บทที่ 6

การจัดสรรกำลังผลิตพลังงานไฟฟ้า กำลังผลิตพร้อมจ่ายและการควบคุมฯ อัตโนมัติ

ในบทที่ 5 ได้ทำการศึกษาผลกระทบของเงื่อนไขในการจัดสรรกำลังผลิตไฟฟ้า โดยพิจารณาบริการเสริมความมั่นคงฯ เพียงชนิดเดียวได้แก่ กำลังผลิตพร้อมจ่าย ซึ่งก็แสดงให้เห็นว่าเงื่อนไข ramp rate ได้ทำหน้าที่จำกัดไม่ให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าได้รับการจัดสรรให้เพิ่มหรือลดกำลังผลิตเกินขีดจำกัดของเครื่อง เงื่อนไขความสัมพันธ์ระหว่างกำลังผลิตแต่ละชนิดจะทำหน้าที่จำกัดไม่ให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าได้รับการจัดสรรให้ผลิตไฟฟ้าและเป็นบริการเสริมความมั่นคงฯ เกินความสามารถของเครื่อง นอกจากนั้น เงื่อนไขการจัดสรรกำลังผลิตไฟฟ้า(ดังแบบจำลองที่ 1 ถึง 4)ยังส่งผลกระทบต่อการจัดสรรกำลังผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในระบบ และยังส่งผลกระทบถึงราคาและค่าใช้จ่ายในการผลิตไฟฟ้าอีกด้วย ในบทนี้จะได้ทำการจัดสรรกำลังผลิตโดยกำหนดให้มีสินค้าไฟฟ้า 3 ชนิดได้แก่ พลังงานไฟฟ้า กำลังผลิตพร้อมจ่ายและการควบคุมการผลิตอัตโนมัติ(AGC) เพื่อจะศึกษาถึงผลกระทบของจำนวนชนิดของสินค้าไฟฟ้าที่มีต่อราคา ความผันผวนของราคาและค่าใช้จ่ายในการผลิตไฟฟ้าของระบบเป็นหลัก โดยจะทำการจัดสรรกำลังผลิตในลักษณะของตลาดซื้อขายไฟฟ้าล่วงหน้า 1 วัน

การศึกษาการจัดสรรกำลังผลิตไฟฟ้าจะใช้แบบจำลองการจัดสรรกำลังผลิตไฟฟ้าทั้ง 4 ชุด (หัวข้อ 4.4 ถึง 4.7) เพื่อวิเคราะห์และเปรียบเทียบถึงผลของเงื่อนไขต่างๆ ที่มีต่อการจัดสรรกำลังผลิตไฟฟ้า ซึ่งจะเป็นพื้นฐานสำคัญที่จะนำไปประยุกต์ใช้ในการจัดสรรกำลังผลิตไฟฟ้าของตลาดไฟฟ้าไทยในอนาคตต่อไป

6.1 โครงสร้างของข้อมูล

การศึกษาครั้งนี้ต้องการศึกษาผลของเงื่อนไขต่างๆ ที่มีต่อการจัดสรรกำลังผลิตไฟฟ้าในตลาดไฟฟ้า จึงได้กำหนดระบบทดสอบด้วยระบบขนาดเล็กซึ่งมีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจำนวน 6 เครื่อง เพื่อให้สามารถวิเคราะห์ผลของการจัดสรรกำลังผลิตไฟฟ้าได้อย่างชัดเจน

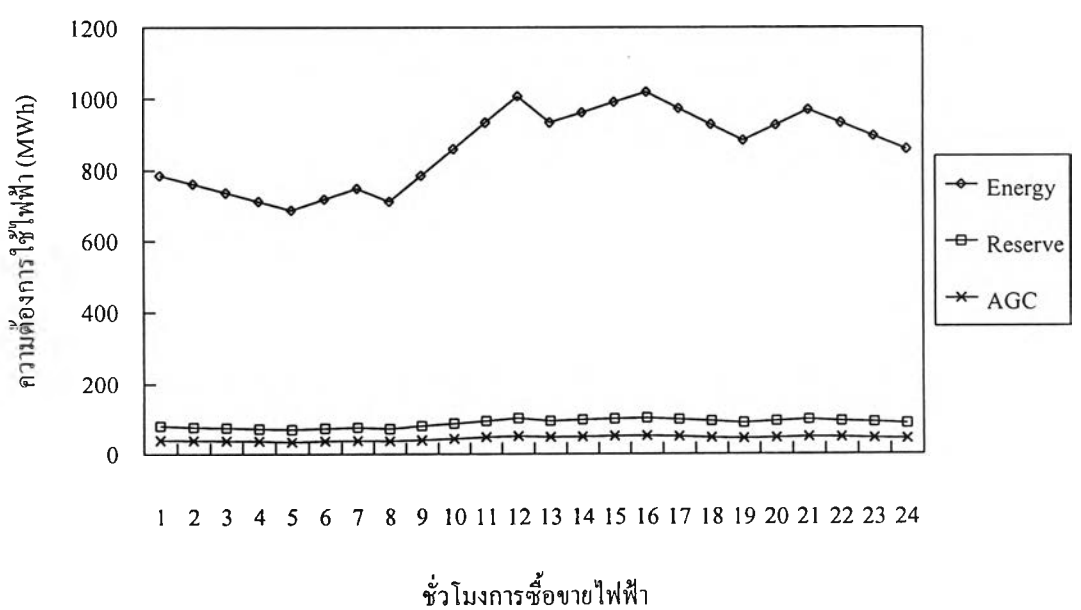
ข้อมูลการเสนอขายไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าของระบบทดสอบกำหนดให้เสนอขายพลังงานไฟฟ้าได้ 3 ช่วง เสนอขายกำลังผลิตพร้อมจ่ายได้ 1 ช่วง และเสนอขายการควบคุมการผลิตอัตโนมัติได้ 1 ช่วง โดยแต่ละช่วงเสนอประกอบด้วยจำนวน MW และราคาต่อหน่วยของ MW ที่

เสนอขายให้ตลาด การจัดสรรกำลังผลิตจากแบบจำลองทั้ง 4 ชุดในบทนี้ จะใช้ข้อมูลการเสนอขายไฟฟ้าในตลาดชุดเดียวกันทั้งหมด(ดังตารางที่ 6.1) เพื่อให้สามารถนำผลการจัดสรรทั้งหมดมาเปรียบเทียบและวิเคราะห์ร่วมกันได้

ตารางที่ 6.1 ข้อมูลการเสนอขายไฟฟ้าที่ใช้ในการจัดสรรกำลังผลิตไฟฟ้า

เครื่อง	การเสนอขายพลังงานไฟฟ้า						บริการเสริมฯ				ขนาดกำลังผลิต (MW)	
	ช่วงเสนอที่ 1		ช่วงเสนอที่ 2		ช่วงเสนอที่ 3		กำลังผลิตพร้อมฯ		การควบคุมฯ			
	MW	$/MW	MW	$/MW	MW	$/MW	MW	$/MW	MW	$/MW	Pmin	Pmax
G1	5	-2.3	7	23	5	27	5	3.33	3	2.2	5	17
G2	80	-2.6	60	26	60	28	20	2.4	10	1.6	80	200
G3	30	-2	40	22	30	24	10	2.4	5	1.6	70	100
G4	200	-2.4	170	21	150	24	50	1.12	25	0.75	400	520
G5	130	-3	80	17	70	23	50	1.33	25	0.95	200	280
G6	40	-2.4	40	27	30	29	20	2.8	10	1.4	50	110

เนื่องจากผู้ผลิตต้องเสนอขายไฟฟ้าให้ตลาดไฟฟ้าล่วงหน้า 1 วัน หรือ 24 ชั่วโมง โดยทำการจัดสรรกำลังผลิตไฟฟ้าเป็นรายชั่วโมง ข้อมูลการเสนอขายไฟฟ้าในตลาดไฟฟ้าจึงแบ่งออกเป็น 24 ช่วงเวลา ในที่นี้ได้ทำการกำหนดให้ใช้ข้อมูลการเสนอขายไฟฟ้าเหมือนกันในทุกชั่วโมง ดังแสดงในตารางที่ 6.1 เพื่อให้สามารถวิเคราะห์ผลต่างๆ ได้โดยง่าย

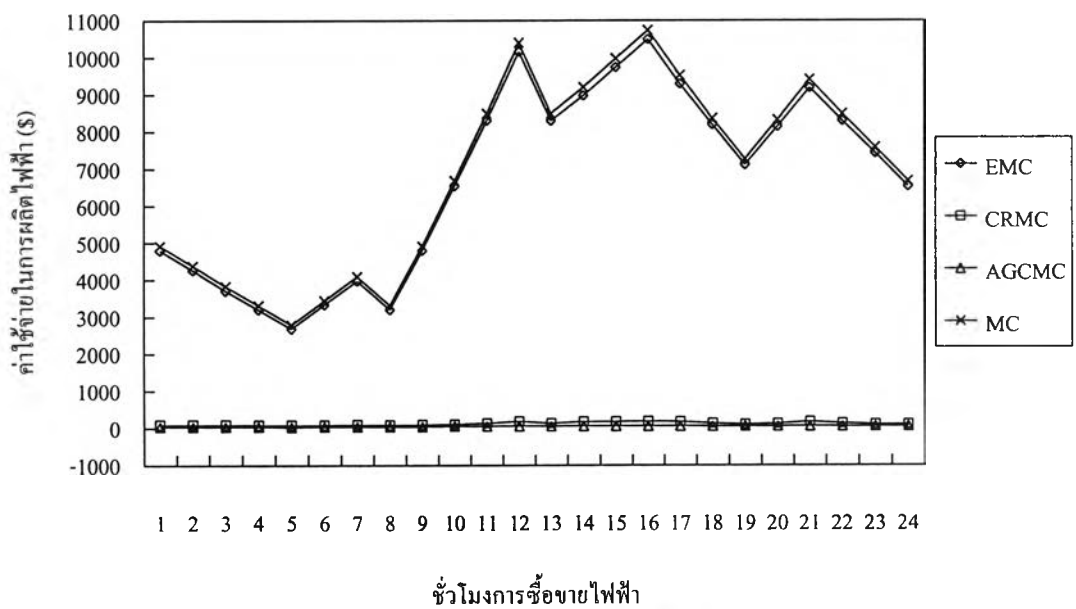


รูปที่ 6.1 ความต้องการโหลด กำลังผลิตพร้อมจ่าย และการควบคุมการผลิตอัตโนมัติ

โหลดและความต้องการกำลังผลิตพร้อมจ่ายและการควบคุมการผลิตอัตโนมัติของระบบทดสอบ ตลอด 24 ชั่วโมงซื้อขายไฟฟ้าที่ใช้ในการศึกษาแสดงดังรูปที่ 6.1 (ดูข้อมูลจากตารางที่ ข2)

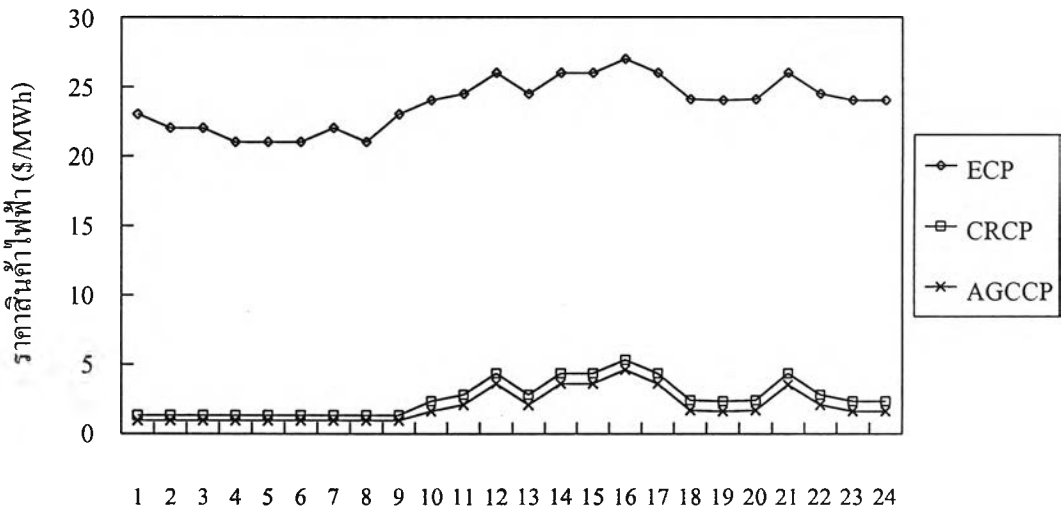
6.2 ผลการจัดสรรกำลังผลิตไฟฟ้าจากแบบจำลองที่ 1

ผลการจัดสรรกำลังผลิตไฟฟ้าจากแบบจำลองที่ 1 แสดงไว้ในตารางที่ ข3 จากกราฟในรูปที่ 6.2 พบว่า ค่าใช้จ่ายกำลังผลิตพร้อมจ่าย(Contingency reserve market cost : CRMC) และค่าใช้จ่ายการควบคุมการผลิตอัตโนมัติ(AGC market cost : AGCMC) มีค่าต่ำเมื่อเทียบกับค่าใช้จ่ายการผลิตพลังงานไฟฟ้า(Energy market cost : EMC) ทั้งนี้เพราะปริมาณความต้องการ MW ของกำลังผลิตพร้อมจ่ายและการควบคุมการผลิตอัตโนมัติน้อยกว่าปริมาณพลังงานไฟฟ้าของระบบมาก อีกทั้งราคาต่อหน่วย MWh ของกำลังผลิตพร้อมจ่ายและการควบคุมการผลิตอัตโนมัติที่มีการเสนอขายในตลาดมีค่าต่ำกว่าราคาต่อหน่วย MWh ของพลังงานไฟฟ้ามาก ทำให้ผลคูณซึ่งเท่ากับค่า EMC CRMC และ AGCMC มีค่าแตกต่างกันมาก หรืออาจกล่าวได้ว่า ค่าใช้จ่ายกำลังผลิตพร้อมจ่ายและการควบคุมการผลิตอัตโนมัติแทบไม่มีผลต่อค่าใช้จ่ายรวมทั้งหมดของระบบ ดังนั้น ถ้าต้องการพิจารณาเฉพาะแนวโน้มของค่าใช้จ่ายในการผลิตไฟฟ้าทั้งหมดของตลาด(Market cost : MC)ในแต่ละชั่วโมงซื้อขายไฟฟ้าก็สามารถใช้กราฟของ EMC แทนกราฟของ MC ได้



