

การผลิตพลังงานไฟฟ้าร่วมกันของโรงจักรไฟฟ้า พลังงานน้ำกับโรงจักรไฟฟ้าพลังงานความร้อน ในช่วงระยะเวลาสั้น *

ณัฏฐพจ ยงใจยุทธ¹⁾ และสมโภชน์ ประไพ²⁾

¹⁾ นักศึกษาปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520

โทร: (02)300-4543 ต่อ 1364 E-mail: eye_jungg@yahoo.com

²⁾ อาจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520

บทคัดย่อ

การผลิตกำลังไฟฟ้าร่วมกันของโรงจักรไฟฟ้าพลังงานน้ำกับโรงจักรไฟฟ้าพลังงานความร้อน ในช่วงระยะเวลาสั้นเพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้าให้เพียงพอกับความต้องการไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟฟ้าในเวลาที่ มีความต้องการพลังงานไฟฟ้าสูงสุดเป็นการปฏิบัติการที่เหมาะสม เพราะประหยัดค่าใช้จ่ายมากที่สุด การผลิตและการจ่ายกำลังไฟฟ้าร่วมกันของโรงจักรไฟฟ้าพลังงานน้ำกับโรงจักรไฟฟ้าพลังงานความร้อน ในช่วงระยะเวลาสั้นซึ่งใช้ข้อมูลจากการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย โดยการทำการจำลองโรงจักร ไฟฟ้าให้อยู่ในพื้นที่เดียวกัน ทำให้ได้ผลลัพธ์ของตัวคงที่คุณลักษณะโรงไฟฟ้าที่เหมาะสมสำหรับการผลิต พลังงานไฟฟ้าในช่วงเวลาที่มีความต้องการพลังงานไฟฟ้าสูงสุด

* รับต้นฉบับเมื่อวันที่ 4 มิถุนายน 2547 และได้รับความเห็นชอบจากผู้ทรงคุณวุฒิเมื่อวันที่ 28 มิถุนายน 2547

Electricity energy produced by short-term hydrothermal Coordination *

Mr. Nuttapott yongchaiyudh¹⁾ and A. Sompotsh Prapai²⁾

¹⁾ Graduate student. Department of Electronics, Faculty of Engineering KMITL

Tel: (02)300-4543 # 1364 E-mail: eye_junggg@yahoo.com

²⁾ Lecturer Department of Electronics, Faculty of Engineering KMITL

Abstract

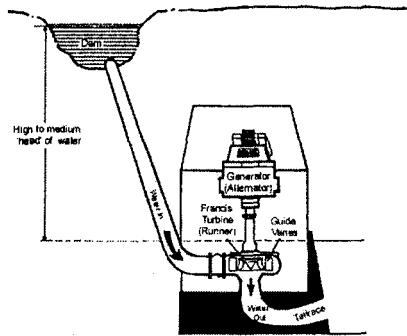
The co-operation, between hydro and thermal powered systems, during the short period to produce electricity to cope with consumer's demand during peak period is considered to be the most suitable and economical. The co-operation and distribution of the above mentioned (hydro-thermal) systems, during the peak demand, are based on data compiled from Electricity Generating Authority of Thailand. The experiment can be done by arrange the two generating systems to station on the same site, for the purpose of coordinating to two systems to each other, to get result of the power plant characteristic constant will be used to generate the electricity during the peak period.

Keywords: power generation, short-term hydrothermal, power system network, hydrothermal coordination

บทนำ

ในภาวะการณ์ที่มีความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุด แหล่งกำเนิดกำลังไฟฟ้าคือโรงจักรไฟฟ้าต้องทำงานอย่างต่อเนื่อง โดยการทำงานของโรงจักรไฟฟ้าจะเป็นไปในลักษณะของการร่วมกันจ่ายกำลังไฟฟ้าให้เพียงพอกับความต้องการใช้ไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟฟ้า จะเห็นได้ว่าความต้องการพลังงานไฟฟ้ามีความต้องการเพิ่มขึ้นอย่างสม่ำเสมอ ดังนั้น ในแต่ละวัน เมื่อเกิดช่วงของความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุด (peak demand) การร่วมกันจ่ายจ่ายกำลังไฟฟ้าของโรงจักรไฟฟ้า ต้องใช้ทรัพยากรธรรมชาติเป็นอย่างมาก เพื่อให้เกิดความประหยัดในเรื่องของทรัพยากรจึงมีความจำเป็นต้องคำนึงถึงในเชิงเศรษฐศาสตร์ของการจ่ายกำลังไฟฟ้าเพื่อให้เกิดความประหยัดในช่วงความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุด จะใช้โรงจักรไฟฟ้าพลังงานน้ำ และโรงจักรไฟฟ้าพลังงานความร้อนทำงานร่วมกันเพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้า เมื่อนำโรงจักรทั้งสองมาทำการผลิตพลังงานไฟฟ้าร่วมกันพบว่าสามารถช่วยประหยัดเชื้อเพลิงในโรงจักรไฟฟ้าความร้อนได้ด้วย และทำให้ได้กำลังไฟฟ้าที่เพียงพอต่อความต้องการของผู้ใช้ไฟฟ้า อีกทั้งยังช่วยประหยัดทรัพยากรธรรมชาติได้เป็นอย่างมาก

* Receive manual script on June 4, 2004 and approval from Reader on June 28, 2004



รูปที่ 1 องค์ประกอบของโรงจักรไฟฟ้าพลังน้ำ

ทฤษฎี

การผลิตพลังงานไฟฟ้าร่วมกันของโรงจักรไฟฟ้าพลังงานน้ำกับโรงจักร ไฟฟ้าพลังงานความร้อน

โดยการผลิตพลังงานไฟฟ้าของโรงจักรไฟฟ้าพลังงานน้ำ และโรงจักรไฟฟ้าพลังงานความร้อนจะใช้แผนการปฏิบัติงานที่ได้วางไว้ล่วงหน้ามาทำการปฏิบัติการซึ่งในการเตรียมแผนจะต้องคำนึงถึงปริมาณน้ำที่มีอยู่ในเขื่อนและปริมาณความต้องการไฟฟ้าของผู้บริโภค ซึ่งจะได้ออกมาเป็นตารางการปฏิบัติการโรงจักรไฟฟ้าในช่วงความต้องการไฟฟ้าสูงสุด (scheduled on peakday) โดยแผนการปฏิบัติงานโรงจักรไฟฟ้านี้อาจเปลี่ยนแปลงได้ถ้าไหลลดหรือความต้องการกำลังไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟฟ้านั้นไม่ใกล้เคียงกับแผนที่วางไว้ หรือปริมาณน้ำและเชื้อเพลิงมีการเปลี่ยนแปลงทั้งปริมาณและ ราคาของเชื้อเพลิง ก็ทำให้ต้องเปลี่ยนแผนการปฏิบัติการใหม่โดยวางแผนเริ่มต้นใหม่อีกครั้ง

