ฮิวริสติกส์สำหรับการแก้ปัญหาการมอบหมายงานแบบหลายขั้น: กรณีศึกษาการขนส่งไก่

ทรรศิน ศรีวราพงศ์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาปรัชญาดุษฎีบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ปีการศึกษา 2559

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

HEURISTICS FOR MULTI-STAGE ASSIGNMENT PROBLEM: A CASE STUDY IN CHICKEN TRANSPORTATION

TASSIN SRIVARAPONGSE

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULLFILLMENT OF THE REQUIREMENT
FOR THE DEGREE OF DOCTOR OF PHILOSOPHY
MAJOR IN INDUSTRIAL ENGINEERING
FACCULTY OF ENGINEERING
UBON RATCHATHANI UNIVERSITY
ACADEMIC YEAR 2016

COPY RIGHT OF UBON RATCHATHANI UNIVERSITY

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับการอบรมสั่งสอน ได้รับความเมตตาเป็นอย่างสูงจาก รองศาสตราจารย์ ดร.ระพีพันธ์ ปิตาคะโส อาจารย์ที่ปรึกษาที่กรุณาเสียสละเวลาในการให้คำแนะนำตลอดจนการปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ด้วยความเอาใจใส่อย่างดียิ่ง ข้าพเจ้าตระหนักถึงความตั้งใจจริง การทุ่มเททั้งแรงกายและแรงใจของอาจารย์ และขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ในภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ที่ได้อบรม สั่งสอน จนข้าพเจ้าได้รับความรู้ ความชำนาญ จนข้าพเจ้าสามารถนำวิชาความรู้ที่ได้มาใช้ในการเขียนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้และสามารถนำไปใช้ในการถ่ายทอดความรู้ที่ได้เรียนมาให้แก่นักศึกษารุ่นใหม่ๆ

ขอขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ พี่ น้อง เพื่อนพี่น้องที่เรียนมาด้วยกัน เจ้าหน้าที่ภาควิชาที่ให้ความช่วยเหลือ เพื่อนร่วมงาน และผู้ที่มีพระคุณทุกทาน ที่เป็นกำลังใจและมีส่วนช่วยเหลือ ทำให้มีวันนี้ที่วิทยานิพนธ์เล่มนี้ สำเร็จลงได้ด้วยดี ข้าพเจ้าหวังว่า วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะมีประโยชน์อยู่ไม่น้อย จึงขอมอบส่วนดีทั้งหมดนี้ ให้แก่เหล่าคณาจารย์ที่ได้ประสิทธิประสาทวิชาจนทำให้เป็นผลประโยชน์ต่อผู้ที่เกี่ยวข้อง และผู้มีพระคุณของข้าพเจ้าทุกท่าน ข้าพเจ้าขอมอบความกตัญญูกตเวทิตาคุณ แด่บิดา มารดา และผู้มีพระคุณทุกท่าน หากมีข้อบกพร่องประการใดที่อาจจะเกิดขึ้น ข้าพเจ้าขอน้อมรับความผิดเพียงผู้เดียว และยินดีที่จะรับฟังคำแนะนำ ความคิดเห็น จากทุกท่าน เพื่อให้เป็นประโยชน์ต่อไป

ทรรศิน ศรีวราพงศ์
ผู้วิจัย

บทคัดย่อ

เรื่อง : ฮิวริสติกส์สำหรับการแก้ปัญหาการมอบหมายงานแบบหลายขั้น: กรณีศึกษาการขนส่งไก่

ผู้วิจัย : ทรรศิน ศรีวราพงศ์

ชื่อปริญญา : ปรัชญาดุษฎีบัณฑิต

สาขาวิชา : วิศวกรรมอุตสาหการ

อาจารย์ที่ปรึกษา: รองศาสตราจารย์ ดร.ระพีพันธ์ ปิตาคะโส

คำสำคัญ : ปัญหาการมอบหมายงาน, วิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง, วิธีการหาค่าที่ดีที่สุดด้วยฝูงอนุภาค

งานวิจัยนี้ศึกษาปัญหาการมอบหมายงานแบบหลายขั้น กรณีศึกษาการขนส่งไก่ ซึ่งเป็นปัญหาการมอบหมายงานแบบหลายขั้นเพื่อแก้ไขปัญหากรณีศึกษาการขนส่งไก่ ต้องทำการตัดสินใจ 4 ตัวแปรในครั้งเดียว ถ้าการมอบหมายที่ได้ดำเนินการไม่เหมาะสมจะทำให้เป็นการเพิ่มต้นทุนในการมอบหมายงานอย่างไม่จำเป็น เนื่องจากกรณีศึกษาถือว่าเป็นปัญหาที่มีขนาดใหญ่และมีความซับซ้อนทำให้โปรแกรมลิงโก ไม่สามารถหาคำตอบได้ในระยะเวลาที่เหมาะสม ดังนั้นในงานวิจัยนี้เราจึงพัฒนาวิธีการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างและด้วยฝูงอนุภาคเพื่อให้สามารถแก้ปัญหาที่มีขนาดใหญ่และซับซ้อนได้

ในงานวิจัยนี้ พัฒนาวิธีการแก้ไขปัญหาการมอบหมายงานแบบหลายขั้น 5 วิธีได้แก่ (1) การพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์และใช้โปรแกรมลิงโกหาคำตอบ (2) วิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง (3) วิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างแบบปรับปรุง (4) วิธีการหาค่าที่ดีที่สุดด้วยฝูงอนุภาค และ (5) วิธีการหาค่าที่ดีที่สุดด้วยฝูงอนุภาคแบบปรับปรุง วิธีการทั้ง 5 ที่พัฒนาขึ้นได้ถูกทดสอบกับปัญหาตัวอย่าง 3 กลุ่ม ได้แก่ ปัญหาขนาดเล็ก กลาง และใหญ่ แต่ละกลุ่มมีจำนวน 5 ปัญหาทดลอง ในปัญหาขนาดเล็กและกลาง โปรแกรมลิงโกสามารถหาคำตอบที่ดีที่สุดได้ทุกปัญหาตัวอย่าง วิธีการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างให้คำตอบเฉลี่ยสูงกว่าโปรแกรมลิงโก้ 113 ในขณะที่ใช้เวลาน้อยกว่า 124 เท่า หรือใช้เวลาเพียง 0.44 วินาทีเท่านั้น และ วิธีการฝูงอนุภาค ให้คำตอบเฉลี่ยสูงกว่าโปรแกรมลิงโก้ 102 ในขณะที่ใช้เวลาน้อยกว่า 137 เท่า หรือใช้เวลาเพียง 0.4 วินาทีเท่านั้น

ปัญหาขนาดใหญ่โปรแกรมลิงโก ไม่สามารถหาคำตอบที่ดีที่สุดได้ดังนั้นจะทำการเปรียบเทียบคำตอบของวิธีการฮิวริสติกทั้ง 4 กับคำตอบที่ดีที่สุดได้จากโปรแกรมลิงโกในการรัน 72 ชั่วโมง พบว่า วิธีการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างให้คำตอบเฉลี่ยสูงกว่าโปรแกรมลิงโก้ 107.1 ในขณะที่ใช้เวลาเพียง 4.2 วินาทีเท่านั้น วิธีการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างแบบปรับปรุงโดยใช้อัตราการเจริญเติบโตแบบเลขชี้กำลังให้คำตอบเฉลี่ยสูงกว่าโปรแกรมลิงโก้ 103.2 ในขณะที่ใช้เวลาเพียง 5 วินาทีเท่านั้น วิธีการฝูงอนุภาค ให้คำตอบเฉลี่ยสูงกว่าโปรแกรมลิงโก้ 102.8 ในขณะที่ใช้เวลาเพียง 5.1 วินาทีเท่านั้น และวิธีการฝูงอนุภาคแบบปรับปรุงให้คำตอบเฉลี่ยสูงกว่าโปรแกรมลิงโก้ 101.3 ในขณะที่ใช้เวลาเพียง 4.9 วินาทีเท่านั้น

ABSTRACT

TITLE : HEURISTICS FOR MULTI-STAGE ASSIGNMENT PROBLEM: A CASE STUDY IN CHICKEN TRANSPORTATION
AUTHOR : TASSIN SRIVARAPONGSE
DEGREE : DOCTOR OF PHILOSOPHY
MAJOR : INDUSTRIAL ENGINEERING
ADVISOR : ASSOC. PROF. RAPEEPAN PITAKASO, Ph.D.
KEYWORDS : ASSIGNMENT PROBLEM, DIFFERENTIAL EVOLUTION (DE), PARTICLE SWARM OPTIMIZATION (PSO)

This study examined a multi-stage assignment problem in the transportation of chickens that involved making decisions related to four variables, types of trucks, hens' farms, eggs' farms, and transportation to avoid unnecessary increases in assignment costs. Due to the large size and complexity of the problem, the program LINGO was unable to find a solution within reasonable time, and this research developed a differential evolution algorithm and particle swarm optimization to solve the problem.

It developed five methods: (1) development of a mathematical model and use of LINGO to find a solution; (2) differential evolution algorithm; (3) modified differential evolution algorithm; (4) particle swarm optimization, and (5) modified particle swarm optimization. These five methods were tested with three groups of problem examples, small, medium, and large, each group consisting of five test examples. With small and medium problem examples, LINGO was able to find the optimal solutions for all test examples.The differential evolution algorithm generated an average solution higher than that of LINGO 113 while using 124 times less computational time or only 0.44 seconds. Particle swarm optimization generated an average solution higher than that of LINGO 102 while using 137 times less computational time or only 0.4 seconds.

In large size problem examples, LINGO was unable to find optimal solutions, thus the study compared all four heuristics with the best solutions generated by LINGO that ran for 72 hours. The differential evolution algorithm generated an average solution higher than that of LINGO 107.1 while using only 4.2 seconds computational time.The modified differential evolution algorithm generated an average solution higher than that of LINGO 103.2 while using 5 seconds computational time. Particle swarm optimization generated an average solution higher than that of LINGO 102.8 while using 5.1 seconds computational time and modified particle swarm optimization

generated an average solution higher than that of LINGO 101.3 while using 4.9 seconds computational time.

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	**ก**
บทคัดย่อภาษาไทย	**ข**
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	**ค**
สารบัญ	**จ**
สารบัญตาราง	**ช**
สารบัญภาพ	**ฎ**
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	3
1.4 ขั้นตอนการศึกษา	3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 ปัญหาการมอบหมายงาน (Assignment Problem: AP)	4
2.2 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของปัญหาการมอบหมายงาน AP	4
2.3 ปัญหาการมอบหมายงานแบบทั่วไป (Generalized Assignment Problem: GAP)	6
2.4 วิธี heuristics ในการแก้ไขปัญหาการมอบหมายงาน	10
2.5 วิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง Differential Evolution (DE)	12
2.6 วิธีการหาค่าที่ดีที่สุดโดยใช้ฝูงอนุภาค (Particle Swarm Optimization: PSO)	13
บทที่ 3 วิธีดำเนินงานวิจัย	
3.1 วิธีการวิจัย	15
3.2 ขั้นตอนการทำวิจัย	15
3.3 แหล่งข้อมูล	16
3.4 การวิเคราะห์ข้อมูล	16
3.5 แผนการดำเนินการวิจัย	17
บทที่ 4 กรณีศึกษา	
4.1 บทนำ	18
4.2 การมอบหมายงานแบบหลายขั้น (Multi-stage Assignment Problem)	19
4.3 ข้อจำกัดต่างๆ	21
4.4 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของกรณีศึกษา	23

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 5 การวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง (Differential Evolution: DE)
5.1 ปัญหาการมอบหมายงาน (Assignment Problem) 27
5.2 วิธีการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง (Differential Evolution: DE) 31
5.3 วิธีการทดลอง 62
5.4 กรณีศึกษา (Case Study) 71
5.5 สรุปผล (Conclusions) 83
บทที่ 6 วิธีการค้นหาค่าที่ดีที่สุดด้วยฝูงอนุภาค (Particles Swarm Optimization: PSO)
6.1 ปัญหาการมอบหมายงาน (Assignment Problem) 85
6.2 วิธีการค้นหาค่าที่ดีที่สุดด้วยฝูงอนุภาค (Particles Swarm Optimization: PSO) 86
6.3 กรณีศึกษา (Case Study) 105
6.4 สรุปผล (Conclusions) 109
บทที่ 7 สรุปผลการศึกษา 112
เอกสารอ้างอิง 114
ประวัติผู้วิจัย 119

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	การจัดหมวดหมู่ของวิธีการแก้ปัญหาฮิวริสติกส์	11
3.1	แผนการดำเนินการวิจัย	17
4.1	ประเภทของรถที่ใช้ในการขนส่ง	22
4.2	รายละเอียดสำหรับฟาร์มไก่รุ่น	22
4.3	รายละเอียดสำหรับฟาร์มไข่	23
5.1	เวกเตอร์เริ่มต้นของประเภทรถบรรทุก	32
5.2	เวกเตอร์เริ่มต้นของฟาร์มไก่รุ่น	32
5.3	เวกเตอร์เริ่มต้นของฟาร์มไข่	33
5.4	ลำดับของเวกเตอร์เริ่มต้นของประเภทรถบรรทุก	33
5.5	ลำดับของเวกเตอร์เริ่มต้นของฟาร์มไก่รุ่น	33
5.6	ลำดับของเวกเตอร์เริ่มต้นของฟาร์มไข่	34
5.7	ลำดับของพิกัดในแต่ละเวกเตอร์ของประเภทรถบรรทุก ฟาร์มไก่รุ่นและฟาร์มไข่	34
5.8	ลำดับของพิกัด และความจุของรถบรรทุก อุปทานของฟาร์มไก่รุ่น และอุปสงค์ของฟาร์มไข่	35
5.9	การถอดรหัส	41
5.10	ความสามารถในการขนไก่รุ่นขึ้น หรือ ลง	41
5.11	ความสามารถในการขนไก่รุ่นขึ้นรถบรรทุก	42
5.12	ความสามารถในการขนไก่รุ่นลงจากรถบรรทุก	42
5.13	เวลาในการมอบหมาย (หน่วยเวลา: ชั่วโมง)	43
5.14	ชั่วโมงการทำงานของรถบรรทุกและเวลาที่ใช้งานจริง (หน่วย: ชั่วโมง)	44
5.15	ระยะทางระหว่างฟาร์มไก่รุ่นไปยังฟาร์มไข่ (หน่วยกิโลเมตร)	44
5.16	อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง	45
5.17	ต้นทุนการมอบหมาย (หน่วย: บาท)	46
5.18	มิวแทนต์เวกเตอร์ของประเภทรถบรรทุก	47
5.19	มิวแทนต์เวกเตอร์ของฟาร์มไก่รุ่น	47
5.20	มิวแทนต์เวกเตอร์ของฟาร์มไข่	48
5.21	เวกเตอร์ที่ดีที่สุดของประเภทรถบรรทุก	48
5.22	เวกเตอร์ที่ดีที่สุดของฟาร์มไก่รุ่น	48
5.23	เวกเตอร์ที่ดีที่สุดของฟาร์มไข่	49
5.24	ตัวอย่างแสดงการเลือกระหว่าง มิวแทนต์เวกเตอร์ กับ เวกเตอร์ที่ดีที่สุด	52
5.25	ค่าตัวเลขสุ่มสำหรับประชากรแต่ละรุ่น (W^G) ของเวกเตอร์แต่ละประเภท	52
5.26	เวกเตอร์หลังจากผ่านกระบวนการ วิธีการปรับเปลี่ยนค่าในพิกัดของเวกเตอร์สำหรับประเภทรถบรรทุก	53

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
5.27	เวกเตอร์หลังผ่านกระบวนการ วิธีการปรับเปลี่ยนค่าในพิกัดของเวกเตอร์สำหรับฟาร์มไก่รุ่น	53
5.28	เวกเตอร์หลังผ่านกระบวนการวิธีการปรับเปลี่ยนค่าในพิกัดของเวกเตอร์สำหรับฟาร์มไข่	53
5.29	ค่าตัวเลขสุ่มสำหรับแต่ละเวกเตอร์	55
5.30	เวกเตอร์หลังผ่านกระบวนการแลกเปลี่ยนค่าในพิกัดของเวกเตอร์สำหรับประเภทรถบรรทุก	55
5.31	เวกเตอร์หลังผ่านกระบวนการแลกเปลี่ยนค่าในพิกัดของเวกเตอร์สำหรับฟาร์มไก่รุ่น	55
5.32	เวกเตอร์หลังผ่านกระบวนการแลกเปลี่ยนค่าในพิกัดของเวกเตอร์ สำหรับฟาร์มไข่	56
5.33	ลำดับของพิกัดในแต่ละเวกเตอร์เริ่มต้น	57
5.34	ต้นทุนในการมอบหมายงานของเวกเตอร์เป้าหมาย	58
5.35	ต้นทุนในการมอบหมายงานของเวกเตอร์ที่ผ่านการแลกเปลี่ยนค่าในพิกัดของเวกเตอร์	58
5.36	การคัดเลือกเวกเตอร์	59
5.37	เวกเตอร์เป้าหมายของประเภทรถบรรทุกสำหรับประชากรรุ่นต่อไป	59
5.38	เวกเตอร์เป้าหมายของฟาร์มไก่รุ่นสำหรับประชากรรุ่นต่อไป	60
5.39	เวกเตอร์เป้าหมายของฟาร์มไข่สำหรับประชากรรุ่นถัดไป	60
5.40	การมอบหมายงานที่ได้ต้นทุนในการมอบหมายงานที่ดีที่สุด ปริมาณไก่รุ่นที่ฟาร์มไก่รุ่นผลิตได้ และ ปริมาณความต้องการไก่รุ่นของฟาร์มไข่	61
5.41	การมอบหมายประเภทรถบรรทุก ฟาร์มไก่รุ่น และ ฟาร์มไข่	62
5.42	การกำหนดกลุ่มตัวอย่างขนาดต่างๆ	63
5.43	ผลการทดลองสำหรับตัวอย่างขนาดเล็ก แสดงค่าสถิติต่างๆ	64
5.44	ผลการทดลองสำหรับตัวอย่างขนาดเล็ก แสดงต้นทุนและเวลาในการมอบหมาย	65
5.45	ผลการทดลองสำหรับตัวอย่างขนาดกลาง (10x10) แสดงต้นทุนในการมอบหมายงานและเวลาในการประมวลผล	66
5.46	ทดสอบสมมติฐานค่าเฉลี่ยดัชนีของผลต่างของกลุ่มตัวอย่างขนาดเล็กและกลุ่มตัวอย่างขนาดกลาง	67
5.47	ผลการทดลองสำหรับตัวอย่างขนาดใหญ่ (20x20) แสดงต้นทุนในการมอบหมายงานและเวลาในการประมวลผล	67

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
5.48	การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของดัชนีของคำตอบที่ได้จากวิธีการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างกับวิธีการแม่นตรง จากกลุ่มตัวอย่างขนาดเล็ก (4x4) กลุ่มตัวอย่างขนาดกลาง (10x10) และกลุ่มตัวอย่างขนาดใหญ่ (20x20)	68
5.49	ต้นทุนการมอบหมายงานเมื่อกำหนดอัตราการเจริญเติบโตแบบต่างๆ	70
5.50	การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของดัชนีของคำตอบที่ได้จากวิธีการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างกับวิธีการแม่นตรง จากอัตราการเจริญเติบโตในแบบต่างๆ	70
5.51	ค่าสถิติ t สำหรับการทดสอบค่าเฉลี่ยสำหรับอัตราการเจริญเติบโตแต่ละประเภท	71
5.52	การมอบหมายงานสำหรับรถบรรทุก 10 ล้อ (ต้นทุนการมอบหมายงาน)	72
5.53	การมอบหมายงานสำหรับรถบรรทุก 10 ล้อ (เวลาในการมอบหมายงาน: ชั่วโมง)	72
5.54	การมอบหมายงานสำหรับรถบรรทุก 6 ล้อ (ต้นทุนการมอบหมายงาน)	73
5.55	การมอบหมายงานสำหรับรถบรรทุก 6 ล้อ (เวลาในการมอบหมายงาน: ชั่วโมง)	74
5.56	การมอบหมายงานสำหรับรถบรรทุก 4 ล้อดัดแปลง (ต้นทุนการมอบหมายงาน)	75
5.57	การมอบหมายงานสำหรับรถบรรทุก 4 ล้อดัดแปลง (เวลาในการมอบหมายงาน: ชั่วโมง)	77
5.58	การมอบหมายงานสำหรับรถบรรทุก 4 ล้อ (ต้นทุนการมอบหมายงาน)	79
5.59	การมอบหมายงานสำหรับรถบรรทุก 4 ล้อ (เวลาในการมอบหมายงาน: ชั่วโมง)	80
5.60	ต้นทุนในการมอบหมายงานสำหรับกรณีศึกษา	81
5.61	ต้นทุนในการมอบหมายงานจากวิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง	81
5.62	ต้นทุนในการมอบหมายงานจากวิธีวิวัฒนาการแบบปรับปรุง	82
5.63	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของคำตอบจากวิธีดั้งเดิมและวิธีปรับปรุง	83
6.1	ความจุของรถบรรทุก และชั่วโมงการใช้งานของรถบรรทุกแต่ละประเภท	88
6.2	เวกเตอร์เริ่มต้นของประเภทรถบรรทุก	91
6.3	เวกเตอร์เริ่มต้นของฟาร์มไก่รุ่น	91
6.4	เวกเตอร์เริ่มต้นของฟาร์มไข่	91
6.5	ต้นทุนการมอบหมายงานจากการถอดรหัสเวกเตอร์เริ่มต้น	92
6.6	เวกเตอร์ของประเภทรถบรรทุกหลังผ่านขั้นตอนของการหาค่าที่ดีที่สุดด้วยฝูงอนุภาค (PSO)	92
6.7	เวกเตอร์ของฟาร์มไก่รุ่นหลังผ่านขั้นตอนของการหาค่าที่ดีที่สุดด้วยฝูงอนุภาค (PSO)	92

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
6.8	เวกเตอร์ของฟาร์มไข่หลังผ่านขั้นตอนของการหาค่าที่ดีที่สุดด้วยฝูงอนุภาค (PSO)	93
6.9	ลำดับของเวกเตอร์ประเภทรถบรรทุกในการถูกเลือกสำหรับการมอบหมาย	93
6.10	ลำดับของเวกเตอร์ฟาร์มไก่รุ่นในการถูกเลือกสำหรับการมอบหมาย	93
6.11	ลำดับของเวกเตอร์ฟาร์มไข่ในการถูกเลือกสำหรับการมอบหมาย	93
6.12	เวกเตอร์ในลำดับแรกที่จะนำไปมอบหมาย	94
6.13	การถอดรหัส	94
6.14	เวลาในการมอบหมายงาน (หน่วยเวลา: ชั่วโมง)	95
6.15	ต้นทุนในการมอบหมายงาน	96
6.16	การกำหนดกลุ่มตัวอย่างขนาดต่างๆ	96
6.17	การทดสอบเวลาที่ใช้ในการประมวลผลจากวิธี DE และ PSO	97
6.18	ผลการทดลองสำหรับกลุ่มตัวอย่างขนาดเล็ก	97
6.19	การทดสอบดัชนีของวิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างกับวิธีการหาค่าที่ดีที่สุดโดยใช้ฝูงอนุภาค	98
6.20	ผลการทดลองสำหรับกลุ่มตัวอย่างขนาดเล็ก แสดงค่าสถิติต่างๆ	98
6.21	การทดสอบเวลาที่ใช้ในการประมวลผลจากวิธี DE และ PSO	99
6.22	ผลการทดลองสำหรับกลุ่มตัวอย่างขนาดกลาง	99
6.23	การทดสอบดัชนีของวิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างกับวิธีการหาค่าที่ดีที่สุดโดยใช้ฝูงอนุภาค	100
6.24	การทดสอบเวลาที่ใช้ในการประมวลผลจากวิธี DE และ PSO	101
6.25	ผลการทดลองสำหรับกลุ่มตัวอย่างขนาดใหญ่	101
6.26	การทดสอบดัชนีเมื่อเทียบกับวิธีการหาค่าที่ดีที่สุดโดยใช้ฝูงอนุภาค	102
6.27	ผลการทดลองสำหรับวิธีการหาค่าที่ดีที่สุดด้วยฝูงอนุภาคแบบปรับปรุง	103
6.28	ผลการทดลองสำหรับวิธีการหาค่าที่ดีที่สุดด้วยฝูงอนุภาคและวิธีปรับปรุง	104
6.29	การทดสอบดัชนีเมื่อเทียบกับวิธีการหาค่าที่ดีที่สุดโดยใช้ฝูงอนุภาค	104
6.30	ความสามารถในการขนส่งไก่รุ่นและอัตราการสิ้นเปลืองสำหรับรถบรรทุกแต่ละประเภท	106
6.31	ผลการศึกษาด้วยวิธีการหาค่าที่ดีที่สุดด้วยฝูงอนุภาคแบบมาตรฐานและแบบปรับปรุงสำหรับกรณีศึกษา	108
6.32	ผลการศึกษาด้วยวิธีการหาค่าที่ดีที่สุดด้วยฝูงอนุภาคแบบมาตรฐานและแบบปรับปรุงสำหรับกรณีศึกษา	109

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1.1	การมอบหมายงาน	2
1.2	เส้นทางการขนส่ง	2
2.1	Bipartite matching	6
3.1	ขั้นตอนการวิจัย	15
5.1	ต้นทุนในการมอบหมายงาน	28
5.2	ข้อจำกัดในการมอบหมายงานแบบหลายขั้นสำหรับกรณีศึกษา	29
5.3	กระบวนการดำเนินงานของวิธีการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง	31
5.4	การสร้างเวกเตอร์เริ่มต้น	32
5.5	การถอดรหัส	36
5.6	การปรับเปลี่ยนค่าในพิกัดของเวกเตอร์	47
5.7	การปรับเปลี่ยนค่าในพิกัดของเวกเตอร์แบบใหม่	49
5.8	ความน่าจะเป็น 4 ประเภทในการเลือกระหว่างเวกเตอร์ที่ดีที่สุด กับ มิวแทนต์เวกเตอร์	51
5.9	การแลกเปลี่ยนค่าในพิกัดของเวกเตอร์	54
5.10	การคัดเลือกเวกเตอร์	57
5.11	การวิเคราะห์สภาพแวดล้อม SWOT ของวิธี DE	84
6.1	การวิเคราะห์สภาพแวดล้อม SWOT ของ PSO	111

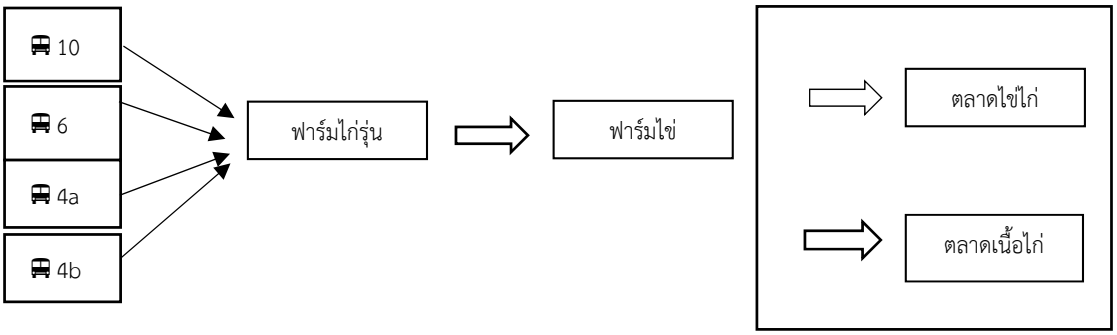
บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

ในปัจจุบันเมื่อฟาร์มไก่รุ่นต้องการที่จะขนส่งไก่รุ่นจากฟาร์มของตนไปยังลูกค้าหรือฟาร์มไข่ ก็จะทำการเรียกใช้บริการจากรถขนส่งทั่วไป ที่มาตรฐานรถอาจยังไม่ดีเพียงพอ หรือไม่ได้มาตรฐานของกรมปศุสัตว์ อาจทำให้ไก่ที่ขนส่งเกิดความเครียด ซึ่งส่งผลต่อคุณภาพไก่ หรือไข่ที่จะผลิตขึ้นในอนาคต ในบางกรณีเป็นการขนส่งจำนวนมากเกินควร ทำให้เกิดความสูญเสียหรือไก่มีอัตราการเสียชีวิตสูง อุณหภูมิที่เกิดขึ้นระหว่างการขนส่งจะมีผลต่อคุณภาพชีวิตของไก่ ไก่อาจเกิดความเครียดหรือเสียชีวิตได้ บางกรณีรถที่ขนส่งไม่มีหลังคาเพื่อกันแดด หรือบางกรณีไม่มีอุปกรณ์ที่กันลมโกรก อาจเกิดโรคระบาดในไก่ระหว่างการขนส่งได้

ในฟาร์มไข่ที่ต้องการไก่รุ่นเพื่อเป็นพันธ์ไก่ที่มีคุณภาพตามมาตรฐานที่ฟาร์มกำหนด หรือฟาร์มไข่ที่ต้องการไก่รุ่นจากฟาร์มไก่รุ่นที่ได้มีสัญญาไว้ทำให้มีการตรวจสอบคุณภาพได้ ซึ่งฟาร์มไข่ต้องการให้มีการขนส่งไก่รุ่นโดยตรงจากฟาร์มไก่รุ่น เพื่อป้องกันการเกิดโรค หรือสิ่งอื่นๆ ที่ไม่สามารถควบคุมได้ ถึงแม้ว่ารถบรรทุกไก่มีอุปกรณ์ป้องกันไม่ให้มีการติดต่อกันได้ระหว่างไก่รุ่นที่มาจากแต่ละฟาร์ม แต่เวลาที่ใช้ในการขนส่งไก่รุ่นก็มีความสำคัญ หากนานเกินไปก็จะมีผลต่อคุณภาพของไก่รุ่นได้ ซึ่งจะไม่เป็นผลดีต่อฟาร์มไข่ที่ได้ไก่รุ่นหลังจากที่ส่งให้ฟาร์มไข่ฟาร์มอื่น

ดังนั้น หากมีการมอบหมายรถที่ตรงตามประเภทให้เหมาะสม และตรงต่อความต้องการของฟาร์มไก่รุ่นที่จะส่งไปยังฟาร์มไข่ที่เป็นลูกค้าของตัวเองโดยตรง โดยไม่มีการขนส่งไก่รุ่นจากฟาร์มอื่นมาปน ทำให้ต้นทุนการมอบหมายงานหรือต้นทุนการผลิตมีค่าต่ำสุดได้ และเป็นประโยชน์ต่อฟาร์มไก่รุ่นทำให้มีต้นทุนการผลิตที่ต่ำลง ฟาร์มไข่ได้ไก่รุ่นที่มีคุณสมบัติตามต้องการ สภาพโดยรวมของอุตสาหกรรมไก่ก็จะดีขึ้น ฟาร์มไก่รุ่นและฟาร์มไข่สามารถนำเวลาที่เหลือไปใช้ประโยชน์อย่างอื่นๆ ได้ โดยการทำกิจกรรมอย่างอื่นในฟาร์ม เช่น การให้อาหาร การฉีดวัคซีน หรือวิจัยและพัฒนาให้ฟาร์มของตนดีขึ้นได้ เนื่องจากต้นทุนที่ประหยัดได้ และเวลาที่มีมากขึ้น



ภาพที่ 1.1 การมอบหมายงาน

ภาพที่ 1.2 เส้นทางการขนส่ง

เนื่องจากฟาร์มไก่รุ่นแต่ละฟาร์มมีความสามารถในการผลิตแตกต่างกัน (อุปทาน supply) ฟาร์มไข่แต่ละฟาร์มก็มีความต้องการไก่รุ่นไม่เท่ากัน (อุปสงค์ demand) ในส่วนของรถบรรทุกที่ใช้ในการขนส่งก็มีความสามารถในการขนส่งไม่เท่ากัน การมอบหมายจะเกิดขึ้นเมื่อ

1.1.1 มอบหมายประเภทรถให้วิ่งจากศูนย์บริการไปยังฟาร์มไก่รุ่น

1.1.2 ทำการขนส่งไก่รุ่นจากฟาร์มไก่รุ่นไปยังฟาร์มไข่

1.1.2.1 หากรถบรรทุกสามารถขนส่งได้ทั้งหมด ก็จะทำการขนส่งรอบเดียว

1.1.2.2 หากรถบรรทุกไม่สามารถขนส่งได้ทั้งหมด อาจมอบหมายให้รถบรรทุกประเภทอื่นทำการขนส่ง หรือให้ทำการขนส่งรอบที่สอง

1.1.3 หลังจากไปส่งจนถึงฟาร์มไข่เรียบร้อยแล้ว รถทุกคันจะต้องวิ่งกลับสู่ศูนย์บริการ เพื่อทำความสะอาดและเตรียมพร้อมสำหรับการขนส่งในรอบถัดไป

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

การวิจัยในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อแก้ไขปัญหาการมอบหมายงานแบบหลายขั้น (Multi-stage Assignment Problem) สำหรับกรณีศึกษาการมอบหมายประเภทรถที่เหมาะสม ที่จะทำการขนส่งไก่รุ่นโดยตรงจากฟาร์มไก่รุ่นไปยังฟาร์มไข่ ซึ่งต้องการประมาณค่าคำตอบที่มีค่าต้นทุนในการมอบหมายงานต่ำสุด โดยเริ่มพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับปัญหาการมอบหมายแบบหลายขั้นที่เหมาะสมกับกรณีศึกษา หลังจากนั้นก็จะทำการพัฒนาวิธีการประมาณค่าคำตอบที่ดีที่สุดด้วยวิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง (Differential Evolution: DE) และวิธีการหาค่าที่ดีที่สุดด้วยฝูงอนุภาค (Particle Swarm Optimization: PSO) โดยสามารถสรุปได้เป็นข้อดังนี้

1.2.1 เพื่อพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับปัญหาการมอบหมายงานแบบหลายขั้นที่เหมาะสมกับกรณีศึกษา

1.2.2 เพื่อพัฒนาวิธีการประมาณค่าคำตอบที่ดีที่สุด ด้วยวิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง (DE) และวิธีการหาค่าที่ดีที่สุดด้วยฝูงอนุภาค (PSO)

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

การทำวิจัยในครั้งนี้เป็นการวิจัยเพื่อพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับแก้ปัญหาการมอบหมายงานแบบหลายขั้นที่เหมะสมกับกรณีศึกษา และพัฒนาวิธีการหาคำตอบที่เหมาะสมด้วยวิธี Differential Evolution (DE)

ปัญหาการมอบหมายงานแบบหลายขั้น หมายถึง การมอบหมายประเภทรถที่เหมาะสมให้กับฟาร์มไก่รุ่น หากมอบหมายรอบแรกแล้วยังขนส่งไก่รุ่นไม่หมด สามารถมอบหมายให้มีการขนส่งเป็นรอบถัดไปได้หรืออาจจะมอบหมายรถประเภทอื่นแทนการขนส่งรอบสอง เมื่อมอบหมายประเภทรถและรอบที่ใช้ในการขนส่งเรียบร้อยแล้วก็จะทำการมอบหมายให้ไปส่งโดยตรงไปยังฟาร์มไข่ ไม่ไปแวะรับไก่รุ่นจากฟาร์มไก่รุ่นอื่นๆ และ ไม่ไปส่งให้ฟาร์มไข่อื่นๆ ด้วย เมื่อส่งไก่รุ่นให้กับฟาร์มไข่เสร็จก็จะทำการวิ่งรถเปล่ากลับยังศูนย์บริการเพื่อทำความสะอาดเพื่อทำให้ปลอดเชื้อ และเตรียมพร้อมสำหรับการขนส่งรอบต่อไป

การวิจัยในครั้งนี้ไม่ได้รวมถึงการขนส่งไข่ไก่ไปยังตลาดไข่ไก่ และไม่รวมแม่ไก่ไข่ที่ปลดระวางไปยังจุดหมายปลายทาง

1.4 ขั้นตอนการศึกษา

1.4.1 ทำการรวบรวมข้อมูล ศึกษาผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับ

1.4.2 ปัญหาการมอบหมายงาน (Assignment Problem: AP)

1.4.3 ปัญหาการมอบหมายงานแบบทั่วไป (Generalized Assignment Problem: GAP)

1.4.4 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับปัญหา AP และ GAP

1.4.5 การพัฒนาวิธีการ heuristics อาทิเช่น วิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง (Differential Evolution: DE) และวิธีการค้นหาค่าที่ดีที่สุดด้วยฝูงอนุภาค (Particle Swarm Optimization: PSO)

1.4.6 พัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับการแก้ปัญหาการมอบหมายงานแบบหลายขั้นเพื่อให้เหมาะสมกับกรณีศึกษานี้

1.4.7 พัฒนาการหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุด ด้วยวิธี DE และ PSO

1.4.8 สรุปผลการวิจัย ข้อจำกัดของการดำเนินการวิจัย และข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยในอนาคต

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 การพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์แบบใหม่ที่เหมาะสมกับกรณีศึกษา

1.5.2 การพัฒนาการใช้วิธีการ DE และ PSO ในการหาคำตอบที่เหมาะสม สำหรับปัญหาและกรณีศึกษา

บทที่ 2
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องในการศึกษาในครั้งนี้ประกอบไปด้วยส่วนสำคัญ 2 ส่วนคือ ส่วนแรกเป็นส่วนที่เกี่ยวข้องกับปัญหาที่ทำการศึกษาซึ่งหมายถึงปัญหาการมอบหมายงานแบบทั่วไป (Generalized Assignment Problem: GAP) และอีกส่วนหนึ่งศึกษาเกี่ยวกับวิธีการทาง heuristics ที่จะนำมาใช้ในการพัฒนาเพื่อหาคำตอบที่เหมาะสมสำหรับการแก้ปัญหาการมอบหมายงานแบบทั่วไป

2.1 ปัญหาการมอบหมายงาน (Assignment Problem: AP)

ปัญหาการมอบหมายงาน (Assignment Problem: AP) หมายถึงปัญหาที่มีการมอบหมายงานให้กับพนักงาน เช่น การมอบหมายให้พนักงาน ก. ทำงานกับเครื่องจักร A หรือ การมอบหมายให้นาย ข. เป็นพนักงานขับรถขนส่งพนักงานในเส้นทางที่ 1 หรือ การกำหนดให้พนักงาน ค. ทำหน้าที่ในการฝากถอนเงิน (teller) ให้กับลูกค้าธนาคาร เป็นต้น เนื่องจากพนักงานแต่ละคนมีความรู้ ความสามารถและประสบการณ์การทำงานที่แตกต่างกัน ประกอบกับงานแต่ละงานมีความยากง่ายแตกต่างกัน เวลาที่พนักงานแต่ละคนทำงานแต่ละงานมีไม่เท่ากัน ทำให้ต้นทุนในการมอบหมายงานให้กับพนักงานไม่เท่ากัน พนักงานที่เก่งก็มักที่จะทำงานอะไรก็จะทำได้อย่างรวดเร็ว จึงมีต้นทุนในการมอบหมายงานที่ต่ำไม่ว่าจะเป็นงานอะไรก็ตาม เหมือนๆ กับนักศึกษาที่เก่ง ก็สามารถเรียนวิชาอะไรก็ได้ สาขาอะไรก็ได้ ได้เกรดดีเหมือนกันหมด เป้าหมายในการมอบหมายในการมอบหมายงานมีจุดประสงค์เพื่อทำให้ต้นทุนรวมในการมอบหมายงานทั้งหมดมีค่าที่ต่ำที่สุดเท่าที่ต้องการ

ปัญหาการมอบหมายงานหมายถึงปัญหาในการมอบหมายงาน (task) ให้กับพนักงาน (agent) เนื่องจากงานแต่ละงานมีความยากง่ายแตกต่างกัน ในขณะเดียวกันพนักงานแต่ละคนก็มีความชำนาญในการทำงานที่แตกต่างกัน เนื่องจากความไม่เหมือนกันของงานและพนักงาน ทำให้เวลาที่ใช้ในการทำงานไม่เท่ากัน ต้นทุนในการมอบหมายงานให้กับพนักงานแต่ละคนไม่เท่ากัน ดังนั้นปัญหาในการมอบหมายงานคือจะทำการมอบหมายงานอย่างไรจึงจะทำให้ต้นทุนรวมมีค่าต่ำสุด

2.2 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของปัญหาการมอบหมายงาน AP

Mathematical Model for Assignment Problem

สมการเป้าหมายของปัญหาการมอบหมายงาน

$$minimize\ Z = \sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{N} C_{ij}X_{ij} \tag{2.1}$$

สมการข้อจำกัด

$$\sum_{i=1}^{N} X_{ij} = 1 \qquad \text{for all j} \tag{2.2}$$

$$\sum_{j=1}^{N} X_{ij} = 1 \qquad \text{for all i} \tag{2.3}$$

$$X \in \{0,1\} \tag{2.4}$$

ดัชนี

i = 1, 2, 3, … , N i คือ งาน (task)

j = 1, 2, 3, … , N j คือ พนักงาน (agents)

ตัวแปรตัดสินใจ (Decisions variable)

$X_{ij} = 1$ เมื่อมีการมอบหมายงาน i ให้กับพนักงาน j หรือ $X_{ij} = 0$

พารามิเตอร์ (Parameter)

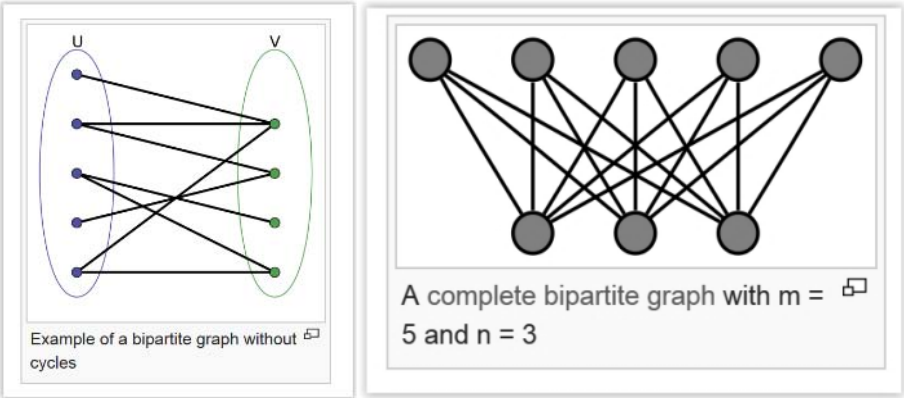
C_{ij} คือ ค่าใช้จ่ายหรือต้นทุนในการมอบหมายงาน i ให้กับพนักงาน j

สมการที่ 2.1 เป็นสมการเป้าหมายที่ต้องการค้นหาคำตอบ กล่าวคือการคำนวณต้นทุนรวมที่เกิดขึ้นเนื่องจากการมอบหมายงานให้กับพนักงาน โดยมีจุดประสงค์เพื่อต้องการค้นหาคำตอบที่ดีที่สุด ในกรณีของต้นทุนคือต้องการหาต้นทุนรวมที่ต่ำที่สุด ซึ่งประกอบด้วยตารางแสดงการมอบหมายงาน i ให้กับพนักงาน j (C_{ij}) และตัวแปรตัดสินใจ X_{ij} ซึ่งจะมีค่าเท่ากับ 1 เมื่อกำหนดให้เกิดการมอบหมายงาน i ให้กับพนักงาน j หรือเท่ากับ 0 หากเป็นอย่างอื่น เมื่อนำผลรวมของ $C_{ij}X_{ij}$ ก็จะได้เป็นต้นทุนรวมทั้งหมดที่เกิดจากการมอบหมายงาน

สำหรับปัญหาการมอบหมายงาน AP มีเงื่อนไขที่สำคัญอย่างหนึ่งคือ การมอบหมายงานนี้จะต้องเป็นแบบหนึ่งต่อหนึ่ง (one to one basis) กล่าวคือ เมื่อมีการมอบหมายงานหนึ่งให้กับพนักงานคนหนึ่งไปแล้วก็จะไม่สามารถมอบหมายให้กับพนักงานคนอื่นๆ ได้อีก (สมการที่ 2.2) หรือในทางตรงกันข้ามหากพนักงานคนหนึ่งได้รับมอบหมายให้ทำงานงานหนึ่งแล้วก็จะไม่สามารถรับมอบหมายงานอื่นๆ ได้อีก (สมการที่ 2.3) ค่า X_{ij} จะมีค่าเป็น 0 หรือ 1 เท่านั้น (สมการที่ 2.4)

ปัญหาการมอบหมายงานเป็นปัญหาที่มีการศึกษาเป็นลำดับต้นๆ ของปัญหา combinatorial optimization ปัญหาการมอบหมายงานได้ถูกตรวจสอบหรือกล่าวถึงในฐานะที่เป็นปัญหาการขนส่ง เมื่อมีการขนส่งเกิดขึ้นแล้วก็จะส่งผลกระทบต่องานอื่นๆ โดยที่มีจุดมุ่งหมายเพื่อต้องการต้นทุนรวมในการขนส่งต่ำสุด ซึ่งตารางต้นทุนจะมีผลสำคัญต่อปัญหาการขนส่ง ทำให้สามารถเรียกปัญหานี้ว่าเป็นปัญหาการมอบหมายงาน (Monge, 2016: website)

การแก้ไขปัญหาการมอบหมายงานในยุคแรกๆ จะทำการแก้ไขปัญหาโดยการจับคู่ (Bipartite matching) วิธีการจับคู่นี้ได้ถูกนำเสนอโดย Frobenius 1912-1917 (Frobenius, 1968) และ Konig 1915-1931 (Konig, 1915)



ภาพที่ 2.1 Bipartite matching
ที่มา: Wikipedia (2016: website)

การค้นหาคำตอบแบบจับคู่นี้อาจเหมาะสำหรับปัญหาขนาดเล็ก ผลลัพธ์ที่ได้ก็จะได้รับคำตอบที่ดีที่สุดหรือได้คำตอบที่ต้นทุนรวมต่ำที่สุดได้ในระยะเวลาไม่นานนัก แต่ถ้าเป็นปัญหาขนาดใหญ่การค้นหาคำตอบก็จะใช้เวลานานในการหาคำตอบ ปัญหาขนาดใหญ่การค้นหาคำตอบด้วยวิธีนี้อาจไม่เหมาะสมนักเนื่องจากใช้เวลาในการหาคำตอบนาน

วิธีการแก้ไขปัญหาการมอบหมายงานแบบ simplex ถือว่าเป็นวิธีที่สร้างความแตกต่างให้กับการแก้ไขปัญหาการมอบหมายงาน Dantzig (1951) ได้นำเสนอการนำปัญหาการมอบหมายงานให้จัดอยู่ในรูปของปัญหาlinear programming และสามารถใช้วิธี simplex ในการแก้ปัญหาได้ แต่อย่างไรก็ตามอาจมีข้อจำกัดสำหรับขนาดของปัญหา จำนวนตัวแปร จำนวนสมการข้อจำกัด รวมไปถึงเครื่องมือในการหาคำตอบ (computer) กล่าวคือหากข้อจำกัดมีมากเกินไป หรือคอมพิวเตอร์มีความสามารถไม่เพียงพอก็จะไม่สามารถหาคำตอบได้ด้วยวิธี simplex

วิธีการแก้ไขปัญหาการมอบหมายงานด้วยวิธีฮังกาเรียน (Hungarian method) เป็นวิธีที่ถูกนำเสนอโดย Kuhn (1956) เป็นอีกวิธีหนึ่งที่มีความรวดเร็วในการแก้ไขปัญหาการมอบหมายงาน Ford and Fulkerson (1956) ได้กล่าวไว้ว่า ปัญหาการมอบหมายงานขนาด 20x20 หากแก้ปัญหาด้วยวิธี simplex จะใช้เวลาไม่ต่ำกว่า 1 ชั่วโมง แต่ถ้าใช้วิธีฮังกาเรียนจะใช้เวลาเพียงประมาณ 30 นาที โดยเป็นการคำนวณหาคำตอบที่ดีที่สุดด้วยมือ ซึ่งถือว่าเร็วกว่ามาก วิธีฮังกาเรียนอาจจะเป็นวิธีที่เกิดจากการศึกษาปัญหาการมอบหมายงานเป็นพิเศษ โดยมีวิธีการแก้ไขปัญหานี้จากตารางต้นทุนการมอบหมายงานซึ่งถือเป็นพื้นฐานสำคัญของปัญหานี้ น่าจะเป็นเหตุให้สามารถแก้ไขปัญหานี้ได้รวดเร็วกว่าวิธี simplex แต่อย่างไรก็ตามขนาดของปัญหาก็ยังคงเป็นปัจจัยสำคัญในการแก้ปัญหาการมอบหมายงาน

2.3 ปัญหาการมอบหมายงานแบบทั่วไป (Generalized Assignment Problem: GAP)

ปัญหาการมอบหมายงานหมายถึงปัญหาในการมอบหมายงานให้กับพนักงาน โดยมีจุดมุ่งหมายที่จะทำต้นทุนรวมทั้งหมดในการมอบหมายให้มีค่าต่ำที่สุด เนื่องจากงานแต่ละงานมีความยาก/ง่ายไม่เท่ากัน ใช้เวลาในการทำงานไม่เท่ากัน ในขณะเดียวกันพนักงานก็มีความชำนาญในการทำงาน

ไม่เท่ากัน ด้วยลักษณะของทั้งพนักงานที่ไม่เหมือนกัน และงานแต่ละงานก็แตกต่างกัน ทำให้การมอบหมายงานให้กับพนักงานแต่ละคนมีค่าใช้จ่ายหรือมีต้นทุนในการมอบหมายไม่เท่ากัน พนักงานที่เก่ง มีความรู้ มีความสามารถในการทำงาน ถ้ามีการมอบหมายงานอะไรก็ตามให้ทำก็สามารถทำได้ ต้นทุนที่เกิดขึ้นในการมอบหมายงานให้กับพนักงานคนนี้ ไม่ว่าจะเป็นงานใดก็จะมีต้นทุนในการมอบหมายที่ต่ำ สำหรับพนักงานทั่วๆ ไป จะมีต้นทุนการมอบหมายงานสำหรับงาน แต่ละงานแตกต่างกันออกไป โดยบางงานอาจมีต้นทุนต่ำ บางงานอาจมีต้นทุนสูง เป้าหมายของปัญหาการมอบหมายงานคือความพยายามที่จะทำให้การมอบหมายงานในภาพรวมมีต้นทุนที่ต่ำสุด

ลักษณะทั่วไปของปัญหาการมอบหมายงาน (AP) จะเป็นการมอบหมายงานแบบหนึ่งต่อหนึ่ง (one to one) กล่าวคือ หากมีการมอบหมายงานงานหนึ่งให้กับพนักงานคนหนึ่งไปแล้วก็จะไม่สามารถมอบหมายให้กับพนักงานคนอื่นๆ ได้อีก ในขณะเดียวกันเมื่อพนักงานคนหนึ่งได้รับการมอบหมายงานไปแล้วก็จะไม่สามารถรับมอบหมายงานได้อีก การมอบหมายงานแบบหนึ่งต่อหนึ่งจะเป็นผลทำให้จำนวนงานและจำนวนพนักงานมีขนาดเท่ากัน นั่นหมายความว่าเมื่อการมอบหมายงานเสร็จสิ้นสมบูรณ์ งานทุกงานจะถูกมอบหมายและพนักงานทุกคนก็จะได้รับการมอบหมาย อย่างไรก็ตามในสถานการณ์จริงหรือสภาพความเป็นจริง งานหนึ่งงานอาจมอบหมายให้กับพนักงานได้หลายคน หรือพนักงานหนึ่งคนอาจทำงานได้หลายงาน ทำให้ไม่สามารถวิเคราะห์ด้วยปัญหาการมอบหมายงาน AP ได้ ดังนั้นจึงจำเป็นที่จะต้องมีการวิเคราะห์ด้วยปัญหาการมอบหมายงานแบบทั่วไป GAP ที่มีการยืดหยุ่นมากกว่า โดยสามารถมอบหมายงานให้กับพนักงานคนเดียวกันได้ แต่จะต้องไม่เกินความสามารถของพนักงานคนนั้นๆ ทำให้ปัญหา GAP มีความครอบคลุมได้มากกว่า ใกล้สถานการณ์จริงได้มากกว่า ปัญหา AP

ข้อมูลที่จะนำมาประกอบสำหรับการวิเคราะห์ปัญหาการมอบหมายงานแบบทั่วไป GAP จะประกอบไปด้วยข้อมูลที่สำคัญ 3 ส่วนกล่าวคือ ส่วนแรกเป็นต้นทุนที่เกิดขึ้นในการมอบหมายงานให้กับพนักงาน ส่วนที่สองคือปริมาณการใช้ทรัพยากรในการมอบหมายงานให้กับพนักงาน และส่วนที่สามคือความสามารถสูงสุดในการใช้ทรัพยากรของพนักงานแต่ละคน ในกรณีนี้หมายความว่าพนักงานหนึ่งคนสามารถรับการมอบหมายงานได้มากกว่าหนึ่งงาน แต่จะต้องไม่เกินความสามารถของพนักงานคนนั้น ต้นทุนรวมในการมอบหมายงานจะมาจากตารางในส่วนที่หนึ่งหรือตารางในการมอบหมายงาน ในส่วนที่สองและส่วนที่สามจะใช้สำหรับการกำหนดให้การมอบหมายเป็นไปตามสมการเงื่อนไข ที่มีความต้องการให้การมอบหมายงานให้กับพนักงานโดยไม่เกินความสามารถสูงสุดของพนักงานคนนั้นๆ

ปัญหาการมอบหมายงานแบบทั่วไป GAP สามารถทำให้ปัญหาการมอบหมายงานมีลักษณะที่เข้าใกล้สถานการณ์จริง หรือความเป็นจริงมากขึ้น โดยการลดหย่อนข้อจำกัดเดิมที่เคยมีในปัญหาการมอบหมายงาน AP ที่มีการกำหนดให้ต้องมีการมอบหมายแบบหนึ่งต่อหนึ่งเท่านั้น เป็นการกำหนดให้พนักงานหนึ่งคนสามารถรับงานได้มากกว่าหนึ่งงาน แต่จะต้องอยู่ภายใต้ความสามารถของพนักงานนั้นๆ เช่น พนักงานธนาคารที่ปกติทำหน้าที่ในการแลกเปลี่ยนเงินตราต่างประเทศ สามารถทำงานรับฝาก-ถอนเงินได้ สามารถทำงานรับเปิดบัญชี ทำบัตรเอทีเอ็มได้ ในกรณีที่มีลูกค้าหนาแน่นพนักงานดังกล่าวก็สามารถทำงานอื่นๆ ได้เช่นกัน แต่อย่างไรก็ตามพนักงานคนนี้ก็มีความเชี่ยวชาญในด้านการแลกเปลี่ยนเงินตราต่างประเทศมากกว่าทางด้านอื่นๆ จากเหตุการณ์สมมุติดังกล่าวก็สามารถที่จะใช้การมอบหมายงานแบบทั่วไปช่วยในการแก้ปัญหาได้ หรืออีกตัวอย่างพนักงานรับ-ส่งเอกสาร

(รถจักรยานยนต์) ในขณะเดียวกันก็สามารถขับรถยนต์ได้ด้วย ก็สามารถมอบหมายงานทั้งสองให้พนักงานคนดังกล่าวได้ ก็สามารถประยุกต์ใช้ปัญหาการมอบหมายงานแบบทั่วไปได้เช่นกัน

ปัญหาการมอบหมายงานได้ถูกนำไปใช้ในหลากหลายสาขา โดยในแต่ละสาขามีการนำไปใช้ในลักษณะและรูปแบบที่แตกต่างกัน แต่ละสาขาจะมีกระบวนการในการศึกษาที่แตกต่างกัน ยกตัวอย่างเช่น

ทางวิศวกรรมอุตสาหการ มีการใช้ปัญหาการมอบหมายงานให้กับพนักงานในโรงงานเพื่อทำการผลิต โดยที่จำนวนงานและจำนวนพนักงานมีเป็นจำนวนมากหรือเป็นปัญหาขนาดใหญ่ ถ้าหากมีการหาคำตอบด้วยวิธีการหาคำตอบที่ดีที่สุด (Exact method) ก็จะใช้เวลาในการหาคำตอบนาน บางครั้งอาจเรียกได้ว่าไม่สามารถหาคำตอบได้ การหาคำตอบโดยวิธี exact method นี้จะเหมาะสำหรับปัญหาที่มีขนาดเล็กและไม่ซับซ้อน จึงจะใช้เวลาไม่นานนัก หากปัญหาเป็นปัญหาที่มีขนาดใหญ่อาจไม่เหมาะสมเนื่องจากใช้เวลานานในการหาคำตอบ การหาคำตอบที่เหมาะสมภายในระยะเวลาที่ยอมรับได้ซึ่งเรียกว่า Heuristic method เพื่อช่วยในการหาคำตอบให้ได้ตามต้องการ ซึ่งการใช้วิธี heuristic หรือ meta-heuristic method อาจยังไม่แพร่หลายนักในการแก้ปัญหาการมอบหมายงานในสาขาอื่น

ด้านเศรษฐศาสตร์เป็นอีกสาขาหนึ่งที่มีการนำปัญหาการมอบหมายงานไปใช้ โดยมีจุดมุ่งหมายไม่แตกต่างไปจากทางด้านวิศวกรรมอุตสาหการ หรือสาขาอื่นๆ ก็คือมีวัตถุประสงค์เพื่อแสวงหาต้นทุนที่ต่ำที่สุดในการมอบหมายงาน โดยวิธีการแก้ไขปัญหาการมอบหมายงานจะเน้นไปที่การค่าคำตอบที่ดีที่สุดเป็นหลัก ด้วยวิธีการต่างๆ เช่น วิธีการหาคำตอบแบบฮังกาเรียน (Hungarian Method) หรือ วิธี simplex เป็นต้น เมื่อเน้นไปที่วิธีการหาคำตอบที่ดีที่สุด ดังนั้นจำนวนตัวอย่างจะมีจำนวนน้อย โดยใช้เวลาไม่นานในการหาคำตอบด้วยมือ ทางด้านเศรษฐศาสตร์ยังไม่มีการค้นหาคำตอบด้วยวิธีการทางเลือก เช่น วิธี heuristic หรือ วิธี metaheuristic ที่สามารหาคำตอบที่เหมาะสมหรือคำตอบที่ใกล้เคียงคำตอบที่ดีที่สุดได้ ภายในระยะเวลาที่ยอมรับได้

