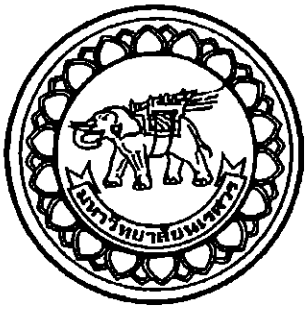


การพัฒนาโปรแกรมการออกแบบการสร้างเซลล์ในระบบการผลิตแบบเซลลูลาร์ด้วยวิธีพาร์ติเคิล สวอม ออปติไมเซชั่น แบบปรับปรุง

DEVELOPMENT OF CELL FORMATION DESIGN IN CELLULAR MANUFACTURING SYSTEM USING MODIFIED PARTICLE SWARM OPTIMIZATION

นางสาวจารุภา ศิวิลัย รหัส 54361909

นางสาวใหม่สิริ มั่งคั่ง รหัส 54366232

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
วันที่รับ 30 ต.ค. 2558
เลขทะเบียน 16897368
เลขเรียกหนังสือ .....
มหาวิทยาลัยนเรศวร 933 ก 2557

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

ปีการศึกษา 2557

ใบรับรองปริญญานิพนธ์

ชื่อหัวข้อโครงงาน การพัฒนาโปรแกรมการออกแบบการสร้างเซลล์ในระบบการผลิตแบบเซลลูลาร์ด้วยวิธีพาร์ติเคิล สวอม ออปติไมเซชั่น แบบปรับปรุง

ผู้ดำเนินโครงงาน นางสาวจารุภา ศิวิลัย รหัส 54361909

นางสาวใหม่สิริ มั่งคั่ง รหัส 54366232

ที่ปรึกษาโครงงาน ผู้ช่วยศาตราจารย์ศรีสัจจา วิทยศักดิ์

สาขาวิชา วิศวกรรมอุตสาหการ

ภาควิชา วิศวกรรมอุตสาหการ

ปีการศึกษา 2557

.....

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อนุมัติให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ

.....ที่ปรึกษาโครงงาน

(ผู้ช่วยศาตราจารย์ศรีสัจจา วิทยศักดิ์)

.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาตราจารย์ ดร.ภูพงษ์ พงษ์เจริญ)

.....กรรมการ

(ดร.ขวัญนิธิ คำเมือง)

ชื่อหัวข้อโครงงาน	การพัฒนาโปรแกรมการออกแบบการสร้างเซลล์ในระบบการผลิตแบบเซลลูลาร์ด้วยวิธีพาร์ติเคิล สวอม ออปติไมเซชั่น แบบปรับปรุง
ผู้ดำเนินโครงงาน	นางสาวจารุภา ศิวิลัย รหัส 54361909
	นางสาวใหม่สิริ มั่งคั่ง รหัส 54366232
ที่ปรึกษาโครงงาน	ผู้ช่วยศาตราจารย์ศรีสัจจา วิทยศักดิ์
สาขาวิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ
ภาควิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ
ปีการศึกษา	2557

บทคัดย่อ

โครงงานฉบับนี้ได้ทำการศึกษารวบรวมหลักการ และทฤษฎีของกระบวนการผลิตแบบเซลลูลาร์ และพาร์ติเคิล สวอม ออปติไมเซชั่น โดยปัญหาการสร้างเซลล์ในกระบวนการผลิตแบบเซลลูลาร์จัดเป็นปัญหาที่มีความซับซ้อน ซึ่งการสร้างเซลล์เป็นการจัดกลุ่มเครื่องจักร และกลุ่มผลิตภัณฑ์ที่คล้ายกันเข้าไว้ด้วยกันลงในแต่ละเซลล์ โดยกระบวนการผลิตส่วนใหญ่จะประกอบไปด้วยกระบวนการขนถ่าย ดังนั้นเมื่อต้องการลดการเคลื่อนที่หรือการขนถ่ายระหว่างเซลล์ที่มีผลต่อการผลิต จึงเลือกใช้การแก้ปัญหาโดยวิธีการพาร์ติเคิล สวอม ออปติไมเซชั่น ที่มีความยืดหยุ่นของเส้นทางการผลิต เป็นทฤษฎีที่มีการเคลื่อนที่กันเป็นกลุ่ม ประกอบด้วยกลุ่มของประชากร ตำแหน่งของตนเองและอัตราเร็วในการเคลื่อนที่ โดยแต่ละรอบที่ทำการค้นหาคำตอบก็จะทำการปรับปรุงอัตราความเร็วไปด้วย เพื่อที่จะปรับปรุงค่าของตำแหน่ง ให้ได้ตำแหน่งที่ดีที่สุด โดยปัญหาที่ทำการศึกษามีวัตถุประสงค์ เพื่อหาการเคลื่อนระหว่างเซลล์ที่มีจำนวนน้อยที่สุด

จุดมุ่งหมายในการวิจัยครั้งนี้ คือ เพื่อพัฒนาโปรแกรมพาร์ติเคิล สวอม ออปติไมเซชั่น ให้มีความสามารถในการหาคำตอบของการเคลื่อนที่ระหว่างเซลล์ในกระบวนการผลิต

ผลที่ได้จากการทดลอง คือ ค่าคำตอบของจำนวนการเคลื่อนที่ระหว่างเซลล์ที่น้อยที่สุดที่ทำให้การเคลื่อนที่จากหน่วยงานหนึ่งไปยังอีกหน่วยงานหนึ่งมีระยะทางการเคลื่อนที่สั้นที่สุด และได้มีการนำไปเปรียบเทียบกับวิธีเจเนติกอัลกอริทึม และวิธีแบทอัลกอริทึม

Project title	Development of cell formation design in cellular munufacturing system using Modified Particle Swarm Optimization Algorithm	
Author	Ms. Jarupa Sivilai	ID 54361909
	Ms. Maisiri Mangkang	ID 54366232
Project advisor	Asst.Prof. Srisatja Vittayasak	
Major	Industrial Engineering	
Department	Industrial Engineering	
Academic year	2014	

Abstract

This project studies and reviews principle and Cellular Manufacturing System and Particle Swarm Optimization Algorithm. The cells in a cellular process is a complicated issue. The cells are grouped machine and products together into cells. The process of transfer process. Reduce the movement or transfer between cells that affect production. Sought a solution by means of a Particle Swarm Optimization Algorithm. The flexibility of the production route. The theory is that they move as a group. The population of position and velocity of movement. It will improve the velocity and the position. Get the best position.
It is an alternative to help determine the outcome of formatting cells the amount of the minimum intercells moves.

The purpose of this Project is to develop a Particle Swarm Optimization Algorithm computer program which can solve cell formation problem with sequence dependent assumption.

The results of the experiment suggested that the formation of cell which yields the minimum intercells moves at the movement from work station to another station with minimize distance and compared with a Genetic Algorithm and Bat Algorithms.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นการพัฒนาโปรแกรมการออกแบบการจัดเซลล์ ในระบบการผลิตแบบเซลลูลาร์ ด้วยวิธีพาร์ติเคิล สวอม ออปติไมเซชั่น แบบปรับปรุง สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เพราะได้รับการช่วยเหลือ และให้คำแนะนำปรึกษาอย่างสม่ำเสมอจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ศรีสัจจา วิทยศักดิ์ อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์ ผู้ดำเนินโครงงานมีความซาบซึ้งใจเป็นอย่างยิ่ง และขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้

ขอขอบคุณ ผู้ช่วยศาตราจารย์ ดร.ภูพงษ์ พงษ์เจริญ และ ดร.ขวัญนิธิ คำเมือง อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร คณะกรรมการสอบปริญญานิพนธ์ผู้ทรงคุณวุฒิที่ได้ให้คำแนะนำต่างๆ และช่วยแก้ไขข้อบกพร่องของการทำปริญญานิพนธ์ด้วยดีตลอดมา จึงทำให้ปริญญานิพนธ์มีความถูกต้องและสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร และอาจารย์ทุกท่านที่ได้จุดประกายความรู้ ให้คำปรึกษา และให้กำลังใจที่ดีเสมอมา

ท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และครอบครัวที่คอยอบรมบ่มนิสัย คอยเป็นกำลังใจสำคัญ และเป็นที่พึ่งพาทางใจอย่างดีตลอดระยะเวลาการศึกษา จนกระทั่งโครงงานนี้สำเร็จลุล่วงไปได้เป็นอย่างดี

ผู้ดำเนินโครงงาน
นางสาวจารุภา ศิวิลัย
นางสาวใหม่สิริ มั่งคั่ง
เมษายน 2558

สารบัญ

หน้า

ใบรับรองปริญญานิพนธ์ ..... ก
บทคัดย่อภาษาไทย ..... ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ (Abstract) ..... ค
กิตติกรรมประกาศ ..... ง
สารบัญ ..... จ
สารบัญตาราง ..... ช
สารบัญรูป ..... ฌ

บทที่ 1 บทนำ 1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงงาน 1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน 2
1.3 เกณฑ์ชี้วัดผลงาน 2
1.4 เกณฑ์ชี้วัดผลสำเร็จ 2
1.5 ขอบเขตการดำเนินโครงงาน 2
1.6 สถานที่ในการดำเนินโครงงาน 2
1.7 ระยะเวลาในการดำเนินโครงงาน 3
1.8 ขั้นตอนและแผนการดำเนินโครงงาน 3

บทที่ 2 หลักการและทฤษฎีเบื้องต้น 4
2.1 ลักษณะการจัดวางผังและการจัดวางเครื่องจักรในโรงงานอุตสาหกรรม 4
2.2 ศึกษาหลักการและทฤษฎีของปัญหาการสร้างเซลล์ในระบบการผลิต
แบบเซลลูลาร์ (Cellular Manufacturing System : CMS) 10
2.3 ข้อดีและข้อเสียของการผลิตแบบเซลลูลาร์เทียบกับการผลิต
ตามขั้นตอนในด้านต่างๆ 17
2.4 ปัญหาที่เกิดขึ้นในระบบการผลิตแบบเซลลูลาร์ 20
2.5 วิธีการหาคำตอบที่เหมาะสม 21
2.6 หลักการและทฤษฎีของพาร์ติเคิล สวอม ออปติไมเซชั่น
(Particle Swarm Optimization) 22

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.7 หลักการและทฤษฎีของโปรแกรม Tool Command Language และ Toolkit (Tcl/Tk) 25
2.8 การออกแบบการทดลองและวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ 26

บทที่ 3 วิธีการดำเนินโครงงาน 29
3.1 ศึกษาหลักการและทฤษฎีของระบบการผลิตแบบเซลลูลาร์ 30
3.2 ศึกษาหลักการและทฤษฎีของพาร์ติเคิล สวอม ออปติไมเซชั่น 30
3.3 ศึกษาหลักการและทฤษฎีของโปรแกรม Tool Command Language และ Toolkit (Tcl/Tk) 33
3.4 ศึกษาขั้นตอนการพัฒนาการทำงานของโปรแกรมการออกแบบการสร้างเซลล์ด้วยวิธีพาร์ติเคิล สวอม ออปติไมเซชั่น 33
3.5 พัฒนาโปรแกรมการออกแบบการสร้างเซลล์ด้วยวิธีพาร์ติเคิล สวอม ออปติไมเซชั่น 33
3.6 การทดสอบการประยุกต์ใช้โปรแกรมการออกแบบการสร้างเซลล์ด้วยวิธีพาร์ติเคิล สวอม ออปติไมเซชั่น 33
3.7 ออกแบบและดำเนินการทดลอง 33
3.8 วิเคราะห์และสรุปผลการดำเนินงาน 34
3.9 จัดทำรูปเล่มฉบับสมบูรณ์ 34

บทที่ 4 ผลการดำเนินโครงงาน 35
4.1 ผลการพัฒนาใช้โปรแกรมการออกแบบการสร้างเซลล์ด้วย วิธีพาร์ติเคิล สวอม ออปติไมเซชั่น เพื่อแก้ปัญหาการสร้างเซลล์ที่มีความยืดหยุ่นในระบบการผลิตแบบเซลลูลาร์ 35
4.2 ข้อมูลนำเข้าในโปรแกรมพาร์ติเคิล สวอม ออปติไมเซชั่น 37
4.3 พารามิเตอร์ของพาร์ติเคิล สวอม ออปติไมเซชั่น ที่ใช้สำหรับการออกแบบการสร้างเซลลล์ 38
4.4 ผลของการทดสอบโปรแกรมพาร์ติเคิล สวอม ออปติไมเซชั่น 41
4.5 เปรียบเทียบความแตกต่างของผลลัพธ์ระหว่างโปรแกรมการออกแบบการสร้างเซลล์ด้วยวิธีพาร์ติเคิล สวอม ออปติไมเซชั่น กับโปรแกรม BACL และโปรแกรมเจเนติก อัลกอรึทึม 42

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ 46
5.1 สรุปผลการดำเนินโครงงาน 46
5.2 ข้อเสนอแนะ 47

เอกสารอ้างอิง 58

ภาคผนวก ก ขั้นตอนการใช้โปรแกรมพาร์ติเคิล สวอม ออปติไมเซชั่น 49
ภาคผนวก ข ข้อมูลที่ใช้ในการทดสอบ 54
ภาคผนวก ค พารามิเตอร์และผลการทดสอบที่ศึกษา 77

ประวัติผู้ดำเนินโครงงาน 80

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

1.1 ขั้นตอนและแผนการดำเนินโครงการ 3

2.1 เปรียบเทียบข้อดีระหว่างการวางผังโรงงานตามชนิดผลิตภัณฑ์ และการวางผังโรงงานตามกระบวนการผลิต 7

2.2 ตัวอย่างการเก็บข้อมูลเพื่อใช้คำนวณ 15

2.3 เปรียบเทียบการไหลของวัสดุของการผลิตแบบเซลล์เทียบกับการผลิตตามขั้นตอน 17

2.4 การเปรียบเทียบคงคลังและการจัดเวลาทำงานของการผลิตตามขั้นตอนกับการผลิตแบบเซลล์ 18

2.5 เปรียบเทียบคุณภาพของการผลิตตามขั้นตอนกับการผลิตแบบเซลล์ 19

2.6 การเปรียบเทียบบุคลากรของการผลิตแบบขั้นตอนกับการผลิตแบบเซลล์ 19

2.7 แสดงการกำหนดปัจจัย (k) และระดับของปัจจัยที่ 3 ระดับ 28

4.1 แสดงข้อมูลนำเข้าของโปรแกรมพาร์ติเคิล สวอม ออปติไมเซชั่น 37

4.2 แสดงค่าพารามิเตอร์ที่ศึกษา 38

4.3 แสดงตารางวิเคราะห์ความแปรปรวน 39

4.4 แสดงค่าคำตอบโดยรวมของโปรแกรมพาร์ติเคิล สวอม ออปติไมเซชั่น 41

4.5 เปรียบเทียบผลลัพธ์โปรแกรมพาร์ติเคิล สวอม ออปติไมเซชั่น กับโปรแกรม BACL และโปรแกรมเจเนติกอัลกอรีทึม (GA) 42

4.6 เปรียบเทียบค่าคำตอบของโปรแกรมพาร์ติเคิล สวอม ออปติไมเซชั่น และโปรแกรม BACL 44

4.7 แสดงเวลาเฉลี่ยในการหาคำตอบของวิธีพาร์ติเคิล สวอม ออปติไมเซชั่น 45

ค. แสดงผลจากค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ทดสอบ 78

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

2.1 แสดงการวางผังโรงงานแบบชิ้นงานอยู่กับที่ 5

2.2 แสดงการวางผังโรงงานตามกระบวนการผลิต 5

2.3 แสดงการวางผังโรงงานแบบตามชนิดของผลิตภัณฑ์ 6

2.4 แสดงการวางผังการผลิตแบบเซลลูลาร์ 7

2.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหลากหลายของผลิตภัณฑ์และปริมาณการผลิต 8

2.6 แสดงการไหลของการวางผังแต่ละชนิด 9

2.7 แสดงการไหลของเส้นทางการผลิต 10

2.8 เมตริกซ์ที่ยังไม่ถูกสร้างเซลล์ 12

2.9 เมตริกซ์ที่รวมจำนวน Positive Cell (เลข1) 12

2.10 เมตริกซ์หลังการจัดจำนวน Positive Cell (เลข1) 13

2.11 เมตริกซ์หลังปรับปรุงแถวใหม่ 13

2.12 การสร้างเซลล์ที่ไม่มีลำดับขั้นตอนการผลิต 14

2.13 ตัวอย่างการแบ่งกลุ่มเซลล์ของเครื่องจักรและการเลือกเส้นทางการผลิต 15

2.14 แสดงการเคลื่อนไหวภายในเซลล์ 21

2.15 แสดงการเคลื่อนไหวระหว่างเซลล์ 21

3.1 ผังงานแสดงขั้นตอนการดำเนินโครงงาน 29

3.2 แสดงตัวอย่างการปรับปรุงค่าของอัตราเร็ว (Pbest) 31

3.3 แสดงตัวอย่างการปรับปรุงค่าของอัตราเร็ว (Gbest) 33

3.4 แสดงตัวอย่างการปรับปรุงตำแหน่ง 32

4.1 แผนผังลำดับการทำงานของโปรแกรมพาร์ติเคิล สวอม ออปติไมเซชั่น 36

4.2 แสดงตัวอย่างข้อมูลนำเข้า Data ของโจทย์ปัญหาข้อที่ 1 37

4.3 แสดงกราฟผลกระทบจากปัจจัยหลัก 39

4.4 หน้าต่างแสดงค่าพารามิเตอร์ 40

ก.1 แสดงสัญลักษณ์เข้าโปรแกรม 50

ก.2 แสดงการเลือกโปรแกรม 50

ก.3 แสดงโปรแกรมที่ใช้ศึกษา 51

ก.4 แสดงการเลือกข้อมูลนำเข้า 51

ก.5 แสดงข้อมูลนำเข้าที่ใช้ศึกษา 52

ก.6 แสดงการเลือกวิธีการแก้โจทย์ปัญหา 52

ก.7 แสดงหน้าต่างใส่ค่าพารามิเตอร์ 53

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

ก.8 แสดงการทำงานของโปรแกรม 53

ข.1 โจทย์ข้อที่ 1 56

ข.2 โจทย์ข้อที่ 2 56

ข.3 โจทย์ข้อที่ 3 57

ข.4 โจทย์ข้อที่ 4 58

ข.5 โจทย์ข้อที่ 5 58

ข.6 โจทย์ข้อที่ 6 59

ข.7 โจทย์ข้อที่ 7 60

ข.8 โจทย์ข้อที่ 8 63

ข.9 โจทย์ข้อที่ 9 66

ข.10 โจทย์ข้อที่ 10 73

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงงาน

จากสภาพปัญหาเศรษฐกิจในปัจจุบันได้มีการขยายตัวอย่างรวดเร็ว ส่งผลให้รายได้ของประชากรมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น และอัตราการบริโภคมีการขยายตัว ทำให้อุตสาหกรรมจำเป็นต้องเร่งขยายการผลิตเพื่อรองรับความต้องการของผู้บริโภคที่เพิ่มขึ้น ดังนั้น อุตสาหกรรมการผลิตจึงมีการแข่งขันระหว่างผู้ผลิตค่อนข้างสูง ทำให้อุตสาหกรรมส่วนใหญ่ต้องมีการปรับตัวให้เข้ากับสภาวะในปัจจุบัน การวางแผนการผลิตที่เหมาะสมมีส่วนทำให้ประสิทธิภาพของการผลิตเพิ่มขึ้น ซึ่งหมายถึงการผลิตสินค้าที่มีคุณภาพ และปริมาณตรงตามความต้องการของลูกค้า นอกจากนั้นการวางแผนการผลิตอย่างเหมาะสมยังเป็นปัจจัยสำคัญอย่างหนึ่งในการลดความสูญเปล่าจากการปฏิบัติงานตามขั้นตอนต่างๆ การเพิ่มประสิทธิภาพการบริหารจัดการ การเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต การลดของเสีย การลดเวลาการลดขั้นตอนการผลิต และการลดต้นทุน เช่น ต้นทุนการใช้ทรัพยากรไม่เต็มที่ ต้นทุนการจัดเก็บสินค้ามากเกินความจำเป็น และค่าเสียโอกาสอันเนื่องมาจากการผลิตไม่ทัน เป็นต้น

ระบบการผลิตที่ดีจะต้องสามารถผลิตผลิตภัณฑ์ที่มีความหลากหลายได้ในปริมาณที่ต้องการ และสามารถส่งมอบได้ทันเวลา เพื่อตอบสนองความต้องการของผู้บริโภค ดังนั้น ระบบการผลิตแบบเซลลูลาร์ (Cellular Manufacturing System : CMS) จึงเป็นวิธีการหนึ่งที่ช่วยให้สามารถอำนวยความสะดวกในการทำงานระหว่างการผลิต และการขนส่งวัสดุระหว่างสถานีงาน จากวิธีการดังกล่าวส่งผลให้ระบบการผลิตมีความยืดหยุ่นมากขึ้นเมื่อมีการปรับเปลี่ยนผลิตภัณฑ์ที่ต้องการผลิต ระบบการผลิตแบบเซลลูลาร์เป็นการนำเอาข้อดีของระบบการผลิตแบบการวางผังโรงงานตามชนิดผลิตภัณฑ์ (Product Layout) และแบบการวางผังโรงงานตามแบบการกระบวนการผลิต (Process Layout) มารวมกัน ซึ่งระบบการผลิตแบบเซลลูลาร์จะสามารถผลิตผลิตภัณฑ์ที่หลากหลายได้ในระดับปานกลาง และข้อดีของการผลิตแบบเซลลูลาร์ยังสามารถลดเวลานำ (Lead Time) โดยการลดจำนวนครั้งในการติดตั้งเครื่องจักรเมื่อเปลี่ยนผลิตภัณฑ์ที่ต้องการผลิต และลดสินค้าคงคลังระหว่างกระบวนการการผลิต (Work In Process : WIP)

โครงงานนี้มุ่งเน้นศึกษาปัญหาการสร้างเซลล์ (Cell Formation : CF) เป็นการจัดกลุ่มเครื่องจักร และกลุ่มผลิตภัณฑ์ที่คล้ายกันเข้าไว้ด้วยกันลงในแต่ละเซลล์ เพื่อคำนึงถึงการหาระยะทางการเคลื่อนที่ระหว่างเซลล์ที่สั้นที่สุด ส่งผลให้เวลาในการปรับเปลี่ยนเครื่องจักรลดลง โดยใช้โปรแกรมที่มีการออกแบบการจัดเซลล์ด้วยวิธีพาร์ติเคิล สวอม ออปติไมเซชั่น (Particle Swarm Optimization Algorithm : PSO) ที่มีความยืดหยุ่นของเส้นทางการผลิต (Routing Flexibility) เข้ามาเกี่ยวข้อง ซึ่งที่ผ่านมานั้นได้มีการนำวิธีเจเนติกอัลกอลีทึม (Genetic Algorithm : GA) และวิธีแบทอัลกอริทึม (Bat Algorithm) มาประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาการสร้างเซลล์ที่มีความยืดหยุ่นในระบบการผลิตแบบเซลลูลาร์บ้างแล้ว แต่เนื่องด้วยวิธีพาร์ติเคิล สวอม ออปติไมเซชั่น เป็นวิธีที่มีตัวแปรที่ใช้

ในการประมวลผลน้อยกว่าวิธีอื่นๆ ตลอดจนเป็นวิธีที่ถูกนำมาเผยแพร่ได้ไม่นาน ดังนั้น ในโครงงานนี้จึงเลือกที่จะศึกษาพาร์ติเคิล สวอม ออปติไมเซชั่น ในการนำไปประยุกต์ใช้กับปัญหาการสร้างเซลล์ที่มีความยืดหยุ่นในระบบการผลิตแบบเซลลูลาร์ เพื่อหาการเคลื่อนระหว่างเซลล์ที่มีจำนวนน้อยที่สุด

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

ออกแบบและพัฒนาโปรแกรม เพื่อใช้ในการแก้ปัญหาการสร้างเซลล์ที่มีความยืดหยุ่นในกระบวนการผลิตแบบเซลลูลาร์ โดยประยุกต์ใช้หลักการของโปรแกรมการออกแบบการจัดเซลล์ด้วยวิธีพาร์ติเคิล สวอม ออปติไมเซชั่น

1.3 เกณฑ์ชี้วัดผลงาน (Output)

โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับแก้ปัญหาการจัดเซลล์ในกระบวนการผลิตแบบเซลลูลาร์ โดยมีความยืดหยุ่นของเส้นทางการผลิต

1.4 เกณฑ์ชี้วัดผลสำเร็จ (Outcome)

โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับการแก้ไขปัญหาการเคลื่อนที่สามารถใช้จัดเซลล์การผลิตในกระบวนการผลิตแบบเซลลูลาร์ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อที่จะให้การเคลื่อนที่ระหว่างเซลล์น้อยที่สุด

1.5 ขอบเขตในการดำเนินโครงงาน

1.5.1 เส้นทางการผลิตของผลิตภัณฑ์มีได้มากกว่า 1 เส้นทาง

1.5.2 เส้นทางการผลิตที่เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์จะพิจารณาจากจำนวนการเคลื่อนที่ระหว่างเซลล์ที่น้อยที่สุด

1.5.3 ใช้ภาษา Tcl/Tk ในการเขียนโปรแกรม

1.5.4 วิธีแก้ปัญหาที่ประยุกต์ใช้กับปัญหาการจัดเครื่องจักรในกระบวนการผลิตแบบเซลลูลาร์ คือ วิธีพาร์ติเคิล สวอม ออปติไมเซชั่น

1.5.5 อ้างอิงข้อมูลปัญหามาจากปริญญานิพนธ์ของนายจักรชัย บรรเทาทุกข์ และนายณัฐพล เหมือนภักตร์ ซึ่งเป็นปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2551 และปริญญานิพนธ์ของนางสาววิภาดา ผาริการ และนางสาววิภาดา สีสวยสม ซึ่งเป็นปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2555

