บทที่ 4

แบบจำลองการจัดสรรกำลังผลิตไฟฟ้าในตลาดไฟฟ้า

รูปแบบและวิธีการจัดสรรกำลังผลิตไฟฟ้าของตลาดไฟฟ้าในแต่ละประเทศมีความแตกต่างกันตามลักษณะโครงสร้างและข้อจำกัดเฉพาะของประเทศนั้นๆ เช่น ตลาดไฟฟ้าบางแห่งกำหนดให้มีการจัดสรรกำลังผลิตไฟฟ้าทุกๆ ครึ่งชั่วโมง ขณะที่ตลาดไฟฟ้าบางแห่งกำหนดให้ช่วงเวลาของการจัดสรรในแต่ละครั้งเท่ากับ 1 ชั่วโมง อย่างไรก็ดี ตลาดไฟฟ้าทุกแห่งจะมีเงื่อนไขพื้นฐานที่เหมือนกัน เช่น กำลังผลิตไฟฟ้าจะต้องเพียงพอสำหรับการจ่ายโหลด หรือระบบจะต้องสามารถตอบสนองโหลดได้อย่างพอเพียงตลอดเวลา เป็นต้น

แม้ว่าการกำหนดกฎเกณฑ์และเงื่อนไขในการซื้อขายไฟฟ้าในตลาดไฟฟ้ามีความสำคัญเพื่อช่วยรักษาเสถียรภาพ ความมั่นคง และความเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้าในด้านความพอเพียงของกำลังการผลิตไฟฟ้า แต่ถ้าตลาดไฟฟ้ากำหนดกฎเกณฑ์ หรือเงื่อนไขในการซื้อขายไฟฟ้ามากเกินไปอาจทำให้การเสนอซื้อขายไฟฟ้าในตลาดไฟฟ้ามีความซับซ้อน ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อสภาพการแข่งขันในตลาด ทำให้เกิดความได้เปรียบหรือเสียเปรียบของผู้ผลิตหรือผู้ขายไฟฟ้าแต่ละราย นอกจากนี้ความยุ่งยากของปัญหาในการจัดสรรกำลังผลิตไฟฟ้าจะทำให้ต้องเสียเวลานานในการคิดคำนวณจัดสรรกำลังผลิต และอาจส่งผลให้ ISO ซึ่งทำหน้าที่จัดสรรกำลังผลิตไฟฟ้าในระบบไม่สามารถทำการจัดสรรกำลังผลิตในแต่ละช่วงเวลาได้อย่างมีประสิทธิภาพ เช่น ถ้าตลาดไฟฟ้ากำหนดให้มีการซื้อขายไฟฟ้าเป็นรายครึ่งชั่วโมง ISO ซึ่งเป็นผู้ทำการจัดสรรกำลังผลิตอาจประสบปัญหาในการจัดสรรกำลังผลิตไฟฟ้าเนื่องจากคอมพิวเตอร์อาจคำนวณผลเสร็จไม่ทันต่อความเปลี่ยนแปลงต่างๆ ที่อาจเกิดขึ้นในตลาดได้ และจะทำให้เกิดปัญหาในการจัดการและดำเนินงานตามมาอีกมากมาย ดังนั้น กฎเกณฑ์และเงื่อนไขข้อกำหนดในการจัดสรรกำลังผลิตไฟฟ้าในตลาดไฟฟ้าจะต้องเหมาะสมกับสภาพและความสามารถในการจัดการตลาดด้วย เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดปัญหากับการจัดสรรกำลังผลิต และต้องรักษาสภาพของการแข่งขันในตลาดเพื่อป้องกันการผูกขาดและความไม่เป็นธรรมที่อาจเกิดขึ้นได้

ในบทนี้จะทำการเสนอแบบจำลองในการจัดสรรกำลังผลิตไฟฟ้าในตลาดไฟฟ้าทั้งหมด 4 ชุด ซึ่งแบบจำลองแต่ละชุดมีความแตกต่างกันในส่วนของเงื่อนไขข้อจำกัดที่ใช้ในการจัดสรรกำลังผลิตไฟฟ้า

สำหรับตลาดไฟฟ้าที่กำหนดขึ้นในวิทยานิพนธ์นี้จะทำการจัดสรรกำลังผลิตพลังงานไฟฟ้าและบริการเสริมความมั่นคงของระบบไฟฟ้าอันประกอบด้วย การควบคุมการผลิตอัตโนมัติ (Automatic generation control – AGC) และกำลังผลิตพร้อมจ่าย(Contingency reserve)

4.1 การเสนอราคาประมูลขายไฟฟ้าในตลาดไฟฟ้า

ตลาดกลางซื้อขายไฟฟ้าที่จะเกิดขึ้นในประเทศไทย มีการเสนอขายไฟฟ้าในลักษณะของการแบ่งกำลังผลิตออกเป็นช่วง(Bid block)เช่นเดียวกับตลาดไฟฟ้าอื่นๆ ทั่วโลก เพื่อทำให้ง่ายต่อความเข้าใจ สมมติว่ามีการประมูลซื้อขายสินค้าในตลาดไฟฟ้า 2 ชนิดได้แก่ พลังงานไฟฟ้าและบริการเสริมความมั่นคงของระบบไฟฟ้า โดยตลาดกำหนดให้เสนอขายพลังงานไฟฟ้าได้ 3 ช่วงและเสนอขายบริการเสริมฯ ได้เพียง 1 ช่วงเท่านั้น ดังตารางที่ 4.1 ซึ่งแสดงข้อมูลการเสนอขายไฟฟ้าของผู้ผลิตไฟฟ้ารายหนึ่งที่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในครอบครองอยู่จำนวน M เครื่อง

ตารางที่ 4.1 ข้อมูลการเสนอขายไฟฟ้าของผู้ขายไฟฟ้ารายหนึ่งที่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจำนวน M เครื่องในความครอบครอง

เครื่อง	การเสนอขายพลังงานไฟฟ้า						บริการเสริมฯ		ขนาดกำลังผลิต (MW)	
	ช่วงเสนอที่ 1		ช่วงเสนอที่ 2		ช่วงเสนอที่ 3		ช่วงเสนอที่ 1			
	MW	$/MWh	MW	$/MWh	MW	$/MWh	MW	$/MWh	Pmin	Pmax
G(1)	5	-2.3	7	23	5	27	5	3.33	5	17
G(2)	80	-2.6	60	26	60	28	20	2.40	80	200
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
G(M-1)	200	-3.0	40	17	40	23	50	1.33	200	280
G(M)	50	-2.4	30	27	30	29	20	2.80	50	110

ในการเสนอขายไฟฟ้าของผู้ผลิตหรือผู้ขายไฟฟ้าให้กับตลาดกลางซื้อขายไฟฟ้านั้น จะต้องเสนอขายไฟฟ้าเป็นรายเครื่อง [1,21] ไม่สามารถเสนอขายในลักษณะกำลังผลิตรวมของทั้งโรงไฟฟ้า หรือกำลังผลิตของกลุ่มเครื่องกำเนิดไฟฟ้า หรือกำลังผลิตรวมทั้งหมดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ตนเองมีอยู่ได้ ทั้งนี้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของการแข่งขันในตลาดไฟฟ้าอีกทางหนึ่ง ถึงแม้ว่าเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละเครื่อง หรือโรงไฟฟ้าแต่ละโรง จะมีเจ้าของเป็นคนเดียวกันก็ต้องแข่งขันกันเพื่อให้แต่ละฝ่ายทำธุรกิจอยู่ได้ ดังนั้น ผู้ขายไฟฟ้าจึงต้องเสนอขายไฟฟ้าเป็นรายเครื่องไป ซึ่งแสดงได้ดังตารางที่ 4.1

