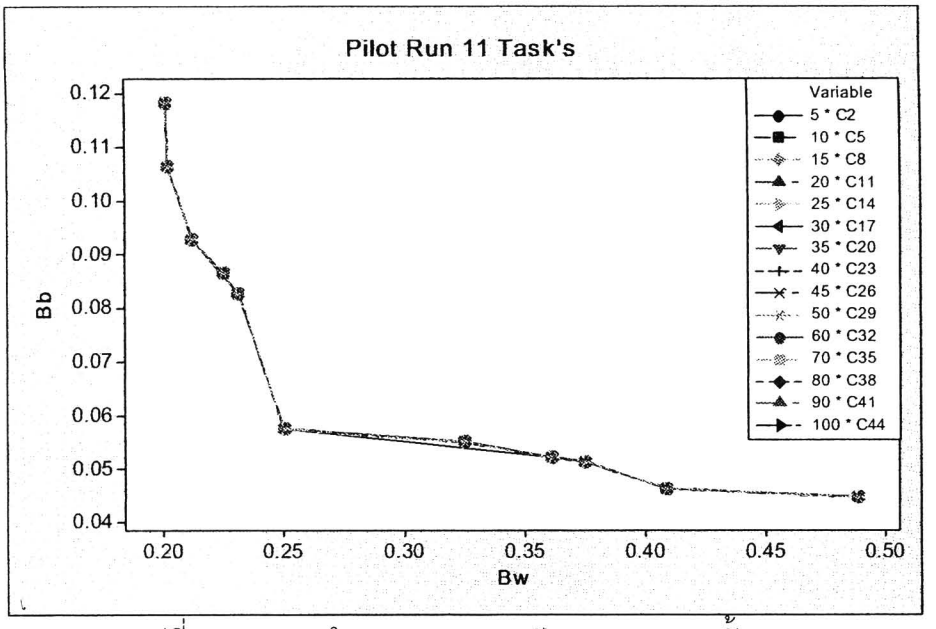
บทที่ 8

ผลการเปรียบเทียบการจัดสมดุลสายการประกอบลักษณะตัวยู ที่มีสถานีงานแบบขนาน

ในบทนี้จะเป็นการแสดงผลการเปรียบเทียบของการจัดสมดุลสายการประกอบตัวยูที่มีสถานีงานแบบขนาน โดยใช้อัลกอริทึมทั้ง 5 ตัวคือ อัลกอริทึม COMSOAL, อัลกอริทึม NSGA-II, วิธีการหาค่าที่เหมาะสมแบบฝูงอนุภาค, อัลกอริทึมแบบฝูงอนุภาคโดยความรู้เชิงลบ และอัลกอริทึมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบร่วมกับการค้นหาเฉพาะที่ เพื่อเป็นการเปรียบเทียบว่าอัลกอริทึมใดสามารถให้คำตอบได้ดีมากกว่ากัน เนื้อหาในบทที่นี้จะแบ่งออกตามลักษณะของปัญหาที่มีอยู่ทั้งหมด 5 ปัญหาและแต่ละปัญหาขั้นงานจะมีรอบเวลาการทำงานอย่างละ 3 ตัวอย่าง โดยขั้นตอนแรกจะทำการหาจำนวนเจนเนอเรชันที่จะใช้ในการทดลองก่อน และจึงทำการหาคำตอบโดยวิธีอัลกอริทึมที่กำหนด

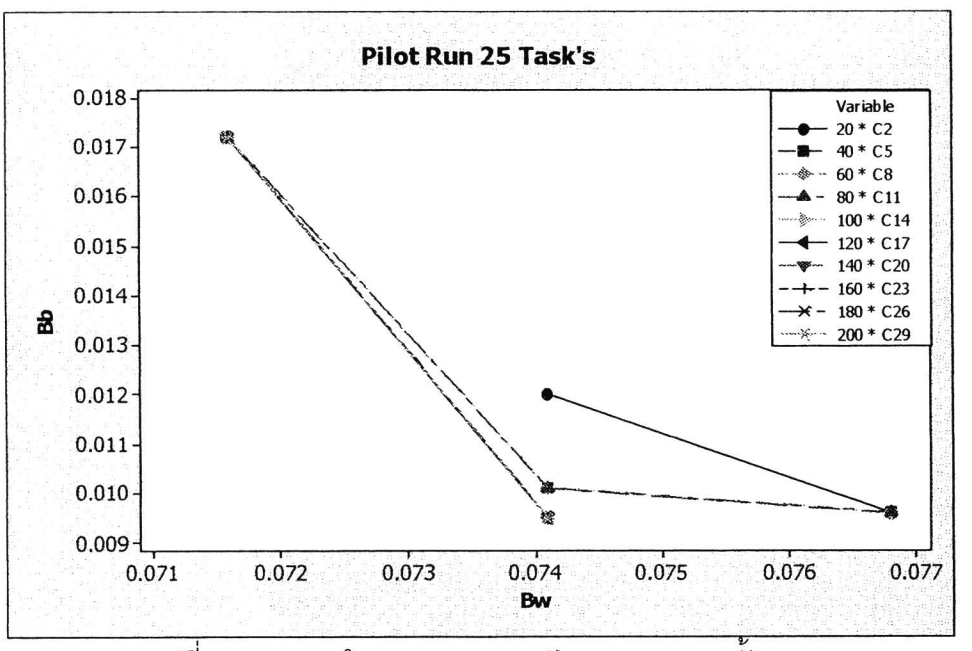
8.1 จำนวนเจนเนอเรชัน

จำนวนเจนเนอเรชันเป็นจำนวนรอบที่ใช้ในการคำนวณตามขั้นตอนอัลกอริทึมที่ใช้ ตั้งแต่เริ่มต้นขั้นแรกจนจบนั้นคือ 1 เจนเนอเรชัน ในการทดลองนี้ใช้ปัญหาในการทดลอง 5 ปัญหา แต่ละปัญหาจะใช้จำนวนเจนเนอเรชันที่เหมาะสมต่างกัน ดังนั้นจึงได้มีการทดลองหาจำนวนที่เหมาะสมในแต่ละปัญหา โดยกำหนดให้มีจำนวนในการทดลองเท่ากับ 1000 รอบ ซึ่งจะมีค่าแตกต่างกันตามขนาดของปัญหา โดยจำนวนเจนเนอเรชันที่ใช้ในการทำ Pilot Run ของปัญหาขั้นงาน 11, 25, 61, 111 และ 205 งานดังนี้



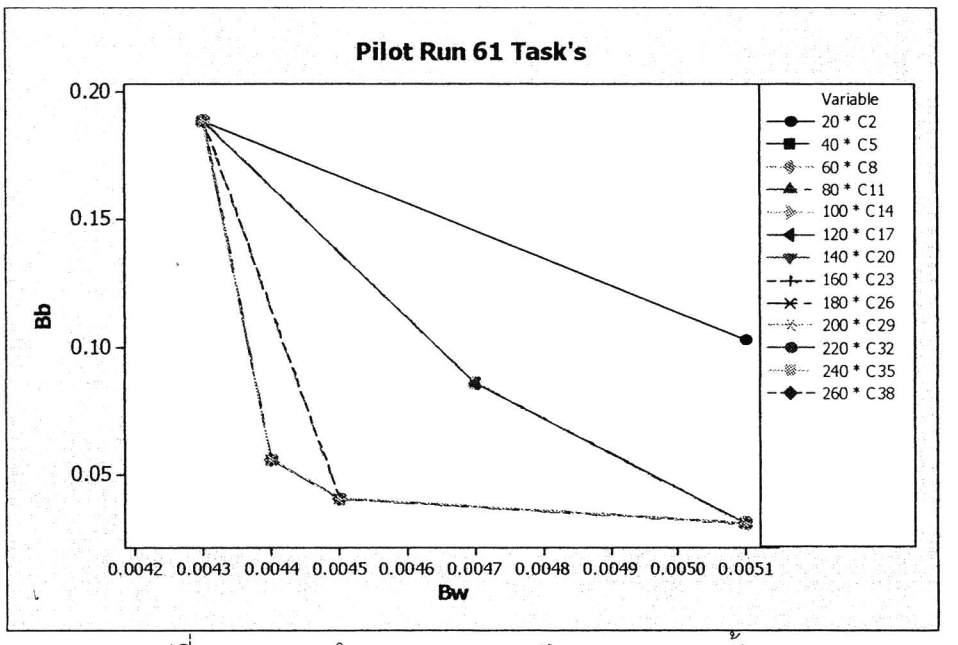
รูปที่ 8.1 ผลการทำ Pilot Run ของปัญหาขนาด 11 ขั้นงาน

จากรูปที่ 8.1 จะให้ค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่มีค่าคำตอบคงที่ ที่จำนวนเจนเนอเรชันที่ 100 ดังนั้นจึงกำหนดให้จำนวนเจนเนอเรชันสูงสุดสำหรับปัญหา 11 ขั้นงานเท่ากับ 100 เจนเนอเรชัน



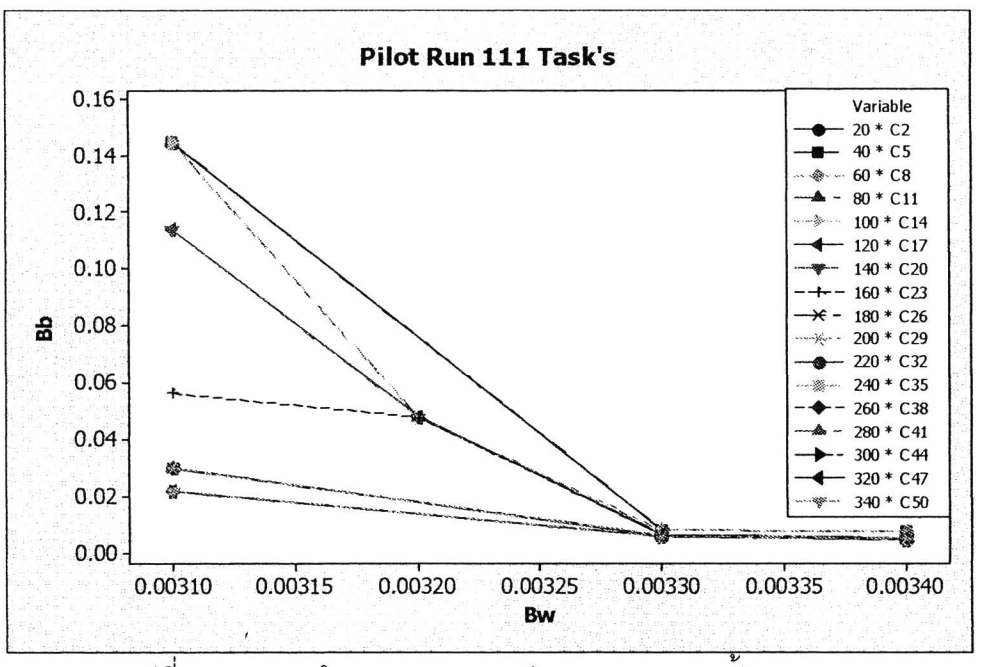
รูปที่ 8.2 ผลการทำ Pilot Run ของปัญหาขนาด 25 ขั้นงาน

จากรูปที่ 8.2 จะให้ค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่มีค่าคำตอบคงที่ ที่จำนวนเจนเนอเรชันที่ 100 ดังนั้นจึงกำหนดให้จำนวนเจนเนอเรชันสูงสุดสำหรับปัญหา 25 ขั้นงานเท่ากับ 100 เจนเนอเรชัน



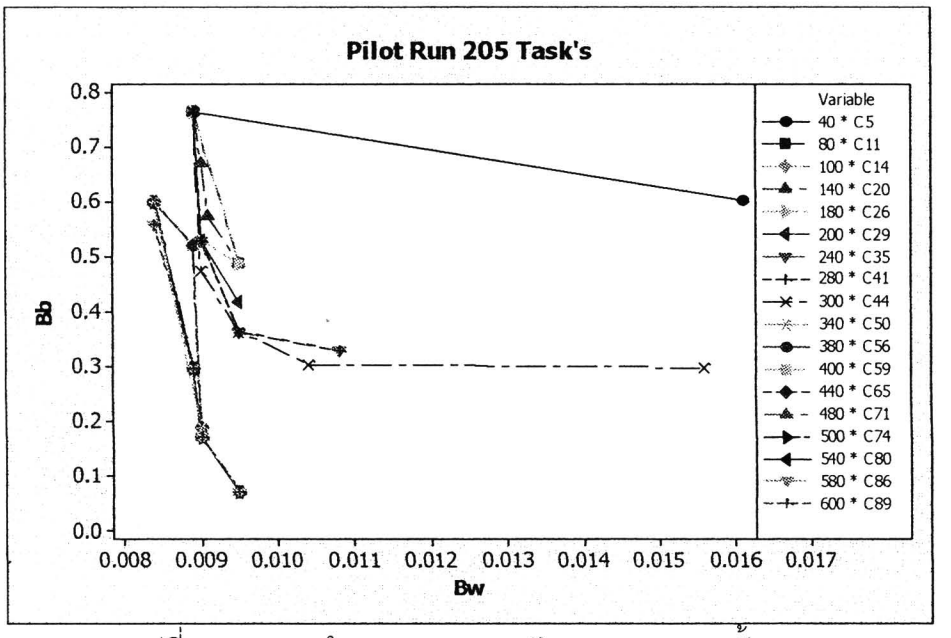
รูปที่ 8.3 ผลการทำ Pilot Run ของปัญหาขนาด 61 ขั้นงาน

จากรูปที่ 8.3 จะให้ค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่มีค่าคำตอบคงที่ ที่จำนวนเจนเนอเรชันที่ 200 ดังนั้นจึงกำหนดให้จำนวนเจนเนอเรชันสูงสุดสำหรับปัญหา 61 ขั้นงานเท่ากับ 200 เจนเนอเรชัน



รูปที่ 8.4 ผลการทำ Pilot Run ของปัญหาขนาด 111 ขั้นงาน

จากรูปที่ 8.4 จะให้ค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่มีค่าคำตอบคงที่ ที่จำนวนเจนเนอเรชันที่ 300 ดังนั้นจึงกำหนดให้จำนวนเจนเนอเรชันสูงสุดสำหรับปัญหา 111 ขั้นงานเท่ากับ 300 เจนเนอเรชัน



รูปที่ 8.5 ผลการทำ Pilot Run ของปัญหาขนาด 205 ขั้นงาน

จากรูปที่ 8.5 จะให้ค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่มีค่าคำตอบคงที่ ที่จำนวนเจนเนอเรชันที่ 500 ดังนั้นจึงกำหนดให้จำนวนเจนเนอเรชันสูงสุดสำหรับปัญหา 205 ขั้นงานเท่ากับ 500 เจนเนอเรชัน

8.2 ผลลัพธ์ที่ได้จากการทดลอง

8.2.1 ปัญหาขนาด 11 ขั้นงาน

8.2.1.1 ผลลัพธ์ของคำตอบที่ได้จากอัลกอริทึม COMSOAL

ตารางที่ 8.1 ผลลัพธ์ของคำตอบที่ใช้อัลกอริทึม COMSOAL ในปัญหา 11 ขั้นงาน

รอบเวลาการทำงาน	จำนวนสถานีงาน	จำนวนสถานีขนาน	ความสมดุลระหว่างสถานีงาน	ความสมดุลภายในสถานีงาน
6	8	1	0.0447	0.4888
	8	1	0.0463	0.4088
	8	1	0.0475	0.4063
	8	1	0.0514	0.3750
6.3	8	1	0.0239	0.2534
	8	1	0.0315	0.1959
6.6	7	1	0.0188	0.4457
	7	1	0.0207	0.4205

