



ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (การจัดการเทคโนโลยีอุตสาหกรรมเกษตร)

ปริญญา

การจัดการเทคโนโลยีอุตสาหกรรมเกษตร

สาขา

เทคโนโลยีอุตสาหกรรมเกษตร

ภาควิชา

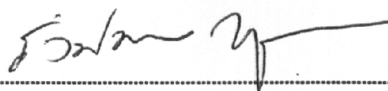
เรื่อง การหาปริมาณสินค้าคงคลังเพื่อความปลอดภัยโดยวิธีการทางฮิวริสติก

Determining Safety Stock Quantities Using Heuristic Optimization

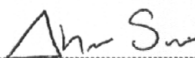
นามผู้วิจัย นางสาวชวรินทร์ สิริบันลือวุฒิ

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

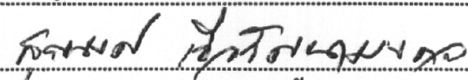
ประธานกรรมการ

()
อาจารย์วิวัฒน์ ฦวิสุข, Ph.D.

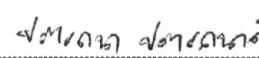
กรรมการ

()
ผู้ช่วยศาสตราจารย์โอม ศรีนิล, Ph.D.

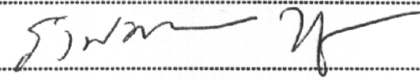
กรรมการ

()
รองศาสตราจารย์สุรพงศ์ เอื้อวัฒนามงคล, ปร.ค.

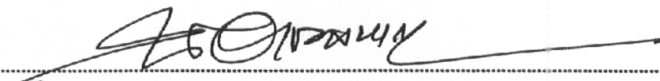
กรรมการ

()
อาจารย์ปรารถนา ปรารถนาดี, Ph.D.

หัวหน้าโครงการจัดตั้งภาควิชา

()
อาจารย์วิวัฒน์ ฦวิสุข, Ph.D.

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

()
รองศาสตราจารย์วินัย อาจคงหาญ, M.A.

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ 3 เดือน เมษายน พ.ศ. 2549

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การหาปริมาณสินค้าคงคลังเพื่อความปลอดภัยโดยวิธีการทางฮิวริสติก

Determining Safety Stock Quantities Using Heuristic Optimization

โดย

นางสาวยุวรินทร์ สิริบันลือวุฒิ

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อขอความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (การจัดการเทคโนโลยีอุตสาหกรรมเกษตร)

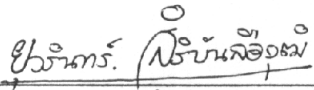
พ.ศ. 2549

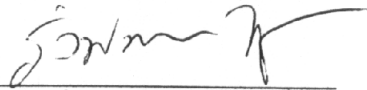
ISBN 974-16-1154-4

ยุวรินทร์ สิริบันลือวุฒิ 2549: การหาปริมาณสินค้าคงคลังเพื่อความปลอดภัยโดยวิธีการทางฮิวริสติก ปรินญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (การจัดการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม เกษตร) สาขาการจัดการเทคโนโลยีอุตสาหกรรมเกษตร ภาควิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรมเกษตร ประธานกรรมการที่ปรึกษา: อาจารย์วิวัฒน์ จวีสุข, Ph.D. 137 หน้า
ISBN 974-16-1154-4

สินค้าคงคลังเพื่อความปลอดภัยมีบทบาทสำคัญต่อการดำเนินธุรกิจในการสำรองสินค้าไว้รองรับความต้องการของผู้บริโภคในสภาวะที่อุปสงค์และอุปทานมีความแปรปรวน ซึ่งส่งผลให้ธุรกิจมีต้นทุนรวมลดลง การหาปริมาณสินค้าคงคลังเพื่อความปลอดภัยที่เหมาะสมจัดเป็นปัญหามหาศาลที่ซับซ้อน ต้องใช้เวลานานในการหาคำตอบหรือไม่อาจหาคำตอบที่เหมาะสมได้ งานวิจัยนี้ศึกษาเปรียบเทียบวิธีการหาปริมาณสินค้าคงคลังเพื่อความปลอดภัย เพื่อให้ได้ต้นทุนรวมในการเก็บรักษาสินค้าคงคลังและต้นทุนเสียโอกาสของธุรกิจต่ำที่สุดในเวลาที่เหมาะสม 3 วิธีคือ วิธีอัลกอริธึมพันธุกรรม วิธีค้นหาตามแบบรูป และวิธีถูกผสมระหว่างอัลกอริธึมพันธุกรรมและการค้นหาตามแบบรูป

ปัญหาด้านปริมาณสินค้าคงคลังเพื่อความปลอดภัยที่ศึกษาในงานวิจัยนี้ กำหนดให้กระบวนการผลิตประกอบด้วย 2 ขั้นตอน ได้แก่ ขั้นตอนการผลิตและขั้นตอนการบรรจุ และจำลองปัญหาเป็น 2 ขนาด คือ ปัญหาขนาดเล็กและปัญหาขนาดใหญ่ ตามจำนวนชนิดของวัตถุดิบเริ่มต้นที่นำมาผลิตและจำนวนชนิดของวัตถุดิบด้านบรรจุภัณฑ์ ผลการวิจัยพบว่าวิธีการทั้ง 3 วิธีสามารถหาคำตอบที่เหมาะสมได้สำหรับปัญหาขนาดเล็ก และวิธีค้นหาตามแบบรูปใช้เวลาเฉลี่ยในการหาคำตอบสั้นที่สุด สำหรับปัญหาขนาดใหญ่นั้นวิธีถูกผสมระหว่างอัลกอริธึมพันธุกรรมและการค้นหาตามแบบรูปเป็นวิธีการที่เหมาะสมที่สุดในการใช้แก้ปัญหา เนื่องจากให้คำตอบต้นทุนรวมที่ต่ำกว่าวิธีอื่น ๆ ในทุกกรณีศึกษา และใช้เวลาเฉลี่ยในการหาคำตอบสูงกว่าวิธีค้นหาตามแบบรูปซึ่งใช้เวลาเฉลี่ยสั้นที่สุดไม่มากนัก


ลายมือชื่อนิติ

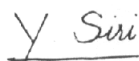

ลายมือชื่อประธานกรรมการ

27 / 5 / 49

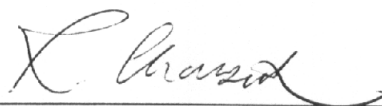
Yuvarind Siribanluowut 2006: Determining Safety Stock Quantities Using Heuristic Optimization. Master of Science (Agro-Industry Technology Management), Major Field: Agro-Industry Technology Management, Department of Agro-Industry Technology. Thesis Advisor: Miss Ravipim Chaveesuk, Ph.D. 137 pages.
ISBN 974-16-1154-4

Safety stock plays an important role in business operation. It is used as a buffer for demand and supply uncertainties to reduce operation costs. Determining safety stock quantities is NP-hard problem and obtaining its solution is either time-consuming or impossible. This research investigated a potential use of three heuristic optimization methods in solving safety stock problem and compared them in terms of solution quality (minimum total costs of inventory carrying costs and opportunity costs) and solution time. These included genetic algorithm, pattern search and hybrid genetic algorithm with pattern search.

In this study, manufacturing process was set to compose of 2 stages: manufacturing and packing. The safety stock problems were simulated into small and large sizes based on number of production raw material and packaging raw material. Results indicated that all heuristic optimization methods could find optimal solutions for all cases in small size problems and pattern search required shortest average solution time. For large size problems, hybrid genetic algorithm with pattern search was superior to pattern search and genetic algorithm since it always provided minimum total costs in all cases studied and its average solution time was slightly higher than pattern search, the shortest average solution time method.



Student's signature



Thesis Advisor's signature

27 / 11 / 44

กิตติกรรมประกาศ

ขอกราบขอบพระคุณ ดร.รวิพิมพ์ ฉวีสุข ประธานกรรมการที่ปรึกษา ผศ.ดร.โอม ศรีนิล
รศ.ดร.สุรพงศ์ เอื้อวัฒนามงคล และ ดร.ปรารธนา ปรารธนาดี กรรมการที่ปรึกษาวิชาเอก ที่กรุณา
ช่วยเหลือในการวางแผนงานวิจัย ตรวจสอบแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จ
ลุล่วงได้ด้วยดี ขอกราบขอบพระคุณ ผศ.ดร.สมหวัง ชันทยานวงศ์ ผู้แทนบัณฑิตวิทยาลัย ที่กรุณา
ให้ความรู้และคำแนะนำต่าง ๆ ที่เป็นประโยชน์ยังต้องงานวิจัยตลอดจนการนำความรู้ต่าง ๆ ไป
ประยุกต์ใช้ และขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่านที่มีได้กล่าวถึงในที่นี้สำหรับความรู้และคำ
อบรมสั่งสอนที่ท่านมอบให้

ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ที่อบรมสั่งสอนและให้การสนับสนุนในด้านการศึกษา
มาโดยตลอด ขอขอบคุณอย่างยิ่งสำหรับน้องชายที่ช่วยเหลือในงานวิจัยครั้งนี้เป็นอย่างดี รวมทั้ง
ขอขอบคุณเพื่อน ๆ ทุกท่านที่คอยให้ความช่วยเหลือ ให้กำลังใจ และสนับสนุนการทำวิทยานิพนธ์
ฉบับนี้ให้สำเร็จได้

ยุวรินทร์ สิริบันลือวุฒิ

กุมภาพันธ์ 2549

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(3)
สารบัญภาพ	(5)
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อที่ใช้	(6)
กํานำ	1
ความสำคัญและที่มาของการวิจัย	1
วัตถุประสงค์ของการวิจัย	3
การตรวจเอกสาร	4
แนวคิดพื้นฐานเกี่ยวกับสินค้าคงคลัง	4
ความหมายของสินค้าคงคลัง	4
บทบาทของสินค้าคงคลัง	4
ประเภทของสินค้าคงคลัง	5
ต้นทุนของสินค้าคงคลัง	7
การจัดการสินค้าคงคลัง	9
รูปแบบการกำหนดปริมาณสินค้าคงคลังสำหรับสินค้าชนิดเดียว หรือกระบวนการผลิตขั้นตอนเดียว (Single Stage)	9
อัลกอริทึมพันธุกรรม	12
วิธีการทำงานของอัลกอริทึมพันธุกรรม	13
การค้นหาค่าตามแบบรูป	19
องค์ประกอบที่สำคัญในกระบวนการหาคำตอบด้วยวิธีค้นหาค่าตามแบบรูป	19
ความถูกต้องของกระบวนการค้นหาค่าตามแบบรูป	22
วิธีผูกผสมระหว่างอัลกอริทึมพันธุกรรมและการค้นหาค่าตามแบบรูป	27
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	28
อุปกรณ์และวิธีการ	31
วัสดุและอุปกรณ์	31
วิธีการดำเนินการวิจัย	31

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
การสร้างแบบจำลองสายการผลิตที่ใช้ในการวิจัย	32
การกำหนดตัวแปรที่ใช้ในการศึกษาและฟังก์ชันที่ใช้วัด	
ค่าความเหมาะสม (Fitness Function)	33
การกำหนดโครโมโซมที่ใช้ศึกษา	38
การเตรียมข้อมูล	39
การแก้ปัญหาปริมาณสินค้าคงคลังเพื่อความปลอดภัย	40
ตัวอย่างการหาคำตอบด้วยวิธีค้นหาตามแบบรูป	42
ผลการวิจัยและวิจารณ์	50
ปัญหาขนาดเล็ก	50
ปัญหาขนาดใหญ่	54
สรุป	61
ข้อเสนอแนะ	63
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	64
ภาคผนวก	67
ภาคผนวก ก ข้อมูลที่นำมาใช้ทำการวิจัย	68
ภาคผนวก ข การเขียนโปรแกรมที่ใช้ในการทดลอง	92
ภาคผนวก ค คำตอบของวิธีอัลกอริทึมพันธุกรรม	112

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	การเปรียบเทียบต้นทุนรวมและเวลาที่ใช้ในการหาคำตอบ สำหรับปัญหามิติขนาดเล็ก	51
2	การเปรียบเทียบเวลาเฉลี่ยที่ใช้หาคำตอบสำหรับปัญหามิติเล็ก	54
3	การเปรียบเทียบต้นทุนรวมและเวลาที่ใช้ในการหาคำตอบ สำหรับปัญหามิติใหญ่	56
4	การเปรียบเทียบเวลาเฉลี่ยที่ใช้หาคำตอบสำหรับปัญหามิติใหญ่	60
 ตารางผนวกที่		
ก1	ข้อมูลของปัญหาที่มีจำนวนวัตถุ 1 ชนิด ($r=1$)	69
ก2	ข้อมูลของปัญหาที่มีจำนวนวัตถุ 2 ชนิด ($r=2$)	70
ก3	ข้อมูลของปัญหาที่มีจำนวนวัตถุ 3 ชนิด ($r=3$)	71
ก4	ข้อมูลของปัญหาที่มีจำนวนวัตถุ 1 ชนิดพร้อมกับวัตถุในด้านบรรทัด 1 ชนิด ($r=1, p=1$)	72
ก5	ข้อมูลของปัญหาที่มีจำนวนวัตถุ 2 ชนิดพร้อมกับวัตถุในด้านบรรทัด 1 ชนิด ($r=2, p=1$)	73
ก6	ข้อมูลของปัญหาที่มีจำนวนวัตถุ 3 ชนิดพร้อมกับวัตถุในด้านบรรทัด 1 ชนิด ($r=3, p=1$)	74
ก7	ข้อมูลของปัญหาที่มีจำนวนวัตถุ 3 ชนิดพร้อมกับวัตถุในด้านบรรทัด 2 ชนิด ($r=3, p=2$)	75
ก8	ข้อมูลของปัญหาที่มีจำนวนวัตถุ 7 ชนิดพร้อมกับวัตถุในด้านบรรทัด 1 ชนิด ($r=7, p=1$)	76
ก9	ข้อมูลของปัญหาที่มีจำนวนวัตถุ 7 ชนิดพร้อมกับวัตถุในด้านบรรทัด 2 ชนิด ($r=7, p=2$)	78
ก10	ข้อมูลของปัญหาที่มีจำนวนวัตถุ 12 ชนิดพร้อมกับวัตถุในด้านบรรทัด 1 ชนิด ($r=12, p=1$)	80
ก11	ข้อมูลของปัญหาที่มีจำนวนวัตถุ 12 ชนิดพร้อมกับวัตถุในด้านบรรทัด 2 ชนิด ($r=12, p=2$)	83

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่		หน้า
ก12	ข้อมูลของปัญหาที่มีจำนวนวัตถุสิบ 15 ชนิดพร้อมกับวัตถุสิบด้านบรรจุภัณฑ์ 1 ชนิด ($r=15, p=1$)	86
ก13	ข้อมูลของปัญหาที่มีจำนวนวัตถุสิบ 15 ชนิดพร้อมกับวัตถุสิบด้านบรรจุภัณฑ์ 2 ชนิด ($r=15, p=2$)	89
ค1	คำตอบของปัญหาที่มีจำนวนวัตถุสิบ 1 ชนิด ($r=1$)	113
ค2	คำตอบของปัญหาที่มีจำนวนวัตถุสิบ 2 ชนิด ($r=2$)	112
ค3	คำตอบของปัญหาที่มีจำนวนวัตถุสิบ 3 ชนิด ($r=3$)	113
ค4	คำตอบของปัญหาที่มีจำนวนวัตถุสิบ 1 ชนิดพร้อมกับวัตถุสิบด้านบรรจุภัณฑ์ 1 ชนิด ($r=1, p=1$)	115
ค5	คำตอบของปัญหาที่มีจำนวนวัตถุสิบ 2 ชนิดพร้อมกับวัตถุสิบด้านบรรจุภัณฑ์ 1 ชนิด ($r=2, p=1$)	117
ค6	คำตอบของปัญหาที่มีจำนวนวัตถุสิบ 3 ชนิดพร้อมกับวัตถุสิบด้านบรรจุภัณฑ์ 1 ชนิด ($r=3, p=1$)	119
ค7	คำตอบของปัญหาที่มีจำนวนวัตถุสิบ 3 ชนิดพร้อมกับวัตถุสิบด้านบรรจุภัณฑ์ 2 ชนิด ($r=3, p=2$)	121
ค8	คำตอบของปัญหาที่มีจำนวนวัตถุสิบ 7 ชนิดพร้อมกับวัตถุสิบด้านบรรจุภัณฑ์ 1 ชนิด ($r=7, p=1$)	123
ค9	คำตอบของปัญหาที่มีจำนวนวัตถุสิบ 7 ชนิดพร้อมกับวัตถุสิบด้านบรรจุภัณฑ์ 2 ชนิด ($r=3, p=2$)	125
ค10	คำตอบของปัญหาที่มีจำนวนวัตถุสิบ 12 ชนิดพร้อมกับวัตถุสิบด้านบรรจุภัณฑ์ 1 ชนิด ($r=12, p=1$)	127
ค11	คำตอบของปัญหาที่มีจำนวนวัตถุสิบ 12 ชนิดพร้อมกับวัตถุสิบด้านบรรจุภัณฑ์ 2 ชนิด ($r=12, p=2$)	129
ค12	คำตอบของปัญหาที่มีจำนวนวัตถุสิบ 15 ชนิดพร้อมกับวัตถุสิบด้านบรรจุภัณฑ์ 1 ชนิด ($r=15, p=1$)	131
ค13	คำตอบของปัญหาที่มีจำนวนวัตถุสิบ 15 ชนิดพร้อมกับวัตถุสิบด้านบรรจุภัณฑ์ 2 ชนิด ($r=15, p=2$)	133

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	สินค้าคงคลังในเหตุการณ์ที่อุปสงค์คงที่	10
2	สินค้าคงคลังภายใต้เหตุการณ์ที่ยอมให้สินค้าขาดมือ	11
3	โครโมโซมของประชากรเริ่มต้นและค่าความเหมาะสมตามสัดส่วน บนวงล้อรูเล็ต	15
4	การตัดไขว้ของโครโมโซม	16
5	ขั้นตอนการทำงานของอัลกอริธึมพันธุกรรม	18
6	รูปแบบเวกเตอร์ที่มากที่สุดและน้อยที่สุดในการหา ขอบเขตชุดคำตอบรอบต่อไป	20
7	การย้ายจุดคำตอบที่ประสบความสำเร็จในรอบการหาคำตอบที่ 1	24
8	การย้ายจุดคำตอบที่ประสบความสำเร็จในรอบการหาคำตอบที่ 2	25
9	การย้ายจุดคำตอบที่ไม่ประสบความสำเร็จในรอบการหาคำตอบที่ 4	27
10	ตัวอย่างกระบวนการผลิตที่ใช้ทำการทดลอง	29
11	แบบจำลองสายการผลิตที่ใช้ทำการวิจัย	32
12	โครโมโซมที่ใช้ทำการวิจัย	38

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อที่ใช้

EN	=	Enumeration
GA	=	Genetic Algorithm
HY	=	Hybrid Genetic Algorithm with Pattern Search
PS	=	Pattern Search
EOQ	=	ขนาดการสั่งซื้อต่อครั้งที่ประหยัด (Q^*)
D	=	อุปสงค์หรือความต้องการสินค้าต่อปี (หน่วย)
O	=	ต้นทุนการสั่งซื้อ หรือต้นทุนการตั้งเครื่องจักรใหม่ต่อครั้ง (บาท)
H	=	ต้นทุนการเก็บรักษาต่อหน่วยต่อปี (บาท)
C	=	ราคาสินค้าต่อหน่วย (บาท)
Q	=	ปริมาณการสั่งซื้อต่อครั้ง (หน่วย)
TC	=	ต้นทุนสินค้าคงคลังโดยรวม (บาท)
L	=	เวลานำ (วัน/ชั่วโมง/นาฬิกา)
T	=	ระยะเวลาของสินค้าคงคลัง
T1	=	ระยะเวลาช่วงที่มีสินค้าขาย
T2	=	ระยะเวลาช่วงที่สินค้าขาดมือ
Q-S	=	ระดับสินค้าคงคลังสูงสุด
S	=	ระดับสินค้าคงคลังเพื่อความปลอดภัย
Q^*	=	ขนาดการสั่งซื้อที่ประหยัด
S^*	=	ระดับของสินค้าขาดมือที่ประหยัด
B	=	ต้นทุนสินค้าขาดมือต่อหน่วยต่อปี
P_c	=	ความน่าจะเป็นของการตัดไซส์
P_m	=	ความน่าจะเป็นของการกลายพันธุ์
x	=	โครโมโซม
Δ^m	=	ระยะห่างระหว่างจุดคำตอบเดิมและจุดคำตอบใหม่
x_i	=	จุดคำตอบใหม่
x_{i-1}	=	จุดคำตอบเดิม
d_i	=	ความห่าง (ทั้งขนาดและทิศทาง) ระหว่างจุดคำตอบเดิมกับจุดคำตอบใหม่
r	=	จำนวนชนิดของวัตถุดิบเริ่มต้นที่นำมาผลิต

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อที่ใช้ (ต่อ)

p	=	จำนวนชนิดของวัตถุดิบด้านบรรจุภัณฑ์ในส่วนการบรรจุ
q_i	=	ปริมาณวัตถุดิบชนิดที่ i ที่ได้รับการสั่งซื้อ
q_i^*	=	ปริมาณวัตถุดิบชนิดที่ i ที่ถูกสั่งซื้อแล้วผู้ขายจัดส่งตรงเวลา
p_i	=	สัดส่วนของปริมาณวัตถุดิบชนิดที่ i ที่ถูกสั่งซื้อแล้วผู้ขายแต่ละรายมาส่งของตรงเวลา กับปริมาณทั้งหมดของวัตถุดิบชนิดดังกล่าวที่สั่งซื้อ
x_i	=	ปริมาณสินค้าคงคลังเพื่อความปลอดภัยของวัตถุดิบชนิดที่ i
k_i	=	ความสามารถในการส่งมอบวัตถุดิบไปยังกระบวนการผลิตขั้นที่ 1 ของวัตถุดิบชนิดที่ i
c_i	=	ต้นทุนต่อหน่วยในการเก็บรักษาวัตถุดิบชนิดที่ i
C_i	=	ต้นทุนการเก็บรักษาวัตถุดิบคงคลังชนิดที่ i ในช่วงเวลาที่พิจารณา
q_h^s	=	ปริมาณวัตถุดิบด้านบรรจุภัณฑ์ชนิดที่ h ที่ได้รับการสั่งซื้อ
q_h^{s*}	=	ปริมาณวัตถุดิบด้านบรรจุภัณฑ์ชนิดที่ h ที่ถูกสั่งซื้อแล้วผู้ขายจัดส่งตรงเวลา
p_h^s	=	สัดส่วนของปริมาณวัตถุดิบด้านบรรจุภัณฑ์ชนิดที่ h ที่ถูกสั่งซื้อแล้วผู้ขายแต่ละรายมาส่งของตรงเวลา กับปริมาณทั้งหมดของวัตถุดิบด้านบรรจุภัณฑ์ชนิดดังกล่าวที่สั่งซื้อ
x_h^s	=	ปริมาณสินค้าคงคลังเพื่อความปลอดภัยของวัตถุดิบด้านบรรจุภัณฑ์ชนิดที่ h
k_h^s	=	ความสามารถในการส่งมอบวัตถุดิบด้านบรรจุภัณฑ์ไปยังกระบวนการผลิตขั้นที่ 2 ของวัตถุดิบด้านบรรจุภัณฑ์ชนิดที่ h
c_h^s	=	ต้นทุนต่อหน่วยในการเก็บรักษาวัตถุดิบด้านบรรจุภัณฑ์ชนิดที่ h
C_h^s	=	ต้นทุนการเก็บรักษาวัตถุดิบคงคลังด้านบรรจุภัณฑ์ชนิดที่ h ในช่วงเวลาที่พิจารณา
q_{wip}	=	ปริมาณวัสดุคงคลังระหว่างกระบวนการผลิตที่วางแผนผลิตไว้
q_{wip}^*	=	ปริมาณวัสดุคงคลังระหว่างกระบวนการผลิตที่ผลิตทันตามแผนการผลิต
p_{m1}	=	สัดส่วนของปริมาณวัสดุคงคลังระหว่างกระบวนการผลิตที่ผลิตทันตามแผนการผลิต กับปริมาณวัสดุคงคลังระหว่างกระบวนการผลิตที่วางแผนไว้ทั้งหมด

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อที่ใช้ (ต่อ)

x_{WIP}	=	ปริมาณสินค้าคงคลังเพื่อความปลอดภัยของวัสดุคงคลังระหว่างกระบวนการผลิต
k_{WIP}	=	ความสามารถในการส่งมอบวัสดุคงคลังระหว่างกระบวนการผลิตไปยังกระบวนการผลิตขั้นที่ 2
c_{WIP}	=	ต้นทุนต่อหน่วยในการเก็บรักษาวัสดุคงคลังระหว่างกระบวนการผลิต
C_{WIP}	=	ต้นทุนการเก็บรักษาวัสดุคงคลังระหว่างกระบวนการผลิตทั้งหมดในช่วงเวลาที่พิจารณา
q_p^*	=	ปริมาณสินค้าสำเร็จรูปที่ผลิตได้ทันเวลา
p_{m2}	=	สัดส่วนของปริมาณสินค้าสำเร็จรูปที่ผลิตได้ทันเวลา กับปริมาณสินค้าสำเร็จรูปทั้งหมดที่ถูกคำสั่งซื้อ
x_p	=	ปริมาณสินค้าคงคลังเพื่อความปลอดภัยของสินค้าสำเร็จรูป
k_p	=	ความสามารถในการส่งมอบสินค้าสำเร็จรูปไปยังลูกค้า
c_p	=	ต้นทุนต่อหน่วยในการเก็บรักษาสินค้าสำเร็จรูป
C_p	=	ต้นทุนการเก็บรักษาสินค้าสำเร็จรูปทั้งหมดในช่วงเวลาที่พิจารณา
c_o	=	ต้นทุนเสียโอกาสต่อหน่วยของสินค้าสำเร็จรูปที่ไม่สามารถผลิตให้ลูกค้าได้ทันเวลา
C_o	=	ต้นทุนเสียโอกาสทั้งหมดในช่วงเวลาที่พิจารณา
$Minimize C$	=	ต้นทุนรวมในการเก็บรักษาสินค้าคงคลังและต้นทุนเสียโอกาสที่ต่ำที่สุด

การหาปริมาณสินค้าคงคลังเพื่อความปลอดภัยโดยวิธีการทางฮิวริสติก

Determining Safety Stock Quantities Using Heuristic Optimization

คำนำ

ความสำคัญและที่มาของการวิจัย

สินค้าคงคลังเพื่อความปลอดภัย (Safety Stock) เป็นหนทางหนึ่งที่จะช่วยเตรียมความพร้อมในห่วงโซ่อุปทาน ช่วยให้ธุรกิจมีสินค้าไว้รองรับความต้องการของลูกค้าได้ เนื่องจากการพยากรณ์อุปสงค์โดยปกติแล้วมีความคลาดเคลื่อนอยู่เสมอ ซึ่งอาจก่อให้เกิดการขาดสินค้าได้ในกรณีที่อุปสงค์จริงมีปริมาณมากกว่าอุปสงค์ที่พยากรณ์ไว้ในช่วงเวลาที่กำหนด หรือในกรณีที่สถานะอุปทานมีความแปรปรวน ดังนั้นปริมาณสินค้าคงคลังที่เหมาะสมจึงเป็นสิ่งสำคัญที่ธุรกิจจะต้องคำนึงถึง เนื่องจากการมีสินค้าคงคลังในปริมาณที่น้อยเกินไปจะทำให้มีสินค้าไม่พอเพียงกับความต้องการของลูกค้า ส่งผลให้ขาดโอกาสในการได้กำไรจากการซื้อของลูกค้าหรือที่เรียกว่าต้นทุนเสียโอกาส และอาจส่งผลเสียต่อภาพลักษณ์ของธุรกิจทำให้ความน่าเชื่อถือของธุรกิจลดลง ในทางตรงกันข้าม การมีสินค้าคงคลังในปริมาณมากเกินไป จะทำให้ต้นทุนในการเก็บรักษาส่งขึ้น ซึ่งสิ่งเหล่านี้ส่งผลกระทบต่อต้นทุนรวมของธุรกิจที่สูงขึ้นทั้งสิ้น

ปัญหาที่เกี่ยวข้องกับการจัดสรรทรัพยากรที่มีอยู่อย่างจำกัดเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด เช่น การหาปริมาณสินค้าคงคลังเพื่อความปลอดภัยที่เหมาะสม การจัดตารางเวลาหรือเส้นทางการเดินรถ เป็นต้น จัดเป็นปัญหาที่มีความซับซ้อนยุ่งยาก หรือเป็นปัญหาขนาดใหญ่ที่มีตัวแปรที่เกี่ยวข้องหลายตัว (NP-Hard Problem) ไม่สามารถใช้วิธีการคำนวณทางคณิตศาสตร์ธรรมดา เช่น วิธีซิมเพล็กซ์ (Simplex Method) วิธีหาอนุพันธ์อันดับสอง เป็นต้น ในการแก้ปัญหาได้ หรืออาจต้องใช้เวลานานในการแก้ปัญหา งานวิจัยนี้จึงนำเสนอวิธีการที่ใช้หาคำตอบที่เหมาะสม (Global Optimal Solution) หรือคำตอบที่ใกล้เคียงคำตอบที่เหมาะสม (Near Optimal Solution) 3 วิธีคือ วิธีอัลกอริทึมพันธุกรรม (Genetic Algorithm หรือ GA) วิธีค้นหาตามแบบรูป (Pattern Search) และวิธีลูกผสมระหว่างอัลกอริทึมพันธุกรรมและการค้นหาตามแบบรูป (Hybrid Genetic Algorithm with

Pattern Search) มาใช้ในการหาปริมาณสินค้าคงคลังเพื่อความปลอดภัยที่เหมาะสม เพื่อให้ได้
ต้นทุนรวมในการเก็บรักษาสินค้าคงคลังและต้นทุนเสียโอกาสของธุรกิจต่ำที่สุด

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. ศึกษาความเป็นไปได้ในการนำวิธีอัลกอริธึมพันธุกรรม (Genetic Algorithm หรือ GA) วิธีค้นหาตามแบบรูป (Pattern Search) และวิธีลูกผสมระหว่างอัลกอริธึมพันธุกรรมและการค้นหาตามแบบรูป (Hybrid Genetic Algorithm with Pattern Search) มาใช้ในการหาปริมาณสินค้าคงคลังเพื่อความปลอดภัย เพื่อให้ได้ต้นทุนรวมในการเก็บรักษาสินค้าคงคลังและต้นทุนเสียโอกาสของธุรกิจต่ำที่สุด สำหรับธุรกิจอุตสาหกรรมเกษตรที่มีลักษณะการผลิตหลายขั้นตอน
2. เพื่อศึกษาเปรียบเทียบผลการใช้วิธีทางอัลกอริธึมพันธุกรรม (Genetic Algorithm หรือ GA) วิธีค้นหาตามแบบรูป (Pattern Search) และวิธีลูกผสมระหว่างอัลกอริธึมพันธุกรรมและการค้นหาตามแบบรูป (Hybrid Genetic Algorithm with Pattern Search) ในการแก้ปัญหาการจัดการสินค้าคงคลัง

การตรวจเอกสาร

แนวคิดพื้นฐานเกี่ยวกับสินค้าคงคลัง

ความหมายของสินค้าคงคลัง

สินค้าคงคลัง หมายถึง วัสดุที่เก็บในพื้นที่คลังสินค้า หรือวัสดุคงคลังระหว่างกระบวนการผลิตที่รอจำหน่ายไปยังกระบวนการผลิตเพื่อทำการผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ และกระจายไปยังผู้บริโภคต่อไป สินค้าคงคลังอาจประกอบไปด้วยสินค้าสำเร็จรูปที่พร้อมขายให้กับผู้บริโภคขั้นสุดท้าย วัสดุงาน หรือสินค้าระหว่างกระบวนการผลิต รวมถึงวัตถุดิบสำหรับการใช้ในการผลิต (Fogarty *et al.*, 1991)

บทบาทของสินค้าคงคลัง

โกศล (2547) สภาวะการแข่งขันทางธุรกิจในปัจจุบันเป็นแรงกดดันให้ธุรกิจทำการปรับปรุงประสิทธิภาพการดำเนินงาน ปัจจัยที่สำคัญต่อศักยภาพในการแข่งขัน คือ ต้นทุนที่ต่ำกว่า คุณภาพที่เหนือกว่า และการส่งมอบที่ตรงเวลา เพื่อสร้างความพึงพอใจให้กับลูกค้าสูงสุด โดยมีสินค้าคงคลังเป็นองค์ประกอบและมีบทบาทสำคัญต่อปัจจัยดังกล่าว สินค้าคงคลังครอบคลุมกิจกรรมตลอดทั้งห่วงโซ่อุปทาน กล่าวคือตั้งแต่วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตจนออกมาเป็นผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปจนถึงมือผู้บริโภคขั้นสุดท้าย แต่ปริมาณสินค้าคงคลังเพื่อความปลอดภัยที่เหมาะสมเป็นสิ่งที่ยากต่อการคาดการณ์ เนื่องจากความไม่แน่นอนของอุปสงค์ อุปทาน และระยะเวลาในการจัดเตรียมหรือช่วงเวลานำ (Lead Time) เพื่อให้พร้อมต่อความต้องการ ดังนั้นการควบคุมสินค้าคงคลังเพื่อความปลอดภัยจึงมีความสำคัญสำหรับการดำเนินธุรกิจให้มีประสิทธิภาพ เนื่องจากถ้าไม่มีการควบคุมและการวางแผนการจัดการสินค้าคงคลังที่ดีอาจก่อให้เกิดปัญหาดังต่อไปนี้

- เกิดความไม่คุ้มค่าในปริมาณการสั่งซื้อที่เพียงพอกับความต้องการหรือขนาดการสั่งซื้อที่ประหยัด
- ค่าใช้จ่ายของการจัดเก็บและการดูแลรักษาสูง
- สินค้าคงคลังที่เก็บไว้เสื่อมสภาพและล้าสมัย
- เกิดความยุ่งยากในการตัดสินใจกำหนดระดับสินค้าคงคลังที่เหมาะสม

- ระยะเวลาการจัดหา จัดซื้อ และเวลาในการผลิตมีความผันผวนไม่แน่นอน อาจทำให้การสำรองสินค้าคงคลังไม่เพียงพอกับความต้องการ ซึ่งจะส่งผลให้เกิดความสูญเสียดังต่อไปนี้

1. สูญเสียเงินชดเชยให้กับลูกค้าหรือคู่กรณี เนื่องจากสินค้าไม่เพียงพอกับการส่งมอบ
2. สูญเสียโอกาสในการทำกำไรจากการขายสินค้า
3. สูญเสียภาพพจน์และความน่าเชื่อถือในทางการค้า
4. เสียค่าใช้จ่ายมากขึ้นจากการหาวัสดุทดแทน หากไม่สามารถจัดเตรียมวัสดุได้ทันความต้องการ

ประเภทของสินค้าคงคลัง

กมลชนก (2546) สินค้าคงคลังแบ่งเป็น 6 ประเภท ดังนี้

1. สินค้าที่เก็บตามรอบ (Cycle Stock)

เป็นสินค้าที่มีไว้เติมสินค้าที่ขายไป หรือที่ใช้ไปในการผลิต ซึ่งสินค้าประเภทนี้จะเก็บไว้เพื่อตอบสนองความต้องการสินค้าภายใต้เงื่อนไขที่มีความแน่นอน กล่าวคือ อยู่ภายใต้สมมติฐานที่ว่าความต้องการสินค้าและการสั่งคงที่และทราบล่วงหน้า ซึ่งจะต้องสามารถพยากรณ์ความต้องการสินค้าได้และมีระยะเวลานำของการสั่งซื้อที่แน่นอน เนื่องจากการกำหนดไว้แล้วว่าความต้องการสินค้าและเวลานำคงที่และทราบล่วงหน้า ดังนั้นการกำหนดวันให้สินค้าในแต่ละรอบมาถึงจะตรงกับเวลาที่สินค้าขึ้นสุดท้ายหมดพอดี ซึ่งปริมาณสินค้าคงคลังสูงสุดจะไม่เกินปริมาณที่สั่งซื้อไปในแต่ละครั้ง และปริมาณสินค้าคงคลังเฉลี่ยจะเท่ากับครึ่งหนึ่งของปริมาณสินค้าที่สั่งซื้อ

2. สินค้าคงคลังระหว่างทาง (In-Transit Inventories)

เป็นสินค้าที่อยู่ระหว่างการลำเลียงจากสถานที่หนึ่งไปยังอีกสถานที่หนึ่ง ซึ่งสินค้าเหล่านี้ถือเป็นส่วนหนึ่งของสินค้าเก็บตามรอบ ในการคำนวณต้นทุนการเก็บรักษาสินค้าคงคลังต้นทุนควรจะรวมต้นทุนของสินค้าคงคลังระหว่างทางไว้ด้วยเนื่องจากสินค้าเหล่านี้ยังไม่สามารถขายหรือนำไปใช้ที่จุดหมายปลายทางได้

3. สินค้าคงคลังเพื่อความปลอดภัยหรือสินค้ากันชน (Safety or Buffer Stock)

โดยทั่วไปสินค้าคงคลังเพื่อความปลอดภัยหมายถึงสินค้าจำนวนหนึ่งที่เก็บไว้เพื่อป้องกันความแปรปรวนของอุปสงค์และอุปทาน ส่วนในแง่ของการวางแผนการผลิตหลัก (Master Production Scheduling) สินค้าคงคลังเพื่อความปลอดภัยจะหมายถึงสินค้าและ/หรือแผนการผลิตที่เกินจากจำนวนสินค้าที่เก็บไว้ตามรอบปกติหรือแผนการผลิตปกติ เพื่อป้องกันการพยากรณ์ที่คลาดเคลื่อนและ/หรือการเปลี่ยนแปลงที่อาจเกิดขึ้นอย่างฉับพลันของสินค้าค้างส่ง (Backlog) (Fogarty *et al.*, 1991) ซึ่งหากมีการเก็บสินค้าคงคลังเพื่อความปลอดภัยแล้ว ปริมาณสินค้าคงคลังโดยเฉลี่ยจะเท่ากับครึ่งหนึ่งของปริมาณการสั่งซื้อตามปกติบวกกับปริมาณสินค้าปลอดภัย

ตัวอย่างเช่น สมมติให้การพยากรณ์ความต้องการสินค้าเท่ากับ 20 หน่วยต่อวัน และเวลานำในการส่งสินค้าเท่ากับ 10 วัน ระดับเฉลี่ยของสินค้าคงคลังเท่ากับ 100 หน่วย แต่ถ้าความต้องการจริงของสินค้าเป็น 25 หน่วยต่อวัน แทนที่จะเป็น 20 หน่วยต่อวันตามที่พยากรณ์ไว้ สิ่งที่เกิดขึ้นคือสินค้าที่ส่งเข้ามาขาย 200 หน่วยจะหมดลงในวันที่ 8 (200 หน่วย / 25 หน่วยต่อวัน) ในขณะที่สินค้าที่สั่งซื้อครั้งใหม่จะมาถึงในวันที่ 10 ดังนั้นถ้าผู้บริหารคาดว่าความต้องการสินค้าที่เกิดขึ้นจริงในแต่ละวันผันแปรบวกลบได้ไม่เกิน 5 หน่วยต่อวัน ปริมาณสินค้าคงคลังเพื่อความปลอดภัยที่ควรมีจะเท่ากับ 50 หน่วย (5 หน่วย x 10 วัน) และปริมาณสินค้าคงคลังโดยเฉลี่ยจะเท่ากับ 150 หน่วย (ปริมาณสินค้าคงคลังเฉลี่ยเดิม 100 หน่วย บวกกับปริมาณสินค้าปลอดภัย 50 หน่วย)

สมมติให้สถานการณ์เปลี่ยนไปโดยความต้องการสินค้ามีค่าคงที่ 20 หน่วยต่อวัน เช่นเดิม แต่เวลานำแปรผันไปบวกลบ 2 วัน ในกรณีที่สินค้าส่งมาเร็วกว่ากำหนด 2 วัน จะทำให้สินค้าคงคลังในวันที่ได้รับสินค้ามีจำนวน 240 หน่วย หรือเท่ากับสินค้าที่มีทั้งหมด 12 วัน (คำนวณจากยอดขาย 10 วัน วันละ 20 หน่วย และเมื่อสินค้าสต็อกใหม่มาส่งจะยังมีสินค้าสต็อกเก่าเหลืออยู่อีก 40 หน่วย) ในทางตรงกันข้ามถ้าสินค้าสต็อกใหม่มาส่งช้าไป 2 วัน ดังนั้นในวันที่ 11 และ 12 จะเกิดสินค้าขาดมือจำนวนทั้งหมด 40 หน่วย ในกรณีที่ผู้บริหารบริษัทเชื่อว่าสินค้าจะส่งช้าได้ไม่เกิน 2 วัน จำนวนสินค้าปลอดภัยจะเท่ากับ 40 หน่วย ทำให้ยอดสินค้าคงคลังโดยเฉลี่ยเท่ากับ 140 หน่วย (ยอดสินค้าคงคลังเฉลี่ยเดิมเท่ากับ 100 หน่วย บวกกับยอดสินค้าปลอดภัยอีก 40 หน่วย)

4. สินค้าที่เก็บไว้เพื่อทำกำไร (Speculative Stock)

เป็นการสำรองสินค้าคงคลังเผื่อไว้ โดยมีวัตถุประสงค์ในการเก็บมากกว่าเพียงแค่การเตรียมไว้รองรับความต้องการในปัจจุบัน เช่น การสั่งซื้อวัตถุดิบจำนวนมากกว่าปกติเนื่องจากมีการพยากรณ์ว่าวัตถุดิบจะมีราคาสูงขึ้นหรือเกิดสภาวะขาดแคลนในอนาคต หรือกรณีที่มั่นใจว่าผู้จำหน่ายวัตถุดิบจะเกิดปัญหาในการดำเนินการกิจการ เช่น คนงานประท้วง เป็นต้น

5. สินค้าที่เก็บไว้ตามฤดูกาล (Seasonal Stock)

เป็นรูปแบบหนึ่งของสินค้าที่เก็บไว้เพื่อเก็งกำไร โดยเป็นการสะสมสินค้าคงคลังไว้จำนวนหนึ่งก่อนที่ฤดูกาลของการขายสินค้าจะมาถึง สินค้าประเภทนี้ส่วนใหญ่จะเป็นผลผลิตทางการเกษตร นอกจากนี้สินค้าที่เกี่ยวกับแฟชั่น ก็จัดเป็นส่วนหนึ่งของสินค้าตามฤดูกาลเช่นกัน โดยธุรกิจอาจมีการเก็บสินค้าที่ผลิตแล้วไว้ยังไม่นำออกสู่ตลาด เพื่อรองรับความต้องการของลูกค้าในแต่ละฤดูกาลที่จะมาถึง

6. สินค้าไม่เคลื่อนไหว (Dead Stock)

เป็นสินค้าที่กิจการเก็บไว้เนื่องจากไม่มีความต้องการสินค้านั้น ๆ เกิดขึ้นในช่วงเวลาใดเวลาหนึ่ง อาจเป็นสินค้าล้าสมัย เสื่อมสภาพ หรือเป็นสินค้าตกค้างอยู่ในคลังสินค้า ซึ่งอาจแก้ปัญหาโดยการนำมาขายลดราคา

ต้นทุนของสินค้าคงคลัง

คำนาย (2546) ต้นทุนของสินค้าคงคลังแบ่งออกเป็น 4 ประเภทดังนี้

1. ต้นทุนในการสั่งซื้อ (Ordering Cost)

เป็นค่าใช้จ่ายที่ต้องจ่ายในขั้นตอนการสั่งซื้อสินค้า ซึ่งขึ้นอยู่กับจำนวนครั้งของการสั่งซื้อแต่ไม่ขึ้นกับปริมาณสินค้าที่สั่ง ถ้าสั่งซื้อบ่อยค่าใช้จ่ายส่วนนี้จะสูงขึ้น ค่าใช้จ่ายในการสั่งซื้อ เช่น ค่าเอกสารใบสั่งซื้อ ค่าพนักงานจัดซื้อ ค่าโทรศัพท์ ค่าขนส่งสินค้า ค่าใช้จ่ายในการตรวจรับของและเอกสาร ค่าธรรมเนียมการนำของออกจากศุลกากร ค่าใช้จ่ายในการชำระเงิน เป็นต้น

2. ต้นทุนในการเก็บรักษา (Carrying Cost)

เป็นค่าใช้จ่ายในการเก็บและรักษาสภาพสินค้าคงคลังให้อยู่ในสภาพที่ใช้งานได้ ซึ่งจะขึ้นกับปริมาณสินค้าคงคลังและระยะเวลาที่เก็บสินค้าคงคลัง ค่าใช้จ่ายในการเก็บรักษา เช่น ต้นทุนสินค้าคงคลังซึ่งอยู่ในรูปดอกเบี้ยจ่าย ค่าเสียโอกาสทางธุรกิจจากเงินกู้ ค่าเช่าคลังสินค้า ค่าไฟฟ้า ค่าใช้จ่ายของสินค้าที่ชำรุดเสียหายหรือสินค้าที่หมดอายุและเสื่อมสภาพจากการเก็บนานเกินไป ค่าภาษีและค่าประกันภัย ค่าจ้างพนักงานรักษาความปลอดภัย พนักงานทำความสะอาดและพนักงานประจำคลังสินค้า เป็นต้น

3. ต้นทุนเสียโอกาสหรือต้นทุนจากสินค้าขาดมือ (Opportunity Cost or Shortage Cost)

เป็นค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากการมีสินค้าคงคลังไม่เพียงพอต่อการผลิตหรือการขาย ทำให้ลูกค้ายกเลิกคำสั่งซื้อ ขาดรายได้ที่ควรจะได้ กิจกรรมเสียชื่อเสียง กระบวนการผลิตหยุดชะงักเกิดการว่างงานของเครื่องจักรและคนงาน ซึ่งค่าใช้จ่ายนี้เป็นไปในทิศทางตรงกันข้ามกับปริมาณสินค้าคงคลังที่มี เพราะถ้ามีสินค้าคงคลังมากจะไม่เกิดการขาดสินค้า แต่ถ้ามีสินค้าคงคลังน้อย โอกาสที่จะเกิดการขาดสินค้าก็มีมาก และค่าใช้จ่ายเนื่องจากการขาดสินค้าขึ้นอยู่กับปริมาณสินค้าที่ขาดรวมทั้งระยะเวลาที่สินค้าขาด เช่น ค่าสั่งซื้อล๊อตพิเศษจากต่างประเทศทางเครื่องบินเพื่อนำมาใช้แบบฉุกเฉิน ค่าปรับเนื่องจากส่งสินค้าให้ลูกค้าล่าช้า ค่าเสียโอกาสในการขาย ค่าใช้จ่ายที่อาจเกิดขึ้นจากการเสียความนิยม (Goodwill) เป็นต้น

4. ต้นทุนในการตั้งหรือจัดเตรียมเครื่องจักร (Setup Cost)