เนื่องจากการศึกษาในวิทยานิพนธ์ใช้ข้อสมมติฐานว่า เครื่องกำเนิดไฟฟ้าทุกเครื่องต้องการได้รับการจัดสรรให้เดินเครื่อง ดังนั้น ในช่วงเสนอที่ 1 ของทุกเครื่องจึงได้เสนอราคาขายกำลังผลิตพลังงานไฟฟ้าเป็นค่าลบ(ตารางที่ 4.1) เพื่อให้แน่ใจได้ว่า เครื่องกำเนิดไฟฟ้าทุกเครื่องในระบบจะได้รับการจัดสรรให้ผลิตไฟฟ้า ซึ่งการเสนอขายกำลังผลิตในทางปฏิบัติจริงอาจไม่จำเป็นต้องเสนอราคาขายติดลบในช่วงที่ 1 ก็ได้ และจากกฎของตลาดกลางซื้อขายไฟฟ้าทั่วไปได้กำหนดให้ราคาเสนอขายกำลังผลิตในช่วงแรกจะต้องมีค่าต่ำกว่าช่วงที่อยู่ถัดไปเสมอ(Monotonically increase)

เนื่องจากตลาดกลางซื้อขายไฟฟ้ากำหนดให้มีการซื้อขายไฟฟ้าในลักษณะตลาดซื้อขายล่วงหน้า 1 วัน ถ้ามีการจัดสรรกำลังผลิตไฟฟ้าทุกๆ ครึ่งชั่วโมง จะมีช่วงเวลาซื้อขายเท่ากับ 48 ครั้งต่อวัน แต่ถ้าทำการจัดสรรทุกๆ 1 ชั่วโมง ก็จะมีช่วงเวลาซื้อขาย 24 ครั้งต่อวัน เหตุผลที่ให้ทำการซื้อขายล่วงหน้า 1 วัน ก็เพื่อให้ ISO สามารถควบคุมให้ตลาดและระบบไฟฟ้ามีเสถียรภาพและความมั่นคงในการจ่ายไฟฟ้าแต่ละชั่วโมง เพราะถ้าทำการซื้อขายกันเป็นรายชั่วโมงจะทำให้เกิดการผันผวนของราคาค่อนข้างมาก และ ISO จะมีปัญหากับการดูแลความมั่นคงของระบบผลิตและจ่ายไฟฟ้าโดยรวมได้

สำหรับตลาดกลางซื้อขายไฟฟ้าในอนาคตของประเทศไทยได้มีการกำหนดให้ช่วงเวลาในการซื้อขายไฟฟ้าแต่ละครั้งเท่ากับ 1 ชั่วโมง หรือกล่าวว่า ในหนึ่งวันจะมีช่วงเวลาซื้อขาย 24 ครั้งต่อวัน ดังนั้น ผู้ผลิตหรือผู้เสนอขายไฟฟ้าให้ตลาดจะต้องเสนอราคาขายไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละเครื่องตลอด 24 ชั่วโมงถัดไปให้กับตลาดไฟฟ้า หรือ ISO ดังแสดงในตารางที่ 4.3 (กำหนดให้ทั้งระบบมีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทั้งหมด N เครื่อง ในแต่ละชั่วโมงซื้อขายไฟฟ้า)

การจัดสรรกำลังผลิตไฟฟ้าด้วยแบบจำลองทั้ง 4 ชุดใช้รูปแบบการเสนอขายไฟฟ้า(Bidding strategy)เดียวกัน เพื่อจะได้สามารถนำผลการจัดสรรกำลังผลิตไฟฟ้ามาเปรียบเทียบและวิเคราะห์ผลต่างๆ ที่เกิดขึ้นได้

4.2 การพยากรณ์โหลด

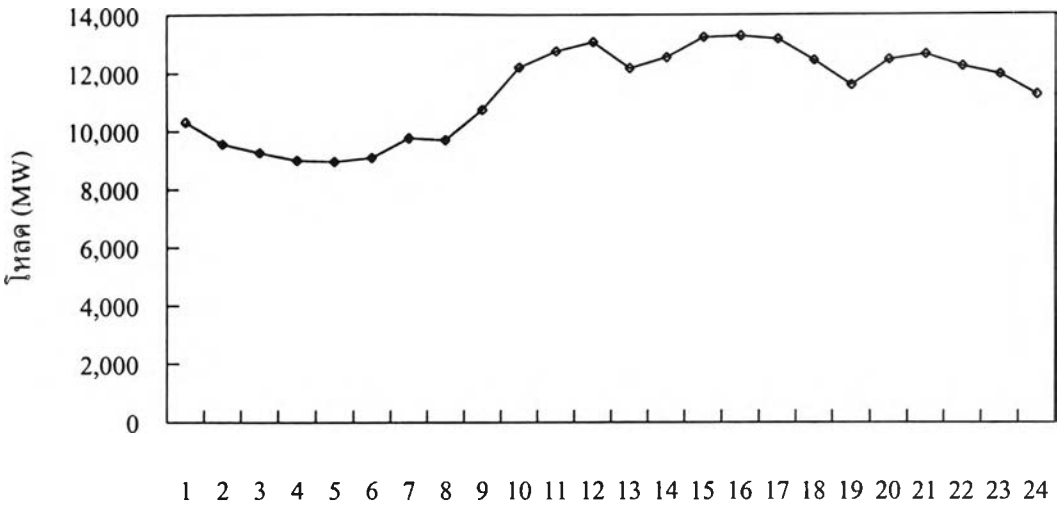
ในการจัดสรรกำลังการผลิตไฟฟ้าในตลาดซื้อขายล่วงหน้า 1 วันนั้น นอกจากจะ ISO จะต้องใช้ข้อมูลการเสนอขายไฟฟ้าล่วงหน้า 1 วันที่ได้รับจากผู้เสนอขายไฟฟ้าเพื่อคำนวณจัดสรรกำลังผลิตในแต่ละช่วงเวลาแล้ว ทาง ISO ยังจะต้องทำการพยากรณ์โหลด หรือโหลดในวันต่อไปเพื่อนำไปใช้ในกระบวนการคิดจัดสรรกำลังผลิตไฟฟ้าด้วย เนื่องจากตลาดไฟฟ้ายังทำหน้าที่เป็นตัว

กลางในการซื้อขายบริการเสริมความมั่นคงของระบบไฟฟ้า เช่น กำลังผลิตสำรองพร้อมจ่าย เป็นต้น ดังนั้น นอกเหนือจากการพยากรณ์โหลดของวันซื้อขายถัดไปแล้ว ISO ยังจะต้องทำการประเมินความต้องการบริการเสริมความมั่นคงฯ เพื่อให้ระบบมีเสถียรภาพ ความเชื่อถือได้ และความมั่นคงอีกด้วย

เนื่องจากวิทยานิพนธ์นี้ไม่ได้ศึกษาถึงการพยากรณ์โหลดและการประเมินค่ากำลังผลิตสำรองที่ทำให้ระบบมีความเชื่อได้ ดังนั้น ในวิทยานิพนธ์จึงได้นำข้อมูลโหลดที่การไฟฟ้าฝ่ายผลิตได้ทำการการพยากรณ์เมื่อเดือนเมษายน ปี พ.ศ. 2539 [23] มาใช้เป็นตัวอย่าง ตารางที่ 4.2 แสดงข้อมูลโหลดของประเทศไทยตลอด 24 ชั่วโมงที่ใช้ในวิทยานิพนธ์

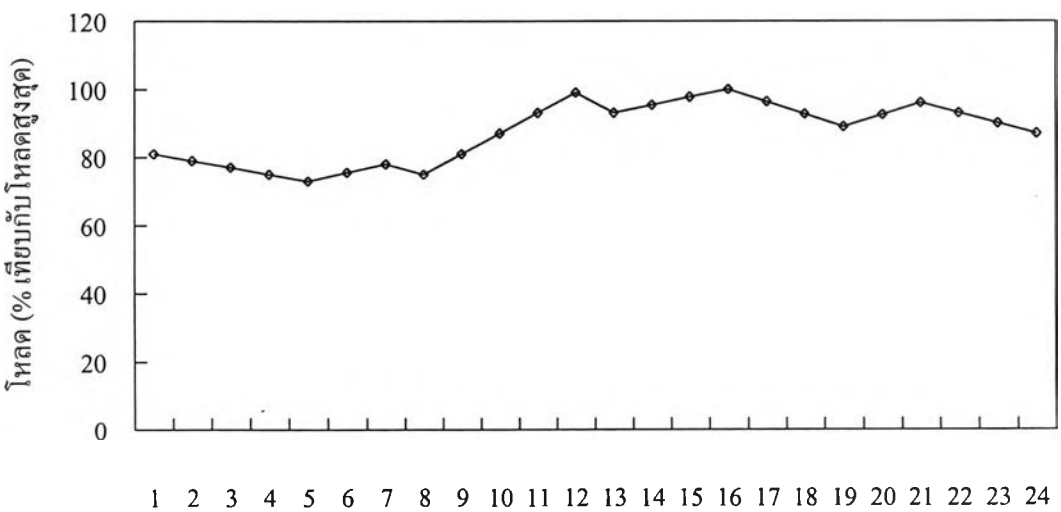
ตารางที่ 4.2 ข้อมูลโหลดของประเทศไทยตลอด 24 ชั่วโมง