Short-term hydrothermal scheduling

ขอบเขตระยะเวลาสั้นจะอยู่ในช่วง 1 วัน ซึ่งจะทำให้เกิดกำหนดการปฏิบัติงานเป็นชั่วโมงต่อชั่วโมง (hour by hour) ของการกำเนิดไฟฟ้าทั้งหมดบนระบบ โดยพื้นฐานคือต้องการใช้น้ำเพื่อทำให้ลดปริมาณการใช้เชื้อเพลิงให้น้อยลง ทำให้ราคาเชื้อเพลิงที่ใช้ในการผลิตกำลังไฟฟ้าในโรงจักรไฟฟ้าพลังงานความร้อนลดลง

คุณลักษณะของโรงจักรไฟฟ้าพลังไอน้ำและโรงจักรไฟฟ้าพลังงานน้ำ

โรงจักรไฟฟ้าพลังไอน้ำเป็นโรงจักรที่ใช้ความร้อน เพื่อทำให้เกิดพลังไอน้ำแล้วเปลี่ยนรูปเป็นพลังงานไฟฟ้า ในการวิเคราะห์ปัญหาที่เกี่ยวข้องกับการควบคุมการปฏิบัติการของระบบไฟฟ้ากำลังจะพบว่าพื้นฐานของการปฏิบัติการทางเศรษฐศาสตร์คือคุณลักษณะของ input-output ของแหล่งกำเนิดพลังงานความร้อน โดยคุณลักษณะจะเป็น input ที่เปลี่ยนแปลงกับ output เป็นฟังก์ชัน โดยที่ input จะถูกวัดในเทอมของ Baht per hour (B/hr) หรือน้ำหนักของเชื้อเพลิงเช่นถ่านหินเป็น ตัน/ชั่วโมง (ton/hr) และสำหรับปริมาณแก๊ส เป็น (Mft^3/hr), สำหรับ output ของโรงไฟฟ้าจะเป็นกำลังไฟฟ้าที่ออกมาใช้ประโยชน์สู่ระบบไฟฟ้ากำลังซึ่งวิศวกรอาจพัฒนาคุณลักษณะทาง input-output ทั้งหมดให้อยู่ในรูปของข้อมูลที่สามารถเปลี่ยนเป็น output สุทธิ ที่มีประโยชน์มากในการปฏิบัติการกำเนิดไฟฟ้าเช่นการเปลี่ยน curve แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง input-output ให้อยู่ในรูปสมการที่พร้อมใช้ปฏิบัติการเป็นต้น สำหรับในการกำหนดคุณลักษณะของ stream turbine units จะปรากฏเป็นเทอมที่ใช้ ดังนี้

Input term

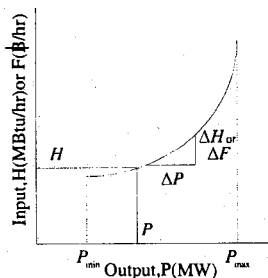
H: เป็นหน่วยความร้อน input (btw/hr หรือ Mbtw/hr)

F: ราคาเชื้อเพลิง เป็น input ที่มีหน่วยเป็น B/hr

Output term

output term ของหน่วยจะกำหนดเป็น P

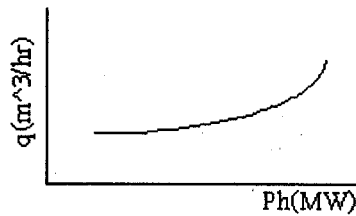
P: เป็นหน่วยของกำลังไฟฟ้าสุทธิมีหน่วยเป็น (w,Mw,Gw)



รูปที่ 2 คุณลักษณะ input-output ของ stream turbine generator

สำหรับโรงจักรไฟฟ้าพลังงานน้ำ ลักษณะ ของ input-output จะแสดงได้ดังรูปที่ 3 โดยกำลังไฟฟ้า P_h เป็นฟังก์ชันกับอัตราการไหลของน้ำ โดย h (หัวน้ำ) = ค่าคงที่ และ q (อัตราการไหลของน้ำ) เป็นฟังก์ชันกับ P_h (กำลังไฟฟ้า)

$$q = q(Ph) \quad (1)$$

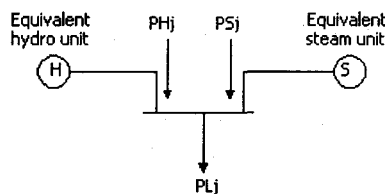


รูปที่ 3 กราฟคุณลักษณะทางอินพุต-เอาท์พุตของโรงจักรไฟฟ้าพลังงานน้ำ
สำหรับหัวน้ำคงที่

ในทางปฏิบัติเพื่อใช้ในการวางแผนงาน ปริมาณน้ำทั้งหมดที่ไหลเข้าขับเคลื่อน จะมีหน่วย
เป็น MCM และสำหรับอัตราส่วนของ MCM/MWhr อธิบายได้ว่า ถ้าตลอดทั้งวันโรงไฟฟ้าพลังน้ำใช้
ปริมาณน้ำ 10 MCM เพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้า 100 MWhr ดังนั้นอัตราของน้ำเป็น 0.1 MCM/MWhr
นั่นคือ 1 MWhr จะใช้ปริมาณน้ำ 0.1 MCM

ระบบการทำงานร่วมกันของโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำและโรงไฟฟ้าพลังงาน ความร้อน

ระบบการผลิตพลังงานไฟฟ้าร่วมกันของโรงจักรไฟฟ้าพลังงานน้ำ กับโรงจักรไฟฟ้าพลัง
งานความร้อนแสดงได้ดังรูปที่ 4 โดยกำหนดให้โรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนในรูปแทนด้วยตัวย่อ PS แล้ว
ให้หน่วยของโรงจักรไฟฟ้าพลังงานน้ำแทนด้วย PH