การศึกษาทางด้านคอมพิวเตอร์ก็มีการศึกษาเกี่ยวกับปัญหาการมอบหมายงานด้วยเช่นกัน แต่อาจเน้นไปที่เทคนิค วิธีการ ในการเขียนโปรแกรมเพื่อที่จะแก้ปัญหาการมอบหมายงาน ทั้งนี้จะเห็นว่าปัญหาการมอบหมายงานนั้นมีการนำไปใช้ในหลากหลายสาขา ด้วยหลากหลายวิธีการ หลากหลายวัตถุประสงค์ แต่อย่างไรก็ตามมีจุดประสงค์ร่วมกันอยู่คือ ความต้องการที่จะทำให้ต้นทุนในการมอบหมายงานต่ำที่สุด

ด้านการจัดการทรัพยากรมนุษย์ (Human Resource Management) ก็จะมีปัญหาในการที่จะมอบหมายงานให้กับพนักงาน ก็จะเรียกปัญหาการมอบหมายงานนี้ว่า “Personnel Assignment Problem: PAP” ถ้าหากการมอบหมายงานให้กับพนักงานเป็นแบบหลายระดับชั้น ก็จะเรียกปัญหาการมอบหมายงานนี้ว่า “Multilevel Personnel Assignment Problem: MPAP” จากตัวอย่างปัญหาดังกล่าวข้างต้นจะเห็นว่าเมื่อมีปัญหาที่มีความต้องการที่เฉพาะเจาะจง ก็สามารถที่จะสร้างเป็นปัญหาการมอบหมายงานในแบบที่ต้องการได้ แต่อย่างไรก็ตามอาจไม่สามารถนำปัญหาดังกล่าวไปประยุกต์ใช้กับปัญหาอื่นๆ ได้

การศึกษาในครั้งนี้เลือกทำการศึกษาปัญหาการมอบหมายงานแบบทั่วไป (GAP) เนื่องจากเป็นปัญหาที่สามารถใช้ได้ในสถานการณ์จริง ได้ดีกว่าปัญหาการมอบหมายงานแบบพื้นฐาน (AP) เนื่องจากในแบบพื้นฐานจำเป็นที่จะต้องกำหนดให้การมอบหมายงานเป็นแบบหนึ่งต่อหนึ่งเท่านั้น ซึ่งอาจไม่สอดคล้องกับความเป็นจริงเท่ากับปัญหาโดยทั่วไป ในส่วนของปัญหาการมอบหมายงานแบบ

quadratic (QAP) จะเป็นปัญหาที่มีความเฉพาะเจาะจงกล่าวคือจะต้องมีการตัดสินใจพร้อมกัน 2 ปัจจัยคือ การกำหนดทำเลที่ตั้งให้กับหน่วยงาน (facility-location) และ ปริมาณการติดต่อกันระหว่างหน่วยงาน (flow) ทำให้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของ QAP แตกต่างไปจากปัญหาการมอบหมายงานในแบบอื่นๆ การปรับปรุง QAP ให้เข้ากับปัญหาการมอบหมายงานหรือปัญหาอื่นๆ ทำได้ยาก นอกจากนั้น QAP มักจะมีการใช้ในทางวิศวกรรมอุตสาหการมากกว่าสาขาอื่นๆ

ปัญหาการมอบหมายงาน (AP) เป็นปัญหาการมอบหมายงานขั้นพื้นฐาน มีข้อจำกัดหลายประการเช่น การมอบหมายงานจะต้องเป็นแบบหนึ่งต่อหนึ่งเท่านั้น หมายความว่า เมื่อมอบหมายงานงานหนึ่งให้กับพนักงานคนหนึ่งไปแล้วก็ไม่สามารถที่จะมอบหมายงานให้กับพนักงานคนอื่นๆ ได้อีก หรือในทางกลับกันหากพนักงานได้รับการมอบหมายงานไปแล้วก็จะไม่สามารถรับมอบหมายงานอื่นๆ ได้อีก จากวิธีการมอบหมายงานแบบหนึ่งต่อหนึ่งนี้ถือว่าเป็นข้อจำกัดที่สำคัญข้อหนึ่งที่อาจจะไม่ตรงกับสถานการณ์จริงที่วิธีการมอบหมายงานนั้นจะไม่ใช่แบบหนึ่งต่อหนึ่ง เช่นงานหนึ่งงานอาจมอบหมายให้กับพนักงานได้หลายคน หรือพนักงานหนึ่งคนก็สามารถทำงานได้หลายงาน เป็นต้น ซึ่งถ้ามีการลดหย่อน (Relaxation) ข้อจำกัดนี้ ก็จะทำให้ปัญหาการมอบหมายงานเป็นปัญหาที่เข้ากับสถานการณ์จริงมากขึ้น ซึ่งปัญหาใหม่นี้ที่มีการลดหย่อยข้อจำกัดแบบหนึ่งต่อหนึ่งนี้เรียกว่า “ปัญหาการมอบหมายงานแบบทั่วไป (Generalized Assignment Problem)”

ปัญหาการมอบหมายงานแบบทั่วไป (GAP) ได้ถูกนำเสนอเป็นครั้งแรกโดย Ross, G. T. and Soland, R. M. (1975) และถูกพบว่าเป็นปัญหาที่มีความยากระดับ NP-hard (Fisher and Jaikumar, 1981) เนื่องจากปัญหา GAP มีความยากในระดับ NP-hard ซึ่งมักถูกนำมาแก้ไขด้วยวิธีการหาคำตอบที่ดีที่สุด (Exact method) ด้วยปัญหาขนาดเล็ก โดยปัญหาที่มีขนาด 200 งาน และ 20 พนักงาน ถือว่าเป็นปัญหาที่ใหญ่ที่สุดที่สามารถแก้ปัญหาได้ด้วยวิธี exact method (Lui and et. al., 2012) เป็นเหตุทำให้วิธีการ heuristics ได้ถูกนำมาใช้ในการแก้ปัญหา GAP

สมการเป้าหมายของปัญหาการมอบหมายงานแบบทั่วไป

$$minimize \sum_{j=1}^{m} \sum_{i=1}^{n} c_{ij} x_{ij} \tag{2.5}$$

สมการข้อจำกัด

$$\sum_{i=1}^{n} x_{ij} r_{ij} \leq b_j \quad \text{for all j} \tag{2.6}$$

$$\sum_{j=1}^{m} x_{ij} = 1 \quad \text{for all i} \tag{2.7}$$

$$x_{ij}\{0,1\} \tag{2.8}$$

ค่าดัชนี

i = งาน มีค่าตั้งแต่ i = 1,2,3, ... n

j = พนักงาน มีค่าตั้งแต่ j = 1,2,3, ... m

ตัวแปรในการตัดสินใจ

x_{ij} มีค่าเท่ากับ 1 ถ้ามีการมอบหมายงาน i ให้กับพนักงาน j หรือ เท่ากับ 0 ถ้าเป็นอย่างอื่น

ค่าพารามิเตอร์

c_{ij} ต้นทุนที่เกิดขึ้นเนื่องจากการมอบหมายงาน i ให้พนักงาน j

r_{ij} ปริมาณการใช้ทรัพยากรในการมอบหมายงาน i ให้กับพนักงาน j

b_j ความสามารถสูงสุดของพนักงาน j

สมการที่ 2.5 เป็นสมการเป้าหมายที่ต้องการให้ต้นทุนการมอบหมายงานมีค่าต่ำสุด ซึ่งประกอบไปด้วยต้นทุนในการมอบหมายงาน i ให้กับพนักงาน j (c_{ij}) และตัวแปรตัดสินใจ ที่จะเท่ากับ 1 เมื่อมีการมอบหมายงาน i ให้กับพนักงาน j (x_{ij}) และจะต้องประกอบด้วยเงื่อนไขเพิ่มเติมดังนี้ เมื่อมีการมอบหมายงาน i ให้กับพนักงาน j จะมีการใช้ทรัพยากรเท่ากับ r_{ij} โดยที่การมอบหมายงานจะต้องมีค่าไม่เกินความสามารถของพนักงานแต่ละคน (b_j) (สมการที่ 2.6) ในขณะที่งานหนึ่งงานจะมอบหมายให้กับพนักงานได้เพียงคนเดียวเท่านั้น ไม่สามารถมอบให้กับพนักงานคนอื่นๆ ได้อีก (สมการที่ 2.7) สำหรับตัวแปรตัดสินใจ x_{ij} จะต้องมีค่าเท่ากับ 0 หรือ 1 เท่านั้น (สมการที่ 2.8)

ปัญหาการมอบหมายงานมีการใช้กันในหลากหลายสาขา เช่น ทางด้านวิศวกรรมอุตสาหการ ทางด้านเศรษฐศาสตร์ ทางด้านคอมพิวเตอร์ ทางด้านการจัดการ เป็นต้น โดยการใช้งานปัญหาการมอบหมายงานในหลากหลายสาขาย่อมมีวิธีการใช้ วิธีการศึกษาและวิเคราะห์ปัญหาที่แตกต่างกัน ทางด้านวิศวกรรมอุตสาหการ อาจใช้เพื่อเป็นการประหยัดต้นทุนการผลิตให้กับโรงงาน โดยการจัดการมอบหมายงานให้กับพนักงาน โดยเน้นที่ปัญหาที่มีขนาดใหญ่ ปัญหาที่มีความซับซ้อน ทั่วไปมีความต้องการที่จะได้คำตอบที่ดีที่สุด แต่อย่างไรก็ตามอาจมีการใช้วิธี heuristics เพื่อช่วยในการประหยัดเวลาในการค้นหาคำตอบที่ต้องการ โดยคำตอบนี้สามารถยอมรับได้ ทางด้านเศรษฐศาสตร์เน้นไปที่ปัญหาการมอบหมายงาน (AP) ที่มีขนาดเล็กและไม่มีความซับซ้อน สำหรับวิธีการแก้ปัญหาก็เน้นไปที่วิธี exact method ปัญหาการมอบหมายงานแบบทั่วไป (GAP) สำหรับวิชาในสาขาอื่นๆ นั้น หากมีการนำปัญหา GAP และวิธี heuristic ไปใช้ก็จะเกิดประโยชน์ได้มากขึ้นต่อการศึกษาและการวิจัยในสาขานั้นๆ ต่อไป

2.4 วิธี heuristics ในการแก้ไขปัญหาการมอบหมายงาน

การแก้ปัญหาการมอบหมายงานก็มีหลากหลายวิธี บางวิธีได้คำตอบที่ดีที่สุด (Exact method) เช่น วิธี Branch & Bound ซึ่งเป็นวิธีที่ทำการค้นหาคำตอบทุกๆ คำตอบที่เป็นไปได้ เพื่อให้ได้คำตอบตามที่ต้องการ หากเป็นปัญหาพื้นฐานที่ไม่มีความซับซ้อน หรือเป็นปัญหาที่มีขนาดเล็ก ก็จะใช้เวลาไม่นานในการหาคำตอบ แต่ถ้าเป็นปัญหาที่มีความซับซ้อน หรือเป็นปัญหาที่มีขนาดใหญ่ก็จะทำให้ใช้เวลานานในการค้นหาคำตอบที่ต้องการ ในบางกรณีใช้เวลาในการหาคำตอบนานมากจนสามารถเรียกได้ว่าไม่สามารถหาคำตอบได้ นอกจากวิธีดังกล่าวแล้ววิธี Hungarian เป็นอีกวิธีหนึ่งที่สามารถหาคำตอบที่ดีที่สุดได้ โดยการใช้งานนั้นจะใช้ได้เฉพาะกับปัญหาการมอบหมายงาน AP ขั้นตอนการทำงานจากการหาต้นทุนที่ต่ำที่สุดในแต่ละ column และ row แล้วผ่านขั้นตอนต่างๆ แล้วนำไปสู่การมอบหมายงาน ซึ่งคำตอบที่ได้จะเป็นคำตอบที่ดีที่สุด แต่อย่างไรก็ตามวิธี Hungarian อาจเหมาะกับ

ปัญหาการมอบหมายงาน AP ที่เป็นปัญหาขนาดเล็ก หากนำไปใช้กับปัญหาขนาดใหญ่ก็จะใช้เวลานานในการค้นหาคำตอบ

ในกรณีที่เป็นปัญหาขนาดใหญ่การใช้วิธีการ exact method จะใช้เวลานานในการหาคำตอบ จึงมีวิธี heuristics ซึ่งเป็นวิธีการทางเลือกในการค้นหาคำตอบ โดยได้คำตอบที่เหมาะสมหรือคำตอบที่ใกล้เคียงคำตอบที่ดีที่สุด ภายในระยะเวลาที่สมเหตุสมผล สามารถยอมรับได้ วิธี heuristic มักจะเป็นวิธีที่มีการเลียนแบบมาจากธรรมชาติ หรือสิ่งที่อยู่รอบๆ ตัวมนุษย์ เช่น Genetic Algorithm (GA) เป็นวิธีที่อาศัยหลักการในการถ่ายทอดทางพันธุกรรมของสิ่งมีชีวิต เพื่อที่จะปรับปรุงพันธ์ให้ดีขึ้น ซึ่งจะทำให้ได้คำตอบที่เหมาะสม ในระยะเวลาที่ไม่นาน Particle Swarm Optimization (PSO) เป็นวิธีที่มีการเลียนแบบมาจากพฤติกรรมในการค้นหาอาหารของนก ปลา หรือสัตว์อื่นๆ ที่มีวิธีการค้นหาอาหารร่วมกันเป็นฝูง Differential Evolution (DE) อาศัยหลักการของผลต่างของเวกเตอร์ เพื่อนำไปสู่การค้นหาคำตอบที่ต้องการ

วิธีการ heuristics เป็นวิธีที่ใช้ในการประมาณค่าคำตอบที่ดีสุด โดยคาดว่าเมื่อได้คำตอบตามกระบวนการ heuristics เรียบร้อยแล้วจะได้คำตอบที่ใกล้เคียงคำตอบที่ดีที่สุด แต่ใช้เวลาน้อยกว่าในการหาคำตอบ โดยทั่วไปวิธีการ heuristics จะเริ่มจากการหาคำตอบเริ่มต้น (initial solution) แล้วพัฒนาเพื่อหาคำตอบที่ดีกว่าตามกระบวนการวิธี heuristics ต่อไป ซึ่งวิธี heuristics มีหลากหลายวิธีหลากหลายแนวคิด บางวิธีก็เป็นแบบสุ่ม บางวิธีก็อาศัยความต่อเนื่อง บางวิธีก็อาศัยหลักการวิวัฒนาการ บางวิธีก็อาศัยพฤติกรรมการหาอาหารของสัตว์ที่อยู่เป็นฝูง ดังตัวอย่างที่แสดงในตารางที่ 2.1 (Sergienko, I. V., Hulianytskyi, L. F. and Sirenko, S. I., 2009)

ตารางที่ 2.1 การจัดหมวดหมู่ของวิธีการแก้ปัญหาฮิวริสติกส์

Classification	Algorithm
Sequential algorithm	Constructive (including greedy) algorithm
Deterministic local search	Standard local search, Variable neighborhood search Guided local search, Variable depth search
Stochastic local search	Simulated annealing, G-algorithm, Iterated local search, Tabu search, Global equilibrium search
Evolutionary algorithm	Genetic algorithms, Memetic algorithms Differential evolution*
Swarm algorithms	Ant colony optimization, Particle swarm optimization Bee colony optimization
Scanning method	Downhill simplex method
Special method	Algorithm based on exact method

หมายเหตุ: เพิ่ม DE โดยผู้วิจัย เนื่องจากเป็นวิธีการในกลุ่ม evolutionary algorithm แต่ตารางต้นฉบับไม่ได้มีการระบุไว้

ที่มา: Sergienko, I. V., Hulianytskyi, L. F. and Sirenko, S. I. (2009)

2.5 วิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง Differential Evolution (DE)

วิธีการ Differential Evolution (DE) เป็นอีกหนึ่งวิธีในวิธี heuristics ที่มีการนำมาใช้บ่อยครั้ง วิธี DE เป็นวิธีที่จะนำหลักการของการวิวัฒนาการมาใช้ โดยมีขั้นตอนดังนี้ 1) การหาคำตอบเริ่มต้น (Initial solution) 2) Mutation 3) Recombination และ 4) Selection วิธีการ DE ถูกใช้เป็นครั้งแรกโดย Storn and Price (1997) และมีการใช้เรื่อยมาหลังจากนั้น วิธีการ DE ถูกนำมาใช้ในหลายๆ ปัญหา อาทิเช่น Vehicle Routing Problem (VRP), Assembly Line Balancing, หรือจะเป็น Generalized Assignment Problem (GAP) เป็นต้น แสดงให้เห็นว่าวิธีการ DE สามารถที่จะนำไปประยุกต์ใช้ได้ในหลากหลายปัญหา และน่าจะเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพในการค้นหาคำตอบที่ดีที่สุด

ปัญหา Traveling Salesman Problem (TSP) เป็นหนึ่งในปัญหาในปัญหาทางด้าน combinatorial optimization ที่มีการนำมาใช้บ่อยครั้ง ซึ่ง TSP สามารถถือได้ว่าเป็นเป็นหาเดียวกับปัญหาการมอบหมายงาน กล่าวคือปัญหา TSP สามารถที่ใช้แปลงเป็นปัญหา AP แล้วทำการแก้ไขได้ หรือในทางกลับกัน ปัญหา AP ก็สามารถที่จะแปลงไปเป็นปัญหา TSP แล้วแก้ไขปัญหาได้เช่นกัน การนำเอาวิธี Genetic Algorithm (GA) และ Differential Evolution (DE) มาวิเคราะห์ปัญหา TSP โดยมีการนำ 3 ปัจจัยมาเปรียบเทียบกันคือ ความเร็วในการหาคำตอบ (Convergence Speed) ความยากของปัญหา (Computational complexity) ความแม่นยำหรือความใกล้เคียงกับคำตอบที่ดีที่สุด (Accuracy) และความคงที่ (Stability) โดยพบว่า DE ดีกว่า GA ในด้านของ computational complexity และ stability สำหรับ GA แล้วอาจสามารถสู้ DE ได้ในกรณีที่เป็นปัญหา pre-mature convergence ทั้งนี้จากงานวิจัยของ Hegerty, Hung and Kasprak (2009)

หลักการทำงานของกระบวนการ DE จะไม่มี local search จึงเป็นเหตุทำให้ DE ทำงานได้อย่างรวดเร็วกว่าวิธีอื่น แต่อย่างไรก็ตามการทำงานเร็วนั้นอาจทำให้คำตอบที่ได้ไม่ดีเท่าที่ควร หรือมีความห่างจากคำตอบที่ดีที่สุด เพื่อเป็นการพัฒนาคำตอบของปัญหา GAP ให้ดีขึ้น Kanchana and Rapeepan (2015) ได้ทำการเพิ่ม local search ลงไปในกระบวนการ DE เพื่อแก้ปัญหา GAP ซึ่งวิธี shifting algorithm และ SWAP algorithm เป็นวิธีมาตรฐานที่มีการใช้กันโดยทั่วไป และ Kanchana and Rapeepan (2015) ได้นำเสนอวิธี the k-variable move เป็นครั้งแรก โดยเป็นการพัฒนาจากวิธี SWAP ที่มีการเลือกเพียง 2 คู่แล้วสลับการมอบหมาย เช่น งาน i ถูกมอบหมายให้พนักงาน j และงาน i* ถูกมอบหมายให้พนักงาน j* แล้วทำการสลับการมอบหมายให้เป็น งาน i ถูกมอบหมายให้พนักงาน j* และ งาน i* ถูกมอบหมายให้พนักงาน j สำหรับในกรณีของ k-variable move เริ่มต้นจาการเลือกค่า k สมมุติให้เลือก k = 3 หมายความว่าเริ่มต้นจะเลือกมา 3 คู่ แล้วนำมาสลับการมอบหมาย ซึ่งจะทำให้เกิดการมอบหมายใหม่เพิ่มเติมอีก 5 แบบ รวมคู่ที่เลือกมารอบแรก เป็นทั้งหมด 6 แบบ จากทั้งหมดนี้ก็จะทำการเลือกการมอบหมายที่ดีที่สุดไว้ จากผลการทดลองพบว่าวิธีการ DE ที่ใช้ร่วมกับ shifting algorithm และ k-variable move ใช้เวลาในการคำนวณน้อยกว่าวิธีอื่นๆ ไม่ว่าจะเป็นปัญหาขนาดใดก็ตาม และจากการเปรียบเทียบระหว่าง BEE และ TABU พบว่า การใช้ K-variable move ให้ผลที่ดีมากสำหรับกรณี TABU

วิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างได้มีการใช้ในการแก้ไขปัญหาต่างๆ อย่างแพร่หลาย อาทิเช่น ปัญหาการจัดตารางการส่งสินค้า (Kanchana and Rapeepan, 2015) ปัญหาการมอบหมายงานแบบทั่วไป (Kanchana and Rapeepan, 2015) ปัญหาการมอบหมายงานและการจัดสรรงาน (Thongpoon and

Rapeepan, 2015) ปัญหาการมอบหมายงานแบบหลายขั้นและหลายวัตถุประสงค์ (Paroon and Rapeepan, 2012) เป็นต้น

2.6 วิธีการหาค่าที่ดีที่สุดโดยใช้ฝูงอนุภาค (Particle Swarm Optimization: PSO)

ปัญหาการมอบหมายงานเป็นปัญหาที่มีการใช้งานกันอย่างแพร่หลาย มีผู้นำเสนอวิธีการแก้ไขปัญหาการมอบหมายงานด้วยหลากหลายวิธีเช่นวิธีการ branch and bound (Kuenne and Soland, 1972) การจำลองการอบอ่อน หรือ simulated annealing (Murray and Church, 1996) และ Tabu search (Brimberg and Mlandenovic, 1996; Ohlemuller, 1997) เป็นต้น ในบางกรณีมีการแนะนำวิธีการแก้ไขปัญหาด้วยวิธีลูกผสม (hybrid) มาหลายวิธีเช่น การแก้ไขปัญหาโดยใช้วิธีการจำลองการอบอ่อนเป็นหลักแล้วใช้วิธีการ random descent มาช่วยเสริม (Ernst and Krishnamoorth, 1999) ในบางกรณีการทำให้การค้นหาพื้นที่ในการหาคำตอบเพิ่มเติมในบริเวณใกล้เคียงก็จะช่วยทำให้คำตอบที่ได้มีผลที่ดีขึ้น (Brimberg and et al., 2000) ในช่วงเวลาที่ผ่านมามีการนำเอาวิธีการทางฮิวริสติกส์หลายๆ วิธีมาใช้ร่วมกันในการแก้ไขปัญหา อาทิเช่น มีการนำเอาวิธีการจำลองการอบอ่อน การปรับตัวของหน่วยความจำ (adaptive memory) และ วิธีการ GENIUS มาใช้ร่วมกันในการแก้ไขปัญหา (Gendreau and et al., 1999) นอกจากนี้ยังมีนักวิจัยอีกหลายคนที่นำเอาวิธีการทางฮิวริสติกส์หลายวิธีมาใช้ร่วมกันเพื่อแก้ไขปัญหาต่าง อาทิเช่น Lee and et al. (2008); Li and et al. (2010); Brandao (2011) เป็นต้น ซึ่งเทคนิคที่นำวิธีการหลายวิธีการมาใช้ร่วมกันนี้จะสามารถทำให้ผลของคำตอบมีค่าดีขึ้น

วิธีการหาค่าที่ดีที่สุดด้วยฝูงอนุภาคเป็นวิธีที่อาศัยพฤติกรรมในการเลียนแบบธรรมชาติ โดยอาศัยพฤติกรรมในการหาอาหารของฝูงสัตว์ เช่น นก ปลา หรือสัตว์อื่นๆ ที่มีพฤติกรรมในการหาอาหารร่วมกันเป็นฝูง สัตว์แต่ละตัวหรืออนุภาคแต่ละอนุภาค (particle) จะทำการหาอาหารโดยอาศัยเคลื่อนที่จากจุดปัจจุบันไปยังจุดใหม่ โดยใช้ทิศทางและความเร็วจากจุดที่ดีที่สุดของตนเอง (pbest) และจุดที่ดีที่สุดของฝูง (gbest) ร่วมกันในการค้นหาแหล่งอาหารที่ดีที่สุด การทำงานนี้จะเป็นการทำงานการเป็นฝูง เพื่อผลประโยชน์ของฝูงเป็นหลัก วิธีการหาค่าที่ดีที่สุดของอนุภาค (Particle Swarm Optimization: PSO) ถูกกล่าวถึงเป็นครั้งแรกโดย Kennedy and Eberhart (1995) หลังจากนั้นเป็นต้นมาวิธีการนี้ก็ถูกกล่าวถึงและนำมาใช้ในการแก้ไขปัญหาต่างๆ เรื่อยมา Rapeepan and Kanchana (2016) มีการนำวิธีการหาค่าที่ดีที่สุดด้วยฝูงอนุภาคมาใช้ในการแก้ไขปัญหาการจัดเส้นทางการเดินรถ (Vehicle Routing Problem: VRP) ที่มีจุดให้บริการและปริมาณความต้องการที่สามารถเปลี่ยนแปลงได้

วิธีการหาค่าที่ดีที่สุดด้วยฝูงอนุภาคได้รับความนิยม มีการนำไปใช้แก้ไขปัญหาต่างๆ กันอย่างแพร่หลาย อาทิเช่น ปัญหาการมอบหมายและการจัดสรรในหลายระดับชั้น (Anurak and Rapeepan, 2013) ปัญหาการจัดเส้นทางการเดินรถที่มีเงื่อนไขเวลา (VRP with time window) แก้ปัญหาโดยการใช้วิธีการหาค่าที่ดีที่สุดด้วยฝูงอนุภาคแบบผสม (Hybrid PSO) กล่าวคือนำเอาวิธีการแก้ปัญหาแบบอื่นๆ มาประกอบเข้าไปกับปัญหาเดิม (Stehling and et al., 2015) การแก้ปัญหากำหนดราคาและปริมาณการผลิตโดยการใช้วิธีหาค่าที่ดีที่สุดด้วยฝูงอนุภาคแบบผสมและวิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง (Ma and et al., 2012) การปรับปรุงการหาค่าที่เหมาะสมแบบผสมโดยการใช้ วิธีการหาค่าที่ดีที่สุดโดยการใช้ฝูงอนุภาคและวิธีอื่นๆ (Khashei-siuki and et al., 2013) การแก้ไขปัญหาการจัดการสินค้าคงคลังโดยการใช้วิธีการหาค่าที่ดีที่สุดด้วยฝูงอนุภาค (Orand and et al., 2015) การแก้ไขปัญหาโลจิสติกส์

ของศูนย์กระจายสินค้าโดยการใช้การปรับตัวของวิธีการหาค่าที่ดีที่สุดด้วยฝูงอนุภาค (Xiang Hua, Xiao Hu and Wuwei Yuan, 2016) การแก้ไขการจัดตารางเวลาสอบของมหาวิทยาลัยและโพลีเทคนิคโดยใช้วิธีการหาค่าที่ดีที่สุดด้วยฝูงอนุภาค (Ahmad and Shaari, 2016) เป็นต้น

บทที่ 3
วิธีดำเนินงานวิจัย

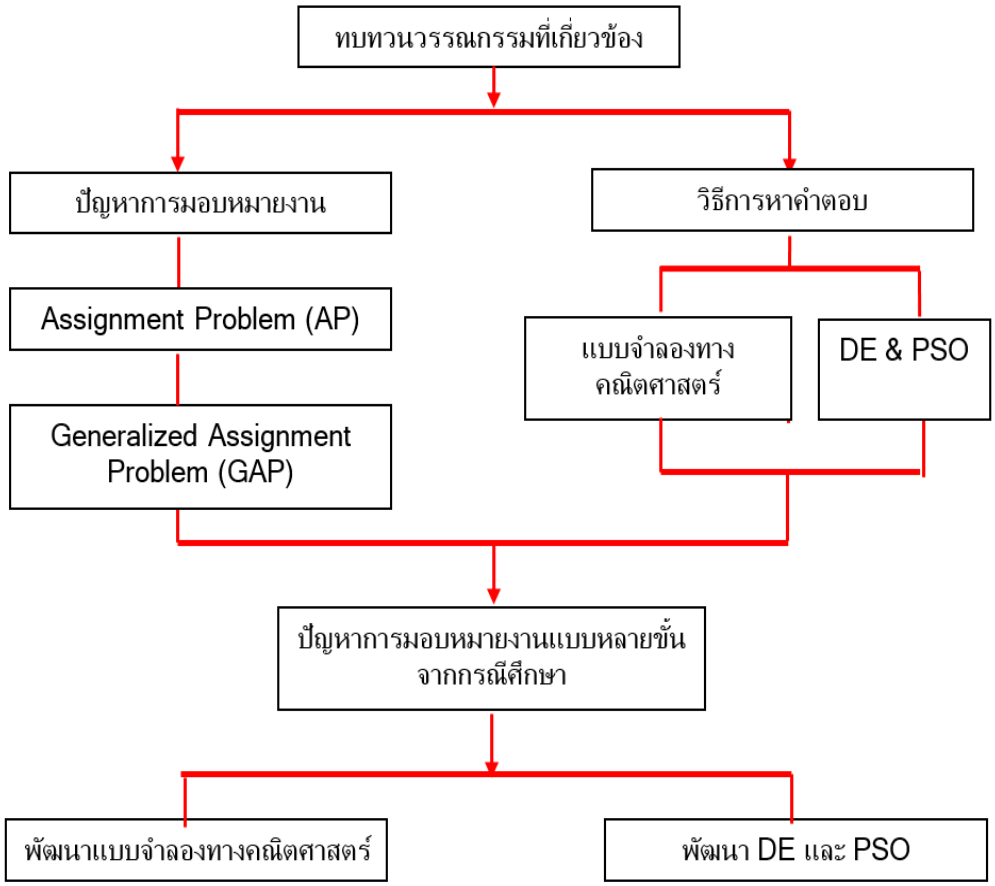
3.1 วิธีการวิจัย

การวิจัยในครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงการทดลอง ซึ่งเป็นการนำข้อมูลที่ได้มาทำการวิเคราะห์เพื่อประมาณค่าคำตอบ โดยมีจุดประสงค์เพื่อค้นหาคำตอบที่ดีขึ้น และคาดหวังว่าจะได้รับคำตอบที่ใกล้เคียงกับคำตอบที่ดีที่สุด โดยใช้เวลาในการค้นหาคำตอบไม่นาน โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อเทียบกับวิธีการ exact method

3.1.1 เพื่อพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับปัญหาการมอบหมายงานแบบหลายขั้นที่เหมาะสมกับกรณีศึกษา

3.1.2 เพื่อพัฒนาวิธีการประมาณค่าตำตอบที่ดีที่สุด ด้วยวิธี DE และวิธี PSO

3.2 ขั้นตอนการทำวิจัย



ภาพที่ 3.1 ขั้นตอนการวิจัย

การวิจัยในครั้งนี้จะทำการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องโดยแบ่งออกเป็น 2 แนวทาง กล่าวคือ ทบทวนวรรณกรรมเกี่ยวกับปัญหาการมอบหมายงาน โดยเฉพาะอย่างยิ่ง Assignment Problem (AP) และ Generalized Assignment Problem (GAP) ซึ่งเป็นพื้นฐานในการวิเคราะห์ปัญหาการมอบหมายงานแบบหลายขั้น (Multi-stage Assignment Problem) สำหรับการศึกษาในกรณีศึกษานี้ อีกแนวทางหนึ่งคือการศึกษาเกี่ยวกับวิธีการหาคำตอบซึ่งแบ่งย่อยออกเป็นอีก 2 แนวทางคือ การทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวกับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับปัญหาการมอบหมายงานแบบต่างๆ และวิธีฮิวริสติกส์ (Heuristics) ไม่ว่าจะเป็นวิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง (Differential Evolution: DE) หรือวิธีการหาค่าที่ดีที่สุดด้วยฝูงอนุภาค (Particles Swarm Optimization: PSO) คำตอบที่ได้อาจจะไม่ใช่คำตอบที่ดีที่สุด แต่คำตอบที่ดีอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้โดยมีคำตอบใกล้เคียงคำตอบที่ดีที่สุด การค้นหาคำตอบของวิธีใช้เวลารวดเร็วในขณะที่วิธีการแม่นตรงอาจใช้เวลานานกว่าหลายเท่าตัว

กรณีศึกษาที่จะทำการวิจัยจะมีความซับซ้อนในการมอบหมาย โดยการมอบหมายนี้จะเป็นการมอบหมายในหลายๆ ขั้น กล่าวคือ ลำดับแรกคือมอบหมายประเภทรถให้กับฟาร์มไก่รุ่น ลำดับที่สองมอบหมายจำนวนรอบที่จะมีการขนส่ง ลำดับที่สามมอบหมายให้ไปขนส่งโดยตรงจากฟาร์มไก่รุ่นไปยังฟาร์มไข่ การมอบหมายในแต่ละครั้งหากมีการมอบหมายผิดหรือไม่เหมาะสม อาจส่งผลต่อคุณภาพของไก่ ไก่อาจเกิดความเครียด ไก่อาจเสียชีวิต ซึ่งล้วนแต่ไม่มีผลดีต่อคุณภาพของไข่ไก่ที่จะผลิตได้ในอนาคต

เมื่อปัญหาในการวิเคราะห์คือการมอบหมายงานแบบหลายขั้น และรวมไปถึงข้อจำกัดต่างๆ ที่จะเกิดขึ้น ทำให้ต้องมีการพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่เหมาะสมและตรงกับกรณีศึกษา หลังจากนั้นก็จะเป็นการพัฒนาวิธีการประมาณค่าคำตอบที่ดีที่สุดด้วยวิธี Differential Evolution (DE)

3.3 แหล่งข้อมูล

ข้อมูลที่จะใช้ในการวิจัยครั้งนี้เป็นข้อมูลแบบทุติยภูมิ ที่มีผู้ทำการรวบรวมและเก็บข้อมูลไว้เรียบร้อยแล้ว โดยนำข้อมูลที่ได้มาประมวลผลเพื่อประมาณค่าคำตอบที่ดีที่สุด โดยข้อมูลนี้อาจมาจากหลายแหล่ง อาทิเช่น งานวิจัยอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง ค่าสถิติที่เกี่ยวข้อง เป็นต้น

3.4 การวิเคราะห์ข้อมูล

3.4.1 พัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อให้เหมาะสมกับกรณีศึกษา

3.4.2 พัฒนาวิธีการ Differential Evolution (DE) เพื่อใช้ในการแก้ปัญหาการมอบหมายงานแบบหลายขั้น เพื่อหาว่าจะมีการมอบหมายงานอย่างไรจึงจะมีต้นทุนการผลิตที่ต่ำที่สุด

3.5 แผนการดำเนินการวิจัย

ตารางที่ 3.1 แผนการดำเนินการวิจัย

รายการ	เดือน											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
วรรณกรรมปริทัศน์												
รวบรวมข้อมูล												
พัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์												
พัฒนา DE												
สรุปและวิเคราะห์ข้อมูล												
เขียนรายงาน												

บทที่ 4
กรณีศึกษา

4.1 บทนำ

กรณีศึกษาการมอบหมายงานแบบหลายขั้น (multi-stage assignment problem) ประกอบด้วย

4.1.1 ขั้นที่ 1 การมอบหมายรถบรรทุกประเภทที่เหมาะสมกับการขนส่ง

4.1.2 ขั้นที่ 2 การมอบหมายฟาร์มไก่รุ่น

4.1.3 ขั้นที่ 3 การมอบหมารยฟาร์มไข่

4.1.4 ขั้นที่ 4 การมอบหมายจำนวนรอบในการขนส่ง

ฟาร์มไก่รุ่นทำหน้าที่ในการเพาะพันธุ์ไก่จากพ่อแม่พันธุ์ที่ดี เพื่อให้ได้ไก่รุ่นที่มีคุณสมบัติตามที่ลูกค้าต้องการ เมื่อมีการฟักตัวจากไข่ไก่เป็นไก่รุ่นที่สมบูรณ์พร้อมส่งให้ลูกค้า ก็จะทำการส่งให้กับลูกค้าต่อไป เมื่อฟาร์มไก่สาวได้ไก่รุ่นมาแล้วก็จะทำการเลี้ยงต่อไปจนถึงระยะที่สามารถออกไข่ได้ ก็จะนำไข่ไก่นั้นส่งไปขายยังตลาดไข่ไก่ต่อไป ฟาร์มไก่ทั้ง 2 ประเภท เป็นฟาร์มไก่แบบปิด ทำให้สามารถที่จะควบคุมสภาพแวดล้อมต่างๆ อาทิเช่น อุณหภูมิ ความชื้น หรือปัจจัยอื่นๆ ทำให้ได้ผลผลิตที่ดีตามที่ต้องการได้

ฟาร์มไก่รุ่นจะทำการเลี้ยงไก่ตั้งแต่ไก่แรกฟักไปจนกระทั่งอายุครบ 6 สัปดาห์ ไก่รุ่นจะต้องมีการเลี้ยงดูเป็นอย่างดี ซึ่งจะทำให้อัตราการรอดชีวิตสูงขึ้น เช่นเมื่อลูกไก่แรกเกิดจะต้องมีการตัดปากบนออก แล้วจะต้องนำไปเข้าเครื่องกกลูกไก่ที่อุณหภูมิ 95 องศา F (35 องศา C) แล้วลดอุณหภูมิลง 5 องศาทุกๆ สัปดาห์ ปัจจัยที่สำคัญอีกประการในการเลี้ยงไก่รุ่นคือ ความหนาแน่นของไก่รุ่น ซึ่งจะต้องมีจำนวนไก่รุ่นไม่เกิน 22 ตัวต่อตารางเมตร จึงจะถือว่าเป็นความหนาแน่นที่เหมาะสม นอกจากนี้ยังมีปัจจัยที่สำคัญอีกหลายประการ อาทิเช่น ไก่รุ่นจะต้องมีน้ำสะอาดให้กินตลอดเวลา การให้วัคซีนป้องกันโรค และอัตราการให้อาหารเป็นต้น หากให้อาหารไก่บ่อยจะมีผลทำให้เป็นการกระตุ้นให้ไก่กินอาหารได้ดีขึ้น เมื่อไก่อายุครบ 6 สัปดาห์จะมีน้ำหนักโดยประมาณ 460 กรัม

ฟาร์มไข่จะเริ่มทำการเลี้ยงไก่ตั้งแต่อายุ 7 สัปดาห์เป็นต้นไป เมื่อไก่มีอายุ 15 สัปดาห์จะต้องแยกไก่ตัวผู้ออกจากตัวเมีย และเลี้ยงต่อไปจนกระทั่งมีอายุ 21 สัปดาห์ไก่จึงเริ่มที่จะออกไข่ สิ่งที่จะต้องดูแลเป็นพิเศษในระยะออกไข่คือเรื่องอาหารและแสงสว่าง เนื่องจากจะมีผลต่ออัตราการออกไข่ หรือจำนวนไข่ที่จะเก็บได้ ไก่จะออกไข่ไปได้อีกประมาณ 52 สัปดาห์ (1 ปี) นับตั้งแต่เริ่มออกไข่ฟองแรก โดยมีอัตราการไข่ประมาณ 72.4% หรือใน 1 ปีไก่จะสามารถออกไข่ได้โดยประมาณ 264 ฟองต่อตัว เมื่อไก่ออกไข่ไปแล้ว 52 สัปดาห์หรือมีอายุรวม 73 สัปดาห์ หลังจากนี้สภาพของไก่จะเริ่มถดถอย อัตราการออกไข่เริ่มลดลง ไก่ที่มีอายุประมาณ 73 สัปดาห์นี้จะต้องมีการปลดระวาง

เทคโนโลยีในการเลี้ยงดูไก่ในช่วงไก่รุ่น จะแตกต่างอย่างมากเมื่อเทียบกับไก่สาวและไก่ที่สามารถไข่ได้ ไก่รุ่นจะต้องมีการดูแล การเลี้ยงดู หรือใช้เทคโนโลยี ที่จะต้องเอาใจใส่เป็นพิเศษ แต่สำหรับไก่สาวและไก่ที่สามารถไข่ได้นั้นจะมีการเลี้ยงดูหรือเทคโนโลยีที่ใช้ไม่แตกต่างกันนัก ดังนั้นผู้ผลิตไก่ไข่จึงไม่เลี้ยงไก่รุ่น จึงมีการสั่งซื้อจากผู้เลี้ยงไก่รุ่นแล้วมาเลี้ยงต่อเป็นรุ่นไก่สาว ต่อไปจนกระทั่งถึงไก่ที่

สามารถออกไข่ได้ต่อไป แต่อย่างไรก็ตามอาจมีบางฟาร์มไข่ที่ทำการเลี้ยงตั้งแต่ต้นจนจบ ซึ่งคาดว่ามีจำนวนน้อยหรือไม่มีเลย

การขนส่งจำเป็นที่จะต้องใช้รถยนต์ในการขนส่ง และจะต้องเป็นรถที่ทำการออกแบบมาเฉพาะเพื่อการขนส่งไก่ด้วยเพื่อทำให้เกิดประสิทธิภาพ และได้คุณภาพของไก่ตามที่ต้องการ หากมีการขนส่งจำนวนมากอาจทำให้ไก่บางส่วนเสียชีวิตได้เนื่องจากขาดอากาศหายใจ บางส่วนที่อยู่ด้านล่างอาจโดนกล่องที่ใช้ในการขนส่งด้านบนกดทับได้ ไก่ที่อยู่ด้านบนสุดอาจเสียชีวิตได้เนื่องจากจะต้องทนต่อความร้อนของแสงแดดที่มีกระทบตลอดเวลาที่มีการขนส่งก็เป็นได้ ดังนั้นรถยนต์ที่จะนำมาใช้ในการขนส่งไก่จะต้องมีการออกแบบมาเฉพาะ เพื่อให้ได้ไก่ที่มีคุณภาพดี ไม่สร้างความอึดอัดให้กับไก่รุ่น ซึ่งอาจเป็นผลต่อความสามารถในการออกไข่ได้

รถที่ใช้ในการขนส่งไก่มีได้หลายขนาดตามปริมาณสินค้าของลูกค้า เช่น อาจเป็นรถบรรทุก 10 ล้อ หรืออาจเป็นรถบรรทุก 6 ล้อ หรืออาจเป็นรถบรรทุก 4 ล้อ หรืออาจเป็นรถกระบะก็ได้ โดยที่รถแต่ละประเภทจะต้องเป็นรถที่มีการออกแบบมาเฉพาะเพื่อการขนส่งไก่รุ่นให้ได้คุณภาพตามที่ต้องการ รถบรรทุก 6 ล้อ อาจเหมาะกับปริมาณไก่รุ่นที่มีจำนวนมาก ขนส่งได้ในปริมาณมาก ส่วนรถบรรทุก 4 ล้อ หรือรถกระบะดัดแปลง ก็จะมีความแตกต่างกันที่ปริมาณการส่งจากมากมาหาน้อย ตามลำดับ

สำหรับงานวิจัยในครั้งนี้ รถที่มีให้บริการในการขนส่งมีปริมาณเพียงพอต่อการให้บริการ ไม่ว่าจะเป็นรถขนาดใดก็ตาม ดังนั้นหากมีความต้องการในการขนส่ง ไม่ว่าจะขนส่งในปริมาณเท่าใดก็สามารถที่จะให้บริการกับลูกค้าได้ เมื่อรถบรรทุกได้ทำการขนส่งไปแล้วจะต้องนำรถกลับมาทำความสะอาดที่ศูนย์กลาง เพื่อเตรียมพร้อมเพื่อให้บริการลูกค้ารายถัดไป

4.2 การมอบหมายงานแบบหลายขั้น (Multi-stage Assignment Problem)

เนื่องจากมีรถสำหรับการขนส่งไก่รุ่นหลายประเภท โดยแบ่งได้ตามความสามารถในการขนส่งไก่รุ่น ได้แก่ รถบรรทุก 10 ล้อ รถบรรทุก 6 ล้อ รถบรรทุก 4 ล้อ และรถกระบะ โดยรถบรรทุก 10 ล้อ จะมีความสามารถในการขนสูงสุด ส่วนรถกระบะมีความสามารถในการขนต่ำสุด รถแต่ละประเภทมีจำนวนรถในการขนส่งหลายคัน สำหรับฟาร์มไก่รุ่นก็มีความสามารถในการผลิตไก่รุ่นแตกต่างกัน บางฟาร์มเป็นฟาร์มขนาดใหญ่สามารถผลิตไก่รุ่นได้จำนวนมาก ส่วนฟาร์มขนาดเล็กก็จะสามารถผลิตไก่รุ่นได้น้อย ทำให้การขนส่งในครั้งนี้จำเป็นต้องใช้รถในการขนส่งให้เหมาะสม ดังนั้นลำดับแรกจะต้องมีการจัดประเภทรถให้เหมาะสมกับความสามารถในการผลิตของแต่ละฟาร์มไก่รุ่น

การพิจารณามอบหมายรถให้กับฟาร์มไก่รุ่นนั้นนอกเหนือจากจะดูจากความสามารถในการผลิตไก่รุ่นของฟาร์มแล้วยังต้องพิจารณาถึงปริมาณความต้องการของลูกค้าอีกด้วยเพื่อที่จะจัดรถให้เหมาะสม เช่นฟาร์มไก่ขนาดใหญ่ที่มีความสามารถในการผลิต 20,000 ตัว ไม่สามารถที่จะใช้รถบรรทุก 10 ล้อ 2 คัน ขนส่งได้คันละ 10,000 ตัว รวม 20,000 ตัว หรือรถบรรทุก 6 ล้อ ขนได้คันละ 8,000 ตัว รวม 16,000 ตัว และรถบรรทุก 4 ล้อดัดแปลง ขนส่งได้คันละ 4,000 ตัว รวมทั้งหมดรถบรรทุก 3 คัน จำนวน 20,000 ตัว ในขณะที่ฟาร์มไข่นี้มีความต้องการไก่รุ่นไม่เท่ากัน บางฟาร์มต้องการ 8,000 ตัว ในขณะที่บางฟาร์มต้องการเพียง 2,000 ตัว หากทำการขนส่งด้วยรถบรรทุก 10 ล้อที่มีความสามารถขนได้ 10,000 ตัว แล้วไปส่งหลายฟาร์มไข่ไม่ได้ จะเป็นผลเสียต่อไก่รุ่น ที่จะต้องรออยู่ในรถระหว่างการขนไก่ลงที่ฟาร์มแรก ดังนั้นการขนไก่จะต้องทำการขนส่งทันทีจากฟาร์มไก่รุ่นไปยังฟาร์มไข่ ไม่สามารถแวะรับไก่รุ่นเพิ่มจาก

ฟาร์มอื่นๆ หรือไม่สามารถส่งได้หลายๆ ฟาร์ม ดังนั้นการจัดรถให้เหมาะกับปริมาณของฟาร์มไก่รุ่นและฟาร์มไข่เป็นสิ่งสำคัญที่จะทำให้ต้นทุนลดลง

เมื่อฟาร์มไก่รุ่นผลิตไก่ออกมาได้แล้วจะต้องส่งขายให้กับฟาร์มไข่ได้ทั้งหมด ไม่มีปัญหาไก่รุ่นตกค้าง เนื่องจากมีรถหลายประเภท มีความสามารถในการขนแตกต่างกัน และมีจำนวนรถที่จะขนส่งอย่างเพียงพอ โดยการขนส่งนี้เป็นการขนส่งโดยตรงจากฟาร์มไก่รุ่นไปยังฟาร์มไข่ (Direct shipping) ไก่รุ่นที่ทำการขนส่งก็จะไม่เครียด มีสุขภาพดี ซึ่งจะมีผลต่อปริมาณไข่ที่จะผลิตได้ในอนาคต

รถแต่ประเภท รถในแต่ละขนาด ใช้เวลาในการขนส่งไม่เท่ากัน หากเลือกใช้รถที่เหมาะสมในการขนส่งก็จะทำให้เวลาที่ใช้ในการขนไก่รุ่นขึ้นจากฟาร์ม หรือ เวลาที่ใช้ในการขนไก่รุ่นลงเมื่อถึงปลายทางใช้เวลาไม่นาน ทำให้สามารถประหยัดต้นทุนได้

รถที่ใช้ในการขนส่งไก่จะต้องเป็นรถที่มีการออกแบบมาเฉพาะเป็นพิเศษ เช่น โครงสร้างต้องมีความสมมาตร มีการระบายความร้อนที่ดี อากาศภายในรถต้องมีการหมุนเวียนที่ดี ลมไม่โกรกจนเกินไป ซึ่งปัจจัยต่างๆ เหล่านี้ล้วนมีผลต่อคุณภาพของไก่ที่ทำการขนส่ง

การขนส่งไก่จากฟาร์มไก่รุ่นไปยังฟาร์มไข่นั้นจะต้องขนให้เสร็จภายในเวลา 8 ชั่วโมง ไก่ที่ทำการขนส่งจะไม่เครียด ซึ่งมีผลต่อสุขภาพไก่ และมีผลต่อปริมาณไข่ที่จะได้ในอนาคตต่อไป ในระหว่างการขนส่งหากทราบว่ามีอุณหภูมิสูงผิดปกติไป จะต้องมีการแก้ไขเพื่อลดอุณหภูมิ หากลมแรงก็อาจต้องหาวัสดุเพื่อป้องกัน ทั้งหมดนี้เพื่อเป็นการป้องกันความเสียหายอันอาจจะเกิดกับไก่

ระบบการขนส่งไก่อาจจะยังไม่ดีเพียงพอ รถที่ใช้ในการขนส่งไม่ได้ออกแบบมาเฉพาะสำหรับการขนส่งไก่ ซึ่งอาจทำให้ประสิทธิภาพ หรือคุณภาพของไก่ลดลง ฟาร์มไก่ไม่ลงทุนซื้อรถเป็นของตนเองเนื่องจากเป็นการลงทุนที่สูง หรือหากลงทุนไปก็อาจไม่คุ้มค่าเงิน บางครั้งก็เกิดการรอรถขนส่ง ซึ่งเป็นผลทำให้ไก่ไม่เป็นไปตามคุณสมบัติที่ลูกค้ากำหนดเป็นต้น ซึ่งทุกอย่างล้วนเป็นต้นทุนค่าเสียโอกาสที่เกิดขึ้นทั้งสิ้น หากมีการจัดระบบการบริการการขนส่งที่ดีย่อมทำให้ทุกฝ่ายได้รับความพอใจ

ในปัจจุบันฟาร์มไก่รุ่นแต่ละฟาร์มจะทำการส่งไก่รุ่นอายุประมาณ 7 สัปดาห์ ไปยังฟาร์มไข่ซึ่งเป็นการขนส่งไก่โดยตรง ไม่มีการแวะรับไก่รุ่นจากฟาร์มอื่นๆ หรือไม่มีการไปส่งไก่รุ่นให้กับฟาร์มไข่ฟาร์มอื่นๆ หรือแม้กระทั่งจอดแวะพักที่ใด เนื่องจากเวลาที่ใช้ในการขนส่งไก่จะมีผลสำคัญเป็นอย่างยิ่งต่อคุณภาพของไก่ ไก่ที่ทำการขนส่งอาจเกิดอาการเครียด อาจเกิดโรคขึ้นในระหว่างการขนส่ง ดังนั้นการขนส่งไก่จะเป็นการขนส่งโดยตรง (Direct shipping) จากฟาร์มไก่รุ่นต้นทางไปยังฟาร์มไข่ปลายทาง

ต้นทุนการผลิตที่เกิดขึ้นจากการวิเคราะห์นี้แบ่งออกเป็น 2 ส่วน

(1) ต้นทุนในการมอบหมายงาน

(2) ต้นทุนค่าเสียโอกาสที่เกิดเนื่องจากการวิ่งรถขนส่งไก่ที่ไม่เต็มประสิทธิภาพ

ต้นทุนในการมอบหมายงานหมายถึงต้นทุนในการมอบหมายให้ใช้รถบรรทุกประเภท i เพื่อทำการขนส่งไก่รุ่นจากฟาร์มไก่รุ่น j ในการขนส่งรอบที่ k เพื่อทำการขนส่งไปยังฟาร์มไข่ l ซึ่งการมอบหมายดังกล่าวนี้มีระยะทางในการขนส่งเป็นปัจจัยหลักในการกำหนดต้นทุน นอกจากนี้ยังมีราคาน้ำมันที่เป็นปัจจัยภายนอกไม่สามารถควบคุมได้ อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันของรถบรรทุกแต่ละประเภท และปัจจัยอื่นๆ ที่อาจเกี่ยวข้อง ถ้ามีการมอบหมายที่ไม่เหมาะสมอาจทำให้ต้นทุนการมอบหมายงานสูงขึ้นกว่าปกติ หากเป็นการมอบหมายที่เหมาะสมก็จะทำให้ต้นทุนการมอบหมายงานต่ำสุดได้

การขนส่งที่ไม่เต็มประสิทธิภาพของรถหมายถึงการขนส่งที่เกิดพื้นที่ว่างในการขนส่ง เช่น รถบรรทุก 10 ล้อ สามารถขนได้เต็มประสิทธิภาพ โดยมีจำนวนไก่ 10,000 ตัว โดยมีต้นทุนการขนส่ง 10,000 บาท แล้วหากรถบรรทุก 10 ล้อขนไก่ไปเพียง 8,000 ตัว หรือเกิดพื้นที่ว่าง 2,000 ตัว จึงถือว่าการขนส่งในครั้งนี้ไม่เต็มประสิทธิภาพ ทำให้เกิดต้นทุนค่าเสียโอกาสเกิดขึ้น โดยคิดจากต้นทุนเฉลี่ยต่อตัวของการขนส่งที่เต็มประสิทธิภาพ ดังนั้นต้นทุนค่าเสียโอกาสจะมีค่าเท่ากับ 1 บาทต่อตัว เมื่อมีพื้นที่ว่างในการขนส่งเกิดขึ้น 2,000 ตัว จะมีต้นทุนค่าเสียโอกาสเท่ากับ 2,000 บาท เพื่อเป็นการกำหนดให้มีพื้นที่ว่างในการขนส่งให้น้อยที่สุด จึงกำหนดให้มีต้นทุนค่าเสียโอกาสเป็นส่วนหนึ่งของต้นทุนในการมอบหมายงาน

สมการวัตถุประสงค์ในการวิจัยนี้จะต้องการค้นหาคำตอบที่มีต้นทุนในการมอบหมายงานน้อยที่สุดสำหรับต้นทุนทั้ง 2 ประเภทคือต้นทุนในการมอบหมายงานและต้นทุนค่าเสียโอกาสในการวิ่งรถขนไก่ไม่เต็มประสิทธิภาพ เพื่อที่จะทำให้เกิดการใช้ทรัพยากรการผลิตให้คุ้มค่ามากที่สุด

4.3 ข้อจำกัดต่างๆ

4.3.1 การขนส่งไก่รุ่นจากฟาร์มไก่รุ่นไปยังฟาร์มไข่เป็นการขนส่งโดยตรง ไม่มีการไปรับไก่รุ่นจากฟาร์มอื่นและไม่ได้ไปส่งให้ฟาร์มไข่อื่นๆ เนื่องจากฟาร์มไข่ต้องการควบคุมคุณภาพ ต้องการสายพันธ์ที่ดีและเป็นการป้องกันโรคติดต่อ เป็นต้น

4.3.2 ฟาร์มไก่รุ่น 1 ฟาร์มอาจส่งให้ฟาร์มไข่ได้มากกว่า 1 ฟาร์ม

4.3.3 เมื่อฟาร์มไก่รุ่นผลิตไก่ออกมาแล้วจะสามารถขายได้ทั้งหมด

4.3.4 ฟาร์มไข่อาจรับไก่รุ่นจากฟาร์มไก่รุ่นได้มากกว่า 1 ฟาร์ม แต่จะต้องไม่เกินความสามารถของฟาร์มนั้นๆ

4.3.5 ฟาร์มไข่จะได้รับไก่รุ่นอย่างน้อยร้อยละ 50 ของความต้องการ โดยบางฟาร์มไข่อาจได้รับไก่รุ่นไม่ครบตามความต้องการ

4.3.6 เวลาที่ใช้ในการขนส่งไม่ควรเกิน 8 ชั่วโมง ทั้งนี้เริ่มตั้งแต่การขนไก่รุ่นขึ้น การขนส่ง และการขนไก่รุ่นลง

4.3.7 รถที่ใช้ในการขนส่งมีปริมาณเพียงพอต่อความต้องการในการขนส่ง

4.3.8 ฟาร์มไก่รุ่นอาจใช้รถได้มากกว่า 1 ประเภท และใน 1 ประเภทนี้อาจใช้ได้มากกว่า 1 รอบ

การมอบหมายในครั้งนี้เป็นการมอบหมายแบบหลายขั้น เริ่มต้นจากการมอบหมายประเภทรถบรรทุก ซึ่งประกอบไปด้วยรถบรรทุกทั้งหมด 4 ประเภท ได้แก่ รถบรรทุก 10 ล้อ รถบรรทุก 6 ล้อ รถบรรทุก 4 ล้อ (ดัดแปลง) และรถบรรทุก 4 ล้อ โดยรถบรรทุกแต่ละประเภทมีความสามารถในการบรรทุกไก่รุ่นแตกต่างกัน อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันแตกต่างกัน ทำให้การมอบหมายรถบรรทุกแต่ละประเภทนั้นมีต้นทุนในการมอบหมายแตกต่างกัน (ตารางที่ 4.1)

ตารางที่ 4.1 ประเภทของรถที่ใช้ในการขนส่ง

ประเภทรถ	จำนวนไก่รุ่น (ตัว)	อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมัน (กิโลเมตร/ลิตร)
รถบรรทุก 10 ล้อ	12,000	3.2
รถบรรทุก 6 ล้อ	8,000	5.0
รถบรรทุก 4 ล้อ	4,000	8.0
รถกระบะดัดแปลง	2,000	10.0

ฟาร์มไก่รุ่นมีหน้าที่ในการผลิตไก่รุ่นเริ่มต้นจากการฟักไข่ แล้วเลี้ยงไก่ไปจนกระทั่งสามารถขายไก่รุ่นให้กับฟาร์มไข่เพื่อผลิตเป็นไข่ไก่ต่อไป การฟักไข่และการเลี้ยงไก่รุ่นนั้นอาศัยเทคโนโลยีที่แตกต่างกันเมื่อเทียบกับการเลี้ยงไก่เพื่อทำให้ออกไข่ ฟาร์มไก่รุ่นประกอบไปด้วยฟาร์มทั้งหมด 40 ฟาร์ม แต่ละฟาร์มมีความสามารถในการผลิตไก่รุ่นไม่เหมือนกัน ฟาร์มไก่รุ่นขนาดใหญ่สามารถผลิตไก่รุ่นได้จำนวน 20,000 ตัว ฟาร์มไก่รุ่นขนาดกลางสามารถผลิตไก่รุ่นได้จำนวน 10,000 ตัว ในขณะที่ฟาร์มไก่รุ่นขนาดเล็กสามารถผลิตไก่รุ่นได้จำนวน 5,000 ตัว ฟาร์มไก่รุ่นทั้งหมดมีความสามารถในการผลิตไก่รุ่นรวมจำนวน 380,000 ตัว (ตารางที่ 4.2)