ชั่วโมงที่	โหลด (kW)
1	10,314,400
2	9,552,400
3	9,259,100
4	8,991,500
5	8,945,800
6	9,079,900
7	9,751,000
8	9,686,700
9	10,743,600
10	12,200,300
11	12,749,400
12	13,059,300
13	12,162,400
14	12,535,400
15	13,229,100
16	13,276,100
17	13,164,100
18	12,427,600
19	11,569,500
20	12,446,600
21	12,628,900
22	12,213,600
23	11,937,500
24	11,245,700



รูปที่ 4.1 กราฟโหลดของประเทศไทยตลอด 24 ชั่วโมง

การจัดสรรกำลังผลิตไฟฟ้าด้วยแบบจำลองทั้ง 4 ชุดซึ่งมีเงื่อนไขแตกต่างกัน จำเป็นต้องใช้รูปแบบของโหลดที่เหมาะสมเพื่อให้สามารถวิเคราะห์ผลที่แตกต่างกันได้ชัดเจน ดังนั้น เพื่อให้ง่ายแก่การสร้างและปรับเปลี่ยนข้อมูลโหลดในการศึกษา จึงได้กำหนดรูปแบบของโหลดเสียใหม่โดยยังยึดรูปแบบของโหลดจริงของประเทศไทยเป็นต้นแบบ ข้อมูลโหลดและรูปแบบโหลดที่ใช้ในการศึกษาในวิทยานิพนธ์แสดงดังตารางที่ 4.3 และรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 กราฟโหลดตลอด 24 ชั่วโมงที่ใช้ในวิทยานิพนธ์

ตารางที่ 4.3 ข้อมูลโหลดที่ใช้ในวิทยานิพนธ์เทียบเป็นสัดส่วนกับโหลดสูงสุด

ชั่วโมงที่	% เทียบกับโหลดสูงสุดของระบบ
1	81
2	79
3	77
4	75
5	73
6	75.5
7	78
8	75
9	81
10	87
11	93
12	99
13	93
14	95.33
15	97.67
16	100
17	96.33
18	92.67
19	89
20	92.5
21	96
22	93
23	90
24	87

เนื่องจากวิทยานิพนธ์นี้ได้ทำการจัดสรรบริการเสริมความมั่นคงของระบบไฟฟ้าอันได้แก่ การควบคุมการผลิตอัตโนมัติและกำลังผลิตพร้อมจ่าย จึงกำหนดความต้องการบริการเสริมความมั่นคงฯ ทั้ง 2 ประเภทนี้เป็นสัดส่วนกับโหลด โดยกำหนดให้ความต้องการการควบคุมการผลิตอัตโนมัติและกำลังผลิตพร้อมจ่ายมีค่าเท่ากับ 5% และ 10% เมื่อเทียบกับโหลด

การจัดสรรกำลังผลิตไฟฟ้าด้วยแบบจำลองทั้ง 4 ชุดใช้ข้อมูลโหลดเดียวกัน เพื่อจะได้สามารถนำผลการจัดสรรกำลังผลิตไฟฟ้ามาเปรียบเทียบและวิเคราะห์ผลต่างๆ ที่เกิดขึ้นได้

4.3 แบบจำลองในการจัดสรรกำลังผลิตไฟฟ้า

การจัดสรรกำลังการผลิตไฟฟ้าด้วยวิธีโปรแกรมเชิงเส้น เป็นการคำนวณหาค่าต่ำสุดของฟังก์ชันวัตถุประสงค์(F(x))ที่แสดงถึงผลรวมของค่าใช้จ่ายสินค้าไฟฟ้าทั้งหมดของตลาด ซึ่งแสดงได้ดังสมการ (4.1) (คำอธิบายตัวแปรต่างๆ แสดงในหัวข้อ 3.9)

$$F(x) = \sum_{t=1}^{24} MC(t) \qquad .....(4.1)$$

$$MC(t) = EMC(t) + ASMC(t) \qquad .....(4.2)$$

$$EMC(t) = \{ \sum_{mi}^{N} \sum_{i}^{n} \sum_{j}^{m} \sum_{k}^{q} [BMW(mi,i,j=1,k,t)*BP(mi,i,j=1,k,t)] \} \qquad .....(4.3)$$

$$ASMC(t) = \{ \sum_{mi}^{N} \sum_{i}^{n} \sum_{j}^{m} \sum_{k}^{q} [BMW(mi,i,j\neq1,k,t)*BP(mi,i,j\neq1,k,t)] \} \qquad .....(4.4)$$

โดย $t = 1, 2, 3, \ldots, 23, 24$ (24 ชั่วโมง / 1 วัน)

MC คือ ผลรวมของค่าใช้จ่ายของพลังงานไฟฟ้า(Energy market cost - EMC) และค่าใช้จ่ายขอบริการเสริมความมั่นคง(Ancillary service market cost - ASMC)

เมื่อบริการเสริมความมั่นคงฯ ประกอบด้วยการควบคุมอัตโนมัติและกำลังผลิตพร้อมจ่าย จะได้ว่า

$$ASMC(t) = AGCMC(t) + CRMC(t) \qquad .....(4.5)$$

$$AGCMC(t) = \{ \sum_{mi}^{N} \sum_{i}^{n} \sum_{j}^{m} \sum_{k}^{q} [BMW(mi,i,j=2,k,t)*BP(mi,i,j=2,k,t)] \} \qquad .....(4.6)$$

$$CRMC(t) = \{ \sum_{mi}^{N} \sum_{i}^{n} \sum_{j}^{m} \sum_{k}^{q} [BMW(mi,i,j=3,k,t)*BP(mi,i,j=3,k,t)] \} \quad .....(4.7)$$

โดย AGCMC คือ ค่าใช้จ่ายของการควบคุมการผลิตอัตโนมัติ(AGC market cost – AGCMC)

CRMC คือ ค่าใช้จ่ายของกำลังผลิตพร้อมจ่าย(Contingency reserve market cost – CRMC)

วิธีโปรแกรมเชิงเส้นจะคำนวณเลือกจุดคำตอบ(กำลังผลิต MW ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละเครื่องในระบบ)ที่ทำให้ระบบมีค่าใช้จ่ายต่ำที่สุด ซึ่งก็หมายถึง การเลือกผลคำตอบที่ทำให้ผลรวมของค่า MC หรือค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ต่ำที่สุดนั่นเอง

เนื่องจากแบบจำลองที่ใช้เป็นการจัดสรรกำลังผลิตไฟฟ้าล่วงหน้า 1 วัน ทำให้การคิดค่าใช้จ่ายในการผลิตไฟฟ้าของตลาดต้องคิดค่าใช้จ่ายสินค้าไฟฟ้ารวมทั้งวันของตลาด ดังนั้น ค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของโปรแกรมเชิงเส้นในการจัดสรรกำลังผลิตไฟฟ้าจึงเป็นผลรวมของ MC ในแต่ละชั่วโมงเข้าด้วยกัน กล่าวคือ วิธีโปรแกรมเชิงเส้นจะคำนวณหาจุดทำงานของระบบที่ทำให้ระบบมีค่าใช้จ่ายรวมทั้งหมดต่ำสุด โดยจุดคำตอบของระบบต้องอยู่ภายในขอบเขตหรือพื้นที่คำตอบที่เป็นไปได้ ซึ่งกำหนดโดยเงื่อนไขข้อจำกัดต่างๆ ที่สามารถแปลงให้อยู่ในรูปสมการทางคณิตศาสตร์ของโปรแกรมเชิงเส้น (หัวข้อ 3.10)

