วิธีการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างสำหรับแก้ปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบแบบเส้นตรง ประเภทที่ 1

ภาณุภัณฑ์ ภาระเวช

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
พ.ศ. 2556

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

DIFFERENTIAL EVOLUTION ALGORITHM TO SOLVE SIMPLE ASSEMBLY LINE BALANCING PROBLEM TYPE 1

PANUPUN PARAWECH

A THESIS SUBMITED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENTS

FOR THE DEGREE OF MASTER OF ENGINEERING

MAJOR IN INDUSTRIAL ENGINEERING

FACUTY OF ENGINEERING

UBON RATCHATHANI UNIVERSITY

YEAR 2013

COPYRIGHT OF UBON RATCHATHANI UNIVERSITY

ใบรับรองวิทยานิพนธ์

มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์

เรื่อง วิธีการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างสำหรับปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบแบบเส้นตรง ประเภทที่ 1

ผู้วิจัย นายภาณุภัณฑ์ ภาระเวช

คณะกรรมการสอบ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมบัติ สินธุเชาวน์	ประธานกรรมการ
รองศาสตราจารย์ ดร.ระพีพันธ์ ปิตาคะโส	กรรมการ
ดร.นัทธพงศ์ นันทสำเริง	กรรมการ

อาจารย์ที่ปรึกษา

.....

(รองศาสตราจารย์ ดร.ระพีพันธ์ ปิตาคะโส)

.....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นท แสงเทียน)

คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

.....

(รองศาสตราจารย์ ดร.อุทิศ อินทร์ประสิทธิ์)

รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการ

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

ปีการศึกษา 2556

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ สามารถสำเร็จลุล่วงได้เนื่องด้วยความช่วยเหลือและความกรุณาอย่างดียิ่งจาก รองศาสตราจารย์ ดร. ระพีพันธ์ ปีตาคะโส อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รวมถึงผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมบัติ สินธุเชาวน์ และ ดร.นัทธพงศ์ นันทสำเริง คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาสละเวลาอันมีค่าสั่งสอนและช่วยเหลือให้คำแนะนำเสนอข้อคิดเห็นข้อบกพร่องที่เป็นประโยชน์ ในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนสำเร็จลงได้ด้วยดี ผู้วิจัยจึงขอขอบพระคุณท่านอาจารย์ ทุกท่านเป็นอย่างสูง ณ โอกาสนี้

นอกจากนี้ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณกลุ่ม Metaheuristics for Logisitcs Optimization Laboratory ที่มี รองศาสตราจารย์ ดร.ระพีพันธ์ ปีตาคะโส เป็นที่ปรึกษา ซึ่งได้ช่วยเหลือให้คำปรึกษาต่างๆเป็นอย่างดีเสมอมาทุกท่าน รวมถึงโรงงานกรณีศึกษาที่เอื้อเฟื้อข้อมูลและสถานที่ในการเก็บข้อมูลและให้การสนับสนุนเป็นอย่างดี

ขอขอบพระคุณบิดา มารดาและภรรยา ที่ได้ให้การสนับสนุนทุนการศึกษา คำปรึกษาและกำลังใจแก่ข้าพเจ้าเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา ท้ายนี้ผู้วิจัยหวังว่า วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะเป็นประโยชน์สำหรับผู้ที่สนใจทุกท่าน ในการนำข้อมูลไปใช้ให้เกิดประโยชน์ต่างๆ

(นายภาณุภัณฑ์ ภาระเวช)

ผู้วิจัย

บทคัดย่อ

ชื่อเรื่อง : วิธีการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างสำหรับแก้ปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบแบบเส้นตรงประเภทที่ 1

โดย : ภาณุภัณฑ์ ภาระเวช

ชื่อปริญญา : วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา : วิศวกรรมอุตสาหการ

ประธานกรรมการที่ปรึกษา : รองศาสตราจารย์ ดร. ระพีพันธ์ ปิตาคะโส

ศัพท์สำคัญ : การจัดสมดุลสายการประกอบแบบเส้นตรงประเภทที่ 1
วิธีการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง

งานวิจัยฉบับนี้นำเสนอวิธีการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง (Differential Evolution: DE) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพสายการประกอบแบบเส้นตรง โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อหาจำนวนสถานีงานน้อยที่สุด จึงจัดเป็นปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบแบบเส้นตรงประเภทที่ 1 (Simple Assembly Line Balancing Problem Type 1: SALBP-1) ซึ่งวิธีการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างจะทำการสร้างเวกเตอร์เริ่มต้นโดยการสุ่มจำนวนจริง จากนั้นจะทำการปรับปรุงคำตอบโดยการปรับเปลี่ยนพิกัด แลกเปลี่ยนพิกัด และทำการคัดเลือก โดยงานวิจัยนี้ได้ประยุกต์ใช้วิธีปรับเปลี่ยนพิกัด 3 วิธีคือ “DE/rand”, “DE/Best/1” และ “DE/rand-to-best/1” มาใช้ร่วมกับวิธีแลกเปลี่ยนพิกัด 2 วิธี คือ Binomial Crossover และ Exponential Crossover 2 Position ในการจัดสมดุลสายการประกอบแบบเส้นตรงประเภทที่ 1 สำหรับชุดปัญหาของ Talbot สามารถพบคำตอบที่ดีที่สุดครบทั้ง 64 ปัญหา สำหรับชุดปัญหาของ Scholl สามารถพบคำตอบที่ดีที่สุด 100 ปัญหา จาก 168 ปัญหา และปัญหากรณีศึกษา สามารถลดสถานีงานเหลือ 13 สถานี จาก 19 สถานี ซึ่งจากการทดลองพบว่าสำหรับปัญหาที่มีขนาดใหญ่และมีความซับซ้อนของปัญหามาก การนำวิธี “DE/rand-to-best/1” มาใช้ร่วมกับวิธี Exponential Crossover 2 Position มีประสิทธิภาพมากที่สุด

ABSTRACT

PTITLE : DIFFERENTIAL EVOLUTION ALGORITHM TO SOLVE SIMPLE ASSEMBLY LINE BALANCING PROBLEM TYPE 1

BY : PANUPUN PARAWECH

DEGREE : MASTER ENGINEERING

MAJOR : INDUSTRIAL ENGINEERING

CHAIR : ASSOC. PROF.RAPEERAN PITAKASO, Ph.D.

KEYWORDS : SIMPLE ASSEMBLY LINE BALANCING PROBLEM TYPE 1 DIFFERENTIAL EVOLUTION

This thesis presents differential evolution (DE) for enhancing simple assembly line balancing efficiency. We aimed to obtain minimum workstations (m); thus, this problem is categorized as simple assembly line balancing problem type 1 (SALBP-1). The algorithm will begin by randomly generation initial vector from real numbers, then optimizing the obtained vectors by mutation, crossover, and selection. In this thesis, we applied 3 mutation methods: "DE/rand", "DE/Best/1", and "DE/rand-to-best/1" accompanied by 2 crossover methods: Binomial Crossover and Exponential Crossover 2 Position. Our simple assembly line balancing problem type 1 (SALBP-1) gets optimized results from all of 64 problems from data set of Talbot's problems, 100 of 168 from data set of scholl's problems. In a case study, we can minimize workstations from 19 to 13. From the experiments, we found that large-scaled problems were efficiently solved by an application of "DE/rand-to-best/1" together with Exponential Crossover 2 Position.

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	**ก**
บทคัดย่อภาษาไทย	**ข**
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	**ค**
สารบัญ	**ง**
สารบัญตาราง	**ช**
สารบัญภาพ	**ฌ**
บทที่	
1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 สมมุติฐานของการวิจัย	2
1.4 ขอบเขตของการวิจัย	3
1.5 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย	3
1.6 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย	3
1.7 ระยะเวลาการดำเนินการวิจัย	4
2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 การผลิต	5
2.1.1 แบ่งประเภทตามลักษณะระบบการผลิต	5
2.1.2 แบ่งประเภทตามลักษณะกระบวนการผลิต	6
2.1.3 แบ่งประเภทตามจำนวนชนิดของสินค้า	7
2.2 หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการจัดสมดุลสายการประกอบ	9
2.2.1 การจัดสมดุลสายการประกอบ (Assembly Line Balancing)	9
2.2.2 ประเภทของปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบ	11
2.2.3 ปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบแบบเส้นตรง (Simple Assembly Line Balancing Problem: SALBP)	11

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.2.4 ปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบแบบทั่วไป
(General Assembly Line Balancing Problem: GALBP) 12

2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการจัดสมดุลสายการประกอบ 14

2.4 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับวิธีการวิวัฒนาการ โดยใช้ผลต่าง 21

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวิธีการวิวัฒนาการ โดยใช้ผลต่าง 22

3 วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย 24

3.2 ศึกษาปัญหา SALBP-1 ของโรงงานกรณีศึกษา 25

3.3 ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 25

3.4 ปรับปรุงและพัฒนาวิธีการปรับปรุงคำตอบ
ของวิธีการวิวัฒนาการ โดยใช้ผลต่าง 26

3.5 ทดสอบและเปรียบเทียบวิธีการปรับปรุงคำตอบ
ของวิธีการวิวัฒนาการ โดยใช้ผลต่าง 26

3.6 สรุปและวิเคราะห์ผลการทดลอง 27

**4 วิธีการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างสำหรับการจัดสมดุลสายการประกอบ
แบบเส้นประเภทที่ 1**

4.1 "DE/rand" ร่วมกับ Binomial crossover 30

4.2 "DE/Best/1" ร่วมกับ Binomial crossover 35

4.3 "DE/rand-to-best/1" ร่วมกับ Binomial crossover 38

4.4 "DE/rand/" ร่วมกับ Exponential crossover 2 position 40

4.5 "DE/Best/1" ร่วมกับ Exponential crossover 2 position 42

4.6 "DE/rand-to-best/1" ร่วมกับ Exponential crossover 2 position 44

4.7 ผลการทดลองวิธีการวิวัฒนาการ โดยใช้ผลต่างสำหรับชุดปัญหา
การจัดสมดุลสายการประกอบแบบเส้นประเภทที่ 1 46

4.7.1 ชุดปัญหาของ Talbot 46

4.7.2 ชุดปัญหาของ Scholl 49

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

5 วิธีการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างสำหรับการจัดสมดุลสายการประกอบกรณีศึกษา

5.1 กรณีศึกษา 57

5.2 ผลการทดลองวิธีการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง สำหรับปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบกรณีศึกษา 60

6 สรุปผลการวิจัย

6.1 เปรียบเทียบวิธีการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างที่ประยุกต์ขึ้น โดยทดลองกับชุดปัญหาของ Talbot 64

6.2 เปรียบเทียบวิธีการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างที่ประยุกต์ขึ้น โดยทดลองกับชุดปัญหาของ Scholl 66

6.3 เปรียบเทียบวิธีการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างที่ประยุกต์ขึ้น โดยทดลองกับปัญหากรณีศึกษา 67

6.4 สรุปผลการวิจัย 69

เอกสารอ้างอิง 72

ภาคผนวก 76

ประวัติผู้วิจัย 83

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 แผนการดำเนินการวิจัย	4
4.1 ผลการสร้างคำตอบเริ่มต้นของปัญหา โดยกำหนดให้มี 5 เวกเตอร์	30
4.2 ผลการ Mutation เวกเตอร์ที่ 1 โดยใช้วิธี “DE/rand”	32
4.3 ผลการ Binomial crossover เวกเตอร์ที่ 1 ที่ใช้ร่วมกับวิธี “DE/rand”	33
4.4 ผลการจัดสมดุลสายการประกอบโดยใช้ค่า Trial Vector จากตารางที่ 4.3	33
4.5 ผลการเปรียบเทียบเวลาที่พบคำตอบที่ดีที่สุดระหว่างการเลือก Trial Vector หรือ Target Vector เป็นประชากรในรุ่นต่อไป	34
4.6 ผลการ Mutation เวกเตอร์ที่ 1 โดยใช้วิธี “ DE/Best/1 ”	36
4.7 ผลการ Binomial crossover เวกเตอร์ที่ 1 ที่ใช้ร่วมกับวิธี “DE/best/1”	37
4.8 ผลการจัดสมดุลสายการประกอบโดยใช้ค่า Trial Vector จากตารางที่ 4.7	37
4.9 ผลการ Mutation เวกเตอร์ที่ 1 โดยใช้วิธี “DE/rand-to-best/1”	38
4.10 ผลการ Binomial crossover เวกเตอร์ที่ 1 ที่ใช้ร่วมกับ วิธี “DE/rand-to-best/1”	39
4.11 ผลการจัดสมดุลสายการประกอบโดยใช้ค่า Trial Vector จากตารางที่ 4.10	40
4.12 ผลการ Exponential crossover 2 position เวกเตอร์ที่ 1 ที่ใช้ร่วมกับ วิธี “DE/rand”	41
4.13 ผลการจัดสมดุลสายการประกอบโดยใช้ค่า Trial Vector จากตารางที่ 4.12	42
4.14 ผลการ Exponential crossover 2 position เวกเตอร์ที่ 1 ที่ใช้ร่วมกับ วิธี “DE/Best/1”	43
4.15 ผลการจัดสมดุลสายการประกอบโดยใช้ค่า Trial Vector จากตารางที่ 4.14	43
4.16 ผลการ Exponential crossover 2 position เวกเตอร์ที่ 1 ที่ใช้ร่วมกับ วิธี “DE/rand-to-best/1”	44
4.17 ผลการจัดสมดุลสายการประกอบโดยใช้ค่า Trial Vector จากตารางที่ 4.16	45
4.18 ผลเปรียบเทียบระหว่างทั้ง 6 วิธีสำหรับชุดปัญหาของ Talbot	47
4.19 ผลการจัดจัดสมดุลสายกการประกอบชุดปัญหาของ Scholl ของทั้ง 6 วิธี	50

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
5.1 เวลาและลำดับงานก่อนหลังแต่ละขั้นตอนงานของสายการผลิตกรณีศึกษา	59
5.2 สถานีงานของสายการประกอบกรณีศึกษาก่อนปรับปรุง	60
5.3 ผลการจัดสมดุลสายการประกอบกรณีศึกษาด้วย วิธีการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง	61
5.4 ผลเปรียบเทียบเวลาระหว่าง 6 วิธี ที่พบคำตอบที่เหมาะสม	62
6.1 จำนวนปัญหาที่พบคำตอบที่ดีที่สุดในเวลาที่เร็วที่สุดระหว่างทั้ง 6 วิธี	65
6.2 จำนวนปัญหาที่มีผลคำตอบที่ดีกว่าในระหว่างทั้ง 6 วิธี	66
6.3 เวลาเฉลี่ยที่พบคำตอบที่ 13 สถานี ระหว่างทั้ง 6 วิธี	68
ผ.1 ผลการทดลองหาค่า Weighting Factor (F) ที่เหมาะสม	77
ผ.2 ผลการทดลองหาค่า Crossover rate (Cr) ที่เหมาะสม	79
ผ.3 ผลการทดลองหาค่า Number population (Np) ที่เหมาะสม	81

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 การผลิตแบบต่อเนื่อง	6
2.2 สายการประกอบที่แบ่งกระบวนการผลิตตามจำนวนชนิดของสินค้า	7
2.3 สายการประกอบเย็บเสื้อผ้าโรงงานกรณีศึกษาเป็นการผลิตแบบสินค้าชนิดเดียว	8
2.4 สายการประกอบชิ้นส่วนเครื่องปรับอากาศเป็นการผลิตแบบสินค้าหลายชนิด	8
2.5 สายการประกอบเครื่องปรับอากาศที่มีความหลากหลายของรุ่น เป็นการผลิตสินค้าแบบผสม	8
2.6 แผนภาพลำดับงานก่อน-หลัง	10
2.7 ประเภทของปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบ	11
2.8 ตัวอย่างการจัดสมดุลสายการประกอบแบบเส้นตรงและการคำนวณประสิทธิภาพ	13
3.1 ลำดับขั้นตอนดำเนินงานวิจัย	24
4.1 Flow chart ขั้นตอนการทำงานของวิธีการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง	29
4.2 แผนภาพลำดับงานก่อน-หลังของปัญหาตัวอย่าง	30
5.1 แผนภาพลำดับงานก่อนหลังของปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบกรณีศึกษา	58
5.2 กราฟแสดงเวลาที่พบคำตอบที่ดีที่สุดสำหรับปัญหากรณีศึกษาของ ทั้ง 6 วิธี	63
6.1 เปรียบเทียบผลระหว่างวิธีการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างที่ผู้วิจัย กับ Andreas นำเสนอสำหรับชุดปัญหาของ Talbot	64
6.2 เปรียบเทียบจำนวนปัญหาที่พบคำตอบที่ดีที่สุดในเวลาที่เร็วที่สุดระหว่างทั้ง 6 วิธี	65
6.3 เปรียบเทียบผลระหว่างวิธีการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างของผู้วิจัย กับวิธีเลียนแบบการอบอ่อนที่ Predro นำเสนอสำหรับชุดปัญหาของ Scholl	66
6.4 เปรียบเทียบจำนวนปัญหาที่มีผลคำตอบที่ดีกว่าในระหว่างทั้ง 6 วิธี	67
6.5 จำนวนสถานีงานของปัญหากรณีศึกษาก่อนและหลังการปรับปรุงด้วยวิธีการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง	68
6.6 เปรียบเทียบเวลาเฉลี่ยที่ใช้ในการค้นพบคำตอบที่ 13 สถานี ระหว่างทั้ง 6 วิธี	68

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ **หน้า**

ผ.1 ผลวิธีการทางสถิติ Two-way ANOVA ของการหาค่า F ที่เหมาะสม 78
ผ.2 กราฟแสดงเวลาเฉลี่ยของค่า F แต่ละค่า 78
ผ.3 ผลวิธีการทางสถิติ Two-way ANOVA ของการหาค่า Cr ที่เหมาะสม 80
ผ.4 กราฟแสดงเวลาเฉลี่ยของค่า Cr แต่ละค่า 80
ผ.5 ผลวิธีการทางสถิติ Two-way ANOVA ของการหาค่า Np ที่เหมาะสม 82
ผ.6 กราฟแสดงเวลาเฉลี่ยของค่า Np แต่ละค่า 82

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในสภาพปัจจุบันธุรกิจในอุตสาหกรรมมีการแข่งขันสูงขึ้นเพื่อตอบสนองความต้องการของลูกค้า โดยเฉพาะในปี พ.ศ. 2558 ที่จะมีกลุ่มประชาคมอาเซียน (Asean Economic Community: AEC) ซึ่งจะทำให้โรงงานอุตสาหกรรมประสบกับปัจจัยความเสี่ยงต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นต้นทุนการผลิตที่เพิ่มขึ้น ค่าเงินบาทที่มีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา ค่าขนส่ง รวมถึงค่าแรงขั้นต่ำในประเทศไทยที่ปรับตัวสูงขึ้น จึงทำให้เกิดคู่แข่งจากประเทศเพื่อนบ้านที่มีค่าแรงต่ำกว่า เช่น เวียดนาม พม่า กัมพูชา ดังนั้นองค์กรที่มีการบริหารจัดการที่ดีย่อมได้เปรียบทางการค้าและคู่แข่งมากกว่า ซึ่งในโรงงานอุตสาหกรรมนั้นกระบวนการผลิตในสายงานการประกอบถือเป็นกิจกรรมหลักขององค์กรที่ก่อให้เกิดมูลค่า การจัดสมดุลสายการประกอบในกระบวนการผลิตที่ดีย่อมส่งผลให้องค์กรมีประสิทธิภาพ สามารถตอบสนองความต้องการของลูกค้าและลดต้นทุนให้กับองค์กร

การจัดสมดุลสายการประกอบ คือ การกำหนดขั้นตอนงานให้กับแต่ละสถานีงาน โดยมีเงื่อนไขให้เวลาในแต่ละสถานีงานต้องไม่เกินรอบเวลาการผลิต (Cycle Time) และไม่ขัดต่อลำดับความสัมพันธ์ก่อน-หลัง ซึ่งการจัดสมดุลสายการประกอบที่มีประสิทธิภาพนั้นสามารถทำให้ไม่เกิดคอขวดและเวลาว่างงานในสายการผลิต รวมถึงใช้เวลาในการผลิตที่สั้นกว่าทำให้สามารถลดต้นทุนการผลิตในองค์กรที่ก่อให้เกิดมูลค่า ผู้วิจัยจึงเลือกศึกษาสายการผลิตเสื้อแจ็คเก็ตเด็กในโรงงานกรณีศึกษาแห่งหนึ่งในจังหวัดอุบลราชธานี ซึ่งเป็นสายการผลิตที่มีประสิทธิภาพต่ำผลิตสินค้าไม่ได้ตามเป้าหมายที่ลูกค้าต้องการและพบว่ามีระบบการผลิตแบบต่อเนื่องและสายการผลิตเป็นแบบเส้นตรงที่มีขั้นตอนงาน 52 งาน มีรอบเวลาการผลิต 2.95 นาที จึงจัดเป็นปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบแบบเส้นตรงประเภทที่ 1 (Simple Assembly Line Balancing Problem Type 1: SALBP-1)

จากการทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่าวิธีการเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm: GA) เป็นวิธีที่มีผู้วิจัยนิยมนำมาใช้อย่างแพร่หลายกับปัญหาทางด้านวิศวกรรม รวมถึงปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบ ได้แก่ การประยุกต์ใช้เจนเนติกอัลกอริทึมในการจัดสมดุลสายการประกอบ

แบบผลิตภัณฑ์ผสม (จงกล เอี่ยมมิ, 2543) การแก้ปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบโดยวิธี TSGA (สุภาภรณ์ สุวรรณรังสี และคณะ, 2550) การเพิ่มผลิตภาพด้วยเทคนิคการจัดสมดุลสายการประกอบโดยวิธีการทางพันธุกรรม (กษิดิศ แสงเดือน และคณะ, 2550) การจัดสมดุลสายงานการประกอบโดยใช้วิธีการทางพันธุกรรมร่วมกับเทคนิคการสลับที่แบบสุ่ม (สุภาภรณ์ สุวรรณรังสี และคณะ, 2551)

ซึ่งจากการศึกษาเพิ่มเติมพบว่าวิธีการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างนั้นสามารถให้คำตอบที่ดีเทียบเท่ากับวิธีการเชิงพันธุกรรม แต่จะใช้เวลาที่เร็วกว่า ผู้วิจัยจึงได้เลือกศึกษาบทความที่ใช้วิธีการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง ซึ่งพบว่ามีผู้ออกแบบไว้สำหรับปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบแบบเส้นตรงประเภทที่ 1 แต่ยังไม่มีประสิทธิภาพมากนัก เนื่องจากวิธีที่มีผู้ออกแบบไว้นั้นจะมีโอกาสทำให้คำตอบเริ่มต้นเป็นคำตอบที่ไม่เป็นจริงและต้องมีการพัฒนาซ่อมแซมคำตอบในภายหลัง ดังนั้นผู้วิจัยจึงพัฒนาวิธีการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง เพื่อให้มีประสิทธิภาพมากขึ้นกว่าอัลกอริทึมเดิมที่มีผู้ออกแบบไว้ โดยมีการสร้างคำตอบที่เป็นจริงตั้งแต่คำตอบเริ่มต้นทำให้ไม่ต้องมีการซ่อมแซมคำตอบในภายหลัง ซึ่งจะช่วยลดเวลาในการหาคำตอบและสามารถใช้แก้ปัญหาสายการผลิตของโรงงานกรณีศึกษาดังกล่าวอีกด้วย

1.2 วัตถุประสงค์

เพื่อปรับปรุงและประยุกต์ใช้วิธีการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างสำหรับแก้ปัญหาและหาคำตอบที่ดีที่สุดในปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบแบบเส้นตรงประเภทที่1 สำหรับชุดปัญหาของ Talbot ชุดปัญหาของ Scholl และปัญหาสายการประกอบกรณีศึกษา

1.3 สมมุติฐานของการวิจัย

วิธีการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างที่ประยุกต์ขึ้นสามารถแก้ปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบได้อย่างมีประสิทธิภาพ สามารถพบผลคำตอบที่ดีกว่าหรือเทียบเท่ากับวิธีการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างที่มีผู้ออกแบบไว้สำหรับชุดปัญหาของ Talbot และให้ผลคำตอบที่ดีกว่าหรือเทียบเท่ากับวิธีเลียนแบบการอบอ่อน (Simulated Annealing: SA) สำหรับชุดปัญหาของ Scholl รวมถึงสามารถให้ผลคำตอบที่เหมาะสมและดีกว่าสายการผลิตปัจจุบันของโรงงานกรณีศึกษา

1.4 ขอบเขตของการวิจัย

ทำการศึกษาเฉพาะปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบแบบเส้นตรงประเภทที่ 1 ซึ่งมีการผลิตสินค้าชนิดเดียว ของโรงงานผลิตกรณีศึกษาโดยเลือกศึกษาเฉพาะสายการผลิตเสื้อแจ็คเก็ตเด็กมีหมวก รุ่น 660284 และใช้ระยะเวลาในการเก็บข้อมูลตั้งแต่เดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2555 ถึงเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2556 จากนั้นทำการปรับปรุงและพัฒนาวิธีการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างแล้วนำไปแก้ปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบแบบเส้นตรงประเภทที่ 1 สำหรับชุดปัญหา Talbot ชุดปัญหาของ Scholl (ข้อมูลจาก www.assembly-line-balancing.de) และปัญหากรณีศึกษาเพื่อวิเคราะห์และเปรียบเทียบระหว่างวิธีการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างที่ปรับปรุงและประยุกต์ขึ้นทั้ง 6 วิธี โดยพิจารณาจำนวนปัญหาและเวลาที่ใช้ในการค้นพบคำตอบที่ดีที่สุดในระหว่างทั้ง 6 วิธี

1.5 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

โดยมีขั้นตอนการดำเนินงานดังนี้

1.5.1 ศึกษาสายการผลิตของโรงงานกรณีศึกษา

1.5.2 ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1.5.3 ประยุกต์ใช้วิธีการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง

1.5.4 ทอสอบวิธีการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างกับชุดปัญหา Talbot ชุดปัญหาของ Scholl และปัญหากรณีศึกษา

1.5.5 สรุปและวิเคราะห์ผลการทดลอง

1.5.6 จัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์ และนำเสนองานวิจัย

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย

1.6.1 สามารถวิเคราะห์และนำวิธีการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างที่ปรับปรุงและประยุกต์ขึ้นใช้กับลักษณะของปัญหาที่มีความซับซ้อนและขนาดที่ต่างกันได้อย่างเหมาะสม

1.6.2 ลดความยุ่งยากซับซ้อนในการแก้ปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบแบบเส้นตรงประเภทที่ 1

1.6.3 สามารถใช้วิธีการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างเพิ่มประสิทธิภาพให้กับสายการผลิตของโรงงานกรณีศึกษา

1.6.4 เป็นแนวทางในการตัดสินใจจัดสถานีงานและจัดระบบสายงานการประกอบในโรงงานกรณีศึกษาให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

1.7 ระยะเวลาในการดำเนินการวิจัย

ตารางที่ 1.1 แผนการดำเนินงานวิจัย

ขั้นตอนการดำเนินงาน	ภาคการศึกษา / ปีการศึกษา									
	2555				2556				2556	
	2/2555				1/2556				2/2556	
	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	พ.ย.	ธ.ค.
1. ทบทวนและศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง										
2. ศึกษาวิธีการจัดสมดุลสายการประกอบและเก็บข้อมูลจากโรงงานกรณีศึกษา										
3. ศึกษาและพัฒนาวิธีการ DE สำหรับการจัดสมดุลสายการประกอบแบบเส้นตรงประเภทที่ 1										
4. ทดสอบวิธีการ DE ที่พัฒนาขึ้นกับชุดปัญหาของ Talbot , Scholl และปัญหากรณีศึกษา										
5. เปรียบเทียบและสรุปผลการทดลอง										
6. จัดทำรูปเล่มวิจัยฉบับสมบูรณ์										

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการจัดสมดุลสายการประกอบและวิธีการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง

2.1 การผลิต

สามารถแบ่งประเภทตามลักษณะระบบการผลิต กระบวนการผลิต และจำนวนชนิดของสินค้า ดังนี้

2.1.1 แบ่งประเภทตามลักษณะระบบการผลิต

2.1.1.1 การผลิตแบบไม่ต่อเนื่อง (Intermittent Production) เป็นการผลิตที่วัตถุดิบไม่เลื่อนไหลไปตามสายการผลิต การผลิตจะผลิตเป็นช่วง ๆ สามารถจะผลิตสินค้าได้หลายชนิด โดยจะจัดซื้อเครื่องจักร เครื่องมือเป็นกลุ่ม ๆ เช่น งานเจาะจะอยู่กลุ่มงานเจาะ งานทำสีก็จะอยู่กลุ่มของงานสี เป็นต้น จะผลิตสินค้าครั้งละมาก ๆ ก็ได้ ไม่มากก็ได้ ผลิตภัณฑ์จะทำเป็นชิ้น ๆ จะทำทีละขั้นตอน เมื่อเสร็จเรียบร้อยในแต่ละขั้นตอนแล้วก็นำมาประกอบกันเป็นสินค้าที่ต้องการ เช่น การทำเฟอร์นิเจอร์ ตู้ เตียง เก้าอี้ การซ่อมรถยนต์ อุปกรณ์น็อกดาวน์ งานก่อสร้างต่าง ๆ เป็นต้น ระบบการผลิตเป็นไปตามความเหมาะสมของผู้ดำเนินงานการติดตั้งเครื่องจักร ก็จะติดตั้งตามกรรมวิธีการผลิต จึงเป็นผลทำให้มีความต้องการการใช้พื้นที่ในการเก็บวัสดุในการผลิตมากขึ้น ทั้งนี้เพราะการผลิตระบบนี้มีจุดพักงานหลายจุดและในการผลิตแบบนี้ผู้ผลิตจะต้องกำหนดวิธีการขนย้ายวัสดุให้เหมาะสมจึงจะทำให้การผลิตมีประสิทธิภาพและในการวางระบบการผลิตแบบช่วงตอนนี้จะก่อให้เกิดประสิทธิภาพที่ผู้ผลิตจะต้องกำหนดแนวทางการวางผังโรงงานให้สอดคล้องกับระบบการผลิตด้วย

2.1.1.2 การผลิตแบบต่อเนื่อง (Continuous Production) เป็นกระบวนการผลิตแบบต่อเนื่องหรือการผลิตทีละชิ้น คือ แนวคิดในการผลิตและเคลื่อนย้ายงานที่ต่อเนื่อง โดยไม่มีการหยุดการรอ หรือการสะสมของงานระหว่างผลิต ทำให้ระยะเวลาระหว่างการผลิตสั้นลง ต่างจากการผลิตแบบเดิม คือ กระบวนการผลิตแบบไม่ต่อเนื่อง ซึ่งผลิตเป็นรุ่นจำนวนมาก และใช้เวลาระหว่างการผลิตยาวนานกว่า สำหรับการผลิตแบบต่อเนื่อง เมื่อพนักงานที่รับผิดชอบกระบวนการ A ทำงานเสร็จ ก็จะส่งชิ้นงานต่อไปยังกระบวนการ B และ C ซึ่งอยู่ถัดไปทันทีโดย

ไม่ต้องรอให้ครบจำนวน โดยไม่ต้องนำไปใส่รวมในกระบะ การผลิตแบบนี้เรียกว่า " การผลิตแบบไหลต่อเนื่องทีละชิ้น" (One Piece Flow) ดังแสดงในภาพที่ 2.1

ภาพที่ 2.1 การผลิตแบบต่อเนื่อง (วิลาสินี ศิริธร และสุธินี พันธุจิต, 2552)

ซึ่งการผลิตแบบต่อเนื่องยังสามารถแบ่งกระบวนการผลิตตามชนิดของการผลิตและตามจำนวนชนิดของสินค้า ได้ดังนี้