ตารางที่ 4.2 รายละเอียดสำหรับฟาร์มไก่รุ่น

ประเภทของฟาร์มไก่รุ่น	ความสามารถในการผลิต (ตัว/ฟาร์ม)	จำนวนฟาร์ม (แห่ง)	จำนวนรวม (ตัว)
ฟาร์มขนาดใหญ่	20,000	8	160,000
ฟาร์มขนาดกลาง	10,000	12	120,000
ฟาร์มขนาดเล็ก	5,000	20	100,000
รวม	**35,000**	**40**	**380,000**

ฟาร์มไข่มีหน้าที่ในการผลิตไข่โดยใช้ไก่รุ่นที่ได้รับมาจากฟาร์มไก่รุ่น ฟาร์มไข่ประกอบไปด้วยฟาร์มไข่ทั้งหมดจำนวน 60 ฟาร์ม แต่ละฟาร์มจะมีความต้องการไก่รุ่นไม่เท่ากัน ฟาร์มที่มีความต้องการไก่รุ่นสูงสุดจำนวน 10,000 ตัว ในขณะที่ฟาร์มไข่ที่มีความต้องการไก่รุ่นน้อยที่สุดจำนวน 2,000 ตัว ฟาร์มไข่ทั้งหมดมีความต้องการไก่รุ่นรวมกันจำนวน 388,000 ตัว (ตารางที่ 4.3)

ตารางที่ 4.3 รายละเอียดสำหรับฟาร์มไข่

ประเภทของฟาร์มไข่	จำนวนไก่ไข่ (ตัว)	จำนวนฟาร์ม (แห่ง)	จำนวนรวม (ตัว)
A	10,000	18	180,000
B	8,000	14	112,000
C	5,000	10	50,000
D	3,000	10	30,000
E	2,000	8	16,000
รวม	**รวม**	**60**	**388,000**

4.4 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของกรณีศึกษา

ดัชนี

i = 1, 2, 3, 4 (ประเภทของรถบรรทุกมี 4 ประเภท)

j = 1, 2, 3, ..., J (J คือจำนวนฟาร์มไก่รุ่นที่มี 40 ฟาร์ม)

k = 1, 2, 3, 4 (จำนวนรอบในการขนส่งมี 4 รอบ)

l = 1, 2, 3, ..., L (L คือจำนวนฟาร์มไข่ที่มี 60 ฟาร์ม)

ตัวแปรตัดสินใจ

x_{ijkl} คือ ตัวแปรการตัดสินใจ

ถ้า x_{ijkl} = 1 หมายความว่ามีการมอบหมายงานให้รถบรรทุกประเภท i เพื่อทำการขนส่งไก่รุ่นจากฟาร์มไก่รุ่น j ในรอบการขนส่งที่ k เพื่อทำการขนส่งไปยังฟาร์มไข่ l

ถ้า x_{ijkl} = 0 หมายความว่า **ไม่มี** การมอบหมายงานให้รถบรรทุกประเภท i เพื่อทำการขนส่งไก่รุ่นจากฟาร์มไก่รุ่น j ในรอบการขนส่งที่ k เพื่อทำการขนส่งไปยังฟาร์มไข่ l

q_{ijkl} คือ ปริมาณไก่รุ่นที่จะมีการขนส่งโดยรถบรรทุกประเภท i ขนส่งไก่รุ่นจากฟาร์มไก่รุ่น j ในรอบที่ k ไปยังฟาร์มไข่ l

พารามิเตอร์

c_{ijl} คือ ต้นทุนในการมอบหมายให้รถบรรทุกประเภท i ทำการขนส่งไก่รุ่นจากฟาร์มไก่รุ่น j เพื่อขนส่งไก่รุ่นไปยังฟาร์มไข่ l

t_i คือ ความจุหรือความสามารถในการขนส่งไก่รุ่น (หน่วย: ตัว) ของรถบรรทุกประเภท i

oc_{ijl} คือ ต้นทุนค่าเสียโอกาสในการขนส่งที่ไม่เต็มประสิทธิภาพโดยรถบรรทุกประเภท i เพื่อทำการขนส่งจากฟาร์มไก่รุ่น j ไปยังฟาร์มไข่ l (หน่วย: บาทต่อตัว)

d_l คือ ปริมาณความต้องการไก่รุ่นของฟาร์มไข่ l

s_j คือ ความสามารถในการผลิตไก่รุ่นของฟาร์มไก่รุ่น j

tup_{ij} คือ เวลาที่ใช้ในการขนส่งไก่รุ่นขึ้นรถบรรทุกประเภท i จากฟาร์มไก่รุ่น j

zup_{ij} คือ ความสามารถของพนักงานของฟาร์มไก่รุ่น j ในการขนไก่รุ่นขึ้นรถบรรทุกประเภท i

tdn_{il} คือ เวลาที่ใช้ในการขนส่งไก่รุ่นลงจากรถบรรทุกประเภท i ที่ฟาร์มไข่ l

zdn_{il} คือ ความสามารถของพนักงานของฟาร์มไข่ l ในการขนไก่รุ่นลงจากรถบรรทุกประเภท i

ttr_{ijkl} คือ เวลาที่ใช้ในขนส่งไก่รุ่นเริ่มต้นจากศูนย์บริการไปยังฟาร์มไก่รุ่น j เวลาที่ใช้ในการเดินทางจากฟาร์มไก่รุ่น j ไปยังฟาร์มไข่ l และ เวลาที่เดินทางจากฟาร์มไข่ l กลับไปยังศูนย์บริการ

td_{jl} คือ เวลาที่ใช้ในการเดินทางของรถบรรทุกประเภท i จากศูนย์บริการไปยังฟาร์มไก่รุ่น j เพื่อทำการขนส่งไก่รุ่นในรอบที่ k ไปยังฟาร์มไข่ l

$time_{ijkl}$ คือ เวลาที่ใช้ในการมอบหมายในแต่ละรอบจะต้องไม่เกิน 8 ชั่วโมง ซึ่งประกอบไปด้วยเวลาที่ใช้ในการขนไก่รุ่นขึ้นรถที่ฟาร์มไก่รุ่น i (tup_{ijkl}) เวลาที่ใช้ในการเดินทางจากฟาร์มไก่รุ่น i ไปยังฟาร์มไข่ l (ttr_{ijkl}) และเวลาที่ใช้ในการขนไก่รุ่นลงจากรถที่ฟาร์มไข่ l (tdn_{ijkl}) หรือเวลาในการใช้งานรถบรรทุกรวมทั้งหมด

$ttruck_i$ คือ เวลาการใช้งานของรถบรรทุกประเภท i ที่ได้มีการกำหนดไว้

หมายเหตุ เวลาสำหรับ ttr_{ijkl} และ td_{ijkl} ไม่รวมเวลาที่ใช้ในการขนส่งไก่รุ่นขึ้นรถบรรทุกและเวลาที่ใช้ในการขนส่งไก่รุ่นลงจากรถบรรทุก

สมการเป้าหมาย

$$min \underbrace{\sum_i^I \sum_j^J \sum_k^K \sum_l^L (c_{ijl} \times x_{ijkl})}_{\text{ส่วนที่ 1}} + \underbrace{\sum_i^I \sum_j^J \sum_k^K \sum_l^L \left[\left((x_{ijkl} \times t_i) - q_{ijkl}\right) \times oc_{ijl}\right]}_{\text{ส่วนที่ 2}} \quad (4.1)$$

สมการข้อจำกัด

$$x_{ijkl} \in \{0,1\} \qquad for\ \forall\ i\ j\ k\ l \quad (4.2)$$

$$q_{ijkl} \in 0\ \&\ I^+ \qquad for\ \forall\ i\ j\ k\ l \quad (4.3)$$

$$\sum_l^L x_{ijkl} \leq 1 \qquad for\ \forall\ i\ j\ k \quad (4.4)$$

$$\sum_i^I \sum_j^J \sum_k^K q_{ijkl} \leq d_l \qquad for\ \forall\ l \quad (4.5)$$

$$\sum_i^I \sum_j^J \sum_k^K q_{ijkl} \geq 0.5 \times d_l \qquad for\ \forall\ l \quad (4.6)$$

$$\sum_i^I \sum_k^K \sum_l^L q_{ijkl} = s_j \qquad for\ \forall\ j \tag{4.7}$$

$$q_{ijkl} \leq M \times x_{ijkl} \qquad for\ \forall\ i\ j\ k\ l \tag{4.8}$$

$$q_{ijkl} \leq t_i \qquad for\ \forall\ i\ j\ k\ l \tag{4.9}$$

$$tup_{ij} = zup_{ij} \times q_{ijkl} \qquad for\ \forall\ i\ j\ k\ l \tag{4.10}$$

$$tdn_{il} = zdn_{il} \times q_{ijkl} \qquad for\ \forall\ i\ j\ k\ l \tag{4.11}$$

$$ttr_{ijkl} = td_{jl} \times x_{ijkl} \qquad for\ \forall\ i\ j\ k\ l \tag{4.12}$$

$$time_{ijkl} = tup_{ijkl} + tdn_{ijkl} + ttr_{ijkl} \qquad for\ \forall\ i\ j\ k\ l \tag{4.13}$$

$$time_{ijkl} \leq 8 \qquad for\ \forall\ i\ j\ k\ l \tag{4.14}$$

$$\sum_j^J \sum_k^K \sum_l^L time_{ijkl} \leq ttruck(i) \qquad for\ \forall\ i \tag{4.15}$$

$$x_{i\ j\ k\ l} \geq x_{i\ j\ (k+1)\ l} \qquad for\ \forall\ i\ j\ k\ l \tag{4.16}$$

ตัวแบบทางคณิตศาสตร์ (mathematical models) นี้สร้างขึ้นมาเพื่อใช้ในการแก้ปัญหาการมอบหมายงานแบบหลายขั้น (multi stage assignment problem) โดยมีจุดมุ่งหมายหลักคือ จะมีการมอบหมายสัดส่วนงานอย่างไร จึงจะทำให้เกิดต้นทุนในการมอบหมายงานต่ำที่สุดได้ ในกรณีศึกษานี้ต้นทุนการมอบหมายงานประกอบด้วย ต้นทุนที่เกิดขึ้นจากการขนส่งไก่รุ่นซึ่งมีระยะทางเป็นปัจจัยสำคัญในการกำหนดต้นทุน (ส่วนแรกของสมการที่ 4.1) และต้นทุนค่าเสียโอกาสที่เกิดขึ้นเนื่องจากการขนส่งไก่รุ่นที่ไม่เต็มประสิทธิภาพของรถบรรทุก กล่าวคือเกิดพื้นที่ว่างในรถบรรทุกสำหรับการขนส่งแต่ละรอบ (ส่วนที่สองของสมการที่ 4.1)

ข้อจำกัดต่างๆ ที่เกี่ยวข้องเริ่มต้นจากการกำหนดให้ตัวแปรตัดสินใจ (x_{ijkl}) เป็นจำนวนเต็มบวกและมีค่าเป็น 0 หรือ 1 เท่านั้น (สมการที่ 4.2) ปริมาณไก่รุ่นที่จะทำการขนส่ง (q_{ijkl}) จะต้องมีค่าเป็นจำนวนเต็มบวกเท่านั้น (สมการที่ 4.3) ฟาร์มไข่ (l) จะสามารถรับไก่รุ่นรุ่นจากฟาร์มไก่รุ่น (j) โดยใช้รถบรรทุก (i) ในรอบการขนส่ง (k) นั้นๆ ได้เพียงครั้งเดียวเท่านั้น (สมการที่ 4.4) เพื่อเป็นการป้องกันโรคระบาดที่อาจจะเกิดขึ้นเนื่องจากไก่รุ่นที่มีแหล่งที่มาแตกต่างกัน ฟาร์มไข่ (l) อาจได้รับไก่รุ่นไม่ครบตามที่ต้องการ (สมการที่ 4.5) ฟาร์มไข่ (l) แต่ละฟาร์มจะได้รับไก่รุ่นอย่างน้อยร้อยละ 50 ของความต้องการของตนเอง (สมการที่ 4.6) ฟาร์มไก่รุ่น (j) แต่ละฟาร์มจะสามารถส่งไก่รุ่นไปยังฟาร์มไข่ได้ทั้งหมด โดยไม่มีเหลือค้างที่ฟาร์ม (สมการที่ 4.7) ถ้าไม่มีการมอบหมาย $(x_{ijkl} = 0)$ แล้วปริมาณ

ที่จะทำการขนส่งจะต้องเท่ากับ 0 $\left(q_{ijkl} = 0\right)$ ด้วย (สมการที่ 4.8) ปริมาณที่จะทำการขนส่ง (q) ในแต่ละรอบจะต้องไม่เกินความจุของรถบรรทุก (สมการที่ 4.9)

เวลาที่ใช้ในการขนไก่รุ่นขึ้นรถ (สมการที่ 4.10) จะขึ้นกับปริมาณไก่รุ่นที่จะขน (q) และความสามารถของคนงานในการขนส่งไก่รุ่นขึ้นรถ (zup) เวลาที่ใช้ในการขนไก่รุ่นลงจากรถ (สมการที่ 4.11) ขึ้นกับปริมาณไก่รุ่นที่จะขน (q) และความสามารถของคนงานในการขนไก่รุ่นลงจากรถ (zdn) เวลาที่ใช้ในการเดินทางขนส่ง $\left(ttrans_{ijkl}\right)$ เริ่มจากศูนย์บริการไปยังฟาร์มไก่รุน จากฟาร์มไก่รุ่นไปยังฟาร์มไข่ และจากฟาร์มไข่กลับไปยังศูนย์บริการ โดยไม่รวมเวลาที่ใช้ในการขนส่งไก่รุ่นขึ้นรถและลงจากรถ มีค่าขึ้นกับระยะทางที่ได้มีการมอบหมายและอัตราความเร็ว (สมการที่ 4.12) เวลาที่ใช้ในการมอบหมายทั้งหมด (สมการที่ 4.13) เท่ากับ เวลาที่ใช้ในการขนไก่รุ่นขึ้นรถ (tup) เวลาที่ใช้ในการเดินทาง (ttrans) และเวลาที่ใช้ในการขนไก่รุ่นลงจากรถ (tdn) เพื่อสุขภาพที่ดีของไก่รุ่นระยะเวลารวมทั้งหมดจะต้องไม่เกิน 8 ชั่วโมง (สมการที่ 4.14) เวลาที่ใช้งานของรถบรรทุกแต่ละประเภทจะต้องไม่เกินจำนวนชั่วโมงที่กำหนดไว้ (สมการที่ 4.15) เพื่อเป็นการกำหนดให้รอบของการมอบหมายเริ่มต้นที่รอบที่ 1 ก่อน (สมการที่ 4.16)

บทที่ 5
การวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง (Differential Evolution: DE)

5.1 ปัญหาการมอบหมายงาน (Assignment Problem)

5.1.1 ลักษณะทั่วไปของปัญหาการมอบหมายงาน

ปัญหาการมอบหมายงานเป็นปัญหาที่เกิดขึ้นเนื่องจากสถานการณ์จริงในการมอบหมายงานให้กับพนักงาน งานแต่ละงานมีความยากง่ายแตกต่างกัน งานแต่ละงานใช้เทคโนโลยีที่แตกต่างกัน งานแต่ละงานใช้เวลาในการทำงานไม่เท่ากัน จะเห็นได้ว่างานแต่ละงานมีความแตกต่างกัน ในกรณีของพนักงานก็มีความแตกต่างกันเหมือนกับงานแต่ละงาน เช่น พนักงานแต่ละคนมีความรู้ความสามารถรวมถึงความชำนาญไม่เหมือนกัน ทักษะในการทำงานไม่เหมือนกัน การมอบหมายงานให้กับพนักงานแต่ละคนจะมีต้นทุนในการมอบหมายที่แตกต่างกัน เนื่องจากงานบางงานอาจจะเหมาะกับพนักงานบางคน งานที่พนักงานมีความถนัดหรือมีความชำนาญจะใช้เวลาในการทำงานน้อยและมีต้นทุนที่ต่ำกว่า หากมีการมอบหมายงานไปแล้วก็จะไม่สามารถมอบหมายงานนี้ให้กับพนักงานอื่นได้อีก หรือหากพนักงานได้รับการมอบหมายงานไปแล้วก็จะไม่สามารถรับมอบหมายงานอื่นๆ ได้อีก เป้าหมายของการมอบหมายงานคือจะทำการมอบหมายงานให้กับพนักงานอย่างไรจึงจะทำให้ต้นทุนรวมในการมอบหมายงานต่ำที่สุด

การมอบหมายงานไม่เหมาะสมเช่นการมอบหมายงานยากให้กับพนักงานทดลองงาน จะมีต้นทุนในการมอบหมายที่สูงกว่าการมอบหมายงานที่ยากให้กับพนักงานที่มีประสบการณ์สูง หรือการมอบหมายงานใดๆ ให้กับพนักงานที่มีความรู้ความสามารถรวมถึงความชำนาญก็จะทำให้พนักงานสามารถทำงานได้ในระยะเวลารวดเร็ว ทำให้มีต้นทุนในการมอบหมายงานที่ต่ำ เป้าหมายของการมอบหมายงานคือมีความต้องการให้การมอบหมายงานที่เกิดขึ้นมีต้นทุนรวมที่ต่ำที่สุด การเริ่มต้นมอบหมายงานนั้นไม่จำเป็นต้องมอบหมายงานที่มีต้นทุนการมอบหมายงานที่ต่ำที่สุดก่อน เนื่องจากเมื่อมีการมอบหมายงานไปแล้วจะมีค่าเสียโอกาสเกิดขึ้นกล่าวคืองานที่มีการมอบหมายไปแล้วจะไม่สามารถมอบหมายซ้ำได้อีก หรือพนักงานที่ได้รับมอบหมายงานไปแล้วจะไม่สามารถมอบหมายงานให้ได้อีก ดังนั้นการมอบหมายงานที่เหมาะสมให้กับพนักงานที่ถูกต้องจะทำให้เกิดต้นทุนรวมต่ำสุดได้

ปัญหาการมอบหมายงานในระดับพื้นฐานจะมีการมอบหมายเพียง 2 ขั้นเท่านั้น เช่น การมอบหมายงานให้กับพนักงาน หรือ การมอบหมายแท็กซี่ให้ไปรับลูกค้าให้เร็วที่สุด หรือ การมอบหมายพยาบาลให้ดูแลคนไข้ หรือ การมอบหมายพนักงานขายให้กับลูกค้า เป็นต้น หากเป็นการมอบหมายแบบหลายขั้นก็จะมีความซับซ้อนมากขึ้น เช่น การมอบหมายให้ พยาบาล แพทย์ เพื่อดูแลรักษาคนไข้ ณ โรงพยาบาล ที่เป็นการมอบหมายแบบ 4 ขั้น กล่าวคือ มีการมอบหมาย พยาบาล แพทย์ โรงพยาบาล เพื่อดูแลรักษาคนไข้ หากมีหลายขั้นตอนในการมอบหมายก็จะมีผลทำให้เกิดผลกระทบต่อเนื่องในแต่ละขั้นตอน หากมีการมอบหมายที่ไม่เหมาะสมเพียงหนึ่งรายการในแต่ละชุดของการมอบหมายอาจทำให้ต้นทุนในการมอบหมายสูง ต้นทุนการมอบหมายน่าจะสูงกว่าการมอบหมายแบบ 2 ขั้นตอน โดยที่ปัญหาการมอบหมายงานแบบ 2 ขั้นตอนมีความยากในระดับ NP-complete (Ayed Salman, et al., 2002)

เป้าหมายหลักที่สำคัญของการแก้ไขปัญหาการมอบหมายงานคือจะมีการมอบหมายงานอย่างไรเพื่อที่จะทำให้ต้นทุนรวมในการมอบหมายงานต่ำที่สุด ในบางกรณีการพิจารณาเฉพาะเป้าหมายหลักเพียงอย่างเดียวอาจไม่เพียงพอ จำเป็นต้องมีการพิจารณาต้นทุนที่เป็นเป้าหมายรองเพิ่มขึ้นด้วย เช่น ในการขนส่งสินค้าต้นทุนในการมอบหมายงานหลักคือต้นทุนค่าขนส่งซึ่งขึ้นกับระยะทางเป็นหลัก ถ้าหากการขนส่งที่เกิดขึ้นเป็นการขนส่งที่ไม่เต็มประสิทธิภาพกล่าวคือเป็นการขนส่งที่ไม่เต็มคันรถหรือก่อให้เกิดพื้นที่ว่าง ทำให้เกิดต้นทุนค่าเสียโอกาสเนื่องจากการขนส่งไม่เต็มประสิทธิภาพ อาจเป็นผลทำให้ต้องมีการขนส่งหลายรอบ ซึ่งทำให้ต้นทุนรวมในการมอบหมายงานเพิ่มขึ้น เพื่อหลีกเลี่ยงต้นทุนค่าเสียโอกาสที่จะเพิ่มขึ้นจะต้องมีการนำต้นทุนค่าเสียโอกาสมาพิจารณาร่วมด้วย (ตามภาพที่ 5.1)

ต้นทุนในการมอบหมายงาน = ต้นทุนในการขนส่ง + ต้นทุนค่าเสียโอกาส

ภาพที่ 5.1 ต้นทุนในการมอบหมายงาน

การมอบหมายงานในระดับพื้นฐานจะมีการมอบหมายเพียง 2 ขั้นเท่านั้น เช่น การมอบหมายงานให้กับพนักงาน เป็นต้น ส่วนการมอบหมายในกรณีศึกษานี้จะเป็นการมอบหมายแบบหลายขั้นกล่าวคือเป็นการมอบหมายประเภทของรถบรรทุก (i) ทำการขนส่งในรอบ (j) เพื่อทำการขนส่งไก่รุ่นจากฟาร์มไก่รุ่น (k) เพื่อไปส่งยังฟาร์มไข่ (l) โดยมีจุดมุ่งหมายเพื่อที่จะต้องการให้ต้นทุนในการมอบหมายงานต่ำสุด โดยที่เป้าหมายหลักคือ ต้นทุนการขนส่งไก่รุ่นที่ต่ำที่สุดและขณะเดียวกันมีเป้าหมายรองคือต้องการให้ต้นทุนค่าเสียโอกาสที่เกิดเนื่องจากการขนส่งไม่เต็มประสิทธิภาพ

ลักษณะทั่วไปของปัญหาที่จะทำการศึกษาในครั้งนี้คือ การมอบหมายรถบรรทุกที่มีทั้งหมด 4 ประเภท (i=1, 2, 3 ,4) กล่าวคือ รถบรรทุก 10 ล้อ รถบรรทุก 6 ล้อ รถบรรทุก 4 ล้อ (ดัดแปลง) และรถบรรทุก 4 ล้อ โดยรถบรรทุกแต่ละประเภทจะมีความจุหรือมีความสามารถในการขนส่งแตกต่างกัน มีอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันแตกต่างกัน ทำให้ต้นทุนในการมอบหมายรถบรรทุกแต่ละประเภทแตกต่างกัน รถบรรทุกประเภทเดียวกันสามารถทำการขนส่งได้หลายรอบ (i=1, 2, 3, ..., 10) โดยรถบรรทุกประเภทที่ได้รับมอบหมายจะเดินทางออกจากศูนย์บริการไปยังฟาร์มไก่รุ่นที่มีอยู่จำนวนทั้งหมด 40 ฟาร์ม (k=1, 2, 3, ..., 40) เพื่อไปส่งไก่รุ่นยังฟาร์มไข่ที่มีอยู่ทั้งหมด 60 ฟาร์ม (l=1, 2, 3, ..., 60) หลังจากนั้นจะเดินทางกลับจากฟาร์มไข่ไปยังศูนย์บริการเพื่อเตรียมพร้อมสำหรับการมอบหมายต่อไป

การมอบหมายงานตามกรณีศึกษาครั้งนี้จะมีลักษณะพิเศษเฉพาะกรณี ไม่เหมือนกรณีการมอบหมายงานแบบอื่นๆ กล่าวคือ การมอบหมายให้รถขนส่งไก่รุ่นซึ่งเป็นสิ่งมีชีวิตที่ต้องอาศัยการดูแลเป็นพิเศษ หากไก่รุ่นเกิดอาการเครียดเนื่องจากปัจจัยหลายๆ ปัจจัยจากการขนส่งจะมีผลทำให้ไข่ที่จะผลิตได้มีประสิทธิภาพต่ำลง เช่น ความร้อนจากแสงอาทิตย์ในการขนส่งเวลากลางวันซึ่งหลีกเลี่ยงได้โดยขนส่งในเวลากลางคืน ระยะเวลาที่ใช้ในการขนไก่รุ่นขึ้นและลงจากรถ รวมไปถึงเวลาที่ใช้ในการเดินทาง รถบรรทุกทุกคันที่ทำการขนส่งเสร็จเรียบร้อยจะต้องเดินทางกลับศูนย์บริการเพื่อทำความ

สะอาดและเตรียมพร้อมสำหรับการขนส่งในรอบถัดไปที่จะได้รับมอบหมาย โดยการมอบหมายงานในครั้งนี้จะมีข้อจำกัดที่สำคัญดังนี้ (ตามภาพที่ 5.2)

5.1.1.1 ฟาร์มไก่รุ่นจะสามารถทำการส่งไก่รุ่นออกได้ทั้งหมดไม่มีไก่รุ่นเหลือ ฟาร์มไก่รุ่นแต่ละฟาร์มจะผลิตไก่รุ่นตามมาตรฐานที่ถูกกำหนดขึ้น การผลิตไก่รุ่นแต่ละครั้งนั้นสามารถที่จะส่งไก่รุ่นที่มีได้ทั้งหมด ไม่มีไก่รุ่นเหลือค้างที่ฟาร์มไก่รุ่น หลังจากนั้นก็จะทำการผลิตไก่รุ่นสำหรับครั้งต่อไป

5.1.1.2 ฟาร์มไข่ทุกฟาร์มจะได้รับไก่รุ่นอย่างน้อยร้อยละ 50 ของความต้องการของตนเอง เมื่อฟาร์มไข่จะได้รับไก่รุ่นอย่างน้อยร้อยละ 50 ของความต้องการเรียบร้อยแล้ว ฟาร์มไข่จะได้รับไก่รุ่นเพิ่มเติมจากเดิม เมื่อมีการมอบหมายเสร็จสิ้นฟาร์มไข่บางฟาร์มอาจได้รับไก่รุ่นครบตามที่ต้องการ แต่อาจมีฟาร์มไข่บางฟาร์มได้รับไก่รุ่นไม่ครบตามที่คาดการณ์ไว้

5.1.1.3 ปริมาณการขนส่งจะต้องไม่เกินความจุของรถบรรทุก รถบรรทุกแต่ละประเภทจะมีความจุที่เหมาะสมสำหรับการขนส่งไก่รุ่นไมเท่ากัน การขนส่งที่เกิดขึ้นในแต่ละรอบนั้น จะต้องไม่เกินปริมาณความจุของรถบรรทุกแต่ละประเภทที่กำหนดไว้

5.1.1.4 การใช้งานรถบรรทุกจะต้องไม่เกินชั่วโมงการทำงานรวมของรถบรรทุกแต่ละประเภท ระยะเวลาในการใช้งานเริ่มตั้งแต่ออกจากศูนย์บริการไปยังฟาร์มไก่รุ่น เวลาในการขนไก่รุ่นขึ้นและลงจากรถ เวลาในการเดินทางระหว่างฟาร์มไก่รุ่นไปยังฟาร์มไข่ รวมไปถึงเวลาที่เดินทางกลับจากฟาร์มไข่ไปยังศูนย์บริการ เวลาโดยรวมที่ดีที่สุดในการขนส่งแต่ละครั้งคือ 4 ชั่วโมง และไม่ควรเกิน 8 ชั่วโมงในแต่ละรอบ การขนส่งในแต่ละรอบนั้นควรทำในเวลากลางคืนเพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาความร้อนจากดวงอาทิตย์ในเวลากลางวัน ความร้อนอาจทำให้คุณภาพของไก่รุ่นลดลงในขณะขนส่งหรืออาจเกิดโรคระบาดได้

ข้อจำกัดในการมอบหมายงานแบบหลายขั้นสำหรับกรณีศึกษาครั้งนี้

1. ฟาร์มไก่รุ่นจะสามารถส่งไก่รุ่นออกได้ทั้งหมดโดยไม่มีไก่รุ่นเหลือ
2. ฟาร์มไข่ทุกฟาร์มจะได้รับไก่รุ่นอย่างน้อยร้อยละ 50 ของความต้องการของตนเอง
3. ปริมาณการขนส่งจะต้องไม่เกินความจุของรถบรรทุก
4. การใช้งานรถบรรทุกจะต้องไม่เกินชั่วโมงการทำงานของรถบรรทุกแต่ละประเภท

ภาพที่ 5.2 ข้อจำกัดในการมอบหมายงานแบบหลายขั้นสำหรับกรณีศึกษา

5.1.2 การแก้ปัญหาการมอบหมายงานแบบหลายขั้น

คำตอบที่นักวิจัยทุกคนต้องการคือคำตอบที่ดีที่สุด หรือวิธีการแม่นตรง (exact method) โดยมีหลายวิธีในการที่จะให้ได้มาซึ่งคำตอบ เช่น วิธีการบรานช์แอนด์บาวนด์ (Branch and Bound) หรือวิธีการซิมเพล็กซ์ (simplex method) เป็นต้น เมื่อใช้วิธีการแม่นตรง แล้วจะเป็นการยืนยันได้ว่าคำตอบที่ได้จะเป็นคำตอบที่ดีที่สุด นอกเหนือจากวิธีการคำนวณดังกล่าวแล้วยังมีโปรแกรม ลิงโก ซึ่งเป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่อำนวยความสะดวกในการค้นหาคำตอบ โปรแกรม ลิงโก จะใช้หลักการของวิธีการบรานช์แอนด์บาวนด์ในการหาคำตอบ ซึ่งหากใช้โปรแกรม ลิงโก และมีแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่

ถูกต้อง คำตอบที่ได้จะสามารถยืนยันได้ว่าเป็นคำตอบที่ดีที่สุดเช่นกัน อย่างไรก็ตามวิธีการที่จะให้ได้มาซึ่งคำตอบที่ดีที่สุดนี้จะทำการค้นหาจากเซตคำตอบที่เป็นไปได้ของทุกๆ เหตุการณ์ ซึ่งอาจทำให้ใช้เวลานานในการค้นหาคำตอบ โดยเฉพาะอย่างยิ่งสำหรับปัญหาที่มีขนาดใหญ่หรือปัญหาที่มีความซับซ้อน บางกรณีอาจเรียกได้ว่าไม่สามารถหาคำตอบได้ด้วยมือ ถึงแม้จะใช้โปรแกรม ลิงโก เพื่อช่วยในการคำนวณ ก็อาจใช้เวลาในการหาคำตอบนาน อาจนานเป็นอาทิตย์ หรืออาจนานเป็นเดือน ซึ่งจะเรียกได้ว่าไม่สามารถหาคำตอบได้

วิธีการทางเลือกในการแก้ปัญหาเพื่อที่จะค้นหาคำตอบที่ได้ใกล้เคียงคำตอบที่ดีที่สุดในขณะที่ใช้เวลาในการค้นหาคำตอบสั้นกว่าวิธีการแม่นตรง อย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งคือวิธีการฮิวริสติกส์ (heuristics) วิธีนี้จะช่วยให้การค้นหาคำตอบได้รวดเร็วขึ้น โดยมีการคาดหวังว่าคำตอบที่ได้จะมีความใกล้เคียงคำตอบที่ดีที่สุด วิธีการฮิวริสติกส์มีพื้นฐานการคิดหลายแบบ บางกรณีเป็นการเลียนแบบธรรมชาติสิ่งที่อยู่รอบตัวมนุษย์ เช่น วิธีการเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm: GA) พฤติกรรมการหาอาหารของมดซึ่งคือวิธีอาณานิคมมด (Ant Colony Optimization: ACO) นก ปลา หรือสัตว์ที่มีพฤติกรรมในการหาอาหารเป็นฝูงซึ่งคือวิธีการค้นหาค่าที่ดีที่สุดด้วยฝูงอนุภาค (Particle Swarm Optimization: PSO) หรือจะเป็น วิธีการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง (Differential Evolution: DE) เป็นต้น โดยวิธีดังกล่าวข้างต้น จะมีขั้นตอนหรือวิธีการที่แตกต่างกันไป แต่มีจุดประสงค์หลักของแต่ละวิธีร่วมกันคือต้องการหาคำตอบให้ได้ใกล้เคียงคำตอบที่ดีที่สุด โดยใช้เวลาในการหาคำตอบไม่นาน อย่างไรก็ตามด้วยวิธีการและขั้นตอนที่แตกต่างกันนี้เอง จะมีผลทำให้แต่ละวิธีมีความใกล้เคียงคำตอบที่ดีที่สุดไม่เท่ากัน และเวลาที่ใช้ในการหาคำตอบแตกต่างกัน

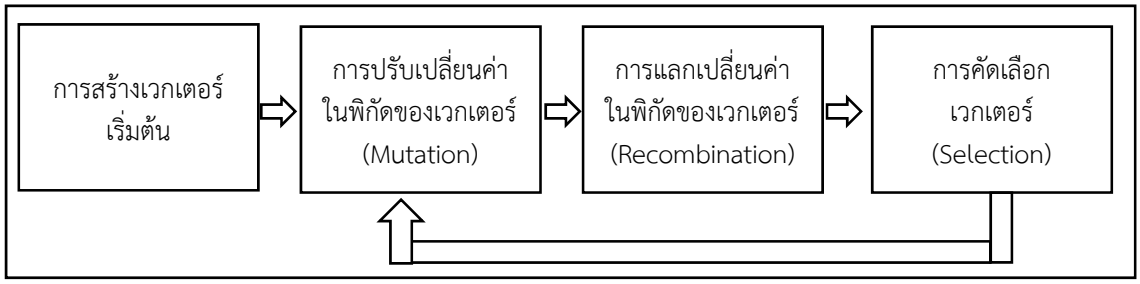
วิธีการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างเป็นหนึ่งในวิธีการวิวัฒนาการ (Evolutionary algorithm) ที่มีขั้นตอนที่สำคัญ 4ขั้นตอนคือ 1) การสร้างเวกเตอร์เริ่มต้น (Initial Population) 2) วิธีการปรับเปลี่ยนค่าในพิกัดของเวกเตอร์ (Mutation) 3) วิธีการแลกเปลี่ยนค่าในพิกัดของเวกเตอร์ (Recombination) 4) การคัดเลือกเวกเตอร์ (Selection) วิธีการ DE ได้ถูกนำเสนอเป็นครั้งแรกโดย Storn and Price (1997) โดยมีการพิสูจน์ว่าสามารถแก้ไขปัญหาได้ได้อย่างมีประสิทธิภาพทั้งแบบต่อเนื่องและไม่ต่อเนื่อง (Qin and et al., 2009; Nearchou, 2005; Nearchou, 2007; Nearchou, 2008) วิธีการ DE ได้ถูกนำมาใช้ในหลากหลายปัญหา อาทิเช่น ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่ง (Vehicle Routing Problem) ปัญหาการจัดสายการผลิต (Assembly line balancing) หรือ ปัญหาการมอบหมายงานแบบทั่วไป (Generalize Assignment Problem: GAP) (Kanchana Sethanan and Rapeepan Pitakaso, 2015) เป็นต้น สำหรับการศึกษาในครั้งนี้จะเลือกวิธี DE มาใช้ในการแก้ไขปัญหาการมอบหมายงานแบบหลายขั้น (Multi-Stage Assignment Problem)

เป้าหมายของการแก้ไขปัญหาการมอบหมายงานแบบหลายขั้นนี้คือ การมอบหมายงานอย่างไรจึงจะทำให้ต้นทุนรวมในการมอบหมายงานมีค่าต่ำสุด ต้นทุนในการมอบหมายงานในกรณีศึกษานี้ประกอบด้วยต้นทุน 2 ประเภท กล่าวคือ ต้นทุนประเภทแรกคือต้นทุนหลักที่เป็นต้นทุนในการขนส่งสินค้าที่ขึ้นกับระยะทางในการขนส่งสินค้าหลัก ส่วนน้ำมันเชื้อเพลิงถือเป็นปัจจัยภายนอกที่ไม่สามารถควบคุมได้จึงกำหนดให้มีค่าคงที่ตลอดระยะเวลาในการศึกษา อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันขึ้นกับประเภทของรถ ส่วนปัจจัยอื่นๆ เช่น ลักษณะของการขับขี่ของพนักงานขับรถ ลักษณะของรถแต่ละคัน จะถือ

ว่าเป็นปัจจัยคงที่ ต้นทุนอีกส่วนทีสำคัญคือต้นทุนค่าเสียโอกาส ซึ่งเป็นต้นทุนที่เกิดขึ้นจากการขนส่งที่เกิดพื้นที่ว่างหรือขนส่งไม่เต็มความจุของรถบรรทุก ทำให้เสียโอกาสในการขนส่งสำหรับกรณีอื่นๆ

5.2 วิธีการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง (Differential Evolution: DE)

วิธีการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง (DE) เป็นหนึ่งในวิธีการที่ได้รับความนิยมในการค้นหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุด ในกรณีที่วิธีการแม่นตรงไม่สามารถหาคำตอบได้หรือใช้เวลานานมากในการหาคำตอบ คำตอบที่ได้จากวิธี DE อาจไม่ใช่คำตอบที่ดีที่สุด แต่ก็เป็นคำตอบที่เหมาะสม มีความใกล้เคียงกับคำตอบที่ดีที่สุด สามารถหาคำตอบที่ต้องการได้ในระยะเวลาไม่นาน วิธี DE อาศัยหลักการของผลต่างของเวกเตอร์เพื่อเป็นการกระจายพื้นที่ในการหาคำตอบ อาจเป็นผลทำให้จากคำตอบที่ดีที่สุดเฉพาะพื้นที่ (local optimal) เป็นคำตอบที่ดีที่สุด (global optimal) ก็เป็นได้ วิธีการ DE มีขั้นตอนดังนี้



ภาพที่ 5.3 กระบวนการดำเนินงานของวิธีการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง

5.2.1 การสร้างเวกเตอร์เริ่มต้น (Initial population)

ประชากรเริ่มต้นของวิธี DE จะเริ่มต้นจากการกำหนดจำนวนประชากรและเลขสุ่มสำหรับแต่ละประชากร โดยจำนวนประชากรจะต้องมีค่าอย่างน้อย 4 ประชากร เนื่องจากกระบวนการของ DE ที่จะมีการใช้ 3 เวกเตอร์ ในการกำหนดทิศทางของการค้นหา หากจำนวนประชากรมีน้อยก็จะทำให้ไม่เกิดการกระจายการค้นหาคำตอบ เมื่อมีการกำหนดประชากรเริ่มต้นแล้ว ก็จะเข้าสู่กระบวนการเข้ารหัส (Encoding) สำหรับกระบวนการต่อไปของ DE

ถ้ากำหนดจำนวนประชากรเริ่มต้น 5 ประชากร โดยจะมี 5 ประชากรจากกลุ่มประเภทรถบรรทุก ตามด้วย 5 ประชากรจากกลุ่มฟาร์มไก่รุ่น และ มีอีก 5 ประชากรจากกลุ่มฟาร์มไข่ สำหรับการตัดสินใจในกรณีศึกษานี้จะทำการมอบหมายตามลำดับของประชากรของแต่ละกลุ่ม กล่าวคือ จะทำการมอบหมายให้กับประชากรที่ 1 จากกลุ่มประเภทรถบรรทุก ประชากรที่ 1 จากกลุ่มฟาร์มไก่รุ่น และประชากรที่ 1 จากฟาร์มไข่ กลุ่มของเวกเตอร์ดังกล่าวจะถูกนำไปสู่กระบวนการ วิธีการปรับเปลี่ยนค่าในพิกัดของเวกเตอร์ต่อไป (ข้อที่ 1 ภาพที่ 5.4)

5.2.2 การเข้ารหัส (Encoding)

การเข้ารหัสในครั้งนี้ประกอบด้วย 3 ปัจจัย กล่าวคือ ประเภทของรถบรรทุก ฟาร์มไก่รุ่น และ ฟาร์มไข่ สำหรับในกรณีตัวอย่างนี้จะมีปัจจัยละ 5 เวกเตอร์ เวกเตอร์ละ 4 พิกัด (Position) เริ่มต้นโดยการกำหนดตัวเลขสุ่มสำหรับแต่ละพิกัดในแต่ละเวกเตอร์ โดยตัวเลขสุ่มจะมีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 ได้ดังนี้ (ตามตารางที่ 1.1, 1.2 และ 1.3)

การสร้างเวกเตอร์เริ่มต้น

1. กำหนดขนาดของประชากร

Encoding การเข้ารหัส

2. กำหนดตัวเลขสุ่มของแต่ละพิกัด (position) สำหรับทุกๆ เวกเตอร์
3. เรียงลำดับตัวเลขสุ่มของแต่ละเวกเตอร์
4. ตัวเลขสุ่มที่มีค่าน้อยที่สุดจะมีโอกาสถูกเลือกเป็นอันดับแรก
5. นำอันดับของแต่ละเวกเตอร์มาสร้างเป็นตารางลำดับของพิกัด

ภาพที่ 5.4 การสร้างเวกเตอร์เริ่มต้น

การเข้ารหัสเริ่มต้นจากการกำหนดตัวเลขสุ่มให้กับแต่ละพิกัดสำหรับแต่ละเวกเตอร์ (ข้อ 2 ภาพที่ 5.4) โดยตัวเลขสุ่มของเวกเตอร์ของรถบรรทุกคือตารางที่ 5.1 ตัวเลขสุ่มของเวกเตอร์ของฟาร์มไก่รุ่นคือตารางที่ 5.2 และตัวเลขสุ่มของเวกเตอร์ของฟาร์มไข่คือตารางที่ 5.3

ตารางที่ 5.1 เวกเตอร์เริ่มต้นของประเภทรถบรรทุก

พิกัด	เวกเตอร์ของประเภทรถบรรทุก				
	1	2	3	4	5
1	0.3662	0.0330	0.8662	0.5309	0.4304
2	0.3738	0.2698	0.5456	0.9380	0.4344
3	0.6267	0.6280	0.5089	0.0926	0.3759
4	0.6083	0.7464	0.0687	0.8766	0.5045

ตารางที่ 5.2 เวกเตอร์เริ่มต้นของฟาร์มไก่รุ่น

พิกัด	เวกเตอร์ของฟาร์มไก่รุ่น				
	1	2	3	4	5
1	0.2597	0.1471	0.8420	0.4044	0.7124
2	0.3184	0.2953	0.4526	0.8481	0.1213
3	0.1232	0.0995	0.3469	0.3218	0.0456
4	0.9581	0.2122	0.5713	0.8034	0.9386

ตารางที่ 5.3 เวกเตอร์เริ่มต้นของฟาร์มไข่

พิกัด	เวกเตอร์ของฟาร์มไข่				
	1	2	3	4	5
1	0.0472	0.6264	0.8370	0.8489	0.2479
2	0.3940	0.7509	0.1076	0.5824	0.5417
3	0.9313	0.2053	0.1851	0.4747	0.0456
4	0.6833	0.5825	0.2744	0.0746	0.5546

จากค่าตัวเลขสุ่มของพิกัดในแต่ละเวกเตอร์เริ่มต้นของประเภทรถบรรทุก (ตารางที่ 5.1) เวกเตอร์เริ่มต้นของฟาร์มไก่รุ่น (ตารางที่ 5.2) และ เวกเตอร์เริ่มต้นของฟาร์มไข่ (ตารางที่ 5.3) มาทำการเรียงลำดับจากค่าตัวเลขสุ่ม (ข้อ 3 ภาพที่ 5.4) โดยตัวเลขสุ่มที่มีค่าน้อยที่สุดจะถูกกำหนดให้มีค่าเท่ากับลำดับที่ 1 ต่อมาตัวเลขสุ่มที่มีค่าสูงขึ้นในลำดับสุดท้าย ในกรณีตัวอย่างนี้จะเป็นลำดับที่ 4 โดยลำดับของพิกัดในแต่ละเวกเตอร์ของรถบรรทุกคือตารางที่ 5.4 ลำดับของพิกัดในแต่ละเวกเตอร์ของฟาร์มไก่รุ่นคือตารางที่ 5.5 และลำดับของพิกัดของแต่ละเวกเตอร์ของฟาร์มไข่คือตารางที่ 5.6

ตารางที่ 5.4 ลำดับของเวกเตอร์เริ่มต้นของประเภทรถบรรทุก

พิกัด	เวกเตอร์ของประเภทรถบรรทุก				
	1	2	3	4	5
1	1	1	4	2	2
2	2	2	3	4	3
3	4	3	2	1	1
4	3	4	1	3	4

ตารางที่ 5.5 ลำดับของเวกเตอร์เริ่มต้นของฟาร์มไก่รุ่น

พิกัด	เวกเตอร์ของฟาร์มไก่รุ่น				
	1	2	3	4	5
1	2	2	4	2	3
2	3	4	2	4	2
3	1	1	1	1	1
4	4	3	3	3	4

ตารางที่ 5.6 ลำดับของเวกเตอร์เริ่มต้นของฟาร์มไข่

พิกัด	เวกเตอร์ของฟาร์มไข่				
	1	**2**	**3**	**4**	**5**
1	1	3	4	4	2
2	2	4	1	3	3
3	4	1	2	2	1
4	3	2	3	1	4

การมอบหมายสำหรับการศึกษาในครั้งนี้จะทำการเลือกเวกเตอร์ที่ 1 ของประเภทรถบรรทุก ฟาร์มไก่รุ่น และ ฟาร์มไข่ มาทำการมอบหมาย โดยตัวเลขสุ่มที่มีค่าน้อยที่สุดหรือพิกัดในลำดับที่ 1 จะมีโอกาสถูกเลือกเป็นอันดับแรก (ข้อ 4 ภาพที่ 5.4) ลำดับของการมอบหมายสำหรับประชากรที่ 1 จะแสดงได้ตามตารางที่ 5.7 (ข้อ 5 ภาพที่ 5.4)

ตารางที่ 5.7 ลำดับของพิกัดในแต่ละเวกเตอร์ของประเภทรถบรรทุก ฟาร์มไก่รุ่น และฟาร์มไข่

ลำดับ	ประเภทรถบรรทุก	ฟาร์มไก่รุ่น	ฟาร์มไข่
1	1	2	1
2	2	3	2
3	4	1	4
4	3	4	3

รถบรรทุกแต่ละประเภทมีความจุที่แตกต่างกัน รถบรรทุกประเภทที่ 1 เป็นรถสิบล้อ มีความสามารถในการขนส่งไก่รุ่นได้ 10,000 ตัวต่อรอบการขนส่ง รถบรรทุกประเภทที่ 2 เป็นรถแปดล้อ มีความสามารถในการขนส่งไก่รุ่นได้ 8,000 ตัวต่อรอบ รถบรรทุกประเภทที่ 3 เป็นรถบรรทุก 4 ล้อ ดัดแปลง ซึ่งมีความสามารถในการขนส่งไก่รุ่นได้ 4,000 ตัว และรถบรรทุกประเภทสุดท้ายเป็นรถบรรทุก 4 ล้อ แบบธรรมดา มีความสามารถในการขนส่งไก่รุ่นได้ 2,000 ตัว ดังนั้นรถบรรทุกแต่ละประเภทมีความเหมาะสมในการขนส่งที่แตกต่างกัน ถ้าเป็นการขนส่งในปริมาณไม่มากนักอาจต้องใช้รถประเภทที่ 3 หรือประเภทที่ 4 หากต้องการขนส่งในปริมาณมากอาจต้องใช้รถบรรทุกประเภทที่ 1 หรือประเภทที่ 2 แทน โดยความจุของรถบรรทุกและลำดับการถูกเลือกแสดงได้ตามตารางที่ 5.4

ฟาร์มไก่รุ่นหรือผู้ผลิตไก่รุ่นแต่ละฟาร์มมีความสามารถไม่เท่ากัน บางฟาร์มมีปริมาณความสามารถในการผลิตหรืออุปทาน 10,000 ตัว ในขณะที่บางฟาร์มอาจมีความสามารถในการผลิตเพียง 5,000 ตัว ในขณะที่ฟาร์มไข่แต่ละฟาร์มก็มีความต้องการหรืออุปสงค์ไม่เหมือนกัน บางฟาร์มมีความต้องการ 10,000 ตัว บางฟาร์มอาจมีความต้องการ 8,000 ตัว ในขณะที่บางฟาร์มอาจมีความต้องการ 5,000 ตัว โดยที่ลำดับการถูกเลือก ความสามารถในการผลิตและปริมาณความต้องการของฟาร์มแต่ละฟาร์มแสดงได้ตามตารางที่ 5.8

ตารางที่ 5.8 ลำดับของพิกัด และ ความจุของรถบรรทุก อุปทานของฟาร์มไก่รุ่น และอุปสงค์ของฟาร์มไข่

ประเภทรถบรรทุก		ฟาร์มไก่รุ่น		ฟาร์มไข่		
ประเภท	ความจุ	ฟาร์ม	อุปทาน	ฟาร์ม	อุปสงค์	
					100%	50%
1	10,000	2	5,000	1	10,000	5,000
2	8,000	3	10,000	2	8,000	4,000
4	2,000	1	10,000	4	5,000	2,500
3	4,000	4	5,000	3	10,000	5,000

Decoding การถอดรหัส

1. แบ่งปริมาณความต้องการไก่รุ่นออกเป็น 2 ส่วน ส่วนละร้อยละ 50
   $(Q_d^A \ \& \ Q_d^B)$
2. กำหนดปริมาณที่จะทำการขนส่ง $AssignQ$
   $$AssignQ = \begin{cases} Q_d^A & if\ Q_d \le Q_s \\ Q_s & otherwise \end{cases}$$
   เมื่อ i=1, 2, 3, ..., m (m=จำนวนฟาร์มไก่รุ่น)
   j=1, 2, 3, ..., n (n=จำนวนฟาร์มไข่)
3. เลือกประเภทรถบรรทุก
   $$min\,TruckQ_k \ge AssignQ$$
   เมื่อ k=1, 2, 3 และ 4
   รถบรรทุกที่มีขนาดน้อยที่สุด ที่มีความจุมากกว่าปริมาณที่จะทำการขนส่ง
4. การปรับค่า (Adjusting) และ ตรวจสอบเงื่อนไข (Check condition)
   4.1 ชั่วโมงการทำงานของประเภทรถที่ถูกใช้งาน
   1) เพิ่มชั่วโมงการทำงานของประเภทรถบรรทุกที่ถูกใช้งาน (ระยะเวลาในการขนขึ้น การขนลง และ การเดินทาง)
   2) ตรวจสอบชั่วโมงการทำงานของประเภทรถบรรทุก หากใช้รถบรรทุกประเภทใดครบตามเวลาที่กำหนดแล้วจะต้องใช้รถประเภทอื่นแทน
   4.2 คำนวณปริมาณคงเหลือที่ฟาร์มไก่รุ่น (Supply : Q_s)
   1) คำนวณปริมาณคงเหลือ (เพื่อนำไปใช้ในการคำนวณ $AssignQ$ ในรอบถัดไป
   $$Q_s = Q_{s,i} - AssignQ$$
   2) ตรวจสอบเงื่อนไข (ฟาร์มไก่รุ่นจะสามารถส่งออกไก่รุ่นได้ทั้งหมด $Q_{s,i}$ = 0)
   $$Q_s = \begin{cases} Q_{s,i} & if\ Q_{s,i} > 0 \\ Q_{s,i+1} & otherwise \end{cases}$$
   $Q_{s,i+1}$ เลือกฟาร์มไก่รุ่นฟาร์มในลำดับถัดไป
   4.3 คำนวณปริมาณคงเหลือที่ฟาร์มไข่ (Demand : Q_d^A หรือ Q_d^B)
   1) คำนวณปริมาณคงเหลือ (เพื่อนำไปใช้ในการคำนวณ Q_{Assign} ในรอบถัดไป)
   $$Q_d = Q_{d,j} - AssignQ$$
   2) ตรวจสอบเงื่อนไข (ฟาร์มไข่จะได้รับไก่รุ่นอย่างน้อยร้อยละ 50 ของความต้องการ Q_d^A)
   $$\sum Q_d^A = 0 \quad for\ all\ j$$
   ฟาร์มไข่ได้รับไก่รุ่นครบร้อยละ 50 ของความต้องการ
   3) ตรวจสอบเงื่อนไข (ฟาร์มไข่จะได้รับไก่รุ่นที่เหลือตามความต้องการ (Q_d^B) ฟาร์มในลำดับแรกจะได้รับก่อน ฟาร์มในลำดับท้ายๆ อาจไม่ได้รับไก่รุ่นครบตามความต้องการ)
   $$Q_d = Q_d^B \quad \rightarrow \quad if \sum Q_d^A = 0$$
   เมื่อฟาร์มไข่ได้รับไก่รุ่นครบร้อยละ 50 ของความต้องการ จึงมีการมอบหมายไก่รุ่นเพิ่มเติม
5. ทำซ้ำข้อ 2, 3 และ 4 จนกว่าจะครบตามเงื่อนไขที่กำหนด

ภาพที่ 5.5 การถอดรหัส

5.2.3 การถอดรหัส

การถอดรหัสเริ่มจากการนำลำดับที่ถูกเรียงไว้แล้วในตารางการมอบหมาย (ตารางที่ 5.4) มาเริ่มทำการถอดรหัส โดยการดำเนินงานต่างๆ ในการถอดรหัสจะต้องทำให้เกิดการบรรลุถึงข้อจำกัดทุกข้อพร้อมกัน (ภาพที่ 5.2) เช่น รถบรรทุกแต่ละประเภทจะไม่สามารถบรรทุกเกินปริมาณที่กำหนดไว้ การใช้งานรถบรรทุกแต่ละประเภทจะต้องไม่เกินชั่วโมงการทำงานที่กำหนดไว้ ชั่วโมงการทำงานของรถบรรทุกเริ่มตั้งแต่เวลาที่ใช้ในการขนไก่รุ่นขึ้นรถบรรทุกจากฟาร์มไก่รุ่น เวลาในการเดินทาง (เวลาในการเดินทางจากศูนย์บริการไปยังฟาร์มไก่รุ่น เวลาในการเดินทางจากฟาร์มไก่รุ่นไปยังฟาร์มไข่ รวมถึงเวลาในการเดินทางกลับจากฟาร์มไข่ไปยังศูนย์บริการ) และ เวลาในการขนไก่รุ่นลงที่ฟาร์มไข่ ฟาร์มไก่รุ่นจะสามารถส่งไก่รุ่นออกได้ทั้งหมดโดยไม่มีไก่รุ่นเหลือในฟาร์ม ฟาร์มไก่รุ่นในลำดับแรกจะถูกมอบหมายจนหมด ฟาร์มไก่รุ่นในลำดับถัดไปจึงถูกมอบหมาย สำหรับฟาร์มไข่นั้นในเบื้องต้นฟาร์มไข่จะได้รับไก่รุ่นอย่างน้อยร้อยละ 50 ของความต้องการที่มี หลังจากนั้นจะได้รับไก่รุ่นเพิ่มเติมโดยฟาร์มในลำดับแรกๆ จะได้รับไก่รุ่นครบตามจำนวนที่ต้องการ ส่วนฟาร์มในลำดับหลังๆ อาจไม่ได้รับไก่รุ่นตามที่ตนเองต้องการ ปัจจัยทุกๆ ปัจจัยที่เกี่ยวข้องจะต้องถูกพิจารณาไปพร้อมๆ กัน

ในเบื้องต้นฟาร์มไข่จะได้รับไก่รุ่นอย่างน้อยร้อยละ 50 ของความต้องการทั้งหมด เมื่อทุกฟาร์มไข่ได้รับไก่รุ่นร้อยละ 50 ของความต้องการเรียบร้อยแล้วจึงมีการเริ่มมอบหมายไก่รุ่นเพิ่มเติมให้กับฟาร์มไข่ต่อไป โดยในการเริ่มต้นมอบหมายในครั้งนี้ฟาร์มไข่ที่กำหนดไว้ในลำดับแรกๆ จะได้รับไก่รุ่นครบตามความต้องการ ส่วนฟาร์มในลำดับหลังๆ อาจได้รับไก่รุ่นไม่ครบตามความต้องการ ดังนั้นการมอบหมายจะทำการแบ่งความต้องการของไก่รุ่นของฟาร์มไข่แต่ละฟาร์มออกเป็น 2 ส่วน ในส่วนแรก (Q_d^A) ใช้สำหรับการมอบหมายเพื่อให้ครบร้อยละ 50 ของความต้องการ สำหรับในส่วนที่สอง (Q_d^B) ใช้สำหรับการมอบหมายไก่รุ่นเพิ่มเติมให้กับแต่ละฟาร์ม (ข้อจำกัดข้อ 2 ภาพที่ 5.2 และการถอดรหัสข้อ 1 ภาพที่ 5.5)

ปัจจัยสำคัญประการหนึ่งในการมอบหมายคือปริมาณที่จะมีการมอบหมายในแต่ละครั้ง โดยจะมีความสำคัญกับประเภทของรถบรรทุกที่จะถูกเลือก จำนวนรอบที่จะมีการมอบหมาย รวมไปถึงค่าใช้จ่ายที่จะเกิดขึ้นเนื่องจากการขนส่ง ปริมาณที่ทำการขนส่ง $(AssignQ)$ จะถูกกำหนดจากจำนวนไก่รุ่นที่ฟาร์มไก่รุ่นฟาร์มหนึ่งผลิตได้ ร่วมกับปริมาณความต้องการไก่รุ่นของฟาร์มไข่ โดยทำการมอบหมายให้ครบร้อยละ 50 ของความต้องการก่อนจึงจะมอบหมายในส่วนที่เหลือ ปริมาณที่ทำการขนส่งได้จากปริมาณไก่รุ่นที่ฟาร์มไก่รุ่น และปริมาณความต้องการไก่รุ่นของฟาร์มไข่ หากปริมาณใดมีค่าน้อยกว่าก็จะทำการขนส่งโดยใช้ปริมาณนั้น ยกตัวอย่างเช่น ฟาร์มไก่รุ่นผลิตไก่รุ่นได้ 8,000 ตัว ในขณะที่ฟาร์มไข่มีความต้องการไก่รุ่น 5,000 ตัว ปริมาณที่ทำการขนส่งคือ 5,000 ตัว เป็นต้น หรือปริมาณทั้งสองเท่ากันก็จะทำการกำหนดปริมาณที่จะทำการขนส่งในปริมาณดังกล่าว (ข้อ 2 ภาพที่ 5.5)

$$AssignQ = \begin{cases} Q_d^A & if\ Q_d \leq Q_s \\ Q_s & otherwise \end{cases} \tag{5.1}$$

