการตรวจสอบจุดบกพร่องในแปลงอ้อย โดยการระบุจะแบ่งส่วนภาพออกเป็นตารางขนาด 100 x 100 พิกเซล ลงไปยังภาพขนาด 3,000 x 5,000 พิกเซล จะทำให้ได้พื้นที่พิจารณาทั้งหมด 1,500 ส่วน จากนั้นนำภาพให้ผู้เชี่ยวชาญระบุชิ้นส่วนแต่ละชิ้น โดยมีข้อตกลงการระบุพื้นที่เงาภายในช่องมากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ของแต่ละชิ้นส่วน โดยผู้เชี่ยวชาญใช้โปรแกรม Microsoft Power Point ในการทำเครื่องหมาย

## ตาราง 103 รายชื่อผู้เชี่ยวชาญ

ลำดับ	ชื่อ - นามสกุล	ตำแหน่งงาน	ประสบการณ์
1	นายเกริกฤทธิ์ ชัยสวัสดิ์	ผู้จัดการฝ่ายส่งเสริมไร่	2556- 2564 ( 8 ปี)
2	นางสาวอรุณรี เสงมล	หัวหน้าหน่วยงานสารสนเทศ	2553- 2564 (11 ปี)
3	นายสุรศักดิ์ ขอนทอง	พนักงานสำรวจไร่	2562- 2564 (2 ปี)
4	นายนพดล จันมาก	พนักงานฝ่ายสารสนเทศ ดูแลระบบ	2559- 2564 (5 ปี)

แหล่งข้อมูล : บริษัท น้ำตาลนครเพชร จำกัด

สำนักงานใหญ่ : เลขที่ 408/144 อาคารพหลโยธินเพลส ชั้น34 ถนนพหลโยธิน แขวงสามเสนใน เขตพญาไท กรุงเทพฯ 10400

โรงงาน : 333 หมู่ 9 ถนนกำแพงเพชร-ท่ามะเขือ ตำบลเทพนคร อำเภอเมือง จังหวัดกำแพงเพชร 62000



## บรรณานุกรม

- Adisa, Omolola M, Botai, Joel O, Adeola, Abiodun M, Hassen, Abubeker, Botai, Christina M, Darkey, Daniel และคณะ. (2019). Application of Artificial Neural Network for Predicting Maize Production in South Africa. **Sustainability**, 11(4), 1145.
- Ahmed, Taqwa, Md Siraj, Maheyzah, Zainal, Anazida, Elshoush, Huwaida และElhaj, Fatin. (2016). Feature Selection Using Information Gain for Improved Structural-Based Alert Correlation. **PLOS ONE**, 11, e0166017. doi: 10.1371/journal.pone.0166017
- Anoopa, S., Dhanya, V. และKizhakkethottam, Jubilant. (2016). Shadow Detection and Removal Using Tri-Class Based Thresholding and Shadow Matting Technique. **Procedia Technology**, 24, 1358-1365. doi: 10.1016/j.protcy.2016.05.148
- Berrar, Daniel. (2018). Cross-Validation. In บรรณานุกรม (Ed.),^(Eds.).
- Boonpook, Wuttichai, Tan, Yumin, Ye, Yinghua, Torteeka, Peerapong, Torsri, Kritanai และDong, Shengxian. (2018). A Deep Learning Approach on Building Detection from Unmanned Aerial Vehicle-Based Images in Riverbank Monitoring. **Sensors**, 18, 3921. doi: 10.3390/s18113921
- Dare, Paul. (2005). Shadow Analysis in High-Resolution Satellite Imagery of Urban Areas. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, 71, 169-177. doi: 10.14358/PERS.71.2.169
- Dong, Shiwei, Li, Hong และSun, Danfeng. (2017). Fractal Feature Analysis and Information Extraction of Woodlands Based on MODIS NDVI Time Series. **Sustainability**, 9, 1215. doi: 10.3390/su9071215
- Girolamo Neto, Cesare, Sanches, Ieda, Neves, Alana, Prudente, Victor, Körting, Thales, Picoli, Michelle และคณะ. (2019). Assessment of Texture Features for Bermudagrass (Cynodon dactylon) Detection in Sugarcane Plantations. **Drones**, 3. doi: 10.3390/drones3020036
- Gonzalez, Rafael และFaisal, Zahraa. (2019). **Digital Image Processing Second Edition**.
- Hammer, Ralph G., Sentelhas, Paulo C. และMariano, Jean C. Q. (2020). Sugarcane Yield Prediction Through Data Mining and Crop Simulation Models. **Sugar Tech**, 22(2), 216-225. doi: 10.1007/s12355-019-00776-z

