

## บทที่ 5

### ผลการทดสอบ

บทนี้เป็นการแสดงผลการแก้ปัญหาการทำงานที่เหมาะสมของระบบไฟฟ้าต่อระบบทดสอบ โดยการทดสอบในแต่ละกรณีจะแบ่งออกเป็น 4 ส่วน คือ

- 1) การเปรียบเทียบการแก้ปัญหาออปติมัลเพาเวอร์โฟลว์ โดยใช้ วิธีการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์กับวิธีการคำนวณเชิงวิวัฒนาการ โดยกำหนดให้ทดสอบกับระบบทดสอบเดียวกัน แล้วทำการเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะของระบบบางอย่าง เพื่อพิจารณาถึงความเหมาะสมในการใช้วิธีการแก้ปัญหาทั้งสองวิธีว่าวิธีการใดเหมาะสมกับระบบในลักษณะใด คุณลักษณะที่ทำการทดสอบ คือ ฟังก์ชันค่าเชื้อเพลิงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า การกำหนดตัวแปรควบคุมเป็นชนิดตัวแปรไม่ต่อเนื่อง และการกำหนดเงื่อนไขบังคับอย่างหนัก (Hard constraints)
- 2) การแก้ปัญหาออปติมัลเพาเวอร์โฟลว์โดยใช้ฟังก์ชันวัตถุประสงค์หลายฟังก์ชัน โดยกำหนดฟังก์ชันวัตถุประสงค์ในการแก้ปัญหาสามฟังก์ชัน คือ ฟังก์ชันต้นทุนการผลิตโดยรวม ฟังก์ชันการปลดปล่อยก๊าซจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้า และฟังก์ชันความมั่นคงของระบบไฟฟ้ากำลัง (Transmission security) นอกจากนี้จะทำการทดสอบผลการเปลี่ยนแปลงของโหลดที่จุดโหลดต่าง ๆ ว่าจะมีผลกระทบต่อจุดทำงานที่เหมาะสมที่ได้จากการแก้ปัญหาอย่างไร
- 3) การขนส่งกำลังไฟฟ้าผ่านระบบไฟฟ้าคนกลาง โดยคำนึงถึงผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อมและความมั่นคง ในกรณีนี้จะกำหนดระบบทดสอบให้เป็นระบบไฟฟ้าคนกลาง เมื่อมีระบบไฟฟ้าของผู้ซื้อไฟต้องการซื้อไฟจากระบบไฟฟ้าของผู้ขายไฟ โดยผ่านระบบทดสอบ ผลจากการขนส่งกำลังไฟฟ้าผ่านระบบทดสอบนี้จะทำให้ระบบทดสอบเกิดการเปลี่ยนแปลงการไหลกำลังของไฟฟ้า จุดทำงานจะเปลี่ยนแปลงไปจากจุดที่ได้วางแผนเอาไว้ กรณีนี้จะพิจารณาถึงผลกระทบต่อฟังก์ชันวัตถุประสงค์ทั้งสามฟังก์ชัน และทำการเปรียบเทียบกับกรณีที่แก้ปัญหาวด้วยออปติมัลเพาเวอร์โฟลว์โดยใช้ฟังก์ชันวัตถุประสงค์เพียงหนึ่งฟังก์ชัน
- 4) การเลือกจุดทำงานที่เหมาะสมของระบบไฟฟ้ากำลัง โดยใช้การตัดสินใจแบบฟัซซี่ ในส่วนนี้จะประยุกต์ใช้ระบบฟัซซี่ในการอนุมานจุดทำงานที่เหมาะสมของระบบทดสอบ โดยใช้แบบจำลองของระบบไฟฟ้ากำลังทั้งสองแบบดังที่ได้นำเสนอในหัวข้อที่ 4.4 และจะนำผลที่ได้มาเปรียบเทียบกับทางเลือกจุดทำงานที่เหมาะสมของระบบ

ไฟฟ้ากำลังโดยใช้การแก้ปัญหาการจ่ายโหลดอย่างประหยัด และการแก้ปัญหาอุปติ  
มลพิษแเวอร์โพล์

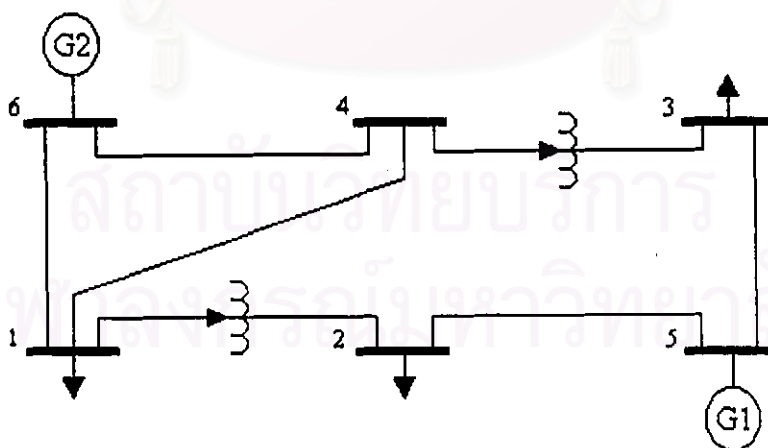
## 5.1 การเปรียบเทียบการแก้ปัญหาอุปติมลพิษแเวอร์โพล์ โดยใช้ วิธีการวิเคราะห์ทาง คณิตศาสตร์กับวิธีการคำนวณเชิงวิวัฒนาการ

ในที่นี้จะทำการทดสอบกับระบบทดสอบ 2 ระบบ คือ ระบบทดสอบ 6 บัส 7 สายส่ง [56]  
และระบบทดสอบ 9 บัส 11 สายส่ง [8] ดังแสดงในรูปที่ 5.1 และ 5.2 ตามลำดับ ตัวแปรต่าง ๆ ที่ใช้  
ในที่นี้จะใช้ตัวแปรตามที่ได้นิยามไว้ในบทที่ 3

### 5.1.1 ระบบทดสอบ 6 บัส 7 สายส่ง

การแก้ปัญหาอุปติมลพิษแเวอร์โพล์จะใช้หลักการตามที่ได้นำเสนอไว้ในหัวข้อที่ 3.3 โดย  
พิจารณาฟังก์ชันวัตถุประสงค์หนึ่งฟังก์ชัน คือ ต้นทุนการผลิตโดยรวม ตัวแปรควบคุมที่ใช้ในการ  
แก้ปัญหของระบบทดสอบ ระบบนี้มีทั้งสิ้น 5 ชนิด คือ กำลังผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ต่ออยู่ที่  
บัส 5 ค่าเทปของหม้อแปลงที่ต่อเชื่อมระหว่างบัสที่ 1 กับบัสที่ 2 และระหว่างบัสที่ 3 กับบัสที่ 4  
ขนาดของแรงดันควบคุมที่บัสที่ 5 และบัสอ้างอิงบัสที่ 6

รายละเอียดของระบบทดสอบ 6 บัส 7 สายส่งนี้ ได้แสดงไว้ในภาคผนวก ก



รูปที่ 5.1 ระบบทดสอบ 6 บัส 7 สายส่ง

### 1) ฟังก์ชันวัตถุประสงค์

ในที่นี้จะใช้ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ 3 ฟังก์ชัน คือ ฟังก์ชันเชิงเส้น (Linear cost curve) ฟังก์ชันพหุนามอันดับสอง (Quadratic cost curve) และฟังก์ชันไม่เป็นเชิงเส้น (Value point loading)

#### 1.1) ฟังก์ชันเชิงเส้น (Linear cost curve)

รูปแบบของฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ใช้ในกรณีนี้จะอยู่ในรูป  $f(x) = mx + b$  แต่จะกำหนดให้  $b = 0$  ดังแสดงในสมการที่ 5.1

$$F_T = \sum_{i=1}^{N_G} F_i(P_{Gi}) \quad (5.1)$$

$$F_i(P_{Gi}) = IC_i P_{Gi}$$

โดยที่  $IC_i$  = ค่า Incremental cost (₹/MWh) ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าตัวที่  $i$   
กำหนดค่าพารามิเตอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าของระบบทดสอบดังตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 ฟังก์ชันค่าเชื้อเพลิงและขีดจำกัดของกำลังรีแอกทีฟของระบบทดสอบ 6 บัส 7 สายส่ง

No.	บัส	$IC_i$ (₹/MWh)	$P_{Gi}^{\min}$ (MW)	$P_{Gi}^{\max}$ (MW)	$Q_{Gi}^{\min}$ (MVar)	$Q_{Gi}^{\max}$ (MVar)
1	5	8.5	25	50	-20	20
2	6	8.0	20	80	-10	30

ขอบเขตของขนาดของแรงดัน กำหนดให้อยู่ในช่วง 0.95 – 1.05 pu.

ขอบเขตของค่าแท็ปของหม้อแปลงกำหนดให้มีค่าอยู่ในช่วง 0.90 – 1.10 pu.

**กรณีที่ 1** ใช้ SQP ในการแก้ปัญหา ดังที่ได้แสดงรายละเอียดไว้ในหัวข้อที่ 3.3.4 โดยการทดลองสุ่มจุดเริ่มต้นจำนวน 10 จุด (จำนวนชุดข้อมูลที่น้อยที่สุดที่ทำให้ชุดข้อมูลมีการกระจายแบบ Gaussian) แล้วแก้ปัญหาโดยใช้ SQP โดยกำหนดให้ค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุดของฟังก์ชันวัตถุประสงค์และตัวแปรควบคุมที่ยอมรับได้มีค่าเท่ากับ 0.001 ส่วนค่าอื่น ๆ ตั้งค่าตามค่าเริ่มต้นที่โปรแกรม MATLAB ตั้งเอาไว้ จะได้ผลการแก้ปัญหาดังแสดงในตารางที่ 5.2

ตารางที่ 5.2 ผลการทดสอบการแก้ปัญหาของโปรแกรมจำลองระบบทดสอบ 6 บัส 7 สายส่ง ที่มีฟังก์ชันค่าเชิงเส้นเป็นฟังก์ชันเชิงเส้น โดยใช้ SQP

ครั้งที่	$P_{GS}$ (MW)	$T_{12}$ (pu.)	$T_{34}$ (pu.)	$V_5$ (pu.)	$V_6$ (pu.)	Cost(R/h)	Time(sec.)
1	25.00	0.9088	0.9054	1.0500	1.0500	576.4184	16.43
2	25.00	1.0366	0.9186	1.0500	1.0500	573.0117	11.75
3	25.00	0.9032	0.9033	1.0500	1.0500	576.8399	15.54
4	25.00	0.9735	1.0263	1.0500	1.0500	571.3687	11.65
5	25.00	0.9909	0.9884	1.0500	1.0500	571.1636	12.58
6	25.00	1.0398	1.0455	1.0500	1.0500	571.6925	15.55
7	25.00	0.9902	1.0432	1.0500	1.0500	571.4416	11.81
8	25.00	0.9479	0.9100	1.0500	1.0500	574.5997	11.70
9	25.00	1.0688	0.9348	1.0500	1.0500	572.6910	11.75
10	25.00	0.9680	0.9628	1.0500	1.0500	571.8940	11.70

ค่าต่ำสุด	571.1636	11.6500
ค่าเฉลี่ย	573.1121	13.0460
ค่าสูงสุด	576.8399	16.4300
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	2.1175	1.9612

**กรณีที่ 2** ใช้กลยุทธ์วิวัฒนาการในการแก้ปัญหา ดังที่ได้แสดงรายละเอียดไว้ในหัวข้อที่ 3.3.3 โดยการทดลองจุดเริ่มต้นจำนวน 10 จุด โดยใช้จำนวนประชากรเท่ากับ 20 ค่า Scaling factor ( $\beta$ ) ในการเกิดมิวเตชันกำหนดให้มีค่าเท่ากับ 0.01 และจำนวนรุ่นการถ่ายทอดสูงสุดกำหนดให้มีค่าเท่ากับ 100 ค่าสัมประสิทธิ์การปรับโทษ ( $\gamma$ ) กำหนดให้มีค่าเท่ากับ 2130 ๑/h จะได้ผลการทดสอบดังแสดงในตารางที่ 5.3

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 5.3 ผลการทดสอบการแก้ปัญหาออปติไมซ์เพาเวอร์โพลาร์ของระบบทดสอบ 6 บัส 7 สายส่ง ที่มีฟังก์ชันค่าเชื้อเพลิงเป็นฟังก์ชันเชิงเส้น โดยใช้กลยุทธ์วิวัฒนาการ

ครั้งที่	$P_{GS}$ (MW)	$T_{12}$ (pu.)	$T_{34}$ (pu.)	$V_5$ (pu.)	$V_6$ (pu.)	Cost(R/h)	Time(sec.)
1	25.00	1.0219	0.9515	1.0500	1.0500	571.0450	655.10
2	25.00	1.0596	0.9743	1.0500	1.0500	571.0450	626.04
3	25.00	1.0752	1.0592	1.0500	1.0500	571.0450	597.97
4	25.00	1.0219	0.9515	1.0500	1.0500	571.0450	634.83
5	25.00	1.0596	0.9743	1.0500	1.0500	571.0450	607.70
6	25.00	1.0752	1.0592	1.0500	1.0500	571.0450	581.00
7	25.00	1.0219	0.9515	1.0500	1.0500	571.0450	636.26
8	25.00	1.0596	0.9743	1.0500	1.0500	571.0450	609.26
9	25.00	1.0752	1.0592	1.0500	1.0500	571.0450	583.58
10	25.00	1.0511	1.0024	1.0500	1.0500	571.0450	701.34

ค่าต่ำสุด	571.0450	581.00
ค่าเฉลี่ย	571.0450	623.31
ค่าสูงสุด	571.0450	701.34
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.0000	36.30

### 1.2) ฟังก์ชันโพลีโนเมียลอันดับสอง (Quadratic cost curve)

รูปแบบของฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ใช้ในกรณีนี้จะอยู่ในรูป  $f(x) = a + bx + cx^2$  ดังแสดงในสมการที่ 5.2

$$F_T = \sum_{i=1}^{N_G} F_i(P_{Gi}) \quad (5.2)$$

$$F_i(P_{Gi}) = a_i + b_i P_{Gi} + c_i P_{Gi}^2$$

โดยที่  $a_i$ ,  $b_i$ , และ  $c_i$  = ค่าสัมประสิทธิ์ของฟังก์ชันค่าเชื้อเพลิงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าตัวที่  $i$  กำหนดค่าพารามิเตอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าของระบบทดสอบดังตารางที่ 5.4

ตารางที่ 5.4 ฟังก์ชันค่าเชื้อเพลิงและขีดจำกัดของกำลังรีแอกทีฟของระบบทดสอบ 6 บัส 7 สายส่ง

No.	บัส	$a_i$	$b_i$	$c_i$	$P_{Gi}^{\min}$ (MW)	$P_{Gi}^{\max}$ (MW)	$Q_{Gi}^{\min}$ (MVar)	$Q_{Gi}^{\max}$ (MVar)
1	5	53.61	10.66	0.0117	25	50	-20	20
2	6	52.02	10.52	0.0111	20	80	-10	30

ขอบเขตของขนาดของแรงดัน กำหนดให้อยู่ในช่วง 0.95 – 1.05 pu.

ขอบเขตของค่าเทปของหม้อแปลงกำหนดให้มีค่าอยู่ในช่วง 0.90 – 1.10 pu.

**กรณีที่ 1** ใช้ SQP ในการแก้ปัญหา ดังที่ได้แสดงรายละเอียดไว้ในหัวข้อที่ 3.3.4 โดยการทดลองสุ่มจุดเริ่มต้นจำนวน 10 จุด แล้วแก้ปัญหาโดยใช้ SQP โดยกำหนดให้ค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุดของฟังก์ชันวัตถุประสงค์และตัวแปรควบคุมที่ยอมรับได้มีค่าเท่ากับ 0.001 ส่วนค่าอื่น ๆ ตั้งค่าตามค่าเริ่มต้นที่โปรแกรม MATLAB ตั้งเอาไว้ จะได้ผลการแก้ปัญหาดังแสดงในตารางที่ 5.5

ตารางที่ 5.5 ผลการทดสอบการแก้ปัญหาออปติ้มัลเพาเวอร์โพลาร์ของระบบทดสอบ 6 บัส 7 สายส่ง ที่มีฟังก์ชันค่าเชื้อเพลิงเป็นฟังก์ชันโพลิโนเมียลอันดับสองโดยใช้ SQP

ครั้งที่	$P_{GS}$ (MW)	$T_{12}$ (pu.)	$T_{34}$ (pu.)	$V_5$ (pu.)	$V_6$ (pu.)	Cost(R/h)	Time(sec.)	
1	25.00	0.9462	1.0214	1.0500	1.0500	874.3619	14.50	
2	25.00	0.9913	0.9037	1.0500	1.0500	877.5053	12.96	
3	25.00	1.0584	1.0844	1.0500	1.0500	876.2766	10.55	
4	25.00	1.0871	1.0834	1.0500	1.0500	877.3539	8.19	
5	25.00	0.9397	1.0208	1.0500	1.0500	874.6274	16.86	
6	25.00	1.0494	0.9890	1.0500	1.0500	873.6443	11.76	
7	25.00	1.0692	1.0050	1.0500	1.0500	874.1539	11.65	
8	25.00	0.9039	1.0363	1.0500	1.0500	876.6254	15.49	
9	25.00	0.9423	1.0214	1.0500	1.0500	874.3862	20.93	
10	25.00	0.9913	0.9037	1.0500	1.0500	877.5053	19.06	
						ค่าต่ำสุด	873.6443	8.19
						ค่าเฉลี่ย	875.6440	14.20
						ค่าสูงสุด	877.5053	20.93
						ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	1.5526	3.96

**กรณีที่ 2** ใช้กลยุทธ์วิวัฒนาการในการแก้ปัญหา ดังที่ได้แสดงรายละเอียดไว้ในหัวข้อที่ 3.3.3 โดยการทดลองสุ่มจุดเริ่มต้นจำนวน 10 จุด โดยใช้จำนวนประชากรเท่ากับ 20 ค่า Scaling factor ( $\beta$ ) ในการเกิดมิวเตชันกำหนดให้มีค่าเท่ากับ 0.01 และจำนวนรุ่นการถ่ายทอดสูงสุดกำหนดให้มีค่าเท่ากับ 100 ค่าสัมประสิทธิ์การปรับโทษ ( $\gamma$ ) กำหนดให้มีค่าเท่ากับ 3161 R/h จะได้ผลการทดสอบดังแสดงในตารางที่ 5.6

ตารางที่ 5.6 ผลการทดสอบการแก้ปัญหาออปติไมซ์เพาเวอร์โพลีของระบบทดสอบ 6 บัส 7 สายส่ง ที่มีฟังก์ชันค่าเชื้อเพลิงเป็นฟังก์ชันโพลิโนเมียลอันดับสองโดยใช้กลยุทธ์วิวัฒนาการ

ครั้งที่	$P_{GS}$ (MW)	$T_{12}$ (pu.)	$T_{34}$ (pu.)	$V_5$ (pu.)	$V_6$ (pu.)	Cost(R/h)	Time(sec.)
1	25.00	1.0390	0.9705	1.0500	1.0500	873.2254	596.22
2	25.00	0.9695	0.9890	1.0500	1.0500	873.2254	572.76
3	25.00	1.0441	0.9808	1.0500	1.0500	873.2254	582.59
4	25.00	1.0879	1.0523	1.0500	1.0500	873.2254	573.53
5	25.00	1.0396	1.0068	1.0500	1.0500	873.2254	587.38
6	25.00	0.9091	1.1000	1.0500	1.0500	873.2254	573.64
7	25.00	1.0977	0.9407	1.0500	1.0500	873.2254	506.46
8	25.00	1.0580	1.0831	1.0500	1.0500	873.2254	425.46
9	25.00	1.0707	0.9696	1.0500	1.0500	873.2254	490.87
10	25.00	0.9028	0.9545	1.0500	1.0500	873.2254	438.91
			<b>ค่าต่ำสุด</b>			873.2254	425.46
			<b>ค่าเฉลี่ย</b>			873.2254	534.78
			<b>ค่าสูงสุด</b>			873.2254	596.22
			<b>ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน</b>			0.0000	64.25

### 1.3) ฟังก์ชันไม่เป็นเชิงเส้น (valve point loading)

รูปแบบของฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ใช้ในกรณีนี้จะอยู่ในรูป

$$f(x) = a + bx + cx^2 + |E \sin F(x^{\min} - x)|$$

ดังแสดงในสมการที่ 5.3

$$F_T = \sum_{i=1}^{N_G} F_i(P_{Gi}) \quad (5.3)$$

$$F_i(P_{Gi}) = a_i + b_i P_{Gi} + c_i P_{Gi}^2 + |E_i \sin F_i (P_{Gi}^{\min} - P_{Gi})|$$

โดยที่  $a_i$ ,  $b_i$ ,  $c_i$ ,  $E_i$ , และ  $F_i$  = ค่าสัมประสิทธิ์ของฟังก์ชันค่าเชื้อเพลิงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าตัวที่  $i$

กำหนดค่าพารามิเตอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าของระบบทดสอบดังตารางที่ 5.7 และ 5.8

ตารางที่ 5.7 ฟังก์ชันค่าเชื้อเพลิงของระบบทดสอบ 6 บัส 7 สายส่ง

No.	บัส	$a_i$	$b_i$	$c_i$	$E_i$	$F_i$	$P_{Gi}^{\min}$ (MW)
1	5	200.0	10.333	0.00889	100	0.45	25
2	6	213.1	10.669	0.00533	145	0.19	20

ตารางที่ 5.8 ขีดจำกัดของกำลังผลิตและกำลังรีแอกทีฟของระบบทดสอบ 6 บัส 7 สายส่ง

No.	บัส	$P_{Gi}^{\min}$ (MW)	$P_{Gi}^{\max}$ (MW)	$Q_{Gi}^{\min}$ (MVar)	$Q_{Gi}^{\max}$ (MVar)
1	5	25	50	-20	20
2	6	20	80	-10	30

ขอบเขตของขนาดของแรงดัน กำหนดให้อยู่ในช่วง 0.95 – 1.05 pu.