เมื่อ $AssignQ$ คือ ปริมาณที่จะทำการขนส่ง

Q_d^A คือ ปริมาณความต้องการไก่รุ่นของฟาร์มไข่ในส่วนแรก มีค่าเท่ากับร้อยละ 50 ของความต้องการทั้งหมด

Q_s คือ ปริมาณผลผลิตที่ฟาร์มไก่รุ่นผลิตได้

ปริมาณที่ทำการขนส่งจะมีอิทธิพลเป็นอย่างยิ่งต่อการเลือกประเภทรถบรรทุกที่จะมาทำการขนส่ง การเลือกประเภทรถที่เหมาะสมจะทำให้สามารถประหยัดต้นทุนในการขนส่งได้ ถ้าเลือกรถบรรทุกที่มีความจุน้อยกว่าปริมาณที่ทำการขนส่งก็จะทำให้ต้องมีการขนส่งหลายรอบเป็นผลให้สิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง ต้นทุนการขนส่งเพิ่มขึ้น แต่ถ้าเลือกรถบรรทุกที่มีความจุมากกว่าปริมาณที่ทำการขนส่งก็จะทำให้เกิดพื้นที่ว่างซึ่งทำให้เกิดค่าเสียโอกาส นอกจากนี้อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง หรือต้นทุนการผลิตก็สูงกว่ารถบรรทุกที่มีความจุพอดี ดังนั้นการเลือกประเภทรถบรรทุกจะทำการเลือกรถบรรทุกที่มีความจุมากกว่าและใกล้เคียงกับปริมาณที่ทำการขนส่งมากที่สุด เพื่อเป็นการหลีกเลี่ยงการขนส่งหลายรอบที่อาจมีต้นทุนสูงกว่าการขนส่งรอบเดียวจากรถบรรทุกที่มีขนาดใหญ่กว่า (ข้อ 3 ภาพที่ 5.5)

$$min\, TruckQ_k \geq AssignQ \tag{5.2}$$

เมื่อ $TruckQ_k$ คือ ความจุของรถบรรทุกประเภท k

k = 1, 2, 3 และ 4

รถบรรทุกที่ใช้ในการขนส่งมีทั้งหมด 4 ประเภท รถบรรทุกประเภทที่ 1 เป็นรถบรรทุก 10 ล้อ มีความสามารถในการขนส่งไก่รุ่นได้ 10,000 ตัวต่อเที่ยว รถบรรทุกประเภทที่ 2 เป็นรถบรรทุก 6 ล้อ มีความสามารถในการขนส่งไก่รุ่นได้ 8,000 ตัว รถบรรทุกประเภทที่ 3 เป็นรถบรรทุก 4 ล้อที่มีการดัดแปลงเป็นพิเศษ มีความสามารถในการขนส่งไก่รุ่นได้ 4,000 ตัว และ รถบรรทุกประเภทที่ 4 เป็นรถบรรทุก 4 ล้อธรรมดา มีความสามารถในการขนส่งไก่รุ่นได้ 2,000 ตัว นอกจากรถบรรทุกแต่ละประเภทมีความจุแตกต่างกันแล้ว อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมัน การบำรุงรักษา การซ่อมบำรุง ก็แตกต่างกันด้วย ดังนั้นการเลือกประเภทรถไม่เหมาะสมจะทำให้มีต้นทุนที่สูงขึ้น

การมอบหมายฟาร์มไก่รุ่นจะทำการมอบหมายเรียงตามลำดับที่ได้จากตาราง 5.4 โดยเริ่มทำการมอบหมายจากฟาร์มที่อยู่ในลำดับแรก เมื่อฟาร์มแรกถูกมอบหมายจนหมด ฟาร์มในลำดับถัดไปจึงถูกมอบหมาย เมื่อฟาร์มไก่รุ่นถูกมอบหมายจนครบทุกฟาร์มแล้ว จะไม่มีฟาร์มไก่รุ่นฟาร์มใดที่มีไก่รุ่นหลงเหลืออยู่ ในขณะที่การมอบหมายสำหรับฟาร์มไข่จะแตกต่างออกไปกล่าวคือ ฟาร์มไข่จะถูกมอบหมายให้ได้รับไก่รุ่นครบร้อยละ 50 ของความต้องการของแต่ละฟาร์มก่อน จึงจะได้รับมอบหมายไก่รุ่นเพิ่มเติม ดังนั้นฟาร์มไข่ฟาร์มแรกจะถูกมอบหมายให้ได้รับไก่รุ่นจนครบร้อยละ 50 ฟาร์มไข่ฟาร์มถัดไปจึงถูกมอบหมาย เมื่อฟาร์มไข่ในลำดับสุดท้ายได้รับไก่รุ่นครบร้อยละ 50 ของความต้องการของตนเองแล้ว จึงจะเริ่มมอบหมายไก่รุ่นเพิ่มเติมโดยฟาร์มที่อยู่ในลำดับแรกจะได้รับไก่รุ่นก่อนและได้รับไก่รุ่นครบตามความต้องการ ฟาร์มไข่ฟาร์มถัดมาจึงถูกมอบหมาย ในขณะที่ฟาร์มไข่ในลำดับท้ายๆ อาจไม่ได้รับไก่รุ่นครบตามที่ตนเองต้องการ

เมื่อกำหนดปริมาณที่จะมอบหมายเรียบร้อยแล้ว หากประเภทรถบรรทุกที่มีความจุพอดีกับปริมาณที่จะมอบหมายก็จะทำการมอบหมายรถประเภทนี้ ในกรณีที่ความจุของรถบรรทุกน้อยกว่าปริมาณที่จะมอบหมายก็จะทำการพิจารณาประเภทของรถในลำดับถัดไป ถ้ามีการมอบหมายเกิดขึ้นก็จะต้องมีการขนส่งมากกว่า 1 รอบ ทำให้ต้นทุนค่าขนส่งเพิ่มขึ้น ในอีกกรณีหนึ่งถ้ารถบรรทุกมีความจุมากกว่าปริมาณที่จะมีการมอบหมาย จะเกิดการมอบหมายเกิดขึ้น การขนส่งที่เกิดขึ้นนี้จะมีพื้นที่ว่างในรถบรรทุกเนื่องจากมีความจุของรถบรรทุกมากกว่าปริมาณที่ทำการขนส่งจะเกิดต้นทุนค่าเสียโอกาสเกิดขึ้น การมอบหมายในการศึกษานี้ต้องการให้มีต้นทุนในการมอบหมายมีค่าต่ำที่สุด โดยต้นทุนในการมอบหมายประกอบด้วย ต้นทุนในการขนส่งซึ่งมีปัจจัยสำคัญที่มากำหนดคือระยะทางในการขนส่ง อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมัน และราคาน้ำมัน และต้นทุนค่าเสียโอกาส (Opportunity cost) ที่เกิดจากการขนส่งที่ไม่เต็มประสิทธิภาพกล่าวคือการที่ประเภทรถบรรทุกมากกว่าปริมาณที่จะทำการมอบหมาย

ยกตัวอย่างเช่น หากปริมาณที่จะมอบหมายในลำดับแรกเท่ากับ 6,000 ตัว จะไม่มีประเภทของรถบรรทุกที่มีความจุพอดีกับปริมาณที่จะมอบหมาย ทำให้ต้องมีการเลือกประเภทที่มีความจุใกล้เคียง ในกรณีนี้จะมีรถบรรทุกอยู่ 2 ประเภทที่มีความจุใกล้เคียงคือ รถบรรทุก 6 ล้อ ที่มีความจุ 8,000 ตัว และ รถบรรทุก 4 ล้อ (ดัดแปลง) ที่มีความจุ 4,000 ตัว ในกรณีนี้จะเลือกประเภทรถบรรทุกที่มีความจุมากกว่าปริมาณที่จะมอบหมาย เนื่องจากต้องการหลีกเลี่ยงการขนส่งหลายรอบที่จะมีต้นทุนการขนส่งสูง ในขณะเดียวกันการเลือกรถที่มีความจุมากกว่าจะเกิดต้นทุนค่าเสียโอกาส การเลือกประเภทรถที่มีความจุน้อยกว่าปริมาณที่จะมอบหมายอาจเกิดได้ในกรณีที่ระยะทางในการขนส่งสั้น มีต้นทุนการขนส่งต่ำ อาจไม่ส่งผลกระทบต่อต้นทุนมากนัก

การมอบหมายให้มีการขนส่งในรอบที่ 2 จะเกิดขึ้นต่อเมื่อ มีการมอบหมายให้รถประเภทเดิม ทำการขนส่งจากฟาร์มไก่รุ่นฟาร์มเดิม ไปยังฟาร์มไข่ฟาร์มเดิม เช่น เริ่มแรกเกิดการขนส่งโดยใช้รถประเภทที่ 1 หรือรถบรรทุก 10 ล้อ เพื่อทำการขนไก่รุ่นจากฟาร์มไก่รุ่นฟาร์มที่ 1 เพื่อไปส่งยังฟาร์มไข่ฟาร์มที่ 4 การมอบหมายจะดำเนินการต่อไปจนกระทั่งมีเกิดการมอบหมายรถประเภทที่ 1 ให้ทำการขนส่งไก่รุ่นจากฟาร์มไก่รุ่นฟาร์มที่ 1 เพื่อไปส่งยังฟาร์มไข่ฟาร์มที่ 4 การขนส่งในรอบที่ 2 จึงเกิดขึ้น ในบางกรณีที่มีการขนส่งจากฟาร์มไก่รุ่นฟาร์มที่ 1 ไปยังฟาร์มไข่ฟาร์มที่ 4 หลายรอบ แต่ใช้รถต่างประเภทกันก็จะถือว่าเป็นรอบที่ 1 สำหรับรถแต่ละประเภทที่ทำการขนส่งไปยังฟาร์มดังกล่าว หากมีการใช้รถประเภทเดียวกัน ทำการขนส่งจากต้นทางเดียวกันและจุดมุ่งหมายเดียวกัน การมอบหมายในรอบที่ 2 จึงเกิดขึ้น

ฟาร์มไก่รุ่นจะสามารถส่งไก่รุ่นของตนออกได้ทั้งหมดโดยไม่มีไก่รุ่นเหลือในฟาร์ม การส่งไก่รุนของฟาร์มไก่รุ่นในลำดับแรกจะถูกส่งออกจนหมด จึงมีการมอบหมายให้กับฟาร์มไก่รุ่นในลำดับถัดไป สำหรับกรณีของฟาร์มไข่นั้นในเบื้องต้นจะได้รับอย่างน้อยร้อยละ 50 ของความต้องการ เมื่อฟาร์มไข่ฟาร์มในลำดับแรกได้รับมอบหมายจนครบร้อยละ 50 ของความต้องการแล้ว ฟาร์มไข่ฟาร์มต่อไปจึงจะถูกมอบหมาย เมื่อทุกๆ ฟาร์มไข่ได้รับไก่รุ่นครบร้อยละ 50 แล้ว ฟาร์มไข่ในลำดับแรกจึงได้รับการมอบหมายไก่รุ่นเพิ่มเติม ฟาร์มไก่รุ่นฟาร์มแรกๆ จะได้รับไก่รุ่นครบตามที่ต้องการ ส่วนฟาร์มไก่รุ่นฟาร์มหลังๆ อาจได้รับไก่รุ่นไม่ครบตามที่ต้องการ

เมื่อมีการมอบหมายเกิดขึ้นจำเป็นที่จะต้องมีการบันทึกข้อมูล ปรับปรุงยอดคงเหลือ และเช็คเงื่อนไขต่างๆ เพื่อให้สอดคล้องกับกรณีศึกษานี้ และเพื่อให้เป็นไปตามข้อจำกัดต่างๆ กล่าวคือ เมื่อมีการใช้รถบรรทุกประเภทต่างๆ ก็จะต้องมีการบันทึกเวลาการใช้งาน เนื่องจากการใช้งานของรถบรรทุกแต่ละประเภทมีจำกัด เมื่อมีการใช้งานครบตามเวลาที่กำหนดก็จะต้องมีการมอบหมายรถประเภทอื่นๆ แทน (ข้อ 4.1 ภาพที่ 5.5)

เมื่อมีการมอบหมายในแต่ละครั้ง ปริมาณไก่รุ่นคงเหลือสำหรับฟาร์มที่ทำการมอบหมายจะต้องมีการปรับลดลงและเมื่อไม่มีไก่รุ่นคงเหลือก็จะต้องมีการเปลี่ยนไปมอบหมายให้กับฟาร์มไก่รุ่นในลำดับถัดไป (ข้อ 4.2 ภาพที่ 5.5) ในขณะที่ฟาร์มไข่จะได้รับมอบหมายทีละฟาร์ม เรียงตามลำดับที่ได้จัดไว้ (ตารางที่ 5.4) เมื่อแต่ละฟาร์มไข่ได้รับไก่รุ่นครบร้อยละ 50 ของความต้องการตามที่กำหนดไว้แล้ว ฟาร์มไข่ที่ได้ถูกจัดไว้ในลำดับแรกจะได้รับมอบหมายเพิ่มเติมจนครบตามความต้องการของฟาร์มตนเอง ฟาร์มไข่ฟาร์มท้ายๆ อาจไม่ได้รับไก่รุ่นครบตามความต้องการของตนเอง (ข้อ 4.3 ภาพที่ 5.5)

การถอดรหัสรอบแรกสำหรับการมอบหมายเพื่อให้ฟาร์มไข่ได้รับไก่รุ่นครบร้อยละ 50 ตามข้อจำกัดข้อที่ 2 (ภาพที่ 5.2) ในครั้งที่ 1 (ตารางที่ 5.9) ฟาร์มไก่รุ่นฟาร์มที่ 2 ถูกมอบหมายเป็นลำดับแรก โดยมีไก่รุ่นที่ผลิตได้จำนวน 5,000 ตัว ในขณะที่ฟาร์มไข่ฟาร์มที่ 1 ถูกมอบหมายเป็นฟาร์มแรก มีความต้องการไก่รุ่นจำนวน 10,000 ตัว ฟาร์มไข่ฟาร์มนี้จะได้รับไก่รุ่นอย่างน้อยร้อยละ 50 ของความต้องการหรือจะได้ไก่รุ่นอย่างน้อย 5,000 ตัว เมื่อเปรียบเทียบระหว่างปริมาณอุปทาน จากฟาร์มไก่รุ่นฟาร์มที่ 2 กับร้อยละ 50 ของปริมาณอุปสงค์จากฟาร์มไข่ฟาร์มที่ 1 พบว่ามีปริมาณที่เท่ากันพอดี ดังนั้นปริมาณที่จะมีการมอบหมายเท่ากับ 5,000 ตัว เพื่อเป็นการหลีกเลี่ยงต้นทุนที่เกิดขึ้นจากการขนส่งหลายรอบจึงไม่เลือกรถบรรทุกที่มีความจุน้อยกว่าปริมาณที่มอบหมาย แล้วทำการเลือกรถบรรทุกที่มีความจุมากกว่าปริมาณที่จะทำการมอบหมายแทน อย่างไรก็ตามการเลือกรถบรรทุกที่มีความจุมากกว่าจะทำให้เกิดต้นทุนค่าเสียโอกาสที่สูงขึ้น เพื่อเป็นการหลีกเลี่ยงตนทุนดังกล่าวจะทำการเลือกรถบรรทุกที่มีความจุที่ใกล้เคียงกับปริมาณที่จะทำการมอบหมายมากที่สุด ในกรณีการมอบหมายไก่รุ่น 5,000 ตัวครั้งนี้จะเลือกมอบหมายรถบรรทุกประเภทที่ 2 มีความจุ 8,000 ตัว ทำให้เกิดพื้นที่ว่าง 3,000 ตัว ซึ่งทำให้ต้นทุนค่าเสียโอกาสสูงขึ้น

ตารางที่ 5.9 การถอดรหัส

ครั้งที่	รถบรรทุก		รอบ	ฟาร์มไก่รุ่น				ฟาร์มไข่			
	ประเภท	ว่าง		ฟาร์ม	อุปทาน	มอบหมาย	คงเหลือ	ฟาร์ม	อุปสงค์ (50%)	มอบหมาย	คงเหลือ
1	2	3,000	1	2	5,000	5,000	0	1	5,000	5,000	0
2	3	0	1	3	10,000	4,000	6,000	2	4,000	4,000	0
3	3	1,500	1	3	6,000	2,500	3,500	4	2,500	2,500	0
4	3	500	1	3	3,500	3,500	0	3	5,000	3,500	1,500
5	4	500	1	1	10,000	1,500	8,500	3		1,500	0
6	2	3,000	1	1	8,500	5,000	3,500	1	5,000	5,000	0
7	3	500	1	1	3,500	3,500	0	2	4,000	3,500	500
8	4	1,500	1	4	5,000	500	4,500	2		500	0
9	3	1,500	1	4	4,500	2,500	2,000	4	2,500	2,500	0
10	4	0	1	4	2,000	2,000	0	3	5,000	2,000	3,000

เมื่อรถบรรทุกเดินทางจากศูนย์บริการถึงฟาร์มไก่รุ่นก็จะทำการขนส่งไก่รุ่นจากฟาร์มไก่รุ่นขึ้นรถบรรทุก ซึ่งการขนไก่รุ่นขึ้นรถบรรทุกนั้นจะขึ้นกับพนักงานแต่ละฟาร์มที่มีความชำนาญแตกต่างกันสำหรับแต่ละประเภทรถบรรทุก โดยเริ่มต้นจากความชำนาญในระดับมาตรฐานที่สามารถขนไก่รุ่นจำนวน 10,000 ตัว ขึ้นรถบรรทุกได้ในเวลา 1 ชั่วโมง พนักงานที่มีความชำนาญในระดับปานกลางสามารถขนส่งไก่รุ่นจำนวน 10,000 ตัว ได้ในเวลารวดเร็วขึ้นกว่าเดิมจาก 60 นาที เป็น 54 นาที พนักงานที่มีความชำนาญในระดับสูงสามารถขนส่งไก่รุ่นจำนวน 10,000 ตัว ได้ในระยะเวลา 48 นาที และพนักงานที่มีความชำนาญเป็นพิเศษสามารถขนส่งไก่รุ่นจำนวน 10,000 ตัว ได้ในระยะเวลา 42 นาที ซึ่งสามารถแสดงได้ตามตารางที่ 5.10

ตารางที่ 5.10 ความสามารถในการขนไก่รุ่นขึ้น หรือ ลง

ระดับความชำนาญ	เวลาในการขนไก่รุ่น ขึ้น/ลง		ตัวคูณ
	นาที	หรือ ชั่วโมง	
1. มาตรฐาน	60	1.00	1.0
2. ปานกลาง	54	0.90	0.9
3. สูง	48	0.80	0.8
4. พิเศษ	42	0.70	0.7

หมายเหตุ: เวลาที่ใช้ในการขนไก่รุ่นจำนวน 10,000 ตัว ขึ้นหรือลง รถบรรทุก

ฟาร์มแต่ละฟาร์มมีความสามารถในการขนไก่รุ่นไม่เท่ากัน นอกจากนี้ความชำนาญในการขนไก่รุ่นนี้ในแต่ละฟาร์มยังแตกต่างกันสำหรับรถบรรทุกแต่ละประเภท ซึ่งจะเป็นผลทำให้เวลาที่ใช้ในการขนไก่รุ่นขึ้นจากฟาร์มไก่รุ่น (ตารางที่ 5.11) และเวลาที่ใช้ในการขนไก่รุ่นลงที่ฟาร์มไข่ (ตารางที่ 5.12) จะแตกต่างกันในแต่ละฟาร์มและแต่ละประเภทรถบรรทุก ซึ่งความสามารถดังกล่าวแสดงโดยการใช้ตัวคูณ หากตัวคูณเท่ากับ 1 หมายความว่าฟาร์มนั้นสามารถขนส่งไก่รุ่นจำนวน 10,000 ตัว ขึ้น/ลงรถบรรทุกได้ในระยะเวลา 1 ชั่วโมง ดังนั้นหากขนส่งไก่ 1 ตัวตัวคูณจะเท่ากับ 0.0001 เช่น หากขนส่งไก่รุ่นจำนวน 1,000 ตัว ขึ้นรถจะใช้เวลา 0.1 ชั่วโมง (1,000 x 0.0001) หรือ 6 นาทีหากเป็นฟาร์มที่มีความสามารถในระดับมาตรฐาน แต่ถ้าเป็นฟาร์มที่มีความชำนาญเป็นพิเศษจะใช้เวลา 0.07 ชั่วโมง (1,000 x 0.0007) หรือ 4.2 นาที

ตารางที่ 5.11 ความสามารถในการขนไก่รุ่นขึ้นรถบรรทุก

ประเภทรถบรรทุก	ฟาร์มไก่รุ่น			
	1	2	3	4
1	1	1	1	1
2	0.9	0.9	0.9	0.9
3	0.7	0.9	0.7	1
4	1	0.9	1	1

ตารางที่ 5.12 ความสามารถในการขนไก่รุ่นลงจากรถบรรทุก

ประเภทรถบรรทุก	ฟาร์มไข่			
	1	2	3	4
1	0.9	1	0.7	0.8
2	0.7	0.8	0.9	1
3	0.9	0.7	0.7	0.8
4	1	0.8	0.7	0.9

การมอบหมายในครั้งที่ 1 ให้รถบรรทุกประเภทที่ 2 หรือรถบรรทุก 6 ล้อ เพื่อการขนส่งในรอบที่ 1 จากฟาร์มไก่รุ่นฟาร์มที่ 2 ไปส่งยังฟาร์มไข่ฟาร์มที่ 1 ใช้เวลาในการขนไก่รุ่นขึ้นรถที่ฟาร์มไก่รุ่นฟาร์มที่ 2 เป็นเวลา 0.35 ชั่วโมง หรือ 21 นาที ใช้เวลาในการขนไก่รุ่นลงที่ฟาร์มไข่ฟาร์มที่ 1 เป็นเวลา 0.45 ชั่วโมง หรือ 27 นาที และใช้เวลาในการขนส่งโดยเริ่มตั้งแต่รถบรรทุกออกจากศูนย์บริการเพื่อไปยังฟาร์มไก่รุ่นฟาร์มที่ 2 หลังจากนั้นไปส่งยังฟาร์มไก่ไข่ฟาร์มที่ 1 แล้วกลับไปยังศูนย์บริการ ใช้เวลาทั้งสิ้น 4.66 ชั่วโมง หรือ 4 ชั่วโมง 40 นาที รวมเวลาทั้งหมด 5.46 ชั่วโมง หรือ 5 ชั่วโมง 12 นาที (ตารางที่ 5.13 ครั้งที่ 1) โดยเวลารวมนี้จะถูกบันทึกไว้ในระบบสำหรับชั่วโมงการทำงานของรถบรรทุกประเภทที่ 2 เพื่อเป็นการเช็คว่าชั่วโมงการทำงานของรถบรรทุกแต่ละประเภทจะไม่เกินตามที่กำหนดไว้ โดยการขนส่ง

ในครั้งที่ 1 นี้มีรถบรรทุกประเภทที่ 2 ถูกใช้งานไป 5.46 ชั่วโมง โดยชั่วโมงการใช้งานจริงยังไม่เกินชั่วโมงการทำงาน 72 ชั่วโมงตามที่กำหนด (ตารางที่ 5.14)

ตารางที่ 5.13 เวลาในการมอบหมาย (หน่วยเวลา: ชั่วโมง)

ครั้งที่	ประเภทรถบรรทุก	รอบ	ฟาร์มไก่รุ่น	ฟาร์มไข่	มอบหมาย	เวลา		เวลาเดินทาง	เวลารวม
						ขนขึ้น	ขนลง		
1	2	1	2	1	5,000	0.35	0.45	4.66	5.46
2	3	1	3	2	4,000	0.32	0.28	5.94	6.54
3	3	1	3	4	2,500	0.20	0.18	5.46	5.84
4	3	1	3	3	3,500	0.28	0.28	2.40	2.96
5	4	1	1	3	1,500	0.15	0.11	3.90	4.16
6	2	1	1	1	5,000	0.35	0.45	4.81	5.61
7	3	1	1	2	3,500	0.35	0.25	4.25	4.85
8	4	1	4	2	500	0.04	0.05	3.93	4.02
9	3	1	4	4	2,500	0.18	0.18	4.04	4.39
10	4	1	4	3	2,000	0.16	0.14	3.45	3.75

การมอบหมายในครั้งที่ 2 ฟาร์มไก่รุ่นฟาร์มในลำดับแรกหรือฟาร์มที่ 2 ได้มีการส่งมอบไก่รุ่นหมดในการมอบหมายครั้งที่ 1 โดยไม่มีไก่รุ่นเหลืออยู่เลย ดังนั้นฟาร์มไก่รุ่นที่อยู่ในลำดับถัดไปหรือฟาร์มที่ 3 ที่มีอุปทานอยู่ 10,000 ตัว จะได้รับการมอบหมายต่อไป ในขณะที่ฟาร์มไข่ฟาร์มที่ 1 ได้รับไก่รุ่นครบร้อยละ 50 ตามที่ต้องการเรียบร้อยแล้ว ทำให้ฟาร์มไข่ฟาร์มที่ 2 ที่อยู่ในลำดับถัดไปได้รับการมอบหมาย ฟาร์มไข่ฟาร์มที่ 2 มีความต้องการไก่รุ่นร้อยละ 50 อยู่ที่ 4,000 ตัว ส่วนฟาร์มไก่รุ่นฟาร์มที่ 3 ที่มีอุปทานอยู่ 10,000 ตัว เมื่อทำการเปรียบเทียบปริมาณความต้องการซื้อและปริมาณอุปทาน พบว่าปริมาณที่จะมีการมอบหมายคือ 4,000 ตัว รถบรรทุกประเภทที่ 3 หรือรถบรรทุก 4 ล้อ (ดัดแปลง) จะมีความจุพอดีกับปริมาณที่ต้องการขนส่ง ทำให้เกิดการมอบหมายรถบรรทุกประเภทที่ 3 สำหรับการมอบหมายในครั้งนี้ต้นทุนในการมอบหมายงานจะมีเฉพาะต้นทุนในการขนส่งเท่านั้น จะไม่มีต้นทุนค่าเสียโอกาสเนื่องจากเป็นการขนส่งที่เต็มประสิทธิภาพ (ตารางที่ 5.9)

การมอบหมายในครั้งที่ 2 ได้มอบหมายให้รถประเภทที่ 3 ทำการขนส่งไก่รุ่นจากฟาร์มไก่รุ่นฟาร์มที่ 3 เพื่อไปส่งยังฟาร์มไข่ฟาร์มที่ 2 จะใช้เวลาในการขนไก่รุ่นขึ้นรถ 0.32 ชั่วโมง ใช้เวลาการขนไก่รุ่นลงจากรถ 0.28 ชั่วโมง และเวลาในการเดินทางจากศูนย์บริการไปยังฟาร์มไก่รุ่นฟาร์มที่ 3 รวมกับเวลาในการเดินทางจากฟาร์มไก่รุ่นฟาร์มที่ 3 ไปยังฟาร์มไข่ฟาร์มที่ 3 และรวมกับเวลาในการเดินทางจากฟาร์มไข่ฟาร์มที่ 3 กลับไปยังศูนย์บริการ เป็นเวลา 5.94 ชั่วโมง รวมทั้งสิ้น 6.54 ชั่วโมง หรือ 6 ชั่วโมง 33 นาที (ตารางที่ 5.13 ครั้งที่ 2) เมื่อทำการตรวจสอบกับเวลาในการใช้งานของรถบรรทุกประเภทที่ 3 พบว่ายังไม่เกิน 80 ชั่วโมง ตามที่กำหนดไว้ (ตารางที่ 5.14)

การมอบหมายจะดำเนินต่อไปเรื่อยๆ ตามลำดับและวิธีการที่อธิบายข้างต้น ฟาร์มไก่รุ่นจะถูกมอบหมายเรียงตามลำดับที่ได้กำหนดไว้ ฟาร์มแต่ละฟาร์มจะถูกมอบหมายจนหมดไม่มีไก่รุ่น

เหลือสำหรับฟาร์มนั้น ฟาร์มไก่รุ่นในลำดับถัดมาจึงถูกเลือก ซึ่งจะต้องเป็นไปตามข้อจำกัดที่กำหนดไว้ คือฟาร์มไก่รุ่นจะสามารถส่งไก่รุ่นออกได้ทั้งหมด โดยไม่มีไก่รุ่นเหลืออยู่ สำหรับฟาร์มไข่จะมีลักษณะการมอบหมายที่แตกต่างออกไปกล่าวคือ ในเบื้องต้นฟาร์มไข่แต่ละฟาร์มจะได้รับมอบหมายอย่างน้อยร้อยละ 50 ของความต้องการที่มี ฟาร์มไข่ที่กำหนดไว้ในลำดับแรกจะได้รับการมอบหมายจนครบร้อยละ 50 ฟาร์มไข่ในลำดับถัดไปจึงถูกเลือก เมื่อทุกๆ ฟาร์มไข่ได้รับไก่รุ่นร้อยละ 50 ตามความต้องการแล้ว ฟาร์มไข่ฟาร์มแรกๆ ก็จะได้รับมอบหมายเพิ่มเติมจนครบตามความต้องการ เมื่อฟาร์มไข่ในลำดับแรกได้รับไก่รุ่นครบตามความต้องการแล้ว ฟาร์มไข่ในลำดับถัดไปจึงถูกมอบหมาย เนื่องจากอุปทานรวมหรือปริมาณไก่รุ่นที่ผลิตออกมาได้มีจำนวนน้อยกว่าอุปสงค์หรือปริมาณความต้องการไก่รุ่น ทำให้ฟาร์มไข่ในลำดับท้ายๆ อาจได้รับไก่รุ่นน้อยกว่าความต้องการ

ตารางที่ 5.14 ชั่วโมงการทำงานของรถบรรทุกและเวลาที่ใช้งานจริง (หน่วย: ชั่วโมง)

ประเภทรถบรรทุก	ชั่วโมงการทำงานของรถบรรทุก	เวลาที่ใช้งานจริง
1	56	0.00
2	72	11.08
3	80	24.57
4	112	11.92
รวม	320	47.56

เมื่อทำการมอบหมายเสร็จสิ้นแล้ว พบว่าการใช้รถบรรทุกแต่ละประเภทไม่เกินชั่วโมงการทำงานตามที่กำหนดไว้ (ตารางที่ 5.14) จากตัวอย่างนี้ ไม่มีการใช้รถบรรทุกประเภทที่ 1 หรือรถบรรทุก 10 ล้อ ในการขนส่งไก่รุ่นครั้งนี้ อาจเนื่องจากปริมาณการมอบหมายมีปริมาณต่ำกว่าความจุที่รถบรรทุก 10 ล้อ สามารถขนได้ โดยที่มีรถประเภทอื่นๆ ที่มีความจุน้อยกว่ามีความเหมาะสมมากกว่า หรือมีพื้นที่ว่างน้อยกว่า หรือมีต้นทุนค่าเสียโอกาส รวมไปถึงต้นทุนการขนส่งที่ต่ำกว่าด้วย

ตารางที่ 5.15 ระยะทางระหว่างฟาร์มไก่รุ่นไปยังฟาร์มไข่ (หน่วยกิโลเมตร)

ฟาร์มไก่รุ่น	ฟาร์มไข่			
	1	2	3	4
1	385	340	312	390
2	320	373	384	462
3	445	475	192	437
4	239	314	276	323

ระยะทางที่ใช้ในการมอบหมายงานเริ่มต้นจากระยะทางจากศูนย์บริการไปยังฟาร์มไก่รุ่น ระยะทางการขนส่งจากฟาร์มไก่รุ่นไปยังฟาร์มไข่ และระยะทางจากฟาร์มไข่กลับไปยังศูนย์บริการ โดยระยะทางรวมจะเป็นปัจจัยหลักในการกำหนดต้นทุนในการขนส่ง นอกจากนี้ระยะทางรวมยังถูกใช้ใน

การกำหนดต้นทุนค่าเสียโอกาสอีกด้วย โดยต้นทุนทั้งสองประเภทจะเป็นต้นทุนในการมอบหมายงาน ซึ่งเป้าหมายของการศึกษาจะต้องการให้เกิดต้นทุนการมอบหมายงานที่ต่ำที่สุด จากตารางที่ 5.15 ระยะทางรวมจากฟาร์มไก่รุ่นฟาร์มที่ 3 ไปยังฟาร์มไข่ฟาร์มที่ 2 มีระยะทางรวมเท่ากับ 475 กิโลเมตร ซึ่งเป็นระยะทางรวมที่สูงที่สุดสำหรับกรณีนี้ ถ้าหากมีการส่งจากฟาร์มไก่รุ่นฟาร์มที่ 3 ไปยังฟาร์มไข่ฟาร์มที่ 3 จะมีระยะทางรวมเพียง 192 กิโลเมตร จะเห็นว่าระยะทางรวมสั้นกว่ากรณีแรกถึงกว่า 2 เท่า การเลือกมอบหมายที่เหมาะสมจะทำให้ต้นทุนในการมอบหมายงานต่ำที่สุดได้

อย่างไรก็ตามมีปัจจัยหลายชนิดที่ไม่สามารถควบคุมได้ อาทิเช่น ราคาน้ำมันเชื้อเพลิง อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมัน ความสมบูรณ์ของพาหนะที่ใช้ในการขนส่ง จึงกำหนดให้ปัจจัยอื่นๆ ที่ไม่ใช่ระยะทางในการขนส่งมีค่าคงที่ กล่าวคือ ความสมบูรณ์ของพาหนะที่ใช้ในการขนส่งอยู่ในระดับมาตรฐาน อัตราการสิ้นเปลืองของรถบรรทุกแต่ละประเภทคงที่ ราคาน้ำมันเชื้อเพลิงราคาลิตรละ 30 บาท ซึ่งแสดงได้ตามตาราง 5.16

ตารางที่ 5.16 อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง

ประเภทของรถบรรทุก	อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง	
	กิโลกรัม/ลิตร	บาท/กิโลกรัม
1. รถบรรทุกสิบล้อ	3.2	9.375
2. รถบรรทุกหกล้อ	5	6
3. รถบรรทุกสี่ล้อดัดแปลง	8	3.75
4. รถบรรทุกสี่ล้อ	10	3

ต้นทุนในการมอบหมายงานแบ่งเป็น 2 ประเภท กล่าวคือ ต้นทุนหลักที่เกิดขึ้นเนื่องจากการขนส่ง และต้นทุนค่าเสียโอกาส การมอบหมายตามตารางที่ 5.5 ในครั้งที่ 1 มีปริมาณที่ทำการมอบหมาย 5,000 ตัว ใช้รถประเภทที่ 2 ที่มีความจุ 8,000 ตัว ทำให้เกิดพื้นที่ว่าง 3,000 ตัว ทำให้เกิดต้นทุนการขนส่ง 1,920 บาท และต้นทุนค่าเสียโอกาสจากการที่มีพื้นที่ว่างในการขนส่ง 3,000 ตัว เท่ากับ 720 บาท รวมเป็นต้นทุนการมอบหมายงานสำหรับครั้งที่ 1 เท่ากับ 2,640 บาท (ครั้งที่ 1 ตารางที่ 5.17)

สำหรับการถอดรหัสครั้งนี้มีต้นทุนการมอบหมายรวมเท่ากับ 17,407 บาท ประกอบด้วยต้นทุนในการขนส่งรวม 13,562 บาท และต้นทุนค่าเสียโอกาส 3,845 บาท (ตารางที่ 5.17) สำหรับการขนส่งบางกรณีไม่มีต้นทุนค่าเสียโอกาสเนื่องจากเป็นการขนส่งที่เต็มประสิทธิภาพ ไม่มีที่ว่างเหลือในรถบรรทุกเช่น การขนส่งครั้งที่ 2 ที่มีปริมาณที่ทำการขนส่งเท่ากับ 4,000 ตัว และเป็นการขนส่งโดยการใช้รถบรรทุกประเภทที่ 3 ที่มีความจุ 4,000 ตัว เช่นกัน ทำให้ไม่มีพื้นที่ว่างเหลือหรือเป็นการขนส่งที่เต็มประสิทธิภาพ จึงไม่มีต้นทุนค่าเสียโอกาสเกิดขึ้น และสำหรับการขนส่งในครั้งที่ 10 เป็นการขนส่งโดยการใช้รถบรรทุกประเภทที่ 4 ที่มีความจุ 2,000 ตัว และปริมาณที่ทำการขนส่งเท่ากับ 2,000 ตัว ทำให้เป็นการขนส่งที่เต็มประสิทธิภาพจึงไม่มีต้นทุนค่าเสียโอกาส (ตารางที่ 5.17)

ตารางที่ 5.17 ต้นทุนการมอบหมาย (หน่วย: บาท)

ครั้งที่	รถบรรทุก		รอบ	ฟาร์มไก่รุ่น	ฟาร์มไข่	ต้นทุนค่าขนส่ง	ต้นทุนค่าเสียโอกาส	ต้นทุนรวม
	ประเภท	ว่าง						
1	2	3,000	1	2	1	1,920	720	2,640
2	3	0	1	3	2	1,781	0	1,781
3	3	1,500	1	3	4	1,639	615	2,253
4	3	500	1	3	3	720	90	810
5	4	500	1	1	3	936	234	1,170
6	2	3,000	1	1	1	2,310	866	3,176
7	3	500	1	1	2	1,275	159	1,434
8	4	1,500	1	4	2	942	707	1,649
9	3	1,500	1	4	4	1,211	454	1,665
10	4	0	1	4	3	828	0	828
รวม						**13,562**	**3,845**	**17,407**

5.2.4 กระบวนการปรับเปลี่ยนค่าในพิกัดของเวกเตอร์ (mutation)

ขั้นตอน วิธีการปรับเปลี่ยนค่าในพิกัดของเวกเตอร์เป็นขั้นตอนที่มีจุดประสงค์เพื่อต้องการกระจายพื้นที่ในการค้นหาคำตอบ เริ่มต้นจากการสุ่มเวกเตอร์มาจำนวน 3 เวกเตอร์จากประชากรเริ่มต้นที่อยู่ในกลุ่มเดียวกัน (ประเภทรถบรรทุก ฟาร์มไก่รุ่น และ ฟาร์มไข่) นำเวกเตอร์แรกมารวมกับผลต่างจากอีก 2 เวกเตอร์ เกิดเป็นเวกเตอร์ใหม่อีกหนึ่งเวกเตอร์ หลักการของผลต่างของเวกเตอร์จากวิธี DE ถือเป็นวิธีการที่ทำให้ DE แตกต่างจากวิธีอื่นซึ่งสามารถแสดงได้ดังนี้ (ภาพที่ 5.6)

$$v_{i,j,G+1} = x_{r_1,j,G} + F\left(x_{r_2,j,G} - x_{r_3,j,G}\right) \tag{5.3}$$

เมื่อกำหนดให้

$x_{r_1,j,G}$ = เวกเตอร์เป้าหมาย (target vector) (r_1) ของกลุ่มเวกเตอร์ j ที่ได้จากการสุ่มของประชากรรุ่น G โดยทำการสุ่มเวกเตอร์มาทั้งหมด 3 เวกเตอร์ เวกเตอร์ต่อมาคือ $x_{r_2,j,G}$ และ $x_{r_3,j,G}$ ตามลำดับ

$v_{i,j,G+1}$= มิวแทนต์เวกเตอร์ (mutant vector) หมายถึงเวกเตอร์ที่ได้จากขั้นตอนวิธีการปรับเปลี่ยนค่าในพิกัดของเวกเตอร์ในตำแหน่งประชากรที่ i ของกลุ่มเวกเตอร์ j สำหรับประชากรรุ่นใหม่ (G+1)

F = มาตรวัดสำหรับการปรับเปลี่ยน (mutant factor) ค่า F จะมีค่าเท่ากับ 0.8 (Qin and et al., 2009) เกิดจากการทดลองเพื่อหาค่าที่เหมาะสม

i = 1, 2, 3, ..., N (N หมายถึงจำนวนประชากร)

j = 1, 2, 3 หมายถึงเวกเตอร์ที่ได้จาก ประเภทของรถบรรทุก ฟาร์มไก่รุ่น และ ฟาร์มไข่ ตามลำดับ

การปรับเปลี่ยนค่าในพิกัดของเวกเตอร์

1. สุ่ม 3 เวกเตอร์จาก initial population หรือ parameter vector เพื่อเข้าสูตรสำหรับมิวแทนต์เวกเตอร์ดังนี้

$$v_{i,g+1} = x_{r1,g} + F\left(x_{r2,g} - x_{r3,g}\right) \rightarrow \text{“Donor vector or mutant vector”}$$

2. ทำซ้ำจนกระทั่งครบทุกเวกเตอร์

ภาพที่ 5.6 การปรับเปลี่ยนค่าในพิกัดของเวกเตอร์

เมื่อนำเวกเตอร์เป้าหมายของประเภทรถบรรทุก เวกเตอร์เป้าหมายของฟาร์มไก่รุ่น และเวกเตอร์เป้าหมายของฟาร์มไข่ (ตารางที่ 5.1, 5.2 และ 5.3 ตามลำดับ) มาผ่านกระบวนการปรับเปลี่ยนค่าในพิกัดของเวกเตอร์ จะทำให้ได้มิวแทนต์เวกเตอร์ของประเภทรถบรรทุก (ตารางที่ 5.18) มิวแทนต์เวกเตอร์ของฟาร์มไก่รุ่น (ตารางที่ 5.19) และมิวแทนต์เวกเตอร์ของฟาร์มไข่ (ตารางที่ 5.20) ตามลำดับ ตามวิธีการ DE แบบดั้งเดิมเวกเตอร์ต่างๆ เหล่านี้จะถูกนำไปสู่ขั้นตอน การแลกเปลี่ยนค่าในพิกัดของเวกเตอร์ ต่อไป

ตารางที่ 5.18 มิวแทนต์เวกเตอร์ของประเภทรถบรรทุก

พิกัด	มิวแทนต์เวกเตอร์ ของประเภทรถบรรทุก				
	1	2	3	4	5
1	0.5979	0.9465	0.3500	-0.2361	0.7974
2	0.4344	0.5112	0.9380	-0.0291	0.4570
3	0.2933	0.1753	1.0550	0.2008	1.0539
4	0.7464	-0.0377	0.7725	0.7725	0.6150

ตารางที่ 5.19 มิวแทนต์เวกเตอร์ของฟาร์มไก่รุ่น

พิกัด	มิวแทนต์เวกเตอร์ ของฟาร์มไก่รุ่น				
	1	2	3	4	5
1	0.2597	1.2942	0.7665	0.8566	1.1922
2	0.2953	0.4710	0.7407	0.7375	-0.1469
3	0.1232	0.2044	0.3028	-0.0747	0.1691
4	-0.0098	0.4995	0.2224	0.5713	1.1243

ตารางที่ 5.20 มิวแทนต์เวกเตอร์ของฟาร์มไข่

พิกัด	มิวแทนต์เวกเตอร์ ของฟาร์มไข่				
	1	2	3	4	5
1	0.6359	0.1823	0.3509	-0.2849	0.5309
2	0.1381	0.5112	1.1586	0.7211	-0.1331
3	0.7219	1.0539	0.3072	0.4274	0.6256
4	0.2303	0.7464	0.8766	0.8766	-0.2799

หลักในการค้นหาคำตอบของ DE คือการกระจายพื้นที่ในการหาคำตอบให้มีมากขึ้น ซึ่งอาจเป็นผลทำให้สามารถค้นหาคำตอบได้มีโอกาสใกล้เคียงกับคำตอบที่เหมาะสมที่สุดมากขึ้น ในขณะเดียวกันการกระจายพื้นที่ในการหาคำตอบก็อาจทำให้คำตอบที่ได้ออกห่างจากคำตอบที่เหมาะสมมากขึ้นเรื่อยๆ เพื่อทำให้การค้นหาคำตอบได้มีประสิทธิภาพมากขึ้น การศึกษาในครั้งนี้จะเพิ่มขั้นตอนการปรับเปลี่ยนค่าในพิกัดของเวกเตอร์ ที่เดิมนั้นอาจทำให้เวกเตอร์ที่ดีที่สุดจากแต่ละรอบการคำนวณไม่ถูกนำมาพิจารณา โดยครั้งนี้จะนำเวกเตอร์ที่ดีที่สุดที่ได้จากแต่ละรอบกลับมาพิจารณาอีกครั้ง

ในกรณีประชากรเริ่มต้นเวกเตอร์ทั้งหมดที่สร้างขึ้นจะเป็นเวกเตอร์ที่ดีที่สุดโดยอัตโนมัติ เมื่อผ่านวิธี DE ในแต่ละรอบหากมีเวกเตอร์ที่ดีกว่าเดิมเกิดขึ้นก็จะทำการเก็บเวกเตอร์ที่ดีกว่านี้ไว้ เวกเตอร์ที่มีค่าน้อยกว่าจะถูกนำออกจากกลุ่มเวกเตอร์ที่ดีที่สุด โดยสามารถแสดงตัวอย่างของเวกเตอร์ที่ดีที่สุดสำหรับประเภทรถบรรทุกคือตารางที่ 5.21 เวกเตอร์ที่ดีที่สุดของฟาร์มไก่รุ่นคือตารางที่ 5.22 และเวกเตอร์ที่ดีที่สุดของฟาร์มไข่คือตารางที่ 5.23

ตารางที่ 5.21 เวกเตอร์ที่ดีที่สุดของประเภทรถบรรทุก

พิกัด	เวกเตอร์ที่ดีที่สุดของประเภทรถบรรทุก				
	1	2	3	4	5
1	0.2002	0.4684	0.8692	0.0419	0.5145
2	0.0953	0.1414	0.4235	0.0953	0.0491
3	0.1809	0.5145	-0.2542	0.4427	0.5145
4	0.4895	0.1623	0.3773	0.0953	0.4684

ตารางที่ 5.22 เวกเตอร์ที่ดีที่สุดของฟาร์มไก่รุ่น

พิกัด	เวกเตอร์ที่ดีที่สุดของฟาร์มไก่รุ่น				
	1	2	3	4	5
1	0.2792	0.6292	0.0228	0.1295	0.2792
2	0.5520	-0.0404	0.7157	0.2956	0.4453
3	0.5355	0.6029	0.8724	0.1093	0.1093
4	0.4037	0.2792	0.5296	0.1257	0.2792

ตารางที่ 5.23 เวกเตอร์ที่ดีที่สุดของฟาร์มไข่

พิกัด	เวกเตอร์ที่ดีที่สุดของฟาร์มไข่				
	1	2	3	4	5
1	0.6213	0.9911	1.1941	1.2223	0.4268
2	-0.0443	-0.0289	0.9663	0.1955	0.9663
3	-0.5373	0.4642	0.7503	0.9414	0.7751
4	0.6856	0.9268	-0.1812	0.4642	1.1941

ขั้นตอนการปรับเปลี่ยนค่าในพิกัดของเวกเตอร์ที่มีการเพิ่มเติมคือ การนำเวกเตอร์ที่ดีที่สุดของกระบวนการ DE กลับมาพิจารณาอีกครั้ง แต่เมื่อไรจึงจะมีการนำกลุ่มเวกเตอร์ที่ดีที่สุดนี้มาใช้ การเลือกเวกเตอร์เป้าหมาย ($x_{r_k,j,G}$ k=1, 2, 3) หรือเวกเตอร์ที่เกิดจากขั้นตอน วิธีการปรับเปลี่ยนค่าในพิกัดของเวกเตอร์ของวิธี DE แบบดั้งเดิม หรือจะเป็นการเลือกจากเวกเตอร์ที่ดีที่สุดที่เก็บไว้ ($x^{best}_{r_k,j,G}$ k=1,2,&3) ในรุ่นของประชากรเริ่มต้นนั้น เวกเตอร์เป้าหมายคือเวกเตอร์ชุดเดียวกับเวกเตอร์ที่ดีที่สุด

การปรับเปลี่ยนค่าในพิกัดของเวกเตอร์แบบใหม่

1. สุ่ม 3 เวกเตอร์จาก parameter vector และ สุ่ม 3 เวกเตอร์จากเวกเตอร์ที่ดีที่สุด $\left(x^{best}_{r_1,j,G}\right)$
2. คำนวณค่า p^{G+1} และ กำหนดค่าตัวเลขสุ่ม w^{G+1}
3. หากค่า $w^{G+1} \geq p^{G+1}$ กำหนดมิวแทนต์เวกเตอร์จากเวกเตอร์ของรุ่นก่อนหน้า หรือหากเป็นอย่างอื่น $w^{G+1} < p^{G+1}$ กำหนดมิวแทนต์เวกเตอร์จากเวกเตอร์ที่ดีที่สุด

$$v_{i,j,G+1} = \begin{cases} x_{r_1,j,G} + F\left(x_{r_2,j,G} - x_{r_3,j,G}\right) & if\ w^{G+1} \geq p^{G+1} \\ x^{best}_{r_1,j,G} + F\left(x^{best}_{r_2,j,G} - x^{best}_{r_3,j,G}\right) & otherwise \end{cases}$$

ภาพที่ 5.7 การปรับเปลี่ยนค่าในพิกัดของเวกเตอร์แบบใหม่

การปรับเปลี่ยนค่าในพิกัดของเวกเตอร์แบบใหม่จะทำจากการนำความน่าจะเป็นของเวกเตอร์ (p^{G+1}) ไปเปรียบเทียบกับค่าตัวเลขสุ่ม (w^{G+1}) หากค่าตัวเลขสุ่มมากกว่าหรือเท่ากับค่าความน่าจะเป็นของเวกเตอร์จะทำการเลือกการปรับเปลี่ยนค่าในพิกัดของเวกเตอร์แบบดั้งเดิมกล่าวคือใช้เวกเตอร์เป้าหมายจากรุ่นก่อนหน้า แต่หากค่าตัวเลขสุ่มน้อยกว่าค่าความน่าจะเป็นของเวกเตอร์จะทำการเลือกใช้เวกเตอร์ที่ดีที่สุดในการปรับเปลี่ยนค่าในพิกัดของเวกเตอร์แทน (ภาพที่ 5.7)

ความน่าจะเป็นที่กล่าวถึงข้างต้นจะมี 4 แบบ ที่คำนวณจากค่าสูงสุด ค่าต่ำสุด อัตราการเจริญเติบโตแบบ exponential รุ่นของประชากร และจำนวนรอบที่กำหนด ซึ่งมีการกำหนดให้มีค่า

เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ หรือ มีค่าลดลงเรื่อยๆ และมีการเปลี่ยนแปลงแบบ exponential หรือ แบบเส้นตรง (Linear) ดังต่อไปนี้

(1) Exponentially increasing probability

$$P^G = min + (1 + gr)^{G-1} \times \frac{(max-min)}{(1+gr)^T} \tag{5.4}$$

(2) Exponentially decreasing probability

$$P^G = max - (1 + gr)^{G-1} \times \frac{(max-min)}{(1+gr)^T} \tag{5.5}$$

(3) Linearly increasing probability

$$P^G = min + \left(\frac{max-min}{T}\right) G \tag{5.6}$$

(4) Linearly decreasing probabilit

$$P^G = max - \left(\frac{max-min}{T}\right) G \tag{5.7}$$

เมื่อ gr = อัตราความเจริญเติบโตของ exponential function
max = ความน่าจะเป็นสูงสุด
min = ความน่าจะเป็นต่ำสุด
G = รุ่นของประชากร (generationth)
T = จำนวนรอบตามที่วิธี DE กำหนด (# of iterations)

การเลือกใช้เวกเตอร์ที่ดีที่สุด ควรจะใช้เมื่อไรถึงจะเหมาะสม ควรจะเป็นช่วงเริ่มต้นในการค้นหาคำตอบหรือจะเป็นช่วงท้ายของการค้นหาคำตอบ อัตราการเพิ่มขึ้นหรืออัตราการลดลงควรจะเป็นแบบเส้นตรง (linear) หรือควรเป็นแบบ exponential จึงจะเหมาะสม เหตุผลต่างๆ ที่กล่าวถึงเป็นที่มาของค่าความน่าจะเป็นทั้ง 4 แบบ (P^G) แบบที่ 1 และแบบที่ 3 จะเป็นความน่าจะเป็นที่มีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ โดยแบบที่ 1 จะมีอัตราการเพิ่มขึ้นเป็นแบบ exponential ในขณะที่แบบที่ 3 จะมีการเพิ่มขึ้นเป็นแบบเส้นตรง ทั้งแบบที่ 1 และแบบที่ 3 ในช่วงเริ่มต้นจะเปิดโอกาสให้ มิวแทนต์เวกเตอร์ตามวิธีการดั้งเดิมมีโอกาสถูกเลือกมากกว่า จากนั้นโอกาสถูกเลือกจะลดลงเรื่อยๆ สำหรับประชากรรุ่นต่อมา ในช่วงประชากรท้ายๆ โอกาสที่เวกเตอร์ที่ดีที่สุดจะถูกเลือกก็จะมีมากขึ้น หรือกล่าวอีกนัยหนึ่ง คือ ช่วงแรกๆ เวกเตอร์ที่ดีที่สุดมีโอกาสถูกเลือกน้อยกว่า สำหรับประชากรในช่วงหลังๆ เวกเตอร์ที่ดีที่สุดจะมีโอกาสถูกเลือกมากกว่า มิวแทนต์เวกเตอร์

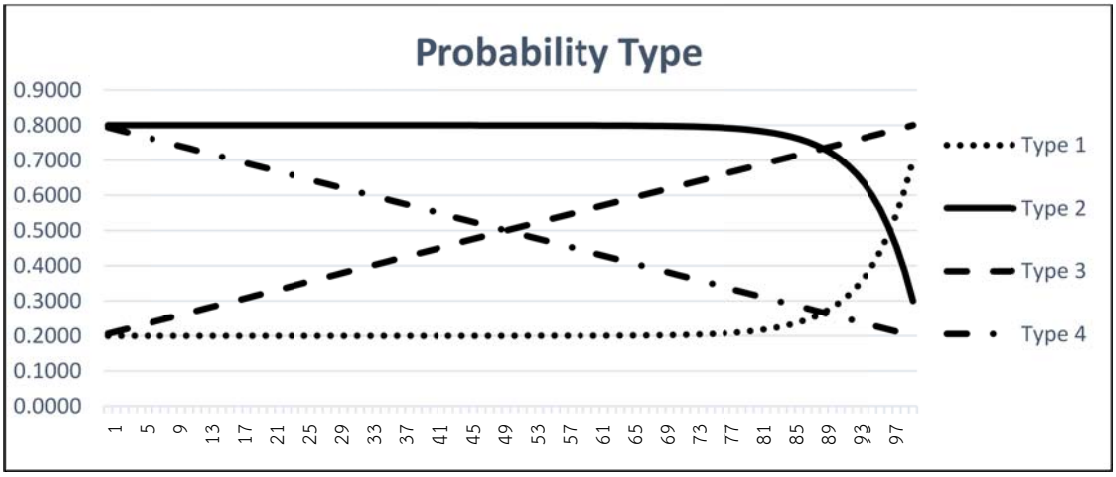
ความน่าจะเป็นในแบบที่ 2 และแบบที่ 4 จะมีค่าที่ลดลงเรื่อยๆ โดยแบบที่ 2 จะเป็นการลดลงแบบ exponential สำหรับแบบที่ 4 จะเป็นการลดลงแบบเส้นตรง ความน่าจะเป็นทั้งแบบที่ 2 และแบบที่ 4 จะมีค่าสูงในช่วงแรก และมีค่าลดลงในช่วงหลัง เป็นผลทำให้เวกเตอร์ที่ดีที่สุดจะมีโอกาสถูกเลือกมากกว่าในช่วงแรก หลังจากนั้นช่วงประชากรหลังๆ เวกเตอร์ที่ดีที่สุดจะมีโอกาสถูกเลือกน้อยกว่ามิวแทนต์เวกเตอร์

$$v_{i,j,G+1} = \begin{cases} x_{r_1,j,G} + F\left(x_{r_2,j,G} - x_{r_3,j,G}\right) & if\ w^{G+1} \geq p^{G+1} \\ x_{r_1,j,G}^{best} + F\left(x_{r_2,j,G}^{best} - x_{r_3,j,G}^{best}\right) & otherwise \end{cases} \tag{5.8}$$

เมื่อ W^G = ค่าตัวเลขสุ่มที่กำหนดขึ้นสำหรับประชากรรุ่นที่ G ในการเลือก มิวแทนต์เวกเตอร์ ระหว่างวิธีดั้งเดิมหรือจะเป็นเวกเตอร์ที่ดีที่สุด

การเพิ่มเงื่อนไขการเลือกเวกเตอร์ที่ดีที่สุดเข้าไปในกระบวนการของ DE คือการนำเวกเตอร์ที่ดีที่สุดในแต่ละรุ่นของประชากรมาใช้น่าจะเป็นวิธีที่จะทำให้ DE สามารถหาคำตอบได้ใกล้เคียงคำตอบที่ดีที่สุดได้มากขึ้น การใช้เวกเตอร์ที่ดีที่สุดในช่วงแรกของการเริ่มค้นหาคำตอบหรือช่วงหลัง ซึ่งขึ้นกับความน่าจะเป็นที่เพิ่มขึ้นหรือลดลง (ตามลำดับ) การกำหนดให้ใช้เวกเตอร์ที่ดีที่สุดตั้งแต่เริ่มต้นอาจทำให้ได้คำตอบที่ต้องการ แต่อย่างไรก็ตามอาจทำให้ให้พลาดโอกาสในการค้นหาคำตอบที่พื้นที่อื่นๆ ที่อาจได้คำตอบที่ใกล้เคียงคำตอบที่ดีที่สุดมากกว่าการที่จะให้ค้นหาคำตอบแบบวิธีเดิมจนถึงช่วงท้ายๆ จึงเริ่มที่จะใช้เวกเตอร์ที่ดีที่สุด การกำหนดอัตราการเพิ่มขึ้นหรืออัตราการลดลงอาจช่วยให้ได้คำตอบที่ต้องการได้ดีขึ้น โดยอัตราการเปลี่ยนแปลงอาจเป็นอัตราคงที่หรือเป็นแบบ exponential

การเลือกระหว่างเวกเตอร์เป้าหมายแบบดั้งเดิม หรือ เลือกจากเวกเตอร์ที่ดีที่สุด สามารถแสดงตัวอย่างได้ดังนี้ การกำหนดค่าอัตราความเจริญเติบโต (gr) กำหนดให้มีค่าเท่ากับร้อยละ 20 หรือ 0.2 ความน่าจะเป็นมากที่สุด (max) เท่ากับ 0.8 ความน่าจะเป็นที่น้อยที่สุด (min) เท่ากับ 0.2 และจำนวนรอบที่กำหนดไว้คือ 100 รอบ การทำ วิธีการปรับเปลี่ยนค่าในพิกัดของเวกเตอร์สำหรับประชากรในรุ่นที่ 2 (G = 2)



