บทที่ 4

การกำหนดแบบจำลองระบบผลิตไฟฟ้าพลังน้ำ-พลังความร้อนที่พิจารณาถึงการส่งออกกำลังไฟฟ้า

4.1 คำนำ

ปัญหาในการกำหนดและจัดสรรกำลังการผลิตของระบบไฟฟ้ากำลังที่ประกอบด้วยระบบผลิตไฟฟ้าพลังน้ำและพลังความร้อนจัดเป็นปัญหาที่มีความซับซ้อน[7-10,12-16,19,21,23-24,26-27] ทั้งนี้เนื่องจากระบบทั้งสองต่างมีความสัมพันธ์ที่เกี่ยวพันกันทั้งในการจ่ายโหลดและจัดเตรียมกำลังผลิตสำรองการพิจารณาถึงการส่งออกกำลังไฟฟ้าร่วมด้วย จึงทำให้ปัญหาดังกล่าวมีความซับซ้อนมากยิ่งขึ้น อย่างไรก็ดี การพิจารณาใช้ข้อกำหนดและแบบจำลองของระบบผลิตไฟฟ้าที่มีความเหมาะสมและสอดคล้องกับขอบเขตของปัญหา จะทำให้ปัญหาดังกล่าวลดความซับซ้อนลงและสามารถแก้ไขได้ด้วยวิธีการทางคณิตศาสตร์ที่จะกล่าวถึงในบทต่อไป ข้อกำหนดต่าง ๆที่ใช้ในการกำหนดขอบเขตของปัญหาที่จะทำการศึกษาในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีดังต่อไปนี้

1. ระบบเชื่อมโยงที่ใช้ในการส่งออกกำลังไฟฟ้า เป็นการเชื่อมโยงกันระหว่างระบบของการไฟฟ้าผู้ส่งออกกับระบบของการไฟฟ้าผู้นำเข้าไฟฟ้าที่เป็นอิสระต่อกัน และจะไม่พิจารณาถึงสายส่งภายในของระบบไฟฟ้ากำลังแต่ละระบบ ดังแสดงในรูปที่ 4.1

2. ข้อมูลต่าง ๆในแบบจำลองของโรงไฟฟ้าพลังน้ำ โรงไฟฟ้าพลังความร้อน และสัญญาการซื้อขายไฟฟ้าเป็นไปตามข้อตกลงที่กำหนดไว้

3. ระบบไฟฟ้าพลังน้ำหรือระบบไฟฟ้าพลังความร้อนเพียงระบบเดียว มีกำลังไม่เพียงพอจ่ายต่อความต้องการใช้ไฟฟ้ารวมของระบบ

4. กำลังการผลิตของผู้ส่งออกมีเพียงพอตามสัญญาซื้อ-ขายไฟฟ้า

5. ค่าไฟฟ้าที่ใช้ในแบบจำลองของสัญญาซื้อขายไฟฟ้าเป็นแบบแปรตามเวลา และพิจารณาเฉพาะราคาพลังงานไฟฟ้าเท่านั้น

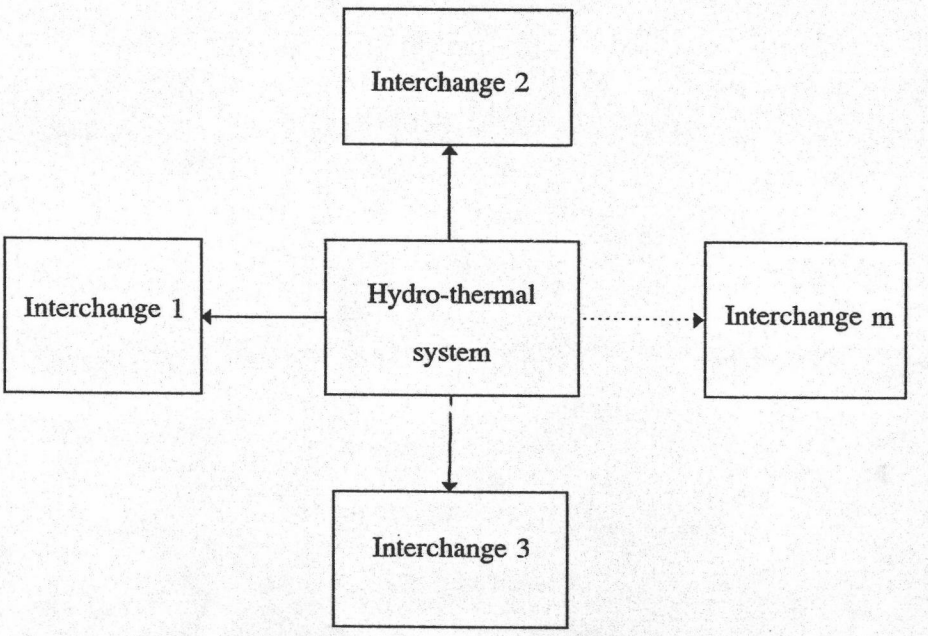
6. ตามความเป็นจริงนั้นสภาพของภูมิประเทศและแหล่งแม่น้ำลำธาร มักจะทำให้ไม่สามารถสร้างโรงไฟฟ้าพลังน้ำ (เขื่อน) ให้อยู่ใกล้ๆกันได้ ดังนั้นแบบจำลองของโรงไฟฟ้าพลังน้ำแบบโรงไฟฟ้าเดี่ยว(Isolated plants) [12,15,25] จึงถูกนำมาใช้ กล่าวคือ โรงไฟฟ้าประเภทนี้จะได้รับกระแสน้ำเข้าสู่อ่างเก็บน้ำ(Water inflow)ตามธรรมชาติโดยอ่างเก็บน้ำของโรงไฟฟ้าหนึ่งจะไม่มีความสัมพันธ์เกี่ยวเนื่องกับอ่างเก็บน้ำของอีกโรงไฟฟ้าหนึ่ง การควบคุม

การปล่อยน้ำ(Water discharge) ของโรงไฟฟ้าพลังน้ำนี้ไม่มีผลกระทบต่อโรงไฟฟ้าพลังน้ำอื่นๆ

7. ไม่มีการพิจารณากำลังสูญเสียในการส่งออกกำลังไฟฟ้า

8. แบ่งระยะเวลาศึกษา (1 วัน หรือ 1สัปดาห์) ออกเป็นช่วงๆ เช่น 1 หรือชั่วโมง เป็นต้น

9. ในแต่ละช่วงเวลา ตัวแปรต่างๆ เช่น ราคาค่าไฟฟ้า โหลด ปริมาณการผลิต พลังงานที่ซื้อ-ขาย จะมีค่าคงที่



รูปที่ 4.1 การเชื่อมโยงของระบบผลิตพลังน้ำ-พลังความร้อนเพื่อการส่งออก

4.2 แบบจำลองของสัญญาการซื้อ-ขายไฟฟ้าในระบบเชื่อมโยง

ระบบไฟฟ้าเชื่อมโยง (Interconnected systems) คือ ระบบไฟฟ้าที่มีการเชื่อมโยงกันระหว่างการไฟฟ้าที่มีการดำเนินกิจการเป็นอิสระต่อกัน ซึ่งอาจอยู่ในประเทศเดียวกันหรือต่างประเทศก็ได้

ประโยชน์ของการเชื่อมโยงระบบไฟฟ้า คือ การที่ระบบไฟฟ้าแต่ละระบบที่เชื่อมต่อกันสามารถดำเนินการช่วยเหลือกันได้ โดยอาจเป็นการแลกเปลี่ยนหรือซื้อขายไฟฟ้ากัน ในช่วงเวลาที่ระบบใดระบบหนึ่งเกิดขาดแคลนกำลังไฟฟ้าหรือเกิดข้อขัดข้องในระบบไฟฟ้าขึ้น ระบบหนึ่งจะสามารถส่งกำลังไฟฟ้ามาช่วยได้ตามความเหมาะสม วิธีการเช่นนี้ทำให้แต่ละระบบที่เชื่อมโยงกันมีความมั่นคงและเชื่อถือได้ดีขึ้น

การแลกเปลี่ยนหรือซื้อขายไฟฟ้า โดยทั่วไป มักดำเนินการผ่านสัญญาหรือข้อตกลงตามหลักการทางธุรกิจหรือทางเศรษฐศาสตร์ ตลอดจนเงื่อนไขและความเหมาะสมด้านเทคนิคของแต่ละระบบที่ต่อเชื่อมโยงกัน เช่น ต้นทุนการผลิต กำลังผลิตติดตั้ง กำลังผลิตพึ่งได้และสภาพความไม่แน่นอนของแต่ละระบบ ตลอดถึงขีดจำกัดในการรับการรับส่งกำลังไฟฟ้าของสายเชื่อมโยง เป็นต้น

การแลกเปลี่ยนหรือการซื้อขายไฟฟ้ามีอยู่หลายประเภท [11,25] ซึ่งพอจะสรุปในส่วนที่สำคัญได้ดังต่อไปนี้

