

บทที่ 6

ทดสอบและประเมินประสิทธิภาพของวิธีฮิวริสติก

ในบทนี้จะเป็นส่วนทดสอบและประเมินประสิทธิภาพการแก้ปัญหาการจัดตารางการผลิตการผลิตชิ้นส่วนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ของวิธีฮิวริสติกอัลกอริทึมที่ได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 5 โดยมีรายละเอียดดังนี้

1. การกำหนดเกณฑ์ประเมินประสิทธิภาพของวิธีฮิวริสติก

ในการประเมินประสิทธิภาพของวิธีฮิวริสติกอัลกอริทึม ใช้ค่าความคลาดเคลื่อนเป็นเกณฑ์ในการเปรียบเทียบผลเฉลยที่ได้จากการแก้ปัญหาด้วยวิธีฮิวริสติกและวิธีรูปแบบทางคณิตศาสตร์ โดยเปรียบเทียบเฉพาะปัญหาที่รูปแบบทางคณิตศาสตร์สามารถหาผลเฉลยได้ ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้จำกัดเวลาประมวลผลที่ 2 ชั่วโมง โดยเปอร์เซ็นต์ค่าความคลาดเคลื่อน (% Error) สามารถหาได้จากผลต่างของผลเฉลยที่ได้จากการแก้ปัญหาด้วยวิธีฮิวริสติกอัลกอริทึมกับผลเฉลยที่ได้จากการแก้ปัญหาด้วยรูปแบบทางคณิตศาสตร์ หาดด้วยผลเฉลยที่ได้จากการแก้ปัญหาด้วยรูปแบบทางคณิตศาสตร์ดังสมการที่ 6.1

$$\% \text{Error} = \frac{(TC_H - TC_{\text{Math}})}{TC_{\text{Math}}} \times 100 \quad (6.1)$$

โดยที่ % Error คือ เปอร์เซ็นต์ค่าความคลาดเคลื่อน

TC_H คือ ค่าใช้จ่ายรวมที่ได้จากวิธีฮิวริสติกอัลกอริทึม

TC_{Math} คือ ค่าใช้จ่ายรวมที่ได้จากวิธีรูปแบบทางคณิตศาสตร์

2. การจำลองปัญหาเพื่อทดสอบการแก้ปัญหาการจัดตารางการผลิต

การทดสอบปัญหาการวางแผนการผลิตในอุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ ในงานวิจัยนี้ได้พัฒนาเป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์โดยประยุกต์ใช้โปรแกรมวิซวลเบสิกฟอว์ แอปพลิเคชัน (Visual Basic for Application, VBA) บนไมโครซอฟต์เอ็กเซล (Microsoft Excel) ร่วมกับการเรียกใช้โปรแกรม Lingo 11 โดยใช้ตัวอย่างปัญหาที่ใช้ในการทดสอบทั้งหมด 160 ตัวอย่าง ซึ่งได้มีการแบ่งชนิดผลิตภัณฑ์ชิ้นส่วนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์เป็น 4 ช่วง คือ 2, 3, 4 และ 5 ชนิดผลิตภัณฑ์ แบ่งจำนวนเครื่องจักรเป็น 3 ช่วง คือ 2, 3, และ 4 เครื่องจักร มีคาบเวลาผลิต 3 ช่วง คือ 3, 5, และ 7 คาบเวลา และมีรอบการผลิต 3 ช่วง คือ 2, 3, และ 4 รอบการผลิต ซึ่งทางผู้วิจัยได้เลือกขนาดปัญหาจากช่วงในข้างต้นรวม 14 ขนาดปัญหาซึ่งเป็นปัญหขนาดเล็กรูปแบบทางคณิตศาสตร์พอที่จะสามารถหาผลเฉลยได้ และทำการทดสอบ 10 ตัวอย่างต่อหนึ่งขนาดปัญหา รวม 140 ปัญหาการจัดตารางการผลิต โดยมีรายละเอียดของดังนี้

- 2.1 ค่าใช้จ่ายในการจัดตารางการผลิตที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองปัญหา
- 2.1.1 ค่าใช้จ่ายการเตรียมงานมีค่าอยู่ในช่วง 100 ถึง 250 บาทต่อชั่วโมง

2.1.2 ค่าใช้จ่ายการผลิตมีค่าอยู่ในช่วง 500 ถึง 750 บาทต่อคาบเวลาผลิต

2.1.3 ค่าใช้จ่ายพัสดุคงคลังมีค่าอยู่ในช่วง 10 ถึง 50 บาทต่อพื้นที่ขึ้นต่อการผลิต

2.1.4 ค่าเวลาการผลิตในแต่ละคาบเวลาผลิต 7 ชั่วโมง

2.1.5 ค่าเวลาเตรียมงานมีค่าอยู่ในช่วง 1 ถึง 2 ชั่วโมง

2.1.6 กำลังการผลิตมีค่าอยู่ในช่วง 2 ถึง 5 พื้นที่ต่อชั่วโมง

2.1.7 ปริมาณความต้องการของลูกค้ามีค่าอยู่ในช่วง 20 ถึง 150 พื้นที่

2.1.8 ปริมาณผลิตภัณฑ์ที่มีอยู่บนมือมีค่าเป็น 0

3. ผลการทดสอบของวิธีรูปแบบทางคณิตศาสตร์และวิธีฮิวริสติก

ในการทดสอบปัญหาการวางแผนการผลิตพื้นที่ส่วนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ด้วยวิธีรูปแบบทางคณิตศาสตร์และวิธีฮิวริสติก แสดงผลการทดสอบในตาราง ก.1 ในภาคผนวกและสามารถสรุปผลการทดสอบการหาคำตอบโดยวิธีรูปแบบทางคณิตศาสตร์ได้ดังตารางที่ 6.1 และผลการทดสอบการหาคำตอบโดยวิธีฮิวริสติก แสดงในตารางที่ 6.2 ดังนี้

ตารางที่ 6.1 ผลการทดสอบการหาคำตอบด้วยวิธีรูปแบบทางคณิตศาสตร์

Problem Set	Prod.-Machine-Period-Cycle	No. of decision variables	% obtained optimal solution	Computation time (sec.)		
				Average	S.D.	Max
1	3-2-5-2	328	100	33.10	70.37	233
2	2-3-3-4	336	100	567.60	1,020.96	3,354
3	3-2-3-4	400	100	325.70	706.38	2,232
4	3-2-7-2	456	100	153.30	112.70	402
5	3-3-5-2	488	100	387.80	727.18	2,300
6	3-2-5-3	492	100	1,438.70	1,896.15	6,184
7	4-2-5-2	510	90	1,299.00	1,790.81	5,342
8	3-4-3-3	588	100	2,248.70	2,946.66	9,755
9	3-3-3-4	592	100	2,738.70	4,140.11	10,717
10	3-2-7-3	684	90	5,126.22	3,438.29	8,481
11	3-3-5-3	732	70	5,897.00	4,659.10	10,554
12	4-3-5-2	760	100	563.90	518.20	1,852
13	4-3-7-2	1,060	100	3,537.60	3,690.70	10,151
14	5-3-5-2	1,092	30	7,562.33	2,863.53	10,580



