บทที่ 6
การหาค่าเหมาสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบ
(Particle Swarm Optimization Algorithm with Negative Knowledge : PSONK)

เนื้อหาในบทนี้จะนำเสนออัลกอริทึมแบบใหม่ที่เรียกว่าการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบ (Particle Swarm Optimization Algorithm with Negative Knowledge : PSONK) ซึ่งเป็นการประยุกต์การคัดเลือกคำตอบ โดยใช้หลักความน่าจะเป็น ในบทนี้จะเสนอหลักการวิธีอัลกอริทึม แนวคิด ลักษณะการตัดทอนคำตอบอัลกอริทึมและตัวอย่างอัลกอริทึมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบ

6.1 แนวคิดวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบ

วิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบ (PSONK) เป็นวิธีที่ถูกพัฒนาขึ้นมาจากวิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบฝูงอนุภาค (PSO) ซึ่งมีการพัฒนาโดยใช้ความรู้เชิงลบในกระบวนการหาคำตอบ จากเดิมการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบฝูงอนุภาค (PSO) จะทำการคัดเลือกคำตอบที่ดีที่สุด (Lbest) ในแต่ละฝูง และคำตอบที่ดีที่สุด (Gbest) ในประชากรทั้งหมดเพื่อนำคำตอบที่ได้มาทำการปรับปรุงทิศทางการเคลื่อนที่ แต่การหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบจะทำการหาคำตอบที่แย่ที่สุด (Lworst) ในแต่ละฝูงและคำตอบที่แย่ที่สุด (Gworst) ในประชากรทั้งหมด มาใช้ร่วมกับคำตอบที่ดีที่สุด (Lbest) ในแต่ละฝูง และคำตอบที่ดีที่สุด (Gbest) ในประชากรทั้งหมดเพื่อนำมาปรับปรุงทิศทางการเคลื่อนที่ในการหาคำตอบที่ดีต่อไป จนกว่าจะพบคำตอบที่ดีที่สุด

6.2 ขั้นตอนการทำงานการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบ ในการแก้ปัญหาสมดุลสายการประกอบลักษณะตัวยูที่มีสถานีงานแบบขนาน

บทนี้เสนอวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบ (Particle Swarm Optimization with Negative Knowledge: PSONK) มาใช้ในการแก้ปัญหา ซึ่งวิธีการนี้พัฒนามาจากวิธี PSO โดยการหาคำตอบที่ดีที่สุดและแย่ที่สุด โดยนำหลักการความน่าจะเป็นมาประยุกต์ใช้เพื่อหาค่าที่เหมาะสมต่อไป จนกว่าจะพบคำตอบที่ดีที่สุด

ขั้นตอนการทำงานของวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบ สามารถแบ่งได้ดังนี้

1. **การเตรียมข้อมูล** (Data Input)

ในการเตรียมข้อมูลรายละเอียดที่ใช้ในการหาค่าที่เหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยความรู้เชิงลบเพื่อใช้แก้ปัญหาการจัดสมดุลจะใช้จำนวนผลิตภัณฑ์ แผนภาพแสดงความสัมพันธ์ของแต่ละผลิตภัณฑ์ เวลาการทำงาน และเวลาที่ใช้จะใช้เวลาเฉลี่ยในแต่ละขั้นงาน

2. **การสร้างสตริงคำตอบเบื้องต้น** (Representation & Initialization)

สร้างตารางความน่าจะเป็นในการเลือกงานแรก (First Walk Probability Matrix) ขนาด $1 \times n$ โดยมีค่าความน่าจะเป็นเริ่มต้นเท่ากันทั้งหมดเท่ากับ $1/n$

ตารางความน่าจะเป็นร่วม (Joint Probability Matrix) และตารางความเร็วของอนุภาค (Velocity Matrix) มีขนาด $n \times n$ เมื่อ n คือจำนวนขั้นงานทั้งหมด โดย Joint Probability Matrix มีค่าความน่าจะเป็นร่วมเท่ากับ $1/(n-1)$ ยกเว้นในแนวทแยงมุมจะมีค่าเท่ากับ 0 ส่วนค่า Velocity Matrix เริ่มต้นจะมีเท่ากับ 0 ทั้งหมด (Zero Matrix) และจึงทำการสร้างสตริงคำตอบเบื้องต้น โดยใช้ตารางความน่าจะเป็นในการเลือกงานแรก เพื่อหาลำดับงานแรก และใช้ตารางความน่าจะเป็นร่วมในการหาค่าลำดับอื่นๆ โดยทำการสร้างให้ครบทุกอนุภาคที่กำหนดในแต่ละฝูง ซึ่งสตริงคำตอบที่ได้จะต้องไม่ผิดกับความสัมพันธ์งานก่อนและหลัง

3. **การประเมินค่า** (Evaluation)

คำนวณหาค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ต่างๆ ที่ต้องการ ในที่นี้จะใช้ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ได้แก่ จำนวนสถานีงานที่มีสถานีขนาน จำนวนสถานีงาน ความสมดุลระหว่างสถานีงานและความสมดุลภายในสถานีงานของประชากรคำตอบ

4. **การหาค่าที่เหมาะสม** (Pareto Based Approach)

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

5. การคัดเลือกคำตอบ (Selection)

คัดเลือกคำตอบโดยการเรียงค่าความแข็งแรงที่ได้จากน้อยไปมาก โดยทำการเลือกสตริงที่ได้ในจากการกำหนดค่าความแข็งแรง (Fitness Value) ให้แก่สตริงคำตอบ จะใช้วิธีการจัดอันดับแบบ Goldberg (1989) เพื่อจะนำมาคัดเลือกหาสตริงคำตอบที่ดีในแต่ละฝูง (Local Best Solution : Lbest) ซึ่งจะพิจารณาจำนวนสถานีงานที่น้อยที่สุด และคัดเลือกหาสตริงคำตอบที่แย่ในแต่ละฝูง (Local Worst Solution : Lworst) ซึ่งจะพิจารณาจำนวนสถานีงานที่มากที่สุด โดยพิจารณาจาก Front ของคำตอบที่ได้จากการ Non-dominated Sorting ในแต่ละฝูง และหาสตริงคำตอบที่ดีของประชากร (Global Best Solution : Gbest) ซึ่งจะพิจารณาจำนวนสถานีงานที่น้อยที่สุดและสตริงคำตอบที่แย่ของประชากร (Global Worst Solution : Gworst) ซึ่งจะพิจารณาจำนวนสถานีงานที่มากที่สุด โดยพิจารณาจาก Front ของคำตอบที่ได้จากการ Non-dominated Sorting จากการรวมกันของสตริงคำตอบของทุกฝูง และทำการเก็บค่า Gbest ที่ได้

6. การปรับปรุงตารางความน่าจะเป็น (Update Probability Matrix)

การปรับปรุงค่าตารางการเคลื่อนที่เป็นขั้นตอนที่ทำให้มีการเพิ่มโอกาสในการเลือกคำตอบที่ดี และลดโอกาสการเลือกคำตอบที่แย่ โดยมีหลักการดังนี้

$$V_{(i,j)} = wV_{(i-1,j)} + c_1 r_1 D_1 + c_2 r_2 D_2 \tag{6.1}$$

$$X_{(i,j)} = X_{(i-1,j)} + V_{(i,j)} \tag{6.2}$$

เมื่อ $V_{(i,j)}$ คือ ทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาคในฝูงที่ j รอบที่ i

$X_{(i,j)}$ คือ ค่าความน่าจะเป็นร่วมของเส้นทางการเดินทางของอนุภาคในฝูงที่ j รอบที่ i

r_1 และ r_2 คือ ค่าสุ่มในช่วง (0, 1)

c_1 และ c_2 คือ ค่าสัมประสิทธิ์การเรียนรู้ (Learning Factor)

w คือ น้ำหนักการหน่วง (Inertia Weight)

D_1 และ D_2 คือ การปรับปรุงค่าความน่าจะเป็นโดยใช้คำตอบในส่วนของ Local และ Global ตามลำดับ

โดยแบ่งออกเป็นการปรับปรุงตารางความน่าจะเป็นในการเลือกงานแรก (First Walk Probability Matrix) และการปรับปรุงตารางทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค (Velocity Matrix) ดังนี้

6.1 การปรับปรุงตารางความน่าจะเป็นในการเลือกงานแรก (First Walk Probability Matrix)

ทำการปรับปรุง First Walk Probability Matrix โดยดูงานที่ถูกเลือกเป็นอันดับแรก ด้วยการเพิ่มค่าความน่าจะเป็นในการเลือกงานลำดับแรกเท่ากับ $Cr/(n-1)$ ในสตริงคำตอบที่ดี และลดค่าความน่าจะเป็นในการเลือกงานอื่น ๆ เท่ากับ $Cr/(n-1)^2$ ส่วนในสตริงคำตอบที่แย่จะทำการลดค่าความน่าจะเป็นในการเลือกงานลำดับแรก เท่ากับ $Cr/(n-1)$ และเพิ่มค่าความน่าจะเป็นในการเลือกงานอื่น ๆ เท่ากับ $Cr/(n-1)^2$

6.2 การปรับปรุงตารางทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค (Velocity Matrix)

ค่าจากการเคลื่อนที่ (Velocity) จะขึ้นอยู่กับค่า Lbest, Lworst, Gbest และ Gworst ซึ่งใช้การให้รางวัลและการลงโทษที่ค่าสุ่ม โดยเพิ่มค่าแก่คู่ลำดับในสตริงที่ดี เท่ากับ $r/(t-2)$ และลดค่าคู่ลำดับอื่นๆ เท่ากับ $r/(t-2)^2$ จากนั้นทำการอัพเดท Velocity Matrix โดยดูจากลำดับงานที่อยู่ติดกัน ด้วยการเพิ่มค่าแก่คู่ลำดับในสตริงคำตอบที่ดี เท่ากับ $Cr/(n-2)$ และลดค่ากับคู่ลำดับอื่น ๆ เท่ากับ $Cr/(n-2)^2$ ส่วนในสตริงคำตอบที่แย่จะทำเช่นเดียวกันแต่ใช้การลดค่าแก่คู่ลำดับที่ติดกันในสตริงคำตอบ และเพิ่งค่าคู่ลำดับอื่นๆ แทน

6.3 การปรับปรุงตารางความน่าจะเป็นร่วม (Joint Probability Matrix)

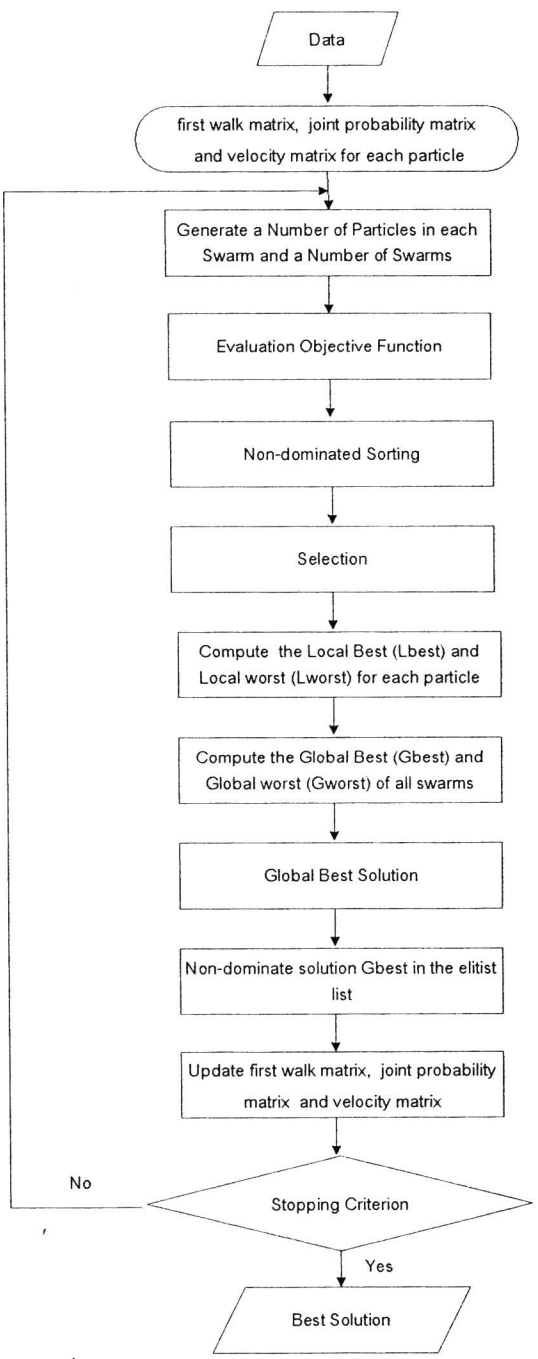
การเพิ่มค่าความน่าจะเป็นให้แก่คู่ลำดับในสตริงคำตอบในการปรับปรุงตารางทิศทางการเคลื่อนที่ (Velocity Matrix) โดยใช้สมการที่ (6.2) ในการปรับปรุงเพื่อสุ่มหาสตริงคำตอบในรอบต่อไป

7. เทคนิคการเก็บค่าที่ดีที่สุด (Strategies to Maintain Elitist Solution in the Population)

นำคำตอบที่ได้จากการเก็บค่าที่ดีที่สุดของประชากรไปเปรียบเทียบกับคำตอบที่ได้จากการเก็บค่าที่ดีที่สุดของประชากรในรอบก่อนหน้า โดยจะนำคำตอบที่ได้มาหา Non-dominated Sorting เพื่อหาค่าคำตอบที่ดีที่สุด และทำการเก็บค่าที่ได้จากกลุ่มคำตอบที่มีค่าน้อยที่สุดเพื่อนำใช้ในรอบต่อไป

8. **สิ้นสุดกระบวนการ** (Stopping Criteria)

เมื่อการคำนวณตามขั้นตอนครบแล้ว ดูว่าครบตามจำนวนเจนเนอเรชันที่กำหนดหรือไม่ ถ้าไม่ครบให้วนใหม่ซ้ำอีกจนกว่าจะครบตามเจนเนอเรชันที่กำหนด เมื่อครบกำหนดแล้วจึงนำคำตอบที่ได้จากการเก็บค่าที่ดีที่สุดมาเป็นคำตอบที่ดีที่สุด



รูปที่ 6.1 โครงสร้างของอัลกอริทึม PSONK

6.3 ตัวอย่างการประยุกต์ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบในการแก้ปัญหาสมดุลสายการประกอบลักษณะตัวยูที่มีสถานีงานแบบขนาน

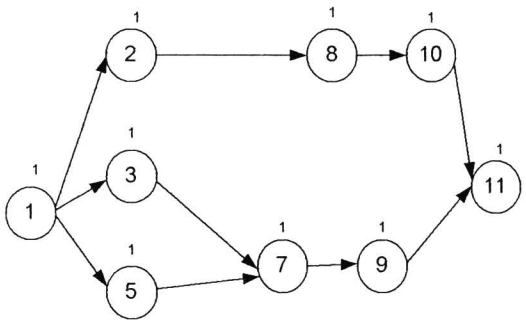
จากขั้นตอนของวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบในการแก้ปัญหาสมดุลสายการประกอบลักษณะตัวยูที่มีสถานีงานแบบขนาน จากที่ได้นำเสนอขั้นตอนมาทั้งหมด สามารถนำมาทดลองใช้แก้ปัญหาตัวอย่างของสายการผลิตแบบผสมของปัญหา Jackson (1956) มีงานทั้งหมด 11 งาน จำนวนชนิดของผลิตภัณฑ์ 3 ชนิด ได้แก่ A, B และ C มีรอบเวลาในการทำงานในแต่ละสถานีงานเท่ากับ 6 ซึ่งมีความสัมพันธ์ของแต่ละงานดังนี้

6.3.1 การเตรียมข้อมูล (Data Input)

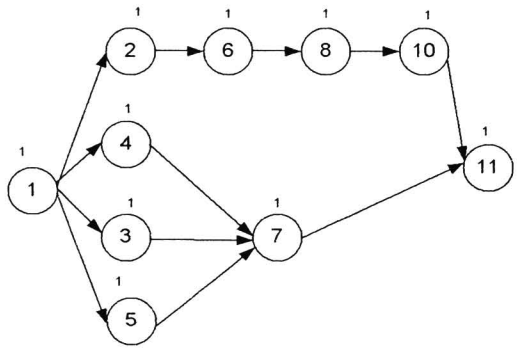
6.3.1.1 พารามิเตอร์ที่เหมาะสมของ PSONK ที่ใช้ในตัวอย่าง

1. จำนวนอนุภาคในแต่ละฝูง (Number of Particles in each Swarm) กำหนดให้มีค่าเท่ากับ 3
2. จำนวนฝูง (Number of Swarms) กำหนดให้มีค่าเท่ากับ 2
3. น้ำหนักการหน่วง (Inertia Weight : w) กำหนดให้มีค่าเท่ากับ 1
4. ค่าสัมประสิทธิ์การเรียนรู้ (Learning Factor : c_1, c_2) กำหนดให้มีค่าเท่ากับ 0.1

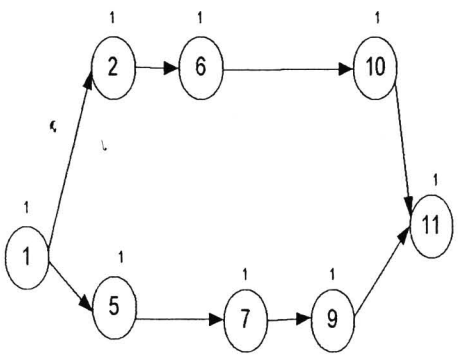
6.3.1.2 การสร้างแผนภาพความสัมพันธ์รวม (Combined Relations Precedence Diagram) แสดงได้ดังรูปที่ 6.2



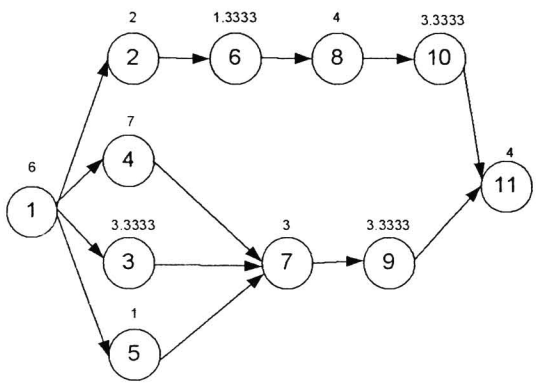
แผนภาพความสัมพันธ์ของผลิตภัณฑ์ A



แผนภาพความสัมพันธ์ของผลิตภัณฑ์ B



แผนภาพความสัมพันธ์ของผลิตภัณฑ์ C



แผนภาพความสัมพันธ์ของผลิตภัณฑ์รวม A, B, C

รูปที่ 6.2 การสร้างแผนภาพความสัมพันธ์รวม (Combined Relations Precedence Diagram) ของปัญหาตัวอย่างขนาด 11 ขั้นงานของ Jackson (1956) (ต่อ)

6.3.1.3 การหาเวลาทำงานเฉลี่ยในแต่ละขั้นงาน จากปัญหาตัวอย่างขนาด 11 ขั้นงานของ 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 จากนั้นจึงทำการจัดงานลงสถานีงานโดยจะใช้ค่าเฉลี่ยเวลาการทำงานของผลิตภัณฑ์ทั้งหมดจากเวลาที่ได้ทำการปรับแล้ว (Modified Time Model) ดังตารางที่ 6.1

ตารางที่ 6.1 เวลาในการผลิตสินค้าชนิด A, B และ C ในแต่ละขั้นงาน

Task	Time Model (Jackson, 1956)			Modified Time Model			สถานีงานขนาน	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

6.3.1.3 สร้างตาราง Precedence Matrix Font และ Precedence Matrix Back จากแผนภาพความสัมพันธ์รวม รูปที่ 6.2 จะได้ดังตารางที่ 6.2 - 6.3

ตารางที่ 6.2 ความสัมพันธ์ของขั้นงานในการทำงานข้างหน้า (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 6.3 ความสัมพันธ์ของขั้นงานในการทำงานข้างหลัง (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

6.3.2 การสร้างสตริงคำตอบเบื้องต้น

การสร้างประชากรเบื้องต้น ขั้นตอนนี้จะทำการเลือกขั้นงานมาจากตารางความน่าจะเป็นร่วม (Matrix Join Probability) และตารางความน่าจะเป็นสำหรับการเลือกงานอันดับแรก (First Walk Matrix Probability) เพื่อใช้ในการเลือกงานในอันดับแรก

ขั้นตอนที่ 1 สร้างเมทริกซ์ของประชากรเริ่มต้นเพื่อใช้ในการเลือกงานแรกในการจัดลำดับ การสร้างตารางความน่าจะเป็นสำหรับการเลือกงานอันดับแรก (First Walk Matrix Probability) จะมีขนาดเท่ากับ $1 \times n = 1 \times 11$ โดย n คือจำนวนขั้นงานทั้งหมด และมีค่าความน่าจะเป็นเริ่มต้นเท่ากันทั้งหมด ซึ่งมีค่าเท่ากับ $1/n = 1/11 = 0.0909$

ตารางที่ 6.4 ค่าความน่าจะเป็นเริ่มต้น (First Walk Matrix Probability)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909

การสร้างตารางทิศทางการเคลื่อนที่ (Velocity Matrix) จะมีขนาดเท่ากับ $n \times n = 11 \times 11$ โดย n คือจำนวนขั้นงานทั้งหมด มีค่าความน่าจะเป็นร่วมเท่ากับ 0

การสร้างตารางความน่าจะเป็นร่วม (Matrix Join Probability) จะมีขนาดเท่ากับ $n \times n = 11 \times 11$ โดย n คือจำนวนขั้นงานทั้งหมด เส้นทแยงมุมของตารางความน่าจะเป็นร่วมจะมีค่าเท่ากับ 0 และมีค่าความน่าจะเป็นร่วมเท่ากับ $1/(n-1) = 1/10 = 0.1$