1. การแลกเปลี่ยนในเชิงเศรษฐกิจ (Economy interchange) [25] คือ การซื้อขายไฟฟ้าระหว่างการไฟฟ้าด้วยกัน โดยพิจารณาถึงหลักการประหยัดค่าใช้จ่ายในการผลิตไฟฟ้า ทั้งนี้เพื่อก่อให้เกิดประโยชน์สูงสุดแก่ทั้งผู้ซื้อและผู้ขาย กล่าวคือ ในการผลิตไฟฟ้าของการไฟฟ้าแห่งหนึ่งเพื่อจ่ายให้แก่ผู้ใช้ในระบบของตนเองนั้น ถึงแม้ว่าจะมีกำลังการผลิตพอเพียงก็ตาม แต่หากมีค่าใช้จ่ายในการผลิตสูงเกินไป การผลิตก็จะไม่คุ้มค่า การไฟฟ้าดังกล่าวนั้นก็อาจจะเลือกซื้อไฟฟ้าจากการไฟฟ้าอื่นที่มีกำลังผลิตเพียงพอและมีค่าใช้จ่ายในการผลิตต่ำกว่า วิธีการเช่นนี้จะช่วยให้ลดต้นทุนการผลิตของระบบลงได้

ในการตัดสินใจเกี่ยวกับการซื้อขายด้วยวิธีนี้ โดยทั่วไปจะพิจารณากันด้วยอัตราการเพิ่มค่าใช้จ่ายในการผลิตต่อหน่วย(Incremental cost)เทียบกับค่าไฟฟ้าที่ซื้อขายกัน กล่าวคือ การที่จะผลิตไฟฟ้าจำนวนหนึ่ง ในช่วงเวลาใดหนึ่ง หากระบบของการไฟฟ้าใดมีค่าอัตราการเพิ่มของค่าใช้จ่ายในการผลิตต่อหน่วยสูง ในช่วงเวลาดังกล่าวการไฟฟ้านั้นจะเป็นฝ่ายซื้อไฟฟ้าจากการไฟฟ้าอื่นที่ต่อเชื่อมกันอยู่และมีค่าอัตราการเพิ่มของค่าใช้จ่ายในการผลิตต่อหน่วยต่ำกว่า

2. การแลกเปลี่ยนกำลังผลิต (Capacity interchange) คือ การซื้อขายไฟฟ้าระหว่างการไฟฟ้าด้วยกัน ในช่วงเวลาระบบหนึ่งเกิดขาดแคลนกำลังไฟฟ้า กล่าวคือ ในการผลิตไฟฟ้า ผู้ผลิตต้องมั่นใจว่า กำลังผลิตพึ่งได้ของตนต้องมากกว่าหรือเท่ากับผลบวกของโหลดสูงสุดกับกำลังผลิตไฟฟ้าสำรองอยู่เสมอ แต่บางครั้งอาจมีเหตุผลบางประการที่ทำให้การไฟฟ้าบางรายไม่สามารถหรือไม่คุ้มค่าที่จะลงทุนเพิ่มกำลังผลิตติดตั้งได้ทันต่อความต้องการใช้ไฟฟ้า การซื้อไฟฟ้าจากการไฟฟ้าอื่นที่มีไฟฟ้าเหลือใช้แทนจึงเป็นทางเลือกแบบหนึ่ง โดยให้การไฟฟ้าที่เป็นฝ่ายขายนั้นรับผิดชอบต่อปริมาณความต้องการไฟฟ้าที่ตกลงซื้อขายกัน

3. การแลกเปลี่ยนในขณะที่โหลดสูงสุดเกิดขึ้น ณ เวลาต่างกัน (Load diversity interchange) คือ การแลกเปลี่ยนไฟฟ้า ในขณะที่โหลดสูงสุดของระบบของแต่ละการไฟฟ้าที่ต่อเชื่อมโยงกันเกิดขึ้น ณ เวลาที่ต่างกัน กล่าวคือ ในช่วงเวลาใดหนึ่ง ถ้าระบบของการไฟฟ้าใดมีโหลดสูงสุดเกิดขึ้นก่อน การไฟฟ้านั้นจะเป็นฝ่ายซื้อไฟฟ้าก่อนจากการไฟฟ้าอื่นที่ระบบมีโหลดต่ำในช่วงเวลานั้น และจะเป็นฝ่ายขายไฟฟ้าคืนให้แก่การไฟฟ้าอื่นในช่วงเวลาที่ระบบของอีกการไฟฟ้ามีโหลดสูงสุด วิธีการแลกเปลี่ยนเช่นนี้ทำให้แต่ละระบบของการไฟฟ้าที่ต่อเชื่อมโยงกันไม่จำเป็นต้องมีปริมาณกำลังผลิตติดตั้งสูงนัก และจะช่วยให้ลดต้นทุนการผลิตอีกด้วย

4. การแลกเปลี่ยนในสภาวะฉุกเฉิน (Emergency interchange) คือ การช่วยเหลือระหว่างการไฟฟ้าด้วยกัน ในเวลาที่ระบบผลิตไฟฟ้าของการไฟฟ้าหนึ่งเกิดมีข้อขัดข้องขึ้นอย่างกระทันหันในส่วนของอุปกรณ์หรือเครื่องกำเนิดไฟฟ้า หรือมีโหลดเป็นปริมาณมากเพิ่มขึ้นอย่างฉับพลัน หรือมีเหตุการณ์ผิดปกติอื่นๆที่ทำให้โหลดมีค่ามากกว่ากำลังผลิตพึ่งได้ของระบบ การแลกเปลี่ยนด้วยวิธีนี้ทำให้แต่ละระบบที่เชื่อมโยงกันไม่จำเป็นต้องมีปริมาณไฟฟ้าสำรองไว้มากเกินไป ปริมาณไฟฟ้าสำรองของระบบหนึ่งจะเป็นส่วนช่วยให้เกิดความมั่นคงหรือความเชื่อถือได้ของอีกระบบเพิ่มสูงขึ้นได้

5. การแบงค์กิ้งพลังงาน (Energy banking) คือ การแลกเปลี่ยนไฟฟ้าระหว่างการไฟฟ้าด้วยกันในรูปแบบการธนาคาร กล่าวคือ ในช่วงเวลาที่ระบบของการไฟฟ้าหนึ่งมีไฟฟ้าเหลือใช้ การไฟฟ้านั้นจะทำหน้าที่เป็นผู้ฝาก(Depositor)พลังงาน ด้วยการส่งออกไฟฟ้าให้แก่ระบบของการไฟฟ้าอื่นที่ทำหน้าที่เป็นผู้รับฝาก และในช่วงที่ระบบมีไฟฟ้าไม่พอใช้ การไฟฟ้านั้นก็จะนำไฟฟ้าจากการไฟฟ้าแห่งนั้น การแลกเปลี่ยนวิธีนี้เหมาะสำหรับกรณีที่ระบบของการไฟฟ้าแห่งหนึ่งมีระบบพลังน้ำมากกว่าพลังความร้อน ส่วนอีกระบบของการไฟฟ้าที่ต่อเชื่อมกันมีระบบพลังความร้อนมากกว่าพลังพลังน้ำ ซึ่งในฤดูน้ำหลาก ระบบที่มีระบบพลังน้ำมากกว่าพลังความร้อนจะสามารถผลิตไฟฟ้าได้เต็มที่ มีพลังงานไฟฟ้าเหลือใช้และสามารถส่งออกไฟฟ้าให้แก่ระบบที่มีระบบพลังความร้อนมากกว่าพลังน้ำได้ ในขณะเดียวกันระบบที่มีระบบพลังความร้อนมากกว่าพลังน้ำก็จะสามารถสะสมพลังงานของตนไว้ได้จำนวนหนึ่ง และในทางกลับกัน ในฤดูน้ำน้อย ระบบที่มีระบบพลังน้ำมากกว่าพลังความร้อนจะไม่สามารถผลิตไฟฟ้าใช้อย่างเพียง

พอ และอาจเกิดสภาพไฟฟ้าขาดแคลน จึงจำเป็นต้องนำเข้าไฟฟ้าจากระบบที่มีระบบพลังความร้อนมากกว่าพลังน้ำ

การแลกเปลี่ยนไฟฟ้าตามวิธีการต่าง ๆดังกล่าวข้างต้น สามารถทำสัญญาระหว่างกันได้ทั้งระยะสั้น ระยะกลาง และระยะยาว ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความเหมาะสมและความสามารถของแต่ละระบบ ในแต่ละสัญญามักจะมีการกำหนดขนาดกำลังไฟฟ้า ปริมาณพลังงานไฟฟ้า ช่วงระยะเวลา และค่าไฟฟ้าที่ซื้อขายกันเป็นสำคัญ นอกจากนี้ยังมีการกำหนดถึงข้อบังคับและหลักการการปฏิบัติตามสัญญาไว้อีกด้วย

