

## บทที่ 4

### ผลการดำเนินงานวิจัย

ในบทนี้จะกล่าวถึงการทดลองโดยการนำ GA ไปประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาการจัดเรียงเครื่องจักรในระบบการผลิตแบบยืดหยุ่น (FMS) โดยการเลือกใช้กลุ่มตัวอย่างข้อมูล 4 ชุด (ดังที่กล่าวในบทที่ 3 หัวข้อ 3.3) เพื่อทำการศึกษาและทดลอง ซึ่งในการทดลองนี้จะนำไปวิเคราะห์ทางสถิติ และการอภิปรายผล เพื่อเปรียบเทียบวิธีการตัดสลับสายพันธุ์และการกลายพันธุ์ให้ได้วิธีที่ดีที่สุด

การทดลองจะมีการทดสอบโปรแกรมโดยใช้ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุด ประกอบไปด้วย ขนาดของประชากร/จำนวนรุ่น (Pop/Gen), ความน่าจะเป็นของการสลับสายพันธุ์ (Probability of Crossover:  $P_c$ ) และความน่าจะเป็นในการกลายพันธุ์ (Probability of Mutation:  $P_m$ ) ซึ่งจะทดสอบกับกลุ่มตัวอย่างของชุดข้อมูล 4 ชุด การทดลองจะมีการทดลองซ้ำ (Replications) 5 ครั้ง โดยใช้หมายเลขในการสุ่ม (Random Seed) ที่แตกต่างกัน และกระบวนการทางพันธุกรรมที่ใช้ในการทดลองแบ่งออกเป็น 2 รูปแบบคือ วิธีการสลับสายพันธุ์ที่ใช้ 13 วิธีคือ 1PX, 2REX, 2PCX, MPX, LOX, EERX, PBX, ERX, CX PMX, AEX, SCX และ OX วิธีการกลายพันธุ์ใช้ 8 วิธี CIM, E2ORS, 2OAS, 2ORS, SOM, 3OAS, 3ORS และ IM

จากกระบวนการทางพันธุกรรมโดยวิธีการสลับสายพันธุ์ 13 วิธี และการกลายพันธุ์ 8 วิธี จะทำการรันโปรแกรมทั้งสิ้น  $13 \times 8 = 104$  ครั้ง ในการทดลองมีการทำซ้ำ 5 ครั้ง จะต้องรันโปรแกรม  $104 \times 5 = 520$  ครั้ง และมีการใช้ชุดข้อมูล 4 ชุด ดังนั้นจะต้องทำการรันโปรแกรมทั้งหมด  $520 \times 4 = 2,080$  ครั้ง

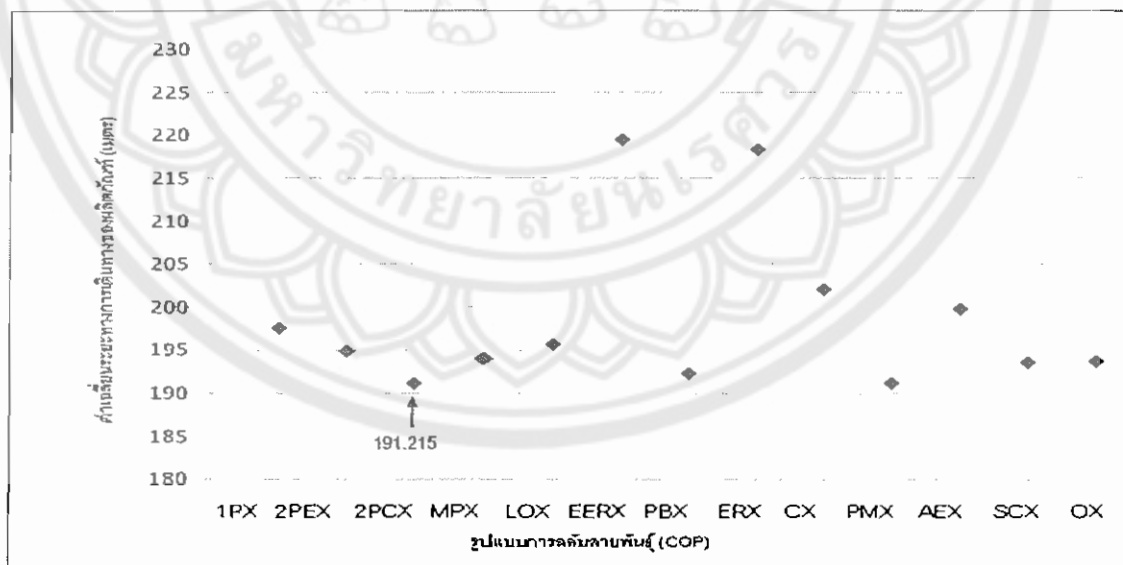
#### ผลการทดลอง

ผลการรันโปรแกรมทั้งหมด 2,080 ครั้ง (ดังตารางที่ 1 ถึง ตารางที่ 4 ในภาคผนวก ข) แยกออกเป็นผลจากการรันโปรแกรมโดยใช้ชุดข้อมูลที่ 1 ทั้งหมด 520 ครั้ง ผลจากการรันโปรแกรมโดยใช้ชุดข้อมูลที่ 2 ทั้งหมด 520 ครั้ง ผลจากการรันโปรแกรมโดยใช้ชุดข้อมูลที่ 3 ทั้งหมด 520 ครั้ง และผลจากการรันโปรแกรมโดยใช้ชุดข้อมูลที่ 4 ทั้งหมด 520 ครั้ง ใช้หมายเลขในการสุ่ม (Random Seed) แบบแน่นอนทั้งหมด 5 หมายเลข คือ 111, 222, 333, 444 และ 555 ซึ่งหมายเลข 111,

222, 333, 444 และ 555 นั้นเป็นหมายเลขที่กำหนดขึ้นเพื่อผู้วิจัยนั้นจะได้จำจดจำ เนื่องจากในการทดลองนั้นจะต้องทำการรันหลายครั้ง