ตารางที่ 6.2 ผลการทดสอบการหาคำตอบด้วยวิธีฮิวริสติก

Problem Set	% obtained optimal solution	% deviation from optimal solution			Computation time (sec.)		
		Average	S.D.	Max	Average	S.D.	Max
1	100	8.37	2.07	11.36	30.40	10.48	46
2	100	7.30	3.40	11.68	45.10	11.51	66
3	100	7.18	2.87	11.90	37.60	8.02	47
4	100	9.86	2.44	13.40	33.80	10.37	50
5	100	6.78	3.92	13.88	36.40	12.39	69
6	100	9.68	3.76	18.33	29.90	7.06	41
7	100	10.58	2.94	13.90	39.90	12.71	53
8	100	7.75	1.13	9.50	50.50	13.95	71
9	100	6.63	2.16	10.56	49.10	14.72	64
10	100	12.43	3.14	19.03	37.40	8.85	46
11	100	5.36	1.61	7.60	53.00	16.20	71
12	100	10.68	2.49	15.40	42.50	14.79	70
13	100	9.15	1.64	11.20	41.20	16.71	70
14	100	9.90	4.88	15.40	41.30	13.28	62

3.3 การวิเคราะห์ผลทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

3.3.1 ผลเฉลี่ย

จากผลการวิเคราะห์ทางสถิติด้วยโปรแกรม SPSS 15.0 ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ด้วยวิธี t-test Pair (หรือ t-test dependent) พบว่า $2 \times \text{Sig.} \leq 0.05$ และค่า t เป็นลบ แสดงให้เห็นว่าวิธีฮิวริสติกให้ค่าเฉลี่ยของผลเฉลี่ยที่แตกต่างกับวิธีรูปแบบทางคณิตศาสตร์ โดยค่าเฉลี่ยของผลเฉลี่ยของรูปแบบทางคณิตศาสตร์มีค่าน้อยกว่าอย่างมีนัยสำคัญ

3.3.2 เวลาประมวลผล

จากผลการวิเคราะห์ทางสถิติด้วยโปรแกรม SPSS 15.0 ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ด้วยวิธี t-test Pair (หรือ t-test dependent) พบว่า $2 \times \text{Sig.} \leq 0.05$ และค่า t เป็นบวก แสดงให้เห็นว่าวิธีฮิวริสติกให้ค่าเฉลี่ยของเวลาประมวลผลที่แตกต่างกับวิธีรูปแบบทางคณิตศาสตร์ โดยค่าเฉลี่ยของเวลาประมวลผลของรูปแบบทางคณิตศาสตร์มีค่ามากกว่าอย่างมีนัยสำคัญ

4. การทดสอบแก้ปัญหของโรงงานกรณีศึกษาโดยวิธีฮิวริสติก

ในขั้นตอนนี้ เป็นการใช่วิธีฮิวริสติกในการทดลองแก้ปัญหการจัดตารางการผลิตที่มีขนาดปัญหาเท่ากับปัญหการจัดตารางการผลิตของโรงงานกรณีศึกษา ประกอบด้วย 14 ชนิดผลิตภัณฑ์ 6 เครื่องจักร 18 คาบเวลาผลิต (กะการทำงาน) 3 รอบการผลิต (สัปดาห์) ซึ่งเป็นปัญหขนาดใหญ่มากและประกอบด้วยตัวแปรมหาศาล ไม่สามารถหาผลเฉลยด้วยวิธีรูปแบบทางคณิตศาสตร์ได้ จากการทดสอบโดยใช้ตัวอย่างปัญหการจัดตารางการผลิต 10 ตัวอย่าง แสดงผลการทดสอบในตาราง ก.1 จากผลการทดสอบพบว่าวิธีฮิวริสติกที่พัฒนาขึ้นสามารถแก้ปัญหการจัดตารางการผลิตของโรงงานกรณีศึกษาภายใต้เวลาประมวลผลที่ยอมรับได้

4.1 ตัวอย่างการใช่วิธีฮิวริสติกในการแก้ปัญหการจัดตารางการผลิตของโรงงานกรณีศึกษา
ตัวอย่างปัญหการจัดตารางการผลิตของโรงงานกรณีศึกษาสามารถหาผลเฉลยด้วยวิธีฮิวริสติก มีรายละเอียดดังนี้

4.1.1 ข้อมูลนำเข้า

กำหนดให้ค่าข้อมูลนำเข้าต่างๆของปัญหการจัดตารางการผลิต ดังนี้

- จำนวนชนิดผลิตภัณฑ์ (N) = 14 ชนิดผลิตภัณฑ์
- จำนวนเครื่องจักร (P) = 6 เครื่องจักร
- จำนวนคาบเวลาผลิต (S) = 18 คาบเวลา
- จำนวนรอบการผลิต (W) = 3 รอบ
- ค่าใช้จ่ายการเตรียมงาน (Sc) = 4,000 บาทต่อชั่วโมง
- ค่าใช้จ่ายการผลิต (Pc) = 15,000 บาทต่อคาบเวลาผลิต
- ค่าใช้จ่ายพัสดุคงคลัง (Hc) = 100 บาทต่อพื้นที่ขึ้นต่อรอบการผลิต
- เวลาการผลิตในแต่ละคาบเวลาผลิต (Pt) = 7 ชั่วโมง
- เวลาเตรียมงาน ($St_{i,j,k}$) แสดงรายละเอียดในตารางที่ 6.5
- กำลังการผลิต ($Uph_{j,k}$) แสดงรายละเอียดในตารางที่ 6.3
- ปริมาณความต้องการ ($D_{j,m}$) แสดงรายละเอียดในตารางที่ 6.4
- ปริมาณผลิตภัณฑ์ที่มีอยู่บนมือ (Oh_j) = 0 พันชิ้นสำหรับทุกผลิตภัณฑ์
- เซตลักษณะการผลิตเริ่มต้น (Ps_k) = {3, 1, 6, 12, 10, 0}
- เซตค่าสมมติ (Ip_j) = {0, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1}

ตารางที่ 6.3 กำลังการผลิต (พันชิ้นต่อชั่วโมง)

ผลิตภัณฑ์ (j)	เครื่องจักร (k)					
	1	2	3	4	5	6
1	1.70	2.09	2.46	2.46	2.24	2.30
2	1.82	1.75	1.64	2.11	2.32	2.10
3	2.49	2.11	1.60	2.16	1.91	1.93
4	1.94	1.58	2.18	2.38	2.29	1.55
5	2.01	2.23	2.45	2.11	1.92	1.97
6	1.82	1.70	1.82	2.15	1.63	1.86
7	2.10	2.35	1.94	2.31	2.50	2.16
8	1.74	2.19	1.76	1.58	1.74	1.62
9	2.35	2.23	1.97	1.86	1.86	1.85
10	2.44	2.06	1.71	1.95	2.01	2.34
11	1.52	2.16	2.49	1.86	1.63	2.16
12	2.44	2.40	1.63	1.51	1.63	2.13
13	2.11	1.83	2.04	2.33	1.76	2.20
14	2.30	2.03	2.07	1.56	2.39	2.48

ตารางที่ 6.4 ปริมาณความต้องการ (พันชิ้นต่อรอบการผลิต)

ผลิตภัณฑ์ (j)	รอบการผลิต (m)		
	1	2	3
1	100	200	350
2	60	40	0
3	0	50	40
4	150	140	180
5	65	25	30
6	475	500	525
7	40	30	40
8	225	150	100
9	50	100	150
10	30	0	0
11	50	50	50
12	100	150	100
13	45	40	60
14	0	20	45

ตารางที่ 6.5 เวลาเตรียมงาน (ชั่วโมงต่อการเตรียมงาน)