รูปที่ 6.2 ค่าใช้จ่ายในการผลิตไฟฟ้าของสินค้าทั้ง 3 ประเภทจากแบบจำลองที่ 1

ผลการจัดสรรกำลังผลิตไฟฟ้า(ตารางที่ ข3) พบว่า ราคาพลังงานไฟฟ้าและบริการเสริมความมั่นคงของระบบไฟฟ้าผันแปรตามปริมาณความต้องการใช้ไฟฟ้าในแต่ละชั่วโมง(ดังตารางที่ ข4) พิจารณารูปที่ 6.3 พบว่า ในชั่วโมงที่มีความต้องการใช้ไฟฟ้าสูงจะมีราคาพลังงานไฟฟ้า(Energy clearing price - ECP) ราคากำลังผลิตพร้อมจ่าย(Contingency reserve clearing price - CRCP)สูง และราคาการควบคุมการผลิตอัตโนมัติ(AGC clearing price - AGCCP)สูง ทั้งนี้เพราะตลาดไฟฟ้าจะต้องจัดสรรกำลังผลิตให้กับผู้ผลิตไฟฟ้าที่เสนอขายไฟฟ้าในราคาที่สูงขึ้นเข้ามาจ่ายโหลดไฟฟ้าในชั่วโมงที่ 1 ถึง 8 พบว่า ราคาพลังงานไฟฟ้ามีความผันผวนเกิดขึ้น แต่ราคากำลังผลิตพร้อมจ่ายและการควบคุมการผลิตอัตโนมัติกลับคงที่ ทั้งนี้เป็นเพราะราคาดังกล่าวเป็นราคากำลังผลิตพร้อมจ่ายและการควบคุมการผลิตอัตโนมัติที่ต่ำที่สุดที่มีการเสนอขายให้ตลาด วิธีการคิดราคาพลังงานไฟฟ้า กำลังผลิตพร้อมจ่าย และการควบคุมการผลิตอัตโนมัติด้วยโปรแกรมเชิงเส้นซึ่งสามารถคำนวณได้จากค่า Lagrange multiplier ที่ได้จากโปรแกรมเชิงเส้นได้อธิบายความหมายและวิธีคิดราคาค่าไฟฟ้าด้วยวิธีโปรแกรมเชิงเส้นอย่างละเอียดไว้ในหัวข้อ 6.6



รูปที่ 6.3 ราคาสินค้าไฟฟ้ารายชั่วโมงจากแบบจำลองที่ 1

จากผลการจัดสรรกำลังผลิตสินค้าไฟฟ้า 2 ชนิด ได้แก่ พลังงานไฟฟ้าและกำลังผลิตพร้อมจ่ายด้วยแบบจำลองที่ 1 (หัวข้อ 5.2) สามารถนำมาพิจารณาเปรียบเทียบกับผลการจัดสรรกำลังผลิตสินค้าไฟฟ้า 3 ชนิด ได้แก่ พลังงานไฟฟ้า กำลังผลิตพร้อมจ่าย และการควบคุมการผลิตอัตโนมัติด้วยแบบจำลองที่ 1 ในหัวข้อนี้ แสดงได้ดังตารางที่ 6.2

ตารางที่ 6.2 เปรียบเทียบผลการจัดสรรสินค้าไฟฟ้าจำนวน 2 และ 3 ชนิดด้วยแบบจำลองที่ 1

ดัชนีวัดผล	จำนวนชนิดสินค้าไฟฟ้าในตลาด					
	2 ชนิด	3 ชนิด	2 ชนิด	3 ชนิด	2 ชนิด	3 ชนิด
	ECP ($/MWh)		CRCP ($/MWh)		AGCCP ($/MWh)	
ค่าเฉลี่ยถ่วงน้ำหนัก	23.65	23.99	2.37	2.70	-	2.08
ค่าเฉลี่ยต่อชั่วโมง	23.48	23.77	2.26	2.56	-	2.96
ค่า S.D. ต่อหน่วยราคา	0.07	0.08	0.43	0.50	-	0.58

พิจารณาตารางที่ 6.2 พบว่า การจัดสรรกำลังผลิตสินค้าไฟฟ้าจำนวน 2 ชนิดได้แก่ พลังงานไฟฟ้าและกำลังผลิตพร้อมจ่าย ทำให้ราคาสินค้าและความผันผวนของราคาสินค้าไฟฟ้ามีค่าต่ำกว่าการจัดสรรกำลังผลิตสินค้าไฟฟ้าจำนวน 3 ชนิดได้แก่ พลังงานไฟฟ้า กำลังผลิตพร้อมจ่าย และการควบคุมการผลิตอัตโนมัติ ดังนั้น จึงกล่าวได้ว่า หากการจัดสรรกำลังผลิตในตลาดไฟฟ้ามีสินค้าไฟฟ้าจำนวนมากขึ้น จะทำให้ค่าเฉลี่ยถ่วงน้ำหนักซึ่งแสดงถึงมูลค่าของสินค้าไฟฟ้ามีแนวโน้มสูงขึ้น ราคาสินค้าไฟฟ้าเฉลี่ยต่อชั่วโมงมีแนวโน้มสูงขึ้น และยังทำให้ราคาสินค้าไฟฟ้ามีความผันผวนมากขึ้นอีกด้วย

6.3 ผลการจัดสรรกำลังผลิตไฟฟ้าจากแบบจำลองที่ 2

เงื่อนไข ramp rate ทั้ง 3 ชุดที่ใช้ในแบบจำลองที่ 2 ได้แก่

1. Ramp rate ชุดที่ 1 : up ramp rate = 10% ของ P_{max} และ down ramp rate = 15% ของ P_{max}
2. Ramp rate ชุดที่ 2 : up ramp rate = 15% ของ P_{max} และ down ramp rate = 20% ของ P_{max}
3. Ramp rate ชุดที่ 3 : up ramp rate = 20% ของ P_{max} และ down ramp rate = 25% ของ P_{max}

เนื่องจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้ามีความสามารถในการลดขนาดกำลังผลิตได้เร็วกว่าการเพิ่มขนาดกำลังผลิตภายในระยะเวลาเท่ากัน จึงได้สมมติให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ใช้จัดสรรกำลังผลิตมีอัตราการลดกำลังผลิต(Down ramp rate)มากกว่าอัตราเพิ่มกำลังผลิต(Up ramp rate) 5 % เมื่อเทียบกับค่ากำลังผลิตสูงสุดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า(P_{max})

ผลการจัดสรรกำลังการผลิตไฟฟ้าจากแบบจำลองที่ 2 ทั้ง 3 ชุด ทั้งจำนวน MW ราคา และค่าใช้จ่ายการผลิตสินค้าไฟฟ้า แสดงดังตารางที่ ข5 ถึง ข10(ภาคผนวก)

พิจารณาผลการจัดสรรกำลังผลิตจากแบบจำลองที่ 1 และ 2 พบว่า การปรับเปลี่ยนจุดทำงานใหม่ของระบบส่งผลกระทบต่อการจัดสรรกำลังผลิตไฟฟ้า กำลังผลิตพร้อมจ่ายและการควบคุมการผลิตอัตโนมัติที่ต้องมีการเปลี่ยนแปลงไปด้วย เพื่อหาจุดทำงานใหม่ที่ระบบจะมีค่าใช้จ่ายผลิตไฟฟ้ารวมทั้งระบบต่ำที่สุด

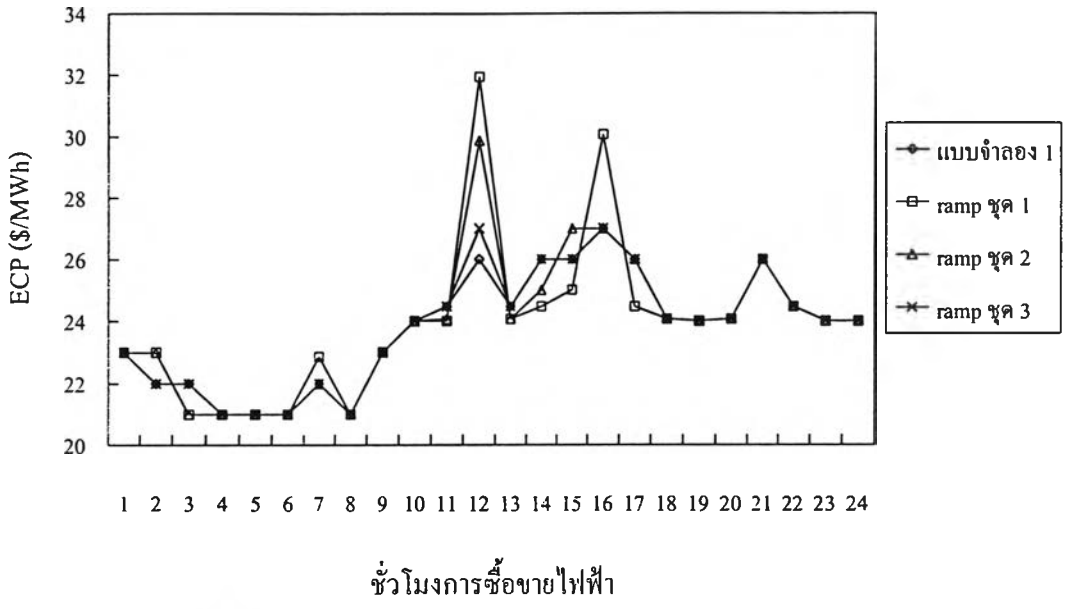
ตารางที่ 6.3 ค่าใช้จ่ายในการผลิตไฟฟ้าของระบบจากแบบจำลองที่ 1 และ 2 ทั้ง 3 ชุด

ชุดแบบจำลอง	EMC ($)	CRMC ($)	AGCMC ($)	MC ($)
แบบจำลองที่ 1	160624.00	2932.46	1058.85	164615.31
แบบจำลองที่ 2 ชุดที่ 1	160855.00	2894.52	1055.25	164804.77
แบบจำลองที่ 2 ชุดที่ 2	160731.40	2909.47	1058.85	164699.72
แบบจำลองที่ 2 ชุดที่ 3	160664.20	2932.46	1058.85	164655.51

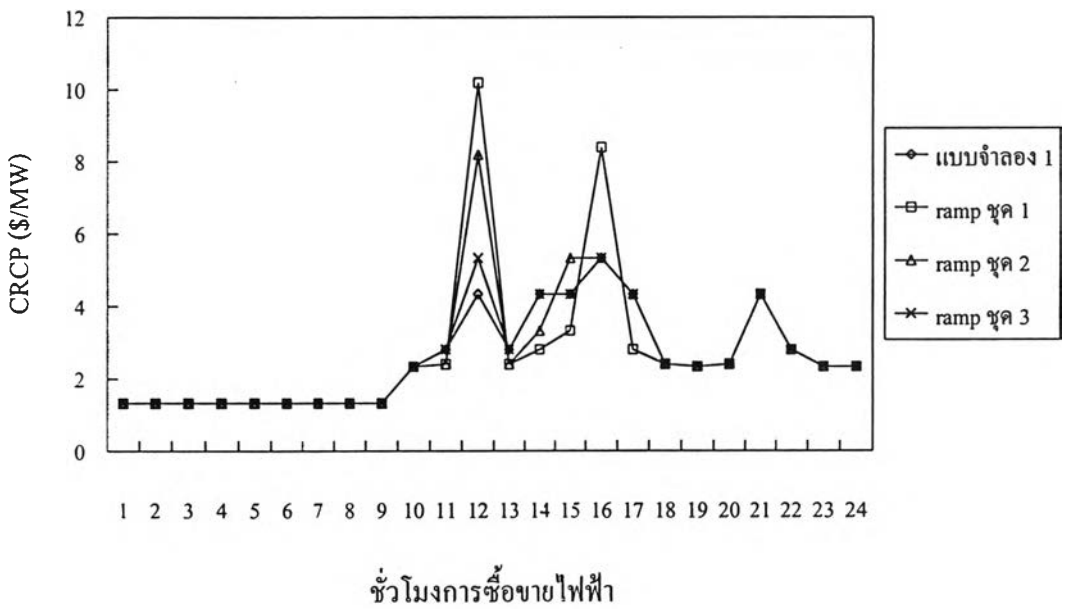
จากตารางที่ 6.3 พบว่า การจัดสรรกำลังผลิตไฟฟ้าจากแบบจำลองที่ 2 ทำให้ค่าใช้จ่ายในการผลิตไฟฟ้าทั้งหมดของตลาดไฟฟ้าใน 1 วันมีค่าสูงขึ้นกว่าแบบจำลองที่ 1 ถ้ายิ่งกำหนดให้ ramp rate มีค่าต่ำมากเท่าไร จะยิ่งทำให้ระบบมีความยืดหยุ่นในการจัดสรรกำลังผลิตไฟฟ้าน้อยลง อันส่งผลต่อค่าใช้จ่ายการผลิตไฟฟ้าของระบบที่สูงขึ้น โดยแบบจำลองที่ 2 ชุดที่ 1 มีค่าใช้จ่ายผลิตไฟฟ้า (MC)สูงกว่าแบบจำลองที่ 1 เมื่อแยกพิจารณาค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์หรือค่าใช้จ่ายผลิตไฟฟ้าทั้งหมดของระบบออกเป็นค่าใช้จ่ายผลิตพลังงานไฟฟ้า ค่าใช้จ่ายผลิตกำลังผลิตพร้อมจ่าย และค่าใช้จ่ายผลิตการควบคุมการผลิตอัตโนมัติ พบว่า เมื่อ ramp rate มีค่าต่ำ จะทำให้ค่าใช้จ่ายผลิตพลังงานไฟฟ้ามีค่าสูงขึ้น แต่ค่าใช้จ่ายผลิตกำลังผลิตพร้อมจ่ายและการควบคุมการผลิตอัตโนมัติกลับมีค่าต่ำลง การที่ค่าใช้จ่ายบริการเสริมความมั่นคงของระบบไฟฟ้าต่ำลงไม่ได้ทำให้ตลาดไฟฟ้ามีค่าใช้จ่ายในการผลิตไฟฟ้าทั้งระบบต่ำลงแต่อย่างใด เพราะค่าใช้จ่ายผลิตพลังงานไฟฟ้าที่เพิ่มสูงขึ้นมีค่ามากกว่าค่าใช้จ่ายผลิตบริการเสริมความมั่นคงของระบบไฟฟ้าที่ลดลง จึงกล่าวได้ว่าเงื่อนไข ramp rate จะทำให้ระบบมีค่าใช้จ่ายในการผลิตไฟฟ้าทั้งหมดสูงขึ้น แม้ว่าค่าใช้จ่ายในการผลิตบริการเสริมความมั่นคงของระบบไฟฟ้าจะลดลงก็ตาม ดังนั้น จึงกล่าวได้ว่า เงื่อนไข ramp rate มีผลต่อการจัดสรรกำลังผลิต โดยทำให้แนวโน้มของค่าใช้จ่ายในการผลิตไฟฟ้าของระบบสูงขึ้น ทั้งนี้ขึ้นกับความยืดหยุ่นของเงื่อนไข ramp rate ว่ากำหนดให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าสามารถเปลี่ยนอัตรากำลังผลิตไฟฟ้าระหว่างชั่วโมงได้มากน้อยเพียงไร

นอกจากค่าใช้จ่ายในการผลิตไฟฟ้าจะสูงขึ้นแล้ว ราคาสินค้าไฟฟ้าทั้ง ECP CRCP และ AGCCP ยังมีความผันผวนมากขึ้นด้วย ดังรูปที่ 6.4 ถึง 6.6 ตามลำดับ การที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่มีราคาขายกำลังผลิตไฟฟ้าสูงขึ้นได้รับการจัดสรรให้ผลิตไฟฟ้าให้ตลาดแทนเครื่องที่เสนอราคาขาย