ในการวิเคราะห์ผลการทดลองนั้นเป็นการนำค่า Mean ของวิธีการสลบสายพันธุ์ (COP) 13 วิธีคือ 1PX, 2REX, 2PCX, MPX, LOX, EERX, PBX, ERX, CX PMX, AEX, SCX และ OX โดยที่ไม่คำนึงถึงค่า Mean ที่ได้จากวิธีการกลายพันธุ์ ของแต่ละชุดข้อมูลมาแสดงในรูปแบบของกราฟข้อมูล เพื่อแสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการสลบสายพันธุ์ของข้อมูลชุดที่ 1 ปัญหา 10 เครื่องจักร 3 ผลิตภัณฑ์, ข้อมูลชุดที่ 2 ปัญหา 20 เครื่องจักร 5 ผลิตภัณฑ์, ข้อมูลชุดที่ 3 ปัญหา 15 เครื่องจักร 9 ผลิตภัณฑ์ และข้อมูลชุดที่ 4 ปัญหา 30 เครื่องจักร 10 ผลิตภัณฑ์ ได้ชัดเจนขึ้น (ดังรูปที่ 4.1, 4.3, 4.5 และ 4.7 ตามลำดับ)

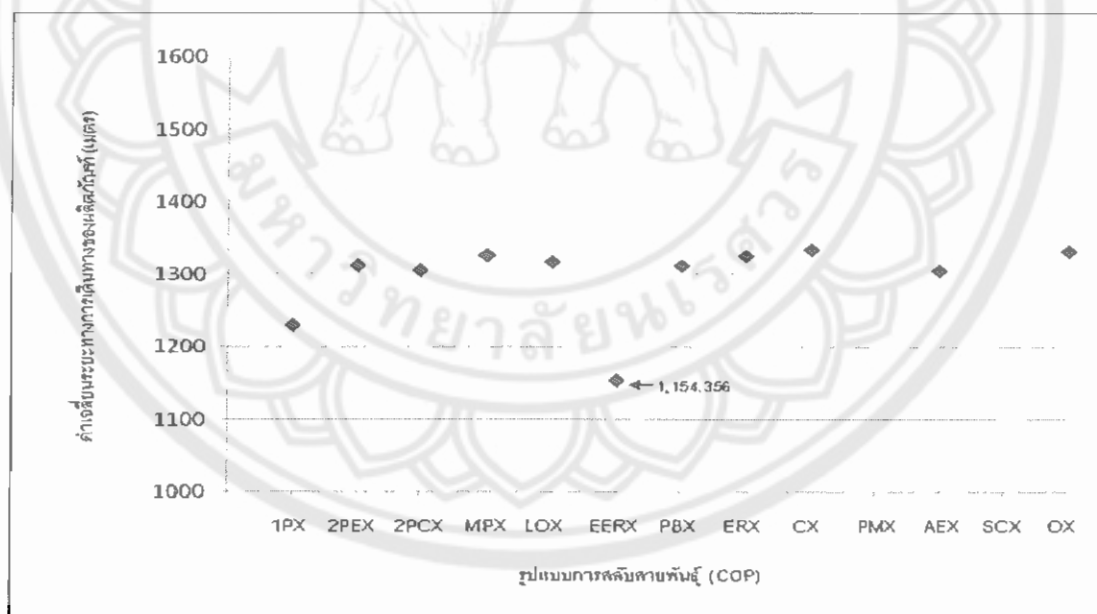
ผลการทดลองที่ได้เป็นการนำค่า Mean ของวิธีการกลายพันธุ์ (MOP) 8 วิธีคือ CIM, E2ORS, 2OAS, 2ORS, SOM, 3OAS, 3ORS และ IM โดยที่ไม่คำนึงถึงค่า Mean ที่ได้จากวิธีการสลบสายพันธุ์ ของแต่ละชุดข้อมูลมาแสดงในรูปแบบของกราฟข้อมูล เพื่อแสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการกลายพันธุ์ของข้อมูลชุดที่ 1 ปัญหา 10 เครื่องจักร 3 ผลิตภัณฑ์, ข้อมูลชุดที่ 2 ปัญหา 20 เครื่องจักร 5 ผลิตภัณฑ์, ข้อมูลชุดที่ 3 ปัญหา 15 เครื่องจักร 9 ผลิตภัณฑ์ และข้อมูลชุดที่ 4 ปัญหา 30 เครื่องจักร 10 ผลิตภัณฑ์ ได้ชัดเจนขึ้น (ดังรูปที่ 4.2, 4.4, 4.6 และ 4.8 ตามลำดับ)



