



การประยุกต์ใช้วิธีฮาร์โมนี เซิร์ช สำหรับการออกแบบการจัดเรียงเครื่องจักร
APPLICATION OF HARMONY SEARCH ALGORITHM FOR DESIGNING
MACHINE LAYOUT



นางสาวนาทสมาลย์ ปานเนา รหัสบัณฑิต 53361252
นางสาวเสาวรัตน์ ศุภเลิศไพสิฐ รหัสบัณฑิต 53361702

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมอุตสาหกรรม ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร
ปีการศึกษา 2556

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
วันที่รับ... 20 ก.ค. 2558
เลขทะเบียน... 10 ๘ ๙๗๓๗๕
เลขเรียกหนังสือ... ๕๕๕.
มหาวิทยาลัยนเรศวร ๕ 4๖๗ ๑

2556



ใบรับรองปริญญาโท

ชื่อหัวข้อโครงการ การประยุกต์ใช้วิธีฮาร์โมนี เซิร์ซ สำหรับการออกแบบการจัดเรียงเครื่องจักร

ผู้ดำเนินโครงการ นางสาวนาทสุมาลย์ ปานเนา รหัสนสิต 53361252
 นางสาวเสาวรัตน์ ศุภเลิศไพสิฐ รหัสนสิต 53361702

ที่ปรึกษาโครงการ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ศรีสังจา วิทยศักดิ์

สาขาวิชา วิศวกรรมอุตสาหกรรม

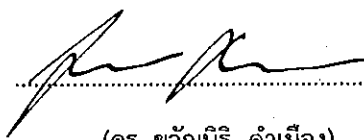
ภาควิชา วิศวกรรมอุตสาหกรรม

ปีการศึกษา 2556

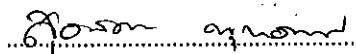
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนครสวรรค์ อนุมัติให้ปริญญาโทฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของ
การศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม



..... ที่ปรึกษาโครงการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ศรีสังจา วิทยศักดิ์)



..... กรรมการ
(ดร. ชวัญนิธิ คำเมือง)



..... กรรมการ
(ดร. สุธนิตย์ พุทธพนม)

ชื่อหัวข้อโครงการ	การประยุกต์ใช้วิธีฮาร์โมนี เซิร์ช สำหรับการออกแบบการจัดเรียงเครื่องจักร
ผู้ดำเนินโครงการ	นางสาวนาทสุมาลย์ ปานเนา รหัสนิสิต 53361252
	นางสาวเสาวรัตน์ ศุภเลิศไพสิฐ รหัสนิสิต 53361702
ที่ปรึกษาโครงการ	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ศรีสังจา วิทยศักดิ์
สาขาวิชา	วิศวกรรมอุตสาหกรรม
ภาควิชา	วิศวกรรมอุตสาหกรรม
ปีการศึกษา	2556

บทคัดย่อ

ในปัจจุบันโรงงานอุตสาหกรรมได้มีการขยายมากขึ้น ระบบการผลิตแบบยืดหยุ่น (Flexible Manufacturing System : FMS) จึงเป็นทางเลือกที่ถูกนำมาใช้เพื่อตอบสนองกับสถานะที่ผู้บริโภคมีความต้องการทั้งทางด้านปริมาณ และความหลากหลายของผลิตภัณฑ์ การทำให้ระบบการผลิตแบบยืดหยุ่นมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้นอาจเริ่มได้จาก การจัดเรียงเครื่องจักรในโรงงานให้มีระยะทางการขนถ่ายที่สั้นที่สุด เพื่อจะทำให้ต้นทุนด้านการขนย้ายลดลง และยังส่งผลให้เวลาในการผลิตลดลงอีกด้วย โครงการนี้จึงได้ทำการศึกษาระบบการทำงานของฮาร์โมนี เซิร์ช อัลกอริทึม (HSA) เพื่อนำมาประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาการจัดเรียงเครื่องจักร โดยการหารูปแบบการจัดเรียงที่ทำให้มีระยะทางขนถ่ายวัสดุที่น้อยที่สุด

ในโครงการนี้ได้พัฒนาโปรแกรมช่วยในการหารูปแบบการจัดเรียงเครื่องจักรจากแบบจำลองปัญหาทั้ง 4 ชุดข้อมูล โดยนำกระบวนการ HSA มาประยุกต์ใช้ในการออกแบบผังการจัดเรียง ซึ่งผลการทดลองที่ได้ออกมาถือเป็นคำตอบที่สามารถยอมรับได้

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้ดำเนินโครงการขอกราบขอบพระคุณท่าน ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ศรีสัจจา วิทยศักดิ์ อาจารย์
ที่ปรึกษาปริญญาโทที่ได้อุทิศเวลาอบรมให้ความรู้ คำปรึกษา คำแนะนำที่ดี ตลอดจนตรวจทาน
และแก้ไขข้อบกพร่องของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนสำเร็จสมบูรณ์ด้วยดี

ขอขอบพระคุณหัวหน้าภาควิชา คณาจารย์ และบุคลากรภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการทุกท่านที่
ช่วยในการเอื้อเฟื้อสถานที่ อุปกรณ์ และอำนวยความสะดวกในการทำปริญญาโทจนสำเร็จลุล่วง

ขอขอบพระคุณคณะกรรมการที่ได้สละเวลาเพื่อสอบโครงการนี้ และให้แนวทางในการแก้ไข
จนปริญญาโทฉบับนี้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอบคุณเพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ ที่ให้ความช่วยเหลือ และเป็นกำลังใจตลอดเวลาในการทำปริญญา
โทฉบับนี้

สุดท้ายขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และทุกคนในครอบครัวที่ให้โอกาสทางการศึกษา
คอยสนับสนุนในทุกด้าน เป็นที่ปรึกษา และให้คำแนะนำมาตลอดการศึกษาจนประสบความสำเร็จ
และขอขอบคุณอีกหลายท่านที่ไม่ได้กล่าวถึงในครั้งนี ้ไว้ ณ ที่นี้ด้วย

คณะผู้ดำเนินโครงการ

นาทสุมาลย์ ปานนาว์

เสาวรัตน์ ศุภเลิศไพสิฐ

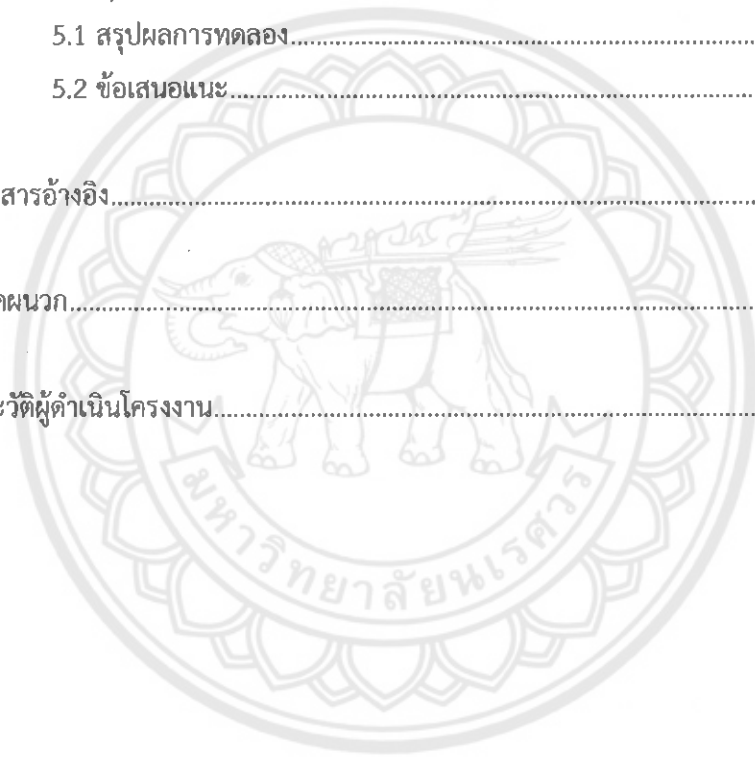
กรกฎาคม 2557

สารบัญ

	หน้า
ใบรับรองปริญญาโท.....	ก
บทคัดย่อ.....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	ฉ
สารบัญรูป.....	ช
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงการ.....	2
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ.....	2
1.3 เกณฑ์ชี้วัดผลงาน (Output).....	2
1.4 เกณฑ์ชี้วัดผลสำเร็จ (Outcome).....	2
1.5 ขอบเขตของการทำโครงการ.....	2
1.6 สถานที่ในการดำเนินงานโครงการ.....	2
1.7 ระยะเวลาในการดำเนินงานโครงการ.....	2
1.8 ขั้นตอนและแผนการดำเนินงานโครงการ.....	3
บทที่ 2 หลักการและทฤษฎีเบื้องต้น.....	4
2.1 การวางแผนโรงงาน.....	4
2.2 ระบบการขนถ่ายวัสดุ (Material Handling System).....	6
2.3 วิธีการหาค่าคำตอบที่เหมาะสมที่สุด (Optimization Algorithm).....	8
2.4 ฮาร์โมนี เซิร์จ อัลกอริทึม (Harmony Search Algorithm : HSA).....	10
2.5 การกำหนดค่าพารามิเตอร์ของ HSA.....	12
2.6 การออกแบบการทดลอง (Design of Experiment).....	12
2.7 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance : ANOVA).....	13
2.8 โปรแกรมภาษา Tcl/Tk.....	15
บทที่ 3 วิธีดำเนินงาน.....	16
3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการดำเนินงาน.....	16
3.2 ข้อมูลสำหรับการดำเนินงานโครงการ.....	16
3.3 การประยุกต์ใช้ฮาร์โมนี เซิร์จ อัลกอริทึมสำหรับปัญหาการจัดเรียงเครื่องจักร.....	19

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลการทดลอง และการวิเคราะห์.....	25
4.1 ผลการพัฒนาโปรแกรมโดยใช้วิธี HSA.....	25
4.2 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน.....	29
4.3 เปรียบเทียบผลการทดลอง.....	41
บทที่ 5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ.....	42
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	42
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	42
เอกสารอ้างอิง.....	43
ภาคผนวก.....	44
ประวัติผู้ดำเนินโครงการ.....	53



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 ขั้นตอนและแผนการดำเนินโครงการ.....	3
2.1 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของการทดลองเชิงแฟคทอเรียล 3 ตัวแปร แบบ Fixed Effect Model.....	14
3.1 แสดงลำดับความต้องการของเครื่องจักรในการผลิตผลิตภัณฑ์แต่ละประเภท.....	18
4.1 แสดงเวลาที่ใช้การรันโปรแกรม.....	27
4.2 แสดงปัจจัยและระดับของการทดลอง.....	28
4.3 แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลชุดที่ 1.....	28
4.4 แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลชุดที่ 2.....	31
4.5 แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลชุดที่ 3.....	34
4.6 แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลชุดที่ 4.....	37
4.7 เปรียบเทียบผลการทดลองของฮาร์โมนี เซิร์ซอัลกอริทึมและแบทอัลกอริทึม.....	40
4.8 เปรียบเทียบผลการทดลองของฮาร์โมนี เซิร์ซอัลกอริทึมและเจนเนติกอัลกอริทึม.....	40
5.1 แสดงปัจจัยที่ส่งผลต่อคุณภาพคำตอบอย่างมีนัยสำคัญ.....	41

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 การวางแผนโรงงานตามชนิดผลิตภัณฑ์.....	4
2.2 การวางแผนโรงงานตามกระบวนการผลิต.....	5
2.3 องค์ประกอบของการขนถ่ายวัสดุ.....	7
2.4 โครงสร้างการทำงานของ HSA.....	11
3.1 การจัดเรียงเครื่องจักร.....	16
3.2 แสดงเส้นทางการเดินของรถ AGV.....	17
3.3 แสดงการประยุกต์ใช้ฮาร์โมนี เซิร์ชสำหรับปัญหาการจัดเรียงเครื่องจักร.....	19
3.4 แสดงการกระบวนการทำงานวิธีฮาร์โมนี เซิร์ช.....	21
3.5 แสดงการเลือกคำตอบของวิธีฮาร์โมนี เซิร์ช.....	22
4.1 แสดงหน้าจอหลักของโปรแกรม.....	25
4.2 แสดงหน้าต่างการตั้งค่าพารามิเตอร์.....	26
4.3 แสดงหน้าจอแสดงผล.....	27
4.4 แสดงผลการจัดเรียงเครื่องจักรแบบกราฟฟิก.....	28
4.5 แสดงกราฟการวิเคราะห์ส่วนตกค้าง (Residual Analysis) 3 แบบ ของข้อมูลชุดที่ 1.....	30
4.6 แสดงกราฟผลกระทบจากปัจจัยหลักของข้อมูลชุดที่ 1.....	31
4.7 แสดงกราฟการวิเคราะห์ส่วนตกค้าง (Residual Analysis) 3 แบบ ของข้อมูลชุดที่ 2.....	33
4.8 แสดงกราฟผลกระทบจากปัจจัยหลักของข้อมูลชุดที่ 2.....	34
4.9 แสดงกราฟการวิเคราะห์ส่วนตกค้าง (Residual Analysis) 3 แบบ ของข้อมูลชุดที่ 3.....	36
4.10 แสดงกราฟผลกระทบจากปัจจัยหลักของข้อมูลชุดที่ 3.....	37
4.11 แสดงกราฟการวิเคราะห์ส่วนตกค้าง (Residual Analysis) 3 แบบ ของข้อมูลชุดที่ 4.....	39
4.12 แสดงกราฟผลกระทบจากปัจจัยหลักของข้อมูลชุดที่ 4.....	40

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย

ประเทศไทยกำลังมีการขยายตัวทางอุตสาหกรรม และเกิดการแข่งขันกันทางการค้ามากขึ้นเพื่อรองรับการเข้าสู่การเป็นประชาคมเศรษฐกิจอาเซียน (ASEAN Economic Community) หรือที่เรียกกันย่อๆ ว่า AEC เพื่อให้สามารถตอบสนองต่อความต้องการของผู้บริโภคได้อย่างครอบคลุม โรงงานจึงควรหาแนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงาน เช่น การฝึกอบรมพนักงาน เรียนรู้เทคโนโลยีสมัยใหม่ และการเปลี่ยนระบบการผลิต รูปแบบการจัดเรียงเครื่องจักรมีความเกี่ยวข้องกับระบบการผลิตในโรงงานอุตสาหกรรมซึ่งส่งผลต่อค่าใช้จ่ายในการขนถ่ายวัสดุ ระบบการผลิตแบบยืดหยุ่น (Flexible Manufacturing System : FMS) เป็นระบบที่เหมาะสมกับการผลิตที่มีความหลากหลายของผลิตภัณฑ์ ซึ่งสอดคล้องกับความต้องการของตลาดในปัจจุบันที่มีการเปลี่ยนแปลงไปอย่างรวดเร็ว ทั้งในด้านปริมาณและชนิดของผลิตภัณฑ์ นอกจากนี้ความยืดหยุ่นของระบบ FMS ยังสามารถรองรับปัญหาต่างๆ ในกระบวนการผลิตได้ดี เช่น การผลิตผลิตภัณฑ์ชนิดใหม่ การเปลี่ยนแปลงตารางเวลาการผลิต การขัดข้องของเครื่องจักรที่ส่งผลให้ต้องหยุดเครื่องและเสียเวลาในการซ่อมแซม ประโยชน์อีกประการคือ ระบบการผลิตแบบยืดหยุ่นทำให้เครื่องจักรและอุปกรณ์ต่างๆ ใช้งานได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ การจัดเรียงเครื่องจักรในระบบการผลิตควรคำนึงถึงปัจจัยแวดล้อมต่างๆ เช่น ชนิดของผลิตภัณฑ์ ปริมาณการผลิต พื้นที่ของโรงงาน จำนวนเครื่องจักร และระบบการขนถ่ายวัสดุ เป็นต้น

การแก้ปัญหาการจัดเรียงเครื่องจักรจะมีความซับซ้อนและใช้เวลามากขึ้นตามจำนวนเครื่องจักร เช่น ถ้ามีเครื่องจักรจำนวน 10 เครื่อง วิธีการจัดเรียงเครื่องจักรจะมีค่าตอบถึง 10! หรือ 3,628,800 วิธี วิธีการหาคำตอบที่เหมาะสมโดยการประมาณค่าจึงถูกนำมาประยุกต์ใช้ เช่น วิธีเจเนติกอัลกอริทึม (Genetic Algorithm : GA) วิธีซิมูเลทเทดแอนนีลิ่ง (Simulated Annealing : SA) เป็นต้น ดังนั้นผู้ศึกษาจึงเลือกใช้วิธีฮาร์โมนี เซิร์ชอัลกอริทึม (Harmony Search Algorithm : HSA) มาประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาการจัดเรียงเครื่องจักรในระบบการผลิตแบบยืดหยุ่นเพื่อหารูปแบบการจัดเรียงเครื่องจักรที่เหมาะสมที่ทำให้เกิดระยะทางการขนถ่ายผลิตภัณฑ์ที่สั้นที่สุด

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

ประยุกต์ใช้วิธี Harmony Search Algorithm (HSA) ในการพัฒนาโปรแกรมการแก้ปัญหาการจัดเรียงเครื่องจักรแบบหลายแถว เพื่อให้มีระยะทางของการเคลื่อนที่ของการขนถ่ายวัสดุให้น้อยที่สุด

1.3 เกณฑ์ชี้วัดผลงาน (Output)

โปรแกรมช่วยในการออกแบบการจัดเรียงเครื่องจักรแบบหลายแถว

1.4 เกณฑ์ชี้วัดผลสำเร็จ (Outcome)

โปรแกรมสามารถแสดงผลลัพธ์การจัดเรียงเครื่องจักรให้มีระยะการขนถ่ายวัสดุที่น้อยที่สุดได้

1.5 ขอบเขตของการทำวิจัย

1.5.1 พื้นที่ของโรงงานมีขนาดไม่เกิน 1000 x 1000 ตารางเมตร

1.5.2 เวลาที่ใช้ในการเดินทางของ AGV, เวลาการขนถ่ายวัสดุ และเวลาการผลิตจะไม่นำมา

พิจารณา

1.5.3 เครื่องจักรทุกเครื่องมีรูปร่างเป็นสี่เหลี่ยมมุมฉาก

1.5.4 การจัดเรียงเครื่องจักรเป็นแบบหลายแถว ซึ่งระบบการขนถ่ายวัสดุเป็นรถขนถ่ายวัสดุเคลื่อนที่อัตโนมัติระหว่างเครื่องจักร โดยมีทิศทางบังคับเป็นเส้นตรงเท่านั้น

1.5.5 ชุดข้อมูลจำลองอ้างอิงมาจากงานวิจัย Nearchou, 2005

1.5.6 โปรแกรมสำหรับการจัดเรียงเครื่องจักรถูกพัฒนาโดยใช้ภาษา Tcl/Tk

1.6 สถานที่ในการดำเนินงานวิจัย

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

1.7 ระยะเวลาในการดำเนินงานวิจัย

เมษายน พ.ศ. 2556 ถึง กรกฎาคม พ.ศ. 2557

บทที่ 2

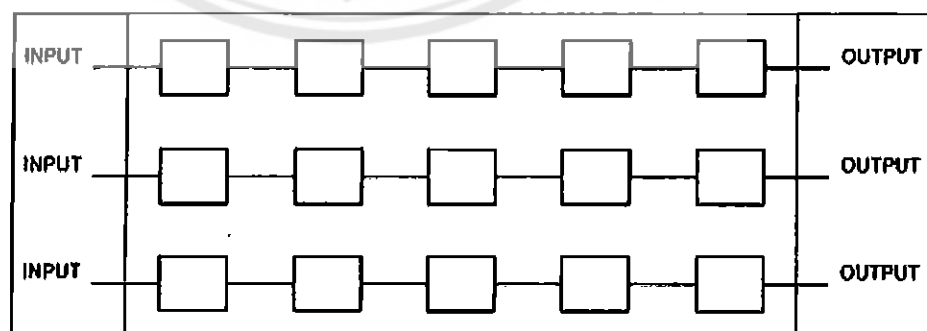
หลักการและทฤษฎีเบื้องต้น

2.1 การวางผังโรงงาน

การออกแบบวางผังโรงงานหรือสถานที่เพื่อให้เหมาะสมกับการทำงานในกระบวนการผลิต หรือหน้าร้านในการให้บริการ โดยในกระบวนการการผลิตและการบริการทุกรูปแบบจะเกิดจากปัจจัยต่างๆ เช่น คน เครื่องจักร วัตถุดิบ พลังงาน การออกแบบการวางผังที่ดีจะช่วยลดต้นทุนในการบริหารงานที่ต่ำลง การทำงานมีความสะดวก ทำให้คุณภาพชีวิตมีประสิทธิผลมากขึ้น อาจทำได้โดยการกำหนดตำแหน่งของคน เครื่องจักร วัตถุดิบ และสิ่งอำนวยความสะดวกอันเป็นปัจจัยสำคัญของระบบการผลิตให้เหมาะสมจะทำให้เกิดการสูญเสียเวลาในการผลิตที่น้อยลง และใช้เวลาการผลิตให้สั้นที่สุด อันยังผลให้เกิดประโยชน์ในด้านการผลิตที่ต่ำลง ประหยัดค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานทั้งทางตรงและทางอ้อม ใช้เนื้อที่ส่วนที่เป็นพื้นที่การผลิตได้อย่างมีประสิทธิภาพ และเป็นข้อได้เปรียบในเชิงเศรษฐศาสตร์ โดยเฉพาะผลิตภัณฑ์ที่มีการแข่งขันทางการตลาดสูง