ในทางปฏิบัติ ไม่ว่าจะเป็นสัญญาประเภทใดหรือระยะเวลาใดก็ตาม จะต้องมีการกำหนดแผนปฏิบัติงานล่วงหน้าสำหรับแต่ละชั่วโมง แต่ละวันหรือแต่ละสัปดาห์ตามข้อบังคับและหลักการต่าง ๆในสัญญา

ในการกำหนดแบบจำลองสัญญาการซื้อขายไฟฟ้าในที่นี้ จะพิจารณาตามแผนปฏิบัติงานที่กำหนดไว้ล่วงหน้าในระยะสั้นเท่านั้น โดยมีข้อบังคับและหลักการที่เกี่ยวข้องกับตัวแปรต่าง ๆที่สำคัญดังนี้

4.2.1 ระยะเวลา

ระยะเวลาที่พิจารณาจำแนกออกเป็นสองประเภท คือ ระยะเวลาที่พิจารณา (T) และ ช่วงเวลา (t)

. ระยะเวลาที่พิจารณา หมายถึง ระยะเวลาที่กำหนดเพื่อการซื้อขายไฟฟ้าตามสัญญา ซึ่งอาจเป็นระยะ 1 วัน หรือ 1 สัปดาห์

. ช่วงเวลา หมายถึง ระยะเวลาที่แบ่งออกเป็นช่วง ๆจากระยะเวลาที่พิจารณา T โดยแต่ละช่วงอาจเป็น 1 ,2, ... ชั่วโมง

ระยะเวลาที่พิจารณาและช่วงเวลาที่กำหนดในสัญญานี้ จะใช้สำหรับศึกษาการกำหนดการผลิตระยะสั้นในระบบพลังน้ำ-พลังความร้อนที่พิจารณาถึงการส่งออกด้วย

4.2.2 พลังงานไฟฟ้า

ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ซื้อขายจะกำหนดตามระยะเวลาที่พิจารณาและช่วงเวลาโดยมีขีดจำกัดต่าง ๆดังนี้

. ขีดจำกัดของพลังงานไฟฟ้าส่งออกในระยะเวลา T

พลังงานไฟฟ้าที่ส่งออกให้แก่การไฟฟ้าหนึ่งในระยะเวลา T (1 วัน หรือ 1 สัปดาห์) มีขีดจำกัดดังนี้

$$Emin_m \leq E_m \leq Emax_m \qquad (4.1)$$

$$E_m = \sum_{t=1}^{T} e_{mt} \qquad (4.2)$$

เมื่อ E_m = จำนวนพลังงานไฟฟ้าที่ขายให้แก่การไฟฟ้าที่ m ในระยะเวลา T มีหน่วยเป็น MWh

$Emin_{mt}$,$Emax_{mt}$= จำนวนพลังงานไฟฟ้าต่ำสุดและสูงสุดที่ขายให้แก่การไฟฟ้าที่ m ในช่วงระยะเวลา T มีหน่วยเป็น MWh

e_{mt} = จำนวนพลังงานไฟฟ้าที่ขายให้แก่การไฟฟ้าที่ m ณ ช่วงเวลา t มีหน่วยเป็น MWh

. ขีดจำกัดของพลังงานไฟฟ้าส่งออกในช่วงเวลา t

$$emin_{mt} \leq e_{mt} \leq emax_{mt} \qquad (4.3)$$

$$e_{mt} = l_t \,.P_{mt} \qquad (4.4)$$

เมื่อ $emin_{mt}$,$emax_{mt}$ = จำนวนพลังงานไฟฟ้าต่ำสุดและสูงสุดที่ขายให้แก่การไฟฟ้าที่ m ณ ช่วงเวลา t มีหน่วยเป็น MWh

l_t = ระยะเวลาของช่วงเวลา t

P_{mt} = ค่ากำลังไฟฟ้าที่ขายให้แก่การไฟฟ้าที่ m ณ ช่วงเวลา t มีหน่วยเป็น MW

4.2.3 กำลังไฟฟ้า

กำลังไฟฟ้าซื้อขายที่กำหนดในแต่ละช่วงเวลา t มีขีดจำกัดดังนี้

. ขีดจำกัดของกำลังไฟฟ้าส่งออก ในช่วงเวลา t

$$Pmin_{mt} \leq P_{mt} \leq Pmax_{mt} \qquad (4.5)$$

เมื่อ $Pmin_{mt}$,$Pmax_{mt}$ = ค่ากำลังไฟฟ้าต่ำสุดและสูงสุดที่ขายให้แก่การไฟฟ้าที่ m ณ ช่วงเวลา t มีหน่วยเป็น MW

4.2.4 ราคาไฟฟ้าส่งออก

ในที่นี่ จะพิจารณาเพียงค่าพลังงานไฟฟ้าเท่านั้น และกำหนดให้ราคาไฟฟ้าเป็นแบบ TOD rate ซึ่งมีค่าเท่ากับ

r_{mt} โดย $t = 1,2,...,T$

เมื่อ r_{mt} = ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ขายให้แก่การไฟฟ้าที่ m ณ ช่วงเวลา t มีหน่วยเป็น บาท/MWh

4.2.5 รายรับจากการขายพลังงานไฟฟ้า

รายรับจากการขายพลังงานไฟฟ้าให้แก่การไฟฟ้าใดหนึ่งในช่วงระยะเวลา T เป็นฟังค์ชั่นของราคาไฟฟ้าและปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ขายดังนี้

$$Rev_m = \sum_{t=1}^{T} r_{mt} \cdot e_{mt} \qquad (4.6)$$

เมื่อ Rev_m = รายรับจากการขายพลังงานไฟฟ้าให้แก่การไฟฟ้าที่ m ในช่วงระยะเวลา T มีหน่วยเป็น บาท

และเมื่อแทนด้วยสมการ (4.4) จะได้

$$Rev_m = \sum_{t=1}^{T} r_{mt} \cdot l_t \cdot P_{mt} \qquad (4.7)$$

4.3 แบบจำลองระบบผลิตไฟฟ้าพลังน้ำ

ระบบการผลิตไฟฟ้าพลังน้ำแบ่งตามลักษณะการทำงานออกได้ 3 ประเภทดังนี้

1. ประเภทที่มีเขื่อนหรือฝายเตี้ยๆ ไม่มีอ่างเก็บน้ำหรือมีอ่างเก็บน้ำขนาดเล็ก (Run-of-river hydro plant) เหมาะสำหรับแม่น้ำที่มีภูมิประเทศเป็นที่ราบหรือสำหรับโรงไฟฟ้าขนาดเล็ก

2. ประเภทที่มีอ่างเก็บน้ำ (Reservoir regulation hydro plant) เป็นโรงไฟฟ้าขนาดกลางหรือขนาดใหญ่ มักเป็นอ่างเก็บน้ำแบบเอนกประสงค์

3. โรงไฟฟ้าแบบสูบกลับ (Pumped-storage hydro plant) ซึ่งโรงไฟฟ้าเป็นตัวเชื่อมระหว่างอ่างเก็บน้ำชั้นล่างกับอ่างเก็บน้ำชั้นบน ผลิตไฟฟ้าในช่วงโหลดสูงสุดโดยการปล่อยน้ำจากอ่างบนลงสู่อ่างล่างแล้วสูบกลับในช่วงที่มีพลังงานเหลือใช้ในระบบ

สังเกตได้ว่าในแต่ละประเภทของการผลิตไฟฟ้าพลังน้ำที่กล่าวมานี้ ส่วนใหญ่จะมีการใช้เขื่อนหรืออ่างเก็บน้ำ

ในวิทยานิพนธ์นี้จะศึกษาการใช้ระบบผลิตไฟฟ้าพลังน้ำในประเภทที่ 2 เป็นหลัก ซึ่งเป็นการใช้ประโยชน์จากเขื่อนแบบเอนกประสงค์ กล่าวคือ นอกจากจะใช้เขื่อนเพื่อการผลิตพลังงานไฟฟ้าแล้ว ยังจะใช้เก็บกักน้ำในฤดูน้ำมากมาใช้ในฤดูที่มีน้ำน้อยเพื่อผลประโยชน์ในการเกษตร การประมง การอุปโภคบริโภค ตลอดถึงการบรรเทาอุทกภัยในลุ่มแม่น้ำ โดยมีสมมติฐานให้โรงไฟฟ้าพลังน้ำเป็นแบบโรงไฟฟ้าเดี่ยว (Isolated plant) ในการศึกษาการกำหนดการผลิตไฟฟ้าระยะสั้นในที่นี้ จึงใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบผลิตไฟฟ้าพลังน้ำที่มีลักษณะ เงื่อนไขและขีดจำกัดสำคัญดังนี้