ขอบเขตของค่าแท็ปของหม้อแปลงกำหนดให้มีค่าอยู่ในช่วง 0.90 – 1.10 pu.

**กรณีที่ 1** ใช้ SQP ในการแก้ปัญหา ดังที่ได้แสดงรายละเอียดไว้ในหัวข้อที่ 3.3.4 โดยการทดลองสุ่มจุดเริ่มต้นจำนวน 10 จุด แล้วแก้ปัญหาโดยใช้ SQP โดยกำหนดให้ค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุดของฟังก์ชันวัตถุประสงค์และตัวแปรควบคุมที่ยอมรับได้มีค่าเท่ากับ 0.001 ส่วนค่าอื่น ๆ ตั้งค่าตามค่าเริ่มต้นที่โปรแกรม MATLAB ตั้งเอาไว้ จะได้ผลการแก้ปัญหาดังแสดงในตารางที่ 5.9



ตารางที่ 5.9 ผลการทดสอบการแก้ปัญหาออปติ้มัลเพาเวอร์โพลาร์ของระบบทดสอบ 6 บัส 7 สายส่ง ที่มีฟังก์ชันค่าเชิงเพลงเป็นฟังก์ชันไม่เป็นเชิงเส้น โดยใช้ SQP

ครั้งที่	$P_{GS}$ (MW)	$T_{12}$ (pu.)	$T_{34}$ (pu.)	$V_5$ (pu.)	$V_6$ (pu.)	Cost(R/h)	Time(sec.)
1	50.00	0.9913	0.9037	1.0500	1.0433	1395.8893	11.70
2	50.00	0.9462	1.0214	1.0500	1.0433	1377.8466	20.38
3	50.00	0.9913	0.9037	1.0500	1.0500	1395.8893	11.81
4	38.96	1.0584	1.0844	1.0256	1.0500	1281.3636	159.72
5	50.00	0.9462	1.0214	1.0500	1.0433	1377.8466	19.33
6	50.00	0.9913	0.9037	1.0500	1.0433	1395.8893	11.65
7	38.96	1.0584	1.0844	1.0256	1.0500	1281.3636	157.03
8	25.00	1.0871	1.0834	1.0500	1.0500	1314.4810	73.16
9	25.00	0.9706	1.0626	1.0500	1.0500	1312.1833	42.78
10	50.00	0.9397	1.0208	1.0500	1.0433	1378.4401	12.47

ค่าต่ำสุด	1281.3636	11.65
ค่าเฉลี่ย	1351.1193	52.00
ค่าสูงสุด	1395.8893	159.72
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	48.0489	59.32

**กรณีที่ 2** ใช้กลยุทธ์วิวัฒนาการในการแก้ปัญหา ดังที่ได้แสดงรายละเอียดไว้ในหัวข้อที่ 3.3.3 โดยการทดลองสุ่มจุดเริ่มต้นจำนวน 10 จุด โดยใช้จำนวนประชากรเท่ากับ 20 ค่า Scaling factor ( $\beta$ ) ในการเกิดมิวเตชันกำหนดให้มีค่าเท่ากับ 0.01 และจำนวนรุ่นการถ่ายทอดสูงสุดกำหนดให้มีค่าเท่ากับ 100 ค่าสัมประสิทธิ์การปรับโทษ ( $\gamma$ ) กำหนดให้มีค่าเท่ากับ 4139.38 ๙/๕ จะได้ผลการทดสอบดังแสดงในตารางที่ 5.10

ศูนย์วิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 5.10 ผลการทดสอบการแก้ปัญหาออปติ้มัลเพาเวอร์โพลีของระบบทดสอบ 6 บัส 7 สาย  
ส่งที่มีฟังก์ชันค่าเชิงเพลิงเป็นฟังก์ชันไม่เป็นเชิงเส้นโดยใช้กลยุทธ์วิวัฒนาการ

ครั้งที่	P5	T2	T5	V5	V6	Cost(R/h)	Time(sec.)
1	31.98	1.0717	0.9521	1.0448	1.0421	1221.7925	940.99
2	31.98	0.9023	0.9737	1.0400	1.0425	1222.6684	386.67
3	31.98	0.9658	1.0705	1.0330	1.0446	1224.2547	401.56
4	31.98	0.9777	0.9028	1.0473	1.0387	1221.5337	360.86
5	38.96	1.0535	0.9391	1.0410	1.0440	1283.7356	320.99
6	31.98	1.0840	0.9632	1.0495	1.0440	1220.8799	1358.37
7	31.98	0.9000	0.9834	1.0424	1.0413	1222.2564	1114.66
8	25.00	1.0915	1.0616	1.0500	1.0500	1310.8514	564.30
9	31.98	1.0653	0.9663	1.0500	1.0468	1220.6811	945.59
10	31.98	0.9023	0.9737	1.0400	1.0425	1222.6684	384.37

ค่าต่ำสุด	1220.6811	320.99
ค่าเฉลี่ย	1237.1322	677.84
ค่าสูงสุด	1310.8514	1358.37
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	32.3614	377.54

## 2) การกำหนดตัวแปรควบคุมเป็นชนิดตัวแปรไม่ต่อเนื่อง (Discrete variables)

ในหัวข้อที่ผ่านมาเป็นการจำลองผลโดยใช้ค่าแท้ปของหม้อแปลงแปรค่าจาก 0.90 ถึง 1.10 อย่างต่อเนื่อง แต่ในทางปฏิบัติค่าแท้ปของหม้อแปลงสามารถปรับค่าได้จำกัด ซึ่งจัดเป็นตัวแปรไม่ต่อเนื่อง การแก้ปัญหาในกรณีนี้ SQP ไม่สามารถใช้กับตัวแปรไม่ต่อเนื่อง ดังนั้นในที่นี้จะแก้ปัญหาโดยใช้กลยุทธ์วิวัฒนาการเท่านั้น

กำหนดให้ค่าแท้ปของหม้อแปลงที่ใช้กับระบบทดสอบนี้ตั้งค่าได้ 25 ระดับ จาก 0.90 ถึง 1.10 ดังนี้ 0.9000, 0.9083, 0.9167, 0.9250, 0.9333, 0.9417, 0.9500, 0.9583, 0.9667, 0.9750, 0.9833, 0.9917, 1.0000, 1.0083, 1.0167, 1.0250, 1.0333, 1.0417, 1.0500, 1.0583, 1.0667, 1.0750, 1.0833, 1.0917, และ 1.1000 ส่วนฟังก์ชันวัตถุประสงค์นั้นใช้ฟังก์ชันเชิงเส้น (Linear cost curve) ดังแสดงในตารางที่ 5.1

ใช้กลยุทธ์วิวัฒนาการในการแก้ปัญหา ดังที่ได้แสดงรายละเอียดไว้ในหัวข้อที่ 3.3.3 โดยการทดลองสุ่มจุดเริ่มต้นจำนวน 10 จุด โดยใช้จำนวนประชากรเท่ากับ 20 ค่า Scaling factor ( $\beta$ ) ในการเกิดมิวเตชันกำหนดให้มีค่าเท่ากับ 0.01 และจำนวนรุ่นการถ่ายทอดสูงสุดกำหนดให้มีค่าเท่ากับ

100 ค่าสัมประสิทธิ์การปรับโทษ ( $\gamma$ ) กำหนดให้มีค่าเท่ากับ 2130  $\text{R/h}$  จะได้ผลการทดสอบดังแสดงในตารางที่ 5.11

ตารางที่ 5.11 ผลการทดสอบการแก้ปัญหาออปติ้มัลเพาเวอร์โฟลว์ของระบบทดสอบ 6 บัส 7 สายส่งที่มีฟังก์ชันค่าเชิงเฟลิกเป็นฟังก์ชันเชิงเส้นและค่าเท็ปของหม้อแปลงเป็นตัวแปรไม่ต่อเนื่องโดยใช้กลยุทธ์วิวัฒนาการ

ครั้งที่	$P_{GS}$ (MW)	$T_{12}$ (pu.)	$T_{34}$ (pu.)	$V_5$ (pu.)	$V_6$ (pu.)	Cost(R/h)	Time(sec.)
1	25.00	0.9000	1.1000	1.0500	1.0500	571.0450	612.36
2	25.00	1.1000	1.1000	1.0500	1.0500	571.0450	556.45
3	25.00	0.9083	1.1000	1.0500	1.0500	571.0450	771.37
4	25.00	1.1000	1.1000	1.0500	1.0500	571.0450	519.43
5	25.00	1.1000	1.1000	1.0500	1.0500	571.0450	252.60
6	25.00	1.0500	0.9250	1.0500	1.0500	571.0450	627.63
7	25.00	1.0417	1.0500	1.0500	1.0500	571.0450	159.39
8	25.00	1.1000	1.1000	1.0500	1.0500	571.0450	653.17
9	25.00	0.9417	1.1000	1.0500	1.0500	571.0450	818.45
10	25.00	1.1000	0.9000	1.0500	1.0500	571.0450	506.30

ค่าต่ำสุด 571.0450 159.39

ค่าเฉลี่ย 571.0450 547.72

ค่าสูงสุด 571.0450 818.45

ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.0000 206.96

### 3) การกำหนดเงื่อนไขบังคับอย่างหนัก (Hard constraints)

ในกรณีที่เงื่อนไขบังคับมีผลกระทบอย่างมากต่อกลุ่มของผลเฉลยที่เป็นไปได้ (Feasible solutions) ทำให้จำนวนผลเฉลยที่เป็นไปได้อัตราส่วนน้อยมากเมื่อเทียบกับผลเฉลยที่เป็นไปไม่ได้ (Infeasible solutions) ส่งผลให้โอกาสที่กระบวนการค้นหาจุดค่าตอบของข้อมูลจะพบจุดค่าตอบที่เป็นไปได้น้อยมาก จนทำให้กระบวนการค้นหาไม่ลู่เข้าและประสบความล้มเหลวในการแก้ปัญหา

เงื่อนไขบังคับอย่างหนักที่อาจจะพบได้ในระบบไฟฟ้ากำลัง คือ ขีดจำกัดสูงสุดของการถ่ายโอนกำลังไฟฟ้าในสายส่ง (Transmission limits) ในการพิจารณาผลของฟังก์ชันวัตถุประสงค์และชนิดของตัวแปรควบคุมนั้นไม่ได้คำนึงถึงขีดจำกัดของสายส่ง แต่ในที่นี้จะนำมากำหนดเป็นเงื่อนไข

ไขบั้งคับแบบอสมการด้วย และการแก้ปัญหาจะใช้ฟังก์ชันวัตถุประสงค์เป็นฟังก์ชันเชิงเส้นเท่านั้น ข้อมูลขีดจำกัดสายส่งของระบบทดสอบได้แสดงไว้ในภาคผนวก ก ตารางที่ ก.2

**กรณีที่ 1** ใช้ SQP ในการแก้ปัญหา ดังที่ได้แสดงรายละเอียดไว้ในหัวข้อที่ 3.3.4 โดยการทดลองสุ่มจุดเริ่มต้นจำนวน 10 จุด แล้วแก้ปัญหาโดยใช้ SQP โดยกำหนดให้ค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุดของฟังก์ชันวัตถุประสงค์และตัวแปรควบคุมที่ยอมรับได้มีค่าเท่ากับ 0.001 ส่วนค่าอื่น ๆ ตั้งค่าตามค่าเริ่มต้นที่โปรแกรม MATLAB ตั้งเอาไว้ จะได้ผลการแก้ปัญหาดังแสดงในตารางที่ 5.12

ตารางที่ 5.12 ผลการทดสอบการแก้ปัญหาออปติ้มัลเพาเวอร์ไฟลว์ของระบบทดสอบ 6 บัส 7 สายส่งที่มีฟังก์ชันค่าเชื้อเพลิงเป็นฟังก์ชันเชิงเส้นและกำหนดขีดจำกัดของสายส่งเป็นเงื่อนไขบั้งคับอสมการโดยใช้ SQP

ครั้งที่	$P_{GS}$ (MW)	$T_{12}$ (pu.)	$T_{34}$ (pu.)	$V_5$ (pu.)	$V_6$ (pu.)	Cost(R/h)	Time(sec.)	หมายเหตุ
1	-	-	-	-	-	-	-	ไมู่่เข้า
2	-	-	-	-	-	-	-	ไมู่่เข้า
3	-	-	-	-	-	-	-	ไมู่่เข้า
4	-	-	-	-	-	-	-	ไมู่่เข้า
5	-	-	-	-	-	-	-	ไมู่่เข้า
6	27.47	0.9397	1.0208	1.0500	1.0496	574.4778	59.27	
7	-	-	-	-	-	-	-	ไมู่่เข้า
8	-	-	-	-	-	-	-	ไมู่่เข้า
9	27.48	1.0364	0.9606	1.0500	1.0500	574.2860	50.04	
10	-	-	-	-	-	-	-	ไมู่่เข้า

ค่าต่ำสุด 574.2860 50.04

ค่าเฉลี่ย 574.3819 54.66

ค่าสูงสุด 574.4778 59.27

ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.1356 6.53

**กรณีที่ 2** ใช้กลยุทธ์วิวัฒนาการในการแก้ปัญหา ดังที่ได้แสดงรายละเอียดไว้ในหัวข้อที่ 3.3.3 โดยการทดลองสุ่มจุดเริ่มต้นจำนวน 10 จุด โดยใช้จำนวนประชากรเท่ากับ 20 ค่า Scaling factor ( $\beta$ ) ในการเกิดมิวเตชันกำหนดให้มีค่าเท่ากับ 0.01 และจำนวนรุ่นการถ่ายทอดสูงสุดกำหนดให้มีค่าเท่ากับ 100 ค่าสัมประสิทธิ์การปรับโทษ ( $\gamma$ ) กำหนดให้มีค่าเท่ากับ 2130 R/h จะได้ผลการทดสอบดังแสดงในตารางที่ 5.13

ตารางที่ 5.13 ผลการทดสอบการแก้ปัญหาออปติ้มัลเพาเวอร์ฟลักซ์ของระบบทดสอบ 6 บัส 7 สายส่งที่มีฟังก์ชันค่าเชื้อเพลิงเป็นฟังก์ชันเชิงเส้นและกำหนดขีดจำกัดของสายส่งเป็นเงื่อนไขบังคับ อสมการโดยใช้กลยุทธ์วิวัฒนาการ

ครั้งที่	$P_{GS}$ (MW)	$T_{12}$ (pu.)	$T_{34}$ (pu.)	$V_5$ (pu.)	$V_6$ (pu.)	Cost(R/h)	Time(sec.)	หมายเหตุ
1	27.11	1.0260	0.9598	1.0500	1.0287	573.7723	476.70	
2	27.20	1.0467	0.9791	1.0500	1.0346	573.6835	943.51	
3	27.12	1.0826	1.0391	1.0500	1.0292	573.7732	969.76	
4	27.47	0.9643	1.0973	1.0500	1.0495	573.6236	504.16	
5	-	-	-	-	-	-	-	ไม่คู่เข้า
6	27.46	0.9584	0.9000	1.0500	1.0486	573.6235	676.90	
7	27.28	0.9764	0.9944	1.0500	1.0384	573.6558	1115.37	
8	27.59	1.0196	1.0888	1.0388	1.0422	574.1560	291.00	
9	-	-	-	-	-	-	-	ไม่คู่เข้า
10	27.20	0.9597	1.0875	1.0500	1.0341	573.6881	1112.68	

ค่าต่ำสุด 573.6235 291.00

ค่าเฉลี่ย 573.7470 761.26

ค่าสูงสุด 574.1560 1115.37

ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.1752 316.43

จากการทดสอบข้างต้นสามารถสรุปผลเพื่อเปรียบเทียบการใช้วิธีการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์ (SQP) กับวิธีการคำนวณเชิงวิวัฒนาการ (กลยุทธ์วิวัฒนาการ) ได้ดังตารางที่ 5.14

ตารางที่ 5.14 เปรียบเทียบผลการทดสอบของระบบ 6 บัส 7 สายส่ง

การทดสอบ	Cost(R/h)		Time(sec.)	
	SQP	ES	SQP	ES
ฟังก์ชันเชิงเส้น	573.1121	571.0450	13.05	623.31
ฟังก์ชันโพลีโนเมียลอันดับสอง	875.6440	873.2254	14.20	534.78
ฟังก์ชันไม่เป็นเชิงเส้น	1351.1193	1237.1322	52.00	677.84
ขีดจำกัดของสายส่ง*	574.3819	573.7470	54.66	761.26
ตัวแปรไม่ต่อเนื่อง**	-	571.0450	-	547.72

\* ทดสอบ 10 ครั้ง SQP ทุ่มเข้า 2 ครั้ง, ES ทุ่มเข้า 8 ครั้ง

\*\* SQP ไม่สามารถใช้กับตัวแปรไม่ต่อเนื่อง

ES ใช้ Population Sizes = 20 และ Maximum Generation = 100

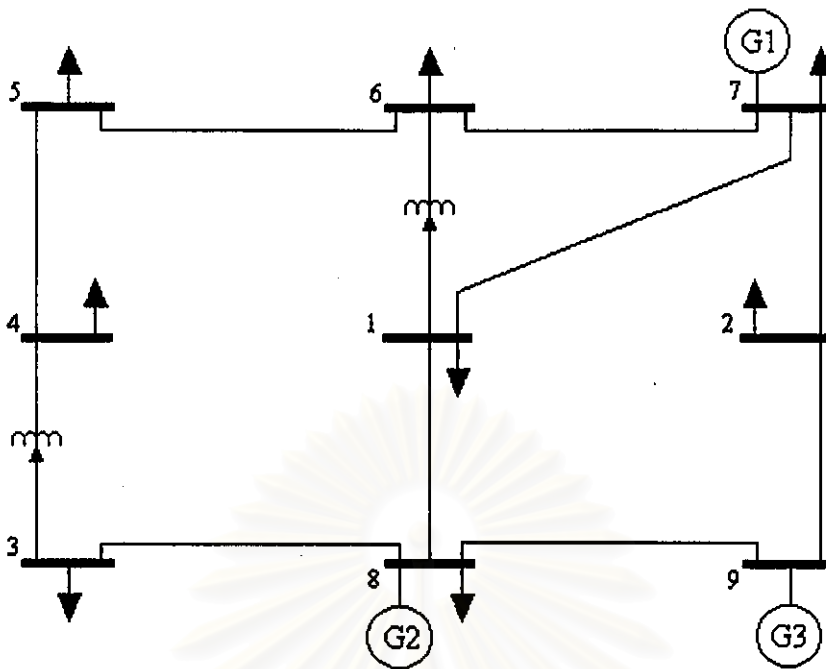
ES = Evolution strategies (กลยุทธ์วิวัฒนาการ)

ผลการทดสอบระบบ 6 บัส 7 สายส่งนี้พบว่า ผลเฉลยที่ได้จากกลยุทธ์วิวัฒนาการมีค่าต้นทุนการผลิตโดยรวมต่ำกว่า SQP อย่างไรก็ตามในกรณีฟังก์ชันวัตถุประสงค์เป็นฟังก์ชันเชิงเส้นหรือเป็นฟังก์ชันโพลีโนเมียลอันดับสองนั้น SQP สามารถค้นหาจุดคำตอบที่ให้ค่าต้นทุนการผลิตโดยรวมสูงกว่ากลยุทธ์วิวัฒนาการเล็กน้อยเท่านั้น แต่เวลาในการคำนวณสั้นกว่ามาก ดังนั้นการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์เป็นวิธีที่เหมาะสมมากกว่าการคำนวณเชิงวิวัฒนาการในการแก้ปัญหาการทำงานของระบบไฟฟ้ากำลังกรณีฟังก์ชันวัตถุประสงค์เป็นฟังก์ชันเชิงเส้น หรือฟังก์ชันโพลีโนเมียลอันดับสอง อย่างไรก็ตาม หากฟังก์ชันวัตถุประสงค์เป็นฟังก์ชันไม่เป็นเชิงเส้นและตัวแปรควบคุมเป็นชนิดไม่ต่อเนื่อง หรือมีเงื่อนไขบังคับอย่างหนักแล้ว การคำนวณเชิงวิวัฒนาการเป็นวิธีการที่เหมาะสมมากกว่าการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์

### 5.1.2 ระบบทดสอบ 9 บัส 11 สายส่ง

การแก้ปัญหาออปติมิซเพาเวอร์ฟลัวร์จะใช้หลักการตามที่ได้นำเสนอไว้ในหัวข้อที่ 3.3 โดยพิจารณาฟังก์ชันวัตถุประสงค์หนึ่งฟังก์ชัน คือ ต้นทุนการผลิตโดยรวม ตัวแปรควบคุมที่ใช้ในการแก้ปัญหาของระบบทดสอบ ระบบนี้มีทั้งสิ้น 7 ตัว คือ กำลังผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ต่ออยู่ที่บัส 7 และบัส 8 ค่าแก้ปของหม้อแปลงที่ต่อเชื่อมระหว่างบัสที่ 1 กับบัสที่ 6 และระหว่างบัสที่ 3 กับบัสที่ 4 ขนาดของแรงดันควบคุมที่บัสที่ 7 บัส 8 และบัสอ้างอิงบัสที่ 9

ระบบทดสอบ 9 บัส 11 สายส่งนี้ ได้แสดงรายละเอียดไว้ในภาคผนวก ก และรูปที่ 5.2



รูปที่ 5.2 ระบบทดสอบ 9 บัส 11 สายส่ง

การทดสอบจะทำในลักษณะเดียวกันกับระบบทดสอบ 6 บัส 7 สายส่ง ดังนี้

### 1) ฟังก์ชันวัตถุประสงค์

ในที่นี้จะใช้ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ 3 ฟังก์ชัน คือ ฟังก์ชันเชิงเส้น (Linear cost curve) ฟังก์ชันโพลิโนเมียลอันดับสอง (Quadratic cost curve) และฟังก์ชันไม่เป็นเชิงเส้น (Valve point loading)

#### 1.1) ฟังก์ชันเชิงเส้น (Linear cost curve)

รูปแบบของฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ใช้ในกรณีนี้จะอยู่ในรูป  $f(x) = mx + b$  แต่จะกำหนดให้  $b = 0$  ดังแสดงในสมการที่ 5.1

กำหนดค่าพารามิเตอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าของระบบทดสอบดังตารางที่ 5.15

ตารางที่ 5.15 ฟังก์ชันค่าเชื้อเพลิงและขีดจำกัดของกำลังไฟฟ้าร์แอกทีฟของระบบทดสอบ 9 บัส 11 สายส่ง

No.	บัส	$IC_i$ (฿/MWh)	$P_{Gi}^{\min}$ (MW)	$P_{Gi}^{\max}$ (MW)	$Q_{Gi}^{\min}$ (MVar)	$Q_{Gi}^{\max}$ (MVar)
1	7	6.5	50	100	0	100
2	8	6.1	30	200	0	250
3	9	6.7	40	200	0	250

ขอบเขตของขนาดของแรงดัน กำหนดให้อยู่ในช่วง 0.90 – 1.10 pu.

