

บทที่ 3

ทฤษฎีอัลกอริทึม COMSOAL

(Computer Method of Sequencing Operation for Assembly Line: COMSOAL)

เนื้อหาในบทนี้จะนำเสนออัลกอริทึม COMSOAL (Computer Method of Sequencing Operation for Assembly Line: COMSOAL) ซึ่งเป็นการประยุกต์การคัดเลือกคำตอบ โดยใช้หลักการสุ่มด้วยความน่าจะเป็นที่เท่ากัน ในบทนี้จะเสนอหลักการและแนวคิดวิธีการอัลกอริทึม COMSOAL ลักษณะการตัดทอนคำตอบอัลกอริทึม COMSOAL อัลกอริทึม COMSOAL และตัวอย่างการประยุกต์ใช้

3.1 หลักการวิธีอัลกอริทึม COMSOAL

วิธีการจัดสมดุลสายการผลิตด้วยวิธี COMSOAL นั้นมีแนวคิดที่หาแนวทางที่เป็นไปได้ เพื่อที่จะทำให้การจัดสมดุลมีประสิทธิภาพมากที่สุด กล่าวคือวิธี COMSOAL จะพยายามหาเวลาในแต่ละสถานีงานให้ใกล้เคียงรอบเวลาการผลิต ซึ่งสอดคล้องกับแนวทางที่จะทำการจัดสมดุลสายการผลิตที่ได้กล่าวมาแล้ว และวิธีการนี้ยังเป็นที่แพร่หลายและเป็นที่ยอมรับดังนั้นจึงทำการจัดสมดุลสายการผลิตด้วยวิธี COMSOAL

อัลกอริทึม COMSOAL เป็นแนวคิดของ Arcus (1996) โดยอาศัยการสร้างแนวทางของคำตอบที่ได้จากการสุ่มเลือกงานที่จะจัดกลุ่มอย่างมีหลักเกณฑ์ (Biased Sampling) นำจัดงานเข้าไปในสถานีงาน เพื่อให้ได้แนวทางในการจัดสมดุลที่มีประสิทธิภาพที่สุด

3.2 วิธีอัลกอริทึม COMSOAL

วิธี COMSOAL เป็นวิธีที่ใช้จัดสมดุลสายงานการประกอบอย่างมีประสิทธิภาพ และได้รับการประยุกต์ใช้งานในภาคอุตสาหกรรมอย่างกว้างขวางเพราะเป็นวิธีการที่ไม่ซับซ้อนยุ่งยาก และยังสามารถพัฒนาเป็นโปรแกรมการจัดสมดุลสายงานการประกอบได้

ขั้นตอนการจัดสมดุลสายงานการประกอบของวิธี COMSOAL มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

ขั้นตอนที่ 1 จำแนกสถานีงานในขั้นตอนงานแต่ละงานให้ชัดเจนโดยเรียงลำดับก่อนหลังเวลาการทำงาน

ขั้นตอนที่ 2 สร้างตารางรายชื่อใน List A ซึ่งประกอบด้วยชั้นงานทุกชั้นงานที่ยังไม่ได้จัดสรรลงสู่สถานีนานใดๆ และจำนวนชั้นงานที่ต้องดำเนินการทันทีก่อนหน้าชั้นงานดังกล่าว ถ้าตารางรายชื่อ List A ไม่มีชั้นงานใดอยู่เลย แสดงว่าการจัดสมดุลดำเนินการเสร็จเรียบร้อยแล้ว

ขั้นตอนที่ 3 สร้างตารางรายชื่อ List B โดยเลือกชั้นงานที่ไม่มีชั้นงานก่อนหน้าจากตารางรายชื่อ List A มาบรรจุลงในตารางรายชื่อ List B ดังนั้นตารางรายชื่อ List B จึงเปรียบเสมือนการรวบรวมชั้นงานที่พร้อมจัดสรรลงสู่สถานีนาน

ขั้นตอนที่ 4 เลือกชั้นงานจากตารางรายชื่อ List B มาเพียงหนึ่งชั้นงานโดยวิธีสุ่มโดยใช้หลักความน่าจะเป็นที่เท่ากัน ชั้นงานที่เลือกจะต้องมีเวลาดำเนินงานไม่เกินเวลาที่เหลืออยู่ของสถานีนาน ไม่เช่นนั้นทำการเพิ่มสถานีนานขึ้นอีกหนึ่งสถานีนาน ชั้นงานที่ได้รับเลือกในขั้นตอนนี้จะบรรจุลงในตารางรายชื่อ List C

ขั้นตอนที่ 5 กำจัดชั้นงานในตารางรายชื่อ List C ออกจากตารางรายชื่อ List A แล้วกลับไปขั้นตอนที่ 2 การเลือกชั้นงานในขั้นตอนที่ 4 เป็นการเลือกชั้นงานแบบสุ่ม

3.3 ขั้นตอนการทำงานของวิธี COMSOAL ในการแก้ปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบที่มีหลายวัตถุประสงค์บนสายการประกอบแบบตัวยู่ที่มีสถานีนานแบบขนาน

การจัดสมดุลการสายการประกอบแบบตัวยู่ที่มีสถานีนานแบบขนานแบบหลายผลิตภัณฑ์เป็นการจัดสายการผลิตที่สามารถทำการผลิตสินค้าได้หลายชนิดพร้อมกันบนสายการผลิตเดียว โดยไม่ต้องมีการปรับเปลี่ยนจำนวนคนงานและไม่ต้องมีการเคลื่อนย้ายอุปกรณ์ที่ใช้ในการผลิต วิธีการจัดสายการประกอบตัวยู่ที่มีสถานีนานแบบขนานจะมีลักษณะดังนี้

1. การเตรียมข้อมูล (Data Input)

ในการเตรียมข้อมูลรายละเอียดที่ใช้ในวิธี COMSOAL เพื่อใช้แก้ปัญหาการจัดสมดุลจะใช้จำนวนผลิตภัณฑ์ แผนภาพแสดงความสัมพันธ์ของแต่ละผลิตภัณฑ์ เวลาการทำงาน และเวลาที่ใช้จะใช้เวลาเฉลี่ยในแต่ละชั้นงาน

2. การสร้างสตริงคำตอบเบื้องต้น (Representation & Initialization)

นำข้อมูลนำเข้ามาสสร้างคำตอบเบื้องต้นโดยใช้วิธีการสุ่มมาจำนวน Popsiz ตัว ด้วยการสร้างประชากรคำตอบเบื้องต้น (Initial Population)



3. การประเมินค่า (Evaluation)

คำนวณหาค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ต่างๆ ที่ต้องการ ในที่นี้จะใช้ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ได้แก่ จำนวนสถานีนงานที่มีสถานีนงาน จำนวนสถานีนงาน ความสมดุลระหว่างสถานีนงานและความสมดุลภายในสถานีนงานของประชากรคำตอบ

4. การหาค่าที่เหมาะสม (Pareto Based Approach)