ภาพที่ 5.8 ความน่าจะเป็น 4 ประเภทในการเลือกระหว่างเวกเตอร์ที่ดีที่สุด กับ มิวแทนต์เวกเตอร์

ความน่าจะเป็นที่เป็นแบบ exponential แบบที่ 1 ในช่วงแรกๆ จะเน้นไปที่การเลือก มิวแทนต์เวกเตอร์ ประชากรในรุ่นหลังๆ ถึงจะมีโอกาสในการเลือกเวกเตอร์ที่ดีที่สุด สำหรับความน่าจะเป็นแบบ exponential แบบที่ 2 ช่วงแรกๆ เน้นไปที่เวกเตอร์ที่ดีที่สุด ประชากรในช่วงหลังๆ มิวแทนต์เวกเตอร์ ถึงจะมีโอกาสถูกเลือก ในขณะที่ความน่าจะเป็นแบบเส้นตรงในแบบที่ 3 หรือ แบบที่ 4 ความน่าจะเป็นจะมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ หรือ ลดลงเรื่อยๆ ตามลำดับ

ตารางที่ 5.24 ตัวอย่างแสดงการเลือกระหว่าง มิวแทนต์เวกเตอร์ กับ เวกเตอร์ที่ดีที่สุด

ประเภทของความน่าจะเป็น	ค่าความน่าจะเป็น (P^G)	ประเภทเวกเตอร์
แบบที่ 1	0.2000	มิวแทนต์เวกเตอร์
แบบที่ 2	0.8000	เวกเตอร์ที่ดีที่สุด
แบบที่ 3	0.2120	มิวแทนต์เวกเตอร์
แบบที่ 4	0.7880	เวกเตอร์ที่ดีที่สุด

ถ้าค่าตัวเลขสุ่มสำหรับประชากรแต่ละรุ่น (W^G) มีค่ามากกว่าความน่าจะเป็นแต่ละแบบ (P^G) จะทำการเลือก มิวแทนต์เวกเตอร์ ตามวิธีการ DE แบบดั้งเดิม ในทางตรงข้ามหากค่า W^G น้อยกว่า P^G จะทำการเลือกเวกเตอร์ที่ดีที่สุด เมื่อค่าตัวเลขสุ่มสำหรับประชากรรุ่นที่ 2 (W^G) เท่ากับ 0.76164 ซึ่งมีค่ามากกว่า P^G สำหรับความน่าจะเป็นในแบบที่ 1 และ แบบที่ 3 (0.2000 และ 0.2120 ตามลำดับ) จึงทำการเลือก มิวแทนต์เวกเตอร์ เมื่อนำค่า W^G ค่า P^G สำหรับความน่าจะเป็นในแบบที่ 2 และแบบที่ 4 (0.8000 และ 0.7880 ตามลำดับ) จึงทำการเลือกเวกเตอร์ที่ดีที่สุดมาใช้สำหรับการดำเนินการขั้นต่อไปของกระบวนการ DE (ตารางที่ 5.24)

ตารางที่ 5.25 ค่าตัวเลขสุ่มสำหรับประชากรแต่ละรุ่น (W^G) ของเวกเตอร์แต่ละประเภท

ประเภทของเวกเตอร์	ลำดับของเวกเตอร์				
	1	2	3	4	5
ประเภทของรถบรรทุก	0.4722	0.5135	0.2554	**0.0539**	0.3690
ฟาร์มไก่รุ่น	0.7715	0.5141	0.7665	0.6389	0.7025
ฟาร์มไข่	0.9920	0.2656	0.2369	0.7966	0.2185

หมายเหตุ: ความน่าจะเป็นในการเลือกระหว่าง มิวแทนต์เวกเตอร์ กับ เวกเตอร์ที่ดีที่สุด เป็นแบบ exponential แบบที่ 1 ที่มีค่าลดลงเรื่อยๆ และสำหรับประชากรในรุ่นที่ 2 ค่า P^G เท่ากับ 0.2000

เมื่อทำการกำหนดค่าตัวเลขสุ่มสำหรับประชากรในรุ่นที่ 2 (W^G) (ตามตารางที่ 5.25) จะพบว่า มีเพียงค่า W^G ของประเภทรถบรรทุกในเวกเตอร์ที่ 4 เท่านั้นที่มีค่าน้อยกว่า 0.2000 หรือค่า P^G ของประชากรในรุ่นที่ 2 สำหรับความน่าจะเป็นในแบบที่ 1 จึงทำการเลือกเวกเตอร์ที่ดีที่สุดในลำดับที่

4 ของประเภทรถบรรทุกมาใช้ในการดำเนินการขั้นต่อไปของวิธีการ DE โดยที่เวกเตอร์ประเภท นอกเหนือจากนี้จะใช้ มิวแทนต์เวกเตอร์ แบบดั้งเดิม ซึ่งสามารถแสดงเวกเตอร์ที่ถูกเลือกได้ตารางที่ 5.26 สำหรับประเภทรถบรรทุก ตารางที่ 5.27 สำหรับฟาร์มไก่รุ่น และ ตารางที่ 5.28 สำหรับฟาร์มไข่

ตารางที่ 5.26 เวกเตอร์หลังจากผ่านกระบวนการ วิธีการปรับเปลี่ยนค่าในพิกัดของเวกเตอร์สำหรับประเภทรถบรรทุก

พิกัด	มิวแทนต์เวกเตอร์ของประเภทรถบรรทุก				
	1	2	3	4	5
1	0.5979	0.9465	0.3500	0.0419	0.7974
2	0.4344	0.5112	0.9380	0.0953	0.4570
3	0.2933	0.1753	1.0550	0.4427	1.0539
4	0.7464	-0.0377	0.7725	0.0953	0.6150

ตารางที่ 5.27 เวกเตอร์หลังผ่านกระบวนการ วิธีการปรับเปลี่ยนค่าในพิกัดของเวกเตอร์สำหรับฟาร์มไก่รุ่น

พิกัด	มิวแทนต์เวกเตอร์ของฟาร์มไก่รุ่น				
	1	2	3	4	5
1	0.2597	1.2942	0.7665	0.8566	1.1922
2	0.2953	0.4710	0.7407	0.7375	-0.1469
3	0.1232	0.2044	0.3028	-0.0747	0.1691
4	-0.0098	0.4995	0.2224	0.5713	1.1243

ตารางที่ 5.28 เวกเตอร์หลังผ่านกระบวนการวิธีการปรับเปลี่ยนค่าในพิกัดของเวกเตอร์สำหรับฟาร์มไข่

พิกัด	มิวแทนต์เวกเตอร์ของฟาร์มไข่				
	1	2	3	4	5
1	0.6359	0.1823	0.3509	-0.2849	0.5309
2	0.1381	0.5112	1.1586	0.7211	-0.1331
3	0.7219	1.0539	0.3072	0.4274	0.6256
4	0.2303	0.7464	0.8766	0.8766	-0.2799

5.2.5 กระบวนการการแลกเปลี่ยนค่าในพิกัดของเวกเตอร์ (Recombination)

การนำเอา มิวแทนต์เวกเตอร์ ($v_{i,j,G}$) และ เวกเตอร์เป้าหมาย ($x_{i,j,G}$) มาผ่านการคัดเลือกอีกครั้งเพื่อเป็นไทรอัลเวกเตอร์ (trial vector) ($u_{i,j,G}$) โดยการเลือกเวกเตอร์ใดเวกเตอร์หนึ่งเท่านั้น วิธีการเลือกจะต้องทำให้การเลือกดังกล่าวไม่ให้เป็นเวกเตอร์เดียวกัน ซึ่งสามารถแสดงได้ดังนี้

$$u_{i,j,G} = \begin{cases} v_{i,j,G} & when\ CR \leq rand \\ x_{i,j,G} & when\ CR > rand \end{cases} \tag{5.9}$$

วิธีการแลกเปลี่ยนค่าในพิกัดของเวกเตอร์ ในวิธีการ DE มีจุดประสงค์เพื่อนำ เวกเตอร์เป้าหมายจากขั้นตอนแรก จากกระบวนการ DE ในประชากรแต่ละรุ่น มาผ่านกระบวนการคัดเลือกอีกครั้งร่วมกับ มิวแทนต์เวกเตอร์ ที่ได้จากการ วิธีการปรับเปลี่ยนค่าในพิกัดของเวกเตอร์ ถ้าหากเวกเตอร์เป้าหมายเป็นเวกเตอร์ที่ดี จึงควรมีโอกาสถูกเลือกอีกครั้ง หากไม่มีการนำมาคัดเลือกอีกครั้งอาจทำให้ เวกเตอร์เป้าหมายหายออกไปจากระบบ

การแลกเปลี่ยนค่าในพิกัดของเวกเตอร์

1. กำหนดค่า CR = 0.8 เนื่องจากต้องการให้มิวแทนต์เวกเตอร์มีโอกาสถูกเลือกมากกว่าเวกเตอร์เป้าหมาย

2. นำ เวกเตอร์เป้าหมาย $(x_{i,g})$ กลับมาพิจารณาอีกครั้ง โดยเทียบกับมิวแทนต์เวกเตอร์ ตามสูตรต่อไปนี้

$$u_{j,i,G+1} = \begin{cases} v_{j,i,G+1} & if\ rand_{j,i} \leq CR\ or\ j = I_{rand} \\ x_{j,i,G} & if\ rand_{j,i} > CR\ or\ j \neq I_{rand} \end{cases}$$

ภาพที่ 5.9 การแลกเปลี่ยนค่าในพิกัดของเวกเตอร์

จุดประสงค์หลักในกระบวนการ DE คือ การนำเวกเตอร์มาผ่านกระบวนการหาผลต่างของเวกเตอร์ในขั้นตอน วิธีการปรับเปลี่ยนค่าในพิกัดของเวกเตอร์ แต่ก็ยังคงเปิดโอกาสให้เวกเตอร์เป้าหมายมีโอกาสกลับมาอีกสู่กระบวนการอีกครั้ง โดยกำหนดค่า CR เท่ากับ 0.2 ถ้าค่าตัวเลขสุ่มสำหรับแต่ละเวกเตอร์มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับค่า CR หรือ 0.2 ก็จะทำการเลือก มิวแทนต์เวกเตอร์ หากค่าตัวเลขสุ่มมีค่าน้อยกว่าค่า CR หรือ 0.2 ก็จะทำการเลือกเวกเตอร์เป้าหมายจะเห็นได้ว่าการเลือกเวกเตอร์ในขั้นตอนวิธีการแลกเปลี่ยนค่าในพิกัดของเวกเตอร์ ต้องการให้โอกาสในการเลือก มิวแทนต์เวกเตอร์มากกว่า โอกาสในการเลือกเวกเตอร์เป้าหมาย (ภาพที่ 5.9)

ตารางที่ 5.29 ค่าตัวเลขสุ่มสำหรับแต่ละเวกเตอร์

ประเภทของเวกเตอร์	ตัวเลขสุ่มของเวกเตอร์				
	1	2	3	4	5
ประเภทของรถบรรทุก	**0.1628**	0.3604	**0.1689**	0.2985	0.6806
ฟาร์มไก่รุ่น	0.6517	0.7561	**0.0731**	0.8044	0.3882
ฟาร์มไข่	0.5243	0.3709	0.5739	0.6825	0.9401

เมื่อพิจารณาตารางที่ 5.29 พบว่า มีเพียง 3 เวกเตอร์ จากทั้งหมด 15 เวกเตอร์ ที่ใช้เวกเตอร์เป้าหมายเวกเตอร์ที่เหลือ 12 เวกเตอร์ ใช้เวกเตอร์จากขั้นตอนวิธีการแลกเปลี่ยนค่าในพิกัดของเวกเตอร์ ทำให้เห็นว่าเวกเตอร์ส่วนใหญ่ที่จะนำไปพิจารณาในขั้นตอนการคัดเลือกเวกเตอร์ จะเป็นเวกเตอร์ที่ผ่านขั้นตอนการแลกเปลี่ยนค่าในพิกัดของเวกเตอร์มาเรียบร้อยแล้ว ซึ่งสามารถแสดงเวกเตอร์ที่ผ่านการคัดเลือกของประเภทรถบรรทุก (ตารางที่ 5.30) เวกเตอร์ที่ผ่านการคัดเลือกของฟาร์มไก่รุ่น (ตารางที่ 5.31) และ เวกเตอร์ที่ผ่านการคัดเลือกของฟาร์มไข่ (ตารางที่ 5.32)

ตารางที่ 5.30 เวกเตอร์หลังผ่านกระบวนการแลกเปลี่ยนค่าในพิกัดของเวกเตอร์สำหรับประเภทรถบรรทุก

พิกัด	เวกเตอร์ของประเภทรถบรรทุก				
	1	2	3	4	5
1	**0.3662**	0.9465	**0.8662**	0.0419	0.7974
2	**0.3738**	0.5112	**0.5456**	0.0953	0.4570
3	**0.6267**	0.1753	**0.5089**	0.4427	1.0539
4	**0.6083**	-0.0377	**0.0687**	0.0953	0.6150

ตารางที่ 5.31 เวกเตอร์หลังผ่านกระบวนการแลกเปลี่ยนค่าในพิกัดของเวกเตอร์สำหรับฟาร์มไก่รุ่น

พิกัด	เวกเตอร์สำหรับฟาร์มไก่รุ่น				
	1	2	3	4	5
1	0.2597	1.2942	**0.8420**	0.8566	1.1922
2	0.2953	0.4710	**0.4526**	0.7375	-0.1469
3	0.1232	0.2044	**0.3469**	-0.0747	0.1691
4	-0.0098	0.4995	**0.5713**	0.5713	1.1243

ตารางที่ 5.32 เวกเตอร์หลังผ่านกระบวนการแลกเปลี่ยนค่าในพิกัดของเวกเตอร์ สำหรับฟาร์มไข่

พิกัด	เวกเตอร์สำหรับฟาร์มไข่				
	1	2	3	4	5
1	0.6359	0.1823	0.3509	-0.2849	0.5309
2	0.1381	0.5112	1.1586	0.7211	-0.1331
3	0.7219	1.0539	0.3072	0.4274	0.6256
4	0.2303	0.7464	0.8766	0.8766	-0.2799

ในกระบวนการ DE ตั้งแต่ขั้นตอนเริ่มต้นได้แก่ ประชากรเริ่มต้น วิธีการปรับเปลี่ยนค่าในพิกัดของเวกเตอร์ และ วิธีการแลกเปลี่ยนค่าในพิกัดของเวกเตอร์ จะอาศัยค่าตัวเลขสุ่ม ความน่าจะเป็น หรือ ผลต่างของเวกเตอร์ โดยยังไม่มีการนำค่า fitness function มาใช้ ซึ่งน่าจะเป็นจุดเด่นของวิธี DE ที่ไม่ได้มีการคำนวณผลค่า fitness function มาใช้ เพราะจะทำให้สามารถประหยัดเวลาที่ใช้ในการประมวลผล ทำให้การประมวลผลข้อมูลเร็วขึ้น กระบวนการ DE จะมีเฉพาะขั้นตอนการคัดเลือกเวกเตอร์เท่านั้นที่จะนำค่า fitness function มาใช้ผ่านกระบวนการถอดรหัส

การถอดรหัสจะนำเวกเตอร์ที่ได้จากการแลกเปลี่ยนค่าในพิกัดของเวกเตอร์ มาทำการเรียงลำดับค่าตัวเลขในแต่ละพิกัด เพื่อทำการจัดลำดับว่าพิกัดใดในแต่ละเวกเตอร์จะถูกเลือกเป็นอันดับแรก เพื่อทำการมอบหมาย โดยการมอบหมายจะต้องทำการมอบหมายให้เป็นไปตามข้อจำกัดต่างๆ ที่ได้กำหนดไว้ เมื่อทำการมอบหมายได้ครบตามที่กำหนดเรียบร้อยแล้วก็จะทราบว่าต้นทุนในการมอบหมาย ต้นทุนที่ต่ำที่สุดในแต่ละรุ่นจะถูกเก็บค่าไว้ และสำหรับการศึกษาครั้งนี้เวกเตอร์ที่ดีที่สุดในประชากรแต่ละรุ่นก็จะถูกเก็บไว้พิจารณาสำหรับการคำนวณในรอบต่อๆ ไป ตัวอย่างการถอดรหัสได้แสดงไว้แล้วในขั้นตอนประชากรเริ่มต้น

5.2.6 กระบวนการคัดเลือกเวกเตอร์ (Selection)

ขั้นตอนการคัดเลือกเวกเตอร์ในกระบวนการ DE จะเป็นการเปรียบเทียบค่าต้นทุนในการมอบหมาย (fitness function) ระหว่างค่าต้นทุนในการมอบหมายที่ได้จาก เวกเตอร์เป้าหมาย กับ ค่าต้นทุนในการมอบหมายที่ได้จากไทรอัลเวกเตอร์จากขั้นตอนการแลกเปลี่ยนค่าในพิกัดของเวกเตอร์ (ตามภาพที่ 5.10)

$$x_{i,j,G+1} = \begin{cases} u_{i,j,G+1} & if\ f\left(u_{i,j,G+1}\right) \leq f\left(x_{i,j,G}\right) \\ x_{i,j,G} & otherwise \end{cases} \tag{5.10}$$

หากค่าต้นทุนในการมอบหมายที่ได้จาก ไทรอัลเวกเตอร์มีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ ค่าต้นทุนในการมอบหมายทีได้จาก เวกเตอร์เป้าหมาย ก็จะเลือก ไทรอัลเวกเตอร์ เพื่อเก็บเป็น เวกเตอร์เป้าหมายสำหรับประชากรในรุ่นถัดไป แต่ในทางตรงกันข้ามหากค่าต้นทุนในการมอบหมายที่ได้จาก ไทรอัลเวกเตอร์มีค่ามากกว่าค่าที่ได้จากเวกเตอร์เป้าหมาย ก็จะทำการเก็บ เวกเตอร์เป้าหมาย ในประชากรรุ่นนี้เพื่อเป็นเวกเตอร์เป้าหมาย สำหรับประชากรในรุ่นถัดไป

การคัดเลือกเวกเตอร์ทำได้โดยการนำเวกเตอร์มาทำการถอดรหัส เริ่มจากลำดับของพิกัดในเวกเตอร์ของฟาร์มไก่รุ่นและฟาร์มไข่จะทำให้ได้ปริมาณที่จะทำการมอบหมาย แล้วมอบหมายประเภทรถบรรทุกที่เหมาะสม คำนวณค่าต้นทุนการมอบหมายงานซึ่งมีส่วนประกอบสำคัญสองส่วนคือต้นทุนในการขนส่งและต้นทุนค่าเสียโอกาส ต้นทุนการขนส่งขึ้นกับ ระยะทางจากศูนย์บริการไปยังฟาร์มไก่รุ่นเพื่อรับไก่รุ่นไปส่งยังฟาร์มไข่แล้วกลับไปที่ศูนย์บริการ รถบรรทุกแต่ละประเภทมีอัตราการสิ้นเปลืองไม่เท่ากัน ราคาค่าน้ำมัน ค่าบำรุงรักษา เป็นต้น และต้นทุนค่าเสียโอกาสที่จะทำให้การขนส่งแต่ละครั้งให้มีประสิทธิภาพสูงสุด หรือมีการขนส่งโดยมีพื้นที่ว่างให้น้อยที่สุด

การคัดเลือกเวกเตอร์

1. นำไทรอัลเวกเตอร์ในรอบปัจจุบัน (จาก recombination) และ เวกเตอร์เป้าหมายสำหรับรอบก่อนหน้า มาถอดรหัส (Decoding)

$$x_{i,j,G+1} = \begin{cases} u_{i,j,G+1} & if\ f(u_{i,j,G+1}) \le f(x_{i,j,G}) \\ x_{i,j,G} & otherwise \end{cases}$$

2. คำนวณค่า fitness function ของเวกเตอร์ทั้งสอง พร้อมตรวจสอบเงื่อนไขต่างๆ
3. ในกรณีปัญหาการหาค่าต่ำสุด (minimization problem) เวกเตอร์ที่ให้ค่าต่ำที่สุดจะถูกเลือกเป็น เวกเตอร์เป้าหมายของประชากรของรุ่นนี้

ภาพที่ 5.10 การคัดเลือกเวกเตอร์

การมอบหมายงานครั้งนี้จะต้องทำให้เป็นไปตามเงื่อนไขต่างๆ ด้วยเช่น ฟาร์มไก่รุ่นจะต้องสามารถส่งไก่รุ่นออกได้ทั้งหมด ในเบื้องต้นฟาร์มไข่จะได้รับไก่รุ่นอย่างน้อยร้อยละ 50 ของความต้องการแล้วจึงได้ไก่รุ่นเพิ่มเติม ฟาร์มไก่รุ่นในลำดับแรกๆ จะได้รับไก่รุ่นครบตามที่ตนต้องการ แต่ฟาร์มในลำดับท้ายๆ อาจไม่ได้รับไก่รุ่นครบตามที่ต้องการ ระยะเวลาที่ทำการขนส่งจะต้องไม่เกินเวลาที่กำหนด เวลาการใช้งานรถบรรทุกแต่ละประเภทจะต้องไม่เกินชั่วโมงการทำงานที่กำหนดไว้ (ภาพที่ 5.2)

ตารางที่ 5.33 ลำดับของพิกัดในแต่ละเวกเตอร์เริ่มต้น

เวกเตอร์ที่ 1			เวกเตอร์ที่ 2			เวกเตอร์ที่ 3			เวกเตอร์ที่ 4			เวกเตอร์ที่ 5		
ประเภทรถบรรทุก	ฟาร์มไก่รุ่น	ฟาร์มไข่	ประเภทรถบรรทุก	ฟาร์มไก่รุ่น	ฟาร์มไข่	ประเภทรถบรรทุก	ฟาร์มไก่รุ่น	ฟาร์มไข่	ประเภทรถบรรทุก	ฟาร์มไก่รุ่น	ฟาร์มไข่	ประเภทรถบรรทุก	ฟาร์มไก่รุ่น	ฟาร์มไข่
1	2	1	1	2	3	4	4	4	2	2	4	2	3	2
2	3	2	2	4	4	3	2	1	4	4	3	3	2	3
4	1	4	3	1	1	2	1	2	1	1	2	1	1	1
3	4	3	4	3	2	1	3	3	3	3	1	4	4	4

เมื่อนำเวกเตอร์เริ่มต้นจากเวกเตอร์ในกลุ่มที่ 1 ของประเภทรถบรรทุก ฟาร์มไก่รุ่น และฟาร์มไข่ จากตารางที่ 5.33 มาทำการถอดรหัส (ตามภาพที่ 5.5) โดยสอดคล้องกับข้อจำกัดต่างๆ ของการศึกษาในครั้งนี้ (ตามภาพที่ 5.2) พบว่าเกิดต้นทุนในการขนส่ง 13,562 บาท โดยมีต้นทุนค่าเสียโอกาสที่เกิดจากการขนส่งที่มีพื้นที่ว่าง 3,845 บาท รวมเป็นต้นทุนในการมอบหมายงาน 17,407 บาท โดยต้นทุนในการมอบหมายงานของเวกเตอร์เริ่มต้นในกลุ่มที่เหลือแสดงได้ตามตารางที่ 5.34

ตารางที่ 5.34 ต้นทุนในการมอบหมายงานของเวกเตอร์เป้าหมาย

เวกเตอร์ลำดับที่	ต้นทุนในการขนส่ง	ต้นทุนค่าเสียโอกาส	ต้นทุนในการมอบหมายงาน
1	13,562	3,845	17,407
2	14,610	4,846	19,456
3	14,088	4,811	18,899
4	14,951	4,158	19,109
5	13,433	4,152	17,585

เมื่อนำเวกเตอร์เริ่มต้นมาผ่านกระบวนการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างในส่วนของการปรับเปลี่ยนค่าในพิกัดของเวกเตอร์ และ การแลกเปลี่ยนค่าในพิกัดของเวกเตอร์ ที่จะนำเวกเตอร์ที่ได้ไปสู่กระบวนการคัดเลือกเวกเตอร์ที่จะนำค่าต้นทุนในการมอบหมายงานที่ได้จากเวกเตอร์เป้าหมายของรุ่นก่อนหน้า เพื่อนำไปเปรียบเทียบกับเวกเตอร์ที่ได้จากการแลกเปลี่ยนค่าในพิกัดของเวกเตอร์ โดยเมื่อนำเวกเตอร์ที่ได้จากการแลกเปลี่ยนค่าในพิกัดไปทำการถอดรหัสจะสามารถแสดงรายละเอียดของต้นทุนประเภทต่างๆ ได้ตามตารางที่ 5.35

ตารางที่ 5.35 ต้นทุนในการมอบหมายงานของเวกเตอร์ที่ผ่านการแลกเปลี่ยนค่าในพิกัดของเวกเตอร์

เวกเตอร์ลำดับที่	ต้นทุนในการขนส่ง	ต้นทุนค่าเสียโอกาส	ต้นทุนในการมอบหมายงาน
1	14,499	4,950	19,449
2	14,036	3,354	17,390
3	14,769	4,819	19,588
4	12,879	3,394	16,273
5	13,569	2,530	16,099

การคัดเลือกเวกเตอร์ในกระบวนการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างจะทำโดยการนำต้นทุนการมอบหมายงานที่ได้จากเวกเตอร์เป้าหมายไปเปรียบเทียบกับต้นทุนการมอบหมายงานที่ได้จากไทรอัลเวกเตอร์ หากต้นทุนการมอบหมายงานที่ได้จากเวกเตอร์ใดมีค่าน้อยกว่าก็จะทำการเลือกเวกเตอร์นั้น เพื่อเป็นเวกเตอร์เป้าหมายของประชากรในรุ่นต่อไป ซึ่งการคัดเลือกเวกเตอร์สามารถแสดงได้ตามตารางที่ 5.36

ตารางที่ 5.36 การคัดเลือกเวกเตอร์

เวกเตอร์ลำดับที่	ต้นทุนการมอบหมายงาน		การคัดเลือก
	จากเวกเตอร์เป้าหมาย	จากไทรอัลเวกเตอร์	
1	**17,407**	19,449	เวกเตอร์เป้าหมาย
2	19,456	**17,390**	ไทรอัลเวกเตอร์
3	**18,899**	19,588	เวกเตอร์เป้าหมาย
4	19,109	**16,273**	ไทรอัลเวกเตอร์
5	17,585	**16,099**	ไทรอัลเวกเตอร์

เนื่องจากกระบวนการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างอาจทำให้เวกเตอร์ที่มีค่าต้นทุนการมอบหมายงานที่ดีที่สุดหรือในกรณีศึกษานี้คือต้นทุนที่มีค่าน้อยที่สุดไม่ถูกเลือก ซึ่งจะทำให้เวกเตอร์ดังกล่าวถูกกำจัดออกจากระบบ ในการศึกษาครั้งนี้จะนำเวกเตอร์ที่มีค่าต้นทุนในการมอบหมายที่ดีที่สุดเก็บค่าไว้ โดยเวกเตอร์ดังกล่าวจะนำไปใช้ในขั้นตอน การปรับเปลี่ยนค่าในพิกัดของเวกเตอร์ที่กล่าวไว้ข้างต้น (หัวข้อ 5.2.2) เวกเตอร์ที่ดีที่สุดนี้จะมีจำนวนเท่ากับจำนวนประชากร ในแต่ละรอบของการคำนวณเมื่อมีเวกเตอร์ที่ดีที่สุดเกิดขึ้นก็จะมีการเก็บค่าที่ดีที่สุดนี้ไว้ โดยนำเวกเตอร์ไปรวมอยู่ในกลุ่มของเวกเตอร์ที่ดีที่สุดแล้วเรียงลำดับ เวกเตอร์ในลำดับท้ายสุดจะถูกคัดออก

เมื่อทำการคัดเลือกเวกเตอร์ตามขั้นตอน 5.2.4 ได้แล้วก็จะนำเวกเตอร์ที่ได้นี้ไปเพื่อใช้ในการคำนวณในรอบถัดไป ซึ่งทำให้ได้เวกเตอร์เป้าหมายของรถบรรทุกสำหรับประชากรรุ่นถัดไป (ตารางที่ 5.37) เวกเตอร์เป้าหมายสำหรับฟาร์มไก่รุ่น (ตารางที่ 5.38) และเวกเตอร์เป้าหมายสำหรับฟาร์มไข่ (ตารางที่ 5.39)

ตารางที่ 5.37 เวกเตอร์เป้าหมายของประเภทรถบรรทุกสำหรับประชากรรุ่นต่อไป

พิกัด	เวกเตอร์ของประเภทรถบรรทุก				
	1	2	3	4	5
1	0.3662	0.9465	0.8662	0.0419	0.7974
2	0.3738	0.5112	0.5456	0.0953	0.4570
3	0.6267	0.1753	0.5089	0.4427	1.0539
4	0.6083	-0.0377	0.0687	0.0953	0.6150

ตารางที่ 5.38 เวกเตอร์เป้าหมายของฟาร์มไก่รุ่นสำหรับประชากรรุ่นต่อไป

พิกัด	เวกเตอร์สำหรับฟาร์มไก่รุ่น				
	1	2	3	4	5
1	0.2597	1.2942	0.8420	0.8566	1.1922
2	0.3184	0.4710	0.4526	0.7375	-0.1469
3	0.1232	0.2044	0.3469	-0.0747	0.1691
4	0.9581	0.4995	0.5713	0.5713	1.1243

ตารางที่ 5.39 เวกเตอร์เป้าหมายของฟาร์มไข่สำหรับประชากรรุ่นถัดไป

พิกัด	เวกเตอร์สำหรับฟาร์มไข่				
	1	2	3	4	5
1	0.0472	0.1823	0.8370	-0.2849	0.5309
2	0.3940	0.5112	0.1076	0.7211	-0.1331
3	0.9313	1.0539	0.1851	0.4274	0.6256
4	0.6833	0.7464	0.2744	0.8766	-0.2799

การคำนวณตามวิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างจะเริ่มต้นจาก การแลกเปลี่ยนค่าในพิกัดของเวกเตอร์ แล้วผ่านเข้าสู่กระบวนการแลกเปลี่ยนค่าในพิกัดของเวกเตอร์ และนำไทรอัลเวกเตอร์ที่ได้ไปเปรียบเทียบค่าต้นทุนการมอบหมายงานร่วมกับเวกเตอร์เป้าหมายจากรุ่นก่อนหน้าในขั้นตอนของการคัดเลือกเวกเตอร์ เวกเตอร์ที่ได้จากขั้นตอนนี้จะนำไปใช้เป็นเวกเตอร์เป้าหมายสำหรับการคำนวณในรุ่นถัดไป การคำนวณจะดำเนินการตามขั้นตอนวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างไปเรื่อยๆ จนกระทั่งถึงเงื่อนไขที่กำหนด เช่น จำนวนรอบที่กำหนด หรือ เวลาที่กำหนดเป็นต้น (ภาพที่ 5.3)

จากการนำข้อมูลมาผ่านกระบวนการวิวัฒนาการโดยการใช้ผลต่างในรอบแรก (ตารางที่ 5.36) เวกเตอร์ในลำดับที่ 5 มีต้นทุนการมอบหมายงานต่ำที่สุดอยู่ที่ 16,099 บาท เนื่องจากเป็นการผ่านกระบวนการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างในรอบแรก ดังนั้นเวกเตอร์ที่ถูกคัดเลือกนี้จะเป็นเวกเตอร์ที่ดีที่สุดและจะถูกเก็บค่าไว้เพื่อนำไปพิจารณาในขั้นตอนการปรับเปลี่ยนค่าในพิกัดของเวกเตอร์ เมื่อนำข้อมูลชุดเดียวกันนี้ไปใช้ในการหาคำตอบที่ดีที่สุดจากโปรแกรม ลิงโก11 มีคำตอบเท่ากับ 14,987 บาท โดยมีการมอยหมายตามตารางที่ 5.40

ตารางที่ 5.40 การมอบหมายงานที่ได้ต้นทุนในการมอบหมายงานที่ดีที่สุด ปริมาณไก่รุ่นที่ฟาร์มไก่รุ่นผลิตได้ และ ปริมาณความต้องการไก่รุ่นของฟาร์มไข่

การมอบหมายงาน						ปริมาณไก่รุ่นรวม
ฟาร์มไก่รุ่น	ฟาร์มไข่					
	1	2	3	4	รวม	
1		8,000		2,000	10,000	10,000
2	5,000				5,000	5,000
3			10,000		10,000	10,000
4	3,000			2,000	5,000	5,000
รวม	**8,000**	**8,000**	**10,000**	**4,000**	**30,000**	
ปริมาณความต้องการไก่รุ่น	**10,000**	**8,000**	**10,000**	**5,000**		

การมอบหมายงานที่เกิดขึ้นตามตารางที่ 5.40 เป็นตารางที่แสดงการมอบหมายที่เกิดขึ้นเป็นไปตามที่กำหนดขึ้นหรือไม่ กล่าวคือฟาร์มไก่รุ่นจะสามารถส่งไก่รุ่นของฟาร์มตนเองออกได้ทั้งหมด ฟาร์มไก่รุ่นฟาร์มที่ 1 มีความสามารถในการผลิตไก่รุ่น 10,000 ตัว ส่งออกไปให้ฟาร์มไข่ฟาร์มที่ 2 และฟาร์มไข่ฟาร์มที่ 4 จำนวน 8,000 ตัว และ 2,000 ตัว ตามลำดับ ส่งครบตามจำนวนที่สามารถผลิตได้ โดยไม่มีไก่รุ่นคงเหลือที่ฟาร์มไก่รุ่นฟาร์มที่ 1 สำหรับฟาร์มไก่รุ่นฟาร์มที่เหลือก็สามารถส่งไก่รุ่นที่ตนเองผลิตได้ไปยังฟาร์มไข่ได้ทั้งหมดเช่นกัน ฟาร์มไข่ฟาร์มที่ 2 และฟาร์มไข่ฟาร์มที่ 3 ได้รับไก่รุ่นครบตามที่แต่ละฟาร์มต้องการกล่าวคือได้รับไก่รุ่นจำนวน 8,000 ตัว และ 10,000 ตัว ตามลำดับ ส่วนฟาร์มไข่ฟาร์มที่ 1 ได้รับไก่รุ่นจำนวน 8,000 ตัว จากความต้องการรวม 10,000 ตัว ซึ่งน้อยกว่าความต้องการไก่รุ่นอยู่ 2,000 ตัว ส่วนฟาร์มไข่ฟาร์มที่ 4 ได้รับไก่รุ่นจำนวน 4,000 ตัว จากความต้องการรวม 5,000 ตัว โดยได้รับไก่รุ่นน้อยกว่าความต้องการ 1,000 ตัว

การมอบหมายงานเพื่อให้ได้คำตอบที่ดีที่สุดจากโปรแกรม ลิงโก ในครั้งนี้ (ตารางที่ 5.41) ไม่มีการใช้รถบรรทุกประเภทที่ 1 หรือรถบรรทุกสิบล้อ เนื่องจากปริมาณไก่รุ่นที่จะทำการขนส่งไม่เหมาะสมกับความจุของรถบรรทุกสิบล้อ รถบรรทุกประเภทที่ 2 หรือรถบรรทุก 6 ล้อมีการมอบหมายให้ขนส่งไก่รุ่นจำนวน 8,000 ตัว จากฟาร์มไก่รุ่นที่ 1 ไปยังฟาร์มไข่ที่ 2 และมอบหมายให้ขนส่งไก่รุ่นจำนวน 8,000 ตัว จากฟาร์มไก่รุ่นที่ 3 ไปยังฟาร์มไข่ฟาร์มที่ 3 ในขณะที่รถบรรทุกประเภทที่ 3 หรือรถบรรทุก 4 ล้อ (ดัดแปลง) ได้รับมอบหมายให้ขนส่งไก่รุ่นจำนวน 3,000 ตัว จากฟาร์มไก่รุ่นที่ 2 เพื่อไปส่งยังฟาร์มไข่ที่ 1 และมอบหมายให้ขนส่งไก่รุ่นอีก 3,000 ตัว จากฟาร์มไก่รุ่นที่ 4 ไปยังฟาร์มไข่ที่ 1 รถบรรทุกประเภทที่ 4 หรือรถบรรทุกสี่ล้อมาตรฐานได้รับมอบหมายให้ขนส่งไก่รุ่นครั้งละ 2,000 ตัว โดยฟาร์มไก่รุ่นที่ 1 และฟาร์มไก่รุ่นที่ 4 ส่งไก่รุ่นไปให้ฟาร์มไข่ที่ 4 ทำให้ฟาร์มไก่รุ่นฟาร์มที่ 4 ได้รับไก่รุ่นจำนวน 4,000 ตัว ฟาร์มไก่รุ่นที่ 2 ส่งไก่รุ่นให้ฟาร์มไข่ที่ 1 และ ฟาร์มไก่รุ่นที่ 3 ส่งไก่รุ่นให้ฟาร์มไข่ที่ 3

ตารางที่ 5.41 การมอบหมายประเภทรถบรรทุก ฟาร์มไก่รุ่น และ ฟาร์มไข่

ประเภทรถบรรทุก	ฟาร์มไก่รุ่น	ฟาร์มไข่			
		1	2	3	4
2	1		8,000		
	3			8,000	
3	2	3,000			
	4	3,000			
4	1				2,000
	2	2,000			
	3			2,000	
	4				2,000

5.3 วิธีการทดลอง

การแก้ไขปัญหาการมอบหมายงานด้วยวิธีการแม่นตรง (excact method) อาจเหมาะสมกับปัญหาที่มีขนาดเล็กๆ หรือปัญหาที่มีความซับซ้อนไม่มากนัก หากเป็นปัญหาขนาดใหญ่หรือปัญหาที่มีความซับซ้อน ถ้าใช้วิธีการแม่นตรงก็อาจจะใช้เวลาในการหาคำตอบนาน วิธีการทางเลือกจึงถูกนำมาใช้เพื่อทำให้ระยะเวลาในการค้นหาคำตอบสั้นลง อย่างไรก็ตามความแม่นยำหรือความถูกต้องของคำตอบก็จะลดลง สำหรับการทดลองในครั้งนี้จะใช้วิธีการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง (Differential Evolution: DE) เป็นวิธีการทางเลือกในการหาคำตอบการมอบหมายงาน การมอบหมายงานในกรณีศึกษานี้เป็นการมอบหมายงานแบบหลายขั้นกล่าวคือเป็นการมอบหมายประเภทของรถบรรทุกตามจำนวนรอบที่กำหนด เพื่อทำการขนส่งไก่รุ่นจากฟาร์มไก่รุ่นไปยังฟาร์มไข่ ถ้าเกิดการมอบหมายที่ไม่เหมาะสมจะทำให้ต้นทุนในการมอบหมายงานสูง

ประเภทรถบรรทุกที่ใช้ในการมอบหมายจะมีทั้งหมด 4 ประเภท กล่าวคือ รถบรรทุกประเภทที่ 1 หรือรถบรรทุกสิบล้อที่มีความสามารถในการขนส่งไก่รุ่นได้จำนวน 10,000 ตัว (ตารางที่ 5.4) และมีอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมัน 3.2 กิโลเมตรต่อลิตรหรือ 9.375 บาทต่อกิโลเมตร (ตารางที่ 5.12) รถบรรทุกประเภทที่ 2 หรือรถบรรทุกหกล้อมีความจุ 8,000 ตัว และมีอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมัน 5 กิโลเมตรต่อลิตร รถบรรทุกประเภทที่ 3 หรือรถบรรทุกสี่ล้อดัดแปลงมีความจุ 4,000 ตัว และมีอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมัน 8 กิโลเมตรต่อลิตร ส่วนรถบรรทุกประเภทที่ 4 หรือรถบรรทุกสี่ล้อธรรมดามีความจุ 2,000 ตัว ที่มีอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมัน 10 กิโลเมตรต่อลิตร

การขนส่งในรอบที่สองหรือรอบอื่นๆ จะเกิดขึ้นเมื่อมีการใช้รถบรรทุกประเภทเดียวกันเพื่อทำการขนส่งไก่รุ่นจากฟาร์มไก่รุ่นฟาร์มเดียวกันเพื่อไปส่งยังฟาร์มไข่ฟาร์มเดียวกัน มากกว่าหนึ่งรอบ เช่น เมื่อเกิดการมอบหมายให้ใช้รถบรรทุกประเภทที่ 3 เพื่อทำการขนส่งไก่รุ่นจากฟาร์มไก่รุ่นฟาร์มที่ 2 เพื่อไปส่งยังฟาร์มไข่ฟาร์มที่ 4 รอบแรกแล้วต้องการให้เกิดการมอบหมายซ้ำตามรายการเดิมจึงเกิดการมอบหมายรอบที่สอง หรือมีการมอบหมายซ้ำรายการเดิมจึงเกิดการมอบหมายรอบถัดไป

เพื่อเป็นการทดสอบประสิทธิภาพของวิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างที่พัฒนาขึ้นมาเพื่อใช้ในการทดสอบปัญหาในครั้งนี้จึงทำการแบ่งขนาดตัวอย่างออกเป็น 3 กลุ่ม คือกลุ่มขนาดเล็ก กลุ่มขนาดกลาง และขนาดใหญ่ โดยการเปรียบเทียบความแม่นยำของคำตอบและเวลาที่ใช้ในการคำนวณ จากวิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างกับจากวิธีการแม่นตรงจากโปรแกรม ลิงโก

ตารางที่ 5.42 การกำหนดกลุ่มตัวอย่างขนาดต่างๆ

กลุ่มตัวอย่าง	ประเภทรถบรรทุก (หน่วย: ประเภท)	รอบในการขนส่ง (หน่วย: รอบ)	ฟาร์มไก่รุ่น (หน่วย: ฟาร์ม)	ฟาร์มไข่ (หน่วย: ฟาร์ม)
ขนาดเล็ก	4	4	4	4
ขนาดกลาง	4	4	10	10
ขนาดใหญ่	4	4	20	20

รถบรรทุกที่มีให้บริการขนส่งไก่รุ่นมีอยู่ทั้งหมด 4 ประเภท ประกอบด้วย รถบรรทุกสิบล้อ รถบรรทุกหกล้อ รถบรรทุกสี่ล้อดัดแปลง และรถบรรทุกสี่ล้อธรรมดา ในระยะสั้นยังไม่มีการดัดแปลงเปลี่ยนแปลงปรับปรุง หรือเพิ่มประเภทรถบรรทุก ในอนาคตอาจมีการพัฒนารถบรรทุกเพื่อการขนส่งไก่รุ่นประเภทใหม่จึงจะมีการเพิ่มประเภทของรถบรรทุก สำหรับรอบในการขนส่งนั้นหากมีการกำหนดปริมาณขนส่งที่เหมาะสมในการขนส่งไก่รุ่นจากฟาร์มไก่รุ่นไปยังฟาร์มไข่ และเพื่อเป็นการหลีกเลี่ยงต้นทุนที่เกิดขึ้นจากการขนส่งที่จะทำให้ต้นทุนในการมอบหมายงานเพิ่มขึ้นสูงเกินความจำเป็น รอบที่ใช้ในการขนส่งไม่น่าจะเกิดขึ้นซ้ำ แต่อย่างไรก็ตามการทดลองในครั้งนี้จะกำหนดให้มีรอบในการขนส่งสูงสุด 4 รอบ การทดลองในครั้งนี้ในแต่ละกลุ่มตัวอย่างจะกำหนดให้มีจำนวนฟาร์มไก่รุ่นและจำนวนฟาร์มไข่มีจำนวนเท่ากัน กลุ่มตัวอย่างที่มีขนาดเล็กมีจำนวน 4x4 ฟาร์ม กลุ่มตัวอย่างขนาดกลางมีจำนวน 10x10 ฟาร์ม และกลุ่มตัวอย่างขนาดใหญ่มีจำนวน 20x20 ฟาร์ม (ตารางที่ 5.42)

ก่อนการทดลองได้คาดการณ์ว่ากลุ่มตัวอย่างขนาดเล็กจะสามารถหาคำตอบได้จากวิธีแม่นตรงได้ในระยะเวลาสั้น ในส่วนของวิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างควรที่จะใช้เวลาในการประมวลผลน้อยกว่าวิธีแม่นตรง คำตอบที่ได้หรือต้นทุนในการมอบหมายงานจากวิธีแม่นตรงควรได้คำตอบที่มีต้นทุนต่ำกว่าวิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง และคาดว่าคำตอบจากวิธีวิวัฒนาการโดยใชผลต่างควรที่จะมีค่าใกล้เคียงกับวิธีแม่นตรง สำหรับวิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างจะทำการประมวลผลทั้งหมด 5 ครั้ง ทำการรายงานผลต้นทุนการมอบหมายงานและเวลาโดยการใช้ค่าเฉลี่ย

การเปรียบเทียบความแม่นยำระหว่างตัวอย่างที่แตกต่างกัน เช่น กลุ่มตัวอย่างที่แตกต่างกันขนาดของกลุ่มตัวอย่างที่แตกต่างกัน เป็นต้น จึงทำการสร้างเลขดัชนีเพื่อใช้ในการทดสอบความแม่นยำในการประมวลผลเมื่อเทียบกับวิธีการแม่นตรง โดยมีวิธีการคำนวณดังนี้

$$\text{เลขดัชนี} = \frac{\text{คำตอบจากการประมวลผล}}{\text{คำตอบจากวิธีการแม่นตรง}} \times 100$$

เมื่อค่าเลขดัชนีมีค่าเท่ากับ 100 หมายถึงคำตอบที่ได้จากการประมวลผลมีค่าเท่ากับคำตอบจากวิธีการแม่นตรง หรือ ถ้าค่าเลขดัชนีมีค่ามากกว่า 100 หมายถึงคำตอบที่ได้จากการประมวลผลมีค่าสูงกว่าคำตอบจากวิธีการแม่นตรง หรือ ถ้าค่าเลขดัชนีมีค่าต่ำกว่า 100 หมายถึงคำตอบที่ได้จากการประมวลผลมีค่าต่ำกว่าคำตอบจากวิธีการแม่นตรง อย่างไรก็ตามเนื่องจากคำตอบจากวิธีการแม่นตรงจากปัญหาการค่าต่ำสุดนั้นจะต้องมีค่าต่ำที่สุดเสมอ ดังนั้นคำตอบจากการประมวลผลจะต้องมีค่าสูงกว่าคำตอบจากวิธีการแม่นตรงเสมอ ค่าดัชนีจะต้องมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 100 เท่านั้น ไม่มีโอกาสที่ค่าเลขดัชนีจะมีค่าต่ำกว่า 100

เมื่อได้ผลการทดลอง (ตารางที่ 5.44) ซึ่งตรงตามที่คาดการณ์ไว้ เวลาเฉลี่ยในการค้นหาคำตอบสำหรับวิธีแม่นตรงคือ 5.8 วินาที โดยที่เวลาเฉลี่ยในการค้นหาคำตอบสำหรับวิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างคือ 0.2 วินาที ทำให้วิธีวิวัฒนาการโดยใกล้เคียงกับวิธีการแม่นตรงมากที่สุด โดยมีค่าดัชนีเท่ากับ 103.35 ส่วนกลุ่มตัวอย่างชุดใช้ผลต่างใช้เวลาในการหาคำตอบสั้นกว่าวิธีการแม่นตรงมาก (29 เท่า) คำตอบที่ได้จากวิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างมีค่าใกล้เคียงกับวิธีการแม่นตรง ผลต่างที่ได้จากวิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างมีค่าสูงกว่าดัชนีเมื่อเทียบกับคำตอบจากวิธีการแม่นตรงเฉลี่ยที่ 118.4 กลุ่มตัวอย่างชุดที่ 5 มีคำตอบที่ได้จากวิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างมีค่าดัชนีความใกล้เคียงกับวิธีแม่นตรงมากที่สุดอยู่ที่ 112.8 สาเหตุที่ต้นทุนในการมอบหมายงานในแต่ละกลุ่มตัวอย่างแตกต่างกันเนื่องจากระยะทางในการขนส่งระหว่าง ศูนย์บริการไปยังฟาร์มไก่รุ่น จากฟาร์มไก่รุ่นไปยังฟาร์มไข่ และจากฟาร์มไข่กลับไปยังศูนย์บริการไม่เท่ากัน ทำให้ต้นทุนในการขนส่งไก่รุ่นและต้นทุนค่าเสียโอกาสแตกต่างกันเป็นผลทำให้ต้นทุนในการมอบหมายงานแตกต่างกัน

ตารางที่ 5.43 ผลการทดลองสำหรับตัวอย่างขนาดเล็ก แสดงค่าสถิติต่างๆ

ชุดข้อมูล	วิธีการแม่นตรง	วิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง			
		ค่าเฉลี่ย	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
ชุดที่ 1	9,723	11,799	13,442	9,723	1,374.4
ชุดที่ 2	8,753	10,348	12,233	8,753	1,317.7
ชุดที่ 3	5,330	6,416	7,019	5,330	701.7
ชุดที่ 4	7,056	8,420	9,981	7,056	1,093.4
ชุดที่ 5	7,317	8,252	9,218	7,317	702.8

ตารางที่ 5.44 ผลการทดลองสำหรับตัวอย่างขนาดเล็ก แสดงต้นทุนและเวลาในการมอบหมาย

ชุดข้อมูล	วิธีการแม่นตรง		วิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง		ดัชนีของผลต่างของวิธีวัฒนาการฯ จากวิธีการแม่นตรง
	ต้นทุน (บาท)	เวลา (วินาที)	ต้นทุน (บาท)	เวลา (วินาที)	
ชุดที่ 1	9,723	6.9	11,799	0.5	121.4
ชุดที่ 2	8,753	2.0	10,348	0.2	118.2
ชุดที่ 3	5,330	10.7	6,416	0.2	120.4
ชุดที่ 4	7,056	4.8	8,420	0.2	119.3
ชุดที่ 5	7,317	4.7	8,252	0.2	112.8
ค่าเฉลี่ย	7,635	5.8	9,047	0.2	118.4

วิธีการประมวลผลสำหรับข้อมูลแต่ละชุดนั้นจะทำการประมวลผลทั้งหมดชุดละ 5 ครั้ง ทำให้ได้ค่าสถิติตารางที่ 5.43 ถึงแม้ว่าต้นทุนในการมอบหมายงานเฉลี่ยมีค่าสูงกว่าต้นทุนที่ได้จากวิธีการแม่นตรง แต่อย่างไรก็ตามการใช้วิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างสำหรับตัวอย่างทั้ง 5 ชุดนั้น มีผลลัพธ์ที่เป็นค่าต่ำสุดมีค่าเท่ากับคำตอบที่ได้จากวิธีการแม่นตรง ทั้งนี้แสดงให้เห็นว่ากระบวนการหาคำตอบของวิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างตามที่ได้วางแผนไว้มีประสิทธิภาพที่ดีพอสมควร (ตารางที่ 5.44)

การทดลองในลำดับถัดไปคือการทดลองสำหรับกลุ่มตัวอย่างขนาดกลาง (10X10) และกลุ่มตัวอย่างขนาดใหญ่ (20x20) ซึ่งคาดว่าจะใช้เวลาในการค้นหาคำตอบสำหรับทั้งวิธีการแม่นตรงและวิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างจะใช้เวลานานกว่ากลุ่มตัวอย่างขนาดเล็ก เนื่องจากกลุ่มตัวอย่างมีขนาดใหญ่ขึ้นมีผลทำให้ต้นทุนในการมอบหมายงานที่มีต้นทุนในการขนส่งเป็นต้นทุนหลัก ดังนั้นต้นทุนในการมอบหมายงานสำหรับกลุ่มตัวอย่างขนาดใหญ่ขึ้นย่อมทำให้ต้นทุนในการมอบหมายงานสูงขึ้นด้วย

ต้นทุนในการมอบหมายงานที่ได้จากวิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างจากการทดลองที่แสดงในตารางผลการทดลองได้มาจากค่าเฉลี่ยของผลการทดลองทั้งหมด ต้นทุนฯ ของแต่ละชุดข้อมูลมีความแตกต่างกันเนื่องจากต้นทุนหลักหรือต้นทุนจากการขนส่งที่จะแปรผันตามระยะทางเป็นสำคัญ เมื่อกลุ่มตัวอย่างมีขนาดใหญ่ขึ้นย่อมทำให้ระยะทางรวมทั้งหมดมีระยะทางที่ยาวขึ้นกว่ากลุ่มตัวอย่างที่มีขนาดเล็ก นอกจากนี้เวลาที่ใช้ในการประมวลผลก็จะใช้เวลานานขึ้นกว่ากลุ่มตัวอย่างขนาดเล็กเช่นกัน

กลุ่มตัวอย่างขนาดกลางมีขนาด ฟาร์มไก่รุ่น x ฟาร์มไข่ เท่ากับ 10 x 10 (ตารางที่ 5.45) วิธีการแม่นตรงใช้เวลาในการประมวลผลเฉลี่ย 103.6 วินาที ในขณะที่กลุ่มตัวอย่างขนาดเล็กใช้เวลาโดยเฉลี่ยเพียง 5.8 วินาที ส่วนวิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างใช้เวลาในการประมวลผลเฉลี่ยเพียง 0.6 วินาที ในขณะที่กลุ่มตัวอย่างขนาดเล็กใช้เวลาในการประมวลผลเฉลี่ย 0.2 วินาทีเท่านั้น ซึ่งเกือบจะไม่แตกต่างกัน ในขณะที่คำตอบที่ได้จากการประมวลผลวิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างมีค่าสูงกว่าคำตอบที่ได้จากวิธีการแม่นตรงโดยดัชนีเฉลี่ยประมาณ 106.92 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับกลุ่มตัวอย่างขนาดเล็ก แสดงว่าความแม่นยำในการประมวลผลระหว่างกลุ่มตัวอย่างทั้งขนาดเล็กและกลุ่มตัวอย่างขนาดกลางนั้นใกล้เคียงกัน

ตารางที่ 5.45 ผลการทดลองสำหรับตัวอย่างขนาดกลาง (10x10) แสดงต้นทุนในการมอบหมายงานและเวลาในการประมวลผล

ชุดข้อมูล	วิธีการแม่นตรง		วิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง		ดัชนีของผลต่างของวิธีวัฒนาการฯ จากวิธีการแม่นตรง
	ต้นทุน (บาท)	เวลา (วินาที)	ต้นทุน (บาท)	เวลา (วินาที)	
ชุดที่ 1	11,989	175	12,990	0.6	108.4
ชุดที่ 2	11,397	79	12,136	0.6	106.5
ชุดที่ 3	12,613	93	13,364	0.6	106.0
ชุดที่ 4	10,902	92	11,851	0.6	108.7
ชุดที่ 5	12,114	79	12,734	0.7	105.1
ค่าเฉลี่ย	11,803	103	12,615	0.6	106.9

เมื่อทำการทดสอบสมมติฐานดัชนีของคำตอบจากการประมวลผลด้วยวิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างกับวิธีการแม่นตรง ระหว่างกลุ่มตัวอย่างขนาดเล็ก (4x4) กับกลุ่มตัวอย่างขนาดใหญ่ มีค่าเฉลี่ยเท่ากันหรือไม่ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 โดยมีการกำหนดสมมติฐานดังนี้

สมมติฐานหลัก (H_0): ค่าเฉลี่ยของคำตอบฯ จากทั้งสองกลุ่มเท่ากัน $(\mu_{small} = \mu_{medium})$
สมมติฐานรอง (H_1): ค่าเฉลี่ยของคำตอบฯ จากทั้งสองกลุ่มไม่เท่ากัน $(\mu_{small} \neq \mu_{medium})$

เมื่อ μ_{small} คือ ค่าเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่างขนาดเล็ก (4x4)
μ_{medium} คือ ค่าเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่างขนาดกลาง (10x10)

พบว่ามีค่าสถิติ t เท่ากับ -0.4951 มีค่า p-value เท่ากับ 0.6339 ซึ่งมีค่ามากกว่าระดับนัยสำคัญ (α) ที่ 0.05 ดังนั้นสรุปได้ว่ามีหลักฐานไม่เพียงพอที่จะปฏิเสธสมมติฐานหลัก ณ ระดับนัยสำคัญ 0.05 หมายความว่าดัชนีของผลต่างฯ ของทั้งสองกลุ่มตัวอย่างค่าเท่ากัน (ตารางที่ 5.46)

ตารางที่ 5.46 ทดสอบสมมติฐานค่าเฉลี่ยดัชนีของผลต่างของกลุ่มตัวอย่างขนาดเล็กและกลุ่มตัวอย่างขนาดกลาง

การทดสอบ	กลุ่มตัวอย่างขนาดเล็ก	กลุ่มตัวอย่างขนาดกลาง
ค่าเฉลี่ย	106.3161	106.9203
ความแปรปรวน	5.0422	2.4060
จำนวนตัวอย่าง	5	5
องศาความเป็นอิสระ	7	
t Stat	-0.495	
P(T<=t) two-tail	0.6357	
t Critical two-tail	2.3646	

กลุ่มตัวอย่างขนาดใหญ่ที่มีจำนวนฟาร์มไก่รุ่น 20 ฟาร์ม และมีจำนวนฟาร์มไข่ 20 ฟาร์ม (20x20) เป็นกลุ่มตัวอย่างที่มีขนาดใหญ่ เมื่อทำการประมวลผลโดยการใช้โปรแกรม ลิงโก ใช้เวลาไม่ต่ำกว่า 72 ชั่วโมง ยังไม่สามารถหาคำตอบที่ดีที่สุดได้ (Feasible) ต้นทุนที่ใช้ในตารางที่ 5.47 ได้มาจากการใช้ขีดจำกัดล่างในโปรแกรม ลิงโก ค่าต้นทุนที่ได้จากตัวอย่างขนาดใหญ่มีค่ามากกว่าต้นทุนที่ได้จากตัวอย่างขนาดเล็กถึงประมาณ 3 เท่า เนื่องจากระยะทางที่เพิ่มขึ้น คำตอบที่ได้จากวิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างมีค่าสูงกว่าวิธีการแม่นตรงโดยเฉลี่ย 107.10 ใช้เวลาในการประมวลผลเพียง 4.2 วินาที ในขณะที่วิธีการแม่นตรงใช้เวลาในการประมวลผล 72 ชั่วโมง ยังไม่ได้คำตอบที่ดีที่สุด

ตารางที่ 5.47 ผลการทดลองสำหรับตัวอย่างขนาดใหญ่ (20x20) แสดงต้นทุนในการมอบหมายงานและเวลาในการประมวลผล

