บทที่ 6

ผลการทดสอบ

วิธีการที่นำเสนอในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ถูกทดสอบกับระบบไฟฟ้าตัวอย่างที่ดัดแปลงมาจากระบบจริงของประเทศ โดยจะนำเสนอตามหัวข้อ ดังนี้ (1) ผลที่ได้จากการแก้ปัญหาการจัดสรรเชื้อเพลิงอย่างเหมาะสมสำหรับระบบผลิตไฟฟ้าโดยใช้ขั้นตอนวิธีทางพันธุกรรมเมื่อไม่คำนึงถึงความไม่แน่นอนของความต้องการใช้ไฟฟ้าโดยจะแบ่งเป็นสองกรณีเปรียบเทียบกันคือ กรณีที่คิดเงื่อนไขขีดจำกัดปริมาณเชื้อเพลิง กับกรณีที่ไม่คิดเงื่อนไขขีดจำกัดปริมาณเชื้อเพลิง (2) ผลที่ได้จากการแก้ปัญหาการจัดสรรเชื้อเพลิงอย่างเหมาะสมสำหรับระบบผลิตไฟฟ้าโดยใช้ขั้นตอนวิธีทางพันธุกรรมเมื่อคำนึงถึงความไม่แน่นอนของความต้องการใช้ไฟฟ้า

6.1 ระบบทดสอบ

ระบบไฟฟ้าที่นำมาเป็นตัวอย่างในการทดสอบ คือระบบไฟฟ้าที่ดัดแปลงมาจากระบบจริงของประเทศไทย ปีพ.ศ. 2551 ดังแสดงรายละเอียดไว้ใน ภาคผนวก ก.1 ซึ่งประกอบด้วยโรงไฟฟ้าทั้งสิ้น 19 โรง มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้ารวมทั้งหมด 61 เครื่อง โดยสามารถแยกประเภทได้ดังนี้

- โรงไฟฟ้าพลังความร้อนจำนวน 23 เครื่อง มีกำลังผลิตติดตั้งรวม 8,586.7 MW
- โรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมจำนวน 30 เครื่องมีกำลังผลิตติดตั้งรวม 15,701.5 MW
- โรงไฟฟ้ากังหันแก๊สจำนวน 8 เครื่องมีกำลังผลิตติดตั้งรวม 237 MW

ระบบทดสอบดังกล่าวมีกำลังผลิตติดตั้งรวมทั้งสิ้น 24,525.2 MW โดยรายละเอียดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละเครื่องแสดงไว้ในภาคผนวก ก.1

เนื่องจากระบบที่นำมาทดสอบนี้ มีรายละเอียดสำคัญหลายอย่างที่มีผลต่อการจัดสรรเชื้อเพลิงในระบบผลิตไฟฟ้า ดังนั้นจะขออธิบายถึงรายละเอียดของคำจำกัดความต่างๆ เพื่อให้ผู้อ่านได้เข้าใจถึงลักษณะของระบบผลิตไฟฟ้าได้มากยิ่งขึ้น

รายละเอียดเกี่ยวกับโหลดและกำลังผลิตสำรองพร้อมจ่าย

นอกจากการไฟฟ้าฝ่ายผลิตฯ และผู้ผลิตไฟฟ้าอิสระ (IPP) ที่ทำหน้าที่ผลิตไฟฟ้าแล้วยังมีผู้ผลิตไฟฟ้ารายย่อย (SPP) การนำเข้าจากต่างประเทศ และการผลิตจากโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำที่ร่วมทำหน้าที่ผลิตไฟฟ้าด้วย เนื่องจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้พิจารณาเฉพาะโรงไฟฟ้าของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตฯ และผู้ผลิตไฟฟ้าอิสระเท่านั้น ปริมาณโหลดที่ใช้ในระบบทดสอบนี้จึงมีปริมาณน้อยกว่าโหลดทั้งหมดของประเทศ ดังนั้นแบบจำลองโหลดที่นำมาใช้ในการจัดสรรเชื้อเพลิงในระบบผลิตไฟฟ้าในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงเป็นโหลดที่หักกำลังผลิตจากผู้ผลิตไฟฟ้ารายย่อย การนำเข้าจากต่างประเทศ และการผลิตจากโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำแล้ว

แบบจำลองของโหลดที่นำมาใช้ในระบบทดสอบนี้ จะเป็นโหลดที่มีระยะเวลาทั้งสิ้นรวม 1 สัปดาห์ โดยแบ่งออกเป็นช่วงเวลาเฉลี่ยทุกๆ 6 ชั่วโมง รวมทั้งสิ้น 28 ช่วงระยะเวลา โดยเป็นโหลดของวันที่ 1 ถึงวันที่ 7 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2553 สำหรับกำลังผลิตสำรองพร้อมจ่ายที่ระบบต้องการนั้นจะกำหนดให้มีค่าเท่ากับ 10% ของโหลดในช่วงเวลานั้น ๆ

รายละเอียดเกี่ยวกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังความร้อน

- เครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังความร้อนร่วม (Combined cycle)

เครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ถูกออกแบบมาเพื่อให้ใช้เชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้าได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยทั่วไปเครื่องกำเนิดไฟฟ้าประเภทนี้ประกอบด้วยเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังความร้อน 2 ประเภท คือ เครื่องกังหันก๊าซ และเครื่องพลังไอน้ำ เช่นโรงไฟฟ้าพระนครใต้ (South Bangkok) มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังความร้อนร่วม 2 เครื่อง คือ SB-CC1 และ SB-CC2 ในแต่ละเครื่องประกอบด้วยเครื่องกังหันก๊าซ 2 เครื่อง และเครื่องพลังไอน้ำ 1 เครื่อง ดังนี้

เครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมตัวที่ 1 (SB-CC1) ประกอบด้วย

รหัสเครื่องกำเนิดไฟฟ้า	ประเภท
SB-C11	เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากังหันก๊าซ
SB-C12	เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากังหันก๊าซ
SB-C10	เครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังไอน้ำ

เครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมตัวที่ 2 (SB-CC2) ประกอบด้วย

รหัสเครื่องกำเนิดไฟฟ้า	ประเภท
SB-C21	เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากังหันก๊าซ
SB-C22	เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากังหันก๊าซ
SB-C20	เครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังไอน้ำ