ตารางที่ 6.5 ตารางความน่าจะเป็นร่วม (Matrix Join Probability)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	-	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
2	0.1	-	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
3	0.1	0.1	-	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
4	0.1	0.1	0.1	-	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
5	0.1	0.1	0.1	0.1	-	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
6	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	-	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
7	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	-	0.1	0.1	0.1	0.1
8	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	-	0.1	0.1	0.1
9	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	-	0.1	0.1
10	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	-	0.1
11	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	-

ขั้นตอนที่ 2 สร้างสตริงคำตอบจากเมทริกซ์แรกตามจำนวนอนุภาคในแต่ละฝูง โดยมีวิธีการสร้างสตริงคำตอบดังนี้

สตริงคำตอบที่ 1: ลำดับงานที่ 1

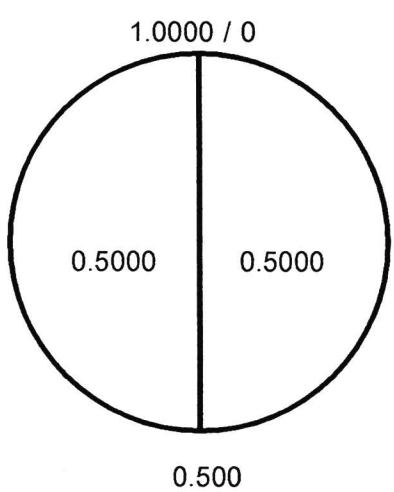
1. ทำการเลือกงานจากความสัมพันธ์ของขั้นงานในการทำงานข้างหน้า (Precedence Matrix Font) ในตารางที่ 6.2 และความสัมพันธ์ของขั้นงานในการทำงานข้างหลัง (Precedence Matrix Back) ในตารางที่ 6.3 ที่มีผลรวมของคอลัมน์เท่ากับ 0 พบว่าขั้นงานที่ไม่มีงานก่อนหน้าในตารางที่ 6.2 คือขั้นงานที่ 1 และในตารางที่ 6.3 คืองานที่ 11 เป็นขั้นงานทีสามารถเลือกได้

2. ขั้นงานที่สามารถเลือกลงลำดับงานที่ 1 ได้คือขั้นงานที่ 1 และ 11 พิจารณาจากตารางความน่าจะเป็นในการเลือกงานแรกในตารางที่ 6.4 พบว่าขั้นงานที่ 1 มีค่าเท่ากับ 0.0909 และ 11 มีค่าเท่ากับ 0.0909 ทำการสุ่มเลือกงาน โดยใช้วิธีการสุ่มเลือกแบบลูเล็ต (Roulette Wheel Selection) ของ Goldberg (1989) โดยทำการสุ่มค่ามา 1 ตัวเพื่อเลือกขั้นงานที่จะลงในลำดับที่ 1 ได้คือขั้นงานที่ 11 จึงนำขั้นงานที่ 11 ซึ่งเป็นขั้นงานที่สามารถทำได้แบบย้อนกลับมาจัดลำดับเป็นขั้นงานแรก

3. ปรับปรุงตารางของขั้นงานในการทำงานข้างหน้า (Precedence Matrix Font) โดยทำการเปลี่ยนเป็น 0 ในแถวที่ 11 ทั้งแถว และให้คอลัมน์ที่ 11 เป็น 1 ทั้งหมด ส่วนในตารางความสัมพันธ์ของขั้นงานในการทำงานข้างหลัง (Precedence Matrix Back) ทำการเปลี่ยนให้คอลัมน์ที่ 11 เป็น 1 ทั้งหมดและในแถวที่ 11 ให้เปลี่ยนเป็น 0 ทั้งแถว

ตารางที่ 6.6 ความน่าจะเป็นในการถูกเลือกงาน

ขั้นงาน	ค่าความน่าจะเป็นในการเลือกงาน	ค่าความน่าจะเป็นในการถูกเลือก	ค่าความน่าจะเป็นสะสม
1	0.0909	0.5000	0.5000
11	0.0909	0.5000	1
รวม	0.1818	1	



รูปที่ 6.3 วงล้อรูเล็ต

ตารางที่ 6.7 ความสัมพันธ์ของขั้นงานในการทำงานข้างหน้า (Precedence Matrix Font) ทำการปรับปรุงครั้งที่ 1

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

ตารางที่ 6.8 ความสัมพันธ์ของขั้นงานในการทำงานข้างหลัง (Precedence Matrix Back) ทำการปรับปรุงครั้งที่ 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. ทำการเลือกงานจากความสัมพันธ์ของขั้นงานในการทำงานข้างหน้า (Precedence Matrix Font) ที่ทำการปรับปรุงครั้งที่ 1 ในตารางที่ 6.7 และความสัมพันธ์ของขั้นงานในการทำงานข้างหลัง (Precedence Matrix Back) ที่ทำการปรับปรุงครั้งที่ 1 ในตารางที่ 6.8 ที่มีผลรวมของคอลัมน์เท่ากับ 0 พบว่าขั้นงานที่ไม่มีงานก่อนหน้าในตารางที่ 6.7 คือขั้นงานที่ 1 และในตารางที่ 6.8 คืองานที่ 9 และ 10 เป็นขั้นงานทีสามารถเลือกได้

2. ขั้นงานที่สามารถเลือกลงลำดับงานที่ 2 ได้คือขั้นงานที่ 1, 9 และ 10 ตารางความน่าจะเป็นร่วม (Joint Probability Matrix) โดยการพิจารณาในแถวที่ 1 ซึ่งเป็นงานที่จัดลำดับไว้ก่อนหน้า พบว่าขั้นงานที่ 1 มีค่าเท่ากับ 0.1, ขั้นงานที่ 9 มีค่าเท่ากับ 0.1 และขั้นงานที่ 10 มีค่าเท่ากับ 0.1 ทำการสุ่มเลือกงาน โดยใช้วิธีการสุ่มเลือกแบบลูเล็ต (Roulette Wheel Selection) ของ Goldberg (1989) โดยทำการสุ่มค่ามา 1 ตัวเพื่อเลือกขั้นงานที่จะลงในลำดับที่ 2 ได้คือขั้นงานที่ 1

3. ปรับปรุงตารางของขั้นงานในการทำงานข้างหน้า (Precedence Matrix Font) โดยทำการเปลี่ยนเป็น 0 ในแถวที่ 1 ทั้งแถว และให้คอลัมน์ที่ 1 เป็น 1 ทั้งหมด ส่วนในตารางความสัมพันธ์ของขั้นงานในการทำงานข้างหลัง (Precedence Matrix Back) ทำการเปลี่ยนให้คอลัมน์ที่ 1 เป็น 1 ทั้งหมดและในแถวที่ 1 ให้เปลี่ยนเป็น 0 ทั้งแถว

ตารางที่ 6.9 ความสัมพันธ์ของขั้นงานในการทำงานข้างหน้า (Precedence Matrix Font) ทำการปรับปรุงครั้งที่ 2

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

ตารางที่ 6.10 ความสัมพันธ์ของขั้นงานในการทำงานข้างหลัง (Precedence Matrix Back) ทำการปรับปรุงครั้งที่ 2

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

4. จะได้สตริงคำตอบที่ 1 ในลำดับงานที่ 2 คือ 11, 1

ทำซ้ำขั้นตอนเดิมจนกระทั่งงานทุกงานถูกกำหนดลงในสตริงคำตอบของลำดับขั้นงานโดยสามารถสรุปเป็นตารางการคัดเลือกของลำดับขั้นงานที่ 1 ได้ดังนี้

ตารางที่ 6.11 การคัดเลือกลำดับขั้นงานในสตริงที่ 1

No	ลำดับขั้นงานข้างหน้า	ลำดับขั้นงานข้างหลัง	Selected
1	1	11	11
2	1	9, 10	1
3	2, 3, 4, 5	9, 10	4
4	2, 3, 5	9, 10	2
5	3, 5, 6	9, 10	10
6	3, 5, 6	8, 9	9
7	5, 6	7, 8	3
8	5, 6	7, 8	7
9	5, 6	5, 8	5
10	6	8	8
11	6	6	6

ทำการหาลำดับขั้นงานในการทำงานทั้งหมด จะได้สตริงลำดับงานทั้ง 6 ตัว ดังนี้

First Swarm:

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

String 12 = [1 2 5 11 4 6 8 10 9 7 3]

String 13 = [1 5 2 6 4 11 9 8 7 10 3]

Second Swarm:

String 21 = [1 4 2 3 5 11 7 9 6 10 8]

String 22 = [11 10 1 4 8 9 6 5 2 3 7]

String 23 = [1 3 4 11 5 7 10 9 2 6 8]

จากลำดับงานที่ 1 จะทำการจัดลงสถานีงาน เพื่อคำนวณหาค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ โดยมีรอบเวลาในการทำงาน (Cycle Time) เท่ากับ 6 วิธีการจัดสรรงานลงในสถานีงานนั้นจะต้องพิจารณาว่ามีขั้นงานใดที่สามารถมีสถานีงานแบบขนานได้ จากตารางที่ 6.11 พบว่างานที่ 4 สามารถจัดเป็นสถานีงานแบบขนานได้ 1 สถานีเนื่องจากเวลาการทำงานของงานที่ 4 มีเวลาการทำงานเท่ากับ 7 ซึ่งเกินรอบเวลาการทำงานที่กำหนด (Cycle Time) จึงทำการเพิ่มสถานีงานอีก 1 สถานี (สถานีงานแบบขนาน) เมื่อสถานีงานนั้นมีงานที่ 4 ทำงานอยู่ในสถานี (ในที่นี้จะกำหนดให้สถานีการทำงานไม่เกิน 2 สถานีงานเมื่อรวมกับสถานีงานที่เป็นแบบขนาน) และจะมีรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 12 โดยจะทำการจัดสรรสถานีงานได้ดังนี้

ตารางที่ 6.12 การคัดเลือกลงสถานีงานของสตริงคำตอบที่ 1

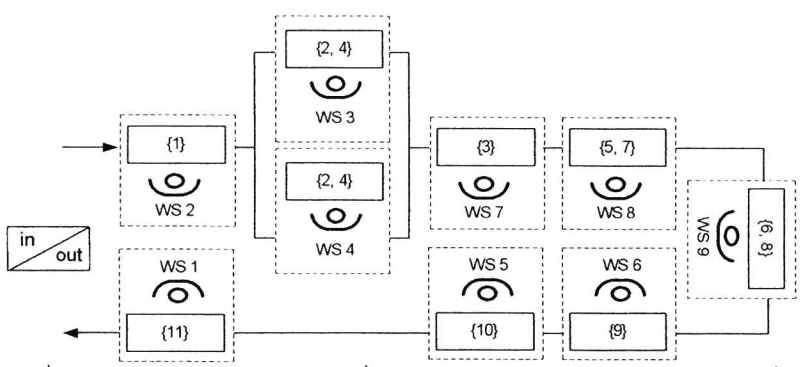
ขั้นงาน	เวลางานเฉลี่ย	เวลาเริ่มการทำงาน	เวลารวม	สถานีงานที่	Cycle Time
11	4	0	4	1	6
1	6	4	10	เกินเวลา	
1	6	0	6	2	6
4*	7	0	7	3	12
2	2	7	9	3	
10	3.3333	9	12.3333	เกินเวลา	
10	3.3333	0	3.3333	4	6
9	3.3333	3.3333	6.6666	เกินเวลา	

ตารางที่ 6.12 การคัดเลือกลงสถานีงานของสตริงคำตอบที่ 1 (ต่อ)

ขั้นงาน	เวลางานเฉลี่ย	เวลาเริ่มการทำงาน	เวลารวม	สถานีงานที่	Cycle Time
9	3.3333	0	3.3333	5	6
3	3.3333	3.3333	6.6666	เกินเวลา	
3	3.3333	0	3.3333	6	6
7	3	3.3333	6.3333	เกินเวลา	
7	3	0	3	7	6
5	1	3	4	7	
8	4	4	8	เกินเวลา	
8	4	0	4	8	6
6	1.3333	4	5.3333	8	

**เนื่องจากงานที่ 4 สามารถมีสถานีงานขนานได้ 1 สถานีงาน Cycle Time จะเท่ากับ 12*

จากตารางที่ 6.12 จะได้สถานีงานทั้งหมด 8 สถานีงาน (มี 1 สถานีงานเป็นสถานีขนาน) ดังรูปที่ 6.4



รูปที่ 6.4 สายการประกอบตัวยูที่มีสถานีงานขนานของสตริงคำตอบที่ 1

เมื่อจัดขั้นงานลงสถานีงาน จึงทำการคำนวณหาค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ ในงานวิจัยนี้จะทำการหาค่าวัตถุประสงค์ทั้งหมด 3 วัตถุประสงค์ คือ จำนวนสถานีงานมีจำนวนน้อยที่สุด ความสมดุลระหว่างสถานีงานและความสมดุลภายในสถานีงาน ดังนี้

กำหนดให้

LL คือ จำนวนสถานีงานทั้งหมด (รวมสถานีงานขนานด้วย)

M คือ จำนวนผลิตภัณฑ์

D_m คือ ความต้องการของผลิตภัณฑ์ m

q_m คือ อัตราส่วนของผลิตภัณฑ์ m ในสายการประกอบ

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

s_{km} คือ เวลาว่างงานของผลิตภัณฑ์ m ในสถานีงาน k

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

S_{km} คือ สัดส่วนของเวลาว่างงานในสถานีงาน k ในผลิตภัณฑ์ m

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

1. จำนวนสถานีงานน้อยที่สุดน้อยที่สุด

$$f_1(X) = Minimum\ N_w \tag{6.3}$$

2. ความสมดุลระหว่างสถานีงาน

$$f_2(X) = Minimum\ B_b = \frac{LL}{LL-1}\sum_{k=1}^{LL}\left[\frac{\sum_{m=1}^{M} q_m s_{km}}{IT} - \frac{1}{LL}\right]^2 \tag{6.4}$$

3. ความสมดุลภายในสถานีงาน

$$f_3(X) = Minimum\ B_w = \frac{M}{LL(M-1)}\sum_{k=1}^{LL}\sum_{m=1}^{M}\left(S_{km} - \frac{1}{M}\right)^2 \tag{6.5}$$

สตริงคำตอบที่ 1 จะมีสถานีงานทั้งหมดเท่ากับ 9

$$f_1(X) = Minimum\ N_w = 9$$

ความสมดุลระหว่างสถานีงานในวัตถุประสงค์ที่ 2 มีวิธีการคำนวณดังนี้

ค่า LL จะมีค่าเท่ากับ $N_w = 9$

กำหนดให้ค่า D_m มีค่าเท่ากับ $D_A = 1,\ D_B = 1,\ D_C = 1$

ค่า q_m มีวิธีการคำนวณดังนี้

ผลิตภัณฑ์ A $\quad q_A = \dfrac{1}{(1+1+1)} = 0.3333$

ผลิตภัณฑ์ B $q_B = \dfrac{1}{(1+1+1)} = 0.3333$

ผลิตภัณฑ์ C $q_C = \dfrac{1}{(1+1+1)} = 0.3333$

ค่า s_{km} เป็นการหาเวลาว่างงานในสถานีงานแต่ละผลิตภัณฑ์สามารถหาได้ดังนี้

ตารางที่ 6.13 ตารางการหาค่า s_{km}

สถานีงาน	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	0.66	0.66	0.66	1.98
2	1	6	0	0	0	0	0	0	0
3	2, 4	12	3	3	3	0.99	0.99	0.99	2.97
4	10	6	1	1	0	0.33	0.33	0	0.66
5	9	6	1	0	1	0.33	0	0.33	0.66
6	3	6	1	1	0	0.33	0.33	0	0.66
7	5, 7	6	2	2	2	0.66	0.66	0.66	1.98
8	6, 8	6	0	0	4	0	0	1.32	1.32

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

$= [1.98 + 0 + 2.97 + 0.66 + 0.66 + 0.66 + 0.66 + 1.98 + 1.32] = 10.23$

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

สถานีงานที่ 1 : $\left[\dfrac{1.98}{10.23} - \dfrac{1}{9}\right]^2 = 0.0068$

สถานีงานที่ 2 : $\left[\dfrac{0}{10.23} - \dfrac{1}{9}\right]^2 = 0.0123$

สถานีงานที่ 3 : $\left[\dfrac{2.97}{10.23} - \dfrac{1}{9}\right]^2 = 0.0321$

สถานีงานที่ 4 : $\left[\dfrac{0.66}{10.23} - \dfrac{1}{9}\right]^2 = 0.0022$

สถานีงานที่ 5 : $\left[\dfrac{0.66}{10.23} - \dfrac{1}{9}\right]^2 = 0.0022$

$$\text{สถานีงานที่ 6 :} \left[\frac{0.66}{10.23}-\frac{1}{9}\right]^2 = 0.0022$$

$$\text{สถานีงานที่ 7 :} \left[\frac{1.98}{10.23}-\frac{1}{9}\right]^2 = 0.0068$$

$$\text{สถานีงานที่ 8 :} \left[\frac{1.32}{10.23}-\frac{1}{9}\right]^2 = 0.0003$$

$$\text{ดังนั้น} \quad \sum_{k=1}^{LL}\left[\frac{\sum_{m=1}^{M} q_m s_{km}}{IT}-\frac{1}{LL}\right]^2 = 0.0649$$

ดังนั้นค่าวัตถุประสงค์ที่ 2 จะมีค่าเท่ากับ

$$B_b = \frac{9}{9-1}\times 0.0649 = 0.0730$$

$$f_2(X) = Minimum\ B_b = 0.0730$$

ความสมดุลภายในสถานีงานในวัตถุประสงค์ที่ 3 มีวิธีการคำนวณดังนี้

ตารางที่ 6.14 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	1	0.1111	0.1111	0.1111	0.3333
3	2, 4	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
4	10	0.0278	0.0278	0.1111	0.1667
5	9	0.0278	0.1111	0.0278	0.1667
6	3	0.0278	0.0278	0.1111	0.1667
7	5, 7	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
8	6, 8	0.1111	0.1111	0.4444	0.6667

ดังนั้นค่าวัตถุประสงค์ที่ 3 จะมีค่าเท่ากับ

$$B_w = \frac{3}{9(3-1)} \times (0 + 0.3333 + 0 + 0.1667 + 0.1667 + 0.1667 + 0 + 0.6667)$$

$$f_3(X) = Minimum\ B_w \quad = 0.2500$$

จากสตริงลำดับงานที่ 1 จะได้

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

2. มีจำนวนสถานีงานทั้งหมด 9 สถานีงาน (รวม 1 สถานีงานขนาน) มีลำดับงานขั้นในแต่ละสถานี และเวลาการทำงานดังนี้

ตารางที่ 6.15 สถานีงานในสตริงคำตอบที่ 1

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

3. ความสมดุลระหว่างสถานีงานมีค่าเท่ากับ 0.0730

4. ความสมดุลภายในสถานีงานมีค่าเท่ากับ 0.2500

วัตถุประสงค์ของลำดับขั้นงานที่ได้จากสตริงคำตอบทั้ง 6 ตัวมีดังนี้

ตารางที่ 6.16 ตารางการคำนวณค่าวัตถุประสงค์ทั้ง 3 วัตถุประสงค์

ฝูงที่	สตริงคำตอบที่	จำนวนสถานีงาน	ความสมดุลระหว่างสถานีงาน	ความสมดุลภายในสถานีงาน
1	1	9	0.0730	0.2500
	2	9	0.0941	0.2500
	3	9	0.1440	0.3056

ตารางที่ 6.16 ตารางการคำนวณค่าวัตถุประสงค์ทั้ง 3 วัตถุประสงค์ (ต่อ)

ฝูงที่	สตริงคำตอบที่	จำนวนสถานีงาน	ความสมดุลระหว่างสถานีงาน	ความสมดุลภายในสถานีงาน
2	1	9	0.0799	0.3078
	2	8	0.0717	0.4688
	3	8	0.0760	0.4688

6.3.3 การคัดเลือกสตริงคำตอบ

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

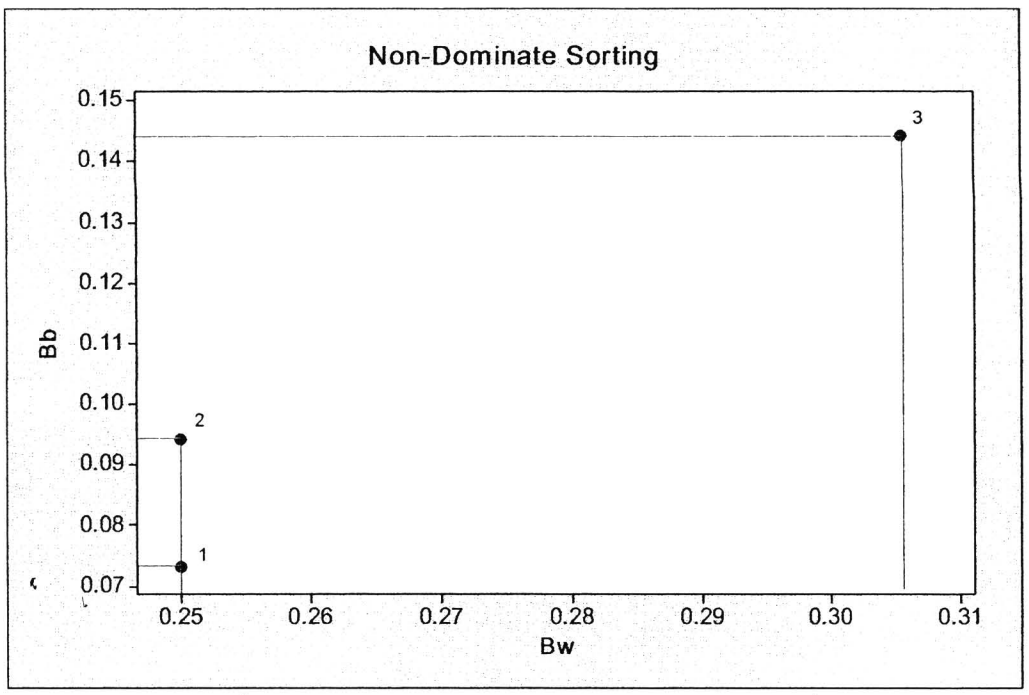
6.3.3.1 การคัดเลือก Local Best Solution

ทำการหาค่าที่ดีที่สุด (Lbest) ในแต่ละฝูง โดยพิจารณาจาก Front ของคำตอบที่ได้จำ Non-Dominated Sorting