4.3.1 ลักษณะของอ่างเก็บน้ำ

ลักษณะของอ่างเก็บน้ำ แสดงถึง ความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำเหนือเขื่อนกับปริมาณน้ำที่เหลืออยู่ในอ่างเก็บน้ำ ในทางปฏิบัติ มักทำการจำลองระดับน้ำเหนือเขื่อนเป็นฟังค์ชั่นแบบโปลีโนเมียล (Polynomial) ของปริมาณน้ำที่เหลืออยู่ในอ่าง [15] นั่นคือ

$$Z_j = a_j \cdot V_j^2 + b_j \cdot V_j + c_j \qquad (4.8)$$

เมื่อ a_j , b_j , c_j คือค่าคงที่

V_j = ปริมาณน้ำที่เหลืออยู่อ่างเก็บน้ำที่ j

Z_j = ระดับน้ำเหนือเขื่อนของอ่างเก็บน้ำที่ j

และเมื่อพิจารณาตามช่วงเวลาที่ศึกษาแล้วจะได้

$$ZB_{jt} = a_j \cdot V_{j,t-1}^2 + b_j \cdot V_{j,t-1} + c_j \qquad (4.9)$$

$$ZT_{jt} = a_j \cdot V_{jt}^2 + b_j \cdot V_{jt} + c_j \qquad (4.10)$$

เมื่อ V_{jt} = ปริมาณน้ำที่เหลืออยู่อ่างเก็บน้ำที่ j เมื่อสิ้นสุดช่วงเวลาที่ t

$V_{j,t-1}$ = ปริมาณน้ำที่เหลืออยู่อ่างเก็บน้ำที่ j เมื่อสิ้นสุดช่วงเวลาที่ t-1

ZB_{jt} = ระดับน้ำเหนือเขื่อนของอ่างเก็บน้ำที่ j เมื่อเริ่มต้นของช่วงเวลา t

ZT_{jt} = ระดับน้ำเหนือเขื่อนของอ่างเก็บน้ำที่ j เมื่อสิ้นสุดช่วงเวลา t

4.3.2 การเปลี่ยนแปลงของหัวน้ำ

ในช่วงเวลาหนึ่งๆ เนื่องจากปริมาณน้ำที่จ่ายออกจากอ่างเก็บน้ำและปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างมีปริมาณไม่เท่ากัน ระดับน้ำเหนือเขื่อนจึงมีการเปลี่ยนแปลง และทำให้ความสูงของหัวน้ำเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย ในที่นี่ได้กำหนดให้ความสัมพันธ์ระหว่างหัวน้ำของเขื่อนกับระดับน้ำเหนือเขื่อน ดังนี้ [15]

$$h_{jt} = [(ZB_{jt} + ZT_{jt})/2 - ZD_{jt}] \qquad (4.11)$$

เมื่อ h_{jt} = หัวน้ำ (Head) ของเครื่องที่ j ในช่วงเวลา t

ZD_{jt} = ระดับน้ำใต้เขื่อน(Tail water level) ของโรงไฟฟ้าพลังน้ำที่ j ณ เวลา t

4.3.3 ระดับน้ำควบคุม

ระดับน้ำในอ่างเก็บน้ำโดยทั่วไปจะแบ่งระดับการควบคุมต่างๆออกตามที่แสดงในรูปที่ 4.2 ดังนี้

- ระดับเก็บกักน้ำปกติ (Normal water level) เป็นระดับที่กำหนดให้ระดับน้ำในอ่างเก็บน้ำอยู่ที่ระดับดังกล่าวในภาวะปกติเมื่อสิ้นสุดฤดูฝน

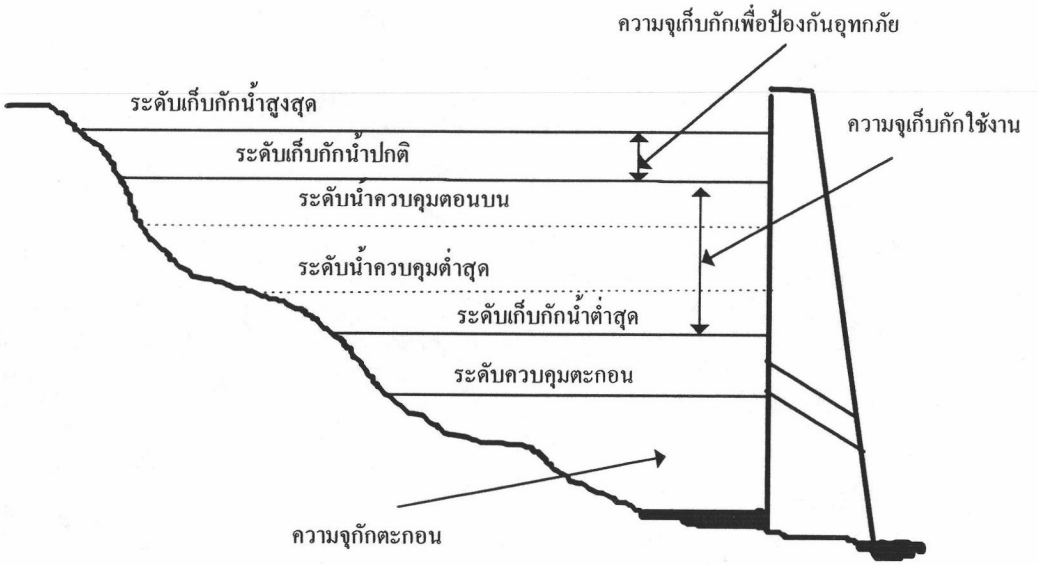
- ระดับเก็บกักน้ำต่ำสุด (Low water level) เป็นระดับต่ำสุดที่กำหนดให้ระดับน้ำในอ่างเก็บน้ำอยู่ที่ระดับดังกล่าวในภาวะแล้งจัด ความจุอ่างเก็บน้ำระหว่างระดับปกติและระดับเก็บกักน้ำต่ำสุดเรียกว่า ความจุเก็บกักใช้งาน (Active storage)

- ระดับเก็บกักน้ำสูงสุด (Maximum water level) เป็นระดับสูงสุดที่กำหนดให้ระดับน้ำในอ่างเก็บกักน้ำอยู่ที่ระดับนี้ได้ในกรณีน้ำหลาก ความจุอ่างเก็บน้ำระหว่างระดับเก็บกักน้ำปกติและระดับเก็บกักน้ำสูงสุด เรียกว่า ความจุเพื่อป้องกันอุทกภัย (Flood storage capacity)

-ระดับควบคุมตะกอน เป็นระดับที่กำหนดให้ตะกอนสะสมในช่วงระยะเวลาการใช้งานของเขื่อน ความจุของอ่างเก็บน้ำใต้ระดับควบคุมตะกอน เรียกว่า ความจุกักตะกอน (Dead storage)

- ระดับน้ำควบคุมตอนบน (Upper rule curve) คือ ระดับน้ำที่ตอนบนที่กำหนดไว้เป็นมาตรฐานของอ่างเก็บน้ำในแต่ละช่วงเวลา เพื่อควบคุมการปล่อยน้ำให้ได้ประโยชน์สูงสุด ในด้านการศึกษาอาจจะกำหนดระดับน้ำควบคุมตอนบนไว้ที่ระดับเก็บกักน้ำปกติ ในขั้นปฏิบัติการจริงๆแล้ว ต้องศึกษาระดับน้ำควบคุมสูงสุดในแต่ละช่วงเวลาที่จะให้ประโยชน์สูงสุด แต่จะต้องให้ต่ำกว่าหรือเท่ากับระดับเก็บกักน้ำปกติ

-ระดับน้ำควบคุมต่ำสุด (Lower rule curve) คือ ระดับน้ำที่ควบคุมต่ำสุดในอ่างเก็บน้ำของแต่ละช่วงเวลาที่กำหนดไว้เป็นมาตรฐาน จะต้องไม่ให้ระดับน้ำในอ่างเก็บน้ำต่ำกว่าระดับนี้ เพราะจะมีผลกระทบต่อการเก็บกักน้ำในระยะยาว ระดับน้ำควบคุมต่ำสุดต้องสูงกว่าหรือเท่ากับระดับเก็บกักน้ำต่ำสุด



รูปที่ 4.2 แสดงระดับน้ำในอ่างเก็บน้ำ

ในการกำหนดการผลิตระยะสั้นในที่นี่ จะพิจารณาเพียงระดับน้ำควบคุมตอนบนและระดับน้ำควบคุมต่ำสุดเท่านั้น เพราะเป็นระดับน้ำที่อยู่ในขอบเขตความจุเก็บกักใช้งาน และโดยอาศัยความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำกับปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำ จึงสามารถกำหนดระดับควบคุมปริมาณน้ำด้วยขีดจำกัดดังนี้

$$Vmin_{jt} \leq V_{jt} \leq Vmax_{jt} \qquad (4.12)$$

เมื่อ V_{jt} = ปริมาณน้ำคงเหลือในอ่างเก็บน้ำที่ j ในช่วงเวลา ที่ t

$Vmin_{jt}$ = ปริมาณน้ำควบคุมต่ำสุดที่เหลืออยู่อ่างเก็บน้ำที่ j เมื่อสิ้นสุดช่วงเวลาที่ t (แปลงมาจากระดับน้ำควบคุมต่ำสุด)