2.1.1 การวางผังโรงงานตามชนิดผลิตภัณฑ์ (Product Layout)

เป็นการวางผังที่มีลำดับขั้นตอนการผลิตที่แน่นอน โดยผลิตภัณฑ์จะไหลไปตามสถานีงานต่างๆจนสิ้นสุดกระบวนการผลิต เป็นการผลิตแบบต่อเนื่อง (Continuous) ซึ่งส่วนใหญ่การวางผังแบบนี้จะมีการผลิตในปริมาณเยอะ (Mass Product) รูปแบบผลิตภัณฑ์อาจเป็นชนิดเดียวหรือมีลักษณะคล้ายกัน นั่นคือมีความหลากหลายของผลิตภัณฑ์ต่ำ ผลิตภัณฑ์ต้องเป็นลักษณะที่มีผู้บริโภคใช้เป็นประจำ สมำเสมอ เช่น ยาสระผม สบู่ เบียร์



รูปที่ 2.1 การวางผังโรงงานตามชนิดผลิตภัณฑ์

ที่มา : http://archive.lib.cmu.ac.th/full/T/2551/enin0451sw_ch2.pdf

2.1.1.1 ข้อดีของการวางผังโรงงานตามชนิดผลิตภัณฑ์

ก. ค่าใช้จ่ายในการขนถ่ายวัสดุจะต่ำ เพราะส่วนใหญ่เป็นการผลิตต่อเนื่องที่ไหลไปตามสายพาน เป็นลำดับแน่นอน

ข. ต้นทุนการผลิตต่อหน่วยต่ำ

ค. การผลิตจำนวนมากๆ และต่อเนื่อง ทำให้มีเกิดใช้เครื่องจักรอย่างมีประสิทธิภาพ

ง. ลดเวลาในการเตรียมการผลิตได้มาก

2.1.1.2 ข้อเสียเปรียบจากการวางผังโรงงานตามชนิดผลิตภัณฑ์

ก. ต้นทุนการลงทุนด้านเครื่องจักรสูง

ข. ถ้าเครื่องจักร ณ สถานีงานใดเกิดขัดข้องทำให้ต้องหยุดสายการผลิตนั้นทั้งหมด

ค. ความหลากหลายของผลิตภัณฑ์ต่ำ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงชนิดของผลิตภัณฑ์จะส่งผลต่อเครื่องจักร ทำให้ต้องมีการวางแผนและเปลี่ยนสายการผลิตใหม่ทั้งหมด

ง. ถ้าไม่มีการตรวจสอบของเสียและมีของเสียหลุดออกไป จะทำให้เกิดการสูญเสียอย่างมาก

2.1.2 การวางผังโรงงานตามกระบวนการผลิต (Process Layout)

เป็นการวางผังตามกลุ่มหน้าที่ของเครื่องจักร มีการแยกกระบวนการทำงานออกเป็นแผนกอย่างชัดเจน เช่น โรงพยาบาลที่มีแบ่งออกเป็นแผนกอายุรกรรม แผนกทันตกรรม แผนกผ่าตัด หรือในโรงงานอุตสาหกรรมก็มีการแบ่งเป็นแผนกกลึง แผนกเชื่อม เป็นต้น การวางผังแบบนี้เหมาะกับการผลิตที่ปริมาณไม่สูงมาก มีความซับซ้อนของรูปร่างผลิตภัณฑ์ หรือมีความหลากหลายของผลิตภัณฑ์สูง

แผนกกลึง	แผนกตัด	แผนกเชื่อม
แผนกเจาะ		ออฟฟิศ
แผนกรับส่งของ		
	แผนกประกอบ	

รูปที่ 2.2 การวางผังโรงงานตามกระบวนการผลิต

2.1.2.1 ข้อดีของการวางผังโรงงานตามกระบวนการผลิต

- ก. การเปลี่ยนแปลงชนิดผลิตภัณฑ์ไม่ส่งผลต่อสายการผลิตมากนัก
- ข. ต้นทุนการลงทุนด้านเครื่องจักรไม่สูงมากนัก
- ค. เมื่อมีเครื่องจักรในแผนกใดแผนกหนึ่งเกิดขัดข้อง ไม่ต้องหยุดกระบวนการผลิตทั้งสายการผลิต เพราะเครื่องจักรสามารถทำงานแทนกันได้
- ง. ในแผนกที่ใช้เครื่องจักรแบบอัตโนมัติ จะทำให้ลดอัตราการจ้างคนงานได้

2.1.2.2 ข้อเสียเปรียบของการวางผังโรงงานตามกระบวนการผลิต

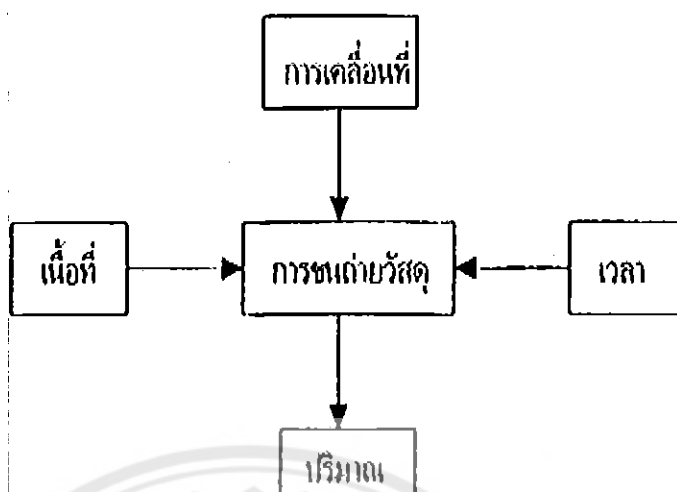
- ก. ลงทุนสูงในการขนถ่ายวัสดุ เนื่องจากเส้นทางการขนถ่ายของแต่ละผลิตภัณฑ์ไม่แน่นอน
- ข. เกิดการใช้พื้นที่โรงงานมากเพราะต้องมีที่เก็บวัสดุของแต่ละแผนก และต้องมีที่วางสำหรับเส้นทางการขนถ่าย
- ค. วางแผนและจัดตารางการผลิตได้ยาก เนื่องจากหลายปัจจัย เช่น ความหลากหลายของผลิตภัณฑ์ จำนวนเครื่องจักรของแต่ละแผนก จำนวนการสั่งวัตถุดิบ และจำนวนวัตถุดิบคงคลัง เป็นต้น
- ง. เครื่องจักรทำงานได้ไม่เต็มประสิทธิภาพ และเป็นการผลิตที่ไม่ต่อเนื่อง สูญเสียเวลาในการเตรียมการผลิตตามชนิดผลิตภัณฑ์

2.1.3 การวางผังโรงงานแบบชิ้นงานอยู่กับที่ (Fixed Layout)

การผลิตแบบให้ชิ้นงานหรือวัสดุหลักอยู่กับที่ มีการจัดเตรียมให้เครื่องจักร อุปกรณ์ และวัสดุประกอบอยู่ใกล้ๆ โดยวัสดุหลักมักจะมีขนาดใหญ่ เคลื่อนย้ายลำบาก ต้องนำวัสดุภายนอกเข้ามาประกอบ เช่น การผลิตเครื่องบิน การสร้างบ้าน

2.2 ระบบการขนถ่ายวัสดุ (Material Handling System)

ระบบการขนถ่ายวัสดุเป็นส่วนหนึ่งของกระบวนการผลิตซึ่งเป็นการเพิ่มค่าใช้จ่ายโดยไม่เพิ่มมูลค่าใดๆ ให้กับผลิตภัณฑ์ อีกทั้งยังมีโอกาสก่อให้เกิดความเสียหายแก่ผลิตภัณฑ์ระหว่างการขนถ่ายด้วย ถ้าหากเลือกวิธีที่ไม่เหมาะสม โรงงานอุตสาหกรรมจึงต้องมีการพัฒนาปรับปรุงการขนถ่ายวัสดุอยู่ตลอดเวลา เพื่อเป็นการขจัดหรือลดระยะทางในการขนถ่าย และเลือกใช้อุปกรณ์ให้ถูกต้องเหมาะสมกับวัสดุแต่ละประเภท



รูปที่ 2.3 องค์ประกอบของการขนถ่ายวัสดุ

ที่มา : <http://www.scribd.com/doc/13696351/-7-Material-Handling-System>

2.2.1 การเคลื่อนที่

เป็นการเคลื่อนย้ายวัสดุสินค้าจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่ง หรือคือการเคลื่อนย้ายวัสดุจากจุดต้นทาง (จุดที่เอาของขึ้น) ไปยังจุดปลายทาง (จุดที่เอาของลง) ซึ่งการเคลื่อนย้ายของวัสดุสินค้าแต่ละประเภทย่อมมีการเคลื่อนที่ที่แตกต่างกันไป จึงต้องมีการพิจารณาเลือกการขนถ่ายให้เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์

2.2.2 เวลา

นับเป็นปัจจัยที่สำคัญตัวหนึ่ง เป็นตัวที่บ่งบอกถึงประสิทธิภาพของการเคลื่อนที่ว่าสูงต่ำแค่ไหน ในแต่ละขั้นตอนของกระบวนการผลิตต่างก็อาศัยเวลาเป็นตัวกำหนดในการทำงาน ทั้งการป้อนวัตถุดิบและเอาชิ้นงานออกโดยให้มีความสัมพันธ์กันอย่างต่อเนื่อง นอกจากนั้นเวลายังเป็นการกำหนดการเคลื่อนที่โดยอาจควบคุมที่จุดต้นทาง หรือจุดปลายทางก็ได้แล้วแต่กรณี

2.2.3 ปริมาณ

ในการเคลื่อนย้ายวัสดุหรือสินค้าต้องสัมพันธ์กับปริมาณความต้องการวัสดุในแผนกต่างๆ ทั้งยังต้องสอดคล้องกับเวลาที่แต่ละแผนกต้องการใช้ในการผลิต

2.2.4 เนื้อที่

เป็นองค์ประกอบที่สำคัญของการเคลื่อนที่เพราะว่าการเคลื่อนที่หรือการขนถ่ายวัสดุจำเป็นต้องใช้เนื้อที่สำหรับตั้งกลไกของระบบการขนถ่ายวัสดุที่มีประสิทธิภาพ

2.3 วิธีการหาค่าคำตอบที่เหมาะสมที่สุด (Optimization Algorithm)

วิธีการหาค่าคำตอบที่เหมาะสมที่สุดสามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภท ได้แก่ วิธีการหาค่าคำตอบที่เหมาะสมที่สุดโดยอาศัยหลักการทางคณิตศาสตร์ (Conventional Optimization Algorithms : COAs) และวิธีการหาค่าคำตอบที่เหมาะสมที่สุดโดยอาศัยหลักประมาณค่า (Approximation Optimization Algorithms : AOs) (Blazawicz, etal, 1996) ซึ่งปัญหาขึ้นอยู่กับขนาดและลักษณะของปัญหา ซึ่งจำนวนและค่าคำตอบที่เป็นไปได้มีมากพอสมควร สรุปได้ว่าวิธีข้างต้นสามารถเป็นตัวช่วยค้นหาค่าคำตอบที่เป็นไปได้ที่สามารถนำไปสู่ค่าคำตอบที่เหมาะสมที่สุด

2.3.1 วิธีหาค่าคำตอบที่เหมาะสมที่สุดโดยอาศัยหลักการทางคณิตศาสตร์ (Conventional Optimization Algorithms : COAs)

หลักการแก้ปัญหาของวิธีการหาค่าคำตอบที่เหมาะสมที่สุดจะอยู่บนพื้นฐานทางคณิตศาสตร์เป็นหลัก โดยมีสมการ ขั้นตอน ตัวแปรที่ค่อนข้างยากและซับซ้อน ซึ่งวิธีนี้ถูกนำมาประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหามากมายทำให้เกิดความนิยมกันอย่างแพร่หลาย เช่น วิธีการโปรแกรมเชิงเส้น (Linear Programming), วิธีการ Branch and Bound หรือวิธีการโปรแกรมเชิงพลวัต (Dynamic Programming) สืบเนื่องจากปัญหาของงานวิจัยนี้มีความยากและซับซ้อนสูง จึงเป็นเรื่องยากที่จะใช้วิธีการหาค่าคำตอบที่เหมาะสมที่สุดโดยอาศัยหลักการทางคณิตศาสตร์ในการแก้ปัญหา เพราะมีรูปแบบ กฎเกณฑ์ในการหาค่าคำตอบที่ตรงตัวเกินไป ทำให้เกิดความยุ่งยากและความซับซ้อนในการหาค่าคำตอบ และอาจจะใช้เวลาในการหาค่าคำตอบนาน อย่างไรก็ตาม ความซับซ้อนของปัญหายิ่งสูง ทำให้วิธีการหาค่าคำตอบที่เหมาะสมที่สุดโดยอาศัยหลักการทางคณิตศาสตร์มีความลำบากในการหาค่าคำตอบ เพราะใช้เวลาในการหาค่าคำตอบนาน ดังนั้นผู้วิจัยจึงให้ความสนใจวิธีการหาค่าคำตอบที่เหมาะสมที่สุดโดยอาศัยหลักประมาณค่า (Approximation Optimization Algorithms: AOs) ซึ่งจะกล่าวในหัวข้อต่อไป

2.3.2 วิธีหาค่าคำตอบที่เหมาะสมที่สุดโดยอาศัยหลักการประมาณค่า (Approximation Optimization Algorithms : AOs)

วิธีการหาค่าคำตอบที่เหมาะสมที่สุดโดยอาศัยหลักการประมาณค่านี้ เหมาะแก่การประยุกต์ใช้ในปัญหาขนาดใหญ่ มีความซับซ้อนมาก และมีรูปแบบการค้นหาค่าคำตอบแบบสุ่ม ถึงแม้ว่าวิธีการประมาณค่านี้ อาจจะไม่ได้เป็นคำตอบที่ดีที่สุด แต่เป็นคำตอบที่ใกล้เคียงความเป็นจริงมากที่สุด (Near Optimization Solution) และมีความรวดเร็วใช้เวลาในการหาค่าคำตอบไม่นาน เป็นวิธีที่สามารถแข่งขันกันทางธุรกิจได้ โดยใช้กลยุทธ์ต่างๆในการค้นหา และพยายามหลีกเลี่ยงผลเฉลยที่ไม่ใช่ผลเฉลยที่ดีที่สุด โดยลักษณะการทำงานของวิธีการประมาณค่า มีการทำงานแบบวนซ้ำ แล้วจะหยุดการทำงานเมื่อทำครบเงื่อนไขตามที่กำหนดไว้ ตัวอย่างของวิธีการดังกล่าว เช่น Genetic Algorithm (GA), Particle Swarm Optimization (PSO), Ant Colony Optimization (ACO)

และ Shuffled Frog Leaping Algorithm (SFLA) เป็นต้น โดยแต่ละวิธีจะมีกลยุทธ์ในการค้นหาค่าคำตอบที่แตกต่างกันออกไป จึงอธิบายรายละเอียดของแต่ละขั้นตอนพอสังเขปดังนี้

2.3.2.1 เจนเนติกอัลกอริทึม (Genetic Algorithm : GA) กลไกการทำงานของ GA มีพื้นฐานอยู่บนการเปรียบเทียบของวิวัฒนาการทางชีววิทยา ซึ่งความเหมาะสมของแต่ละบุคคลจะกำหนดความสามารถที่จะอยู่รอด และมีการขยายเผ่าพันธุ์ครั้งใหม่ (Gen and Cheng, 1997) ซึ่งเป็นขั้นตอนวิธีที่จัดอยู่ในกลุ่มของ ขั้นตอนการคำนวณเชิงวิวัฒนาการ (Evolutionary Computation : EC, Blum and Roli, 2003) GA พัฒนาโดย John Holland โดยมีเป้าหมาย เพื่อสรุปความสำคัญและอธิบายถึงกระบวนการปรับตัวของระบบทางธรรมชาติ และเพื่อออกแบบโปรแกรมที่มีการรักษา กลไกสำคัญทางธรรมชาติไว้ โดยหลักการทำงานของ GA จะประกอบไปด้วย การกำหนดรูปแบบโครโมโซม (Chromosome Representation), การสร้างประชากรเริ่ม (Population Initialization), การครอสโอเวอร์ (Crossover), การมิวเตชัน (Mutation), การประเมินค่าความเหมาะสม (Fitness Evolution) และการคัดเลือกประชากรในรุ่นถัดไป (Selection)

2.3.2.2 พาร์ติเคิลสวอมออฟติไมเซชัน (Particle Swarm Optimization : PSO) Particle Swarm ได้ถูกค้นพบและพัฒนาโดย Eberhart และ Kennedy ในปี 1995 ซึ่งประกอบไปด้วยประชากรที่เรียกว่า Particle โดยที่แต่ละ Particle จะทำการสำรวจพื้นที่ค่าคำตอบที่เป็นไปได้ของปัญหา และค้นหาค่าคำตอบแบบกลุ่มซึ่งเกิดจากการเรียนรู้ซึ่งกันและกันภายในกลุ่ม ทั้งนี้ในแต่ละ Particle จะประกอบไปด้วยตำแหน่งของตนเอง (Position) และอัตราเร็วในการเคลื่อนที่ (Velocity) โดยที่แต่ละรอบในการค้นหาค่าคำตอบจะพัฒนาและปรับปรุงอัตราเร็ว (Update Velocity) เพื่อที่จะพัฒนาและปรับปรุงค่าตำแหน่ง (Update Position) ให้ได้ตำแหน่งที่เหมาะสมที่สุด

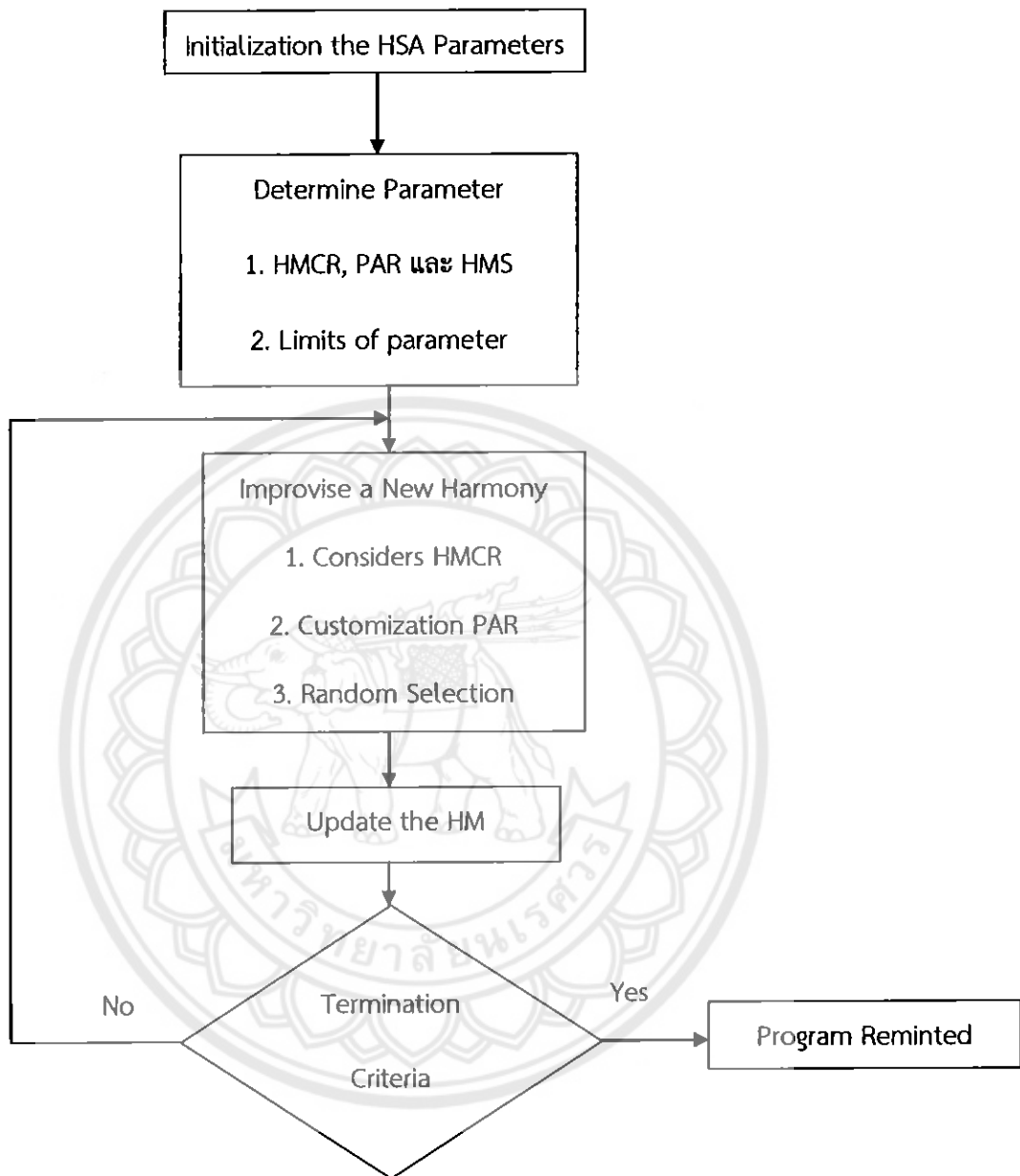
2.3.2.3 แอนทโคโลนีออฟติไมเซชัน (Ant Colony Optimization : ACO) เป็นการหาค่าคำตอบที่เหมาะสม โดยอาศัยการเลียนแบบทางธรรมชาติของมด ในการหาระยะทางที่สั้นที่สุดจากแหล่งอาหารกลับสู่รัง จะเห็นได้ว่ามดมีพฤติกรรมการทำงานร่วมกันอย่างมีประสิทธิภาพ เช่น พฤติกรรมการหาอาหาร (Foraging), การแบ่งประเภทงาน (Division of Labor), การช่วยกันขนย้าย (Cooperative Transport) เป็นต้น โดยมีวิธีติดต่อสื่อสารกันผ่านสารเคมีที่ชื่อว่า ฟีโรโมน (Pheromone) ซึ่งโดยทั่วไปจะสังเกตเห็นได้ว่า เมื่อกลุ่มมดเริ่มเดินทางหาอาหาร มดจะเดินกระจายไปทั่วพื้นที่ แต่เมื่อเจออาหารมดจะทิ้งสารฟีโรโมนไว้เพื่อให้มดตัวอื่นรับรู้ และเส้นทางเดินของมดจะเหลือเพียงเส้นทางเดียว ในการขนย้ายอาหารกลับสู่รังมด