ผลิตภัณฑ์ (i)	ผลิตภัณฑ์ (j)	เครื่องจักร (k)					
		1	2	3	4	5	6
0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0	1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0	2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0	3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0	4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0	5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0	6	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0	7	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0	8	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0	9	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0	10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0	11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0	12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0	13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0	14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1	1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1	2	1.38	1.21	1.02	1.52	1.21	1.31
1	3	1.10	1.91	1.80	1.02	1.54	1.32
1	4	1.54	1.25	1.04	1.77	1.03	1.66
1	5	1.68	1.94	1.60	1.75	1.09	1.17
1	6	1.31	1.56	1.42	1.70	1.15	1.58
1	7	1.89	1.28	1.90	1.56	1.00	1.18
1	8	1.57	1.20	1.19	1.18	1.58	1.54
1	9	1.22	1.93	1.34	1.56	1.26	1.38
1	10	1.30	1.92	1.77	1.14	1.77	1.81
1	11	1.42	1.54	1.43	1.65	1.83	1.47
1	12	1.00	1.93	1.18	1.46	1.92	2.00
1	13	1.85	1.09	1.47	1.48	1.80	1.08
1	14	1.35	1.23	1.70	1.63	1.03	1.99
2	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	1	1.95	1.32	1.70	1.90	1.52	1.28
2	2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	3	1.97	1.40	1.82	1.93	1.53	1.59
2	4	1.36	1.79	1.99	1.86	1.32	1.56
2	5	1.49	1.21	1.86	1.27	1.23	2.00
2	6	1.23	1.79	1.99	1.74	1.09	1.08
2	7	1.38	1.60	1.98	1.42	1.51	1.16
2	8	1.79	1.75	1.39	1.20	1.76	1.35
2	9	1.99	1.74	1.05	1.41	1.74	1.18
2	10	1.06	1.10	1.69	1.55	1.53	1.72
2	11	1.65	1.44	1.05	1.87	1.74	1.14
2	12	1.04	1.58	1.36	1.16	1.20	1.55
2	13	1.00	1.40	1.37	1.53	1.43	1.43
2	14	1.49	1.19	1.79	1.77	1.16	1.08

ตารางที่ 6.5 เวลาเตรียมงาน (ต่อ)

ผลิตภัณฑ์ (i)	ผลิตภัณฑ์ (j)	เครื่องจักร (k)					
		1	2	3	4	5	6
3	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3	1	1.18	1.02	1.44	1.63	1.64	1.64
3	2	1.08	1.13	1.80	1.58	1.29	1.17
3	3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3	4	1.14	1.99	1.41	1.32	1.60	1.43
3	5	1.37	1.47	1.11	1.51	1.36	1.66
3	6	1.73	1.87	1.43	1.94	1.31	1.05
3	7	1.73	1.72	1.23	1.80	1.27	1.80
3	8	1.84	1.57	1.80	1.38	1.61	1.20
3	9	1.56	1.74	1.13	1.51	1.67	1.06
3	10	1.56	1.55	1.48	1.69	1.59	1.48
3	11	1.83	1.29	1.91	1.44	1.42	1.19
3	12	1.66	1.62	1.84	1.11	1.47	1.91
3	13	1.55	1.11	1.89	1.84	1.32	1.24
3	14	1.34	1.28	1.53	1.09	1.60	1.28
4	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4	1	1.95	1.52	1.64	1.64	1.14	1.85
4	2	1.16	1.18	1.89	1.75	1.01	1.77
4	3	1.87	1.03	1.04	1.77	1.06	1.21
4	4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4	5	1.79	1.64	1.46	1.78	1.98	1.00
4	6	1.02	1.23	1.61	1.49	1.70	1.62
4	7	1.96	1.36	1.68	1.16	1.10	1.75
4	8	1.81	1.87	1.34	1.96	1.41	1.13
4	9	1.25	1.98	1.79	1.54	1.19	1.41
4	10	1.82	1.28	1.72	1.95	1.78	1.74
4	11	1.10	1.99	1.76	1.81	1.21	1.04
4	12	1.01	1.67	1.01	1.30	1.27	1.17
4	13	1.76	1.72	1.14	1.04	1.88	1.97
4	14	1.12	1.77	1.62	1.32	1.66	1.75
5	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5	1	1.27	1.80	1.98	1.85	1.73	1.71
5	2	1.49	1.65	1.26	1.33	1.80	1.79
5	3	1.70	1.71	1.92	1.73	1.61	1.68
5	4	1.32	1.52	1.17	1.73	1.38	1.63
5	5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5	6	1.69	1.98	1.21	1.91	1.44	1.01
5	7	1.49	1.66	1.03	1.59	1.66	1.65
5	8	1.63	1.88	1.13	1.15	1.33	1.52
5	9	1.45	1.77	1.18	1.25	1.34	1.04
5	10	1.23	1.60	1.36	1.63	1.03	1.48
5	11	1.13	1.27	1.83	1.15	1.08	1.45
5	12	1.68	1.32	1.29	1.12	1.02	1.59
5	13	1.23	1.48	1.55	1.35	1.85	1.34
5	14	1.95	1.69	1.43	1.81	1.49	1.54

ตารางที่ 6.5 เวลาเตรียมงาน (ต่อ)

ผลิตภัณฑ์ (i)	ผลิตภัณฑ์ (j)	เครื่องจักร (k)					
		1	2	3	4	5	6
6	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
6	1	1.91	1.29	1.13	1.08	1.89	1.95
6	2	1.15	1.15	1.71	1.25	1.44	1.05
6	3	1.66	1.73	1.20	1.21	1.74	1.36
6	4	1.02	1.72	1.87	1.29	1.42	1.55
6	5	1.68	1.44	1.20	1.69	1.74	1.55
6	6	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
6	7	1.55	1.23	1.62	1.82	1.43	1.94
6	8	1.27	1.98	1.38	1.89	1.75	1.93
6	9	1.03	1.59	1.55	1.08	1.03	1.40
6	10	1.19	1.92	1.48	1.27	1.20	1.59
6	11	1.90	1.71	1.25	1.84	1.17	1.20
6	12	1.75	1.12	1.85	1.67	1.48	1.48
6	13	1.82	1.69	1.57	1.12	1.44	1.72
6	14	1.99	1.89	1.61	1.43	1.35	1.17
7	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
7	1	1.10	1.83	1.97	1.69	1.66	1.60
7	2	1.45	1.98	1.84	1.72	1.87	1.84
7	3	1.89	1.55	1.22	1.11	1.85	1.65
7	4	1.71	1.11	1.31	1.88	1.87	1.17
7	5	1.42	1.10	1.51	1.25	1.61	1.77
7	6	1.83	1.92	1.38	1.13	1.38	1.44
7	7	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
7	8	1.40	1.81	1.71	1.81	1.28	1.27
7	9	1.61	1.47	1.46	1.28	1.28	1.89
7	10	1.70	1.74	1.55	1.12	1.35	1.17
7	11	1.93	1.99	1.65	1.36	1.17	1.61
7	12	1.94	1.81	1.08	1.26	1.89	1.56
7	13	1.61	1.29	1.96	1.23	1.47	1.99
7	14	1.50	1.92	1.84	1.78	1.16	1.94
8	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
8	1	1.25	1.01	1.36	1.38	1.80	1.92
8	2	1.35	1.69	1.66	1.95	1.87	1.98
8	3	1.18	1.62	1.73	1.34	1.43	1.74
8	4	1.28	1.68	1.40	1.14	2.00	1.20
8	5	1.50	1.00	1.29	1.21	1.41	1.83
8	6	1.07	1.28	1.74	1.36	1.79	1.70
8	7	1.65	1.75	1.86	1.04	1.43	1.53
8	8	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
8	9	1.85	1.15	1.01	1.21	1.72	1.62
8	10	1.43	1.93	1.70	1.43	1.63	1.57
8	11	1.27	1.40	1.53	1.76	1.41	1.11
8	12	1.83	1.24	1.96	1.28	1.95	1.39
8	13	1.37	1.52	1.63	1.77	1.67	1.92
8	14	1.47	1.56	1.78	1.67	1.10	1.65