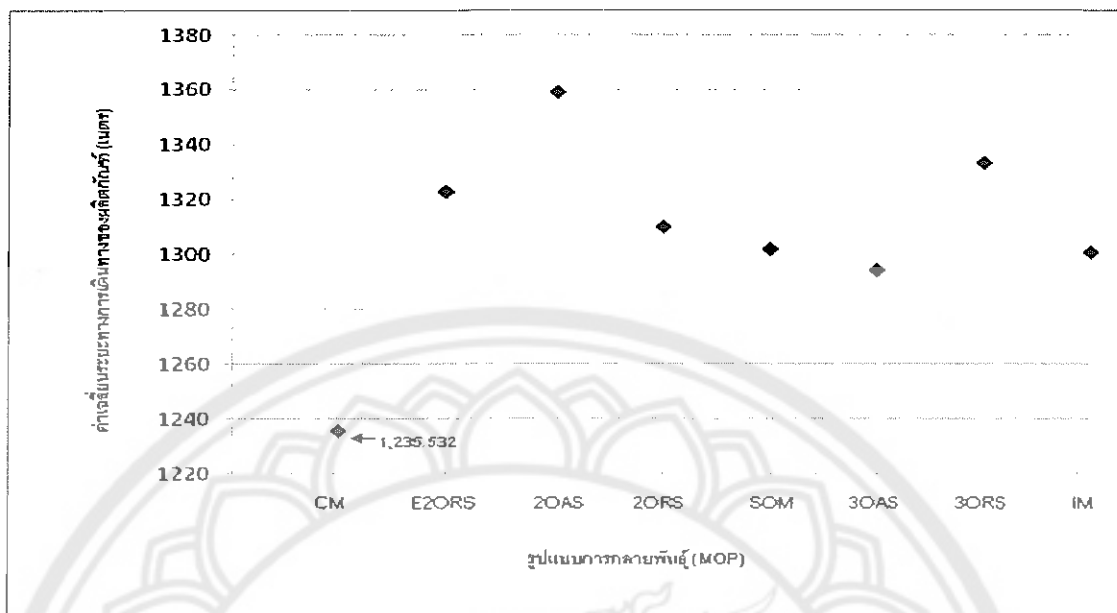
รูปที่ 4.1 แสดงผลการทดลองการแก้ปัญหา 10 เครื่องจักร 3 ผลิตภัณฑ์ (ข้อมูลชุดที่ 1) ที่มีการเปรียบเทียบรูปแบบการสลบสายพันธุ์ (COP)



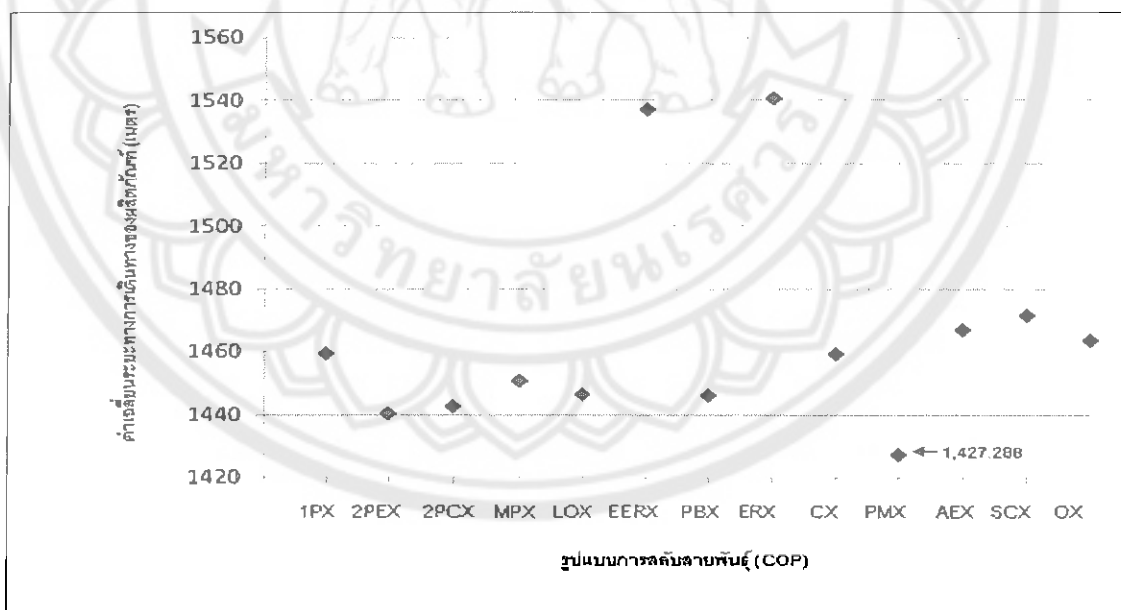
รูปที่ 4.2 แสดงผลการทดลองการแก้ปัญหา 10 เครื่องจักร 3 ผลิตรภัณฑ์ (ข้อมูลชุดที่ 1) ที่มีการเปรียบเทียบรูปแบบการกลายพันธุ์ (MOP)



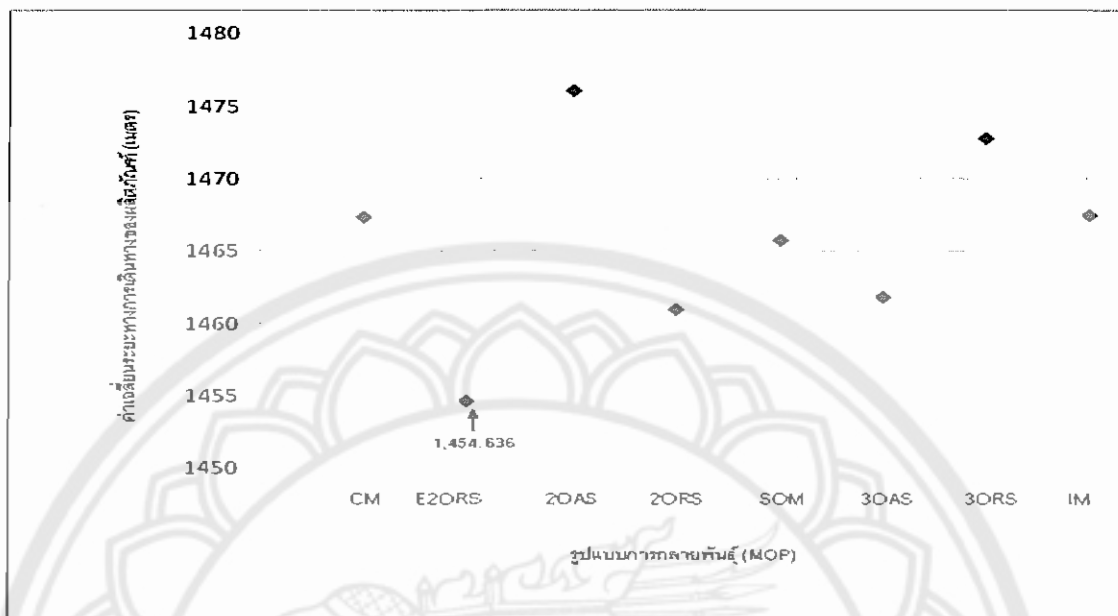
รูปที่ 4.3 แสดงผลการทดลองการแก้ปัญหา 20 เครื่องจักร 5 ผลิตรภัณฑ์ (ข้อมูลชุดที่ 2) ที่มีการเปรียบเทียบรูปแบบการสลับสายพันธุ์ (COP)



