

กลยุทธ์การดำเนินงานสำหรับการผลิตไฟฟ้าได้สูงสุดของระบบการผลิตไฟฟ้าและความร้อนร่วม ในโรงงานผลิตเยื่อกระดาษ

Operation Strategies for Maximizing Electrical Output of Cogeneration System in a Pulp Mill

ปรารถนา ฐปจัน¹ วารุณี เตีย¹

Prattana Toopjeen¹ Warunee tia¹

บทคัดย่อ

โรงงานผลิตเยื่อกระดาษส่วนใหญ่ได้ใช้ประโยชน์จากผลพลอยได้ที่เรียกว่าน้ำมันยางดำ (BL) เป็นเชื้อเพลิงในระบบการผลิตไฟฟ้าและความร้อนร่วม และขายไฟฟ้าเข้าสายส่งภายใต้โครงการผู้ผลิตไฟฟ้ารายเล็ก (SPP) สัญญาประเภท Firm ซึ่งจำเป็นต้องใช้ความเชี่ยวชาญทั้งทางด้านเทคนิคและการจัดการเพื่อให้โรงงานดำเนินการได้ตามที่สัญญาระบุไว้ บทความนี้แสดงถึงกลยุทธ์การดำเนินงานเพื่อผลิตไฟฟ้าจากระบบผลิตไฟฟ้าและความร้อนร่วมของโรงงานผลิตเยื่อกระดาษแห่งหนึ่งให้ได้สูงสุดตามสัญญา โดยวิเคราะห์ผลผลิตกำลังไฟฟ้าของระบบผลิตไฟฟ้าและความร้อนร่วมเทียบกับขนาดกำลังไฟฟ้า 25 MW ตามสัญญา SPP ประเภท Firm และได้ศึกษาจากความสัมพันธ์โดยใช้สมการถดถอยดังนี้ 1) ปริมาณน้ำมันยางดำเจือจางกับผลผลิตเยื่อกระดาษ 2) ใส่น้ำความดันสูงที่ผลิตได้กับปริมาณน้ำมันยางดำเข้มข้นที่ใช้ 3) กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้กับใส่น้ำความดันสูงที่ใช้ ผลการวิเคราะห์ได้แสดงช่วงของเงื่อนไขการทำงานเพื่อผลิตกำลังไฟฟ้าให้ได้ตามสัญญาของ 4 ระบบหลักได้แก่ กระบวนการผลิตเยื่อกระดาษ ระบบการทำระเหย หม้อไอน้ำและระบบผลิตไฟฟ้าและความร้อนร่วม ซึ่งสามารถวิเคราะห์ได้จากข้อมูลในอดีตของแต่ละระบบของโรงงาน นอกจากนี้ได้เสนอแผนการซ่อมบำรุงประจำปีของโรงงานเพื่อให้ดำเนินงานในช่วงเดือนที่มีต้องการไฟฟ้าสูงได้ตามสัญญา

Abstract

Most pulp mills utilize their by-product which is called black liquor (BL) as fuel for their cogeneration systems and export the electricity to the grid under small power producer (SPP) firm contract. Both technical and management skill are needed to operate the plant to meet the signed contract. This paper identified the operation strategies for maximizing electrical output of a cogeneration system, as specified in the signed contract, in a selected pulp mill. Power output of the cogeneration system was analyzed based on 25 MW SPP firm contracts. The relationship of i) the amount of white BL and pulp yield, ii) high pressure steam (HPS) production and heavy BL input, and iii) power output and HPS input were analyzed using regression equations. Results showed that the range of operating conditions of four main systems namely: pulping process, evaporation system, recovery boilers and cogeneration system, which could meet guarantee capacity output, can analytically specified from the historical data of the plant. In addition, the yearly maintenance plan was also purposed to satisfy the requirement of operation in peak month.

¹คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าธนบุรี กรุงเทพฯ 10140

¹ School of Energy, Environment and Materials, King Mongkut's University of Technology Thonburi, Bangkok 10140

บทนำ (Introduction)