เป็นค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากการเปลี่ยนสายการผลิตของเครื่องจักรจากการผลิตสินค้าที่ต่างชนิดกัน ซึ่งบางครั้งต้องใช้เวลาาน ค่าใช้จ่ายในการตั้งหรือจัดเตรียมเครื่องจักรจะมีลักษณะเป็นต้นทุนคงที่ต่อครั้ง ขึ้นอยู่กับความบ่อยในการผลิต ในการผลิตล๊อตใหญ่มีการจัดเตรียมเครื่องจักรไม่บ่อยครั้ง ค่าใช้จ่ายในการจัดเตรียมเครื่องจักรก็จะต่ำ แต่ปริมาณสะสมของสินค้าคงคลังก็จะสูง ส่วนการผลิตล๊อตเล็กจะมีการจัดเตรียมเครื่องจักรใหม่บ่อยครั้ง ค่าใช้จ่ายในการจัดเตรียมเครื่องจักรจะสูง แต่ปริมาณสินค้าคงคลังจะมีระดับต่ำลง

การจัดการสินค้าคงคลัง

การจัดการสินค้าคงคลังมีวัตถุประสงค์หลัก 2 ประการ คือ

1. มีสินค้าไว้บริการลูกค้าในปริมาณที่เพียงพอ ทนต่อความต้องการของลูกค้าเสมอ เพื่อสร้างยอดขายและรักษาส่วนแบ่งทางการตลาดไว้
2. ลดระดับการลงทุนในสินค้าคงคลังให้ต่ำที่สุด เพื่อให้ต้นทุนการผลิตต่ำลง

วัตถุประสงค์ 2 ข้อนี้นี้ขัดแย้งกัน เนื่องจากการลงทุนในสินค้าคงคลังในมูลค่าต่ำต้องใช้วิธีลดระดับสินค้าคงคลังให้เหลือน้อยที่สุด คือ มีแค่จำนวนเพียงพอต่อการป้อนกระบวนการผลิตเพื่อไม่ให้เกิดการหยุดชะงักเท่านั้น ถ้าระดับสินค้าคงคลังต่ำเกินไปจะทำให้มีสินค้าสำหรับบริการลูกค้าไม่เพียงพอหรือไม่ทันเวลาที่ลูกค้าต้องการ และในทางตรงกันข้ามหากมีสินค้าคงคลังมากจะทำให้ต้นทุนการเก็บรักษาสูงขึ้น

ธุรกิจส่วนมากจะยอมให้มีสินค้าคงคลังในระดับสูง เพื่อผลประโยชน์ระยะยาวของกิจการ โดยรักษาลูกค้าและส่วนแบ่งทางการตลาดไว้ แต่ในอีกแง่หนึ่ง ต้นทุนสินค้าคงคลังที่สูงจะส่งผลให้ต้นทุนรวมของการผลิตสูงตามไปด้วย ทำให้ธุรกิจไม่สามารถต่อสู้กับคู่แข่งทางด้านราคาได้ ดังนั้นการจัดการสินค้าคงคลังจึงถือเป็นการลงทุนที่ความสำคัญของธุรกิจ ถ้าธุรกิจมีการจัดการสินค้าคงคลังที่ดีจะช่วยปรับปรุงสภาพคล่องและเพิ่มผลตอบแทนจากการลงทุน (Return on Investment) ของกิจการให้เพิ่มขึ้นได้

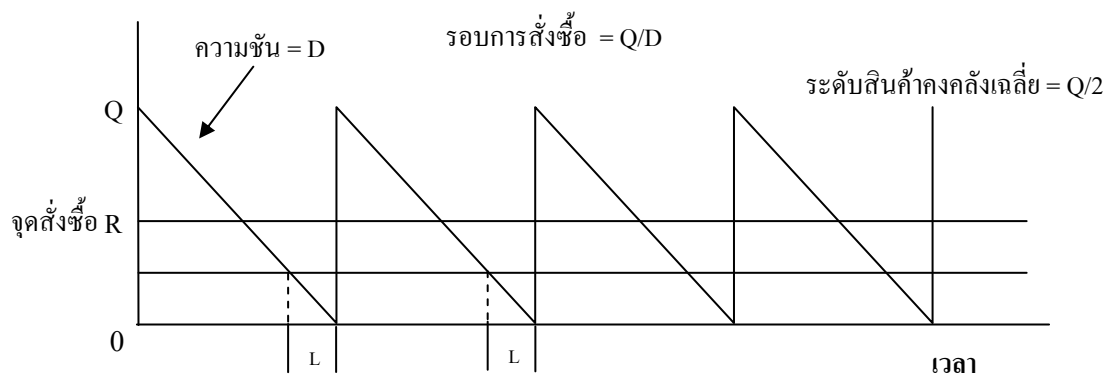
รูปแบบการกำหนดปริมาณสินค้าคงคลังสำหรับสินค้าชนิดเดียว หรือกระบวนการผลิตขั้นตอนเดียว (Single Stage)

คำนาย (2546) การกำหนดปริมาณสินค้าคงคลังสำหรับสินค้าชนิดเดียวแบ่งเป็น 2 กรณีดังนี้

1. กรณีที่อุปสงค์มีระดับคงที่ และไม่มีสินค้าคงคลังเพื่อความปลอดภัยหรือสินค้ากันขาดมือ ข้อสมมติของกรณีนี้มีดังต่อไปนี้
 - ทราบปริมาณอุปสงค์ชัดเจนและมีระดับความต้องการอุปสงค์คงที่
 - โรงงานได้รับสินค้าที่สั่งซื้อพร้อมกันหมด
 - ช่วงเวลานำตั้งแต่สั่งซื้อจนได้รับสินค้าคงที่ และถูกระบุอย่างชัดเจน

- ต้นทุนการเก็บรักษาสินค้าและต้นทุนการสั่งซื้อคงที่
- ราคาสินค้าที่สั่งซื้อคงที่
- ไม่มีสถานะสินค้าขาดมือ

ระดับสินค้าคงคลัง



ภาพที่ 1 สินค้าคงคลังในเหตุการณ์ที่อุปสงค์คงที่

ที่มา: คำนาย (2546)

ขนาดการสั่งซื้อที่ประหยัด (Economic Order Quantity หรือ EOQ)

$$EOQ = \sqrt{\frac{2 \cdot D \cdot O}{C}} \quad (1.1)$$

ต้นทุนรวม (Total Cost หรือ TC)

$$TC = \frac{D \cdot O}{Q} + \frac{Q \cdot C}{2} + D \cdot C \quad (1.2)$$

- โดยที่
- EOQ = ขนาดการสั่งซื้อต่อครั้งที่ประหยัด (Q^*)
 - D = อุปสงค์หรือความต้องการสินค้าต่อปี (หน่วย)
 - O = ต้นทุนการสั่งซื้อ หรือต้นทุนการตั้งเครื่องจักรใหม่ต่อครั้ง (บาท)
 - H = ต้นทุนการเก็บรักษาต่อหน่วยต่อปี (บาท)
 - C = ราคาสินค้าต่อหน่วย (บาท)
 - Q = ปริมาณการสั่งซื้อต่อครั้ง (หน่วย)
 - TC = ต้นทุนสินค้าคงคลังโดยรวม (บาท)

ขนาดการสั่งซื้อที่ประหยัด ระดับสินค้าขาดมือที่ประหยัด และต้นทุนรวมหาได้จาก

$$Q^* = \sqrt{\frac{2 \cdot D \cdot O}{C}} \sqrt{\frac{B+C}{B}} \quad (1.6)$$

$$S^* = Q^* \left[\frac{C}{B+C} \right] \quad (1.7)$$

$$TC = \frac{D \cdot O}{Q^*} + \frac{(Q^* - S^*)^2 C}{2 \cdot Q^*} + \frac{S^{*2} \cdot B}{2 \cdot Q^*} \quad (1.8)$$

โดยที่ Q^* = ขนาดการสั่งซื้อที่ประหยัด (หน่วย)

S^* = ระดับของสินค้าขาดมือที่ประหยัด (หน่วย)

B = ต้นทุนสินค้าขาดมือต่อหน่วยต่อปี (บาท)

แต่ในทางปฏิบัติจริง ระดับอุปสงค์และอุปทานมักมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา อาจเนื่องมาจากการจัดส่งวัตถุดิบที่ล่าช้าของผู้ขายแต่ละราย ความถูกต้องและได้มาตรฐานของวัตถุดิบที่จัดส่งมา ประสิทธิภาพของเครื่องจักรในการผลิต รวมถึงการที่ลูกค้าสั่งสินค้าเพิ่มอย่างกะทันหัน เป็นต้น ดังนั้นในการคำนวณปริมาณสินค้าคงคลังเพื่อความปลอดภัยจึงต้องคำนึงถึงความสามารถ (Performance) ในการจัดส่งวัตถุดิบของผู้ขายแต่ละรายและความสามารถของกระบวนการผลิตร่วมด้วย ซึ่งส่งผลให้การแก้ปัญหาด้านปริมาณสินค้าคงคลังเพื่อความปลอดภัยซับซ้อนยิ่งขึ้น

การหาคำตอบที่เหมาะสมของปัญหาใหญ่ที่มีความซับซ้อน หรือมีตัวแปรที่เกี่ยวข้องหลายตัวนั้น ไม่สามารถใช้วิธีการทางคณิตศาสตร์ธรรมดา เช่น การหาอนุพันธ์อันดับสอง หรือ วิธีซิมเพล็กซ์ (Simplex Method) เป็นต้น ในการแก้ปัญหาได้ ในการหาคำตอบที่เหมาะสมของปัญหาเหล่านี้เป็นสิ่งที่ทำได้ยาก จึงมีผู้คิดค้นวิธีอัลกอริธึมพันธุกรรม (Genetic Algorithm) หรือวิธีค้นหาตามแบบรูป (Pattern Search) ขึ้นมาใช้

อัลกอริธึมพันธุกรรม

ในช่วงต้นทศวรรษ 1970 Holland ได้เสนอวิธีการที่เรียกว่า อัลกอริธึมพันธุกรรม (Genetic Algorithm) ซึ่งเป็นวิธีการหาคำตอบของปัญหาโดยเลียนแบบกระบวนการทางพันธุกรรมตามธรรมชาติของสิ่งมีชีวิตที่จะคัดเลือกพ่อพันธุ์และแม่พันธุ์ที่ดีมาผสมพันธุ์ เพื่อให้ได้ลูกหลานที่มี

ความแข็งแกร่งสามารถอยู่รอดต่อไปได้ในสภาวะแวดล้อมที่อาศัยอยู่ และผู้ที่ความแข็งแกร่งกว่าจะมีโอกาสสูงในการอยู่รอดและขยายเผ่าพันธุ์ของตนต่อไปได้ ส่วนผู้ที่อ่อนแอกว่าก็จะมีโอกาสน้อยในการอยู่รอดและขยายเผ่าพันธุ์จนอาจสูญพันธุ์ไปในที่สุด

กระบวนการค้นหาคำตอบจะเริ่มจากการสุ่มชุดคำตอบเริ่มต้น นำคำตอบนั้นมาวัดค่าความเหมาะสม จากนั้นจะคัดเลือกคำตอบที่มีลักษณะดีหรือคำตอบที่ใกล้เคียงคำตอบที่เหมาะสมออกมา แล้วใช้วิธีเลียนแบบวิธีการทางพันธุกรรมตามธรรมชาติ คือ การตัดไขว้ (Crossover) และการกลายพันธุ์ (Mutation) เพื่อสร้างคำตอบใหม่ที่มีลักษณะดีกว่าคำตอบที่ได้จากพ่อพันธุ์และแม่พันธุ์ ทำซ้ำเช่นนี้ไปเรื่อย ๆ จนได้คำตอบที่เหมาะสม (Global Optimal Solution) หรือคำตอบที่ใกล้เคียงคำตอบที่เหมาะสม (Near Optimal Solution) ด้วยหลักการนี้จึงทำให้วิธีอัลกอริธึมพันธุกรรมแก้ปัญหาที่ยุ่งยากและซับซ้อนได้อย่างมีประสิทธิภาพโดยใช้เวลาไม่นานนัก ปัจจุบันได้มีการนำอัลกอริธึมพันธุกรรมมาใช้แก้ปัญหามากมาย เช่น ปัญหาการจัดสรรทรัพยากรที่มีอยู่อย่างจำกัดเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด หรือกระตังนำมาใช้ในการแต่งเพลง เป็นต้น

วิธีการทำงานของอัลกอริธึมพันธุกรรม

ปรมินทร์ (2544); สิทธิชัย (2546); Kantardzic (2001); Negnevitsky (2002) การทำงานของอัลกอริธึมพันธุกรรมประกอบด้วยขั้นตอนดังต่อไปนี้

ขั้นที่ 1: แปลงตัวแปรแต่ละตัวของปัญหามานำมาต่อกันให้อยู่ในรูปของสายอักขระ (String) ซึ่งเปรียบเสมือนการนำยีนหลาย ๆ ตัวมาเรียงต่อกันเป็นสายโครโมโซมในสิ่งมีชีวิต ตัวอย่างเช่น ถ้าต้องการหาค่าที่มากที่สุดของปัญหาที่มี 3 ตัวแปร ก็สร้างสายอักขระที่มี 3 ตัว (หรือโครโมโซมที่ประกอบด้วยยีน 3 ยีน โดยแต่ละยีนแทนด้วยค่าตัวแปรแต่ละตัว) เป็นต้น สำหรับการแทนค่าตัวแปรนิยมใช้การแทนแบบไบนารี หรือการแทนค่าโดยใช้ตัวเลข 0 และ 1 ตัวอย่างโครโมโซมอาจเป็นดังนี้

โครโมโซม 1 11001010100

โครโมโซม 2 10001101100

จากนั้นกำหนดขนาดของประชากรโดยกำหนดจำนวนโครโมโซมที่จะเข้าไปเป็นประชากรเริ่มต้น (Initial Population) N โครโมโซม และกำหนดอัตราส่วนค่าความน่าจะเป็นของการคัด

ไขว้ (P_c) และการกลายพันธุ์ (P_m)

ขั้นที่ 2: กำหนดฟังก์ชันวัดค่าความเหมาะสม (Fitness Function) ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวชี้วัดความเหมาะสม (Fitness) ของโครโมโซมแต่ละตัว โดยที่ต้องการให้ค่าความเหมาะสมนี้มีค่าดีที่สุด (มากที่สุดหรือน้อยที่สุด) ค่าความเหมาะสมจะใช้ในการคัดเลือกโครโมโซมมาเป็นส่วนหนึ่งของประชากรที่ใช้ขยายพันธุ์ต่อไป

ขั้นที่ 3: สร้างประชากรเริ่มต้นจำนวน N โครโมโซมโดยการสุ่ม ได้โครโมโซมดังนี้

$$x_1, x_2, \dots, x_N \quad (\text{ให้ } x \text{ แทน โครโมโซม})$$

ขั้นที่ 4: คำนวณค่าความเหมาะสมของโครโมโซมแต่ละตัว

$$f(x_1), f(x_2), \dots, f(x_N)$$

(ให้ $f(x_i)$, $i = 1, 2, \dots, N$ แทนค่าความเหมาะสมของโครโมโซม)

ขั้นที่ 5: เลือกโครโมโซมขึ้นมาหนึ่งคู่จากประชากรเริ่มต้นหรือประชากรในรอบปัจจุบัน เพื่อมาเป็นโครโมโซมพ่อและแม่ โดยอัลกอริทึมจะคัดเลือกจากค่าความเหมาะสมของโครโมโซม กล่าวคือ โครโมโซมที่มีค่าความเหมาะสมสูงจะมีความน่าจะเป็นที่จะถูกคัดเลือกสูง ส่วนโครโมโซมที่มีค่าความเหมาะสมต่ำก็จะมีแนวโน้มจะเป็นในการถูกคัดเลือกต่ำ

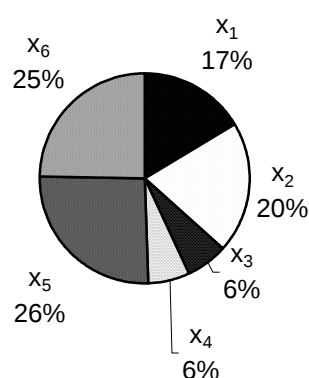
การคัดเลือกนี้อาจใช้วิธีสุ่มจากการหมุนวงล้อรูเล็ต (Roulette Wheel Selection) ซึ่งเป็นรูปแบบกลไกการอยู่รอดแบบอาศัยหลักความน่าจะเป็น (Stochastic) โดยวิธีนี้จะออกแบบขนาดพื้นที่บนวงล้อรูเล็ตให้เป็นสัดส่วนตามค่าความเหมาะสมของโครโมโซมแต่ละตัว ดังแสดงในภาพที่ 3 จะเห็นว่าโครโมโซมที่มีค่าความเหมาะสมสูง (High Fitness) จะมีขนาดพื้นที่ใหญ่บนวงล้อรูเล็ต ส่วนโครโมโซมที่มีค่าความเหมาะสมต่ำ (Low Fitness) ก็จะมีขนาดพื้นที่เล็กบนวงล้อรูเล็ต จากนั้นทำการหมุนวงล้อรูเล็ตเป็นจำนวน N ครั้ง หรือเท่ากับจำนวนประชากรโครโมโซม เพื่อคัดเลือกประชากรที่สามารถอยู่รอดและนำไปสร้างเป็นประชากรรุ่นต่อไปที่มีขนาดเท่ากับประชากรรุ่นเดิม โดยโครโมโซมที่มีค่าความเหมาะสมสูงจะมีโอกาสอยู่รอดได้มากกว่าเนื่องจากมีพื้นที่ใหญ่กว่าจึงมีโอกาสถูกเลือกได้มากกว่าโครโมโซมที่มีค่าความเหมาะสมต่ำ ทั้งนี้เพื่อให้ค่าความเหมาะสมโดยเฉลี่ยของโครโมโซมเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ในประชากรรุ่นต่อไป

ตัวอย่าง: กำหนดให้ $N = 6$ ดังนั้นจะพิจารณาประชากรเริ่มต้นที่มีโครโมโซม 6 ตัว คือ $x_1, x_2, \dots, x_6$ และคำนวณค่าความเหมาะสมของโครโมโซมแต่ละตัวจากฟังก์ชันวัดค่าความเหมาะสม $f(x_i)$ แล้ว หาค่าสัดส่วนพื้นที่บนวงล้อรูเล็ต (Fitness Ratio, %) ของโครโมโซมลำดับที่ i จากอัตราส่วนของ ค่าความเหมาะสมของโครโมโซมแต่ละลำดับ i กับผลรวมของค่าความเหมาะสมของประชากร ทั้งหมด ดังนี้

$$\frac{f(x_i)}{\sum f(x_i)}$$

โดยที่ $i = 1, 2, 3, 4, 5$

	Chromosome (x_i)	Fitness $f(x_i)$	Fitness Ratio (%)
x_1	1100	36	16.5
x_2	0100	44	20.2
x_3	0001	14	6.4
x_4	1110	14	6.4
x_5	0111	56	25.7
x_6	1001	54	24.8



ภาพที่ 3 โครโมโซมของประชากรเริ่มต้นและค่าความเหมาะสมตามสัดส่วนบนวงล้อรูเล็ต

จากนั้นทำการคัดเลือกประชากรรุ่นต่อไป โดยการหมุนวงล้อรูเล็ตจำนวน 6 ครั้ง โครโมโซมที่มีโอกาสถูกเลือกค่อนข้างมาก คือ x_5 และ x_6 ขณะที่โครโมโซม x_3 และ x_4 มีโอกาสถูกเลือกค่อนข้างน้อย

ขั้นที่ 6: สร้างคู่โครโมโซมรุ่นต่อไปจากโครโมโซมพ่อและโครโมโซมแม่ที่ถูกเลือกจากขั้นที่แล้ว โดยการตัดไขว้ (Crossover) และการกลายพันธุ์ (Mutation)

โครโมโซมพ่อแม่ที่ถูกคัดเลือกแต่ละคู่จะถูกนำมาตัดไขว้ ซึ่งถือเป็นการรวมตัวกันใหม่ (Recombination) โดยใช้ค่าความน่าจะเป็นของการตัดไขว้ที่กำหนดไว้ตั้งแต่ขั้นแรก P_c เมื่อจะทำการตัดไขว้โครโมโซมพ่อแม่ ก็จะเลือกตัวเลขจำนวนเต็ม k แบบสุ่ม ระหว่าง 0 ถึง 1 เพื่อใช้เป็นความยาวของโครโมโซมที่เป็นดัชนีบอกตำแหน่งยีนในโครโมโซมที่จะทำการตัดไขว้ (Crossing

Site) ซึ่งการตัดไข่นี้จะกระทำหลังตำแหน่ง k ด้วยความน่าจะเป็นของการสุ่มค่า k เท่ากับ P_c ดังตัวอย่างต่อไปนี้

สมมติให้วงล้อสุ่มเลือกโครโมโซมพ่อแม่ x_6 และ x_2 และทำการตัดไขว้ที่ตำแหน่งที่ 2

โครโมโซมรุ่นพ่อแม่	x_6	1 0 0 1
	x_2	0 1 0 0
↓		
โครโมโซมรุ่นลูก	x_6'	1 0 0 0
	x_2'	0 1 0 1

ภาพที่ 4 การตัดไขว้ของโครโมโซม

หลังการตัดไขว้ได้โครโมโซมตัวใหม่แล้วจะทำการกลายพันธุ์ โดยใช้ค่าความน่าจะเป็นของการกลายพันธุ์ที่กำหนดไว้ในขั้นแรก P_m มาพิจารณาว่ายีนตำแหน่งใดในโครโมโซมจะมีการกลายพันธุ์โดยเปลี่ยนสลับค่าจาก 0 เป็น 1 หรือจาก 1 เป็น 0 การพิจารณาเช่นใด ๆ จะใช้การสุ่มค่า r ในช่วง $[0,1]$ ถ้าค่า r ของยีนใดน้อยกว่าหรือเท่ากับ P_m แล้ว ยีนตำแหน่งดังกล่าวจะถูกเปลี่ยนสลับค่า ดังตัวอย่างต่อไปนี้

สมมติให้ $P_m = 0.1$ และตัวเลขที่สุ่มได้ $r = 0.91, 0.43, 0.03, 0.67$ สำหรับโครโมโซม x_6'

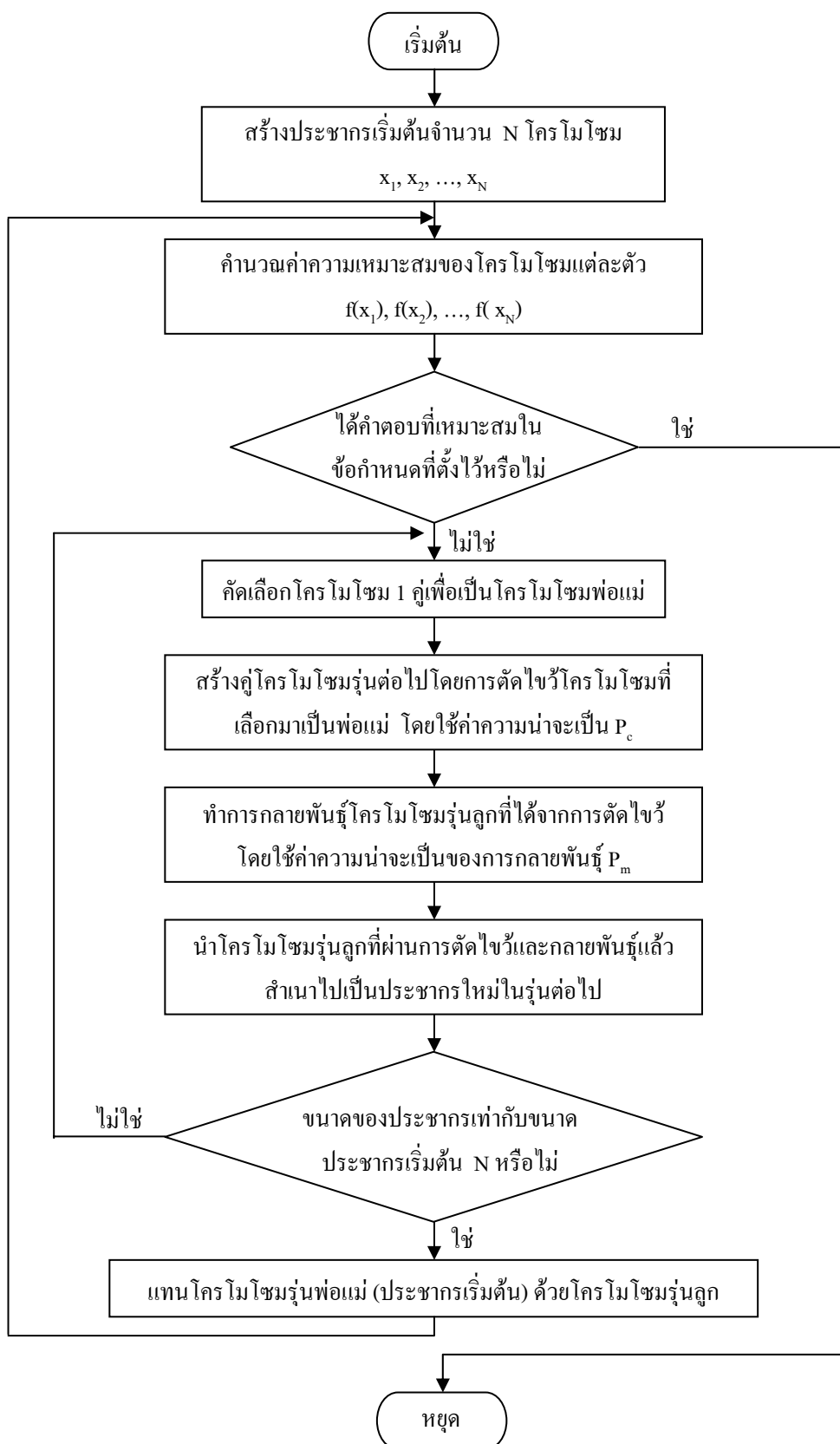
ก่อนกลายพันธุ์	1 0 0 1
หลังกลายพันธุ์	1 0 1 1

ขั้นที่ 7: นำโครโมโซมรุ่นลูกที่ผ่านการตัดไขว้และกลายพันธุ์แล้วสำเนาไปเป็นประชากรใหม่รุ่นต่อไปที่มีขนาดของประชากรเท่ากับขนาดประชากรเริ่มต้น N โครโมโซม

ขั้นที่ 8: แทนโครโมโซมพ่อแม่ (ประชากรเริ่มต้น) ด้วยโครโมโซมรุ่นลูก (ประชากรใหม่)

ขั้นที่ 9: ทำกระบวนการซ้ำตั้งแต่ขั้นที่ 4 จนกว่าจะได้คำตอบที่เหมาะสมตามข้อกำหนดที่ตั้งไว้

แผนผังอธิบายกระบวนการหาคำตอบของอัลกอริทึมพันธุกรรมแสดงดังภาพที่ 5



ภาพที่ 5 ขั้นตอนการทำงานของอัลกอริธึมพันธุกรรม

การค้นหาคำตอบตามแบบรูป

การค้นหาคำตอบตามแบบรูป (Pattern Search) เป็นวิธีการค้นหาคำตอบที่เหมาะสม (Global Optimal Solution) หรือคำตอบที่ใกล้เคียงคำตอบที่เหมาะสม (Near Optimal Solution) วิธีหนึ่งที่ถูกค้นพบในปี 1961 โดย Hooke และ Jeeves การหาคำตอบด้วยวิธีนี้ไม่ต้องใช้อนุพันธ์อันดับสองหรือสูงกว่าของฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Objective Function) จึงเป็นวิธีที่สะดวกและใช้เวลาในการหาคำตอบน้อยกว่าวิธีทางคณิตศาสตร์ธรรมดาทั่วไป เช่น วิธีซิมเพล็กซ์ (Simplex Method) หรือวิธีการหาอนุพันธ์อันดับสอง เป็นต้น (Lewis *et al.*, 2000; Kolda *et al.*, 2003; Sriver and Chrissis, 2004 and The MathWorks, 2005)

กระบวนการหาคำตอบของวิธีค้นหาคำตอบตามแบบรูป (Pattern Search) คือ การหาจุดคำตอบรอบ ๆ จุดคำตอบปัจจุบันที่มีลักษณะดีกว่าหรือที่มีค่าเข้าใกล้คำตอบที่เหมาะสมมากกว่าคำตอบปัจจุบัน เมื่อพบจุดคำตอบที่มีลักษณะดีกว่าในชุดของจุดที่อยู่รอบจุดคำตอบปัจจุบันแล้ว กระบวนการจะจดจำคำตอบดังกล่าวแทนคำตอบเดิม และใช้คำตอบที่ถูกจดจำใหม่นี้เป็นจุดคำตอบปัจจุบันในการหาคำตอบที่ดีขึ้นในรอบต่อไป ในแต่ละรอบของการค้นหาคำตอบจะมีการเพิ่มขนาดของพื้นที่ในการค้นหาจุดคำตอบรอบจุดคำตอบปัจจุบันให้มากขึ้น ในกรณีที่ไม่มีพบจุดคำตอบที่มีลักษณะดีกว่าคำตอบปัจจุบัน จะทำการลดพื้นที่ในการหาจุดคำตอบรอบจุดคำตอบปัจจุบันให้น้อยลง เมื่อลดขนาดพื้นที่ลงจนต่ำกว่าพื้นที่การหาคำตอบที่ใกล้ที่สุด (Mesh Tolerance) ที่ตั้งไว้ กระบวนการค้นหาคำตอบจะสิ้นสุดลง เนื่องจากไม่พบจุดคำตอบรอบข้างที่ดีกว่าจุดคำตอบปัจจุบัน

องค์ประกอบที่สำคัญในกระบวนการหาคำตอบด้วยวิธีค้นหาคำตอบตามแบบรูป

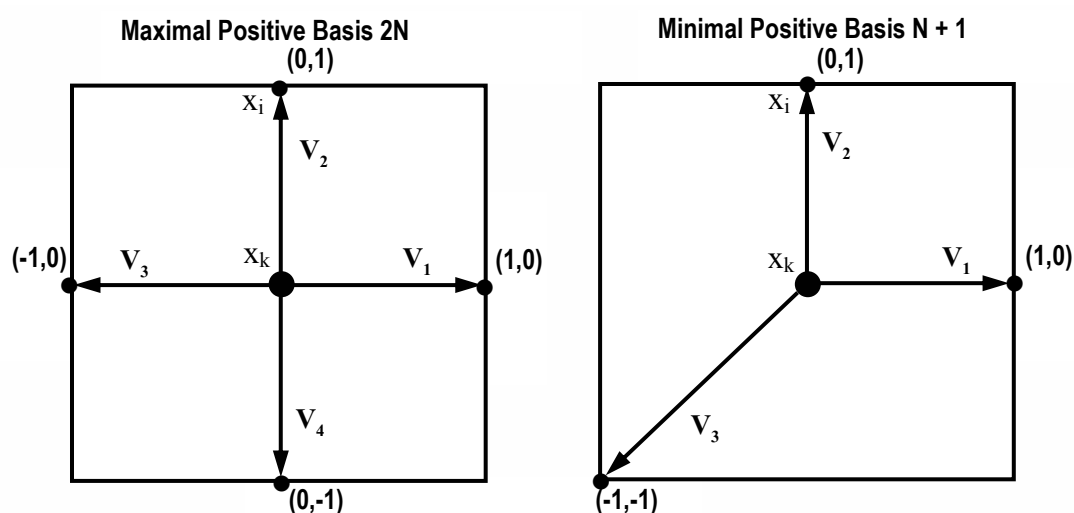
1. แบบรูป (Patterns)

แบบรูป (Patterns) เป็นกลุ่มของเวกเตอร์ที่กระบวนการค้นหาคำตอบตามแบบรูป (Pattern Search) ใช้พิจารณาหาขอบเขตและทิศทางที่เหมาะสมในการหาคำตอบรอบ ๆ จุดคำตอบปัจจุบันในแต่ละรอบ โดยค่าของเวกเตอร์เริ่มต้นจะกำหนดให้เท่ากับจำนวนตัวแปรอิสระในฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (N) ส่วนจำนวนเวกเตอร์ในการหาคำตอบรอบต่อไปจะคำนวณได้จากค่าพื้นฐานที่เป็นบวก (The Positive Basis Set) โดยค่ามากที่สุด (Maximal Positive Basis) กำหนดไว้ที่สองเท่าของจำนวนตัว

แปรอิสระในฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (2N) และค่าน้อยที่สุด (Minimal Positive Basis) กำหนดไว้ที่จำนวนตัวแปรอิสระในฟังก์ชันวัตถุประสงค์บวกด้วย 1 (N+1) เวกเตอร์ทั้ง 2 กรณีเป็นดังนี้

$$\begin{array}{ll}
 \text{เวกเตอร์กรณี } 2N: & v_1 = [1 \ 0] \\
 & v_2 = [0 \ 1] \\
 & v_3 = [-1 \ 0] \\
 & v_4 = [0 \ -1] \\
 \text{เวกเตอร์กรณี } N+1: & v_1 = [1 \ 0] \\
 & v_2 = [0 \ 1] \\
 & v_3 = [-1 \ -1]
 \end{array}$$

รูปของเวกเตอร์ค่ามากที่สุด (2N) และน้อยที่สุด (N+1) แสดงดังภาพที่ 6



ภาพที่ 6 รูปแบบเวกเตอร์ที่มากที่สุดและน้อยที่สุดในการหาขอบเขตชุดคำตอบรอบต่อไป

ที่มา: The MathWorks (2005)

2. ตาข่าย (Meshes)

ในแต่ละรอบของการหาคำตอบ กระบวนการจะทำการค้นหาชุดของจุดคำตอบ ซึ่งเรียกว่า “ตาข่าย (Mesh)” ที่ทำให้ได้คำตอบใกล้เคียงกับคำตอบที่เหมาะสมมากขึ้น หรือเป็นจุดคำตอบที่ปรับปรุงค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ให้ดีขึ้น และเมื่อเวกเตอร์รูปแบบ (Pattern Vector) เริ่มต้นได้ถูกสร้างขึ้น และจุดคำตอบเดิมได้ถูกคำนวณค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (The Value of Objective

Function) เรียบร้อยแล้ว ขั้นตอนต่อไปคือ การหาชุดของจุดคำตอบรอบต่อไป (Mesh) โดยการคูณเวกเตอร์ด้วยขนาด ซึ่งเรียกว่า Mesh Size (Δ^m) แล้วแทนเวกเตอร์ใหม่ที่มีทั้งขนาดและทิศทางด้วย d_i แล้วนำเวกเตอร์เหล่านี้ไปบวกกับจุดคำตอบเดิม จะได้ชุดของจุดคำตอบรอบจุดคำตอบเดิมคือจุดที่ปลายเวกเตอร์ทุกเวกเตอร์ชี้ไปถึง

จากตัวอย่างซึ่งแสดงดังภาพที่ 6 สำหรับกรณีที่กำหนดจำนวนเวกเตอร์ในการหาคำตอบรอบต่อไปไว้ที่ค่ามากที่สุด $2N$ จะได้จุดรอบจุดคำตอบเดิม (x_k หรือ x_{i-1}) จำนวน 4 จุด ที่มีระยะห่างจากจุด x_k เท่ากัน $= \Delta^m$ หรือคิดเป็นขนาดและทิศทางเท่ากับเวกเตอร์ d_i สำหรับจุดที่ให้ค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ดีขึ้นและเป็นจุดคำตอบใหม่ที่จะทำการย้ายไป คือจุด x_i เขียนเป็นความสัมพันธ์ระหว่างระยะห่าง Δ^m กับเวกเตอร์ d_i ได้ดังนี้

$$\Delta^m = \frac{\|x_i - x_{i-1}\|}{d_i}$$

โดยที่ Δ^m = ระยะห่างระหว่างจุดคำตอบเดิมและจุดคำตอบใหม่

x_i = จุดคำตอบใหม่

x_{i-1} = จุดคำตอบเดิม

d_i = ความห่าง (ทั้งขนาดและทิศทาง) ระหว่างจุดคำตอบเดิมกับจุดคำตอบใหม่

3. การลงคะแนนเสียง (Polling)

เมื่อได้จุดต่าง ๆ รอบจุดคำตอบปัจจุบันแล้ว ทำการคำนวณค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของจุดคำตอบเหล่านั้น โดยเริ่มคำนวณจากจุดคำตอบทางด้านขวาของจุดคำตอบปัจจุบันเป็นจุดแรก จากนั้นจะคำนวณจุดคำตอบถัดไปโดยวนแบบทวนเข็มนาฬิกา ถ้าพบจุดคำตอบใดมีค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ดีกว่าจุดเดิม จะทำการย้ายจุดคำตอบไปยังจุดคำตอบใหม่ดังกล่าว (Poll) และจดจำค่าดังกล่าวไว้เพื่อใช้เป็นจุดคำตอบปัจจุบันสำหรับการหาคำตอบรอบต่อไป ในกรณีที่พบจุดคำตอบที่ดีกว่า จะเรียกว่า “การลงคะแนนเสียงที่ประสบความสำเร็จ (Successful Poll)” แต่ถ้าไม่พบจุดคำตอบใดที่มีค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ดีกว่าจุดเดิม จะใช้จุดคำตอบปัจจุบันเป็นจุดคำตอบสำหรับการหาคำตอบในรอบต่อไป เรียกการการลงคะแนนเสียงกรณีนี้ว่า “การลงคะแนนเสียงที่ไม่ประสบความสำเร็จ (Unsuccessful Poll)”

การลงคะแนนเสียง (Polling) ทำได้ 2 วิธี ดังนี้

1. การลงคะแนนเสียงแบบไม่สมบูรณ์ (Incomplete Polling) เป็นวิธีการลงคะแนนเสียงโดยปกติ (Default) ของกระบวนการค้นหาคำตอบด้วยวิธีการค้นหาตามแบบรูป คือ กระบวนการหาคำตอบจะไม่คำนวณค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของจุดคำตอบรอบจุดคำตอบปัจจุบันทุกจุดพร้อมกัน แต่จะคำนวณค่าฟังก์ชันที่ละจุด โดยเริ่มจากจุดที่ได้จากเวกเตอร์ v_1 คูณกับ d_1 ก่อน ถ้าคำนวณได้ค่าดีกว่าจุดคำตอบเดิมก็จะทำการย้ายจุดคำตอบไปยังจุดดังกล่าวทันที แต่ถ้าค่าที่คำนวณได้ไม่ดีกว่าจุดคำตอบเดิม ก็จะทำการคำนวณค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของจุดถัดไป คือจุดที่ได้จากเวกเตอร์ v_2 คูณกับ d_1 ต่อไป ทำเช่นนี้ไปเรื่อย ๆ

2. การลงคะแนนเสียงแบบสมบูรณ์ (Complete Polling) กระบวนการหาคำตอบจะคำนวณค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของจุดคำตอบรอบจุดคำตอบปัจจุบันครบทุกจุดพร้อมกัน แล้วจะย้ายจุดคำตอบปัจจุบันไปยังจุดที่ให้ค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ดีที่สุดในจำนวนจุดทั้งหมดที่ทำการคำนวณ

ความถูกต้องของกระบวนการค้นหาตามแบบรูป

จากกระบวนการหาคำตอบโดยวิธีค้นหาตามแบบรูป (Pattern Search) จะเห็นว่าการหาจุดคำตอบและการย้ายจุดคำตอบในแต่ละรอบของกระบวนการ จะทำให้ได้คำตอบที่เข้าใกล้จุดคำตอบที่เหมาะสม (Optimal Point) มากขึ้นเรื่อย ๆ เนื่องจากค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่คำนวณได้จากจุดคำตอบในรอบการหาคำตอบใหม่มีค่าดีขึ้นหรือคงค่าเดิม และในการค้นหาคำตอบแต่ละรอบ ถ้ารอบใดพบคำตอบที่ให้ค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ดีขึ้นก็จะขยายพื้นที่ในการค้นหาคำตอบให้มากขึ้นในรอบต่อไป แต่ถ้าไม่พบคำตอบที่ให้ค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ดีขึ้นจะทำการคงคำตอบเดิมไว้ แล้วลดพื้นที่ในการค้นหาคำตอบลงในรอบต่อไป และจะลดพื้นที่ในการค้นหาคำตอบลงเรื่อย ๆ จนกว่าจะไม่พบคำตอบที่ให้ค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ดีขึ้นในพื้นที่ที่ใกล้ที่สุดรอบ ๆ จุดคำตอบดังกล่าว จุดคำตอบนั้นก็จะจะเป็นจุดคำตอบที่เหมาะสมสำหรับปัญหาที่ทำการศึกษา ด้วยวิธีการที่กล่าวมานี้จึงทำให้ในที่สุดกระบวนการค้นหาตามแบบรูป (Pattern Search) สามารถค้นหาคำตอบจนไปถึงคำตอบที่เหมาะสมได้ ดังตัวอย่างต่อไปนี้

กระบวนการค้นหาตามแบบรูป (Pattern Search) เพื่อการหาคำตอบที่น้อยที่สุด (Minimization) สมมติให้เริ่มต้นค้นหาคำตอบจากจุดคำตอบเริ่มต้น (Initial Point) $x_0 = [2.1 \ 1.7]$ ซึ่ง

มีค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์เท่ากับ 4.6347 และกำหนดค่าพารามิเตอร์ของกระบวนการหาคำตอบดังนี้

- ใช้จำนวนเวกเตอร์ในการหาคำตอบมากที่สุด (Maximal Positive Basis) คือ $2N$
- กำหนดค่าการลงคะแนนเสียงแบบไม่สมบูรณ์ (Incomplete Poll)
- กำหนดขอบเขตของพื้นที่การหาคำตอบที่ใกล้ที่สุด (Mesh Tolerance) เท่ากับ 1×10^{-6}
- เมื่อการย้ายจุดคำตอบประสบความสำเร็จ ค่าการขยายขอบเขตของตาข่าย (Mesh Size)

เพิ่มขึ้นเป็นสองเท่าของค่าในรอบการหาคำตอบรอบที่ผ่านมา

- เมื่อการย้ายจุดคำตอบไม่ประสบความสำเร็จ ค่าการลดขอบเขตของตาข่าย (Mesh Size)

ลดลงสองเท่าของค่าในรอบการหาคำตอบรอบที่ผ่านมา

รอบการหาคำตอบที่ 1 (Iteration 1)

ในรอบการหาคำตอบที่ 1 ขนาดเวกเตอร์ที่ใช้หาคำตอบ (Mesh Size) มีค่าเท่ากับ 1 จำนวนจุดคำตอบรอบจุดคำตอบเริ่มต้น (Mesh Points) ได้ดังนี้

$$[1 \ 0] + x_0 = [3.1 \ 1.7]$$

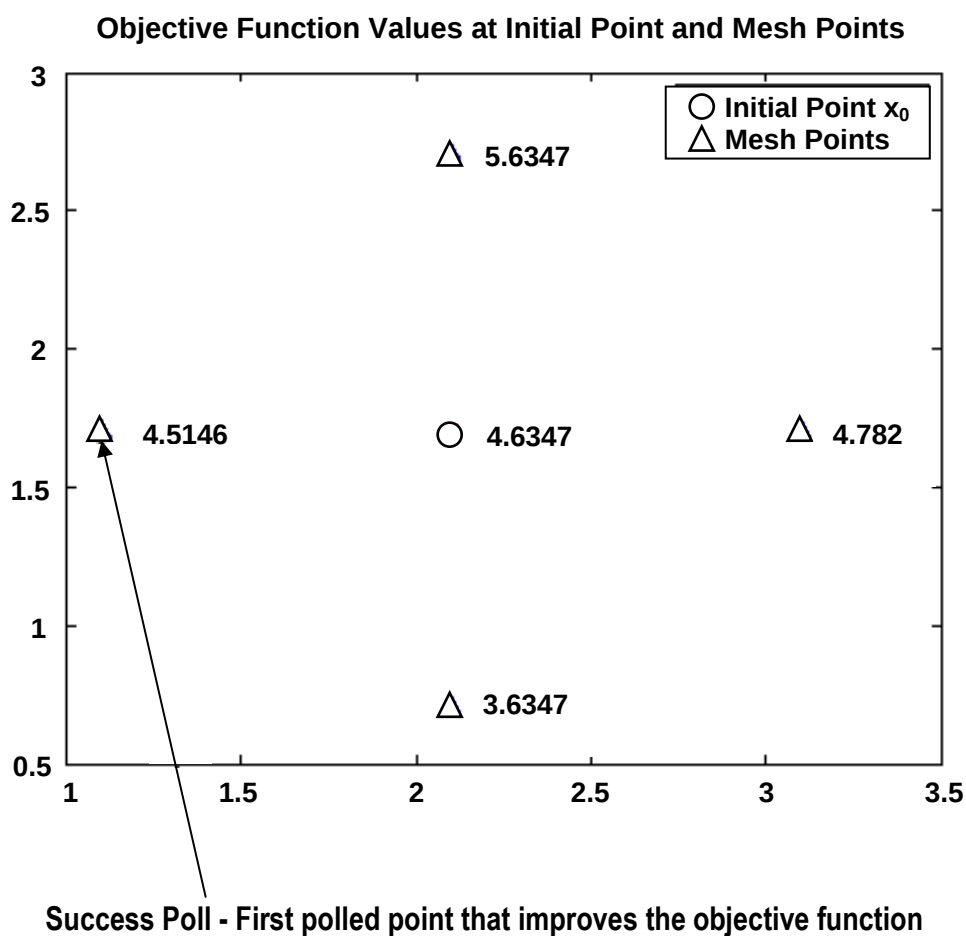
$$[0 \ 1] + x_0 = [2.1 \ 2.7]$$

$$[-1 \ 0] + x_0 = [1.1 \ 1.7]$$

$$[0 \ -1] + x_0 = [2.1 \ 0.7]$$

จากนั้นทำการคำนวณค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของจุดคำตอบดังกล่าว

ในที่นี้แสดงค่าที่คำนวณได้ทั้ง 4 จุด คือ 4.782, 5.6347, 4.5146 และ 3.6347 ตามลำดับ (โดยปกติแล้วจะกำหนดค่าการลงคะแนนเสียง (Polling) เป็นแบบไม่สมบูรณ์ (Incomplete Poll) คือจะไม่คำนวณค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ทุกจุด แต่จะคำนวณค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ละจุด และเมื่อพบจุดคำตอบที่ดีกว่าจุดเดิมก็จะทำการย้ายจุดไปยังจุดดังกล่าว) จะเห็นว่าจุดที่ 3 หรือจุด $[-1 \ 0] + x_0 = [1.1 \ 1.7]$ ให้ค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ดีคือน้อยกว่าจุดคำตอบเริ่มต้น (ในที่นี้เป็นการหาคำตอบที่น้อยที่สุด Minimization) จึงทำการย้ายไปที่จุดดังกล่าวและให้จุดดังกล่าวเป็นจุดคำตอบใหม่ x_1 ในการหาคำตอบรอบที่ 2 ต่อไป แสดงว่าการลงคะแนนเสียงในรอบนี้ประสบความสำเร็จ (Successful Poll) ดังแสดงในภาพที่ 7



ภาพที่ 7 การลงคะแนนเสียงที่ประสบความสำเร็จในรอบการหาคำตอบที่ 1

ที่มา: The MathWorks (2005)

รอบการหาคำตอบที่ 2 (Iteration 2)

หลังจากการย้ายจุดในรอบที่แล้วประสบความสำเร็จ จะทำการขยายพื้นที่การหาจุดคำตอบออกไปโดยการเพิ่มขนาดเวกเตอร์ที่ใช้หาคำตอบ (Mesh Size) ออกไปเป็น 2 เท่า ดังนั้นขนาดเวกเตอร์ที่ใช้หาคำตอบในรอบการหาคำตอบนี้จึงเท่ากับ 2 จำนวนจุดคำตอบรอบจุด $x_1 = [1.1 \ 1.7]$ ได้ดังนี้