โดย SB หมายถึง South bangkok

C หมายถึง Combined cycle

x หมายถึง อยู่ในกลุ่มเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมตัวที่ x

y ถ้าเป็นเลข 0 หมายถึง เครื่องพลังไอน้ำ

ถ้าเป็นตัวเลขอื่น หมายถึงเครื่องกังหันก๊าซตัวที่เท่าใด

เครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมจะใช้ก๊าซร้อนที่เหลือจากการผลิตไฟฟ้าของเครื่องกังหันก๊าซไปเป็นเชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้าให้กับเครื่องพลังไอน้ำ ดังนั้นเครื่องพลังไอน้ำจะเดินเครื่องได้ก็ต่อเมื่อเครื่องกังหันก๊าซเดินเครื่องอยู่ก่อนเท่านั้น จะเห็นว่าลักษณะเช่นนี้ทำให้การทำงานของเครื่องพลังไอน้ำไม่เป็นอิสระ ซึ่งวิธีที่นำเสนอในวิทยานิพนธ์จะไม่แยกพิจารณาเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมออกเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากังหันก๊าซกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังไอน้ำ แต่จะพิจารณาเสมือนเป็นเครื่องหรือระบบเดียวกัน โดยจะถือว่ากำลังผลิตรวมจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละเครื่องเป็นกำลังผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมเครื่องนี้

- สมการอัตราความร้อน (Heat rate function)

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้กำหนดให้สมการอัตราความร้อนมีลักษณะเป็นเชิงเส้นเป็นช่วง (Piecewise linear) ซึ่งมีรายละเอียดแสดงในภาคผนวก ก.2

- เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่มีเงื่อนไขปริมาณเชื้อเพลิง

เชื้อเพลิงที่มีปริมาณจำกัดในระบบของการไฟฟ้า ฯ คือ เชื้อเพลิงก๊าซ และ น้ำมันเตา แต่ไม่ได้หมายความว่า เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ใช้ก๊าซและน้ำมัน ทุกเครื่องจะต้องมีเงื่อนไขในการใช้เชื้อเพลิง เนื่องจากแหล่งผลิตก๊าซนั้นมีหลายแห่ง บางแห่งมีปริมาณก๊าซมากเพียงพอกับความต้องการแต่บางแห่งมีปริมาณจำกัด สำหรับข้อมูลรายละเอียดเกี่ยวกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่มีเงื่อนไขปริมาณเชื้อเพลิง แสดงในภาคผนวก ก.1

- ปริมาณเชื้อเพลิงที่มีจำกัด

ปริมาณเชื้อเพลิงที่มีจำกัดในที่นี้แบ่งตามแหล่งเชื้อเพลิงแต่ละชนิด จากการสอบถามถึงเงื่อนไขในการใช้เชื้อเพลิงที่มีจำกัดจากเจ้าหน้าที่ของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตฯ ทำให้ทราบว่าการใช้เชื้อเพลิงที่มีจำกัดในแต่ละวันนั้นหรือในแต่ละสัปดาห์ไม่จำเป็นต้องกำหนดให้แน่นอนตายตัว เนื่องจากสัญญาการซื้อเชื้อเพลิงเป็นสัญญาระยะยาว ซึ่งจากการสอบถามเพิ่มเติมได้รับคำแนะนำ

ว่าควรกำหนดให้ใช้เชื้อเพลงที่มีปริมาณจำกัดนี้ไม่เกินค่าที่กำหนดแต่อาจใช้น้อยกว่าได้ สำหรับข้อมูลรายละเอียดเกี่ยวกับปริมาณเชื้อเพลิงที่มีจำกัด แสดงในภาคผนวก ก.4

- สถานะเริ่มต้นของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

เนื่องจากไม่มีข้อมูลสถานะเริ่มต้นในการเดินเครื่องของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงสมมติให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าทุกเครื่องเดินเครื่องมาแล้วเป็นเวลานานเท่ากับขีดจำกัดเวลาเดินเครื่องน้อยสุด ทั้งนี้ก็เพื่อให้ในช่วงเวลาแรก เครื่องกำเนิดไฟฟ้ามีอิสระในการเดินเครื่องหรือหยุดเดินเครื่องได้ นอกจากนี้ยังช่วยลดผลของต้นทุนในการเริ่มเดินเครื่องที่มีต่อการวางแผนการเดินเครื่องด้วย

6.2 ผลการทดสอบ

6.2.1 ผลการทดสอบกรณีไม่คิดผลของความไม่แน่นอนของความต้องการใช้ไฟฟ้า

จากการทดลองแก้ปัญหาค่าเหมาะสมโดยอาศัยขั้นตอนวิธีทางพันธุกรรม โดยใช้จำนวนประชากรตั้งแต่ 50 ถึง 100 ตัว ความละเอียดของคำตอบตั้งแต่ 10^{-1} ถึง 10^{-3} จำนวนรุ่นการถ่ายทอดสูงสุดตั้งแต่ 500 ถึง 3000 รุ่น ความน่าจะเป็นของการข้ามสายพันธุ์ (P_c) ตั้งแต่ 0.6 ถึง 0.9 ความน่าจะเป็นของการผ่าเหล่าสำหรับตัวแปร $P_i(t)$ และ $\gamma_i(t)$ ตั้งแต่ 0.005 ถึง 0.05 ความน่าจะเป็นของการผ่าเหล่าสำหรับตัวแปร $U_i(t)$ ตั้งแต่ 0.01 ถึง 0.2 ความน่าจะเป็นของการแลกเปลี่ยนบิตด้วยวิธี Swap-window operator (P_{sw}) ตั้งแต่ 0.1 ถึง 0.3 ความน่าจะเป็นของการกำหนดบิตด้วยวิธี Window-mutation operator (P_w) ตั้งแต่ 0.1 ถึง 0.3 ความน่าจะเป็นของการผ่าเหล่าด้วยวิธี Swap-mutation operator สำหรับตัวแปร $U_i(t)$ และ $\gamma_i(t)$ ตั้งแต่ 0.3 ถึง 1.0 รวมถึงการทดลองเลือกค่าสัมประสิทธิ์การปรับโทษ (Penalty factor) พบว่า พารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดในการแก้ปัญหานี้คือ

1) จำนวนประชากรเท่ากับ 80
2) ความละเอียดของคำตอบเท่ากับ 10^{-3}
3) จำนวนรุ่นการถ่ายทอดสูงสุดเท่ากับ 2000
4) ความน่าจะเป็นของการข้ามสายพันธุ์ (P_c) เท่ากับ 0.7
5) ความน่าจะเป็นของการผ่าเหล่าสำหรับตัวแปร $P_i(t)$ และ $\gamma_i(t)$ เท่ากับ 0.01
6) ความน่าจะเป็นของการผ่าเหล่าสำหรับตัวแปร $U_i(t)$ เท่ากับ 0.15
7) ความน่าจะเป็นของการแลกเปลี่ยนบิตด้วยวิธี Swap-window operator (P_{sw}) เท่ากับ 0.3