1. Local Best Solution **ฝูงที่** 1 ซึ่งมีการคัดเลือกค่าดังนี้

ขั้นที่ 1 จำนวนสถานีงานของสตริงคำตอบในฝูงที่ 1 เท่ากันจึงไม่ทำการพิจารณาวัตถุประสงค์นี้

ขั้นที่ 2 พิจารณาค่าความแข็งแรง (Fitness Value) ให้กับสตริงคำตอบที่ได้ทำการเลือกจำนวนสถานีงานที่น้อยที่สุดแล้วจะได้ค่าดังรูปที่ 6.5 และตารางที่ 6.17



รูปที่ 6.5 ค่า Dummy Fitness ของสตริงคำตอบในฝูงที่ 1

ตารางที่ 6.17 Non-Dominated Sorting ของ Local ในฝูงที่ 1

สตริงคำตอบที่	ความสมดุลระหว่างสถานีงาน	ความสมดุลภายในสถานีงาน	Front	Crowding Distance	Local
1	0.0730	0.2500	1	Infinity	Lbest
2	0.0941	0.2500	2	Infinity	-
3	0.1440	0.3056	3	Infinity	-

2. Local Best Solution **ฝูงที่** 2 ซึ่งมีการคัดเลือกค่าดังนี้

ขั้นที่ 1 จำนวนสถานีงานของสตริงคำตอบในฝูงที่ 2 ไม่เท่ากันจึงการพิจารณาวัตถุประสงค์นี้ก่อน

ตารางที่ 6.18 ค่าจากการคำนวณวัตถุประสงค์ในฝูงที่ 2

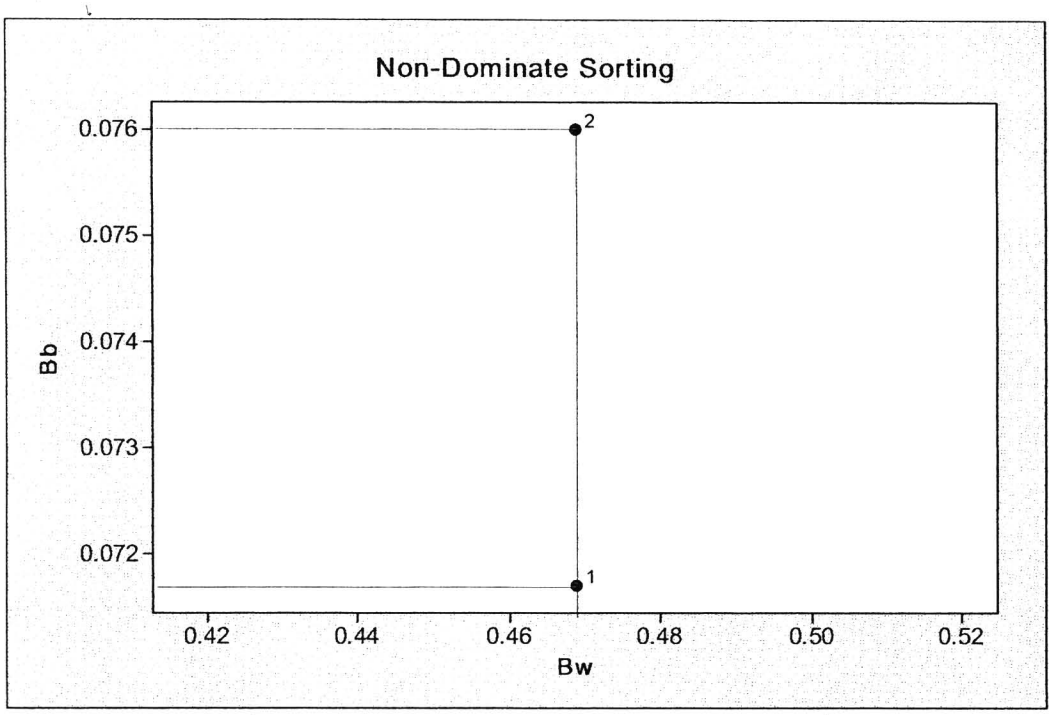
สตริงคำตอบที่	จำนวนสถานีงาน	ความสมดุลระหว่างสถานีงาน	ความสมดุลภายในสถานีงาน
1	9	0.0799	0.3078
2	8	0.0717	0.4688
3	8	0.0760	0.4688

ทำการคัดเลือกจำนวนสถานีงานที่น้อยที่สุดเพื่อทำการหา Local Best Solution

ตารางที่ 6.19 จำนวนสถานีงานที่น้อยที่สุดในฝูงที่ 2

สตริงคำตอบที่	จำนวนสถานีงาน	ความสมดุลระหว่างสถานีงาน	ความสมดุลภายในสถานีงาน
2	8	0.0717	0.4688
3	8	0.0760	0.4688

ขั้นที่ 2 พิจารณาค่าความแข็งแรง (Fitness Value) ให้กับสตริงคำตอบที่ได้ทำการเลือกจำนวนสถานีงานที่น้อยที่สุดแล้วจะได้ค่าดังรูปที่ 6.6 และตารางที่ 6.20



รูปที่ 6.6 ค่า Dummy Fitness ของสตริงคำตอบในฝูงที่ 2

ตารางที่ 6.20 Non-Dominated Sorting ของ Local ในฝูงที่ 2

สตริงคำตอบที่	ความสมดุลระหว่างสถานีงาน	ความสมดุลภายในสถานีงาน	Front	Crowding Distance	Local
2	0.0717	0.4688	1	Infinity	Lbest
3	0.0760	0.4688	2	Infinity	-

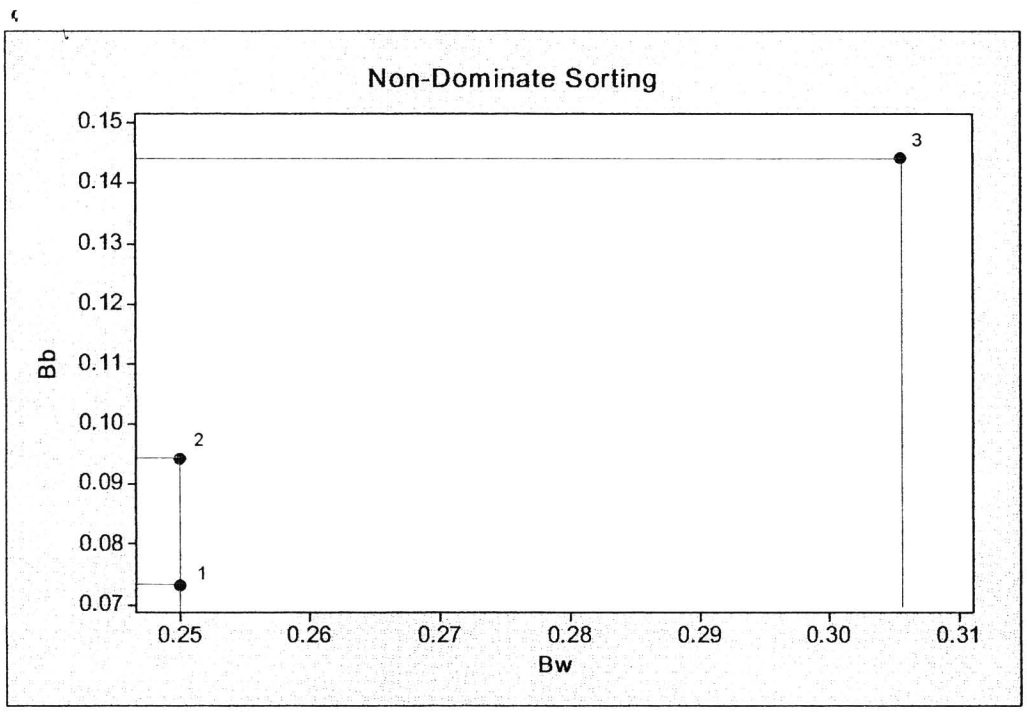
6.3.3.2 การคัดเลือก Local Worst Solution

ทำการหาค่าที่ดีที่สุด (Lworst) ในแต่ละฝูง โดยพิจารณาจาก Front ของคำตอบที่ได้จาก Non-Dominated Sorting

1. Local Worst Solution **ฝูงที่** 1 ซึ่งมีการคัดเลือกค่าดังนี้

ขั้นที่ 1 จำนวนสถานีงานของสตริงคำตอบในฝูงที่ 1 เท่ากันจึงไม่ทำการพิจารณาวัตถุประสงค์นี้

ขั้นที่ 2 พิจารณาค่าความแข็งแรง (Fitness Value) ให้กับสตริงคำตอบที่ได้ทำการเลือกจำนวนสถานีงานที่น้อยที่สุดแล้วจะได้ค่าดังรูปที่ 6.7 และตารางที่ 6.21



รูปที่ 6.7 ค่า Dummy Fitness ของสตริงคำตอบในฝูงที่ 1

ตารางที่ 6.21 Non-Dominated Sorting ของ Local ในฝูงที่ 1

สตริงคำตอบที่	ความสมดุลระหว่างสถานีงาน	ความสมดุลภายในสถานีงาน	Front	Crowding Distance	Local
1	0.0730	0.2500	1	Infinity	-
2	0.0941	0.2500	2	Infinity	-
3	0.1440	0.3056	3	Infinity	Lworst

2. Local Worst Solution **ฝูงที่** 2 ซึ่งมีการคัดเลือกค่าดังนี้

ขั้นที่ 1 จำนวนสถานีงานของสตริงคำตอบในฝูงที่ 2 ไม่เท่ากันจึงการพิจารณาวัตถุประสงค์นี้ก่อน

ตารางที่ 6.22 ค่าจากการคำนวณวัตถุประสงค์ในฝูงที่ 2

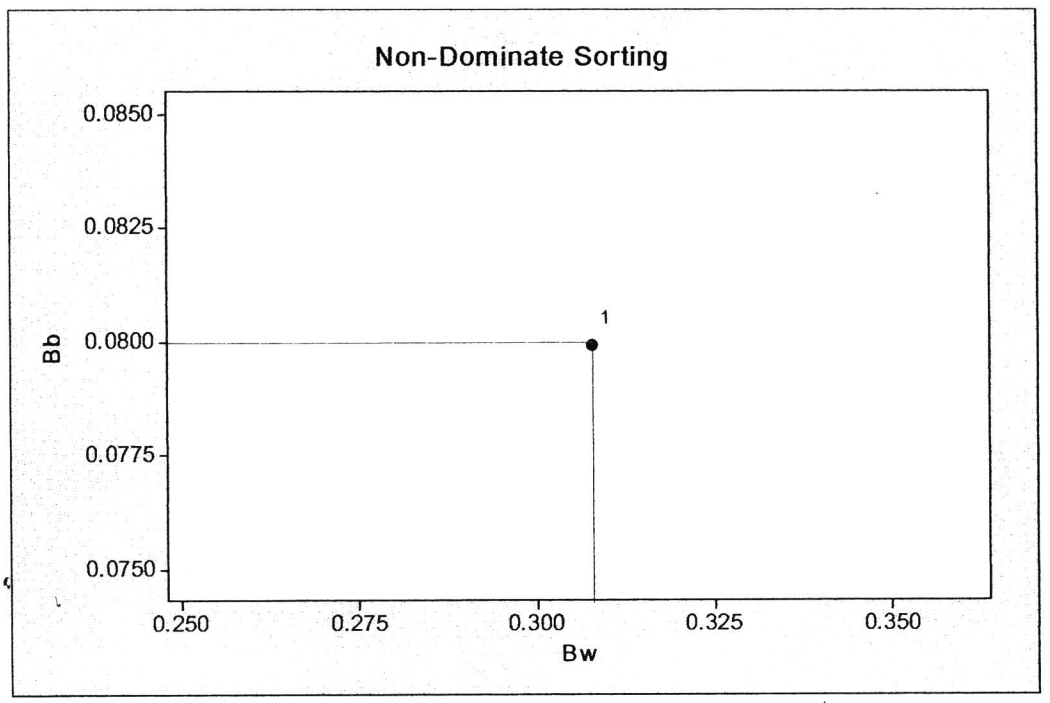
สตริงคำตอบที่	จำนวนสถานีงาน	ความสมดุลระหว่างสถานีงาน	ความสมดุลภายในสถานีงาน
1	9	0.0799	0.3078
2	8	0.0717	0.4688
3	8	0.0760	0.4688

ทำการคัดเลือกจำนวนสถานีงานที่มากที่สุดเพื่อทำการหา Local Worst Solution

ตารางที่ 6.23 จำนวนสถานีงานที่มากที่สุดในฝูงที่ 2

สตริงคำตอบที่	จำนวนสถานีงาน	ความสมดุลระหว่างสถานีงาน	ความสมดุลภายในสถานีงาน
1	9	0.0799	0.3078

ขั้นที่ 2 พิจารณาค่าความแข็งแรง (Fitness Value) ให้กับสตริงคำตอบที่ได้ทำการเลือกจำนวนสถานีงานที่น้อยที่สุดแล้วจะได้ค่าดังรูปที่ 6.8 และตารางที่ 6.24



รูปที่ 6.8 ค่า Dummy Fitness ของสตริงคำตอบในฝูงที่ 2

ตารางที่ 6.24 Non-Dominated Sorting ของ Local ในฝูงที่ 2

สตริงคำตอบที่	ความสมดุลระหว่างสถานีงาน	ความสมดุลภายในสถานีงาน	Front	Crowding Distance	Local
1	0.0799	0.3078	1	Infinity	Lworst

6.3.3.3 การคัดเลือก Global Best Solution

ทำการหาค่าที่ดีที่สุด (Gbest) จากประชากรทั้งหมด โดยพิจารณาจาก Front ของคำตอบที่ได้จาก Non-Dominated Sorting

ขั้นที่ 1 จำนวนสถานีงานของสตริงคำตอบไม่เท่ากันจึงทำการพิจารณาวัตถุประสงค์นี้ก่อน

ตารางที่ 6.25 ตารางการคำนวณค่าวัตถุประสงค์ทั้ง 3 วัตถุประสงค์

ฝูงที่	สตริงคำตอบที่	จำนวนสถานีงาน	ความสมดุลระหว่างสถานีงาน	ความสมดุลภายในสถานีงาน
1	1	9	0.0730	0.2500
	2	9	0.0941	0.2500
	3	9	0.1440	0.3056

ตารางที่ 6.25 ตารางการคำนวณค่าวัตถุประสงค์ทั้ง 3 วัตถุประสงค์ (ต่อ)

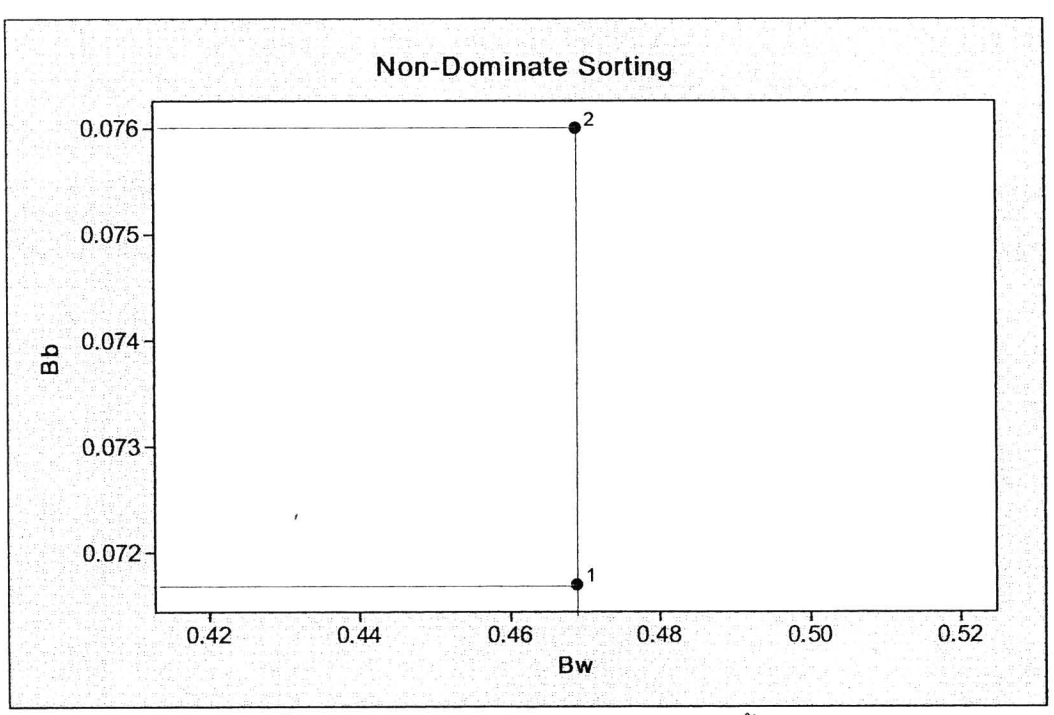
ฝูงที่	สตริงคำตอบที่	จำนวนสถานีงาน	ความสมดุลระหว่างสถานีงาน	ความสมดุลภายในสถานีงาน
2	1	9	0.0799	0.3078
	2	8	0.0717	0.4688
	3	8	0.0760	0.4688

ทำการคัดเลือกจำนวนสถานีงานที่น้อยที่สุดเพื่อทำการหา Global Best Solution

ตารางที่ 6.26 จำนวนสถานีงานที่น้อยที่สุด

ฝูงที่	สตริงคำตอบที่	จำนวนสถานีงาน	ความสมดุลระหว่างสถานีงาน	ความสมดุลภายในสถานีงาน
2	2	8	0.0717	0.4688
	3	8	0.0760	0.4688

ขั้นที่ 2 พิจารณาค่าความแข็งแรง (Fitness Value) ให้กับสตริงคำตอบที่ได้ทำการเลือกจำนวนสถานีงานที่น้อยที่สุดแล้วจะได้ค่าดังรูปที่ 6.9 และตารางที่ 6.27



รูปที่ 6.9 ค่า Dummy Fitness ของประชากรทั้งหมด

ตารางที่ 6.27 Non-Dominated Sorting ของ Global

ฝูงที่	สตริงคำตอบที่	ความสมดุลระหว่างสถานีงาน	ความสมดุลภายในสถานีงาน	Front	Crowding Distance	Local
2	2	0.0717	0.4688	1	Infinity	Gbest
	3	0.0760	0.4688	2	Infinity	-

6.3.3.4 การคัดเลือก Global Worst Solution

ทำการหาค่าที่ดีที่สุด (Gworst) จากประชากรทั้งหมด โดยพิจารณาจาก Front ของคำตอบที่ได้จาก Non-Dominated Sorting

ขั้นที่ 1 จำนวนสถานีงานของสตริงคำตอบไม่เท่ากันจึงทำการพิจารณาวัตถุประสงค์นี้ก่อน

ตารางที่ 6.28 ตารางการคำนวณค่าวัตถุประสงค์ทั้ง 3 วัตถุประสงค์

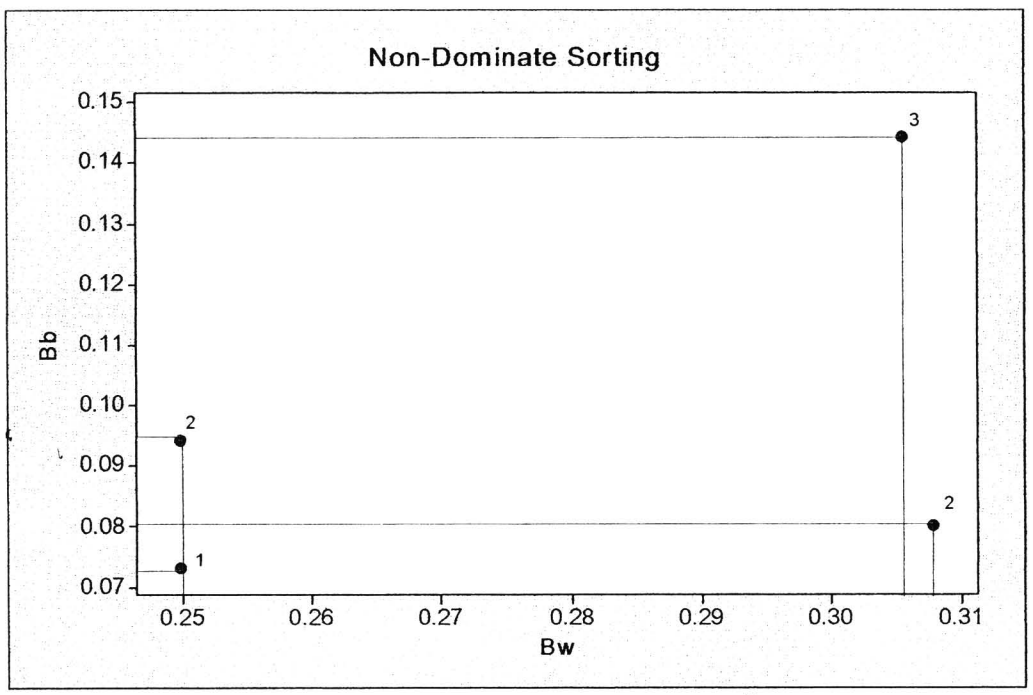
ฝูงที่	สตริงคำตอบที่	จำนวนสถานีงาน	ความสมดุลระหว่างสถานีงาน	ความสมดุลภายในสถานีงาน
1	1	9	0.0730	0.2500
	2	9	0.0941	0.2500
	3	9	0.1440	0.3056
2	1	9	0.0799	0.3078
	2	8	0.0717	0.4688
	3	8	0.0760	0.4688