1.6 สถานที่ในการดำเนินโครงงาน

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

1.7 ระยะเวลาในการดำเนินโครงงาน

ตั้งแต่เดือนสิงหาคม พ.ศ. 2557 ถึงเดือนเมษายน พ.ศ. 2558

1.8 ขั้นตอนและแผนการดำเนินโครงงาน (Gantt Chart)

ตารางที่ 1.1 ขั้นตอนและแผนการดำเนินโครงงาน

ลำดับ	การดำเนินงาน	ช่วงเวลา								
		ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.
1.8.1	ศึกษาหลักการและทฤษฎีของระบบการผลิตแบบเซลลูลาร์	←	→							
1.8.2	ศึกษาหลักการและทฤษฎีของพาร์ติเคิล สวอม ออปติไมเซชั่น และการประยุกต์ใช้กับปัญหาการสร้างเซลล์ในระบบการผลิตแบบเซลลูลาร์			←	—	→				
1.8.3	ศึกษาหลักการและทฤษฎีของโปรแกรม Tool Command Language และ Toolkit (Tcl/Tk)				←	→				
1.8.4	ศึกษาขั้นตอนการพัฒนา การทำงานของโปรแกรมการออกแบบการจัดเซลล์ด้วยวิธีพาร์ติเคิล สวอม ออปติไมเซชั่น					← →				
1.8.5	พัฒนาโปรแกรมเพื่อนำวิธีพาร์ติเคิล สวอม ออปติไมเซชั่น มาใช้แก้ปัญหาการจัดเรียงเซลล์ในระบบการผลิตแบบเซลลูลาร์					←	→			
1.8.6	ทดสอบการใช้งานโปรแกรม						← →			
1.8.7	ออกแบบและดำเนินการทดลอง						←	→		
1.8.8	วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง								← →	
1.8.9	จัดทำรูปเล่มโครงงานฉบับสมบูรณ์									← →

บทที่ 2
หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

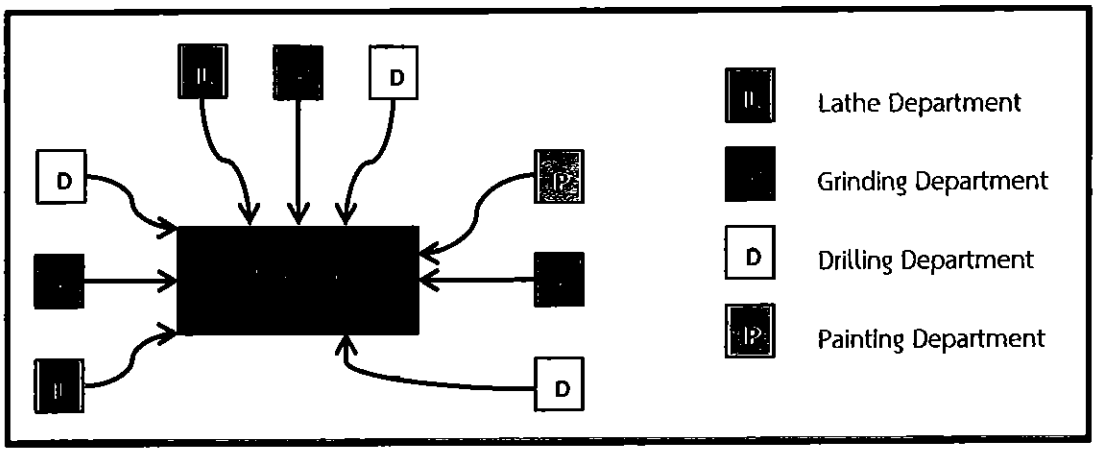
ในบทนี้จะกล่าวถึงแนวคิดในการวางระบบการผลิตในโรงงานอุตสาหกรรมที่เหมาะสมกับรูปแบบการผลิตแต่ละรูปแบบด้วยวิธีแบบต่างๆ เพื่อที่จะศึกษาลักษณะการจัดวางผัง และการจัดวางเครื่องจักร โดยอธิบายถึงแนวคิดของเทคโนโลยีการแบ่งกลุ่ม และระบบการผลิตแบบเซลลูลาร์ที่จะสามารถช่วยลดปัญหาที่เกิดขึ้น ซึ่งจะมีการเปรียบเทียบทั้งข้อดี และข้อเสียของการผลิตแบบเซลลูลาร์เทียบกับการผลิตแบบขั้นตอนต่างๆ ระบบการผลิตแบบเซลลูลาร์สามารถช่วยลดปัญหาด้านการจัดวางผัง และการจัดวางเครื่องจักรได้แต่ไม่สามารถขจัดปัญหาได้หมดสิ้น ดังนั้น จึงต้องทำการศึกษาปัญหาที่เกิดขึ้นในระบบการผลิตแบบเซลลูลาร์ และหาแนวทางในการแก้ไขปัญหาโดยวิธีพาร์ติเคิลสวอม ออปติไมเซชั่น

2.1 ลักษณะการจัดวางผังและการจัดวางเครื่องจักรในโรงงานอุตสาหกรรม

การวางผังโรงงานเป็นการวางแผน เพื่อจัดวางเครื่องจักร เครื่องมือ อุปกรณ์ คนงาน วัตถุดิบ สิ่งอำนวยความสะดวก และสนับสนุนในการผลิตของโรงงานในตำแหน่งที่เหมาะสมให้สอดคล้องกับประเภทของการผลิต เพื่อให้กระบวนการผลิตเป็นไปอย่างสม่ำเสมอ และเกิดความสูญเสียน้อยที่สุด ลักษณะการวางผังโรงงานควรคำนึงถึงปัจจัยในด้านต่างๆ เช่น รูปแบบการผลิต ประเภทการผลิต ปริมาณการผลิต และความหลากหลายของผลิตภัณฑ์ เป็นต้น ลักษณะการวางผังโรงงานจึงสามารถจำแนกออกได้ 5 แบบ ดังนี้

2.1.1 การวางผังโรงงานแบบชิ้นงานอยู่กับที่ (Fixed Position Layout)

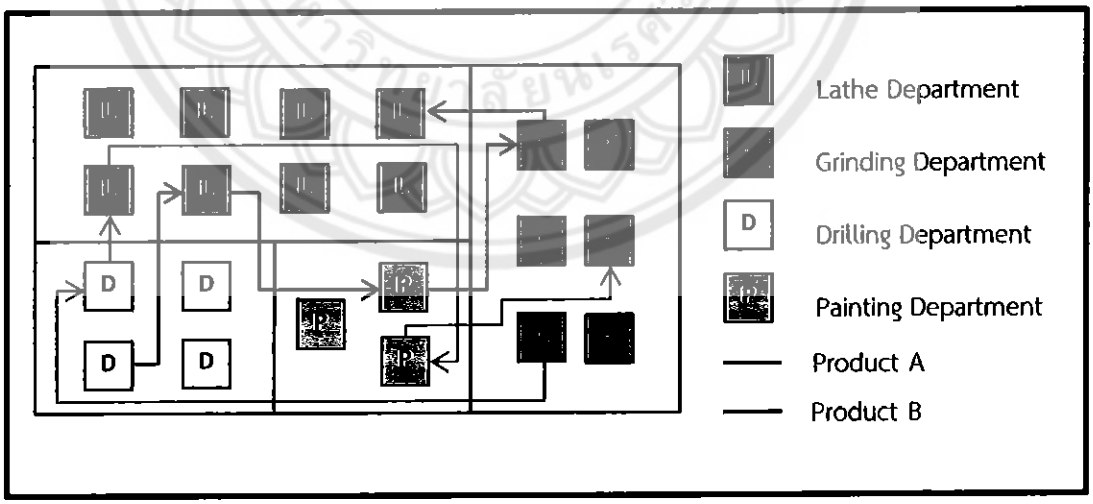
การวางผังโรงงานแบบชิ้นงานอยู่กับที่ โดยผู้ผลิตจะจัดสรรเครื่องจักร อุปกรณ์ คนงาน และวัสดุที่ใช้ในการผลิตให้เคลื่อนที่มายังจุดที่มีการผลิตซึ่งกำหนดตำแหน่งไว้คงที่แทนการให้ชิ้นงานเคลื่อนที่ เนื่องจากชิ้นมีขนาดใหญ่อาจไม่สามารถเคลื่อนย้ายไปหาเครื่องจักร หรือเครื่องมือได้ รูปแบบการผลิตแบบนี้สามารถผลิตได้จำนวนน้อย และใช้เวลาในการผลิตนาน แสดงดังรูปที่ 2.1 ตัวอย่างเช่น การต่อเรือ การประกอบเครื่องบิน และการก่อสร้างอาคาร เป็นต้น



รูปที่ 2.1 แสดงการวางผังโรงงานแบบชิ้นงานอยู่กับที่

2.1.2 การวางผังโรงงานแบบตามกระบวนการผลิต (Process Layout)

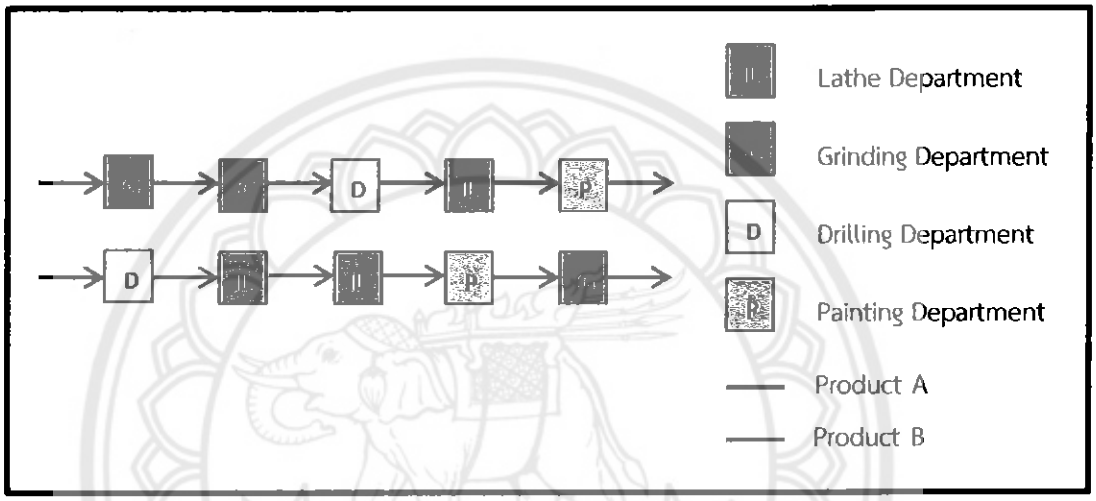
การวางผังโรงงานแบบตามกระบวนการผลิตเป็นการรวมเอาเครื่องจักรที่มีลักษณะการใช้งานเหมือนกัน หรือใช้งานแบบเดียวกันอยู่ในพื้นที่ส่วนเดียวกัน การวางผังโรงงานแบบนี้เหมาะกับการผลิตที่ทราบปริมาณการผลิตที่แน่นอน และการผลิตที่มีกรรมวิธีการผลิตที่คล้ายคลึงกัน เพราะมีการเคลื่อนที่สูง ต้องมีพนักงานที่มีทักษะ และความชำนาญสูงในการทำงาน รูปแบบการผลิตนี้เหมาะสำหรับโรงงานที่เน้นความหลากหลายของผลิตภัณฑ์ แสดงดังรูปที่ 2.2 ตัวอย่างเช่น บริการด้านการธนาคาร และบริการด้านการศึกษา เป็นต้น



รูปที่ 2.2 แสดงการวางผังโรงงานแบบตามกระบวนการผลิต

2.1.3 การวางผังโรงงานแบบตามชนิดของผลิตภัณฑ์ (Product Layout)

การวางผังโรงงานแบบตามชนิดผลิตภัณฑ์เป็นการวางผังที่ยึดเอาผลิตภัณฑ์ที่มีความคล้ายคลึงกันเป็นตัวกำหนดในการวางผังเครื่องจักร โดยจัดให้เครื่องจักรอยู่กับที่ และเรียงต่อกันเป็นสายการผลิต ทำให้ผลิตภัณฑ์มีการเคลื่อนที่น้อย เหมาะสำหรับการผลิตในปริมาณมากทำให้ต้นทุนการผลิตต่ำลง ลักษณะความแตกต่างของผลิตภัณฑ์น้อยเป็นลักษณะของการผลิตซ้ำ และต่อเนื่อง เครื่องจักรที่ใช้ส่วนใหญ่เป็นระบบอัตโนมัติ พนักงานไม่จำเป็นต้องมีความชำนาญสูง แสดงดังรูปที่ 2.3 ตัวอย่างเช่น การผลิตอาหารกระป๋อง เป็นต้น



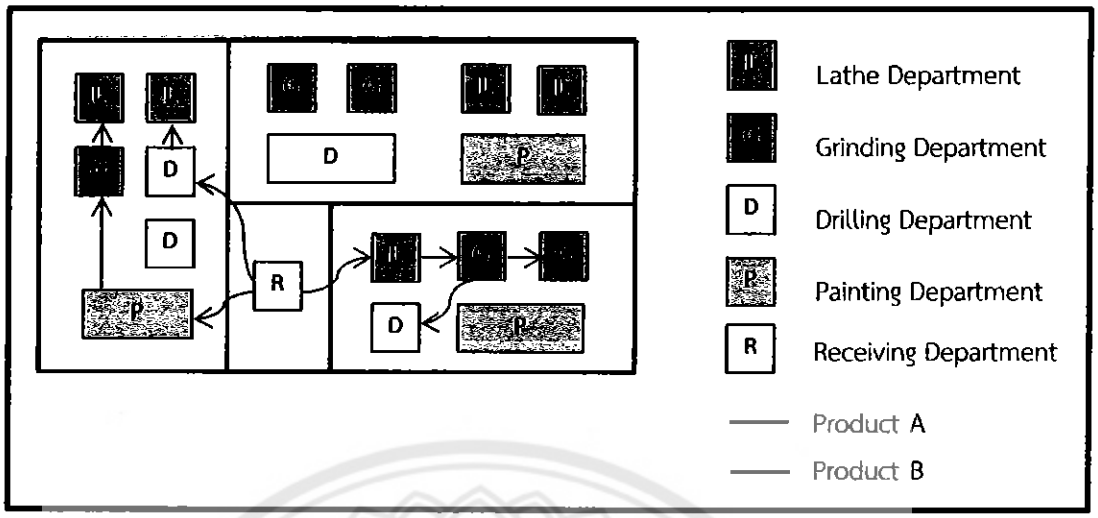
รูปที่ 2.3 แสดงการวางผังโรงงานแบบตามชนิดของผลิตภัณฑ์

2.1.4 การวางผังโรงงานแบบผสม (Mixed Layout)

การวางผังโรงงานแบบผสมเป็นการวางผังที่มีการผสมผสานกันระหว่างการวางผังตามกระบวนการผลิต และการวางผังตามชนิดของผลิตภัณฑ์ เช่น ในแผนกซ่อมบำรุง แผนกงานหล่อ จะวางผังเป็นแบบตามกระบวนการผลิต ส่วนแผนกผลิตชิ้นงานจะใช้วิธีการวางผังแบบตามชนิดของผลิตภัณฑ์ เป็นต้น

2.1.5 การวางผังการผลิตแบบเซลลูลาร์ (Cellular Manufacturing System)

การวางผังการผลิตแบบเซลลูลาร์เป็นการวางผังที่จัดกลุ่มผลิตภัณฑ์ที่มีกระบวนการเหมือนกัน หรือคล้ายคลึงกันเข้าไว้ด้วยกัน ซึ่งนำข้อดีของการวางผังแบบตามกระบวนการผลิต และแบบตามผลิตภัณฑ์มารวมกัน เพื่อตอบสนองความต้องการที่จะผลิตผลิตภัณฑ์ที่มีความหลากหลายมากขึ้นตามความต้องการของผู้บริโภค นอกจากนี้ยังช่วยลดความสูญเปล่าที่เกิดขึ้นในสายการผลิต และส่งผลการเพิ่มผลิตภาพ เช่น การใช้พื้นที่อย่างเกิดประโยชน์สูงสุด ลดระยะทางการขนถ่าย และลดการตัดกันของเส้นทางการผลิต เป็นต้น แสดงดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 แสดงการวางผังการผลิตแบบเซลลูลาร์

การวางผังการผลิตแบบเซลลูลาร์ จะนำข้อดีของการวางผังโรงงานตามชนิดผลิตภัณฑ์และตามกระบวนการผลิตมารวมกัน แสดงดังตารางที่ 2.1

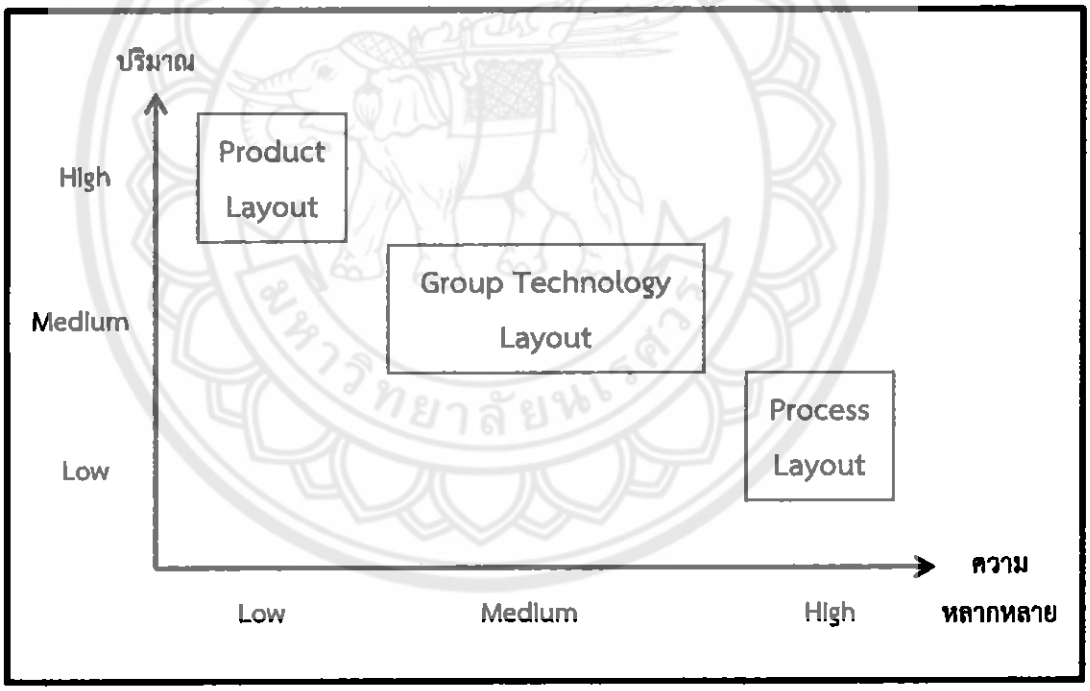
ตารางที่ 2.1 เปรียบเทียบข้อดีระหว่างการวางผังโรงงานตามชนิดผลิตภัณฑ์และการวางผังโรงงานตามกระบวนการผลิต

การวางผังโรงงานตามชนิดผลิตภัณฑ์	การวางผังโรงงานตามกระบวนการผลิต
ค่าใช้จ่ายด้านการขนถ่ายวัสดุต่ำกว่า	เครื่องจักรประเภทเดียวกันมีน้อยจึงทำให้เงินในการลงทุนด้านเครื่องจักรน้อยกว่า
ใช้เวลาในการผลิตน้อยกว่า	มีความยืดหยุ่นของระบบการผลิตสูงขึ้น
มีงานค้างในกระบวนการผลิตน้อยกว่า	การควบคุมดูแลสามารถทำได้อย่างมีประสิทธิภาพกว่า
สามารถจูงใจให้กลุ่มคนงานปฏิบัติงานในระดับสูงขึ้นได้มากกว่า	สามารถจูงใจให้คนงานคนใดคนหนึ่งทำงานในระดับที่สูงขึ้นได้มากกว่า
ใช้พื้นที่ที่ต้องการสำหรับผลิตภัณฑ์ต่อหน่วยน้อยกว่า	สามารถควบคุมส่วนที่ซับซ้อนและต้องการความถูกต้องได้ดีกว่า
สามารถควบคุมการผลิตได้มากกว่า มีการควบคุมน้อยซึ่งทำให้ค่าใช้จ่ายในทางบัญชีต่ำกว่า	ง่ายสำหรับการหยุดเครื่องและเคลื่อนย้ายงานจากเครื่องหนึ่งไปยังอีกเครื่องหนึ่งหรือพื้นที่หนึ่ง

ที่มา : http://archive.lib.cmu.ac.th/full/T/2552/inma0552rr_ch2.pdf
(สืบค้นเมื่อวันที่ 10 ก.ย. 2557)

ส่วนการจัดเครื่องจักรแบบตามกลุ่มเทคโนโลยี (Group Technology Layout) จะช่วยลดปัญหาที่เกิดขึ้นกับการวางผังโรงงานตามชนิดผลิตภัณฑ์ และตามกระบวนการผลิต เพราะถ้าเครื่องจักรเครื่องหนึ่งเกิดเสียก็สามารถใช้เครื่องจักรอีกเครื่องหนึ่งที่อยู่ในกลุ่มเครื่องจักรเดียวกันได้ และเป้าหมายที่สำคัญอีกอย่างหนึ่ง คือ ต้องการลดเคลื่อนที่ระหว่างเซลล์เนื่องจากเมื่อกระบวนการผลิตในกลุ่มเครื่องจักรเดียวกันผลิตเรียบร้อยแล้วก็จะส่งไปผลิตอีกกระบวนการผลิตหนึ่งทำให้เส้นทางการไหลของกระบวนการผลิตไม่ตัดกัน

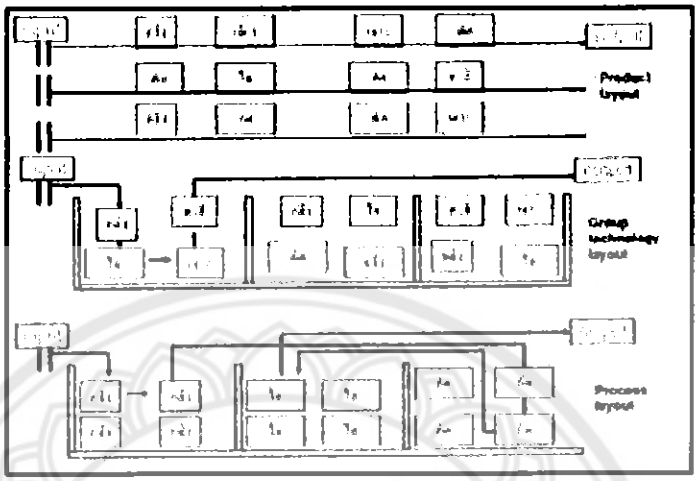
ความสัมพันธ์ระหว่างความหลากหลายของผลิตภัณฑ์ และปริมาณการผลิตในแต่ละแบบ โดยที่ การวางผังโรงงานตามชนิดผลิตภัณฑ์จะมีปริมาณการผลิตสูงแต่ว่าความหลากหลายจะน้อย ส่วนการผลิตแบบตามกระบวนการผลิตจะมีปริมาณการผลิตต่ำแต่ความหลากหลายจะมาก และการผลิตแบบตามกลุ่มเทคโนโลยี จะนำข้อดีของการวางผังโรงงานตามชนิดผลิตภัณฑ์ และตามกระบวนการผลิตมารวมกันจึงทำให้ปริมาณการผลิต และความหลากหลายของผลิตภัณฑ์อยู่ในช่วงกลางๆ แสดงดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหลากหลายของผลิตภัณฑ์และปริมาณการผลิต
ที่มา : จักรชัย บรรเทาทุกข์ และคณะ (2551).

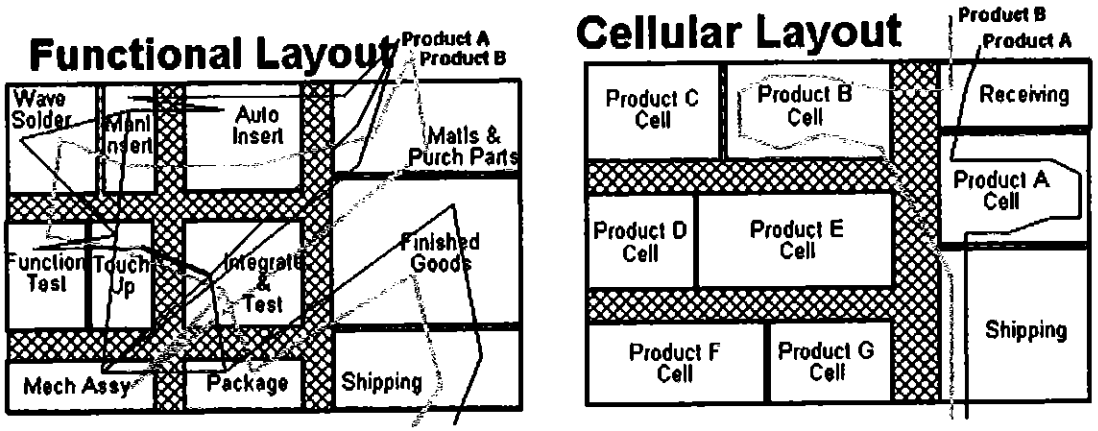
เส้นทางการไหลของการวางผังแต่ละแบบมีความแตกต่างกัน การไหลของการวางผังโรงงานตามชนิดผลิตภัณฑ์เป็นการไหลไปทางเดียว การจัดเรียงเครื่องจักรจัดตามผลิตภัณฑ์ที่ทำการผลิต มีความหลากหลายของผลิตภัณฑ์น้อยแต่สามารถผลิตได้ในปริมาณมาก เมื่อเครื่องจักรตัวใดตัวหนึ่งเสียจะไม่สามารถใช้เครื่องจักรเครื่องอื่นแทนได้ทำให้กระบวนการผลิตหยุดทำงานเพราะแต่ละ

เครื่องทำงานอยู่ และการจัดเครื่องจักรค่อนข้างคงที่ ส่วนเส้นทางการไหลของแบบตามกระบวนการผลิตมีเส้นทางการไหลที่ไม่เป็นระเบียบจะเกิดปัญหาการตัดกันของเส้นทางการผลิต ทำให้เกิดการสูญเสียระยะเวลาการทำงานของระบบ แสดงดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 แสดงการไหลของการวางผังแต่ละชนิด
ที่มา : จักรชัย บรรเทาทุกข์ และคณะ (2551).