รูปที่ 4 Hydrothermal system

กำหนดให้

F = ราคาของเชื้อเพลิงเป็น บาท/ชั่วโมง (B/hr)

$$F_T = F_1 + F_2 + F_3 + \dots + F_n$$

$$F_T = \sum_{j=1}^N F_j(P_j) \quad (2)$$

ดังนั้นค่าใช้จ่ายรวมของเชื้อเพลิงที่ต่ำที่สุดคือ

$$\text{Min} F_T = \sum_{j=1}^{j_{\max}} n_j F_j \quad (3)$$

ดังนั้นปริมาณน้ำรวมทั้งหมดที่ปล่อยเข้าขั้วเทอร์ไบน์ในโรงจักรไฟฟ้าพลังน้ำแทนด้วย q_{tot}

$$q_{\text{tot}} = \sum_{j=1}^{j_{\max}} n_j q_j \quad (4)$$

โดย q_j = อัตราการไหลของน้ำที่ปล่อยเข้าขั้วเทอร์ไบน์ในโรงจักรไฟฟ้าพลังน้ำ

n_j = จำนวนชั่วโมงในช่วงเวลา j^{th} และ

$$T_{\max} = \sum_{j=1}^{j_{\max}} n_j \quad (5)$$

จากสมการที่ (2) สามารถเขียนลากรองจ์ฟังก์ชัน (Lagrange function) ได้เป็น

$$L = F_T + \lambda_\phi \text{ และ Minimize: } L = F_T + \lambda_\phi$$

$$F_T = \sum_{j=1}^N F_j(P_j)$$

$$\phi = P_{\text{load}} + P_{\text{loss}} - \sum_{i=1}^N P_i = 0 \quad (6)$$

$$\sum_{i=j}^N P_j = Ph_j + Ps_j \quad (7)$$

จากสมการ (6) และ (7) จะได้

$$Pload + Ploss - (Ph_j + Ps_j) = 0 \quad (8)$$

จาก (8) สามารถเขียน Lagrange function เป็น

$$L = \sum_{j=1}^{j_{\max}} [n_j F(Ps_j) + \lambda_j (Pload_j + Ploss_j - Ph_j - Ps_j)]$$

$$+ \gamma [\sum_{j=1}^{j_{\max}} n_j q_j (Ph_j) - q_{tot}] \quad (9)$$

ในช่วงเวลา $j = k$

$$\frac{\partial L}{\partial Ps_k} = 0$$

$$n_k \frac{dFs_k}{dPs_k} = \lambda_k$$

และ

$$\frac{\partial L}{\partial Ph_k} = 0$$

$$\gamma_k \frac{dq_k}{dPh_k} = \lambda_k \quad (10)$$

จะได้ผลของสมการ coordination (hour k): เป็น

$$n_k \frac{dF(Ps_k)}{dPs_k} + \lambda_k \frac{\partial Ploss_k}{\partial Ps_k} = \lambda_k \quad (11)$$

$$\gamma_k \frac{dq(Ph_k)}{dPh_k} + \lambda_k \frac{\partial Ploss_k}{\partial Ph_k} = \lambda_k \quad (12)$$

การทำให้ค่าใช้จ่ายสำหรับเชื้อเพลิงน้อยที่สุด

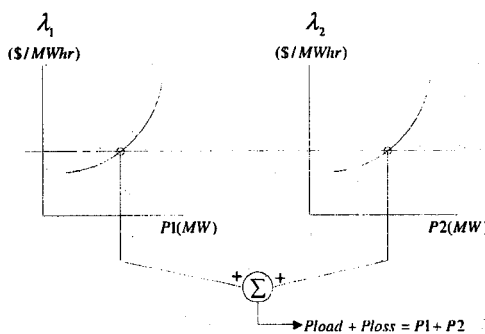
ในการกระจายโหลดระหว่างโรงไฟฟ้าค่าใช้จ่ายสำหรับเชื้อเพลิงน้อยที่สุด เมื่ออัตราค่าใช้จ่ายสำหรับเชื้อเพลิงที่เพิ่มขึ้นของโรงไฟฟ้าแต่ละแห่ง คุณด้วยตัวประกอบการปรับโทษของโรงไฟฟ้าแห่งนั้นเท่ากันทั่วทั้งระบบ [Kirchmayer, L.K. , 1959],[Allen J.Wood, Bruce F.Wollenberg , 1984] นั่นคือ

$$\frac{dF_1}{dP_1} L_1 = \frac{dF_2}{dP_2} L_2 = \dots = \frac{dF_n}{dP_n} L_n = \lambda \quad (13)$$

ตัวประกอบของการปรับโทษ (penalty factor) ของโรงไฟฟ้าแห่งที่ k จะได้รับการกำหนดหา โดย [Syed A.Nasar , 1990]

$$L_k = \frac{1}{1 - (\partial P_{loss} / \partial P_k)} \quad (14)$$

ให้พิจารณากราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง incremental cost rate (λ) กับ power output ของโรงไฟฟ้า จากกราฟรูปที่ 5 แสดงคุณลักษณะพบว่าโรงไฟฟ้าทั้งสองแห่งจะปฏิบัติงานร่วมกันตรงจุดที่เรียกว่า optimum economic operating point ที่จุดนี้ เป็นจุดที่มีค่าของ incremental cost rate (λ) ตรงกันทั้งสองโรงไฟฟ้า นั่นคือ เมื่อปฏิบัติการจ่ายกำลังไฟฟ้าที่จุดนี้ จะทำให้เกิดการปฏิบัติการจ่ายกำลังไฟฟ้าที่ประหยัดค่าใช้จ่ายมากที่สุด



รูปที่ 5 วิธีการปฏิบัติงานเชิงเศรษฐศาสตร์เพื่อทำให้ค่าใช้จ่ายสำหรับเชื้อเพลิงน้อยที่สุด

หลักการจ่ายกำลังไฟฟ้าโดย $\lambda_1 = \lambda_2 = \dots = \lambda_n$ เป็นการหาค่า λ จากลากรองจ์ฟังก์ชัน เมื่อหาค่าของ λ ได้นำไปแทนค่าตามความสัมพันธ์กับฟังก์ชันเพื่อหาขนาดของกำลังไฟฟ้าจากโรงจักรไฟฟ้าแต่ละแห่งที่ผลิตพลังงานไฟฟ้าให้กับผู้บริโภคอย่างเหมาะสมที่สุดหลักการของลากรองจ์ (Lagrange's principle) สามารถหาค่าที่เหมาะสมที่สุดเหมือนกับวิธีการทางคณิตศาสตร์ในเรื่องของค่าสูงสุดและค่าต่ำสุดที่เรียกว่า Maxima and Minima โดยให้ผลลัพธ์ตรงกันตัวอย่างในเรื่องการจ่ายโหลดของโรงจักรไฟฟ้าจะยกตัวอย่างการจ่ายโหลดของโรงจักรไฟฟ้าโดยใช้ Newton's method