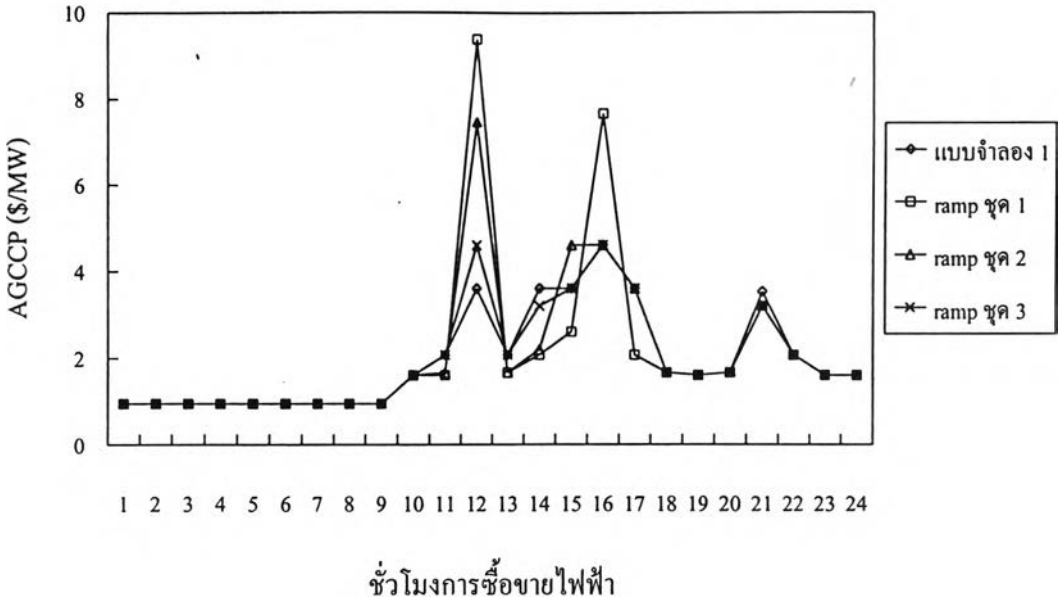
ต่ำกว่า ทำให้ราคาสินค้าไฟฟ้าในแต่ละชั่วโมงจากแบบจำลองที่ 2 มีค่าสูงกว่าแบบจำลองที่ 1 และจะเห็นได้ว่า หาก ramp rate มีค่าต่ำจะส่งผลให้ราคาสินค้าไฟฟ้าของระบบมีค่าสูงขึ้น



รูปที่ 6.4 ราคาพลังงานไฟฟ้าจากแบบจำลองที่ 1 และ 2 (ด้วย ramp rate ทั้ง 3 ชุด)



รูปที่ 6.5 ราคากำลังผลิตพร้อมจ่ายจากแบบจำลองที่ 1 และ 2 (ด้วย ramp rate ทั้ง 3 ชุด)



รูปที่ 6.6 ราคาการควบคุมการผลิตอัตโนมัติจากแบบจำลองที่ 1 และ 2 (ด้วย ramp rate ทั้ง 3 ชุด)

แม้ว่าเงื่อนไข ramp rate จะทำให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่มีราคาสูงได้รับการจัดสรรกำลังผลิตเพิ่มมากขึ้น แต่เมื่อพิจารณารูปที่ 6.4 ถึง 6.6 จะพบว่า ทั้งราคาพลังงานไฟฟ้า ราคากำลังผลิตพร้อมจ่าย และราคาการควบคุมการผลิตอัตโนมัติกลับมีค่าสูงกว่าราคาสูงสุดของช่วงเสนอที่ได้รับการจัดสรรกำลังผลิตในตลาดไฟฟ้าเสียอีก เช่น ในชั่วโมงที่ 16 ราคาพลังงานไฟฟ้าจากแบบจำลองที่ 2 ชุดที่ 1 สูงถึง $30.06/MWh ทั้งๆ ที่ราคาเสนอขายพลังงานไฟฟ้าสูงสุดของช่วงเสนอที่ได้รับการคัดเลือกให้ผลิตไฟฟ้าอยู่ที่ $27/MWh ราคากำลังผลิตพร้อมจ่ายจากแบบจำลองที่ 2 ชุดที่ 1 ที่สูงถึง $8.39/MW ทั้งๆ ที่มีการเสนอราคาขายกำลังผลิตพร้อมจ่ายสูงสุดอยู่ที่ $3.33/MW และราคาการควบคุมการผลิตอัตโนมัติจากแบบจำลองที่ 2 ชุดที่ 1 ที่สูงถึง $7.66/MW ทั้งๆ ที่มีการเสนอราคาขายการควบคุมการผลิตอัตโนมัติสูงสุดอยู่ที่ $2.20/MW ปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นได้อธิบายไว้ในหัวข้อ 6.6 วิธีคำนวณและความหมายของราคาค่าไฟฟ้า

ถึงแม้ว่าราคาค่าสินค้าไฟฟ้าต่อหน่วยในบางชั่วโมงจากแบบจำลองที่ 2 จะมีค่าสูงมาก ไม่ได้หมายความว่าจะทำให้มูลค่าเฉลี่ยของสินค้าไฟฟ้าทั้งวันสูงขึ้นมากตามไปด้วย เพราะราคาสินค้าไฟฟ้าที่สูงมากนั้นจะใช้คิดกับหน่วยของสินค้าไฟฟ้าในชั่วโมงหนึ่งๆ เท่านั้น และเพื่อวิเคราะห์ถึงมูลค่าเฉลี่ยที่เพิ่มขึ้นของสินค้าไฟฟ้าแต่ละประเภท จึงได้คำนวณหามูลค่าเฉลี่ยของสินค้าไฟฟ้าทั้งหมดใน 1 วันซึ่งแสดงดังตารางที่ 6.4

ตารางที่ 6.4 ค่าเฉลี่ยถ่วงน้ำหนักของ ECP CRCP และ AGCCP จากแบบจำลองที่ 1 และ 2

ชุดแบบจำลอง		ค่าเฉลี่ย ($/MWh)		
		ECP	CRCP	AGCCP
แบบจำลองที่ 1		23.99	2.70	2.08
แบบจำลองที่ 2	ramp ชุดที่ 1	24.23	2.91	2.26
	ramp ชุดที่ 2	24.14	2.85	2.20
	ramp ชุดที่ 3	24.04	2.75	2.09

พิจารณาตารางที่ 6.4 เมื่อเปรียบเทียบผลการจัดสรรกำลังผลิตจากแบบจำลองที่ 1 กับแบบจำลองที่ 2 ชุดที่ 1 พบว่า แม้ว่าในชั่วโมงที่ 16 ค่า ECP จากแบบจำลองที่ 2 จะสูงถึง $30.06/MWh แต่ค่า ECP เฉลี่ยตลอดทั้งวันเท่ากับ $24.23/MWh ซึ่งสูงกว่าค่า ECP เฉลี่ยจากแบบจำลองที่ 1 เพียง $0.24/MWh เท่านั้น และในทำนองเดียวกันพบว่า ค่า CRCP และ AGCCP เฉลี่ยจากแบบจำลองที่ 2 สูงกว่าจากแบบจำลองที่ 1 เพียง $0.21/MW และ $0.18/MW ตามลำดับ

พิจารณาปริมาณโหลดไฟฟ้าตลอด 1 วันมีทั้งสิ้น 20,711 MWh กำลังผลิตพร้อมจ่ายรวมเท่ากับ 2,073 MW และการควบคุมการผลิตอัตโนมัติเท่ากับ 1,036 MW ถ้าทำการจัดสรรกำลังผลิตไฟฟ้าจากแบบจำลองที่ 2 และ ramp rate ชุดที่ 1 จะทำให้มูลค่าของพลังงานไฟฟ้าทั้งหมดสูงขึ้นเท่ากับ 20,711 x 0.24 = $4,970.64 มูลค่าของกำลังผลิตพร้อมจ่ายทั้งหมดสูงขึ้นเท่ากับ 2,073 x 0.21 = $435.33 และมูลค่าของการควบคุมการผลิตอัตโนมัติทั้งหมดสูงขึ้นเท่ากับ 1,036 x 0.18 = $186.48 ดังนั้น ถึงแม้ว่าค่า ECP CRCP และ AGCCP จะมีความผันผวนในแต่ละชั่วโมงมาก หรือมีค่าสูงขึ้นอันเนื่องจากมาการใช้เงื่อนไข ramp rate ในการจัดสรรกำลังผลิตไฟฟ้า แต่มูลค่าของสินค้าไฟฟ้าโดยรวมจะไม่สูงขึ้นมากนัก กล่าวคือ ราคาค่าไฟฟ้าทั้งหมดที่ซื้อขายในตลาดจะสูงขึ้นเพียงเล็กน้อยเท่านั้น

ค่า ECP CRCP และ AGCCP ในแต่ละชั่วโมงมีความผันผวนตามความต้องการของโหลดไฟฟ้า บางชั่วโมงราคาสินค้าไฟฟ้ามีค่าสูง บางชั่วโมงมีค่าต่ำ จึงได้คำนวณค่าเฉลี่ยของราคาค่าสินค้าไฟฟ้าในแต่ละชั่วโมง และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของราคาค่าสินค้าไฟฟ้า เพื่อนำไปวิเคราห์ถึงความผันผวนของราคาค่าไฟฟ้าต่อไป

เนื่องจากราคาค่าสินค้าไฟฟ้ามีการเปลี่ยนแปลงในแต่ละชั่วโมง จึงได้พิจารณาคำนวณค่าเฉลี่ยของราคาสินค้าไฟฟ้าในแต่ละชั่วโมงและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของราคาสินค้าไฟฟ้าแต่ละชนิดดังตารางที่ 6.5

ตารางที่ 6.5 ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของราคาสินค้าไฟฟ้าจากแบบจำลองที่ 1 และ 2

ชุดแบบจำลอง		ค่าเฉลี่ย ($/MWh)			S.D.			S.D. ต่อ $1/MWh		
		ECP	CRCP	AGCCP	ECP	CRCP	AGCCP	ECP	CRCP	AGCCP
แบบจำลองที่ 1		23.77	2.56	1.96	1.85	1.27	1.14	0.08	0.50	0.58
แบบจำลองที่ 2	ramp ชุดที่ 1	23.98	2.73	2.11	2.59	2.73	2.08	0.11	0.80	0.98
	ramp ชุดที่ 2	23.90	2.69	2.06	2.22	1.71	1.59	0.09	0.64	0.77
	ramp ชุดที่ 3	23.81	2.60	1.97	1.91	1.35	1.18	0.08	0.52	0.60

จากตารางที่ 6.5 พบว่า เงื่อนไข ramp rate มีผลทำให้ค่าเฉลี่ยของราคาสินค้าไฟฟ้าในแต่ละชั่วโมงสูงขึ้น เมื่อผ่อนคลายเงื่อนไข ramp rate ด้วยการเพิ่มค่า ramp rate ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ามากขึ้น ราคาค่าสินค้าไฟฟ้ามีแนวโน้มจะลดลง ดังจะเห็นจากการที่ค่าเฉลี่ยราคาสินค้าไฟฟ้าที่ได้จากการจัดสรรกำลังผลิตไฟฟ้าด้วย ramp rate ชุดที่ 3 มีค่าใกล้เคียงกับค่าเฉลี่ยจากแบบจำลองที่ 1 นอกจากนี้ยังทำให้ราคาสินค้าไฟฟ้าในแต่ละชั่วโมงมีความผันผวนเพิ่มมากขึ้นด้วย ซึ่งวิเคราะห์ได้จากการเปรียบเทียบค่า S.D. ต่อหน่วยราคา และเมื่อมีการผ่อนคลายเงื่อนไข ramp rate มากขึ้นด้วยการเพิ่มค่า ramp rate ราคาสินค้าไฟฟ้าจะมีความผันผวนน้อยลงจนใกล้เคียงกับแบบจำลองที่ 1

ดังนั้น จึงกล่าวได้ว่า เงื่อนไข ramp rate ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าหรือข้อจำกัดในการเพิ่มและลดระดับกำลังผลิตพลังงานไฟฟ้าในแต่ละชั่วโมง มีผลต่อการจัดสรรกำลังผลิตทั้งในส่วนของพลังงานไฟฟ้า กำลังผลิตพร้อมจ่าย และการควบคุมการผลิตอัตโนมัติ อันทำให้ค่าใช้จ่ายการผลิตไฟฟ้าของระบบ(MC,EMC,CRMC,AGCMC)มีค่าสูงขึ้น อีกทั้งระบบจะมีราคาสินค้าไฟฟ้าเฉลี่ย ($\overline{ECP}, \overline{CRCP}, \overline{AGCCP}$)สูงขึ้น ราคาสินค้าไฟฟ้ามีความผันผวน(S.D. ต่อหน่วยราคา)ในแต่ละชั่วโมงมากขึ้น และมูลค่าของสินค้าไฟฟ้ารวมทั้งวันซึ่งพิจารณาจากค่าเฉลี่ยถ่วงน้ำหนักของราคาสินค้าไฟฟ้าสูงขึ้นด้วย

จากผลการจัดสรรกำลังผลิตสินค้าไฟฟ้า 2 ชนิด ได้แก่ พลังงานไฟฟ้าและกำลังผลิตพร้อมจ่ายด้วยแบบจำลองที่ 2 (หัวข้อ 5.3) สามารถนำมาพิจารณาเปรียบเทียบกับผลการจัดสรรกำลังผลิตสินค้าไฟฟ้า 3 ชนิด ได้แก่ พลังงานไฟฟ้า กำลังผลิตพร้อมจ่าย และการควบคุมการผลิตอัตโนมัติด้วยแบบจำลองที่ 2 ในหัวข้อนี้ แสดงได้ดังตารางที่ 6.6

ตารางที่ 6.6 เปรียบเทียบผลการจัดสรรสินค้าไฟฟ้าจำนวน 2 และ 3 ชนิดด้วยแบบจำลองที่ 2

แบบจำลอง	ดัชนีวัดผล	จำนวนชนิดสินค้าไฟฟ้าในตลาด					
		2 ชนิด	3 ชนิด	2 ชนิด	3 ชนิด	2 ชนิด	3 ชนิด
		ECP ($/MWh)		CRCP ($/MWh)		AGCCP ($/MWh)	
แบบจำลองที่ 2 ชุดที่ 1	ค่าเฉลี่ยถ่วงน้ำหนัก	23.77	24.23	2.44	2.91	-	2.26
	ค่าเฉลี่ยต่อชั่วโมง	23.57	23.98	2.32	2.73	-	2.11
	ค่า S.D. ต่อหน่วยราคา	0.08	0.11	0.49	0.80	-	0.98
แบบจำลองที่ 2 ชุดที่ 2	ค่าเฉลี่ยถ่วงน้ำหนัก	23.70	24.14	2.42	2.85	-	2.20
	ค่าเฉลี่ยต่อชั่วโมง	23.52	23.90	2.31	2.69	-	2.06
	ค่า S.D. ต่อหน่วยราคา	0.07	0.09	0.47	0.64	-	0.77
แบบจำลองที่ 2 ชุดที่ 3	ค่าเฉลี่ยถ่วงน้ำหนัก	23.65	24.04	2.37	2.75	-	2.09
	ค่าเฉลี่ยต่อชั่วโมง	23.48	23.81	2.26	2.60	-	1.97
	ค่า S.D. ต่อหน่วยราคา	0.07	0.08	0.43	0.52	-	0.60

พิจารณาตารางที่ 6.6 พบว่า การจัดสรรกำลังผลิตสินค้าไฟฟ้าจำนวน 2 ชนิดได้แก่ พลังงานไฟฟ้าและกำลังผลิตพร้อมจ่าย ทำให้ราคาสินค้าและความผันผวนของราคาสินค้าไฟฟ้ามีค่าต่ำกว่าการจัดสรรกำลังผลิตสินค้าไฟฟ้าจำนวน 3 ชนิดได้แก่ พลังงานไฟฟ้า กำลังผลิตพร้อมจ่าย และการควบคุมการผลิตอัตโนมัติ ดังนั้น จึงกล่าวได้ว่า หากการจัดสรรกำลังผลิตในตลาดไฟฟ้ามีสินค้าไฟฟ้าจำนวนมากขึ้น จะทำให้ค่าเฉลี่ยถ่วงน้ำหนักซึ่งแสดงถึงมูลค่าของสินค้าไฟฟ้ามีแนวโน้มสูงขึ้น ราคาสินค้าไฟฟ้าเฉลี่ยต่อชั่วโมงมีแนวโน้มสูงขึ้น และยังทำให้ราคาสินค้าไฟฟ้ามีความผันผวนมากขึ้นอีกด้วย

