



อุปกรณ์เก็บตัวอย่างฝุ่นตก พร้อมระบบป้องกันน้ำฝนอัตโนมัติโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์



วิทยานิพนธ์เสนอบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยนเรศวร
เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
ปีการศึกษา 2565
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยนเรศวร

อุปกรณ์เก็บตัวอย่างฝุ่นตก พร้อมระบบป้องกันน้ำฝนอัตโนมัติโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์



วิทยานิพนธ์เสนอบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยนเรศวร
เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
ปีการศึกษา 2565
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยนเรศวร

วิทยานิพนธ์ เรื่อง "อุปกรณ์เก็บตัวอย่างฝุ่นตก พร้อมระบบป้องกันน้ำฝนอัตโนมัติโดยใช้พลังงาน
แสงอาทิตย์"

ของ สุทธิพงษ์ ดอนดี

ได้รับการพิจารณาให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์
(ดร.วิน ไตรวิทยานุรักษ์)

..... ประธานที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปาจรีย์ ทองสนิท)

..... กรรมการผู้ทรงคุณวุฒิภายใน
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิลาวัลย์ คณิตชัยเดชา)

..... กรรมการผู้ทรงคุณวุฒิภายใน
(ดร.สุภาวรรณ ศรีรัตนา)

อนุมัติ

.....
(รองศาสตราจารย์ ดร.กรองกาญจน์ ชูทิพย์)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ชื่อเรื่อง	อุปกรณ์เก็บตัวอย่างฝุ่นตก พร้อมระบบป้องกันน้ำฝนอัตโนมัติโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์
ผู้วิจัย	สุทธิพงษ์ ดอนดี
ประธานที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปจรรย์ ทองสนิท
ประเภทสารนิพนธ์	วิทยานิพนธ์ วศ.ม. วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม, มหาวิทยาลัยนเรศวร, 2565
คำสำคัญ	อุปกรณ์เก็บตัวอย่างฝุ่นตก, เซลล์แสงอาทิตย์, มอเตอร์ไฟฟ้า

บทคัดย่อ

การตรวจวัดฝุ่นละอองในบรรยากาศโดยทั่วไป มีหลากหลายวิธีที่ต่างกันตามขนาดของฝุ่นละออง สำหรับการตรวจวัดฝุ่นละอองรวมมีวิธีการที่ได้รับความนิยม คือ การตรวจวัดด้วยเทคนิคเชิงกราวิเมตริกหรือการตกตะกอนออกจากบรรยากาศโดยแรงโน้มถ่วงของโลกโดยใช้อุปกรณ์เก็บตัวอย่างฝุ่นตก (Dust-fall Jar) เทคนิคนี้จัดเป็นการเก็บรวบรวมอนุภาคเพื่อตรวจสอบคุณภาพอากาศอย่างง่าย อุปกรณ์ประกอบด้วยภาชนะรูปร่างทรงกระบอกมีปลายเปิดด้านบนสำหรับรองรับฝุ่นละอองที่ตกลงสู่ภาชนะตามแรงโน้มถ่วงของโลก โดยภาชนะจะถูกจัดวางไว้บนขาตั้งให้สูงกว่าพื้นดินประมาณ 2 เมตร ซึ่งทำให้ผู้วิจัยได้สังเกตเห็นถึงข้อจำกัดของอุปกรณ์ คือ หากทำการเก็บตัวอย่างฝุ่นในช่วงฤดูฝนจะทำให้ในโหลเก็บตัวอย่างมีน้ำอยู่เป็นจำนวนมาก ส่งผลให้สร้างความยากลำบากต่อการทำการทดลองเพื่อหาน้ำหนักฝุ่น ดังนั้นจากข้อจำกัดข้างต้น งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและพัฒนาอุปกรณ์เก็บตัวอย่างฝุ่นตก (Dust-fall Jar) ให้สะดวกต่อการตรวจวัดฝุ่นละอองในบรรยากาศ ร่นระยะเวลาการระเหยน้ำที่ปะปนมากับตัวอย่างฝุ่นตก โดยออกแบบให้มีระบบฝาครอบเปิดปิดป้องกันน้ำฝนอัตโนมัติ ซึ่งถูกควบคุมด้วยชุดอุปกรณ์เซ็นเซอร์ตรวจวัดความชื้นและใช้พลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์ และสามารถแสดงผลของเซ็นเซอร์ตรวจวัดค่าอุณหภูมิ ความชื้น และน้ำฝนผ่านหน้าจอแสดงผล (LCD) จากกระบวนการทดสอบการสั่งเปิด-ปิดฝาครอบป้องกันน้ำฝนพบว่าสามารถสั่งเปิด-ปิดฝาครอบป้องกันน้ำฝนได้จริง ระยะเวลาในการสั่งเปิด-ปิดฝาครอบป้องกันน้ำฝนจะอยู่ในช่วง 14 – 27 วินาที ตามการประมวลผลของชุดคำสั่งในขณะนั้น และสามารถแสดงผลของเซ็นเซอร์ตรวจวัดค่าอุณหภูมิ ความชื้น และน้ำฝน ผ่านหน้าจอแสดงผล (LCD) แบบเรียลไทม์อีกด้วย การทดสอบศักยภาพของทรัพยากรแบตเตอรี่ กรณีเก็บตัวอย่างฝุ่นในเวลากลางคืน จากการคำนวณหาขนาดของแบตเตอรี่ที่ใช้ในระบบ ต้องใช้แบตเตอรี่ขนาด 8 แอมแปร์/ชั่วโมง 12 โวลต์ หรือมากกว่า และผลการทดสอบศักยภาพของทรัพยากรแบตเตอรี่กรณีเก็บตัวอย่างฝุ่นในเวลากลางคืนนั้นพบว่าแบตเตอรี่ลดลง 40% โดยประมาณ การประเมินราคาต้นทุนของอุปกรณ์เก็บตัวอย่างฝุ่นตก (Dust-fall Jar) แบบอัจฉริยะในงานวิจัยนี้รวมทั้งหมด 12,745 บาท ทั้งนี้ราคาต้นทุนจะขึ้นอยู่กับ

ปริมาณการสั่งซื้อวัสดุอุปกรณ์ และราคาของวัสดุอุปกรณ์ ณ เวลานั้นอีกด้วย



Title	DUST FALL JAR WITH AUTOMATIC RAIN PROTECTION SYSTEM USING SOLAR ENERGY
Author	Suttipong Dondee
Advisor	Assistant Professor Pajaree Thongsanit
Academic Paper	M.Eng. Thesis in Environmental Engineering, Naresuan University, 2022
Keywords	Dust-fall Jar, Solar cells, Electrical Motor

ABSTRACT

There are typically a variety of methods for measuring dust in the atmosphere, depending on the size of the dust. The commonly used technique for measurement of total dust is gravimetric measurement or sedimentation from the atmosphere by gravity using a dust-fall jar. This technique is classified as a simple particle collection to monitor air quality. The apparatus consists of a cylindrical container with an open top to accommodate the dust particles that fall into the container due to Earth's gravity. The container was placed on a stand about 2 meters above the ground, which led the researchers to realize the limitations of the device; that is, if collecting dust samples during the rainy season, it will cause a large amount of water in the sampling jars, making it difficult for the experiment to determine the weight of the dust. Therefore, from the above limitations, this research aimed to design and develop a dust-fall jar sampling device to facilitate measuring dust in the atmosphere, shorten the evaporation time of water mixed with the dust. The device was designed to have an automatic rain cover opening and closing system, which was controlled by a set of humidity sensors and used solar energy and could display the results of the temperature, humidity and rain sensors through liquid-crystal display (LCD). From the testing process of opening-closing the rain-proof cover, it was found that it could actually open-close the rain-proof cover. The time for opening and closing the rain protection cover will be in the range of 14 – 27 seconds according to the processing of the command set at that time, and it could display the results of the sensors measuring temperature, humidity and rain through the

liquid-crystal display (LCD) in real time as well. From the battery resource potential test in the case of dust sampling at night, from calculating the size of the battery used in the system, a battery size of 8 amperes/hour, 12 volts or more must be used. The results of the battery resource potential test in the case of dust sampling at night showed that the battery was reduced by 40%. It was estimated that the cost of the intelligent dust-fall jar sampling device in this research was 12,745 baht. However, the cost price would depend on the purchase quantity of materials and equipment prices at that time as well.



ประกาศคุณูปการ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงในความกรุณาของผู้ให้ความช่วยเหลือทุกท่านที่เสียสละเวลาและให้คำปรึกษาเป็นอย่างดี ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปาจรีย์ ทองสนิท และดร.สุภาวรรณ ศรีรัตน ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาเป็นที่ปรึกษา พร้อมทั้งแนะนำแนะแนวทางตลอดระยะเวลาในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ และขอกราบขอบพระคุณ ดร.วิน ไตรวิทยานุรักษ์ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิลาวัลย์ คณิตชัยเดชา กรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำตลอดจนแก้ไขข้อบกพร่องของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ จนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบพระคุณ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ที่ให้ความอนุเคราะห์เงินทุนสนับสนุนวิทยานิพนธ์สำหรับการทำการศึกษาวิจัย อีกทั้งสนับสนุนทางด้านอุปกรณ์และสถานที่ในการทำวิจัยรวมถึงคำปรึกษาที่เป็นประโยชน์จากบุคลากรของภาควิชาทุกท่าน

ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ที่คอยสนับสนุนในด้านการศึกษา ขอบคุณญาติพี่น้องและเพื่อนทุก ๆ คน ที่คอยให้ความช่วยเหลือให้กำลังใจให้ผ่านอุปสรรคต่าง ๆ ไปได้ด้วยดี

สุทธิพงษ์ ดอนดี

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ค
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
ประกาศคุณูปการ.....	ช
สารบัญ.....	ซ
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญภาพ.....	ฉ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
ความเป็นมาของปัญหา.....	1
จุดมุ่งหมายของการศึกษา.....	2
ขอบเขตของงานวิจัย.....	2
นิยามศัพท์เฉพาะ.....	3
สมมติฐานของการวิจัย.....	3
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
อนุภาคมวลสารภายในอากาศ.....	4
สารมลพิษทางอากาศ.....	5
ฝุ่นละออง.....	6
ปัจจัยที่ก่อให้เกิดมลพิษฝุ่นละออง.....	7
การตกสะสมของฝุ่นในบรรยากาศ.....	9
ฝุ่นตกและการวิเคราะห์ฝุ่นตก (Dust fall).....	9

วิธีการเก็บตัวอย่างอนุภาคฝุ่นตกโดยอาศัยแรงโน้มถ่วง (Dust fall Jar).....	10
เซลล์แสงอาทิตย์.....	14
การคำนวณหาขนาดของเซลล์แสงอาทิตย์.....	22
การคำนวณหาขนาดของแบตเตอรี่.....	22
โปรแกรม ARDUINO IDE.....	22
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	26
บทที่ 3 วิธีดำเนินงานวิจัย.....	28
กรอบแนวความคิดการวิจัย.....	28
เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย.....	29
การออกแบบอุปกรณ์และระบบของอุปกรณ์.....	36
การทดสอบอุปกรณ์เก็บตัวอย่างฝุ่นตก (Dust-fall Jar) แบบอัจฉริยะ ภายใต้สถานการณ์จำลองในห้องปฏิบัติการ.....	38
บทที่ 4 ผลการวิจัย.....	41
การทดสอบการเปิด-ปิด ฝาครอบป้องกันน้ำฝนแบบอัตโนมัติ ภายใต้สถานการณ์จำลองในห้องปฏิบัติการ.....	42
1. แผนผังการต่ออุปกรณ์ของอุปกรณ์เก็บตัวอย่างฝุ่นตก (Dust-fall Jar) แบบอัจฉริยะ.....	42
2. ชุดคำสั่งสำหรับการควบคุมระบบฝาครอบป้องกันน้ำฝนแบบอัตโนมัติ.....	43
3. การทดสอบการสั่งปิดฝาครอบป้องกันน้ำฝน โดยการฉีดพรมน้ำใส่แผ่นเซนเซอร์ตรวจวัดความชื้น และเชื่อมต่ออกให้แห้งเพื่อเป็นการสั่งเปิดฝาครอบป้องกันน้ำฝน.....	45
3. ค่าการประมวลผลที่ได้จากแผ่นเซนเซอร์ตรวจวัดขณะทำการทดสอบ.....	46

การทดสอบการแสดงผลของเซนเซอร์ตรวจวัดค่าอุณหภูมิ ความชื้น และน้ำฝน บน จอแสดงผลแบบ LCD.....	47
1. แผนผังการต่ออุปกรณ์.....	47
2. ชุดคำสั่งของเซนเซอร์ตรวจวัดค่าอุณหภูมิ ความชื้น และน้ำฝน.....	48
3. ตัวอย่างการแสดงผลของเซนเซอร์ตรวจวัดค่าอุณหภูมิ ความชื้น และน้ำฝน ผ่าน หน้าจอแสดงผลแบบ LCD	49
การทดสอบศักยภาพของทรัพยากรแบตเตอรี่ กรณีเก็บตัวอย่างฝุ่นในเวลากลางคืน....	50
1. การคำนวณหาขนาดของแบตเตอรี่ที่ใช้ในระบบ.....	50
2. การทดสอบศักยภาพของทรัพยากรแบตเตอรี่.....	52
3. การคำนวณหาขนาดของเซลล์แสงอาทิตย์	52
การประเมินราคาต้นทุนของอุปกรณ์เก็บตัวอย่างฝุ่นตก (Dust-fall Jar) แบบอัจฉริยะ .	53
บทที่ 5 บทสรุป	55
สรุปและอภิปรายผล.....	55
ข้อเสนอแนะ	56
บรรณานุกรม.....	57
ภาคผนวก.....	62
ประวัติผู้วิจัย	99

สารบัญตาราง

	หน้า
ตาราง 1 ขนาดกำลังไฟฟ้าของระบบอุปกรณ์เก็บตัวอย่างฝุ่นตก (Dust-fall Jar) แบบ อัจฉริยะ.....	51
ตาราง 2 ประเมินราคาต้นทุนของอุปกรณ์เก็บตัวอย่างฝุ่นตก (Dust-fall Jar) แบบอัจฉริยะ	53
ตาราง 3 เปรียบเทียบข้อดี ข้อจำกัดของอุปกรณ์เก็บตัวอย่างฝุ่นตก (Dust-fall Jar) แบบ อัจฉริยะ กับอุปกรณ์เก็บตัวอย่างฝุ่นตก (Dust-fall Jar) โดยทั่วไป	54



สารบัญภาพ

	หน้า
ภาพ 1 หลักการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์.....	15
ภาพ 2 วงจรสมมูลของเซลล์แสงอาทิตย์ทั่วไป.....	16
ภาพ 3 ลักษณะสมบัติเอาต์พุตของเซลล์แสงอาทิตย์ทั่วไป	19
ภาพ 4 ช่องทางการดาวน์โหลดโปรแกรม ARDUINO IDE.....	23
ภาพ 5 เมนูคำสั่ง File.....	23
ภาพ 6 เมนูคำสั่ง Edit.....	24
ภาพ 7 เมนูคำสั่ง Sketch.....	24
ภาพ 8 เมนูคำสั่ง Tools.....	25
ภาพ 9 เมนูคำสั่ง Help.....	25
ภาพ 10 กรอบแนวความคิดการวิจัย.....	28
ภาพ 11 เซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Cell).....	29
ภาพ 12 เซอร์กิตเบรกเกอร์ (Circuit Breaker).....	30
ภาพ 13 โซล่าชาร์จ คอนโทรลเลอร์ (Solar Charge Controller)	30
ภาพ 14 เทอร์มินอลบล็อก (Terminal Block).....	31
ภาพ 15 แบตเตอรี่ (Battery)	31
ภาพ 16 บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino ESP32	32
ภาพ 17 เซ็นเซอร์น้ำฝน ความชื้น วัดระดับน้ำ (Rain / Water Detection Sensor Module)	33
ภาพ 18 L298N Motor Drive Module	33

ภาพ 19 มอเตอร์ไฟฟ้า (Electrical Motor)	34
ภาพ 20 เซนเซอร์ตรวจวัดความเข้มแสง อุณหภูมิ ความชื้น (Light, Temperature, Humidity, outdoor transmitter RS485 output).....	35
ภาพ 21 แบบร่างของอุปกรณ์เก็บตัวอย่างฝุ่นตก (Dust-fall Jar) แบบอัจฉริยะ	36
ภาพ 22 ภาพจริงของอุปกรณ์เก็บตัวอย่างฝุ่นตก (Dust-fall Jar) แบบอัจฉริยะ	36
ภาพ 23 โครงสร้างของอุปกรณ์สามารถถอดประกอบเป็น 3 ส่วน	37
ภาพ 24 ภาพรวมระบบของอุปกรณ์เก็บตัวอย่างฝุ่นตก (Dust-fall Jar) แบบอัจฉริยะ	37
ภาพ 25 ภาพรวมของการต่อวงจรเซนเซอร์.....	38
ภาพ 26 กรอบแนวความคิดการทดสอบการเปิด-ปิดฝาครอบป้องกันน้ำฝนของ อุปกรณ์เก็บตัวอย่างฝุ่นตก (Dust-fall Jar) แบบอัตโนมัติ	38
ภาพ 27 กรอบแนวความคิดการทดสอบการแสดงผลของเซนเซอร์ตรวจวัด ค่าอุณหภูมิ ความชื้น และน้ำฝน ผ่านหน้าจอแสดงผล (LCD)	39
ภาพ 28 กรอบแนวความคิดการทดสอบศักยภาพของทรัพยากรแบตเตอรี่ กรณีเก็บตัวอย่างฝุ่นในเวลากลางคืน	39
ภาพ 29 ข้อมูลรายงานอากาศ 24 ชั่วโมง ของทางเว็บไซต์กรมอุตุนิยมวิทยาพิษณุโลก...	40
ภาพ 30 อุปกรณ์เก็บตัวอย่างฝุ่นตก (Dust-fall Jar) แบบอัจฉริยะ และวงจรอุปกรณ์เซนเซอร์.....	42
ภาพ 31 แผนผังการต่ออุปกรณ์ สำหรับการทดสอบแบบอัตโนมัติ.....	43
ภาพ 32 ชุดคำสั่งสำหรับการให้มอเตอร์เปิดฝาครอบป้องกันน้ำฝน	44
ภาพ 33 ชุดคำสั่งสำหรับการให้มอเตอร์ปิดฝาครอบป้องกันน้ำฝน	44
ภาพ 34 การทดสอบการสั่งปิดฝาครอบป้องกันน้ำฝน.....	45
ภาพ 35 การทดสอบการสั่งเปิดฝาครอบป้องกันน้ำฝน	45

ภาพ 36 ค่าการประมวลผลที่ได้จากแผ่นเซนเซอร์ตรวจวัดค่าอุณหภูมิ ความชื้น และ น้ำฝน แบบเรียลไทม์ 24 ชั่วโมง ในห้องปฏิบัติการ	46
ภาพ 37 แผนผังการต่ออุปกรณ์สำหรับการแสดงผลของเซนเซอร์ตรวจวัดค่าอุณหภูมิ ความชื้น และน้ำฝน ผ่านหน้าจอแสดงผลแบบ LCD	47
ภาพ 38 ชุดคำสั่งเพื่อสั่งการให้ค่าเซนเซอร์ตรวจวัดค่าอุณหภูมิ ความชื้น และน้ำฝน แสดงผลผ่านหน้าจอแสดงผลแบบ LCD	48
ภาพ 39 ชุดคำสั่งเพื่อสั่งการให้ค่าเซนเซอร์ตรวจวัดค่าอุณหภูมิ ความชื้น และน้ำฝน แสดงผลผ่านหน้าจอแสดงผลแบบ LCD	49
ภาพ 40 ผลของเซนเซอร์ตรวจวัดค่าอุณหภูมิ และความชื้น แบบเรียลไทม์	49
ภาพ 41 ผลของแผ่นเซนเซอร์ตรวจวัดน้ำฝน แบบเรียลไทม์	50
ภาพ 42 การทดสอบศักยภาพของทรัพยากรแบตเตอรี่	52

บทที่ 1

บทนำ

ความเป็นมาของปัญหา

ปัจจุบันมลพิษทางอากาศ แบ่งออกเป็น 2 สาเหตุหลัก ได้แก่ จากการกระทำของมนุษย์ เช่น เกิดจากความต้องการพลังงานเพื่อใช้ในครัวเรือน ภาคอุตสาหกรรม การใช้รถยนต์ เครื่องยนต์ ต่าง ๆ ซึ่งเป็นสาเหตุของการเกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจน สารประกอบไฮโดรคาร์บอน ซึ่งมีผลต่อสุขภาพของมนุษย์โดยตรง และที่เกิดขึ้นเองจากธรรมชาติ เช่น การระเบิดของภูเขาไฟ ไฟป่า ทำให้เกิดหมอกควันที่เป็นอันตรายต่อระบบทางเดินหายใจ เป็นต้น (กรมควบคุมมลพิษ, 2561) จากสาเหตุของมลพิษทางอากาศข้างต้น ก่อให้เกิดมลฝุ่นละอองในบรรยากาศที่สามารถมองด้วยตาเปล่า และไม่สามารถมองเห็นด้วยตาเปล่าต้องใช้กล้องจุลทรรศน์แบบอิเล็กตรอนส่งผลกระทบต่อการดำรงชีวิตของมนุษย์ทั้งทางด้านทัศนวิสัยในการมองเห็น ด้านวัตถุและสิ่งก่อสร้าง การกัดกร่อน และด้านสุขภาพอนามัยของมนุษย์ ปัญหาฝุ่นละอองจึงมีความสำคัญเป็นอย่างมากที่ประชาชนและสำนักงานต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องควรตระหนักและให้ความสนใจ

ฝุ่นละออง คือ สารที่มีความหลากหลายทางด้านกายภาพ และองค์ประกอบอาจมีสภาพเป็นของแข็งหรือของเหลวก็ได้ ฝุ่นละอองที่มีอยู่ในบรรยากาศ จะมีขนาดตั้งแต่ 0.002 ไมครอน ไปจนถึง ขนาดใหญ่กว่า 500 ไมครอน ฝุ่นละอองที่แขวนลอยอยู่ในอากาศได้นานจะเป็นฝุ่นละอองขนาดเล็ก โดยเฉพาะอย่างยิ่งฝุ่นละอองขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางต่ำกว่า 10 ไมครอน เนื่องจากมีความเร็วในการตกตัวต่ำ และจะแขวนลอยอยู่ในอากาศได้นานมากขึ้น หากมีแรงกระทำจากภายนอกเข้ามาเกี่ยวข้อง เช่น การไหลเวียนของอากาศ กระแสลม เป็นต้น ฝุ่นละอองที่มีขนาดใหญ่ เส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่กว่า 100 ไมครอน อาจแขวนลอยอยู่ในบรรยากาศได้เพียง 2-3 นาที แต่ฝุ่นละอองที่มีขนาดเล็ก โดยเฉพาะขนาดเล็กกว่า 0.5 ไมครอน อาจแขวนลอยอยู่ในอากาศได้นานเป็นปี (กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม, 2558)

การตรวจวัดฝุ่นละอองในบรรยากาศโดยทั่วไป มีหลากหลายวิธีที่ต่างกันตามขนาดของฝุ่นละออง การติดตามตรวจสอบคุณภาพอากาศอย่างง่าย เป็นการตรวจวัดฝุ่นโดยใช้อุปกรณ์เก็บตัวอย่างฝุ่นตก (Dust-fall Jar) ใช้เทคนิคเชิงกราวิเมตริกหรือการตกตะกอนเป็นการเก็บรวบรวมอนุภาคที่มีมวลเพียงพอที่จะตกออกจากบรรยากาศโดยแรงโน้มถ่วงของโลก วิธีเก็บตัวอย่างนี้ไม่ต้องใช้แหล่งสุญญากาศหรือระบบตวงวัดปริมาณการไหล เหมาะสำหรับอนุภาคขนาดใหญ่ซึ่งมีขนาดเล็กสุด 20 – 50 ไมโครเมตร การเก็บรวบรวมอนุภาคโดยปกติจะเก็บสะสมตัวอย่างตลอดช่วง 30 วัน แล้วทำให้

แห้งและซังน้ำหนัก ผลลัพธ์ส่วนใหญ่จะรายงานเป็นหน่วยน้ำหนักต่อพื้นที่ของปากภาชนะต่อระยะเวลาที่เก็บ (สุดจิต ครุจิต และคณะ, 2553)

จากการศึกษาข้อมูลถึงวิธีการตัวอย่างฝุ่นตก (Dust-fall Jar) ได้พบข้อจำกัดของอุปกรณ์คือ หากทำการเก็บตัวอย่างในช่วงฤดูฝนจะทำให้ในโหลเก็บตัวอย่างมีน้ำอยู่เป็นจำนวนมาก ทำให้ต้องทำการเปลี่ยนถ่ายน้ำออกบ่อยครั้งเพื่อป้องกันมิให้น้ำล้นและเกิดการกันสุญเสียตัวอย่าง นอกจากนี้การที่มีน้ำปะปนอยู่กับตัวอย่างเป็นจำนวนมากย่อมสร้างความยากลำบากต่อการทำการทดลองทำให้ต้องใช้ระยะเวลาเพิ่มขึ้น เนื่องจากต้องทำการระเหยน้ำที่ปะปนมากับตัวอย่างออกให้หมด ดังนั้นจากข้อจำกัดข้างต้น งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์ที่จะออกแบบและพัฒนาอุปกรณ์เก็บตัวอย่างฝุ่นตก (Dust-fall Jar) แบบอัจฉริยะ ที่มีระบบฝาครอบเปิดปิดป้องกันน้ำฝนอัตโนมัติ ซึ่งถูกควบคุมด้วยชุดอุปกรณ์เซ็นเซอร์ตรวจวัดความชื้นร่วมกับพลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์สำหรับพื้นที่ที่มีข้อจำกัดเรื่องการเข้าถึงของไฟฟ้า มีหลักการทำงานคือ เมื่อมีสถานการณ์ฝนตกเซ็นเซอร์ตรวจวัดความชื้นจะส่งข้อมูลให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อควบคุมมอเตอร์ในการเปิดปิดฝาครอบโหลเก็บตัวอย่างฝุ่นตกโดยอัตโนมัติ

จุดมุ่งหมายของการศึกษา

1. เพื่อออกแบบและพัฒนาอุปกรณ์เก็บตัวอย่างฝุ่นตก (Dust-fall Jar) แบบอัจฉริยะ ที่มีระบบฝาครอบเปิดปิดป้องกันน้ำฝนอัตโนมัติที่อาศัยพลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งถูกควบคุมด้วยชุดอุปกรณ์แผ่นเซ็นเซอร์ตรวจวัดน้ำฝน ความชื้น
2. เพื่อทดสอบประสิทธิภาพของระบบฝาครอบเปิดปิดป้องกันน้ำฝนอัตโนมัติ ของอุปกรณ์เก็บตัวอย่างฝุ่นตก (Dust-fall Jar) แบบอัจฉริยะ เมื่อระบบต้องเผชิญกับสถานการณ์ฝนตกภายใต้สถานการณ์จำลองในห้องปฏิบัติการ

ขอบเขตของงานวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ทำการพัฒนาอุปกรณ์เก็บตัวอย่างฝุ่นตก (Dust-fall Jar) แบบอัจฉริยะ ที่มีระบบฝาครอบเปิดปิดป้องกันน้ำฝนอัตโนมัติ ซึ่งถูกควบคุมด้วยชุดอุปกรณ์แผ่นเซ็นเซอร์ตรวจวัดน้ำฝน ความชื้นร่วมกับพลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์ โดยอ้างอิงหลักการในการออกแบบและพัฒนาอุปกรณ์เก็บตัวอย่างฝุ่นตก (Dust-fall Jar) ตามมาตรฐานสากล American Society for Testing and Materials (ASTM) รหัส D1739-98 (2017) พร้อมทั้งทำการทดสอบประสิทธิภาพในการทำงานของมอเตอร์ในการสั่งการเปิดปิดฝาครอบโหล เมื่อระบบต้องเผชิญกับสถานการณ์ฝนตกภายใต้สถานการณ์จำลองในห้องปฏิบัติการ

นิยามศัพท์เฉพาะ

อุปกรณ์เก็บตัวอย่างฝุ่นตก (Dust-fall Jar) หมายถึง ภาชนะเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองแขวนลอยในบรรยากาศที่ตกลงตามแรงโน้มถ่วงของโลก โดยไม่อาศัยการไหลของอากาศผ่านอุปกรณ์เก็บตัวอย่างฝุ่น สามารถเก็บตัวอย่างฝุ่นตกที่มีอนุภาคขนาดใหญ่กว่า 100 ไมครอน ถึงขนาดเล็กสุด 20 – 50 ไมครอน

เซลล์แสงอาทิตย์ (Solar cells) หมายถึง สิ่งประดิษฐ์ที่ทำจากสารกึ่งตัวนำ เช่น ซิลิคอน (Silicon), แกลเลียม อาร์เซไนด์ (Gallium Arsenide) เป็นต้น ซึ่งเมื่อได้รับแสงอาทิตย์โดยตรงจะเปลี่ยนเป็นพาหะนำไฟฟ้า และถูกแยกเป็นประจุไฟฟ้าบวกและลบเพื่อให้เกิดแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วทั้งสองของเซลล์แสงอาทิตย์ เมื่อนำขั้วไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ต่อเข้ากับอุปกรณ์ไฟฟ้ากระแสตรง กระแสไฟฟ้าจะไหลเข้าสู่อุปกรณ์เหล่านั้น ทำให้สามารถทำงานได้

มาตรฐาน American Society for Testing and Materials (ASTM) รหัส D1739-98 (2017) หมายถึง มาตรฐานที่ทางสมาคมวิชาชีพทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีในสหรัฐอเมริกาจัดทำขึ้น เพื่อกำหนดมาตรฐานวิธีการทดสอบ การรวบรวมและการตรวจวัดฝุ่นละออง

มอเตอร์ไฟฟ้า (Electrical Motor) หมายถึง อุปกรณ์ไฟฟ้าที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกล ในรูปของการหมุนเคลื่อนที่ มีการนำไปใช้งานอย่างกว้างขวาง ถูกนำไปใช้งานร่วมกับอุปกรณ์ไฟฟ้า เครื่องมือไฟฟ้า และเครื่องใช้ไฟฟ้าประมาณ 80-90%

สมมติฐานของการวิจัย

อุปกรณ์เก็บตัวอย่างฝุ่นตก (Dust-fall Jar) แบบอัจฉริยะ สามารถสั่งการมอเตอร์ให้เปิดปิดฝาครอบโหลอัตโนมัติ เมื่อระบบต้องเผชิญกับสถานการณ์ฝนตกในสภาวะต่าง ๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

อนุภาคมลสารภายในอากาศ

อนุภาคมลสารประกอบด้วยอนุภาคของของแข็งและของเหลว ซึ่งประกอบด้วยสารที่แตกต่างกันแต่อนุภาคจะมีสารประกอบทางเคมีแตกต่างกันและอาจแตกต่างกันในเรื่องของขนาด รูปร่างอนุภาคมลสารมีแหล่งกำเนิดจากกระบวนการเผาไหม้ กิจกรรมในโรงงานอุตสาหกรรมและแหล่งกำเนิดตามธรรมชาติ ส่วนประกอบของอนุภาคที่แขวนลอยอยู่ในอากาศจะแตกต่างกันตามเวลา และสถานที่ที่เกิดแหล่งกำเนิดที่สำคัญของอนุภาคมลสารมาจากยานพาหนะ อุตสาหกรรม ขยะ ถ้ำภูเขาไฟ ไฟป่า และรวมถึงละอองเกสรดอกไม้ จำแนกออกเป็นชนิดต่าง ๆ ได้ดังนี้ (วงศ์พันธ์ ลิมปเสนีย์ และคณะ, 2543)

ฝุ่นขนาดใหญ่ (grit) เป็นของแข็งที่สามารถลอยปะปนอยู่ในอากาศ มีเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 500 ไมครอน

ฝุ่นตก (dust fall) คือ ฝุ่นละอองที่มีอยู่ในอากาศและตกลงสู่พื้นเบื้องล่างได้โดยปกติ แล้วฝุ่นตกเป็นอนุภาคของของแข็งที่มีขนาดเล็กมากไม่อาจมองเห็นได้ด้วยตาเปล่าจนมีขนาดใหญ่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า มีขนาดโดยเฉลี่ย 20 - 40 ไมครอน ฝุ่นตกใช้เป็นตัวชี้วัดที่สำคัญของมลพิษทางอากาศ

ฝุ่น (dust) เป็นอนุภาคของแข็งขนาดเล็กที่ลอยปะปนอยู่ในอากาศ มีเส้นผ่านศูนย์กลางระหว่าง 0.25-500 ไมครอน อาจจะเป็นสารอินทรีย์หรือสารอนินทรีย์

ละออง (mist) คือ อนุภาคที่เป็นของเหลวซึ่งเกิดจากการควบแน่นของไอหรือก๊าซบางอย่างหรือเกิดจากการแยกตัวของของเหลวที่มาจากกระบวนการบางอย่าง เมื่อความเข้มข้นของละอองไอสูงจนลดความสามารถในการมองเห็นเรียกว่า หมอก (fog)

ขี้เถ้า (fly ash) หรือขี้เถ้าลอยที่ปลิวออกมาจากไอเสีย เกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงมีขนาดเฉลี่ยประมาณ 3-80 ไมครอน

ควัน (smoke) คือ อนุภาคของคาร์บอนที่รวมตัวกับอนุภาคของของเหลวที่มาจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์โดยทั่วไปจะมีเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่า 2.0 ไมครอน

ไอควัน หรือฟุ้ง (fume) คือ ของแข็งที่มีขนาดเล็กกว่า 1 ไมครอน ส่วนใหญ่เกิดจากการควบแน่น (condensation) ของไอจากปฏิกิริยาทางเคมีบางอย่าง

ละอองลอย (aerosol) คือ อนุภาคของแข็งหรือของเหลวที่แขวนลอยอยู่ในบรรยากาศ และมีเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่า 1.0 ไมครอน

หมอกควัน (smog) เป็นภาวะที่ใช้เรียกรวมกันของ smoke และ fog ร่วมกัน

การขัดสีโลหะ มักจะก่อให้เกิดอนุภาคขนาดใหญ่หลายไมครอน อนุภาคที่เล็กกว่านั้น (0.1-1 ไมครอน) เกิดจากการกลั่นตัวของไอระเหย ขนาดของอนุภาคมลสารต่าง ๆ

สารมลพิษทางอากาศ

มลพิษทางอากาศทำให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้หลายทาง และก่อให้เกิดผลต่อสิ่งแวดล้อมได้แตกต่างกัน ปริมาณการปลดปล่อยของสารมลพิษทางอากาศแต่ละชนิดขึ้นอยู่กับแหล่งกำเนิดที่ ต่างกันเช่นเดียวกัน เช่น มลพิษทางอากาศในเมืองคือคาร์บอนมอนอกไซด์ และโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน ในกรณีของมลพิษที่เกิดจากโรงงานอุตสาหกรรม เช่น ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ จากโรงไฟฟ้าที่ใช้ถ่านหินเป็นเชื้อเพลิง เป็นต้น สารมลพิษทางอากาศหลัก ๆ มี 6 ชนิด ดังนี้ (สำนักงานกองทุนสนับสนุนการสร้างเสริมสุขภาพ, 2561)

ฝุ่นละออง (Particle Matter: PM)

หมายถึง อนุภาคของแข็งหรือของเหลวที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางโดยประมาณอยู่ระหว่าง 0.001 ไมครอน (1 ไมครอน = 0.000001 เมตร) ซึ่งเป็นขนาดของอนุภาคฝุ่นขนาดเล็กจนถึง 500 ไมครอน ซึ่งเป็นขนาดของทราย หยาบ เวลาที่อนุภาคมลสารเหล่านี้จะสามารถแขวนลอยอยู่ในบรรยากาศมีค่าตั้งแต่ไม่กี่วินาทีจนถึงหลาย ๆ เดือนขึ้นอยู่กับขนาด นอกจากนี้อนุภาคมลสารจะเกิดปฏิกิริยาเคมีกับสารอื่น ๆ ได้ขึ้นอยู่กับชนิดของอนุภาคมลสารและสารเคมีที่จับอยู่บนอนุภาคมลสาร ทำให้เกิดเป็นสารประกอบที่สามารถกัดกร่อนโลหะหรือเป็นอันตรายต่อพืชต่าง ๆ และยังมีผลกระทบต่อสุขภาพความเป็นอยู่ของมนุษย์อีกด้วย ผลของฝุ่นก่อให้เกิดผลได้ 3 ทาง ได้แก่ ฝุ่นเป็นพิษเนื่องจากองค์ประกอบทางเคมีหรือลักษณะทางกายภาพ ฝุ่นเข้าไปรบกวนระบบหายใจ ฝุ่นเป็นตัวพาหรือดูดซับสารพิษและพาเข้าสู่ร่างกาย (สำนักงานกองทุนสนับสนุนการสร้างเสริมสุขภาพ, 2561)

ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO)

เป็นก๊าซไม่มีสี และกลิ่น สามารถคงตัวอยู่ในบรรยากาศได้นาน 2 ถึง 4 เดือน โดยเกิดจากกิจกรรมของมนุษย์เป็นหลัก มีผลต่อสุขภาพโดยจะเข้าไปรวมกับฮีโมโกลบินในเม็ดเลือดแดง เป็นผลให้ความสามารถในการจับออกซิเจนของเม็ดเลือดแดง ลดลง ทำให้เซลล์ในร่างกายขาดออกซิเจนซึ่งอาจนำไปสู่การเสียชีวิตได้ (สำนักงานกองทุนสนับสนุนการสร้างเสริมสุขภาพ, 2561)

สารประกอบซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_x) ในบรรยากาศจะพบมากในรูปของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO₂) ซึ่งเป็นก๊าซไม่มีสี ไม่ติดไฟ และไม่ระเบิด อาจก่อให้เกิดกรดได้ถ้ามีในปริมาณสูงซัลเฟอร์ไดออกไซด์ เมื่อนานเข้าจะถูกเปลี่ยนเป็นซัลเฟตไอออนและกรดซัลฟูริกและเกลือซัลเฟต โดยปฏิกิริยา catalytic

หรือปฏิกิริยาเคมีแสง (Photochemical Reaction) ในอากาศ ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์มักเกิดจากการเผาไหม้ของซัลเฟอร์ที่ปรากฏอยู่ในเชื้อเพลิงที่มาจากปิโตรเลียมและถ่านหินเป็นก๊าซมลพิษที่มีแหล่งกำเนิดหลักมาจากโรงงานอุตสาหกรรมและเครื่องยนต์ดีเซล (สำนักงานกองทุนสนับสนุนการสร้างเสริมสุขภาพ, 2561)

สารประกอบไนโตรเจนออกไซด์ (NOx) ก๊าซไนตริกออกไซด์ (N₂O) และก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO₂) เกิดจากการสันดาปที่อุณหภูมิสูงและเป็นสารหลักในกลุ่มนี้ที่ก่อให้เกิดปัญหามลภาวะทางอากาศ ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์สามารถทำปฏิกิริยาในละอองน้ำเกิดเป็น กรดไนตริก (HNO₂) ที่สามารถกัดกร่อนโลหะได้ นอกจากนั้นยังสามารถทำปฏิกิริยาเคมีแสง ซึ่งจะลดความสามารถในการมองเห็นในบรรยากาศลง ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์มีความเป็นพิษ มากกว่าก๊าซไนตริกออกไซด์ (สำนักงานกองทุนสนับสนุนการสร้างเสริมสุขภาพ, 2561)

ก๊าซโอโซน โอโซนเป็นสารฟิโตเคมีคอลออกซิแดนท์ประเภทหนึ่ง ซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาเคมี Photochemical Oxidation ระหว่างสารประกอบไฮโดรคาร์บอน และก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจน โดยมีแสงแดดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา สารฟิโตเคมีคอลตัวอื่น ๆ ได้แก่ สารประกอบพวกอัลดีไฮด์ คีโตนและ Peroxyacetyl Nitrate (PAN) ก่อให้เกิดสภาพที่เรียกว่า Photochemical Smog ซึ่งมีลักษณะเหมือนหมอกสีขาวปกคลุมอยู่ทั่วไปในอากาศ โดยทั่วไปแล้ว ก๊าซโอโซนจะก่อให้เกิดการระคายเคืองตา และระคายเคืองต่อระบบทางเดินหายใจ ลดความสามารถในการทำงานของปอดลง (สำนักงานกองทุนสนับสนุนการสร้างเสริมสุขภาพ, 2561)

ตะกั่ว (Pb) ตะกั่วที่อยู่ในอากาศโดยเฉพาะในเมือง จะมาจากยานพาหนะที่ใช้ น้ำมันเบนซิน เนื่องจากในน้ำมันเบนซินจะมีสาร Tetraethyl Lead หรือ Tetramethyl Lead ผสมอยู่เพื่อเพิ่มค่าออกเทนให้แก่ น้ำมันเบนซิน สำหรับป้องกันการน็อกของเครื่องยนต์ ตะกั่วจะถูกระบายออกมาทางท่อไอเสียในรูปของอนุภาคของแข็ง ตะกั่วเป็นโลหะหนัก มีความเป็นพิษสูง และจะรุนแรงมากในเด็ก ก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพได้หลายอย่าง เช่น ทำลายไขกระดูกและเม็ดเลือดแดง ทำให้เกิดโรคโลหิตจาง สามารถถูกถ่ายทอดจากมารดาผ่านรกไปยังทารกที่อยู่ในครรภ์ได้ (สำนักงานกองทุนสนับสนุนการสร้างเสริมสุขภาพ, 2561)

ฝุ่นละออง

ฝุ่นละออง เป็นสารที่มีความหลากหลายทางด้านกายภาพ และองค์ประกอบอาจมีสภาพเป็นของแข็งหรือของเหลวก็ได้ ฝุ่นละอองที่มีอยู่ในบรรยากาศรอบ ๆ ตัวเรา มีขนาดตั้งแต่ 0.002 ไมครอน (เป็นกลุ่มของโมเลกุลที่มองด้วยตาเปล่าไม่เห็นต้องใช้กล้องจุลทรรศน์แบบอิเล็กตรอน) ไปจนถึงฝุ่นที่ขนาดใหญ่กว่า 500 ไมครอน (ฝุ่นที่มองเห็นด้วยตาเปล่ามีขนาดตั้งแต่ 50 ไมครอน ขึ้นไป) ฝุ่นละอองที่แขวนลอย อยู่ในอากาศได้นานจะเป็นฝุ่นละอองขนาดเล็ก (ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางต่ำกว่า

10 ไมครอน) เนื่องจากมีความเร็วในการตกตัวต่ำ และจะแขวนลอยอยู่ในอากาศได้นานมากขึ้น หากมีแรงกระทำจากภายนอกเข้ามามีส่วนร่วมเกี่ยวข้อง เช่น การไหลเวียน ของอากาศ กระแสลม เป็นต้น ฝุ่นละอองแบ่งตามขนาดเป็น 2 ส่วน คือ ฝุ่นขนาดใหญ่และฝุ่นขนาดเล็ก ซึ่งเรียกว่า PM10 (ฝุ่นละอองที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางตั้งแต่ 10 ไมครอนลงมา) จากการศึกษาพบว่า ฝุ่นละอองที่มีขนาดใหญ่ (ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางใหญ่กว่า 100 ไมครอน) อาจแขวนลอยอยู่ในบรรยากาศได้เพียง 2-3 นาที แต่ฝุ่นละอองที่มีขนาดเล็ก โดยเฉพาะขนาดเล็กกว่า 0.5 ไมครอน อาจแขวนลอยอยู่ในอากาศได้นานเป็นปี ฝุ่นละอองแบ่งได้เป็น 3 ประเภท (สำนักงานกองทุนสนับสนุนการสร้างเสริมสุขภาพ, 2561)

ฝุ่นละอองรวม (Total Suspended Particulate: TSP) เกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิง เช่น น้ำมันเตา ถ่านหิน ฟืน แกลบ จะมีสารพิษที่เป็นอินทรีย์สารและอนินทรีย์สารเป็นส่วนประกอบ ฝุ่นชนิดนี้มีอนุภาคขนาดเล็ก มักพบเจอในภายในและภายนอกอาคาร (สำนักงานกองทุนสนับสนุนการสร้างเสริมสุขภาพ, 2561)

ฝุ่นหยาบ (Particulate Matter: PM10) มีขนาดอนุภาคเล็กกว่า 10 ไมครอน เช่น ฝุ่นที่เกิดจากถนนที่ไม่ได้ลาดยาง หรือโรงงานบดหิน เป็นต้น (สำนักงานกองทุนสนับสนุนการสร้างเสริมสุขภาพ, 2561)

ฝุ่นละเอียด (Particulate Matter: PM 2.5) มีขนาดอนุภาคเล็กกว่า 2.5 ไมครอน เกิดจากควันเสียของรถยนต์ โรงไฟฟ้า โรงงานอุตสาหกรรม (สำนักงานกองทุนสนับสนุนการสร้างเสริมสุขภาพ, 2561)

ปัจจัยที่ก่อให้เกิดมลพิษฝุ่นละออง

ปัจจัยที่ทำให้เกิดมลพิษฝุ่นละอองและเป็นผลกระทบต่อสุขภาพประชาชนและสภาพแวดล้อม ประกอบด้วย แหล่งกำเนิดฝุ่นละออง การพัดพาและแปรสภาพของมลพิษ และสภาพของผู้รับมลพิษอธิบายไว้ในหนังสือมลภาวะอากาศ (วงศ์พันธ์ ลิ้มเสนีย์, 2543) และตำราระบบบำบัดมลพิษอากาศ (นภาพร พานิช และคณะ, 2550) ในที่นี้จะอธิบายโดยสังเขปอ้างอิงพื้นที่กรุงเทพมหานครต่อไปนี้การพัดพาและแปรสภาพของมลพิษ (transportation and transformation of pollutants) ได้แก่ สภาพอุตุนิยมวิทยาและสภาพแวดล้อมซึ่งส่งผลต่อการแพร่กระจายของมลพิษ สภาพอุตุนิยมวิทยา ได้แก่ ฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ (กลางเดือนตุลาคมถึงกลางเดือนกุมภาพันธ์) และฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ (กลางเดือนพฤษภาคมถึงกลางเดือนตุลาคม) ซึ่งส่งผลต่อสภาพอากาศ ความกดอากาศ ทิศทางลมประจำฤดู อุณหภูมิ ปริมาณฝน ความชื้น ทำให้ระดับฝุ่นละอองในฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือในพื้นที่กรุงเทพมหานครมีระดับสูงเนื่องจากสภาพอากาศแห้ง และทิศทางลมตะวันออกเฉียงเหนือพัดพาฝุ่นละอองจากการเผาชีวมวลในพื้นที่เกษตรกรรมภาคกลางเข้าสู่พื้นที่กรุงเทพมหานคร ประกอบกับการแปรปรวนสภาพอากาศรายวัน หากในช่วงวันดังกล่าวมีอุณหภูมิต่ำ

ความกดอากาศสูง ท้องฟ้าปิด สภาพอากาศสงบนิ่งไม่กระจายตัว จะเกิดการสะสมของมลพิษทำให้ระดับมลพิษสูงกว่าปกติสภาพแวดล้อมที่ส่งผลต่อการแพร่กระจายของมลพิษอากาศ ได้แก่ ลักษณะภูมิประเทศ เช่น ภูเขา หุบเขา ชายฝั่งทะเล รวมถึงสิ่งกีดขวางลมที่พัดพามลพิษให้แพร่กระจายและเจือจาง เช่น อาคารและสิ่งปลูกสร้าง ผังเมืองซึ่งกำหนดความหนาแน่นและการกระจายตัวของการใช้ประโยชน์ที่ดินโดยเฉพาะที่พักอาศัยหรือผู้รับมลพิษ ที่ตั้งและการกระจายตัวของแหล่งกำเนิดมลพิษ อันจะส่งผลต่อระดับมลพิษในพื้นที่ได้ลมซึ่งจะได้รับอิทธิพลจากแหล่งกำเนิดมลพิษทั้งในพื้นที่กรุงเทพมหานคร และพื้นที่รอบนอกสภาพของผู้รับมลพิษ ได้แก่ สภาพส่วนตัวของผู้รับมลพิษ เช่น ความเสี่ยงต่อการรับมลพิษ อันเป็นผลมาจากอาการป่วย สภาพความเป็นเด็กหรือคนชรา และความไวต่อการรับมลพิษ (Sensitivity) และสภาพภายนอก ได้แก่ อาชีพ กิจกรรม การเดินทาง ที่ตั้งที่ทำงานและที่พักอาศัย รวมถึงสภาพที่ทำงานและที่พักอาศัย ซึ่งจะส่งผลต่อระดับมลพิษที่ได้รับและความรุนแรงของอาการของแต่ละรายบุคคล ทั้งนี้ การกำหนดมาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศจะใช้ข้อมูลการศึกษาทางระบาดวิทยาของประชากรทั้งหมดในพื้นที่ โดยคำนึงถึงกลุ่มประชากรที่มีความเสี่ยงเป็นพิเศษประกอบด้วยทั้งสองปัจจัยที่กล่าวมาแล้ว (การพัดพาของมลพิษและสภาพของผู้รับมลพิษ) เป็นข้อมูลที่สำคัญในการจัดการมลพิษอากาศ แต่เป็นปัจจัยที่ไม่อาจควบคุมได้ ปัจจัยที่สามารถควบคุมได้ในการจัดการมลพิษอากาศคือแหล่งกำเนิดมลพิษอากาศ ทั้งนี้ในการวางแผนจัดการคุณภาพอากาศและการกำหนดมาตรการควบคุมมลพิษอากาศจะต้องสามารถระบุถึงแหล่งกำเนิดที่สำคัญและมีข้อมูลสัดส่วนที่มาของแหล่งกำเนิดมลพิษดังกล่าวในพื้นที่ เพื่อเป็นข้อมูลในการกำหนดลำดับความสำคัญของมาตรการควบคุมมลพิษอากาศ รวมถึงการประเมินความคุ้มค่าของแต่ละมาตรการแหล่งกำเนิดมลพิษฝุ่นละอองประกอบด้วยแหล่งกำเนิดธรรมชาติ และแหล่งกำเนิดจากกิจกรรมของมนุษย์ แหล่งกำเนิดธรรมชาติ ได้แก่ ฝุ่นละอองดินฟุ้งปลิวจากพื้นดินและพื้นที่เกษตรกรรม ไฟป่า เกลือทะเล ภูเขาไฟปะทุ ฝุ่นฟุ้งปลิวจากทะเลทรายซึ่งมักจะเป็นฝุ่นรวมที่มีขนาดใหญ่แหล่งกำเนิดจากกิจกรรมมนุษย์ ได้แก่ การใช้เชื้อเพลิง การจราจร (ไอเสียรถยนต์ ส่วนประกอบของรถยนต์ และฝุ่นละอองฟุ้งปลิวจากถนนโดยเฉพาะถนนดินลูกรัง) โรงงานอุตสาหกรรม โรงไฟฟ้า การก่อสร้าง การเผาชีวมวล (รวมถึงการเผาขยะมูลฝอยและการเผาในที่โล่ง) และการเกษตรกรรม ซึ่งมักจะเป็นฝุ่นขนาดเล็ก (PM10-ฝุ่นขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอนและPM2.5-ฝุ่นขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอน) และแหล่งกำเนิดทางอ้อมจากกิจกรรมของมนุษย์ จัดเป็นฝุ่นทุติยภูมิ เกิดจากรวมตัวของก๊าซมลพิษเป็นฝุ่นละอองขนาดเล็กมาก (Ultra-fine particle)จากกระบวนการรวมตัวของสาร (Coagulation) เช่น แอมโมเนียมไนเตรตและแอมโมเนียมซัลเฟต

การตกสะสมของฝุ่นในบรรยากาศ

กระบวนการตกสะสมของฝุ่นจากบรรยากาศ แบ่งได้ 2 ชนิด คือการตกสะสมแบบแห้ง (dry deposition) และการตกสะสมแบบเปียก (wet deposition) การตกสะสมแบบแห้งและแบบเปียก คือกระบวนการที่ก๊าซชนิดต่าง ๆ ในบรรยากาศตลอดจนอนุภาคเคลื่อนย้ายตัวจากบรรยากาศตกลงสู่แหล่งรับที่มีพื้นที่ผิวต่าง ๆ โดยที่ความสามารถในการตกสะสมทั้งสองชนิดดังกล่าว ขึ้นอยู่กับปัจจัยสำคัญดังนี้คือ สถานะของสิ่งที่สนใจว่าอยู่ในรูปก๊าซหรืออนุภาค ความสามารถในการละลายได้จำนวนการตกในพื้นที่นั้น ๆ ลักษณะภูมิประเทศ และชนิดของพื้นผิวปกคลุมในบริเวณที่สนใจ (ขวัญฤทัย ทองบุญฤทธิ, 2553)

การตกสะสมแบบแห้ง (dry deposition) หมายถึง สารทุกชนิด เช่น ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ หรืออนุภาคซัลเฟตที่ตกตะกอนสะสมจากบรรยากาศในสภาวะไอหรือก๊าซ ที่ไม่ใช่ฝนตกลงสู่แหล่งรองรับบนพื้นโลก เช่น การดูดซับหรือดูดซึมก๊าซโดยพืช ดิน น้ำ และผิววัสดุต่าง ๆ ที่มนุษย์ผลิต การตกตะกอนเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกของอนุภาคที่ค่อนข้างหยาบ การชนของอนุภาคละเอียดบนผิววัสดุ หรือพืช ปัจจัยที่มีผลต่อการตกสะสมแบบแห้งของก๊าซหรืออนุภาคก็คือ ระดับสภาพความปั่นป่วนของอากาศ คุณสมบัติทางเคมีของไอออนตัวที่ตก และลักษณะพื้นผิวของบริเวณที่สนใจตามธรรมชาติสำหรับก๊าซ ความสามารถในการละลายและปฏิกิริยาเคมีจะมีผลต่อการดูดเข้าสู่พื้นผิวของแหล่งรับได้และสำหรับอนุภาค ขนาด ความหนาแน่น และรูปทรงของอนุภาค เป็นเครื่องกำหนดความสามารถในการถูกจับโดยพื้นผิวต่าง ๆ ของแหล่งรับเช่นกัน (ขวัญฤทัย ทองบุญฤทธิ, 2553)

การตกสะสมแบบเปียก (wet deposition) หมายถึง ปริมาณของสารที่เคลื่อนย้ายจากบรรยากาศโดยฝน หิมะ หรือน้ำรูปแบบอื่น ๆ ลงสู่พื้นโลก และกระบวนการเปลี่ยนแปลงของก๊าซของเหลวและของแข็งจากบรรยากาศลงสู่พื้นโลกในระหว่างเกิดฝนตก โดยทั่วไปจะปรากฏในรูปฝนกรดที่มีสาเหตุมาจาก H_2SO_4 และ NHO_3 (จากการวิเคราะห์หน้าฝนพบ SO_4^{2-} และ NO_3^- เป็นหลัก) โดย SO_2/S_3 หรือ NO_2 ทำปฏิกิริยาและละลายอยู่ในเมฆและน้ำฝนในรูปของกรดซัลฟิวริกและกรดไนตริก (ขวัญฤทัย ทองบุญฤทธิ, 2553)

ฝุ่นตกและการวิเคราะห์ฝุ่นตก (Dust fall)

ฝุ่นตก (dust fall) หมายถึง ฝุ่นละอองที่มีอยู่ในอากาศและจะตกลงสู่พื้นเบื้องล่างได้ โดยปกติแล้วฝุ่นตกเป็นอนุภาคของของแข็งที่มีขนาดเล็กมาก ไม่อาจมองเห็นได้ด้วยตาเปล่าจนกระทั่งมีขนาดใหญ่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า มีขนาดโดยเฉลี่ย 20-40 ไมครอน ฝุ่นตกใช้เป็นดัชนีที่สำคัญของมลพิษทางอากาศ (มลภาวะอากาศ, 2540)

การวิเคราะห์ฝุ่นตก วัดโดยใช้ภาชนะไม่มีฝาตั้งบริเวณที่มีการวัดความเข้มข้นของฝุ่น การออกแบบมีลักษณะเฉพาะของภาชนะที่แตกต่างกันในแต่ละประเทศ มาตรฐาน ASTM กำหนดให้ใช้กระบอกซึ่งมีก้านตั้งตั้งและก้นกระบอกแบนราบและมีขนาดที่กำหนดไว้ มาตรฐานอังกฤษ กำหนดให้มีตาข่ายกั้น กรวยและขวดพร้อมขาตั้ง มาตรฐานออสเตรเลียกำหนดให้เพียงกรวยแก้ว ขนาด 15 เซนติเมตร ติดกับปากขวดแก้วขนาด 4.5 ลิตร ซึ่งตั้งอยู่ในกระป๋องบนขาตั้งอย่างง่าย (มลภาวะอากาศ, 2540)

โดยปกติเราเติมน้ำในภาชนะดังกล่าวเพื่อเก็บกักฝุ่น และเติมยาฆ่าสาหร่ายเพื่อป้องกันการเจริญเติบโตของสาหร่ายในน้ำนั้น ช่วงเวลาเก็บตัวอย่างปกติประมาณ 30 วัน เมื่อถึงกำหนดเวลา เรากองใบไม้แมลง และวัสดุเจือปนอื่น ๆ ออกจากตัวอย่างก่อนที่วิเคราะห์หาข้อมูลต่อไปนี้ คือ ปริมาณและ pH ของน้ำ น้ำหนักของของแข็งซึ่งไม่ละลายน้ำ น้ำหนักของซีเถ้าจากการเผาของแข็ง และน้ำหนักของแข็งซึ่งละลายน้ำ (มลภาวะอากาศ, 2540)

การวิเคราะห์ทางเคมีเพื่อหาคุณสมบัติอื่น ๆ แล้วแต่กรณี ซึ่งการวัดปริมาณฝุ่นตกเป็นเพียง ตัวเลขที่ชี้ให้เห็นถึงปริมาณอนุภาคส่วนที่ตกลงสู่พื้นดินโดยง่าย ตัวอย่างของข้อมูลอ้างอิง มีดังนี้ (มลภาวะอากาศ, 2540)

- ย่านที่อยู่อาศัย 65-130 มิลลิกรัมต่อตารางเมตรต่อวัน
- ย่านอุตสาหกรรมเบาบาง 100-200 มิลลิกรัมต่อตารางเมตรต่อวัน
- ย่านอุตสาหกรรมหนัก 150-350 มิลลิกรัมต่อตารางเมตรต่อวัน

ย่านปริมาณที่สูงมากถึง 2,600 มิลลิกรัมต่อตารางเมตรต่อวัน เคยตรวจพบในบริเวณซึ่งไม่มีการควบคุม วิธีวิเคราะห์นี้ไม่ละเอียดแม่นยำ แต่สามารถชี้ให้เห็นถึงระดับความสกปรกในบริเวณนั้น และเป็นประโยชน์ในการชี้ให้เห็นแนวโน้มด้านอากาศเสีย (มลภาวะอากาศ, 2540)

วิธีการเก็บตัวอย่างอนุภาคฝุ่นตกโดยอาศัยแรงโน้มถ่วง (Dust fall Jar)

หลักการ

อนุภาคฝุ่นตกเป็นการเก็บตัวอย่างอนุภาคมลสาร โดยใช้เทคนิคเชิงกราวิเมตริก (Gravimetric) หรือตกตะกอน (Sedimentation) เป็นการเก็บรวบรวมอนุภาคที่มีมวลเพียงพอที่จะ ตก ออกจากบรรยากาศโดยแรงโน้มถ่วงของโลก หลักการของการเก็บตัวอย่างคือ อนุภาคที่ตกผ่าน ตัวกลาง (มัชฌิม) จะมีความเร็วเป็นค่าคงที่ค่าหนึ่ง หลักจากที่ได้เกิดสมดุลระหว่างความต้านทานเชิง โมเลกุลของตัวกลางกับแรงโน้มถ่วง วิธีเก็บตัวอย่างนี้ไม่ต้องใช้แหล่งสุญญากาศหรือระบบ ดวงวัด ปริมาณการไหล แต่สามารถเก็บตัวอย่างได้โดยใช้ภาชนะเก็บอนุภาคฝุ่นตก (Dust Fall Jar) วิธีนี้ เหมาะสำหรับอนุภาคขนาดใหญ่ ซึ่งมีขนาดเล็กสุด 20 – 50 ไมโครเมตร เนื่องจากไม่มีการดูดอากาศ

หรือวัดปริมาณอากาศ วิธีนี้จึงไม่สามารถให้ข้อมูลเกี่ยวกับความเข้มข้น เชิงปริมาตรของมลสารอากาศ (กรมควบคุมมลพิษ, 2540)

การเก็บตัวอย่างเชิงแรงโน้มถ่วงมีประโยชน์น้อย หรือไม่มีเลย สำหรับการเก็บอนุภาคขนาด 20 ไมโครเมตร หรือเล็กกว่า เพราะอนุภาคเหล่านี้ตกลงในอากาศด้วยความเร็วข้างจนกระทั่ง การเคลื่อนไหวของอากาศเพียงเล็กน้อย จะขัดขวางการเก็บรวบรวมอนุภาคได้ ซึ่งโดยปกติจะเก็บ สะสมตัวอย่างตลอดช่วง 30 วัน แล้วทำให้แห้ง และชั่งน้ำหนัก ผลลัพธ์ ส่วนใหญ่จะรายงานเป็นหน่วย น้ำหนักต่อพื้นที่ของภาชนะต่อระยะเวลาที่เก็บ

สำหรับความแตกต่างของวัสดุ ขนาด รูปร่างของเครื่องเก็บตัวอย่างที่ใช้ และลักษณะ ของ การตั้งวางในสนาม พบว่าข้อมูลที่ได้ยังไม่สามารถเปรียบเทียบกันได้ อย่างไรก็ตาม การเก็บตัวอย่าง โดยวิธีนี้ ไม่ค่อยแน่นอน ไม่สามารถทำนายผลได้ และโดยทั่วไปไม่ให้ผลที่เหมือนเดิมอีก ภายใน สภาวะเดียวกัน อย่างไรก็ตาม วิธีนี้เป็นเครื่องชี้บ่งให้ทราบความจำเป็นที่จะทำการ เก็บตัวอย่างด้วยวิธี อื่นที่แม่นยำขึ้น หรืออาจใช้บ่งบอกแนวโน้มของมลภาวะตลอดระยะเวลาหลายปีได้ (กรมควบคุม มลพิษ, 2540)

อุปกรณ์

1. อุปกรณ์สำหรับเก็บตัวอย่าง (ขวัญฤทัย ทองบุญฤทธิ และคณะ, 2561)
 - 1.1 ขวดเก็บตัวอย่าง เป็นขวดแก้วรูปทรงกระบอก และมีฝาซึ่งมียางกันรั่วปิดสนิท ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 13 เซนติเมตร สูง 20 เซนติเมตร
 - 1.2 ขาดังขวดเก็บตัวอย่าง ประกอบด้วยท่อเหล็กเส้นผ่านศูนย์กลาง 3/4 นิ้ว ยาว 1.5 - 2 เมตร มีเกลียวต่อกับตะแกรงวางขวด สูง 30 เซนติเมตร
2. อุปกรณ์สำหรับการตรวจวิเคราะห์ (ขวัญฤทัย ทองบุญฤทธิ และคณะ, 2561)
 - 2.1 เครื่องชั่งไฟฟ้าละเอียด (Analytical Balances) มีความละเอียด 0.1 - 0.01 มิลลิกรัม
 - 2.2 เตาอบที่ควบคุมอุณหภูมิได้ (Hot Air Oven)
 - 2.3 ตู้ควบคุมความชื้น (Desiccator)
 - 2.4 อ่างปรับอุณหภูมิได้ (Water Bath) ชนิด 6 หรือ 12 หลุม
 - 2.5 คีมหนีบถ้วยระเหย (Tongs)
 - 2.6 ถ้วยแก้วระเหย (Dish) ขนาดความจุ 170 - 200 มิลลิลิตร
 - 2.7 ตะแกรงร้อนชนิดพลาสติก ขนาดรูตะแกรงประมาณ 20 เมช (Mesh)
 - 2.8 กระบอคน้ำกลั่น
 - 2.9 แท่งแก้วคน ที่ปลายด้านหนึ่งเป็นพายพลาสติก (Stirring Rod Polish man)
 - 2.10 เตาไฟฟ้าเพื่อย่อยสลายอนุภาคมลสาร (Hot Plate)

2.11 กระดาษกรองชนิดทนกรด (Glass Microfiber Filters)

2.12 เครื่องอะตอมมิคแอบซอร์ปชันสเปคโตรโฟโตมิเตอร์ (Atomic Absorption Spectro photometer: AAS)

3. สารเคมี รับการตรวจวิเคราะห์ (ขวัญฤทัย ทองบุญฤทธิ์ และคณะ, 2561)

3.1 กรดไนตริกเข้มข้น 65% (Conc HNO₃)

3.2 กรดไนตริกเจือจาง 0.1 โมลาร์: ปิเปตต์กรดไนตริกเข้มข้น จำนวน 7.14 มิลลิลิตร

3.3 สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เข้มข้น 35% (35% H₂ O₂)

3.4 สารละลายผสมกรดไนตริกและไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์: ปิเปตต์ 50 มิลลิลิตรของไนตริกเข้มข้นและ 2 มิลลิลิตรของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ผสมเข้าด้วยกัน ปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตรด้วยน้ำกลั่น (Deionized Water)

3.5 น้ำกลั่น (Distilled Water) แบบขจัดไอออนแล้ว (Deionized Water)

3.6 สารฆ่าเชื้อรา ในกรณีที่มีราขึ้นให้ใช้ HgCl₂ (A.R. grade) 0.10 กรัม เติมลงในขวดเก็บตัวอย่าง

4. หมายเหตุ (ขวัญฤทัย ทองบุญฤทธิ์ และคณะ, 2561)

4.1 ถ้าต้องการหาเฉพาะปริมาณอนุภาคฝุ่นอย่างเดียว ให้ใช้น้ำกลั่นธรรมดาทั่วไป ในการชะอนุภาคฝุ่นในภาชนะเก็บ

4.2 ถ้าต้องการหาปริมาณอนุภาคฝุ่นและโลหะในอนุภาคฝุ่น ให้ใช้น้ำกลั่นขจัด ไอออนแล้ว (Deionized Water)

5. การตรวจวิเคราะห์ (ขวัญฤทัย ทองบุญฤทธิ์ และคณะ, 2561)

5.1 การเตรียมถ้วยระเหย

5.1.1 ทำความสะอาดถ้วยระเหยด้วยกรดล้างแก้ว น้ำประปาและน้ำกลั่นตามลำดับ

5.1.2 อบให้แห้งในเตาอบ อุณหภูมิ 100-110 องศาเซลเซียส ประมาณ 3 - 4 ชั่วโมง

5.1.3 นำถ้วยที่อบแล้วใส่ในตู้ควบคุมความชื้น ตั้งทิ้งไว้ให้เย็น

5.1.4 ชั่งน้ำหนักถ้วยเปล่าด้วยเครื่องชั่งละเอียด ทศนิยม 5 ตำแหน่ง แล้วบันทึกน้ำหนักถ้วยไว้เป็นน้ำหนักถ้วยเปล่าครั้งที่หนึ่ง

5.1.5 นำถ้วยที่ได้จากข้อ 4 ทำตามข้อ 2 ถึง 4 เพื่อชั่งหาน้ำหนักถ้วยครั้งที่ 2 หากน้ำหนักของถ้วยทั้งสองครั้งต่างกันไม่เกิน 0.00005 กรัม แสดงว่าน้ำหนักถ้วยระเหยที่เตรียม ค่อนข้างคงที่ให้ได้ พร้อมทั้งจะใช้เตรียมตัวอย่างได้ ถ้าน้ำหนักถ้วยไม่คงที่ให้อบถ้วยใหม่โดยทำตาม ข้อ 5 ใหม่ จนกระทั่งน้ำหนักถ้วยคงที่หรือต่างกันไม่เกินที่กำหนดไว้ แล้วหาค่าเฉลี่ยของน้ำหนักถ้วยเปล่าดังกล่าว

5.2 วิธีการเตรียมตัวอย่างเพื่อหาปริมาณอนุภาคฝุ่น

5.2.1 ฉีดน้ำกลั่นรอบ ๆ ผนังภาชนะเก็บอนุภาคฝุ่น เพื่อชะอนุภาคฝุ่นที่ติดตามผนัง ของภาชนะ แล้วใช้แท่งแก้วปาด คน หรือ เขี่ยอนุภาคฝุ่นที่ติดรอบ ๆ และก้นภาชนะ

5.2.2 เทสารละลายตัวอย่างที่ได้จากข้อ 1 ลงในถ้วยระเหยที่ทราบน้ำหนักแล้ว โดยเทผ่านตะแกรงขนาด 20 เมช (Mesh) เพื่อกำจัดพวกใบไม้ ซากแมลงต่าง ๆ

5.2.3 ชะตัวอย่างในภาชนะเก็บประมาณ 2 - 3 ครั้ง จนกระทั่งภาชนะเก็บตัวอย่าง สะอาดแล้วนำสารละลายแต่ละครั้งมารวมกันในถ้วยเดิม

5.2.4 นำถ้วยระเหยแห้งที่บรรจุตัวอย่าง ไปตั้งบนอ่างปรับอุณหภูมิได้ (Water Bath) ตั้งอุณหภูมิที่ประมาณ 100-110 องศาเซลเซียส แล้วระเหยจนสารละลายในถ้วยแห้ง

5.2.5 นำถ้วยที่สารละลายแห้งแล้วเข้าเตาอบที่อุณหภูมิประมาณ 103 องศาเซลเซียส เพื่ออบให้แห้ง แล้วชั่งน้ำหนักของอนุภาคฝุ่น

5.2.6 คำนวมน้ำหนักอนุภาคฝุ่น จากผลต่างระหว่างน้ำหนักถ้วยที่มีตัวอย่างอนุภาคฝุ่นกับน้ำหนักถ้วยเปล่า

5.2.7 รายงานผลการวิเคราะห์ในหน่วยน้ำหนัก/พื้นที่ของปากภาชนะ/ระยะเวลาที่เก็บตัวอย่าง

5.3 วิธีการเตรียมตัวอย่างเพื่อหาปริมาณโลหะ (ศิริกัลยา และคณะ, 2549)

5.3.1 ชะอนุภาคฝุ่นที่อยู่ในถ้วยระเหยที่ได้จากขั้นตอนสุดท้ายของข้อ 5.2 ด้วยสารละลายผสมของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ และกรดไนตริก จำนวน 50 มิลลิลิตร เทอนุภาคฝุ่นที่ชะได้ลงในขวดรูปชมพู่ (Erlenmeyer Flask) ขนาด 125 มิลลิลิตร ชะจนไม่มีอนุภาคฝุ่นเหลืออยู่ในถ้วย

5.3.2 ใส่ลูกแก้ว (Glass Bead) 2 - 3 เม็ด ตั้งทิ้งค้างคืนไว้ 1 คืน

5.3.3 นำมาย่อยสลายบนเตาไฟฟ้าอย่างช้า ๆ ระวังอย่าให้สารละลายเดือดต้มย่อยจนกระทั่งเกือบแห้ง (เหลือสารละลายประมาณ 5 มิลลิลิตร) ตั้งทิ้งให้เย็น

5.3.4 เติม 10 มิลลิลิตร ไนตริกเข้มข้น (conc. HNO_3) แล้วย่อยสลายต่อจนเกือบแห้ง ตั้งทิ้งไว้ให้เย็น

5.3.5 เติม 20 มิลลิลิตร ไนตริกเจือจาง (0.1 M HNO_3) แล้วย่อยสลายต่อจนเกือบแห้ง ตั้งทิ้งไว้ให้เย็น

5.3.6 หลังจากเย็นแล้ว นำมากรองด้วย 0.1 M HNO_3 โดยกรองผ่านกระดาษกรอง GF/A พยายามชะตัวอย่างตามผนังของขวดรูปชมพู่ออกให้หมด เสร็จแล้วปรับปริมาตรเป็น 25 มิลลิลิตร ด้วย 0.1 M HNO_3 ที่ใช้กรอง

5.3.7 นำไปวิเคราะห์หาปริมาณโลหะ Fe, Cu, Mn, Zn, Pb, Cr และ Cd ด้วยเครื่อง AAS

5.3.8 รายงานผลวิเคราะห์ในหน่วยน้ำหนัก/ปริมาตรอากาศที่เก็บตัวอย่าง

5.4 พิสัยและความไว (Range and Sensitivity)

ค่าต่ำสุดของการตรวจวิเคราะห์อนุภาคฝุ่น วิธีนี้ 0.2 กรัม/ตารางเมตร/เดือน โดยค่าสูงสุดของการวิเคราะห์ขึ้นอยู่กับอัตราส่วนของความลึก และเส้นผ่านศูนย์กลางของขวดเก็บ ตัวอย่าง