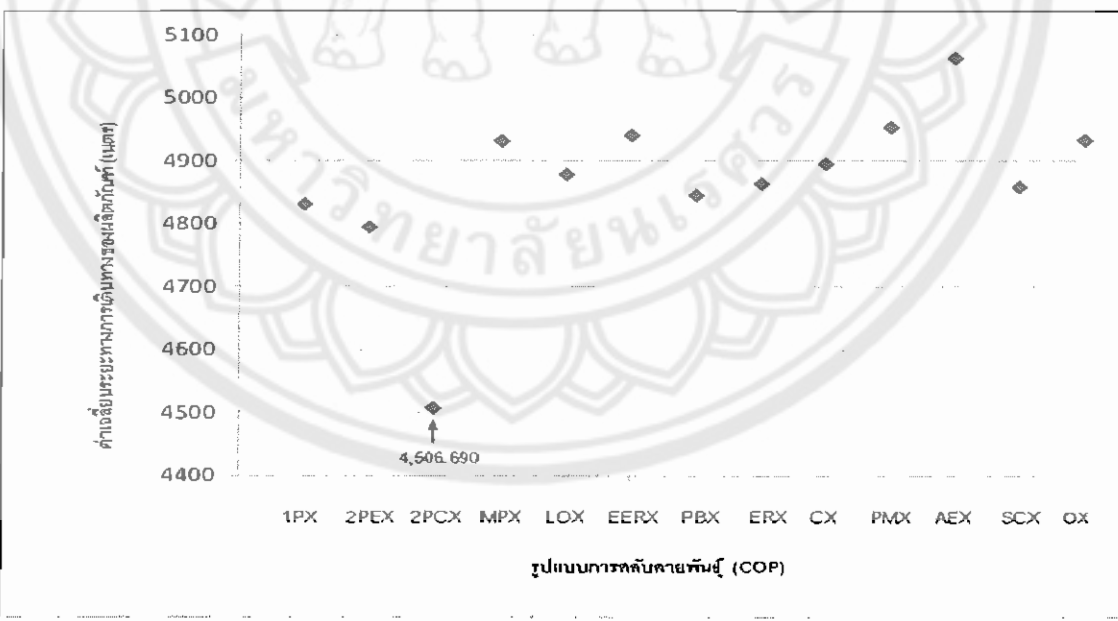
รูปที่ 4.4 แสดงผลการทดลองการแก้ปัญหา 20 เครื่องจักร 5 ผลิตภัณฑ์ (ข้อมูลชุดที่ 2) ที่มีการเปรียบเทียบรูปแบบการกลายพันธุ์ (MOP)



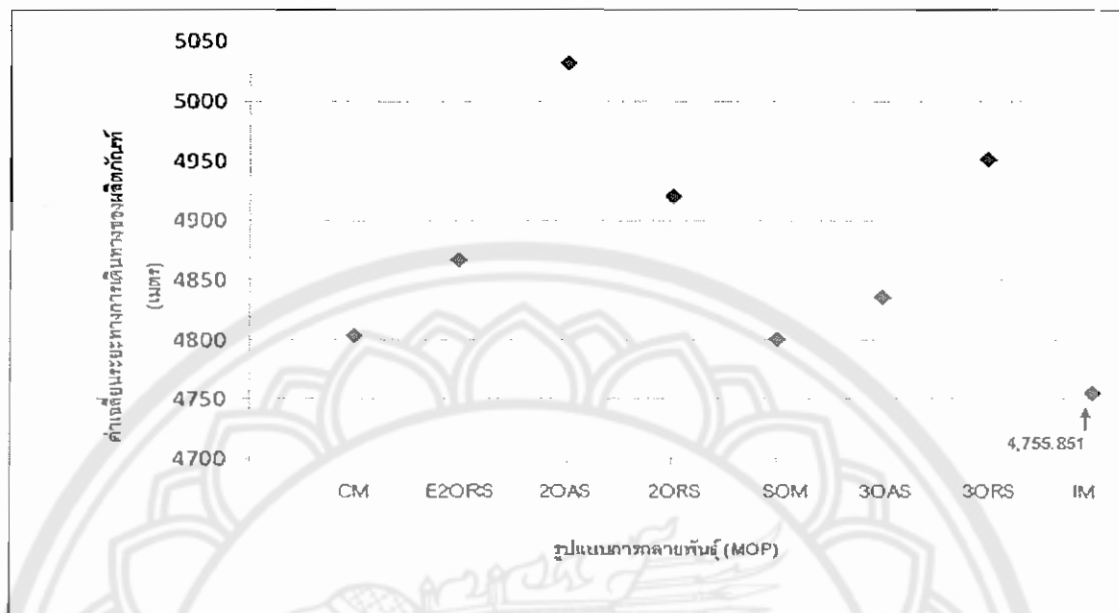
รูปที่ 4.5 แสดงผลการทดลองการแก้ปัญหา 15 เครื่องจักร 9 ผลิตภัณฑ์ (ข้อมูลชุดที่ 3) ที่มีการเปรียบเทียบรูปแบบการสลับสายพันธุ์ (COP)



รูปที่ 4.6 แสดงผลการทดลองการแก้ปัญหา 15 เครื่องจักร 9 ผลิตภัณฑ์ (ข้อมูลชุดที่ 3) ที่มีการเปรียบเทียบรูปแบบการกระจายพันธุ์ (MOP)