$Vmax_{jt}$ = ปริมาณน้ำควบคุมสูงสุดที่เหลืออยู่อ่างเก็บน้ำที่ j เมื่อสิ้นสุดช่วงเวลาที่ t (แปลงมาจากระดับน้ำควบคุมตอนบน)

4.3.4 เงื่อนไขสมดุลของปริมาณน้ำ

ปริมาณน้ำคงเหลือในอ่างเก็บน้ำ เนื่องจากปริมาณน้ำที่ไหลเข้าสู่อ่าง ปริมาณน้ำที่ปล่อยจากอ่าง และการสูญเสียน้ำในอ่างเก็บน้ำจากการระเหยในช่วงเวลาใดๆนั้น แสดงได้ด้วยสมการสมดุลของอ่างเก็บน้ำดังนี้

$$V_{jt} = V_{j,t-1} + I_t*(Yjt - U_{jt} - S_{jt}) \qquad (4.13)$$

เมื่อ $V_{j,t-1}$ = ปริมาณน้ำคงเหลืออยู่อ่างเก็บน้ำที่ j เมื่อสิ้นสุดช่วงเวลาที่ t-1

Y_{jt} = ปริมาณน้ำที่ไหลเข้าสู่อ่างเก็บน้ำที่ j ในช่วงเวลา t

S_{jt} = ปริมาณน้ำที่รั่วไหลจากอ่างเก็บน้ำที่ j ในช่วงเวลา t

U_{jt} = ปริมาณน้ำที่ปล่อยจากอ่างเก็บน้ำที่ j ในช่วงเวลา t

I_t = ระยะเวลาของช่วงเวลา t

4.3.5 กำลังผลิตไฟฟ้า

กำลังไฟฟ้าที่ผลิตโดยเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังน้ำเป็นฟังค์ชั่นของปริมาณน้ำที่ปล่อยจากอ่างเก็บน้ำและความสูงของหัวน้ำของโรงไฟฟ้าซึ่งสามารถแสดงด้วยสมการดังนี้ [2,15]

$$P_{jt} = g*\alpha_j* h_{jt} *U_{jt} \qquad (4.14)$$

เมื่อ P_{jt} = กำลังไฟฟ้าที่ผลิตโดยเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังน้ำที่ j ณ ช่วงเวลา t มีหน่วยเป็น kW

h_{jt} = หัวน้ำ (Head) ของเครื่องที่ j ในช่วงเวลา t มีหน่วยเป็น เมตร (m)

U_{jt} = ปริมาณน้ำที่ปล่อยจากอ่างเก็บน้ำที่ j ในช่วงเวลา t มีหน่วยเป็น ลบ.ม/วินาที (m^3/sec)

α_j = ประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้าพลังน้ำที่ j (เท่ากับผลคูณของประสิทธิภาพกังหันน้ำกับประสิทธิภาพเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังน้ำเครื่อง ที่ j)

g = ค่าแรงโน้มถ่วงของโลก มีค่าเท่ากับ 9.81

และเมื่อแทนด้วยสมการ(4.11) จะได้

$$P_{jt} = g*\alpha_j *[(ZB_{jt} + ZT_{jt})/2 - ZD_{jt}]* U_{jt} \qquad (4.15)$$

4.3.6 ขีดจำกัดสูงสุดและต่ำสุดของกำลังผลิต

ในทางปฏิบัติ เครื่องกำเนิดไฟฟ้ามีขีดจำกัดสูงสุดในการผลิตไฟฟ้าตามเงื่อนไขต่างๆ เช่น สภาพของเครื่องตามอายุการใช้งาน ความสามารถของระบบสายส่ง และความสามารถในการปล่อยน้ำจากอ่าง เป็นต้น ดังนั้นจึงกำหนดขีดจำกัดของกำลังผลิตไฟฟ้าดังนี้

$$Pmin_{jt} \leq P_{jt} \leq Pmax_{jt} \qquad (4.16)$$

เมื่อ $Pmin_{jt}$ = กำลังผลิตไฟฟ้าต่ำสุดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ j ในช่วงเวลาที่ t

$Pmax_{jt}$ = กำลังผลิตไฟฟ้าสูงสุดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ j ในช่วงเวลาที่ t

4.3.7 ขีดจำกัดในการปล่อยน้ำ

ปริมาณน้ำที่ปล่อยจากอ่างเก็บน้ำควรอยู่ในขอบเขตดังนี้

$$Umin_{jt} \leq U_{jt} \leq Umax_{jt} \qquad (4.17)$$

เมื่อ $Umin_{jt}$ = ปริมาณน้ำปล่อยต่ำสุดจากอ่างเก็บน้ำที่ j ในช่วงเวลาที่ t

$Umax_{jt}$ = ปริมาณน้ำปล่อยสูงสุดจากอ่างเก็บน้ำที่ j ในช่วงเวลาที่ t

ปริมาณน้ำปล่อยต่ำสุด คือ ปริมาณน้ำต่ำสุดที่ต้องปล่อยในช่วงเวลา t ใดๆ เป็นปริมาณน้ำที่จำเป็นต้องใช้เพื่อการอุปโภคบริโภค การชลประทานท้ายน้ำ และเพื่อบรรเทาอุทกภัย

ปริมาณน้ำปล่อยสูงสุด คือ ปริมาณน้ำสูงสุดที่สามารถปล่อยจากอ่างในช่วงเวลา t ใดๆไม่ว่าจะเป็นการปล่อยเพื่อวัตถุประสงค์ใดก็ตาม ต้องไม่ให้ระดับน้ำในอ่างเก็บน้ำต่ำกว่าระดับเก็บกักน้ำต่ำสุด และถ้าเป็นการปล่อยเพื่อผลิตไฟฟ้าโดยเฉพาะแล้ว ต้องไม่ให้กำลังผลิตไฟฟ้ามากกว่าความสามารถสูงสุดของเครื่องได้

4.3.8 กำลังไฟฟ้าสำรอง (Power reserve)

$$Pmax_{jt} - P_{jt} \geq r_{jt} \qquad (4.18)$$

เมื่อ r_{jt} = ปริมาณกำลังผลิตไฟฟ้าสำรองแบบพร้อมทันทีที่เป็นภาระของโรงไฟฟ้าพลังน้ำที่ j ในช่วงเวลา t

4.4 แบบจำลองระบบผลิตไฟฟ้าพลังความร้อน

ระบบผลิตไฟฟ้าพลังความร้อนแบ่งตามลักษณะการทำงานออกได้ 2 ประเภทดังนี้

1. โรงไฟฟ้าพลังความร้อนกังหันไอน้ำ (Steam power plant) ซึ่งได้แก่โรงไฟฟ้าที่ใช้ถ่านหินเป็นเชื้อเพลิง (Coal-fired power plant) โรงไฟฟ้าที่ใช้น้ำมันเตาเป็นเชื้อเพลิง(Oil-fired power plant) และโรงไฟฟ้าที่ใช้ก๊าซธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิง (Natural gas-fired plant) โรงไฟฟ้าประเภทนี้มีโครงสร้างค่อนข้างซับซ้อน การติดเครื่องใช้เวลานาน และเมื่อได้เดินเครื่องแล้วควรให้เดินอยู่ตลอดเวลา จึงเหมาะสำหรับใช้เดินในช่วงโหลดต่ำเป็นหลัก นอกจากนั้นอาจใช้ในการเดินเครื่องในช่วงโหลดปานกลางด้วย

2. โรงไฟฟ้าพลังความร้อนโดยใช้การเผาไหม้ภายใน (Internal combustion engine power plant) ซึ่งได้แก่โรงไฟฟ้ากังหันก๊าซ (Gas-turbine power plant) และโรงไฟฟ้าดีเซล(Diesel power plant) โดยทั่วไปโรงไฟฟ้าประเภทนี้มีกังหันและองค์ประกอบของระบบไม่ยุ่งยากและมีขนาดเล็ก การทำงานสามารถติดเครื่องได้เร็วและการเดินเครื่องก็เรียบดี จึงเหมาะสำหรับใช้เดินในช่วงโหลดสูงสุดและปานกลาง

สังเกตได้ว่าโรงไฟฟ้าพลังความร้อนแต่ละประเภท นอกจากจะมีลักษณะการทำงานที่ต่างกันแล้วยังต้องใช้เชื้อเพลิงที่มีราคาและคุณสมบัติต่างกัน ค่าใช้จ่ายในการผลิตไฟฟ้าพลังความร้อนจะขึ้นอยู่กับค่าเชื้อเพลิงเป็นส่วนใหญ่ ในการศึกษาการกำหนดการผลิตระยะสั้น จะใช้แบบจำลองระบบผลิตไฟฟ้าที่เน้นค่าใช้จ่ายและข้อจำกัดในการเดินเครื่องดังนี้