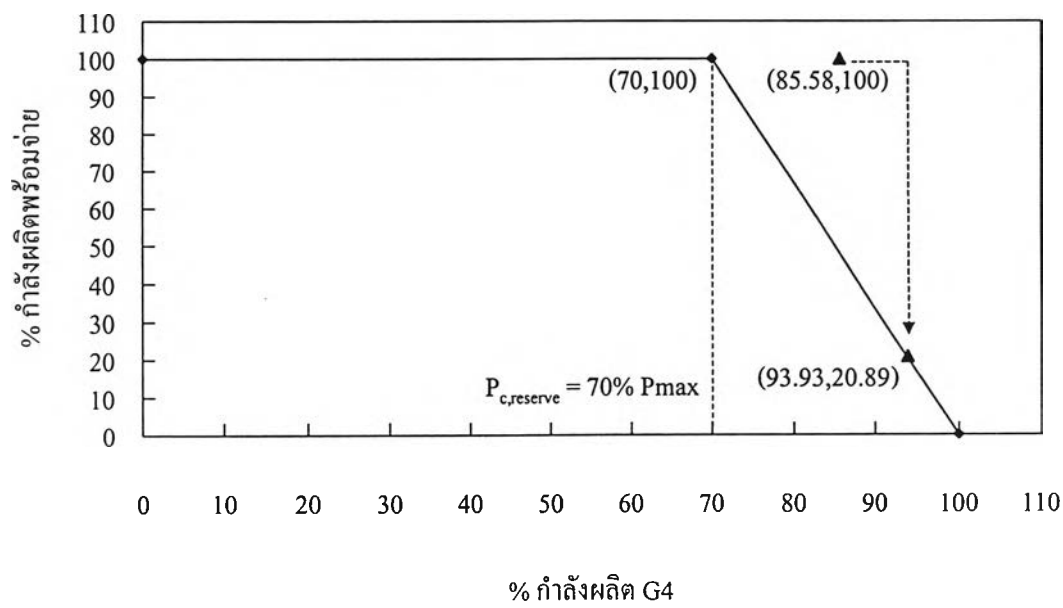
6.4 ผลการจัดสรรกำลังผลิตไฟฟ้าจากแบบจำลองที่ 3

เงื่อนไขความสัมพันธ์ระหว่างกำลังผลิตของสินค้าไฟฟ้าแต่ละชนิดทั้ง 3 ชุดที่ใช้ในแบบจำลองที่ 3 ได้แก่

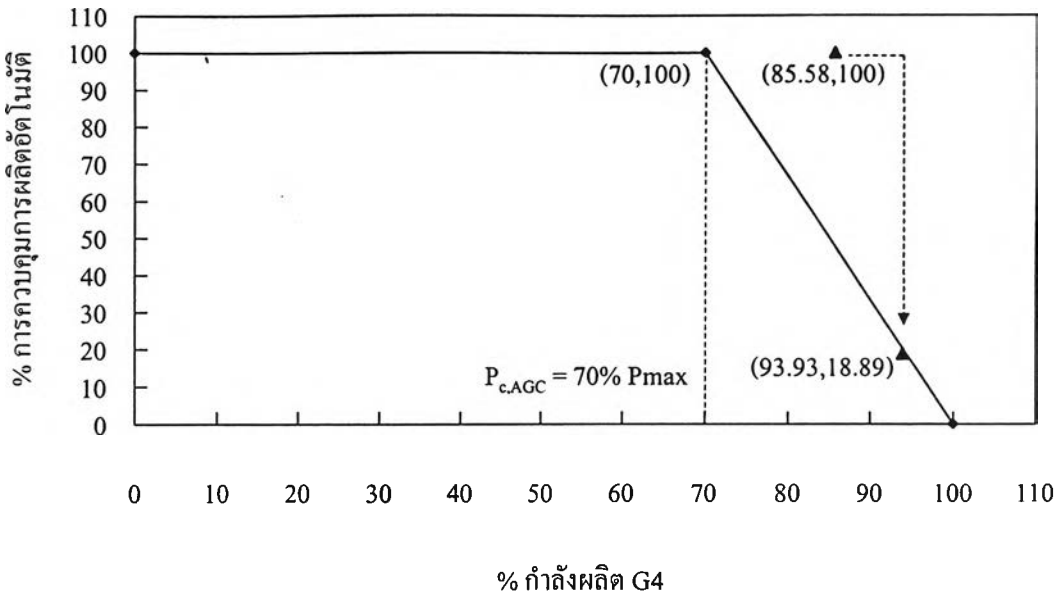
1. P_c ชุดที่ 1 : $P_{c,reserve} = P_{c,AGC} = 70\%$ ของ P_{max}
2. P_c ชุดที่ 2 : $P_{c,reserve} = P_{c,AGC} = 80\%$ ของ P_{max}
3. P_c ชุดที่ 3 : $P_{c,reserve} = P_{c,AGC} = 90\%$ ของ P_{max}

ผลการจัดสรรกำลังการผลิตไฟฟ้าจากแบบจำลองที่ 3 ทั้ง 3 ชุด ทั้งจำนวน MW ราคา และค่าใช้จ่ายการผลิตสินค้าไฟฟ้า แสดงดังตารางที่ ข11 ถึง ข16(ภาคผนวก)

พิจารณากำลังผลิตพลังงานไฟฟ้าที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้า G4 ได้รับจัดสรรจากแบบจำลองที่ 1 และ 3 พบว่า กำลังผลิตของ G4 ในชั่วโมงที่ 22 ดังรูปที่ 6.7 และ 6.8 ถ้าทำการจัดสรรกำลังผลิตไฟฟ้าจากแบบจำลองที่ 1 แล้ว G4 จะได้รับการจัดสรรให้ผลิตพลังงานไฟฟ้าที่ระดับกำลังผลิต 85.58% เมื่อเทียบกับกำลังผลิตสูงสุด และทำหน้าที่เป็นกำลังผลิตพร้อมจ่ายและการควบคุมการผลิตอัตโนมัติที่ระดับ 100% เมื่อเทียบกับความสามารถสูงสุดในการเป็นกำลังผลิตพร้อมจ่ายและการควบคุมการผลิตอัตโนมัติของ G4 ตามลำดับ แต่เมื่อมีการเพิ่มเงื่อนไขความสัมพันธ์ระหว่างกำลังผลิตของสินค้าไฟฟ้าแต่ละชนิดในแบบจำลองที่ 3 ด้วยค่า $P_{c,reserve}$ และ $P_{c,AGC}$ ชุดที่ 1 ทำให้ G4 มีข้อจำกัดในผลิตพลังงานไฟฟ้ามากขึ้น ดังจะเห็นจากรูปที่ 6.7 ได้ว่า จากแบบจำลองที่ 3 ชุดที่ 1 แม้ว่า G4 จะได้รับการจัดสรรกำลังผลิตพลังงานไฟฟ้าที่ระดับ 93.93% (เทียบกับ $P_{G4,max}$) แต่ G4 ได้ถูกจำกัดให้ทำหน้าที่เป็นกำลังผลิตพร้อมจ่ายที่ระดับ 20.89% (เทียบกับ R_{max}) และจากรูปที่ 6.8 แม้ว่า G4 จะได้รับการจัดสรรกำลังผลิตพลังงานไฟฟ้าที่ระดับ 93.93% (เทียบกับ $P_{G4,max}$) แต่ G4 ได้ถูกจำกัดให้ทำหน้าที่เป็นการควบคุมการผลิตอัตโนมัติที่ระดับ 18.89% (เทียบกับ AGC_{max}) ทั้งนี้เพราะเงื่อนไขความสัมพันธ์ระหว่างกำลังผลิตของสินค้าไฟฟ้าแต่ละชนิดในแบบจำลองที่ 3 นี้กำหนดจุดทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าต้องอยู่ในพื้นที่สี่เหลี่ยมคางหมู



รูปที่ 6.7 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังผลิตไฟฟ้าและกำลังผลิตพร้อมจ่ายที่ G4 ได้รับการจัดสรรจากแบบจำลองที่ 1 และ 3 (ด้วยค่า P_c ชุดที่ 1)



รูปที่ 6.8 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังผลิตไฟฟ้าและการควบคุมการผลิตอัตโนมัติที่ G4 ได้รับการจัดสรรจากแบบจำลองที่ 1 และ 3 (ด้วยค่า P_c ชุดที่ 1)

เงื่อนไขความสัมพันธ์ระหว่างกำลังผลิตของสินค้าไฟฟ้าแต่ละชนิดไม่เพียงแต่ส่งผลกระทบต่อการจัดสรรกำลังผลิตพลังงานไฟฟ้าเพียงชั่วโมงใดชั่วโมงหนึ่งของ G4 เท่านั้น แต่ส่งผลกระทบทั้งต่อการจัดสรรกำลังผลิตพลังงานไฟฟ้า กำลังผลิตพร้อมจ่าย และการควบคุมการผลิตอัตโนมัติของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทุกเครื่องในระบบด้วย ทั้งนี้เพราะเมื่อ G4 ได้รับการจัดสรรให้ผลิตพลังงานไฟฟ้าเพิ่มขึ้น กำลังผลิตพร้อมจ่ายและการควบคุมฯ อัตโนมัติลดลงในชั่วโมงที่ 22 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าตัวอื่นจะได้รับการจัดสรรให้ผลิตพลังงานไฟฟ้าลดลงรวมถึงเพิ่มกำลังผลิตพร้อมจ่ายและการควบคุมฯ อัตโนมัติมากขึ้น เพื่อให้ระบบมีกำลังผลิตรวมทั้งหมดเท่าเดิมและเพียงพอต่อการจ่ายโหลด ถ้าจุดทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องหนึ่งเปลี่ยนไป ย่อมส่งผลกระทบไปถึงเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องอื่นในระบบอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ เพียงแต่ผลกระทบจะมากหรือน้อยนั้นขึ้นอยู่กับรูปแบบของโหลดไฟฟ้าและกลยุทธ์การเสนอขายกำลังผลิตของผู้ผลิตไฟฟ้าในระบบด้วย

พิจารณาผลการจัดสรรกำลังผลิตจากแบบจำลองที่ 1 และ 2 พบว่า การปรับเปลี่ยนจุดทำงานใหม่ของระบบส่งผลกระทบต่อการจัดสรรกำลังผลิตไฟฟ้า กำลังผลิตพร้อมจ่ายและการควบคุมการผลิตอัตโนมัติที่ต้องมีการเปลี่ยนแปลงไปด้วย เพื่อหาจุดทำงานใหม่ที่ระบบจะมีค่าใช้จ่ายผลิตไฟฟ้ารวมทั้งระบบต่ำที่สุด

ตารางที่ 6.7 ค่าใช้จ่ายในการผลิตไฟฟ้าของระบบจากแบบจำลองที่ 1 และ 3 (ด้วยค่า P_c ทั้ง 3 ชุด)

ชุดแบบจำลอง	EMC ($)	CRMC ($)	AGCMC ($)	MC ($)
แบบจำลองที่ 1	160624.00	2932.46	1058.85	164615.31
แบบจำลองที่ 3 ชุดที่ 1	161543.57	3422.19	1112.29	166078.05
แบบจำลองที่ 3 ชุดที่ 2	160960.96	3129.56	1046.69	165137.21
แบบจำลองที่ 3 ชุดที่ 3	160608.00	2949.58	1058.85	164616.43

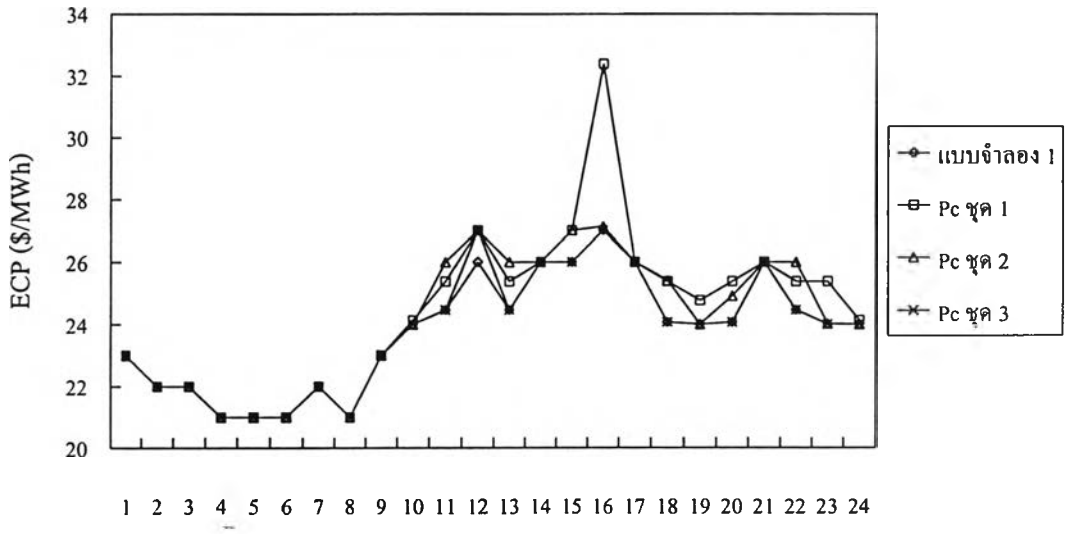
พิจารณาตารางที่ 6.7 เมื่อเปรียบเทียบแบบจำลองที่ 1 กับแบบจำลองที่ 3 กรณี P_c มีค่าน้อย (P_c ชุดที่ 1) พบว่า ค่าใช้จ่ายในการผลิตไฟฟ้าของระบบมีค่าสูงขึ้น และเมื่อยอมผ่อนคลายเงื่อนไขให้ P_c มีค่าสูงขึ้น คือ ยอมรับให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าสามารถทำหน้าที่ผลิตทั้งพลังงานไฟฟ้า กำลังผลิตพร้อมจ่าย และการควบคุมฯ อัตโนมัติในแต่ละชั่วโมงได้มากขึ้น (ดังเงื่อนไขความสัมพันธ์ระหว่างกำลังผลิตของสินค้าไฟฟ้าแต่ละชนิดด้วยค่า P_c ชุดที่ 2 และ 3 ตามลำดับ) ค่าใช้จ่ายในการผลิตไฟฟ้าทั้งระบบจะมีค่าลดลง ถ้าเพิ่มค่า P_c ให้สูงขึ้นถึงจุดๆ หนึ่ง เงื่อนไขความสัมพันธ์ระหว่างการผลิตพลังงานไฟฟ้า กำลังผลิตพร้อมจ่ายและการควบคุมฯ อัตโนมัติจะไม่มีผลกระทบกับแบบจำลองจัดสรรกำลังผลิตไฟฟ้า กล่าวคือ ผลการจัดสรรกำลังผลิตไฟฟ้าจากแบบจำลองที่ 3 จะไม่แตกต่างกับแบบจำลองที่ 1