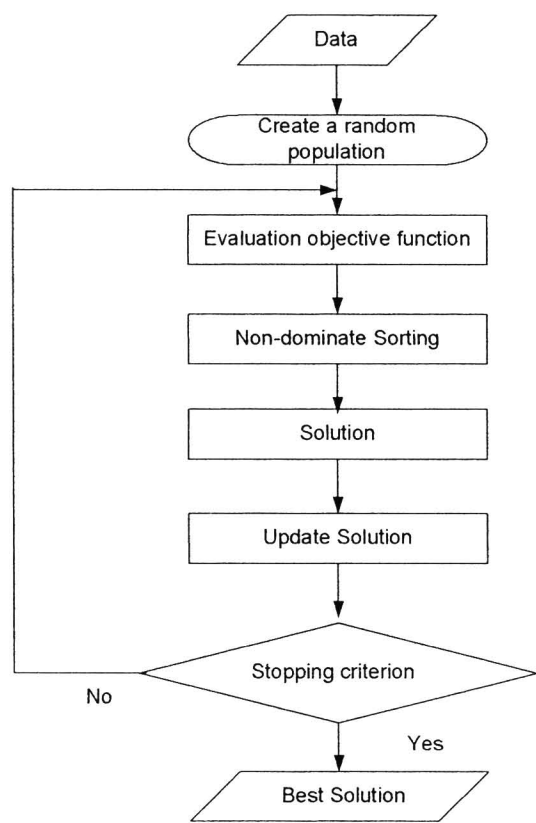
การหาค่าที่เหมาะสมที่สุดในงานวิจัยนี้จะใช้เทคนิควิธีเชิงกลุ่มที่ดีที่สุด ที่มีการจัดลำดับแบบ Goldberg (1989) หรือ Non-dominated Sorting ที่เป็นการกำหนดค่าความแข็งแรงให้คำตอบที่ได้จากประชากรทั้งหมด โดยจะถูกจัดแบ่งเป็นกลุ่ม กลุ่มที่มีค่าน้อยที่สุดจะเป็นกลุ่มที่ดีที่สุด ‘

5. เทคนิคการเก็บค่าที่ดีที่สุด (Strategies to Maintain Elitist Solutions in the Population)

เมื่อได้กลุ่มคำตอบที่ดีที่สุดตามข้อ 4 แล้วทำการเก็บสดริงคำตอบที่ได้ไว้เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบคำตอบที่ได้ทุกเจนเนอเรชันต่อไป โดยคำตอบที่ได้นี้จะนำไปเปรียบเทียบกับรุ่นพ่อแม่ ด้วย Non-dominated Sorting ในการหาค่าคำตอบที่ดีที่สุด เพื่อทำการเก็บค่าและนำไปในรอบต่อไป

6. สิ้นสุดกระบวนการ (Stopping Criteria)

เมื่อการคำนวณตามขั้นตอนครบแล้ว ดูว่าครบตามจำนวนเจนเนอเรชันที่กำหนดหรือไม่ ถ้าไม่ครบให้วนใหม่ซ้ำอีกจนกว่าจะครบตามเจนเนอเรชันที่กำหนด เมื่อครบกำหนดแล้วจึงนำคำตอบที่ได้จากการเก็บค่าที่ดีที่สุดมาเป็นคำตอบที่ดีที่สุด



รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการทำงานของ COMSOAL

3.4 ตัวอย่างการนำวิธี COMSOAL อัลกอริทึมไปใช้ในการแก้ปัญหาสมมูลสายการประกอบลักษณะตัวยู่ที่มีสถานีนงานแบบขนาน

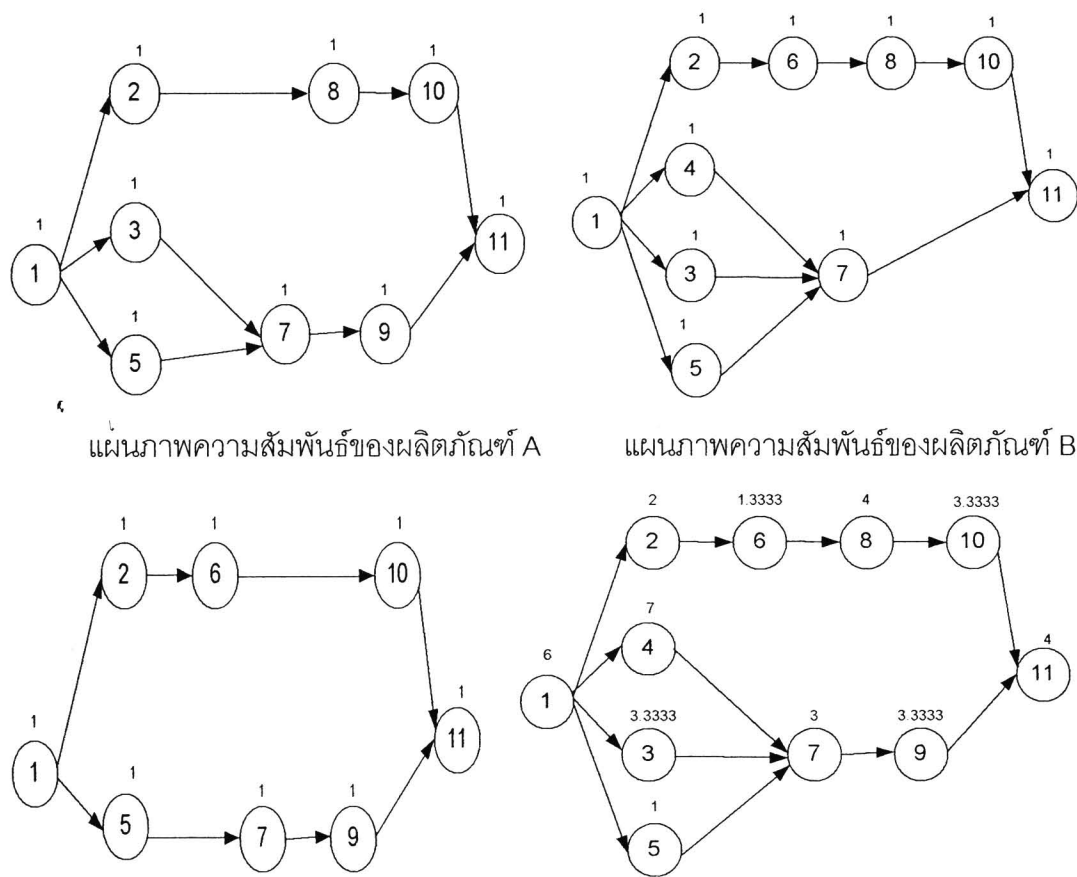
จากขั้นตอนของ COMSOAL จากที่ได้นำเสนอขั้นตอนมาทั้งหมด สามารถนำมาทดลองใช้แก้ปัญหาตัวอย่างซึ่งเป็นสายการประกอบตัวยู่ที่มีสถานีนงานแบบขนานของปัญหา Jackson (1956) มีงานทั้งหมด 11 งาน จำนวนชนิดของผลิตภัณฑ์ 3 ชนิด ได้แก่ A, B และ C มีรอบเวลาในการทำงานในแต่ละสถานีนงานเท่ากับ 6 ซึ่งมีความสัมพันธ์ของแต่ละงานดังนี้

3.4.1 การเตรียมข้อมูล (Data Input)