ภาพรวมของโปรแกรมเชิงเส้นที่ใช้ในวิทยานิพนธ์ประกอบด้วยสมการต่างๆ ดังนี้

$$\text{Min } F(x) \quad .....(4.8)$$

$$\text{Subject to} \quad bl \leq Ax \leq bu \quad .....(4.9)$$

$$l \leq x \leq u \quad .....(4.10)$$

ค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของโปรแกรมเชิงเส้นกำหนดได้ดังต่อไปนี้

$$F(x) = c^T x \quad .....(4.11)$$

$$x = [x_{1,1,1,1} \dots x_{1,1,j,k}\ x_{1,2,1,1} \dots x_{1,2,j,k} \dots\dots x_{1,24,j,k}\ x_{2,1,1,1} \dots x_{i,h,j,k} \dots\dots x_{i,24,j,k}]^T \quad .....(4.12)$$

$$c = [c_{1,1,1,1} \dots c_{1,1,j,k}\ c_{1,2,1,1} \dots c_{1,2,j,k} \dots\dots c_{1,24,j,k}\ c_{2,1,1,1} \dots c_{i,h,j,k} \dots\dots c_{i,24,j,k}]^T \quad .....(4.13)$$

โดย $x_{i,h,j,k}$ คือ จำนวน MW ของสินค้าประเภท i ช่วงเสนอที่ k เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ j ชั่วโมงที่ h

i คือ ประเภทของสินค้าที่ขายในตลาดไฟฟ้า (i=1 คือพลังงานไฟฟ้า i=2 คือการควบคุมการผลิตอัตโนมัติ และ i=3 คือกำลังผลิตพร้อมจ่าย)

$c_{i,h,j,k}$ คือ ราคาเสนอขายของสินค้าประเภท i ช่วงเสนอที่ k เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ j ชั่วโมงที่ h

กรณีการจัดสรรกำลังผลิตพลังงานไฟฟ้าและกำลังผลิตพร้อมจ่าย

$$\text{Min } c^T x \qquad \text{โดย } i = 1 \text{ และ } 3 \qquad .....(4.14)$$

กรณีการจัดสรรกำลังผลิตพลังงานไฟฟ้า การควบคุมการผลิตอัตโนมัติ และกำลังผลิตพร้อมจ่าย

$$\text{Min } c^T x \qquad \text{โดย } i = 1, 2 \text{ และ } 3 \qquad .....(4.15)$$

การจัดสรรกำลังผลิตไฟฟ้าในวิทยานิพนธ์กำหนดให้มีการเสนอขายสินค้าไฟฟ้าทั้งหมด 3 ชนิดได้แก่ พลังงานไฟฟ้า การควบคุมการผลิตอัตโนมัติ และกำลังผลิตพร้อมจ่าย โดยให้มีการเสนอขายกำลังผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ 3 ช่วง กำลังผลิตการควบคุมการผลิตอัตโนมัติและกำลังผลิตพร้อมจ่ายได้ชนิดละ 1 ช่วง และเมื่อทำการจัดสรรกำลังผลิตล่วงหน้า 1 วัน จึงสามารถกำหนดขอบเขตของตัวแปรได้ดังนี้

i คือ ประเภทของสินค้าที่ขายในตลาดไฟฟ้า (i=1 คือพลังงานไฟฟ้า i=2 คือการควบคุมการผลิตอัตโนมัติ และ i=3 คือกำลังผลิตพร้อมจ่าย)

h คือ ชั่วโมงการซื้อขายไฟฟ้า ดังนั้น h = 1, 2, 3, … , 24 (24 ชั่วโมง / 1 วัน)

j คือ ลำดับที่ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่เสนอขายไฟฟ้าในตลาด

k คือ ช่วงเสนอขายกำลังผลิตของสินค้าไฟฟ้าแต่ละชนิด โดย ถ้า i=1 แล้ว k=1, 2, 3 แต่ถ้า i=2 หรือ 3 แล้ว k=1

ส่วนเมทริกซ์ A bl และ bu ของโปรแกรมเชิงเส้นสามารถกำหนดได้จากสัมประสิทธิ์ของตัวแปร x และค่าคงที่ในสมการเงื่อนไขการจัดสรรกำลังผลิตดังต่อไปนี้ (ดูหัวข้อ 3.10 ประกอบ) สมมติให้ตลาดไฟฟ้ามีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเสนอขายกำลังผลิตจำนวนทั้งหมด N เครื่อง

เงื่อนไขความพอเพียงในการจ่ายโหลดของระบบ

$$\sum_{h=1}^{24}\sum_{j=1}^{N}\sum_{k=1}^{3} x_{1,h,j,k} = \text{โหลดของระบบ} \qquad .....(4.16)$$

เงื่อนไขความพอเพียงของการควบคุมการผลิตอัตโนมัติของระบบ(AGC_{sys})

$$\sum_{h=1}^{24}\sum_{j=1}^{N}\sum_{k=1}^{1} x_{2,h,j,k} \geq AGC_{sys} \qquad .....(4.17)$$

เงื่อนไขความพอเพียงของกำลังผลิตพร้อมจ่ายของระบบ

$$\sum_{h=1}^{24}\sum_{j=1}^{N}\sum_{k=1}^{1} x_{3,h,j,k} \geq \text{กำลังผลิตพร้อมจ่ายของระบบ} \qquad .....(4.18)$$

เงื่อนไขข้อจำกัดด้านกำลังผลิตสูงสุดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

กรณีจัดสรรกำลังผลิตพลังงานไฟฟ้าและกำลังผลิตพร้อมจ่าย

$$\sum_{i=1}^{2}\sum_{k=1}^{k} x_{i,h,j,k} \leq P_{max,j,h} \qquad .....(4.19)$$

กรณีจัดสรรกำลังผลิตพลังงานไฟฟ้า การควบคุมการผลิตอัตโนมัติ และกำลังผลิตพร้อมจ่าย

$$\sum_{i=1}^{3}\sum_{k=1}^{k} x_{i,h,j,k} \leq P_{max,j,h} \qquad .....(4.20)$$

โดย k คือ ช่วงเสนอขายกำลังผลิตของสินค้าไฟฟ้าแต่ละชนิด โดย ถ้า i=1 แล้ว k=1, 2, 3 แต่ถ้า i=2 หรือ 3 แล้ว k=1

j คือ ลำดับที่ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่เสนอขายไฟฟ้าในตลาด ได้แก่ 1, 2, 3, … , N

h คือ ชั่วโมงการซื้อขายไฟฟ้า ดังนั้น h = 1, 2, 3, … , 24 (24 ชั่วโมง / 1 วัน)

$P_{max,j,h}$ คือ กำลังผลิตสูงสุดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ j ในชั่วโมงที่ h

พิจารณาเงื่อนไขอัตราการเปลี่ยนแปลงระดับกำลังผลิตระหว่างชั่วโมงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

$$\sum_{k=1}^{3} x_{1,h+1,j,k} - \sum_{k=1}^{3} x_{1,h,j,k} \leq UpRR_{h,j} \quad \text{.....(4.21)}$$

$$\sum_{k=1}^{3} x_{1,h,j,k} - \sum_{k=1}^{3} x_{1,h+1,j,k} \leq DnRR_{h,j} \quad \text{.....(4.22)}$$

โดย $UpRR_{h,j}$ คือ อัตราการเพิ่มระดับกำลังผลิตสูงสุดของเครื่องที่ j ในชั่วโมงที่ h

$DnRR_{h,j}$ คือ อัตราการลดระดับกำลังผลิตสูงสุดของเครื่องที่ j ในชั่วโมงที่ h

j คือ ลำดับที่ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่เสนอขายไฟฟ้าในตลาด ได้แก่ 1, 2, 3, … , N

h คือ ชั่วโมงการซื้อขายไฟฟ้า ดังนั้น h = 1, 2, 3, … , 24 (24 ชั่วโมง / 1 วัน)

เงื่อนไขความสัมพันธ์ระหว่างกำลังผลิตพลังงานไฟฟ้าและการควบคุมการผลิตอัตโนมัติ

$$\sum_{k=1}^{1} x_{2,h,j,k} \leq \text{การควบคุมการผลิตอัตโนมัติ}_{max,h,j} \quad \text{.....(4.23)}$$

$$m_i(\sum_{k=1}^{3} x_{1,h,j,k}) + \sum_{k=1}^{1} x_{2,h,j,k} \leq C_i \quad \text{.....(4.24)}$$

