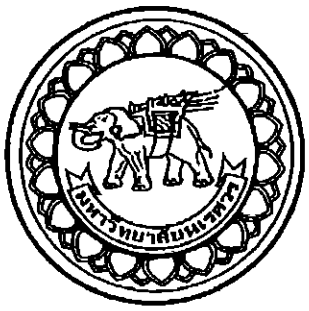


การพัฒนาโปรแกรมการออกแบบการจัดเซลล์ด้วยวิธีค้างคาว
เพื่อแก้ปัญหาการสร้างเซลล์ที่มีความยืดหยุ่น
ในระบบการผลิตแบบเซลลูลาร์

DEVELOPING A BAT ALGORITHM BASED ON CELL DESIGN FOR CELLS FORMATION PROBLEM WITH ROUTING FLEXIBILITY

นางสาววิภาดา ผาริการ รหัส 52360577

นางสาววิภาดา สีสวยสม รหัส 52360584

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
วันที่รับ 24 ก.ค. 2556
เลขทะเบียน 16316591
เลขเรียกหนังสือ ฝร.
มหาวิทยาลัยนเรศวร 3648 ฉ 2556

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

ปีการศึกษา 2555

ใบรับรองปริญญานิพนธ์

ชื่อหัวข้อโครงงาน	**การพัฒนาโปรแกรมการออกแบบการจัดเซลล์ด้วยวิธีค้างคาวเพื่อแก้ปัญหาการสร้างเซลล์ที่มีความยืดหยุ่นในระบบการผลิตแบบเซลลูลาร์**	
ผู้ดำเนินโครงงาน	นางสาววิภาดา ผาริการ	รหัส 52360577
	นางสาววิภาดา สีสวยสม	รหัส 52360584
ที่ปรึกษาโครงงาน	ผศ.ศรีสัจจา วิทยศักดิ์	
สาขาวิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ	
ภาควิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ	
ปีการศึกษา	2555	

.....

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อนุมัติให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ

.....ที่ปรึกษาโครงงาน

(ผศ.ศรีสัจจา วิทยศักดิ์)

.....กรรมการ

(ดร.ขวัญนิธิ คำเมือง)

.....กรรมการ

(ผศ.ดร.ภูพงษ์ พงษ์เจริญ)

ชื่อหัวข้อโครงงาน	**การพัฒนาโปรแกรมการออกแบบการจัดเซลล์ด้วยวิธีค้างคาวเพื่อแก้ปัญหาการสร้างเซลล์ที่มีความยืดหยุ่นในระบบการผลิตแบบเซลลูลาร์**	
ผู้ดำเนินโครงงาน	นางสาววิภาดา ผาริการ	รหัส 52360577
	นางสาววิภาดา สีสวยสม	รหัส 52360584
ที่ปรึกษาโครงงาน	ผศ.ศรีสัจจา วิทยศักดิ์	
สาขาวิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ	
ภาควิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ	
ปีการศึกษา	2555	

.....

บทคัดย่อ

โครงงานวิจัยฉบับนี้ได้ทำการศึกษารวบรวมหลักการขั้นตอนวิธีทำ และทฤษฎีของการผลิตในกระบวนการผลิตแบบเซลลูลาร์ และโปรแกรม BACL โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อนำเอาหลักการดังกล่าวมาใช้ทำการศึกษาวิเคราะห์แก้ปัญหาการสร้างเซลล์ในกระบวนการผลิตแบบเซลลูลาร์ เพื่อสามารถรองรับปัญหาในสถานประกอบการ ซึ่งในกระบวนการผลิตส่วนใหญ่จะประกอบไปด้วยการขนถ่ายโดยทั้งสิ้น ดังนั้นเมื่อต้องการลดการเคลื่อนที่หรือการขนถ่ายระหว่างเซลล์ที่มีผลต่อการผลิต การเลือกใช้การแก้ปัญหาโดยการใช้โปรแกรม BACL ก็เป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่จะนำมาใช้ช่วยหาค่าผลลัพธ์การจัดรูปแบบเซลล์ที่ให้จำนวนการเคลื่อนที่ระหว่างเซลล์น้อยที่สุด

จุดมุ่งหมายในการวิจัยครั้งนี้ คือ เพื่อพัฒนาโปรแกรมให้มีความสามารถในการหาค่าคำตอบของการเคลื่อนที่ระหว่างเซลล์ในกระบวนการผลิตแบบเซลลูลาร์ให้เหลือน้อยที่สุด

ผลที่ได้จากการทดลอง คือ ค่าผลลัพธ์ของจำนวนการเคลื่อนที่ระหว่างเซลล์ที่น้อยที่สุดที่ทำให้การเคลื่อนที่จากหน่วยงานหนึ่งไปยังอีกหน่วยงานหนึ่งมีระยะทางการเคลื่อนที่สั้นที่สุด

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นการพัฒนาโปรแกรมการออกแบบการจัดเซลล์ด้วยวิธีค้างคาวเพื่อแก้ปัญหาการสร้างเซลล์ที่มีความยืดหยุ่นในระบบการผลิตแบบเซลลูลาร์ สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีเป็นเพราะความกรุณาใส่ใจดูแล และให้คำปรึกษาในกระบวนการวิจัยอย่างสม่ำเสมอของ ผศ.ศรีสัจจา วิทยศักดิ์ อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ที่ปรึกษาโครงงานวิจัย ทางผู้ศึกษามีความซาบซึ้งใจเป็นอย่างยิ่ง และขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้

ขอขอบพระคุณ ดร.ขวัญนิธิ คำเมือง ดร.สุธนิตย์ พุทธพนม และผศ.ภูพงษ์ พงษ์เจริญ อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร กรรมการผู้ทรงคุณวุฒิที่กรุณาสละเวลามาเป็นคณะกรรมการสอบโครงงานวิจัยที่ได้กรุณาชี้แนะสิ่งที่เป็นประโยชน์ต่อผู้วิจัย ทำให้โครงงานฉบับนี้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณพี่บัณฑิตศึกษาที่ช่วยให้คำปรึกษาเรื่องการเขียนโปรแกรมและคำแนะนำต่างๆ ที่เป็นประโยชน์ในการศึกษาค้นคว้าเพื่อให้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

สำหรับบุคคลที่สำคัญยิ่งผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อคุณแม่ และครอบครัวที่คอยเป็นกำลังใจสำคัญมาโดยตลอดระยะเวลาที่ทำการศึกษาวิจัย จนกระทั่งโครงงานวิจัยชิ้นนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ผู้วิจัยจึงขอมอบคุณค่าของโครงงานวิจัยฉบับนี้แก่ผู้ที่มีพระคุณทุกๆ ท่านที่ได้กล่าวมาข้างต้น

คณะผู้ดำเนินโครงงานวิศวกรรม
นางสาววิภาดา ผาริการ
นางสาววิภาดา สีสวยสม
มกราคม 2556

สารบัญ

หน้า

ใบรับรองปริญญานิพนธ์ ..... ก

บทคัดย่อ ..... ข

กิตติกรรมประกาศ ..... ค

สารบัญ ..... ง

สารบัญตาราง ..... ฉ

สารบัญรูป ..... ช

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงงาน 1

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน 1

1.3 เกณฑ์ชี้วัดผลงาน 2

1.4 เกณฑ์ชี้วัดผลสำเร็จ 2

1.5 ขอบเขตการดำเนินโครงงาน 2

1.6 สถานที่ในการดำเนินโครงงาน 2

1.7 ระยะเวลาในการดำเนินโครงงาน 2

1.8 ขั้นตอนและแผนการดำเนินโครงงาน 3

บทที่ 2 หลักการและทฤษฎี 4

2.1 ลักษณะการวางผังและการจัดวางเครื่องจักรในโรงงานอุตสาหกรรม 4

2.2 ศึกษาหลักการและทฤษฎีปัญหาการสร้างเซลล์ในระบบการผลิตแบบเซลลูลาร์ 7

2.3 ข้อดีและข้อเสียของการผลิตแบบเซลลูลาร์เทียบกับการผลิต
ตามขั้นตอนในด้านต่างๆ 12

2.4 ปัญหาที่เกิดขึ้นในระบบการผลิตแบบเซลลูลาร์ 15

2.5 วิธีการหาคำตอบที่เหมาะสม 16

2.6 หลักการและทฤษฎีของค้างคาว 17

2.7 หลักการและทฤษฎีของโปรแกรม Tcl/Tk 21

2.8 การออกแบบการทดลอง (The Design Of The Experiment) 22

2.9 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis Of Variance : ANOVA) 23

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 3 วิธีดำเนินโครงงาน 25

3.1 การประยุกต์ใช้วิธีค้างคาวสำหรับการแก้ปัญหาการสร้างเซลล์ในกระบวนการผลิตแบบเซลลูลาร์ 25

3.2 การสร้างเซลล์ (Cells Formation) ที่มีความยืดหยุ่นของเส้นทางการผลิต (Routing Flexibility) 28

3.3 ข้อมูลของชิ้นส่วนในการผลิต 31

บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์ 32

4.1 ผลการประยุกต์ใช้โปรแกรมการออกแบบการจัดเซลล์ด้วยวิธีค้างคาว (Bat Algorithm Based On Cell Design : BACL) เพื่อแก้ปัญหาการสร้างเซลล์ที่มีความยืดหยุ่นในระบบการผลิตแบบเซลลูลาร์ 32

4.2 พารามิเตอร์ที่ใช้ทำการทดสอบโปรแกรม BACL 33

4.3 ข้อมูลนำเข้าในการทดสอบโปรแกรม BACL 34

4.4 ผลของการทดสอบโปรแกรม BACL 36

4.5 เปรียบเทียบความแตกต่างของผลลัพธ์ระหว่างโปรแกรมการออกแบบการจัดเซลล์ด้วยวิธีค้างคาว (Bat Algorithm Based On Cell Design : BACL) และโปรแกรมเจเนติก (Genetic Algorithm : GA) 38

บทที่ 5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ 41

5.1 บทสรุป 41

5.2 ข้อเสนอแนะ 42

เอกสารอ้างอิง 43

ภาคผนวก ก 44

ภาคผนวก ข 50

ภาคผนวก ค 62

ประวัติผู้ดำเนินโครงงาน 65

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

1.1 ขั้นตอนและแผนการดำเนินโครงงาน....3

2.1 ตัวอย่างการเก็บข้อมูลเพื่อใช้คำนวณ....10

2.2 เปรียบเทียบการไหลของวัสดุของการผลิตตามขั้นตอนเปรียบเทียบกับการผลิตแบบเซลล์....12

2.3 เปรียบเทียบของคงคลังและการจัดเวลาทำงานของการผลิตตามขั้นตอนกับการผลิตแบบเซลล์....13

2.4 เปรียบเทียบคุณภาพของการผลิตตามขั้นตอนกับการผลิตแบบเซลล์....14

2.5 เปรียบเทียบบุคลากรของการผลิตตามขั้นตอนกับการผลิตแบบเซลล์....14

3.1 แสดงชุดข้อมูลจำนวนเครื่องจักร และจำนวนผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในงานวิจัย....31

4.1 แสดงข้อมูลนำเข้าของโปรแกรม BACL....35

4.2 แสดงผลสรุปโดยรวมของโปรแกรม BACL....36

4.3 แสดงผลลัพธ์ที่ดีที่สุดของโปรแกรม BACL....37

4.4 แสดงการเปรียบเทียบผลลัพธ์ของโปรแกรม BACL และ GA....38

4.5 วิเคราะห์ผลลัพธ์ของความสามารถโปรแกรม BACL....39

4.6 แสดงเวลาเฉลี่ยในการหาคำตอบด้วยวิธี BACL....40

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

2.1 แสดงการไหลของการวางผังแต่ละชนิด 5

2.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหลากหลายของผลิตภัณฑ์และปริมาณการผลิต 6

2.3 แสดงการไหลของเส้นทางการผลิต 7

2.4 เมตริกที่ยังไม่ถูกสร้างเซลล์ 8

2.5 การสร้างเซลล์ที่ไม่มีลำดับขั้นตอนการผลิต 9

2.6 ตัวอย่างการแบ่งกลุ่มเซลล์ของเครื่องจักรและการเลือกเส้นทางการผลิต 11

2.7 แสดงการเคลื่อนไหวภายในเซลล์ 15

2.8 แสดงการเคลื่อนไหวระหว่างเซลล์ 16

3.1 ตัวอย่างโจทย์การแก้ปัญหาการสร้างเซลล์ในระบบการผลิตแบบเซลลูลาร์
โดยโปรแกรม BACL 26

3.2 แสดงตัวอย่างโจทย์ปัญหาที่มีความยืดหยุ่นของเส้นทางการผลิต 28

3.3 แสดงตัวอย่างการเลือกเส้นทางการผลิตของแต่ละผลิตภัณฑ์ 29

4.1 แผนผังลำดับการทำงานของโปรแกรม BACL 32

4.2 หน้าต่างแสดงค่าพารามิเตอร์ 34

4.3 แสดงตัวอย่างข้อมูลนำเข้า Data ของโจทย์ปัญหาข้อที่ 1 36

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงงาน

ปัจจุบันอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ได้มีการแข่งขันที่ค่อนข้างสูง โดยเฉพาะในตลาดต่างประเทศ การดำเนินการเพื่อเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขัน จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งโดยเฉพาะการปรับปรุงกระบวนการทางธุรกิจด้วยการลดต้นทุน และปรับปรุงคุณภาพเพื่อมุ่งสนองตอบความต้องการของลูกค้า และสร้างความได้เปรียบในการแข่งขัน (Competitive Advantage) โดยมุ่งเพิ่มความเร็วในการตอบสนองความต้องการของลูกค้า ตั้งแต่กระบวนการรับคำสั่งซื้อจนกระทั่งการส่งมอบสินค้าให้ลูกค้าทำให้ต้องมีการลดความสูญเปล่าจากการปฏิบัติงานตามขั้นตอนต่างๆ การเพิ่มประสิทธิภาพการบริหารจัดการ การลดต้นทุนการผลิต การเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต การลดของเสีย การลดเวลา การลดขั้นตอนการผลิต และการเพิ่มช่องทางการจำหน่าย เป็นต้น หากมีการแก้ไขประเด็นปัญหาเหล่านี้ จะทำให้ผู้ประกอบการสามารถเพิ่มคุณภาพสินค้า และเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขันได้

จุดประสงค์ที่นำมาใช้ในงานวิจัยนี้ เพื่อลดการเคลื่อนที่ระหว่างเซลล์ให้เหลือน้อยที่สุด การนำเอาชิ้นส่วนหรือผลิตภัณฑ์ที่มีกระบวนการผลิตที่คล้ายคลึงกันรวมไว้ด้วยกัน เพื่อความรวดเร็วในกระบวนการผลิต และลดความซับซ้อนในการขนย้ายตัวชิ้นส่วนผลิต ซึ่งจะทำให้การผลิตมีความรวดเร็ว และมีต้นทุนการผลิตที่ต่ำ ดังนั้น การผลิตแบบเซลลูลาร์ (Cellular Manufacturing System) จึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่ได้รับการยอมรับ และเป็นที่นิยมจากผู้ประกอบการในโรงงานอุตสาหกรรมที่ต้องการความรวดเร็วและมีคุณภาพ

โครงงานนี้จึงมุ่งเน้นที่การสร้างเซลล์และจัดเรียงเครื่องจักรในเซลล์ โดยคำนึงถึงการหาระยะทางการเคลื่อนที่ที่สั้นที่สุด และมีความต้องการศึกษาปัญหาการสร้างเซลล์ (Cell Formation) โดยใช้โปรแกรมการออกแบบการจัดเซลล์ด้วยวิธีค้างคาว (BACL) โดยมีความยืดหยุ่นของเส้นทางการผลิต (Routing Flexibility) มาเกี่ยวข้องด้วย ซึ่งการนำเสนอค่าของคำตอบจะนำเสนอออกมาในรูปแบบของโปรแกรม เพื่อช่วยในการหาเส้นทางที่สั้นที่สุด

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

ออกแบบและพัฒนาโปรแกรมเพื่อใช้ในการแก้ปัญหาการสร้างเซลล์ในกระบวนการผลิตแบบเซลลูลาร์ โดยประยุกต์ใช้หลักการของโปรแกรมการออกแบบการจัดเซลล์ด้วยวิธีค้างคาว (BACL)

1.3 เกณฑ์ชี้วัดผลงาน (Output)

โปรแกรมสำหรับแก้ปัญหาการจัดเรียงเซลล์ในกระบวนการผลิตแบบเซลลูลาร์ โดยมีความยืดหยุ่นของเส้นทางการผลิต

1.4 เกณฑ์ชี้วัดผลสำเร็จ (Outcome)

โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับการแก้ปัญหาการเคลื่อนที่ สามารถใช้จัดเรียงเซลล์การผลิตในกระบวนการผลิตแบบเซลลูลาร์ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อที่จะให้มีการเคลื่อนที่ระหว่างเซลล์น้อยที่สุด

1.5 ขอบเขตในการดำเนินโครงงาน

1.5.1 มีการพิจารณาความยืดหยุ่นของเส้นทางการผลิต

1.5.2 โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับแก้ปัญหาการเคลื่อนที่นี้ใช้สำหรับจัดเครื่องจักรในกระบวนการผลิตแบบเซลลูลาร์ โดยประยุกต์ใช้โปรแกรมการออกแบบการจัดเซลล์ด้วยวิธีค้างคาว (BACL)

1.5.3 ข้อมูลจากปัญหาอ้างอิงมาจากปริญญานิพนธ์ของนายจักรชัย บรรเทาทุกข์ และนายณัฐพล เหมือนภักตร์ ซึ่งเป็นปริญญานิพนธ์เมื่อปีการศึกษา 2551

1.6 สถานที่ในการดำเนินโครงงาน

สำนักหอสมุดมหาวิทยาลัยนเรศวร และห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์

1.7 ระยะเวลาในการดำเนินโครงงาน

ตั้งแต่เดือนมิถุนายน พ.ศ. 2555 ถึงเดือนมกราคม พ.ศ. 2556

1.8 ขั้นตอนและแผนการดำเนินโครงงาน

ตารางที่ 1.1 ขั้นตอนและแผนการดำเนินโครงงาน

การดำเนินโครงงาน		ช่วงเวลา							
		มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.
1.8.1	ศึกษาหลักการและทฤษฎีของ Cellular Manufacturing System	←	→						
1.8.2	ศึกษาหลักการวิธีค้างคาว และการประยุกต์ใช้กับปัญหาการสร้างเซลล์ในระบบการผลิตแบบ CMS	←	→	→					
1.8.3	พัฒนาโปรแกรมเพื่อนำ BACL มาใช้แก้ปัญหาการจัดเรียงเซลล์ในกระบวนการผลิตแบบเซลลูลาร์				←	→			
1.8.4	ทดสอบและแก้ไขโปรแกรม						↔		
1.8.5	ออกแบบการทดลองเพื่อศึกษาพารามิเตอร์ BACL						←	→	
1.8.6	วิเคราะห์ผลการทดลองทางสถิติ								↔
1.8.7	สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ								↔

บทที่ 2
หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ลักษณะการจัดวางผังและการจัดวางเครื่องจักรในโรงงานอุตสาหกรรม

ในบทนี้จะกล่าวถึงลักษณะการวางผังกระบวนการผลิตในแบบต่างๆ รวมทั้งปัญหาที่เกิดขึ้นในแต่ละแบบ และการแก้ไขปัญหาหรือลดปัญหาที่เกิดขึ้น เมื่อทราบถึงปัญหาแล้ว ต่อไปก็จะอธิบายแนวคิดเกี่ยวกับเทคโนโลยีการแบ่งกลุ่ม และระบบการผลิตแบบเซลลูลาร์ที่สามารถช่วยลดปัญหาที่เกิดขึ้นได้ โดยการเปรียบเทียบข้อดี และข้อเสียของการผลิตแบบเซลลูลาร์กับระบบการผลิตตามขั้นตอนในด้านต่างๆ เพื่อให้การดำเนินงานมีประสิทธิภาพสูงสุดจึงต้องทำการศึกษาปัญหาในระบบการผลิตแบบเซลล์ โดยการแก้ไขปัญหาด้วยโปรแกรมการออกแบบการจัดเซลล์ด้วยวิธีค้างคาว

2.1.1 การวางผังโรงงานตามชนิดของผลิตภัณฑ์ (Product Layout)

การวางแผนผังตามผลิตภัณฑ์เหมาะสำหรับการผลิตสินค้าที่มีความคล้ายคลึงกันในปริมาณมาก ลักษณะความแตกต่างของสินค้ามีน้อยเป็นลักษณะของการผลิตแบบซ้ำ และต่อเนื่อง เครื่องจักรที่ใช้ส่วนใหญ่เป็นระบบอัตโนมัติ เนื่องจากมีปริมาณการผลิตมาก และมีความเป็นมาตรฐานสูง เครื่องจักรจะถูกจัดตามชนิดของผลิตภัณฑ์นั่นๆ โรงงานอุตสาหกรรมที่มีการผลิตแบบนี้เป็นโรงงานที่เน้นปริมาณการผลิตที่สูง

2.1.2 การวางผังโรงงานตามแบบกระบวนการผลิต (Process Layout)

การวางแผนผังตามกระบวนการผลิตหรือเรียกอีกอย่างหนึ่ง คือ การวางแผนผังตามหน้าที่งาน (Functional Layout) เป็นการจัดเรียงเครื่องจักรประเภทเดียวกันไว้ในกลุ่มเดียวกัน การวางผังตามกระบวนการเหมาะสำหรับการผลิตแบบแยกกลุ่ม ซึ่งมีการผลิตสินค้าหลากหลายประเภท โดยที่มีปริมาณการผลิตต่ำ แต่มีความหลากหลายอยู่ในระดับสูง โรงงานอุตสาหกรรมที่มีการผลิตแบบนี้เป็นโรงงานที่เน้นความหลากหลายของผลิตภัณฑ์ที่ทำการผลิต

2.1.3 การวางผังโรงงานแบบผสม (Mixed Layout)

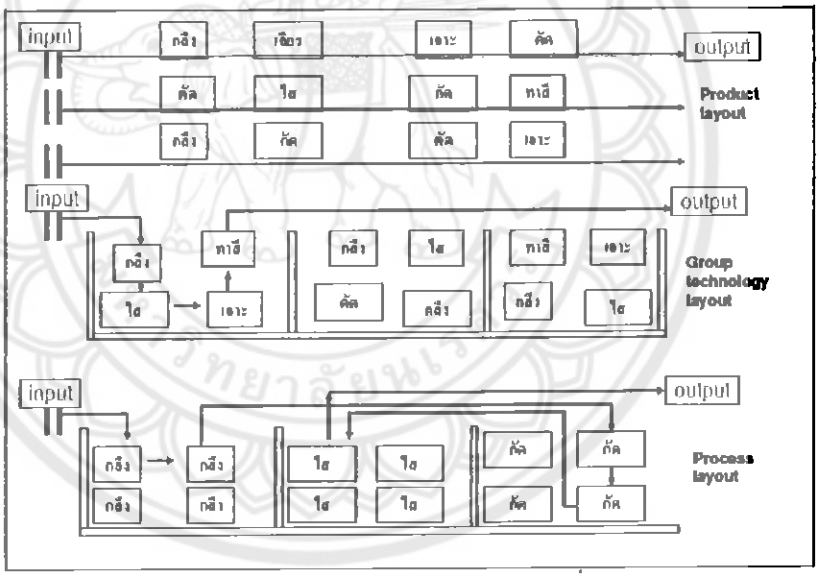
การวางผังโรงงานแบบผสมเป็นการวางผังที่มีการผสมผสานกันระหว่างการวางแผนผังตามกระบวนการ และการวางแผนผังตามการผลิต โดยในบางช่วงเป็นการวางแผนผังตามกระบวนการ ในขณะที่บางช่วงเป็นการวางแผนผังตามการผลิต เช่น กระบวนการผลิตเป็นการจัดผังตามกระบวนการ ส่วนการประกอบเป็นการจัดผังแบบผลิตภัณฑ์

2.1.4 การวางผังโรงงานแบบชิ้นงานอยู่กับที่ (Fixed Position Layout)

การวางแผนผังประเภทนี้เป็นการวางแผนผังสำหรับการผลิตสินค้า ซึ่งไม่มีการเคลื่อนย้ายไปตามสถานีต่างๆ ระหว่างกระบวนการผลิต ตัวอย่างของการวางผังประเภทนี้ ได้แก่ การต่อเรือ การประกอบเครื่องบิน การก่อสร้างอาคาร เป็นต้น ในการผลิตสินค้าที่ผลิตจะอยู่กับที่ตลอดเวลาของรอบการผลิต โดยผู้ผลิตจะทำการจัดสรรแรงงาน วัสดุ เครื่องมือ และอุปกรณ์ มายังจุดที่มีการผลิตซึ่งกำหนดตำแหน่งไว้คงที่

2.1.5 การวางผังการผลิตแบบเซลลูลาร์ (Cellular Manufacturing System)

ผังเซลลูลาร์เป็นการวางแผนผังในรูปแบบการจัดกลุ่มเครื่องจักรที่มีการผลิตผลิตภัณฑ์ชนิดใดชนิดหนึ่ง หรือกลุ่มของผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะคล้ายคลึงกันเข้าไว้ด้วยกัน ซึ่งเรียกว่า เซลล์ เป็นการนำข้อดีของการวางผังแบบกระบวนการผลิตและแบบผลิตภัณฑ์มารวมกัน เพื่อตอบสนองความต้องการที่จะผลิตสินค้าที่มีความหลากหลายมากขึ้นตามความต้องการของลูกค้า