ขอบเขตของค่าเทีปของหม้อแปลงกำหนดให้มีค่าอยู่ในช่วง 0.95 – 1.05 pu.

**กรณีที่ 1** ใช้ SQP ในการแก้ปัญหา โดยการทดลองจุดเริ่มต้นจำนวน 10 จุด แล้วแก้ปัญหาโดยใช้ SQP โดยกำหนดให้ค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุดของฟังก์ชันวัตถุประสงค์และตัวแปรควบคุมที่ยอมรับได้มีค่าเท่ากับ 0.001 ส่วนค่าอื่น ๆ ตั้งค่าตามค่าเริ่มต้นที่โปรแกรม MATLAB ตั้งเอาไว้ จะได้ผลการแก้ปัญหาดังแสดงในตารางที่ 5.16

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ตารางที่ 5.16 ผลการทดสอบการแก้ปัญหาอุปติมัลเพาเวอร์โพล์วของระบบทดสอบ 9 บัส 11 สาย  
ส่ง ที่มีฟังก์ชันค่าเชื้อเพลิงเป็นฟังก์ชันเชิงเส้นโดยใช้ SQP

ครั้งที่	$P_7$	$P_8$	$V_7$	$V_8$	$V_9$	$T_{16}$	$T_{34}$	Cost	Time (Sec.)
1	100.00	200.00	1.0950	1.1000	1.0986	1.0131	1.0102	2192.94	21.91
2	100.00	200.00	1.0950	1.1000	1.0986	1.0131	1.0102	2192.94	28.18
3	100.00	200.00	1.0950	1.1000	1.0986	1.0131	1.0102	2192.94	25.27
4	100.00	200.00	1.0950	1.1000	1.0986	1.0131	1.0102	2192.94	22.08
5	100.00	200.00	1.0950	1.1000	1.0986	1.0131	1.0102	2192.94	21.81
6	100.00	200.00	1.0950	1.1000	1.0986	1.0131	1.0102	2192.94	25.87
7	100.00	200.00	1.0950	1.1000	1.0986	1.0130	1.0102	2192.94	26.2
8	100.00	200.00	1.0950	1.1000	1.0986	1.0131	1.0102	2192.94	25.32
9	100.00	200.00	1.0950	1.1000	1.0986	1.0131	1.0102	2192.94	20.21
10	100.00	200.00	1.0950	1.1000	1.0986	1.0131	1.0102	2192.94	26.53

ค่าต่ำสุด 2192.94 20.21

ค่าเฉลี่ย 2192.94 24.34

ค่าสูงสุด 2192.94 28.18

ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.00 2.62

**กรณีที่ 2** ใช้กลยุทธ์วิวัฒนาการในการแก้ปัญหา ดังที่ได้แสดงรายละเอียดไว้ในหัวข้อที่ 3.3.3 โดยการทดลองสุ่มจุดเริ่มต้นจำนวน 10 จุด โดยใช้จำนวนประชากรเท่ากับ 30 ค่า Scaling factor ( $\beta$ ) ในการเกิดมิวเตชันกำหนดให้มีค่าเท่ากับ 0.01 และจำนวนรุ่นการถ่ายทอดสูงสุดกำหนดให้มีค่าเท่ากับ 150 ค่าสัมประสิทธิ์การปรับโทษ ( $\gamma$ ) กำหนดให้มีค่าเท่ากับ 6420 ๑/h จะได้ผลการทดสอบดังแสดงในตารางที่ 5.17

ตารางที่ 5.17 ผลการทดสอบการแก้ปัญหาออปติ้มัลเพาเวอร์โพล์ของระบบทดสอบ 9 บัส 11 สายส่ง ที่มีฟังก์ชันค่าเชื้อเพลิงเป็นฟังก์ชันเชิงเส้นโดยใช้กลยุทธ์วิวัฒนาการ

ครั้งที่	P <sub>7</sub>	P <sub>8</sub>	V <sub>7</sub>	V <sub>8</sub>	V <sub>9</sub>	T <sub>16</sub>	T <sub>34</sub>	Cost	Time (Sec.)
1	100.00	200.00	1.0942	1.0998	1.0971	1.0253	1.0101	2193.11	397.12
2	99.79	200.00	1.0687	1.0786	1.0728	0.9933	1.0104	2194.39	405.46
3	97.36	200.00	1.0904	1.0946	1.0934	1.0033	1.0062	2193.91	392.23
4	100.00	200.00	1.0736	1.0834	1.0794	1.0007	1.0085	2193.87	348.83
5	99.89	200.00	1.0613	1.0683	1.0654	1.0179	1.0000	2194.65	361.24
6	100.00	200.00	1.0445	1.0518	1.0462	1.0070	1.0101	2195.22	347.52
7	100.00	200.00	1.0826	1.0887	1.0862	1.0273	1.0034	2193.74	349.16
8	100.00	200.00	1.0573	1.0660	1.0628	1.0015	1.0102	2194.60	349.27
9	100.00	200.00	1.0447	1.0555	1.0469	0.9837	0.9981	2196.47	348.5
10	100.00	200.00	1.0759	1.0866	1.0844	1.0050	1.0078	2193.70	349.98

ค่าต่ำสุด 2193.11 347.52

ค่าเฉลี่ย 2194.37 364.93

ค่าสูงสุด 2196.47 405.46

ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.95 23.54

### 1.2) ฟังก์ชันโพลิโนเมียลอันดับสอง (Quadratic cost curve)

รูปแบบของฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ใช้ในกรณีนี้จะอยู่ในรูป  $f(x) = a + bx + cx^2$  ดังแสดงในสมการที่ 5.2 และกำหนดค่าพารามิเตอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าของระบบทดสอบดังตารางที่ 5.18

ตารางที่ 5.18 ฟังก์ชันค่าเชื้อเพลิงและขีดจำกัดของกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟของระบบทดสอบ 9 บัส 11 สายส่ง

No.	บัส	a <sub>i</sub>	b <sub>i</sub>	c <sub>i</sub>	P <sub>Gi</sub> <sup>min</sup> (MW)	P <sub>Gi</sub> <sup>max</sup> (MW)	Q <sub>Gi</sub> <sup>min</sup> (MVar)	Q <sub>Gi</sub> <sup>max</sup> (MVar)
1	7	240	6.5	0.008	50	100	0	100
2	8	220	6.1	0.005	30	200	0	250
3	9	240	6.7	0.009	40	200	0	250

ขอบเขตของขนาดของแรงดัน กำหนดให้อยู่ในช่วง 0.90 – 1.10 pu.

ขอบเขตของค่าแก้ปของหม้อแปลงกำหนดให้มีค่าอยู่ในช่วง 0.95 – 1.05 pu.

**กรณีที่ 1** ใช้ SQP ในการแก้ปัญหา ดังที่ได้แสดงรายละเอียดไว้ในหัวข้อที่ 3.3.4 โดยการทดสอบจุดเริ่มต้นจำนวน 10 จุด แล้วแก้ปัญหาโดยใช้ SQP โดยกำหนดให้ค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุดของฟังก์ชันวัตถุประสงค์และตัวแปรควบคุมที่ยอมรับได้มีค่าเท่ากับ 0.001 ส่วนค่าอื่น ๆ ตั้งค่าตามค่าเริ่มต้นที่โปรแกรม MATLAB ตั้งเอาไว้ จะได้ผลการแก้ปัญหาดังแสดงในตารางที่ 5.19

ตารางที่ 5.19 ผลการทดสอบการแก้ปัญหาออปติ้มัลเพาเวอร์ฟลิว์ของระบบทดสอบ 9 บัส 11 สายส่ง ที่มีฟังก์ชันค่าเชื้อเพลิงเป็นฟังก์ชันโพลิโนเมียลอันดับสองโดยใช้ SQP

ครั้งที่	$P_7$	$P_8$	$V_7$	$V_8$	$V_9$	$T_{16}$	$T_{34}$	Cost	Time (Sec.)
1	93.66	185.53	1.0944	1.1000	1.1000	1.0130	1.0102	3188.17	33.78
2	93.66	185.53	1.0944	1.1000	1.1000	1.0130	1.0102	3188.17	34.77
3	93.66	185.53	1.0944	1.1000	1.1000	1.0130	1.0102	3188.17	37.96
4	93.66	185.53	1.0944	1.1000	1.1000	1.0130	1.0102	3188.17	52.34
5	93.66	185.53	1.0944	1.1000	1.1000	1.0130	1.0102	3188.17	34.06
6	93.66	185.53	1.0944	1.1000	1.1000	1.0130	1.0102	3188.17	41.25
7	93.66	185.53	1.0944	1.1000	1.1000	1.0130	1.0102	3188.17	39.82
8	93.66	185.53	1.0944	1.1000	1.1000	1.0130	1.0102	3188.17	34.6
9	93.66	185.53	1.0944	1.1000	1.1000	1.0130	1.0102	3188.17	38.12
10	93.66	185.53	1.0944	1.1000	1.1000	1.0130	1.0102	3188.17	29.77

ค่าต่ำสุด 3188.17 29.77

ค่าเฉลี่ย 3188.17 37.65

ค่าสูงสุด 3188.17 52.34

ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.00 6.16

**กรณีที่ 2** ใช้กลยุทธ์วิวัฒนาการในการแก้ปัญหา ดังที่ได้แสดงรายละเอียดไว้ในหัวข้อที่ 3.3.3 โดยการทดลองกลุ่มจุดเริ่มต้นจำนวน 10 จุด โดยใช้จำนวนประชากรเท่ากับ 30 ค่า Scaling factor ( $\beta$ ) ในการเกิดมิวเทชันกำหนดให้มีค่าเท่ากับ 0.01 และจำนวนรุ่นการถ่ายทอดสูงสุดกำหนดให้มีค่าเท่ากับ 150 ค่าสัมประสิทธิ์การปรับโทษ ( $\gamma$ ) กำหนดให้มีค่าเท่ากับ 9100 ปร./h จะได้ผลการทดสอบดังแสดงในตารางที่ 5.20

ตารางที่ 5.20 ผลการทดสอบการแก้ปัญหาของปตมัทเพาเวอร์ไฟฟัวของระบบทดสอบ 9 บัศ 11 สาย ตัังที่มีฟังก์ชันค่าเชือเพติงเป็นฟังก์ชันโพลิโนเมียกอันดับสองโดยใช้กลยุทธ์วิวัฒนาการ

ครัั้งที่	$P_7$	$P_8$	$V_7$	$V_8$	$V_9$	$T_{16}$	$T_{34}$	Cost	Time (Sec.)
1	92.66	186.28	1.0398	1.0481	1.0504	1.0089	1.0112	3191.05	352.51
2	92.99	185.85	1.0945	1.1000	1.1000	1.0122	1.0108	3188.18	440.23
3	93.76	184.03	1.0902	1.1000	1.0986	0.9996	1.0070	3188.54	373.93
4	92.75	186.46	1.0746	1.0825	1.0804	1.0296	1.0059	3189.48	366.08
5	91.72	186.37	1.0650	1.0711	1.0706	1.0169	1.0055	3189.81	358.11
6	92.83	185.72	1.0942	1.1000	1.1000	1.0165	1.0107	3188.20	400.68
7	93.44	184.75	1.0816	1.0877	1.0877	1.0087	1.0123	3188.81	352.51
8	93.30	185.53	1.0631	1.0747	1.0725	1.0045	1.0078	3189.76	350.26
9	93.33	185.06	1.0943	1.1000	1.1000	1.0105	1.0100	3188.19	408.15
10	93.52	184.35	1.0627	1.0714	1.0668	1.0228	1.0073	3190.03	351.08

ค่าต่ำสุด 3188.18 350.26

ค่าเฉลี่ย 3189.21 375.35

ค่าสูงสุด 3191.05 440.23

ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.97 30.87

### 1.3) ฟังก์ชันไม่เป็นเชิงเส้น (Valve point loading)

รูปแบบของฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ใช้ในกรณีนี้จะอยู่ในรูป

$$f(x) = a + bx + cx^2 + E |\sin F(x^{\min} - x)|$$

ดังแสดงในสมการที่ 5.4

$$F_T = \sum_{i=1}^{N_G} F_i(P_{Gi}) \quad (5.4)$$

$$F_i(P_{Gi}) = a_i + b_i P_{Gi} + c_i P_{Gi}^2 + E_i |\sin F_i (P_{Gi}^{\min} - P_{Gi})|$$

โดยที่  $a_i$ ,  $b_i$ ,  $c_i$ ,  $E_i$ , และ  $F_i$  = ค่าสัมประสิทธิ์ของฟังก์ชันค่าเชื้อเพลิงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าตัวที่  $i$  และกำหนดค่าพารามิเตอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าของระบบทดสอบดังตารางที่ 5.21 และ 5.22

ตารางที่ 5.21 ฟังก์ชันค่าเชื้อเพลิงของระบบทดสอบ 9 บัส 11 สายส่ง

No.	บัส	$a_i$	$b_i$	$c_i$	$E_i$	$F_i$	$P_{Gi}^{\min}$ (MW)
1	7	240	6.5	0.008	-102	0.320	50
2	8	220	6.1	0.005	-191	0.090	30
3	9	240	6.7	0.009	-208	0.086	40

ตารางที่ 5.22 ขีดจำกัดของกำลังผลิตและกำลังรีแอกทีฟของระบบทดสอบ 9 บัส 11 สายส่ง

No.	บัส	$P_{Gi}^{\min}$ (MW)	$P_{Gi}^{\max}$ (MW)	$Q_{Gi}^{\min}$ (MVar)	$Q_{Gi}^{\max}$ (MVar)
1	7	50	100	0	100
2	8	30	200	0	250
3	9	40	200	0	250

ขอบเขตของขนาดของแรงดัน กำหนดให้อยู่ในช่วง 0.90 – 1.10 pu.

ขอบเขตของค่าเทีปของหม้อแปลงกำหนดให้มีค่าอยู่ในช่วง 0.95 – 1.05 pu.

**กรณีที่ 1** ใช้ SQP ในการแก้ปัญหา ดังที่ได้แสดงรายละเอียดไว้ในหัวข้อที่ 3.3.4 โดยการทดลองสุ่มจุดเริ่มต้นจำนวน 10 จุด แล้วแก้ปัญหาโดยใช้ SQP โดยกำหนดให้ค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุดของฟังก์ชันวัตถุประสงค์และตัวแปรควบคุมที่ยอมรับได้มีค่าเท่ากับ 0.001 ส่วนค่าอื่น ๆ ดังค่าตามค่าเริ่มต้นที่โปรแกรม MATLAB ดึงเอาไว้ จะได้ผลการแก้ปัญหาดังแสดงในตารางที่ 5.23

ตารางที่ 5.23 ผลการทดสอบการแก้ปัญหาออปติมัลเพาเวอร์โฟลว์ของระบบทดสอบ 9 บัส 11 สาย  
ส่ง ที่มีฟังก์ชันค่าเชื้อเพลิงเป็นฟังก์ชันไม่เป็นเชิงเส้นโดยใช้ SQP

ครั้งที่	$P_7$	$P_8$	$V_7$	$V_8$	$V_9$	$T_{16}$	$T_{34}$	Cost	Time (Sec.)
1	64.00	181.76	0.9416	0.9197	1.0799	1.0011	1.0117	2954.02	37.3
2	93.41	181.76	1.0239	1.0855	0.9525	1.0330	1.0422	2867.30	27.79
3	83.60	77.79	0.9929	0.9250	1.0236	0.9926	0.9942	3031.72	28.95
4	100.00	82.98	1.0877	1.0906	1.1000	1.0129	1.0098	2909.38	44.54
5	64.86	152.97	1.0875	1.0961	1.1000	1.0128	1.0103	2738.06	52.62
6	94.77	191.06	1.0947	1.1000	1.1000	1.0131	1.0103	2714.59	34
7	100.00	153.13	1.0940	1.0992	1.1000	1.0127	1.0099	2773.20	36.53
8	93.41	77.79	1.0514	0.9278	1.0714	1.0010	1.0244	3109.43	36.91
9	83.60	181.76	0.9000	0.9467	0.9849	0.9500	0.9500	2789.59	31.75
10	73.98	148.34	1.0886	1.0964	1.1000	1.0128	1.0102	2760.65	39.55

ค่าต่ำสุด 2714.59 27.79

ค่าเฉลี่ย 2864.79 36.99

ค่าสูงสุด 3109.43 52.62

ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 133.82 7.41

**กรณีที่ 2** ใช้กลยุทธ์วิวัฒนาการในการแก้ปัญหา ดังที่ได้แสดงรายละเอียดไว้ในหัวข้อที่ 3.3.3 โดยการทดลองสุ่มจุดเริ่มต้นจำนวน 10 จุด โดยใช้จำนวนประชากรเท่ากับ 30 ค่า Scaling factor ( $\beta$ ) ในการเกิดมิวเตชันกำหนดให้มีค่าเท่ากับ 0.01 และจำนวนรุ่นการถ่ายทอดสูงสุดกำหนดให้มีค่าเท่ากับ 150 ค่าสัมประสิทธิ์การปรับโทษ ( $\gamma$ ) กำหนดให้มีค่าเท่ากับ 8651.06 W/h จะได้ผลการทดสอบดังแสดงในตารางที่ 5.24

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 5.24 ผลการทดสอบการแก้ปัญหาออปติมัลเพาเวอร์โพล์ของระบบทดสอบ 9 บัส 11 สาย  
ส่ง ที่มีฟังก์ชันค่าเชื้อเพลิงเป็นฟังก์ชันไม่เป็นเชิงเส้นโดยใช้กลยุทธ์วิวัฒนาการ

ครั้งที่	$P_7$	$P_8$	$V_7$	$V_8$	$V_9$	$T_{16}$	$T_{34}$	Cost	Time (Sec.)
1	73.93	183.62	1.0573	1.0712	1.0750	0.9768	1.0025	2719.23	349.82
2	74.09	148.61	1.0421	1.0611	1.0740	1.0048	1.0392	2762.29	165
3	74.04	148.69	1.0595	1.0732	1.0779	0.9830	1.0043	2761.35	134.95
4	94.64	156.28	1.0532	1.0624	1.0662	0.9744	0.9993	2725.71	331.8
5	83.54	146.96	0.9335	1.0223	1.0381	1.0191	0.9720	2834.54	108.76
6	94.56	121.19	1.0260	1.0286	1.0380	1.0132	1.0150	2770.13	175.65
7	94.81	155.85	0.9728	0.9804	0.9833	1.0045	1.0268	2732.36	135.11
8	94.96	190.97	1.0481	1.0557	1.0538	0.9955	1.0135	2719.66	347.79
9	65.03	188.19	1.0492	1.0616	1.0619	1.0333	1.0000	2706.31	305.33
10	74.02	149.03	1.0488	1.0287	1.0416	0.9985	1.0138	2762.97	252.82
<b>ค่าต่ำสุด</b>								2706.31	108.76
<b>ค่าเฉลี่ย</b>								2749.46	230.70
<b>ค่าสูงสุด</b>								2834.54	349.82
<b>ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน</b>								37.53	97.01

## 2) การกำหนดตัวแปรควบคุมเป็นชนิดตัวแปรไม่ต่อเนื่อง (Discrete variables)

กำหนดให้ค่าเทปของหม้อแปลงที่ใช้กับระบบทดสอบนี้ตั้งค่าได้ 25 ระดับ จาก 0.95 ถึง 1.05 ดังนี้ 0.9500, 0.9542, 0.9583, 0.9625, 0.9667, 0.9708, 0.9750, 0.9792, 0.9833, 0.9875, 0.9917, 0.9958, 1.0000, 1.0042, 1.0083, 1.0125, 1.0167, 1.0208, 1.0250, 1.0292, 1.0333, 1.0375, 1.0417, 1.0458 และ 1.0500 ส่วนฟังก์ชันวัตถุประสงค์นั้นใช้ฟังก์ชันเชิงเส้น (Linear cost curve) ดังแสดงในตารางที่ 5.15

ใช้กลยุทธ์วิวัฒนาการในการแก้ปัญหา ดังที่ได้แสดงรายละเอียดไว้ในหัวข้อที่ 3.3.3 โดยการทดลองสุ่มจุดเริ่มต้นจำนวน 10 จุด โดยใช้จำนวนประชากรเท่ากับ 20 ค่า Scaling factor ( $\beta$ ) ในการเกิดมิวเตชันกำหนดให้มีค่าเท่ากับ 0.01 และจำนวนรุ่นการถ่ายทอดสูงสุดกำหนดให้มีค่าเท่ากับ 100 ค่าสัมประสิทธิ์การปรับโทษ ( $\gamma$ ) กำหนดให้มีค่าเท่ากับ 6420 ๑/ห จะได้ผลการทดสอบดังแสดงในตารางที่ 5.25

ตารางที่ 5.25 ผลการทดสอบการแก้ปัญหาฮอปติมัลเพาเวอร์โพล์วของระบบทดสอบ 9 บัส 11 สายส่งที่มีฟังก์ชันค่าเชิงเฟลิกเป็นฟังก์ชันเชิงเส้นและค่าเทียปของหม้อแปลงเป็นตัวแปรไม่ต่อเนื่องโดยใช้กลยุทธ์วิวัฒนาการ