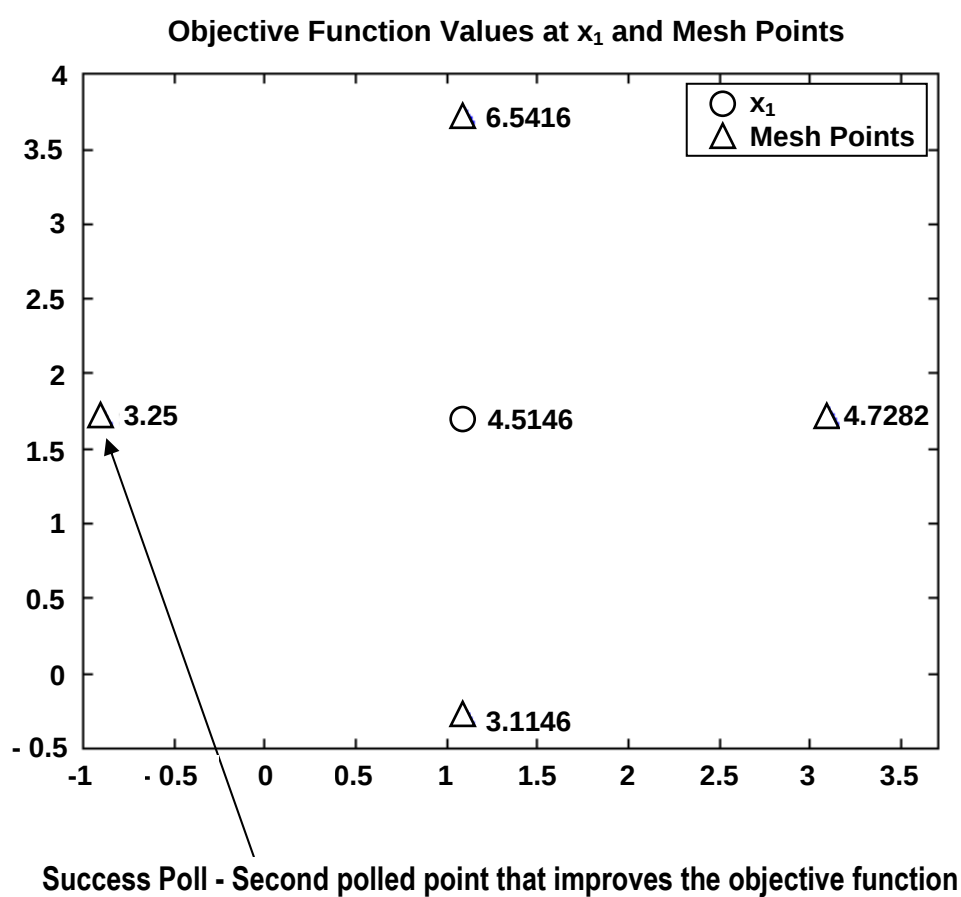
$$2 \cdot [1 \ 0] + x_1 = [3.1 \ 1.7]$$

$$2 \cdot [0 \ 1] + x_1 = [1.1 \ 3.7]$$

$$2 \cdot [-1 \ 0] + x_1 = [-0.9 \ 1.7]$$

$$2 \cdot [0 \ -1] + x_1 = [1.1 \ -0.3]$$

เมื่อกำนวณค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์รอบจุดคำตอบรอบจุด x_1 แล้ว พบจุดคำตอบที่ดีกว่าจุดคำตอบเดิม x_1 คือจุด $[-0.9 \ 1.7]$ ซึ่งคำนวณค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ได้ 3.25 จึงทำการย้ายไปยังจุดดังกล่าวและให้จุดดังกล่าวเป็นจุดคำตอบใหม่ x_2 ในการหาคำตอบรอบที่ 3 ต่อไป แสดงถึงการลงคะแนนเสียงในรอบนี้ประสบความสำเร็จ (Successful Poll) ดังแสดงในภาพที่ 8



ภาพที่ 8 การลงคะแนนเสียงที่ประสบความสำเร็จในรอบการหาคำตอบที่ 2

ที่มา: The MathWorks (2005)

รอบการหาคำตอบที่ 3 (Iteration 3)

เมื่อการย้ายจุดคำตอบในรอบการหาคำตอบที่ 2 ประสบผลสำเร็จ จึงทำการขยายพื้นที่การหาจุดคำตอบออกไปโดยการเพิ่มขนาดเวกเตอร์ที่ใช้หาคำตอบ (Mesh Size) ออกไปเป็น 2 เท่า ดังนั้นขนาดเวกเตอร์ที่ใช้หาคำตอบในรอบการหาคำตอบรอบที่ 3 นี้จะเท่ากับ 4 และทำการคำนวณค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของจุดคำตอบรอบจุด $x_2 = [-0.9 \ 1.7]$ พบจุดที่ให้ค่าดีกว่าจุดเดิม คือจุด $[-4.9 \ 1.7]$ และได้ค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์เท่ากับ -0.2649 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าค่าของจุดเดิมในรอบที่ผ่านมา จึงทำการย้ายไปยังจุดดังกล่าวได้อย่างประสบผลสำเร็จ (Successful Poll) และให้จุดดังกล่าวเป็นจุดคำตอบใหม่ x_3

รอบการหาคำตอบที่ 4 (Iteration 4)

ขนาดเวกเตอร์ที่ใช้หาคำตอบในรอบการหาคำตอบรอบที่ 3 นี้เท่ากับ 8 เนื่องจากการย้ายจุดในรอบที่แล้วประสบผลสำเร็จ จึงคูณขนาดเวกเตอร์ที่ใช้หาคำตอบรอบที่แล้วด้วย 2 และคำนวณจุดคำตอบรอบจุด x_3 ได้ดังนี้

$$8 \cdot [1 \ 0] + x_3 = [3.1 \ 1.7]$$

$$8 \cdot [0 \ 1] + x_3 = [-4.9 \ 9.7]$$

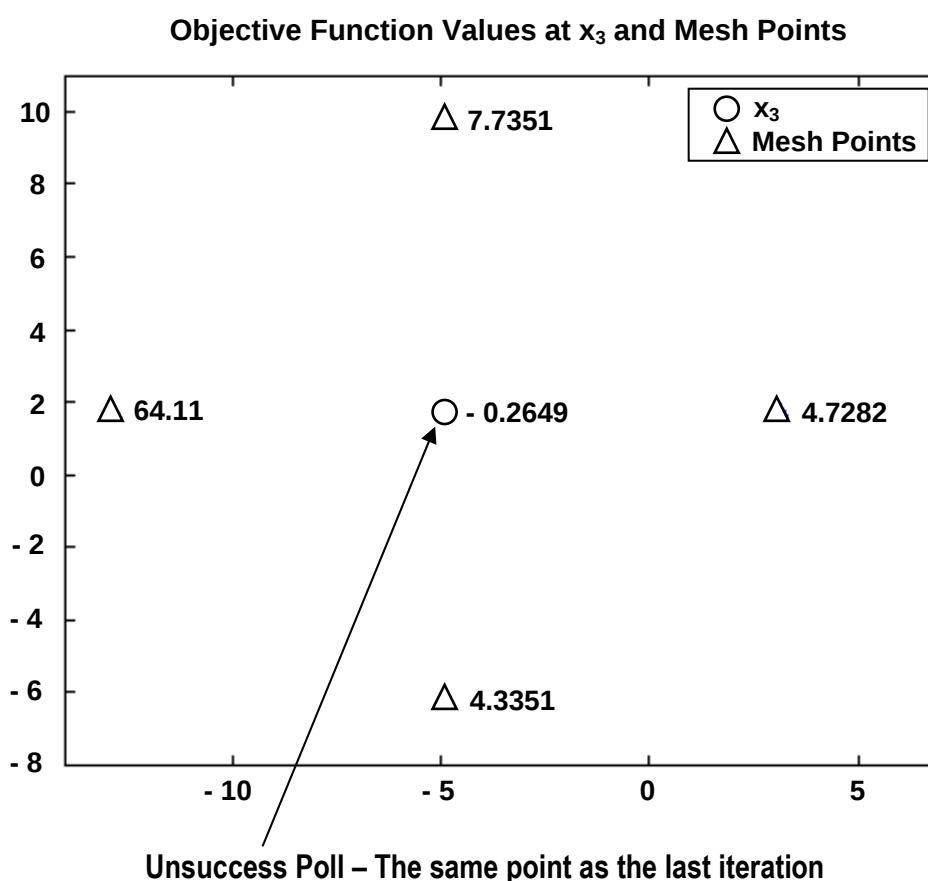
$$8 \cdot [-1 \ 0] + x_3 = [-12.9 \ 1.7]$$

$$8 \cdot [0 \ -1] + x_3 = [-4.9 \ -1.3]$$

เมื่อกำหนดค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของจุดคำตอบรอบจุด x_3 แล้ว ไม่พบจุดคำตอบใดที่ทำให้ค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ดีขึ้น ดังนั้นในการหาคำตอบรอบนี้จึงไม่มีการย้ายจุดเกิดขึ้น หรือเรียกว่าการลงคะแนนเสียงไม่ประสบผลสำเร็จ (Unsuccessful Poll) ซึ่งในกรณีนี้จะไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงค่าของคำตอบ คือจะใช้จุดคำตอบเดิมเป็นค่าสำหรับการหาคำตอบในรอบที่ 5 ต่อไป $x_4 = x_3$ และค่าของคำตอบหรือค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ในรอบนี้จึงยังคงเท่ากับรอบที่ผ่านมาคือ -0.2649 ดังแสดงในภาพที่ 9

เมื่อไม่พบคำตอบที่ให้ค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ดีขึ้นและไม่มีการย้ายจุดคำตอบ ในการหาคำตอบรอบต่อไปจึงลดขนาดเวกเตอร์ของการหาจุดคำตอบ หรือ Mesh Size ลง โดยคูณ Mesh Size

ในรอบที่ผ่านมาด้วย 0.5 ดังนั้น Mesh Size ในรอบการหาคำตอบที่ 6 จึงมีค่าเท่ากับ 4 ทำตามกระบวนการเช่นนี้ไปเรื่อย ๆ จนกว่าขนาดของเวกเตอร์ที่ลดจะน้อยกว่าค่า Mesh Tolerance ซึ่งหมายถึงไม่สามารถหาคำตอบที่ให้ค่าดีกว่าจุดดังกล่าวในระยะใกล้คำตอบน้อยกว่า 1×10^{-6} จุดคำตอบที่ได้นั้นจึงถือเป็นคำตอบที่เหมาะสมของปัญหานี้



ภาพที่ 9 การลงคะแนนเสียงที่ไม่ประสบความสำเร็จในรอบการหาคำตอบที่ 4

ที่มา: The MathWorks (2005)

วิธีลูกผสมระหว่างอัลกอริธึมพันธุกรรมและการค้นหาตามแบบรูป

วิธีลูกผสมระหว่างอัลกอริธึมพันธุกรรมและการค้นหาตามแบบรูป (Hybrid Genetic Algorithm with Pattern Search) หมายถึง การใช้วิธีอัลกอริธึมพันธุกรรมก่อน จากนั้นใช้คำตอบสุดท้ายที่ได้จากอัลกอริธึมพันธุกรรมเป็นจุดคำตอบเริ่มต้นในวิธีค้นหาตามแบบรูปเพื่อหาคำตอบที่

เหมาะสมต่อ เนื่องจากวิธีอัลกอริธึมพันธุกรรมสามารถหาคำตอบที่อยู่ในขอบเขตที่ใกล้เคียงจุดคำตอบที่เหมาะสม (Near an Optimum Point) ได้อย่างรวดเร็ว จึงใช้วิธีอัลกอริธึมพันธุกรรมหาคำตอบก่อน และใช้วิธีค้นหาตามแบบรูปหาคำตอบที่เหมาะสมในขอบเขตดังกล่าวต่อไป เนื่องจากวิธีค้นหาตามแบบรูปเป็นวิธีหาคำตอบที่มีรูปแบบที่แน่นอน จึงสามารถช่วยปรับปรุงค่าฟังก์ชันวัดความเหมาะสม หรือค่าคำตอบที่เหมาะสมให้ดีขึ้น โดยการค้นหาตามแบบรูปจะช่วยลดจำนวนรอบในการหาคำตอบด้วยวิธีอัลกอริธึมพันธุกรรมลงได้ ทำให้เวลาในการหาคำตอบโดยรวมลดลง

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

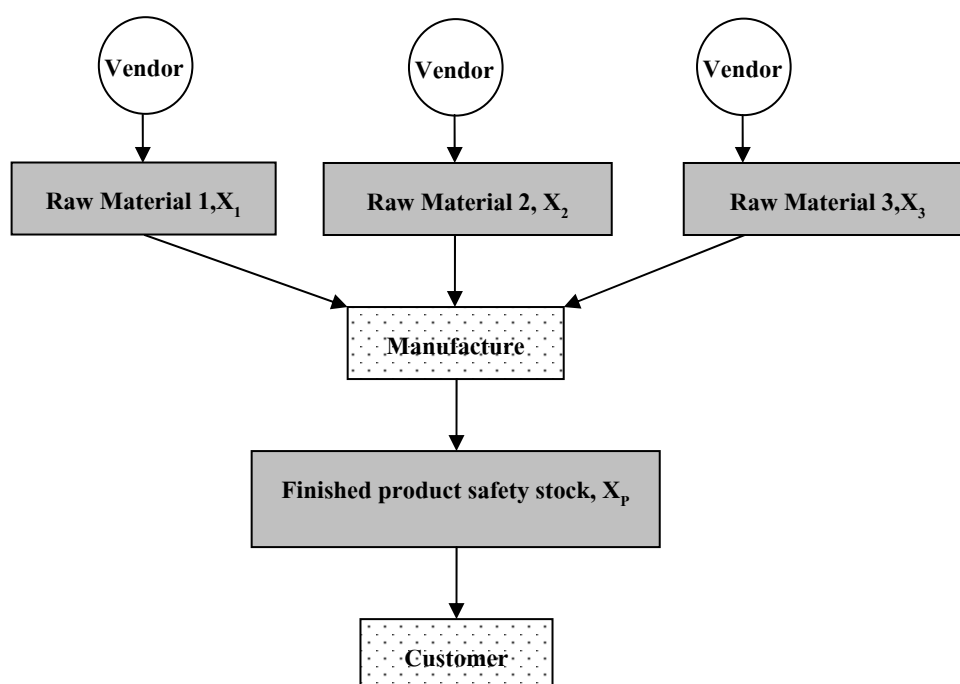
Encarnación (2003) ทดลองใช้วิธีอัลกอริธึมพันธุกรรมหาคำตอบของเวลาสั่งซื้อที่เหมาะสมที่ทำให้ต้นทุนในการดำเนินงานต่ำที่สุด สำหรับระบบสายการผลิตที่มีหลายขั้นตอน (Multi-stage Serial Systems) และระบบสายการผลิตแบบประกอบชิ้นส่วน (Assembly Systems) ที่อยู่ในข้อกำหนดของอุปสงค์ของผลิตภัณฑ์สุดท้ายคงที่และทราบปริมาณที่ชัดเจน การผลิตสามารถตอบสนองอุปสงค์ได้ตลอดเวลา ไม่มีสถานะสินค้าขาดมือ ไม่มีการส่งของเลยกำหนดเวลา และสรุปว่าวิธีอัลกอริธึมพันธุกรรมสามารถหาคำตอบที่ทำให้ต้นทุนในการดำเนินงานใกล้เคียงค่าที่ต่ำที่สุด หรือมากกว่าค่าที่ต่ำสุดไม่เกิน 0-5% สำหรับปัญหามานกลาง และ 22-31% สำหรับปัญหามานกลางใหญ่

Mak and Wong (1995) ทดลองใช้วิธีอัลกอริธึมพันธุกรรมหาระดับสินค้าคงคลัง และปริมาณการผลิตและการขนส่งที่ดีที่สุด โดยพิจารณาในระบบรวมที่มีทั้งการผลิต การเก็บสินค้าคงคลังและการแจกจ่าย เพื่อให้ได้ต้นทุนรวมในการเก็บรักษา ต้นทุนการผลิต ต้นทุนการขนส่ง และต้นทุนที่เกิดจากการส่งของไม่ตรงเวลาในการดำเนินงานของระบบต่ำที่สุด ผลการทดลองสรุปว่าโดยรวมแล้ววิธีอัลกอริธึมพันธุกรรมสามารถหาคำตอบได้แตกต่างจากคำตอบที่เหมาะสมไม่เกิน 1.739% และใช้เวลาเพียง 10 นาทีในการหาคำตอบ ในขณะที่วิธี Branch and Bound ใช้เวลาถึงประมาณ 3 ชั่วโมงในการหาคำตอบของปัญหาเดียวกัน

Khouja *et al.* (1999) ได้เสนอการประยุกต์ใช้วิธีอัลกอริธึมพันธุกรรมหาคำตอบของปริมาณการสั่งซื้อที่ประหยัดสำหรับการสั่งซื้อแบบล็อต เพื่อให้ได้ต้นทุนในการดำเนินงานที่ต่ำที่สุดสำหรับการผลิตสินค้า n ชนิด โดยกำหนดให้แต่ละโครโมโซมแทนเวลาการสั่งซื้อในรอบการสั่งซื้อใด ๆ ซึ่งผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการใช้วิธีอัลกอริธึมพันธุกรรมสามารถหาคำตอบของ

เวลาในการสั่งซื้อที่ทำให้ต้นทุนในการดำเนินงานต่ำที่สุดได้ในเวลาประมาณ 1 ชั่วโมงสำหรับปัญหาที่มีสินค้า 10 ชนิด

Maia and Qassim (1999) ทำการทดลองหาปริมาณสินค้าคงคลังเพื่อความปลอดภัยที่เหมาะสม เพื่อให้ต้นทุนรวมของการเก็บสินค้าคงคลังและต้นทุนเสียโอกาสมีค่าต่ำที่สุด โดยวิเคราะห์หาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดของสมการต้นทุนรวมจากเฮสเซียนเมทริกซ์ (Hessian Matrix) หาคำตอบของสมการต้นทุนรวมจากกระบวนการผลิตที่มีขั้นตอนเดียว โดยมีแบบจำลองที่ใช้ในการวิจัยแสดงดังภาพที่ 10 และสรุปว่า สำหรับกรณีที่มีต้นทุนเสียโอกาสต่ำมาก ๆ พบว่าไม่ควรมีการเก็บสินค้าคงคลังเพื่อความปลอดภัยจำนวนมาก เนื่องจากต้นทุนการเสียโอกาสต่ำกว่าต้นทุนในการเก็บรักษา แต่ถ้าต้นทุนการเสียโอกาสเพิ่มสูงขึ้นกว่าต้นทุนในการเก็บรักษาสินค้าคงคลัง จะต้องมีการเก็บรักษาสินค้าคงคลังเพื่อความปลอดภัยไว้รองรับสถานะขาดมือ



ภาพที่ 10 ตัวอย่างกระบวนการผลิตที่ใช้ทำการทดลอง

ที่มา: Maia and Qassim (1999)

Lewis *et al.* (2000) ทำการศึกษาการนำวิธีค้นหาโดยตรง (Direct Search) มาใช้ในปัญหาที่ต้องการหาคำตอบที่เหมาะสมโดยไม่มีขอบเขต (Unconstrained Optimization) พบว่าวิธีการค้นหาโดยตรงสามารถใช้หาคำตอบสำหรับปัญหาที่เป็นฮิวริสติก และเหมาะสมกับการนำมาใช้แก้ปัญหาที่ไม่มีขอบเขต โดยกระบวนการสามารถหาคำตอบที่เหมาะสมได้และเนื่องจากวิธีนี้เป็นวิธีที่นำมาใช้ได้ง่าย กล่าวคือ ไม่ต้องใช้ข้อมูลพื้นฐานของปัญหาในกระบวนการหาคำตอบ อีกทั้งยังมีความยืดหยุ่นและเชื่อถือได้จึงยังคงเป็นที่นิยมใช้

งานวิจัยในครั้งนี้จะพิจารณาแบบจำลองกระบวนการผลิตที่ซับซ้อนขึ้น คือมีขั้นตอนการผลิตมากกว่า 1 ขั้นตอน โดยแบ่งกระบวนการผลิตออกเป็น 2 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนการผลิตและขั้นตอนการบรรจุ ดังนั้นจึงมีการพิจารณาวัสดุคงคลังระหว่างกระบวนการผลิตเพิ่มขึ้นมาจากในรูปวัตถุดิบและผลิตภัณฑ์สุดท้าย นอกจากนี้ยังทดลองเพิ่มข้อกำหนดให้กระบวนการผลิตสามารถมีสถานะสินค้าขาดมือเพิ่มเข้ามา ซึ่งการมีสถานะสินค้าขาดมือจะต้องนำสินค้าคงคลังเพื่อความปลอดภัยเข้ามาพิจารณาด้วยเสมอ จากนั้นทำการทดลองหาปริมาณสินค้าคงคลังเพื่อความปลอดภัยที่เหมาะสมที่จะทำให้ได้ต้นทุนรวมในการเก็บรักษากับต้นทุนเสียโอกาสต่ำที่สุด โดยนำวิธีอัลกอริธึมพันธุกรรม (Genetic Algorithm) วิธีค้นหาตามแบบรูป (Pattern Search) และวิธีลูกผสมระหว่างอัลกอริธึมพันธุกรรมและการค้นหาตามแบบรูป (Hybrid Genetic Algorithm with Pattern Search) มาใช้ในการหาคำตอบของปัญหาเพื่อลดระยะเวลาในการหาคำตอบให้สั้นลงและเพื่อศึกษาว่าวิธีอัลกอริธึมพันธุกรรม วิธีค้นหาตามแบบรูป และวิธีลูกผสมระหว่างอัลกอริธึมพันธุกรรมและการค้นหาตามแบบรูปสามารถแก้ปัญหาดังกล่าวได้ดีหรือไม่ อย่างไร

อุปกรณ์และวิธีการ

วัสดุและอุปกรณ์

- คอมพิวเตอร์ Laptop ระบบปฏิบัติการ Windows XP หน่วยประมวลผล Pentium M ความเร็ว 1.50 GHz Harddisk ความจุ 30 GB RAM ขนาด 256 MB
(ในการหาคำตอบทุกครั้งในงานวิจัยชิ้นนี้ ใช้คอมพิวเตอร์เครื่องเดียวกันเพื่อไม่ให้เกิดความแตกต่างทางด้านความสามารถของคอมพิวเตอร์)
- โปรแกรมที่ใช้ : MATLAB[®] Version 6.5.0, SPSS Version 12, Microsoft Excel

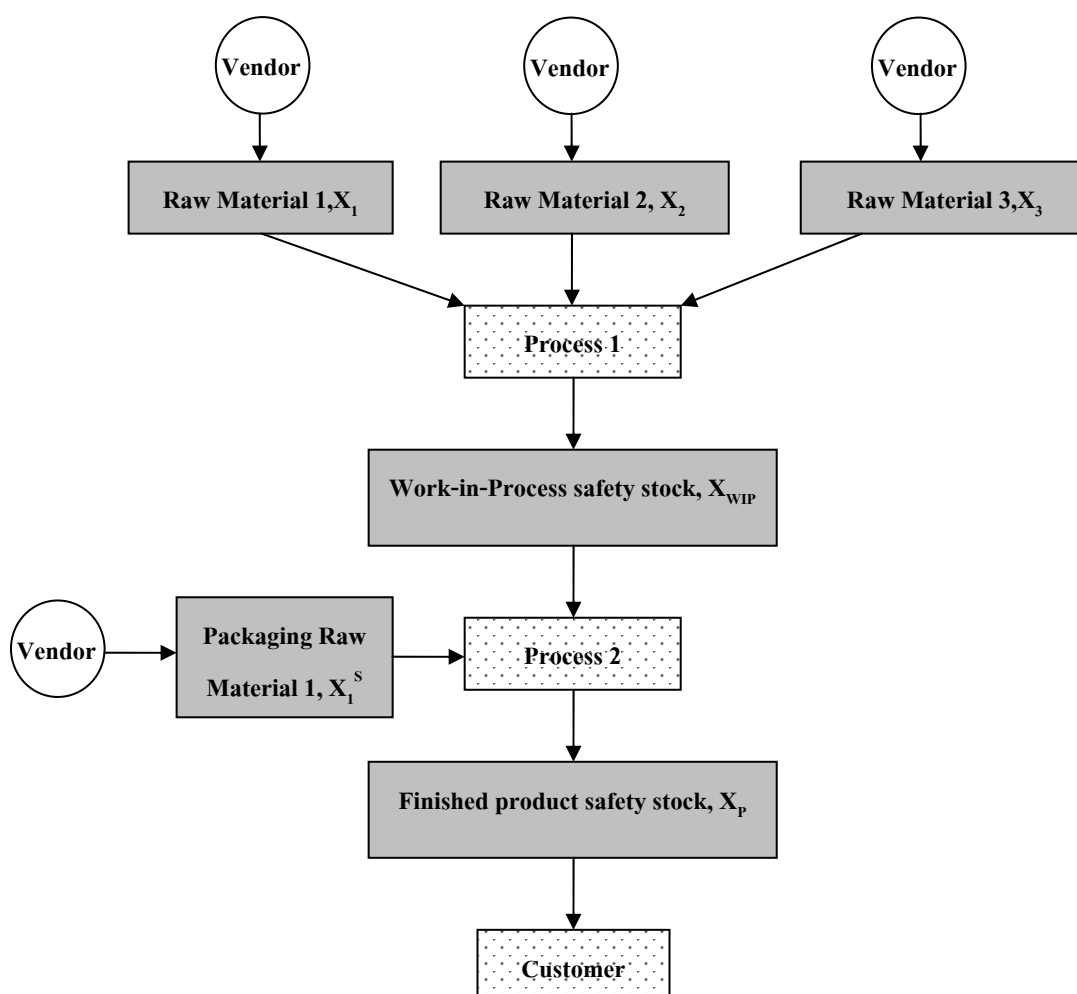
วิธีการดำเนินการวิจัย

แบบจำลองสายการผลิตตัวอย่างที่ใช้ในการทำวิจัยนี้ (แสดงดังภาพที่ 11) จำลองมาจากสายการผลิตผลิตภัณฑ์ทางอุตสาหกรรมอาหารส่วนใหญ่ ซึ่งจะแบ่งสายการผลิตออกเป็น 2 ขั้นตอนหลัก คือ

- ขั้นตอนที่ 1 (Process 1) เป็นส่วนการผลิต วัตถุดิบชนิดต่าง ๆ จะถูกนำมาแปรรูปโดยวิธีการต่าง ๆ เช่น การผสม การให้ความร้อน การแช่เย็น การแช่แข็ง เป็นต้น เพื่อให้ได้เป็นตัวผลิตภัณฑ์อาหาร ผลิตภัณฑ์ที่ได้ในส่วนนี้จึงจัดเป็นวัสดุคงคลังระหว่างกระบวนการผลิต (Work-in-Process) เพื่อรอการนำไปบรรจุลงในบรรจุภัณฑ์ในขั้นตอนต่อไป
- ขั้นตอนที่ 2 (Process 2) เป็นส่วนการบรรจุผลิตภัณฑ์ที่ทำการแปรรูปจากส่วนที่ 1 เรียบร้อยแล้วลงในบรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสม เพื่อรอการนำไปจำหน่ายต่อไป ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากส่วนนี้จึงจัดเป็นสินค้าสำเร็จรูป (Finished Product)

ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

การสร้างแบบจำลองสายการผลิตที่ใช้ในการวิจัย



ภาพที่ 11 แบบจำลองสายการผลิตที่ใช้ทำการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้ทดลองจำลองสายการผลิต 2 ขนาด ตามจำนวนชนิดของวัตถุดิบเริ่มต้นที่นำมาผลิต (r) ในส่วนที่ 1 และจำนวนชนิดของวัตถุดิบด้านบรรจุภัณฑ์ (p) ที่นำมาใช้ในส่วนที่ 2 ดังนี้

- แบบจำลองปัญหขนาดเล็กรวม 5 ขนาดการทดลอง ได้แก่ การทดลองที่มี $\{r=1\}$,

$\{r=2\}$, $\{r=3\}$, $\{r=1, p=1\}$ และ $\{r=2, p=1\}$ โดยที่แต่ละขนาดการทดลองมีจำนวนปัญหาที่สุ่มมาหาคำตอบทั้งหมด 15 ปัญหา

- แบบจำลองปัญหาขนาดใหญ่จำนวน 8 ขนาดการทดลอง ได้แก่ การทดลองที่มี $\{r=3, p=1\}$, $\{r=3, p=2\}$, $\{r=7, p=1\}$, $\{r=7, p=2\}$, $\{r=12, p=1\}$, $\{r=12, p=2\}$, $\{r=15, p=1\}$ และ $\{r=15, p=2\}$ โดยที่แต่ละขนาดการทดลองมีจำนวนปัญหาที่สุ่มมาหาคำตอบทั้งหมด 15 ปัญหา

การกำหนดตัวแปรที่ใช้ในการศึกษาและฟังก์ชันที่ใช้วัดค่าความเหมาะสม (Fitness Function)

2.1 ต้นทุนการเก็บรักษาของวัตถุดิบเริ่มต้นและวัตถุดิบด้านบรรจุภัณฑ์ (Carrying Cost of Raw Material and Packaging Raw Material)

ต้นทุนการเก็บรักษาของวัตถุดิบเริ่มต้นและวัตถุดิบด้านบรรจุภัณฑ์คำนวณได้ดังนี้

2.1.1 วัตถุดิบเริ่มต้น

กำหนดให้มีวัตถุดิบนำเข้าเริ่มต้น n ชนิด โดยแต่ละชนิดสั่งซื้อจากผู้ขายรายเดียว ตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง มีดังนี้

q_i = ปริมาณวัตถุดิบชนิดที่ i ที่ได้รับการสั่งซื้อ (Raw Material Quantity Ordered) โดยที่ $i = 1, \dots, n$

q_i^* = ปริมาณวัตถุดิบชนิดที่ i ที่ถูกสั่งซื้อแล้วผู้ขายจัดส่งตรงเวลา (Raw Material Quantity Delivered on Time)

p_i = สัดส่วนของปริมาณวัตถุดิบชนิดที่ i ที่ถูกสั่งซื้อแล้วผู้ขายแต่ละรายมาส่งตรงเวลา กับปริมาณทั้งหมดของวัตถุดิบชนิดดังกล่าวที่สั่งซื้อ (On-Time Delivery Performance = q_i^*/q_i) มีค่าตั้งแต่ 0 – 1

x_i = ปริมาณสินค้าคงคลังเพื่อความปลอดภัยของวัตถุดิบชนิดที่ i (Safety Stock of Raw Material i)

k_i = ความสามารถในการส่งมอบวัตถุดิบไปยังกระบวนการผลิตขั้นที่ 1 ของวัตถุดิบชนิดที่ i (Raw Material Delivery Performance to Process 1) มีค่าตั้งแต่ 0 – 1 คำนวณได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$k_i = \frac{q_i^* + x_i}{q_i} = p_i + \frac{x_i}{q_i}, \quad i = 1, \dots, n \quad (2.1)$$

c_i = ต้นทุนต่อหน่วยในการเก็บรักษาวัตถุดิบชนิดที่ i

C_i = ต้นทุนการเก็บรักษาวัตถุดิบคงคลังชนิดที่ i ในช่วงเวลาที่พิจารณา ซึ่งหมายถึงต้นทุนต่อหน่วยในการเก็บรักษาวัตถุดิบแต่ละชนิดคูณด้วยปริมาณสินค้าคงคลังเพื่อความปลอดภัยของวัตถุดิบแต่ละชนิด ดังสมการต่อไปนี้

$$C_i = c_i x_i = c_i q_i (k_i - p_i), \quad i = 1, \dots, n \quad (2.2)$$

2.1.2 วัตถุดิบด้านบรรจุภัณฑ์

กำหนดให้มีวัตถุดิบด้านบรรจุภัณฑ์ m ชนิด โดยแต่ละชนิดสั่งซื้อจากผู้ขายรายเดียว ตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง มีดังนี้

q_h^s = ปริมาณวัตถุดิบด้านบรรจุภัณฑ์ชนิดที่ h ที่ได้รับการสั่งซื้อ (Packaging Raw Material Quantity Ordered) โดยที่ $h = 1, \dots, m$

q_h^{s*} = ปริมาณวัตถุดิบด้านบรรจุภัณฑ์ชนิดที่ h ที่ถูกสั่งซื้อแล้วผู้ขายจัดส่งตรงเวลา (Packaging Raw Material Quantity Delivered On-Time)

p_h^s = สัดส่วนของปริมาณวัตถุดิบด้านบรรจุภัณฑ์ชนิดที่ h ที่ถูกสั่งซื้อแล้วผู้ขายแต่ละรายมาส่งตรงเวลา กับปริมาณทั้งหมดของวัตถุดิบด้านบรรจุภัณฑ์ชนิดดังกล่าวที่สั่งซื้อ (On-Time Delivery Performance = q_h^{s*} / q_h^s) มีค่าตั้งแต่ 0 – 1

x_h^s = ปริมาณสินค้าคงคลังเพื่อความปลอดภัยของวัตถุดิบด้านบรรจุภัณฑ์ชนิดที่ h (Safety Stock of Packaging Raw Material h)

k_h^s = ความสามารถในการส่งมอบวัตถุดิบด้านบรรจุภัณฑ์ไปยังกระบวนการผลิตขั้นที่ 2 ของวัตถุดิบด้านบรรจุภัณฑ์ชนิดที่ h (Packaging Raw Material Delivery Performance to Process 2) มีค่าตั้งแต่ 0 – 1 คำนวณได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$k_h^s = \frac{q_h^{s*} + x_h^s}{q_h^s} = p_h^s + \frac{x_h^s}{q_h^s}, \quad h = 1, \dots, m \quad (2.3)$$

c_h^s = ต้นทุนต่อหน่วยในการเก็บรักษาวัตถุดิบด้านบรรจุภัณฑ์ชนิดที่ h

C_h^s = ต้นทุนการเก็บรักษาวัตถุดิบคงคลังด้านบรรจุภัณฑ์ชนิดที่ h ในช่วงเวลาที่พิจารณา ซึ่งหมายถึงต้นทุนต่อหน่วยในการเก็บรักษาวัตถุดิบด้านบรรจุภัณฑ์แต่ละชนิดคูณด้วยปริมาณสินค้าคงคลังเพื่อความปลอดภัยของวัตถุดิบด้านบรรจุภัณฑ์แต่ละชนิด ดังสมการต่อไปนี้

$$C_h^s = c_h^s \cdot x_h^s = c_h^s \cdot q_h^s (k_h^s - p_h^s), \quad h = 1, \dots, m \quad (2.4)$$

2.2 ต้นทุนการเก็บรักษาของวัสดุคงคลังระหว่างกระบวนการผลิต (Carrying Cost of Work-in-Process)

ต้นทุนการเก็บรักษาของวัสดุคงคลังระหว่างกระบวนการคำนวณได้ดังนี้
กำหนดให้

q_{wip} = ปริมาณวัสดุคงคลังระหว่างกระบวนการผลิตที่วางแผนผลิตไว้ (The Work-in-Process Quantity Planned)

q_{wip}^* = ปริมาณวัสดุคงคลังระหว่างกระบวนการผลิตที่ผลิตทันตามแผนการผลิต หากวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตในคลังมีเพียงพอ (The Work-in-Process Quantity Produced On-Time by Process 1)

p_{m1} = สัดส่วนของปริมาณวัสดุคงคลังระหว่างกระบวนการผลิตที่ผลิตทันตามแผนการผลิต กับปริมาณวัสดุคงคลังระหว่างกระบวนการผลิตที่วางแผนไว้ทั้งหมด หากวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตในคลังมีเพียงพอ (Manufacturing Performance of Process 1 = q_{wip}^*/q_{wip}) มีค่าตั้งแต่ 0 – 1

x_{wip} = ปริมาณสินค้าคงคลังเพื่อความปลอดภัยของวัสดุคงคลังระหว่างกระบวนการผลิต (Safety Stock of Work-in-Process)

k_{wip} = ความสามารถในการส่งมอบวัสดุคงคลังระหว่างกระบวนการผลิตไปยังกระบวนการผลิตขั้นที่ 2 (Work-in-Process Delivery Performance to Process 2) มีค่าตั้งแต่ 0 – 1 ซึ่งคำนวณได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$k_{wip} = p_{m1} \prod_{i=1}^n k_i + \frac{x_{wip}}{q_{wip}} \quad (2.5)$$

c_{wip} = ต้นทุนต่อหน่วยในการเก็บรักษาวัสดุคงคลังระหว่างกระบวนการผลิต

C_{wip} = ต้นทุนการเก็บรักษาวัสดุคงคลังระหว่างกระบวนการผลิตทั้งหมดในช่วงเวลาที่พิจารณา ซึ่งหมายถึงต้นทุนต่อหน่วยในการเก็บรักษาวัสดุคงคลังระหว่างกระบวนการผลิตคูณด้วยปริมาณสินค้าคงคลังเพื่อความปลอดภัยวัสดุคงคลังระหว่างกระบวนการผลิต ดังสมการต่อไปนี้

$$C_{WIP} = c_{WIP} x_{WIP} = c_{WIP} q_{WIP} \left(k_{WIP} - p_{m1} \prod_{i=1}^n k_i \right) \quad (2.6)$$

2.3 พิจารณาด้านทุนการเก็บรักษาของสินค้าสำเร็จรูป (Carrying Cost of Finished Product)

ต้นทุนการเก็บรักษาของสินค้าสำเร็จรูปคำนวณได้ดังนี้

กำหนดให้

q_p = ปริมาณสินค้าสำเร็จรูปที่ลูกค้าสั่งซื้อ (The Finished Product Quantity Ordered or Customer Order Quantity)

q_p^* = ปริมาณสินค้าสำเร็จรูปที่ผลิตได้ทันเวลา หากวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตในคลังมีเพียงพอ (The Finished Product Quantity Manufactured On-Time)

p_{m2} = สัดส่วนของปริมาณสินค้าสำเร็จรูปที่ผลิตได้ทันเวลา กับปริมาณสินค้าสำเร็จรูปทั้งหมดที่ลูกค้าสั่งซื้อ หากวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตในคลังมีเพียงพอ (Manufacturing Performance of Process2 = q_p^*/q_p) มีค่าตั้งแต่ 0 – 1

x_p = ปริมาณสินค้าคงคลังเพื่อความปลอดภัยของสินค้าสำเร็จรูป (Safety Stock of Finished Product)

k_p = ความสามารถในการส่งมอบสินค้าสำเร็จรูปไปยังลูกค้า (Finished Product Delivery Performance to Customer) มีค่าตั้งแต่ 0 – 1 คำนวณได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$k_p = p_{m2} \cdot k_{WIP} \cdot \prod_{h=1}^m k_h^s + \frac{x_p}{q_p} \quad (2.7)$$

c_p = ต้นทุนต่อหน่วยในการเก็บรักษาสินค้าสำเร็จรูป

C_p = ต้นทุนการเก็บรักษาสินค้าสำเร็จรูปทั้งหมดในช่วงเวลาที่พิจารณา ซึ่งหมายถึงต้นทุนต่อหน่วยในการเก็บรักษาสินค้าสำเร็จรูปคูณด้วยปริมาณสินค้าคงคลังเพื่อความปลอดภัยของสินค้าสำเร็จรูป ดังสมการต่อไปนี้

$$C_p = c_p x_p = c_p q_p \left(k_p - p_{m2} \cdot k_{WIP} \cdot \prod_{h=1}^m k_h^s \right) \quad (2.8)$$

2.4 พิจารณาด้านทุนเสียโอกาส (Opportunity cost)

ต้นทุนเสียโอกาสคำนวณได้ดังนี้

กำหนดให้

c_o = ต้นทุนเสียโอกาสต่อหน่วยของสินค้าสำเร็จรูปที่ไม่สามารถผลิตให้ลูกค้าได้ทันเวลา

C_o = ต้นทุนเสียโอกาสทั้งหมดในช่วงเวลาที่พิจารณา ซึ่งเป็นสัดส่วนที่แปรผกผันกับปริมาณสินค้าคงคลังเพื่อความปลอดภัยของสินค้าสำเร็จรูป ดังสมการต่อไปนี้

$$C_o = c_o q_p (1 - k_p) \quad (2.9)$$

ดังนั้นฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของต้นทุนรวมในการเก็บรักษาสินค้าคงคลังและต้นทุนเสียโอกาสซึ่งใช้เป็นฟังก์ชันวัดค่าความเหมาะสมในการทดลองครั้งนี้เป็นดังนี้

$$\begin{aligned} \text{Minimize } C = & c_o q_p (1 - k_p) + \sum_{i=1}^n c_i q_i (k_i - p_i) + \sum_{h=1}^m c_h^s \cdot q_h^s (k_h^s - p_h^s) \\ & + c_{WIP} q_{WIP} \left(k_{WIP} - p_{m1} \prod_{i=1}^n k_i \right) + c_p q_p \left(k_p - p_{m2} \cdot k_{WIP} \cdot \prod_{h=1}^m k_h^s \right) \end{aligned} \quad (2.10)$$

หรือ

$$\text{Minimize } C = C_o + \sum_{i=1}^n C_i + \sum_{h=1}^m C_h^s + C_{WIP} + C_p \quad (2.11)$$

โดยมีข้อจำกัด (Constraints) ดังนี้

$$p_i \leq k_i \leq 1, \quad i = 1, \dots, n \quad (\text{จากสมการที่ 2.1}) \quad (2.12)$$

$$p_h^s \leq k_h^s \leq 1, \quad h = 1, \dots, m \quad (\text{จากสมการที่ 2.3}) \quad (2.13)$$

$$p_{m1} \prod_{i=1}^n k_i \leq k_{WIP} \leq 1 \quad (\text{จากสมการที่ 2.5}) \quad (2.14)$$

$$p_{m2} k_{WIP} \prod_{h=1}^m k_h^s \leq k_p \leq 1 \quad (\text{จากสมการที่ 2.7}) \quad (2.15)$$

$$0 \leq x_{WIP} \leq q_{WIP} - q_{WIP}^* \quad (2.16)$$

$$0 \leq x_p \leq q_p - q_p^* \quad (2.17)$$

โดยข้อจำกัดที่ 2.12-2.15 ได้มาจากสมการที่ 2.1, 2.3, 2.5 และ 2.7 ตามลำดับ และในที่นี้ได้มีการกำหนดให้ปริมาณสูงสุดของสินค้าคงคลังเพื่อความปลอดภัยของวัสดุคงคลังระหว่างกระบวนการผลิต (x_{wip}) มีค่าเท่ากับความแตกต่างของปริมาณวัสดุคงคลังระหว่างกระบวนการผลิตที่วางแผนผลิตไว้ (q_{wip}) และปริมาณวัสดุคงคลังระหว่างกระบวนการผลิตที่ผลิตทันตามแผนการผลิต หากวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตในคลังมีเพียงพอ (q_{wip}^*) ดังในข้อจำกัดที่ 2.16 และให้ระดับปริมาณสินค้าคงคลังเพื่อความปลอดภัยของสินค้าสำเร็จรูป (x_p) มีค่าสูงสุดเท่ากับความแตกต่างของปริมาณสินค้าสำเร็จรูปที่ลูกค้าสั่งซื้อ (q_p) และปริมาณสินค้าสำเร็จรูปที่คาดว่าจะผลิตได้ทันเวลา หากวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตมีเพียงพอ (q_p^*) ดังในข้อจำกัดที่ 2.17

การกำหนดโครโมโซมที่ใช้ศึกษา

ในงานวิจัยนี้ได้กำหนดให้โครโมโซมคือปริมาณสินค้าคงคลังเพื่อความปลอดภัยของวัตถุดิบเริ่มต้นแต่ละชนิดจำนวน n ชนิด ($x_1, x_2, \dots, x_n$) ปริมาณสินค้าคงคลังเพื่อความปลอดภัยของวัตถุดิบด้านบรรจุภัณฑ์แต่ละชนิดจำนวน 1 และ 2 ชนิด (x_1^s, x_2^s) ปริมาณสินค้าคงคลังเพื่อความปลอดภัยของวัสดุคงคลังระหว่างกระบวนการผลิต (x_{wip}) และปริมาณสินค้าคงคลังเพื่อความปลอดภัยของสินค้าสำเร็จรูป (x_p) ดังภาพที่ 12

x_1	x_2	x_3	...	x_n	x_1^s	x_2^s	x_{wip}	x_p
-------	-------	-------	-----	-------	---------	---------	-----------	-------

ภาพที่ 12 โครโมโซมที่ใช้ทำการวิจัย

ค่าของโครโมโซมเป็นจำนวนจริงที่เป็นจำนวนเต็ม โดยมีขอบเขตต่ำสุดของโครโมโซมเป็นศูนย์ และขอบเขตสูงสุดของโครโมโซมคือส่วนต่างของปริมาณการสั่งซื้อหรือปริมาณตามแผนการผลิต กับปริมาณที่ผู้ขายมาส่งมอบทันเวลาหรือปริมาณที่สามารถผลิตได้จริงในแต่ละขั้นตอน ดังแสดงในสมการต่อไปนี้

$$\begin{aligned} 0 \leq x_i &\leq q_i - q_i^*, & i &= 1, \dots, n \\ 0 \leq x_h^s &\leq q_h^s - q_h^{s*}, & h &= 1, \dots, m \end{aligned}$$

$$0 \leq x_{WIP} \leq q_{WIP} - q_{WIP}^*$$

$$0 \leq x_p \leq q_p - q_p^*$$

การเตรียมข้อมูล

ข้อมูลที่นำมาใช้ทำการทดลอง (ดังแสดงในภาคผนวก ก) ได้จากการสุ่มโดยกำหนดช่วงของข้อมูลตามข้อมูลที่ใช้ในอุตสาหกรรมเกษตร ซึ่งเป็นอุตสาหกรรมที่มีต้นทุนการเก็บรักษาสินค้าคงคลังและต้นทุนเสียโอกาสต่อหน่วยไม่สูงนักเมื่อเปรียบเทียบกับอุตสาหกรรมหนักอื่น ๆ เช่น อุตสาหกรรมผลิตรถยนต์ อุตสาหกรรมผลิตเครื่องจักร อุตสาหกรรมคอมพิวเตอร์ วิธีการสุ่มกำหนดให้ทุกข้อมูลมีการกระจายตัวแบบ Uniform Distribution และกำหนดให้แต่ละขนาดการทดลองมีจำนวนปัญหาที่นำมาหาคำตอบ 15 ปัญหา ซึ่งข้อมูลสำหรับแต่ละปัญหาที่นำมาใช้ มีดังนี้

1. ต้นทุนต่อหน่วย (บาท) ได้แก่

- ต้นทุนต่อหน่วยในการเก็บรักษาสินค้าคงคลังในส่วนวัตถุดิบเริ่มต้น (c_i) ทำการสุ่มในช่วง 0.50 – 10.50 บาท
- ต้นทุนต่อหน่วยในการเก็บรักษาสินค้าคงคลังในส่วนวัตถุดิบด้านบรรจุภัณฑ์ (c_h^s) ทำการสุ่มในช่วง 0.50 – 10.50 บาท
- ต้นทุนต่อหน่วยในการเก็บรักษาวัสดุคงคลังระหว่างกระบวนการผลิต (c_{WIP}) ทำการสุ่มในช่วง 0.50 – 10.50 บาท
- ต้นทุนต่อหน่วยในการเก็บรักษาสินค้าสำเร็จรูป (c_p) ทำการสุ่มในช่วง 1.50 – 20.00 บาท
- ต้นทุนเสียโอกาสต่อหน่วย (c_o) ทำการสุ่มในช่วง 5.50 – 25.50 บาท