หลายประเทศยังคงผลิตไฟฟ้าจากเชื้อเพลิงฟอสซิลซึ่งจะส่งผลต่อความมั่นคงทางพลังงานและปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก [REN21, 2012] เช่นเดียวกับประเทศไทย [กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2554] เพื่อลดปัญหาดังกล่าวรัฐจึงส่งเสริมโดยรับซื้อไฟฟ้าที่ผลิตด้วยระบบผลิตไฟฟ้าและความร้อนร่วม (Cogeneration) ซึ่งเป็นระบบที่มีประสิทธิภาพทางพลังงานสูงและรับซื้อไฟฟ้าที่ผลิตจากแหล่งพลังงานหมุนเวียนภายใต้โครงการการรับซื้อไฟฟ้าจากผู้ผลิตไฟฟ้าย่อยเล็ก SPP (Small Power Producer) [การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, 2550] และมีแผนที่จะเพิ่มสัดส่วนการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียน [สำนักนโยบายพลังงานและแผน, 2012] โรงงานผลิตเยื่อกระดาษมีผลพลอยได้คือ น้ำมันยางดำ (Black liquor, BL) ซึ่งสามารถนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้าได้ [Marshman et.al, 2010], [Naqvi et. Al, 2010] และสามารถขายไฟฟ้าเข้าสายส่งทำให้ได้ผลตอบแทนเพิ่มขึ้นในส่วนนี้ และเป็นการเพิ่มผลผลิตไฟฟ้าจากมวลชีวภาพสอดคล้องกับนโยบายของรัฐ ดังนั้นการหาแนวทางจัดการเพื่อผลิตไฟฟ้าจาก BL ให้ได้เพิ่มขึ้นจึงเป็นผลดีต่อผู้ประกอบการและประเทศชาติด้วย ในบทความนี้จะวิเคราะห์เพื่อหากกลยุทธ์การดำเนินงานเพื่อผลิตไฟฟ้าจากระบบผลิตไฟฟ้าและความร้อนร่วมของโรงงานผลิตเยื่อกระดาษแห่งหนึ่งให้ได้ตามเป้าหมาย

การผลิตไฟฟ้าและการขายไฟฟ้าของโรงงานผลิตเยื่อกระดาษที่ศึกษา

กระบวนการผลิตเยื่อกระดาษที่ศึกษาเริ่มจากการนำไม้ยูคาลิปตัสมาปอกเปลือกแล้วส่งไปตัดให้มีขนาดเล็กเป็นชิ้นไม้สับจากนั้นส่งไปยังกระบวนการต้มเยื่อทำให้ได้ผลผลิต 2 ส่วน คือ เยื่อและน้ำมันยางดำเจือจาง (WBL) ที่มีความเข้มข้นประมาณ 15 – 17 %DS เยื่อถูกส่งไปหน่วยฟอกเยื่อ ส่วน WBL จะส่งไปยังหน่วยทำระเหยเพื่อเพิ่มความเข้มข้นสูงขึ้นโดยประมาณอยู่ที่ 80 %DS เรียกว่าน้ำมันยางดำเข้มข้น (HBL) จากนั้นส่งไปเป็นเชื้อเพลิงให้หม้อไอน้ำที่นำสารเคมีกลับคืน เป็นแบบท่อน้ำ (Water tube boiler) รองรับความดันที่ 84 bar ผลิตไอน้ำความดันสูง (HP Steam) ที่ความดัน 80 bar อุณหภูมิ 480 °C นำไปขับกังหันไอน้ำเพื่อผลิตไฟฟ้าโดยระบบผลิตไฟฟ้าและความร้อนร่วม แบบ Back- pressure steam turbine กำลังการผลิตไฟฟ้าสูงสุดที่ 32.9 MW ไอน้ำที่ออกจากกังหันจะมีความดันต่ำลงเป็นไอน้ำความดันปานกลาง (MP steam) ที่ประมาณ 12 bar อุณหภูมิ 200 °C นำมาใช้ในกระบวนการต้มเยื่อเป็นหลัก และอีกส่วนผ่านวาล์วลดความดันเป็นไอน้ำความดันต่ำ (LP steam) ที่ประมาณ 4 bar อุณหภูมิ 160 °C ใช้ในการทำระเหย WBL

โรงงานที่ทำการศึกษาคิดทำสัญญาขายไฟกับการไฟฟ้าฝ่ายผลิต ประเภท Firm Contract จากเชื้อเพลิงพลังงานหมุนเวียน โดยระเบียบการรับซื้อไฟฟ้าของผู้ผลิตไฟฟ้าย่อยเล็ก (SPP) สรุปเฉพาะในส่วนที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาได้ดังนี้

- โรงงานต้องผลิตและจำหน่ายไฟฟ้าให้แก่การไฟฟ้า ในช่วงเดือนที่ระบบของการไฟฟ้ามีความต้องการสูง (Peak months) คือ ช่วงเดือนมีนาคมถึงตุลาคมต้องจำหน่ายไฟฟ้าให้ได้มากที่สุดเท่าที่จะทำได้ โดยในรอบ 18 เดือนอย่างน้อยจะต้องมี 1 เดือนที่ทุกวันตลอด 24 ชั่วโมง (ทั้งช่วง Peak และ Off-Peak) จะต้องขายไฟฟ้าให้ได้ 25 MW ตามสัญญาที่ทำไว้ แต่ไม่เกิน 102 % ของ 25 MW ตลอดช่วง Peak และ Off-Peak
- จำนวนชั่วโมงที่ผลิตไฟฟ้าขายให้การไฟฟ้ารวมทั้งปี ไม่น้อยกว่า 7,008 ชั่วโมง