ตัวอย่างที่ 1 การปฏิบัติงานจ่ายภาระทางไฟฟ้าตามหลักเศรษฐศาสตร์โดยให้ภาระทางไฟฟ้า load = 800 MW และมี incremental fuel cost เป็นสมการที่ (15) - (17)

$$\frac{dF_1}{dP_1} = 7.92 + 0.003124 P_1 = \lambda_1 \quad (15)$$

$$\frac{dF_2}{dP_2} = 7.85 + 0.00388 P_2 = \lambda_2 \quad (16)$$

$$\frac{dF_3}{dP_3} = 7.97 + 0.00964 P_3 = \lambda_3 \quad (17)$$

1.ใช้วิธีของ Newton's method จะได้คำตอบของระบบสมการเป็น

$$\begin{bmatrix} P_1 \\ P_2 \\ P_3 \\ \lambda \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 369.6871 \\ 315.6965 \\ 114.6164 \\ 9.0749 \end{bmatrix}$$

$$\text{ดังนั้น} \quad p_1 + p_2 + p_3 = \text{load} \quad (18)$$

แทนค่าผลลัพธ์ในสมการที่ (18)

$$369.6871 \text{ MW} + 315.6965 \text{ MW} + 114.6164 \text{ MW} = 800 \text{ MW}$$

เห็นได้ว่าตามวิธีการ Newton's method โรงจักรไฟฟ้าทั้งสามแห่งสามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าที่ภาระ 800 MW โดยโรงจักรไฟฟ้าที่ 1 P_1 จ่ายกำลังไฟฟ้าเท่ากับ 369.8871 MW, โรงจักรไฟฟ้าที่ 2 P_2 จ่ายกำลังไฟฟ้าเท่ากับ 315.6965 MW และโรงจักรไฟฟ้าที่ 3 P_3 จ่ายกำลังไฟฟ้าเท่ากับ 114.6164 MW

เปรียบเทียบกับวิธี Lagrange's principle สำหรับการจ่ายโหลดทางไฟฟ้าตามหลักเศรษฐศาสตร์โดยให้ λ ของทุกโรงจักรไฟฟ้าเท่ากันจึงสามารถหาผลเฉลยการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากโรงจักรไฟฟ้าแต่ละแห่งได้โดยเริ่มจากหาค่าของ λ

วิธีทำ จากสมการที่ (15)-(17) ให้ $\lambda_1 = \lambda_2 = \lambda_3 = \lambda$ เขียนสมการของ P1-P3 ได้เป็น

$$p_1 = \frac{\lambda - 7.92}{0.003124}, \quad p_2 = \frac{\lambda - 7.85}{0.00388}, \quad p_3 = \frac{\lambda - 7.97}{0.00964} \quad (19)$$

$$\text{เขียนสมการ} \quad p_1 + p_2 + p_3 = 800 \text{ MW} \quad (20)$$

เมื่อแทนค่า P1-P3 ในสมการที่ (19) ลงในสมการที่ (20) ได้ค่า $\lambda = 9.074902408$

นำค่า λ แทนค่าในสมการที่ (19) จะได้

$$p_1 = 369.6871 \text{ MW}, \quad p_2 = 315.6965 \text{ MW}, \quad p_3 = 114.6164 \text{ MW}$$

$$\text{และ } \lambda = 9.074902408 \quad \text{Ans}$$

เห็นได้ว่าทั้งสองวิธีการจ่ายโหลดทางไฟฟ้าให้ผลลัพธ์ที่เหมือนกันดังนั้นวิธีการของ $\lambda_1 = \lambda_2 = \dots = \lambda_n$ จึงเป็นวิธีการที่ถูกต้องสามารถนำมาใช้กับการจ่ายโหลดทางไฟฟ้าได้

รูปแบบจำลอง

จะใช้ระบบโครงข่ายไฟฟ้าของ กฟผ. ในเขตพื้นที่ 4 คือเขตภาคเหนือ โดยใช้เส้นทางเดินของสายส่งที่เชื่อมโยง 2 โรงจักรไฟฟ้าขนาดใหญ่บนบัส 230 kv มาทำการจำลองการผลิตพลังงานไฟฟ้าร่วมกัน ให้ BB แทนโรงจักรไฟฟ้าพลังงานน้ำเขื่อนภูมิพล, ให้ SK แทนโรงจักรไฟฟ้าพลังงานน้ำเขื่อนสิริกิติ์, ให้ MM แทนโรงจักรไฟฟ้าพลังงานความร้อนแม่เมาะ, TA แทนสถานีไฟฟ้าแรงสูง 230 kv จังหวัดตาก, PL แทนสถานีไฟฟ้าแรงสูง 230 kv จังหวัดพิษณุโลก, NS สถานีไฟฟ้าแรงสูง 230 kv จังหวัดนครสวรรค์ แสดงดังรูปที่ 6 และรูปที่ 7

รูปแบบจำลองที่ 1 โรงจักรไฟฟ้าพลังงานน้ำ BB ผลิตพลังงานไฟฟ้าร่วมกับโรงจักรไฟฟ้าพลังงานความร้อน MM รูปที่ 6 โดยมีข้อมูลสำหรับโรงจักรไฟฟ้าดังนี้

BASE : 100 MVA

Equivalent steam system:

$$Ci(\text{Baht/hr}) = 0.0005Ps^2 + 0.003Ps$$

$$\frac{dCi}{dPs} = 10Ps + 0.3 \text{ PU.}$$

$$\text{Hydroplant: } q(\text{MCM/hr}) = 0.372 * Ph$$

$$0 \leq Ph \leq 7.312 \text{ PU.}$$

$$\text{Total water discharge} = 28.953 \text{ MCM}$$

กำลังไฟฟ้าสูญเสียในสายส่งของระบบโครงข่ายไฟฟ้า

$$P_{loss} = 0.0185Ps^2 - 0.0014PsPh + 0.0199Ph^2 + 0.0091Ps \\ + 0.0191Ph + 0.0281 \text{ PU.}$$

รูปแบบจำลองที่ 2 โรงจักรไฟฟ้าพลังงานน้ำ SK ผลิตพลังงานไฟฟ้าร่วมกันกับโรงจักรไฟฟ้า
พลังงานความร้อน MM รูปที่ 7 โดยมีข้อมูลสำหรับโรงจักรไฟฟ้าดังนี้

BASE : 100 MVA

Equivalent steam system:

$$Ci(\text{Baht/ hr}) = 0.0005Ps^2 + 0.003Ps$$

$$\frac{dCi}{dPs} = 10Ps + 0.3 \text{ PU.}$$

$$\text{Hydroplant: } q(\text{MCM/hr}) = 0.5 * Ph$$

$$0 \leq Ph \leq 5 \text{ PU.}$$

$$\text{Total water discharge} = 40.77 \text{ MCM}$$

กำลังไฟฟ้าสูญเสียในสายส่งของระบบโครงข่ายไฟฟ้า

$$P_{loss} = 0.0098Ps^2 - 0.0002PsPh + 0.0386Ph^2 + 0.0041Ps \\ + 0.0023Ph + 0.0021 \text{ PU.}$$