5.5 ซึ่งแทรกสอดในการวิเคราะห์ (Interference)

สิ่งแทรกสอดในการวิเคราะห์ที่สำคัญ คือ มุลนกร รา และแมลง ซึ่งสิ่งเหล่านี้จะแทรกสอดได้ในขวดเก็บตัวอย่างหลังจากตั้งขวดเก็บตัวอย่างไว้ระยะหนึ่ง

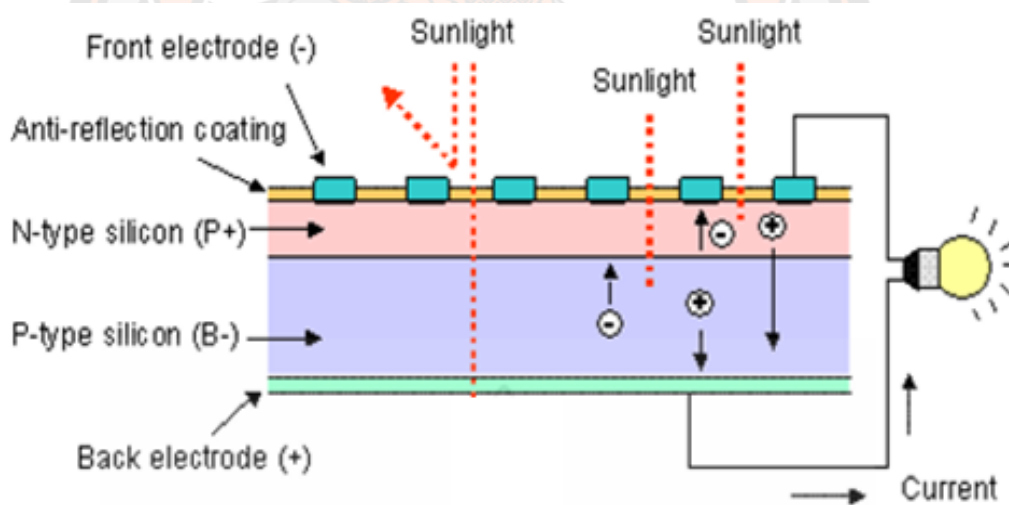
5.6 ความถูกต้องและความแม่นยำในการวิเคราะห์

ตัวอย่างที่เก็บจากจุดเดียวกัน จะต้องมีความที่วิเคราะห์ต่างกันไม่เกิน 15% จึงยอมรับได้

เซลล์แสงอาทิตย์

หลักการการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์เมื่อพลังงานจากแสงมาตกกระทบบนแผ่นเซลล์แสงอาทิตย์รังสีของแสงที่มีอนุภาคของพลังงานประกอบที่เรียกว่า “ โฟตอน ” (Photon) จะถ่ายเทพลังงานให้กับอิเล็กตรอน (Electron) ในสารกึ่งตัวนำจนมีพลังงานมากพอที่จะกระโดดออกมาจากแรงดึงดูดของอะตอม (Atom) และเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระดังนั้นเมื่ออิเล็กตรอนเคลื่อนที่ครบวงจรจะทำให้เกิดไฟฟ้ากระแสตรงขึ้นวัสดุสำคัญที่ใช้ทำเซลล์แสงอาทิตย์ ได้แก่ สารซิลิคอน (Si) ซึ่งเป็นสารชนิดเดียวกับที่ใช้ทำชิพในคอมพิวเตอร์และเครื่องอิเล็กทรอนิกส์ ซิลิคอนเป็นสารซึ่งไม่เป็นพิษมีการนำมาผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ใช้กันอย่างแพร่หลายเพราะมีราคาถูกคงทนและเชื่อถือได้ นอกจากนี้ยังมีวัสดุชนิดอื่นที่สามารถนำมาผลิตเซลล์แสงอาทิตย์เช่น แกลเลียมอาร์เซไนด์ CIS และแคดเมียมเทลลูไรด์แต่ยังมีราคาสูงและบางชนิดยังไม่มีการพิสูจน์เรื่องอายุการใช้งาน ว่าสามารถใช้งานได้ยาวนาน ข้อเสียของ Si การทำให้บริสุทธิ์และอยู่ในรูปสารที่พร้อมจะทำเซลล์แสงอาทิตย์มีราคาแพงและแตกหักง่ายในขบวนการผลิต การทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์เป็นขบวนการเปลี่ยนพลังงานแสงเป็นกระแสไฟฟ้าได้โดยตรง โดยเมื่อแสงซึ่งเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าและมีพลังงานกระทบกับสารกึ่งตัวนำ จะเกิดการถ่ายเทพลังงานระหว่างกันพลังงานจากแสง จะทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของกระแสไฟฟ้า (อิเล็กตรอน) ขึ้นในสารกึ่งตัวนำจึงสามารถต่อกระแสไฟฟ้าง่ายไปใช้งานได้ N-type ซิลิคอนซึ่งอยู่ด้านหน้าของเซลล์คือสารกึ่งตัวนำที่ได้การโคบปี้งด้วยสารฟอสฟอรัสมีคุณสมบัติเป็นตัวให้อิเล็กตรอนเมื่อรับพลังงานจากแสงอาทิตย์ P-type ซิลิคอนคือสารกึ่งตัวนำที่ได้การโคบปี้งด้วยสารโบรอนทำให้โครงสร้างของอะตอมสูญเสียอิเล็กตรอน (โฮล) เมื่อรับพลังงานจากแสงอาทิตย์จะทำหน้าที่เป็นตัวรับอิเล็กตรอนเมื่อนำซิลิคอนทั้ง 2 ชนิดมาประกบต่อกันด้วย P-n junction จึงทำให้เกิดเป็นเซลล์แสงอาทิตย์ในสภาวะที่ยังไม่มีแสงแดด N-type ซิลิคอนซึ่งอยู่ด้านหน้าของเซลล์ส่วนประกอบส่วน

ใหญ่พร้อมจะให้อิเล็กทรอนิกส์แต่ก็ยังมีโฮลปะปนอยู่บ้างเล็กน้อยด้านหน้าของ N-type จะมีแถบโลหะเรียกว่า “ Front Electrode ” ทำหน้าที่เป็นตัวรับอิเล็กทรอนิกส์ส่วน P-type ซิลิคอนซึ่งอยู่ด้านหลังของเซลล์โครงสร้างส่วนใหญ่เป็นโฮลแต่ยังคงมีอิเล็กทรอนิกส์ปะปนบ้างเล็กน้อยด้านหลังของ P-type ซิลิคอนจะมีแถบโลหะเรียกว่า “ Back Electrode ” ทำหน้าที่เป็นตัวรวบรวมโฮล เมื่อมีแสงอาทิตย์ตกกระทบแสงอาทิตย์จะถ่ายเทพลังงานให้กับอิเล็กทรอนิกส์และโฮล ทำให้เกิดการเคลื่อนไหวเมื่อพลังงานสูงพอทั้งอิเล็กทรอนิกส์และโฮลจะวิ่งเข้าหาเพื่อจับคู่กันอิเล็กทรอนิกส์จะวิ่งไปยังชั้น N-type และโฮลจะวิ่งไปยังชั้น P-type เมื่อมีแสงอาทิตย์ตกกระทบแสงอาทิตย์จะถ่ายเทพลังงานให้กับอิเล็กทรอนิกส์และโฮล ทำให้เกิดการเคลื่อนไหวเมื่อพลังงานสูงพอทั้งอิเล็กทรอนิกส์และโฮลจะวิ่งเข้าหาเพื่อจับคู่กันอิเล็กทรอนิกส์จะวิ่งไปยังชั้น N-type และโฮลจะวิ่งไปยังชั้น P-type อิเล็กตรอนวิ่งไปรวมกันที่ Front Electrode และโฮลวิ่งไปรวมกันที่ Back Electrode เมื่อมีการต่อวงจรไฟฟ้าจาก Front Electrode และ Back Electrode ให้ครบวงจรก็จะเกิดกระแสไฟฟ้าขึ้นเนื่องจากทั้งอิเล็กทรอนิกส์และโฮลจะวิ่งเพื่อจับคู่กัน (รายละเอียดแสดงดังภาพ 1) (อเนก ทอนสูงเนิน, 2557)



ภาพ 1 หลักการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์

ที่มา: อเนก ทอนสูงเนิน, 2557

ลักษณะสมบัติเอาต์พุตของเซลล์แสงอาทิตย์

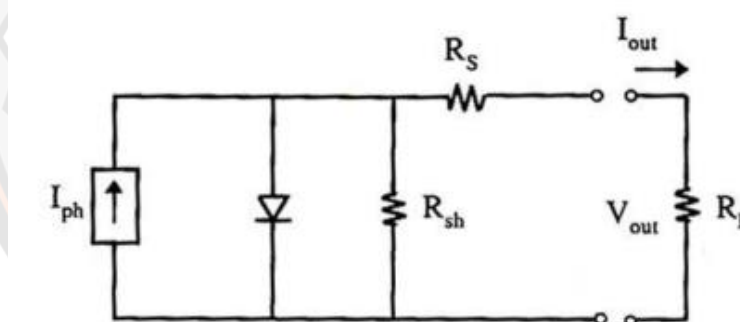
ดุสิต เครื่องาม และคณะ (2533) กล่าวว่า พารามิเตอร์ที่สำคัญที่ใช้อธิบายลักษณะสมบัติเอาต์พุต (Output Characteristics) ของเซลล์แสงอาทิตย์มีดังนี้

1. ประสิทธิภาพการแปลงพลังงาน (Energy conversion efficiency) คือ อัตราส่วนของกำลังไฟฟ้าเอาต์พุตสูงสุดต่อพลังงานของแสงที่ตกกระทบเซลล์แสงอาทิตย์อาจเรียกสั้น ๆ ว่า ประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์และใช้สัญลักษณ์เขียนเป็นสูตรได้ดังสมการ (2.1)

$$\eta = \frac{P_{\max}(w)}{\text{Area}(m^2) \times P_{in}(w)} \times 100\% \quad \text{สมการ (2.1)}$$

โดยที่ η คือ ประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ %
 P_{\max} คือ กำลังไฟฟ้ากระแสตรงจากระบบ PV (วัตต์)
 $\text{Area}(m^2)$ คือ พื้นที่รับแสง (ตารางเมตร)
 $P_{in}(w)$ คือ ค่ารังสีอาทิตย์ตกกระทบ (วัตต์ต่อตารางเมตร)

2. กระแสไฟฟ้าลัดวงจร (Short Circuit Current) ถ้าเอาต์พุตของเซลล์แสงอาทิตย์อยู่ในสภาวะลัดวงจร เราเรียกกระแสไฟฟ้าที่ไหลในวงจรว่า กระแสไฟฟ้าลัดวงจร (Short Circuit Current: I_{sc})



ภาพ 2 วงจรสมมูลของเซลล์แสงอาทิตย์ทั่วไป

ที่มา: อเนก ทอนสูงเนิน, 2557

ภาพ 2 แสดงวงจรสมมูลของเซลล์แสงอาทิตย์ทั่วไป ถ้าเซลล์แสงอาทิตย์ไม่ถูกส่องด้วยแสง ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้ามีด 1 และแรงดันไฟฟ้า V ของเซลล์แสงอาทิตย์ในสภาวะมีดจะมีรูปเหมือนกับสมการของกระแสไฟฟ้าของไดโอด กล่าวคือ

$$I_o = qA \left[\frac{D_h P_n}{L_h} + \frac{D_e n_p}{L_e} \right] \quad \text{สมการ (2.2)}$$

โดยที่	I_o	คือ กระแสไฟฟ้าย้อนอิมิตัว
	q	คือ ประจุของอิเล็กตรอนค่าคงที่ 1.6×10^{-9} C
	A	คือ พื้นที่รับแสง
	D_h	คือ สัมประสิทธิ์การแพร่ซึมของโฮล
	P_n	คือ จำนวนโฮลต่อพื้นที่ในชั้น n
	L_h	คือ ระยะทางแพร่ซึมของโฮล
	D_e	คือ สัมประสิทธิ์การแพร่ซึมของอิเล็กตรอน
	n_p	คือ จำนวนอิเล็กตรอนต่อพื้นที่ในชั้น p
	L_e	คือ ระยะทางแพร่ซึมของอิเล็กตรอน

$$I = I_o \left[\exp\left(\frac{qv}{nkT}\right) - 1 \right] \quad \text{สมการ (2.3)}$$

โดยที่	I	คือ กระแสของแผงเซลล์แสงอาทิตย์
	q	คือ ประจุของอิเล็กตรอนค่าคงที่ 1.6×10^{-9} C
	v	คือ แรงดันตกคร่อมไดโอด
	n	คือ ค่าแฟกเตอร์
	k	คือ ค่าคงที่ของ Boltzman มีค่าเท่ากับ $1.3806504 \times 10^{-23}$
	T	คือ อุณหภูมิที่รอยต่อขณะทำงานของเซลล์

โดยที่ I_o เรียกว่า กระแสไฟฟ้าย้อนอิมิตัวและ n คือ ค่าแฟกเตอร์ I กระแสไฟฟ้าโฟโต I_{ph} (I_{sc}) ดังนี้

$$I_{out} = I - I_{ph} \quad \text{สมการ (2.4)}$$

ในที่นี้ $I_{ph} = I_{sc}$ คำนวณได้จากสมการที่ 2.5 และถ้าให้ A คือ พื้นที่รับแสง จะได้ว่า

$$I_{sc} = qA \int_0^{\infty} F(\lambda)\eta_{ext}(\lambda) d\lambda \quad \text{สมการ (2.5)}$$

โดยที่	I_{sc}	คือ กระแสไฟฟ้าลัดวงจร
	q	คือ ประจุของอิเล็กตรอนค่าคงที่ 1.6×10^{-19} C
	A	คือ พื้นที่รับแสง
	$F(\lambda)$	คือ โฟตอนฟลักซ์ซึ่งหมายถึงจำนวนโฟตอนต่อหน่วยพื้นที่และหน่วยเวลาที่ตกกระทบเซลล์แสงอาทิตย์
	$\eta_{ext}(\lambda)$	คือ ประสิทธิภาพการรวบรวมพาหะภายนอก

ถ้าพิจารณาความต้านทานภายในของเซลล์แสงอาทิตย์ซึ่งได้แก่ ความต้านทานอนุกรม R_s และความต้านทานขั้ว R_{sh} ด้วยจะทำให้กระแสไฟฟ้าเอาต์พุต I_{out} มีค่าดังนี้

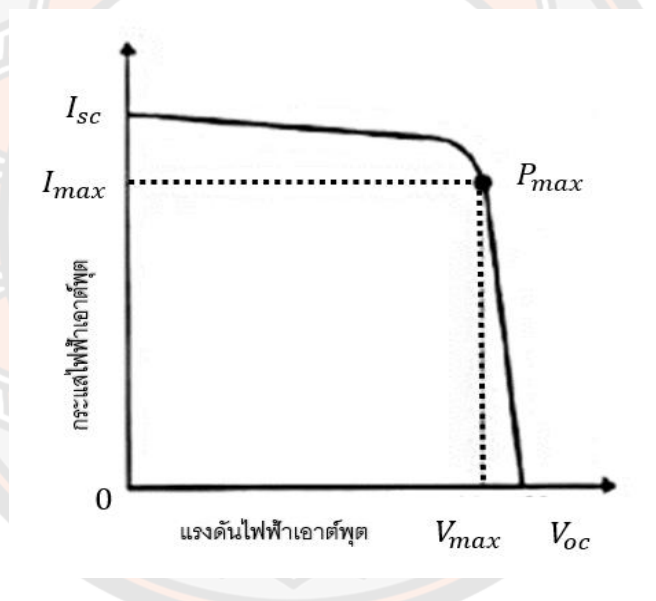
$$I_{out} = I_0 \left[\exp \left\{ \frac{q(V - IR_s)}{nkT} \right\} - 1 \right] + \frac{V - IR_s}{R_{sh}} - I_{ph} \quad \text{สมการ (2.6)}$$

โดยที่	I_{out}	คือ กระแสไฟฟ้าเอาต์พุต
	I_0	คือ กระแสไฟฟ้าย้อนอิมิตัว
	q	คือ ประจุของอิเล็กตรอนค่าคงที่ 1.6×10^{-19} C
	V	คือ แรงดันตกคร่อมไดโอด
	I	คือ กระแสของแผงเซลล์แสงอาทิตย์
	R_s	คือ ความต้านทานอนุกรม
	n	คือ ค่าแฟกเตอร์
	k	คือ ค่าคงที่ของ Boltzman มีค่าเท่ากับ $1.3806504 \times 10^{-23}$
	T	คือ อุณหภูมิที่รอยต่อขณะทำงานของเซลล์
	R_{sh}	คือ ความต้านทานขั้ว
	I_{ph}	คือ กระแสไฟฟ้าโฟโต

3. แรงดันไฟฟ้าวงจรเปิด (Open Circuit Voltage) ถ้าเอาต์พุตของเซลล์แสงอาทิตย์อยู่ในสภาพวงจรเปิด (Open circuit) แรงดันไฟฟ้าที่วัดได้เรียกว่าแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิด (Open Circuit Voltage: V_{oc}) ค่า V_{oc} คำนวณได้จากสมการที่ 2.4 โดยแทนค่า I_{sc} ดังนั้นจึงได้ว่า

$$V_{oc} = \frac{nkT}{q} \ln \left[\frac{I_{sc}}{I_0} + 1 \right] \quad \text{สมการ (2.7)}$$

โดยที่	V_{oc}	คือ แรงดันไฟฟ้าวงจรเปิด
	n	คือ จำนวนอิเล็กตรอน
	k	คือ ค่าคงที่ของ Boltzman มีค่าเท่ากับ $1.3806504 \times 10^{-23}$
	T	คือ อุณหภูมิที่รอยต่อขณะทำงานของเซลล์
	q	คือ ประจุของอิเล็กตรอนค่าคงที่ $1.6 \times 10^{-9} \text{ C}$
	I_{sc}	คือ กระแสไฟฟ้าลัดวงจร
	I_0	คือ กระแสไฟฟ้าย้อนอิมิตัว



ภาพ 3 ลักษณะสมบัติเอาต์พุตของเซลล์แสงอาทิตย์ทั่วไป

ที่มา: ดุสิต เครื่องาม และคณะ, 2533

ภาพ 3 แสดงตัวอย่างลักษณะสมบัติเอาต์พุตของเซลล์แสงอาทิตย์จุดที่กราฟตัดแกนแรงดันไฟฟ้าคือแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิด จุดที่กราฟตัดแกนกระแสไฟฟ้าคือกระแสไฟฟ้าลัดวงจรในการใช้งานเซลล์แสงอาทิตย์ กำลังไฟฟ้าสูงสุด P_{max} (Maximum Power) ที่เราจะได้จากเซลล์แสงอาทิตย์จะเท่ากับพื้นที่สี่เหลี่ยมผืนผ้าที่ใหญ่ที่สุดในกราฟลักษณะสมบัตินี้ซึ่งแสดงด้วยเส้นไขว้

ปลาในภาพที่ 2.3 ถ้าให้ V_{max} (Maximum Voltage) และ I_{max} (Maximum Current) คือ แรงดันไฟฟ้าสูงสุดและกระแสไฟฟ้าสูงสุดตามลำดับที่จะให้กำลังไฟฟ้าสูงสุด ดังนั้น

$$P_{max} = V_{max} \times I_{max} \quad \text{สมการ (2.8)}$$

โดยที่ P_{max} คือ กำลังไฟฟ้าสูงสุด
 V_{max} คือ แรงดันไฟฟ้าสูงสุด
 I_{max} คือ กระแสไฟฟ้าสูงสุด

เราสามารถคำนวณหาค่า V_{max} ได้ด้วยการหาค่าอนุพันธ์ของ P_{max} เทียบกับ V_{max} และกำหนดให้

$$\frac{\partial P_{max}}{\partial V_{max}} = 0 \quad \text{สมการ (2.9)}$$

$$\exp\left(\frac{qV_{max}}{nkT}\right) \left(1 + \frac{qV_{max}}{nkT}\right) = \left(\frac{I_{sc}}{I_0} + 1\right) \quad \text{สมการ (2.10)}$$

โดยที่ q คือ ประจุของอิเล็กตรอนค่าคงที่ 1.6×10^{-19} C
 V_{max} คือ แรงดันไฟฟ้าสูงสุด
 n คือ ค่าแฟกเตอร์
 k คือ ค่าคงที่ของ Boltzman มีค่าเท่ากับ $1.3806504 \times 10^{-23}$
 T คือ อุณหภูมิที่รอยต่อขณะทำงานของเซลล์
 I_{sc} คือ กระแสไฟฟ้าลัดวงจร
 I_0 คือ กระแสไฟฟ้าย้อนอิมิตัว

ด้วยวิธีการคำนวณในทำนองเดียวกัน I_{max} จะมีค่าเท่ากับ

$$I_{max} = \frac{(I_{sc} + I_0) \frac{qV_{max}}{nkT}}{1 + \frac{qV_{max}}{nkT}} \quad \text{สมการ (2.11)}$$

โดยที่	I_{sc}	คือ กระแสไฟฟ้าลัดวงจร
	I_0	คือ กระแสไฟฟ้าย้อนอิมิตัว
	q	คือ ประจุของอิเล็กตรอนค่าคงที่ 1.6×10^{-19} C
	V_{max}	คือ แรงดันไฟฟ้าสูงสุด
	n	คือ ค่าแฟกเตอร์
	k	คือ ค่าคงที่ของ Boltzman มีค่าเท่ากับ $1.3806504 \times 10^{-23}$ J/K
	T	คือ อุณหภูมิที่รอยต่อขณะทำงานของเซลล์
	I_{sc}	คือ กระแสไฟฟ้าลัดวงจร
	I_0	คือ กระแสไฟฟ้าย้อนอิมิตัว

สมการที่ 2.9 และ 2.10 ชี้ให้เราทราบว่า P_{max} จะมีค่ามากเมื่อ I_0 มีค่าน้อย (นั่นก็คือ ช่องว่างพลังงานของสารกึ่งตัวนำควรมีค่ากว้างพอสมควร) และ n มีค่าน้อย

4. ฟิลล์แฟกเตอร์ (Fill Factor) คือ เอนทัลปีพารามิเตอร์ที่สำคัญอีกตัวหนึ่งคือฟิลล์แฟกเตอร์ (Fill Factor) เขียนย่อว่า FF นิยามของ FF คืออัตราส่วนของพื้นที่ของ $V_{max} \times I_{max}$ ต่อพื้นที่ของ $V_{oc} \times I_{sc}$ และเขียนเป็นสูตรได้ว่า

$$FF = \frac{P_{max}}{V_{oc} \times I_{sc}} = \frac{V_{max} \times I_{max}}{V_{oc} \times I_{sc}} \quad \text{สมการ (2.12)}$$

โดยที่	FF	คือ ฟิลล์แฟกเตอร์
	P_{max}	คือ กำลังไฟฟ้าสูงสุด
	V_{oc}	คือ แรงดันไฟฟ้าวงจรเปิด
	I_{sc}	คือ กระแสไฟฟ้าลัดวงจร
	V_{max}	คือ แรงดันไฟฟ้าสูงสุด
	I_{max}	คือ กระแสไฟฟ้าสูงสุด

การคำนวณหาขนาดของเซลล์แสงอาทิตย์

การคำนวณหาขนาดของเซลล์แสงอาทิตย์ คือ ค่าการใช้พลังงานรวมทั้งหมดหารด้วย ปริมาณแสงอาทิตย์ที่คาดว่าจะได้รับใน 1 วัน ซึ่งสามารถเขียนในรูปสมการได้ดังสมการ

$$\text{ขนาดของเซลล์แสงอาทิตย์} = \frac{\text{ค่าการใช้พลังงานรวมทั้งหมด (วัตต์)}}{5 \text{ (ชั่วโมง) (ปริมาณแสงอาทิตย์ที่คาดว่าจะได้รับใน 1 วัน)}}$$

สมการ (2.13)

การคำนวณหาขนาดของแบตเตอรี่

การคำนวณหาขนาดของแบตเตอรี่ในระบบไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ คือ ขนาดแบตเตอรี่ เท่ากับกำลังไฟฟ้าที่อุปกรณ์ไฟฟ้าต้องการคำนวณกับระยะเวลาที่ต้องการใช้งานหารด้วยผลคูณของ แรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่และประสิทธิภาพของแบตเตอรี่และประสิทธิภาพของอินเวอร์เตอร์ ซึ่งสามารถเขียนในรูปสมการได้ดังสมการ

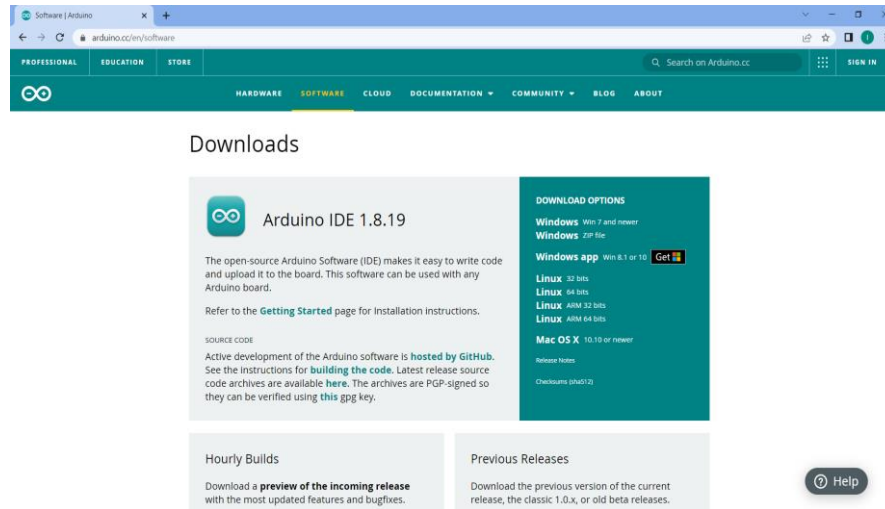
$$A = P / (V \times \mu B \times \mu I)$$

สมการ (2.14)

โดยที่	A	คือ ขนาดแบตเตอรี่ (แอมแปร์ชั่วโมง)
	P	คือ กำลังไฟฟ้าที่ LOAD ต้องการ (วัตต์)
	T	คือ ระยะเวลาที่ต้องการใช้งาน (นาทิจหรือวินาที)
	V	คือ แรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่ (โวลต์)
	μB	คือ ประสิทธิภาพของแบตเตอรี่
	μI	คือ ประสิทธิภาพของอินเวอร์เตอร์

โปรแกรม ARDUINO IDE

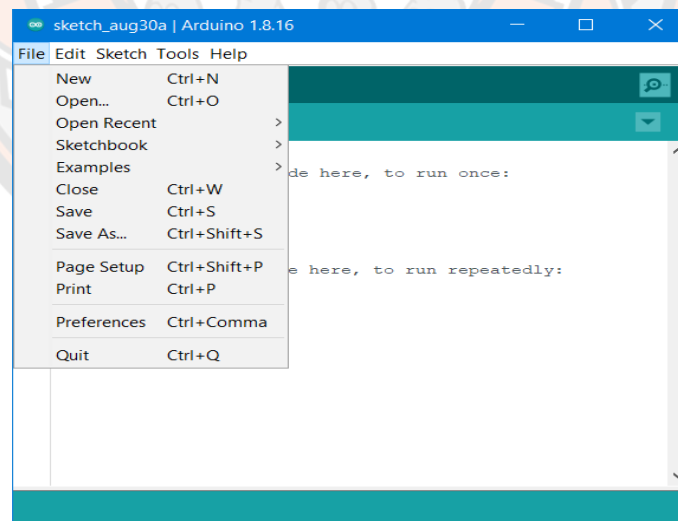
เป็นโปรแกรมที่ใช้งานลักษณะ Open source ทำหน้าที่ ติดต่อระหว่างคอมพิวเตอร์ ไม่ว่าจะ เป็นระบบ Windows, Mac OS X หรือ Linux กับ บอร์ด Arduino ซึ่งโปรแกรมนี้ ออกแบบให้ง่าย ต่อการเขียนโค้ดและอัปโหลดโปรแกรมที่เราเขียนเข้าสู่บอร์ด Arduino ส่วน IDE ย่อมาจาก (Integrated Development Environment) คือ ส่วนเสริมของระบบการพัฒนา หรือตัวช่วยต่าง ๆ ที่จะคอยช่วยเหลือ Developer หรือช่วยเหลือคนที่พัฒนา Application เพื่อเสริมให้เกิดความ รวดเร็ว ถูกต้อง แม่นยำ ตรวจสอบระบบที่จัดทำได้ ทำให้การพัฒนางานต่าง ๆ เร็วขึ้น โดยสามารถ ดาวน์โหลดโปรแกรมได้ที่ www.arduino.cc (ดังภาพ 4)



ภาพ 4 ช่องทางการดาวน์โหลดโปรแกรม ARDUINO IDE

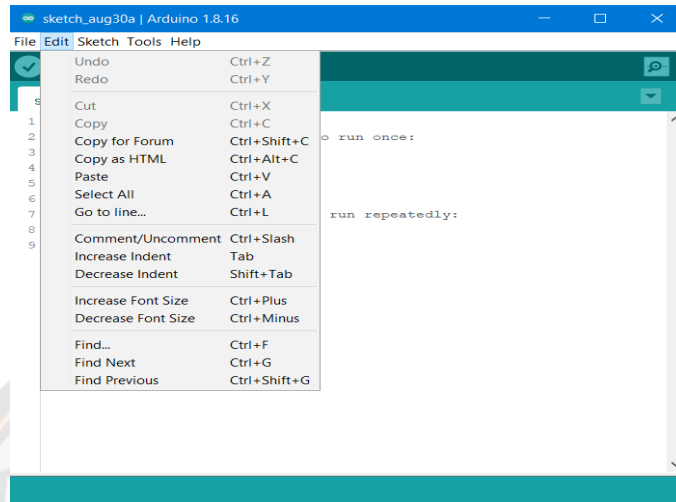
เมนูคำสั่งของโปรแกรม ARDUINO IDE

1. เมนู File เป็นเมนูคำสั่งที่ใช้ในการจัดการคำสั่งต่าง ๆ เกี่ยวกับไฟล์ เช่น การเปิดไฟล์ บันทึกไฟล์ การบันทึก การพิมพ์งาน และการออกจากโปรแกรม (ดังภาพ 5)



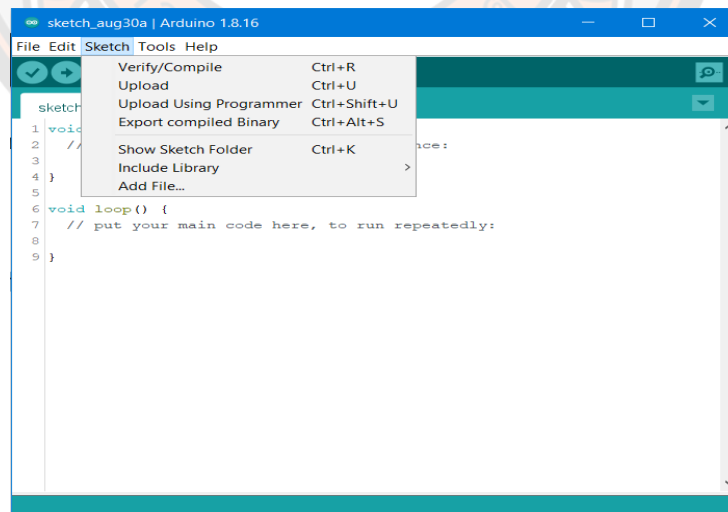
ภาพ 5 เมนูคำสั่ง File

2. เมนู Edit เป็นเมนูคำสั่งเกี่ยวกับการแก้ไข เช่น การคัดลอก การวาง การยกเลิก และการค้นหา หรือการย้อนกลับ เป็นต้น (ดังภาพ 6)



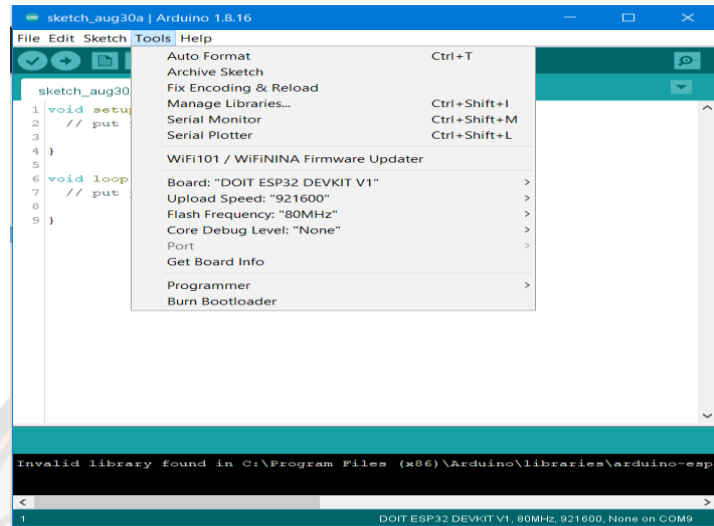
ภาพ 6 เมนูคำสั่ง Edit

3. เมนู Sketch เป็นเมนูคำสั่งที่เกี่ยวข้องกับการคอมไพล์ การตรวจสอบความถูกต้อง ของการเขียนโปรแกรม และการโหลดโปรแกรมลงบอร์ด Arduino (ดังภาพ 7)



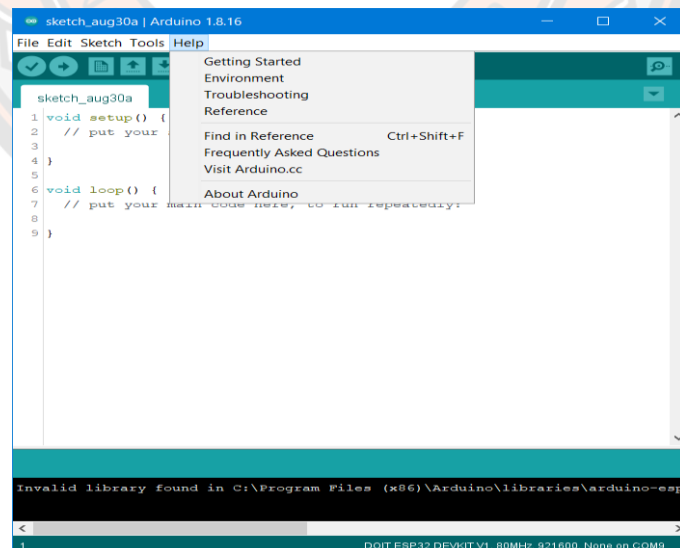
ภาพ 7 เมนูคำสั่ง Sketch

4. เมนู Tools เป็นคำสั่งในการใช้เครื่องมือต่าง ๆ สิ่งที่ต้องกำหนดคือ พอร์ตอนุกรมสำหรับเครื่อง และกำหนดบอร์ด Arduino ที่ใช้งานให้ตรงกับบอร์ดที่ใช้ (ดังภาพ 8)



ภาพ 8 เมนูคำสั่ง Tools

5. เมนู Help เป็นเมนูคำสั่งเกี่ยวกับการขอความช่วยเหลือ (ดังภาพ 9)



ภาพ 9 เมนูคำสั่ง Help

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ภัทรกร กำซ้อน และคณะ (2553) การศึกษาการตกสะสมของฝุ่นตกในเขตและบริเวณโดยรอบมหาวิทยาลัยนเรศวร โดยทำการเก็บตัวอย่าง 16 จุด ในเขตมหาวิทยาลัยนเรศวร เก็บตัวอย่าง 8 จุด และ อีก 8 จุดบริเวณโดยรอบมหาวิทยาลัย ในช่วงเดือนกรกฎาคม 2553 ถึงเดือนมกราคม 2554 โดยวิธี Dust Fall Jar เก็บตัวอย่างสะสม 30 วัน พบว่าปริมาณฝุ่นตกในเขตมหาวิทยาลัยนเรศวรที่จุดเก็บตัวอย่างอาคารศูนย์วิจัยฝึกอบรมพลังงาน มีค่ามากที่สุดอยู่ในช่วงเดือนพฤศจิกายน 2553 โดยมีปริมาณฝุ่น 184.12 มิลลิกรัมต่อตารางเมตรต่อวัน ซึ่งมีค่าเกินมาตรฐานฝุ่นตกในบริเวณย่านที่พักอาศัย 65-130 มิลลิกรัมต่อตารางเมตรต่อวัน เนื่องจากบริเวณนั้นอยู่ใกล้กับแหล่งอาศัยของนก แปลงทดลองการปลูกพืชสวนครัว ปริมาณฝุ่นตกบริเวณโดยรอบมหาวิทยาลัยนเรศวรพบว่าที่จุดเก็บตัวอย่าง ร้านคังเซน-เคนโก อินเทอร์เน็ตเนชั่นแนลบริเวณประตู 5 มีค่ามากที่สุดอยู่ในช่วงเดือนสิงหาคม 2553 โดยมีปริมาณฝุ่น 100.64 มิลลิกรัมต่อตารางเมตรต่อวัน ซึ่งมีค่าตามมาตรฐานฝุ่นตก บริเวณดังกล่าวเป็นย่านธุรกิจ ตลาดนัดและการจราจรหนาแน่น