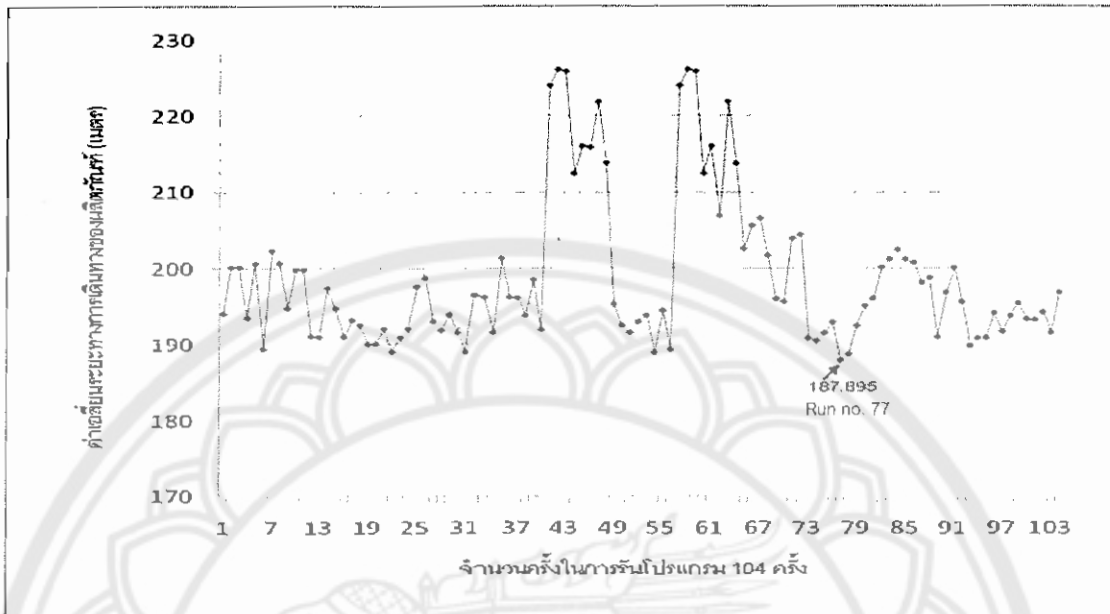
รูปที่ 4.7 แสดงผลการทดลองการแก้ปัญหา 30 เครื่องจักร 10 ผลิตภัณฑ์ (ข้อมูลชุดที่ 4) ที่มีการเปรียบเทียบรูปแบบการสลับสายพันธุ์ (COP)



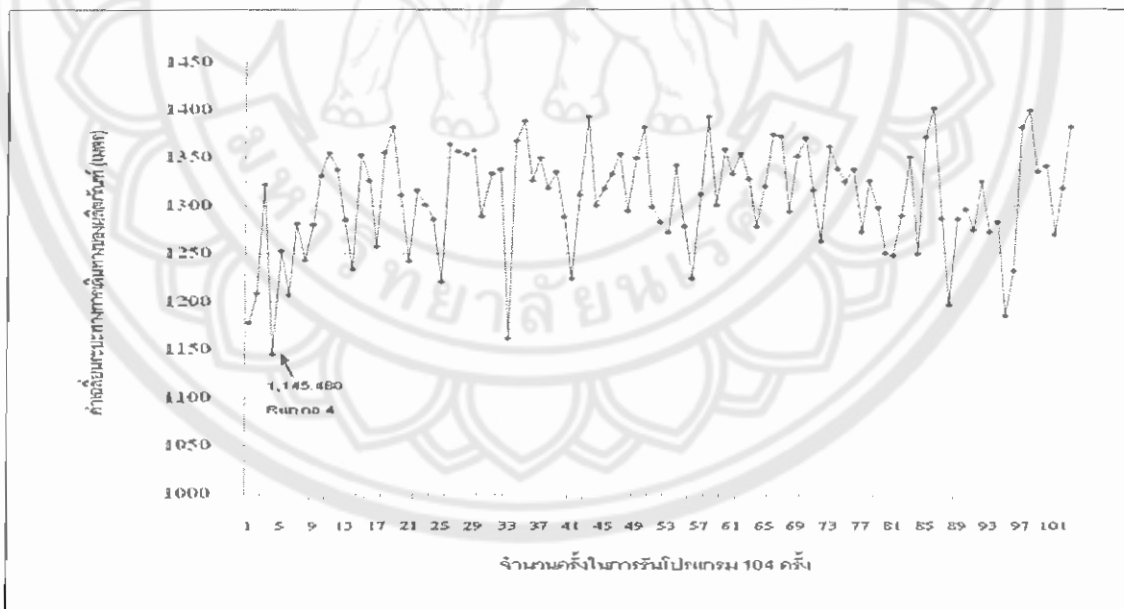
รูปที่ 4.8 แสดงผลการทดลองการแก้ปัญหา 30 เครื่องจักร 10 ผลิตภัณฑ์ (ข้อมูลชุดที่ 4) ที่มีการเปรียบเทียบรูปแบบการกลายพันธุ์ (MOP)

และในการวิเคราะห์ผลการทดลองนั้น จะนำค่าที่ได้จากตารางที่ ข.1 ถึง ตารางที่ ข.4 ในภาคผนวก ข ที่ได้จากการรันมาวิเคราะห์ ค่าที่นำมาวิเคราะห์นั้น คือค่า Mean ที่ได้จากการรัน โดยวิธีการสลับสายพันธุ์ 13 วิธี และวิธีการกลายพันธุ์ 8 วิธี จึงนำค่า Mean ที่ได้จำนวน 104 ค่ามาแสดงในรูปของกราฟข้อมูลของข้อมูลชุดที่ 1 ปัญหา 10 เครื่องจักร 3 ผลิตภัณฑ์ (จากตารางที่ ข.1 ภาคผนวก ข), ข้อมูลชุดที่ 2 ปัญหา 20 เครื่องจักร 5 ผลิตภัณฑ์ (จากตารางที่ ข.2 ภาคผนวก ข), ข้อมูลชุดที่ 3 ปัญหา 15 เครื่องจักร 9 ผลิตภัณฑ์ (จากตารางที่ ข.3 ภาคผนวก ข) และข้อมูลชุดที่ 4 ปัญหา 30 เครื่องจักร 10 ผลิตภัณฑ์ (จากตารางที่ ข.4 ภาคผนวก ข) (ดังรูปที่ 4.9 ถึง รูปที่ 4.12)