2.1.2 แบ่งประเภทตามลักษณะกระบวนการผลิต

2.1.2.1 สายการผลิตแบบส่งถ่าย (Transfer Line)

จะอาศัยการทำงานของเครื่องจักรอัตโนมัติ เพื่อส่งถ่ายวัสดุและชิ้นงาน แรงงานคนที่ใช้ส่วนใหญ่จะเป็นการควบคุมการทำงานของเครื่องจักร ไม่ว่าแผนการผลิตจะมีการเปลี่ยนแปลงอย่างไรสายการผลิตจะไม่มีการเปลี่ยนแปลง กำลังการผลิตจะคงที่และผลผลิตขึ้นอยู่กับชั่วโมงการทำงานของเครื่องจักร เช่น การผลิตสุรา การกลั่นน้ำมัน เป็นต้น

2.1.2.2 สายการผลิตแบบงานประกอบ (Assembly Line)

สายการผลิตแบบงานประกอบ ส่วนใหญ่จะใช้แรงงานคนเป็นหลักในการประกอบชิ้นส่วนต่างๆเข้าด้วยกัน โดยใช้คนประจำในสถานีต่างๆและสามารถปรับเปลี่ยนชนิดของเครื่องจักรในแต่ละสถานีงานได้ตามลักษณะการทำงานและพื้นที่ในการทำงาน ซึ่งการผลิตแบบนี้สามารถเปลี่ยนแปลงสายการผลิตในสถานีต่างๆ เพื่อให้สอดคล้องกับแผนการผลิต เช่น โรงงานตัดเย็บเสื้อผ้า เครื่องใช้ไฟฟ้า เป็นต้น

2.1.3 แบ่งประเภทตามจำนวนชนิดของสินค้า

2.1.3.1 การผลิตแบบสินค้าชนิดเดียว (Single Model line)

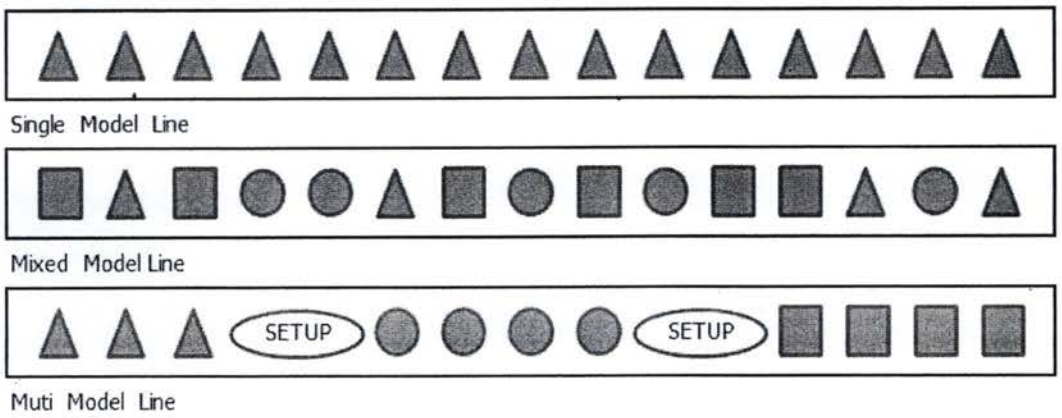
จะเป็นสายการผลิตผลิตภัณฑ์ชนิดใดชนิดหนึ่งเพียงสินค้าเดียวโดยเฉพาะ และเป็นผลิตภัณฑ์รูปแบบเดียว ซึ่งเป็นสินค้าที่มีความต้องการจากลูกค้ามากจึงทำให้สายการผลิตสามารถผลิตสินค้าชนิดเดียวได้ตลอดเวลา

2.1.3.2 การผลิตแบบสินค้าแบบผสม (Mixed Model line)

เป็นสายการผลิตที่ผลิตผลิตภัณฑ์ตั้งแต่ 2 ชนิดขึ้นไปเหมือนกับการผลิตแบบสินค้าหลายชนิด แต่จะต่างกันตรงที่วัตถุดิบต่างๆจะเข้าไปในสายการผลิตพร้อมๆกันและจะผลิตสินค้าต่างชนิดพร้อมๆกัน ไม่มีการแบ่งว่าต้องทำผลิตภัณฑ์ชุดไหนก่อน และระหว่างการผลิตจะไม่มีการปรับเปลี่ยนสายการผลิตใหม่

2.1.3.3 การผลิตแบบสินค้าแบบหลายชนิด (Multi Model line)

เป็นสายการผลิตที่ผลิตผลิตภัณฑ์ตั้งแต่ 2 ชนิดขึ้นไป ซึ่งผลิตภัณฑ์แต่ละชนิดจะมีกระบวนการผลิตที่ใกล้เคียงกัน สามารถผลิตบนสายงานประกอบเดียวกันได้ โดยในการผลิตจะผลิตที่ละชุดผลิตภัณฑ์ และในช่วงที่มีการเปลี่ยนผลิตภัณฑ์อาจจะต้องมีการปรับเปลี่ยนสายการผลิตใหม่



ภาพที่ 2.2 สายการประกอบที่แบ่งกระบวนการผลิตตามจำนวนชนิดของสินค้า
(นุชสรา เกรียงกรกฎ และคณะ, 2553)

ภาพที่ 2.3 สายการประกอบเย็บเสื้อผ้าโรงงานกรณีศึกษาเป็นการผลิตแบบสินค้าชนิดเดียว

ภาพที่ 2.4 สายการประกอบชิ้นส่วนเครื่องปรับอากาศเป็นการผลิตแบบสินค้าหลายชนิด (daikinthai, 2012)

ภาพที่ 2.5 สายการประกอบเครื่องปรับอากาศที่มีความหลากหลายของรุ่นเป็นการผลิตสินค้าแบบผสม (daikinthai, 2012)

2.2 หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการจัดสมดุลสายการประกอบ

2.2.1 การจัดสมดุลสายการประกอบ (Assembly Line Balancing)

การจัดสมดุลสายการประกอบ หมายถึง การจัดรูปแบบสถานีงานในระบบสายงานการประกอบแบบต่อเนื่อง ชิ้นส่วนผลิตภัณฑ์ที่จะทำการประกอบจะเคลื่อนย้ายตามสถานีงานต่างๆ เมื่อชิ้นส่วนผลิตภัณฑ์ดังกล่าวเข้าสู่สถานีงานและมีการประกอบในสถานีนั้นเกิดขึ้นตามลำดับงานก่อนหลัง เมื่อหมดขั้นตอนการประกอบในสถานีนั้นแล้วชิ้นส่วนนั้นจะเคลื่อนย้ายไปยังสถานีถัดไป ในขณะเดียวกันที่สถานีเดิมก็จะมีชิ้นส่วนผลิตภัณฑ์หน่วยถัดไปเข้ามาแทน

ดังนั้นการจัดสมดุลสายการประกอบจึงเป็นการพยายามจัดสถานีงานต่างๆให้มีอัตราการผลิตให้ใกล้เคียงกันมากที่สุด ซึ่งอัตราการผลิตนั้นจะถูกกำหนดโดยเวลาการทำงานของสถานีที่ใช้เวลามากที่สุดหรือใช้เวลาในการผลิตช้าที่สุด เรียกว่า รอบเวลาการผลิต (Cycle Time) ซึ่งหมายถึงเวลาระหว่างที่สินค้าเสร็จออกมาแต่ละชิ้น โดยในองค์กรที่ลูกค้าระบุความต้องการหรือเป้าหมายในการผลิตอาจจะใช้เป้าหมายนั้นมาใช้เป็นรอบเวลาการผลิต เช่น ลูกค้าต้องการ 155 ตัว/วัน 1 วันทำงาน 8 ชั่วโมง ดังนั้นจะต้องผลิตสินค้า 3.1 ตัวต่อนาที คิดค่าสูญเสีย 5 เปอร์เซ็นต์ ทำให้ได้รอบเวลาการผลิตขององค์กรนี้คือ 2.95 นาที ฉะนั้นสถานีงานที่ใช้เวลาน้อยกว่าจะทำให้เกิดการอคอยเป็นจุดคอขวดที่มีปริมาณชิ้นส่วนผลิตภัณฑ์ค้างรอที่จะผ่านสถานีที่ช้านั้น เกิดเวลาว่างงาน (Idle Time : ID) ซึ่งเราจะต้องพยายามทำให้เกิดขึ้นน้อยที่สุด

ในการจัดสมดุลสายการประกอบ จะเป็นการพยายามจัดสถานีงานต่างๆให้มีอัตราการทำงานหรือเวลาที่ใช้ในการผลิตสินค้าแต่ละชิ้นเท่าๆกันมากที่สุด ซึ่งจะเริ่มต้นด้วยการกำหนดรอบเวลาการผลิตตามลำดับขั้นงานต่างๆ และเวลามาตรฐานของการทำงานแต่ละขั้นตอนนั้นๆ จากนั้นจะพยายามรวมขั้นงานเข้าด้วยกันให้เป็นสถานีงาน โดยจัดให้มีเวลาว่างงานน้อยที่สุดและจัดให้แต่ละสถานีงานมีเวลาการทำงานไม่เกินรอบเวลาการผลิต ถ้าสามารถจัดให้แต่ละสถานีงานมีความสมดุลกันก็ส่งผลให้สายการประกอบนั้นมีประสิทธิภาพสูง ซึ่งมีองค์ประกอบต่างๆดังนี้

2.2.1.1 ระบบสายการประกอบ มีส่วนประกอบต่างๆดังนี้

1) สถานีการประกอบ

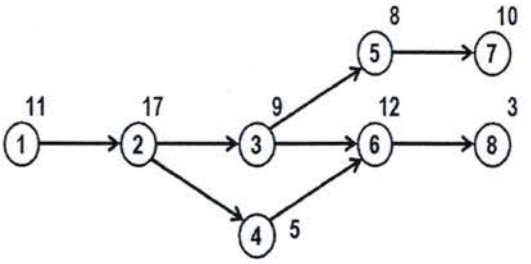
2) อัตราการผลิตหรือเวลาระหว่างที่สินค้าเสร็จออกมาแต่ละชิ้น เรียกว่ารอบเวลาการผลิต (Cycle Time)

3) โดยในกลุ่มงานใดๆจะประกอบด้วยหลายงานย่อยๆ

4) เวลาที่ใช้ในการทำงานของแต่ละงานย่อย ซึ่งควรเป็นเวลามาตรฐาน เรียกว่าเวลาขั้นงาน (Task Time)

2.2.1.2 แผนภาพลำดับขั้นตอนการทำงาน (Precedence Diagram)

แผนภาพแสดงลำดับขั้นตอนการทำงาน ซึ่งจะสามารถบอกลำดับขั้นตอนงานก่อน-หลัง โดยมีลูกศรกำหนดทิศทางการดำเนินงานและวงกลมหมายถึงงาน ซึ่งการดำเนินงานจะเริ่มจากด้านซ้ายสุดของผังผ่านกระบวนการประกอบต่างๆจนเป็นผลิตภัณฑ์ที่อยู่ด้านขวามือ ดังตัวอย่างภาพที่ 2.6



ภาพที่ 2.6 แผนภาพลำดับงานก่อน-หลัง (Bowman problem, 1960)

หมายเลขในวงกลมหมายถึงชื่อของแต่ละขั้นตอนงานจำนวน 8 งาน และหมายเลขนอกวงกลมหมายถึงเวลาของแต่ละงาน

2.2.1.3 ประสิทธิภาพสายการผลิต (Line Efficiency or Efficiency of Balance: E)

ประสิทธิภาพของสายการผลิต จะเป็นดัชนีที่แสดงให้เห็นความสามารถของการจัดงานลงในสถานีงานเพื่อให้เกิดเวลาสูญเปล่าน้อยที่สุด

$$E = \left(\sum t / mc\right) \times 100 \tag{2.1}$$

โดย E เป็นค่าเปอร์เซ็นต์ , $\sum t$ = เวลาขั้นงานรวม ; m = จำนวนสถานีงาน ; c = รอบเวลาการผลิต

2.2.1.4 การสูญเสียความสมดุล (Balance delay: D)

เป็นเครื่องชี้ถึงประสิทธิภาพที่เกิดความสูญเสียไม่สามารถทำงานได้เต็มประสิทธิภาพ โดยพิจารณาที่เวลาสูญเปล่า (Idle time) ของการจัดงานลงสถานีงาน

$$D = \left(\left(mc - \sum t\right) / mc\right) \times 100 \tag{2.2}$$

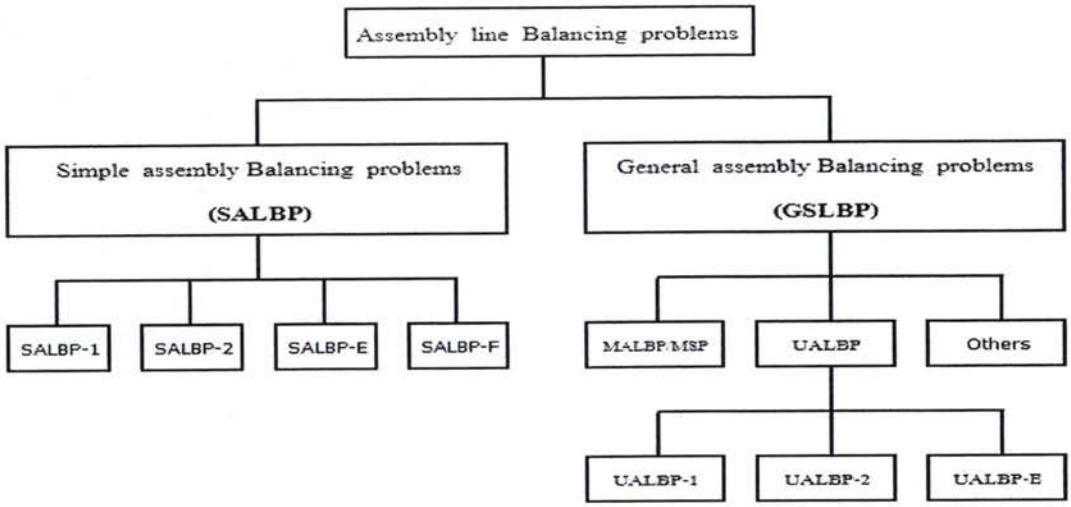
$$\text{หรือ } D = 100 - E \tag{2.3}$$

โดย D เป็นค่าเปอร์เซ็นต์ ; $\sum t$ = เวลาขั้นงานรวม ; m = จำนวนสถานีงาน ; c = รอบเวลาการผลิต

2.2.1.5 เวลาสูญเปล่า (Idle Time: ID)

$$I = mc - \sum t \tag{2.4}$$

2.2.2 ประเภทของปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบ สามารถแบ่งได้ดังภาพที่ 2.7



ภาพที่ 2.7 ประเภทของปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบ

ที่มา : ปรับปรุงจาก นุชสรา เกรียงกรกฎ (2550)

2.2.3 ปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบแบบเส้นตรง

(Simple Assembly Line Balancing Problem: SALBP)

เป็นปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบแบบเส้นตรงที่มีการผลิตสินค้าชนิดเดียวและผลิตคราวละมากๆมีหลายขั้นตอนงาน มีรอบเวลาการผลิตคงที่และมีเวลาการทำงานแน่นอนหรือมีเวลามาตรฐานของงานนั้นๆ ไม่มีข้อจำกัดของการกำหนดงานนอกจากเงื่อนไขลำดับงานก่อนหลัง สายการผลิตเป็นแบบต่อเนื่อง ทุกสถานีงานจะมีจำนวนคนงานและเครื่องจักรที่เท่าๆกัน มีอัตราการปล่อยชิ้นงานคงที่หรือทราบรอบเวลาการผลิตที่แน่นอน ซึ่งสามารถแบ่งประเภทของปัญหา SALBP ได้อีก 4 ประเภทคือ

2.2.3.1 SALBP–1 กรณีทราบค่ารอบเวลาการผลิต (c) และหาจำนวนสถานีงาน (m) น้อยที่สุด

2.2.3.2 SALBP–2 กรณีทราบค่าจำนวนสถานีงาน (m) และหารอบเวลาการผลิต (c) น้อยที่สุด

2.2.3.3 SALBP–E กรณีหาค่าประสิทธิภาพของสายการผลิตสูงที่สุด (E) โดยที่ทราบค่ารอบเวลาการผลิต (c) และจำนวนสถานีงาน (m) เป็นตัวแปร

2.2.3.4 SALBP–F กรณีกำหนดค่ารอบเวลาการผลิต (c) และจำนวนสถานีงาน (m) ถ้า feasible แสดงว่าเป็นปัญหาที่สามารถหาคำตอบได้

2.2.4 ปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบแบบทั่วไป

(General Assembly Line Balancing Problem ; GALBP)

เป็นปัญหาที่มีความยุ่งยากซับซ้อนขึ้นและสามารถแบ่งออกได้ 3 ชนิด ดังนี้

2.2.4.1 ปัญหา Mixed model Assembly Line Balancing Problem and Mixed Model Sequencing Problem (MALBP/MSP)

ปัญหา MALBP คือ ปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบที่มีการผลิตผลิตภัณฑ์แบบผสม มีเวลาการทำงานที่แน่นอน โดยการจัดงานลงสถานีงานจะทำการพิจารณาเวลาที่ต่างกันสำหรับสินค้าแต่ละอย่าง เพื่อหาสถานีงานหรือรอบเวลาการผลิตที่เหมาะสมที่สุด

ปัญหา MSP คือ ปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบที่มีการจัดลำดับการผลิตให้สินค้าทุกรุ่นที่จะทำการผลิตให้เกิดความเหมาะสมที่สุด เพื่อลดเหตุการณ์ต่างๆที่ไม่มีประสิทธิภาพในสายการผลิต เช่น การหยุดซ่อม เป็นต้น

2.2.4.2 UALBP (U-line Assembly Line Balancing Problem)

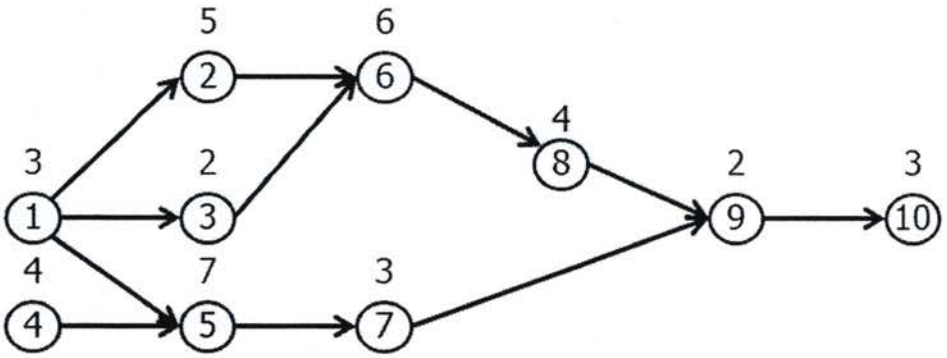
เป็นปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบแบบตัวยู ที่มีการผลิตสินค้าชนิดเดียว สายการประกอบจะถูกจัดเป็นรูปตัวยู โดยสามารถจัดงานเริ่มต้นและงานสุดท้ายของแผนภูมิลำดับงานก่อน-หลัง ลงในสถานีเดียวกันได้ และจะมีการทำงานในสถานีทั้งสองฝั่ง ทำให้จำนวนของสถานีงานมีจำนวนน้อยกว่าหรือเท่ากับ SALB เมื่อเปรียบเทียบค่าที่เหมาะสมของปัญหา UALB และ SALB จะได้ว่า UALB นั้นจะมีประสิทธิภาพของสายการประกอบ (Efficiency line) ที่ดีกว่าหรือเท่ากับ SALB ซึ่งในปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบแบบตัวยู สามารถแบ่งปัญหาออกได้ 3 ประเภท ดังนี้

1) UALABP-1 กรณีทราบค่ารอบเวลาการผลิต (c) และหาจำนวนสถานีงาน (m) น้อยที่สุด

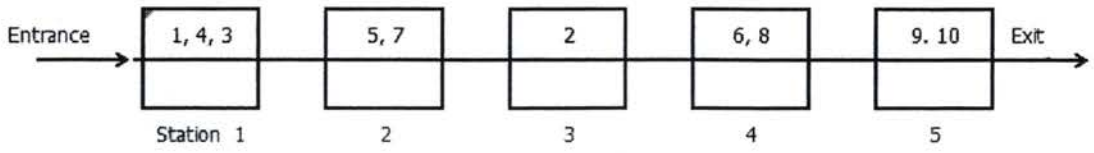
2) UALABP-2 กรณีทราบจำนวนสถานีงาน (m) และหารอบเวลาการผลิต (c) น้อยที่สุด

3) UALABP-E กรณีหาค่าประสิทธิภาพของสายการผลิตสูงที่สุด (E) โดยที่ทราบค่ารอบเวลาการผลิต (c) และจำนวนสถานีงาน (m) เป็นตัวแปร

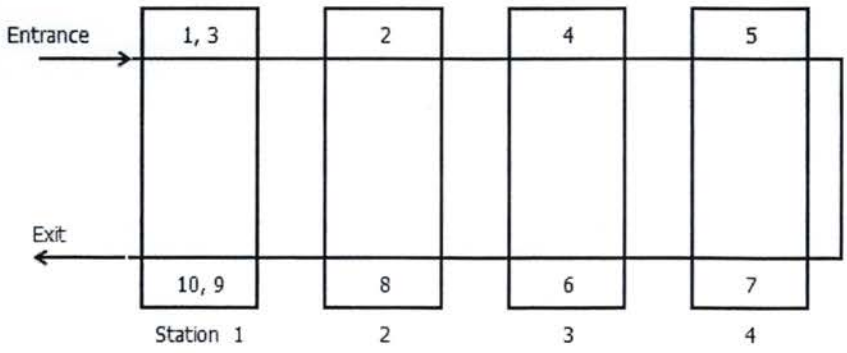
ตัวอย่างผังลำดับขั้นตอนงานและตัวอย่างการจัดสมดุลสายการประกอบแบบเส้นตรงและแบบตัวยู แสดงได้ดังภาพที่ 2.8



(ก) รูปแบบแผนผังลำดับขั้นตอนงาน



(a)



(b)

ภาพที่ 2.8 ตัวอย่างการจัดสมดุลสายการประกอบแบบเส้นตรงและการคำนวณประสิทธิภาพ

(ข) ผลของการจัดสมดุลงาน (a) แบบเส้นตรงและ (b) แบบตัวยู

สมมติ cycle time = 10 , total tasks time = 39

(a) Straight line m = 5 สถานีงาน	(b) U-line m = 4 สถานีงาน
$E = \frac{\sum t}{m \times c} \times 100 =$ 39/5(10) x 100	E = 39/4(10) x 100
= 78%	= 97.5%

ภาพที่ 2.8 ตัวอย่างการจัดสมดุลสายการประกอบแบบเส้นตรงและการคำนวณประสิทธิภาพ (ต่อ)

จากภาพที่ 2.8 แสดงตัวอย่างซึ่งอธิบายได้ว่าการจัดสมดุลสายการประกอบแบบเส้นตรงจะมีประสิทธิภาพของสายการผลิตน้อยกว่าการจัดสมดุลสายการประกอบแบบตัวยู และมีจำนวนสถานีงานมากกว่าส่งผลให้มีค่าเวลาว่างงาน (Idle Time : ID) มากกว่า

2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการจัดสมดุลสายการประกอบ

ผู้วิจัยได้ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการจัดสมดุลสายการประกอบซึ่งมีสายการประกอบแบบเส้นตรงที่มีทั้งผลิตภัณฑ์แบบผสมและแบบชนิดเดียวโดยใช้ทั้งวิธีฮิวริสติกและเมตาฮิวริสติก

Talbot, F. B., J.H. Patterson and W.V. Gehrlein (1986) ได้ทำการวิจัยและหาวิธีการแก้ปัญหาจัดสมดุลสายการประกอบเพื่อให้มีจำนวนสถานีงานน้อยที่สุด เมื่อกำหนดรอบเวลาการผลิตที่ต้องการมาให้ โดยใช้เทคนิค Integer Programming Algorithm ผลการวิจัยพบว่าสามารถให้คำตอบที่ดีที่สุดได้ภายในเวลาที่เหมาะสม โดยใช้คอมพิวเตอร์ที่ทันสมัยที่สุดในขณะนั้น เพื่อใช้แก้ปัญหาที่มีจำนวนขั้นงาน 50-100 ขั้นงาน

จงกล เอี่ยมมิ (2543) ได้วิจัยและนำเสนอแนวทางในการนำเอาวิธีการเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithms: GA) มาประยุกต์ใช้ในการหาคำตอบของปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบแบบผลิตภัณฑ์ผสมโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้มีจำนวนสถานีงานน้อยที่สุดและเกิดเวลาว่างงานรวมน้อยที่สุดด้วย นอกจากนี้ยังได้ศึกษาและทดสอบหาพารามิเตอร์ที่มีผลต่อประสิทธิภาพของวิธีการเชิงพันธุกรรม ซึ่งได้แก่ ขนาดประชากร วิธีการครอสโอเวอร์ความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์และความน่าจะเป็นในการมิวเตชั่น แล้วนำพารามิเตอร์ที่ได้ไปแก้ปัญหาตัวอย่างของการจัดสมดุลสายการประกอบผลิตภัณฑ์แบบผสม จากงานวิจัยนี้พบว่าพารามิเตอร์ที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อประสิทธิภาพในการจัดสมดุลสายการประกอบแบบผลิตภัณฑ์ผสมคือ จำนวนประชากร วิธีการ

ครอสโอเวอร์และความน่าจะเป็นในการมิวเตชั่น ดังนั้นในการนำวิธีการเชิงพันธุกรรมไปใช้จริงต้องมีการกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม ซึ่งอาจจะนำค่าที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองในงานวิจัยนี้เป็นแนวทางเบื้องต้นได้ผลจากการเปรียบเทียบคำตอบที่ได้จากวิธีการเชิงพันธุกรรมกับวิธีการของ COMSOAL พบว่าวิธีการเชิงพันธุกรรมจะให้ผลลัพธ์ที่ดีกว่า ซึ่งสามารถสรุปได้ว่าวิธีการเชิงพันธุกรรมเป็นวิธีการหาคำตอบสำหรับปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบแบบผลิตภัณฑ์ผสมที่มีประสิทธิภาพ และสามารถให้คำตอบที่ดีภายในระยะเวลาที่กำหนดให้ได้

Pedro M. Vilarinho and Ana sofia simaria (2002) ได้นำเสนอวิธีการเลียนแบบอบอ่อน (Simulated Annealing : SA) ในการจัดสมดุลสายการประกอบแบบเส้นตรงประเภทที่ 1 ชุดปัญหาของ Scholl พบว่าสามารถพบคำตอบที่ดีที่สุด 76 ปัญหาจาก 168 ปัญหา ซึ่งคำตอบที่ได้ที่ไม่ใช่คำตอบที่ดีที่สุดคิดเป็น 14 %

กษิดิศ แสงเดือน และคณะ (2550) ได้ศึกษาและวิจัยเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพสายการประกอบของโรงงานตัวอย่าง โดยการประยุกต์ใช้เทคนิคการจัดสมดุลสายการประกอบด้วยวิธีการเชิงพันธุกรรม โรงงานดังกล่าวเป็นโรงงานผลิตเครื่องใช้ไฟฟ้าภายในบ้าน เช่น หม้อต้มน้ำไฟฟ้า หม้อหุงข้าวไฟฟ้า และกระทะไฟฟ้า วิธีการศึกษาประกอบไปด้วย 6 ขั้นตอน ขั้นแรกใช้หลักการพาเรโตในการเลือกสินค้าตัวอย่าง ขั้นที่สองแผนภูมิการไหลของงานถูกวิเคราะห์โดยเทคนิคการศึกษางาน ขั้นที่สามเวลามาตรฐานได้ถูกคำนวณขึ้นด้วยเทคนิคการศึกษาเวลา ขั้นที่สี่แสดงแผนภาพโครงข่ายงานประกอบ ขั้นที่ห้าสร้างโปรแกรมการจัดสมดุลสายการผลิตบนวิธีการเชิงพันธุกรรมและดำเนินการประมวลผล สุดท้ายนำผลการประมวลไปออกแบบสายการประกอบใหม่ จากการดำเนินงานพบว่า ประสิทธิภาพของสายการประกอบเพิ่มขึ้นจาก 46.32 % เป็น 85.56 % เพิ่มความสามารถในการผลิตของสายการประกอบจาก 996 ชุดต่อวัน เป็น 1,187 ชุดต่อวัน ลดจำนวนคนงานในสายการประกอบลงได้ 6 คน ทั้งหมดนี้ส่งผลให้โรงงานลดต้นทุนการผลิตลงได้ 28,800 บาทต่อเดือน

นุชสรา เกรียงกรกฎ (2550) ได้วิจัยและพัฒนาวิธีฮิวริสติกและวิธีเมตาฮิวริสติก โดยวิธีระบบมดแม็กมิน วิธี Max. task time และ Min. task time ร่วมกับวิธีโลคอลเสิร์ช ในการแก้ปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบแบบเส้นตรงและตัวยู สำหรับการจัดสมดุลสายการประกอบแบบเส้นตรง ได้ทำการทดลองในชุดปัญหาตัวอย่างที่เป็นปัญหาขนาดใหญ่มี 45-111 งาน และชุดปัญหาปัญหาตัวอย่างของ Lapierre โดยวิธีทาบูเสิร์ช ซึ่งเป็นปัญหาขนาดใหญ่มี 297 งาน ส่วนในการแก้ปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบแบบตัวยู ได้ทำการทดลองในชุดปัญหาตัวอย่างในการทดลองโดยวิธี Max. RPW กับปัญหาขนาดกลางที่มี 21-45 งาน และชุดปัญหาปัญหาตัวอย่างข้อมูลบางส่วนที่เป็นปัญหาขนาดใหญ่มี 75-297 งาน จากการวิจัยสรุปผลได้ว่าวิธีระบบมดแม็กมิน

ที่พัฒนาขึ้นเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพดีที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีฮิวริสติก และวิธี Max. RPW ของ Miltenburg และ Wijngaard โดยจากการทดลองวิธี Min. task time เป็นวิธีที่ให้ค่าคำตอบที่แย่ที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการอื่นๆและเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของค่ารอบเวลาการผลิตที่เพิ่มขึ้นผลปรากฏว่า ไม่มีผลต่อความสามารถของการหาคำตอบของวิธีระบบมดแบบแม็กมิน ดังนั้นสรุปได้ว่าวิธีการที่พัฒนาขึ้นเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพมากวิธีหนึ่ง

สุภาภรณ์ สุวรรณรังสี และคณะ (2550) ได้นำเสนอวิธีการเพื่อแก้ปัญหาการจัดสมดุลสายงานการประกอบโดยนำวิธีการค้นหาแบบตาบู (Tabu Search: TS) และวิธีการเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm: GA) งานร่วมกันโดยให้ชื่อว่าวิธี TSGA เพื่อแก้ปัญหาการจัดสมดุลสายงานการประกอบ ค่าความแปรปรวนของภาระงานถูกกำหนดให้เป็นฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของกระบวนการค้นหา จากวิธีการที่นำ เสนอ TS สามารถจัดสรรจำนวนขั้นงานที่เหมาะสมให้กับแต่ละสถานีงาน ในขณะที่ GA สามารถจัดลำดับของขั้นงานที่เหมาะสมให้กับแต่ละสถานีงานโดยสอดคล้องกับเงื่อนไขลำดับความสัมพันธ์ก่อนหลังของขั้นงาน ปัญหาการจัดสมดุลสายงานการประกอบแบบผลิตภัณฑ์เดียวจำนวน 4 ปัญหาจากการสำรวจงานวิจัยที่เกี่ยวข้องถูกนำมาทดสอบกับวิธีที่นำเสนอ ผลการทดสอบเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการดั้งเดิมพบว่าวิธี TSGA สามารถให้คำตอบที่ดีกว่า ค่าความแปรปรวนของภาระงานที่ลดลงมากที่สุดจากคำตอบที่ได้จากวิธี TSGA เปรียบเทียบกับวิธีการดั้งเดิมมีค่าเท่ากับ 88.55% ซึ่งสรุปได้ว่าวิธี TSGA เป็นอัลกอริทึมที่มีศักยภาพ และเป็นทางเลือกหนึ่งในการแก้ปัญหาการจัดสมดุลสายงานการประกอบ