ศรัจิตร์ น้ำจิตร และคณะ (2545) การศึกษาปริมาณฝุ่นตกภายนอกอาคารบริเวณเทศบาลนครพิษณุโลกซึ่งได้ทำการวางตัวอย่างทั้งหมด 10 จุดโดยแบ่งเป็นบริเวณถนนสายหลักทางสี่แยกเป็นเส้นทางคมนาคมจำนวน 7 จุดและบริเวณย่านการค้าในเขตเทศบาลนครพิษณุโลกจำนวน 3 จุดมีลักษณะการวาง 2 แบบคือวางในแนวราบและวางในแนวตั้ง (แนวตั้ง) ทำการเก็บตัวอย่างทุก ๆ 1 วันเป็นเวลา 1 สัปดาห์และนำข้อมูลที่ได้มาคำนวณหาปริมาณฝุ่นตกและเปรียบเทียบปริมาณฝุ่นตกในแต่ละพื้นที่ซึ่งค่าที่ได้ในแต่ละวันจะแตกต่างกันน้อยสุดถึงมากที่สุดพบว่าบริเวณป้ายรถเมล์วงเวียนรถไฟซึ่งมีปริมาณถึง 153.76 มิลลิกรัมต่อตารางเมตรต่อวัน ในวันที่ 30 มกราคม 2546 เนื่องจากบริเวณดังกล่าวเป็นเส้นทางคมนาคมเป็นวันที่มีผู้ใช้รถใช้ถนนทำให้เกิดฝุ่นที่ผิวถนน (Road Dust) รวมทั้งการก่อสร้างตลาดสดและการปรับปรุงสถานีรถไฟและในวันนี้มีสภาพอากาศค่อนข้างร้อนในช่วงบ่ายทำให้มีปริมาณฝุ่นเพิ่มมากขึ้นส่วนมากมาจากบริเวณการก่อสร้างตลาดสด

สุดจิต คุรุจิต และคณะ (2553) การพัฒนาระบบเฝ้าระวังฝุ่นละอองและคุณภาพอากาศแบบบูรณาการ โดยตรวจวัดใน 10 ชุมชน ครอบคลุมพื้นที่ของจังหวัดอย่างต่อเนื่องเป็นเวลา 1 ปีและสร้างเครือข่ายนักสิ่งแวดล้อมชุมชน เพื่อให้มีบทบาทในการเฝ้าระวังคุณภาพอากาศของท้องถิ่นด้วยตนเอง การเก็บข้อมูลและการวิเคราะห์ผลเป็นวิธีอย่างง่ายเพื่อให้สามารถนำไปใช้งานได้จริงในทางปฏิบัติ ผลการศึกษา พบค่าเฉลี่ยปริมาณฝุ่นรายเดือนอยู่ในช่วง 3.51 – 14.16 กรัมต่อตารางเมตรต่อเดือน เดือนที่มีปริมาณฝุ่นค่อนข้างสูงได้แก่เดือนพฤษภาคม ค่าความเข้มข้น ฝุ่นเฉลี่ยในแต่ละชุมชนอยู่ในช่วง 3.59 – 12.93 กรัมต่อตารางเมตรต่อเดือน และในภาพรวมเชิงพื้นที่และรายชุมชนไม่พบสภาพปัญหาฝนกรด ส่วนผลการวิเคราะห์โลหะหนักในฝุ่น พบค่าความเข้มข้น ที่ค่อนข้างสูงสำหรับ Cr Cu Zn และ Pb โดยพบความเข้มข้นของ Cr กับ Cd สูงที่สุดที่เทศบาลนครฯ ผลการวิเคราะห์

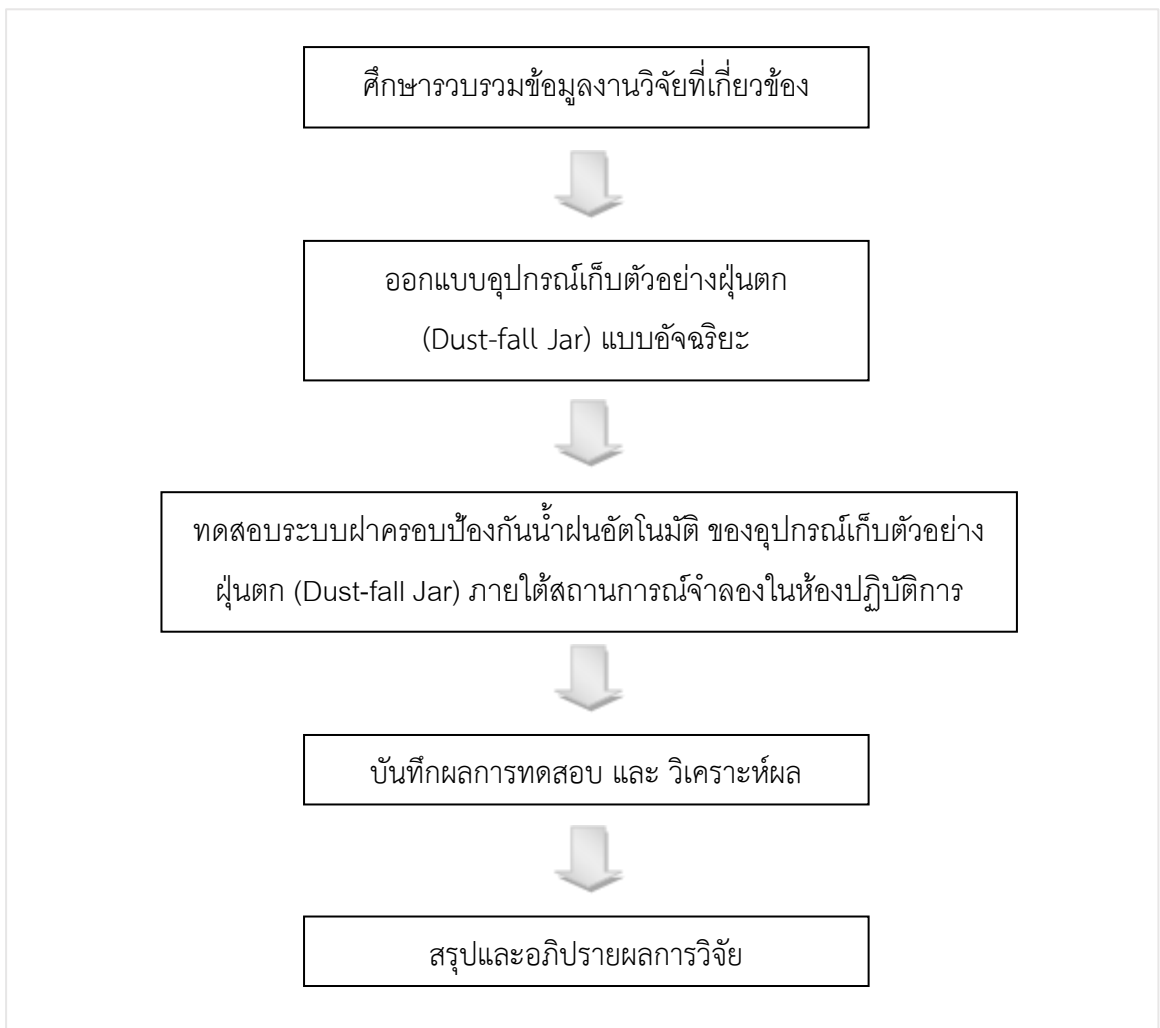
องค์ประกอบหลัก (PCA) และการวิเคราะห์จัดกลุ่ม (CA) พบความสัมพันธ์ของโลหะหนักจากฝุ่นแบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม ได้แก่กลุ่มที่ 1 Cd Cr Cu และ Pb กลุ่มที่ 2 Fe Mn และ Hg และกลุ่มที่ 3 Zn กับ As ซึ่งสันนิษฐานแหล่งกำเนิดของกลุ่มที่ 1 และ 3 อาจเป็นการจราจรและยานพาหนะรวมทั้งอุตสาหกรรม ส่วนกลุ่มที่ 2 อาจเป็นส่วนที่มาจากองค์ประกอบของดินในธรรมชาตินอกจากนั้นการจัดกลุ่มชุมชนสามารถจัดชุมชนได้เป็น 3 กลุ่ม ตามลักษณะข้อมูลความเข้มข้น ของโลหะหนักทั้ง 9 ชนิด การดำเนินโครงการได้รับผลกระทบบางส่วนจากปัญหาการพัฒนาอุปกรณ์เก็บตัวอย่างอย่างง่าย และการพัฒนา Web Site ในภาพรวมโครงการสามารถดำเนินการสำเร็จตามวัตถุประสงค์และชุมชนที่เข้าร่วมโครงการได้แสดงความคิดเห็นว่าได้รับประโยชน์แนวทางการเฝ้าระวังคุณภาพสิ่งแวดล้อมของโครงการในระดับมาก โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 8.5 คะแนน จาก 10 คะแนน

นัทกมล ผินนอก (2563) การพัฒนาระบบวิเคราะห์ข้อมูลจากเซนเซอร์ต้นทุนต่ำแบบเรียลไทม์ในการตรวจวัดความชื้นของดินแบบเชิงพื้นที่ เพื่อติดตามปัญหาการเจริญเติบโตและเพิ่มปริมาณผลผลิตของพืชด้วยเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง ระบบที่พัฒนาขึ้นถูกออกแบบให้ใช้ทำหน้าที่ 2 อย่างหลัก ๆ คือ 1) การติดตามความชื้นดินแบบเรียลไทม์ 2) ระบบแจ้งเตือนผ่าน LINE Notify การทำงานของระบบจะใช้พลังงานจากแสงอาทิตย์ผ่านโซลาร์เซลล์ไปยังที่เก็บไฟ เมื่อเซนเซอร์เริ่มทำงานระบบจะทำการวัดค่าความชื้นในดิน และแสดงค่าแบบเรียลไทม์บน Smart phone (Blynk Application) รวมถึงส่งข้อมูลไปยังเครื่องแม่ข่ายทุก ๆ 1 ชั่วโมง เพื่อทำการเก็บค่าไว้ในฐานข้อมูล (PostgreSQL) จากนั้นข้อมูลที่ถูกส่งไปยังฐานข้อมูลจะถูกเรียกมาแสดงในรูปแบบกราฟต่าง ๆ นอกจากนั้นยังมีการนำข้อมูลค่าความชื้นดินมาคำนวณหาการประมาณค่าด้วยระยะทางกลับโดยน้ำหนัก เพื่อนำมาใช้ในการวิเคราะห์บริเวณพื้นที่ปลูกพืชของเกษตรกร และจากเงื่อนไขที่ได้เขียนโปรแกรมไว้ หากเซนเซอร์ตรวจวัดได้ว่าความชื้นในดินต่ำกว่า 10% ระบบจะทำการแจ้งเตือนผ่านไลน์แอปพลิเคชันไปยังผู้ดูแล และนำข้อมูลที่อยู่บนในฐานข้อมูลบนเครื่องแม่ข่าย (Server) ผลการวิจัยดังกล่าวพบว่า ชุดอุปกรณ์เซนเซอร์นี้สามารถตรวจวัดความชื้นของดินได้และสามารถติดตามผลแบบ Real-Time ได้จริง และระบบแจ้งเตือนสามารถแจ้งเตือนได้ตามเงื่อนไข จึงสามารถติดตามปัญหาและเพิ่มผลผลิตของพืชได้ตามวัตถุประสงค์ได้จริง ทำให้ลดความกังวลของปัญหาที่จะเกิดขึ้นกับพืชได้ และยังเพิ่มประสิทธิภาพของผลผลิต

บทที่ 3

วิธีดำเนินงานวิจัย

กรอบแนวความคิดการวิจัย



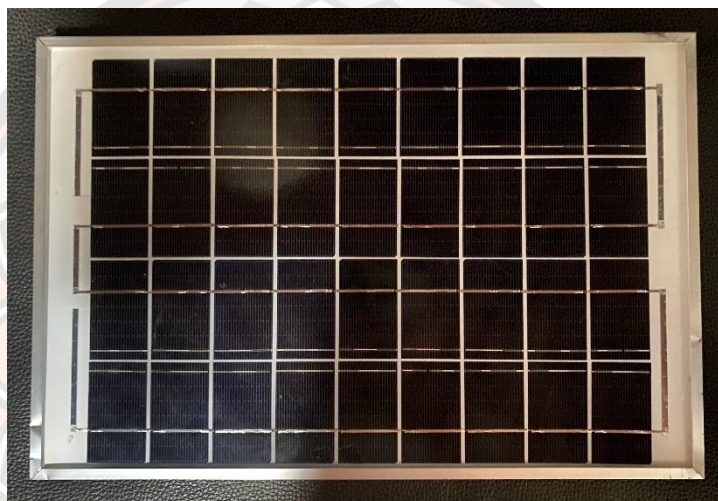
ภาพ 10 กรอบแนวความคิดการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

1. อุปกรณ์ที่ใช้ในส่วนของฮาร์ดแวร์ (Hardware)

1.1 เซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Cells)

เซลล์แสงอาทิตย์เป็นอุปกรณ์สำหรับผลิตไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบวัตถุ แล้วทำให้สามารถเปลี่ยนพลังงานแสงได้เป็นพลังงานไฟฟ้า อัตราการผลิตกระแสไฟฟ้า สูงสุดจะเกิดขึ้นในช่วงเวลากลางวัน อายุการใช้งานของเซลล์แสงอาทิตย์ประมาณ 20-25 ปี พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ จะเป็นพลังงานไฟฟ้ากระแสตรง (DC) (อิมเม้นซ์ คอร์ปอเรชั่น, 2562) (ดั่งภาพ 11)



ภาพ 11 เซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Cell)

1.2 เซอร์คิตเบรกเกอร์ (Circuit Breaker)

เซอร์คิตเบรกเกอร์หรือเบรกเกอร์ คือ สวิตช์ไฟฟ้าอัตโนมัติที่ออกแบบมา เพื่อป้องกันความเสียหายที่เกิดจากกระแสไฟฟ้าส่วนเกิน โดยทั่วไปเกิดจากโหลดเกินหรือไฟฟ้าลัดวงจร การทำงานของมันคือตัดกระแสไฟฟ้าหลังจากตรวจพบความผิดปกติในวงจรไฟฟ้า (ดั่งภาพ 12) (แพ็คโตมาร์ท, 2565)



ภาพ 12 เซอร์กิตเบรกเกอร์ (Circuit Breaker)

1.3 โซล่าชาร์จ คอนโทรลเลอร์ (Solar Charge Controller)

อุปกรณ์รับพลังงานไฟฟ้ากระแสตรง (DC) จากเซลล์แสงอาทิตย์ ควบคุมการชาร์จประจุไฟฟ้าให้กับแบตเตอรี่เพื่อไม่ให้มีการชาร์จประจุเข้าแบตเตอรี่มากเกินไป เมื่อแบตเตอรี่ชาร์จเต็มแล้ว คอนโทรลเลอร์จะทำการตัดการชาร์จโดยอัตโนมัติ และสามารถดูว่าแรงดันไฟฟ้าที่อยู่ในแบตเตอรี่อยู่ในระดับใด เพื่อเป็นการป้องกันการคลายประจุของแบตเตอรี่ที่มากเกินไปเป็นผลทำให้แบตเตอรี่เสื่อมเร็ว (ดังภาพ 13) (Solarhub, 2558)



ภาพ 13 โซล่าชาร์จ คอนโทรลเลอร์ (Solar Charge Controller)

1.4 เทอร์มินอลบล็อก (Terminal Block)

แผงขั้วต่อเป็นชุดของจุดเชื่อมต่อแบบขันเกลียวสองจุดหรือมากกว่า หน้าที่หลักของแผงขั้วต่อ คือ การเชื่อมต่อและป้องกัน ใช้สำหรับเชื่อมต่อสายไฟในตู้คอนโทรล เพื่อให้การจัดเก็บสายไฟเป็นระเบียบเรียบร้อยและมีความปลอดภัยในการทำงาน สามารถใช้งานกับอุณหภูมิสูงได้ดี ทนต่อความร้อน กรดและด่าง ไม่ติดไฟ และรองรับการต่อเข้ากับสายไฟได้หลายขนาด (ดังภาพ 14) (MISUMI Corporation, 2565)



ภาพ 14 เทอร์มินอลบล็อก (Terminal Block)

1.5 แบตเตอรี่ (Battery)

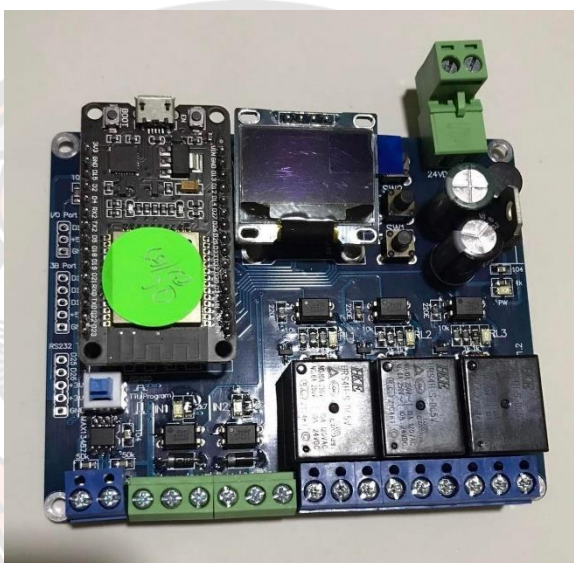
อุปกรณ์จัดเก็บพลังงานที่สามารถแปลงพลังงานเคมีให้เป็นไฟฟ้าได้ โดยตรง ประกอบด้วยขั้วบวกและขั้วลบ ภายในเป็นกลุ่มของเซลล์ไฟฟ้าตั้งแต่ 2 เซลล์ขึ้นไป ต่อรวมกันอยู่แบบอนุกรมและแบบขนาน หรือทั้งสองแบบ เป็นอุปกรณ์สำหรับจัดเก็บไฟฟ้าเท่านั้น ไม่สามารถผลิตไฟฟ้าได้ สามารถชาร์จประจุไฟฟ้าเข้าไปใหม่ (recharge) ได้หลายครั้ง จัดเป็นอุปกรณ์ที่มีราคาแพงและเสียหายได้ง่าย หากดูแลรักษาไม่ดี (ดังภาพ 15) (ไทรเทค อินดัสทรี, 2556)



ภาพ 15 แบตเตอรี่ (Battery)

1.6 บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino ESP32

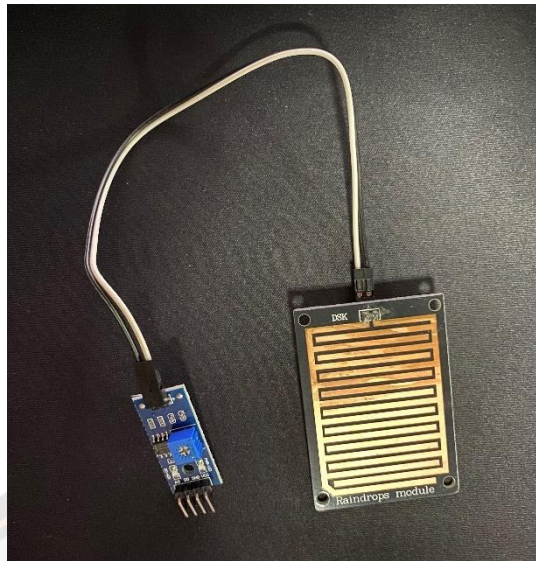
ESP32 เป็นชิปไมโครคอนโทรลเลอร์ที่มาพร้อม WiFi มาตรฐาน 802.11 b/g/n และบลูทูธเวอร์ชัน 4.2 ใช้สถาปัตยกรรม Tensilica LX6 จำนวน 2 คอร์ สัญญาณนาฬิกา 240 เมกกะเฮิร์ตซ สามารถแยกการทำงานระหว่างโปรแกรมจัดการ WiFi และแอปพลิเคชันออกจากกันได้ มีสเถียรภาพ แรมขนาด 520 กิโลไบต์ มีช่อง ADC 12 ช่อง ใช้แรงดันไฟฟ้า 3.3 โวลต์ ในโหมด Sleep ใช้กระแสไฟฟ้า 2.5 ไมโครแอมแปร์ ผลิตโดยบริษัท Espressif จากประเทศจีน (ดังภาพ 16) (Robotsiam, 2562)



ภาพ 16 บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino ESP32

1.7 เซนเซอร์น้ำฝน ความชื้น วัดระดับน้ำ (Rain/Water Detection Sensor Module)

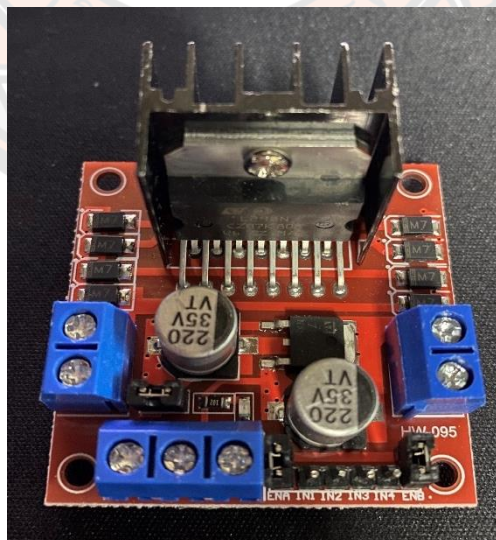
อุปกรณ์วัดความชื้นในอากาศและน้ำฝน โดยค่าที่ได้ออกมา เป็นความต้านทาน (ADC) เมื่ออยู่ในสภาพปกติจะมีความต้านทานสูง ในขณะที่มีความชื้นมากหรือมีปริมาณน้ำฝนในปริมาณมาก ค่าความต้านทานที่ได้จะลดลง สามารถปรับค่าความไวในการตรวจวัดได้ และสามารถให้ Output ได้ทั้ง Analog (ADC) และ Digital (ดังภาพ 17) (Cybertice, 2565)



ภาพ 17 เซ็นเซอร์น้ำฝน ความชื้น วัดระดับน้ำ (Rain / Water Detection Sensor Module)

1.8 L298N Motor Drive Module

เป็นโมดูลที่มีการทำงานพร้อมใช้งาน สามารถเสียบสายควบคุมจาก Arduino ได้ทันที และมี Screw Terminal สำหรับต่อสายไฟขับเคลื่อนมอเตอร์ การใช้งานขาต่าง ๆ ของโมดูลนี้ รองรับตั้งแต่ 5 – 35 โวลต์ สามารถนำไปใช้กับแรงดันไฟฟ้าที่สูงกว่าแรงดันเอาต์พุต โดยสามารถนำไปลดแรงดันไฟฟ้าได้ (ดังภาพ 18) (TAWUN ALL ELECTRONIC, 2560)



ภาพ 18 L298N Motor Drive Module

1.9 มอเตอร์ไฟฟ้า (Electrical Motor)

อุปกรณ์ไฟฟ้าที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกล ในรูปของการหมุนเคลื่อนที่มีการนำไปใช้งานอย่างกว้างขวาง ถูกนำไปใช้งานร่วมกับอุปกรณ์ไฟฟ้า เครื่องมือไฟฟ้า และเครื่องใช้ไฟฟ้าประมาณ 80-90% (ดังภาพ 19) (อินดีสทรีโปร, 2565)



ภาพ 19 มอเตอร์ไฟฟ้า (Electrical Motor)

1.10 เซนเซอร์ตรวจวัดความเข้มแสง อุณหภูมิ ความชื้น (Light, Temperature, Humidity, outdoor transmitter RS485 output)

เซนเซอร์ตรวจวัดความเข้มแสง อุณหภูมิ ความชื้นอากาศ ระดับอุตสาหกรรม ใช้สำหรับวัดอุณหภูมิโดยรอบและความชื้นสัมพัทธ์ เซ็นเซอร์มีที่กำบังกันน้ำ และแผ่นป้องกันรังสียูวีในตัว 7 ชั้น ลดการแผ่รังสีไปถึงเซนเซอร์ เพิ่มการไหลเวียนของอากาศโดยรอบ เพื่อให้ผลการตรวจวัดที่แม่นยำ (ดังภาพ 20) (iMiconSystem, 2557)



ภาพ 20 เซนเซอร์ตรวจวัดความเข้มแสง อุณหภูมิ ความชื้น
(Light, Temperature, Humidity, outdoor transmitter RS485 output)

2. อุปกรณ์ที่ใช้ในส่วนของซอฟต์แวร์ (Software)

2.1 โปรแกรม SketchUp 2020

เป็นโปรแกรมสำหรับออกแบบสร้างโมเดล 3 มิติ ซึ่งมีเครื่องมือที่ใช้งานง่าย สามารถใช้งานร่วมกับ Google Map เพื่อสร้างโมเดลอาคาร โฉว์ภาพตัดขวางของโมเดล อีกทั้งยังจำลอง การแสดงแสง เงา ตามวันที่และเวลาจริงได้อีกด้วย นอกจากนี้ยังสามารถโฉบมุมมองต่าง ๆ ของโมเดลเป็นแอนิเมชัน หรือจะแปลงเป็นไฟล์ต่าง ๆ เพื่อนำไปใช้ร่วมกับโปรแกรมอื่นได้ เช่น Photoshop, 3Ds Max เป็นต้น (สิชล สุระศิลป์กุล, 2554)

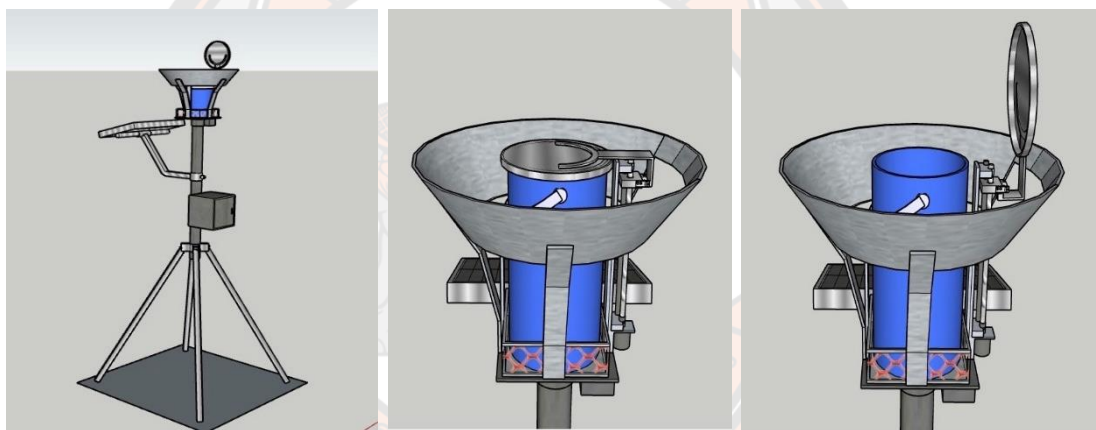
2.2 โปรแกรม ARDUINO IDE

เป็นโปรแกรมที่ใช้งานกับไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino เป็นซอฟต์แวร์ฟรี เรียกว่า Arduino IDE (IDE; Integrated Development Environment) ทำงานบนทุกระบบปฏิบัติการไม่ว่าจะเป็นระบบปฏิบัติการ Window, Mac OS X และ Linux (Cybertice, 2561)

การออกแบบอุปกรณ์และระบบของอุปกรณ์

1. แบบร่างของอุปกรณ์เก็บตัวอย่างฝุ่นตก (Dust-fall Jar) แบบอัจฉริยะ

โครงสร้างของอุปกรณ์เก็บตัวอย่างฝุ่นตกแบบอัจฉริยะในงานวิจัยนี้ ออกแบบตามมาตรฐาน American Society for Testing and Materials (ASTM) รหัส D1739-98 (2017) (G. Kornelius, & M. Kwata, 2012) และพัฒนาอุปกรณ์โดยมีระบบฝาครอบปิดป้องกันน้ำฝนอัตโนมัติ สั่งการด้วยแผ่นเซ็นเซอร์ตรวจจับน้ำฝน ความชื้น ตัวอุปกรณ์มีความสูงตั้งแต่พื้นถึงปากโหลเก็บตัวอย่างฝุ่นตก 150 เซนติเมตร สามารถปรับระดับความสูง-ต่ำได้ โหลเก็บตัวอย่างฝุ่นตกมีขนาดความกว้างเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 เซนติเมตร สูง 30 เซนติเมตร และโครงสร้างของอุปกรณ์สามารถถอดประกอบเป็น 3 ส่วน เพื่อสะดวกต่อการเคลื่อนย้ายไป ณ จุดต่าง ๆ (ดังภาพ 21 ถึง ภาพ 23)



ภาพ 21 แบบร่างของอุปกรณ์เก็บตัวอย่างฝุ่นตก (Dust-fall Jar) แบบอัจฉริยะ



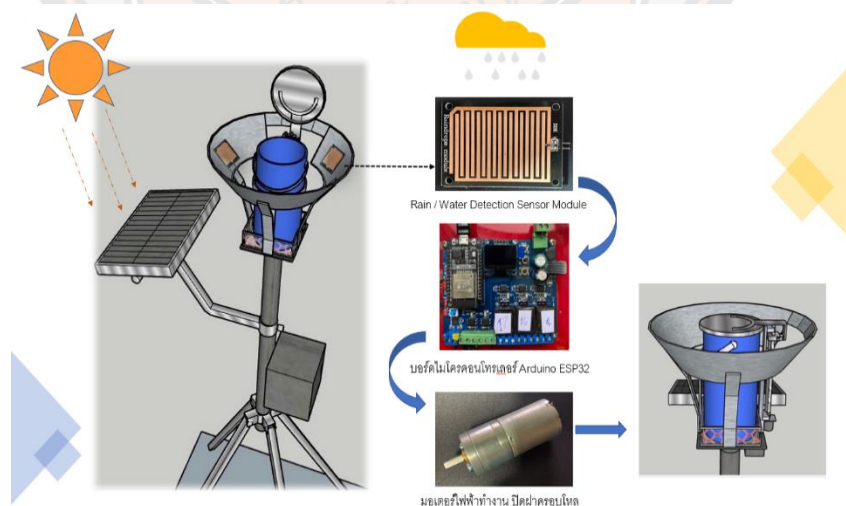
ภาพ 22 ภาพจริงของอุปกรณ์เก็บตัวอย่างฝุ่นตก (Dust-fall Jar) แบบอัจฉริยะ



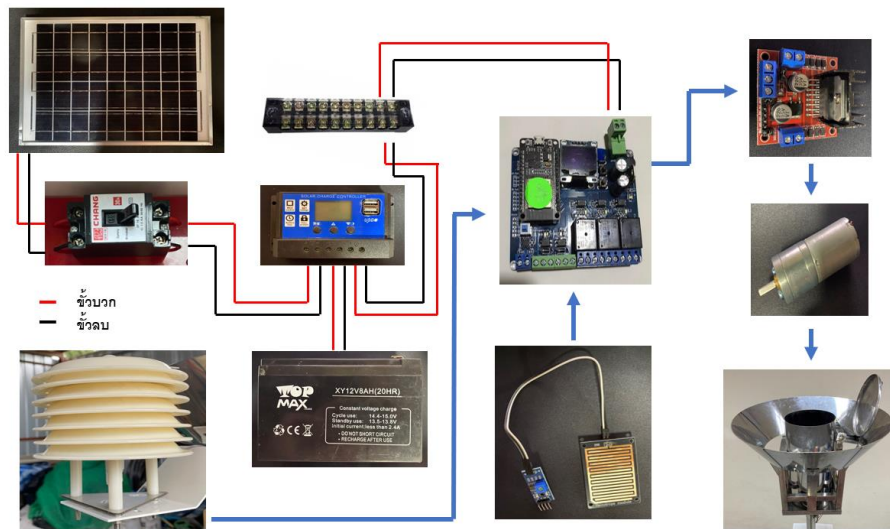
ภาพ 23 โครงสร้างของอุปกรณ์สามารถถอดประกอบเป็น 3 ส่วน

2. ภาพรวมระบบของอุปกรณ์เก็บตัวอย่างฝุ่นตก (Dust-fall Jar) แบบอัจฉริยะ

ระบบของอุปกรณ์เก็บตัวอย่างฝุ่นตกแบบอัจฉริยะ จะเริ่มทำงานเมื่อแผ่นเซนเซอร์ตรวจวัดความชื้นในอากาศและน้ำฝน ได้รับความชื้นหรือละอองน้ำ หยดน้ำ หลังจากนั้นจะส่งสัญญาณให้มอเตอร์ไฟฟ้าทำการปิดฝาครอบโหล เพื่อป้องกันละอองน้ำ หยดน้ำ หรือน้ำฝนให้ทันการณ์ และเมื่อตัวเซนเซอร์วัดความชื้นในอากาศและน้ำฝนวัดค่าได้ว่าไม่มีความชื้นหรือละอองน้ำ หยดน้ำ ก็จะส่งสัญญาณสั่งให้มอเตอร์ไฟฟ้าเปิดฝาครอบโหล เพื่อเก็บตัวอย่างฝุ่นตกต่อไป และระบบดังกล่าวนี้จะใช้พลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์จ่ายไฟฟ้าให้กับอุปกรณ์ในระบบ (ดังภาพ 24 และภาพ 25)



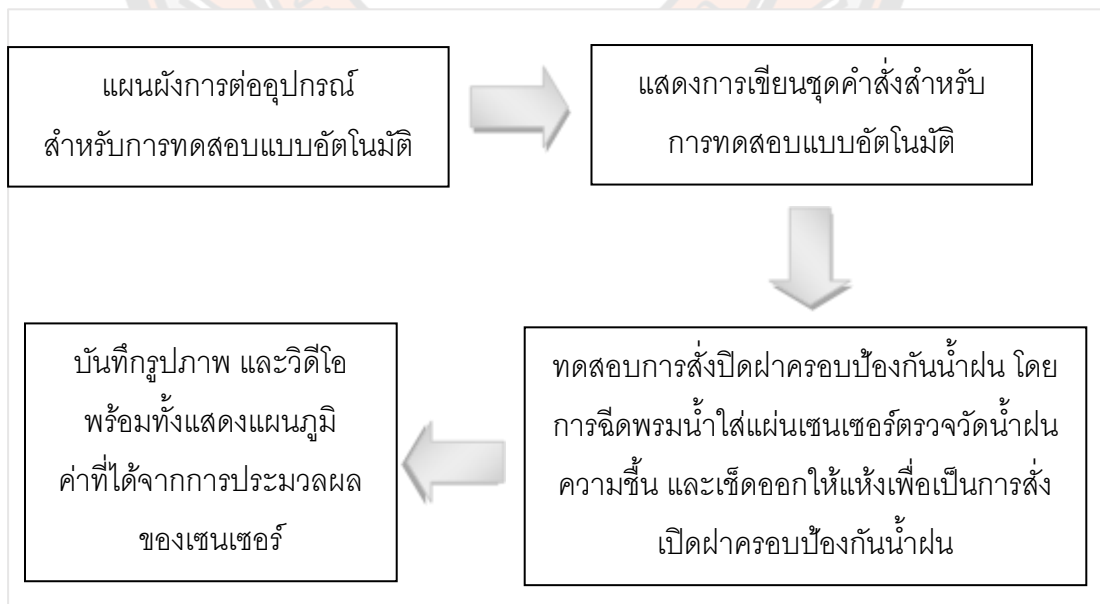
ภาพ 24 ภาพรวมระบบของอุปกรณ์เก็บตัวอย่างฝุ่นตก (Dust-fall Jar) แบบอัจฉริยะ