โดย การควบคุมการผลิตอัตโนมัติ$_{max,h,j}$ คือ MW สูงสุดของการควบคุมการผลิตอัตโนมัติของเครื่องที่ j ในชั่วโมงที่ h

m_j คือ ค่าความชันของเส้นตรงที่ใช้กำหนดความสัมพันธ์ของเครื่องที่ j (หัวข้อ 4.6)

C_j คือ ค่าคงที่เฉพาะของเส้นตรงที่ใช้กำหนดความสัมพันธ์ของเครื่องที่ j (หัวข้อ 4.6)

j คือ ลำดับที่ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่เสนอขายไฟฟ้าในตลาด ได้แก่ 1, 2, 3, … , N

h คือ ชั่วโมงการซื้อขายไฟฟ้า ดังนั้น h = 1, 2, 3, … , 24 (24 ชั่วโมง / 1 วัน)

เงื่อนไขความสัมพันธ์ระหว่างกำลังผลิตพลังงานไฟฟ้าและกำลังผลิตพร้อมจ่าย

$$\sum_{k=1}^{1} x_{3,h,j,k} \leq \text{กำลังผลิตพร้อมจ่าย}_{max,h,j} \quad \text{.....(4.25)}$$

$$m_j(\sum_{k=1}^{3} x_{1,h,j,k}) + \sum_{k=1}^{1} x_{3,h,j,k} \leq C_j \quad \text{.....(4.26)}$$

โดย กำลังผลิตพร้อมจ่าย$_{max,h,j}$ คือ MW สูงสุดของกำลังผลิตพร้อมจ่ายของเครื่องที่ j ชั่วโมงที่ h

m_j คือ ค่าความชันของเส้นตรงที่ใช้กำหนดความสัมพันธ์ของเครื่องที่ j (หัวข้อ 4.6)

C_j คือ ค่าคงที่เฉพาะของเส้นตรงที่ใช้กำหนดความสัมพันธ์ของเครื่องที่ j (หัวข้อ 4.6)

j คือ ลำดับที่ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่เสนอขายไฟฟ้าในตลาด ได้แก่ 1, 2, 3, … , N

h คือ ชั่วโมงการซื้อขายไฟฟ้า ดังนั้น h = 1, 2, 3, … , 24 (24 ชั่วโมง / 1 วัน)

เมทริกซ์ l และ u ของโปรแกรมเชิงเส้นสามารถกำหนดได้จากสัมประสิทธิ์ของตัวแปร x และค่าคงที่ในสมการเงื่อนไขกำลังผลิตแต่ละช่วงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่เสนอขายให้ตลาดดังนี้

$$0 \leq x_{i,h,j,k} \leq BMW^{max}(i,h,j,k) \qquad \text{.....(4.27)}$$

โดย $BMW^{max}(i,h,j,k)$ คือ กำลังผลิตสินค้าไฟฟ้าชนิดที่ i ช่วงที่ k เครื่องที่ j เสนอขายให้ตลาดในชั่วโมงที่ h

i คือ ประเภทของสินค้าที่ขายในตลาดไฟฟ้า (i=1 คือพลังงานไฟฟ้า i=2 คือการควบคุมการผลิตอัตโนมัติ และ i=3 คือกำลังผลิตพร้อมจ่าย)

h คือ ชั่วโมงการซื้อขายไฟฟ้า ดังนั้น h = 1, 2, 3, … , 24 (24 ชั่วโมง / 1 วัน)

j คือ ลำดับที่ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่เสนอขายไฟฟ้าในตลาด ได้แก่ 1, 2, 3, … , N

k คือ ช่วงเสนอขายกำลังผลิตของสินค้าไฟฟ้าแต่ละชนิด โดย ถ้า i=1 แล้ว k=1, 2, 3 แต่ถ้า i=2 หรือ 3 แล้ว k=1

จากสมการ (4.27) จะได้

$$l = [l_{1,1,1,1} \dots l_{1,1,j,k}\ l_{1,2,1,1} \dots l_{1,2,j,k} \dots l_{1,24,j,k}\ l_{2,1,1,1} \dots l_{i,h,j,k} \dots l_{i,24,j,k}]^T \qquad \text{.....(4. 28)}$$

$$u = [u_{1,1,1,1} \dots u_{1,1,j,k}\ u_{1,2,1,1} \dots u_{1,2,j,k} \dots u_{1,24,j,k}\ u_{2,1,1,1} \dots u_{i,h,j,k} \dots u_{i,24,j,k}]^T \qquad \text{.....(4. 29)}$$

โดย $l_{i,h,j,k} = 0$ และ $u_{i,h,j,k} = BMW^{max}(i,h,j,k)$

i คือ ประเภทของสินค้าที่ขายในตลาดไฟฟ้า (i=1 คือพลังงานไฟฟ้า i=2 คือการควบคุมการผลิตอัตโนมัติ และ i=3 คือกำลังผลิตพร้อมจ่าย)

h คือ ชั่วโมงการซื้อขายไฟฟ้า ดังนั้น h = 1, 2, 3, … , 24 (24 ชั่วโมง / 1 วัน)

j คือ ลำดับที่ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่เสนอขายไฟฟ้าในตลาด ได้แก่ 1, 2, 3, … , N

k คือ ช่วงเสนอขายกำลังผลิตของสินค้าไฟฟ้าแต่ละชนิด โดย ถ้า i=1 แล้ว k=1, 2, 3 แต่ถ้า i=2 หรือ 3 แล้ว k=1

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ทำการสร้างแบบจำลองขึ้น 4 ชุด แต่ละชุดนั้นจะใช้ฟังก์ชันวัตถุประสงค์อันเดียวกัน แต่จะแตกต่างกันที่เงื่อนไขข้อจำกัดที่ใช้ในการจัดสรรกำลังการผลิตไฟฟ้า นั่นหมายถึง แบบจำลองแต่ละชุดจะมีเมตริกซ์ A ที่แตกต่างกัน ทั้งนี้เพื่อการนำผลการจัดสรรกำลังผลิตของแบบจำลองทั้ง 4 ชุดมาวิเคราะห์เปรียบเทียบถึงผลกระทบและความหมายของเงื่อนไขการจัดสรรกำลังผลิตแต่ละเงื่อนไข อันจะเป็นประโยชน์ต่อการพิจารณานำเงื่อนไขต่างๆ เหล่านั้นไปใช้ในตลาดไฟฟ้าของไทยในอนาคตต่อไป

4.4 แบบจำลองชุดที่ 1

แบบจำลองชุดที่ 1 เป็นแบบจำลองการจัดสรรกำลังผลิตขั้นพื้นฐาน กล่าวคือ เนื่องจากโปรแกรมเชิงเส้นจะพิจารณาเฉพาะเงื่อนไขพื้นฐานเบื้องต้นของการจัดสรรกำลังผลิต ดังนั้น จึงสามารถนำผลการจัดสรรกำลังผลิตด้วยแบบจำลองชุดที่ 1 ที่ได้ไปใช้เปรียบเทียบผลการจัดสรรกำลังผลิตด้วยแบบจำลองชุดที่ 2 ถึง 4 เพื่อวิเคราะห์ถึงผลกระทบและความหมายของเงื่อนไขในแบบจำลองชุดที่ 2 ถึง 4 ซึ่งไม่ได้พิจารณาในแบบจำลองชุดที่ 1 นี้

โปรแกรมเชิงเส้นของแบบจำลองชุดที่ 1 อธิบายได้ดังนี้

จากสมการ (4.8) ถึง (4.10) เขียนได้ว่า

$$\text{Min } F(x) \quad \text{s.t. } bl \leq Ax \leq bu\,,\, l \leq x \leq u$$

การกำหนดฟังก์ชันวัตถุประสงค์

1. กรณีการจัดสรรกำลังผลิตพลังงานไฟฟ้าและกำลังผลิตพร้อมจ่าย ใช้สมการ (4.12) (4.13) และ (4.14)
2. กรณีการจัดสรรกำลังผลิตพลังงานไฟฟ้า การควบคุมการผลิตอัตโนมัติ และกำลังผลิตพร้อมจ่าย ใช้สมการ (4.12) (4.13) และ (4.15)