2.3.2.4 ซัฟเฟิลฟออร์กลิปบิงอัลกอริทึม (Shuffled Frog Leaping Algorithm : SFLA) เป็นการหาค่าคำตอบที่เหมาะสมโดยอาศัยการเลียนแบบทางธรรมชาติของฝูงกบในการหาอาหาร โดยทำการสร้างประชากรกบเป็นกลุ่ม (Population Based) และประชากรกบมีการแลกเปลี่ยนข้อมูลซึ่งกันและกัน อีกทั้งก็ยังแลกเปลี่ยนภายในกลุ่มย่อยด้วย จึงเรียกขั้นตอนนี้ว่า Local search โดยกลยุทธ์ในการทำงานจะพยายามค้นหา หลีกเลี่ยงการยึดติดอยู่ในค่าคำตอบที่ไม่ใช่ค่าคำตอบที่ดีที่สุด แต่สามารถค้นหาค่าคำตอบที่ใกล้เคียงกับความเป็นจริงที่สุด (Local Optimization) ซึ่งลักษณะการทำงานเป็นการวนรอบซ้ำการทำงาน ในการค้นหาค่าคำตอบ และจะหยุดทำงานเมื่อครบเงื่อนไขที่กำหนดไว้ วิธีการ SFLA ถูกนำมาประยุกต์ ปรับปรุงความเร็วในการหาค่าคำตอบ ซึ่งมีกลไกการทำงานที่ไม่ซับซ้อนมาก และง่ายต่อการนำไปประยุกต์ใช้กับปัญหาต่างๆ

2.4 ฮาร์โมนี เซิร์ช อัลกอริทึม (Harmony Search Algorithm : HSA)

ฮาร์โมนี เซิร์ช อัลกอริทึม พัฒนาโดยกรีม (Greem, 2001) และคณะ โดยเกิดจากการที่กรีมสังเกตเห็นว่าวิธีฮิวริสติก (Heuristic Algorithm) มักจะเกิดจากการเลียนแบบปรากฏทางธรรมชาติของสัตว์หรือคน จึงได้ลองคิดวิธีแบบใหม่ นั่นคือเทคนิคการประสานเสียงของดนตรี ซึ่งดนตรีเป็นหนึ่งในกระบวนการที่เกิดจากความพยายามสร้างสรรค์ของมนุษย์ ดังนั้นวิธีฮาร์โมนี เซิร์ชนี้จึงเกิดจากความต้องการที่ทำให้ดนตรีมีประสิทธิภาพมากขึ้น

ตามธรรมชาติของการประสานเสียงจะต้องสัมพันธ์กับคลื่นเสียงที่มีความถี่ต่างกัน เพื่อให้ให้เกิดความลงตัวในการประสานเสียงของเครื่องดนตรี จึงนำวิธี HSA มาใช้ในการเพิ่มประสิทธิภาพของการประสานเสียง โดยการหาตัวโน้ตที่เหมาะสมที่สุดในเครื่องดนตรีแต่ละชนิด โดยตัดลินจากระดับความสุนทรีย์ภาพจากคุณภาพเสียงที่เกิดขึ้น ซึ่งก็คือสมการวัตฤประสงค์



รูปที่ 2.4 โครงสร้างการทำงานของ HSA

ขั้นตอนการทำงานของ HSA

1) การเตรียมตัวแปร HSA

วิเคราะห์ปัญหาที่ใช้ พร้อมทั้งระบุพารามิเตอร์ Harmony Memory Size (HMS), Pitch Adjustment Rate (PAR) และ Harmony Memory Considering Rate (HMCR) กำหนดขอบเขตของพารามิเตอร์ตามสมการเป้าประสงค์ (Objective Function)

2) การสร้างหน่วยความจำฮาร์โมนี (HMS)

ในการสร้างหน่วยความจำฮาร์โมนี จะสร้างจากการสุ่มเครื่องจักรที่เรียงตามลำดับ เมื่อสุ่มมาครบทุกเครื่องจักรแล้วจะถือเป็น 1 HMS หรือ 1 คำตอบ และทำการสุ่มเลขให้กับแต่ละ HMS

3) การวิเคราะห์ข้อมูลใหม่

นำเลขสุ่มจาก HMS มาเปรียบเทียบกับค่า HMCR และค่า PAR ที่ตั้งค่าขึ้น เพื่อเข้ากระบวนการปรับปรุงค่าคำตอบ จะได้เป็น New Harmony หรือคำตอบใหม่ จากนั้นทำการคำนวณระยะทางคำตอบใหม่

4) อัปเดตหน่วยความจำฮาร์โมนี (Update HMS)

เมื่อทำการคำนวณระยะทางของคำตอบใหม่แล้ว จึงนำไปเปรียบเทียบกับ HMS ทุกคำตอบ เพื่อเอาคำตอบใหม่เข้าไปแทนที่คำตอบที่แย่ที่สุด

5) การตรวจสอบเงื่อนไข

เมื่อทำจนครบรอบตามจำนวนรุ่นที่กำหนดไว้ จะทำการเลือกค่าที่ต่ำที่สุดที่อยู่ในหน่วยความจำมาเป็นคำตอบ และหยุดการทำซ้ำ

2.5 การกำหนดค่าพารามิเตอร์ของ HSA

พารามิเตอร์ของวิธีฮาร์โมนี เซิร์ช ประกอบด้วย ขนาดของหน่วยความจำ/จำนวนรอบในการวนซ้ำ (HMS /NI), อัตราการปรับพิทช์ (PAR) และอัตราการสุ่มเลือกจากหน่วยความทรงจำ (HMCR) โดยในส่วนของ HMCR และ PAR นั้น Yang (Yang, 2008) ได้แนะนำว่าควรใช้ค่าระหว่าง 0.7 – 0.95 และ 0.1 – 0.5 ตามลำดับ

2.6 การออกแบบการทดลอง (Design of Experiment)

การออกแบบการทดลอง คือ การวางแผนไว้ล่วงหน้าหรือการออกแบบเพื่อให้มีการทำงานอย่างเป็นระบบ เก็บข้อมูลได้ตรงกับเป้าหมายที่ต้องการทดสอบ และสามารถนำข้อมูลนั้นมาวิเคราะห์ทางสถิติได้ผลตรงกับจุดมุ่งหมายในการทดลอง ซึ่งอาศัยแบบจำลองหรือสมการทางคณิตศาสตร์มาอธิบายความสัมพันธ์ของปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพ สามารถศึกษาผลของหลายๆ ปัจจัยพร้อมกันในเวลาเดียวกันด้วยวิธีใช้จำนวนการทดลองน้อยกว่าการศึกษาทีละปัจจัย การออกแบบการทดลองจึงเป็นวิธีการเก็บข้อมูลที่มีประสิทธิภาพโดยการเปลี่ยนแปลงหรือปรับค่าของ input (Factors) อย่างมีจุดมุ่งหมายที่จะสังเกตการเปลี่ยนแปลงของ output (Response) ที่เกิดขึ้น กระบวนการที่มีปัจจัย

(Factor) หรือ input (X_1, X_2, X_3, X_4) ต่างๆ ที่ส่งผลต่อค่า Y ซึ่งเป็นคุณลักษณะด้านคุณภาพ (Quality Characteristic) ของกระบวนการ ในการออกแบบการทดลองเราต้องทำการทดลองอย่างเป็นระบบเพื่อที่จะหาความสัมพันธ์เชิงสถิติของค่า Y และ X ต่างๆ โดยที่พยายามใช้ทรัพยากรในการทดลองให้มีประสิทธิภาพมากที่สุด

2.6.1 การออกแบบเชิงแฟคทอเรียล (Factorial Designs)

การออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียล คือ การทดลองที่พิจารณาถึงผลที่เกิดจากการรวมกันของระดับของปัจจัยทั้งหมดที่เป็นไปได้ในการทดลองนั้น การออกแบบเชิงแฟคทอเรียลทำให้สามารถหลีกเลี่ยงปัญหาที่เกิดจากปัจจัยที่จะก่อให้เกิดข้อสรุปที่ผิดพลาดได้ เนื่องจากเป็นการออกแบบการทดลองที่มีประสิทธิภาพดีกว่าการทดลองทีละปัจจัย และทำให้สามารถประมาณผลของปัจจัยหนึ่งที่ระดับต่างๆ ของปัจจัยอื่นได้ เช่น การออกแบบเชิงแฟคทอเรียล 2 ปัจจัย เป็นการออกแบบเชิงแฟคทอเรียลชนิดที่ง่ายที่สุด ปัจจัย Y และปัจจัย Z โดยปัจจัย Y จะประกอบด้วย y ระดับ ส่วนปัจจัย Z จะประกอบด้วย z ระดับ ดังนั้นใน 1 รอบการวนทำซ้ำของการทดลองจะประกอบด้วย การทดลองรวมปัจจัยทั้งหมดเท่ากับ $y \times z$ การทดลอง

2.6.2 การออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบสองระดับ (2^k Factorial Designs)

เป็นการออกแบบการทดลองในกรณีที่มีปัจจัย k ปัจจัย ซึ่งแต่ละปัจจัยประกอบด้วย 2 ระดับ ระดับเหล่านี้จะเกิดจากข้อมูลเชิงปริมาณ เช่น อุณหภูมิ ความดัน หรืออาจจะเกิดจากข้อมูลเชิงคุณภาพ เช่น เครื่องจักร คนงาน และใน 2 ระดับที่นี้จะแทนด้วยระดับสูงและต่ำของปัจจัยหนึ่งๆ ใน 1 การทดลองที่สมบูรณ์ สำหรับการออกแบบเช่นนี้ จะประกอบด้วยข้อมูลทั้งสิ้น 2^k ข้อมูล การออกแบบเช่นนี้จะทำให้เกิดการทดลองจำนวนน้อยที่สุดที่สามารถจะทำได้

2.6.3 การออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบสามระดับ (3^k Factorial Designs)

การออกแบบเชิงแฟคทอเรียล 3^k คือ การออกแบบเชิงแฟคทอเรียลที่แต่ละปัจจัยประกอบด้วย 3 ระดับ ได้แก่ ระดับต่ำ ระดับกลาง และระดับสูง ซึ่งสัญลักษณ์ที่ใช้แทนระดับทั้งสามอาจจะใช้ตัวเลข $-1, 0$ และ 1 ตามลำดับ การออกแบบแบบนี้เหมาะสมกับผลคำตอบที่มีลักษณะเป็นส่วนโค้ง และขนาดของการออกแบบจะมีค่าสูงขึ้นตามขนาดของ k

2.7 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance : ANOVA)

การวิเคราะห์ความแปรปรวน เป็นวิธีทางสถิติที่ใช้วิเคราะห์ข้อมูลความแตกต่างระหว่างกลุ่มและภายในกลุ่ม ถ้าค่าความเฉลี่ยระหว่างกลุ่มแตกต่างกันมาก ค่าความแปรปรวนระหว่างกลุ่มก็จะมากตาม ส่วนค่าความแปรปรวนภายในเป็นค่าที่แสดงให้เห็นการกระจายมากหรือน้อยในแต่ละกลุ่ม โดยค่าที่คำนวณมาได้จะเรียกว่า ความคลาดเคลื่อน (Error) การทดลองโดยมากจะอาศัยตารางแสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ตัวอย่างการใช้ ดังตารางที่ 2.1 ซึ่งแสดงการวิเคราะห์ความแปรปรวนของการทดลองเชิงแฟคทอเรียล 3 ตัวแปร แบบ Fixed Effect Model

ตารางที่ 2.1 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของการทดลองเชิงแฟคทอเรียล 3 ตัวแปร
แบบ Fixed Effect Model

แหล่งที่มา (Source of variation)	องศาเสรี (D.F)	ผลรวมกำลัง สอง (Sum of squares)	ผลเฉลี่ยกำลัง สอง (Mean squares)	ค่าสถิติ (F)
A	a - 1	SS _A	MS _A	$\frac{MS_A}{MS_E}$
B	b - 1	SS _B	MS _B	$\frac{MS_B}{MS_E}$
C	c - 1	SS _C	MS _C	$\frac{MS_C}{MS_E}$
AB	(a - 1)(b - 1)	SS _{AB}	MS _{AB}	$\frac{MS_{AB}}{MS_E}$
AC	(a - 1)(c - 1)	SS _{AC}	MS _{AC}	$\frac{MS_{AC}}{MS_E}$
BC	(b - 1)(c - 1)	SS _{BC}	MS _{BC}	$\frac{MS_{BC}}{MS_E}$
ABC	(a - 1)(b - 1)(c - 1)	SS _{ABC}	MS _{ABC}	$\frac{MS_{ABC}}{MS_E}$
Error	abc (n - 1)	SS _E	MS _E	
Total	abcn - 1	SS _T		

2.8 โปรแกรมภาษา Tcl/Tk

ภาษา Tcl/Tk ถูกพัฒนาโดย John K. Ousterhout (Ousterhout, 1994) ชื่อเต็มว่า Tool Command Language and Toolkit ซึ่งเป็นภาษาสคริปต์ที่ต้องใช้ตัวแปรภาษา หรืออินเทอร์พรีเตอร์ในการทำงาน สามารถทำงานบนระบบปฏิบัติการวินโดวส์ ภายใต้ Windowing shell (Wish)



บทที่ 3 วิธีดำเนินงานโครงการ

3.1 เครื่องมือ และอุปกรณ์ที่ใช้ในการดำเนินงาน

3.1.1 เครื่องคอมพิวเตอร์ Notebook จำนวน 1 เครื่อง สำหรับการเขียนโปรแกรม และประมวลผลเพื่อเก็บข้อมูลการทดลอง โดยคุณสมบัติของเครื่องมือดังนี้

3.1.1.1 CPU Intel® Core™ i5

3.1.1.2 RAM 2.00 GB

3.1.1.3 Hard disk 500 GB

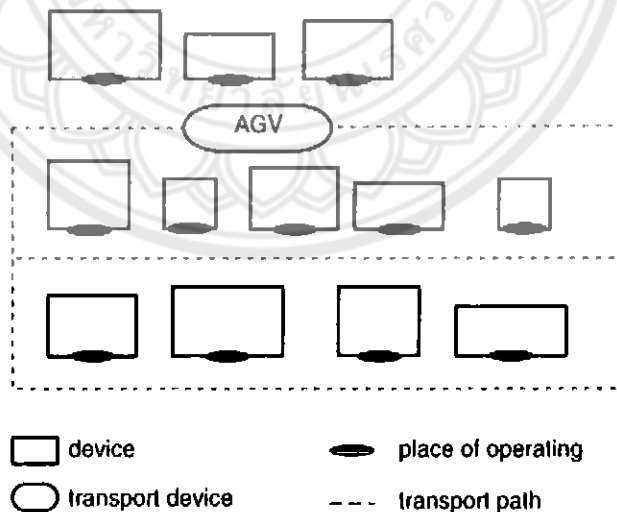
3.1.1.4 ระบบปฏิบัติการ Window 7 Ultimate

3.1.2 โปรแกรม Tcl/Tk (Tool Command Language and Tool Kit)

3.2 ข้อมูลสำหรับการดำเนินงานโครงการ

3.2.1 ข้อมูลเครื่องจักรและลักษณะการจัดเรียง

รูปร่างของเครื่องจักรเป็นรูปทรงสี่เหลี่ยมมุมฉาก ผู้ใช้โปรแกรมเป็นผู้กำหนดความกว้างและความยาวแต่ละด้านของเครื่องจักร มีหน่วยเป็นเมตร กำหนดให้ด้านยาวของเครื่องจักรอยู่ตามแนวแกน x และด้านกว้างอยู่ตามแนวแกน y โดยมีการจัดเรียงเครื่องจักรแบบหลายแถว (Multiple Rows Layout) ดังภาพ



รูปที่ 3.1 การจัดเรียงเครื่องจักรแบบแถวเดียว (Single Row Layout)

การจัดเรียงเครื่องจักรแบบหลายแถว (Multiple Row Layout)

ที่มา : http://archive.lib.cmu.ac.th/full/T/2551/enin0451sw_ch2.pdf

3.2.2 ข้อมูลขนาดโรงงานและพาหนะที่ใช้ในการขนถ่ายวัสดุ

กำหนดให้โรงงานมีรูปทรงเครื่องจักรเป็นสี่เหลี่ยมมุมฉาก มีความกว้างและความยาวของพื้นที่โรงงาน ไม่เกินด้านละ 1,000 เมตร การวางเครื่องจักรต้องให้มีระยะห่างระหว่างเครื่องจักรกับเครื่องจักร และมีระยะห่างระหว่างเครื่องจักรกับขอบผนังโรงงาน เพื่อใช้เป็นเส้นทางในการเคลื่อนที่ของพาหนะสำหรับการขนถ่ายวัสดุ ไม่ยึดติดกับพาหนะที่ใช้ในการขนถ่ายวัสดุ และมีข้อกำหนดในการเคลื่อนที่ของพาหนะที่ใช้ในการขนถ่ายวัสดุ ไว้ดังนี้

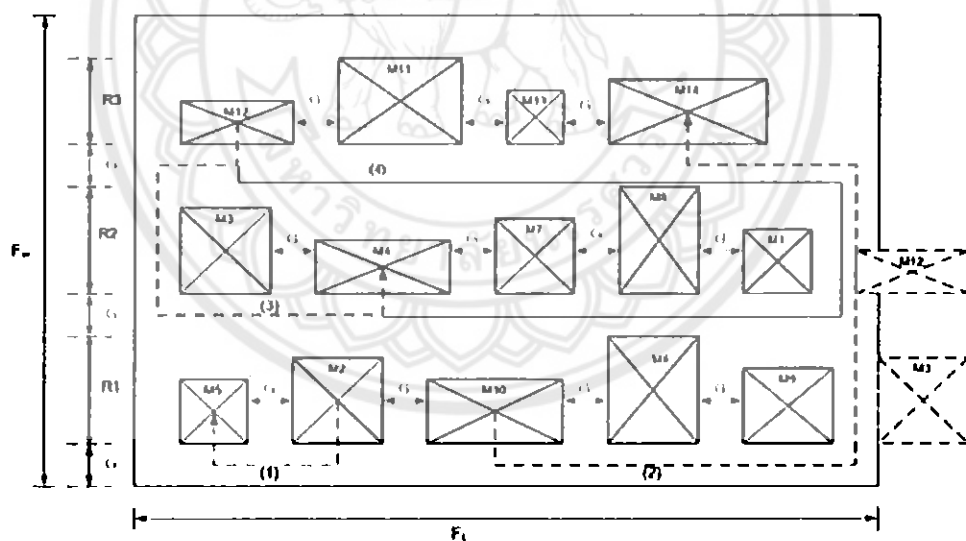
3.2.2.1 AGV ที่ใช้ในการขนถ่ายวัสดุมีการเคลื่อนที่เป็นเส้นตรง จากซ้ายไปขวาหรือขวาไปซ้าย และจากบนลงล่างหรือจากล่างขึ้นบน