เส้นทางการไหลของวัสดุระหว่างการผลิตตามขั้นตอนกับการผลิตแบบเซลล์ ภาพทางซ้ายเป็นการผลิตตามขั้นตอน พบว่าเส้นทางการไหลของวัสดุไม่เป็นระเบียบมีการตัดกันของเส้นทางการผลิต เซลล์มีความยืดหยุ่นในการผลิตน้อยเมื่อเครื่องจักรตัวใดตัวหนึ่งเสียจะไม่สามารถใช้เครื่องจักรอื่นแทนได้เพราะเครื่องจักรแต่ละเครื่องมีการใช้งานอยู่จึงเกิดการรอคอย ภาพทางขวาเป็นการจัดเครื่องจักรแบบเซลล์ พบว่าเส้นทางการไหลของวัสดุลดลง เส้นทางเป็นระเบียบมากขึ้น ไม่มีการตัดกันของเส้นทางการผลิต และระยะทางระหว่างแผนกลดลง จะช่วยลดปัญหาที่เกิดขึ้นจากการวางผังแบบตามขั้นตอนและตามกระบวนการ เพราะถ้าเครื่องจักรหนึ่งเกิดเสียก็สามารถใช้เครื่องจักรอีกเครื่องหนึ่งในกลุ่มเดียวกันแทนได้ ทำให้การผลิตไม่หยุด และเสียเวลาการขนถ่ายน้อยลงเพราะเครื่องจักรอยู่ใกล้กันมาก แสดงดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 แสดงการไหลของเส้นทางการผลิต

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

(สืบค้นเมื่อวันที่ 19 ส.ค. 2557)

2.2 ศึกษาหลักการและทฤษฎีของปัญหาการสร้างระบบการผลิตแบบเซลลูลาร์ (Cellular Manufacturing System : CMS)

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงปัญหาสำคัญอย่างหนึ่งของ CMS ที่โครงงานนี้จะดำเนินการศึกษา คือ ปัญหาการสร้างระบบการผลิตแบบเซลลูลาร์

ในการวางผังโรงงานอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ ที่มีกำลังการผลิตสูงรวมทั้งมีความหลากหลายของผลิตภัณฑ์เป็นจำนวนมาก และมีความซับซ้อนในกระบวนการผลิต ซึ่งในการผลิตนั้นอาจมีการสูญเสียในด้านต่างๆ เช่น ค่าใช้จ่ายจากการเกิดสินค้าคงคลัง และเวลานำ เป็นต้น ซึ่งส่งผลต่อกำไร และจำนวนผลิตภัณฑ์ที่จำเป็นต้องผลิตให้ทันต่อความต้องการของลูกค้า ในการผลิตโดยส่วนใหญ่ร้อยละ 30 ถึง ร้อยละ 70 ประกอบไปด้วยการขนถ่ายโดยทั้งสิ้น ดังนั้น เมื่อต้องการลดการเคลื่อนที่ หรือการขนส่งระหว่างเซลล์ ที่มีผลต่อการผลิตและเพื่อลดค่าใช้จ่ายโรงงาน จึงต้องหาวิธีลดระยะทางในการเคลื่อนที่ หรือจำนวนในการเคลื่อนที่ระหว่ากลุ่มของเครื่องจักรในโรงงานให้มีค่าน้อยที่สุด เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการผลิต

จุดประสงค์หนึ่งที่สำคัญในการสร้างเซลล์ และเป็นจุดประสงค์ที่นำมาใช้ในโครงงานนี้ เพื่อลดการเคลื่อนที่ระหว่างเซลล์ให้เหลือน้อยมี่สุด โดยจุดเด่นของการสร้างเซลล์แบบเซลลูลาร์นี้ คือ การนำเอาชิ้นส่วน หรือผลิตภัณฑ์ที่มีกระบวนการผลิตที่คล้ายคลึงกันรวมไว้ด้วยกัน เพื่อความรวดเร็วในกระบวนการผลิต และลดความซับซ้อนในการขนย้ายตัวชิ้นส่วนผลิต ซึ่งจะทำให้การผลิตมีความรวดเร็ว และมีต้นทุนการผลิตที่ต่ำลง

2.2.1 ปัญหาที่มีผลต่อการสร้างเซลล์แบบเซลลูลาร์

2.2.1.1 การจัดความคล้ายกันของชิ้นส่วนในการผลิต

2.2.1.2 การจัดวางกลุ่มและประเภทของเครื่องจักร

2.2.1.3 การกำหนดจำนวนของเซลล์

2.2.1.4 การกำหนดขนาดของเซลล์

ปัญหาเหล่านี้ก่อให้เกิดปัญหาที่ยุ่งยากตามมาในการสร้างเซลล์กระบวนการผลิตแบบเซลลูลาร์ จึงได้มีการศึกษาว่าจะทำอย่างไร เพื่อให้เกิดความสะดวก และง่ายต่อการสร้างเซลล์ วิธีที่จะนำมาใช้ในการแก้ไขปัญหาของการสร้างเซลล์แบบเซลลูลาร์ก็มีอยู่มากมาย ในโครงงานนี้ได้เลือกวิธีหนึ่งในการแก้ปัญหา คือ วิธีการแก้ปัญหาโดยใช้พาร์ติเคิล สวอม ออปติไมเซชั่น

2.2.2 Direct Clustering Algorithm (DCA)

Direct Clustering Algorithm (DCA) เป็นวิธีที่จัดอยู่ในกลุ่ม Array-Based Clustering เนื่องจากการผลิตแบบเซลล์มีความสำคัญและมีการใช้งานมากขึ้น และยังส่งผลกระทบสำคัญต่อรูปแบบผังเครื่องจักร DCA ซึ่งเป็นหนึ่งในรูปแบบการวางผังการผลิตแบบเซลล์ จึงได้รับการเสนอให้นำมาใช้ในการวางผังโรงงาน DCA จะอยู่บนพื้นฐานของ Machine-Part Matrix ซึ่ง 1 จะแทนชิ้นส่วนที่มีการทางานในเครื่องจักร และ 0 แทนชิ้นส่วนที่ไม่ได้ใช้งานเครื่องจักรโดย DCA มีวิธีดำเนินการ ดังนี้

2.2.2.1 นับจำนวน Positive Cell (เลข 1) ในแต่ละแถว และคอลัมน์ตามลำดับ แล้วจัดเรียงเมตริกซ์ตามค่าที่รวมไว้ แถวจะเรียงค่าจากมากไปน้อย และคอลัมน์จะเรียงจากน้อยไปมาก

2.2.2.2 เริ่มจากคอลัมน์แรก ย้ายแถวที่มี Positive Cell (เลข 1) ที่อยู่ในคอลัมน์นี้ขึ้นไปบนสุด ทำซ้ำในทุกแถวจนทุกแถวถูกเรียงจนหมด

2.2.2.3 เริ่มที่แถวแรกของเมตริกซ์ ย้ายหลักที่มี Positive Cell (เลข 1) อยู่ในแถวนี้ไปทางซ้ายสุดของเมตริกซ์ ทำซ้ำในแถวๆ ต่อไปจนหลักถูกเรียงหมด

2.2.2.4 ดูว่ายังมี Positive Cell (เลข 1) ที่ยังสามารถย้ายได้อีกหรือไม่ ถ้าไม่มีไปข้อ 2.2.2.5 ถ้ามีไปข้อ 2.2.2.2

2.2.2.5 หยุด

การนำปัญหามาสร้างให้อยู่ในรูปแบบของเมตริกซ์โดยมี พารามิเตอร์ ที่สำคัญอยู่ 3 ตัว คือ จำนวนชิ้นส่วน โดยจะแสดงในตารางแถวบนสุดจะมีจำนวนชิ้นส่วน 20 ชิ้น ส่วนจำนวนเครื่องจักรโดยจะแสดงในตารางคอลัมน์แรกสุดจะมีเครื่องจักร 10 เครื่อง การใช้เครื่องจักรของแต่ละกระบวนการผลิตของแต่ละชิ้นส่วน โดยจะถูกแสดงนอกเหนือจากหัวแถวและหัวคอลัมน์ แสดงดังรูปที่ 2.8

	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
5						1	1			1		1	1	1				1		
6		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 2.8 เมตริกซ์ที่ยังไม่ถูกสร้างเซลล์

รวมจำนวน Positive Cell (เลข 1) ไว้ฝั่งขวามือและตรงท้ายตาราง แสดงรายละเอียดให้ทราบถึงเครื่องจักรที่ต้องการใช้ในการบวนการผลิตของแต่ละชิ้นส่วน ตัวอย่างเช่น ชิ้นส่วนที่ 1 ผ่านเครื่องจักรที่ 1, 4 และ 7 ชิ้นส่วนที่ 3 ผ่านเครื่องจักรที่ 2, 6 และ 9 ชิ้นส่วนที่ 7 ผ่านเครื่องจักรที่ 3, 5, 8 และ 10 เป็นต้น แสดงดังรูปที่ 2.9

	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	6
2		1	1		1			1			1			1			1		1		8
3						1	1			1		1	1					1			6
4	1			1					1						1	1				1	7
5						1	1			1		1	1					1			4
6		1	1		1			1			1			1			1		1		8
7	1			1					1						1	1				1	6
8						1	1			1		1	1					1			6
9		1	1		1			1			1			1			1		1		8
10						1	1			1		1	1					1			6
	3	3	3	3	3	4	4	3	3	4	3	4	4	3	3	3	3	3	3	3	

รูปที่ 2.9 เมตริกซ์ที่รวมจำนวน Positive Cell (เลข 1)

เรียงลำดับของผลรวมจำนวนเลข Positive Cell (เลข 1) ของแถวจากมากไปน้อย (บนลงล่าง) และคอลัมน์จากน้อยไปมาก (ซ้ายไปขวา) แสดงดังรูปที่ 2.10

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

รูปที่ 2.10 เมตริกซ์หลังการจัดลำดับจำนวน Positive Cell (เลข 1)

จากคอลัมน์แรกย้ายแถวที่มี Positive Cell (เลข 1) ในคอลัมน์นี้ขึ้นไปบนสุด ทำซ้ำทุกแถวจนครบทุกแถว ดังตัวอย่าง เครื่องจักรที่ 1 ไปแทนที่เครื่องจักรที่ 2 เป็นต้น แสดงดังรูปที่ 2.11

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

รูปที่ 2.11 เมตริกซ์หลังปรับปรุงแถวใหม่

จากนั้นเริ่มที่แถวแรกของเมตริกซ์ โดยย้ายหลักที่มี Positive Cell (เลข 1) อยู่ในแถวนี้ไปทางซ้ายสุดของเมตริกซ์ ทำซ้ำในแถวๆ ต่อไปจนหลักถูกเรียงหมด ดังตัวอย่าง ชิ้นส่วนที่ 4 ไปแทนที่ชิ้นส่วนที่ 2 เป็นต้น แสดงดังรูปที่ 2.12

	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 2.12 การสร้างเซลล์ที่ไม่มีลำดับขั้นตอนการผลิต

ที่มา : จักรชัย บรรเทาทุกข์ และคณะ (2551).

การจัดเครื่องจักรของตัวอย่างนี้สามารถจัดได้ทั้งหมด 3 กลุ่ม หรือสามารถจัดกลุ่มเครื่องจักรออกเป็น 3 เซลล์ด้วยกัน การจัดกลุ่มจะดูจากการใช้เครื่องจักร ชิ้นส่วนที่มีการใช้เครื่องจักรเหมือนกันจะถูกนำชิ้นส่วนนั้นไว้ใกล้กัน ส่วนของเครื่องจักรก็จะนำมาเรียงต่อกันเป็นกลุ่มๆ แสดงดังรูปที่ 2.12 จะสังเกตได้ว่าจากรูปที่ 2.8 นั้น จะแสดงให้ทราบถึงความยุ่งยากในการผลิตเนื่องจากลักษณะการจัดเรียงที่ยังไม่เป็นระเบียบ และจากรูปที่ 2.12 เป็นตัวอย่างที่แสดงการจัดระเบียบการผลิตให้ดูมีแบบแผนโดยใช้หลักการของ CMS คือ การจัดส่วนที่คล้ายคลึงกันรวมเอาไว้ด้วยกัน

แต่ในโครงงานนี้ได้กำหนดเงื่อนไขของปัญหาการสร้างเซลล์การผลิตแบบเซลลูลาร์ในเรื่องของการผลิตที่มีลำดับขั้นตอนก่อนและหลังในกระบวนการ โดยภายในเมตริกซ์จะมีตัวเลขแสดงลำดับการผลิตอย่างชัดเจนว่าชิ้นส่วนการผลิตใดๆ ได้เริ่มทำการผลิตจากเครื่องจักรหนึ่งไปยังเครื่องจักรหนึ่งภายใต้เงื่อนไขแผนงานของโรงงานที่มีลักษณะเป็นเส้นตรง ซึ่งเป็นขอบเขตในการศึกษาของโครงงานนี้

ลักษณะปัญหาโดยรวมของการสร้างเซลล์การผลิตแบบเซลลูลาร์ ในโครงงานนี้จะมีวิธีการจัดรูปแบบของข้อมูลดิบที่จำเป็นต้องใช้ในการพิจารณาการเคลื่อนที่ระหว่างเซลล์ ซึ่งตัวแปรต่างๆ ที่จะต้องนำมาใช้เป็นข้อมูล ได้แก่ จำนวนเครื่องจักรของโรงงานที่ใช้ในการผลิต จำนวนกลุ่มเซลล์ที่ต้องการใช้จัดวางในระบบกระบวนการผลิต ลำดับขั้นตอนการผลิตของแต่ละชิ้นส่วน และเส้นทางการผลิตต่างๆ โดยนำข้อมูลของตัวแปรเหล่านี้มาใส่ลงในตาราง

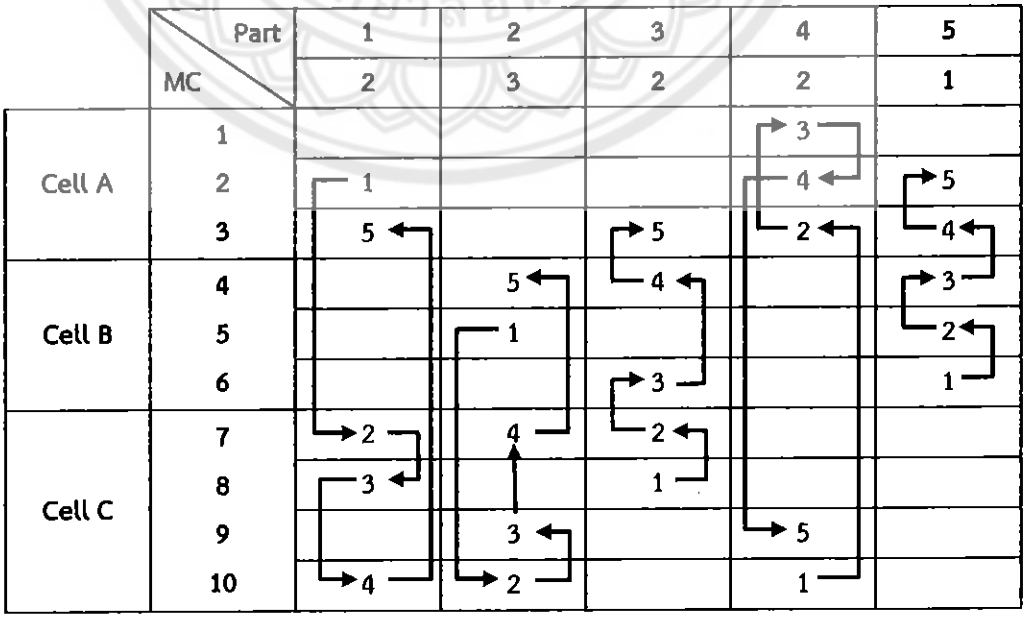
ข้อมูลในตารางจะบอกให้ทราบถึงการที่ผลิตภัณฑ์จะเคลื่อนที่ไปยังเครื่องจักรตัวไหนก่อนและหลังตามลำดับ ซึ่งในแต่ละผลิตภัณฑ์จะสามารถเลือกเส้นทางในการผลิตได้ 3 เส้นทางที่ไม่เหมือนกัน โดยแต่ละเส้นทางจะมีจำนวนการเคลื่อนที่ระหว่างเซลล์มาก หรือน้อยแตกต่างกัน และในแต่ละเส้นทางการผลิตจะให้ผลิตภัณฑ์ที่เหมือนกันเมื่อสิ้นสุดกระบวนการผลิต แสดงดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 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 (2551).

เมื่อเก็บข้อมูลการเคลื่อนที่ของผลิตภัณฑ์ จะได้การเคลื่อนที่ระหว่าง**เซลล์ตามลำดับขั้นตอน**การผลิตของแต่ละชิ้นส่วน และเส้นทางในการผลิตที่ถูกเลือกใช้ในการผลิต แสดงดัง**รูปที่** 2.13



รูปที่ 2.13 ตัวอย่างการแบ่งกลุ่มเซลล์ของเครื่องจักรและการเลือกเส้นทางการผลิต

ในความชัดเจนของการเคลื่อนที่ระหว่างเซลล์ตามลำดับของตัวเลขและลูกศร รวมถึงการเลือกเส้นทางในการผลิตว่าจะเลือกใช้เส้นทางใดในการผลิตด้วย ดังนี้

Cell A ประกอบด้วยเครื่องจักร 1, 2 และ 3

Cell B ประกอบด้วยเครื่องจักร 4, 5 และ 6

Cell C ประกอบด้วยเครื่องจักร 7, 8, 9 และ 10

ผลิตภัณฑ์ที่ 1

ก. เส้นทางการผลิตที่ 1 มีจำนวนในการเคลื่อนที่ระหว่างเซลล์เท่ากับ 4 ครั้ง

ข. เส้นทางการผลิตที่ 2 มีจำนวนในการเคลื่อนที่ระหว่างเซลล์เท่ากับ 2 ครั้ง

ค. เส้นทางการผลิตที่ 3 มีจำนวนในการเคลื่อนที่ระหว่างเซลล์เท่ากับ 2 ครั้ง

เลือกใช้เส้นทางการผลิตที่ 2 มีการเคลื่อนที่ข้ามเซลล์น้อยที่สุด

ผลิตภัณฑ์ที่ 2

ก. เส้นทางการผลิตที่ 1 มีจำนวนในการเคลื่อนที่ระหว่างเซลล์เท่ากับ 4 ครั้ง

ข. เส้นทางการผลิตที่ 2 มีจำนวนในการเคลื่อนที่ระหว่างเซลล์เท่ากับ 2 ครั้ง

ค. เส้นทางการผลิตที่ 3 มีจำนวนในการเคลื่อนที่ระหว่างเซลล์เท่ากับ 2 ครั้ง

เลือกใช้เส้นทางการผลิตที่ 3 มีการเคลื่อนที่ข้ามเซลล์น้อยที่สุด

ผลิตภัณฑ์ที่ 3

ก. เส้นทางการผลิตที่ 1 มีจำนวนในการเคลื่อนที่ระหว่างเซลล์เท่ากับ 4 ครั้ง

ข. เส้นทางการผลิตที่ 2 มีจำนวนในการเคลื่อนที่ระหว่างเซลล์เท่ากับ 2 ครั้ง

ค. เส้นทางการผลิตที่ 3 มีจำนวนในการเคลื่อนที่ระหว่างเซลล์เท่ากับ 2 ครั้ง

เลือกใช้เส้นทางการผลิตที่ 2 มีการเคลื่อนที่ข้ามเซลล์น้อยที่สุด

ผลิตภัณฑ์ที่ 4

ก. เส้นทางการผลิตที่ 1 มีจำนวนในการเคลื่อนที่ระหว่างเซลล์เท่ากับ 3 ครั้ง

ข. เส้นทางการผลิตที่ 2 มีจำนวนในการเคลื่อนที่ระหว่างเซลล์เท่ากับ 2 ครั้ง

ค. เส้นทางการผลิตที่ 3 มีจำนวนในการเคลื่อนที่ระหว่างเซลล์เท่ากับ 2 ครั้ง

เลือกใช้เส้นทางการผลิตที่ 2 มีการเคลื่อนที่ข้ามเซลล์น้อยที่สุด

ผลิตภัณฑ์ที่ 5

ก. เส้นทางการผลิตที่ 1 มีจำนวนในการเคลื่อนที่ระหว่างเซลล์เท่ากับ 1 ครั้ง

ข. เส้นทางการผลิตที่ 2 มีจำนวนในการเคลื่อนที่ระหว่างเซลล์เท่ากับ 2 ครั้ง

ค. เส้นทางการผลิตที่ 3 มีจำนวนในการเคลื่อนที่ระหว่างเซลล์เท่ากับ 2 ครั้ง

เลือกใช้เส้นทางการผลิตที่ 1 มีการเคลื่อนที่ข้ามเซลล์น้อยที่สุด

ซึ่งจะได้ค่าการเคลื่อนที่ระหว่างเซลล์รวมทั้งหมด เท่ากับ 9 ครั้ง ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้มานั้นจะยังไม่ได้ค่าการเคลื่อนที่ระหว่างเซลล์ที่น้อยที่สุด เพราะฉะนั้นจึงนำเอาวิธีการแก้ปัญหาการออกแบบ

การจัดเซลล์ด้วยวิธีพาติเคิล สวอม ออปติไมเซชั่น เข้ามาช่วยหาคำตอบของรูปแบบการจัดกลุ่มใหม่เพื่อให้ได้ค่าการเคลื่อนที่รวมระหว่างเซลล์ที่น้อยที่สุดในการจัดวางเครื่องจักร

2.3 ข้อดีและข้อเสียของการผลิตแบบเซลลูลาร์เทียบกับการผลิตตามขั้นตอนในด้านต่างๆ

2.3.1 ประโยชน์ด้านการไหลของวัสดุ (Material Handling Benefits)

ตารางที่ 2.3 เปรียบเทียบการไหลของวัสดุของการผลิตแบบเซลล์เทียบกับการผลิตตามขั้นตอน

รายการ	การผลิตตามขั้นตอน	การผลิตแบบเซลลูลาร์	การพัฒนา
การเคลื่อนที่ระหว่างเซลล์	น้อย	มาก	ร้อยละ 50-90
ระยะทางเดิน	500-4,000 ฟุต	100-400 ฟุต	ร้อยละ 70-90
ลักษณะงาน	ซับซ้อน	ง่าย	สามารถทำเป็นอัตโนมัติได้
โครงสร้างของงาน	เปลี่ยนแปลงได้	คงที่	สามารถทำให้ง่ายได้

ที่มา : วิภาดา ผาริการ และคณะ (2555).

จากตารางที่ 2.3 แสดงให้เห็นถึงประโยชน์ในการจัดการวัสดุ จะเห็นว่าการผลิตตามขั้นตอนจะมีการเคลื่อนที่ระหว่างเซลล์มาก ระยะทางการเดิน 500-4,000 ฟุต ลักษณะการทำงานจะซับซ้อน โครงสร้างของงานสามารถเปลี่ยนแปลงได้ ส่วนการผลิตแบบเซลล์ การเคลื่อนที่ระหว่างเซลล์จะน้อย มีระยะทางที่สั้นกว่าเพียง 100-400 ฟุตเท่านั้น ลักษณะการทำงานจะง่าย และโครงสร้างการทำงานไม่สามารถเปลี่ยนแปลงได้ ความสามารถในการพัฒนาจากระบบผลิตตามขั้นตอนเป็นการผลิตแบบเซลล์ ดังนี้

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 เส้นทางการเดินสามารถทำได้ง่ายขึ้นได้

2.3.2 ประโยชน์ด้านคงคลังและการจัดเวลางาน (Inventory and Scheduling Benefits)

ตารางที่ 2.4 การเปรียบเทียบคงคลังและการจัดเวลาทำงานของการผลิตตามขั้นตอนกับการผลิตแบบเซลล์

รายการ	การผลิตตามขั้นตอน	การผลิตแบบเซลลูลาร์	การพัฒนา
ปริมาณการผลิต	น้อย	น้อย - ปานกลาง	ร้อยละ 50-100
จำนวนงานที่รอการผลิต	12-30	3-5	ร้อยละ 50-80
นโยบายการผลิต	Make-To-Stock	Make-To-Order	Eliminate TG Stock
การหมุนเวียน	3-10	15-60	ร้อยละ 60-90
ปริมาณงานที่ผลิตในช่วงเวลาหนึ่ง	สัปดาห์	ชั่วโมง	ร้อยละ 50-90
อัตราการใช้เครื่องมือเครื่องจักร	ร้อยละ 40-100	ร้อยละ 20-80	สามารถทำให้เป็นประโยชน์
การจัดลำดับงาน	ยาก	ง่าย	สามารถทำให้ดีขึ้นได้

ที่มา : วิภาดา ผาริการ และคณะ (2555).