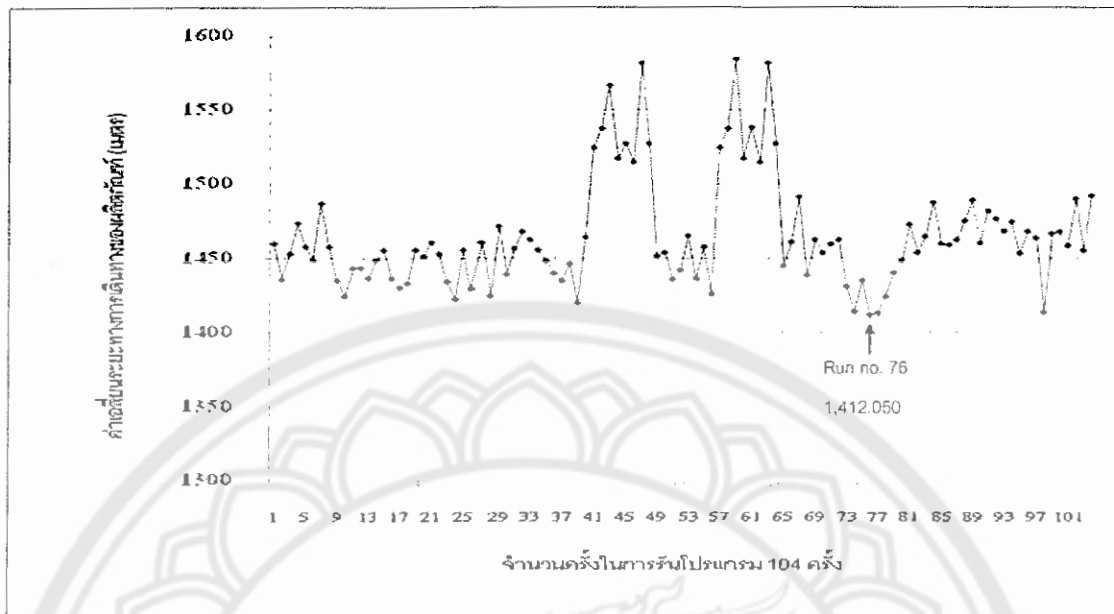
ผลการทดลองที่แสดงในรูปแบบของกราฟในรูปที่ 4.9 ถึงรูปที่ 4.12 นั้น ค่าของกราฟที่แสดงในแนวแกนตั้ง แสดงถึงค่าเฉลี่ยหรือค่า Mean ที่ได้จากการรันโปรแกรม และค่าของกราฟที่แสดงในแนวนอน แสดงถึงวิธีการสลับสายพันธุ์และวิธีการกลายพันธุ์แต่ละวิธี แสดงในตารางที่ 4.1 ดังต่อไปนี้



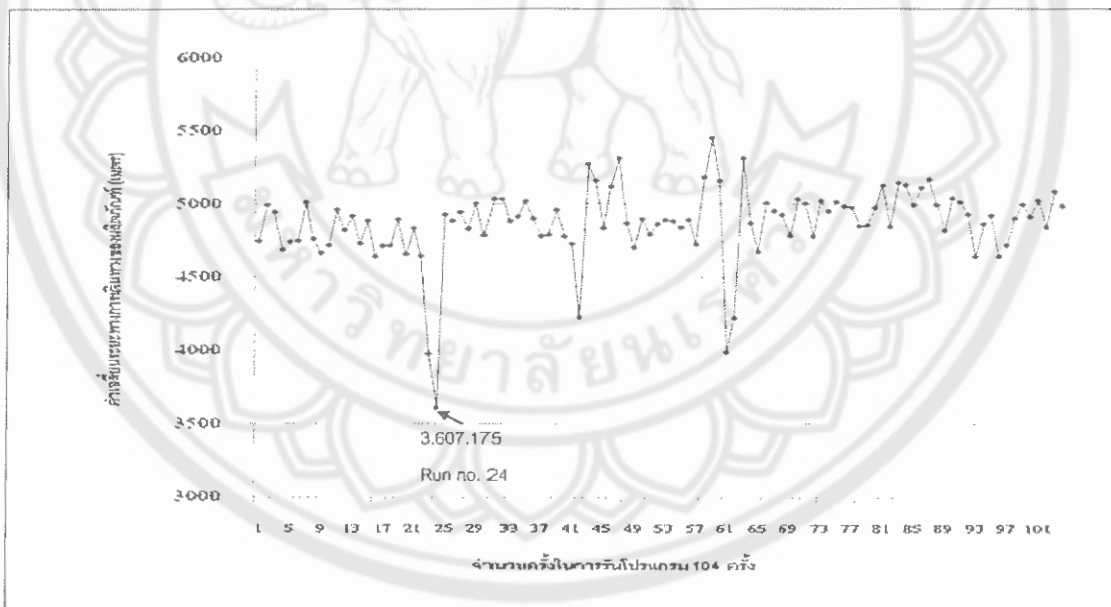
รูปที่ 4.9 แสดงผลการทดลองการแก้ปัญหา 10 เครื่องจักร 3 ผลิตรถยนต์ (ข้อมูลชุดที่ 1)



รูปที่ 4.10 แสดงผลการทดลองการแก้ปัญหา 20 เครื่องจักร 5 ผลิตรถยนต์ (ข้อมูลชุดที่ 2)