3.2.2.2 AGV มีการเข้า- ออกเครื่องจักรได้ด้านเดียว คือ ทางด้านล่างของเครื่องจักร และเครื่องจักรทุกเครื่องมีจุดปฏิบัติงานอยู่ตรงกึ่งกลางของเครื่องจักร

3.2.2.3 การเดินทางของ AGV แบ่งออกได้เป็น 2 กรณี

กรณีที่ 1 การเดินทางในแถวเดียวกัน รถ AGV จะออกจากด้านล่างของเครื่องจักรต้นทาง และเลือกว่าจะเลื่อนซ้ายหรือขวาไปหาเครื่องจักรปลายทาง

กรณีที่ 2 การเดินทางระหว่างแถวของเครื่องจักร รถ AGV ออกจากด้านล่างของเครื่องจักรต้นทาง และคำนวณว่าเลื่อนไปทางซ้ายหรือขวาที่จะทำให้การเคลื่อนที่ไปยังเครื่องจักรปลายทางมีระยะทางที่สั้นที่สุด



รูปที่ 3.2 แสดงเส้นทางการเดินของรถ AGV ในแถวเดียวกัน

แสดงเส้นทางการเดินของรถ AGV ระหว่างแถว

ที่มา : พัชรภรณ์ อริยะวงษ์, 2550

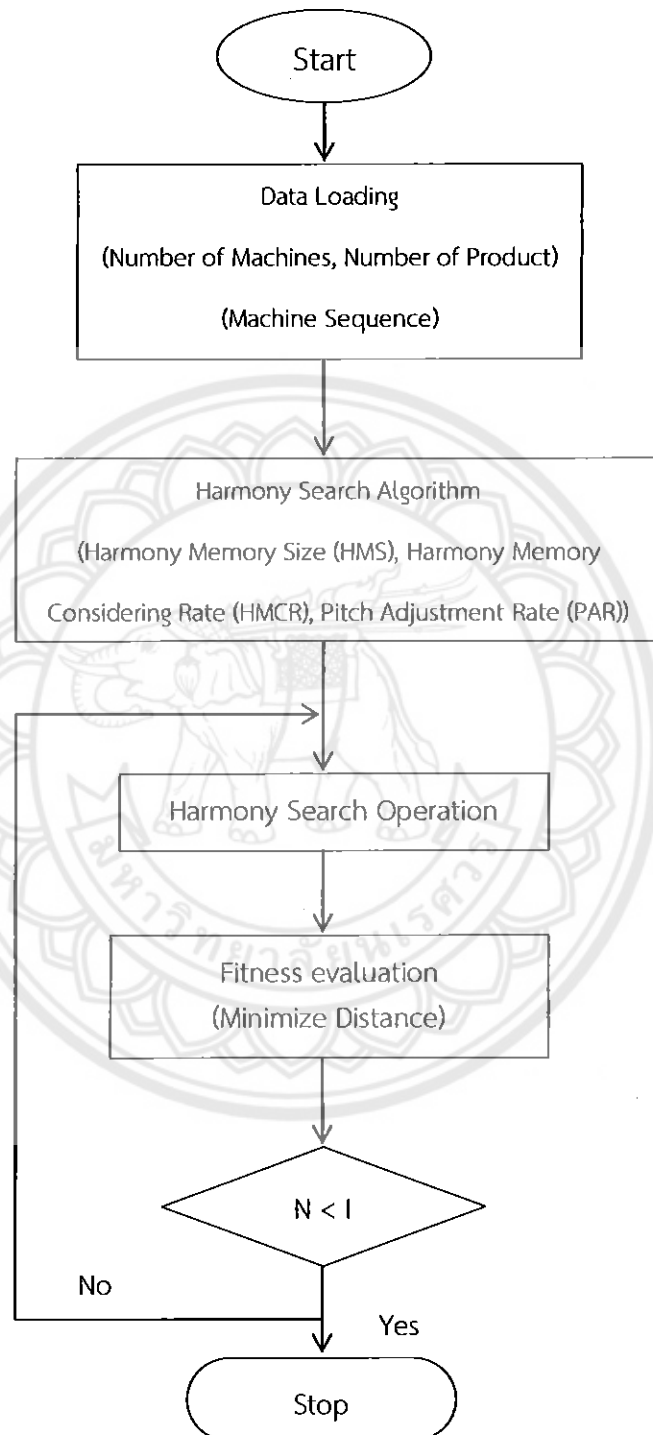
3.2.3 ข้อมูลปัญหาการจัดเรียงเครื่องจักร

โครงการนี้ได้นำปัญหามาจากชุดข้อมูลจากงานวิจัยของ Nearchou, 2005 ซึ่งประกอบด้วยชุดข้อมูลทั้งหมด 4 ชุด ดังแสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 แสดงลำดับความต้องการของเครื่องจักรในการผลิตผลิตภัณฑ์แต่ละประเภท โดยอ้างอิงจากชุดข้อมูลของ Nearchou, 2005

Part	Required Machine Sequence
Problem (1) 10 Machine, 3 Parts	
Part 1	2-1-6-5-8-9-3-4
Part 2	10-8-7-5-9-6-1
Part 3	9-2-7-4
Problem (2) 20 Machine, 5 Parts	
Part 1	4-2-3-12-1-9-16-18-5-8-20-15-14-6-11
Part 2	10-9-1-3-18-17-5-6-2-11-4
Part 3	17-11-6-8-7-15-16-9-1-20
Part 4	14-17-11-3-16-5-13-18-20-19-12-10-6-8-15
Part 5	6-18-8-4-2-7-5-9-14-19-1-20-10-16-11-15-13-12
Problem (3) 15 Machine, 9 Parts	
Part 1	4-2-5-1-6-8-14-9-11-3-15-12
Part 2	3-2-15-14-11-1-7-10-4-5-13-6-9
Part 3	5-6-11-15-2-12-3-4
Part 4	10-9-4-14-2-3-15-8
Part 5	11-2-4-14-5-3-15
Part 6	8-10-12-11-15-13-1-14-4-5-3
Part 7	5-11-10-3-7-13-8
Part 8	7-3-2-8-4-10-6-15-13-9-1
Part 9	11-13-3-1-12-14-4-8-9-2
Problem (4) 30 Machine, 10 Parts	
Part 1	6-3-4-18-5-1-14-24-26-7-11-30-23-21-13-27-9-16-17-2-25-8-15
Part 2	17-9-11-8-10-22-24-13-2-29-23-21-25-16-4-20-26-18-15-12-27-6-3-7-28
Part 3	13-2-6-29-21-3-14-24-12-15-17-8-1-22-28-10-7-30-20-19
Part 4	7-2-6-11-21-8-16-30-1
Part 5	3-17-1-2-20-22-8-6-26-19-14-11-15-12-7-16-21-10-28-23-18-4-27-24-25-13-30-9-5
Part 6	30-9-2
Part 7	15-9-30-19-12-3-6-5-8-14-7-28-23-1-29-24-27-2-13-4-26-16-11-10-25-21-22-20-18
Part 8	7-19-5-4-9-16-3-14-28-13-11-2-21-10-17-22-26-23-29-30
Part 9	21-4-1-6-11-22
Part 10	12-6-17-15-13-30-26-18-14-9-7-11-23-2-4-25-24

3.3 การประยุกต์ใช้ฮาร์โมนี เซิร์ช อัลกอริทึมสำหรับปัญหาการจัดเรียงเครื่องจักร



รูปที่ 3.3 แสดงการประยุกต์ใช้ฮาร์โมนี เซิร์ช สำหรับปัญหาการจัดเรียงเครื่องจักร

ดัดแปลงจาก : พัชราภรณ์, 2007

ขั้นตอนการประยุกต์ใช้ฮาร์โมนี เซิร์ช ดังรูปที่ 3.3 จะช่วยในการออกแบบการจัดเรียงเครื่องจักร เพื่อให้ได้ระยะทางการเคลื่อนที่ของการขนถ่ายวัสดุที่น้อยที่สุด โดยโปรแกรมการทำงานจะประกอบไปด้วย 3 ส่วนหลัก คือ การนำเข้าข้อมูล, ประมวลผลข้อมูล และข้อมูลนำออก โดยผู้ใช้โปรแกรมจะเป็นควบคุมทุกส่วนผ่านหน้าจอควบคุม

3.3.1 การนำเข้าข้อมูล

3.3.1.1 ข้อมูลเครื่องจักร

- ก. จำนวนเครื่องจักรทั้งหมดที่ใช้ (Number of Machine)
- ข. หมายเลขเครื่องจักร
- ค. ความกว้างของเครื่องจักร i มีหน่วยเป็นเมตร (W_i)
- ง. ความยาวของเครื่องจักร i มีหน่วยเป็นเมตร (L_i)

3.3.1.2 ข้อมูลผลิตภัณฑ์

- ก. จำนวนผลิตภัณฑ์ทั้งหมด (Number of Products)
- ข. ประเภทของผลิตภัณฑ์
- ค. ลำดับการทำงานของเครื่องจักรของทุกผลิตภัณฑ์ (Machine Sequence)

3.3.2 การประมวลผลข้อมูล

การคำนวณข้อมูลที่รับเข้ามา เพื่อหาการจัดเรียงเครื่องจักรที่จะทำให้มีระยะทางการขนถ่ายวัสดุน้อยที่สุด มีขั้นตอนการทำงานดังรูปที่ 3.4

3.3.2.1 เริ่มต้นกระบวนการทำงาน หลังได้รับข้อมูลนำเข้า

3.3.2.2 กำหนดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของวิธีฮาร์โมนี เซิร์ช ที่ต้องการใช้ในการหาคำตอบ ประกอบไปด้วย

- ก. จำนวนคำตอบ (Harmony Memory Size : HMS)
- ข. อัตราการสุ่มเลือกจากหน่วยความจำ (Harmony Considering Rate : HMCR)
- ค. อัตราการปรับพิทช์ (Pitch Adjustment Rate : PAR)
- ง. จำนวนรอบการค้นหาคำตอบ (Number of Iterations : I)

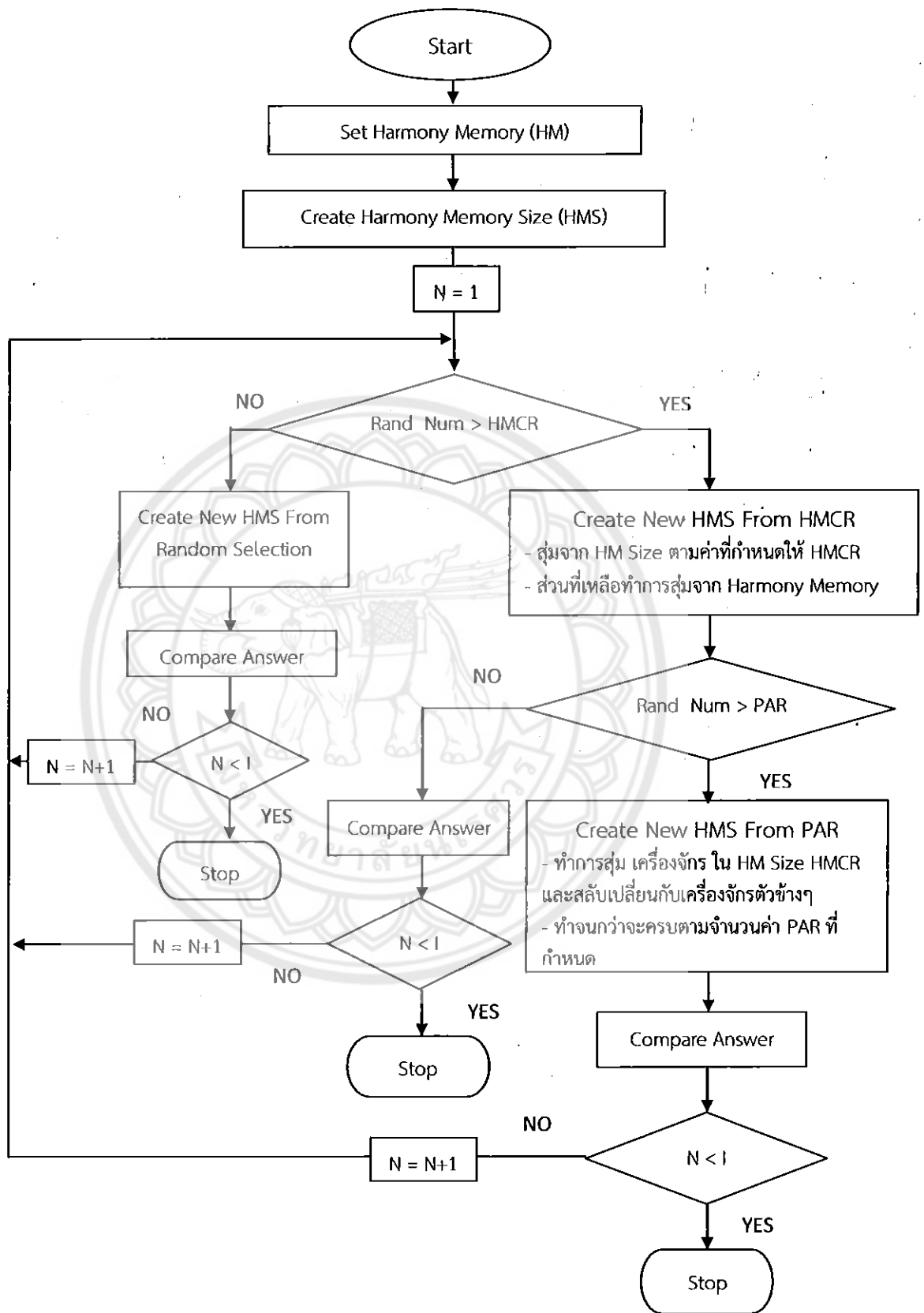
3.3.2.3 กำหนดขนาดของปัญหาที่ต้องการหาคำตอบในการจัดเรียงเครื่องจักร

3.3.2.4 การสร้างคำตอบเริ่มต้น ตามจำนวน HMS ที่กำหนด โดยเริ่มจากการสุ่มตัวเลขแบบยูนิฟอร์ม (Uniform Random Number) เพื่อให้เครื่องจักรทุกตัวมีโอกาสที่จะถูกเลือกเท่ากันหมด จัดเก็บคำตอบเริ่มต้นไว้ใน HMS โดยในทุกคำตอบจะมีตัวเลขสุ่มกำกับไว้ทุกคำตอบ เช่น

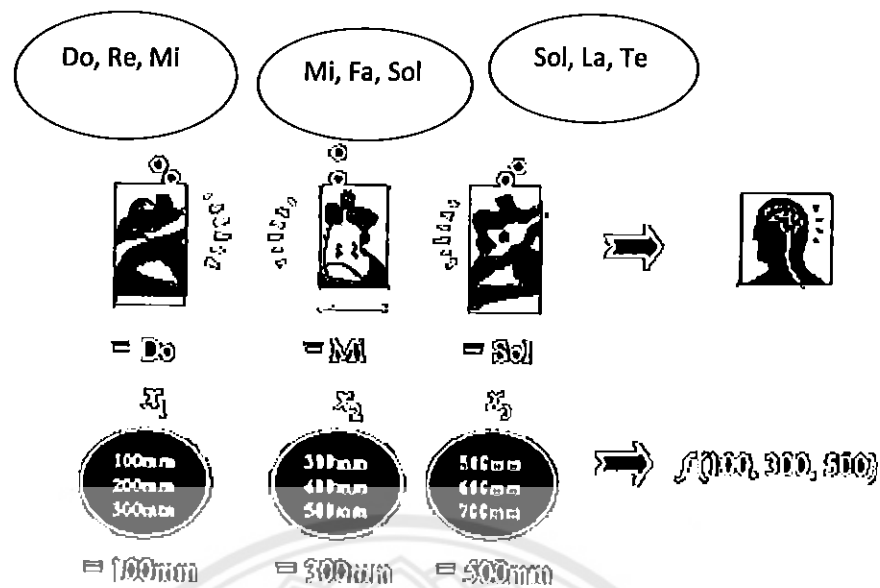
$$HMS 1 = \{ 2 \ 4 \ 6 \ 10 \ 7 \ 5 \ 8 \ 1 \ 3 \ 9 \} = Rand \ Num = 0.5422$$

$$HMS 2 = \{ 3 \ 7 \ 9 \ 2 \ 4 \ 1 \ 10 \ 5 \ 8 \ 6 \} = Rand \ Num = 0.2153$$

เมื่อได้ค่าสุ่ม (Rand Num) ให้นำค่าสุ่มนั้นไปเทียบกับค่า HMCR และค่า PAR ที่ผู้ใช้โปรแกรมสามารถกำหนดได้เองจากหน้าจอควบคุม



รูปที่ 3.4 แสดงการกระบวนการทำงานวิธีฮาร์โมนี เซิร์ช



รูปที่ 3.5 แสดงการเลือกคำตอบของวิธีฮาร์โมนี เซิร์ช

ที่มา : <http://www.journal.fte.kmutnb.ac.th/upload/2011-2-2/journalFTE-Fulltext-2011-2-2-3.pdf>

3.3.2.5 การปรับปรุงคำตอบในกระบวนการฮาร์โมนี เซิร์ช แบ่งออกเป็น 3 วิธี

ก. Random Selection

กระบวนการนี้จะเกิดขึ้นต่อเมื่อค่าสุ่มมีค่าน้อยกว่าค่า HMCR ที่ผู้ใช้โปรแกรมสามารถกำหนดได้ โดยมีการทำงานคือ เป็นการสุ่มสร้างคำตอบใหม่จาก HM แล้วจึงคำนวณระยะทางของคำตอบใหม่ และคำตอบเริ่มต้น นำมาเปรียบเทียบและเลือกเก็บคำตอบที่ดีกว่าหรือคำตอบที่มีระยะทางน้อยกว่า

ข. Harmony Memory Considering Rate

เมื่อค่าสุ่มมีค่ามากกว่าค่า HMCR ที่ผู้ใช้โปรแกรมกำหนด จะเริ่มกระบวนการทำงานโดย ค่า HMCR จะถูกคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ในการสุ่มจากคำตอบเดิม เช่น เมื่อผู้ใช้โปรแกรมกำหนดค่า HMCR เท่ากับ 0.5 นั้นหมายถึง 50% ของคำตอบใหม่จะถูกสุ่มมาจาก HMS และอีก 50% จะถูกดึงมาจาก HM โดยที่เครื่องจักรจะไม่ซ้ำกัน

$$HM = \{ 1 \ 2 \ 3 \ 4 \ 5 \ 6 \ 7 \ 8 \ 9 \ 10 \}$$

$$HMS \ 1 = \{ 2 \ 4 \ 6 \ 10 \ 7 \ 5 \ 8 \ 1 \ 3 \ 9 \} = \text{Rand Num} = 0.5422$$

$$HMS_{HMCR} = \{ 3 \ 5 \ 10 \ 9 \ 1 \ 2 \ 4 \ 6 \ 7 \ 8 \} = \text{Rand Num} = 0.5422$$

นำค่าสุ่มเดิมไปเทียบกับค่า PAR ที่ผู้ใช้โปรแกรมเป็นผู้กำหนด หากค่าสุ่มมีค่าน้อยกว่า โปรแกรมจะนำคำตอบที่สร้างใหม่มาคำนวณระยะทางและเปรียบเทียบกับคำตอบเริ่มต้น เลือกเก็บคำตอบที่ดีกว่าหรือคำตอบที่มีระยะทางน้อยกว่า

ค. Pitch Adjustment Rate

เมื่อผ่านกระบวนการ HMCR แล้ว และค่าสุ่มมีค่ามากกว่าค่า PAR ที่ผู้ใช้โปรแกรมกำหนด โปรแกรมจะเข้ากระบวนการปรับปรุงคำตอบโดยค่า PAR มีค่าเท่ากับจำนวนครั้งในการสุ่มและสลับกับเครื่องจักรตัวต่างๆ เช่น เมื่อผู้ใช้โปรแกรมกำหนดค่า PAR = 0.5 นั้นหมายความว่า โปรแกรมจะทำการสุ่มจับเครื่องจักรในคำตอบที่สร้างใหม่จากกระบวนการ HMCR และทำการสลับกับเครื่องจักรตัวต่างๆ

$$HMS_{HMCR} = \{ 3 \ 5 \ 10 \ 9 \ \boxed{1} \ \boxed{2} \ \boxed{4} \ 6 \ 7 \ 8 \} = \text{Rand Num} = 0.5422$$

$$HMS_{PAR_1} = \{ \boxed{3} \ \boxed{5} \ 10 \ 9 \ 2 \ 1 \ 4 \ 6 \ 7 \ 8 \} = \text{Rand Num} = 0.5422$$

$$HMS_{PAR_2} = \{ 5 \ 3 \ 10 \ 9 \ 2 \ 1 \ 4 \ 6 \ 7 \ 8 \} = \text{Rand Num} = 0.5422$$