จากตารางที่ 2.4 จะเห็นว่าปริมาณการผลิตแบบขั้นตอนจะมีปริมาณการผลิตต่อครั้งมาก มีจำนวนงานที่รอ 12-30 ครั้ง เป็นการผลิตแบบการผลิตเก็บไว้ในคลังสินค้า เพื่อรอการซื้อ การหมุนเวียนของคงคลัง 3-10 ครั้ง ปริมาณงานที่ทำนับเป็นสัปดาห์ อัตราการใช้เครื่องมือเครื่องจักรร้อยละ 40-100 การจัดลำดับงานจะซับซ้อน ส่วนการผลิตแบบเซลล์ จะมีปริมาณการผลิตต่อครั้งน้อยกว่าแบบขั้นตอน จำนวนงานที่รอ 3-5 ครั้ง เป็นการผลิตตามคำสั่ง การหมุนเวียนของคงคลัง 15-16 ครั้ง ปริมาณงานที่ทำนับเป็นชั่วโมง อัตราการใช้งานเครื่องมือเครื่องจักร ร้อยละ 20-80 การจัดลำดับงานจะง่าย ความสามารถในการพัฒนาจากระบบการผลิตตามขั้นตอนเป็นการผลิตแบบเซลล์ ดังนี้

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 2.5 เปรียบเทียบคุณภาพของการผลิตตามขั้นตอนกับการผลิตแบบเซลล์

รายการ	การผลิตตามขั้นตอน	การผลิตแบบเซลลูลาร์	การพัฒนา
ความรับผิดชอบ	ต่างคนต่างทำ	ทำร่วมกัน	ร้อยละ 50-90
การบรรลุจุดหมาย	ต้องมีการควบคุม	บังคับตัวเอง	ทีมมีความสุข
การจูงใจ	หลีกเลี่ยงการลงโทษ	สร้างความภาคภูมิใจ	ประสิทธิภาพสูงสุด
ความสามารถในการแก้ปัญหา	ยาก เพราะต่างคนต่างทำ	ทำเป็นทีม	สามารถแก้ปัญหาได้

ที่มา : วิภาดา ผาริการ และคณะ (2555).

จากตารางที่ 2.5 แสดงให้เห็นว่าการผลิตตามขั้นตอน เป็นการผลิตแบบต่างคนต่างทำ จะต้องมีการควบคุมให้บรรลุจุดมุ่งหมาย มีการหลีกเลี่ยงการโดนลงโทษความสามารถในการแก้ปัญหาจะทำได้ยากเพราะต่างคนต่างทำงานของตน ส่วนการผลิตแบบเซลล์จะเป็นการทำงานร่วมกัน การทำงานจะเป็นการบังคับตนเองจะมีความภาคภูมิใจเมื่องานสำเร็จ การแก้ปัญหาจะสามารถแก้ได้เพราะทำงานเป็นทีม ความสามารถในการพัฒนาจากระบบผลิตตามขั้นตอนเป็นการผลิตแบบเซลล์ดังนี้

2.3.3.1 ความรับผิดชอบมากขึ้น ร้อยละ 50-90

2.3.3.2 การบรรลุมุ่งหมายทำให้เกิดความสุข

2.3.3.3 การจูงใจทำให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น

2.3.3.4 มีความสามารถในการแก้ปัญหามากขึ้น

2.3.4 ประโยชน์ด้านบุคลากร (People Benefits)

ตารางที่ 2.6 การเปรียบเทียบบุคลากรของการผลิตแบบขั้นตอนกับการผลิตแบบเซลล์

รายการ	การผลิตตามขั้นตอน	การผลิตแบบเซลลูลาร์	การพัฒนา
การสื่อสาร	ช้าและไม่แน่นอน	เร็วและดี	ทำให้มีประสิทธิภาพและประสานงานร่วมกัน

ตารางที่ 2.6 (ต่อ) การเปรียบเทียบบุคลากรของการผลิตแบบขั้นตอนกับการผลิตแบบเซลล์

รายการ	การผลิตตามขั้นตอน	การผลิตแบบเซลลูลาร์	การพัฒนา
การทำงานเป็นทีม	มีอุปสรรค์	ทำงานเป็นทีมได้อย่างดี	สามารถทำให้เป็นทีม
การจูงใจ	ด้านลบ	ด้านบวก	สามารถพัฒนาให้ดีขึ้น
ระดับความรู้	แคบ	กว้าง	สามารถพัฒนาได้
ความรับผิดชอบ	ต่างคนต่างทำ	ง่ายและแน่นอน	สามารถพัฒนาได้น้อย

ที่มา : วิภาดา ผาริการ และคณะ (2555).

จากตารางที่ 2.6 แสดงให้เห็นว่าการผลิตตามขั้นตอนมีการติดต่อสื่อสารที่ช้า และไม่แน่นอน การทำงานเป็นทีม จะมีอุปสรรคการจูงใจจะเป็นด้านลบ ระดับความรู้จะมีไม่กว้าง ความรับผิดชอบจะต่างคนต่างทำ ส่วนการผลิตแบบเซลล์จะมีการติดต่อสื่อสารที่เร็ว การทำงานเป็นทีมจะทำได้ดี ระดับความรู้จะกว้างกว่าแบบผลิตตามขั้นตอน ความรับผิดชอบจะดีและแน่นอน ความสามารถในพัฒนาจากระบบผลิตตามขั้นตอนเป็นการผลิตแบบเซลล์ ดังนี้

2.3.4.1 การติดต่อสื่อสารทำให้การทำงานมีประสิทธิภาพ

2.3.4.2 การทำงานเป็นทีมมีประสิทธิภาพมากขึ้น

2.3.4.3 การจูงใจสามารถทำได้ดีขึ้น

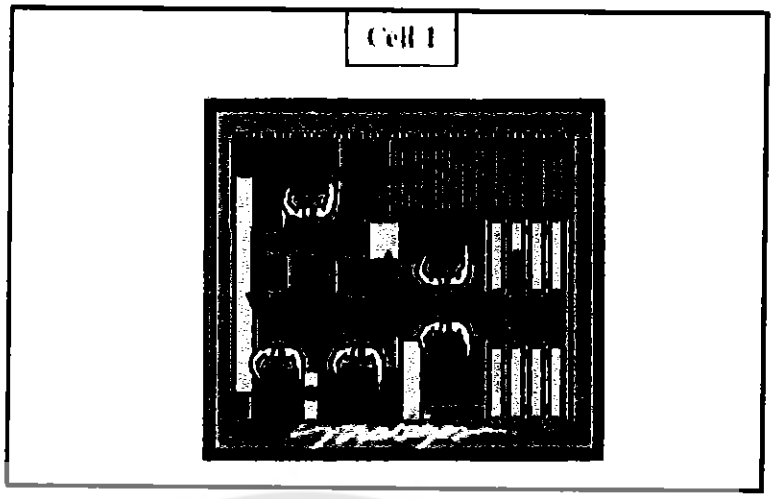
2.3.4.4 ความรับผิดชอบสามารถพัฒนาได้แต่น้อย

2.4 ปัญหาที่เกิดขึ้นในระบบการผลิตแบบเซลลูลาร์

ปัญหาที่เกิดขึ้นในระบบการผลิตแบบเซลลูลาร์ จะมีอยู่ด้วยกัน 2 แบบ ดังนี้

2.4.1 การเคลื่อนที่ภายในเซลล์

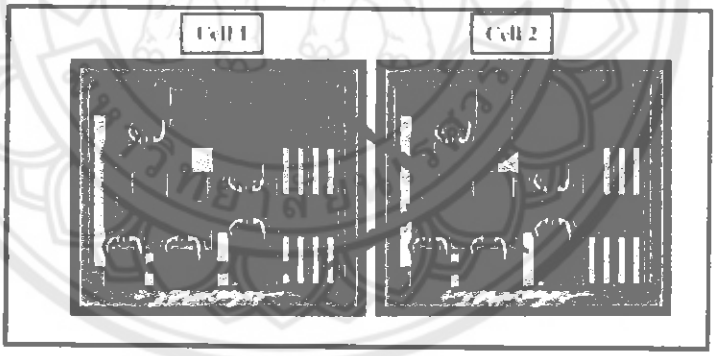
การเคลื่อนที่ภายในเซลล์ คือ การเคลื่อนที่ของวัสดุตามกระบวนการผลิตภายในเซลล์ กระบวนการผลิตเดียวกัน การเคลื่อนที่ไม่เกิดผลกระทบต่อกระบวนการผลิตมาก แสดงดังรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.14 แสดงการเคลื่อนไหวภายในเซลล์
ที่มา : วิภาดา ผาริการ และคณะ (2555).

2.4.2 การเคลื่อนที่ระหว่างเซลล์

การเคลื่อนที่ระหว่างเซลล์ คือ การเคลื่อนที่วัสดุตามกระบวนการผลิตระหว่างเซลล์ การเคลื่อนที่ในลักษณะนี้จะมีผลกระทบต่อการะบวนการผลิตมาก แสดงดังรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.15 แสดงการเคลื่อนไหวระหว่างเซลล์
ที่มา : วิภาดา ผาริการ และคณะ (2552).

2.5 วิธีการหาคำตอบที่เหมาะสม

ในการแก้ปัญหาต่างๆ จะสามารถแบ่งกว้างๆ ได้ 2 แบบ คือ วิธีการหาค่าคำตอบที่เหมาะสมโดยอาศัยหลักการทางคณิตศาสตร์ (Conventional Optimization Algorithm) และ วิธีหาคำตอบที่เหมาะสมโดยอาศัยหลักการประมาณค่า (Approximation Optimization Algorithm)

2.5.1 วิธีการหาค่าคำตอบที่เหมาะสมโดยอาศัยหลักการทางคณิตศาสตร์ (Conventional Optimization Algorithm : COAs)

วิธีการหาคำตอบที่เหมาะสมโดยอาศัยหลักการทางคณิตศาสตร์ถูกพัฒนาขึ้นในขณะเกิดสงครามโลกครั้งที่ 2 เพื่อแก้ปัญหาทางด้านการทหารที่มีความซับซ้อน ซึ่งวิธีนี้ได้ถูกนำไปใช้แก้ปัญหาด้านอื่นๆ เช่น ปัญหาด้านการจักตารางการผลิต (Scheduling Problem) และปัญหาการมอบหมายงาน (Assignment Problem) เป็นต้น โดยวิธีการนี้เหมาะสมกับปัญหาขนาดเล็ก มีกฎในการหาคำตอบที่ตายตัวเกินไป มีตัวแปร และสมการมาก ทำให้เกิดความยุ่งยากในการคำนวณหาคำตอบ และใช้เวลานานในการคำนวณหาคำตอบ ดังนั้น ปัญหาที่มีขนาดใหญ่และซับซ้อนมาก มีวิธีที่เหมาะสมกว่า คือ วิธีหาคำตอบที่เหมาะสมโดยอาศัยหลักการประมาณค่า

นอกจากนี้ยังมีวิธีการหาคำตอบอีกหลายวิธี เช่น วิธีบรานช์แอนด์บาวด์ (Branch and Bound) วิธีการโปรแกรมพลวัต (Dynamic Programming) และวิธีการโปรแกรมเชิงเส้น (Integrate Linear Programming) เป็นต้น

2.5.2 วิธีหาคำตอบที่เหมาะสมโดยอาศัยหลักการประมาณค่า (Approximation Optimization Algorithm : AOAs)

วิธีหาคำตอบที่เหมาะสมโดยอาศัยหลักการประมาณค่าจะมีความรวดเร็วในการแก้ปัญหาคำตอบที่ได้อาจไม่ใช่คำตอบที่ดีที่สุดแต่เป็นคำตอบที่เหมาะสมกับปัญหานั้นๆ ซึ่งวิธีการนี้ได้ถูกคิดค้นมา เพื่อแก้ปัญหาที่มีขนาดใหญ่ และมีความซับซ้อนสูง สามารถแบ่งได้อีก 2 แบบ ดังนี้

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

2.5.2.2 Iterative Optimization Approaches เป็นการหาคำตอบโดยการเลียนแบบพฤติกรรมทางธรรมชาติ เป็นวิธีการแก้ปัญหาแบบใหม่เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีอื่นๆ เช่น ซัฟเฟิล ฟอร์กลิปปิง อัลกอริทึม (Suffled Frog Leaping Algorithm), ฮาร์โมนี เสิร์ช อัลกอริทึม (Harmony Search Algorithm), จีเนติกอัลกอริทึม (Genetic Algorithm), มีมีติกอัลกอริทึม (Memetic Algorithm) และพาร์ติเคิล สวอม ออปติไมเซชั่น (Particle Swarm Optimization) เป็นต้น

2.6 หลักการและทฤษฎีของพาร์ติเคิล สวอม ออปติไมเซชั่น (Particle Swarm Optimization)

จำนวนครั้งในการเคลื่อนที่ของชิ้นส่วนในกระบวนการผลิตสูงจึงเป็นปัญหาของกระบวนการสร้างเซลล์การผลิตแบบเซลลูลาร์ ซึ่งจำเป็นต้องมีกระบวนการ หรือวิธีการแก้ปัญหาอื่นๆ เข้ามาช่วยในการแก้ปัญหา อาจมีหลากหลายวิธีแต่ในโครงงานนี้ได้นำเอาหลักการของพาร์ติเคิล สวอม ออปติไมเซชั่น

มาใช้แก้ปัญหาในเรื่องของการลดจำนวนครั้งในการเคลื่อนที่ หรือสร้างเซลล์ในกระบวนการผลิต เพื่อลดการเคลื่อนที่รวมระหว่างเซลล์ให้มีค่าน้อยที่สุด

2.6.1 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับพาร์ติเคิล สวอม ออปติไมเซชั่น

พาร์ติเคิล สวอม ออปติไมเซชั่น เป็นวิธีการพัฒนาการเรียนรู้ ซึ่งจะแตกต่างจากวิธีการ เจเนติก อัลกอลิทึม, มีมีติก อัลกอลิทึม ที่ใช้การวิวัฒนาการ หรือ คัดสรรสายพันธุ์ วิธีการพาร์ติเคิล สวอม ออปติไมเซชั่น ถูกพัฒนาโดย Eberhart และ Kennedy ในปี 1995 เพื่อใช้ในการแก้ปัญหาทางคอมพิวเตอร์ หรือทางวิศวกรรม ซึ่งเทคนิคนี้มีแนวทางคิดมาจากการหาอาหารของนก หรือปลา และทฤษฎีการเคลื่อนที่ (Velocity Theory) ที่ต้องมีการเคลื่อนที่กันเป็นกลุ่ม และการเว้นระยะห่างระหว่างนกหรือปลาแต่ละตัว จะประกอบไปด้วยกลุ่มของประชากร ที่เรียกว่า Particle โดยแต่ละ Particle จะมีการสำรวจบริเวณค่าคำตอบที่เป็นไปได้ของปัญหา ซึ่งจะประกอบด้วย ตำแหน่งของตนเอง (Position) และอัตราเร็วในการเคลื่อนที่ (Velocity) โดยแต่ละรอบที่ทำการค้นหาคำตอบก็จะทำการปรับปรุงอัตราความเร็วไปด้วย เพื่อที่จะปรับปรุงค่าของตำแหน่ง ให้ได้ตำแหน่งที่ดีที่สุดหรือก็คือ ค่าคำตอบที่ดีที่สุดนั่นเอง ซึ่งการเคลื่อนที่ (Swarm) เป็นกลุ่ม จะต้องประกอบด้วยสมบัติพื้นฐาน 5 ประการ ดังนี้

2.6.1.1 หลักการเคลื่อนที่ (Proximity Principle) คือ การเคลื่อนที่ให้สัมพันธ์กันในทุกช่วงเวลาจะต้องมีการรักษาระยะห่างระหว่างกันไว้ เพื่อป้องกันการชนกันของแต่ละ Particle

2.6.1.2 หลักการปรับตัว (Quality Principle) คือ การปรับตัว หรือการตอบสนองต่อปัจจัยต่างๆ จากสิ่งแวดล้อมที่มีการเปลี่ยนแปลง เพื่อให้สามารถดำรงชีวิตอยู่ได้ทุกสภาวะแวดล้อม

2.6.1.3 ความหลากหลายของคำตอบที่เหมาะสม (Diverse Principle) คือ คำตอบที่เหมาะสมนั้นจะต้องมีความหลากหลาย ไม่ยึดติดกับคำตอบใดคำตอบหนึ่ง

2.6.1.4 หลักการมีเสถียรภาพทางพฤติกรรม (Stability Principle) คือ พฤติกรรมของสมาชิกในสังคม จะไม่เปลี่ยนแปลงตามสภาพแวดล้อม

2.6.1.5 หลักการปรับปรุงพัฒนาตนเอง (Principle of Adaptability) คือ สามารถคำนวณค่าคำตอบที่เหมาะสมได้

2.6.2 ขั้นตอนการทำงานของพาร์ติเคิล สวอม ออปติไมเซชั่น

2.6.2.1 กำหนดค่าเริ่มต้นของพารามิเตอร์ ดังนี้

ก. จำนวนพาร์ติเคิล (Number of Particles : P)

ข. จำนวนรอบ (Number of Iterations : I)

ค. ระดับความสามารถในการเรียนรู้ของตัวเอง (Importance of Personal Best : C_1)

ง. ระดับความสามารถในการเรียนรู้ของกลุ่ม (Importance of Neighborhood Best : C_2)

2.6.2.2 สร้างพาร์ติเคิลเริ่มต้น คือ การกำหนดรูปแบบของคำตอบซึ่งถูกเก็บอยู่ในรูปแบบของ Array โดย Particle หนึ่งตัวจะแทนด้วย Array หนึ่งชุด

2.6.2.3 ประเมินค่าความเหมาะสมของแต่ละ Particle คือ การประเมินค่าความเหมาะสมนี้ จะประเมินโดยใช้ฟังก์ชันเป้าหมาย (Fitness Function) ซึ่งการประเมินดังกล่าวจะขึ้นอยู่กับแต่ละปัญหา

2.6.2.4 เปรียบเทียบค่าที่เหมาะสมกับค่าคำตอบที่ดีที่สุดของประสบการณ์ที่ผ่านมา (Pbest) ถ้าค่าคำตอบที่เหมาะสมมากกว่าค่า Pbest ให้กำหนดค่าคำตอบที่เหมาะสมที่ได้ให้เป็น ค่า Pbeat ใหม่ และเปรียบเทียบค่าที่เหมาะสมกับค่าคำตอบที่ดีที่สุดจากประสบการณ์ที่ผ่านมาของทั้งหมด (Gbest) ถ้าค่าคำตอบที่เหมาะสมมากกว่าค่า Gbest ในรอบการทำงานที่ผ่านมาให้กำหนดค่าคำตอบที่เหมาะสมเป็นค่า Gbest ใหม่

2.6.2.5 ปรับปรุงค่าของอัตราความเร็ว (Velocity) ในการบิน เป็นการปรับปรุงค่าอัตราความเร็วในรอบการทำงานของแต่ละ Paticles ด้วยสมการที่ 2.1

$$Velocity = C1 \times rand1() \times (Present[] - Pbest[]) + C2 \times rand2() \times (Gbest[] - Present[]) \quad (2.1)$$

โดย
- Velocity คือ อัตราเร็วในรอบใหม่
- C1 คือ ระดับความสามารถในการเรียนรู้ของตัวเอง
- C2 คือ ระดับความสามารถในการเรียนรู้ของกลุ่ม
- Present คือ ค่าตำแหน่ง หรือรูปแบบค่าคำตอบ
- Pbest[] คือ ค่าตำแหน่งที่ดีที่สุดของ (Pbest)
- Gbest[] คือ ค่าตำแหน่งที่ดีที่สุดของ (Gbest)
- rand1() คือ ค่าสุ่มจาก 0 ถึง 1
- rand2() คือ ค่าสุ่มจาก 0 ถึง 1

ที่มา : R. M. Satheesh Kumal และคณะ (2007).

2.6.2.6 ปรับปรุงค่าตำแหน่ง (Position) เป็นการปรับปรุงค่าของตำแหน่งในรอบการทำงานของแต่ละ Particle ด้วยสมการที่ 2.2

$$New\ Sequence = Present + Velocity \quad (2.2)$$

โดย New Sequence คือ ค่าของตำแหน่งหรือค่าคำตอบใหม่ที่หาได้
Present คือ ค่าตำแหน่ง หรือค่าคำตอบของพาร์ติเคิลในรอบที่ผ่านมา
Velocity คือ ค่าอัตราเร็ว

ที่มา : R. M. Satheesh Kumal และคณะ (2007).

2.6.2.7 วนรอบการทำงานทั้งหมด จะต้องวนจนครบทุก Particle เพื่อที่จะได้ค่าคำตอบที่ดีที่สุดในกลุ่ม หรือตามเงื่อนไขที่กำหนดไว้

2.7 หลักการและทฤษฎีของโปรแกรม Tool Command Language และ Toolkit (Tcl/Tk)

2.7.1 Tool Command Language (Tcl)

Tcl (อ่านว่า Tickle) มาจากคำว่า Tool Command Language เป็นภาษาสคริปต์ที่ต้องทำงานภายใต้ Tcl Shell (Tclsh) ถูกพัฒนาโดย John K. Outsterhoot ที่ University of California Tcl/Tk หนึ่งภาษาสามารถใช้งานได้หลายอย่าง สามารถพัฒนา GUI โดยใช้ TK

Tcl/Tk สามารถทำงานบน Web Browser ที่สร้างมาจาก Netscape และ Microsoft สามารถนำมาใช้งานแทน JavaScript และ VBScript ได้โดยที่ Tcl/Tk เป็น CGI ที่สามารถทำงานฝั่ง Server และเป็นภาษาที่ยืดหยุ่น ลักษณะเด่น คือ Tcl เป็นภาษาที่ง่าย เป็น Open-Source สามารถทำงานได้ในหลายระบบปฏิบัติการ เช่น Unix Macintosh และ Window เป็นต้น และ Tcl มีลักษณะของการนำคำสั่งมาใช้ใหม่ (Macro Language) และสามารถเพิ่มฟังก์ชั่นใหม่ๆ ได้โดยง่าย

2.7.2 Toolkit (Tk)

Tk (อ่านว่า Tee-Kay) มาจากคำว่า Toolkit ใช้สำหรับสร้างกราฟิกยูสเซอร์อินเตอร์เฟสบน X Windows System ที่ทำงานภายใต้ Windowing Shell (Wish) Tk เป็น Extension หนึ่งของ Tcl มีประโยชน์ในการจัดการ Graphical User Interface โดยเฉพาะในการใช้โปรแกรมบน X Windows System บน UNIX แต่ในปัจจุบันนั้น สามารถทำงานได้บน MS Windows และ Macintosh ได้ด้วย

โปรแกรม Tk ทำงานภายใต้สภาพแวดล้อมของ Windows ผู้ใช้สามารถเริ่มต้นได้โดยการใช้โปรแกรม Wish ภายใต้ Graphical Environment ของระบบปฏิบัติการนั้นๆ โดยใช้ทำงานร่วมกันกับ Tcl และจะใช้ Tk ในการจัดการกับ Interface Elements ต่างๆ

2.7.3 Tcl Shell

Tcl Shell เป็น Shell ของ Tcl สำหรับการอ่านคำสั่งต่างๆ ของ Tcl จาก Standard Input หรือ File แล้วทำการตีความคำสั่งนั้นๆ ถ้าหากเรียกใช้งาน Tclsh โดยปราศจาก Argument จะเป็นการใช้ Tcl แบบ Interactive หากเรียกโดยมี Argument เป็นชื่อไฟล์ Script จะเป็นการใช้แบบ Non-Interactive เมื่อมีการเรียกใช้ Tclsh จะมีพรอมต์ร้อยละ สำหรับสั่งงานด้วยคำสั่ง Tcl และจะออกจาก Tclsh เมื่อได้รับคำสั่ง Exit

2.7.4 ข้อดีของ Tcl/Tk

2.7.4.1 Easy to Learn เป็นภาษาโปรแกรมที่ใช้ง่าย สำหรับนักเขียนโปรแกรมที่มีประสบการณ์สามารถเรียนรู้ Tcl และพัฒนาโปรแกรมด้วย Tcl ได้อย่างรวดเร็ว

2.7.4.2 Cross-Platform Support สามารถทำงานได้ทั้งบนระบบปฏิบัติการ UNIX, Windows, Macintosh และระบบปฏิบัติการอื่นๆ ที่มีใช้กันแพร่หลาย

2.7.4.3 Ready for Enterprise เป็นภาษาที่มีความเสถียรภาพสูง เหมาะสำหรับแอปพลิเคชั่นที่มีขนาดใหญ่ และวัตถุประสงค์อื่นๆ ขององค์กร

2.7.4.4 Flexible Integration จะเป็นการง่ายที่จะประสานกับองค์ประกอบ (Component) และโปรแกรมอื่นที่มีอยู่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

2.7.4.5 Network-Aware Applications สามารถทำการสร้างเครื่องให้บริการ และเครื่องลูกข่ายได้ในเวลาเพียง 2-3 นาที ด้วย Code เพียงไม่กี่บรรทัด เพราะ Tcl มีวิธีการที่มีประสิทธิภาพสำหรับการเพิ่มส่วนติดต่อกับเครือข่ายให้กับแอปพลิเคชั่นเดิม

2.7.4.6 It's Free เป็นฟรีโปรแกรม สามารถหาได้ที่ Tcl Developer Xchange และสามารถทำการแก้ไขให้เหมาะสมกับความต้องการของนักพัฒนาได้

2.8 การออกแบบการทดลองและการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

การทดลองในแต่ละครั้งมักจะมีค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่เข้ามาเกี่ยวข้อง และเพื่อทำการหาข้อสรุปถึงผลกระทบที่เกิดจากค่าพารามิเตอร์เหล่านั้น จึงต้องมีการนำวิธีการทางสถิติเข้ามาช่วย ซึ่งวิธีการทางสถิตินั้นเป็นวิธีการที่ช่วยสร้างความน่าเชื่อถือในการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการทดลอง โดยมีขั้นตอนที่สำคัญอยู่ 2 ขั้นตอน คือ การออกแบบการทดลอง และการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ ซึ่งทั้งสองขั้นตอนดังกล่าวมีความสัมพันธ์กันเป็นอย่างมาก เพราะการออกแบบการทดลองที่ดีจะทำให้การวิเคราะห์ผลทางสถิตินั้นมีความน่าเชื่อถือ