3.4.1.1 พารามิเตอร์ที่เหมาะสมของ COMSOAL ที่ใช้ในตัวอย่าง

- 1. ประชากรเบื้องต้นที่ใช้ในตัวอย่างมีจำนวน 5 ตัว

3.4.1.2 การสร้างแผนภาพความสัมพันธ์รวม (Combined Relations Precedence Diagram) แสดงได้ดังรูปที่ 3.2



แผนภาพความสัมพันธ์ของผลิตภัณฑ์ A แผนภาพความสัมพันธ์ของผลิตภัณฑ์ B
แผนภาพความสัมพันธ์ของผลิตภัณฑ์ C แผนภาพความสัมพันธ์ของผลิตภัณฑ์รวม A, B, C
รูปที่ 3.2 การสร้างแผนภาพความสัมพันธ์รวม (Combined Relations Precedence Diagram)
ของปัญหาตัวอย่างขนาด 11 ชิ้นงานของ Jackson (1956)

3.4.1.3 การหาเวลาทำงานเฉลี่ยในแต่ละชิ้นงาน จากปัญหาตัวอย่างขนาด 11 ชิ้นงานของ Jackson (1956) ได้ทำการประยุกต์เวลาการทำงานจากเดิมงานที่ 4 มีเวลาการทำงานของผลิตภัณฑ์ B เท่ากับ 7 และผลิตภัณฑ์ A, C มีค่าเท่ากับ 0 เนื่องจากเวลาการทำงานของผลิตภัณฑ์ B เกินรอบเวลาในการทำงานในแต่ละสถานี (Cycle Time = 6) งานที่ 4 จึงสามารถมีสถานีขนานได้ จึงทำการปรับค่าเวลาการทำงานของผลิตภัณฑ์ในงานที่ 4 จากเดิมที่มีเวลาการทำงานของผลิตภัณฑ์ A เท่ากับ 7 ผลิตภัณฑ์ B เท่ากับ 0 และผลิตภัณฑ์ C เท่ากับ 0 ให้มีเวลาการทำงานของผลิตภัณฑ์ที่สูงที่สุดคือ 7 ทั้งหมด ดังนั้นงานที่ 4 จะมีเวลาการทำงานของผลิตภัณฑ์ A, B และ C เท่ากับ 7 จากนั้นจึงทำการจัดงานลงสถานีงานโดยจะใช้ค่าเฉลี่ยเวลาการทำงาน

ทำงานของผลิตภัณฑ์ทั้งหมดจากเวลาที่ได้ทำการปรับแล้ว (Modified Time Model) ดังตาราง
สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 เวลาในการผลิตสินค้าชนิด A, B และ C ในแต่ละชั้นงาน

Task	Time Model (Jackson, 1956)			Modified Time Model			สถานีนงาน ขนาน	Mean
	A	B	C	A	B	C		
1	6	6	6	6	6	6	-	6.0000
2	2	2	2	2	2	2	-	2.0000
3	5	5	0	5	5	0	-	3.3333
4	0	7	0	7	7	7	1	7
5	1	1	1	1	1	1	-	1.0000
6	0	2	2	0	2	2	-	1.3333
7	3	3	3	3	3	3	-	3.0000
8	6	6	0	6	6	0	-	4.0000
9	5	0	5	5	0	5	-	3.3333
10	5	5	0	5	5	0	-	3.3333
11	4	4	4	4	4	4	-	4.0000

3.4.1.4 สร้างตาราง Precedence Matrix Font และ Precedence Matrix
Back จากแผนภาพความสัมพันธ์รวม รูปที่ 3.2 จะได้ดังตารางที่ 3.2 และ 3.3

ตารางที่ 3.2 ความสัมพันธ์ของชั้นงานในการทำงานข้างหน้า (Precedence Matrix Font)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

ตารางที่ 3.3 ความสัมพันธ์ของชั้นงานในการทำงานข้างหลัง (Precedence Matrix Back)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0

3.4.2 การสร้างสตริงคำตอบเบื้องต้น

การสร้างสตริงคำตอบเบื้องต้นจะใช้วิธีสุ่มสตริงคำตอบโดยจะมีขั้นตอนวิธีแบบสุ่ม ซึ่งมีขั้นตอนการสุ่มที่ไม่ผิดลำดับความสัมพันธ์ของงานดังนี้

ตารางที่ 3.5 ความสัมพันธ์ของชั้นงานในการทำงานข้างหลัง (Precedence Matrix Back) ที่ทำการปรับปรุงครั้งที่ 1

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
4	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
5	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
6	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
7	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	1
8	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1
9	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1
10	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1

4. จะได้สตริงคำตอบที่ 1 ในลำดับงานที่ 1 คือ 11

สตริงคำตอบที่ 1: ลำดับงานที่ 2

1. ทำการเลือกงานจากความสัมพันธ์ของชั้นงานในการทำงานข้างหน้า (Precedence Matrix Font) ที่ทำการปรับปรุงครั้งที่ 1 ในตารางที่ 3.4 และความสัมพันธ์ของชั้นงานในการทำงานข้างหลัง (Precedence Matrix Back) ในตารางที่ 3.5 ที่มีผลรวมของคอลัมน์เท่ากับ 0 พบว่าชั้นงานที่ไม่มีงานก่อนหน้าในตารางที่ 3.4 คือชั้นงานที่ 1 และในตารางที่ 3.5 คืองานที่ 9 และ 10 เป็นชั้นงานที่สามารถเลือกได้

2. ชั้นงานที่สามารถเลือกลงลำดับงานที่ 2 ได้คือชั้นงานที่ 1, 9 และ 11 ทำการสุ่มความน่าจะเป็นที่เท่ากันให้กับชั้นงาน แล้วทำการสุ่มเลือกชั้นงานที่จะนำมาจัดลำดับงาน สามารถสุ่มได้ชั้นงานที่ 10

3. ปรับปรุงตารางของชั้นงานในการทำงานข้างหน้า (Precedence Matrix Font) โดยทำการเปลี่ยนเป็น 0 ในแถวที่ 10 ทั้งแถว และให้คอลัมน์ที่ 10 เป็น 1 ทั้งหมด ส่วนในตารางความสัมพันธ์ของชั้นงานในการทำงานข้างหลัง (Precedence Matrix Back) ทำการเปลี่ยนให้คอลัมน์ที่ 10 เป็น 1 ทั้งหมดและในแถวที่ 10 ให้เปลี่ยนเป็น 0 ทั้งแถว

ตารางที่ 3.6 ความสัมพันธ์ของชั้นงานในการทำงานข้างหน้า (Precedence Matrix Font) ทำการปรับปรุงครั้งที่ 2

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1
2	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1
3	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1
4	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1
5	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1
6	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1
7	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1

ตารางที่ 3.7 ความสัมพันธ์ของชั้นงานในการทำงานข้างหลัง (Precedence Matrix Back) ทำการปรับปรุงครั้งที่ 2

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
4	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
5	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
6	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1
7	0	0	1	1	1	0	0	0	0	1	1
8	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1
9	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1