- ต้องสามารถผลิตและจ่ายพลังไฟฟ้าเพิ่ม ให้การไฟฟ้าตามปริมาณและระยะเวลาที่การไฟฟ้าสั่งการ
- ต้องผลิตไฟฟ้าให้มีคุณภาพตามระเบียบว่าด้วยการเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนานกับระบบ
- Firm contract ได้ผลตอบแทนจากการขายไฟฟ้า 2 ส่วน ได้แก่ ส่วนแรกคือ พลังไฟฟ้า (Capacity payment) ส่วนที่สองคือ พลังงานไฟฟ้า (Energy payment) และมีระยะเวลาของสัญญา 25 ปี
- ในกรณีที่ SPP ไม่สามารถจำหน่ายไฟฟ้าให้การไฟฟ้าได้ครบตามปริมาณพลังไฟฟ้าตามสัญญาเป็นเวลาดำเนินการเกินกว่า 18 เดือน การไฟฟ้าจะกำหนดปริมาณพลังไฟฟ้าตามสัญญาใหม่ให้เท่ากับปริมาณพลังไฟฟ้าที่ SPP สามารถทำได้จริงในขณะนั้น และ SPP จะต้องคืนเงินพลังไฟฟ้าส่วนที่ได้รับเกินไปนั้นนับตั้งแต่วันที่เริ่มต้นจำหน่ายไฟฟ้าเข้าระบบ พร้อมดอกเบี้ยย้อนหลังถึงวันที่ SPP ได้รับเงินส่วนเกินนั้นโดยใช้อัตราดอกเบี้ยเงินฝากประจำ 12 เดือนของธนาคารกรุงไทย ที่ประกาศ ณ วันที่ 1 ของเดือนที่เรียกเก็บเงินส่วนที่เกินดังกล่าว

ระเบียบวิธีวิจัย

การศึกษาหากลยุทธ์การดำเนินงานเพื่อผลิตไฟฟ้าจากระบบผลิตไฟฟ้าและความร้อนร่วมให้ได้สูงสุดตามสัญญาขายไฟฟ้าของโรงงานผลิตเยื่อกระดาษที่ใช้เป็นกรณีศึกษา ได้ศึกษาปัจจัยและผลผลิตของหน่วยผลิตต่างๆที่เกี่ยวข้องกับการผลิตไฟฟ้าได้แก่ หน่วยผลิตเยื่อกระดาษ หน่วยทำระเหย หม้อไอน้ำ และระบบผลิตไฟฟ้าและความร้อนร่วม โดยใช้ข้อมูลรายวัน 1 ของปี 2554 ซึ่งมีขั้นตอนการดำเนินงานเป็นดังนี้

1. ศึกษาการจำหน่ายไฟฟ้าที่ผลิตจากน้ำมันยางดำของโรงงานเพื่อวิเคราะห์ผลการดำเนินงานเปรียบเทียบกับเป้าหมายที่จะผลิตไฟฟ้าให้ได้มากที่สุดตามสัญญาขายไฟฟ้า 25 MW รวมทั้งเปรียบเทียบผลตอบแทนรายเดือนที่ได้จากการขายไฟฟ้าตามสัญญาแบบ Firm contract ซึ่งประกอบ 3 ส่วน ได้แก่ ค่าพลังไฟฟ้า (Capacity Payment) ค่าพลังงานไฟฟ้า (Energy Payment) และ ส่วนเพิ่มราคาซื้อขายไฟฟ้า (Escalation payment) โดยคำนวณได้จากสมการดังนี้ [แผนกจัดการสัญญาซื้อขายไฟฟ้าผู้ผลิตรายเล็ก EGAT, 2550]