รูปที่ 4.11 แสดงผลการทดลองการแก้ปัญหา 15 เครื่องจักร 9 ผลิตรภัณฑ์ (ข้อมูลชุดที่ 3)



รูปที่ 4.12 แสดงผลการทดลองการแก้ปัญหา 30 เครื่องจักร 10 ผลิตรภัณฑ์ (ข้อมูลชุดที่ 4)



ตารางที่ 4.1 หมายเลขที่แสดงถึงวิธีการสลัปลายพันธุ์และวิธีการกลายพันธุ์

หมายเลข	COP	MOP	หมายเลข	COP	MOP	หมายเลข	COP	MOP
1	1PX	CIM	36	LOX	2ORS	71	CX	3ORS
2	1PX	E2ORS	37	LOX	SOM	72	CX	IM
3	1PX	2OAS	38	LOX	3OAS	73	PMX	CIM
4	1PX	2ORS	39	LOX	3ORS	74	PMX	E2ORS
5	1PX	SOM	40	LOX	IM	75	PMX	2OAS
6	1PX	3OAS	41	EERX	CIM	76	PMX	2ORS
7	1PX	3ORS	42	EERX	E2ORS	77	PMX	SOM
8	1PX	IM	43	EERX	2OAS	78	PMX	3OAS
9	2PEX	CIM	44	EERX	2ORS	79	PMX	3ORS
10	2PEX	E2ORS	45	EERX	SOM	80	PMX	IM
11	2PEX	2OAS	46	EERX	3OAS	81	AEX	CIM
12	2PEX	2ORS	47	EERX	3ORS	82	AEX	E2ORS
13	2PEX	SOM	48	EERX	IM	83	AEX	2OAS
14	2PEX	3OAS	49	PBX	CIM	84	AEX	2ORS
15	2PEX	3ORS	50	PBX	E2ORS	85	AEX	SOM
16	2PEX	IM	51	PBX	2OAS	86	AEX	3OAS
17	2PCX	CIM	52	PBX	2ORS	87	AEX	3ORS
18	2PCX	E2ORS	53	PBX	SOM	88	AEX	IM
19	2PCX	2OAS	54	PBX	3OAS	89	SCX	CIM
20	2PCX	2ORS	55	PBX	3ORS	90	SCX	E2ORS
21	2PCX	SOM	56	PBX	IM	91	SCX	2OAS
22	2PCX	3OAS	57	ERX	CIM	92	SCX	2ORS
23	2PCX	3ORS	58	ERX	E2ORS	93	SCX	SOM
24	2PCX	IM	59	ERX	2OAS	94	SCX	3OAS
25	MPX	CIM	60	ERX	2ORS	95	SCX	3ORS
26	MPX	E2ORS	61	ERX	SOM	96	SCX	IM
27	MPX	2OAS	62	ERX	3OAS	97	OX	CIM
28	MPX	2ORS	63	ERX	3ORS	98	OX	E2ORS
29	MPX	SOM	64	ERX	IM	99	OX	2OAS
30	MPX	3OAS	65	CX	CIM	100	OX	2ORS
31	MPX	3ORS	66	CX	E2ORS	101	OX	SOM
32	MPX	IM	67	CX	2OAS	102	OX	3OAS
33	LOX	CIM	68	CX	2ORS	103	OX	3ORS
34	LOX	E2ORS	69	CX	SOM	104	OX	IM
35	LOX	2OAS	70	CX	3OAS			

ตารางแสดงผลการทดลอง (ดังตารางที่ ข.1 ถึง ตารางที่ ข.4 ในภาคผนวก ข) ในการแก้ปัญหาการจัดเรียงเครื่องจักรนั้น จะมีการแสดงค่าคือ

1. แสดงค่าผลลัพธ์ต่ำสุด (Minimum: Min)
2. แสดงค่าผลลัพธ์สูงสุด (Maximum: Max)
3. แสดงค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation: SD)
4. แสดงค่าเฉลี่ย (Mean)
5. แสดงค่าเริ่มต้นของอนุกรมสุ่ม (Random Seed) Seed 111, 222, 333, 444 และ 555 ซึ่งเป็นตัวเลขที่ใช้ในการสุ่มที่เราสามารถจำได้ง่าย โดยสามารถให้หมายเลขอะไรก็ได้

ผลการทดลองที่ได้มาจากค่า Mean โดยนำค่า Mean ที่มีค่าที่น้อยที่สุดมาเป็นผลการทดลองของแต่ละชุดข้อมูล ซึ่งค่า Mean นั้นจะเป็นระยะทางในการเดินทางของผลิตภัณฑ์ที่สั้นที่สุด

ผลการทดลองที่ได้โดยการนำ Mean มาแสดงผลในรูปของกราฟข้อมูลนั้นจากรูปที่ 4.1 คือข้อมูลชุดที่ 1 การแก้ปัญหา 10 เครื่องจักร 3 ผลิตภัณฑ์นั้นแสดงให้เห็นว่ารูปแบบการสลับสายพันธุ์แบบ 2PCX ซึ่งเป็นวิธีการสลับสายพันธุ์ที่มีประสิทธิภาพดีกว่ารูปแบบการสลับสายพันธุ์แบบอื่น ระยะทางการเดินทางของผลิตภัณฑ์ที่ได้เท่ากับ 191.215 เมตร และจากรูปที่ 4.2 คือข้อมูลชุดที่ 1 การแก้ปัญหา 10 เครื่องจักร 3 ผลิตภัณฑ์ รูปแบบการกลายพันธุ์แบบ 3OAS เป็นวิธีการกลายพันธุ์ที่มีประสิทธิภาพดีกว่ารูปแบบการกลายพันธุ์แบบอื่น ระยะทางการเดินทางของผลิตภัณฑ์ที่ได้เท่ากับ 195.607 เมตร