2.8.1 การออกแบบการทดลอง (Design of Experimental)

2.8.1.1 การออกแบบ (Design) หมายถึง การเลือกรูปแบบที่เหมาะสมในการศึกษาระบบที่สนใจ

2.8.1.2 การทดลอง (Experimental) หมายถึง สิ่งที่จัดทำขึ้นเพื่อการค้นหาองค์ความรู้หรือข้อมูลส่วนที่ยังขาดไปเกี่ยวกับกระบวนการ หรือระบบที่สนใจ

ดังนั้น การออกแบบการทดลอง หมายถึง การทดสอบเพียงครั้งเดียว หรือต่อเนื่อง โดยเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรนำเข้าระบบ เพื่อทำให้สามารถสังเกต และชี้ถึงสาเหตุต่างๆ ที่ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของผลลัพธ์ ซึ่งตามปกติการทดลองจะถูกนำมาใช้ เพื่อการศึกษาประสิทธิภาพในการทำงานของกระบวนการและระบบ (Output or Responses) โดยตัวแปรนำเข้าจะถูกแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มที่ควบคุมได้ เรียกว่า "ตัวแปรที่ควบคุมได้ (Controllable Variables)" และกลุ่มที่ไม่สามารถควบคุมได้ เรียกว่า "ตัวแปรที่รบกวนระบบ (Uncontrollable or Noise Variables)"

การกำหนดตัวแปรที่ควบคุมได้ และตัวแปรที่ควบคุมไม่ได้นั้น ขึ้นอยู่กับระบบแต่ละระบบ ตัวแปรที่ควบคุมได้ เช่น ที่มาของวัตถุดิบ และเครื่องจักรที่ใช้ในการผลิต เป็นต้น ส่วนตัวแปรที่ควบคุมไม่ได้ มักจะเกี่ยวข้องกับสิ่งแวดล้อมในธรรมชาติ เช่น ลม และฝุ่นละออง เป็นต้น

การนำหลักการของการออกแบบการทดลอง (Design of Experiment : DOE) โดยวิธีการทางสถิติเข้ามาช่วยในการวางแผนการทดลอง จะทำให้การทดลองมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น ดังนั้น จึงเป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องมีการออกแบบการทดลอง เพื่อให้ได้ข้อมูลที่เหมาะสม และสามารถนำข้อมูลเหล่านั้นไปใช้ได้อย่างถูกต้อง

2.8.2 การออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียล (Factorial Designs)

การออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียล หมายถึง การทดลองอันสมบูรณ์ ซึ่งพิจารณาถึงผลที่เกิดจากการรวมตัวกันของระดับ (Levels) ของปัจจัยทั้งหมดที่เป็นไปได้ในการทดลองนั้นๆ โดยจะทำการศึกษาถึงผลของปัจจัยตั้งแต่ 2 ปัจจัยขึ้นไป ซึ่งการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลเป็นวิธีการออกแบบการทดลองที่มีประสิทธิภาพสูงที่สุด เช่น ในกรณีที่มีปัจจัย 2 ปัจจัย คือ A และ B ซึ่ง A ประกอบด้วย a ระดับ และปัจจัย B ประกอบด้วย b ระดับ ดังนั้น ในการทดลอง 1 การทำซ้ำ (Replicate) จะประกอบไปด้วยทดลองรวมทั้งหมด ab การทดลอง ซึ่งผลกระทบของปัจจัยจะสามารถอธิบายได้ในลักษณะของผลกระทบหลัก หรืออิทธิพลหลัก (Main Effect) หรืออธิบายในลักษณะของการมีปฏิสัมพันธ์ (Interaction) ต่อกันระหว่างปัจจัย ซึ่งผลกระทบหลัก คือ การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นกับผลตอบสนองที่เกิดขึ้นเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงระดับของปัจจัยนั้นๆ ส่วนการมีปฏิสัมพันธ์ระหว่างปัจจัย คือ ผลตอบสนองที่ได้ในแต่ละระดับของปัจจัยหนึ่งจะขึ้นอยู่กับระดับของปัจจัยอื่นๆ ด้วย

วัตถุประสงค์หลักของการทดลองเชิงแฟกทอเรียล คือ การสำรวจศึกษาผลกระทบร่วมระหว่างปัจจัย ซึ่งการทดลองเชิงแฟกทอเรียลได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้ในการวางแผนการทดลอง โดยสามารถแบ่งออกเป็น 2 กรณีหลัก คือ การทดลองแฟกทอเรียลเต็มรูป (Full Factorial Experiment) และการทดลองแฟกทอเรียลบางส่วน (Fractional Factorial Experiment) กรณีที่มีปัจจัยที่ต้องการพิจารณา k ปัจจัย และในแต่ละปัจจัยอยู่ 3 ระดับ คือ ระดับสูง ระดับกลาง และ

ระดับต่ำ โดยการแทนระดับสูง ด้วย 1, ระดับกลาง ด้วย 0 และระดับต่ำ ด้วย -1 ดังตารางที่ 2.7 โดยจำนวนของการทำซ้ำ (Replicate) ในการทดลองนี้เป็น $3 \times 3 \times 3 \times \ldots \times 3 = 3^k$ จึงเรียกการทดลองนี้ว่า การออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบ 3^k

ตารางที่ 2.7 แสดงการกำหนดปัจจัย (k) และระดับของปัจจัยที่ 3 ระดับ

Factors	3 Level of Factors		
	Low Level (-1)	Intermediate Level (0)	High Level (1)
A	Value 1	Value 2	Value 3
B	Value 1	Value 2	Value 3
⋮	⋮	⋮	⋮
k	Low Level k	Intermediate Level k	High Level k

ที่มา : คมสันต์ ยมนา และคณะ (2554).

2.8.3 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance : ANOVA)

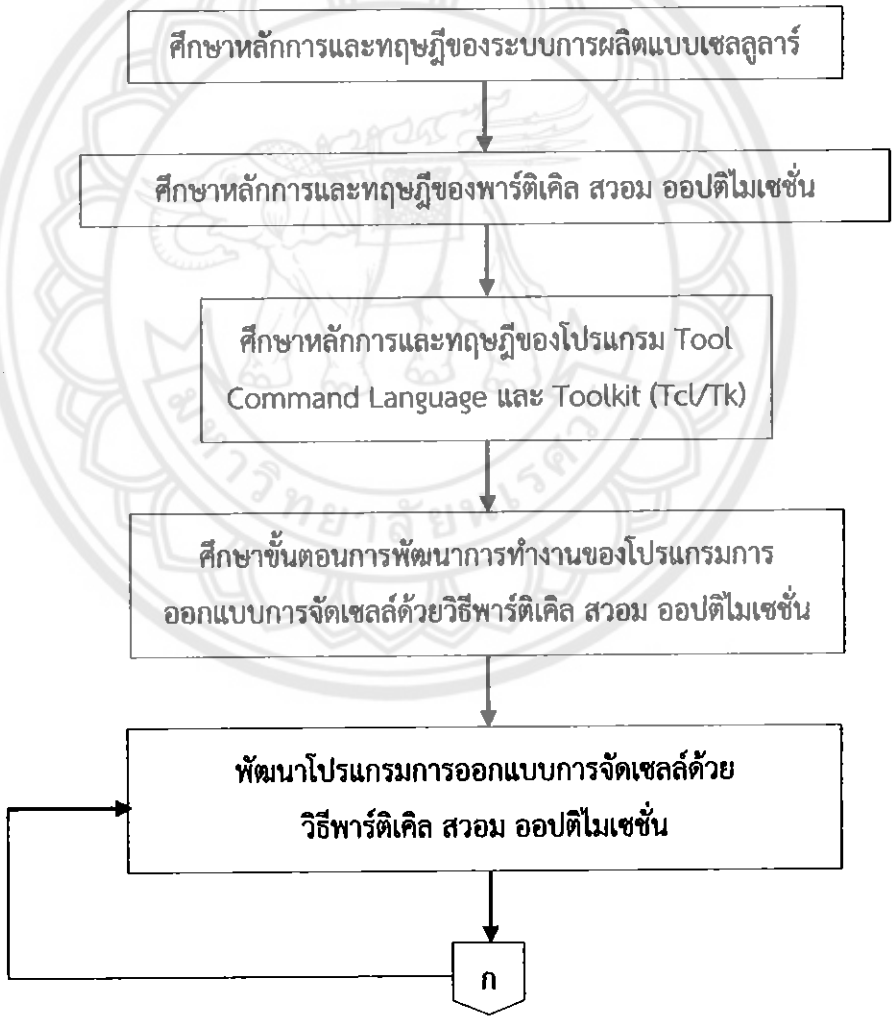
การวิเคราะห์ความแปรปรวน เป็นการวิเคราะห์อัตราส่วนระหว่างความแปรปรวนในกลุ่ม (Within-Groups Variance) และความแปรปรวนระหว่างกลุ่ม (Between-Group Variance) ความแปรปรวนระหว่างกลุ่มเป็นค่าที่เกิดจากความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระหว่างกลุ่มต่างๆ ถ้าค่าเฉลี่ยระหว่างกลุ่มแตกต่างกันมาก ค่าความแปรปรวนระหว่างกลุ่มก็จะมากตามไปด้วย ส่วนความแปรปรวนภายในกลุ่มนั้น เป็นค่าที่แสดงให้เห็นว่า คะแนนแต่ละกลุ่มมีการกระจายมากหรือน้อย ค่าที่คำนวณได้ เรียกว่า ความคลาดเคลื่อน

ตัวอย่างการทดลองเชิงแฟกทอเรียล ในกรณีที่มีปัจจัย 2 ปัจจัย คือ A และ B ซึ่ง A ประกอบด้วย a ระดับ และปัจจัย B ประกอบด้วย b ระดับ ซึ่งทั้งหมดจะถูกจัดให้อยู่ในรูปการออกแบบเชิงแฟกทอเรียล โดยในแต่ละรอบการทำซ้ำ (Replication) ของการทดลองจะประกอบไปด้วยการทดลองร่วมปัจจัยทั้งหมด ab การทดลอง ปกติจะมีจำนวนรอบ ทั้งหมด n ครั้ง รูปแบบทั่วไปของการออกแบบเชิงแฟกทอเรียล 2 ปัจจัย และมีการวนซ้ำทั้งหมด n ครั้ง เมื่อกำหนดให้ y_{ijk} คือ ผลตอบสนองที่เกิดขึ้นจากระดับที่ i ของปัจจัย A (เมื่อ i = 1, 2, 3, ..., n)

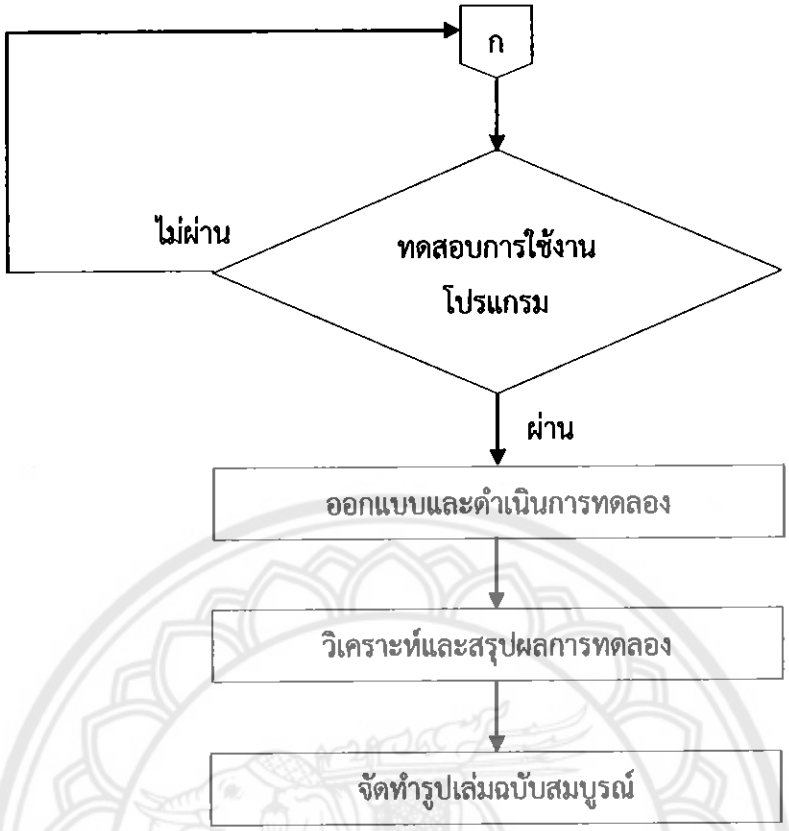
บทที่ 3
วิธีการดำเนินโครงงาน

ปัญหาที่สำคัญอย่างหนึ่งของระบบการผลิตแบบเซลลูลาร์นี้ คือ ปัญหาการสร้างเซลล์ โครงงานนี้มีจุดประสงค์ในการศึกษาการสร้างเซลล์ เพื่อลดจำนวนการเคลื่อนที่ระหว่างเซลล์ โดยวิธีพาร์ติเคิล สวอม ออปติไมเซชั่น โดยมีการพิจารณาความยืดหยุ่นของเส้นทางการผลิต (Routing Flexibility) เข้ามาเกี่ยวข้อง

ในการดำเนินโครงงานการการพัฒนาโปรแกรมการออกแบบการจัดเซลล์ด้วยวิธีพาร์ติเคิล สวอม ออปติไมเซชั่นเพื่อสร้างปัญหาการสร้างเซลล์ที่มีความยืดหยุ่นในระบบการผลิตแบบเซลลูลาร์ สามารถแสดงขั้นตอนการดำเนินโครงงานในรูปของผังงานแสดงขั้นตอนการดำเนินโครงงาน แสดงดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 ผังงานแสดงขั้นตอนการดำเนินโครงงาน



รูปที่ 3.1 (ต่อ) ผังงานแสดงขั้นตอนการดำเนินโครงงาน

3.1 ศึกษาหลักการและทฤษฎีของระบบการผลิตแบบเซลลูลาร์

การสร้างเซลล์ ในระบบการผลิตแบบเซลลูลาร์ ประกอบด้วยขั้นตอนการดำเนินการ 3 ขั้นตอน คือ การจัดประเภทของชิ้นส่วนที่มีความคล้ายคลึงกันในด้านกระบวนการผลิต การจัดเครื่องจักรเป็นกลุ่มเซลล์การผลิต และการจัดกลุ่มของชิ้นส่วนไปยังเซลล์การผลิต โดย 3 ขั้นตอนนี้ไม่จำเป็นต้องเรียงตามลำดับ ขึ้นอยู่กับกระบวนการวิเคราะห์ และการแก้ไขปัญหา

3.2 ศึกษาหลักการและทฤษฎีของพาร์ติเคิล สวอม ออปติไมเซชั่น

ในโครงงานนี้ได้มีการประยุกต์ใช้วิธีพาร์ติเคิล สวอม ออปติไมเซชั่น ในการแก้ปัญหาการสร้างเซลล์ ซึ่งเป็นกระบวนการผลิตแบบเซลลูลาร์ ในส่วนของกระบวนการทำงานนั้นสามารถแบ่งเป็นหัวข้อย่อยตามลำดับการทำงาน ดังนี้

3.2.1 ขั้นตอนที่ 1 การกำหนดค่าเริ่มต้นของพารามิเตอร์

3.2.1.1 จำนวนพาร์ติเคิล (P)

3.2.1.2 จำนวนรอบ (I)

3.2.1.3 ระดับความสามารถในการเรียนรู้ของตัวเอง (C_1)

3.2.1.4 ระดับความสามารถในการเรียนรู้ของกลุ่ม (C_2)

3.2.2 ขั้นตอนที่ 2 การสร้างพาร์ติเคิล (Particle) เริ่มต้น

Present P_1 = 3 4 5 1 2 6

ให้พาร์ติเคิล 1 พาร์ติเคิลเท่ากับ 1 คำตอบ ในการเริ่มต้นจะสุ่มคำตอบที่เป็นไปได้มา 1 คำตอบ ต่อ 1 พาร์ติเคิล ตัวอย่างเช่น พาร์ติเคิล 30 พาร์ติเคิล จะได้คำตอบเริ่มต้น 30 คำตอบ

3.2.3 ขั้นตอนที่ 3 การประเมินค่าความเหมาะสมของแต่ละพาร์ติเคิล โดยการหาจำนวนการเคลื่อนที่ระหว่างเซลล์ของแต่ละพาร์ติเคิล

3.2.4 ขั้นตอนที่ 4 การเปรียบเทียบค่าที่เหมาะสมกับค่าคำตอบที่ดีที่สุดของประสบการณ์ที่ผ่านมา (Pbest) และประสบการณ์ที่ผ่านมาทั้งหมด (Gbest)

3.2.5 ขั้นตอนที่ 5 การปรับปรุงค่าของอัตราความเร็ว

Velocity = C1 × rand1() × (Present[] – Pbest[]) + C2 × rand2() ×
(Gbest[] – Present[])

Assume C1 = C2 = 1

rand1() = 0.78 (Generated randomly)

rand2() = 0.48 (Generated randomly)

ในการปรับปรุงค่าของอัตราความเร็ว ซึ่งสามารถหาได้จากการสลับตำแหน่งของคู่อันดับ (Swap Operator) เป็นวิธีการย้ายตำแหน่งของคำตอบจาก Present เป็น Pbest จากโจทย์ 3 4 5 1 2 6 จะได้ว่า

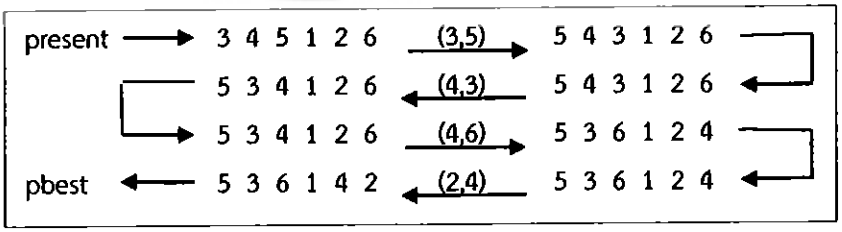
สลับตำแหน่งครั้งที่ 1 (3, 5) จะได้ 5 4 3 1 2 6

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

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

สลับตำแหน่งครั้งที่ 4 (2, 4) จะได้ 5 3 6 1 4 2 แสดงดังรูปที่ 3.2

จะพบว่ามีการสลับตำแหน่งคู่ลำดับของคำตอบทั้งหมด 4 ครั้ง นำไปแทนในสมการที่ 2.1 ได้ Velocity = 1 × 0.78 × ((3, 5) (4, 3) (4, 6) (2, 4)) + C2 × rand2() × (Gbest[] – Present[])



รูปที่ 3.2 แสดงตัวอย่างการปรับปรุงค่าของอัตราเร็ว (Pbest)

ที่มา : R. M. Satheesh Kumal และคณะ (2007).

และจาก Present เป็น Gbest จากโจทย์ 3 4 5 1 2 6 จะได้ว่า

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

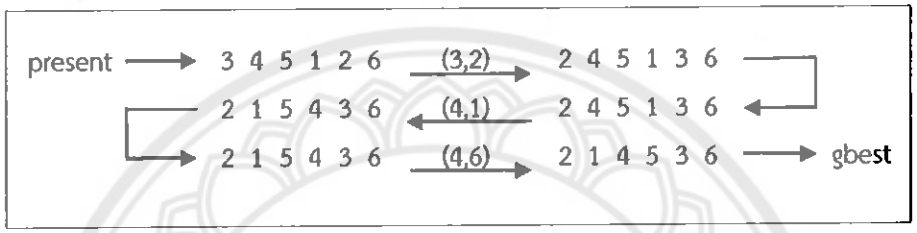
สลับตำแหน่งครั้งที่ 2 (4, 1) จะได้ 2 1 5 4 3 6

สลับตำแหน่งครั้งที่ 3 (4, 6) จะได้ 2 1 5 6 3 4 แสดงดังรูป 3.3

จะพบว่ามีการสลับตำแหน่งคู่ลำดับของคำตอบทั้งหมด 3 ครั้ง นำไปแทนในสมการที่ 2.1 จะเห็นได้ว่ามีการสลับตำแหน่งคู่ลำดับของคำตอบทั้งหมด 4 ครั้ง นำไปแทนในสมการที่ 2.1 ได้

Velocity = 1 × 0.78 × ((3, 5) (4, 3) (4, 6) (2, 4)) + 1 × 0.48 × ((3, 2) (4, 1) (4, 6))

Velocity = ((3, 5) (4, 3) (4, 6) (3, 2))



รูปที่ 3.3 แสดงตัวอย่างการปรับปรุงค่าของอัตราเร็ว (Gbest)

ที่มา : R. M. Satheesh Kumal และคณะ (2007).

3.2.6 ขั้นตอนที่ 6 การปรับปรุงตำแหน่ง ทำได้จากการนำคำตอบเริ่มต้นที่ได้จากโจทย์มาทำการสลับคู่อันดับที่ได้จากการปรับปรุงอัตราความเร็วจะได้

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

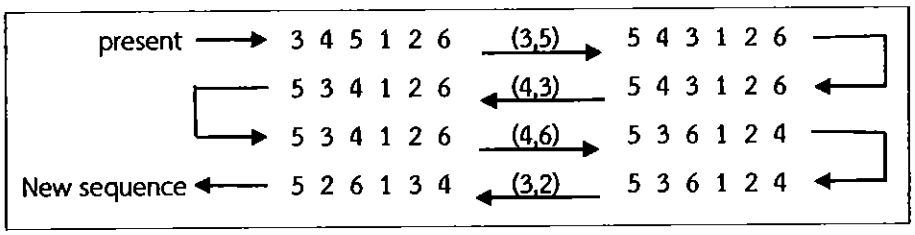
สลับตำแหน่งครั้งที่ 2 (4, 3) จะได้ 5 3 4 1 2 6

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

สลับตำแหน่งครั้งที่ 4 (3, 2) จะได้ 5 2 6 1 3 4 แสดงดังรูปที่ 3.2

New Sequence = Present + Velocity

New Sequence = 3 4 5 1 2 6 + ((3, 5) (4, 3) (4, 6) (3, 2)) = 5 2 6 1 4 3



รูปที่ 3.4 แสดงตัวอย่างการปรับปรุงตำแหน่ง

ที่มา : R. M. Satheesh Kumal และคณะ (2007).