ค่าพลังงานไฟฟ้า = (พลังงานไฟฟ้าPeak+พลังงานไฟฟ้าOff-peak) × (อัตราค่าพลังงานไฟฟ้าฐาน; 1.49

$$\text{บาท/kWh}) \dots\dots\dots (1)$$

ค่าพลังไฟฟ้า = Billing Month (kWh) × (ค่าคงที่ Capacity payment; 354.2 B/kW/เดือน)*

$$\dots\dots\dots (2)$$

ค่าส่วนเพิ่มราคาซื้อขายไฟฟ้า = ((พลังงานไฟฟ้าPeak+พลังงานไฟฟ้าOff-peak) × (ค่าคงที่ Escalation payment; 0.7362 B/kW)*

$$\dots\dots\dots (3)$$

เมื่อ Billing Month มีค่าดังนี้

- ถ้า Export Peak \geq 25 MW กำหนดค่า Billing Month = 25 MW

- ถ้า Export Peak < 25 MW กำหนดค่า Billing Month = Export Peak-0.2× (25- Export Peak)

(หมายเหตุ : * คือ เปลี่ยนแปลงตามอัตราการแลกเปลี่ยนเงินและสัดส่วนการลงทุนเงินทั้งในและต่างประเทศ)

2. หาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยและผลผลิตของระบบต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการผลิตไฟฟ้าโดยใช้สมการถดถอย โดยหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ WBL ที่ได้จากผลผลิตเยื่อกระดาษ ปริมาณ HBL ที่ใช้ กับไอน้ำความดันสูงที่ผลิตได้จากหม้อไอน้ำ กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากไอน้ำความดันสูงที่เข้ากังหัน

3. ปริมาณผลผลิตเยื่อกระดาษวัดในหน่วย ADT (Air Dry tons) คือ ปริมาณผลผลิตต่อน้ำหนักแห้ง

4. คำนวณหาปริมาณของแข็งที่ละลายเจือปนอยู่ในน้ำมันยางดำ (Total Dissolved Solid) ได้ดังนี้

$$TDS = ((\text{ปริมาณ BL ที่ส่งมาจากโรงเยื่อ, m}^3 \times \text{ความเข้มข้นของ BL, kg/m}^3 \times (\%DS / 100)) \dots\dots (4)$$

เมื่อ DS (Dry Solid) = ปริมาณของแข็งที่ละลายในของเหลว

5. ประมวลผลความสัมพันธ์ของระบบต่างๆที่เกี่ยวข้องกับการผลิตไฟฟ้าเพื่อหาเงื่อนไขการทำงานที่ทำให้ผลิตไฟฟ้าได้ตามเป้าหมาย และเสนอแผนการบำรุงรักษาเพื่อให้การผลิตไฟฟ้าได้ตามสัญญาและเป้าหมาย

ผลการวิจัยและอภิปรายผล (Results and Discussion)

1. ผลการจำหน่ายไฟฟ้าที่ผลิตจากน้ำมันยางดำ

จากข้อมูลการจำหน่ายไฟฟ้าที่ผลิตโดยใช้น้ำมันยางดำเป็นเชื้อเพลิงในปี 2554 พบว่าเป้าหมายการขายไฟฟ้าอยู่ที่ 25 MW แต่โรงงานไม่สามารถผลิตไฟฟ้าเพื่อขายให้การไฟฟ้าฝ่ายผลิตได้ตามเป้าหมายที่กำหนดไว้ดังแสดงในตารางที่ 1 ซึ่งมีสาเหตุหลักดังนี้

1. การซ่อมบำรุงเครื่องจักรประจำปี (Annual shut down) กระทบในเดือนกรกฎาคมซึ่งเป็นช่วงเดือนที่การไฟฟ้ามีความต้องการไฟฟ้าสูงตามสัญญา ดังนั้นจึงไม่ควรทำการซ่อมบำรุงเครื่องจักรประจำปีในเดือนนี้

2. การหยุดเพื่อทำการล้างหม้อไอน้ำ (Water wash Shut down) ในเดือนมีนาคมจำนวน 3 วัน และเดือนพฤศจิกายน จำนวน 16 วัน (โรงเยื่อหยุดซ่อมเครื่องต้มเยื่อต่อ เป็นจำนวน 13 วัน). และการหยุดหรือลดกำลังการผลิตของหม้อไอน้ำเพื่อซ่อมเครื่องจักรในกรณีฉุกเฉินที่ต้องลดกำลังการผลิตลงมามากจำนวนมี 9 ครั้ง รวมเป็นเวลา 53 วัน เมื่อมีการหยุดเดินระบบหม้อไอน้ำต้องใช้เชื้อเพลิงเสริมในทันทีคือ น้ำมันเตา ซึ่งทำให้ต้องเสียค่าใช้จ่ายในการเดินเครื่องเพิ่มขึ้น และต้องใช้เวลาาน กว่า จะทำการเดินเครื่องได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ นอกจากนี้ในส่วนของกังหันไอน้ำ ถ้าเริ่มเดินเครื่องใหม่ต้องใช้เวลาในการเพิ่มไอน้ำความดันสูงอย่างเป็นลำดับที่ จะผลิตกระแสไฟฟ้าส่งขายให้การไฟฟ้าได้