ครั้งที่	$P_7$	$P_8$	$V_7$	$V_8$	$V_9$	$T_{16}$	$T_{34}$	Cost	Time (Sec.)
1	100.00	200.00	1.0454	1.0480	1.0474	1.0292	1.0500	2199.15	347.57
2	76.10	200.00	1.0042	1.0104	1.0114	1.0500	1.0500	2207.54	347.4
3	92.66	200.00	1.0070	1.0161	1.0134	1.0458	1.0208	2199.66	346.53
4	90.77	200.00	1.0686	1.0714	1.0730	1.0500	1.0500	2201.61	346.25
5	85.60	200.00	1.0810	1.0906	1.0886	1.0208	1.0125	2196.81	195.26
6	100.00	200.00	1.0035	1.0090	1.0087	1.0500	1.0167	2198.32	260.67
7	73.72	200.00	1.0755	1.0811	1.0795	1.0292	1.0500	2204.60	352.68
8	98.87	200.00	1.0600	1.0597	1.0587	1.0292	1.0500	2199.02	360.04
9	100.00	200.00	1.0267	1.0267	1.0256	1.0500	1.0500	2200.94	360.97
10	100.00	200.00	1.0343	1.0343	1.0332	1.0500	1.0500	2200.69	349.76

ค่าต่ำสุด	2196.81	195.26
ค่าเฉลี่ย	2200.83	326.71
ค่าสูงสุด	2207.54	360.97
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	3.16	54.54

### 3) การกำหนดเงื่อนไขบังคับอย่างหนัก (Hard constraints)

ขีดจำกัดสายส่ง (Transmission limits) ของระบบทดสอบ 9 บัส 11 สายส่ง แสดงไว้ในภาคผนวก ก ตารางที่ ก.5

**กรณีที่ 1** ใช้ SQP ในการแก้ปัญหา ดังที่ได้แสดงรายละเอียดไว้ในหัวข้อที่ 3.3.4 โดยการทดลองสุ่มจุดเริ่มต้นจำนวน 10 จุด แล้วแก้ปัญหาโดยใช้ SQP โดยกำหนดให้ค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุดของฟังก์ชันวัตถุประสงค์และตัวแปรควบคุมที่ยอมรับได้มีค่าเท่ากับ 0.001 ส่วนค่าอื่น ๆ ตั้งค่าตามค่าเริ่มต้นที่โปรแกรม MATLAB ตั้งเอาไว้ จะได้ผลการแก้ปัญหาดังแสดงในตารางที่ 5.26



ตารางที่ 5.26 ผลการทดสอบการแก้ปัญหาออปติมัลเพาเวอร์โพล์ของระบบทดสอบ 9 บัส 11 สายส่งที่มีฟังก์ชันค่าเชื้อเพลิงเป็นฟังก์ชันเชิงเส้นและกำหนดขีดจำกัดของสายส่งเป็นเงื่อนไขบังคับ อสมการโดยใช้ SQP

ครั้งที่	$P_7$	$P_8$	$V_7$	$V_8$	$V_9$	$T_{16}$	$T_{34}$	Cost	Time (Sec.)
1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8	100.00	200.00	1.0978	1.1000	1.0992	1.0074	1.0133	2193.03	93.21
9	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10	-	-	-	-	-	-	-	-	-

ค่าต่ำสุด 2193.03 93.21

ค่าเฉลี่ย 2193.03 93.21

ค่าสูงสุด 2193.03 93.21

ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน - -

**กรณีที่ 2** ใช้กลยุทธ์วิวัฒนาการในการแก้ปัญหา ดังที่ได้แสดงรายละเอียดไว้ในหัวข้อที่ 3.3.3 โดยการทดลองสุ่มจุดเริ่มต้นจำนวน 10 จุด โดยใช้จำนวนประชากรเท่ากับ 20 ค่า Scaling factor ( $\beta$ ) ในการเกิดมิวเตชันกำหนดให้มีค่าเท่ากับ 0.01 และจำนวนรุ่นการถ่ายทอดสูงสุดกำหนดให้มีค่าเท่ากับ 100 ค่าสัมประสิทธิ์การปรับโทษ ( $\gamma$ ) กำหนดให้มีค่าเท่ากับ 6420 Wh จะได้ผลการทดสอบดังแสดงในตารางที่ 5.27

ตารางที่ 5.27 ผลการทดสอบการแก้ปัญหาออปติ้มัลเพาเวอร์ไฟลว์ของระบบทดสอบ 9 บัส 11 สายส่งที่มีฟังก์ชันค่าเชื้อเพลิงเป็นฟังก์ชันเชิงเส้นและกำหนดขีดจำกัดของสายส่งเป็นเงื่อนไขบังคับ อสมการ โดยใช้กลยุทธ์วิวัฒนาการ

ครั้งที่	$P_7$	$P_8$	$V_7$	$V_8$	$V_9$	$T_{16}$	$T_{34}$	Cost	Time (Sec.)
1	80.20	200.00	1.0955	1.1000	1.1000	0.9776	1.0193	2199.13	434.46
2	99.93	199.98	1.0311	1.0406	1.0359	0.9778	1.0215	2197.11	348.17
3	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4	72.26	200.00	1.0423	1.0495	1.0488	0.9673	1.0269	2204.74	349.27
5	99.95	200.00	1.0846	1.0770	1.0753	1.0159	1.0087	2194.82	351.85
6	99.99	200.00	1.0326	1.0405	1.0402	0.9914	1.0155	2196.17	349.33
7	99.93	200.00	0.9977	0.9916	0.9950	1.0106	0.9960	2199.71	347.62
8	98.16	200.00	1.0309	1.0432	1.0382	0.9749	1.0195	2197.51	350.31
9	100.00	200.00	1.0777	1.0849	1.0840	0.9886	1.0032	2193.35	361.74
10	-	-	-	-	-	-	-	-	-

ค่าต่ำสุด	2193.35	347.62
ค่าเฉลี่ย	2197.82	361.59
ค่าสูงสุด	2204.74	434.46
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	3.49	29.78

จากการทดสอบข้างต้นสามารถสรุปผลเพื่อเปรียบเทียบการใช้วิธีการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์ (SQP) กับวิธีการคำนวณเชิงวิวัฒนาการ (กลยุทธ์วิวัฒนาการ) ได้ดังตารางที่ 5.28

สถาบันวิจัยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 5.28 เปรียบเทียบผลการทดสอบของระบบ 9 บัส 11 สายส่ง

การทดสอบ	Cost(R/h)		Time(sec.)	
	SQP	ES	SQP	ES
ฟังก์ชันเชิงเส้น	2192.94	2194.37	24.34	347.52
ฟังก์ชันโพลีโนเมียลอันดับสอง	3188.17	3189.21	37.65	375.35
ฟังก์ชันไม่เป็นเชิงเส้น	2864.79	2749.46	36.99	230.70
ขีดจำกัดของสายส่ง*	2193.03	2197.82	93.21	361.59
ตัวแปรไม่ต่อเนื่อง**	-	2200.83	-	326.71

\* ทดสอบ 10 ครั้ง SQP ทุ่มเข้า 1 ครั้ง, ES ทุ่มเข้า 8 ครั้ง

\*\* SQP ไม่สามารถใช้กับตัวแปรไม่ต่อเนื่อง

ES ใช้ Population Sizes = 30 และ Maximum Generation = 150

ES = Evolution strategies (กลยุทธ์วิวัฒนาการ)

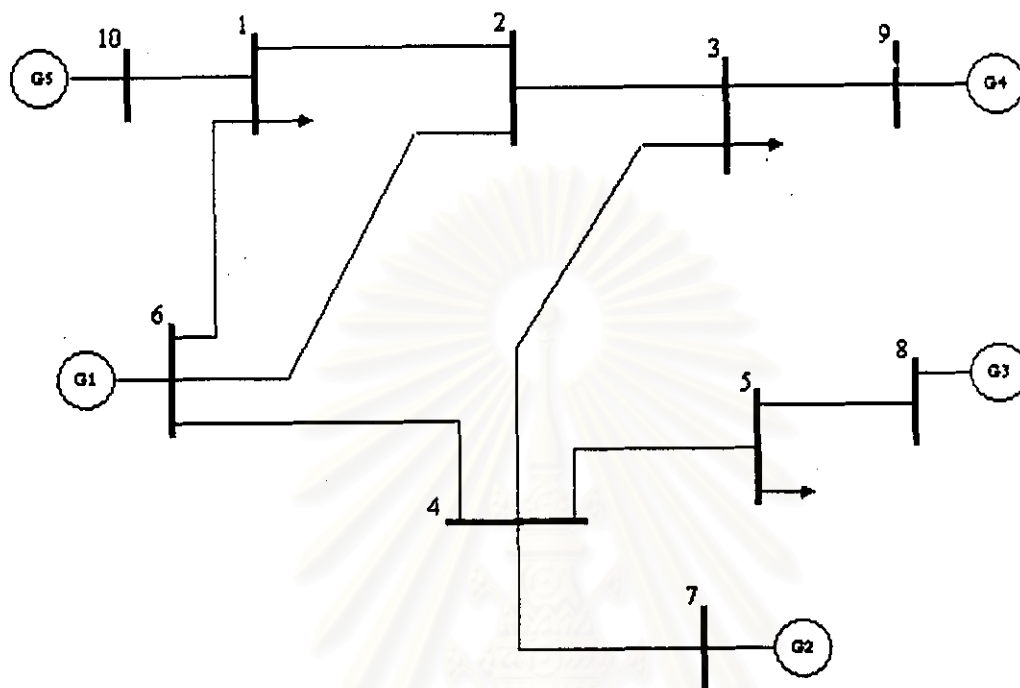
ผลการทดสอบระบบ 9 บัส 11 สายส่งนี้พบว่า กรณีที่ฟังก์ชันวัตถุประสงค์เป็นฟังก์ชันเชิงเส้น หรือฟังก์ชันโพลีโนเมียลอันดับสองนั้น ผลลัพธ์ที่ได้จาก SQP มีค่าต้นทุนการผลิตโดยรวมต่ำกว่ากลยุทธ์วิวัฒนาการ และเวลาในการคำนวณสั้นกว่ามาก ดังนั้นการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์เป็นวิธีที่เหมาะสมมากกว่าการคำนวณเชิงวิวัฒนาการในการแก้ปัญหาการทำงานของระบบไฟฟ้ากำลังกรณีฟังก์ชันวัตถุประสงค์เป็นฟังก์ชันเชิงเส้น หรือฟังก์ชันโพลีโนเมียลอันดับสอง อย่างไรก็ตาม การคำนวณเชิงวิวัฒนาการเป็นวิธีการที่เหมาะสมมากกว่าการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์ ถ้าฟังก์ชันวัตถุประสงค์เป็นฟังก์ชันไม่เป็นเชิงเส้นและตัวแปรควบคุมเป็นชนิดไม่ต่อเนื่อง หรือมีเงื่อนไขบังคับอย่างหนัก

## 5.2 การแก้ปัญหาออปติมัลเพาเวอร์ฟลิวโดยใช้ฟังก์ชันวัตถุประสงค์หลายฟังก์ชัน

ในที่นี้จะทำการทดสอบกับระบบทดสอบ 10 บัส 11 สายส่ง [13] ดังแสดงไว้ในรูปที่ 5.3 ส่วนรายละเอียดของระบบทดสอบ ได้แสดงไว้ในภาคผนวก ก

เนื่องจากระบบทดสอบนี้มีขีดจำกัดของสายส่งเป็นเงื่อนไขบังคับสมการและเป็นเงื่อนไขที่หนัก ทำให้การคำนวณโดยใช้วิธีการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์ไม่สามารถค้นหาคำตอบได้ ดังนั้น ในหัวข้อที่ 5.2 นี้ จะใช้วิธีการคำนวณเชิงวิวัฒนาการในการแก้ปัญหาทั้งหมด โดยใช้กลยุทธ์วิวัฒนาการที่มีประชากรเริ่มต้นเท่ากับ 20 จำนวนรุ่นการถ่ายทอดสูงสุดเท่ากับ 100 และค่า Scaling factor ( $\beta$ ) ในการเกิดมิวเตชันกำหนดให้มีค่าเท่ากับ 0.01 ค่าสัมประสิทธิ์การปรับโทษ ( $\gamma$ ) กำหนด

ให้มีค่าเท่ากับ -6 ตัวแปรควบคุมที่ใช้มีทั้งสิ้น 9 ตัว คือ กำลังผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัสที่ 6, บัสที่ 7, บัสที่ 8 และบัสที่ 9 ขนาดของแรงดันควบคุมที่บัสที่ 6, บัสที่ 7, บัสที่ 8, บัสที่ 9 และแรงดันอ้างอิงที่บัสที่ 10



รูปที่ 5.3 ระบบทดสอบ 10 บัส 11 สายส่ง

ในที่นี้ ได้เลือกฟังก์ชันวัตถุประสงค์ เพื่อนำมาใช้ในการทำออปติมัลเพาเวอร์ฟลิว 3 ฟังก์ชัน ดังนี้ Economic objective function, Environmental objective function และ Transmission security objective function ในการทำ Multi-objective optimization นั้น ต้องรวมฟังก์ชันวัตถุประสงค์ทั้ง 3 ฟังก์ชัน ให้เหลือเพียง 1 ฟังก์ชัน ในที่นี้ได้นิยมวิธีการคำนวณค่าดัชนีประกอบของแต่ละฟังก์ชัน ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

#### 1) Economic objective function

ใช้ผลรวมของฟังก์ชันค่าเชื้อเพลิงของแต่ละโรงจักรรวมกัน ดังนี้

$$F_{EC} = \sum_{i=1}^{N_G} f_{C,i}(P_i) \quad (5.1)$$

$f_{C,i}$  : ฟังก์ชันค่าเชื้อเพลิงของยูนิตที่  $i$

$N_G$  : จำนวนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในระบบไฟฟ้า

ในที่นี้จะพิจารณาคำนวณค่า Economy index ดังนี้

$$f_{EC} = e^{(1-\mu_{EC})} = 2.7183e^{-\mu_{EC}} \quad (5.2)$$

โดยที่  $\mu_{EC} = F_{EC} / F_{EC}^*$  และ  $F_{EC}^*$  ผลการคำนวณจากการทำ OPF โดยใช้เฉพาะ Economic objective function เท่านั้น

## 2) Environmental objective function

ใช้ฟังก์ชันการปลดปล่อยก๊าซ SO<sub>2</sub> ของแต่ละยูนิตมาพิจารณา ดังนี้

$$F_{EN} = \sum_{i=1}^{N_G} f_{E,i}(P_i) \quad (5.3)$$

เมื่อ  $f_{E,i}$  คือ ฟังก์ชันการปลดปล่อยก๊าซ SO<sub>2</sub> ของยูนิต  $i$

ค่า Environmental index คำนวณได้ดังนี้

$$f_{EN} = e^{(1-\mu_{EN})} = 2.7183e^{-\mu_{EN}} \quad (5.4)$$

โดยที่  $\mu_{EN} = F_{EN} / F_{EN}^*$  และ  $F_{EN}^*$  ผลการคำนวณจากการทำ OPF โดยใช้เฉพาะ Environmental objective function เท่านั้น

## 3) Transmission security objective function

ใช้ค่า ATC (Available transfer capacity) เป็นเกณฑ์ในการพิจารณา ดังนี้

$$F_S = \sum_{i=1}^{N_L} \left[ \frac{P_{F,j}^{\max}}{P_{F,j}^{\max} - P_{F,j}} \right] \quad (5.5)$$

เมื่อ  $P_{F,j}^{\max}$  คือ Transmission limits ของสายส่ง  $i$

$P_{F,j}$  คือ กำลังไฟฟ้าที่ไหลผ่านสายส่ง  $i$

สามารถคำนวณ Transmission security index ดังนี้

$$f_{TS} = e^{(1-\mu_{TS})} = 2.7183e^{-\mu_{TS}} \quad (5.6)$$

โดยที่  $\mu_{TS} = F_S / F_S^*$  และ  $F_S^*$  ผลการคำนวณจากการทำ OPF โดยใช้เฉพาะ Transmission security objective function เท่านั้น

จากฟังก์ชันวัตถุประสงค์ทั้ง 3 ฟังก์ชันสามารถนำมาเขียนเป็นฟังก์ชันวัตถุประสงค์ฟังก์ชันเดียวได้ ดังนี้

$$U = f_{EC} + f_{EN} + f_{TS} \quad (5.7)$$

### 5.2.1 พิจารณาฟังก์ชันทางเศรษฐศาสตร์เพียงอย่างเดียว

จะได้ผลการทดสอบดังแสดงในตารางที่ 5.29 และ 5.30

ตารางที่ 5.29 ผลทดสอบการแก้ปัญหาออปติมิซัลเพาเวอร์โพล์วของระบบทดสอบ 10 บัส 11 สายส่ง โดยใช้ฟังก์ชันวัตถุประสงค์เป็นฟังก์ชันทางเศรษฐศาสตร์เพียงอย่างเดียว

$P_6$ (MW)	$P_7$ (MW)	$P_8$ (MW)	$P_9$ (MW)	$V_6$	$V_7$	$V_8$	$V_9$	$V_{10}$
107.29	15.00	36.70	20.00	1.0477	0.9900	0.9993	0.9989	1.1000

U	$f_{EC}$	$f_{EN}$	$f_{TS}$	$F_{EC}$	$F_{EN}$	$F_S$
1.6963	1.0000	0.6961	0.0002	701.3602	0.2488	168.1129

ตารางที่ 5.30 ผลการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้า

No.	From bus	To bus	$P_{Fi}$ (MW)	$P_{Fi}^{\max}$ (MW)	$P_{Fi}^{\max} - P_{Fi}$ (MW)
1	1	10	13.0095	120.0000	106.9905
2	1	6	39.6861	40.0000	0.3139
3	2	6	28.1815	30.0000	1.8185
4	4	6	39.4180	60.0000	20.5820
5	4	7	14.9995	80.0000	65.0005
6	5	8	36.6970	80.0000	43.3030
7	1	2	11.3009	30.0000	18.6991
8	2	3	16.8730	30.0000	13.1270
9	3	4	27.1105	30.0000	2.8895
10	3	9	19.9965	60.0000	40.0035
11	4	5	27.2944	120.0000	92.7056
		<b>รวม</b>	274.5669	680.0000	405.4331

### 5.2.2 พิจารณาฟังก์ชันการปลดปล่อยก๊าซเพียงอย่างเดียว

จะได้ผลการทดสอบดังแสดงในตารางที่ 5.31 และ 5.32

ตารางที่ 5.31 ผลทดสอบการแก้ปัญหาออปติ้มัลเพาเวอร์โพล์ของระบบทดสอบ 10 บัส 11 สายส่ง โดยใช้ฟังก์ชันวัตถุประสงค์เป็นฟังก์ชันการปลดปล่อยก๊าซเพียงอย่างเดียว

$P_6$ (MW)	$P_7$ (MW)	$P_8$ (MW)	$P_9$ (MW)	$V_6$	$V_7$	$V_8$	$V_9$	$V_{10}$
13.22	31.75	61.33	45.26	0.9724	1.0249	1.0054	0.9093	0.9199

U	$f_{EC}$	$f_{EN}$	$f_{TS}$	$F_{EC}$	$F_{EN}$	$F_S$
2.7288	0.9123	1.0000	0.8167	765.7106	0.1826	21.5817

ตารางที่ 5.32 ผลการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้า

No.	From bus	To bus	$P_{Fi}$ (MW)	$P_{Fi}^{max}$ (MW)	$P_{Fi}^{max} - P_{Fi}$ (MW)
1	1	10	40.4399	120.0000	79.5601
2	1	6	16.7469	40.0000	23.2531
3	2	6	8.4930	30.0000	21.5070
4	4	6	12.0199	60.0000	47.9801
5	4	7	31.7500	80.0000	48.2500
6	5	8	61.3300	80.0000	18.6700
7	1	2	6.8130	30.0000	23.1870
8	2	3	1.6795	30.0000	28.3205
9	3	4	17.0601	30.0000	12.9399
10	3	9	45.2600	60.0000	14.7400
11	4	5	2.6700	120.0000	117.3300
		<b>รวม</b>	<b>244.2623</b>	<b>680.0000</b>	<b>435.7377</b>

### 5.2.3 พิจารณาฟังก์ชันความมั่นคงของระบบไฟฟ้ากำลังเพียงอย่างเดียว

จะได้ผลการทดสอบดังแสดงในตารางที่ 5.33 และ 5.34

ตารางที่ 5.33 ผลทดสอบการแก้ปัญหาออปติมิซเพาเวอร์โพล์ของระบบทดสอบ 10 บัส 11 สายส่ง โดยใช้ฟังก์ชันวัตถุประสงค์เป็นฟังก์ชันความมั่นคงของระบบไฟฟ้ากำลังเพียงอย่างเดียว

$P_6$ (MW)	$P_7$ (MW)	$P_8$ (MW)	$P_9$ (MW)	$V_6$	$V_7$	$V_8$	$V_9$	$V_{10}$
28.58	27.49	36.99	39.57	0.9111	0.9122	1.0092	1.0379	0.9000

U	$f_{EC}$	$f_{EN}$	$f_{TS}$	$F_{EC}$	$F_{EN}$	$F_S$
2.8838	0.9148	0.9690	1.0000	763.8154	0.1883	17.9473

ตารางที่ 5.34 ผลการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้า

No.	From bus	To bus	$P_{Fi}$ (MW)	$P_{Fi}^{\max}$ (MW)	$P_{Fi}^{\max} - P_{Fi}$ (MW)
1	1	10	59.3687	120.0000	60.6313
2	1	6	5.7491	40.0000	34.2509
3	2	6	9.5546	30.0000	20.4454
4	4	6	13.2762	60.0000	46.7238
5	4	7	27.4900	80.0000	52.5100
6	5	8	36.9900	80.0000	43.0100
7	1	2	1.1192	30.0000	28.8808
8	2	3	10.6738	30.0000	19.3262
9	3	4	13.7561	30.0000	16.2439
10	3	9	39.5700	60.0000	20.4300
11	4	5	27.0099	120.0000	92.9901
		<b>รวม</b>	244.5576	680.0000	435.4424