3.2.7 ขั้นตอนที่ 7 การตรวจเงื่อนไขหยุดการทำงาน ซึ่งเมื่อได้ค่าจากขั้นตอนที่ 6 ให้กลับไปทำซ้ำตั้งแต่ขั้นตอนที่ 2 ตามลำดับทุกขั้นตอนจนกว่าจะเป็นไปตามเงื่อนไขการหยุดที่กำหนดไว้

3.3 ศึกษาหลักการและทฤษฎีของ Total Command Language และ Toolkit (Tcl/Tk)

ศึกษา Total Command Language และ Toolkit เพื่อนำมาใช้ในการพัฒนาการทำงานของโปรงแกรมการออกแบบการจัดเซลล์ด้วยวิธีพาร์ติเคิล สวอม ออปติไมเซชั่น

3.4 ศึกษาขั้นตอนการพัฒนาการทำงานของโปรแกรมการออกแบบการสร้างเซลล์ด้วยวิธีพาร์ติเคิล สวอม ออปติไมเซชั่น

การใช้วิธีพาร์ติเคิล สวอม ออปติไมเซชั่นเข้ามาแก้ปัญหา ต้องมีข้อมูลทั้งหมดที่เป็นตัวแปรในการแก้ปัญหา โดยทำการกำหนดข้อมูลตัวแปรปัญหาให้ชัดเจนและครบถ้วน

3.5 พัฒนาโปรแกรมการออกแบบการสร้างเซลล์ด้วยวิธีพาร์ติเคิล สวอม ออปติไมเซชั่น

โปรแกรมถูกพัฒนาขึ้นมาด้วย Total Command Language และ Toolkit ซึ่งเป็นโปรแกรมที่สามารถนำไปใช้งานได้สำหรับการแก้ปัญหาการสร้างเซลล์

3.6 การทดสอบการประยุกต์ใช้โปรแกรมการออกแบบการสร้างเซลล์ด้วยวิธีพาร์ติเคิล สวอม ออปติไมเซชั่น

เมื่อพัฒนาการทำงานของโปรแกรมแล้ว ต้องทำการทดสอบการทำงาน เพื่อตรวจสอบว่าโปรแกรมสามารทำงานได้ สามารถแสดงผลลัพธ์ที่ต้องการออกมาได้อย่างถูกต้อง และไม่เกิดปัญหาระหว่างการใช้งาน

3.7 ออกแบบและดำเนินการทดลอง

การที่จะให้ค่าออกมามีค่าคำตอบที่เหมาะสมจากการแก้ปัญหาด้วยวิธีพาร์ติเคิล สวอม ออปติไมเซชั่นได้นั้น จำเป็นต้องมีการกำหนดค่าของพารามิเตอร์ต่างๆ ว่ามีค่าพารามิเตอร์ค่าใดบ้างที่มีผลต่อประสิทธิภาพการทำงาน และค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ควรมีค่าเท่าใด ซึ่งจะทำการทดลองโปรแกรมเพื่อประมวลผล โดยการกำหนดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ และทำการเก็บรวบรวมข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์ผลการทดลอง

3.8 วิเคราะห์และสรุปผลการดำเนินงาน

เมื่อทำการทดสอบการทำงานของโปรแกรมเรียบร้อยแล้ว นำผลลัพธ์ของโปรแกรมพาร์ติเคิลสวอม ออปติไมเซชั่นมาวิเคราะห์ผลโดยใช้หลักการทางสถิติ คือ การวิเคราะห์ความแปรปรวน เพื่อทำการคัดเลือกค่าที่เหมาะสมของพารามิเตอร์ต่างๆ จากนั้นนำมาเปรียบเทียบกับผลลัพธ์ของโครงงานที่ทำปัญหาอย่างเดียวกันแต่ใช้โปรแกรมต่างกัน คือ โปรแกรมเจเนติกอัลกอริทึม เพื่อวิเคราะห์ความแตกต่างของผลลัพธ์ และเวลาที่ใช้ในการคำนวณ

3.9 จัดทำรูปเล่มโครงงานฉบับสมบูรณ์

จัดทำรูปเล่มโครงงานฉบับสมบูรณ์

บทที่ 4
ผลการดำเนินโครงงาน

4.1 ผลการพัฒนาโปรแกรมการออกแบบการสร้างเซลล์ด้วย วิธีพาร์ติเคิล สวอม ออปติไมเซชั่น เพื่อแก้ปัญหาการสร้างเซลล์ที่มีความยืดหยุ่นในระบบการผลิตแบบเซลลูลาร์

จากการพัฒนาโปรแกรมการออกแบบการสร้างเซลล์ด้วย วิธีพาร์ติเคิล สวอม ออปติไมเซชั่น เข้ามาช่วยในการแก้ไขปัญหาการเคลื่อนที่ระหว่างการเซลล์ในระบบกระบวนการผลิตแบบเซลลูลาร์ให้มีการเคลื่อนที่ระหว่างเซลล์ที่น้อยที่สุด โดยได้แสดงลำดับขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมพาร์ติเคิล สวอม ออปติไมเซชั่น แสดงดังรูปที่ 4.1

4.1.1 ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมพาร์ติเคิล สวอม ออปติไมเซชั่น

4.1.1.1 เริ่มต้นโปรแกรมให้ใส่ข้อมูลนำเข้าของปัญหาจากโจทย์ปัญหาขนาดต่างๆ ได้แก่ จำนวนเครื่องจักร จำนวนผลิตภัณฑ์ จำนวนเซลล์ ลำดับการผลิต และเส้นทางการผลิต แสดงดังภาคผนวก ข

4.1.1.2 สร้างพาร์ติเคิลเริ่มต้น โดยกำหนดให้พาร์ติเคิล 1 ตัว เท่ากับคำตอบ 1 คำตอบ

4.1.1.3 กำหนดค่าพารามิเตอร์ ซึ่งประกอบไปด้วย จำนวนพาร์ติเคิล (P), จำนวนรอบ (I), ระดับความสามารถในการเรียนรู้ของตัวเอง (C_1) และ ระดับความสามารถในการเรียนรู้ของกลุ่ม (C_2)

4.1.1.4 ประเมินค่าความเหมาะสมของพาร์ติเคิลเริ่มต้น จะได้จำนวนการเคลื่อนที่ระหว่างเซลล์ที่น้อยที่สุดของแต่ละผลิตภัณฑ์ (Pbest) และจำนวนการเคลื่อนที่ระหว่างเซลล์ที่น้อยที่สุดของทุกผลิตภัณฑ์ (Gbest)

4.1.1.5 พาร์ติเคิลแต่ละตัวทำการปรับปรุงอัตราเร็วโดยวิธีการสลับคู่อันดับของคำตอบ

4.1.1.6 พาร์ติเคิลแต่ละตัวทำการปรับปรุงตำแหน่งโดยวิธีการสลับคู่อันดับของคำตอบ

4.1.1.7 ประเมินค่าความเหมาะสมของพาร์ติเคิลหลังปรับปรุงตำแหน่งใหม่ จะได้จำนวนการเคลื่อนที่ระหว่างเซลล์ที่น้อยที่สุดของแต่ละผลิตภัณฑ์ (Pbest) และจำนวนการเคลื่อนที่ระหว่างเซลล์ที่น้อยที่สุดของทุกผลิตภัณฑ์ (Gbest)

4.1.1.8 วนรอบการทำงานจนครบทุกพาร์ติเคิล

4.1.1.9 เปรียบเทียบค่าที่เหมาะสมกับค่าคำตอบที่ดีที่สุดของประสบการณ์ที่ผ่านมา (Pbest) ถ้าได้ค่าคำตอบที่เหมาะสมกว่าให้กำหนดเป็นค่า Pbest ใหม่ เปรียบเทียบค่าที่เหมาะสมกับค่าคำตอบที่ดีที่สุดของประสบการณ์ที่ผ่านมาของทั้งหมด (Gbest) ถ้าได้ค่าคำตอบที่เหมาะสมกว่าให้กำหนดเป็นค่า Gbest ใหม่

4.1.1.10 วนรอบการทำงานจนครบตามเงื่อนไข และจบการทำงาน

รูปที่ 4.1 แผนผังลำดับการทำงานของโปรแกรมพาร์ติเคิล สวอม ออปติไมเซชั่น

4.2 ข้อมูลนำเข้าในโปรแกรมพาร์ติเคิล สวอม ออปติไมเซชั่น

มีข้อมูลนำเข้า หรือโจทย์ปัญหาที่ใช้ในโปรแกรมพาร์ติเคิล สวอม ออปติไมเซชั่น ได้มีทั้งหมด 10 โจทย์ปัญหาด้วยกัน ซึ่งแต่ละโจทย์ปัญหาจะมีข้อมูลแตกต่างกันไป จึงได้มีการแสดงข้อมูลนำเข้าเบื้องต้นแสดงดังตารางที่ 4.3 รายละเอียดอ้างอิงมาจากภาคผนวก ข

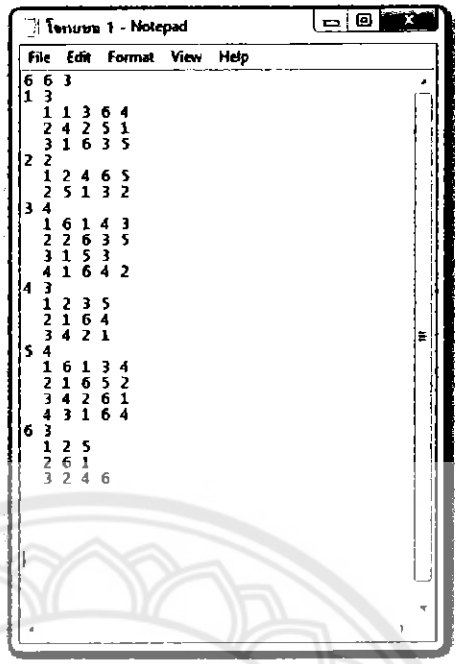
ตารางที่ 4.1 แสดงข้อมูลนำเข้าของโปรแกรมพาร์ติเคิล สวอม ออปติไมเซชั่น

ลำดับ	ขนาด	จำนวนเซลล์	จำนวนเครื่องจักร	จำนวนผลิตภัณฑ์
1	6x6	3	6	6
2	6x6	3	6	6
3	8x10	4	8	10
4	8x10	4	8	10
5	10x10	5	10	10
6	10x10	3	10	10
7	20x20	5	20	20
8	20x20	7	20	20
9	24x26	8	24	26
10	24x26	11	24	26

จากตารางที่ 4.1 จะแสดงให้เห็นถึงข้อมูลนำเข้าในการใช้ทดสอบโปรแกรมนั้นจะมีทั้งโจทย์ปัญหาขนาดเล็กจนถึงโจทย์ขนาดใหญ่ และแต่ละโจทย์ปัญหาก็ได้มีข้อมูลต่างๆ ที่แตกต่างกันออกไปตามความเหมาะสมของโจทย์ปัญหา ทั้งนี้เพื่อแสดงถึงความสามารถของการหาค่าคำตอบที่ดีที่สุดในโจทย์ปัญหาของทุกขนาดของโปรแกรมพาร์ติเคิล สวอม ออปติไมเซชั่น

4.2.1 ข้อมูลนำเข้าของแต่ละโจทย์ปัญหา

จากโจทย์ปัญหาขนาดต่างๆ ดังที่แสดงไว้ภาคผนวก ข ได้จัดแปลงจากโจทย์ทางคณิตศาสตร์ให้เป็น Data เพื่อนำเข้าไปใช้ในโปรแกรมพาร์ติเคิล สวอม ออปติไมเซชั่น ดังแสดงตัวอย่างข้อมูลนำเข้าของโจทย์ปัญหาข้อที่ 1 แสดงดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 แสดงตัวอย่างข้อมูลนำเข้า Data ของโจทย์ปัญหาข้อที่ 1

4.3 พารามิเตอร์ของพาร์ติเคิล สวอม ออปติไมเซชั่น ที่ใช้สำหรับการออกแบบการสร้างเซลล์

ในโครงงานนี้ได้มีการกำหนดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่เหมาะสมเพื่อใช้ในโปรแกรมโดยได้อ้างอิงพารามิเตอร์ต่างๆ มาจาก R.M. Satheesh Kumar และคณะ

พารามิเตอร์พาร์ติเคิล สวอม ออปติไมเซชั่น ที่ใช้ในการออกแบบการสร้างเซลล์ประกอบด้วย จำนวนพาร์ติเคิล (P), จำนวนรอบ (I), ระดับความสามารถในการเรียนรู้ของตัวเอง (C_1) และระดับความสามารถในการเรียนรู้ของกลุ่ม (C_2) โดยค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมได้จากการออกแบบการทดลอง และแฟกทอเรียลเชิงสมบูรณ์ แสดงดังภาคผนวก ค

ตารางที่ 4.2 แสดงค่าพารามิเตอร์ที่ศึกษา

ปัจจัย	จำนวนระดับของปัจจัย	ค่าพารามิเตอร์
P/I	3	30/200, 60/100, 200/30
C_1	4	1, 2, 3, 4
C_2	4	1, 2, 3, 4

จากตารางที่ 4.2 แสดงให้เห็นถึงปัจจัยที่ใช้ในการทดลองหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม จำนวนระดับของปัจจัย และค่าพารามิเตอร์ของแต่ละระดับปัจจัยที่ใช้ในการศึกษา

4.3.1 การทดสอบหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของการการออกแบบการทดลอง

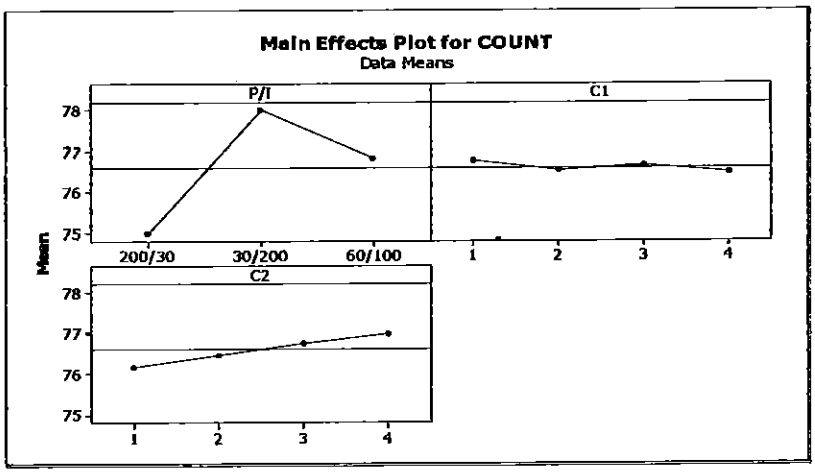
การออกแบบการทดลองได้นำโจทย์ปัญหาขนาดใหญ่มาใช้ในการออกแบบการทดลอง เนื่องจากโจทย์ปัญหาที่มีขนาดเล็กมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของคำตอบน้อย คือการกระจายตัวของคำตอบมีความแตกต่างกันไม่มาก ทำให้เมื่อได้ค่าพารามิเตอร์มาอาจไม่เหมาะสมกับโจทย์ที่มีขนาดใหญ่

ตารางที่ 4.3 แสดงตารางวิเคราะห์ความแปรปรวน

Source	DF	Seq. SS	Adj. SS	Adj. MS	F	P
P/I	2	371.233	371.233	185.617	43.19	0.000
C_1	3	3.146	3.146	1.049	0.24	0.866
C_2	3	22.746	22.746	7.582	1.76	0.155
P/I × C_1	6	13.467	13.467	2.244	0.52	0.791
P/I × C_2	6	3.767	3.767	0.628	0.15	0.990
C_1× C_2	9	53.238	53.238	5.915	1.38	0.201
P/I × C_1 × C_2	18	34.600	34.600	1.922	0.45	0.975
Error	192	825.200	825.200	4.298		
Total	239	1327.396				

จากตารางที่ 4.3 แสดงการวิเคราะห์ความแปรปรวนโดยใช้โจทย์ปัญหาขนาดใหญ่ (โจทย์ข้อที่ 10) พบว่า ค่า P-Value ของจำนวนพาร์ติเคิลคูณจำนวนรอบ (P/I) มีค่าเท่ากับ 0.000 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 หมายความว่าปัจจัยนี้มีผลกระทบต่อการหาค่าคำตอบของโปรแกรมพาร์ติเคิล สวอม ออปติไมเซชั่น ส่วนระดับความสามารถในการเรียนรู้ของตัวเอง (C_1) และระดับความสามารถในการเรียนรู้ของกลุ่ม (C_2) ไม่มีผลต่อกระทบต่อการหาค่าคำตอบเนื่องจากโปรแกรมมีข้อจำกัดว่า เมื่อนำเลขที่สุ่มได้คูณกับระดับความสามารถในการเรียนรู้ของตัวเอง (C_1) และระดับความสามารถในการเรียนรู้ของกลุ่ม (C_2) ต้องมีค่าไม่เกิน 1 ทำให้เกิดโอกาสในการสุ่มเลขขึ้นมาใหม่หลายครั้ง จนกว่าจะได้ค่าที่ไม่เกิน 1

การเลือกค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมต้องมีการสร้างกราฟแสดงผลกระทบจากปัจจัยหลัก (Main Effect Plot) ที่นัยสำคัญทางสถิติ ได้แก่ จำนวนพาร์ติเคิลคูณจำนวนรอบ (P/I) ระดับความสามารถในการเรียนรู้ของตัวเอง (C_1) และระดับความสามารถในการเรียนรู้ของกลุ่ม (C_2) แสดงดังรูปที่ 4.3

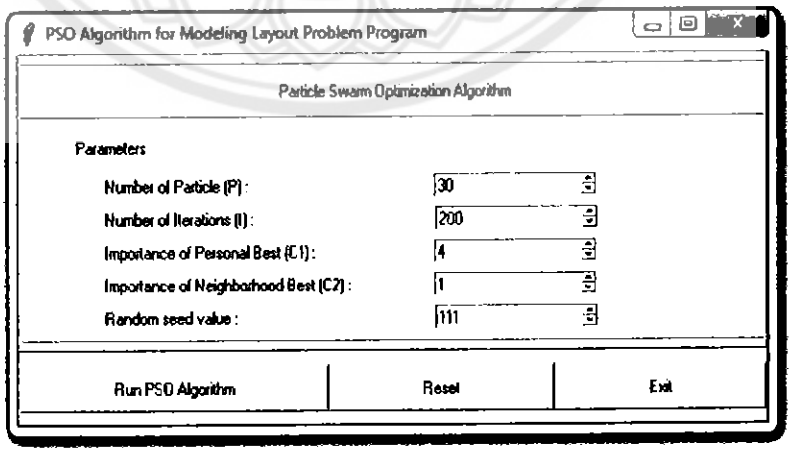


รูปที่ 4.3 แสดงกราฟผลกระทบจากปัจจัยหลัก

จากรูปที่ 4.3 แสดงกราฟผลกระทบจากปัจจัยหลัก พบว่า จำนวนพาร์ติเคิลคูณจำนวนรอบ (P/I) ที่ระดับ 200/30 ระดับความสามารถในการเรียนรู้ของตัวเอง (C_1) ที่มีค่าเท่ากับ 4 และระดับความสามารถในการเรียนรู้ของกลุ่ม (C_2) ที่มีค่าเท่ากับ 1 ให้ค่าคำตอบของจำนวนการเคลื่อนที่ระหว่างเซลล์น้อยที่สุด

4.3.2 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบโปรแกรมพาร์ติเคิล สวอม ออปติไมเซชั่น

พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบโปรแกรมพาร์ติเคิล สวอม ออปติไมเซชั่น ได้แก่ จำนวนพาร์ติเคิล 30 พาร์ติเคิล จำนวนรอบ 200 รอบ ระดับความสามารถในการเรียนรู้ของตัวเอง (C_1) เท่ากับ 4 และระดับความสามารถในการเรียนรู้ของกลุ่ม (C_2) เท่ากับ 1 แสดงดังรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 หน้าต่างแสดงค่าพารามิเตอร์

4.4 ผลของการทดสอบโปรแกรมพาร์ติเคิล สวอม ออปติไมเซชั่น

จากผลการทดสอบโปรแกรมทั้งหมดจำนวน 10 โจทย์ปัญหา ซึ่งสามารถสรุปผลการทดลองโดยรวมของโปรแกรมพาร์ติเคิล สวอม ออปติไมเซชั่น แสดงดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 แสดงค่าคำตอบโดยรวมของโปรแกรมพาร์ติเคิล สวอม ออปติไมเซชั่น

ลำดับ	ขนาด	จำนวนการเคลื่อนที่ระหว่างเซลล์ที่น้อยที่สุด	จำนวนการเคลื่อนที่ระหว่างเซลล์ที่มากที่สุด	ค่าเฉลี่ยของจำนวนการเคลื่อนที่ระหว่างเซลล์	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของการเคลื่อนที่ระหว่างเซลล์
1	6x6	6	6	6.00	0.00
2	6x6	7	7	7.00	0.00
3	8x10	22	22	22.00	0.00
4	8x10	18	18	18.00	0.00
5	10x10	28	29	28.50	0.55
6	10x10	8	8	8.00	0.00
7	20x20	39	52	45.50	5.36
8	20x20	30	35	32.50	2.07
9	24x26	92	103	97.50	4.21
10	24x26	71	75	73.00	1.67

จากตารางที่ 4.4 แสดงค่าคำตอบโดยรวมของปัญหาทั้งหมด 10 ปัญหา จะได้ค่าจำนวนการเคลื่อนที่ระหว่างเซลล์ที่น้อยที่สุด จำนวนการเคลื่อนที่ระหว่างเซลล์ที่มากที่สุด ค่าเฉลี่ยของจำนวนการเคลื่อนที่ระหว่างเซลล์ และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของจำนวนการเคลื่อนที่ระหว่างเซลล์ในแต่ละโจทย์ปัญหา พบว่าโจทย์ปัญหาที่มีขนาดใหญ่ขึ้นจะมีจำนวนการเคลื่อนที่ระหว่างเซลล์ที่มากขึ้น และพบว่ามีโอกาสเกิดค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของจำนวนการเคลื่อนที่ระหว่างเซลล์ โดยจากค่าคำตอบแต่ละโจทย์ปัญหามีค่าคำตอบที่ดีที่สุดที่แตกต่างกันไป ถึงแม้ว่าจะเป็นโจทย์ปัญหาที่มีขนาดเท่ากัน เช่น โจทย์ปัญหาข้อที่ 1 และโจทย์ปัญหาข้อที่ 2 ซึ่งเป็นโจทย์ที่มีขนาดของเมตริกซ์ 6x6 จำนวนเครื่องจักร 6 เครื่อง จำนวนผลิตภัณฑ์ 6 ผลิตภัณฑ์ จำนวนเซลล์ 3 เซลล์ที่เท่ากัน แต่มีลำดับการผลิตและเส้นทางการผลิตไม่เท่ากัน จึงได้ค่าคำตอบของจำนวนการเคลื่อนที่ระหว่างเซลล์ไม่เท่ากัน ซึ่งค่าคำตอบของจำนวนการเคลื่อนที่ระหว่างเซลล์ของโจทย์ปัญหาข้อที่ 1 เท่ากับ 6 และโจทย์ปัญหาข้อที่ 2 เท่ากับ 7 เห็นได้ชัดว่าค่าคำตอบของโจทย์ปัญหาข้อที่ 1 มีจำนวนการเคลื่อนที่ระหว่างเซลล์น้อยกว่าโจทย์ปัญหาข้อที่ 2 เป็นต้น เพราะแต่ละโจทย์ปัญหามีลำดับการผลิตและจำนวนเส้นทางการผลิตที่แตกต่างกัน ซึ่งขึ้นอยู่กับโจทย์ปัญหานั้นๆ

4.5 เปรียบเทียบความแตกต่างของผลลัพธ์ระหว่างโปรแกรมการออกแบบการสร้างเซลล์ด้วยวิธีพาร์ติเคิล สวอม ออปติไมเซชั่น กับโปรแกรม BACL และโปรแกรมเจเนติก อัลกอรึทึม

ในการจัดทำโครงงานนี้ได้นำเอาค่าคำตอบที่ดีที่สุดของโปรแกรมพาร์ติเคิล สวอม ออปติไมเซชั่น ในแต่ละโจทย์ปัญหา นำมาเปรียบเทียบกับค่าคำตอบที่ดีที่สุดของโปรแกรม BACL และค่าคำตอบที่ดีที่สุดของโปรแกรมเจเนติกอัลกอรึทึม ซึ่งใช้โจทย์ปัญหาเดียวกันในการหาค่าคำตอบ เพื่อให้ได้ค่าคำตอบในการเคลื่อนที่ระหว่างเซลล์ที่น้อยที่สุดเช่นเดียวกัน แต่วิธีการหาคำตอบของทั้ง 3 โปรแกรมแตกต่างกัน จึงได้นำค่าคำตอบของทั้ง 3 โปรแกรมมาเปรียบเทียบกัน เพื่อดูว่าค่าคำตอบที่ได้จากโปรแกรมพาร์ติเคิล สวอม ออปติไมเซชั่น จะให้ค่าคำตอบที่ดีกว่าค่าคำตอบของโปรแกรม BACL และโปรแกรมเจเนติกอัลกอรึทึมหรือไม่

เนื่องจากโปรแกรมเจเนติกอัลกอรึทึม มีการกำหนดจำนวนเซลล์ของแต่ละโจทย์ปัญหาในการหาค่าคำตอบแตกต่างจากโปรแกรม BACL และโปรแกรมพาร์ติเคิล สวอม ออปติไมเซชั่น จึงทำให้สามารถนำค่าคำตอบที่ดีที่สุดของทั้ง 3 โปรแกรมมาเปรียบเทียบกันได้เพียง 4 โจทย์ปัญหาเท่านั้น ส่วนค่าคำตอบของโจทย์ปัญหาที่เหลือ 6 โจทย์นั้น สามารถเปรียบเทียบระหว่างโปรแกรมพาร์ติเคิล สวอม ออปติไมเซชั่น และโปรแกรม BACL ได้

4.5.1 วิเคราะห์ความแตกต่างของผลลัพธ์ของโปรแกรมพาร์ติเคิล สวอม ออปติไมเซชั่น กับโปรแกรม BACL และโปรแกรมเจเนติก อัลกอรึทึม

ตารางที่ 4.5 เปรียบเทียบผลลัพธ์โปรแกรมพาร์ติเคิล สวอม ออปติไมเซชั่น กับโปรแกรม BACL และโปรแกรมเจเนติกอัลกอรึทึม

ข้อมูล		จำนวนการเคลื่อนที่ระหว่างเซลล์ที่น้อยที่สุด (ครั้ง)	จำนวนการเคลื่อนที่ระหว่างเซลล์ที่มากที่สุด (ครั้ง)	ค่าเฉลี่ยของจำนวนการเคลื่อนที่ระหว่างเซลล์	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของการเคลื่อนที่ระหว่างเซลล์
ข้อที่ 1	PSO	6	6	6.00	0.00
	BACL	6	6	6.00	0.00
	GA	3	19	10.30	0.70
ข้อที่ 2	PSO	7	7	7.00	0.00
	BACL	7	8	7.03	0.81
	GA	4	13	10.27	0.40

ตารางที่ 4.5 (ต่อ) เปรียบเทียบผลลัพธ์โปรแกรมพาร์ติเคิล สวอม ออปติไมเซชั่น กับโปรแกรม BACL และโปรแกรมเจเนติกอัลกอรีทึม

ข้อมูล		จำนวนการเคลื่อนที่ระหว่างเซลล์ที่น้อยที่สุด (ครั้ง)	จำนวนการเคลื่อนที่ระหว่างเซลล์ที่มากที่สุด (ครั้ง)	ค่าเฉลี่ยของจำนวนการเคลื่อนที่ระหว่างเซลล์	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของการเคลื่อนที่ระหว่างเซลล์
ข้อที่ 3	PSO	22	22	22.00	0.00
	BACL	22	22	22.00	0.00
	GA	21	44	32.47	1.10
ข้อที่ 4	PSO	18	18	18.00	0.00
	BACL	18	20	18.07	0.37
	GA	15	52	25.63	1.24

จากตารางที่ 4.5 พบว่าจำนวนการเคลื่อนที่ระหว่างเซลล์ ค่าเฉลี่ยของการเคลื่อนที่ระหว่างเซลล์ และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของการเคลื่อนที่ระหว่างเซลล์ของการทดสอบของโปรแกรมพาร์ติเคิล สวอม ออปติไมเซชั่น มีบางค่าคำตอบที่แตกต่างกับโปรแกรม BACL และทุกค่าคำตอบแตกต่างจากค่าคำตอบของโปรแกรมเจเนติกอัลกอรีทึม ซึ่งพบว่าค่าเฉลี่ยของการเคลื่อนที่ระหว่างเซลล์ที่ได้จากโปรแกรมพาร์ติเคิล สวอม ออปติไมเซชั่น ส่วนมากดีกว่าค่าเฉลี่ยของการเคลื่อนที่ระหว่างเซลล์ที่ได้จากโปรแกรม BACL และโปรแกรมเจเนติกอัลกอรีทึม แต่ค่าจำนวนการเคลื่อนที่ระหว่างเซลล์ที่น้อยที่สุดของโปรแกรมพาร์ติเคิล สวอม ออปติไมเซชั่น มีค่าเท่ากับค่าคำตอบที่ได้จากโปรแกรม BACL และมีค่าน้อยกว่าค่าคำตอบที่ได้จากโปรแกรมเจเนติกอัลกอรีทึม เนื่องจากทั้ง 3 โปรแกรมมีขั้นตอนและรูปแบบวิธีการหาค่าคำตอบที่ต่างกัน ดังนั้น ค่าคำตอบที่ได้จึงแตกต่างกันไป ซึ่งบางรูปแบบของแต่ละโปรแกรมอาจมีข้อจำกัดที่แตกต่างกัน