8.2.1.2 ผลลัพธ์ของคำตอบที่ได้จากอัลกอริทึม NSGA-II

ตารางที่ 8.2 ผลลัพธ์ของคำตอบที่ใช้อัลกอริทึม NSGA-II ในปัญหา 11 ขั้นงาน

รอบเวลาการทำงาน	จำนวนสถานีงาน	จำนวนสถานีขนาน	ความสมดุลระหว่างสถานีงาน	ความสมดุลภายในสถานีงาน
6	8	1	0.0447	0.4888
	8	1	0.0463	0.4088
	8	1	0.0475	0.4063
	8	1	0.0514	0.3750
	8	1	0.0564	0.3150
6.3	8	1	0.0217	0.2188
	8	1	0.0315	0.1959
	8	1	0.0479	0.1901
6.6	7	1	0.0207	0.4205
	7	1	0.0374	0.3571

8.2.1.3. ผลลัพธ์ของคำตอบที่ได้จากการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคที่ไม่ต่อเนื่อง

ตารางที่ 8.3 ผลลัพธ์ของคำตอบที่ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคที่ไม่ต่อเนื่องในปัญหา 11 ขั้นงาน

รอบเวลาการทำงาน	จำนวนสถานีงาน	จำนวนสถานีขนาน	ความสมดุลระหว่างสถานีงาน	ความสมดุลภายในสถานีงาน
6	8	1	0.0447	0.4888
	8	1	0.0463	0.4088
	8	1	0.0514	0.3750
6.3	8	1	0.0217	0.2188
	8	1	0.0315	0.1959
	8	1	0.0479	0.1901
6.6	7	1	0.0188	0.4457
	7	1	0.0207	0.4205

8.2.1.4 ผลลัพธ์ของคำตอบที่ได้จากการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยความรู้เชิงลบ

ตารางที่ 8.4 ผลลัพธ์ของคำตอบที่ใช้การหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยความรู้เชิงลบในปัญหา 11 ขั้นงาน

รอบเวลาการทำงาน	จำนวนสถานีงาน	จำนวนสถานีขนาน	ความสมดุลระหว่างสถานีงาน	ความสมดุลภายในสถานีงาน
6	8	1	0.0447	0.4888
	8	1	0.0463	0.4088
	8	1	0.0514	0.3750
	8	1	0.0564	0.3150
6.3	8	1	0.0217	0.2188
	8	1	0.0315	0.1959
	8	1	0.0444	0.1728
	8	1	0.0668	0.1519
6.6	7	1	0.0188	0.4457
	7	1	0.0207	0.4205
	7	1	0.0222	0.3902
	7	1	0.0279	0.3822
	7	1	0.0308	0.3334
	7	1	0.0606	0.3047

8.2.1.5 ผลลัพธ์ของคำตอบที่ได้จากการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยความรู้เชิงลบร่วมกับเมมเมติกอัลกอริทึม

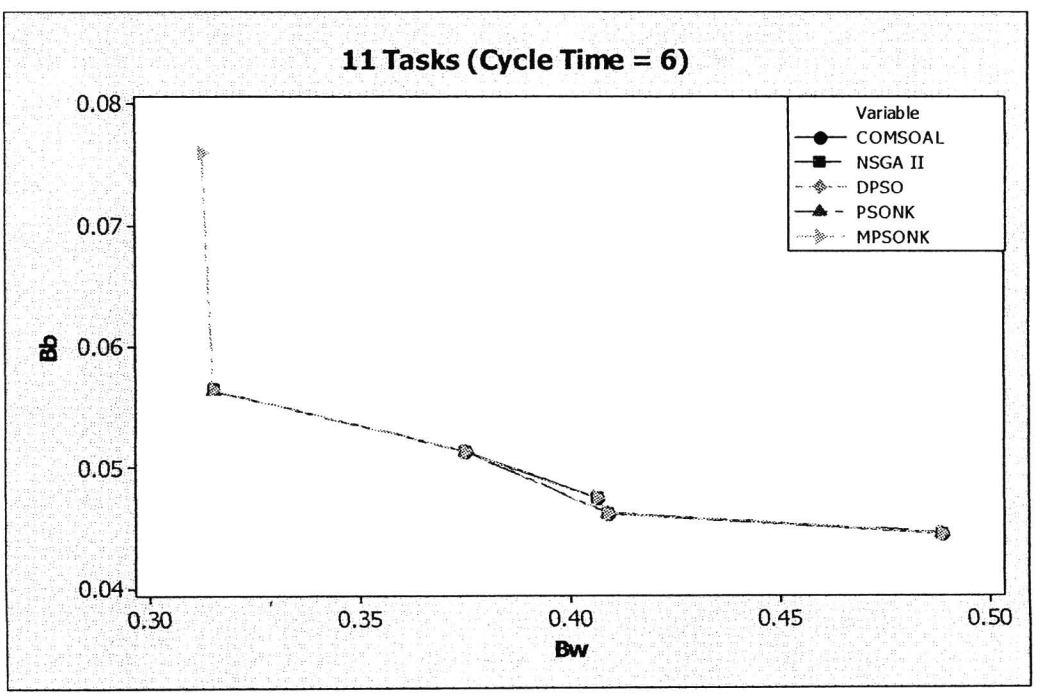
ตารางที่ 8.5 ผลลัพธ์ของคำตอบที่ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยความรู้เชิงลบร่วมกับเมมเมติกอัลกอริทึมในปัญหา 11 ขั้นงาน

รอบเวลาการทำงาน	จำนวนสถานีงาน	จำนวนสถานีขนาน	ความสมดุลระหว่างสถานีงาน	ความสมดุลภายในสถานีงาน
6	8	1	0.0447	0.4888
	8	1	0.0463	0.4088
	8	1	0.0475	0.4063
	8	1	0.0514	0.3750
	8	1	0.0564	0.3150

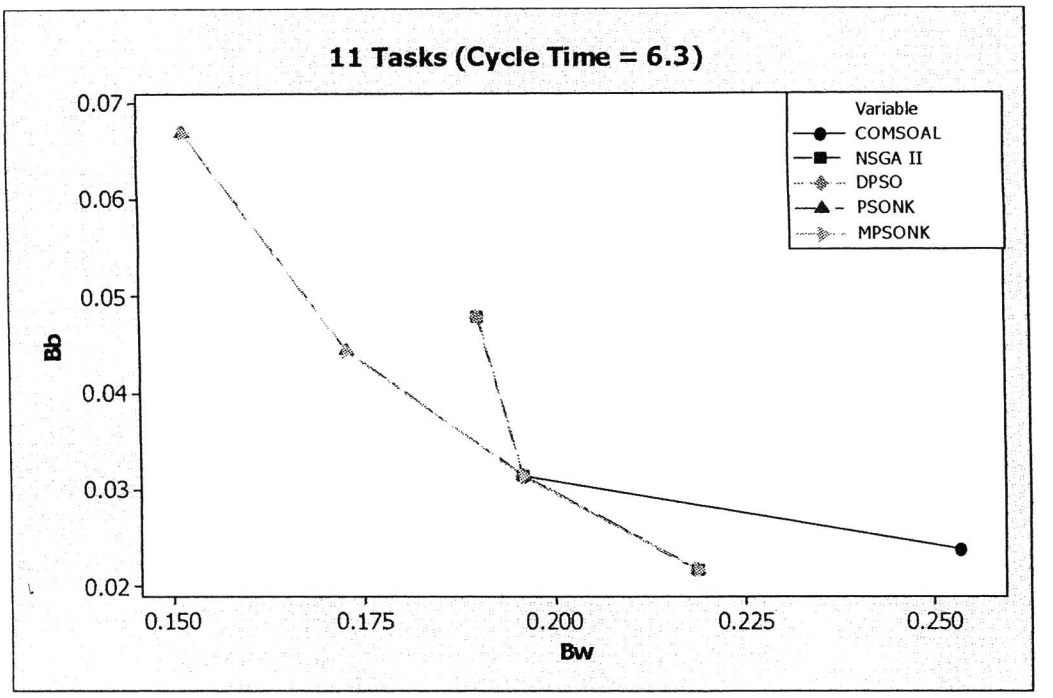
ตารางที่ 8.5 ผลลัพธ์ของคำตอบที่ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยความรู้เชิงลบร่วมกับเมมเมติกอัลกอริทึมในปัญหา 11 ขั้นงาน (ต่อ)

รอบเวลาการทำงาน	จำนวนสถานีงาน	จำนวนสถานีขนาน	ความสมดุลระหว่างสถานีงาน	ความสมดุลภายในสถานีงาน
6 (ต่อ)	8	1	0.0760	0.3125
6.3	8	1	0.0217	0.2188
	8	1	0.0315	0.1959
	8	1	0.0444	0.1728
	8	1	0.0668	0.1519
6.6	7	1	0.0188	0.4457
	7	1	0.0207	0.4205
	7	1	0.0222	0.3902
	7	1	0.0269	0.3822
	7	1	0.0308	0.3334
	7	1	0.0606	0.3047

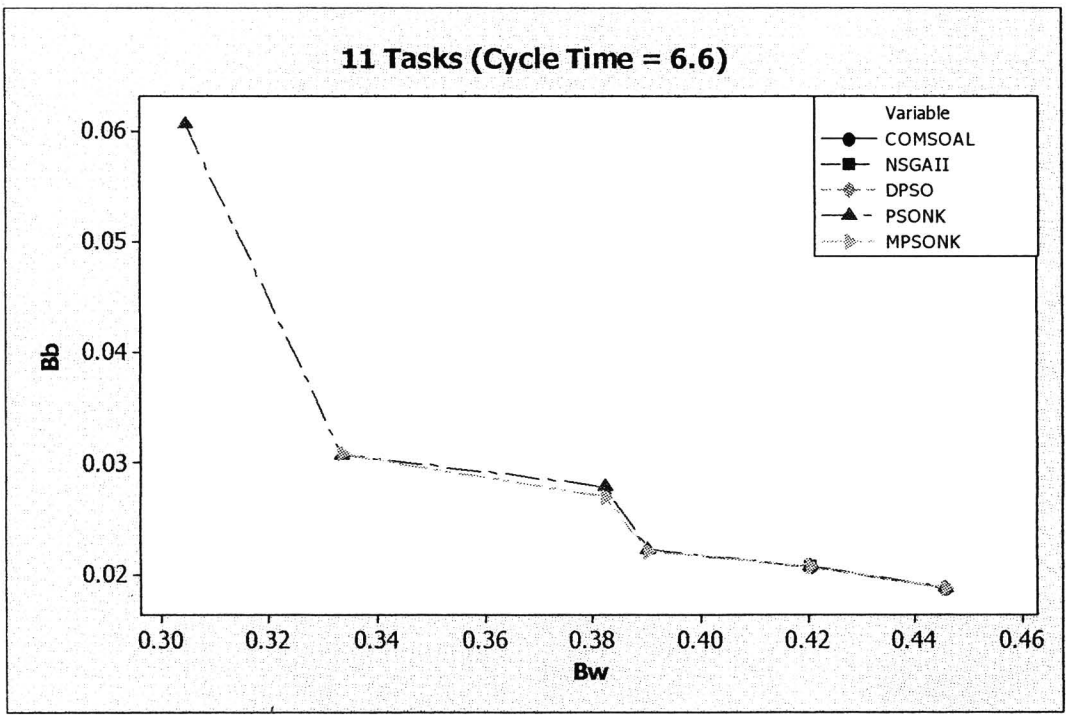
8.2.1.6 การเปรียบเทียบคำตอบแต่ละอัลกอริทึม



รูปที่ 8.6 การเปรียบเทียบอัลกอริทึมทั้ง 5 อัลกอริทึม ในปัญหา 11 ขั้นงาน (รอบเวลา= 6)



รูปที่ 8.7 การเปรียบเทียบอัลกอริทึมทั้ง 5 อัลกอริทึม ในปัญหา 11 ขั้นงาน (รอบเวลา= 6.3)



รูปที่ 8.8 การเปรียบเทียบอัลกอริทึมทั้ง 5 อัลกอริทึม ในปัญหา 11 ขั้นงาน (รอบเวลา= 6.6)

ตารางที่ 8.6 ผลของตัวชี้วัดสมรรถนะในปัญหา 11 ขั้นงาน

รอบเวลาการทำงาน	ตัวชี้วัดสมรรถนะ	COMSOAL	NSGA-II	DPSO	PSONK	M-PSONK
6	workstation	8	8	8	8	8
	Convergence	0.2064	0.2064	0.2132	0.1112	0
	Spread	0.7009	0.7009	0.5239	0.443	0.6932
	Ratio	1	1	1	1	1
	Time (s)	49	514.6	96.3	61.1	1093.5
6.3	workstation	8	8	8	8	8
	Convergence	0.3939	0.2446	0.2446	0	0
	Spread	0.75	0.5726	0.5726	0.4955	0.4955
	Ratio	0.5	0.6667	0.6667	1	1
	Time (s)	47.4	567.1	88.2	56.1	1033
6.6	workstation	7	7	7	7	7
	Convergence	0.4083	0.4083	0.4083	0.021	0
	Spread	0.75	0.75	0.75	0.681	0.7138
	Ratio	1	1	1	1	1
	Time (s)	47.1	542.4	80.8	51.3	1009.7

จากรูปที่ 8.6 – 8.8 อัลกอริทึมที่นำมาเปรียบเทียบทั้ง 5 อัลกอริทึมนั้นยังไม่สามารถมองเห็นความแตกต่างได้อย่างชัดเจนนัก เนื่องจากว่ายังเป็นปัญหาขนาดเล็กจึงต้องทำการเปรียบเทียบโดยใช้ตัวชี้วัดสมรรถนะดังในตารางที่ 7.6

จากตารางที่ 8.6 พบว่าในปัญหา 11 งานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 6 อัลกอริทึม M-PSONK จะให้ผลลัพธ์ของคำตอบในด้านการลู่เข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริงได้ดีที่สุด และเมื่อวัดประสิทธิภาพของตัวชี้วัดด้านอัตราส่วนของจำนวนกลุ่มคำตอบที่หาได้เทียบเท่ากับกลุ่มคำตอบที่แท้จริงแล้วจะอัลกอริทึมทั้ง 5 ตัวมีค่าเท่ากัน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 6.3 อัลกอริทึม PSONK และ MPSONK จะให้คำตอบที่ดีที่สุดเมื่อวัดตัวชี้วัดทั้งสามตัว และเมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 6.6 อัลกอริทึม M-PSONK จะให้คำตอบดีที่สุดในด้านการลู่เข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริงและเมื่อวัดประสิทธิภาพของตัวชี้วัดด้านอัตราส่วนของจำนวนกลุ่มคำตอบที่หาได้เทียบเท่ากับกลุ่มคำตอบที่แท้จริงแล้วจะอัลกอริทึมทั้ง 5 ตัวมีค่าเท่ากัน จากจำนวนสถานีงานในรอบเวลาที่ 6, 6.3 และ 6.6 นั้นจำนวนสถานีงานจะมีขนาดเท่ากันทุกอัลกอริทึม และเมื่อดูเวลาที่