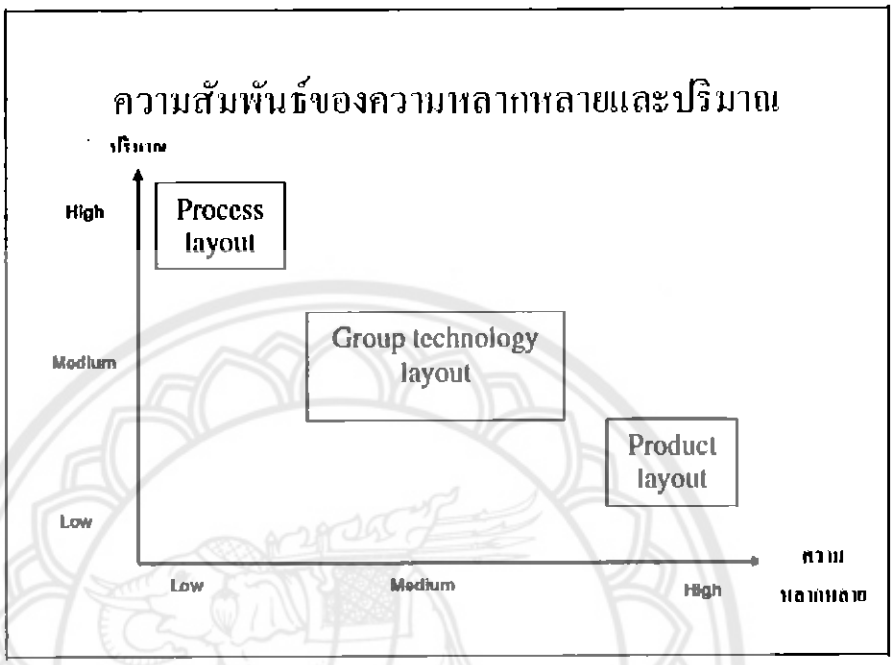


รูปที่ 2.1 แสดงการไหลของการวางผังแต่ละชนิด

ที่มา : จักรชัย บรรเทาทุกข์ และคณะ, ปริญญานิพนธ์ ในหัวข้อ การพัฒนาโปรแกรมเพื่อแก้ปัญหาการสร้างเซลล์ที่มีความยืดหยุ่นในระบบการผลิตแบบเซลลูลาร์โดยวิธีเจเนติกอัลกอริทึม

จากรูปที่ 2.1 จะแสดงให้เห็นถึงเส้นทางการไหลของการวางผังแต่ละแบบว่ามีความแตกต่างกัน การไหลของ Product Layout จะเป็นการไหลไปทางเดียว เครื่องจักรจัดตามผลิตภัณฑ์ที่ทำการผลิต มีความหลากหลายน้อยแต่ปริมาณการผลิตมาก เส้นทางการไหลของ Process Layout มีเส้นทางการไหลที่ไม่เป็นระเบียบจะเกิดปัญหาการตัดกันของเส้นทางการผลิต ทำให้เกิดการสูญเสียมาก ทั้งเรื่องระยะทางในการขนถ่าย และระยะเวลาการทำงานของระบบ

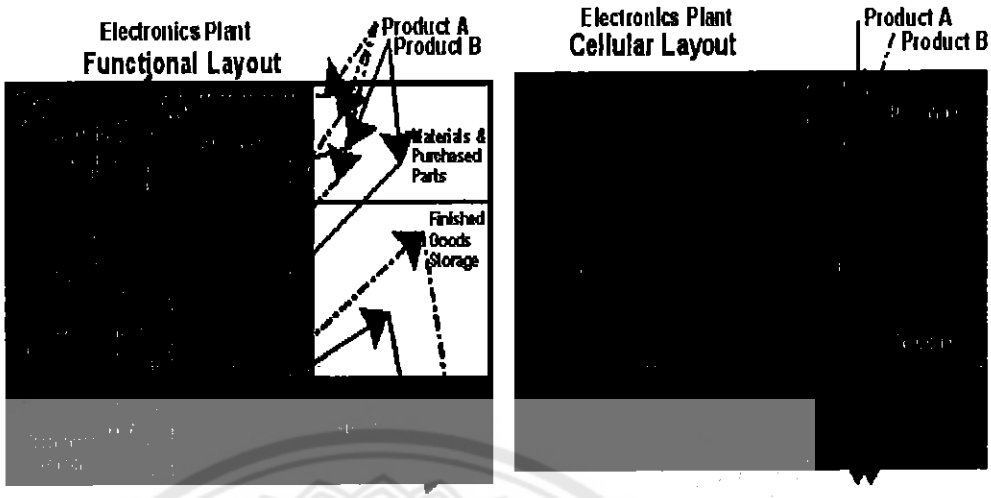
ส่วนการจัดเครื่องจักรแบบ Group Layout จะช่วยลดปัญหาที่เกิดขึ้นกับ Product Layout และ Process Layout ให้เรื่องการทดแทนเครื่องจักรที่เสีย หรือการตัดกันของเส้นทางการผลิต และเป้าหมายอีกอย่างหนึ่งของ Group Layout คือ ต้องการลดการเคลื่อนที่ข้ามเซลล์ให้น้อยที่สุด



รูปที่ 2.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหลากหลายของผลิตภัณฑ์และปริมาณการผลิต
ที่มา : จักรชัย บรรเทาทุกข์ และคณะ, ปริญญานิพนธ์ ในหัวข้อ การพัฒนาโปรแกรมเพื่อแก้ปัญหาการสร้างเซลล์ที่มีความยืดหยุ่นในระบบการผลิตแบบเซลลูลาร์โดยวิธีเจเนติกอัลกอริทึม

จากรูปที่ 2.2 แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างความหลากหลายของผลิตภัณฑ์ และปริมาณการผลิตในแต่ละแบบ Product Layout จะมีปริมาณการผลิตที่สูง แต่มีความหลากหลายต่ำ ส่วนการผลิตแบบ Process Layout ปริมาณการผลิตจะต่ำแต่ความหลากหลายจะมาก การผลิตแบบ Group Layout จึงนำข้อดีของ Product Layout และ Process Layout มารวมกัน จึงทำให้ปริมาณการผลิตและความหลากหลายอยู่ในช่วงกลางๆ

นอกจากนี้การวางผังแบบเซลลูลาร์ยังช่วยลดความสูญเปล่าที่เกิดขึ้นในสายการผลิต เช่น การปรับตั้งเครื่องจักรทำได้รวดเร็ว เนื่องจากแต่ละเซลล์มีการผลิตที่คล้ายคลึงกัน จึงไม่เสียเวลาในการปรับเครื่องเพื่อผลิตชิ้นส่วนแต่ละประเภทมาก ใช้พื้นที่ในการจัดเก็บวัสดุลดลง เนื่องจากเครื่องจักรแต่ละเครื่องมีระยะทางในการเคลื่อนที่ใกล้กันมากขึ้นทำให้ลดเวลาในการขนถ่าย และลดการตัดกันของเส้นทางการผลิต ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 แสดงการไหลของเส้นทางการผลิต

ที่มา : http://www.strategosinc.com/cellular_manufacturing.htm

จากรูปที่ 2.3 แสดงให้เห็นถึงเส้นทางการไหลของวัสดุระหว่างการผลิตตามขั้นตอนกับการผลิตแบบเซลล์ ภาพทางซ้ายเป็นการผลิตตามขั้นตอน จะเห็นว่าเส้นทางการไหลไม่เป็นระเบียบมีการตัดกันของเส้นทางการผลิต เซลล์มีความยืดหยุ่นน้อย เมื่อเครื่องจักรตัวใดตัวหนึ่งเสียจะไม่สามารถใช้เครื่องจักรอื่นแทนได้ เพราะเครื่องจักรมีการใช้งานอยู่จึงเกิดการรอคอย ภาพทางขวาเป็นการจัดเครื่องจักรแบบเซลล์ พบว่าเส้นทางเดินของวัสดุลดลง เส้นทางการเดินทางเป็นระเบียบมากขึ้น ไม่มีการตัดกันของเส้นทางการผลิตและระยะห่างระหว่างแผนกลดลง จะช่วยลดปัญหาที่เกิดขึ้นจากการวางผังแบบตามขั้นตอน และตามกระบวนการ เพราะถ้าเครื่องจักรหนึ่งเกิดเสีย ก็สามารถใช้เครื่องจักรอีกเครื่องหนึ่งในกลุ่มเดียวกันแทนได้ ทำให้การผลิตไม่หยุด และเสียเวลาการขนถ่ายน้อยลง เพราะเครื่องจักรอยู่ใกล้กันมากขึ้น

2.2 ศึกษาหลักการและทฤษฎีของปัญหาการสร้างระบบการผลิตแบบเซลลูลาร์ (Cellular Manufacturing System : CMS)

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงปัญหาสำคัญอย่างหนึ่งของ CMS ที่งานวิจัยนี้จะดำเนินการศึกษา คือ ปัญหาการสร้างระบบการผลิตแบบเซลลูลาร์

ในการวางผังอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ ที่มีกำลังการผลิตสูงรวมทั้งมีความหลากหลายของผลิตภัณฑ์เป็นจำนวนมาก และมีความซับซ้อนในกระบวนการผลิต ซึ่งในการผลิตนั้นอาจมีการสูญเสียในด้านต่างๆ เช่น ค่าใช้จ่ายจากการเกิด Work In Process, Lead Time ซึ่งส่งผลต่อกำไรและจำนวนผลิตภัณฑ์ที่จำเป็นต้องผลิตให้ทันต่อความต้องการของลูกค้า ในการผลิตโดยส่วนใหญ่ร้อยละ 30 ถึง ร้อยละ 70 ประกอบไปด้วยการขนถ่ายโดยทั้งสิ้น ดังนั้น เมื่อต้องการลดการเคลื่อนที่หรือการ

ขนส่งระหว่างเซลล์ ที่มีผลต่อการผลิต และเพื่อลดค่าใช้จ่ายโรงงาน จึงต้องหาวิธีลดระยะทางในการเคลื่อนที่หรือจำนวนในการเคลื่อนที่ระหว่างกลุ่มของเครื่องจักรในโรงงานให้มีค่าน้อยที่สุด เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการผลิต

จุดประสงค์หนึ่งที่สำคัญในการสร้างเซลล์ และเป็นจุดประสงค์ที่นำมาใช้ในงานวิจัยนี้ก็เพื่อลดการเคลื่อนที่ระหว่างเซลล์ให้เหลือน้อยที่สุด โดยจุดเด่นของการสร้างเซลล์แบบเซลลูลาร์นี้ คือ การนำเอาชิ้นส่วนหรือผลิตภัณฑ์ที่มีกระบวนการผลิตที่คล้ายคลึงกันรวมไว้ด้วยกัน เพื่อความรวดเร็วในกระบวนการผลิต และลดความซับซ้อนในการขนย้ายตัวชิ้นส่วนผลิต ซึ่งจะทำให้การผลิตมีความรวดเร็วและมีต้นทุนการผลิตที่ต่ำลง ปัญหาที่มีผลต่อการสร้างเซลล์แบบเซลลูลาร์นั้น อาจแบ่งเป็นส่วนย่อยๆ ต่างกัน ดังนี้

2.2.1 การจัดความคล้ายกันของชิ้นส่วนในการผลิต

2.2.2 การจัดวางกลุ่มและประเภทของเครื่องจักร

2.2.3 การกำหนดจำนวนของเซลล์

2.2.4 การกำหนดขนาดของเซลล์

ปัญหาเหล่านี้ก่อให้เกิดปัญหาที่ยุ่งยากตามมาในการสร้างเซลล์กระบวนการผลิตแบบเซลลูลาร์ จึงได้มีการศึกษาว่าจะทำอย่างไร เพื่อให้เกิดความสะดวกและง่ายต่อการสร้างเซลล์ วิธีที่จะนำมาใช้ในการแก้ไขปัญหาของการสร้างเซลล์แบบเซลลูลาร์ก็มีอยู่มากมาย ดังที่ได้กล่าวเอาไว้ในหัวข้อที่ 2.1 แล้วนั้น แต่ในงานวิจัยนี้ได้เลือกวิธีหนึ่งในการแก้ปัญหา คือ วิธีการแก้ปัญหาโดยใช้ Bat Algorithm

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	1			1					1						1	1				1
2		1	1		1			1			1			1			1		1	
3						1	1			1		1	1					1		
4	1			1		1	1		1						1	1				1
5										1		1	1					1		
6		1	1		1			1			1			1			1		1	
7	1			1					1						1	1				1
8						1	1			1		1	1					1		
9		1	1		1			1			1			1			1		1	
10						1	1			1		1	1					1		

รูปที่ 2.4 เมตริกซ์ที่ยังไม่ถูกสร้างเซลล์

ที่มา : จักรชัย บรรเทาทุกข์ และคณะ, ปริญญานิพนธ์ ในหัวข้อ การพัฒนาโปรแกรมเพื่อแก้ปัญหาการสร้างเซลล์ที่มีความยืดหยุ่นในระบบการผลิตแบบเซลลูลาร์โดยวิธีเจเนติกอัลกอริทึม

จากรูปที่ 2.4 เป็นการนำเอาปัญหามาสร้างให้อยู่ในรูปแบบของเมตริกซ์โดยมี พารามิเตอร์ ที่สำคัญอยู่ 3 ตัว คือ จำนวนชิ้นส่วน โดยจะแสดงในตารางแถวบนสุดจะมีจำนวนชิ้นส่วน 20 ชิ้น จำนวนเครื่องจักร โดยจะแสดงในตารางคอลัมน์แรกสุดจะมีเครื่องจักร 10 เครื่อง การใช้เครื่องจักรของแต่ละกระบวนการผลิตของแต่ละชิ้นส่วน โดยจะถูกแสดงนอกเหนือจากหัวแถวและหัวคอลัมน์

จากตารางจะแสดงรายละเอียดให้ทราบถึงเครื่องจักรที่ต้องการใช้ในกระบวนการผลิตของแต่ละชิ้นส่วน ตัวอย่างเช่น ชิ้นส่วนที่ 1 ผ่านเครื่องจักรที่ 1, 4, 7 ชิ้นส่วนที่ 3 ผ่านเครื่องจักรที่ 2, 6, 9 และชิ้นส่วนที่ 7 ผ่านเครื่องจักรที่ 3, 5, 8, 10 เป็นต้น

การจัดเครื่องจักรของตัวอย่างนี้สามารถจัดได้ทั้งหมด 3 กลุ่ม หรือสามารถจัดกลุ่มเครื่องจักรออกได้เป็น 3 เซลล์ด้วยกัน การจัดกลุ่มจะดูจากการใช้เครื่องจักร ชิ้นส่วนที่มีการใช้เครื่องจักรเหมือนกันจะถูกนำชิ้นส่วนนั้นไว้ใกล้กัน ส่วนของเครื่องจักรก็จะนำมาเรียงต่อกันเป็นกลุ่มๆ จากนั้นก็นำข้อมูลมาสร้างเมตริกซ์ใหม่ จะได้ดังรูปที่ 2.5 จะสังเกตได้ว่ารูปที่ 2.4 นั้น จะแสดงให้ทราบถึงความยุ่งยากในการผลิตเนื่องจากลักษณะการจัดเรียงที่ยังไม่เป็นระเบียบ และในรูปที่ 2.5 เป็นตัวอย่างที่แสดงการจัดระเบียบการผลิตให้ดูมีแบบแผนโดยใช้หลักการของ CMS คือ การจัดส่วนที่คล้ายคลึงกันรวมเอาไว้ด้วยกัน

	1	4	9	15	16	20	2	3	5	8	11	14	17	19	6	7	10	12	13	18
1	1	1	1	1	1	1														
4	1	1	1	1	1	1														
7	1	1	1	1	1	1														
2							1	1	1	1	1	1	1	1						
6							1	1	1	1	1	1	1	1						
9							1	1	1	1	1	1	1	1						
3															1	1	1	1	1	1
5															1	1	1	1	1	1
8															1	1	1	1	1	1
10															1	1	1	1	1	1

รูปที่ 2.5 การสร้างเซลล์ที่ไม่มีลำดับขั้นตอนการผลิต

ที่มา : จักรชัย บรรเทาทุกข์ และคณะ, ปริญญานิพนธ์ ในหัวข้อ การพัฒนาโปรแกรมเพื่อแก้ปัญหาการสร้างเซลล์ที่มีความยืดหยุ่นในระบบการผลิตแบบเซลลูลาร์โดยวิธีเจเนติกอัลกอริทึม

แต่ในงานวิจัยนี้ได้ทำการกำหนดเงื่อนไขของปัญหาการสร้างเซลล์การผลิตแบบเซลลูลาร์ ในเรื่องของการผลิตที่มีลำดับขั้นตอนก่อน และหลังในกระบวนการ กล่าวคือ ภายในเมตริกซ์จะมีตัวเลขแสดงลำดับการผลิตให้เห็นชัดเจนว่า ชิ้นส่วนการผลิตใดๆ ได้เริ่มทำการผลิตจากเครื่องจักรหนึ่งไปยัง

เครื่องจักรหนึ่ง ภายใต้เงื่อนไขแผนงานของโรงงานที่มีลักษณะเป็นเส้นตรง ซึ่งเป็นขอบเขตในการศึกษาของโครงงานวิจัยนี้

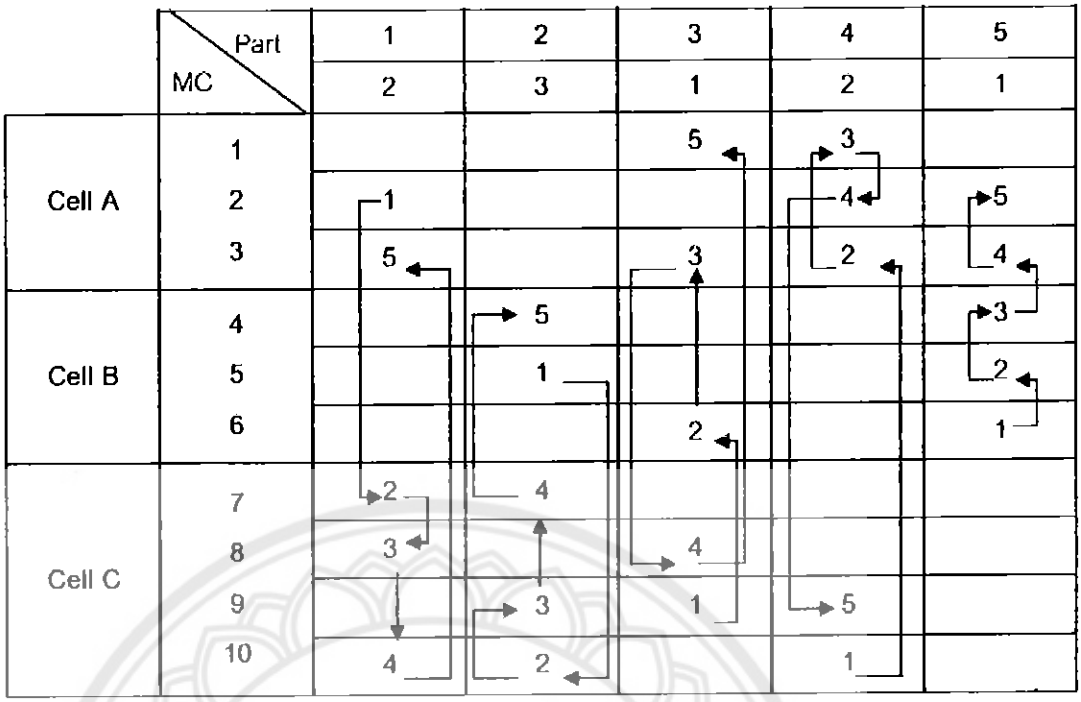
ลักษณะปัญหาโดยรวมของการสร้างเซลล์การผลิตแบบเซลลูลาร์ ในงานวิจัยนี้จะมีวิธีการจัดรูปแบบของข้อมูลดิบที่จำเป็นในการนำมาใช้พิจารณาการเคลื่อนที่ระหว่างเซลล์ ซึ่งตัวแปรต่างๆ ที่จะต้องนำมาใช้เป็นข้อมูล ได้แก่ จำนวนเครื่องจักรของโรงงานที่ใช้ในการผลิต จำนวนกลุ่มเซลล์ที่ต้องการใช้จัดวางในกระบวนการผลิต ลำดับขั้นตอนการผลิตของแต่ละชิ้นส่วน เส้นทางการผลิตต่างๆ ตัวแปรเหล่านี้จะต้องมีการนำมาใช้ใส่ข้อมูลในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ตัวอย่างการเก็บข้อมูลเพื่อใช้คำนวณ

Part / MC	1			2			3			4			5		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	2		4		2		5			2	3	2		1	5
2		1		3					2		4		5		
3	4	5	5	1	1		3	5	3		2	3	4		
4			2		3	5		4	1				3	5	
5	5		1	4		1				5		1	2		
6	1				4		2	3		4			1		1
7		2		5		4		2				5		3	2
8		3					4	1	4	1		4			3
9	3			2		3	1		5		5			4	4
10		4	3		5	2				3	1			2	

ที่มา : จักรชัย บรรเทาทุกข์ และคณะ, ปริญญานิพนธ์ ในหัวข้อ การพัฒนาโปรแกรมเพื่อแก้ปัญหาการสร้างเซลล์ที่มีความยืดหยุ่นในระบบการผลิตแบบเซลลูลาร์โดยวิธีเจเนติกอัลกอริทึม

จากตารางที่ 2.1 จะแสดงให้เห็นว่าข้อมูลในตารางนั้นจะบอกให้ทราบถึงการที่ผลิตภัณฑ์จะเคลื่อนที่ไปยังเครื่องจักรตัวไหนก่อนและหลังตามลำดับ ซึ่งในแต่ละผลิตภัณฑ์จะสามารถเลือกเส้นทางในการผลิตได้ 3 เส้นทางที่ไม่เหมือนกัน โดยในแต่ละเส้นทางการผลิตนั้นจะให้ผลิตภัณฑ์ที่เหมือนกันเมื่อสิ้นสุดกระบวนการผลิต



รูปที่ 2.6 ตัวอย่างการแบ่งกลุ่มเซลล์ของเครื่องจักรและการเลือกเส้นทางการผลิต

ที่มา : จักรชัย บรรเทาทุกข์ และคณะ, ปริญญานิพนธ์ ในหัวข้อ การพัฒนาโปรแกรมเพื่อแก้ปัญหาการสร้างเซลล์ที่มีความยืดหยุ่นในระบบการผลิตแบบเซลลูลาร์โดยวิธีเจเนติกอัลกอริทึม

จากรูปที่ 2.6 จะแสดงให้เห็นความชัดเจนของการเคลื่อนที่ระหว่างเซลล์ตามลำดับของตัวเลขและลูกศร รวมถึงการเลือกเส้นทางในการผลิตว่าจะเลือกใช้เส้นทางใดในการผลิตด้วย ดังนี้

ชิ้นส่วนที่ 1 เลือกใช้เส้นทางการผลิตที่ 2 มีการผลิตใน 2 เซลล์ คือ เซลล์ A และ เซลล์ C

ชิ้นส่วนที่ 2 เลือกใช้เส้นทางการผลิตที่ 3 มีการผลิตใน 2 เซลล์ คือ เซลล์ B และ เซลล์ C

ชิ้นส่วนที่ 3 เลือกใช้เส้นทางการผลิตที่ 1 มีการผลิตใน 3 เซลล์ คือ เซลล์ A ถึง เซลล์ C

ชิ้นส่วนที่ 4 เลือกใช้เส้นทางการผลิตที่ 2 มีการผลิตใน 2 เซลล์ คือ เซลล์ A และ เซลล์ C

ชิ้นส่วนที่ 5 เลือกใช้เส้นทางการผลิตที่ 1 มีการผลิตใน 2 เซลล์ คือ เซลล์ A และ เซลล์ B

ซึ่งจะได้ค่าการเคลื่อนที่รวมระหว่างเซลล์ เท่ากับ 14 ครั้ง ซึ่งอาจผลลัพธ์คำตอบที่ได้มาจะยังไม่ได้เป็นค่าที่น้อยที่สุด เพราะฉะนั้นจึงมีการนำเอาการวิธีการแก้ปัญหาการออกแบบการจัดเซลล์ด้วยวิธีค้างคาว (BACL) เข้ามาช่วยหาคำตอบของรูปแบบการจัดกลุ่มใหม่ เพื่อให้ได้ค่าการเคลื่อนที่รวมระหว่างเซลล์ที่น้อยที่สุดในการจัดวางเครื่องจักร

2.3 ข้อดีและข้อเสียของการผลิตแบบเซลลูลาร์เทียบกับการผลิตตามขั้นตอนในด้านต่างๆ

2.3.1 ประโยชน์ด้านการไหลของวัสดุ (Material Handling Benefits)

ตารางที่ 2.2 เปรียบเทียบการไหลของวัสดุของการผลิตแบบเซลล์เทียบกับการผลิตตามขั้นตอน

รายการ	การผลิตตามขั้นตอน	การผลิตแบบเซลล์	การพัฒนา
การเคลื่อนที่ระหว่างเซลล์	มาก	น้อย	ร้อยละ 50 - 90
ระยะทางการเดิน	500 – 4,000 ฟุต	100 – 400 ฟุต	ร้อยละ 70 - 90
ลักษณะงาน	ซับซ้อน	ง่าย	สามารถทำเป็นอัตโนมัติได้
โครงสร้างเส้นทาง	เปลี่ยนแปลงได้	คงที่	สามารถทำได้ง่าย

ที่มา : http://www.strategosinc.com/workcell.htm

จากตารางที่ 2.2 แสดงให้เห็นถึงประโยชน์ในการจัดการวัสดุ จะเห็นว่าการผลิตตามขั้นตอนจะมีการเคลื่อนที่ระหว่างเซลล์มาก ระยะทางการเดิน 500 – 4,000 ฟุต ลักษณะการทำงานจะซับซ้อน โครงสร้างของงานสามารถเปลี่ยนแปลงได้ ส่วนการผลิตแบบเซลล์ การเคลื่อนที่ระหว่างเซลล์จะน้อย มีระยะการเดินที่สั้นกว่าเพียง 100 - 400 ฟุตเท่านั้น ลักษณะการทำงานจะง่าย และโครงสร้างการทำงานไม่สามารถเปลี่ยนแปลงได้ ความสามารถในการพัฒนาจากระบบผลิตตามขั้นตอนเป็นการผลิตแบบเซลล์ มีดังนี้

2.3.1.1 การเคลื่อนที่ระหว่างเซลล์สามารถปรับปรุงขึ้นได้ ร้อยละ 50 - 90

2.3.1.2 ระยะทางการเดินสามารถปรับปรุงขึ้นได้ ร้อยละ 70 - 90

2.3.1.3 ลักษณะงานสามารถทำเป็นอัตโนมัติได้

2.3.1.4 เส้นทางการเดินสามารถทำให้ง่ายขึ้นได้

2.3.2 ประโยชน์ด้านคงคลังและการจัดเวลางาน (Inventory And Scheduling Benefits)

ตารางที่ 2.3 การเปรียบเทียบคงคลังและการจัดเวลาทำงานของการผลิตตามขั้นตอนกับการผลิตแบบเซลล์

รายการ	การผลิตตามขั้นตอน	การผลิตแบบเซลล์	การพัฒนา
ปริมาณการผลิต	มาก	น้อย-ปานกลาง	ร้อยละ 50 - 100
จำนวนงานที่รอ	12 - 30	3 - 5	ร้อยละ 50 - 80
นโยบายการผลิต	Make – To - Stock	Make - To - Oder	Eliminate FG Stock
การหมุนเวียน	3 - 10	15 - 60	ร้อยละ 60 - 90
ปริมาณงานที่ทำในช่วงเวลาหนึ่ง	สัปดาห์	ชั่วโมง	ร้อยละ 50 - 90
อัตราการใช้เครื่องมือเครื่องจักร	ร้อยละ 40 - 100	ร้อยละ 20 - 80	สามารถทำให้เป็นประโยชน์
การจัดลำดับงาน	ยาก	ง่าย	สามารถทำให้ดีขึ้นได้