2. ปริมาณวัตถุดิบที่สั่งซื้อและปริมาณผลิตภัณฑ์ที่สั่งผลิต (หน่วย) ได้แก่

- ปริมาณวัตถุดิบแต่ละชนิดที่สั่งซื้อ (q_i)
- ปริมาณวัตถุดิบด้านบรรจุภัณฑ์แต่ละชนิดที่สั่งซื้อ (q_h^s)
- ปริมาณวัสดุคงคลังระหว่างกระบวนการผลิตที่วางแผนผลิต (q_{WIP})
- ปริมาณสินค้าสำเร็จรูปที่ลูกค้าสั่งซื้อ (q_p)

ทำการสุ่มในช่วง 100 – 250 หน่วย

3. ปริมาณวัตถุดิบที่ผู้ขายจัดส่งตรงเวลาและปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ผลิตทันตามแผนการผลิต (หน่วย) ได้แก่

- ปริมาณวัตถุดิบแต่ละชนิดที่สั่งซื้อแล้วผู้ขายจัดส่งตรงเวลา (q_i^*)
- ปริมาณวัตถุดิบด้านบรรจุภัณฑ์แต่ละชนิดที่สั่งซื้อแล้วผู้ขายจัดส่งตรงเวลา (q_h^{s*})
- ปริมาณวัสดุคงคลังระหว่างกระบวนการผลิตที่ผลิตทันตามแผนการผลิต (q_{wip}^*)
- ปริมาณสินค้าสำเร็จรูปที่ผลิตได้ทันเวลา (q_p^*)

ทำการสุ่มในช่วง 80 – 250 หน่วย

การแก้ปัญหาปริมาณสินค้าคงคลังเพื่อความปลอดภัย

เมื่อกำหนดค่าต่าง ๆ ที่ใช้ในการทดลองเรียบร้อยแล้ว นำข้อมูลมาทดลองหาปริมาณสินค้าคงคลังเพื่อความปลอดภัยที่ทำให้ต้นทุนรวมต่ำที่สุด โดยใช้โปรแกรม MATLAB[®] Version 6.5.0 (โปรแกรมที่ใช้ในการคำนวณแสดงไว้ในภาคผนวก ข) พร้อมกับบันทึกเวลาที่ใช้ในการแก้ปัญหา ซึ่งการหาคำตอบแบ่งออกเป็น 2 ส่วนตามขนาดของปัญหา ดังนี้

1. ปัญหขนาดเล็ก ทดลองหาคำตอบด้วยวิธีการหาคำตอบทางตรง (Enumeration) วิธีอัลกอริธึมพันธุกรรม (Genetic Algorithm) วิธีค้นหาตามแบบรูป (Pattern Search) และวิธีลูกผสมระหว่างอัลกอริธึมพันธุกรรมและการค้นหาตามแบบรูป (Hybrid Genetic Algorithm with Pattern Search) โดยใช้คำตอบที่ได้จากวิธีการหาคำตอบทางตรงเป็นผลลัพธ์ในการทวนสอบคำตอบจากวิธีอื่น ๆ

2. ปัญหขนาดใหญ เนื่องจากมีตัวแปรมากเกินไป ไม่สามารถหาคำตอบวิธีการหาคำตอบทางตรง (Enumeration) หรือต้องใช้เวลาในการหาคำตอบ จึงทำการทดลองหาคำตอบด้วยวิธีอัลกอริธึมพันธุกรรม (Genetic Algorithm) วิธีค้นหาตามแบบรูป (Pattern Search) และวิธีลูกผสมระหว่างอัลกอริธึมพันธุกรรมและการค้นหาตามแบบรูป (Hybrid Genetic Algorithm with Pattern Search) จากนั้นนำผลลัพธ์ที่ได้จากการหาคำตอบทั้ง 3 วิธีดังกล่าวมาเปรียบเทียบกัน

การเปรียบเทียบระหว่างวิธีการทั้ง 4 วิธีนั้น ทำการเปรียบเทียบความแตกต่างทางสถิติในด้านของต้นทุนรวมที่ต่ำที่สุดและเวลาที่ใช้ในการแก้ปัญหาที่ระดับนัยสำคัญ 5% โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS Version 12

ในการทดลองหาคำตอบของแต่ละวิธี ได้กำหนดพารามิเตอร์ในการหาคำตอบดังนี้

พารามิเตอร์ที่ใช้ในวิธีอัลกอริธึมพันธุกรรม

- ชนิดโครโมโซมที่นำมาใช้ประกอบเป็นประชากร (Population Type): จำนวนจริง
- ขนาดประชากรในแต่ละรอบการหาคำตอบ (Population Size): 100
- จำนวนรอบการหาคำตอบมากที่สุด (Maximum Number of Generations): 1000
- จำนวนรอบการหาคำตอบที่ทำให้เมื่อไม่ได้ค่าฟังก์ชันความเหมาะสมลดลงแล้ว

กระบวนการหาคำตอบจะหยุด (Stall Generation Limit): 80

- การสร้างประชากรเริ่มต้น: เป็นการสุ่มแบบ Uniform
- ค่าขอบเขตประชากรเริ่มต้น (Population Initial Range): กำหนดค่าเริ่มต้นเป็น 0 และใช้ค่าสั่ง Round ในฟังก์ชันการสร้างประชากรเริ่มต้นเพื่อให้ค่าของโครโมโซมเป็นจำนวนเต็ม
- ขอบเขตของประชากร (Bound): [LB;UB] โดย LB (Lower Bound) = 0 และ UB (Upper Bound) = ค่าสูงสุดที่เป็นไปได้ของโครโมโซมที่กำหนดไว้
- ค่าสัดส่วนการตัดไขว้ (Crossover Fraction): $P_c = 0.8$
- ค่าสัดส่วนการกลายพันธุ์ (Mutation Fraction): $P_m = 0.01$
- เวลาในการหาคำตอบ (Time Limit): อนันต์

พารามิเตอร์ที่ใช้ในวิธีค้นหาตามแบบรูป (Pattern Search)

ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ใช้ กำหนดตามที่โปรแกรมตั้งไว้อัตโนมัติ (default) ดังนี้

- ขอบเขตของพื้นที่การหาคำตอบที่ใกล้ที่สุด (Tolerance on Mesh Size): 1×10^{-6}
- ค่ามากที่สุดของขนาดตาข่าย (Maximum Mesh Size): ค่าอนันต์
- ขนาดตาข่ายเริ่มต้น (Initial Mesh Size for Pattern Algorithm): 1
- จำนวนรอบการหาคำตอบที่มากที่สุด (Maximum Number of Iterations): 100 เท่าของ

จำนวนตัวแปร

- จำนวนจุดคำตอบมากที่สุดในการประเมินฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Maximum Number of Objective Function Evaluations): 2,000 เท่าของจำนวนตัวแปร
- จำนวนเวกเตอร์ในการหาคำตอบ: ค่าพื้นฐานที่มากที่สุด (Maximal Positive Basis) ซึ่งกำหนดไว้ที่สองเท่าของจำนวนตัวแปรอิสระในฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (2N)

- การย้ายจุด (Polling): แบบไม่สมบูรณ์ (ในกรณีที่การย้ายจุดแบบไม่สมบูรณ์ไม่สามารถใช้หาคำตอบที่เหมาะสมได้ดีเท่ากับวิธีอื่น จะทำการทดลองหาคำตอบโดยกำหนดการย้ายจุดให้เป็นแบบสมบูรณ์มาพิจารณาด้วย)
- ค่าการขยายขอบเขตของ Mesh Size เมื่อการย้ายจุดประสบความสำเร็จ: เพิ่มขึ้นสองเท่าของ Mesh Size ในรอบการหาคำตอบรอบที่ผ่านมา
- ค่าการลดขอบเขตของ Mesh Size เมื่อการย้ายจุดไม่ประสบความสำเร็จ: ลดลงสองเท่าของ Mesh Size ในรอบการหาคำตอบรอบที่ผ่านมา
- เวลาในการหาคำตอบ (Time Limit): อนันต์

พารามิเตอร์ที่ใช้ในวิธีลูกผสมระหว่างอัลกอริทึมพันธุกรรมและการค้นหาตามแบบรูป (Hybrid Genetic Algorithm with Pattern Search)

ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ใช้ทุกค่า กำหนดเหมือนกับค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในวิธีอัลกอริทึมพันธุกรรมและวิธีค้นหาตามแบบรูป โดยใช้วิธีอัลกอริทึมพันธุกรรมหาคำตอบก่อน จากนั้นใช้คำตอบที่ได้เป็นค่าเริ่มต้นในการหาคำตอบของวิธีค้นหาตามแบบรูปต่อไป

ตัวอย่างการหาคำตอบด้วยวิธีค้นหาตามแบบรูป

สำหรับปัญหามินิไมซ์ที่วัตถุมี 1 ชนิด มีข้อมูลที่นำมาใช้ในการทดลอง ดังนี้

$$\begin{array}{lll} q_1 = 117 & q_1^* = 113 & c_1 = 5.00 \\ q_p = 116 & q_p^* = 105 & c_p = 7.80 \quad c_0 = 6.13 \end{array}$$

- ตัวแปรของการทดลองนี้มี 2 ตัว คือ x_1 และ x_p

- ขอบเขตบนและขอบเขตล่าง $[LB \text{ ของ } x_1 \quad LB \text{ ของ } x_p], [UB \text{ ของ } x_1 \quad UB \text{ ของ } x_p] = [0 \ 0], [4 \ 11]$

หรือ $0 \leq x_1 \leq 4, 0 \leq x_p \leq 11$

แทนค่าในสมการได้ดังนี้

$$k_1 = \frac{q_1^* + x_1}{q_1} \quad (\text{จากสมการที่ 2.1})$$

$$k_1 = \frac{113 + x_1}{117}$$

$$C_1 = c_1 x_1 \quad (\text{จากสมการที่ 2.2})$$

$$C_1 = 5.00x_1$$

$$k_p = \frac{q_p^* \cdot k_1 + x_p}{q_p} \quad (\text{จากสมการที่ 2.7})$$

$$k_p = \frac{105 \cdot \left(\frac{113 + x_1}{117} \right) + x_p}{116}$$

$$C_p = c_p \cdot x_p \quad (\text{จากสมการที่ 2.8})$$

$$C_p = 7.80x_p$$

$$C_o = c_o q_p (1 - k_p) \quad (\text{จากสมการที่ 2.9})$$

$$C_o = 6.13 \cdot 116 \left(1 - \frac{105 \cdot \left(\frac{113 + x_1}{117} \right) + x_p}{116} \right)$$

$$\text{Minimize } C = C_o + C_1 + C_p \quad (\text{จากสมการที่ 2.11})$$

$$\text{Minimize } C = 6.13 \cdot 116 \left(1 - \frac{105 \cdot \left(\frac{113 + x_1}{117} \right) + x_p}{116} \right) + 5.00x_1 + 7.80x_p$$

จุดเริ่มต้นในการหาคำตอบคือ $(x_1, x_p) = (0, 0)$ จำนวนค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์หรือค่า
คำตอบ (Minimize C) ได้ 89.44

รอบการหาคำตอบที่ 1 (Iteration 1)

ขนาดเวกเตอร์ที่ใช้หาคำตอบ (Mesh Size) มีค่าเท่ากับ 1 จำนวนจุดคำตอบรอบจุดคำตอบเริ่มต้น (Mesh Points) ได้ดังนี้

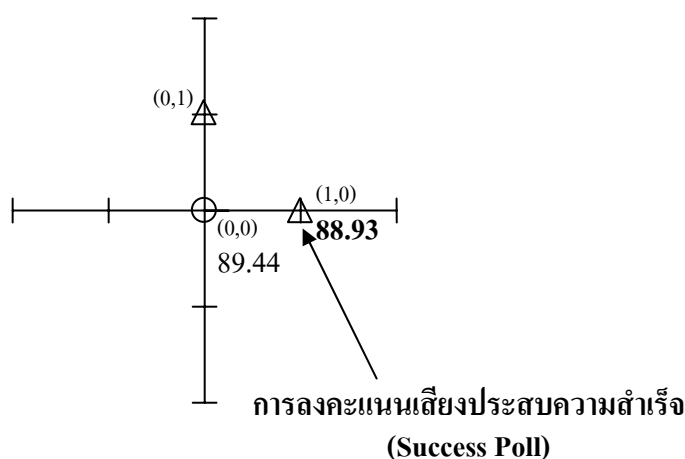
$$[1 \ 0] + (0, 0) = (1, 0)$$

$$[0 \ 1] + (0, 0) = (0, 1)$$

$$[-1 \ 0] + (0, 0) = (-1, 0) \text{ ----> ไม่อยู่ในขอบเขตของคำตอบที่เป็นไปได้}$$

$$[0 \ -1] + (0, 0) = (0, -1) \text{ ----> ไม่อยู่ในขอบเขตของคำตอบที่เป็นไปได้}$$

จุดคำตอบที่อยู่ในขอบเขต $0 \leq x_1 \leq 4, 0 \leq x_p \leq 11$ คือ $(1, 0)$ และ $(0, 1)$ และคำนวณค่าคำตอบได้ดังนี้



จุดคำตอบ $(1, 0)$ ให้ค่าคำตอบดีกว่าจุดคำตอบเดิม $(0, 0)$ กล่าวคือให้ค่าต้นทุนรวมในการเก็บรักษาสินค้าคงคลังและต้นทุนเสียโอกาส (88.93 บาท) ต่ำกว่าค่าต้นทุนเดิม (89.44 บาท) จึงทำการย้ายจุดคำตอบไปยังจุดดังกล่าวและให้จุดดังกล่าวเป็นจุดคำตอบใหม่สำหรับการหาคำตอบในรอบที่ 2 ต่อไป

รอบการหาคำตอบที่ 2 (Iteration 2)

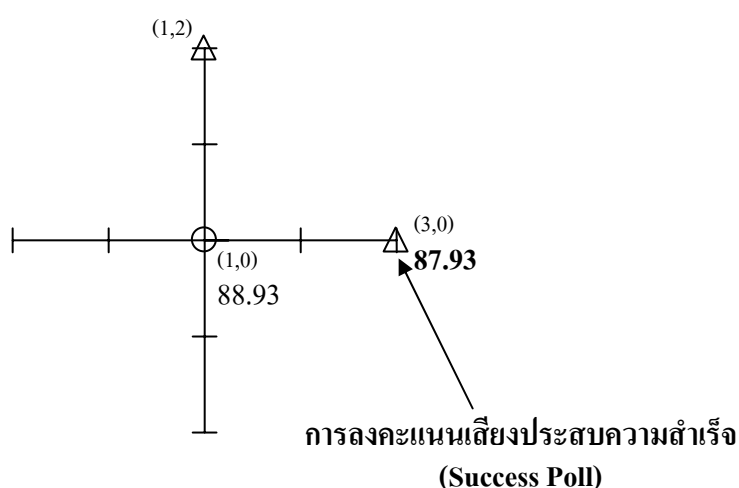
การย้ายจุดคำตอบในรอบการหาคำตอบที่ผ่านมาเป็นไปอย่างประสบความสำเร็จ ดังนั้นขนาดเวกเตอร์ที่ใช้หาคำตอบ (Mesh Size) จึงเพิ่มขึ้นเป็นสองเท่า มีค่าเท่ากับ $1 \times 2 = 2$ จำนวนจุดคำตอบรอบจุดคำตอบเดิม (Mesh Points) ได้ดังนี้

$$2 \cdot [1 \ 0] + (1, 0) = (3, 0)$$

$$2 \cdot [0 \ 1] + (1, 0) = (1, 2)$$

$$2 \cdot [-1 \ 0] + (1, 0) = (-1, 0) \text{ ----> ไม่อยู่ในขอบเขตของคำตอบที่เป็นไปได้}$$

$$2 \cdot [0 \ -1] + (1, 0) = (1, -2) \text{ ----> ไม่อยู่ในขอบเขตของคำตอบที่เป็นไปได้}$$



จุดคำตอบ (3, 0) ให้ค่าคำตอบดีกว่าจุดคำตอบเดิม (1, 0) คือให้ค่าต้นทุนรวมในการเก็บรักษาสินค้าคงคลังและต้นทุนเสียโอกาส (87.93 บาท) ต่ำกว่าค่าต้นทุนเดิม (88.93 บาท) จึงทำการย้ายจุดคำตอบไปยังจุดดังกล่าวและให้จุดดังกล่าวเป็นจุดคำตอบใหม่สำหรับการหาคำตอบในรอบที่ 3 ต่อไป

รอบการหาคำตอบที่ 3 (Iteration 3)

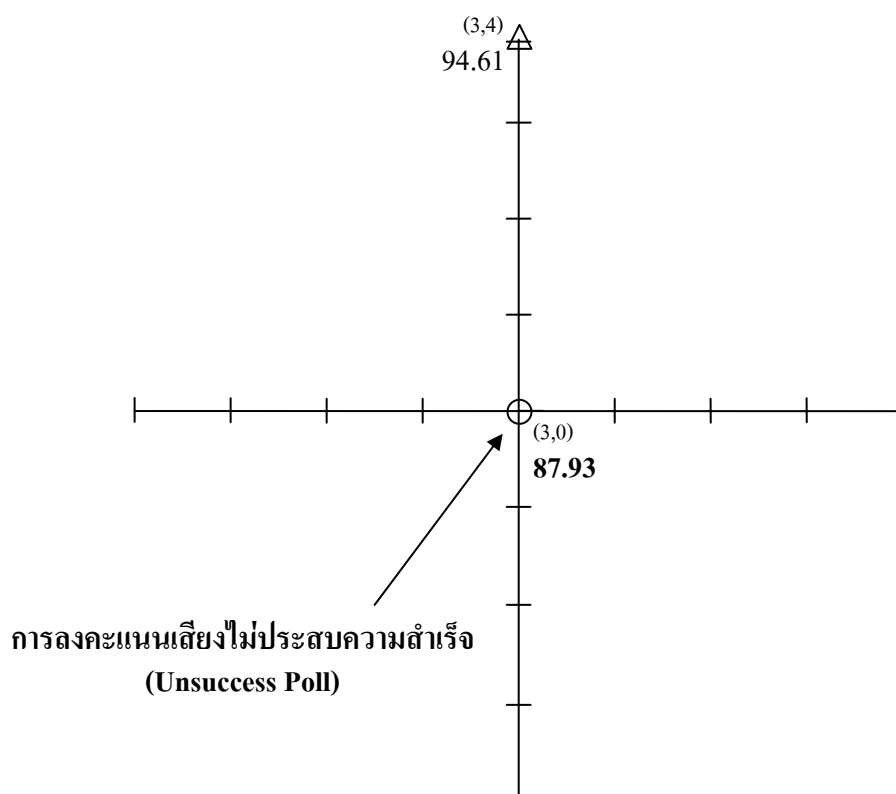
การย้ายจุดคำตอบในรอบการหาคำตอบที่ผ่านมาเป็นไปอย่างประสบความสำเร็จ ดังนั้นขนาดเวกเตอร์ที่ใช้หาคำตอบ (Mesh Size) จึงเพิ่มขึ้นเป็นสองเท่า มีค่าเท่ากับ $2 \times 2 = 4$ จำนวนจุดคำตอบรอบจุดคำตอบเดิม (Mesh Points) ได้ดังนี้

$$4 \cdot [1 \ 0] + (3, 0) = (7, 0) \text{ ----> ไม่อยู่ในขอบเขตของคำตอบที่เป็นไปได้}$$

$$4 \cdot [0 \ 1] + (3, 0) = (3, 4)$$

$$4 \cdot [-1 \ 0] + (3, 0) = (-1, 0) \text{ ----> ไม่อยู่ในขอบเขตของคำตอบที่เป็นไปได้}$$

$$4 \cdot [0 \ -1] + (3, 0) = (3, -4) \text{ ----> ไม่อยู่ในขอบเขตของคำตอบที่เป็นไปได้}$$



ในการหาคำตอบรอบนี้ไม่พบจุดที่ทำให้ค่าคำตอบดีกว่าจุดเดิม (3, 0) ดังนั้นจึงไม่มีการย้ายจุดเกิดขึ้น ซึ่งในกรณีนี้จะใช้ค่าคำตอบของจุดคำตอบเดิม (87.93 บาท) เป็นค่าสำหรับการหาคำตอบในรอบที่ 4 ต่อไป

รอบการหาคำตอบที่ 4 (Iteration 4)

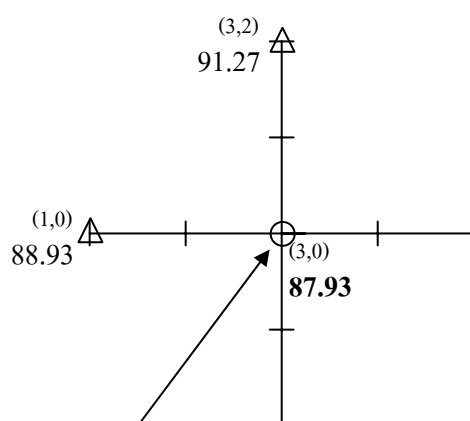
การย้ายจุดคำตอบในรอบการหาคำตอบที่ผ่านมาไม่ประสบความสำเร็จ ดังนั้นขนาดเวกเตอร์ที่ใช้หาคำตอบ (Mesh Size) จึงลดลงสองเท่า มีค่าเท่ากับ $4/2 = 2$ จำนวนจุดคำตอบรอบจุดคำตอบเดิม (Mesh Points) ได้ดังนี้

$$2 \cdot [1 \ 0] + (3, 0) = (5, 0) \text{ ----> ไม่อยู่ในขอบเขตของคำตอบที่เป็นไปได้}$$

$$2 \cdot [0 \ 1] + (3, 0) = (3, 2)$$

$$2 \cdot [-1 \ 0] + (3, 0) = (1, 0)$$

$$2 \cdot [0 \ -1] + (3, 0) = (3, -2) \text{ ----> ไม่อยู่ในขอบเขตของคำตอบที่เป็นไปได้}$$



การลงคะแนนเสียงไม่ประสบความสำเร็จ
(Unsuccess Poll)

ในการหาคำตอบรอบนี้ไม่พบจุดที่ทำให้ค่าคำตอบดีกว่าจุดเดิม (3, 0) ดังนั้นจึงไม่มีการย้ายจุดเกิดขึ้น ซึ่งในกรณีนี้จะใช้ค่าคำตอบของจุดคำตอบเดิม (87.93 บาท) เป็นค่าสำหรับการหาคำตอบในรอบที่ 5 ต่อไป

รอบการหาคำตอบที่ 5 (Iteration 5)

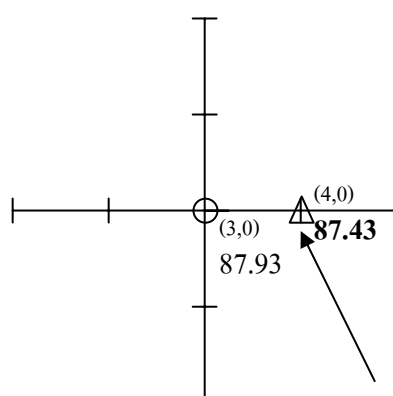
การย้ายจุดคำตอบในรอบการหาคำตอบที่ผ่านมาไม่ประสบความสำเร็จ ดังนั้นขนาดเวกเตอร์ที่ใช้หาคำตอบ (Mesh Size) จึงลดลงสองเท่า มีค่าเท่ากับ $2/2 = 1$ จำนวนจุดคำตอบรอบจุดคำตอบเดิม (Mesh Points) ได้ดังนี้

$$1 \cdot [1 \ 0] + (3, 0) = (4, 0)$$

$$1 \cdot [0 \ 1] + (3, 0) = (3, 1)$$

$$1 \cdot [-1 \ 0] + (3, 0) = (2, 0)$$

$$1 \cdot [0 \ -1] + (3, 0) = (3, -1) \text{ ----> ไม่อยู่ในขอบเขตของคำตอบที่เป็นไปได้}$$



การลงคะแนนเสียงประสบความสำเร็จ
(Success Poll)

จุดคำตอบ (4, 0) ให้ค่าคำตอบดีกว่าจุดคำตอบเดิม (3, 0) คือให้ค่าต้นทุนรวมในการเก็บรักษาสินค้าคงคลังและต้นทุนเสียโอกาส (87.43 บาท) ต่ำกว่าค่าต้นทุนต่ำที่สุดเดิม (87.93 บาท) จึงทำการย้ายจุดคำตอบไปยังจุดดังกล่าวและให้จุดดังกล่าวเป็นจุดคำตอบใหม่สำหรับการหาคำตอบในรอบที่ 6 ต่อไป

รอบการหาคำตอบที่ 6 (Iteration 6)

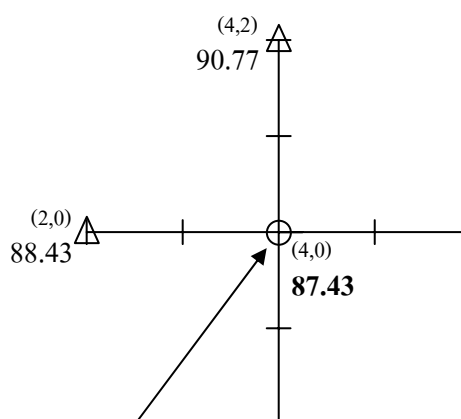
การย้ายจุดคำตอบในรอบการหาคำตอบที่ผ่านมาเป็นไปอย่างประสบความสำเร็จ ดังนั้นขนาดเวกเตอร์ที่ใช้หาคำตอบ (Mesh Size) จึงเพิ่มขึ้นเป็นสองเท่า มีค่าเท่ากับ $1 \times 2 = 2$ จำนวนจุดคำตอบรอบจุดคำตอบเดิม (Mesh Points) ได้ดังนี้

$$2 \cdot [1 \ 0] + (4, 0) = (6, 0) \text{ ----> ไม่อยู่ในขอบเขตของคำตอบที่เป็นไปได้}$$

$$2 \cdot [0 \ 1] + (4, 0) = (4, 2)$$

$$2 \cdot [-1 \ 0] + (4, 0) = (2, 0)$$

$$2 \cdot [0 \ -1] + (4, 0) = (4, -2) \text{ ----> ไม่อยู่ในขอบเขตของคำตอบที่เป็นไปได้}$$



การลงคะแนนเสียงไม่ประสบความสำเร็จ
(Unsuccess Poll)

ในการหาคำตอบรอบนี้ไม่พบจุดที่ทำให้ค่าคำตอบดีกว่าจุดเดิม (4, 0) ดังนั้นจึงไม่มีการย้ายจุดเกิดขึ้น ซึ่งในกรณีนี้จะใช้ค่าคำตอบของจุดคำตอบเดิม (87.43 บาท) เป็นค่าสำหรับการหาคำตอบในรอบที่ 5 ต่อไป

ทำการหาคำตอบเช่นนี้ไปเรื่อย ๆ จนกระทั่งเมื่อลดขนาดเวกเตอร์ที่ใช้หาคำตอบ (Mesh Size) น้อยกว่าขอบเขตของพื้นที่การหาคำตอบที่ใกล้ที่สุด (Tolerance on Mesh Size) ที่ตั้งค่าไว้ คือ 1×10^{-6} แล้ว ไม่พบจุดคำตอบที่ทำให้ค่าคำตอบดีขึ้นจึงหยุดกระบวนการ จะได้คำตอบในรอบการหาคำตอบดังกล่าวเป็นคำตอบของการทดลอง คือค่าต้นทุนรวมในการเก็บรักษาสินค้าคงคลังและต้นทุนเสียโอกาสที่ต่ำที่สุดที่วิธีค้นหาตามแบบรูปสามารถหาได้ ซึ่งในการทดลองที่นำมา ยกตัวอย่างนี้กระบวนการหาคำตอบหยุดที่รอบการหาคำตอบที่ 26 เนื่องจากการหาคำตอบรอบที่ 26 นี้มีขนาดเวกเตอร์ที่ใช้หาคำตอบ 9.537×10^{-7} ซึ่งน้อยกว่า 1×10^{-6} และได้คำตอบค่าต้นทุนที่ต่ำที่สุด คือ 87.43 บาท

ผลการวิจัยและวิจารณ์

จากการทดลองหาค่าต้นทุนที่ต่ำที่สุดในการเก็บรักษาสินค้าคงคลังและต้นทุนเสียโอกาส ด้วยวิธีอัลกอริธึมพันธุกรรม (Genetic Algorithm หรือ GA) วิธีค้นหาตามแบบรูป (Pattern Search) และวิธีลูกผสมระหว่างอัลกอริธึมพันธุกรรมและการค้นหาตามแบบรูป (Hybrid Genetic Algorithm with Pattern Search) เนื่องจากการหาคำตอบที่เหมาะสมด้วยวิธีอัลกอริธึมพันธุกรรม ไม่ให้คำตอบที่เหมาะสมเท่ากันในทุกครั้งของการหาคำตอบ จึงทำการหาคำตอบปัญหาละ 5 ครั้ง แล้วแสดงผลคำตอบที่ต่ำที่สุดของการหาคำตอบทั้ง 5 ครั้ง และเวลารวมในการหาคำตอบของการทดลองทั้ง 5 ครั้ง (คำตอบของวิธีอัลกอริธึมพันธุกรรมทุกครั้งแสดงในภาคผนวก ค) ส่วนวิธีค้นหาตามแบบรูป และวิธีลูกผสมระหว่างอัลกอริธึมพันธุกรรมและการค้นหาตามแบบรูป ให้คำตอบที่เหมาะสมเท่ากันทุกครั้งของการหาคำตอบ จึงทำการหาคำตอบของแต่ละปัญหาเพียงครั้งเดียว แล้วแสดงผลคำตอบที่เหมาะสมได้ทันที และเวลาที่ใช้ในการหาคำตอบเป็นเวลาของการหาคำตอบครั้งเดียว

สำหรับปัญหขนาดเล็กได้ทำการทดลองเปรียบเทียบคำตอบกับวิธีการหาคำตอบทางตรง (Enumeration) เพื่อทดสอบผลลัพธ์ของแต่ละวิธี ส่วนปัญหขนาดใหญ่ เนื่องจากมีจำนวนตัวแปรมากเกินไป ทำให้การหาคำตอบทางตรงใช้เวลายาวนานมาก ดังนั้นในกรณีของปัญหขนาดใหญ่ จะทำการเปรียบเทียบผลการหาคำตอบของ 3 วิธีเท่านั้น ซึ่งการศึกษาเปรียบเทียบอยู่ในรูปของการหาคำตอบที่เหมาะสม คือ ต้นทุนรวมในการเก็บรักษาสินค้าคงคลังและต้นทุนเสียโอกาสของธุรกิจต่ำที่สุด และเวลาที่ใช้ในการหาคำตอบสำหรับปัญหขนาดเล็กและปัญหขนาดใหญ่ แสดงในตารางที่ 1, 2, 3 และ 4 ตามลำดับ

ปัญหขนาดเล็ก

ผลการทดลองในตารางที่ 1 แสดงให้เห็นว่าการหาคำตอบสำหรับปัญหขนาดเล็ก $\{r=1\}$, $\{r=2\}$, $\{r=3\}$, $\{r=1, p=1\}$ และ $\{r=2, p=1\}$ โดยวิธีอัลกอริธึมพันธุกรรม วิธีค้นหาตามแบบรูป และวิธีลูกผสมระหว่างอัลกอริธึมพันธุกรรมและการค้นหาตามแบบรูปนั้น ทั้ง 3 วิธีให้ค่าต้นทุนรวมที่ต่ำที่สุดเท่ากับวิธีการหาคำตอบทางตรงในทุกกรณี แสดงว่าวิธีการทั้ง 3 วิธีสามารถหาคำตอบที่เหมาะสม (Optimal Solution) ของปัญหขนาดเล็กที่นำมาศึกษาได้

ตารางที่ 1 การเปรียบเทียบต้นทุนรวมและเวลาที่ใช้ในการหาคำตอบสำหรับปัญหาขนาดเล็ก

จำนวนวัตถุและ วัตถุในด้านบรรจุกฎ	การทดลองที่	ต้นทุนรวมที่ต่ำที่สุด (บาท)				เวลาในการหาคำตอบ (วินาที)			
		*EN	*GA	*PS	*HY	*EN	*GA	*PS	*HY
วัตถุ 1 ชนิด ไม่มีวัตถุในด้าน บรรจุกฎ (r=1)	1	87.43	87.43	87.43	87.43	0.00	11.21	0.04	2.73
	2	47.20	47.20	47.20	47.20	0.02	11.29	0.05	2.71
	3	376.04	376.04	376.04	376.04	0.03	11.87	0.12	2.67
	4	209.16	209.16	209.16	209.16	0.02	11.13	0.04	2.55
	5	118.59	118.59	118.59	118.59	0.04	10.68	0.26	2.15
	6	144.51	144.51	144.51	144.51	0.00	11.06	0.24	2.19
	7	166.45	166.45	166.45	166.45	0.01	10.99	0.07	2.43
	8	95.47	95.47	95.47	95.47	0.01	11.10	0.11	2.42
	9	101.89	101.89	101.89	101.89	0.01	11.39	0.05	2.59
	10	427.74	427.74	427.74	427.74	0.02	12.69	0.28	2.69
	11	151.18	151.18	151.18	151.18	0.05	11.00	0.06	2.18
	12	84.04	84.04	84.04	84.04	0.01	10.89	0.02	2.39
	13	92.20	92.20	92.20	92.20	0.01	11.30	0.35	2.21
	14	136.17	136.17	136.17	136.17	0.05	11.46	0.03	2.52
	15	142.20	142.20	142.20	142.20	0.02	11.96	0.23	2.40
วัตถุ 2 ชนิด ไม่มีวัตถุในด้าน บรรจุกฎ (r=2)	1	126.65	126.65	126.65	126.65	0.01	11.68	0.04	2.56
	2	265.06	265.06	265.06	265.06	0.08	11.84	0.15	2.54
	3	226.11	226.11	226.11	226.11	0.04	11.73	0.15	2.60
	4	321.81	321.81	321.81	321.81	0.01	12.17	0.10	2.44
	5	222.58	222.58	222.58	222.58	0.06	11.28	0.24	2.53
	6	99.24	99.24	99.24	99.24	0.02	11.30	0.03	2.61
	7	216.75	216.75	216.75	216.75	0.01	11.30	0.23	2.56
	8	200.59	200.59	200.59	200.59	0.01	11.70	0.07	2.30
	9	120.77	120.77	120.77	120.77	0.06	11.79	0.25	2.60
	10	242.95	242.95	242.95	242.95	0.01	13.31	0.07	2.45
	11	229.86	229.86	229.86	229.86	0.01	11.22	0.18	2.61
	12	391.27	391.27	391.27	391.27	0.09	11.64	0.14	2.20
	13	245.79	245.79	245.79	245.79	0.05	11.94	0.17	2.61
	14	194.05	194.05	194.05	194.05	0.02	11.02	0.27	2.29
	15	332.24	332.24	332.24	332.24	0.02	11.83	0.07	2.49

ตารางที่ 1 (ต่อ)

จำนวนวัตถุดิบและ วัตถุดิบด้านบรรจุภัณฑ์	การทดสอบ ครั้งที่	ต้นทุนรวมที่ต่ำที่สุด (บาท)				เวลาในการหาคำตอบ (วินาที)			
		*EN	*GA	*PS	*HY	*EN	*GA	*PS	*HY
วัตถุดิบ 3 ชนิด ไม่มีวัตถุดิบด้าน บรรจุภัณฑ์ (r=3)	1	168.54	168.54	168.54	168.54	2.96	12.98	0.10	2.34
	2	75.04	75.04	75.04	75.04	0.42	12.25	0.16	2.54
	3	200.09	200.09	200.09	200.09	19.84	12.16	0.22	2.47
	4	295.04	295.04	295.04	295.04	13.18	12.92	0.19	2.56
	5	335.45	335.45	335.45	335.45	1.34	11.84	0.06	3.03
	6	110.79	110.79	110.79	110.79	3.11	11.33	0.06	2.55
	7	310.65	310.65	310.65	310.65	6.62	11.82	0.07	2.71
	8	279.94	279.94	279.94	279.94	99.96	11.58	0.13	2.41
	9	197.23	197.23	197.23	197.23	167.99	13.54	0.22	3.57
	10	503.44	503.44	503.44	503.44	70.36	16.40	0.15	2.63
	11	437.50	437.50	437.50	437.50	18.37	13.86	0.08	2.93
	12	260.19	260.19	260.19	260.19	285.88	13.09	0.28	2.55
	13	407.63	407.63	407.63	407.63	341.91	13.93	0.07	2.57
	14	298.18	298.18	298.18	298.18	29.83	12.79	0.15	2.28
	15	201.69	201.69	201.69	201.69	6.38	12.48	0.17	2.73
วัตถุดิบ 1 ชนิดและ วัตถุดิบด้าน บรรจุภัณฑ์ 1 ชนิด (r=1, p=1)	1	148.80	148.80	148.80	148.80	17.03	14.61	0.22	2.99
	2	242.34	242.34	242.34	242.34	18.41	15.44	0.59	2.96
	3	210.27	210.27	210.27	210.27	0.77	13.75	0.36	2.86
	4	154.99	154.99	154.99	154.99	3.02	13.84	0.11	3.02
	5	165.17	165.17	165.17	165.17	7.41	13.62	0.23	2.97
	6	229.47	229.47	229.47	229.47	1.44	13.31	0.18	3.30
	7	176.37	176.37	176.37	176.37	26.15	13.88	0.42	3.14
	8	235.14	235.14	235.14	235.14	6.88	14.47	0.34	3.12
	9	203.24	203.24	203.24	203.24	26.05	13.75	0.27	3.17
	10	272.91	272.91	272.91	272.91	10.38	13.95	0.31	3.24
	11	195.94	195.94	195.94	195.94	5.15	16.06	0.35	3.21
	12	148.48	148.48	148.48	148.48	0.15	12.80	0.08	3.82
	13	215.41	215.41	215.41	215.41	1.13	13.75	0.38	2.97
	14	128.78	128.78	128.78	128.78	4.51	13.72	0.28	3.02
	15	366.07	366.07	366.07	366.07	20.62	14.41	0.14	3.32

ตารางที่ 1 (ต่อ)

จำนวนวัตถุสิบและ วัตถุสิบด้านบรรจุภัณฑ์	การทดสอบ กล่องที่	ต้นทุนรวมที่ต่ำที่สุด (บาท)				เวลาในการหาคำตอบ (วินาที)			
		*EN	*GA	*PS	*HY	*EN	*GA	*PS	*HY
วัตถุสิบ 2 ชนิดและ วัตถุสิบด้าน บรรจุภัณฑ์ 1 ชนิด ($r=2, p=1$)	1	181.04	181.04	181.04	181.04	8.36	14.10	0.33	3.32
	2	215.00	215.00	215.00	215.00	756.20	14.92	0.36	3.19
	3	167.90	167.90	167.90	167.90	21.15	13.98	0.35	3.08
	4	141.74	141.74	141.74	141.74	21.01	14.53	0.39	3.13
	5	160.85	160.85	160.85	160.85	1.11	13.71	0.40	2.98
	6	191.49	191.49	191.49	191.49	37.30	15.27	0.66	3.24
	7	318.27	318.27	318.27	318.27	1219.92	14.10	0.46	3.18
	8	221.65	221.65	221.65	221.65	32.41	14.69	0.42	3.17
	9	117.11	117.11	117.11	117.11	1.57	13.69	0.42	2.99
	10	279.61	279.61	279.61	279.61	319.54	14.80	0.39	3.19
	11	255.47	255.47	255.47	255.47	0.31	13.70	0.36	2.88
	12	303.38	303.38	303.38	303.38	61.01	14.16	0.44	3.23
	13	227.05	227.05	227.05	227.05	9.65	13.70	0.29	3.11
	14	168.22	168.22	168.22	168.22	11.15	13.79	0.48	3.08
	15	334.93	334.93	334.93	334.93	938.44	15.54	0.48	3.21

หมายเหตุ: *EN = Enumeration

*GA = Genetic Algorithm

*PS = Pattern Search

*HY = Hybrid Genetic Algorithm with Pattern Search

การเปรียบเทียบความแตกต่างทางสถิติของเวลาเฉลี่ยของวิธีการต่าง ๆ ในการหาคำตอบ สำหรับปัญหาขนาดเล็กที่ระดับนัยสำคัญ 5% ในตารางที่ 2 แสดงให้เห็นว่าการหาคำตอบของปัญหาที่มีจำนวนวัตถุสิบ 1 และ 2 ชนิดควรใช้วิธีการหาคำตอบทางตรง หรือวิธีค้นหาตามแบบรูป เนื่องจากวิธีดังกล่าวใช้เวลาหาคำตอบน้อยกว่าวิธีลูกผสมระหว่างอัลกอริธึมพันธุกรรมและการค้นหาตามแบบรูป และวิธีอัลกอริธึมพันธุกรรมตามลำดับ และการหาคำตอบสำหรับปัญหาที่มีวัตถุสิบ 1 ชนิดพร้อมกับวัตถุสิบด้านบรรจุภัณฑ์ 1 ชนิด ($r=1, p=1$) ควรใช้วิธีค้นหาตามแบบรูป หรือวิธีลูกผสมระหว่างอัลกอริธึมพันธุกรรมและการค้นหาตามแบบรูป จะทำให้ใช้เวลาในการหาคำตอบน้อยกว่าวิธีการหาคำตอบทางตรงและวิธีอัลกอริธึมพันธุกรรม สำหรับการหาคำตอบของปัญหาที่มีจำนวนวัตถุสิบ 3 ชนิด ($r=3$) และวัตถุสิบ 2 ชนิดพร้อมกับวัตถุสิบด้านบรรจุภัณฑ์ 1 ชนิด ($r=2, p=1$) สามารถใช้ได้ทั้ง 3 วิธีคืออัลกอริธึมพันธุกรรม วิธีค้นหาตามแบบรูป และวิธีลูกผสมระหว่างอัลกอริธึมพันธุกรรมและการค้นหาตามแบบรูป เนื่องจากทั้ง 3 วิธีใช้เวลาในการหาคำตอบไม่แตกต่างกันและใช้เวลาน้อยกว่าวิธีการหาคำตอบทางตรง

ตารางที่ 2 การเปรียบเทียบเวลาเฉลี่ยที่ใช้หาคำตอบสำหรับปัญหาขนาดเล็ก

จำนวนวัตถุดิบ (r) และ วัตถุดิบด้านบรรจุภัณฑ์ (p)	เวลาเฉลี่ยในการหาคำตอบ (วินาที)			
	*EN	*GA	*PS	*HY
r=1	0.02a	11.33c	0.13a	2.46b
r=2	0.03a	11.72c	0.14a	2.49b
r=3	71.21b	12.86a	0.14a	2.66a
r=1, p=1	9.94b	14.09b	0.28a	3.14a
r=2, p=1	229.28b	14.31a	0.42a	3.13a

หมายเหตุ: *EN = Enumeration

*GA = Genetic Algorithm

*PS = Pattern Search

*HY = Hybrid Genetic Algorithm with Pattern Search

ตัวเลขในแถวที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับ

นัยสำคัญ 5%

ปัญหาขนาดใหญ่

ผลการศึกษาเปรียบเทียบวิธีอัลกอริธึมพันธุกรรม (Genetic Algorithm) วิธีค้นหาตามแบบรูป (Pattern Search) และวิธีลูกผสมระหว่างอัลกอริธึมพันธุกรรมและการค้นหาตามแบบรูป (Hybrid Genetic Algorithm with Pattern Search) ในการหาคำตอบสำหรับปัญหาขนาดใหญ่แสดงในตารางที่ 3 พบว่าการหาคำตอบสำหรับปัญหาที่มีจำนวนวัตถุดิบ 3 ชนิดพร้อมกับวัตถุดิบด้านบรรจุภัณฑ์ 1 ชนิด {r=3, p=1} วัตถุดิบ 3 ชนิดพร้อมกับวัตถุดิบด้านบรรจุภัณฑ์ 2 ชนิด {r=3, p=2} วัตถุดิบ 7 ชนิดพร้อมกับวัตถุดิบด้านบรรจุภัณฑ์ 1 ชนิด {r=7, p=1} วัตถุดิบ 7 ชนิดพร้อมกับวัตถุดิบด้านบรรจุภัณฑ์ 2 ชนิด {r=7, p=2} และวัตถุดิบ 15 ชนิดพร้อมกับวัตถุดิบด้านบรรจุภัณฑ์ 2 ชนิด {r=15, p=2} วิธีการทั้ง 3 วิธีให้ค่าต้นทุนรวมที่ต่ำที่สุดเท่ากันทุกปัญหา ส่วนปัญหาที่มีจำนวนวัตถุดิบ 12 ชนิดพร้อมกับวัตถุดิบด้านบรรจุภัณฑ์ 1 ชนิด {r=12, p=1} พบว่าในการทดลองที่ 14 นั้นวิธีค้นหาตามแบบรูปให้คำตอบสูงกว่าวิธีอื่น และในปัญหาที่มีจำนวนวัตถุดิบ 12 ชนิดพร้อมกับวัตถุดิบด้านบรรจุภัณฑ์ 2 ชนิด {r=12, p=2} พบว่ามี 2 การทดลอง คือการทดลองที่ 4 และ 15 ที่วิธีค้นหาตามแบบรูปให้คำตอบสูงกว่าวิธีอื่น ส่วนปัญหาที่มีจำนวนวัตถุดิบ 15 ชนิดพร้อมกับวัตถุดิบด้านบรรจุภัณฑ์ 1 ชนิด {r=15, p=1} พบว่าการทดลองที่ 9 นั้นวิธีอัลกอริธึมพันธุกรรมให้คำตอบสูง

กว่าวิธีอื่น อย่างไรก็ตามการทดสอบความแตกต่างทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 5% ในทุกขนาดการทดลอง พบว่าทั้ง 3 วิธีให้ค่าต้นทุนรวมที่ต่ำที่สุดไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

เนื่องจากวิธีค้นหาตามแบบรูปซึ่งกำหนดให้การย้ายจุดเป็นแบบไม่สมบูรณ์ (Incomplete Polling) ให้คำตอบสูงกว่าวิธีอื่นถึง 3 การทดลอง คือ ปัญหาที่มีจำนวนวัตถุดิบ 12 ชนิดพร้อมกับวัตถุดิบด้านบรรจุภัณฑ์ 1 ชนิด $\{r=12, p=1\}$ จำนวน 1 การทดลอง และปัญหาที่มีจำนวนวัตถุดิบ 12 ชนิดพร้อมกับวัตถุดิบด้านบรรจุภัณฑ์ 2 ชนิด $\{r=12, p=2\}$ จำนวน 2 การทดลอง จึงทดลองปรับการย้ายจุดให้เป็นแบบสมบูรณ์ (Complete Polling) ผลการศึกษาพบว่ากระบวนการหาคำตอบยังคงไม่สามารถหาค่าต้นทุนรวมที่ต่ำที่สุดได้ลดลงกว่าเดิม และยังทำให้ใช้เวลาในการหาคำตอบเพิ่มขึ้นด้วย ดังนั้นการย้ายจุดแบบไม่สมบูรณ์จึงเหมาะสมที่จะใช้ในการหาคำตอบด้วยวิธีค้นหาแบบรูปสำหรับงานวิจัยนี้