4.4.1 ข้อจำกัดในการเดินเครื่อง

ข้อจำกัดในการเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังความร้อนมีอยู่หลายประการด้วยกัน ซึ่งพอสรุปได้โดยสังเขปดังนี้

1) ข้อจำกัดเกี่ยวกับเวลาต่ำสุดที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าต้องทำงานอย่างต่อเนื่อง (Minimum up time) หมายถึง เมื่อเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแล้ว ต้องปล่อยให้เครื่องทำงานอย่างน้อยตามระยะเวลาที่กำหนด จะหยุดเดินเครื่องก่อนไม่ได้

2) ข้อจำกัดเกี่ยวกับเวลาต่ำสุดที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าต้องหยุดทำงานอย่างต่อเนื่อง (Minimum down time) หมายถึง เมื่อนำเครื่องกำเนิดไฟฟ้าออกจากระบบแล้ว ต้องปล่อยให้เครื่องหยุดทำงานอย่างน้อยระยะเวลาตามที่กำหนดก่อนที่จะเชื่อมต่อเครื่องเข้าสู่ระบบอีกครั้ง

3) ข้อจำกัดของกำลังผลิต (Capacity limits) หมายถึงเครื่องกำเนิดไฟฟ้าต้องผลิตกำลังไฟฟ้าให้อยู่ในขอบเขตที่กำหนด

4) ข้อกำหนดเกี่ยวกับพนักงานผู้ควบคุมเครื่อง (Crew constraint) หมายถึงผู้ควบคุมเครื่องอาจไม่สามารถเริ่มหรือหยุดเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้ามากกว่าจำนวนตามที่กำหนดได้ในเวลาเดียวกัน

5) ข้อจำกัดของโรงไฟฟ้าที่ต้องเดินเครื่อง (Must run constraint) หมายถึง เครื่องกำเนิดไฟฟ้าบางเครื่องอาจมีความจำเป็นต้องเดินเครื่องตลอดเวลา เช่น ได้รับการกำหนดให้เดินเครื่องเพื่อรักษาระดับแรงดันบนสายส่ง หรือด้วยจุดประสงค์เพื่อให้หม้อน้ำจ่ายไอน้ำไปใช้ในบริเวณอื่นๆของโรงจักร เป็นต้น

6) ข้อจำกัดทางด้านเชื้อเพลิง (Fuel constraint) หมายถึง เครื่องกำเนิดไฟฟ้าบางเครื่องอาจมีเชื้อเพลิงในปริมาณที่จำกัดหรืออาจจำเป็นต้องใช้เชื้อเพลิงภายในปริมาณและระยะเวลาที่กำหนด เป็นต้น

7) ข้อจำกัดในการเปลี่ยนแปลงอัตรากำลังผลิต (Ramp rate constraint) หมายถึง จากช่วงเวลาหนึ่งต่อไปยังอีกช่วงเวลาหนึ่ง เครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังความร้อนบางเครื่องอาจมีขีดจำกัดในการเปลี่ยนขนาดกำลังผลิต ไม่ว่าจะเป็นการเพิ่มหรือการลดกำลังผลิตก็ตาม ขนาดกำลังผลิตที่สามารถผลิตได้ในช่วงเวลาถัดไปจะขึ้นอยู่กับขนาดกำลังผลิตในช่วงเวลาปัจจุบันและขึ้นกับระยะเวลาที่เครื่องได้ต่อเชื่อมเข้าสู่ระบบมาก่อนหน้านี้

ในการกำหนดการผลิตระยะสั้น โดยเฉพาะการทำยูนิตคอมมิตเมนท์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังความร้อนในที่นี่ จะพิจารณาเพียงข้อจำกัดกำลังผลิตและข้อจำกัดเกี่ยวกับเวลาต่ำสุดที่เครื่องต้องทำงานและหยุดทำงานอย่างต่อเนื่องเท่านั้น และเพื่อให้สะดวกในการพิจารณา จะกำหนดให้ข้อจำกัดดังกล่าวสัมพันธ์กับค่าชี้สถานะการจ่ายโหลดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดังนี้

4.4.1.1 ค่าชี้ของสถานะการจ่ายโหลดของเครื่อง (unit commitment indicator)

ค่าชี้สถานะการจ่ายโหลดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เป็นค่าที่ชี้บอกว่าเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องนั้นอยู่ในสถานะที่ต่อเชื่อมเข้ากับระบบหรือปลดออกจากระบบ ณ ช่วงเวลาใดหนึ่ง ค่าชี้สถานะการจ่ายโหลดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากำหนดดังนี้

กำหนดให้ U_{it} คือ ค่าชี้สถานะการจ่ายโหลดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องที่ i ณ ช่วงเวลา t

$U_{it} = 1$ เมื่อ เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องที่ i ณ ช่วงเวลา t ได้ต่อเชื่อมเข้าสู่ระบบ

$U_{it} = 0$ เมื่อ เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องที่ i ณ ช่วงเวลา t ได้ปลดออกจากระบบ

4.4.1.2 เวลาต่ำสุดที่เครื่องต้องทำงานหรือหยุดทำงาน

เวลาต่ำสุดที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าต้องทำงานหรือหยุดทำงานอย่างต่อเนื่องมีความสัมพันธ์กับสถานะการจ่ายโหลดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดังนี้

$$U_{it} = 1 \quad \text{เมื่อ} \quad 0 \leq T_{it} \leq \tau up_i \tag{4.19}$$
$$U_{it} = 0 \quad \text{เมื่อ} \quad -\tau down_i \leq T_{it} \leq 0$$

เมื่อ τup_i = เวลาต่ำสุดที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังความร้อนเครื่องที่ i ต้องทำงานอย่างต่อเนื่อง มีหน่วยเป็น ชั่วโมง h

$\tau down_i$ = เวลาต่ำสุดที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังความร้อนเครื่องที่ i ต้องหยุดทำงานอย่างต่อเนื่อง มีหน่วยเป็น ชั่วโมง h

T_{it} = จำนวนชั่วโมงที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องที่ i ได้หยุดหรือทำงานมาอย่างต่อเนื่องถึงช่วงเวลา t

T_{it} กำหนดให้มีค่าบวกเมื่อเครื่องได้ทำงาน และกำหนดให้มีค่าลบเมื่อเครื่องได้หยุดทำงาน

4.4.1.3 เงื่อนไขการสะสมจำนวนชั่วโมงที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าได้หยุดหรือทำงาน

จำนวนชั่วโมงที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าได้หยุดหรือทำงานมาอย่างต่อเนื่องจนกระทั่งถึงช่วงเวลาปัจจุบันมีความสัมพันธ์กับช่วงเวลาที่ผ่านมาดังนี้

$$T_{it} = T_{i(t-1)} + I_t \quad \text{เมื่อ} \quad T_{i(t-1)} > 0 \quad \text{และ} \quad U_{it} = 1 \tag{4.20}$$
$$T_{it} = I_t \quad \text{เมื่อ} \quad T_{i(t-1)} < 0 \quad \text{และ} \quad U_{it} = 1$$
$$T_{it} = -I_t \quad \text{เมื่อ} \quad T_{i(t-1)} > 0 \quad \text{และ} \quad U_{it} = 0$$
$$T_{it} = T_{i(t-1)} - I_t \quad \text{เมื่อ} \quad T_{i(t-1)} < 0 \quad \text{และ} \quad U_{it} = 0$$

เมื่อ $T_{i(t-1)}$ = จำนวนชั่วโมงที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องที่ i ได้หยุดหรือทำงานมาอย่างต่อเนื่อง ณ ช่วงเวลา t-1

I_t = ระยะเวลาของช่วงเวลา t

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.4.1.4 ข้อจำกัดกำลังผลิต

เพื่อศึกษาการจัดสรรยูนิตคอมมิตเมนท์ กำหนดให้กำลังผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังความร้อนมีความสัมพันธ์กับค่าชี้สถานะการจ่ายโหลดของเครื่องดังนี้

$$Pmin_{it} \leq P_{it} \leq Pmax_{it} \quad \text{เมื่อ} \quad U_{it} = 1 \qquad (4.21)$$

$$P_{it} = 0 \quad \text{เมื่อ} \quad U_{it} = 0$$

เมื่อ $Pmin_{it}$ = ค่ากำลังผลิตต่ำสุดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังความร้อนเครื่องที่ i ณ ช่วงเวลา t

$Pmax_{it}$ = ค่ากำลังผลิตสูงสุดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังความร้อนเครื่องที่ i ณ ช่วงเวลา t