ใช้ในการคำนวณสรุปได้ว่าอัลกอริทึม M-PSONK นั้นแม้จะหาคำตอบได้ดีที่สุดแต่จะใช้เวลาในการหาคำตอบนานที่สุด

8.2.2 ปัญหาขนาด 25 ขั้นงาน

8.2.2.1 ผลลัพธ์ของคำตอบที่ได้จากอัลกอริทึม COMSOAL

ตารางที่ 8.7 ผลลัพธ์ของคำตอบที่ใช้วิธีอัลกอริทึม COMSOAL ในปัญหา 25 ขั้นงาน

รอบเวลาการทำงาน	จำนวนสถานีงาน	จำนวนสถานีขนาน	ความสมดุลระหว่างสถานีงาน	ความสมดุลภายในสถานีงาน
10	16	2	0.0222	0.2985
	16	2	0.0257	0.2662
	16	2	0.0334	0.2489
	16	2	0.0357	0.2240
	16	2	0.0449	0.2213
12	13	2	0.0399	0.3348
	13	2	0.0444	0.3276
	13	2	0.0466	0.3239
	13	2	0.0537	0.3223
	13	2	0.0561	0.3121
	13	2	0.0678	0.3081
14	12	1	0.0409	0.4499
	12	1	0.0420	0.4463
	12	1	0.0423	0.4107
	12	1	0.0453	0.3980
	12	1	0.0454	0.3914
	12	1	0.0477	0.3681

8.2.2.2 ผลลัพธ์ของคำตอบที่ได้จากอัลกอริทึม NSGA-II

ตารางที่ 8.8 ผลลัพธ์ของคำตอบที่ใช้วิธีอัลกอริทึม NSGA-II ในปัญหา 25 ขั้นงาน

รอบเวลาการทำงาน	จำนวนสถานีงาน	จำนวนสถานีขนาน	ความสมดุลระหว่างสถานีงาน	ความสมดุลภายในสถานีงาน
10	16	2	0.0216	0.3154
	16	2	0.0222	0.2902
	16	2	0.0227	0.2609
	16	2	0.0234	0.2608
	16	2	0.0242	0.2518
12	13	2	0.0223	0.4219
	13	2	0.0247	0.3703
	13	2	0.0277	0.3560
14	12	1	0.0391	0.3531
	12	1	0.0412	0.3523
	12	1	0.0453	0.2877
	12	1	0.0486	0.2712
	12	1	0.0523	0.2650

8.2.2.3 ผลลัพธ์ของคำตอบที่ได้จากการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคที่ไม่ต่อเนื่อง

ตารางที่ 8.9 ผลลัพธ์ของคำตอบที่ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคที่ไม่ต่อเนื่องในปัญหา 25 ขั้นงาน

รอบเวลาการทำงาน	จำนวนสถานีงาน	จำนวนสถานีขนาน	ความสมดุลระหว่างสถานีงาน	ความสมดุลภายในสถานีงาน
10	16	2	0.0140	0.3298
	16	2	0.0143	0.3182
	16	2	0.0145	0.2551
	16	2	0.0148	0.2432
12	13	2	0.0448	0.3033
	13	2	0.0501	0.2600
	13	2	0.0595	0.2433
	13	2	0.0917	0.2368

ตารางที่ 8.9 ผลลัพธ์ของคำตอบที่ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคที่ไม่ต่อเนื่องในปัญหา 25 ขั้นงาน (ต่อ)

รอบเวลาการทำงาน	จำนวนสถานีงาน	จำนวนสถานีขนาน	ความสมดุลระหว่างสถานีงาน	ความสมดุลภายในสถานีงาน
14	12	1	0.0410	0.3487
	12	1	0.0449	0.3362
	12	1	0.0454	0.2936
	12	1	0.0465	0.2725
	12	1	0.0477	0.2650
	12	1	0.0553	0.2636
	12	1	0.0590	0.2617

8.2.2.4 ผลลัพธ์ของคำตอบที่ได้จากการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยความรู้เชิงลบ

ตารางที่ 8.10 ผลลัพธ์ของคำตอบที่ใช้การหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยความรู้เชิงลบในปัญหา 25 ขั้นงาน

รอบเวลาการทำงาน	จำนวนสถานีงาน	จำนวนสถานีขนาน	ความสมดุลระหว่างสถานีงาน	ความสมดุลภายในสถานีงาน
10	15	2	0.0093	0.3067
	15	2	0.0098	0.3031
	15	2	0.0109	0.2596
	15	2	0.0114	0.2518
	15	2	0.0123	0.2478
	15	2	0.0132	0.2386
	15	2	0.0141	0.1870
	15	2	0.0248	0.1637
	15	2	0.0328	0.1307
12	12	2	0.0132	0.4068
	12	2	0.0133	0.2980
	12	2	0.0157	0.2959
	12	2	0.0624	0.1297
	12	2	0.0677	0.1063

ตารางที่ 8.10 ผลลัพธ์ของคำตอบที่ใช้การหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยความรู้เชิงลบในปัญหา 25 ขั้นงาน (ต่อ)

รอบเวลาการทำงาน	จำนวนสถานีงาน	จำนวนสถานีขนาน	ความสมดุลระหว่างสถานีงาน	ความสมดุลภายในสถานีงาน
14	10	1	0.0119	0.4807
	10	1	0.0143	0.3467
	10	1	0.0105	0.4717
	10	1	0.0131	0.4327

8.2.2.5 ผลลัพธ์ของคำตอบที่ได้จากการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยความรู้เชิงลบร่วมกับเมมเมติกอัลกอริทึม

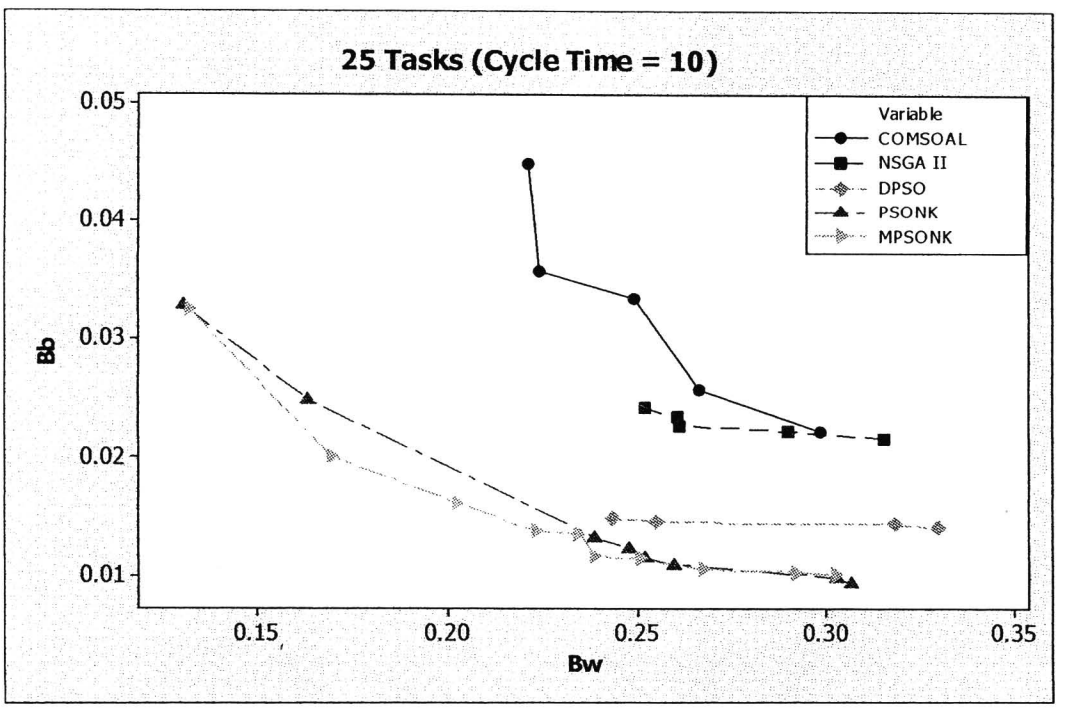
ตารางที่ 8.11 ผลลัพธ์ของคำตอบที่ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยความรู้เชิงลบร่วมกับเมมเมติกอัลกอริทึมในปัญหา 25 ขั้นงาน

รอบเวลาการทำงาน	จำนวนสถานีงาน	จำนวนสถานีขนาน	ความสมดุลระหว่างสถานีงาน	ความสมดุลภายในสถานีงาน
10	15	2	0.0101	0.3027
	15	2	0.0103	0.2917
	15	2	0.0105	0.2673
	15	2	0.0114	0.2505
	15	2	0.0116	0.2386
	15	2	0.0135	0.2344
	15	2	0.0137	0.2232
	15	2	0.0161	0.2026
	15	2	0.0200	0.1697
	15	2	0.0324	0.1323
12	12	2	0.0100	0.3144
	12	2	0.0164	0.2683
	12	2	0.0212	0.2167
	12	2	0.0308	0.1589
	12	2	0.0326	0.1355
	12	2	0.0486	0.1281
	12	2	0.0667	0.1197

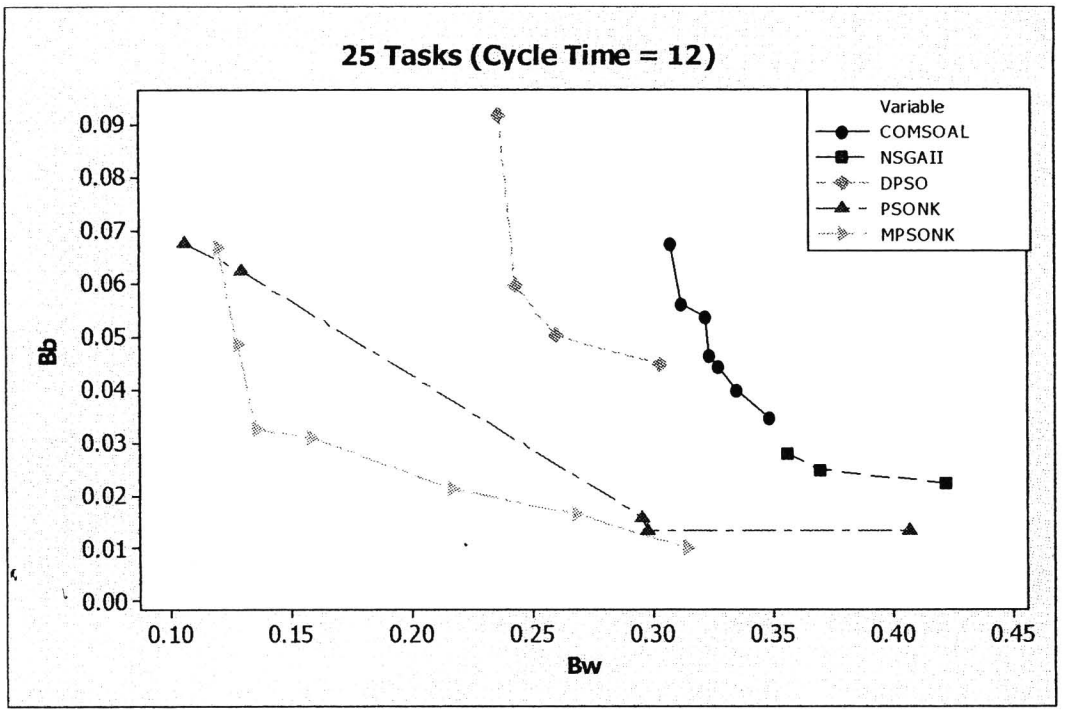
ตารางที่ 8.11 ผลลัพธ์ของคำตอบที่ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยความรู้เชิงลบร่วมกับเมมเมติกอัลกอริทึมในปัญหา 25 ขั้นงาน (ต่อ)

รอบเวลาการทำงาน	จำนวนสถานีงาน	จำนวนสถานีขนาน	ความสมดุลระหว่างสถานีงาน	ความสมดุลภายในสถานีงาน
14	10	1	0.0062	0.3773
	10	1	0.0080	0.3658
	10	1	0.0093	0.3581
	10	1	0.0117	0.3528
	10	1	0.0118	0.3041
	10	1	0.0178	0.2771
	10	1	0.0209	0.2291
	10	1	0.0253	0.2266
	10	1	0.0261	0.1453
	10	1	0.0454	0.1425

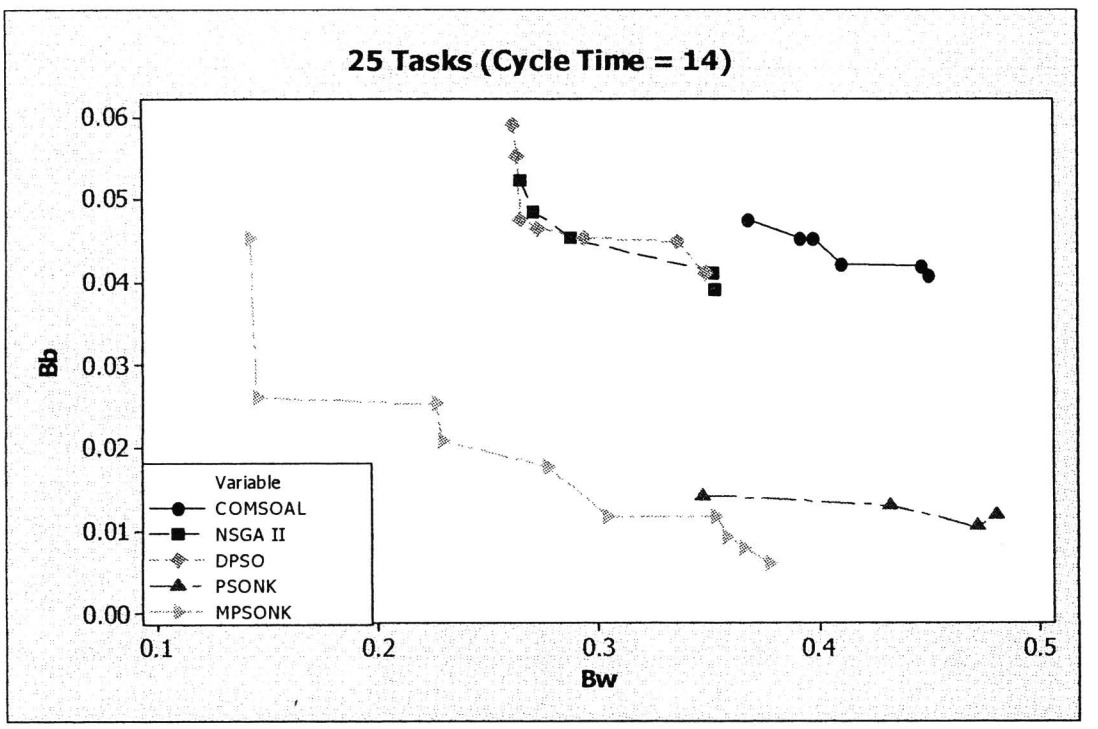
8.2.2.6 การเปรียบเทียบคำตอบแต่ละอัลกอริทึม