3. เชื้อเพลิงไม่เพียงพอเนื่องจาก 2 สาเหตุคือ หน่วยทำระเหยไม่สามารถระเหย WBL ได้ตามต้องการ และหน่วยผลิตเยื่อกระดาษหยุดเดินเครื่องหรือลดกำลังการผลิตในบางช่วงจึงไม่มี WBL มาให้หน่วยงานทำระเหยผลิตเชื้อเพลิงได้

ตารางที่ 1 การขายไฟฟ้าที่ผลิตจากน้ำมันยางดำในปีพ.ศ 2554

เดือน	กำลังไฟฟ้าที่ขายในช่วง(MW)		จำนวนชั่วโมงต่อเดือน	
	Peak MAX-MIN	Off-peak MAX-MIN	ชั่วโมงที่ทำได้ 25 MW	ชั่วโมงที่ขาย ไฟฟ้า
1	24.7 - 9.78	23.76 - 12.26	0	744
2	25.25 - 3.04	25.32 - 3.57	72	672
3	25.41 - 0	25.45 - 0	96	672
4	25.23 - 2.05	25.38 - 1.61	144	720
5	25.24 - 1.72	25.27 - 1.68	72	744
6	25.09 - 2.04	25.02 - 1.98	24	720
7	25.7 - 0	25.23 - 0	192	432
8	25.4 - 0	25.59 - 0	168	552
9	26.75 - 0	25.52 - 0.49	96	696
10	25.42 - 0	23.82 - 0.52	72	720

11	25.24 - 0	25.24 - 0	11	432
12	24.7 - 0	22.29 - 0	0	648

เมื่อนำผลการขายไฟฟ้ามา

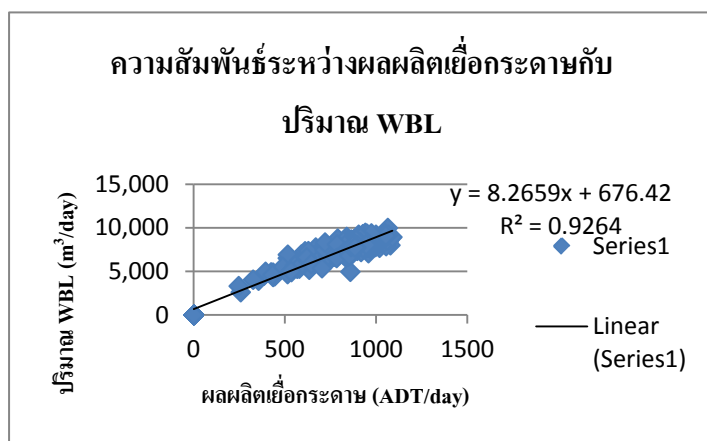
คำนวณรายได้ตามระเบียบรับซื้อไฟฟ้า เปรียบเทียบกับรายได้ตามเป้าหมายดังแสดงในตารางที่ 2 พบว่าการดำเนินงานไม่ได้ตามเป้าหมายทำให้สูญเสียรายได้ถึง 171,647,359 บาท/ปี

ตารางที่ 2 รายได้จากการขายไฟฟ้าที่ผลิตได้กับไฟฟ้าตามเป้าหมายปี 2554

รายการ		รายได้รวมปี 2554 (บาท/ปี)	เป้าหมายรายได้ * (บาท/ปี)
พลังงานไฟฟ้า (Peak)	kWh	77,999,490	110,700,000
พลังงานไฟฟ้า (Off-Peak)	kWh	60,352,265	86,100,000
รวมพลังงานไฟฟ้า	kWh	137,537,755	196,800,000
ค่าพลังงานไฟฟ้า (Energy payment)	บาท	204,922,315	293,232,000
ค่าพลังไฟฟ้า (Capacity payment)	บาท	66,362,819	93,032,214
ส่วนเพิ่มราคาปรับซื้อไฟฟ้า (Escalation payment)	บาท	100,027,030	144,884,160
รายได้รวมจากการขายไฟฟ้า	บาท	359,501,015	531,148,374

หมายเหตุ : * ตามการวางแผนการเดินเครื่องที่ 25 MW และการหยุดเดินเครื่องที่จัดทำขึ้นใหม่ที่จัดทำในงานวิจัยฉบับนี้