สุภาภรณ์ สุวรรณรังสี และคณะ (2551) ได้นำเสนอวิธีการแก้ปัญหาการจัดสมดุลสายงานการประกอบโดยใช้วิธีการเชิงพันธุกรรมร่วมกับเทคนิคการสลับที่แบบสุ่ม จากวิธีการที่นำเสนอค่าความแปรปรวนของภาระงานถูกกำหนดให้เป็นฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของกระบวนการเชิงพันธุกรรมถูกใช้เพื่อกำหนดจำนวนขั้นงานให้กับแต่ละสถานีงาน ขณะที่เทคนิคการสลับที่แบบสุ่มถูกใช้เพื่อจัดลำดับของขั้นงานให้กับแต่ละสถานีงานโดยสอดคล้องกับเงื่อนไขลำดับความสัมพันธ์ก่อนหลังของขั้นงาน วิธีการที่นำเสนอถูกทดสอบกับกรณีศึกษาสายงานการประกอบรถมอเตอร์ไซค์ซึ่งมีขั้นงานจำนวน 60 ขั้นงาน จากผลที่ได้พบว่าวิธีการที่นำเสนอสามารถให้คำตอบที่เหมาะสมและดีกว่าวิธี COMSOAL ค่าความแปรปรวนของภาระงานมีค่าลดลง 63.87 % สรุปได้ว่าวิธีการที่นำ เสนอสามารถจัดสมดุลสายงานการประกอบได้อย่างมีประสิทธิภาพ

สุภาภรณ์ สุวรรณรังสี และคณะ (2551) ได้นำเสนอวิธีการเพื่อแก้ปัญหาการจัดสมดุลสายงานการประกอบ โดยนำวิธี การค้นหาแบบตาบูเชิงปรับตัว (Adaptive Tabu Search: ATS) และ เทคนิคการสลับที่แบบสุ่ม (Random Permutation: RP) มาใช้งานร่วมกันเพื่อแก้ปัญหาการจัดสมดุลสายงานการประกอบ โดยที่ ATS จะทำหน้าที่จัดสรรจำนวนขั้นงานที่เหมาะสมให้กับแต่ละ

สถานีงาน ในขณะที่เทคนิค RP จะทำหน้าที่จัดลำดับของขั้นงานที่เหมาะสมให้กับแต่ละสถานีงาน โดยสอดคล้องกับเงื่อนไขลำดับความสัมพันธ์ก่อนหลังของขั้นงาน ค่าความแปรปรวน ของภาระงานถูกกำหนดให้เป็นฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของกระบวนการค้นหา วิธีการที่นำเสนอถูกทดสอบกับปัญหาการจัดสมดุลสายงานการประกอบแบบผลิตภัณฑ์เดียวมาตรฐานจำนวน 4 ปัญหาซึ่งได้รับการรวบรวมไว้โดย Scholl ได้แก่ปัญหา Roszieg, Buxey, Sawyer, แ ล ะWarnecke จากผลการทดสอบพบว่าวิธีการที่นำเสนอ สามารถให้คำตอบที่น่าพึงพอใจในทุกกรณีปัญหาเมื่อเปรียบเทียบกับวิธี COMSOAL พบว่าวิธีการที่ นำเสนอสามารถให้คำตอบที่ดีกว่า ค่าความแปรปรวน ของภาระงานที่ลดลงมากที่สุดจากคำตอบที่ได้จากวิธีการ ที่นำเสนอเปรียบเทียบกับวิธี COMSOAL มีค่าเท่ากับ 96.73%

ปารเมศ ชุติมา และคณะ (2552) ได้วิจัยและนำเสนออัลกอริทึมในการแก้ปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบลักษณะตัวยู ที่มีการผลิตผลิตภัณฑ์ผสมที่มีหลายวัตถุประสงค์ในระบบผลิตแบบทันเวลาพอดี ภายใต้ปัญหาประเภทที่ 1 โดยจะพิจารณาฟังก์ชันวัตถุประสงค์ทั้งหมด 3 วัตถุประสงค์พร้อมกันคือ จำนวนสถานีงานมีจำนวนน้อยที่สุด งานมีผลต่างความสัมพันธ์ในสถานีงานมีค่าน้อยที่สุดและความผันแปรของเวลาในสถานีงานทั้งหมดมีค่าน้อยที่สุด ซึ่งจะทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของอัลกอริทึมที่นำเสนอกับอัลกอริทึมที่เป็นที่นิยมและได้คำตอบที่ดีในขณะนั้น คือ Non-dominated Sorting Genetic Algorithm II (NSGA-II) ผลที่ได้จากการเปรียบเทียบพบว่าอัลกอริทึมที่นำเสนอเป็นอัลกอริทึมที่มีประสิทธิภาพที่ดีกว่า อัลกอริทึม NSGA-II ในด้านคำตอบที่มีการลู่เข้าใกล้กลุ่มคำตอบที่ดีที่สุดที่แท้จริงได้คิดเป็น 45.145% ด้านอัตราส่วนของจำนวนกลุ่มคำตอบที่หาได้เทียบเท่ากับกลุ่มคำตอบที่แท้จริง 100 % และด้านเวลาในการประมวลผลที่เร็วกว่าอัลกอริทึม NSGA-II

อัศวิน ลักขษร และคณะ (2553) ได้นำเสนอวิธีฮิวริสติก 4 วิธีคือ วิธีการของ Kilbridge & Wester (K&W), Ranked Positional Weight; (RPW), Maximum Task Time (Max. T.) และTotal Maximum Number of Following Tasks (Max. N.F.) เพื่อใช้ในการจัดสมดุลสายการประกอบซึ่งมีจำนวน 17 ขั้นงาน ผลที่ได้จากการจัดสมดุลสายการผลิต ด้วยวิธีฮิวริสติก ทั้ง 4 วิธี ของผลิตภัณฑ์ตัวอย่างที่ศึกษานั้น คือ สถานีงานลดเหลือ 14 สถานี ประสิทธิภาพสายการผลิตเพิ่มขึ้นจาก 55.48 % เป็น 67.37 %

เดชา พวงดวงเรือง และสุภาภรณ์ สุวรรณรังสี (2552) ได้นำเสนอวิธีฮิวริสติก M-COMSOAL ซึ่งพัฒนามาจากวิธี COMSOAL ที่เป็นวิธีที่ใช้โปรแกรมทาง Computer มาใช้ในการแก้ปัญหา โดยนำวิธีการดังกล่าวมาทดสอบกับปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบแบบผลิตภัณฑ์เดียวที่ถูกเสนอโดย Scholl จำนวน 4 ปัญหาผลการทดสอบพบว่าวิธี M-COMSOAL

สามารถดำเนินการแก้ไขปัญหาได้สะดวกและให้คำตอบที่น่าพึงพอใจทุกกรณีปัญหา เมื่อเปรียบเทียบวิธี COMSOAL พบว่าวิธีที่นำเสนอให้ค่าประสิทธิภาพของสายการประกอบเพิ่มขึ้นและให้ค่าความแปรปรวนของภาระงานลดลงมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบวิธี COMSOAL มีค่าเท่ากับ 97.09 %

นุชสรา เกรียงกรกฎ และคณะ (2553) ได้นำเสนอวิธีฮิวริสติก 4 วิธีคือ วิธีการของ Kilbridge & Wester (K&W), วิธีการใช้เกณฑ์น้ำหนักเป็นตัวกำหนดตำแหน่ง (Ranked Positional Weight; RPW), วิธีการใช้เกณฑ์เวลามากที่สุด (Maximum Task Time; Max. T.) และวิธีการที่ใช้เกณฑ์จำนวนงานย่อยที่ตามมาทั้งหมดมากที่สุด (Total Maximum Number of Following Tasks; Max. N.F.) เพื่อใช้ในการจัดสมดุลสายการประกอบในโรงงานตัดเย็บเสื้อผ้าสำเร็จรูปแห่งหนึ่ง ซึ่งมีจำนวนขั้นงาน 17 งาน ผลที่ได้จากการจัดสมดุลสายการผลิต ด้วยวิธีฮิวริสติก ทั้ง 4 วิธี ของผลิตภัณฑ์ตัวอย่างที่ศึกษานั้น ให้ผลลัพธ์ที่เท่ากัน ดังนั้นในตัวอย่างกรณีศึกษาในโรงงานดังกล่าวสามารถเลือกวิธีใดก็ได้ เพื่อนำไปปรับปรุงการจัดสมดุลสายการผลิต ทั้งนี้จะต้องพิจารณาองค์ประกอบอื่นๆ ร่วมด้วย เช่น ความยาก-ง่ายในการทำงานการโยกย้ายเครื่องจักร เป็นต้น และนอกจากนี้ ยังต้องอาศัยประสบการณ์ของผู้ที่รับผิดชอบในสายการผลิตนั้นๆด้วย จึงจะส่งผลให้การจัดสมดุลสายการผลิตเป็นไปอย่างเหมาะสมทั้งในทางทฤษฎีและปฏิบัติ

นรินทร์ จึงจำเริญกิจ และสมเกียรติ ตั้งจิตสิตเจริญ (2553) ได้นำเสนอวิธีการพัฒนาประสิทธิภาพกระบวนการผลิตเสื้อผ้าสำเร็จรูปภายใต้เงื่อนไขเวลาไม่คงที่ โดยใช้การจัดสมดุลการผลิตแบบหลายผลิตภัณฑ์ด้วยวิธีฮิวรีสติกและสอดคล้องกับเงื่อนไขที่สำคัญสองเงื่อนไขคือเวลาการทำงานรวมของแต่ละสถานีงานจะต้องน้อยกว่าหรือเท่ากับรอบเวลาการผลิตที่ยอมรับได้ (Acceptable Time) และขั้นงานที่ได้รับการจัดสรรให้กับแต่ละสถานีงานจะต้องสอดคล้องกับลำดับความสัมพันธ์ก่อนหลัง โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อทำให้ความแปรปรวนของภาระงานน้อยที่สุด เวลาว่างงานน้อยที่สุด และประสิทธิภาพของสายการผลิตมากที่สุด รวมถึงการมอบหมายงานให้เหมาะสมกับทักษะฝีมือของพนักงานในโรงงานผลิตเสื้อผ้าสำเร็จรูปแห่งหนึ่งในจังหวัดฉะเชิงเทรา ซึ่งมีวัตถุประสงค์การศึกษาเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการจัดสมดุลการผลิตระหว่างการจัดสมดุลการผลิตแบบหลายผลิตภัณฑ์ด้วยวิธีฮิวรีสติกและการจัดสมดุลการผลิตแบบผลิตภัณฑ์เดียวด้วยวิธี COMSOAL ซึ่งวิธีฮิวริสติกที่ใช้ คือ การปรับเรียบภาระงานโดยการโยกย้ายและสลับงานระหว่างสถานี (Trade and Transfer) หลักการของวิธีการแลกเปลี่ยนกระบวนการผลิตระหว่างสถานี คือ การพยายามทำให้สถานีงานทุกๆสถานีมีเวลาว่างงานที่ใกล้เคียงกัน จากการแลกเปลี่ยนงานระหว่างสองสถานีให้มีเวลางานรวมของสถานีใกล้เคียงกันมากที่สุดไปทีละคู่ จนเกิดการปรับเรียบตลอดสายการประกอบ หลักการของวิธีการโยกย้ายกระบวนการระหว่างสถานี คือการพยายามให้

สถานีงานทุกๆ สถานีมีเวลาว่างงานที่ใกล้เคียงกัน เนื่องจากมีการกระจายงานจากสถานีงานที่มีเวลางานรวมของสถานีมากไปสู่สถานีที่มีเวลางานรวมของสถานีน้อย จากการศึกษาพบว่าในการจัดสมดุลสายการผลิตเสื้อโปโล 42 ขั้นตอน ด้วยวิธีฮิวริสติกจะให้ค่าประสิทธิภาพสายการผลิตสูงกว่าวิธี COMSOAL 8 % และลดจำนวนแรงงานได้ 2 คน

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่าวิธีเมตาฮิวริสติกมีประสิทธิภาพมากกว่าวิธีฮิวริสติกพื้นฐาน และมีหลักการเบื้องต้นของเมตาฮิวริสติกดังนี้

2.3.1 เมตาฮิวริสติกมีระเบียบวิธีในการค้นหาคำตอบที่ดีภายในเซตของคำตอบที่เป็นไปได้ (Feasible Region)

2.3.2 เมตาฮิวริสติกมีจุดประสงค์เพื่อหาคำตอบที่ดีที่สุดหรือคำตอบที่ใกล้เคียงที่ดีที่สุดภายใน ระยะเวลาที่เหมาะสม

2.3.3 วิธีเมตาฮิวริสติกอาจมีขั้นตอนแบบซับซ้อนและไม่ซับซ้อน เช่น วิธีโลคอลเซิร์ช (Local Search) วิธีระบบมด (Ant System) วิธีการเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm) วิธีการค้นหาต้องห้าม (Tabu Search) และวิธีเลียนแบบการอบอ่อน (Simulated Annealing) เป็นต้น

2.3.4 เมตาฮิวริสติกอาจเกิดจากการรวมหลากหลายวิธีเทคนิคเพื่อค้นหาคำตอบที่ดีที่สุดภายในพื้นที่คำตอบที่เป็นไปได้

2.3.5 เมตาฮิวริสติกมีระเบียบขั้นตอนที่แน่นอนและสามารถปรับเปลี่ยนในรายละเอียดเมื่อนำไปใช้แต่ละปัญหา

2.3.6 เมตาฮิวริสติกบางประเภทมีการใช้ความจำชั่วคราวมากขึ้น ซึ่งในการจดจำคำตอบเดิม เพื่อให้การค้นหาคำตอบที่ไม่ซ้ำที่เดิม

ซึ่งสามารถแบ่งเมตาฮิวริสติกได้ 6 ประเภทดังนี้

ประเภทที่ 1 เป็นเมตาฮิวริสติกที่เกิดจากแรงบันดาลใจจากธรรมชาติและไม่ได้เกิดจากแรงบันดาลใจจากระบบธรรมชาติ ได้แก่ วิธีระบบมด (Ant System) วิธีการเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm) วิธีการเลียนแบบการอบอ่อน (Simulated Annealing) และวิธีการเกาะกลุ่มประชากรแบบ Particle Swarm Optimization (PSO) เป็นต้น ส่วน เมตาฮิวริสติกที่ไม่ได้เกิดจากแรงบันดาลใจจากธรรมชาติ ได้แก่ วิธีการค้นหาต้องห้าม (Tabu Search) เป็นต้น

ประเภทที่ 2 เป็นเมตาฮิวริสติกแบบใช้ประชากรหรือแบบไม่ใช้ประชากร แบบใช้ประชากรคือในหนึ่งรอบของการค้นหาคำตอบจะได้คำตอบมากกว่าหนึ่งคำตอบให้เลือก เช่น วิธีระบบมด (Ant System) วิธีระบบมด (Ant System) วิธีการลอกแบบ (Memetic Algorithm) และวิธีการเกาะกลุ่มประชากรแบบ Particle Swarm Optimization (PSO) เป็นต้น ส่วนเมตาฮิวริสติกแบบไม่ใช้ประชากร คือในหนึ่งรอบของการค้นหาคำตอบจะได้คำตอบออกมาเพียงหนึ่งคำตอบ

เท่านั้น เช่น วิธีเลียนแบบการอบอ่อน (Simulated Annealing) วิธีการค้นหาต้องห้าม (Tabu Search) และวิธีการค้นหาในพื้นที่คำตอบที่เป็นไปได้ในแบบวนซ้ำ (Iterated Local Search) เป็นต้น

ประเภทที่ 3 เป็นเมตาฮิวริสติกแบบสมการเป้าหมายคงที่หรือไม่คงที่ คือในหนึ่งรอบของการคำนวณอาจมีการเปลี่ยนแปลงสมการเป้าหมาย เพื่อให้ได้คำตอบใหม่ๆ เกิดขึ้นหรือไม่มีแบบสมการเป้าหมายคงที่ เช่น วิธี Guided Local Search เป็นต้น ประเภทที่ ส่วนแบบไม่มีขั้นตอนวิธีการเปลี่ยนแปลงสมการเป้าหมาย เช่น วิธีระบบมด (Ant System) วิธีการเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm) วิธีเลียนแบบการอบอ่อน (Simulated Annealing) และวิธีการลอกแบบ (Memetic Algorithm) เป็นต้น

ประเภทที่ 4 เป็นวิธีเมตาฮิวริสติกแบบเปลี่ยนวิธีการหาคำตอบที่ใกล้เคียงคำตอบปัจจุบัน (Neighborhood) คงที่และไม่คงที่ กรณีคงที่ ได้แก่ วิธีระบบมด (Ant System) วิธีทางพันธุกรรม (Genetic Algorithm) เป็นต้น ส่วนกณีไม่คงที่ ได้แก่ วิธีการค้นหาคำตอบใกล้เคียงแบบมีเงื่อนไข

ประเภทที่ 5 เป็นเมตาฮิวริสติกแบบมีและไม่มีหน่วยความจำ แบบที่มีหน่วยความจำจะมีการจดจำว่ามีคำตอบใดบ้างที่ผ่านมาแล้วเพื่อเป็นข้อมูลในการหาคำตอบถัดไป เช่น วิธีระบบมด (Ant System) วิธีการค้นหาต้องห้าม (Tabu Search) ส่วนวิธีที่ไม่ใช้หน่วยความจำ เช่น วิธีการค้นหาคำตอบเฉพาะที่แบบวนรอบซ้ำ เป็นต้น

ซึ่งจากการทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องจะพบว่าวิธีเชิงพันธุกรรม เป็นวิธีที่มีผู้นิยมนำมาใช้ในการจัดสมดุลสายการประกอบซึ่งถือได้ว่าเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพมากวิธีหนึ่ง และเมื่อศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวกับวิธีเชิงพันธุกรร ก็พบมีวิธีที่สามารถให้คำตอบได้เทียบเท่ากับวิธีเชิงพันธุกรรแต่ใช้เวลาในหาคำตอบได้เร็ว คือ วิธีการวิวัฒนาการโดใช้ผลต่าง (Differential Evolution: DE) จากบทความของ Dervis and Selcuk (2004) ได้อธิบายว่า Differential Evolution Algorithms (DEA) เป็นหนึ่งในวิธีการ Evolutionary Algorithms (EA) ที่มีขั้นตอนวิธีการวิวัฒนาการที่เป็นเทคนิคใหม่ในการเพิ่มประสิทธิภาพ ความสามารถในการจัดการที่เป็นลักษณะของปัญหา Non-Differentiable, Non-Linear และ Multimodal Objective Functions ในการทำงานสำหรับปัญหาขนาดใหญ่ที่ซับซ้อน ก็พบว่าความเร็วในหาคำตอบของวิธีการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง มีนัยสำคัญที่วิธีเชิงพันธุกรร ดังนั้นวิธีการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างน่าจะเป็นวิธีการที่มีแนวโน้มในการแก้ปัญหาและช่วยเพิ่มประสิทธิภาพทางด้านวิศวกรรม ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวิธีการวิวัฒนาการโโดยใช้ผลต่างดังต่อไปนี้

2.4 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับวิธีการวิวัฒนาการโดใช้ผลต่าง

หลักการในการค้นหาคำตอบด้วยวิธีการวิวัฒนาการ โดยใช้ผลต่าง (Differential Evolution Algorithm: DE) ที่เสนอโดย Storn, R. and Price, K (1997) ได้อธิบายว่า กรอบทฤษฎีของวิธีการเป็นรูปแบบง่ายๆและมีระยะเวลา ในการคำนวณที่น้อย การวิวัฒนาการของวิธีการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง ถูกประยุกต์ใช้อย่างแพร่หลายและมีการแสดงจุดแข็งในหลายพื้นที่ที่มีการประยุกต์ใช้ในวิธีการค้นหาที่ยึดตามหลักประชากร การวิวัฒนาการจะเริ่มสุ่มประชากรเริ่มต้นในขนาด N ของ เวกเตอร์มิติ การแก้ไขปัญหาการวิวัฒนาการอัลกอริทึมจะไปแทนที่มิติของเวกเตอร์ซึ่งค่าของตัวแปรแต่ละตัวในพื้นที่ของมิติจะถูกแสดงเป็นเลขในระบบจำนวนจริง ลักษณะที่เด่นชัดของกระบวนการ คือ กลไกใหม่สำหรับการสร้างเวกเตอร์ของการทดลองการวิวัฒนาการ จะสร้างเวกเตอร์การทดลองโดยการเปลี่ยนแปลงและมองข้ามหลักการดำเนินงาน จากนั้นจะดำเนินการคัดเลือก เมื่อเวกเตอร์การทดลองนี้มีประสิทธิภาพมากกว่าเวกเตอร์ที่สอดคล้องกัน กระบวนการเหล่านี้จะถูกดำเนินการอีกครั้งจนกว่าจะมีเกณฑ์ยับยั้งให้มีการหยุด ทั้งนี้การวิวัฒนาการของประชากรก็จะถูกดำเนินการ โดยผ่านวิธีการทำซ้ำของ 3 ขั้นตอน คือ การกลายพันธุ์ การครอสโอเวอร์ และการคัดเลือกด้วยกระบวนการทำงานในการวิวัฒนาการแบบคลาสสิค ซึ่งได้สรุปการแบ่งลำดับขั้นตอนที่สำคัญของการวิวัฒนาการแบบคลาสสิคไว้ดังนี้

2.4.1 Initial population คือ ขั้นตอนวิธีการสุ่มจำนวนจริง 0-1 ให้กับแต่ละขั้นตอนงาน เป็นการสร้างค่า Target Vector หรือคำตอบเริ่มต้นเพื่อเป็นค่าตัดสินใจในการจัดขั้นตอนงานลงสถานีงานและเป็นค่าเริ่มต้นของเวกเตอร์ที่นำไปใช้ในการ Mutation และ Crossover ต่อไป

2.4.2 Mutation คือ ขั้นตอนวิธีการปรับเปลี่ยนพิกัดให้ได้คำตอบใหม่ที่แปลกแตกต่างไปจากกลุ่มจำนวนประชากร เรียกว่า Weighting Factor: F หรือ เรียกว่า Mutation Factor: F เพื่อจุดประสงค์แลกเปลี่ยนพิกัดภายในเวกเตอร์

2.4.3 Crossover หรือ Recombination คือ ขั้นตอนวิธีการแลกเปลี่ยนพิกัดระหว่างเวกเตอร์ ซึ่งจะได้เวกเตอร์ใหม่และมีคำตอบที่มีทั้งดีกว่าและแย่กว่าอย่างหลากหลาย โดยมีการสร้าง Trial Vector เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบและพิจารณาในการแลกเปลี่ยนพิกัดระหว่างเวกเตอร์

2.4.4 Selection คือ ขั้นตอนวิธีการคัดเลือกประชากรในรุ่นต่อไป (G+1) ซึ่งคัดเลือกเอาแต่เฉพาะ คำตอบที่ดีกว่า โดยการเปรียบเทียบผลของ Target Vector กับ Trial Vector ในกรณีที่จำนวนสถานีงานที่ได้ของ Trial Vector ต่ำกว่าหรือเท่ากับ (คำตอบดีกว่าหรือเท่ากับ) Target Vector จะถูกแทนที่ด้วย Trial Vector

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวิธีการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง

Andreas C. Nearchou (2005) ได้วิจัยและนำเสนอวิธีการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง ในการแก้ปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบแบบเส้นตรง (SALB) จากตัวอย่างปัญหาที่มาจาก http://www.assembly-line-balancing.de ที่มีขั้นงาน 7-111 ขั้นงาน ซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อที่จะหาจำนวนสถานีงานน้อยที่สุด โดยที่เวลาของแต่ละสถานีจะต้องไม่เกินรอบเวลาการผลิต (Cycle time) และเป็นไปตามเงื่อนไขลำดับงานก่อนหลัง ซึ่งมีขั้นตอนการสุ่มตัวเลขค่าจริง 0 ถึง 1 เพื่อสร้างเวกเตอร์เริ่มต้น ตัวอย่างเช่น 0.23, 0.82, 0.03, 0.47, 0.62 และทำการ Mutation โดยนำหมายเลขตำแหน่งของแต่ละงานหารด้วยจำนวนงาน จะได้ว่า งานตำแหน่งที่ 1 มีค่าที่ได้จากการ Mutation เท่ากับ 1/5 เท่ากับ 0.2 ดังนั้นจากตัวอย่างที่มี 5 งาน จะทำการ Mutation ได้ 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0 ตามลำดับจากนั้นทำการ Crossover โดยการนำตัวเลขที่ได้จากการสุ่มโครโมโซมเริ่มต้นมาพิจารณาว่าอยู่ในช่วงใดของค่าที่ได้จากการ Mutation เรียกว่าค่า Sub-Rage (SR) หากอยู่ในช่วงใดให้ใช้ค่าตำแหน่งงานในช่วงนั้นที่มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับในช่วงนั้นมาใช้เป็นคำตอบใหม่เพื่อใช้ในประชากรรุ่นถัดไป เช่น 0.23 อยู่ในช่วง 0.2 ถึง 0.4 (SR = $0.2 \leq 0.23 \leq 0.4$) ดังนั้นคำตอบที่ได้จากการ Crossover คือ งานในตำแหน่งที่มีค่าจากการกลายพันธ์ 0.4 นั้นคืองานตำแหน่งที่ 2 ดังนั้นคำตอบที่ได้ คือ งานที่ 2, _, _, _, _ และ 0.82 อยู่ในช่วง 0.8 ถึง 0.1 คำตอบที่ได้คือ 2, 5, _, _, _ เมื่อพิจารณาจนครบทุกงานจะได้คำตอบเป็น 2, 5, 1, 3, 4 เป็นต้น ผลจากการวิจัยพบว่าวิธีที่นำเสนอให้คำตอบที่เหมาะสมและใช้เวลาน้อยในการหา ซึ่งจากการศึกษาพบว่าขั้นตอนดังกล่าวยังมีจุดที่ไม่สอดคล้องในการทำงานเมื่อใช้กับปัญหาที่มีหลายงานหรือตัวเลขสุ่มเริ่มต้นมีค่าที่ใกล้เคียงกันมากๆ เช่น 0.3, 0.23, 0.24, 0.26, 0.8 เมื่อทำการ Crossover จะพบว่า 0.3, 0.23, 0.24, 0.26 จะอยู่ในช่วง 0.2 ถึง 0.4 ทั้งหมด และช่วงที่ 0 ถึง 0.2 จะไม่มีตัวเลขที่สุ่มเริ่มต้นอยู่ในช่วงนั้นเลย ซึ่งจะทำให้คำตอบเริ่มต้นเป็นคำตอบที่ไม่เป็นจริง แต่จะมีการซ่อมแซมคำตอบในภายหลัง

Xianhui Zeng, Wai-KeungWong and SunneyYung-SunLeung (2012) ได้นำเสนอวิธี PUDDE หรือ วิธีพาเรโต้วิวัฒนาการแบบไม่ต่อเนื่อง ในการจัดการกับปัญหาการจัดสรรผู้ปฏิบัติงานที่เรียกว่าปัญหา Operator Allocation Problems (OAP) เพื่อการจัดสรรงานที่เหมาะสมกับการควบคุมความสมดุลของสายการประกอบเมื่อมีการสร้างฟังก์ชั่นเป้าหมายหลายวัตถุประสงค์และเงื่อนไข และไม่สามารถตัดสินใจได้ในวัตถุประสงค์เดียวได้ มีขั้นตอนคือใช้ วิธี DES Model ในการจำลองสถานการณ์ทั่วไปและใช้ PUDDE ในการแก้ปัญหา OAP โดยการปรับปรุงผู้ปฏิบัติงานมีสองแบบคือ ลดจำนวนหรือเพิ่มจำนวน ผลการทดลองสรุปได้ว่าวิธีการ PUDDE สามารถหาคำตอบได้อย่างมีประสิทธิภาพแต่อย่างไรก็ตามวิธีการนี้เหมาะกับการจัดสรรลดจำนวนผู้ปฏิบัติงาน

หากเปรียบเทียบกับวิธี DE แบบเดิมแล้ว วิธีการ PUDDE จะมีประสิทธิภาพที่ดีกว่าในกรณีการหาวัตถุประสงค์ที่มีการผสมผสานของสายงานการประกอบในปัญหาเดียวกัน

Dexuan zou et al. (2011) ได้ทำการพัฒนาวิธีการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง สำหรับการแก้ปัญหาการมอบหมายงานโดยได้ทำการปรับปรุง 2 ส่วนที่สำคัญของพารามิเตอร์ในขั้นตอนของวิธีการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง คือ Weighting Factor (F) และค่าของ Crossover Rate (CR) โดยใช้วิธีที่เรียกว่า Improve Differential Evolution (IDE) โดยให้ค่าของ F สามารถปรับค่าได้และค่าของ CR มีการเปลี่ยนค่าเป็นลักษณะเป็นขั้นๆ โดยได้เอาตัวอย่างของปัญหามาเปรียบเทียบคำตอบกับวิธีการวิวัฒนาการโดใช้ผลต่างสองวิธีได้แก่ ODE และ JADE ผลปรากฏว่า IDE ที่พัฒนาขึ้นให้คำตอบดีกว่าทั้งสองวิธี ไม่ว่าจะเป็นลักษณะการลดต้นทุนและประสิทธิภาพที่เพิ่มขึ้นในระบบ

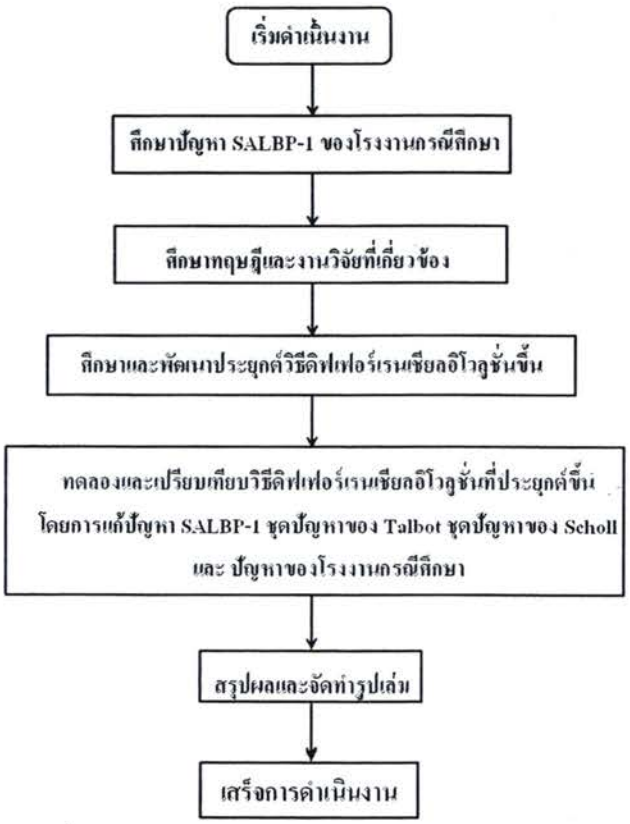
A.K. Qim, V. L. Huang and P.N. Suganthan (2009) ได้นำเสนอวิธีการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง โดยมีวิธีการ Mutation ที่นำพิกัดของเวกเตอร์ที่ดีที่สุดในประชากรแต่ละรุ่นเข้ามาเกี่ยวข้อง และใช้วิธี Crossover หรือ Recombination ที่มีการแลกเปลี่ยนพิกัดระหว่างเวกเตอร์โดยใช้การเปรียบเทียบค่า Crossove Rate และการสุ่มพิกัด ซึ่งพบว่าเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพ

จากการทบทวน งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวิธีการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง จะเห็นได้ว่าวิธีการหาคำตอบของวิธีการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง สามารถให้ค่าของคำตอบที่เหมาะสมและใช้ระยะเวลาในการหาคำตอบที่เร็วกว่าวิธีการหาคำตอบอื่นๆ และมีขั้นตอนการหาคำตอบที่ไม่ซับซ้อน สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับปัญหาต่างได้อย่างหลากหลาย ดังนั้นในงานวิจัยในครั้งนี้ผู้วิจัยจึงเลือกและนำหลักการหาคำตอบของวิธีการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง มาประยุกต์ใช้การหาคำตอบของงานวิจัยในแก้ปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบแบบเส้นตรงที่มีผลิตภัณฑ์ชนิดเดียว (SALBP) สำหรับชุดปัญหาของ Talbot ชุดปัญหาของ Scholl และปัญหาและของโรงงานกรณีศึกษา

บทที่ 3
วิธีการดำเนินงานวิจัย

ในบทนี้จะกล่าวถึงขั้นตอนดำเนินงานวิจัยการจัดสมดุลสายการประกอบแบบเส้นตรงประเภทที่ 1 ซึ่งเริ่มจากการศึกษาปัญหาในโรงงานกรณีศึกษาและพบว่าปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบที่เป็นกิจกรรมหลักขององค์กรนั้นเป็นปัญหาที่น่าสนใจ จึงได้ทำการศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องที่มีลักษณะของปัญหารวมถึงวิธีการแก้ไขปัญหาที่สามารถนำมาพัฒนาใช้กับปัญหานี้ได้ จากนั้นได้ศึกษาและพัฒนาประยุกต์ใช้วิธีการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างขึ้นแล้วนำมาทดลองกับชุดปัญหาของ Talbot ชุดปัญหาของ Scholl และปัญหากรณีศึกษา เมื่อได้ผลการทดลองจึงรวบรวมข้อมูลและนำมาวิเคราะห์สรุปผลการทดลอง ดังภาพที่ 3.1

3.1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย



ภาพที่ 3.1 ลำดับขั้นตอนดำเนินงานวิจัย

3.2 ศึกษาปัญหา SALBP-1 ของโรงงานกรณีศึกษา

ผู้วิจัยได้ศึกษาการจัดสมดุลสายการประกอบแบบเส้นตรงประเภทที่ 1 (SALBP–1) กรณีทราบค่ารอบเวลาการผลิต (c) และหาจำนวนสถานีงาน (m) น้อยที่สุด เนื่องจากโรงงานกรณีศึกษาเป็นโรงงานอุตสาหกรรมสิ่งทอส่งออกเสื้อผ้าสำเร็จรูปที่มีสายการผลิตเป็นแบบเส้นตรง และมีผลิตภัณฑ์ชนิดเดียว จึงได้เลือกสายการผลิตที่มีขั้นตอนงาน 52 งาน และมีรอบเวลาการผลิตที่ได้จากการคำนวณเป้าหมายที่ฝ่ายวางแผนการผลิตได้มาจากเป้าหมายของลูกค้า ซึ่งสายการผลิตนี้มีปัญหาในการผลิตสินค้าไม่ได้ตามเป้าหมายที่ลูกค้าต้องการ จากนั้นจึงทำการการเก็บข้อมูลของขั้นตอนงานจากการใช้โปรแกรม SAW EASY ที่คำนวณเวลาการทำงานจากระยะทางในการเย็บ จึงได้ข้อมูลเวลาของแต่ละขั้นตอนเป็นตัวเลขคงที่ และทำการศึกษาขั้นตอนการเย็บเพื่อเก็บข้อมูลลำดับงานก่อนหลังของแต่ละขั้นตอนงาน ซึ่งรายละเอียดของกรณีศึกษาจะแสดงใน บทที่ 5

3.3 ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ผู้วิจัยได้ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องในการจัดสมดุลสายการประกอบแบบเส้นตรงประเภทที่ 1 และงานวิจัยอุตสาหกรรมอื่นๆที่เกี่ยวข้อง โดยเริ่มจากบทความที่ใช้วิธีฮิวริสติกพื้นฐานในการจัดสมดุลสายการประกอบจากหลายๆบทความที่ใช้ฮิวริสติก เช่น การปรับปรุงสมดุลสายการผลิตในโรงงานตัดเย็บเสื้อผ้าสำเร็จรูป โดย อัศวิน ลักขษร และคณะ (2553) และจากการศึกษาเพิ่มเติมพบว่าวิธีเมตาฮิวสติกเป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพนำไปใช้ได้ง่ายและสามารถประยุกต์ใช้กับปัญหาต่างๆได้อย่างหลากหลาย จากนั้นจึงได้ศึกษางานวิจัยที่ใช้วิธีเมตาฮิวริสติกวิธีต่างๆในการจัดสมดุลสายการประกอบ เช่น A two-stage heuristic methid for balancing mixed- model assembly lines with parallel workstation โดย Pedro M. Vilarinho and Ana Sofia Simaria (2002) รวมถึงบทความอื่นๆที่เกี่ยวข้องทำให้ทราบว่าวิธีที่มีประสิทธิภาพและวิธีที่นิยมนำมาใช้อย่างแพร่หลาย คือ วิธีเชิงพันธุกรรม และจากศึกษาทฤษฎีจากบทความ A Simple and Global Optimization Algorithm for Engineering โดย Dervis and Selcuk (2004) พบว่าวิธีการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง เป็นอัลกอริทึมที่มีประสิทธิภาพเทียบเท่ากับวิธีเชิงพันธุกรรม แต่จะใช้เวลาเร็วกว่าในการพบคำตอบที่ดีที่สุด ดังนั้นผู้วิจัยเลือกวิธีการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง ในการใช้แก้ปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบและได้ทำการศึกษาทฤษฎีวิธีการปรับปรุงคำตอบของวิธีการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างจากบทความของ Andreas C. Nearchou (2005) และบทความของ A.K. Qim, V. L. Huang, and P.N. Suganthan (2009)

3.4 ปรับปรุงและพัฒนาวิธีการปรับปรุงคำตอบของวิธีการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง

จากการศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวิธีการวิวัฒนาการ โดยใช้ผลต่าง ซึ่งพบว่าเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพและใช้เวลารวดเร็วในการหาคำตอบ โดย Andreas C. Nearchou (2005) ได้ออกแบบวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง เพื่อใช้แก้ปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบแบบเส้นตรงประเภทที่ 1 ชุดปัญหาของ Talbot มีขั้นตอนงานตั้งแต่ 7-111 งาน จำนวน 64 ปัญหา ที่มีผู้วิจัยนิยมนำมาใช้อย่างแพร่หลาย ซึ่งสามารถหาคำตอบที่ดีที่สุดได้เพียง 61 ปัญหา ผู้วิจัยจึงได้พัฒนาและประยุกต์ใช้วิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง ให้มีประสิทธิภาพเพิ่มจากที่ Andreas ได้ออกแบบไว้ โดยนำวิธี Mutation 3 วิธี คือ "DE/rand", "DE/Best/1" , "DE/rand-to-best"/1 มาใช้ร่วมกับวิธี Crossover หรือ Recombination 2 วิธี คือ Binomial crossover และ Exponential crossover 2 position ที่ได้พัฒนาปรับปรุงจากวิธี Exponential crossover เดิมมาใช้กับปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบ ทำให้ได้วิธีการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างที่มีวิธีการปรับปรุงคำตอบ 6 วิธี ดังนี้

"DE/rand" ร่วมกับ Binomial crossover

"DE/Best/1" ร่วมกับ Binomial crossover

"DE/rand-to-best/1" ร่วมกับ Binomial crossover

"DE/rand" ร่วมกับ Exponential crossover 2 position

"DE/Best/1" ร่วมกับ Exponential crossover 2 position

"DE/rand-to-best/1" ร่วมกับ Exponential crossover 2 position

3.5 ทดสอบและเปรียบเทียบวิธีการปรับปรุงคำตอบของวิธีการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง

เมื่อได้วิธีปรับปรุงคำตอบที่ประยุกต์ขึ้นทั้ง 6 วิธี จากนั้นผู้วิจัยจึงได้นำมาเปรียบเทียบกับวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างที่ Andreas ได้ออกแบบไว้ โดยใช้ทดลองกับปัญหาเดียวกันคือชุดปัญหาของ Talbot ที่มีขั้นตอนงานตั้งแต่ 7 – 111 งาน ซึ่งพบว่าทั้ง 6 วิธีพบคำตอบที่ดีที่สุดเท่ากันครบทั้ง 64 ปัญหา ดังนั้นผู้วิจัยจึงเปรียบเทียบทั้ง 6 วิธี โดยพิจารณาเวลาที่ใช้ค้นพบคำตอบที่ดีที่สุด จากนั้นจึงนำวิธี DE ทั้ง 6 วิธีมาทดลองกับชุดปัญหาของ Scholl ที่มีขั้นตอนงานตั้งแต่ 25 – 297 งาน มีความซับซ้อนและขนาดของปัญหาที่เพิ่มขึ้น ซึ่งพบว่าวิธีที่ 1-5 สามารถพบคำตอบที่ดีที่สุดเท่ากัน และวิธีที่ 6 สามารถพบคำตอบที่ดีที่สุดมากกว่า จากนั้นผู้วิจัยจึงเปรียบเทียบทั้ง 6 วิธี โดยพิจารณาจำนวนปัญหาที่มีผลคำตอบที่ดีกว่าในระหว่างทั้ง 6 วิธี เมื่อทดลองกับชุดปัญหาที่มีผู้วิจัยนำไปใช้กันอย่างแพร่หลายแล้วถือได้ว่าวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างที่ประยุกต์ขึ้นเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพวิธีหนึ่ง จากนั้นผู้วิจัยจึงนำมาทดลองกับปัญหาจริง โดยนำมาจัดสมดุลสายการประกอบกรณีศึกษาที่มี

ขั้นตอนงาน 52 งาน ก็พบว่าสามารถลดสถานีงานจากสายการประกอบปัจจุบันได้เท่ากันทั้ง 6 วิธี ดังนั้นผู้วิจัยจึงเปรียบเทียบทั้ง 6 วิธี โดยพิจารณาเวลาที่ใช้ค้นพบคำตอบที่ดีที่สุด โดยใช้โปรแกรม Bloodhed Dev-C++ 4.9.9.2.

3.6 สรุปและวิเคราะห์ผลการทดลอง

นำผลที่ได้จากการทดลองการแก้ปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบแบบเส้นตรงประเภทที่ 1 (SALBP–1) จากชุดปัญหาของ Talbot จำนวน 64 ปัญหาที่มีขั้นตอนงานตั้งแต่ 7-111 งาน และชุดปัญหาของ Scholl จำนวน 168 ปัญหาที่มีขั้นตอนงานตั้งแต่ 25-297 งาน ซึ่งนำข้อมูลมาจาก www.assembly-line-balancing.de และปัญหาของโรงงานกรณีศึกษาที่มีขั้นตอนงาน 52 งาน มาสรุปผลและวิเคราะห์กระบวนการทำงานของวิธีปรับปรุงคำตอบทั้ง 6 วิธี ในการนำไปใช้กับปัญหาที่มีความซับซ้อนและใช้กับปัญหาที่มีขนาดต่างๆกันไป

บทที่ 4
วิธีการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง
สำหรับการจัดสมดุลสายการประกอบแบบเส้นตรงประเภทที่ 1

ในบทนี้จะกล่าวถึงการพัฒนาประยุกต์ใช้วิธีการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง โดยการนำวิธี Mutation 3 วิธี มาใช้ร่วมกับวิธี Crossover และ Recombination 2 วิธี แล้วนำวิธีใหม่ที่ได้ทั้ง 6 วิธี มาทดสอบกับชุดปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบของ Talbot 64 ปัญหา และทำการทดลองเพิ่มเติมกับชุดปัญหาของ Scholl 168 ปัญหาที่นำข้อมูลมาจาก www.assembly-line-balancing.de/ เพื่อจะนำผลที่ได้จากการทดสอบมาวิเคราะห์กระบวนการทำงานและความเหมาะสมของของแต่ละวิธี ในการนำไปใช้กับปัญหาที่มีความซับซ้อนและใช้กับปัญหาที่มีขนาดต่างๆกันไป โดยจากการศึกษาบทความของ A.K. Qim, V. L. Huang, and P.N. Suganthan (2009) ผู้วิจัยได้นำวิธี Mutation 3 วิธี คือ "DE/rand/1", "DE/Best/1" , "DE/rand-to-best"/1 มาใช้ร่วมกับวิธี Crossover หรือ Recombination 2 วิธีคือ Binomial Crossover และ Exponential Crossover 2 position ที่ได้พัฒนาปรับปรุงจากวิธี Exponential Crossover เดิมมาพัฒนาใช้กับปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบ ทำให้ได้วิธีการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างที่มีวิธีการปรับปรุงคำตอบ 6 วิธี ดังนี้

"DE/rand" ร่วมกับ Binomial Crossover

"DE/Best/1" ร่วมกับ Binomial Crossover

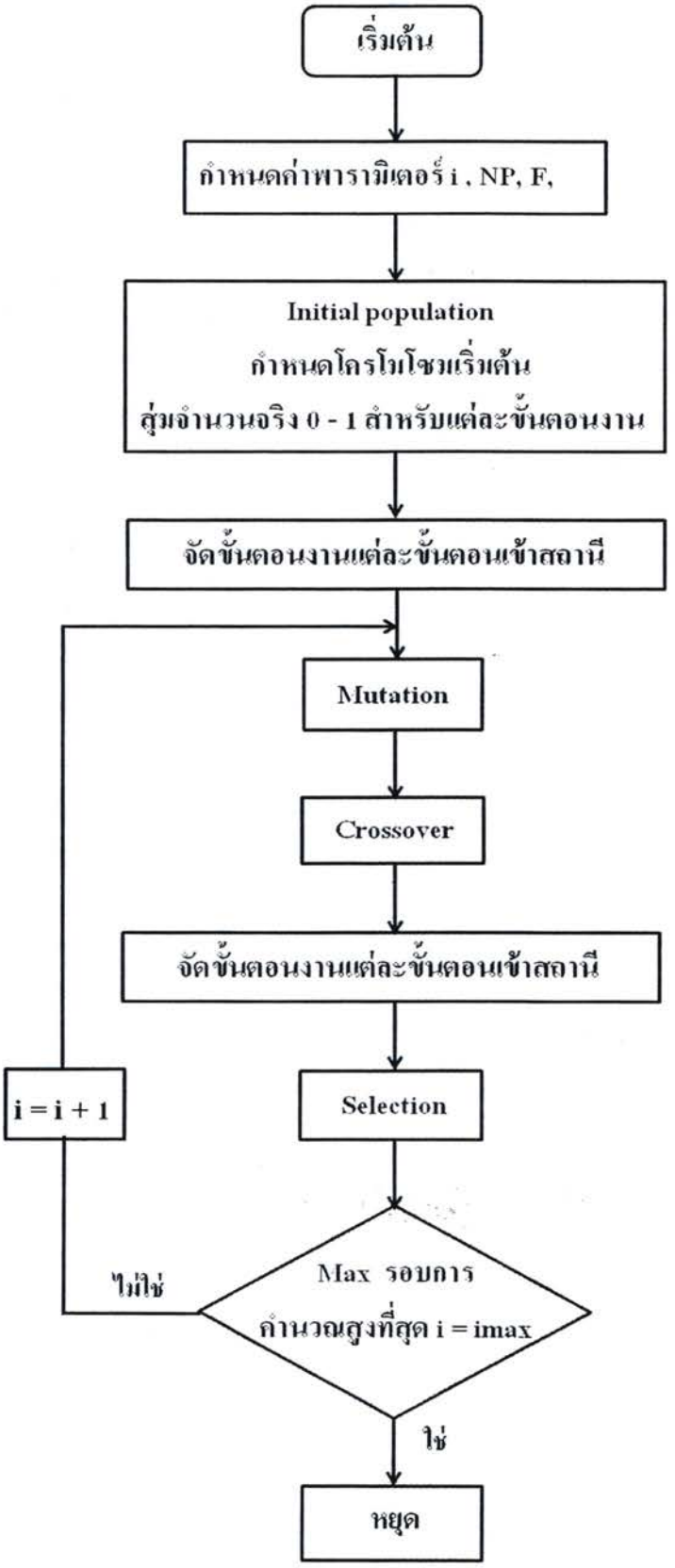
"DE/rand-to-best/1" ร่วมกับ Binomial Crossover

"DE/rand" ร่วมกับ Exponential Crossover 2 Position

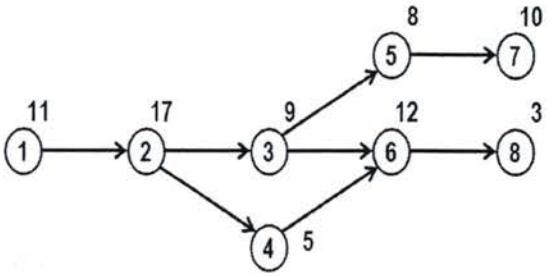
"DE/Best/1" ร่วมกับ Exponential Crossover 2 Position

"DE/rand-to-best/1" ร่วมกับ Exponential Crossover 2 Position

ซึ่งสามารถอธิบายขั้นตอนการทำงานของวิธี Mutation และวิธี Crossover หรือ Recombination ของทั้ง 6 วิธีได้จากตัวอย่างการแก้ปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบจากภาพที่ 4.2 ที่มีขั้นตอนดังนี้



ภาพที่ 4.1 Flow chart ขั้นตอนการทำงานของวิธีการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง



ภาพที่ 4.2 แผนภาพลำดับงานก่อน-หลังของปัญหาตัวอย่าง (Bowman problem, 1960)

จากภาพที่ 4-2 แสดงแผนภาพลำดับงานก่อน-หลังของปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบอย่างง่ายที่มี 9 งาน ตัวเลขในวงกลมแสดงชื่อของแต่ละงาน และตัวเลขบนวงกลมแสดงเวลาของงานนั้นๆ ซึ่งปัญหานี้กำหนดให้มีรอบเวลาการผลิตเท่ากับ 17

4.1 "DE/rand" ร่วมกับ Binomial Crossover

4.1.1 การสร้างคำตอบเริ่มต้น (Initial population) คือ ขั้นตอนการสุ่มจำนวนจริง 0-1 ให้กับแต่ละงาน เป็นการสร้างค่า Target Vector หรือคำตอบเริ่มต้นเพื่อเป็นค่าตัดสินใจในการจัดงานลงสถานีงานและเป็นค่าเริ่มต้นของเวกเตอร์ที่ใช้ในการ Mutation และ Crossover หรือ Recombination ต่อไป ซึ่งแสดงให้เห็นจากปัญหาตัวอย่างภาพที่ 4.2 และตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ผลการสร้างคำตอบเริ่มต้นของปัญหา โดยกำหนดให้มี 5 เวกเตอร์

Vector 1	**Station**	1	2	3		4		5	6
	Work	1	2	3	4	6	8	5	7
	Time	11	17	9	5	12	3	8	10
	Target Vector	0.3	0.72	0.53	0.61	0.44	0.57	0.68	0.92
Vector 2	**Station**	1	2	3		4		5	
	Work	1	2	3	5	7	4	6	8
	Time	11	17	9	8	10	5	12	3
	Target Vector	0.74	0.82	0.44	0.32	0.57	0.69	0.21	0.92

ตารางที่ 4.1 ผลการสร้างคำตอบเริ่มต้นของปัญหา โดยกำหนดให้มี 5 เวกเตอร์ (ต่อ)

Vector 3	**Station**	1	2	3	4		5	6	
	Work	1	2	3	4	5	6	7	8
	Time	11	17	9	5	8	12	10	3
	Target Vector	0.51	0.92	0.41	0.62	0.67	0.84	0.88	0.96
Vector 4	**Station**	1	2	3		4		5	6
	Work	1	2	4	3	6	8	5	7
	Time	11	17	5	9	12	3	8	10
	Target Vector	0.13	0.64	0.21	0.42	0.69	0.26	0.81	0.58
Vector 5	**Station**	1	2	3	4		5		6
	Work	1	2	3	4	6	5	8	7
	Time	11	17	9	5	12	8	3	10
	Target Vector	0.91	0.48	0.32	0.59	0.41	0.76	0.84	0.98

จากตารางที่ 4.1 เป็นสร้างค่า Target Vector ให้กับแต่ละงาน เช่นงานที่ 1 Vector ที่ 1 สุ่มได้ 0.3 เมื่อนำค่า Target Vector ที่สุ่มได้มาจัดสมดุลสายการประกอบตามเงื่อนไขลำดับงานก่อนหลังและเวลารวมแต่ละสถานีงานต้องไม่เกินรอบเวลาผลิต โดยพิจารณา Target Vector ที่มีค่าต่ำก่อน ทำให้ได้คำตอบของเวกเตอร์ที่ 1-5 เท่ากับ 6 , 5 , 6 , 6 และ 6 สถานี ตามลำดับ

4.1.2 Mutation คือ ขั้นตอนการการปรับเปลี่ยนพิกัดให้ได้คำตอบใหม่ที่แปลกแตกต่างไปจากกลุ่มจำนวนประชากรเดิม เรียกว่า Weighting Factor: F หรือ เรียกว่า Mutation Factor: F เพื่อจุดประสงค์ของการผ่าเหล่า โดยคำนวณหา Mutant Vector ($V_{i,G+1}$) ดังสมการที่ (4.1) และสามารถแสดงตัวอย่างการ Mutation ดังตารางที่ 4.2 ดังนี้

$$V_{i,G+1} = X_{r1,G} + F(X_{r2,G} - X_{r3,G}) \tag{4.1}$$

เมื่อ F = Weighting Factor เป็นจำนวนจริงตั้งแต่ 0-2

$X_{r1,G}, X_{r2,G}, X_{r3,G}$ = Random Vector จากประชากรเริ่มต้น

ตารางที่ 4.2 ผลการ Mutation เวกเตอร์ที่ 1 โดยใช้วิธี "DE/rand"

Vector	Position	1	2	3	4	5	6	7	8
1	Work	1	2	3	4	6	8	5	7
	Target Vector	0.3	0.72	0.53	0.61	0.44	0.57	0.68	0.92
2	Work	1	2	3	5	7	4	6	8
	Target Vector	0.74	0.82	0.44	0.32	0.57	0.69	0.21	0.92
3	Work	1	2	3	4	5	6	7	8
	Target Vector	0.51	0.92	0.41	0.62	0.67	0.84	0.88	0.96
4	Work	1	2	4	3	6	8	5	7
	Target Vector	0.13	0.64	0.21	0.42	0.69	0.26	0.81	0.58
5	Work	1	2	3	4	6	5	8	7
	Target Vector	0.91	0.48	0.32	0.59	0.41	0.76	0.84	0.98
Mutant Vector 1		-0.02	1.07	0.60	0.634	0.648	0.634	0.71	0.90

จากตารางที่ 4.2 แสดงผลของการ Mutation เวกเตอร์ที่ 1 โดยใช้วิธี "DE/rand" ซึ่งสุ่ม $X_{r1,G}$, $X_{r2,G}$, $X_{r3,G}$ ได้ เวกเตอร์ที่ 1 , 3 และ 5 ตามลำดับ และกำหนดให้ค่า F = 0.8 เช่น พิกัด (Position) ที่ 6 $X_{r1,G} = 0.57$ $X_{r2,G} = 0.84$ และ $X_{r3,G} = 0.76$ ดังนั้น Mutant Vector ที่ 1 พิกัดที่ 6 จึงเท่ากับ 0.634

4.1.3 Crossover หรือ Recombination คือ ขั้นตอนวิธีการแลกเปลี่ยนพิกัดระหว่างเวกเตอร์ ซึ่งจะได้เวกเตอร์ใหม่ของคำตอบที่มีทั้งดีกว่าและแย่กว่าอย่างหลากหลาย โดยมีการสร้าง Trial Vector ($U_{ji,G+1}$) ดังสมการที่ (4.2) และทำการเปรียบเทียบพิจารณาในการแลกเปลี่ยนพิกัดดังสมการที่ (4-3) ซึ่งสามารถแสดงตัวอย่างดังตารางที่ 4.3 และ 4.4 ดังนี้

$$U_{ji,G+1} = (U_{1i,G+1}, U_{2i,G+1}, \cdots, U_{Di,G+1}) \quad (4.2)$$

$$U_{ji,G+1} \begin{cases} V_{ji,G+1} & \text{if (rand j [0 , 1) } = \text{CR)} \\ X_{ji,G+1} & \text{if (rand (j) } > \text{CR)} \end{cases} \quad (4.3)$$

เมื่อ $V_{ji,G+1}$ = Mutant Vector,

$X_{ji,G+1}$ = Target Vector

CR = Crossover Constant จำนวนจริงมีค่า 0 ถึง 1

rand j [0,1) = สุ่มค่าจริง 0 – 1 ทุกพิกัด , j = 1,2,3,...,G (G = จำนวนพิกัด)

ตารางที่ 4.3 ผลการ Binomial Crossover เวกเตอร์ที่ 1 ที่ใช้ร่วมกับวิธี "DE/rand"

Vector	Position	1	2	3	4	5	6	7	8
1	**Work**	1	2	3	4	6	8	5	7
	Target Vector	0.3	0.72	0.53	0.81	0.44	0.57	0.68	0.92
	Mutant Vector	-0.02	1.07	0.60	0.634	0.648	0.634	0.71	0.90
	rand(j)	0.2	0.82	0.79	0.34	0.680	0.930	0.43	0.86
	Trial Vector	-0.02	0.72	0.60	0.634	0.648	0.57	0.71	0.92

จากตารางที่ 4.3 แสดงผลของการ Binomial Crossover เวกเตอร์ที่ 1 ซึ่งกำหนดให้ค่า CR = 0.8 ดังนั้น Trial Vector ของพิกัดที่ 2 , 6 และ 8 จะใช้ค่าของ Target Vector ส่วนตำแหน่งอื่นๆ ที่เหลือจะใช้ค่าของ Mutant Vector

ตารางที่ 4.4 ผลการจัดสมดุลสายการประกอบโดยใช้ค่า Trial Vector จากตารางที่ 4.3

	Station	1	2	3		4		5	6
Vector 1	**Work**	1	2	3	4	6	8	5	7
	Time	11	17	9	5	12	3	8	10
	Trial Vector	-0.02	0.72	0.60	0.634	0.71	0.57	0.71	0.92

จากตารางที่ 4.4 เมื่อนำค่า Trial Vector ที่ได้มาจัดสมดุลสายการประกอบตามเงื่อนไขลำดับงานก่อนหลังและเวลารวมแต่ละสถานีงานต้องไม่เกินรอบเวลาผลิต โดยพิจารณา Trial Vector ที่มีค่าต่ำก่อน ทำให้ได้คำตอบ 6 สถานี

4.1.4 Selection คือ ขั้นตอนการคัดเลือกประชากรในรุ่นต่อไป (G+1) ซึ่งจะคัดเลือกเอาแต่เฉพาะ คำตอบที่ดีกว่า โดยการเปรียบเทียบผลของ Target Vector กับ Trial Vector ในกรณีที่จำนวนสถานีงานที่ได้ของ Trial Vector ต่ำกว่าหรือเท่ากับ Target Vector ดังนั้นจะเลือก Trial Vector เป็นประชากรในรุ่นต่อไป ดังสมการที่ (4.4)

เนื่องจากหากมีผลเท่ากันแล้วนำมาเปรียบเทียบระหว่างการเลือก Trial Vector หรือ Target Vector เป็นประชากรในรุ่นถัดไป พบว่าสามารถพบคำตอบที่ดีที่สุดได้เท่ากัน จึงนำมาเปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการพบคำตอบที่ดีที่สุดพบว่า เมื่อเลือก Trial Vector เป็นประชากรในรุ่นต่อไป จะใช้เวลาสั้นกว่าในการค้นพบคำตอบที่ดีที่สุด ซึ่งแสดงให้เห็นจากการทดลองโดยใช้วิธี "DE/rand" ร่วมกับ Binomial Crossover ในการทดลองกับปัญหา Arcus 2 ที่มี 111 งาน มีรอบเวลาการผลิตเท่ากับ 5755 เนื่องจากเป็นปัญหาที่มีขนาดใหญ่และมีความซับซ้อนของปัญหามาก จากการทดลองพบว่าในการเลือกทั้งสองค่าเป็นประชากรในรุ่นถัดไปสามารถพบคำตอบที่ดีที่สุดเท่ากันคือ 23 สถานี จึงทำการทดลองโดยเปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการพบคำตอบที่ดีที่สุด ดังตารางที่ 4.5 ซึ่งจากการหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมกำหนดให้ค่า F = 0.8 , Cr = 0.8 และ NP = 150

ตารางที่ 4.5 ผลการเปรียบเทียบเวลาที่พบคำตอบที่ดีที่สุดระหว่างการเลือก Trial Vector หรือ Target Vector เป็นประชากรในรุ่นต่อไป

Selection	DE/rand									
	Binomial Crossover									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	(sec)	(sec)	(sec)	(sec)	(sec)	(sec)	(sec)	(sec)	(sec)	(sec)
Target Vector	10.65	9.54	18.95	19.12	15.24	10.55	29.17	11.52	11.66	17.34
Trial Vector	0.68	1.50	5.07	7.53	3.74	8.728	4.74	9.49	3.90	3.88

จากตารางที่ 4.5 พบว่าในการทดลอง 10 ครั้ง หากค่า Trial Vector และ Target Vector มีผลเท่ากันแล้วเลือกค่า Trial Vector เป็นประชากรในรุ่นต่อไปจะใช้เวลาที่เร็วกว่าการเลือกค่า Target Vector ในการพบคำตอบที่ดีที่สุด โดยค่า Target Vector ใช้เวลาเฉลี่ยเท่ากับ 15.37 วินาที และค่า Trial Vector ใช้เวลาเฉลี่ยเท่ากับ 4.92 วินาที ซึ่งจากการวิเคราะห์ได้พบว่าเมื่อเลือกค่า Trial Vector เป็นประชากรในรุ่นถัดไป จะเป็นการปรับปรุงคำตอบให้มีการเปลี่ยนแปลงไปจากคำตอบเดิมทำให้มีโอกาสพบคำตอบที่ดีที่สุดมากกว่าการเลือก Target Vector เป็นประชากรในรุ่นถัดไป ซึ่งจะทำให้คำตอบไม่เกิดการปรับปรุงเปลี่ยนแปลงจนกว่าค่า Trial Vector จะได้คำตอบที่ดีกว่า

$$X_{i,G+1} \begin{cases} U_{i,G+1} \text{ if } (U_{i,G+1}) \leq f(X_{i,G+1}) \\ X_{i,G} \text{ Otherwise} \end{cases} \quad (4.4)$$

เมื่อ $X_{i,G+1}$ = Traget Vector ในรุ่นถัดไป, i = 1,2,...n

ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบระหว่าง Target Vector กับ Trial Vector จากตารางที่ 4.1 และตารางที่ 4.4 ของ Vector ที่ 1 พบว่า ผลของคำตอบเท่ากันที่ 6 สถานี ดังนั้นจึงเลือกค่า Trial Vector เป็นประชากรในรุ่นถัดไป

4.2 "DE/Best/1" ร่วมกับ Binomial Crossover

4.2.1 การสร้างคำตอบเริ่มต้น (Initial population) คือ ขั้นตอนการสุ่มจำนวนจริง 0-1 ให้กับแต่ละงาน เป็นการสร้างค่า Target Vector หรือคำตอบเริ่มต้นเพื่อเป็นค่าตัดสินใจในการจัดงานลงสถานีงานและเป็นค่าเริ่มต้นของเวกเตอร์ที่ใช้ในการ Mutation และ Crossover ต่อไป ซึ่งแสดงให้เห็นจากปัญหาตัวอย่างภาพที่ 4.2 และตารางที่ 4.1