4. จะได้สตริงคำตอบที่ 1 ในลำดับงานที่ 2 คือ 11, 10

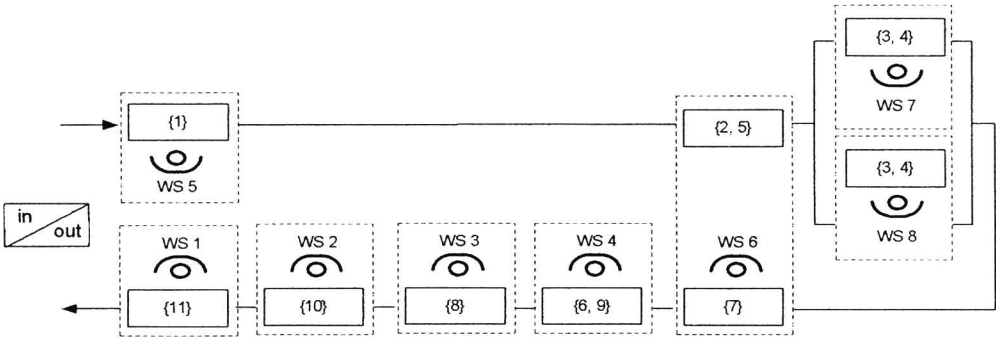
ทำซ้ำขั้นตอนเดิมจนกระทั่งงานทุกงานถูกกำหนดลงในสตริงคำตอบของลำดับชั้นงานโดยสามารถสรุปเป็นตารางการคัดเลือกของลำดับชั้นงานที่ 1 ได้ดังนี้

ตารางที่ 3.9 การคัดเลือกลงสถานีงานของสตรีงคำตอบที่ 1

ชั้นงาน	เวลางานเฉลี่ย	เวลาเริ่ม การทำงาน	เวลารวม	สถานีงานที่	Cycle Time
11	4	0	4	1	6
10	3.3333	4	7.3333	เกินเวลา	
10	3.3333	0	3.3333	2	6
8	4	3.3333	7.3333	เกินเวลา	
8	4	0	4	3	6
9	3.3333	4	7.3333	เกินเวลา	
9	3.3333	0	3.3333	4	6
6	1.3333	3.3333	4.6666	4	
1	6	4.6666	10.666	เกินเวลา	
1	6	0	6	5	6
2	2	0	2	6	6
7	3	2	5	6	
5	1	5	6	6	
3	3.3333	0	3.3333	7	12
4*	7	3.3333	10.3333	7	

*เนื่องจากงานที่ 4 สามารถมีสถานีงานขนานได้ 1 สถานีงาน Cycle Time จะเท่ากับ 12

จากตารางที่ 3.9 จะได้สถานีงานทั้งหมด 8 สถานีงาน (มี 1 สถานีงานเป็นสถานีขนาน) ดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 สายการประกอบตัวตู้ที่มีสถานีงานขนานของสตรีงคำตอบที่ 1

เมื่อจัดชั้นงานลงสถานีงาน จึงทำการคำนวณหาค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ ในงานวิจัยนี้จะทำการหาค่าวัตถุประสงค์ทั้งหมด 3 วัตถุประสงค์ คือ จำนวนสถานีงานมีจำนวนน้อยที่สุด ความสมดุลระหว่างสถานีงานและความสมดุลภายในสถานีงาน ดังนี้

กำหนดให้

LL คือ จำนวนสถานี่งานทั้งหมด (รวมสถานี่งานขนานด้วย)

M คือ จำนวนผลิตภัณฑ์

D_m คือ ความต้องการของผลิตภัณฑ์ m

q_m คือ อัตราส่วนของผลิตภัณฑ์ m ในสายการประกอบ

$$q_m = \frac{D_m}{\sum_{m=1}^M D_m} ; 0 \leq q_m \leq 1 \text{ and } \sum_{m=1}^M q_m = 1$$

s_{km} คือ เวลาว่างงานของผลิตภัณฑ์ m ในสถานี่งาน k

IT คือ เวลาว่างงานเฉลี่ยของสายการประกอบ $IT = \sum_{k=1}^{LL} \sum_{m=1}^M q_m s_{km}$

S_{km} คือ สัดส่วนของเวลาว่างงานในสถานี่งาน k ในผลิตภัณฑ์ m

$$S_{km} = \begin{cases} 0 & \text{if } \sum_{m=1}^M q_m s_{km} \\ \frac{q_m s_{km}}{\sum_{m=1}^M q_m s_{km}}, & \text{otherwise} \end{cases}$$

1. จำนวนสถานี่งานน้อยที่สุดน้อยที่สุด

$$f_1(X) = \text{Minimum } N_w \tag{3.1}$$

2. ความสมดุลระหว่างสถานี่งาน

$$f_2(X) = \text{Minimum } B_b = \frac{LL}{LL-1} \sum_{k=1}^{LL} \left[\frac{\sum_{m=1}^M q_m s_{km}}{IT} - \frac{1}{LL} \right]^2 \tag{3.2}$$

3. ความสมดุลภายในสถานี่งาน

$$f_3(X) = \text{Minimum } B_w = \frac{M}{LL(M-1)} \sum_{k=1}^{LL} \sum_{m=1}^M \left(S_{km} - \frac{1}{M} \right)^2 \tag{3.3}$$

สตริงคำตอบที่ 1 จะมีสถานี่งานทั้งหมดเท่ากับ 8

$$f_1(X) = \text{Minimum } N_w = 8$$

ความสมดุลระหว่างสถานี่งานในวัตถุประสงค์ที่ 2 มีวิธีการคำนวณดังนี้

ค่า LL จะมีค่าเท่ากับ $N_w = 8$

กำหนดให้ค่า D_m มีค่าเท่ากับ $D_A = 1, D_B = 1, D_C = 1$
ค่า q_m มีวิธีการคำนวณดังนี้

ผลิตภัณฑ์ A

$$q_A = \frac{1}{(1+1+1)} = 0.3333$$

ผลิตภัณฑ์ B

$$q_B = \frac{1}{(1+1+1)} = 0.3333$$

ผลิตภัณฑ์ C

$$q_C = \frac{1}{(1+1+1)} = 0.3333$$

ค่า s_{km} เป็นการหาเวลาว่างงานในสถานีนงานแต่ละผลิตภัณฑ์สามารถหาได้ดังนี้

ตารางที่ 3.10 ตารางการหาค่า s_{km}

สถานี งาน	งาน	Cycle Time	s_{km}			$q_m s_{km}$			$\sum_{m=1}^M q_m s_{km}$
			A	B	C	A	B	C	
1	11	6	2	2	2	0.6666	0.6666	0.6666	1.9998
2	10	6	1	1	0	0.3333	0.3333	0	0.6666
3	8	6	0	0	0	0	0	0	0
4	9,6	6	1	4	0	0.3333	1.3332	0	1.6665
5	1	6	0	0	0	0	0	0	0
6	2, 7, 5	6	0	0	0	0	0	0	0
7	3, 4	12	0	0	5	0	0	1.6665	1.6665

ค่า $IT = \sum_{k=1}^{LL} \sum_{m=1}^M q_m s_{km}$

$$= [1.9998 + 0.6666 + 0 + 1.6665 + 0 + 0 + 1.6665] = 5.9994$$

หาค่า $\left[\frac{\sum_{m=1}^M q_m s_{km}}{IT} - \frac{1}{LL} \right]^2$ ทุกสถานีนงาน