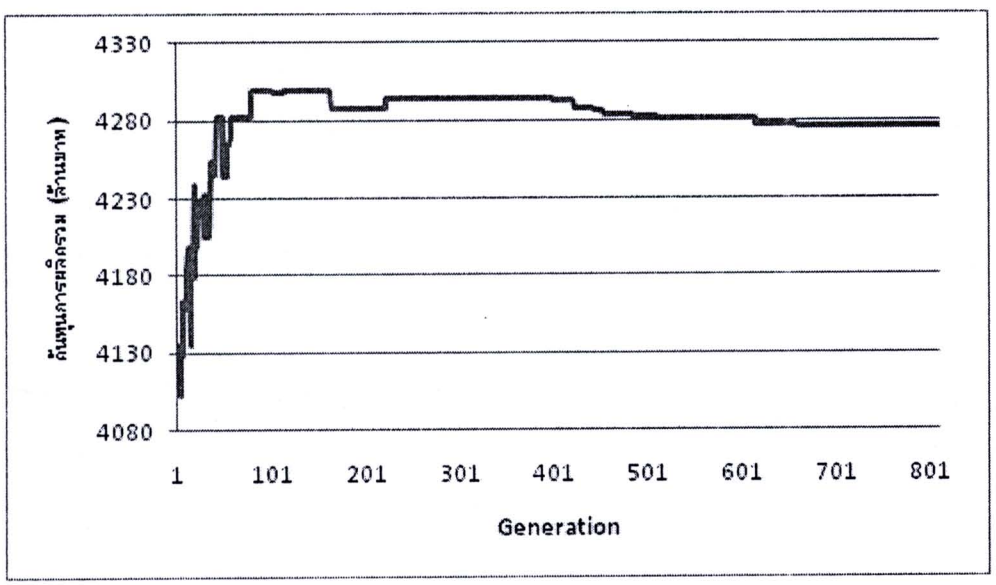
8) ความน่าจะเป็นของการกำหนดบิตด้วยวิธี Window-mutation operator (P_w) เท่ากับ 0.3
9) ความน่าจะเป็นของการผ่าเหล่าด้วยวิธี Swap-mutation operator สำหรับตัวแปร $U_i(t)$ และ $\gamma_i(t)$ เท่ากับ 1.0
10) สำหรับการปรับโทษตามสมการ 4.20 ใช้สัมประสิทธิ์การปรับโทษ ตั้งแต่ 1,000 ถึง 1,000,000

สำหรับการทดสอบในหัวข้อนี้จะแบ่งออกเป็นสองกรณีด้วยกัน คือ กรณีแรกไม่พิจารณาเงื่อนไขขีดจำกัดปริมาณเชื้อเพลิง ส่วนกรณีที่สองพิจารณาเงื่อนไขขีดจำกัดปริมาณเชื้อเพลิง สำหรับรายละเอียดของเงื่อนไขขีดจำกัดปริมาณเชื้อเพลิงต่างๆ จะแสดงในภาคผนวก ก.4

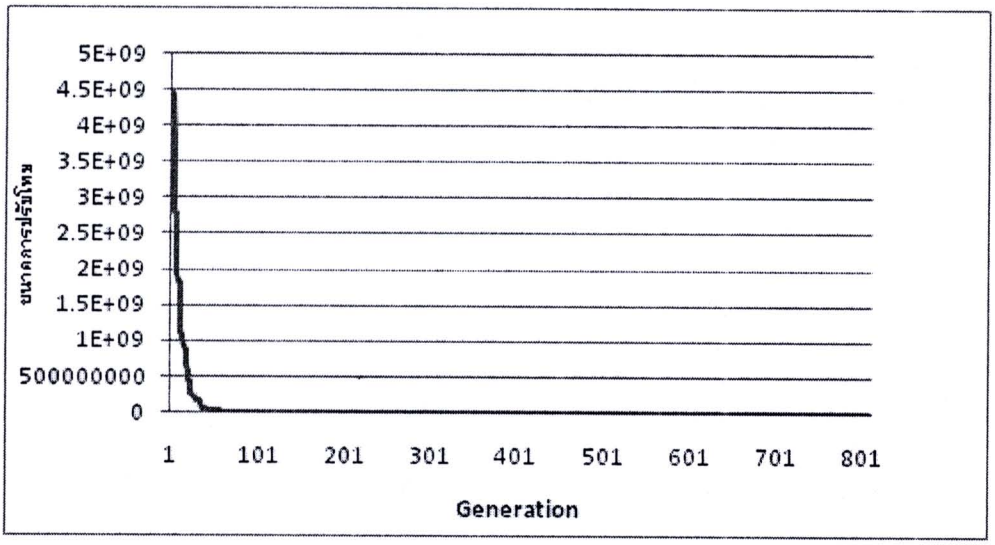
รายละเอียดของผลการคำนวณทั้งหมดแสดงไว้ในภาคผนวก ข.และภาคผนวก ค. โดยในที่นี้จะแสดงผลการคำนวณโดยสรุป ดังนี้

<u>กรณีที่ 1</u>: ไม่พิจารณาเงื่อนไขขีดจำกัดปริมาณเชื้อเพลิง

เรานำระบบนี้มาทดสอบก็เพื่อแสดงให้เห็นว่า ในกรณีที่ระบบไฟฟ้ามีเชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้าอย่างไม่จำกัด การหาจุดทำงานและปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้ในการผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละเครื่องหรือแต่ละโรงไฟฟ้ารวมถึงต้นทุนในการผลิตว่าจะมีแนวโน้มเป็นอย่างไร (ผลโดยละเอียดแสดงในภาคผนวก ข.)