ตารางที่ 6.5 เวลาเตรียมงาน (ต่อ)

ผลิตภัณฑ์ (i)	ผลิตภัณฑ์ (j)	เครื่องจักร (k)					
		1	2	3	4	5	6
9	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
9	1	1.85	1.28	1.95	1.02	1.07	1.58
9	2	1.63	1.60	1.92	1.61	1.82	1.00
9	3	1.93	1.80	1.62	1.22	1.21	1.32
9	4	1.86	1.95	1.06	1.38	1.58	1.09
9	5	1.88	1.37	1.52	1.55	1.94	1.79
9	6	1.02	1.27	1.13	1.07	1.23	1.45
9	7	1.81	1.87	1.98	1.85	1.90	1.47
9	8	1.35	1.49	1.80	1.67	1.89	1.04
9	9	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
9	10	1.75	1.34	1.35	1.36	1.09	1.52
9	11	1.04	1.66	1.39	1.74	1.81	1.93
9	12	1.15	1.54	1.49	1.73	1.61	1.34
9	13	1.40	1.83	1.53	1.78	1.47	1.37
9	14	1.20	1.29	1.86	1.15	1.03	1.83
10	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
10	1	1.21	1.94	1.36	1.34	1.39	1.04
10	2	1.13	1.08	1.82	1.52	1.93	1.91
10	3	1.54	1.94	1.23	1.56	1.22	1.70
10	4	1.16	1.52	1.78	1.48	1.71	1.50
10	5	1.91	1.70	1.50	1.20	1.30	1.20
10	6	1.43	1.62	1.77	1.08	1.50	1.18
10	7	1.40	1.10	1.85	1.70	1.15	2.00
10	8	1.73	1.93	1.35	1.99	1.42	1.85
10	9	1.60	1.84	1.30	1.19	1.76	1.84
10	10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
10	11	1.10	1.22	1.02	1.91	1.00	1.62
10	12	1.75	1.40	1.95	1.82	1.33	1.55
10	13	1.96	1.20	1.67	1.03	1.83	1.67
10	14	1.25	1.42	1.68	1.01	1.61	1.71
11	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
11	1	1.74	1.47	1.85	1.67	1.87	1.83
11	2	1.64	1.52	1.35	1.70	1.80	1.26
11	3	1.78	1.15	1.80	1.01	1.40	1.90
11	4	2.00	1.10	1.29	2.00	1.15	1.73
11	5	1.12	1.02	1.04	1.04	1.23	1.79
11	6	1.66	1.79	1.41	1.22	1.46	1.55
11	7	1.21	1.18	1.35	1.45	1.32	1.59
11	8	1.70	1.70	1.46	1.11	1.10	1.65
11	9	1.15	1.42	1.72	1.58	1.80	1.31
11	10	1.27	1.64	1.76	1.25	1.15	1.96
11	11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
11	12	1.19	1.57	1.57	1.98	1.44	1.10
11	13	1.55	1.73	1.67	1.68	1.70	1.50
11	14	2.00	1.70	1.31	1.27	1.44	1.01

ตารางที่ 6.5 เวลาเตรียมงาน (ต่อ)

ผลิตภัณฑ์ (i)	ผลิตภัณฑ์ (j)	เครื่องจักร (k)					
		1	2	3	4	5	6
12	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
12	1	1.66	1.43	1.22	1.98	1.01	1.80
12	2	1.24	1.85	1.63	1.79	1.92	1.67
12	3	1.82	1.22	1.40	1.23	2.00	1.64
12	4	1.46	1.39	1.47	1.23	1.22	1.46
12	5	1.00	1.41	1.13	1.37	1.94	1.61
12	6	1.11	1.02	1.97	1.91	1.45	1.45
12	7	1.38	1.81	1.23	1.12	1.65	1.59
12	8	1.73	1.06	1.27	1.45	1.89	1.24
12	9	1.58	1.65	1.31	1.80	1.24	1.80
12	10	1.86	1.40	1.01	1.39	1.37	1.65
12	11	1.39	1.57	1.47	1.37	1.72	1.96
12	12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
12	13	1.65	1.14	1.77	1.68	1.32	1.46
12	14	1.71	1.51	1.72	1.14	1.47	1.72
13	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
13	1	1.52	1.96	1.20	1.73	1.41	1.93
13	2	1.09	1.80	1.51	1.07	1.62	1.87
13	3	1.95	1.97	1.68	1.46	1.18	1.02
13	4	1.78	1.97	1.93	1.83	1.85	1.77
13	5	1.48	1.45	1.38	1.91	1.74	1.40
13	6	1.45	1.47	1.23	1.31	1.32	1.35
13	7	1.49	1.69	1.80	1.41	1.21	1.25
13	8	1.41	1.79	1.88	1.27	1.47	1.33
13	9	1.85	1.00	1.78	1.94	1.08	1.07
13	10	1.13	1.45	1.37	1.03	1.71	1.15
13	11	1.28	1.26	1.21	1.96	1.82	1.55
13	12	1.02	1.86	1.98	1.65	1.94	1.46
13	13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
13	14	1.23	1.22	1.66	1.77	1.92	1.40
14	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
14	1	1.62	1.97	1.17	1.80	1.47	1.75
14	2	1.35	1.08	1.48	1.37	1.28	1.73
14	3	1.00	1.98	1.92	2.00	1.46	1.39
14	4	1.10	1.31	1.39	1.88	1.98	1.19
14	5	1.18	1.96	1.74	1.87	1.38	1.75
14	6	1.50	1.14	1.70	1.52	1.60	1.47
14	7	1.38	1.33	1.45	1.63	1.88	1.41
14	8	1.68	1.70	1.03	1.06	1.74	1.16
14	9	1.15	1.27	1.84	1.88	1.12	1.30
14	10	1.65	1.25	1.49	1.34	1.60	1.86
14	11	1.33	1.88	1.85	1.17	1.10	1.14
14	12	1.80	1.49	1.05	1.05	1.99	1.00
14	13	1.59	1.84	1.62	1.72	1.97	1.49
14	14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

4.1.2 การวางแผนกำลังการผลิตเป็นจำนวนจริง

จากข้อมูลนำเข้าของปัญหาการข้างต้น คำนวณ $Sc_{Avg} = 4,000(\frac{1,648.67}{1092})$
= 6,039.08 บาทต่อครั้งการเตรียมงาน จากการหาผลเฉลี่ยโดยรูปแบบคณิตศาสตร์ในการวางแผนกำลังการผลิตเป็นจำนวนจริงได้ผลเฉลี่ย ($Xa_{j,k,m}$) ดังแสดงในตาราง 6.6 เกิดต้นทุนการผลิต 4,385,025.74 บาท ต้นทุนพัสดุคงคลัง 40,313.52 บาท ต้นทุนเตรียมงาน 199,289.78 บาท รวมเป็นค่าเป้าหมาย 4,624,628.03 บาท

ตารางที่ 6.6 จำนวนคาบเวลาการผลิตที่ใช้จากการวางแผนกำลังการผลิตเป็นจำนวนจริง

เครื่องจักร (k)	ผลิตภัณฑ์ (j)	รอบการผลิต (m)		
		1	2	3
1	1	0.00	0.00	0.00
	2	0.00	0.00	0.00
	3	0.00	2.87	2.29
	4	0.00	0.00	0.00
	5	0.00	0.00	0.00
	6	0.00	0.00	0.00
	7	0.00	0.00	0.00
	8	0.00	0.00	0.00
	9	3.04	6.08	9.12
	10	1.76	0.00	0.00
	11	0.00	0.00	0.00
	12	5.85	8.78	0.00
	13	5.75	0.00	4.06
	14	0.00	0.00	0.00
2	1	0.00	0.00	0.00
	2	0.00	0.00	0.00
	3	0.00	0.00	0.00
	4	0.00	0.00	0.00
	5	0.00	0.00	0.00
	6	0.00	0.00	0.00
	7	0.00	0.00	0.00
	8	14.68	9.78	6.52
	9	0.00	0.00	0.00
	10	0.00	0.00	0.00
	11	0.00	0.00	0.00
	12	0.00	0.00	5.95
	13	0.00	0.00	0.00
	14	0.00	0.00	0.00