ที่มา : http://www.strategosinc.com/workcell.htm

จากตารางที่ 2.3 จะเห็นว่าปริมาณการผลิตแบบขั้นตอนจะมีปริมาณการผลิตต่อครั้งมาก มีจำนวนงานที่รอ 12 - 30 ครั้ง เป็นการผลิตแบบการผลิตเก็บไว้ในคลังสินค้าเพื่อรอการซื้อ การหมุนเวียนของคงคลัง 3 - 10 ครั้ง ปริมาณงานที่ทำจะนับเป็นสัปดาห์ อัตราการใช้เครื่องมือเครื่องจักร ร้อยละ 40 - 100 การจัดลำดับงานจะซับซ้อน ส่วนการผลิตแบบเซลล์ จะมีปริมาณการผลิตต่อครั้งน้อยกว่าแบบขั้นตอน จำนวนงานที่รอ 3 - 5 ครั้ง เป็นการผลิตแบบตามสั่ง การหมุนเวียนของคงคลัง 15 - 16 ครั้ง ปริมาณงานที่ทำนับเป็นชั่วโมง อัตราการใช้เครื่องมือเครื่องจักร ร้อยละ 20 - 80 การจัดลำดับงานจะง่าย ความสามารถในการพัฒนาจากระบบผลิตตามขั้นตอนเป็นการผลิตแบบเซลล์ มีดังนี้

2.3.2.1 ปริมาณการผลิตต่อครั้ง ร้อยละ 50 - 100

2.3.2.2 จำนวนงานที่รอ ร้อยละ 50 - 80

2.3.2.3 นโยบายการผลิตของคงคลังลดจำนวนสินค้าที่ผลิตเสร็จแล้ว

2.3.2.4 การหมุนเวียนของคงคลัง ร้อยละ 60 - 90

2.3.2.5 อัตราการใช้เครื่องมือเครื่องจักร สามารถทำให้เป็นประโยชน์มากขึ้น

2.3.2.6 การจัดลำดับงานสามารถทำให้ดีขึ้น

2.3.3 ประโยชน์ด้านคุณภาพ (Quality Benefits)

ตารางที่ 2.4 เปรียบเทียบคุณภาพของการผลิตตามขั้นตอนกับการผลิตแบบเซลล์

[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
ความรับผิดชอบ	ต่างคนต่างทำ	ทำร่วมกัน	ร้อยละ 50 - 90
การบรรลุจุดหมาย	ต้องมีการควบคุม	บังคับตัวเอง	ทีมมีความสุข
การจูงใจ	หลีกเลี่ยงการลงโทษ	สร้างความภาคภูมิใจ	ประสิทธิภาพสูงสุด
ความสามารถในการแก้ปัญหา	ยากเพราะต่างคนต่างทำ	ทำเป็นทีม	สามารถแก้ปัญหาได้

ที่มา : http://www.strategosinc.com/workcell.htm

จากตารางที่ 2.4 แสดงให้เห็นว่าการผลิตตามขั้นตอน เป็นการผลิตแบบต่างคนต่างทำ จะต้องมีการควบคุมให้บรรลุจุดมุ่งหมาย มีการหลีกเลี่ยงการโดนลงโทษความสามารถในการแก้ปัญหาจะทำได้ยากเพราะต่างคนต่างทำงานของตน ส่วนการผลิตแบบเซลล์จะเป็นการทำงานร่วมกัน การทำงานจะเป็นการบังคับตนเองจะมีความภาคภูมิใจเมื่องานสำเร็จ การแก้ปัญหาจะสามารถแก้ได้เพราะทำงานเป็นทีม ความสามารถในการพัฒนาจากระบบผลิตตามขั้นตอนเป็นการผลิตแบบเซลล์ มีดังนี้

2.3.3.1 ความรับผิดชอบมากขึ้น ร้อยละ 50 - 90

2.3.3.2 การบรรลุจุดมุ่งหมายทำให้เกิดความสุข

2.3.3.3 การจูงใจทำให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น

2.3.3.4 มีความสามารถในการแก้ปัญหามากขึ้น

2.3.4 ประโยชน์ด้านบุคลากร (People Benefits)

ตารางที่ 2.5 การเปรียบเทียบบุคลากรของการผลิตแบบขั้นตอนกับการผลิตแบบเซลล์

รายการ	การผลิตตามขั้นตอน	การผลิตแบบเซลล์	[illegible]
การสื่อสาร	ช้าและไม่แน่นอน	เร็วและดี	ทำให้มีประสิทธิภาพและประสานงานร่วมกัน
การทำงานเป็นทีม	มีอุปสรรค์	ทำงานเป็นทีมได้อย่างดี	สามารถทำให้เป็นทีม
การจูงใจ	ด้านลบ	ด้านบวก	สามารถพัฒนาให้ดีขึ้น
ระดับความรู้	แคบ	กว้าง	สามารถพัฒนาได้
ความรับผิดชอบ	ต่างคนต่างทำ	ง่ายละแน่นอน	สามารถพัฒนาได้น้อย

ที่มา : http://www.strategosinc.com/workcell.htm

จากตารางที่ 2.5 แสดงให้เห็นว่าการผลิตตามขั้นตอนมีการติดต่อสื่อสารที่ช้า และไม่แน่นอน การทำงานเป็นทีมจะมีอุปสรรคการจูงใจจะเป็นด้านลบ ระดับความรู้จะมีไม่กว้าง ความรับผิดชอบจะต่างคนต่างทำ ส่วนการผลิตแบบเซลล์จะมีการติดต่อสื่อสารที่เร็ว การทำงานเป็นทีมจะทำได้ดี ระดับความรู้จะกว้างกว่าแบบผลิตตามขั้นตอน ความรับผิดชอบจะดีและแน่นอน ความสามารถในการพัฒนาจากระบบผลิตตามขั้นตอนเป็นการผลิตแบบเซลล์ มีดังนี้

2.3.4.1 การติดต่อสื่อสารทำให้การทำงานมีประสิทธิภาพ

2.3.4.2 การทำงานเป็นทีมมีประสิทธิภาพมากขึ้น

2.3.4.3 การจูงใจสามารถทำได้ดีขึ้น

2.3.4.4 ระดับความรู้สามารถพัฒนาได้

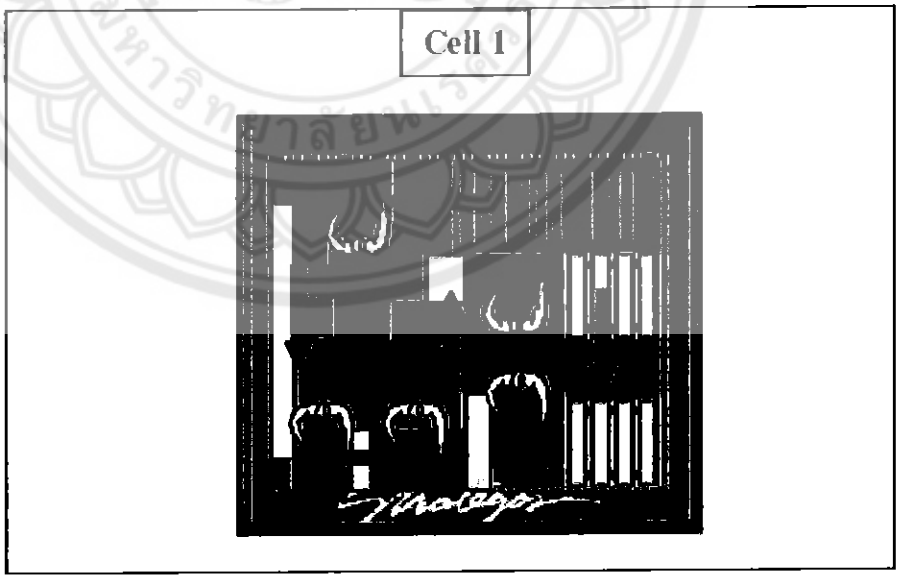
2.3.4.5 ความรับผิดชอบสามารถพัฒนาได้แต่น้อย

2.4 ปัญหาที่เกิดขึ้นในระบบการผลิตแบบเซลลูลาร์

ปัญหาที่เกิดขึ้นในระบบการผลิตแบบเซลลูลาร์ จะมีอยู่ด้วยกัน 2 แบบ

2.4.1 การเคลื่อนที่ภายในเซลล์ (Intracell Moves)

การเคลื่อนที่ภายในเซลล์ คือ การเคลื่อนที่ของวัสดุตามกระบวนการผลิตภายในเซลล์กระบวนการผลิตเดียวกัน การเคลื่อนที่ไม่เกิดผลกระทบต่อกระบวนการผลิตมาก ดังรูปที่ 2.7

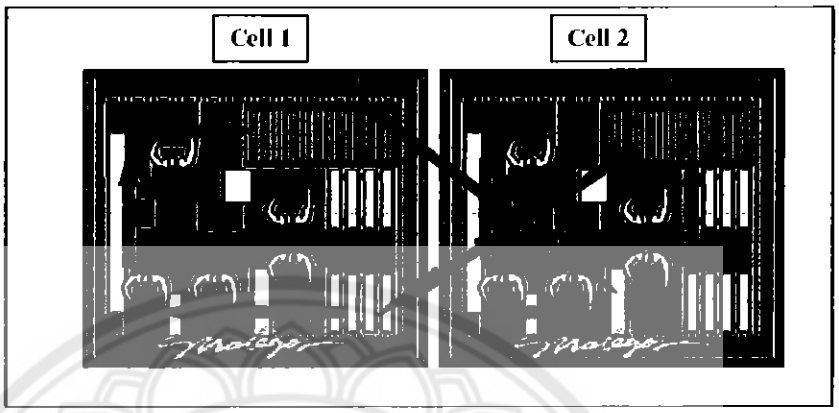


รูปที่ 2.7 แสดงการเคลื่อนไหวภายในเซลล์

ที่มา : http://www.strategosinc.com/workcell.htm

2.4.2 การเคลื่อนที่ระหว่างเซลล์ (Intercell Moves)

การเคลื่อนที่ระหว่างเซลล์ คือ การเคลื่อนที่ของวัสดุตามกระบวนการผลิตระหว่างเซลล์ การเคลื่อนที่ในลักษณะนี้จะมีผลกระทบต่อกระบวนการผลิตมาก ดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 แสดงการเคลื่อนไหวระหว่างเซลล์

ที่มา : http://www.strategosinc.com/workcell.htm

2.5 วิธีการหาคำตอบที่เหมาะสม

ในการแก้ปัญหาต่างๆ จะสามารถแบ่งกว้างๆ ได้ 2 แบบ คือ Conventional Optimization Algorithm และ Approximation Optimization Algorithm

2.5.1 Conventional Optimization Algorithm

เป็นการหาคำตอบที่ใช้พื้นฐานของ Mathematics และ Static ในการหาคำตอบเป็นพื้นฐานในการแก้ปัญหาที่เรารู้จักและใช้กันมานานแล้ว คำตอบที่ได้สามารถรับประกันได้ ตัวอย่างของ Conventional Optimization Algorithm เช่น Differential, Integrate, Linear Programming, Dynamic Programming และ Branch and Bound เป็นต้น

2.5.2 Approximation Optimization Algorithm

เป็นการหาคำตอบโดยการประมาณ คำตอบที่ได้เป็นคำตอบที่เหมาะสมแต่อาจไม่ใช่คำตอบที่ดีที่สุด ไม่สามารถรับประกันได้ Approximation Optimization Algorithm สามารถแบ่งได้อีก 2 แบบ คือ

2.5.2.1 Constructive Approaches เป็นการหาคำตอบโดยวิธีที่มีลักษณะเฉพาะคำตอบจะค่อยๆ ถูกสร้างจนได้คำตอบที่มีความเหมาะสมมากที่สุด ตัวอย่างของ Constructive Approaches ได้แก่ Critical Part Method, Project Evaluation & Review Technique, Material Requirement Planning และ Optimized Production Technology เป็นต้น

2.5.2.2 Iterative Optimization Approaches เป็นการหาทำตอบโดยการเลียนแบบพฤติกรรมทางธรรมชาติ เป็นวิธีการแก้ปัญหาแบบใหม่เมื่อเทียบกับวิธีการแก้ปัญหาอื่นๆ Iterative Optimization Approaches ได้แก่ Genetic Algorithm, Simulated Annealing, Taboo Search, Ant Colony, Bat Algorithm และ Swam Intelligence เป็นต้น

2.6 หลักการและทฤษฎีของแบทอัลกอริทึม

จะเห็นว่าจำนวนครั้งในการเคลื่อนที่ของชิ้นส่วนในกระบวนการผลิตเป็นปัญหาของกระบวนการสร้างเซลล์การผลิตแบบเซลลูลาร์ ซึ่งจำเป็นต้องมีกระบวนการหรือวิธีการแก้ปัญหา ซึ่งอาจจะมีกระบวนการและวิธีการแก้ปัญหาที่มากมาย แต่ในงานวิจัยนี้ได้นำเอาหลักการของ Bat Algorithm เข้ามาช่วยใช้แก้ปัญหาในเรื่องของการลดจำนวนครั้งในการเคลื่อนที่ หรือสร้างเซลล์ในกระบวนการผลิต เพื่อลดการเคลื่อนที่รวมระหว่างเซลล์ให้มีค่าน้อยที่สุด

2.6.1 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับ Bat Algorithm

แบทอัลกอริทึม เป็นการเลียนแบบพฤติกรรมการหาอาหารของค้างคาว Donald Griffin นักชีววิทยาชาวอเมริกันทดลองปิดตาค้างคาวทั้งสองข้าง แล้วปล่อยให้บินหาอาหาร ได้พบว่า ค้างคาวเหล่านี้ยังสามารถหาอาหารได้อย่างไร้ปัญหาใดๆ แต่ถ้าทดลองปิดหูทั้งสองข้างค้างคาวตัวนั้นจะบินชนผนังห้อง ยืนยันว่าค้างคาวใช้หูฟังเสียงสะท้อนจึงทำให้มันรู้ตำแหน่ง และลักษณะของเหยื่อ การสังเคราะห์ข้อมูลที่ได้รับทำให้มันสามารถหาอาหาร และหลบหลีกศัตรูได้ Griffin จึงเรียกเทคนิคที่ค้างคาวใช้ในการใช้เสียงสะท้อนหาตำแหน่งว่า Echolocation (ระบบการรับฟังเสียงสะท้อน ในลักษณะการส่งคลื่นเสียงออกไปเพื่อให้สะท้อนวัตถุที่อยู่รอบๆ และรับฟังคลื่นเสียงสะท้อนกลับมา ซึ่งเป็นวิธีการวัดระยะขนาด และรูปร่าง ของวัตถุที่อยู่รอบๆ จากการฟังเสียงที่คอยสะท้อนกลับมา) ทำให้ค้างคาวรู้ระยะทางและความแตกต่างของเหยื่อแม้อยู่ในที่มืดก็ตาม

2.6.2 หลักการของ Bat Algorithm

Bat Algorithm (BA) เป็นแนวคิดที่ได้จากลักษณะการหาตำแหน่งเหยื่อของค้างคาว โดยมีแนวความคิดและหลักการพัฒนากระบวนการทำงานโดย Xin - She Yang โดยมีการใช้หลักการอุดมคติ ดังนี้

2.6.2.1 ค้างคาวทั้งหมดใช้กระบวนการทำงานของ Echolocation ในการหาระยะทาง และค้างคาวมีการรับรู้ถึงความแตกต่างระหว่างอาหารหรือเหยื่อ แม้จะอยู่ในที่มืดหรือมีสิ่งกีดขวางอยู่รอบๆ ตัวก็ตาม

2.6.2.2 ค้างคาวบินสุ่มด้วยความเร็ว v_i ที่ตำแหน่ง x_i ด้วยความเร็วคงที่ f_{min} มีค่าความแปรผันตามความยาวคลื่น λ และเสียงในการค้นหาเหยื่อ โดยที่ตัวค้างคาวจะสามารถ

ปรับเปลี่ยนค่าความยาวคลื่นได้โดยอัตโนมัติของค่าความถี่ และอัตราการส่งคลื่นเสียงโดยขึ้นอยู่กับเหยื่อหรือเป้าหมาย

2.6.2.3 แม้ว่าเสียงที่ค้างคาวเปล่งออกไปจะมีการแปรเปลี่ยนไปตามเส้นทางต่างๆ เราจะสมมติว่าเสียงนั้นเปลี่ยนแปลงจากเสียงเริ่มต้นที่ดัง A_0 สู่ค่าคงที่ของเสียงที่น้อยกว่า $A_{\min}$

2.6.3 กระบวนการทำงานของวิธีการ Bat Algorithm ในการแก้ปัญหาการสร้างเซลล์การผลิตแบบเซลลูลาร์

2.6.3.1 การกำหนดฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ (Objective Function) กำหนดค่าฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ $f(x)$ หรือสมการเป้าหมายที่ใช้ในการหาค่าคำตอบสำหรับปัญหาที่ต้องการ เพื่อใช้ในการประเมินผลที่ได้จากปัญหานั้น

2.6.3.2 การสร้างประชากรเริ่มต้น (Initialize The Bat Population) โดยให้ค้างคาว 1 ตัวเปรียบเสมือนกับเป็นตัวแทนของคำตอบ 1 คำตอบ ดังนั้น การสร้างกลุ่มประชากรเริ่มต้นจึงเป็นการสร้างตัวแทนของกลุ่มคำตอบเริ่มต้นเช่นกัน ซึ่งในการเริ่มต้นนั้นจะทำการสุ่มคำตอบที่เป็นไปได้ (Feasible Solution) มา 1 คำตอบต่อค้างคาว 1 ตัว ทั้งนี้การกำหนดจำนวนค้างคาวจะถูกสุ่มสร้างขึ้นตามจำนวนประชากร (n) ที่กำหนดไว้ อาทิเช่น กำหนดให้มีค้างคาวในการหาทั้งหมด 50 ตัว ก็จะได้คำตอบเริ่มต้นทั้งหมด 50 คำตอบ

2.6.3.3 การกำหนดค่าความถี่ (Frequency) ค่าความถี่จะขึ้นอยู่กับการกำหนดตามขนาดหรือชนิดของปัญหาแต่ละปัญหาที่กำหนด (Yang, 2010) ในระยะเริ่มต้นนั้นค้างคาวแต่ละตัวต้องมีการกำหนดช่วงค่าความถี่ต่ำสุด และค่าความถี่สูงสุด $[f_{\min}, f_{\max}]$ ของตัวค้างคาวแต่ละตัว

2.6.3.4 กำหนดค่าการส่งเสียง A_i และคลื่น r_i เริ่มต้น ขั้นตอนนี้จะเป็นการกำหนดคลื่น r_i (Rate of Pulse Emission) และการกำหนดเสียง (Loudness) เริ่มต้นให้กับค้างคาวแต่ละตัว จะทำได้โดยการสุ่มค่าของคลื่นและเสียงของตัวค้างคาวเอง หลังจากที่ค้างคาวได้กำหนดทิศทางที่เป็นผลมาจากค่าความถี่ที่ส่งออกไปหาเป้าหมายเรียบร้อยแล้ว ก็จะทำการส่งเสียงเพื่อหาเหยื่อหรืออาหารที่เป็นเป้าหมาย ซึ่งค้างคาวแต่ละตัวย่อมมีจะมีการส่งเสียงที่แตกต่างกันไป หากนำพฤติกรรมของค้างคาวแต่ละตัวมาใช้เพื่อหาคำตอบ ซึ่งค้างคาวที่เป็นตัวแทนคำตอบย่อมจะอยู่ในจุดใดจุดหนึ่งในพื้นที่ทั้งหมดของคำตอบที่สุ่มได้ และการส่งเสียงรวมถึงคลื่นเสียงที่ไม่เท่ากันก็ย่อมมีผลที่จะทำให้เข้าใกล้ค่าคำตอบที่ดีที่สุดแตกต่างกันไปด้วย ในการกำหนดค่ากำหนดการคลื่น r_i และเสียง A_i ให้กับค้างคาวแต่ละตัวนั้นควรจะมีค่าที่แตกต่างกันซึ่งทำได้โดยการสุ่มในค่าที่เรากำหนดช่วงสูงสุดและต่ำสุดเอาไว้ ตัวอย่างเช่น กำหนดค่าเริ่มต้นการส่งเสียงให้กับค้างคาวแต่ละตัว A_i^0 มีการสุ่มค่าอยู่ระหว่าง $[1, 2]$ ในขณะที่กำหนดการส่งคลื่นของค้างคาวแต่ละตัวนั้นจะมีการสุ่มค่าที่อยู่ระหว่าง $r_i^0 \in [0, 1]$ (Yang, 2010) จึงทำให้ค้างคาวซึ่งเป็นตัวแทนของคำตอบมีค่าเริ่มต้นของการส่งเสียงและคลื่นที่ต่างกัน โดยมีผลทำให้ค้างคาวแต่ละตัวเข้าใกล้ค่าคำตอบที่ดีที่สุดได้ไม่เท่ากัน ซึ่งทั้งสองค่านี้จะมีการ

เปลี่ยนแปลงค่าเมื่อมีการปรับปรุงคำตอบใหม่ เป็นการบ่งบอกว่าได้เข้าใกล้ค่าคำตอบที่เป็นคำตอบที่ดีที่สุด (Optimal Solution) แล้ว

2.6.3.5 การหาคำตอบใหม่โดยอาศัยค่าความถี่และการเปลี่ยนแปลงความเร็ว ค้างคาวทุกตัวจะมีการสร้างคำตอบเพื่อพิจารณาหาการเปลี่ยนคำตอบใหม่ (Generate New Solutions) หลังจากที่ได้กระจายการหาคำตอบจากการสร้างประชากรเริ่มต้นให้กับค้างคาว (x_i) แล้วสามารถเปรียบเทียบและหาค่าคำตอบที่ดีที่สุดจากคำตอบของค้างคาวทุกตัว (X^*) หากค้างคาวที่กำลังพิจารณามีคำตอบการจัดตารางซึ่งมีคำตอบที่แย่กว่าคำตอบของค้างคาวที่มีคำตอบที่ดีที่สุด ค้างคาวตัวนั้นก็จะทำการเคลื่อนที่หรือปรับปรุงคำตอบของตนเอง เพื่อให้เข้าใกล้คำตอบที่ดีที่สุดโดยใช้สมการที่ 2.2, 2.3 และ 2.4

$$f_i = f_{\min} + (f_{\max} - f_{\min})\beta \tag{2.2}$$

$$v_i^t = v_i^{t-1} + (x_i^t - x_*) f_i \tag{2.3}$$

$$x_i^t = x_i^{t-1} + v_i^t \tag{2.4}$$

โดยที่ β คือ ค่าที่ใช้ในการสุ่มทิศทางจะมีค่าระหว่าง $[0, 1]$ มีการสุ่มแบบ Uniform Distribution ในสมการที่ 2.2 จะทำให้ได้ค่าความถี่ของค้างคาวแต่ละตัว แม้ว่าจะมีการกำหนดค่าความถี่ต่ำสุดและค่าความถี่สูงสุดของค้างคาวจะเหมือนกัน แต่เมื่อมีค่า β เข้ามาเกี่ยวข้องแล้วจะทำให้ค้างคาวมีทิศทางการค้นหาคำตอบที่แตกต่างกันเสมือนกับการกระจายหาคำตอบที่แตกต่างกัน

ความเร็ว v_i^t จากสมการที่ 2.3 เป็นตัวกำหนดว่าจะใช้ความเร็วในการเคลื่อนที่เข้าใกล้เป้าหมายเท่าใด เสมือนกับการที่ค้างคาวที่เป็นตัวแทนของคำตอบปรับปรุงคำตอบของตน x_i^t เพื่อให้เข้าใกล้คำตอบที่ดีที่สุด (X^*) จากสมการที่ 2.3 $(x_i^t - x^*)$ สามารถหาคำตอบได้จากวิธีการ Swap Operator และ Adjustment Operator ซึ่งเป็นวิธีการในการย้ายตำแหน่งของคำตอบ มีขั้นตอนดังนี้

ก. Swap Operator (SO) เป็นการหาคำตอบโดยการสลับตำแหน่งของคู่อันดับแต่ละคู่ เช่น คำตอบที่ได้จากรอบที่ผ่านมาคือ S = {a, c, e, b, d} และการเปลี่ยนตำแหน่งของคู่อันดับ คือ SO1 (1, 3) = {a, c, e, b, d} + (1, 3) = {a, b, e, c, d} (Wang et al., 2005)

ข. Adjustment Operator (AO) วิธีการนี้คล้ายๆ กับวิธีการ Swap Operator (SO) แต่จะแตกต่างกันที่ตำแหน่งของการสลับคู่ คือ AO จะหาค่ามาแทรกไว้ที่ตำแหน่งที่ต้องการแล้วผลักค่าที่อยู่ตั้งแต่ที่แทรกให้ขยับถอยออกไป หากคำตอบที่ค้นพบในรอบที่ผ่านมา คือ S = {a, e, c, b, d} ผลจากการสลับตำแหน่งจะเท่ากับ S = S + AO1 (d, 1) = {a, e, c, b, d} + (d, 1) = {a, d, e, c, b} (Wang et al., 2005)

หลังจากที่ได้จำนวนการเปลี่ยนตำแหน่งด้วยวิธีการ Swap Operator หรือวิธีการ Adjustment Operator แล้วจึงทำการหา v_i^t ในสมการที่ 2.3 และ 2.4 ซึ่งเมื่อนำวิธีการ Swap Operator หรือ Adjustment Operator มาใช้ก็จะเป็นการสลับตำแหน่งของการจัดลำดับของคำตอบในการจัดตารางการผลิตเพื่อให้เข้าใกล้คำตอบที่ดีที่สุด (x^*) ต่อไป