ภาพ 25 ภาพรวมของการต่อวงจรเซนเซอร์

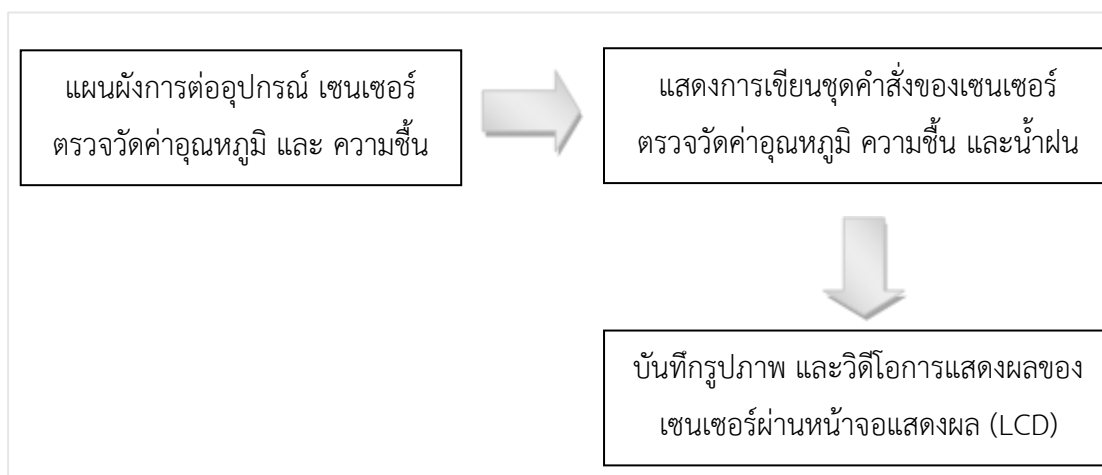
การทดสอบอุปกรณ์เก็บตัวอย่างฝุ่นตก (Dust-fall Jar) แบบอัจฉริยะ ภายใต้สถานการณ์จำลองในห้องปฏิบัติการ

1. การทดสอบการเปิด-ปิด ฝาครอบป้องกันน้ำฝนของอุปกรณ์เก็บตัวอย่างฝุ่นตก (Dust-fall Jar) แบบอัตโนมัติ (ดังภาพ 26)



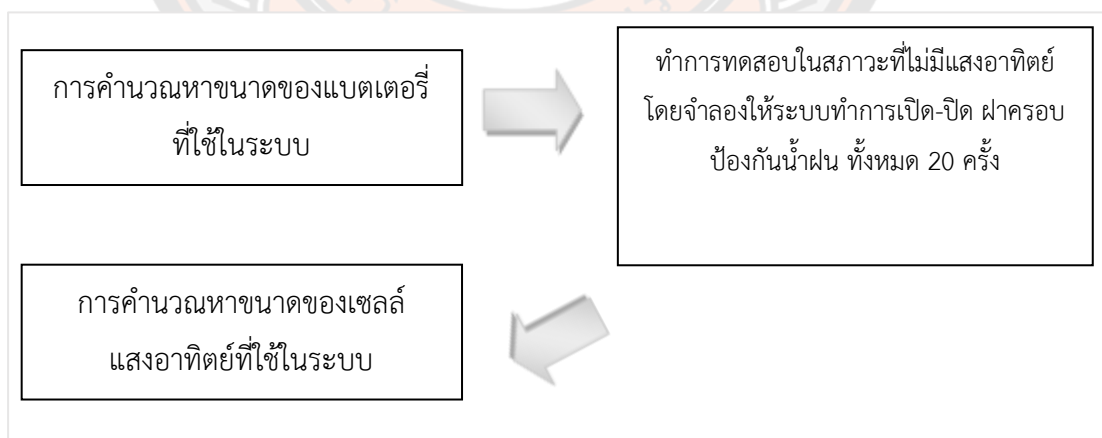
ภาพ 26 กรอบแนวความคิดการทดสอบการเปิด-ปิดฝาครอบป้องกันน้ำฝนของอุปกรณ์เก็บตัวอย่างฝุ่นตก (Dust-fall Jar) แบบอัตโนมัติ

2. การทดสอบการแสดงผลของเซนเซอร์ตรวจวัดค่าอุณหภูมิ ความชื้น และน้ำฝน ผ่านหน้าจอแสดงผล (LCD) (ดังภาพ 27)



ภาพ 27 กรอบแนวความคิดการทดสอบการแสดงผลของเซนเซอร์ตรวจวัดค่าอุณหภูมิ ความชื้น และน้ำฝน ผ่านหน้าจอแสดงผล (LCD)

3. การทดสอบศักยภาพของทรัพยากรแบตเตอรี่ กรณีเก็บตัวอย่างฝุ่นในเวลากลางคืน (ดังภาพ 28)



ภาพ 28 กรอบแนวความคิดการทดสอบศักยภาพของทรัพยากรแบตเตอรี่กรณีเก็บตัวอย่างฝุ่นในเวลากลางคืน

การสอบเทียบเซนเซอร์ตรวจวัดความเข้มแสง อุณหภูมิ ความชื้น (Light, Temperature, Humidity, outdoor transmitter RS485 output)

ในการทดสอบจำเป็นต้องตรวจสอบความถูกต้องของเครื่องมือที่ใช้ในการตรวจวัดและบันทึกผลเพื่อป้องกันความผิดพลาดในการดำเนินการบันทึกผลข้อมูล การตรวจสอบเซนเซอร์ที่ใช้ในการตรวจวัดและบันทึกผลข้อมูล โดยการนำข้อมูลที่บันทึกได้จากเซนเซอร์ตรวจวัดความเข้มแสง อุณหภูมิ ความชื้น (Light, Temperature, Humidity, outdoor transmitter RS485 output) มาเปรียบเทียบกับข้อมูลรายงานอากาศ 24 ชั่วโมง ที่ผ่านมา ของทางเว็บไซต์กรมอุตุนิยมวิทยา พิชญโลก (www.tmd.go.th/weather/province/phitsanulok) ตั้งแต่เวลา 07.00 น. – 19.00 น. ณ วันที่ 11 มีนาคม พ.ศ.2566 เป็นเวลา 12 ชั่วโมง (ดังภาพ 29)

พายุกรรมาอากาศ > สภาพอากาศ > ข้อมูลรายจังหวัด > รายงานอากาศ 24 ชม. ที่ผ่านมา

พิชญโลก - พิชญโลก

รายงานอากาศ 24 ชม. ที่ผ่านมา แสดง

วันที่ข้อมูล 16 มิถุนายน 2565 แบ่งปัน

รายงานอากาศ 24 ชม. ที่ผ่านมา

วันที่	อุณหภูมิ (°C)	จุดน้ำค้าง (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ (%)	ความกดอากาศ (hPa)	ลม		ทัศนวิสัย (กม.)	ฝน 3 ชม. (มม.)	เมฆ
					ทิศ	ความเร็ว (กม./ชม.)			
11 มีนาคม 2566 16:00 น.	33.7	21.5	49	1009.34	S	5.6	6.00	ไม่มีฝน	มีเมฆเป็นส่วนมาก
11 มีนาคม 2566 13:00 น.	33.2	21.7	51	1011.02	SSW	9.3	6.00	ไม่มีฝน	มีเมฆบางส่วน
11 มีนาคม 2566 10:00 น.	29.5	21.6	63	1013.25	SE	7.4	5.00	ไม่มีฝน	มีเมฆบางส่วน
11 มีนาคม 2566 07:00 น.	22.8	21.3	91	1012.15	ลมสงบ		5.00	ไม่มีฝน	มีเมฆบางส่วน

รายงานอากาศ 24 ชม. ที่ผ่านมา

วันที่	อุณหภูมิ (°C)	จุดน้ำค้าง (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ (%)	ความกดอากาศ (hPa)	ลม		ทัศนวิสัย (กม.)	ฝน 3 ชม. (มม.)	เมฆ
					ทิศ	ความเร็ว (กม./ชม.)			
12 มีนาคม 2566 07:00 น.	24.2	22.4	90	1012.39	ลมสงบ		5.00	ไม่มีฝน	มีเมฆเป็นส่วนมาก
12 มีนาคม 2566 04:00 น.	25.2	22.8	87	1010.34	ลมสงบ		6.00	ไม่มีฝน	มีเมฆเป็นส่วนมาก
12 มีนาคม 2566 01:00 น.	26.0	23.1	84	1011.09	ลมสงบ		6.00	ไม่มีฝน	มีเมฆเป็นส่วนมาก
11 มีนาคม 2566 22:00 น.	26.8	23.9	84	1011.56	ลมสงบ		6.00	ไม่มีฝน	มีเมฆเป็นส่วนมาก
11 มีนาคม 2566 19:00 น.	30.2	22.7	64	1009.90	ลมสงบ		6.00	ไม่มีฝน	มีเมฆเป็นส่วนมาก
11 มีนาคม 2566 16:00 น.	33.7	21.5	49	1009.34	S	5.6	6.00	ไม่มีฝน	มีเมฆเป็น

ภาพ 29 ข้อมูลรายงานอากาศ 24 ชั่วโมง ของทางเว็บไซต์กรมอุตุนิยมวิทยาพิชญโลก

บทที่ 4

ผลการวิจัย

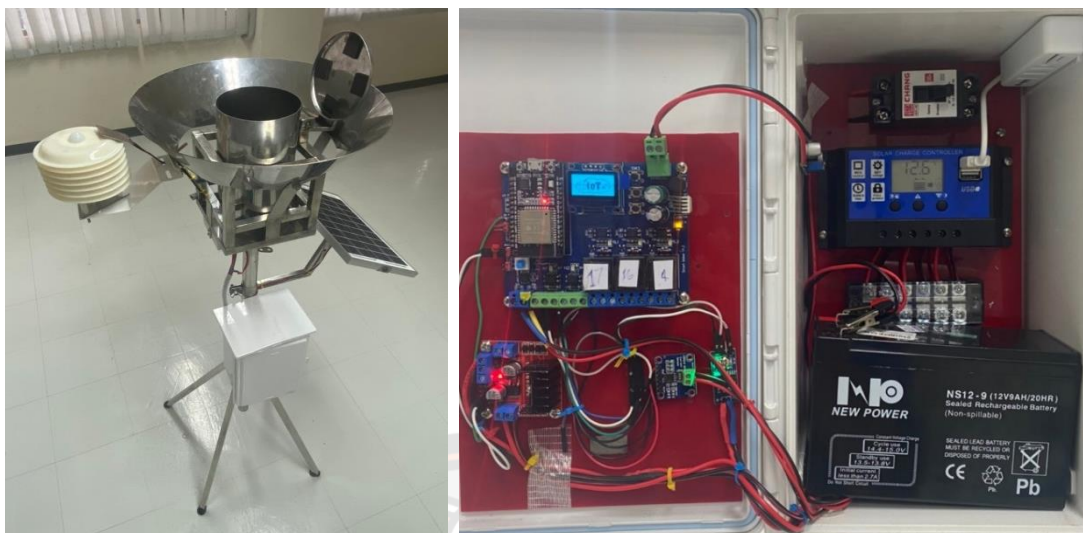
การดำเนินงานวิจัยนี้เป็นการออกแบบและพัฒนาอุปกรณ์เก็บตัวอย่างฝุ่นตก (Dust-fall Jar) โดยอ้างอิงหลักการในการออกแบบและพัฒนาอุปกรณ์เก็บตัวอย่างฝุ่นตก (Dust-fall Jar) ตามมาตรฐานสากล American Society for Testing and Materials (ASTM) รหัส D1739-98 (2017) โดยมีระบบฝาครอบปิดป้องกันน้ำฝนอัตโนมัติ ซึ่งถูกควบคุมด้วยชุดอุปกรณ์แผ่นเซนเซอร์ตรวจวัดน้ำฝน ความชื้น และใช้พลังงานจากแบตเตอรี่ที่ชาร์จโดยเซลล์แสงอาทิตย์ พร้อมแสดงผลของเซนเซอร์ตรวจวัดค่าอุณหภูมิ ความชื้น และน้ำฝน ผ่านหน้าจอแสดงผล Liquid Crystal Display (LCD) (ดังภาพ 30) และทำการทดสอบประสิทธิภาพในการทำงานของมอเตอร์ในการสั่งการเปิดปิดฝาครอบโหล ภายใต้สถานการณ์จำลองในห้องปฏิบัติการ ณ อาคารภาคภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ทั้งนี้ ผลการดำเนินงานวิจัยในรายงานฉบับนี้ จะแบ่งออกเป็น 4 หัวข้อ สามารถสรุปได้ดังนี้

4.1 การทดสอบการเปิด-ปิด ฝาครอบป้องกันน้ำฝนแบบอัตโนมัติ ภายใต้สถานการณ์จำลองในห้องปฏิบัติการ

4.2 การทดสอบการแสดงผลของเซนเซอร์ตรวจวัดค่าอุณหภูมิ ความชื้น และน้ำฝน บนจอแสดงผลแบบ LCD

4.3 การทดสอบศักยภาพของทรัพยากรแบตเตอรี่ กรณีเก็บตัวอย่างฝุ่นในเวลากลางคืน

4.4 การประเมินราคาต้นทุนของอุปกรณ์เก็บตัวอย่างฝุ่นตก (Dust-fall Jar) แบบอัจฉริยะ

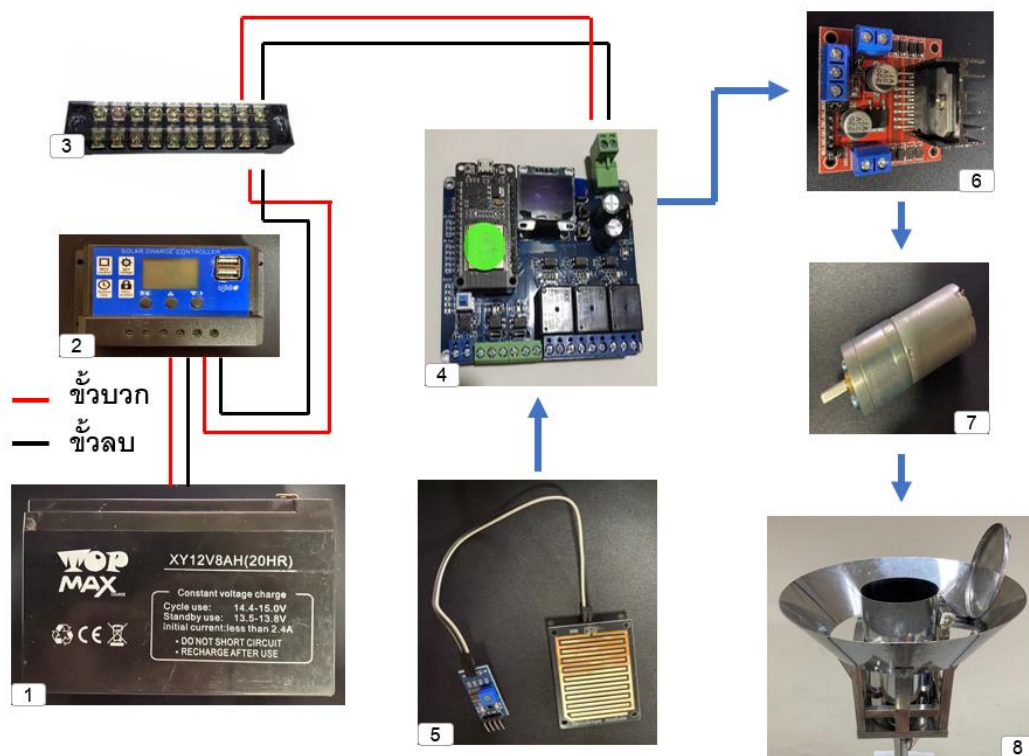


ภาพ 30 อุปกรณ์เก็บตัวอย่างฝุ่นตก (Dust-fall Jar) แบบอัจฉริยะ และวงจรอุปกรณ์เซนเซอร์

การทดสอบการเปิด-ปิด ฝาครอบป้องกันน้ำฝนแบบอัตโนมัติ ภายใต้สถานการณ์จำลองในห้องปฏิบัติการ

1. แผนผังการต่ออุปกรณ์ของอุปกรณ์เก็บตัวอย่างฝุ่นตก (Dust-fall Jar) แบบอัจฉริยะ

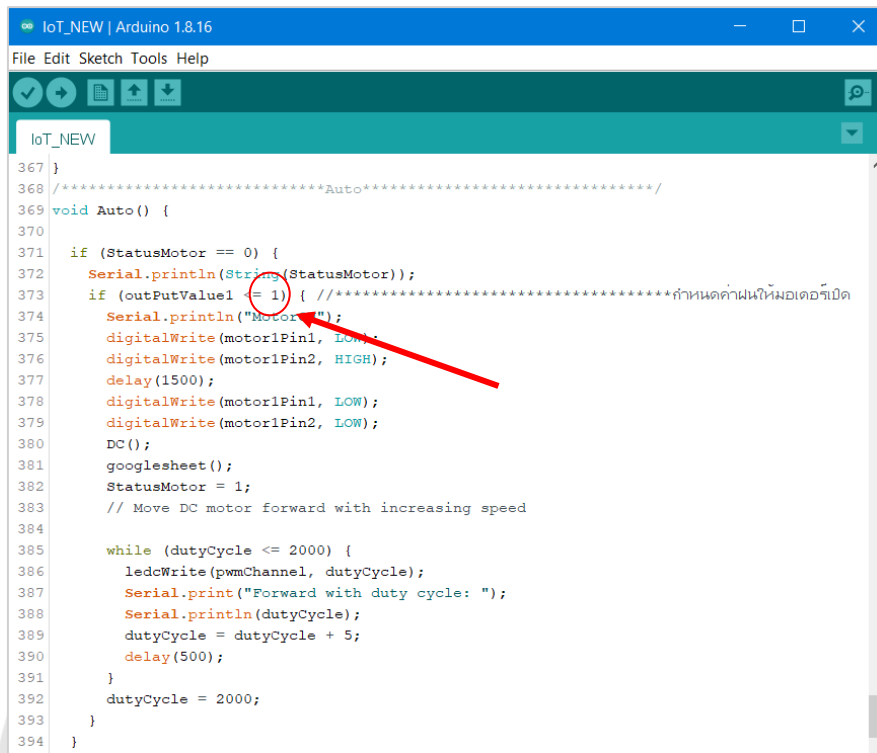
ภาพ 31 แสดงการต่ออุปกรณ์ของระบบเก็บตัวอย่างฝุ่นตก (Dust-fall Jar) แบบอัจฉริยะ โดยเริ่มจากการต่ออุปกรณ์เริ่มจากแบตเตอรี่ (หมายเลข 1) จ่ายไฟให้กับโซล่าชาร์จคอนโทรลเลอร์(หมายเลข 2) ส่งต่อไปยังบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์(หมายเลข 4) และส่งต่อไปยังโมดูลขับเคลื่อนมอเตอร์(หมายเลข 6) โดยแผ่นเซนเซอร์ตรวจวัดน้ำฝน ความชื้น(หมายเลข 5) จะทำหน้าที่รับค่าความชื้นและส่งค่าที่ได้เข้าสู่บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์(หมายเลข 4) เพื่อประมวลผลและสั่งการให้มอเตอร์(หมายเลข 7) ทำการปิดหรือเปิดฝาครอบป้องกันน้ำฝนแบบอัตโนมัติ (หมายเลข 8) ตามค่าที่กำหนดไว้ในชุดคำสั่ง (ดังภาพ 32 และ 33)



ภาพ 31 แผนผังการต่ออุปกรณ์ สำหรับการทดสอบแบบอัตโนมัติ

2. ชุดคำสั่งสำหรับการควบคุมระบบฝากรอบป้องกันน้ำฝนแบบอัตโนมัติ

การสั่งการทำงานของระบบอัตโนมัติเพื่อควบคุมการเปิด-ปิด ฝากรอบป้องกันน้ำฝนแบบอัตโนมัติ นั้นจะอาศัยค่าปริมาณความชื้นที่ถูกตรวจวัดได้บนแผ่นเซนเซอร์ตรวจวัดความชื้น กล่าวคือ หากตรวจพบความชื้นน้อยกว่าหรือเท่ากับ 1 เปอร์เซ็นต์ ของพื้นที่บนแผ่นเซนเซอร์ตรวจวัดความชื้น จะสั่งการให้ระบบสั่งการให้มอเตอร์ทำการเปิดฝากรอบ เพื่อทำการเก็บตัวอย่างฝุ่น (ตัวอย่างชุดคำสั่งแสดงดังภาพ 32) ในทางกลับกันหากแผ่นเซนเซอร์ตรวจวัดความชื้นเกิดการเปียกชื้นมากกว่าหรือเท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์ ของพื้นที่บนแผ่น ซึ่งเป็นตัวแทนของสภาวะที่เกิดฝนตกให้ระบบสั่งการให้มอเตอร์ปิดฝากรอบ เพื่อป้องกันน้ำตกลงสู่ไหลเก็บตัวอย่าง (ตัวอย่างชุดคำสั่งแสดงดังภาพ 33)

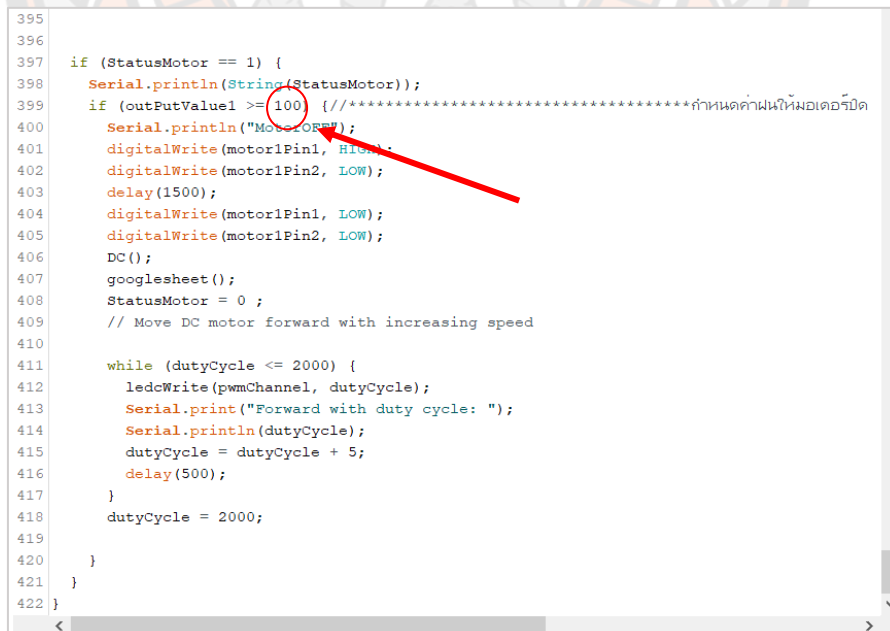


```

367 }
368 /*****Auto*****/
369 void Auto() {
370
371   if (StatusMotor == 0) {
372     Serial.println(String(StatusMotor));
373     if (outPutValue1 <= 1) { /***กำหนดค่าพื่นให้มอเตอร์เปิด
374       Serial.println("Motor");
375       digitalWrite(motor1Pin1, LOW);
376       digitalWrite(motor1Pin2, HIGH);
377       delay(1500);
378       digitalWrite(motor1Pin1, LOW);
379       digitalWrite(motor1Pin2, LOW);
380       DC();
381       googlesheet();
382       StatusMotor = 1;
383       // Move DC motor forward with increasing speed
384
385       while (dutyCycle <= 2000) {
386         ledcWrite(pwmChannel, dutyCycle);
387         Serial.print("Forward with duty cycle: ");
388         Serial.println(dutyCycle);
389         dutyCycle = dutyCycle + 5;
390         delay(500);
391       }
392       dutyCycle = 2000;
393     }
394 }

```

ภาพ 32 ชุดคำสั่งสำหรับสั่งการให้มอเตอร์เปิดฝาครอบป้องกันน้ำฝน



```

395
396
397   if (StatusMotor == 1) {
398     Serial.println(String(StatusMotor));
399     if (outPutValue1 >= 100) { /***กำหนดค่าพื่นให้มอเตอร์เปิด
400       Serial.println("Motor");
401       digitalWrite(motor1Pin1, HIGH);
402       digitalWrite(motor1Pin2, LOW);
403       delay(1500);
404       digitalWrite(motor1Pin1, LOW);
405       digitalWrite(motor1Pin2, LOW);
406       DC();
407       googlesheet();
408       StatusMotor = 0 ;
409       // Move DC motor forward with increasing speed
410
411       while (dutyCycle <= 2000) {
412         ledcWrite(pwmChannel, dutyCycle);
413         Serial.print("Forward with duty cycle: ");
414         Serial.println(dutyCycle);
415         dutyCycle = dutyCycle + 5;
416         delay(500);
417       }
418       dutyCycle = 2000;
419     }
420   }
421 }
422 }

```

ภาพ 33 ชุดคำสั่งสำหรับสั่งการให้มอเตอร์ปิดฝาครอบป้องกันน้ำฝน

3. การทดสอบการสั่งปิดฝาครอบป้องกันน้ำฝน โดยการฉีดพรมน้ำใส่แผ่นเซนเซอร์ตรวจวัดความชื้น และเช็ดออกให้แห้งเพื่อเป็นการสั่งเปิดฝาครอบป้องกันน้ำฝน

การทดสอบการสั่งปิดฝาครอบป้องกันน้ำฝน การทำโดยการฉีดพรมน้ำใส่แผ่นเซนเซอร์ตรวจวัดความชื้นให้ชุ่มกระจายเต็มพื้นที่ทั้งแผ่น (เพื่อทดสอบการสั่งการปิดฝาครอบ) และทำการเช็ดแผ่นเซนเซอร์ตรวจวัดความชื้นให้แห้ง (เพื่อทดสอบการสั่งการเปิดฝาครอบ) จากการทดสอบพบว่า ภายหลังจากจากฉีดพรมน้ำใส่แผ่นเซนเซอร์ตรวจวัดความชื้นจนชุ่มทั้งแผ่น ระยะเวลาในการสั่งปิดฝาครอบป้องกันน้ำฝนจะอยู่ในช่วง 14.8 – 27.5 วินาที ตามการประมวลผลของชุดคำสั่งในขณะนั้น (ดังภาพ 34) จากนั้นเมื่อทำการเช็ดน้ำออกจากแผ่นเซนเซอร์จนแห้งสนิท พบว่าระยะเวลาในการสั่งเปิดฝาครอบป้องกันน้ำฝนจะอยู่ในช่วง 14.8 – 27.5 วินาที ตามการประมวลผลของชุดคำสั่งในขณะนั้นเช่นกัน (ดังภาพ 35) การทดสอบการสั่งปิด-เปิดฝาครอบป้องกันน้ำฝน เป็นเพียงการทดสอบแผ่นเซนเซอร์ตรวจวัดความชื้นเบื้องต้น สำหรับสถานการณ์ฝนตกจริง สามารถปรับค่าชุดคำสั่งสำหรับการควบคุมระบบฝาครอบป้องกันน้ำฝนแบบอัตโนมัติได้



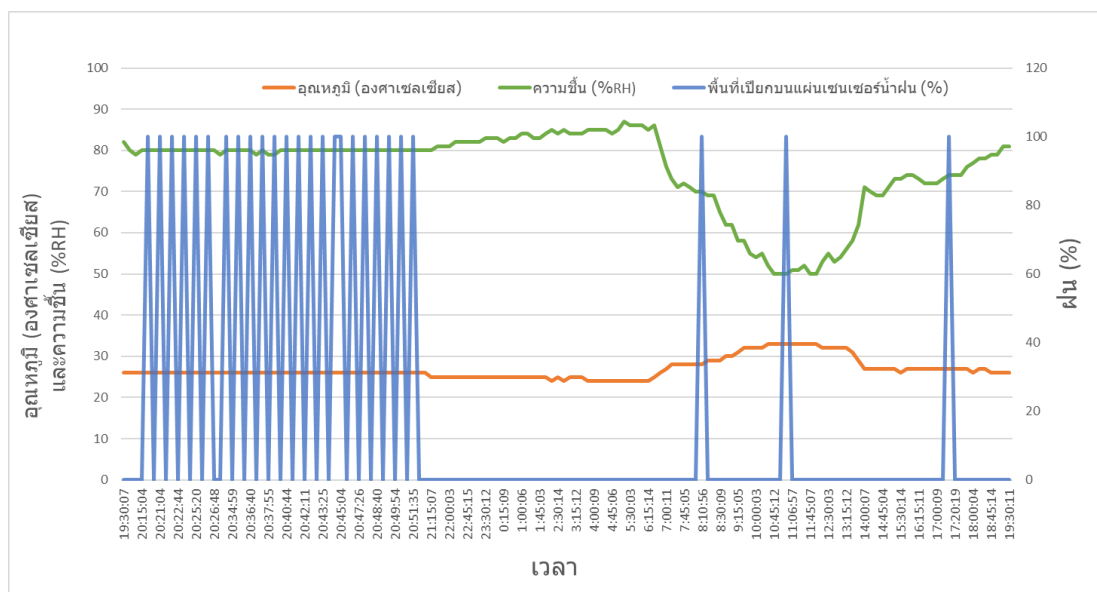
ภาพ 34 การทดสอบการสั่งปิดฝาครอบป้องกันน้ำฝน



ภาพ 35 การทดสอบการสั่งเปิดฝาครอบป้องกันน้ำฝน

3. ค่าการประมวลผลที่ได้จากแผ่นเซนเซอร์ตรวจวัดขณะทำการทดสอบ

ภาพที่ 36 เป็นค่าที่ได้จากการประมวลผลของเซนเซอร์ตรวจวัดค่าอุณหภูมิ ความชื้น และน้ำฝน แบบเรียลไทม์ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง (ตั้งแต่เวลา 19.30 น. ถึง 19.30 น. ของวันถัดไป) ภายในห้องปฏิบัติการ



ภาพ 36 ค่าการประมวลผลที่ได้จากแผ่นเซนเซอร์ตรวจวัดค่าอุณหภูมิ ความชื้น และน้ำฝน แบบเรียลไทม์ 24 ชั่วโมง ในห้องปฏิบัติการ

ค่าการประมวลผลที่ได้จากแผ่นเซนเซอร์น้ำฝน กระทำโดยการฉีดพ่นน้ำลงบนแผ่นเซนเซอร์น้ำฝนจนชุ่มเต็มแผ่นและเซ็ดให้แห้ง สลับกันไป เพื่อสังเกตการณ์เปลี่ยนแปลงของค่าที่อ่านได้ ผลการทดลองพบว่าขณะเริ่มการทดลองที่แผ่นแห้งสนิท ค่าความชื้นที่อ่านได้จากแผ่นเซนเซอร์จะมีค่าเท่ากับ 0 จากนั้นเมื่อทำการฉีดพรมน้ำต่อไปเรื่อย ๆ ค่าความชื้นจะมีค่าค่อย ๆ เพิ่มขึ้น จนถึงสภาวะที่เปียกชื้นทั่วทั้งแผ่น ค่าความชื้นที่อ่านได้จากแผ่นเซนเซอร์จะมีค่าเท่ากับ 100 ในทางย้อนกลับ เมื่อทำการเซ็ดแผ่นที่เปียกชุ่มจนแห้งสนิท ค่าที่อ่านได้จากแผ่นเซนเซอร์ จะค่อย ๆ ลดลงจาก 100 จนเหลือเท่ากับ 0 ตามลำดับ

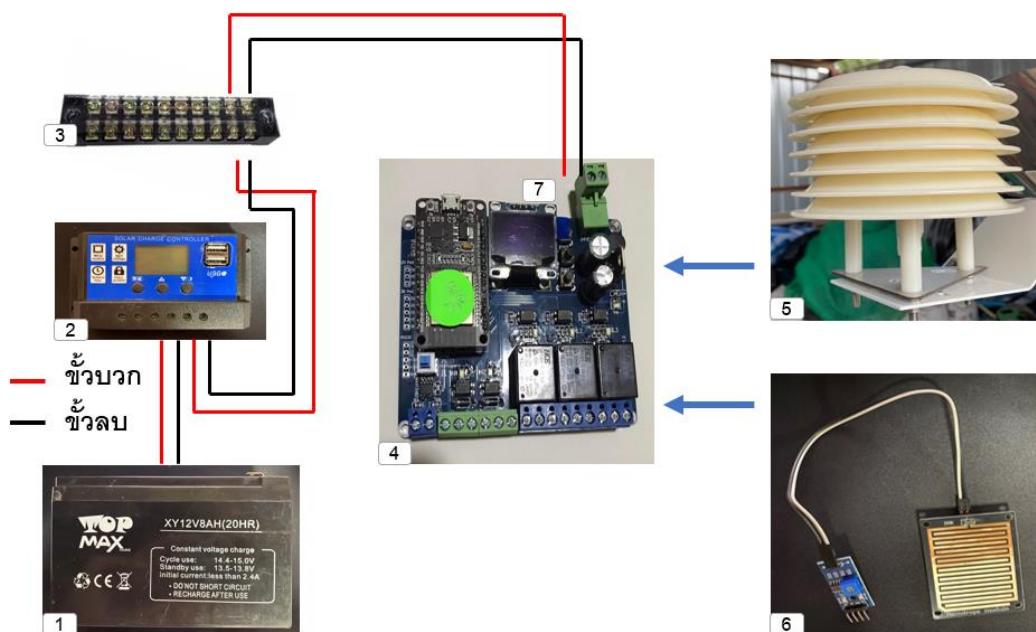
ค่าการประมวลผลที่ได้จากเซนเซอร์อุณหภูมิและความชื้น ซึ่งมีได้กระทำการใด ๆ กับเซนเซอร์ทั้ง 2 ชนิดนี้ เป็นเพียงการอ่านค่าการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นตามสภาวะแวดล้อมเพียงเท่านั้น ผลการทดลองพบว่าค่าอุณหภูมิและความชื้นมีค่าคงที่ในช่วงหัวค่ำ (ช่วง 19.30 น. – 21.30 น.), ช่วงกลางดึกถึงรุ่งสาง (ช่วง 21.30 น. – 06.30 น.) เริ่มเกิดการผกผันระหว่างค่าอุณหภูมิและ

ความชื้น คือ อุณหภูมิมีแนวโน้มลดลงและความชื้นมีค่าเพิ่มขึ้น, ช่วงหลังจากรุ่งสางที่พระอาทิตย์ขึ้น ไปจนถึงเย็น (ช่วง 06.30 น. – 19.30 น.) พบการผกผันระหว่างค่าอุณหภูมิและความชื้นอีกเช่นกัน แต่เป็นไปในทิศทางตรงกันข้ามกับช่วงกลางดึกถึงรุ่งสาง คือ อุณหภูมิมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น แต่ความชื้นมีค่าลดลง ตามลำดับ

การทดสอบการแสดงผลของเซนเซอร์ตรวจวัดค่าอุณหภูมิ ความชื้น และน้ำฝน บนจอแสดงผลแบบ LCD

1. แผนผังการต่ออุปกรณ์

ภาพ 37 แสดง แผนผังการต่ออุปกรณ์สำหรับการแสดงผลของเซนเซอร์ตรวจวัดค่าอุณหภูมิ ความชื้น และน้ำฝน ผ่านหน้าจอแสดงผลแบบ LCD เริ่มจากแบตเตอรี่ (หมายเลข 1) จ่ายไฟให้กับโซลาร์ชาร์จคอนโทรลเลอร์ (หมายเลข 2) ส่งต่อไปยังบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ (หมายเลข 4) ส่งต่อไปยังเซนเซอร์ตรวจวัดค่าอุณหภูมิและความชื้น (หมายเลข 5) แผ่นเซนเซอร์ตรวจวัดน้ำฝนและความชื้น (หมายเลข 6) และส่งค่ากลับมายังบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ (หมายเลข 4) เพื่อแสดงค่าจากการประมวลผลขึ้นผ่านหน้าจอแสดงผลแบบ LCD (หมายเลข 7)



ภาพ 37 แผนผังการต่ออุปกรณ์สำหรับการแสดงผลของเซนเซอร์ตรวจวัดค่าอุณหภูมิ ความชื้น และน้ำฝน ผ่านหน้าจอแสดงผลแบบ LCD