การกำหนดเมทริกซ์ A , bl และ bu ตามลำดับ

1. ใช้เงื่อนไขความพอเพียงในการจ่ายโหลดของระบบ ดังสมการ (4.16)

2. ใช้เงื่อนไขความพอเพียงของการควบคุมการผลิตอัตโนมัติของระบบ ดังสมการ (4.17) (ใช้เฉพาะกรณีการจัดสรรกำลังผลิตพลังงานไฟฟ้า การควบคุมการผลิตอัตโนมัติ และกำลังผลิตพร้อมจ่าย)
3. ใช้เงื่อนไขความพอเพียงของกำลังผลิตพร้อมจ่ายของระบบ ดังสมการ (4.18)
4. ใช้เงื่อนไขข้อจำกัดด้านกำลังผลิตสูงสุดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ดังสมการ (4.19) หรือ (4.20)

การกำหนดเมทริกซ์ l และ u

ใช้เงื่อนไขกำลังผลิตแต่ละช่วงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่เสนอขายให้ตลาด ดังสมการ (4.27) (4.28) และ (4.29) ตามลำดับ

4.5 แบบจำลองชุดที่ 2

แบบจำลองชุดที่ 2 เป็นการเพิ่มเติมเงื่อนไขจากแบบจำลองชุดที่ 1 นั่นคือเงื่อนไขอัตราการเปลี่ยนแปลงระดับกำลังผลิตระหว่างชั่วโมงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า(Ramp rate) ทั้งนี้เพราะแบบจำลองชุดที่ 1 เป็นการจัดสรรกำลังผลิตบนสมมติฐานว่า การจัดสรรกำลังผลิตในแต่ละช่วงเวลาเป็นอิสระต่อกัน กำลังผลิตที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าได้รับจัดสรรในแต่ละช่วงเวลาไม่มีความเชื่อมโยงกัน โดยไม่สนใจว่าเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะสามารถตอบสนองต่อการเปลี่ยนระดับกำลังผลิตไฟฟ้าตามผลการจัดสรรของตลาดได้หรือไม่

ตัวอย่างเช่น เครื่องกำเนิดไฟฟ้ามี ramp rate เท่ากับ 20 MW/ชั่วโมง ผลการจัดสรรกำลังผลิตไฟฟ้าด้วยแบบจำลองที่ 1 อาจกำหนดให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องนี้ผลิตไฟฟ้าจ่ายเข้าสู่ระบบในชั่วโมงที่ 1 จำนวน 100 MW และชั่วโมงที่ 2 จำนวน 140 MW ซึ่งจะพบว่า ในทางปฏิบัติแล้วเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องนี้ไม่สามารถผลิตไฟฟ้าตามที่ได้รับการจัดสรรดังกล่าว เนื่องจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะต้องเพิ่มกำลังการผลิตถึง 40 MW ภายใน 1 ชั่วโมง ซึ่งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องนี้สามารถเพิ่มกำลังผลิตได้สูงสุดเพียง 20 MW ภายใน 1 ชั่วโมงเท่านั้น ดังนั้น การจัดสรรกำลังผลิตไฟฟ้าด้วยแบบจำลองชุดที่ 2 นี้ เพื่อป้องกันไม่ให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าได้รับการจัดสรรให้ผลิตไฟฟ้าในแต่ละชั่วโมงเกินขีดความสามารถที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะทำงานได้จริง

เนื่องจากค่า ramp rate เป็นค่าเฉพาะของแต่ละเครื่องกำเนิดไฟฟ้า และวิทยานิพนธ์นี้ได้ทำการสร้างแบบจำลองระบบไฟฟ้าที่ใช้ในการคำนวณจัดสรรกำลังผลิตไฟฟ้าขึ้นเอง ดังนั้น การคำนวณในวิทยานิพนธ์นี้จึงใช้วิธีการประเมิน ramp rate ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ด้วยการคิดให้

ramp rate เป็นสัดส่วนโดยตรงกับกำลังผลิตสูงสุดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เช่น ถ้าเครื่องกำเนิดไฟฟ้ามีกำลังผลิตสูงสุดเท่ากับ 100 MW การศึกษาอาจกำหนดค่า ramp rate เท่ากับ 10 เปอร์เซ็นต์ของ 100 MW หรือเท่ากับ 10 MW นั่นเอง

ในวิทยานิพนธ์ได้ทำการศึกษาตลาดไฟฟ้าซื้อขายล่วงหน้า 1 วัน โดยคำนวณจัดสรรกำลังผลิตเป็นรายชั่วโมงทั้งหมด 24 ชั่วโมง ดังนั้น จึงกำหนดให้ ramp rate ที่ใช้ในแบบจำลองมีหน่วยเป็น MW ต่อชั่วโมง(MW/hr) กล่าวคือ เป็นความสามารถในการเปลี่ยนระดับกำลังผลิตหนึ่งจากชั่วโมงหนึ่งไปยังอีกระดับกำลังผลิตหนึ่งในชั่วโมงถัดไป

โปรแกรมเชิงเส้นของแบบจำลองชุดที่ 2 อธิบายได้ดังนี้

จากสมการ (4.8) ถึง (4.10) เขียนได้ว่า

$$\text{Min } F(x) \quad \text{s.t. } bl \leq Ax \leq bu \,, l \leq x \leq u$$

การกำหนดฟังก์ชันวัตถุประสงค์

1. กรณีการจัดสรรกำลังผลิตพลังงานไฟฟ้าและกำลังผลิตพร้อมจ่าย ใช้สมการ (4.12) (4.13) และ (4.14)
2. กรณีการจัดสรรกำลังผลิตพลังงานไฟฟ้า การควบคุมการผลิตอัตโนมัติ และกำลังผลิตพร้อมจ่าย ใช้สมการ (4.12) (4.13) และ (4.15)

การกำหนดเมทริกซ์ A , bl และ bu ตามลำดับ

1. ใช้เงื่อนไขความพอเพียงในการจ่ายโหลดของระบบ ดังสมการ (4.16)
2. ใช้เงื่อนไขความพอเพียงของการควบคุมการผลิตอัตโนมัติของระบบ ดังสมการ (4.17) (ใช้เฉพาะกรณีการจัดสรรกำลังผลิตพลังงานไฟฟ้า การควบคุมการผลิตอัตโนมัติ และกำลังผลิตพร้อมจ่าย)
3. ใช้เงื่อนไขความพอเพียงของกำลังผลิตพร้อมจ่ายของระบบ ดังสมการ (4.18)
4. ใช้เงื่อนไขข้อจำกัดด้านกำลังผลิตสูงสุดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ดังสมการ (4.19) หรือ (4.20)
5. ใช้เงื่อนไขอัตราการเปลี่ยนแปลงระดับกำลังผลิตระหว่างชั่วโมงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ดังสมการ (4.21) และ (4.22)

การกำหนดเมทริกซ์ I และ u

ใช้เงื่อนไขกำลังผลิตแต่ละช่วงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่เสนอขายให้ตลาด ดังสมการ (4.27) (4.28) และ (4.29) ตามลำดับ

4.6 แบบจำลองชุดที่ 3

แบบจำลองชุดที่ 3 เป็นการเพิ่มเติมเงื่อนไขจากแบบจำลองชุดที่ 1 นั่นคือความสัมพันธ์ระหว่างกำลังผลิตพลังงานไฟฟ้าและบริการเสริมความมั่นคงของระบบไฟฟ้า เงื่อนไขดังกล่าวหมายความว่า ถ้าเครื่องกำเนิดไฟฟ้าได้รับการจัดสรรให้ทำหน้าที่เป็นบริการเสริมความมั่นคงฯ แล้ว เครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะไม่สามารถผลิตไฟฟ้าได้เต็มกำลังผลิตสูงสุดของเครื่อง เพราะต้องเตรียมกำลังผลิตส่วนที่เหลือให้เท่ากับกำลังผลิตบริการเสริมความมั่นคงฯ ที่ได้รับการจัดสรร