2.6.3.6 ขั้นตอนการตัดสินใจเข้าใกล้กลุ่มคำตอบที่ดีที่สุด เริ่มต้นโดยการทำการสุ่มค่า Rand ซึ่งมีกำหนดค่าของ Rand กรณีที่สุ่มค่าออกมาแล้วค่า Rand มีค่ามากกว่า r_i ให้เลือกคำตอบที่ดีที่สุด หากพบว่ามีคำตอบที่ดีที่สุดหลายคำตอบ ให้ทำการสุ่มเลือกได้เพียง 1 คำตอบจากคำตอบที่ดีที่สุดทั้งหมด หลังจากนั้นทำการสุ่มเลือกคำตอบที่อยู่ใกล้ๆคำตอบที่ดีที่สุดออกมา โดยใช้สมการที่ 2.5 โดยที่เราจะทำการสุ่มค่า $\varepsilon \in [0, 1]$ ขณะที่ $A^t = (A_i^t)$ เป็นค่าเฉลี่ยของเสียงของค้างคาวในรอบนั้น

$$x_{new} = x_{old} + \varepsilon A^t \tag{2.5}$$

2.6.3.7 ขั้นตอนการเลือกคำตอบใหม่ กำหนดให้ค้างคาวแต่ละตัวทำการบินสุ่มหาคำตอบของตนเองขึ้นมาอีกครั้ง

2.6.3.8 ขั้นตอนการตัดสินใจยอมรับคำตอบ โดยกำหนดให้มีการพิจารณา 2 เงื่อนไข เงื่อนไขที่หนึ่ง คือ ทำการสุ่มค่า Rand จะเลือกตัดสินใจยอมรับคำตอบปัจจุบันเมื่อค่า Rand ที่สุ่มได้มีค่าน้อยกว่า A_i ของตัวที่พิจารณาอยู่ เงื่อนไขที่สองจะพิจารณาว่าผลของการประเมินค่าคำตอบของค้างคาวตัวปัจจุบันนั้นมีค่าของคำตอบน้อยกว่าคำตอบที่ดีที่สุดหรือไม่ จะเลือกตัดสินใจยอมรับคำตอบปัจจุบันเมื่อค่า Rand ที่สุ่มได้มีค่าน้อยกว่า A_i และผลการประเมินของฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของค้างคาวตัวปัจจุบัน $f(x_i)$ มีค่าน้อยกว่าค่าคำตอบผลการประเมินคำตอบที่ดีที่สุด $f(x_*)$ หากทั้งสองเงื่อนไขนั้นเป็นจริงก็จะยอมรับคำตอบใหม่ (Accept New Solution) จะทำการยอมรับคำตอบนั้น โดยที่จะมีการปรับปรุงค่าเสียงและคลื่นใหม่ดังสมการ 2.6 ค่าของเสียงจะลดลงในขณะที่ค่าของคลื่นนั้นเพิ่มขึ้น

$$A_i^{t+1} = \alpha A_i^t,\ r_i^{t+1} = r_i^0[1 - \exp(-\gamma t)] \tag{2.6}$$

2.6.3.9 ขั้นตอนการจัดอันดับค่าคำตอบ เมื่อค้างคาวทุกตัวที่เรากำหนดได้ผ่านกระบวนการหาค่าคำตอบเบื้องต้นมาแล้ว จึงนำมาจัดอันดับค่าของค้างคาวและหาค่าคำตอบที่ดีที่สุด

2.7 หลักการและทฤษฎีของโปรแกรม Tool Command Language

ในยุคสมัยปัจจุบันนี้ได้มีเทคโนโลยีโปรแกรมต่างๆ เข้ามามากมาย เพื่อเข้ามาเป็นตัวช่วยในการแก้ไขปัญหาต่างๆ ได้อย่างรวดเร็ว รวมทั้งเวลาในการแก้ปัญหาของ CMS โดยอาศัยหลักการของ Bat Algorithm นั้น หากให้หาคำตอบด้วยวิธีการแบบเดิมก็อาจต้องใช้ระยะเวลามาก เพราะกระบวนการของ Bat Algorithm จะมีลักษณะกระบวนการทำงานที่วนซ้ำไปซ้ำมา จึงมีจำนวนรอบที่ทำซ้ำสูงมาก จึงมีการเลือกใช้ภาษาในการเขียนโปรแกรม คือ Tool Command Language

หลักการของ Tool Command Language : Tcl/Tk (อ่านว่า Tickle) เป็นภาษาสคริปต์ที่ต้องใช้ตัวแปรภาษา หรืออินเตอร์พรีตเตอร์ในการทำงาน คล้ายกับภาษา Perl หรือ Unix Shell ดังนั้น การใช้งานจึงต้องมีการใช้ Tcl Shell (Tclsh) และยังมี Tk (อ่านว่า Tee - Kay) เป็น Associated Toolkit สำหรับสร้างกราฟิกยูสเซอร์อินเตอร์เฟสบน X Windows System การเรียกใช้งาน Tk ต้องอาศัย Windowing Shell (Wish) เช่นกัน

Tcl/Tk ถูกพัฒนาโดย John K. Outsterhoot ขณะที่เขาเป็นศาสตราจารย์ทางวิศวกรรมไฟฟ้าและวิทยาการคอมพิวเตอร์ University of California, Berkeley โดยตอนแรกนั้นตั้งใจให้ Tcl เป็นคำสั่งภาษาที่ใช้สำหรับสั่งงานแบบอินเตอร์แอคทีฟเท่านั้น ต่อมาได้มีการพัฒนาขยายความสามารถของ Tcl ให้มีมากขึ้น การพัฒนาแอพพลิเคชั่นด้วย Tcl/Tk นั้นสามารถนำไปใช้งานได้บนหลายๆ แพล็ตฟอร์ม ตั้งแต่ ยูนิกซ์ ลีนุกซ์ แมคอินทอช และวินโดวส์ ซึ่งข้อดีต่างๆ ของ Tcl สามารถสรุปได้ดังนี้

2.7.1 Easy to Learn

Tcl เป็นภาษาโปรแกรมที่ใช้ง่าย สำหรับนักเขียนโปรแกรมที่มีประสบการณ์สามารถเรียนรู้ Tcl และพัฒนาโปรแกรมด้วย Tcl ได้อย่างรวดเร็ว

2.7.2 Cross - Platform Support

Tcl สามารถทำงานได้ทั้งบนระบบปฏิบัติการ Unix, Windows, Macintosh และระบบปฏิบัติการอื่นๆ ที่มีใช้กันแพร่หลายนั่น คือ Tcl Script หนึ่งสามารถนำไปทำงานได้ทั้งบน Unix, Windows และ Macintosh และในการแสดง GUI จะมีความแตกต่างกันขึ้นอยู่กับแต่ละ Platform

2.7.3 Ready for Enterprise

Tcl เป็นภาษาที่มีความเสถียรภาพสูงเหมาะสำหรับแอพพลิเคชั่นขนาดใหญ่ และวัตถุประสงค์อื่นๆ ขององค์กร

2.7.4 Flexible Integration

ด้วยการใช้ Tcl มันจะเป็นการง่ายที่จะประสานกับองค์ประกอบ (Component) และโปรแกรมอื่นที่มีอยู่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ตัวอย่างเช่น การใช้ Tcl เป็นภาษาสำหรับควบคุมอุปกรณ์และ Protocols ที่ทำงานเฉพาะอย่าง การเพิ่ม GUI หรือส่วนติดต่อกับเครือข่ายให้กับแอพพลิเคชั่นเดิม หรือการรวมแอพพลิเคชั่นที่สร้างจากภาษา Java กับ Code โปรแกรมเดิมของภาษา C/C++

2.7.5 Network – Aware Applications

Network – Aware Applications ไม่มี Platform ใดที่ให้ความสะดวกในการติดต่อกับเครือข่ายได้ง่ายเท่ากับ Tcl การสร้างเครื่องให้บริการและเครื่องลูกข่ายสามารถทำได้เพียงไม่ 2 - 3 นาที ด้วย Code เพียงไม่กี่บรรทัด เพราะ Tcl ได้เตรียมวิธีที่มีประสิทธิภาพสำหรับการเพิ่มส่วนติดต่อกับเครือข่ายให้กับแอพพลิเคชั่นเดิม

2.7.6 It's Free

Tcl เป็นฟรีโปรแกรมสามารถหาได้ที่ Tcl Developer X Change และสามารถทำการแก้ไขให้เหมาะสมกับความต้องการของนักพัฒนาได้

2.8 การออกแบบการทดลอง (The Design of the Experiment)

การออกแบบการทดลองทางสถิติ (Statistical Design of Experiment) หมายถึง กระบวนการในการวางแผนการทดลอง เพื่อจะได้มาซึ่งข้อมูลที่เหมาะสมที่สามารถนำไปใช้วิเคราะห์ โดยวิธีการทางสถิติทำให้ผู้ศึกษาสามารถหาข้อสรุปที่สมเหตุสมผลได้ ส่วนคำว่า การทดลอง (Experiment) หมายถึง การทดสอบ (Test) หรือชุดของการทดสอบที่มีการเปลี่ยนแปลงกับตัวแปรขาเข้า (Input Variable) ของกระบวนการหรือระบบ เพื่อสังเกตหรือบ่งชี้ถึงเหตุการณ์เปลี่ยนแปลงที่จะเกิดขึ้นกับผลตอบสนองขาออก (Output Response) การทดลองส่วนมากจะเกี่ยวข้องกับปัจจัยหลายตัวและหลายวัตถุประสงค์ของผู้ทำการทดลอง ก็คือ หาผลกระทบของปัจจัยเหล่านี้กับผลตอบสนองของระบบ จะเรียกการวางแผนและดำเนินการทดลองว่า กลยุทธ์ของการทดลอง มีวิธีการที่หลากหลายซึ่งผู้ทดลองสามารถเลือกนำไปใช้ได้ ดังนั้นในการวางแผนและดำเนินการทดลองใดๆ จึงจำเป็นจะต้องมีการเลือกใช้กลยุทธ์ของการทดลองให้เหมาะสม ซึ่งในการศึกษานี้จะขอกล่าวถึงเฉพาะกลยุทธ์ที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้เท่านั้นซึ่งแบ่งออกเป็นหัวข้อย่อยดังนี้ การออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียล (Factorial Designs) (เชาวนี สำราญพันธุ์. 2548)

2.8.1 การออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียล (Factorial Designs)

การออกแบบเชิงแฟคทอเรียล หมายถึง การทดลองที่พิจารณาถึงผลที่เกิดจากการรวมกันของระดับ (Level) ของปัจจัยทั้งหมดที่เป็นไปได้ในการทดลองนั้น การทดลองส่วนใหญ่จะเกี่ยวข้อง

กับการศึกษาถึงผลปัจจัย (Factor) ตั้งแต่ 2 ปัจจัยขึ้นไป ในกรณีเช่นนี้การออกแบบเชิงแฟคทอเรียลจะเป็นวิธีการทดลองที่มีประสิทธิภาพสูงสุด เช่น กรณีที่มี 2 ปัจจัย คือ A และ B ถ้าปัจจัย A ประกอบด้วย a ระดับ และปัจจัย B ประกอบด้วย b ระดับ ดังนั้นในการทดลอง 1 การทำซ้ำ (Replicate) จะประกอบด้วยการทดลองร่วมปัจจัยทั้งหมด ab การทดลอง และกล่าวได้ว่าปัจจัยเหล่านี้มีการไขว้ซึ่งกันและกัน เมื่อปัจจัยที่เกี่ยวข้องถูกนำมาจัดให้อยู่ในรูปแบบของการออกแบบเชิงแฟคทอเรียล ผลที่เกิดจากปัจจัยนั้นๆ ซึ่งเรียกว่า ผลหลัก (Main Effect) และในบางการทดลองอาจจะพบว่าความแตกต่างของผลตอบสนองทีเกิดขึ้นบนระดับต่างๆ ของปัจจัยหนึงจะมีค่าไม่เท่ากันที่ระดับอื่นๆ ทั้งหมดของปัจจัยอื่น หมายความว่า ผลตอบสนองของปัจจัยหนึ่งจะขึ้นกับระดับของปัจจัยอื่นๆ นั่นเอง และเรียกเหตุการณ์แบบนี้ว่า Interaction คือ การมีปฏิสัมพันธ์ต่อกันระหว่างปัจจัยที่เกี่ยวข้อง

2.8.2 การออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบสามระดับ (3^K Factorial Designs)

การออกแบบกรณีที่มีปัจจัยที่ต้องพิจารณา k ปัจจัย และปัจจัยทุกตัวประกอบด้วย 3 ระดับ เรียกการออกแบบนี้ว่า การออกแบบเชิงแฟคทอเรียลแบบ 3^k ซึ่งระดับทั้งสามของแต่ละปัจจัยมีค่าเป็น ต่ำ กลาง และสูง สัญลักษณ์ที่ใช้แทนระดับทั้งสามอาจใช้เป็นตัวเลข 0, 1, 2 ตามลำดับ หรือเป็นตัวเลข -1, 0, 1 ก็ได้ ในการทดลองเรพลิเคตที่สมบูรณ์สำหรับการออกแบบเช่นนี้จะประกอบด้วยข้อมูลทั้งสิ้น $3 \times 3 \times 3 \times \ldots \times 3 = 3^k$ ข้อมูล โดยการทดลองร่วมปัจจัยในการออกแบบ 3^k จะแทนด้วยตัวเลข k ตัว ซึ่งตัวเลขตัวแรกแทนระดับของปัจจัย A ตัวเลขตัวที่สองแทนระดับของปัจจัย B, ..., และตัวเลขตัวที่ k แทนระดับของปัจจัย k

2.9 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance : ANOVA)

ในการวิเคราะห์ความแปรปรวนจะเป็นการวิเคราะห์อัตราส่วนความแปรปรวนระหว่างกลุ่ม (Between - Group Variance) และความแปรปรวนภายในกลุ่ม (Within - Group Variance) ความแปรปรวนระหว่างกลุ่มเป็นค่าที่เกิดจากความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระหว่างกลุ่มต่างๆ ถ้าค่าเฉลี่ยระหว่างกลุ่มต่างๆ แตกต่างกันมาก ค่าความแปรปรวนระหว่างกลุ่มก็จะมากตามไปด้วย สำหรับความแปรปรวนภายในกลุ่มเป็นค่าที่แสดงให้เห็นว่าคะแนนแต่ละตัวที่รวบรวมมานั้นภายในแต่ละกลุ่มมีการกระจายมากหรือน้อยค่าที่คำนวณได้ เรียกว่า ความคลาดเคลื่อน

การวิเคราะห์ความแปรปรวนโดยทั่วไปจะใช้เพื่อวิเคราะห์ผลจากการทดลองเชิงแฟคทอเรียล ตัวอย่างเช่น การทดลองเชิงแฟคทอเรียลในกรณีทีมีปัจจัยทีจะทำการศึกษา 2 ปัจจัย คือ A และ B โดยปัจจัย A ประกอบด้วย a ระดับ และปัจจัย B ประกอบด้วย b ระดับ ซึ่งทั้งหมดนี้จะถูกจัดให้อยู่ในรูปของการออกแบบเชิงแฟคทอเรียล นันคือ ในแต่ละเรพลิเคตของการทดลองจะประกอบด้วยในแต่ละเรพลิเคตของการทดลอง ab การทดลอง โดยปกติจะมีจำนวนเรพลิเคตทั้งหมด n ครั้ง รูปแบบทั่วไปของการออกแบบเชิงแฟคทอเรียล 2 ปัจจัยและมีการซ้ำทั้งหมด n ครั้ง เมื่อกำหนดให้ y_{ijk} คือ

ผลตอบสนองที่เกิดจากระดับที่ i ของปัจจัย A (เมื่อ i = 1, 2, ..., n) และลำดับที่ j ของปัจจัย B (เมื่อ j = 1, 2, ..., b) สำหรับเรพลิเคตที่ k (เมื่อ k = 1, 2, ..., n)

บทที่ 3
ขั้นตอนการดำเนินงาน

ปัญหาที่สำคัญอันหนึ่งของระบบการผลิตแบบเซลลูลาร์ (Cellular Manufacturing System : CMS) นี้ คือ ปัญหาการสร้างเซลล์ งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์ในการศึกษาการสร้างเซลล์ เพื่อลดจำนวนการเคลื่อนที่ระหว่างเซลล์ โดยใช้วิธีค้างคาว (Bat Algorithm : BA) โดยมีการพิจารณาความยืดหยุ่นของเส้นทางการผลิต (Routing Flexibility) เข้ามาเกี่ยวข้อง ซึ่งในขั้นตอนแรกจึงต้องมีการศึกษาหลักการของปัญหาการสร้างระบบการผลิตแบบเซลลูลาร์ และต่อมาจึงทำการศึกษาวิธีการแก้ปัญหาของค้างคาว (BA)

3.1 การประยุกต์ใช้วิธีค้างคาว (BA) สำหรับการแก้ปัญหาการสร้างเซลล์ในระบบการผลิตแบบเซลลูลาร์

ในงานวิจัยนี้ได้มีการประยุกต์ใช้วิธีค้างคาว (Bat Algorithm: BA) ในการแก้ปัญหาการสร้างเซลล์ ซึ่งเป็นกระบวนการผลิตแบบเซลลูลาร์ ในส่วนของกระบวนการทำงานนั้นสามารถแบ่งเป็นหัวข้อย่อยตามลำดับการทำงานได้ ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 การกำหนดฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ (Objective Function)

ขั้นตอนที่ 2 การสร้างประชากรเริ่มต้น (Initialize the Bat Population)

ขั้นตอนที่ 3 การกำหนดค่าความถี่ (Frequency)

ขั้นตอนที่ 4 การกำหนดค่าการส่งเสียง A_i และคลื่น r_i เริ่มต้น

ขั้นตอนที่ 5 การหาคำตอบใหม่โดยอาศัยค่าความถี่ และการเปลี่ยนแปลงความเร็ว

ขั้นตอนที่ 6 ขั้นตอนการตัดสินใจเข้าใกล้กลุ่มคำตอบที่ดีที่สุด

ขั้นตอนที่ 7 ขั้นตอนการเลือกคำตอบใหม่

ขั้นตอนที่ 8 ขั้นตอนการตัดสินใจยอมรับคำตอบ

ขั้นตอนที่ 9 ขั้นตอนของการจัดลำดับค่าคำตอบ

จากขั้นตอนข้างต้นเพื่อความเข้าใจในกระบวนการวิธีทำงานของโปรแกรมมากยิ่งขึ้น จึงจะได้มีการยกตัวอย่าง และอธิบายตามแต่ละขั้นตอนที่ได้กล่าวมา ดังต่อไปนี้

Part	1			2		3				4			5				6		
Route	1	2	3	1	2	1	2	3	4	1	2	3	1	2	3	4	1	2	3
Machine																			
1	1	4	1		2	2		1	1		1	3	2	1	4	2		2	
2		2		1	4		1		4	1		2		4	2		1		1
3	2		3		3	4	3	4		2			3			1			
4	4	1		2		3			3		3	1	4		1	4			2
5		3	4	4	1		4	2		3				3			2		
6	3		2	3		1	2		2		2		1	2	3	3		1	3

รูปที่ 3.1 ตัวอย่างโจทย์การแก้ปัญหาการสร้างเซลล์ในระบบการผลิตแบบเซลลูลาร์ โดยใช้วิธีวิธีค้างคาว (BA)

3.1.1 การกำหนดฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Objective Function)

กำหนดฟังก์ชัน f_x = min (min distance + min ระหว่าง Cell)

3.1.2 การสร้างประชากรเริ่มต้น (Initialize the Bat Population)

กำหนดให้มีค้างคาวในการหาคำตอบทั้งหมด 2 ตัว ก็จะได้คำตอบเริ่มต้นทั้งหมด 2 คำตอบ จากการสุ่มหาคำตอบของค้างคาว คือ

X_1 ตำแหน่งเครื่องจักรคือ 1 2 3 4 5 6 มีการเคลื่อนที่ระหว่างเซลล์เท่ากับ 13 ครั้ง

X_2 ตำแหน่งเครื่องจักรคือ 1 6 5 3 2 4 มีการเคลื่อนที่ระหว่างเซลล์เท่ากับ 11 ครั้ง

เพราะฉะนั้น $X_2 = X^*$

3.1.3 การกำหนดค่าความถี่ (Frequency)

ในระยะเริ่มต้นค้างคาวแต่ละตัวจะต้องมีการกำหนดช่วงค่าความถี่ต่ำสุด และค่าความถี่สูงสุด $f_{\min} = f_{\max}$ ในโจทย์ข้อนี้ กำหนดให้มีช่วงของ $f_{\min} = 0, f_{\max} = 1$

3.1.4 การกำหนดค่าการส่งเสียง A_i และคลื่น r_i เริ่มต้น

กำหนดค่าเริ่มต้นในการส่งเสียงให้กับค้างคาวแต่ละตัว A_i^0 มีค่าอยู่ในช่วง [1, 2] และกำหนดให้ค่าเริ่มต้นในการส่งคลื่นของค้างคาวแต่ละตัว r_i^0 มีค่าอยู่ในช่วง [0, 1] (Yang, 2010) ซึ่งในโจทย์นี้มีการกำหนดให้ $A_i^0 = 2$ และ $r_i^0 = 0.3$

3.1.5 การหาคำตอบใหม่โดยอาศัยค่าความถี่และการเปลี่ยนแปลงความเร็ว

จากข้อ 3.1.2 สามารถนำคำตอบมาเปรียบเทียบกันเพื่อหาคำตอบที่ดีที่สุด ($X_2 = X^* = 11$) เพราะฉะนั้นคำตอบของ $X_1 = 13$ ซึ่งมีคำตอบแย่กว่าคำตอบของ X^* ต้องทำเคลื่อนที่หรือปรับปรุงคำตอบให้เข้าใกล้คำตอบที่ดีที่สุด โดยใช้สมการ 2.2 ซึ่งแสดงในบทที่ 2

ซึ่ง β จะหาได้จากการสุ่มแบบ Uniform Distribution ของโปรแกรม แต่ในโจทย์นี้ จะสมมติให้ $\beta = 0.5$ จะได้ว่า $f_i = 0 + (1+0)(0.5)$ เพราะฉะนั้น $f_i = 0.5$ และจะมีการใช้ v_i^t ในการหาว่าค้างคาวแต่ละตัวจะใช้ความเร็วเท่าไรในการเคลื่อนที่ให้เข้าใกล้คำตอบที่ดีที่สุด โดยใช้สมการ 2.3 ซึ่งแสดงในบทที่ 2

ในที่นี้กำหนดให้ $v_i^{t-1} = 0$ ซึ่ง $(x_i^t - x_*)$ จากสมการสามารถหาได้จากวิธีการ Swap Operator ซึ่งเป็นวิธีการย้ายตำแหน่งของคำตอบ เพราะฉะนั้นจากโจทย์จะได้ว่า

สลับตำแหน่งครั้งที่ 1 (2 6) 1 6 3 4 5 2

สลับตำแหน่งครั้งที่ 2 (3 5) 1 6 5 4 3 2

สลับตำแหน่งครั้งที่ 3 (4 3) 1 6 5 3 4 2

สลับตำแหน่งครั้งที่ 4 (4 2) 1 6 5 3 2 4

จะเห็นได้ว่ามีการสลับตำแหน่งคู่ลำดับของคำตอบทั้งหมด 4 ครั้ง นำไปแทนในสมการที่ 2.3 ได้ $v_i^{t-1} = 0 + (4)(0.5) = 2$ หรือประมาณ 2 ครั้ง จากคำตอบที่ได้แสดงให้ทราบว่า คำตอบใหม่มีการเคลื่อนย้ายหรือปรับปรุงคำตอบไป 2 ครั้ง เพราะฉะนั้นคำตอบคือการสลับตำแหน่งคู่ลำดับครั้งที่ 2 นั่นก็ คือ $x_i^t = [1\ 6\ 5\ 4\ 3\ 2] = 13$ ซึ่งค่าคำตอบที่ดีที่สุดยังเป็น $X_2 = X^*$ อยู่

3.1.6 ขั้นตอนการตัดสินใจเข้าใกล้กลุ่มคำตอบที่ดีที่สุด

ขั้นตอนนี้ให้ทำการสุ่มค่า Rand ขึ้นมาใหม่ โดยที่ถ้าหากว่าค่า Rand ที่สุ่มมามีค่าน้อยกว่าค่า r_i เดิม นั่นคือคำตอบเดิมที่ได้คือคำตอบที่ดีที่สุดแล้ว แต่ถ้าในกรณีที่สุ่มค่า Rand มาใหม่แล้วได้ค่าที่มากกว่าค่า r_i เดิม ให้เลือกคำตอบที่ดีที่สุด หรือหากพบว่ามีคำตอบที่ดีที่สุดหลายคำตอบให้ทำการสุ่มเลือกมาเพียง 1 คำตอบจากคำตอบที่ดีที่สุด จากสมการ $x_{new} = x_{old} + \varepsilon A^t$ เช่น จากโจทย์ตัวอย่างกำหนดให้ r_i เดิม = 0.3 และได้ทำการสุ่มค่า Rand ขึ้นมาใหม่ได้ 0.5 ซึ่งกำหนดให้ $\varepsilon = 0.2$ และ $A_i^t = 2$ จึงต้องทำการสุ่มหาคำตอบที่ดีที่สุด โดยแทนค่าในสมการที่ 2.5 จะได้ $x_{new} = 11 + (0.2)(2) = 11.4$ ซึ่งจะเห็นได้ว่าถ้าเทียบกับคำตอบเดิมที่มีค่าคำตอบที่มากกว่า เพราะฉะนั้นให้เลือกคำตอบเดิมเป็นคำตอบที่ดีที่สุด

3.1.7 ขั้นตอนการตัดสินใจยอมรับคำตอบ

ขั้นตอนนี้ได้มีการกำหนดให้มีการพิจารณาเงื่อนไข 2 เงื่อนไข โดยที่เงื่อนไขที่ 1 ให้ทำการสุ่มหาค่า Rand ของ A_i' ขึ้นมาใหม่แล้วต้องมีค่าแล้วกว่าค่า A_i' เดิม และเงื่อนไขที่สองให้พิจารณาผลประเมินค่าคำตอบของค้างคาวตัวปัจจุบัน $f(x)$ มีค่าน้อยกว่าคำตอบของผลการประเมินคำตอบที่ดีที่สุด $f(x)$ โดยถ้าหากทั้งสองเงื่อนไขเป็นจริงให้ทำการยอมรับคำตอบใหม่โดยการปรับปรุงค่าเสียง และคลื่นใหม่จากสมการ 2.6 ซึ่งแสดงในบทที่ 2

3.1.8 ขั้นตอนของการจัดลำดับค่าคำตอบ

เมื่อค้างคาวทุกตัวที่เรากำหนดได้ผ่านกระบวนการหาค่าคำตอบเบื้องต้นมาแล้วจึงนำมาจัดอันดับค่าของค้างคาว และหาค่าคำตอบที่ดีที่สุด

3.2 การสร้างเซลล์ (Cell Formation) ที่มีความยืดหยุ่นของเส้นทางการผลิต (Routing Flexibility)