เงื่อนไขการจำลอง

1. จำลองโรงจักรไฟฟ้าพลังงานน้ำ BB และโรงจักรไฟฟ้าพลังงานความร้อน MM
รูปที่ 6 ทำงานร่วมกันเพื่อจ่ายภาระทางไฟฟ้าตาม Load Pattern โดยคิดความสูญเสียที่สายส่ง
2. จำลองโรงจักรไฟฟ้าพลังงานน้ำ SK และโรงจักรไฟฟ้าพลังงานความร้อน MM
รูปที่ 7 ทำงานร่วมกันเพื่อจ่ายภาระทางไฟฟ้าตาม Load Pattern โดยคิดความสูญเสียที่สาย

ส่ง

3. จำลองโรงจักรไฟฟ้าพลังงานน้ำ BB และโรงจักรไฟฟ้าพลังงานความร้อน MM

รูปที่ 6 ทำงานร่วมกันเพื่อจ่ายภาระทางไฟฟ้าตาม Load Pattern โดยไม่คิดความสูญเสียที่สายส่ง (Ploss = 0)

4. จำลองโรงจักรไฟฟ้าพลังงานน้ำ SK และโรงจักรไฟฟ้าพลังงานความร้อน MM

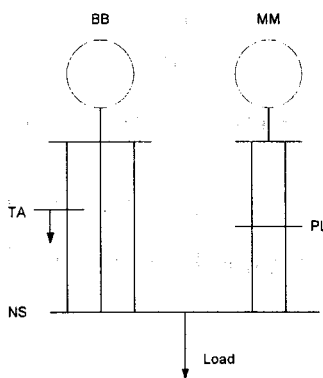
รูปที่ 7 ทำงานร่วมกันเพื่อจ่ายภาระทางไฟฟ้าตาม Load Pattern โดยไม่คิดความสูญเสียที่สายส่ง (Ploss = 0)

5. จำลองโรงจักรไฟฟ้าพลังงานน้ำ BB และโรงจักรไฟฟ้าพลังงานความร้อน MM

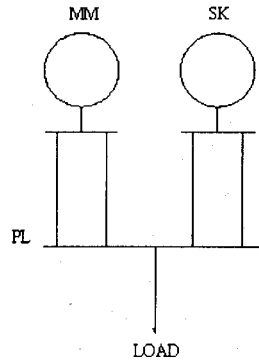
รูปที่ 6 ทำงานร่วมกันเพื่อจ่ายภาระทางไฟฟ้าตาม Load Pattern โดยคิดความสูญเสียที่สายส่งและทดลองเปลี่ยนค่า $\gamma = 1.5, \gamma = 2, \gamma = 3$ ตามลำดับ

6. จำลองโรงจักรไฟฟ้าพลังงานน้ำ SK และโรงจักรไฟฟ้าพลังงานความร้อน MM

รูปที่ 7 ทำงานร่วมกันเพื่อจ่ายภาระทางไฟฟ้าตาม Load Pattern โดยคิดความสูญเสียที่สายส่งและทดลองเปลี่ยนค่า $\gamma = 1.5, \gamma = 2, \gamma = 3$ ตามลำดับ



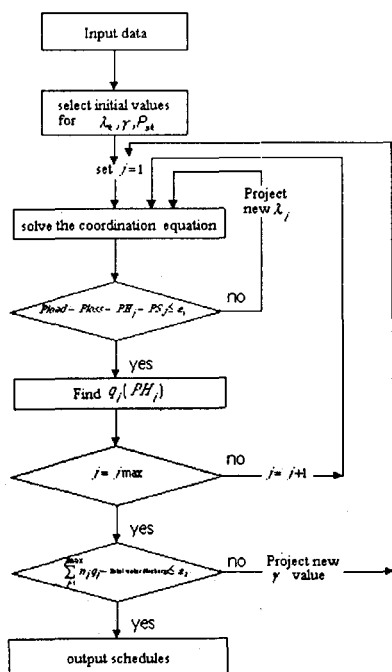
รูปที่ 6 โรงจักรไฟฟ้าพลังงานน้ำ BB และโรงจักรไฟฟ้าพลังงานความร้อน MM
พร้อมโครงข่ายไฟฟ้า



รูปที่ 7 โรงจักรไฟฟ้าพลังงานน้ำ SK และโรงจักรไฟฟ้าพลังงานความร้อน MM พร้อมโครงข่ายไฟฟ้า

Load Pattern:

Time Period	P' load (MW)	P' load (PU)
01:00-06:00	300	3
06:00-07:00	100	1
07:00-08:00	160	1.6
08:00-09:00	250	2.5
09:00-12:00	400	4
12:00-13:00	150	1.5
13:00-17:00	370	3.7
17:00-18:00	350	3.5
18:00-22:00	200	2
22:00-23:00	400	4
23:00-24:00	170	1.7
24:00-01:00	200	2



รูปที่ 8 โฟลว์ชาร์ตวิธี $\lambda - \gamma$ iteration สำหรับ hydrothermal scheduling

ผลการทดลอง

จากรูปที่ 9 และตารางที่ 1-14 แสดงผลที่ได้จากการทดลองตามรูปแบบจำลองในหัวข้อที่ 4
ตามลำดับดังนี้

Form1

Calculation Exit

Base =100MVA
Power demand=3PU.or=300MW
Inv1
ps(PU.) ph(PU.) Lambda1 Lambda2 ploss(PU.) pload(PU.) discharge(MCM/h)
.014 3.293 .438 .438 .307 3. 1.225
Total water discharge(MCM)=7.351
gamma=1.
Lambda= 438
Power demand=1PU.or=100MW
Inv2
ps(PU.) ph(PU.) Lambda1 Lambda2 ploss(PU.) pload(PU.) discharge(MCM/h)
.009 1.062 .396 .396 .071 1. .395
Total water discharge(MCM)=7.746
gamma=1.
Lambda= 396
Power demand=1.6PU.or=160MW
Inv3
ps(PU.) ph(PU.) Lambda1 Lambda2 ploss(PU.) pload(PU.) discharge(MCM/h)
.01 1.708 .407 .407 .119 1.6 .636
Total water discharge(MCM)=8.381
gamma=1.