สถานีนงานที่ 1 : $\left[\frac{1.9998}{5.9994} - \frac{1}{8} \right]^2 = 0.0434$

สถานีนงานที่ 2 : $\left[\frac{0.6666}{5.9994} - \frac{1}{8} \right]^2 = 0.0002$

สถานีนงานที่ 3 : $\left[\frac{0}{5.9994} - \frac{1}{8} \right]^2 = 0.0156$

สถานีงานที่ 4 : $\left[\frac{1.6665}{5.9994} - \frac{1}{8}\right]^2 = 0.0233$

สถานีงานที่ 5 : $\left[\frac{0}{5.9994} - \frac{1}{8}\right]^2 = 0.0156$

สถานีงานที่ 6 : $\left[\frac{0}{5.9994} - \frac{1}{8}\right]^2 = 0.0156$

สถานีงานที่ 7 : $\left[\frac{1.6665}{5.9994} - \frac{1}{8}\right]^2 = 0.0233$

ดังนั้น $\sum_{k=1}^{LL} \left[\frac{\sum_{m=1}^M q_m s_{km}}{IT} - \frac{1}{LL} \right]^2 = 0.1372$

ดังนั้นค่าวัตถุประสงค์ที่ 2 จะมีค่าเท่ากับ

$B_b = \frac{8}{8-1} \times 0.1372 = 0.1567$

$f_2(X) = \text{Minimum } B_b = 0.1567$

ความสมดุลภายในสถานีงานในวัตถุประสงค์ที่ 3 มีวิธีการคำนวณดังนี้

ตารางที่ 3.11 ตารางการคำนวณค่า B_w

สถานีงาน	งาน	$\left(S_{km} - \frac{1}{M}\right)^2$			Total
		A	B	C	
1	11	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
2	10	0.0278	0.0278	0.1111	0.1667
3	8	0.1111	0.1111	0.1111	0.3333
4	9,6	0.0178	0.2178	0.1111	0.3467
5	1	0.1111	0.1111	0.1111	0.3333
6	2, 7, 5	0.1111	0.1111	0.1111	0.3333
7	3, 4	0.1111	0.1111	0.4444	0.6667

ดังนั้นค่าวัตถุประสงค์ที่ 3 จะมีค่าเท่ากับ

$$B_w = \frac{3}{8(3-1)} \times (0 + 0.1667 + 0.3333 + 0.3467 + 0.3333 + 0.3333 + 0.6667)$$
$$f_3(X) = \text{Minimum } B_w = 0.4087$$

สตริงลำดับงานที่ 1 จะได้

- 1. Task Sequence 1 = [11 10 8 9 6 1 2 7 5 3 4]
- 2. มีจำนวนสถานีนงานทั้งหมด 8 สถานีนงาน (รวม 1 สถานีนงานขนาน) มีลำดับงานชั้นในแต่ละสถานีน และเวลาการทำงานดังนี้

ตารางที่ 3.12 สถานีนงานในสตริงคำตอบที่ 1

สถานีนงาน	งานในสถานีน	เวลาในการทำงานในสถานีน
1	11	4
2	10	3.3333
3	8	4
4	6, 9	4.6666
5	1	6
6	2, 5, 7	6
7 (มีสถานีนงานขนาน)	3, 4	10.3333

- 3. ความสมดุระหว่างสถานีนงานมีค่าเท่ากับ 0.1567
- 4. ความสมดุภายในสถานีนงานมีค่าเท่ากับ 0.4087

วัตถุประสงค์ของลำดับชั้นงานที่ได้จากสตริงคำตอบทั้ง 5 ตัวมีดังนี้

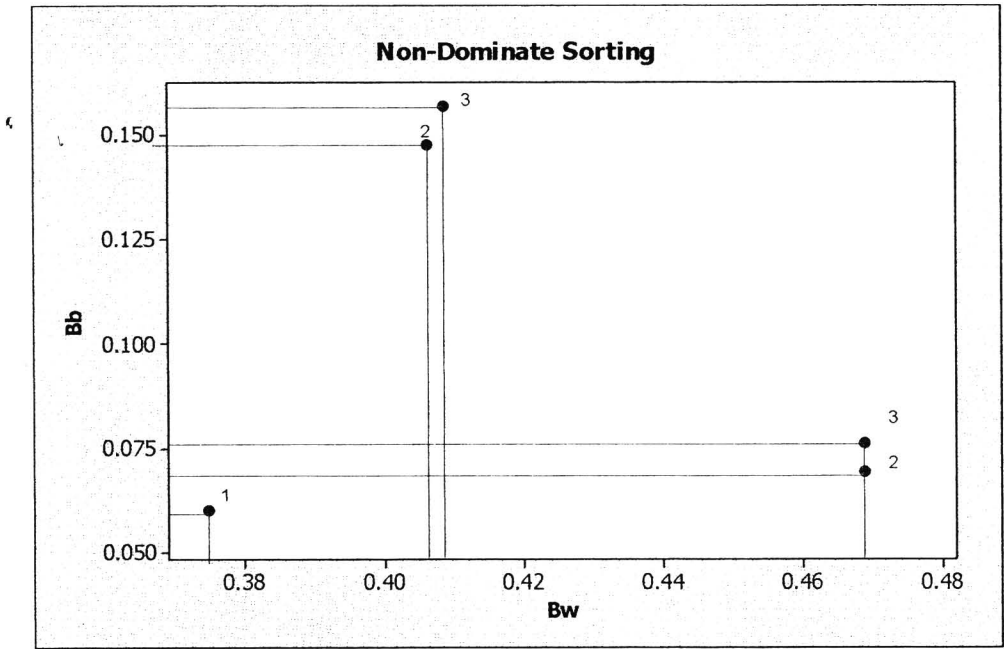
ตารางที่ 3.13 ค่าจากการคำนวณวัตถุประสงค์ทั้ง 3 วัตถุประสงค์

สตริงคำตอบที่	จำนวนสถานีนงาน	ความสมดุระหว่างสถานีนงาน	ความสมดุภายในสถานีนงาน
1	8	0.1567	0.4087
2	8	0.0689	0.4688
3	8	0.1477	0.4063
4	8	0.0760	0.4688
5	8	0.0596	0.3750

3.4.3 การประเมินค่า

การกำหนดค่าความแข็งแรง (Fitness Value) ให้กับสตริงคำตอบที่ได้จะใช้วิธีการจัดอันดับแบบ Goldberg (1989) โดยค่าอันดับที่ได้นี้จะเป็ค่าความแข็งแรงไม่แท้จริง (Dummy Fitness Value) ในขั้นตอนนี้จะได้เส้นขอบเขตกลุ่มคำตอบที่ดี (Frontier) ออกมาหลายกลุ่มตามค่า Dummy Fitness ซึ่งมีการประเมินค่าดังนี้

- ขั้นที่ 1 จำนวนสถานึ่งานของสตริงคำตอบเท่ากันจึงไม่ทำการพิจารณาวัตถุประสงค์นี้
- ขั้นที่ 2 พิจารณาค่าความแข็งแรง (Fitness Value) ให้กับสตริงคำตอบที่ได้ทำการเลือกจำนวนสถานึ่งานที่น้อยที่สุดแล้วจะได้ค่าดังรูปที่ 3.14 และตารางที่ 3.4