เนื่องจากงานวิจัยการพัฒนาโปรแกรมการออกแบบการจัดเซลล์ด้วยวิธีค้างคาว (BACL) นี้ ได้มีความยืดหยุ่นของเส้นทางการผลิตเข้ามาเกี่ยวข้องด้วย เพื่อเพิ่มความหลากหลายในการหาคำตอบที่ดีที่สุด ดังตัวอย่างที่จะแสดงดังต่อไปนี้

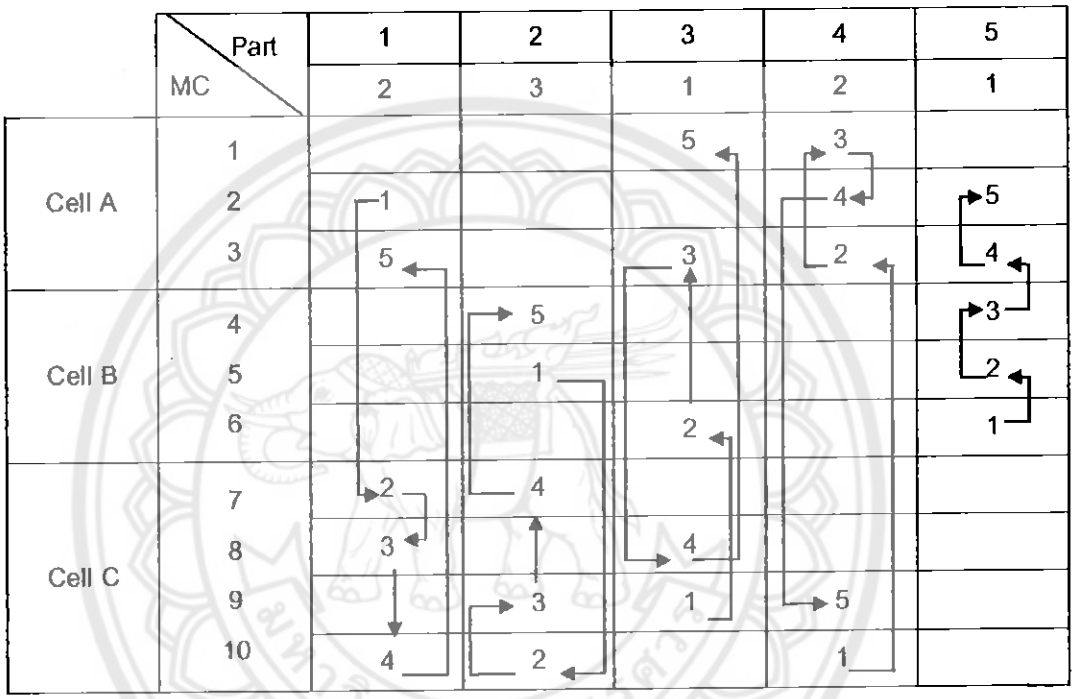
3.2.1 แสดงตัวอย่างโจทย์ปัญหาในการเลือกเส้นทางการผลิต

Part / MC	1			2			3			4			5		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	2		4		2		5			2	3	2		1	5
2		1		3					2		4		5		
3	4	5	5	1	1		3	5	3		2	3	4		
4			2		3	5		4	1				3	5	
5	5		1	4		1				5		1	2		
6	1				4		2	3		4			1		1
7		2		5		4		2				5		3	2
8		3					4	1	4	1		4			3
9	3			2		3	1		5		5			4	4
10		4	3		5	2				3	1			2	

รูปที่ 3.2 แสดงตัวอย่างโจทย์ปัญหาที่มีความยืดหยุ่นของเส้นทางการผลิต

จากรูปที่ 3.2 จะแสดงให้เห็นถึงการเคลื่อนที่ของลำดับการผลิตของแต่ละผลิตภัณฑ์ว่าจะเคลื่อนที่ไปยังเครื่องจักรใดก่อนและหลังตามลำดับ ซึ่งแต่ละผลิตภัณฑ์นั้นจะสามารถเลือกเส้นทางการผลิตได้ 3 ทางที่ไม่เหมือนกัน โดยแต่ละเส้นทางนั้นจะมีจำนวนครั้งในการเคลื่อนที่ข้ามเซลล์มากหรือน้อยแตกต่างกัน แต่ทุกเส้นทางการผลิตจะให้ผลิตภัณฑ์ที่เหมือนกันเมื่อผลิตเสร็จ

3.2.2 แสดงการเลือกเส้นทางการผลิตของแต่ละผลิตภัณฑ์



รูปที่ 3.3 แสดงตัวอย่างการเลือกเส้นทางการผลิตของแต่ละผลิตภัณฑ์

จากรูปที่ 3.3 แสดงให้เห็นถึงการจัดเครื่องจักรเข้าเซลล์ โดยจากตัวอย่างได้ทำการกำหนดจำนวนเซลล์ คือ 3 เซลล์ และแสดงให้เห็นถึงการเลือกเส้นทางการผลิตของแต่ละผลิตภัณฑ์ว่าควรเลือกเส้นทางใดในการผลิตถึงจะมีการเคลื่อนที่น้อยที่สุด หากเส้นทางการผลิตใดมีจำนวนการเคลื่อนที่ข้ามเซลล์เท่ากันให้ทำการสุ่มเลือกเส้นทางการผลิตมาหนึ่งเส้นทาง ดังต่อไปนี้

Call A ประกอบด้วยเครื่องจักร 1 ,2 ,3

Call B ประกอบด้วยเครื่องจักร 4 ,5 ,6

Call C ประกอบด้วยเครื่องจักร 7 ,8 ,9 ,10

3.2.2.1 ผลิตภัณฑ์ที่ 1 เลือกใช้เส้นทางการผลิตที่ 2 มีการเคลื่อนที่ข้ามเซลล์น้อยที่สุด

ก. เส้นทางการผลิตที่ 1 มีจำนวนในการเคลื่อนที่ข้ามเซลล์ เท่ากับ 4 ครั้ง

ข. เส้นทางการผลิตที่ 2 มีจำนวนในการเคลื่อนที่ข้ามเซลล์ เท่ากับ 2 ครั้ง

ค. เส้นทางการผลิตที่ 3 มีจำนวนในการเคลื่อนที่ข้ามเซลล์ เท่ากับ 2 ครั้ง

3.2.2.2 ผลิตภัณฑ์ที่ 2 เลือกใช้เส้นทางการผลิตที่ 3 มีการเคลื่อนที่ข้ามเซลล์น้อยที่สุด

ก. เส้นทางการผลิตที่ 1 มีจำนวนในการเคลื่อนที่ข้ามเซลล์ เท่ากับ 4 ครั้ง

ข. เส้นทางการผลิตที่ 2 มีจำนวนในการเคลื่อนที่ข้ามเซลล์ เท่ากับ 2 ครั้ง

ค. เส้นทางการผลิตที่ 3 มีจำนวนในการเคลื่อนที่ข้ามเซลล์ เท่ากับ 2 ครั้ง

3.2.2.3 ผลิตภัณฑ์ที่ 3 เลือกใช้เส้นทางการผลิตที่ 1 มีการเคลื่อนที่ข้ามเซลล์น้อยที่สุด

ก. เส้นทางการผลิตที่ 1 มีจำนวนในการเคลื่อนที่ข้ามเซลล์ เท่ากับ 4 ครั้ง

ข. เส้นทางการผลิตที่ 2 มีจำนวนในการเคลื่อนที่ข้ามเซลล์ เท่ากับ 2 ครั้ง

ค. เส้นทางการผลิตที่ 3 มีจำนวนในการเคลื่อนที่ข้ามเซลล์ เท่ากับ 2 ครั้ง

3.2.2.4 ผลิตภัณฑ์ที่ 4 เลือกใช้เส้นทางการผลิตที่ 2 มีการเคลื่อนที่ข้ามเซลล์น้อยที่สุด

ก. เส้นทางการผลิตที่ 1 มีจำนวนในการเคลื่อนที่ข้ามเซลล์ เท่ากับ 3 ครั้ง

ข. เส้นทางการผลิตที่ 2 มีจำนวนในการเคลื่อนที่ข้ามเซลล์ เท่ากับ 2 ครั้ง

ค. เส้นทางการผลิตที่ 3 มีจำนวนในการเคลื่อนที่ข้ามเซลล์ เท่ากับ 2 ครั้ง

3.2.2.5 ผลิตภัณฑ์ที่ 5 เลือกใช้เส้นทางการผลิตที่ 1 มีการเคลื่อนที่ข้ามเซลล์น้อยที่สุด

ก. เส้นทางการผลิตที่ 1 มีจำนวนในการเคลื่อนที่ข้ามเซลล์ เท่ากับ 1 ครั้ง

ข. เส้นทางการผลิตที่ 2 มีจำนวนในการเคลื่อนที่ข้ามเซลล์ เท่ากับ 2 ครั้ง

ค. เส้นทางการผลิตที่ 3 มีจำนวนในการเคลื่อนที่ข้ามเซลล์ เท่ากับ 2 ครั้ง

จะได้ค่าการเคลื่อนที่รวมระหว่างเซลล์ เท่ากับ 14 ครั้ง ซึ่งอาจผลลัพธ์คำตอบที่ได้มาจะยังไม่ได้เป็นค่าที่น้อยที่สุด จากการจัดกลุ่มในรูปแบบตามรูปที่ 2.6 นี้ จึงต้องมีการจัดกลุ่มของเซลล์ขึ้นมาใหม่โดยอาจจะต้องมีการย้ายตำแหน่งของเครื่องจักรเพิ่ม หรือลดขนาดของเซลล์ จึงอาจเกิด

ปัญหายุ่งยากตามมาอย่างแน่นอน ซึ่งหากโรงงานไม่มีการสร้างเซลล์การผลิตที่แน่นอน แล้วภายในโรงงานนั้นมีการเคลื่อนที่บ่อยๆ จะทำให้เกิดปัญหาในเรื่องของการบริหารการจัดการ เมื่อการผลิตมีการใช้เครื่องจักรในปริมาณมาก และต้องผลิตชิ้นส่วนในอัตราการผลิตที่สูง ทำให้ประสิทธิภาพการผลิตเป็นไปตามเป้าหมายได้ยาก เพราะฉะนั้นจึงมีการนำเอาการวิธีการแก้ปัญหาแบบ Bat Algorithm เข้ามาช่วยหาคำตอบของรูปแบบการจัดกลุ่มใหม่ เพื่อให้ได้ค่าการเคลื่อนที่รวมระหว่างเซลล์ที่น้อยที่สุดในการจัดวางเครื่องจักร

3.3 ข้อมูลของชิ้นส่วนการผลิต

ในงานวิจัยนี้ได้นำชุดข้อมูลที่เคยถูกใช้ศึกษาจากงานวิจัย เรื่องการพัฒนาโปรแกรมเพื่อแก้ปัญหาการสร้างเซลล์ที่มีความยืดหยุ่นในระบบการผลิตแบบเซลลูลาร์โดยโปรแกรมเจเนติกอัลกอริทึม (GA) โดย นายจักรชัย บรรเทาทุกข์ และนายณัฐพล เหมือนภักตร์ ซึ่งเป็นปริญญานิพนธ์เมื่อปีการศึกษา 2551 โดยใช้เจเนติกอัลกอริทึมในการแก้ปัญหาข้อมูลดังกล่าวจะระบุขนาดของปัญหา จำนวนเครื่องที่ใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์ จำนวนผลิตภัณฑ์ โดยผลิตภัณฑ์แต่ละผลิตภัณฑ์ได้มีการกำหนดความต้องการที่จะใช้งานเครื่องจักรแต่ละเครื่อง ซึ่งข้อมูลทั้งหมดมี 5 ชุด ดังต่อไปนี้

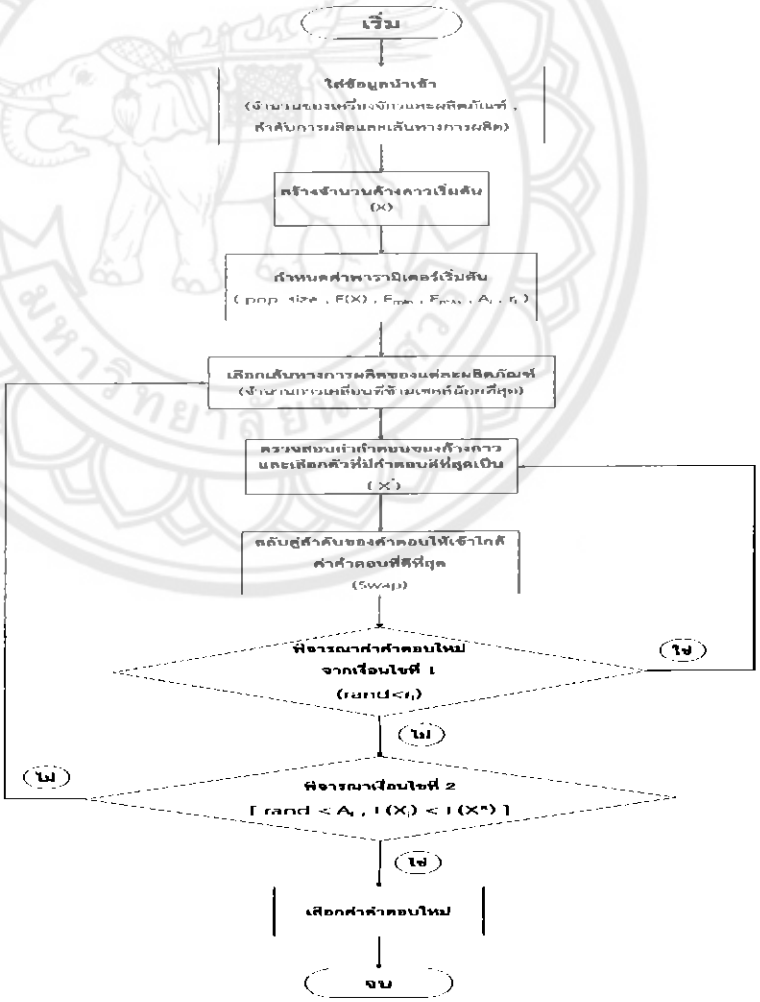
ตารางที่ 3.1 แสดงชุดข้อมูลจำนวนเครื่องจักร และจำนวนผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในงานวิจัย

ชุดข้อมูล	ข้อที่	จำนวนเครื่องจักร (เครื่อง)	จำนวนผลิตภัณฑ์ (ชิ้น)
1	1	6	6
	2	6	6
2	3	8	10
	4	8	10
3	5	10	10
	6	10	10
4	7	20	20
	8	20	20
5	9	24	26
	10	24	26

บทที่ 4
ผลการดำเนินโครงงาน

4.1 ผลการประยุกต์ใช้โปรแกรมการออกแบบการจัดเซลล์ด้วยวิธีค้างคาว (Bat Algorithm Based On Cell Design : BACL) เพื่อแก้ปัญหาการสร้างเซลล์ที่มีความยืดหยุ่นในระบบการผลิตแบบเซลลูลาร์

จากการประยุกต์ใช้โปรแกรมการออกแบบการจัดเซลล์ด้วยวิธีค้างคาว (Bat Algorithm Based On cell Design : BACL) เข้ามาช่วยในการแก้ปัญหาการเคลื่อนที่ระหว่างเซลล์ในระบบกระบวนการผลิตแบบเซลลูลาร์ให้มีการเคลื่อนที่น้อยที่สุด โดยได้แสดงลำดับขั้นตอนกระบวนการของการแก้ปัญหาการสร้างเซลล์ที่มีความยืดหยุ่นในระบบการผลิตแบบเซลลูลาร์ด้วยโปรแกรม BACL ไว้ดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 แผนผังลำดับการทำงานของโปรแกรม BACL

4.1.1 ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม BACL สามารถอธิบายได้ดังนี้ จากรูปที่ 4.1

4.1.1.1 เริ่มต้นโปรแกรมให้ใส่ข้อมูลนำเข้าของปัญหาจากโจทย์ปัญหาขนาดต่างๆ อาทิ เช่น จำนวนเครื่องจักร จำนวนผลิตภัณฑ์ จำนวนเซลล์ ลำดับการผลิต และเส้นทางการผลิต เป็นต้น ดังแสดงในภาคผนวก ข

4.1.1.2 สร้างจำนวนประชากรค้างคาว (X) เริ่มต้น โดยกำหนดให้ค้างคาว 1 ตัว เท่ากับคำตอบ 1 คำตอบ

4.1.1.3 กำหนดค่าพารามิเตอร์เริ่มต้น ซึ่งประกอบด้วย pop_size, F(X), F_{min}, F_{max}, A_i, r_i และ Seed value

4.1.1.4 ทำการเลือกเส้นทางการผลิต ซึ่งจะใช้โปรแกรมในการคำนวณจำนวนการเคลื่อนที่ของทุกเส้นทางการผลิต และเลือกเส้นทางการผลิตที่มีจำนวนการเคลื่อนที่น้อยที่สุดมาหนึ่งเส้นทางของแต่ละผลิตภัณฑ์

4.1.1.5 ปล่อย Bat ไปหาคำตอบของแต่ละตัว จากนั้นตรวจดูคำตอบของทุกตัว แล้วเลือกตัวที่มีคำตอบดีที่สุดเป็น Bat (X^*)

4.1.1.6 ทำการสลับคู่ลำดับของคำตอบของค้างคาว ตัวที่เหลือให้คำตอบมีค่าเข้าใกล้กับ Bat (X^*) มากที่สุด โดยใช้วิธี Swap

4.1.1.7 จากนั้นทำการคำนวณหาค่าการเคลื่อนที่ใหม่ของ Bat แต่ละตัว จากสูตร (2.2), (2.3), (2.4)

4.1.1.8 ทำการสุ่มค่าขึ้นมาเปรียบเทียบกับค่า r_i เพื่อช่วยในการตัดสินใจพิจารณาค่าคำตอบ โดยการ

ก. ถ้าค่าสุ่มมีค่ามากกว่าค่า r_i ให้เลือกคำตอบเดิม

ข. ถ้าค่าสุ่มมีค่าน้อยกว่าค่า r_i ให้พิจารณาเงื่อนไขต่อไป

ค. เปรียบเทียบค่า $f(x^*)$ และ A_i ของค่าคำตอบเดิม กับ ค่า $f(x_i)$ และ A_i ของค่าคำตอบใหม่ โดยการ

ค.1 ถ้า $f(x_i)$ ของค่าใหม่ มีค่าน้อยกว่า $f(x^*)$ และค่าสุ่ม (random) ใหม่มีค่าน้อยกว่าค่า A_i ถ้าทั้งสองเงื่อนไขนี้เป็นจริง ให้ยอมรับค่าคำตองปัจจุบัน

ค.2 ถ้ามีเงื่อนไขใดเงื่อนไขหนึ่งไม่เป็นจริงตามนี้แม้แต่เงื่อนไขเดียว ให้ยอมรับค่าคำตอบเดิม

4.1.1.9 จบกระบวนการทำงานของ Bat

4.2 พารามิเตอร์ที่ใช้ทำการทดสอบโปรแกรม BACL

การวิจัยนี้ได้มีการกำหนดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่เหมาะสมเพื่อใช้ในโปรแกรม BACL โดยได้อ้างอิงค่าพารามิเตอร์ต่างๆ มาจาก Xin-She Yang ซึ่งเป็นผู้คิดค้นพัฒนาการใช้โปรแกรมนี้ขึ้นมา โดยได้จัดทำค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในโปรแกรม BACL ขึ้นมาเพื่อใช้ในการเปรียบเทียบความแตกต่างของค่า

คำตอบที่ดีที่สุดระหว่างโปรแกรม BACL และโปรแกรมเจเนติกอัลกอริทึม (GA) โดยได้อ้างอิงข้อมูลมาจากปริญญานิพนธ์ของ นายจักรชัย บรรเทาทุกข์ และนายณัฐพล เหมือนภักตร์ ซึ่งเป็นปริญญานิพนธ์เมื่อปีการศึกษา 2551 และใช้ในการทดสอบความสามารถในการหาค่าคำตอบจากโจทย์ปัญหาที่มีขนาดใหญ่ขึ้นของโปรแกรม BACL

4.2.1 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบโปรแกรม BACL

4.2.1.1 จำนวนค้างคาวที่ปล่อยออกไปหาคำตอบเท่ากับ 30 ตัว (Population Size : X_i)

4.2.1.2 จำนวนรอบในการหาคำตอบเท่ากับ 200 รอบ (Number of Generation)

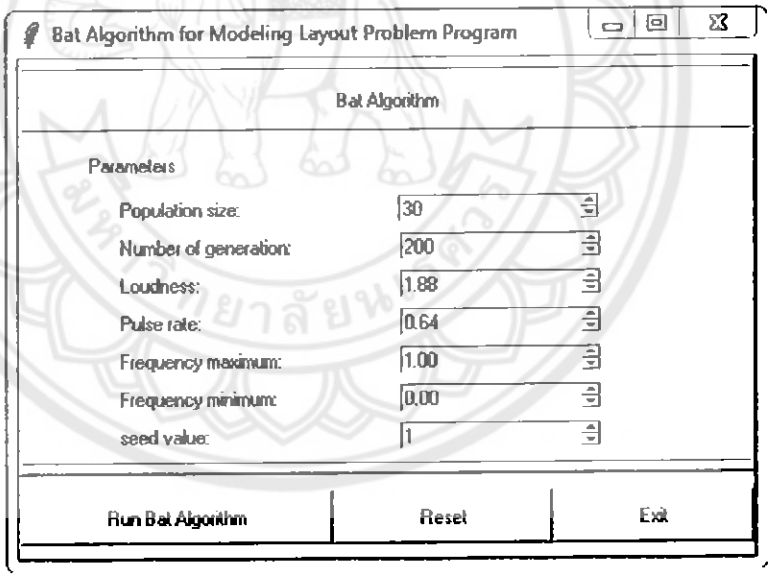
4.2.1.3 ค่าความดังของเสียงมีค่าสุ่มอยู่ในช่วง (0, 1) (Loudness : A_i)

4.2.1.4 ค่าคลื่นเสียงมีค่าสุ่มอยู่ในช่วง (1, 2) (Pulse Rate : r_i)

4.2.1.5 ค่าความถี่ที่สูงที่สุดมีค่าเท่ากับ 1 (Frequency Maximum : F_{max})

4.2.1.6 ค่าความถี่ที่น้อยที่สุดมีค่าเท่ากับ 0 (Frequency Minimum : F_{min})

4.2.1.7 จำนวนครั้งในการทำการทดสอบเท่ากับ 30 ครั้ง สำหรับโจทย์ปัญหาขนาดเล็กและ 5 ครั้งสำหรับโจทย์ปัญหาขนาดใหญ่ (Seed value) ดังแสดงในรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 หน้าต่างแสดงค่าพารามิเตอร์

4.3 ข้อมูลนำเข้าในโปรแกรม BACL

มีข้อมูลนำเข้า หรือ โจทย์ปัญหาที่ใช้ในโปรแกรม BACL ได้มีทั้งหมด 10 โจทย์ปัญหาด้วยกัน ซึ่งแต่ละโจทย์ปัญหาจะมีข้อมูลแตกต่างกันไป จึงได้มีการแสดงข้อมูลนำเข้าเบื้องต้นดังในตารางที่ 4.1 รายละเอียดอ้างอิงมาจากภาคผนวก ข

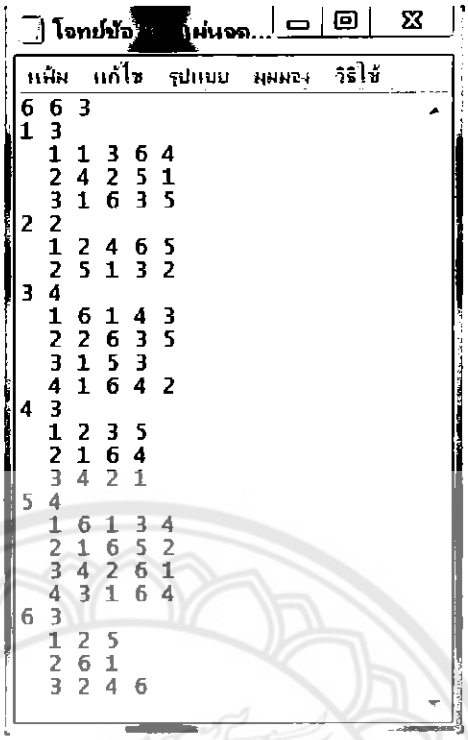
ตารางที่ 4.1 แสดงข้อมูลนำข้าวของโปรแกรม BACL

ลำดับ	ขนาด	จำนวนเซลล์	จำนวนเครื่องจักร	จำนวนผลิตภัณฑ์
1	6×6	3	6	6
2	6×6	3	6	6
3	8×10	4	8	10
4	8×10	4	8	10
5	10×10	5	10	10
6	10×10	3	10	10
7	20×20	5	20	20
8	20×20	7	20	20
9	24×26	8	24	26
10	24×26	11	24	26

จากตารางที่ 4.1 จะแสดงให้เห็นถึงข้อมูลนำเข้าในการใช้ทดสอบโปรแกรมนั้นจะมีทั้งโจทย์ปัญหาขนาดเล็กจนถึงโจทย์ปัญหาขนาดใหญ่ และแต่ละโจทย์ปัญหาก็ได้มีข้อมูลต่างๆ ที่แตกต่างกันออกไปตามความเหมาะสมของโจทย์ปัญหา ทั้งนี้ เพื่อแสดงถึงความสามารถของการหาผลลัพธ์ที่ดีที่สุดในโจทย์ปัญหาทุกขนาดของโปรแกรม BACL

4.3.1 ข้อมูลนำเข้าของแต่ละโจทย์ปัญหา

จากโจทย์ปัญหาขนาดต่างๆ ดังที่แสดงไว้ในภาคผนวก ข ได้จัดทำแปลงจากโจทย์ทางคณิตศาสตร์ให้เป็น Data เพื่อใช้ในการนำเข้าไปใช้ในโปรแกรม BACL ดังจะแสดงตัวอย่างข้อมูลนำเข้าของโจทย์ปัญหาข้อที่ 1 ดังในรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 แสดงตัวอย่างข้อมูลนำเข้า Data ของโจทย์ปัญหาข้อที่ 1

4.4 ผลของการทดสอบโปรแกรม BACL

จากผลการทดสอบโปรแกรมทั้งหมดจำนวน 10 โจทย์ปัญหา ซึ่งสามารถสรุปผลการทดลองโดยรวมของโปรแกรม BACL ได้ดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 แสดงผลสรุปโดยรวมของโปรแกรม BACL