ตารางที่ 6.6 จำนวนคาบเวลาการผลิตที่ใช้จากการวางแผนกำลังการผลิตเป็นจำนวนจริง (ต่อ)

เครื่องจักร (k)	ผลิตภัณฑ์ (j)	รอบการผลิต (m)		
		1	2	3
3	1	7.48	12.26	18.00
	2	0.00	0.00	0.00
	3	0.00	0.00	0.00
	4	0.00	0.00	0.00
	5	7.00	0.00	0.00
	6	0.00	0.00	0.00
	7	0.00	0.00	0.00
	8	0.00	0.00	0.00
	9	0.00	0.00	0.00
	10	0.00	0.00	0.00
	11	2.87	5.74	0.00
	12	0.00	0.00	0.00
	13	0.00	0.00	0.00
	14	0.00	0.00	0.00
4	1	0.00	0.00	0.00
	2	0.00	0.00	0.00
	3	0.00	0.00	0.00
	4	0.00	0.00	0.00
	5	0.00	0.00	0.00
	6	18.00	18.00	18.00
	7	0.00	0.00	0.00
	8	0.00	0.00	0.00
	9	0.00	0.00	0.00
	10	0.00	0.00	0.00
	11	0.00	0.00	0.00
	12	0.00	0.00	0.00
	13	0.00	0.00	0.00
	14	0.00	0.00	0.00

ตารางที่ 6.6 จำนวนคาบเวลาการผลิตที่ใช้จากการวางแผนกำลังการผลิตเป็นจำนวนจริง (ต่อ)

เครื่องจักร (k)	ผลิตภัณฑ์ (j)	รอบการผลิต (m)		
		1	2	3
5	1	0.00	0.00	0.00
	2	6.16	0.00	0.00
	3	0.00	0.00	0.00
	4	9.36	8.73	11.23
	5	0.00	0.00	0.00
	6	0.00	0.00	0.00
	7	2.29	4.00	0.00
	8	0.00	0.00	0.00
	9	0.00	0.00	0.00
	10	0.00	0.00	0.00
	11	0.00	0.00	0.00
	12	0.00	0.00	0.00
	13	0.00	0.00	0.00
	14	0.00	3.89	0.00
6	1	0.00	0.00	0.00
	2	0.00	0.00	0.00
	3	0.00	0.00	0.00
	4	0.00	0.00	0.00
	5	0.00	0.00	0.00
	6	16.79	18.00	18.00
	7	0.00	0.00	0.00
	8	0.00	0.00	0.00
	9	0.00	0.00	0.00
	10	0.00	0.00	0.00
	11	0.00	0.00	0.00
	12	0.00	0.00	0.00
	13	0.00	0.00	0.00
	14	0.00	0.00	0.00



4.1.3 คำนวณหาค่า $Z_{j,k,m}$

นำค่า $Xa_{j,k,m}$ มาคำนวณหาค่า $Z_{j,k,m}$ โดยจะมีค่าเป็น 1 เมื่อค่า $Xa_{j,k,m}$ มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 1 ได้ค่า $Z_{j,k,m}$ ดังแสดงในตาราง 6.7

ตารางที่ 6.7 ค่า $Z_{j,k,m}$ จากการวางแผนกำลังการผลิตเป็นจำนวนจริง

เครื่องจักร (k)	ผลิตภัณฑ์ (j)	รอบการผลิต (m)		
		1	2	3
1	1	0	0	0
	2	0	0	0
	3	0	1	1
	4	0	0	0
	5	0	0	0
	6	0	0	0
	7	0	0	0
	8	0	0	0
	9	1	1	1
	10	1	0	0
	11	0	0	0
	12	1	1	0
	13	1	0	1
	14	0	0	0
2	1	0	0	0
	2	0	0	0
	3	0	0	0
	4	0	0	0
	5	0	0	0
	6	0	0	0
	7	0	0	0
	8	1	1	1
	9	0	0	0
	10	0	0	0
	11	0	0	0
	12	0	0	1
	13	0	0	0
	14	0	0	0

ตารางที่ 6.7 ค่า $Z_{j,k,m}$ จากการวางแผนกำลังการผลิตเป็นจำนวนจริง (ต่อ)

เครื่องจักร (k)	ผลิตภัณฑ์ (j)	รอบการผลิต (m)		
		1	2	3
3	1	1	1	1
	2	0	0	0
	3	0	0	0
	4	0	0	0
	5	1	0	0
	6	0	0	0
	7	0	0	0
	8	0	0	0
	9	0	0	0
	10	0	0	0
	11	1	1	0
	12	0	0	0
	13	0	0	0
	14	0	0	0
4	1	0	0	0
	2	0	0	0
	3	0	0	0
	4	0	0	0
	5	0	0	0
	6	1	1	1
	7	0	0	0
	8	0	0	0
	9	0	0	0
	10	0	0	0
	11	0	0	0
	12	0	0	0
	13	0	0	0
	14	0	0	0



ตารางที่ 6.7 ค่า $Z_{j,k,m}$ จากการวางแผนกำลังการผลิตเป็นจำนวนจริง (ต่อ)

เครื่องจักร (k)	ผลิตภัณฑ์ (j)	รอบการผลิต (m)		
		1	2	3
5	1	0	0	0
	2	1	0	0
	3	0	0	0
	4	1	1	1
	5	0	0	0
	6	0	0	0
	7	1	1	0
	8	0	0	0
	9	0	0	0
	10	0	0	0
	11	0	0	0
	12	0	0	0
	13	0	0	0
	14	0	1	0
6	1	0	0	0
	2	0	0	0
	3	0	0	0
	4	0	0	0
	5	0	0	0
	6	1	1	1
	7	0	0	0
	8	0	0	0
	9	0	0	0
	10	0	0	0
	11	0	0	0
	12	0	0	0
	13	0	0	0
	14	0	0	0

4.1.4 การวางแผนกำลังการผลิตเป็นจำนวนเต็ม

การหาผลเฉลยโดยรูปแบบคณิตศาสตร์ในการวางแผนกำลังการผลิตเป็นจำนวนเต็มได้ผลเฉลย ($Xb_{j,k,m} + Z_{j,k,m}$) ดังแสดงในตาราง 6.8 โดยกำหนดให้ M มีค่าเท่ากับ 1,000,000 เกิดต้นทุนการผลิต 4,470,000 บาท ต้นทุนพัสดุคงคลัง 59,585 บาท ต้นทุนเตรียมงาน 34,000,000 บาท รวมเป็นค่าเป้าหมาย 38,529,585 บาท

ตารางที่ 6.8 จำนวนคาบเวลาการผลิตที่ใช้จากการวางแผนกำลังการผลิตเป็นจำนวนเต็ม

เครื่องจักร (k)	ผลิตภัณฑ์ (j)	รอบการผลิต (m)		
		1	2	3
1	1	0	0	0
	2	0	0	0
	3	0	3	3
	4	0	0	0
	5	0	0	0
	6	0	0	0
	7	0	0	0
	8	0	0	0
	9	4	6	9
	10	2	0	0
	11	0	0	0
	12	6	9	0
	13	6	0	4
	14	0	0	0
2	1	0	0	0
	2	0	3	0
	3	0	0	0
	4	0	0	0
	5	0	0	0
	6	0	0	0
	7	0	0	0
	8	15	10	6
	9	0	0	0
	10	0	0	0
	11	0	0	0
	12	0	0	6
	13	0	0	0
	14	0	0	0