โดยหลักการแล้ว เงื่อนไขดังกล่าวหมายถึงความสามารถในการเปลี่ยนระดับกำลังผลิตไฟฟ้าภายในช่วงเวลาหนึ่ง โดยแบบจำลองที่ 2 นั้น เงื่อนไข ramp rate ที่ใช้หมายถึงการเปลี่ยนระดับกำลังผลิตระหว่างชั่วโมง แต่เมื่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าได้รับการจัดสรรให้ทำหน้าที่ผลิตพลังงานไฟฟ้าและทำหน้าที่บริการเสริมความมั่นคงฯ ซึ่งบริการเสริมฯ ดังกล่าวนี้ไม่ได้ผลิตไฟฟ้าในยามที่ระบบมีพลังงานไฟฟ้าเพียงพอต่อโหลด แต่จะถูกสั่งให้ทำการผลิตไฟฟ้าเมื่อโหลดของระบบมีค่ามากกว่ากำลังผลิตพลังงานไฟฟ้าในขณะนั้น ดังนั้น ความสามารถในการทำหน้าที่บริการเสริมฯ จึงมีความคล้ายคลึงกับอัตราการเปลี่ยนแปลงกำลังผลิตในแบบจำลองชุดที่ 2 เพียงแต่อัตราการเปลี่ยนแปลงกำลังผลิตในแบบจำลองชุดที่ 3 เป็นการเปลี่ยนระดับกำลังผลิตภายในระยะเวลาที่กำหนด เช่น ภายใน 5 นาทีสำหรับการเป็นการควบคุมการผลิตอัตโนมัติ และภายใน 10 นาที สำหรับการเป็นกำลังผลิตพร้อมจ่าย เป็นต้น

ตัวอย่างเช่น สมมติเครื่องกำเนิดไฟฟ้ามีขนาดกำลังผลิต 100 MW และสามารถเปลี่ยนระดับกำลังผลิตได้ 2 MW ต่อนาที หากกำหนดให้บริการเสริมฯ จะต้องเปลี่ยนระดับกำลังผลิตภายใน 5 นาที เครื่องกำเนิดไฟฟ้า เครื่องนี้จะสามารถทำหน้าที่บริการเสริมฯ ได้สูงสุดเพียง 10 MW ถ้าเครื่องกำเนิดไฟฟ้าได้รับการจัดสรรให้จ่ายพลังงานไฟฟ้า 50 MW แล้ว แม้ว่าเครื่องจะมีกำลังผลิตเหลือถึง 50 MW แต่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าไม่สามารถเป็นบริการเสริมความมั่นคงฯ ได้ถึง 50 MW เพราะเครื่องกำเนิดไฟฟ้าไม่สามารถเพิ่มระดับกำลังผลิตไฟฟ้าได้ถึง 50 MW ภายใน 5 นาที(ตามข้อกำหนดของการเป็นบริการเสริมความมั่นคงฯ) แต่จะเป็นบริการเสริมฯ ได้เพียง 10 MW เท่านั้น ดังนั้น การจัดสรรกำลังผลิตไฟฟ้าด้วยแบบจำลองชุดที่ 3 นี้ เพื่อป้องกันไม่ให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าได้รับการจัดสรรให้ผลิตไฟฟ้าในแต่ละชั่วโมงเกินขีดความสามารถที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะทำงานได้จริง

โปรแกรมเชิงเส้นของแบบจำลองชุดที่ 3 อธิบายได้ดังนี้

จากสมการ (4.8) ถึง (4.10) เขียนได้ว่า

$$\text{Min } F(x) \quad \text{s.t. } bl \leq Ax \leq bu\,,\, l \leq x \leq u$$

การกำหนดฟังก์ชันวัตถุประสงค์

1. กรณีการจัดสรรกำลังผลิตพลังงานไฟฟ้าและกำลังผลิตพร้อมจ่าย ใช้สมการ (4.12) (4.13) และ (4.14)
2. กรณีการจัดสรรกำลังผลิตพลังงานไฟฟ้า การควบคุมการผลิตอัตโนมัติ และกำลังผลิตพร้อมจ่าย ใช้สมการ (4.12) (4.13) และ (4.15)

การกำหนดเมทริกซ์ A , bl และ bu ตามลำดับ

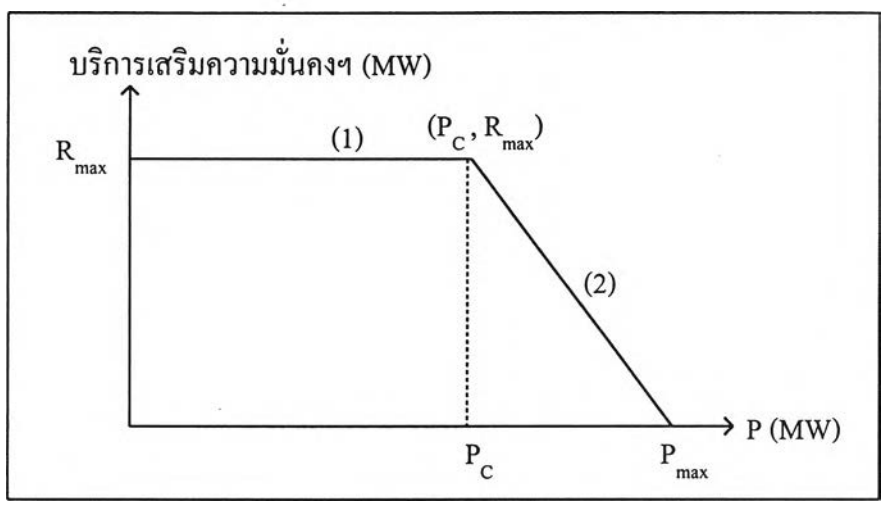
1. ใช้เงื่อนไขความพอเพียงในการจ่ายโหลดของระบบ ดังสมการ (4.16)
2. ใช้เงื่อนไขความพอเพียงของการควบคุมการผลิตอัตโนมัติของระบบ ดังสมการ (4.17) (ใช้เฉพาะกรณีการจัดสรรกำลังผลิตพลังงานไฟฟ้า การควบคุมการผลิตอัตโนมัติ และกำลังผลิตพร้อมจ่าย)
3. ใช้เงื่อนไขความพอเพียงของกำลังผลิตพร้อมจ่ายของระบบ ดังสมการ (4.18)
4. ใช้เงื่อนไขข้อจำกัดด้านกำลังผลิตสูงสุดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ดังสมการ (4.19) หรือ (4.20)
5. ใช้เงื่อนไขความสัมพันธ์ระหว่างกำลังผลิตพลังงานไฟฟ้าและบริการเสริมความมั่นคงของระบบไฟฟ้า ดังสมการ (4.23) ถึง (4.26)

การกำหนดเมทริกซ์ l และ u

ใช้เงื่อนไขกำลังผลิตแต่ละช่วงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่เสนอขายให้ตลาด ดังสมการ (4.27) (4.28) และ (4.29) ตามลำดับ

พิจารณาสมการ (4.24) หรือ (4.26) ค่า m_j และ C_j ของความสัมพันธ์ระหว่างกำลังผลิตพลังงานไฟฟ้าและบริการเสริมฯ สามารถคำนวณได้ด้วยวิธีดังต่อไปนี้

พิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างกำลังผลิตพลังงานไฟฟ้าและการควบคุมอัตโนมัติ หรือระหว่างกำลังผลิตพลังงานไฟฟ้าและกำลังผลิตพร้อมจ่าย ดังรูปที่ 3.3 หรือ 3.4 ตามลำดับ(หัวข้อ 3.9.5) ความสัมพันธ์ดังกล่าวสามารถเขียนเป็นสมการคณิตศาสตร์ได้ พิจารณารูปที่ 4.3 เงื่อนไขความสัมพันธ์ระหว่างกำลังผลิตพลังงานไฟฟ้าและบริการเสริมความมั่นคงฯ จะกำหนดให้จุดทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า หรือคำตอบของโปรแกรมเชิงเส้นต้องอยู่ภายในพื้นรูปปิดสี่เหลี่ยมคางหมู ซึ่งกำหนดได้จากเส้นตรง 3 เส้น ได้แก่ (1) และ (2) [5]



รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังผลิตพลังงานไฟฟ้าและบริการเสริมความมั่นคงฯ