ลำดับ	ขนาด	จำนวนการเคลื่อนที่น้อยที่สุด	จำนวนการเคลื่อนที่มากที่สุด	ค่าเฉลี่ยของการเคลื่อนที่	ค่าเบี่ยงเบนของการเคลื่อนที่
1	6×6	6	6	6.00	0.00
2	6×6	7	8	7.03	0.18
3	8×10	22	22	22.00	0.00
4	8×10	18	20	18.07	0.37
5	10×10	28	31	29.16	1.14
6	10×10	8	10	8.80	1.14
7	20×20	48	57	54.80	3.90
8	20×20	33	38	36.20	1.92
9	24×26	111	117	114.40	2.19
10	24×26	77	81	79.00	1.58

จากตารางที่ 4.2 แสดงผลลัพธ์โดยรวมของปัญหาทั้งหมด 10 ปัญหา โดยจำนวนครั้งที่ทำการทดสอบสำหรับปัญหาข้อที่ 1, 2, 3 และ 4 เท่ากับ 30 ครั้ง และข้อ 5, 6, 7, 8, 9 และ 10 เท่ากับ 5 ครั้ง จะได้ค่าการเคลื่อนที่ระหว่างเซลล์ที่น้อยที่สุดในแต่ละโจทย์ปัญหา รวมถึงจำนวนการเคลื่อนที่มากที่สุดของแต่ละโจทย์ปัญหา และยังสามารถวิเคราะห์ค่าเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนของการเคลื่อนที่ในแต่ละโจทย์ปัญหาได้ โดยจากภาพรวมจะเห็นว่ายิ่งโจทย์ปัญหามีขนาดใหญ่ขึ้น ก็จะมีการเคลื่อนที่ระหว่างเซลล์มากขึ้น รวมถึงจะมีค่าเฉลี่ยและค่าความเบี่ยงเบนของการเคลื่อนที่ในแต่ละครั้งการทำงานของโปรแกรมจะมีโอกาสเกิดขึ้นได้มากกว่าโจทย์ปัญหาขนาดเล็กอีกด้วย เพื่อแสดงให้ชัดเจนยิ่งขึ้นจึงได้ทำการคัดเลือกค่าคำตอบที่ดีที่ไว้ดังตารางที่ 4.3 ซึ่งเป็นตารางสรุปผลลัพธ์ที่ดีที่สุดที่ได้จากการทำงานของโปรแกรม BACL

ตารางที่ 4.3 แสดงผลลัพธ์ที่ดีที่สุดของโปรแกรม BACL

ลำดับ	ขนาด	จำนวนการเคลื่อนที่น้อยที่สุด	ค่าเบี่ยงเบนของการเคลื่อนที่
1	6×6	6	0.00
2		7	0.18
3	8×10	22	0.00
4		18	0.37
5	10×10	28	1.14
6		8	1.14
7	20×20	48	3.90
8		33	1.92
9	24x26	111	2.19
10		77	1.58

จากตารางที่ 4.3 แสดงผลลัพธ์ที่ดีที่สุด และค่าความเบี่ยงเบนของแต่ละโจทย์ปัญหาที่มีโอกาสจะเกิดขึ้น โดยจากค่าผลลัพธ์ในตารางจะพบว่าแต่ละโจทย์ปัญหามีค่าคำตอบที่ดีที่สุดแตกต่างกันไป ซึ่งถึงแม้ว่าจะเป็นโจทย์ปัญหาที่มีขนาดเท่ากัน แต่ก็มีค่าคำตอบที่ต่างกัน เช่น โจทย์ปัญหาข้อที่ 1 และโจทย์ปัญหาข้อที่ 2 ซึ่งเป็นโจทย์ที่มีขนาดเมตริกซ์ จำนวนเครื่องจักร จำนวนผลิตภัณฑ์ รวมถึงจำนวนเซลล์ที่เท่ากันแต่มีเพียงลำดับการผลิต และจำนวนเส้นทางการผลิตที่ไม่เท่ากัน ผลลัพธ์คำตอบการเคลื่อนที่ระหว่างเซลล์ที่ออกมาจึงไม่เท่ากันด้วย ซึ่งคำตอบการเคลื่อนที่ระหว่างเซลล์ของโจทย์ปัญหาข้อที่ 1 ได้เป็น 6 และคำตอบการเคลื่อนที่ระหว่างเซลล์ของโจทย์ข้อที่ 2 ได้เป็น 7 เห็นได้ชัดว่าคำตอบของโจทย์ปัญหาข้อที่ 1 มีการเคลื่อนที่ระหว่างเซลล์น้อยกว่าโจทย์ปัญหาข้อที่ 2 เป็นต้น แต่เราไม่สามารถนำคำตอบของทั้งสองมาเปรียบเทียบกันได้เพราะแต่ละโจทย์ปัญหามีลำดับการผลิตและมีจำนวนเส้นทางการผลิตที่ต่างกัน ซึ่งขึ้นอยู่กับโจทย์ปัญหานั้นๆ

4.5 เปรียบเทียบความแตกต่างของผลลัพธ์ระหว่างโปรแกรมการออกแบบการจัดเซลล์ด้วยวิธีค้างคาว (Bat Algorithm Based On Cell Design : BACL) และโปรแกรมเจเนติก (Genetic Algorithm : GA)

การวิจัยครั้งนี้ได้นำเอาค่าผลลัพธ์ของค่าผลลัพธ์ของโปรแกรม BACL ที่ดีที่สุดของแต่ละโจทย์ปัญหา นำไปเปรียบเทียบกับค่าผลลัพธ์ของโปรแกรมเจเนติกอัลกอริทึม (GA) ซึ่งใช้โจทย์ปัญหาเดียวกันในการหาผลลัพธ์ของค่าคำตอบ เพื่อให้ได้ค่าคำตอบในการเคลื่อนที่ระหว่างเซลล์น้อยที่สุดเช่นเดียวกัน แต่วิธีการหาคำตอบของโปรแกรมทั้งสองจะต่างกัน เพื่อให้เห็นภาพชัดเจนจึงได้นำผลลัพธ์ของทั้งสองโปรแกรมมาเปรียบเทียบกัน เพื่อดูว่าค่าคำตอบที่ได้จากโปรแกรม BACL จะให้ค่าผลลัพธ์ดีกว่าค่าคำตอบของโปรแกรมเจเนติกอัลกอริทึม (GA) หรือไม่

เนื่องจากมีการกำหนดจำนวนเซลล์ของแต่ละโจทย์ปัญหาในการหาค่าคำตอบของทั้งสองโปรแกรมต่างกัน จึงทำให้สามารถนำค่าคำตอบที่ดีที่สุดของทั้งสองโปรแกรมมาเปรียบเทียบกันได้เพียง 4 โจทย์ปัญหาเท่านั้น ส่วนค่าคำตอบของโจทย์ปัญหาที่เหลืออีก 6 โจทย์ปัญหานั้นจะไม่ถูกนำมาเปรียบเทียบ แต่จะทำการวิเคราะห์คำตอบให้เห็นถึงความสามารถของโปรแกรมที่สามารถหาค่าคำตอบที่ดีที่สุดได้ ถึงแม้จะเป็นโจทย์ปัญหาขนาดใหญ่ก็ตาม

4.5.1 วิเคราะห์ความแตกต่างของผลลัพธ์ของโปรแกรม BACL และโปรแกรมเจเนติกอัลกอริทึม (GA)

ตารางที่ 4.4 เปรียบเทียบผลลัพธ์ของโปรแกรม BLCA และโปรแกรม GA

ข้อมูล	โจทย์ข้อที่ 1		โจทย์ข้อที่ 2		โจทย์ข้อที่ 3		โจทย์ข้อที่ 4	
	BACL	GA	BACL	GA	BACL	GA	BACL	GA
จำนวนการเคลื่อนที่สูงสุด (ครั้ง)	6	19	8	13	22	44	20	52
จำนวนการเคลื่อนที่ต่ำสุด (ครั้ง)	6	3	7	4	22	21	18	15
ค่าเฉลี่ยของการเคลื่อนที่	6	10.3	7.03	10.27	22	32.47	18.07	25.63
ค่าเบี่ยงเบนของการเคลื่อนที่	0	0.7	0.18	0.4	0	1.1	0.37	1.4

จากตารางแสดงผล (4.4), (4.5), (4.6), (4.7) ปรากฏว่าค่าการเคลื่อนที่ ค่าเฉลี่ย รวมถึงค่าเบี่ยงเบนของการเคลื่อนที่ จากการทดสอบของโปรแกรม BACL มีผลลัพธ์ที่แตกต่างกับค่าผลลัพธ์ที่ได้จากการทดสอบของโปรแกรมเจเนติกอัลกอริทึม (GA) ค่อนข้างมาก ซึ่งจะเห็นว่าส่วนมากค่าคำตอบโดยรวมที่ได้จากโปรแกรม BACL มักจะดีกว่าผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรมเจเนติกอัลกอริทึม

(GA) แต่ค่าการเคลื่อนที่ระหว่างเซลล์ที่น้อยสุดจากการทดสอบของโปรแกรม BACL ยังมีค่ามากกว่าผลลัพธ์ที่ได้จากการทดสอบของโปรแกรมเจเนติกอัลกอริทึม (GA) และเนื่องจากทั้งสองโปรแกรมมีขั้นตอนและรูปแบบวิธีการหาค่าผลลัพธ์ที่ต่างกัน ดังนั้นค่าผลลัพธ์ที่นำมาเปรียบเทียบของทั้งสองโปรแกรมจึงแตกต่างกันไป ซึ่งบางรูปแบบของแต่ละโปรแกรมอาจจะมีข้อจำกัดที่แตกต่างกัน

4.5.2 วิเคราะห์ค่าผลลัพธ์ของความสามารถโปรแกรม BACL ของโจทย์ขนาดใหญ่

การวิจัยนี้มีโจทย์ปัญหาจำนวน 6 โจทย์ปัญหาซึ่งถือว่าเป็นโจทย์ปัญหาขนาดใหญ่ จากทั้งหมด 10 โจทย์ปัญหาที่ไม่ได้นำมาเปรียบเทียบกับโปรแกรมเจเนติกอัลกอริทึม (GA) ถึงแม้จะเป็นโจทย์ปัญหาเดียวกันก็ตาม เนื่องจากมีการกำหนดจำนวนเซลล์ที่แตกต่างกัน ดังนั้นจึงไม่สามารถนำเปรียบเทียบกันได้ แต่จะนำมาวิเคราะห์ดูถึงความสามารถของโปรแกรม BACL ว่าจะให้ค่าผลลัพธ์เป็นอย่างไร ดังนี้

ตารางที่ 4.5 วิเคราะห์ผลลัพธ์ของความสามารถโปรแกรม BACL

ลำดับของโจทย์ปัญหา	ขนาดของเมตริกซ์	จำนวนเซลล์	จำนวนการเคลื่อนที่ข้ามเซลล์ (ครั้ง)			
			น้อยที่สุด	มากที่สุด	ค่าเฉลี่ยของการเคลื่อนที่	ค่าเบี่ยงเบนของการเคลื่อนที่
5	10×10	5	28	31	29.16	1.14
6		3	8	10	8.80	1.14
7	20×20	5	48	57	54.80	3.90
8		7	33	38	36.20	1.92
9	24×26	8	111	117	114.40	2.19
10		11	77	81	79.00	1.58

จากตารางที่ 4.5 แสดงให้เห็นว่าโปรแกรม BACL สามารถใช้ในการหาค่าผลลัพธ์ของโจทย์ปัญหาที่มีขนาดใหญ่ได้เป็นอย่างดี ซึ่งจากตารางจะสามารถสรุปได้ดังนี้ โจทย์ปัญหายิ่งใหญ่ขึ้นจะมีค่าการเคลื่อนที่ ค่าเฉลี่ย ค่าเบี่ยงเบนของการเคลื่อนที่จะมีค่ามากขึ้นด้วย เช่น โจทย์ปัญหาข้อที่ 9 มีค่าการเคลื่อนที่ระหว่างเซลล์มากที่สุดเท่ากับ 117 ค่าการเคลื่อนระหว่างเซลล์น้อยที่สุดเท่ากับ 111 ค่าเฉลี่ยของการเคลื่อนที่มีค่าเท่ากับ 114.40 ค่าเบี่ยงเบนของการเคลื่อนที่มีค่าเท่ากับ 2.19 ซึ่งมีค่ามากกว่าโจทย์ปัญหาข้อที่ 10 ที่มีค่าการเคลื่อนระหว่างเซลล์มากที่สุดเท่ากับ 81 ค่าการเคลื่อนระหว่างเซลล์น้อยที่สุดเท่ากับ 77 ค่าเฉลี่ยของการเคลื่อนที่มีค่าเท่ากับ 79.00 ค่าเบี่ยงเบนของการเคลื่อนที่มีค่าเท่ากับ 1.58 ซึ่งเป็นโจทย์ปัญหาที่มีขนาดใหญ่ที่สุด แต่มีค่าผลลัพธ์ที่แตกต่างกันมาก

ทั้งๆที่มีขนาดเมตริกซ์เท่ากัน แต่มีจำนวนเซลล์ จำนวนผลิตภัณฑ์ จำนวนเครื่องจักร ลำดับการผลิต และจำนวนเส้นทางการผลิตที่แตกต่างกัน จึงไม่สามารถนำค่าคำตอบของแต่ละโจทย์ปัญหามาเปรียบเทียบกันได้ ซึ่งต้องขึ้นอยู่กับข้อมูลนำเข้าของแต่ละปัญหาด้วย

เนื่องจากโปรแกรมที่ใช้ทดสอบหาผลลัพธ์มีเวลาเข้ามาเกี่ยวข้องในการทำงานของโปรแกรม การวิจัยจึงมีการเปรียบเทียบเรื่องเวลาระหว่างโปรแกรม BACL และโปรแกรม GA ด้วย ดังนั้นจึงสามารถสรุปเวลาที่ใช้ในการทดสอบโปรแกรมในแต่ละปัญหาได้ ดังนี้

ตารางที่ 4.6 แสดงเวลาเฉลี่ยในการหาคำตอบของวิธี BACL

ขนาด	เวลาเฉลี่ยที่ใช้ในการทดสอบโปรแกรม BACL (sec.)
6x6	9.00
8x10	24.60
10x10	48.60
20x20	198.00
24x26	499.80

จากตารางที่ 4.6 แสดงให้เห็นถึงเวลาเฉลี่ยที่ใช้ในการทดสอบโปรแกรม BACL ในแต่ละขนาดโจทย์ปัญหา จะเห็นว่าเมื่อโจทย์ปัญหามีขนาดใหญ่ขึ้นเวลาที่ใช้ในการทดสอบจะมากขึ้นตามไปด้วย ซึ่งดูโดยรวมแล้วจะพบว่าในการหาค่าผลลัพธ์ในแต่ละรอบถือว่าใช้เวลาไม่มากนักในการทดสอบของโปรแกรม BACL

บทที่ 5

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการดำเนินโครงงาน

จากการดำเนินงานในการจัดทำการทดสอบโปรแกรมการออกแบบการจัดเซลล์ด้วยวิธีค้างคาว (Bat Algorithm Based On Cell Design : BACL) เพื่อการแก้ปัญหาการสร้างเซลล์ที่มีความยืดหยุ่นในระบบการผลิตแบบเซลลูลาร์ ได้มีการนำเอาข้อมูลของปัญหาดังภาคผนวก ข มาใช้ในการทดสอบโปรแกรม โดยข้อมูลเหล่านี้ได้อ้างอิงมาจากปริญญานิพนธ์ของนายจักรชัย บรรเทาทุกข์ และนายณัฐพล เหมือนภักตร์ ซึ่งเป็นปริญญาเมื่อปีการศึกษา 2551 แต่จะมีความแตกต่างกันตรงที่โจทย์ปัญหาบางโจทย์ปัญหามีการกำหนดจำนวนนำเข้าของเครื่องจักรในเซลล์ต่างกัน และการใช้โปรแกรมในการทดสอบที่แตกต่างกัน เพื่อต้องการนำค่าผลลัพธ์ที่ได้มาเปรียบเทียบกันว่าโปรแกรมใดจะให้ผลลัพธ์ค่าการเคลื่อนที่ระหว่างเซลล์ที่น้อยที่สุด

5.1.1 งานวิจัยนี้ทำให้เกิดโปรแกรมการออกแบบการจัดเซลล์ด้วยวิธีค้างคาว BACL ที่สามารถนำมาช่วยแก้ปัญหาการสร้างเซลล์ที่มีความยืดหยุ่นในกระบวนการผลิตแบบเซลลูลาร์ เพื่อหาการเคลื่อนที่ระหว่างเซลล์ให้น้อยที่สุด

5.1.2 วิธีค้างคาว (BA) ได้มีการกำหนดค่าพารามิเตอร์ต่างๆในการทดสอบโปรแกรม ดังในบทที่ 4 ซึ่งค่าพารามิเตอร์เหล่านี้ได้อ้างอิงมาจาก Xin - She Yang ซึ่งเป็นผู้คิดค้นพัฒนาการใช้วิธีค้างคาว (BA) นี้ขึ้นมา ทำให้ค่าผลลัพธ์ที่ออกมามีค่าค่อนข้างดี ถึงแม้ว่าพารามิเตอร์ที่ใช้อาจจะไม่ใช่ค่าที่เหมาะสมที่สุดก็ตาม

5.1.3 จากการเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้จากวิธีค้างคาว (BA) และผลลัพธ์ที่ได้จากวิธี (GA) สามารถสรุปได้ว่า ผลโดยรวมส่วนใหญ่แล้วค่าผลลัพธ์ที่ได้จากวิธีค้างคาว (BA) จะดีกว่าผลลัพธ์ที่ได้จากวิธี (GA) แต่ผลลัพธ์ของการเคลื่อนที่ระหว่างเซลล์ของวิธีค้างคาวมีผลลัพธ์ที่แย่กว่าผลลัพธ์ที่ได้จากวิธี (GA)

5.1.4 ผลลัพธ์ที่ได้จากการทดสอบโปรแกรมด้วยวิธีค้างคาว (BA) โจทย์ปัญหาที่ (5, 6, 7, 8, 9, 10) ซึ่งเป็นโจทย์ปัญหาขนาดปานกลางถึงโจทย์ปัญหาขนาดใหญ่ ในส่วนนี้ไม่ได้มีการนำไปเปรียบเทียบกับการทดสอบด้วยวิธีการอื่น จึงถือว่าเป็นการทดสอบความสามารถในการหาค่าผลลัพธ์จากโจทย์ปัญหาขนาดใหญ่ด้วยวิธีการค้างคาว (BA) ได้โดยตรง จึงสามารถสรุปผลได้ว่า ยิ่งโจทย์ปัญหามีขนาดใหญ่ขึ้น ก็จะมีค่าการเคลื่อนที่ระหว่างเซลล์ รวมถึงค่าเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนของการเคลื่อนที่จะมีค่ามากขึ้นด้วย ถึงแม้ว่าบางโจทย์ปัญหาจะมีขนาดเมตริกซ์ หรือ จำนวนเครื่องจักร และจำนวนผลิตภัณฑ์ที่เท่ากัน แต่ผลลัพธ์ที่ได้แตกต่างกัน เนื่องจากอาจมีผลมาจากมีลำดับการผลิตและจำนวนเส้นทางการผลิตที่แตกต่างกัน จึงทำให้ค่าผลลัพธ์ที่ออกมาไม่เท่ากัน

5.1.5 การที่ค่าผลลัพธ์ที่ได้จากวิธีการหาคำตอบด้วยวิธีค้างคาวมีค่าการเคลื่อนที่ระหว่างเซลล์มากกว่าค่าผลลัพธ์ที่ได้จากวิธี (GA) อาจเกิดจากปัจจัยเหล่านี้

5.1.5.1 การกำหนดจำนวนค้างคาวค่อนข้างน้อยถ้าเทียบกับโจทย์ปัญหา ซึ่งค้างคาว 1ตัว มีโอกาสเลือกคำตอบได้เยอะ จึงทำให้อาจได้ค่าผลลัพธ์ที่อาจไม่ดีเท่าที่ควร

5.1.5.2 การหาผลลัพธ์ด้วยวิธีค้างคาวได้ใช้การสลับคู่ลำดับในการหาค่าคำตอบใหม่ ซึ่งไม่มีในการหาผลลัพธ์ด้วยวิธี (GA) จึงอาจทำให้ค่าผลลัพธ์ที่ออกมามีค่าแย่กว่า

5.1.5.3 เนื่องจากการหาผลลัพธ์ด้วยวิธีค้างคาวจะใช้การสุ่มค่าต่างๆ ด้วยค่า Rand ในการหาผลลัพธ์ของแต่ละรอบเป็นส่วนใหญ่ จึงอาจทำให้ไม่ได้ค่าคำตอบที่ดีที่สุด

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ลำดับการทำงานของเครื่องจักรไม่มีการวนกลับมาทำงานซ้ำเครื่องเดิม ซึ่งอาจจะเป็นข้อจำกัดในการนำวิธีการแก้ปัญหานี้ไปใช้กับการแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นจริง เนื่องจากโปรแกรมไม่ได้ถูกออกแบบมาให้ทำการวนซ้ำเครื่องเดิมได้

5.2.2 อาจมีการเพิ่มจำนวนรอบในการทดสอบหาผลลัพธ์ของการใช้โปรแกรมด้วยวิธีค้างคาว (BA) เนื่องจากยิ่งมีจำนวนรอบในการทดสอบมากก็จะทำให้มีการคัดเลือกค่าผลลัพธ์ได้ดียิ่งขึ้น

เอกสารอ้างอิง

กิตติ กองบัวแก้ว. (2553). **การบริหารการผลิต (Production Management).** กรุงเทพฯ : โอเดียนสโตร์

เกียรติศักดิ์ จันทร์แดง. (2549). **การบริหารการผลิตและการปฏิบัติการ (Production and Operation Management).** กรุงเทพฯ : วิตตี้กรุ๊ป

จักรชัย บรรเทาทุกข์, และคณะ. (2551). **"การพัฒนาโปรแกรมเพื่อแก้ปัญหาการสร้างเซลล์ที่มีความยืดหยุ่นในระบบการผลิตแบบเซลลูลาร์โดยวิธีเจเนติกอัลกอริทึม."** วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต มหาวิทยาลัยนเรศวร

เบญจมาส เปาะทอง, และคณะ. (2553). **การจัดการงานผลิตและการบริการเพื่อการพัฒนา** กรุงเทพฯ : เอ็กซเปอร์เน็ท

วันชัย ริจิรวนิช. (2541). การออกแบบผังโรงงาน. สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิชัย แหวนเพชร. (2547). **การวางแผนและควบคุมการผลิต (Production Planning and Control).** หจก.ธรรกมลการพิมพ์

สนธยา แพ่งศรีสาร. การบริหารการผลิตในอุตสาหกรรม. การศึกษาค้นคว้าด้วนตนเอง. ภาควิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์. สืบค้นเมื่อ 20 ก.ค. 2555, จาก http://www.nsru.ac.th/e-learning/sonthaya/main.html

Quarterman Lee. (2007). **Cellular Manufacturing System.** สืบค้นเมื่อ 20 ก.ค. 2555, จาก http://www.strategosinc.com/cellular_manufacturing.htm

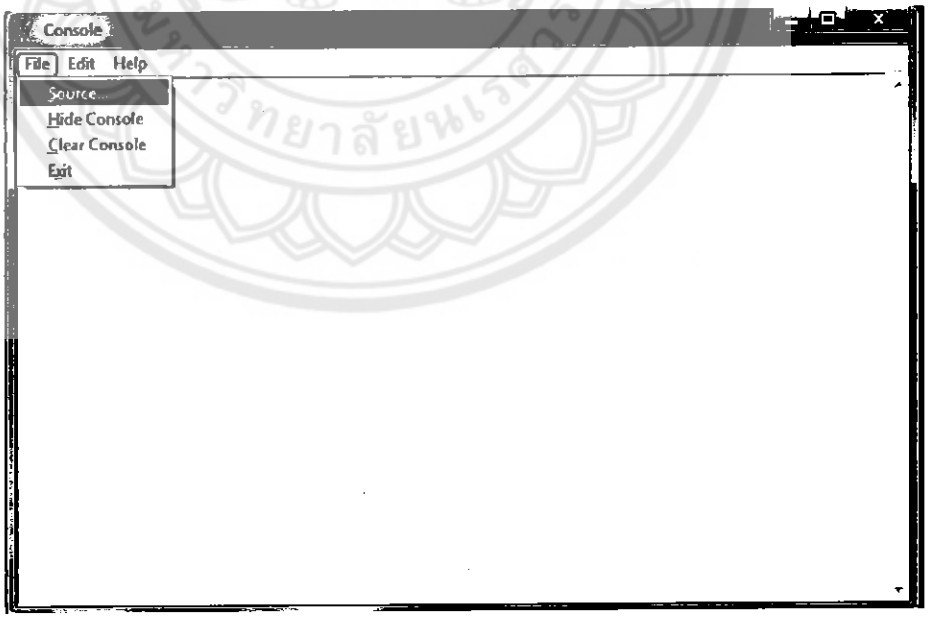
ภาคผนวก ก
คู่มือการใช้โปรแกรม BACL

ขั้นตอนการใช้โปรแกรม BACL

1. ดับเบิ้ลคลิ้กที่ BACL.td

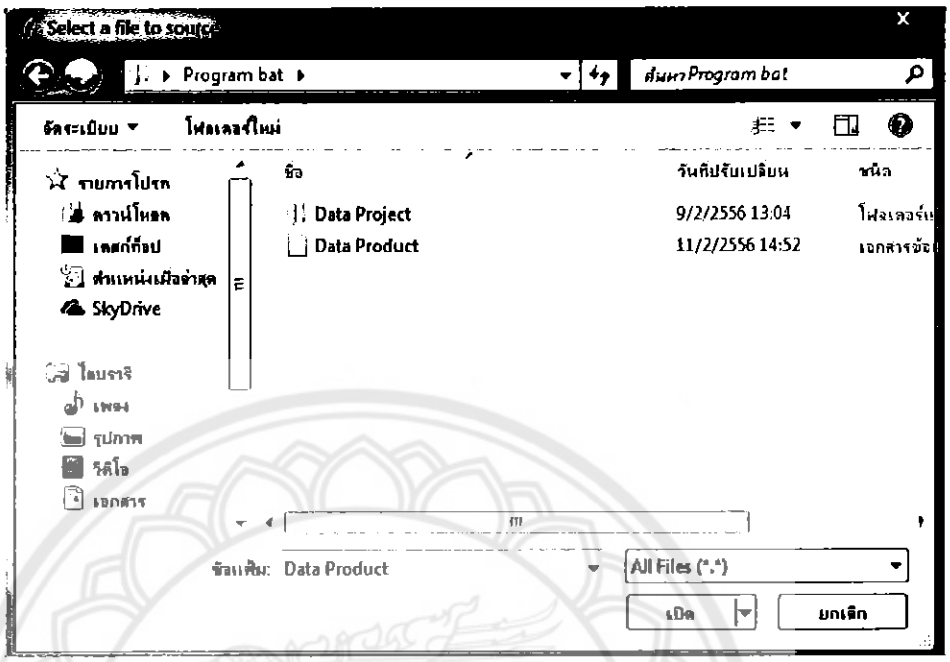
รูปที่ ก.1

2. คลิ้กที่ File แล้วไปเลือกที่ Source



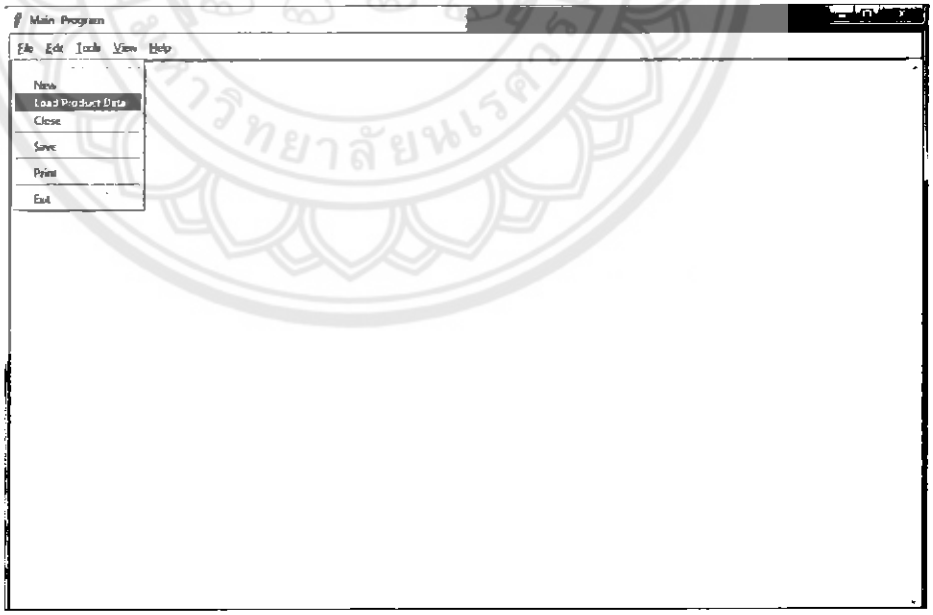
รูปที่ ก.2

3. เลือก File ที่เป็น Data Product ที่เขียนขึ้นมาสำหรับใช้ในการทดสอบโปรแกรม BACL BACL