4.2.2 Mutation คือ ขั้นตอนการการปรับเปลี่ยนพิกัดให้ได้คำตอบใหม่ที่แปลกแตกต่างไปจากกลุ่มจำนวนประชากรเดิม เรียกว่า Weighting Factor: F หรือ เรียกว่า Mutation Factor: F เพื่อจุดประสงค์ของการผ่าเหล่า โดยคำนวณหา Mutant Vector ($V_{i,G+1}$) ดังสมการ ที่ (4.5) และสามารถแสดงตัวอย่างการ Mutation ดังตารางที่ 4.6 ดังนี้

$$V_{i,G+1} = X_{best,G} + F(X_{r1,G} - X_{r2,G}) \quad (4.5)$$

เมื่อ F = Weighting Factor เป็นจำนวนจริงตั้งแต่ 0-2

$X_{best,G}$ = Traget Vector โดยที่ best = 1,2,3, …,N ของเวกเตอร์ที่ให้คำตอบที่ดีที่สุดในแต่ละรุ่น (N = จำนวนงาน)

$X_{r1,G}$,$X_{r2,G}$ = Random Vector จากประชากรเริ่มต้น

ตารางที่ 4.6 ผลการ Mutation เวกเตอร์ที่ 1 โดยใช้วิธี " DE/Best/1 "

Vector	Position	1	2	3	4	5	6	7	8
1	Work	1	2	3	4	6	8	5	7
	Target Vector	0.3	0.72	0.53	0.61	0.44	0.57	0.68	0.92
2	Work	1	2	3	5	7	4	6	8
	Target Vector	0.74	0.82	0.44	0.32	0.57	0.69	0.21	0.92
3	Work	1	2	3	4	5	6	7	8
	Target Vector	0.51	0.92	0.41	0.62	0.67	0.84	0.88	0.96
4	Work	1	2	4	3	6	8	5	7
	Target Vector	0.13	0.64	0.21	0.42	0.69	0.26	0.81	0.58
5	Work	1	2	3	4	6	5	8	7
	Target Vector	0.91	0.48	0.32	0.59	0.41	0.76	0.84	0.98
Mutant Vector 1		0.420	1.172	0.512	0.344	0.778	0.754	0.242	0.904

จากตารางที่ 4.6 แสดงผลของการ Mutation เวกเตอร์ที่ 1 โดยใช้วิธี "DE/rand/1" ซึ่งจากตารางที่ 4.1 เวกเตอร์ที่ 2 ให้ผลคำตอบดีที่สุดที่ 5 สถานี ดังนั้นค่า $X_{best,G}$ จึงใช้ค่า Target Vector ของเวกเตอร์ที่ 2 และสุ่ม $X_{r1,G}$, $X_{r2,G}$ ได้ เวกเตอร์ที่ 3 และ 5 ตามลำดับ โดยกำหนดให้ค่า F = 0.8 เช่น พิกัด (Position) ที่ 6 ค่า $X_{best,G} = 0.69$, $X_{r1,G} = 0.84$ และ $X_{r2,G} = 0.76$ ดังนั้น Mutant Vector ที่ 1 พิกัดที่ 6 จึงเท่ากับ 0.754

4.2.3 Crossover หรือ Recombination คือ ขั้นตอนการแลกเปลี่ยนพิกัดระหว่างเวกเตอร์ ซึ่งจะได้เวกเตอร์ใหม่ของคำตอบที่มีทั้งดีกว่าและแย่กว่าอย่างหลากหลาย โดยมีการสร้าง Trial Vector ($U_{ji,G+1}$) ดังสมการที่ (4.2) และทำการเปรียบเทียบและพิจารณาในการแลกเปลี่ยนพิกัดดังสมการที่ (4.3) ซึ่งสามารถแสดงตัวอย่างดังตารางที่ 4.7 และ 4.8 ดังนี้

ตารางที่ 4.7 ผลการ Binomial Crossover เวกเตอร์ที่ 1 ที่ใช้ร่วมกับวิธี "DE/best/1"

Vector	Position	1	2	3	4	5	6	7	8
1	Work	1	2	3	4	6	8	5	7
	Target Vector	0.3	0.72	0.53	0.81	0.44	0.57	0.68	0.92
	Mutant Vector	0.42	1.172	0.512	0.344	0.778	0.754	0.242	0.904
	rand (j)	0.2	0.82	0.79	0.34	0.680	0.930	0.43	0.86
	Trial Vector	0.42	0.72	0.512	0.344	0.778	0.57	0.242	0.92

จากตารางที่ 4.7 แสดงผลของการ Binomial Crossover ของเวกเตอร์ที่ 1 ที่ผ่านวิธีการ "DE/best/1" ซึ่งกำหนดให้ค่า CR = 0.8 ดังนั้น Trial Vector ของพิกัดที่ 2 , 6 และ 8 จะใช้ค่าของ Target Vector ส่วนตำแหน่งอื่นๆที่เหลือจะใช้ค่าของ Mutant Vector

ตารางที่ 4.8 ผลการจัดสมดุลสายการประกอบโดยใช้ค่า Trial Vector จากตารางที่ 4.7

Vector 1	Station	1	2	3		4	5		6
	Work	1	2	4	3	5	6	8	7
	Time	11	17	5	9	8	12	3	10
	Trial Vector	0.42	0.72	0.344	0.512	0.242	0.778	0.57	0.92

จากตารางที่ 4.8 เมื่อนำค่า Trial Vector ที่ได้มาจัดสมดุลสายการประกอบตามเงื่อนไขลำดับงานก่อนหลังและเวลารวมแต่ละสถานีงานต้องไม่เกินรอบเวลาผลิต โดยพิจารณา Trial Vector ที่มีค่าต่ำก่อน ทำให้ได้คำตอบ 6 สถานี

4.2.4 Selection คือ ขั้นตอนการคัดเลือกประชากรในรุ่นต่อไป (G+1) ซึ่งจะคัดเลือกเอาแต่เฉพาะ คำตอบที่ดีกว่า โดยการเปรียบเทียบผลของ Target Vector กับ Trial Vector ในกรณีที่จำนวนสถานีงานที่ได้ของ Trial Vector ต่ำกว่าหรือเท่ากับ Target Vector ดังนั้นจะเลือก Trial Vector เป็นประชากรในรุ่นต่อไป ดังสมการที่ (4.7)

ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบระหว่าง Target Vector กับ Trial Vector จากตารางที่ 4.1 และตารางที่ 4.8 ของ Vector ที่ 1 พบว่า ผลของคำตอบเท่ากันที่ 6 สถานีงาน ดังนั้นจึงเลือกค่า Trial Vector เป็นประชากรในรุ่นถัดไป

4.3 "DE/rand-to-best/1" ร่วมกับ Binomial Crossover

4.3.1 การสร้างคำตอบเริ่มต้น (Initial population) คือ ขั้นตอนการสุ่มจำนวนจริง 0-1 ให้กับแต่ละงาน เป็นการสร้างค่า Target Vector หรือคำตอบเริ่มต้นเพื่อเป็นค่าตัดสินใจในการจัดงานลงสถานีงานและเป็นค่าเริ่มต้นของเวกเตอร์ที่ใช้ในการ Mutation และ Crossover ต่อไป ซึ่งแสดงให้เห็นจากปัญหาตัวอย่างภาพที่ 4.2 และตารางที่ 4.1

4.3.2 Mutation คือ ขั้นตอนการการปรับเปลี่ยนพิกัดให้ได้คำตอบใหม่ที่แปลกแตกต่างไปจากกลุ่มจำนวนประชากรเดิม เรียกว่า Weighting Factor: F หรือ เรียกว่า Mutation Factor: F เพื่อจุดประสงค์ของการผ่าเหล่า โดยคำนวณหา Mutant Vector ($V_{i,G+1}$) ดังสมการ ที่ (4.6) และสามารถแสดงตัวอย่างการ Mutation ดังตารางที่ 4.9 ดังนี้

$$V_{i,G+1} = X_{i,G} + F(X_{best,G} - X_{i,G}) + F(X_{r1,G} - X_{r2,G}) \quad (4.6)$$

เมื่อ $X_{i,G}$ = Traget Vector ของ Vector นั้นๆ โดยที่ i = 1,2,3, … , N

$X_{best,G}$ = Traget Vector โดยที่ best = 1,2,3, …,N ของเวกเตอร์ที่ให้ผลคำตอบที่ดีที่สุดในแต่ละรุ่น (N = จำนวนงาน)

N = จำนวนงาน

F = Weighting Factor เป็นจำนวนจริงตั้งแต่ 0-2

$X_{r1,G}$,$X_{r2,G}$ = Random Vector จากประชากรเริ่มต้นที่ไม่ซ้ำกับ $X_{i,G}$

ตารางที่ 4.9 ผลการ Mutation เวกเตอร์ที่ 1 โดยใช้วิธี "DE/rand-to-best/1"

Vector	Position	1	2	3	4	5	6	7	8
1	Work	1	2	3	4	6	8	5	7
	Target Vector	0.3	0.72	0.53	0.61	0.44	0.57	0.68	0.92
2	Work	1	2	3	5	7	4	6	8
	Target Vector	0.74	0.82	0.44	0.32	0.57	0.69	0.21	0.92
3	Work	1	2	3	4	5	6	7	8
	Target Vector	0.51	0.92	0.41	0.62	0.67	0.84	0.88	0.96

ตารางที่ 4.9 ผลการ Mutation เวกเตอร์ที่ 1 โดยใช้วิธี "DE/rand-to-best/1" (ต่อ)

4	**Work**	1	2	4	3	6	8	5	7
	Target Vector	0.13	0.64	0.21	0.42	0.69	0.26	0.81	0.58
5	**Work**	1	2	3	4	6	5	8	7
	Target Vector	0.91	0.48	0.32	0.59	0.41	0.76	0.84	0.98
Mutant Vector 1		0.332	1.152	0.530	0.402	0.752	0.730	0.336	0.904

จากตารางที่ 4.9 แสดงผลของการ Mutation Vector ที่ 1 โดยใช้วิธี "DE/rand-to-best/1" ซึ่งจะใช้ค่า $X_{i,G}$ ของ เวกเตอร์ที่ 1 และจากตารางที่ 4-1 เวกเตอร์ที่ 2 ให้ผลคำตอบดีที่สุดที่ 5 สถานี ดังนั้นค่า $X_{best,G}$ จึงใช้ค่า Target Vector ของ เวกเตอร์ที่ 2 และสุ่ม $X_{r1,G}$, $X_{r2,G}$ ได้ เวกเตอร์ที่ 3 และ 5 ตามลำดับ โดยกำหนดให้ค่า F = 0.8 เช่น พิกัด (Position) ที่ 6 ค่า $X_{i,G}$ = 0.57, $X_{best,G}$ = 0.69, $X_{r1,G}$ = 0.84 และ $X_{r2,G}$ = 0.76 ดังนั้น Mutation Vector ที่ 1 พิกัดที่ 6 จึงเท่ากับ 0.73

4.3.3 Crossover หรือ Recombination คือ ขั้นตอนการแลกเปลี่ยนพิกัดระหว่าง เวกเตอร์ ซึ่งจะได้เวกเตอร์ใหม่ของคำตอบที่มีทั้งดีกว่าและแย่กว่าอย่างหลากหลาย โดยมีการสร้าง Trial Vector ($U_{ji,G+1}$) ดังสมการที่ (4.2) และทำการเปรียบเทียบและพิจารณาในการแลกเปลี่ยนพิกัด ดังสมการที่ (4.3) ซึ่งสามารถแสดงตัวอย่างดังตารางที่ 4.10 และ 4.11 ดังนี้

ตารางที่ 4.10 ผลการ Binomial Crossover เวกเตอร์ที่ 1 ที่ใช้ร่วมกับวิธี "DE/rand-to-best/1"

Vector	**Position**	1	2	3	4	5	6	7	8
1	**Work**	1	2	3	4	6	8	5	7
	Target Vector	0.3	0.72	0.53	0.81	0.44	0.57	0.68	0.92
	Mutant Vector	0.33	1.152	0.530	0.402	0.752	0.730	0.336	0.904
	rand(j)	0.2	0.82	0.79	0.34	0.680	0.930	0.43	0.86
	Trial Vector	0.33	0.72	0.530	0.402	0.752	0.57	0.336	0.92

จากตารางที่ 4.10 แสดงผลของการ Binomial Crossover เวกเตอร์ที่ 1 ที่ผ่านวิธี "DE/rand-to-best/1" ซึ่งกำหนดให้ค่า CR = 0.8 ดังนั้น Trial Vector ของพิกัดที่ 2 , 6 และ 8 จะใช้ค่าของ Target Vector ส่วนตำแหน่งอื่นๆที่เหลือจะใช้ค่าของ Mutant Vector

ตารางที่ 4.11 ผลการจัดสมดุลสายการประกอบโดยใช้ค่า Trial Vector จากตารางที่ 4.10

Vector 1	**Station**	1	2	3		4	5		6
	Work	1	2	4	3	5	6	8	7
	Time	11	17	5	9	8	12	3	10
	Trial Vector	0.332	0.72	0.402	0.530	0.336	0.752	0.57	0.92

จากตารางที่ 4.11 เมื่อนำค่า Trial Vector ที่ได้มาจัดสมดุลสายการประกอบตามเงื่อนไขลำดับงานก่อนหลังและเวลารวมแต่ละสถานีงานต้องไม่เกินรอบเวลาผลิต โดยพิจารณา Trial Vector ที่มีค่าต่ำก่อน ทำให้ได้คำตอบ 6 สถานี

4.3.4 Selection คือ ขั้นตอนการคัดเลือกประชากรในรุ่นต่อไป (G+1) ซึ่งจะคัดเลือกเอาแต่เฉพาะคำตอบที่ดีกว่า โดยการเปรียบเทียบผลของ Target Vector กับ Trial Vector ในกรณีที่จำนวนสถานีงานที่ได้ของ Trial Vector ต่ำกว่าหรือเท่ากับ Target Vector ดังนั้นจะเลือก Trial Vector เป็นประชากรในรุ่นต่อไป ดังสมการที่ (4.7)

ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบระหว่าง Target Vector กับ Trial Vector จากตารางที่ 4.1 และ ตารางที่ 4.11 ของ Vector ที่ 1 พบว่า ผลของคำตอบเท่ากันที่ 6 สถานีงาน ดังนั้นจึงเลือกค่า Trial Vector เป็นประชากรในรุ่นถัดไป

4.4 "DE/rand" ร่วมกับ Exponential Crossover 2 Position

4.4.1 การสร้างคำตอบเริ่มต้น (Initial population) คือ ขั้นตอนการสุ่มจำนวนจริง 0-1 ให้กับแต่ละงาน เป็นการสร้างค่า Target Vector หรือคำตอบเริ่มต้นเพื่อเป็นค่าตัดสินใจในการจัดงานลงสถานีงานและเป็นค่าเริ่มต้นของเวกเตอร์ที่ใช้ในการ Mutation และ Crossover ต่อไป ซึ่งแสดงให้เห็นจากปัญหาตัวอย่างภาพที่ 4.2 และตารางที่ 4.1

4.4.2 Mutation คือ ขั้นตอนการการปรับเปลี่ยนพิกัดให้ได้คำตอบใหม่ที่แปลกแตกต่างไปจากกลุ่มจำนวนประชากรเดิม เรียกว่า Weighting Factor: F หรือ เรียกว่า Mutation Factor: F เพื่อจุดประสงค์ของการผ่าเหล่า โดยคำนวณหา Mutant Vector ($V_{i,G+1}$) ดังสมการที่ (4.1) และสามารถแสดงตัวอย่างการ Mutation ดังตารางที่ 4.2 และ 4.3

4.4.3 Crossover หรือ Recombination คือ ขั้นตอนการแลกเปลี่ยนพิกัดระหว่างเวกเตอร์ ซึ่งจะได้เวกเตอร์ใหม่ของคำตอบที่มีทั้งดีกว่าและแย่กว่าอย่างหลากหลาย โดยมีการสร้าง Trial Vector ($U_{ji,G+1}$) ดังสมการที่ (4.2) และทำการเปรียบเทียบและพิจารณาในการแลกเปลี่ยนพิกัดดังสมการที่ (4.7) ซึ่งสามารถแสดงตัวอย่างดังตารางที่ 4.12 และ 4.13 ดังนี้

$$U_{ji,G+1} \begin{cases} V_{ji,G+1} & \text{if (rand (j) = r1 , (j) > r2} \\ X_{ji,G+1} & \text{otherwise} \end{cases} \qquad (4.7)$$

เมื่อ $V_{ji,G+1}$ = Mutant Vector

$X_{ji,G+1}$ = Target Vector

randb(j) = การสุ่มตำแหน่งพิกัดในเวกเตอร์ , j = 1,2,3,...,G

(G=จำนวนพิกัด) และ r1 , r2 = พิกัดที่ถูกสุ่มตำแหน่งที่ 1 และ 2

ตารางที่ 4.12 ผลการ Exponential Crossover 2 Position เวกเตอร์ที่ 1 ที่ใช้ร่วมกับวิธี "DE/rand"

Vector	Position	1	2	3	4	5	6	7	8
1	Work	1	2	3	4	6	8	5	7
	Target Vector	0.3	0.72	0.53	0.81	0.44	0.57	0.68	0.92
	Mutant Vector	-0.02	1.07	0.60	0.634	0.648	0.634	0.71	0.90
	rand(j)	-	2	-	-	-	6	-	-
	Trial Vector	-0.02	1.07	0.53	0.81	0.44	0.57	0.71	0.90

จากตารางที่ 4.12 แสดงผลของ Exponential Crossover 2 Position เวกเตอร์ที่ 1 ซึ่งสุ่มพิกัดได้ r1 = 2 และr2 = 6 ดังนั้น Trial Vector ของพิกัดที่ 1 - 2 และ 7 - 8 จะใช้ค่าของ Mutant Vector ส่วนตำแหน่งอื่นๆที่เหลือจะใช้ค่าของ Target Vector

ตารางที่ 4.13 ผลการจัดสมดุลสายการประกอบโดยใช้ค่า Trial Vector จากตารางที่ 4.12

Vector 1	**Station**	1	2	3		4		5	
	Work	1	2	3	5	7	4	6	8
	Time	11	17	9	8	10	5	12	3
	Trial Vector	-0.02	1.07	0.53	0.44	0.71	0.81	0.57	0.90

จากตารางที่ 4.13 เมื่อนำค่า Trial Vector ที่ได้มาทำการจัดสมดุลสายการประกอบตามเงื่อนไขลำดับงานก่อนหลังและเวลารวมแต่ละสถานีงานต้องไม่เกินรอบเวลาผลิต โดยพิจารณา Trial Vector ที่มีค่าต่ำก่อน ทำให้ได้คำตอบ 5 สถานี

4.4.4 Selection คือ ขั้นตอนการคัดเลือกประชากรในรุ่นต่อไป (G+1) ซึ่งจะคัดเลือกเอาแต่เฉพาะ คำตอบที่ดีกว่า โดยการเปรียบเทียบผลของ Target Vector กับ Trial Vector ในกรณีที่จำนวนสถานีงานที่ได้ของ Trial Vector ต่ำกว่าหรือเท่ากับ Target Vector ดังนั้นจะเลือก Trial Vector เป็นประชากรในรุ่นต่อไป ดังสมการที่ (4.7)

ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบระหว่าง Target Vector กับ Trial Vector จากตารางที่ 4.1 และตารางที่ 4.13 ของVector ที่ 1 พบว่า ผลของผลของคำตอบของ Target Vector เท่ากับ 6 สถานี และผลคำตอบของ Trial Vector ให้ผลดีกว่าคือ 5 สถานี ดังนั้นจึงเลือกค่า Trial Vector เป็นประชากรในรุ่นถัดไป

4.5 "DE/Best/1" ร่วมกับ Exponential Crossover 2 Position

4.5.1 การสร้างคำตอบเริ่มต้น (Initial population) คือ ขั้นตอนการสุ่มจำนวนจริง 0-1 ให้กับแต่ละงาน เป็นการสร้างค่า Target Vector หรือคำตอบเริ่มต้นเพื่อเป็นค่าตัดสินใจในการจัดงานลงสถานีงานและเป็นค่าเริ่มต้นของเวกเตอร์ที่ใช้ในการ Mutation และ Crossover ต่อไป ซึ่งแสดงให้เห็นจากปัญหาตัวอย่างภาพที่ 4.1 และตารางที่ 4.1

4.5.2 Mutation คือ ขั้นตอนการการปรับเปลี่ยนพิกัดให้ได้คำตอบใหม่ที่แปลกแตกต่างไปจากกลุ่มจำนวนประชากรเดิม เรียกว่า Weighting Factor: F หรือ เรียกว่า Mutation Factor: F เพื่อจุดประสงค์ของการผ่าเหล่า โดยคำนวณหา Mutant Vector ($V_{i,G+1}$) ดังสมการที่ (4.5) และสามารถแสดงตัวอย่างการ Mutation ดังตารางที่ 4.6

4.5.3 Crossover หรือ Recombination คือ ขั้นตอนการแลกเปลี่ยนพิกัดระหว่างเวกเตอร์ ซึ่งจะได้เวกเตอร์ใหม่ของคำตอบที่มีทั้งดีกว่าและแย่กว่าอย่างหลากหลาย โดยมีการสร้าง

Trial Vector ($U_{ji,G+1}$) ดังสมการที่ (4.2) และทำการเปรียบเทียบและพิจารณาในการแลกเปลี่ยนพิกัด ดังสมการที่ (4.7) ซึ่งสามารถแสดงตัวอย่างดังตารางที่ 4.14 และ 4.15 ดังนี้

ตารางที่ 4.14 ผลการ Exponential Crossover 2 Position เวกเตอร์ที่ 1 ที่ใช้ร่วมกับวิธี "DE/Best/1"

Vector	Position	1	2	3	4	5	6	7	8
1	Work	1	2	3	4	6	8	5	7
	Target Vector	0.3	0.72	0.53	0.81	0.44	0.57	0.68	0.92
	Mutant Vector	0.42	1.172	0.512	0.344	0.778	0.754	0.242	0.904
	rand(j)	-	2	-	-	-	6	-	-
	Trial Vector	0.42	1.172	0.53	0.81	0.44	0.57	0.242	0.904

จากตารางที่ 4.14 แสดงผลของ Exponential Crossover เวกเตอร์ที่ 1 ซึ่งสุ่มพิกัดได้ r1 = 2 และ r2 = 6 ดังนั้น Trial Vector ของพิกัดที่ 1 - 2 และ 7 - 8 จะใช้ค่าของ Mutant Vector ส่วนตำแหน่งอื่นๆ ที่เหลือจะใช้ค่าของ Target Vector

ตารางที่ 4.15 ผลการจัดสมดุลสายการประกอบโดยใช้ค่า Trial Vector จากตารางที่ 4.14

	Station	1	2	3		4		5	
Vector 1	Work	1	2	3	5	7	4	6	8
	Time	11	17	9	8	10	5	12	3
	Trial Vector	0.42	1.172	0.53	0.44	0.242	0.81	0.57	0.904

จากตารางที่ 4.15 เมื่อนำค่า Trial Vector ที่ได้มาจัดสมดุลสายการประกอบตามเงื่อนไขลำดับงานก่อนหลังและเวลารวมแต่ละสถานีงานต้องไม่เกินรอบเวลาผลิต โดยพิจารณา Trial Vector ที่มีค่าต่ำก่อน ทำให้ได้คำตอบ 5 สถานี

4.5.4 Selection คือ ขั้นตอนการคัดเลือกประชากรในรุ่นต่อไป (G+1) ซึ่งจะคัดเลือกเอาแต่เฉพาะ คำตอบที่ดีกว่า โดยการเปรียบเทียบผลของ Target Vector กับ Trial Vector ในกรณีที่จำนวนสถานีงานที่ได้ของ Trial Vector ต่ำกว่าหรือเท่ากับ Target Vector ดังนั้นจะเลือก Trial Vector เป็นประชากรในรุ่นต่อไป ดังสมการที่ (4.7)

ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบระหว่าง Target Vector กับ Trial Vector จากตารางที่ 4.1 และ 4.15 ของ Vector ที่ 1 พบว่า ผลของผลของคำตอบของ Target Vector เท่ากับ 6 สถานี และผลคำตอบของ Trial Vector ให้ผลดีกว่าคือ 5 สถานี ดังนั้นจึงเลือกค่า Trial Vector เป็นประชากรในรุ่นถัดไป

4.6 "DE/rand-to-best/1" ร่วมกับ Exponential Crossover 2 Position

4.6.1 การสร้างคำตอบเริ่มต้น (Initial population) คือ ขั้นตอนการสุ่มจำนวนจริง 0-1 ให้กับแต่ละงาน เป็นการสร้างค่า Target Vector หรือคำตอบเริ่มต้นเพื่อเป็นค่าตัดสินใจในการจัดงานลงสถานีงานและเป็นค่าเริ่มต้นของเวกเตอร์ที่ใช้ในการ Mutation และ Crossover ต่อไป ซึ่งแสดงให้เห็นจากปัญหาตัวอย่างภาพที่ 4.2 และตารางที่ 4.1

4.6.2 Mutation คือ ขั้นตอนการการปรับเปลี่ยนพิกัดให้ได้คำตอบใหม่ที่แปลกแตกต่างไปจากกลุ่มจำนวนประชากรเดิม เรียกว่า Weighting Factor: F หรือ เรียกว่า Mutation Factor: F เพื่อจุดประสงค์ของการผ่าเหล่า โดยคำนวณหา Mutant Vector ($V_{i,G+1}$) ดังสมการ ที่ (4.6) และสามารถแสดงตัวอย่างการ Mutation ดังตารางที่ 4.9

4.6.3 Crossover หรือ Recombination คือ ขั้นตอนการแลกเปลี่ยนพิกัดระหว่างเวกเตอร์ ซึ่งจะได้เวกเตอร์ใหม่ของคำตอบที่มีทั้งดีกว่าและแย่กว่าอย่างหลากหลาย โดยมีการสร้าง Trial Vector ($U_{ji,G+1}$) ดังสมการที่ (4.2) และทำการเปรียบเทียบและพิจารณาในการแลกเปลี่ยนพิกัดดังสมการที่ (4.7) ซึ่งสามารถแสดงตัวอย่างดังตารางที่ 4.16 และ 4.17 ดังนี้

ตารางที่ 4.16 ผลการ Exponential crossover 2 position เวกเตอร์ที่ 1 ที่ใช้ร่วมกับวิธี "DE/rand-to-best/1"

Vector	Position	1	2	3	4	5	6	7	8
1	**Work**	1	2	3	4	6	8	5	7
	Target Vector	0.3	0.72	0.53	0.81	0.44	0.57	0.68	0.92
	Mutant Vector	0.33	1.152	0.53	0.402	0.752	0.730	0.336	0.904
	rand(j)	-	2	-	-	-	6	-	-
	Trial Vector	0.33	1.152	0.53	0.81	0.44	0.57	0.336	0.904

จากตารางที่ 4.16 แสดงผลของ Exponential Crossover เวกเตอร์ที่ 1 ซึ่งสุ่มพิกัดได้ r1 = 2 และ r2 = 6 ดังนั้น Trial Vector ของพิกัดที่ 1 - 2 และ 7 - 8 จะใช้ค่าของ Mutant Vector ส่วนตำแหน่งอื่นๆที่เหลือจะใช้ค่าของ Target Vector

ตารางที่ 4.17 ผลการจัดสมดุลสายการประกอบโดยใช้ค่า Trial Vector จากตารางที่ 4.16

Vector 1	**Station**	1	2	3		4		5	
	Work	1	2	3	5	4	6	8	7
	Time	11	17	9	8	5	12	3	10
	Trial Vector	0.33	1.152	0.53	0.336	0.81	0.44	0.57	0.904

จากตารางที่ 4.17 เมื่อนำค่า Trial Vector ที่ได้มาจัดสมดุลสายการประกอบตามเงื่อนไขลำดับงานก่อนหลังและเวลารวมแต่ละสถานีงานต้องไม่เกินรอบเวลาผลิต โดยพิจารณา Trial Vector ที่มีค่าต่ำก่อน ทำให้ได้คำตอบ 5 สถานี

4.6.4 Selection คือ ขั้นตอนการคัดเลือกประชากรในรุ่นต่อไป (G+1) ซึ่งจะคัดเลือกเอาแต่เฉพาะ คำตอบที่ดีกว่า โดยการเปรียบเทียบผลของ Target Vector กับ Trial Vector ในกรณีที่จำนวนสถานีงานที่ได้ของ Trial Vector ต่ำกว่าหรือเท่ากับ Target Vector ดังนั้นจะเลือก Trial Vector เป็นประชากรในรุ่นต่อไป ดังสมการที่ (4.7)

ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบระหว่าง Target Vector กับ Trial Vector จากตารางที่ 4.1 และตารางที่ 4.17 ของ Vector ที่ 1 พบว่า ผลของผลของคำตอบของ Target Vector เท่ากับ 6 สถานี และผลคำตอบของ Trial Vector ให้ผลดีกว่าคือ 5 สถานี ดังนั้นจึงเลือกค่า Trial Vector เป็นประชากรในรุ่นถัดไป

4.7 ผลการทดลองวิธีการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างสำหรับปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบแบบเส้นตรงประเภทที่ 1

4.7.1 ชุดปัญหาของ Talbot

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องของ Andreas C. Nearchou (2005) ที่นำวิธีการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างมาใช้จัดสมดุลสายการประกอบชุดปัญหาของ Talbot ที่มีปัญหาของ Mertens , Bowman , Jaeshke , Mansoor , Jackson , Mitchell , Heskiaoff , Sawyer , Kilbridge , Tonge , Arcus1 , Arcus2 มีจำนวนงานตั้งแต่ 7 – 11 งาน ซึ่งสามารถพบคำตอบที่ดีที่สุด 61 ปัญหา จาก 64 ปัญหา ผู้วิจัยจึงใช้วิธีการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง ที่ประยุกต์ขึ้นกับชุดปัญหาเดียวกัน เพื่อเปรียบเทียบผลคำตอบและเปรียบเทียบระหว่างวิธีการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างทั้ง 6 วิธีที่ประยุกต์ขึ้น โดยมีจำนวนสถานีงาน, รอบเวลาการผลิตและคำตอบที่ดีที่สุดที่นำข้อมูลมาจาก http://www.assembly-line-balancing.de/ ซึ่งใช้โปรแกรม Bloodhed Dev-C++ 4.9.9.2. และกำหนดค่า Np = 150 , F = 0.8 และ Cr = 0.8 ที่ได้จากการหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม ซึ่งจากการประยุกต์นำวิธี Mutation 3 วิธีมาใช้ร่วมกับวิธี Crossover 2 วิธี จะทำให้ได้วิธีปรับปรุงคำตอบ 6 วิธี ดังนี้

"DE/rand" ร่วมกับ Binomial Crossover

"DE/Best/1" ร่วมกับ Binomial Crossover

"DE/rand-to-best/1" ร่วมกับ Binomial Crossover

"DE/rand" ร่วมกับ Exponential Crossover 2 Position

"DE/Best/1" ร่วมกับ Exponential Crossover r 2 Position

"DE/rand-to-best/1" ร่วมกับ Exponential Crossover 2 Position

จากการทดลองพบว่าทั้ง 6 วิธีสามารถพบคำตอบที่ดีที่สุดทุกวิธี ดังนั้นผู้วิจัยจึงนำมาเปรียบเทียบโดยพิจารณาเวลาที่พบคำตอบที่ดีที่สุด ซึ่งจากการทดลองเปรียบเทียบทั้ง 6 วิธี พบว่าสามารถพบคำตอบที่ดีที่สุดในเวลาที่เร็วที่สุดจำนวน 27, 34, 31, 45, 59 และ 54 ปัญหา ตามลำดับดังตารางที่ 4.18