รูปที่ 3.4 ค่า Dummy Fitness วิธีการจัดอันดับแบบ Goldberg (1989)

ตารางที่ 3.14 ค่าความแข็งแรงไม่แท้จริง (Dummy Fitness)

สตริงคำตอบที่	ความสมดุระหว่าง สถานึ่งาน	ความสมดุภายใน สถานึ่งาน	Dummy Fitness
5	0.0596	0.3750	1
2	0.0689	0.4688	2
3	0.1477	0.4063	2
4	0.0760	0.4688	3
1	0.1567	0.4087	3

3.4.5 การคัดเลือกสตริงคำตอบ

เทคนิคการเก็บค่าที่ดีที่สุด จะทำการเก็บสตริงคำตอบที่มีค่า Dummy Fitness ที่มีค่าน้อยที่สุดคือ 1 ทำการเก็บค่าไว้ดำเนินการในรอบถัดไป ซึ่งสตริงคำตอบที่ดีที่ได้นั้นจะกลายเป็นสตริงคำตอบที่ดีที่สุดในรอบก่อนหน้าของการดำเนินงาน จากตารางค่าความแข็งแรงไม่แท้จริง(Dummy Fitness) สตริงคำตอบที่ 5 จะเป็นสตริงคำตอบที่ดีที่สุด

Task Sequence 5 = [1 4 5 3 7 2 9 11 10 8 6]

3.4.6 สตริงคำตอบเบื้องต้นในรอบที่ 2

สตริงคำตอบเบื้องต้นจะใช้วิธีสุ่มสตริงคำตอบโดยจะมีขั้นตอนวิธีแบบสุ่ม จะได้สตริงคำตอบเท่ากับ 5 สตริงคำตอบ ดังนี้

- Task Sequence 1 = [1 11 3 2 6 9 4 7 8 5 10]
- Task Sequence 2 = [1 11 2 5 4 3 9 7 6 8 10]
- Task Sequence 3 = [1 5 3 4 7 9 2 6 11 10 8]
- Task Sequence 4 = [11 1 9 10 5 2 7 8 6 3 4]
- Task Sequence 5 = [1 11 9 10 2 5 8 7 6 4 3]

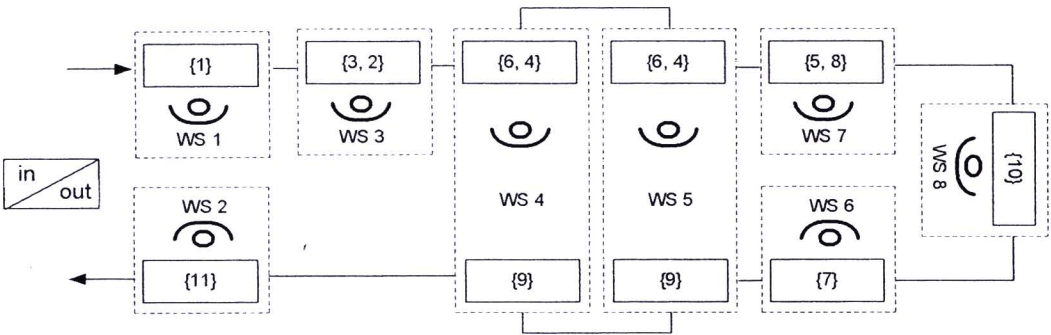
จากลำดับงานที่ 1 จะทำการจัดลงสถานีงาน เพื่อคำนวณหาค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ โดยมีรอบเวลาในการทำงาน (Cycle Time) เท่ากับ 6 วิธีการจัดสรรงานลงในสถานีงานนั้นจะต้องพิจารณาว่ามีชิ้นงานใดที่สามารถมีสถานีงานแบบขนานได้ จากตารางที่ 3.1 พบว่างานที่ 4 สามารถจัดเป็นสถานีงานแบบขนานได้ 1 สถานีเนื่องจากเวลาการทำงานของงานที่ 4 ในผลิตภัณฑ์ชนิด B มีเวลาการทำงานเท่ากับ 7 ซึ่งเกินรอบเวลาการทำงานที่กำหนด (Cycle Time) จึงทำการเพิ่มสถานีงานอีก 1 สถานี (สถานีงานแบบขนาน) เมื่อสถานีงานนั้นม้งานที่ 4 ทำงานอยู่ในสถานี (ในที่นี้จะกำหนดให้สถานีการทำงานไม่เกิน 2 สถานีงานเมื่อรวมกับสถานีงานที่เป็นแบบขนาน) และจะมีรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 12 โดยจะทำการจัดสรรสถานีงานได้ดังนี้

ตารางที่ 3.15 การคัดเลือกลงสถานีงานของสตริงคำตอบที่ 1

ชั้นงาน	เวลางานเฉลี่ย	เวลาเริ่มการทำงาน	เวลารวม	สถานีงานที่	Cycle Time
1	6	0	6	1	6
11	4	0	4	2	
3	3.3333	4	7.3333	เกินเวลา	
3	3.3333	0	3.3333	3	6
2	2	3.3333	5.3333	3	
6	1.3333	5.3333	6.6666	เกินเวลา	
6	1.3333	0	1.3333	4	12
9	3.3333	1.3333	4.6666	4	
4*	7	4.6666	11.6666	4	
7	3	11.6666	14.6666	เกินเวลา	
7	3	0	3	5	6
8	4	3	7	เกินเวลา	
8	4	0	4	6	6
5	1	4	5	6	
10	3.3333	5	8.3333	เกินเวลา	
10	3.3333	0	3.3333	7	6

*เนื่องจากงานที่ 4 สามารถมีสถานีงานขนานได้ 1 สถานีงาน Cycle Time จะเท่ากับ 12

จากตารางที่ 3.15 จะได้สถานีงานทั้งหมด 9 สถานีงาน (มี 1 สถานีงานเป็นสถานีขนาน) ดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 สายการประกอบตัวยูที่มีสถานีงานขนานของสตริงคำตอบที่ 1



เมื่อจัดชั้นงานลงสถานีงาน จึงทำการคำนวณหาค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ ในงานวิจัยนี้จะทำการหาค่าวัตถุประสงค์ทั้งหมด 3 วัตถุประสงค์ คือ จำนวนสถานีงานมีจำนวนน้อยที่สุด ความสมดุลระหว่างสถานีงานและความสมดุลภายในสถานีงาน ดังนี้

จากสตริงลำดับงานที่ 1 จะได้

- 1. Task Sequence 1 = [1 11 3 2 6 9 4 7 8 5 10]
- 2. จำนวนสถานีงานทั้งหมด 8 สถานีงาน (รวม 1 สถานีงานขนาน) มีชั้นงานในแต่ละสถานี และเวลาการทำงานดังนี้

ตารางที่ 3.16 สถานีงานในสตริงคำตอบที่ 1

สถานีงาน	งานในสถานี	เวลาในการทำงานในสถานี
1	1	6
2	11	4
3	2, 3	5.3333
4 (มีสถานีงานขนาน)	4, 6, 9	11.6666
5	7	3
6	5, 8	3.3333
7	10	3.333