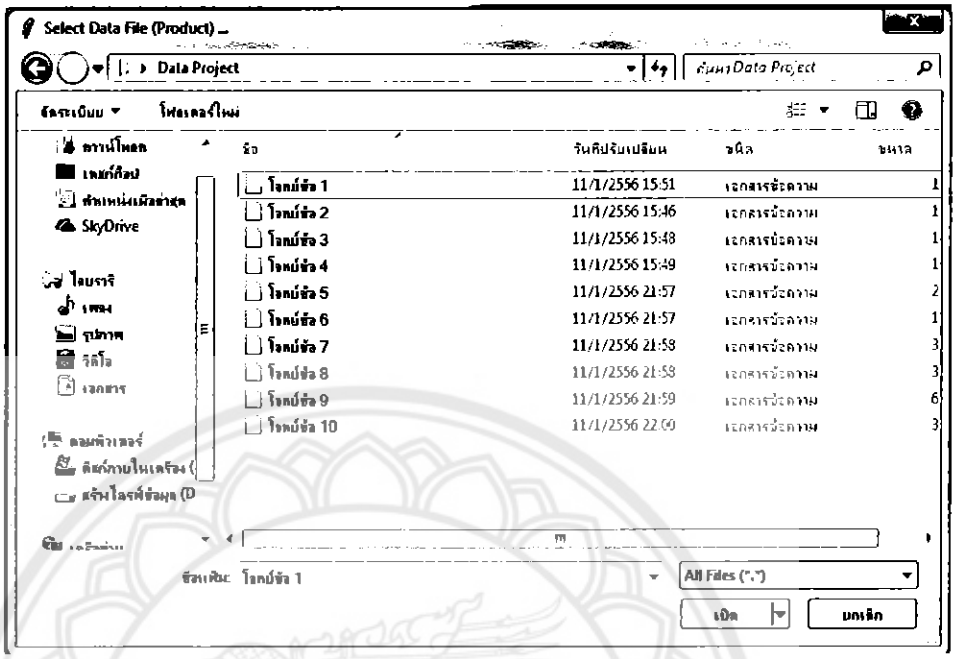
รูปที่ ก.3

4. จะปรากฏตาราง Main Program ขึ้นมา ให้เลือกไปที่ Load Product Data



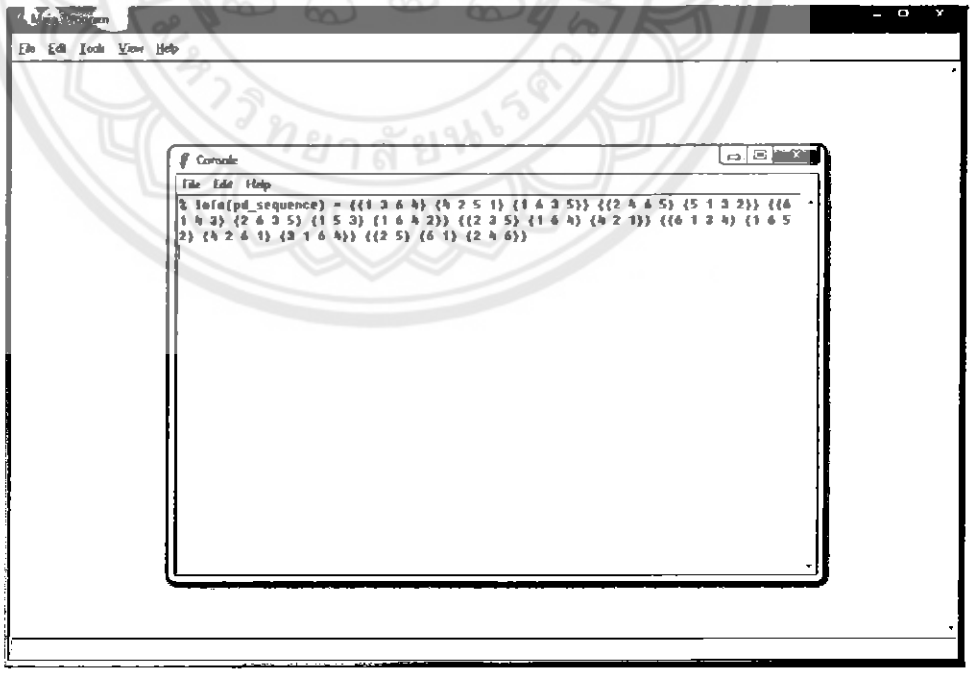
รูปที่ ก.4

5. จากนั้นก็ให้เลือกข้อมูลของโจทย์ปัญหาที่เราต้องการใช้ในการทดสอบโปรแกรม BACL BACL



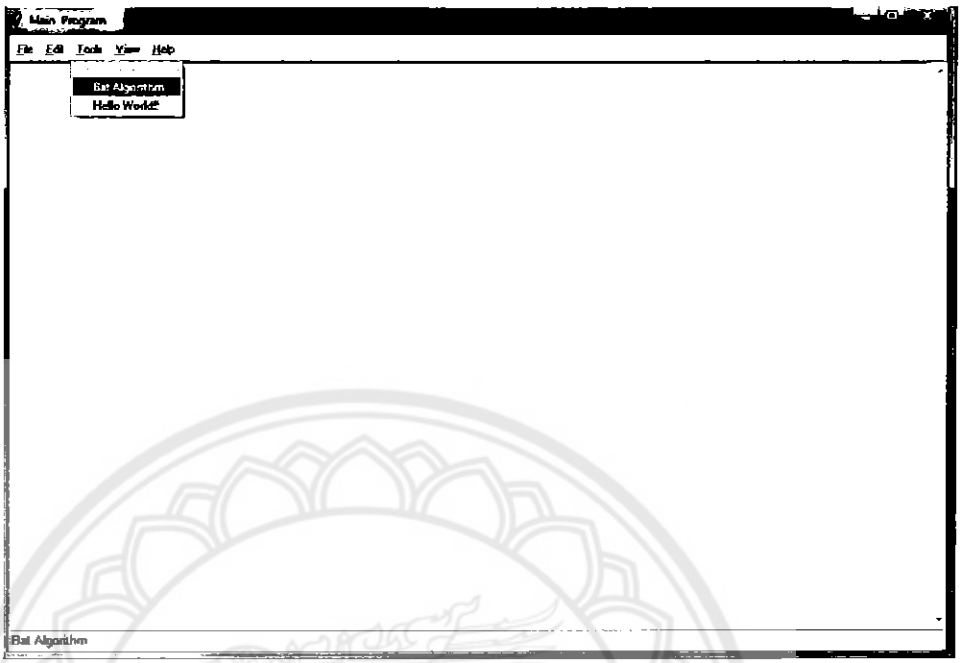
รูปที่ ก.5

5.1 จะปรากฏหน้าต่าง Console ขึ้นมาให้ทราบข้อมูลของโจทย์นั้นๆ



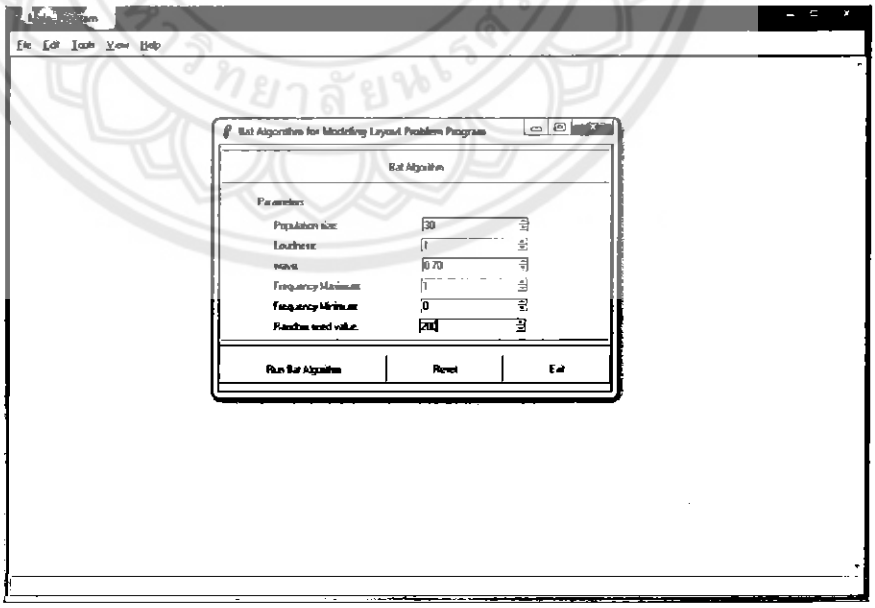
รูปที่ ก.6

6. จากนั้นเลือกคำสั่ง Tools แล้วคลิ้กเลือก Bat Algorithm



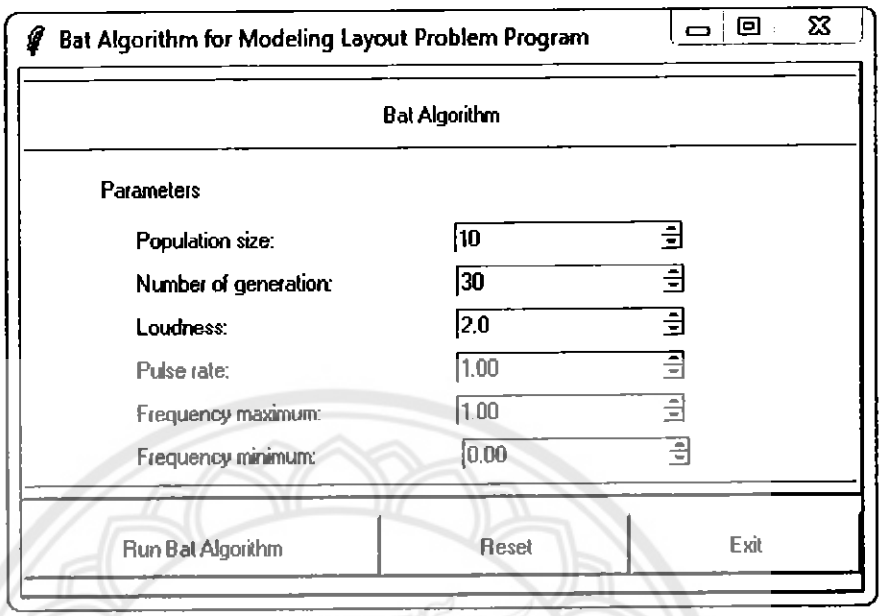
รูปที่ ก.7

7. จะปรากฏหน้าตารางพารามิเตอร์ขึ้นมา ให้ผู้ใช้เลือกใช้ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ตามความเหมาะสมในที่นี้ ทางผู้จัดทำได้กำหนดให้มีการกำหนดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ไว้ดังรูป



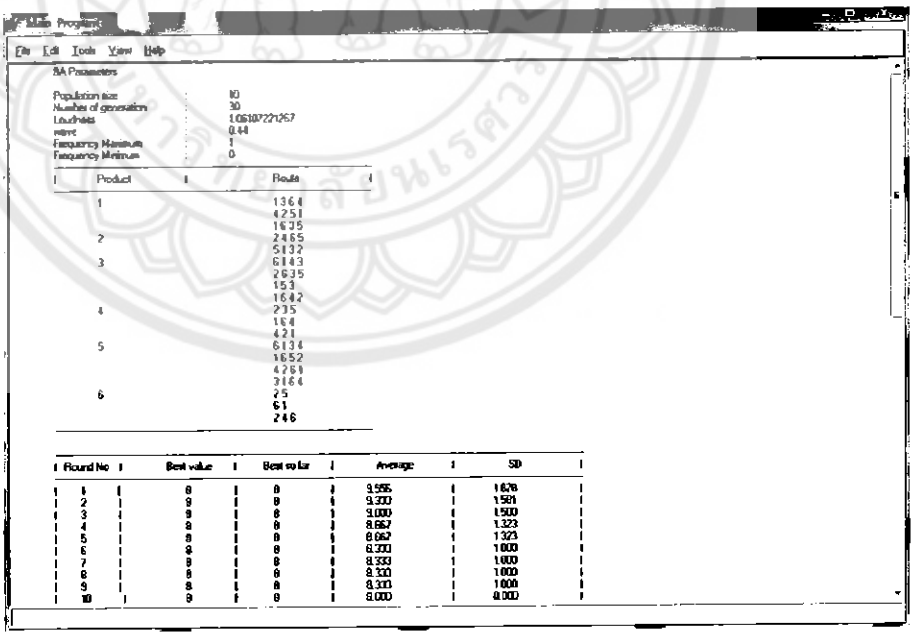
รูปที่ ก.8

8. เมื่อเลือกค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ครบแล้ว ให้คลิ้ก Run Bat Algorithm



รูปที่ ก.9

9. โปรแกรม BACLจะแสดงผลของค่าคำตอบออกมาในรูปของตารางแสดงผล



รูปที่ ก.10

ภาคผนวก ข
ข้อมูลที่ใช้ในการทดสอบ

1. ข้อมูลที่ใช้ในการทดสอบและผลการทดสอบ

ในส่วนนี้ได้มีการกล่าวถึงความจำเป็นที่ต้องศึกษาข้อมูลต่างๆ เพื่อนำไปใช้ในการทดสอบโปรแกรม BACL ในการหาค่าคำตอบที่มีการเคลื่อนที่สั้นที่สุด โดยมีค่าพารามิเตอร์ต่างๆ เป็นตัวแปร และยังมีข้อมูลอื่นๆ ที่จำเป็นในการใช้ทดสอบโปรแกรม BACL ทั้งนี้เพื่อความถูกต้องในการทดสอบโปรแกรม BACL และลดความผิดพลาดที่จะเกิดขึ้นในการหาค่าคำตอบที่ดีที่สุด

2. ข้อมูลของค่าพารามิเตอร์ที่ต้องนำมาใช้แทนปัญหาในการวิเคราะห์

2.1 จำนวนเครื่องจักรทั้งหมดที่ใช้งาน

2.2 จำนวนชิ้นส่วนของผลิตภัณฑ์ทั้งหมดที่ต้องการวิเคราะห์

2.3 จำนวนเส้นทางการผลิตของแต่ละชิ้นส่วนผลิตภัณฑ์

2.4 ลำดับขั้นตอนการผลิตของแต่ละเส้นทางการผลิต

2.5 จำนวนกลุ่มเซลล์ที่ต้องการแบ่งจัดกลุ่มของแต่ละโจทย์ปัญหา

3. ขอบเขตของตัวโปรแกรม BACL

3.1 ลำดับการทำงานของเครื่องจักรไม่มีการวนกลับมาทำงานซ้ำ

3.2 เลขลำดับขั้นตอนการผลิตต้องถูกต้อง และไม่มีการเว้น หรือ ข้าม

4. ตัวอย่างของปัญหาที่นำมาใช้ในการทดสอบโปรแกรม BACL

ขนาดของโจทย์ปัญหาที่นำมาใช้ในการทดสอบโปรแกรม BACL ประกอบไปด้วยโจทย์ปัญหาขนาดต่างๆ ดังนี้

ขนาด (6×6) มี 3 กลุ่มเซลล์ จำนวน 2 โจทย์ปัญหา

ขนาด (8×10) มี 4 กลุ่มเซลล์ จำนวน 2 โจทย์ปัญหา

ขนาด (10×10) มี 3 กลุ่มเซลล์ จำนวน 1 โจทย์ปัญหา

ขนาด (10×10) มี 5 กลุ่มเซลล์ จำนวน 1 โจทย์ปัญหา

ขนาด (20×20) มี 5 กลุ่มเซลล์ จำนวน 1 โจทย์ปัญหา

ขนาด (20×20) มี 7 กลุ่มเซลล์ จำนวน 1 โจทย์ปัญหา

ขนาด (24×26) มี 8 กลุ่มเซลล์ จำนวน 1 โจทย์ปัญหา

ขนาด (24×26) มี 11 กลุ่มเซลล์ จำนวน 1 โจทย์ปัญหา

จากตัวอย่างของโจทย์ปัญหาขนาดต่างๆ จึงได้ทำการสมมติโจทย์ปัญหาในรูปของเมตริกซ์ เพื่อใช้ในการทดสอบโปรแกรม BACL ดังต่อไปนี้

3.1 โจทย์ขนาดปัญหา (6x6)

Number of Machines	6	ขนาด
Number of Parts	6	6x6
Number of Cells	3	

3.1.1 โจทย์ข้อที่ 1

Part	1			2		3				4			5				6		
Route	1	2	3	1	2	1	2	3	4	1	2	3	1	2	3	4	1	2	3
Machine																			
1	1	4	1		2	2		1	1		1	3	2	1	4	2		2	
2		2		1	4		1		4	1		2		4	2		1		1
3	2		3		3	4	3	4		2			3			1			
4	4	1		2		3			3		3	1	4		1	4			2
5		3	4	4	1		4	2		3				3			2		
6	3		2	3		1	2		2		2		1	2	3	3		1	3

รูปที่ ข.1

3.1.2 โจทย์ข้อที่ 2

Part	1		2	3				4	5			6
Route	1	2	1	1	2	3	4	1	1	2	3	1
Machine												
1	1	1	1	1	1	1	3	4	4	3	3	
2						2		3	3		1	1
3	2	2		2						2		
4	4				4		1		2		2	2
5		4	3		2		2	2	1	1		
6	3	3	2	3	3			1			4	3

รูปที่ ข.2

3.2 โจทย์ขนาดปัญหา (8×10)

Number of Machines	8	ขนาด
Number of Parts	10	8x10
Number of Cells	4	

3.2.1 โจทย์ข้อที่ 3

Part	1				2			3				4				5				6			7					8				9			10			
Route	1	2	3	4	1	2	3	1	2	3	4	5	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	1	2	3	4
Machine																																								
1	2	5	1			2	1	1	3	4		1	5	3		2	5	1		1	1	4	1			1		1	1		1		1		2	1	1	2	4	3
2		1		2	1		2	4			1	5	2	5	1	5		2	5					1	2		1		5	1		2		2		2	4		1	
3	5		2	5	2	3	3		5	2	2		4				1		1	4						2	3				5	3				3	5		5	5
4	1	4	5	4				2	4	5		2	3	4	5	3		4			2	3	2	2	5		4	3	2	4	2		2	3		4	2	3		2
5		3			4		5			5				3	4	2			3				3		4	5		2	4	2			5		3			5	2	
6	3		4	3	3	1	4			3		4		2	2			5	2			1		3	1		2	5	3		4	1			4		3	1		1
7		2			4			3	2		3	3		1			3		4	2	4	2			3	3				5	3	4	3	4	1				3	
8	4		3	1					1	1	4		1			1	4	3	3	5	3			4		4	5	4		3		5	4	1				4		4

รูปที่ ข.3

3.2.2 โจทย์ข้อที่ 4

Part	1		2	3			4	5				6	7	8					9	10	
Route	1	2	1	1	2	3	1	1	2	3	4	1	1	1	2	3	4	5	1	1	2
Machine																					
1	4		1		1	2	1	5	4	1			1	4		1		4	1	1	3
2		3				3		2			2	1			1		1				1
3	2	1	5	3			4		1	5			2	1		4		1			
4			3	1	2	1		1		2						2			2	2	5
5	1				3		3		3		1	2	3		2		2	2			2
6		2	2			4		3		4				2					5		
7				2	4		2		2		3	3	4			3	4	3	3	3	4
8	3		4			5		4		3				3	3	5	3		4		

รูปที่ ข.4

3.3 โจทย์ขนาดปัญหา (10x10)

Number of Machines	10	ขนาด
Number of Parts	10	10x10
Number of Cells	5	

3.3.1 โจทย์ข้อที่ 5

Part	1					2				3					4				5		6				7				8				9				10				
Route	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	1	2	3	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	6
Machine																																														
1	1		1			3	1		1	1	4	1		3	2		2	1	5		1	1	5		1		3		1		5	1		1		2		3	6	1	2	5	2	1	1	1	1	5	5	2
2		2		5	2	6		1			6					1	3				3	5		2	1	3	3	1	3		2	4		1	5	1		1		2			1	3			5		2	1	
3	3	4	2			2	2	6	6		3		2	2		2			2	2		6					2		2			2	2			3		2	5	2	6	2		6	6				3
4		6		4				2	2			2		1		3	1	6	3		2		3	2	2	2		1		6		6		6	2		2		4	3		3	1	2	2		4		4	
5	2	3	6	3	1		6	3	3	2			3		1			2		1	4	2	1	3				2	3	3	6	3		4	6	4	3	6			1					4	2	4	2	4
6	6		3		6	1	4	4	4		2	4					4		6		3					1		5						3	5				4	5		4	4	4	6	6			5
7		1		6	3				5	3		3	1		3			4	1			3	4	6	4					4	3	4	3	3		1	6	5	3		3	6				3		6		1
8	5	5	4	1	4	4	5			6	1		4							6					5	4				5			5			4			4					5		3		5	1	3	
9							3			5					4			5	4	4		5	6	4			5	4	5		2	5	4			6	4	1	1	5	4		6	5						
10	4		5	2	5	5		5		4	5			4		4		3		5	6	4		5		5	4		4	1	1		6	2	5		5			6		4		3	5	2	3	3	6	6

รูปที่ ข.5

3.3.2 โจทย์ข้อที่ 6

Number of Machines	10	ขนาด
Number of Parts	10	10x10
Number of Cells	3	

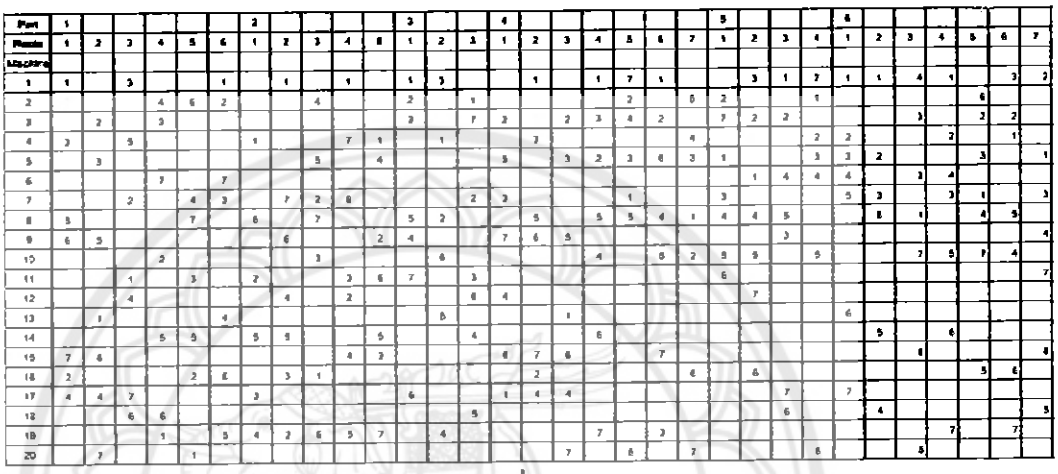
Part	1			2		3					4						5			6				7			8				9			10			
Route	1	2	3	1	2	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	1	2	3	4	5	1	2	3	1	2	3	4	1	2	3	1	2	3	4
Machine																																							
1	1		2	4	2			1			1		6		5	1		2		4	1	1			5				1		1			1					
2		1				1			1	1		1	4	3			2		1				3	1	4	1				1		1			3	1		1	1
3				1	1		1	4							1			6		1						1	1				1		1		1			
4	5	3	5						3		4	5	2		4	1					3	1	3					4	5	4	5				4			5
5	3		1		4	3		2	4			2		2			3	3		3					3			2		2	4				3		
6			4	3			3			5	2				3		5		2		2			1			3	2		2					2	4	2	4
7	4							5	2	2		2	3	1	4		4				2			2	2				6		4		2		5			
8	2	2	3	2	3	2	2								5		1	2								2	2		3			2		2				
9								3	3			3	1		3	2	3				4	4	2		6			2	3			3				6			3
10		4	6			4		6		4	3			4				4		3				4	3	4				4	3			3	3	4	3	2	3	6

รูปที่ ข.6

3.4 โจทย์ขนาดปัญหา (20x20)