การจัดสรรกำลังผลิตไฟฟ้าจากแบบจำลองที่ 3 ทำให้ค่าใช้จ่ายในการผลิตไฟฟ้าทั้งหมดของตลาดไฟฟ้าใน 1 วันมีค่าสูงขึ้นกว่าแบบจำลองที่ 1 และยิ่งกำหนดให้ P_c มีค่าต่ำมากเท่าไร ก็ยิ่งทำให้ระบบมีความยืดหยุ่นในการจัดสรรกำลังผลิตไฟฟ้าน้อยลง อันส่งผลต่อค่าใช้จ่ายในการผลิตไฟฟ้าของระบบ(MC)ที่สูงขึ้น โดยแบบจำลองที่ 3 ชุดที่ 1 มีค่าใช้จ่ายในการผลิตไฟฟ้าสูงกว่าแบบจำลองที่ 1 มาก และค่า MC จะค่อยๆ ลดลงเมื่อกำหนดให้ P_c มีค่าสูงขึ้น(P_c ชุดที่ 2 และ 3 ตามลำดับ)

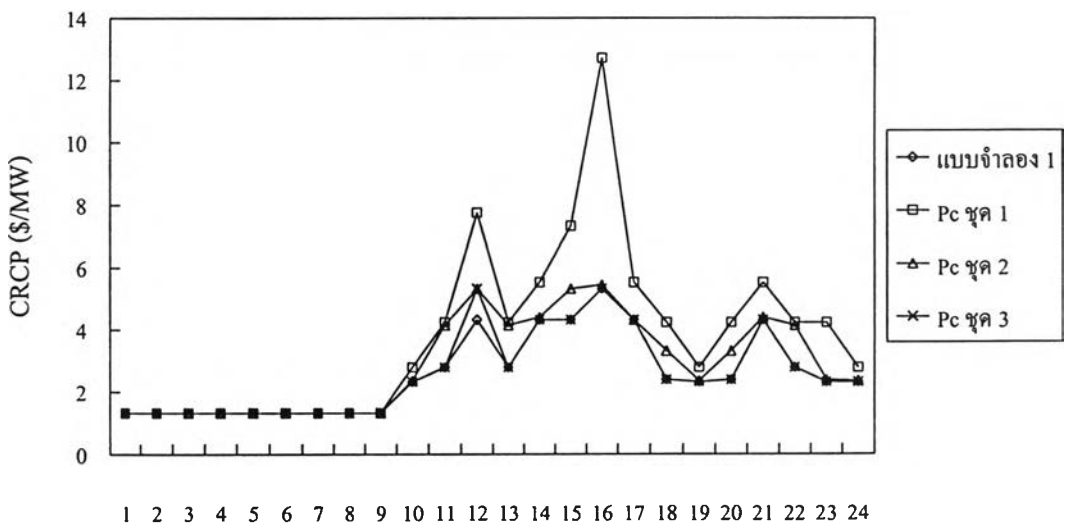
เมื่อแยกพิจารณาค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์หรือค่าใช้จ่ายในการผลิตไฟฟ้าทั้งระบบออกเป็นค่าใช้จ่ายผลิตพลังงานไฟฟ้า ค่าใช้จ่ายผลิตกำลังผลิตพร้อมจ่าย และค่าใช้จ่ายผลิตการควบคุมการผลิตอัตโนมัติ พบว่า เมื่อ P_c มีค่าต่ำ จะทำให้ค่าใช้จ่ายในการผลิตพลังงานไฟฟ้า กำลังผลิตพร้อมจ่าย และการควบคุมการผลิตอัตโนมัติมีค่าสูงขึ้น และค่าใช้จ่ายในการผลิตไฟฟ้าจะค่อยๆ ลดลงเมื่อ P_c มีค่าสูงขึ้น

นอกจากค่าใช้จ่ายการผลิตไฟฟ้าจะสูงขึ้นแล้ว ราคาสินค้าไฟฟ้าต่อหน่วยทั้ง ECP CRCP และ AGCCP ยังมีความผันผวนมากขึ้นด้วย ดังรูปที่ 6.9 ถึง 6.11 ตามลำดับ การที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้า

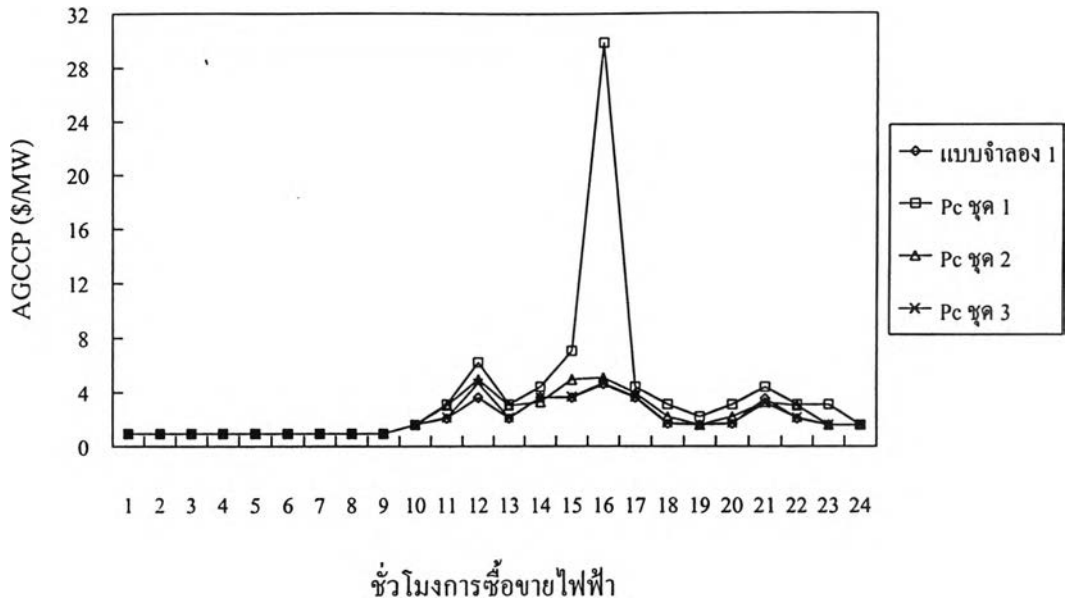
ที่มีราคาขายกำลังผลิตไฟฟ้าสูงขึ้นได้รับการจัดสรรให้ผลิตไฟฟ้าให้ตลาดแทนเครื่องที่มีราคาต่ำกว่า ทำให้ราคาค่าไฟฟ้าต่อหน่วยในแต่ละชั่วโมงจากแบบจำลองที่ 3 มีค่าสูงกว่าแบบจำลองที่ 1 และจะเห็นได้ว่า ยิ่งเงื่อนไข P_c จำกัดการผลิตไฟฟ้ามากเท่าไร(ค่า P_c ยิ่งมีค่าน้อย) จะยิ่งทำให้ราคาค่าไฟฟ้าต่อหน่วยของระบบมีค่าสูงขึ้น



รูปที่ 6.9 ราคาพลังงานไฟฟ้าจากแบบจำลองที่ 1 และ 3 (ด้วยค่า P_c ทั้ง 3 ชุด)



รูปที่ 6.10 ราคากำลังผลิตพร้อมจ่ายจากแบบจำลองที่ 1 และ 3 (ด้วยค่า P_c ทั้ง 3 ชุด)



รูปที่ 6.11 ราคาการควบคุมการผลิตอัตโนมัติจากแบบจำลองที่ 1 และ 3 (ด้วยค่า P_c ทั้ง 3 ชุด)

แม้ว่าเงื่อนไขความสัมพันธ์ระหว่างกำลังผลิตของสินค้าไฟฟ้าแต่ละชนิดจะทำให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่มีราคาสูงได้รับการจัดสรรกำลังผลิตเพิ่มมากขึ้น แต่เมื่อพิจารณารูปที่ 6.9 ถึง 6.11 จะพบว่า ทั้งราคาพลังงานไฟฟ้า ราคากำลังผลิตพร้อมจ่าย และราคาการควบคุมการผลิตอัตโนมัติกลับมีค่าสูงกว่าราคาสูงสุดของช่วงเสนอที่ได้รับการจัดสรรกำลังผลิตในตลาดไฟฟ้าเสียอีก เช่น ในชั่วโมงที่ 16 ราคาพลังงานไฟฟ้าต่อหน่วยจากแบบจำลองที่ 3 ชุดที่ 1 สูงถึง $32.38/MWh ทั้งๆ ที่ราคาเสนอขายพลังงานไฟฟ้าสูงสุดของช่วงเสนอที่ได้รับการคัดเลือกให้ผลิตไฟฟ้าอยู่ที่ $27/MWh ราคากำลังผลิตพร้อมจ่ายจากแบบจำลองที่ 3 ชุดที่ 1 ที่สูงถึง $12.71/MW ทั้งๆ ที่มีการเสนอราคาขายกำลังผลิตพร้อมจ่ายสูงสุดอยู่ที่ $3.33/MW และราคาการควบคุมการผลิตอัตโนมัติจากแบบจำลองที่ 3 ชุดที่ 1 ที่สูงถึง $29.87/MW ทั้งๆ ที่มีการเสนอราคาขายการควบคุมการผลิตอัตโนมัติ สูงสุดอยู่ที่ $2.20/MW เท่านั้น ปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นได้อธิบายไว้ในหัวข้อ 6.6 วิธีคำนวณและความหมายของราคาค่าไฟฟ้า

ถึงแม้ว่าราคาสินค้าไฟฟ้าในบางชั่วโมงจากแบบจำลองที่ 3 จะมีค่าสูงมาก ไม่ได้หมายความว่าจะทำให้มูลค่าเฉลี่ยของสินค้าไฟฟ้าทั้งวันสูงขึ้นมากตามไปด้วย เพราะราคาสินค้าไฟฟ้าที่สูงมากนั้นจะใช้คิดกับหน่วยของสินค้าไฟฟ้าในชั่วโมงหนึ่งๆ เท่านั้น และเพื่อวิเคราะห์ถึงมูลค่าเฉลี่ยที่เพิ่มขึ้นของสินค้าไฟฟ้าแต่ละประเภท จึงได้คำนวณหามูลค่าเฉลี่ยของสินค้าไฟฟ้าทั้งหมดใน 1 วันด้วยการหาค่าเฉลี่ยถ่วงน้ำหนักของราคาสินค้าไฟฟ้า ซึ่งแสดงดังตารางที่ 6.8

ตารางที่ 6.8 ค่าเฉลี่ยถ่วงน้ำหนักของ ECP CRCP และ AGCCP จากแบบจำลองที่ 1 และ 3

ชุดแบบจำลอง		ค่าเฉลี่ย ($/MWh)			MP ($/วัน)
		ECP	CRCP	AGCCP	
แบบจำลองที่ 1		23.99	2.70	2.08	164615.31
แบบจำลองที่ 3	Pc ชุดที่ 1	24.69	4.04	4.09	166078.05
	Pc ชุดที่ 2	24.40	3.08	2.40	165137.21
	Pc ชุดที่ 3	24.04	2.75	2.14	164616.43

พิจารณาตารางที่ 6.8 เมื่อเปรียบเทียบแบบจำลองที่ 1 กับแบบจำลองที่ 3 ชุดที่ 1 จะพบว่า แม้ว่าในชั่วโมงที่ 16 ค่า ECP จากแบบจำลองที่ 2 จะสูงถึง $32.38/MWh แต่ค่า ECP เฉลี่ยตลอดทั้งวันเท่ากับ $24.69/MWh ซึ่งสูงกว่าค่า ECP เฉลี่ยจากแบบจำลองที่ 1 เพียง $0.70/MWh เท่านั้น และในทำนองเดียวกันพบว่า ค่า CRCP และ AGCCP เฉลี่ยจากแบบจำลองที่ 3 สูงกว่าจากแบบจำลองที่ 1 เพียง $1.34/MW และ $2.01/MW ตามลำดับ

พิจารณาปริมาณโหลดไฟฟ้าตลอด 1 วันมีทั้งสิ้น 20,711 MWh กำลังผลิตพร้อมจ่ายรวมเท่ากับ 2,073 MW และการควบคุมการผลิตอัตโนมัติเท่ากับ 1,036 MW ถ้าทำการจัดสรรกำลังผลิตไฟฟ้าจากแบบจำลองที่ 3 ด้วยค่า P_c ชุดที่ 1 จะทำให้มูลค่าของพลังงานไฟฟ้าทั้งหมดสูงขึ้นเท่ากับ 20,711 x 0.70 = $14,497.7 มูลค่าของกำลังผลิตพร้อมจ่ายทั้งหมดสูงขึ้นเท่ากับ 2,073 x 1.34 = $2,777.82 และมูลค่าของการควบคุมการผลิตอัตโนมัติทั้งหมดสูงขึ้นเท่ากับ 1,036 x 2.01 = $2,082.36 (เมื่อเทียบกับแบบจำลองที่ 1) ดังนั้น ถึงแม้ว่าค่า ECP CRCP และ AGCCP จะมีความผันผวนในแต่ละชั่วโมงมาก หรือมีค่าสูงขึ้น อันเนื่องจากมาการใช้เงื่อนไขความสัมพันธ์ระหว่างกำลังผลิตแต่ละชนิด แต่มูลค่าของสินค้าไฟฟ้าโดยรวมจะไม่สูงขึ้นมากนัก กล่าวคือ ราคาค่าไฟฟ้าทั้งหมดที่ซื้อขายในตลาดจะสูงขึ้นเพียงเล็กน้อยเท่านั้น

จึงกล่าวได้ว่า เงื่อนไขความสัมพันธ์ระหว่างกำลังผลิตของสินค้าไฟฟ้าแต่ละชนิดในแบบจำลองที่ 3 ทำให้ราคาและมูลค่าของสินค้าไฟฟ้าทั้งพลังงานไฟฟ้า กำลังผลิตพร้อมจ่าย และการควบคุมการผลิตอัตโนมัติสูงขึ้น(เมื่อเทียบกับแบบจำลองที่ 1) ซึ่งราคาสินค้าไฟฟ้าจะลดลงได้เมื่อการจัดสรรกำลังผลิตไฟฟ้าผ่อนคลายเงื่อนไขความสัมพันธ์ระหว่างกำลังผลิตของสินค้าไฟฟ้าแต่ละชนิดลง โดยการเพิ่มค่า P_c ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในระบบ

ค่า ECP CRCP และ AGCCP ในแต่ละชั่วโมงมีความผันผวนตามความต้องการของโหลดไฟฟ้า บางชั่วโมงราคาสินค้าไฟฟ้ามีค่าสูง บางชั่วโมงมีค่าต่ำ จึงได้พิจารณาคำนวณค่าเฉลี่ยของราคาสินค้าไฟฟ้าในแต่ละชั่วโมง และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของราคาสินค้าไฟฟ้าแต่ละชนิดดังตารางที่ 6.9 เพื่อนำไปวิเคราห์ถึงความผันผวนของราคาค่าไฟฟ้าต่อไป

ตารางที่ 6.9 ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของราคาสินค้าไฟฟ้าจากแบบจำลองที่ 1 และ 3

ชุดแบบจำลอง		ค่าเฉลี่ย ($/MWh)			S.D.			S.D. ต่อ $1/MWh		
		ECP	CRCP	AGCCP	ECP	CRCP	AGCCP	ECP	CRCP	AGCCP
แบบจำลองที่ 1		23.77	2.56	1.96	1.85	1.27	1.14	0.08	0.50	0.58
แบบจำลองที่ 3	Pc ชุดที่ 1	24.40	3.76	3.71	2.62	3.76	5.84	0.11	0.73	1.58
	Pc ชุดที่ 2	24.14	2.91	2.25	2.13	1.52	1.42	0.09	0.52	0.63
	Pc ชุดที่ 3	23.81	2.60	2.01	1.91	1.35	1.23	0.08	0.52	0.61