ตารางที่ 4.18 ผลเปรียบเทียบระหว่างทั้ง 6 วิธี สำหรับชุดปัญหาของ Talbot

Problem	n	CT	DE					
			1	2	3	4	5	6
Mertens	7	6	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
		7	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
		8	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
		10	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
		15	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
		18	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
Bowman	8	20	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
Jaeshke	9	6	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
		7	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
		8	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
		10	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
		18	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
Mansoor	11	48	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
		62	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
		94	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
Jackson	11	7	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
		9	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
		10	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
		13	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
		14	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
		21	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
Mitchell	21	14	0.008	0.007	0.008	0.008	0.006	0.007
		15	0.007	0.007	0.007	0.006	0.006	0.007
		21	0.007	0.006	0.007	0.006	0.006	0.006
		26	0.007	0.006	0.007	0.006	0.006	0.006
		35	0.007	0.006	0.007	0.007	0.006	0.006
		39	0.007	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006
Heskiaoff	28	138	0.003	0.003	0.004	0.003	0.003	0.003
		205	0.004	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003
		216	0.004	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003
		256	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003
		324	0.003	0.003	0.004	0.003	0.002	0.003
		342	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003

ตารางที่ 4.18 ผลเปรียบเทียบระหว่างทั้ง 6 วิธี สำหรับชุดปัญหาของ Talbot (ต่อ)

Problem	n	CT	DE					
			1	2	3	4	5	6
Sawyer	30	25	0.1	0.007	0.004	0.005	0.006	0.004
		27	0.003	0.003	0.003	0.003	0.004	0.003
		30	0.004	0.004	0.004	0.003	0.003	0.003
		36	0.004	0.004	0.004	0.003	0.004	0.004
		41	0.004	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003
		54	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003
		75	0.003	0.003	0.003	0.004	0.003	0.003
Kilbridge	45	57	0.017	0.016	0.016	0.015	0.015	0.015
		79	0.015	0.015	0.015	0.014	0.014	0.015
		92	0.015	0.015	0.015	0.014	0.014	0.015
		110	0.016	0.015	0.015	0.016	0.014	0.014
		138	0.016	0.015	0.015	0.015	0.014	0.014
		184	0.016	0.016	0.015	0.015	0.014	0.014
Tonge	70	176	0.218	0.16	0.207	0.096	0.012	0.014
		364	0.056	0.056	0.056	0.054	0.053	0.053
		410	0.056	0.055	0.056	0.054	0.051	0.052
		468	0.056	0.056	0.058	0.053	0.051	0.051
		527	0.055	0.055	0.055	0.052	0.052	0.052
Arcus1	83	5048	0.036	0.036	0.035	0.033	0.034	0.032
		5853	0.036	0.036	0.035	0.033	0.032	0.032
		6842	0.039	0.036	0.037	0.034	0.032	0.032
		7571	0.036	0.035	0.035	0.033	0.033	0.033
		8412	0.035	0.036	0.034	0.034	0.033	0.034
		8898	0.035	0.036	0.035	0.033	0.032	0.033
		10816	0.042	0.037	0.036	0.033	0.032	0.032
Arcus2	111	5755	4.22	0.23	0.12	0.21	0.2	0.1
		8847	0.116	0.11	0.11	0.1	0.1	0.1
		10027	0.11	0.11	0.11	0.1	0.1	0.1
		10743	0.11	0.11	0.11	0.1	0.1	0.1
		11378	0.11	0.11	0.11	0.1	0.1	0.1
		17067	0.11	0.11	0.11	0.1	0.1	0.1
Total			27	34	31	45	**59**	**54**

จากผลการทดลองในตารางที่ 4.18 แสดงปัญหาทั้ง 64 ปัญหาที่มีตั้งแต่ 7-111 งาน (n) และมีรอบเวลาการผลิต (CT) ของแต่ละปัญหา โดยตัวเลขในตารางคือเวลาที่พบคำตอบที่ดีที่สุดของแต่ละวิธี และตัวเลขในตารางที่มีสีทึบ หมายถึง เวลาของวิธีที่สามารถพบคำตอบที่ดีที่สุดในเวลาที่เร็วที่สุด เมื่อเปรียบเทียบระหว่างทั้ง 6 วิธี วิธี เช่น ปัญหา Arcus 83 งาน ที่รอบเวลาการผลิต 10816 จะมีเพียงวิธีที่ 5 และวิธีที่ 6 ที่ใช้วิธี "DE/Best/1" ร่วมกับ Exponential Crossover 2 Position และ "DE/rand-to-best/1" ร่วมกับ Crossover 2 Position ที่พบคำตอบที่ดีที่สุดในเวลาที่เร็วที่สุดเท่ากัน ส่วนวิธีที่ 1-4 ที่นั้นจะพบคำตอบที่ดีที่สุดในเวลาที่ช้ากว่า

จากผลการทดลองเมื่อเปรียบเทียบระหว่างขั้นตอนวิธีการ Mutation ทั้ง 3 วิธี พบว่าวิธี "DE/Best/1" ใช้เวลาในการหาคำตอบน้อยที่สุดและ วิธี "DE/rand" ใช้เวลาในการหาคำตอบมากที่สุด เนื่องจาก วิธี "DE/rand" จะเป็นการกระจายสุ่มหาคำตอบทั่วทุกพื้นที่ของคำตอบที่เป็นไปได้ ซึ่งเหมาะกับปัญหาขนาดเล็กที่มีพื้นที่ของคำตอบที่เป็นไปได้น้อย แต่วิธี "DE/Best/1" จะเป็นการนำพิกัดของเวกเตอร์ที่ดีที่สุดของประชากรในแต่ละรุ่นเข้ามาร่วมหาคำตอบ โดยพิกัด best นี้จะเป็นตัวนำไปหาคำตอบในบริเวณพื้นที่ที่พบคำตอบที่ดี ส่วนวิธี "DE/rand-to-best/1" จะมีประสิทธิภาพมากที่สุดเหมาะกับปัญหาที่มีขนาดใหญ่มีความซับซ้อนของปัญหามากคือมีจำนวนคำตอบที่ดีที่สุดจำนวนน้อย เนื่องจากเป็นการหาคำตอบโดยใช้วิธี "DE/rand" ร่วมกันกับวิธี "DE/Best/1" ซึ่งวิธี "DE/Best/1" นั้นจะเป็นการหาคำตอบในพื้นที่ที่พบคำตอบที่ดีแต่อาจจะไม่ใช่พื้นที่ที่มีคำตอบที่ดีที่สุด ทำให้คำตอบจะวนอยู่ในบริเวณนั้นและมีโอกาสที่จะพบคำตอบที่ดีที่สุดลดลง เมื่อนำมาใช้ร่วมกับวิธี "DE/rand" จะเป็นการช่วยให้มีการหาคำตอบออกจากพื้นที่คำตอบที่ดีที่อาจจะไม่ใช่พื้นที่ที่มีคำตอบที่ดีที่สุดไปยังพื้นที่อื่นที่เป็นไปได้ ทำให้มีโอกาสพบคำตอบที่ดีที่สุดมากขึ้น เช่น ปัญหา Arcus 83 งาน ที่รอบเวลาการผลิต 5048 และ ปัญหา Arcus 111 งาน ที่รอบเวลาการผลิต 5755 ซึ่งเป็นรอบเวลาการผลิต ที่ต่ำมีจำนวนคำตอบที่ดีที่สุดสำหรับทั้ง 2 ปัญหานี้น้อยจะพบว่าวิธี "DE/rand-to-best/1" ที่ใช้ร่วมกับ Exponential Crossover 2 Position จะใช้เวลาในการหาคำตอบน้อย แต่จะใช้เวลาในการคำนวณมากกว่าทั้ง 2 วิธีสำหรับชุดปัญหาของ Talbot ที่มีขนาดเล็กและจำนวนคำตอบที่ดีที่สุดมาก

4.7.2 ชุดปัญหาของ Scholl

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องของ Pedro M. Vilarinho and Ana Sofia Simaria (2002) ที่นำวิธีเลียนแบบการอบอ่อนมาใช้จัดสมดุลสายการประกอบแบบชุดปัญหาของ Scholl ที่มีปัญหาของ Rosenberg , Buxey , Lutz 1 , Gunther , Hahn , Warnecke , Lutz 2 , Lutz 3 , Mukherjee , Bartholdi 2 และ Svholl ที่มีจำนวนงานตั้งแต่ 25 – 297 งานซึ่งสามารถพบคำตอบที่ดีที่สุด 76 ปัญหาจาก 168 ปัญหา ผู้วิจัยจึงใช้วิธีการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างที่ประยุกต์ขึ้นกับชุดปัญหาเดียวกัน

เพื่อเปรียบเทียบผลคำตอบและเปรียบเทียบระหว่างวิธีการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างของทั้ง 6 วิธี ที่ประยุกต์ขึ้น กับปัญหาที่มีขนาดและความซับซ้อนของปัญหาเพิ่มขึ้นจากชุดปัญหาของ Talbot ดังตารางที่ 4.19 โดยมีจำนวนสถานีงาน (n) รอบเวลาการผลิต (CT) และคำตอบที่ดีที่สุด (m*) ที่นำข้อมูลมาจาก http://www.assembly-line-balancing.de/ ซึ่งใช้โปรแกรม Bloodhed Dev-C++ 4.9.9.2. และกำหนด ค่า Np = 150 , F = 0.8 และ Cr = 0.8 ที่ได้จากการหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม

ตารางที่ 4.19 ผลการจัดจัดสมดุลสายกการประกอบชุดปัญหาของ Scholl ของทั้ง 6 วิธี

Problem	n	CT	m*	DE					
				1	2	3	4	5	6
Rosenberg	25	14	10	10	10	10	10	10	10
		16	8	8	8	8	8	8	8
		18	8	8	8	8	8	8	8
		21	6	6	6	6	6	6	6
		25	6	6	6	6	6	6	6
		32	4	4	4	4	4	4	4
Buxey	29	27	13	13	13	13	13	13	13
		30	12	12	12	12	12	12	12
		33	11	11	11	11	11	11	11
		36	10	10	10	10	10	10	10
		41	8	8	8	8	8	8	8
		47	7	7	7	7	7	7	7
		54	7	7	7	7	7	7	7
Lutz 1	32	1414	11	11	11	11	11	11	11
		1572	10	10	10	10	10	10	10
		1768	9	9	9	9	9	9	9
		2020	9	9	9	9	9	9	9
		2357	7	7	7	7	7	7	7
		2828	6	6	6	6	6	6	6
Gunther	35	41	14	14	14	14	14	14	14
		44	12	12	12	12	12	12	12
		49	11	11	11	11	11	11	11
		54	9	9	9	9	9	9	9
		61	9	9	9	9	9	9	9
		69	8	8	8	8	8	8	8
		81	7	7	7	7	7	7	7

ตารางที่ 4.19 ผลการจัดจัดสมดุลสายกการประกอบชุดปัญหาของ Scholl ของทั้ง 6 วิธี (ต่อ)

Problem	n	CT	m*	DE					
				1	2	3	4	5	6
Hahn	53	2004	8	8	8	8	8	8	8
		2338	7	7	7	7	7	7	7
		2806	6	6	6	6	6	6	6
		3507	5	5	5	5	5	5	5
		4676	4	4	4	4	4	4	4
Warnecke	58	54	32	32	32	32	32	32	32
		56	29	30	30	30	30	30	30
		58	29	29	29	29	29	29	29
		60	27	28	28	28	28	28	28
		62	27	28	28	28	28	28	28
		65	25	26	26	26	26	26	26
		68	24	25	25	25	25	25	25
		71	23	23	23	23	23	23	23
		74	22	22	22	22	22	22	22
		78	21	21	21	21	21	21	21
		82	20	20	20	20	20	20	20
		86	19	19	19	19	19	19	19
		92	17	18	18	18	18	18	18
		97	17	17	17	17	17	17	17
		104	15	16	16	16	16	16	16
Wee-Mag	75	28	63	63	63	63	63	63	63
		29	63	63	63	63	63	63	63
		30	62	62	62	62	62	62	62
		31	62	62	62	62	62	62	62
		32	61	61	61	61	61	61	61
		33	61	61	61	61	61	61	61
		34	61	61	61	61	61	61	61
		35	60	60	60	60	60	60	60
		36	60	60	60	60	60	60	60
		37	60	60	60	60	60	60	60
		38	60	60	60	60	60	60	60
		39	60	60	60	60	60	60	60
		40	60	60	60	60	60	60	60
		41	59	59	59	59	59	59	59
		42	55	55	55	55	55	55	55

ตารางที่ 4.19 ผลการจัดจัดสมดุลสายกการประกอบชุดปัญหาของ Scholl ของทั้ง 6 วิธี (ต่อ)

Problem	n	CT	m*	DE					
				1	2	3	4	5	6
Wee-Mag	75	43	50	50	50	50	50	50	50
		45	38	38	38	38	38	38	38
		46	34	36	36	36	36	36	35
		47	33	33	33	33	33	33	33
		49	32	32	32	32	32	32	32
		50	32	32	32	32	32	32	32
		52	31	31	31	31	31	31	31
		54	31	31	31	31	31	31	31
		56	30	30	30	30	30	30	30
Lutz 2	89	11	49	50	50	50	50	50	50
		12	44	46	46	46	45	45	45
		13	40	41	41	41	41	41	41
		14	37	39	39	39	39	38	38
		15	34	34	34	34	34	34	34
		16	31	33	33	32	32	32	32
		17	29	30	30	30	30	30	30
		18	28	28	28	28	28	28	28
		19	26	27	27	27	27	27	27
		20	25	26	26	26	26	26	25
		21	24	24	24	24	24	24	24
Lutz 3	89	75	23	23	23	23	23	23	23
		79	22	22	22	22	22	22	22
		83	21	21	21	21	21	21	21
		87	20	20	20	20	20	20	20
		92	19	19	19	19	19	19	19
		97	18	18	18	18	18	18	18
		103	17	17	17	17	17	17	17
		110	15	15	15	15	15	15	15
		118	14	14	14	14	14	14	14
		127	14	14	14	14	14	14	14
		137	13	13	13	13	13	13	13
		150	12	12	12	12	12	12	12

ตารางที่ 4.19 ผลการจัดจัดสมดุลสายกการประกอบชุดปัญหาของ Scholl ของทั้ง 6 วิธี (ต่อ)

Problem	n	CT	m*	DE					
				1	2	3	4	5	6
Mukherjee	94	176	25	25	25	25	25	25	25
		183	24	24	24	24	24	24	24
		192	23	23	23	23	23	23	23
		201	22	23	23	23	23	23	23
		211	21	21	21	21	21	21	21
		222	20	20	20	20	20	20	20
		234	19	19	19	19	19	19	19
		248	18	18	18	18	18	18	18
		263	17	17	17	17	17	17	17
		281	16	16	16	16	16	16	16
		301	15	15	15	15	15	15	15
		324	14	14	14	14	14	14	14
		351	13	13	13	13	13	13	13
Bartholdi 1	148	403	14	14	14	14	14	14	14
		434	13	13	13	13	13	13	13
		470	12	12	12	12	12	12	12
		513	11	11	11	11	11	11	11
		564	10	10	10	10	10	10	10
		626	9	9	9	9	9	9	9
		705	8	8	8	8	8	8	8
		805	7	7	7	7	7	7	7
Bartholdi 2	148	84	51	53	53	53	53	53	53
		85	51	52	52	52	52	52	52
		87	49	51	51	51	51	51	51
		89	48	50	50	50	50	50	50
		91	47	48	48	48	48	48	48
		93	46	47	47	47	47	47	47
		95	45	46	46	46	46	46	46
		97	44	46	46	46	46	46	46
		99	43	45	45	45	45	45	45
		101	42	43	43	43	43	43	43
		104	41	42	42	42	42	42	42
		106	40	42	42	42	42	42	42
		109	39	40	40	40	40	40	40
		112	38	39	39	39	39	39	39

ตารางที่ 4.19 ผลการจัดจัดสมดุลสายกการประกอบชุดปัญหาของ Scholl ของทั้ง 6 วิธี (ต่อ)

Problem	n	CT	m*	DE					
				1	2	3	4	5	6
Bartholdi	148	115	37	38	38	38	38	38	38
2		118	36	37	37	37	37	37	37
		121	35	36	36	36	36	36	36
		125	34	35	35	35	35	35	35
		129	33	34	34	34	34	34	34
		133	32	33	33	33	33	33	33
		137	31	32	32	32	32	32	32
		142	30	31	31	31	31	31	31
		146	29	30	30	30	30	30	30
		152	28	29	29	29	29	29	29
		157	27	28	28	28	28	28	28
		163	26	27	27	27	27	27	27
		170	25	26	26	26	26	26	26
Scholl	297	1394	50	52	52	52	52	52	52
		1422	50	51	51	51	51	51	51
		1452	48	50	50	50	50	50	50
		1483	48	49	49	49	49	49	49
		1515	47	48	48	48	48	48	48
		1548	46	47	47	47	47	47	47
		1584	44	46	46	46	46	46	46
		1620	44	45	45	45	45	45	45
		1659	43	43	43	43	43	43	43
		1699	42	43	43	43	43	43	43
		1742	40	41	41	41	41	41	41
		1787	40	40	40	40	40	40	40
		1834	38	39	39	39	39	39	39
		1883	37	38	38	38	38	38	38
		1935	36	37	37	37	37	37	37
		1991	35	36	36	36	36	36	36
		2049	34	35	35	35	35	35	35
		2111	33	34	34	34	34	34	34
		2177	32	33	33	33	33	33	33
		2247	31	32	32	32	32	32	32
		2322	30	31	31	31	31	31	31
		2402	29	30	30	30	30	30	30

ตารางที่ 4.19 ผลการจัดจัดสมดุลสายกการประกอบชุดปัญหาของ Scholl ของทั้ง 6 วิธี (ต่อ)

Problem	n	CT	m*	DE					
				1	2	3	4	5	6
Scholl	297	2488	28	29	29	29	29	29	29
		2580	27	28	28	28	28	28	28
		2680	26	27	27	27	27	27	27
		2787	25	26	26	26	26	26	26

จากตารางที่ 4.19 แสดงผลของการจัดจัดสมดุลสายการประกอบชุดปัญหาของ Scholl โดยใช้ทั้ง 6 วิธีที่ประยุกต์ขึ้น ซึ่งวิธีที่ 1-5 สามารถพบคำตอบที่ดีที่สุดเท่ากันจำนวน 99 ปัญหา และวิธีที่ 6 สามารถพบคำตอบที่ดีที่สุด 100 ปัญหา จาก 168 ปัญหา ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้เปรียบเทียบเพิ่มเติม โดยพิจารณาจำนวนปัญหาที่มีผลคำตอบที่ดีกว่าในระหว่างทั้ง 6 วิธี ได้จำนวน 163, 163, 164, 165, 166 และ 168 ปัญหาตามลำดับ ยกตัวอย่างเช่น ปัญหา Lutz2 ที่รอบเวลาการผลิต 14 คำตอบที่ดีที่สุดคือ 37 แต่ทั้ง 6 วิธีพบคำตอบ 39, 39, 39, 39, 38 และ 38 ตามลำดับ ดังนั้นวิธีที่ 5 และ 6 จะถือว่าผลคำตอบที่ดีกว่าในระหว่าง 6 วิธีเป็นต้น โดยชุดปัญหาของ Scholl มีจำนวนสถานีงาน (n) , รอบเวลาการผลิต (CT) , คำตอบที่ดีที่สุด (m*) ที่นำข้อมูลมาจาก www.assembly-line-balancing.de/ ของแต่ละปัญหา โดยใช้โปรแกรม Bloodhed Dev-C++ 4.9.9.2. และกำหนดค่า Np = 30 , F = 0.8 , i = 1000 และ Cr = 0.8

จากการผลการทดลองเปรียบเทียบโดยพิจารณาจำนวนปัญหาที่มีผลคำตอบที่ดีกว่าในระหว่างทั้ง 6 วิธี เมื่อเปรียบเทียบระหว่างวิธี Mutation ทั้ง 3 วิธี พบว่าวิธี "DE/rand-to-best/1" มีจำนวนมากที่สุด และ วิธี "DE/rand" มีจำนวนน้อยที่สุด และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างการ Crossover ทั้ง 2 วิธี พบว่าวิธี Exponential Crossover 2 Position มีประสิทธิภาพมากกว่ามากกว่าวิธี Binomial Crossover เนื่องจากวิธี Binomial Crossover นั้นใช้เวลาในการสุ่มค่าให้กับทุกพิกัดเพื่อเปรียบเทียบกับค่า CR ในการแลกเปลี่ยนพิกัดระหว่างเวกเตอร์แต่วิธี Exponential Crossover 2 Position จะมีการสุ่มพิกัดเพียง 2 ตำแหน่ง เพื่อใช้ในการแลกเปลี่ยนพิกัดระหว่างเวกเตอร์ ดังนั้นจากการทดลองใช้แก้ชุดปัญหาของ Scholl 168 ปัญหาจะพบว่า เมื่อเปรียบเทียบระหว่างทั้ง 6 วิธี วิธีที่ 6 ที่ใช้วิธี "DE/rand-to-best/1" ร่วมกับ Exponential Crossover 2 Position สามารถแก้ปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบโดยมีจำนวนปัญหาที่มีผลคำตอบที่ดีกว่าในระหว่าง 6 วิธีมากที่สุดคือ 168 ปัญหา ซึ่งผลการเปรียบเทียบจะคล้ายกับชุดปัญหาของ Talbot แต่จะพบว่าวิธีที่ 6 นั้นดีกว่าวิธีที่ 5 เนื่องจากชุดปัญหาของ Scholl นั้นมีขนาดและความซับซ้อนของปัญหามากกว่า สังเกตได้จากไม่

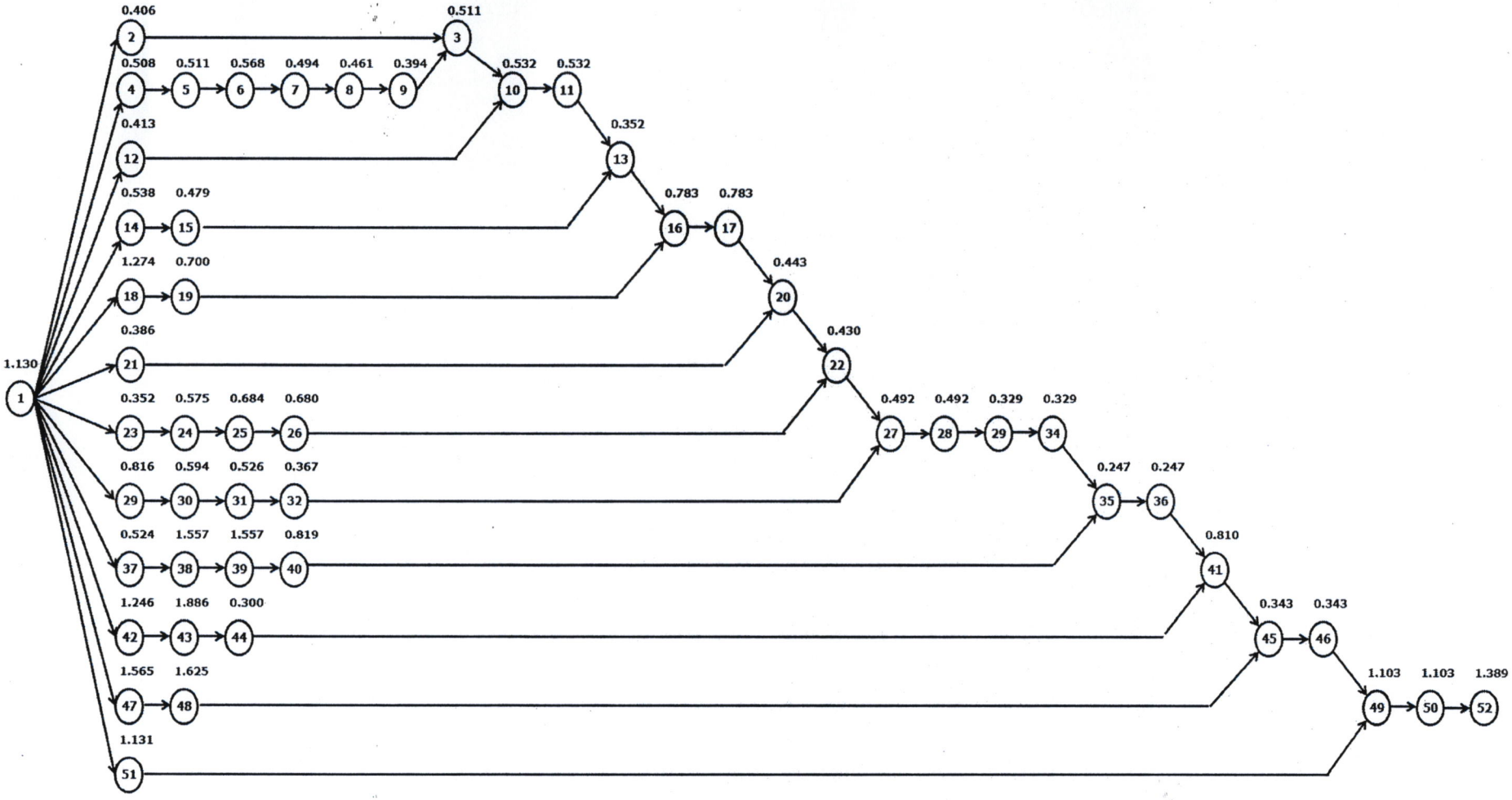
สามารถพบคำตอบที่ดีที่สุดของปัญหาถึง 68 ปัญหา จาก 168 ปัญหา ซึ่งในปัญหาลักษณะนี้จะมีคำตอบที่ดีที่สุดจำนวนน้อย แต่ในชุดปัญหาของ Talbot ที่สามารถพบคำตอบที่ดีที่สุดของปัญหาครบทั้ง 64 ปัญหาและเปรียบเทียบการใช้เวลาในการพบคำตอบที่ดีที่สุดนั้นพบว่าใช้เวลาเร็วมากในการพบคำตอบที่ดีที่สุด ซึ่งในปัญหาลักษณะนี้จะมีความซับซ้อนน้อยจำนวนคำตอบที่ดีที่สุดมีจำนวนมาก มีเพียงปัญหา Arcus2 ที่มีขนาดใหญ่และมีความซับซ้อนของปัญหามากสำหรับปัญหาที่มีรอบเวลาผลิตเท่ากับ 5755 ซึ่งทำให้วิธีที่ใช้ "DE/rand" ร่วมกับ Binomial crossover ใช้เวลามากที่สุด 4.22 วินาที

บทที่ 5
วิธีการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง
สำหรับการจัดสมดุลสายการประกอบกรณีศึกษา

ในบทนี้ผู้วิจัยได้นำวิธีการปรับปรุงคำตอบทั้ง 6 วิธี มาทำการจัดสมดุลสายการประกอบของโรงงานกรณีศึกษา โดยมีขั้นตอนและรายละเอียดดังนี้

5.1 กรณีศึกษา

จากการศึกษากรณีศึกษาโรงงานตัดเย็บเสื้อผ้าแห่งหนึ่งใน จ.อุบลราชธานี พบว่ากิจกรรมหลักขององค์กรที่ก่อให้เกิดมูลค่าคือสายการผลิตเย็บเสื้อผ้า จึงได้เลือกสายการประกอบในการเย็บเสื้อผ้ารุ่น 660284 ที่มีลักษณะรูปแบบเป็นเสื้อแจ็คเก็ตเด็กมีหมวกและกระเป๋าสอดมือด้านหน้า เนื่องจากเป็นสายการประกอบเย็บที่มีขั้นตอนงานจำนวนมาก มีขั้นตอนการเย็บตามลำดับงานก่อน-หลังในการประกอบเย็บของแต่ละชิ้นส่วนดังภาพที่ 5.1 และปัจจุบันมีประสิทธิภาพสายการผลิตอยู่ในระดับที่ต่ำ ซึ่งใช้วิธีการจัดสมดุลสายการประกอบโดยใช้ประสบการณ์ของหัวหน้างานและพิจารณาจากความยากง่ายของขั้นตอนงานและความต่อเนื่องของลำดับงาน เพื่อลดความซับซ้อนของขั้นตอนการประกอบเย็บงาน โดยมีขั้นตอนงาน 52 ขั้นตอนงาน ซึ่งเวลาของแต่ละขั้นตอนงานได้จากโปรแกรม SEW EASY ที่คำนวณเวลาการทำงานจากความยาวในการเย็บจึงได้ค่าเวลาการทำงานของแต่ละขั้นตอนเป็นค่าคงที่ดังตารางที่ 5.1 และมีสถานีงานปัจจุบัน 19 สถานี ดังตารางที่ 5.2 โดยใช้พนักงาน 19 คน มีรอบเวลาการผลิต (Cycle Time) ที่ได้จากฝ่ายวางแผนการผลิตที่มีเป้าหมายการผลิต 170 ตัวต่อวัน มีเวลาทำงาน 8 ชั่วโมงต่อวัน ซึ่งได้เผื่อเวลาที่อาจเกิดจากการสูญเสียต่างๆทำให้รอบเวลาการผลิต ของผลิตภัณฑ์นี้เท่ากับ 2.95 นาที ซึ่งรูปแบบของสายการผลิตนี้ จัดเป็นปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบแบบเส้นตรงประเภทที่ 1 (Simple Assembly Line Balancing Problem Type 1: SALBP-1)



ภาพที่ 5.1 แผนภาพลำดับงานก่อนหลังของปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบกรณีศึกษา

จากภาพที่ 5.1 แสดงแผนภาพลำดับงานก่อนหลังที่มี 52 งาน โดยตัวเลขด้านในแสดงชื่อของแต่ละขั้นตอนงาน ส่วนตัวเลขด้านบนแสดงเวลาการทำงานและลูกศรแสดงลำดับการทำงานของแต่ละงาน

ตารางที่ 5.1 เวลาและลำดับงานก่อนหลังแต่ละขั้นตอนงานของสายการผลิตกรณีศึกษา

งาน	เวลาผลิต (นาที)	P.C.	งาน	เวลาผลิต (นาที)	P.C.	งาน	เวลาผลิต (นาที)	P.C.	งาน	เวลาผลิต (นาที)	P.C.
1	1.130	-	14	0.538	1	27	0.492	22,32	40	0.819	39
2	0.406	1	15	0.479	14	28	0.492	27	41	0.810	36,44
3	0.511	2,9	16	0.783	13,19	29	0.816	1	42	1.246	1
4	0.508	1	17	0.783	16	30	0.594	29	43	1.886	42
5	0.511	4	18	1.274	1	31	0.526	30	44	0.300	43
6	0.568	5	19	0.700	18	32	0.367	31	45	0.343	41,48
7	0.494	6	20	0.443	17,19	33	0.329	28	46	0.343	45
8	0.461	7	21	0.386	1	34	0.329	33	47	1.565	1
9	0.394	8	22	0.430	20,26	35	0.247	34,40	48	1.625	47
10	0.532	3,12	23	0.352	1	36	0.247	35	49	1.103	46,51
11	0.532	10	24	0.575	23	37	0.524	1	50	1.103	49
12	0.413	1	25	0.684	24	38	1.557	37	51	1.131	1
13	0.352	11,15	26	0.680	25	39	1.557	38	52	1.389	50

จากตารางที่ 5.1 แสดงรายละเอียดของแต่ละงาน โดยมีเวลาและลำดับงานก่อน - หลัง (Precedence diagram: P.C.) ยกตัวอย่างเช่น งานที่ 1 ใช้เวลา 1.13 นาที ไม่มีลำดับงานก่อนหน้า ส่วนงานขั้นตอนที่ 3 ใช้เวลาในการทำงาน 0.511 นาที ซึ่งจะต้องทำงานที่ 2 และ 9 ก่อน จึงจะสามารถทำงานขั้นตอนที่ 3 ได้

ตารางที่ 5.2 สถานีงานของสายการประกอบกรณีศึกษาก่อนปรับปรุง

สถานีงาน	งาน	เวลารวม (นาที)	I.D. (นาที)
1	1 , 2 , 4	2.044	0.906
2	5 , 6 , 7	1.573	1.377
3	3 , 8 , 9	1.366	1.584
4	10 , 11 , 12 , 21	1.863	1.087
5	14 , 15 , 13	1.369	1.591
6	18 , 19	1.974	0.976
7	16 , 17	1.565	1.385
8	20 , 24 , 25	2.054	0.896
9	22 , 26 ,29 , 30	2.520	0.430
10	31 , 32 , 42	2.139	0.811
11	27 , 28 , 33, 34	1.641	1.309
12	43 , 44	2.186	0.764
13	37 , 38	2.081	0.870
14	39 , 40	2.376	0.575
15	35 , 36 , 41	1.304	1.646
16	47 , 51	2.696	0.254
17	45 , 46 ,48	2.311	0.639
18	49 , 50	2.206	0.744
19	46	1.389	1.561
รวม		36.656	19.395