เมื่อทำงานครบจำนวนครั้งที่กำหนด จึงนำคำตอบที่ผ่านกระบวนการปรับปรุงคำตอบแล้วมาคำนวณระยะทางและเปรียบเทียบกับคำตอบเริ่มต้น เลือกเก็บคำตอบที่ดีกว่าหรือคำตอบที่มีระยะทางน้อยกว่า

3.3.2.6 การประเมินค่าคำตอบที่เหมาะสม โดยจะคำนวณหาค่าที่น้อยที่สุดจากสมการวัตถุประสงค์ (พิชราภรณ์, 2007)

$$\text{Minimize Total Distance} = \sum_{j=1}^{M-1} \sum_{i=1}^M f_{ij} d_{ij}$$

เมื่อกำหนดให้ m = จำนวนของเครื่องจักร ($m = 1, 2, 3, \dots, M$)
 f_{ij} = จำนวนรอบของการเคลื่อนที่จากเครื่องจักร i ไปเครื่องจักร j ($f_{ij} = 0$)
 d_{ij} = ระยะทางระหว่างจุดกึ่งกลางเครื่องจักร i ไปถึงจุดกึ่งกลางของเครื่องจักร j
 i, j = เครื่องจักร ($i, j = 1, 2, 3, \dots, N$)

3.3.2.7 การตรวจสอบเงื่อนไขการหยุดทำงาน โปรแกรมจะทำงานจนกว่าจะได้รับการครบตามจำนวนคำตอบที่ผู้ใช้โปรแกรมเป็นผู้กำหนด เมื่อครบรอบแล้วจึงจะหยุดการทำงานของโปรแกรมได้

3.3.3 วิเคราะห์ข้อมูลนำออก

3.3.3.1 แสดงการกำหนดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ

- ก. ขนาดหน่วยความจำของฮาร์โมนี (Harmony Memory Size)
- ข. จำนวนรุ่นในการหาคำตอบ (Number of Generation)
- ค. ค่าอัตราการสุ่ม (Random Value)
- ง. อัตราการสุ่มเลือกจากหน่วยความทรงจำ (HMCR)
- จ. อัตราการปรับพิตซ์ (PAR)
- ฉ. จำนวนเครื่องจักร (Number of Machine)
- ช. จำนวนผลิตภัณฑ์ (Number of Products)

3.3.3.2 แสดงการกำหนดขนาดของปัญหา

- ก. ความกว้างของพื้นที่ (F_w)
- ข. ความยาวของพื้นที่ (F_L)
- ค. ช่องว่างระหว่างเครื่องจักรสำหรับการขนส่ง (Gap)

3.3.3.3 แสดงส่วนของผลลัพธ์ที่ได้

- ก. ค่าที่ดีที่สุดของระยะทางการเคลื่อนที่
- ข. ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
- ค. แสดงลำดับการจัดเรียงเครื่องจักรของโรงงาน
- ง. เวลาที่ใช้ในการคำนวณ
- จ. จำนวนผลิตภัณฑ์
- ฉ. ระยะทางการเคลื่อนที่ในการผลิตผลิตภัณฑ์แต่ละประเภท
- ช. ระยะทางรวมที่สั้นที่สุดของการเคลื่อนที่ในการผลิตทุกผลิตภัณฑ์

3.3.4 การสรุปผลการทดลอง และข้อเสนอแนะ

3.3.4.1 เพื่อศึกษากระบวนการทำงานของ HSA และนำไปประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาการจัดเรียงเครื่องจักรในระบบการผลิตแบบยืดหยุ่น

3.3.4.2 เพื่อศึกษาการเปลี่ยนพารามิเตอร์ของ HSA ส่งผลต่อคุณภาพของคำตอบ

บทที่ 4

ผลการทดลอง และการวิเคราะห์

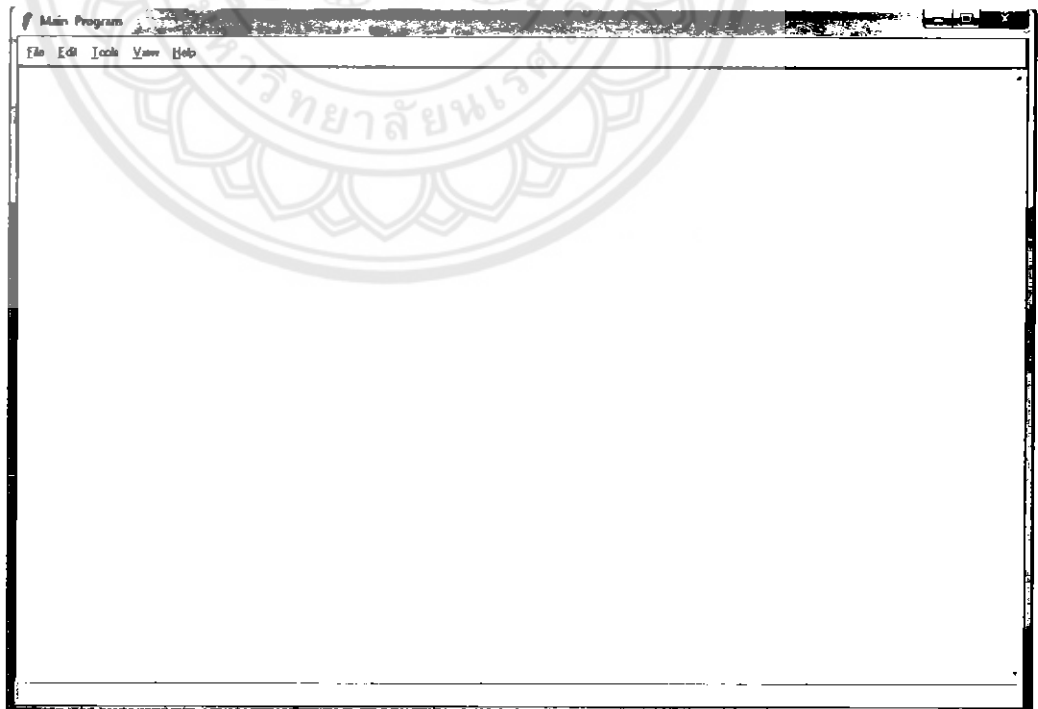
ในบทนี้จะกล่าวถึงลักษณะของโปรแกรมช่วยออกแบบการจัดเรียงเครื่องจักรให้เหมาะสม โดยมีวัตถุประสงค์ให้ระยะทางของการเคลื่อนที่การขนถ่ายวัสดุน้อยที่สุด และผลการศึกษาของการประยุกต์ใช้วิธี HSA ที่ค่าพารามิเตอร์สามารถปรับเปลี่ยนค่าได้

4.1 ผลการพัฒนาโปรแกรมโดยใช้วิธี HSA

โปรแกรมถูกพัฒนาขึ้นด้วยภาษา Tcl and the Tk Version 8.4 ซึ่งโปรแกรมมีลักษณะดังนี้

4.1.1 หน้าจอหลัก

ลักษณะของหน้าจอหลักจะมีลักษณะดัง รูปที่ 4.1 โดยส่วนของหน้าจอหลักนี้จะป็นใช้เป็นตัวเรียกเพิ่มข้อมูลนำเข้า ซึ่งประกอบด้วย ข้อมูลเครื่องจักร และข้อมูลผลิตภัณฑ์



รูปที่ 4.1 แสดงหน้าจอหลักของโปรแกรม

4.1.2 การกำหนดค่าพารามิเตอร์

หน้าต่างของการกำหนดค่าพารามิเตอร์ จะดำเนินการได้เมื่อมีการโหลดข้อมูลเครื่องจักร และ ข้อมูลผลิตภัณฑ์เข้ามาในโปรแกรมแล้ว และเลือกคำสั่ง Harmony Search Algorithm ดังแสดงในรูปที่ 4.2

Harmony Search Algorithm		
Parameters		
Harmony memory size	10	
Number of generation	2	
Harmony memory considering rate	0.20	
Probability of Pitch adjustment rate	0.10	
Random seed value	555	
Percent of elitist	10	%
Problem Size		
Layout Area		
Width of area	30	meters
Length of area	30	meters
Gap between machines	1	meter(s)
<input type="button" value="Run Harmony Search Algorithm"/> <input type="button" value="Reset"/> <input type="button" value="Exit"/>		

รูปที่ 4.2 แสดงหน้าต่างการตั้งค่าพารามิเตอร์

โดยหน้าต่างในการกำหนดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ จะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ

4.1.2.1 ส่วนแรกคือ Parameter ที่ผู้ใช้โปรแกรมจะใช้ในการกำหนดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ

ก. Harmony Memory Size คือ การกำหนดจำนวนเครื่องจักรที่ใช้ในการทำงานต่อ 1 รอบ ในที่นี้คือการแทนตัวโน้ต 1 ตัว คือ คำตอบ 1 คำตอบ

ข. Number of Generation ค่านี้จะแสดงถึงจำนวนรุ่นที่ต้องการหาคำตอบ และบ่งบอกจำนวนรอบในการทำงานของโปรแกรม เช่น การกำหนดไว้ที่ 1 รอบ หมายความว่าโปรแกรมจะมีการทำงาน 1 รอบและสิ้นสุดการทำงานเมื่อสิ้นสุดรอบที่ 1

ค. HMCR เป็นการเลือกเครื่องจักรจากการสุ่ม

ง. PAR คือค่าการปรับปรุงคำตอบจากการสลับที่กันของเครื่องจักร

จ. Random Seed Value คือ ค่าอัตราการสุ่มที่เป็นการกำหนดค่าเริ่มต้นให้กับฟังก์ชัน Random ทำให้เมื่อมีการรันโปรแกรมด้วยข้อมูลชุดเดียวกัน กำหนดตัวแปรเท่ากัน ผลลัพธ์ที่ได้เท่ากันทุกครั้ง

ฉ. Percent of Elitist คือ เปอร์เซนต์การเลือก และเก็บตัวโน้ตที่ดีที่สุดเทียบต่อขนาด HMS

4.1.2.2 ส่วนที่สองคือ Layout Area เพื่อระบุค่าสำหรับปัญหาจัดเรียงเครื่องจักร

ก. การกำหนดขนาดพื้นที่โรงงาน ซึ่งประกอบไปด้วย Width of Area (ความกว้าง) และ Length of Area (ความยาว) มีหน่วยเป็นเมตร เพื่อจำกัดพื้นที่ในการวางเครื่องจักร

ข. Gap between Machines คือ การกำหนดระยะห่างระหว่างเครื่องจักร ในโรงงานนี้มีการกำหนดค่าเบื้องต้นไว้ที่ 1 เมตร เพื่อเว้นเป็นพื้นที่ในการให้รถขนถ่ายวัสดุเดินทาง

4.1.3 หน้าจอแสดงผล แบ่งออกเป็น 3 ส่วน ดังนี้

4.1.3.1 แสดงการกำหนดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ

4.1.3.2 แสดงการกำหนดค่าของปัญหา

4.1.3.3 แสดงผลลัพธ์ที่ได้ โดยจะมีลักษณะดังรูปที่ 4.3

Harmony Search Algorithm for Designing Machine Layout

HS Parameters

Harmony memory size	:	25
Number of generation	:	5
Harmony memory considering rate	:	0.50
Probability of Pitch adjustment rate	:	0.10
Random seed value	:	555
Percent of elitist	:	10%

Layout Area

Width area	:	30	metres
Length area	:	30	metres
Gap between machine	:	1	metre(s)

Generation No.	Best value	Best so far	Average	SD
1	253.025	259.025	300.605	26.733
2	259.025	259.025	299.841	24.527
3	213.625	213.625	293.917	26.742
4	213.625	213.625	292.823	25.589
5	213.625	213.625	291.925	24.878

Sequence of machines with HS is: 4 7 9 5 6 1 2 3 8 10

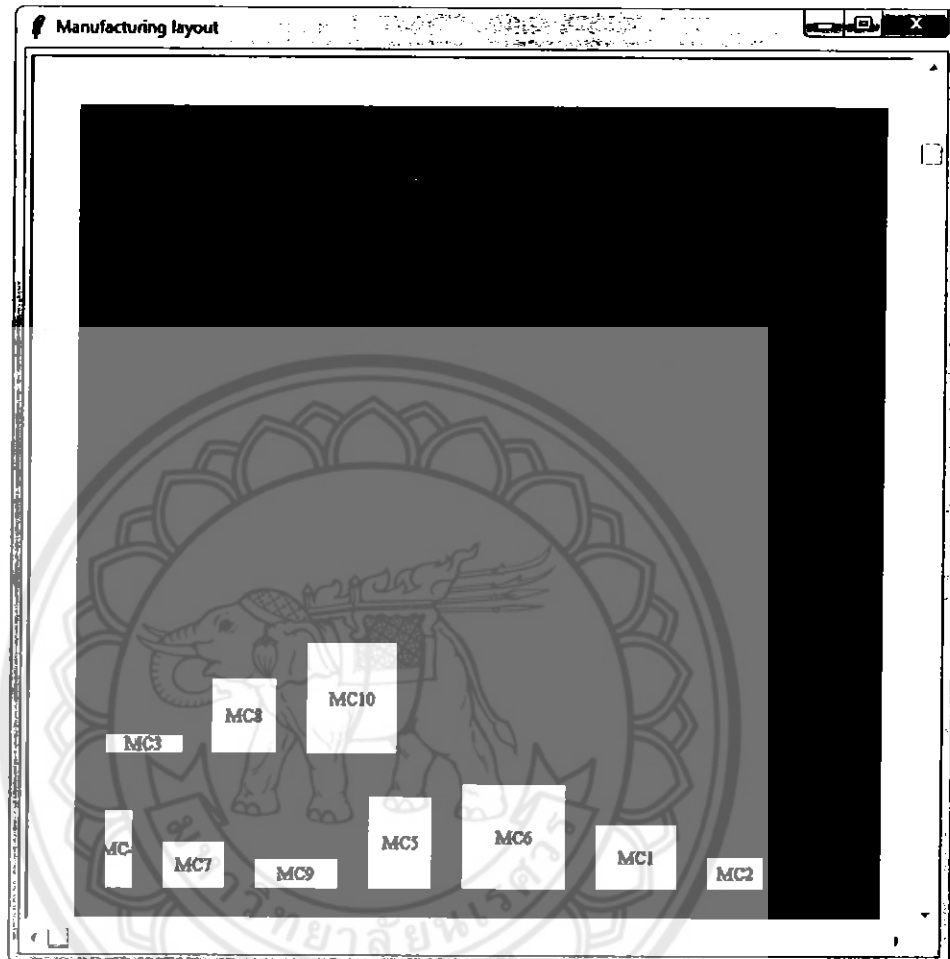
Part	Sequence	Distances (metres)
1	2 1 6 5 8 9 3 4	100.25
2	10 8 7 5 9 6 1	65.7
3	9 2 7 4	47.675
Total distances :		213.625

The processing plant layout is :

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

This layout area is sufficient for install machines.
Execution time : 524 milliseconds

รูปที่ 4.3 แสดงหน้าจอแสดงผล



รูปที่ 4.4 แสดงผลการจัดเรียงเครื่องจักรแบบกราฟฟิก

4.1.4 เวลาในการรันโปรแกรม

ระยะเวลาของการรันโปรแกรมในแต่ละชุดข้อมูลจะไม่เท่ากัน ขึ้นอยู่กับขนาดของปัญหา ยิ่งปัญหามีขนาดใหญ่ โปรแกรมก็จะยิ่งใช้เวลานานขึ้นในการหาคำตอบ ซึ่งในการรันโปรแกรมของชุดข้อมูล ทั้ง 4 ชุด ใช้เวลาดังในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 แสดงเวลาที่ใช้ในการรันโปรแกรม

ชุดข้อมูลที่	1	2	3	4
เวลาที่ใช้	10.02 วินาที	33.67 วินาที	35.59 วินาที	92.58 วินาที

4.2 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน

จากการทดลองรันโปรแกรมชุดข้อมูลทั้ง 4 ชุด จะได้ผลการทดลอง (ดังตารางที่ ก1 ถึง ตารางที่ ก4) และนำผลการทดลองมาใช้วิเคราะห์ความแปรปรวน

ในการวิเคราะห์ผลการทดลอง จะใช้โปรแกรมประยุกต์ทางด้านสถิติ คือ โปรแกรม Minitab 16.1 และใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวน (DOE) ในรูปแบบการออกแบบเชิงแฟคทอเรียล โดยให้การพิจารณาให้ผลเฉลยที่ดีที่สุด (ระยะทางการขนถ่ายวัสดุที่น้อยที่สุด) เป็นตัวแปรตาม ซึ่งจะพิจารณาปัจจัยผลกระทบ 3 ปัจจัยเท่านั้น จะได้ผลการทดลอง ดังนี้

ตารางที่ 4.2 แสดงปัจจัยและระดับของการทดลอง

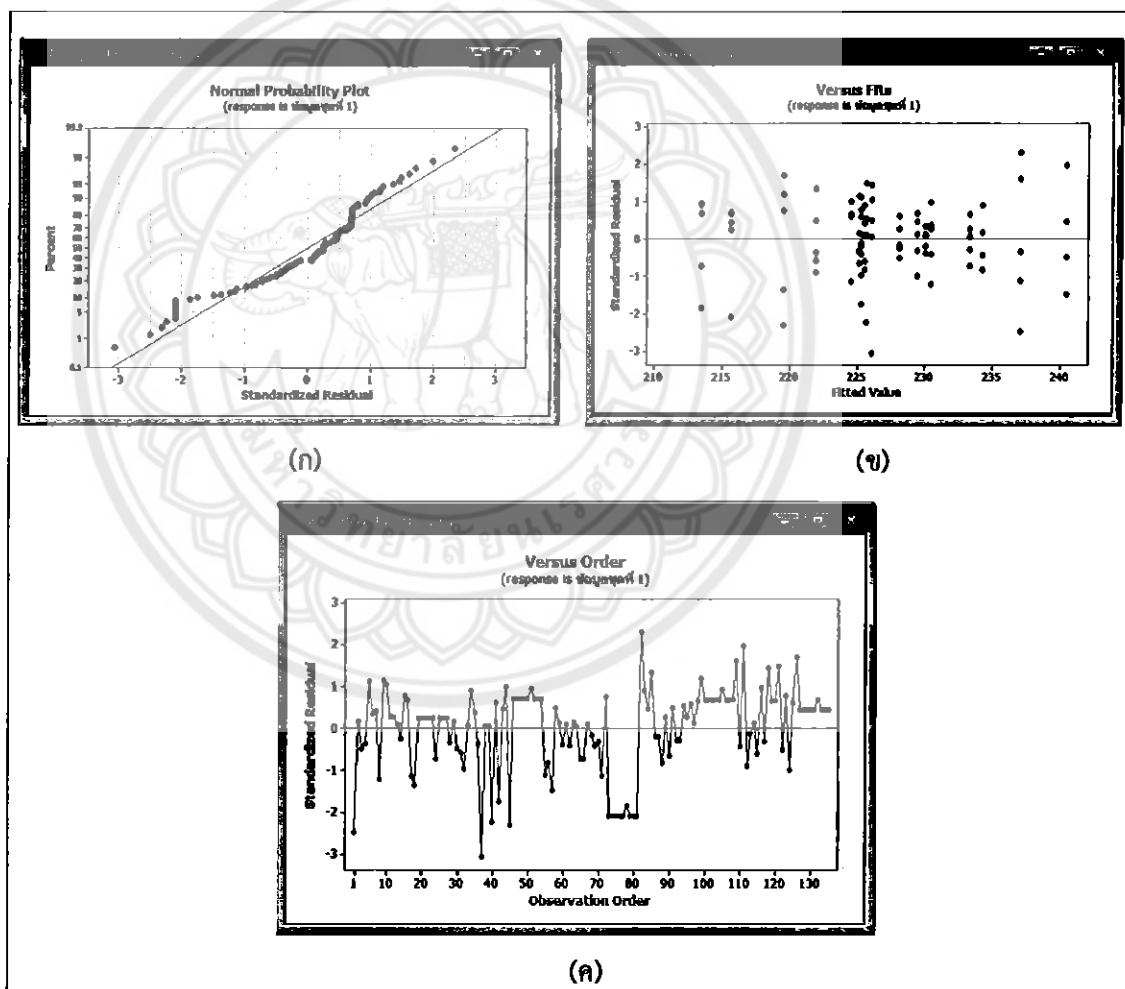
ปัจจัย	ระดับ (Levels)	ค่า (Values)		
		ต่ำ (-1)	กลาง (0)	สูง (1)
ขนาดประชากร/จำนวนรุ่น (HMS/gen)	3	25/100	50/50	100/25
Harmony Memory Considering Rate (HMCR)	3	0.1	0.5	0.9
Pitch Adjustment Rate (PAR)	3	0.1	0.5	0.9