3. ความสมดุลระหว่างสถานีงานมีค่าเท่ากับ 0.0717

4. ความสมดุลภายในสถานีงานมีค่าเท่ากับ 0.4688

วัตถุประสงค์ของลำดับชั้นงานที่ได้จากสตริงคำตอบทั้ง 5 ตัวมีดังนี้

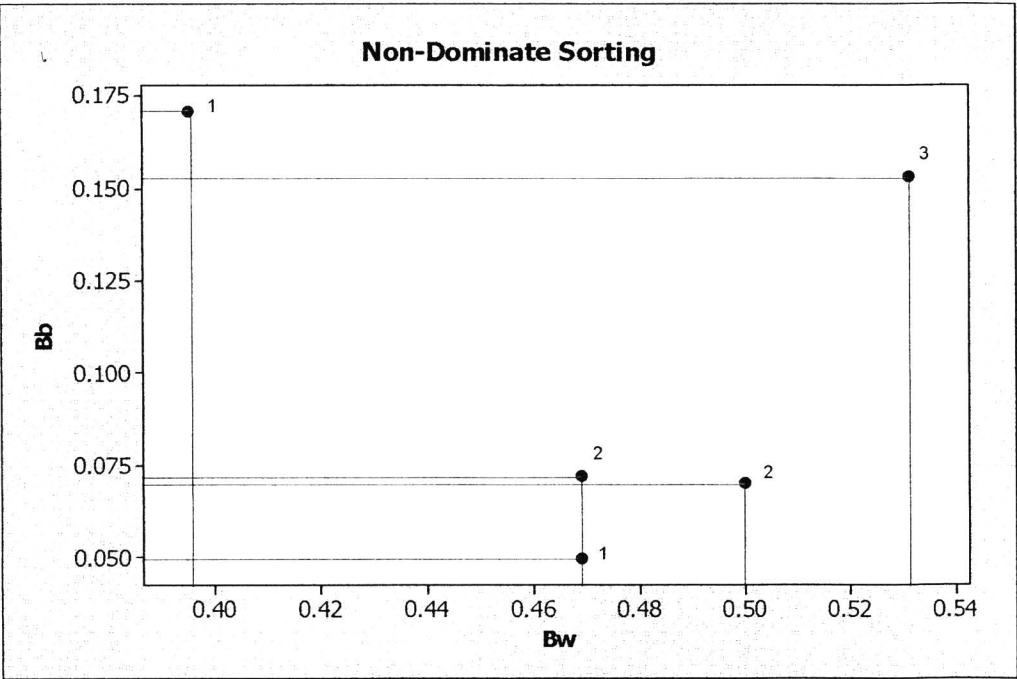
ตารางที่ 3.17 ค่าจากการคำนวณวัตถุประสงค์ทั้ง 3 วัตถุประสงค์

สตริงคำตอบที่	จำนวนสถานีงาน	ความสมดุลระหว่างสถานีงาน	ความสมดุลภายในสถานีงาน
1	8	0.0717	0.4688
2	8	0.1706	0.3950
3	8	0.1529	0.5313
4	8	0.0496	0.4688
5	8	0.0699	0.5000

3.4.7 การประเมินค่า

การกำหนดค่าความแข็งแรง (Fitness Value) ให้กับสตริงคำตอบที่ได้จะใช้วิธีการจัดอันดับแบบ Goldberg (1989) โดยค่าอันดับที่ได้นี้จะเป็นค่าความแข็งแรงไม่แท้จริง (Dummy Fitness Value) ในขั้นตอนนี้จะได้เส้นขอบเขตกลุ่มคำตอบที่ดี (Frontier) ออกมาหลายกลุ่มตามค่า Dummy Fitness ซึ่งมีการประเมินค่าดังนี้

- ขั้นที่ 1 จำนวนสถานีนงานของสตริงคำตอบเท่ากันจึงไม่ทำการพิจารณาวัตถุประสงค์นี้
- ขั้นที่ 2 พิจารณาค่าความแข็งแรง (Dummy Fitness) ให้กับสตริงคำตอบที่ได้ทำการเลือกจะได้ค่าดังรูปที่ 3.6 และตารางที่ 3.18



รูปที่ 3.6 ค่า Dummy Fitness วิธีการจัดอันดับแบบ Goldberg (1989)

ตารางที่ 3.18 ค่าความแข็งแรงไม่แท้จริง (Dummy Fitness)

สตริงคำตอบที่	ความสมดุลระหว่าง สถานีนงาน	ความสมดุลภายใน สถานีนงาน	Dummy Fitness
4	0.0496	0.4688	1
2	0.1706	0.3950	1
5	0.0699	0.5000	2
1	0.0717	0.4688	2
3	0.1529	0.5313	3

3.4.8 การคัดเลือกสตริงคำตอบ

เทคนิคการเก็บค่าที่ดีที่สุด จะทำการเก็บสตริงคำตอบที่มีค่า Dummy Fitness ที่มีค่าน้อยที่สุดคือ 1 ทำการเก็บค่าไว้ดำเนินการในรอบถัดไป ซึ่งสตริงคำตอบที่ดีที่สุดได้นั้นจะกลายเป็นสตริงคำตอบที่ดีที่สุดในรอบก่อนหน้าของการดำเนินงาน จากตารางค่าความแข็งแรงไม่แท้จริง(Dummy Fitness) สตริงคำตอบที่ 5 จะเป็นสตริงคำตอบที่ดีที่สุด

Task Sequence 4 = [11 1 9 10 5 2 7 8 6 3 4]
Task Sequence 2 = [1 11 2 5 4 3 9 7 6 8 10]

3.4.9 เทคนิคการเก็บค่าที่ดีที่สุด

ในรอบที่ 1 จากการคัดเลือกสตริงคำตอบที่ได้ นำมารวมกับสตริงคำตอบในรอบที่ 2 ที่มีค่า Dummy Fitness ที่มีค่าต่ำที่สุด เพื่อทำการคัดเลือกสตริงคำตอบที่ดีที่สุดที่จะเก็บไว้พิจารณาในรอบต่อไป ดังตารางที่ 3.19

ตารางที่ 3.19 การรวมสตริงคำตอบที่ดีที่สุด

สตริงคำตอบ ในรอบ	สตริงคำตอบ	Task Sequence
1	5	[1 4 5 3 7 2 9 11 10 8 6]
2	4	[11 1 9 10 5 2 7 8 6 3 4]
	2	[1 11 2 5 4 3 9 7 6 8 10]