รูปที่ 8.9 การเปรียบเทียบอัลกอริทึมทั้ง 5 อัลกอริทึม ในปัญหา 25 ขั้นงาน (รอบเวลา= 10)



รูปที่ 8.10 การเปรียบเทียบอัลกอริทึมทั้ง 5 อัลกอริทึม ในปัญหา 25 ขั้นงาน (รอบเวลา= 12)



รูปที่ 8.11 การเปรียบเทียบอัลกอริทึมทั้ง 5 อัลกอริทึม ในปัญหา 25 ขั้นงาน (รอบเวลา= 14)

ตารางที่ 8.12 ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะในปัญหา 25 ขั้นงาน

รอบเวลาการทำงาน	ตัวชี้วัดสมรรถนะ	COMSOAL	NSGA-II	DPSO	PSONK	M-PSONK
10	workstation	16	16	16	*15*	*15*
	Convergence	-	-	-	0.0359	0.0300
	Spread	-	-	-	0.8135	0.7581
	Ratio	-	-	-	0.6667	0.9000
	Time (s)	307.6134	3136.5008	1090.5961	355.2058	4367.808
12	workstation	13	13	13	*12*	*12*
	Convergence	-	-	-	0.1782	0.0297
	Spread	-	-	-	0.8592	0.4035
	Ratio	-	-	-	0.6000	1.0000
	Time (s)	300.8633	3118.1419	1017.0217	349.5989	4352.3506
14	workstation	12	12	12	*10*	*10*
	Convergence	-	-	-	0.3465	0
	Spread	-	-	-	0.5553	0.6656
	Ratio	-	-	-	0	1.0000
	Time (s)	300.0806	3110.6618	1004.5826	383.2152	4330.2702

จากรูปที่ 8.9 – 8.11 อัลกอริทึมที่นำมาเปรียบเทียบทั้ง 5 อัลกอริทึมจากรูปแสดงให้เห็นว่าอัลกอริทึม M-PSONK มีค่าที่ดีที่สุดอย่างเห็นได้ชัด และรองลงมาคืออัลกอริทึม PSONK ตามด้วยอัลกอริทึม DPSO, อัลกอริทึม NSGA-II และ COMSOAL ตามลำดับ และทำการเปรียบเทียบโดยใช้ตัวชี้วัดสมรรถนะดังในตารางที่ 8.12

จากตารางที่ 8.12 พบว่าในปัญหา 25 งานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 10 จะให้ผลลัพธ์ของคำตอบในด้านการลู่เข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริงและด้านอัตราส่วนของจำนวนกลุ่มคำตอบที่หาได้เทียบเท่ากับกลุ่มคำตอบที่แท้จริงอัลกอริทึม PSONK และ M-PSONK จะมีประสิทธิภาพที่ดี เมื่อรอบเวลาการทำงาน 12 และ 14 อัลกอริทึม M-PSONK จะมีประสิทธิภาพที่ดีกว่าตัวอื่น และเมื่อพิจารณาดูที่สถานีงาน อัลกอริทึม PSONK กับ M-PSONK จะมีสถานีงานลดลงที่รอบเวลาเท่ากับ 10 ลดลง 1 สถานีงาน ที่รอบเวลาเท่ากับ 12 ลดลง 1 สถานีงาน และ รอบเวลาที่ 14 จะลดลง 2 สถานีงาน ในปัญหาขนาดเล็กที่มีขนาด 25 ขั้นงานสรุปได้ว่าอัลกอริทึม M-PSONK และอัลกอริทึม PSONK มีประสิทธิภาพมากที่สุด

8.2.3 ปัญหาขนาด 61 ขั้นงาน

8.2.3.1 ผลลัพธ์ของคำตอบที่ได้จากอัลกอริทึม COMSOAL

ตารางที่ 8.13 ผลลัพธ์ของคำตอบที่ใช้วิธีอัลกอริทึม COMSOAL ในปัญหา 61 ขั้นงาน

รอบเวลาการทำงาน	จำนวนสถานีงาน	จำนวนสถานีขนาน	ความสมดุลระหว่างสถานีงาน	ความสมดุลภายในสถานีงาน
3.3	34	1	0.0061	0.4089
	34	1	0.0065	0.3520
	34	1	0.0067	0.3421
	34	1	0.0075	0.3364
3.38	37	1	0.0039	0.3303
	37	1	0.0059	0.2947
	37	1	0.0062	0.2931
3.36	35	1	0.0046	0.3193
	35	1	0.0049	0.2937
	35	1	0.0051	0.2915
	35	1	0.0053	0.2832

8.2.3.2. ผลลัพธ์ของคำตอบที่ได้จากอัลกอริทึม NSGA-II

ตารางที่ 8.14 ผลลัพธ์ของคำตอบที่ใช้วิธีอัลกอริทึม NSGA-II ในปัญหา 61 ขั้นงาน

รอบเวลาการทำงาน	จำนวนสถานีงาน	จำนวนสถานีขนาน	ความสมดุลระหว่างสถานีงาน	ความสมดุลภายในสถานีงาน
3.3	34	1	0.0048	0.3688
	34	1	0.0060	0.3389
	34	1	0.0060	0.3136
	34	1	0.0062	0.3101
	34	1	0.0067	0.3072
3.38	34	1	0.0040	0.3174
	34	1	0.0041	0.3141
	34	1	0.0041	0.2964
	34	1	0.0044	0.2730

ตารางที่ 8.14 ผลลัพธ์ของคำตอบที่ใช้วิธีอัลกอริทึม NSGA-II ในปัญหา 61 ขั้นงาน (ต่อ)

รอบเวลาการทำงาน	จำนวนสถานีงาน	จำนวนสถานีขนาน	ความสมดุลระหว่างสถานีงาน	ความสมดุลภายในสถานีงาน
3.36	35	1	0.0042	0.3363
	35	1	0.0044	0.3039
	35	1	0.0047	0.2975
	35	1	0.0046	0.2917
	35	1	0.0046	0.2895
	35	1	0.0048	0.2851

8.2.3.3 ผลลัพธ์ของคำตอบที่ได้จากการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคที่ไม่ต่อเนื่อง

ตารางที่ 8.15 ผลลัพธ์ของคำตอบที่ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคที่ไม่ต่อเนื่องในปัญหา 61 ขั้นงาน

รอบเวลาการทำงาน	จำนวนสถานีงาน	จำนวนสถานีขนาน	ความสมดุลระหว่างสถานีงาน	ความสมดุลภายในสถานีงาน
3.3	34	1	0.0045	0.3550
	34	1	0.0036	0.3330
	34	1	0.0058	0.3175
	34	1	0.0058	0.3110
	34	1	0.0059	0.3028
	34	1	0.0074	0.2987
3.38	33	1	0.0036	0.3298
	33	1	0.0037	0.3005
	33	1	0.0040	0.3000
	33	1	0.0040	0.2957
3.36	34	1	0.0040	0.3340
	34	1	0.0042	0.2989
	34	1	0.0046	0.2843
	34	1	0.0050	0.2810
	34	1	0.0052	0.2805
	34	1	0.0057	0.2753

8.2.3.4 ผลลัพธ์ของคำตอบที่ได้จากการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยความรู้เชิงลบ

ตารางที่ 8.16 ผลลัพธ์ของคำตอบที่ใช้การหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยความรู้เชิงลบในปัญหา 61 ขั้นงาน

รอบเวลาการทำงาน	จำนวนสถานีงาน	จำนวนสถานีขนาน	ความสมดุลระหว่างสถานีงาน	ความสมดุลภายในสถานีงาน
3.3	32	1	0.0038	0.2984
	32	1	0.0043	0.2929
	32	1	0.0047	0.2899
	32	1	0.0058	0.2848
3.38	31	1	0.0019	0.2988
	31	1	0.0024	0.2967
	31	1	0.0025	0.2871
	31	1	0.0029	0.2828
	31	1	0.0031	0.2820
	31	1	0.0064	0.2754
3.36	31	1	0.0016	0.3266
	31	1	0.0017	0.3106
	31	1	0.0022	0.2893
	31	1	0.0028	0.2845
	31	1	0.0033	0.2695

8.2.3.5 ผลลัพธ์ของคำตอบที่ได้จากการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยความรู้เชิงลบร่วมกับเมมเมติกอัลกอริทึม

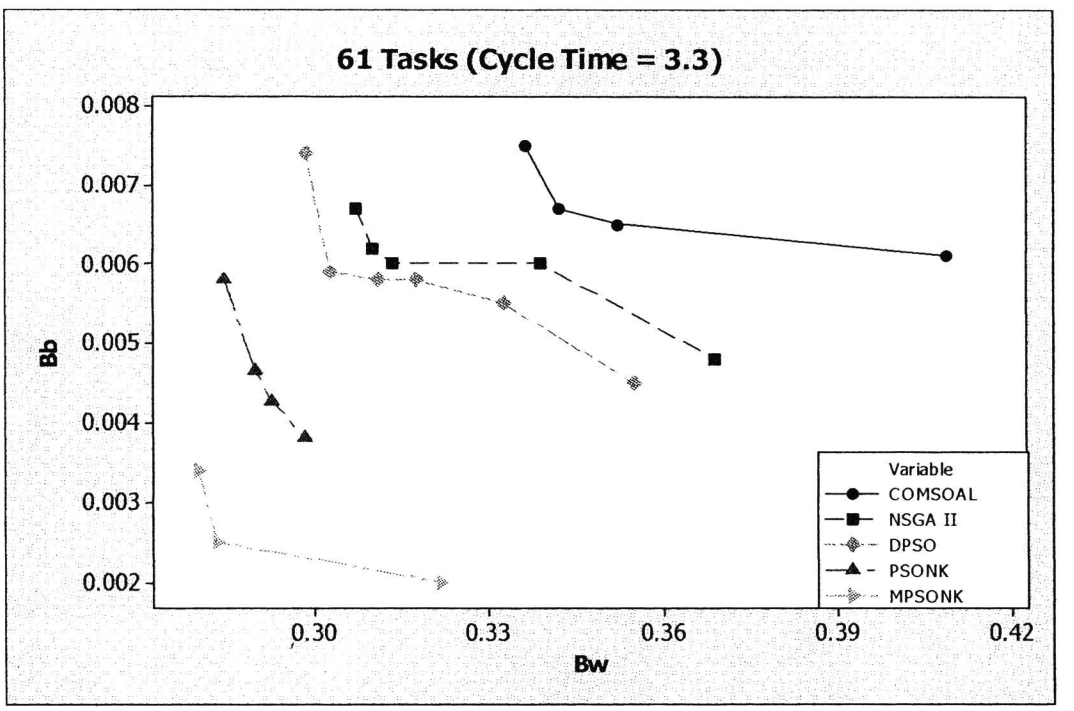
ตารางที่ 8.17 ผลลัพธ์ของคำตอบที่ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยความรู้เชิงลบร่วมกับเมมเมติกอัลกอริทึมในปัญหา 61 ขั้นงาน

รอบเวลาการทำงาน	จำนวนสถานีงาน	จำนวนสถานีขนาน	ความสมดุลระหว่างสถานีงาน	ความสมดุลภายในสถานีงาน
3.3	32	1	0.0020	0.3217
	32	1	0.0025	0.2836
	32	1	0.0034	0.2802

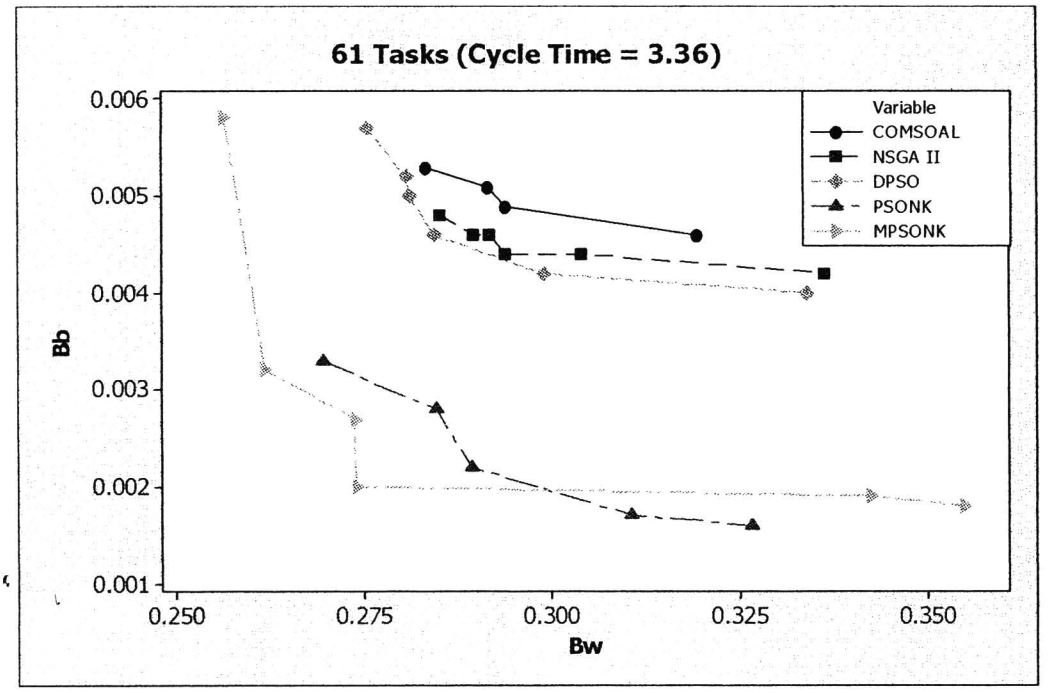
ตารางที่ 8.17 ผลลัพธ์ของคำตอบที่ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยความรู้เชิงลบร่วมกับเมมเมติกอัลกอริทึมในปัญหา 61 ขั้นงาน (ต่อ)

รอบเวลาการทำงาน	จำนวนสถานีงาน	จำนวนสถานีขนาน	ความสมดุลระหว่างสถานีงาน	ความสมดุลภายในสถานีงาน
3.38	31	1	0.0017	0.2962
	31	1	0.0019	0.2722
	31	1	0.0037	0.2605
	31	1	0.0046	0.2507
	31	1	0.0077	0.2453
3.36	31	1	0.0017	0.2962
	31	1	0.0023	0.2894
	31	1	0.0032	0.2572
	31	1	0.0046	0.2507
	31	1	0.0077	0.2453