รูปที่ 4.3 คือข้อมูลชุดที่ 2 การแก้ปัญหา 20 เครื่องจักร 5 ผลิตภัณฑ์นั้นแสดงให้เห็นว่ารูปแบบการสลับสายพันธุ์แบบ EERX ซึ่งเป็นวิธีการสลับสายพันธุ์ที่มีประสิทธิภาพดีกว่ารูปแบบการสลับสายพันธุ์แบบอื่น ระยะทางการเดินทางของผลิตภัณฑ์ที่ได้เท่ากับ 1,154.356 เมตร และจากรูปที่ 4.4 คือข้อมูลชุดที่ 2 การแก้ปัญหา 20 เครื่องจักร 5 ผลิตภัณฑ์ รูปแบบการกลายพันธุ์แบบ CIM เป็นวิธีการกลายพันธุ์ที่มีประสิทธิภาพดีกว่ารูปแบบการกลายพันธุ์แบบอื่น ระยะทางการเดินทางของผลิตภัณฑ์ที่ได้เท่ากับ 1,325.532 เมตร

รูปที่ 4.5 คือข้อมูลชุดที่ 3 การแก้ปัญหา 15 เครื่องจักร 9 ผลิตภัณฑ์นั้นแสดงให้เห็นว่ารูปแบบการสลับสายพันธุ์แบบ PMX ซึ่งเป็นวิธีการสลับสายพันธุ์ที่มีประสิทธิภาพมากกว่ารูปแบบการสลับสายพันธุ์แบบอื่น ระยะทางการเดินทางของผลิตภัณฑ์ที่ได้เท่ากับ 1,427.288 เมตร และจากรูปที่ 4.6 คือข้อมูลชุดที่ 3 การแก้ปัญหา 15 เครื่องจักร 9 ผลิตภัณฑ์ รูปแบบการกลายพันธุ์

แบบ E2ORS เป็นวิธีการกลายพันธุ์ที่มีประสิทธิภาพมากกว่ารูปแบบการกลายพันธุ์แบบอื่น ระยะทางการเดินทางของผลิตภัณฑ์ที่ได้เท่ากับ 1,454.636 เมตร

รูปที่ 4.7 คือข้อมูลชุดที่ 4 การแก้ปัญหา 30 เครื่องจักร 10 ผลิตภัณฑ์นั้นแสดงให้เห็นว่ารูปแบบการสลัวยพันธุ์แบบ 2PCX ซึ่งเป็นวิธีการสลัวยพันธุ์ที่มีประสิทธิภาพมากกว่ารูปแบบการสลัวยพันธุ์แบบอื่น ระยะทางการเดินทางของผลิตภัณฑ์ที่ได้เท่ากับ 4,506.690 เมตร และจากรูปที่ 4.8 คือข้อมูลชุดที่ 4 การแก้ปัญหา 30 เครื่องจักร 10 ผลิตภัณฑ์ รูปแบบการกลายพันธุ์แบบ IM เป็นวิธีการกลายพันธุ์ที่มีประสิทธิภาพมากกว่ารูปแบบการกลายพันธุ์แบบอื่น ระยะทางการเดินทางของผลิตภัณฑ์ที่ได้เท่ากับ 4,755.851 เมตร

ซึ่งผลการทดลองที่ได้มาจากค่า Mean โดยนำค่า Mean ที่มีค่าน้อยที่สุดมาเป็นผลการทดลองของแต่ละชุดข้อมูล ซึ่งค่า Mean นั้นจะเป็นระยะทางในการเดินทางของผลิตภัณฑ์ที่สั้นที่สุดหรือเป็นค่าคำตอบที่ดีที่สุด

ดังนั้นผลการทดลองจากการทดสอบโปรแกรม GAMLIP ของข้อมูลชุดที่ 1 (ดังรูปที่ 4.9) การแก้ปัญหา 10 เครื่องจักร 3 ผลิตภัณฑ์ วิธีการสลัวยพันธุ์ที่ดีที่สุดคือ PMX วิธีการกลายพันธุ์ที่ดีที่สุดคือ SOM ระยะทางที่ได้เท่ากับ 187.895 เมตร เวลาที่ใช้ในการรันประมาณ 1.56 นาที

ผลการทดลองจากการทดสอบโปรแกรม GAMLIP ของข้อมูลชุดที่ 2 (ดังรูปที่ 4.10) การแก้ปัญหา 20 เครื่องจักร 5 ผลิตภัณฑ์ วิธีการสลัวยพันธุ์ที่ดีที่สุดคือ 1PX วิธีการกลายพันธุ์ที่ดีที่สุดคือ 2ORS ระยะทางที่ได้เท่ากับ 1,145.480 เมตร เวลาที่ใช้ในการรันประมาณ 5.80 นาที

ผลการทดลองจากการทดสอบโปรแกรม GAMLIP ของข้อมูลชุดที่ 3 (ดังรูปที่ 4.11) การแก้ปัญหา 15 เครื่องจักร 9 ผลิตภัณฑ์ วิธีการสลัวยพันธุ์ที่ดีที่สุดคือ PMX วิธีการกลายพันธุ์ที่ดีที่สุดคือ 2ORS ระยะทางที่ได้เท่ากับ 1,412.050 เมตร เวลาที่ใช้ในการรันประมาณ 3.86 นาที

และผลการทดลองจากการทดสอบโปรแกรม GAMLIP ของข้อมูลชุดที่ 4 (ดังรูปที่ 4.12) การแก้ปัญหา 30 เครื่องจักร 10 ผลิตภัณฑ์ วิธีการสลัวยพันธุ์ที่ดีที่สุดคือ 2PCX วิธีการกลายพันธุ์ที่ดีที่สุดคือ IM ระยะทางที่ได้เท่ากับ 3,607.175 เมตร เวลาที่ใช้ในการรันประมาณ 12.38 นาที