ชุดข้อมูล	วิธีการแม่นตรง		วิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง		ดัชนีเมื่อเทียบกับลิงโก
	ต้นทุน (บาท)	เวลา (ชั่วโมง)*	ต้นทุน (บาท)	เวลา (วินาที)	
ชุดที่ 1	30,139	72	32,716	5.1	108.6
ชุดที่ 2	26,868	72	29,094	5.1	108.3
ชุดที่ 3	33,688	72	36,128	3.6	107.2
ชุดที่ 4	27,097	72	28,049	3.7	103.5
ชุดที่ 5	27,017	72	29,152	3.7	107.9
ค่าเฉลี่ย	**28,961**	**72**	**31,028**	**4.2**	**107.1**
ค่าสูงสุด	**33,688**		**36,128**	**5.1**	**108.6**
ค่าต่ำสุด	**26,868**		**28,049**	**3.6**	**103.5**
SD	**2,973**		**3,354**	**0.8**	**2.1**

การประมวลผลจากวิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างเมื่อเทียบกับวิธีการแม่นตรงจากกลุ่มตัวอย่างทั้งสามขนาดจะมีผลที่ได้แตกต่างกันหรือไม่ จึงทำการทดสอบสมมติฐานโดยมีสมมติฐานดังนี้

สมมติฐานหลัก (H_0): $\mu_{small} = \mu_{medium} = \mu_{large}$

สมมติฐานรอง (H_1): มีค่าเฉลี่ยอย่างน้อย 1 คู่ที่ไม่เท่ากัน

เมื่อ μ_{small} คือ ค่าเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่างขนาดเล็ก (4x4)

μ_{medium} คือ ค่าเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่างขนาดกลาง (10x10)

μ_{large} คือ ค่าเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่างขนาดใหญ่ (20x20)

ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ตารางที่ 5.48) พบว่ามีค่าสถิติ F เท่ากับ 0.2163 และมีค่า p-value เท่ากับ 0.8086 ซึ่งมีค่าสูงกว่าระดับนัยสำคัญ (α) ที่ 0.05 ทำให้สามารถสรุปได้ว่ามีหลักฐานไม่เพียงพอที่จะปฏิเสธสมมติฐานหลัก ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 หมายความว่า ค่าเฉลี่ยที่ได้จากแต่ละกลุ่มมีค่าไม่แตกต่างกัน หรือ คำตอบที่ได้จากวิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างไม่ว่าจะมาจากกลุ่มตัวอย่างขนาดใดก็ตาม มีคำตอบที่ห่างจากวิธีการแม่นตรงไม่แตกต่างกัน

ตารางที่ 5.48 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของดัชนีของคำตอบที่ได้จากวิธีการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างกับวิธีการแม่นตรง จากกลุ่มตัวอย่างขนาดเล็ก (4x4) กลุ่มตัวอย่างขนาดกลาง (10x10) และกลุ่มตัวอย่างขนาดใหญ่ (20x20)

ที่มาของความแปรปรวน	SS	df	MS	F	P-value	F crit
ระหว่างกลุ่ม	1.69	2	0.84	0.2163	0.8086	3.8853
ภายในกลุ่ม	46.84	12	3.90			
รวม	**48.53**	**14**				

กระบวนการหาคำตอบจากวิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างอาจทำให้เวกเตอร์ที่ดีที่สุดจากการประมวลผลนั้น มีโอกาสออกจากวิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างได้ เพื่อเป็นการให้โอกาสกับเวกเตอร์ที่ดีที่สุดให้ถูกนำมาใช้อีกจึงมีการกำหนดให้เก็บค่าเวกเตอร์ที่ดีที่สุดไว้ อย่างไรก็ตามการนำเวกเตอร์ที่ดีที่สุดกลับมาใช้อีกครั้งนั้นจะนำมาใช้ตั้งแต่รอบแรกๆ หรือจะนำมาใช้ในรอบหลังๆ หากนำเวกเตอร์ที่ดีทีสุดมาใช้ในรอบแรกๆ แล้วอัตราการนำกลับมาใช้นั้นจะลดลงเรื่อยๆ ในกรณีที่เป็นการใช้ในรอบหลังๆ ก็จะมีอัตราการนำมาใช้เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ โดยอัตราการนำมาใช้จะแบ่งเป็น 2 กรณีคือเป็นอัตราแบบเส้นตรง (Linear) หรือแบบอัตราชี้กำลัง (Exponential) โดยสามารถแบ่งอัตราความเจริญเติบโตได้ดังนี้

(1) อัตราการเจริญเติบโตแบบชี้กำลัง (Increasing exponential growth rate)

(2) อัตราการถดถอยแบบชี้กำลัง (Decreasing exponential growth rate)

(3) อัตราการเจริญเติบโตแบบเชิงเส้น (Increasing linear growth rate)

(4) อัตราการถดถอยแบบเชิงเส้น (Decreasing linear growth rate)

การทดลองเพื่อที่จะทดสอบอัตราการเจริญเติบโตแบบต่างๆ ใช้ตัวอย่างจากกลุ่มตัวอย่างขนาดใหญ่ (20x20) ที่มีจำนวนฟาร์มไก่รุ่น 20 ฟาร์ม และมีจำนวนฟาร์มไข่ 20 ฟาร์ม จากกลุ่มตัวอย่างกลุ่มที่ 5 โดยมีการกำหนดอัตราการเจริญเติบโตทั้งหมด 5 แบบดังนี้ อัตราการเจริญเติบโตแบบที่ 0 (Type 0) หมายถึงไม่มีการกำหนดอัตราการเจริญเติบโต ปล่อยให้เป็นไปตามกระบวนการปกติของวิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง ส่วนอัตราการเจริญเติบโตแบบที่ 1 (Type 1) คืออัตราการเจริญเติบโตแบบชี้กำลัง อัตราการเจริญเติบโตแบบที่ 2 (Type 2) คืออัตราการถดถอยแบบชี้กำลัง ในขณะที่อัตราการเจริญเติบโตแบบที่ 3 (Type 3) และอัตราการเจริญเติบโตแบบที่ 4 (Type 4) คือ อัตราการเจริญเติบโตแบบเชิงเส้นและอัตราการถดถอยแบบเชิงเส้น ตามลำดับ

การกำหนดอัตราการถดถอยทั้งในแบบเส้นตรงและแบบชี้กำลังคือการกำหนดให้มีการใช้เวกเตอร์ที่ดีที่สุดที่ได้ทำการคัดเลือกไว้ตั้งแต่เริ่มต้นการประมวลผลแล้วมีการใช้เวกเตอร์ที่ดีที่สุดนั้นลดลงเรื่อยๆ ซึ่งอาจทำให้การค้นหาคำตอบด้วยวิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างนั้นสามารถหาคำตอบได้ดีขึ้น แต่อย่างไรก็ตามเวกเตอร์ที่ดีที่สุดในช่วงเริ่มต้นของการประมวลผลนั้นอาจจะยังไม่ดีเพียงพอ โดยเวกเตอร์ที่ดีที่สุดอาจเกิดขึ้นในช่วงเวลาใดก็ได้ ดังนั้นการกำหนดให้ใช้เวกเตอร์ที่ดีที่สุดตั้งแต่ช่วงแรกๆ แล้วลดลงเรื่อยๆ อาจไม่ได้คำตอบที่ดีเพียงพอ

การกำหนดให้ใช้เวกเตอร์ที่ดีที่สุดในช่วงหลังๆ หรือการกำหนดอัตราการเจริญเติบโตแบบชี้กำลัง อาจเป็นทางเลือกที่ดีกว่าเนื่องจาก ในช่วงแรกๆ จะมีการใช้เวกเตอร์ที่ดีที่สุดน้อยกว่าแล้วมีการใช้เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ เมื่อจำนวนรอบในการประมวลผลเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ โอกาสที่จะค้นพบเวกเตอร์ที่ดีที่สุดก็จะมีมากขึ้นเรื่อยๆ เช่นกัน ดังนั้นการกำหนดให้ใช้เวกเตอร์ที่ดีที่สุดในช่วงหลังน่าจะเป็นวิธีการที่ดีในการค้นหาคำตอบ

อัตราการเจริญเติบโตแบบชี้กำลังจะมีการกำหนดเป็นสองแบบคือแบบแรกเป็นอัตราที่เป็นเส้นตรง ช่วงแรกจะมีการใช้เวกเตอร์ที่ดีที่สุดน้อยแล้วค่อยๆ เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ในแบบเส้นตรง และแบบที่สองเป็นอัตราแบบชี้กำลัง ช่วงแรกแทบจะไม่มีการใช้เวกเตอร์ที่ดีที่สุด แล้วมีการใช้เวกเตอร์ที่ดีที่สุดเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ และเพิ่มการใช้เวกเตอร์ที่ดีที่สุดเป็นอย่างมากในช่วงหลังๆ อัตราการเจริญเติบโตแบบชี้กำลังนั้นน่าจะให้คำตอบที่ดีกว่าอัตราการเจริญเติบโตแบบเส้นตรง เนื่องจากอัตราแบบชี้กำลังนั้นช่วงแรกจะมีการใช้เวกเตอร์ที่ดีที่สุดน้อย ทำให้มีการค้นหาเวกเตอร์ที่ดีที่สุดที่มีอยู่ในระบบได้มากขึ้น เมื่อถึงช่วงหลังก็จะค้นหาเวกเตอร์ได้มากพอสมควรจึงมีการนำมาใช้มากขึ้น ซึ่งน่าจะทำให้ได้คำตอบที่ดีกว่าอัตราที่เป็นแบบเส้นตรง

การทดลองเพื่อที่จะทดสอบอัตราการเจริญเติบโตแบบต่างๆ จากวิธีการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง ทำการทดสอบโดยการใช้กลุ่มตัวอย่างชุดที่ 5 การกำหนดอัตราการเจริญเติบโตแบบต่างๆ สามารถแสดงได้ตามตารางที่ 5.48 โดยเมื่อพิจารณาจากค่าเฉลี่ยของแต่ละแบบของอัตราการเจริญเติบโตพบว่า อัตราการเจริญเติบโตแบบที่ 1 ให้คำตอบที่ใกล้เคียงกับวิธีการแม่นตรงมากที่สุด รองลงมาได้แก่อัตราการเจริญเติบโตแบบที่ 3 แบบที่ 4 แบบที่ 5 และแบบที่ 0 ตามลำดับ (ตารางที่ 5.49)

ตารางที่ 5.49 ต้นทุนการมอบหมายงานเมื่อกำหนดอัตราการเจริญเติบโตแบบต่างๆ

ลำดับ	แบบที่ 0	แบบที่ 1	แบบที่ 2	แบบที่ 3	แบบที่ 4
1	28,725.5	28,209.3	30,711.4	28,524.5	29,213.9
2	29,341.0	27,945.3	29,797.8	28,400.9	28,137.2
3	29,283.8	27,564.5	30,069.6	28,109.8	28,993.2
4	29,278.3	27,997.8	30,157.9	28,339.5	28,205.3
5	29,126.7	27,695.3	29,999.6	28,280.5	28,311.2
ค่าเฉลี่ย	**29,151.1**	**27,882.4**	**30,147.2**	**28,331.0**	**28,572.2**
ค่าสูงสุด	**29,341.0**	**28,209.3**	**30,711.4**	**28,524.5**	**29,213.9**
ค่าต่ำสุด	**28,725.5**	**27,564.5**	**29,797.8**	**28,109.8**	**28,137.2**

อัตราการเจริญเติบโตแบบชี้กำลัง (แบบที่ 1) และแบบเส้นตรง (แบบที่ 3) ให้ค่าเฉลี่ยของคำตอบที่ใกล้เคียงกับคำตอบจากวิธีการแม่นตรงมากกว่าวิธีอื่นๆ นอกจากนี้ค่าต่ำสุดและค่าสูงสุดของทั้งอัตราการเจริญเติบโตแบบชี้กำลังและแบบเส้นตรงก็แสดงค่าคำตอบที่ใกล้เคียงกับคำตอบที่ได้จากวิธีการแม่นตรงเช่นกัน แต่อย่างไรก็ตามอัตราการเจริญเติบโตแบบชี้กำลังให้ค่าตอบที่ใกล้เคียงกับคำตอบจากวิธีการแม่นตรงมากกว่าการกำหนดอัตราการเจริญเติบโตแบบอื่นๆ ซึ่งตรงกับที่คาดการณ์ไว้

เพื่อเป็นการทดสอบว่าการกำหนดอัตราการเจริญเติบโตแบบต่างๆ มีค่าเฉลี่ยต่างกันหรือไม่ ทำการทดสอบโดยการใช้ตารางวิเคราะห์ความแปรปรวน มีการตั้งสมมติฐานดังนี้

สมมติฐานหลัก (H_0) : $\mu_0 = \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4$

สมมติฐานรอง (H_1) : มีค่าเฉลี่ย (μ) อย่างน้อย 1 คู่ที่ไม่เท่ากัน

ตารางที่ 5.50 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของดัชนีของคำตอบที่ได้จากวิธีการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างกับวิธีการแม่นตรง จากอัตราการเจริญเติบโตในแบบต่างๆ

ที่มาของความแปรปรวน	SS	df	MS	F	P-value	F crit
ระหว่างกลุ่ม	15,253,178	4	3,813,294	37.1131	0.0000	2.8661
ภายในกลุ่ม	2,054,957	20	102,747			
รวม	**17,308,135**	**24**				

ผลการทดลองจากการวิเคราะห์ความแปรปรวนพบว่ามีค่าสถิติ F เท่ากับ 37.1131 และมีค่า p-value เท่ากับ 0.0000 ซึ่งมีค่ามากกว่าระดับนัยสำคัญ (α) ที่ 0.05 ทำให้สามารถสรุปได้ว่าปฏิเสธสมมติฐานหลักที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 (ตารางที่ 5.50) หมายความว่า มีค่าเฉลี่ยฯ อย่างน้อย 1 คู่ ที่ไม่เท่ากัน และเพื่อเป็นการทดสอบว่ามีค่าเฉลี่ยคู่ใดบ้างที่ไม่เท่ากันจึงทำการทดสอบเพิ่มเติมทีละคู่

เมื่อทำการวิเคราะห์ที่ละคู่ของแต่ละอัตราการเจริญเติบโต (ตารางที่ 5.51) พบว่าค่าเฉลี่ยของอัตราการเจริญเติบโตแต่ละคู่นั้นมีค่าแตกต่างกันหรือไม่เหมือนกัน ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ยกเว้นค่าเฉลี่ยของอัตราการเจริญเติบโตในแบบที่ 3 และแบบที่ 4 มีค่าเหมือนกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 กล่าวคืออัตราการเจริญเติบโตแบบเชิงเส้นและอัตราการถดถอยแบบเชิงเส้นมีลักษณะเหมือนกัน

ตารางที่ 5.51 ค่าสถิติ t สำหรับการทดสอบค่าเฉลี่ยสำหรับอัตราการเจริญเติบโตแต่ละประเภท

	แบบที่ 0	**แบบที่ 1**	**แบบที่ 2**	**แบบที่ 3**	**แบบที่ 4**
แบบที่ 0					
แบบที่ 1	7.93				
	0.0000				
แบบที่ 2	-5.25	-11.87			
	0.0008	0.0000			
แบบที่ 3	6.24	-3.37	10.83		
	0.0002	0.0098	0.0000		
แบบที่ 4	2.33	-2.77	5.85	-1.04	
	0.0480	0.0243	0.0004	0.3287	

หมายเหตุ: ตัวเลขปกติคือค่าสถิติ t และ ตัวเลขตัวเอียงคือค่า p-value

5.4 กรณีศึกษา (Case Study)

การมอบหมายงานสำหรับกรณีศึกษาประกอบด้วยการมอบหมาย ประเภทรถบรรทุกที่มีทั้งหมด 4 ประเภทคือ รถบรรทุกสิบล้อ รถบรรทุกหกล้อ รถบรรทุกสี่ล้อดัดแปลง และรถบรรทุกสี่ล้อ ฟาร์มไก่รุ่นมีทั้งหมด 40 ฟาร์ม จำนวนรอบที่ใช้ในการขนส่งสูงสุดไม่เกิน 4 รอบ และฟาร์มไข่มีจำนวนทั้งหมด 60 ฟาร์ม การมอบหมายงานโดยมีจุดประสงค์เพื่อต้องการทำให้ต้นทุนในการมอบหมายงานมีค่าต่ำสุด ต้นทุนในการมอบหมายงานประกอบด้วยต้นทุนที่เกิดขึ้นเนื่องจากการขนส่งไก่รุ่นซึ่งเป็นต้นทุนหลัก และต้นทุนค่าเสียโอกาสในกรณีที่การขนส่งแต่ละครั้งไม่เต็มตามจำนวนความจุของรถบรรทุก การมอบหมายงานนี้จะต้องเป็นไปตามเงื่อนไขต่างๆ ที่กำหนดขึ้น ดังนั้นการมอบหมายแต่ละครั้งจะต้องมีการตรวจสอบเงื่อนไขร่วมด้วยเสมอ

กรณีศึกษานี้ประกอบด้วยฟาร์มไก่รุ่นจำนวน 40 ฟาร์ม และฟาร์มไข่จำนวน 60 ฟาร์ม ซึ่งถือว่าเป็นกรณีศึกษาที่มีขนาดใหญ่ การประมวลผลข้อมูลโดยการใช้วิธีการแม่นตรงหรือโปรแกรม ลิงโก ไม่สามารถทำได้ในระยะเวลาสั้น ดังนั้นจึงมีการกำหนดให้ใช้เวลาในการประมวลผลนาน 72 ชั่วโมง โดยสามารถแสดงตามตารางต่อไปนี้

การมอบหมายงานให้รถบรรทุกสิบล้อมีจำนวน 11 คัน โดยทั้งหมดเป็นการมอบหมายเพียงรอบเดียวเท่านั้น เป็นการมอบหมายให้ขนส่งเต็มตามความสามารถของรถบรรทุกสิบล้อจำนวน 10,000 ตัว ทำให้ในกรณีดังกล่าวไม่มีต้นทุนค่าเสียโอกาส ส่วนกรณีอื่นๆ เป็นการมอบหมายให้รถบรรทุกสิบล้อที่ไม่เต็มตามความสามารถทำให้เกิดต้นทุนค่าเสียโอกาสรวม 5,011 บาท ต้นทุนในการขนส่งรวม 18,422 บาท รวมเป็นต้นทุนการมอบหมายงาน 23,433 บาท สำหรับรถบรรทุกสิบล้อ (ตารางที่ 5.52)

ตารางที่ 5.52 การมอบหมายงานสำหรับรถบรรทุก 10 ล้อ (ต้นทุนการมอบหมายงาน)

ฟาร์มไก่รุ่น	รอบ	ฟาร์มไข่	ปริมาณ		ระยะทาง	ต้นทุน		
			ขนส่ง	ว่าง		ขนส่ง	ค่าเสียโอกาส	รวม
9	1	47	10,000	0	91	853	0	853
11	1	49	6,000	4,000	80	750	300	1,050
12	1	17	7,000	3,000	216	2,025	608	2,633
15	1	46	6,000	4,000	105	984	394	1,378
18	1	52	8,000	2,000	192	1,800	360	2,160
23	1	55	1,000	9,000	267	2,503	2,253	4,756
26	1	35	10,000	0	97	909	0	909
28	1	53	10,000	0	241	2,259	0	2,259
31	1	5	10,000	0	204	1,913	0	1,913
36	1	41	10,000	0	277	2,597	0	2,597
40	1	49	4,000	6,000	195	1,828	1,097	2,925
รวม						**18,422**	**5,011**	**23,433**

ตารางที่ 5.53 การมอบหมายงานสำหรับรถบรรทุก 10 ล้อ (เวลาในการมอบหมายงาน: ชั่วโมง)

ฟาร์มไก่รุ่น	รอบ	ฟาร์มไข่	ดัชนี		เวลา			
			ขึ้น	ลง	เดินทาง	ขนขึ้น	ขนลง	รวม
9	1	47	1.0	0.9	1.14	1.00	0.90	3.04
11	1	49	0.8	1.0	1.00	0.48	0.60	2.08
12	1	17	0.7	0.8	2.70	0.49	0.56	3.75
15	1	46	0.9	1.0	1.31	0.54	0.60	2.45
18	1	52	1.0	0.8	2.40	0.80	0.64	3.84
23	1	55	1.0	0.7	3.34	0.10	0.07	3.51
26	1	35	1.0	0.8	1.21	1.00	0.80	3.01
28	1	53	0.9	0.8	3.01	0.90	0.80	4.71
31	1	5	1.0	0.7	2.55	1.00	0.70	4.25
36	1	41	0.7	0.8	3.46	0.70	0.80	4.96
40	1	49	0.9	1.0	2.44	0.36	0.40	3.20
รวม					**24.56**	**7.37**	**6.87**	**38.80**

การมอบหมายงานสำหรับรถบรรทุก 10 ล้อ ใช้เวลาในการเดินทางรวม 24.56 ชั่วโมง เวลาในการขนไก่รุ่นขึ้นรถบรรทุกสิบล้อที่ฟาร์มไก่รุ่นรวม 7.37 ชั่วโมง เวลาที่ใช้ในการขนไก่รุ่นลงที่ฟาร์มไข่

รวม 6.87 ชั่วโมง และมีเวลาที่ใช้ในการทำงานของรถบรรทุกสิบล้อรวม 38.80 ชั่วโมง ซึ่งไม่เกินชั่วโมงการทำงานของรถบรรทุกสิบล้อที่กำหนดไว้ที่ 56 ชั่วโมง (ตารางที่ 5.53)

ตารางที่ 5.54 การมอบหมายงานสำหรับรถบรรทุก 6 ล้อ (ต้นทุนการมอบหมายงาน)

ฟาร์มไก่รุ่น	รอบ	ฟาร์มไข่	ปริมาณ		ระยะทาง	ต้นทุน		
			ขนส่ง	ว่าง		ขนส่ง	ค่าเสียโอกาส	รวม
1	1	51	8,000	0	233	1,398	0	1,398
2	1	46	2,000	6,000	101	606	455	1,061
4	1	15	2,000	6,000	292	1,752	1,314	3,066
5	1	15	6,000	2,000	261	1,566	392	1,958
6	1	28	2,000	6,000	269	1,614	1,211	2,825
8	1	57	5,000	3,000	216	1,296	486	1,782
9	1	33	8,000	0	168	1,008	0	1,008
11	1	40	7,000	1,000	195	1,170	146	1,316
14	1	23	8,000	0	120	720	0	720
14	2	23	2,000	6,000	120	720	540	1,260
15	1	10	8,000	0	235	1,410	0	1,410
16	1	45	8,000	0	271	1,626	0	1,626
19	1	28	8,000	0	183	1,098	0	1,098
21	4	21	5,000	3,000	192	1,152	432	1,584
22	1	40	2,000	6,000	215	1,290	968	2,258
23	1	4	8,000	0	167	1,002	0	1,002
25	1	3	8,000	0	174	1,044	0	1,044
26	1	27	8,000	0	118	708	0	708
27	1	11	4,000	4,000	117	702	351	1,053
28	1	39	5,000	3,000	140	840	315	1,155
31	1	16	8,000	0	231	1,386	0	1,386
32	1	55	4,000	4,000	168	1,008	504	1,512
34	1	29	2,000	6,000	226	1,356	1,017	2,373
34	2	29	8,000	0	226	1,356	0	1,356
35	1	21	3,000	5,000	166	996	623	1,619
38	1	11	1,000	7,000	197	1,182	1,034	2,216
39	1	22	5,000	3,000	254	1,524	572	2,096
รวม						**31,530**	**10,358**	**41,888**

ตารางที่ 5.54 การมอบหมายงานสำหรับรถบรรทุก 6 ล้อ (ต้นทุนการมอบหมายงาน) (ต่อ)

ฟาร์มไก่รุ่น	รอบ	ฟาร์มไข่	ปริมาณ		ระยะทาง	ต้นทุน		
			ขนส่ง	ว่าง		ขนส่ง	ค่าเสียโอกาส	รวม
35	1	21	3,000	5,000	166	996	623	1,619
38	1	11	1,000	7,000	197	1,182	1,034	2,216
39	1	22	5,000	3,000	254	1,524	572	2,096
รวม						**31,530**	**10,358**	**41,888**

รถบรรทุกหกล้อสามารถขนไก่รุ่นได้สูงสุดที่ 8,000 ตัว โดยรถบรรทุกหกล้อถูกมอบหมายจำนวน 27 ครั้ง ส่วนใหญ่จะเป็นการขนส่งรอบเดียว มีบางกรณีที่เป็นการขนส่ง 2 รอบ จากการขนส่งโดยใช้รถบรรทุกหกล้อนี้เป็นการขนส่งเต็มความสามารถจำนวน 11 ครั้ง ทำให้ไม่มีต้นทุนค่าเสียโอกาส ส่วนการขนส่งที่เหลือนอกจากนี้จะเป็นการขนส่งที่ไม่เต็มประสิทธิภาพ ซึ่งทำให้เกิดต้นทุนค่าเสียโอกาส รวม 10,358 บาท มีต้นทุนการขนส่งไก่รุ่นเท่ากับ 31,530 บาท รวมเป็นต้นทุนในการมอบหมายให้รถบรรทุกหกล้อจำนวน 41,888 บาท (ตารางที่ 5.54)

รถบรรทุกหกล้อใช้เวลาในการเดินทางรวม 65.69 ชั่วโมง ใช้เวลาในการขนไก่รุ่นขึ้นรถบรรทุกจากฟาร์มไก่รุ่นรวม 12.04 ชั่วโมง และใช้เวลาในการขนไก่รุ่นลงจากรถบรรทุกที่ฟาร์ไข่รวม 12.61 ชั่วโมง รวมเป็นเวลาใช้งานรถบรรทุกหกล้อ 90.34 ชั่วโมง ซึ่งไม่เกินเวลาการใช้งานรวมที่กำหนดไว้ (ตารางที่ 5.55)

ตารางที่ 5.55 การมอบหมายงานสำหรับรถบรรทุก 6 ล้อ (เวลาในการมอบหมายงาน: ชั่วโมง)

ฟาร์มไก่รุ่น	รอบ	ฟาร์มไข่	ดัชนี		เวลา			
			ขึ้น	ลง	เดินทาง	ขนขึ้น	ขนลง	รวม
1	1	51	0.8	0.8	2.91	0.64	0.64	4.19
2	1	46	0.9	1.0	1.26	0.18	0.20	1.64
4	1	15	0.7	1.0	3.65	0.14	0.20	3.99
5	1	15	0.7	1.0	3.26	0.42	0.60	4.28
6	1	28	1.0	1.0	3.36	0.20	0.20	3.76
8	1	57	0.8	0.8	2.70	0.40	0.40	3.50
9	1	33	0.9	0.8	2.10	0.72	0.64	3.46
11	1	40	0.9	1.0	2.44	0.63	0.70	3.77
14	1	23	0.9	0.8	1.50	0.72	0.64	2.86
14	2	23	0.9	0.8	1.50	0.18	0.16	1.84
15	1	10	0.8	0.9	2.94	0.64	0.72	4.30
16	1	45	0.8	0.7	3.39	0.64	0.56	4.59
19	1	28	0.7	1.0	2.29	0.56	0.80	3.65

ตารางที่ 5.55 การมอบหมายงานสำหรับรถบรรทุก 6 ล้อ (เวลาในการมอบหมายงาน: ชั่วโมง) (ต่อ)

ฟาร์มไก่รุ่น	รอบ	ฟาร์มไข่	ดัชนี		เวลา			
			ขึ้น	ลง	เดินทาง	ขนขึ้น	ขนลง	รวม
21	4	21	0.7	0.7	2.40	0.35	0.35	3.10
22	1	40	1.0	1.0	2.69	0.20	0.20	3.09
23	1	4	0.9	0.8	2.09	0.72	0.64	3.45
25	1	3	0.8	1.0	2.18	0.64	0.80	3.62
26	1	27	1.0	1.0	1.48	0.80	0.80	3.08
27	1	11	0.7	0.9	1.46	0.28	0.36	2.10
28	1	39	0.9	1.0	1.75	0.45	0.50	2.70
31	1	16	0.9	0.8	2.89	0.72	0.64	4.25
32	1	55	0.9	0.9	2.10	0.36	0.36	2.82
34	1	29	0.7	0.8	2.83	0.14	0.16	3.13
34	2	29	0.7	0.8	2.83	0.56	0.64	4.03
35	1	21	0.9	0.7	2.08	0.27	0.21	2.56
38	1	11	0.8	0.9	2.46	0.08	0.09	2.63
39	1	22	0.8	0.8	3.18	0.40	0.40	3.98
รวม					**65.69**	**12.04**	**12.61**	**90.34**

ตารางที่ 5.56 การมอบหมายงานสำหรับรถบรรทุก 4 ล้อดัดแปลง (ต้นทุนการมอบหมายงาน)

ฟาร์มไก่รุ่น	รอบ	ฟาร์มไข่	ปริมาณ		ระยะทาง	ต้นทุน		
			ขนส่ง	ว่าง		ขนส่ง	ค่าเสียโอกาส	รวม
2	2	60	1,000	3,000	216	810	608	1,418
3	1	2	3,000	1,000	77	289	72	361
4	1	54	3,000	1,000	234	878	219	1097
5	1	58	2,000	2,000	165	619	309	928
6	1	57	3,000	1,000	252	945	236	1,181
7	1	24	2,000	2,000	204	765	383	1,148
9	1	26	3,000	1,000	139	521	131	652
10	1	12	3,000	1,000	180	675	169	844
11	1	36	1,000	3,000	175	656	492	1,148
11	2	36	4,000	0	175	656	0	656

ตารางที่ 5.56 การมอบหมายงานสำหรับรถบรรทุก 4 ล้อดัดแปลง (ต้นทุนการมอบหมายงาน) (ต่อ)

ฟาร์มไก่รุ่น	รอบ	ฟาร์มไข่	ปริมาณ		ระยะทาง	ต้นทุน		
			ขนส่ง	ว่าง		ขนส่ง	ค่าเสียโอกาส	รวม
12	1	24	3,000	1,000	218	818	204	1,022
13	1	55	1,000	3,000	272	1,020	765	1,785
13	2	55	4,000	0	272	1,020	0	1,020
14	1	58	4,000	0	51	191	0	191
14	2	58	4,000	0	51	191	0	191
15	1	59	4,000	0	156	585	0	585
15	2	59	2,000	2,000	156	585	293	878
16	1	22	3,000	1,000	212	795	199	994
17	1	9	4,000	0	262	983	0	983
17	2	9	4,000	0	262	983	0	983
20	1	54	2,000	2,000	153	574	287	861
22	1	48	3,000	1,000	151	566	142	708
24	1	17	3,000	1,000	151	566	142	708
26	1	52	2,000	2,000	128	480	240	720
27	1	40	1,000	3,000	220	825	619	1,444
28	1	30	4,000	0	196	735	0	735
28	2	30	1,000	3,000	196	735	551	1,286
29	1	39	2,000	2,000	96	360	180	540
30	1	18	4,000	0	167	626	0	626
30	2	18	1,000	3,000	167	626	470	1,096
31	1	48	2,000	2,000	164	615	308	923
32	1	6	4,000	0	83	311	0	311
32	2	6	1,000	3,000	83	311	234	545
33	1	32	3,000	1,000	123	461	116	577
34	1	34	2,000	2,000	139	521	261	782
34	2	34	4,000	0	139	521	0	521
34	3	34	4,000	0	139	521	0	521
35	1	42	4,000	0	178	668	0	668
37	2	11	4,000	0	226	848	0	848
37	3	11	1,000	3,000	226	848	635	1,483
38	1	59	4,000	0	211	791	0	791

ตารางที่ 5.56 การมอบหมายงานสำหรับรถบรรทุก 4 ล้อดัดแปลง (ต้นทุนการมอบหมายงาน) (ต่อ)

ฟาร์มไก่รุ่น	รอบ	ฟาร์มไข่	ปริมาณ		ระยะทาง	ต้นทุน		
			ขนส่ง	ว่าง		ขนส่ง	ค่าเสียโอกาส	รวม
38	1	59	4,000	0	211	791	0	791
40	1	60	4,000	0	295	1,106	0	1,106
รวม						**27,600**	**8,261**	**35,861**

รถบรรทุก 4 ล้อดัดแปลงได้ถูกมอบหมายจำนวน 42 ครั้ง มีการขนส่งที่เต็มตามความจุของรถบรรทุก 4 ล้อดัดแปลงที่สามารถขนส่งไก่รุ่นจำนวน 4,000 ตัว จำนวนทั้งหมด 16 ครั้ง ซึ่งทั้งหมดนี้จะไม่มีต้นทุนค่าเสียโอกาส แต่อย่างไรก็ตามการขนส่งครั้งอื่นๆ จะเกิดต้นทุนค่าเสียโอกาสรวมทั้งสิ้น 8,261 บาท มีต้นทุนค่าขนส่งไก่รุ่นรวม 27,600 บาท รวมเป็นต้นทุนการมอบหมายงานสำหรับรถบรรทุก 4 ล้อดัดแปลงเท่ากับ 35,861 บาท (ตารางที่ 5.56)

ตารางที่ 5.57 การมอบหมายงานสำหรับรถบรรทุก 4 ล้อดัดแปลง (เวลาในการมอบหมายงาน: ชั่วโมง)

ฟาร์มไก่รุ่น	รอบ	ฟาร์มไข่	ดัชนี		เวลา			
			ขึ้น	ลง	เดินทาง	ขนขึ้น	ขนลง	รวม
2	2	60	1.0	0.7	2.70	0.10	0.07	2.87
3	1	2	0.9	0.7	0.96	0.27	0.21	1.44
4	1	54	1.0	0.9	2.93	0.30	0.27	3.50
5	1	58	0.9	1.0	2.06	0.18	0.20	2.44
6	1	57	0.9	0.9	3.15	0.27	0.27	3.69
7	1	24	0.7	0.9	2.55	0.14	0.18	2.87
9	1	26	0.9	0.7	1.74	0.27	0.21	2.22
10	1	12	0.7	0.7	2.25	0.21	0.21	2.67
11	1	36	0.9	1.0	2.19	0.09	0.10	2.38
11	2	36	0.9	1.0	2.19	0.36	0.40	2.95
12	1	24	0.7	0.9	2.73	0.21	0.27	3.21
13	1	55	1.0	1.0	3.40	0.10	0.10	3.60
13	2	55	1.0	1.0	3.40	0.40	0.40	4.20
14	1	58	1.0	1.0	0.64	0.40	0.40	1.44
14	2	58	1.0	1.0	0.64	0.40	0.40	1.44
15	1	59	1.0	0.8	1.95	0.40	0.32	2.67
15	2	59	1.0	0.8	1.95	0.20	0.16	2.31

ตารางที่ 5.57 การมอบหมายงานสำหรับรถบรรทุก 4 ล้อดัดแปลง (เวลาในการมอบหมายงาน: ชั่วโมง) (ต่อ)

ฟาร์มไก่รุ่น	รอบ	ฟาร์มไข่	ดัชนี		เวลา			
			ขึ้น	ลง	เดินทาง	ขนขึ้น	ขนลง	รวม
16	1	22	0.9	0.7	2.65	0.27	0.21	3.13
17	1	9	1.0	0.8	3.28	0.40	0.32	4.00
17	2	9	1.0	0.8	3.28	0.40	0.32	4.00
20	1	54	0.8	0.9	1.91	0.16	0.18	2.25
22	1	48	0.9	1.0	1.89	0.27	0.30	2.46
24	1	17	1.0	1.0	1.89	0.30	0.30	2.49
26	1	52	1.0	0.7	1.60	0.20	0.14	1.94
27	1	40	1.0	0.7	2.75	0.10	0.07	2.92
28	1	30	1.0	0.8	2.45	0.40	0.32	3.17
28	2	30	1.0	0.8	2.45	0.10	0.08	2.63
29	1	39	0.7	1.0	1.20	0.14	0.20	1.54
30	1	18	1.0	0.8	2.09	0.40	0.32	2.81
30	2	18	1.0	0.8	2.09	0.10	0.08	2.27
31	1	48	0.7	1.0	2.05	0.14	0.20	2.39
32	1	6	1.0	0.8	1.04	0.40	0.32	1.76
32	2	6	1.0	0.8	1.04	0.10	0.08	1.22
33	1	32	0.7	0.8	1.54	0.21	0.24	1.99
34	1	34	0.7	0.9	1.74	0.14	0.18	2.06
34	2	34	0.7	0.9	1.74	0.28	0.36	2.38
34	3	34	0.7	0.9	1.74	0.28	0.36	2.38
35	1	42	0.8	0.7	2.23	0.32	0.28	2.83
37	2	11	0.7	0.8	2.83	0.28	0.32	3.43
37	3	11	0.7	0.8	2.83	0.07	0.08	2.98
38	1	59	0.9	0.8	2.64	0.36	0.32	3.32
40	1	60	0.8	0.7	3.69	0.32	0.28	4.29
รวม					**92.00**	**10.44**	**10.03**	**112.47**

การมอบหมายรถบรรทุก 4 ล้อดัดแปลงใช้เวลาในการเดินทางทั้งสิ้น 92 ชั่วโมง ใช้เวลา 10.44 ชั่วโมงในการขนไก่รุ่นขึ้นรถที่ฟาร์มไก่รุ่น และใช้เวลา 10.33 ชั่วโมงในการขนไก่รุ่นลงที่ฟาร์มไข่ การใช้รถบรรทุก 4 ล้อดัดแปลงใช้เวลาทั้งหมด 112.47 ชั่วโมง ซึ่งไม่เกินจำนวนชั่วโมงที่กำหนดไว้ (ตารางที่ 5.57)

ตารางที่ 5.58 การมอบหมายงานสำหรับรถบรรทุก 4 ล้อ (ต้นทุนการมอบหมายงาน)

ฟาร์มไก่รุ่น	รอบ	ฟาร์มไข่	ปริมาณ		ระยะทาง	ต้นทุน		
			ขนส่ง	ว่าง		ขนส่ง	ค่าเสียโอกาส	รวม
1	1	46	2,000	0	189	567	0	567
2	1	31	2,000	0	219	657	0	657
3	1	44	2,000	0	200	600	0	600
5	1	20	2,000	0	295	885	0	885
7	1	8	2,000	0	153	459	0	459
7	2	8	1,000	1,000	153	459	230	689
10	1	12	2,000	0	180	540	0	540
11	1	13	2,000	0	83	249	0	249
14	1	19	2,000	0	128	384	0	384
18	1	1	2,000	0	242	726	0	726
19	1	43	2,000	0	161	483	0	483
20	1	50	1,000	1,000	200	600	300	900
20	2	50	2,000	0	200	600	0	600
23	1	38	1,000	1,000	245	735	368	1,103
24	1	37	2,000	0	225	675	0	675
25	1	25	2,000	0	156	468	0	468
29	1	14	2,000	0	127	381	0	381
29	2	14	1,000	1,000	127	381	191	572
32	1	39	1,000	1,000	76	228	114	342
33	1	7	2,000	0	152	456	0	456
35	1	56	2,000	0	174	522	0	522
35	2	56	1,000	1,000	174	522	261	783
40	1	38	2,000	0	237	711	0	711
รวม						**12,288**	**1,463**	**13,751**

เกิดการมอบหมายรถบรรทุก 4 ล้อ จำนวนทั้งสิ้น 23 ครั้ง เป็นการมอบหมายที่ไม่เต็มประสิทธิภาพของรถบรรทุกหรือเกิดพื้นที่ว่างในการขนส่งจำนวน 6 ครั้ง คิดเป็นต้นทุนค่าเสียโอกาส 1,463 บาท ต้นทุนในการขนส่งมูลค่า 12,288 บาท รวมเป็นต้นทุนในการมอบหมายงานทั้งสิ้น 13,751 บาท (ตารางที่ 5.58)

ตารางที่ 5.59 การมอบหมายงานสำหรับรถบรรทุก 4 ล้อ (เวลาในการมอบหมายงาน: ชั่วโมง)

ฟาร์มไก่รุ่น	รอบ	ฟาร์มไข่	ดัชนี		เวลา			
			ขึ้น	ลง	เดินทาง	ขนขึ้น	ขนลง	รวม
1	1	46	0.7	0.8	2.36	0.14	0.16	2.66
2	1	31	1.0	0.9	2.74	0.20	0.18	3.12
3	1	44	1.0	1.0	2.50	0.20	0.20	2.90
5	1	20	0.7	0.9	3.69	0.14	0.18	4.01
7	1	8	1.0	1.0	1.91	0.20	0.20	2.31
7	2	8	1.0	1.0	1.91	0.10	0.10	2.11
10	1	12	1.0	1.0	2.25	0.20	0.20	2.65
11	1	13	0.8	1.0	1.04	0.16	0.20	1.40
14	1	19	0.7	1.0	1.60	0.14	0.20	1.94
18	1	1	0.8	0.7	3.03	0.16	0.14	3.33
19	1	43	1.0	1.0	2.01	0.20	0.20	2.41
20	1	50	0.9	1.0	2.50	0.09	0.10	2.69
20	2	50	0.9	1.0	2.50	0.18	0.20	2.88
23	1	38	0.8	1.0	3.06	0.08	0.10	3.24
24	1	37	0.9	0.9	2.81	0.18	0.18	3.17
25	1	25	0.9	0.7	1.95	0.18	0.14	2.27
29	1	14	0.7	1.0	1.59	0.14	0.20	1.93
29	2	14	0.7	1.0	1.59	0.07	0.10	1.76
32	1	39	0.9	0.8	0.95	0.09	0.08	1.12
33	1	7	0.7	0.8	1.90	0.14	0.16	2.20
35	1	56	1.0	0.9	2.18	0.20	0.18	2.56
35	2	56	1.0	0.9	2.18	0.10	0.09	2.37
40	1	38	0.7	1.0	2.96	0.14	0.20	3.30
รวม					**51.20**	**3.43**	**3.69**	**58.32**

การมอบหมายรถบรรทุก 4 ล้อ ให้ทำการขนส่งเป็นเวลารวม 51.20 ชั่วโมง ใช้เวลาในการขนส่งไก่รุ่นขึ้นรถบรรทุกที่ฟาร์มไก่รุ่นรวม 3.43 ชั่วโมง และใช้เวลาในการขนไก่รุ่นลงที่ฟาร์มไข่รวม 3.69 ชั่วโมง รวมเป็นเวลาที่ใช้งานรถบรรทุก 4 ล้อ รวม 58.32 ชั่วโมง ซึ่งไม่เกินจำนวนชั่วโมงการใช้งานตามที่กำหนดไว้ (ตารางที่ 5.59)

การมอบหมายที่เกิดขึ้นสำหรับกรณีศึกษาครั้งนี้เกิดการมอบหมายทั้งสิ้น 103 ครั้ง โดยมีการมอบหมายให้ใช้รถบรรทุกสี่ล้อดัดแปลงมากที่สุดจำนวน 42 ครั้ง ซึ่งรถบรรทุกสี่ล้อดัดแปลงสามารถบรรทุกไก่รุ่นได้ 4,000 ตัว ในครั้งนี้มีการมอบหมายรถบรรทุกสิบล้อน้อยที่สุดจำนวน 11 ครั้ง ต้นทุน

ในการมอบหมายงานรวมทั้งสิ้น 114,932 บาท ประกอบด้วยต้นทุนส่วนหลักคือต้นทุนในการขนส่ง 89,840 บาท และต้นทุนค่าเสียโอกาส 25,092 บาท (ตารางที่ 5.60)

ตารางที่ 5.60 ต้นทุนในการมอบหมายงานสำหรับกรณีศึกษา

ประเภทรถบรรทุก	จำนวนมอบหมาย	ต้นทุน		
		ขนส่ง	ค่าเสียโอกาส	รวม
รถบรรทุกสิบล้อ	11	18,422	5,011	23,433
รถบรรทุกหกล้อ	27	31,530	10,358	41,888
รถบรรทุกสี่ล้อดัดแปลง	42	27,600	8,261	35,861
รถบรรทุกสี่ล้อ	23	12,288	1,463	13,751
รวม	**103**	**89,840**	**25,092**	**114,932**

การแก้ไขปัญหาการมอบหมายงานจากกรณีศึกษาโดยการใช้วิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างนั้นสามารถทำได้ ปัญหาที่ประกอบไปด้วย ประเภทของรถบรรทุกจำนวน 4 ประเภท จำนวนรอบในการขนส่งสูงสุด 4 รอบ จำนวนฟาร์มไก่รุ่น 40 ฟาร์ม และ จำนวนฟาร์มไข่ 60 ฟาร์ม ซึ่งถือว่าเป็นปัญหาขนาดใหญ่ หากทำการแก้ปัญหาด้วยวิธีการแม่นตรงก็อาจใช้เวลานาน จนอาจเรียกได้ว่าไม่สามรถหาคำตอบได้ในระยะเวลาที่เหมาะสม ทำให้จำเป็นต้องใช้วิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง ซึ่งจะใช้วิธีการเข้ารหัสและการถอดรหัสแบบเดียวกับตัวอย่างที่กล่าวไว้ในตอนต้นของบทนี้ ในขณะที่เงื่อนไขหรือข้อจำกัดต่างๆ ก็จะต้องนำมาใช้ในการพิจารณาร่วมกันทุกครั้ง

ตารางที่ 5.61 ต้นทุนในการมอบหมายงานจากวิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง

ครั้งที่	ต้นทุนในการมอบหมายงาน	เวลา (วินาที)	สัดส่วน
1	122,462	6.35	106.55
2	116,980	10.29	101.78
3	127,750	8.70	111.15
4	129,934	7.79	113.05
5	129,151	6.04	112.37
ค่าเฉลี่ย	**125,255**	**7.83**	**108.98**
ค่าสูงสุด	**129,934**	**10.29**	**113.05**
ค่าต่ำสุด	**116,980**	**6.04**	**101.78**

การประมวลผลด้วยวิธีแม่นตรงโดยใช้โปรแกรม ลิงโก ใช้เวลา 72 ชั่วโมง มีความเป็นไปได้ที่จะหาคำตอบได้ (feasible) โดยได้คำตอบเท่ากับ 114,932 บาท ในขณะที่การประมวลผลด้วยวิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างใช้เวลาในการประมวลผลเฉลี่ย 7.83 วินาที ได้คำตอบโดยเฉลี่ย 122,255 บาท ซึ่งคิดเป็นค่าดัชนีเท่ากับ 108.98 ซึ่งถือว่ามีคำตอบที่ห่างจากวิธีการแม่นตรงไม่มากนัก หากพิจารณาจาก

คำตอบที่ต่ำสุดจากการประมวลผลด้วยวิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างที่มีค่าเท่ากับ 116,980 บาท ซึ่งคิดเป็นดัชนีเท่ากับ 101.78 ซึ่งถือว่ามีความใกล้เคียงกับคำตอบจากวิธีการแม่นตรง (ตารางที่ 5.61)

การประมวลผลด้วยวิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างนั้นเป็นวิธีการที่สามารถกระจายพื้นที่ในการค้นหาคำตอบได้ดี ทำให้มีโอกาสที่คำตอบที่หาได้นั้นจะเป็นคำตอบที่ดีที่สุด (global optimal) ได้ ในการค้นหาคำตอบแต่ละครั้งนั้นอาจทำให้เวกเตอร์ที่ดีที่สุดถูกนำออกจากการประมวลผล ดังนั้นสำหรับกรณีศึกษาในครั้งนี้จะมีการนำเอาเวกเตอร์ที่ดีที่สุดกลับมาใช้อีกครั้งเมื่อเป็นไปตามเงื่อนไขที่กำหนด การกำหนดอัตราการเจริญเติบโตสำหรับกรณีศึกษาจะใช้อัตราการเจริญเติบโตแบบชี้กำลัง ซึ่งอัตราการเจริญเติบโตแบบดังกล่าวให้ค่าคำตอบที่ใกล้เคียงกับวิธีการแม่นตรงมากกว่าวิธีการกำหนดอัตราการเจริญเติบโตแบบอื่นๆ

ตารางที่ 5.62 ต้นทุนในการมอบหมายงานจากวิธีวิวัฒนาการแบบปรับปรุง

ครั้งที่	ต้นทุนการมอบหมายงาน		สัดส่วน	
	ดั้งเดิม	ปรับปรุง	ดั้งเดิม	ปรับปรุง
1	122,462	120,365	106.55	104.73
2	116,980	119,258	101.78	103.76
3	127,750	120,116	111.15	104.51
4	129,934	118,006	113.05	102.67
5	129,151	120,582	112.37	104.92
ค่าเฉลี่ย	**125,255**	**119,666**	**108.98**	**104.12**
ค่าสูงสุด	**129,934**	**120,582**	**113.05**	**104.92**
ค่าต่ำสุด	**116,980**	**118,006**	**101.78**	**102.67**

ต้นทุนในการมอบหมายงานในวิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างแบบปรับปรุงมีค่าเฉลี่ย, ค่าสูงสุด และค่าต่ำสุด ต่ำกว่าวิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างแบบดังเดิม คำตอบที่ได้จากวิธีปรับปรุงมีความใกล้เคียงกับวิธีการแม่นตรงมากกว่าวิธีแบบดั้งเดิม หากพิจารณาจากค่าเฉลี่ยของคำตอบจากวิธีแบบปรับปรุงเทียบกับคำตอบจากโปรแกรม ลิงโก โดยมีดัชนีเท่ากับ 104.12 ในขณะที่คำตอบจากวิธีแบบดังเดิมมีค่าคำตอบเมื่อเทียบกับคำตอบจากโปรแกรม ลิงโก ดัชนีเท่ากับ 108.98 จะเห็นว่าคำตอบที่ได้จากวิธีการปรับปรุงมีคำตอบที่ดีกว่าวิธีการปรับปรุง (ตารางที่ 5.62)

เพื่อเป็นการตรวจสอบว่าคำตอบที่ได้จากทั้งสองวิธีแตกต่างกันหรือไม่สามารถตรวจสอบได้จากตารางวิเคราะห์ความแปรปรวน (ตารางที่ 5.63) โดยมีสมมติฐานดังนี้

สมมติฐานหลัก (H0): $\mu_{\text{ดั้งเดิม}} = \mu_{\text{ปรับปรุง}}$

สมมติฐานหลัก (H0): $\mu_{\text{ดั้งเดิม}} \neq \mu_{\text{ปรับปรุง}}$

ตารางที่ 5.63 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของคำตอบจากวิธีดั้งเดิมและวิธีปรับปรุง

การวิเคราะห์	วิธีดั้งเดิม	วิธีปรับปรุง
ค่าเฉลี่ย	125255.2	119665.6
ความแปรปรวน	29893734	1113239
จำนวนตัวอย่าง	5	5
องศาความเป็นอิสระ	4	
ค่าสถิติ t	2.2446	
ค่า p-value	0.0881	
t Critical two-tail	2.7764	

จากตารางค่าสถิติ t มีค่าเท่ากับ 2.2446 ค่า p-value มีค่าเท่ากับ 0.08 แสดงว่ามีโอกาสไม่เพียงพอที่จะปฏิเสธสมมติฐานหลัก ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 หมายความว่าคำตอบที่ได้จากทั้งสองวิธีมีคำตอบที่ไม่แตกต่างกัน อย่างไรก็ตามหากเพิ่มค่าระดับนัยสำคัญเป็น 0.1 ก็จะสามารถเปลี่ยนแปลงคำตอบได้

5.5 สรุปผล (Conclusions)

การมอบหมายงานโดยทั่วไปหมายถึงการมอบหมายงานให้พนักงานคนหนึ่งไปทำงานที่เครื่องจักรเครื่องหนึ่ง ซึ่งการมอบหมายให้พนักงานคนหนึ่งไปทำงานใดงานหนึ่งจะมีต้นทุนในการมอบหมายงานที่แตกต่างกัน วัตถุประสงค์ในการมอบหมายงานคือจะมีการมอบหมายงานอย่างไรจึงจะทำให้ต้นทุนในการมอบหมายรวมมีค่าต่ำที่สุด การมอบหมายงานแบบหลายขั้นเป็นการมอบหมายงานที่มากกว่าการมอบหมายงานใดงานหนึ่งให้พนักงานคนหนึ่งทำ เช่น พนักงานคนหนึ่งที่จบปริญญาเอกทางเศรษฐศาตร์ บ้านอยู่ที่รังสิต จังหวัดปทุมธานี ไปทำงานเป็นพนักงานตรวจสอบบัญชี ที่บริษัทแห่งหนึ่งตั้งอยู่ที่อำเภอนครชัยศรี จังหวัดนครปฐม ซึ่งจะเห็นว่าพนักงานคนดังกล่าวทำงานไม่ตรงกับสาขาวิชาที่จบการศึกษามา งานตรวจสอบบัญชีเป็นงานที่ต้องการความชำนาญเป็นพิเศษ บ้านของพนักงานอยู่ที่จังหวัดปทุมธานีอยู่ทางทิศเหนือของกรุงเทพฯ ไปทำงานที่จังหวัดนครปฐมซึ่งอยู่ทางทิศตะวันตกของกรุงเทพฯ ซึ่งจะเห็นได้ว่าเป็นการมอบหมายที่จะทำให้เกิดต้นทุนการมอบหมายที่สูงมาก หากมีการมอบหมายที่เหมาะสมก็จะทำให้ต้นทุนการมอบหมายงานต่ำลงได้ จะเห็นว่าการมอบหมายในลักษณะนี้เป็นการมอบหมายที่จะต้องมีการตัดสินใจในครั้งเดียว ดังนั้นจึงเป็นการตัดสินใจในปัญหาที่มีความซับซ้อนกว่าปัญหาในระดับพื้นฐาน เกิดความยากในการวิเคราะห์และประมวลผลปัญหา

ปัญหาสำหรับตัวอย่างที่มีขนาดเล็ก (4x4) และปัญหาที่มีขนาดกลาง (10x10) เป็นปัญหาที่สามารถใช้การแก้ปัญหาแบบแม่นตรงได้ใช้เวลาในการแก้ปัญหาในเวลาไม่นาน เวลาการประมวลผลเฉลี่ย 103 วินาที สำหรับปัญหาขนาดกลาง ปัญหาขนาดใหญ่ (20x20) และปัญหาสำหรับกรณีศึกษา (40x60) ในเวลา 72 ชั่วโมง ไม่สามารถหาคำตอบที่ดีที่สุดได้ แต่อย่างไรก็ตามในช่วงเวลาดังกล่าวคำตอบที่ได้จากโปรแกรมลิงโก อยู่ในช่วงที่สามารถหาคำตอบได้ (feasible) ดังนั้นการหาคำตอบด้วยวิธีการทางเลือกหรือวิธีวิวัฒนการโดยใช้ผลต่างจึงเป็นทางเลือกที่ดีในการค้นหาคำตอบที่เหมาะสมโดยใช้เวลาไม่นาน ปัญหาขนาด

ใหญ่ใช้เวลาในการประมวลผล เฉลี่ย 4.2 วินาที และสำหรับเวลาในการประมวลผลสำหรับกรณีศึกษาโดยเฉลี่ย 7.8 วินาที

ข้อดีของกระบวนการค้นหาคำตอบด้วยวิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างคือการกระจายพื้นที่ในการค้นหาคำตอบ ซึ่งอาจจะมีผลทำให้ใกล้เคียงคำตอบที่ดีที่สุด (global optimal) ได้ แต่อย่างไรก็ตามการวิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างนั้นประกอบด้วยขั้นตอนหลายขั้นตอน จะต้องมีการกำหนดค่าพารามิเตอร์หลายค่าเป็นผลทำให้การเปลี่ยนแปลงเข้าสู่คำตอบที่เหมาะสมใช้เวลานาน เนื่องจากความแม่นยำในการค้นหาคำตอบ หรือการที่คำตอบที่ได้นั้นมีโอกาสที่จะใกล้เคียงกับคำตอบที่ดีที่สุดได้ ทำให้วิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างมีการนำไปใช้กันอย่างแพร่หลาย การใช้วิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างมีข้อดีหลายประการ ในขณะเดียวกันเนื่องจากข้อดีดังกล่าวนั้นก็จะทำให้การใช้วิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างนั้นอาจใช้เวลาในการประมวลผลนานกว่าวิธีฮิวริสติกส์วิธีอื่นๆ

การค้นหาคำตอบด้วยวิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างอาจเหมาะกับปัญหาที่มีการตัดสินใจไม่ซับซ้อนจะทำให้การแก้ไขปัญหาเป็นไปด้วยดี คำตอบที่ได้เป็นคำตอบที่เหมาะสมหรือมีความใกล้เคียงกับคำตอบที่ดีที่สุด แต่ถ้าเป็นปัญหาที่มีความซับซ้อน ที่จะต้องมีการตัดสินใจในหลายๆ ปัจจัยพร้อมๆ กัน อาจไม่เหมาะสำหรับการใช้วิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง

Strengths • เกิดการกระจายพื้นที่ในการหาคำตอบ • คำตอบที่ดีที่สุด อาจถูกละเลย	Weaknesses • ต้องกำหนดพารามิเตอร์หลายตัว • การประมวลผลมีหลายขั้นตอน • อัตราการเปลี่ยนแปลงเข้าหาคำตอบที่เหมาะสมช้า
Opportunities • เชื่อถือได้ • มีการใช้อย่างแพร่หลาย	Treats • เหมาะกับปัญหาที่ไม่ซับซ้อนมากนัก

ภาพที่ 5.11 การวิเคราะห์สภาพแวดล้อม SWOT ของวิธี DE

บทที่ 6
วิธีการค้นหาค่าที่ดีที่สุดด้วยฝูงอนุภาค (Particles Swarm Optimization: PSO)

6.1 ปัญหาการมอบหมายงาน (Assignment Problem)

ปัญหาการมอบหมายงาน (Assignment Problem) เป็นปัญหาที่เกิดขึ้นเนื่องจากการมอบหมายงานให้กับพนักงาน โดยที่งานแต่ละงานมีความแตกต่างกัน ความยากของแต่ละงานแตกต่างกัน ในขณะที่พนักงานก็มีความรู้ ความสามารถ และความชำนาญในการทำงานที่แตกต่างกัน ทำให้การมอบหมายงานให้กับพนักงานนั้นมีต้นทุนในการมอบหมายงานเกิดขึ้น โดยแต่ละความเป็นไปได้ที่มีการมอบหมายงานนั้นก็จะมีค่ามากหรือน้อยแตกต่างกัน เป็นผลทำให้ต้นทุนในการมอบหมายงานในแต่ละความเป็นไปได้แตกต่างกัน ปัญหาในการมอบหมายงานนั้นจะมีจุดประสงค์เพื่อจะมีการมอบหมายงานอย่างไรจึงจะทำให้ต้นทุนรวมที่ได้ต่ำที่สุด ในเบื้องต้นการมอบหมายงานนี้จะเป็นการมอบหมายงานในลักษณะหนึ่งต่อหนึ่ง (one to one) กล่าวคือ เมื่อมอบหมายงานงานหนึ่งไปแล้วก็จะไม่สามารถมอบหมายให้กับพนักงานคนอื่นๆ ได้อีก ในขณะเดียวกันพนักงานแต่ละคนเมื่อได้รับมอบหมายงานไปแล้วก็จะไม่สามารถรับมอบหมายงานอื่นๆ ได้อีก