พิจารณาตารางที่ 6.9 พบว่า เงื่อนไขความสัมพันธ์ระหว่างกำลังผลิตของสินค้าไฟฟ้าแต่ละชนิดมีผลทำให้ค่าเฉลี่ยของราคาสินค้าไฟฟ้าในแต่ละชั่วโมงสูงขึ้น เมื่อผ่อนคลายเงื่อนไขดังกล่าวด้วยการเพิ่มค่า P_c ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ามากขึ้น ราคาค่าสินค้าไฟฟ้ามีแนวโน้มจะลดลง ดังจะเห็นจากการที่ค่าเฉลี่ยราคาสินค้าไฟฟ้าที่ได้จากการจัดสรรกำลังผลิตไฟฟ้าด้วย P_c ชุดที่ 3 มีค่าใกล้เคียงกับค่าเฉลี่ยจากแบบจำลองที่ 1

นอกจากนี้ยังพบว่า เงื่อนไขความสัมพันธ์ระหว่างกำลังผลิตของสินค้าไฟฟ้าแต่ละชนิดที่เข้มงวดหรือการที่ระบบกำหนดค่า P_c ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าไว้ต่ำ นอกจากจะทำให้ราคาสินค้าไฟฟ้าเฉลี่ยในแต่ละชั่วโมงสูงขึ้นแล้ว ยังทำให้ราคาสินค้าไฟฟ้าในแต่ละชั่วโมงมีความผันผวนเพิ่มมากขึ้นด้วย ซึ่งพิจารณาได้จากค่า S.D. ต่อหน่วยราคา(ตารางที่ 6.9) และเมื่อมีการผ่อนคลายเงื่อนไขความสัมพันธ์ระหว่างกำลังผลิตของสินค้าไฟฟ้าแต่ละชนิดมากขึ้นด้วยการเพิ่มค่า P_c ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ราคาสินค้าไฟฟ้าจะมีความผันผวนน้อยลงจนใกล้เคียงกับแบบจำลองที่ 1

ดังนั้น จึงกล่าวได้ว่า เงื่อนไขความสัมพันธ์ระหว่างกำลังผลิตของสินค้าไฟฟ้าแต่ละชนิดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า มีผลต่อการจัดสรรกำลังผลิตทั้งในส่วนของพลังงานไฟฟ้า กำลังผลิตพร้อมจ่าย และการควบคุมการผลิตอัตโนมัติ ซึ่งมีผลทำให้ค่าใช้จ่ายในการผลิตไฟฟ้าของระบบ (MC,EMC,CRMC,AGCMC)สูงขึ้น ระบบมีราคาสินค้าไฟฟ้าเฉลี่ย($\overline{ECP}, \overline{CRCP}, \overline{AGC}$)สูงขึ้น ราคา

สินค้าไฟฟ้ามีความผันผวน(S.D. ต่อหน่วยราคา)ในแต่ละชั่วโมงจะสูงขึ้น อีกทั้งมูลค่าของสินค้าไฟฟ้ารวมทั้งวันซึ่งพิจารณาจากค่าเฉลี่ยถ่วงน้ำหนักของราคาสินค้าไฟฟ้าจะสูงขึ้นด้วย

จากผลการจัดสรรกำลังผลิตสินค้าไฟฟ้า 2 ชนิด ได้แก่ พลังงานไฟฟ้าและกำลังผลิตพร้อมจ่ายด้วยแบบจำลองที่ 2 (หัวข้อ 5.4) สามารถนำมาพิจารณาเปรียบเทียบกับผลการจัดสรรกำลังผลิตสินค้าไฟฟ้า 3 ชนิด ได้แก่ พลังงานไฟฟ้า กำลังผลิตพร้อมจ่าย และการควบคุมการผลิตอัตโนมัติด้วยแบบจำลองที่ 3 ในหัวข้อนี้ แสดงได้ดังตารางที่ 6.10

ตารางที่ 6.10 ตารางเปรียบเทียบผลการจัดสรรสินค้าไฟฟ้าจำนวน 2 และ 3 ชนิดด้วยแบบจำลองที่ 3

แบบจำลอง	ดัชนีวัดผล	จำนวนชนิดสินค้าไฟฟ้าในตลาด					
		2 ชนิด	3 ชนิด	2 ชนิด	3 ชนิด	2 ชนิด	3 ชนิด
		ECP ($/MWh)		CRCP ($/MWh)		AGCCP ($/MWh)	
แบบจำลองที่ 3 ชุดที่ 1	ค่าเฉลี่ยถ่วงน้ำหนัก	24.66	24.69	5.55	4.04	-	4.09
	ค่าเฉลี่ยต่อชั่วโมง	24.38	24.40	5.08	3.76	-	3.71
	ค่า S.D. ต่อหน่วยราคา	0.11	0.11	1.09	0.73	-	1.58
แบบจำลองที่ 3 ชุดที่ 2	ค่าเฉลี่ยถ่วงน้ำหนัก	24.08	24.40	3.07	3.08	-	2.40
	ค่าเฉลี่ยต่อชั่วโมง	23.87	24.14	2.90	2.91	-	2.25
	ค่า S.D. ต่อหน่วยราคา	0.08	0.09	0.52	0.52	-	0.63
แบบจำลองที่ 3 ชุดที่ 3	ค่าเฉลี่ยถ่วงน้ำหนัก	23.65	24.04	2.37	2.75	-	2.14
	ค่าเฉลี่ยต่อชั่วโมง	23.48	23.81	2.26	2.60	-	2.01
	ค่า S.D. ต่อหน่วยราคา	0.07	0.08	0.43	0.52	-	0.61

พิจารณาตารางที่ 6.10 พบว่า การจัดสรรกำลังผลิตสินค้าไฟฟ้าจำนวน 2 ชนิดได้แก่ พลังงานไฟฟ้าและกำลังผลิตพร้อมจ่าย ทำให้ราคาสินค้าและความผันผวนของราคาสินค้าไฟฟ้ามีค่าต่ำกว่าการจัดสรรกำลังผลิตสินค้าไฟฟ้าจำนวน 3 ชนิดได้แก่ พลังงานไฟฟ้า กำลังผลิตพร้อมจ่าย และการควบคุมการผลิตอัตโนมัติ ดังนั้น จึงกล่าวได้ว่า หากการจัดสรรกำลังผลิตในตลาดไฟฟ้ามีสินค้าไฟฟ้าจำนวนมากขึ้น จะทำให้ค่าเฉลี่ยถ่วงน้ำหนักซึ่งแสดงถึงมูลค่าของสินค้าไฟฟ้ามีแนวโน้มสูงขึ้น ราคาสินค้าไฟฟ้าเฉลี่ยต่อชั่วโมงมีแนวโน้มสูงขึ้น และยังทำให้ราคาสินค้าไฟฟ้ามีความผันผวนมากขึ้นอีกด้วย

6.5 ผลการจัดสรรกำลังผลิตไฟฟ้าจากแบบจำลองที่ 4

แบบจำลองที่ 4 เป็นการจัดสรรกำลังผลิตไฟฟ้าที่นำเงื่อนไขทุกชุดที่ใช้ในแบบจำลองที่ 1 ถึง 3 มาพิจารณาจัดสรรกำลังผลิตในตลาด กล่าวคือ เพิ่มทั้งเงื่อนไข ramp rate ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า และเงื่อนไขความสัมพันธ์ระหว่างกำลังผลิตของสินค้าไฟฟ้าแต่ละชนิดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเข้าไปในแบบจำลองที่ 1 โดยการศึกษากำหนดค่าของเงื่อนไขทั้งสองในแบบจำลองที่ 4 ดังนี้

1. up ramp rate ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเท่ากับ 10% ของกำลังผลิตสูงสุด(P_{max})
2. down ramp rate ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเท่ากับ 15% ของกำลังผลิตสูงสุด(P_{max})
3. การเชื่อมโยงกำลังผลิตของสินค้าไฟฟ้าแต่ละชนิดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า กำหนดให้ $P_{c,reserve}$ และ $P_{c,AGC}$ เท่ากับ 70% ของกำลังผลิตสูงสุด(P_{max})

ผลการจัดสรรกำลังผลิตไฟฟ้าจากแบบจำลองที่ 4 ทั้งจำนวน MW ราคา และค่าใช้จ่ายในการผลิตสินค้าไฟฟ้า(ทั้งพลังงานไฟฟ้า กำลังผลิตพร้อมจ่าย และการควบคุมการผลิตอัตโนมัติ) แสดงดังตารางที่ ข17 และ ข18(ภาคผนวก)

การเปรียบเทียบผลการจัดสรรกำลังผลิตไฟฟ้าจากแบบจำลองที่ 1 ถึง 4 ได้ใช้แบบจำลองที่ 2 ชุดที่ 1 ซึ่งมีค่า up ramp rate และ down ramp rate เท่ากันกับที่ใช้ในแบบจำลองที่ 4 และใช้แบบจำลองที่ 3 ชุดที่ 1 ซึ่งมีค่า P_c เท่ากันค่าที่ใช้ในแบบจำลองที่ 4 จึงทำให้สามารถนำผลการจัดสรรกำลังผลิตไฟฟ้าจากแบบจำลองที่ 1 ถึง 3 มาวิเคราะห์เปรียบเทียบผลกับแบบจำลองที่ 4 ได้

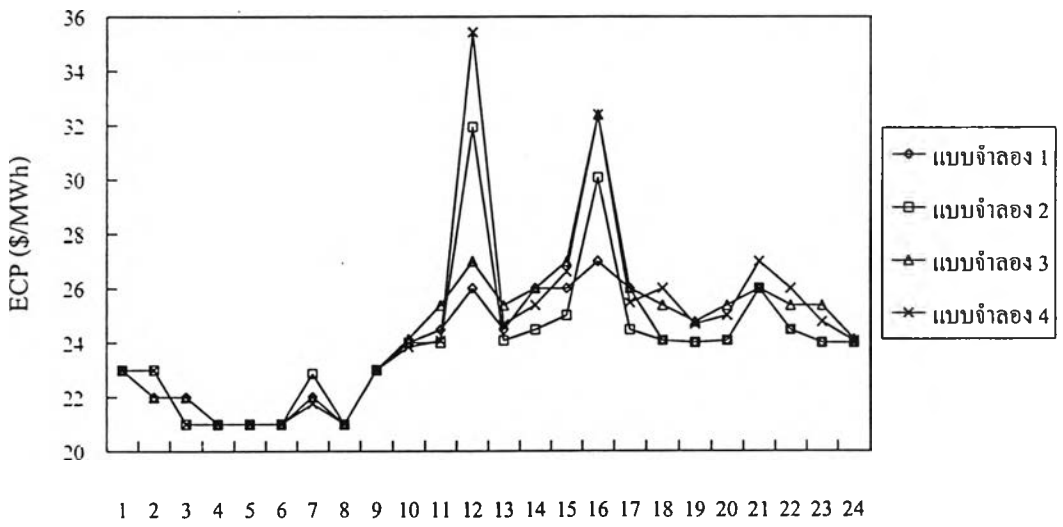
การจัดสรรกำลังผลิตไฟฟ้าด้วยโปรแกรมเชิงเส้นจากแบบจำลองที่ 4 มีการใช้เงื่อนไขข้อจำกัดมากกว่าแบบจำลองที่ 1 ถึง 3 ทำให้พื้นที่ของคำตอบที่เป็นไปได้ของปัญหาการจัดสรรกำลังผลิตไฟฟ้ามีขนาดเล็กลง ดังนั้น คำตอบของโปรแกรมเชิงเส้นในแบบจำลองที่ 4 จึงมีแนวโน้มที่จะทำให้ค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของระบบสูงขึ้น ดังตารางที่ 6.11

ตารางที่ 6.11 ค่าใช้จ่ายในการผลิตไฟฟ้าของระบบจากแบบจำลองที่ 1 ถึง 4

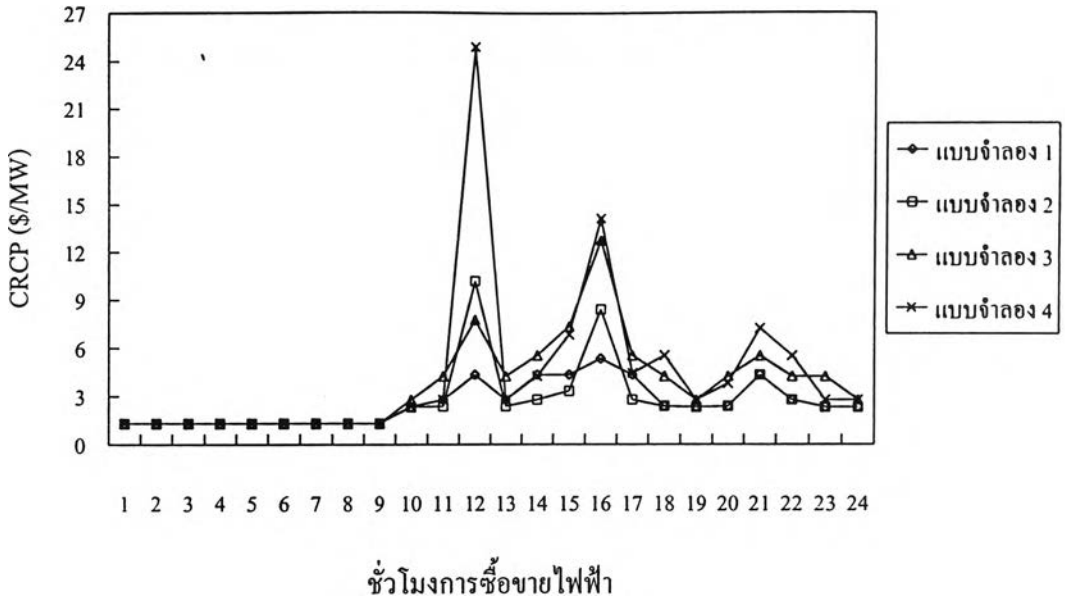
ชุดแบบจำลอง	EMC ($)	CRMC ($)	AGCMC ($)	MC ($)
แบบจำลองที่ 1	160624.00	2932.46	1058.85	164615.31
แบบจำลองที่ 2	160855.00	2894.52	1055.25	164804.77
แบบจำลองที่ 3	161543.57	3422.19	1112.29	166078.05
แบบจำลองที่ 4	162015.55	3346.18	1088.57	166450.30

พิจารณาตารางที่ 6.11 การจัดสรรกำลังผลิตไฟฟ้าจากแบบจำลองที่ 4 ทำให้ค่าใช้จ่ายในการผลิตไฟฟ้าทั้งหมดของตลาดไฟฟ้าใน 1 วันมีค่าสูงขึ้นกว่าแบบจำลองที่ 1 ถึง 3 ยิ่งระบบมีเงื่อนไขข้อจำกัดมากเท่าไร จะยิ่งทำให้ระบบมีความยืดหยุ่นในการจัดสรรกำลังผลิตไฟฟ้าน้อยลง อันส่งผลต่อค่าใช้จ่ายในการผลิตไฟฟ้าของระบบที่สูงขึ้น และเมื่อแยกพิจารณาค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์หรือค่าใช้จ่ายผลิตไฟฟ้ารวมทั้งระบบออกเป็นค่าใช้จ่ายผลิตพลังงานไฟฟ้า ค่าใช้จ่ายผลิตกำลังผลิตพร้อมจ่าย และค่าใช้จ่ายผลิตการควบคุมการผลิตอัตโนมัติ พบว่า แบบจำลองที่ 4 มีค่าใช้จ่ายในการผลิตไฟฟ้าสูงกว่าแบบจำลองที่ 2 และ 3 และเนื่องจากแบบจำลองที่ 1 มีเงื่อนไขในการจัดสรรกำลังผลิตไฟฟ้าน้อยที่สุดในบรรดาแบบจำลองทั้ง 4 ชุด จึงทำให้แบบจำลองที่ 1 มีค่าใช้จ่ายผลิตไฟฟ้าต่ำที่สุดนั่นเอง