ตารางที่ 3 การเปรียบเทียบต้นทุนรวมและเวลาที่ใช้ในการหาคำตอบสำหรับปัญหาขนาดใหญ่

จำนวนวัตถุดิบและ วัตถุดิบด้านบรรจุภัณฑ์	การทดลองที่	ต้นทุนรวมที่ต่ำที่สุด (บาท)			เวลาในการหาคำตอบ (วินาที)		
		*GA	*PS	*HY	*GA	*PS	*HY
วัตถุดิบ 3 ชนิดและ วัตถุดิบด้าน บรรจุภัณฑ์ 1 ชนิด ($r=3, p=1$)	1	257.95	257.95	257.95	18.10	0.36	4.89
	2	308.09	308.09	308.09	16.36	0.30	5.03
	3	293.34	293.34	293.34	16.33	0.35	4.63
	4	254.13	254.13	254.13	15.34	0.60	3.94
	5	442.05	442.05	442.05	14.68	0.56	5.44
	6	538.76	538.76	538.76	18.54	0.29	3.74
	7	203.61	203.61	203.61	14.90	0.38	4.08
	8	227.87	227.87	227.87	16.71	0.22	3.71
	9	153.91	153.91	153.91	14.31	0.58	3.66
	10	288.10	288.10	288.10	14.94	0.34	3.61
	11	472.62	472.62	472.62	14.26	0.34	4.66
	12	269.55	269.55	269.55	15.02	0.46	4.22
	13	513.40	513.40	513.40	15.59	0.37	3.61
	14	309.16	309.16	309.16	15.32	0.36	3.61
	15	404.20	404.20	404.20	17.54	0.55	5.02
วัตถุดิบ 3 ชนิดและ วัตถุดิบด้าน บรรจุภัณฑ์ 2 ชนิด ($r=3, p=2$)	1	264.18	264.18	264.18	16.36	1.07	3.97
	2	317.10	317.10	317.10	18.13	0.41	4.37
	3	314.94	314.94	314.94	17.21	0.34	3.90
	4	366.13	366.13	366.13	16.20	0.52	4.16
	5	468.31	468.31	468.31	20.25	0.75	4.14
	6	623.79	623.79	623.79	17.40	0.38	4.68
	7	277.85	277.85	277.85	15.26	0.57	4.65
	8	267.39	267.39	267.39	16.51	0.65	4.74
	9	168.46	168.46	168.46	14.68	0.57	3.57
	10	401.15	401.15	401.15	15.64	0.53	3.82
	11	432.30	432.30	432.30	17.32	0.51	4.41
	12	255.24	255.24	255.24	17.81	0.43	4.27
	13	566.02	566.02	566.02	17.78	0.61	5.06
	14	391.25	391.25	391.25	18.73	0.52	5.14
	15	210.21	210.21	210.21	14.54	0.46	4.30

ตารางที่ 3 (ต่อ)

จำนวนวัตถุและ วัตถุต้นบรรจุภัณฑ์	การทดสอบ ครั้งที่	ต้นทุนรวมที่ต่ำที่สุด (บาท)			เวลาในการหาคำตอบ (วินาที)		
		*GA	*PS	*HY	*GA	*PS	*HY
วัตถุ 7 ชนิดและ วัตถุต้น บรรจุภัณฑ์ 1 ชนิด ($r=7, p=1$)	1	455.13	455.13	455.13	27.42	0.63	4.64
	2	454.43	454.43	454.43	32.54	0.38	5.07
	3	698.00	698.00	698.00	25.11	0.82	5.43
	4	463.64	463.64	463.64	34.11	0.69	5.74
	5	509.74	509.74	509.74	33.33	0.61	3.93
	6	856.07	856.07	856.07	45.93	0.80	6.37
	7	494.05	494.05	494.05	37.71	0.57	6.21
	8	857.88	857.88	857.88	35.11	0.68	4.64
	9	918.07	918.07	918.07	28.85	0.62	5.12
	10	686.66	686.66	686.66	27.18	0.67	5.93
	11	418.39	418.39	418.39	19.05	0.66	5.09
	12	381.97	381.97	381.97	21.11	0.64	5.64
	13	787.63	787.63	787.63	23.14	0.55	5.60
	14	980.30	980.30	980.30	23.54	0.70	5.42
	15	609.54	609.54	609.54	23.41	0.63	5.81
วัตถุ 7 ชนิดและ วัตถุต้น บรรจุภัณฑ์ 2 ชนิด ($r=7, p=2$)	1	381.52	381.52	381.52	24.59	0.64	5.05
	2	702.50	702.50	702.50	28.43	0.78	5.15
	3	431.49	431.49	431.49	25.91	2.82	4.17
	4	945.60	945.60	945.60	23.56	0.71	6.05
	5	419.74	419.74	419.74	22.99	0.75	5.12
	6	406.23	406.23	406.23	22.54	0.43	5.00
	7	418.78	418.78	418.78	20.88	0.41	4.15
	8	879.40	879.40	879.40	21.77	0.71	5.77
	9	734.45	734.45	734.45	28.47	0.90	4.95
	10	785.17	785.17	785.17	33.86	1.04	6.54
	11	573.51	573.51	573.51	23.62	0.89	5.96
	12	1005.10	1005.10	1005.10	22.27	0.87	5.63
	13	820.22	820.22	820.22	21.33	0.85	4.97
	14	451.17	451.17	451.17	22.40	0.52	5.39
	15	494.07	494.07	494.07	26.86	0.53	5.37

ตารางที่ 3 (ต่อ)

จำนวนวัตถุดิบและ วัตถุดิบด้านบรรจุภัณฑ์	การทดสอบ ครั้งที่	ต้นทุนรวมที่ต่ำที่สุด (บาท)			เวลาในการหาคำตอบ (วินาที)		
		*GA	*PS	*HY	*GA	*PS	*HY
วัตถุดิบ 12 ชนิดและ วัตถุดิบด้าน บรรจุภัณฑ์ 1 ชนิด (r=12, p=1)	1	599.62	599.62	599.62	30.46	0.65	4.65
	2	1172.30	1172.30	1172.30	32.11	1.17	5.59
	3	589.44	589.44	589.44	33.65	0.95	6.93
	4	828.09	828.09	828.09	31.69	1.55	7.92
	5	983.79	983.79	983.79	38.86	1.27	5.57
	6	1387.40	1387.40	1387.40	38.52	1.33	6.46
	7	298.78	298.78	298.78	24.55	0.85	6.33
	8	484.24	484.24	484.24	26.75	1.03	5.24
	9	515.63	515.63	515.63	26.73	0.85	6.53
	10	690.09	690.09	690.09	34.44	0.92	6.14
	11	742.01	742.01	742.01	33.78	0.55	6.35
	12	716.16	716.16	716.16	33.36	1.56	6.00
	13	560.35	560.35	560.35	36.43	1.06	6.42
	14	891.18	905.58**	891.18	34.30	0.65	6.37
	15	953.50	953.50	953.50	32.07	1.45	6.91
วัตถุดิบ 12 ชนิดและ วัตถุดิบด้าน บรรจุภัณฑ์ 2 ชนิด (r=12, p=2)	1	892.32	892.32	892.32	31.08	1.29	6.92
	2	825.05	825.05	825.05	35.67	1.07	6.18
	3	734.32	734.32	734.32	32.69	1.23	7.68
	4	1032.80	1041.10**	1032.80	44.48	1.12	8.25
	5	939.86	939.86	939.86	39.40	1.21	6.32
	6	1117.90	1117.90	1117.90	39.38	1.18	6.97
	7	971.40	971.40	971.40	31.28	1.23	6.93
	8	844.41	844.41	844.41	38.92	1.22	6.03
	9	559.61	559.61	559.61	56.94	1.34	5.75
	10	1190.70	1190.70	1190.70	52.99	1.09	9.42
	11	956.68	956.68	956.68	33.64	0.59	6.46
	12	666.79	666.79	666.79	30.00	1.07	7.13
	13	679.47	679.47	679.47	34.31	1.16	5.80
	14	1206.30	1206.30	1206.30	35.57	1.63	7.73
	15	1004.50	1016.50**	1004.50	33.19	1.26	8.91

ตารางที่ 3 (ต่อ)

จำนวนวัตถุและ วัตถุในด้านบรรจุภัณฑ์	การทดลองที่	ต้นทุนรวมที่ต่ำที่สุด (บาท)			เวลาในการหาคำตอบ (วินาที)		
		*GA	*PS	*HY	*GA	*PS	*HY
วัตถุ 15 ชนิดและ วัตถุในด้าน บรรจุภัณฑ์ 1 ชนิด (r=15, p=1)	1	1042.40	1042.40	1042.40	33.50	1.51	5.91
	2	1137.30	1137.30	1137.30	45.59	2.00	6.95
	3	837.74	837.74	837.74	39.93	1.63	8.37
	4	573.32	573.32	573.32	35.84	0.86	9.45
	5	730.15	730.15	730.15	34.96	1.73	7.95
	6	1049.70	1049.70	1049.70	32.05	1.67	7.95
	7	750.56	750.56	750.56	31.16	1.37	7.08
	8	855.04	855.04	855.04	34.55	1.73	6.93
	9	1289.60**	1288.70	1288.70	30.42	0.75	7.13
	10	1063.90	1063.90	1063.90	29.29	1.84	9.90
	11	962.91	962.91	962.91	30.56	1.24	7.74
	12	1184.60	1184.60	1184.60	35.18	1.73	6.66
	13	817.53	817.53	817.53	34.95	0.74	7.27
	14	1188.60	1188.60	1188.60	36.63	1.73	8.92
	15	860.44	860.44	860.44	29.72	1.57	5.68
วัตถุ 15 ชนิดและ วัตถุในด้าน บรรจุภัณฑ์ 2 ชนิด (r=15, p=2)	1	1002.50	1002.50	1002.50	34.93	1.52	7.82
	2	748.20	748.20	748.20	33.79	1.60	8.85
	3	1132.70	1132.70	1132.70	43.93	2.22	8.11
	4	1237.10	1237.10	1237.10	41.98	1.89	10.24
	5	1083.50	1083.50	1083.50	36.02	1.72	6.60
	6	834.26	834.26	834.26	40.12	1.00	6.72
	7	791.06	791.06	791.06	35.55	1.03	7.17
	8	1063.60	1063.60	1063.60	45.54	1.64	8.81
	9	875.95	875.95	875.95	40.24	1.36	9.36
	10	1047.50	1047.50	1047.50	42.68	1.72	9.28
	11	1155.10	1155.10	1155.10	42.66	1.87	9.04
	12	734.31	734.31	734.31	31.92	1.13	8.34
	13	902.48	902.48	902.48	39.97	1.94	10.43
	14	1133.00	1133.00	1133.00	51.28	1.77	9.77
	15	730.51	730.51	730.51	48.37	0.91	9.95

หมายเหตุ: *GA = Genetic Algorithm *PS = Pattern Search

*HY = Hybrid Genetic Algorithm with Pattern Search

**หมายถึง คำตอบดังกล่าวมีค่าสูงกว่าคำตอบของวิธีอื่นในปัญหาเดียวกัน

ตารางที่ 4 การเปรียบเทียบเวลาเฉลี่ยที่ใช้หาคำตอบสำหรับปัญหาขนาดใหญ่

จำนวนวัตถุ (r) และ วัตถุต้นบรรจุภัณฑ์ (p)	เวลาเฉลี่ย ในการหาคำตอบ (วินาที)		
	*GA	*PS	*HY
r=3, p=1	15.86c	0.40a	4.26b
r=3, p=2	16.92c	0.55a	4.35b
r=7, p=1	29.17c	0.64a	5.38b
r=7, p=2	24.63c	0.86a	5.28b
r=12, p=1	32.51c	1.06a	6.23b
r=12, p=2	37.97c	1.18a	7.10b
r=15, p=1	34.29c	1.47a	7.59b
r=15, p=2	40.60c	1.55a	8.70b

หมายเหตุ: *GA = Genetic Algorithm *PS = Pattern Search

*HY = Hybrid Genetic Algorithm with Pattern Search

ตัวเลขในแถวที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับ
นัยสำคัญ 5%

ผลการเปรียบเทียบความแตกต่างทางสถิติของเวลาเฉลี่ยที่วิธีการต่าง ๆ ใช้ในการหาคำตอบสำหรับปัญหาขนาดใหญ่ที่ระดับนัยสำคัญ 5% จากตารางที่ 4 พบว่าในทุกขนาดการทดลองวิธีการทั้ง 3 วิธีใช้เวลาหาคำตอบแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยวิธีค้นหาตามแบบรูปใช้เวลาน้อยที่สุด ซึ่งน้อยกว่าวิธีลูกผสมระหว่างอัลกอริธึมพันธุกรรมและการค้นหาตามแบบรูป และวิธีอัลกอริธึมพันธุกรรมตามลำดับ ถึงแม้ว่าวิธีค้นหาตามแบบรูปจะใช้เวลาเฉลี่ยในการหาคำตอบน้อยที่สุด แต่ก็แตกต่างจากวิธีลูกผสมระหว่างอัลกอริธึมพันธุกรรมและการค้นหาตามแบบรูปอยู่ในช่วงไม่เกิน 8 วินาที และวิธีลูกผสมระหว่างอัลกอริธึมพันธุกรรมและการค้นหาตามแบบรูปให้คำตอบต้นทุนรวมที่ต่ำกว่าวิธีอื่น ๆ ในทุกกรณีศึกษา ดังนั้นถ้าต้องการหาคำตอบของปัญหาขนาดใหญ่ในทุกขนาดการทดลอง จึงควรใช้วิธีลูกผสมระหว่างอัลกอริธึมพันธุกรรมและการค้นหาตามแบบรูป

สรุป

การหาปริมาณสินค้าคงคลังเพื่อความปลอดภัยที่เหมาะสม ที่ทำให้ต้นทุนรวมในการเก็บรักษาสินค้าคงคลังและต้นทุนเสียโอกาสของธุรกิจต่ำที่สุดสำหรับธุรกิจอุตสาหกรรมเกษตรที่มีลักษณะการผลิตหลายขั้นตอนตามแบบจำลองที่นำเสนอ นั้น สามารถนำวิธีอัลกอริธึมพันธุกรรม (Genetic Algorithm) วิธีค้นหาตามแบบรูป (Pattern Search) และวิธีลูกผสมระหว่างอัลกอริธึมพันธุกรรมและการค้นหาตามแบบรูป (Hybrid Genetic Algorithm with Pattern Search) มาเป็นเครื่องมือในการหาคำตอบในรูปของต้นทุนรวมได้

ปัญหาด้านปริมาณสินค้าคงคลังเพื่อความปลอดภัยที่ศึกษาในงานวิจัยนี้ คือ กำหนดให้กระบวนการผลิตประกอบด้วย 2 ขั้นตอน ได้แก่ ขั้นตอนการผลิตและขั้นตอนการบรรจุ และทำการทดลองโดยจำลองปัญหาเป็น 2 ขนาด คือ ปัญหาขนาดเล็ก และปัญหาขนาดใหญ่ ทั้งนี้แบ่งขนาดการทดลองตามจำนวนชนิดของวัตถุดิบเริ่มต้นที่นำมาผลิต (r) ในส่วนการผลิต และจำนวนชนิดของวัตถุดิบด้านบรรจุภัณฑ์ (p) ในส่วนการบรรจุ

การหาคำตอบที่เหมาะสมสำหรับปัญหาขนาดเล็กที่มีจำนวนวัตถุดิบ 1 และ 2 ชนิด ($\{r=1\}$ และ $\{r=2\}$) ควรใช้วิธีการหาคำตอบทางตรง (Enumeration) และสำหรับปัญหาที่มีจำนวนวัตถุดิบ 3 ชนิด ($\{r=3\}$) วัตถุดิบ 1 ชนิดพร้อมกับวัตถุดิบด้านบรรจุภัณฑ์ 1 ชนิด ($\{r=1, p=1\}$) และวัตถุดิบ 2 ชนิดพร้อมกับวัตถุดิบด้านบรรจุภัณฑ์ 1 ชนิด ($\{r=2, p=1\}$) ควรใช้วิธีค้นหาตามแบบรูป (Pattern Search) จะทำให้การหาคำตอบมีประสิทธิภาพและประสิทธิผลมากที่สุด คือ ได้คำตอบที่เหมาะสมโดยใช้เวลาน้อยที่สุด

สำหรับการหาคำตอบที่เหมาะสมสำหรับปัญหาขนาดใหญ่ ไม่สามารถพิสูจน์ได้ว่าค่าต้นทุนรวมในการเก็บรักษาสินค้าคงคลังและต้นทุนเสียโอกาสที่หาได้จากวิธีอัลกอริธึมพันธุกรรม (Genetic Algorithm) วิธีค้นหาตามแบบรูป (Pattern Search) และวิธีลูกผสมระหว่างอัลกอริธึมพันธุกรรมและการค้นหาตามแบบรูป (Hybrid Genetic Algorithm with Pattern Search) เป็นค่าที่ต่ำที่สุด (Optimal Solution) เนื่องจากปัญหามีขนาดใหญ่เกินกว่าที่จะหาคำตอบด้วยวิธีการหาคำตอบทางตรง (Enumeration) มาเป็นตัวแทนเปรียบเทียบ จากการเปรียบเทียบวิธีการหาคำตอบทั้ง 3 วิธีพบว่าวิธีลูกผสมระหว่างอัลกอริธึมพันธุกรรมและการค้นหาตามแบบรูปให้คำตอบที่มีคุณภาพดีกว่าวิธีอัลกอริธึมพันธุกรรมและวิธีค้นหาตามแบบรูปคือให้คำตอบต้นทุนรวมที่ต่ำกว่าวิธีอื่น ๆ ในทุก

กรณีศึกษา แม้ว่าคำตอบต้นทุนรวมที่ได้จะไม่มี ความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และเมื่อเปรียบเทียบในด้านเวลาที่ใช้ในการหาคำตอบพบว่าวิธีลูกผสมระหว่างอัลกอริธึมพันธุกรรมและการค้นหาตามแบบรูปนั้นใช้เวลาเฉลี่ยต่ำกว่าวิธีอัลกอริธึมพันธุกรรมอย่างน้อย 20 วินาที แต่สูงกว่าวิธีค้นหาตามแบบรูปไม่เกิน 8 วินาที ดังนั้นวิธีที่ควรนำมาใช้ในการหาคำตอบสำหรับปัญหาขนาดใหญ่มากที่สุดคือวิธีลูกผสมระหว่างอัลกอริธึมพันธุกรรมและการค้นหาตามแบบรูป

ข้อเสนอแนะ

1. ในการทำวิจัยครั้งนี้ไม่ได้นำข้อมูลจริงของการผลิตในธุรกิจอุตสาหกรรมเกษตรมาใช้ ดังนั้นหากต้องการให้ผลการวิจัยสามารถนำมาประยุกต์ใช้ได้มากขึ้น ควรนำข้อมูลต่าง ๆ ของการธุรกิจอุตสาหกรรมเกษตรที่มีสายการผลิตตามแบบจำลองที่นำเสนอในงานวิจัยมาทดลองหาปริมาณสินค้าคงคลังเพื่อความปลอดภัยที่เหมาะสม ที่ทำให้ต้นทุนรวมในการเก็บรักษาสินค้าคงคลังและต้นทุนเสียโอกาสของธุรกิจต่ำที่สุด
2. ข้อมูลที่นำมาใช้ในงานวิจัยครั้งนี้เป็นข้อมูลที่ได้จากการสุ่มแบบยูนิฟอร์ม (Uniform Distribution) ดังนั้นเพื่อให้เกิดความหลากหลายของงานวิจัย สามารถนำวิธีการสุ่มข้อมูลแบบอื่น เช่น Poisson Distribution, Binomial Distribution และ Bernoulli Distribution มาใช้ในการทำวิจัยขั้นต่อไปได้
3. ในงานวิจัยขั้นต่อไปสามารถทำการทดลองโดยปรับเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์สำหรับวิธีอัลกอริทึมพันธุกรรม เช่น ค่าสัดส่วนการตัดไขว้ (Crossover Fraction) หรือ P_c ค่าสัดส่วนการกลายพันธุ์ (Mutation Fraction) หรือ P_m ซึ่งอาจปรับปรุงให้ได้คำตอบที่ดีขึ้น

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

- กมลชนก สุทธิวัฒนฤพูลิ. 2546. การจัดการโซ่อุปทานและโลจิสติกส์. บริษัท สำนักพิมพ์ท็อป จำกัด, กรุงเทพฯ.
- โกศล ดีศีลธรรม. 2547. บทบาทการควบคุมสินค้าคงคลังเพื่อลดความสูญเปล่า. **Industrial Technology Review** 10 (119): 150-154.
- ก้านาย อภิปรัชญาสกุล. 2546. โลจิสติกส์และการจัดการซัพพลายเชน: กลยุทธ์ทำให้รายช่วยให้ประหยัด. นัฐพรการพิมพ์, กรุงเทพฯ.
- ปรมินทร์ มณีโรจน์. 2544. การประยุกต์ใช้อัลกอริทึมพันธุกรรมกับนิวรัลเน็ตเวิร์กแบบย้อนกลับ เพื่อการเรียนรู้ค่าตัวแปรและสถาปัตยกรรมของเน็ตเวิร์ก. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- สิทธิชัย เทพไพฑูรย์. 2546. การทำนายสัญญาณการซื้อขายหลักทรัพย์ด้วยการใช้เจเนติกอัลกอริทึม ร่วมกับโครงข่ายประสาทเทียม. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- Chipperfield, A.J. and P.J. Fleming. 1995. The Matlab Genetic Algorithm Toolbox, pp. 10/1-10/4. **IEE Colloquium on Applied Control Techniques Using MATLAB, Digest No. 1995/014**. IEE, Savoy Place, London, United Kingdom.
- _____, _____ and C.M. Fonseca. 1994. Genetic Algorithm tools for control systems engineering, ACSE Research Report. Department of Automatic Control and Systems Engineering, University of Sheffield, Sheffield, United Kingdom. (Unpublished manuscript)
- Encarnación, H.L. 2003. **Genetic Algorithm Approach for Reorder Cycle Time Determination in Multi-Stage Systems**. M.S. thesis, University of Puerto Rico Mayagüez Campus.

Fogarty, D.W., J.H. Blackstone and T.R. Hoffmann. **Production & Inventory Management**. 1st edition. College Division South-Western Publishing Co., Cincinnati, Ohio, USA.

Graves, S.C. and S.P. Willems. 2000. Optimizing strategic safety stock placement in supply chains. **Manufacturing & Service Operations Management**. 2 (1): 68-83.

Hall, E. Optimization with the Genetic Algorithm/Direct Search toolbox. 2005. **Talk at the Research Computing Support Center, University of Virginia**. Available Source: <http://www.itc.virginia.edu/researchers/services.html>. April 6, 2005.

Haupt, R.L. and S.E. Haupt. 1998. **Practical Genetic Algorithms**. John Wiley & Sons, Inc., United States of America.

Kantardzic, M. 2003. **Data Mining: Concepts, Models, Methods, and Algorithms**. Wiley-Interscience IEEE, N.J., USA.

Khouja, M., Z. Michalewicz and M. Wilmot. 1998. The use of Genetic Algorithms to solve the economic lot size scheduling problem. **European Journal of Operational Research** 110 (1): 509-524.

Kolda, T.G., R.M. Lewis and V. Torczon. 2003. Optimization by Direct Search: new perspectives on some classical and modern methods. **Siam Review** 45 (3): 385-482.

Lewis, R.M., V. Torczon and M.W. Trosset. 2000. Direct Search methods: then and now. **Journal of Computational and Applied Mathematics** 124: 191-207.

Maia, L.A. and R.Y. Qassim. 1999. Minimum cost safety stocks for frequent delivery manufacturing. **Int. J. Production Economics** 62: 233-236.

Mak, K.L. and Y.S. Wong. 1995. Design of integrated production-inventory-distribution systems using genetic algorithm, pp. 454-460. In Conference publication no. 414. **Genetic**

Algorithms in Engineering Systems: Innovations and Applications 12-14 September

1995. IEE, The University of Hong Kong, Hong Kong.

Man, K.F., K.S. Tang and S. Kwong. 1999. **Genetic Algorithms: Concepts and Designs.** 2nd Printing. Springer-Verlag London Limited 1999, Great Britain.

Negnevsky, M. 2002. **Artificial Intelligence: A Guide to Intelligent Systems.** 1st edition. Pearson Education, Harlow, England.

Sriver, T.A., J.W. Chrissis. 2004. Combined Pattern Search and ranking and selection for simulation optimization. **Proceedings of the 2004 Winter Simulation Conference.** Department of Operation Sciences, Air Force Institute of Technology, OH, USA.

The MathWorks. 2005. **Genetic Algorithm and Direct Search Toolbox for Use with MATLAB[®] (User's Guide Version 2).** (Computer Program). The MathWorks, Inc., 3 Apple Hill Drive Natick, MA, USA.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
ข้อมูลที่น่าสนใจทำการวิจัย

ข้อมูลที่ได้จากการสุ่มแบบ Uniform distribution ของแต่ละปัญหาที่นำมาใช้ในการทดลอง

1. ปัญหาขนาดเล็ก

ตารางผนวกที่ ก1 ข้อมูลของปัญหาที่มีจำนวนวัตถุสิบ 1 ชนิด ($r=1$)

Exp. variable	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
q1	117	163	182	191	127	221	133	223	190	192	116	158	182	192	177
q1*	113	153	163	180	120	193	124	210	175	180	108	135	170	176	156
q1-q1*	4	10	19	11	7	28	9	13	15	12	8	23	12	16	21
c1	5.00	1.12	7.16	4.91	4.32	3.57	9.50	5.87	1.50	6.15	8.79	6.12	1.75	3.33	4.32
qp	116	157	159	134	105	200	124	152	188	172	109	118	114	173	166
qp*	105	148	135	105	90	195	108	130	171	138	96	110	98	147	148
qp-qp*	11	9	24	29	15	5	16	22	17	34	13	8	16	26	18
cp	7.80	4.00	13.00	5.35	5.89	9.78	5.15	1.99	4.67	10.41	6.22	5.96	4.45	4.11	2.86
co	6.13	10.00	10.00	11.06	10.00	8.91	11.50	6.82	5.78	12.96	15.90	3.50	7.54	3.56	5.61

ตารางผนวกที่ ก2 ข้อมูลของปัญหาที่มีจำนวนวัตถุดิบ 2 ชนิด (r=2)

Exp. variable	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
q1	168	126	224	118	226	121	176	122	199	217	189	180	198	137	171
q1*	163	111	206	111	218	117	169	110	183	214	178	173	181	128	157
q1-q1*	5	15	18	7	8	4	7	12	16	3	11	7	17	9	14
c1	7.09	1.01	5.34	9.31	8.55	6.90	8.66	7.15	8.20	6.04	9.69	9.87	3.47	10.38	1.24
q2	199	149	158	248	107	248	190	241	207	249	216	115	188	198	107
q2*	181	136	149	243	96	242	178	225	197	238	208	112	182	196	104
q2-q2*	18	13	9	5	11	6	12	16	10	11	8	3	6	2	3
c2	5.55	9.35	8.63	8.56	9.70	9.84	9.59	5.74	2.69	7.27	10.38	4.89	2.95	5.27	6.16
qp	126	129	191	209	173	158	244	220	114	180	249	201	150	241	173
qp*	118	114	179	191	169	149	234	217	98	161	240	178	131	228	149
qp-qp*	8	15	12	18	4	9	10	3	16	19	9	23	19	13	24
cp	4.46	8.71	4.36	12.79	12.32	9.99	6.19	7.65	0.78	8.52	4.47	13.37	9.79	6.93	12.35
co	6.56	11.99	8.38	11.88	11.87	5.70	6.59	8.75	10.33	8.85	11.43	15.35	8.90	10.65	13.19

ตารางผนวกที่ ก3 ข้อมูลของปัญหาที่มีจำนวนวัตถุติด 3 ชนิด (r=3)

Exp. variable	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
q1	109	223	170	234	162	152	167	110	194	165	143	216	245	164	178
q1*	103	214	152	228	150	145	152	105	181	156	141	203	234	160	170
q1-q1*	6	9	18	6	12	7	15	5	13	9	2	13	11	4	8
c1	6.86	2.40	9.64	6.61	7.51	1.97	4.59	10.05	3.18	8.36	3.17	3.11	8.73	7.37	7.89
q2	148	202	166	223	232	204	202	181	216	147	195	185	103	138	161
q2*	139	194	164	211	232	197	197	165	208	137	176	173	90	119	156
q2-q2*	9	8	2	12	0	7	5	16	8	10	19	12	13	19	5
c2	10.42	1.35	0.85	6.46	1.29	2.57	5.24	7.97	10.77	9.85	8.63	7.15	8.92	6.44	7.29
q3	135	120	102	148	145	116	118	144	147	183	225	211	198	161	233
q3*	129	118	88	129	134	109	116	125	133	177	208	203	186	143	224
q3-q3*	6	2	14	19	11	7	2	19	14	6	17	8	12	18	9
c3	8.32	8.44	9.66	8.42	9.59	6.03	6.62	3.77	0.61	7.35	10.72	4.54	9.88	3.36	8.58
qp	108	232	104	174	133	184	125	220	198	195	145	159	168	207	187
qp*	99	225	92	170	114	176	103	210	184	171	136	138	151	201	175
qp-qp*	9	7	12	4	19	8	22	10	14	24	9	21	17	6	12
cp	12.17	3.68	1.53	7.22	7.36	8.67	14.74	6.61	7.04	12.81	13.35	5.87	6.01	14.31	5.01
co	7.01	9.18	8.56	8.00	19.70	4.60	9.31	5.59	7.16	11.90	14.31	6.97	12.21	16.57	7.34

ตารางผนวกที่ ก4 ข้อมูลของปัญหาที่มีจำนวนวัตถุสิบ 1 ชนิดพร้อมกับวัตถุสิบด้านบรรจุภัณฑ์ 1 ชนิด ($r=1$, $p=1$)

Exp. variable	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
q1	154	220	171	222	235	213	133	245	161	117	158	230	163	224	165
q1*	150	204	161	217	227	207	118	243	147	113	156	222	160	211	158
q1-q1*	4	16	10	5	8	6	15	2	14	4	2	8	3	13	7
c1	4.22	4.93	8.97	10.15	6.45	9.42	3.04	5.80	3.84	5.07	0.97	7.70	3.07	2.12	7.20
qw	121	190	155	197	137	210	121	231	229	157	119	115	222	159	106
qw*	108	178	154	193	129	200	106	222	225	142	106	110	215	155	91
qw-qw*	13	12	1	4	8	10	15	9	4	15	13	5	7	4	15
cw	1.37	8.92	2.50	8.95	2.61	6.90	0.71	4.80	2.27	8.90	1.35	6.08	8.06	2.38	10.44
q1s	195	113	237	101	134	164	139	229	167	143	228	242	151	195	129
q1s*	182	106	227	93	129	151	133	210	161	137	209	240	133	186	126
q1s-q1s*	13	7	10	8	5	13	6	19	6	6	19	2	18	9	3
c1s	2.63	3.78	10.38	5.82	4.16	7.07	8.84	6.26	0.52	9.21	5.09	6.70	6.93	3.22	2.49
qp	115	128	175	157	237	192	233	146	158	151	113	199	223	243	165
qp*	106	123	167	140	224	191	227	136	136	138	107	196	219	236	145
qp-qp*	9	5	8	17	13	1	6	10	22	13	6	3	4	7	20
cp	14.86	9.58	4.04	1.65	5.53	13.83	12.84	6.14	7.89	8.21	13.70	14.39	6.26	8.96	16.21
co	8.88	11.47	12.17	14.43	10.71	12.04	11.18	17.88	6.24	8.04	13.29	14.36	9.12	13.66	7.99

ตารางผนวกที่ ก5 ข้อมูลของปัญหาที่มีจำนวนวัตถุดิบ 2 ชนิดพร้อมกับวัตถุดิบด้านบรรจุภัณฑ์ 1 ชนิด ($r=2$, $p=1$)

Exp. variable	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
q1	195	208	237	204	140	225	122	154	148	245	120	103	137	210	150
q1*	192	199	230	198	130	217	113	149	134	241	113	96	132	209	147
q1-q1*	3	9	7	6	10	8	9	5	14	4	7	7	5	1	3
c1	1.37	6.48	7.79	4.59	9.40	6.99	8.77	3.69	3.58	3.16	4.87	10.49	12.59	0.58	8.20
q2	134	162	229	113	100	146	158	136	110	172	143	198	123	149	236
q2*	132	157	221	102	96	141	149	129	107	159	143	191	120	137	227
q2-q2*	2	5	8	11	4	5	9	7	3	13	0	7	3	12	9
c2	8.46	3.55	5.65	4.34	3.92	0.65	9.50	6.75	0.85	8.66	6.04	9.31	11.42	0.77	3.07
qw	177	185	128	116	158	177	211	229	157	245	224	183	118	208	101
qw*	172	179	125	112	157	174	199	222	155	230	220	176	116	205	94
qw-qw*	5	6	3	4	1	3	12	7	2	15	4	7	2	3	7
cw	0.97	4.87	6.95	8.45	2.21	1.11	5.60	10.48	6.45	8.46	1.49	7.01	12.85	2.98	4.25
q1s	205	170	226	241	143	210	145	238	212	246	104	163	197	130	169
q1s*	199	161	222	238	138	191	139	223	210	242	91	161	187	119	154
q1s-q1s*	6	9	4	3	5	19	6	15	2	4	13	2	10	11	15
c1s	5.12	2.79	1.36	7.56	4.53	6.31	10.85	4.88	9.39	13.59	15.46	16.41	9.95	7.71	10.81
qp	142	132	191	114	185	162	206	202	183	229	174	224	207	234	147
qp*	130	121	185	109	182	160	200	201	177	224	172	215	199	229	137
qp-qp*	12	11	6	5	3	2	6	1	6	5	2	9	8	5	10
cp	11.80	7.83	6.98	4.63	8.77	4.55	3.59	9.39	5.46	3.33	7.22	9.21	6.83	13.05	9.08
co	10.37	11.21	15.07	8.72	12.81	10.09	16.25	14.86	20.28	9.09	14.04	18.94	16.45	12.93	19.54

2. ปัญหาขนาดใหญ่

ตารางผนวกที่ ก6 ข้อมูลของปัญหาที่มีจำนวนวัตถุ 3 ชนิดพร้อมกับวัตถุบิณฑ์ด้านบรรจุภัณฑ์ 1 ชนิด ($r=3$, $p=1$)

Exp. variable	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
q1	121	211	219	172	198	114	101	242	100	243	248	207	141	138	163
q1*	116	209	207	167	184	107	93	239	97	235	245	193	137	128	152
q1-q1*	5	2	12	5	14	7	8	3	3	8	3	14	4	10	11
c1	1.05	7.67	4.25	0.85	3.61	3.61	6.90	7.50	6.09	7.69	2.20	6.54	10.36	10.46	6.41
q2	108	133	115	172	129	220	231	167	128	248	245	164	177	171	101
q2*	91	114	98	162	124	212	217	165	125	236	228	155	175	161	93
q2-q2*	17	19	17	10	5	8	14	2	3	12	17	9	2	10	8
c2	2.98	4.04	2.91	8.65	7.77	9.75	9.17	8.20	9.36	3.73	8.11	3.54	8.40	2.70	7.37
q3	247	151	196	227	169	168	115	232	199	151	163	143	144	149	189
q3*	236	133	191	219	165	152	106	223	197	151	155	130	128	140	179
q3-q3*	11	18	5	8	4	16	9	9	2	0	8	13	16	9	10
c3	4.95	5.15	9.64	3.87	0.84	7.33	0.86	1.48	3.65	4.30	9.88	4.27	9.02	10.40	7.14
qw	133	100	181	107	216	246	157	160	169	121	197	211	182	183	240
qw*	120	91	174	102	205	227	155	142	161	113	192	206	174	179	227
qw-qw*	13	9	7	5	11	19	2	18	8	8	5	5	8	4	13
cw	3.42	5.02	7.83	3.49	2.95	8.98	5.77	4.27	8.19	6.51	8.53	1.56	1.52	6.51	4.78
q1s	205	172	187	216	161	226	142	161	102	166	248	171	129	153	210
q1s*	201	166	180	197	143	218	130	150	89	161	229	166	126	150	195
q1s-q1s*	4	6	7	19	18	8	12	11	13	5	19	5	3	3	15
c1s	2.56	9.16	8.18	0.83	2.35	3.03	2.46	5.66	2.38	5.33	1.78	3.79	9.14	4.42	8.51
qp	231	205	117	164	242	138	131	139	123	240	138	156	206	153	141
qp*	213	200	98	159	225	124	112	129	121	227	122	141	184	146	135
qp-qp*	18	5	19	5	17	14	19	10	2	13	16	15	22	7	6
cp	5.29	4.63	4.14	19.84	16.15	16.40	1.74	5.15	1.90	7.93	10.79	5.26	12.33	6.38	19.68
co	6.09	18.96	11.86	24.87	22.04	13.41	9.93	8.63	19.91	23.88	16.81	8.22	24.90	13.85	9.70

ตารางผนวกที่ ก7 ข้อมูลของปัญหาที่มีจำนวนวัตถุ 3 ชนิดพร้อมกับวัตถุบังคับบรรจุภัณฑ์ 2 ชนิด ($r=3$, $p=2$)

Exp. variable	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
q1	121	211	219	172	198	114	101	242	100	243	157	104	158	122	212
q1*	116	209	207	167	184	107	93	239	97	235	149	92	145	109	202
q1-q1*	5	2	12	5	14	7	8	3	3	8	8	12	13	13	10
c1	1.05	7.67	4.25	0.85	3.61	3.61	6.90	7.50	6.09	7.69	2.86	2.76	5.56	2.01	0.79
q2	108	133	115	172	129	220	231	167	128	248	139	117	137	123	130
q2*	91	114	98	162	124	212	217	165	125	236	129	109	126	113	121
q2-q2*	17	19	17	10	5	8	14	2	3	12	10	8	11	10	9
c2	2.98	4.04	2.91	8.65	7.77	9.75	9.17	8.20	9.36	3.73	8.29	9.16	7.86	7.47	2.20
q3	247	151	196	227	169	168	115	232	199	151	244	246	106	148	192
q3*	236	133	191	219	165	152	106	223	197	151	242	236	87	141	186
q3-q3*	11	18	5	8	4	16	9	9	2	0	2	10	19	7	6
c3	4.95	5.15	9.64	3.87	0.84	7.33	0.86	1.48	3.65	4.30	7.44	7.42	5.67	0.51	7.14
qw	133	100	181	107	216	246	157	160	169	121	232	197	121	128	192
qw*	120	91	174	102	205	227	155	142	161	113	224	184	102	112	191
qw-qw*	13	9	7	5	11	19	2	18	8	8	8	13	19	16	1
cw	3.42	5.02	7.83	3.49	2.95	8.98	5.77	4.27	8.19	6.51	9.40	1.71	10.28	0.92	7.96
q1s	205	172	187	216	161	226	142	161	102	166	117	172	169	155	155
q1s*	201	166	180	197	143	218	130	150	89	161	107	169	155	144	137
q1s-q1s*	4	6	7	19	18	8	12	11	13	5	10	3	14	11	18
c1s	2.56	9.16	8.18	0.83	2.35	3.03	2.46	5.66	2.38	5.33	8.88	1.93	4.34	3.87	3.24
q2s	200	101	144	114	177	146	169	154	207	191	216	232	215	207	110
q2s*	199	100	141	100	164	135	157	141	202	172	199	225	208	192	107
q2s-q2s*	1	1	3	14	13	11	12	13	5	19	17	7	7	15	3
c2s	8.22	9.01	7.20	8.00	2.02	7.73	9.36	3.04	2.91	5.95	3.50	4.83	6.21	9.98	8.13
qp	231	205	117	164	242	138	131	139	123	240	173	230	115	125	247
qp*	213	200	98	159	225	124	112	129	121	227	156	227	115	103	240
qp-qp*	18	5	19	5	17	14	19	10	2	13	17	3	0	22	7
cp	5.29	4.63	4.14	19.84	16.15	16.40	1.74	5.15	1.90	7.93	7.20	4.27	1.92	3.63	7.00
co	6.09	18.96	11.86	24.87	22.04	13.41	9.93	8.63	19.91	23.88	8.44	12.96	14.88	22.26	19.54

ตารางผนวกที่ ๓8 ข้อมูลของปัญหาที่มีจำนวนวัตถุ 7 ชนิดพร้อมกับวัตถุบังคับบรรจุภัณฑ์ 1 ชนิด ($r=7$, $p=1$)

Exp. variable	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
q1	186	240	198	140	190	199	198	226	244	168	171	197	165	100	237
q1*	178	228	196	127	182	193	189	212	231	165	163	179	149	81	224
q1-q1*	8	12	2	13	8	6	9	14	13	3	8	18	16	19	13
c1	9.18	8.08	6.39	3.04	7.65	9.90	8.47	9.29	9.12	8.81	8.47	1.17	4.50	5.28	1.18
q2	212	246	137	246	161	214	181	162	115	241	219	129	138	120	101
q2*	206	244	125	230	157	197	173	150	105	235	210	120	119	107	99
q2-q2*	6	2	12	16	4	17	8	12	10	6	9	9	19	13	2
c2	0.90	3.71	3.78	5.54	4.95	6.35	3.30	10.17	7.76	0.64	0.79	1.83	4.94	6.08	0.72
q3	136	117	172	159	243	134	242	163	226	249	150	138	222	212	221
q3*	117	103	170	152	242	128	223	152	213	236	146	128	206	206	209
q3-q3*	19	14	2	7	1	6	19	11	13	13	4	10	16	6	12
c3	0.96	6.34	4.96	5.57	3.49	9.86	3.52	5.87	0.57	2.23	2.28	3.61	8.30	4.22	4.85
q4	238	233	212	249	110	231	223	232	116	249	248	186	189	186	122
q4*	238	227	207	247	107	216	205	229	112	243	241	174	176	174	115
q4-q4*	0	6	5	2	3	15	18	3	4	6	7	12	13	12	7
c4	2.17	3.06	10.29	1.55	4.69	9.72	2.22	7.08	1.56	3.57	8.00	7.54	2.40	8.21	5.16
q5	211	114	185	197	248	146	199	140	100	108	247	162	118	178	196
q5*	209	104	185	187	230	135	189	139	83	96	241	161	112	172	185
q5-q5*	2	10	0	10	18	11	10	1	17	12	6	1	6	6	11
c5	5.68	7.31	0.56	5.96	3.91	2.42	9.40	9.05	4.61	10.46	1.71	3.62	3.34	8.99	7.68
q6	168	204	198	119	151	113	240	218	201	125	104	105	165	121	134
q6*	157	188	181	119	139	109	227	202	182	114	87	104	155	117	122
q6-q6*	11	16	17	0	12	4	13	16	19	11	17	1	10	4	12
c6	6.58	7.37	8.31	9.53	9.87	4.43	9.33	8.57	10.26	8.82	1.68	9.42	6.62	2.25	9.86

ตารางผนวกที่ ๘ (ต่อ)

Exp. variable	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
q7	185	126	139	123	191	121	199	164	103	121	214	204	165	112	246
q7*	172	126	129	119	188	104	180	146	91	103	196	201	150	100	236
q7-q7*	13	0	10	4	3	17	19	18	12	18	18	3	15	12	10
c7	3.01	9.86	6.28	9.81	1.95	10.21	2.35	3.04	6.51	5.87	10.02	10.03	2.10	10.49	6.17
qw	100	247	156	176	138	182	109	208	155	183	187	185	249	105	177
qw*	95	234	138	159	131	165	92	206	143	167	182	172	243	96	163
qw-qw*	5	13	18	17	7	17	17	2	12	16	5	13	6	9	14
cw	9.75	9.94	7.27	5.47	4.85	7.23	4.58	6.38	4.92	1.01	7.45	1.67	2.64	10.28	8.92
q1s	109	123	199	231	160	127	194	234	195	102	177	220	213	160	151
q1s*	108	109	187	221	160	113	184	232	178	91	174	214	198	156	144
q1s-q1s*	1	14	12	10	0	14	10	2	17	11	3	6	15	4	7
c1s	9.57	5.86	8.71	2.39	9.55	10.21	1.46	8.56	8.78	8.74	5.21	9.64	8.64	8.85	5.18
qp	136	110	134	199	132	169	137	211	236	223	148	237	197	146	172
qp*	117	94	118	188	118	169	113	187	217	211	147	214	186	124	167
qp-qp*	19	16	16	11	14	0	24	24	19	12	1	23	11	22	5
cp	10.27	13.75	8.69	7.06	13.04	8.38	4.36	17.28	13.47	13.79	6.34	15.89	17.69	16.38	17.78
co	11.54	8.06	24.22	13.25	22.47	20.34	9.29	12.05	9.71	22.45	19.45	6.22	21.99	20.68	14.56

ตารางผนวกที่ ก9 ข้อมูลของปัญหาที่มีจำนวนวัตถุ 7 ชนิดพร้อมกับวัตถุบังคับบรรจุภัณฑ์ 2 ชนิด ($r=7$, $p=2$)

Exp. variable	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
q1	144	189	125	157	110	110	116	157	113	134	140	237	117	223	190
q1*	131	184	116	152	96	103	111	141	105	119	130	221	115	212	189
q1-q1*	13	5	9	5	14	7	5	16	8	15	10	16	2	11	1
c1	1.43	5.96	3.34	10.30	10.31	6.13	10.21	6.64	1.86	7.16	5.25	9.92	9.83	7.90	3.27
q2	170	233	205	110	171	197	215	219	122	127	233	239	169	175	114
q2*	168	226	203	99	169	193	196	207	120	113	231	234	152	163	102
q2-q2*	2	7	2	11	2	4	19	12	2	14	2	5	17	12	12
c2	1.50	2.43	2.18	9.75	1.02	1.60	8.37	3.36	2.09	1.02	7.65	9.35	5.29	5.57	1.50
q3	103	130	247	211	109	154	157	239	138	181	149	111	165	242	119
q3*	98	120	232	205	107	148	157	227	124	173	138	93	146	237	113
q3-q3*	5	10	15	6	2	6	0	12	14	8	11	18	19	5	6
c3	0.77	5.03	7.99	7.85	7.21	3.02	3.67	10.16	8.16	3.09	5.17	10.27	1.70	1.32	3.72
q4	234	105	124	175	173	108	198	155	152	166	184	219	109	103	128
q4*	225	97	120	165	168	104	194	155	147	153	168	217	101	98	115
q4-q4*	9	8	4	10	5	4	4	0	5	13	16	2	8	5	13
c4	2.66	6.10	10.12	10.42	9.26	2.68	5.92	9.94	1.05	10.02	10.18	7.53	4.25	2.15	3.23
q5	241	193	116	170	114	165	147	107	128	180	131	234	129	115	212
q5*	225	182	102	161	109	160	139	96	110	172	119	223	126	109	212
q5-q5*	16	11	14	9	5	5	8	11	18	8	12	11	3	6	0
c5	2.85	6.92	3.45	5.02	5.10	7.88	2.70	9.78	10.31	5.20	7.20	5.95	3.64	6.65	8.52
q6	135	242	191	193	196	137	175	101	104	129	218	221	219	102	215
q6*	135	226	190	176	183	124	157	93	88	117	216	214	209	100	210
q6-q6*	0	16	1	17	13	13	18	8	16	12	2	7	10	2	5
c6	0.62	4.94	3.18	5.18	6.45	8.88	8.58	0.81	7.08	2.06	3.43	2.64	2.37	5.16	7.32