ตารางที่ 6.8 จำนวนคาบเวลาการผลิตที่ใช้จากการวางแผนกำลังการผลิตเป็นจำนวนจริง (ต่อ)

เครื่องจักร (<i>k</i>)	ผลิตภัณฑ์ (<i>j</i>)	รอบการผลิต (<i>m</i>)		
		1	2	3
3	1	8	12	18
	2	0	0	0
	3	0	0	0
	4	0	0	0
	5	7	0	0
	6	0	0	0
	7	0	0	0
	8	0	0	0
	9	0	0	0
	10	0	0	0
	11	3	6	0
	12	0	0	0
	13	0	0	0
	14	0	0	0
4	1	0	0	0
	2	0	0	0
	3	0	0	0
	4	0	0	0
	5	0	0	0
	6	17	18	18
	7	0	0	0
	8	0	0	0
	9	0	0	0
	10	0	0	0
	11	0	0	0
	12	0	0	0
	13	0	0	0
	14	0	0	0

ตารางที่ 6.8 จำนวนคาบเวลาการผลิตที่ใช้จากการวางแผนกำลังการผลิตเป็นจำนวนจริง (ต่อ)

เครื่องจักร (<i>k</i>)	ผลิตภัณฑ์ (<i>j</i>)	รอบการผลิต (<i>m</i>)		
		1	2	3
5	1	0	0	0
	2	4	0	0
	3	0	0	0
	4	10	9	11
	5	0	0	0
	6	0	0	0
	7	3	4	0
	8	0	0	0
	9	0	0	0
	10	0	0	0
	11	0	0	0
	12	0	0	0
	13	0	0	0
	14	0	4	0
6	1	0	0	0
	2	0	0	0
	3	0	0	0
	4	0	0	0
	5	0	0	0
	6	18	18	18
	7	0	0	0
	8	0	0	0
	9	0	0	0
	10	0	0	0
	11	0	0	0
	12	0	0	0
	13	0	0	0
	14	0	0	0

4.1.4 การจัดลำดับการผลิตโดยรูปแบบทางคณิตศาสตร์

ในทำนองเดียวกันกับตัวอย่างการจัดลำดับการผลิตในบทที่ 5 คือต้องคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่ใช้ในการจัดลำดับการผลิตโดยรูปแบบทางคณิตศาสตร์ จากการหาผลเฉลยโดยรูปแบบทางคณิตศาสตร์จะได้ลำดับการผลิตแสดงในตารางที่ 6.9 ถึง 6.14 ดังนี้

ตารางที่ 6.9 ลำดับการผลิตบนเครื่องจักรที่ 1 จากการจัดลำดับการผลิต

เครื่องจักรที่ 1	ลำดับการผลิต (t)											
	Ps	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
ผลิตภัณฑ์ (j)	3	13	10	9	12	12	9	3	3	9	13	0

ตารางที่ 6.10 ลำดับการผลิตบนเครื่องจักรที่ 2 จากการจัดลำดับการผลิต

เครื่องจักรที่ 2	ลำดับการผลิต (t)								
	Ps	1	2	3	4	5	6	7	8
ผลิตภัณฑ์ (j)	1	8	0	8	2	0	12	8	0

ตารางที่ 6.11 ลำดับการผลิตบนเครื่องจักรที่ 3 จากการจัดลำดับการผลิต

เครื่องจักรที่ 3	ลำดับการผลิต (t)						
	Ps	1	2	3	4	5	6
ผลิตภัณฑ์ (j)	6	1	5	11	11	1	1

ตารางที่ 6.12 ลำดับการผลิตบนเครื่องจักรที่ 4 จากการจัดลำดับการผลิต

เครื่องจักรที่ 4	ลำดับการผลิต (t)				
	Ps	1	2	3	4
ผลิตภัณฑ์ (j)	12	6	0	6	6

ตารางที่ 6.13 ลำดับการผลิตบนเครื่องจักรที่ 5 จากการจัดลำดับการผลิต

เครื่องจักรที่ 5	ลำดับการผลิต (t)										
	Ps	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ผลิตภัณฑ์ (j)	10	7	4	2	0	4	7	14	0	4	0

ตารางที่ 6.15c ตารางการผลิตในรอบการผลิตที่ 3

เครื่องจักร (k)	คาบเวลาการผลิต (l)																	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	3	3	9	9	9	9	9	9	9	9	9	13	13	13	13	0	0	0
2	12	12	12	12	12	12	8	8	8	8	8	8	8	0	0	0	0	0
3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
4	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
5	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	5	5	0	0	0	0	0
6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6

ตารางที่ 6.16 ปริมาณพัสดุดังคล้งจากตารางการผลิตในตารางที่ 6.15a ถึง 6.15c

ผลิตภัณฑ์ (j)	รอบการผลิต (m)		
	1	2	3
1	34.98	54.29	14.25
2	18.86	0.40	0.40
3	0.00	15.19	10.05
4	6.38	6.12	2.45
5	33.98	8.98	2.06
6	26.15	31.41	11.67
7	8.73	48.73	8.72
8	2.32	5.62	10.61
9	12.04	10.74	5.12
10	1.40	1.40	1.40
11	15.16	52.31	2.31
12	15.51	-0.66	0.14
13	25.37	8.43	4.55
14	0.00	60.88	15.88

4.1.5 การปรับปรุงตารางการผลิต

โดยในขั้นตอนการปรับปรุงการผลิตต้องเก็บค่าเวลาเตรียมงาน $St_{j,k,m}$ จาก ตารางการผลิตก่อนปรับปรุงแสดงในตารางที่ 6.17 และกำหนดค่า $Rp = 1$ จากนั้นทำการ ปรับปรุงตารางการผลิตโดยรูปแบบทางคณิตศาสตร์และทำการจัดลำดับการผลิต ได้ตารางการ ผลิตหลังปรับปรุงแสดงในตารางที่ 6.18a ถึง 6.18c

ตารางที่ 6.17 เวลาเตรียมงานจากตารางการผลิตก่อนปรับปรุง

เครื่องจักร (k)	ผลิตภัณฑ์ (j)	รอบการผลิต (m)		
		1	2	3
1	1	0.00	0.00	0.00
	2	0.00	0.00	0.00
	3	0.00	1.93	0.00
	4	0.00	0.00	0.00
	5	0.00	0.00	0.00
	6	0.00	0.00	0.00
	7	0.00	0.00	0.00
	8	0.00	0.00	0.00
	9	1.60	1.58	1.56
	10	1.13	0.00	0.00
	11	0.00	0.00	0.00
	12	1.15	0.00	0.00
	13	1.55	0.00	1.40
	14	0.00	0.00	0.00
2	1	0.00	0.00	0.00
	2	0.00	1.69	0.00
	3	0.00	0.00	0.00
	4	0.00	0.00	0.00
	5	0.00	0.00	0.00
	6	0.00	0.00	0.00
	7	0.00	0.00	0.00
	8	1.20	0.00	1.06
	9	0.00	0.00	0.00
	10	0.00	0.00	0.00
	11	0.00	0.00	0.00
	12	0.00	0.00	0.00
	13	0.00	0.00	0.00
	14	0.00	0.00	0.00

ตารางที่ 6.17 เวลาเตรียมงานจากตารางการผลิตก่อนปรับปรุง (ต่อ)