- Han, Jiawei. (2006). **Data Mining: Concepts and Techniques**. Simon Fraser University: Morgan Kaufmann Publishers.
- Hiary, Hazem, Zaghoul, Rawan and Al-Zoubi, Moh'd Belal. (2018). Single-Image Shadow Detection using Quaternion Cues. **The Computer Journal**, 61. doi: 10.1093/comjnl/bxy004
- Imandoust, S. B. and Bolandraftar, Mohammad. (2013). Application of K-nearest neighbor (KNN) approach for predicting economic events theoretical background. **Int J Eng Res Appl**, 3, 605-610.
- Janošcová, Renata. (2016). **Mining Big Data in WEKA**.
- Jaree Thongkam, Vatinee Sukmak. ((2017). Enhancing the performance of association rule models by filtering instances in colorectal cancer patients. **Engineering and Applied Science Research**, 44(2), 76-83.
- Kerkech, Mohamed, Hafiane, Adel and Canals, Raphael. (2018). Deep learning approach with colorimetric spaces and vegetation indices for vine diseases detection in UAV images. **Computers and Electronics in Agriculture**, 155, 237-243. doi: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.10.006>
- Kumar, Sachin, Mishra, Sumita, Khanna, Pooja and Pragya. (2017). Precision Sugarcane Monitoring Using SVM Classifier. **Procedia Computer Science**, 122, 881-887. doi: <https://doi.org/10.1016/j.procs.2017.11.450>
- Liu, B., Shi, Y., Duan, Yulin and Wu, W. (2018). UAV-BASED CROPS CLASSIFICATION WITH JOINT FEATURES FROM ORTHOIMAGE AND DSM DATA. **ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**, XLII-3, 1023-1028. doi: 10.5194/isprs-archives-XLII-3-1023-2018
- Luna, Inti. (2016). Mapping Crop Planting Quality in Sugarcane from UAV Imagery: A Pilot Study in Nicaragua. **Journal of Remote Sensing**, 2016. doi: 10.3390/rs8060500
- Ma, Juncheng, Du, Keming, Zheng, Feixiang, Zhang, Lingxian and Sun, Zhongfu. (2019). A segmentation method for processing greenhouse vegetable foliar disease symptom images. **Information Processing in Agriculture**, 6(2), 216-223. doi: <https://doi.org/10.1016/j.inpa.2018.08.010>
- Marcari, Marcos, Rolim, Glauco and Aparecido, Lucas Eduardo. (2015). Agrometeorological models