P_{it} = ค่ากำลังผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังความร้อนเครื่องที่ i ณ ช่วงเวลา t

4.4.2 ค่าใช้จ่ายในการผลิตของระบบผลิตไฟฟ้าพลังความร้อน

ค่าใช้จ่ายในการผลิตไฟฟ้าประกอบด้วยค่าใช้จ่ายตายตัว (Fixed cost) และค่าใช้จ่ายในการดำเนินการ (Operating cost) ในการกำหนดแผนการผลิตระยะสั้นสำหรับการปฏิบัติการจริงในแต่ละวัน จะพิจารณาเพียงค่าใช้จ่ายดำเนินการเท่านั้น เพราะเป็นค่าใช้จ่ายที่เปลี่ยนแปลงไปตามจำนวนพลังงานผลิตหรือจำนวนเชื้อเพลิงที่ใช้

ค่าใช้จ่ายดำเนินการแบ่งออกเป็นสองส่วนสำคัญ คือ ค่าเชื้อเพลิง (Fuel cost) และค่าใช้จ่ายในการเริ่มเดินเครื่อง (Start-up cost) ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

4.4.2.1 ค่าเชื้อเพลิง (Fuel cost)

ค่าเชื้อเพลิงเป็นค่าใช้จ่ายส่วนที่ใหญ่และสำคัญของการผลิตทั้งหมด เรียกได้ว่าเป็นต้นทุนการผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังความร้อนนั้นๆ เกิดขึ้นเนื่องจากมีการใช้เชื้อเพลิงเพื่อผลิตกำลังไฟฟ้าจริงขนาด P เมกะวัตต์ ค่าเชื้อเพลิงนี้ขึ้นอยู่กับค่าอัตราการใช้เชื้อเพลิงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังความร้อน (Heat rate) และราคาของเชื้อเพลิงแต่ละชนิดที่ใช้ ซึ่งสามารถแสดงด้วยสมการดังนี้

$$FC_{it}(P_{it}) = f_i.H_{it}(Pit) \qquad (4.22)$$

เมื่อ $FC_{it}(P_{it})$ = ค่าเชื้อเพลิงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังความร้อนที่ i ณ ช่วงเวลา t มีหน่วยเป็น [บาท/h]

$H_{it}(P_{it})$ = อัตราการใช้เชื้อเพลิงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังความร้อนเครื่องที่ i ณ ช่วงเวลา t มีหน่วยเป็น [MBtu/h]

f_i = ราคาเชื้อเพลิงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังความร้อนเครื่องที่ i มีหน่วยเป็น [บาท/MBtu]

อัตราการใช้เชื้อเพลิงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังความร้อนแต่ละชนิดจะมีลักษณะต่างกัน แต่โดยทั่วไปในการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อการศึกษา มักกำหนดให้อัตราการใช้เชื้อเพลิงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังความร้อนเป็นฟังค์ชั่นโพลีโนเมียลของกำลังไฟฟ้าที่ผลิต

ในที่นี่จะกำหนดให้อัตราการใช้เชื้อเพลิงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังความร้อนเป็นฟังค์ชั่นโพลีโนเมียลอันดับสองดังนี้

$$H_{it}(P_{it}) = a_i + b_i \cdot P_{it} + c_i \cdot P_{it}^2 \qquad (4.23)$$

เมื่อ a_i , b_i , c_i คือ ค่าคงที่

ในการพิจารณาปัญหายูนิตคอมมิตเมนท์ ในกรณีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังความร้อนได้ปลดออกจากระบบ(Off-line) ค่าเชื้อเพลิงจะกำหนดให้เท่ากับศูนย์ และเมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ค่าเชื้อเพลิงร่วมกับค่าชี้ของสถานะการจ่ายโหลด จะได้สมการของค่าเชื้อเพลิงดังนี้

จากสมการ (4.22)-(4.23) และค่าชี้ของสถานะการจ่ายโหลดได้

$$FC_{it}(P_{it}) = f_i \cdot (a_i + b_i \cdot P_{it} + c_i \cdot P_{it}^2) \quad \text{เมื่อ } U_{it} = 1 \qquad (4.24)$$

$$FC_{it}(P_{it}) = 0 \quad \text{เมื่อ } U_{it} = 0$$

4.4.2.2 ค่าใช้จ่ายในการเริ่มเดินเครื่อง (Start-up cost)

ในการเริ่มเดินเครื่อง โรงไฟฟ้าพลังความร้อนบางประเภท โดยเฉพาะโรงไฟฟ้าพลังความร้อนกังหันไอน้ำ ต้องการระยะเวลาช่วงหนึ่งเพื่ออุ่นเครื่องให้อุณหภูมิและความดันอยู่ในระดับที่ใช้งานได้ การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิและความดันนี้เป็นไปอย่างช้าๆ ดังนั้นจึงมีความจำเป็นต้องใส่พลังงานจำนวนหนึ่งเข้าไปจนกว่าเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะอยู่ในสภาพใกล้เคียงกับสภาวะการทำงานปกติและมีความพร้อมในการต่อเชื่อมเข้ากับระบบ พลังงานดังกล่าวไม่มีส่วนเกี่ยวข้องกับกำลังผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่อย่างใด เป็นเพียงความจำเป็นของ

เครื่องจักรเท่านั้น แต่พลังงานดังกล่าวก็มีผลโดยตรงกับค่าใช้จ่ายหรือต้นทุนการผลิตรวมของระบบเช่นกัน ค่าใช้จ่ายในส่วนนี้เรียกว่า ค่าใช้จ่ายในการเริ่มเดินเครื่อง

ค่าใช้จ่ายในการเริ่มเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังความร้อนมีช่วงเปลี่ยนแปลงค่อนข้างกว้าง ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของเครื่องจักร กล่าวคือ ค่าใช้จ่ายในการเริ่มเดินเครื่องขณะอุณหภูมิเครื่องต่ำ (Cold-start cost) หรือเรียกอีกว่าค่าใช้จ่ายในการเริ่มเดินเครื่องแบบคูลลิ่ง (Cooling) จะมีค่าสูง และค่าใช้จ่ายในการเริ่มเดินเครื่องขณะอุณหภูมิเครื่องสูงหรืออยู่ในระดับใกล้เคียงกับการทำงานปกติ (Hot-start cost) หรือเรียกอีกว่าค่าใช้จ่ายในการเริ่มเดินเครื่องแบบแบงค์ (Bank) จะมีค่าต่ำ ค่าใช้จ่ายในการเริ่มเดินเครื่องทั้งสองแบบกำหนดด้วยสมการทางคณิตศาสตร์ดังนี้

ก) ค่าใช้จ่ายในการเริ่มเดินเครื่องแบบคูลลิ่ง

การเริ่มเดินเครื่องแบบคูลลิ่งเกิดขึ้นในกรณีที่ยอมให้อุณหภูมิของหม้อน้ำลดลงแล้วค่อยไปเพิ่มอุณหภูมิอีกครั้งให้ถึงอุณหภูมิใช้งานให้ทันกับเวลาที่กำหนดของการเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ลักษณะการเพิ่มของอุณหภูมิจะเป็นฟังค์ชั่นเอ็กซ์โพเนนเชียลกับเวลา ดังนั้นค่าใช้จ่ายในการเริ่มเดินเครื่องแบบคูลลิ่งจึงมีลักษณะเป็นฟังค์ชั่นเอ็กซ์โพเนนเชียลกับเวลาเช่นกันดังนี้

$$Stc_{it}=Cc_i[1-\exp(-T_{it}/\alpha_i)].f_i+C_f \qquad (4.25)$$

เมื่อ Stc_{it} = ค่าใช้จ่ายในการเริ่มเดินเครื่องแบบคูลลิ่งของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องที่ i ณ ช่วงเวลาที่ t มีหน่วยเป็น บาท

Cc_i = ค่าใช้จ่ายในการเริ่มเดินเครื่องขณะหม้อน้ำมีอุณหภูมิต่ำของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องที่ i มีหน่วยเป็น MBtu

Cf_i = ค่าใช้จ่ายคงที่ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องที่ i มีหน่วยเป็น บาท

α_i = ค่าคงตัวเวลาเชิงอุณหภูมิของหม้อน้ำเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องที่ i

T_{it} = จำนวนชั่วโมงที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องที่ i ได้หยุดทำงานมาอย่างต่อเนื่องถึงช่วงเวลา t

f_i = ราคาเชื้อเพลิงที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องที่ i ได้ใช้ มีหน่วยเป็น บาท/Mbtu