Form1

Calculation Exit

Power demand=1.6PU.or=160MW
Inv3
ps(PU.) ph(PU.) Lambda1 Lambda2 ploss(PU.) pload(PU.) discharge(MCM/h)
.01 1.708 .407 .407 .119 1.6 .636
Total water discharge(MCM)=8.381
gamma=1.
Lambda= 407
Power demand=2.5PU.or=250MW
Inv4
ps(PU.) ph(PU.) Lambda1 Lambda2 ploss(PU.) pload(PU.) discharge(MCM/h)
.012 2.714 .426 .426 .227 2.5 1.01
Total water discharge(MCM)=9.391
gamma=1.
Lambda= 426
Power demand=4PU.or=400MW
Inv5
ps(PU.) ph(PU.) Lambda1 Lambda2 ploss(PU.) pload(PU.) discharge(MCM/h)
.016 4.501 .464 .464 .517 4. 1.674
Total water discharge(MCM)=14.414
gamma=1.
Lambda= 464

รูปที่ 9 การทดลองตามไดอะแกรมในรูปที่ 8

Time period	Ps (pu.)	Ph (pu.)	Ploss (pu.)	Pload (pu.)
01:00-06:00	0.014	3.293	0.307	3
06:00-07:00	0.009	1.062	0.071	1
07:00-08:00	0.010	1.708	0.119	1.6
08:00-09:00	0.012	2.714	0.227	2.5
09:00-12:00	0.016	4.501	0.517	4
12:00-13:00	0.010	1.599	0.110	1.5
13:00-17:00	0.015	4.131	0.447	3.7
17:00-18:00	0.015	3.889	0.403	3.5
18:00-22:00	0.011	2.150	0.161	2
22:00-23:00	0.016	4.501	0.517	4
23:00-24:00	0.011	1.818	0.129	1.7
24:00-01:00	0.011	2.150	0.161	2

Total water discharge (MCM)	28.953
γ (Gamma (Baht/MCM))	1

ตารางที่ 1 ผลการทดลองที่ได้จากการจำลองที่ 1

Time period	Ps (pu.)	Ph (pu.)	Ploss (pu.)	Pload (pu.)
01:00-06:00	0.038	3.425	0.463	3
06:00-07:00	0.024	1.021	0.045	1
07:00-08:00	0.027	1.689	0.116	1.6
08:00-09:00	0.034	2.772	0.305	2.5
09:00-12:00	0.050	4.884	0.934	4
12:00-13:00	0.027	1.575	0.102	1.5
13:00-17:00	0.046	4.421	0.767	3.7
17:00-18:00	0.043	4.125	0.669	3.5
18:00-22:00	0.030	2.157	0.187	2
22:00-23:00	0.050	4.884	0.934	4
23:00-24:00	0.028	1.804	0.132	1.7
24:00-01:00	0.030	2.157	0.187	2

Total water discharge (MCM)	40.77
γ (Gamma (Baht/MCM))	1

ตารางที่ 2 ผลการทดลองที่ได้จากการจำลองที่ 2

การผลิตพลังงานไฟฟ้าร่วมกันของโรงจักรไฟฟ้าพลังงานน้ำ
กับโรงจักรไฟฟ้าพลังงานความร้อนในช่วงระยะเวลานั้น

139

Time period	Ps (pu.)	Ph (pu.)	Ploss (pu.)	Pload (pu.)
01:00-06:00	0.007	2.993	0.0	3
06:00-07:00	0.007	0.993	0.0	1
07:00-08:00	0.007	1.593	0.0	1.6
08:00-09:00	0.007	2.493	0.0	2.5
09:00-12:00	0.007	3.993	0.0	4
12:00-13:00	0.007	1.493	0.0	1.5
13:00-17:00	0.007	3.693	0.0	3.7
17:00-18:00	0.007	3.493	0.0	3.5
18:00-22:00	0.007	1.993	0.0	2
22:00-23:00	0.007	3.993	0.0	4
23:00-24:00	0.007	1.693	0.0	1.7
24:00-01:00	0.007	1.993	0.0	2

Total water discharge (MCM)	26.196
γ (Gamma (Baht/MCM))	1

ตารางที่ 3 ผลการทดลองที่ได้จากการจำลองที่ 3

Time period	Ps (pu.)	Ph (pu.)	Ploss (pu.)	Pload (pu.)
01:00-06:00	0.020	2.980	0.0	3
06:00-07:00	0.020	0.980	0.0	1
07:00-08:00	0.020	1.580	0.0	1.6
08:00-09:00	0.020	2.480	0.0	2.5
09:00-12:00	0.020	3.980	0.0	4
12:00-13:00	0.020	1.480	0.0	1.5
13:00-17:00	0.020	3.680	0.0	3.7
17:00-18:00	0.020	3.480	0.0	3.5
18:00-22:00	0.020	1.980	0.0	2
22:00-23:00	0.020	3.980	0.0	4
23:00-24:00	0.020	1.680	0.0	1.7
24:00-01:00	0.020	1.980	0.0	2

Total water discharge (MCM)	35.05
γ (Gamma (Baht/MCM))	1

ตารางที่ 4 ผลการทดลองที่ได้จากการจำลองที่ 4

Time period	Ps (pu.)	Ph (pu.)	Ploss (pu.)	Pload (pu.)
01:00-06:00	0.035	3.268	0.303	3
06:00-07:00	0.029	1.041	0.070	1
07:00-08:00	0.031	1.687	0.117	1.6
08:00-09:00	0.033	2.690	0.224	2.5
09:00-12:00	0.039	4.473	0.512	4
12:00-13:00	0.030	1.578	0.108	1.5
13:00-17:00	0.038	4.104	0.442	3.7
17:00-18:00	0.037	3.862	0.399	3.5
18:00-22:00	0.032	2.127	0.159	2
22:00-23:00	0.039	4.473	0.512	4
23:00-24:00	0.031	1.796	0.127	1.7
24:00-01:00	0.032	2.127	0.159	2

Total water discharge (MCM)	28.72
γ (Gamma (Baht/MCM))	1.5

ตารางที่ 5 ผลการทดลองที่ได้จากการจำลองที่ 5 เมื่อใช้ค่า $\gamma = 1.5$ Baht/MCM

Time period	Ps (pu.)	Ph (pu.)	Ploss (pu.)	Pload (pu.)
01:00-06:00	0.057	3.243	0.300	3
06:00-07:00	0.048	1.020	0.069	1
07:00-08:00	0.051	1.665	0.115	1.6
08:00-09:00	0.054	2.666	0.221	2.5
09:00-12:00	0.062	4.444	0.506	4
12:00-13:00	0.050	1.556	0.106	1.5
13:00-17:00	0.060	4.077	0.437	3.7
17:00-18:00	0.059	3.835	0.394	3.5
18:00-22:00	0.052	2.105	0.157	2
22:00-23:00	0.062	4.444	0.506	4
23:00-24:00	0.051	1.774	0.125	1.7
24:00-01:00	0.052	2.105	0.157	2