- for forecasting yield and quality of sugarcane. **Australian Journal of Crop Science**, 9, 1049.
- Matese, Alessandro and Di Gennaro, Salvatore Filippo. (2018). Practical Applications of a Multisensor UAV Platform Based on Multispectral, Thermal and RGB High Resolution Images in Precision Viticulture. **Agriculture**, 8(7), 116.
- Mink, Robin, Dutta, Avishek, Peteinatos, Gerassimos G., Sökefeld, Markus, Engels, Johannes Joachim, Hahn, Michael and others. (2018). Multi-Temporal Site-Specific Weed Control of *Cirsium arvense* (L.) Scop. and *Rumex crispus* L. in Maize and Sugar Beet Using Unmanned Aerial Vehicle Based Mapping. **Agriculture**, 8(5), 65.
- Movia, Alessia, Beinat, Alberto and Crosilla, Fabio. (2016). Shadow detection and removal in RGB VHR images for land use unsupervised classification. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, 119. doi: 10.1016/j.isprsjprs.2016.05.004
- Nag, Sayan. (2017). Image Registration Techniques: A Survey. doi: 10.17605/OSF.IO/RV65C
- Natarajan, Rajathi, Subramanian, Jayashree and Papageorgiou, Elpiniki. (2016). Hybrid learning of fuzzy cognitive maps for sugarcane yield classification. **Computers and Electronics in Agriculture**, 127, 147-157. doi: 10.1016/j.compag.2016.05.016
- Omnong Buket, Pusadee Seresangtakul. (2013). Sugarcane Production Forecasting Model of the Northeastern by Artificial Neural Network. **KKU Science Journal**, 41(1), 213-225.
- Oooka, Kanaru and Oguchi, Toshiki. (2016). Estimation of Synchronization Patterns of Chaotic Systems in Cartesian Product Networks with Delay Couplings. **International Journal of Bifurcation and Chaos**, 26, 1630028. doi: 10.1142/S0218127416300287
- Park, Ki, Kim, Jae and Kim, Yoon. (2018). Shadow detection using chromaticity and entropy in colour image. **International Journal of Information Technology and Management**, 17, 44. doi: 10.1504/IJITM.2018.089454
- Petrou, Maria and Sevilla, Pedro Garcia. (2006). **Image processing: dealing with texture**: Wiley.
- Prathumchai, Kulapramote, Nagai, Masahiko, Tripathi, Nitin K and Sasaki, Nophea. (2018). Forecasting transplanted rice yield at the farm scale using moderate-resolution satellite imagery and the AquaCrop model: A case study of a rice seed production community in thailand. **ISPRS International Journal of Geo-Information**, 7(2), 73.
- Rahman, Muhammad and Robson, Andrew. (2016). A Novel Approach for Sugarcane Yield

- Prediction Using Landsat Time Series Imagery: A Case Study on Bundaberg Region. **Advances in Remote Sensing**, 5, 93-102. doi: 10.4236/ars.2016.52008
- Sahu, Omprakash. (2018). Assessment of sugarcane industry: Suitability for production, consumption, and utilization. **Annals of Agrarian Science**, 16(4), 389-395. doi: <https://doi.org/10.1016/j.aasci.2018.08.001>
- Sanches, Guilherme, Duft, Daniel, Kölln, Oriël, Luciano, Ana, Castro, Sergio, Okuno, Fabio และ นณณ. (2018). The potential for RGB images obtained using unmanned aerial vehicle to assess and predict yield in sugarcane fields. **International Journal of Remote Sensing**, 1-13. doi: 10.1080/01431161.2018.1448484
- Saranya, C. และ Manikandan, G. (2013). A study on normalization techniques for privacy preserving data mining. 5, 2701-2704.
- Shahtahmassebi, AmirReza, Yang, Ning, Wang, Ke, Moore, Nathan และ Shen, Zhangquan. (2013). Review of shadow detection and de-shadowing methods in remote sensing. **Chinese Geographical Science**, 23(4), 403-420. doi: 10.1007/s11769-013-0613-x
- Som-ard, Jaturong, Hossain, Mohammad, Ninsawat, Sarawut และ Veerachitt, Vorraveerukorn. (2018). Pre-harvest Sugarcane Yield Estimation Using UAV-Based RGB Images and Ground Observation. **Sugar Tech**. doi: 10.1007/s12355-018-0601-7
- Srikamdee, Supawadee, Rimcharoen, Sunisa และ Leelathakul, Nutthanon. (2018). **Sugarcane Yield and Quality Forecasting Models: Adaptive ES vs. Deep Learning**.
- Suny, Ashrafal และ Mithila, Nasrin Mithila. (2013). A Shadow Detection and Removal from a Single Image Using LAB color Space. **International Journal of Computer Science Issues (IJCSI)**, 10.
- Tanut, Bhoomin และ Riyamongkol, Panomkhawn. (2020). The Development of a Defect Detection Model from the High-Resolution Images of a Sugarcane Plantation Using an Unmanned Aerial Vehicle. **Information**, 11(3), 136.
- Tiwari, Arti, Singh, Pradeep และ Amin, Sobia. (2016). **A survey on Shadow Detection and Removal in images and video sequences**.
- WorkWithColor.com. (2019). The Color Wheel. Retrieved December 10, 2019., 2019, from <http://www.workwithcolor.com/the-color-wheel-0666.htm>
- Xiao, Yao. (2014). **Shadow Removal from Single RGB-D Images**.