ข) ค่าใช้จ่ายในการเริ่มเดินเครื่องแบบแบงค์กิ้ง

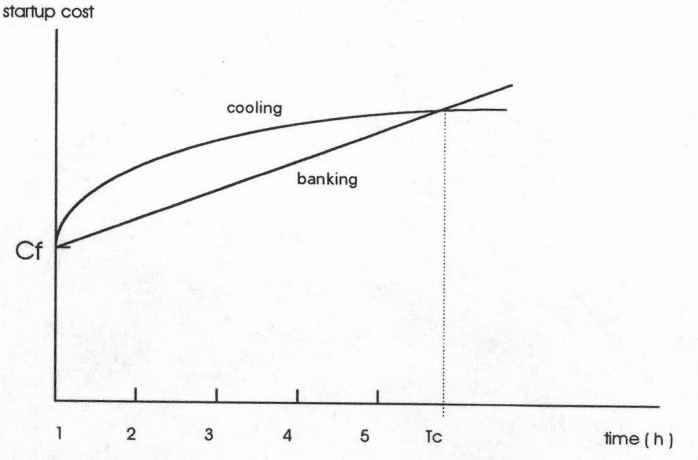
ในการเริ่มเดินเครื่องแบบแบงค์กิ้ง มีการควบคุมอุณหภูมิของหม้อน้ำให้อยู่ในระดับใกล้เคียงกับสภาพการทำงานตามปกติในระหว่างหยุดเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แต่ไม่ได้ต่อเข้ากับกังหันไอน้ำ เพราะฉะนั้นการที่จะเพิ่มอุณหภูมิให้ถึงระดับใช้งานอีกครั้งจึงใช้เวลาน้อยกว่าแบบคูลลิ่ง ค่าใช้จ่ายในการเริ่มเดินเครื่องแบบแบงค์กำหนดเป็นลักษณะเชิงเส้นกับเวลาดังนี้

$$Stb_{it} = Cb_i.T_{it}.f_i + Cf_i \qquad (4.26)$$

เมื่อ Stb_{it} = ค่าใช้จ่ายในการเริ่มเดินเครื่องแบบแบงค์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องที่ i ณ ช่วงเวลาที่ t มีหน่วยเป็น บาท

Cb_i = ค่าใช้จ่ายในการรักษาระดับอุณหภูมิใช้งานของหม้อน้ำต่อชั่วโมงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องที่ i มีหน่วยเป็น Mbtu/h

ค่าใช้จ่ายทั้งสองแบบดังกล่าวสามารถเปรียบเทียบกันได้ดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 ค่าใช้จ่ายในการเริ่มเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังความร้อนที่ขึ้นกับเวลา

จากรูปที่ 4.3 สังเกตได้ว่า ค่าใช้จ่ายในการเริ่มเดินเครื่องแบบคูลลิ่งจะมีค่าน้อยกว่าค่าใช้จ่ายในการเริ่มเดินเครื่องแบบแบงค์เมื่อเครื่องได้หยุดทำงานนานกว่าเวลา Tc และค่าใช้จ่ายในการเริ่มเดินเครื่องแบบคูลลิ่งจะมีค่ามากกว่าค่าใช้จ่ายในการเริ่มเดินเครื่องแบบแบงค์เมื่อเครื่องได้หยุดทำงานน้อยกว่าเวลา Tc

ในทางปฏิบัติ มักกำหนดเวลาเริ่มเดินเครื่อง Tc ให้เป็นเวลาเริ่มเดินเครื่องแบบคูลลิ่ง(Cold start time)ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังความร้อนแต่ละเครื่อง ซึ่งมีความหมายว่า ถ้าเมื่อไรเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังความร้อนเครื่องใดได้หยุดทำงานมานานกว่าหรือเท่ากับเวลา Tc แล้ว การเริ่มเดินเครื่องที่ประหยัดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องนั้นต้องเป็นแบบคูลลิ่งทันที

ในการศึกษาการกำหนดการผลิตในที่นี้ ได้กำหนดใช้วิธีการเริ่มเดินเครื่องทั้งสองแบบโดยใช้หลักการดังนี้

$$S_{it}(T_{it}) = Stc_{it} \quad \text{เมื่อ} \quad T_{it} \geq Tc_i \quad \text{และ} \quad U_{it} = 1 \qquad (4.27)$$

$$S_{it}(T_{it}) = Stb_{it} \quad \text{เมื่อ} \quad T_{it} \leq Tc_i \quad \text{และ} \quad U_{it} = 1$$

$$S_{it}(T_{it}) = 0 \quad \text{เมื่อ} \quad U_{it} = 0$$

เมื่อ $S_{it}(T_{it})$ = ค่าใช้จ่ายในการเริ่มเดินเครื่องของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องที่ i ณ ช่วงเวลาที่ t มีหน่วยเป็น บาท

Tc_i = เวลาเริ่มเดินเครื่องแบบคูลลิ่งของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องที่ i

4.5 แบบจำลองการผลิตไฟฟ้า

วิทยานิพนธ์นี้มีจุดประสงค์อยู่ที่ศึกษาวิธีการวางแผนกำหนดการผลิตระยะสั้น โดยจะทำการพิจารณาความสมดุลระหว่างปริมาณการผลิตและความต้องการพลังไฟฟ้า และความต้องการกำลังผลิตไฟฟ้าสำรองแบบพร้อมทันที ซึ่งสามารถแสดงด้วยสมการดังนี้

.ความสมดุลปริมาณการผลิต

$$G_t = D_t \qquad (4.28)$$

เมื่อ G_t = ปริมาณการผลิตทั้งหมดของระบบ ซึ่งประกอบด้วยปริมาณกำลังผลิตของระบบพลังน้ำและพลังความร้อน ณ ช่วงเวลา t

D_t = ปริมาณความต้องการไฟฟ้า ซึ่งประกอบด้วยปริมาณกำลังไฟฟ้าส่งออกและโหลดภายในระบบไฟฟ้าของผู้ส่งออก ณ ช่วงเวลา t

$$G_t = \sum_{j=1}^{NH} P_{jt} + \sum_{i=1}^{NT} P_{it} \qquad (4.29)$$

$$D_t = L_t + \sum_{m=1}^{NI} P_{mt} \qquad (4.30)$$

เมื่อ L_t = โหลดภายในระบบไฟฟ้าของผู้ส่งออก ณ ช่วงเวลา t

NI = จำนวนการไฟฟ้าที่ทำสัญญาซื้อไฟฟ้า

NH,NT = จำนวนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังน้ำและพลังความร้อนตามลำดับ

จากสมการ (4.29)-(4.30) ได้ สมการความสมดุลปริมาณการผลิตดังนี้

$$L_t + \sum_{m=1}^{NI} P_{mt} = \sum_{j=1}^{NH} P_{jt} + \sum_{i=1}^{NT} P_{it} \qquad (4.31)$$

.กำลังผลิตไฟฟ้าสำรองแบบพร้อมทันที

ในการศึกษาการกำหนดการผลิตระยะสั้น จะสมมติให้ปริมาณกำลังผลิตไฟฟ้าสำรองแบบพร้อมทันทีนี้มีไว้เพื่อตอบสนองกรณีที่โหลดภายในระบบไฟฟ้าของผู้ผลิตเพิ่มขึ้นอย่างฉับพลันเท่านั้น ส่วนในกรณีที่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าบางเครื่องเกิดขัดข้องและหลุดออกจากระบบ(Forced outage)นั้น จะมีระบบผลิตไฟฟ้าสำรองเพื่อรองรับเหตุการณ์ฉุกเฉินไว้ต่างหาก ซึ่งปัญหาดังกล่าวนี้จะไม่พิจารณาในวิทยานิพนธ์นี้ และจะกำหนดปริมาณกำลังผลิตไฟฟ้าสำรองแบบพร้อมทันทีนี้ด้วยวิธีดิเตอร์มินิสติกดังที่ได้กล่าวแล้วในบทที่ 3 อนึ่ง ด้วยคุณลักษณะของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังน้ำที่ว่าสามารถเริ่มเดินเครื่องได้อย่างรวดเร็วจึงกำหนดให้กำลังผลิตไฟฟ้าสำรองแบบพร้อมทันทีนี้เป็นภาระของระบบผลิตไฟฟ้าพลังน้ำแต่เพียงฝ่ายเดียวโดยแบ่งส่วนให้แต่ละโรงไฟฟ้าพลังน้ำรับผิดชอบผลิตไฟฟ้าดังนี้

$$Pmax_{jt} - P_{jt} \geq r_{jt} \qquad (4.32)$$

$$\sum_{j=1}^{NH} r_{jt} = Res_t \qquad (4.33)$$

เมื่อ Res_t = ปริมาณกำลังผลิตไฟฟ้าสำรองแบบพร้อมทันทีทั้งหมดของระบบในช่วงเวลา t

r_{jt} = ปริมาณกำลังผลิตไฟฟ้าสำรองแบบพร้อมทันทีที่เป็นภาระของโรงไฟฟ้าพลังน้ำที่ j ในช่วงเวลา t

(กำหนดเป็นร้อยละของปริมาณกำลังผลิตไฟฟ้าสำรองแบบพร้อมทันทีทั้งหมด)