2. ผลการศึกษาหาความสัมพันธ์ของปริมาณน้ำมันยางดำกับผลผลิตเยื่อกระดาษ



จากการเก็บข้อมูลในปี 2554 หาความสัมพันธ์ของปริมาณ WBL กับผลผลิตเยื่อกระดาษได้ดังกราฟและสมการในรูปที่ 2 ซึ่งมีความสัมพันธ์ค่อนข้างสูง ค่า R^2 อยู่ที่ 0.9264

จากความสัมพันธ์ในรูปที่ 2 สามารถคำนวณหาปริมาณ BL ที่ส่งมาจากกระบวนการเยื่อกระดาษตาม %DS จะหา

ปริมาณ BL ในหน่วย TDS/day ได้ดังตารางที่ 3 พบว่าเมื่อมีการผลิตในปริมาณเท่าเดิมแต่ WBL มีความเข้มข้นสูงปริมาณ BL ในหน่วย TDS/day ก็จะมีเพิ่มขึ้นตาม %DS

รูปที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างผลผลิตเยื่อกระดาษกับปริมาณ WBL

ตารางที่ 3 ปริมาณ WBL (TDS/day) ที่แปรผันตามความเข้มข้น

ผลผลิตการต้ม เยื่อกระดาษ (ADT/day)	ปริมาณ (m ³ /day)	ปริมาณ WBL ที่ 15%DS (TDS/day)	ปริมาณ WBL ที่ 16%DS (TDS/day)	ปริมาณ WBL ที่ 17%DS (TDS/day)	ปริมาณ WBL ที่ 18%DS (TDS/day)
850	7702	1236	1325	1416	1508
900	8115	1302	1397	1492	1589
950	8529	1368	1468	1568	1670
1000	8942	1435	1539	1644	1751

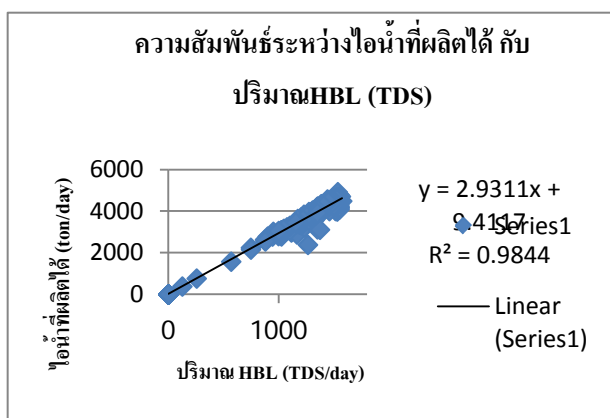
3. ผลการศึกษาหาความสัมพันธ์ของ Black liquor กับ ใอน้ำที่ผลิตได้

จากข้อมูลในปีที่ผ่านมาหาความสัมพันธ์ของปริมาณ HBL (TDS) ที่เข้าหม้อไอน้ำ และปริมาณใอน้ำที่ผลิตได้ นำมาเขียนความสัมพันธ์ได้ดังกราฟและสมการที่แสดงในรูปที่ 3 โดย HBL มีค่าความร้อนสูง (High heating value) ที่ dry basis เท่ากับ 3090.99 kcal/kg พบว่าปริมาณการใช้เชื้อเพลิง HBL แปรผันตามปริมาณการผลิตใอน้ำ โดยได้ค่า R² ของสมการเท่ากับ 0.98 ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ค่อนข้างสูง

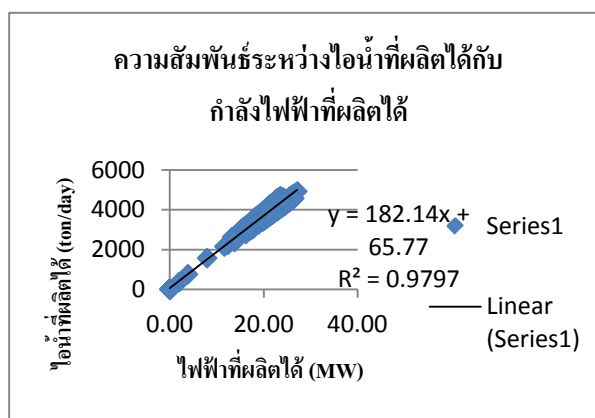
4. ผลการศึกษาหาความสัมพันธ์ของใอน้ำความดันสูงกับไฟฟ้าที่ผลิตได้

ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณใอน้ำความดันสูงที่เข้าระบบผลิตไฟฟ้า กับกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้แสดงได้ดังรูปที่ 4 ซึ่งแปรผันตามกันและมีความสัมพันธ์ค่อนข้างสูง ได้ค่า R² เท่ากับ 0.98