## 5.2.4 พิจารณาฟังก์ชันวัตถุประสงค์ทั้งสามฟังก์ชันพร้อมกัน

จะได้ผลการทดสอบดังแสดงในตารางที่ 5.35 และ 5.36

ตารางที่ 5.35 ผลทดสอบการแก้ปัญหาออปติ้มัลเพาเวอร์โพลีของระบบทดสอบ 10 บัส 11 สายส่ง โดยใช้ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ทั้งสามฟังก์ชันพร้อมกัน

$P_6$ (MW)	$P_7$ (MW)	$P_8$ (MW)	$P_9$ (MW)	$V_6$	$V_7$	$V_8$	$V_9$	$V_{10}$
27.11	27.65	41.83	39.29	0.9865	1.0008	1.0182	0.9026	0.9659

U	$f_{EC}$	$f_{EN}$	$f_{TS}$	$F_{EC}$	$F_{EN}$	$F_S$
2.8901	0.9164	0.9776	0.9961	762.5763	0.1867	18.0179

ตารางที่ 5.36 ผลการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้า

No.	From bus	To bus	$P_{Fi}$ (MW)	$P_{Fi}^{max}$ (MW)	$P_{Fi}^{max} - P_{Fi}$ (MW)
1	1	10	56.1199	120.0000	63.8801
2	1	6	7.8666	40.0000	32.1334
3	2	6	9.7593	30.0000	20.2407
4	4	6	9.4841	60.0000	50.5159
5	4	7	27.6500	80.0000	52.3500
6	5	8	41.8300	80.0000	38.1700
7	1	2	0.0134	30.0000	29.9866
8	2	3	9.7459	30.0000	20.2541
9	3	4	14.9640	30.0000	15.0360
10	3	9	32.2900	60.0000	27.7100
11	4	5	22.1700	120.0000	97.8300
		รวม	231.8932	680.0000	448.1068

จากการทดสอบข้างต้นสามารถสรุปผลเพื่อเปรียบเทียบการแก้ปัญหาออปติ้มัลเพาเวอร์โพลีใช้ฟังก์ชันวัตถุประสงค์หลายฟังก์ชัน ได้ดังตารางที่ 5.37

ตารางที่ 5.37 ผลการทดสอบการแก้ปัญหาอุปถัมภ์พาวเวอร์โพล์โดยใช้ฟังก์ชันวัตถุประสงค์หลายฟังก์ชัน

กรณี	$F_{EC}$	$F_{EN}$	$F_S$	$f_{EC}$	$f_{EN}$	$f_{TS}$	U
5.2.1	701.3602	0.2488	168.1129	1.0000	0.6961	0.0002	1.6963
5.2.2	765.7106	0.1826	21.5817	0.9123	1.0000	0.8167	2.7288
5.2.3	763.8154	0.1883	17.9473	0.9148	0.9690	1.0000	2.8838
5.2.4	762.5763	0.1867	18.0179	0.9164	0.9776	0.9961	2.8901

จากตารางที่ 5.37 จะพบว่า ในกรณี 5.2.1 ที่พิจารณาฟังก์ชันทางเศรษฐศาสตร์เพียงอย่างเดียว นั้น Transmission security index จะมีค่าต่ำมาก  $f_{TS} = 0.0002$  ซึ่งแสดงให้เห็นว่าจุดทำงานนี้มีความเสี่ยงต่อความมั่นคงของระบบ เนื่องจากการเลือกจุดทำงานที่เหมาะสมนี้ใช้ข้อมูลจากการพยากรณ์โหลด ซึ่งโดยทั่วไปจะมีความคลาดเคลื่อนของการทำนาย ดังนั้นเพื่อขยายผลให้เห็นว่า ถ้าในสภาวะการปฏิบัติงานจริง ระดับโหลดมีค่าคลาดเคลื่อนไปจากค่าที่ทำนาย  $\pm 5\%$  แล้วการไหลของกำลังไฟฟ้าในระบบทดสอบจะเปลี่ยนไป ผลการทดสอบผลกระทบของความคลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์โหลด แสดงไว้ในตารางที่ 5.38 – 5.41

ตารางที่ 5.38 ผลกระทบต่อค่า  $P_{Fi}^{max} - P_{Fi}$  อันเนื่องมาจากความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์โหลด ในกรณี 5.2.1

Lines	$P_{Fi}^{max}$ (MW)	บัส 1		บัส 3		บัส 5	
		-5%	5%	-5%	5%	-5%	5%
1-10	120	110.1904	103.7907	110.1904	103.7906	110.1904	103.7906
1-6	40	0.3133	0.3146	-1.4325	2.0604	-1.6934	2.3215
2-6	30	1.8186	1.8184	2.2411	1.3959	1.4722	2.1647
4-6	60	20.5824	20.5815	21.9059	19.2580	22.9359	18.2280
4-7	80	65.0005	65.0005	65.0005	65.0006	65.0005	65.0006
5-8	80	43.3030	43.3030	43.3029	43.3030	43.3030	43.3030
1-2	30	18.6995	18.6985	17.2458	20.1521	17.5068	19.8911
2-3	30	13.1266	13.1276	15.0023	11.2520	13.9730	12.2812
3-4	30	2.8898	2.8890	4.2127	1.5661	2.0437	3.7351
3-9	60	40.0035	40.0036	40.0035	40.0036	40.0036	40.0035
4-5	120	92.7056	92.7056	92.7055	92.7058	95.9049	89.5063

ตารางที่ 5.39 ผลกระทบต่อค่า  $P_{Fi}^{max} - P_{Fi}$  อันเนื่องมาจากความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์โหลด  
ในกรณี 5.2.2

Lines	$P_{Fi}^{max}$ (MW)	บัส 1		บัส 3		บัส 5	
		-5%	5%	-5%	5%	-5%	5%
1-10	120	82.7601	76.3601	82.7601	76.3601	82.7601	76.3601
1-6	40	23.2525	23.2538	21.4795	25.0270	21.2354	25.2710
2-6	30	21.5073	21.5067	21.9205	21.0935	21.1579	21.8561
4-6	60	47.9798	47.9805	46.6199	49.3405	45.6132	50.3471
4-7	80	48.2500	48.2500	48.2500	48.2500	48.2500	48.2500
5-8	80	18.6700	18.6700	18.6700	18.6700	18.6700	18.6700
1-2	30	23.1876	23.1863	21.7606	24.6131	22.0047	24.3691
2-3	30	28.3198	28.3205	29.8401	26.4805	29.1532	27.4871
3-4	30	12.9403	12.9395	14.3002	11.5796	12.1068	13.7730
3-9	60	14.7400	14.7400	14.7400	14.7400	14.7400	14.7400
4-5	120	117.3300	117.3300	117.3300	117.3300	119.4700	114.1300

ตารางที่ 5.40 ผลกระทบต่อค่า  $P_{Fi}^{max} - P_{Fi}$  อันเนื่องมาจากความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์โหลด  
ในกรณี 5.2.3

Lines	$P_{Fi}^{max}$ (MW)	บัส 1		บัส 3		บัส 5	
		-5%	5%	-5%	5%	-5%	5%
1-10	120	63.8311	57.4315	63.8311	57.4315	63.8311	57.4315
1-6	40	34.2483	34.2536	32.5115	35.9913	32.2735	36.2287
2-6	30	20.4459	20.4448	20.8573	20.0333	20.1119	20.7788
4-6	60	46.7259	46.7217	48.0514	45.3955	49.0347	44.4126
4-7	80	52.5100	52.2100	52.5100	52.5100	52.5100	52.5100
5-8	80	43.0100	43.0100	43.0100	43.0100	43.0100	43.0100
1-2	30	28.8782	28.8835	29.6587	27.4213	29.8966	27.6587
2-3	30	19.3242	19.3284	21.1987	17.4546	20.2154	18.4375
3-4	30	16.2459	16.2417	17.5714	14.9155	15.3547	17.1326
3-9	60	20.4300	20.4300	20.4300	20.4300	20.4300	20.4300
4-5	120	92.9901	92.9901	92.9901	92.9901	96.1901	89.7901

ตารางที่ 5.41 ผลกระทบต่อค่า  $P_{Fi}^{max} - P_{Fi}$  อันเนื่องมาจากความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์โหลด  
ในกรณี 5.2.4

Lines	$P_{Fi}^{max}$ (MW)	บัส 1		บัส 3		บัส 5	
		-5%	5%	-5%	5%	-5%	5%
1-10	120	67.0801	60.6801	67.0801	60.6801	67.0801	60.6801
1-6	40	32.1317	32.1352	30.5398	33.9077	30.1107	34.1565
2-6	30	20.2411	20.2403	20.6570	19.8243	19.8907	20.5906
4-6	60	50.5172	50.5146	51.8732	49.1581	52.8886	48.1430
4-7	80	52.3500	52.3500	52.3500	52.3500	52.3500	52.3500
5-8	80	38.1700	38.1700	38.1700	38.1700	38.1700	38.1700
1-2	30	29.9883	29.9848	28.5602	28.5876	28.8094	28.8364
2-3	30	20.2528	20.2555	22.0968	18.4119	21.0814	19.4271
3-4	30	15.0372	15.0346	16.3932	13.6781	14.2087	15.8630
3-9	60	20.7100	20.7100	20.7100	20.7100	20.7100	20.7100
4-5	120	97.8300	97.8300	97.8300	97.8300	101.0300	94.6300

จากผลการทดสอบจะพบว่า ในกรณีที่พิจารณาฟังก์ชันทางเศรษฐศาสตร์เพียงอย่างเดียว ถ้าเกิดความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์โหลดที่บัส 3 หรือ บัส 5 เท่ากับ -5% จะทำให้กำลังไฟฟ้าที่ไหลในสายส่งที่เชื่อมระหว่างบัสที่ 1 กับบัสที่ 6 เกิดการโอเวอร์โหลดขึ้น (Overload) ทำให้ระบบมีปัญหาทางด้าน Transmission security

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

### 5.3 การขนส่งกำลังไฟฟ้าผ่านระบบไฟฟ้าคนกลาง โดยคำนึงถึงผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อมและความมั่นคง

ในหัวข้อที่ 5.2 นั้นได้จำลองผลการแก้ปัญหาของปริมัลลพาเวอร์โพลวโดยใช้ฟังก์ชันวัตถุประสงค์หลายฟังก์ชัน และพิจารณาถึงผลกระทบจากความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์โหลด ในหัวข้อที่ 5.3 นี้ จะทำการขยายผลในสถานการณ์ที่แตกต่างออกไปโดยการกำหนดให้มีการรวบรวมระบบทดสอบจากภายนอก ในที่นี้จะใช้การขนส่งกำลังไฟฟ้าจากระบบไฟฟ้าของผู้ขายไฟฟ้าผ่านระบบไฟฟ้าคนกลาง (ระบบทดสอบ) ไปยังผู้ซื้อไฟ โดยจะพิจารณาที่ระดับโหลดของระบบทดสอบค่าต่าง ๆ จากนั้นจะทำการแปรค่ากำลังไฟฟ้าที่ขนส่งผ่านระบบไฟฟ้าคนกลางเพื่อหาระดับกำลังไฟฟ้าที่เป็นไปได้ในการขนส่งผ่านระบบทดสอบ และเปรียบเทียบผลที่ได้กับกรณีที่ไม่คำนึงถึงผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อมและความมั่นคง

#### 5.3.1 ระดับโหลดของระบบทดสอบมีค่าเท่ากับ 160 MW

จะได้ผลการทดสอบโดยไม่คำนึงถึงผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อมและความมั่นคง ผลที่ได้รับได้นำแสดงในตารางที่ 5.42 และ 5.43 และเมื่อคำนึงถึงผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อมและความมั่นคงจะได้ผลการทดสอบ ดังแสดงในตารางที่ 5.44 และ 5.45 ตามลำดับ

ตารางที่ 5.42 ผลทดสอบการขนส่งกำลังไฟฟ้าผ่านระบบทดสอบ โดยไม่คำนึงถึงผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อมและความมั่นคงที่ระดับโหลดเท่ากับ 160 MW

$P_E$ (MW)	Loss(MW)	$\omega_R$	$\omega_C$	$\Delta TPC$	$\omega_{profit}$
0	7.1685	0.6385	0.0000	0.0000	0.0000
5	7.2691	0.6432	3.2161	0.1854	3.0307
10	7.3813	0.6481	6.4812	0.3922	6.0890
15	7.5052	0.6532	9.7974	0.6205	9.1769
18	7.5852	0.6563	11.8126	0.7678	11.0448
19	7.6128	0.6573	12.4887	0.8187	11.6700

ตารางที่ 5.43 ค่าดัชนีของระบบทดสอบเมื่อมีการขนส่งกำลังไฟฟ้าผ่านระบบทดสอบโดยไม่คำนึงถึงผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อมและความมั่นคงที่ระดับโหลดเท่ากับ 160 MW

$P_E$ (MW)	U	$f_{EC}$	$f_{EN}$	$f_{TS}$	TPC	$F_E$	$F_{TS}$
0	2.2421	1.0000	0.7089	0.5331	665.3222	0.2482	26.3301
5	2.1878	0.9997	0.7091	0.4790	665.5076	0.2482	28.0617
10	2.0985	0.9994	0.7093	0.3898	665.7144	0.2481	31.3928
15	1.9077	0.9991	0.7095	0.1992	665.9427	0.2481	42.2429
18	1.7117	0.9988	0.7096	0.0032	666.0900	0.2481	108.9210
19	1.7084	0.9988	0.7097	0.0000	666.1409	0.2481	Inf

ตารางที่ 5.44 ผลทดสอบการขนส่งกำลังไฟฟ้าผ่านระบบทดสอบ โดยคำนึงถึงผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อมและความมั่นคงที่ระดับโหลดเท่ากับ 160 MW

$P_E$ (MW)	Loss(MW)	$\omega_R$	$\omega_C$	$\Delta TPC$	$\omega_{profit}$
0	8.6490	1.1188	0.0000	0.0000	0.0000
10	8.6865	1.1283	11.2830	0.0745	11.2086
25	8.8411	1.1439	28.5966	0.3816	28.2151
50	9.3660	1.1735	58.6742	1.4247	57.2495
59	9.6385	1.1853	69.9346	1.9666	67.9679
60	9.6715	1.1867	71.2013	2.0324	69.1689

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 5.45 ค่าดัชนีของระบบทดสอบเมื่อมีการขนส่งกำลังไฟฟ้าผ่านระบบทดสอบโดยคำนึงถึงผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อมและความมั่นคงที่ระดับโหลดเท่ากับ 160 MW

$P_E$ (MW)	U	$f_{EC}$	$f_{EN}$	$f_{TS}$	TPC	$F_E$	$F_{TS}$
0	2.8895	0.9196	0.9713	0.9986	721.0758	0.1901	16.1856
10	2.8701	0.9195	0.9713	0.9793	721.1503	0.1901	16.5014
25	2.8224	0.9191	0.9714	0.9319	721.4574	0.1901	17.3034
50	2.5336	0.9176	0.9717	0.6443	722.5005	0.1900	23.2700
59	1.8887	0.9169	0.9718	0*	723.0424	0.1900	289.7450
60	1.8887	0.9168	0.9719	0.0000	723.1082	0.1900	Inf

\* มีค่าต่ำมากเข้าใกล้ศูนย์

### 5.3.2 ระดับโหลดของระบบทดสอบมีค่าเท่ากับ 180 MW

จะได้ผลการทดสอบโดยไม่คำนึงถึงผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อมและความมั่นคง ดังแสดงในตารางที่ 5.46 และ 5.47 และเมื่อคำนึงถึงผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อมและความมั่นคงจะได้ผลทดสอบ ดังแสดงในตารางที่ 5.48 และ 5.49

ตารางที่ 5.46 ผลทดสอบการขนส่งกำลังไฟฟ้าผ่านระบบทดสอบโดยไม่คำนึงถึงผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อมและความมั่นคงที่ระดับโหลดเท่ากับ 180 MW

$P_E$ (MW)	Loss(MW)	$\omega_R$	$\omega_C$	$\Delta TPC$	$\omega_{profit}$
0	8.4519	0.4396	0.0000	0.0000	0.0000
0.1	8.4542	0.4397	0.0440	0.0024	0.0415
0.15	8.4554	0.4398	0.0660	0.0046	0.0613
0.2	8.4566	0.4398	0.0880	0.0068	0.0811
0.25	8.4578	0.4399	0.1100	0.0090	0.1009

ตารางที่ 5.47 ค่าดัชนีของระบบทดสอบเมื่อมีการขนส่งกำลังไฟฟ้าผ่านระบบทดสอบโดยไม่คำนึงถึงผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อมและความมั่นคงที่ระดับโหลดเท่ากับ 180 MW

$P_E$ (MW)	U	$f_{EC}$	$f_{EN}$	$f_{TS}$	TPC	$F_E$	$F_{TS}$
0	1.6077	1.0000	0.6077	0*	692.3334	0.2711	7995.9711
0.1	1.6077	1.0000	0.6077	0*	692.3358	0.2711	14054.0
0.15	1.6077	1.0000	0.6077	0*	692.3380	0.2711	22667.0
0.2	1.6077	1.0000	0.6077	0*	692.3402	0.2711	58749.0
0.25	1.6077	1.0000	0.6077	0.0000	692.3424	0.2711	Inf

\* มีค่าต่ำมากเข้าใกล้ศูนย์

ตารางที่ 5.48 ผลทดสอบการขนส่งกำลังไฟฟ้าผ่านระบบทดสอบโดยคำนึงถึงผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อมและความมั่นคงที่ระดับโหลดเท่ากับ 180 MW

$P_E$ (MW)	Loss(MW)	$\omega_R$	$\omega_C$	$\Delta TPC$	$\omega_{profit}$
0	10.4344	1.1671	0.0000	0.0000	0.0000
10	10.4410	1.1764	11.7641	0.0133	11.7508
25	10.5476	1.1916	29.7896	0.2289	29.5607
50	10.9900	1.2205	61.0248	1.1238	59.9010
59	11.2318	1.2321	72.6920	1.6134	71.0786
60	11.2614	1.2334	74.0036	1.6734	72.3302



ตารางที่ 5.49 ค่าดัชนีของระบบทดสอบเมื่อมีการขนส่งกำลังไฟฟ้าผ่านระบบทดสอบโดยคำนึงถึงผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อมและความมั่นคงที่ระดับโหลดเท่ากับ 180 MW

$P_E$ (MW)	U	$f_{EC}$	$f_{EN}$	$f_{TS}$	TPC	$F_E$	$F_{TS}$
0	2.8689	0.9075	0.9673	0.9941	759.5362	0.1870	17.7523
10	2.8529	0.9075	0.9673	0.9781	759.5495	0.1870	18.0398
25	2.8098	0.9072	0.9673	0.9353	759.7651	0.1870	18.8287
50	2.5487	0.9060	0.9674	0.6753	760.6600	0.1869	24.5765
59	1.8770	0.9054	0.9674	0.0042	761.1496	0.1869	114.1571
60	1.8727	0.9053	0.9674	0.0000	761.2096	0.1869	Inf

### 5.3.3 ระดับโหลดของระบบทดสอบมีค่าเท่ากับ 200 MW

จะได้ผลการทดสอบโดยไม่คำนึงถึงผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อมและความมั่นคง ดังแสดงในตารางที่ 5.50 และ 5.51 และเมื่อคำนึงถึงผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อมและความมั่นคงจะได้ผลทดสอบ ดังแสดงในตารางที่ 5.52 และ 5.53

ตารางที่ 5.50 ผลทดสอบการขนส่งกำลังไฟฟ้าผ่านระบบทดสอบโดยไม่คำนึงถึงผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อมและความมั่นคงที่ระดับ โหลดเท่ากับ 200 MW

$P_E$ (MW)	Loss(MW)	$\omega_R$	$\omega_C$	$\Delta TPC$	$\omega_{profit}$
0	9.3209	0.4762	0.0000	0.0000	0.0000
1	9.3454	0.4771	0.4771	0.0462	0.4310
1.5	9.3578	0.4776	0.7164	0.0690	0.6474
2	9.3702	0.4780	0.9561	0.0921	0.8640
2.5	9.3828	0.4785	1.1962	0.1153	1.0809

ตารางที่ 5.51 ค่าดัชนีของระบบทดสอบเมื่อมีการขนส่งกำลังไฟฟ้าผ่านระบบทดสอบโดยไม่คำนึงถึงผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อมและความมั่นคงที่ระดับโหลดเท่ากับ 200 MW

$P_E$ (MW)	U	$f_{EC}$	$f_{EN}$	$f_{TS}$	TPC	$F_E$	$F_{TS}$
0	1.6267	1.0000	0.6267	0*	729.2894	0.2629	937.0166
1	1.6267	0.9999	0.6267	0*	729.3356	0.2629	1674.4
1.5	1.6267	0.9999	0.6268	0*	729.3584	0.2629	2804.8
2	1.6266	0.9999	0.6268	0*	729.3815	0.2629	9004.4
2.5	1.6266	0.9998	0.6268	0.0000	729.4047	0.2629	Inf

\* มีค่าต่ำมากเข้าใกล้ศูนย์

ตารางที่ 5.52 ผลทดสอบการขนส่งกำลังไฟฟ้าผ่านระบบทดสอบโดยคำนึงถึงผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อมและความมั่นคงที่ระดับโหลดเท่ากับ 200 MW