จากตารางที่ 5.2 แต่ละสถานีงานจะมีขั้นตอนงานย่อยอยู่ โดยไม่ขัดต่อเงื่อนไขลำดับงานก่อนหลัง เวลาทำงานรวมทั้งหมด 36.656 นาที คิดประสิทธิภาพเป็น 65.39 % และเกิดเวลาว่างงาน (Idle Time: ID) 19.395 นาที

5.2 ผลการทดลองวิธีการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างสำหรับปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบกรณีศึกษา

จากการทดลองนำวิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง มาทดสอบแก้ปัญหาจัดสมดุลสายการประกอบ กรณีศึกษา โดยใช้การประยุกต์นำวิธี Mutation 3 วิธีมาใช้ร่วมกับวิธี Crossover 2 วิธี จะทำให้ได้วิธีปรับปรุงคำตอบ 6 วิธี ดังนี้

"DE/rand" ร่วมกับ Binomial Crossover

"DE/Best/1" ร่วมกับ Binomial Crossover

"DE/rand-to-best/1" ร่วมกับ Binomial Crossover

"DE/rand" ร่วมกับ Exponential Crossover 2 Position

"DE/Best/1" ร่วมกับ Exponential Crossover 2 Position

"DE/rand-to-best/1" ร่วมกับ Exponential Crossover 2 Position

เมื่อนำมาแก้ปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบกรณีศึกษา ที่มีขั้นตอนงาน 52 งาน พบว่าสามารถให้คำตอบที่เหมาะสมเท่ากัน 13 สถานี ทั้ง 6 วิธี ซึ่งสามารถยกตัวอย่างคำตอบที่ได้ดังตารางที่ 5.3 และนำมาเปรียบเทียบระหว่างทั้ง 6 วิธี โดยพิจารณาเวลาที่พบคำตอบที่เหมาะสมในการรันโปรแกรม Bloodhed Dev-C++ 4.9.9.2 จำนวน 5 ครั้ง ดังตารางที่ 5.4 และภาพที่ 5.2

ตารางที่ 5.3 ผลการจัดสมดุลสายการประกอบกรณีศึกษาด้วยวิธีการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง

สถานีงาน	งาน	เวลา (นาที)	I.D. (นาที)
1	1	1.1300	
	42	1.2460	
	37	0.5240	0.0500
2	12	0.4130	
	14	0.5380	
	29	0.8160	
	30	0.5940	
	31	0.5260	0.0630
3	43	1.8860	
	44	0.3000	
	32	0.3670	
	23	0.3520	0.0450
4	38	1.5565	
	18	1.2740	0.1195
5	39	1.5565	
	19	0.7000	
	21	0.3860	0.3075

สถานีงาน	งาน	เวลา (นาที)	I.D. (นาที)
6	24	0.5750	
	25	0.6840	
	26	0.6800	
	15	0.4790	
	4	0.5080	0.0240
7	5	0.5110	
	6	0.5680	
	7	0.4940	
	40	0.8190	
	8	0.4610	0.0970
8	9	0.3940	
	2	0.4060	
	3	0.5110	
	10	0.5320	
	11	0.5320	
	13	0.3520	0.2230

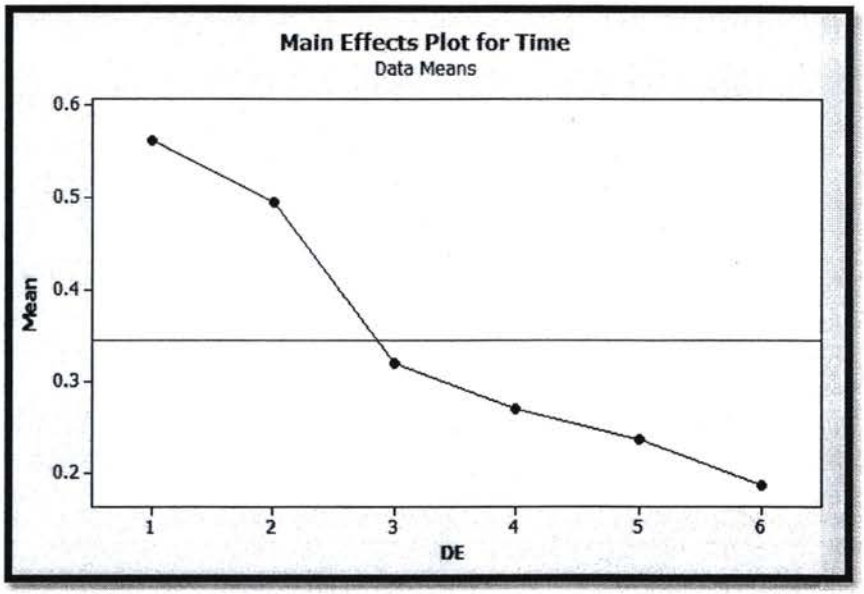
ตารางที่ 5.3 ผลการจัดสมดุลสายการประกอบกรณีศึกษาด้วยวิธีการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง (ต่อ)

สถานีงาน	งาน	เวลา (นาที)	I.D. (นาที)
9	16	0.7825	
	17	0.7825	
	20	0.4430	
	22	0.4300	
	27	0.4915	0.0205
10	28	0.4915	
	33	0.3290	
	34	0.3290	
	47	1.5650	0.2355
11	48	1.6250	
	35	0.2470	
	36	0.2470	
	41	0.8100	0.0210
12	45	0.3430	
	46	0.3430	
	51	1.1310	
	49	1.1030	0.0300
13	50	1.1030	
	52	1.3890	0.4580
รวม		36.656	1.694

จากตารางที่ 5.3 แสดงตัวอย่างผลคำตอบจากการจัดสมดุลสายการประกอบกรณีศึกษาด้วยวิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง โดยไม่ขัดต่อเงื่อนไขของกรณีศึกษา เช่น สถานีที่ 2 มีขั้นตอนงาน 12,14,29,30 และ 31 และมีเวลาว่างงาน (Idel Time) 0.063 นาที ซึ่งสามารถลดสถานีงานจากสายการผลิตปัจจุบันที่มี 19 สถานีงาน เหลือ 13 สถานีงาน เพิ่มประสิทธิภาพจาก 65.39 % เป็น 95.58 % และลดเวลาว่างงานจาก 19.395 นาที เหลือ 1.694 นาที

ตารางที่ 5.4 ผลเปรียบเทียบเวลาระหว่าง 6 วิธี ที่พบคำตอบที่เหมาะสม

Problem	n	CT (min)	DE 1 (sec)	2 (sec)	3 (sec)	4 (sec)	5 (sec)	6 (sec)
Case Study	52	2.95	0.852	0.681	0.15	0.358	0.52	0.101
			0.355	0.302	0.596	0.259	0.14	0.071
			0.667	0.374	0.113	0.256	0.205	0.325
			0.373	0.312	0.397	0.162	0.094	0.198
			0.564	0.806	0.34	0.309	0.215	0.227
$\overline{X}$			0.5622	0.495	0.3192	0.2688	0.2348	0.1844



ภาพที่ 5.2 กราฟแสดงเวลาที่พบคำตอบที่ดีที่สุดสำหรับปัญหากรณีศึกษาของทั้ง 6 วิธี

จากผลการทดลองในตารางที่ 5.4 และภาพที่ 5.2 แสดงปัญหากรณีศึกษาที่มีขั้นตอนงาน 52 งาน (n) และมีรอบเวลาการผลิต (CT) 2.95 นาที โดยใช้วิธีการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง ทั้ง 6 วิธี ในการจัดสมดุลสายการประกอบ ซึ่งจากการทดลองหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในบทที่ 4 จึงใช้ค่า F = 0.8 , Cr = 0.8 และ NP = 150 โดยเวลาในตารางหมายถึง เวลาที่พบคำตอบที่ 13 สถานีและเมื่อเปรียบเทียบระหว่างทั้ง 6 วิธี พบว่าวิธีที่ 6 ที่ใช้ "DE/rand-to-best" ร่วมกับ Exponential Crossover 2 Position ใช้เวลาเฉลี่ย ($\overline{X}$) น้อยที่สุดในการพบคำตอบที่เหมาะสม

จากผลการทดลองเมื่อเปรียบเทียบระหว่างวิธี Mutation ทั้ง 3 วิธี พบว่าวิธี "DE/rand-to-best/1" ใช้เวลาพบคำตอบที่เหมาะสมสั้นที่สุด และ วิธี "DE/rand" ใช้เวลาในการพบคำตอบที่เหมาะสมมากที่สุด ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบระหว่างวิธี Crossover ทั้ง 2 วิธี พบว่าวิธี Exponential crossover 2 position ใช้เวลาในการพบคำตอบที่เหมาะสมสั้นกว่าวิธี Binomial crossover จากการทดลองใช้แก้ปัญหากรณีศึกษา พบว่าเมื่อเปรียบเทียบระหว่างทั้ง 6 วิธี วิธีที่ 6 ที่ใช้วิธี "DE/rand-to-best/1" ร่วมกับ Exponential Crossover 2 Position สามารถแก้ปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบโดยใช้เวลาที่พบคำตอบที่เหมาะสมสั้นที่สุด ซึ่งการจัดสมดุลสายการประกอบกรณีศึกษานี้เมื่อเปรียบเทียบทั้ง 6 วิธี จะให้ผลการทดลองเหมือนกับชุดปัญหาของ Scholl ที่มีความซับซ้อนของปัญหามากทำให้วิธีที่ 6 เป็นวิธีที่เหมาะกับปัญหากรณีศึกษานี้มากที่สุด

บทที่ 6
สรุปผลการวิจัย

ในบทนี้ผู้วิจัยได้นำเสนอสรุปผลการเปรียบเทียบของวิธีการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง (Differential Evolution Algorithm: DE) ที่ประยุกต์ขึ้น 6 วิธี คือ

"DE/rand" ร่วมกับ Binomial Crossover

"DE/Best/1" ร่วมกับ Binomial Crossover

"DE/rand-to-best/1" ร่วมกับ Binomial Crossover

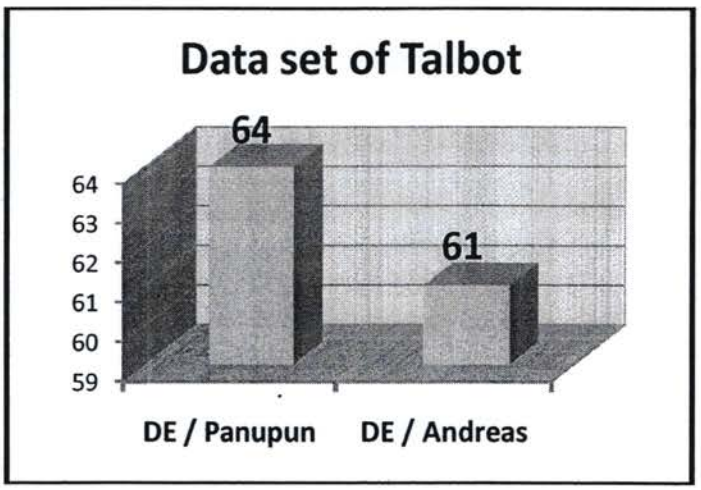
"DE/rand" ร่วมกับ Exponential Crossover 2 Position

"DE/Best/1" ร่วมกับ Exponential Crossover 2 Position

"DE/rand-to-best/1" ร่วมกับ Exponential Crossover 2 Position

6.1 เปรียบเทียบวิธีการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างที่ประยุกต์ขึ้นโดยทดลองกับชุดปัญหาของ Talbot

จากการทดลองจัดสมดุลสายการประกอบชุดปัญหาของ Talbot พบว่าวิธีที่ประยุกต์ขึ้นทั้ง 6 วิธี สามารถพบคำตอบที่ดีที่สุดได้ครบทั้ง 64 ปัญหา ซึ่งให้ผลที่ดีกว่าวิธีการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างที่ Andreas C. Nearchou (2005) ออกแบบไว้ โดยสามารถพบคำตอบที่ดีที่สุดเพียง 61 ปัญหา ดังภาพที่ 6.1

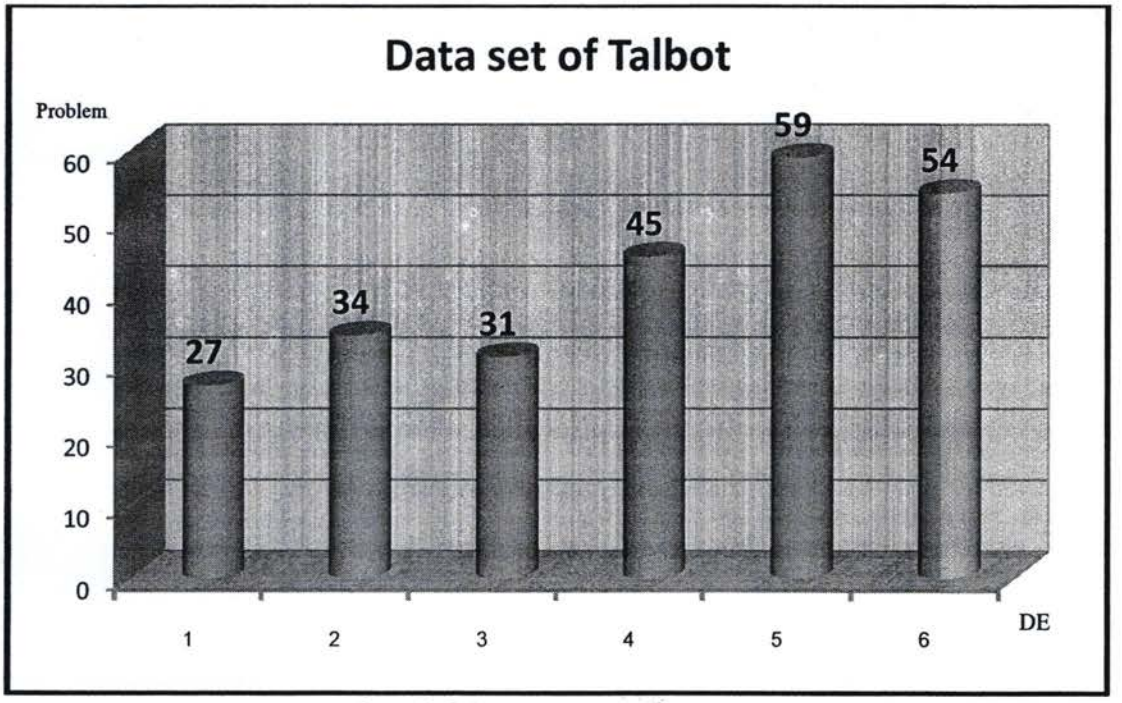


ภาพที่ 6.1 เปรียบเทียบผลระหว่างวิธีการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างที่ผู้วิจัย กับ Andreas นำเสนอสำหรับชุดปัญหาของ Talbot

ดังนั้นผู้วิจัยจึงนำมาเปรียบเทียบระหว่างทั้ง 6 วิธี โดยพิจารณาเวลาที่พบคำตอบที่ดีที่สุด ซึ่งพบว่าสามารถพบคำตอบที่ดีที่สุดในเวลาที่เร็วที่สุดจำนวน 27 , 34 ,31 , 45 ,59 และ 54 ปัญหา ตามลำดับดังตารางที่ 6.1 และภาพที่ 6.2

ตารางที่ 6.1 จำนวนปัญหาที่พบคำตอบที่ดีที่สุดในเวลาที่เร็วที่สุดระหว่างทั้ง 6 วิธี

Problem	Binomial Crossover			Exponential Crossover 2 Position		
	DE/rand	DE/best/1	DE/rand-to-best/1	DE/rand	DE/best/1	DE/rand-to-best/1
Data Set of Talbot	27	34	31	45	59	54

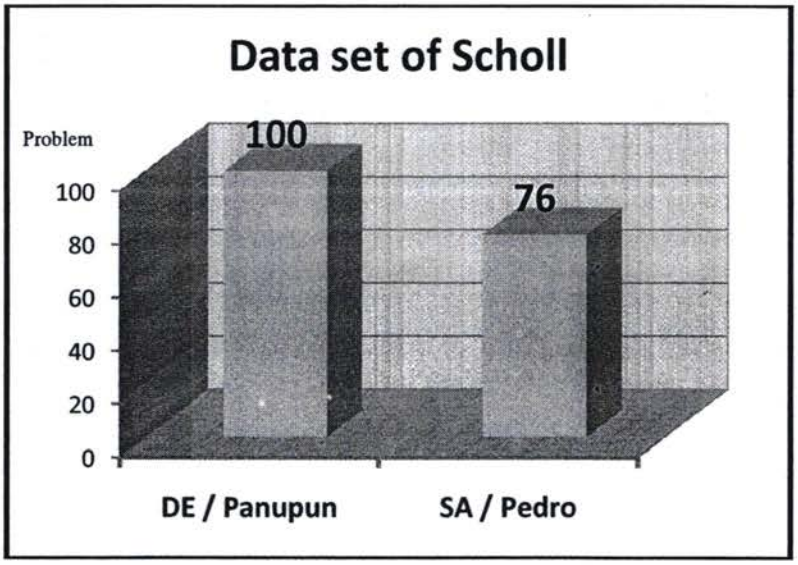


ภาพที่ 6.2 เปรียบเทียบจำนวนปัญหาที่พบคำตอบที่ดีที่สุดในเวลาที่เร็วที่สุดระหว่างทั้ง 6 วิธี

จากตารางที่ 6.1 และภาพที่ 6.2 พบว่าวิธีที่ 5 ที่ใช้วิธี "DE/Best/1" ร่วมกับ Exponential crossover 2 position มีประสิทธิภาพมากที่สุดสำหรับชุดปัญหาของ Talbot โดยมีจำนวนปัญหาที่พบคำตอบที่ดีที่สุดในเวลาเร็วที่สุดมากที่สุด 59 ปัญหา

6.2 เปรียบเทียบวิธีการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างที่ประยุกต์ขึ้นโดยทดลองกับชุดปัญหาของ Scholl

จากการทดลองจัดสมดุลสายการประกอบชุดปัญหาของ Scholl พบว่าวิธีการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างที่ประยุกต์ขึ้นวิธีที่ 1-5 สามารถพบคำตอบที่ดีที่สุดเท่ากันจำนวน 99 ปัญหา และวิธีที่ 6 สามารถพบคำตอบที่ดีที่สุด 100 ปัญหา จาก 168 ปัญหา ซึ่งให้ผลที่ดีกว่าวิธีเลียนแบบการอบอ่อนที่ Pedro M. Vilarinho and Ana Sofia Simaria (2002) ออกแบบไว้ โดยสามารถพบคำตอบที่ดีที่สุดเพียง 76 ปัญหา ดังภาพที่ 6.3

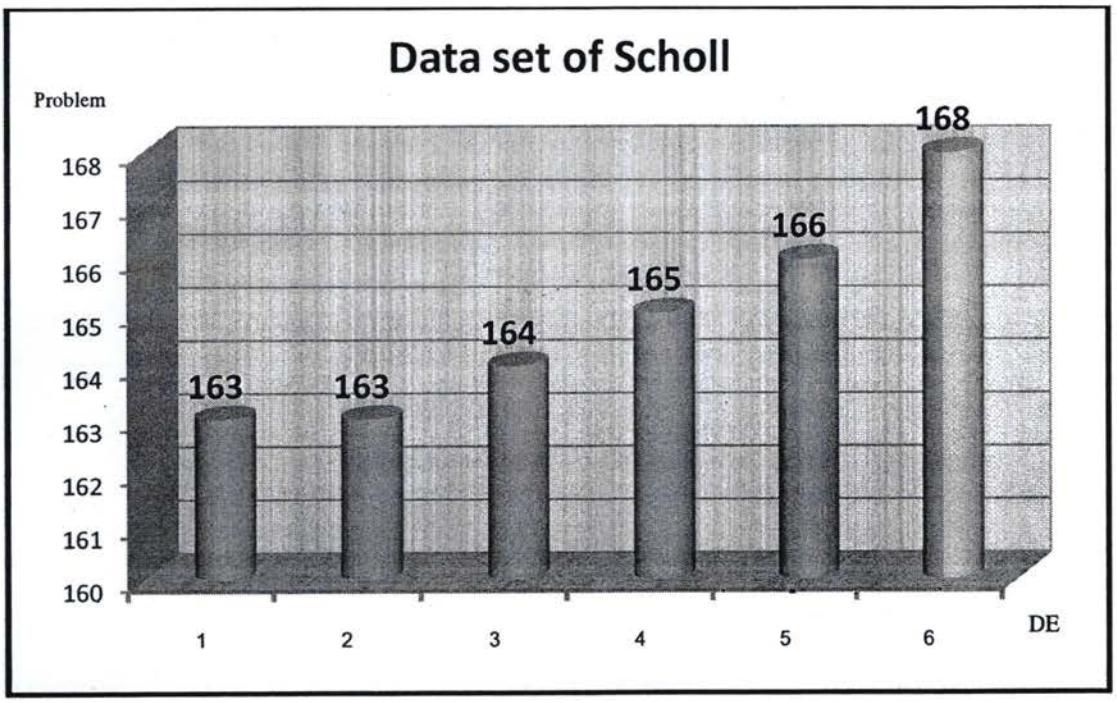


ภาพที่ 6.3 เปรียบเทียบผลระหว่างวิธีการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างของผู้วิจัยกับวิธีเลียนแบบการอบอ่อนที่ Predro นำเสนอสำหรับชุดปัญหาของ Scholl

ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้เปรียบเทียบเพิ่มเติม โดยพิจารณาจำนวนปัญหาที่มีผลคำตอบที่ดีกว่าในระหว่างทั้ง 6 วิธี ได้จำนวน 163 , 163 , 164 , 165 , 166 และ 168 ปัญหาตามลำดับ ดังตารางที่ 6.2 และภาพที่ 6.4

ตารางที่ 6.2 จำนวนปัญหาที่มีผลคำตอบที่ดีกว่าในระหว่างทั้ง 6 วิธี

Problem	Binomial Crossover			Exponential Crossover 2 Position		
	DE/rand	DE/best/1	DE/rand-to-best/1	DE/rand	DE/best/1	DE/rand-to-best/1
Data Set of Scholl	163	163	164	165	166	168

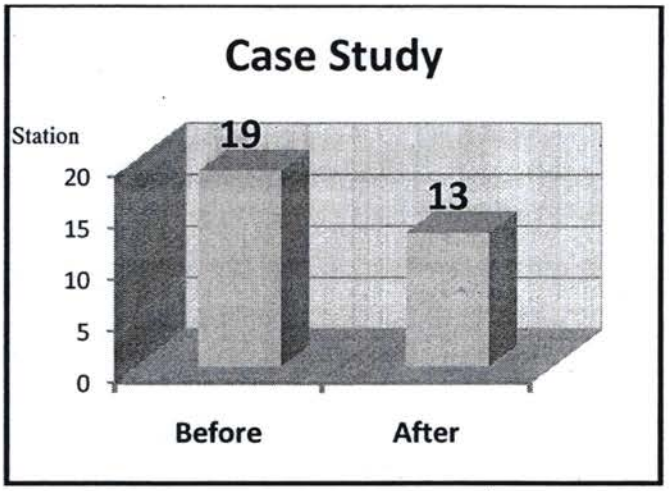


ภาพที่ 6.4 เปรียบเทียบจำนวนปัญหาที่มีผลคำตอบที่ดีกว่าในระหว่างทั้ง 6 วิธี

จากตารางที่ 6.2 และภาพที่ 6.4 พบว่าวิธีที่ 6 ที่ใช้วิธี "DE/rand-to-best/1" ร่วมกับ Exponential crossover 2 position มีประสิทธิภาพมากที่สุดสำหรับชุดปัญหาของ Scholl โดยมีจำนวนปัญหาที่พบคำตอบที่ดีกว่าในระหว่างทั้ง 6 วิธีมากที่สุด 168 ปัญหา

6.3 เปรียบเทียบวิธีการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างที่ประยุกต์ขึ้นโดยทดลองกับปัญหากรณีศึกษา

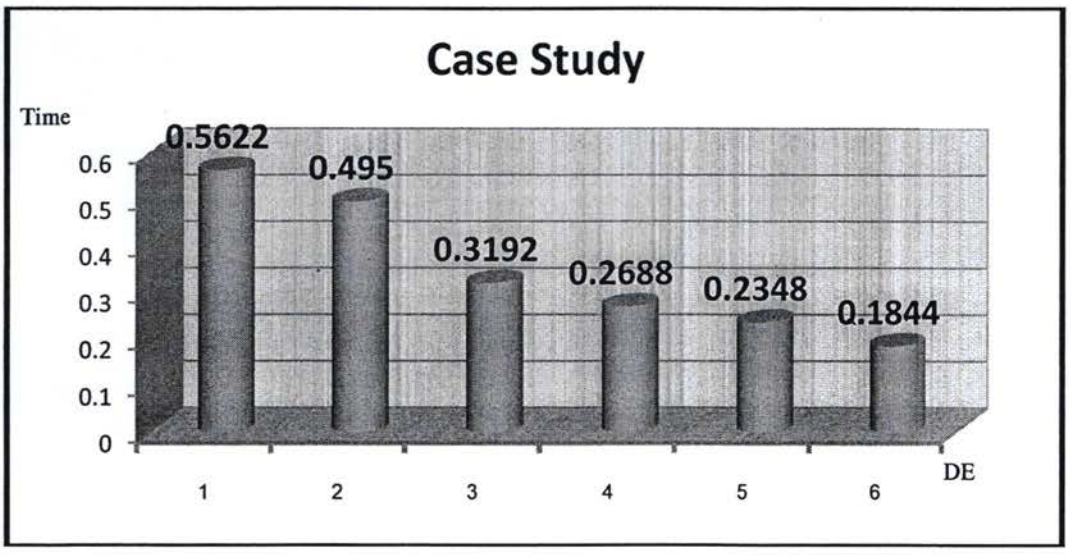
จากการทดลองจัดสมดุลสายการประกอบกรณีศึกษา พบว่าวิธีการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างที่ประยุกต์ขึ้นทั้ง 6 วิธีให้ผลคำตอบเท่ากันคือสามารถลดสถานีงานสายการประกอบปัจจุบันได้จาก 19 สถานีเหลือ 13 สถานี ดังภาพที่ 6.5 เพิ่มประสิทธิภาพจาก 65.39% เป็น 95.58% และลดเวลาว่างงานจาก 19.395 นาที เหลือ 1.694 นาที ผู้วิจัยจึงนำมาเปรียบเทียบโดยพิจารณาเวลาที่พบคำตอบที่ 13 สถานี ซึ่งจากการทดลองเปรียบเทียบทั้ง 6 วิธี พบว่าใช้เวลาเฉลี่ย ($\overline{X}$) 0.5622 , 0.495 , 0.3192 , 0.2688 , 0.2348 และ 0.1844 วินาที ตามลำดับ ตารางที่ 6.3 และภาพที่ 6.6



ภาพที่ 6.5 จำนวนสถานีงานของปัญหากรณีศึกษาก่อนและหลังการปรับปรุงด้วยวิธีการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง

ตารางที่ 6.3 เวลาเฉลี่ยที่พบคำตอบที่ 13 สถานี ระหว่างทั้ง 6 วิธี

Problem	Binomial Crossover			Exponential Crossover 2 Position		
	DE/rand (sec)	DE/best/1 (sec)	DE/rand-to-best/1 (sec)	DE/rand (sec)	DE/best/1 (sec)	DE/rand-to-best/1 (sec)
Case study	0.5622	0.495	0.3192	0.2688	0.2348	0.1844



ภาพที่ 6.6 เปรียบเทียบเวลาเฉลี่ยที่พบคำตอบที่ 13 สถานี ระหว่างทั้ง 6 วิธี

จากตารางที่ 6.3 และภาพที่ 6.6 พบว่าวิธีที่ 6 ที่ใช้วิธี "DE/rand-to-best/1" ร่วมกับ Exponential crossover 2 position มีประสิทธิภาพมากที่สุดสำหรับชุดปัญหาสายการประกอบกรณีศึกษา โดยใช้เวลาเฉลี่ยที่พบคำตอบที่ 13 สถานีสั้นที่สุด 0.1844 วินาที

6.4 สรุปผลการวิจัย

จากการประยุกต์ใช้วิธี การวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างในงานวิจัยนี้ได้ค้นพบวิธีการใหม่สำหรับการจัดสมดุลสายการประกอบแบบเส้นตรงประเภทที่ 1 (Simple Assembly Line Balancing Problem Type 1: SALBP-1) และสามารถนำวิธีที่ประยุกต์ขึ้นทั้ง 6 วิธี ไปใช้กับปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยสามารถสรุปการวิจัยได้ดังนี้

6.4.1 วิธีการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างนั้นยังไม่เป็นที่นิยมในการศึกษาและวิจัยสำหรับแก้ปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบมากนัก โดยจากการศึกษาบทความวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่า Andreas C. Nearchou (2005) ได้ใช้วิธีการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างที่มีการใช้ค่า Sub-rage (SR) ในการปรับปรุงคำตอบ ซึ่งสามารถจัดสมดุลสายการประกอบชุดปัญหาของ Talbot พบคำตอบที่ดีที่สุด 61 ปัญหา จาก 64 ปัญหา และจากการศึกษาวิธีการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างที่ Andreas นำเสนอนั้นพบว่าจะมีโอกาสทำให้คำตอบเริ่มต้นเป็นคำตอบที่ไม่เป็นจริงและต้องมีการพัฒนาซ่อมแซมคำตอบในภายหลัง ดังนั้นผู้วิจัยจึงพัฒนาวิธีการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง เพื่อให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยมีการสร้างคำตอบที่เป็นจริงตั้งแต่คำตอบเริ่มต้นทำให้ไม่ต้องมีการซ่อมแซมคำตอบในภายหลัง ซึ่งผู้วิจัยได้ประยุกต์ใช้วิธี Mutation 3 วิธีคือ "DE/rand", "DE/Best/1" , "DE/rand-to-best" มาใช้ร่วมกับวิธี Crossover 2 วิธีคือ Binomial Crossover และ Exponential Crossover 2 Position ที่ได้พัฒนาปรับปรุงจากวิธี Exponential Crossover เดิมมาพัฒนาใช้กับปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบแบบเส้นตรงประเภทที่ 1 ทำให้ได้วิธีการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างที่มีวิธีการปรับปรุงคำตอบ 6 วิธี ดังนี้

"DE/rand/1" ร่วมกับ Binomial Crossover

"DE/Best/1" ร่วมกับ Binomial Crossover

"DE/rand-to-best/1" ร่วมกับ Binomial Crossover

"DE/rand/1" ร่วมกับ Exponential Crossover 2 Position

"DE/Best/1" ร่วมกับ Exponential Crossover 2 Position

"DE/rand-to-best/1" ร่วมกับ Exponential Crossover 2 Position

6.4.2 เมื่อนำวิธีการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างที่ประยุกต์ขึ้นมาแก้ปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบชุดปัญหาของ Talbot พบว่าทั้ง 6 วิธีสามารถพบคำตอบที่ดีที่สุดได้ครบเท่ากันทั้ง 64 ปัญหา จึงถือได้ว่าวิธีที่ประยุกต์ขึ้นเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างที่ Andreas C. Nearchou (2005) นำเสนอที่พบคำตอบที่ดีที่สุดเพียง 61 ปัญหาเท่านั้น และเมื่อเปรียบเทียบจำนวนปัญหาที่พบคำตอบที่ดีที่สุดในเวลาที่สั้นที่สุดระหว่างวิธีที่ประยุกต์ขึ้นทั้ง 6 วิธี พบว่าวิธีที่ 5 ที่ใช้วิธี "DE/Best/1" ร่วมกับ Exponential Crossover 2 Position สามารถพบคำตอบที่ดีที่สุดในเวลาที่สั้นที่สุดจำนวนมากที่สุดคือ 59 ปัญหา