เครื่องจักร (k)	ผลิตภัณฑ์ (j)	รอบการผลิต (m)		
		1	2	3
3	1	1.13	1.85	0.00
	2	0.00	0.00	0.00
	3	0.00	0.00	0.00
	4	0.00	0.00	0.00
	5	1.60	0.00	0.00
	6	0.00	0.00	0.00
	7	0.00	0.00	0.00
	8	0.00	0.00	0.00
	9	0.00	0.00	0.00
	10	0.00	0.00	0.00
	11	1.83	0.00	0.00
	12	0.00	0.00	0.00
	13	0.00	0.00	0.00
	14	0.00	0.00	0.00
4	1	0.00	0.00	0.00
	2	0.00	0.00	0.00
	3	0.00	0.00	0.00
	4	0.00	0.00	0.00
	5	0.00	0.00	0.00
	6	1.91	0.00	0.00
	7	0.00	0.00	0.00
	8	0.00	0.00	0.00
	9	0.00	0.00	0.00
	10	0.00	0.00	0.00
	11	0.00	0.00	0.00
	12	0.00	0.00	0.00
	13	0.00	0.00	0.00
	14	0.00	0.00	0.00

ตารางที่ 6.17 เวลาเตรียมงานจากตารางการผลิตก่อนปรับปรุง (ต่อ)

เครื่องจักร (<i>k</i>)	ผลิตภัณฑ์ (<i>j</i>)	รอบการผลิต (<i>m</i>)		
		1	2	3
5	1	0.00	0.00	0.00
	2	1.01	0.00	0.00
	3	0.00	0.00	0.00
	4	1.87	0.00	0.00
	5	0.00	0.00	0.00
	6	0.00	0.00	0.00
	7	1.15	1.10	0.00
	8	0.00	0.00	0.00
	9	0.00	0.00	0.00
	10	0.00	0.00	0.00
	11	0.00	0.00	0.00
	12	0.00	0.00	0.00
	13	0.00	0.00	0.00
	14	0.00	1.16	0.00
6	1	0.00	0.00	0.00
	2	0.00	0.00	0.00
	3	0.00	0.00	0.00
	4	0.00	0.00	0.00
	5	0.00	0.00	0.00
	6	0.00	0.00	0.00
	7	0.00	0.00	0.00
	8	0.00	0.00	0.00
	9	0.00	0.00	0.00
	10	0.00	0.00	0.00
	11	0.00	0.00	0.00
	12	0.00	0.00	0.00
	13	0.00	0.00	0.00
	14	0.00	0.00	0.00

ตารางที่ 6.18a ตารางการผลิตในรอบการผลิตที่ 1 หลังการปรับปรุงรอบที่ 1

เครื่องจักร (k)	คาบเวลาการผลิต (I)																	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	13	13	13	13	13	10	10	9	9	9	9	12	12	12	12	12	12	12
2	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	0	0	0
3	1	1	1	1	1	1	1	1	5	5	5	5	5	5	11	11	11	11
4	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
5	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	2	2	2	2	2	7	7	7
6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6

ตารางที่ 6.18b ตารางการผลิตในรอบการผลิตที่ 2 หลังการปรับปรุงรอบที่ 1

เครื่องจักร (k)	คาบเวลาการผลิต (I)																	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	12	12	12	12	12	12	12	12	9	9	9	9	9	9	3	3	3	3
2	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	2	2	13	13	0	0	0	0
3	11	11	11	11	11	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
4	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
5	7	7	7	7	14	14	14	14	14	4	4	4	4	4	4	4	4	4
6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6

ตารางที่ 6.18c ตารางการผลิตในรอบการผลิตที่ 3 หลังการปรับปรุงรอบที่ 1

เครื่องจักร (k)	คาบเวลาการผลิต (I)																	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	3	3	9	9	9	9	9	9	9	9	9	13	13	13	13	0	0	0
2	12	12	12	12	12	12	8	8	8	8	8	8	8	0	0	0	0	0
3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
4	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
5	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	5	5	0	0	0	0	0
6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6

เมื่อพิจารณาปริมาณพัสดุดังคลั่งจากตารางการผลิตที่ได้รับการปรับปรุงรอบที่ 1 แล้วพบว่า มีปริมาณพัสดุดังคลั่งมากกว่าหรือเท่ากับ 0 สำหรับทุกชนิดผลิตภัณฑ์ในทุกรอบการผลิต แสดงว่า

สามารถตอบสนองความต้องการของลูกค้าได้อย่างมีประสิทธิภาพ ผลลัพธ์ของฮิวริสติกอัลกอริทึมคือตารางการผลิตที่แสดงในตารางที่ 6.18a ถึง 6.18c เกิดต้นทุนการผลิต 4,560,000 บาท ต้นทุนวัสดุคงคลัง 59,635.90 บาท ต้นทุนเตรียมงาน 139,680 บาท รวมเป็นค่าเป้าหมาย 4,759,315.90 บาท โดยสำหรับตัวอย่างนี้วิธีฮิวริสติกอัลกอริทึมใช้เวลาในการประมวลผล 358 วินาที

5. ขีดจำกัดของวิธีฮิวริสติกอัลกอริทึม

เนื่องจากวิธีฮิวริสติกที่พัฒนาขึ้นใช้รูปแบบทางคณิตศาสตร์ในการแก้ปัญหา โดยเป็นการนำปัญหาขนาดใหญ่มาแบ่งพิจารณาทีละส่วน ประกอบด้วย การวางแผนกำลังการผลิตเป็นจำนวนจริง การวางแผนกำลังการผลิตเป็นจำนวนเต็ม การจัดลำดับการผลิต และการปรับปรุงตารางการผลิต ขีดจำกัดของขนาดปัญหาที่สามารถหาผลเฉลยได้นั้น จำนวนตัวแปรตัดสินใจมีความสำคัญอย่างมาก เนื่องจากโปรแกรม LINGO11 (Industrial version) มีขีดจำกัดในการแก้ปัญหาได้ไม่เกิน 3,200 ตัวแปรตัดสินใจ ซึ่งปัญหาการจัดตารางการผลิตโดยวิธีรูปแบบทางคณิตศาสตร์และวิธีฮิวริสติกประกอบด้วยจำนวนตัวแปรตัดสินใจ ดังนี้

กำหนด	N	คือ	จำนวนชนิดผลิตภัณฑ์
	P	คือ	จำนวนชนิดเครื่องจักร
	S	คือ	จำนวนคาบเวลาผลิต
	W	คือ	จำนวนรอบการผลิต
	T	คือ	จำนวนลำดับการผลิตบนแต่ละเครื่องจักร

5.1 จำนวนตัวแปรตัดสินใจของวิธีรูปแบบทางคณิตศาสตร์

$$\text{จำนวนตัวแปรตัดสินใจ} = (N+1)^2 * P * S * W$$

ตัวอย่างเช่นในปัญหาซึ่งประกอบด้วย 14 ชนิดผลิตภัณฑ์ 6 เครื่องจักร 18 คาบเวลาผลิต 3 รอบการผลิตจะมีจำนวนตัวแปรตัดสินใจเท่ากับ $(14+1)^2 * 6 * 18 * 3$ เท่ากับ 72,900 ตัวแปรตัดสินใจ