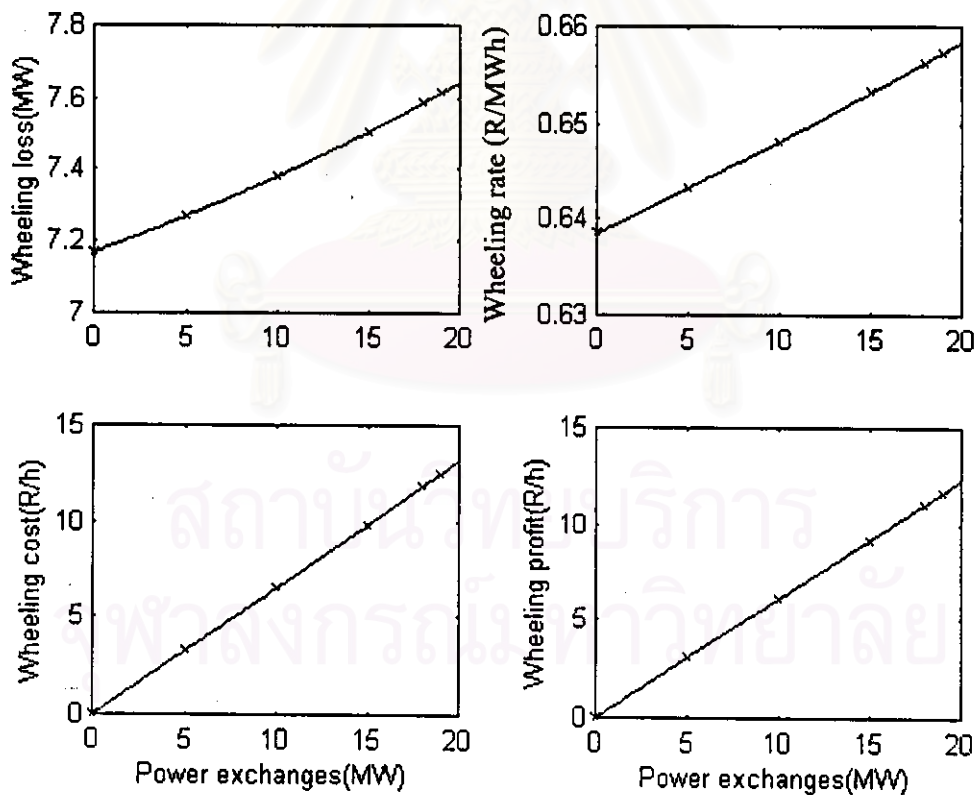
$P_E$ (MW)	Loss (MW)	$\omega_R$	$\omega_C$	$\Delta TPC$	$\omega_{profit}$
0	12.5570	1.1432	0.0000	0.0000	0.0000
10	12.5761	1.1532	11.5317	0.0396	11.4921
25	12.7090	1.1696	29.2403	0.3088	28.9315
50	13.2120	1.2010	60.0524	1.3289	58.7235
53	13.2965	1.2052	63.8744	1.5003	62.3741
54	13.3258	1.2066	65.1548	1.5598	63.5950

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

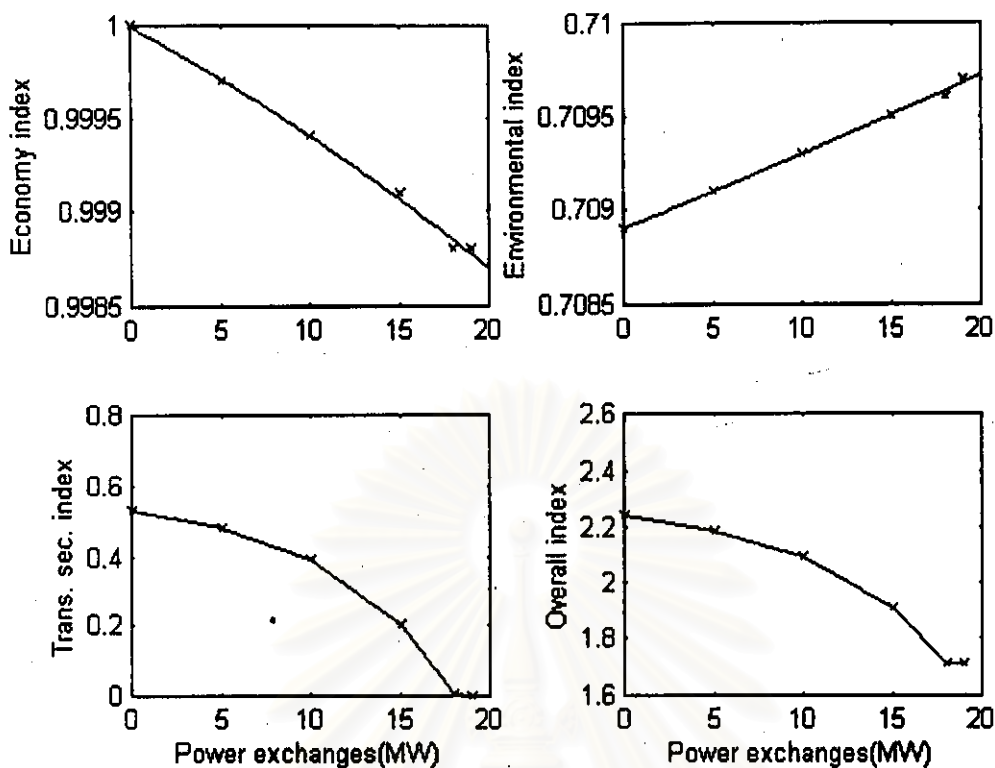
ตารางที่ 5.53 ค่าดัชนีของระบบทดสอบเมื่อมีการขนส่งกำลังไฟฟ้าผ่านระบบทดสอบโดยคำนึงถึงผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อมและความมั่นคงที่ระดับโหลดเท่ากับ 200 MW

$P_E$ (MW)	U	$f_{EC}$	$f_{EN}$	$f_{TS}$	TPC	$F_E$	$F_{TS}$
0	2.8770	0.9160	0.9728	0.9882	793.3153	0.1841	20.0789
10	2.8590	0.9159	0.9728	0.9703	793.3549	0.1841	20.4424
25	2.8060	0.9156	0.9728	0.9176	793.6241	0.1841	21.5500
50	2.2933	0.9143	0.9729	0.4062	794.6442	0.1841	37.7244
53	1.9124	0.9141	0.9729	0.0254	794.8156	0.1841	92.7030
54	1.8869	0.9140	0.9729	0.0000	794.8751	0.1841	Inf

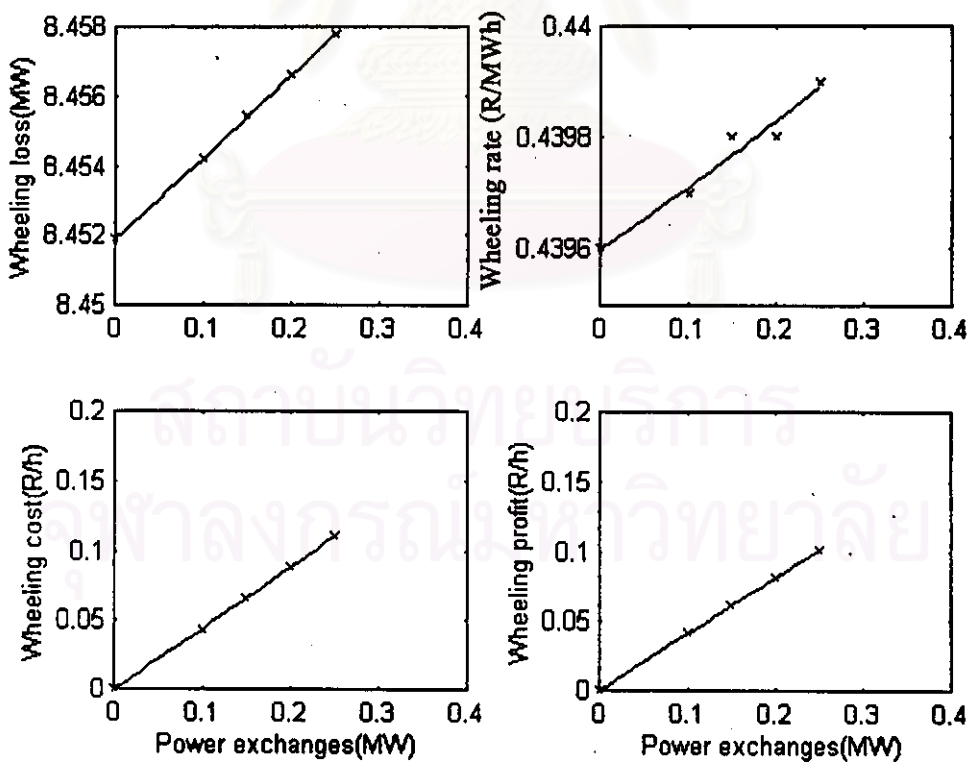
จากการติดตามผลการเปลี่ยนแปลงค่าดัชนีของระบบเทียบกับปริมาณกำลังไฟฟ้าที่ขนส่งผ่านระบบไฟฟ้าคนกลางสามารถทำมาสร้างกราฟได้ดังรูปที่ 5.4-5.15



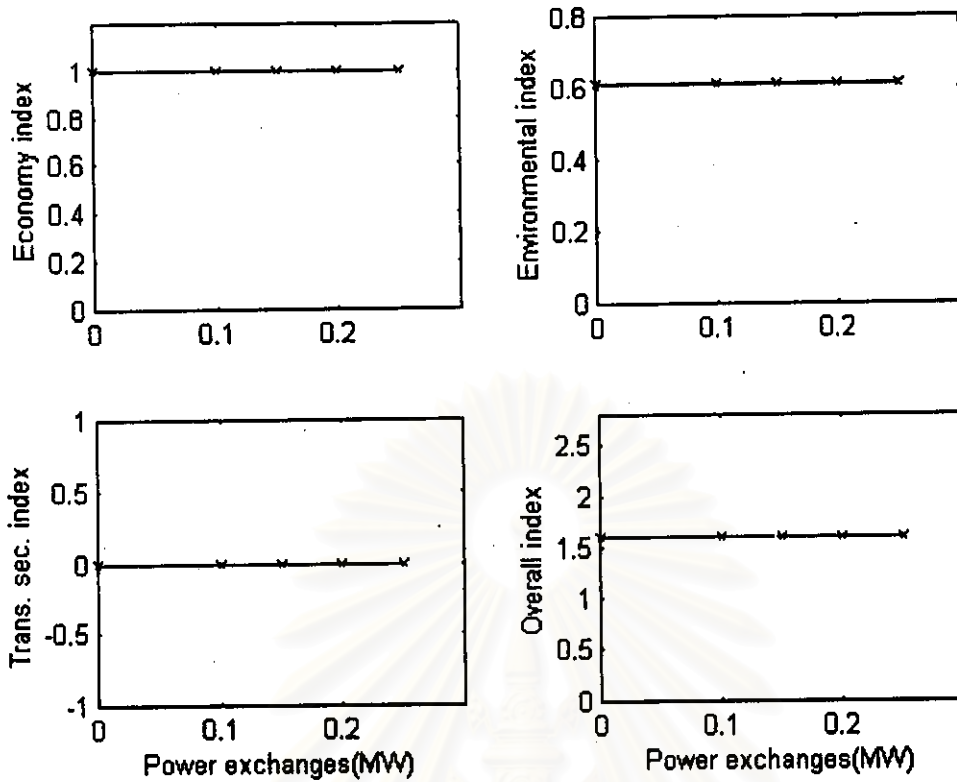
รูปที่ 5.4 ผลทดสอบการขนส่งกำลังไฟฟ้าผ่านระบบทดสอบโดยไม่คำนึงถึงผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อมและความมั่นคงที่ระดับโหลดเท่ากับ 160 MW



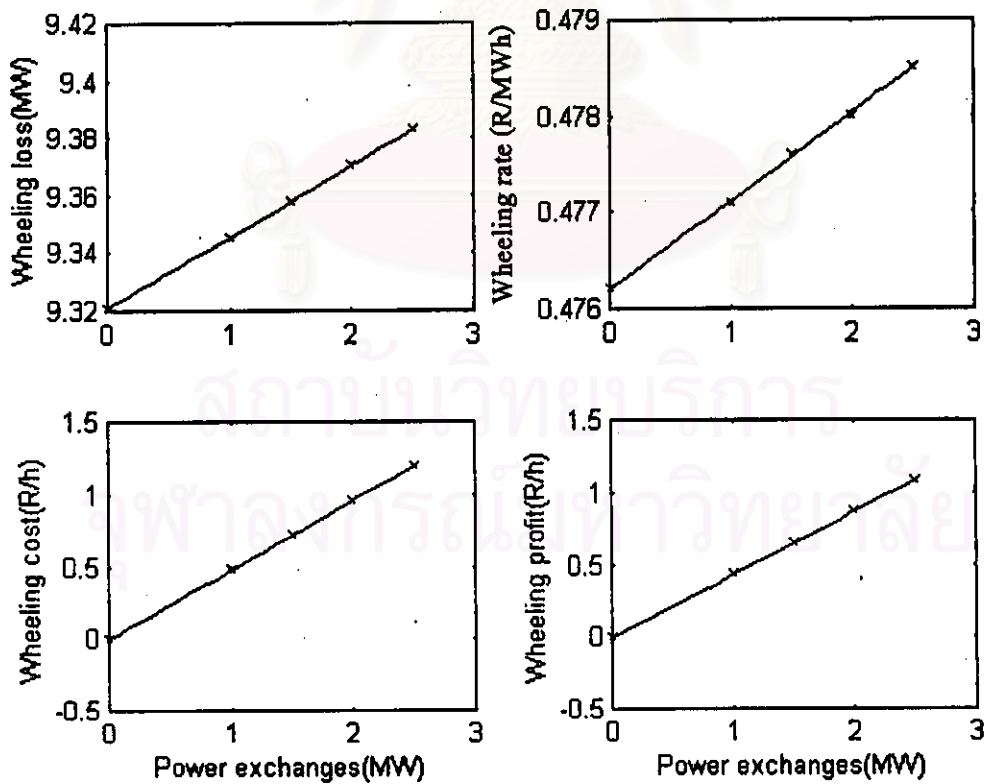
รูปที่ 5.5 ค่าดัชนีของระบบทดสอบโดยไม่คำนึงถึงผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อมและความมั่นคงที่ระดับโหลดเท่ากับ 160 MW



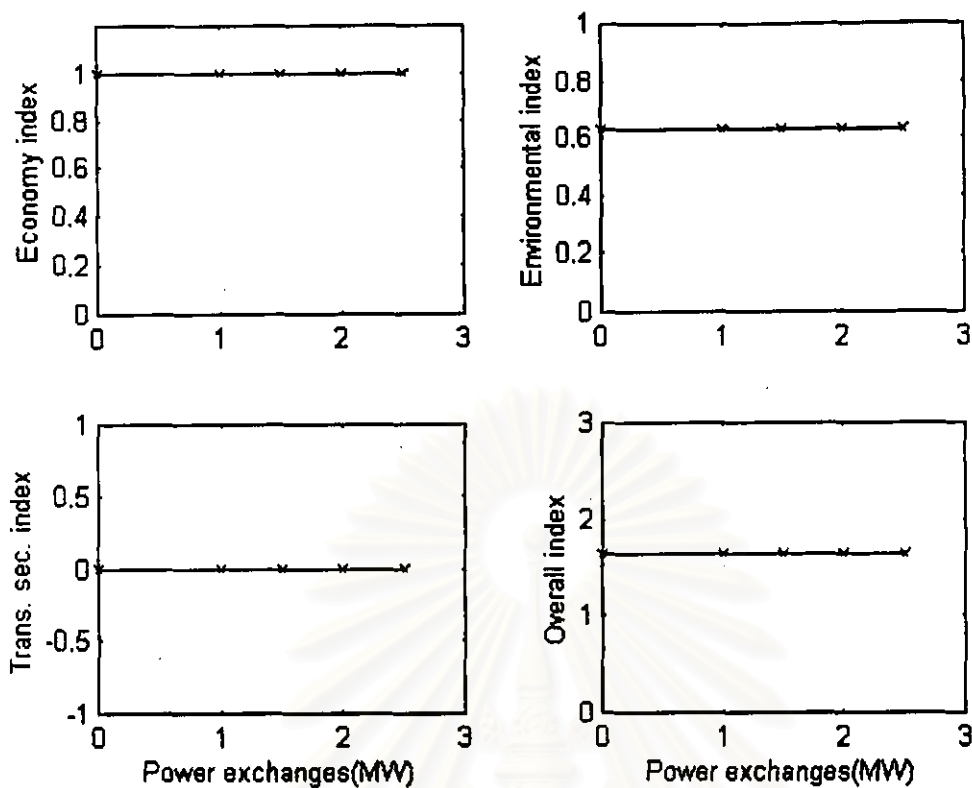
รูปที่ 5.6 ผลทดสอบการขนส่งกำลังไฟฟ้าผ่านระบบทดสอบโดยไม่คำนึงถึงผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อมและความมั่นคงที่ระดับโหลดเท่ากับ 180 MW



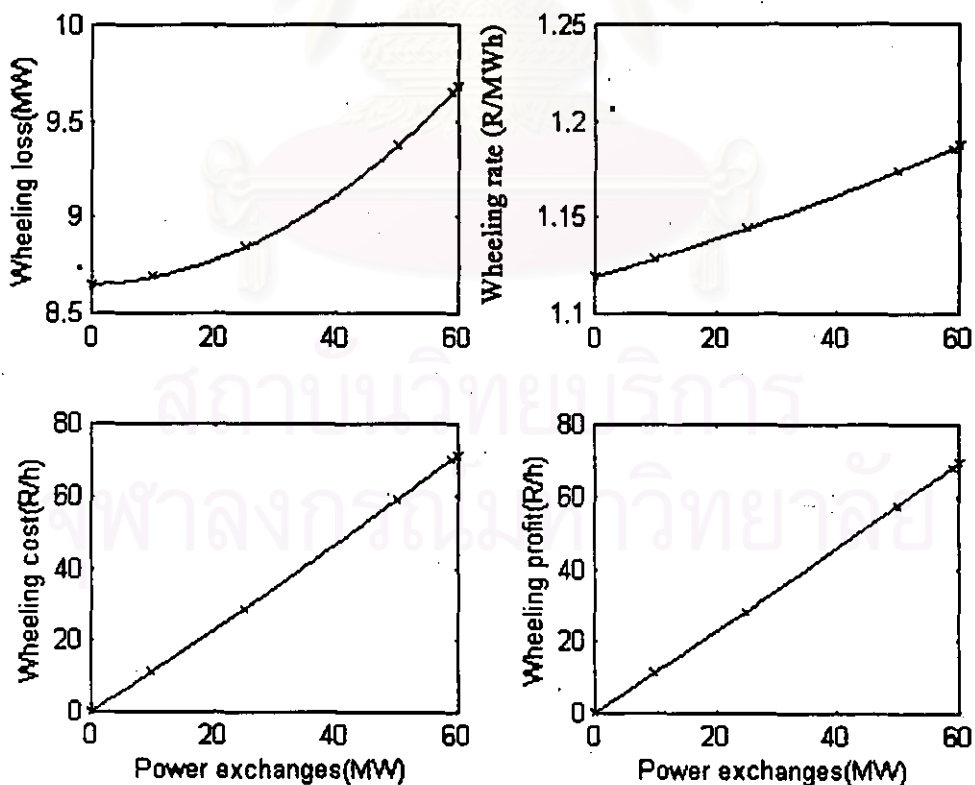
รูปที่ 5.7 ค่าดัชนีของระบบทดสอบโดยไม่คำนึงถึงผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อมและความมั่นคงที่ระดับโหลดเท่ากับ 180 MW



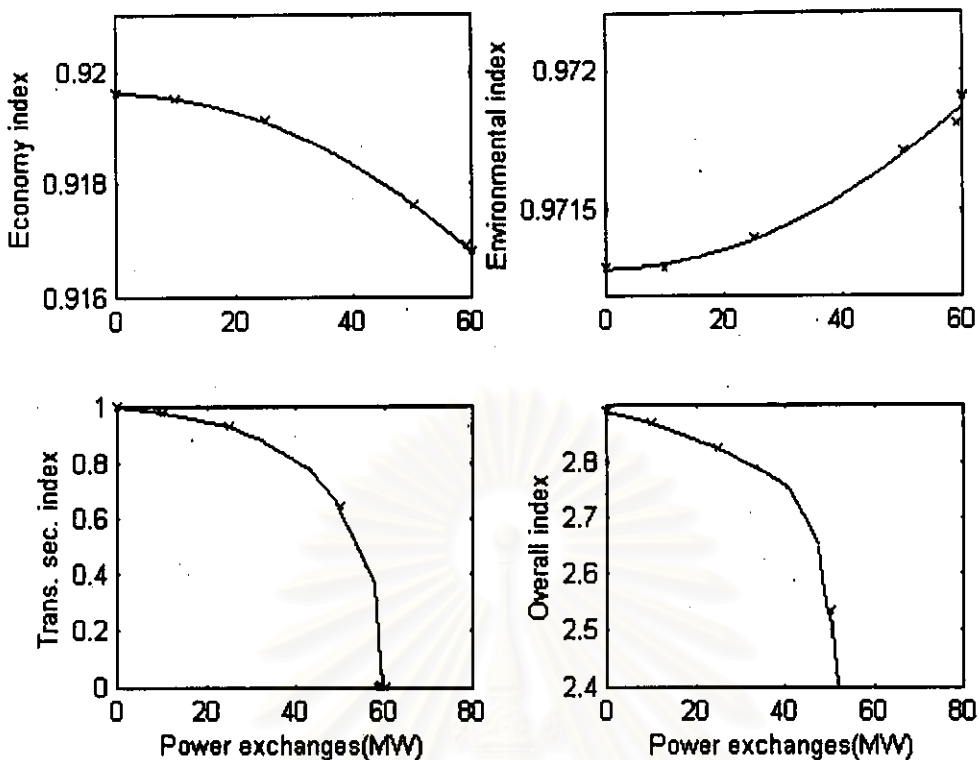
รูปที่ 5.8 ผลทดสอบการขนส่งกำลังไฟฟ้าผ่านระบบทดสอบโดยไม่คำนึงถึงผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อมและความมั่นคงที่ระดับโหลดเท่ากับ 200 MW