จากผลการศึกษาความสัมพันธ์ของปัจจัยต่างๆ ที่แสดงได้ดังสมการข้างต้นทำให้สามารถประเมินปัจจัยที่ต้องการใช้เพื่อผลิตไฟฟ้าให้ได้ไม่ต่ำกว่า 25 MW จะต้องผลิตใอน้ำความดันสูงไม่ต่ำกว่า 4619 tons/day ใช้เชื้อเพลิง HBL ไม่ต่ำกว่า 1572 TDS/day ดังนั้นกระบวนการผลิตเยื่อกระดาษจะต้องเดินเครื่องผลิตเยื่อกระดาษมากกว่า 900 ADT โดยต้องควบคุมความเข้มข้นของ WBL ให้ได้มากกว่า 17 % ขึ้นไป



รูปที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างใอน้ำที่ผลิตได้ กับปริมาณ HBL (TDS) ที่ 73-78 %DS ที่ใช้ในการผลิตใอน้ำ



รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างใอน้ำที่ผลิตได้กับกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้

5. กลยุทธ์การดำเนินงานสำหรับการผลิตไฟฟ้า

กลยุทธ์การดำเนินงานสำหรับการผลิตไฟฟ้าเพื่อให้ได้มากที่สุดตามเป้าหมาย จะใช้วิธีการจัดการการเดินเครื่องของหน่วยผลิตเยื่อกระดาษ หน่วยทำระเหย หน่วยหม้อไอน้ำ และหน่วยผลิตไฟฟ้า โดยดูจากความสัมพันธ์ที่หามาข้างต้น โดยมีเป้าหมายผลิตไฟฟ้าให้ได้มากที่สุดได้ 25 MW ตลอด 24 ชั่วโมง จำนวน 30 วัน ซึ่งสามารถกำหนดเงื่อนไขการทำงานของหน่วยต่างๆได้ ดังตารางที่ 5 และได้เสนอแผนการซ่อมบำรุง ดังนี้

1. การวางแผนหยุดซ่อมประจำปีในเดือนกุมภาพันธ์เป็นจำนวน 12 วัน
2. หยุดล้างหม้อไอน้ำในเดือนมิถุนายน 5 วันและตุลาคม 5 วัน
3. กำหนดให้หยุดฉุกเฉินไม่เกิน 15 วัน เพื่อหยุดในเหตุการณ์ที่ไม่คาดคิดอื่นๆ

ดังนั้นจำนวนชั่วโมงผลิตไฟฟ้าใน 1 ปี เท่ากับ 7872 ชม. โดยหักเวลาการหยุดซ่อมบำรุง 528 ชม. และหยุดฉุกเฉิน 15 วัน หรือ 360 ชม. โดยในช่วงเดือนมีนาคม- ตุลาคม เป็นช่วงที่การไฟฟ้าต้องการให้โรงงานขายไฟฟ้าให้ได้มากที่สุด ดังนั้นถ้าไม่จำเป็นจึงไม่ควรหยุดเดินเครื่องเพื่อซ่อมบำรุงประจำปีดังเช่นปีที่ผ่านมา และควรบำรุงประจำปีให้เสร็จก่อนเดือนมีนาคมเพื่อความสะดวกในการเดินเครื่อง ในช่วง peak months หลังจากการหยุดซ่อมบำรุงประจำปีโดยต้องมีการ stock HBL เพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงด้วย

ตารางที่ 5 เงื่อนไขการเดินเครื่องของหน่วยผลิตเยื่อกระดาษ ทำระเหยหม้อไอน้ำและหน่วยผลิตไฟฟ้า เพื่อให้ได้ไฟฟ้า มากกว่า 25 MW

หน่วยผลิตเยื่อกระดาษ		หน่วยงานทำระเหย	
อัตราการผลิตเยื่อกระดาษ (ADT/Day)	ความเข้มข้นของ WBL (%DS)	HBL ที่ระเหยได้ (TDS/Day)	ปริมาณ WBL (m ³ /day)
มากกว่า 950	ไม่ต่ำกว่า 16%	มากกว่า 1510	มากกว่า 8770
หม้อไอน้ำ		หน่วยผลิตไฟฟ้า	
เชื้อเพลิง HBL ที่ใช้ (TDS/Day)	ความเข้มข้นของ HBL (%DS)	ไอน้ำที่ผลิตได้ (ton/day)	ไฟฟ้าที่ผลิตได้ (MW)
มากกว่า 1510	73-78	มากกว่า 4438	มากกว่า 25

สรุปผลการวิจัย (Conclusion)