5.2 จำนวนตัวแปรตัดสินใจของการวางแผนกำลังการผลิตเป็นจำนวนจริง การวางแผนกำลังการผลิตเป็นจำนวนเต็ม และการปรับปรุงตารางการผลิตโดยรูปแบบทางคณิตศาสตร์

$$\text{จำนวนตัวแปรตัดสินใจ} = N * P * W$$

5.3 จำนวนตัวแปรตัดสินใจของวิธีการจัดลำดับการผลิตโดยรูปแบบทางคณิตศาสตร์

$$\text{จำนวนตัวแปรตัดสินใจ} = (N+1)^2 * T$$

จากจำนวนตัวแปรตัดสินใจที่ใช้ในแต่ละวิธีในข้างต้น พบว่าในรูปแบบทางคณิตศาสตร์ที่ใช้วิธีฮิวริสติกที่มีจำนวนตัวแปรตัดสินใจที่มีค่ามากที่สุดคือ การจัดลำดับการผลิต ดังนั้น ปัญหาขนาดใหญ่ที่สุดที่วิธีฮิวริสติกสามารถแก้ได้จะต้องเป็นปัญหามาตราฐาน $(N+1)^2 * T$ ไม่เกิน 3,200 ตัวแปรตัดสินใจ ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่า การแก้ปัญหการจัดตารางการผลิตด้วยวิธีฮิวริสติกซึ่ง

ประยุกต์ใช้โปรแกรมวิซวลเบสิกฟอร์แอปพลิเคชัน (Visual Basic for Application, VBA) บน ไมโครซอฟต์เอ็กเซล (Microsoft Excel) ร่วมกับการเรียกใช้โปรแกรม Lingo 11 (Industrial version) ในการหาผลเฉลยสามารถใช้จัดตารางการผลิตภายในเวลาประมวลผลที่ยอมรับได้มี ขนาดปัญหาไม่เกิน 16 ชนิดผลิตภัณฑ์ มีจำนวนเครื่องจักรไม่เกิน 20 เครื่องจักร (1,000 ตัวแปรตัดสินใจในการวางแผนกำลังการผลิต) 18 คาบเวลาผลิต (กะการทำงาน) วางแผนล่วงหน้า 3 รอบการผลิต (สัปดาห์) และต้องกำหนดให้มีลำดับการผลิตบนเครื่องจักรแต่ละเครื่องไม่เกิน 11 ลำดับ

6. การวิเคราะห์ผลกระทบจากค่าตัวแปรของปัญหาการจัดตารางการผลิต

จากการทดลองขยายผลเมื่อเกิดการเปลี่ยนพารามิเตอร์ด้านต้นทุน ประกอบด้วย ต้นทุนการผลิต ต้นทุนการเตรียมงาน ต้นทุนการจัดเก็บพัสดุคงคลัง ย่อมส่งผลต่อรูปแบบการจัดตารางการผลิต โดยปัจจุบันต้นทุนการผลิตของโรงงานกรณีศึกษามีค่ามากที่สุด รองลงมาคือต้นทุนการเตรียมงานและต้นทุนการจัดเก็บพัสดุคงคลัง ตามลำดับ ในอนาคตหากมีการเปลี่ยนแปลงค่าของต้นทุนเหล่านี้เกิดขึ้น โรงงานกรณีศึกษาควรมีวิธีจัดตารางการผลิต ดังนี้

6.1 ลักษณะการจัดตารางการผลิตที่เหมาะสมในปัจจุบัน

ภายใต้ต้นทุนการผลิตปัจจุบันของโรงงานกรณีศึกษา (ต้นทุนการผลิต > ต้นทุนการเตรียมงาน > ต้นทุนการจัดเก็บพัสดุคงคลัง) การจัดตารางการผลิตควรจัดให้ผลิตภัณฑ์ถูกผลิตบนเครื่องจักรที่สามารถผลิตผลิตภัณฑ์ชนิดนั้น ๆ ได้มีประสิทธิภาพที่สุด และควรผลิตผลิตภัณฑ์ชนิดเดียวกันไปจนกระทั่งครบตามความต้องการของลูกค้าเพื่อลดการเกิดการเตรียมงาน ซึ่งจะทำให้สูญเสียค่าใช้จ่ายและสูญเสียเวลาในการผลิตไปกับเวลาการเตรียมงาน โดยให้ความสำคัญกับปริมาณพัสดุคงคลังที่เกิดขึ้นรองลงมาคือให้หยุดการผลิตเมื่อผลิตได้เพียงพอกับความต้องการของลูกค้า เนื่องจากต้นทุนการจัดเก็บพัสดุคงคลังมีค่าน้อย

6.2 กรณีที่ต้นทุนการเตรียมงาน > ต้นทุนการผลิต > ต้นทุนการจัดเก็บพัสดุคงคลัง

ภายใต้สถานการณ์นี้ การจัดตารางการผลิตควรเน้นให้เกิดการเปลี่ยนแปลงชนิดผลิตภัณฑ์น้อยที่สุด กล่าวคือในการจัดตารางการผลิต ควรจัดให้แต่ละชนิดผลิตภัณฑ์ถูกดำเนินการผลิตบนเครื่องจักรเพียงเครื่องเดียวหากเป็นไปได้ หรือให้น้อยที่สุดหากการใช้เพียง 1 เครื่องจักรไม่สามารถผลิตได้เพียงพอกับความต้องการของลูกค้า ผลิตภัณฑ์อาจไม่ถูกจัดให้ผลิตบนเครื่องจักรที่มีกำลังการผลิตสูงสุด แต่เน้นให้เกิดการเตรียมงานต่ำที่สุด และหยุดการผลิตเมื่อสามารถผลิตได้เพียงพอกับความต้องการของลูกค้า

6.3 กรณีที่ต้นทุนการจัดเก็บพัสดุคงคลัง > ต้นทุนการผลิต > ต้นทุนการเตรียมงาน

ภายใต้สถานการณ์นี้ต้นทุนพัสดุคงคลังมีค่าสูง การจัดตารางการผลิตควรคำนึงถึงการผลิตให้เท่ากับปริมาณความต้องการของลูกค้าหรือผลิตให้น้อยที่สุด เนื่องจากทำการผลิต 1 ชนิดผลิตภัณฑ์เต็มกะการทำงาน การจัดตารางการผลิตบนเครื่องจักรที่มีประสิทธิภาพต่ำกว่าอาจทำให้

เกิดปริมาณสินค้าคงคลังน้อยกว่า และการยอมให้เกิดการเตรียมงานอาจช่วยลดปริมาณสินค้าคงคลังได้ เนื่องจากสูญเสียเวลาทำงานไปกับการเตรียมงาน เป็นต้น

7. สรุปผลการทดสอบของวิธีฮิวริสติก

จากการประเมินประสิทธิภาพเปรียบเทียบผลของการแก้ปัญหาด้วยวิธีฮิวริสติกในตัวอย่างทั้งหมด 140 ตัวอย่าง ในด้านของผลเฉลย พบว่า เมื่อทำการทดสอบทางสถิติด้วยวิธี t-test Pair (หรือ t-test dependent) จะได้ว่า วิธีฮิวริสติกให้ค่าเฉลี่ยของผลเฉลยที่แตกต่างกับวิธีรูปแบบทางคณิตศาสตร์ โดยค่าเฉลี่ยของผลเฉลยของรูปแบบทางคณิตศาสตร์มีค่าน้อยกว่าอย่างมีนัยสำคัญ ส่วนในด้านเวลาการประมวลผล พบว่า เมื่อทำการทดสอบทางสถิติด้วยวิธี t-test Pair (หรือ t-test dependent) จะได้ว่า วิธีฮิวริสติกให้ค่าเฉลี่ยของเวลาประมวลผลที่แตกต่างกับวิธีรูปแบบทางคณิตศาสตร์ โดยค่าเฉลี่ยของเวลาประมวลผลของรูปแบบทางคณิตศาสตร์มีค่ามากกว่าอย่างมีนัยสำคัญ