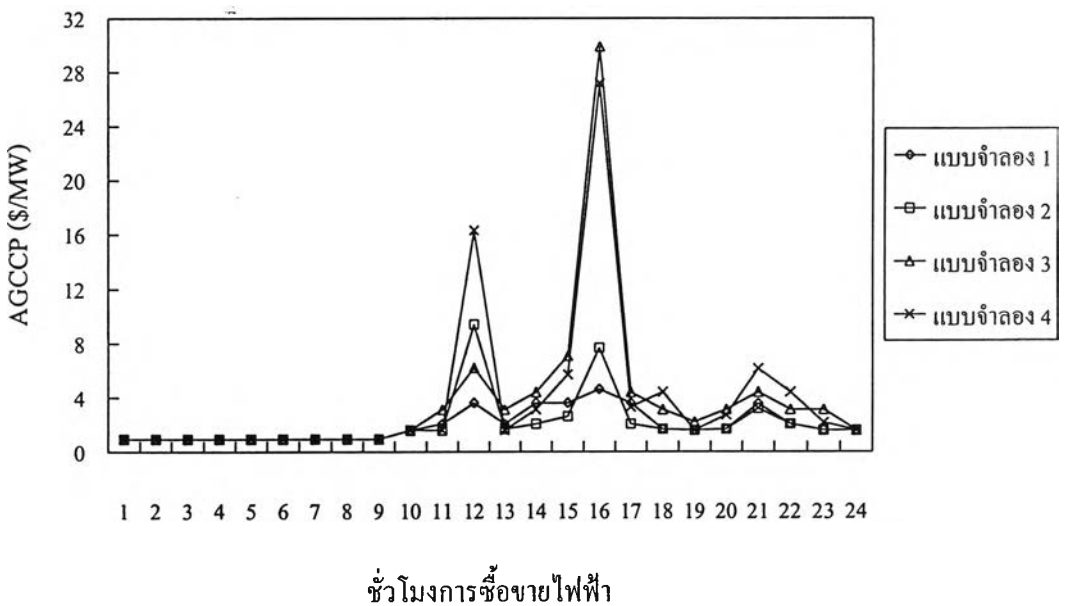
นอกจากแบบจำลองที่ 4 จะทำให้มีค่าใช้จ่ายในการผลิตไฟฟ้าจะสูงขึ้นแล้ว ราคาสินค้าไฟฟ้าทั้ง ECP CRCP และ AGCCP ยังมีความผันผวนมากขึ้นด้วย ดังรูปที่ 6.12 ถึง 6.14 ตามลำดับ การที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่มีราคาขายกำลังผลิตไฟฟ้าสูงขึ้นได้รับการจัดสรรให้ผลิตไฟฟ้าให้ตลาดแทนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าราคาถูก จึงทำให้ราคาค่าไฟฟ้าในแต่ละชั่วโมงจากแบบจำลองที่ 4 มีค่าสูงกว่าแบบจำลองที่ 1 ถึง 3



รูปที่ 6.12 ราคาพลังงานไฟฟ้าจากแบบจำลองที่ 1 ถึง 4



รูปที่ 6.13 ราคากำลังผลิตพร้อมจ่ายจากแบบจำลองที่ 1 ถึง 4



รูปที่ 6.14 ราคาการควบคุมการผลิตอัตโนมัติจากแบบจำลองที่ 1 ถึง 4

การจัดสรรกำลังผลิตจากแบบจำลองที่ 4 พบว่า ราคาพลังงานไฟฟ้า ราคากำลังผลิตพร้อมจ่ายและการควบคุมการผลิตอัตโนมัติในบางชั่วโมงมีค่าสูงมาก เช่น ในชั่วโมงที่ 12 ราคาพลังงานไฟฟ้าเท่ากับ $35.43/MWh ทั้งที่ราคาเสนอขายสูงสุดในตลาดมีค่าเพียง $29/MWh ราคากำลังผลิตพร้อมจ่ายที่สูงถึง $24.87/MW ทั้งที่ราคาเสนอขายสูงสุดมีค่าเพียง $3.33/MW และราคาการควบคุมการผลิตอัตโนมัติที่สูงถึง $16.30/MW ทั้งที่ราคาเสนอขายสูงสุดมีค่าเพียง $2.20/MW ถึงแม้ว่าราคา

ค่าสินค้าไฟฟ้าในบางชั่วโมงจากแบบจำลองที่ 4 จะมีค่าสูงมาก ไม่ได้หมายความว่าจะทำให้มูลค่าเฉลี่ยของสินค้าไฟฟ้าทั้งวันสูงขึ้นมากตามไปด้วย เพราะราคาสินค้าไฟฟ้าที่สูงมากนั้นจะใช้คิดกับหน่วยของสินค้าไฟฟ้าในชั่วโมงหนึ่งๆ เท่านั้น และเพื่อวิเคราะห์ถึงมูลค่าเฉลี่ยที่เพิ่มขึ้นของสินค้าไฟฟ้าแต่ละประเภท จึงได้คำนวณหามูลค่าเฉลี่ยของสินค้าไฟฟ้าทั้งหมดใน 1 วันด้วยการคำนวณค่าเฉลี่ยถ่วงน้ำหนักของราคาสินค้าไฟฟ้า ซึ่งแสดงได้ดังตารางที่ 6.12

ตารางที่ 6.12 ค่าเฉลี่ยถ่วงน้ำหนักของ ECP CRCP และ AGCCP จากแบบจำลองที่ 1 ถึง 4

ชุดแบบจำลอง	ค่าเฉลี่ย ($/MWh)		
	ECP	CRCP	AGCCP
แบบจำลองที่ 1	23.99	2.70	2.08
แบบจำลองที่ 2	24.23	2.91	2.26
แบบจำลองที่ 3	24.69	4.04	4.09
แบบจำลองที่ 4	24.97	4.78	4.24

เมื่อเปรียบเทียบแบบจำลองที่ 1 ถึง 4 เนื่องจากโหลดไฟฟ้าตลอด 1 วันมีทั้งสิ้น 20,711 MWh กำลังผลิตพร้อมจ่ายรวมเท่ากับ 2,073 MW และการควบคุมการผลิตอัตโนมัติรวมเท่ากับ 1,036 MW จะได้ว่า การจัดสรรกำลังผลิตไฟฟ้าจากแบบจำลองทั้ง 4 ชุดจะทำให้สินค้าไฟฟ้ามีมูลค่ารวมทั้งวัน ดังนี้

1. แบบจำลองที่ 1 มูลค่าพลังงานไฟฟ้า = 20,711 x 23.99 = $496,856.89 มูลค่ากำลังผลิตพร้อมจ่าย = 2,073 x 2.70 = $5,597.1 และมูลค่าการควบคุมการผลิตอัตโนมัติ = 1,036 x 2.08 = $2,154.88 ดังนั้น มูลค่าสินค้าไฟฟ้าทั้งหมดเท่ากับ $504,338.87
2. แบบจำลองที่ 2 มูลค่าพลังงานไฟฟ้า = 20,711 x 24.23 = $501,827.53 มูลค่ากำลังผลิตพร้อมจ่าย = 2,073 x 2.91 = $6,032.43 และมูลค่าการควบคุมการผลิตอัตโนมัติ = 1,036 x 2.26 = $2,341.36 ดังนั้น มูลค่าสินค้าไฟฟ้าทั้งหมดเท่ากับ $510,201.32
3. แบบจำลองที่ 3 มูลค่าพลังงานไฟฟ้า = 20,711 x 24.69 = $510,733.26 มูลค่ากำลังผลิตพร้อมจ่าย = 2,073 x 4.04 = $8,374.92 และมูลค่าการควบคุมการผลิตอัตโนมัติ = 1,036 x 4.09 = $4,237.24 ดังนั้น มูลค่าสินค้าไฟฟ้าทั้งหมดเท่ากับ $523,345.42
4. แบบจำลองที่ 4 มูลค่าพลังงานไฟฟ้า = 20,711 x 24.97 = $517,153.67 มูลค่ากำลังผลิตพร้อมจ่าย = 2,073 x 4.78 = $9,908.94 และมูลค่าการควบคุมการผลิตอัตโนมัติ = 1,036 x 4.24 = $4,392.64 ดังนั้น มูลค่าสินค้าไฟฟ้าทั้งหมดเท่ากับ $531,455.25

จึงกล่าวได้ว่า จำนวนและชนิดของเงื่อนไขในการกำลังผลิตไฟฟ้าที่มากขึ้น(ดังแบบจำลองที่ 4) ทำให้ราคาและมูลค่าของสินค้าไฟฟ้าทั้งพลังงานไฟฟ้า กำลังผลิตพร้อมจ่าย และการควบคุมการผลิตอัตโนมัติมีค่าสูงขึ้น(เมื่อเทียบกับแบบจำลองที่ 1 ถึง 3)

เนื่องจากค่า ECP CRCP AGCCP ในแต่ละชั่วโมงมีความผันผวนตามความต้องการของโหลดไฟฟ้า บางชั่วโมงราคาสินค้าไฟฟ้ามีค่าสูง บางชั่วโมงมีค่าต่ำ จึงได้พิจารณาคำนวณค่าเฉลี่ยของราคาสินค้าไฟฟ้าในแต่ละชั่วโมง และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของราคาสินค้าไฟฟ้าแต่ละชนิดดังตารางที่ 6.13 เพื่อนำไปวิเคราห์ถึงความผันผวนของราคาค่าไฟฟ้าต่อไป

ตารางที่ 6.13 ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของราคาสินค้าไฟฟ้าในแบบจำลองที่ 1 ถึง 4

ชุดแบบจำลอง	ค่าเฉลี่ย ($/MWh)			S.D.			S.D. ต่อ $1/MWh		
	ECP	CRCP	AGCCP	ECP	CRCP	AGCCP	ECP	CRCP	AGCCP
แบบจำลองที่ 1	23.77	2.56	1.96	1.85	1.27	1.14	0.08	0.50	0.58
แบบจำลองที่ 2	23.98	2.73	2.11	2.59	2.73	2.08	0.11	0.80	0.98
แบบจำลองที่ 3	24.40	3.76	3.71	2.62	2.76	5.84	0.11	0.73	1.58
แบบจำลองที่ 4	24.63	4.37	3.83	3.46	5.24	5.94	0.14	1.20	1.55

พิจารณาตารางที่ 6.13 พบว่า จำนวนและชนิดเงื่อนไขในการจัดสรรกำลังผลิตไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น(ดังแบบจำลองที่ 4) ทำให้ค่าเฉลี่ยของราคาสินค้าไฟฟ้าในแต่ละชั่วโมงสูงขึ้น เมื่อลดจำนวนและชนิดของเงื่อนไขในการจัดสรรกำลังผลิตไฟฟ้า ราคาสินค้าไฟฟ้ามีแนวโน้มจะลดลง(ดังแบบจำลองที่ 1 ถึง 3) นอกจากนี้ยังจะทำให้ราคาสินค้าไฟฟ้าในแต่ละชั่วโมงมีความผันผวนเพิ่มมากขึ้นด้วย และเมื่อมีการลดจำนวนและชนิดของเงื่อนไขการผลิตไฟฟ้าลง ราคาสินค้าไฟฟ้าจะมีความผันผวนน้อยลงจนใกล้เคียงกับแบบจำลองที่ 1

ดังนั้น จึงกล่าวได้ว่า จำนวนและชนิดของเงื่อนไขการจัดสรรกำลังผลิตไฟฟ้ามีผลต่อการจัดสรรกำลังผลิตทั้งในส่วนของพลังงานไฟฟ้า กำลังผลิตพร้อมจ่าย และการควบคุมการผลิตอัตโนมัติ ทำให้ค่าใช้จ่ายการผลิตไฟฟ้าของระบบ(MC,EMC,CRMC,AGCMC)มีค่าสูงขึ้น ระบบจะมีราคาสินค้าไฟฟ้าเฉลี่ย($\overline{ECP}, \overline{CRCP}, \overline{AGCCP}$)สูงขึ้น ราคาสินค้าไฟฟ้ามีความผันผวน(S.D. ต่อหน่วยราคา)ในแต่ละชั่วโมงมากขึ้น และมูลค่าของสินค้าไฟฟ้ารวมทั้งวันซึ่งพิจารณาจากค่าเฉลี่ยถ่วงน้ำหนักของราคาสินค้าไฟฟ้าสูงขึ้นด้วย

จากผลการจัดสรรกำลังผลิตสินค้าไฟฟ้า 2 ชนิด ได้แก่ พลังงานไฟฟ้าและกำลังผลิตพร้อมจ่ายด้วยแบบจำลองที่ 1 (หัวข้อ 5.5) สามารถนำมาพิจารณาเปรียบเทียบกับผลการจัดสรรกำลังผลิตสินค้าไฟฟ้า 3 ชนิด ได้แก่ พลังงานไฟฟ้า กำลังผลิตพร้อมจ่าย และการควบคุมการผลิตอัตโนมัติด้วยแบบจำลองที่ 4 ในหัวข้อนี้ แสดงได้ดังตารางที่ 6.14

ตารางที่ 6.14 เปรียบเทียบผลการจัดสรรสินค้าไฟฟ้าจำนวน 2 และ 3 ชนิดด้วยแบบจำลองที่ 4

ดัชนีวัดผล	จำนวนชนิดสินค้าไฟฟ้าในตลาด					
	2 ชนิด	3 ชนิด	2 ชนิด	3 ชนิด	2 ชนิด	3 ชนิด
	ECP ($/MWh)		CRCP ($/MWh)		AGCCP ($/MWh)	
ค่าเฉลี่ยถ่วงน้ำหนัก	24.93	24.97	6.31	4.78	-	4.24
ค่าเฉลี่ยต่อชั่วโมง	24.59	24.63	5.70	4.37	-	3.83
ค่า S.D. ต่อหน่วยราคา	0.14	0.14	1.43	1.20	-	1.55

พิจารณาตารางที่ 6.14 พบว่า การจัดสรรกำลังผลิตสินค้าไฟฟ้าจำนวน 2 ชนิดได้แก่ พลังงานไฟฟ้าและกำลังผลิตพร้อมจ่าย ทำให้ราคาสินค้าและความผันผวนของราคาสินค้าไฟฟ้ามีค่าต่ำกว่าการจัดสรรกำลังผลิตสินค้าไฟฟ้าจำนวน 3 ชนิดได้แก่ พลังงานไฟฟ้า กำลังผลิตพร้อมจ่าย และการควบคุมการผลิตอัตโนมัติ ดังนั้น จึงกล่าวได้ว่า หากการจัดสรรกำลังผลิตในตลาดไฟฟ้ามีสินค้าไฟฟ้าจำนวนมากขึ้น จะทำให้ค่าเฉลี่ยถ่วงน้ำหนักซึ่งแสดงถึงมูลค่าของสินค้าไฟฟ้ามีแนวโน้มสูงขึ้น ราคาสินค้าไฟฟ้าเฉลี่ยต่อชั่วโมงมีแนวโน้มสูงขึ้น และยังทำให้ราคาสินค้าไฟฟ้ามีความผันผวนมากขึ้นอีกด้วย