- Yano, Inacio. (2017). Weed Identification in Sugarcane Plantation Through Images Taken from Remotely Piloted Aircraft (RPA) and kNN Classifier. **Journal of Food and Nutrition Sciences**, 5, 211. doi: 10.11648/j.jfns.20170506.11
- Yano, Inacio H., Alves, Jose R., Santiago, Wesley E. และ Mederos, Barbara J. T. (2016). Identification of weeds in sugarcane fields through images taken by UAV and Random Forest classifier. **IFAC-PapersOnLine**, 49(16), 415-420. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2016.10.076>
- Ye, Q., Xie, H. และ Xu, Q. (2012). REMOVING SHADOWS FROM HIGH-RESOLUTION URBAN AERIAL IMAGES BASED ON COLOR CONSTANCY. **Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.**, XXXIX-B3, 525-530. doi: 10.5194/isprsarchives-XXXIX-B3-525-2012
- Zeng, Xiangxiang, Yuan, Sisi, Li, You และ Zou, Quan. (2014). Decision Tree Classification Model for Popularity Forecast of Chinese Colleges. **Journal of Applied Mathematics**, 2014, 675806. doi: 10.1155/2014/675806
- ชาวลีตร แสงอุทัย (2561, 14 ธันวาคม 2561). [บรรยายสรุปจังหวัดกำแพงเพชร. การตรวจเยี่ยมมหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร และการติดตามการดำเนินงานตามแผนยุทธศาสตร์ของ พลเอกดาวพงษ์ รัตนสุวรรณ องคมนตรี].
- เอกสิทธิ์ พัทธวงศ์ศักดิ์. (2557). การวิเคราะห์ข้อมูลด้วยเทคนิคดาต้า ไม่นิ่ง เบื้องต้น. กรุงเทพฯ: บริษัท เอเชีย ดิจิตอลการพิมพ์ จำกัด. กรุงเทพฯ: บริษัท เอเชีย ดิจิตอลการพิมพ์ จำกัด.
- แผนงานพัฒนาที่ดิน, กลุ่มงานสารสนเทศ. (2553). กลุ่มชุดดิน 62 กลุ่ม. Retrieved 21 กรกฎาคม 2562, 2553, from [http://www.ldd.go.th/thaisoils\\_museum/62\\_soilgroup/main\\_62soilgroup.htm](http://www.ldd.go.th/thaisoils_museum/62_soilgroup/main_62soilgroup.htm)
- ไชยนา, อัครพล (2562). เทคนิคการรับรู้ระยะไกลเพื่อตรวจแปลงข้าวที่พร้อมเก็บเกี่ยวโดยใช้ดาวเทียม Sentinel 2 กรณีศึกษาในอำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม. วิทยานิพนธ์การศึกษาระดับปริญญาโท สาขาเทคโนโลยีสารสนเทศ, มหาวิทยาลัยมหาสารคาม, มหาวิทยาลัยมหาสารคาม.
- กลุ่มงานสารสนเทศสำนักงานเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ. (2558, 19 ตุลาคม 2558). ระบบเครื่องรับรู้. Retrieved 19 มิถุนายน 2562, 2562, from <https://gistda.or.th/main/th/node/976>
- กลุ่มงานสำนักงานคณะกรรมการนโยบายเขตพัฒนาพิเศษภาคตะวันออก. (2561, 1 มกราคม 2561). อุตสาหกรรมที่ได้รับการส่งเสริม. Retrieved 19 มิถุนายน 2562, 2562, from <https://www.eeco.or.th/การลงทุน/อุตสาหกรรมที่ได้รับการส่งเสริม>
- กลุ่มสารสนเทศอุตสาหกรรมอ้อยและน้ำตาลทราย. (2560). รายงานการผลิต. Retrieved 19, 2562, from

<http://www.ocsb.go.th/th/cms/detail.php?ID=923&SystemModuleKey=journal>

กลุ่มสารสนเทศอุตสาหกรรมอ้อยและน้ำตาลทราย. (2561). รายงานการผลิต. Retrieved 19, 2562, from

<http://www.ocsb.go.th/th/cms/detail.php?ID=923&SystemModuleKey=journal>

กิตติยา พูนศิลป์. (2561). การพัฒนาระบบรู้จำลายฝ่าเท้าพื้นบ้าน. **Veridian E-Journal**, 11(3), 2063 - 2064.