รูปที่ 6.1 กราฟแสดงต้นทุนการผลิตไฟฟ้าในแต่ละรอบ



รูปที่ 6.2 กราฟแสดงขนาดการปรับโทษในแต่ละรอบ

ตารางที่ 6.1 ปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้แยกตามโรงไฟฟ้า กรณีไม่คิดเงื่อนไขขีดจำกัดปริมาณเชื้อเพลิง

Plant No.	Fuel Type	วันที่						
		1	2	3	4	5	6	7
1	Coal	8020	9340	10010	10265	10069	9606	9698
2	Gas1	351	467	441	431	447	453	425
	Oil1	0	0	0	0	0	0	0
3	Gas2	107	99	102	101	112	108	101
4	Gas1	12	0	0	0	0	0	0
5	Gas1	112	108	105	108	108	110	108
6	Gas1	155	209	193	222	206	205	20
7	Gas1	0	0	0	0	0	0	0
8	Oil2	0	0	0	0	0	0	0
9	Gas3	147	159	156	165	145	160	134
	Oil5	0	0	0	0	0	0	0
10	Gas4	52	49	58	56	59	58	49
11	Lignite	47465	48534	47394	48155	48299	47263	46720
12	Gas5	100	106	127	102	109	129	104
13	Gas6	235	267	223	187	251	241	238
	Oil3	0	0	0	0	0	0	0
14	Gas6	187	166	187	162	182	179	188
15	Gas1	229	227	225	225	225	225	214

Plant No.	Fuel Type	วันที่						
		1	2	3	4	5	6	7
16	Gas1	137	154	150	165	158	165	130
	Oil4	0	0	0	0	0	0	0
17	Gas6	37	57	89	115	91	59	56
	Oil4	0	0	0	0	0	0	0
18	Gas6	114	105	108	113	117	110	116
19	Gas1	93	148	236	104	152	123	90
	Gas6	199	135	103	199	143	190	226

หมายเหตุ : หน่วยปริมาณเชื้อเพลิง: Coal = ตัน, Gas = ล้านลูกบาศก์ฟุต, Oil = ล้านลิตร

ตารางที่ 6.2 ปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้แยกตามแหล่งเชื้อเพลิง กรณีไม่คิดเงื่อนไขขีดจำกัดปริมาณเชื้อเพลิง

วันที่	Gas1	Gas2	Gas3	Gas4	Gas5	Gas6	Coal	Lignite
1	1089.5	106.8	147.0	52.2	100.4	772.9	8019.6	47465.1
2	1312.9	99.5	158.8	49.2	106.5	730.0	9339.6	48534.1
3	1348.3	102.2	156.4	57.8	127.4	710.2	10010.4	47394.0
4	1255.5	100.6	165.2	55.9	101.7	776.4	10264.8	48154.7
5	1294.9	112.2	145.1	59.0	109.3	784.4	10068.9	48299.1
6	1281.3	108.2	160.4	58.4	129.2	779.2	9605.8	47262.7
7	987.7	100.9	133.7	48.7	104.4	822.8	9697.9	46719.9

ตารางที่ 6.3 ต้นทุนการผลิตแยกตามโรงไฟฟ้า กรณีไม่คิดเงื่อนไขขีดจำกัดปริมาณเชื้อเพลิง

Plant No.	Start up cost (แสนบาท)	Fuel cost (ล้านบาท)	Total cost (ล้านบาท)
1	0.0	133.6	133.6
2	2.4	704.4	704.6
3	0.0	172.0	172.0
4	0.0	3.0	3.0
5	0.0	190.5	190.5
6	2.2	304.2	304.4
7	0.0	0.0	0.0
8	0.0	0.0	0.0
9	0.0	220.9	220.9
10	0.0	85.0	85.0

Plant No.	Start up cost (แสนบาท)	Fuel cost (ล้านบาท)	Total cost (ล้านบาท)
11	3.1	219.8	220.1
12	0.0	192.8	192.8
13	0.0	308.3	308.3
14	0.0	308.5	308.5
15	0.0	375.5	375.5
16	3.2	236.4	236.8
17	9.3	98.2	99.1
18	0.0	196.8	196.8
19	0.0	524.1	524.1
Total	20.2	4274.0	4276.0

ผลการทดสอบกรณีไม่คิดเงื่อนไขขีดจำกัดปริมาณเชื้อเพลิงดังกล่าวพบว่า ต้นทุนในการผลิตไฟฟ้าที่น้อยที่สุดมีค่าประมาณ 4,276 ล้านบาท เวลาที่ใช้ในการคำนวณทั้งหมด 4 ชั่วโมง

วิเคราะห์ผล

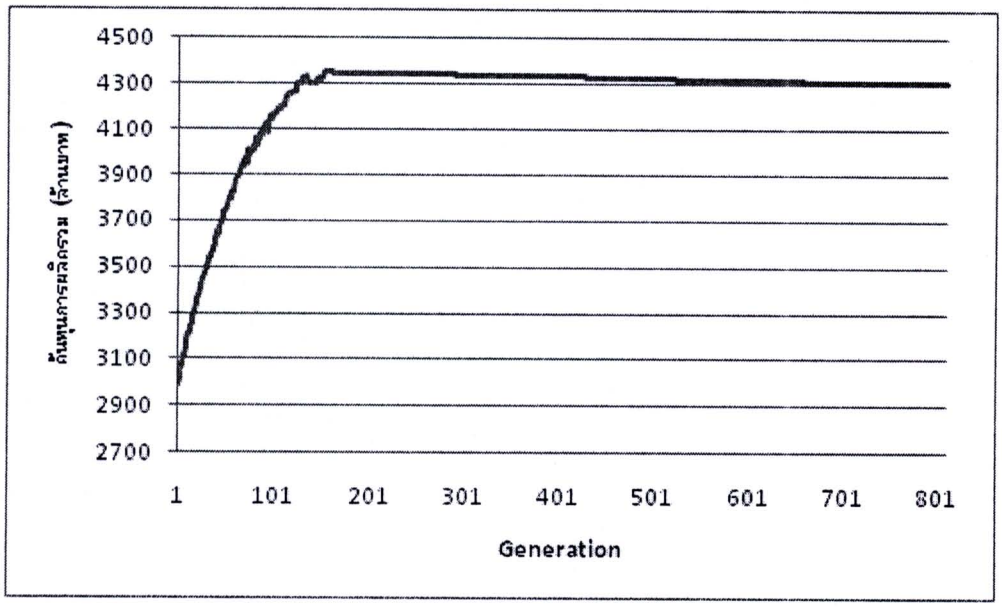
จากผลการคำนวณกับระบบที่ไม่พิจารณาเงื่อนไขขีดจำกัดปริมาณเชื้อเพลิง พบว่าคำตอบในแต่ละรอบของกระบวนการหาคำตอบโดยขั้นตอนวิธีทางพันธุกรรมจะไม่เท่ากัน จะเห็นได้จากรูปที่ 6.1 โดยในช่วงแรกคำตอบจะเปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วงกว้างๆ เนื่องจากประชากรของคำตอบยังละเมิดเงื่อนไขบังคับต่างๆของระบบอยู่ค่อนข้างเยอะ แต่เมื่อได้ผ่านขั้นตอนการถ่ายทอดทางพันธุกรรมไปหลายๆรอบ จะเห็นว่าประชากรของคำตอบเริ่มละเมิดเงื่อนไขบังคับต่างๆน้อยลง จนในที่สุดจะได้ประชากรที่ดีที่สุดที่ผ่านเงื่อนไขข้อบังคับต่างๆได้หมด โดยเห็นได้จากการถูกปรับโทษดังรูปที่ 6.2 ซึ่งจะเห็นว่าในรอบท้ายๆ คำตอบที่ได้แต่ละรอบมีค่าการถูกปรับโทษน้อยลงจนเป็น 0 นั้นคือไม่ละเมิดเงื่อนไขข้อบังคับต่างๆนั่นเอง หลังจากนั้น คำตอบที่ได้จะมีแนวโน้มที่ดีขึ้น (ต้นทุนการผลิตลดลง) ดังส่วนท้ายของรูปที่ 6.1 ซึ่งวิธีนี้แสดงให้เห็นว่าคำตอบที่ได้จากการถ่ายทอดพันธุกรรมในรอบท้ายๆ จะดีกว่าคำตอบในรอบต้นๆเสมอ