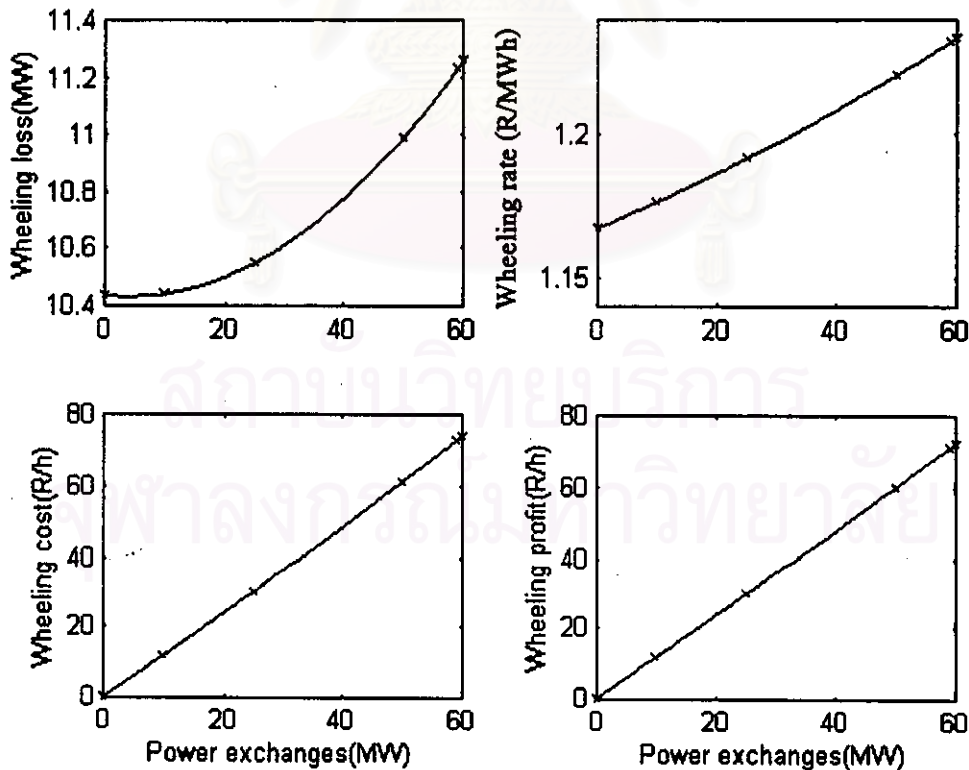
รูปที่ 5.9 ค่าดัชนีของระบบทดสอบโดยไม่นิ่งถึงผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อมและความมั่นคงที่ระดับโหลดเท่ากับ 200 MW



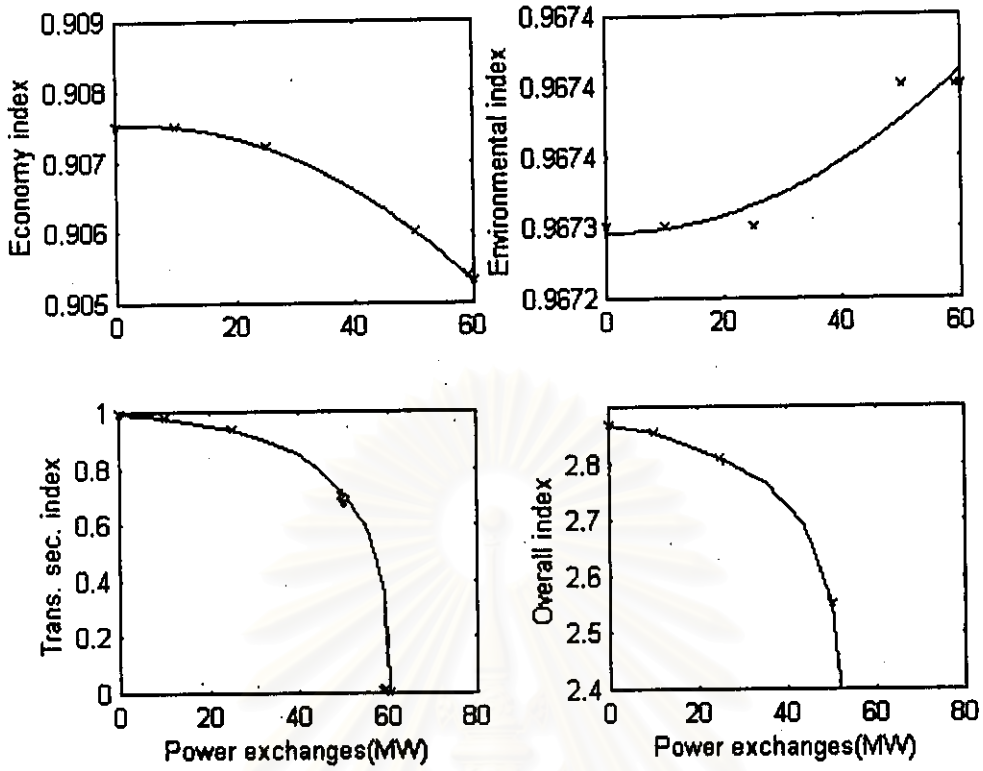
รูปที่ 5.10 ผลทดสอบการขนส่งกำลังไฟฟ้าผ่านระบบทดสอบโดยคำนึงถึงผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อมและความมั่นคงที่ระดับโหลดเท่ากับ 160 MW



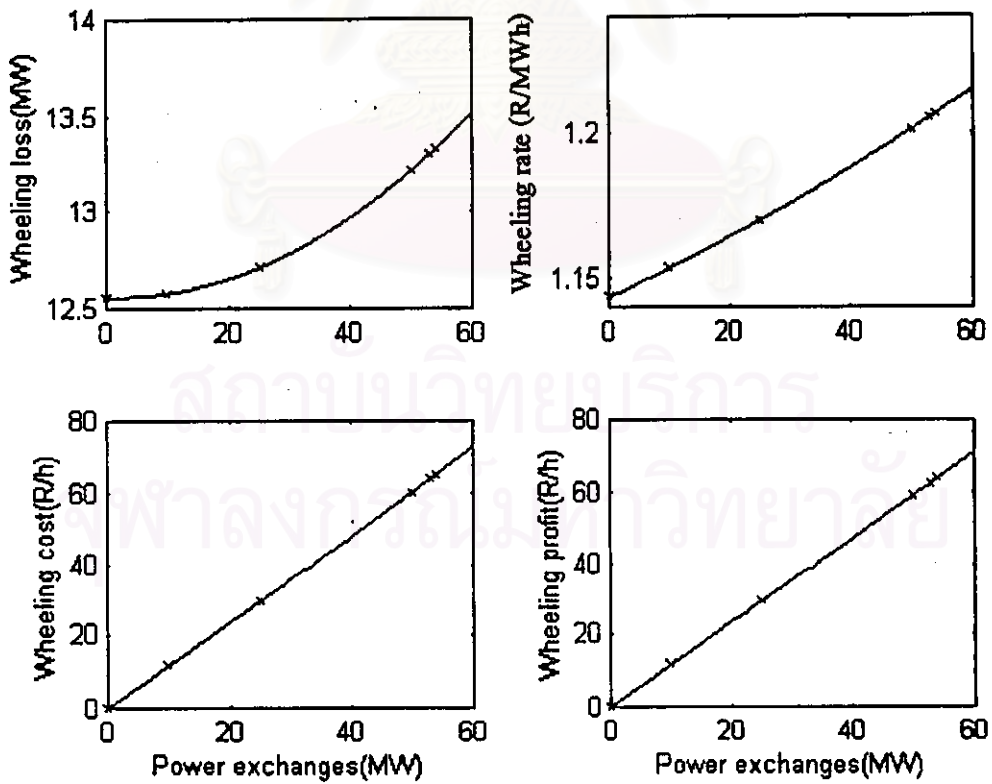
รูปที่ 5.11 ค่าดัชนีของระบบทดสอบโดยคำนึงถึงผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อม และความมั่นคงที่ระดับโหลดเท่ากับ 160 MW



รูปที่ 5.12 ผลทดสอบการขนส่งกำลังไฟฟ้าผ่านระบบทดสอบโดยคำนึงถึงผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อมและความมั่นคงที่ระดับโหลดเท่ากับ 180 MW

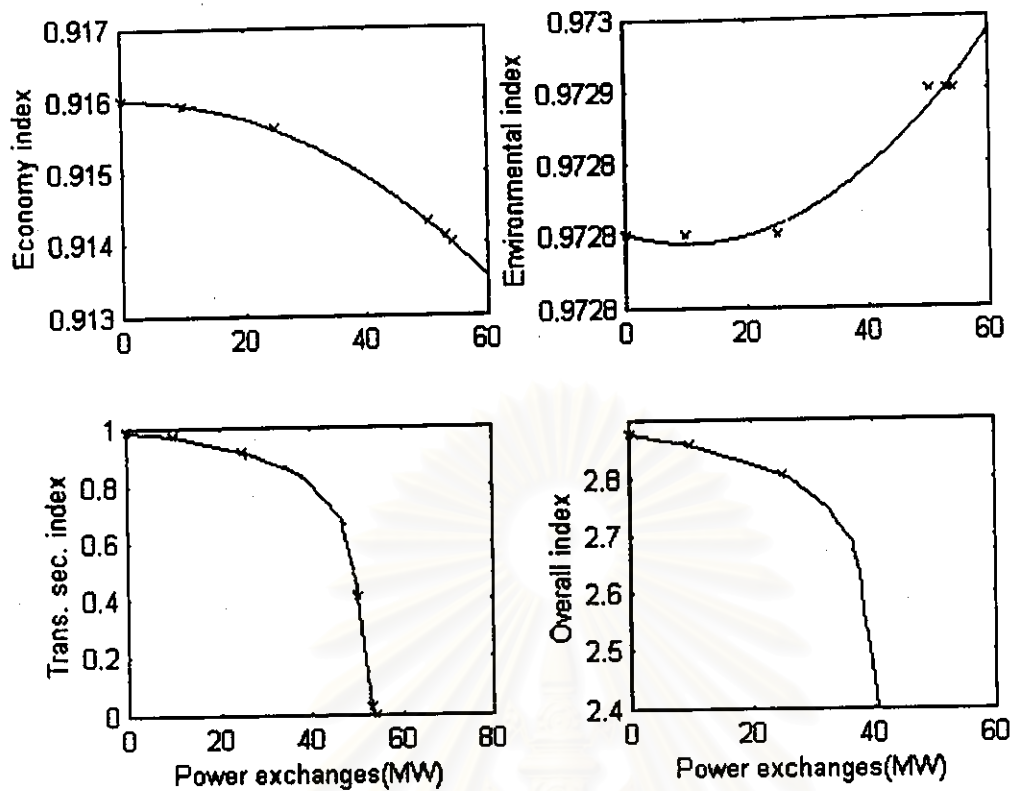


รูปที่ 5.13 ค่าดัชนีของระบบทดสอบโดยคำนึงถึงผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อม และความมั่นคงที่ระดับโหลดเท่ากับ 180 MW



รูปที่ 5.14 ผลทดสอบการขนส่งกำลังไฟฟ้าผ่านระบบทดสอบโดยคำนึงถึงผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อมและความมั่นคงที่ระดับโหลดเท่ากับ 200 MW

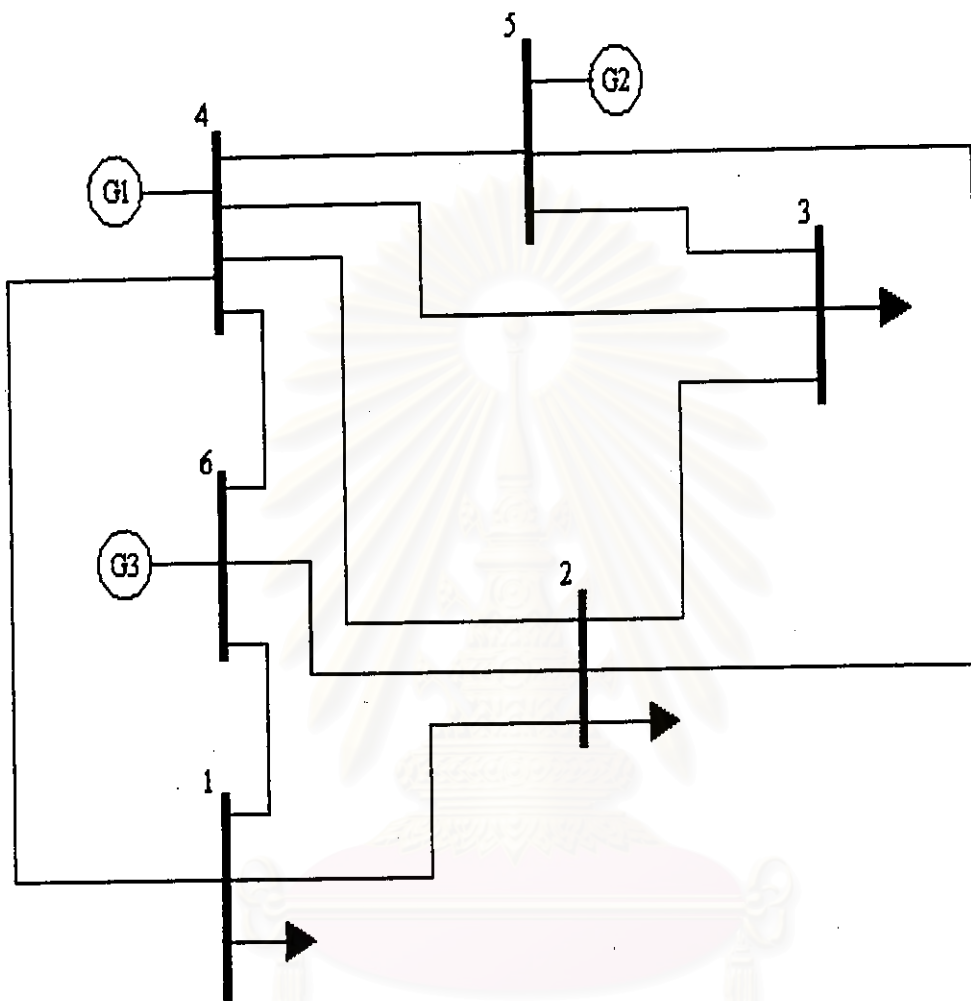




รูปที่ 5.15 ค่าดัชนีของระบบทดสอบ โดยคำนึงถึงผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อม และความมั่นคงที่ระดับโหลดเท่ากับ 200 MW

จากรูปที่ 5.4 - 5.15 กรณีที่ใช้ฟังก์ชันต้นทุนการผลิตโดยรวมเป็นฟังก์ชันวัตถุประสงค์เพียงหนึ่งฟังก์ชันนั้น พบว่าการขนส่งกำลังไฟฟ้าผ่านระบบทดสอบที่ระดับโหลด 160 MW 180 MW และ 200 MW สามารถขนส่งได้ไม่เกิน 18 MW 0.2 MW และ 2 MW ตามลำดับ กรณีที่ใช้ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ตามฟังก์ชันจะสามารถขนส่งกำลังไฟฟ้าผ่านระบบทดสอบได้ 59 MW 59 MW และ 53 MW ที่ระดับโหลด 160 MW 180 MW และ 200 MW ตามลำดับ

จากผลการทดสอบการขนส่งกำลังไฟฟ้าผ่านระบบคนกลาง จะพบว่าการเลือกจุดทำงานของระบบไฟฟ้ากำลังโดยใช้ฟังก์ชันวัตถุประสงค์เพียงหนึ่งฟังก์ชันนั้น ถ้าระบบทดสอบถูกรบกวนจากปัจจัยภายนอกระบบจนทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงการไหลของกำลังไฟฟ้าจะทำให้ค่าดัชนีตัวอื่น ๆ ที่ไม่ได้พิจารณาเป็นฟังก์ชันวัตถุประสงค์เกิดการเปลี่ยนแปลง ถึงแม้ว่าปริมาณกำลังไฟฟ้าที่ขนส่งผ่านระบบทดสอบจะมีค่าต่ำ การเลือกจุดทำงานโดยคำนึงถึงผลกระทบหลายด้านนั้นทำให้การรบกวนระบบส่งผลกระทบน้อยมาก และปริมาณกำลังไฟฟ้าที่ขนส่งผ่านระบบทดสอบมีค่าสูง หมายความว่าระบบทำงานอยู่ในขอบเขตที่มีความมั่นคงสูง



รูปที่ 5.16 ระบบทดสอบ 6 บัส 11 สายส่ง

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

#### 5.4 การทำงานที่เหมาะสมของระบบไฟฟ้ากำลังโดยใช้การตัดสินใจแบบฟัซซี่

ในที่นี้จะทำการทดสอบกับระบบทดสอบ 6 บัส 11 สายส่ง [7] ดังแสดงในรูปที่ 5.16 ส่วนรายละเอียดของระบบทดสอบได้แสดงไว้ในภาคผนวก ก

ระบบทดสอบที่นำมาพิจารณานี้มีตัวแปรควบคุมทั้งสิ้น 5 ชนิด คือ กำลังผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัสที่ 4 และบัสที่ 5 ขนาดของแรงดันควบคุมที่บัสที่ 4, บัสที่ 5 และบัสอ้างอิงบัสที่ 6 การทดสอบจะทำในช่วงเวลา 1 วัน แบ่งช่วงเวลาที่ทดสอบออกเป็น 24 ช่วง ช่วงละ 1 ชั่วโมง โดยใช้ฟังก์ชันวัตถุประสงค์เป็นฟังก์ชันต้นทุนการผลิตโดยรวมของระบบ ในที่นี้จะใช้การทำ Unit commitment (UC) โดยใช้วิธี Priority list เป็นฐานประกอบการพิจารณาด้วย ซึ่งผลการทำ UC ได้แสดงไว้ในภาคผนวก ข

ผลการทดสอบจะนำมาเปรียบเทียบกับ การจ่ายโหลดอย่างประหยัด และการทำออปติมิคเพาเวอร์ฟลักซ์โดยตรง การทดสอบโดยใช้การจ่ายโหลดอย่างประหยัดจะได้ผลดังแสดงในตารางที่ 5.54 ผลการทดสอบโดยใช้ออปติมิคเพาเวอร์ฟลักซ์แสดงไว้ในตารางที่ 5.55

ในการเลือกจุดทำงานโดยใช้การตัดสินใจแบบฟัซซี่นั้นจะใช้แบบจำลองของระบบไฟฟ้ากำลังทั้งสองแบบ ตามที่ได้นำเสนอไว้ในหัวข้อที่ 4.4 ซึ่งผลการทดสอบโดยใช้แบบจำลองโดยรวมของระบบไฟฟ้ากำลังได้ผลดังตารางที่ 5.56 และตารางที่ 5.57 แสดงผลการทดสอบโดยใช้แบบจำลองชนิดแยกส่วนของระบบไฟฟ้ากำลัง ตารางที่ 5.58 – 5.59 นั้นแสดงการเปรียบเทียบทั้ง 4 วิธีว่าให้ผลการทดสอบแตกต่างกันอย่างไร

นอกจากนี้ ได้ทำการคำนวณค่า Bus incremental cost (BIC) การเลือกจุดทำงานที่เหมาะสมทั้ง 4 กรณีไว้ด้วย เพื่อที่จะนำไปขยายผลต่อไปในการใช้ประกอบการพิจารณาการขนส่งกำลังไฟฟ้าผ่านระบบทดสอบ หรืออาจใช้พิจารณาเพื่อเปรียบเทียบค่า BIC มีการเปลี่ยนแปลงอย่างไร เมื่อใช้วิธีการเลือกจุดทำงานที่แตกต่างกัน ผลการคำนวณค่า BIC ของวิธีการเลือกจุดทำงานทั้ง 4 วิธีนี้ ได้แสดงไว้ในตารางที่ 5.60 – 5.63

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 5.54 ผลทดสอบการจ่ายโหลดอย่างประหลัดของระบบทดสอบ 6 บัส 11 สายส่ง

ชั่วโมงที่	$P_1$ (MW)	$P_2$ (MW)	$V_1$ (pu)	$V_2$ (pu)	$V_3$ (pu)	Cost(R)	Time(s)
1	-	-	-	-	1.0500	3073.82	0.77
2	-	-	-	-	1.0500	3467.22	0.77
3	-	-	-	-	1.0500	3715.69	0.82
4	-	-	-	-	1.0500	3192.08	0.87
5	-	-	-	-	1.0500	3397.72	0.88
6	25.00	250.00	1.0500	1.0700	1.0500	9987.15	14.83
7	40.46	250.00	1.0500	1.0700	1.0500	10582.79	17.41
8	25.00	250.00	1.0500	1.0700	1.0500	10146.10	14.77
9	-	181.27	-	1.0700	1.0500	6178.36	8.79
10	-	142.80	-	1.0700	1.0500	5340.08	6.98
11	-	187.43	-	1.0700	1.0500	6466.98	6.98
12	-	177.09	-	1.0700	1.0500	5987.75	10.22
13	-	179.72	-	1.0700	1.0500	6356.67	5.61
14	-	192.62	-	1.0700	1.0500	6478.06	6.92
15	-	179.31	-	1.0700	1.0500	6180.79	8.95
16	-	201.21	-	1.0700	1.0500	7277.55	10.11
17	25.00	250.00	1.0500	1.0700	1.0500	9751.36	19.5
18	32.28	250.00	1.0500	1.0700	1.0500	10412.11	17.25
19	39.72	250.00	1.0500	1.0700	1.0500	10567.27	17.19
20	25.00	250.00	1.0500	1.0700	1.0500	10046.95	14.77
21	-	210.88	-	1.0700	1.0500	6750.97	8.96
22	-	171.60	-	1.0700	1.0500	5922.45	6.97
23	-	173.43	-	1.0700	1.0500	5981.58	6.98
24	-	-	-	-	1.0500	3601.66	0.88