จิรวัดเน้ เท็ดพิทักษ์พงษ์. (2559). คู่มือการจัดการไร้อ้อยอย่างยั่งยืน. สำนักพัฒนาอุตสาหกรรมอ้อย น้ำตาลทราย และอุตสาหกรรมต่อเนื่อง: สำนักพัฒนาอุตสาหกรรมอ้อย น้ำตาลทราย และอุตสาหกรรมต่อเนื่อง

Retrieved from <http://www.ocsb.go.th/upload/journal/fileupload/144-4003.pdf>.

ณรงค์ฤทธิ์ เหลืองดิลก. (2556). การพยากรณ์ฝนโดยใช้แบบจำลอง Modified K-Nearest Neighbor : กรณีศึกษากลุ่มน้ำชี.

วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

นศักร์พาดิน ชินปัญช์ชนะ, และสุรเดช บุญดือ (2558). การประยุกต์ใช้เทคนิคการประมวลผลภาพ เพื่อคัดกรองภาวะตัวเหลืองในทารกแรกเกิด. วารสารพยาบาลตำรวจ, 7(1), 165-182.

นุจรินทร์ พึ่งพา และอรรถสิทธิ์ บุญธรรม. (2555). การศึกษาปริมาณน้ำที่เหมาะสมในแต่ละช่วงของอายุการเจริญเติบโตของอ้อย. รายงานสืบเนื่องการประชุมวิชาการแห่งชาติ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน(9), 2241-2247.

บัณฑิต ผาณิตพิเชษฐวงศ์ (2560, 24 มิถุนายน 2560). [บรรยายสรุปปัญหาและความต้องการของโรงงานน้ำตาลนครเพชร].

ผิน ฉัตรแก้วมณี และสมนึก กิริโต. (2561). การบีบอัดข้อมูลภาพแบบแฟรกตอลสำหรับภาพสี. วิทยานิพนธ์

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์

ภรณ์ชา ปาลวิสุทธิ อภินันท์ จุณกรณ์, มงคล รอดจันทร์ และ ธานิล ม่วงพูล. (2563). การพัฒนาระบบวิเคราะห์ข้อมูลเศรษฐกิจชุมชนเพื่อสนับสนุนการตัดสินใจด้วยเทคนิคเหมืองข้อมูล. วารสารวิชาการการจัดการเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม, 7(2), 72-83.

ภูมินทร์ ดันอุดม. (2557). การประยุกต์ใช้โครงข่ายประสาทเทียมในการสั่งงานด้วยเสียงเพื่อรู้จำอักษรเบรลล์สำหรับผู้พิการทางสายตา. วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

ภูมินทร์ ดันอุดม. (2560). การพัฒนาโปรแกรมตรวจกระดาษคำตอบปรนัยแบบเลือกตอบด้วยวิธีการประมวลผลภาพ. วารสารวิชาการ วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์, 9(10), 113 – 126.

มหศักดิ์ เกตุมา. (2561). **IMAGE SEGMENTATION**. กรุงเทพฯ: คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

มานะ ไช้ถอม. (2552). เครื่องมือนิตเตอร์เสียงหัวใจแบบสองช่องสัญญาณ. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, สาขาวิชาอุปกรณ์การแพทย์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

วัชรวิวรรณ จิตต์สกุล, สุนันทา สดสี. (2561). การประยุกต์ใช้อัลกิริทิมป่าสุ่มและทฤษฎีกราฟสำหรับวิเคราะห์