ทำการคัดเลือกจำนวนสถานีงานที่น้อยที่สุดเพื่อทำการหา Global Best Solution

ตารางที่ 6.29 จำนวนสถานีงานที่มากที่สุด

ฝูงที่	สตริงคำตอบที่	จำนวนสถานีงาน	ความสมดุลระหว่างสถานีงาน	ความสมดุลภายในสถานีงาน
1	1	9	0.0730	0.2500
	2	9	0.0941	0.2500
	3	9	0.1440	0.3056
2	1	9	0.0799	0.3078

ขั้นที่ 2 พิจารณาค่าความแข็งแรง (Fitness Value) ให้กับสตริงคำตอบที่ได้ทำการเลือกจำนวนสถานีงานที่น้อยที่สุดแล้วจะได้ค่าดังรูปที่ 6.10 และตารางที่ 6.30



รูปที่ 6.10 ค่า Dummy Fitness ของประชากรทั้งหมด

ตารางที่ 6.30 Non-Dominated Sorting ของ Global

ฝูงที่	สตริงคำตอบที่	ความสมดุลระหว่างสถานีงาน	ความสมดุลภายในสถานีงาน	Front	Crowding Distance	Local
1	1	0.0730	0.2500	1	Infinity	-
2	1	0.0799	0.3078	2	Infinity	-
1	2	0.0941	0.2500	2	Infinity	-
1	3	0.1440	0.3056	3	Infinity	Gworst

6.3.3.5 การเก็บค่าที่ดีที่สุด

เทคนิคการเก็บค่าที่ดีที่สุด จะทำการเก็บสตริงคำตอบที่ได้จากการหาค่า Global Best Solution ของประชากรทั้งหมด โดยจะทำการเก็บค่าไว้ดำเนินการในรอบถัดไป

สตริงคำตอบของฝูงใน Local Best ในฝูงที่ 1

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

สตริงคำตอบของฝูงใน Local Best ในฝูงที่ 2

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

สตริงคำตอบของฝูงใน Local Worst ในฝูงที่ 1

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

สตริงคำตอบของฝูงใน Local Worst ในฝูงที่ 2

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

สตริงคำตอบที่ดีที่สุด Global Best ของประชากรทั้งหมด

(ฝูงที่ 2) String 2 = [11 10 1 4 8 9 6 5 2 3 7]

สตริงคำตอบที่แย่ที่สุด Global Worst ของประชากรทั้งหมด

(ฝูงที่ 1) String 3 = [1 5 2 6 4 11 9 8 7 10 3]

6.3.4 การปรับปรุงตาราง

การปรับปรุงตารางตำแหน่งของอนุภาค (Position Matrix) และตารางทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค (Velocity Matrix) จะใช้สตริงคำตอบที่ดีของแต่ละฝูง (Lbest) และสตริงคำตอบที่ดีของประชากรทั้งหมด (Gbest) ในการปรับปรุงดังนี้

6.3.4.1 การปรับปรุงในฝูงที่ 1

6.3.4.1.1 ตารางความน่าจะเป็นในการเลือกงานแรก

ทำการอัพเดท First Walk Probability Matrix โดยดูจากงานที่ถูกเลือกเป็นอันดับแรก ด้วยการเพิ่มค่าความน่าจะเป็นในการเลือกงานลำดับแรกเท่ากับ $Cr/(n-1)$ = 0.1/(11-1) = 0.01 ในสตริงคำตอบที่ดี และลดค่าความน่าจะเป็นในการเลือกงานอื่น ๆ เท่ากับ $Cr/(n-1)^2$ = 0.001 ส่วนในสตริงคำตอบที่แย่จะทำการลดค่าความน่าจะเป็นในการเลือกงานลำดับแรก เท่ากับ $Cr/(n-1)$ และเพิ่มค่าความน่าจะเป็นในการเลือกงานอื่น ๆ เท่ากับ $Cr/(n-1)^2$ โดยมีวิธีดังนี้

1. Local Best Solution ฝูงที่ 1

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

ทำการเพิ่มค่าความน่าจะเป็นในการเลือกงานลำดับแรกคืองานที่ 11 เท่ากับ $Cr/(n-1)$ = 0.1/(11-1) = 0.01 ซึ่งจะอัพเดทเป็น 0.0909 + 0.01 = 0.1009 และจะลดงานอื่นๆ เท่ากับ $Cr/(n-1)^2$ = 0.001 ซึ่งจะอัพเดทเป็น 0.0909 – 0.001 = 0.0899 ดังตารางดังนี้

การเพิ่มค่าความน่าจะเป็นจากสตริงคำตอบที่ 11

ตำแหน่งที่ (1,11) มีค่าเท่ากับ 0.0909 + 0.01 = 0.1009

การลดค่าความน่าจะเป็นจากสตริงคำตอบที่ 11

ตำแหน่งที่ (1,1) มีค่าเท่ากับ 0.0909 - 0.001 = 0.0899

ตำแหน่งที่ (1,2) มีค่าเท่ากับ 0.0909 - 0.001 = 0.0899

ตำแหน่งที่ (1,3) มีค่าเท่ากับ 0.0909 - 0.001 = 0.0899

ตำแหน่งที่ (1,4) มีค่าเท่ากับ 0.0909 - 0.001 = 0.0899

ตำแหน่งที่ (1,5) มีค่าเท่ากับ 0.0909 - 0.001 = 0.0899

ตำแหน่งที่ (1,6) มีค่าเท่ากับ 0.0909 - 0.001 = 0.0899

ตำแหน่งที่ (1,7) มีค่าเท่ากับ 0.0909 - 0.001 = 0.0899

ตำแหน่งที่ (1,8) มีค่าเท่ากับ 0.0909 - 0.001 = 0.0899

ตำแหน่งที่ (1,9) มีค่าเท่ากับ 0.0909 - 0.001 = 0.0899

ตำแหน่งที่ (1,10) มีค่าเท่ากับ 0.0909 - 0.001 = 0.0899

ตารางที่ 6.31 ตารางการปรับปรุงความน่าจะเป็นสำหรับการเลือกงานอันดับแรก (First Walk Matrix Probability) ของฝูงที่ 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0.0899	0.0899	0.0899	0.0899	0.0899	0.0899	0.0899	0.0899	0.0899	0.0899	0.1009

2. Local Worst Solution ฝูงที่ 1

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

ทำการลดค่าความน่าจะเป็นในการเลือกงานลำดับแรกคือ 1 เท่ากับ $Cr/(n-1)$ = 0.1/(11-1) = 0.01 และจะเพิ่มงานอื่นๆ เท่ากับ $Cr/(n-1)^2$ = 0.001 ซึ่งจะอัพเดท ดังนี้

การเพิ่มค่าความน่าจะเป็นจากสตริงคำตอบที่ 3

ตำแหน่งที่ (1,1) มีค่าเท่ากับ 0.0899 - 0.01 = 0.0799

การลดค่าความน่าจะเป็นจากสตริงคำตอบที่ 3

ตำแหน่งที่ (1,2) มีค่าเท่ากับ 0.0899 + 0.001 = 0.0909

ตำแหน่งที่ (1,3) มีค่าเท่ากับ 0.0899 + 0.001 = 0.0909

ตำแหน่งที่ (1,4) มีค่าเท่ากับ 0.0899 + 0.001 = 0.0909

ตำแหน่งที่ (1,5) มีค่าเท่ากับ 0.0899 + 0.001 = 0.0909

ตำแหน่งที่ (1,6) มีค่าเท่ากับ 0.0899 + 0.001 = 0.0909

ตำแหน่งที่ (1,7) มีค่าเท่ากับ 0.0899 + 0.001 = 0.0909

ตำแหน่งที่ (1,8) มีค่าเท่ากับ 0.0899 + 0.001 = 0.0909

ตำแหน่งที่ (1,9) มีค่าเท่ากับ 0.0899 + 0.001 = 0.0909

ตำแหน่งที่ (1,10) มีค่าเท่ากับ 0.0899 + 0.001 = 0.0909

ตำแหน่งที่ (1,11) มีค่าเท่ากับ 0.1009 + 0.001 = 0.1009

ตารางที่ 6.32 ตารางการปรับปรุงความน่าจะเป็นสำหรับการเลือกงานอันดับแรก (First Walk Matrix Probability) ของฝูงที่ 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0.0799	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.1019

3. Global Best Solution

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

ทำการเพิ่มค่าความน่าจะเป็นในการเลือกงานลำดับแรกคืองานที่ 11 เท่ากับ $Cr/(n-1)$ = 0.1/(11-1) = 0.01 และจะลดงานอื่นๆ เท่ากับ $Cr/(n-1)^2$ = 0.001 ดังนี้

การเพิ่มค่าความน่าจะเป็นจากสตริงคำตอบที่ 2

ตำแหน่งที่ (1,11) มีค่าเท่ากับ 0.1019 + 0.01 = 0.1119

การลดค่าความน่าจะเป็นจากสตริงคำตอบที่ 2

ตำแหน่งที่ (1,1) มีค่าเท่ากับ 0.0799 - 0.001 = 0.0789

ตำแหน่งที่ (1,2) มีค่าเท่ากับ 0.0909 - 0.001 = 0.0899

ตำแหน่งที่ (1,3) มีค่าเท่ากับ 0.0909 - 0.001 = 0.0899

ตำแหน่งที่ (1,4) มีค่าเท่ากับ 0.0909 - 0.001 = 0.0899

ตำแหน่งที่ (1,5) มีค่าเท่ากับ 0.0909 - 0.001 = 0.0899

ตำแหน่งที่ (1,6) มีค่าเท่ากับ 0.0909 - 0.001 = 0.0899

ตำแหน่งที่ (1,7) มีค่าเท่ากับ 0.0909 - 0.001 = 0.0899

ตำแหน่งที่ (1,8) มีค่าเท่ากับ 0.0909 - 0.001 = 0.0899

ตำแหน่งที่ (1,9) มีค่าเท่ากับ 0.0909 - 0.001 = 0.0899

ตำแหน่งที่ (1,10) มีค่าเท่ากับ 0.0909 - 0.001 = 0.0899

ตารางที่ 6.33 ตารางการปรับปรุงความน่าจะเป็นสำหรับการเลือกงานอันดับแรก (First Walk Matrix Probability) ของฝูงที่ 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0.0789	0.0899	0.0899	0.0899	0.0899	0.0899	0.0899	0.0899	0.0899	0.0899	0.1119

4. Global Worst Solution

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

ทำการลดค่าความน่าจะเป็นในการเลือกงานลำดับแรกคือ 1 เท่ากับ $Cr/(n-1)$ = 0.1/(11-1) = 0.01 และจะเพิ่มงานอื่นๆ เท่ากับ $Cr/(n-1)^2$ = 0.001 ซึ่งจะอัพเดท ดังนี้

การเพิ่มค่าความน่าจะเป็นจากสตริงคำตอบที่ 3

ตำแหน่งที่ (1,1) มีค่าเท่ากับ 0.0789 - 0.01 = 0.0689

การลดค่าความน่าจะเป็นจากสตริงคำตอบที่ 3

ตำแหน่งที่ (1,2) มีค่าเท่ากับ 0.0899 + 0.001 = 0.0909

ตำแหน่งที่ (1,3) มีค่าเท่ากับ 0.0899 + 0.001 = 0.0909

ตำแหน่งที่ (1,4) มีค่าเท่ากับ 0.0899 + 0.001 = 0.0909

ตำแหน่งที่ (1,5) มีค่าเท่ากับ 0.0899 + 0.001 = 0.0909

ตำแหน่งที่ (1,6) มีค่าเท่ากับ 0.0899 + 0.001 = 0.0909

ตำแหน่งที่ (1,7) มีค่าเท่ากับ 0.0899 + 0.001 = 0.0909

ตำแหน่งที่ (1,8) มีค่าเท่ากับ 0.0899 + 0.001 = 0.0909

ตำแหน่งที่ (1,9) มีค่าเท่ากับ 0.0899 + 0.001 = 0.0909

ตำแหน่งที่ (1,10) มีค่าเท่ากับ 0.0899 + 0.001 = 0.0909

ตำแหน่งที่ (1,10) มีค่าเท่ากับ 0.1119 + 0.001 = 0.1129

ตารางที่ 6.34 ตารางการปรับปรุงความน่าจะเป็นสำหรับการเลือกงานอันดับแรก (First Walk Matrix Probability) ของฝูงที่ 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0.0689	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.1129

ดังนั้นตารางที่ 6.34 จะเป็นตารางความน่าจะเป็นในการเลือกงานแรก (First Walk Matrix Probability) ของฝูงที่ 1 หลังจากปรับปรุงคำตอบแล้ว

6.3.4.1.2 การปรับปรุงตารางทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค

การปรับปรุงตารางทิศทางการเคลื่อนที่ (Velocity Matrix) จะขึ้นอยู่กับค่า Lbest, Lworst, Gbest และ Gworst ซึ่งใช้การให้รางวัลและการลงโทษที่ค่า โดยเพิ่มค่าแก่คู่ลำดับในสตริงที่ดี เท่ากับ $r/(t-2)$ และลดค่าคู่ลำดับอื่นๆ เท่ากับ $r/(t-2)^2$

ทำการอัพเดท Velocity Matrix โดยดูจากลำดับงานที่อยู่ติดกัน ด้วยการเพิ่มค่าแก่คู่ลำดับในสตริงคำตอบที่ดี เท่ากับ $Cr/(n-2)$ = 0.0111 และลดค่ากับคู่ลำดับอื่น ๆ เท่ากับ $Cr/(n-2)^2$ = 0.0012 ส่วนในสตริงคำตอบที่แย่จะทำเช่นเดียวกันแต่ใช้การลดค่าแก่คู่ลำดับที่ติดกันในสตริงคำตอบ และเพิ่งค่าคู่ลำดับอื่นๆ แทน

1. Local Best Solution ฝูงที่ 1

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

ทำการเพิ่มค่าความน่าจะเป็นในคู่ลำดับ (11, 1), (1,4), (4,2), ..., (8,6) เท่ากับ $Cr/(n-2)$ = 0.0111 ซึ่งจะอัพเดทเป็น 0 + 0.0111 = 1.0111 (สำหรับคู่อันดับ (11, 1)) และจะลดงานคู่อันดับอื่นๆ เท่ากับ $Cr/(n-2)^2$ = 0.0012 ซึ่งจะอัพเดทเป็น 0 – 0.0012 = -0.0012

การเพิ่มค่าความน่าจะเป็นแก่คู่ลำดับ (11,1) จากสตริงคำตอบที่ 1

ตำแหน่งที่ (11,1) มีค่าเท่ากับ 0 + 0.0111 = 0.0111

การลดค่าความน่าจะเป็นแก่คู่ลำดับอื่นๆ จากสตริงคำตอบที่ 1

ตำแหน่งที่ (11,2) มีค่าเท่ากับ 0 - 0.0012 = -0.0012

ตำแหน่งที่ (11,3) มีค่าเท่ากับ 0 - 0.0012 = -0.0012

ตำแหน่งที่ (11,4) มีค่าเท่ากับ 0 - 0.0012 = -0.0012

ตำแหน่งที่ (11,5) มีค่าเท่ากับ 0 - 0.0012 = -0.0012

ตำแหน่งที่ (11,6) มีค่าเท่ากับ 0 - 0.0012 = -0.0012

ตำแหน่งที่ (11,7) มีค่าเท่ากับ 0 - 0.0012 = -0.0012

ตำแหน่งที่ (11,8) มีค่าเท่ากับ 0 - 0.0012 = -0.0012

ตำแหน่งที่ (11,9) มีค่าเท่ากับ 0 - 0.0012 = -0.0012

ตำแหน่งที่ (11,10) มีค่าเท่ากับ 0 - 0.0012 = -0.0012

ตำแหน่งที่ (11,11) มีค่าเท่ากับ 0

การเพิ่มค่าความน่าจะเป็นแก่คู่ลำดับ (1,4) จากสตริงคำตอบที่ 1

ตำแหน่งที่ (1,4) มีค่าเท่ากับ 0 + 0.0111 = 0.0111

การลดค่าความน่าจะเป็นแก่คู่ลำดับอื่นๆ จากสตริงคำตอบที่ 1

ตำแหน่งที่ (1,1) มีค่าเท่ากับ 0

ตำแหน่งที่ (1,2) มีค่าเท่ากับ 0 - 0.0012 = -0.0012

ตำแหน่งที่ (1,3) มีค่าเท่ากับ 0 - 0.0012 = -0.0012

ตำแหน่งที่ (1,5) มีค่าเท่ากับ 0 - 0.0012 = -0.0012

ตำแหน่งที่ (1,6) มีค่าเท่ากับ 0 - 0.0012 = -0.0012

ตำแหน่งที่ (1,7) มีค่าเท่ากับ 0 - 0.0012 = -0.0012

ตำแหน่งที่ (1,8) มีค่าเท่ากับ 0 - 0.0012 = -0.0012

ตำแหน่งที่ (1,9) มีค่าเท่ากับ 0 - 0.0012 = -0.0012

ตำแหน่งที่ (1,10) มีค่าเท่ากับ 0 - 0.0012 = -0.0012

ตำแหน่งที่ (1,11) มีค่าเท่ากับ 0 - 0.0012 = -0.0012

การเพิ่มค่าความน่าจะเป็นแก่คู่ลำดับ (4,2) จากสตริงคำตอบที่ 1

ตำแหน่งที่ (4,2) มีค่าเท่ากับ 0+0.0111 = 0.0111

การลดค่าความน่าจะเป็นแก่คู่ลำดับอื่นๆ จากสตริงคำตอบที่ 1

ตำแหน่งที่ (4,1) มีค่าเท่ากับ 0 - 0.0012 = -0.0012

ตำแหน่งที่ (4,3) มีค่าเท่ากับ 0 - 0.0012 = -0.0012

ตำแหน่งที่ (4,4) มีค่าเท่ากับ 0

ตำแหน่งที่ (4,5) มีค่าเท่ากับ 0 - 0.0012 = -0.0012

ตำแหน่งที่ (4,6) มีค่าเท่ากับ 0 - 0.0012 = -0.0012

ตำแหน่งที่ (4,7) มีค่าเท่ากับ 0 - 0.0012 = -0.0012

ตำแหน่งที่ (4,8) มีค่าเท่ากับ 0 - 0.0012 = -0.0012

ตำแหน่งที่ (4,9) มีค่าเท่ากับ 0 - 0.0012 = -0.0012

ตำแหน่งที่ (4,10) มีค่าเท่ากับ 0 - 0.0012 = -0.0012

ตำแหน่งที่ (4,11) มีค่าเท่ากับ 0 - 0.0012 = -0.0012

ทำการปรับปรุงตารางจนครบทุกคู่ลำดับจะได้ดังนี้

ตารางที่ 6.35 ตารางการปรับปรุงทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค (Velocity Matrix) ของฝูงที่ 1

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	-	-0.0012	-0.0012	***0.0111***	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012
2	-0.0012	-	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	***0.0111***	-0.0012
3	-0.0012	-0.0012	-	-0.0012	-0.0012	-0.0012	***0.0111***	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012
4	-0.0012	***0.0111***	-0.0012	-	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012
5	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-	-0.0012	-0.0012	***0.0111***	-0.0012	-0.0012	-0.0012
6	0	0	0	0	0	-	0	0	0	0	0
7	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	***0.0111***	-0.0012	-	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012
8	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	***0.0111***	-0.0012	-	-0.0012	-0.0012	-0.0012
9	-0.0012	-0.0012	***0.0111***	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-	-0.0012	-0.0012
10	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	***0.0111***	-	-0.0012
11	***0.0111***	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-

2. Local Worst Solution ฝูงที่ 1

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

ทำการการลดค่าแก่คู่ลำดับที่ติดกันในสตริงคำตอบ ในคู่ลำดับ (1,5), (5,2), (2,6), ..., (10,3) ในตาราง Velocity Matrix เท่ากับ $Cr/(n-2)$ = 0.0111 และจะเพิ่มค่าให้กับคู่ลำดับอื่นๆ เท่ากับ $Cr/(n-2)^2$ = 0.0012 ดังตาราง