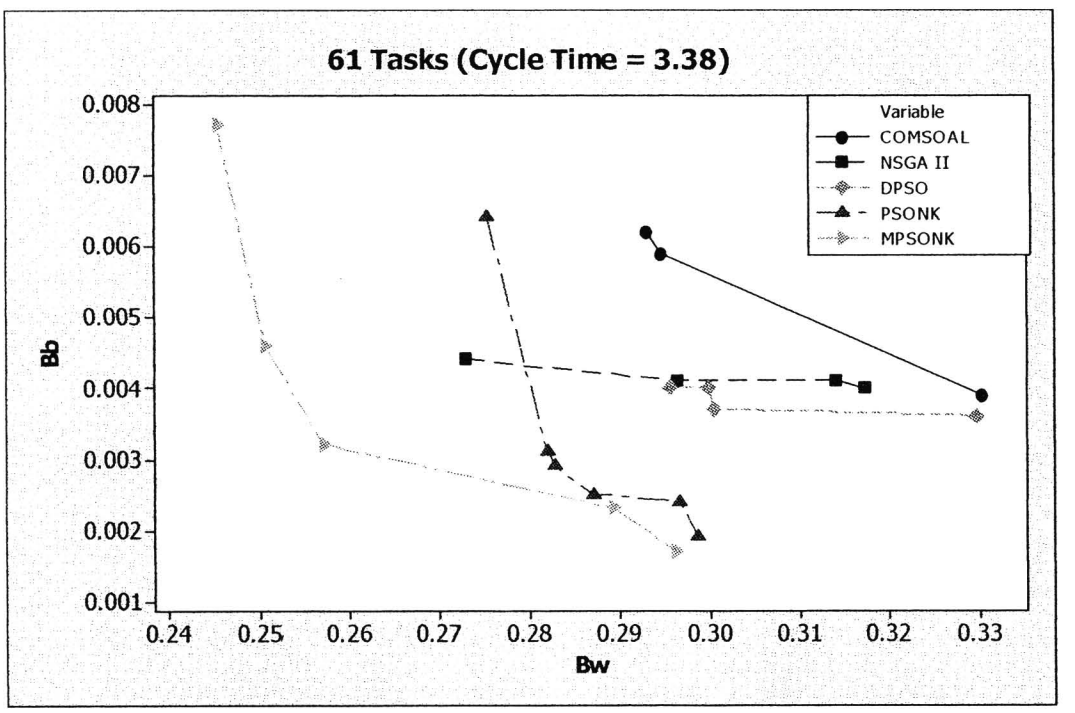
8.2.3.6 การเปรียบเทียบคำตอบแต่ละอัลกอริทึม



รูปที่ 8.12 การเปรียบเทียบอัลกอริทึมทั้ง 5 อัลกอริทึม ในปัญหา 61 ขั้นงาน (รอบเวลา= 3.3)



รูปที่ 8.13 การเปรียบเทียบอัลกอริทึมทั้ง 5 อัลกอริทึม ในปัญหา 61 ขั้นงาน (รอบเวลา= 3.36)



รูปที่ 8.14 การเปรียบเทียบอัลกอริทึมทั้ง 5 อัลกอริทึม ในปัญหา 61 ขั้นงาน (รอบเวลา= 3.38)

ตารางที่ 8.18 ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะในปัญหา 61 ขั้นงาน

รอบเวลาการทำงาน	ตัวชี้วัดสมรรถนะ	COMSOAL	NSGA-II	DPSO	PSONK	M-PSONK
3.3	workstation	34	34	34	32	32
	Convergence	-	-	-	0.5386	0
	Spread	-	-	-	0.5865	0.6032
	Ratio	-	-	-	0	1.0000
	Time (s)	2551.7500	24421.7970	8406.8271	2876.2180	32147.0790
3.36	workstation	37	34	33	31	31
	Convergence	-	-	-	0.1950	0.0704
	Spread	-	-	-	0.4097	0.6244
	Ratio	-	-	-	0.6000	0.8000
	Time (s)	2594.4060	22161.8430	8774.8829	2799.5320	32409.9060
3.38	workstation	35	35	34	31	31
	Convergence	-	-	-	0.3771	0
	Spread	-	-	-	0.8077	0.5256
	Ratio	-	-	-	0	1.0000
	Time (s)	1996.1250	29180.5515	8836.8818	2810.0470	32211.6250

จากรูปที่ 8.12 – 8.14 อัลกอริทึมที่นำมาเปรียบเทียบทั้ง 5 อัลกอริทึมจากรูปแสดงให้เห็นว่าอัลกอริทึม M-PSONK มีค่าที่ดีที่สุดอย่างเห็นได้ชัด และรองลงมาคืออัลกอริทึม PSONK ตามด้วยอัลกอริทึม DPSO, อัลกอริทึม NSGA-II และ COMSOAL ตามลำดับ และทำการเปรียบเทียบโดยใช้ตัวชี้วัดสมรรถนะดังในตารางที่ 8.18

จากตารางที่ 8.18 พบว่าในปัญหา 61 งานที่รอบเวลาการทำงานทั้ง 3 รอบเวลา อัลกอริทึม M-PSONK เมื่อทำการวัดโดยตัวชี้วัดทั้งสามตัวแล้วจะมีประสิทธิภาพมากกว่าอัลกอริทึมตัวอื่นๆ อย่างเห็นได้ชัดเจน ส่วนอัลกอริทึม PSONK จะมีประสิทธิภาพมากที่สุดในการกระจายของคำตอบที่ดี และสถานีการทำงานมีจำนวนลดลงเมื่อได้ทำการทดสอบด้วยอัลกอริทึม PSONK และ M-PSONK ในปัญหาขนาดกลางที่มีขนาด 61 ขั้นงานสรุปได้ว่าอัลกอริทึม M-PSONK มีประสิทธิภาพมากที่สุด

8.2.4 ปัญหาขนาด 111 ขั้นงาน

8.2.4.1 ผลลัพธ์ของคำตอบที่ได้จากอัลกอริทึม COMSOAL

ตารางที่ 8.19 ผลลัพธ์ของคำตอบที่ใช้วิธีอัลกอริทึม COMSOAL ในปัญหา 111 ขั้นงาน

รอบเวลาการทำงาน	จำนวนสถานีงาน	จำนวนสถานีขนาน	ความสมดุลระหว่างสถานีงาน	ความสมดุลภายในสถานีงาน
6016	31	1	0.0212	0.0179
	31	1	0.0227	0.0132
	31	1	0.0232	0.0103
	31	1	0.0244	0.0102
5670	32	2	0.0205	0.0163
	32	2	0.0209	0.0143
	32	2	0.0219	0.0122
	32	2	0.0225	0.0115
	32	2	0.0226	0.0106
	32	2	0.0239	0.0104
	32	2	0.0259	0.0086
5230	35	3	0.0202	0.0166
	35	3	0.0225	0.0152
	35	3	0.0240	0.0123
	35	3	0.0292	0.0120

8.2.4.2 ผลลัพธ์ของคำตอบที่ได้จากอัลกอริทึม NSGA-II

ตารางที่ 8.20 ผลลัพธ์ของคำตอบที่ใช้วิธีอัลกอริทึม NSGA-II ในปัญหา 111 ขั้นงาน

รอบเวลาการทำงาน	จำนวนสถานีงาน	จำนวนสถานีขนาน	ความสมดุลระหว่างสถานีงาน	ความสมดุลภายในสถานีงาน
6016	31	1	0.0215	0.0101
	31	1	0.0263	0.0093
	31	1	0.0292	0.0088
5670	32	2	0.0194	0.0137
	32	2	0.0201	0.0110
	32	2	0.0219	0.0101
	32	2	0.0222	0.0097

ตารางที่ 8.20 ผลลัพธ์ของคำตอบที่ใช้วิธีอัลกอริทึม NSGA-II ในปัญหา 111 ขั้นงาน (ต่อ)

รอบเวลาการทำงาน	จำนวนสถานีงาน	จำนวนสถานีขนาน	ความสมดุลระหว่างสถานีงาน	ความสมดุลภายในสถานีงาน
5670 (ต่อ)	32	2	0.0231	0.0078
	32	2	0.0239	0.0070
	32	2	0.0255	0.0067
	32	2	0.0268	0.0062
5230	35	3	0.0212	0.0137
	35	3	0.0218	0.0130
	35	3	0.0235	0.0090

8.2.4.3 ผลลัพธ์ของคำตอบที่ได้จากการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคที่ไม่ต่อเนื่อง

ตารางที่ 8.21 ผลลัพธ์ของคำตอบที่ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคที่ไม่ต่อเนื่องในปัญหา 111 ขั้นงาน

รอบเวลาการทำงาน	จำนวนสถานีงาน	จำนวนสถานีขนาน	ความสมดุลระหว่างสถานีงาน	ความสมดุลภายในสถานีงาน
6016	31	1	0.0196	0.0117
	31	1	0.0217	0.0098
	31	1	0.0244	0.0093
	31	1	0.0281	0.0083
5670	32	2	0.0194	0.0106
	32	2	0.0195	0.0095
	32	2	0.0213	0.0093
	32	2	0.0231	0.0078
	32	2	0.0314	0.0067
5230	34	3	0.0205	0.0135
	34	3	0.0209	0.0118
	34	3	0.0209	0.0112
	34	3	0.0267	0.0106
	34	3	0.0279	0.0094

8.2.4.4 ผลลัพธ์ของคำตอบที่ได้จากการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยความรู้เชิงลบ

ตารางที่ 8.22 ผลลัพธ์ของคำตอบที่ใช้การหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยความรู้เชิงลบในปัญหา 111 ขั้นงาน

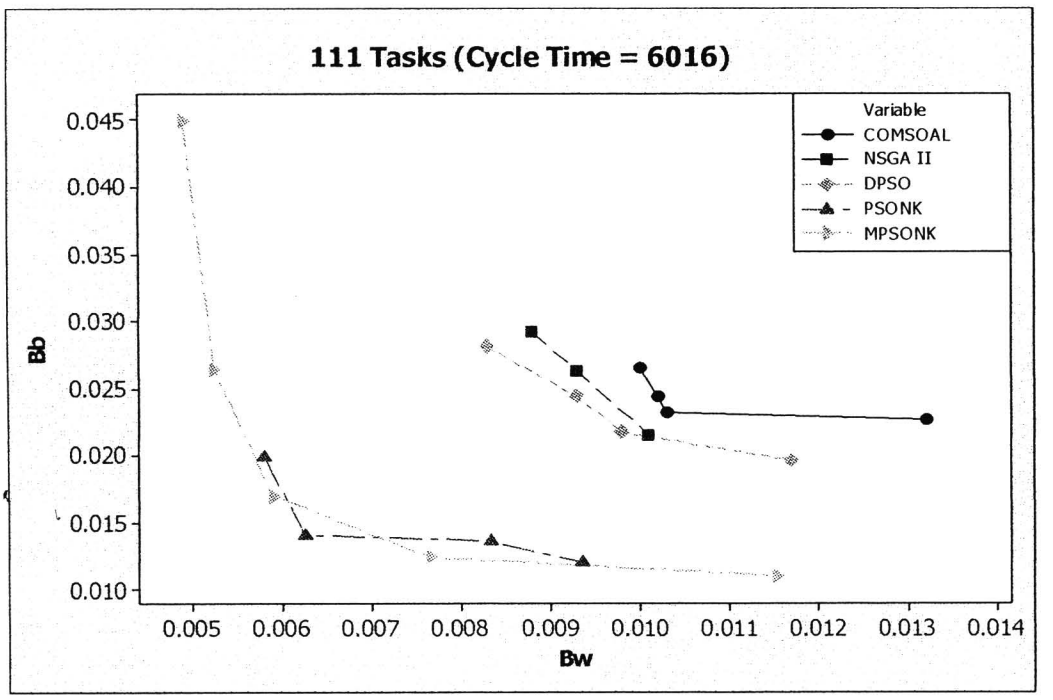
รอบเวลาการทำงาน	จำนวนสถานีงาน	จำนวนสถานีขนาน	ความสมดุลระหว่างสถานีงาน	ความสมดุลภายในสถานีงาน
6016	28	1	0.0120	0.0094
	28	1	0.0120	0.0094
	28	1	0.0136	0.0083
	28	1	0.0141	0.0063
	28	1	0.0141	0.0063
	28	1	0.0199	0.0058
5670	30	2	0.0147	0.0076
	30	2	0.0153	0.0075
	30	2	0.0166	0.0074
	30	2	0.0206	0.0056
5230	32	3	0.0136	0.0094
	32	3	0.0267	0.0067
	33	3	0.0133	0.0112
	33	3	0.0142	0.0090
	33	3	0.0150	0.0089
	33	3	0.0151	0.0066
	33	3	0.0163	0.0050

8.2.4.5 ผลลัพธ์ของคำตอบที่ได้จากการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยความรู้เชิงลบร่วมกับเมมเมติกอัลกอริทึม

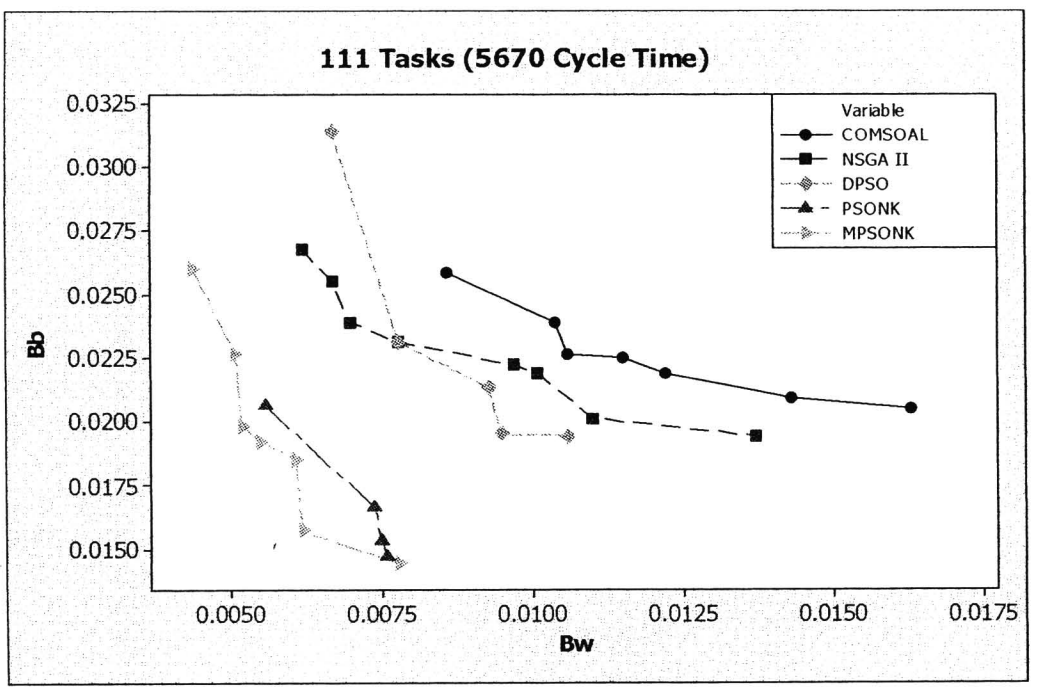
ตารางที่ 8.23 ผลลัพธ์ของคำตอบที่ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยความรู้เชิงลบร่วมกับเมมเมติกอัลกอริทึมในปัญหา 111 ขั้นงาน

รอบเวลาการทำงาน	จำนวนสถานีงาน	จำนวนสถานีขนาน	ความสมดุลระหว่างสถานีงาน	ความสมดุลภายในสถานีงาน
6016	28	1	0.0110	0.0115
	28	1	0.0124	0.0077
	28	1	0.0170	0.0059
	28	1	0.0264	0.0053
	28	1	0.0449	0.0049
	28	1	0.0449	0.0049
5670	30	2	0.0144	0.0078
	30	2	0.0157	0.0062
	30	2	0.0185	0.0061
	30	2	0.0192	0.0055
	30	2	0.0198	0.0052
	30	2	0.0226	0.0051
	30	2	0.0260	0.0044
5230	33	3	0.0124	0.0087
	33	3	0.0144	0.0086
	33	3	0.0151	0.0079
	33	3	0.0164	0.0060
	33	3	0.0271	0.0058
	33	3	0.0345	0.0039