Total water discharge (MCM)	28.488
γ (Gamma (Baht/MCM))	2

ตารางที่ 6 ผลการทดลองที่ได้จากการจำลองที่ 5 เมื่อใช้ค่า $\gamma = 2$ Baht/MCM

การผลิตพลังงานไฟฟ้าร่วมกันของโรงจักรไฟฟ้าพลังงานน้ำ
กับโรงจักรไฟฟ้าพลังงานความร้อนในช่วงระยะเวลาสั้น

141

Time period	Ps (pu.)	Ph (pu.)	Ploss (pu.)	Pload (pu.)
01:00-06:00	0.100	3.193	0.293	3
06:00-07:00	0.087	0.980	0.067	1
07:00-08:00	0.091	1.622	0.112	1.6
08:00-09:00	0.096	2.619	0.215	2.5
09:00-12:00	0.107	4.388	0.496	4
12:00-13:00	0.090	1.513	0.103	1.5
13:00-17:00	0.105	4.023	0.428	3.7
17:00-18:00	0.103	3.782	0.386	3.5
18:00-22:00	0.093	2.060	0.153	2
22:00-23:00	0.107	4.388	0.496	4
23:00-24:00	0.091	1.730	0.121	1.7
24:00-01:00	0.093	2.060	0.153	2

Total water discharge (MCM)	28.029
γ (Gamma (Baht/MCM))	3

ตารางที่ 7 ผลการทดลองที่ได้จากการจำลองที่ 5 เมื่อใช้ค่า $\gamma = 3$ Baht/MCM

Time period	Ps (pu.)	Ph (pu.)	Ploss (pu.)	Pload (pu.)
01:00-06:00	0.071	3.380	0.451	3
06:00-07:00	0.051	0.992	0.043	1
07:00-08:00	0.056	1.656	0.112	1.6
08:00-09:00	0.065	2.732	0.297	2.5
09:00-12:00	0.089	4.822	0.911	4
12:00-13:00	0.055	1.543	0.098	1.5
13:00-17:00	0.083	4.365	0.748	3.7
17:00-18:00	0.079	4.073	0.652	3.5
18:00-22:00	0.060	2.121	0.181	2
22:00-23:00	0.089	4.822	0.911	4
23:00-24:00	0.057	1.771	0.127	1.7
24:00-01:00	0.060	2.121	0.181	2

Total water discharge (MCM)	40.199
γ (Gamma (Baht/MCM))	1.5

ตารางที่ 8 ผลการทดลองที่ได้จากการจำลองที่ 6 เมื่อใช้ค่า $\gamma = 1.5$ Baht/MCM

Time period	Ps (pu.)	Ph (pu.)	Ploss (pu.)	Pload (pu.)
01:00-06:00	0.104	3.335	0.440	3
06:00-07:00	0.078	0.963	0.040	1
07:00-08:00	0.084	1.624	0.108	1.6
08:00-09:00	0.096	2.693	0.289	2.5
09:00-12:00	0.128	4.761	0.888	4
12:00-13:00	0.083	1.511	0.094	1.5
13:00-17:00	0.120	4.310	0.730	3.7
17:00-18:00	0.115	4.021	0.636	3.5
18:00-22:00	0.089	2.086	0.175	2
22:00-23:00	0.128	4.761	0.888	4
23:00-24:00	0.085	1.738	0.123	1.7
24:00-01:00	0.089	2.086	0.175	2

Total water discharge (MCM)	39.638
γ (Gamma (Bahr/MCM))	2

ตารางที่ 9 ผลการทดลองที่ได้จากการจำลองที่ 6 เมื่อใช้ค่า $\gamma = 2$ Bahr/MCM

Time period	Ps (pu.)	Ph (pu.)	Ploss (pu.)	Pload (pu.)
01:00-06:00	0.169	3.248	0.418	3
06:00-07:00	0.131	0.906	0.037	1
07:00-08:00	0.140	1.561	0.100	1.6
08:00-09:00	0.157	2.616	0.273	2.5
09:00-12:00	0.203	4.643	0.846	4
12:00-13:00	0.138	1.449	0.087	1.5
13:00-17:00	0.191	4.204	0.695	3.7
17:00-18:00	0.184	3.921	0.606	3.5
18:00-22:00	0.147	2.018	0.165	2
22:00-23:00	0.203	4.643	0.846	4
23:00-24:00	0.142	1.673	0.115	1.7
24:00-01:00	0.147	2.018	0.165	2

Total water discharge (MCM)	38.545
γ (Gamma (Bahr/MCM))	3

ตารางที่ 10 ผลการทดลองที่ได้จากการจำลองที่ 6 เมื่อใช้ค่า $\gamma = 3$ Bahr/MCM

Time period	λ_1	λ_2
01:00-06:00	0.438	0.438
06:00-07:00	0.396	0.396
07:00-08:00	0.407	0.407
08:00-09:00	0.426	0.426
09:00-12:00	0.464	0.464
12:00-13:00	0.406	0.406
13:00-17:00	0.456	0.456
17:00-18:00	0.450	0.450
18:00-22:00	0.415	0.415
22:00-23:00	0.464	0.464
23:00-24:00	0.409	0.409
24:00-01:00	0.415	0.415

ตารางที่ 11 ผลการปฏิบัติงานเชิงเศรษฐศาสตร์สำหรับตารางที่ 1 เพื่อให้ค่าใช้จ่ายสำหรับเชื้อเพลิงน้อยที่สุดทำให้
เห็นถึงความประหยัดเมื่อ $\lambda_1 = \lambda_2$

Time period	λ_1	λ_2
01:00-06:00	0.372	0.372
06:00-07:00	0.372	0.372
07:00-08:00	0.372	0.372
08:00-09:00	0.372	0.372
09:00-12:00	0.372	0.372
12:00-13:00	0.372	0.372
13:00-17:00	0.372	0.372
17:00-18:00	0.372	0.372
18:00-22:00	0.372	0.372
22:00-23:00	0.372	0.372
23:00-24:00	0.372	0.372
24:00-01:00	0.372	0.372

ตารางที่ 12 ผลการปฏิบัติงานเชิงเศรษฐศาสตร์สำหรับตารางที่ 3 เพื่อให้ค่าใช้จ่ายสำหรับเชื้อเพลิงน้อยที่สุดทำให้
เห็นถึงความประหยัดเมื่อ $\lambda_1 = \lambda_2$

γ (Gamma) (Baht/MCM)	Total water discharge Q_{tot} (MCM)
$\gamma = 1.5$	28.72
$\gamma = 2$	28.488
$\gamma = 3$	28.029

ตารางที่ 13 ผลของ γ รูปที่ 6 ซึ่งแตกต่างกันกับปริมาณน้ำ Q_{tot} (MCM)

γ (Gamma) (Baht/MCM)	Total water discharge Q_{tot} (MCM)
$\gamma = 1.5$	40.199
$\gamma = 2$	38.545
$\gamma = 3$	39.638