การเพิ่มค่าความน่าจะเป็นแก่คู่ลำดับ (1,5) จากสตริงคำตอบที่ 3

ตำแหน่งที่ (1,5) มีค่าเท่ากับ -0.0012 - 0.0111 = -0.0123

การลดค่าความน่าจะเป็นแก่คู่ลำดับอื่นๆ จากสตริงคำตอบที่ 3

ตำแหน่งที่ (1,1) มีค่าเท่ากับ 0

ตำแหน่งที่ (1,2) มีค่าเท่ากับ -0.0012 + 0.0012 = 0

ตำแหน่งที่ (1,3) มีค่าเท่ากับ -0.0012 + 0.0012 = 0

ตำแหน่งที่ (1,4) มีค่าเท่ากับ 0.0111 + 0.0012 = 0.0123

ตำแหน่งที่ (1,6) มีค่าเท่ากับ -0.0012 + 0.0012 = 0

ตำแหน่งที่ (1,7) มีค่าเท่ากับ -0.0012 + 0.0012 = 0

ตำแหน่งที่ (1,8) มีค่าเท่ากับ -0.0012 + 0.0012 = 0

ตำแหน่งที่ (1,9) มีค่าเท่ากับ -0.0012 + 0.0012 = 0

ตำแหน่งที่ (1,11) มีค่าเท่ากับ -0.0012 + 0.0012 = 0

การเพิ่มค่าความน่าจะเป็นแก่คู่ลำดับ (5,2) จากสตริงคำตอบที่ 3

ตำแหน่งที่ (5,2) มีค่าเท่ากับ -0.0012 - 0.0111 = 0.0123

การลดค่าความน่าจะเป็นแก่คู่ลำดับอื่นๆ จากสตริงคำตอบที่ 3

ตำแหน่งที่ (5,1) มีค่าเท่ากับ -0.0012 + 0.0012 = 0

ตำแหน่งที่ (5,3) มีค่าเท่ากับ -0.0012 + 0.0012 = 0

ตำแหน่งที่ (5,4) มีค่าเท่ากับ -0.0012 + 0.0012 = 0

ตำแหน่งที่ (5,5) มีค่าเท่ากับ 0

ตำแหน่งที่ (5,6) มีค่าเท่ากับ -0.0012 + 0.0012 = 0

ตำแหน่งที่ (5,7) มีค่าเท่ากับ -0.0012 + 0.0012 = 0

ตำแหน่งที่ (5,8) มีค่าเท่ากับ 0.0111 + 0.0012 = 0.0123

ตำแหน่งที่ (5,9) มีค่าเท่ากับ -0.0012 + 0.0012 = 0

ตำแหน่งที่ (5,10) มีค่าเท่ากับ -0.0012 + 0.0012 = 0

ตำแหน่งที่ (5,11) มีค่าเท่ากับ -0.0012 + 0.0012 = 0

การเพิ่มค่าความน่าจะเป็นแก่คู่ลำดับ (2,6) จากสตริงคำตอบที่ 3

ตำแหน่งที่ (2,6) มีค่าเท่ากับ -0.0012 - 0.0111 = -0.0123

การลดค่าความน่าจะเป็นแก่คู่ลำดับอื่นๆ จากสตริงคำตอบที่ 3

ตำแหน่งที่ (2,1) มีค่าเท่ากับ -0.0012 + 0.0012 = 0

ตำแหน่งที่ (2,2) มีค่าเท่ากับ 0

ตำแหน่งที่ (2,3) มีค่าเท่ากับ -0.0012 + 0.0012 = 0

ตำแหน่งที่ (2,4) มีค่าเท่ากับ -0.0012 + 0.0012 = 0

ตำแหน่งที่ (2,5) มีค่าเท่ากับ -0.0012 + 0.0012 = 0

ตำแหน่งที่ (2,7) มีค่าเท่ากับ -0.0012 + 0.0012 = 0

ตำแหน่งที่ (2,8) มีค่าเท่ากับ -0.0012 + 0.0012 = 0

ตำแหน่งที่ (2,9) มีค่าเท่ากับ -0.0012 + 0.0012 = 0

ตำแหน่งที่ (2,10) มีค่าเท่ากับ 0.0111 + 0.0012 = 0.0123

ตำแหน่งที่ (2,11) มีค่าเท่ากับ -0.0012 + 0.0012 = 0

ทำการปรับปรุงตารางจนครบทุกคู่ลำดับจะได้ดังนี้

ตารางที่ 6.36 ตารางการปรับปรุงทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค (Velocity Matrix) ของฝูงที่ 1

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	-	0	0	0.0123	***-0.0123***	0	0	0	0	0	0
2	0	-	0	0	0	***-0.0123***	0	0	0	0.0123	0
3	-0.0012	-0.0012	-	-0.0012	-0.0012	-0.0012	0.0111	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012
4	0	0.0123	0	-	0	0	0	0	0	0	***-0.0123***
5	0	***-0.0123***	0	0	-	0	0	0.0123	0	0	0
6	0.0012	0.0012	0.0012	***-0.0111***	0.0012	-	0.0012	0.0012	0.0012	0.0012	0.0012
7	0	0	0	0	0.0123	0	-	0	0	***-0.0123***	0
8	0	0	0	0	0	0.0123	***-0.0123***	-	0	0	0
9	0	0	0.0123	0	0	0	0	***-0.0123***	-	0	0
10	0	0	***-0.0123***	0	0	0	0	0	0.0123	-	0
11	0.0123	0	0	0	0	0	0	0	***-0.0123***	0	-

3. Global Best Solution

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

ทำการเพิ่มค่าความน่าจะเป็นในคู่ลำดับ (11,10), (10,1), (1,4), ..., (3,7) เท่ากับ $Cr/(n-2)$ = 0.0111 และจะลดงานคู่อันดับอื่นๆ เท่ากับ $Cr/(n-2)^2$ = 0.0012 ดังนี้

การเพิ่มค่าความน่าจะเป็นแก่คู่ลำดับ (11,10) จากสตริงคำตอบที่ 2

ตำแหน่งที่ (11,10) มีค่าเท่ากับ 0 + 0.0111 = 0.0111

การลดค่าความน่าจะเป็นแก่คู่ลำดับอื่นๆ จากสตริงคำตอบที่ 2

ตำแหน่งที่ (11,1) มีค่าเท่ากับ 0.0123 - 0.0012 = 0.0111

ตำแหน่งที่ (11,2) มีค่าเท่ากับ 0 - 0.0012 = -0.0012

ตำแหน่งที่ (11,3) มีค่าเท่ากับ 0 - 0.0012 = -0.0012

ตำแหน่งที่ (11,4) มีค่าเท่ากับ 0 - 0.0012 = -0.0012

ตำแหน่งที่ (11,5) มีค่าเท่ากับ 0 - 0.0012 = -0.0012

ตำแหน่งที่ (11,6) มีค่าเท่ากับ 0 - 0.0012 = -0.0012

ตำแหน่งที่ (11,7) มีค่าเท่ากับ 0 - 0.0012 = -0.0012

ตำแหน่งที่ (11,8) มีค่าเท่ากับ 0 - 0.0012 = -0.0012

ตำแหน่งที่ (11,9) มีค่าเท่ากับ -0.0123 - 0.0012 = -0.0135

ตำแหน่งที่ (11,11) มีค่าเท่ากับ 0

การเพิ่มค่าความน่าจะเป็นแก่คู่ลำดับ (10,1) จากสตริงคำตอบที่ 2

ตำแหน่งที่ (10,1) มีค่าเท่ากับ 0 + 0.0111 = 0.0111

การลดค่าความน่าจะเป็นแก่คู่ลำดับอื่นๆ จากสตริงคำตอบที่ 2

ตำแหน่งที่ (10,2) มีค่าเท่ากับ 0 - 0.0012 = -0.0012

ตำแหน่งที่ (10,3) มีค่าเท่ากับ -0.0123 - 0.0012 = -0.0135

ตำแหน่งที่ (10,4) มีค่าเท่ากับ 0 - 0.0012 = -0.0012

ตำแหน่งที่ (10,5) มีค่าเท่ากับ 0 - 0.0012 = -0.0012

ตำแหน่งที่ (10,6) มีค่าเท่ากับ 0 - 0.0012 = -0.0012

ตำแหน่งที่ (10,7) มีค่าเท่ากับ 0 - 0.0012 = -0.0012

ตำแหน่งที่ (10,8) มีค่าเท่ากับ 0 - 0.0012 = -0.0012

ตำแหน่งที่ (10,9) มีค่าเท่ากับ 0.0123 - 0.0012 = 0.0111

ตำแหน่งที่ (10,10) มีค่าเท่ากับ 0

ตำแหน่งที่ (10,11) มีค่าเท่ากับ 0 - 0.0012 = -0.0012

การเพิ่มค่าความน่าจะเป็นแก่คู่ลำดับ (1,4) จากสตริงคำตอบที่ 2

ตำแหน่งที่ (1,4) มีค่าเท่ากับ 0.0123 + 0.0111 = 0.0234

การลดค่าความน่าจะเป็นแก่คู่ลำดับอื่นๆ จากสตริงคำตอบที่ 2

ตำแหน่งที่ (1,1) มีค่าเท่ากับ 0

ตำแหน่งที่ (1,2) มีค่าเท่ากับ 0 - 0.0012 = -0.0012

ตำแหน่งที่ (1,3) มีค่าเท่ากับ 0 - 0.0012 = -0.0012

ตำแหน่งที่ (1,5) มีค่าเท่ากับ -0.0123 - 0.0012 = -0.0135

ตำแหน่งที่ (1,6) มีค่าเท่ากับ 0 - 0.0012 = -0.0012

ตำแหน่งที่ (1,7) มีค่าเท่ากับ 0 - 0.0012 = -0.0012

ตำแหน่งที่ (1,8) มีค่าเท่ากับ 0 - 0.0012 = -0.0012

ตำแหน่งที่ (1,9) มีค่าเท่ากับ 0 - 0.0012 = -0.0012

ตำแหน่งที่ (1,10) มีค่าเท่ากับ 0 - 0.0012 = -0.0012

ตำแหน่งที่ (1,11) มีค่าเท่ากับ 0 - 0.0012 = -0.0012

ทำการปรับปรุงตารางจนครบทุกคู่ลำดับจะได้ดังนี้

ตารางที่ 6.37 ตารางการปรับปรุงทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค (Velocity Matrix) ของฝูงที่ 1

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	-	-0.0012	-0.0012	***0.0234***	-0.0135	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012
2	-0.0012	-	***0.0111***	-0.0012	-0.0012	-0.0135	-0.0012	-0.0012	-0.0012	0.0111	-0.0012
3	-0.0024	-0.0024	-	-0.0024	-0.0024	-0.0024	***0.0222***	-0.0024	-0.0024	-0.0024	-0.0024
4	-0.0012	0.0111	-0.0012	-	-0.0012	-0.0012	-0.0012	***0.0111***	-0.0012	-0.0012	-0.0135
5	-0.0012	***-0.0012***	-0.0012	-0.0012	-	-0.0012	-0.0012	0.0111	-0.0012	-0.0012	-0.0012
6	0	0	0	-0.0123	***0.0123***	-	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0.0123	0	-	0	0	-0.0123	0
8	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	0.0111	-0.0135	-	***0.0111***	-0.0012	-0.0012
9	-0.0012	-0.0012	0.0111	-0.0012	-0.0012	***0.0111***	-0.0012	-0.0135	-	-0.0012	-0.0012
10	***0.0111***	-0.0012	-0.0135	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	0.0111	-	-0.0012
11	0.0111	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0135	***0.0111***	-

4. Global Worst Solution

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

ทำการการลดค่าแก่คู่ลำดับที่ติดกันในสตริงคำตอบ ในคู่ลำดับ (1,5), (5,2), (2,6), ..., (10,3) ในตาราง Velocity Matrix เท่ากับ $Cr/(n-2)$ = 0.0111 และจะเพิ่มค่าให้กับคู่ลำดับอื่นๆ เท่ากับ $Cr/(n-2)^2$ = 0.0012 ดังนี้

การเพิ่มค่าความน่าจะเป็นแก่คู่ลำดับ (1,5) จากสตริงคำตอบที่ 13

ตำแหน่งที่ (1,5) มีค่าเท่ากับ -0.0135 - 0.0111 = -0.0246

การลดค่าความน่าจะเป็นแก่คู่ลำดับอื่นๆ จากสตริงคำตอบที่ 13

ตำแหน่งที่ (1,1) มีค่าเท่ากับ 0

ตำแหน่งที่ (1,2) มีค่าเท่ากับ -0.0012 + 0.0012 = 0

ตำแหน่งที่ (1,3) มีค่าเท่ากับ -0.0012 + 0.0012 = 0

ตำแหน่งที่ (1,4) มีค่าเท่ากับ 0.0234 + 0.0012 = 0.0246

ตำแหน่งที่ (1,6) มีค่าเท่ากับ -0.0012 + 0.0012 = 0

ตำแหน่งที่ (1,7) มีค่าเท่ากับ -0.0012 + 0.0012 = 0

ตำแหน่งที่ (1,8) มีค่าเท่ากับ -0.0012 + 0.0012 = 0

ตำแหน่งที่ (1,9) มีค่าเท่ากับ -0.0012 + 0.0012 = 0

ตำแหน่งที่ (1,10) มีค่าเท่ากับ -0.0012 + 0.0012 = 0

ตำแหน่งที่ (1,11) มีค่าเท่ากับ -0.0012 + 0.0012 = 0

การเพิ่มค่าความน่าจะเป็นแก่คู่ลำดับ (5,2) จากสตริงคำตอบที่ 13

ตำแหน่งที่ (5,2) มีค่าเท่ากับ -0.0012 - 0.0111 = -0.0123

การลดค่าความน่าจะเป็นแก่คู่ลำดับอื่นๆ จากสตริงคำตอบที่ 13

ตำแหน่งที่ (5,1) มีค่าเท่ากับ -0.0012 + 0.0012 = 0

ตำแหน่งที่ (5,3) มีค่าเท่ากับ -0.0012 + 0.0012 = 0

ตำแหน่งที่ (5,4) มีค่าเท่ากับ -0.0012 + 0.0012 = 0

ตำแหน่งที่ (5,5) มีค่าเท่ากับ 0

ตำแหน่งที่ (5,6) มีค่าเท่ากับ -0.0012 + 0.0012 = 0

ตำแหน่งที่ (5,7) มีค่าเท่ากับ -0.0012 + 0.0012 = 0

ตำแหน่งที่ (5,8) มีค่าเท่ากับ 0.0111 + 0.0012 = 0.0123

ตำแหน่งที่ (5,9) มีค่าเท่ากับ -0.0012 + 0.0012 = 0

ตำแหน่งที่ (5,10) มีค่าเท่ากับ -0.0012 + 0.0012 = 0

ตำแหน่งที่ (5,11) มีค่าเท่ากับ -0.0012 + 0.0012 = 0

การเพิ่มค่าความน่าจะเป็นแก่คู่ลำดับ (2,6) จากสตริงคำตอบที่ 13

ตำแหน่งที่ (2,6) มีค่าเท่ากับ -0.0135 - 0.0111 = -0.0246

การลดค่าความน่าจะเป็นแก่คู่ลำดับอื่นๆ จากสตริงคำตอบที่ 13

ตำแหน่งที่ (2,1) มีค่าเท่ากับ -0.0012 + 0.0012 = 0

ตำแหน่งที่ (2,2) มีค่าเท่ากับ 0

ตำแหน่งที่ (2,3) มีค่าเท่ากับ 0.0111 + 0.0012 = 0.0123

ตำแหน่งที่ (2,4) มีค่าเท่ากับ -0.0012 + 0.0012 = 0

ตำแหน่งที่ (2,5) มีค่าเท่ากับ -0.0012 + 0.0012 = 0

ตำแหน่งที่ (2,7) มีค่าเท่ากับ -0.0012 + 0.0012 = 0

ตำแหน่งที่ (2,8) มีค่าเท่ากับ -0.0012 + 0.0012 = 0

ตำแหน่งที่ (2,9) มีค่าเท่ากับ -0.0012 + 0.0012 = 0

ตำแหน่งที่ (2,10) มีค่าเท่ากับ 0.0111 + 0.0012 = 0.0123

ตำแหน่งที่ (2,11) มีค่าเท่ากับ -0.0012 + 0.0012 = 0

ทำการปรับปรุงตารางจนครบทุกคู่ลำดับจะได้ดังนี้

ตารางที่ 6.38 ตารางการปรับปรุงทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค (Velocity Matrix) ของฝูงที่ 1

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	-	0	0	0.0246	***-0.0246***	0	0	0	0	0	0
2	0	-	0.0123	0	0	***-0.0246***	0	0	0	0.0123	0
3	-0.0024	-0.0024	-	-0.0024	-0.0024	-0.0024	0.0222	-0.0024	-0.0024	-0.0024	-0.0024
4	0	0.0123	0	-	0	0	0	0.0123	0	0	***-0.0246***
5	0	***-0.0123***	0	0	-	0	0	0.0123	0	0	0
6	0.0012	0.0012	0.0012	***-0.0234***	0.0135	-	0.0012	0.0012	0.0012	0.0012	0.0012
7	0.0012	0.0012	0.0012	0.0012	0.0135	0.0012	-	0.0012	0.0012	***-0.0234***	0.0012
8	0	0	0	0	0	0.0123	***-0.0246***	-	0.0123	0	0
9	0	0	0.0123	0	0	0.0123	0	***-0.0246***	-	0	0
10	0.0123	0	***-0.0246***	0	0	0	0	0	0.0123	-	0
11	0.0123	0	0	0	0	0	0	0	***-0.0246***	0.0123	-

ดังนั้นตารางที่ 6.38 จะเป็นตารางความน่าจะเป็นในการเลือกงานแรก (First Walk Matrix Probability) ของฝูงที่ 1 หลังจากปรับปรุงคำตอบแล้ว

6.3.4.1.3 ตาราการปรับปรุงตารางความน่าจะเป็นร่วม

การปรับปรุงตารางความน่าจะเป็นร่วม (Joint Probability Matrix) สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (6.2) ดังนี้

ตารางที่ 6.39 ตาราง Joint Probability Matrix ของฝูงที่ 1

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	-	0.1000	0.1000	0.1246	0.0754	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000
2	0.1000	-	0.1123	0.1000	0.1000	0.0754	0.1000	0.1000	0.1000	0.1123	0.1000
3	0.0976	0.0976	-	0.0976	0.0976	0.0976	0.1222	0.0976	0.0976	0.0976	0.0976
4	0.1000	0.1123	0.1000	-	0.1000	0.1000	0.1000	0.1123	0.1000	0.1000	0.0754
5	0.1000	0.0877	0.1000	0.1000	-	0.1000	0.1000	0.1123	0.1000	0.1000	0.1000
6	0.1012	0.1012	0.1012	0.0766	0.1135	-	0.1012	0.1012	0.1012	0.1012	0.1012
7	0.1012	0.1012	0.1012	0.1012	0.1135	0.1012	-	0.1012	0.1012	0.0766	0.1012
8	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.1123	0.0754	-	0.1123	0.1000	0.1000
9	0.1000	0.1000	0.1123	0.1000	0.1000	0.1123	0.1000	0.0754	-	0.1000	0.1000
10	0.1123	0.1000	0.0754	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.1123	-	0.1000
11	0.1123	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.0754	0.1123	-

6.3.4.2 การปรับปรุงในฝูงที่ 2

6.3.4.2.1 ตารางความน่าจะเป็นในการเลือกงานแรก

ทำการอัพเดท First Walk Probability Matrix โดยดูจากงานที่ถูกเลือกเป็นอันดับแรก ด้วยการเพิ่มค่าความน่าจะเป็นในการเลือกงานลำดับแรกเท่ากับ $Cr/(n-1)$ = 0.1/(11-1) = 0.01 ในสตริงคำตอบที่ดี และลดค่าความน่าจะเป็นในการเลือกงานอื่น ๆ เท่ากับ $Cr/(n-1)^2$ = 0.001 ส่วนในสตริงคำตอบที่แย่จะทำการลดค่าความน่าจะเป็นในการเลือกงานลำดับแรก เท่ากับ $Cr/(n-1)$ และเพิ่มค่าความน่าจะเป็นในการเลือกงานอื่น ๆ เท่ากับ $Cr/(n-1)^2$ โดยมีวิธีดังนี้

1. Local Best Solution ฝูงที่ 2

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

2. Local Worst Solution ฝูงที่ 2

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

3. Global Best Solution

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

4. Global Worst Solution

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

ตารางที่ 6.40 ตารางความน่าจะเป็นสำหรับการเลือกงานอันดับแรก (First Walk Matrix Probability) ของฝูงที่ 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0.0689	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.1129

6.3.4.2.2 การปรับปรุงตารางทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค

การปรับปรุงตารางทิศทางการเคลื่อนที่ (Velocity Matrix) จะขึ้นอยู่กับค่า Lbest, Lworst, Gbest และ Gworst ซึ่งใช้การให้รางวัลและการลงโทษที่ค่า โดยเพิ่มค่าแก่คู่ลำดับในสตริงที่ดี เท่ากับ $r/(t-2)$ และลดค่าคู่ลำดับอื่นๆ เท่ากับ $r/(t-2)^2$

ทำการอัพเดท Velocity Matrix โดยดูจากลำดับงานที่อยู่ติดกัน ด้วยการเพิ่มค่าแก่คู่ลำดับในสตริงคำตอบที่ดี เท่ากับ $Cr/(n-2)$ = 0.0111 และลดค่ากับคู่ลำดับอื่น ๆ เท่ากับ $Cr/(n-2)^2$ = 0.0012 ส่วนในสตริงคำตอบที่แย่จะทำเช่นเดียวกันแต่ใช้การลดค่าแก่คู่ลำดับที่ติดกันในสตริงคำตอบ และเพิ่งค่าคู่ลำดับอื่นๆ แทน

1. Local Best Solution ฝูงที่ 2

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

2. Local Worst Solution ฝูงที่ 2

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

3. Global Best Solution

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

4. Global Worst Solution

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

ตารางที่ 6.41 ตารางทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค (Velocity Matrix) ของฝูงที่ 2

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	0	0	0	0.0123	-0.0123	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0.0123	0	0	-0.0123	0	0	0	0	0
3	-0.0012	-0.0012	0	-0.0012	-0.0136	-0.0012	0.0235	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012
4	0	-0.0123	0	0	0	0	0	0.0247	0	0	-0.0123
5	0	0.0123	0	0	0	0	0	0	0	0	-0.0123
6	0	0	0	-0.0123	0.0247	0	0	0	0	-0.0123	0
7	0.0025	0.0025	0.0025	0.0025	0.0025	0.0025	0	0.0025	-0.0099	-0.0099	0.0025
8	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0136	0	0.0235	-0.0012	-0.0012
9	0	0	0	0	0	0.0123	0	-0.0123	0	0	0
10	0.0247	0	-0.0123	0	0	0	0	-0.0123	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0	-0.0123	0	-0.0123	0.0247	0

6.3.4.2.3 ตาราการปรับปรุงตารางความน่าจะเป็นร่วม

การปรับปรุงตารางความน่าจะเป็นร่วม (Joint Probability Matrix) สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (6.2) ดังนี้