2. ชุดคำสั่งของเซนเซอร์ตรวจวัดค่าอุณหภูมิ ความชื้น และน้ำฝน

ชุดคำสั่งเพื่อสั่งการให้ค่าของเซนเซอร์ตรวจวัดค่าอุณหภูมิ ความชื้น และน้ำฝน สามารถแสดงผลผ่านหน้าจอแสดงผลแบบ LCD แสดงดังภาพ 38 และ 39

```

IoT_NEW | Arduino 1.8.16
File Edit Sketch Tools Help
IoT_NEW
270 }
271 /*****TH-031 เซนเซอร์อุณหภูมิ ความชื้น แสง*****/
272 int get_modbusRTU_sensor(int addr , uint16_t REG) {
273   int result;
274   node.begin(addr, Serial);
275   result = node.readInputRegisters (REG, 4); //< Modbus function 0x04 Read Input Register
276   result = node.readHoldingRegisters (REG, 4);
277   if (result == node.ku@MBSuccess) {
278     return node.getResponseBuffer(0);
279   } else {
280     //Serial.print("Conne@ modbus fail. REG >>> "); my@Serial.println(REG, HEX); // Debug
281   }
282 }
283 }
284
285 /*****TH-031 เซนเซอร์อุณหภูมิ ความชื้น แสง*****/
286 void get_LTH_TM() {
287
288   Serial.begin(9600);
289   Humidity = get_modbusRTU_sensor(slaveID, HUMIDITY_REG) / 10;
290   Temperature = get_modbusRTU_sensor(slaveID, TEMPERATURE_REG) / 10;
291   Light = get_modbusRTU_sensor(slaveID, Light_REG);
292   Serial.print("\n");
293   Serial.print("Temperature = " + String(Temperature, 1) + " C" + "\n");
294   Serial.print("Humidity = " + String(Humidity, 1) + " %RH" + "\n");
295   Serial.print("Light = " + String(Light, 1) + " lux" + "\n");
296
297   Value1 = analogRead(sensorValue1);
298   outPutValue1 = map(Value1, 0, 4095, 100, 0);
299   Serial.print("Rain = " + String(outPutValue1) + "%" + "\n");
300
301   DC();
302 }
303 }
304
305
306 /*****oled @*****/
307 void oled() {
308   oled1.display();
309   oled1.clear();
310   oled1.setFont(ArialMT_Plain_16);
311   oled1.drawString(30, 16, " Temperature");
312   oled1.setFont(ArialMT_Plain_16);
313   oled1.drawString(30, 32, " " + String(Temperature, 1) + " °C");
314   oled1.display();
315   oled1.clear();
316   delay(2000);
317   oled1.setFont(ArialMT_Plain_16);
318   oled1.drawString(30, 16, " Humidity");
319   oled1.setFont(ArialMT_Plain_16);
320   oled1.drawString(30, 32, " " + String(Humidity, 1) + " %RH");
321   oled1.display();
322   oled1.clear();
323   delay(2000);
324   oled1.setFont(ArialMT_Plain_16);
325   oled1.drawString(30, 16, " Light");
326   oled1.setFont(ArialMT_Plain_16);
327   oled1.drawString(30, 32, " " + String(Light, 1) + " lux");
328   oled1.display();
329   oled1.clear();

```

ภาพ 38 ชุดคำสั่งเพื่อสั่งการให้ค่าเซนเซอร์ตรวจวัดค่าอุณหภูมิ ความชื้น และน้ำฝน

แสดงผลผ่านหน้าจอแสดงผลแบบ LCD

```

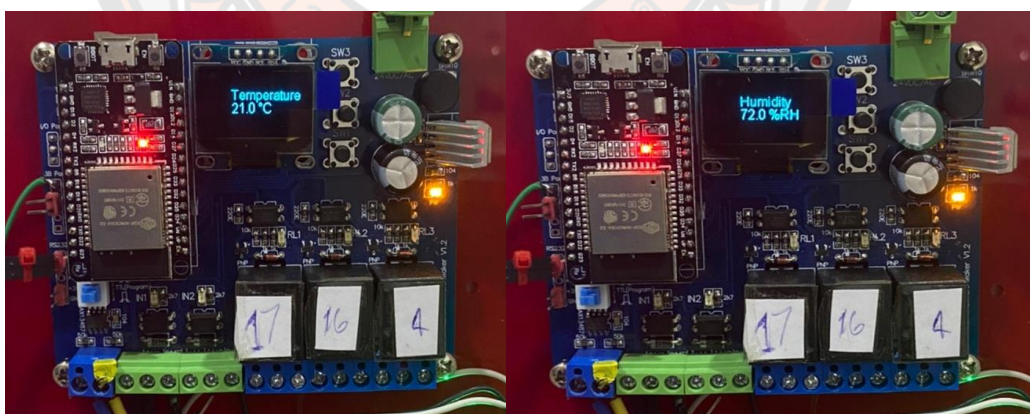
330 delay(2000);
331 oled1.setFont(ArialMT_Plain_16);
332 oled1.drawString(30, 16, " Rain");
333 oled1.setFont(ArialMT_Plain_16);
334 oled1.drawString(30, 32, " " + String(outPutValue1) + "%");
335 oled1.display();
336 oled1.clear();
337 delay(2000);
338 oled1.setFont(ArialMT_Plain_16);
339 oled1.drawString(30, 0, "Battery");
340 oled1.setFont(ArialMT_Plain_10);
341 oled1.drawString(20, 15, "Voltage:" + String(tagangan1) + " V");
342 oled1.setFont(ArialMT_Plain_10);
343 oled1.drawString(20, 27, "Shunt Voltage:" + String(arus1) + " mA");
344 oled1.setFont(ArialMT_Plain_10);
345 oled1.drawString(20, 37, "Load Voltage:" + String(dayal) + " W");
346 oled1.display();
347 oled1.clear();
348 delay(2000);
349 oled1.drawFastImage(0, 0, 128, 64, img1.data());
350 oled1.display();
351 oled1.clear();
352 delay(2000);
353
354 }

```

ภาพ 39 ชุดคำสั่งเพื่อสั่งการให้ค่าเซนเซอร์ตรวจวัดค่าอุณหภูมิ ความชื้น และน้ำฝน แสดงผลผ่านหน้าจอแสดงผลแบบ LCD

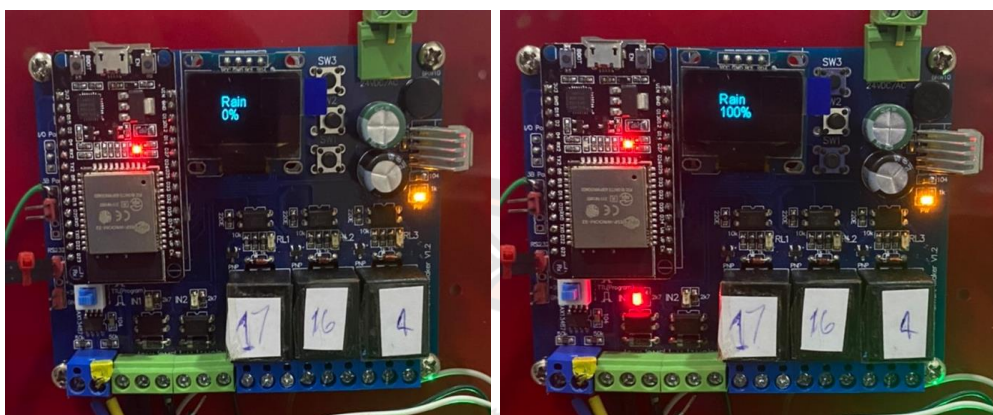
3. ตัวอย่างการแสดงผลของเซนเซอร์ตรวจวัดค่าอุณหภูมิ ความชื้น และน้ำฝน ผ่านหน้าจอแสดงผลแบบ LCD

ภาพ 40 เป็นตัวอย่างการแสดงผลของเซนเซอร์ตรวจวัดค่าอุณหภูมิ และความชื้น แบบเรียลไทม์ ผ่านหน้าจอแสดงผลแบบ LCD โดยในตัวอย่างค่าที่อ่านได้ คือ อุณหภูมิ 21 องศาเซลเซียส และความชื้น 72%RH ตามลำดับ



ภาพ 40 ผลของเซนเซอร์ตรวจวัดค่าอุณหภูมิ และความชื้น แบบเรียลไทม์

ภาพ 41 เป็นตัวอย่างการแสดงผลของแผ่นเซนเซอร์ตรวจวัดน้ำฝน แบบเรียลไทม์ ผ่านหน้าจอแสดงผลแบบ LCD โดยค่า 0 เปอร์เซ็นต์ คือ แผ่นเซนเซอร์ตรวจวัดน้ำฝน ความชื้นแห้งสนิท พร้อมการเปิดฝาครอบป้องกันน้ำฝน และค่า 100 เปอร์เซ็นต์ คือ แผ่นเซนเซอร์ตรวจวัดน้ำฝน มีละอองน้ำเต็มพื้นที่ของแผ่นเซนเซอร์ พร้อมการปิดฝาครอบป้องกันน้ำฝน



ภาพ 41 ผลของแผ่นเซนเซอร์ตรวจวัดน้ำฝน แบบเรียลไทม์

การทดสอบศักยภาพของทรัพยากรแบตเตอรี่ กรณีเก็บตัวอย่างฝุ่นในเวลากลางคืน

1. การคำนวณหาขนาดของแบตเตอรี่ที่ใช้ในระบบ

การคำนวณหาขนาดของแบตเตอรี่ที่ใช้ในระบบนั้นต้องทำการคำนวณจากอุปกรณ์ที่ถูกต้องพ่วงอยู่ในระบบทุกชนิด ซึ่งในระบบอุปกรณ์เก็บตัวอย่างฝุ่นตก (Dust-fall Jar) แบบอัจฉริยะ ในครั้งนี้นั้นประกอบด้วย บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino ESP32, แผ่นเซนเซอร์ตรวจวัดน้ำฝน ความชื้น, L298N Motor Drive Module, มอเตอร์ไฟฟ้า, เซนเซอร์ตรวจวัดความเข้มแสง อุณหภูมิ ความชื้น, รีเลย์, และจอแสดงผลแบบ LCD ตามลำดับ โดยขนาดขนาดกำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์แต่ละชนิดและผลการคำนวณพลังงานรวมทั้งหมด แสดงดังตาราง 1

ตาราง 1 ขนาดกำลังไฟฟ้าของระบบอุปกรณ์เก็บตัวอย่างฝุ่นตก (Dust-fall Jar) แบบอัจฉริยะ

ลำดับ	อุปกรณ์	ขนาดกำลังไฟฟ้า (วัตต์)	ระยะเวลาที่ใช้งาน (ชั่วโมง)	พลังงานรวม ทั้งหมด (วัตต์)
1	บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino ESP32	0.29	24	6.96
2	แผ่นเซนเซอร์ตรวจวัดน้ำฝน ความชื้น	5	1	5
3	L298N Motor Drive Module	1.8	1	1.8
4	มอเตอร์ไฟฟ้า	1.8	1	1.8
5	เซนเซอร์ตรวจวัดความ เข้มแสง อุณหภูมิ ความชื้น	1.2	24	28.8
6	รีเลย์	0.3	1	0.3
7	จอ LCD	0.08	24	1.92
			รวมทั้งหมด	46.58

เมื่อทราบพลังงานรวมทั้งหมดที่ระบบต้องการ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 46.58 วัตต์ จากนั้นจึงนำไปทำการคำนวณหาขนาดของแบตเตอรี่ที่ระบบต้องการ ด้วยสมการ 4.1

$$A = P / (V \times \mu B \times \mu l) \quad \text{สมการ 4.1}$$

โดยที่	A	คือ ขนาดแบตเตอรี่ (แอมแปร์/ชั่วโมง)	
	P	คือ กำลังไฟฟ้าที่ LOAD ต้องการ (วัตต์/ชั่วโมง), ค่าจาก ตาราง 1	46.58
	V	คือ แรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่ (โวลต์), เลือกใช้แบตเตอรี่ ธรรมดา 12 โวลต์	12
	μB	คือ ประสิทธิภาพของแบตเตอรี่, ใช้ค่าเท่ากับ 0.6	0.6
	μl	คือ ประสิทธิภาพของอินเวอร์เตอร์, ใช้ค่าเท่ากับ 0.85	0.85

$$\text{จะได้} \quad A = \frac{46.58}{12 \times 0.6 \times 0.85}$$

$$A = 7.6 \text{ แอมแปร์/ชั่วโมง}$$

จากการคำนวณหาขนาดของแบตเตอรี่ที่ใช้ในระบบ นั้นคือจะต้องใช้แบตเตอรี่ขนาด 7.6 แอมแปร์/ชั่วโมง 12 โวลต์ ซึ่งอาจจะไม่มีขายในท้องตลาด จึงต้องใช้แบตเตอรี่ขนาด 8 แอมแปร์/ชั่วโมง 12 โวลต์ หรือมากกว่า

2. การทดสอบศักยภาพของทรัพยากรแบตเตอรี่

การทดสอบศักยภาพของทรัพยากรแบตเตอรี่ ทำการทดสอบในสภาวะที่ไม่มีแสงอาทิตย์(ตั้งแต่เวลา 19.30 น. ถึง 07.00 น. ของวันถัดไป รวมระยะเวลา 12 ชั่วโมง) ภายในห้องปฏิบัติการ โดยการทดสอบกระทำโดยจำลองให้ระบบทำการเปิด-ปิด ฝาครอบป้องกันน้ำฝน ทั้งหมด 20 ครั้ง (จำลองภายใต้สมมติฐาน คือ สมมติในขณะใช้งานกลางคืน และระบบใช้พลังงานจากแบตเตอรี่ 100% เกิดสภาวะฝนตกและฝนหยุดตกจำนวนมากถึง 20 รอบ) ผลจากการทดสอบ พบว่าแบตเตอรี่ลดลง 40% โดยประมาณ (ดังภาพ 42) ซึ่งถือว่าเพียงพอต่อการใช้งานจริง



ภาพ 42 การทดสอบศักยภาพของทรัพยากรแบตเตอรี่

3. การคำนวณหาขนาดของเซลล์แสงอาทิตย์

เมื่อทราบพลังงานรวมทั้งหมดที่ระบบต้องการ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 46.58 วัตต์ จากนั้นจึงนำไปทำการคำนวณหาขนาดของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ระบบต้องการ ด้วยสมการ 2.13 จะได้ขนาดของเซลล์แสงอาทิตย์ เป็นดังนี้

$$\text{ขนาดของเซลล์แสงอาทิตย์} = \frac{\text{ค่าการใช้พลังงานรวมทั้งหมด (วัตต์)}}{5 \text{ (ชั่วโมง) (ปริมาณแสงอาทิตย์ที่คาดว่าจะได้รับใน 1 วัน)}}$$

จะได้

$$\text{ขนาดของเซลล์แสงอาทิตย์} = \frac{46.58}{5}$$

$$\text{ขนาดของเซลล์แสงอาทิตย์} = 9.3 \text{ วัตต์}$$

จากการคำนวณหาขนาดของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้ในระบบ นั้นคือจะต้องใช้เซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 9.3 วัตต์ 12 โวลต์ ซึ่งอาจจะไม่มีขายในท้องตลาด จึงต้องใช้เซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 10 วัตต์ 12 โวลต์ หรือมากกว่า

การประเมินราคาต้นทุนของอุปกรณ์เก็บตัวอย่างฝุ่นตก (Dust-fall Jar) แบบอัจฉริยะ

การประเมินราคาต้นทุนของอุปกรณ์เก็บตัวอย่างฝุ่นตก (Dust-fall Jar) แบบอัจฉริยะ ในงานวิจัยนี้ เป็นจำนวนเงินทั้งสิ้น 12,745 บาท (รายละเอียด แสดงดังตาราง 2) ทั้งนี้ราคาต้นทุน จะแปรผันตามปริมาณการสั่งซื้อวัสดุอุปกรณ์ และราคาของวัสดุอุปกรณ์ ณ เวลานั้นอีกด้วย

ตาราง 2 ประเมินราคาต้นทุนของอุปกรณ์เก็บตัวอย่างฝุ่นตก (Dust-fall Jar) แบบอัจฉริยะ

ลำดับ	รายการ	จำนวน	หน่วย	ราคา/ หน่วย	จำนวนเงิน (บาท)
1	เซลล์แสงอาทิตย์	1	แผง	660	660
2	เซอร์กิตเบรกเกอร์	1	อัน	50	50
3	โซล่าชาร์จ คอนโทรลเลอร์	1	ชิ้น	250	250
4	เทอร์มินอล บล็อก	1	อัน	65	65
5	แบตเตอรี่	1	ลูก	680	680
6	บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์	1	ชิ้น	1,650	1,650
7	เซ็นเซอร์น้ำฝน ความชื้น	1	แผ่น	40	40
8	L298N Motor Drive Module	1	ชิ้น	60	60
9	มอเตอร์ไฟฟ้า	1	อัน	280	280
10	เซนเซอร์ตรวจวัดความเข้มแสง อุณหภูมิ ความชื้น	1	ชุด	3,300	3,300
11	สายไฟจัมเปอร์ เมีย - เมีย	1	ชุด	30	30
12	สายไฟจัมเปอร์ ผู้ - ผู้	1	ชุด	30	30
13	สายไฟ DC ดำแดง	1	ม้วน	350	350
14	โครงสร้างอุปกรณ์เก็บตัวอย่างฝุ่นตก	1	ชุด	4,850	4,850
15	เบ็ดเตล็ด			450	450
				รวม ทั้งหมด	12,745

ตาราง 3 เปรียบเทียบข้อดี ข้อจำกัดของอุปกรณ์เก็บตัวอย่างฝุ่นตก (Dust-fall Jar) แบบ
อัจฉริยะ กับอุปกรณ์เก็บตัวอย่างฝุ่นตก (Dust-fall Jar) โดยทั่วไป

อุปกรณ์เก็บตัวอย่างฝุ่นตก (Dust-fall Jar) แบบอัจฉริยะ		อุปกรณ์เก็บตัวอย่างฝุ่นตก (Dust-fall Jar) โดยทั่วไป	
ข้อดี	ข้อจำกัด	ข้อดี	ข้อจำกัด
<ul style="list-style-type: none"> - สามารถตรวจสอบว่าอุปกรณ์ยังคงทำงานอยู่หรือไม่ - สามารถเก็บรวบรวมข้อมูลอุณหภูมิความชื้นของสภาวะแวดล้อมโดยรอบได้ - สามารถใช้งานสำหรับพื้นที่ที่มีข้อจำกัดเรื่องการเข้าถึงของไฟฟ้า - โครงสร้างของอุปกรณ์สามารถถอดประกอบเป็น 3 ส่วน เพื่อสะดวกต่อการเคลื่อนย้ายไป ณ จุดต่าง ๆ - มีฝาครอบปิดป้องกันน้ำฝนอัตโนมัติ เพื่อลดต้นทุนของกระบวนการระเหยน้ำที่ปะปนมากับตัวอย่างฝุ่นตกและร่นระยะเวลาการทดลอง 	<ul style="list-style-type: none"> - โครงสร้างของอุปกรณ์มีน้ำหนักค่อนข้างมาก - ราคาต้นทุนในการสร้างอุปกรณ์สูง 	<ul style="list-style-type: none"> - โครงสร้างของอุปกรณ์สามารถทำได้ง่าย - ราคาต้นทุนในการสร้างอุปกรณ์ต่ำ - โครงสร้างของอุปกรณ์มีน้ำหนักเบา 	<ul style="list-style-type: none"> - ต้องลงพื้นที่ตรวจสอบอุปกรณ์ว่ายังคงอยู่หรือไม่ - มีต้นทุนของกระบวนการระเหยน้ำที่ปะปนมากับตัวอย่างฝุ่นตกเพิ่มขึ้น และระยะเวลาการทำงานทดลองยาวนานขึ้น

บทที่ 5

บทสรุป

สรุปและอภิปรายผล

ในงานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาอุปกรณ์เก็บตัวอย่างฝุ่นตก (Dust-fall Jar) แบบอัจฉริยะที่มีระบบฝาครอบปิดป้องกันน้ำฝนอัตโนมัติ ซึ่งถูกควบคุมด้วยชุดอุปกรณ์แผ่นเซ็นเซอร์ตรวจวัดน้ำฝน ความชื้น ร่วมกับพลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์ โดยมีวัตถุประสงค์ออกแบบและพัฒนาอุปกรณ์เพื่อสะดวกต่อการตรวจวัดฝุ่นละอองในบรรยากาศโดยการติดตามตรวจสอบคุณภาพอากาศอย่างง่าย ไม่ต้องทำการเปลี่ยนถ่ายน้ำออกบ่อยครั้ง และร่นระยะเวลาในกระบวนการนำตัวอย่างฝุ่นตกไปทำการทดลอง เนื่องจากต้องทำการระเหยน้ำที่ปะปนมากับตัวอย่างออกให้หมด

จากกระบวนการทดสอบการสั่งเปิด-ปิดฝาครอบป้องกันน้ำฝนพบว่า สามารถสั่งเปิด-ปิดฝาครอบป้องกันน้ำฝนได้จริง ระยะเวลาในการสั่งเปิด-ปิดฝาครอบป้องกันน้ำฝนจะอยู่ในช่วง 14 – 27 วินาที ตามการประมวลผลของชุดคำสั่งในขณะนั้น การทดสอบการสั่งเปิด-ปิดฝาครอบป้องกันน้ำฝนเป็นเพียงการทดสอบแผ่นเซ็นเซอร์ตรวจวัดความชื้นเบื้องต้น สำหรับสถานการณ์ฝนตกจริง สามารถปรับค่าชุดคำสั่งสำหรับการควบคุมระบบฝาครอบป้องกันน้ำฝนแบบอัตโนมัติได้ และสามารถแสดงค่าของเซ็นเซอร์ตรวจวัดค่าอุณหภูมิ ความชื้น และน้ำฝน ผ่านหน้าจอแสดงผลแบบ LCD แบบเรียลไทม์อีกด้วย

การทดสอบศักยภาพของทรัพยากรแบตเตอรี่ กรณีเก็บตัวอย่างฝุ่นในเวลากลางวัน โดยคำนวณหาขนาดของแบตเตอรี่ที่ใช้ในระบบ คำนวณได้จากค่าการใช้พลังงานรวมทั้งหมดของวงจรอุปกรณ์เซ็นเซอร์คูณกับระยะเวลาที่ใช้งาน ซึ่งค่าความต้องการใช้พลังงานเท่ากับ 46.58 วัตต์ และใช้แบตเตอรี่ธรรมดา 12 โวลต์ และจากการคำนวณหาขนาดของแบตเตอรี่ที่ใช้ในระบบ นั่นคือต้องใช้แบตเตอรี่ขนาด 7.6 แอมแปร์/ชั่วโมง 12 โวลต์ ซึ่งอาจจะไม่มีขายในท้องตลาด จึงต้องใช้แบตเตอรี่ขนาด 8 แอมแปร์/ชั่วโมง 12 โวลต์ หรือมากกว่า ผลการทดสอบศักยภาพของทรัพยากรแบตเตอรี่ โดยทำการทดสอบโดยการเปิด-ปิดฝาครอบป้องกันน้ำฝน นับ 1 ครั้ง ทั้งหมด 20 ครั้ง และเดินระบบต่อเนื่อง รวม 12 ชั่วโมง พบว่าแบตเตอรี่ลดลง 40% โดยประมาณ

การประเมินราคาต้นทุนของอุปกรณ์เก็บตัวอย่างฝุ่นตก (Dust-fall Jar) แบบอัจฉริยะในงานวิจัยนี้ รวมทั้งหมด 12,745 บาท ทั้งนี้ราคาต้นทุนจะขึ้นอยู่กับปริมาณการสั่งซื้อวัสดุอุปกรณ์ และราคาของวัสดุอุปกรณ์ ณ เวลานั้นอีกด้วย

ข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์พัฒนาอุปกรณ์เก็บตัวอย่างฝุ่นตก (Dust-fall Jar) แบบอัจฉริยะที่มีระบบฝาครอบปิดป้องกันน้ำฝนอัตโนมัติ ซึ่งถูกควบคุมด้วยชุดอุปกรณ์แผ่นเซ็นเซอร์ตรวจวัดน้ำฝน ความชื้น ร่วมกับพลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์ เพื่อสะดวกต่อการตรวจวัดฝุ่นละอองในบรรยากาศ โดยการติดตามตรวจสอบคุณภาพอากาศอย่างง่าย จึงมีข้อเสนอแนะดังนี้

1. ควรทำการนำอุปกรณ์เก็บตัวอย่างฝุ่นตก (Dust-fall Jar) แบบอัจฉริยะ ที่มีระบบฝาครอบปิดป้องกันน้ำฝนอัตโนมัติ มาทดสอบเก็บตัวอย่างฝุ่นตกจากสถานการณ์จริง และนำตัวอย่างฝุ่นตกไปตรวจวิเคราะห์ เพื่อยืนยันผลการทดสอบ
2. ควรเพิ่มพารามิเตอร์ของเงื่อนไขระบบอัตโนมัติ เพื่อความแม่นยำในการสั่งการเปิด-ปิดฝาครอบป้องกันน้ำฝน ให้ใกล้เคียงกับสถานการณ์จริงมากที่สุด และควรปรับการเขียนชุดคำสั่งการปิดฝาครอบป้องกันน้ำฝนอัตโนมัติให้ช้าลง เพื่อทดสอบการเก็บตัวอย่างฝุ่นตก ที่ถูกน้ำฝนชะลงมาในช่วงต้นและนำไปทำการทดลองตรวจวิเคราะห์
3. ควรออกแบบการทดลองเก็บตัวอย่างฝุ่นตก มากกว่า 30 วัน เพื่อทดแทนช่วงเวลาที่มีฝาครอบป้องกันน้ำฝนอัตโนมัติปิดลง
4. การพัฒนาโครงสร้างของอุปกรณ์เก็บตัวอย่างฝุ่นตก (Dust-fall Jar) ควรหาวัสดุที่มีน้ำหนักเบาขึ้นและราคาถูกลง และการออกแบบอุปกรณ์เก็บตัวอย่างฝุ่นตก (Dust-fall Jar) แบบอัจฉริยะ สำหรับใช้งานในต่างประเทศ ไม่ว่าจะเป็นการคำนวณหาขนาดของเซลล์แสงอาทิตย์ การคำนวณหาขนาดของแบตเตอรี่ สำหรับสภาวะแวดล้อมที่ต่างกันออกไป เช่น ประเทศที่กลางวันยาวนานกว่ากลางวันในบางเดือน เป็นต้น
5. การทดสอบศักยภาพของทรัพยากรแบตเตอรี่ กรณีเก็บตัวอย่างฝุ่นในเวลากลางคืน ควรทำการทดสอบการกักเก็บพลังงานของแบตเตอรี่ ในเวลากลางวันเพิ่มเติม



บรรณานุกรม

- กรมควบคุมมลพิษ. (2561). สถานการณ์และการจัดการปัญหามลพิษทางอากาศและเสียงของประเทศไทย ปี 2561. กรุงเทพฯ: กรมควบคุมมลพิษ.
- กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม. (2558). *มลพิษทางอากาศ*. สืบค้น 2 มกราคม 2565. จาก <https://datacenter.deqp.go.th/knowledge>
- สุดจิต ครุจิต, ธัญญชัย วรณสุข, ชื่นจิตร ชาญชิตปรีชา, และนเรศ เชื้อสุวรรณ. (2553). *การพัฒนา
ระบบเฝ้าระวังฝุ่นละอองและคุณภาพอากาศแบบบูรณาการเพื่อสนับสนุนการจัดการ
คุณภาพอากาศในชุมชน*. นครราชสีมา: สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม สำนักวิชา
วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
- วงศ์พันธ์ ลิมปเสนีย์, นิตยา มหาผล, และธีระ เกรอต. (2543). *มลภาวะอากาศ*. กรุงเทพฯ:
สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- สำนักงานกองทุนสนับสนุนการสร้างเสริมสุขภาพ. (2561). *สารมลพิษทางอากาศ*. สืบค้น 2 มกราคม
2565. จาก <https://www.thaihealth.or.th>
- นพภาพร พานิช, แสงสันต์ พานิช, วงพันธ์ ลิมปเสนีย์, วิจิตรา จงวิศาล, และวราวุธ เสือดี. (2550).
ตำราระบบบำบัดมลพิษอากาศ (พิมพ์ครั้งที่ 2). กรุงเทพฯ: ศูนย์บริการวิชาการแห่ง
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ขวัญฤทัย ทองบุญฤทธิ์, และเจตติลภ ทองศรี. (2561). *ความเข้มข้นของแคดเมียม ตะกั่ว และปรอท
ในฝุ่นตักช่วงการเก็บเกี่ยวอ้อยในเขตอำเภอเมืองจังหวัดกำแพงเพชร*. กำแพงเพชร:
โปรแกรมวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยราช
ภัฏกำแพงเพชร.
- ศิริกัลยา สุวจิตตานนท์, วิวัฒน์ ตัณฑะพานิชกุล, ชิกาโอะ คานะโอกะ, และจุฑามาศ เกตุทัต.
(2549). *มลภาวะอากาศ* (พิมพ์ครั้งที่ 3). กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
- อเนก ทอนสูงเนิน. 2557. *การศึกษาและวิเคราะห์ผลกระทบการบังเงาบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ใน
ระบบไฟโตโวลตาอิก*. กรุงเทพฯ: สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัย
เทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.
- ดุสิต เครืองาม. (2533). *การประดิษฐ์เซลล์แสงอาทิตย์ราคาถูกรูปแบบฟิล์มบางอะมอร์ฟัส ซิลิคอน
(รายงานผลการวิจัย)*. กรุงเทพฯ: ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ภัทรกร กำซ้อน, ภาณุพันธ์ ลำขาว, ขวัญฤทัย ทองบุญฤทธิ์, และปาจรีย์ ทองสนิท. (2553).

การตกสะสมของฝุ่นตกในเขตและบริเวณโดยรอบมหาวิทยาลัยนเรศวร. ใน *การประชุมวิชาการและเสนอผลงานวิจัย/สร้างสรรค์ระดับชาติและนานาชาติ ศิลปการวิจัยและสร้างสรรค์*. ม.ป.ท.: ม.ป.พ.

นัทกมล ผินนอก. 2563. *การพัฒนาระบบเซนเซอร์สำหรับตรวจสอบและวิเคราะห์ข้อมูลแบบเรียลไทม์เพื่อประยุกต์ใช้งานด้านเกษตรแม่นยำด้วยเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง*.

พิษณุโลก: สาขาวิชาภูมิศาสตร์ ภาควิชาทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม คณะเกษตรศาสตร์ ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวร.

บริษัท อิมเม้นซ์ คอร์ปอเรชั่น จำกัด. (2562). *แผงโซลาร์เซลล์*. สืบค้น 2 มกราคม 2565. จาก <https://www.gump.in.th/article/535>

บริษัท แฟ็คโตมาร์ท จำกัด. (2565). *เซอร์กิตเบรกเกอร์*. สืบค้น 2 มกราคม 2565. จาก <https://mall.factomart.com/circuit-breaker/type-of-circuit-breaker>

บริษัท โซล่าฮับ จำกัด. (2558). *โซล่าชาร์จ คอนโทรลเลอร์*. สืบค้น 2 มกราคม 2565. จาก <https://www.solarhub.co.th/solar-information/solar-component/302-charge-controller>

บริษัท มิซูมิ (ไทยแลนด์) จำกัด. (2565). *เทอร์มินอลบล็อก*. สืบค้น 2 มกราคม 2565. จาก https://th.misumi-ec.com/th/pr/recommend_category/terminal_blocks201909/

บริษัท ไตรเทพ อินดัสทรี. (2556). *แบตเตอรี่*. สืบค้น 2 มกราคม 2565. จาก [http://www.diy-solarcell.com/Battery\).html](http://www.diy-solarcell.com/Battery).html) php

โรบอทสยาม อุปกรณ์หุ่นยนต์ Arduino. (2562). *บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino ESP32*. สืบค้น 2 มกราคม 2565. จาก <https://www.robotsiam.com/article/42/esp32-1-esp32>

บริษัท เอส. สมาร์ทเทค ซิสเต็ม จำกัด. (2565). *เซ็นเซอร์น้ำฝน ความชื้น วัดระดับน้ำ*. สืบค้น 2 มกราคม 2565. จาก <https://www.cybertice.com/product/-rain-water-detection-sensor-module>

TAWUN ALL ELECTRONIC. (2560). *L298N Motor Drive Module*. สืบค้น 2 มกราคม 2565. จาก <http://gamerbloggerport.blogspot.com/2017/09/l298n-motor-drive.html>

บริษัท อินดัสทรีโปร จำกัด. (2565). *มอเตอร์ไฟฟ้า*. สืบค้น 2 มกราคม 2565. จาก <https://industrypro.co.th/motor/>

- iMicon System. (2557). *เซนเซอร์ตรวจวัดความเข้มแสง อุณหภูมิ ความชื้น*. สืบค้น 2 มกราคม 2565. จาก <https://www.imiconsystem.com/product/rs485-atmospheric>
- บริษัท เอส. สมาร์ทเทค ซิสเต็ม จำกัด. (2561). *โปรแกรม ARDUINO IDE*. สืบค้น 2 มกราคม 2565. จาก <https://www.cybertice.com/article/arduino-ide>
- พรรณวดี สุวัฒน์กะ, ณพณัฐ แหวนจอน, และจิตติมา ตันโสภา. (2553). *การพัฒนาเบื้องต้นเครื่องมือตรวจวัดฝุ่นละอองในบรรยากาศอย่างง่าย*. กรุงเทพฯ: สาขาวิชาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ประยุกต์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- พีระพงษ์ อุฑารสกุล. (2562). *การพัฒนาโมดูลไมโครคอนโทรลเลอร์ที่สั่งงานด้วยคลื่นสมอง*. นครราชสีมา: สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคมสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
- พิเชษฐ รัตนบุญทวี, สิทธิศักดิ์ มาตี, อวยชัย วงศ์รัตน์, และอดิศักดิ์ ทองช่วย. (2563). *การคำนวณขนาดแบตเตอรี่ของระบบไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ให้กับอาคารพักอาศัยด้วยโปรแกรมมิวอลสตูดิโอ*. กรุงเทพฯ: สาขาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร.
- กองถ่ายทอดและเผยแพร่เทคโนโลยี. (ม.ป.ป.). *การผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ การถ่ายทอดและเผยแพร่การใช้พลังงานแสงอาทิตย์*. กรุงเทพฯ: กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน.
- สิชล สุระศิลป์กุล. (2554). *โครงการออกแบบโปรแกรมประมาณราคาอาคารจากแบบจำลอง 3 มิติ (โปรแกรมเสริมบน Sketch Up)*. กรุงเทพฯ: สาขาวิชาคอมพิวเตอร์เพื่อการออกแบบทางสถาปัตยกรรม ภาควิชาเทคนิคสถาปัตยกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร.
- ดวงกมล ดั่งโพนทอง, จักรกฤกษ์ จันทร์ศิริ, ภาณุวัตร รื่นเรืองฤทธิ์, และวสันต์ ปินะเต. (2561). *การส่งเสริมเทคโนโลยีเครื่องจ่ายยาสำหรับผู้สูงอายุเพื่อใช้ประโยชน์ในชุมชน เขต อำเภอ กุดรัง จังหวัดมหาสารคาม*. มหาสารคาม: มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม.
- G. Kornelius, & M. Kwata. (2012). *COMPARISON OF DIFFERENT VERSIONS OF ASTM 1739 FOR THE MEASUREMENT OF DUSTDEPOSITION IN THE SOUTH AFRICAN MINING SECTORS*. Pretoria: Environmental Engineering Group, Dept of Chemical Engineering, University of Pretoria.
- R. Ramaprabha, & B. L. Mathur. (2009). *Impact of Partial Shading on Solar PV Module Containing Series Connected Cells*. India: SSN College of Engineering, Department of EEE, Chennai, Tamilnadu, India

- Macpherson, T., Nickling, W. G., Gillies, J. A., & Etyemezian, V. (2008). Dust emissions from undisturbed and disturbed supply-limited desert surfaces. *Journal of Geophysical Research: Earth Surface*, 113(F2).
- Kato, N., & Akimoto, H. (2007). Anthropogenic emissions of SO₂ and NO_x in Asia: Emission inventories. *Atmospheric Environment*, 41, 171-191
- Natasha Shackleton, BSc Hons. (2016). *Particulate and Dustfall Sampling Report for the Proposed Helderwyk Development*. Pretoria: Meteorology University of Pretoria.