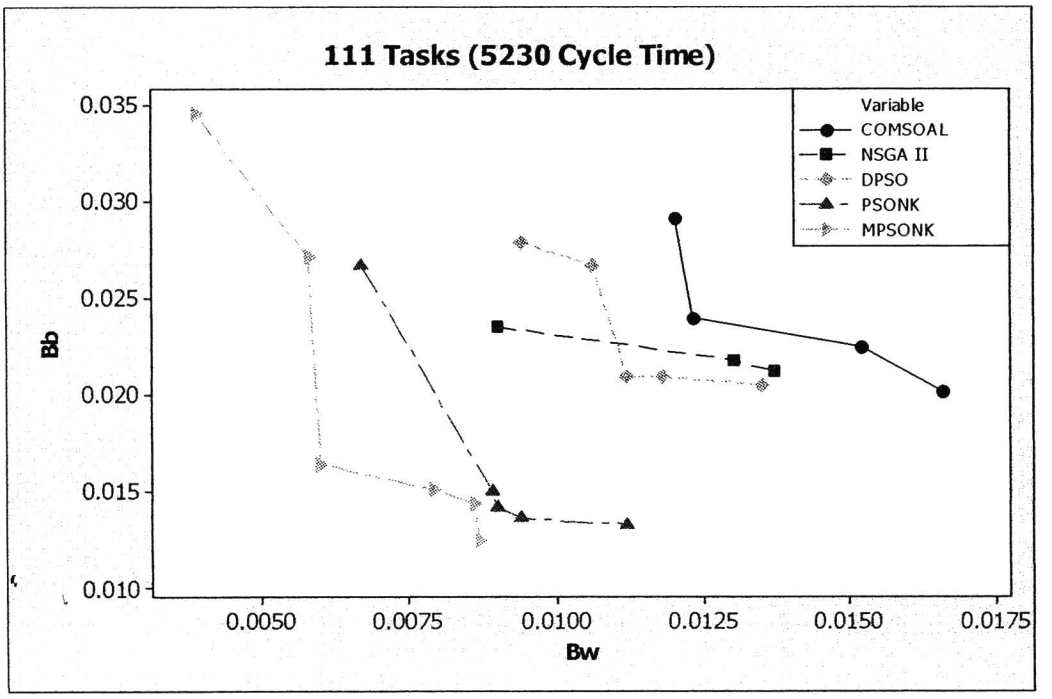
8.2.4.6 การเปรียบเทียบคำตอบแต่ละอัลกอริทึม



รูปที่ 8.15 การเปรียบเทียบอัลกอริทึมทั้ง 5 อัลกอริทึม ในปัญหา 111 ขั้นงาน (รอบเวลา= 6016)



รูปที่ 8.16 การเปรียบเทียบอัลกอริทึมทั้ง 5 อัลกอริทึม ในปัญหา 111 ขั้นงาน (รอบเวลา= 5670)



รูปที่ 8.17 การเปรียบเทียบอัลกอริทึมทั้ง 5 อัลกอริทึม ในปัญหา 111 ขั้นงาน (รอบเวลา= 5230)

ตารางที่ 8.24 ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะในปัญหา 111 ขั้นงาน

รอบเวลาการทำงาน	ตัวชี้วัดสมรรถนะ	COMSOAL	NSGA-II	DPSO	PSONK	M-PSONK
6016	workstation	31	31	31	28	28
	Convergence	-	-	-	0.1825	0.0562
	Spread	-	-	-	0.8617	0.6312
	Ratio	-	-	-	0.8333	1.0000
	Time (s)	4851.8900	116523.4210	60715.2472	8282.0320	117756.8750
5670	workstation	32	32	32	30	30
	Convergence	-	-	-	0.1923	0.0202
	Spread	-	-	-	0.9298	0.5888
	Ratio	-	-	-	0.5000	1.0000
	Time (s)	6243.3130	117710.2192	66697.0602	8652.9370	117752.0160
5230	workstation	35	35	34	33	33
	Convergence	-	-	-	0.1323	0.0693
	Spread	-	-	-	0.7423	0.6397
	Ratio	-	-	-	0.2857	0.5000
	Time (s)	6188.4220	117836.2030	64617.3408	8663.1090	117769.0310

จากรูปที่ 8.15 – 8.17 อัลกอริทึมที่นำมาเปรียบเทียบทั้ง 5 อัลกอริทึมจากรูปแสดงให้เห็นว่าอัลกอริทึม M-PSONK มีค่าที่ดีที่สุดอย่างเห็นได้ชัด และรองลงมาคืออัลกอริทึม PSONK ตามด้วยอัลกอริทึม DPSO, อัลกอริทึม NSGA-II และ COMSOAL ตามลำดับ และทำการเปรียบเทียบโดยใช้ตัวชี้วัดสมรรถนะดังในตารางที่ 8.24

จากตารางที่ 8.24 พบว่าในปัญหา 111 งานที่รอบเวลาการทำงานทั้งหมดอัลกอริทึม M-PSONK จะมีประสิทธิภาพที่ดีกว่าเมื่อวัดด้วยตัวชี้วัดด้านการลู่เข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริงและอัตราส่วนของจำนวนกลุ่มคำตอบที่หาได้เทียบเท่ากับกลุ่มคำตอบที่แท้จริง และยังทำให้สถานีงานมีจำนวนลดลงจากเดิมด้วย ในรอบเวลาการทำงานที่ 6016 และ 5670 จำนวนสถานีงานในอัลกอริทึม PSONK และ M-PSONK มีจำนวนสถานีงานลดลง 2 สถานีงาน ในรอบเวลาการทำงานที่ 5230 จำนวนสถานีงานในอัลกอริทึม PSONK และ M-PSONK มีจำนวนสถานีงานลดลง 1 สถานีงาน ในปัญหาขนาดใหญ่ที่มีขนาด 111 ขั้นงานสรุปได้ว่าอัลกอริทึม M-PSONK มีประสิทธิภาพมากที่สุด

8.2.5 ปัญหาขนาด 205 ขั้น

8.2.5.1 ผลลัพธ์ของคำตอบที่ได้จากอัลกอริทึม COMSOAL

ตารางที่ 8.25 ผลลัพธ์ของคำตอบที่ใช้วิธีอัลกอริทึม COMSOAL ในปัญหา 205 ขั้นงาน

รอบเวลาการทำงาน	จำนวนสถานีงาน	จำนวนสถานีขนาน	ความสมดุลระหว่างสถานีงาน	ความสมดุลภายในสถานีงาน
7049	26	1	0.0045	0.3871
	26	1	0.0052	0.3599
	26	1	0.0055	0.3576
	26	1	0.0062	0.3482
	26	1	0.0065	0.3424
	26	1	0.0076	0.3391
	26	1	0.0099	0.3375
	26	1	0.0115	0.3335
	26	1	0.0156	0.3299
5003	40	3	0.0075	0.3066
	40	3	0.0078	0.2964
	40	3	0.0079	0.2887
	40	3	0.0105	0.2823

ตารางที่ 8.25 ผลลัพธ์ของคำตอบที่ใช้วิธีอัลกอริทึม COMSOAL ในปัญหา 205 ขั้นงาน (ต่อ)

รอบเวลาการทำงาน	จำนวนสถานีงาน	จำนวนสถานีขนาน	ความสมดุลระหว่างสถานีงาน	ความสมดุลภายในสถานีงาน
4849	41	4	0.0062	0.3283
	41	4	0.0062	0.2818
	41	4	0.0067	0.2766
	41	4	0.0073	0.2674
	41	4	0.0078	0.2671
	41	4	0.0080	0.2603
	41	4	0.0086	0.2571
	41	4	0.0116	0.2564

8.2.5.2 ผลลัพธ์ของคำตอบที่ได้จากอัลกอริทึม NSGA-II

ตารางที่ 8.26 ผลลัพธ์ของคำตอบที่ใช้วิธีอัลกอริทึม NSGA-II ในปัญหา 205 ขั้นงาน

รอบเวลาการทำงาน	จำนวนสถานีงาน	จำนวนสถานีขนาน	ความสมดุลระหว่างสถานีงาน	ความสมดุลภายในสถานีงาน
7049	26	1	0.0050	0.3587
	26	1	0.0050	0.3581
	26	1	0.0053	0.3435
	26	1	0.0059	0.3412
	26	1	0.0065	0.3312
	26	1	0.0072	0.3297
	26	1	0.0090	0.3250
	26	1	0.0097	0.3241
	26	1	0.0162	0.3213
5003	40	3	0.0060	0.3000
	40	3	0.0063	0.2970
	40	3	0.0068	0.2847
	40	3	0.0078	0.2844
	40	3	0.0078	0.2831
	40	3	0.0094	0.2809
	40	3	0.0138	0.2756

ตารางที่ 8.26 ผลลัพธ์ของคำตอบที่ใช้วิธีอัลกอริทึม NSGA-II ในปัญหา 205 ขั้นงาน (ต่อ)

รอบเวลาการทำงาน	จำนวนสถานีงาน	จำนวนสถานีขนาน	ความสมดุลระหว่างสถานีงาน	ความสมดุลภายในสถานีงาน
4849	41	4	0.0059	0.2993
	41	4	0.0059	0.2884
	41	4	0.0067	0.2785
	41	4	0.0073	0.2631
	41	4	0.0076	0.2618

8.2.5.3 ผลลัพธ์ของคำตอบที่ได้จากการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคที่ไม่ต่อเนื่อง

ตารางที่ 8.27 ผลลัพธ์ของคำตอบที่ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคที่ไม่ต่อเนื่องในปัญหา 205 ขั้นงาน

รอบเวลาการทำงาน	จำนวนสถานีงาน	จำนวนสถานีขนาน	ความสมดุลระหว่างสถานีงาน	ความสมดุลภายในสถานีงาน
7049	26	1	0.0046	0.3407
	26	1	0.0054	0.3382
	26	1	0.0054	0.3360
	26	1	0.0056	0.3308
	26	1	0.0058	0.3244
	26	1	0.0067	0.3200
	26	1	0.0074	0.3193
5003	39	3	0.0062	0.3286
	39	3	0.0062	0.3129
	39	3	0.0065	0.3006
	39	3	0.0065	0.2889
	39	3	0.0075	0.2872
	39	3	0.0095	0.2833
4849	41	4	0.0059	0.2871
	41	4	0.0059	0.2715
	41	4	0.0060	0.2662
	41	4	0.0064	0.2656
	41	4	0.0070	0.2613

ตารางที่ 8.27 ผลลัพธ์ของคำตอบที่ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคที่ไม่ต่อเนื่องในปัญหา 205 ขั้นงาน (ต่อ)

รอบเวลาการทำงาน	จำนวนสถานีงาน	จำนวนสถานีขนาน	ความสมดุลระหว่างสถานีงาน	ความสมดุลภายในสถานีงาน
4849 (ต่อ)	41	4	0.0075	0.2592
	41	4	0.0077	0.2587
	41	4	0.0085	0.2583
	41	4	0.0103	0.2535

8.2.5.4 ผลลัพธ์ของคำตอบที่ได้จากการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยความรู้เชิงลบ

ตารางที่ 8.28 ผลลัพธ์ของคำตอบที่ใช้การหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยความรู้เชิงลบในปัญหา 205 ขั้นงาน

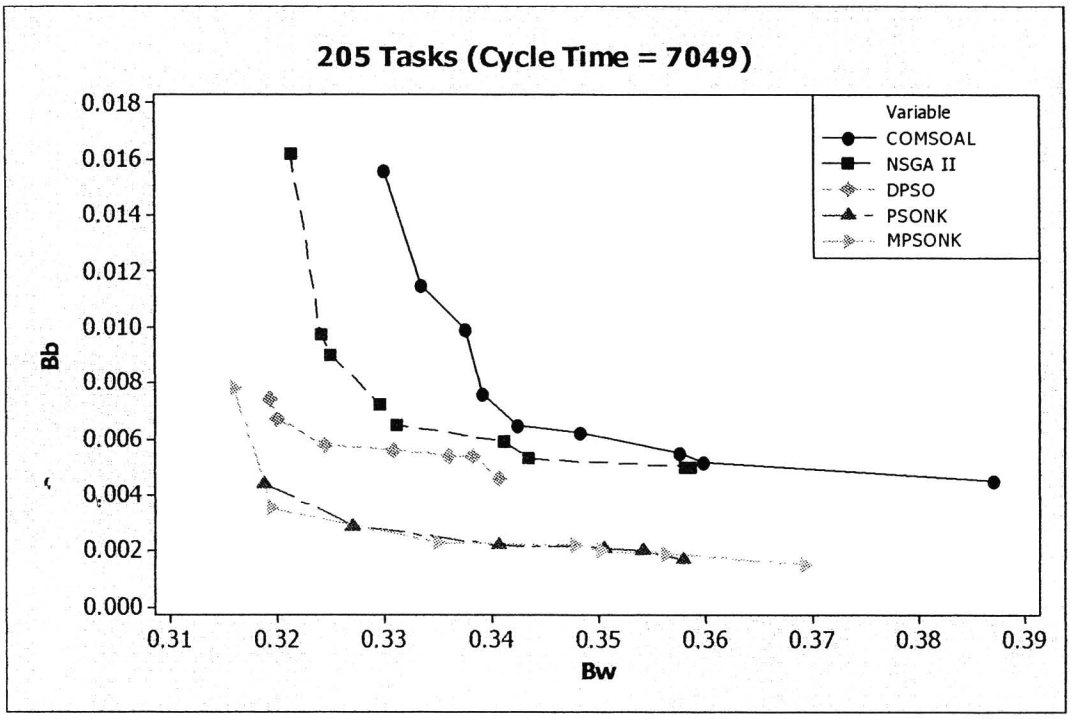
รอบเวลาการทำงาน	จำนวนสถานีงาน	จำนวนสถานีขนาน	ความสมดุลระหว่างสถานีงาน	ความสมดุลภายในสถานีงาน
7049	25	1	0.0017	0.3580
	25	1	0.0020	0.3542
	25	1	0.0021	0.3506
	25	1	0.0022	0.3406
	25	1	0.0029	0.3270
	25	1	0.0044	0.3187
5003	37	3	0.0029	0.3537
	37	3	0.0033	0.3249
	37	3	0.0034	0.3057
	37	3	0.0037	0.3024
	37	3	0.0054	0.2896
4849	39	4	0.0032	0.3050
	39	4	0.0042	0.2931
	39	4	0.0044	0.2839
	39	4	0.0048	0.2658
	39	4	0.0053	0.2618
	39	4	0.0059	0.2590

8.2.5.5 ผลลัพธ์ของคำตอบที่ได้จากการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยความรู้เชิงลบร่วมกับเมมเมติกอัลกอริทึม