ปัญหาการมอบหมายงานมีจุดมุ่งหมายหลักเพื่อต้องการที่จะมีการมอบหมายงานอย่างไรจึงจะทำให้ต้นทุนรวมในการมอบหมายงานจึงจะมีค่าที่ต่ำที่สุด และในขณะเดียวกันก็จะต้องทำให้ข้อจำกัดต่างๆ เป็นไปตามที่กำหนดไว้ เช่น การมอบหมายงานจะเป็นแบบหนึ่งต่อหนึ่ง ปัญหาการมอบหมายงานได้มีการพัฒนาต่อยอดจากปัญหาการมอบหมายงานแบบพื้นฐานให้มีความซับซ้อนมากขึ้น ปัญหาการมอบหมายงานแบบทั่วไป (Generalized Assignment Problem: GAP) เป็นการนำข้อจำกัดจากปัญหาแบบพื้นฐานมาลดหย่อนโดยการกำหนดให้พนักงานหนึ่งคนสามารถได้รับมอบหมายงานได้มากกว่าหนึ่งงาน แต่อย่างไรก็ตามการมอบหมายงานที่เกิดขึ้นจะต้องไม่เกินขีดจำกัดของพนักงานคนนี้ ในขณะที่งานแต่ละงานจะสามารถมอบหมายให้กับพนักงานได้เพียงคนเดียวเท่านั้น (Ross and Soland, 1975) ปัญหาการมอบหมายงานแบบควอดดราติก (Quadratic Assignment Problem: QAP) จะเป็นการมอบหมายสิ่งอำนวยความสะดวก (facilities) กับ ทำเลที่ตั้ง (location) นำเสนอโดย Koopmans และ Beckman ในปี 1957 เช่น การกำหนดที่ติดตั้งเครื่องจักรภายในโรงงาน การกำหนดที่ตั้งของแผนกต่างๆ ภายในอาคารสำนักงาน เป็นต้น ซึ่งการมอบหมายในแต่ละครั้งจะต้องคำนวณระยะทางระหว่างทำเลที่ตั้งแต่ละที่ รวมถึงอัตราการหมุนเวียน (flow) ของแต่ละสิ่งอำนวยความสะดวกด้วยเช่น ในกรณีของโรงพยาบาลแผนกการเงินและแผนกจ่ายยาไม่ควรอยู่ห่างกัน เนื่องจากมีปริมาณหรืออัตราการหมุนเวียนระหว่างทั้งสองแผนกนี้สูง เป็นต้น การมอบหมายงานแบบพื้นฐานจะเป็นการมอบหมายเพียงสองระดับเท่านั้นคือมอบหมายงานให้กับพนักงานเท่านั้น การมอบหมายงานในบางกรณีอาจเป็นการมอบหมายในหลายระดับได้เช่น การมอบหมายให้นายแพทย์ ก ไปกับพยาบาล ข เดินทางโดยรถฉุกเฉินประเภท ค เพื่อไปรับผู้ป่วย ง ซึ่งการมอบหมายดังกล่าวจะต้องมีการอย่างเหมาะสมจึงจะทำให้มีต้นทุนที่ต่ำที่สุดได้ ซึ่งการมอบหมายในการศึกษาครั้งนี้เป็นการมอบหมายใน 4 ระดับ กล่าวคือ การมอบหมายให้ประเภทรถบรรทุกเพื่อไปรับไก่รุ่นจากฟาร์มไก่รุ่นแล้วไปส่งยังฟาร์มไข่ และการขนส่งรอบต่อไป (ถ้ามี)

การมอบหมายตามการศึกษาในครั้งนี้ประกอบด้วยประเภทรถบรรทุกที่มีทั้งหมด 4 ประเภท แต่ละประเภทมีความจุหรือความสามารถในการขนส่งไก่รุ่นไม่เท่ากัน อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันไม่เท่ากัน รวมไปถึงค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาไม่เท่ากัน ทำให้การมอบหมายรถบรรทุกแต่ละประเภทมีต้นทุนในการมอบหมายแตกต่างกัน นอกจากประเภทรถบรรทุกแล้วยังมีฟาร์มไก่รุ่นที่มีทั้งหมด 40 ฟาร์ม และฟาร์มไข่อีกจำนวน 60 ฟาร์ม ซึ่งแต่ละฟาร์มไก่รุ่นแต่ละฟาร์มจะมีความสามารถในการผลิตไม่เท่ากัน ส่วนฟาร์มไข่ก็มีความต้องการไก่รุ่นไปเพื่อผลิตไข่ในปริมาณที่ไม่เท่ากัน หากมีการใช้รถบรรทุกประเภทเดิมเพื่อทำการขนส่งไก่รุ่นจากฟาร์มไก่รุ่นไปยังฟาร์มไข่ฟาร์มเดียวกัน ก็สามารถที่จะทำการขนส่งรอบที่สองได้

ต้นทุนในการมอบหมายงานมีส่วนประกอบสำคัญ 2 ส่วน คือ ต้นทุนในการขนส่งไก่รุ่นจากฟาร์มไก่รุ่นไปยังฟาร์มไข่ และ ต้นทุนค่าเสียโอกาสซึ่งคือต้นทุนที่เกิดจากการขนส่งที่ไม่เต็มประสิทธิภาพหรือปล่อยให้มีพื้นที่ว่างเกิดขึ้นในรถบรรทุก ต้นทุนในการขนส่งขึ้นกับระยะทางในการขนส่งและอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันของรถบรรทุกแต่ละประเภทเป็นสำคัญ ระยะทางในการขนส่งเริ่มต้นจากศูนย์บริการไปยังฟาร์มไก่รุ่น จากฟาร์มไก่รุ่นไปยังฟาร์มไข่ และกลับจากฟาร์มไข่ไปยังศูนย์บริการ ในการขนส่งบางกรณีเป็นการขนส่งที่ไม่เต็มประสิทธิภาพของรถบรรทุก ซึ่งอาจทำให้เกิดการขนส่งรอบที่สองที่จะทำให้มีต้นทุนในการขนส่งเพิ่มขึ้น ดังนั้นเพื่อให้การขนส่งแต่ละครั้งมีประสิทธิภาพสูงสุดจึงมีการกำหนดต้นทุนค่าเสียโอกาสเพิ่มขึ้นเป็นอีกต้นทุนหนึ่งของการมอบหมายงาน ต้นทุนค่าเสียโอกาสจะขึ้นกับต้นทุนการขนส่งโดยเฉลี่ยต่อความสามารถในการขนส่งสูงสุดของรถบรรทุกแต่ละประเภท

6.2 วิธีการค้นหาค่าที่ดีที่สุดด้วยฝูงอนุภาค (Particles Swarm Optimization: PSO)

ปัญหาการมอบหมายงานสามารถหาวิธีการแม่นตรง (exact method) ในการค้นหาคำตอบที่ดีที่สุดได้ เช่นวิธีฮังกาเรียน (Hungarian method) ที่นำเสนอโดย Kuhn ในปี 1952 อย่างไรก็ตามวิธีการฮังกาเรียนนี้จะใช้ในการหาคำตอบได้ดีในกรณีที่ตัวอย่างมีขนาดเล็ก โดยสามารถหาคำตอบได้แม่นยำถูกต้อง รวดเร็ว ถ้าปัญหามีขนาดใหญ่อาจใช้เวลานานในการค้นหาคำตอบ หรือถ้าปัญหามีความซับซ้อนและประกอบด้วยหลายข้อจำกัด การแก้ปัญหาการมอบหมายงานด้วยวิธีแม่นตรงอาจเรียกได้ว่าไม่สามารถทำได้ การแก้ปัญหาการมอบหมายงานที่มีขนาดใหญ่หรือมีความซับซ้อนจึงจำเป็นที่จะต้องใช้วิธีการทางเลือกในการค้นหาคำตอบ คือวิธีฮิวริสติกส์ (Heuristic method)

วิธีการหาค่าที่ดีที่สุดด้วยฝูงอนุภาค (Particles Swarm Optimization: PSO) เป็นอีกหนึ่งในวิธีการฮิวริสติกส์ ที่มีการใช้กันอย่างแพร่หลาย PSO ถูกกล่าวถึงครั้งแรกโดย Kennedy and Eberhart ในปี 1995 โดย PSO สามารถหาคำตอบโดยการอาศัยความร่วมมือระหว่างอนุภาค (particles) และฝูงของอนุภาค แต่ละอนุภาคจะทำการค้นหาค่าที่เหมาะสมได้จากตำแหน่งที่ตั้งปัจจุบัน โดยทราบทิศทางและความเร็ว (velocity) สำหรับตำแหน่งถัดไปโดยพิจารณาร่วมกันระหว่าง ทิศทางและความเร็วเดิม ตำแหน่งที่ดีที่สุดของอนุภาค (pBest) และตำแหน่งที่ดีที่สุดของฝูง (gBest) โดยสามารแสดงความสัมพันธ์ได้ดังสมการที่ 6.1

$$V_{t+1} = \underbrace{c_0 V_t}_{A} + \underbrace{c_1 r_1 (pBest - X_t)}_{B} + \underbrace{c_2 r_2 (gBest - X_t)}_{C} \tag{6.1}$$

$$X_{t+1} = X_t + V_{t+1} \tag{6.2}$$

เมื่อกำหนดให้

V_{t+1} คือ อัตราความเร็วของแต่ละอนุภาคสำหรับการเดินทางไปยังตำแหน่งใหม่

V_t คือ อัตราความเร็วของแต่ละอนุภาคสำหรับตำแหน่งเดิม

r_1 และ r_2 คือ ค่าตัวเลขสุ่มที่มีค่าอยู่ระหว่าง 0 กับ 1

c_0, c_1 และ c_2 คือ ค่าสัมประสิทธิ์ในการเรียนรู้ซึ่งมีค่าคงที่

X_t คือ ตำแหน่งเดิม

X_{t+1} คือ ตำแหน่งใหม่

$pBest$ คือ ตำแหน่งที่ดีที่สุดของอนุภาค

$gBest$ คือ ตำแหน่งที่ดีที่สุดของฝูง

A หมายถึง อัตราความเร็วเดิมของรอบก่อนหน้า

B หมายถึง อัตราความเร็วใหม่ที่เกิดขึ้นเนื่องจากตำแหน่งเดิมและตำแหน่งที่ดีที่สุดของอนุภาค

C หมายถึง อัตราความเร็วใหม่ที่เกิดขึ้นเนื่องจากตำแหน่งเดิมและตำแหน่งที่ดีที่สุดของฝูง

เมื่ออนุภาคทราบอัตราความเร็วใหม่ (V_{t+1}) อนุภาคนั้นก็จะเปลี่ยนจากตำแหน่งเดิม (X_t) โดยใช้อัตราความเร็วดังกล่าว ไปยังตำแหน่งใหม่ (X_{t+1}) เมื่ออนุภาคแต่ละอนุภาคเปลี่ยนจากตำแหน่งเดิมเป็นตำแหน่งใหม่จะต้องมีการใช้ตำแหน่งที่ดีที่สุดของตนเองและตำแหน่งที่ดีที่สุดของฝูง (สมการที่ 6.2) ดังนั้นเมื่อมีการค้นพบตำแหน่งที่ดีที่สุดแล้วก็ทั้งฝูงก็จะทำการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งเพื่อเข้าสู่จุดนั้น โดยตำแหน่งดังกล่าวอาจเป็นเพียงคำตอบที่ดีที่สุดเฉพาะพื้นที่ก็เป็นได้ (local optimal) ไม่เกิดการกระจายพื้นที่ในการค้นหาคำตอบ

6.2.1 การเข้ารหัส (Encoding)

ขั้นตอนการเข้ารหัสสำหรับวิธีการหาค่าที่ดีที่สุดด้วยฝูงอนุภาคจะมีลักษณะเหมือนกับการเข้ารหัสของวิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง (Differential Evolution: DE) กล่าวคือ กำหนดตัวเลขสุ่มที่มีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 สำหรับทุกอนุภาคในแต่ละเวกเตอร์ หลังจากนั้นเรียงลำดับค่าตัวเลขสุ่มในแต่ละเวกเตอร์จากน้อยไปหามาก อนุภาคในลำดับแรกหรืออนุภาคที่มีค่าตัวเลขสุ่มต่ำสุดจะถูกเลือกเป็นอันดับแรก (ภาพที่ 5.4)

6.2.2 การถอดรหัส (Decoding)

การถอดรหัสจะใช้แบบเดียวกับวิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง (บทที่ 5) โดยในแต่ละรอบนั้นเริ่มต้นจากการกำหนดปริมาณที่จะขนส่ง ซึ่งกำหนดโดยการเปรียบเทียบระหว่างปริมาณไก่รุ่นของฟาร์มไก่รุ่นในลำดับแรก (supply) กับปริมาณความต้องการไก่รุ่นของฟาร์มไข่ในลำดับแรก (demand) หากปริมาณใดมีค่าน้อยกว่าก็จะทำการขนส่งโดยใช้ปริมาณนั้น เพื่อให้เป็นไปตามข้อจำกัด

ของกรณีศึกษาฟาร์มไข่แต่ละฟาร์มจะได้รับไก่รุ่นอย่างน้อยร้อยละ 50 ของความต้องการ ในเบื้องต้นจะมอบหมายให้ฟาร์มไข่ได้รับไก่รุ่นอย่างน้อยร้อยละ 50 ของความต้องการ และเมื่อฟาร์มไข่แต่ละฟาร์มได้รับไก่รุ่นครบตามที่กำหนดแล้ว ฟาร์มในลำดับแรกก็จะได้รับไก่รุ่นเพิ่มเติมจนครบตามความต้องการ สำหรับฟาร์มไข่ในลำดับท้ายๆ อาจไม่ได้รับไก่รุ่นตามที่ตนเองต้องการ (สมการที่ 6.3)

$$AssignQ = \begin{cases} Q_d^A & if\ Q_d^A \leq Q_s \\ Q_s & otherwise \end{cases} \tag{6.3}$$

เมื่อ $AssignQ$ คือ ปริมาณที่จะทำการขนส่ง

Q_d^A คือ ปริมาณความต้องการไก่รุ่น (ร้อยละ 50 ของความไก่รุ่นทั้งหมด)

Q_s คือ ปริมาณผลผลิตไก่รุ่นที่ฟาร์มไก่รุ่นผลิตได้

หลังจากที่กำหนดปริมาณไก่รุ่นที่จะทำการขนส่งเรียบร้อยแล้วก็จะทำการเลือกประเภทรถบรรทุกที่เหมาะสม โดยจะทำการเลือกจากรถบรรทุกที่มีความจุมากกว่าปริมาณที่จะทำการขนส่ง และจะต้องเป็นรถบรรทุกที่มีความจุใกล้เคียงกับปริมาณที่จะขนส่งมากที่สุด รถบรรทุกที่มีความจุต่ำกว่าปริมาณที่ทำการขนส่งจะไม่เลือกเนื่องจากต้องการหลีกเลี่ยงการขนส่งหลายรอบ (สมการที่ 6.4) ตัวอย่างเช่น หากปริมาณที่จะทำการขนส่งคือ 5,000 ตัว รถบรรทุกที่มีความจุมากกว่า 5,000 ตัว มีสองประเภทคือ รถบรรทุก 10 ล้อ ที่มีความจุ 10,000 ตัว และรถบรรทุก 6 ล้อ ที่มีความจุ 8,000 ตัว ก็จะทำการเลือกรถบรรทุก 6 ล้อ เพื่อทำการขนส่งแต่อย่างไรก็ตามการขนส่งครั้งนี้จะทำให้เกิดต้นทุนค่าเสียโอกาสเกิดขึ้น โดยความจุของรถบรรทุกแต่ละประเภทสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 6.1

$$min\, TruckQ_k \geq AssignQ \tag{6.4}$$

เมื่อ $TruckQ_k$ คือความจุของรถบรรทุกประเภท k

ตารางที่ 6.1 ความจุของรถบรรทุก และชั่วโมงการใช้งานของรถบรรทุกแต่ละประเภท

ประเภทของรถบรรทุก (k)	ลักษณะของรถบรรทุก	ความจุ (ตัว)	จำนวนชั่วโมงการใช้งาน (ชั่วโมง)
1	รถบรรทุก 10 ล้อ	10,000	56
2	รถบรรทุก 6 ล้อ	8,000	72
3	รถบรรทุก 4 ล้อ (ดัดแปลง)	4,000	80
4	รถบรรทุก 4 ล้อ	2,000	112

เมื่อทำการขนส่งเรียบร้อยแล้วจะต้องมีการบันทึก การปรับค่า และการตรวจสอบเงื่อนไขเพื่อให้ตรงกับ ข้อจำกัดต่างๆ ของการศึกษา ในกรณีรถบรรทุกเมื่อมีการใช้งานจะต้องมีการบันทึกเวลาในการใช้งาน ซึ่งระยะเวลาเริ่มต้นตั้งแต่การขนไก่รุ่นขึ้นรถบรรทุกที่ฟาร์มไก่รุ่น ระยะเวลาในการเดินทาง

ขนส่ง และระยะเวลาในการขนไก่รุ่นลงที่ฟาร์มไข่ โดยระยะเวลาดังกล่าวนี้จะต้องไม่เกินชั่วโมงการทำงานที่กำหนดไว้ของรถบรรทุกแต่ละประเภท หากรถบรรทุกประเภทใดมีการใช้งานเต็มก็จะต้องพิจารณาใช้รถประเภทอื่นๆ แทน (ตารางที่ 6.1)

เมื่อทำการขนส่งไก่รุ่นแล้วก็จะต้องมีการปรับค่าปริมาณไก่รุ่นคงเหลือของฟาร์มไก่รุ่น หากฟาร์มไก่รุ่นยังมีไก่รุ่นคงเหลือก็จะทำการขนส่งในครั้งต่อไป (สมการที่ 6.5) หรือหากไม่มีไก่รุ่นคงเหลือสำหรับฟาร์มนี้แล้วก็จะทำการเลือกฟาร์มในลำดับถัดมาเพื่อทำการขนส่งต่อไป (สมการที่ 6.6)

$$Q_s = Q_s - AssignQ \tag{6.5}$$

$$Q_s = \begin{cases} Q_{s,i} & if\ Q_{s,i} > 0 \\ Q_{s,i+1} & otherwise \end{cases} \tag{6.6}$$

เมื่อ Q_s คือ ปริมาณผลผลิตไก่รุ่นของฟาร์มที่เลือก เพื่อนำไปคำนวณปริมาณที่จะขนส่ง

$Q_{s,i}$ คือ ปริมาณผลผลิตไก่รุ่นของฟาร์ม i

$AssignQ$ คือ ปริมาณที่จะทำการขนส่ง

$Q_{s,i+1}$ คือ ปริมาณผลผลิตไก่รุ่นสำหรับฟาร์มในลำดับถัดไป (i+1)

เมื่อมีการขนส่งไก่รุ่นจากฟาร์มไก่รุ่นก็จะมีการปรับปริมาณไก่รุ่น (Q_s) ที่จะนำไปคำนวณปริมาณที่จะขนส่งในรอบต่อไป โดยจะนำปริมาณไก่รุ่นที่ผลิตได้สำหรับฟาร์มนี้ (ฟาร์ม i) หักด้วยปริมาณที่จะขนส่ง ($Q_{s,i} - AssignQ$) หากฟาร์ม i ยังมีปริมาณไก่รุ่นเหลืออยู่ก็จะได้รับมอบหมายต่อไปจนกระทั่งไม่มีไก่รุ่นคงเหลือ ต่อจากนั้นฟาร์มในลำดับถัดไปก็จะถูกมอบหมาย

วิธีการมอบหมายของฟาร์มไก่รุ่นกับฟาร์มไข่จะแตกต่างกันกล่าวคือ ฟาร์มไก่รุ่นจะถูกมอบหมายอย่างต่อเนื่องจนไก่รุ่นในฟาร์มนั้นหมด จึงจะมีการมอบหมายในฟาร์มลำดับถัดไป แต่จะแตกต่างกันสำหรับฟาร์มไข่ โดยจะมีการแบ่งปริมาณความต้องการไก่รุ่นของฟาร์มไข่แต่ละฟาร์มออกเป็น 2 ส่วน ส่วนละเท่าๆ กัน ในส่วนแรกของการมอบหมายนั้นฟาร์มไข่ในลำดับแรกจะได้รับมอบหมายให้ได้รับไก่รุ่นร้อยละ 50 ของความต้องการ เมื่อได้รับไก่รุ่นครบร้อยละ 50 แล้วก็จะทำการมอบหมายให้ฟาร์มในลำดับถัดไปจึงจะได้รับไก่รุ่น การมอบหมายจะดำเนินการไปจนกระทั่งฟาร์มไข่ในลำดับสุดท้ายได้รับไก่รุ่นครบร้อยละ 50 ของความต้องการ การมอบหมายในส่วนที่ 2 จึงเกิดขึ้น ฟาร์มไข่ในลำดับแรกจะได้รับไก่รุ่นครบตามความต้องการของตนเอง ฟาร์มในลำดับถัดไปจึงได้รับมอบหมาย ฟาร์มไข่ในลำดับท้ายๆ อาจจะไม่ได้รับไก่รุ่นครบตามความต้องการ

$$Q_d^A = Q_{d,j} - AssignQ \tag{6.7}$$

$$Q_d^A = \begin{cases} Q_{d,j}^A & if\ Q_{d,j}^A > 0 \\ Q_{d,j+1}^A & otherwise \end{cases} \tag{6.8}$$

เปลี่ยนจาก $Q_{d,j}^{A}$ เป็น $Q_{d,j}^{B}$ เมื่อ $\sum Q_{d,j}^{A} = 0 \quad for\ all\ j$ (6.9)

$$Q_{d,j} = \begin{cases} Q_{d,j}^{B} & if\ Q_{d,j}^{B} > 0 \\ Q_{d,j+1}^{B} & otherwise \end{cases} \tag{6.10}$$

เมื่อ Q_{d}^{A} คือ ปริมาณความต้องการไก่รุ่นในส่วนแรก (ร้อยละ 50 ของความต้องการทั้งหมด)
Q_{d}^{B} คือ ปริมาณความต้องการไก่รุ่นในส่วนที่สอง (ร้อยละ 50 ของความต้องการทั้งหมด)
$Q_{d,j}$ คือ ปริมาณความต้องการไก่รุ่นของฟาร์ม j สำหรับคำนวณปริมาณที่จะขนส่ง
$AssignQ$ คือ ปริมาณที่จะขนส่ง
$Q_{d,j}^{A}$ คือ ปริมาณความต้องการไก่รุ่นของฟาร์มไข่ในลำดับ j
$Q_{d,j+1}^{A}$ คือ ปริมาณความต้องการไก่รุ่นของฟาร์มไข่ในลำดับที่ j+1
$Q_{d,j}^{B}$ คือ ปริมาณความต้องการไก่รุ่นของฟาร์มไข่ในลำดับ j
$Q_{d,j+1}^{B}$ คือ ปริมาณความต้องการไก่รุ่นของฟาร์มไข่ในลำดับ j+1

การมอบหมายสำหรับฟาร์มไข่จะทำโดยเริ่มต้นจากการแบ่งปริมาณความต้องการไก่รุ่นของฟาร์มไข่แต่ละฟาร์มออกเป็น 2 ส่วน ส่วนละเท่าๆ กัน ($Q_{d,j}^{A}$ และ $Q_{d,j}^{B}$) ในช่วงแรกฟาร์มไข่แต่ละฟาร์มจะได้รับไก่รุ่นครบร้อยละ 50 ของความต้องการจึงเกิดการมอบหมายเพิ่มเติมในส่วนที่สอง ดังนั้นฟาร์มในลำดับแรกๆ จะได้รับไก่รุ่นครบตามความความต้องการ แต่ฟาร์มไข่ในลำดับท้ายๆ อาจไม่ได้รับไก่รุ่นครบตามที่ต้องการ เมื่อมีการมอบหมายเกิดขึ้นจะมีการคำนวณปริมาณความต้องการไก่รุ่นของแต่ละฟาร์มไข่ (สมการที่ 6.7) ฟาร์มไข่ในลำดับแรกจะถูกมอบหมายไปจนกระทั่งได้รับไก่รุ่นครบร้อยละ 50 ตามที่กำหนด ฟาร์มไข่ในลำดับถัดไปจึงถูกมอบหมาย (สมการที่ 6.8) เมื่อฟาร์มไข่ทุกๆ ฟาร์มได้รับไก่รุ่นครบร้อย 50 ตามที่กำหนดเรียบร้อยแล้วจึงเกิดการมอบหมายในส่วนที่สอง (สมการที่ 6.9) ฟาร์มไข่ในลำดับแรกจะได้รับมอบหมายไก่รุ่นเพิ่มเติมจนครบตามความต้องการของฟาร์มตนเอง ฟาร์มในลำดับถัดไปจึงถูกมอบหมาย เนื่องจากความสามารถในการผลิตไก่รุ่นของฟาร์มไก่รุ่นมีน้อยกว่าหรือเท่ากับความต้องการไก่รุ่นของฟาร์มไข่ จะมีผลทำให้ฟาร์มไข่ในลำดับท้ายๆ อาจไม่ได้รับไก่รุ่นครบตามความต้องการของตนเอง (สมการที่ 6.10)

กระบวนการเข้ารหัสเริ่มต้นจากการกำหนดตัวเลขสุ่มที่มีค่าอยู่ระหว่าง 0 กับ 1 สำหรับแต่ละอนุภาคในแต่ละเวกเตอร์เริ่มต้น โดยสามารถแสดงตัวเลขสุ่มสำหรับประเภทรถบรรทุกได้ตามตารางที่ 6.2 สำหรับตัวเลขสุ่มสำหรับฟาร์มไก่รุ่นแสดงได้ตามตารางที่ 6.3 และตัวเลขสุ่มสำหรับฟาร์มไข่แสดงได้ตามตาราง 6.4 ซึ่งตัวเลขสุ่มในตารางดังกล่าวเป็นตัวเลขสุ่มเดียวกับตัวเลขสุ่มจากบทก่อนหน้า เมื่อนำตัวเลขสุ่มในแต่ละอนุภาคสำหรับแต่ละเวกเตอร์มาทำการเรียงลำดับ อนุภาคที่ตัวเลขสุ่มต่ำสุดจะถูกเลือกมาพิจารณาเป็นอันดับแรก และอนุภาคที่มีตัวเลขสุ่มสูงที่สุดจะถูกเลือกเป็นอันดับสุดท้าย หลังจากนั้นจะนำลำดับจากแนวทางดังกล่าวมาทำการถอดรหัสต่อไป

ตารางที่ 6.2 เวกเตอร์เริ่มต้นของประเภทรถบรรทุก

อนุภาค	เวกเตอร์ของประเภทรถบรรทุก				
	1	2	3	4	5
1	0.3662	0.0330	0.8662	0.5309	0.4304
2	0.3738	0.2698	0.5456	0.9380	0.4344
3	0.6267	0.6280	0.5089	0.0926	0.3759
4	0.6083	0.7464	0.0687	0.8766	0.5045

ตารางที่ 6.3 เวกเตอร์เริ่มต้นของฟาร์มไก่รุ่น

อนุภาค	เวกเตอร์เริ่มต้นของฟาร์มไก่รุ่น				
	1	2	3	4	5
1	0.2597	0.1471	0.8420	0.4044	0.7124
2	0.3184	0.2953	0.4526	0.8481	0.1213
3	0.1232	0.0995	0.3469	0.3218	0.0456
4	0.9581	0.2122	0.5713	0.8034	0.9386

ตารางที่ 6.4 เวกเตอร์เริ่มต้นของฟาร์มไข่

อนุภาค	เวกเตอร์เริ่มต้นชองฟาร์มไข่				
	1	2	3	4	5
1	0.0472	0.6264	0.8370	0.8489	0.2479
2	0.3940	0.7509	0.1076	0.5824	0.5417
3	0.9313	0.2053	0.1851	0.4747	0.0456
4	0.6833	0.5825	0.2744	0.0746	0.5546

กระบวนการถอดรหัสจะเริ่มต้นจาการกำหนดปริมาณที่จะทำการขนส่ง เลือกประเภทรถบรรทุกที่เหมาะสมโดยสามารถเลือกได้จากรถบรรทุกที่มีความจุที่มากกว่าปริมาณที่จะทำการขนส่ง เพื่อหลีกเลี่ยงการขนส่งซ้ำหลายรอบซึ่งมีผลทำให้ต้นทุนการผลิตสูงขึ้น ประเภทรถบรรทุกที่เหมาะสมจะทำการขนส่งไก่รุ่นจากฟาร์มไก่รุ่นไปยังฟาร์มไข่ โดยจะต้องอยู่ภายใต้เงื่อนไขหรือข้อจำกัดที่กำหนดไว้ กล่าวคือ ฟาร์มไก่รุ่นจะสามารถส่งออกไก่รุ่นได้ทั้งหมดโดยไม่มีไก่รุ่นเหลือ ฟาร์มไข่จะได้รับไก่รุ่นอย่างน้อยร้อยละ 50 ของความต้องการของฟาร์ม โดยฟาร์มไข่ที่อยู่ในอนุภาคลำดับแรกจะได้รับไก่รุ่นครบตามความต้องการ ส่วนฟาร์มไข่ในลำดับท้ายๆ อาจไม่ได้รับไก่รุ่นครบตามที่ต้องการ การขนส่งไก่รุ่นแต่ละรอบจะต้องไม่เกินความจุของรถบรรทุก รถบรรทุกแต่ละประเภทจะถูกใช้งานไม่เกินจำนวนชั่วโมงการใช้งานที่กำหนดไว้ การขนส่งดังกล่าวจะเป็นแบบเดียวกับวิธีการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง เมื่อนำเวกเตอร์เริ่มต้นมาถอดรหัสจะได้คำตอบตามตาราง 6.5

ตารางที่ 6.5 ต้นทุนการมอบหมายงานจากการถอดรหัสเวกเตอร์เริ่มต้น

เวกเตอร์ลำดับที่	ต้นทุนในการขนส่ง	ต้นทุนค่าเสียโอกาส	ต้นทุนในการมอบหมายงาน
1	13,562	3,845	17,407
2	14,610	4,846	19,456
3	14,088	4,811	18,899
4	14,951	4,158	19,109
5	13,433	4,152	17,585

เมื่อนำเวกเตอร์เริ่มต้นไปผ่านกระบวนการหาค่าที่ดีที่สุดด้วยฝูงอนุภาคจากสมการ 6.1 ทำให้ได้เวกเตอร์ของประเภทรถบรรทุกตามตารางที่ 6.6 เวกเตอร์ของฟาร์มไก่รุ่นตามตารางที่ 6.7 และเวกเตอร์ของฟาร์มไข่ตามตารางที่ 6.8 หลังจากนั้นนำค่าที่ได้จากตารางข้างต้นไปทำการจัดลำดับเพื่อนำไปใช้ในการมอบหมายก่อนหลังซึ่งทำให้ได้ตาราง 6.9, 6.10 และ 6.11 ตามลำดับ

ตารางที่ 6.6 เวกเตอร์ของประเภทรถบรรทุกหลังผ่านขั้นตอนของการหาค่าที่ดีที่สุดด้วยฝูงอนุภาค (PSO)

อนุภาค	เวกเตอร์ของประเภทรถบรรทุก				
	1	2	3	4	5
1	0.4820	0.3197	-0.2520	0.1928	0.4129
2	0.5733	0.8521	0.3194	0.5352	0.6262
3	0.3993	0.4981	0.5763	0.4341	1.7402
4	0.2681	-0.1215	0.6809	0.3933	0.1290

ตารางที่ 6.7 เวกเตอร์ของฟาร์มไก่รุ่นหลังผ่านขั้นตอนของการหาค่าที่ดีที่สุดด้วยฝูงอนุภาค (PSO)

อนุภาค	เวกเตอร์ของฟาร์มไก่รุ่น				
	1	2	3	4	5
1	0.8233	0.4177	0.6567	-0.2485	0.1032
2	0.3865	0.2223	0.6617	0.8264	0.1277
3	0.8358	1.6121	0.1989	0.4907	0.7508
4	0.8178	0.0477	0.6120	-0.5619	-0.2719

ตารางที่ 6.8 เวกเตอร์ของฟาร์มไข่หลังผ่านขั้นตอนของการหาค่าที่ดีที่สุดด้วยฝูงอนุภาค (PSO)

อนุภาค	เวกเตอร์ของฟาร์มไข่				
	1	2	3	4	5
1	0.6685	0.8553	0.5730	0.8024	0.4196
2	1.2680	0.7375	0.9217	0.6807	0.3372
3	-0.1930	0.3455	0.4981	1.0905	1.0754
4	0.1991	-0.3728	0.3575	1.3476	0.5766

ตารางที่ 6.9 ลำดับของเวกเตอร์ประเภทรถบรรทุกในการถูกเลือกสำหรับการมอบหมาย

อนุภาค	เวกเตอร์ประเภทรถบรรทุก				
	1	2	3	4	5
1	3	2	1	1	2
2	4	4	2	4	3
3	2	3	3	3	4
4	1	1	4	2	1

ตารางที่ 6.10 ลำดับของเวกเตอร์ฟาร์มไก่รุ่นในการถูกเลือกสำหรับการมอบหมาย

อนุภาค	เวกเตอร์ฟาร์มไก่รุ่น				
	1	2	3	4	5
1	3	3	3	2	2
2	1	2	4	4	3
3	4	4	1	3	4
4	2	1	2	1	1

ตารางที่ 6.11 ลำดับของเวกเตอร์ฟาร์มไข่ในการถูกเลือกสำหรับการมอบหมาย

อนุภาค	เวกเตอร์ฟาร์มไข่				
	1	2	3	4	5
1	3	4	3	2	2
2	4	3	4	1	1
3	1	2	2	3	4
4	2	1	1	4	3

การถอดรหัสนั้นสามารถทำได้ตามขั้นตอนจากรูป 6.2 โดยนำเวกเตอร์ของประเภทรถบรรทุกในลำดับที่ 1 เวกเตอร์ของฟาร์มไก่รุ่นในลำดับที่ 1 และเวกเตอร์ของฟาร์มไข่ในลำดับที่ 1 เพื่อไปใช้เป็นลำดับในการมอบหมาย ซึ่งสามารถนำมาจัดเรียงได้ดังนี้

ตารางที่ 6.12 เวกเตอร์ในลำดับแรกที่จะนำไปมอบหมาย

อนุภาค	เวกเตอร์ประเภทรถบรรททุก	เวกเตอร์ฟาร์มไก่รุ่น	เวกเตอร์ฟาร์มไข่
1	3	3	3
2	4	1	4
3	2	4	1
4	1	2	2

การถอดรหัสเริ่มต้นจากทำการแบ่งปริมาณความต้องการไก่รุ่นออกเป็นสองส่วนเท่าๆ กัน เพื่อทำการมอบหมายในตอนต้นและช่วงหลัง หลังจากนั้นจะทำการคำนวณหาปริมาณไก่รุ่นที่จะทำการขนส่งในแต่ละครั้ง เมื่อได้ปริมาณไก่รุ่นที่จะทำการขนส่งในแต่ละครั้งแล้วก็จะทำการมอบหมายประเภทรถบรรทุกที่เหมาะสมต่อไป ซึ่งจากตารางลำดับในการมอบหมาย (ตารางที่ 6.12) มาทำการถอดรหัสได้ตามตาราง 6.13

ตารางที่ 6.13 การถอดรหัส

ครั้งที่	รถบรรทุก		รอบ	ฟาร์มไก่รุ่น				ฟาร์มไข่			
	ประเภท	ว่าง		ฟาร์ม	อุปทาน	มอบหมาย	คงเหลือ	ฟาร์ม	อุปสงค์ (50%)	มอบหมาย	คงเหลือ
1	2	3,000	1	3	10,000	5,000	5,000	3	5,000	5,000	0
2	3	1,500	1	3	5,000	2,500	2,500	4	2,500	2,500	0
3	3	1,500	1	3	2,500	2,500	0	1	5,000	2,500	2,500
4	3	1,500	1	1	10,000	2,500	7,500	1	2,500	2,500	0
5	3	0	1	1	7,500	4,000	3,500	2	4,000	4,000	0
6	3	500	1	1	3,500	3,500	0	3	5,000	3,500	1,500
7	4	500	1	4	5,000	1,500	3,500	3	1,500	1,500	0
8	3	1,500	1	4	3,500	2,500	1,000	4	2,500	2,500	0
9	4	1,000	1	4	1,000	1,000	0	1	5,000	1,000	4,000
10	3	0	1	2	5,000	4,000	1,000	1	4,000	4,000	0
11	4	1,000	1	2	1,000	1,000	0	2	4,000	1,000	3,000

ในขณะที่ทำการถอดรหัสจะต้องทำการตรวจสอบเงื่อนไขต่างๆ ว่าเป็นไปตามเงื่อนไขที่กำหนดไว้หรือไม่ เช่น ชั่วโมงการทำงานคงเหลือของรถแต่ละประเภท เวลาที่ใช้ในการขนส่งแต่ละครั้ง ฟาร์มไก่รุ่นแต่ละฟาร์มจะสามารถส่งไก่รุ่นออกได้ทั้งหมด ฟาร์มไข่จะได้รับไก่รุ่นอย่างน้อยร้อยละ 50 ของปริมาณความต้องการของตนเอง ฟาร์มไข่ฟาร์มแรกๆ จะได้รับไก่รุ่นครบตามความต้องการของตนเอง แต่ฟาร์มไข่บางฟาร์มโดยเฉพาะฟาร์มหลังๆ อาจไม่ได้รับไก่รุ่นครบตามความต้องการ เวลาในการมอบหมายงานในแต่ละครั้งไม่เกิน 8 ชั่วโมงตามที่กำหนดไว้ (ตารางที่ 6.14) นอกจากนี้รถแต่ละประเภทจำเป็นต้องมีการบำรุงรักษาทำให้มีอายุการใช้งานจำกัด หากเกิดการมอบหมายรถประเภทหนึ่งไปจนหมดอายุการใช้งานแล้วจะต้องมอบหมายรถประเภทอื่นๆ แทน ซึ่งการมอบหมายสำหรับตัวอย่างขนาดเล็กนั้นมีการใช้งานรถแต่ละประเภทไม่เกินจำนวนชั่วโมงที่กำหนด

ตารางที่ 6.14 เวลาในการมอบหมายงาน (หน่วยเวลา: ชั่วโมง)

ครั้งที่	ประเภทรถบรรทุก	รอบ	ฟาร์มไก่รุ่น	ฟาร์มไข่	มอบหมาย	เวลาขนขึ้น	เวลาขนลง	เวลาเดินทาง	เวลารวม
1	2	1	2	3	5,000	0.45	0.5	2.1	4.8
2	3	1	4	4	2,500	0.175	0.2	1.938	4.038
3	3	1	4	1	2,500	0.175	0.225	0.788	2.988
4	3	1	1	1	2,500	0.25	0.225	2.05	4.813
5	3	1	1	2	4,000	0.4	0.28	1.175	4.25
6	3	1	1	3	3,500	0.35	0.28	2.175	3.9
7	4	1	3	3	1,500	0.15	0.105	0.263	2.4
8	3	1	3	4	2,500	0.2	0.175	2.388	5.463
9	2	1	3	1	5,000	0.45	0.45	2.388	5.563
10	4	1	3	2	1,000	0.1	0.1	2.45	5.938

ต้นทุนในการมอบหมายงานประกอบไปด้วยต้นทุนหลักคือต้นทุนที่เกิดขึ้นเนื่องจากการขนส่ง ปัจจัยสำคัญที่ทำให้ต้นทุนการขนส่งสูงหรือต่ำได้แก่ระยะทางที่ใช้ทำการขนส่ง อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมัน ราคาน้ำมันเชื้อเพลิง เนื่องจากมีหลายปัจจัยภายนอกที่จะมากำหนดอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมัน และราคาน้ำมันเชื้อเพลิงจึงมีการกำหนดให้ทั้งสองปัจจัยนี้เป็นค่าคงที่ ดังนั้นปัจจัยหลักที่จะทำให้ต้นทุนการขนส่งเปลี่ยนแปลงคือระยะทางที่ใช้ในการขนส่ง ปริมาณการขนส่งในแต่ละครั้งอาจไม่พอดีกับความจุหรือความสามารถในการขนสินค้าของรถบรรทุกแต่ละประเภท เมื่อมีการขนส่งโดยเกิดพื้นที่ว่างหรือขนส่งไม่เต็มความสามารถของรถจะเกิดเป็นต้นทุนอีกประเภทหนึ่งคือต้นทุนค่าเสียโอกาส ซึ่งจะทำการคิดจากค่าขนส่งโดยเฉลี่ยที่เกิดขึ้นเนื่องจากการใช้รถแต่ละประเภท หากไม่มีพื้นที่ว่างเกิดขึ้นหรือเป็นการขนส่งที่เต็มประสิทธิภาพของรถบรรทุก ต้นทุนค่าเสียโอกาสจะมีค่าเป็น 0 จากกรณีตัวอย่างมีต้นทุนการมอบหมายงานเท่ากับ 19,456 บาท แยกเป็นต้นทุนค่าขนส่ง 14,610 บาท และต้นทุนค่าเสียโอกาส 4,846 บาท (ตารางที่ 6.15)

ตารางที่ 6.15 ต้นทุนในการมอบหมายงาน

ครั้งที่	รถบรรทุก		รอบ	ฟาร์ม	ฟาร์มไข่	ต้นทุน	ต้นทุนค่า	ต้นทุน
	ประเภท	ว่าง		ไก่รุ่น		ค่าขนส่ง	เสียโอกาส	รวม
1	2	3,000	1	2	3	2,304	864	3,168
2	3	1,500	1	4	4	1,211	454	1,665
3	3	1,500	1	4	1	896	336	1,232
4	3	1,500	1	1	1	1,444	541	1,985
5	3	0	1	1	2	1,275	0	1,275
6	3	500	1	1	3	1,170	146	1,316
7	4	500	1	3	3	576	144	720
8	3	1,500	1	3	4	1,639	615	2,254
9	2	3,000	1	3	1	2,670	1,032	3,702
10	4	1,000	1	3	2	1,425	713	2,138
รวม						**14,610**	**4,846**	**19,456**

6.2.3 วิธีการทดลอง

การทดลองสำหรับวิธีการหาค่าที่ดีที่สุดด้วยฝูงอนุภาค (PSO) เริ่มจากการแบ่งกลุ่มตัวอย่างออกเป็น 3 ขนาด กล่าวคือกลุ่มตัวอย่างขนาดเล็ก กลุ่มตัวอย่างขนาดกลาง และกลุ่มตัวอย่างขนาดใหญ่ โดยกลุ่มตัวอย่างขนาดเล็กประกอบด้วย ฟาร์มไก่รุ่นxฟาร์มไข่ เท่ากับ 4x4 ส่วนกลุ่มตัวอย่างขนาดกลาง 10x10 และ กลุ่มตัวอย่างขนาดใหญ่ 20x20 (ตารางที่ 6.16) ซึ่งการกำหนดค่าต่างๆ รวมถึงข้อมูลที่ใช้เหมือนกับในบทที่ 5

ตารางที่ 6.16 การกำหนดกลุ่มตัวอย่างขนาดต่างๆ

กลุ่มตัวอย่าง	ประเภทรถบรรทุก (หน่วย: ประเภท)	รอบในการขนส่ง (หน่วย: รอบ)	ฟาร์มไก่รุ่น (หน่วย: ฟาร์ม)	ฟาร์มไข่ (หน่วย: ฟาร์ม)
ขนาดเล็ก	4	4	4	4
ขนาดกลาง	4	4	10	10
ขนาดใหญ่	4	4	20	20

6.2.3.1 กลุ่มตัวอย่างขนาดเล็ก (4x4)

การประมวลผลด้วยโปรแกรม ลิงโก ใช้เวลาโดยเฉลี่ย 5.85 วินาที ซึ่งถือว่าใช้เวลาสั้น แต่หากเป็นวิธีการหาค่าที่ดีที่สุดด้วยฝูงอนภาคใช้เวลาในการประมวลผลเฉลี่ย 0.209 วินาที ซึ่งใช้เวลาในการค้นหาคำตอบน้อยกว่าวิธีการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างที่ใช้เวลาในการประมวลผล

เฉลี่ย 0.289 วินาที เมื่อทดสอบสมมติฐานพบว่าเวลาที่ใช้ในการประมวลผลจากทั้งสองวิธีไม่แตกต่างกัน ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 (ตารางที่ 6.17)

สมมติฐานหลัก (H_0) : $\mu_{DE} = \mu_{PSO}$
สมมติฐานรอง (H_1) : $\mu_{DE} \neq \mu_{PSO}$

ตารางที่ 6.17 การทดสอบเวลาที่ใช้ในการประมวลผลจากวิธี DE และ PSO

สถิติการทดสอบ	DE	PSO
ค่าเฉลี่ย	0.289	0.209
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.104	0.205
จำนวนตัวอย่าง	5	5
t Stat	0.77	
P-value	0.475	

ผลการทดลองสำหรับกลุ่มตัวอย่างขนาดเล็กพบว่า วิธีการหาค่าที่ดีที่สุดด้วยฝูงอนุภาค (PSO) สามารถหาคำตอบได้ใกล้เคียงกับวิธีการแม่นตรง (ลิงโก) มากกว่าวิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง (DE) โดยสามารถใช้ดัชนีของความแตกต่างระหว่างวิธีการที่ใช้เมื่อเทียบกับวิธีการแม่นตรง โดยพบว่าดัชนีของความแตกต่างของวิธีการหาค่าที่ดีที่สุดด้วยฝูงอนุภาคมีค่าเฉลี่ยดัชนีเท่ากับ 102.3 ซึ่งมีค่าต่ำกว่าค่าดัชนีของความแตกต่างจากวิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างที่มีค่าเฉลี่ยดัชนีเท่ากับ 118.4 (ตารางที่ 6.18)

ตารางที่ 6.18 ผลการทดลองสำหรับกลุ่มตัวอย่างขนาดเล็ก

ชุดข้อมูล	วิธีการประมวลผล			ดัชนีเมื่อเทียบกับ ลิงโก	
	ลิงโก	DE	PSO	DE	PSO
ชุดที่ 1	9,723	10,165	9,820	104.6	101.0
ชุดที่ 2	8,753	9,404	9,033	107.4	103.2
ชุดที่ 3	5,330	5,789	5,551	108.6	104.2
ชุดที่ 4	7,056	7,594	7,144	107.6	101.3
ชุดที่ 5	7,317	7,562	7,651	103.4	104.6
ค่าเฉลี่ย	7,636	8,103	7,840	106.3	102.8

เพื่อเป็นการทดสอบว่าผลการทดลองที่ได้จากวิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างกับวิธีการหาค่าที่ดีที่สุดด้วยฝูงอนุภาคมีค่าที่แตกต่างกันหรือไม่ โดยพิจารณาจากดัชนีของคำตอบที่ได้จาก

วิธีการที่ใช้เมื่อเทียบกับวิธีการแม่นตรง (ลิงโก) โดยมีข้อสมมติฐานว่าความแปรปรวนของทั้งสองกลุ่มเท่ากัน มีสมมติฐานดังนี้

สมมติฐานหลัก (H_0) : $\mu_{DE} = \mu_{PSO}$
สมมติฐานรอง (H_1) : $\mu_{DE} \neq \mu_{PSO}$

ตารางที่ 6.19 การทดสอบดัชนีของวิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างกับวิธีการหาค่าที่ดีที่สุดโดยใช้ฝูงอนุภาค

สถิติการทดสอบ	ค่าดัชนีเมื่อเทียบกับ ลิงโก	
	DE	PSO
ค่าเฉลี่ย	106.3	102.8
ความแปรปรวน	5.04	2.69
จำนวนตัวอย่าง	5	5
องศาความเป็นอิสระ	7	
ค่าสถิติ t	2.80	
ค่า p-value	0.0265	

จากการทดสอบสมมติฐานพบว่ามีค่าสถิติ t เท่ากับ 2.80 และมีค่า p-value เท่ากับ 0.0265 สามารถสรุปได้ว่า ปฏิเสธสมมติฐานหลักที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 หมายความว่าคำตอบที่ได้จากวิธีทั้งสองมีค่าแตกต่างกัน (ตารางที่ 6.19)

ตารางที่ 6.20 ผลการทดลองสำหรับกลุ่มตัวอย่างขนาดเล็ก แสดงค่าสถิติต่างๆ

ชุดข้อมูล	วิธีการแม่นตรง	วิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง			วิธีการหาค่าที่ดีที่สุดด้วยฝูงอนุภาค		
		ค่าเฉลี่ย	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ค่าเฉลี่ย	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด
ชุดที่ 1	9,723	11,799	13,442	9,723	10,056	10,556	9,723
ชุดที่ 2	8,753	10,348	12,233	8,753	8,882	9,123	8,753
ชุดที่ 3	5,330	6,416	7,019	5,330	5,473	5,609	5,330
ชุดที่ 4	7,056	8,420	9,981	7,056	7,245	7,467	7,056
ชุดที่ 5	7,317	8,252	9,218	7,317	7,403	7,549	7,317

เมื่อพิจารณาจากตาราง 6.18 พบว่าค่าดัชนีจากวิธีการหาค่าที่ดีที่สุดด้วยฝูงอนุภาคมีค่าใกล้เคียงกับวิธีการแม่นตรงมากกว่าวิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง แต่ก็ยังไม่เท่ากับผลจากวิธีการแม่นตรง ถ้าหากพิจารณาจากค่าต่ำสุด (ตารางที่ 6.20) พบว่ามีคำตอบบางค่าเท่ากับวิธีการแม่นตรงจากโปรแกรม ลิงโก พอดี แสดงให้เห็นว่าทั้งวิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างและวิธีการหาค่าที่ดีที่สุดด้วยฝูงอนุภาคที่ได้มีการพัฒนาขึ้นนั้นเป็นวิธีที่น่าเชื่อถือ สามารถนำไปใช้วิเคราะห์ต่อไปได้

6.2.3.2 กลุ่มตัวอย่างขนาดกลาง (10x10)

การประมวลผลด้วยวิธีการแม่นตรง (ลิงโก) ใช้เวลาในการประมวลผลเฉลี่ย 103.6 วินาที ในขณะที่เวลาที่ใช้ในการประมวลผลจากวิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างใช้เวลาเฉลี่ย 0.61 วินาที และวิธีการหาค่าที่ดีที่สุดด้วยฝูงอนุภาคใช้เวลาเฉลี่ย 0.41 วินาที เพื่อเป็นการทดสอบสมมติฐานที่ว่าเวลาที่ใช้ในการประมวลผลของทั้งสองวิธีแตกต่างกันหรือไม่ มีสมมติฐานดังนี้

สมมติฐานหลัก (H_0) : $\mu_{DE} = \mu_{PSO}$

สมมติฐานรอง (H_1) : $\mu_{DE} \neq \mu_{PSO}$

ตารางที่ 6.21 การทดสอบเวลาที่ใช้ในการประมวลผลจากวิธี DE และ PSO

สถิติการทดสอบ	DE	PSO
ค่าเฉลี่ย	0.61	0.41
ความแปรปรวน	0.0011	0.0055
จำนวนตัวอย่าง	5	5
องศาความเป็นอิสระ	6	
ค่าสถิติ t	5.5754	
ค่า p-value	0.0014	

จากการทดสอบสมมติฐานพบว่ามีค่าสถิติ t เท่ากับ 5.5754 และมีค่า p-value เท่ากับ 0.0014 ซึ่งมีค่าน้อยกว่า ค่าระดับนัยสำคัญที่ 0.05 สามารถสรุปได้ว่า ปฏิเสธสมมติฐานหลักที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 หมายความว่า เวลาที่ใช้ในการประมวลผลของทั้งสองวิธีแตกต่างกัน (ตารางที่ 6.21)

ตารางที่ 6.22 ผลการทดลองสำหรับกลุ่มตัวอย่างขนาดกลาง

ชุดข้อมูล	วิธีการประมวลผล			ดัชนีเมื่อเทียบกับ ลิงโก	
	ลิงโก	DE	PSO	DE	PSO
ชุดที่ 1	11,990	12,990	12,194	108.4	101.7
ชุดที่ 2	11,398	12,136	11,690	106.5	102.6
ชุดที่ 3	12,613	13,364	12,746	106.0	101.0
ชุดที่ 4	10,902	11,852	11,013	108.7	101.0
ชุดที่ 5	12,115	12,734	12,464	105.1	102.9
ค่าเฉลี่ย	**11,804**	**12,615**	**12,021**	**106.9**	**101.8**
ค่าสูงสุด	**12,613**	**13,364**	**12,745**	**108.7**	**102.9**
ค่าต่ำสุด	**10,902**	**11,851**	**11,012**	**105.1**	**101.0**
SD	**664**	**618**	**685**	**1.6**	**0.9**

ผลการทดลองสำหรับกลุ่มตัวอย่างขนาดกลาง มีค่าเฉลี่ยสำหรับวิธีการแม่นตรง โดยการใช้โปรแกรม ลิงโก มีต้นทุนในการมอบหมายงานโดยเฉลี่ยอยู่ที่ 11,804 บาท วิธีการหาค่าที่ดีที่สุดด้วยฝูงอนุภาคให้คำตอบเท่ากับ 12,021 บาท ซึ่งให้ค่าคำตอบที่ใกล้เคียงกับค่าเฉลี่ยของวิธีแม่นตรงมากกว่า ในขณะที่วิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างให้คำตอบเท่ากับ 12,615 บาท อย่างไรก็ตามข้อมูลแต่ละชุดมีฐานข้อมูลที่แตกต่างกัน การวิเคราะห์จึงใช้ดัชนีของคำตอบที่ได้จากวิธีการที่ใช้เมื่อเทียบกับคำตอบที่ได้จากวิธิการแม่นตรง ค่าเฉลี่ยดัชนีของวิธีการหาค่าที่ดีที่สุดด้วยฝูงอนุภาคห่างจากวิธีการแม่นตรงเท่ากับ 101.84 ซึ่งห่างจากวิธีการแม่นตรงเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ในขณะที่ค่าเฉลี่ยดัชนีของวิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างมีค่าเท่ากับ 106.92 เมื่อเทียบกับวิธีการแม่นตรง จะเห็นได้ว่าวิธีการหาค่าคำตอบที่ดีที่สุดด้วยฝูงอนุภาคให้ค่าคำตอบที่ใกล้เคียงกับวิธีการแม่นตรงมากกว่า (ตารางที่ 6.22) เพื่อเป็นการทดสอบว่าค่าดัชนีจากวิธีการทั้งสองแตกต่างกันหรือไม่ ทำการทดสอบโดยการใช้ค่าสถิติ t โดยมีการตั้งสมมติฐานดังนี้

สมมติฐานหลัก (H_0) : $\mu_{DE} = \mu_{PSO}$

สมมติฐานรอง (H_1) : $\mu_{DE} \neq \mu_{PSO}$

ตารางที่ 6.23 การทดสอบดัชนีของวิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างกับวิธีการหาค่าที่ดีที่สุดโดยใช้ฝูงอนุภาค

สถิติการทดสอบ	ดัชนีเมื่อเทียบกับ ลิงโก	
	DE	PSO
ค่าเฉลี่ย	106.92	101.84
ความแปรปรวน	2.41	0.73
จำนวนตัวอย่าง	5	5
ค่าสถิติ t	6.4065	
ค่า p-value	0.001	

ผลจากตารางการทดสอบสมมติฐานพบว่าได้ค่าสถิติ t เท่ากับ 6.4065 และมีค่า p-value เท่ากับ 0.001 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าค่าระดับนัยสำคัญที่ 0.05 ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่าปฏิเสธสมมติฐานหลักที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 หมายความว่า ค่าดัชนีของวิธีการที่ใช้เมื่อเทียบกับวิธีการแม่นตรงแตกต่างกัน (ตารางที่ 6.23)

6.2.3.3 กลุ่มตัวอย่างขนาดใหญ่ (20x20)

กลุ่มตัวอย่างขนาดใหญ่ใช้เวลาในการประมวลผลนาน 72 ชั่วโมง มีความเป็นไปได้ที่จะเป็นคำตอบที่ดีที่สุด (feasible) เวลาที่ใช้ในการประมวลผลเฉลี่ยของวิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างกับวิธีการหาค่าที่ดีที่สุดด้วยฝูงอนุภาคมีค่าเท่ากับ 4.24 วินาที และ 3.70 วินาที ตามลำดับ ซึ่งเวลาเฉลี่ยจากทั้งสองวิธีประมวลผลมีค่าใกล้เคียงกัน เพื่อเป็นการทดสอบว่าเวลาเฉลี่ยจากทั้งสองวิธีนั้นเหมือนกันหรือไม่ สามารถทดสอบสมมติฐานได้ดังนี้

สมมติฐานหลัก (H_0) : $\mu_{DE} = \mu_{PSO}$
สมมติฐานรอง (H_1) : $\mu_{DE} \neq \mu_{PSO}$

ตารางที่ 6.24 การทดสอบเวลาที่ใช้ในการประมวลผลจากวิธี DE และ PSO

สถิติการทดสอบ	DE	PSO
ค่าเฉลี่ย	4.24	3.70
ความแปรปรวน	0.65	0.61
จำนวนตัวอย่าง	5	5
ค่าสถิติ t	1.07	
ค่า p-value	0.32	

ผลที่ได้จากการทดสอบสมมติฐานพบว่ามีค่าสถิติ t เท่ากับ 1.0711 และมีค่า p-value เท่ากับ 0.3154 สามารถสรุปได้ว่า ไม่มีหลักฐานเพียงพอที่จะปฏิเสธสมมติฐานหลักที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 หมายความว่า เวลาเฉลี่ยที่ใช้ในการประมวลผลจากทั้งสองวิธีไม่แตกต่างกัน (ตาราง 6.24)

ตารางที่ 6.25 ผลการทดลองสำหรับกลุ่มตัวอย่างขนาดใหญ่

ชุดที่	วิธีการประมวลผล			ดัชนีเมื่อเทียบกับ ลิงโก	
	ลิงโก	DE	PSO	DE	PSO
ชุดที่ 1	30,139	32,716	30,524	108.6	101.3
ชุดที่ 2	26,868	29,094	27,780	108.3	103.4
ชุดที่ 3	33,688	36,128	34,959	107.2	103.8
ชุดที่ 4	27,097	28,049	27,869	103.5	102.9
ชุดที่ 5	27,017	29,152	27,739	107.9	102.7
ค่าเฉลี่ย	**28,961**	**31,028**	**29,774**	**107.1**	**102.8**
ค่าสูงสุด	**33,688**	**36,128**	**34,959**	**108.6**	**103.8**
ค่าต่ำสุด	**26,868**	**28,049**	**27,739**	**103.5**	**101.3**
SD	**2,973**	**3,354**	**3,130**	**2.1**	**1.0**