จากผลการจัดสรรเชื้อเพลิงในระบบไฟฟ้าที่ได้ดังตารางที่ 6.1 จะเห็นว่าเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ใช้น้ำมันเตาในการผลิตไม่ถูกกำหนดให้เดินเครื่องดังเช่น โรงไฟฟ้าที่ 8 ที่ใช้น้ำมันเตาในการผลิตเพียงชนิดเดียว และสำหรับโรงไฟฟ้าที่ใช้เชื้อแพลิงแบบผสมระหว่างก๊าซธรรมชาติกับน้ำมันเตาก็จะถูกกำหนดให้ใช้ก๊าซธรรมชาติเพียงชนิดเดียวในการผลิต เนื่องจากต้นทุนค่าเชื้อเพลิงน้ำมันเตามีราคาสูงกว่าเชื้อเพลิงชนิดอื่น โดยสรุปแผนการใช้เชื้อเพลิงแยกตามแหล่งเชื่อเพลิงได้ดังตารางที่ 6.2 โดยเมื่อเปรียบเทียบการใช้เชื่อเพลิงก๊าซจะเห็นว่าแหล่งก๊าซ 1 และ 6 มีปริมาณการใช้

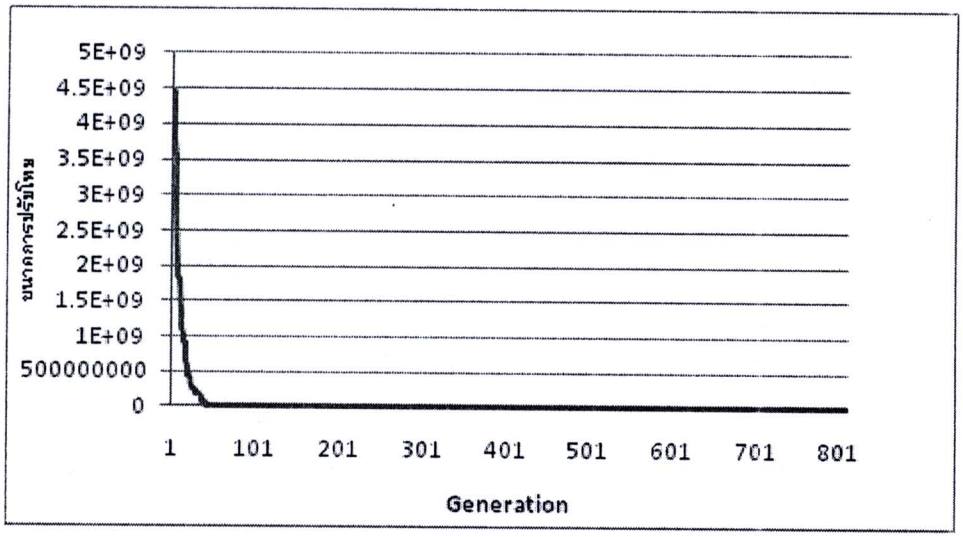
เชื้อเพลิงที่สูงกว่า 4 แหล่งที่เหลือ อันเนื่องมาจากแหล่งก๊าซ 2 แหล่งดังกล่าวเป็นแหล่งส่งก๊าซไปยังโรงไฟฟ้าหลายแห่งในระบบ ดังแสดงข้อมูลในภาคผนวก ก.1 สำหรับต้นทุนการผลิตแยกตามโรงไฟฟ้าต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 6.3 จะเห็นว่า โรงไฟฟ้าที่ 2 มีต้นทุนการผลิตสูงที่สุดอันเนื่องมาจากโรงไฟฟ้าดังกล่าวประกอบด้วยเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ถูกกำหนดให้เดินเครื่องหลายตัว อีกทั้งยังมีกำลังการผลิตโดยรวมค่อนข้างมากเมื่อเทียบกับโรงไฟฟ้าอื่น สำหรับข้อมูลกำลังการผลิตแยกตามเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแสดงไว้ในภาคผนวก ข.1

<u>กรณีที่ 2</u>: พิจารณาเงื่อนไขขีดจำกัดปริมาณเชื้อเพลิง

เรานำระบบนี้มาทดสอบก็เพื่อแสดงให้เห็นว่า ในกรณีที่ระบบไฟฟ้ามีเงื่อนไขขีดจำกัดปริมาณเชื้อเพลิง การหาจุดทำงานและปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้ในการผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละเครื่อง หรือแต่ละโรงไฟฟ้า รวมถึงต้นทุนในการผลิต จะมีแนวโน้มที่จะต้องใช้เชื้อเพลิงที่มีราคาแพง เช่น น้ำมันเตา มากขึ้น เนื่องจากเชื้อเพลิงที่มีราคาถูก คือ ก๊าซธรรมชาติ มีปริมาณไม่เพียงพอต่อการใช้งาน (ผลโดยละเอียดแสดงในภาคผนวก ข)



รูปที่ 6.3 กราฟแสดงต้นทุนการผลิตไฟฟ้าในแต่ละรอบ (กรณีที่สอง)



รูปที่ 6.4 กราฟแสดงขนาดการปรับโทษในแต่ละรอบ (กรณีที่สอง)

ตารางที่ 6.4 ปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้แยกตามโรงไฟฟ้า กรณีคิดเงื่อนไขขีดจำกัดปริมาณเชื้อเพลิง