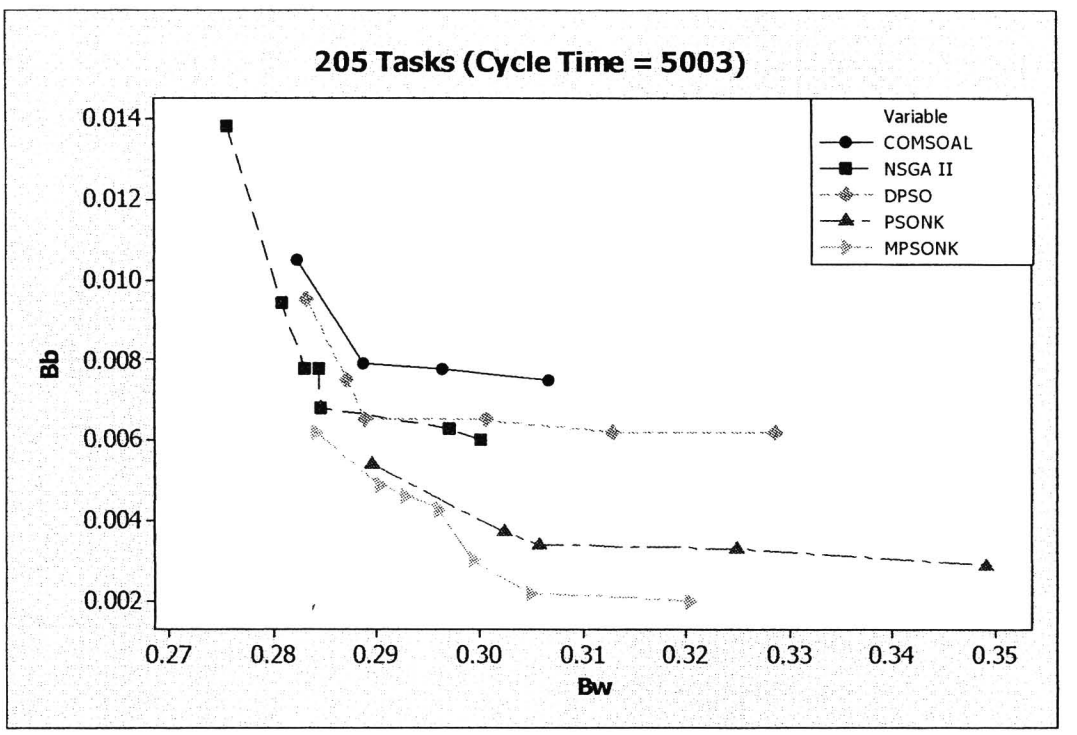
ตารางที่ 8.29 ผลลัพธ์ของคำตอบที่ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยความรู้เชิงลบร่วมกับเมมเมติกอัลกอริทึมในปัญหา 205 ขั้นงาน

รอบเวลาการทำงาน	จำนวนสถานีงาน	จำนวนสถานีขนาน	ความสมดุลระหว่างสถานีงาน	ความสมดุลภายในสถานีงาน
7049	25	1	0.0015	0.3693
	25	1	0.0019	0.3562
	25	1	0.0020	0.3502
	25	1	0.0022	0.3478
	25	1	0.0023	0.3350
	25	1	0.0035	0.3195
	25	1	0.0078	0.3160
5003	37	3	0.0020	0.3203
	37	3	0.0022	0.3048
	37	3	0.0030	0.2993
	37	3	0.0043	0.2960
	37	3	0.0046	0.2929
	37	3	0.0049	0.2903
	37	3	0.0062	0.2841
4849	39	4	0.0031	0.3168
	39	4	0.0035	0.3045
	39	4	0.0039	0.2831
	39	4	0.0048	0.2614
	39	4	0.0068	0.2540
	39	4	0.0071	0.2490

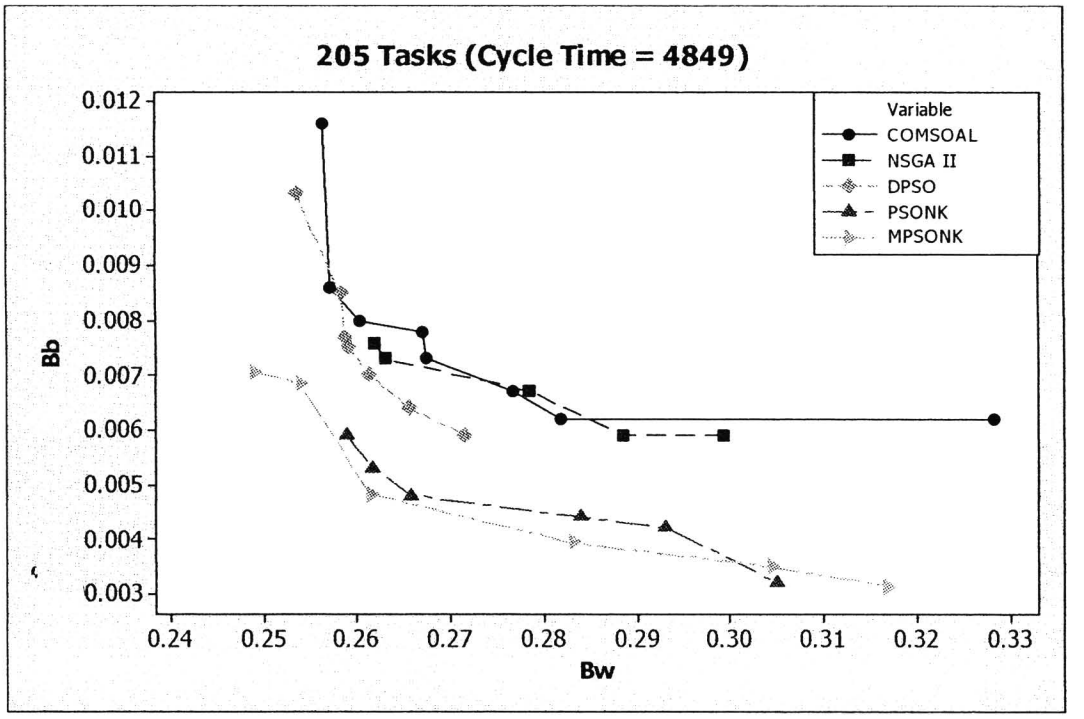
8.2.5.6 การเปรียบเทียบคำตอบแต่ละอัลกอริทึม



รูปที่ 8.18 การเปรียบเทียบอัลกอริทึมทั้ง 5 อัลกอริทึม ในปัญหา 205 ขั้นงาน (รอบเวลา= 7049)



รูปที่ 8.19 การเปรียบเทียบอัลกอริทึมทั้ง 5 อัลกอริทึม ในปัญหา 205 ขั้นงาน (รอบเวลา= 5003)



รูปที่ 8.20 การเปรียบเทียบอัลกอริทึมทั้ง 5 อัลกอริทึม ในปัญหา 205 ขั้นงาน (รอบเวลา= 4890)

ตารางที่ 8.30 ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะในปัญหา 205 ขั้นงาน

รอบเวลาการทำงาน	ตัวชี้วัดสมรรถนะ	COMSOAL	NSGA-II	DPSO	PSONK	M-PSONK
7049	workstation	26	26	26	25	25
	Convergence	-	-	-	0.1065	0.0466
	Spread	-	-	-	0.6916	0.7113
	Ratio	-	-	-	0.6667	0.8571
	Time (s)	8037.7780	33798.5191	183782.8717	9231.2391	367842.3982
5003	workstation	40	40	39	37	37
	Convergence	-	-	-	0.1783	0.0151
	Spread	-	-	-	0.6913	0.6112
	Ratio	-	-	-	0.2000	1.0000
	Time (s)	8040.3215	342139.5191	194557.213	11172.6523	344192.78
4849	workstation	41	41	41	39	39
	Convergence	-	-	-	0.1266	0.0390
	Spread	-	-	-	0.5494	0.4975
	Ratio	-	-	-	0.3333	1.0000
	Time (s)	8358.8521	343060.5191	199374.9889	11065.7521	347639.13

จากรูปที่ 8.18 – 8.20 อัลกอริทึมที่นำมาเปรียบเทียบทั้ง 5 อัลกอริทึมจากรูปแสดงให้เห็นว่าอัลกอริทึม M-PSONK มีค่าที่ดีที่สุดอย่างเห็นได้ชัด และรองลงมาคืออัลกอริทึม PSONK ตามด้วยอัลกอริทึม DPSO, อัลกอริทึม NSGA-II และ COMSOAL ตามลำดับ และทำการเปรียบเทียบโดยใช้ตัวชี้วัดสมรรถนะดังในตารางที่ 8.30

จากตารางที่ 8.30 พบว่าในปัญหา 205 งานที่รอบเวลาการทำงานทั้งหมด อัลกอริทึม M-PSONK จะมีประสิทธิภาพที่ดีกว่าเมื่ออัตราส่วนของจำนวนกลุ่มคำตอบที่หาได้เทียบเท่ากับกลุ่มคำตอบที่แท้จริงและวัดด้วยตัวชี้วัดด้านการลู่เข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริงที่รอบเวลาการทำงาน 5003 และ รอบเวลาการทำงาน 4849 และยังทำให้สถานีงานมีจำนวนลดลงจากเดิมด้วย จำนวนสถานีงานในอัลกอริทึม PSONK และ M-PSONK มีจำนวนสถานีงานลดลง 2 สถานีงานในรอบเวลาการทำงาน 7049 และในรอบเวลาการทำงานที่ 5230 จำนวนสถานีงานอัลกอริทึม PSONK และ M-PSONK มีจำนวนสถานีงานลดลง 1 สถานีงาน ในปัญหาขนาดใหญ่ที่มีขนาด 205 ขั้นงานสรุปได้ว่าอัลกอริทึม M-PSONK มีประสิทธิภาพมากที่สุด

8.3 สรุป

จากผลการทดลองเมื่อนำมาวิเคราะห์หาประสิทธิภาพในการทำงานของแต่ละอัลกอริทึม โดยแบ่งออกเป็นปัญหาขนาดเล็ก (ปัญหา 11 ขั้นงานและ 25 ขั้นงาน), ปัญหาขนาดกลาง (ปัญหา 61 ขั้นงาน) และปัญหาขนาดใหญ่ (ปัญหา 111 ขั้นงานและ 205 ขั้นงาน) จากผลการวิเคราะห์จะเห็นได้ว่าปัญหาขนาดเล็กจะยังไม่สามารถเห็นความแตกต่างได้มากนักแต่เมื่อทำการเปรียบเทียบตัวชี้วัดสมรรถนะพบว่าอัลกอริทึม PSONK และ M-PSONK จะให้ผลลัพธ์ของคำตอบในด้านการลู่เข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริงและด้านอัตราส่วนของจำนวนกลุ่มคำตอบที่หาได้เทียบเท่ากับกลุ่มคำตอบที่แท้จริงได้ดีที่สุด ปัญหาขนาดกลางเมื่อทำการทดสอบแล้วพบว่าอัลกอริทึม M-PSONK จะให้ผลลัพธ์ในด้านการลู่เข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริง, ด้านคำตอบที่ดีในการการกระจายของกลุ่มคำตอบที่หาได้ และด้านอัตราส่วนของจำนวนกลุ่มคำตอบที่หาได้เทียบเท่ากับกลุ่มคำตอบที่แท้จริงได้ดีที่สุดอย่างเห็นได้ชัดเจน ส่วนในปัญหาขนาดใหญ่ อัลกอริทึม M-PSONK จะมีประสิทธิภาพดีที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับอัลกอริทึมอื่นๆ แต่ทางด้านเวลาในการคำนวณแล้วอัลกอริทึม M-PSONK จะใช้เวลาในการคำนวณมากที่สุด

ตารางที่ 8.31 ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะในปัญหาขนาดเล็ก

อัลกอริทึม			ปัญหาขนาดเล็ก					
			11			25		
			6	6.3	6.6	10	12	14
ตัวชี้วัดสมรรถนะ	workstation	COMSOAL	8	8	7	16	13	12
		NSGA-II	8	8	7	16	13	12
		DPSO	8	8	7	16	13	12
		PSONK	8	8	7	15	12	10
		M-PSONK	8	8	7	15	12	10
	Convergénce	COMSOAL	0.2064	0.3939	0.4083	-	-	-
		NSGA-II	0.2064	0.2446	0.4083	-	-	-
		DPSO	0.2132	0.2446	0.4083	-	-	-
		PSONK	0.1112	0	0.0210	0.0359	0.1782	0.3465
		M-PSONK	0	0	0	0.0300	0.0297	0
	Spread	COMSOAL	0.7009	0.7500	0.7500	-	-	-
		NSGA-II	0.7009	0.5726	0.7500	-	-	-
		DPSO	0.5239	0.5726	0.7500	-	-	-
		PSONK	0.4430	0.4955	0.6810	0.8135	0.8592	0.5553
		M-PSONK	0.6932	0.4955	0.7138	0.7581	0.4035	0.6656
	Ratio	COMSOAL	1.0000	0.5000	1.0000	-	-	-
		NSGA-II	1.0000	0.6667	1.0000	-	-	-
		DPSO	1.0000	0.6667	1.0000	-	-	-
		PSONK	1.0000	1.0000	1.0000	0.6667	0.6000	0
		M-PSONK	1.0000	1.0000	1.0000	0.9000	1.0000	1.0000
	Time (s)	COMSOAL	49	47.4	47.1	307.6	300.8	300.1
		NSGA-II	514.6	567.1	542.4	3136.5	3118.1	3110.6
		DPSO	96.3	88.2	80.8	1090.5	1017.0	1004.5
		PSONK	61.1	56.1	51.3	355.2	349.5	343.2
		M-PSONK	1093.5	1033.0	1009.7	4367.8	4352.3	4330.2

ตารางที่ 8.32 ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะในปัญหาขนาดกลาง

อัลกอริทึม			ปัญหาขนาดกลาง		
			61		
			3.3	3.36	3.38
ตัวชี้วัดสมรรถนะ	workstation	COMSOAL	37	37	35
		NSGA-II	34	34	35
		DPSO	33	33	34
		PSONK	32	31	31
		M-PSONK	32	31	31
	Convergence	COMSOAL	-	-	-
		NSGA-II	-	-	-
		DPSO	-	-	-
		PSONK	0.5386	0.1950	0.3771
		M-PSONK	0	0.0704	0
	Spread	COMSOAL	-	-	-
		NSGA-II	-	-	-
		DPSO	-	-	-
		PSONK	0.5865	0.4097	0.8077
		M-PSONK	0.6032	0.6244	0.5256
	Ratio	COMSOAL	-	-	-
		NSGA-II	-	-	-
		DPSO	-	-	-
		PSONK	0	0.6000	0
		M-PSONK	1.0000	0.8000	1.0000
	Time (s)	COMSOAL	2551.8	2594.4	1996.1
		NSGA-II	24421.8	22161.8	21180.6
		DPSO	8406.8	8774.9	8836.9
		PSONK	2876.2	2799.5	2810.1
		M-PSONK	32147.1	32409.9	32211.6

ตารางที่ 8.33 ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะในปัญหาขนาดใหญ่

อัลกอริทึม			ปัญหาขนาดใหญ่					
			111			205		
			5230	5670	6016	4849	5003	7049
ตัวชี้วัดสมรรถนะ	workstation	COMSOAL	35	32	31	41	40	26
		NSGA-II	35	32	31	41	40	26
		DPSO	34	32	31	41	39	26
		PSONK	33	30	28	39	37	25
		M-PSONK	33	30	28	39	37	25
	Convergence	COMSOAL	-	-	-	-	-	-
		NSGA-II	-	-	-	-	-	-
		DPSO	-	-	-	-	-	-
		PSONK	0.1323	0.1923	0.1825	0.1266	0.1783	0.1065
		M-PSONK	0.0693	0.0202	0.0562	0.0390	0.0151	0.0466
	Spread	COMSOAL	-	-	-	-	-	-
		NSGA-II	-	-	-	-	-	-
		DPSO	-	-	-	-	-	-
		PSONK	0.7423	0.9298	0.8617	0.5494	0.6913	0.6916
		M-PSONK	0.6397	0.5888	0.6312	0.4975	0.6112	0.7113
	Ratio	COMSOAL	-	-	-	-	-	-
		NSGA-II	-	-	-	-	-	-
		DPSO	-	-	-	-	-	-
		PSONK	0.2857	0.5000	0.8333	0.3333	0.2000	0.6667
		M-PSONK	0.5000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	0.8571
	Time (s)	COMSOAL	6188.4	6243.3	4851.9	8358.9	8040.3	8037.8
		NSGA-II	117836.2	117710.2	116523.4	343060.5	342139.5	335798.5
		DPSO	64617.3	66697.1	60715.3	199374.9	194557.2	183782.9
		PSONK	8663.1	8652.9	8282.0	11065.8	11172.7	9231.2
		M-PSONK	117769.0	117752.0	117756.9	347639.1	344192.8	367842.4

บทที่ 9

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

ในบทนี้เป็นการสรุปผลการทดลองที่ได้จากการจากการนำเมมเมติกอัลกอริทึมมาประยุกต์ใช้ในการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดบนสายการประกอบตัวยูที่มีสถานีงานแบบขนานและข้อเสนอแนะต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยดังนี้

9.1 สรุปงานวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการใช้อัลกอริทึมแก้ปัญหางานทั้ง 5 ปัญหาที่มีผลิตภัณฑ์ผสมแบบตัวยูที่มีสถานีงานแบบขนาน ซึ่งเป็นการจัดสถานีงานเป็นแบบตัวยูที่มีการทำงานแบบข้างหน้าและการทำงานแบบข้างหลังตามลำดับความสำคัญ สถานีงานที่เป็นแบบขนานนั้นจะใช้ก็ต่อเมื่อสถานีงานนั้นมีค่าเวลาการทำงานเกินเวลาในรอบเวลาการทำงานที่กำหนด ทำให้ไม่มีเวลาการผลิตเกินรอบเวลาการทำงานที่กำหนดในแต่ละสถานี โดยมีวัตถุประสงค์ของงานวิจัยเพื่อหาจำนวนสถานีงานน้อยที่สุด หาความสมดุลภายในระหว่างสถานีงาน และความสมดุลภายในสถานีงาน เพื่อทำการหาค่าที่เหมาสมที่สุดในการค้นหาคำตอบที่ใช้อัลกอริทึมในการแก้ปัญหา ประกอบด้วย อัลกอริทึม COMSOAL อัลกอริทึม NSGA-II วิธีการหาค่าที่เหมาะสมแบบฝูงอนุภาคแบบไม่ต่อเนื่อง วิธีการหาค่าที่เหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบ และวิธีการหาค่าที่เหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบร่วมกับเมมเมติกอัลกอริทึม

วิธีการหาค่าที่เหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบร่วมกับเมมเมติกอัลกอริทึมเป็นวิธีการที่พัฒนาขึ้นโดยพัฒนาขึ้นมาจากวิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบฝูงอนุภาค (PSO) ซึ่งมีการพัฒนาโดยใช้ความรู้เชิงลบในกระบวนการหาคำตอบ จากเดิมการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบฝูงอนุภาค (PSO) จะทำการคัดเลือกคำตอบที่ดีที่สุด (Lbest) ในแต่ละฝูง และคำตอบที่ดีที่สุด (Gbest) ในประชากรทั้งหมดเพื่อนำคำตอบที่ได้มาทำการปรับปรุงทิศทางการเคลื่อนที่ แต่การหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบจะทำการหาคำตอบที่แย่ที่สุด (Lworst) ในแต่ละฝูงและคำตอบที่แย่ที่สุด (Gworst) ในประชากรทั้งหมด มาใช้ร่วมกับคำตอบที่ดีที่สุด (Lbest) ในแต่ละฝูง และคำตอบที่ดีที่สุด (Gbest) ในประชากรทั้งหมดเพื่อนำมาปรับปรุงทิศทางการเคลื่อนที่ในการหาคำตอบที่ดีต่อไป จนกว่าจะพบคำตอบที่ดีที่สุด ร่วมกับการค้นหาเฉพาะที่เป็นฮิวริสติกที่ใช้ในการแก้ปัญหาการหาค่าเหมาะสมที่สุดมาใช้ เพื่อทำให้เกิดคำตอบที่ดีกว่า ซึ่งรูปแบบการค้นหาเฉพาะที่ จะเป็นการหาคำตอบที่ดีที่สุดเฉพาะที่ (Local Optimal) ทำการค้นหาซ้ำไปเรื่อย ๆ จนครบจำนวนครั้งในการทำการซ้ำ หรือไม่สามารถปรับปรุงคำตอบให้มีค่าที่ดีกว่าเดิม

9.1.1 ผลการประยุกต์ในการใช้อัลกอริทึมในการหาคำตอบในการจัดสมดุลสายการประกอบตัวยูที่มีสถานีงานแบบขนาน

จากการใช้อัลกอริทึมมาแก้ปัญหาทั้ง 5 ปัญหาพบว่า การหาค่าที่เหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบร่วมกับเมมเมติกอัลกอริทึมจะมีประสิทธิภาพดีกว่าอัลกอริทึมตัวอื่นๆ ทั้งหมด จากคำถามเบื้องต้นในบทที่ 1 สามารถตอบได้ดังนี้

1. การหาค่าที่เหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบร่วมกับเมมเมติกอัลกอริทึม จะเป็นวิธีที่ดีที่สุดเมื่อนำมาประยุกต์ใช้กับสายการประกอบแบบผสมลักษณะตัวยูที่มีสถานีงานแบบขนาน ซึ่งมีคำตอบที่ใกล้เคียงกับการหาค่าที่เหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบ ในทุกๆ ปัญหาที่ได้ทำการวิจัย

2. ปัญหาที่มีขนาดเล็กเมื่อทำการเปรียบเทียบพบว่าอัลกอริทึมที่ใช้ทั้ง 5 อัลกอริทึมนั้นมีค่าใกล้เคียงกันและเมื่อนำมาวัดด้วยตัวชี้วัดสมรรถนะพบว่าวิธีการหาค่าที่เหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบและวิธีการหาค่าที่เหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบร่วมกับเมมเมติกอัลกอริทึมจะให้คำตอบที่เหมาะสมที่สุด ปัญหาที่มีขนาดกลางและปัญหาขนาดใหญ่ วิธีการหาค่าที่เหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบร่วมกับเมมเมติกอัลกอริทึมจะให้คำตอบที่ดีที่สุดอย่างชัดเจน

3. วิธีการหาค่าที่เหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบจะใช้เวลาในการคำนวณได้น้อยกว่าวิธีการหาค่าที่เหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบร่วมกับเมมเมติกอัลกอริทึม ถึงแม้ว่าวิธีนี้จะให้คำตอบที่ดีที่สุดแต่จะใช้เวลาในการค้นหานานเนื่องจากต้องทำการหาคำตอบที่ดีเพื่อให้ได้คำตอบที่หลายหลายในการคัดเลือกคำตอบที่ดีที่สุด

วิธีการประยุกต์ใช้การหาค่าที่เหมาะสมแบบฝูงอนุภาคร่วมกับเมมเมติกอัลกอริทึม มีขั้นตอนดังนี้

1. การสร้างประชากรเริ่มต้น 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 และใช้ตาราง

ความน่าจะเป็นร่วมในการหาค่าลำดับอื่นๆ โดยทำการสร้างให้ครบทุกอนุภาคที่กำหนดในแต่ละฝูง ซึ่งสตริงคำตอบที่ได้จะต้องไม่ผิดกับความสัมพันธ์งานก่อนและหลัง

2. การค้นหาเฉพาะที่ (Local Search Heuristic) ทำการปรับปรุงคำตอบหลังการสร้างคำตอบเบื้องต้นด้วยการค้นหาเฉพาะที่ โดยทำการวนค้นหาเฉพาะที่ซ้ำจำนวน k ครั้ง โดยวิธี 2-Opt ที่การค้นหาเฉพาะที่ที่ใช้การลบเส้นทางเดิมออก แต่หาทางเชื่อมทางเดินใหม่ที่สามารถเป็นไปได้

3. การซ่อมแซมสตริงคำตอบ (Repair String) ทำการซ่อมแซมสตริงคำตอบให้ถูกต้องตามข้อจำกัดความสัมพันธ์ก่อนหลังของงาน เนื่องจากสตริงคำตอบลำดับงานได้ทำการค้นหาเฉพาะที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสตริงคำตอบได้

4. การหาค่าที่เหมาะสม (Pareto Based Approach) การหาค่าที่เหมาะสมที่สุดในงานวิจัยนี้จะใช้เทคนิควิธีเชิงกลุ่มที่ดีที่สุด ที่มีการจัดลำดับแบบ Goldberg (1989) หรือ Non-dominated Sorting ที่เป็นการกำหนดค่าความแข็งแรงให้กำคำตอบที่ได้จากประชากรทั้งหมด 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) ปรับปรุงค่าตารางการเคลื่อนที่เป็นขั้นตอนที่ทำให้มีการเพิ่มโอกาสในการเลือกคำตอบที่ดี และลดโอกาสการเลือกคำตอบที่แย่ โดยมีหลักการดังนี้

$$V_{(i,j)} = wV_{(i-1,j)} + c_1 r_1 D_1 + c_2 r_2 D_2 \tag{9.1}$$

$$X_{(i,j)} = X_{(i-1,j)} + V_{(i,j)} \tag{9.2}$$

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 โดยเพิ่มค่าแก่คู่ลำดับในสตริงที่ดีเท่ากับ $r/(t-2)$ และลดค่าคู่ลำดับอื่นๆ เท่ากับ $r/(t-2)^2$ จากนั้นทำการอัพเดท Velocity Matrix โดยดูจากลำดับงานที่อยู่ติดกัน ด้วยการเพิ่มค่าแก่คู่ลำดับในสตริงคำตอบที่ดีเท่ากับ $Cr/(n-2)$ และลดค่ากับคู่ลำดับอื่น ๆ เท่ากับ $Cr/(n-2)^2$ ส่วนในสตริงคำตอบที่แย่จะทำเช่นเดียวกันแต่ใช้การลดค่าแก่คู่ลำดับที่ติดกันในสตริงคำตอบ และเพิ่งค่าคู่ลำดับอื่นๆ แทน

6.3 การปรับปรุงตารางความน่าจะเป็นร่วม (Joint Probability Matrix) การเพิ่มค่าความน่าจะเป็นให้แก่คู่ลำดับในสตริงคำตอบในการปรับปรุงตารางทิศทางการเคลื่อนที่ (Velocity Matrix) โดยใช้สมการที่ (8.2) ในการปรับปรุงเพื่อสุ่มหาสตริงคำตอบในรอบต่อไป

7. เก็บค่าที่ดีที่สุด (Strategies to Maintain Elitist Solution in the Population) นำคำตอบที่ได้จากการเก็บค่าที่ดีที่สุดของประชากรไปเปรียบเทียบกับคำตอบที่ได้จากการเก็บค่าที่ดีที่สุดของประชากรในรอบก่อนหน้า โดยจะนำคำตอบที่ได้มาหา Non-dominated Sorting เพื่อหาค่าคำตอบที่ดีที่สุด และทำการเก็บค่าที่ได้จากกลุ่มคำตอบที่มีค่าน้อยที่สุดเพื่อนำใช้ในรอบต่อไป

8. การค้นหาเฉพาะที่ (Local Search Heuristic) เมื่อได้คำตอบที่ดีที่สุดสุดท้ายแล้วทำการปรับปรุงคำตอบหลังการสร้างคำตอบเบื้องต้นด้วยการค้นหาเฉพาะที่ โดยทำการวนค้นหาเฉพาะที่ซ้ำจำนวน k ครั้ง โดยความถี่ในการค้นหาเฉพาะที่ภายหลังการสร้างประชากรคำตอบเบื้องต้นจะขึ้นอยู่กับความน่าจะเป็นของความถี่ในการค้นหาเฉพาะที่ที่กำหนด

9. การซ่อมแซมสตริงคำตอบ (Repair String) ทำการซ่อมแซมสตริงคำตอบให้ถูกต้องตามข้อจำกัดความสัมพันธ์ก่อนหลังของงาน เนื่องจากสตริงคำตอบลำดับงานได้ทำการค้นหาเฉพาะที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสตริงคำตอบได้

10. คำตอบที่ดีที่สุด (Best Solution) หยุดกระบวนการค้นหาคำตอบ และนำประชากรคำตอบที่ได้ในการซ่อมแซมสตริงคำตอบมาเป็นกลุ่มคำตอบที่ดีที่สุด

9.2 ข้อเสนอแนะ

1. ในการจัดสายการประกอบการผลิตนั้นควรมีการจัดลำดับงานของผลิตภัณฑ์ควบคู่กันอยู่ตลอดเวลาเพื่อป้องกันการผิดพลาดของการทำงาน และสายการประกอบในปัจจุบันเป็นสายการประกอบแบบผสมอาจจะทำให้เกิดข้อผิดพลาดได้เนื่องจากสภาพแวดล้อมในการทำงาน

2. การจัดสถานีงานแบบขนานนั้นต้องคอยสังเกตดูรอบเวลาการงานของงานว่ามีเวลาการทำงานเกินรอบเวลาที่กำหนดในแต่ละสถานีงานหรือไม่ ถ้ามีให้กำหนดว่าสถานีงานที่มีงานนี้อยู่ให้เป็นสถานีงานขนาน ในสายการประกอบแบบผสมจะทำการเปลี่ยนเวลาการทำงานของตัวอื่นถ้าเวลางานนั้นมีค่าน้อยกว่างานที่มีค่ามากที่สุดที่เป็นงานที่ต้องมีสถานีงานขนานให้มีเวลาการทำงานเท่ากับงานนี้

3. สถานีงานขนานที่กำหนดต้องควรมีการกำหนดที่เฉพาะเจาะจงเพื่อไม่ให้เกิดสถานีงานขนานที่มากเกินความจำเป็น ในงานวิจัยได้มีการกำหนดไว้ว่าสถานีงานขนานที่เพิ่มขึ้นมาจะไม่เกิน 1 สถานี

4. วิธีการหาค่าที่เหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบร่วมกับเมมเมติกอัลกอริทึมนั้นยังใช้เวลาในการหาค่าเหมาะสมเป็นเวลานานเนื่องจากต้องทำการหาคำตอบที่ดีเพื่อให้ได้คำตอบที่หลายหลายในการคัดเลือกคำตอบที่ดีที่สุด ซึ่งอาจจะมีวิธีที่สามารถมาประยุกต์ใช้ในการ

หาค่าที่เหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบร่วมกับเมมเมติกอัลกอริทึมทำให้ใช้เวลาการคำนวณที่น้อยลงได้