ตารางที่ 6.42 ตาราง Joint Probability Matrix ของฝูงที่ 2

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	-	0.1000	0.1000	0.1123	0.0877	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000
2	0.1000	-	0.1123	0.1000	0.1000	0.0877	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000
3	0.0988	0.0988	-	0.0988	0.0864	0.0988	0.1235	0.0988	0.0988	0.0988	0.0988
4	0.1000	0.0877	0.1000	-	0.1000	0.1000	0.1000	0.1247	0.1000	0.1000	0.0877
5	0.1000	0.1123	0.1000	0.1000	-	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.0877
6	0.1000	0.1000	0.1000	0.0877	0.1247	-	0.1000	0.1000	0.1000	0.0877	0.1000
7	0.1025	0.1025	0.1025	0.1025	0.1025	0.1025	-	0.1025	0.0901	0.0901	0.1025
8	0.0988	0.0988	0.0988	0.0988	0.0988	0.0988	0.0864	-	0.1235	0.0988	0.0988
9	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.1123	0.1000	0.0877	-	0.1000	0.1000
10	0.1247	0.1000	0.0877	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.0877	0.1000	-	0.1000
11	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.0877	0.1000	0.0877	0.1247	-

6.3.6 การสร้างสตริงเบื้องต้นในรอบที่ 2

ขั้นตอนที่ 1 จากรอบที่ 1 จะได้ตารางความน่าจะเป็นสำหรับการเลือกงานอันดับแรก (First Walk Matrix Probability) และ การสร้างตารางความน่าจะเป็นร่วม (Matrix Join Probability) สำหรับการสร้างสตริงในแต่ละฝูง

ตารางที่ 6.43 ตารางความน่าจะเป็นสำหรับการเลือกงานอันดับแรก (First Walk Matrix Probability) ของฝูงที่ 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0.0689	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.1129

ตารางที่ 6.44 ตารางความน่าจะเป็นสำหรับการเลือกงานอันดับแรก (First Walk Matrix Probability) ของฝูงที่ 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0.0689	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.1129

ตารางที่ 6.45 ตารางทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค (Velocity Matrix) ฝูงที่ 1

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	-	0	0	0.0246	***-0.0246***	0	0	0	0	0	0
2	0	-	0.0123	0	0	***-0.0246***	0	0	0	0.0123	0
3	-0.0024	-0.0024	-	-0.0024	-0.0024	-0.0024	0.0222	-0.0024	-0.0024	-0.0024	-0.0024
4	0	0.0123	0	-	0	0	0	0.0123	0	0	***-0.0246***
5	0	***-0.0123***	0	0	-	0	0	0.0123	0	0	0
6	0.0012	0.0012	0.0012	***-0.0234***	0.0135	-	0.0012	0.0012	0.0012	0.0012	0.0012
7	0.0012	0.0012	0.0012	0.0012	0.0135	0.0012	-	0.0012	0.0012	***-0.0234***	0.0012
8	0	0	0	0	0	0.0123	***-0.0246***	-	0.0123	0	0
9	0	0	0.0123	0	0	0.0123	0	***-0.0246***	-	0	0
10	0.0123	0	***-0.0246***	0	0	0	0	0	0.0123	-	0
11	0.0123	0	0	0	0	0	0	0	***-0.0246***	0.0123	-

ตารางที่ 6.46 ตารางทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค (Velocity Matrix) ของฝูงที่ 2

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	0	0	0	0.0123	-0.0123	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0.0123	0	0	-0.0123	0	0	0	0	0
3	-0.0012	-0.0012	0	-0.0012	-0.0136	-0.0012	0.0235	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012
4	0	-0.0123	0	0	0	0	0	0.0247	0	0	-0.0123
5	0	0.0123	0	0	0	0	0	0	0	0	-0.0123
6	0	0	0	-0.0123	0.0247	0	0	0	0	-0.0123	0
7	0.0025	0.0025	0.0025	0.0025	0.0025	0.0025	0	0.0025	-0.0099	-0.0099	0.0025
8	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0136	0	0.0235	-0.0012	-0.0012
9	0	0	0	0	0	0.0123	0	-0.0123	0	0	0
10	0.0247	0	-0.0123	0	0	0	0	-0.0123	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0	-0.0123	0	-0.0123	0.0247	0

ตารางที่ 6.47 ตาราง Joint Probability Matrix ของฝูงที่ 1

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	-	0.1000	0.1000	0.1246	0.0754	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000
2	0.1000	-	0.1123	0.1000	0.1000	0.0754	0.1000	0.1000	0.1000	0.1123	0.1000
3	0.0976	0.0976	-	0.0976	0.0976	0.0976	0.1222	0.0976	0.0976	0.0976	0.0976
4	0.1000	0.1123	0.1000	-	0.1000	0.1000	0.1000	0.1123	0.1000	0.1000	0.0754
5	0.1000	0.0877	0.1000	0.1000	-	0.1000	0.1000	0.1123	0.1000	0.1000	0.1000
6	0.1012	0.1012	0.1012	0.0766	0.1135	-	0.1012	0.1012	0.1012	0.1012	0.1012
7	0.1012	0.1012	0.1012	0.1012	0.1135	0.1012	-	0.1012	0.1012	0.0766	0.1012
8	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.1123	0.0754	-	0.1123	0.1000	0.1000
9	0.1000	0.1000	0.1123	0.1000	0.1000	0.1123	0.1000	0.0754	-	0.1000	0.1000
10	0.1123	0.1000	0.0754	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.1123	-	0.1000
11	0.1123	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.0754	0.1123	-

ตารางที่ 6.48 ตาราง Joint Probability Matrix ของฝูงที่ 2

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	-	0.1000	0.1000	0.1123	0.0877	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000
2	0.1000	-	0.1123	0.1000	0.1000	0.0877	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000
3	0.0988	0.0988	-	0.0988	0.0864	0.0988	0.1235	0.0988	0.0988	0.0988	0.0988
4	0.1000	0.0877	0.1000	-	0.1000	0.1000	0.1000	0.1247	0.1000	0.1000	0.0877
5	0.1000	0.1123	0.1000	0.1000	-	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.0877
6	0.1000	0.1000	0.1000	0.0877	0.1247	-	0.1000	0.1000	0.1000	0.0877	0.1000
7	0.1025	0.1025	0.1025	0.1025	0.1025	0.1025	-	0.1025	0.0901	0.0901	0.1025
8	0.0988	0.0988	0.0988	0.0988	0.0988	0.0988	0.0864	-	0.1235	0.0988	0.0988
9	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.1123	0.1000	0.0877	-	0.1000	0.1000
10	0.1247	0.1000	0.0877	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.0877	0.1000	-	0.1000
11	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.0877	0.1000	0.0877	0.1247	-

ขั้นตอนที่ 2 สร้างสตริงคำตอบจากเมทริกซ์ตามจำนวนอนุภาคในแต่ละฝูงโดยตารางความน่าจะเป็นในการเลือกงานแรก (First Walk Probability Matrix) หางานลำดับแรก และตารางความน่าจะเป็นร่วม (Joint Probability Matrix) ในงานลำดับถัดไป โดยสร้างให้ครบทุกอนุภาคในแต่ละฝูง ซึ่งสตริงคำตอบที่ได้จะต้องไม่ขัดกับความสัมพันธ์ก่อน-หลังของภาระงาน ในแต่ละฝูงจะได้สตริงคำตอบ ดังนี้

First Swarm:

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

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

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

Second Swarm:

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

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

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

จากลำดับงานที่ 1 จะทำการจัดลงสถานีงาน เพื่อคำนวณหาค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ โดยมีรอบเวลาในการทำงาน (Cycle Time) เท่ากับ 6 วิธีการจัดสรรงานลงในสถานีงานนั้นจะต้องพิจารณาว่ามีขั้นงานใดที่สามารถมีสถานีงานแบบขนานได้ จากตารางที่ 6.9 พบว่างานที่ 4 สามารถจัดเป็นสถานีงานแบบขนานได้ 1 สถานีเนื่องจากเวลาการทำงานของงานที่ 4 ในผลิตภัณฑ์ชนิด B มีเวลาการทำงานเท่ากับ 7 ซึ่งเกินรอบเวลาการทำงานที่กำหนด (Cycle Time)

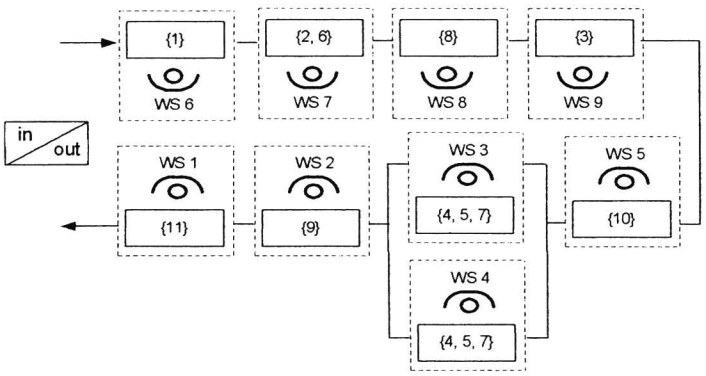
จึงทำการเพิ่มสถานีงานอีก 1 สถานี (สถานีงานแบบขนาน) เมื่อสถานีงานนั้นมีงานที่ 4 ทำงานอยู่ในสถานี (ในที่นี้จะกำหนดให้สถานีการทำงานไม่เกิน 2 สถานีงานเมื่อรวมกับสถานีงานที่เป็นแบบขนาน) และจะมีรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 12 โดยจะทำการจัดสรรสถานีงานได้ดังนี้

ตารางที่ 6.49 การคัดเลือกลงสถานีงานของสตริงคำตอบที่ 1

ขั้นงาน	เวลางานเฉลี่ย	เวลาเริ่มการทำงาน	เวลารวม	สถานีงานที่	Cycle Time
11	4	0	4	1	6
9	3.3333	4	7.3333	เกินเวลา	
9	3.3333	0	3.3333	2	6
7	3	3	6.3333	เกินเวลา	
7	3	0	3	3	12
*4**	7	7	10	3	
5	1	10	11	3	
10	3.3333	11	14.3333	เกินเวลา	
10	3.3333	0	3.3333	4	6
1	6	3.3333	9.3333	เกินเวลา	
1	6	0	6	5	6
2	2	0	2	6	6
6	1.3333	2	3.3333	6	
8	4	3.3333	7.3333	เกินเวลา	
8	4	0	4	7	6
3	3.3333	4	7.3333	เกินเวลา	
3	3.3333	0	3.3333	8	6

**เนื่องจากงานที่ 4 สามารถมีสถานีงานขนานได้ 1 สถานีงาน Cycle Time จะเท่ากับ 12*

จากตารางที่ 6.45 จะได้สถานีงานทั้งหมด 9 สถานีงาน (มี 1 สถานีงานเป็นสถานีขนาน) ดังรูปที่ 6.11



รูปที่ 6.11 สายการประกอบตัวยูที่มีสถานีงานขนานของสตริงคำตอบที่ 1

เมื่อจัดขั้นงานลงสถานีงาน จึงทำการคำนวณหาค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ ในงานวิจัยนี้จะทำการหาค่าวัตถุประสงค์ทั้งหมด 3 วัตถุประสงค์ คือ จำนวนสถานีงานมีจำนวนน้อยที่สุด ความสมดุลระหว่างสถานีงานและความสมดุลภายในสถานีงาน ดังนี้

ตารางที่ 6.50 ตารางการคำนวณค่าวัตถุประสงค์ทั้ง 3 วัตถุประสงค์

ฝูงที่	สตริงคำตอบที่	จำนวนสถานีงาน	ความสมดุลระหว่างสถานีงาน	ความสมดุลภายในสถานีงาน
1	1	9	0.1184	0.2014
	2	9	0.0730	0.2500
	3	9	0.1440	0.3056
2	1	9	0.0730	0.2500
	2	8	0.1084	0.5313
	3	9	0.1011	0.2847

6.3.7 การคัดเลือกสตริงคำตอบ

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

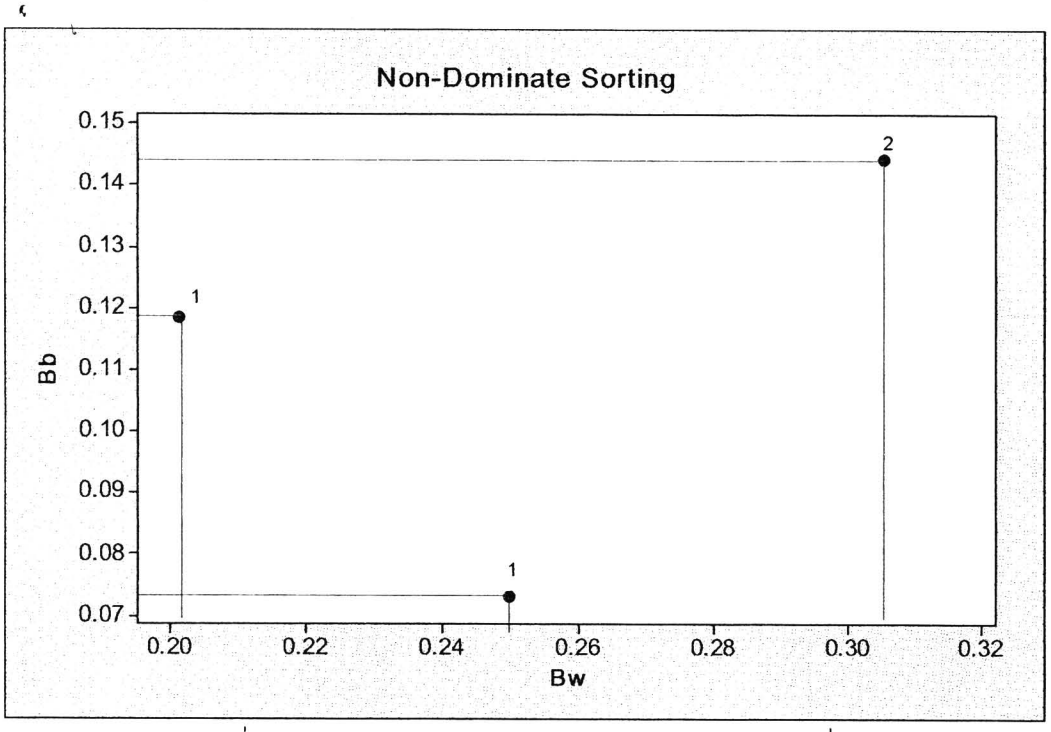
6.3.7.1 การคัดเลือก Local Best Solution

ทำการหาค่าที่ดีที่สุด (Lbest) ในแต่ละฝูง โดยพิจารณาจาก Front ของคำตอบที่ได้จาก Non-Dominated Sorting

1. Local Best Solution **ฝูงที่** 1 ซึ่งมีการคัดเลือกค่าดังนี้

ขั้นที่ 1 จำนวนสถานีงานของสตริงคำตอบในฝูงที่ 1 เท่ากันจึงไม่ทำการพิจารณาวัตถุประสงค์นี้

ขั้นที่ 2 พิจารณาค่าความแข็งแรง (Fitness Value) ให้กับสตริงคำตอบที่ได้ทำการเลือกจำนวนสถานีงานที่น้อยที่สุดแล้วจะได้ค่าดังรูปที่ 6.12 และตารางที่ 6.51



รูปที่ 6.12 ค่า Dummy Fitness ของสตริงคำตอบในฝูงที่ 1

ตารางที่ 6.51 Non-Dominated Sorting ของ Local ในฝูงที่ 1

สตริงคำตอบที่	ความสมดุลระหว่างสถานีงาน	ความสมดุลภายในสถานีงาน	Front	Crowding Distance	Local
2	0.0730	0.2500	1	Infinity	Lbest
1	0.1184	0.2014	1	Infinity	Lbest
3	0.1440	0.3056	2	Infinity	-

2. Local Best Solution **ฝูงที่** 2 ซึ่งมีการคัดเลือกค่าดังนี้

ขั้นที่ 1 จำนวนสถานีงานของสตริงคำตอบในฝูงที่ 2 ไม่เท่ากันจึงการพิจารณาวัตถุประสงค์นี้ก่อน

ตารางที่ 6.52 ค่าจากการคำนวณวัตถุประสงค์ทั้ง 3 วัตถุประสงค์ในฝูงที่ 2

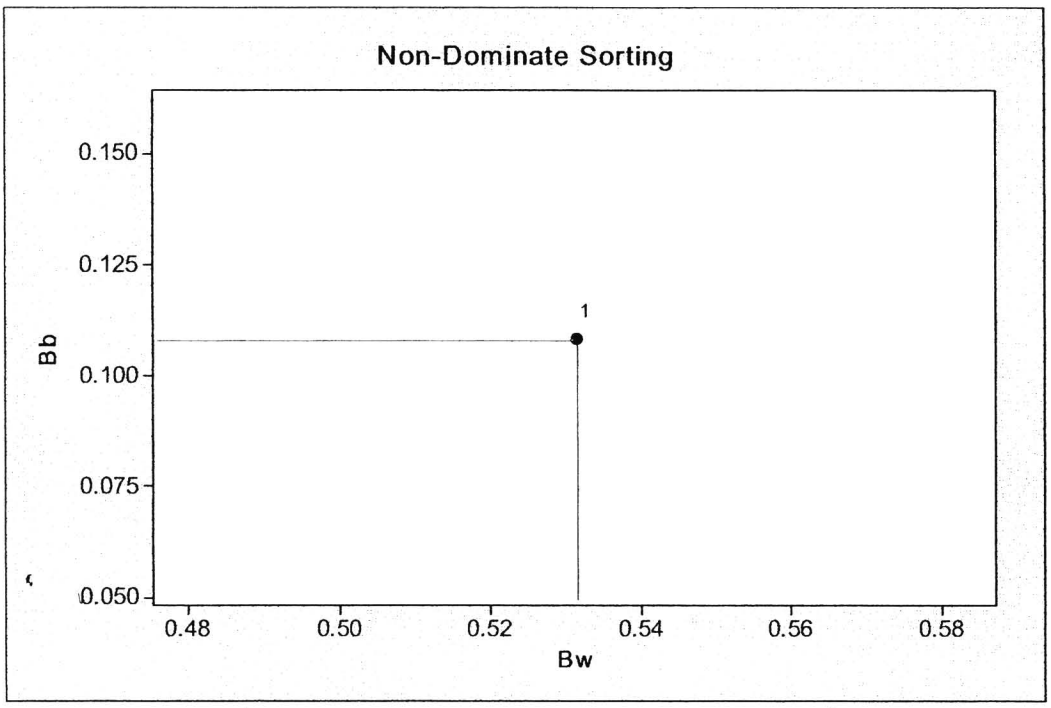
สตริงคำตอบที่	จำนวนสถานีงาน	ความสมดุลระหว่างสถานีงาน	ความสมดุลภายในสถานีงาน
1	9	0.0730	0.2500
2	8	0.1084	0.5313
3	9	0.1011	0.2847

ทำการคัดเลือกจำนวนสถานีงานที่น้อยที่สุดเพื่อทำการหา Local Best Solution

ตารางที่ 6.53 จำนวนสถานีงานที่น้อยที่สุดในฝูงที่ 2

สตริงคำตอบที่	จำนวนสถานีงาน	ความสมดุลระหว่างสถานีงาน	ความสมดุลภายในสถานีงาน
2	8	0.1084	0.5313

ขั้นที่ 2 พิจารณาค่าความแข็งแรง (Fitness Value) ให้กับสตริงคำตอบที่ได้ทำการเลือกจำนวนสถานีงานที่น้อยที่สุดแล้วจะได้ค่าดังรูปที่ 6.13 และตารางที่ 6.54



รูปที่ 6.13 ค่า Dummy Fitness ของสตริงคำตอบในฝูงที่ 2

ตารางที่ 6.54 Non-Dominated Sorting ของ Local ในฝูงที่ 2

สตริง คำตอบที่	ความสมดุล ระหว่างสถานีงาน	ความสมดุล ภายในสถานีงาน	Front	Crowding Distance	Local
2	0.1084	0.5313	1	Infinity	Lbest

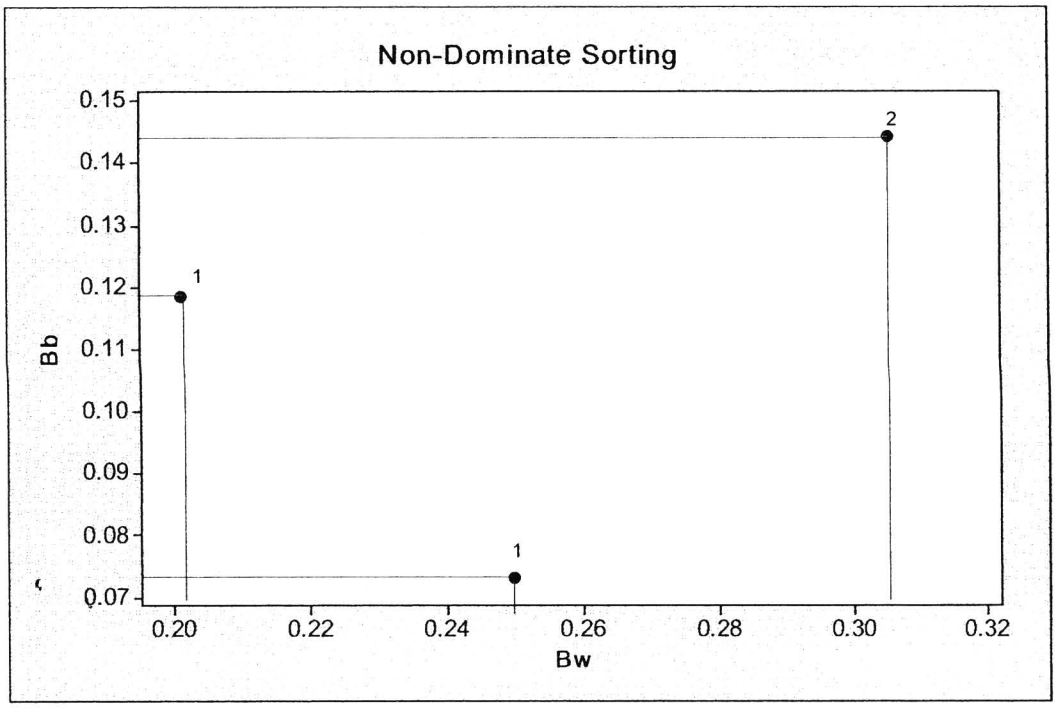
6.3.7.2 การคัดเลือก Local Worst Solution