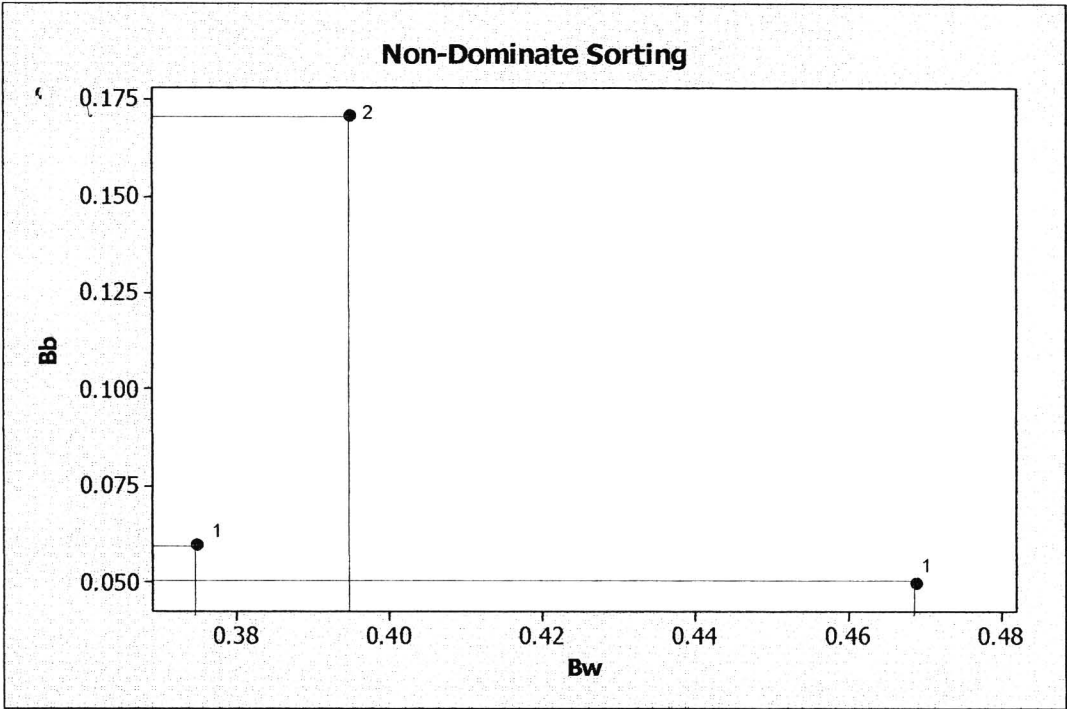
จากลำดับชั้นงานของสตริงคำตอบที่ทำการรวมกัน จะนำมาคำนวณหาค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ทั้ง 3 วัตถุประสงค์ ซึ่งจะได้ค่าดังตารางที่ 3.20

ตารางที่ 3.20 ค่าจากการคำนวณวัตถุประสงค์ทั้ง 3 วัตถุประสงค์

สตริงคำตอบ ในรอบ	สตริงคำตอบ	จำนวนสถานี งาน	ความสมดุลระหว่าง สถานีงาน	ความสมดุลภายใน สถานีงาน
1	5	8	0.0596	0.3750
2	4	8	0.0496	0.4688
	2	8	0.1706	0.3950

ประเมินหาคำตอบที่ดีที่สุดการกำหนดค่าความแข็งแรง (Fitness Value) ให้กับสตริงคำตอบที่ได้จะใช้วิธีการจัดอันดับแบบ Goldberg (1989) โดยค่าอันดับที่ได้นี้จะเป็นค่าความแข็งแรงไม่แท้จริง (Dummy Fitness Value) ในขั้นตอนนี้จะได้เส้นขอบเขตกลุ่มคำตอบที่ดี (Frontier) ออกมาหลายกลุ่มตามค่า Dummy Fitness ซึ่งมีการประเมินค่าดังนี้

- ขั้นที่ 1 จำนวนสถานีนงานของสตริงคำตอบเท่ากันจึงไม่ทำการพิจารณาวัตถุประสงค์นี้
- ขั้นที่ 2 พิจารณาค่าความแข็งแรง (Dummy Fitness) ให้กับสตริงคำตอบที่ได้ทำการเลือกจะได้ค่าดังรูปที่ 3.7 และตารางที่ 3.21



รูปที่ 3.7 ค่า Dummy Fitness วิธีการจัดอันดับแบบ Goldberg (1989)

ตารางที่ 3.21 ค่าความแข็งแรงไม่แท้จริง (Dummy Fitness)

สตริงคำตอบที่	ความสมดุลระหว่าง สถานีนงาน	ความสมดุลภายใน สถานีนงาน	Dummy Fitness
4	0.0496	0.4688	1
5	0.0596	0.3750	1
2	0.1706	0.3950	2

เทคนิคการเก็บค่าที่ดีที่สุด จะทำการเก็บสตริงคำตอบที่มีค่า Dummy Fitness ที่มีค่าน้อยที่สุดคือ 1 ทำการเก็บค่าไว้ดำเนินการในรอบถัดไป ซึ่งสตริงคำตอบที่ดีที่ได้นั้นจะกลายเป็นสตริงคำตอบที่ดีที่สุดในรอบก่อนหน้าของการดำเนินงาน จากตารางค่าความแข็งแรงไม่แท้จริง (Dummy Fitness) สตริงคำตอบที่ 4 และ 5 จะเป็นสตริงคำตอบที่ดีที่สุด

Task Sequence 4 = [11 1 9 10 5 2 7 8 6 3 4]

Task Sequence 5 = [1 4 5 3 7 2 9 11 10 8 6]

3.5 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง

3.5.1 จำนวนประชากรเบื้องต้น

‘ จำนวนคำตอบหรือสตริงคำตอบทั้งหมดที่มีอยู่ในแต่ละเจนเนอเรชัน เช่นถ้ากำหนดให้จำนวนประชากรมีขนาด 100 ประชากร หมายความว่าในแต่ละเจนเนอเรชันจะมีคำตอบหรือสตริงคำตอบที่เป็นไปได้ทั้งหมด 100 คำตอบ ซึ่งต้องเป็นคำตอบที่ไม่เหมือนกัน เพื่อต้องการให้ได้คำตอบหรือสตริงคำตอบที่หลากหลาย ในงานวิจัยนี้ (Hwang and Katayama, 2008) ได้กำหนดจำนวนประชากรในการทดลองเท่ากับ 100 ประชากร

3.6 สรุป

เนื้อหาที่ได้กล่าวมานั้นเป็นทฤษฎีการหาค่าเหมาะสมของอัลกอริทึม COMSOAL ซึ่งเป็นวิธีการหาค่าที่ง่ายที่สุด และเป็นวิธีเริ่มต้นของอัลกอริทึมต่างๆ แต่ในวิธีอัลกอริทึมนี้ยังหาค่าที่เหมาะสมที่สุดได้ไม่ดีนักเนื่องจากขั้นตอนการทำอัลกอริทึม COMSOAL ใช้วิธีการสุ่มหาสตริงคำตอบเบื้องต้นแล้วทำการประเมินค่าหาสตริงคำตอบที่ดีที่สุดโดยใช้วิธีการจัดอันดับแบบ Goldberg หรือ Non-dominated Sorting (Goldberg, 1989) ค่าอันดับที่ได้นี้จะเป็นค่าความแข็งแรงไม่แท้จริง (Dummy Fitness Value) โดยกลุ่มที่ดีที่สุดจะมีอันดับในการจัดต่ำที่สุด เพื่อเก็บค่าที่ดีที่สุดในแต่ละรอบการทำงานที่กำหนด เพื่อนำมาเปรียบเทียบในแต่ละรอบโดยทำการหาค่าความแข็งแรงไม่แท้จริง (Dummy Fitness Value) อีกครั้ง จากขั้นตอนนี้อาจจะยังไม่ได้คำตอบที่แท้จริงแต่ก็เป็นวิธีที่ง่ายไม่ซับซ้อนประกอบกับใช้เวลาในการคำนวณไม่นานทำให้เป็นวิธีที่นิยมอีกวิธีหนึ่งในปัจจุบัน