Plant No.	Fuel Type	วันที่						
		1	2	3	4	5	6	7
1	Coal	8320.6	9281.5	9779.8	9222.6	10015.1	9564.4	10688.9
2	Gas1	102.9	94.9	97.8	89.2	83.1	83.9	99.5
	Oil1	0.2	0.4	0.4	0.6	0.8	0.5	1.0
3	Gas2	83.8	99.6	113.0	102.2	83.0	95.4	91.8
4	Gas1	53.3	53.0	53.1	49.6	51.0	53.3	53.7
5	Gas1	109.3	110.5	107.8	109.5	108.1	107.2	109.9
6	Gas1	177.8	189.5	199.5	189.7	195.1	223.9	198.3
7	Gas1	110.8	100.5	103.2	100.1	105.1	104.5	101.9
8	Oil2	1.6	1.7	1.3	1.4	1.6	1.3	1.4
9	Gas3	105.5	112.5	122.5	112.9	106.1	118.0	44.1
	Oil5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
10	Gas4	3.2	5.8	2.6	3.0	1.9	4.4	22.2
11	Lignite	42553.8	41683.9	40971.3	41928.6	41282.0	40920.5	44512.1
12	Gas5	22.5	16.5	57.4	50.1	58.9	35.9	17.1
13	Gas6	379.8	371.0	371.8	388.3	369.1	366.4	425.1
	Oil3	0.5	0.3	0.4	0.5	0.6	0.3	0.6
14	Gas6	152.6	200.4	187.0	187.0	205.7	171.6	154.7
15	Gas1	98.4	114.0	82.5	97.1	110.7	100.4	42.3

Plant No.	Fuel Type	วันที่						
		1	2	3	4	5	6	7
16	Gas1	161.9	190.7	201.5	224.2	200.1	203.2	143.5
	Oil4	0.0	0.3	0.2	0.0	0.5	0.2	0.2
17	Gas6	78.4	120.7	146.2	129.0	156.7	151.7	116.1
	Oil4	0.0	0.2	0.0	0.2	0.2	0.3	0.1
18	Gas6	115.5	110.8	109.1	106.9	107.6	111.2	107.8
19	Gas1	60.4	241.8	143.6	139.7	232.9	207.7	127.8
	Gas6	221.7	59.4	184.2	161.6	57.2	127.3	18.6

ตารางที่ 6.5 ปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้แยกตามแหล่งเชื้อเพลิง กรณีคิดเงื่อนไขขีดจำกัดปริมาณเชื้อเพลิง

วันที่	Gas1	Gas2	Gas3	Gas4	Gas5	Gas6	Coal	Lignite	Oil1	Oil2	Oil3	Oil4	Oil5
1	874.9	83.8	105.5	3.2	22.5	948.0	8320.6	42553.8	0.19	1.61	0.47	0.03	0
2	1094.9	99.6	112.5	5.8	16.5	862.2	9281.5	41683.9	0.41	1.74	0.25	0.57	0
3	989.0	113.0	122.5	2.6	57.4	998.3	9779.8	40971.3	0.44	1.27	0.37	0.23	0
4	999.2	102.2	112.9	3.0	50.1	972.7	9222.6	41928.6	0.55	1.35	0.46	0.27	0
5	1086.2	83.0	106.1	1.9	58.9	896.3	10015.1	41282.0	0.76	1.60	0.56	0.68	0
6	1084.4	95.4	118.0	4.4	35.9	928.2	9564.4	40920.5	0.55	1.32	0.32	0.56	0
7	876.9	91.8	44.1	22.2	17.1	822.3	10688.9	44512.1	0.98	1.41	0.56	0.37	0

ตารางที่ 6.6 ต้นทุนการผลิตแยกตามโรงไฟฟ้า กรณีคิดเงื่อนไขขีดจำกัดปริมาณเชื้อเพลิง

Plant No.	Start up cost (แสนบาท)	Fuel cost (ล้านบาท)	Total cost (ล้านบาท)
1	0.0	133.4	133.4
2	5.3	189.3	189.8
3	0.0	157.5	157.5
4	0.0	92.3	92.3
5	0.0	191.4	191.4
6	0.0	345.5	345.5
7	0.0	185.4	185.4
8	0.0	229.7	229.7
9	0.0	147.5	147.5
10	2.2	9.6	9.8
11	11.4	193.5	194.6
12	9.8	63.5	64.5

Plant No.	Start up cost (แสนบาท)	Fuel cost (ล้านบาท)	Total cost (ล้านบาท)
13	6.3	671.4	672.0
14	0.0	310.3	310.3
15	19.3	154.3	156.2
16	4.0	332.1	332.5
17	14.5	221.7	223.2
18	0.0	193.1	193.1
19	2.2	484.1	484.3
รวม	74.9	4305.5	4313.0

ผลการทดสอบกรณีคิดเงื่อนไขขีดจำกัดปริมาณเชื้อเพลิงดังกล่าวพบว่า ต้นทุนในการผลิตไฟฟ้าที่น้อยที่สุดมีค่าประมาณ 4,313 ล้านบาท เวลาที่ใช้ในการคำนวณทั้งหมด 4 ชั่วโมง 10 นาที