ตารางผนวกที่ ๙ (ต่อ)

Exp. variable	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
q7	243	131	144	135	164	194	246	112	198	248	158	127	176	201	123
q7*	232	119	125	135	151	190	246	111	184	237	141	124	159	192	104
q7-q7*	11	12	19	0	13	4	0	1	14	11	17	3	17	9	19
c7	6.00	10.18	6.51	7.98	10.07	10.35	6.50	9.00	1.66	4.43	3.42	6.34	5.72	6.02	8.05
qw	149	223	114	159	106	157	106	183	151	145	164	122	165	234	228
qw*	136	207	106	157	97	143	101	170	139	143	160	107	152	228	211
qw-qw*	13	16	8	2	9	14	5	13	12	2	4	15	13	6	17
cw	4.91	6.62	6.03	6.10	1.31	0.83	9.58	9.42	4.75	6.53	2.41	8.00	5.98	8.35	4.68
q1s	213	177	110	175	156	131	176	101	212	208	148	133	133	190	249
q1s*	194	169	93	170	139	127	166	93	198	193	138	118	119	178	233
q1s-q1s*	19	8	17	5	17	4	10	8	14	15	10	15	14	12	16
c1s	5.66	2.35	1.84	7.32	0.87	10.22	1.44	9.96	8.53	5.23	3.58	8.74	9.70	8.63	8.92
q2s	225	237	249	165	193	107	232	172	190	243	136	161	247	247	131
q2s*	222	232	245	150	186	105	227	171	182	225	126	150	230	247	130
q2s-q2s*	3	5	4	15	7	2	5	1	8	18	10	11	17	0	1
c2s	1.04	3.31	1.72	7.45	2.96	10.17	3.46	0.57	8.90	9.76	9.95	0.82	5.15	0.68	6.14
qp	238	167	118	103	117	147	132	126	133	244	154	194	220	177	111
qp*	235	155	118	79	108	125	116	108	122	221	152	178	207	171	99
qp-qp*	3	12	0	24	9	22	16	18	11	23	2	16	13	6	12
cp	16.83	11.73	7.38	14.24	5.86	16.73	15.67	17.76	2.38	5.49	14.44	14.79	16.26	3.67	6.07
co	15.35	11.50	14.26	24.69	10.38	7.31	7.80	17.67	17.91	12.52	10.45	21.05	24.43	16.46	11.74

ตารางผนวกที่ 10 ข้อมูลของปัญหาที่มีจำนวนวัตถุดิบ 12 ชนิดพร้อมกับวัตถุดิบด้านบรรจุภัณฑ์ 1 ชนิด ($r=12$, $p=1$)

Exp. variable	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
q1	236	181	118	154	213	127	189	182	202	209	135	229	235	178	162
q1*	231	175	109	135	202	122	188	174	202	195	116	218	232	162	151
q1-q1*	5	6	9	19	11	5	1	8	0	14	19	11	3	16	11
c1	7.45	9.81	6.05	8.86	4.60	1.94	8.70	2.18	6.57	6.19	3.83	2.35	7.73	1.84	4.66
q2	223	180	214	156	225	235	183	224	174	190	204	194	183	141	212
q2*	215	167	197	140	208	218	180	211	159	190	185	190	181	139	197
q2-q2*	8	13	17	16	17	17	3	13	15	0	19	4	2	2	15
c2	6.42	5.35	4.80	1.47	10.33	6.24	5.94	3.27	3.22	6.28	9.85	7.92	3.94	1.83	4.62
q3	197	121	170	222	138	165	161	138	123	245	170	151	114	213	185
q3*	189	115	164	216	121	146	156	129	122	233	155	137	104	209	182
q3-q3*	8	6	6	6	17	19	5	9	1	12	15	14	10	4	3
c3	7.22	3.80	4.35	5.82	6.24	2.68	3.39	8.93	6.38	9.53	0.96	8.39	5.54	7.34	5.17
q4	103	160	230	246	114	127	183	233	126	195	141	112	194	218	220
q4*	87	143	220	243	108	109	176	232	121	185	122	110	175	203	209
q4-q4*	16	17	10	3	6	18	7	1	5	10	19	2	19	15	11
c4	1.29	7.87	1.19	1.38	1.14	6.73	1.08	3.98	2.55	4.84	9.78	2.55	2.58	8.14	6.86
q5	177	220	237	150	115	174	224	129	122	231	117	235	197	160	225
q5*	170	205	233	135	99	158	216	126	117	215	108	233	195	142	210
q5-q5*	7	15	4	15	16	16	8	3	5	16	9	2	2	18	15
c5	7.49	6.24	1.98	4.76	2.32	10.08	6.80	8.93	4.18	0.90	10.27	6.97	3.87	8.40	9.05
q6	103	119	186	226	206	108	148	202	219	206	183	120	180	100	168
q6*	93	119	173	211	198	91	134	202	207	193	166	115	167	100	160
q6-q6*	10	0	13	15	8	17	14	0	12	13	17	5	13	0	8
c6	3.21	1.08	6.99	1.40	2.09	10.28	1.91	1.63	2.08	6.54	8.45	0.81	6.38	7.58	5.06

ตารางผนวกที่ ก10 (ต่อ)

Exp. variable	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
q7	110	226	153	130	203	146	119	131	210	186	170	231	235	116	240
q7*	105	213	140	115	198	131	102	115	209	182	154	220	226	113	228
q7-q7*	5	13	13	15	5	15	17	16	1	4	16	11	9	3	12
c7	6.28	7.82	3.44	5.76	6.97	0.97	3.25	1.66	3.81	6.80	6.70	6.73	5.04	9.80	6.55
q8	236	181	118	154	213	127	189	182	202	209	135	229	235	178	162
q8*	231	175	109	135	202	122	188	174	202	195	116	218	232	162	151
q8-q8*	5	6	9	19	11	5	1	8	0	14	19	11	3	16	11
c8	7.45	9.81	6.05	8.86	4.60	1.94	8.70	2.18	6.57	6.19	3.83	2.35	7.73	1.84	4.66
q9	223	180	214	156	225	235	183	224	174	190	204	194	183	141	212
q9*	215	167	197	140	208	218	180	211	159	190	185	190	181	139	197
q9-q9*	8	13	17	16	17	17	3	13	15	0	19	4	2	2	15
c9	6.42	5.35	4.80	1.47	10.33	6.24	5.94	3.27	3.22	6.28	9.85	7.92	3.94	1.83	4.62
q10	197	121	170	222	138	165	161	138	123	245	170	151	114	213	185
q10*	189	115	164	216	121	146	156	129	122	233	155	137	104	209	182
q10-q10*	8	6	6	6	17	19	5	9	1	12	15	14	10	4	3
c10	7.22	3.80	4.35	5.82	6.24	2.68	3.39	8.93	6.38	9.53	0.96	8.39	5.54	7.34	5.17
q11	103	160	230	246	114	127	183	233	126	195	141	112	194	218	220
q11*	87	143	220	243	108	109	176	232	121	185	122	110	175	203	209
q11-q11*	16	17	10	3	6	18	7	1	5	10	19	2	19	15	11
c11	1.29	7.87	1.19	1.38	1.14	6.73	1.08	3.98	2.55	4.84	9.78	2.55	2.58	8.14	6.86
q12	177	220	237	150	115	174	224	129	122	231	117	235	197	160	225
q12*	170	205	233	135	99	158	216	126	117	215	108	233	195	142	210
q12-q12*	7	15	4	15	16	16	8	3	5	16	9	2	2	18	15
c12	7.49	6.24	1.98	4.76	2.32	10.08	6.80	8.93	4.18	0.90	10.27	6.97	3.87	8.40	9.05

ตารางผนวกที่ 10 (ต่อ)

Exp. variable	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
qw	129	247	211	187	138	179	206	142	220	126	230	188	133	215	111
qw*	121	241	206	177	135	168	200	140	202	109	229	173	123	201	105
qw-qw*	8	6	5	10	3	11	6	2	18	17	1	15	10	14	6
cw	10.09	6.30	2.58	2.43	6.12	3.41	3.05	0.57	6.87	4.17	7.60	4.18	6.10	7.85	8.81
q1s	107	213	186	152	142	202	239	113	146	116	194	107	103	114	202
q1s*	102	200	182	143	131	202	239	107	144	100	190	98	92	98	190
q1s-q1s*	5	13	4	9	11	0	0	6	2	16	4	9	11	16	12
c1s	1.05	4.53	3.06	1.53	9.26	6.21	6.94	3.38	0.51	2.38	9.62	5.18	2.69	2.81	3.83
qp	159	240	169	198	240	227	103	240	110	139	169	126	115	112	222
qp*	138	222	152	191	235	210	93	228	86	128	157	111	101	104	203
qp-qp*	21	18	17	7	5	17	10	12	24	11	12	15	14	8	19
cp	16.39	14.06	3.81	19.79	17.38	19.98	4.46	7.84	7.73	8.63	8.75	9.38	4.98	5.40	2.16
co	8.01	12.04	13.26	11.14	11.90	15.43	10.57	15.75	21.55	11.79	5.93	17.33	13.36	18.38	11.62

ตารางผนวกที่ ก11 ข้อมูลของปัญหาที่มีจำนวนวัตถุ 12 ชนิดพร้อมกับวัตถุในด้านบรรทัด 2 ชนิด (r=12, p=2)

Exp. variable	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
q1	207	222	140	238	132	199	242	193	103	164	219	104	186	222	225
q1*	190	212	124	229	127	181	234	178	100	151	204	94	176	207	208
q1-q1*	17	10	16	9	5	18	8	15	3	13	15	10	10	15	17
c1	0.85	8.09	3.53	10.33	3.70	7.02	9.21	8.33	9.77	6.02	5.02	6.51	10.21	7.17	3.30
q2	153	246	134	206	175	202	167	157	151	216	235	168	199	137	102
q2*	152	244	122	202	163	193	158	146	148	200	227	159	191	132	98
q2-q2*	1	2	12	4	12	9	9	11	3	16	8	9	8	5	4
c2	4.30	1.00	5.56	9.03	10.50	2.24	4.03	2.29	0.68	10.33	7.90	7.11	2.62	8.13	2.87
q3	141	235	194	121	104	217	198	235	127	172	109	242	162	239	141
q3*	138	225	179	104	90	215	188	226	114	153	106	240	144	226	130
q3-q3*	3	10	15	17	14	2	10	9	13	19	3	2	18	13	11
c3	8.33	5.74	2.81	8.08	5.72	5.66	8.69	2.40	7.91	6.00	7.85	0.58	0.63	6.13	2.27
q4	102	143	222	150	244	203	101	178	134	202	102	213	246	114	221
q4*	85	138	205	139	232	190	95	168	117	192	89	204	227	100	221
q4-q4*	17	5	17	11	12	13	6	10	17	10	13	9	19	14	0
c4	6.13	4.08	5.88	6.84	6.75	1.92	7.49	9.42	2.76	6.88	9.63	3.93	0.80	5.89	4.32
q5	225	185	159	137	106	178	110	123	108	224	110	234	220	198	142
q5*	222	171	146	126	101	172	109	107	98	214	109	233	209	192	135
q5-q5*	3	14	13	11	5	6	1	16	10	10	1	1	11	6	7
c5	2.78	8.89	4.38	10.05	0.53	9.21	1.83	7.77	3.51	1.27	7.11	6.28	5.40	5.32	5.60
q6	130	121	152	152	186	100	135	228	231	201	220	246	165	108	238
q6*	119	113	147	141	177	93	117	222	217	183	209	231	161	93	222
q6-q6*	11	8	5	11	9	7	18	6	14	18	11	15	4	15	16
c6	1.39	4.29	4.76	1.36	2.63	5.16	8.32	10.00	7.21	9.68	10.32	3.50	2.04	5.47	8.44

ตารางผนวกที่ ก11 (ต่อ)

Exp. variable	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
q7	145	186	145	194	242	168	176	153	244	108	173	197	234	100	208
q7*	138	171	137	187	235	152	174	145	242	90	167	193	219	94	194
q7-q7*	7	15	8	7	7	16	2	8	2	18	6	4	15	6	14
c7	9.53	5.78	3.36	1.96	9.57	7.91	5.50	9.60	4.73	6.77	8.08	5.45	6.69	3.18	7.81
q8	236	181	118	154	213	127	189	182	202	209	135	229	235	178	162
q8*	231	175	109	135	202	122	188	174	202	195	116	218	232	162	151
q8-q8*	5	6	9	19	11	5	1	8	0	14	19	11	3	16	11
c8	7.45	9.81	6.05	8.86	4.60	1.94	8.70	2.18	6.57	6.19	3.83	2.35	7.73	1.84	4.66
q9	223	180	214	156	225	235	183	224	174	190	204	194	183	141	212
q9*	215	167	197	140	208	218	180	211	159	190	185	190	181	139	197
q9-q9*	8	13	17	16	17	17	3	13	15	0	19	4	2	2	15
c9	6.42	5.35	4.80	1.47	10.33	6.24	5.94	3.27	3.22	6.28	9.85	7.92	3.94	1.83	4.62
q10	197	121	170	222	138	165	161	138	123	245	170	151	114	213	185
q10*	189	115	164	216	121	146	156	129	122	233	155	137	104	209	182
q10-q10*	8	6	6	6	17	19	5	9	1	12	15	14	10	4	3
c10	7.22	3.80	4.35	5.82	6.24	2.68	3.39	8.93	6.38	9.53	0.96	8.39	5.54	7.34	5.17
q11	103	160	230	246	114	127	183	233	126	195	141	112	194	218	220
q11*	87	143	220	243	108	109	176	232	121	185	122	110	175	203	209
q11-q11*	16	17	10	3	6	18	7	1	5	10	19	2	19	15	11
c11	1.29	7.87	1.19	1.38	1.14	6.73	1.08	3.98	2.55	4.84	9.78	2.55	2.58	8.14	6.86
q12	177	220	237	150	115	174	224	129	122	231	117	235	197	160	225
q12*	170	205	233	135	99	158	216	126	117	215	108	233	195	142	210
q12-q12*	7	15	4	15	16	16	8	3	5	16	9	2	2	18	15
c12	7.49	6.24	1.98	4.76	2.32	10.08	6.80	8.93	4.18	0.90	10.27	6.97	3.87	8.40	9.05

ตารางผนวกที่ ก11 (ต่อ)

Exp. variable	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
qw	111	230	196	194	235	113	127	203	141	133	170	179	111	145	172
qw*	100	220	182	184	227	103	119	196	125	124	163	165	102	136	162
qw-qw*	11	10	14	10	8	10	8	7	16	9	7	14	9	9	10
cw	9.47	0.68	0.78	9.04	2.30	8.38	8.67	9.78	3.86	2.03	8.90	1.40	8.53	6.78	10.12
q1s	154	117	194	202	105	134	115	242	104	220	159	192	156	200	242
q1s*	152	116	189	185	99	118	108	240	97	202	146	173	155	193	240
q1s-q1s*	2	1	5	17	6	16	7	2	7	18	13	19	1	7	2
c1s	1.13	10.47	9.86	3.65	4.61	8.97	5.64	4.56	8.06	6.85	6.87	4.77	7.08	9.20	6.04
q2s	105	206	163	222	124	142	114	112	176	204	159	201	239	217	243
q2s*	97	196	147	211	116	132	100	97	162	199	149	194	231	201	237
q2s-q2s*	8	10	16	11	8	10	14	15	14	5	10	7	8	16	6
c2s	2.70	2.30	1.05	1.48	8.06	2.09	8.68	0.52	1.10	2.28	0.99	10.27	7.08	3.63	8.85
qp	117	233	158	120	216	166	241	205	126	198	232	107	162	201	164
qp*	101	233	140	109	198	164	222	197	121	176	214	91	156	177	153
qp-qp*	16	0	18	11	18	2	19	8	5	22	18	16	6	24	11
cp	19.16	17.42	6.67	11.34	3.01	9.90	12.17	7.61	2.22	5.09	12.26	3.43	13.04	10.15	10.43
co	23.25	25.07	9.89	15.32	14.31	18.02	14.45	15.63	16.97	11.70	6.26	19.54	16.30	15.97	15.29

ตารางผนวกที่ ก12 ข้อมูลของปัญหาที่มีจำนวนวัตถุ 15 ชนิดพร้อมกับวัตถุบิด้านบรรจุภัณฑ์ 1 ชนิด (r=15, p=1)

Exp. variable	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
q1	124	156	181	178	193	171	110	203	191	116	239	146	109	205	171
q1*	107	148	178	159	191	159	96	187	183	104	228	134	97	196	160
q1-q1*	17	8	3	19	2	12	14	16	8	12	11	12	12	9	11
c1	7.74	7.53	2.18	6.79	9.43	1.13	3.48	2.43	5.00	3.11	8.98	4.17	7.53	7.90	1.87
q2	136	165	230	165	125	141	222	173	104	132	154	177	173	177	126
q2*	130	156	214	157	114	141	206	166	95	114	138	159	168	176	120
q2-q2*	6	9	16	8	11	0	16	7	9	18	16	18	5	1	6
c2	2.03	9.20	2.63	2.06	10.35	0.67	7.24	4.14	5.88	7.90	5.30	4.34	5.40	9.16	4.81
q3	135	234	243	120	164	110	172	131	212	231	100	181	117	133	161
q3*	134	227	237	102	163	102	157	122	211	217	82	170	116	132	154
q3-q3*	1	7	6	18	1	8	15	9	1	14	18	11	1	1	7
c3	4.25	5.09	3.05	9.09	8.76	1.53	2.00	6.57	1.16	2.39	10.31	3.41	1.26	3.16	7.45
q4	162	134	247	203	188	238	238	194	212	125	208	159	207	114	156
q4*	150	117	232	190	177	232	236	178	198	111	203	159	200	99	145
q4-q4*	12	17	15	13	11	6	2	16	14	14	5	0	7	15	11
c4	3.50	5.92	9.88	4.54	3.56	3.16	3.21	1.94	1.83	9.82	7.52	1.02	6.48	9.81	8.48
q5	205	169	203	149	230	158	136	196	241	233	200	201	147	205	227
q5*	186	161	190	149	230	145	121	196	222	233	199	186	140	195	209
q5-q5*	19	8	13	0	0	13	15	0	19	0	1	15	7	10	18
c5	8.63	3.42	10.29	3.46	4.52	7.54	6.30	3.53	9.14	0.73	3.00	4.50	1.88	4.55	5.48
q6	201	183	173	114	209	122	108	106	119	200	144	142	126	225	179
q6*	184	174	160	97	206	108	89	93	115	198	141	128	117	208	178
q6-q6*	17	9	13	17	3	14	19	13	4	2	3	14	9	17	1
c6	5.44	2.98	1.95	1.36	2.88	4.73	2.38	4.06	8.28	9.22	4.79	3.88	7.87	7.27	2.24

ตารางผนวกที่ ก12 (ต่อ)

Exp. variable	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
q7	175	105	228	237	121	101	156	105	168	142	204	222	245	114	100
q7*	173	90	218	234	118	84	153	87	152	131	185	213	234	104	90
q7-q7*	2	15	10	3	3	17	3	18	16	11	19	9	11	10	10
c7	4.94	4.59	3.87	4.25	6.60	7.54	2.19	3.22	10.08	4.24	1.05	5.04	1.70	3.79	6.43
q8	158	147	123	176	215	239	201	221	158	208	110	246	125	130	156
q8*	140	140	108	167	203	228	194	204	141	197	106	235	124	129	151
q8-q8*	18	7	15	9	12	11	7	17	17	11	4	11	1	1	5
c8	5.96	3.02	5.59	8.54	2.80	3.33	7.66	6.21	5.92	6.33	7.19	4.41	3.84	6.47	4.20
q9	215	242	203	219	179	215	222	143	164	120	200	163	130	127	178
q9*	208	230	194	212	161	196	221	127	147	101	194	157	124	112	177
q9-q9*	7	12	9	7	18	19	1	16	17	19	6	6	6	15	1
c9	4.76	7.49	4.89	6.21	4.77	1.48	8.37	2.97	3.20	6.09	8.63	1.23	2.13	10.34	1.63
q10	188	190	201	176	110	220	135	182	126	164	183	161	118	152	185
q10*	188	176	190	161	101	209	132	163	110	160	172	156	109	133	167
q10-q10*	0	14	11	15	9	11	3	19	16	4	11	5	9	19	18
c10	10.09	8.68	0.92	7.77	1.68	5.03	6.20	5.51	10.26	0.57	7.63	4.75	10.29	6.59	8.72
q11	232	123	131	213	196	218	164	134	224	224	196	213	152	100	187
q11*	224	120	119	200	181	212	164	126	217	206	178	204	133	99	185
q11-q11*	8	3	12	13	15	6	0	8	7	18	18	9	19	1	2
c11	9.14	1.70	0.70	6.89	3.11	8.71	4.90	2.56	7.96	7.51	4.85	8.80	6.60	6.54	10.42
q12	245	235	176	161	228	122	209	115	127	165	209	209	154	226	158
q12*	234	224	168	144	223	120	208	98	125	163	194	202	136	213	152
q12-q12*	11	11	8	17	5	2	1	17	2	2	15	7	18	13	6
c12	5.97	3.23	6.71	6.12	1.63	9.04	10.05	9.27	8.08	2.02	1.21	6.09	9.20	9.00	0.99

ตารางผนวกที่ ก12 (ต่อ)

Exp. variable	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
q13	138	159	183	196	176	162	232	222	135	172	173	245	169	125	224
q13*	120	152	183	190	173	152	227	219	125	170	154	245	164	108	214
q13-q13*	18	7	0	6	3	10	5	3	10	2	19	0	5	17	10
c13	6.16	3.92	3.20	1.67	1.92	0.61	1.42	6.17	6.94	1.16	5.28	4.51	4.39	2.66	8.56
q14	225	234	215	225	244	147	204	240	122	168	139	138	138	105	209
q14*	207	217	205	218	235	130	185	238	111	159	136	120	129	90	203
q14-q14*	18	17	10	7	9	17	19	2	11	9	3	18	9	15	6
c14	4.66	3.70	5.71	5.34	1.03	9.45	5.24	6.85	8.58	7.63	4.09	9.61	7.45	3.61	4.79
q15	123	128	157	131	210	106	118	240	127	146	238	169	216	179	183
q15*	105	117	147	130	208	97	107	228	118	133	237	159	205	164	171
q15-q15*	18	11	10	1	2	9	11	12	9	13	1	10	11	15	12
c15	3.07	3.50	2.98	6.82	10.19	5.73	1.78	3.27	8.72	1.60	5.92	8.91	4.34	3.36	8.70
qw	136	228	174	126	139	197	175	227	102	216	190	143	249	242	136
qw*	132	214	172	114	120	189	168	224	90	198	173	125	230	225	131
qw-qw*	4	14	2	12	19	8	7	3	12	18	17	18	19	17	5
cw	1.20	3.50	10.32	1.03	6.76	3.62	4.96	9.02	10.04	5.99	3.45	3.61	6.35	0.58	3.12
q1s	149	155	118	126	239	144	238	168	198	166	229	243	157	120	128
q1s*	149	141	107	118	228	140	236	153	181	159	214	234	144	111	123
q1s-q1s*	0	14	11	8	11	4	2	15	17	7	15	9	13	9	5
c1s	3.59	7.21	1.98	10.16	7.23	7.81	3.74	1.37	6.29	5.78	2.09	7.47	1.85	9.37	10.17
qp	239	179	191	125	215	165	212	139	153	232	210	199	155	188	239
qp*	234	160	177	107	209	142	188	137	152	220	200	181	155	183	238
qp-qp*	5	19	14	18	6	23	24	2	1	12	10	18	0	5	1
cp	17.81	9.63	6.89	13.10	14.72	10.59	14.34	15.68	1.87	6.79	17.01	14.22	2.86	19.36	17.74
co	10.37	24.39	13.85	7.11	15.64	23.58	7.49	22.51	12.80	17.12	8.34	23.06	8.57	22.87	8.84

ตารางผนวกที่ ก13 ข้อมูลของปัญหาที่มีจำนวนวัตถุ 15 ชนิดพร้อมกับวัตถุในด้านบรรทัด 2 ชนิด ($r=15, p=2$)

Exp. variable	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
q1	239	241	205	164	223	168	236	140	114	146	242	198	206	207	215
q1*	238	240	195	162	215	168	228	130	99	134	238	198	192	201	209
q1-q1*	1	1	10	2	8	0	8	10	15	12	4	0	14	6	6
c1	1.17	1.14	7.12	10.12	5.84	10.27	1.58	6.00	7.09	5.76	7.42	7.13	2.48	6.31	9.54
q2	193	100	230	172	169	160	114	107	177	224	184	210	119	213	100
q2*	175	85	212	169	156	144	111	100	175	212	165	203	107	201	99
q2-q2*	18	15	18	3	13	16	3	7	2	12	19	7	12	12	1
c2	10.23	5.80	6.12	1.53	3.36	6.04	4.67	4.21	9.58	0.94	6.14	2.21	2.50	2.96	5.28
q3	108	135	206	158	131	198	214	198	242	243	201	137	215	202	140
q3*	92	121	201	150	123	185	198	188	230	238	187	137	200	193	126
q3-q3*	16	14	5	8	8	13	16	10	12	5	14	0	15	9	14
c3	6.26	0.81	6.10	1.39	2.81	9.46	9.24	1.12	2.70	3.91	10.38	5.59	3.66	5.59	2.35
q4	130	230	211	238	245	245	187	218	174	231	210	203	212	117	197
q4*	124	228	207	221	231	241	179	211	173	222	200	188	193	104	193
q4-q4*	6	2	4	17	14	4	8	7	1	9	10	15	19	13	4
c4	7.75	10.35	6.48	6.44	0.99	3.31	8.14	5.67	4.75	0.76	7.76	9.86	1.19	2.37	8.90
q5	140	191	125	123	113	234	211	210	172	152	194	149	195	168	242
q5*	132	173	116	111	107	219	197	206	154	146	188	146	188	162	235
q5-q5*	8	18	9	12	6	15	14	4	18	6	6	3	7	6	7
c5	1.25	3.13	6.95	2.82	6.91	1.55	8.06	7.56	8.23	1.16	2.45	0.93	5.69	8.30	8.74
q6	171	184	178	161	136	124	164	186	126	181	147	235	162	153	157
q6*	170	179	165	149	120	108	163	170	123	174	142	230	143	146	144
q6-q6*	1	5	13	12	16	16	1	16	3	7	5	5	19	7	13
c6	9.70	6.45	3.04	10.36	6.52	1.63	10.23	7.35	7.53	3.97	9.36	7.64	3.02	5.01	2.03
q7	246	223	157	216	123	192	148	126	222	172	182	126	222	175	114
q7*	240	215	143	202	119	190	129	116	217	171	169	126	219	160	97

ตารางผนวกที่ ก13 (ต่อ)

Exp. variable	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
q7-q7*	6	8	14	14	4	2	19	10	5	1	13	0	3	15	17
c7	6.10	3.96	2.48	8.35	3.49	6.41	10.41	8.56	7.51	3.03	8.25	9.58	6.34	2.08	1.32
q8	119	197	180	237	114	136	154	215	200	122	139	218	218	133	202
q8*	117	187	175	218	101	117	150	196	198	104	131	209	213	129	186
q8-q8*	2	10	5	19	13	19	4	19	2	18	8	9	5	4	16
c8	4.56	1.55	9.64	5.01	9.71	3.03	5.65	6.70	6.62	5.61	9.22	6.99	6.04	5.63	2.76
q9	196	140	125	160	121	209	116	162	139	106	118	219	126	212	101
q9*	182	140	125	148	121	209	114	146	123	90	100	209	126	194	95
q9-q9*	14	0	0	12	0	0	2	16	16	16	18	10	0	18	6
c9	6.78	7.68	8.50	8.67	8.18	0.60	10.12	7.78	1.01	7.62	2.52	2.22	9.40	5.80	5.48
q10	145	182	168	237	156	163	157	109	192	248	134	234	223	244	167
q10*	129	164	158	220	154	145	153	103	192	245	126	234	212	230	155
q10-q10*	16	18	10	17	2	18	4	6	0	3	8	0	11	14	12
c10	6.13	3.36	6.73	6.09	1.60	3.81	10.37	4.31	6.61	2.73	3.24	1.06	1.75	9.86	7.83
q11	129	246	170	204	221	211	147	156	142	145	137	126	238	199	160
q11*	112	241	161	190	207	197	145	149	131	127	137	109	231	192	147
q11-q11*	17	5	9	14	14	14	2	7	11	18	0	17	7	7	13
c11	8.83	2.97	10.04	8.44	10.33	9.33	1.95	1.83	7.89	2.61	4.89	5.86	10.18	8.00	4.40
q12	220	225	154	130	212	206	211	179	125	151	168	121	153	139	103
q12*	220	220	137	124	210	187	206	174	124	137	151	107	138	129	103
q12-q12*	0	5	17	6	2	19	5	5	1	14	17	14	15	10	0
c12	6.13	9.14	7.98	1.37	4.84	7.44	1.95	9.97	9.82	2.22	4.15	4.12	1.97	5.01	8.80
q13	167	242	160	249	226	115	248	138	117	202	193	242	172	135	152
q13*	163	228	144	231	223	113	243	119	106	197	177	240	164	133	138
q13-q13*	4	14	16	18	3	2	5	19	11	5	16	2	8	2	14
c13	7.65	6.66	6.79	2.23	8.76	10.06	5.96	9.54	1.31	1.78	1.30	3.26	2.83	1.12	3.98

ตารางผนวกที่ ก13 (ต่อ)

Exp. variable	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
q14	190	146	180	198	214	193	248	106	155	130	153	167	218	106	192
q14*	190	141	166	180	202	190	243	104	139	115	142	164	208	103	174
q14-q14*	0	5	14	18	12	3	5	2	16	15	11	3	10	3	18
c14	7.28	6.70	1.21	6.60	3.52	7.96	1.42	9.75	3.98	9.42	9.63	5.67	4.58	10.24	8.58
q15	190	217	109	137	116	219	177	232	242	138	189	163	158	119	148
q15*	182	206	107	136	111	206	162	213	224	128	183	157	157	107	147
q15-q15*	8	11	2	1	5	13	15	19	18	10	6	6	1	12	1
c15	10.47	3.38	5.50	5.52	7.22	6.31	4.64	1.77	10.15	7.28	4.49	1.20	2.80	1.79	0.88
qw	211	229	151	220	199	243	113	220	169	220	247	239	203	148	153
qw*	202	228	142	212	194	234	107	205	157	202	228	235	192	129	139
qw-qw*	9	1	9	8	5	9	6	15	12	18	19	4	11	19	14
cw	8.12	5.85	8.02	3.77	5.93	9.51	10.11	5.70	8.89	8.98	5.81	4.76	10.47	7.71	9.15
q1s	154	169	132	100	210	111	177	130	123	141	113	182	164	200	201
q1s*	147	158	117	93	199	107	173	125	112	139	112	169	147	191	201
q1s-q1s*	7	11	15	7	11	4	4	5	11	2	1	13	17	9	0
c1s	4.49	7.96	9.11	9.00	6.11	9.56	2.46	0.52	3.33	8.92	2.96	7.46	8.77	3.61	8.37
q2s	178	238	167	119	180	100	197	131	102	148	107	245	230	241	177
q2s*	171	231	152	107	173	99	185	119	97	133	92	245	211	225	164
q2s-q2s*	7	7	15	12	7	1	12	12	5	15	15	0	19	16	13
c2s	7.20	1.00	3.86	1.79	6.64	4.48	2.83	2.25	3.91	1.78	7.57	7.62	0.64	9.66	3.34
qp	178	141	182	222	182	147	197	161	146	141	220	117	172	150	204
qp*	168	120	175	213	164	129	174	161	142	126	218	104	156	141	203
qp-qp*	10	21	7	9	18	18	23	0	4	15	2	13	16	9	1
cp	2.99	5.09	1.90	12.04	19.21	3.25	19.07	17.61	8.93	15.06	10.46	10.83	9.27	15.83	19.17
co	10.95	25.46	11.51	14.77	14.74	11.17	7.18	22.55	11.73	12.89	22.75	22.50	15.91	15.90	6.76

ภาคผนวก ข
การเขียนโปรแกรมที่ใช้ในการทดลอง

1. วิธีการหาคำตอบทางตรง (Enumeration) สำหรับปัญหาขนาดเล็ก

1.1 ปัญหาที่มีวัตถุดิบเริ่มต้น 1 ชนิด ($r=1$)

```
clear;
i=0;
%fill data in each variable (q1 to co)
q1=177;q11=156;c1=4.32;
qp=166;qpp=148;cp=2.86;co=5.61;
mini=1e10;
%timer
tic
for x1=0:q1-q11
    for xp=0:qp-qpp
        i=i+1;
        A(1,i)=x1;      %x1 = ans r/m#1
        A(2,i)=xp;      %xp = ans fg
        A(3,i)=(q11+x1)/q1; %k1 = performance of r/m#1
        A(4,i)=qpp/qp*A(3,i)+xp/qp; %kp = performance of fg
        A(5,i)=c1*x1;    %C1 = cost of invent for r/m#1
        A(6,i)=cp*xp;    %Cp = cost of invent for fg
        A(7,i)=co*qp*(1-A(4,i)); %Co = opportunity cost
        A(8,i)=A(5,i);
        for k=6:7
            A(8,i)=A(8,i)+A(k,i);
        end
        if A(8,i)<mini
            mini=A(8,i);
            m=i;
        end
    end
end
mini
x1=A(1,m)
x2=A(2,m)
m
toc
```

1.2 ปัญหาที่มีวัตถุดิบเริ่มต้น 2 ชนิด ($r=2$)

```
clear;
i=0;
%fill data in each variable (q1 to co)
q1=171;q11=157;c1=1.24;q2=107;q22=104;c2=6.16;
qp=173;qpp=149;cp=12.35;co=13.19;
mini=1e10;
%timer
tic
for x1=0:q1-q11
    for x2=0:q2-q22
        for xp=0:qp-qpp
            i=i+1;
```

```

A(1,i)=x1;      %x1 = ans r/m#1
A(2,i)=x2;      %x2 = ans r/m#2
A(3,i)=xp;      %xp = ans fg
A(4,i)=(q11+x1)/q1; %k1 = performance of r/m#1
A(5,i)=(q22+x2)/q2; %k2 = performance of r/m#2
A(6,i)=qpp/qp*A(4,i)*A(5,i)+xp/qp; %kp = performance of
                                     %fg
A(7,i)=c1*x1;    %C1 = cost of invent for r/m#1
A(8,i)=c2*x2;    %C2 = cost of invent for r/m#2
A(9,i)=cp*xp;    %Cp = cost of invent for fg
A(10,i)=co*qp*(1-A(6,i)); %Co = opportunity cost
A(11,i)=A(7,i);
for k=8:10
A(11,i)=A(11,i)+A(k,i);
end
if A(11,i)<mini
mini=A(11,i);
m=i;
end
end
end
mini
x1=A(1,m)
x2=A(2,m)
x3=A(3,m)
m
toc

```

1.3 ปัญหาที่มีวัตถุดิบเริ่มต้น 3 ชนิด (r=3)

```

clear;
i=0;
%fill data in each variable (q1 to co)
q1=178;q11=170;c1=7.89;q2=161;q22=156;c2=7.29;q3=233;q33=224;c3=8.58;
qp=187;qpp=175;cp=5.01;co=7.34;
mini=1e10;
%timer
tic
for x1=0:q1-q11
for x2=0:q2-q22
for x3=0:q3-q33
for xp=0:qp-qpp
i=i+1;
A(1,i)=x1;      %x1 = ans r/m#1
A(2,i)=x2;      %x2 = ans r/m#2
A(3,i)=x3;      %x3 = ans r/m#3
A(4,i)=xp;      %xp = ans fg
A(5,i)=(q11+x1)/q1; %k1 = performance of r/m#1
A(6,i)=(q22+x2)/q2; %k2 = performance of r/m#2
A(7,i)=(q33+x3)/q3; %k3 = performance of r/m#3
A(8,i)=qpp/qp*A(5,i)*A(6,i)*A(7,i)+xp/qp;
%kp = performance of fg
A(9,i)=c1*x1;    %C1 = cost of invent for r/m#1
A(10,i)=c2*x2;   %C2 = cost of invent for r/m#2
A(11,i)=c3*x3;   %C3 = cost of invent for r/m#3

```

```

        A(12,i)=cp*xp;    %Cp = cost of invent for fg
        A(13,i)=co*qp*(1-A(8,i)); %Co = opportunity cost
        A(14,i)=A(9,i);
        for k=10:13
            A(14,i)=A(14,i)+A(k,i);
        end
        if A(14,i)<mini
            mini=A(14,i);
            m=i;
        end
    end
end
end
end
mini
x1=A(1,m)
x2=A(2,m)
x3=A(3,m)
x4=A(4,m)
m
toc

```

1.4 ปัญหาที่มีวัตถุดิบเริ่มต้น 1 ชนิดพร้อมกับวัตถุดิบด้านบรรจุภัณฑ์ 1 ชนิด (r=1, p=1)

```

clear;
i=0;
%fill data in each variable(q1 to co)
q1=154;q11=150;c1=4.22;
qw=121;qww=108;cw=1.37;
q1s=195;q1ss=182;c1s=2.63;
qp=115;qpp=106;cp=14.86;co=8.88;
mini=1e10;
%timer
tic
for x1=0:q1-q11
    for xw=0:qw-qww
        for x1s=0:q1s-q1ss
            for xp=0:qp-qpp
                i=i+1;
                A(1,i)=x1;    %x1 = ans r/m#1
                A(2,i)=xw;    %xw = ans wip
                A(3,i)=x1s;    %x1s = ans pack-r/m#1
                A(4,i)=xp;    %xp = ans fg
                A(5,i)=(q11+x1)/q1;    %k1 = performance of r/m#1
                A(6,i)=(qww*A(5,i)+xw)/qw; %kwip = performance of wip
                A(7,i)=(q1ss+x1s)/q1s;    %kq1s = performance of
                    %pack-r/m#1
                A(8,i)=qpp/qp*A(6,i)*A(7,i)+xp/qp;
                %kp = performance of fg
                A(9,i)=c1*x1;    %C1 = cost of invent for r/m#1
                A(10,i)=cw*xw;    %Cwip = cost of invent for wip
                A(11,i)=c1s*x1s; %C1s = cost of invent for pack-r/m#1
                A(12,i)=cp*xp;    %Cp = cost of invent for fg
                A(13,i)=co*qp*(1-A(8,i)); %Co = opportunity cost
                A(14,i)=A(9,i);
                for k=10:13

```

```

        A(14,i)=A(14,i)+A(k,i);
    end
    if A(14,i)<mini
        mini=A(14,i);
        m=i;
    end
end
end
end
end
mini
x1=A(1,m)
x2=A(2,m)
x3=A(3,m)
x4=A(4,m)
m
toc

```

1.5 ปัญหาที่มีวัตถุดิบเริ่มต้น 2 ชนิดพร้อมกับวัตถุดิบด้านบรรจุภัณฑ์ 1 ชนิด (r=2, p=1)

```

clear;
i=0;
%fill data in each variable (q1 to co)
q1=120;q11=113;c1=4.87;q2=143;q22=143;c2=6.04;
qw=224;qww=220;cw=1.49;
q1s=104;q1ss=91;c1s=15.46;
qp=174;qpp=172;cp=7.22;co=14.04;
mini=1e10;
%timer
tic
for x1=0:q1-q11
    for x2=0:q2-q22
        for xw=0:qw-qww
            for x1s=0:q1s-q1ss
                for xp=0:qp-qpp
                    i=i+1;
                    A(1,i)=x1;      %x1 = ans r/m#1
                    A(2,i)=x2;      %x2 = ans r/m#2
                    A(3,i)=xw;      %xw = ans wip
                    A(4,i)=x1s;     %x1s = ans pack-r/m#1
                    A(5,i)=xp;      %xp = ans fg
                    A(6,i)=(q11+x1)/q1; %k1 = performance of r/m#1
                    A(7,i)=(q22+x2)/q2; %k2 = performance of r/m#2
                    A(8,i)=(qww*A(7,i)*A(6,i)+xw)/qw;
                    %kwip = performance of wip
                    A(9,i)=(q1ss+x1s)/q1s;
                    %kq1s = performance of pack-r/m#1
                    A(10,i)=qpp/qp*A(8,i)*A(9,i)+xp/qp;
                    %kp = performance of fg
                    A(11,i)=c1*x1; %C1 = cost of invent for r/m#1
                    A(12,i)=c2*x2; %C2 = cost of invent for r/m#2
                    A(13,i)=cw*xw; %Cwip = cost of invent for wip
                    A(14,i)=c1s*x1s; %C1s = cost of invent for
                    %pack-r/m#1
                    A(15,i)=cp*xp; %Cp = cost of invent for fg
                end
            end
        end
    end
end

```

```

                                A(16,i)=co*qp*(1-A(10,i)); %Co = opportunity
cost
                                A(17,i)=A(11,i);
                                for k=12:16
                                A(17,i)=A(17,i)+A(k,i);
                                end
                                if A(17,i)<mini
                                    mini=A(17,i);
                                    m=i;
                                end
                                end
                            end
                        end
                    end
                end
            end
        end
    end
    mini
    x1=A(1,m)
    x2=A(2,m)
    x3=A(3,m)
    x4=A(4,m)
    x5=A(5,m)
    m
    toc

```

2. วิธีอัลกอริธึมพันธุกรรม (Genetic Algorithm)

2.1 ปัญหาขนาดเล็กที่ไม่มีวัสดุคงคลังระหว่างกระบวนการผลิตและวัตถุดิบด้านบรรจุ

ภัณฑ์

Input data

```

function nowipgapackmain
global s v q1 q11 c1 qfg qfgg cfg co upp
s=input('s=');
v=s+1;

a=input('value=');

for i=1:s
    q1(i)=a(4*(i-1)+1);
    q11(i)=a(4*(i-1)+2);
    upp(i)=a(4*(i-1)+3);
    c1(i)=a(4*(i-1)+4);
end

qfg=a(4*(s)+1);
qfgg=a(4*(s)+2);
upp(s+1)=a(4*(s)+3);
cfg=a(4*(s)+4);
co=a(4*(s)+5);

%defind upperbound of x
a=q1-q11;

```

```
d=qfg-qfgg;
```

Equations/Fitness Function (main)

```
function f = nowipgapack(x)
global s v q1 q11 c1 qfg qfgg cfg co upp

if x>=zeros(1,v) & x<=upp
    for i=1:s
        k1(i)=(q11(i)+x(i))/q1(i);

        if i==1
            k=k1(i);
            c11 = c1(i)*x(i);
        else
            k=k1(i)*k;
            c11 =(c1(i)*x(i))+c11;
        end

    end

    kfg=((qfgg*k)+x(v))/qfg;

    cfgg=cfg*x(v);

    coo=co*qfg*(1-kfg);

    f=coo+c11+cfgg;
else
    f=NaN;
end
```

Genetic Algorithm-Integer

```
function [x,fval] = nowipgainteger
global v upp

% Fitness function and number of variables
fitnessFcn = @(x) nowipgapack(x);
numberOfVariables = v;

% If decision variables are bounded provide a bound e.g, LB and UB.
LB = zeros(1,v);
UB = upp;
Bound = [LB;UB]; % If unbounded then Bound = []

% Create an options structure to be passed to GA
% Three options namely 'CreationFcn', 'MutationFcn', and
% 'PopInitRange' are required part of the problem.
options =
gaoptimset('CreationFcn',@int_pop,'MutationFcn',@int_mutation, ...

'PopInitRange',Bound,'Display','iter','StallGenL',80,'Generations',10
00, ...
'PopulationSize',100);
```

```

[x,fval] = ga(fitnessFcn,numberOfVariables,options);
%-----
% Mutation function to generate childrens satisfying the range and
integer
% constraints on decision variables.
function mutationChildren =
int_mutation(parents,options,GenomeLength, ...
    FitnessFcn,state,thisScore,thisPopulation)
shrink = .01;
scale = 1;
scale = scale - shrink * scale * state.Generation/options.Generations;
range = options.PopInitRange;
lower = range(1,:);
upper = range(2,:);
scale = scale * (upper - lower);
mutationPop = length(parents);
% The use of ROUND function will make sure that childrens are
% integers.
mutationChildren = repmat(lower,mutationPop,1) + ...
    round(repmat(scale,mutationPop,1) .*
    rand(mutationPop,GenomeLength));
% End of mutation function
%-----
function Population = int_pop(GenomeLength,FitnessFcn,options)

totalpopulation = sum(options.PopulationSize);
range = options.PopInitRange;
lower= range(1,:);
span = range(2,:) - lower;
% The use of ROUND function will make sure that individuals are
% integers.
Population = repmat(lower,totalpopulation,1) + ...
    round(repmat(span,totalpopulation,1) .*
    rand(totalpopulation,GenomeLength));
% End of creation function

```

Run

```

function nowipgapackuser
global s v q1 q11 c1 qfg qfgg cfg co upp

run nowipgapackmain

tic
[x fval]=nowipgainteger
toc

```

**2.2 ปัญหาขนาดเล็กที่มีวัตถุประสงค์ระหว่างกระบวนการผลิตและวัตถุดิบด้านบรรจุภัณฑ์
และปัญหาขนาดใหญ่**

Input data

```
function gapackmain
```

```

global s r v q1 q11 c1 qwip qwipp cwip q1s q11s c1s qfg qfgg cfg co
upp
s=input('s=');
r=input('r=');
v=s+r+2;

a=input('value=');

for i=1:s
    q1(i)=a(4*(i-1)+1);
    q11(i)=a(4*(i-1)+2);
    upp(i)=a(4*(i-1)+3);
    c1(i)=a(4*(i-1)+4);
end
qwip=a(4*s+1);
qwipp=a(4*s+2);
upp(s+1)=a(4*s+3);
cwip=a(4*s+4);
for j=1:r
    q1s(j)=a(4*(s+j)+1);
    q11s(j)=a(4*(s+j)+2);
    upp(s+j+1)=a(4*(s+j)+3);
    c1s(j)=a(4*(s+j)+4);
end
qfg=a(4*(s+r+1)+1);
qfgg=a(4*(s+r+1)+2);
upp(s+r+2)=a(4*(s+r+1)+3);
cfg=a(4*(s+r+1)+4);
co=a(4*(s+r+1)+5);

%define upperbound of x
a=q1-q11;
b=qwip-qwipp;
c=q1s-q11s;
d=qfg-qfgg;

```

Equations/Fitness Function (main)

```

function f = gapack(x)
global s r v q1 q11 c1 qwip qwipp cwip q1s q11s c1s qfg qfgg cfg co
upp

if x>=zeros(1,v) & x<=upp
    for i=1:s
        k1(i)=(q11(i)+x(i))/q1(i);

        if i==1
            k=k1(i);
            c11 = c1(i)*x(i);
        else
            k=k1(i)*k;
            c11 =(c1(i)*x(i))+c11;
        end
    end

    end

    kwip=((qwipp*k)+x(s+1))/qwip;

```

```

        cwipp=cwip*x(s+1);
    for j=1:r
        k1s(j)=(q11s(j)+x(j+s+1))/q1s(j);

        if j==1
            ks=k1s(j);
            c11s = c1s(j)*x(j+s+1);
        else
            ks=k1s(j)*ks;
            c11s =(c1s(j)*x(j+s+1))+c11s;
        end

    end

    kfg=((qfgg*kwip*ks)+x(v))/qfg;

    cfgg=cfg*x(v);

    coo=co*qfg*(1-kfg);

    f=coo+c11+cwipp+c11s+cfgg;
else
    f=NaN;
end