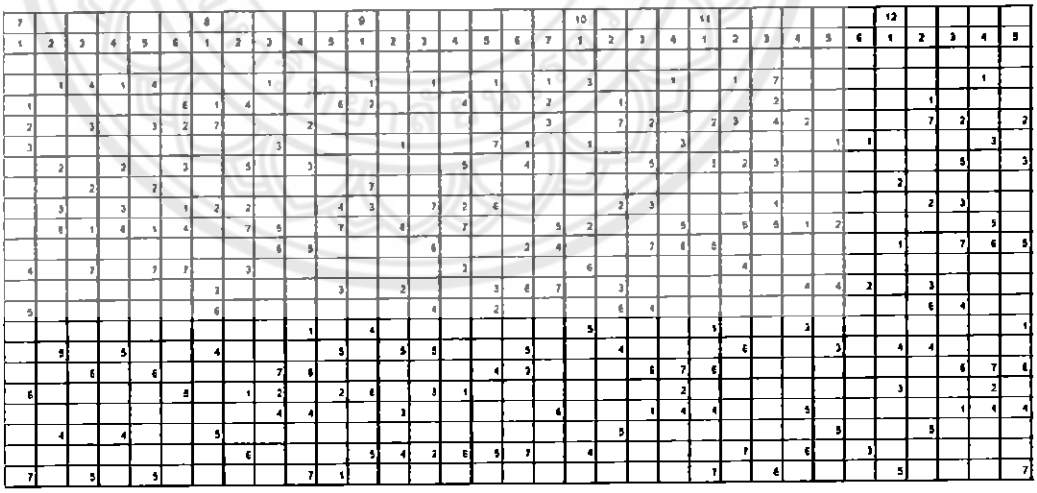
3.4.1 โจทย์ข้อที่ 7 (ส่วนที่ 1)

Number of Machines	20	ขนาด
Number of Parts	20	20x20
Number of Cells	5	



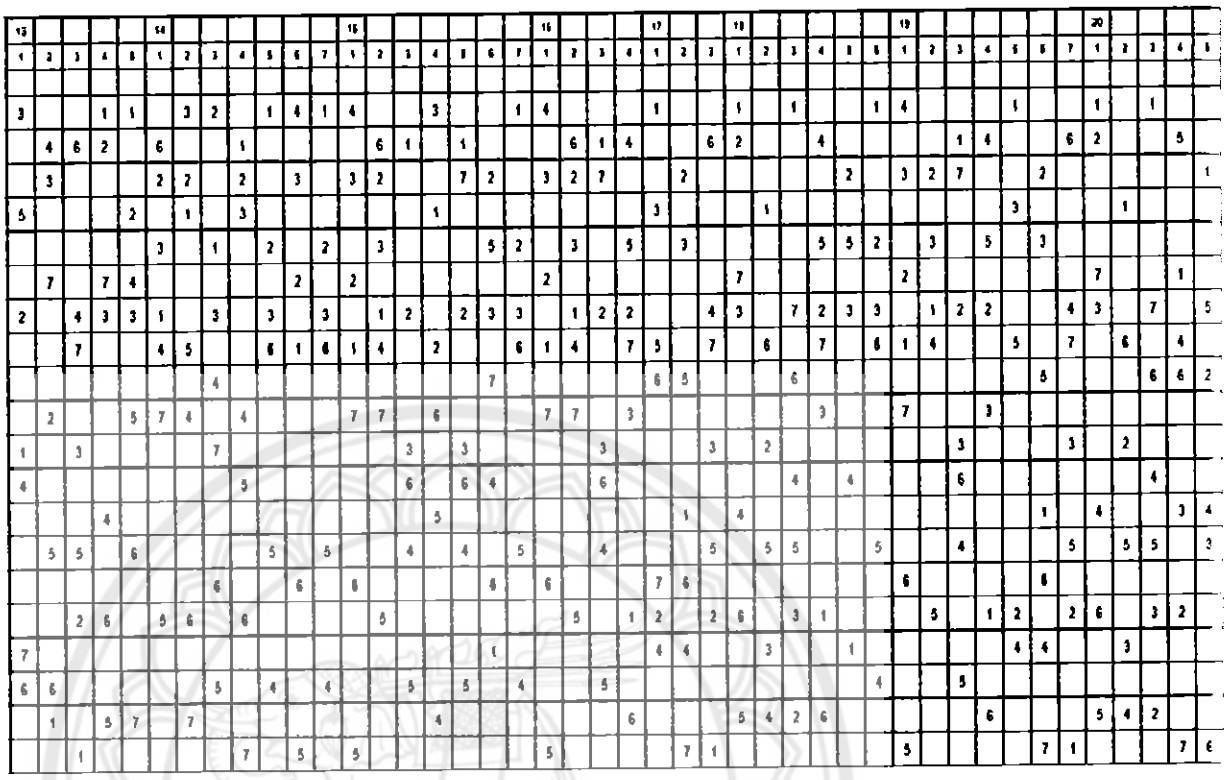
รูปที่ ข.7

3.4.1.1 โจทย์ข้อที่ 7 (ส่วนที่ 2)



รูปที่ ข.7 (ต่อ)

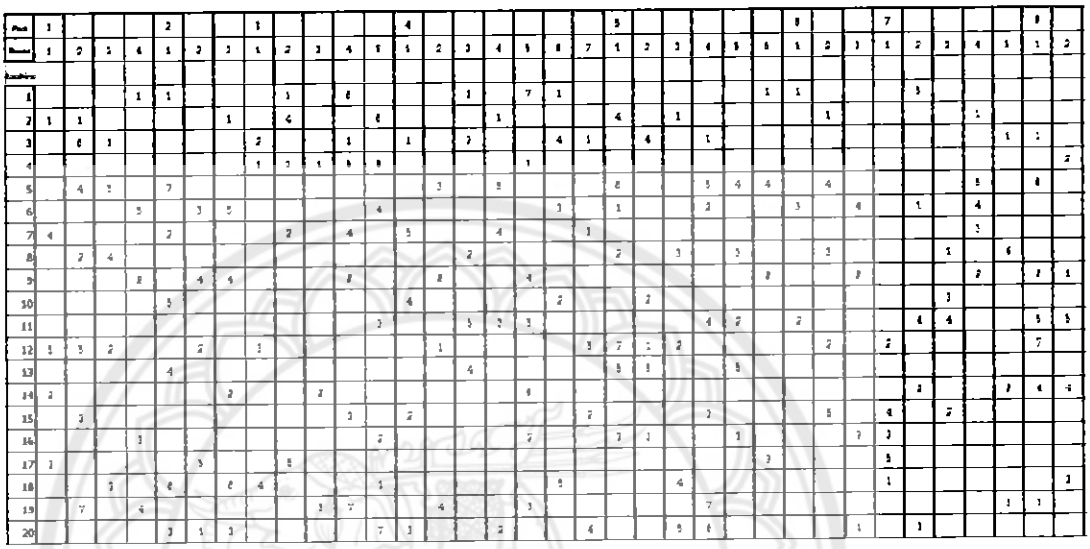
3.4.1.2 โจทย์ข้อที่ 7 (ส่วนที่ 3)



รูปที่ ข.7 (ต่อ)

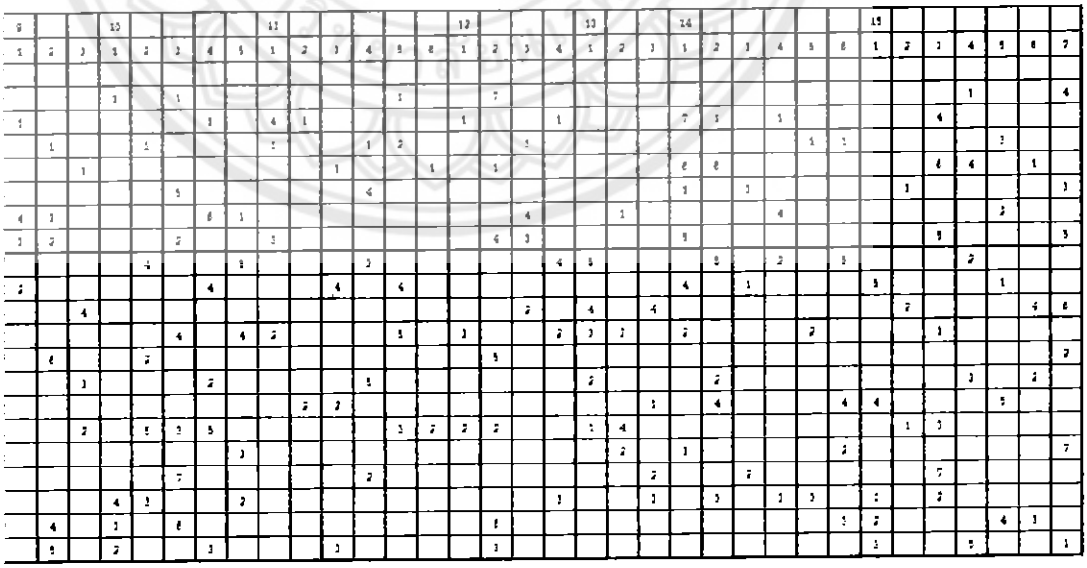
3.4.2 โจทย์ข้อที่ 8 (ส่วนที่ 1)

Number of Machines	20	ขนาด
Number of Parts	20	20x20
Number of Cells	7	



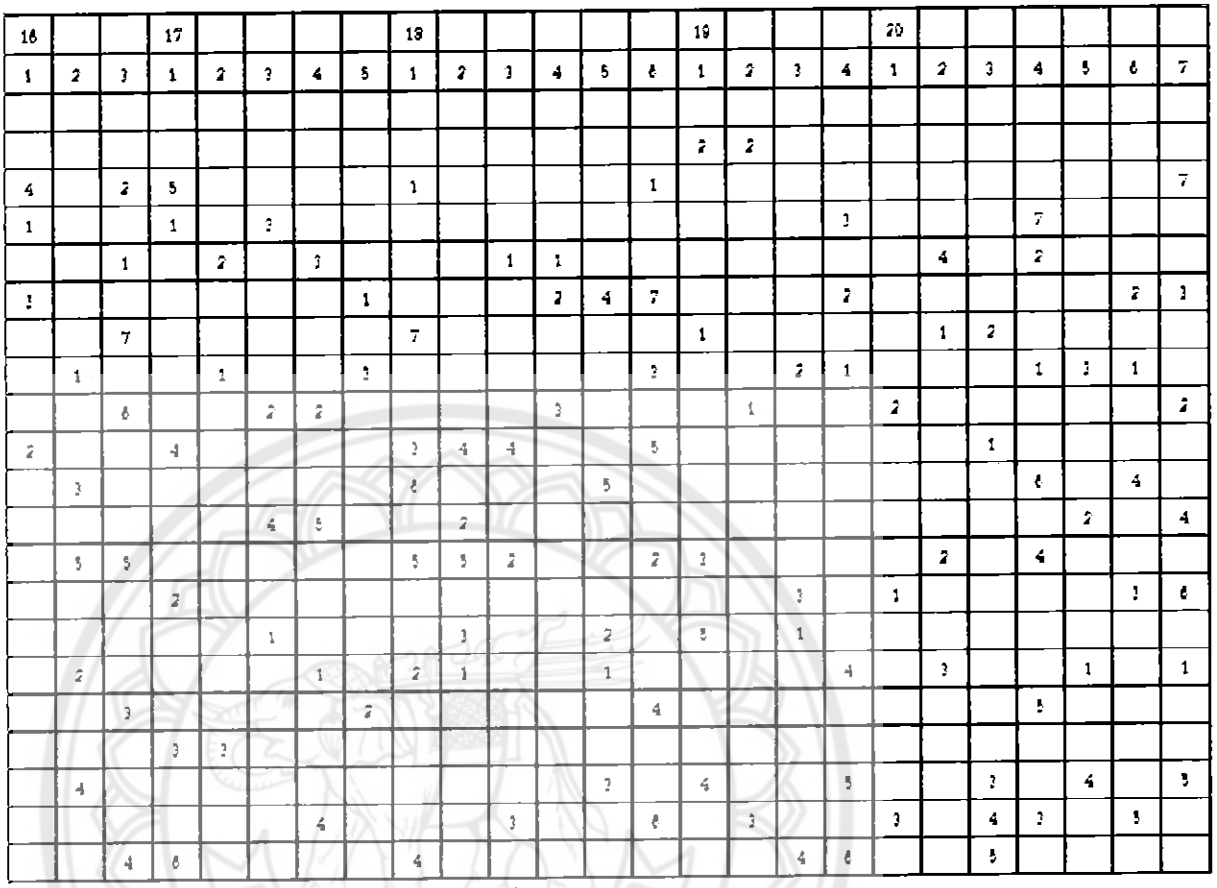
รูปที่ ข. 8

3.4.2.1 โจทย์ข้อที่ 8 (ส่วนที่ 2)



รูปที่ ข.8 (ต่อ)

3.4.2.2 โจทย์ข้อที่ 8 (ส่วนที่ 3)

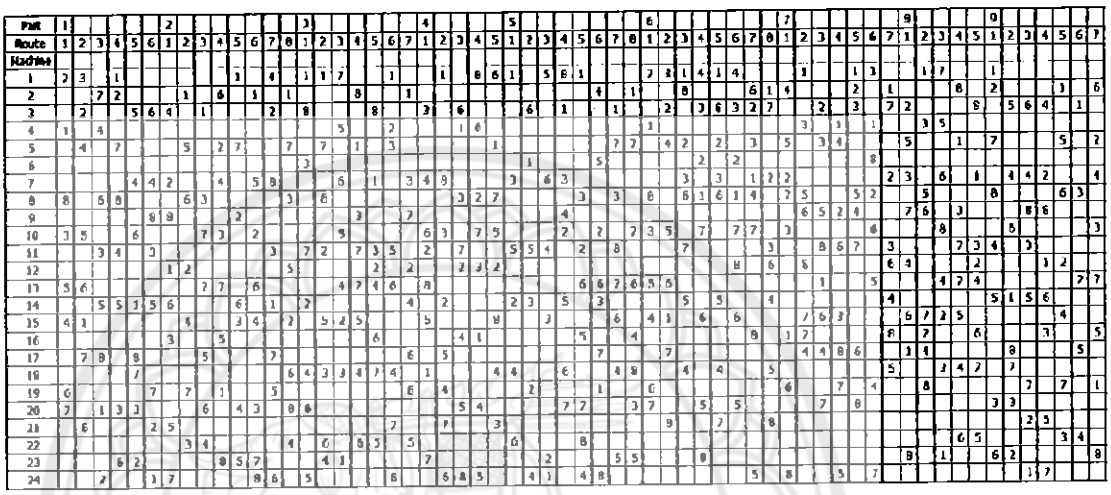


รูปที่ ข.8 (ต่อ)

3.5 โจทย์ขนาดปัญหา (24x26)

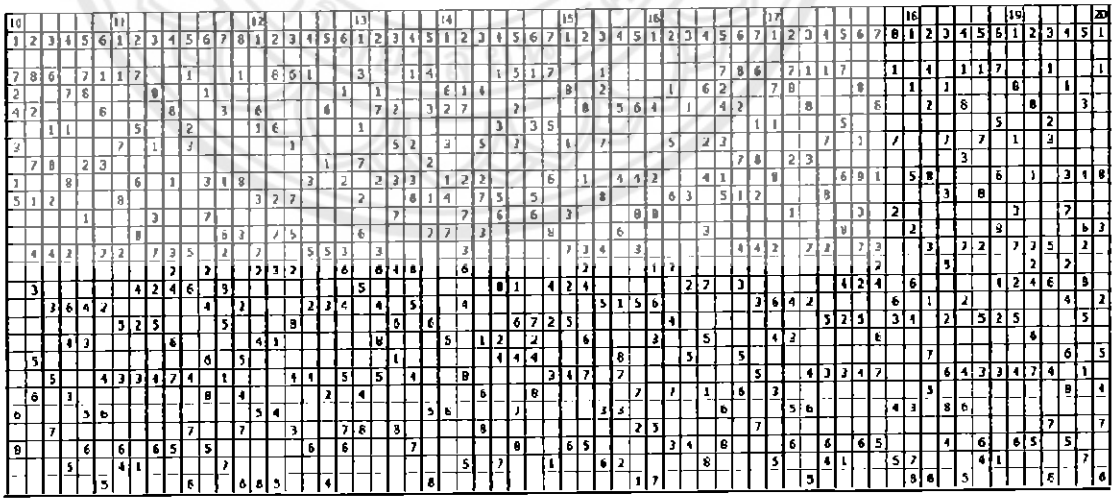
3.5.1 โจทย์ข้อที่ 9 (ส่วนที่ 1)

Number of Machines	24	ขนาด
Number of Parts	26	24x26
Number of Cells	8	



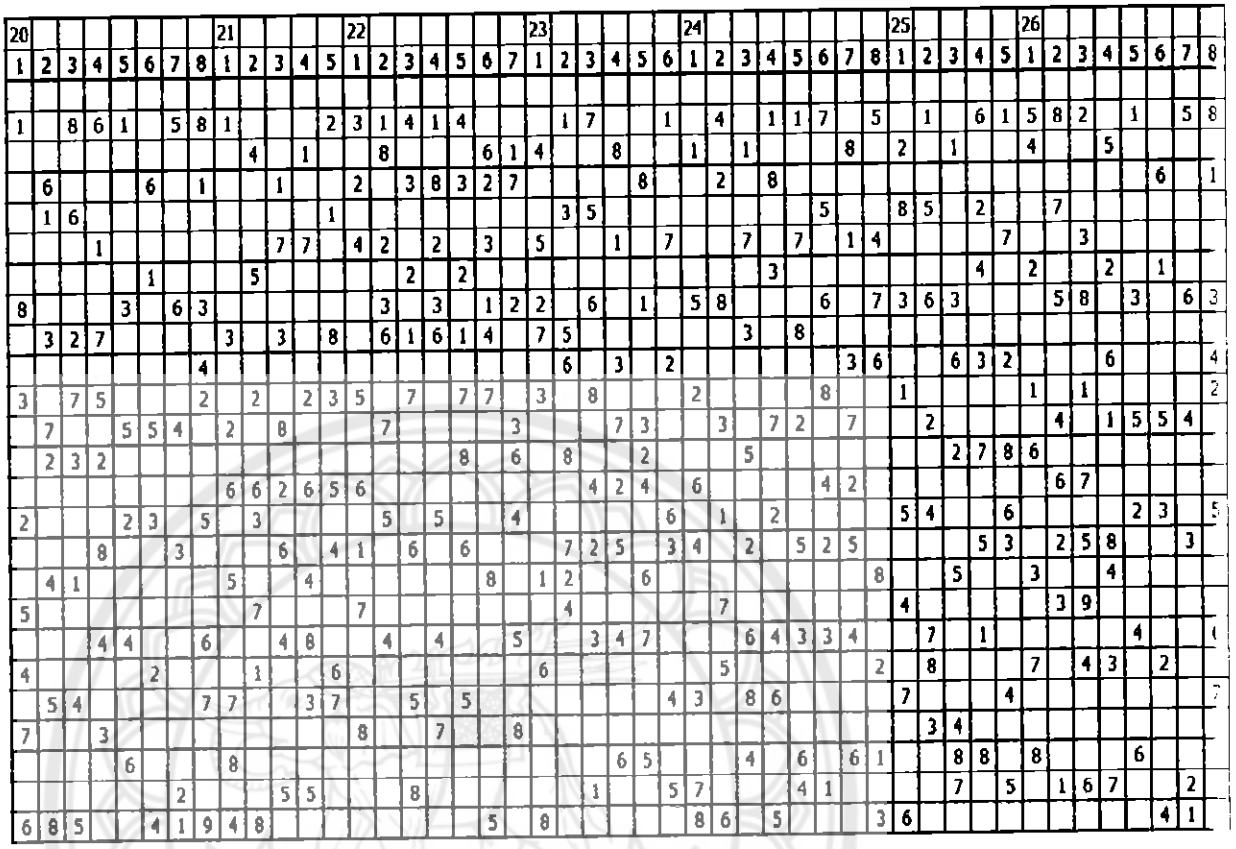
รูปที่ ข. 9

3.5.1.1 โจทย์ข้อที่ 9 (ส่วนที่ 2)



รูปที่ ข.9 (ต่อ)

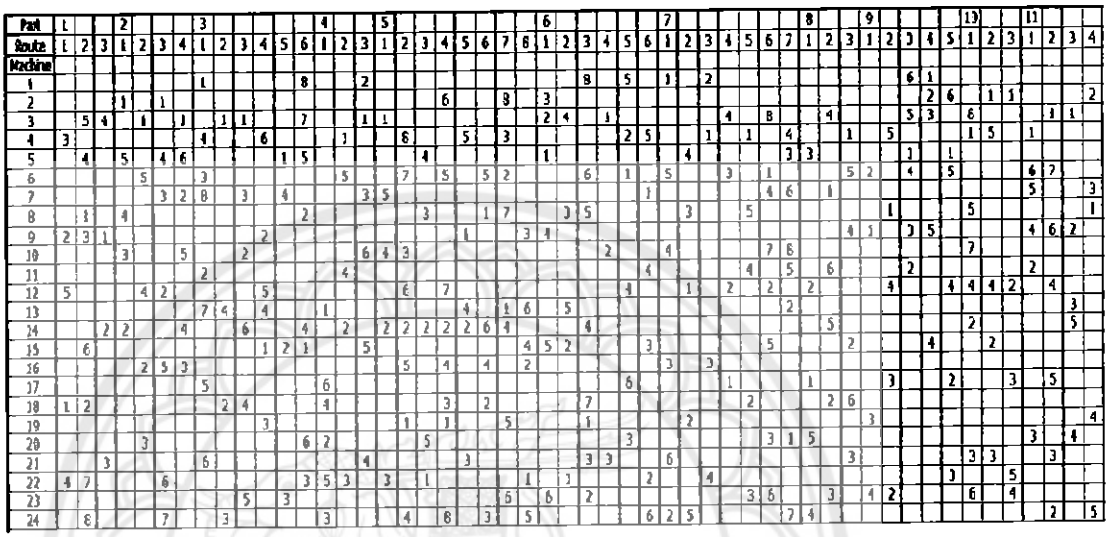
3.5.1.2 โจทย์ข้อที่ 9 (ส่วนที่ 3)



รูปที่ ข.9 (ต่อ)

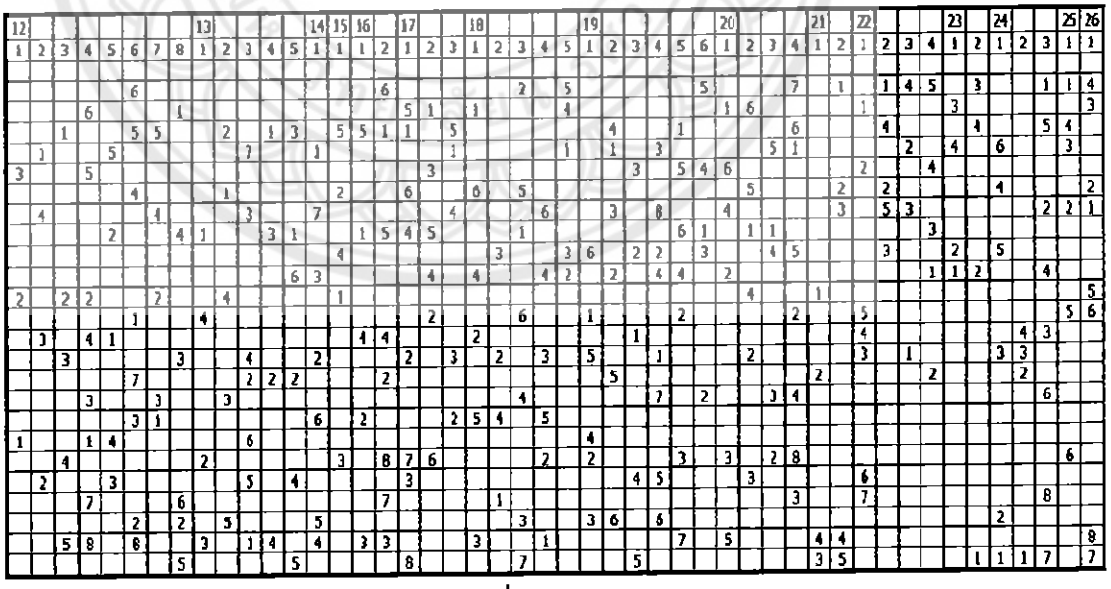
3.5.2 โจทย์ข้อที่ 10 (ส่วนที่ 1)

Number of Machines	24	ขนาด
Number of Parts	26	24x26
Number of Cells	11	



รูปที่ ข.10 (ต่อ)

3.5.2.1 โจทย์ข้อที่ 10 (ส่วนที่ 2)



รูปที่ ข.10 (ต่อ)

ภาคผนวก ค
ค่าผลลัพธ์ทั้งหมด

1. ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดของโปรแกรม BACL ของโจทย์ปัญหาขนาดเล็ก

ตารางที่ ค.1 แสดงผลลัพธ์ทั้งหมดของโจทย์ปัญหาข้อที่ 1-4

No.seed	โจทย์ที่ 1	โจทย์ที่ 2	โจทย์ที่ 3	โจทย์ที่ 4
1	6	7	22	18
2	6	7	22	18
3	6	7	22	18
4	6	8	22	20
5	6	7	22	18
6	6	7	22	18
7	6	7	22	18
8	6	7	22	18
9	6	7	22	18
10	6	7	22	18
11	6	7	22	18
12	6	7	22	18
13	6	7	22	18
14	6	7	22	18
15	6	7	22	18
16	6	7	22	18
17	6	7	22	18
18	6	7	22	18
19	6	7	22	18
20	6	7	22	18
21	6	7	22	18
22	6	7	22	18
23	6	7	22	18
24	6	7	22	18
25	6	7	22	18
26	6	7	22	18
27	6	7	22	18
28	6	7	22	18
29	6	7	22	18
30	6	7	22	18
Average	6	7.03	22	18.07
	0	0.18	0	0.37

2. ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดของโปรแกรม BACL ของโจทย์ปัญหาขนาดใหญ่

ตารางที่ ค.2 แสดงผลลัพธ์ทั้งหมดของโจทย์ปัญหาข้อที่ 5-10

No.seed	โจทย์ที่ 5	โจทย์ที่ 6	โจทย์ที่ 7	โจทย์ข้อ 8	โจทย์ที่ 9	โจทย์ที่ 10
1	28.00	10.00	57.00	36.00	115.00	78.00
2	31.00	8.00	48.00	37.00	117.00	80.00
3	30.00	8.00	57.00	33.00	115.00	79.00
4	30.00	8.00	55.00	38.00	114.00	81.00
5	29.00	10.00	57.00	37.00	111.00	77.00
Average	29.60	8.80	54.80	36.20	114.40	79.00
SD	1.14	1.09	3.89	1.92	2.19	1.58
min	28.00	8.00	48.00	33.00	111.00	77.00
max	31.00	10.00	57.00	38.00	117.00	81.00