- ข้อความ. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 27(1), 42-55. doi: 10.14456/tstj.2019.4
- วีรพันธ์ พงสภักดี. (2541). การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงกลุ่ม : ทฤษฎีและการประยุกต์ (กับ GLIM และ SPSS / FW). นครปฐม : ภาควิชาคณิตศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตพระราชวังสนามจันทร์, 2541; นครปฐม : ภาควิชาคณิตศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตพระราชวังสนามจันทร์, 2541.
- สถาบันสำรวจและติดตามการปลูกพืชเสพติด. (2558, 8 กรกฎาคม 2558). การจัดการองค์ความรู้อากาศยานไร้คนขับเพื่อการสำรวจพืชเสพติด. Retrieved 19 มิถุนายน 2562 2562, from <https://www.oncb.go.th/ncsmi/doc3/อากาศยานไร้คนขับเพื่อการสำรวจพืชเสพติด.pdf>
- สายชล, สันสมบูรณ์ทอง. (2561). การเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการทำนายผลความไม่สมดุลของข้อมูลในสแนกจำแนกด้วยเทคนิคการทำเหมืองข้อมูล. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 28(3), 383-393. doi: 10.14456/tstj.2020.31
- หอการค้าไทย. (2560, 10 ตุลาคม 2560). สรุปบทวิเคราะห์ทางเศรษฐกิจจากธนาคารกสิกรไทย. Retrieved 19 มิถุนายน 2562 2562, from <https://www.thaichamber.org/content/file/document/1103171509698871.pdf>
- อรอนงค์ บุญฤดี และ พุทธิศรี ศิริแสงตระกูล. (2556). แบบจำลองการพยากรณ์ปริมาณอ้อยของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ โดยการใช้โครงข่ายประสาทเทียม. วารสารวิทยาศาสตร์ มข., 41(1), 13.





## ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ-นามสกุล	ภูมินทร์ ต้นอุตม์
วัน เดือน ปี เกิด	12 มีนาคม 2533
ที่อยู่ปัจจุบัน	8/3 หมู่ 2 ต.บ้านฝาย อ.น้ำปาด จ.อุตรดิตถ์ 53110
ที่ทำงานปัจจุบัน	ประกอบอาชีพอาจารย์ 6 ปี
ตำแหน่งหน้าที่ปัจจุบัน	อาจารย์โปรแกรมวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร
ประสบการณ์การทำงาน	อาจารย์ผู้สอนหลักสูตรวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ตาก อาจารย์ผู้สอนหลักสูตรคอมพิวเตอร์ธุรกิจ วิทยาลัยอาชีวศึกษาพิษณุโลก อาจารย์ผู้สอนหลักสูตรวิทยาการคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร
ประวัติการศึกษา	ปริญญาโท วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต วิศวกรรมคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต วิศวกรรมคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ตาก
ผลงานตีพิมพ์	ภูมินทร์ ต้นอุตม์ และกรกช ชันทบุญ. (2559). การประยุกต์ใช้เว็บสปีสเอฟไอในการรู้จำเสียงภาษาไทย. รายงานสืบเนื่องจากการประชุมวิชาการระดับชาติ ครั้งที่ 3 วันที่ 22 ธันวาคม 2559 สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร ภูมินทร์ ต้นอุตม์, กิรศักดิ์ พะยะ และชนสิทธิ์ นิตยประภา (2560). การพัฒนาโปรแกรมสำหรับการวิเคราะห์ขนาดภาพดอกดาวเรือง ด้วยเทคนิคการประมวลผลภาพ. รายงานสืบเนื่องจากการประชุมวิชาการระดับชาติ ครั้งที่ 4 วันที่ 22 ธันวาคม 2559 สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร, ภูมินทร์ ต้นอุตม์. (2560). การพัฒนาโปรแกรมตรวจกระดาษคำตอบแบบเลือกตอบ. วารสารทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ปีที่ 9 ฉบับที่ 10 กรกฎาคม 2560 – ธันวาคม 2560 ภูมินทร์ ต้นอุตม์, ณัฐกร ขำสุวรรณ. (2562). การพัฒนาเครื่องต้นแบบคัด

แยกดอกดาวเรืองโดยใช้วิธีการประมวลผลภาพ. วารสารทางด้าน  
วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ปีที่ 11ฉบับที่ 13 มกราคม –มิถุนายน 2562

Tanut, B.; Riyamongkol, P. The Development of a Defect Detection  
Model from the High-Resolution Images of a Sugarcane Plantation Using  
an Unmanned Aerial Vehicle. Information 2020, 11, 136.

<https://doi.org/10.3390/info11030136>