ตารางที่ 4.6 เปรียบเทียบค่าคำตอบโปรแกรมพาร์ติเคิล สวอม ออปติไมเซชั่น และโปรแกรม BACL

ข้อมูล		จำนวนการเคลื่อนที่ระหว่างเซลล์ที่น้อยที่สุด (ครั้ง)	จำนวนการเคลื่อนที่ระหว่างเซลล์ที่มากที่สุด (ครั้ง)	ค่าเฉลี่ยของจำนวนการเคลื่อนที่ระหว่างเซลล์	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของการเคลื่อนที่ระหว่างเซลล์
ข้อที่ 5	PSO	28	29	28.50	0.55
	BACL	28	31	29.16	1.14
ข้อที่ 6	PSO	8	8	8.00	0.00
	BACL	8	10	8.80	1.14
ข้อที่ 7	PSO	39	52	46.50	5.36
	BACL	48	57	54.80	3.90
ข้อที่ 8	PSO	30	35	32.50	2.07
	BACL	33	38	36.20	1.92
ข้อที่ 9	PSO	92	103	97.50	4.21
	BACL	111	117	114.40	2.19
ข้อที่ 10	PSO	71	75	73.00	1.67
	BACL	77	81	79.00	1.58

จากตารางที่ 4.6 แสดงการเปรียบเทียบค่าคำตอบของโปรแกรมพาร์ติเคิล สวอม ออปติไมเซชั่น กับโปรแกรม BACL ของโจทย์ปัญหาที่เหลือ 6 โจทย์ปัญหา พบว่าค่าเฉลี่ยของจำนวนการเคลื่อนที่ระหว่างเซลล์จากโปรแกรมพาร์ติเคิล สวอม ออปติไมเซชั่น มีค่าคำตอบที่ดีกว่าโปรแกรม BACL และจำนวนการเคลื่อนที่ระหว่างเซลล์ที่น้อยที่สุดในโจทย์ปัญหาข้อที่ 5 และ 6 มีจำนวนเท่ากัน แต่โจทย์ปัญหาข้อที่ 7, 8, 9 และ 10 มีจำนวนน้อยกว่า

โปรแกรมพาร์ติเคิล สวอม ออปติไมเซชั่น สามารถให้ค่าคำตอบของจำนวนการเคลื่อนที่ระหว่างเซลล์ที่น้อยที่สุดได้ดีกว่าโปรแกรม BACL เนื่องจากกลไกการทำงานของโปรแกรม BACL มีการสลับตำแหน่ง เพื่อที่จะทำการปรับค่าประชากรให้เข้าใกล้ค่าคำตอบที่ดีที่สุดเพียงครั้งเดียว แต่โปรแกรมพาร์ติเคิล สวอม ออปติไมเซชั่น มีการสลับตำแหน่ง เพื่อที่จะปรับค่าประชากรให้เข้าใกล้คำตอบที่ดีที่สุดของตัวเองและของกลุ่ม ทำให้ได้ค่าคำตอบที่ดีกว่าโปรแกรม BACL

ตารางที่ 4.7 แสดงเวลาเฉลี่ยในการหาคำตอบของวิธีพาร์ติเคิล สวอม ออปติไมเซชั่น

ขนาด	เวลาที่ใช้ในการทดสอบ (sec.)
6x6	9.68
8x10	25.41
10x10	42.56
20x20	140.64
24x26	318.80

จากตารางที่ 4.7 แสดงให้เห็นถึงเวลาเฉลี่ยที่ใช้ในการทดสอบโปรแกรมพาร์ติเคิล สวอม ออปติไมเซชั่น ในแต่ละขนาดโจทย์ปัญหา โดยใช้คอมพิวเตอร์ยี่ห้อ Asus รุ่น K450L ซีพียู core i7 ซึ่งพบว่าเมื่อโจทย์ปัญหามีขนาดใหญ่ขึ้น เวลาที่ใช้ในการทดสอบจะมากขึ้นตามไปด้วย ซึ่งโดยรวมจะพบว่าในการหาค่าคำตอบในแต่ละรอบถือว่าใช้เวลาไม่มากนักในการทดสอบของโปรแกรมพาร์ติเคิล สวอม ออปติไมเซชั่น

บทที่ 5
บทสรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการดำเนินโครงงาน

จากการดำเนินโครงงานในการจัดทำการทดสอบโปรแกรมการออกแบบการจัดเซลล์ด้วยวิธีพาร์ติเคิล สวอม ออปติไมเซชั่น เพื่อเป็นการแก้ปัญหาการสร้างเซลล์ที่มีความยืดหยุ่นในระบบการผลิตแบบเซลลูลาร์ ได้มีการนำเอาข้อมูลของปัญหาดังภาคผนวก ข มาใช้ในการทดสอบโปรแกรม โดยข้อมูลเหล่านี้อ้างอิงมาจากปริญญานิพนธ์ของนางสาววิภาดา ผาริการ และ นางสาววิภาดา สีสวยสม ซึ่งเป็นปริญญิพนธ์เมื่อปีการศึกษา 2555 แต่มีความแตกต่างกันตรงที่การใช้โปรแกรมในการทดสอบที่แตกต่างกัน เพื่อต้องการนำค่าคำตอบที่ดีที่สุดมาเปรียบเทียบกันว่าโปรแกรมใดจะให้ค่าคำตอบของการเคลื่อนที่ระหว่างเซลล์น้อยที่สุด

5.1.1 โครงงานนี้ทำให้เกิดโปรแกรมการออกแบบการจัดเซลล์ด้วยวิธีพาร์ติเคิล สวอม ออปติไมเซชั่น ที่สามารถนำมาช่วยในการแก้ปัญหาการสร้างเซลล์ที่มีความยืดหยุ่นในกระบวนการผลิตแบบเซลลูลาร์ เพื่อหาการเคลื่อนที่ระหว่างเซลล์ให้น้อยที่สุด

5.1.2 วิธีพาร์ติเคิล สวอม ออปติไมเซชั่น ได้มีการกำหนดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ในการทดสอบโปรแกรม แสดงดังบทที่ 4 ซึ่งค่าพารามิเตอร์เหล่านี้อ้างอิงมาจาก R.M. Satheesh Kumar และคณะ ทำให้ค่าคำตอบที่ออกมามีค่าค่อนข้างดี ถึงแม้ว่าพารามิเตอร์ที่ใช้อาจจะไม่ใช่ค่าที่เหมาะสมที่สุดก็ตาม

5.1.3 จากการเปรียบเทียบค่าคำตอบที่ได้จากวิธีพาร์ติเคิล สวอม ออปติไมเซชั่น กับวิธีค้างคาวและวิธีเจเนติกอัลกอริทึม สามารถสรุปได้ว่า ค่าคำตอบของการเคลื่อนที่ระหว่างเซลล์ที่น้อยที่สุดของวิธีพาร์ติเคิล สวอม ออปติไมเซชั่น ดีกว่าวิธีค้างคาว แต่แย่กว่าวิธีเจเนติกอัลกอริทึม และค่าเฉลี่ยของการเคลื่อนที่ระหว่างเซลล์ของวิธีพาร์ติเคิล สวอม ออปติไมเซชั่นดีกว่าทั้งค่าคำตอบที่ได้จากวิธีค้างคาวและวิธีเจเนติอัลกอริทึม

5.1.4 การที่ค่าคำตอบที่ได้จากวิธีพาร์ติเคิล สวอม ออปติไมเซชั่น มีคำตอบที่แตกต่างจากวิธีหาคำตอบค้างคาวและวิธีเจเนติกอัลกอริทึม อาจเกิดจากปัจจัยเหล่านี้

5.1.4.1 การหาค่าคำตอบด้วยวิธีพาร์ติเคิล สวอม ออปติไมเซชั่นได้ใช้การสลับคู่ลำดับในการหาค่าคำตอบใหม่ ซึ่งไม่มีการหาค่าคำตอบด้วยวิธีเจเนติกอัลกอริทึม จึงทำให้ค่าคำตอบที่ออกมามีค่าแย่กว่า

5.1.4.2 จำนวนการทำงานในแต่ละครั้ง ซึ่งจากโครงงานนี้มีจำนวนรอบ 30 รอบ อาจเป็นจำนวนรอบการทำงานที่น้อยเกินไปจึงเกิดการคัดเลือกน้อย ทำให้คำตอบที่ได้อาจจะไม่ค่าที่ดีที่สุด

5.1.4.3 การกำหนดจำนวนพาร์ติเคิล ซึ่งจากโครงงานนี้มีจำนวนพาร์ติเคิล 200 พาร์ติเคิล จากจำนวนพาร์ติเคิลที่มากเกินไป อาจเกิดคำตอบที่ซ้ำกันได้ จึงทำให้ค่าคำตอบไม่ดีเท่าที่ควร

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 การเพิ่มจำนวนรอบในการทดสอบในการหาค่าคำตอบในโปรแกรมด้วยวิธีพาร์ติเคิล สวอม ออปติไมเซชั่น จะทำให้มีการคัดเลือกค่าคำตอบที่ดียิ่งขึ้น

5.2.2 ลำดับการทำงานของเครื่องจักรที่ไม่มีการวนกลับมาทำงานซ้ำเดิม ซึ่งอาจจะเป็นข้อจำกัดในการนำวิธีการแก้ปัญหานี้ไปใช้กับการแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นจริง เนื่องจากโปรแกรมไม่ได้ถูกออกแบบมาให้ทำวนซ้ำเครื่องเดิมได้

5.2.3 ควรมีการใส่ข้อมูลลำดับการผลิตให้ถูกต้อง เพื่อลดความผิดพลาดของคำตอบจากการคำนวณของโปรแกรม

5.2.4 โปรแกรมพาร์ติเคิล สวอม ออปติไมเซชั่น ไม่ได้คำนึงถึงการใช้ระยะเวลาในการทดสอบโปรแกรม เพราะผู้พัฒนาโปรแกรมมีเพียงความรู้เบื้องต้นในการพัฒนาโปรแกรมให้มีการทำงานได้จริงเท่านั้น

5.2.5 การทดลองเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม ทำการทดลองกับโจทย์ปัญหาขนาดใหญ่ ซึ่งอาจทำให้ค่าพารามิเตอร์ที่ได้ไม่เหมาะสมกับโจทย์ปัญหาขนาดอื่น ดังนั้น ควรมีการออกแบบการทดลองโดยใช้โจทย์ปัญหาทั้งหมด เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมกับแต่ละโจทย์ปัญหา

5.2.6 การนำค่าพารามิเตอร์ของโปรแกรมพาร์ติเคิล สวอม ออปติไมเซชั่น ที่ได้จากการออกแบบการทดลองมาใช้กับโจทย์ปัญหาของโปรแกรมอื่น อาจทำให้ค่าคำตอบที่ได้ออกมาไม่เหมาะสมกับการนำมาเปรียบเทียบ

เอกสารอ้างอิง

คมสันต์ ยมนะ และอโนทัย เอี่ยมบาง. (2554). **การประยุกต์ใช้พาร์ติเคิลสวอมออปติไมเซชันเพื่อแก้ปัญหาการจัดสมดุลสายงานการประกอบ.** พิษณุโลก: มหาวิทยาลัยนเรศวร.

จักรชัย บรรเทาทุกข์ และณัฐพล เหมือนภักตร์. (2551). **การพัฒนาโปรแกรมเพื่อแก้ปัญหาการสร้างเซลล์ที่มีความยืดหยุ่นในระบบการผลิตแบบเซลลูลาร์โดยวิธีเจเนติกอัลกอริทึม.** พิษณุโลก: มหาวิทยาลัยนเรศวร.

ณัฏฐพงศ์ คำขาด. (2551). **การศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพวิธีการพาร์ทิเคิลสวอม ออปติไมเซชัน และเจเนติกอัลกอริทึมเพื่อการจัดเรียงเครื่องจักรในระบบการผลิตแบบยืดหยุ่น.** พิษณุโลก: มหาวิทยาลัยนเรศวร.

บุษบา นาใจคง และอนุธิดา ภูสาคร. (2555). **การศึกษาระบบการผลิตแบบเซลลูลาร์ในโรงงานอุตสาหกรรมฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ.** ขอนแก่น: มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

รัฐพงศ์ แม่นยำ. (2556). **การแก้ปัญหาการจัดเซลล์การผลิตและการวางผังในระบบการผลิตแบบเซลลูลาร์โดยใช้วิธีเมต้าฮิวริสติกส์.** พิษณุโลก: มหาวิทยาลัยนเรศวร.

วิภาดา ผาริการ และวิภาดา สีสวยสม. (2555). **การพัฒนาโปรแกรมการออกแบบการจัดเซลล์ด้วยวิธีค้างคาวเพื่อแก้ปัญหาการสร้างเซลล์ที่มีความยืดหยุ่นในระบบการผลิตแบบเซลลูลาร์.** พิษณุโลก: มหาวิทยาลัยนเรศวร.

Quarterman Lee. (2007). **Cellular Manufacturing System.** สืบค้นเมื่อ 19 ส.ค. 2557, จาก http://www.strategosinc.com/cellular_manufacturing.htm

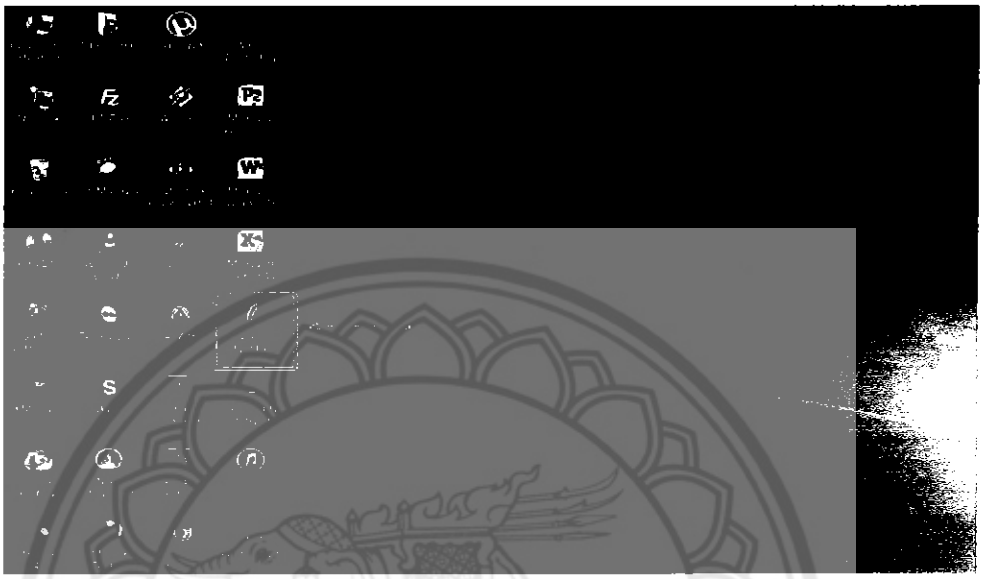
R. M. Satheesh Kumal และคณะ. (2007). **Design of loop in flexible manufacturing system using non-traditional optimization technique.** สืบค้นเมื่อ 20 พ.ย. 2557, จาก http://www.researchgate.net/publication/225583686_Design_of_loop_layout_in_flexible_manufacturing_system_using_non-traditional_optimization_technique

ภาคผนวก ก

ขั้นตอนการใช้โปรแกรมพาร์ติเคิล สวอม ออปติไมเซชั่น

ก. ขั้นตอนการใช้โปรแกรมพาร์ติเคิล สวอม ออปติไมเซชั่น

ก.1 ดับเบิ้ลคลิ้กที่ PSO Algorithm

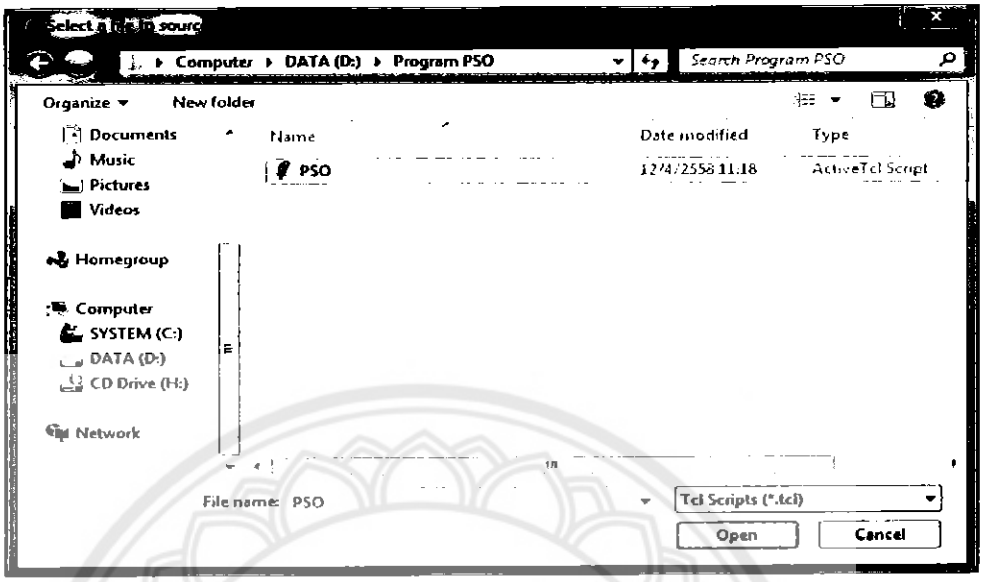


รูปที่ ก.1 แสดงสัญลักษณ์เข้าโปรแกรม

ก.2 คลิกที่ File แล้วเลือกที่ Source

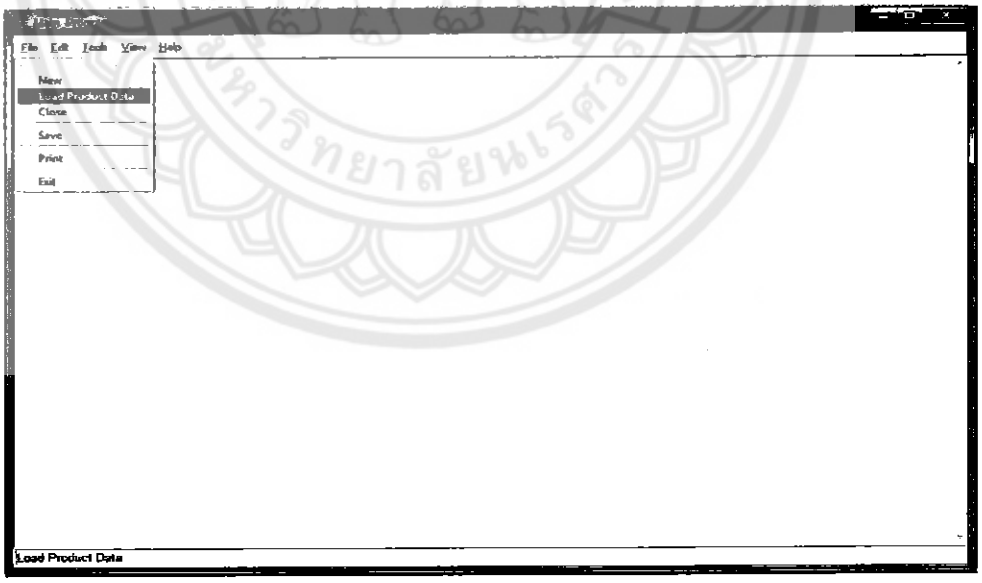
รูปที่ ก.2 แสดงการเลือกโปรแกรม

ก.3 ดับเบิ้ลคลิ้กที่ PSO



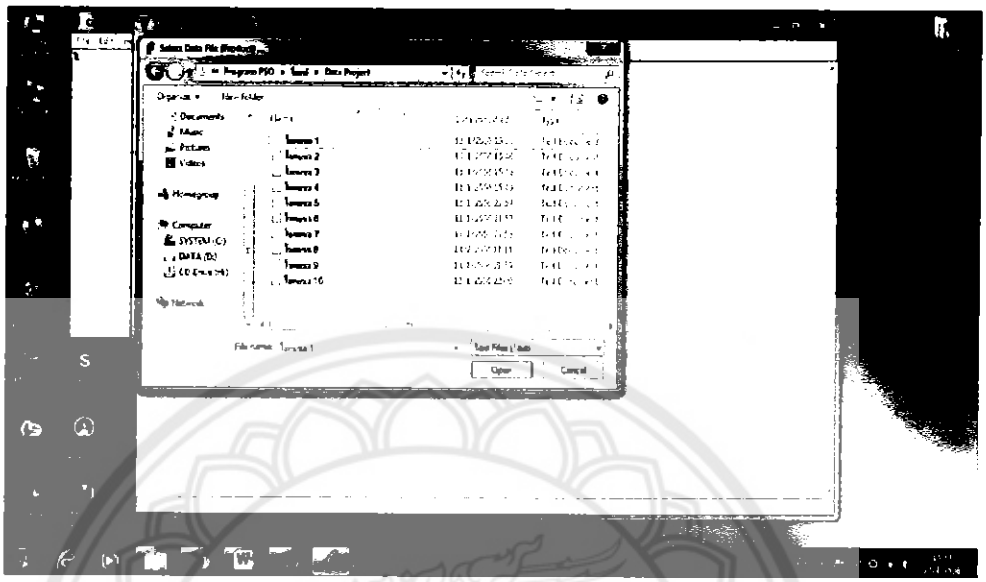
รูปที่ ก.3 แสดงโปรแกรมที่ใช้ศึกษา

ก.4 คลิกที่ File แล้วเลือก Load Product Data



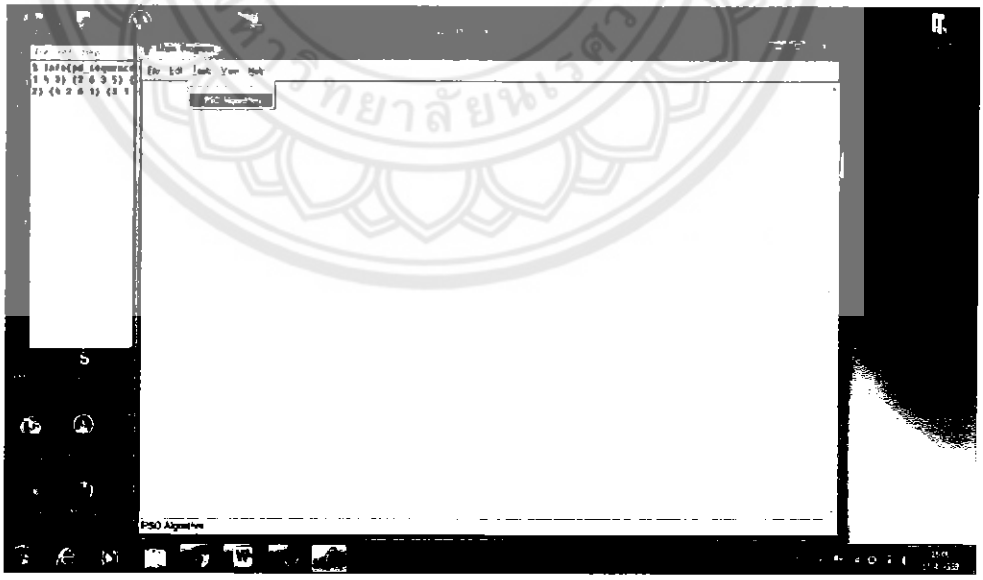
รูปที่ ก.4 แสดงการเลือกข้อมูลนำเข้า

ก.5 ดับเบิ้ลคลิกที่ Program PSO ดับเบิ้ลคลิกที่โจทย์ ดับเบิ้ลคลิกที่ Data Project เลือกโจทย์