ผลการทดลองสำหรับกลุ่มตัวอย่างขนาดใหญ่พบว่าตอบที่ได้จากวิธีการหาค่าที่ดีที่สุดด้วยฝูงอนุภาคมีค่าเฉลี่ยของคำตอบที่ดีกว่า หรือใกล้เคียงกับคำตอบที่ได้จากวิธีการแม่นตรงมากกว่าคำตอบจากวิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง คำตอบที่ได้จากวิธีการหาค่าที่ดีที่สุดด้วยฝูงอนุภาคให้คำตอบที่ดีกว่าไม่ว่าจะพิจารณาจากค่าเฉลี่ย ค่าสูงสุด หรือค่าต่ำสุดก็ตาม แม้กระทั่งเมื่อพิจารณาจากส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) ก็ยังมีค่าต่ำกว่าเช่นกัน (ตารางที่ 6.25) เพื่อเป็นการทดสอบว่าคำตอบที่ได้จากทั้งสองวิธีแตกต่างกันหรือไม่จะทำการพิจรณาจากค่าสัดส่วนดัชนีของแต่ละวิธีเมื่อเทียบกับคำตอบที่ได้จากวิธีการแม่นตรง (ลิงโก) โดยทำการทดสอบสมมติฐานได้ดังนี้

สมมติฐานหลัก (H_0) : $\mu_{DE} = \mu_{PSO}$
สมมติฐานรอง (H_1) : $\mu_{DE} \neq \mu_{PSO}$

ตารางที่ 6.26 การทดสอบดัชนีเมื่อเทียบกับวิธีการหาค่าที่ดีที่สุดโดยใช้ฝูงอนุภาค

สถิติการทดสอบ	ดัชนีเมื่อเทียบกับ ลิงโก	
	DE	PSO
ค่าเฉลี่ย	107.10	102.80
ความแปรปรวน	4.26	0.91
จำนวนตัวอย่าง	5	5
ค่าสถิติ t	4.23	
ค่า p-value	0.008	

ผลจากตารางการทดสอบสมมติฐาน (ตารางที่ 6.26) พบว่ามีค่าสถิติ t เท่ากับ 4.2333 และมีค่า p-value เท่ากับ 0.0029 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าระดับนัยสำคัญที่ 0.05 ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่า ปฏิเสธสมมติฐานหลักที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 หมายความว่าดัชนีของคำตอบที่ได้จากวิธีการหาค่าที่ดีที่สุดด้วยฝูงอนุภาคนั้นมีค่าเฉลี่ยไม่เท่ากับดัชนีของคำตอบที่ได้จากวิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง

6.2.4 การปรับปรุงการค้นหาคำตอบของวิธีการหาค่าที่ดีที่สุดด้วยฝูงอนุภาค
(Modified Particles Swarm Optimization: Modified PSO)

$$X_{t+1} = \begin{cases} X_t + V_{t+1} & if\ rand_t \leq CR \\ R_t & otherwise \end{cases} \tag{6.11}$$

วิธีการค้นหาคำตอบด้วยวิธีการหาค่าที่ดีที่สุดด้วยฝูงอนุภาคมีแนวโน้มที่จะมีการเปลี่ยนแปลง (convert) เข้าสู่คำตอบที่เหมาะสมได้ในเวลาอันสั้น เมื่อเข้าสู่คำตอบที่เหมาะสมแล้วมักจะไม่ค่อยมีการเปลี่ยนแปลง ซึ่งคำตอบดังกล่าวอาจเป็นคำตอบที่เป็นคำตอบที่ดีที่สุดเฉพาะพื้นที่ (local optimal) หรือ คำตอบนั้นอาจเป็น global optimal ก็เป็นได้ โดยถ้าหากเป็นคำตอบที่เป็นคำตอบที่ดีที่สุดเฉพาะพื้นที่ ก็อาจทำให้ได้คำตอบที่ไม่ได้เป็นคำตอบที่เหมาะสมที่สุด ดังนั้นเพื่อเป็นการทำให้คำตอบที่ได้มีการกระจายมากขึ้นจะทำเมื่อคำตอบที่ได้จากการประมวลผลไม่มีการเปลี่ยนแปลงคำตอบหลังจากประมวลผลไปแล้ว 200 รอบ จะทำการสุ่มจำนวนอนุภาคที่จะมีการเปลี่ยนแปลงในแต่ละเวกเตอร์ของประเภทรถยนต์ เวกเตอร์จำนวนรอบ ฟาร์มไก่รุ่น หรือ ฟาร์มไก่ไข่ แล้วทำการกำหนดตัวเลขสุ่มใหม่ (R_t) เพื่อให้มีการเปลี่ยนแปลงพื้นที่ในการค้นหาคำตอบ แต่อย่างไรก็ตามจำนวนอนุภาคที่จะมีการเปลี่ยนแปลงนั้นจะไม่ใช่การเปลี่ยนแปลงทั้งหมดจะเป็นการเปลี่ยนแปลงเพียงบางส่วนเท่านั้น หากเป็นการเปลี่ยนแปลงทั้งหมดก็จะเหมือนกับเป็นการเริ่มต้นกระบวนการหาคำตอบที่ดีที่สุดด้วยฝูงอนุภาคใหม่ซึ่งไม่ตรงกับจุดประสงค์ของการเปลี่ยนแปลงในครั้งนี้

นอกเหนือจากการกำหนดจำนวนรอบในการประมวลผลแล้วการกำหนดจำนวนอนุภาคที่จะมีการเปลี่ยนแปลงและการกำหนดตำแหน่งของแต่ละอนุภาคที่จะมีการเปลี่ยนแปลง ก็เป็นอีกปัจจัย

หนึ่งที่จะมีผลต่อการกระจายพื้นที่ในการค้นหาคำตอบ อนุภาคที่เกี่ยวข้องกับประเภทของรถบรรทุกที่ใช้ในการขนส่งจะไม่มีการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากประเภทของรถบรรทุกจะขึ้นอยู่กับปริมาณไก่รุ่นที่จะทำการขนส่งเป็นสำคัญ หากมีการเปลี่ยนแปลงไปจากเกณฑ์ที่กำหนดไว้จะทำให้ต้นทุนการมอบหมายงานที่ประกอบด้วยต้นทุนในการขนส่งไก่รุ่นและต้นทุนค่าเสียโอกาสจะได้รับผลกระทบ นอกจากนี้จำนวนรอบในการขนส่งหากมีการกำหนดให้มีค่ามากเกินความจำเป็นจะทำให้เกิดต้นทุนการขนส่งที่เกินจำเป็น

เกณฑ์ที่ใช้ในการปรับปรุงคำตอบจากวิธีการค่าที่ดีที่สุดด้วยฝูงอนุภาค โดยมีความต้องการให้เกิดการกระจายพื้นที่ในการหาคำตอบไปยังพื้นที่ใหม่ (สมการที่ 6.11) จะทำโดยการกำหนดค่าคงที่ (CR) ที่มีค่าอยู่ระหว่าง 0 กับ 1 แล้วทำการกำหนดค่าตัวเลขสุ่ม $(rand_t)$ เพื่อเทียบกับค่า CR หากค่าตัวเลขสุ่มมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ CR จะกำหนดให้มีการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งใหม่ตามแบบเดิม $(X_t + V_{t+1})$ แต่ถ้าค่าตัวเลขสุ่มมีค่ามากกว่าค่า CR จะกำหนดให้ตำแหน่งใหม่เป็นค่าตัวเลขสุ่มที่มีค่าอยู่ระหว่าง 0 กับ 1 ตัวเลขใหม่ (R_t) เนื่องจากต้องการให้ตำแหน่งใหม่มีการเปลี่ยนแปลงเฉพาะบางอนุภาคเท่านั้น ไม่ต้องการให้มีการเปลี่ยนแปลงไปจากการค้นหาแบบเดิมมากนัก จากการทดลองเพื่อหาค่าที่เหมาะสมในการกำหนดค่า CR ทำให้ได้ค่า CR เท่ากับ 0.8 ซึ่งมีผลทำให้อนุภาคส่วนใหญ่มีการเปลี่ยนแปลงตามแบบเดิม

จุดมุ่งหมายของการปรับปรุงวิธีการหาค่าที่ดีที่สุดด้วยฝูงอนุภาคคือต้องการให้มีการกระจายพื้นที่ในการค้นหาคำตอบให้มากขึ้นกว่าเดิม ทำให้คำตอบที่ได้จากวิธีการนี้มีโอกาสที่จะเป็นคำตอบที่ดีที่สุด (global optimal) ได้มากขึ้นกว่าเดิม

ตารางที่ 6.27 ผลการทดลองสำหรับวิธีการหาค่าที่ดีที่สุดด้วยฝูงอนุภาคแบบปรับปรุง

รอบที่	ข้อมูลชุดที่				
	1	2	3	4	5
1	30,898	27,046	34,171	28,156	27,417
2	30,953	26,990	33,688	27,793	27,203
3	30,639	26,923	33,916	27,732	27,338
4	30,889	26,868	33,724	27,199	27,330
5	30,140	27,604	34,882	27,097	27,018
ค่าเฉลี่ย	**30,704**	**27,086**	**34,076**	**27,595**	**27,261**
ค่าต่ำสุด	**30,140**	**26,868**	**33,688**	**27,097**	**27,018**
ค่าสูงสุด	**30,953**	**27,604**	**34,882**	**28,156**	**27,417**
ลิงโก	**30,139**	**26,868**	**33,688**	**27,097**	**27,017**

ผลการทดลองในการปรับปรุงวิธีการหาค่าที่ดีที่สุดด้วยฝูงอนุภาคพบว่าค่าต่ำสุดที่มีการประมวลผลได้นั้นมีค่าเท่ากับค่าที่ดีที่สุดจากวิธีการแม่นตรงจากโปรแกรม ลิงโก หากพิจารณาจาก

ค่าเฉลี่ยพบว่ามีค่าดัชนีที่ห่างจากคำตอบจากวิธีการแม่นตรงเพียง 1.3 เท่านั้น (ตารางที่ 6.27 และตารางที่ 6.28)

ตารางที่ 6.28 ผลการทดลองสำหรับวิธีการหาค่าที่ดีที่สุดด้วยฝูงอนุภาคและวิธีปรับปรุง

ชุดข้อมูล	วิธีการประมวลผล			ดัชนีเมื่อเทียบกับ ลิงโก	
	ลิงโก	PSO	Modified PSO	PSO	Modified PSO
ชุดที่ 1	30,139	30,525	30,704	101.3	101.9
ชุดที่ 2	26,868	27,781	27,086	103.4	100.8
ชุดที่ 3	33,688	34,960	34,076	103.8	101.2
ชุดที่ 4	27,097	27,870	27,595	102.9	101.8
ชุดที่ 5	27,017	27,740	27,261	102.7	100.9
ค่าเฉลี่ย	28,962	29,775	29,344	102.8	101.3

หมายเหตุ: PSO คือ วิธีการหาค่าที่ดีที่สุดด้วยฝูงอนุภาค
Modified PSO คือ วิธีการหาค่าที่ดีที่สุดด้วยฝูงอนุภาคแบบปรับปรุง

การประมวลผลด้วยวิธีการหาค่าที่ดีที่สุดด้วยฝูงอนภาคตามวิธีการดั้งเดิมมีคำตอบที่มีค่าดัชนีห่างจากวิธีการแม่นตรงโดยเฉลี่ย 2.8 ต่อมามีการปรับปรุงด้วยการกำหนด จำนวนอนุภาค และตำแหน่งอนุภาคที่จะทำการเปลี่ยนแปลง แล้วทำการประมวลผลคำตอบที่ได้จากการประมวลผลด้วยวิธีการปรับปรุงนี้มีคำตอบโดยเฉลี่ยดัชนีห่างจากวิธีการแม่นตรง 101.3 ซึ่งมีความใกล้เคียงกับวิธีการแม่นตรงกว่าวิธีการที่ไม่ได้มีการปรับปรุง เพื่อเป็นการทดสอบว่าคำตอบที่ได้จากวิธีการดั้งเดิมและวิธีการที่มีการปรับปรุงนั้นมีคำตอบที่เหมือนกันหรือไม่ สามารถทำได้โดยการทดสอบสมมติฐาน ซึ่งมีการตั้งสมมติฐานดังนี้

สมมติฐานหลัก (H_0) : $\mu_{PSO} = \mu_{moPSO}$
สมมติฐานรอง (H_1) : $\mu_{PSO} \neq \mu_{moPSO}$

ตารางที่ 6.29 การทดสอบดัชนีเมื่อเทียบกับวิธีการหาค่าที่ดีที่สุดโดยใช้ฝูงอนุภาค

สถิติการทดสอบ	ดัชนีเมื่อเทียบกับวิธีการแม่นตรง	
	PSO	Modified PSO
ค่าเฉลี่ย	102.80	101.32
ความแปรปรวน	0.91	0.26
จำนวนตัวอย่าง	5	5
ค่าสถิติ t	3.06	
ค่า p-value	0.022	

ผลการทดสอบสมมติฐาน (ตารางที่ 6.29) พบว่ามีค่าสถิติ t เท่ากับ 3.06 และมีค่า p-value เท่ากับ 0.022 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าระดับนัยสำคัญ 0.05 ทำให้สามารถสรุปได้ว่า ปฏิเสธสมมติฐานหลัก หมายความว่า ค่าดัชนีจากวิธีการหาค่าที่ดีที่สุดด้วยฝูงอนุภาคด้วยวิธีดั้งเดิมและวิธีแบบที่มีการปรับปรุงมีค่าแตกต่างกันnn

การปรับปรุงวิธีการหาค่าที่ดีที่สุดด้วยฝูงอนุภาคโดยการกำหนดให้มีการเปลี่ยนตำแหน่งการค้นหาคำตอบด้วยการกำหนดจำนวนอนุภาค (particle) ที่ต้องการให้มีการเปลี่ยนแปลง และกำหนดตำแหน่งของอนุภาคที่จะมีการเปลี่ยนแปลง แต่ไม่ใช่การเปลี่ยนตำแหน่งทั้งหมดเป็นการเปลี่ยนเพียงบางตำแหน่งตามที่จะกำหนดไว้ หากเป็นการเปลี่ยนแปลงทั้งหมดก็จะเหมือนกับว่าเป็นการเริ่มต้นการค้นหาใหม่ โดยสาเหตุที่ต้องมีการปรับปรุงคือเมื่อมีค้นพบค่าเหมาะสมค่าหนึ่งแล้วฝูงอนุภาคจะมีแนวโน้มที่จะเปลี่ยนแปลง (convert) เข้าสู่ค่าที่เหมาะสมค่านั้น โดยไม่มีการกระจายไปหาคำตอบที่พื้นที่อื่นๆ อีก ทำให้คำตอบที่ได้เป็นคำตอบที่ดีที่สุดเฉพาะพื้นที่ (local optimal) การปรับปรุงครั้งนี้จะทำให้เกิดการกระจายพื้นที่ในการค้นหาคำตอบซึ่งจะทำให้ความเป็นไปได้ที่คำตอบจะเป็นคำตอบที่ดีที่สุด (global optimal) นั้นมีมากขึ้น จากการทดลองพบว่าการปรับปรุงวิธีการหาคำตอบที่ดีที่สุดมีผลทำให้คำตอบที่ได้มีค่าใกล้เคียงกับคำตอบที่ได้จากวิธีการแม่นตรงมากกว่าการไม่ทำการปรับปรุงคำตอบ

6.3 กรณีศึกษา (Case Study)

การมอบหมายงานสำหรับกรณีศึกษาจะเป็นการมอบหมายประเภทรถบรรทุก จำนวนรอบในการขนส่ง ฟาร์มไก่รุ่น และ ฟาร์มไข่ โดยที่การมอบหมายประเภทรถบรรทุกประกอบด้วยรถบรรทุกทั้งหมด 4 ประเภท ได้แก่ รถบรรทุกสิบล้อ รถบรรทุกหกล้อ รถบรรทุกสี่ล้อดัดแปลง และรถบรรทุกสี่ล้อธรรมดา รถบรรทุกแต่ละประเภทมีความสามารถในการขนส่งไก่รุ่นแตกต่างกัน อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันแตกต่างกัน (รายละเอียดได้ตามตารางที่ 6.30) รถบรรทุกแต่ละประเภทใช้น้ำมันชนิดเดียวกันดังนั้นราคาน้ำมันเชื้อเพลิงเท่ากัน ซึ่งราคาน้ำมันเชื้อเพลิงชนิดดังกล่าวถือเป็นปัจจัยภายนอกที่ไม่สามารถควบคุมได้จึงมีการกำหนดให้ราคาน้ำมันเชื้อเพลิงมีค่าคงที่ (30 บาทต่อลิตร)

การมอบหมายงานให้กับรถบรรทุกแต่ละประเภทนั้นเกิดขึ้นเนื่องจากการกำหนดปริมาณไก่รุ่นที่จะทำการขนส่งแล้วจึงกำหนดประเภทรถบรรทุก เช่น เมื่อมีการกำหนดปริมาณไก่รุ่นที่จะทำการขนส่งจำนวน 3,000 ตัว จะมีการมอบหมายให้รถบรรทุกที่มีความสามารถในการขนส่งไก่รุ่นสูงกว่าปริมาณดังกล่าวและใกล้เคียงกับปริมาณที่จะทำการขนส่งมากที่สุด จึงทำการมอบหมายให้รถบรรทุกสี่ล้อดัดแปลงที่มีความสามารถในการขนส่ง 4,000 ตัว มาทำการขนส่ง แต่อย่างไรก็ตามการมอบหมายนี้จะทำให้เกิดต้นทุนค่าเสียโอกาสเนื่องจากการขนส่งไม่เต็มประสิทธิภาพเกิดขึ้น ถ้ามีการเลือกรถบรรทุกที่มีความสามารถในการขนส่งเป็นจำนวนมากจะทำให้เกิดต้นทุนค่าเสียโอกาสสูงมากขึ้นตาม ในกรณีตรงข้ามหากมีการใช้รถบรรทุกที่มีความสามารถในการขนส่งไก่รุ่นน้อยกว่าปริมาณไก่รุ่นที่จะทำการขนส่งก็จะเกิดการขนส่งในจำนวนรอบที่มากขึ้น ซึ่งทำให้เกิดต้นทุนในการขนส่งที่มากเกินความจำเป็น

ตารางที่ 6.30 ความสามารถในการขนส่งไก่รุ่นและอัตราการสิ้นเปลืองสำหรับรถบรรทุกแต่ละประเภท

ประเภทรถบรรทุก	ความสามารถในการขนส่ง (ตัว)	อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมัน (กิโลเมตร/ลิตร)
รถบรรทุกสิบล้อ	10,000	3.2
รถบรรทุกหกล้อ	8,000	5.0
รถบรรทุกสี่ล้อดัดแปลง	4,000	8.0
รถบรรทุกสี่ล้อธรรมดา	2,000	10.0

การขนส่งไก่รุ่นใน 1 รอบหมายถึง การขนส่งไก่รุ่นโดยการใช้รถบรรทุกประเภทหนึ่งทำการขนส่งไก่รุ่นจากฟาร์มไก่รุ่นฟาร์มหนึ่งไปยังฟาร์มไข่ฟาร์มหนึ่ง การขนส่งไก่รุ่นในรอบที่ 2 จะเกิดขึ้นเมื่อเกิดการขนส่งไก่รุ่นโดยการใช้รถบรรทุกประเภทเดียวกันเพื่อทำการขนส่งไก่รุ่นจากฟาร์มไกรุ่นเดียวกันไปยังฟาร์มไข่เดียวกัน ซึ่งมีผลทำให้ต้นทุนในการขนส่งเพิ่มขึ้นโดยอาจไม่จำเป็น อย่างไรก็ตามการขนส่งในรอบที่ 2 อาจเกิดขึ้นได้หากมีการใช้รถบรรทุกประเภทที่เหมาะสมจนครบชั่วโมงการทำงาน ทำให้มีความจำเป็นต้องมีการขนส่งในรอบที่ 2 สำหรับการศึกษาในครั้งนี้จะมีการกำหนดจำนวนรอบที่ใช้ในการขนส่งกำหนดให้มีค่าสูงสุดที่ไม่เกิน 4 รอบ

การมอบหมายประเภทรถบรรทุกและจำนวนรอบในการขนส่งจะมีจำนวนคงที่ รถบรรทุกมีทั้งหมด 4 ประเภท และจำนวนรอบในการส่งจะกำหนดให้จำนวนรอบสูงสุดไม่เกิน 4 รอบ โดยมีมีการเปลี่ยนแปลงสำหรับประเภทรถบรรทุกและจำนวนรอบในการขนส่ง

ฟาร์มไก่รุ่นมีจำนวน 40 ฟาร์ม ฟาร์มไก่รุ่นในแต่ละฟาร์มจะมีหน้าที่ในการผลิตไก่รุ่นเพื่อส่งไก่รุ่นไปยังฟาร์มไข่ ฟาร์มไก่รุ่นแต่ละฟาร์มจะมีความสามารถในการผลิตไก่รุ่นไม่เท่ากัน ทุกฟาร์มรวมกันจะมีความสามารถในการผลิตไก่รุ่นจำนวน 380,000 ตัว ฟาร์มไก่รุ่นแต่ละฟาร์มจะมีความชำนาญในการขนไก่รุ่นขึ้นรถบรรทุกแต่ละประเภทไม่เหมือนกัน ฟาร์มที่มีความสามารถในระดับมาตรฐานสามารถขนไก่รุ่นขึ้นรถบรรทุกได้ 10,000 ตัวต่อชั่วโมง ความสามารในการขนไก่รุ่นขึ้นรถนี้แบ่งออกเป็น 4 ระดับ ฟาร์มไก่รุ่นที่มีความสามารถสูงสุดสามารถขนไก่รุ่นจำนวน 10,000 ตัวขึ้นรถได้ในเวลา 0.7 ชั่วโมง หรือ 42 นาที

ฟาร์มไข่มีจำนวน 60 ฟาร์ม ฟาร์มไข่มีหน้าที่ในการรับไก่รุ่นจากฟาร์มไก่รุ่นเพื่อไปเลี้ยงให้เป็นแม่ไก่ เพื่อที่จะผลิตไข่ต่อไปในอนาคต ฟาร์มไข่แต่ละฟาร์มจะมีต้องการไก่รุ่นไม่เท่ากัน โดยรวมฟาร์มไข่มีความต้องการไก่รุ่นจำนวน 388,000 ตัว ฟาร์มไข่แต่ละฟาร์มจะมีความชำนาญในการขนไก่รุ่นลงจากรถบรรทุกไม่เท่ากัน ฟาร์มไข่ที่มีความสามารถสูงสุดสามารถขนไก่รุ่นจำนวน 10,000 ตัว ลงจากรถบรรทุกได้ในเวลา 42 นาที ในขณะที่ฟาร์มไข่ระดับมาตรฐานสามารถขนไก่รุ่นจำนวน 10,000 ตัว ลงจากรถได้ในเวลา 1 ชั่วโมง

เนื่องจากปริมาณความต้องการไก่รุ่นของฟาร์มไข่ (388,000 ตัว) ซึ่งมีค่ามากกว่าความสามารถในการผลิตไก่รุ่นของฟาร์มไก่รุ่น (380,000 ตัว) ทำให้ฟาร์มไข่บางฟาร์มอาจไม่ได้รับไก่รุ่นครบตามความต้องการของตนเอง แต่อย่างน้อยแต่ละฟาร์มไข่จะได้ไก่รุ่นอย่างน้อยร้อยละ 50 ของความต้องการของ

ตนเอง ในขณะที่ฟาร์มไก่รุ่นทุกฟาร์มจะสามารถส่งไก่รุ่นของตนเองได้ทั้งหมด ทั้งนี้จะไม่มีไก่รุ่นคงเหลือค้างที่ฟาร์มไก่รุ่นเลย

วิธีการแม่นตรงโดยการใช้โปรแกรมสำเร็จรูป ลิงโก จะทำการมอบหมาย ประเภทรถบรรทุก จำนวนรอบ ฟาร์มไก่รุ่น และ ฟาร์มไข่ ที่เหมาะสมโดยมีวัตถุประสงค์หลักเพื่อต้องการทำให้ต้นทุนในการมอบหมายงานที่ประกอบไปด้วยต้นทุนหลักหรือต้นทุนที่เกิดขึ้นเนื่องจากการขนส่งไก่รุ่น และต้นทุนค่าเสียโอกาสมีค่าต่ำที่สุด โปรแกรม ลิงโก จะใช้วิธี branch and bound ในการค้นหาคำตอบ ซึ่งกรณีศึกษานี้จะเป็นปัญหาการมอบหมายงานที่มีความซับซ้อน และเป็นปัญหาที่มีขนาดใหญ่ ทำให้ไม่สามารถหาคำตอบที่ดีที่สุดได้ในระยะเวลาสั้น การศึกษาครั้งนี้จะกำหนดเวลาในการประมวลผลด้วยโปรแกรม ลิงโก ที่ 72 ชั่วโมง ได้คำตอบสำหรับกรณีศึกษาเท่ากับ 114,932 บาท จากนี้จะนำคำตอบดังกล่าวไปเปรียบเทียบกับวิธีฮิวริสติกส์ต่อไป

วิธีการหาค่าที่ดีที่สุดด้วยฝูงอนุภาคจะใช้ขั้นตอนในการหาคำตอบ โดยการใช้การเข้ารหัสและการถอดรหัสแบบเดียวกับวิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างในบทก่อนหน้า (บทที่ 5) โดยสามารถแสดงขั้นตอนในการเข้ารหัสได้จากภาพที่ 6.1 เพื่อกำหนดให้เป็นประชากรเริ่มต้น หลังจากนั้นก็จะนำเข้าสู่กระบวนการของวิธีการหาคำตอบที่ดีที่สุดด้วยฝูงอนุภาคต่อไป โดยมีการถอดรหัสจากภาพที่ 5.5

การประมวลผลจากวิธีการหาค่าที่ดีที่สุดด้วยฝูงอนุภาคก่อนที่จะมีการปรับปรุงพบว่าต้นทุนในการมอบหมายงานเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 118,369.6 บาท และมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 115,120 บาท ซึ่งค่าต่ำสุดนี้ห่างจากคำตอบแม่นตรงที่ได้จากโปรแกรม ลิงโก เพียงเล็กน้อย โดยมีดัชนีเท่ากับ 100.2 เมื่อทำการปรับปรุงวิธีการหาค่าที่ดีที่สุดด้วยฝูงอนุภาคพบว่ามีการมอบหมายงานเฉลี่ยเท่ากับ 116,194.7 บาท และมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 114,932 บาท ซึ่งคำตอบนี้มีค่าเท่ากับคำตอบที่ได้จากวิธีการแม่นตรงพอดี นับว่าการประมวลผลด้วยวิธีการหาคำตอบที่ดีที่สุดด้วยฝูงอนุภาคแบบปรับปรุงนั้นมีความแม่นยำในการค้นหาคำตอบพอสมควร โดยการประมวลผลใช้เวลาโดยเฉลี่ยสำหรับก่อนการปรับปรุง 8.3 วินาที และใช้เวลาเฉลี่ยสำหรับหลังการปรับปรุง 10.29 วินาที ซึ่งเมื่อเทียบกับเวลาในการประมวลผลของโปรแกรม ลิงโก ที่ใช้เวลา 72 ชั่วโมง ยังไม่สามารถหาคำตอบที่ดีที่สุดได้ โดยอยู่ในระดับที่สามารถหาคำตอบได้เท่านั้น (ตารางที่ 6.31)

ตารางที่ 6.31 ผลการศึกษาด้วยวิธีการหาค่าที่ดีที่สุดด้วยฝูงอนุภาคแบบมาตรฐานและแบบปรับปรุงสำหรับกรณีศึกษา

รายการ	ก่อนปรับปรุง		หลังปรับปรุง	
	ต้นทุน	ดัชนี	ต้นทุน	ดัชนี
รอบที่ 1	115,120	100.2	117,788	102.5
รอบที่ 2	118,331	103.0	114,932	100.0
รอบที่ 3	119,294	103.8	117,350	102.1
รอบที่ 4	121,771	106.0	115,689	100.7
รอบที่ 5	117,332	102.1	115,215	100.2
ค่าเฉลี่ย	**118,369.6**	**103.0**	**116,194.7**	**101.1**
ค่าสูงสุด	**121,771.0**	**106.0**	**117,787.7**	**102.5**
ค่าต่ำสุด	**115,120.0**	**100.2**	**114,932.0**	**100.0**

หมายเหตุ: ดัชนี = 100 หมายถึงคำตอบที่ได้มีค่าเท่ากับ 114,932 บาท หรือเท่ากับคำตอบจากวิธีแม่นตรงหรือโปรแกรม ลิงโก

การประมวลผลโดยการใช้วิธีการหาค่าที่ดีที่สุดด้วยฝูงอนุภาคไม่ว่าจะมีการปรับปรุงหรือไม่ปรับปรุงก็ตาม ให้คำตอบที่มีความใกล้เคียงกับวิธีการแม่นตรงจากโปรแกรม ลิงโก มากกว่าวิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างเมื่อพิจารณาจากต้นทุนการมอบหมายงานเฉลี่ยจากการประมวลผลทั้ง 5 ครั้ง (เกิดจากการทดลองเพื่อหาค่าที่เหมาะสมในการประมวลผล) วิธีก่อนปรับปรุงมีค่าเท่ากับ 105.2 และวิธีการปรับปรุงมีค่าเท่ากับ 103.1 ในขณะที่วิธีการหาค่าที่ดีที่สุดด้วยฝูงอนุภาควิธีก่อนปรับปรุงและหลังการปรับปรุงมีค่าเท่ากับ 103.0 และ 101.1 ตามลำดับ จะเห็นว่าดัชนีการหาค่าที่ดีที่สุดด้วยฝูงอนุภาคไม่ว่าจะเป็นวิธีก่อนการปรับปรุงหรือหลังการปรับปรุงก็ตามให้ผลคำตอบที่ใกล้เคียงกับวิธีการแม่นตรงมากกว่าวิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง แต่อย่างไรก็ตามวิธีการที่ทำการปรับปรุงไม่ว่าจะเป็นการปรับปรุงวิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างให้คำตอบที่ใกล้เคียงกับวิธีการแม่นตรงมากกว่าวิธีที่ไม่มีการปรับปรุง ในทิศทางเดียวกันการปรับปรุงวิธีการหาค่าที่ดีที่สุดด้วยฝูงอนุภาคก็ให้คำตอบที่ใกล้เคียงกับวิธีการแม่นตรงมากกว่าการไม่ปรับปรุงเช่นกัน (ตารางที่ 6.32)

ตารางที่ 6.32 ผลการศึกษาด้วยวิธีการหาค่าที่ดีที่สุดด้วยฝูงอนุภาคแบบมาตรฐานและแบบปรับปรุงสำหรับกรณีศึกษา

รายการ	ดัชนีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง		ดัชนีการหาค่าที่ดีที่สุดด้วยฝูงอนุภาค	
	ก่อนปรับปรุง	หลังปรับปรุง	ก่อนปรับปรุง	หลังปรับปรุง
รอบที่ 1	105.7	104.7	100.2	102.5
รอบที่ 2	102.7	103.8	103.0	100.0
รอบที่ 3	108.6	104.5	103.8	102.1
รอบที่ 4	109.1	100.1	106.0	100.7
รอบที่ 5	100.0	102.3	102.1	100.2
ค่าเฉลี่ย	**105.2**	**103.1**	**103.0**	**101.1**
ค่าสูงสุด	**109.1**	**104.7**	**106.0**	**102.5**
ค่าต่ำสุด	**100.0**	**100.1**	**100.2**	**100.0**

หมายเหตุ: ดัชนี = 100 หมายถึงคำตอบที่ได้มีค่าเท่ากับ 114,932 บาท หรือเท่ากับคำตอบจากวิธีแม่นตรงหรือโปรแกรม ลิงโก

6.4 สรุปผล (Conclusions)

วิธีการหาค่าที่ดีที่สุดด้วยฝูงอนุภาค (Particle Swarm Optimization: PSO) เป็นวิธีการค้นหาคำตอบที่เกิดขึ้นจากพฤติการการเลียนแบบธรรมชาติ ในกรณีนี้คือพฤติกรรมการหาอาหารของฝูงนก โดยนกจะมีความต้องการที่จะหาอาหาร นกแต่ละตัวนั้นอยู่รวมกันเป็นฝูง การหาอาหารของนกแต่ละตัวขึ้นกับตัวเองร่วมกันกับนกที่เหลือทั้งฝูง ซึ่งจะทำให้ฝูงนกสามารถหาแหล่งอาหารได้ดีขึ้น

การค้นหาคำตอบด้วยวิธีการหาค่าที่ดีที่สุดด้วยฝูงอนุภาคเป็นวิธีที่มีการกำหนดค่าพารามิเตอร์น้อย ขั้นตอนในการทำงานไม่ซับซ้อน ทำให้สามารถค้นหาคำตอบได้ในเวลาอันสั้น แต่อย่างไรก็ตามวิธีการนี้จะมีแนวโน้มที่การค้นหาคำตอบจะมีการเปลี่ยนแปลงเข้าสู่ค่าใดค่าหนึ่ง โดยไม่มีการกระจายพื้นที่ในการค้นหาคำตอบไปยังพื้นที่อื่นๆ เพื่อเป็นการกระจายพื้นที่ในการหาคำตอบให้กระจายออกไปมากขึ้นจะใช้วิธีการหาค่าที่ดีที่สุดด้วยฝูงอนุภาคแบบปรับปรุง

วิธีการหาค่าที่ดีที่สุดด้วยฝูงอนุภาคแบบปรับปรุงทำโดยการสร้างเงื่อนไขเพิ่มเติม หากคำตอบที่ได้จากการประมวลผลมีค่าซ้ำกันเกิน 200 รอบ ติดต่อกัน เนื่องจากต้องการให้การกำหนดให้ตำแหน่งใหม่ของอนุภาคมีการเปลี่ยนแปลงไปจากวิธีการดั้งเดิมไม่มากนัก จึงมีการกำหนดค่าคงที่ค่าหนึ่ง (CR) เท่ากับ 0.8 แล้วเทียบกับตัวเลขสุ่ม ($rand_t$) หากค่าตัวเลขสุ่มมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.8 จะใช้การกำหนดตำแหน่งใหม่แบบดั้งเดิม แต่ถ้าตัวเลขสุ่มนี้มีค่ามากกว่า 0.8 ก็จะมีการกำหนดค่าตัวเลขสุ่มใหม่ให้กับอนุภาคนั้นๆ โดยตัวเลขสุ่มทั้งหมดที่กล่าวถึงจะกำหนดให้มีค่าอยู่ระหว่าง 0 กับ 1

ปัญหาการมอบหมายงานแบบหลายขั้นสำหรับกรณีศึกษานี้เป็นปัญหาที่มีความซับซ้อนกว่าปัญหาการมอบหมายงานแบบทั่วไป ประกอบกับปัญหาจากกรณีศึกษานี้เป็นปัญหาขนาดใหญ่ จึงไม่สามารถที่จะหาคำตอบจากวิธีการแม่นตรงโดยการใช้โปรแกรม ลิงโก ได้ในระยะเวลาอันสั้น การแก้ปัญหาด้วยวิธีการฮิวริสติกส์จึงถูกนำมาใช้

วิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างอาจเป็นวิธีการที่ดีในการแก้ไขปัญหาที่ไม่มีความซับซ้อน หรือปัญหาที่มีการตัดสินใจหรือการมอบหมายงานในระดับพื้นฐาน วิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างสามารถให้คำตอบที่ดีมีความใกล้เคียงกับคำตอบจากวิธีการแม่นตรง ถึงแม้ปัญหาดังกลาวจะเป็นปัญหาขนาดใหญ่ก็ตาม แต่ถ้าปัญหาที่มีความซับซ้อนมากขึ้น หรือเป็นปัญหาที่ต้องมีการตัดสินใจในหลายๆ ขั้นตอนพร้อมๆ กัน เช่น กรณีศึกษาในครั้งนี้ วิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างอาจเป็นวิธีที่ใช้ได้ไม่ดีนัก วิธีการหาค่าที่ดีที่สุดด้วยฝูงอนุภาคจึงถูกนำมาพิจารณา วิธีการนี้เป็นวิธีการที่มีขั้นตอนในการทำงานน้อย การกำหนดค่าพารามิเตอร์ไม่มากนัก จึงเป็นวิธีที่เหมาะสมในการแก้ปัญหาที่มีความซับซ้อน ถึงแม้ว่าวิธีการนี้จะเป็นวิธีการที่คำตอบมีแนวโน้มที่จะเปลี่ยนแปลงเข้าสู่คำตอบใดคำตอบหนึ่ง โดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงพื้นที่ในการค้นหาคำตอบไปยังพื้นที่อื่นๆ เพื่อเป็นการแก้ไขปัญหาดังกล่าวนี้จึงมีการสร้างวิธีการค้นหาค่าที่ดีทีสุดด้วยฝูงอนุภาคแบบปรับปรุงโดยการเพิ่มเงื่อนไขบางประการเข้าไปในขั้นตอนการค้นหาคำตอบ

ผลการทดลองจากกลุ่มตัวอย่างขนาดใหญ่ที่มีจำนวนฟาร์มไก่รุ่น 20 ฟาร์ม และมีจำนวนฟาร์มไข่ 20 ฟาร์ม พบว่าคำตอบที่ได้จากการประมวลผลด้วยวิธีการหาค่าที่ดีที่สุดด้วยฝูงอนุภาคมีความใกล้เคียงกับคำตอบจากวิธีการแม่นตรงโดยใช้โปรแกรม ลิงโก มากกว่าวิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง วิธีการหาค่าที่ดีที่สุดด้วยฝูงอนุภาคมีค่าเฉลี่ยดัชนีอยู่ที่ 102.8 ในขณะที่คำตอบที่ได้จากวิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างมีค่าเฉลี่ยของดัชนีอยู่ที่ 107.1 (ตารางที่ 6.18)

ผลลัพธ์ที่ได้จากกรณีศึกษาพบว่าคำตอบที่ได้จากวิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างแบบดั้งเดิมมีค่าเฉลี่ยเลขดัชนีเท่ากับ 105.2 นับว่าเป็นคำตอบที่ห่างจากวิธีการแม่นตรงมากที่สุด ส่วนวิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างแบบมีการปรับปรุงและวิธีการหาค่าที่ดีที่สุดด้วยฝูงอนุภาคแบบดั้งเดิมมีคำตอบที่ได้ห่างจากคำตอบจากวิธีการแม่นตรงใกล้เคียงกัน มีค่าเฉลี่ยเลขดัชนีประมาณ 103 ในขณะที่วิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างแบบปรับปรุงมีคำตอบที่ได้มีความใกล้เคียงกับคำตอบจากวิธีการแม่นตรงมากที่สุด มีค่าเฉลี่ยเลขดัชนีเท่ากับ 101.1 อย่างไรก็ตามผลลัพธ์ที่ได้จากการปรับปรุงทั้งสองวิธีให้ค่าคำตอบใกล้เคียงกับคำตอบจากวิธีการแม่นตรงมากกว่าวิธีการแบบดั้งเดิม (ตารางที่ 6.24)

Strengths ● จำนวนพารามิเตอร์น้อย ● ใช้เวลาน้อยในการเปลี่ยนแปลงเข้าสู่คำตอบที่เหมาะสม	Weaknesses ● เกิดการกระจายตัวน้อย ● อาจเป็นคำตอบที่ดีที่สุดเฉพาะพื้นที่ (local optimal)
Opportunities ● ประหยัดเวลาในการประมวลผล	Treats ● คำตอบที่ได้อาจไม่ใช่คำตอบที่ดีที่สุด

ภาพที่ 6.1 การวิเคราะห์สภาพแวดล้อม SWOT ของ PSO

บทที่ 7
สรุปผลการศึกษา

ปัญหาการมอบหมายงานแบบพื้นฐานเป็นการมอบหมายเพียง 2 ขั้นเท่านั้น กล่าวคือการมอบหมายให้พนักงานคนหนึ่งไปทำงานที่เครื่องจักรเครื่องหนึ่ง ส่วนปัญหาการมอบหมายแบบหลายขั้นเป็นปัญหาที่มีความซับซ้อนมากกว่าที่จะต้องมีการมอบหมายพร้อมๆ กัน สำหรับกรณีศึกษานี้เป็นการมอบหมายประเภทรถบรรทุกให้ทำการขนส่งโดยออกจากศูนย์บริการไปรับไก่รุ่นจากฟาร์มไก่รุ่นเพื่อไปส่งยังฟาร์มไข่ แล้วกลับมายังศูนย์บริการเพื่อเตรียมพร้อมสำหรับการขนส่งในรอบถัดไป ทำให้มีปัจจัยที่ต้องตัดสินใจ 4 ขั้นตอน ประกอบด้วย ประเภทรถบรรทุกที่มี 4 ประเภท ฟาร์มไก่รุ่นที่มีจำนวน 40 ฟาร์ม ฟาร์มไข่ที่มีจำนวน 60 ฟาร์ม ให้ทำการขนส่งได้สูงสุดไม่เกิน 4 รอบ ซึ่งทั้งหมดจะต้องทำการตัดสินใจพร้อมๆ กันทั้ง 4 ปัจจัย

จุดมุ่งหมายหลักของปัญหาการมอบหมายงานคือ จะมีการมอบหมายงานอย่างไรจึงจะทำให้ต้นทุนในการมอบหมายงานมีค่าต่ำสุด การมอบหมายงานสำหรับกรณีศึกษาในครั้งนี้ประกอบไปด้วยต้นทุนหลักที่เกิดขึ้นเนื่องจากการขนส่งไก่รุ่นที่ขึ้นกับระยะทางเป็นสำคัญ และต้นทุนค่าเสียโอกาสที่เกิดขึ้นเนื่องจากการบรรทุกที่ไม่เต็มประสิทธิภาพหรือการขนส่งที่เกิดพื้นที่ว่างในรถบรรทุกที่ทำการขนส่ง ซึ่งต้นทุนทั้งสองประการนี้จะต้องมีค่าต่ำสุด นอกเหนือจากการมอบหมายงานอย่างไรที่จะทำให้ต้นทุนการมอบหมายงานมีค่าต่ำสุดแล้ว การมอบหมายงานจะต้องสอดคล้องกับเงื่อนไขต่างๆ ที่กำหนดขึ้นพร้อมๆ กันด้วย ซึ่งการมอบหมายงานไปพร้อมๆ กับการทำให้สอดคล้องกับเงื่อนไขต่างๆ ทำให้การแก้ปัญหาในกรณีศึกษานี้มีความซับซ้อนมากขึ้น

ลักษณะของปัญหาการมอบหมายงานแบบหลายขั้นและเงื่อนไขต่างๆ ทำให้ปัญหามีความซับซ้อน การแก้ไขปัญหาด้วยวิธีการแม่นตรง ไม่ว่าจะเป็นวิธีการ branch and bound หรือจะเป็นการใช้โปรแกรม ลิงโก ไม่สามารถทำได้ในระยะเวลาอันสั้น การแก้ไขปัญหาด้วยวิธีการทางเลือกหรือวิธีฮิวริสติกส์จึงเป็นทางเลือกที่เหมาะสมในการนำมาแก้ปัญหาในครั้งนี้ วิธีฮิวริสติกส์ที่ใช้ในการศึกษาในครั้งนี้จะใช้วิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง (Differential Evolution: DE) และวิธีการหาค่าที่ดีที่สุดด้วยฝูงอนุภาค (Particle Swarm Optimization: PSO)

วิธีการแก้ปัญหาเริ่มต้นจากการพัฒนาตัวแบบทางคณิตศาสตร์ (Mathematical Model) ที่ประกอบด้วยต้นทุนที่ใช้ในการขนส่งไก่รุ่นและต้นทุนค่าเสียโอกาส ซึ่งต้นทุนทั้งสองประเภทคือต้นทุนในการมอบหมายงาน นอกจากนี้ตัวแบบทางคณิตศาสตร์ที่จะต้องแสดงถึงต้นทุนการมอบหมายงานแล้วยังต้องสอดคล้องกับเงื่อนไขต่างๆ ที่กำหนดขึ้นอีกด้วย หลังจากนั้นนำตัวแบบทางคณิตศาสตร์ที่พัฒนาได้ไปใช้ในโปรแกรม ลิงโก เพื่อประมวลผลให้ได้คำตอบที่ดีที่สุดต่อไป

วิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างและวิธีการหาค่าที่ดีที่สุดด้วยฝูงอนุภาคจะถูกพัฒนาให้สอดคล้องกับปัญหาการมอบหมายงานจากกรณีศึกษาและสอดคล้องกับเงื่อนไขต่างๆ ที่กำหนดขึ้น แล้วทำการพิจารณาผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นจากการประมวลผลโดยเทียบกับคำตอบที่ได้จากวิธีการแม่นตรงโดยใช้โปรแกรม ลิงโก เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของทั้งสองวิธี

ผลการการทดลองพบว่าวิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างมีคำตอบที่ได้อยู่ในเกณฑ์ดี เพื่อเป็นการพัฒนาให้ได้คำตอบที่ดีมากขึ้นจึงทำการกำหนดให้นำเวกเตอร์ที่ดีที่สุดที่เคยผ่านกระบวนการค้นหาคำตอบของกระบวนการเก็บไว้ แล้วนำมาใช้อีกครั้ง โดยการกำหนดเป็นอัตราการเจริญเติบโตหรืออัตราการถดถอย ที่มีทั้งที่เป็นเส้นตรงและเป็นแบบอัตราก้าวหน้า จากการประมวลผลพบว่าอัตราการเจริญเติบโตมีคำตอบที่ได้ดีกว่าหรือใกล้เคียงกับคำตอบจากวิธีการแม่นตรงมากกว่าอัตราการถดถอย นอกจากนี้อัตราแบบก้าวหน้าให้คำตอบที่ใกล้เคียงกับวิธีการแม่นตรงมากกว่าอัตราแบบเส้นตรง วิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างเป็นวิธีการที่ดี เป็นวิธีที่ได้รับความนิยม นำไปใช้ในการแก้ปัญหาต่างๆ อย่างแพร่หลาย แต่อย่างไรก็ตามวิธีการนี้เป็นวิธีที่ใช้ในหลายขั้นตอน มีการกำหนดพารามิเตอร์หลายตัว อาจทำให้การประมวลผลใช้เวลานาน วิธีนี้อาจเป็นวิธีที่เหมาะกับปัญหาที่มีไม่มีความซับซ้อนเนื่องจากมีขั้นตอนในการค้นหาคำตอบหลายขั้น จึงทำให้หาคำตอบได้ดี

วิธีการหาค่าที่ดีที่สุดด้วยฝูงอนุภาคเป็นวิธีการที่มีการกำหนดจำนวนพารามิเตอร์น้อย ประกอบกับเป็นวิธีการที่มีขั้นตอนการดำเนินการสั้น ทำให้ประหยัดเวลาในการค้นหาคำตอบ แต่คำตอบที่เหมาะสมได้แล้วจะมีแนวโน้มที่จะทำให้ไม่มีการเปลี่ยนแปลงไปหาคำตอบในพื้นที่อื่นๆ การศึกษาในครั้งนี้จะมีการเพิ่มขั้นตอนการค้นหาคำตอบเพิ่มเติมเพื่อให้มีการค้นหาคำตอบในพื้นที่อื่นๆ ซึ่งมีโอกาสที่คำตอบที่ได้นี้จะเป็นคำตอบที่ดีที่สุด (global optimal) ได้ ผลการทดลองพบว่าวิธีการหาค่าที่ดีที่สุดแบบปรับปรุงให้ค่าคำตอบที่ดีกว่าวิธีการที่ไม่มีการปรับปรุง วิธีการนี้อาจเป็นวิธีการที่เหมาะสมกับปัญหาที่มีความซับซ้อนมากกว่าวิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง เนื่องจากขั้นตอนในการทำงานน้อยประกอบกับจำนวนพารามิเตอร์น้อยด้วย

ผลการทดลองจากกรณีศึกษาพบว่าวิธีการหาค่าที่ดีที่สุดด้วยฝูงอนุภาคให้ค่าคำตอบที่ดีกว่าวิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง ถ้ามีการนำวิธีการทั้งสองที่ผ่านการปรับปรุงแล้วมาพิจารณาพบว่าคำตอบที่ได้จากวิธีการหาค่าที่ดีที่สุดด้วยฝูงอนุภาคแบบปรับปรุงนั้นให้คำตอบที่มีความใกล้เคียงกับวิธีการแม่นตรงมากกว่าวิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างแบบปรับปรุง ซึ่งอาจเนื่องมาจากวิธีการหาค่าที่ดีที่สุดแบบปรับปรุงเหมาะสมกับปัญหาจากกรณีศึกษาที่เป็นปัญหาขนาดใหญ่และมีความซับซ้อนมากกว่าต้องการที่จะทำให้ต้นทุนในการมอบหมายงาน

เอกสารอ้างอิง

เอกสารอ้างอิง

Ahmad, A. and Shaari, F. "Solving University/Polytechnics Exam Timetable Problem using Particle Swarm Optimization", In **Proceedings of the 10th International Conference on Ubiquitous Information and Communication, January 04-06, 2016**. p.1-4. Danang, Viet Nam: Trier University, 2016.

Anurak, C. and Rapeepan, P. "Particle Swam Optimization for Multi-level Location Allocation Problem Under Supplier Evaluation", In **Proceedings of the Institute of Industrial Engineers Asian Conference**. p.1237-1250. Taiwan: National Taiwan University of Science and Technology (NTUST), 2013.

Brandao, J. A. "Deterministic tabu search algorithm for the fleet size and mix vehicle routing problem", **European journal of operational research**. 195(3): 716-728, 2011.

Brimberg, J. and et al. "Improvements and comparison of heuristics for solving the uncapacitated multisource Weber problem", **Operations research**. 48(3): 444-460, 2000.

Brimberg, J. and Mladenovic, N. "Solving the continuous location-allocation problem with Tabu search", **Studies in Locational Analysis**. 8(23-32): 41, 1996.

Dantzig, G. B. "Application of the simplex method to a transportation problem, in: Activity Analysis of Production and Allocation", In **Proceedings of a Cpnference (Proceedings Conference On Linear Programming, Chicago, Illinois, 1949; Tj.C. Koopmans, ed.)**, **Wiley New York.** p.359-373. New York: John Wiley and Sons, Inc., 1951.

Ernst, A. T. and Krishnamoorthy, M. "Solution algorithms for the capacitated single allocation hub location problem", **Annals of Operations Research**. 86(1): 141-159, 1999.

Fisher, M. L. and Jaikumar, R. "A generalized assignment heuristic for vehicle routing", **Networks**. 11(2): 109-124, 1981.

Ford, L. R. and Fulkerson, D. R. **Project Rand Research Memorandum**. California: Santa Monica, 1956.

Frobenius, F. G. **Ferdinand Georg Frobenius, Gesammelte Abhandlungen, Band III (J.-P. Serre, ed.)**. Berlin: Springer, 1968.

Gendreau, M. and et al. "A tabu search heuristic for the heterogeneous fleet vehicle routing problem", **Computers and Operations Research**. 26(12): 1153-1173, 1999.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

Hegerty, B., Hung, C. and Kasprak, K. **A comparative study on differential evolution and genetic algorithms for some combinatorial problems**. GA, USA: Southern Polytechnic State University, 2009.

Kanchana, S. and Rapeepan, P. "Improved differential evolution algorithms for solving generalized assignment problem", **Expert Systems with Applications**. 45(1): 6277-6486; October, 2015.

Kennedy, J. and Eberhart, R. C. "Particle swarm optimization", In **Proceedings of IEEE International Conference on Neural Networks**. p.1942-1948. Perth: University of Western Australia, 1995.

Khashei-siuki, A. and et al. "EMPSACO: An improved hybrid optimization algorithm based on particle swarm, ant colony and elitist mutation algorithms", **Iranian Journal of Science and Technology Transactions of Civil Engineering**. 37(1): 491-501, 2013.

Konig, D. "Vonalrendszerek es determinansok [Hungarian; Line systems and determinants]", **Mathenatikai es Termeszettudomanyi Ertesito**. 33(1): 221-229, 1915.

Kuenne, R. E. and Soland, R. M. "Exact and approximate solutions to the multisource Weber problem", **Mathematical Programming**. 3(1): 193-209, 1972.

Kuhn, H. W. "The Hungarian method for the assingnment problem", **Naval Research Logistic Quarterly**. 2(1): 83-97, 1956.

Lee, Y. H. and et al. "A heuristic for vehicle fleet mix problem using tabu search and set partitioning", **Journal of the Operational Research Society**. 59(6): 833-841, 2008.

Li, X. and et al. "An adaptive memory programming metaheuristic for the heterogeneous fixed fleet vehicle routing problem", **Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review**. 46(6): 1111-1127, 2010.

Liu, L. and Et al. "The equilibrium generalized Assignment problem and genetic algorithm", **Applied Mathematics and Computation**. 218(11): 6526-6535, 2012.

Ma, W. and et al. "Hybrid particle swarm optimization and differential evolution algorithm for bi-level programming problem and its application to pricing and lot-sizing decisions", **Journal of Intelligent Manufacturing**. 26(3): 471-483, 2012.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

Monge, G. (1784). “Sur le calcul intégral des équations aux differences partielles [On integral calculus of partial differential equations]”, **Mémoires de l’Académie des Sciences**. http://verbit.ru/MATH/TALKS/India/History-MA.pdf. 10 May, 2016.

Murray, A. T. and Church, R. L. “Applying simulated annealing to location-planning models”, **Journal of Heuristics**. 2(1): 31-53, 1996.

Nearchou, A. C. “A differential evolution algorithm for simple assembly line balancing”, **International Federation of Automatic Control**. 5(1): 10-18; October, 2005.

————. “Balancing large assembly lines by a new heuristic based on differential evolution method”, **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**. 34(9): 1016-1029, 2007.

————. “Multi-objective balancing of assembly lines by population heuristics”, **International Journal of Production Research**. 46(8): 180-189, 2008.

Ohlemuller, M. “Tabu search for large location-allocation problems”, **Journal of the Operational Research Society**. 48(7): 745-750, 1997.

Orand, S. M. and et al. “Optimization of the Inflationary Inventory Control Model Under Stochastic Conditions With Simpson Approximation: Particle Swarm Optimization Approach”, **Iranian Journal of Management Studies (IJMS)**. 8(4): 2203-220, 2015.

Paroon, M. and Rapeepan, P. “Evolutionary Algorithm in Differential Evolution (DE) to Solving Multi-Stage Multi–Objective Location Problems: Case Study in Locating Oil Palm Collecting Centers and Palm Oil Factories in Naradhiwas Province, Thailand”, In **Proceeding of the 13th Asia Pacific Industrial Engineering and Management Systems Conference (APIEMS 2012)**. P.78-100. Phuket: Patong Beach, 2012.

Qin, A. K. and et al. “Differential Evolution Algorithm with Strategy Adaptation for Global Numerical Optimization”, **IEEE Transaction on Evolutionary Computational**. 13(2): 89-102, 2009.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

Rapeepan, P. and Kanchana, S. “Particle Swarm Optimization for the heterogeneous fleet capacitated vehicle routing problem when number of service points and demand are varying”, In **Proceedings of the International Conference of Logistic and Supply Chain Management System, June 1-4, 2016. Arizona State University, U.S.A**. p.120-129. Arizona, U.S.A: Arizona State University, 2016.

Ross, G. T. and Soland, R. M. “A branch and bound algoritmn for the generalized Assignment problem”, **Mathematical programming**. 8(1): 91-103, 1975.

Salman, A. and et al. “Pariticle swarm optimization for task assignment problem”, **Microprocessor and Microsystems**. 26(1): 363-371, 2002.

Sergienko, I. V., Hulianytskyi, L. F., and Sirenko, S. I. “Classification of applied methods of combinatorial optimization”, **Cybernetics and Systems Analysis**. 45(1): 734, 2009.

Stehling, T. M. and et al. “A hybrid particle swarm optimization for solving vehicle routing problem with time window”, In **GECCO Companion '15 Proceedings of the Companion Publication of the 2015 Annual Conference on Genetic and Evolutionary Computation, Madrid, Spain, July 11 - 15, 2015**. p.1489-1490. Spain: Universidad Politecnica de Valencia, 2015.

Storn, R. and Price, K. “Differential evolution-a simple and efficient heuristic for global Optimization over continuous spaces”, **Journal of global optimization**. 11(4): 341-359, 1977.

Thongpoon and Rapeepan, P. “Differential Evolution Algorithm Solving a Multi-Objective, Source and Stage Location-Allocation Problem”, **Industrial Engineering and Manufacturing System**. 14(1): 11-21, 2015.

Wikipedia. “Bipartite graph”, **Wikipedia, the free encyclopedia**. http://en.wikipedia.org/wiki/Bipartite_graph. 10 May, 2016.

Hua, X., Hu, X. and Yuan, W. “Research optimization on logistics distribution center location based on adaptive particle swarm optimization algorithm”, **International Journal for Light and Electron Optics**. 127(20): 8443–8450; October, 2016.

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ	นายทรรศิน ศรีวราพงศ์
ประวัติการศึกษา	พ.ศ.2528-2532 วิทยาศาสตร์บัณฑิต (เศรษฐศาสตร์) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
	พ.ศ.2534-2539 เศรษฐศาสตร์มหาบัณฑิต จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ประวัติการทำงาน	พ.ศ.2532-2534 พนักงานสินเชื่อ ธนาคารไทยพาณิชย์ สาขาพลับพลาไชย
	พ.ศ.2536-2538 ผู้ช่วยนักวิจัย ฝ่ายความสัมพันธ์ทางเศรษฐกิจระหว่างประเทศ สถาบันเพื่อการวิจัยพัฒนาประเทศไทย (TDRI)
	พ.ศ.2539-2540 นักเศรษฐศาสตร์ ฝ่ายวิจัย บริษัทหลักทรัพย์กองทุนรวม (MFC)
	พ.ศ.2541-2551 อาจารย์ ภาควิชาเศรษฐศาสตร์ คณะบริหารธุรกิจ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
	พ.ศ.2551-ปัจจุบัน ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาเศรษฐศาสตร์ คณะบริหารธุรกิจ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ตำแหน่ง	ผู้ช่วยศาสตราจารย์
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	ภาควิชาเศรษฐศาสตร์ คณะบริหารธุรกิจ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี อำเภอธัญบุรี จังหวัดปทุมธานี โทรศัพท์ 02-5493240-43