ภาคผนวก

ภาคผนวก ก ชุดคำสั่งของอุปกรณ์เก็บตัวอย่างฝุ่นตก (Dust-fall Jar) แบบอัจฉริยะ

```
1 #include <Adafruit_INA219.h>
2
3 #include<WiFi.h>
4 #include <WiFiClient.h>
5 #include <SPI.h>
6 #include <Wire.h>
7 (Suttipong Dondee, Dust fall jar with automatic rain protection system using solar
8 energy, (2023))
9 #define WIFI_STA_NAME "xxxxxxxx" //*****NAME WIFI
10 #define WIFI_STA_PASS "xxxxxxxx" //*****Pass WIFI
11 /*****Google Sheet*****/
12 #include <HTTPClient.h>
13 String GOOGLE_SCRIPT_ID =
14 "AKfycbzT25ayUGcqGuoNxuGvhecq6SiAoYv8K6cSega4uK8RlNRzTJOwSjrdJtFEKBSxi_8!g";//
15 change Gscript ID
16 int count = 0;
17
18 /*****Time Value*****/
19 int timezone = 7 * 3600; //Set TimeZone On Time Thailand
20 int dst = 0; //Set Date Swing Time
21 bool A=0;
22
23 /*****Oled*****/
24 #include <Adafruit_GFX.h>
25 #include <SSD1306Wire.h>
```

```

24  std::vector<uint8_t> img1;
25  SSD1306Wire oled1(0x3c, 21, 22);
26
27  /*****TH-031*****/
28  #include <time.h>
29  #include <ModbusMaster.h>
30  //https://www.arduino-libraries.info/ModbusMaster/libraries/modbus-master
31  #include <SoftwareSerial.h> //https://github.com/PaulStoffregen/SoftwareSerial
32  #define TXD // your software serial TXD pin
33  #define RXD // your software serial RXD pin
34  #define slaveID 1
35  ModbusMaster node;
36
37  #include "SoftwareSerial.h"
38  #define HUMIDITY_REG 00
39  #define TEMPERATURE_REG 01
40  #define Light_REG 0x8
41  float Temperature, Humidity, Light;
42
43  /*****Rain*****/
44  int sensorValue1 = 33;
45  int Value1 = 0;
46  int outPutValue1 = 0;
47
48  /*****Measure Battery and Solar cell*****/
49  #include <Adafruit_INA219.h>

```

```
50 Adafruit_INA219 ina219_1 (0x40);
51 float tagangan1, arus1 , daya1;
52
53 /*****Motor*****/
54 int motor1Pin1 = 25;
55 int motor1Pin2 = 26;
56 int enable1Pin = 14;
57
58 // Setting PWM properties
59 const int freq = 30000;
60 const int pwmChannel = 0;
61 const int resolution = 10;
62 int dutyCycle = 2000;
63
64 bool StatusMotor = 0;
65
66
67 void setup() {
68 /*****Serial.begin*****/
69 Serial.begin(9600);
70 Serial.println();
71 Serial.println();
72 Serial.print("Connecting to ");
73 Serial.println(WIFI_STA_NAME);
74
75 WiFi.mode(WIFI_STA);
```



```

76  WiFi.begin(WIFI_STA_NAME, WIFI_STA_PASS);
77
78  while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
79      delay(500);
80      Serial.print(".");
81  }
82
83  Serial.println("");
84  Serial.println("WiFi connected");
85  Serial.println("IP address: ");
86  Serial.println(WiFi.localIP());
87  /*****Retrieve Time Value From Server*****/
88  configTime(timezone, dst, "pool.ntp.org", "time.nist.gov"); //ดึงเวลาจาก Server
89  Serial.println("\nLoading time");
90  while (!time(nullptr)) {
91      Serial.print("*");
92      delay(1000);
93  }
94
95  /*****Motor กำหนดขา*****/
96  pinMode(motor1Pin1, OUTPUT);
97  pinMode(motor1Pin2, OUTPUT);
98  pinMode(enable1Pin, OUTPUT);
99  // configure LED PWM functionalitites
100 ledcSetup(pwmChannel, freq, resolution);
101 // attach the channel to the GPIO to be controlled

```

```
102 ledcAttachPin(enable1Pin, pwmChannel);
103 /*****Measure Battery*****/
104 ina219_1.begin();
105 /*****Oled Display*****/
106 oled1.init();
107 oled1.flipScreenVertically();
108 oled1.setFont(ArialMT_Plain_10);
109
110 /*****OLED*****/
111 img1 = (std::vector<uint8_t> {
112     0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff,
113     0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff,
114     0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff,
115     0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff,
116     0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff,
117     0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff,
118     0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff,
119     0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0x07, 0xfc, 0xff, 0xff,
120     0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0x07, 0xec, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0x7f,
121     0x07, 0xa8, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0x1f, 0x19, 0x26, 0xff, 0xff,
122     0xff, 0xff, 0xff, 0x0f, 0xf8, 0x9f, 0xf9, 0xff, 0xff, 0xff, 0x87,
123     0xf8, 0xdf, 0xfd, 0xff, 0xff, 0xff, 0x83, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff,
124     0xff, 0xff, 0x83, 0xff, 0xff, 0xf3, 0xff, 0xff, 0xff, 0xf1,
125     0xff, 0xff, 0xc1, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0x1f, 0xfe, 0x81, 0xff,
126     0xff, 0xff, 0xff, 0xfa, 0x07, 0xc0, 0x87, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff,
127     0xe1, 0x81, 0x87, 0xff, 0xff, 0xff, 0x7f, 0xfc, 0xe9, 0x05, 0xc7, 0xff,
```

128 0xff, 0xff, 0x7f, 0xfe, 0xfc, 0x17, 0x8f, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0x3e,
129 0xfe, 0x9f, 0xbe, 0xff, 0xff, 0xff, 0x3f, 0x7e, 0xfc, 0x3f, 0xbe, 0xff,
130 0xff, 0xff, 0x3f, 0x3f, 0xfe, 0x3f, 0x1e, 0xfe, 0xff, 0xff, 0x3f, 0x7c,
131 0xff, 0x7f, 0x9f, 0xff, 0xff, 0xff, 0xbf, 0xff, 0xff, 0x7f, 0x1c, 0xfe,
132 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0x7f, 0x3f, 0xfe, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff,
133 0xff, 0xff, 0x1f, 0xfe, 0xff, 0xff, 0xff, 0x3f, 0xfe, 0xff, 0x7f, 0xfe,
134 0xff, 0xff, 0xff, 0xbf, 0xff, 0xff, 0x7f, 0xfe, 0xff, 0xff, 0xff, 0x3f,
135 0xff, 0x3f, 0x1e, 0xfe, 0xff, 0xff, 0x3f, 0x7c, 0xff, 0x1f, 0x3e, 0xfe,
136 0xff, 0xff, 0x1f, 0x7f, 0xfe, 0x0f, 0x1e, 0xfe, 0xff, 0xff, 0x0f, 0x7c,
137 0xfe, 0x0f, 0x3f, 0xfe, 0xff, 0xff, 0x87, 0xfe, 0xfc, 0xdf, 0x1f, 0xfe,
138 0xff, 0xff, 0x83, 0xff, 0xf9, 0xc7, 0x7f, 0xfe, 0xff, 0xff, 0x81, 0xff,
139 0xe1, 0xc1, 0x7f, 0xfe, 0xff, 0xff, 0x80, 0xff, 0x05, 0xc0, 0x1f, 0xfe,
140 0xff, 0x7f, 0xc0, 0xff, 0x1f, 0xe6, 0x3f, 0xfe, 0xff, 0x7f, 0xe0, 0xff,
141 0x1f, 0xfe, 0x1f, 0xfe, 0xff, 0x3f, 0xfa, 0xff, 0xff, 0xff, 0x7f, 0xfe,
142 0xff, 0x3f, 0xf8, 0xff, 0xff, 0xff, 0x7f, 0xfe, 0xff, 0x1f, 0x7c, 0x00,
143 0x00, 0x00, 0x1e, 0xfe, 0xff, 0x9f, 0x7f, 0x00, 0x00, 0x80, 0x3f, 0xfe,
144 0xff, 0x8f, 0x7f, 0x20, 0x42, 0x02, 0x1f, 0xfe, 0xff, 0xcf, 0x7f, 0x04,
145 0x08, 0x90, 0x7f, 0xfe, 0xff, 0xcf, 0x7f, 0x90, 0x00, 0x00, 0x7f, 0xfe,
146 0xff, 0xc7, 0x7f, 0x00, 0x44, 0x84, 0x1f, 0xfe, 0xff, 0xe7, 0x7f, 0x00,
147 0x00, 0x00, 0x3f, 0xfe, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0x1f, 0xfe,
148 0xff, 0xef, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0x7f, 0xfe, 0xff, 0xe3, 0xff, 0xff,
149 0xff, 0xff, 0x7f, 0xfe, 0xff, 0xf3, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0x1f, 0xfe,
150 0xff, 0xc3, 0xff, 0x3f, 0x00, 0xe0, 0x3f, 0xfe, 0xff, 0xf3, 0xff, 0x1f,
151 0x00, 0xc0, 0x1f, 0xfe, 0xff, 0xf3, 0xff, 0x0f, 0x92, 0x80, 0x7f, 0xfe,
152 0xff, 0xf3, 0xff, 0x4f, 0x00, 0xa4, 0x7f, 0xfe, 0xff, 0xf3, 0xff, 0x07,
153 0x00, 0x00, 0x1e, 0xfe, 0xff, 0xf3, 0xff, 0x8f, 0x6d, 0x83, 0x3e, 0xfe,

154 0xff, 0xf3, 0xff, 0x07, 0x69, 0x0b, 0x1e, 0xfe, 0xff, 0xe3, 0xff, 0x4f,
155 0xb5, 0x86, 0x3f, 0xfe, 0xff, 0xf3, 0xff, 0x07, 0x00, 0x20, 0x1e, 0xfc,
156 0xff, 0xef, 0xff, 0x8f, 0x00, 0x80, 0x3f, 0xfe, 0xff, 0xef, 0xff, 0x0f,
157 0x90, 0x88, 0x1f, 0xfe, 0xff, 0xff, 0xff, 0x1f, 0x02, 0xc0, 0x7f, 0xfe,
158 0xff, 0x87, 0xff, 0x3f, 0x00, 0xe0, 0x7f, 0xfe, 0xff, 0x87, 0xff, 0x3f,
159 0xfe, 0xef, 0x1f, 0xfe, 0xff, 0x5f, 0x7f, 0x00, 0xff, 0xff, 0x3f, 0xfe,
160 0xff, 0x0f, 0x7f, 0xe4, 0xff, 0xff, 0x1f, 0xfe, 0xff, 0x0f, 0x7f, 0xf0,
161 0xff, 0xff, 0x7f, 0xfe, 0xff, 0xbf, 0x7f, 0xe0, 0xff, 0xff, 0x7f, 0xfe,
162 0xff, 0x1f, 0x7f, 0xc4, 0xff, 0xff, 0x1f, 0xfe, 0xff, 0x7f, 0x7c, 0x00,
163 0x00, 0x80, 0x3f, 0xfe, 0xff, 0x3f, 0x7e, 0x10, 0x44, 0x00, 0x1f, 0xfe,
164 0xff, 0x7f, 0x7e, 0x84, 0x00, 0x92, 0x7f, 0xfe, 0xff, 0x3f, 0x7e, 0x00,
165 0x02, 0x00, 0x7f, 0xfe, 0xff, 0x3f, 0x7c, 0x20, 0x90, 0x88, 0x1f, 0xfe,
166 0xff, 0x3f, 0x7f, 0x04, 0x01, 0x00, 0x3e, 0xfe, 0xff, 0x7f, 0x7f, 0x00,
167 0x00, 0x00, 0x1e, 0xfe, 0xff, 0x1f, 0x7e, 0xd2, 0xb6, 0xed, 0x7f, 0xfe,
168 0xff, 0x1f, 0x7e, 0xc0, 0xb6, 0xed, 0x7f, 0xfe, 0xff, 0x9f, 0x7f, 0xc0,
169 0xff, 0xff, 0x1f, 0xfe, 0xff, 0x9f, 0x7f, 0xf0, 0xff, 0xff, 0x3f, 0xfe,
170 0xff, 0x1f, 0x7e, 0xe0, 0xff, 0xff, 0x1f, 0xfe, 0xff, 0x9f, 0xff, 0xff,
171 0xff, 0xff, 0x7f, 0xfe, 0xff, 0x9f, 0xff, 0xff, 0xff, 0x7f, 0xfe,
172 0xff, 0x9f, 0xff, 0xff, 0x7f, 0xf8, 0x1f, 0xfe, 0xff, 0x1f, 0xff, 0xff,
173 0x5f, 0xe3, 0x7f, 0xfe, 0xff, 0x9f, 0xfe, 0xff, 0x1f, 0xeb, 0x1f, 0xfe,
174 0xff, 0x1f, 0xfc, 0xff, 0x1f, 0x9e, 0x9f, 0xff, 0xff, 0x1f, 0xfc, 0xff,
175 0x07, 0x58, 0x1f, 0xfe, 0xff, 0x7f, 0xfe, 0xff, 0x4f, 0x30, 0xdf, 0xff,
176 0xff, 0x7f, 0xff, 0xff, 0x0f, 0xb0, 0xbf, 0xff, 0xff, 0x3f, 0xff, 0xff,
177 0x37, 0xb2, 0x0f, 0xff, 0xff, 0x3f, 0xfe, 0xbf, 0x48, 0xf0, 0x0f, 0xff,
178 0xff, 0xff, 0xfe, 0x1f, 0x69, 0x98, 0x4f, 0xff, 0xff, 0xff, 0xf8, 0x6f,
179 0xd3, 0xdc, 0xc7, 0xff, 0xff, 0x7f, 0xf8, 0xef, 0x37, 0xec, 0xe7, 0xff,

```
180 0xff, 0xff, 0xfd, 0x7f, 0x86, 0xe7, 0xe3, 0xff, 0xff, 0xff, 0xf8, 0x27,  
181 0x7c, 0xe8, 0xc3, 0xff, 0xff, 0xff, 0xe1, 0x4f, 0xf6, 0xfc, 0xe1, 0xff,  
182 0xff, 0xff, 0xf1, 0x6f, 0xc7, 0xfc, 0xf8, 0xff, 0xff, 0xff, 0xe1, 0x4f,  
183 0xeb, 0xff, 0xf8, 0xff, 0xff, 0xff, 0xd7, 0xbf, 0xf9, 0xff, 0xfd, 0xff,  
184 0xff, 0xff, 0x9f, 0x9f, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0x4f, 0xbf,  
185 0xfe, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0x6f, 0xf9, 0xfe, 0x77, 0xff, 0xff,  
186 0xff, 0xff, 0x3f, 0xf9, 0xff, 0x41, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xbf, 0xc8,  
187 0x3f, 0xe0, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xd1, 0x00, 0xf8, 0xff, 0xff,  
188 0xff, 0xff, 0xff, 0xc9, 0x01, 0xfe, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0x7f,  
189 0xc0, 0xfe, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xc0, 0xff, 0xff, 0xff,  
190 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff,  
191 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff,  
192 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff,  
193 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff,  
194 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff,  
195 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff,  
196 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff,  
197 0xff, 0xff, 0xff, 0xff  
198 });  
199 oled1.display();  
200 oled1.clear();  
201 oled1.drawFastImage(0, 0, 128, 64, img1.data());  
202 oled1.display();  
203 }  
204  
205 void loop() {
```

```

206 Time();
207 get_LTH_TM();
208 Oled();
209 Auto();
210 time_t now = time(nullptr);
211 struct tm* p_tm = localtime(&now);
212     if (p_tm->tm_min == 0 || p_tm->tm_min == 15 || p_tm->tm_min == 30 || p_tm-
213 >tm_min == 45) { //ให้บันทึกค่าลง googlesheet ทุกๆ 0,15,30,45 นาที ของเวลาปัจจุบัน
214     if(A==0){
215         googlesheet();
216         A=1;
217     }
218     if (p_tm->tm_min == 1 || p_tm->tm_min == 16 || p_tm->tm_min == 31 || p_tm-
219 >tm_min == 46) { //ให้บันทึกค่าลง googlesheet ทุกๆ 0,15,30,45 นาที ของเวลาปัจจุบัน
220     if(A==1){
221         A=0;
222     }
223 }
224 /*****Set Time*****/
225 void Time() {
226     //configTime(timezone, dst, "pool.ntp.org", "time.nist.gov"); //แสดงเวลาปัจจุบัน
227     time_t now = time(nullptr);
228     struct tm* p_tm = localtime(&now);
229
230     Serial.print(p_tm->tm_hour);

```

```
231 Serial.print(":");
232 Serial.print(p_tm->tm_min);
233 Serial.print(":");
234 Serial.print(p_tm->tm_sec);
235 Serial.println("");
236 delay(1000);
237 }
238 /*****googlesheet*****/
239 void googlesheet() {
240     if (WiFi.status() == WL_CONNECTED) {
241         static bool flag = false;
242         String urlFinal = "https://script.google.com/macros/s/" + GOOGLE_SCRIPT_ID + "/exec?"
243             + "temperature=" + String(Temperature, 1)
244             + "&humidity=" + String(Humidity, 1)
245             + "&light=" + String(Light, 1)
246             + "&rain=" + String(outPutValue1)
247             + "&motorControl=" + String(StatusMotor)
248             + "&batteryV=" + String(tagangan1)
249             + "&batterymA=" + String(arus1)
250             + "&batteryW=" + String(daya1);
251
252         Serial.print("POST data to spreadsheet:");
253         Serial.println(urlFinal);
254         HTTPClient http;
255         http.begin(urlFinal.c_str());
256         http.setFollowRedirects(HTTPC_STRICT_FOLLOW_REDIRECTS);
```

```

257     int httpCode = http.GET();
258     Serial.print("HTTP Status Code: ");
259     Serial.println(httpCode);
260     //-----
261     //getting response from google sheet
262     String payload;
263     if (httpCode > 0) {
264         payload = http.getString();
265         Serial.println("Payload: " + payload);
266     }
267     //-----
268     http.end();
269 }
} (Suttipong Dondee, Dust fall jar with automatic rain protection system using solar
270 energy, (2023))
/*****TH-031 Temperature, humidity, light
271 sensors*****/
272 int get_modbusRTU_sensor(int addr , uint16_t REG) {
273     int result;
274     node.begin(addr, Serial);
275     result = node.readInputRegisters (REG, 4); ///< Modbus function 0x04 Read Input
Registers
276     result = node.readHoldingRegisters (REG, 4);
277     if (result == node.ku8MBSuccess) {
278         return node.getResponseBuffer(0);
279     } else {
280         //Serial.print("Connec modbus fail. REG >>> "); mySerial.println(REG, HEX); // Debug
281

```



```
282 }
283 }
284
285 /*****TH-031 Temperature, humidity, light
286 sensors*****/
287 void get_LTH_TM() {
288
289 Serial.begin(9600);
290 Humidity = get_modbusRTU_sensor(slaveID, HUMIDITY_REG) / 10;
291 Temperature = get_modbusRTU_sensor(slaveID, TEMPERATURE_REG) / 10;
292 Light = get_modbusRTU_sensor(slaveID, Light_REG);
293 Serial.print("\n");
294 Serial.print("Temperature = " + String(Temperature, 1) + " C" + "\n");
295 Serial.print("Humidity = " + String(Humidity, 1) + " %RH" + "\n");
296 Serial.print("Light = " + String(Light, 1) + " lux" + "\n");
297
298 Value1 = analogRead(sensorValue1);
299 outPutValue1 = map(Value1, 0, 4095, 100, 0);
300 Serial.print("Rain = " + String(outPutValue1) + "%" + "\n");
301
302 DC();
303 }
304
305
306 /*****Oled display*****/
307 void Oled() {
```

```
308 oled1.display();
309 oled1.clear();
310 oled1.setFont(ArialMT_Plain_16);
311 oled1.drawString(30, 16, " Temperature");
312 oled1.setFont(ArialMT_Plain_16);
313 oled1.drawString(30, 32, " " + String(Temperature, 1) + " °C");
314 oled1.display();
315 oled1.clear();
316 delay(2000);
317 oled1.setFont(ArialMT_Plain_16);
318 oled1.drawString(30, 16, " Humidity");
319 oled1.setFont(ArialMT_Plain_16);
320 oled1.drawString(30, 32, " " + String(Humidity, 1) + " %RH");
321 oled1.display();
322 oled1.clear();
323 delay(2000);
324 oled1.setFont(ArialMT_Plain_16);
325 oled1.drawString(30, 16, " Light");
326 oled1.setFont(ArialMT_Plain_16);
327 oled1.drawString(30, 32, " " + String(Light, 1) + " lux");
328 oled1.display();
329 oled1.clear();
330 delay(2000);
331 oled1.setFont(ArialMT_Plain_16);
332 oled1.drawString(30, 16, " Rain");
333 oled1.setFont(ArialMT_Plain_16);
```

```

334 oled1.drawString(30, 32, " " + String(outPutValue1) + "%");
335 oled1.display();
336 oled1.clear();
337 delay(2000);
338 oled1.setFont(ArialMT_Plain_16);
339 oled1.drawString(30, 0, "Battery");
340 oled1.setFont(ArialMT_Plain_10);
341 oled1.drawString(20, 15, "Voltage:" + String(tagangan1) + " V");
342 oled1.setFont(ArialMT_Plain_10);
343 oled1.drawString(20, 27, "Shunt Voltage:" + String(arus1) + " mA");
344 oled1.setFont(ArialMT_Plain_10);
345 oled1.drawString(20, 37, "Load Voltage:" + String(daya1) + " W");
346 oled1.display();
347 oled1.clear();
348 delay(2000);
349 oled1.drawFastImage(0, 0, 128, 64, img1.data());
350 oled1.display();
351 oled1.clear();
352 delay(2000);
353
354 }
    /*****Measure Battery and Solar
355 cell*****/
356 void DC() {
357     tagangan1 = ina219_1.getBusVoltage_V();
358     arus1 = ina219_1.getShuntVoltage_mV();
359     daya1 = tagangan1 * (arus1 / 1000);

```

```

360
361 Serial.print("Voltage: "); Serial.print(tagangan1); Serial.println(" V");
362 Serial.print("Shunt Voltage: "); Serial.print(arus1); Serial.println(" mV");
363 Serial.print("Load Voltage: "); Serial.print(daya1); Serial.println(" Watt");
364 Serial.println("-----");
365
366
367 } (Suttipong Dondee, Dust fall jar with automatic rain protection system using solar
368 energy, (2023))
369 /*****Auto*****/
370 void Auto() {
371   if (StatusMotor == 0) {
372     Serial.println(String(StatusMotor));
373     if (outPutValue1 <= 1) { /***Set Rain value for the
374       motor to open
375       Serial.println("MotorON");
376       digitalWrite(motor1Pin1, LOW);
377       digitalWrite(motor1Pin2, HIGH);
378       delay(1500);
379       digitalWrite(motor1Pin1, LOW);
380       digitalWrite(motor1Pin2, LOW);
381       DC();
382       googlesheet();
383       StatusMotor = 1;
384       // Move DC motor forward with increasing speed

```

```
385   while (dutyCycle <= 2000) {
386       ledcWrite(pwmChannel, dutyCycle);
387       Serial.print("Forward with duty cycle: ");
388       Serial.println(dutyCycle);
389       dutyCycle = dutyCycle + 5;
390       delay(500);
391   }
392   dutyCycle = 2000;
393 }
394 }
395
396
397 if (StatusMotor == 1) {
398     Serial.println(String(StatusMotor));
399     if (outPutValue1 >= 100) {/*****Set Rain value for the
400 motor to close
401     Serial.println("MotorOFF");
402     digitalWrite(motor1Pin1, HIGH);
403     digitalWrite(motor1Pin2, LOW);
404     delay(1500);
405     digitalWrite(motor1Pin1, LOW);
406     digitalWrite(motor1Pin2, LOW);
407     DC();
408     googlesheet();
409     StatusMotor = 0 ;
410     // Move DC motor forward with increasing speed
```

```
411 while (dutyCycle <= 2000) {  
412     ledcWrite(pwmChannel, dutyCycle);  
413     Serial.print("Forward with duty cycle: ");  
414     Serial.println(dutyCycle);  
415     dutyCycle = dutyCycle + 5;  
416     delay(500);  
417 }  
418 dutyCycle = 2000;  
419  
420 }  
421 }  
422 }
```



ภาคผนวก ข ค่าการประมวลผลที่ได้จากแผ่นเซนเซอร์ตรวจวัดค่าอุณหภูมิ ความชื้นและ
น้ำฝน แบบเรียลไทม์ 24 ชั่วโมง ในห้องปฏิบัติการ

ค่าที่ได้จากการประมวลผลของเซนเซอร์ตรวจวัดค่าอุณหภูมิ ความชื้น และน้ำฝนแบบเรียลไทม์
เป็นเวลา 24 ชั่วโมง (ตั้งแต่เวลา 19.30 น. ถึง 19.30 น. ของวันถัดไป) ภายในห้องปฏิบัติการ

วันที่	เวลา	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ความชื้น (%RH)	พื้นที่เปียกบนแผ่น เซนเซอร์น้ำฝน (%)
7/10/22	19:30:07	26	82	0
7/10/22	19:45:06	26	80	0
7/10/22	20:00:05	26	79	0
7/10/22	20:15:04	26	80	0
7/10/22	20:19:55	26	80	100
7/10/22	20:20:29	26	80	0
7/10/22	20:21:04	26	80	100
7/10/22	20:21:23	26	80	0
7/10/22	20:22:11	26	80	100
7/10/22	20:22:44	26	80	0
7/10/22	20:23:45	26	80	100
7/10/22	20:24:19	26	80	0
7/10/22	20:25:20	26	80	100
7/10/22	20:25:41	26	80	0
7/10/22	20:26:28	26	80	100
7/10/22	20:26:48	26	80	0
7/10/22	20:30:02	26	79	0
7/10/22	20:34:39	26	80	100
7/10/22	20:34:59	26	80	0
7/10/22	20:35:33	26	80	100
7/10/22	20:36:07	26	80	0
7/10/22	20:36:40	26	80	100
7/10/22	20:37:01	26	79	0
7/10/22	20:37:21	26	80	100
7/10/22	20:37:55	26	79	0

วันที่	เวลา	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ความชื้น (%RH)	พื้นที่เปียกบนแผ่น เซนเซอร์น้ำฝน (%)
7/10/22	20:39:50	26	79	100
7/10/22	20:40:23	26	80	0
7/10/22	20:40:44	26	80	100
7/10/22	20:41:04	26	80	0
7/10/22	20:41:38	26	80	100
7/10/22	20:42:11	26	80	0
7/10/22	20:42:31	26	80	100
7/10/22	20:42:51	26	80	0
7/10/22	20:43:25	26	80	100
7/10/22	20:43:45	26	80	0
7/10/22	20:44:46	26	80	100
7/10/22	20:45:04	26	80	100
7/10/22	20:46:18	26	80	0
7/10/22	20:46:52	26	80	100
7/10/22	20:47:26	26	80	0
7/10/22	20:48:00	26	80	100
7/10/22	20:48:20	26	80	0
7/10/22	20:48:40	26	80	100
7/10/22	20:49:14	26	80	0
7/10/22	20:49:34	26	80	100
7/10/22	20:49:54	26	80	0
7/10/22	20:50:27	26	80	100
7/10/22	20:51:01	26	80	0
7/10/22	20:51:35	26	80	100
7/10/22	20:51:55	26	80	0
7/10/22	21:00:08	26	80	0
7/10/22	21:15:07	25	80	0
7/10/22	21:30:06	25	81	0
7/10/22	21:45:05	25	81	0
7/10/22	22:00:03	25	81	0
7/10/22	22:15:03	25	82	0

วันที่	เวลา	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ความชื้น (%RH)	พื้นที่เปียกบนแผ่น เซนเซอร์น้ำฝน (%)
7/10/22	22:30:02	25	82	0
7/10/22	22:45:15	25	82	0
7/10/22	23:00:14	25	82	0
7/10/22	23:15:13	25	82	0
7/10/22	23:30:12	25	83	0
7/10/22	23:45:11	25	83	0
8/10/22	0:00:10	25	83	0
8/10/22	0:15:09	25	82	0
8/10/22	0:30:08	25	83	0
8/10/22	0:45:07	25	83	0
8/10/22	1:00:06	25	84	0
8/10/22	1:15:05	25	84	0
8/10/22	1:30:04	25	83	0
8/10/22	1:45:03	25	83	0
8/10/22	2:00:02	25	84	0
8/10/22	2:15:15	24	85	0
8/10/22	2:30:14	25	84	0
8/10/22	2:45:13	24	85	0
8/10/22	3:00:13	25	84	0
8/10/22	3:15:12	25	84	0
8/10/22	3:30:11	25	84	0
8/10/22	3:45:10	24	85	0
8/10/22	4:00:09	24	85	0
8/10/22	4:15:08	24	85	0
8/10/22	4:30:07	24	85	0
8/10/22	4:45:06	24	84	0
8/10/22	5:00:05	24	85	0
8/10/22	5:15:04	24	87	0
8/10/22	5:30:03	24	86	0
8/10/22	5:45:15	24	86	0
8/10/22	6:00:15	24	86	0

วันที่	เวลา	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ความชื้น (%RH)	พื้นที่เปียกบนแผ่น เซนเซอร์น้ำฝน (%)
8/10/22	6:15:14	24	85	0
8/10/22	6:30:13	25	86	0
8/10/22	6:45:12	26	81	0
8/10/22	7:00:11	27	76	0
8/10/22	7:15:09	28	73	0
8/10/22	7:30:07	28	71	0
8/10/22	7:45:05	28	72	0
8/10/22	8:00:04	28	71	0
8/10/22	8:05:38	28	70	0
8/10/22	8:10:56	28	70	100
8/10/22	8:12:51	29	69	0
8/10/22	8:15:11	29	69	0
8/10/22	8:30:09	29	65	0
8/10/22	8:45:08	30	62	0
8/10/22	9:00:06	30	62	0
8/10/22	9:15:05	31	58	0
8/10/22	9:30:06	32	58	0
8/10/22	9:45:04	32	55	0
8/10/22	10:00:03	32	54	0
8/10/22	10:15:15	32	55	0
8/10/22	10:30:14	33	52	0
8/10/22	10:45:12	33	50	0
8/10/22	11:00:11	33	50	0
8/10/22	11:05:43	33	50	100
8/10/22	11:06:57	33	51	0
8/10/22	11:15:10	33	51	0
8/10/22	11:30:08	33	52	0
8/10/22	11:45:07	33	50	0
8/10/22	12:00:06	33	50	0
8/10/22	12:15:04	32	53	0
8/10/22	12:30:03	32	55	0

วันที่	เวลา	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ความชื้น (%RH)	พื้นที่เปียกบนแผ่น เซนเซอร์น้ำฝน (%)
8/10/22	12:45:15	32	53	0
8/10/22	13:00:13	32	54	0
8/10/22	13:15:12	32	56	0
8/10/22	13:30:10	31	58	0
8/10/22	13:45:08	29	62	0
8/10/22	14:00:07	27	71	0
8/10/22	14:15:06	27	70	0
8/10/22	14:30:04	27	69	0
8/10/22	14:45:04	27	69	0
8/10/22	15:00:03	27	71	0
8/10/22	15:15:15	27	73	0
8/10/22	15:30:14	26	73	0
8/10/22	15:45:13	27	74	0
8/10/22	16:00:12	27	74	0
8/10/22	16:15:11	27	73	0
8/10/22	16:30:10	27	72	0
8/10/22	16:45:09	27	72	0
8/10/22	17:00:09	27	72	0
8/10/22	17:15:07	27	73	0
8/10/22	17:19:45	27	74	100
8/10/22	17:20:19	27	74	0
8/10/22	17:30:06	27	74	0
8/10/22	17:45:05	27	76	0
8/10/22	18:00:04	26	77	0
8/10/22	18:15:03	27	78	0
8/10/22	18:30:15	27	78	0
8/10/22	18:45:14	26	79	0
8/10/22	19:00:13	26	79	0
8/10/22	19:15:12	26	81	0
8/10/22	19:30:11	26	81	0

ภาคผนวก ค ผลการสอบเทียบเซนเซอร์ตรวจวัดความเข้มแสง อุณหภูมิ ความชื้น (Light, Temperature, Humidity, outdoor transmitter RS485 output)

วันที่	เวลา	อุณหภูมิ (องศา เซลเซียส)	อุณหภูมิ กรมอุตุนิยมวิทยา พิษณุโลก (องศาเซลเซียส)	ค่า ความ คาดเคลื่อน	ความชื้น (%RH)	ความชื้น กรม อุตุนิยมวิทยา พิษณุโลก (%RH)	ค่า ความ คาดเคลื่อน
3/11/23	7:00:06	23	22.8	0.9	87	91	4.4
3/11/23	10:00:09	30	29.5	1.7	60	63	4.8
3/11/23	13:00:13	33	33.2	0.6	48	51	5.9
3/11/23	16:00:15	33	33.7	2.1	47	49	4.1
3/11/23	19:00:09	30	30.2	0.7	61	64	4.7

ภาคผนวก ง การตีพิมพ์ผลงานวิทยานิพนธ์ การประชุมวิชาการระดับชาติ ครั้งที่ 19
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ชื่อเรื่อง ระบบป้องกันน้ำฝน
อัตโนมัติสำหรับอุปกรณ์เก็บตัวอย่างฝุ่นตก โดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์

ระบบป้องกันน้ำฝนอัตโนมัติสำหรับอุปกรณ์เก็บตัวอย่างฝุ่นตก โดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์
Rain protection automatic system for dust fall jar using solar energy

สุทธิพงษ์ ดอนดี¹ ปาจารย์ ทองสนิท² และ สุภาวรรณ ศรีรัตนนา²

Suttipong Dondee¹, Pajaree Thongsanit², and Supawan Srirattana²

บทคัดย่อ

การตรวจวัดฝุ่นละอองในบรรยากาศโดยทั่วไป มีหลากหลายวิธีที่ต่างกันตามขนาดของฝุ่นละออง สำหรับการตรวจวัดฝุ่นละอองรวมมีวิธีการที่ได้รับความนิยม คือ การตรวจวัดด้วยเทคนิคเชิงกราวิเมตริกหรือการตกตะกอนออกจากบรรยากาศโดยแรงโน้มถ่วงของโลกโดยใช้อุปกรณ์เก็บตัวอย่างฝุ่นตก (Dust-fall Jar) เทคนิคนี้จัดเป็นการเก็บรวบรวมอนุภาคเพื่อตรวจสอบคุณภาพอากาศอย่างง่าย อุปกรณ์ประกอบด้วยภาชนะรูปร่างทรงกระบอกมีปลายเปิดด้านบนสำหรับรองรับฝุ่นละอองที่ตกลงสู่ภาชนะตามแรงโน้มถ่วงของโลก โดยภาชนะจะถูกจัดวางไว้บนขาตั้งให้สูงกว่าพื้นดินประมาณ 2 เมตร ซึ่งทำให้ผู้วิจัยได้สังเกตเห็นถึงข้อจำกัดของอุปกรณ์ คือ หากทำการเก็บตัวอย่างฝุ่นในช่วงฤดูฝนจะทำให้ในโหลเก็บตัวอย่างมีน้ำอยู่เป็นจำนวนมาก ส่งผลให้สร้างความยากลำบากต่อการทำการทดลองเพื่อหาน้ำหนักฝุ่น ดังนั้นจากข้อจำกัดข้างต้น งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและพัฒนาอุปกรณ์เก็บตัวอย่างฝุ่นตก (Dust-fall Jar) ให้สะดวกต่อการตรวจวัดฝุ่นละอองในบรรยากาศ ร่นระยะเวลาการระเหยน้ำที่ปะปนมากับตัวอย่างฝุ่นตก โดยออกแบบให้มีระบบฝาครอบเปิดปิดป้องกันน้ำฝนอัตโนมัติ ซึ่งถูกควบคุมด้วยชุดอุปกรณ์เซ็นเซอร์ตรวจวัดความชื้นและใช้พลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์ และสามารถแสดงผลของเซ็นเซอร์ตรวจวัดค่าอุณหภูมิ ความชื้น และน้ำฝนผ่านหน้าจอแสดงผล (LCD) จากกระบวนการทดสอบการสั่งเปิด-ปิดฝาครอบป้องกันน้ำฝนพบว่าสามารถสั่งเปิด-ปิดฝาครอบป้องกันน้ำฝนได้จริง ระยะเวลาในการสั่งเปิด-ปิดฝาครอบป้องกันน้ำฝนจะ

¹ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนครสวรรค์ จ.พิษณุโลก 65000

Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Naresuan University

² ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนครสวรรค์ จ.พิษณุโลก 65000

Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Naresuan University

อยู่ในช่วง 14 – 27 วินาที ตามการประมวลผลของชุดคำสั่งในขณะนั้น และสามารถแสดงผลของเซนเซอร์ตรวจวัดค่าอุณหภูมิ ความชื้น และน้ำฝน ผ่านหน้าจอแสดงผล (LCD) แบบเรียลไทม์อีกด้วย

คำสำคัญ : อุปกรณ์เก็บตัวอย่างฝุ่นตก เซลล์แสงอาทิตย์ มอเตอร์ไฟฟ้า

Abstract

The measurement of particulate matter can be performed in different ways depending on the size of the dust particles. Sedimentation or gravimetric is one of the simplest techniques for collection of coarse particulate matter. Dust Fall Jar is an extremely basic and rugged equipment that is used for collection of coarse common dust. A dust fall jar is an open container used to collect large particles from the air for measurement and analysis and uses sedimentation technique. It measures the commonest pollutant dust, which is coarse enough to settle down fairly rapidly. The height of jar containers was two meters above the ground. However, we found a limitation of this technique is that during the rainy season the jar will be filled with water. As a result, it is difficult to determine the weight of the dust. Therefore, this research aims to design and develop a dust fall jar sampler by designing an automatic rain protection system, which is controlled by solar energy and Rain/Water detection sensor module. In addition, the device also has the LCD display screen to show the real time temperature, humidity, and raindrop. In summary, from the system testing, it was found that the rain cover can be opened and closed automatically. The duration time of the automatic rainproof system is in the range of 14 – 27 seconds, according to the processing of the instruction set at that time.