6.4.3 ผู้วิจัยได้ใช้วิธีการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างที่ประยุกต์ขึ้นมาทดลองเพิ่มเติมกับปัญหาที่มีความซับซ้อนและขนาดของปัญหาเพิ่มขึ้น โดยนำมาแก้ปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบชุดปัญหาของ Scholl พบว่าวิธีที่ 1-5 สามารถพบคำตอบที่ดีที่สุดเท่ากันจำนวน 99 ปัญหา และวิธีที่ 6 สามารถพบคำตอบที่ดีที่สุด 100 ปัญหา จาก 168 ปัญหา จึงถือได้ว่าวิธีที่ประยุกต์ขึ้นเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพเมื่อเปรียบเทียบ วิธีเลียนแบบการอบอ่อนที่ Pedro M. Vilarinho and Ana Sofia Simaria (2002) ออกแบบไว้ โดยสามารถพบคำตอบที่ดีที่สุดเพียง 76 ปัญหาเท่านั้น จากนั้นผู้วิจัยจึงได้เปรียบเทียบเพิ่มเติม โดยพิจารณาจำนวนปัญหาที่มีผลคำตอบที่ดีกว่าในระหว่างทั้ง 6 วิธี พบว่าวิธีที่ 6 ที่ใช้ "DE/rand-to-best/1" ร่วมกับ Exponential crossover 2 position สามารถพบคำตอบที่ดีกว่าในระหว่างทั้ง 6 วิธีจำนวนมากที่สุดคือ 168 ปัญหา

6.4.4 ผู้วิจัยได้ใช้วิธีการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างที่ประยุกต์ขึ้นมาทดลองใช้กับปัญหาจริง โดยนำมาแก้ปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบกรณีศึกษาพบว่าทั้ง 6 วิธีให้ผลคำตอบเท่ากันคือสามารถลดสถานีงานสายการประกอบปัจจุบันได้จาก 19 สถานีเหลือ 13 สถานี เพิ่มประสิทธิภาพจากจาก 65.39% เป็น 95.58% และลดเวลาว่างงานจาก 19.395 นาที เหลือ 1.694 นาที ผู้วิจัยจึงนำมาเปรียบเทียบโดยพิจารณาเวลาที่ใช้ในการค้นพบคำตอบที่ 13 สถานี พบว่าวิธีที่ 6 ที่ใช้ "DE/rand-to-best/1" ร่วมกับ Exponential crossover 2 position สามารถพบคำตอบที่ดีที่สุดโดยใช้เวลาเฉลี่ยที่สั้นที่สุด 0.1844 วินาที

6.4.5 จากการทดลองวิธีการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างที่ประยุกต์ขึ้นของทั้ง 6 วิธีกับชุดปัญหาของ Talbot , Scholl และปัญหากรณีศึกษา เมื่อเปรียบเทียบระหว่าง 6 วิธีนั้นสามารถอธิบายได้ว่าวิธีที่ 6 ที่ใช้ "DE/rand-to-best/1" ร่วมกับ Exponential crossover 2 position มีประสิทธิภาพมากที่สุดสำหรับปัญหาที่มีขนาดใหญ่มีความซับซ้อนของปัญหามากและมีคำตอบที่ดีที่สุดน้อยเมื่อเทียบกับจำนวนของคำตอบที่เป็นไปได้ เนื่องจากวิธี "DE/rand-to-best/1" จะเป็นการหาคำตอบโดยใช้วิธี "DE/rand" ร่วมกับวิธี "DE/Best/1" ที่มีการหาคำตอบในพื้นที่ที่พบคำตอบที่ดีในแต่ละรุ่นของประชากรร่วมอยู่กับการสุ่มหาคำตอบทั่วทุกพื้นที่ของคำตอบที่เป็นไปได้ จะทำให้มีโอกาสพบ

คำตอบที่ดีที่สุดที่มีจำนวนน้อยมากกว่าวิธี "DE/rand" และ "DE/Best/1" ส่วนวิธี "DE/rand" นั้นเหมาะกับปัญหาที่มีขนาดเล็กมีคำตอบที่ดีที่สุดจำนวนมากเมื่อเทียบกับจำนวนคำตอบที่เป็นไปได้ และวิธี "DE/Best/1" จะเหมาะกับปัญหาทุกขนาดและมีคำตอบที่ดีที่สุดจำนวนมากเมื่อเทียบกับจำนวนคำตอบที่เป็นไปได้ ซึ่งจะใช้เวลาในการค้นพบคำตอบที่ดีที่สุดเร็วกว่าวิธี "DE/rand-to-best/1" สำหรับปัญหาลักษณะนี้ และในส่วนของวิธี Crossover หรือ Recombination นั้นวิธี Exponential Crossover 2 Position จะมีประสิทธิภาพมากกว่าวิธี Binomial Crossover เนื่องจากวิธี Binomial Crossover นั้นจะใช้เวลามากกว่าในการสุ่มค่าให้กับทุกพิกัดเพื่อเปรียบเทียบกับค่า CR ในการแลกเปลี่ยนพิกัดระหว่างเวกเตอร์ แต่วิธี Exponential Crossover 2 Position จะมีการสุ่มพิกัดเพียง 2 ตำแหน่ง เพื่อใช้ในการแลกเปลี่ยนพิกัดระหว่างเวกเตอร์

เอกสารอ้างอิง

เอกสารอ้างอิง

กษิดิศ แสงเดือน และคณะ. "การเพิ่มผลิตภาพด้วยเทคนิคการจัดสมดุลสายการประกอบโดยวิธีการทางพันธุกรรม", ใน การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการ. น.619-624. ภูเก็ต : โรงแรมรอยัล ภูเก็ต ซิตี้, 2550.

จงกล เอี่ยมมิ. การประยุกต์ใช้เจนเนติกอัลกอริทึมในการจัดสมดุลสายการประกอบแบบผลิตภัณฑ์ผสม. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2543.

เดชา พวงดวงเรือง และสุภาภรณ์ สุวรรณรังสี. "การจัดสมดุลสายงานการประกอบโดยใช้วิธี M-COMSOAL", ใน การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการ. น.54-59. ขอนแก่น : มหาวิทยาลัยขอนแก่น, 2552.

ธีราพรรณ แซ่แห่ว และคณะ. "การประยุกต์ใช้ระบบมดแบบ แม็ก - มิน ในการจัดสมดุลสายการประกอบ", วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 17 (2) : 48-54, 2553.

นุชสรา เกรียงกรกฎ. วิธีการเมตาฮิวริสติกสำหรับปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบ. วิทยานิพนธ์ปริญญาปรัชญาดุษฎีบัณฑิต : มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี, 2550.

นุชสรา เกรียงกรกฎ และคณะ. "การปรับปรุงสายการผลิตในโรงงานตัดเย็บเสื้อผ้าสำเร็จรูป", ใน การประชุมทางวิชาการมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 48. น.268-272. อุบลราชธานี : โรงแรมสุนีย์แกรนด์ แอนด์ คอนเวนชั่นเซ็นเตอร์, 2553.

นรินทร์ จึงจำเริญกิจ และสมเกียรติ ตั้งจิตสิตเจริญ. "การจัดสมดุลสายการผลิตแบบหลายผลิตภัณฑ์ภายใต้เงื่อนไขเวลาไม่คงที่ในการผลิตเสื้อผ้าสำเร็จรูป", ใน การประชุมทางวิชาการมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 48. น.466-473. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2553.

ปรเมศ ชุติมา และคณะ. "การประยุกต์ใช้ขั้นตอนวิธีการบรรจวบสำหรับปัญหาการจัดลำดับผลิตภัณฑ์ที่มีหลายวัตถุประสงค์บนสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสมแบบตัวยูในระบบผลิตแบบทันเวลาพอดี", ใน การประชุมทางวิชาการมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ครั้งที่ 47. น.57-66. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2552.

วิลาสินี ศิริธร และสุธินี พันธุจิต. การผลิตแบบลีนเพื่อลดความสูญเสียจากการเคลื่อนไหวที่ไม่จำเป็นในโรงงานตัดเย็บเสื้อผ้าสำเร็จรูป. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต : มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี, 2552.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

สุภาภรณ์ สุวรรณรังสี และคณะ. "การแก้ปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบโดยวิธี TSGA", ใน การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการ. น.485-490. ภูเก็ต : โรงแรมรอยัล ภูเก็ตซิตี้, 2550.

_____. "การจัดสมดุลสายงานการประกอบโดยใช้จีนเนติกอัลกอริทึมร่วมกับเทคนิคการสลับที่แบบสุ่ม : กรณีศึกษาสายงานการประกอบรถมอเตอร์ไซด์", ใน การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ครั้งที่ 6. น.493-497. สงขลา : คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, 2551(ก).

_____. "การจัดสมดุลสายงานการประกอบโดยใช้การค้นหาแบบตาบูเชิงปรับตัวร่วมกับเทคนิคการสลับที่แบบสุ่ม", ใน การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการ. น.77-82. สงขลา : คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, 2551(ข).

อัศวิน ลักขษร และคณะ. "การปรับปรุงสมดุลสายการผลิตในโรงงานตัดเย็บเสื้อผ้าสำเร็จรูป", ใน การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการ. น.268-272. อุบลราชธานี : โรงแรมสุนีย์แกรนด์ แอนด์ คอนเวนชั่น เซ็นเตอร์, 2553.

Andreas C. Nearchou. "A Differrential Evolution Algorithm For Simple Assembly Line Balancing", 16 Int. Federation of Autimatic Control (IFAC) World Congress. P.1462-1467. Czech Republic: Prague, 2005.

A. K. Qim, V. L. Huang, and P. N. Suganthan. "Differential Evolution Algorithm With Strategy Adaptation for Global Numerical Optimization", IEEE Transactions on Evolutionary Computation. 13(2): 398-417, 2009.

Armin Scholl. "Data of Assembly Line Balancing Problem", Data. http://www.assembly-line-balancing.de/. April, 2013

Bowman, E.H. "Assembly Line Balancing by Linear Programming", Operation Research. 8(3): 385-389, 1960.

Daikin Industries Ltd . "Production System", Picture. http://www.daikinthai.com . March, 2012.

Dervis and Selcuk. "A Simple and Global Optimization Algorithm for Engineering Problems: Differential Evolution Algorithm", Turkish Journal of Electrical Engineering & Computer Sciences. 12(1): 53-60, 2004.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

Dexuan, Zou and et al. "An improved differential evolution algorithm for the task assignment problem", Engineering Applications of Artificial Intelligence. 24(1): 616-624, 2011.

Gutjahr, A. L., Nemhauser. G.L. "An algorithm for the line balancing problem", Management Science. 11(2): 308-315, 1964.

Pedro M. Vilarinho and Ana Sofia Simaria . "A two-stage heuristic method for balancing mixed-Model", Taylor and Francis Group . NT. J . PROD.RES. 40(6): 1405-1420, 2002.

Storn, R. and Price, K. "Differential Evolution A simple and efficient heuristic for global optimization over continuous spaces", Journal Global Optimization. 11(4): 241-354, 1997.

Talbot, F. B., J.H. Patterson and W.V. Gehrlein. A Comparative Evaluation of Heuristic Line Balancing Techniques. Management Sciences. 32(4): 430-454, 1986.

Xianhui Zeng , Wai-KeungWong and SunneyYung-SunLeung. "An operator allocation Optimization model for balancing control of the hybrid assembly lines using Pareto utility discrete differential evolution algorithm", Computers & Operations Research. 39(1): 1145-1159, 2012.

ภาคผนวก

โปรแกรม MINITAB สำหรับคำนวณค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม

การหาค่า Weighting Factor (F) ที่เหมาะสม

ผู้วิจัยได้ทดลองหาค่า F ที่เหมาะสมโดยเปรียบเทียบผลคำตอบของวิธีการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง จากการใช้วิธี "DE/rand" ร่วมกับ Binomial Crossover ทดลองกับปัญหา 10 ปัญหาที่มีรอบเวลาการผลิตของแต่ละปัญหาและมีจำนวนงานตั้งแต่ 70 - 297 งาน ซึ่งเป็นปัญหาขนาดใหญ่และมีความซับซ้อนของปัญหามาก โดยกำหนดให้ค่า Cr = 0.8 และ NP = 50 ทดสอบค่า F จำนวน 10 ค่า โดยใช้โปรแกรม Bloodhed Dev-C++ 4.9.9.2. ซึ่งจากการทดลองพบว่าค่า F ที่ใช้ในการเปรียบเทียบสามารถพบคำตอบที่ดีที่สุดเท่ากันทุกค่า ดังนั้นผู้วิจัยจึงเลือกพิจารณาเวลาที่พบคำตอบที่ดีที่สุดของค่า F แต่ละค่า โดยใช้วิธีการทางสถิติ Two-way ANOVA ดังตารางที่ ผ.1 ภาพที่ ผ.1 และ ผ.2

ตารางที่ ผ.1 ผลการทดลองหาค่า Weighting Factor (F) ที่เหมาะสม

F	Problem									
	Tonge	Arcus 1	Arcus 2	Lutz 2	Lutz 3	Mukherjee	Bartholdi 2	Scholl	Scholl	Scholl
	CT 176	CT 5048	CT 5755	CT 11	CT 75	CT 176	CT 84	CT 1394	CT 1422	CT 1452
	Time (sec)	Time (sec)	Time (sec)	Time (sec)	Time (sec)	Time (sec)	Time (sec)	Time (sec)	Time (sec)	Time (sec)
0.2	1.356	0.072	23.22	2.201	2.168	0.097	0.178	0.528	1.743	0.497
0.4	0.682	0.07	20.82	1.781	17.81	0.283	1.636	1.116	0.503	1.515
0.6	1.599	0.069	22.26	5.747	0.578	0.412	0.73	2.101	2.507	0.498
0.8	0.501	0.067	13.21	0.253	2.83	0.094	1.141	3.715	1.126	0.467
1	1.352	0.071	32.09	0.361	1.333	0.138	0.812	3.598	1.13	0.498
1.2	0.713	0.072	25.02	9.572	2.145	0.145	1.963	0.81	0.498	2.416
1.4	1.141	0.075	28.62	9.887	1.537	0.237	1.13	2.138	2.098	0.501
1.6	1.735	0.072	61.7	9.056	9.672	0.162	1.336	4.367	1.124	0.496
1.8	0.554	0.071	13.41	4.643	4.662	0.145	0.619	0.493	1.434	0.813
2	0.547	0.074	61.2	3.043	7.77	0.326	0.402	1.138	1.119	0.498

การวิเคราะห์ผลการทดลองทางสถิติของค่า F

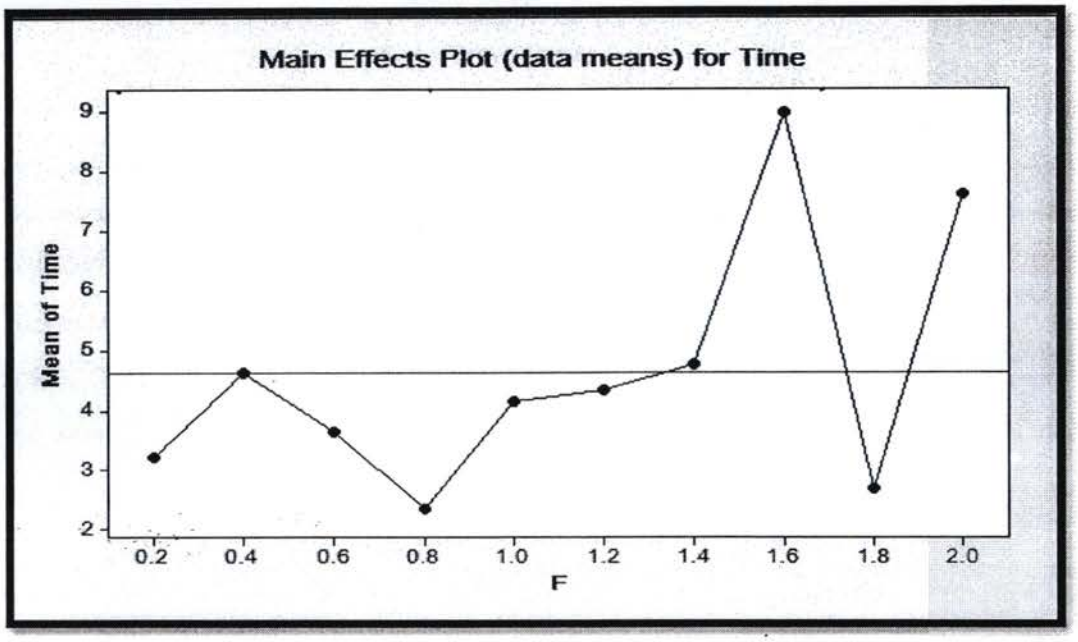
ผู้วิจัยได้ใช้โปรแกรมทางสถิติ Two-way ANOVA ที่ระดับนัยสำคัญ (α) = 0.05 ในการวิเคราะห์ข้อมูลจากตารางที่ ผ.1 ได้ดังภาพที่ ผ.1 และทำการพล็อตกราฟได้ดังภาพที่ ผ.2

Two-way ANOVA: Time versus F, Problem

Source	DF	SS	MS	F	P
F	9	401.0	44.556	1.30	0.249
Problem	9	7506.2	834.028	24.36	0.000
Error	81	2772.8	34.232		
Total	99	10680.1			

S = 5.851 R-Sq = 74.04% R-Sq(adj) = 68.27%

ภาพที่ ผ.1 ผลวิธีการทางสถิติ Two-way ANOVA ของการหาค่า F ที่เหมาะสม



ภาพที่ ผ.2 กราฟแสดงเวลาเฉลี่ยของค่า F แต่ละค่า

จากภาพที่ ผ.1 และ ผ.2 พบว่า ค่า F มีค่า P-Value = 0.249 ซึ่งมากกว่าค่า 0.05 ดังนั้นค่า F ไม่มีผลต่อความเร็วในการพบคำตอบที่ดีที่สุดที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % จากกราฟในภาพที่ ผ.2 พบว่าค่า F ที่ 0.8 ใช้เวลาเฉลี่ยต่ำที่สุดผู้วิจัยจึงเลือกค่า F = 0.8 สำหรับงานวิจัยนี้

การหาค่า Crossover rate (Cr) ที่เหมาะสม

ผู้วิจัยได้ทดลองหาค่า Cr ที่เหมาะสมโดยเปรียบเทียบผลคำตอบของวิธีการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง จากการใช้วิธี "DE/rand" ร่วมกับ Binomial Crossover ทดลองกับปัญหา 10 ปัญหาที่มีรอบเวลาการผลิตของแต่ละปัญหาและมีจำนวนงานตั้งแต่ 70 - 297 งาน ซึ่งเป็นปัญหาขนาดใหญ่และมีความซับซ้อนของปัญหามาก โดยกำหนดให้ค่า F = 0.8 และ NP = 50 ทดสอบค่า Cr จำนวน 10 ค่า โดยใช้โปรแกรม Bloodhed Dev-C++ 4.9.9.2. ซึ่งจากการทดลองพบว่าค่า Cr ที่ใช้ในการเปรียบเทียบสามารถพบคำตอบที่ดีที่สุดเท่ากันทุกค่า ดังนั้นผู้วิจัยจึงเลือกพิจารณาเวลาที่พบคำตอบที่ดีที่สุดของค่า Cr แต่ละค่า โดยใช้วิธีการทางสถิติ Two-way ANOVA ดังตารางที่ ผ.2 ภาพที่ ผ.3 และ ผ.4

ตารางที่ ผ.2 ผลการทดลองหาค่า Crossover rate (Cr) ที่เหมาะสม

Cr	Problem									
	Tonge	Arcus 1	Arcus 2	Lutz 2	Lutz 3	Mukherjee	Bartholdi 2	Scholl	Scholl	Scholl
	CT 176	CT 5048	CT 5755	CT 11	CT 75	CT 176	CT 84	CT 1394	CT 1422	CT 1452
	Time (sec)	Time (sec)	Time (sec)	Time (sec)	Time (sec)	Time (sec)	Time (sec)	Time (sec)	Time (sec)	Time (sec)
0.1	1.032	0.068	15.796	1.348	0.199	0.142	2.893	4.865	0.501	0.505
0.2	1.524	0.074	19.636	1.394	0.88	0.094	1.475	1.773	2.44	2.701
0.3	0.112	0.087	27.193	1.197	0.278	0.094	1.932	1.82	0.501	0.503
0.4	0.644	0.071	6.49	4.175	2.21	0.095	1.336	1.796	3.338	1.769
0.5	0.333	0.069	37.391	4.533	4.378	0.094	0.808	3.058	1.157	0.806
0.6	1.822	0.068	7.913	2.204	2.997	0.1	0.605	2.415	0.499	0.811
0.7	1.036	0.07	21.588	0.208	3.064	0.14	1.008	3.037	1.14	0.512
0.8	0.755	0.068	2.393	1.027	0.438	0.093	0.424	0.507	0.515	0.557
0.9	1.684	0.073	18.867	3.098	3.518	0.193	1.58	3.64	0.505	0.482
1	1.855	0.07	8.139	2.298	5,881	0.09	0.622	1.432	0.494	1.12

การวิเคราะห์ผลการทดลองทางสถิติของค่า Cr

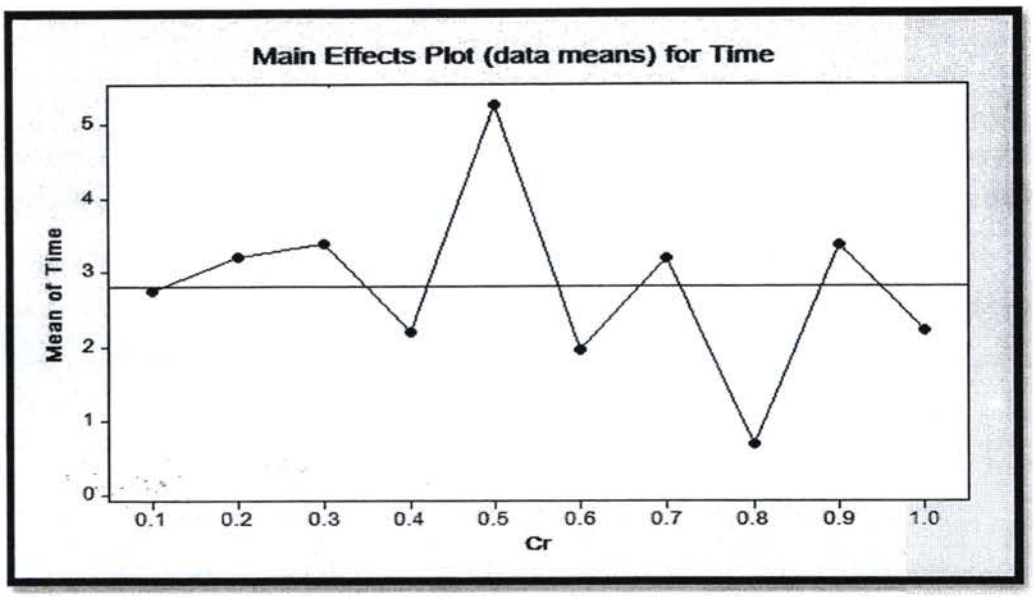
ผู้วิจัยได้ใช้โปรแกรมทางสถิติ Two-way ANOVA ที่ระดับนัยสำคัญ (α) = 0.05 ในการวิเคราะห์ข้อมูลจากตารางที่ ผ.2 ได้ดังภาพที่ ผ.3 และทำการพล็อตกราฟได้ดังภาพที่ ผ.4

Two-way ANOVA: Time versus Cr, Problem

Source	DF	SS	MS	F	P
Cr	9	129.69	14.410	1.17	0.323
Problem	9	2156.74	239.638	19.52	0.000
Error	81	994.42	12.277		
Total	99	3280.85			

S = 3.504 R-Sq = 69.69% R-Sq(adj) = 62.95%

ภาพที่ ผ.3 ผลวิธีการทางสถิติ Two-way ANOVA ของการหาค่า Cr ที่เหมาะสม



ภาพที่ ผ.4 กราฟแสดงเวลาเฉลี่ยของค่า Cr แต่ละค่า

จากภาพที่ ผ.3 และ ผ.4 พบว่า ค่า Cr มีค่า P-Value = 0.323 ซึ่งมากกว่าค่า 0.05 ดังนั้นค่า Cr ไม่มีผลต่อความเร็วในการพบคำตอบที่ดีที่สุดที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ดังนั้นจากกราฟในภาพที่ ผ.4 พบว่าค่า Cr ที่ 0.8 ใช้เวลาเฉลี่ยต่ำที่สุดผู้วิจัยจึงเลือกค่า Cr = 0.8 สำหรับงานวิจัยนี้

การหาค่า Number population (Np) ที่เหมาะสม

ผู้วิจัยได้ทดลองหาค่า Np ที่เหมาะสมโดยเปรียบเทียบผลคำตอบของวิธีการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง จากการใช้วิธี "DE/rand" ร่วมกับ Binomial Crossover ทดลองกับปัญหา 10 ปัญหาที่มีรอบเวลาการผลิตของแต่ละปัญหาและมีจำนวนงานตั้งแต่ 70 - 297 งาน ซึ่งเป็นปัญหาขนาดใหญ่และมีความซับซ้อนของปัญหามาก โดยกำหนดให้ค่า F = 0.8 และ Cr = 0.8 ทดสอบค่า Np จำนวน 10 ค่า โดยใช้โปรแกรม Bloodhed Dev-C++ 4.9.9.2. ซึ่งจากการทดลองพบว่าค่า Np ที่ใช้ในการเปรียบเทียบสามารถพบคำตอบที่ดีที่สุดเท่ากันทุกค่า ดังนั้นผู้วิจัยจึงเลือกพิจารณาเวลาที่พบคำตอบที่ดีที่สุดของค่า Np แต่ละค่า โดยใช้วิธีการทางสถิติ Two-way ANOVA ดังตารางที่ ผ.3 ภาพที่ ผ.5 และ ผ.6

ตารางที่ ผ.3 ผลการทดลองหาค่า Number population (Np) ที่เหมาะสม

Np	Problem									
	Tonge	Arcus 1	Arcus 2	Lutz 2	Lutz 3	Mukherjee	Bartholdi 2	Scholl	Scholl	Scholl
	CT 176	CT 5048	CT 5755	CT 11	CT 75	CT 176	CT 84	CT 1394	CT 1422	CT 1452
	Time (sec)	Time (sec)	Time (sec)	Time (sec)	Time (sec)	Time (sec)	Time (sec)	Time (sec)	Time (sec)	Time (sec)
10	6.303	0.017	13.25	3.92	5.332	0.081	13.988	2.025	3.502	1.365
30	15.926	0.044	1.262	0.57	10.94	0.263	0.31	1.992	0.896	1.288
50	0.236	0.072	10.62	1.07	2.106	0.093	2.263	2.762	1.171	2.411
70	1.761	0.105	4.092	5.99	3.189	0.139	0.396	2.011	0.679	2.0
100	0.493	0.135	14.32	5.097	0.854	0.18	0.353	2.242	0.974	2.205
130	0.421	0.187	3.57	10.1	4.27	0.247	0.376	3.765	1.261	2.112
150	0.314	0.201	6.968	1.32	1.761	0.271	1.796	1.46	2.412	1.465
170	3.724	0.232	1.4	5.73	0.257	0.322	2.585	1.617	2.758	1.632
200	0.435	0.28	5.306	3.54	0.491	0.369	3.201	1.954	3.122	1.95
230	2.32	0.341	17.66	10.3	0.53	0.41	2.728	2.217	2.216	2.169

การวิเคราะห์ผลการทดลองทางสถิติของค่า Np

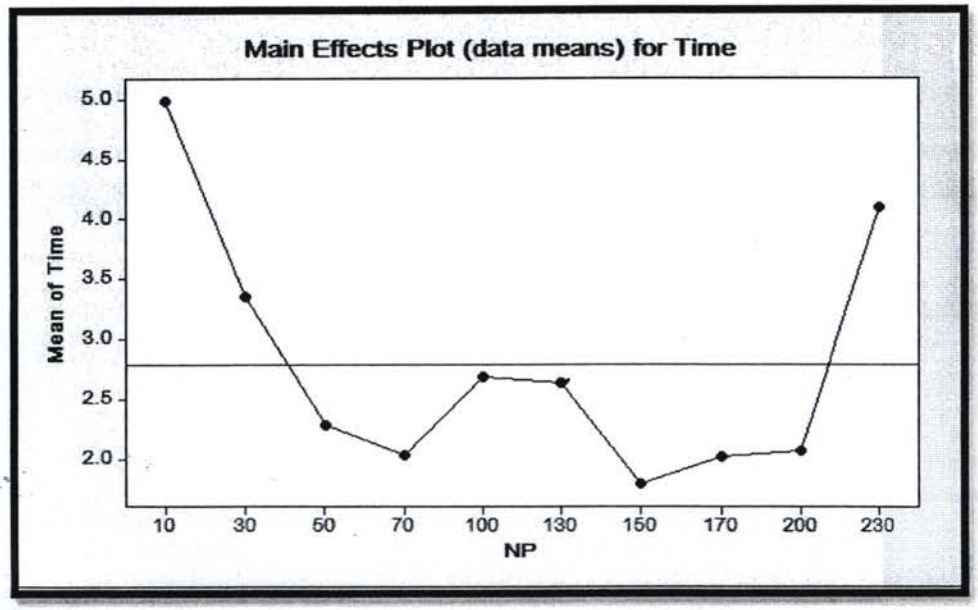
ผู้วิจัยได้ใช้โปรแกรมทางสถิติ Two-way ANOVA ที่ระดับนัยสำคัญ (α) = 0.05 ในการวิเคราะห์ข้อมูลจากตารางที่ ผ.3 ได้ดังภาพที่ ผ.5 และทำการพล็อตกราฟได้ดังภาพที่ ผ.6

Two-way ANOVA: Time versus NP, Problem

Source	DF	SS	MS	F	P
NP	9	97.52	10.8359	1.12	0.361
Problem	9	450.65	50.0727	5.16	0.000
Error	81	785.82	9.7015		
Total	99	1334.00			

S = 3.115 R-Sq = 41.09% R-Sq(adj) = 28.00%

ภาพที่ ผ.5 ผลวิธีการทางสถิติ Two-way ANOVA ของการหาค่า Np ที่เหมาะสม



ภาพที่ ผ.6 กราฟแสดงเวลาเฉลี่ยของค่า Np แต่ละค่า

จากภาพที่ ผ.5 และ ผ.6 พบว่า ค่า Np มีค่า P-Value = 0.361 ซึ่งมากกว่าค่า 0.05 ดังนั้น ค่า Np ไม่มีผลต่อความเร็วในการพบคำตอบที่ดีที่สุดที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ดังนั้นจากกราฟใน ภาพที่ ผ.4 พบว่าค่า Np ที่ 150 ใช้เวลาเฉลี่ยต่ำที่สุดผู้วิจัยจึงเลือกค่า Np = 150 สำหรับงานวิจัยนี้

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ	นายภาณุภัณฑ์ ภาระเวช
วัน/เดือน/ปีเกิด	28 มีนาคม พ.ศ. 2528
ประวัติการศึกษา	พ.ศ. 2550 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมีสิ่งทอ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ประวัติการทำงาน	23 กรกฎาคม พ.ศ. 2550 ถึง 31 สิงหาคม 2552 บริษัท นิวเวิลด์อินเตอร์เนชั่นแนล ตำบลบางปูใหม่ อำเภอเมือง จังหวัดสมุทรปราการ ตุลาคม พ.ศ. 2552 ถึง 1 ตุลาคม พ.ศ. 2555 บริษัท เวอร์เท็กซ์แอพาเรล ตำบลโนนผึ้ง อำเภอวารินชำราบ จังหวัดอุบลราชธานี