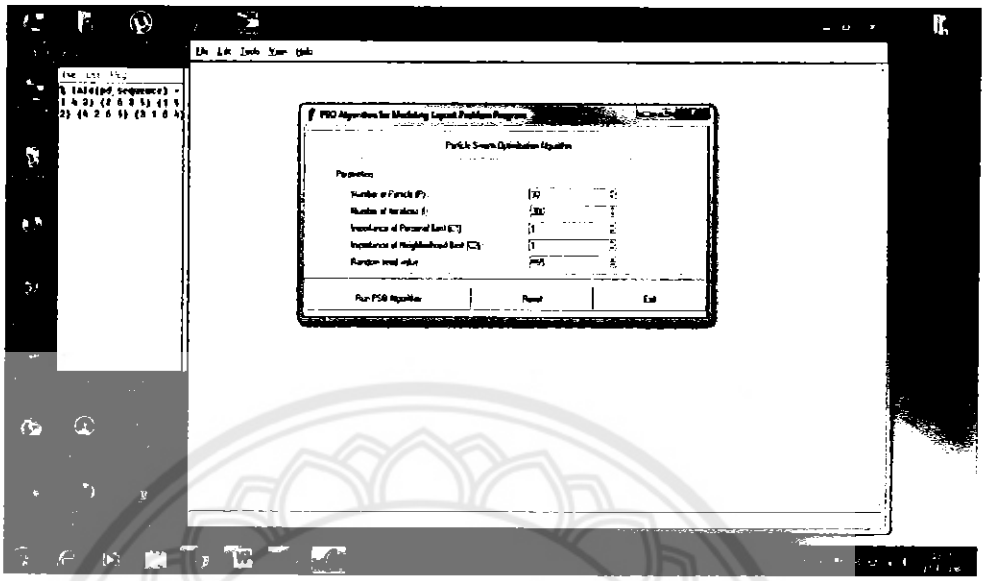
รูปที่ ก.5 แสดงข้อมูลนำเข้าที่ใช้ศึกษา

ก.6 คลิกที่ Tool เลือก PSO Algorithm



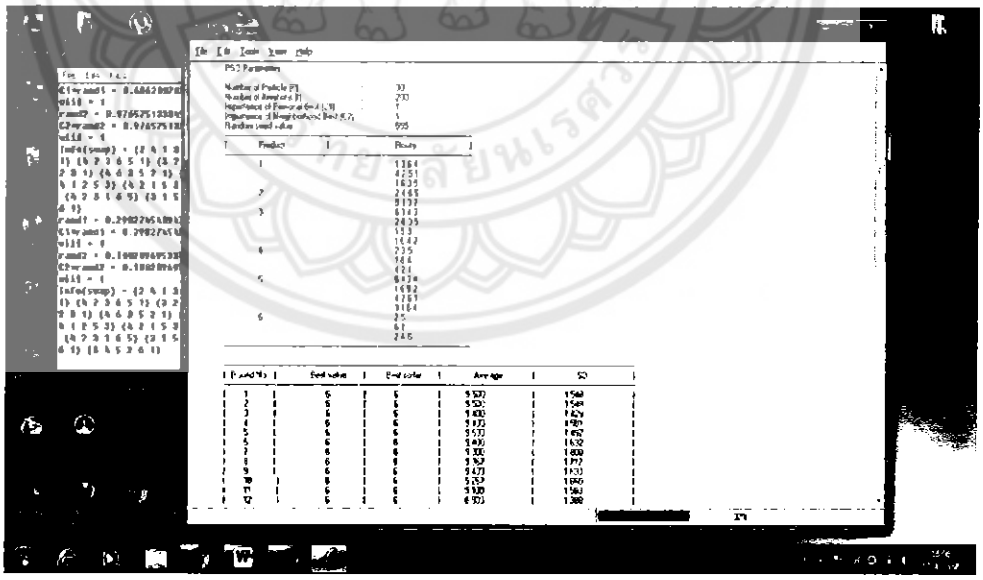
รูปที่ ก.6 แสดงการเลือกวิธีการแก้โจทย์ปัญหา

ก.7 ใส่ค่าพารามิเตอร์เริ่มต้น และคลิกที่ Run PSO Algorithm



รูปที่ ก.7 แสดงหน้าต่างใส่ค่าพารามิเตอร์

ก.8 โปรแกรมทำงาน



รูปที่ ก.8 แสดงการทำงานของโปรแกรม

ภาคผนวก ข

ข้อมูลที่ใช้ในการทดสอบ

ข. ข้อมูลที่ใช้ในการทดสอบ

ข.1 ข้อมูลที่ใช้ในการทดสอบและผลการทดสอบ

ข้อมูลที่นำไปใช้ในการทดสอบโปรแกรมพาร์ติเคิล สวอม ออปติไมเซชั่น ในการหาค่าคำตอบที่มีการเคลื่อนที่น้อยที่สุด โดยมีค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ใช้ในการทดสอบ เพื่อความถูกต้องใน และลดความผิดพลาดที่จะเกิดขึ้นในการหาค่าคำตอบที่ดีที่สุด

ข.2 ข้อมูลของค่าพารามิเตอร์ที่ต้องนำมาใช้แทนปัญหาในการวิเคราะห์

ข.2.1 จำนวนเครื่องจักรทั้งหมดที่ใช้งาน

ข.2.2 จำนวนชิ้นส่วนของผลิตภัณฑ์ทั้งหมดที่ต้องการวิเคราะห์

ข.2.3 จำนวนเส้นทางการผลิตของแต่ละชิ้นส่วนผลิตภัณฑ์

ข.2.4 ลำดับขั้นตอนการผลิตของแต่ละเส้นทางการผลิต

ข.2.5 จำนวนของกลุ่มเซลล์ที่ต้องการแบ่งจัดกลุ่มของแต่ละโจทย์ปัญหา

ข.3 ของเขตของโปรแกรมพาร์ติเคิล สวอม ออปติไมเซชั่น

ข.3.1 ลำดับการทำงานของเครื่องจักรไม่มีการวนกลับมาทำงานซ้ำ

ข.3.2 เลขลำดับขั้นตอนการผลิตต้องถูกต้อง และไม่มีการเว้น หรือ ข้าม

ข.4 ตัวอย่างของปัญหาที่นำมาใช้ในการทดสอบโปรแกรมพาร์ติเคิล สวอม ออปติไมเซชั่น

ขนาดของโจทย์ปัญหาที่นำมาใช้ในการทดสอบโปรแกรมพาร์ติเคิล สวอม ออปติไมเซชั่น ประกอบไปด้วยโจทย์ปัญหาขนาดต่างๆ ดังนี้

ขนาด (6x6) มี 3 กลุ่มเซลล์ จำนวน 2 โจทย์ปัญหา

ขนาด (8x10) มี 4 กลุ่มเซลล์ จำนวน 2 โจทย์ปัญหา

ขนาด (10x10) มี 3 กลุ่มเซลล์ จำนวน 1 โจทย์ปัญหา

ขนาด (10x10) มี 5 กลุ่มเซลล์ จำนวน 1 โจทย์ปัญหา

ขนาด (20x20) มี 5 กลุ่มเซลล์ จำนวน 1 โจทย์ปัญหา

ขนาด (20x20) มี 7 กลุ่มเซลล์ จำนวน 1 โจทย์ปัญหา

ขนาด (24x26) มี 8 กลุ่มเซลล์ จำนวน 1 โจทย์ปัญหา

ขนาด (24x26) มี 11 กลุ่มเซลล์ จำนวน 1 โจทย์ปัญหา

จากตัวอย่างโจทย์ปัญหาขนาดต่างๆ จึงได้ทำการสมมติโจทย์ปัญหาในรูปของเมตริกซ์ เพื่อใช้ในการทดสอบโปรแกรมพาร์ติเคิล สวอม ออปติไมเซชั่น ดังต่อไปนี้

ข.4.1 โจทย์ขนาดปัญหา (6x6)

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

ข.4.1.1 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	3		2			3			1			
4	4	1		2		3			3		3	1	4		1	4			2
5		3	4	4	1		4	2		3				3		3	2		
6	3		3	3		1	2		2		2		1	2	3			1	3

รูปที่ ข.1 โจทย์ข้อที่ 1

ข.4.1.2 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	4		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 โจทย์ข้อที่ 2

ข.4.2 โจทย์ขนาดปัญหา (8x10)

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

ข.4.2.1 โจทย์ข้อที่ 3

Part	1				2			3					4				5				6			7				
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
Machine																												
1	2	5	1			2	1	1	3	4		1	5	3		2	5	1		1	1	4	1			1		1
2		1		2	1		2	4			1	5	2	5	1	5		2	5					1	2		1	
3	5		2	5	2	3	3		5	2	2		4				1		1	4						2	3	
4	1	4	5	4				2	4	5		2	3	4	5	3		4			2	5	2	2	5		4	3
5		3				4		5			5				3	4	2			5			3		4	5		2
6	3		4	3	5	1	4			3		4		2	2			5	2			1		3	1		2	5
7	2			4	4			3	2		3	3		1			3		4	2	4	2			3	3		
8	4		3	1					1	1	4		1			1	4	3	3	5	3			4		4	5	4

รูปที่ ข.3 โจทย์ข้อที่ 3

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

รูปที่ ข.3 (ต่อ) โจทย์ข้อที่ 3

ข.4.2.2 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		3	3	3	4
8	3		4			5		4		3				3	3	5	3		4		

รูปที่ ข.4 โจทย์ข้อที่ 4

ข.4.3 โจทย์ขนาดปัญหา (10x10)

ข.4.3.1 โจทย์ข้อที่ 5

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

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

รูปที่ ข.5 โจทย์ข้อที่ 5

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

รูปที่ ข.5 (ต่อ) โจทย์ข้อที่ 5

ข.4.3.2 โจทย์ข้อที่ 6

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

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

รูปที่ ข.6 โจทย์ข้อที่ 6

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

รูปที่ ข.6 (ต่อ) โจทย์ข้อที่ 6

ข.4.4 โจทย์ขนาดปัญหา (20x20)

ข.4.4.1 โจทย์ข้อที่ 7

Number of Machines	20	ขนาด
Number of Parts	20	20x0
Number of Cells	5	

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

รูปที่ ข.7 โจทย์ข้อที่ 7

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

รูปที่ ข.7 (ต่อ) โจทย์ข้อที่ 7

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

รูปที่ ข.7 (ต่อ) โจทย์ข้อที่ 7

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

รูปที่ ข.7 (ต่อ) โจทย์ข้อที่ 7

ข.4.4.2 โจทย์ข้อที่ 8

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

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

รูปที่ ข.8 โจทย์ข้อที่ 8

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

รูปที่ ข.8 (ต่อ) โจทย์ข้อที่ 8

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

รูปที่ ข.8 (ต่อ) โจทย์ข้อที่ 8

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

รูปที่ ข.8 (ต่อ) โจทย์ข้อที่ 8

ข.4.5 โจทย์ขนาดปัญหา (24x26)

ข.4.5.1 โจทย์ข้อที่ 9

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

Part	1						2								3							4				5	
Cell	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	1	2
Machine																												
1	2	3		1							1		4		1	1	7			1			1		8	6	1	
2			7	2			1		6			1		1				8			1							
3		2			5	6	4		1				2		8				8			3		6				6
4	1		4														5			2				1	4			
5		4		7				5		2	7			7		7		1		5						1		
6															3													1
7					4		2			4		5	8				6		1		3	4	8				5	
8	6		5	6				6	3					5		6								3	2	7		
9						8	8				2							3			7							
10	3	5			6				7	3		2					8					6	3		7	5		
11			3	4		3							3		7	2		7	3	5		2		7			5	5
12							1	2						5					2		2			2	3	2		
13	5	6							2	7		6					4	2	4	6		8						
14			5	5	1	5	6				6		1		2						4		2				2	3
15	4	1						4			3	4		2		5	2	5				5				8		
16							3			5									6					4	1			
17		7	8		8				5				7								6		5					
18					7									6	4	3	3	4	7	4		1				4	4	
19	6					7		7		1			5								6		4					2
20	7		1	3	3				6		4	3		8	6									5	4			
21		8				2	5													7			7			3		
22								3	4					4		6		6	5		5						6	
23				6	2					8	5	7				4	1					7						
24			2			3	7					8	6		5					8			6	8	5			4

รูปที่ ข.9 โจทย์ข้อที่ 9

Part							6								7							8					9	
Route	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	1	2
Machine																												
1	5	8	1				2	3	1	4	1	4				1			1	3			1	7			1	
2				4		1			8				6	1	4				2		1				8		2	
3		1			1			2		3	8	3	2	7			2		3		7	2				8		3
4							1									3		1		1			3	5				
5					7	7		4	2		2		3		5		3	4				5			1		7	
6				5						2		2								8								
7	6	3							3		3		1	2	2						2	3		6		1		4
8			3		3		6		6	1	6	1	4		7	5			5	2			5				8	
9		4														6	5	2	4			7	6		3			
10		2		2		2	3	3		7		7	7		3					6				8				3
11	4		2		8				7					3			8	6	7		3				7	3	4	
12												8		6		8					6	4				2		
13			6	6	2	6	3	6									1			5				4	2	4		
14		5		3					3		3			4							4						3	1
15	3				6		4	1		6		6				7	6	3				3	7	2	3			
16			3			4							8		1	2					8		2			6		
17				7				7								4	4	8	6			1	4					8
18		6			4	8			4		4			3							3			3	4	7		7
19				1			6								6			7		4			8					
20		7	7			3	7			3		3					7		8								3	3
21								8			7			8														
22			8																						6	3		
23	2				3	3				8												8		1			6	2
24	1		4	8									3		8			3		7								

รูปที่ ข.9 (ต่อ) โจทย์ข้อที่ 9

Part						10						11								12						13		
Route	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4	5	6	1	2	3
Machine																												
1						7	8	6		7	1	1	7			1			1		8	6	1			3		
2			1		6	2			7	8				8			1								1		1	
3	6	4		1		4	2				8				8			3		6				6			7	2
4								1	1				5			2				1	6					1		
5			5		2	3						7		1		3						1						5
6							7	8		2	3													1		7		
7	4	2			4	1			8				6		1		3	4	8				3		2		2	3
8			6	3		5	1	2				8								3	2	7				2		
9	8	8								1				3			7											7
10					3								8					6	3		7	5				6		
11	3						4	4	2		7	2		7	3	3		2		7			5	5	3		3	
12		1	2												2		2			2	3	2			6		6	4
13				2	7		3						4	2	4	6		8								5		
14	5	6						3	6	4	2						4		2				2	3	4		4	
15			4									5	2	5				5				8						6
16		3			3				6	3					6					4	1						8	
17				3			5										6		5									1
18								3			4	3	3	4	7	4		1				4	4		5		3	
19	7		7		1		6		3								8		4					2		4		
20						6				5	6									3	4							
21	2	3						7								7			7			3			7	8		8
22			3	4		8				6		6		6	3		5						6		8			
23					8				3			4	1					7										
24	1	7									3					8			6	8	3			4				

รูปที่ ข.9 (ต่อ) โจทย์ข้อที่ 9

Part			14							15					16						17					
Route	4	5	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7
Machine																												
1	1	4				1	5	1	7			1							7	8	6		7	1	1	7		
2			6	1	4					8		2				1		6	2			7	8				8	
3		3	2	7			2				8		5	6	4		1		4	2				8				8
4						3		3	5												1	1				5		
5	2		3		5		3			1		7				3		2	3						7		1	
6		2																		7	8		2	3				
7	3		1	2	2				6		1		4	4	2			4	1			8				6	9	1
8	6	1	4		7	5		5				8				6	3		5	1	2				8			
9				7		6		6		3				8	8								1			3		
10		2	7		3				8				6					1							8		
11				3						7	3	4		3						4	4	2		7	2		7	3
12	8			6							2				1	2												2
13						8	1		4	2	4						2	7		3						4	2	4
14	5			4								5	1	5	6						3	6	4	2				
15		6					6	7	2	5						4									5	2	5	
16			5		1	2		2			6				3			3				4	3					6
17						4	4	4					8				5			5								
18	4			8					5	4	7		7								5			4	3	3	4	7
19					6			8						7		7		1		6		3						
20		5	8				7					3	3						6				5	6				
21					8									2	5						7							
22	7						8			6	5					3	4		8				6		6		6	5
23				3		7			1			6	2					8				5			4	1		
24		8												1	7									5				

รูปที่ ข.9 (ต่อ) โจทย์ข้อที่ 9

Part		18						19					20								21					22		
Route	0	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4	5	1	2	3
Machine																												
1	1		4		1	1	7			1			1		8	6	1		5	8	1				2	3	1	4
2		1		1				8			1											4		1			8	
3			2		8				8			3		6				6		1			1			2		3
4							5			2				1	6										1			
5	7			7		7		1		3						1							7	7		4	2	
6					3													1				3						2
7		3	8				6		1		3	4	8				3		6	3							3	
8				3		8								3	2	7					3		3		8		6	1
9	2							3			7									4								
10		2					8					6	3		7	5				2		2		2	3	5		7
11			3		7	2		7	3	3		2		7			5	5	4		2		8				7	
12				3					2		2			2	3	2												
13		6					4	2	4	6		8									6	6	2	6	5	6		
14	6		1		2						4		2				2	3		5		3					5	
15	3	4		2		5	2	5				5				8			3				6		4	1		6
16									6					4	1						5			4				
17			7								6		5									7				7		
18				6	4	3	3	4	7	4		1				4	4			6			4	8			4	
19			5								8		4					2				1			6			
20	4	3		8	6									5	4					7	7			3	7			5
21										7			7			3										8		
22				4		6		6	5		5						6				8							
23	5	7				4	1					7							2				5	5				8
24		8	6		5					8			6	8	5			4	1	9	4	8						

รูปที่ ข.9 (ต่อ) โจทย์ข้อที่ 9

Part					25						26								25					26				
Route	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Machine																												
1	1	4				1	7			1		4		1	1	7		5		1		6	1	5	8	2		1
2			6	1	4			8			1		1				8		2		1			4			5	
3	8	3	2	7					8			2		8														
4						3	5									5			8	5		2			7			
5	2		3		5			1		7			7		7		1	4					7			3		
6		2												3								4		2			2	
7	3		1	2	2		6		1		5	8				6		7	3	6	3				5	8		3
8	6	1	4		7	3							3		8													
9						6		3		2							3	6			6	3	2				6	
10		7	7		3		8				2					8			1					1		1		
11				3				7	3			3		7	2		7			2					4		1	3
12		8		6		8			2				5								2	7	8	6				
13							4	2	4		6					4	2								6	7		
14	5			4						6		1		2					5	4			6					2
15		6				7	2	5		3	4		2		5	2	3					5	3		2	3	8	
16			8		1	2			6									8			5			3			4	
17						4						7							4						3	9		
18	4			5			3	4	7				6	4	3	3	4			7		1						4
19					6							5						2		8				7		4	3	
20		5								4	3		8	6					7				4					
21	7			8																3	4							
22								6	3				4		6		6	1			8	8		8				6
23							1			3	7				4	1					7		3		1	6	7	
24			0		8						8	6		3				3	6									

รูปที่ ข.9 (ต่อ) โจทย์ข้อที่ 9

Part			
Route	6	7	8
Machine			
1		5	8
2			
3	6		1
4			
5			
6	1		
7		6	3
8			
9			4
10			2
11	5	4	
12			
13			
14	3		5
15		3	
16			
17			
18			6
19	2		
20			7
21			
22			
23		2	
24	4	1	

รูปที่ ข.9 (ต่อ) โจทย์ข้อที่ 9

ข.4.5.2 โจทย์ข้อที่ 10

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

Part	1			2				3						4			5							6			
Route	1	2	3	1	2	3	4	1	2	3	4	5	6	1	2	3	1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4
Machine																												
1								1					8			2										8	
2				1		1														6			8		3			
3		5	6		1		1		1	1			7			1	1								2	4		1
4	3							4			6				1			8			5		3					
5		4		5		4	6					1	5						4						1			
6					5			3							5			7		5		5	2				6	
7						5	2	8		3		4				5	5											
8		1		4									2						3			1	7				3	5	
9	2	3	1								2										1			3	4			
10				3			5			2						6	4	3										2
11								2							4													
12	5				4	2					5							6		7								
13								7	4		4			1							4		1	6		5		
14			2	2			4			6			4		2		2	2	2	2	2	6	4				4	
15		6									1	2	1			5								4	5	2		
16					2	5	5											5		4		4		2				
17								5						6														
18	1	2							2	4				4						3		2					7	
19											3							1		1			5				1	
20					3								6	2					5									
21			3					6								4					3						3	3
22	4	7				6							3	5	3		3		1					1		1		
23										5		3											6		6		2	
24						7			3					3				4		8		3		5				

รูปที่ ข.10 โจทย์ข้อที่ 10

Part			2							8			9					10			11				12			
Job	5	6	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	1	2	3	4	5	1	2	3	1	2	3	4	1	2	3	4
Machine																												
1	5		1		2										6	1												
2																2	6		1	1				2				6
3						4		8			4				5	3		8				1	1				1	
4	2	5			1		1		4			1		5				1	5		1					1		
5				4					3	3					1		1								3			5
6	1		5			3		1				5	2		4		5				6	7						
7		1						4	6		1										5			3		4		
8				3			5							1				5						1				
9												4	1		3	5					4	6	2					
10			4					7	8									7										
11		4					4		5		4				2						2				2		2	2
12	4			1		2		2		2				4			4	4	4	2		4						
13									2														3			3		4
14											5							2					3				3	
15		3						5				2				4			2									
16			3		3																							3
17	4					1				1				5			2			3		5						
18							2				2	6													1			1
19				2									3											4			4	
20	3							3	1	5											3		4			2		
21			6									3						3	3			3						7
22		2			4												3			3								
23							3	6			3		4	2				6		4							5	8
24		6	2	3					7	4												2		5				

รูปที่ ข.10 (ต่อ) โจทย์ข้อที่ 10

Part					13					16	15	16		17			18					19						20
Route	5	6	7	8	1	2	3	4	5	1	1	1	2	1	2	3	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	6	1
Machine																												
1		6											6						2		5						5	
2				1										5	1		1				4							1
3		3	5			2		1	3		3	5	1	1		5							4			1		
4	5						7			1						1					1		1		3			
5															3									3		5	4	6
6		4				1					2			6			6		5									
7			4				3			7						4				6			3		8			4
8	2			4	1			3	1			1	5	4	5				1							6	1	
9											4							3			3	6		2	2		3	
10									6	3					4		4			4	2		2		4	4		2
11			2			4					1																	
12		1			4										2				6			1				2		
13	1											4	4				2							1				
14				3			4			2				2		3		2		3		5			1			
15		7					2	2	2				2										3					
16			3			3													4						7		2	
17		3	1							6		2				2	3	4		5								
18	4						6															4						
19					2						3		8	7	6					2		2				3		3
20	3						5		4					3										4	5			
21				6									7					1										
22		2		2		5				3									3			3	6		6			
23		8			3		1	4		4		3	3				3			3					7			5
24				5					5					8					7					5				

รูปที่ ข.10 (ต่อ) โจทย์ข้อที่ 10

Part				21		22				25		26			25	26
Route	2	3	4	1	2	1	2	3	4	1	2	1	2	3	1	1
Machine																
1			7		1		1	4	5		3			1	1	4
2	6					1				3						3
3			6				4				4			5	6	
4		3	1					2		4		6			3	
5						2			4							
6	5				2		2					4				2
7					3		5	3						2	2	1
8	1	1							3							
9		4	5				3			2		5				
10									1	1	2			4		
11	4			1												5
12			2			5									5	6
13						4							4	3		
14	2					3		1				3	3			
15				2					2				2			
16		3	4											6		
17																
18																
19		2	8													
20	3					6										
21			3			7								8		
22												2				
23				4	4											8
24				3	3						1	1	1	7		7

รูปที่ ข.10 (ต่อ) โจทย์ข้อที่ 10

ภาคผนวก ค
พารามิเตอร์และผลการทดสอบที่ศึกษา

ค. พารามิเตอร์และผลการทดสอบที่ศึกษา

ตารางที่ ค.1 แสดงผลจากค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ทดสอบ

ลำดับ	P/I	C_1	C_2	seed number					ค่าเฉลี่ย
				111	222	333	444	555	
1	30/200	1	1	75	77	78	77	79	77.20
2	30/200	1	2	77	76	83	75	81	78.40
3	30/200	1	3	79	74	76	76	76	76.20
4	30/200	1	4	78	80	83	77	79	79.40
5	30/200	2	1	75	80	80	77	76	77.60
6	30/200	2	2	79	80	80	73	75	77.40
7	30/200	2	3	77	81	83	76	76	78.60
8	30/200	2	4	78	76	83	75	77	77.80
9	30/200	3	1	78	77	81	76	78	78.00
10	30/200	3	2	79	78	82	76	78	78.60
11	30/200	3	3	76	80	83	79	77	79.00
12	30/200	3	4	79	79	79	77	79	78.60
13	30/200	4	1	78	78	77	73	79	77.00
14	30/200	4	2	77	78	82	77	76	78.00
15	30/200	4	3	79	76	83	77	77	78.40
16	30/200	4	4	77	78	83	74	78	78.00
17	60/100	1	1	76	79	80	73	81	77.80
18	60/100	1	2	77	80	77	77	74	77.00
19	60/100	1	3	78	75	76	77	77	76.60
20	60/100	1	4	79	77	75	78	79	77.60
21	60/100	2	1	77	77	75	77	78	76.80
22	60/100	2	2	77	76	76	76	78	76.60
23	60/100	2	3	76	79	77	75	76	76.60
24	60/100	2	4	80	76	80	75	77	77.60
25	60/100	3	1	77	75	78	76	77	76.60
26	60/100	3	2	74	76	76	74	76	75.20
27	60/100	3	3	78	78	77	75	79	77.40

ตารางที่ ค.1 (ต่อ) แสดงผลจากค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ทดสอบ

ลำดับ	P/I	C_1	C_2	seed number					ค่าเฉลี่ย
				111	222	333	444	555	
28	60/100	3	4	79	77	77	75	77	77.00
29	60/100	4	1	73	76	76	74	75	74.80
30	60/100	4	2	80	76	78	75	76	77.00
31	60/100	4	3	74	78	80	76	79	77.40
32	60/100	4	4	77	77	74	75	82	77.00
33	200/30	1	1	72	72	76	74	79	74.60
34	200/30	1	2	77	77	75	76	75	76.00
35	200/30	1	3	74	75	77	76	74	75.20
36	200/30	1	4	72	79	74	74	77	75.20
37	200/30	2	1	76	75	73	75	77	75.20
38	200/30	2	2	76	74	76	73	73	74.40
39	200/30	2	3	74	74	75	75	75	74.60
40	200/30	2	4	74	74	77	75	76	75.20
41	200/30	3	1	77	73	76	72	77	75.00
42	200/30	3	2	73	74	74	74	74	73.80
43	200/30	3	3	74	74	77	74	77	75.20
44	200/30	3	4	75	76	77	75	74	75.40
45	200/30	4	1	75	73	75	71	74	73.60
46	200/30	4	2	75	78	74	74	75	75.20
47	200/30	4	3	77	75	77	74	77	76.00
48	200/30	4	4	73	76	76	77	74	75.20