วิเคราะห์ผล

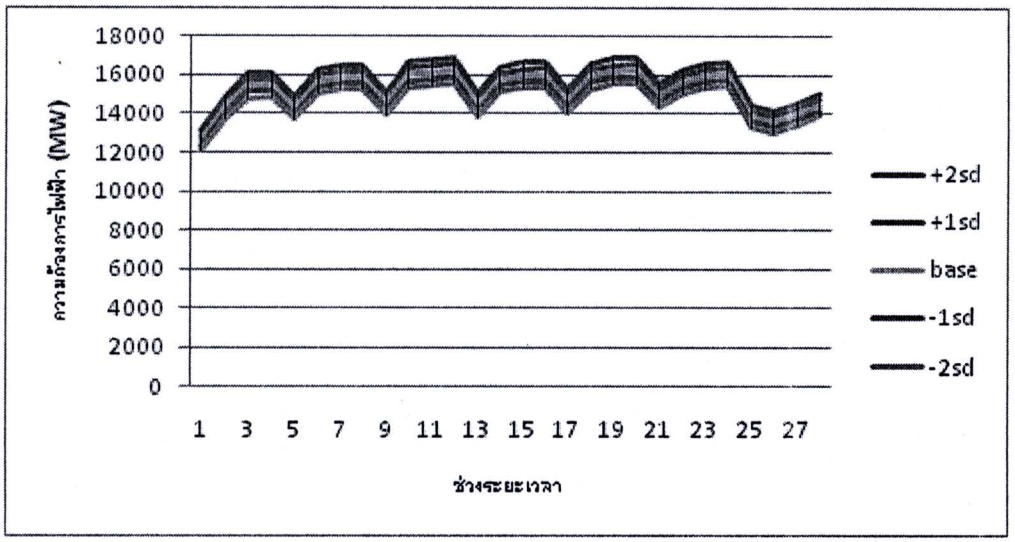
จากผลการคำนวณกับระบบที่พิจารณาเงื่อนไขขีดจำกัดปริมาณเชื้อเพลิง พบว่า ต้นทุนในการผลิตไฟฟ้ามีค่าลดลงจากกรณีแรกประมาณ 37 ล้านบาท คำตอบในแต่ละรอบของกระบวนการหาคำตอบโดยขั้นตอนวิธีทางพันธุกรรมที่ได้ออกมาดังรูปที่ 6.3 และ ผลจากการถูกปรับโทษดังรูปที่ 6.4 มีลักษณะใกล้เคียงกับกรณีแรก จึงไม่ขออธิบายในส่วนนี้ สำหรับผลการจัดสรรเชื้อเพลิงในระบบไฟฟ้าที่ได้ดังตารางที่ 6.4 จะเห็นว่าเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ใช้เชื้อเพลิงน้ำมันเตาในการผลิตมีแนวโน้มที่จะถูกเลือกใช้มากขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณเชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติมีจำนวนจำกัด จึงไม่สามารถใช้ได้เหมือนในกรณีแรก จากปริมาณการใช้เชื้อเพลิงในตารางที่ 6.5 จะเห็นว่าเชื้อเพลิงก๊าซมีการใช้ที่น้อยลงเมื่อเทียบกับกรณีแรก ตัวอย่างที่เห็นได้ชัดเจนคือก๊าซจากแหล่งที่ 1 และแหล่งที่ 4 มีปริมาณการใช้น้อยลงจากกรณีแรกค่อนข้างมาก ด้วยเหตุนี้ทำให้ระบบมีแนวโน้มที่จะใช้เชื้อเพลิงน้ำมันซึ่งมีต้นทุนที่สูงกว่าเข้ามาแทน ซึ่งแตกต่างจากกรณีแรกที่ไม่ได้เลือกใช้เชื้อเพลิงชนิดนี้เลย ด้วยเหตุนี้ต้นทุนการผลิตในกรณีนี้จึงสูงกว่ากรณีแรก ดังแสดงในตารางที่ 6.6 แสดงให้เห็นว่าอิทธิพลของเงื่อนไขขีดจำกัดปริมาณเชื้อเพลิงส่งผลให้ต้นทุนในการผลิตไฟฟ้ามีค่าเพิ่มขึ้น

6.2.2 ผลการทดสอบกรณีคิดผลของความไม่แน่นอนของความต้องการใช้ไฟฟ้า

ในหัวข้อนี้ เราจะทำการทดสอบผลของการจัดสรรเชื้อเพลิงอย่างเหมาะสมโดยพิจารณาผลของความไม่แน่นอนของความต้องการใช้ไฟฟ้า โดยอาศัยหลักการและขั้นตอนตามที่กล่าวไว้ในบทที่ 5 เพื่อที่จะหาแผนการใช้เชื้อเพลิงที่เหมาะสมที่สุดภายใต้ความไม่แน่นอนของความต้องการใช้ไฟฟ้าดังกล่าว และเนื่องจากกระบวนการหาคำตอบโดยขั้นตอนทางพันธุกรรมเป็นเพียงคำตอบ

ที่ดีที่สุดภายใต้ประชากรของคำตอบทั้งหมดที่ทำการสุ่มได้เท่านั้น ด้วยเหตุนี้เราจึงจำเป็นต้องทำแผนการใช้เชื้อเพลิงมากกว่าหนึ่งแผน เพื่อนำมาเปรียบเทียบหาแผนที่เหมาะสมที่สุดโดยใช้ดัชนีชี้วัดความเหมาะสมตามวิธีการที่นำเสนอต่อไป

ในเบื้องต้น เราจะพิจารณาความไม่แน่นอนของค่าความต้องการใช้ไฟฟ้าที่มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation) ที่ 2% ของค่าที่ได้จากการพยากรณ์ ซึ่งจะได้ค่าความต้องการใช้ไฟฟ้าที่ประกอบด้วย 5 ระดับด้วยกัน รายละเอียดของผลการคำนวณทั้งหมดแสดงไว้ในภาคผนวก ค โดยในที่นี้จะแสดงผลการคำนวณโดยสรุป ดังนี้



รูปที่ 6.5 ความต้องการใช้ไฟฟ้าที่ค่าโหลดแต่ละระดับ

ตารางที่ 6.7 ต้นทุนในการผลิตไฟฟ้าแยกตามโรงไฟฟ้าที่ค่าโหลดแต่ละระดับ แผนที่ 1

Plant No.	Total cost (ล้านบาท)				
	-2	-1	0	1	2
1	119.1	117.5	114.5	132.6	126.1
2	530.7	537.9	566.9	588.5	605.4
3	146.6	153.0	144.7	151.5	166.5
4	90.4	89.8	91.0	91.4	91.4
5	188.8	187.1	186.0	189.1	190.9
6	337.9	338.0	351.3	343.5	349.2
7	187.1	177.5	189.1	185.5	187.9
8	23.6	23.6	30.5	24.9	27.7
9	149.8	156.4	159.5	160.9	160.0
10	14.4	13.7	14.7	14.5	14.5

Plant No.	Total cost (ล้านบาท)				
	-2	-1	0	1	2
11	207.2	206.2	207.2	214.5	214.8
12	98.0	96.5	107.2	101.9	111.2
13	706.1	760.0	803.1	809.3	816.2
14	229.6	260.3	272.8	280.8	303.6
15	136.9	136.9	137.5	137.1	137.4
16	294.4	293.3	288.2	288.4	299.1
17	211.9	218.2	209.6	217.5	219.5
18	185.1	187.0	186.3	187.1	189.8
19	206.3	208.9	217.3	216.3	233.3
Total	4064.0	4161.5	4277.5	4335.3	4444.6
$E(C)$	4260.3				
$\sigma(C)$	93.1				