Keyword : Dust-fall Jar, Solar cells, Electrical Motor

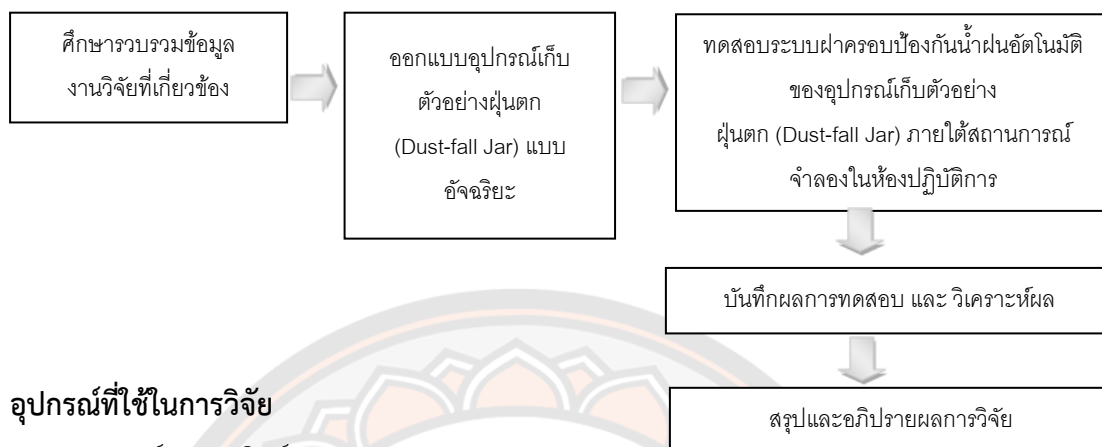
E-mail address : Suttipongd63@nu.ac.th

คำนำ

การตรวจวัดฝุ่นละอองในบรรยากาศโดยทั่วไป มีหลากหลายวิธีที่ต่างกันตามขนาดของฝุ่นละออง การติดตามตรวจสอบคุณภาพอากาศอย่างง่าย เป็นการตรวจวัดฝุ่นโดยใช้อุปกรณ์เก็บตัวอย่างฝุ่นตก (Dust-fall Jar) ใช้เทคนิคเชิงกราวิเมตริกหรือการตกตะกอน เป็นการเก็บรวบรวมอนุภาคที่มีมวลเพียงพอที่จะตกออกจากบรรยากาศโดยแรงโน้มถ่วงของโลก วิธีเก็บตัวอย่างนี้ไม่ต้องใช้แหล่งสุญญากาศหรือระบบตวงวัดปริมาณการไหล เหมาะสำหรับอนุภาคขนาดใหญ่ซึ่งมีขนาดเล็กสุด 20 – 50 ไมโครเมตร การเก็บรวบรวมอนุภาคโดยปกติจะเก็บสะสมตัวอย่างตลอดช่วง 30 วัน แล้วทำให้แห้งและชั่งน้ำหนัก ผลลัพธ์ส่วนใหญ่จะรายงานเป็นหน่วยน้ำหนักต่อพื้นที่ของปากภาชนะต่อระยะเวลาที่เก็บ (สุดจิต ครุจิต และคณะ, 2553) จากการศึกษาข้อมูลถึงอุปกรณ์เก็บตัวอย่างฝุ่นตก (Dust-fall Jar) ได้พบข้อจำกัดของอุปกรณ์ คือ หากทำการเก็บตัวอย่างในช่วงฤดูฝนจะทำให้ในโหลเก็บตัวอย่างมีน้ำอยู่เป็นจำนวนมาก ทำให้ต้องทำการเปลี่ยนถ้ำน้ำออกบ่อยครั้งเพื่อป้องกันมิให้น้ำล้นและเกิดการกันสุญเสียตัวอย่าง นอกจากนี้ การที่มีน้ำปะปนอยู่กับตัวอย่างเป็นจำนวนมากย่อมสร้างความยากลำบากต่อการทำการทดลอง ทำให้ต้องใช้ระยะเวลานานขึ้น เนื่องจากต้องทำการระเหยน้ำที่ปะปนมากับตัวอย่างออกให้หมด ดังนั้นจากข้อจำกัดข้างต้น งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์ที่จะออกแบบและพัฒนาอุปกรณ์เก็บตัวอย่างฝุ่นตก (Dust-fall Jar) แบบอัจฉริยะ โดยอ้างอิงหลักการในการออกแบบและพัฒนาอุปกรณ์เก็บตัวอย่างฝุ่นตก (Dust-fall Jar) ตามมาตรฐานสากล American Society for Testing and Materials (ASTM) รหัส D1739-98 (2017) (G.Kornelius and M.Kwata.2012) และมีระบบฝาครอบเปิดปิดป้องกันน้ำฝนอัตโนมัติ ซึ่งถูกควบคุมด้วยชุดอุปกรณ์เซ็นเซอร์ตรวจวัดความชื้นและใช้พลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์สำหรับพื้นที่ที่มีข้อจำกัดเรื่องการเข้าถึงของไฟฟ้า มีหลักการทำงาน คือ เมื่อมีสถานการณ์ฝนตกเซ็นเซอร์ตรวจวัดความชื้นจะส่งข้อมูลให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อควบคุมมอเตอร์ในการเปิดปิดฝาครอบโหลเก็บตัวอย่างฝุ่นตกโดยอัตโนมัติ

อุปกรณ์และวิธีการ

กรอบแนวความคิดการวิจัย



อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

1. เซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Cells)
2. เซอร์คิตเบรกเกอร์ (Circuit Breaker)
3. โซล่าชาร์จ คอนโทรลเลอร์ (Solar Charge Controller)
4. เทอร์มินอลบล็อก (Terminal Block)
5. แบตเตอรี่ (Battery)
6. บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino ESP32
7. แผ่นเซนเซอร์ตรวจวัดน้ำฝน ความชื้น วัดระดับน้ำ (Rain/Water Detection Sensor Module)
8. L298N Motor Drive Module
9. มอเตอร์ไฟฟ้า (Electrical Motor)
10. เซนเซอร์ตรวจวัดความเข้มแสง อุณหภูมิ ความชื้น (Light, Temperature, Humidity, outdoor transmitter RS485 output)

การออกแบบอุปกรณ์

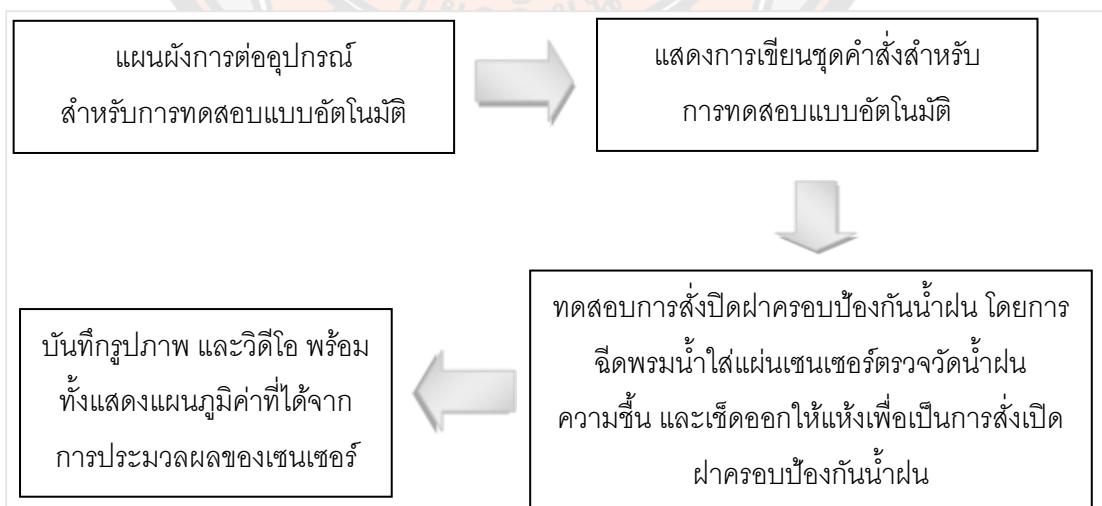
โครงสร้างของอุปกรณ์เก็บตัวอย่างฝุ่นตกแบบอัจฉริยะในงานวิจัยนี้ ออกแบบตามมาตรฐาน American Society for Testing and Materials (ASTM) รหัส D1739-98 (2017) และพัฒนาอุปกรณ์โดยมีระบบฝาครอบปิดป้องกันน้ำฝนอัตโนมัติ สั่งการด้วยแผ่นเซนเซอร์ตรวจวัดน้ำฝน ความชื้น ตัวอุปกรณ์มีความสูงตั้งแต่พื้นถึงปากโหลเก็บตัวอย่างฝุ่นตก 150-200 เซนติเมตร สามารถปรับระดับความสูง-ต่ำได้ โหลเก็บตัวอย่างฝุ่นตกมีขนาดความกว้างเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 เซนติเมตร สูง 30 เซนติเมตร (ดังภาพ 1)



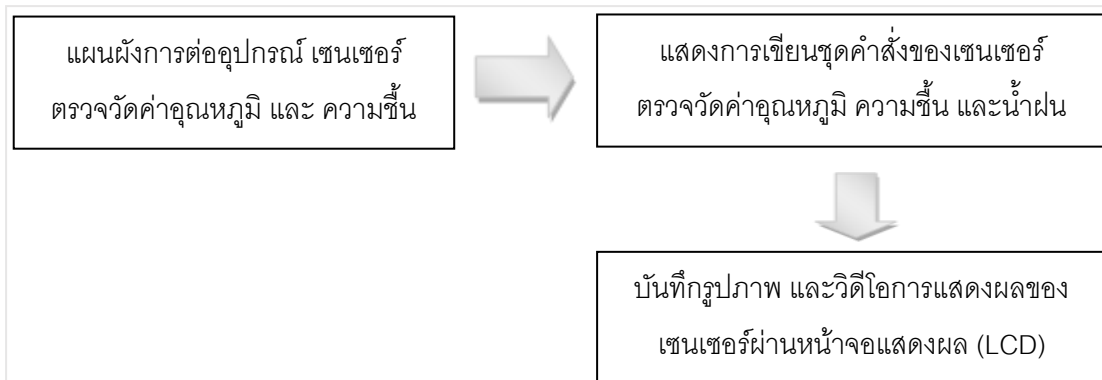
ภาพ 1 แบบร่างและภาพจริงของอุปกรณ์เก็บตัวอย่างฝุ่นตก (Dust-fall Jar) แบบอัจฉริยะ

การทดสอบอุปกรณ์เก็บตัวอย่างฝุ่นตก (Dust-fall Jar) แบบอัจฉริยะ

1. การทดสอบเปิด-ปิดฝาครอบป้องกันน้ำฝนของอุปกรณ์เก็บตัวอย่างฝุ่นตก (Dust-fall Jar) แบบอัตโนมัติ



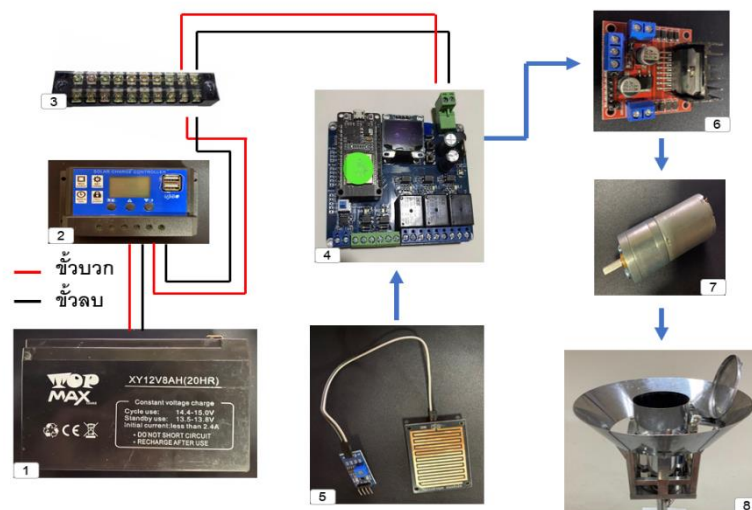
2. การแสดงผลของเซนเซอร์ตรวจวัดค่าอุณหภูมิ ความชื้น และน้ำฝน ผ่านหน้าจอแสดงผล (LCD)



ผลการทดลองและวิจารณ์

การทดสอบเปิด-ปิดฝาครอบป้องกันน้ำฝนของอุปกรณ์เก็บตัวอย่างฝุ่นตก (Dust-fall Jar) แบบอัตโนมัติ

การต่ออุปกรณ์สำหรับการทดสอบแบบอัตโนมัติ เริ่มจากแบตเตอรี่ (หมายเลข 1) จ่ายไฟให้กับโซลาร์ชาร์จคอนโทรลเลอร์(หมายเลข 2) ส่งต่อไปยังบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ (หมายเลข 4) และส่งต่อไปยังโมดูลขับมอเตอร์(หมายเลข 6) โดยแผ่นเซนเซอร์ตรวจวัดน้ำฝน ความชื้น (หมายเลข 5) จะทำหน้าที่รับค่าความชื้นและส่งค่าที่ได้เข้าสู่บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์(หมายเลข 4) เพื่อประมวลผลและสั่งการให้มอเตอร์ (หมายเลข 7) ทำการปิดหรือเปิดฝาครอบป้องกันน้ำฝน(หมายเลข 8) ตามค่าที่กำหนดไว้ในชุดคำสั่ง (ดังภาพ 2)



ภาพ 2 แผนผังการต่ออุปกรณ์ สำหรับการทดสอบแบบอัตโนมัติ

ชุดคำสั่งสำหรับการทดสอบแบบอัตโนมัติ การกำหนดค่าแผ่นเซนเซอร์ตรวจวัดน้ำฝน ความชื้น เพื่อสั่งการให้มอเตอร์เปิดฝาครอบป้องกันน้ำฝน จะกำหนดค่าลงในชุดคำสั่งไว้ที่ น้อยกว่า หรือเท่ากับ 1 เปอร์เซ็นต์ ของพื้นที่ บนแผ่นเซนเซอร์ตรวจวัดน้ำฝน ความชื้น และกำหนดค่าแผ่น เซนเซอร์ตรวจวัดน้ำฝน ความชื้น เพื่อสั่งการให้มอเตอร์เปิดฝาครอบป้องกันน้ำฝน จะกำหนดค่าลงใน ชุดคำสั่งไว้ที่ มากกว่าหรือเท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์ (ดังภาพ 3)

```

367 }
368 /*****Auto*****/
369 void Auto() {
370
371 if (StatusMotor == 0) {
372   Serial.println(String(StatusMotor));
373   if (outPutValue <= 1) /*****กำหนดค่าแผ่นเซนเซอร์เปิด*****/
374     Serial.println("MotorON");
375   digitalWrite(motorPin1, HIGH);
376   digitalWrite(motorPin2, HIGH);
377   delay(1500);
378   digitalWrite(motorPin1, LOW);
379   digitalWrite(motorPin2, LOW);
380   DC();
381   googlesheet();
382   StatusMotor = 1;
383   // Move DC motor forward with increasing speed
384
385   while (dutyCycle <= 2000) {
386     ledcWrite(pwmChannel, dutyCycle);
387     Serial.print("Forward with duty cycle: ");
388     Serial.println(dutyCycle);
389     dutyCycle = dutyCycle + 5;
390     delay(500);
391   }
392   dutyCycle = 2000;
393 }
394 }
395
396 if (StatusMotor == 1) {
397   Serial.println(String(StatusMotor));
398   if (outPutValue >= 100) /*****กำหนดค่าแผ่นเซนเซอร์ปิด*****/
399     Serial.println("MotorOFF");
400     digitalWrite(motorPin1, HIGH);
401     digitalWrite(motorPin2, LOW);
402     delay(1500);
403     digitalWrite(motorPin1, LOW);
404     digitalWrite(motorPin2, LOW);
405     DC();
406     StatusMotor = 0;
407     googlesheet();
408     // Move DC motor forward with increasing speed
409
410     while (dutyCycle <= 2000) {
411       ledcWrite(pwmChannel, dutyCycle);
412       Serial.print("Forward with duty cycle: ");
413       Serial.println(dutyCycle);
414       dutyCycle = dutyCycle + 5;
415       delay(500);
416     }
417     dutyCycle = 2000;
418   }
419 }
420 }
421 }
422 }

```

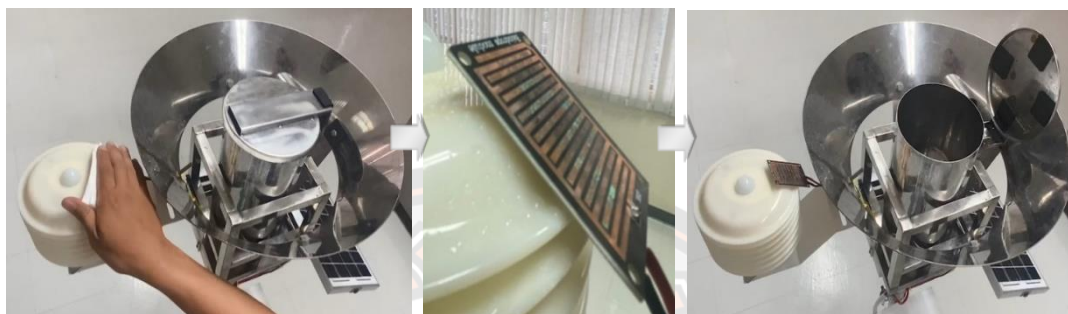
ภาพ 3 ชุดคำสั่งสำหรับสั่งการให้มอเตอร์เปิด-ปิดฝาครอบป้องกันน้ำฝน

การทดสอบการสั่งปิดฝาครอบป้องกันน้ำฝน จะทำการทดสอบโดยการฉีดพรมน้ำใส่ แผ่นเซนเซอร์ตรวจวัดน้ำฝน ความชื้น ให้กระจายเต็มพื้นที่ทั้งแผ่น จากการทดสอบพบว่า ระยะเวลา ในการสั่งปิดฝาครอบป้องกันน้ำฝนจะอยู่ในช่วง 14 – 27 วินาที ตามการประมวลผลของชุดคำสั่งใน ขณะนั้น (ดังภาพ 4)



ภาพ 4 การทดสอบการสั่งปิดฝาครอบป้องกันน้ำฝน

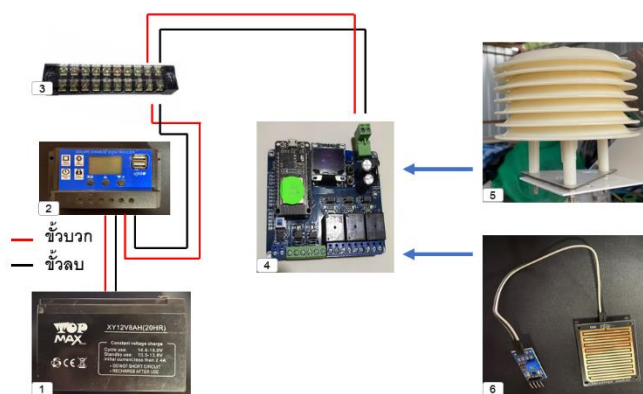
การทดสอบการสั่งเปิดฝาครอบป้องกันน้ำฝน จะทำการทดสอบโดยเข้ดน้ำออกจากแผ่นเซนเซอร์ตรวจวัดน้ำฝน ความชื้น ให้แห้งทั้งแผ่น จากการทดสอบพบว่า ระยะเวลาในการสั่งเปิดฝาครอบป้องกันน้ำฝนจะอยู่ในช่วง 14 – 27 วินาที ตามการประมวลผลของชุดคำสั่งในขณะนั้น เช่นกัน (ดังภาพ 5)



ภาพ 5 การทดสอบการสั่งเปิดฝาครอบป้องกันน้ำฝน

การแสดงผลของเซนเซอร์ตรวจวัดค่าอุณหภูมิ ความชื้น และน้ำฝน ผ่านหน้าจอแสดงผล (LCD)

การต่ออุปกรณ์สำหรับการแสดงผลของเซนเซอร์ตรวจวัดค่าอุณหภูมิ ความชื้น และน้ำฝน ผ่านหน้าจอแสดงผล (LCD) เริ่มจากแบตเตอรี่(หมายเลข 1) จ่ายไฟให้กับโซล่าชาร์จคอนโทรลเลอร์ (หมายเลข 2) ส่งต่อไปยังบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์(หมายเลข 4) และส่งต่อไปยังเซนเซอร์ตรวจวัดค่าอุณหภูมิ ความชื้น(หมายเลข 5) และแผ่นเซนเซอร์ตรวจวัดน้ำฝน ความชื้น(หมายเลข 6) และส่งค่ากลับมายังบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์(หมายเลข 4) เพื่อแสดงค่าจากการประมวลผลขึ้นผ่านหน้าจอแสดงผล (LCD) (ดังภาพ 6)



ภาพ 6 แผนผังการต่ออุปกรณ์ เซนเซอร์ตรวจวัดค่าอุณหภูมิ ความชื้น และน้ำฝน

ชุดคำสั่งของเซนเซอร์ตรวจวัดค่าอุณหภูมิ ความชื้น แผ่นเซนเซอร์ตรวจวัดน้ำฝน ความชื้น แสดงผลผ่านหน้าจอ (LCD) (ดั่งภาพ 7 และภาพ 8)

```

IoT_NEW
270 }
271 /*****TH-031 เซนเซอร์อุณหภูมิ ความชื้น แสง*****/
272 int get_modbusRTU_sensor(int addr , uint16_t REG) {
273     int result;
274     node.begin(addr, Serial);
275     result = node.readInputRegisters (REG, 4); //< Modbus function 0x04 Read Input Register
276     result = node.readHoldingRegisters (REG, 4);
277     if (result == node.kuMBSuccess) {
278         return node.getResponseBuffer(0);
279     } else {
280         //Serial.print("Conncet modbus fail. REG >>> "); mySerial.println(REG, HEX); // Debug
281     }
282 }
283 }
284
285 /*****TH-031 เซนเซอร์อุณหภูมิ ความชื้น แสง*****/
286 void get_LTH_TM() {
287
288     Serial.begin(9600);
289     Humidity = get_modbusRTU_sensor(slaveID, HUMIDITY_REG) / 10;
290     Temperature = get_modbusRTU_sensor(slaveID, TEMPERATURE_REG) / 10;
291     Light = get_modbusRTU_sensor(slaveID, Light_REG);
292     Serial.print("\n");
293     Serial.print("Temperature = " + String(Temperature, 1) + " C" + "\n");
294     Serial.print("Humidity = " + String(Humidity, 1) + " %RH" + "\n");
295     Serial.print("Light = " + String(Light, 1) + " lux" + "\n");
296
297     Value1 = analogRead(sensorValue1);
298     outPutValue1 = map(Value1, 0, 4095, 100, 0);
299     Serial.print("Rain = " + String(outPutValue1) + "%" + "\n");

```

ภาพ 7 ชุดคำสั่งของเซนเซอร์ตรวจวัดค่าอุณหภูมิ ความชื้น

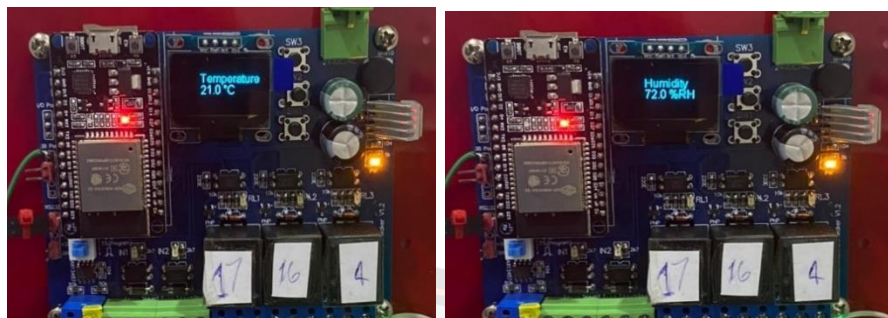
```

IoT_NEW
300
301     DC();
302
303 }
304
305
306 /*****Oled ๑D*****/
307 void Oled() {
308     oled1.display();
309     oled1.clear();
310     oled1.setFont(ArialMT_Plain_16);
311     oled1.drawString(30, 16, " Temperature");
312     oled1.setFont(ArialMT_Plain_16);
313     oled1.drawString(30, 32, " " + String(Temperature, 1) + " °C");
314     oled1.display();
315     oled1.clear();
316     delay(2000);
317     oled1.setFont(ArialMT_Plain_16);
318     oled1.drawString(30, 16, " Humidity");
319     oled1.setFont(ArialMT_Plain_16);
320     oled1.drawString(30, 32, " " + String(Humidity, 1) + " %RH");
321     oled1.display();
322     oled1.clear();
323     delay(2000);
324     oled1.setFont(ArialMT_Plain_16);
325     oled1.drawString(30, 16, " Light");
326     oled1.setFont(ArialMT_Plain_16);
327     oled1.drawString(30, 32, " " + String(Light, 1) + " lux");
328     oled1.display();
329     oled1.clear();
IoT_NEW
330     delay(2000);
331     oled1.setFont(ArialMT_Plain_16);
332     oled1.drawString(30, 16, " Rain");
333     oled1.setFont(ArialMT_Plain_16);
334     oled1.drawString(30, 32, " " + String(outPutValue1) + "%");
335     oled1.display();
336     oled1.clear();
337     delay(2000);
338     oled1.setFont(ArialMT_Plain_16);
339     oled1.drawString(30, 0, " Battery");
340     oled1.setFont(ArialMT_Plain_10);
341     oled1.drawString(20, 15, "Voltage:" + String(tagangan1) + " V");
342     oled1.setFont(ArialMT_Plain_10);
343     oled1.drawString(20, 27, "Shunt Voltage:" + String(arus1) + " mA");
344     oled1.setFont(ArialMT_Plain_10);
345     oled1.drawString(20, 37, "Load Voltage:" + String(dayal) + " W");
346     oled1.display();
347     oled1.clear();
348     delay(2000);
349     oled1.drawFastImage(0, 0, 128, 64, img1.data());
350     oled1.display();
351     oled1.clear();
352     delay(2000);
353
354 }

```

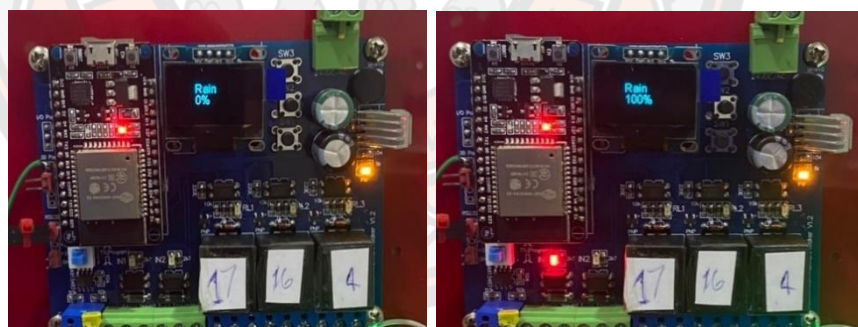
ภาพ 8 ชุดคำสั่งของเซนเซอร์ตรวจวัดค่าอุณหภูมิ ความชื้น แผ่นเซนเซอร์ตรวจวัดน้ำฝน ความชื้น แสดงผลผ่านหน้าจอ (LCD)

ภาพตัวอย่างการแสดงผลของเซนเซอร์ตรวจวัดค่าอุณหภูมิ และความชื้น แบบเรียลไทม์ ผ่าน หน้าจอแสดงผล (LCD) ที่ 21 องศาเซลเซียส และความชื้น 72%RH ตามลำดับ (ดังภาพ 9)



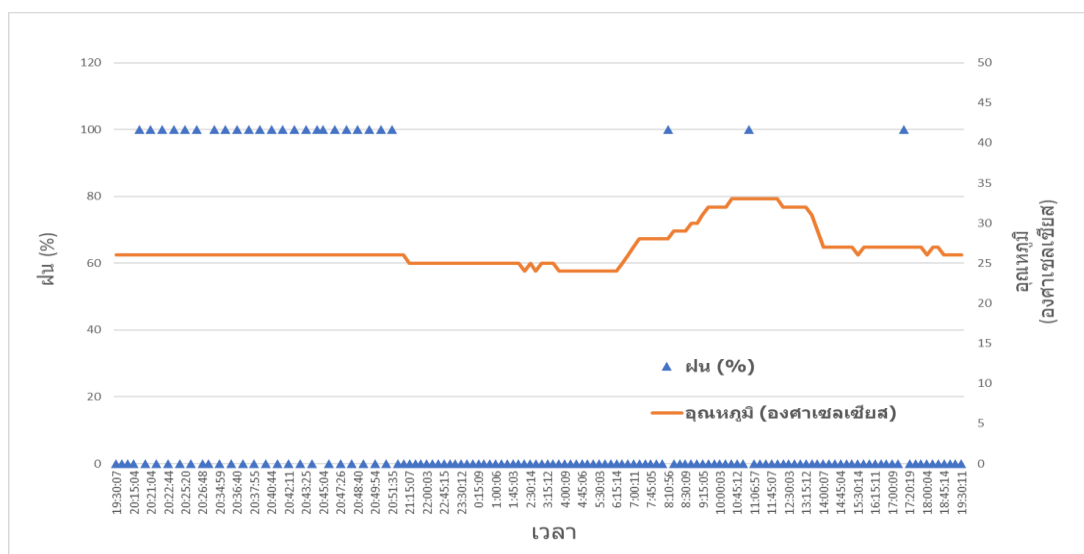
ภาพ 9 แสดงผลของเซนเซอร์ตรวจวัดค่าอุณหภูมิ และความชื้น แบบเรียลไทม์

และการแสดงผลของแผ่นเซนเซอร์ตรวจวัดน้ำฝน ความชื้น แบบเรียลไทม์ ผ่านหน้าจอแสดงผล (LCD) โดยค่า 0 เปอร์เซ็นต์ คือ แผ่นเซนเซอร์ตรวจวัดน้ำฝนความชื้นแห้งสนิท พร้อมการเปิดฝาครอบป้องกันน้ำฝน และ ค่า 100 เปอร์เซ็นต์ คือ แผ่นเซนเซอร์ตรวจวัดน้ำฝนความชื้น มีละอองน้ำเต็มพื้นที่ของแผ่นเซนเซอร์ พร้อมการปิดฝาครอบป้องกันน้ำฝน (ดังภาพ 10)



ภาพ 10 แสดงผลของแผ่นเซนเซอร์ตรวจวัดน้ำฝน ความชื้น แบบเรียลไทม์

การประมวลผลของเซนเซอร์ตรวจวัดค่าอุณหภูมิ และน้ำฝน แบบเรียลไทม์ ตั้งแต่เวลา 19.30 น. ถึง 19.30 น. ของวันถัดไป รวม 24 ชั่วโมง ภายในห้องปฏิบัติการ โดยที่ค่าอุณหภูมิเปลี่ยนแปลงตามสภาวะแวดล้อม และค่าฝนเท่ากับ 100% เนื่องจากทำการทดสอบโดยเจาะจงฉีดพรมน้ำใส่แผ่นเซนเซอร์ตรวจวัดน้ำฝน ความชื้น ให้กระจายเต็มพื้นที่ทั้งแผ่น และค่าฝนเท่ากับ 0% เนื่องจากเซ็นน้ำออกจากแผ่นเซนเซอร์ตรวจวัดน้ำฝน ความชื้น ให้แห้งทั้งแผ่น (ดังภาพ 11)



ภาพ 11 แผนภูมิการประมวลผลของเซนเซอร์ตรวจวัดค่าอุณหภูมิ และน้ำฝน แบบเรียลไทม์

สรุปผลและเสนอแนะ

ในงานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาอุปกรณ์เก็บตัวอย่างฝุ่นตก (Dust-fall Jar) แบบอัจฉริยะที่มีระบบฝาครอบปิดป้องกันน้ำฝนอัตโนมัติ ซึ่งถูกควบคุมด้วยชุดอุปกรณ์แผ่นเซนเซอร์ตรวจวัดน้ำฝน ความชื้น ร่วมกับพลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์ โดยมีวัตถุประสงค์ออกแบบและพัฒนาอุปกรณ์ เพื่อสะดวกต่อการตรวจวัดฝุ่นละอองในบรรยากาศโดยการติดตามตรวจสอบคุณภาพอากาศอย่างง่าย ไม่ต้องทำการเปลี่ยนถ่ายน้ำออกบ่อยครั้ง และร่นระยะเวลาในกระบวนการนำตัวอย่างฝุ่นตกไปทำการทดลอง เนื่องจากต้องทำการระเหยน้ำที่ปะปนมากับตัวอย่างออกให้หมด จากกระบวนการทดสอบ การสั่งเปิด-ปิดฝาครอบป้องกันน้ำฝนพบว่า สามารถสั่งเปิด-ปิดฝาครอบป้องกันน้ำฝนได้จริง ระยะเวลาในการสั่งเปิด-ปิดฝาครอบป้องกันน้ำฝนจะอยู่ในช่วง 14 – 27 วินาที ตามการประมวลผลของชุดคำสั่งในขณะนั้น และสามารถแสดงผลของเซนเซอร์ตรวจวัดค่าอุณหภูมิ ความชื้น และน้ำฝน ผ่านหน้าจอแสดงผล (LCD) แบบเรียลไทม์อีกด้วย

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงในความกรุณาของผู้ให้ความช่วยเหลือทุกท่านที่เสียสละเวลาและให้คำปรึกษาเป็นอย่างดี ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ที่ปรึกษา ที่กรุณาเป็นที่ปรึกษา พร้อมทั้งแนะนำแนะแนวทางตลอดระยะเวลาในการทำวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- สุดจิต คุรุจิต, ธัญชัย วรรณสุข, ชื่นจิตร ชาญชิตปรีชา และนเรศ เชื้อสุวรรณ. 2553. **การพัฒนา
ระบบเฝ้าระวังฝุ่นละอองและคุณภาพอากาศแบบบูรณาการเพื่อสนับสนุนการจัดการ
คุณภาพอากาศในชุมชน.** สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
- พรรณวดี สุวัฒน์, ณพณัฐ แหวนจอน และฐิติมา ต้นโสภ. 2553. **การพัฒนาเบื้องต้นเครื่องมือ
ตรวจวัดฝุ่นละอองในบรรยากาศอย่างง่าย.** สาขาวิชาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม คณะ
วิทยาศาสตร์ประยุกต์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
- ขวัญฤทัย ทองบุญฤทธิ์ และเจตติลภ ทองศรี. 2561. **ความเข้มข้นของแคดเมียม ตะกั่ว และ
ปรอทในฝุ่นตกช่วงการเก็บเกี่ยวอ้อยในเขตอำเภอเมืองจังหวัดกำแพงเพชร.** โปรแกรมวิชา
วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร
- พีระพงษ์ อุฑารสกุล. 2562. **การพัฒนาโมดูลไมโครคอนโทรลเลอร์ที่สั่งงานด้วยคลื่นสมอง.**
สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคมสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
- นัทกมล ผินนอก. 2563. **การพัฒนาระบบเซนเซอร์สำหรับตรวจสอบและวิเคราะห์ข้อมูล
แบบเรียลไทม์เพื่อประยุกต์ใช้งานด้านเกษตรแม่นยำด้วยเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพ
สิ่ง.** สาขาวิชาภูมิศาสตร์ ภาควิชาทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม คณะเกษตรศาสตร์
ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวร
- G.Kornelius and M.Kwata. 2012. **COMPARISON OF DIFFERENT VERSIONS OF ASTM
1739 FOR THE MEASUREMENT OF DUSTDEPOSITION IN THE SOUTH
AFRICAN MINING SECTORS.** Environmental Engineering Group, Dept of
Chemical Engineering, University of Pretoria.