4.2.1 ผลการทดลองข้อมูลชุดที่ 1

ตารางที่ 4.3 แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลชุดที่ 1

Source	Degree of Freedom	Sum of Square	Mean Square	F	P
HMS/gen	2	5,403.00	2,701.50	24.89	0.000
HMCR	2	931.40	465.70	4.29	0.016
PAR	2	29.40	14.70	0.14	0.874
HMS/gen*HMCR	4	591.40	147.90	1.36	0.252
HMS/gen*PAR	4	131.70	32.90	0.30	0.875
HMCR*PAR	4	219.20	54.80	0.50	0.732
HMS/gen* HMCR*PAR	8	433.80	54.20	0.50	0.854
Error	108	11,721.00	108.50		
Total	134	19,460.00			

จากผลการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติที่ได้แสดงในตารางที่ 4.3 เมื่อพิจารณาค่า P ที่ได้ของแต่ละปัจจัย พบว่า ขนาดของประชากร/จำนวนรุ่น (HMS/gen) และอัตราการพิจารณาสุ่มเลือกจากหน่วยความทรงจำ (HMCR) มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 เนื่องจากมีค่าน้อยกว่า หรือเท่ากับ 0.05 ซึ่งหมายความว่าปัจจัยต่างๆ เหล่านี้มีผลกระทบต่อการหาค่าคำตอบของปัญหาการจัดเรียงเครื่องจักรในระบบผลิตแบบยืดหยุ่น ส่วนอัตราการปรับพิตซ์ (PAR), HMS/gen*HMCR, Pop/gen*PAR, HMCR*PAR และ HMS/gen* HMCR*PAR นั้นพบว่าค่า P มีค่าสูงกว่า 0.05 ดังนั้นปัจจัยเหล่านี้จึงไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95



รูปที่ 4.5 แสดงกราฟการวิเคราะห์ส่วนตกค้าง (Residual Analysis) 3 แบบ ของข้อมูลชุดที่ 1

(ก) แสดงกราฟค่าผิดพลาดที่มีการแจกแจงปกติ

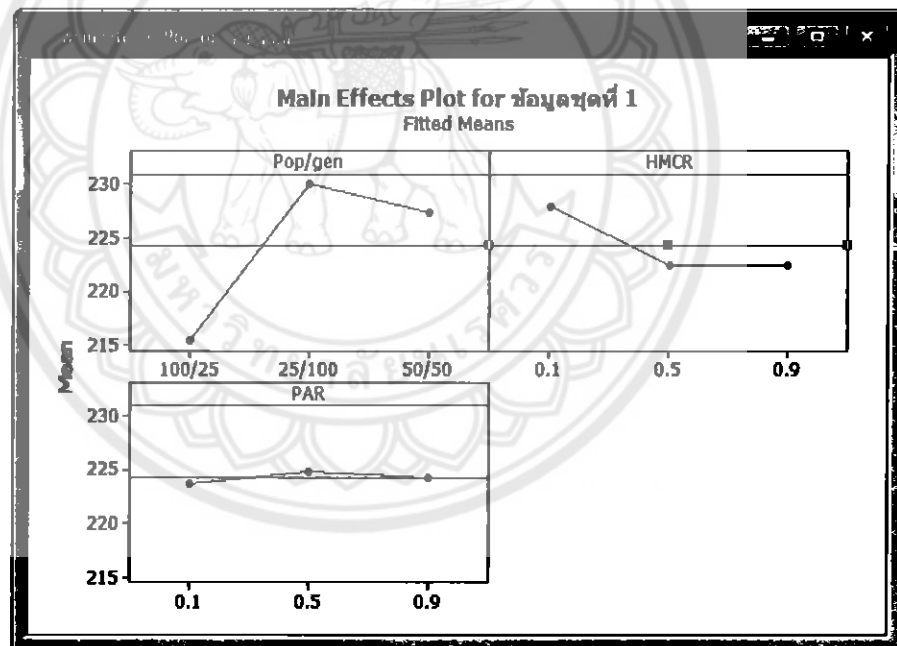
(ข) แสดงกราฟความแปรปรวนของค่าความผิดพลาดคงที่

(ค) แสดงกราฟความผิดพลาดเป็นอิสระต่อกัน

จากการตรวจสอบค่าผิดพลาดการแจกแจงแบบปกติดังรูปที่ 4.5 (ก) พบว่ากราฟที่ได้มีลักษณะคล้ายเส้นตรง แต่มีบางช่วงที่ไม่เป็นเส้นตรงแต่ก็เป็นช่วงที่ยังยอมรับได้ จึงถือว่าไม่ละเมิดสมมติฐานความเป็นปกติของข้อมูล แสดงว่าข้อมูลที่ได้จากการทดลองมีการแจกแจงแบบปกติ

จากการตรวจสอบค่าความแปรปรวนของค่าความผิดพลาดคงที่ดังรูปที่ 4.5 (ข) พบว่ากราฟที่ได้มีการเรียงตัวของข้อมูลอยู่ในแถบแนวนอนรอบๆ ค่าศูนย์ ข้อมูลมีการกระจายสม่ำเสมอ และกราฟที่ได้ไม่มีรูปแบบหรือรูปร่างเฉพาะแต่อย่างใด จึงถือว่าไม่ละเมิดสมมติฐานค่าความแปรปรวนมีค่าคงตัว แสดงว่าข้อมูลที่ได้จากการทดลองมีความแปรปรวนของค่าความผิดพลาดคงที่

จากการตรวจสอบความผิดพลาดเป็นอิสระต่อกันดังรูปที่ 4.5 (ค) พบว่ากราฟที่ได้มีการกระจายตัวของข้อมูลรอบๆ เส้นศูนย์ และส่วนตกค้างที่ได้ไม่มีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้น หรือลดลงตามลำดับเวลาของการเก็บข้อมูล จึงถือว่าไม่ละเมิดสมมติฐานของความอิสระ แสดงว่าข้อมูลที่ได้จากการทดลองมีความเป็นอิสระ



รูปที่ 4.6 แสดงกราฟผลกระทบจากปัจจัยหลักของข้อมูลชุดที่ 1

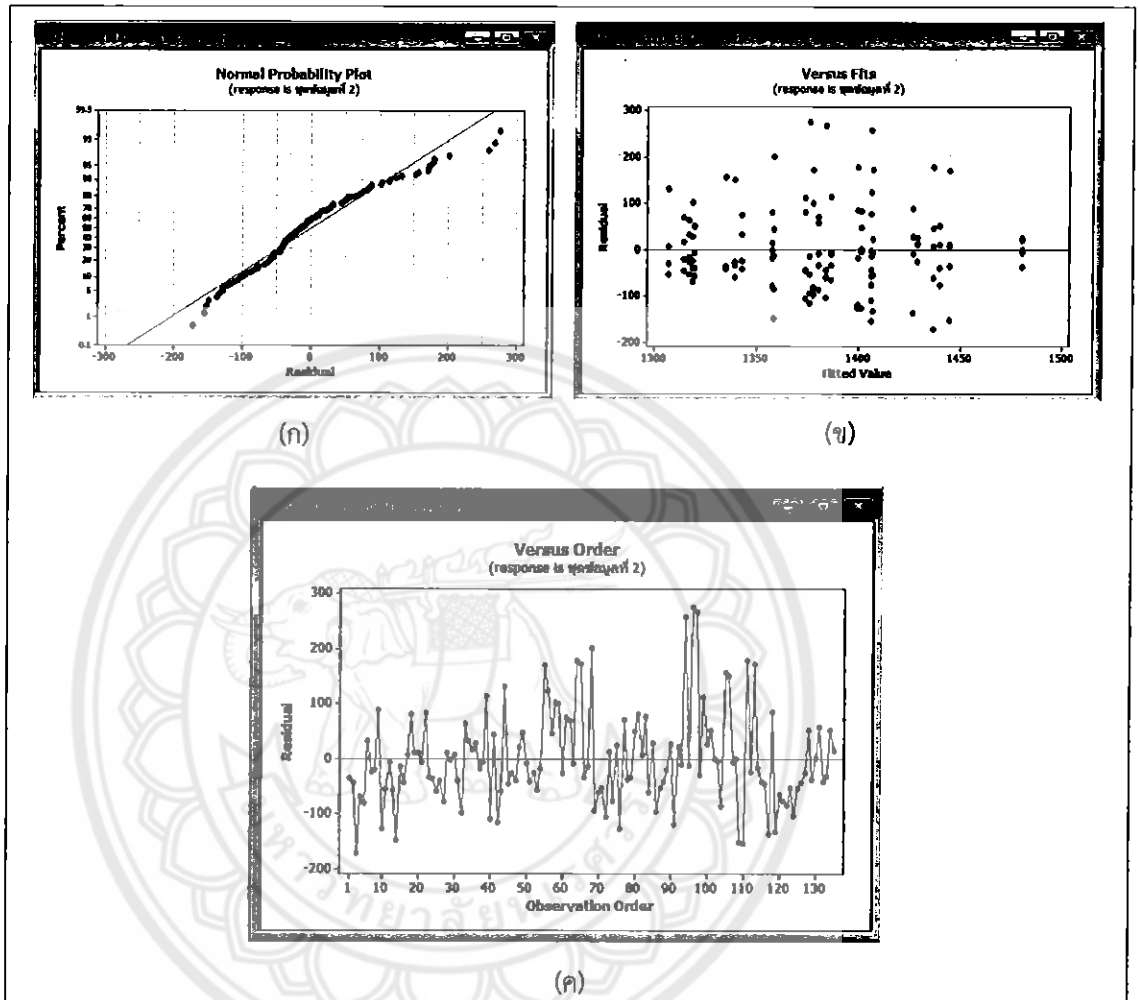
จากรูปที่ 4.6 แสดงกราฟผลกระทบจากปัจจัยหลัก (Main Effects Plot) เพื่อช่วยในการกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดที่ทำการศึกษา ซึ่งได้ผลการศึกษาดังนี้ ขนาดของประชากรต่อจำนวนรุ่น (HMS/gen) ที่ระดับสูง คือ 100/25, อัตราการพิจารณาสุ่มเลือกจากหน่วยความจำ (HMCR) ที่ระดับกลาง คือ 0.5 และอัตราการปรับพิตซ์ (PAR) ที่ระดับต่ำคือ 0.1

4.2.2 ผลการทดลองข้อมูลชุดที่ 2

ตารางที่ 4.4 แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลชุดที่ 2

Source	Degree of Freedom	Sum of Square	Mean Square	F	P
HMS/gen	2	3,136.00	1,568.00	0.17	0.845
HMCR	2	140,965.00	70,483.00	7.59	0.001
PAR	2	10,568.00	5,284.00	0.57	0.568
HMS/gen*HMCR	4	36,686.00	9,171.00	0.99	0.418
HMS/gen*PAR	4	8,882.00	2,220.00	0.24	0.916
HMCR*PAR	4	40,958.00	10,240.00	1.10	0.359
HMS/gen* HMCR*PAR	8	36,482.00	4,560.00	0.49	0.860
Error	108	1,003,111.00	9,288.00		
Total	134	1,280,789.00			

จากผลการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติที่ได้แสดงในตารางที่ 4.4 เมื่อพิจารณาค่า P ที่ได้ของแต่ละปัจจัย พบว่า อัตราการพิจารณาสุ่มเลือกจากหน่วยความทรงจำ (HMCR) มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 เนื่องจากมีค่าน้อยกว่า หรือเท่ากับ 0.05 ซึ่งหมายความว่าปัจจัยต่างๆ เหล่านี้มีผลกระทบต่อการหาคำคำตอบของปัญหาการจัดเรียงเครื่องจักรในระบบผลิตแบบยืดหยุ่น ส่วนขนาดประชากร/จำนวนรุ่น (HMS/gen), อัตราการปรับพิตซ์ (PAR), HMS/gen*HMCR, HMS/gen*PAR, HMCR*PAR และ HMS/gen* HMCR*PAR นั้นพบว่าค่า P มีค่าสูงกว่า 0.05 ดังนั้นปัจจัยเหล่านี้จึงไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95



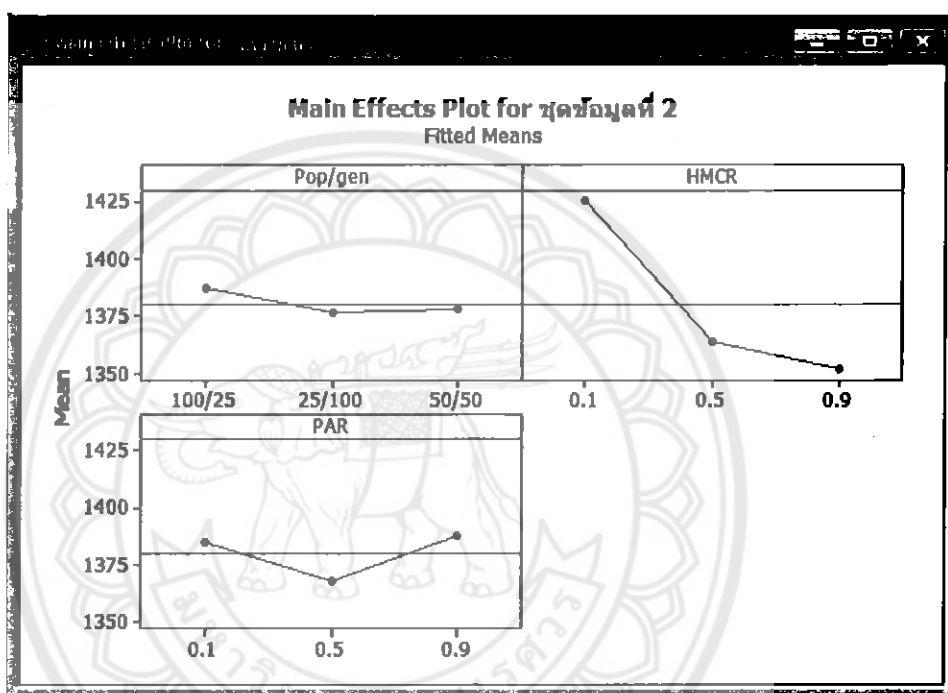
รูปที่ 4.7 แสดงกราฟการวิเคราะห์ส่วนตกค้าง (Residual Analysis) 3 แบบ ของข้อมูลชุดที่ 2

- (ก) แสดงกราฟค่าผิดพลาดที่มีการแจกแจงปกติ
- (ข) แสดงกราฟความแปรปรวนของค่าความผิดพลาดคงที่
- (ค) แสดงกราฟความผิดพลาดเป็นอิสระต่อกัน

จากการตรวจสอบค่าผิดพลาดการแจกแจงแบบปกติดังรูปที่ 4.7 (ก) พบว่ากราฟที่ได้มีลักษณะคล้ายเส้นตรง แต่มีบางช่วงที่ไม่เป็นเส้นตรงแต่ก็เป็นช่วงที่ยังยอมรับได้ จึงถือว่าไม่ละเมิดสมมติฐานความเป็นปกติของข้อมูล แสดงว่าข้อมูลที่ได้จากการทดลองมีการแจกแจงแบบปกติ

จากการตรวจสอบค่าความแปรปรวนของค่าความผิดพลาดคงที่ดังรูปที่ 4.7 (ข) พบว่ากราฟที่ได้มีการเรียงตัวของข้อมูลอยู่ในแถบแนวนอนรอบๆ ค่าศูนย์ ข้อมูลมีการกระจายสม่ำเสมอ และกราฟที่ได้ไม่มีรูปแบบหรือรูปร่างเฉพาะแต่อย่างใด จึงถือว่าไม่ละเมิดสมมติฐานค่าความแปรปรวนมีค่าคงตัว แสดงว่าข้อมูลที่ได้จากการทดลองมีความแปรปรวนของค่าความผิดพลาดคงที่

จากการตรวจสอบความผิดพลาดเป็นอิสระต่อกันดังรูปที่ 4.7 (ค) พบว่ากราฟที่ได้มีการกระจายตัวของข้อมูลรอบๆ เส้นศูนย์ และส่วนตกค้างที่ได้ไม่มีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้น หรือลดลงตามลำดับเวลาของการเก็บข้อมูล จึงถือว่าไม่ละเมิดสมมติฐานของความอิสระ แสดงว่าข้อมูลที่ได้จากการทดลองมีความเป็นอิสระ



รูปที่ 4.8 แสดงกราฟผลกระทบจากปัจจัยหลักของข้อมูลชุดที่ 2

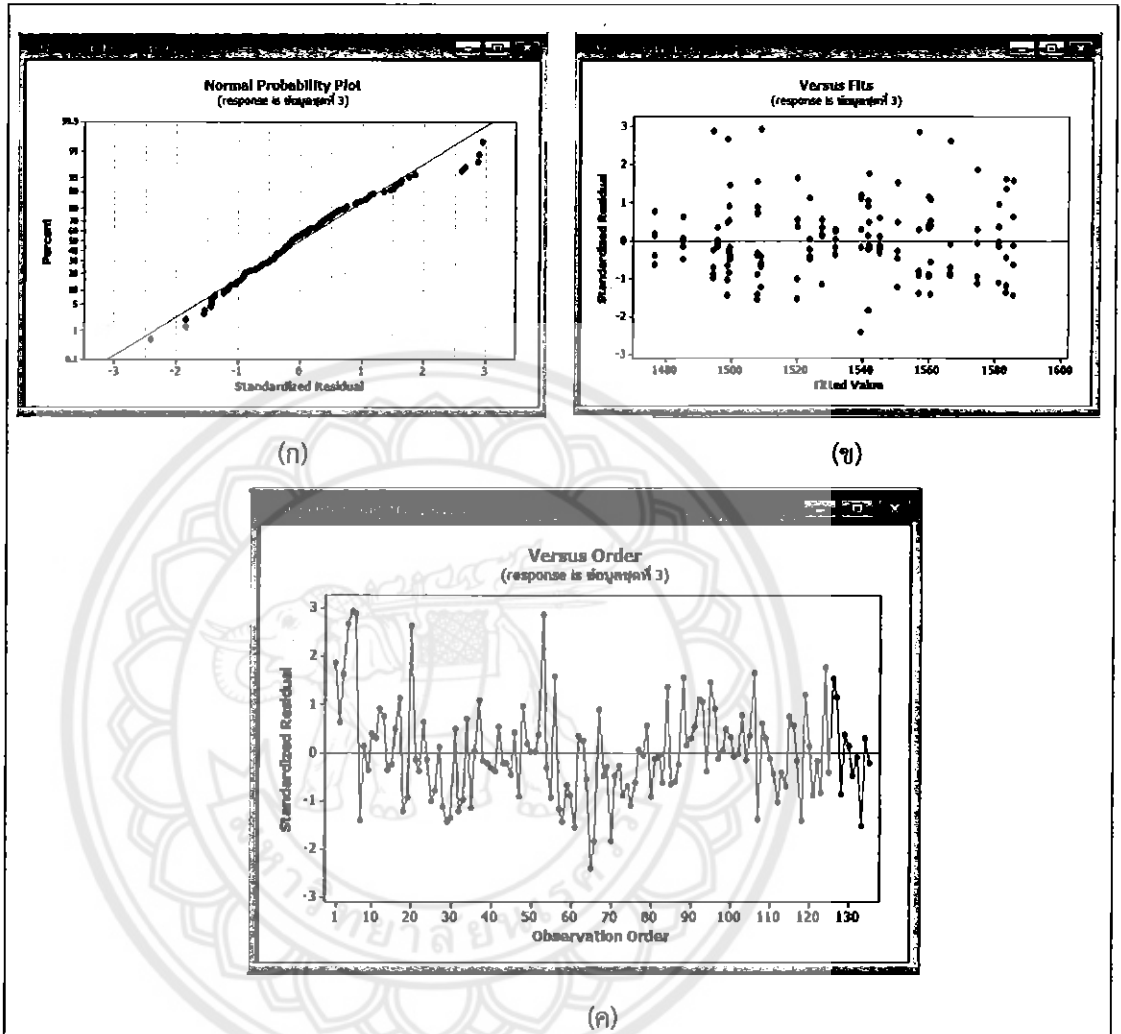
จากรูปที่ 4.8 แสดงกราฟผลกระทบจากปัจจัยหลัก (Main Effects Plot) เพื่อช่วยในการกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดที่ทำการศึกษา ซึ่งได้ผลการศึกษาดังนี้ ขนาดของประชากรต่อจำนวนรุ่น (HMS/gen) ที่ระดับต่ำ คือ 25/100, อัตราการพิจารณาสุ่มเลือกจากหน่วยความจำ (HMCR) ที่ระดับสูง คือ 0.9 และอัตราการปรับพิตซ์ (PAR) ที่ระดับกลาง คือ 0.5

4.2.3 ผลการทดลองข้อมูลชุดที่ 3

ตารางที่ 4.5 แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลชุดที่ 3

Source	Degree of Freedom	Sum of Square	Mean Square	F	P
HMS/gen	2	627.00	314.00	0.19	0.829
HMCR	2	109,269.00	54,635.00	32.83	0.000
PAR	2	1,579.00	789.00	0.47	0.624
HMS/gen*HMCR	4	13,628.00	3,407.00	2.05	0.093
HMS/gen*PAR	4	5,791.00	1,448.00	0.87	0.485
HMCR*PAR	4	1,594.00	399.00	0.24	0.915
HMS/gen* HMCR*PAR	8	2,686.00	336.00	0.20	0.990
Error	108	179,749.00	1,664.00		
Total	134	314,923.00			

จากผลการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติที่ได้แสดงในตารางที่ 4.5 เมื่อพิจารณาค่า P ที่ได้ของแต่ละปัจจัย พบว่า อัตราการพิจารณาสุ่มเลือกจากหน่วยความทรงจำ (HMCR) มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 เนื่องจากมีค่าน้อยกว่า หรือเท่ากับ 0.05 ซึ่งหมายความว่าปัจจัยต่างๆ เหล่านี้มีผลกระทบต่อการหาค่าคำตอบของปัญหาการจัดเรียงเครื่องจักรในระบบผลิตแบบยืดหยุ่น ส่วนขนาดประชากร/จำนวนรุ่น (HMS/gen), อัตราการปรับพิตซ์ (PAR), HMS/gen*HMCR, HMS/gen*PAR, HMCR*PAR และ HMS/gen* HMCR*PAR นั้นพบว่าค่า P มีค่าสูงกว่า 0.05 ดังนั้นปัจจัยเหล่านี้จึงไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95



รูปที่ 4.9 แสดงกราฟการวิเคราะห์ส่วนตกค้าง (Residual Analysis) 3 แบบ ของข้อมูลชุดที่ 3

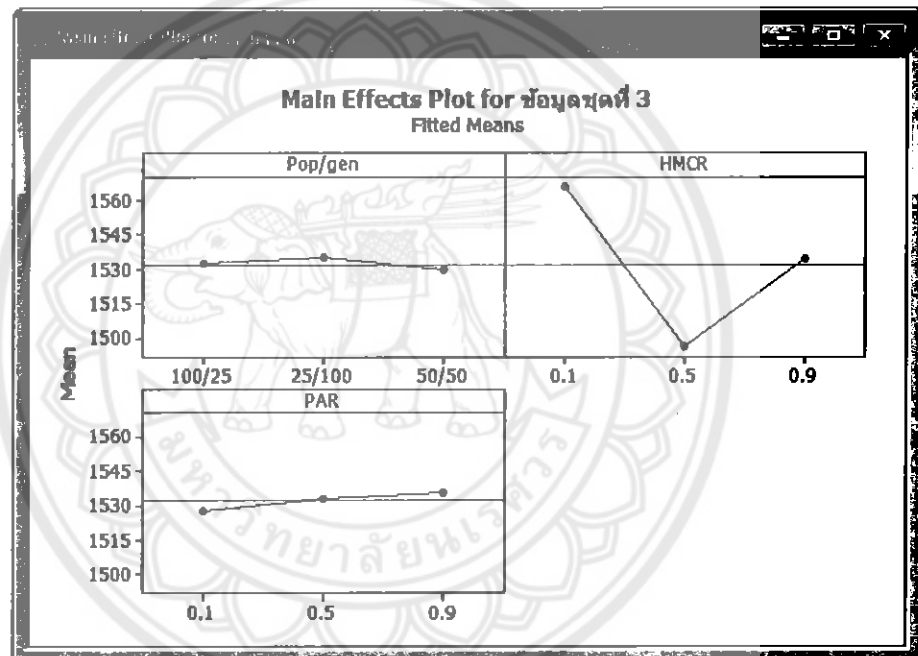
- (ก) แสดงกราฟค่าผิดพลาดที่มีการแจกแจงปกติ
- (ข) แสดงกราฟความแปรปรวนของค่าความผิดพลาดคงที่
- (ค) แสดงกราฟความผิดพลาดเป็นอิสระต่อกัน

จากการตรวจสอบค่าผิดพลาดการแจกแจงแบบปกติดังรูปที่ 4.9 (ก) พบว่ากราฟที่ได้มีลักษณะคล้ายเส้นตรง แต่มีบางช่วงที่ไม่เป็นเส้นตรงแต่ก็เป็นช่วงที่ยังยอมรับได้ จึงถือว่าไม่ละเมิดสมมติฐานความเป็นปกติของข้อมูล แสดงว่าข้อมูลที่ได้จากการทดลองมีการแจกแจงแบบปกติ

จากการตรวจสอบค่าความแปรปรวนของค่าความผิดพลาดคงที่ดังรูปที่ 4.9 (ข) พบว่ากราฟที่ได้มีการเรียงตัวของข้อมูลอยู่ในแถบแนวนอนรอบๆ ค่าศูนย์ ข้อมูลมีการกระจายสม่ำเสมอ และกราฟที่ได้

ไม่มีรูปแบบหรือรูปร่างเฉพาะแต่อย่างใด จึงถือว่าไม่ละเมิดสมมติฐานค่าความแปรปรวนมีค่าคงตัว แสดงว่าข้อมูลที่ได้จากการทดลองมีความแปรปรวนของค่าความผิดพลาดคงที่

จากการตรวจสอบความผิดพลาดเป็นอิสระต่อกันดังรูปที่ 4.9 (ค) พบว่ากราฟที่ได้มีการกระจายตัวของข้อมูลรอบๆ เส้นศูนย์ และส่วนตกค้างที่ได้ไม่มีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้น หรือลดลงตามลำดับเวลาของการเก็บข้อมูล จึงถือว่าไม่ละเมิดสมมติฐานของความอิสระ แสดงว่าข้อมูลที่ได้จากการทดลองมีความเป็นอิสระ



รูปที่ 4.10 แสดงกราฟผลกระทบจากปัจจัยหลักของข้อมูลชุดที่ 3

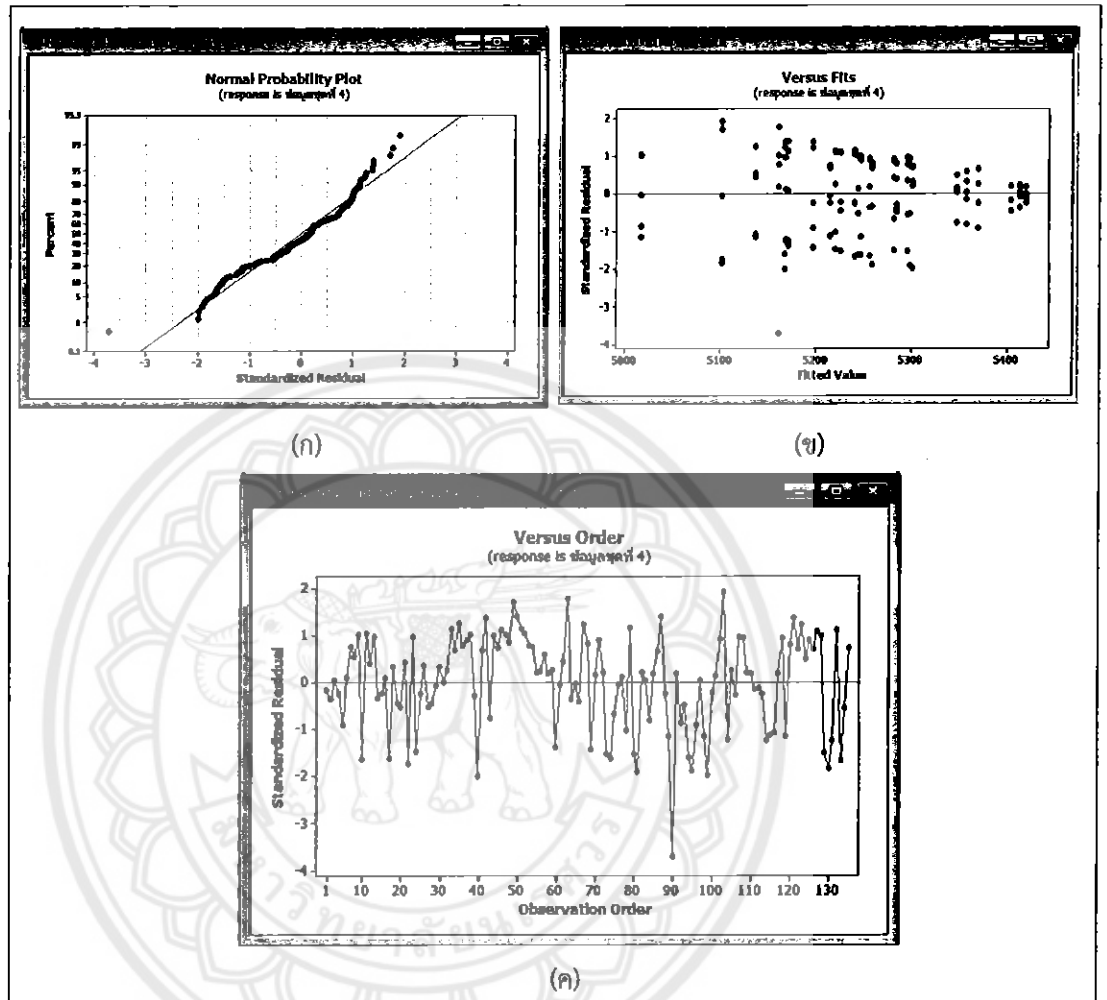
- จากรูปที่ 4.10 แสดงกราฟผลกระทบจากปัจจัยหลัก (Main Effects Plot) เพื่อช่วยในการกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดที่ทำการศึกษา ซึ่งได้ผลการศึกษาดังนี้ ขนาดของประชากรต่อจำนวนรุ่น (HMS/gen) ที่ระดับกลาง คือ 50/50, อัตราการพิจารณาสุ่มเลือกจากหน่วยความจำ (HMCR) ที่ระดับกลาง คือ 0.5 และอัตราการปรับพิตซ์ (PAR) ที่ระดับต่ำ คือ 0.1

4.2.4 ผลการทดลองข้อมูลชุดที่ 4

ตารางที่ 4.6 แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลชุดที่ 4

Source	Degree of Freedom	Sum of Square	Mean Square	F	P
HMS/gen	2	121,159.00	60,579.00	1.15	0.321
HMCR	2	47,517.00	23,758.00	0.45	0.638
PAR	2	14,381.00	7,191.00	0.14	0.873
HMS/gen*HMCR	4	548,795.00	137,199.00	2.60	0.040
HMS/gen*PAR	4	207,608.00	51,902.00	0.98	0.419
HMCR*PAR	4	95,117.00	23,779.00	0.45	0.771
HMS/gen* HMCR*PAR	8	196,636.00	24,580.00	0.47	0.877
Error	108	5,690,853.00	52,693.00		
Total	134	6,922,066.00			

จากผลการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติที่ได้แสดงในตารางที่ 4.6 เมื่อพิจารณาค่า P ที่ได้ของแต่ละปัจจัย พบว่า ปัจจัย HMS/gen*HMCR ส่งผลกระทบต่อการจัดเรียงเครื่องจักร เพราะมีค่าต่ำกว่า 0.05 ส่วนขนาดประชากร/จำนวนรุ่น (HMS/gen), อัตราการพิจารณาสุ่มเลือกจากหน่วยความทรงจำ (HMCR), อัตราการปรับพิตซ์ (PAR), HMS/gen*PAR, HMCR*PAR และ HMS/gen* HMCR*PAR นั้นพบว่าค่า P มีค่าสูงกว่า 0.05 ดังนั้นปัจจัยเหล่านี้จึงไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95



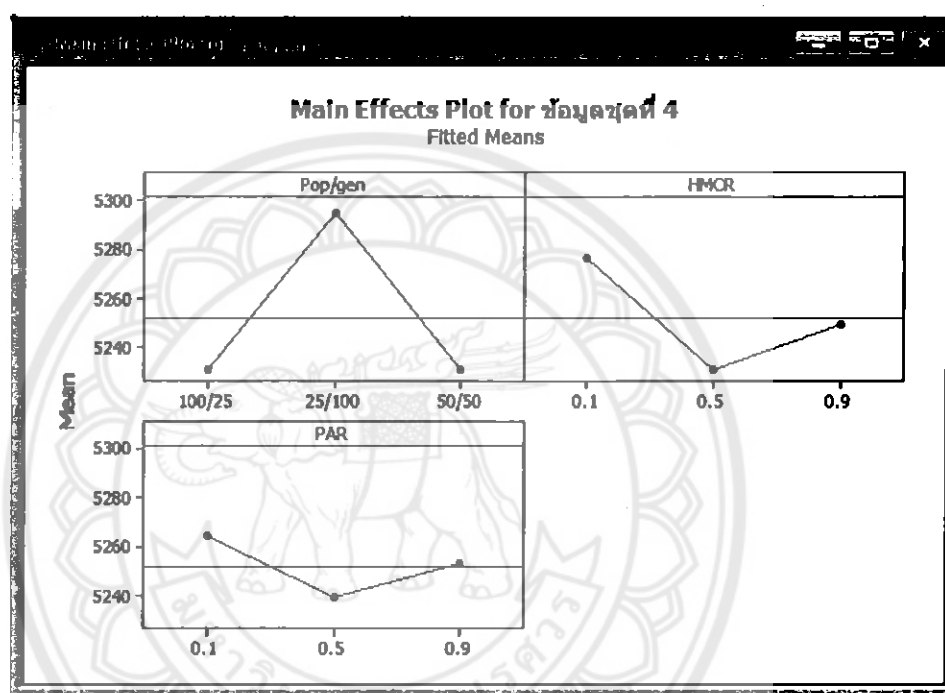
รูปที่ 4.11 แสดงกราฟการวิเคราะห์ส่วนตกค้าง (Residual Analysis) 3 แบบ ของข้อมูลชุดที่ 4

- (ก) แสดงกราฟค่าผิดพลาดที่มีการแจกแจงปกติ
- (ข) แสดงกราฟความแปรปรวนของค่าความผิดพลาดคงที่
- (ค) แสดงกราฟความผิดพลาดเป็นอิสระต่อกัน

จากการตรวจสอบค่าผิดพลาดการแจกแจงแบบปกติดังรูปที่ 4.11 (ก) พบว่ากราฟที่ได้มีลักษณะคล้ายเส้นตรง แต่มีบางช่วงที่ไม่เป็นเส้นตรงแต่ก็เป็นช่วงที่ยังยอมรับได้ จึงถือว่าไม่ละเมิดสมมติฐานความเป็นปกติของข้อมูล แสดงว่าข้อมูลที่ได้จากการทดลองมีการแจกแจงแบบปกติ

จากการตรวจสอบค่าความแปรปรวนของค่าความผิดพลาดคงที่ดังรูปที่ 4.11 (ข) พบว่ากราฟที่ได้มีการเรียงตัวของข้อมูลอยู่ในแถบแนวนอนรอบๆ ค่าศูนย์ ข้อมูลมีการกระจายสม่ำเสมอ และกราฟที่ได้ไม่มีรูปแบบหรือรูปร่างเฉพาะแต่อย่างใด จึงถือว่าไม่ละเมิดสมมติฐานค่าความแปรปรวนมีค่าคงตัว แสดงว่าข้อมูลที่ได้จากการทดลองมีความแปรปรวนของค่าความผิดพลาดคงที่

จากการตรวจสอบความผิดพลาดเป็นอิสระต่อกันดังรูปที่ 4.11 (ค) พบว่ากราฟที่ได้มีการกระจายตัวของข้อมูลรอบๆ เส้นศูนย์ และส่วนตกค้างที่ได้ไม่มีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้น หรือลดลงตามลำดับเวลาของการเก็บข้อมูล จึงถือว่าไม่ละเมิดสมมติฐานของความอิสระ แสดงว่าข้อมูลที่ได้จากการทดลองมีความเป็นอิสระ



รูปที่ 4.12 แสดงกราฟผลกระทบจากปัจจัยหลักของข้อมูลชุดที่ 4

จากรูปที่ 4.12 แสดงกราฟผลกระทบจากปัจจัยหลัก (Main Effects Plot) เพื่อช่วยในการกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดที่ทำการศึกษา ซึ่งได้ผลการศึกษาดังนี้ ขนาดของประชากรต่อจำนวนรุ่น (HMS/gen) ที่ระดับสูง คือ 100/25, อัตราการพิจารณาสุ่มเลือกจากหน่วยความจำ (HMCR) ที่ระดับกลาง คือ 0.5 และอัตราการปรับพิตซ์ (PAR) ที่ระดับกลาง คือ 0.5

4.3 เปรียบเทียบผลการทดลอง

จากการที่ชุดข้อมูลปัญหามีการศึกษามาแล้ว และมีวิธีการแก้ไขปัญหาคด้วยอัลกอริทึมที่หลากหลาย จัดทำเป็นตารางเปรียบเทียบค่าคำตอบจากผลการทดลองในอัลกอริทึมต่างๆ โดยเลือกจากค่าตัวแปรที่เหมาะสมหรือที่ดีที่สุดในแต่ละอัลกอริทึม ดังตารางที่ 4.7 และตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.7 เปรียบเทียบผลการทดลองของฮาร์โมนี เซิร์ช อัลกอริทึมและแบทอัลกอริทึมที่ดีที่สุด

ข้อมูลชุดที่	HSA				BA			
	HMS/gen	HMCR	PAR	Mean Distance	Pop/gen	A	r	Mean Distance
1	100/25	0.5	0.1	217.008	100/25	1.1	0.5	193.8483
2	25/100	0.9	0.5	1,452.588	25/100	1.5	0.9	1,387.960
3	50/50	0.5	0.1	1,552.140	50/50	1.5	0.9	1,427.787
4	100/25	0.5	0.5	5,366.520	25/100	1.9	0.9	5,013.512

ที่มา : ปริญญาณิพนธ์ของ นายกิตติพงษ์ ดาพา, นางสาวพรภัทร โล่เรืองทรัพย์ (2555)

จากตารางที่ 4.7 การเปรียบเทียบผลการทดลองของฮาร์โมนี เซิร์ช อัลกอริทึมกับแบทอัลกอริทึม โดยอ้างอิงข้อมูลปริญญาณิพนธ์ของ นายกิตติพงษ์ ดาพา, นางสาวพรภัทร โล่เรืองทรัพย์ (2555) จะเห็นได้ว่า ค่าระยะทางของฮาร์โมนี เซิร์ช อัลกอริทึม มีค่าคำตอบของระยะทางที่มากกว่าวิธีแบทอัลกอริทึม

ตารางที่ 4.8 เปรียบเทียบผลการทดลองของฮาร์โมนี เซิร์ช อัลกอริทึมและเงินเนติกอัลกอริทึมที่ดีที่สุด

ข้อมูลชุดที่	HSA				GA			
	HMS/gen	HMCR	PAR	Mean Distance	Pop/gen	c	m	Mean Distance
1	100/25	0.5	0.1	217.008	100/25	0.9	0.5	193.970
2	25/100	0.9	0.5	1,452.588	25/100	0.9	0.9	1,378.790
3	50/50	0.5	0.1	1,552.14	50/50	0.9	0.5	1,430.070
4	100/25	0.5	0.5	5,366.52	25/100	0.9	0.5	4,866.317

ที่มา : ปริญญาณิพนธ์ของ นางสาวสุธาสินี สิงห์พระยา, นายสุรชิต ตีตกลิน (2554)

จากตารางที่ 4.8 การเปรียบเทียบผลการทดลองของฮาร์โมนี เซิร์ช อัลกอริทึมกับเงินเนติกอัลกอริทึม โดยอ้างอิงข้อมูลปริญญาณิพนธ์ของ นางสาวสุธาสินี สิงห์พระยา, นายสุรชิต ตีตกลิน (2554) จะเห็นได้ว่า ค่าระยะทางของฮาร์โมนี เซิร์ช อัลกอริทึม มีค่าคำตอบของระยะทางที่มากกว่าวิธีเงินเนติกอัลกอริทึม

บทที่ 5

บทสรุป และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการดำเนินโครงการ

5.1.1 สามารถใช้โปรแกรม Tcl and The Tk ในการพัฒนาโปรแกรมช่วยออกแบบการจัดเรียงเครื่องจักรที่เหมาะสม โดยมีวัตถุประสงค์ให้ระยะเวลาของการเคลื่อนที่ของการขนถ่ายวัสดุน้อยที่สุด

5.1.2 กระบวนการทำงานของ HSA สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการแก้ไขปัญหาการจัดเรียงเครื่องจักรในระบบการผลิตแบบยืดหยุ่นได้จริง

5.1.3 ค่าพารามิเตอร์ของ HSA ส่งผลต่อคุณภาพของคำตอบต่างกันในแต่ละชุดข้อมูลของปัญหา ดังตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 แสดงปัจจัยที่ส่งผลต่อคุณภาพคำตอบอย่างมีนัยสำคัญ

ชุดข้อมูล	ปัจจัย HSA
ชุดข้อมูลที่ 1	HMS/gen, HMCR
ชุดข้อมูลที่ 2	HMCR
ชุดข้อมูลที่ 3	HMCR
ชุดข้อมูลที่ 4	HMS/gen*HMCR

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ในการศึกษาโครงการนี้ ไม่ได้นำเอาเวลาที่ใช้ในการผลิตมาพิจารณา