ตารางที่ 6.8 ต้นทุนในการผลิตไฟฟ้าแยกตามโรงไฟฟ้าที่ค่าโหลดแต่ละระดับ แผนที่ 2

Plant No.	Total cost (ล้านบาท)				
	-2	-1	0	1	2
1	97.4	107.3	105.2	115.3	112.8
2	533.7	529.9	549.4	556.4	559.5
3	148.1	144.8	140.5	152.2	158.3
4	78.3	80.3	79.6	79.4	80.6
5	163.2	165.6	166.9	167.1	168.0
6	340.0	326.3	356.8	343.1	341.9
7	172.3	176.8	176.6	177.0	177.2
8	129.8	127.7	151.5	152.2	142.8
9	161.0	166.3	161.4	162.6	174.1
10	11.6	12.1	13.1	12.5	12.3
11	209.1	208.7	209.0	210.5	215.1
12	40.2	46.7	44.4	45.5	49.4
13	695.0	719.1	739.3	754.9	785.5
14	161.7	202.2	210.8	230.1	258.8
15	72.2	72.5	73.7	73.9	74.1
16	288.2	284.1	286.1	292.8	291.5

Plant No.	Total cost (ล้านบาท)				
	-2	-1	0	1	2
17	250.7	250.5	246.4	254.2	252.0
18	186.6	187.6	186.4	190.9	194.3
19	403.2	413.6	449.6	455.4	467.3
Total	4142.2	4222.2	4346.8	4426.0	4515.5
$E(C)$	4333.4				
$\sigma(C)$	98.9				

ตารางที่ 6.9 ต้นทุนในการผลิตไฟฟ้าแยกตามโรงไฟฟ้าที่ค่าโหลดแต่ละระดับ แผนที่ 3

Plant No.	Total cost (ล้านบาท)				
	-2	-1	0	1	2
1	130.5	129.2	133.4	139.5	139.9
2	170.2	167.9	189.8	186.1	195.9
3	148.3	164.4	157.5	175.3	181.0
4	91.5	89.8	92.3	92.2	93.2
5	186.7	187.0	191.4	192.1	191.4
6	329.8	345.0	345.5	358.2	367.8
7	185.7	189.1	185.4	185.6	191.5
8	209.4	208.8	229.7	227.4	243.9
9	144.4	141.8	147.5	152.8	147.5
10	11.7	11.0	9.8	11.6	11.5
11	195.6	193.6	194.6	195.1	193.9
12	57.1	63.7	64.5	66.5	66.4
13	658.8	667.6	672.0	697.7	723.6
14	253.2	286.8	310.3	332.1	330.2
15	157.9	158.4	156.2	157.7	157.7
16	319.3	330.9	332.5	331.7	341.4
17	215.6	224.0	223.2	219.7	228.7
18	188.2	192.5	193.1	189.8	192.2
19	452.4	458.0	484.3	481.2	513.3
Total	4106.3	4209.4	4313.0	4392.2	4511.1
$E(C)$	4306.5				
$\sigma(C)$	97.7				

ตารางที่ 6.10 สรุปผลการทดสอบจากแผนการใช้เชื้อเพลิงทั้ง 3 แผน

แผนการใช้เชื้อเพลิงที่	$E(C)$	$\sigma(C)$	ดัชนีการตัดสินใจเลือกแผน
1	4,260.3	93.1	396829.3
2	4,333.4	98.9	428693.1
3	4,306.5	97.7	420730.6

วิเคราะห์ผล

ผลการทดสอบกับระบบที่พิจารณาความไม่แน่นอนของความต้องการใช้ไฟฟ้า ทั้ง 3 แผน จะเห็นได้ว่าแผนการใช้เชื้อเพลิงที่ได้ในแต่ละแผนจะประกอบไปด้วยแผนที่รองรับโหลดทั้งหมด 5 ระดับด้วยกัน โดยแต่ละระดับโหลดจะได้แผนการใช้เชื้อเพลิงที่เหมาะสมที่สุดจากกระบวนการหาคำตอบตามวิธีการที่นำเสนอ ซึ่งเมื่อพิจารณาผลที่คำนวณออกมาได้โดยรวมแล้วจะเห็นว่า ในแต่ละแผนจะมีการจัดสรรเชื้อเพลิงที่เป็นไปในแนวทางเดียวกันกับผลการทดสอบที่ 1 กรณีที่คิดเงื่อนไขขีดจำกัดปริมาณเชื้อเพลิง กล่าวคือ ระบบมีแนวโน้มที่จะเลือกเชื้อเพลิงที่มีต้นทุนการผลิตต่ำก่อน เพื่อให้ต้นทุนการผลิตโดยรวมน้อยที่สุด แต่เนื่องจากมีข้อจำกัดในด้านปริมาณเชื้อเพลิง ระบบจึงมีการเลือกใช้เชื้อเพลิงชนิดอื่นเข้ามาถึงแม้ว่าจะมีต้นทุนสูงขึ้นก็ตาม ทั้งนี้เพื่อให้ไม่ละเมิดเงื่อนไขข้อบังคับต่างๆในระบบ

เมื่อนำผลที่ได้จากการแก้ปัญหาการจัดสรรเชื้อเพลิงอย่างเหมาะสมสำหรับระบบผลิตไฟฟ้าโดยใช้ขั้นตอนวิธีทางพันธุกรรม มาพิจารณาถึงความไม่แน่นอนของความต้องการใช้ไฟฟ้าโดยกำหนดให้ความต้องการไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจริงมีโอกาสเบี่ยงเบนไปจากค่าพยากรณ์ได้ 5 ระดับ โดยนำทั้ง 3 แผนไปจัดสรรเชื้อเพลิงใหม่อีกครั้ง เราสามารถสรุปผลการจัดสรรเชื้อเพลิงได้ดังตารางที่ 6.10 ซึ่งจะเห็นได้ว่าแผนที่ 1 มีต้นทุนในการผลิตไฟฟ้าโดยรวมต่ำที่สุดที่ประมาณ 4,260 ล้านบาท และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของต้นทุนในการผลิตไฟฟ้าโดยรวมประมาณ 93 ล้านบาทซึ่งเป็นค่าที่ต่ำสุดเช่นกันเมื่อเทียบกับแผนการใช้เชื้อเพลิงทั้ง 2 แผนที่เหลือ ส่งผลให้ค่าดัชนีการตัดสินใจเลือกแผนที่คำนวณได้มีค่าต่ำที่สุด ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าแผนการใช้เชื้อเพลิงที่ 1 เป็นแผนที่เหมาะสมที่สุดเมื่อพิจารณาถึงความไม่แน่นอนของความต้องการใช้ไฟฟ้าในระบบประกอบด้วย สำหรับข้อมูลผลการทดสอบโดยละเอียดแสดงในภาคผนวก ค