```

Genetic Algorithm-Integer

```

function [x,fval] = gainteger
global v upp

% Fitness function and numver of variables
fitnessFcn = @(x) gapack(x);
numberOfVariables = v;

% If decision variables are bounded provide a bound e.g, LB and UB.
LB = zeros(1,v);
UB = upp;
Bound = [LB;UB]; % If unbounded then Bound = []

% Create an options structure to be passed to GA
% Three options namely 'CreationFcn', 'MutationFcn', and
% 'PopInitRange' are required part of the problem.
options =
gaoptimset('CreationFcn',@int_pop,'MutationFcn',@int_mutation, ...
'PopInitRange',Bound,'Display','iter','StallGenL',80,'Generations',10
00, ...
'PopulationSize',100);

[x,fval] = ga(fitnessFcn,numberOfVariables,options);
%-----
% Mutation function to generate childrens satisfying the range and
% integer
% constraints on decision variables.
function mutationChildren =
int_mutation(parents,options,GenomeLength, ...
    FitnessFcn,state,thisScore,thisPopulation)

```

```

shrink = .01;
scale = 1;
scale = scale - shrink * scale * state.Generation/options.Generations;
range = options.PopInitRange;
lower = range(1,:);
upper = range(2,:);
scale = scale * (upper - lower);
mutationPop = length(parents);
% The use of ROUND function will make sure that childrens are
% integers.
mutationChildren = repmat(lower,mutationPop,1) + ...
    round(repmat(scale,mutationPop,1) .*
    rand(mutationPop,GenomeLength));
% End of mutation function
%-----
function Population = int_pop(GenomeLength,FitnessFcn,options)

totalpopulation = sum(options.PopulationSize);
range = options.PopInitRange;
lower= range(1,:);
span = range(2,:) - lower;
% The use of ROUND function will make sure that individuals are
% integers.
Population = repmat(lower,totalpopulation,1) + ...
    round(repmat(span,totalpopulation,1) .*
    rand(totalpopulation,GenomeLength));
% End of creation function

```

Run

```

function gapackuser
global s r v q1 q11 c1 qwip qwipp cwip q1s q11s c1s qfg qfgg cfg co
upp

run gapackmain

tic
[x fval]=gainteger
toc

```

3. วิธีค้นหาแบบรูป (Pattern Search)

3.1 ปัญหาขนาดเล็กที่ไม่มีวัสดุคงคลังระหว่างกระบวนการผลิตและวัตถุดิบด้านบรรจุ

ภัณฑ์

Input data

```

function nowiptimepackmain
global s v q1 q11 c1 qfg qfgg cfg co upper

s=input('s=');
v=s+1;

a=input('value=');

```

```

for i=1:s
    q1(i)=a(4*(i-1)+1);
    q11(i)=a(4*(i-1)+2);
    upper(i)=a(4*(i-1)+3);
    c1(i)=a(4*(i-1)+4);
end

qfg=a(4*(s)+1);
qfgg=a(4*(s)+2);
upper(s+1)=a(4*(s)+3);
cfg=a(4*(s)+4);
co=a(4*(s)+5);

%define upperbound of x
a=q1-q11;
d=qfg-qfgg;
upper=[];
    for i=1:s
        upper=[upper a(i)];
    end
upper=[upper d];

```

Equations/Fitness Function (main)

```

function f = nowiptimepack(x)
global s v q1 q11 c1 qfg qfgg cfg co

for i=1:s
    k1(i)=(q11(i)+x(i))/q1(i);

    if i==1
        k=k1(i);
        c11 = c1(i)*x(i);
    else
        k=k1(i)*k;
        c11 =(c1(i)*x(i))+c11;
    end
end

kfg=((qfgg*k)+x(v))/qfg;

cfgg=cfg*x(v);

coo=co*qfg*(1-kfg);

f=coo+c11+cfgg;

```

Pattern Search

```

function nowipps
global v upper

run nowiptimepackmain

fprintf('Number of variable:  %d\n',v);

lower=zeros(1,v);

```

```

options=psoptimset('Display','iter');
tic
[x fval exitflag output]=...
patternsearch(@nowiptimepack,lower,[],[],[],[],lower,upper,options)
toc

```

3.2 ปัญหาขนาดเล็กที่มีวัสดุคงคลังระหว่างกระบวนการผลิตและวัตถุดิบด้านบรรจุภัณฑ์ และปัญหาค่าใหญ่

Input data

```

function timepackmain
global s r v q1 q11 c1 qwip qwipp cwip q1s q11s c1s qfg qfgg cfg co
upper

s=input('s=');
r=input('r=');
v=s+r+2;

a=input('value=');

for i=1:s
    q1(i)=a(4*(i-1)+1);
    q11(i)=a(4*(i-1)+2);
    upper(i)=a(4*(i-1)+3);
    c1(i)=a(4*(i-1)+4);
end
qwip=a(4*s+1);
qwipp=a(4*s+2);
upper(s+1)=a(4*s+3);
cwip=a(4*s+4);
for j=1:r
    q1s(j)=a(4*(s+j)+1);
    q11s(j)=a(4*(s+j)+2);
    upper(s+j+1)=a(4*(s+j)+3);
    c1s(j)=a(4*(s+j)+4);
end
qfg=a(4*(s+r+1)+1);
qfgg=a(4*(s+r+1)+2);
upper(s+r+2)=a(4*(s+r+1)+3);
cfg=a(4*(s+r+1)+4);
co=a(4*(s+r+1)+5);

%define upperbound of x
a=q1-q11;
b=qwip-qwipp;
c=q1s-q11s;
d=qfg-qfgg;
upper=[];
for i=1:s
    upper=[upper a(i)];
end
upper=[upper b];
for i=1:r
    upper=[upper c(i)];
end

```

```

    end
    upper=[upper d];

```

Equations/Fitness Function (main)

```

function f = timepack(x)
global s r v q1 q11 c1 qwip qwipp cwip q1s q11s c1s qfg qfgg cfg co

for i=1:s
    k1(i)=(q11(i)+x(i))/q1(i);

    if i==1
        k=k1(i);
        c11 = c1(i)*x(i);
    else
        k=k1(i)*k;
        c11 =(c1(i)*x(i))+c11;
    end

end

    kwip=((qwipp*k)+x(s+1))/qwip;

    cwipp=cwip*x(s+1);

    for j=1:r
        k1s(j)=(q11s(j)+x(j+s+1))/q1s(j);

        if j==1
            ks=k1s(j);
            c11s = c1s(j)*x(j+s+1);
        else
            ks=k1s(j)*ks;
            c11s =(c1s(j)*x(j+s+1))+c11s;
        end

    end

    kfg=((qfgg*kwip*ks)+x(v))/qfg;

    cfgg=cfg*x(v);

    coo=co*qfg*(1-kfg);

    f=coo+c11+cwipp+c11s+cfgg;

```

Pattern Search

```

function ps
global v upper

run timepackmain

fprintf('Number of variable: %d\n',v);

lower=zeros(1,v);
options=psoptimset('Display','iter');
tic

```

```
[x fval exitflag output]=...
patternsearch(@timepack, lower, [], [], [], [], lower, upper, options)
toc
```

4. วิธีดูผสมระหว่างอัลกอริธึมพันธุกรรมและการค้นหาแบบรูป (Hybrid Function)

4.1 ปัญหาขนาดเล็กที่ไม่มีวัสดุคงคลังระหว่างกระบวนการผลิตและวัตถุดิบด้านบรรจุ

ภัณฑ์

Input data

```
function nowipgapackmain
global s v q1 q11 c1 qfg qfgg cfg co upp
s=input('s=');
v=s+1;

a=input('value=');

for i=1:s
    q1(i)=a(4*(i-1)+1);
    q11(i)=a(4*(i-1)+2);
    upp(i)=a(4*(i-1)+3);
    c1(i)=a(4*(i-1)+4);
end

qfg=a(4*(s)+1);
qfgg=a(4*(s)+2);
upp(s+1)=a(4*(s)+3);
cfg=a(4*(s)+4);
co=a(4*(s)+5);

%define upperbound of x
a=q1-q11;
d=qfg-qfgg;
```

Equations/Fitness Function (main)

```
function f = nowipgapack(x)
global s v q1 q11 c1 qfg qfgg cfg co upp

if x>=zeros(1,v) & x<=upp
    for i=1:s
        k1(i)=(q11(i)+x(i))/q1(i);

        if i==1
            k=k1(i);
            c11 = c1(i)*x(i);
        else
            k=k1(i)*k;
            c11 =(c1(i)*x(i))+c11;
        end
    end

end
```

```

        kfg=((qfgg*k)+x(v))/qfg;

        cfgg=cfg*x(v);

        coo=co*qfg*(1-kfg);

        f=coo+c11+cfgg;
    else
        f=NaN;
    end

```

Hybrid Genetic Algorithm-Integer with Pattern Search

```

function [x,fval] = hnowipgainteger
global v upp

% Fitness function and numver of variables
fitnessFcn = @(x) nowipgapack(x);
numberOfVariables = v;

% If decision variables are bounded provide a bound e.g, LB and UB.
LB = zeros(1,v);
UB = upp;
Bound = [LB;UB]; % If unbounded then Bound = []

% Create an options structure to be passed to GA
% Three options namely 'CreationFcn', 'MutationFcn', and
% 'PopInitRange' are required part of the problem.
psoptions=psoptimset('Display','iter','CompletePoll','on');
options =
gaoptimset('CreationFcn',@int_pop,'MutationFcn',@int_mutation, ...

'PopInitRange',Bound,'Display','iter','StallGenL',80,'Generations',10
00, ...
'PopulationSize',100,'HybridFcn',{@patternsearch,psoptions});

[x,fval] = ga(fitnessFcn,numberOfVariables,options);
%-----
% Mutation function to generate childrens satisfying the range and
% integer
% constraints on decision variables.
function mutationChildren =
int_mutation(parents,options,GenomeLength, ...
    FitnessFcn,state,thisScore,thisPopulation)
shrink = .01;
scale = 1;
scale = scale - shrink * scale * state.Generation/options.Generations;
range = options.PopInitRange;
lower = range(1,:);
upper = range(2,:);
scale = scale * (upper - lower);
mutationPop = length(parents);
% The use of ROUND function will make sure that childrens are
% integers.
mutationChildren = repmat(lower,mutationPop,1) + ...
    round(repmat(scale,mutationPop,1) .*
    rand(mutationPop,GenomeLength));

```

```
% End of mutation function
%-----
function Population = int_pop(GenomeLength,FitnessFcn,options)

totalpopulation = sum(options.PopulationSize);
range = options.PopInitRange;
lower= range(1,:);
span = range(2,:) - lower;
% The use of ROUND function will make sure that individuals are
% integers.
Population = repmat(lower,totalpopulation,1) + ...
    round(repmat(span,totalpopulation,1) .*
    rand(totalpopulation,GenomeLength));
% End of creation function
```

Run

```
function nowipgapackuser
global s v q1 q11 c1 qfg qfgg cfg co upp

run nowipgapackmain

tic
[x fval]=hnowipgainteger
toc
```

**4.2 ปัญหาขนาดเล็กที่มีวัสดุคงคลังระหว่างกระบวนการผลิตและวัตถุดิบด้านบรรจุภัณฑ์
และปัญหาขนาดใหญ่**

Input data

```
function gapackmain
global s r v q1 q11 c1 qwip qwipp cwip q1s q11s c1s qfg qfgg cfg co
upp
s=input('s=');
r=input('r=');
v=s+r+2;

a=input('value=');

for i=1:s
    q1(i)=a(4*(i-1)+1);
    q11(i)=a(4*(i-1)+2);
    upp(i)=a(4*(i-1)+3);
    c1(i)=a(4*(i-1)+4);
end
qwip=a(4*s+1);
qwipp=a(4*s+2);
upp(s+1)=a(4*s+3);
cwip=a(4*s+4);
for j=1:r
    q1s(j)=a(4*(s+j)+1);
    q11s(j)=a(4*(s+j)+2);
    upp(s+j+1)=a(4*(s+j)+3);
    c1s(j)=a(4*(s+j)+4);
```

```

end
qfg=a(4*(s+r+1)+1);
qfgg=a(4*(s+r+1)+2);
upp(s+r+2)=a(4*(s+r+1)+3);
cfg=a(4*(s+r+1)+4);
co=a(4*(s+r+1)+5);

```

```

%define upperbound of x
a=q1-q11;
b=qwip-qwipp;
c=q1s-q11s;
d=qfg-qfgg;

```

Equations/Fitness Function (main)

```

function f = gapack(x)
global s r v q1 q11 c1 qwip qwipp cwip q1s q11s c1s qfg qfgg cfg co
upp

```

```

if x>=zeros(1,v) & x<=upp
    for i=1:s
        k1(i)=(q11(i)+x(i))/q1(i);

        if i==1
            k=k1(i);
            c11 = c1(i)*x(i);
        else
            k=k1(i)*k;
            c11 =(c1(i)*x(i))+c11;
        end

    end

    kwip=((qwipp*k)+x(s+1))/qwip;

    cwipp=cwip*x(s+1);

    for j=1:r
        k1s(j)=(q11s(j)+x(j+s+1))/q1s(j);

        if j==1
            ks=k1s(j);
            c11s = c1s(j)*x(j+s+1);
        else
            ks=k1s(j)*ks;
            c11s =(c1s(j)*x(j+s+1))+c11s;
        end

    end

    kfg=((qfgg*kwip*ks)+x(v))/qfg;

    cfgg=cfg*x(v);

    coo=co*qfg*(1-kfg);

    f=coo+c11+cwipp+c11s+cfgg;
else

```

```

        f=NaN;
end

```

Hybrid Genetic Algorithm-Integer with Pattern Search

```

function [x,fval] = hgainteger
global v upp

% Fitness function and numver of variables
fitnessFcn = @(x) gapack(x);
numberOfVariables = v;

% If decision variables are bounded provide a bound e.g, LB and UB.
LB = zeros(1,v);
UB = upp;
Bound = [LB;UB]; % If unbounded then Bound = []

% Create an options structure to be passed to GA
% Three options namely 'CreationFcn', 'MutationFcn', and
% 'PopInitRange' are required part of the problem.
psoptions=psoptimset('Display','iter','CompletePoll','on');
options =
gaoptimset('CreationFcn',@int_pop,'MutationFcn',@int_mutation, ...

'PopInitRange',Bound,'Display','iter','StallGenL',80,'Generations',10
00, ...
'PopulationSize',100,'HybridFcn',{@patternsearch,psoptions});

[x,fval] = ga(fitnessFcn,numberOfVariables,options);
%-----
% Mutation function to generate childrens satisfying the range and
% integer
% constraints on decision variables.
function mutationChildren =
int_mutation(parents,options,GenomeLength, ...
    FitnessFcn,state,thisScore,thisPopulation)
shrink = .01;
scale = 1;
scale = scale - shrink * scale * state.Generation/options.Generations;
range = options.PopInitRange;
lower = range(1,:);
upper = range(2,:);
scale = scale * (upper - lower);
mutationPop = length(parents);
% The use of ROUND function will make sure that childrens are
% integers.
mutationChildren = repmat(lower,mutationPop,1) + ...
    round(repmat(scale,mutationPop,1) .*
    rand(mutationPop,GenomeLength));
% End of mutation function
%-----
function Population = int_pop(GenomeLength,FitnessFcn,options)

totalpopulation = sum(options.PopulationSize);
range = options.PopInitRange;
lower= range(1,:);
span = range(2,:) - lower;

```

```
% The use of ROUND function will make sure that individuals are
% integers.
Population = repmat(lower,totalpopulation,1) + ...
    round(repmat(span,totalpopulation,1) .*
    rand(totalpopulation,GenomeLength));
% End of creation function
```

Run

```
function gapackuser
global s r v q1 q11 c1 qwip qwipp cwip q1s q11s c1s qfg qfgg cfg co
upp

run gapackmain

tic
[x fval]=hgainteger
toc
```

ภาคผนวก ค

คำตอบของวิธีอัลกอริธึมพันธุกรรม

1. ปัญหาขนาดเล็ก

ตารางผนวกที่ ค1 คำตอบของปัญหาที่มีจำนวนวัตถุดิบ 1 ชนิด ($r=1$)

การทดลองที่	ครั้งที่	x_1	x_p	คำตอบ	เวลา (s)
1	1	4	0	87.43	2.17
	2	4	0	87.43	2.34
	3	4	0	87.43	2.14
	4	4	0	87.43	2.31
	5	4	0	87.43	2.25
2	1	10	9	47.20	2.18
	2	10	9	47.20	2.27
	3	10	9	47.20	2.27
	4	10	9	47.20	2.24
	5	10	9	47.20	2.33
3	1	19	0	376.04	2.33
	2	19	0	376.04	2.45
	3	19	0	376.04	2.24
	4	19	0	376.04	2.56
	5	19	0	376.04	2.29
4	1	11	29	209.16	2.30
	2	11	29	209.16	2.19
	3	11	29	209.16	2.21
	4	11	29	209.16	2.22
	5	11	29	209.16	2.21
5	1	7	15	118.59	2.22
	2	7	15	118.59	2.09
	3	7	15	118.59	2.15
	4	7	15	118.59	2.12
	5	7	15	118.59	2.10
6	1	28	0	144.51	2.11
	2	28	0	144.51	2.33
	3	28	0	144.51	2.30
	4	28	0	144.51	2.09
	5	28	0	144.51	2.23
7	1	0	16	166.45	2.13
	2	0	16	166.45	2.12
	3	0	16	166.45	2.30
	4	0	16	166.45	2.17
	5	0	16	166.45	2.27
8	1	0	22	95.47	2.05
	2	0	22	95.47	2.19
	3	0	22	95.47	2.17
	4	0	22	95.47	2.41
	5	0	22	95.47	2.28

ตารางผนวกที่ ค1 (ต่อ)

การทดลองที่	ครั้งที่	x_1	x_p	คำตอบ	เวลา (s)
9	1	15	17	101.89	2.09
	2	15	17	101.89	2.24
	3	15	17	101.89	2.34
	4	15	17	101.89	2.23
	5	15	17	101.89	2.49
10	1	12	34	427.74	2.23
	2	12	34	427.74	2.43
	3	12	34	427.74	2.40
	4	12	34	427.74	3.27
	5	12	34	427.74	2.36
11	1	8	13	151.18	2.17
	2	8	13	151.18	2.20
	3	8	13	151.18	2.18
	4	8	13	151.18	2.23
	5	8	13	151.18	2.22
12	1	0	0	84.04	2.15
	2	0	0	84.04	2.04
	3	0	0	84.04	2.21
	4	0	0	84.04	2.26
	5	0	0	84.04	2.23
13	1	12	16	92.20	2.13
	2	12	16	92.20	2.15
	3	12	16	92.20	2.34
	4	12	16	92.20	2.37
	5	12	16	92.20	2.31
14	1	0	0	136.17	2.22
	2	0	0	136.17	2.26
	3	0	0	136.17	2.35
	4	0	0	136.17	2.39
	5	0	0	136.17	2.24
15	1	21	18	142.20	2.67
	2	21	18	142.20	2.28
	3	21	18	142.20	2.40
	4	21	18	142.20	2.07
	5	21	18	142.20	2.54

ตารางผนวกที่ ค2 คำตอบของปัญหาที่มีจำนวนวัตถุดิบ 2 ชนิด ($r=2$)

การทดลองที่	ครั้งที่	x_1	x_2	x_p	คำตอบ	เวลา (s)
1	1	0	0	8	126.65	2.32
	2	0	0	8	126.65	2.27
	3	0	0	8	126.65	2.49
	4	0	0	8	126.65	2.30
	5	0	0	8	126.65	2.30
2	1	15	0	15	265.06	2.27
	2	15	0	15	265.06	2.51
	3	15	0	15	265.06	2.37
	4	15	0	15	265.06	2.41
	5	15	0	15	265.06	2.28
3	1	18	9	12	226.11	2.27
	2	18	9	12	226.11	2.33
	3	18	9	12	226.11	2.47
	4	18	9	12	226.11	2.31
	5	18	9	12	226.11	2.35
4	1	7	5	0	321.81	2.24
	2	7	5	0	321.81	2.56
	3	7	5	0	321.81	2.43
	4	7	5	0	321.81	2.45
	5	7	5	0	321.81	2.49
5	1	8	11	0	222.58	2.18
	2	8	11	0	222.58	2.24
	3	8	11	0	222.58	2.25
	4	8	11	0	222.58	2.29
	5	8	11	0	222.58	2.32
6	1	0	0	0	99.24	2.22
	2	0	0	0	99.24	2.22
	3	0	0	0	99.24	2.32
	4	0	0	0	99.24	2.31
	5	0	0	0	99.24	2.23
7	1	0	0	10	216.75	2.18
	2	0	0	10	216.75	2.31
	3	0	0	10	216.75	2.11
	4	0	0	10	216.75	2.33
	5	0	0	10	216.75	2.37
8	1	12	16	3	200.59	2.25
	2	12	16	3	200.59	2.24
	3	12	16	3	200.59	2.46
	4	12	16	3	200.59	2.33
	5	12	16	3	200.59	2.42
9	1	0	10	16	120.77	2.18
	2	0	10	16	120.77	2.42
	3	0	10	16	120.77	2.10
	4	0	10	16	120.77	2.72
	5	0	10	16	120.77	2.37

ตารางผนวกที่ ค2 (ต่อ)

การทดลองที่	ครั้งที่	x_1	x_2	x_p	คำตอบ	เวลา (s)
10	1	3	0	19	242.95	2.81
	2	3	0	19	242.95	2.49
	3	3	0	19	242.95	2.88
	4	3	0	19	242.95	2.39
	5	3	0	19	242.95	2.74
11	1	11	8	9	229.86	2.14
	2	11	8	9	229.86	2.38
	3	11	8	9	229.86	2.23
	4	11	8	9	229.86	2.20
	5	11	8	9	229.86	2.27
12	1	7	3	23	391.27	2.20
	2	7	3	23	391.27	2.38
	3	7	3	23	391.27	2.28
	4	7	3	23	391.27	2.59
	5	7	3	23	391.27	2.19
13	1	17	6	0	245.79	2.37
	2	17	6	0	245.79	2.21
	3	17	6	0	245.79	2.38
	4	17	6	0	245.79	2.22
	5	17	6	0	245.79	2.76
14	1	9	2	13	194.05	2.15
	2	9	2	13	194.05	2.21
	3	9	2	13	194.05	2.22
	4	9	2	13	194.05	2.18
	5	9	2	13	194.05	2.26
15	1	14	3	24	332.24	2.03
	2	14	3	24	332.24	2.21
	3	14	3	24	332.24	2.87
	4	14	3	24	332.24	2.36
	5	14	3	24	332.24	2.36

ตารางผนวกที่ ค3 คำตอบของปัญหาที่มีจำนวนวัตถุดิบ 3 ชนิด ($r=3$)

การทดลองที่	ครั้งที่	x_1	x_2	x_3	x_p	คำตอบ	เวลา (s)
1	1	0	0	0	0	168.54	2.78
	2	0	0	0	0	168.54	2.71
	3	0	0	0	0	168.54	2.50
	4	0	0	0	0	168.54	2.44
	5	0	0	0	0	168.54	2.55
2	1	9	8	2	7	75.04	2.44
	2	9	8	2	7	75.04	2.34
	3	9	8	2	7	75.04	2.42
	4	9	8	2	7	75.04	2.47
	5	9	8	2	7	75.04	2.58

ตารางผนวกที่ ค3 (ต่อ)

การทดลองที่	ครั้งที่	x_1	x_2	x_3	x_p	ค่าตอบ	เวลา (s)
3	1	0	2	0	12	200.09	2.49
	2	0	2	0	12	200.09	2.21
	3	0	2	0	12	200.09	2.37
	4	0	2	0	12	200.09	2.58
	5	0	2	0	12	200.09	2.51
4	1	0	0	19	4	295.04	2.72
	2	0	0	19	4	295.04	2.75
	3	0	0	19	4	295.04	2.62
	4	0	0	19	4	295.04	2.43
	5	0	0	19	4	295.04	2.40
5	1	12	0	11	19	335.45	2.34
	2	12	0	11	19	335.45	2.68
	3	12	0	11	19	335.45	2.28
	4	12	0	11	19	335.45	2.35
	5	12	0	11	19	335.45	2.19
6	1	7	7	7	0	110.79	2.12
	2	7	7	7	0	110.79	2.31
	3	7	7	7	0	110.79	2.24
	4	7	7	7	0	110.79	2.34
	5	7	7	7	0	110.79	2.32
7	1	15	0	2	0	310.65	2.35
	2	15	0	2	0	310.65	2.01
	3	15	0	2	0	310.65	2.37
	4	15	0	2	0	310.65	2.94
	5	15	0	2	0	310.65	2.15
8	1	0	0	19	0	279.94	2.09
	2	0	0	19	0	279.94	2.27
	3	0	0	19	0	279.94	2.60
	4	0	0	19	0	279.94	2.27
	5	0	0	19	0	279.94	2.35
9	1	13	0	14	14	197.23	2.90
	2	13	0	14	14	197.23	3.09
	3	13	0	14	14	197.23	2.37
	4	13	0	14	14	197.23	2.54
	5	13	0	14	14	197.23	2.64
10	1	9	10	6	0	503.44	5.33
	2	9	10	6	0	503.44	2.47
	3	9	10	6	0	503.44	2.57
	4	9	10	6	0	503.44	3.44
	5	9	10	6	0	503.44	2.59
11	1	2	19	0	9	437.50	2.55
	2	2	19	0	9	437.50	3.20
	3	2	19	0	9	437.50	2.79
	4	2	19	0	9	437.50	2.46
	5	2	19	0	9	437.50	2.86

ตารางผนวกที่ ค3 (ต่อ)

การทดลองที่	ครั้งที่	x_1	x_2	x_3	x_p	คำตอบ	เวลา (s)
12	1	13	0	0	21	260.19	2.51
	2	13	0	0	21	260.19	2.47
	3	13	0	0	21	260.19	2.69
	4	13	0	0	21	260.19	2.63
	5	13	0	0	21	260.19	2.79
13	1	0	13	0	17	407.63	3.34
	2	0	13	0	17	407.63	2.41
	3	0	13	0	17	407.63	2.87
	4	0	13	0	17	407.63	2.43
	5	0	13	0	17	407.63	2.88
14	1	4	19	18	6	298.18	2.38
	2	4	19	18	6	298.18	2.55
	3	4	19	18	6	298.18	2.56
	4	4	19	18	6	298.18	2.73
	5	4	19	18	6	298.18	2.57
15	1	0	5	0	12	201.69	2.36
	2	0	5	0	12	201.69	2.51
	3	0	5	0	12	201.69	2.49
	4	0	5	0	12	201.69	2.52
	5	0	5	0	12	201.69	2.60

ตารางผนวกที่ ค4 คำตอบของปัญหาที่มีจำนวนวัตถุดิบ 1 ชนิดพร้อมกับวัตถุดิบด้านบรรจุภัณฑ์

1 ชนิด ($r=1, p=1$)

การทดลองที่	ครั้งที่	x_1	x_{WIP}	x_1^s	x_p	คำตอบ	เวลา (s)
1	1	4	13	13	0	148.80	2.87
	2	4	13	13	0	148.80	2.98
	3	4	13	13	0	148.80	3.02
	4	4	13	13	0	148.80	2.88
	5	4	13	13	0	148.80	2.86
2	1	16	0	7	5	242.34	3.30
	2	16	0	7	5	242.34	2.80
	3	16	0	7	5	242.34	2.76
	4	16	0	7	5	242.34	3.64
	5	16	0	7	5	242.34	2.94
3	1	10	1	0	8	210.27	2.68
	2	10	1	0	8	210.27	3.00
	3	10	1	0	8	210.27	2.66
	4	10	1	0	8	210.27	2.63
	5	10	1	0	8	210.27	2.78
4	1	0	4	8	17	154.99	2.70
	2	0	4	8	17	154.99	2.59
	3	0	4	8	17	154.99	2.84
	4	0	4	8	17	154.99	2.79
	5	0	4	8	17	154.99	2.92

ตารางผนวกที่ ค4 (ต่อ)

การทดลองที่	ครั้งที่	x_1	x_{WIP}	x_1^s	x_p	ค่าตอบ	เวลา (s)
5	1	8	8	5	13	165.17	3.12
	2	8	8	5	13	165.17	2.48
	3	8	8	5	13	165.17	2.74
	4	8	8	5	13	165.17	2.65
	5	8	8	5	13	165.17	2.63
6	1	6	10	13	0	229.47	2.57
	2	6	10	13	0	229.47	2.76
	3	6	10	13	0	229.47	2.64
	4	6	10	13	0	229.47	2.71
	5	6	10	13	0	229.47	2.63
7	1	15	15	6	0	176.37	2.96
	2	15	15	6	0	176.37	2.88
	3	15	15	6	0	176.37	2.76
	4	15	15	6	0	176.37	2.58
	5	15	15	6	0	176.37	2.70
8	1	2	9	19	10	235.14	2.54
	2	2	9	19	10	235.14	2.70
	3	2	9	19	10	235.14	3.75
	4	2	9	19	10	235.14	2.70
	5	2	9	19	10	235.14	2.78
9	1	14	4	6	0	203.24	2.84
	2	14	4	6	0	203.24	2.75
	3	14	4	6	0	203.24	2.82
	4	14	4	6	0	203.24	2.59
	5	14	4	6	0	203.24	2.75
10	1	4	0	0	0	272.91	2.49
	2	4	0	0	0	272.91	3.04
	3	4	0	0	0	272.91	2.87
	4	4	0	0	0	272.91	2.71
	5	4	0	0	0	272.91	2.84
11	1	2	13	19	0	195.94	3.51
	2	2	13	19	0	195.94	2.73
	3	2	13	19	0	195.94	2.60
	4	2	13	19	0	195.94	3.10
	5	2	13	19	0	195.94	4.12
12	1	8	5	2	0	148.48	2.51
	2	8	5	2	0	148.48	2.58
	3	8	5	2	0	148.48	2.49
	4	8	5	2	0	148.48	2.60
	5	8	5	2	0	148.48	2.62
13	1	3	7	18	4	215.41	2.81
	2	3	7	18	4	215.41	2.61
	3	3	7	18	4	215.41	2.50
	4	3	7	18	4	215.41	2.84
	5	3	7	18	4	215.41	2.99

ตารางผนวกที่ ค4 (ต่อ)

การทดลองที่	ครั้งที่	x_1	x_{WIP}	x_1^s	x_p	คำตอบ	เวลา (s)
14	1	13	4	9	7	128.78	2.81
	2	13	4	9	7	128.78	2.50
	3	13	4	9	7	128.78	2.65
	4	13	4	9	7	128.78	2.73
	5	13	4	9	7	128.78	3.03
15	1	0	15	3	0	366.07	3.03
	2	0	15	3	0	366.07	2.55
	3	0	15	3	0	366.07	2.68
	4	0	15	3	0	366.07	2.72
	5	0	15	3	0	366.07	3.43

ตารางผนวกที่ ค5 คำตอบของปัญหาที่มีจำนวนวัตถุดิบ 2 ชนิดพร้อมกับวัตถุดิบด้านบรรจุภัณฑ์

1 ชนิด ($r=2, p=1$)

การทดลองที่	ครั้งที่	x_1	x_2	x_{WIP}	x_1^s	x_p	คำตอบ	เวลา (s)
1	1	3	2	5	6	0	181.04	2.91
	2	3	2	5	6	0	181.04	2.85
	3	3	2	5	6	0	181.04	2.71
	4	3	2	5	6	0	181.04	2.79
	5	3	2	5	6	0	181.04	2.84
2	1	0	5	6	9	11	215.00	2.70
	2	0	5	6	9	11	215.00	3.07
	3	0	5	6	9	11	215.00	3.08
	4	0	5	6	9	11	215.00	2.86
	5	0	5	6	9	11	215.00	3.21
3	1	7	8	3	4	6	167.90	2.75
	2	7	8	3	4	6	167.90	2.79
	3	7	8	3	4	6	167.90	2.85
	4	7	8	3	4	6	167.90	2.80
	5	7	8	3	4	6	167.90	2.79
4	1	0	11	0	0	5	141.74	2.79
	2	0	11	0	0	5	141.74	2.78
	3	0	11	0	0	5	141.74	3.00
	4	0	11	0	0	5	141.74	3.14
	5	0	11	0	0	5	141.74	2.82
5	1	10	4	1	5	3	160.85	2.72
	2	10	4	1	5	3	160.85	2.86
	3	10	4	1	5	3	160.85	2.67
	4	10	4	1	5	3	160.85	2.65
	5	10	4	1	5	3	160.85	2.81
6	1	8	5	3	19	2	191.49	3.50
	2	8	5	3	19	2	191.49	2.76
	3	8	5	3	19	2	191.49	3.04
	4	8	5	3	19	2	191.49	3.28
	5	8	5	3	19	2	191.49	2.69

ตารางผนวกที่ ค5 (ต่อ)

การทดลองที่	ครั้งที่	x_1	x_2	x_{WIP}	x_1^s	x_p	ค่าตอบ	เวลา (s)
7	1	9	9	12	6	6	318.27	2.64
	2	9	9	12	6	6	318.27	2.61
	3	9	9	12	6	6	318.27	3.19
	4	9	9	12	6	6	318.27	2.74
	5	9	9	12	6	6	318.27	2.92
8	1	5	7	7	15	1	221.65	3.05
	2	5	7	7	15	1	221.65	3.31
	3	5	7	7	15	1	221.65	2.79
	4	5	7	7	15	1	221.65	2.82
	5	5	7	7	15	1	221.65	2.72
9	1	14	3	2	2	6	117.11	2.55
	2	14	3	2	2	6	117.11	2.87
	3	14	3	2	2	6	117.11	2.84
	4	14	3	2	2	6	117.11	2.69
	5	14	3	2	2	6	117.11	2.74
10	1	4	13	0	0	5	279.61	2.92
	2	4	13	0	0	5	279.61	2.82
	3	4	13	0	0	5	279.61	2.63
	4	4	13	0	0	5	279.61	2.94
	5	4	13	0	0	5	279.61	3.49
11	1	7	0	4	13	2	255.47	2.74
	2	7	0	4	13	2	255.47	2.71
	3	7	0	4	13	2	255.47	2.86
	4	7	0	4	13	2	255.47	2.53
	5	7	0	4	13	2	255.47	2.86
12	1	7	7	7	2	9	303.38	2.94
	2	7	7	7	2	9	303.38	2.74
	3	7	7	7	2	9	303.38	2.90
	4	7	7	7	2	9	303.38	2.72
	5	7	7	7	2	9	303.38	2.86
13	1	5	3	2	10	8	227.05	2.82
	2	5	3	2	10	8	227.05	2.72
	3	5	3	2	10	8	227.05	2.70
	4	5	3	2	10	8	227.05	2.66
	5	5	3	2	10	8	227.05	2.80
14	1	1	12	3	11	0	168.22	2.83
	2	1	12	3	11	0	168.22	2.68
	3	1	12	3	11	0	168.22	2.86
	4	1	12	3	11	0	168.22	2.74
	5	1	12	3	11	0	168.22	2.68
15	1	3	9	7	15	0	334.93	3.20
	2	3	9	7	15	0	334.93	2.90
	3	3	9	7	15	0	334.93	3.13
	4	3	9	7	15	0	334.93	3.37
	5	3	9	7	15	0	334.93	2.94

2. ปัญหามหาศาล

ตารางผนวกที่ ๓6 คำตอบของปัญหาที่มีจำนวนวัตถุดิบ 3 ชนิดพร้อมกับวัตถุดิบด้านบรรจุภัณฑ์

1 ชนิด ($r=3, p=1$)

การทดลองที่	ครั้งที่	x_1	x_2	x_3	x_{WIP}	x_1^s	x_p	คำตอบ	เวลา (s)
1	1	5	17	0	13	4	18	257.95	3.43
	2	5	17	0	13	4	18	257.95	3.68
	3	5	17	0	13	4	18	257.95	3.59
	4	5	17	0	13	4	18	257.95	3.36
	5	5	17	0	13	4	18	257.95	4.04
2	1	2	19	18	9	6	5	308.09	3.19
	2	2	19	18	9	6	5	308.09	3.57
	3	2	19	18	9	6	5	308.09	3.47
	4	2	19	18	9	6	5	308.09	2.91
	5	2	19	18	9	6	5	308.09	3.22
3	1	12	17	0	0	0	19	293.34	3.95
	2	12	17	0	0	0	19	293.34	3.40
	3	12	17	0	0	0	19	293.34	3.14
	4	12	17	0	0	0	19	293.34	2.92
	5	12	17	0	0	0	19	293.34	2.92
4	1	5	10	8	5	19	5	254.13	2.92
	2	5	10	8	5	19	5	254.13	3.21
	3	5	10	8	5	19	5	254.13	3.14
	4	5	10	8	5	19	5	254.13	3.16
	5	5	10	8	5	19	5	254.13	2.91
5	1	14	5	4	11	18	17	442.05	3.20
	2	14	5	4	11	18	17	442.05	3.01
	3	14	5	4	11	18	17	442.05	2.88
	4	14	5	4	11	18	17	442.05	2.94
	5	14	5	4	11	18	17	442.05	2.65
6	1	7	0	16	0	8	0	538.76	3.50
	2	7	0	16	0	8	0	538.76	4.37
	3	7	0	16	0	8	0	538.76	3.22
	4	7	0	16	0	8	0	538.76	3.50
	5	7	0	16	0	8	0	538.76	3.95
7	1	8	0	9	2	12	19	203.61	2.81
	2	8	0	9	2	12	19	203.61	3.24
	3	8	0	9	2	12	19	203.61	3.04
	4	8	0	9	2	12	19	203.61	3.08
	5	8	0	9	2	12	19	203.61	2.73
8	1	0	0	9	18	11	10	227.87	2.94
	2	0	0	9	18	11	10	227.87	3.00
	3	0	0	9	18	11	10	227.87	3.39
	4	0	0	9	18	11	10	227.87	4.02
	5	0	0	9	18	11	10	227.87	3.36

ตารางผนวกที่ ค6 (ต่อ)

การทดลองที่	ครั้งที่	x_1	x_2	x_3	x_{WIP}	x_1^s	x_p	คำตอบ	เวลา (s)
9	1	3	3	2	8	13	2	153.91	2.76
	2	3	3	2	8	13	2	153.91	3.09
	3	3	3	2	8	13	2	153.91	2.83
	4	3	3	2	8	13	2	153.91	2.57
	5	3	3	2	8	13	2	153.91	3.06
10	1	8	12	0	8	5	13	288.10	2.80
	2	8	12	0	8	5	13	288.10	2.93
	3	8	12	0	8	5	13	288.10	2.88
	4	8	12	0	8	5	13	288.10	3.17
	5	8	12	0	8	5	13	288.10	3.16
11	1	3	17	8	5	19	16	472.62	2.56
	2	3	17	8	5	19	16	472.62	2.85
	3	3	17	8	5	19	16	472.62	3.09
	4	3	17	8	5	19	16	472.62	2.77
	5	3	17	8	5	19	16	472.62	2.99
12	1	0	9	13	5	5	15	269.55	2.93
	2	0	9	13	5	5	15	269.55	3.36
	3	0	9	13	5	5	15	269.55	2.76
	4	0	9	13	5	5	15	269.55	2.62
	5	0	9	13	5	5	15	269.55	3.35
13	1	4	2	16	8	3	22	513.40	2.89
	2	4	2	16	8	3	22	513.40	4.35
	3	4	2	16	8	3	22	513.40	2.81
	4	4	2	16	8	3	22	513.40	2.67
	5	4	2	16	8	3	22	513.40	2.87
14	1	10	10	9	4	3	7	309.16	2.59
	2	10	10	9	4	3	7	309.16	3.16
	3	10	10	9	4	3	7	309.16	2.72
	4	10	10	9	4	3	7	309.16	3.18
	5	10	10	9	4	3	7	309.16	3.67
15	1	11	8	0	13	0	0	404.20	3.32
	2	11	8	0	13	0	0	404.20	3.32
	3	11	8	0	13	0	0	404.20	5.04
	4	11	8	0	13	0	0	404.20	2.59
	5	11	8	0	13	0	0	404.20	3.27

ตารางผนวกที่ ค7 คำตอบของปัญหาที่มีจำนวนวัตถุดิบ 3 ชนิดพร้อมกับวัตถุดิบด้านบรรจุภัณฑ์
2 ชนิด ($r=3, p=2$)

การทดลองที่	ครั้งที่	x_1	x_2	x_3	x_{WIP}	x_1^s	x_2^s	x_p	ค่าตอบ	เวลา (s)
1	1	5	17	0	13	4	0	18	264.18	3.39
	2	5	17	0	13	4	0	18	264.18	3.83
	3	5	17	0	13	4	0	18	264.18	3.05
	4	5	17	0	13	4	0	18	264.18	2.70
	5	5	17	0	13	4	0	18	264.18	3.39
2	1	2	19	18	9	6	1	5	317.10	3.36
	2	2	19	18	9	6	1	5	317.10	3.17
	3	2	19	18	9	6	1	5	317.10	4.60
	4	2	19	18	9	6	1	5	317.10	3.91
	5	2	19	18	9	6	1	5	317.10	3.09
3	1	12	17	0	0	0	3	19	314.94	3.91
	2	12	17	0	0	0	3	19	314.94	3.31
	3	12	17	0	0	0	3	19	314.94	3.20
	4	12	17	0	0	0	3	19	314.94	3.31
	5	12	17	0	0	0	3	19	314.94	3.48
4	1	5	10	8	5	19	14	5	366.13	3.15
	2	5	10	8	5	19	14	5	366.13	3.09
	3	5	10	8	5	19	14	5	366.13	3.56
	4	5	10	8	5	19	14	5	366.13	2.94
	5	5	10	8	5	19	14	5	366.13	3.46
5	1	14	5	4	11	18	13	17	468.31	4.91
	2	14	5	4	11	18	13	17	468.31	3.58
	3	14	5	4	11	18	13	17	468.31	4.13
	4	14	5	4	11	18	13	17	468.31	3.79
	5	14	5	4	11	18	13	17	468.31	3.84
6	1	7	0	16	0	8	11	0	623.79	3.24
	2	7	0	16	0	8	11	0	623.79	4.31
	3	7	0	16	0	8	11	0	623.79	3.44
	4	7	0	16	0	8	11	0	623.79	3.05
	5	7	0	16	0	8	11	0	623.79	3.36
7	1	8	0	9	2	12	0	19	277.85	3.11
	2	8	0	9	2	12	0	19	277.85	3.17
	3	8	0	9	2	12	0	19	277.85	2.84
	4	8	0	9	2	12	0	19	277.85	2.87
	5	8	0	9	2	12	0	19	277.85	3.27
8	1	0	0	9	18	11	13	10	267.39	3.62
	2	0	0	9	18	11	13	10	267.39	3.73
	3	0	0	9	18	11	13	10	267.39	2.98
	4	0	0	9	18	11	13	10	267.39	2.96
	5	0	0	9	18	11	13	10	267.39	3.22
9	1	3	3	2	8	13	5	2	168.46	2.90
	2	3	3	2	8	13	5	2	168.46	3.27
	3	3	3	2	8	13	5	2	168.46	2.72
	4	3	3	2	8	13	5	2	168.46	3.02
	5	3	3	2	8	13	5	2	168.46	2.77

ตารางผนวกที่ ค7 (ต่อ)

การทดลองที่	ครั้งที่	x_1	x_2	x_3	x_{WIP}	x_1^s	x_2^s	x_p	คำตอบ	เวลา (s)
10	1	8	12	0	8	5	19	13	401.15	3.22
	2	8	12	0	8	5	19	13	401.15	2.91
	3	8	12	0	8	5	19	13	401.15	3.07
	4	8	12	0	8	5	19	13	401.15	3.25
	5	8	12	0	8	5	19	13	401.15	3.19
11	1	8	10	0	0	10	17	16	433.54	3.65
	2	8	10	0	0	10	17	16	433.54	4.44
	3	8	10	0	0	10	17	16	433.54	3.47
	4	8	10	0	0	10	17	16	433.54	2.83
	5	8	10	0	0	10	17	16	433.54	2.93
12	1	12	8	10	13	3	7	3	255.24	3.20
	2	12	8	10	13	3	7	3	255.24	4.51
	3	12	8	10	13	3	7	3	255.24	4.10
	4	12	8	10	13	3	7	3	255.24	2.97
	5	12	8	10	13	3	7	3	255.24	3.03
13	1	13	11	19	19	14	7	0	566.02	3.31
	2	13	11	19	19	14	7	0	566.02	3.50
	3	13	11	19	19	14	7	0	566.02	2.80
	4	13	11	19	19	14	7	0	566.02	4.52
	5	13	11	19	19	14	7	0	566.02	3.65
14	1	13	10	7	16	11	15	22	391.25	3.12
	2	13	10	7	16	11	15	22	391.25	3.22
	3	13	10	7	16	11	15	22	391.25	3.87
	4	13	10	7	16	11	15	22	391.25	5.23
	5	13	10	7	16	11	15	22	391.25	3.29
15	1	10	9	6	1	18	3	7	210.21	2.90
	2	10	9	6	1	18	3	7	210.21	2.92
	3	10	9	6	1	18	3	7	210.21	2.81
	4	10	9	6	1	18	3	7	210.21	2.83
	5	10	9	6	1	18	3	7	210.21	3.08

ตารางผนวกที่ ค8 คำตอบของปัญหาที่มีจำนวนวัตถุดิบ 7 ชนิดพร้อมกับวัตถุดิบด้านบรรจุภัณฑ์ 1 ชนิด (r=7, p=1)

การทดลองที่	ครั้งที่	x ₁	x ₂	x ₃	x ₄	x ₅	x ₆	x ₇	x _{WIP}	x ₁ ^s	x _p	ค่าตอบ	เวลา (s)
1	1	0	6	19	0	2	11	13	5	1	19	455.13	4.69
	2	0	6	19	0	2	11	13	5	1	19	455.13	5.16
	3	0	6	19	0	2	11	13	5	1	19	455.13	4.64
	4	0	6	19	0	2	11	13	5	1	19	455.13	7.46
	5	0	6	19	0	2	11	13	5	1	19	455.13	5.47
2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	454.43	5.73
	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	454.43	5.92
	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	454.43	6.27
	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	454.43	7.97
	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	454.43	6.65
3	1	2	12	2	5	0	17	10	18	12	16	698.00	4.20
	2	2	12	2	5	0	17	10	18	12	16	698.00	6.27
	3	2	12	2	5	0	17	10	18	12	16	698.00	4.74
	4	2	12	2	5	0	17	10	18	12	16	698.00	5.20
	5	2	12	2	5	0	17	10	18	12	16	698.00	4.70
4	1	13	15	7	2	10	0	4	17	11	10	467.25	4.42
	2	13	15	7	2	10	0	4	17	11	10	467.25	6.87
	3	13	15	7	2	10	0	4	17	11	10	467.25	5.96
	4	13	15	7	2	10	0	4	17	11	10	467.25	8.20
	5	13	15	7	2	10	0	4	17	11	10	467.25	8.66
5	1	8	4	1	3	18	12	3	7	0	14	509.74	8.96
	2	8	4	1	3	18	12	3	7	0	14	509.74	5.96
	3	8	4	1	3	18	12	3	7	0	14	509.74	5.96
	4	8	4	1	3	18	12	3	7	0	14	509.74	6.83
	5	8	4	1	3	17	12	3	7	0	14	515.98	5.62
6	1	6	17	6	15	11	4	17	17	14	0	856.07	8.15
	2	6	17	6	15	11	4	17	17	14	0	856.07	10.84
	3	6	17	6	15	11	4	17	17	14	0	856.07	9.61
	4	6	17	6	15	11	4	17	17	14	0	856.07	7.91
	5	6	17	6	15	11	4	17	17	14	0	856.07	9.42
7	1	0	8	0	18	0	0	19	17	10	24	494.05	4.87
	2	0	8	0	18	0	0	19	17	10	24	494.05	9.57
	3	0	8	0	18	0	0	19	17	10	24	494.05	6.80
	4	0	8	0	18	0	0	19	17	10	24	494.05	7.34
	5	0	8	0	18	0	0	19	17	10	24	494.05	9.13
8	1	14	12	11	3	1	16	18	2	2	0	857.88	6.71
	2	14	12	11	3	1	16	18	2	2	0	857.88	8.15
	3	14	12	11	3	1	16	18	2	2	0	857.88	7.51
	4	14	12	11	3	1	16	18	2	2	0	857.88	7.21
	5	14	12	11	3	1	16	18	2	2	0	857.88	5.53