5.2.2 ในการจัดเรียงเครื่องจักรแบบยืดหยุ่นยังสามารถจัดเรียงได้อีกหลายแบบ เช่น การจัดเรียงแบบครึ่งวงกลม ซึ่งในโครงการนี้ศึกษาแต่เพียงการจัดเรียงแบบหลายแถว

5.2.3 ในโครงการนี้วัดระยะทางจากจุดกึ่งกลางเครื่องจักร ซึ่งในความเป็นจริงจุดเข้า-ออกชิ้นงานอาจไม่ใช่จุดกึ่งกลางเครื่องจักร

5.2.4 สามารถเพิ่มเงื่อนไขในการค้นหาคำตอบ เช่น ตารางการผลิต เวลาการเดินทางของวัสดุ

5.2.5 การศึกษาโครงการนี้ ไม่ได้นำเอาพารามิเตอร์ Percent of Elitist มาพิจารณาถึงผลกระทบต่อ การค้นหาคำตอบ

เอกสารอ้างอิง

- น้ำเพชร สิ้นสุพรรณ, ธนัชชัย กุลรวรานิชพงษ์.(2554). การแก้ปัญหาการไหลกำลังไฟฟ้าเหมาะสมที่สุดโดยใช้วิธีการค้นหาความบรรสาน. วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ. สืบค้นเมื่อวันที่ 15 มิถุนายน 2556 จาก <http://www.journal.fte.kmutnb.ac.th/upload/2011-2-2/journalFTE-Fulltext-2011-2-2-3.pdf>
- พรพิมล สร้อยมาต.(2554). การประยุกต์ใช้วิธีอาร์ทีฟิเชียลบีโคโลนีสำหรับการออกแบบการ จัดเรียงเครื่องจักร. วิทยานิพนธ์เสนอบัณฑิตวิทยาลัย หลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตร มหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยนเรศวร
- สุธาสินี สิงห์พระยา, สุรชิต ดิดกกลิน.(2551). การศึกษารูปแบบการสลับสายพันธุ้และวิธีการ เจนเจติกอัลกอริทึมแบบปรับตัวได้สำหรับการจัดเรียงเครื่องจักรแบบหลายแถว ใน ระบบผลิตแบบยืดหยุ่น. ปริญญาโทวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรม อุตสาหการ มหาวิทยาลัยนเรศวร
- อนันต์ศักดิ์ แสงจันทร์, พงศ์ชนัน เหลืองไพบูลย์.(2553). การศึกษาเปรียบเทียบการแก้ไขปัญห ด้วยวิธีฮาร์โมนี เซิร์จที่มีการเปลี่ยนแปลงระดับพารามิเตอร์แบบดิวส์สำหรับปัญหา ชนิดไม่มีเงื่อนไขข้อจำกัดทางทรัพยากร. หน่วยวิจัยทางการวิจัยดำเนินงานและ สดดิอุตสาหการรรม ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์. สืบค้นเมื่อวันที่ 15 มิถุนายน 2556 จาก <http://vdo.eng.psu.ac.th/pec8cd/paper/IE/PEC8OR078.pdf>
- Zong Woo Greem and Joong Hoon Kim. A new heuristic optimization algorithm : Harmony search : Simulation. สืบค้นเมื่อวันที่ 25 พฤษภาคม 2556 จาก http://archive.lib.cmu.ac.th/ful/T/2551/enin0451sw_ch2.pdf



ตารางที่ ก1 แสดงผลการทดลองจากการออกแบบการทดลองของข้อมูลชุดที่ 1

Run	Parameter Setting			Seed	Seed	Seed	Seed	Seed
	HMS/gen	HMCR	PAR	111	222	333	444	555
				meters	meters	meters	meters	meters
1	25/100	0.1	0.1	213.825	233.925	226.575	258.825	252.175
2	25/100	0.1	0.5	235.875	235.875	226.575	242.825	230.275
3	25/100	0.1	0.9	235.875	235.875	226.575	244.875	259.025
4	25/100	0.5	0.1	218.525	216.475	226.575	234.525	213.625
5	25/100	0.5	0.5	235.875	216.325	226.575	223.525	224.175
6	25/100	0.5	0.9	233.425	230.725	226.575	228.325	231.325
7	25/100	0.9	0.1	229.375	233.925	226.575	217.875	219.825
8	25/100	0.9	0.5	219.075	233.925	226.575	233.025	239.625
9	25/100	0.9	0.9	235.875	221.875	226.575	219.025	222.275
10	50/50	0.1	0.1	235.875	197.525	226.575	230.725	239.575
11	50/50	0.1	0.5	235.875	233.925	226.575	230.725	239.575
12	50/50	0.1	0.9	235.875	233.925	226.575	230.725	239.575
13	50/50	0.5	0.1	226.675	204.925	226.575	230.725	239.575
14	50/50	0.5	0.5	225.925	233.925	226.575	230.725	223.425
15	50/50	0.5	0.9	232.575	208.925	221.375	230.725	232.575
16	50/50	0.9	0.1	235.875	233.925	226.575	230.725	220.275
17	50/50	0.9	0.5	213.825	233.925	213.925	230.725	230.275
18	50/50	0.9	0.9	206.775	198.075	226.575	230.725	235.575
19	100/25	0.1	0.1	218.025	222.275	196.175	222.125	219.825
20	100/25	0.1	0.5	218.025	222.275	196.175	222.125	219.825
21	100/25	0.1	0.9	218.025	222.275	196.175	222.125	219.825
22	100/25	0.5	0.1	218.025	222.275	196.175	222.125	219.825
23	100/25	0.5	0.5	218.025	222.275	196.175	222.125	219.825
24	100/25	0.5	0.9	206.775	222.275	196.175	222.125	219.825
25	100/25	0.9	0.1	218.025	222.275	196.175	222.125	219.825
26	100/25	0.9	0.5	218.025	222.275	196.175	222.125	219.825
27	100/25	0.9	0.9	218.025	222.275	196.175	222.125	219.825

ตารางที่ ก2 แสดงผลการทดลองจากการออกแบบการทดลองของข้อมูลชุดที่ 2

Run	Parameter Setting			Seed	Seed	Seed	Seed	Seed
	HMS/gen	HMCR	PAR	111	222	333	444	555
				meters	meters	meters	meters	meters
1	25/100	0.1	0.1	1408.50	1455.10	1614.30	1451.20	1292.70
2	25/100	0.1	0.5	1362.70	1403.50	1530.00	1482.50	1251.40
3	25/100	0.1	0.9	1265.05	1444.55	1482.50	1376.35	1614.3
4	25/100	0.5	0.1	1250.35	1279.40	1421.95	1347.00	1295.55
5	25/100	0.5	0.5	1296.95	1280.10	1478.95	1282.45	1550.0
6	25/100	0.5	0.9	1348.90	1381.65	1291.45	1263.15	1300.90
7	25/100	0.9	0.1	1319.20	1375.80	1417.55	1301.50	1301.05
8	25/100	0.9	0.5	1294.20	1330.35	1384.0	1293.65	1269.45
9	25/100	0.9	0.9	1515.05	1456.10	1417.55	1454.25	1290.6
10	50/50	0.1	0.1	1272.05	1381.65	1578.50	1279.40	1485.20
11	50/50	0.1	0.5	1352.25	1401.10	1578.50	1428.70	1273.35
12	50/50	0.1	0.9	1380.90	1501.45	1353.50	1375.80	1321.10
13	50/50	0.5	0.1	1349.35	1295.45	1391.20	1664.8	1329.10
14	50/50	0.5	0.5	1210.45	1402.55	1560.05	1345.30	1273.35
15	50/50	0.5	0.9	1362.65	1259.75	1282.45	1652.45	1323.30
16	50/50	0.9	0.1	1339.85	1324.50	1322.40	1652.45	1280.95
17	50/50	0.9	0.5	1313.65	1438.35	1253.20	1277.60	1253.05
18	50/50	0.9	0.9	1455.85	1328.10	1268.10	1487.00	1330.35
19	100/25	0.1	0.1	1440.00	1403.40	1441.70	1456.10	1402.65
20	100/25	0.1	0.5	1451.75	1401.00	1362.65	1491.45	1492.15
21	100/25	0.1	0.9	1474.60	1501.45	1504.45	1480.00	1441.90
22	100/25	0.5	0.1	1485.25	1449.55	1273.20	1396.05	1402.65
23	100/25	0.5	0.5	1346.85	1372.25	1452.00	1293.35	1438.35
24	100/25	0.5	0.9	1299.65	1293.80	1296.70	1491.45	1293.80
25	100/25	0.9	0.1	1280.10	1312.70	1305.90	1491.45	1307.40
26	100/25	0.9	0.5	1280.10	1261.70	1370.30	1313.30	1372.25
27	100/25	0.9	0.9	1280.10	1339.95	1438.35	1357.75	1372.25

ตารางที่ ก3 แสดงผลการทดลองจากการออกแบบการทดลองของข้อมูลชุดที่ 3

Run	Parameter Setting			Seed	Seed	Seed	Seed	Seed
	HMS/gen	HMCR	PAR	111 meters	222 meters	333 meters	444 meters	555 meters
1	25/100	0.1	0.1	1642.65	1533.05	1540.35	1571.75	1585.05
2	25/100	0.1	0.5	1608.45	1533.05	1642.65	1562.55	1580.85
3	25/100	0.1	0.9	1642.65	1533.05	1540.35	1632.75	1567.25
4	25/100	0.5	0.1	1596.05	1515.95	1446.45	1474.45	1460.85
5	25/100	0.5	0.5	1616.25	1463.95	1484.45	1487.05	1493.65
6	25/100	0.5	0.9	1599.75	1457.85	1461.45	1485.05	1468.25
7	25/100	0.9	0.1	1455.85	1533.05	1451.20	1564.35	1534.85
8	25/100	0.9	0.5	1532.25	1485.25	1540.35	1532.85	1547.75
9	25/100	0.9	0.9	1517.95	1533.05	1540.35	1542.05	1524.75
10	50/50	0.1	0.1	1575.15	1599.75	1540.35	1579.85	1508.55
11	50/50	0.1	0.5	1550.65	1533.05	1451.75	1579.85	1583.05
12	50/50	0.1	0.9	1575.15	1533.05	1474.60	1579.85	1546.35
13	50/50	0.5	0.1	1534.65	1496.35	1540.35	1493.15	1475.15
14	50/50	0.5	0.5	1485.75	1485.05	1481.45	1552.45	1492.75
15	50/50	0.5	0.9	1489.75	1518.15	1488.05	1532.05	1468.55
16	50/50	0.9	0.1	1559.15	1533.05	1474.55	1536.55	1606.05
17	50/50	0.9	0.5	1564.45	1515.65	1505.95	1524.55	1508.55
18	50/50	0.9	0.9	1505.75	1533.05	1540.15	1568.15	1606.05
19	100/25	0.1	0.1	1525.45	1575.15	1527.05	1571.55	1601.65
20	100/25	0.1	0.5	1661.65	1533.05	1540.35	1563.15	1534.65
21	100/25	0.1	0.9	1575.15	1616.25	1540.35	1579.85	1594.25
22	100/25	0.5	0.1	1461.85	1482.85	1453.55	1504.15	1481.05
23	100/25	0.5	0.5	1507.85	1485.55	1487.25	1479.05	1466.85
24	100/25	0.5	0.9	1490.05	1495.85	1493.05	1508.45	1492.05
25	100/25	0.9	0.1	1482.75	1533.05	1540.35	1579.85	1463.95
26	100/25	0.9	0.5	1527.55	1661.65	1523.25	1505.85	1567.25
27	100/25	0.9	0.9	1549.15	1533.05	1540.35	1567.05	1536.55

ตารางที่ ก4 แสดงผลการทดลองจากการออกแบบการทดลองของข้อมูลชุดที่ 4

Run	Parameter Setting			Seed	Seed	Seed	Seed	Seed
	HMS/gen	HMCR	PAR	111 meters	222 meters	333 meters	444 meters	555 meters
1	25/100	0.1	0.1	5367.675	5309.775	5448.375	5448.375	5448.625
2	25/100	0.1	0.5	5336.425	5398.775	5458.875	5423.925	5448.625
3	25/100	0.1	0.9	5367.675	5426.775	5479.375	5190.475	5327.125
4	25/100	0.5	0.1	5367.675	5420.075	5459.475	5457.925	5393.825
5	25/100	0.5	0.5	5182.225	5419.975	5423.875	5503.425	5319.075
6	25/100	0.5	0.9	5190.975	5405.375	4889.675	5457.525	4914.325
7	25/100	0.9	0.1	5367.675	5355.775	5201.175	5165.475	4983.275
8	25/100	0.9	0.5	5247.375	5394.125	5228.275	4900.575	4914.325
9	25/100	0.9	0.9	5367.675	5318.325	5524.225	4398.575	5198.525
10	50/50	0.1	0.1	4917.275	5438.475	5182.225	5293.825	5448.625
11	50/50	0.1	0.5	5229.825	5223.425	5011.475	4842.125	4781.175
12	50/50	0.1	0.9	5367.675	5223.425	5201.175	5184.125	5448.625
13	50/50	0.5	0.1	5367.675	4759.275	5420.875	4842.125	5448.625
14	50/50	0.5	0.5	5190.975	5397.775	5428.275	4874.275	5403.425
15	50/50	0.5	0.9	5145.025	5478.375	4900.575	5011.475	5448.625
16	50/50	0.9	0.1	5367.675	5189.325	5380.475	5354.225	5448.625
17	50/50	0.9	0.5	4912.425	5450.825	5430.125	5011.475	5430.125
18	50/50	0.9	0.9	5367.675	5450.825	5345.525	4897.275	5448.625
19	100/25	0.1	0.1	5131.725	5453.675	4912.425	5182.225	5448.625
20	100/25	0.1	0.5	5135.625	5453.675	4912.425	5271.725	5448.625
21	100/25	0.1	0.9	5367.675	5453.675	5145.025	5471.175	4971.875
22	100/25	0.5	0.1	4746.275	5453.675	5089.225	5494.175	4727.475
23	100/25	0.5	0.5	5367.675	5453.675	5190.125	4917.275	4912.425
24	100/25	0.5	0.9	4917.275	5453.675	5011.475	5271.425	5448.625
25	100/25	0.9	0.1	5189.325	5453.675	5476.375	5184.125	4897.275
26	100/25	0.9	0.5	5367.675	5453.675	4980.275	5494.175	5182.225
27	100/25	0.9	0.9	5189.325	5453.675	4908.525	5494.175	5448.625

ตารางที่ ก5 แสดงผลการทดลองของค่าพารามิเตอร์ที่ดีที่สุดที่ได้
จากการออกแบบการทดลองของข้อมูลชุดที่ 1

Seed	HMS/gen	HMCR	PAR	Distance
11	100/25	0.5	0.1	218.025
22	100/25	0.5	0.1	210.675
33	100/25	0.5	0.1	217.475
44	100/25	0.5	0.1	215.225
55	100/25	0.5	0.1	207.625
66	100/25	0.5	0.1	218.525
77	100/25	0.5	0.1	217.175
88	100/25	0.5	0.1	216.025
99	100/25	0.5	0.1	235.875
101	100/25	0.5	0.1	236.525
102	100/25	0.5	0.1	233.775
103	100/25	0.5	0.1	212.875
111	100/25	0.5	0.1	215.025
200	100/25	0.5	0.1	225.775
222	100/25	0.5	0.1	222.275
300	100/25	0.5	0.1	221.775
333	100/25	0.5	0.1	196.175
400	100/25	0.5	0.1	230.875
444	100/25	0.5	0.1	222.125
500	100/25	0.5	0.1	207.775
555	100/25	0.5	0.1	219.825
600	100/25	0.5	0.1	201.355
666	100/25	0.5	0.1	205.525
700	100/25	0.5	0.1	202.425
777	100/25	0.5	0.1	227.825
800	100/25	0.5	0.1	213.575
888	100/25	0.5	0.1	212.125
900	100/25	0.5	0.1	223.575
999	100/25	0.5	0.1	207.875
1010	100/25	0.5	0.1	214.525
Average				217.008

ตารางที่ ก6 แสดงผลการทดลองของค่าพารามิเตอร์ที่ดีที่สุดที่ได้
จากการออกแบบการทดลองของข้อมูลชุดที่ 2

Seed	HMS/gen	HMCR	PAR	Distance
11	25/100	0.9	0.5	1598.60
22	25/100	0.9	0.5	1244.35
33	25/100	0.9	0.5	1436.15
44	25/100	0.9	0.5	1477.40
55	25/100	0.9	0.5	1291.15
66	25/100	0.9	0.5	1455.65
77	25/100	0.9	0.5	1618.05
88	25/100	0.9	0.5	1479.25
99	25/100	0.9	0.5	1418.45
101	25/100	0.9	0.5	1506.05
102	25/100	0.9	0.5	1280.40
103	25/100	0.9	0.5	1511.95
111	25/100	0.9	0.5	1319.20
200	25/100	0.9	0.5	1431.35
222	25/100	0.9	0.5	1375.80
300	25/100	0.9	0.5	1343.55
333	25/100	0.9	0.5	1417.55
400	25/100	0.9	0.5	1253.05
444	25/100	0.9	0.5	1301.50
500	25/100	0.9	0.5	1390.70
555	25/100	0.9	0.5	1301.50
600	25/100	0.9	0.5	1414.95
666	25/100	0.9	0.5	1528.05
700	25/100	0.9	0.5	1461.90
777	25/100	0.9	0.5	1344.45
800	25/100	0.9	0.5	1547.70
888	25/100	0.9	0.5	1542.75
900	25/100	0.9	0.5	1571.10
999	25/100	0.9	0.5	1310.35
1010	25/100	0.9	0.5	1594.75
Average				1425.588

ตารางที่ ก7 แสดงผลการทดลองของค่าพารามิเตอร์ที่ดีที่สุดที่ได้
จากการออกแบบการทดลองของข้อมูลชุดที่ 3

Seed	HMS/gen	HMCR	PAR	Distance
11	50/50	0.5	0.1	1571.05
22	50/50	0.5	0.1	1573.75
33	50/50	0.5	0.1	1550.05
44	50/50	0.5	0.1	1597.35
55	50/50	0.5	0.1	1590.45
66	50/50	0.5	0.1	1580.35
77	50/50	0.5	0.1	1505.15
88	50/50	0.5	0.1	1596.95
99	50/50	0.5	0.1	1547.75
101	50/50	0.5	0.1	1599.65
102	50/50	0.5	0.1	1479.85
103	50/50	0.5	0.1	1540.45
111	50/50	0.5	0.1	1534.65
200	50/50	0.5	0.1	1519.75
222	50/50	0.5	0.1	1496.35
300	50/50	0.5	0.1	1565.75
333	50/50	0.5	0.1	1540.35
400	50/50	0.5	0.1	1550.05
444	50/50	0.5	0.1	1493.15
500	50/50	0.5	0.1	1520.15
555	50/50	0.5	0.1	1475.15
600	50/50	0.5	0.1	1544.85
666	50/50	0.5	0.1	1571.85
700	50/50	0.5	0.1	1509.75
777	50/50	0.5	0.1	1591.05
800	50/50	0.5	0.1	1612.55
888	50/50	0.5	0.1	1610.05
900	50/50	0.5	0.1	1626.55
999	50/50	0.5	0.1	1540.65
1010	50/50	0.5	0.1	1528.75
Average				1552.14

ตารางที่ ก8 แสดงผลการทดลองของค่าพารามิเตอร์ที่ดีที่สุดที่ได้
จากการออกแบบการทดลองของข้อมูลชุดที่ 4

Seed	HMS/gen	HMCR	PAR	Distance
11	100/25	0.5	0.5	5508.075
22	100/25	0.5	0.5	5377.925
33	100/25	0.5	0.5	5468.675
44	100/25	0.5	0.5	5339.375
55	100/25	0.5	0.5	5177.425
66	100/25	0.5	0.5	5285.425
77	100/25	0.5	0.5	5410.425
88	100/25	0.5	0.5	5520.975
99	100/25	0.5	0.5	5260.375
101	100/25	0.5	0.5	5454.175
102	100/25	0.5	0.5	5288.075
103	100/25	0.5	0.5	5475.125
111	100/25	0.5	0.5	5367.675
200	100/25	0.5	0.5	5391.975
222	100/25	0.5	0.5	5453.675
300	100/25	0.5	0.5	5453.475
333	100/25	0.5	0.5	5190.125
400	100/25	0.5	0.5	5361.825
444	100/25	0.5	0.5	4917.275
500	100/25	0.5	0.5	5454.525
555	100/25	0.5	0.5	4912.425
600	100/25	0.5	0.5	5430.025
666	100/25	0.5	0.5	5327.575
700	100/25	0.5	0.5	5428.075
777	100/25	0.5	0.5	5532.175
800	100/25	0.5	0.5	5492.125
888	100/25	0.5	0.5	5464.275
900	100/25	0.5	0.5	5465.525
999	100/25	0.5	0.5	5371.525
1010	100/25	0.5	0.5	5415.275
Average				5366.520