ทำการหาค่าที่ดีที่สุด (Lworst) ในแต่ละฝูง โดยพิจารณาจาก Front ของคำตอบที่ได้จาก Non-Dominated Sorting

1. Local Worst Solution **ฝูงที่** 1 ซึ่งมีการคัดเลือกค่าดังนี้

ขั้นที่ 1 จำนวนสถานีงานของสตริงคำตอบในฝูงที่ 1 เท่ากันจึงไม่ทำการพิจารณาวัตถุประสงค์นี้

ขั้นที่ 2 พิจารณาค่าความแข็งแรง (Fitness Value) ให้กับสตริงคำตอบที่ได้ทำการเลือกจำนวนสถานีงานที่มากที่สุดแล้วจะได้ค่าดังรูปที่ 6.14 และตารางที่ 6.55



รูปที่ 6.14 ค่า Dummy Fitness ของสตริงคำตอบในฝูงที่ 1

ตารางที่ 6.55 Non-Dominated Sorting ของ Local ในฝูงที่ 1

สตริง คำตอบที่	ความสมดุล ระหว่างสถานีงาน	ความสมดุล ภายในสถานีงาน	Front	Crowding Distance	Local
2	0.0730	0.2500	1	Infinity	-
1	0.1184	0.2014	1	Infinity	-
3	0.1440	0.3056	2	Infinity	Lworst

2. Local Worst Solution **ฝูงที่** 2 ซึ่งมีการคัดเลือกค่าดังนี้

ขั้นที่ 1 จำนวนสถานีงานของสตริงคำตอบในฝูงที่ 2 ไม่เท่ากันจึงการพิจารณาวัตถุประสงค์นี้ก่อน

ตารางที่ 6.56 ค่าจากการคำนวณวัตถุประสงค์ทั้ง 3 วัตถุประสงค์ในฝูงที่ 2

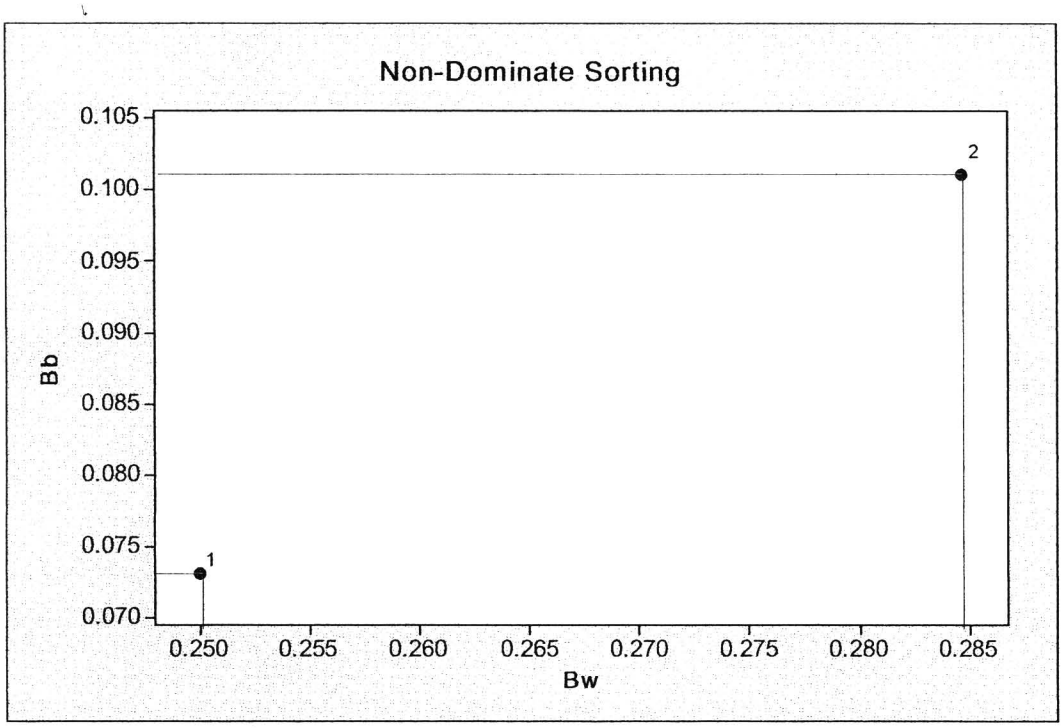
สตริงคำตอบที่	จำนวนสถานีงาน	ความสมดุลระหว่าง สถานีงาน	ความสมดุลภายใน สถานีงาน
1	9	0.0730	0.2500
2	8	0.1084	0.5313
3	9	0.1011	0.2847

ทำการคัดเลือกจำนวนสถานีงานที่น้อยที่สุดเพื่อทำการหา Local Best Solution

ตารางที่ 6.57 จำนวนสถานีงานที่น้อยที่สุดในฝูงที่ 2

สตริงคำตอบที่	จำนวนสถานีงาน	ความสมดุลระหว่างสถานีงาน	ความสมดุลภายในสถานีงาน
1	9	0.0730	0.2500
3	9	0.1011	0.2847

ขั้นที่ 2 พิจารณาค่าความแข็งแรง (Fitness Value) ให้กับสตริงคำตอบที่ได้ทำการเลือกจำนวนสถานีงานที่น้อยที่สุดแล้วจะได้ค่าดังรูปที่ 6.15 และตารางที่ 6.58



รูปที่ 6.15 ค่า Dummy Fitness ของสตริงคำตอบในฝูงที่ 2

ตารางที่ 6.58 Non-Dominated Sorting ของ Local ในฝูงที่ 2

สตริงคำตอบที่	ความสมดุลระหว่างสถานีงาน	ความสมดุลภายในสถานีงาน	Front	Crowding Distance	Local
1	0.0730	0.2500	1	Infinity	-
3	0.1011	0.2847	2	Infinity	Lworst

6.3.7.3 การคัดเลือก Global Best Solution

ทำการหาค่าที่ดีที่สุด (Gbest) จากประชากรทั้งหมด โดยพิจารณาจาก Front ของคำตอบที่ได้จาก Non-Dominated Sorting

ขั้นที่ 1 จำนวนสถานีงานของสตริงคำตอบไม่เท่ากันจึงทำการพิจารณาวัตถุประสงค์นี้ก่อน

ตารางที่ 6.59 ตารางการคำนวณวัตถุประสงค์ทั้ง 3 วัตถุประสงค์

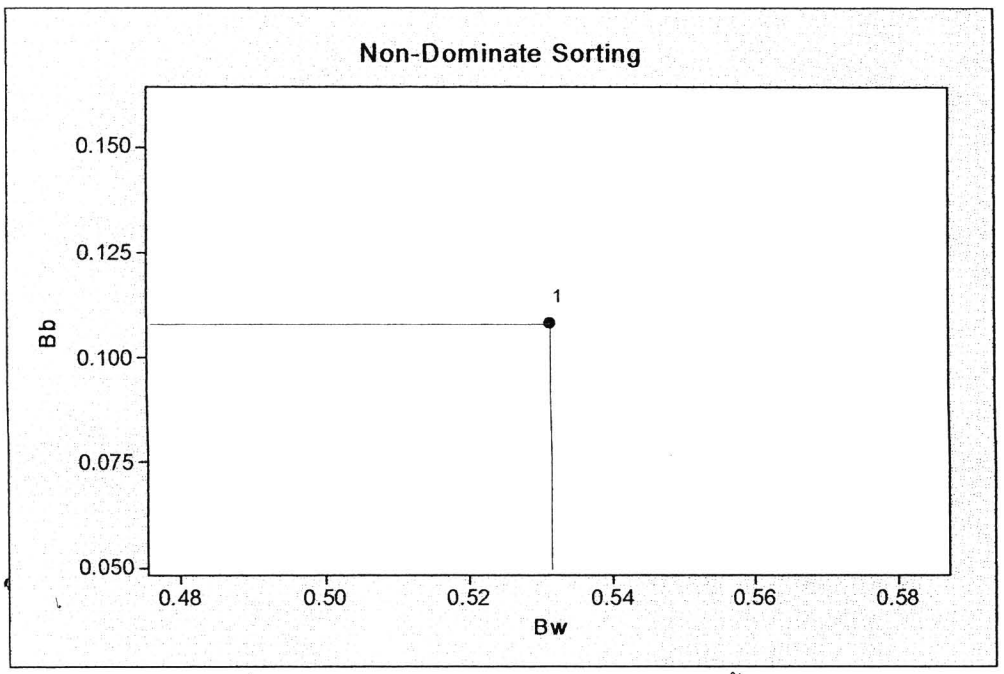
ฝูงที่	สตริงคำตอบที่	จำนวนสถานีงาน	ความสมดุลระหว่างสถานีงาน	ความสมดุลภายในสถานีงาน
1	1	9	0.1184	0.2014
	2	9	0.0730	0.2500
	3	9	0.1440	0.3056
2	1	9	0.0730	0.2500
	2	8	0.1084	0.5313
	3	9	0.1011	0.2847

ทำการคัดเลือกจำนวนสถานีงานที่น้อยที่สุดเพื่อทำการหา Global Best Solution

ตารางที่ 6.60 จำนวนสถานีงานที่น้อยที่สุด

ฝูงที่	สตริงคำตอบที่	จำนวนสถานีงาน	ความสมดุลระหว่างสถานีงาน	ความสมดุลภายในสถานีงาน
2	2	8	0.1084	0.5313

ขั้นที่ 2 พิจารณาค่าความแข็งแรง (Fitness Value) ให้กับสตริงคำตอบที่ได้ทำการเลือกจำนวนสถานีงานที่น้อยที่สุดแล้วจะได้ค่าดังรูปที่ 6.16 และตารางที่ 6.61



รูปที่ 6.16 ค่า Dummy Fitness ของประชากรทั้งหมด

ตารางที่ 6.61 Non-Dominated Sorting ของ Global

ฝูงที่	สตริงคำตอบที่	ความสมดุลระหว่างสถานีงาน	ความสมดุลภายในสถานีงาน	Front	Crowding Distance	Local
2	2	0.1084	0.5313	1	Infinity	Gbest

6.3.3.4 การคัดเลือก Global Worst Solution

ทำการหาค่าที่ดีที่สุด (Gworst) จากประชากรทั้งหมด โดยพิจารณาจาก Front ของคำตอบที่ได้จาก Non-Dominated Sorting

ขั้นที่ 1 จำนวนสถานีงานของสตริงคำตอบไม่เท่ากันจึงทำการพิจารณาวัตถุประสงค์นี้ก่อน

ตารางที่ 6.62 ตารางการคำนวณวัตถุประสงค์ทั้ง 3 วัตถุประสงค์

ฝูงที่	สตริงคำตอบที่	จำนวนสถานีงาน	ความสมดุลระหว่างสถานีงาน	ความสมดุลภายในสถานีงาน
1	1	9	0.1184	0.2014
	2	9	0.0730	0.2500
	3	9	0.1440	0.3056

ตารางที่ 6.62 ตารางการคำนวณวัตถุประสงค์ทั้ง 3 วัตถุประสงค์ (ต่อ)

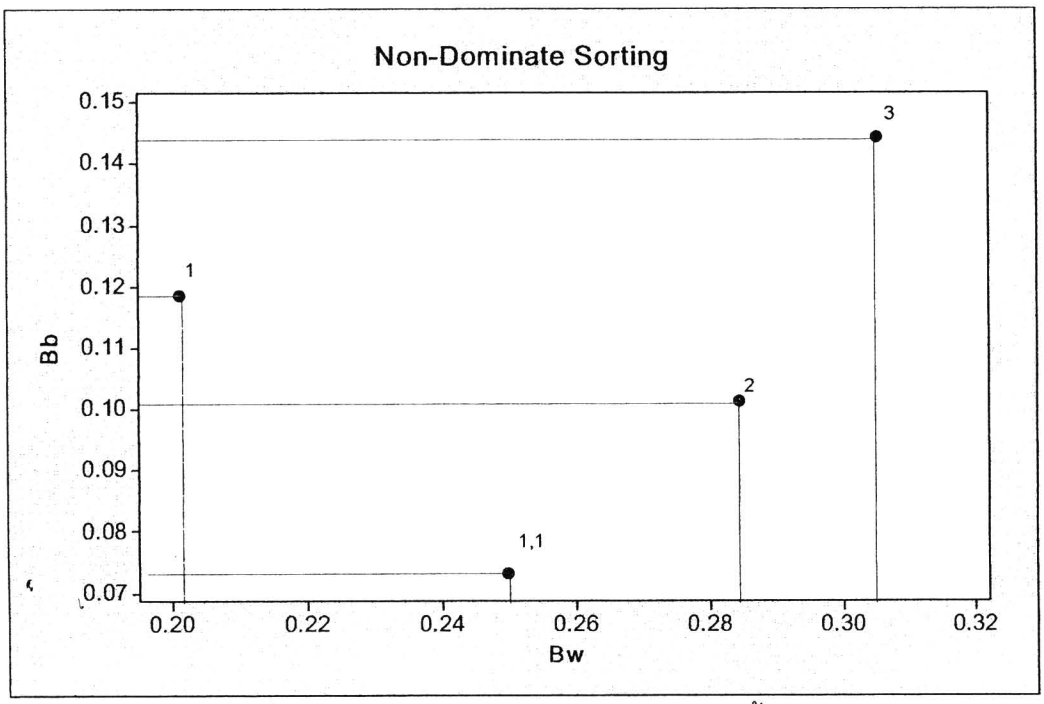
ฝูงที่	สตริงคำตอบที่	จำนวนสถานีงาน	ความสมดุลระหว่างสถานีงาน	ความสมดุลภายในสถานีงาน
2	1	9	0.0730	0.2500
	2	8	0.1084	0.5313
	3	9	0.1011	0.2847

ทำการคัดเลือกจำนวนสถานีงานที่น้อยที่สุดเพื่อทำการหา Global Best Solution

ตารางที่ 6.63 จำนวนสถานีงานที่มากที่สุด

ฝูงที่	สตริงคำตอบที่	จำนวนสถานีงาน	ความสมดุลระหว่างสถานีงาน	ความสมดุลภายในสถานีงาน
1	1	9	0.1184	0.2014
	2	9	0.0730	0.2500
	3	9	0.1440	0.3056
2	1	9	0.0730	0.2500
	3	9	0.1011	0.2847

ขั้นที่ 2 พิจารณาค่าความแข็งแรง (Fitness Value) ให้กับสตริงคำตอบที่ได้ทำการเลือกจำนวนสถานีงานที่มากที่สุดแล้วจะได้ค่าดังรูปที่ 6.17 และตารางที่ 6.64



รูปที่ 6.17 ค่า Dummy Fitness ของประชากรทั้งหมด

ตารางที่ 6.64 Non-Dominated Sorting ของ Global

ฝูงที่	สตริงคำตอบที่	ความสมดุลระหว่างสถานีงาน	ความสมดุลภายในสถานีงาน	Front	Crowding Distance	Local
1	2	0.0730	0.2500	1	Infinity	-
1	1	0.1184	0.2014	1	Infinity	-
2	1	0.0730	0.2500	1	Infinity	-
2	3	0.1011	0.2847	2	Infinity	-
1	3	0.1440	0.3056	3	Infinity	Gworst

6.3.7.5 เทคนิคการเก็บค่าที่ดีที่สุด

เทคนิคการเก็บค่าที่ดีที่สุด จะทำการเก็บสตริงคำตอบที่ได้จากการหาค่า Global Best Solution ของประชากรทั้งหมด โดยจะทำการเก็บค่าไว้ดำเนินการในรอบถัดไป

สตริงคำตอบของฝูงใน Local Best ในฝูงที่ 1

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

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

สตริงคำตอบของฝูงใน Local Best ในฝูงที่ 2

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

สตริงคำตอบของฝูงใน Local Worst ในฝูงที่ 1

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

สตริงคำตอบของฝูงใน Local Worst ในฝูงที่ 2

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

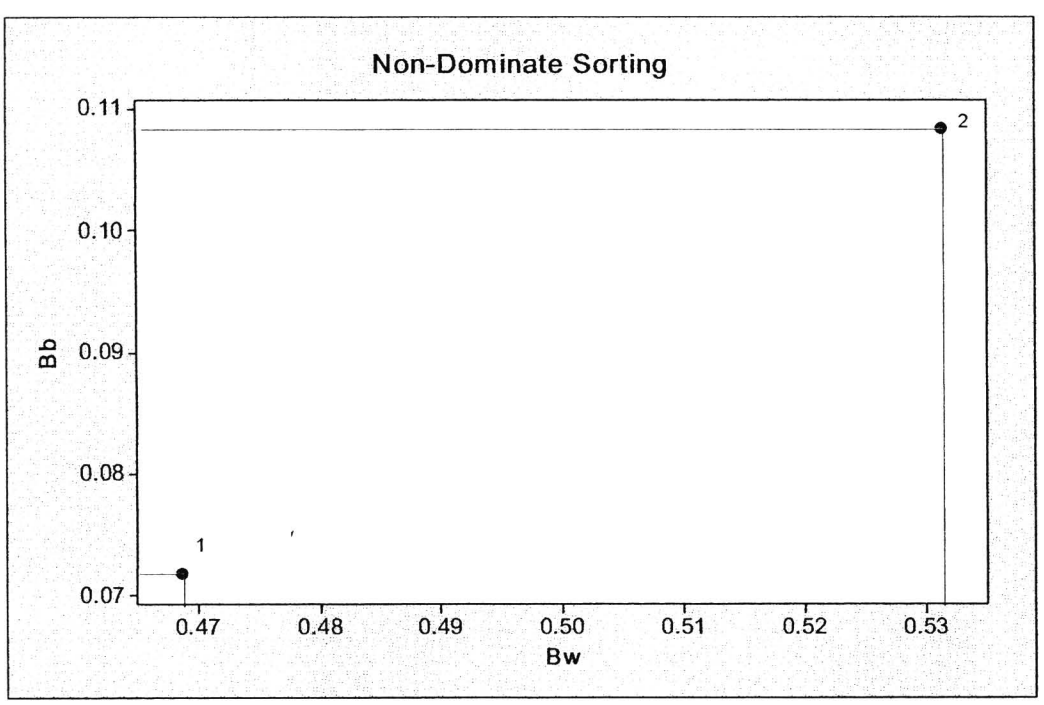
สตริงคำตอบที่ดีที่สุด Global Best ของประชากรทั้งหมด

(ฝูงที่ 2) String 2 = [11 1 3 2 9 4 7 6 5 8 10]

สตริงคำตอบที่แย่ที่สุด Global Worst ของประชากรทั้งหมด

(ฝูงที่ 1) String 3 = [11 10 1 5 4 2 6 3 8 9 7]

ทำการประเมินหาคำตอบที่ดีที่สุด ของสตริงคำตอบที่ดีที่สุดในรอบก่อนหน้ากับรอบนี้ ด้วยการกำหนดค่าความแข็งแรง (Fitness Value) โดยจะใช้วิธีจัดอันดับแบบ Goldberg (1989) หรือ Non-dominated Sorting



รูปที่ 6.18 ค่า Dummy Fitness ของสตริงคำตอบที่ดีที่สุด

ตารางที่ 6.65 Non-Dominated Sorting ของสตริงคำตอบที่ดีที่สุด

รอบที่	ฝูงที่	สตริงคำตอบที่	ความสมดุลระหว่างสถานีงาน	ความสมดุลภายในสถานีงาน	Front	Crowding Distance
1	1	2	0.0717	0.4688	1	Infinity
2	2	2	0.1084	0.5313	2	Infinity

สตริงคำตอบที่ดีที่สุดที่จะเก็บไว้ในรอบต่อคือ

สตริงคำตอบที่ดีที่สุด

(ฝูงที่ 2) String 2 = [11 10 1 4 8 9 6 5 2 3 7]

6.3.8 การปรับปรุงตาราง

6.3.8.1 การปรับปรุงในฝูงที่ 1

6.3.8.1.1 ตารางความน่าจะเป็นในการเลือกงานแรก

ทำการอัพเดท First Walk Probability Matrix โดยดูจากงานที่ถูกเลือกเป็นอันดับแรก ด้วยการเพิ่มค่าความน่าจะเป็นในการเลือกงานลำดับแรกเท่ากับ $Cr/(n-1)$ = 0.1/(11-1) = 0.01 ในสตริงคำตอบที่ดี และลดค่าความน่าจะเป็นในการเลือกงานอื่น ๆ เท่ากับ $Cr/(n-1)^2$ = 0.001 ส่วนในสตริงคำตอบที่แย่จะทำการลดค่าความน่าจะเป็นในการเลือกงานลำดับแรก เท่ากับ $Cr/(n-1)$ และเพิ่มค่าความน่าจะเป็นในการเลือกงานอื่น ๆ เท่ากับ $Cr/(n-1)^2$ โดยมีวิธีดังนี้

1. Local Best Solution ฝูงที่ 1

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

ตารางที่ 6.66 ตารางการปรับปรุงความน่าจะเป็นสำหรับการเลือกงานอันดับแรก (First Walk Matrix Probability) ของฝูงที่ 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0.0679	0.0899	0.0899	0.0899	0.0899	0.0899	0.0899	0.0899	0.0899	0.0899	0.1229

2. Local Worst Solution ฝูงที่ 1

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

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

ตารางที่ 6.67 ตารางการปรับปรุงความน่าจะเป็นสำหรับการเลือกงานอันดับแรก (First Walk Matrix Probability) ของฝูงที่ 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0.0699	0.0919	0.0919	0.0919	0.0919	0.0919	0.0919	0.0919	0.0919	0.0919	0.1029

3. Global Best Solution

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

ตารางที่ 6.68 ตารางการปรับปรุงความน่าจะเป็นสำหรับการเลือกงานอันดับแรก (First Walk Matrix Probability) ของฝูงที่ 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0.0689	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.1129