ตารางผนวกที่ ค8 (ต่อ)

การทดลองที่	ครั้งที่	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	X _{WIP}	X ₁ ^S	X _p	ค่าตอบ	เวลา (s)
9	1	0	10	13	4	17	0	12	12	17	0	918.07	5.65
	2	0	10	13	4	17	0	12	12	17	0	918.07	5.79
	3	0	10	13	4	17	0	12	12	17	0	918.07	4.80
	4	0	10	13	4	17	0	12	12	17	0	918.07	5.49
	5	0	10	13	4	17	0	12	12	17	0	918.07	7.12
10	1	3	6	13	6	12	11	18	16	11	12	686.66	5.54
	2	3	6	13	6	12	11	18	16	11	12	686.66	5.06
	3	3	6	13	6	12	11	18	16	11	12	686.66	5.79
	4	3	6	13	6	12	11	18	16	11	12	686.66	6.50
	5	3	6	13	6	12	10	18	16	11	12	712.42	4.29
11	1	8	9	4	7	6	17	18	5	3	1	418.39	3.48
	2	8	9	4	7	6	17	18	5	3	1	418.39	3.50
	3	8	9	4	7	6	17	17	5	3	1	421.37	4.27
	4	8	9	4	7	6	17	18	5	3	1	418.39	3.73
	5	8	9	4	7	6	17	18	5	3	1	418.39	4.07
12	1	18	9	10	0	1	1	0	13	0	0	381.97	3.51
	2	18	9	10	0	1	1	0	13	0	0	381.97	5.47
	3	18	9	10	0	1	1	0	13	0	0	381.97	3.51
	4	18	9	10	0	1	1	0	13	0	0	381.97	4.83
	5	18	9	10	0	1	1	0	13	0	0	381.97	3.79
13	1	16	19	16	13	6	10	14	6	15	11	809.72	3.51
	2	16	19	16	13	6	10	15	6	15	11	787.63	4.64
	3	16	19	16	13	6	10	15	6	15	11	787.63	4.99
	4	16	19	16	13	6	10	15	6	15	11	787.63	5.84
	5	16	19	16	13	6	10	15	6	15	11	787.63	4.16
14	1	19	13	6	12	6	4	12	9	4	22	980.30	4.67
	2	19	13	6	12	6	4	12	9	4	22	980.30	4.90
	3	19	13	6	12	6	4	12	9	4	22	980.30	4.33
	4	19	13	6	12	6	4	12	9	4	22	980.30	5.35
	5	19	13	6	12	6	4	12	9	4	22	980.30	4.29
15	1	13	2	12	7	11	12	10	14	7	0	609.54	4.83
	2	13	2	12	7	11	12	10	14	7	0	609.54	4.35
	3	13	2	12	7	11	12	10	14	7	0	609.54	5.31
	4	13	2	12	7	11	12	10	14	7	0	609.54	4.59
	5	13	2	12	7	11	12	10	14	7	0	609.54	4.33

ตารางผนวกที่ ค9 คำตอบของปัญหาที่มีจำนวนวัตถุดิบ 7 ชนิดพร้อมกับวัตถุดิบด้านบรรจุภัณฑ์ 2 ชนิด (r=3, p=2)

การทดลองที่	ครั้งที่	x ₁	x ₂	x ₃	x ₄	x ₅	x ₆	x ₇	x _{WIP}	x ₁ ^s	x ₂ ^s	x _p	ค่าตอบ	เวลา (s)
1	1	13	2	5	9	16	0	11	13	19	3	0	381.52	6.12
	2	13	2	5	9	16	0	11	13	19	3	0	381.52	3.60
	3	13	2	5	9	16	0	11	13	19	3	0	381.52	5.67
	4	13	2	5	9	16	0	11	13	19	3	0	381.52	5.44
	5	13	2	5	9	16	0	11	13	19	3	0	381.52	3.76
2	1	5	7	10	8	11	16	12	16	8	5	0	702.50	5.28
	2	5	7	10	8	11	16	12	16	8	5	0	702.50	5.91
	3	5	7	10	8	11	16	12	16	8	5	0	702.50	5.87
	4	5	7	10	8	11	16	12	16	8	5	0	702.50	6.05
	5	5	7	10	8	11	16	12	16	8	5	0	702.50	5.32
3	1	9	2	0	4	14	1	19	8	17	4	0	431.49	4.17
	2	9	2	0	4	14	1	19	8	17	4	0	431.49	6.77
	3	9	2	0	4	14	1	19	8	17	4	0	431.49	5.03
	4	9	2	0	4	14	1	19	8	17	4	0	431.49	5.47
	5	9	2	0	4	14	1	18	8	17	4	0	435.18	4.47
4	1	5	11	6	10	9	17	0	2	5	15	24	945.60	4.88
	2	5	11	6	10	9	17	0	2	5	15	24	945.60	4.10
	3	5	11	6	10	9	17	0	2	5	15	24	945.60	4.71
	4	5	11	6	10	9	17	0	2	5	15	24	945.60	4.92
	5	5	11	6	10	9	17	0	2	5	15	24	945.60	4.95
5	1	0	2	0	0	5	0	0	9	17	7	9	419.74	4.55
	2	0	2	0	0	5	0	0	9	17	7	9	419.74	3.83
	3	0	2	0	0	5	0	0	9	17	7	9	419.74	5.63
	4	0	2	0	0	5	0	0	9	17	7	9	419.74	4.31
	5	0	2	0	0	5	0	0	9	17	7	9	419.74	4.67
6	1	7	4	6	4	0	0	0	14	0	0	0	406.23	4.03
	2	7	4	6	4	0	0	0	14	0	0	0	406.23	5.17
	3	7	4	6	4	0	0	0	14	0	0	0	406.23	4.19
	4	7	4	6	4	0	0	0	14	0	0	0	406.23	4.16
	5	7	4	6	4	0	0	0	14	0	0	0	406.23	4.99
7	1	0	0	0	0	8	0	0	0	10	0	0	418.78	4.11
	2	0	0	0	0	8	0	0	0	10	0	0	418.78	3.85
	3	0	0	0	0	8	0	0	0	10	0	0	418.78	4.91
	4	0	0	0	0	8	0	0	0	10	0	0	418.78	3.92
	5	0	0	0	0	8	0	0	0	10	0	0	418.78	4.09
8	1	16	12	0	0	11	8	1	13	8	1	0	879.40	3.72
	2	16	12	0	0	11	8	1	13	8	1	0	879.40	4.57
	3	16	12	0	0	11	8	1	13	8	1	0	879.40	3.88
	4	16	12	0	0	11	8	1	13	8	1	0	879.40	4.00
	5	16	12	0	0	11	8	1	13	8	1	0	879.40	5.60

ตารางผนวกที่ ค9 (ต่อ)

การทดลองที่	ครั้งที่	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	X _{WIP}	X ₁ ^S	X ₂ ^S	X _p	ค่าตอบ	เวลา (s)
9	1	8	2	14	5	18	16	14	12	14	8	11	734.45	4.72
	2	8	2	14	5	18	16	13	12	14	8	11	742.95	4.58
	3	8	2	14	5	18	16	14	12	14	8	11	734.45	5.91
	4	8	2	14	5	18	16	14	12	14	8	11	734.45	5.52
	5	8	2	14	5	18	16	14	12	14	8	11	734.45	7.74
10	1	15	14	8	13	8	12	11	2	15	18	23	785.17	7.86
	2	15	14	8	13	8	12	11	2	15	18	23	785.17	7.49
	3	15	14	8	13	8	12	11	2	15	18	23	785.17	5.19
	4	15	14	8	13	8	12	11	2	15	18	23	785.17	7.03
	5	15	14	8	13	8	12	11	2	15	18	23	785.17	6.29
11	1	10	0	11	0	12	2	17	4	10	9	0	574.16	4.13
	2	10	0	11	0	12	2	17	4	10	10	0	573.51	5.23
	3	10	0	11	0	12	2	17	4	10	10	0	573.51	3.67
	4	10	0	11	0	12	2	17	4	10	10	0	573.51	3.77
	5	10	0	11	0	12	2	17	4	10	10	0	573.51	6.82
12	1	16	5	18	2	11	7	3	15	15	11	16	1005.10	4.13
	2	16	5	18	2	11	7	3	15	15	11	16	1005.10	4.59
	3	16	5	18	2	11	7	3	15	15	11	16	1005.10	4.26
	4	16	5	18	2	11	7	3	15	15	11	16	1005.10	5.49
	5	16	5	18	2	11	7	3	15	15	11	16	1005.10	3.80
13	1	2	17	19	8	3	10	17	13	14	17	13	820.22	4.29
	2	2	16	19	8	3	10	17	13	14	17	13	842.50	4.20
	3	2	17	18	8	3	10	16	13	14	17	13	867.34	4.25
	4	2	16	19	8	3	10	17	13	14	17	13	842.5	3.82
	5	2	17	19	8	3	10	17	13	14	17	13	820.22	4.77
14	1	11	12	5	5	6	2	9	6	12	0	6	451.17	5.15
	2	11	12	5	5	6	2	9	6	12	0	6	451.17	3.62
	3	11	12	5	5	6	2	9	6	12	0	6	451.17	3.85
	4	11	12	5	5	6	2	9	6	12	0	6	451.17	4.72
	5	11	12	5	5	6	2	9	6	12	0	6	451.17	5.06
15	1	1	12	6	13	0	0	0	17	0	1	12	494.07	5.65
	2	1	12	6	13	0	0	1	17	0	1	12	494.13	4.36
	3	1	12	6	13	0	0	0	17	0	1	12	494.07	4.70
	4	1	12	6	13	0	0	0	17	0	1	12	494.07	4.27
	5	1	12	6	13	0	0	0	17	0	1	12	494.07	7.88

ตารางผนวกที่ ค10 คำตอบของปัญหาที่มีจำนวนวัตถุดิบ 12 ชนิดพร้อมกับวัตถุดิบด้านบรรจุภัณฑ์ 1 ชนิด (r=12, p=1)

การทดลองที่	ครั้งที่	x ₁	x ₂	x ₃	x ₄	x ₅	x ₆	x ₇	x ₈	x ₉	x ₁₀	x ₁₁	x ₁₂	x _{WIP}	x ₁ ^s	x _p	ค่าตอบ	เวลา (s)
1	1	0	0	0	16	0	10	5	0	0	0	16	0	0	5	0	599.62	6.56
	2	0	0	0	16	0	10	5	0	0	0	15	0	0	5	0	605.94	6.72
	3	0	0	0	16	0	10	5	0	0	0	16	0	0	5	0	599.62	5.61
	4	0	0	0	16	0	10	5	0	0	0	16	0	0	5	0	599.62	6.35
	5	0	0	0	16	0	10	5	0	0	0	16	0	0	5	0	599.62	5.22
2	1	6	13	6	17	15	0	13	6	13	6	17	15	6	13	1	1174.30	6.00
	2	6	13	6	17	15	0	13	6	13	6	17	15	6	13	0	1172.3	7.00
	3	6	13	6	17	15	0	13	6	13	6	17	15	6	13	0	1172.3	6.87
	4	6	13	6	17	15	0	13	6	13	6	17	15	6	13	0	1172.3	7.60
	5	6	13	6	17	15	0	13	6	13	6	17	15	6	13	0	1172.3	4.64
3	1	9	17	6	10	4	13	13	9	16	6	10	4	5	4	16	603.29	4.84
	2	9	17	6	10	4	12	13	9	17	6	10	4	5	4	17	593.03	6.31
	3	9	17	6	10	4	13	13	9	17	6	10	4	5	4	17	589.44	7.68
	4	9	17	6	10	4	13	13	9	17	6	10	4	5	4	17	589.44	7.88
	5	9	17	6	10	4	13	13	9	17	6	10	4	5	4	17	589.44	6.94
4	1	19	16	6	3	15	15	15	18	16	6	3	15	10	9	0	832.31	6.14
	2	18	16	6	3	15	15	15	18	16	5	3	15	10	9	0	839.57	6.92
	3	19	16	6	3	15	15	15	18	16	6	3	15	10	9	0	832.31	4.85
	4	19	16	6	3	15	15	15	19	16	6	3	15	10	9	0	828.09	8.64
	5	19	16	6	3	15	15	15	19	16	6	3	14	10	9	0	836.76	5.14
5	1	11	17	17	6	16	8	5	11	17	17	6	16	3	11	0	983.79	9.31
	2	11	17	17	6	16	8	5	11	17	17	6	16	3	11	0	983.79	9.63
	3	11	17	16	6	16	8	5	10	16	17	6	16	3	11	0	1007.2	4.93
	4	11	17	17	6	16	8	5	11	17	17	6	16	3	11	0	983.79	8.39
	5	11	17	17	6	16	8	5	11	17	17	6	16	3	11	0	983.79	6.60
6	1	5	17	19	18	16	17	15	5	17	19	18	16	11	0	0	1387.40	9.53
	2	5	17	19	18	16	17	15	5	16	19	18	16	11	0	0	1394.1	8.73
	3	5	17	19	18	16	17	15	5	16	19	18	16	11	0	0	1394.1	5.34
	4	5	17	19	18	16	17	15	5	17	19	18	16	11	0	0	1387.40	7.84
	5	5	17	19	18	15	17	15	5	17	18	18	16	11	0	0	1410.4	7.08
7	1	0	0	5	7	0	14	17	0	0	5	7	0	6	0	10	298.78	4.13
	2	0	0	5	7	0	14	17	0	0	5	7	0	6	0	10	298.78	5.29
	3	0	0	5	7	0	14	17	0	0	5	7	0	6	0	10	298.78	4.46
	4	0	0	5	7	0	14	17	0	0	5	7	0	6	0	10	298.78	6.14
	5	0	0	5	7	0	14	17	0	0	5	7	0	6	0	10	298.78	4.53
8	1	8	13	9	1	3	0	16	8	13	9	1	3	2	6	12	484.24	7.33
	2	8	13	9	1	3	0	16	8	13	9	1	3	2	6	12	484.24	5.47
	3	8	13	9	1	3	0	16	8	13	9	1	3	2	6	12	484.24	5.88
	4	8	12	9	1	3	0	16	8	12	9	1	3	2	6	12	509.24	3.83
	5	8	13	9	1	3	0	16	8	13	9	1	3	2	6	12	484.24	4.24

ตารางผนวกที่ ค10 (ต่อ)

การทดลองที่	ครั้งที่	x ₁	x ₂	x ₃	x ₄	x ₅	x ₆	x ₇	x ₈	x ₉	x ₁₀	x ₁₁	x ₁₂	x _{WIP}	x ₁ ^s	x _p	ค่าตอบ	เวลา (s)
9	1	0	15	1	5	5	12	1	0	15	1	5	5	17	2	24	517.18	5.69
	2	0	15	1	5	5	12	1	0	15	1	5	5	18	2	24	515.63	3.86
	3	0	15	1	5	5	12	1	0	15	1	5	5	18	2	24	515.63	7.22
	4	0	15	1	5	5	12	1	0	15	1	5	5	18	2	24	515.63	6.07
	5	0	15	1	5	5	11	1	0	15	1	5	5	18	2	24	521.32	3.89
10	1	0	0	0	0	16	0	0	0	0	0	0	16	17	16	11	690.09	5.25
	2	0	0	0	0	16	0	0	0	0	0	0	16	17	16	11	690.09	7.55
	3	0	0	0	0	16	0	0	0	0	0	0	16	17	16	11	690.09	7.93
	4	0	0	0	0	16	0	0	0	0	0	0	16	17	16	11	690.09	6.58
	5	0	0	0	0	16	0	0	0	0	0	0	16	17	16	11	690.09	7.13
11	1	0	0	15	0	0	0	0	0	0	15	0	0	0	0	0	742.01	6.82
	2	0	0	15	0	0	0	0	0	0	15	0	0	0	0	0	742.01	8.99
	3	0	0	15	0	0	0	0	0	0	15	0	0	0	0	0	742.01	6.67
	4	0	0	15	0	0	0	0	1	0	15	0	0	0	0	0	743.35	6.10
	5	0	0	15	0	0	0	0	1	0	14	0	0	0	0	0	744.11	5.20
12	1	11	4	14	2	2	5	11	11	4	14	2	2	15	9	15	716.16	6.17
	2	11	4	14	2	2	5	11	11	4	14	2	2	15	9	15	716.16	6.61
	3	11	4	14	2	2	5	11	11	4	14	2	2	15	9	15	716.16	8.69
	4	11	4	14	2	2	5	11	11	4	14	2	2	15	9	15	716.16	6.93
	5	11	4	14	2	2	5	11	11	4	14	2	2	15	9	15	716.16	4.96
13	1	0	2	10	19	2	13	9	0	2	10	19	2	10	11	14	560.35	6.64
	2	0	2	10	19	2	13	9	0	2	10	19	2	10	11	14	560.35	6.43
	3	0	2	10	19	2	13	9	0	2	10	19	2	10	11	14	560.35	8.69
	4	0	2	10	19	2	13	9	0	2	10	19	2	10	11	14	560.35	9.59
	5	0	2	10	19	2	13	9	0	2	10	19	2	10	11	14	560.35	5.08
14	1	16	2	0	0	17	0	3	16	2	0	0	18	13	16	8	893.14	5.47
	2	16	2	0	0	18	0	3	16	2	0	0	18	14	16	8	891.18	8.33
	3	16	2	0	0	18	0	3	16	2	0	0	17	14	16	8	892.10	5.40
	4	16	2	0	0	18	0	3	16	2	0	0	18	14	16	8	891.18	6.70
	5	16	2	0	0	18	0	3	16	2	0	0	18	14	16	8	891.18	8.40
15	1	11	15	3	11	15	8	12	11	15	3	11	15	6	12	18	962.96	6.84
	2	11	15	3	11	15	8	12	11	15	3	11	15	6	12	19	953.5	5.17
	3	11	15	3	11	15	8	12	11	15	3	11	15	6	12	19	953.5	7.91
	4	11	15	3	11	15	8	12	11	15	3	11	15	6	12	19	953.5	6.05
	5	11	15	3	11	14	8	12	11	15	3	11	15	6	12	19	954.37	6.10

ตารางผนวกที่ ค11 คำตอบของปัญหาที่มีจำนวนวัตถุดิบ 12 ชนิดพร้อมกับวัตถุดิบด้านบรรจุภัณฑ์ 2 ชนิด (r=12, p=2)

การทดลองที่	ครั้งที่	x ₁	x ₂	x ₃	x ₄	x ₅	x ₆	x ₇	x ₈	x ₉	x ₁₀	x ₁₁	x ₁₂	x _{WIP}	x ₁ ^s	x ₁ ^s	x _p	ค่าตอบ	เวลา (s)
1	1	17	1	3	17	3	11	7	5	7	8	16	7	11	2	8	16	895.39	4.71
	2	17	1	3	17	3	11	7	5	8	8	16	7	11	2	8	16	892.32	5.16
	3	17	1	3	17	3	11	7	5	8	8	16	7	11	2	8	16	892.32	5.32
	4	17	1	3	17	3	11	7	5	8	8	16	7	11	2	8	16	892.32	7.98
	5	17	1	3	17	3	11	7	5	8	8	16	7	11	2	8	16	892.32	7.91
2	1	10	2	10	5	14	8	15	6	13	6	17	15	10	1	10	0	825.05	6.61
	2	10	2	10	5	14	8	15	6	13	6	17	15	10	1	10	0	825.05	7.06
	3	10	2	10	5	14	8	15	6	13	6	17	15	10	1	10	0	825.05	7.65
	4	10	2	10	5	14	8	15	6	13	6	17	15	10	1	10	0	825.05	7.72
	5	10	2	10	5	14	8	15	6	13	6	17	15	10	1	10	0	825.05	6.63
3	1	16	12	15	0	13	5	8	9	17	6	10	4	14	0	16	18	734.32	8.00
	2	16	12	15	0	13	5	8	9	17	6	10	4	14	0	16	18	734.32	5.12
	3	16	12	15	1	13	5	8	9	17	6	10	4	14	0	16	18	737.56	7.56
	4	16	12	15	1	13	5	8	9	17	6	10	4	14	0	16	18	737.56	5.94
	5	16	12	14	0	13	5	8	9	17	6	10	4	14	0	16	18	737.47	6.07
4	1	0	0	17	11	11	11	7	19	16	6	3	15	0	17	11	11	1032.80	9.03
	2	0	0	17	11	11	11	7	18	16	6	3	15	0	17	11	11	1033.60	12.71
	3	0	0	17	11	10	11	7	17	16	6	3	15	0	17	11	11	1035.20	7.16
	4	0	0	17	11	10	11	7	19	16	6	3	15	0	17	11	11	1033.60	7.61
	5	0	0	17	11	10	11	7	19	16	6	3	15	0	17	11	11	1033.60	7.97
5	1	5	12	14	12	5	9	7	11	17	17	6	16	8	6	8	18	939.86	7.77
	2	5	12	14	12	5	9	6	11	17	17	6	16	8	6	8	18	941.60	6.25
	3	5	12	14	12	5	9	7	11	17	17	6	16	8	6	8	17	951.16	7.82
	4	5	12	14	12	5	9	7	11	17	17	6	16	8	6	8	18	939.86	7.91
	5	5	12	14	12	5	9	7	11	17	17	6	16	8	6	8	18	939.86	9.65
6	1	18	9	2	13	6	7	16	5	17	19	18	16	10	16	10	2	1117.90	5.76
	2	18	9	2	13	6	7	16	5	17	19	18	15	10	16	10	2	1123.30	11.23
	3	18	9	2	13	6	7	16	5	16	19	18	16	10	16	10	2	1123.10	5.43
	4	18	9	2	13	6	7	16	5	17	19	18	16	10	16	10	2	1117.90	8.20
	5	18	9	2	13	6	7	16	5	17	19	18	16	10	16	10	2	1117.90	8.76
7	1	8	9	10	6	1	18	2	1	3	5	7	8	8	7	14	18	973.68	4.59
	2	8	9	10	6	1	17	2	1	3	5	7	8	8	7	14	19	985.35	7.19
	3	8	9	10	6	1	18	2	1	3	5	7	8	8	7	14	19	971.40	4.30
	4	8	9	10	6	1	18	2	1	3	5	7	8	8	7	14	19	971.40	7.92
	5	8	9	10	6	1	18	2	1	3	5	7	8	8	7	14	18	973.68	7.28
8	1	15	11	9	10	16	6	8	8	13	9	1	3	7	2	15	8	844.41	5.78
	2	15	11	9	10	16	6	8	8	13	9	1	3	7	2	15	8	844.41	8.93
	3	15	11	9	10	16	6	8	8	13	9	1	3	7	2	15	8	844.41	8.18
	4	15	11	9	10	16	6	8	8	13	9	1	3	7	2	15	8	844.41	6.76
	5	15	11	9	9	16	6	8	8	13	9	1	3	7	2	15	8	851.69	9.27

ตารางผนวกที่ ค11 (ต่อ)

การทดลองที่	ครั้งที่	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	X ₈	X ₉	X ₁₀	X ₁₁	X ₁₂	X _{WIP}	X ₁ ^S	X ₁ ^S	X _p	ค่าตอบ	เวลา (s)
9	1	3	3	12	17	10	14	2	0	15	1	5	5	16	7	14	5	566.03	9.57
	2	3	3	13	17	10	14	2	0	15	1	5	5	16	7	14	5	559.61	17.89
	3	3	3	13	17	10	14	2	0	15	1	5	5	16	7	14	5	559.61	10.92
	4	3	3	13	17	10	13	2	0	15	1	5	5	16	7	14	5	560.28	8.45
	5	3	3	13	17	10	14	2	0	15	1	5	5	15	7	14	5	570.31	10.11
10	1	13	0	19	10	10	0	18	14	0	0	10	16	9	18	5	22	1190.70	12.09
	2	13	0	19	10	10	0	18	14	0	0	10	16	9	17	5	22	1191.50	9.91
	3	13	0	18	10	10	0	18	14	0	0	10	16	9	18	5	22	1193.70	12.19
	4	13	1	19	10	10	0	18	14	0	0	10	16	9	18	5	22	1193.30	9.18
	5	13	0	19	10	10	0	18	14	0	0	10	16	9	18	5	22	1190.70	9.62
11	1	0	0	0	0	0	0	0	19	0	15	0	0	0	0	10	0	956.68	7.58
	2	0	0	0	0	0	0	0	18	0	15	0	0	0	0	10	0	957.24	5.72
	3	0	0	0	0	0	0	0	19	0	15	0	0	0	0	10	0	956.68	7.17
	4	0	0	0	0	0	0	0	19	0	15	0	0	0	0	10	0	956.68	6.90
	5	0	0	0	0	0	0	0	19	0	15	0	0	0	0	10	0	956.68	6.27
12	1	10	9	2	9	1	15	4	11	4	14	2	0	14	19	0	16	666.79	5.46
	2	10	9	2	9	1	15	4	11	4	14	2	0	14	19	0	16	666.79	5.33
	3	10	9	2	9	1	15	4	11	4	14	2	0	14	19	0	16	666.79	6.68
	4	10	9	2	9	1	15	4	11	4	14	2	0	14	19	0	16	666.79	6.50
	5	10	9	2	9	1	15	4	11	4	14	2	0	14	18	0	16	670.89	6.03
13	1	10	8	18	19	11	4	15	3	2	10	19	2	9	1	8	6	679.47	5.40
	2	10	8	18	19	11	4	15	3	2	10	19	2	9	1	8	6	679.47	9.31
	3	10	8	18	19	11	4	15	3	2	10	19	2	9	1	8	6	679.47	6.17
	4	10	8	18	19	11	4	15	3	2	10	19	2	9	1	8	6	679.47	7.33
	5	10	8	18	19	11	4	15	3	2	10	19	2	9	1	8	6	679.47	6.10
14	1	15	5	13	14	6	15	6	16	2	4	15	18	9	7	16	24	1206.30	8.47
	2	15	5	13	14	6	15	6	16	2	4	15	18	9	7	16	24	1206.30	8.56
	3	15	5	13	14	6	15	6	16	2	4	15	18	9	7	16	24	1206.30	6.02
	4	15	5	13	14	6	15	6	16	2	4	15	18	9	7	16	24	1206.30	6.03
	5	15	5	13	14	6	15	6	16	2	4	15	18	9	7	16	24	1206.30	6.49
15	1	17	4	11	0	7	16	14	11	15	3	11	14	10	2	6	11	1005.30	4.90
	2	17	4	11	0	7	16	14	11	15	3	11	15	10	2	6	11	1004.50	6.19
	3	17	4	11	0	7	16	14	11	15	3	11	15	10	2	6	11	1004.50	9.00
	4	17	4	11	0	7	16	14	11	15	3	11	14	10	2	6	11	1005.30	5.69
	5	17	4	11	0	7	16	14	11	15	3	11	15	10	2	6	11	1004.50	7.41

ตารางผนวกที่ ค12 คำตอบของปัญหาที่มีจำนวนวัตถุดิบ 15 ชนิดพร้อมกับวัตถุดิบด้านบรรจุภัณฑ์ 1 ชนิด (r=15, p=1)

การทดลองที่	ครั้งที่	x ₁	x ₂	x ₃	x ₄	x ₅	x ₆	x ₇	x ₈	x ₉	x ₁₀	x ₁₁	x ₁₂	x ₁₃	x ₁₄	x ₁₅	x _{WIP}	x ₁ ^s	x _p	ค่าตอบ	เวลา (s)
1	1	17	6	1	12	18	17	2	18	7	0	8	11	17	18	18	4	0	0	1056.10	6.81
	2	17	6	1	12	19	17	2	18	7	0	8	11	18	18	18	4	0	0	1042.40	7.71
	3	17	6	1	12	18	17	2	18	7	0	8	11	18	18	18	4	0	0	1045.30	5.49
	4	17	6	1	12	18	17	2	18	7	0	8	11	18	18	18	4	0	0	1045.30	7.41
	5	17	6	1	12	19	17	2	18	7	0	8	11	18	18	18	4	0	0	1042.40	6.08
2	1	8	9	7	17	8	9	15	7	12	14	3	11	7	17	11	14	14	19	1137.30	10.10
	2	8	9	7	17	8	9	15	7	12	14	3	11	7	17	11	14	14	19	1137.30	8.22
	3	8	9	7	16	8	9	15	7	12	14	3	11	7	17	11	14	14	19	1158.70	9.43
	4	8	9	7	17	8	9	15	7	12	14	3	11	7	17	11	14	14	19	1137.30	10.18
	5	8	9	7	17	8	9	15	7	12	14	3	11	7	17	11	14	14	19	1137.30	7.66
3	1	3	16	6	0	12	13	10	15	9	11	12	8	0	10	10	2	11	14	838.66	7.85
	2	3	16	6	0	13	13	10	15	9	11	12	8	0	10	10	2	11	14	837.74	8.30
	3	3	16	6	0	13	13	10	15	9	11	12	8	0	10	10	2	11	14	837.74	7.15
	4	3	16	6	0	13	13	10	15	9	11	12	8	0	10	10	2	11	14	837.74	7.27
	5	3	16	6	0	13	13	10	15	9	11	12	8	0	10	10	2	11	14	837.74	9.36
4	1	0	0	0	0	0	17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12	0	0	573.32	8.75
	2	0	1	0	0	0	17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12	0	0	573.57	7.60
	3	0	0	0	0	0	17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12	0	0	573.32	7.38
	4	0	0	0	1	0	17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12	0	0	576.37	6.02
	5	0	0	0	0	0	17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12	0	0	573.32	6.09
5	1	2	11	1	11	0	3	3	12	18	9	15	5	3	9	2	19	11	6	730.15	8.46
	2	2	11	1	11	0	3	3	12	18	9	15	5	3	9	2	19	11	6	730.15	6.85
	3	2	11	1	11	0	3	3	12	18	9	15	5	3	9	2	19	11	6	730.15	5.75
	4	2	11	1	11	0	3	3	12	18	9	15	5	3	9	2	19	11	6	730.15	7.45
	5	2	11	1	11	0	3	3	12	18	9	15	5	3	9	2	19	11	6	730.15	6.45
6	1	12	0	8	6	13	14	17	11	19	11	6	2	10	16	9	8	4	23	1062.10	5.60
	2	12	0	8	6	13	14	17	11	19	11	6	2	10	17	9	8	4	23	1049.70	5.94
	3	12	0	8	6	13	14	17	11	18	11	6	2	10	16	9	8	4	23	1075.50	6.09
	4	12	0	8	6	13	14	17	11	19	11	6	2	10	16	9	8	4	23	1062.10	7.44
	5	12	0	8	6	13	14	17	11	19	11	6	2	10	17	9	8	4	23	1049.70	6.98
7	1	14	0	15	2	15	19	3	0	0	3	0	0	5	19	11	7	2	0	750.56	5.05
	2	14	0	15	2	15	19	3	0	0	3	0	0	5	19	11	7	2	0	750.56	6.85
	3	14	0	15	2	15	19	3	0	0	3	0	0	5	18	11	7	2	0	751.2	6.82
	4	14	0	15	2	15	19	3	0	0	3	0	0	5	19	11	7	2	0	750.56	6.69
	5	14	0	15	2	15	19	3	0	0	3	0	0	5	18	11	7	2	0	751.2	5.75
8	1	15	7	9	16	0	13	18	17	16	18	8	17	3	2	12	3	15	2	878.73	5.01
	2	16	7	9	15	0	13	18	17	16	19	8	17	3	2	12	3	15	2	868.79	5.80
	3	16	7	9	16	0	13	18	17	16	19	8	17	3	2	12	3	15	2	855.04	7.55
	4	16	7	9	16	0	13	18	17	16	19	8	17	3	2	12	3	15	2	855.04	7.28
	5	16	7	9	16	0	13	18	17	16	19	8	17	3	2	12	3	15	2	855.04	8.91

ตารางผนวกที่ ค12 (ต่อ)

การทดลองที่	ครั้งที่	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	X ₈	X ₉	X ₁₀	X ₁₁	X ₁₂	X ₁₃	X ₁₄	X ₁₅	X _{WIP}	X ₁ ^s	X _p	ค่าตอบ	เวลา (s)
9	1	8	9	1	14	0	4	0	17	17	16	0	2	10	11	9	12	16	1	1292.20	5.81
	2	0	9	1	14	0	0	0	1	17	0	0	0	0	0	0	12	0	1	1289.60	6.84
	3	0	9	1	14	0	0	0	1	17	0	0	0	0	0	0	12	0	1	1289.60	5.30
	4	8	9	1	13	0	4	0	17	17	16	0	2	10	11	9	12	17	1	1295.10	6.52
	5	0	9	1	14	0	0	0	1	17	0	0	0	0	0	0	12	0	1	1289.60	5.95
10	1	12	18	14	14	0	2	11	11	19	4	17	2	2	9	13	18	7	12	1071.80	4.50
	2	12	18	14	14	0	2	11	11	19	4	18	2	2	9	13	18	7	12	1063.90	6.93
	3	12	18	14	14	0	2	11	11	19	4	18	2	2	9	13	18	7	11	1074.30	5.77
	4	12	18	14	14	0	2	11	11	19	4	17	2	2	9	13	17	7	11	1093.60	4.35
	5	12	18	14	14	0	2	11	11	19	4	18	2	2	8	13	17	7	12	1088.30	7.74
11	1	0	16	18	0	1	3	19	4	0	0	18	15	19	3	0	17	15	0	962.91	5.80
	2	0	16	17	0	1	3	19	4	0	0	18	15	18	3	0	17	15	0	967.51	5.16
	3	0	16	18	0	1	3	18	4	0	0	17	15	18	3	0	17	15	0	971.89	4.37
	4	0	16	18	0	1	3	19	4	0	0	17	15	19	3	0	17	15	0	964.61	6.41
	5	0	16	18	0	1	3	19	4	0	0	18	15	18	3	0	17	15	0	965.05	8.82
12	1	12	18	11	0	15	14	9	11	6	5	9	7	0	18	10	18	9	18	1184.60	6.81
	2	12	17	11	0	15	14	9	11	6	5	9	6	0	17	10	18	9	18	1228.70	6.57
	3	12	18	11	0	15	14	9	11	6	5	9	7	0	18	10	18	9	18	1184.60	8.67
	4	12	18	11	0	15	14	9	11	6	5	9	7	0	18	10	18	9	18	1184.60	6.61
	5	12	18	11	0	15	14	9	11	6	5	9	7	0	17	10	18	9	18	1201.40	6.52
13	1	0	0	1	0	7	0	11	1	6	0	0	0	0	0	0	0	13	0	817.53	8.26
	2	0	0	1	0	7	0	11	1	6	0	0	0	0	0	0	0	13	0	817.53	5.48
	3	0	0	1	0	7	0	11	1	6	0	0	0	0	0	0	0	13	0	817.53	7.89
	4	0	0	1	0	7	0	11	1	6	0	1	0	0	0	0	0	13	0	819.74	6.37
	5	0	0	1	0	7	0	11	1	6	0	0	0	0	0	0	0	13	0	817.53	6.95
14	1	9	1	1	15	10	17	10	1	15	19	1	13	17	15	15	17	9	5	1188.60	6.96
	2	9	1	1	15	10	16	10	1	15	19	1	13	17	15	15	17	9	5	1198.70	5.71
	3	9	1	1	15	10	17	10	1	15	19	1	13	17	15	15	17	9	5	1188.60	7.34
	4	9	1	1	15	10	17	10	1	15	19	1	13	17	15	15	17	9	5	1188.60	6.49
	5	9	1	1	15	10	17	10	1	15	19	1	13	17	15	15	17	9	5	1188.60	10.13
15	1	11	6	7	11	18	1	10	5	1	18	2	6	10	6	12	5	5	0	860.44	6.45
	2	11	6	7	11	18	1	10	5	1	18	2	6	10	6	11	5	5	0	862.81	5.35
	3	11	6	7	11	18	1	10	5	1	17	2	6	10	6	11	5	5	0	864.99	5.74
	4	11	6	7	11	18	1	10	5	1	18	2	6	10	6	12	5	5	0	860.44	6.85
	5	11	6	7	11	18	1	10	5	1	18	2	6	10	6	12	5	5	0	860.44	5.33

ตารางผนวกที่ ค13 คำตอบของปัญหาที่มีจำนวนวัตถุดิบ 15 ชนิดพร้อมกับวัตถุดิบด้านบรรจุภัณฑ์ 2 ชนิด (r=15, p=2)

การทดลองที่	ครั้งที่	x ₁	x ₂	x ₃	x ₄	x ₅	x ₆	x ₇	x ₈	x ₉	x ₁₀	x ₁₁	x ₁₂	x ₁₃	x ₁₄	x ₁₅	x _{WIP}	x ₁ ^s	x ₁ ^s	x _p	คำตอบ	เวลา (s)
1	1	1	0	16	6	8	0	6	2	14	16	17	0	4	0	0	9	7	7	10	1002.50	8.38
	2	1	1	16	6	8	0	6	2	14	16	17	0	4	0	0	9	7	7	10	1004.00	6.63
	3	1	0	16	6	8	0	5	2	13	16	17	0	4	0	0	9	7	7	10	1003.50	7.68
	4	1	0	16	6	8	0	6	2	14	16	17	0	4	0	0	8	7	7	10	1003.10	7.45
	5	1	0	16	6	8	0	6	2	13	16	16	0	4	0	0	8	7	7	10	1007.00	4.79
2	1	1	15	14	2	17	5	8	10	0	18	5	5	14	5	11	1	11	7	20	781.37	5.97
	2	1	15	14	2	18	5	8	10	0	18	5	5	14	5	11	1	11	7	21	748.20	6.03
	3	1	15	14	2	18	5	8	10	0	18	5	5	14	5	11	1	11	7	21	748.20	7.53
	4	1	15	14	2	17	5	8	10	0	18	5	5	14	5	11	1	11	7	21	761.00	6.36
	5	1	15	14	2	18	5	8	10	0	18	5	5	14	5	11	1	11	7	21	748.20	7.90
3	1	10	18	5	4	9	13	14	5	0	10	9	17	16	14	2	9	15	15	7	1132.70	9.05
	2	10	17	5	4	9	13	14	5	0	10	9	17	16	14	2	9	15	15	7	1134.80	8.78
	3	10	18	5	4	9	13	14	5	0	10	9	17	16	14	2	9	15	15	7	1132.70	7.77
	4	10	18	5	4	9	13	14	5	0	10	9	17	16	14	2	9	15	15	7	1132.70	9.52
	5	10	18	5	4	9	13	14	5	0	10	9	17	16	14	2	9	15	15	7	1132.70	8.81
4	1	2	3	8	17	12	12	14	19	12	17	14	6	18	18	1	8	7	12	9	1237.10	8.81
	2	2	3	8	17	12	12	14	18	12	17	13	6	18	18	1	8	7	12	9	1251.20	7.03
	3	2	3	8	17	12	12	14	19	12	17	14	6	18	18	1	8	7	12	9	1237.10	8.84
	4	2	3	8	17	12	12	14	19	12	17	14	6	18	18	1	8	7	12	9	1237.10	11.22
	5	2	3	8	17	12	12	14	19	11	17	14	6	18	17	1	8	7	12	9	1256.00	6.08
5	1	8	13	8	14	6	16	4	13	0	2	14	2	3	12	5	5	10	7	1	1093.40	6.86
	2	8	13	8	14	6	16	4	13	0	2	14	2	3	12	5	5	11	7	0	1083.50	6.38
	3	8	13	8	14	6	16	4	13	0	2	13	2	3	12	5	5	11	7	0	1083.80	8.57
	4	8	13	8	14	6	16	4	13	0	2	13	2	3	12	5	5	11	7	0	1083.80	5.91
	5	8	13	8	14	6	16	4	13	0	2	13	2	3	12	5	5	11	7	0	1083.8	8.30
6	1	0	0	0	4	15	16	0	19	0	18	1	0	0	0	0	0	0	1	18	839.24	7.40
	2	0	1	0	4	14	16	0	19	0	18	0	0	0	0	1	0	0	1	18	838.62	5.95
	3	0	0	0	4	15	16	0	19	0	18	0	0	0	0	0	0	0	1	18	834.26	10.73
	4	0	1	0	4	15	16	0	19	0	18	0	0	0	0	0	0	0	1	18	834.34	7.23
	5	0	0	0	4	15	16	0	19	0	18	0	0	0	0	0	0	0	1	18	834.26	8.81
7	1	8	3	0	0	0	0	0	0	0	2	5	0	5	0	6	4	11	0	792.16	7.50	
	2	8	3	0	0	0	0	0	0	0	2	5	0	5	0	6	4	12	0	791.06	8.07	
	3	8	3	0	0	0	0	0	0	0	2	5	0	5	0	6	4	12	0	791.06	5.79	
	4	8	3	0	0	0	0	0	0	0	2	5	0	5	1	6	4	12	0	791.32	9.05	
	5	8	3	0	0	0	0	0	0	0	2	5	0	5	0	6	4	12	0	791.06	5.14	
8	1	10	7	10	7	4	16	10	19	16	6	7	5	19	2	19	15	5	12	0	1063.60	7.00
	2	10	7	10	7	4	16	10	19	16	6	7	5	19	2	19	15	5	12	0	1063.60	9.75
	3	10	7	10	7	4	16	10	19	16	6	7	5	19	2	19	15	5	12	0	1063.60	9.67
	4	10	7	10	7	4	16	10	19	16	6	7	5	19	2	19	15	5	12	0	1063.60	10.52
	5	10	7	10	7	4	16	10	19	16	6	7	5	19	2	19	15	5	12	0	1063.60	8.60

ตารางผนวกที่ ค13 (ต่อ)

การทดลองที่	ครั้งที่	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	X ₈	X ₉	X ₁₀	X ₁₁	X ₁₂	X ₁₃	X ₁₄	X ₁₅	X _{WIP}	X ₁ ^S	X ₁ ^S	X _p	ค่าตอบ	เวลา (s)
9	1	15	0	12	1	0	3	0	0	16	0	11	0	11	16	0	12	11	5	4	875.95	6.50
	2	15	0	12	1	1	3	0	0	16	0	10	0	11	16	0	12	11	5	4	877.02	6.69
	3	15	0	12	1	0	3	0	0	16	0	11	0	11	16	0	12	11	5	4	875.95	9.54
	4	15	0	12	1	0	3	0	0	16	0	11	0	11	16	0	12	11	5	4	875.95	9.06
	5	15	0	12	1	0	3	0	0	16	0	11	0	11	16	0	12	11	5	4	875.95	8.45
10	1	12	12	5	9	6	7	1	18	16	3	18	14	5	15	10	1	2	15	1	1051.30	8.68
	2	12	12	5	9	6	7	1	18	16	3	18	14	5	15	10	0	2	15	0	1047.50	8.58
	3	12	12	5	9	6	7	1	18	16	3	18	14	5	15	10	0	2	15	0	1047.50	8.14
	4	12	12	5	9	6	7	1	18	16	3	18	14	5	15	10	0	2	15	0	1047.50	8.06
	5	11	12	5	9	6	7	1	18	16	3	18	14	5	15	10	1	2	15	0	1053.50	9.22
11	1	4	19	14	10	6	5	13	8	18	8	0	17	16	11	6	19	1	15	2	1155.10	7.00
	2	4	19	14	10	6	5	13	8	18	8	0	17	16	11	6	19	1	15	2	1155.10	9.43
	3	4	19	14	10	6	5	12	8	18	8	0	17	16	11	6	19	1	15	2	1172.00	6.42
	4	4	19	14	10	6	5	13	8	18	8	0	17	16	11	6	19	1	15	2	1155.10	9.75
	5	4	19	13	10	6	5	13	8	18	8	0	17	16	11	6	19	1	15	2	1167.50	10.06
12	1	0	7	0	15	3	5	0	9	10	0	17	14	2	3	6	4	13	0	13	734.31	6.01
	2	0	7	0	14	3	5	0	9	10	0	17	14	2	3	6	4	13	0	13	735.78	5.98
	3	0	7	0	15	3	5	0	9	10	0	17	14	2	3	6	4	13	0	13	734.31	6.32
	4	0	7	0	15	3	5	0	9	10	0	17	14	2	3	6	4	13	0	13	734.31	6.32
	5	0	7	0	15	3	5	0	9	10	0	17	14	2	3	6	4	13	0	13	734.31	7.29
13	1	14	12	15	19	7	19	3	5	0	11	0	15	8	10	1	11	17	19	16	902.48	11.26
	2	14	12	15	19	7	19	3	5	0	11	0	15	8	10	1	11	17	19	16	902.48	7.78
	3	14	12	15	19	7	19	3	5	0	11	0	15	8	10	1	11	17	19	16	902.48	7.49
	4	14	12	15	18	7	19	3	5	0	11	0	15	8	10	1	11	17	19	16	912.04	7.18
	5	14	12	15	18	7	19	3	5	0	10	0	15	8	10	1	11	16	19	16	926.27	6.26
14	1	6	12	9	13	6	7	15	4	18	0	7	10	2	3	12	19	9	0	9	1133.00	9.42
	2	6	12	9	13	6	7	15	4	18	0	7	10	2	3	12	19	9	0	9	1133.00	8.99
	3	6	12	9	13	6	7	15	4	18	0	7	10	2	3	12	19	9	1	9	1133.80	11.96
	4	6	12	9	13	6	7	15	4	18	0	7	10	2	3	12	19	9	0	9	1133.00	11.11
	5	6	12	9	13	6	7	15	4	18	0	7	10	2	3	12	19	9	1	9	1133.80	9.80
15	1	0	1	14	0	0	13	17	16	6	0	13	0	14	0	1	0	0	13	0	730.51	10.44
	2	0	1	14	0	0	13	17	16	6	0	13	0	14	0	1	0	0	13	0	730.51	9.81
	3	0	1	14	0	0	13	17	16	6	0	13	0	14	0	1	0	0	13	0	730.51	7.14
	4	0	1	13	0	0	13	17	16	6	0	13	0	14	0	1	0	0	13	0	735.09	8.86
	5	0	1	14	0	0	13	17	16	6	0	13	0	14	0	1	0	0	13	0	730.51	12.12

ประวัติการศึกษาและการทำงาน

ชื่อ นางสาวยุวรินทร์ สิริบันลือวุฒิ

เกิดวันที่ 16 เดือนสิงหาคม พ.ศ. 2523

สถานที่เกิด จังหวัดกรุงเทพมหานคร

ประวัติการศึกษา วท.บ. (วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
(พ.ศ. 2544)

ตำแหน่งปัจจุบัน -

สถานที่ทำงานปัจจุบัน -