ตารางที่ 14 ผลของ γ รูปที่ 7 ซึ่งแตกต่างกันกับปริมาณน้ำ Q_{tot} (MCM)

สรุปผลการทดลอง

จากการทดลอง พบว่าความประหยัดโดยการทำให้ค่าใช้จ่ายสำหรับเชื้อเพลิงน้อยที่สุดจะเกิดขึ้นเมื่อ $\lambda_1 = \lambda_2$ ตามหลักการปฏิบัติงานเชิงเศรษฐศาสตร์สำหรับการผลิตพลังงานไฟฟ้าร่วมกันของสองโรงจักรไฟฟ้าที่มีคุณสมบัติแตกต่างกัน คือโรงจักรไฟฟ้าพลังงานน้ำกับโรงจักรไฟฟ้าพลังงานความร้อนโรงจักรไฟฟ้าพลังงานน้ำ สามารถทำให้โรงจักรไฟฟ้าพลังงานความร้อนในการผลิตกำลังไฟฟ้าได้น้อยลงแสดงโดยค่า P_s ของโรงจักรไฟฟ้าพลังงานความร้อนจากตารางที่ 1-10 ตามลำดับซึ่งจะน้อยกว่า P_h คือกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากโรงจักรไฟฟ้าพลังงานน้ำทุกเวลานั้นคือมีความประหยัดเชื้อเพลิงในการผลิตกำลังไฟฟ้า สำหรับโรงจักรไฟฟ้าพลังงานความร้อนเกิดขึ้นด้วยเนื่องจากผลิตกำลังไฟฟ้าน้อยลงย่อมใช้ทรัพยากรและเชื้อเพลิงในการผลิตน้อยลงไปด้วยและจากตารางที่ 13-14 จะพบว่าเมื่อใช้โรงจักรไฟฟ้าพลังงานน้ำเชื่อมภูมิพล หรือใช้โรงจักรไฟฟ้าพลังงานน้ำเชื่อมสิริกิติ์ทำการผลิตพลังงานไฟฟ้าร่วมกับโรงจักรไฟฟ้าพลังงานความร้อนแล้วค่า γ (Gamma) ที่เพิ่มขึ้นจะมีปริมาณน้ำรวมที่ไหลเข้าขั้วเทอร์ไบน์ลดลง นั่นคือจะใช้น้ำในการผลิตพลังงานไฟฟ้าของโรงจักรไฟฟ้าพลังงานน้ำลดลงในการผลิตพลังงานไฟฟ้าร่วมกันเมื่อค่า γ (Gamma) น้อยลงจะต้องใช้ปริมาณน้ำรวมที่ไหลเข้าขั้วเทอร์ไบน์เพิ่มขึ้นเมื่อใช้น้ำยิ่งมากขึ้นก็จะทำให้เกิดความประหยัดในโรงจักรไฟฟ้าพลังงานความร้อนเพิ่มมากขึ้นไปด้วยเพราะว่าโรงจักรไฟฟ้าพลังงานน้ำจะผลิตกำลังไฟฟ้าได้เพิ่มมากขึ้นให้พิจารณาที่ตารางที่ 5 บรรทัดสุดท้ายที่ช่วงเวลา 24:00-01:00 มี Pload เป็น 2 pu และ γ (Gamma) = 1.5 เปรียบเทียบกับตารางที่

7 บรรทัดสุดท้ายที่ช่วงเวลาและPload เดียวกันคือที่ช่วงเวลา 24:00-01:00 มี Pload เป็น 2 pu และ γ (Gamma) = 3 ค่าของ P_s ในตารางที่5 เป็น $P_s = 0.032$ pu และ $P_h = 2.127$ pu สำหรับค่าของ P_s ในตารางที่7 เป็น $P_s = 0.093$ pu และ $P_h = 2.060$ pu ตามลำดับดังนั้นเมื่อนำมาช่วยในการผลิตพลังงานไฟฟ้ามากขึ้นก็จะทำให้การใช้เชื้อเพลิงในโรงจักรไฟฟ้าพลังงานความร้อนลดลง และการผลิตพลังงานไฟฟ้าร่วมกัน โดยใช้โรงจักรไฟฟ้าที่อยู่ในพื้นที่เดียวกันก็จะทำให้การสูญเสียกำลังไฟฟ้าในสายส่งน้อยลง ในกรณีเขื่อนขนาดใหญ่มีปริมาณน้ำมากก็จะทำให้การผลิตพลังงานไฟฟ้ามีความประหยัดเพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย นอกจากนี้ต้องใช้เชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้าแล้วปริมาณน้ำที่มากเมื่อไปใช้ร่วมกับโรงจักรไฟฟ้าพลังงานความร้อน ก็จะช่วยให้โรงจักรไฟฟ้าพลังงานความร้อนใช้เชื้อเพลิงได้น้อยลงด้วย เนื่องจากโรงจักรไฟฟ้าพลังน้ำ จะไปช่วยเสริมกำลังผลิตไฟฟ้าให้กับโรงจักรไฟฟ้าพลังงานความร้อนทำให้โรงจักรไฟฟ้าพลังงานความร้อนผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ลดลงจึงพบว่าการทำงานร่วมกันของทั้งสองโรงจักรไฟฟ้า คือโรงจักรไฟฟ้าพลังน้ำกับโรงจักรไฟฟ้าพลังงานความร้อนสามารถตอบสนองความต้องการกำลังไฟฟ้าในช่วงเวลาที่มีความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุดได้เป็นอย่างดี และยังช่วยในการประหยัดทรัพยากรธรรมชาติได้เป็นอย่างมากด้วย

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย ที่สนับสนุนข้อมูลที่เป็นประโยชน์สำหรับงานวิจัย วิศวกรไฟฟ้าจากการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยทุกท่านที่ได้ให้คำแนะนำ รวมทั้งผู้สนับสนุนทุกท่าน มา ณ โอกาสนี้ด้วย

เอกสารอ้างอิง

- Kirchmayer, L.K. 1959. *Economic Control of Interconnected System*. London: Chapman&Hall.
Allen J.Wood and Bruce F.Wollenberg. 1984. *Power generation opration control*. New York: John Wiley & Sons.
Syed A.Nasar. 1990. *Theory and problems of Electric Power System*. New York: McGraw-Hill Inc.
S.,Soares, [et. al.] 1980. *Optimal Generation Scheduling of Hydrothermal Power System*. 99, 3: 1107-1115.
Anstine, L.T., Ringlee, R.J. 1963. *Susquenhanna River Short Range Hydrothermal Coordination*. *AIEE Transactions*. 82: 185-191.