6.6 วิธีคำนวณและความหมายของราคาค่าไฟฟ้า

พิจารณาผลการจัดสรรกำลังผลิตไฟฟ้าจากแบบจำลองที่ 1 ถึง 4 (หัวข้อ 6.2 ถึง 6.5) พบว่าในบางชั่วโมงการซื้อขายไฟฟ้า สินค้าไฟฟ้าทั้งพลังงานไฟฟ้า กำลังผลิตพร้อมจ่าย และการควบคุมการผลิตอัตโนมัติมีราคาสูง และอาจสูงกว่าราคาที่มีการเสนอขายไฟฟ้าในตลาดไฟฟ้า จึงกล่าวได้ว่าราคาสินค้าไฟฟ้าที่ได้จากการจัดสรรกำลังผลิตไฟฟ้าด้วยโปรแกรมเชิงเส้นไม่ได้กำหนดจากราคาสินค้าไฟฟ้าของช่วงเสนอที่สูงที่สุดที่ได้รับการจัดสรรให้ผลิตไฟฟ้า แต่โปรแกรมเชิงเส้นได้กำหนดราคาสินค้าไฟฟ้าจากค่า Lagrange multiplier ที่สัมพันธ์อยู่กับสมการเงื่อนไขความต้องการสินค้าไฟฟ้าชนิดนั้น

ราคาสินค้าไฟฟ้า ซึ่งเท่ากับ ค่า Lagrange multiplier ที่สัมพันธ์อยู่กับเงื่อนไขความต้องการสินค้าไฟฟ้า มีความหมายว่า ถ้าความต้องการสินค้าไฟฟ้าชนิดนั้นเพิ่มขึ้น 1 หน่วยแล้ว จะทำให้ค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของวิธีโปรแกรมเชิงเส้นเพิ่มขึ้นในปริมาณเท่ากับค่า Lagrange multiplier นั้น สำหรับกรณีการจัดสรรกำลังผลิตไฟฟ้าในตลาดไฟฟ้า ค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ได้แก่ ค่าใช้จ่ายในการผลิตไฟฟ้าทั้งระบบ(MC) ซึ่งเป็นผลคูณของจำนวน MW ที่ได้รับจัดสรรกับราคาเสนอขายสินค้าไฟฟ้าของช่วงเสนอนั้นๆ จึงกล่าวได้ว่า ราคาสินค้าไฟฟ้าในแต่ละชั่วโมงที่กำหนดโดยค่า Lagrange multiplier ของโปรแกรมเชิงเส้น จึงเท่ากับค่าใช้จ่ายในการผลิตไฟฟ้าที่จะเพิ่มขึ้นเมื่อมีความต้องการสินค้าไฟฟ้าเพิ่มขึ้น 1 หน่วยในชั่วโมงนั้นๆ

ผลการจัดสรรกำลังผลิตจากแบบจำลองที่ 4 (ตารางที่ ข17 ถึง ข18) ในชั่วโมงที่ 12 พบว่าราคาพลังงานไฟฟ้าเท่ากับ $35.43/MWh ราคากำลังผลิตพร้อมจ่ายเท่ากับ $24.87/MW และราคาการควบคุมการผลิตอัตโนมัติเท่ากับ $16.30/MW ซึ่งสูงกว่าราคาพลังงานไฟฟ้า กำลังผลิตพร้อมจ่ายและการควบคุมการผลิตอัตโนมัติที่มีการเสนอขายในตลาดไฟฟ้า ซึ่งสาเหตุที่เป็นเช่นนี้จะได้อธิบายต่อไป

กำหนดให้ในชั่วโมงที่ 12 มีความต้องการพลังงานไฟฟ้าเพิ่มขึ้น 1 MW เมื่อทำการจัดการจัดสรรกำลังผลิตไฟฟ้าจากแบบจำลองที่ 4 (ดูตารางที่ ข19 และ ข20) พบว่า กำลังผลิตที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละเครื่องได้รับจัดสรรเปลี่ยนไปจากเดิม(ชุดโหลดไฟฟ้าก่อนเพิ่มความต้องการพลังงานไฟฟ้า 1 MW ดูตารางที่ ข17 และ ข18) ดังนี้

1. ในชั่วโมงที่ 10 G5 ผลิตพลังงานไฟฟ้าลดลง1 MW และ G6 ผลิตพลังงานไฟฟ้าเพิ่มขึ้น 1 MW
2. ในชั่วโมงที่ 10 G2 ผลิตกำลังผลิตพร้อมจ่ายเพิ่มขึ้น 6.33 MW G3 ผลิตกำลังผลิตพร้อมจ่ายลดลง 6.93 MW และ G5 ผลิตกำลังผลิตพร้อมจ่ายเพิ่มขึ้น 0.6 MW
3. ในชั่วโมงที่ 10 G3 ผลิตการควบคุมการผลิตอัตโนมัติลดลง 0.3 MW และ G5 ผลิตกำลังผลิตพร้อมจ่ายเพิ่มขึ้น 0.3 MW
4. ในชั่วโมงที่ 11 G5 ผลิตพลังงานไฟฟ้าลดลง 1 MW และ G6 ผลิตพลังงานไฟฟ้าเพิ่มขึ้น 1 MW
5. ในชั่วโมงที่ 11 G5 ผลิตกำลังผลิตพร้อมจ่ายเพิ่มขึ้น 0.6 MW และ G6 ผลิตกำลังผลิตพร้อมจ่ายลดลง 0.6 MW

6. ในชั่วโมงที่ 11 G2 ผลิตการควบคุมการผลิตอัตโนมัติลดลง 3.46 MW G3 ผลิตการควบคุมการผลิตอัตโนมัติเพิ่มขึ้น 3.17 MW และ G5 ผลิตกำลังผลิตพร้อมจ่ายเพิ่มขึ้น 0.29 MW
7. ในชั่วโมงที่ 12 G6 ผลิตพลังงานไฟฟ้าเพิ่มขึ้น 1 MW (***)
8. ในชั่วโมงที่ 13 G4 ผลิตพลังงานไฟฟ้าลดลง 1 MW และ G6 ผลิตพลังงานไฟฟ้าเพิ่มขึ้น 1 MW
9. ในชั่วโมงที่ 13 G4 ผลิตกำลังผลิตพร้อมจ่ายเพิ่มขึ้น 0.32 MW และ G6 ผลิตกำลังผลิตพร้อมจ่ายลดลง 0.32 MW
10. ในชั่วโมงที่ 13 G2 ผลิตการควบคุมการผลิตอัตโนมัติเพิ่มขึ้น 0.34 MW G3 ผลิตการควบคุมการผลิตอัตโนมัติลดลง 0.5 MW และ G4 ผลิตกำลังผลิตพร้อมจ่ายเพิ่มขึ้น 0.16 MW

เมื่อจุดทำงานของระบบ หรือกำลังผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทุกเครื่องในระบบเปลี่ยนแปลงไป ย่อมส่งผลต่อค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของโปรแกรมเชิงเส้น อันได้แก่ ค่าใช้จ่ายผลิตไฟฟ้าของตลาดไฟฟ้า ด้วยโหลดชุดเดิมก่อนเพิ่มความต้องการพลังงานไฟฟ้าในชั่วโมงที่ 12 ระบบจะมีค่าใช้จ่ายผลิตไฟฟ้าเท่ากับ $166,450.30 (ตารางที่ ข18) เมื่อเพิ่มความต้องการพลังงานไฟฟ้าในชั่วโมงที่ 12 เพิ่มขึ้น 1 MW ระบบจะมีค่าใช้จ่ายผลิตไฟฟ้าเท่ากับ $166,485.73 (ตารางที่ ข20) ดังนั้น ผลต่างของค่าใช้จ่ายผลิตไฟฟ้าของทั้ง 2 กรณีเท่ากับ $35.43 ซึ่งมีค่าเท่ากับค่า Lagrange multiplier ของโปรแกรมเชิงเส้นที่ผูกติดกับเงื่อนไขสมการความต้องการพลังงานไฟฟ้าในชั่วโมงที่ 12 และค่านี้เองได้ถูกนำไปใช้กำหนดราคาพลังงานไฟฟ้าในชั่วโมงที่ 12 เท่ากับ $35.43/MWh ซึ่งมีความหมายว่า ถ้าระบบต้องการพลังงานไฟฟ้าในชั่วโมงที่ 12 เพิ่มขึ้น 1 MW แล้ว ค่าใช้จ่ายผลิตไฟฟ้าของระบบจะเพิ่มขึ้น $35.43 ซึ่งค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้นนี้เปรียบเสมือนว่าเป็นราคาของพลังงานไฟฟ้าจำนวน 1 MW ที่เพิ่มขึ้นมานั่นเอง

ในทำนองเดียวกัน ก่อนเพิ่มความต้องการกำลังผลิตพร้อมจ่ายในชั่วโมงที่ 12 ระบบมีค่าใช้จ่ายการผลิตไฟฟ้าเท่ากับ $166,450.30 (ตารางที่ ข18) เมื่อเพิ่มความต้องการกำลังผลิตพร้อมจ่ายในชั่วโมงที่ 12 ขึ้นอีก 1 MW จะพบว่า ผลการจัดสรรกำลังผลิตไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงไป(ตารางที่ ข21) ระบบมีค่าใช้จ่ายผลิตไฟฟ้าเท่ากับ $166,475.17 (ตารางที่ ข22) ทำให้ค่าใช้จ่ายผลิตไฟฟ้าของระบบเพิ่มขึ้นจากเดิมเท่ากับ $24.87 ซึ่งมีค่าเท่ากับค่า Lagrange multiplier ของโปรแกรมเชิงเส้นที่ผูกติดกับเงื่อนไขสมการความต้องการกำลังผลิตพร้อมจ่ายในชั่วโมงที่ 12 และค่านี้เองได้ถูกนำไปใช้กำหนดราคากำลังผลิตพร้อมจ่ายในชั่วโมงที่ 12 เท่ากับ $24.87/MW ซึ่งมีความหมายว่า ถ้าระบบต้องการ กำลังผลิตพร้อมจ่าย ในชั่วโมงที่ 12 เพิ่มขึ้น 1 MW แล้ว ค่าใช้จ่าย

ผลิตไฟฟ้าของระบบจะเพิ่มขึ้น \$24.87 ซึ่งค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้นนี้เปรียบเสมือนว่าเป็นราคาของกำลังผลิตพร้อมจ่ายจำนวน 1 MW ที่เพิ่มขึ้น

ก่อนเพิ่มความต้องการการควบคุมการผลิตอัตโนมัติในชั่วโมงที่ 12 ระบบมีค่าใช้จ่ายการผลิตไฟฟ้าเท่ากับ \$166,450.30 (ตารางที่ ข18) เมื่อเพิ่มความต้องการการควบคุมการผลิตอัตโนมัติในชั่วโมงที่ 12 ขึ้นอีก 1 MW จะพบว่า ผลการจัดสรรกำลังผลิตไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงไป(ตารางที่ ข23) ระบบมีค่าใช้จ่ายผลิตไฟฟ้าเท่ากับ \$166,466.60 (ตารางที่ ข24) ทำให้ค่าใช้จ่ายผลิตไฟฟ้าของระบบเพิ่มขึ้นจากเดิมเท่ากับ \$16.30 ซึ่งมีค่าเท่ากับค่า Lagrange multiplier ของโปรแกรมเชิงเส้นที่ผูกติดกับเงื่อนไขสมการความต้องการการควบคุมการผลิตอัตโนมัติในชั่วโมงที่ 12 และค่านี้เองได้ถูกนำไปใช้กำหนดราคาการควบคุมการผลิตอัตโนมัติในชั่วโมงที่ 12 เท่ากับ \$16.30/MW ซึ่งมีความหมายว่า ถ้าระบบต้องการการควบคุมการผลิตอัตโนมัติในชั่วโมงที่ 12 เพิ่มขึ้น 1 MW แล้ว ค่าใช้จ่ายผลิตไฟฟ้าของระบบจะเพิ่มขึ้น \$16.30 ซึ่งค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้นนี้เปรียบเสมือนว่าเป็นราคาของการควบคุมการผลิตอัตโนมัติจำนวน 1 MW ที่เพิ่มขึ้น

จึงกล่าวได้ว่า ราคาสินค้าไฟฟ้าซึ่งกำหนดโดยค่า Lagrange multiplier ที่สัมพันธ์อยู่กับเงื่อนไขความต้องการสินค้าไฟฟ้านั้นๆ หมายถึง ค่าใช้จ่ายการผลิตไฟฟ้าหรือค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่เพิ่มขึ้นเมื่อมีความต้องการสินค้าไฟฟ้านั้นๆ เพิ่มขึ้น 1 หน่วย

6.7 เปรียบเทียบผลการจัดสรรกำลังผลิตกับบทที่ 5 ในภาพรวม

การจัดสรรกำลังผลิตในบทนี้ประกอบด้วยสินค้าไฟฟ้าจำนวน 3 ชนิด ได้แก่ พลังงานไฟฟ้า กำลังผลิตพร้อมจ่ายและการควบคุมการผลิตอัตโนมัติ ส่งผลให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้ามีทางเลือกในการขายกำลังผลิตได้มากขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับสินค้าไฟฟ้าเพียง 2 ชนิดดังแสดงในบทที่ 5 ด้วยเหตุผลดังกล่าว หากผู้ผลิตรายหนึ่งได้รับจัดสรรให้จ่ายการควบคุมฯ อัตโนมัติและกำลังผลิตพร้อมจ่ายแล้ว จะส่งผลให้มีความสามารถในการจ่ายพลังงานไฟฟ้าได้ลดลง ทำให้ผู้ผลิตรายอื่นมีอำนาจในการแข่งขันขายพลังงานไฟฟ้าได้ ซึ่งเป็นการเพิ่มโอกาสให้ผู้ผลิตที่เสนอราคาขายพลังงานไฟฟ้าไว้สูงได้รับการจัดสรรให้จ่ายพลังงานไฟฟ้ามากขึ้น จึงส่งผลให้ราคาสินค้าไฟฟ้ามีแนวโน้มสูงกว่าการจัดสรรกำลังผลิตสินค้าไฟฟ้าจำนวน 2 ชนิด(พลังงานไฟฟ้าและกำลังผลิตพร้อมจ่าย) นอกจากนี้ยังพบว่า ความผันผวนของราคาสินค้าไฟฟ้ามีแนวโน้มสูงขึ้นเช่นเดียวกับแนวโน้มของราคาสินค้าไฟฟ้าอีกด้วย ดังนั้น จึงกล่าวได้ว่า หากการจัดสรรกำลังผลิตในตลาดไฟฟ้ามีสินค้าไฟฟ้าจำนวนมากขึ้น จะทำให้ค่าเฉลี่ยถ่วงน้ำหนักซึ่งแสดงถึงมูลค่าของสินค้าไฟฟ้ามีแนวโน้มสูงขึ้น ราคาสินค้าไฟฟ้าเฉลี่ยต่อชั่วโมงมีแนวโน้มสูงขึ้น และยังทำให้ราคาสินค้าไฟฟ้ามีความผันผวนมากขึ้นอีกด้วย