การผลิตไฟฟ้าจากน้ำมันยางดำให้ได้ไฟฟ้าสูงสุดตามเป้าหมายของโรงงานเยื่อกระดาษที่ศึกษาสามารถดำเนินการได้โดยวิธีการจัดการ ควบคุมการผลิต เพื่อให้ได้ความเข้มข้นของ Black Liquor ตามต้องการและจัดเก็บเพื่อให้มีปริมาณเพียงพอที่จะใช้เป็นเชื้อเพลิงได้ตามเป้าหมาย รวมถึงวางแผนการจัดการการเดินเครื่องและซ่อมบำรุงเพื่อไม่ให้เกิดกระทบต่อสัญญาการขายไฟฟ้า และไม่ส่งผลกระทบต่อความปลอดภัยในการทำงาน และไม่ก่อให้เกิดปัญหาต่อสิ่งแวดล้อม การจัดวิธีการดำเนินงานของโรงงานที่ศึกษาดังกล่าวที่กล่าวมานี้สามารถปรับปรุงแก้ไขได้ทันทีโดยไม่เสียต้นทุนในการจัดการ

กิตติกรรมประกาศ (Acknowledgement)

งานวิจัยฉบับนี้ต้องขอขอบพระคุณพี่-น้อง พนักงานของโรงงานที่ทำการศึกษา ที่ให้ความช่วยเหลือในการเก็บข้อมูลรวมถึงข้อมูลปัญหาต่างๆที่เกิดขึ้นในระหว่างการเดินเครื่อง และอาจารย์รวมถึงผู้เกี่ยวข้องในภาควิชาการจัดการพลังงาน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ที่ให้ความช่วยเหลือและเป็นที่ยปรึกษาในทุกเวลาจนงานวิจัยสามารถดำเนินมาได้

เอกสารอ้างอิง (References)

กรมพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน. 2554. รายงานไฟฟ้าของประเทศไทยปี 2554.

Available source: http://www.dede.go.th/dede/images/stories/stat_dede/electric54_1.pdf 14

กันยายน 2555.

การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย. 2550, การซื้อขายไฟฟ้าระหว่างการผลิตไฟฟ้าฝ่ายผลิต (EGAT) กับผู้ผลิตไฟฟ้า

รายเล็ก (SPP). การสัมมนาการรับซื้อไฟฟ้าจากผู้ผลิตไฟฟ้าย่อยรายเล็ก. โรงแรมทวารวดี รีสอร์ท จ.ปราชญ์บุรี

สำนักงานนโยบายพลังงานและแผน กระทรวงพลังงาน. 2012. สรุปแผนพัฒนากำลังผลิตไฟฟ้าของประเทศไทยปี 2555-

2573 (ฉบับปรับปรุงครั้งที่ 3). แหล่งที่มา: <http://www.eppo.go.th/index-T.html>, 15 พฤษภาคม 2555.

สำนักงานพลังงานและนโยบาย กระทรวงพลังงาน, 2550, ระเบียบการรับซื้อไฟฟ้าจากผู้ผลิตไฟฟ้าย่อยรายเล็ก

ประเภทสัญญา Firm เชื้อเพลิงพลังงานหมุนเวียน,

Available:http://www.eppo.go.th/power/SPP_renew_2550.pdf [18 มิถุนายน 2554].

Behnam, M.G., Mateos-Espejel, E., and Jean, P., 2010, "Integration of a Cogeneration Unit into a Kraft Pulping Process", Applied Thermal Engineering [Electronic], Vol. 30, No. ,pp. 2724-2729,

Available: Elsevier/Science Direct [13 กรกฎาคม 2554].

Anonymous, n.d., Research on Kraft Chemical [Online], Available:

www.krona.edu.ru/calendar/otchet/03-04_08_06/engl/13_Rese.pdf [11/8/2554].

Anonymous, n.d., ระบบการผลิตไฟฟ้าแบบหม้อไอน้ำและ Back pressure turbine [Online],

Available:<http://www.efe.or.th/home.php?ds=preview&back=content&mid=hGtTu8zx7jWvD4by&doc=3r2M1fJchFmUkDXB> [11/8/2554].

Marshmana, D.J., T. Chmelyk, M.S. Sidhu, R.B. Gopaluni and G.A. Dumont. 2010. Energy optimization in a pulp and paper mill cogeneration facility. Applied Energy 87: 3514–3525.

Naqvi, M., J. Yan and E. Dahlquist. 2010. Black liquor gasification integrated in pulp and paper mills:

A critical review, Bioresource Technology 101: 8001–8015.

Renewable Energy Policy Network for the 21st Century (REN21). 2012 Renewable global status report.

Available Source: <http://www.ren21.net>, August 20, 2012.