เส้นตรง (1) คือ เงื่อนไขที่กำลังผลิตบริการเสริมฯ ที่เครื่องจะได้รับจัดสรรจะต้องไม่มากกว่ากำลังผลิตที่เครื่องได้เสนอขายให้ตลาดดังสมการ (4.23) หรือ (4.25) ส่วนเส้นตรง (2) สามารถเขียนเป็นสมการเส้นตรงทางคณิตศาสตร์ได้ดังนี้

$$R_j(h) + m_j(h)P_j(h) \leq C_j(h) \qquad .....(4.30)$$

จากสมการ (4.24) หรือ (4.26) จะได้ว่า

$$R_j(h) = \sum_{k=1}^{k} x_{i,h,j,k} \qquad (i=2 \text{ หรือ } i=3) \qquad .....(4.31)$$

$$P_j(h) = \sum_{k=1}^{k} x_{1,h,j,k} \qquad .....(4.32)$$

โดย $R_j(h)$ คือ กำลังผลิตบริการเสริมความมั่นคงฯ ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ j ชั่วโมงที่ h

$P_j(h)$ คือ กำลังผลิตพลังงานไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ j ชั่วโมงที่ h

$m_j(h)$ คือ ค่าความชันของสมการเส้นตรง (2) ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ j ชั่วโมงที่ h

$C_j(h)$ คือ ค่าคงที่ของสมการเส้นตรง (2) ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ j ชั่วโมงที่ h

k คือ จำนวนช่วงของกำลังผลิตสินค้าแต่ละชนิดที่เสนอขายให้ตลาด

เมื่อพิจารณาจากรูปที่ 4.3 สามารถคำนวณหาค่าของ $m_j(h)$ และ $C_j(h)$ ได้ดังนี้

$$m_j(h) = \left(\frac{Rmax}{Pmax - Pc} \right) \qquad .....(4.33)$$

$$C_j(h) = \left(\frac{Pmax \times Rmax}{Pmax - Pc} \right) \qquad .....(4.34)$$

โดย R_{max} และ P_{max} คือ กำลังผลิตบริการเสริมฯ และพลังงานไฟฟ้าสูงสุดของเครื่อง

P_c คือ จุดรอยต่อระหว่างเส้นตรง (1) และ (2) ซึ่งจะได้อธิบายต่อไป

เนื่องจากวิทยานิพนธ์นี้ได้ทำการสร้างระบบทดสอบขึ้นเอง จึงได้กำหนดค่า P_c ด้วยวิธีเดียวกันกับการกำหนดค่า ramp rate ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า(ในแบบจำลองชุดที่ 2) คือ กำหนด P_c ให้เป็นสัดส่วนโดยตรงกับกำลังผลิตสูงสุด(P_{max})ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

ตัวอย่างเช่น กำหนดให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องหนึ่งมีค่า R_{max} เท่ากับ 10% ของ P_{max} สมมติค่า P_c ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องนี้มีค่าเท่ากับ 80% ของ P_{max} ถ้าขณะนั้นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจ่ายโหลดที่กำลังผลิต 90% ของ P_{max} ถึงแม้ว่าเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะมีกำลังผลิตเหลืออยู่อีก 10% ของ P_{max} ก็ตาม แต่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะไม่สามารถทำหน้าที่เป็นกำลังผลิตสำรองได้ถึง 10% เนื่องจากความสามารถในการเพิ่มระดับกำลังผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ณ จุดที่ทำงานอยู่นั้น ไม่สามารถทำได้ภายในระยะเวลาสั้นๆ ตามข้อกำหนดของการทำหน้าที่เป็นบริการเสริมความมั่นคงฯ ได้ พิจารณารูปที่ 4.3 เมื่อค่า $P_c = 0.8P_{max}$ คำนวณด้วยสมการ (4.30) (4.33) และ (4.34) จะได้ว่า หากเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากำลังผลิตไฟฟ้าอยู่ที่ระดับ 90% ของ P_{max} แล้ว ความสามารถในการทำหน้าที่เป็นบริการเสริมความมั่นคงฯ ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องนี้จะอยู่ที่ระดับสูงสุดไม่เกิน 5% ของ P_{max} เท่านั้น แม้ว่าเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะมีกำลังผลิตเหลืออยู่ถึง 10% ของ P_{max} ก็ตาม ทั้งนี้เพราะจุดทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะต้องอยู่ภายในพื้นที่ของรูปสี่เหลี่ยมคางหมู(รูปที่ 4.3)

4.7 แบบจำลองชุดที่ 4

แบบจำลองชุดที่ 4 เป็นการเพิ่มเติมเงื่อนไขจากแบบจำลองชุดที่ 1 ได้แก่ อัตราการเปลี่ยนแปลงระดับกำลังผลิตระหว่างชั่วโมงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและความสัมพันธ์ระหว่างกำลังผลิตพลังงานไฟฟ้าและบริการเสริมความมั่นคงของระบบไฟฟ้า กล่าวได้ว่า แบบจำลองชุดที่ 4 นี้ได้ใช้เงื่อนไขทุกชุดซึ่งครอบคลุมทุกเงื่อนไขของแบบจำลองชุดที่ 1 ถึง 3 ในการจัดสรรกำลังผลิต เพื่อจะนำผลการจัดสรรมาพิจารณาว่า เงื่อนไขที่เพิ่มเข้ามาทั้ง 2 ชุดนี้ เมื่อนำมาใช้พิจารณาพร้อมกันจะส่งผลกระทบต่อการจัดสรรกำลังผลิตไฟฟ้าของระบบมากน้อยเพียงใด เนื่องจากผลการจัดสรรกำลังผลิตของแบบจำลองชุดที่ 2 และ 3 เป็นการเลือกพิจารณาเพียงเงื่อนไขใดเงื่อนไขหนึ่งเท่านั้น

โปรแกรมเชิงเส้นของแบบจำลองชุดที่ 4 อธิบายได้ดังนี้

จากสมการ (4.8) ถึง (4.10) เขียนได้ว่า

$$\text{Min } F(x) \quad \text{s.t. } bl \leq Ax \leq bu\,,\, l \leq x \leq u$$

การกำหนดฟังก์ชันวัตถุประสงค์

1. กรณีการจัดสรรกำลังผลิตพลังงานไฟฟ้าและกำลังผลิตพร้อมจ่าย ใช้สมการ (4.12) (4.13) และ (4.14)
2. กรณีการจัดสรรกำลังผลิตพลังงานไฟฟ้า การควบคุมการผลิตอัตโนมัติ และกำลังผลิตพร้อมจ่าย ใช้สมการ (4.12) (4.13) และ (4.15)

การกำหนดเมทริกซ์ A , bl และ bu ตามลำดับ

1. ใช้เงื่อนไขความพอเพียงในการจ่ายโหลดของระบบ ดังสมการ (4.16)
2. ใช้เงื่อนไขความพอเพียงของการควบคุมการผลิตอัตโนมัติของระบบ ดังสมการ (4.17) (ใช้เฉพาะกรณีการจัดสรรกำลังผลิตพลังงานไฟฟ้า การควบคุมการผลิตอัตโนมัติ และกำลังผลิตพร้อมจ่าย)
3. ใช้เงื่อนไขความพอเพียงของกำลังผลิตพร้อมจ่ายของระบบ ดังสมการ (4.18)
4. ใช้เงื่อนไขข้อจำกัดด้านกำลังผลิตสูงสุดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ดังสมการ (4.19) หรือ (4.20)
5. ใช้เงื่อนไขอัตราการเปลี่ยนแปลงระดับกำลังผลิตระหว่างชั่วโมงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ดังสมการ (4.21) และ (4.22)

6. ใช้เงื่อนไขความสัมพันธ์ระหว่างกำลังผลิตพลังงานไฟฟ้าและบริการเสริมความมั่นคงของระบบไฟฟ้า ดังสมการ (4.23) ถึง (4.26)

การกำหนดเมทริกซ์ l และ u

ใช้เงื่อนไขกำลังผลิตแต่ละช่วงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่เสนอขายให้ตลาด ดังสมการ (4.27) (4.28) และ (4.29) ตามลำดับ

ส่วนการคำนวณค่า m_j และ C_j ของความสัมพันธ์ระหว่างกำลังผลิตพลังงานไฟฟ้าและบริการเสริมฯ ในสมการ (4.24) และ (4.26) ทำได้โดยวิธีที่แสดงไว้ในหัวข้อ 4.6