4. Global Worst Solution

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

ตารางที่ 6.69 ตารางการปรับปรุงความน่าจะเป็นสำหรับการเลือกงานอันดับแรก (First Walk Matrix Probability) ของฝูงที่ 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0.0699	0.0919	0.0919	0.0919	0.0919	0.0919	0.0919	0.0919	0.0919	0.0919	0.1029

ดังนั้นตารางที่ 6.69 จะเป็นตารางความน่าจะเป็นในการเลือกงานแรก (First Walk Matrix Probability) ของฝูงที่ 1 หลังจากปรับปรุงคำตอบแล้ว

6.3.8.1.2 การปรับปรุงตารางทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค

การปรับปรุงตารางทิศทางการเคลื่อนที่ (Velocity Matrix) จะขึ้นอยู่กับค่า Lbest, Lworst, Gbest และ Gworst ซึ่งใช้การให้รางวัลและการลงโทษที่ค่า โดยเพิ่มค่าแก่คู่ลำดับในสตริงที่ดี เท่ากับ $r/(t-2)$ และลดค่าคู่ลำดับอื่นๆ เท่ากับ $r/(t-2)^2$

ทำการอัพเดท Velocity Matrix โดยดูจากลำดับงานที่อยู่ติดกัน ด้วยการเพิ่มค่าแก่คู่ลำดับในสตริงคำตอบที่ดี เท่ากับ $Cr/(n-2)$ = 0.0111 และลดค่ากับคู่ลำดับอื่น ๆ เท่ากับ $Cr/(n-2)^2$ = 0.0012 ส่วนในสตริงคำตอบที่แย่จะทำเช่นเดียวกันแต่ใช้การลดค่าแก่คู่ลำดับที่ติดกันในสตริงคำตอบ และเพิ่งค่าคู่ลำดับอื่นๆ แทน

1. Local Best Solution ฝูงที่ 1

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

ตารางที่ 6.70 ตารางการปรับปรุงทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค (Velocity Matrix) ของฝูงที่ 1

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	-	-0.0012	-0.0012	0.0234	***-0.0135***	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012
2	-0.0012	-	***0.0234***	-0.0012	-0.0012	-0.0258	-0.0012	-0.0012	-0.0012	0.0111	-0.0012
3	-0.0036	-0.0036	-	-0.0036	-0.0036	-0.0036	0.021	***0.0087***	-0.0036	-0.0036	-0.0036
4	-0.0012	***0.0234***	-0.0012	-	-0.0012	-0.0012	-0.0012	0.0111	-0.0012	-0.0012	-0.0258
5	-0.0012	-0.0135	-0.0012	***0.0111***	-	-0.0012	-0.0012	0.0111	-0.0012	-0.0012	-0.0012
6	0	0	0	-0.0246	0.0123	-	***0.0123***	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0.0123	0	-	0	***0.0123***	-0.0246	0
8	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	***0.0234***	-0.0258	-	0.0111	-0.0012	-0.0012
9	0	0	0.0123	0	0	0.0123	0	-0.0246	-	0	0
10	***0.0234***	-0.0012	-0.0258	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	0.0111	-	-0.0012
11	0.0111	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0258	***0.0234***	-

2. Local Worst Solution ฝูงที่ 1

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

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

ตารางที่ 6.71 ตารางการปรับปรุงทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค (Velocity Matrix) ของฝูงที่ 1

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	-	-0.0111	0.0012	0.0258	***-0.0234***	0.0012	0.0012	0.0012	0.0012	0.0012	0.0012
2	0.0012	-	0.0258	0.0012	0.0012	***-0.048***	0.0012	0.0012	0.0012	0.0135	0.0012
3	-0.0024	-0.0024	-	-0.0024	-0.0024	-0.0024	0.0222	***-0.0024***	-0.0024	-0.0024	-0.0024
4	0.0012	***0.0135***	0.0012	-	-0.0111	0.0012	0.0012	0.0135	0.0012	0.0012	-0.0234
5	0.0012	-0.0111	0.0012	***0.0012***	-	0.0012	0.0012	0.0135	0.0012	-0.0111	0.0012
6	0.0024	0.0024	***-0.0099***	-0.0222	0.0147	-	0.0147	-0.0099	0.0024	0.0024	0.0024
7	0.0012	0.0012	0.0012	-0.0111	0.0135	0.0012	-	0.0012	0.0135	-0.0234	0.0012
8	0.0012	0.0012	-0.0111	0.0012	0.0012	0.0258	-0.0234	-	***0.0012***	0.0012	0.0012
9	0.0024	0.0024	0.0147	0.0024	0.0024	0.0147	***-0.0222***	-0.0222	-	0.0024	0.0024
10	***0.0012***	0.0012	-0.0234	0.0012	0.0012	0.0012	0.0012	0.0012	0.0135	-	0.0012
11	0.0135	0.0012	0.0012	0.0012	0.0012	0.0012	0.0012	0.0012	-0.0357	***0.0135***	-

3. Global Best Solution

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

ตารางที่ 6.72 ตารางการปรับปรุงทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค (Velocity Matrix) ของฝูงที่ 1

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	-	-0.0123	***0.0123***	0.0246	-0.0246	0	0	0	0	0	0
2	0	-	0.0246	0	0	-0.0492	0	0	***0.0123***	0.0123	0
3	-0.0036	***0.0087***	-	-0.0036	-0.0036	-0.0036	0.021	-0.0036	-0.0036	-0.0036	-0.0036
4	0	0.0123	0	-	-0.0123	0	***0.0123***	0.0123	0	0	-0.0246
5	0	-0.0123	0	0	-	0	0	***0.0246***	0	-0.0123	0
6	0.0012	0.0012	-0.0111	-0.0234	***0.0258***	-	0.0135	-0.0111	0.0012	0.0012	0.0012
7	0	0	0	-0.0123	0.0123	***0.0123***	-	0	0.0123	-0.0246	0
8	0	0	-0.0123	0	0	0.0246	-0.0246	-	0	***0.0123***	0
9	0.0012	0.0012	0.0135	***0.0135***	0.0012	0.0135	-0.0234	-0.0234	-	0.0012	0.0012
10	0.0012	0.0012	-0.0234	0.0012	0.0012	0.0012	0.0012	0.0012	0.0135	-	0.0012
11	***0.0246***	0	0	0	0	0	0	0	-0.0369	0.0123	-

4. Global Worst Solution

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

ตารางที่ 6.73 ตารางการปรับปรุงทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค (Velocity Matrix) ของฝูงที่ 1

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	-	-0.0111	0.0135	0.0258	***-0.0357***	0.0012	0.0012	0.0012	0.0012	0.0012	0.0012
2	0.0012	-	0.0258	0.0012	0.0012	***-0.0603***	0.0012	0.0012	0.0135	0.0135	0.0012
3	-0.0024	0.0099	-	-0.0024	-0.0024	-0.0024	0.0222	***-0.0147***	-0.0024	-0.0024	-0.0024
4	0.0012	***0.0012***	0.0012	-	-0.0111	0.0012	0.0135	0.0135	0.0012	0.0012	-0.0234
5	0.0012	-0.0111	0.0012	***-0.0111***	-	0.0012	0.0012	0.0258	0.0012	-0.0111	0.0012
6	0.0024	0.0024	***-0.0222***	-0.0222	0.027	-	0.0147	-0.0099	0.0024	0.0024	0.0024
7	0	0	0	-0.0123	0.0123	0.0123	-	0	0.0123	-0.0246	0
8	0.0012	0.0012	-0.0111	0.0012	0.0012	0.0258	-0.0234	-	***-0.0111***	0.0135	0.0012
9	0.0024	0.0024	0.0147	0.0147	0.0024	0.0147	***-0.0345***	-0.0222	-	0.0024	0.0024
10	***-0.0099***	0.0024	-0.0222	0.0024	0.0024	0.0024	0.0024	0.0024	0.0147	-	0.0024
11	0.0258	0.0012	0.0012	0.0012	0.0012	0.0012	0.0012	0.0012	-0.0357	***0.0012***	-

ดังนั้นตารางที่ 6.73 จะเป็นตารางความน่าจะเป็นในการเลือกงานแรก (First Walk Matrix Probability) ของฝูงที่ 1 หลังจากปรับปรุงคำตอบแล้ว

6.3.7.1.3 ตาราการปรับปรุงตารางความน่าจะเป็นร่วม

การปรับปรุงตารางความน่าจะเป็นร่วม (Joint Probability Matrix) สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (6.2) ดังนี้

ตารางที่ 6.74 ตาราง Joint Probability Matrix ของฝูงที่ 1

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	-	0.0889	0.1135	0.1504	0.0397	0.1012	0.1012	0.1012	0.1012	0.1012	0.1012
2	0.1012	-	0.1381	0.1012	0.1012	0.0151	0.1012	0.1012	0.1135	0.1258	0.1012
3	0.0952	0.1075	-	0.0952	0.0952	0.0952	0.1444	0.0829	0.0952	0.0952	0.0952
4	0.1012	0.1135	0.1012	-	0.0889	0.1012	0.1135	0.1258	0.1012	0.1012	0.0520
5	0.1012	0.0766	0.1012	0.0889	-	0.1012	0.1012	0.1381	0.1012	0.0889	0.1012
6	0.1036	0.1036	0.0790	0.0544	0.1405	-	0.1159	0.0913	0.1036	0.1036	0.1036
7	0.1012	0.1012	0.1012	0.0889	0.1258	0.1135	-	0.1012	0.1135	0.0520	0.1012
8	0.1012	0.1012	0.0889	0.1012	0.1012	0.1381	0.0520	-	0.1012	0.1135	0.1012
9	0.1024	0.1024	0.1270	0.1147	0.1024	0.1270	0.0655	0.0532	-	0.1024	0.1024
10	0.1024	0.1024	0.0532	0.1024	0.1024	0.1024	0.1024	0.1024	0.1270	-	0.1024
11	0.1381	0.1012	0.1012	0.1012	0.1012	0.1012	0.1012	0.1012	0.0397	0.1135	-

6.3.8.2 การปรับปรุงในฝูงที่ 2

6.3.8.2.1 ตารางความน่าจะเป็นในการเลือกงานแรก

ทำการอัพเดท First Walk Probability Matrix โดยดูจากงานที่ถูกเลือกเป็นอันดับแรก ด้วยการเพิ่มค่าความน่าจะเป็นในการเลือกงานลำดับแรกเท่ากับ $Cr/(n-1)$ = 0.1/(11-1) = 0.01 ในสตริงคำตอบที่ดี และลดค่าความน่าจะเป็นในการเลือกงานอื่น ๆ เท่ากับ $Cr/(n-1)^2$ = 0.001 ส่วนในสตริงคำตอบที่แย่จะทำการลดค่าความน่าจะเป็นในการเลือกงานลำดับแรก เท่ากับ $Cr/(n-1)$ และเพิ่มค่าความน่าจะเป็นในการเลือกงานอื่น ๆ เท่ากับ $Cr/(n-1)^2$ โดยมีวิธีดังนี้

1. Local Best Solution ฝูงที่ 2

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

2. Local Worst Solution ฝูงที่ 2

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

3. Global Best Solution

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

4. Global Worst Solution

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

ตารางที่ 6.75 ตารางการปรับปรุงความน่าจะเป็นสำหรับการเลือกงานอันดับแรก (First Walk Matrix Probability) ของฝูงที่ 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0.0689	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.1129

6.3.8.2.2 การปรับปรุงตารางทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค

การปรับปรุงตารางทิศทางการเคลื่อนที่ (Velocity Matrix) จะขึ้นอยู่กับค่า Lbest, Lworst, Gbest และ Gworst ซึ่งใช้การให้รางวัลและการลงโทษที่ค่า โดยเพิ่มค่าแก่คู่ลำดับในสตริงที่ดี เท่ากับ $r/(t-2)$ และลดค่าคู่ลำดับอื่นๆ เท่ากับ $r/(t-2)^2$

ทำการอัพเดท Velocity Matrix โดยดูจากลำดับงานที่อยู่ติดกัน ด้วยการเพิ่มค่าแก่คู่ลำดับในสตริงคำตอบที่ดี เท่ากับ $Cr/(n-2)$ = 0.0111 และลดค่ากับคู่ลำดับอื่น ๆ เท่ากับ $Cr/(n-2)^2$ = 0.0012 ส่วนในสตริงคำตอบที่แย่จะทำเช่นเดียวกันแต่ใช้การลดค่าแก่คู่ลำดับที่ติดกันในสตริงคำตอบ และเพิ่งค่าคู่ลำดับอื่นๆ แทน

1. Local Best Solution **ฝูงที่** 2

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

2. Local Worst Solution **ฝูงที่** 2

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

3. Global Best Solution

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

4. Global Worst Solution

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

ตารางที่ 6.76 ตารางการปรับปรุงทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค (Velocity Matrix) ของฝูงที่ 2

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	-	0	0.0247	0.0123	-0.0246	-0.0123	0	0	0	0	0
2	-0.0012	-	0.0111	-0.0012	-0.0012	-0.0259	-0.0012	-0.0012	0.0235	-0.0012	-0.0012
3	-0.0012	0.0235	-	-0.0012	-0.0259	-0.0012	0.0235	-0.0135	-0.0012	-0.0012	-0.0012
4	-0.0123	-0.0246	0	-	0	0	0.0247	0.0247	0	0	-0.0123
5	0	0.0123	0	-0.0247	-	0	0	0.0247	0	0	-0.0123
6	0	-0.0123	-0.0123	-0.0123	0.0494	-	0	0	0	-0.0123	0
7	0.0013	0.0013	-0.0111	0.0013	0.0013	0.026	-	0.0013	-0.0111	-0.0111	0.0013
8	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0259	-	0.0112	0.0235	-0.0012
9	0	0	0	0.0247	0	0.0123	-0.0123	-0.0246	-	0	0
10	0.0148	0.0025	-0.0098	0.0025	0.0025	0.0025	0.0025	-0.0098	-0.0099	-	0.0025
11	0.0247	0	0	0	0	0	-0.0123	0	-0.0123	0	-

6.3.8.2.3 ตาราการปรับปรุงตารางความน่าจะเป็นร่วม

การปรับปรุงตารางความน่าจะเป็นร่วม (Joint Probability Matrix) สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (6.2) ดังนี้

ตารางที่ 6.77 ตาราง Joint Probability Matrix ของฝูงที่ 2

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	-	0.1000	0.1247	0.1246	0.0631	0.0877	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000
2	0.0988	-	0.1234	0.0988	0.0988	0.0618	0.0988	0.0988	0.1235	0.0988	0.0988
3	0.0976	0.1223	-	0.0976	0.0605	0.0976	0.1470	0.0853	0.0976	0.0976	0.0976
4	0.0877	0.0631	0.1000	-	0.1000	0.1000	0.1247	0.1494	0.1000	0.1000	0.0754
5	0.1000	0.1246	0.1000	0.0753	-	0.1000	0.1000	0.1247	0.1000	0.1000	0.0754
6	0.1000	0.0877	0.0877	0.0754	0.1741	-	0.1000	0.1000	0.1000	0.0754	0.1000
7	0.1038	0.1038	0.0914	0.1038	0.1038	0.1285	-	0.1038	0.0790	0.0790	0.1038
8	0.0976	0.0976	0.0976	0.0976	0.0976	0.0976	0.0605	-	0.1347	0.1223	0.0976
9	0.1000	0.1000	0.1000	0.1247	0.1000	0.1246	0.0877	0.0631	-	0.1000	0.1000
10	0.1395	0.1025	0.0779	0.1025	0.1025	0.1025	0.1025	0.0779	0.0901	-	0.1025
11	0.1247	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.0754	0.1000	0.0754	0.1247	-

6.4 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองในการทดลองด้วยวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบ

6.4.1 จำนวนประชากรเบื้องต้น

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

6.4.2 วิธีเชิงกลุ่มที่ดีที่สุด

วิธี Non-dominated Sorting เป็นวิธีเชิงกลุ่มที่ดีที่สุดในการหากลุ่มคำตอบที่ดีที่สุดตามหลักของ Goldberg (1989) วิธีนี้จะทำให้สามารถหาคำตอบที่ดีที่สุดได้จากการจัดอันดับคำตอบที่มีค่าน้อยที่สุดจะเป็นคำตอบที่ดีที่สุด

6.4.3 จำนวนอนุภาคในแต่ละฝูง

จำนวนอนุภาคเป็นจำนวนกลุ่มของอนุภาคหรือกลุ่มของสตริงคำตอบที่สร้างขึ้นในแต่ละรอบการทำงาน ซึ่งในงานวิจัยได้ทำการทดลองเพื่อหาค่าที่เหมาะสมที่สุด

6.4.4 จำนวนฝูง

จำนวนฝูงเป็นจำนวนอนุภาคหรือสตริงคำตอบที่มีในแต่ละฝูง ซึ่งในงานวิจัยได้ทำการทดลองเพื่อหาค่าที่เหมาะสมที่สุด

6.4.5 น้ำหนักการหน่วง

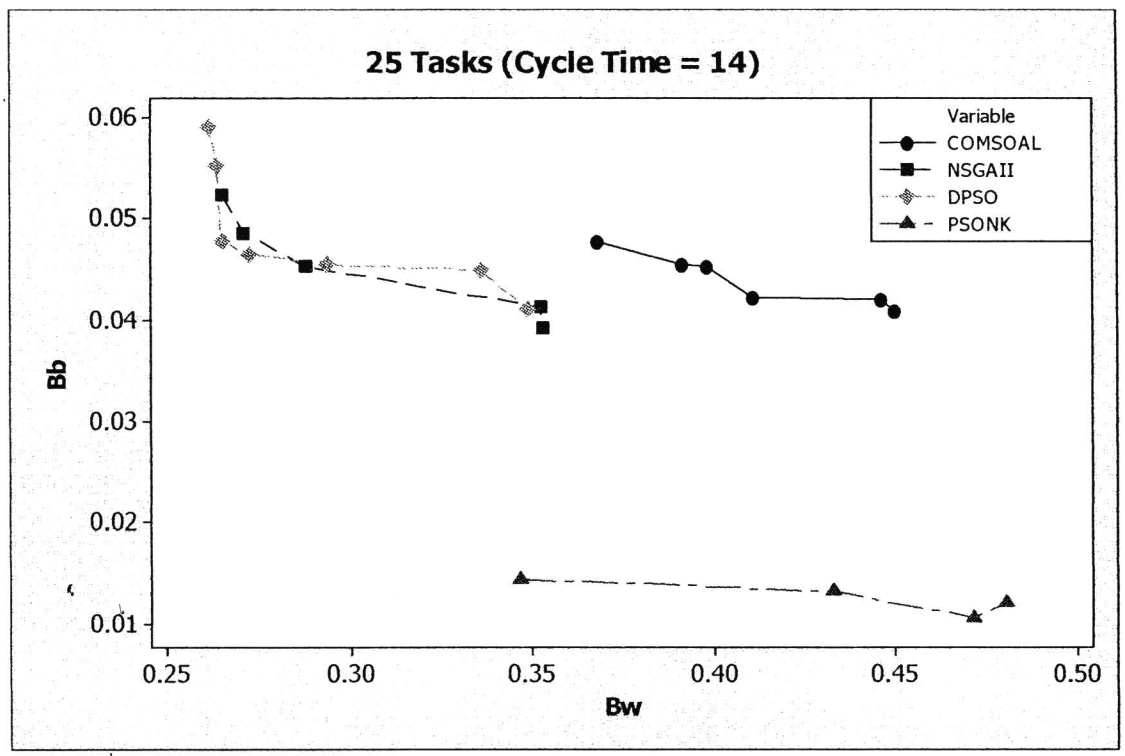
น้ำหนักการหน่วงที่ใช้จะกำหนดค่าให้เท่ากับ 1 น้ำหนักการหน่วงจะเป็นการกำหนดค่าของแต่ละฝูงด้วยน้ำหนักที่ได้จากการเคลื่อนที่โดยจะทำการเก็บค่าการเคลื่อนที่ที่ได้รับอิทธิพลจากการสำรวจค่าที่ดีที่สุด

6.4.6 ค่าสัมประสิทธิ์การเรียนรู้

ค่าสัมประสิทธิ์การเรียนรู้ที่ใช้จะกำหนดค่าให้เท่ากับ 0.1 ค่าสัมประสิทธิ์การเรียนรู้เป็นปัจจัยที่กำหนดที่มีการเรียนรู้ด้วยตนเองและเป็นส่วนประกอบที่สำคัญส่วนหนึ่งที่ใช้ในการกำหนดความสำคัญของในแต่ละฝูง

6.5 การเปรียบเทียบผลการทดลอง

การเปรียบเทียบคำตอบของการหาค่าที่เหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบเปรียบเทียบกับอัลกอริทึมที่ผ่านมาคือ อัลกอริทึม COMSOAL อัลกอริทึม NSGA-II และการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคแบบไม่ต่อเนื่อง (DPSO) ดังรูปที่ 6.18



รูปที่ 6.18 การเปรียบเทียบคำตอบอัลกอริทึม COMSOAL, NSGA-II, PSO และ PSONK

6.6 สรุป

ในบทนี้ได้เสนอวิธีการในการหาคำตอบอัลกอริทึมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบ ซึ่งวิธีการนี้พัฒนามาจากวิธี PSO โดยการพัฒนาการหาคำตอบที่ดีที่สุดและแย่ที่สุดมาใช้ในการหาค่าที่เหมาะสม จนกว่าจะพบคำตอบที่ดีที่สุด เมื่อนำมาประยุกต์ใช้ในการจัดสมดุลสายการประกอบลักษณะตัวยูที่มีสถานีงานแบบขนาน ทำให้ได้คำตอบที่ลู่เข้าสู่สภาพคงที่อย่างรวดเร็ว และได้คำตอบที่ดีที่สุดและเมื่อทำการเปรียบเทียบวิธีการอัลกอริทึมที่ผ่านมาจากบทก่อนหน้านี้ ทำให้คำตอบที่เหมาะสมมากกว่าอัลกอริทึมวิธีอื่น