รวม

160863.17

208.18

ตารางที่ 5.55 ผลทดสอบการที่ ออปติไมซ์เพาเวอร์โพลาร์ของระบบทดสอบ 6 บัส 11 สายส่ง

ชั่วโมงที่	$P_1$ (MW)	$P_2$ (MW)	$V_4$ (pu)	$V_5$ (pu)	$V_6$ (pu)	Cost(R)	Time(s)
1	-	-	-	-	1.1000	3055.45	4.07
2	-	-	-	-	1.1000	3443.50	4.06
3	-	-	-	-	1.1000	3686.07	4.12
4	-	-	-	-	1.1000	3175.70	3.79
5	-	-	-	-	1.1000	3373.53	4.07
6	25.00	250.00	1.0760	1.1000	1.1000	9925.85	17.41
7	36.90	250.00	1.0771	1.1000	1.1000	10508.56	23.56
8	25.00	250.00	1.0752	1.1000	1.1000	10080.86	18.62
9	-	173.41	-	1.1000	1.1000	6156.13	20.00
10	-	135.24	-	1.1000	1.1000	5321.50	20.65
11	-	179.55	-	1.1000	1.1000	6443.00	21.47
12	-	169.30	-	1.1000	1.1000	5966.77	27.74
13	-	171.86	-	1.1000	1.1000	6332.71	20.11
14	-	184.66	-	1.1000	1.1000	6454.09	19.44
15	-	171.43	-	1.1000	1.1000	6157.99	28.72
16	-	192.62	-	1.1000	1.1000	7244.52	23.29
17	25.00	250.00	1.0761	1.1000	1.1000	9694.43	40.32
18	28.79	250.00	1.0745	1.1000	1.1000	10339.20	53.39
19	36.18	250.00	1.0757	1.1000	1.1000	10493.47	59.38
20	25.00	250.00	1.0754	1.1000	1.1000	9983.94	29.88
21	-	202.88	-	1.1000	1.1000	6726.49	49.16
22	-	163.84	-	1.1000	1.1000	5901.81	55.58
23	-	165.70	-	1.1000	1.1000	5960.92	62.07
24	-	-	-	-	1.1000	3574.02	4.17

รวม

160000.49

615.07

ตารางที่ 5.56 ผลทดสอบการอนุมัติผลตอบโดยใช้ FRBS ของระบบทดสอบ 6 บัส 11 สายส่ง  
(แบบจำลองโดยรวมของระบบไฟฟ้า กิ่ง)

ชั่วโมงที่	$P_1$ (MW)	$P_2$ (MW)	$V_1$ (pu)	$V_2$ (pu)	$V_3$ (pu)	Cost(R)	Time(s)
1	-	-	-	-	1.1000	3055.45	0.93
2	-	-	-	-	1.1000	3443.50	0.76
3	-	-	-	-	1.1000	3686.07	0.77
4	-	-	-	-	1.1000	3175.70	0.77
5	-	-	-	-	1.1000	3373.53	0.77
6	25.00	250.00	1.1000	1.1000	1.1000	9932.63	1.05
7	25.00	250.00	1.0741	1.1000	1.1000	10490.23	1.04
8	25.00	250.00	1.0959	1.1000	1.1000	10085.93	1.04
9	-	182.13	-	1.1000	1.1000	6156.86	0.94
10	-	152.56	-	1.1000	1.1000	5324.33	0.99
11	-	181.88	-	1.1000	1.1000	6443.05	0.99
12	-	185.99	-	1.1000	1.1000	5969.42	0.99
13	-	171.58	-	1.1000	1.1000	6332.71	0.82
14	-	198.39	-	1.1000	1.1000	6455.90	0.94
15	-	178.00	-	1.1000	1.1000	6158.40	0.93
16	-	250.00	-	1.1000	1.1000	7275.83	0.99
17	25.00	250.00	1.0978	1.1000	1.1000	9699.99	1.04
18	25.00	250.00	1.1000	1.1000	1.1000	10341.99	1.10
19	38.75	250.00	1.0833	1.1000	1.1000	10497.89	0.77
20	25.00	250.00	1.0751	1.1000	1.1000	9983.94	1.05
21	-	202.50	-	1.1000	1.1000	6726.49	0.66
22	-	191.06	-	1.1000	1.1000	5908.81	0.99
23	-	194.63	-	1.1000	1.1000	5968.82	0.99
24	-	-	-	-	1.1000	3574.02	0.76

รวม

160061.50 22.08

ตารางที่ 5.57 ผลทดสอบการอนุมานผลตอบโดยใช้ FRBS ของระบบทดสอบ 6 บัส 11 สายส่ง  
(แบบจำลองชนิดแยกส่วนของระบบไฟฟ้ากำลัง)

ชั่วโมงที่	$P_1$ (MW)	$P_2$ (MW)	$V_1$ (pu)	$V_2$ (pu)	$V_3$ (pu)	Cost(R)	Time(s)
1	-	-	-	-	1.1000	3055.45	0.93
2	-	-	-	-	1.1000	3443.50	0.99
3	-	-	-	-	1.1000	3686.07	0.76
4	-	-	-	-	1.1000	3175.70	0.77
5	-	-	-	-	1.1000	3373.53	0.89
6	25.00	250.00	1.1000	1.1000	1.1000	9932.63	0.99
7	70.64	250.00	1.0659	1.1000	1.1000	10576.02	0.94
8	25.00	250.00	1.1000	1.1000	1.1000	10088.13	0.93
9	-	174.75	-	1.1000	1.1000	6156.14	0.94
10	-	178.75	-	1.1000	1.1000	5339.13	0.99
11	-	178.75	-	1.1000	1.1000	6443.00	0.94
12	-	171.22	-	1.1000	1.1000	5966.81	0.93
13	-	178.75	-	1.1000	1.1000	6333.17	0.99
14	-	175.95	-	1.1000	1.1000	6454.83	0.94
15	-	175.51	-	1.1000	1.1000	6158.15	0.99
16	-	190.78	-	1.1000	1.1000	7244.55	0.99
17	25.00	250.00	1.1000	1.1000	1.1000	9701.15	0.94
18	25.00	250.00	1.1000	1.1000	1.1000	10341.99	0.93
19	25.00	250.00	1.1000	1.1000	1.1000	10486.46	0.99
20	25.00	250.00	1.1000	1.1000	1.1000	9991.08	0.93
21	-	172.97	-	1.1000	1.1000	6735.35	0.93
22	-	174.39	-	1.1000	1.1000	5902.87	0.93
23	-	178.75	-	1.1000	1.1000	5962.54	0.93
24	-	-	-	-	1.1000	3574.02	0.71

รวม

160122.27

22.20

จากผลการทดสอบข้างต้นสามารถเปรียบเทียบการใช้ FRBS ทั้งสองแบบจำลองกับการจ่าย  
โหลดอย่างประหยัด และการทำ ออปติมิซเพาเวอร์โดยตรงได้ดังตารางที่ 5.58 และ 5.59

ตารางที่ 5.58 ผลการเปรียบเทียบการเลือกจุดที่ งานที่เหมาะสมโดยใช้การจ่ายโหลดอย่างประหยัด  
การที่ ออปติ้มัลเพาเวอร์โฟลว์ และการใช้ FRBS เมื่อพิจารณาเป็นช่วงเวลา 1 ชั่วโมง

ชั่วโมงที่	Cost(R)				Time(s)			
	OPF	ELD	FRBS1	FRBS2	OPF	ELD	FRBS1	FRBS2
1	3055.45	3073.82	3055.45	3055.45	4.07	0.77	0.93	0.93
2	3443.50	3467.22	3443.50	3443.50	4.06	0.77	0.76	0.99
3	3686.07	3715.69	3686.07	3686.07	4.12	0.82	0.77	0.76
4	3175.70	3192.08	3175.70	3175.70	3.79	0.87	0.77	0.77
5	3373.53	3397.72	3373.53	3373.53	4.07	0.88	0.77	0.89
6	9925.85	9987.15	9932.63	9932.63	17.41	14.83	1.05	0.99
7	10508.56	10582.79	10490.23	10576.02	23.56	17.41	1.04	0.94
8	10080.86	10146.10	10085.93	10088.13	18.62	14.77	1.04	0.93
9	6156.13	6178.36	6156.86	6156.14	20.00	8.79	0.94	0.94
10	5321.50	5340.08	5324.33	5339.13	20.65	6.98	0.99	0.99
11	6443.00	6466.98	6443.05	6443.00	21.47	6.98	0.99	0.94
12	5966.77	5987.75	5969.42	5966.81	27.74	10.22	0.99	0.93
13	6332.71	6356.67	6332.71	6333.17	20.11	5.61	0.82	0.99
14	6454.09	6478.06	6455.90	6454.83	19.44	6.92	0.94	0.94
15	6157.99	6180.79	6158.40	6158.15	28.72	8.95	0.93	0.99
16	7244.52	7277.55	7275.83	7244.55	23.29	10.11	0.99	0.99
17	9694.43	9751.36	9699.99	9701.15	40.32	19.5	1.04	0.94
18	10339.20	10412.11	10341.99	10341.99	53.39	17.25	1.10	0.93
19	10493.47	10567.27	10497.89	10486.46	59.38	17.19	0.77	0.99
20	9983.94	10046.95	9983.94	9991.08	29.88	14.77	1.05	0.93
21	6726.49	6750.97	6726.49	6735.35	49.16	8.96	0.66	0.93
22	5901.81	5922.45	5908.81	5902.87	55.58	6.97	0.99	0.93
23	5960.92	5981.58	5968.82	5962.54	62.07	6.98	0.99	0.93
24	3574.02	3601.66	3574.02	3574.02	4.17	0.88	0.76	0.71

รวม	160000.49	160863.17	160061.50	160122.27	615.07	208.18	22.08	22.20
-----	-----------	-----------	-----------	-----------	--------	--------	-------	-------



ตารางที่ 5.59 ผลการเปรียบเทียบการเลือกจุดทำงานที่เหมาะสมโดยใช้การจ่ายโหลดอย่างประหยัด การทำ ออปติมิซเพาเวอร์โฟลว์ และการใช้ FRBS เมื่อพิจารณา รวม 24 ชั่วโมง (1 วัน)

	Cost(R)	Time(s)
OPF	160000.49	615.07
ELD	160863.17	208.18
FRBS1	160061.50	22.08
FRBS2	160122.27	22.20

OPF : การทำ ออปติมิซเพาเวอร์โฟลว์ (Optimal power flow)

ELD : การจ่ายโหลดอย่างประหยัด (Economic load dispatch)

FRBS1 : Fuzzy rule-based system (แบบจำลองโดยรวมของระบบไฟฟ้ากำลัง)

FRBS2 : Fuzzy rule-based system (แบบจำลองชนิดแยกส่วนของระบบไฟฟ้ากำลัง)

การประยุกต์ใช้ FRBS ในการการแก้ปัญหาการเลือกจุดทำงานที่เหมาะสมของระบบไฟฟ้ากำลังนั้น จากผลการทดสอบจะพบว่า จุดทำงานที่ได้จะมีต้นทุนการผลิตโดยรวมต่ำกว่าการจ่ายโหลดอย่างประหยัด แต่สูงกว่าการทำ ออปติมิซเพาเวอร์โฟลว์ จุดเด่นของการใช้ FRBS อยู่ที่เวลาในการคำนวณที่สั้นมากเมื่อเทียบกับวิธีการทั้งสอง ดังนั้นวิธีการนี้เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพ ในการทดสอบนี้ใช้จำนวนข้อมูลที่นำมาสร้าง Rule-based เพียง 60 ชุดตัวอย่างเท่านั้น กฎที่เขียนขึ้นจึงไม่ครอบคลุมในทุกกรณีของช่วงตัวแปรขาเข้าของระบบ ทำให้การอนุมานผลตอบเกิดความคลาดเคลื่อนไปบ้างเล็กน้อยในช่วงเวลาย่อยบางช่วง นอกจากนี้ การกำหนดฟังก์ชันสมาชิกและการทำ Defuzzification ที่เหมาะสมจะทำให้การอนุมานผลตอบมีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น

การสร้างแบบจำลอง FRBS ทั้งสองแบบจะได้ผลการทดสอบที่แตกต่างกันอยู่บ้าง อันเนื่องมาจากโครงสร้างของระบบและการกำหนดรูปแบบของการแก้ปัญหาที่ต่างกัน ดังนั้นการเลือกใช้แบบจำลองของระบบไฟฟ้ากำลังที่เหมาะสมย่อมทำให้การอนุมานผลตอบมีความสะดวก รวดเร็ว และถูกต้องมากขึ้นด้วย

ตารางที่ 5.60 ผลการคำนวณค่า Bus incremental cost (BIC) จากการแก้ปัญหาการจ่ายโหลดอย่าง  
ประหัตของระบบทดสอบ 6 บัส 11 สายส่ง

Hr.	Bus1(R/MWh)	Bus2(R/MWh)	Bus3(R/MWh)	Bus4(R/MWh)	Bus5(R/MWh)	Bus6(R/MWh)
1	18.97	19.29	20.00	19.16	19.70	17.46
2	19.10	19.84	20.27	19.39	19.98	17.46
3	19.22	20.14	20.71	19.63	20.35	17.46
4	19.17	19.23	19.50	19.04	19.34	17.46
5	19.02	19.83	20.39	19.41	20.06	17.46
6	20.76	20.61	20.01	19.51	18.67	17.46
7	20.87	21.07	20.17	20.88	18.81	17.46
8	20.63	21.05	20.31	19.66	18.92	17.46
9	19.02	19.40	18.87	18.57	18.00	17.46
10	19.16	18.96	18.65	18.50	18.00	17.46
11	19.42	19.10	18.93	18.64	18.00	17.46
12	18.92	19.36	18.85	18.53	18.00	17.46
13	19.45	19.12	18.87	18.64	18.00	17.46
14	19.07	19.50	18.93	18.60	18.00	17.46
15	19.03	19.47	18.84	18.57	18.00	17.46
16	19.74	19.71	18.91	18.81	18.00	17.46
17	20.34	20.72	20.12	19.45	18.73	17.46
18	20.71	21.08	20.66	20.88	19.16	17.46
19	20.64	21.22	20.74	20.88	19.21	17.46
20	20.57	20.94	20.25	19.60	18.86	17.46
21	19.00	19.49	19.08	18.61	18.00	17.46
22	19.02	19.26	18.82	18.54	18.00	17.46
23	19.16	19.08	18.85	18.56	18.00	17.46
24	19.19	19.96	20.64	19.56	20.27	17.46

ตารางที่ 5.61 ผลการคำนวณค่า Bus incremental cost (BIC) จากการแก้ปัญหาออปติ้มัคเพาเวอร์  
โพลีของระบบทดสอบ 6 บัส 11 สายส่ง

Hr.	Bus1(R/MWh)	Bus2(R/MWh)	Bus3(R/MWh)	Bus4(R/MWh)	Bus5(R/MWh)	Bus6(R/MWh)
1	18.78	19.04	19.64	18.94	19.39	17.46
2	18.88	19.49	19.84	19.12	19.61	17.46
3	18.97	19.73	20.18	19.31	19.90	17.46
4	18.95	19.00	19.23	18.84	19.10	17.46
5	18.81	19.48	19.94	19.14	19.63	17.46
6	20.32	20.18	19.61	19.13	18.37	17.46
7	20.45	20.62	19.79	20.88	18.54	17.46
8	20.21	20.56	19.87	19.26	18.59	17.46
9	18.89	19.25	18.80	18.50	18.00	17.46
10	19.01	18.85	18.60	18.44	18.00	17.46
11	19.25	18.98	18.85	18.57	18.00	17.46
12	18.80	19.22	18.78	18.47	18.00	17.46
13	19.27	19.00	18.80	18.57	18.00	17.46
14	18.93	19.34	18.86	18.53	18.00	17.46
15	18.89	19.31	18.77	18.50	18.00	17.46
16	19.52	19.52	18.83	18.71	18.00	17.46
17	19.96	20.28	19.72	19.09	18.44	17.46
18	20.31	20.63	20.24	20.88	18.86	17.46
19	20.24	20.76	20.31	20.88	18.91	17.46
20	20.16	20.47	19.82	19.22	18.55	17.46
21	18.87	19.33	18.99	18.54	18.00	17.46
22	18.89	19.13	18.75	18.47	18.00	17.46
23	19.02	18.96	18.78	18.49	18.00	17.46
24	18.94	19.58	20.13	19.26	19.84	17.46

ตารางที่ 5.62 ผลการคำนวณค่า Bus incremental cost (BIC) จากการประยุกต์ใช้ FRBS (แบบจำลองโดยรวมของระบบไฟฟ้ากำลัง) ของระบบทดสอบ 6 บัส 11 สายส่ง

Hr.	Bus1(R/MWh)	Bus2(R/MWh)	Bus3(R/MWh)	Bus4(R/MWh)	Bus5(R/MWh)	Bus6(R/MWh)
1	18.78	19.04	19.64	18.94	19.39	17.46
2	18.88	19.49	19.84	19.12	19.61	17.46
3	18.97	19.73	20.18	19.31	19.90	17.46
4	18.95	19.00	19.23	18.84	19.10	17.46
5	18.81	19.48	19.94	19.14	19.63	17.46
6	20.35	20.22	19.67	19.26	18.43	17.46
7	20.57	20.75	19.96	19.43	18.70	17.46
8	20.24	20.59	19.92	19.37	18.64	17.46
9	18.83	19.15	18.65	18.40	18.00	17.46
10	18.89	18.67	18.31	18.24	18.00	17.46
11	19.23	18.95	18.81	18.54	18.00	17.46
12	18.68	19.03	18.50	18.27	18.00	17.46
13	19.28	19.00	18.80	18.57	18.00	17.46
14	18.84	19.18	18.62	18.37	18.00	17.46
15	18.85	19.24	18.66	18.43	18.00	17.46
16	19.12	18.89	17.88	18.05	18.93	17.46
17	19.99	20.31	19.77	19.20	18.48	17.46
18	20.39	20.71	20.35	19.61	18.96	17.46
19	20.23	20.74	20.29	20.88	18.88	17.46
20	20.15	20.47	19.82	19.21	18.54	17.46
21	18.87	19.34	18.99	18.54	18.00	17.46
22	18.70	18.83	18.30	18.16	18.00	17.46
23	18.82	18.66	18.30	18.16	18.00	17.46
24	18.94	19.58	20.13	19.26	19.84	17.46

ตารางที่ 5.63 ผลการคำนวณค่า Bus incremental cost (BIC) จากการประยุกต์ใช้ FRBS (แบบจำลองแยกส่วนของระบบไฟฟ้ากำลัง) ของระบบทดสอบ 6 บัส 11 สายส่ง

Hr.	Bus1(R/MWh)	Bus2(R/MWh)	Bus3(R/MWh)	Bus4(R/MWh)	Bus5(R/MWh)	Bus6(R/MWh)
1	18.78	19.04	19.64	18.94	19.39	17.46
2	18.88	19.49	19.84	19.12	19.61	17.46
3	18.97	19.73	20.18	19.31	19.90	17.46
4	18.95	19.00	19.23	18.84	19.10	17.46
5	18.81	19.48	19.94	19.14	19.63	17.46
6	20.35	20.22	19.67	19.26	18.43	17.46
7	20.11	20.22	19.29	20.88	18.07	17.46
8	20.24	20.59	19.93	19.39	18.64	17.46
9	18.88	19.24	18.77	18.48	18.00	17.46
10	18.72	18.40	17.89	17.95	18.00	17.46
11	19.26	18.99	18.87	18.58	18.00	17.46
12	18.79	19.19	18.75	18.44	18.00	17.46
13	19.22	18.92	18.68	18.48	18.00	17.46
14	19.00	19.44	19.01	18.64	18.00	17.46
15	18.87	19.27	18.70	18.46	18.00	17.46
16	19.54	19.54	18.86	18.73	18.00	17.46
17	19.99	20.31	19.78	19.21	18.49	17.46
18	20.39	20.71	20.35	19.61	18.96	17.46
19	20.40	20.92	20.53	19.71	19.11	17.46
20	20.19	20.51	19.88	19.34	18.60	17.46
21	19.09	19.69	19.53	18.91	18.00	17.46
22	18.81	19.01	18.57	18.35	18.00	17.46
23	18.93	18.82	18.56	18.34	18.00	17.46
24	18.94	19.58	20.13	19.26	19.84	17.46

การศึกษาการนำระบบพีชชีมาใช้ในระบบไฟฟ้ากำลังนั้นจะพบว่าการประยุกต์ในด้านการวิเคราะห์ความผิดปกติ (Faults) การศึกษาเสถียรภาพและการควบคุมระบบไฟฟ้า (Power system stability and control) เป็นส่วนใหญ่ ดังนั้นการนำระบบพีชชีมาใช้ในการวางแผนการปฏิบัติงานของระบบไฟฟ้ากำลัง (Power system operation and planning) จึงควรพิจารณาถึงผลกระทบในด้านอื่น ๆ ด้วย เช่น ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ความมั่นคง หรือราคาการซื้อขายไฟ ดังตัวอย่างการคำนวณในตารางที่ 5.60 – 5.63 แสดงให้เห็นว่า Bus incremental cost (BIC) ซึ่งเป็นค่าที่แสดงถึงราคาซื้อขายไฟที่ต่างกัน ๑ ในระบบไฟฟ้ากำลังโดยตรงนั้น เนื่องจากการกำหนดราคาซื้อขายดังกล่าวใช้ ค่า Marginal cost เป็นหลัก และจากการคำนวณในแต่ละกรณีผลที่ได้จะทำให้ BIC มีค่าต่างกันด้วย

กรณีที่ผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อม หรือขีดจำกัดสายส่งมีความสำคัญต่อการทำงานของระบบ การใช้ระบบพีชชีอนุมาณจุดทำงานที่เหมาะสมอาจทำให้ได้จุดคำตอบที่เป็น infeasible solutions ดังนั้น การนำ FRBS มาใช้งานในลักษณะนี้จะต้องมีการเขียนกฎที่รัดกุม และมีการเก็บรวบรวมข้อมูลการปฏิบัติงาน หรือผลการจำลองระบบอย่างเพียงพอ

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย