

การวิเคราะห์การใช้พลังงานในโรงสีข้าวสำหรับระบบ การผลิตไฟฟ้าและความร้อนร่วมในประเทศไทย

Energy Analysis in Rice Mills for Cogeneration in Thailand

วรรณิ เอกศิลป์ สมชาติ โสภณรณฤทธิ์ และ อภิชาติ เทอดโยธิน¹
Wanee Ekaailp, Somchart Soponronnarit, and Apichit Therdyothin¹

ABSTRACT

Three types of rice mills are studied: the white rice mills that use only electricity, the white rice mills that use electricity and steam engines and the par-boiled rice mills that use electricity and steam in the par-boiled process. The white rice mills and par-boiled rice mills use steam in heating process for paddy drying. Electrical energy consumption in the milling process of white rice mill and par-boiled rice mill are approximately 110 MJ/ton paddy and 129 MJ/ton paddy respectively. Electrical energy consumption of white rice mill is spent 43% in whitening and polishing process, 26% in screening and blowing process, 23% in bucket and conveyor process, and 8% in husking process. Electrical energy consumption in the milling process of par-boiled rice mill is spent 43% in whitening and polishing process, 38% in screening, bucket and conveyor process, 14% in blowing process, and 5% in husking process. The thermal energy consumption for par-boiled rice process is 2,410 MJ/ton paddy, of which 8% for soaking process, 6% for cooking process and 86% for paddy drying process. In the paddy drying process, the moisture content of the grain is reduced from 34% w.b. to 14% w.b. and thermal energy used is 10 MJ/kg water evaporated.

The results of the analysis show that the total electrical energy consumption ; milling process, drying process, improving and packing process, office and boiler in the white rice mill is approximately 190 MJ/ton paddy and 238 MJ/ton paddy in par-boiled rice mill. Assuming that steam turbine cogeneration is used, the electrical energy generated from 312 rice mills is therefore, 217 MW, of which 57% is used within the rice mills and 43% is left. The thermal energy generated from the rice mills is 3.16×10^{10} MJ/year, of which 5.37×10^9 MJ/year is used within the rice mills and 2.62×10^{10} MJ/year is left. However, optimization of cogeneration system may help to reduce the amount of steam left.

Key words : cogeneration, par-boiled rice, electrical energy, thermal energy

¹ สาขาเทคโนโลยีพลังงาน คณะพลังงานและวัสดุ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

Department of Energy Technology, School of Energy and Materials, King Mongkut's Institute of Technology Thonburi, Bangkok 10140, Thailand.

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการใช้พลังงานของโรงสีข้าวสำหรับวิเคราะห์ศักยภาพการผลิตไฟฟ้าและความร้อนร่วมของโรงสีข้าวในประเทศไทย โดยได้ทำการวิเคราะห์การใช้พลังงานในโรงสี 3 ประเภทคือโรงสีข้าวขาวที่ใช้พลังงานไฟฟ้าอย่างเดียว โรงสีข้าวขาวที่ใช้พลังงานไฟฟ้าร่วมกับพลังงานจากเครื่องจักรไอน้ำและโรงสีข้าวหนึ่งที่ใช้พลังงานไฟฟ้าร่วมกับพลังงานความร้อนจากไอน้ำ ทั้งโรงสีข้าวขาวและข้าวหนึ่งใช้ไอน้ำในการอบแห้ง พบว่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในกระบวนการสีข้าวขาวและข้าวหนึ่งมีค่าประมาณ 110 เมกะจูลต่อตันข้าวเปลือกและ 129 เมกะจูลต่อตันข้าวเปลือก ตามลำดับ พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในโรงสีข้าวขาวแยกเป็นใช้ในการกระบวนการขัดข้าวให้ขาว 43% ใช้ในการขับเคลื่อนเครื่องจักรต่าง ๆ และพัดลม 26% ขับกระพ้อและสายพานลำเลียง 23% และกระเทาะเปลือก 8% พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในโรงสีข้าวหนึ่งแยกเป็นใช้ในการกระบวนการขัดข้าวให้ขาว 43% ใช้ในการขับเคลื่อนเครื่องจักรต่าง ๆ ขับกระพ้อและสายพานลำเลียง 38% ใช้ขับเคลื่อนพัดลม 14% และกระเทาะเปลือก 5% ส่วนพลังงานความร้อนที่ใช้ในกระบวนการข้าวหนึ่งจะมีค่าประมาณ 2,410 เมกะจูลต่อตันข้าวเปลือก แบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือการแช่ข้าวใช้ 8% การนึ่งข้าวเพื่อทำให้โมเลกุลของแป้งสุก 6% และ 86% ใช้ในการอบแห้งข้าวเปลือกจากความชื้น 34% ให้เหลือประมาณ 14% (มาตรฐานเปลือก) คิดเป็นใช้พลังงานความร้อน 10 เมกะจูลต่อกิโลกรัมน้ำระเหย สามารถสรุปได้ว่าการใช้พลังงานไฟฟ้าในโรงสีข้าวขาวจะมีค่าประมาณ 190 เมกะจูลต่อตันข้าวเปลือก และโรงสีข้าวหนึ่ง 238 เมกะจูลต่อตันข้าวเปลือก ถ้าใช้ระบบกังหันไอน้ำเป็นระบบผลิตไฟฟ้าและความร้อนร่วมจากจำนวนโรงสี 312 โรง สามารถผลิตไฟฟ้าได้ทั้งหมด 217 เมกะวัตต์ ใช้ภายในโรงสี 123 เมกะวัตต์ เหลือใช้ 94 เมกะวัตต์

และความร้อนทั้งหมด 3.16×10^{10} เมกะจูลต่อปี ใช้ภายในโรงสี 5.37×10^9 เมกะจูลต่อปี เหลือใช้ 2.62×10^{10} เมกะจูลต่อปี และถ้าใช้เทคนิควิธีหาค่าระบบผลิตไฟฟ้าและความร้อนร่วมที่เหมาะสมที่สุดจะทำให้ปริมาณไอน้ำที่เหลือใช้ลดน้อยลง

คำนำ

ในปี พ.ศ. 2537 ประเทศไทยมีโรงสีข้าว มีประมาณ 47,000 โรง (สำนักงานปลัดกระทรวงอุตสาหกรรม, 2536 และ 2537) แต่เป็นโรงสีขนาดเล็กที่มีอัตราการสีข้าวเกินกว่าวันละ 100 ตันข้าวเปลือกจำนวน 260 โรง และเป็นโรงสีข้าวหนึ่งที่มีอัตราการสีข้าวเกินกว่าวันละ 100 ตันข้าวเปลือก จำนวน 52 โรง รวม 312 โรงเท่านั้นที่สามารถนำมาพิจารณาศักยภาพในการผลิตไฟฟ้าใช้เอง โดยใช้เชื้อเพลิงแกลบ ถ้าใช้โรงสีที่มีกำลังต่ำกว่า 100 ตันต่อวัน ปริมาณแกลบจะไม่พอใช้เป็นเชื้อเพลิง โรงสีทั้ง 2 ประเภทนี้จะใช้พลังงานอยู่ 2 ชนิด คือ พลังงานไฟฟ้าและพลังงานความร้อน กระบวนการสีข้าวในโรงสีบางแห่งใช้พลังงานไฟฟ้า เพียงอย่างเดียว แต่ในบางแห่งจะใช้พลังงานไฟฟ้าร่วมกับพลังงานจากเครื่องจักรไอน้ำ ในโรงสีข้าวหนึ่งจะใช้ทั้งไฟฟ้าและความร้อนจากไอน้ำ โดยที่ความร้อนจากไอน้ำจะใช้ในกระบวนการ แช่ข้าว นึ่งข้าว และการอบแห้งข้าวเปลือก ในกระบวนการอบแห้งนี้อาจจะใช้ทั้งความร้อนจากไอน้ำและไอเสียของหม้อไอน้ำเข้ามาร่วมด้วย โรงสีที่ผลิตข้าวหนึ่งจะใช้แกลบเป็นเชื้อเพลิงสำหรับหม้อไอน้ำเพื่อผลิตไอน้ำสำหรับใช้ในกระบวนการผลิตข้าวหนึ่งและบางโรงใช้ไอน้ำไปขับเคลื่อนเครื่องจักรไอน้ำต่อพ่วงกับเพลาราวสีข้าว

จากรายงานการตรวจวิเคราะห์ของกรมวิทยาศาสตร์บริการแกลบมีส่วนประกอบดังนี้คาร์บอน 35.6% ไฮโดรเจน 6.1% ออกซิเจน 39.3% ซัลเฟต 0.08% ชี้น้ำ 15.8% และ ความชื้น 9.7% มีค่าความร้อน

15.7 เมกะจูลต่อกิโลกรัม ในการศึกษาที่ผ่านมา เป็นการศึกษาการใช้พลังงานในโรงสีเพียง 1 โรง (Soponronnarit *et al.*, 1990; ศุภชัย, 2536) ศึกษาภาพรวมของการใช้พลังงาน (บริษัทบุญเยี่ยมและสหาย และศูนย์ประหยัดและอนุรักษ์พลังงาน, 2532; ศูนย์วิจัยและอบรมพลังงานจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และสำนักงานพลังงานแห่งชาติ, 2532) ซึ่งผลการศึกษาดังกล่าวยังไม่สามารถชี้ได้ชัดเจนว่าการใช้พลังงานในแต่ละกระบวนการของโรงสีที่มีขนาดแตกต่างกันออกไปจะแตกต่างกันหรือไม่อย่างไร ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์ที่วิเคราะห์ปริมาณ การใช้พลังงานในการสีข้าวรูปแบบต่างๆของโรงสีที่ใช้อุปกรณ์และลักษณะการผลิตที่ต่างกัน และวิเคราะห์ความเป็นไปได้ในการใช้ระบบการผลิตไฟฟ้าและความร้อนร่วมในโรงสีข้าว

อุปกรณ์และวิธีการ

โรงสีข้าวที่ศึกษาใช้พลังงานไฟฟ้าและความร้อน การวัดพลังงานไฟฟ้าจะใช้ Clip on วัดค่ากระแส ความดัน ความต่างศักย์และค่าพาวเวอร์แฟกเตอร์ของมอเตอร์ที่ใช้ขับอุปกรณ์ชนิดต่างๆ ส่วนพลังงานความร้อนมาจากไอน้ำ วัดได้จากมิเตอร์วัดน้ำที่เข้าหม้อไอน้ำและคอนเดนเสดที่นำไปใช้ในกระบวนการอบแห้งข้าวเปลือกและนำไปอุ่นน้ำก่อนแช่ข้าว สำหรับวัดความเร็วลมร้อนในท่อของอุปกรณ์อบแห้งใช้ pitot tube และปริมาณแกลบที่ใช้เป็นเชื้อเพลิงในหม้อไอน้ำหาได้จากวัดปริมาตรภาชนะบรรจุกับเวลา

ผลและวิจารณ์

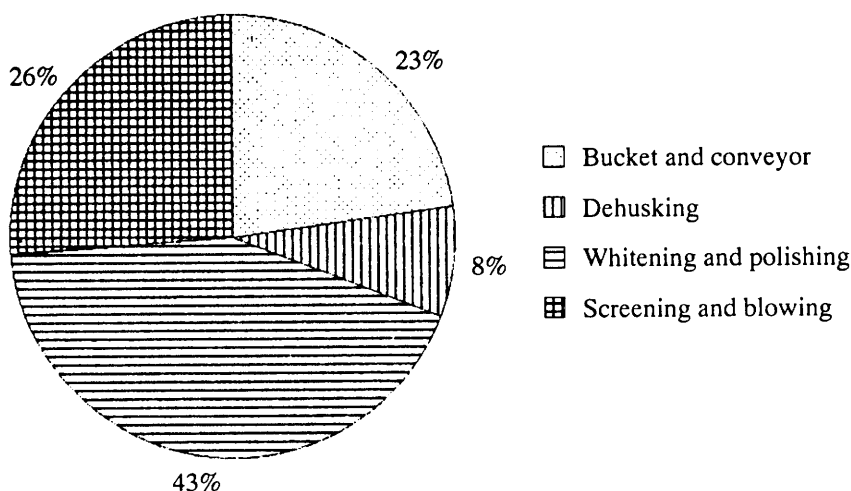
แบบการใช้พลังงานในโรงสีข้าวขาว

โรงสีข้าวขาวที่ทำการศึกษาย่างละเอียด 2 โรง คือ โรงสีที่ 1 ขนาดใหญ่ขนาดกำลังผลิตสูงสุดวันละ

1,000 ตันข้าวเปลือก เป็นโรงสีที่ใช้พลังงานไฟฟ้าเพียงอย่างเดียวในการสีข้าว และใช้ไอน้ำในการอบแห้งข้าวเปลือกก่อนสี ส่วนโรงสีที่ 2 เป็นโรงสีขนาดเล็กมีกำลังผลิตวันละ 120 ตันข้าวเปลือก ใช้พลังงานไฟฟ้าร่วมกับพลังงานจากเครื่องจักรไอน้ำในการสี (ไม่มีการอบแห้ง) รายละเอียดดังต่อไปนี้

โรงสีโรงที่ 1 มีการสีข้าวเปลือกประมาณ 320,000 ตันต่อปีและทำการสกัดรำดิบประมาณ 32,000 ตันต่อปี ทำการผลิตตลอด 24 ชั่วโมง พลังงานที่ใช้ในกระบวนการสีได้แสดงไว้ใน Figure 1 จะใช้พลังงานไฟฟ้ารวม 110 เมกะจูลต่อตันข้าวเปลือก ไม่รวมพลังงานไฟฟ้าในการอบแห้ง พลังงานไฟฟ้า(รวมอบแห้ง) 133 เมกะจูลต่อตันข้าวเปลือก ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในขั้นตอนการสีข้าวจะเปลี่ยนแปลงไปตามชนิดของข้าวและคุณภาพของข้าวที่ต้องการผลิต ถ้าสีข้าวเพื่อการส่งออกจะใช้พลังงานไฟฟ้ามากกว่าข้าวที่ขายในประเทศเพราะต้องขัดข้าวให้ผิวข้าวขาวเป็นมัน นอกจากนี้พลังงานไฟฟ้าที่ใช้กับเครื่องกระเทาะยังขึ้นอยู่กับลูกยางว่าเก่าหรือใหม่ ถ้าลูกยางใหม่จะใช้พลังงานมากกว่าลูกยางเก่า

โรงสีมีหม้อไอน้ำ 2 หม้อ หม้อไอน้ำหม้อที่ 1 มีกำลังผลิตสูงสุด 35 ตันต่อชั่วโมง ทำการผลิตจริงประมาณ 20-30 ตันต่อชั่วโมง ที่ความดัน 18-20 บาร์ อุณหภูมิไอน้ำ 360°C หม้อไอน้ำหม้อที่ 2 มีกำลังผลิตสูงสุด 20 ตันต่อชั่วโมง ทำการผลิตจริงประมาณ 12-15 ตันต่อชั่วโมง ที่ความดัน 18-20 บาร์ อุณหภูมิไอน้ำ 360°C ประสิทธิภาพหม้อไอน้ำทั้ง 2 ตามกฎข้อที่ 1 ประมาณ 69% (วรรณิ, 2534) ไอน้ำ 90% ที่ผลิตได้จะผ่านเข้ากังหันไอน้ำแบบ back pressures turbine เพื่อผลิตไฟฟ้าใช้ภายในโรงสีโดยมีเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 2 ชุดมีกำลังผลิตติดตั้งเครื่องละ 1,450 กิโลวัตต์ ไอน้ำ 10% จากที่ผลิตได้หรือประมาณ 4 ตันต่อชั่วโมงจะถูกส่งไปใช้ในกระบวนการสกัดน้ำมันรำซึ่งมีกำลังการสกัดรำดิบ 100 ตันต่อวัน



Total electrical energy consumption is 110 MJ/ton paddy excluding drying process.

Figure 1 Percentage of electrical energy consumption in white rice milling process of white rice mill no.1.

โรงสีมีระบบการอบแห้งข้าวเปลือกก่อนสี ซึ่งจะใช้ก็ต่อเมื่อข้าวที่ซื้อมามีความชื้น มากกว่า 14% (มาตรฐานเปียก) โรงสีมีเครื่องอบ 3 เครื่อง สามารถอบแห้งได้รวม 100 ตันต่อชั่วโมง ในการอบแต่ละครั้งจะลดความชื้นของข้าวเปลือกลงไม่เกิน 2% แล้วนำข้าวเปลือกมาเก็บพักไว้ 1 วัน เพื่อลดความเครียดของข้าว แล้วจึงนำไปอบใหม่ซึ่งการลดความชื้นของข้าวที่มีความชื้น 24% ลงให้เหลือ 14% (มาตรฐานเปียก) จะต้องทำการอบข้าวชุดนี้ถึง 5 ครั้ง ในอดีตที่ผ่านมาโรงสีจะต้องทำการอบแห้งข้าว 2 ช่วง คือ ช่วงเดือนธันวาคม ถึง เดือนมีนาคม และ ช่วงเดือนมิถุนายน ถึงกลางเดือนกรกฎาคม ในปี 2536 โรงสีต้องทำการอบแห้งข้าวเปลือกประมาณ 43% ของข้าวเปลือกที่ซื้อมาทั้งหมด

ความร้อนที่ใช้ในการอบแห้งมาจากไอน้ำที่ออกจากเจนเนอเรเตอร์ 2 เครื่อง พัดการใช้ไอน้ำของเครื่องอบแห้งประมาณ 18 ตันไอน้ำต่อชั่วโมง ซึ่งบางครั้งโรงสีจะปล่อยไอน้ำเข้าเครื่องถึง 25 ตันไอน้ำต่อชั่วโมงที่ 1.2 บาร์ เพราะมีไอน้ำเหลือใช้จำนวนมาก

เมื่อดำเนินการพลังงานความร้อนที่ใช้ในการระเหยน้ำออกจากเมล็ดข้าวเปลือกพบว่าใช้พลังงานระหว่าง 25-26 เมกะจูลต่อกิโลกรัม น้ำระเหยซึ่งสูง โดยปกติการอบแห้งเมล็ดข้าวเปลือกจะใช้พลังงานความร้อนประมาณ 3-8 เมกะจูลต่อกิโลกรัม น้ำระเหย (Soponronnarit *et al.*, 1990) ส่วนพลังงานไฟฟ้าที่ต้องใช้ในการอบแห้งประมาณ 0.31 เมกะจูลต่อกิโลกรัม น้ำระเหย

โรงสีนี้มีจุดประสงค์หลักคือการผลิตไฟฟ้าใช้ภายในโรงสีซึ่งต้องการพลังงานไฟฟ้าประมาณ 2 เมกะวัตต์ ส่วนไอน้ำที่ออกจากกังหันไอน้ำที่นำมาอบแห้งข้าวเปลือกเป็นผลพลอยได้จึงไม่ได้ใช้อย่างมีประสิทธิภาพนักไอน้ำที่ออกจากเครื่องอบแห้งประมาณ 10% จะถูกนำมาเข้าเครื่อง condenser เพื่อเก็บไอน้ำกลับมาใช้ใหม่ส่วนที่เหลือปล่อยทิ้งหมดเนื่องจากขณะนี้โรงสียังไม่มีเครื่อง condenser ขนาดใหญ่ที่จะรองรับไอน้ำทั้งหมดได้ และไอน้ำที่ออกจากเครื่องอบแห้งจะมีสนิมปนออกมาด้วย เพราะเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนของเครื่องอบแห้งมีสภาพไม่

สมบูรณ์นัก

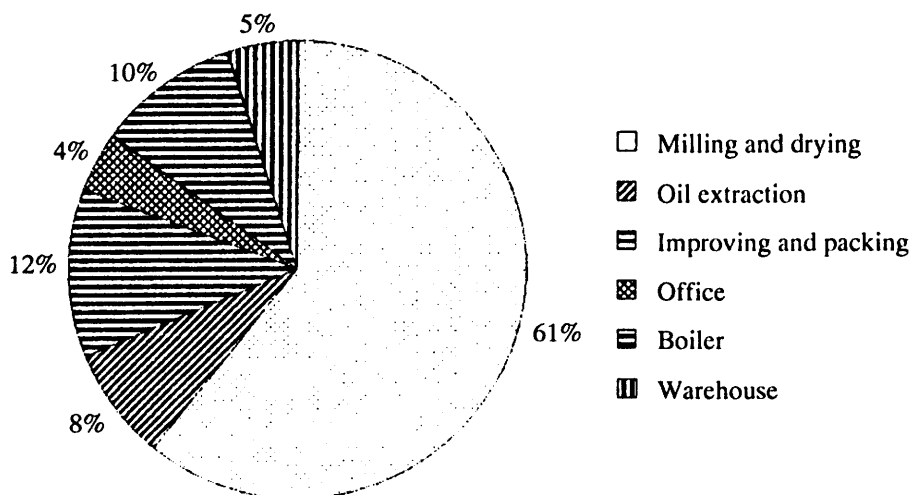
การใช้ไฟฟ้าของโรงสีมีค่ารวม 1,890 กิโลวัตต์ แบ่งเป็นแผนกต่างๆ (Figure 2) คิดเป็นพลังงานไฟฟ้าใช้ภายในโรงสีทั้งหมด 222 เมกะจูลต่อตันข้าวเปลือก หรือมีค่าเท่ากับ 62 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อตันข้าวเปลือก ค่า heat to power ratio เท่ากับ 9 ซึ่งเป็นสัดส่วนที่สูงมากสำหรับโรงสีข้าวขาว สาเหตุที่มีสัดส่วน heat to power ratio สูงก็เพราะโรงสีใช้น้ำในกระบวนการอบแห้งมากเกินไป

โรงสีข้าวโดยทั่วไปจะไม่มีโรงสกัดน้ำมันรำ และโกดังทำน้ำ เมื่อหักส่วนนี้ออกจะคำนวณพลังงานไฟฟ้าใช้ภายในโรงสีทั้งหมดเท่ากับ 190 เมกะจูลต่อตันข้าวเปลือก หรือมีค่าเท่ากับ 53 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อตันข้าวเปลือก ในการคำนวณหาปริมาณความต้องการไฟฟ้าในระบบผลิตไฟฟ้าและความร้อนร่วมในช่วงต่อไปจะใช้ค่านี้เป็นหลัก เนื่องจากโรงสีนี้ใช้ไฟฟ้าอย่างมีประสิทธิภาพ

โรงสีโรงที่ 2 ที่ทำการศึกษา มีขนาดกำลังผลิตวันละ 120 ตันข้าวเปลือก ทำงานวันละ 24 ชั่วโมง

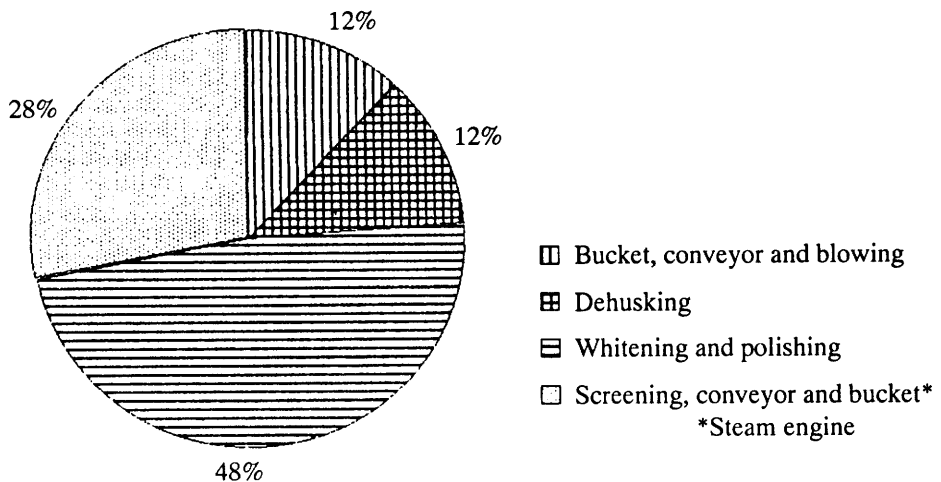
ใช้พลังงานไฟฟ้าร่วมกับพลังงานจากเครื่องจักรไอน้ำ (จุดเพลาราว) พลังงานไฟฟ้าใช้กับอุปกรณ์ดังต่อไปนี้ กระพ้อ ตะแกรงชนิดต่างๆ เครื่องขัดขาว และพัดลม เครื่องจักรไอน้ำใช้ขับเคลื่อนซึ่งต่อสายพานไปขับสายพานลำเลียง ตะแกรงคัดข้าวและกระพ้อ ถ้ากำหนดให้ประสิทธิภาพของเครื่องจักรไอน้ำเท่ากับ 15% (Soponronnarit *et al.*, 1990; Himakoun, 1989) พบว่างานที่เกิดจากเครื่องจักรไอน้ำจะมีค่าเทียบได้กับงานไฟฟ้าจำนวน 103 กิโลวัตต์ และกำหนดให้ประสิทธิภาพระบบสายพานถ่ายทอดกำลังเท่ากับ 62% (Himakoun, 1989) จะสามารถคำนวณหาพลังงานที่ใช้ในอุปกรณ์ต่างๆ ในโรงสีได้ดังแสดงใน Figure 3

นอกจากนี้ยังมีการใช้พลังงานไฟฟ้าในการปั้มน้ำ และแสงสว่างภายในโรงสี ซึ่งนำมารวมกับกระบวนการสีข้าว โรงสีนี้จึงมีความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในโรงสีรวมทั้งหมด 109 เมกะจูลต่อตันข้าวเปลือก หรือมีค่าเท่ากับ 30 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อตันข้าวเปลือก



Total electrical power consumption is 1,890 kW.

Figure 2 Percentage of electrical power consumption in white rice mill no.1.



Total electrical energy consumption is 102 MJ/ton paddy excluding drying process.

Figure 3 Percentage of electrical energy consumption in white rice milling process of white rice mill no.2.

รูปแบบการใช้พลังงานในโรงสีข้าวหนึ่ง

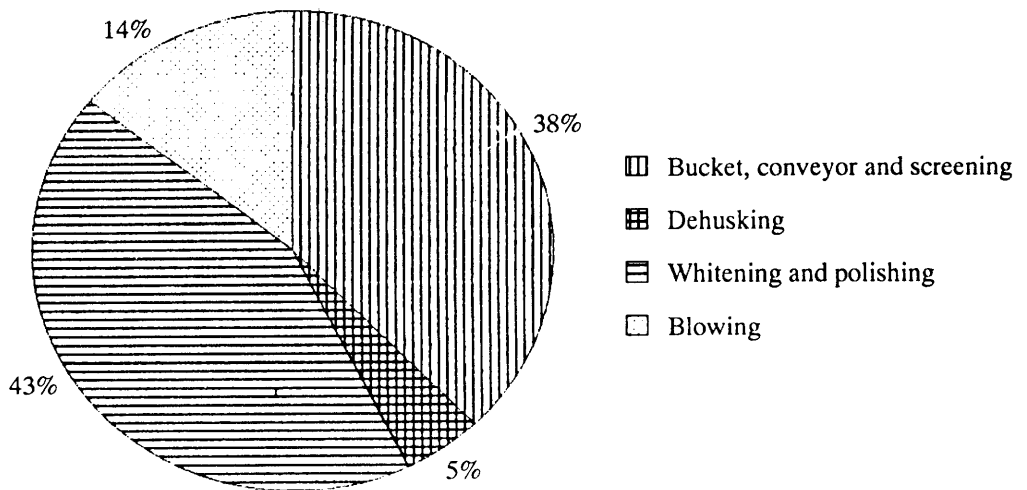
โรงสีโรงที่ 3 ที่ทำการศึกษาเป็นโรงสีข้าวหนึ่ง ขนาดกำลังผลิตเฉลี่ยวันละ 250 ตันข้าวเปลือก สามารถผลิตได้สูงสุดวันละ 500 ตันข้าวเปลือก ทำงานวันละ 24 ชั่วโมง ในการผลิตข้าวหนึ่งจะใช้พลังงาน 2 ชนิด คือ พลังงานไฟฟ้าและพลังงานความร้อน

พลังงานไฟฟ้าใช้ในการขับเคลื่อนมอเตอร์และอุปกรณ์ต่างๆในโรงสีข้าวทั้งหมด ส่วนพลังงานความร้อนใช้ในกระบวนการแช่ข้าว นึ่งข้าว และอบแห้งข้าว ปริมาณความต้องการไฟฟ้าและความร้อนขึ้นอยู่กับขนาดกำลังผลิต

โรงสีข้าวหนึ่งที่เข้าสำรวจใช้พลังงานไฟฟ้าในการสีข้าวรวม 129 เมกะจูลต่อตันข้าวเปลือก (Figure 4) โรงสีมีหม้อไอน้ำ 5 ลูก ประสิทธิภาพรวมตามกฎข้อที่ 1 เท่ากับ 54% ผลิตไอน้ำรวมประมาณ 10 ตันต่อชั่วโมง ที่ความดัน 10 บาร์ อุณหภูมิ 180°C โดยใช้เกลบเป็นเชื้อเพลิง ไอน้ำที่ผลิตได้จะถูกใช้ใน 3 ส่วน คือ ไปที่กระบวนการแช่ข้าว กระบวนการนึ่งข้าว และ

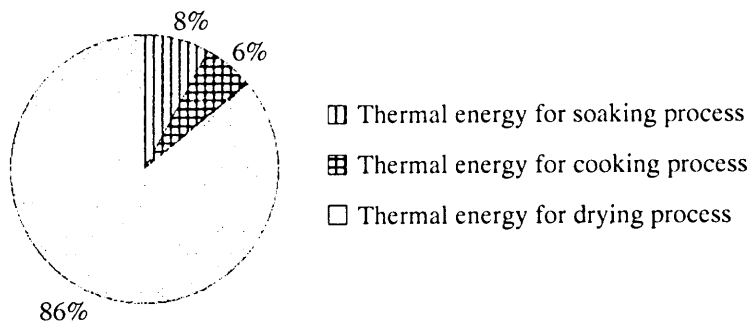
กระบวนการอบแห้ง

ขั้นตอนการผลิตข้าวหนึ่งเริ่มต้นโดยนำข้าวเปลือกลงในถังแช่ข้าวจนกระทั่งเมล็ดข้าวมีความชื้นประมาณ 34% (มาตรฐานเปียก) ใช้น้ำร้อนที่อุณหภูมิ 60°C เวลาในการแช่ 4-6 ชั่วโมง ใช้ปริมาณพลังงานความร้อน 196 เมกะจูลต่อตันข้าวเปลือก หลังจากแช่ข้าวเปลือกได้ที่แล้วจะนำข้าวที่ได้ไปนึ่งโดยใช้ไอน้ำอุณหภูมิที่ใช้นี้อยู่ระหว่าง 100-120°C ใช้เวลาประมาณ 30 นาที พลังงานความร้อนที่ใช้ 150 เมกะจูลต่อตันข้าวเปลือก ข้าวเปลือกที่นึ่งได้ที่แล้วนำไปทำให้แห้งโดยเครื่องอบแห้งบางส่วนและบางส่วนใช้วิธีตากถาดลดความชื้นด้วยแสงแดด ในการอบแห้งข้าวเปลือกโดยเครื่องอบแห้งจะลดความชื้น 34% เหลือ 14% (มาตรฐานเปียก) ใช้ความร้อนจากไอน้ำและความร้อนจากไอเสียของหม้อไอน้ำ วิเคราะห์ได้ว่าพลังงานความร้อนที่ใช้ในการอบแห้งรวม 2,062 เมกะจูลต่อตันข้าวเปลือก ซึ่งเป็นพลังงานจากไอน้ำใช้ 1,512 เมกะจูลต่อตันข้าวเปลือก และจากไอเสีย 550 เมกะจูล



Total electrical energy consumption is 129 MJ/ton paddy excluding drying process.

Figure 4 Percentage of energy consumption in par-boiled rice milling process of par-boiled rice mill no.3.



Total thermal energy consumption in par-boiled rice process is 2,412 MJ/ton paddy

Figure 5 Thermal energy consumption in par-boiled rice process of par-boiled rice mill no.3.

ต่อต้านข้าวเปลือก ในกระบวนการอบแห้งใช้พลังงานความร้อน 10 เมกะจูลต่อกิโลกรัมน้ำระเหย รวมพลังงานความร้อนที่ใช้ทั้งหมด 2,418 เมกะจูลต่อต้านข้าวเปลือก

พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในกระบวนการสี แห่ นึ่ง และอบแห้งข้าว รวมพลังงานไฟฟ้าที่ทั้งสิ้นประมาณ 238 เมกะจูลต่อต้านข้าวเปลือก (66 กิโลวัตต์ชั่วโมง

ต่อต้านข้าวเปลือก) ไฟฟ้าที่ใช้ภายในโรงสีทั้งหมด 656 กิโลวัตต์ (รวมสำนักงาน) โรงสีมีค่า heat to power ratio 10 ซึ่งค่าที่วิเคราะห์ได้นี้เป็นค่าที่ค่อนข้างสูงเนื่องจากโรงสีนี้มีการใช้ความร้อนในการอบแห้งอย่างไม่มีประสิทธิภาพพอ

การใช้พลังงานของโรงสีข้าวขาวและข้าวหนึ่ง

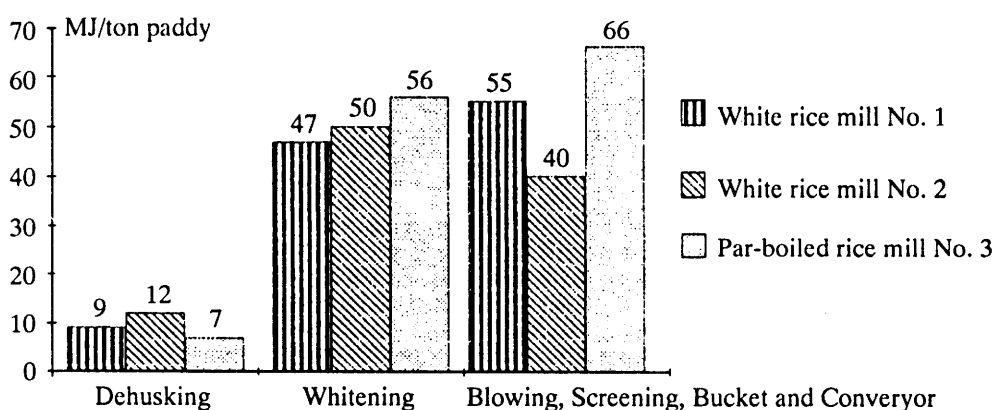
จากการศึกษาเปรียบเทียบพบว่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในเครื่องกระเทาะเปลือกของโรงสีข้าวหนึ่งจะใช้พลังงานน้อยกว่าโรงสีข้าวขาวทั้ง 2 โรง (Figure 6) เนื่องจากข้าวที่ผ่านกระบวนการแช่และนึ่งเปลือกที่หุ้มเมล็ดข้าวจะหลุดออกง่ายกว่าข้าวที่ยังไม่ได้นึ่งใช้พลังงานประมาณ 7 เมกะจูลต่อตันข้าวเปลือก ในขณะที่โรงสีข้าวขาวใช้พลังงาน 9 และ 12 เมกะจูลต่อตันข้าวเปลือก พลังงานที่ใช้ในการขัดข้าวให้ขาวขึ้นโรงสีข้าวหนึ่งจะใช้พลังงานไฟฟ้ามากกว่าโรงสีข้าวขาว เพราะข้าวหนึ่งมีสีคล้ำกว่าและรำเกาะที่เมล็ดข้าวแน่นกว่า ส่วนพลังงานไฟฟ้าที่ใช้กับอุปกรณ์เช่นกระพ้อ สายพาน ตะแกรงชนิดต่างๆ และพัดดูดละอองและรำ จะขึ้นอยู่กับ การออกแบบระบบขนส่งลำเลียงและระบบกำจัดฝุ่นละออง จะมีค่ามากขึ้นกับความเหมาะสมของโรงสี พลังงานความร้อนที่ใช้ในรอบแห้งข้าวเปลือกของโรงสีข้าวโรงที่ 1 อยู่ในช่วง 25-26 เมกะจูลต่อกิโลกรัม และโรงสีข้าวโรงที่ 3 ประมาณ 10 เมกะจูลต่อกิโลกรัม

แนวทางการประหยัดพลังงานในโรงสีข้าว

จากการศึกษาพบว่าการใช้พลังงานไฟฟ้าในการขัดข้าวขาวมากที่สุดซึ่งขึ้นอยู่กับความต้องการคุณภาพของเมล็ดข้าวว่าจะให้มีความขาวมากหรือน้อยเพียงใด การประหยัดพลังงานไฟฟ้าในส่วนนี้อาจทำได้โดยใช้เทคนิคและความชำนาญในการเลือกอุปกรณ์ขัดข้าวและชนิดของหินขัดที่เหมาะสมกับคุณภาพข้าวที่ต้องการผลิต นอกจากนี้ยังสามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้าในระบบขนส่งลำเลียงคือระบบกระพ้อ สายพาน และพัดลมดูดละอองและรำข้าวถ้าโรงสีมีการออกแบบระยะทางในการเดินระบบขนส่งลำเลียงและขนาดอุปกรณ์ที่เหมาะสมโรงสีก็สามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้าในส่วนนี้ได้

ในกระบวนการใช้พลังงานความร้อนถ้าเป็นโรงสีข้าวหนึ่งจะใช้ความร้อนในกระบวนการแช่ข้าวและการนึ่งข้าว ซึ่งใช้พลังงานความร้อนไม่มากนัก และสามารถประหยัดพลังงานส่วนนี้ได้ โดยการหุ้มนวนอุปกรณ์ความร้อนทั้งหมด ส่วนความร้อนที่ใช้ในการอบแห้งข้าวเปลือกทั้งโรงสีข้าวขาวและข้าวหนึ่ง

Electrical energy consumption



Total electrical energy consumption is 129 MJ/ton paddy excluding drying process.

Figure 4 Percentage of energy consumption in par-boiled rice milling process of par-boiled rice mill no.3.

จากการวิเคราะห์พบว่าใช้พลังงานความร้อนสิ้นเปลืองมาก ความร้อนในส่วนนี้สามารถประหยัดได้ โดยออกแบบอุปกรณ์ให้สอดคล้องกับความต้องการความร้อนอย่างแท้จริง ในโรงสีข้าวขาวและข้าวหนึ่งถ้าทำการประหยัดพลังงานความร้อนในการอบแห้งจะใช้พลังงานความร้อนเพียง 3 เมกะจูลต่อกิโลกรัมน้ำระเหย (Likitrattanaporn, 1993) ค่า heat to power ratio จะมีค่าประมาณ 1.3 และ 4.4 ตามลำดับ

การวิเคราะห์ความเป็นไปได้ในการใช้ระบบกังหันไอน้ำผลิตไฟฟ้าและความร้อนร่วมในโรงสีข้าวในประเทศไทย

จากการศึกษาวิจัยอย่างละเอียดพบว่าการใช้พลังงานไฟฟ้าและความร้อนของโรงสีทั้ง 3 แบบ มีรูปแบบลักษณะการใช้พลังงานไฟฟ้าในอุปกรณ์ต่างๆเป็นสัดส่วนที่สอดคล้องกัน จึงสามารถสรุปได้ว่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในโรงสีข้าวขาวจะมีค่าประมาณ 190 เมกะจูลต่อตันข้าวเปลือก หรือ 53 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อตันข้าวเปลือก และโรงสีข้าวหนึ่งใช้พลังงานไฟฟ้าประมาณ 238 เมกะจูลต่อตันข้าวเปลือก หรือ 66 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อตันข้าวเปลือก ข้อมูลจากการวิเคราะห์ที่ได้นี้นำมาเป็นหลัก สำหรับวิเคราะห์ไฟฟ้าที่ใช้ในโรงสีข้าว โดยตั้งสมมติฐานว่าจะใช้ปริมาณแกลบที่ผลิตได้จากการสีข้าวภายในโรงสีทั้งหมดเป็นเชื้อเพลิงเพื่อผลิตไฟฟ้าโดยใช้ระบบผลิตไฟฟ้าและความร้อนร่วมแบบกังหันไอน้ำ (Back Pressure) กำหนดให้ประสิทธิภาพกังหันไอน้ำเป็น 65% ที่ 50 บาร์ 450°C และ 10.3 บาร์ (Electric Power Research Institute, 1986; Anon. 1990) และประสิทธิภาพหม้อไอน้ำ 70% และวันทำงาน 270 วัน (Wibulsawas, 1991) โดยพิจารณาแยกประเภทของโรงสีออกเป็น 2 ประเภท คือ โรงสีข้าวขาวและโรงสีข้าวหนึ่ง

การวิเคราะห์ปริมาณไฟฟ้าและความร้อนจากระบบ Back pressures steam turbine

โรงสีข้าวขาวจำนวน 260 โรง

ปริมาณไฟฟ้า โดยใช้ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในโรงสีข้าวขาว 53 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อตันข้าวเปลือกนำมาวิเคราะห์ความต้องการใช้ไฟฟ้าภายในโรงสีจะได้รายละเอียดดัง Table 1 ปริมาณไฟฟ้าของโรงสีข้าวขาวที่ผลิตได้ทุกโรงที่พิจารณาจะพอใช้ภายในโรงสีจากโรงสี 260 โรงผลิตไฟฟ้าได้รวมทั้งสิ้น 177 เมกะวัตต์ ใช้ภายในโรงสี 54% และเหลือใช้ 46% ของไฟฟ้าที่ผลิตได้ทั้งหมด

ปริมาณความร้อน โดยวิเคราะห์การประหยัดพลังงานความร้อนโรงสีข้าวขาวจะใช้พลังงานความร้อนประมาณ 242 เมกะจูลต่อตันข้าวเปลือก นำมาวิเคราะห์ความต้องการใช้ความร้อนภายในโรงสีจะได้รายละเอียดดัง Table 1 ปริมาณความร้อนของโรงสีข้าวขาว โดยนำไอน้ำมาใช้หลังจากออกกังหันไอน้ำที่ความดัน 10.3 บาร์ จาก Turbodyne steam turbine ผลิตความร้อนได้รวมทั้งสิ้น 2.58×10^{10} เมกะจูลต่อปี ใช้ภายในโรงสี 11% และเหลือใช้ 89% ของความร้อนที่ผลิตได้ทั้งหมด

โรงสีข้าวหนึ่งจำนวน 52 โรง

ปริมาณไฟฟ้า โดยใช้ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในโรงสีข้าวขาว 66 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อตันข้าวเปลือกนำมาวิเคราะห์ความต้องการใช้ไฟฟ้าภายในโรงสีจะได้รายละเอียดดัง Table 2 ปริมาณไฟฟ้าของโรงสีข้าวหนึ่งที่ผลิตได้ทุกโรงที่พิจารณาจะพอใช้ภายในโรงสีจากโรงสี 52 โรง ผลิตไฟฟ้าได้รวมทั้งสิ้น 40 เมกะวัตต์ ใช้ภายในโรงสี 68% และเหลือใช้ 32% ของไฟฟ้าที่ผลิตได้ทั้งหมด

ปริมาณความร้อน โดยวิเคราะห์การประหยัดพลังงานความร้อนโรงสีข้าวหนึ่ง จะใช้พลังงานความร้อนประมาณ 1,019 เมกะจูลต่อตันข้าวเปลือก นำมาวิเคราะห์ความต้องการใช้ความร้อนภายในโรงสีจะได้

Table 1 Detail infronation of electrical production in white rice mill.

Cogeneration type	Steam turbine (Back-pressure)	Steam turbine (Back-pressure)	Steam turbine (Back-pressure)	Steam turbine (Back-pressure)
Fuel type	Rice husk	Rice husk	Rice husk	Rice husk
Mill capacity (ton/day)	100 - 199	200 - 299	300 - 399	400 - 600
Number	199	39	11	11
Cogeneration capacity (kW)	505	927	1, 378	2, 309
Average mill capacity (ton/day/mill)	124	226	336	563
Rice husk production (ton/day/mill)	31	57	84	141
Operating hour (hr/yr)	270	270	270	270
Heat to power ratio (Process)	1.30	1.30	1.30	1.30
Designed steam mass flow rate (kg/hr)	4, 410	8, 110	1, 200	2, 000
Inlet steam pressure (bar, a)	50	50	50	50
Inlet steam temperature (C)	450	450	450	450
Electricity consumption (kWh/ton paddy)	53	53	53	53
Electricity consumption (MJ/ton paddy)	190	190	190	190
Generated electricity (kW/mill)	504	927	1, 378	2, 309
Electricity demand (kW/mill)	274	499	742	1, 243
Generated electricity (MW)	100	36	15	25
Excess electricity (kW/mill)	230	428	636	1, 066
Total electricity demand (MW)	54	19	8	14
Total excess electricity (MW)	46	17	7	12
Heat consumption (MJ/ton paddy)	242	242	242	242
Heat consumption (kWh/ton paddy)	67	67	67	67
Annual generated heat (MJ/yr/mill)	7.37E+07	1.36E+08	2.00E+08	3.35E+08
Heat consumption (MJ/yr/mill)	8.10E+06	1.48E+07	2.19E+07	3.68E+07
Excess heat (MJ/yr/mill)	6.56E+07	1.21E+08	1.78E+08	2.99E+08
Excess heat (MJ/yr)	1.31E+10	4.71E+09	1.96E+09	3.28E+09
Total heat consumption (MJ/yr)	1.61E+09	5.75E+08	2.41E+08	4.04E+08
Total annual generated heat (MJ/yr)	1.47E+10	5.29E+09	2.20E+09	3.69E+09

"Note ;"

Steam turbine of Turbodyne

(Anon a, 1991 and Anon b, 1986)

efficiency 65%

at 50 bar 450 C

Back Pressures

Mode 500

capacity

2611 kWe

Hg = 3, 316 kJ/kg at 50bar 450 C

Mode 300

capacity

597 kWe

Hf = 2778 kJ/kg at 10.3 bar

Mode 500 HS

capacity

1492 kWe

Hf = 125.8 kJ/kg at 25 C

Elliott AYR

capacity

500 kWe

Boiler efficiency 70% (Wibulswas, 1991)

Table 2 Detail information of electrical production in par-boiled rice mill.

Cogeneration type	Steam turbine (Back-pressure)	Steam turbine (Back-Pressure)	Steam turbine (Back-pressure)
Fuel type	Rice husk	Rice husk	Rice husk
Mill capacity (ton/day)	100 - 199	200 - 299	300 - 500
Number	28	15	9
Cogeneration capacity (kW)	513	915	1, 312
Average mill capacity (ton/day/mill)	125	223	320
Rice husk production (ton/day/mill)	31	56	80
Operating hour (hr/yr)	270	270	270
Heat to power ratio (process)	4.40	4.40	4.40
Designed steam mass flow rate (kg/hr)	4, 490	8, 000	1, 148
Inlet steam pressure (bar, a)	50	50	50
Inlet steam temperature (C)	450	450	450
Electricity consumption (kWh/ton paddy)	66	66	66
Electricity consumption (MJ/ton paddy)	238	238	238
Generated electricity (kW/mill)	513	915	1, 312
Generated electricity (MW)	14	14	12
Electricity demand (kW/mill)	344	613	880
Excess electricity (kW/mill)	169	302	432
Total electricity demand (MW)	10	9	8
Total excess electricity (MW)	5	5	4
Heat consumption (kWh/ton paddy)	283	283	283
Heat consumption (MJ/ton paddy)	1, 019	1, 019	1, 019
Annual generated heat (MJ/yr/mill)	7.37E+07	1.33E+08	1.90E+08
Heat consumption (MJ/yr/mill)	3.44E+07	6.14E+07	8.80E+07
Excess heat (MJ/yr/mill)	3.93E+07	7.18E+07	1.02E+08
Excess heat (MJ/yr)	1.10E+09	1.08E+09	9.20E+08
Total heat consumption (MJ/yr)	9.63E+08	9.20E+08	7.92E+08
Total annual generated heat (MJ/yr)	2.06E+09	2.00E+09	1.71E+09

"Note ;"

Steam turbine of Turbodyne

(Anon a, 1991 and Anon b, 1986)

efficiency 65%

at 50 bar 450 C

Back Pressures

Mode 500

capacity

2611 kWe

Hg = 3, 316 kJ/kg at 50 bar 450 C

Mode 300

capacity

597 kWe

Hf = 2778 kJ/kg at 10.3 bar

Mode 500 HS

capacity

1492 kWe

Hf = 125.8 kJ/kg at 25 C

Elliott AYR

capacity

500 kWe

Boiler efficiency 70% (Wibulswas, 1991)

รายละเอียดดัง Table 2 ปริมาณความร้อนของโรงสีข้าวหนึ่งโดยที่นำไอน้ำมาใช้หลังจากออกกักหนไอน้ำที่ความดัน 10.3 บาร์ จาก Turbodyne steam turbine ผลิตความร้อนได้รวมทั้งสิ้น 5.78×10^9 เมกะจูลต่อปี ใช้ภายในโรงสี 46% และเหลือใช้ 54% ของความร้อนที่ผลิตได้

สรุป

การใช้พลังงานไฟฟ้าในโรงสีข้าวโดยทั่วไปแบ่งตามลักษณะการใช้พลังงานออกเป็นดังนี้ ใช้ไฟฟ้าอย่างเดียว และใช้ไฟฟ้ากับความร้อน จากการศึกษพบว่าการใช้พลังงานไฟฟ้าในอุปกรณ์ต่างๆ ในการสีข้าวของโรงสีข้าวและข้าวหนึ่งมีลักษณะที่สอดคล้องกัน พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในโรงสีข้าวขาวประมาณ 190 เมกะจูลต่อตันข้าวเปลือก (53 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อตันข้าวเปลือก) และโรงสีข้าวหนึ่งใช้พลังงานไฟฟ้าประมาณ 238 เมกะจูลต่อตันข้าวเปลือก (66กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อตันข้าวเปลือก) และพลังงานความร้อนที่ใช้ในโรงสีข้าวหนึ่งรวม 2,418 เมกะจูลต่อตันข้าวเปลือก แบ่งเป็นใช้ในกระบวนการแช่ข้าว 196 เมกะจูลต่อตันข้าวเปลือก ใช้ในการนึ่งข้าว 149 เมกะจูลต่อตันข้าวเปลือก และใช้ในการอบแห้งข้าวเปลือกจากความชื้นประมาณ 34% เหลือ 14% (มาตรฐานเปียก) 10 เมกะจูลต่อกิโลกรัมน้ำระเหย

จากการประมาณศักยภาพของโรงสีข้าวขาวขนาดโรงสีกำลังผลิตเฉลี่ย 124 ตันต่อวัน จำนวน 199 โรงผลิตกำลังไฟฟ้าได้ 505 เมกะวัตต์ต่อโรง ใช้ภายใน 274 เมกะวัตต์ต่อโรง เหลือ 230 เมกะวัตต์ต่อโรงขนาดโรงสีกำลังผลิตเฉลี่ย 226 ตันต่อวัน จำนวน 39 โรงผลิตกำลังไฟฟ้าได้ 927 เมกะวัตต์ต่อโรง ใช้ภายใน 499 เมกะวัตต์ต่อโรง เหลือ 423 เมกะวัตต์ต่อโรงขนาดโรงสีกำลังผลิตเฉลี่ย 336 ตันต่อวัน จำนวน 11 โรงผลิตกำลังไฟฟ้าได้ 1,378 เมกะวัตต์ต่อโรง ใช้ภายใน

742 เมกะวัตต์ต่อโรง เหลือ 636 เมกะวัตต์ต่อโรงขนาดโรงสีกำลังผลิตเฉลี่ย 563 ตันต่อวัน จำนวน 11 โรงผลิตกำลังไฟฟ้าได้ 2,309 เมกะวัตต์ต่อโรง ใช้ภายใน 1,243 เมกะวัตต์ต่อโรง เหลือ 1,066 เมกะวัตต์ต่อโรงรวมเป็นสามารถผลิตไฟฟ้าเฉลี่ยได้ทั้งหมด 177เมกะวัตต์ ใช้ภายในโรงสีข้าว 54% เหลือใช้ 46% จากจำนวน 260 โรง

จากการประมาณศักยภาพของโรงสีข้าวหนึ่งขนาดโรงสีกำลังผลิตเฉลี่ย 125 ตันต่อวัน จำนวน 28 โรงผลิตกำลังไฟฟ้าได้ 513 เมกะวัตต์ต่อโรง ใช้ภายใน 344 เมกะวัตต์ต่อโรง เหลือ 169 เมกะวัตต์ต่อโรงขนาดโรงสีกำลังผลิตเฉลี่ย 223 ตันต่อวัน จำนวน 15 โรงผลิตกำลังไฟฟ้าได้ 915 เมกะวัตต์ต่อโรง ใช้ภายใน 613 เมกะวัตต์ต่อโรง เหลือ 302 เมกะวัตต์ต่อโรงขนาดโรงสีกำลังผลิตเฉลี่ย 320 ตันต่อวัน จำนวน 9 โรงผลิตกำลังไฟฟ้าได้ 1,312 เมกะวัตต์ต่อโรง ใช้ภายใน 880 เมกะวัตต์ต่อโรง เหลือ 432 เมกะวัตต์ต่อโรงรวมเป็นโรงสีข้าวหนึ่ง 52 โรง ผลิตไฟฟ้าเฉลี่ยได้รวม 40 เมกะวัตต์ ใช้ภายในโรงสี 68% เหลือใช้ 32%

รวมโรงสีทั้งข้าวขาวและข้าวหนึ่ง 312 โรงผลิตไฟฟ้ารวม 217 เมกะวัตต์ ใช้ภายในโรงสีข้าวรวม 123 เมกะวัตต์ เหลือใช้ 94 เมกะวัตต์

ทางด้านความร้อนโรงสีข้าวขาวส่วนใหญ่จะใช้ความร้อนเฉพาะอบแห้งข้าวเปลือกจากความชื้นประมาณ 24% เหลือ 14% (มาตรฐานเปียก) ในการประหยัดพลังงานความร้อน ในการอบแห้งสามารถใช้ความร้อน 3 เมกะจูลต่อกิโลกรัมน้ำระเหย ก็สามารถอบแห้งข้าวได้ทำให้ค่า heat to power ratio มีค่าประมาณ 1.8คิดเป็นปริมาณความร้อนที่ใช้ประมาณ 11% จากความร้อนที่ผลิตได้ทั้งหมด 2.58×10^{10} เมกะจูลต่อปี โรงสีข้าวหนึ่งใช้พลังงานความร้อนประมาณ 46% จากความร้อนที่ผลิตได้ทั้งหมด 5.78×10^9 เมกะจูลต่อปี ที่ใช้ออบแห้งข้าวเปลือกหนึ่งจากความชื้นประมาณ 34% เหลือ 14% (มาตรฐานเปียก) ใช้พลัง

งานความร้อน 3 เมกะจูลต่อกิโลกรัมน้ำระเหย ก็
สามารถอบแห้งข้าวได้ทำให้ค่า heat to power ratio
มีค่าประมาณ 4.4

เอกสารอ้างอิง

- วรรณิ เอกศิลป์. 2534. การศึกษาวิเคราะห์พลังงาน
ของระบบการผลิตร่วมในโรงสีข้าว. รายงานการ
ศึกษาพิเศษ คณะพลังงานและวัสดุ สถาบัน
เทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. กรุงเทพฯ. 130 น.
- บริษัทบุญเยี่ยมและสหฯ จำกัด และศูนย์ประหยัด
และอนุรักษ์พลังงาน. 2532. รายงานการศึกษา
รายละเอียดและออกแบบหม้อไอน้ำที่ใช้ในโรง
งานอุตสาหกรรม โดยใช้เศษวัสดุเป็นเชื้อเพลิง
หมวดโรงสีข้าว, เล่มที่ 1 และ 2. กองเศรษฐกิจ
พลังงาน สำนักงานพลังงานแห่งชาติ กระทรวง
วิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและพลังงาน. กรุงเทพฯ.
- ศุภชัย ปัญญาวิรุ. 2536. ศักยภาพของการผลิตกำลัง
ในโรงสีข้าวขาว. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท คณะ
พลังงานและวัสดุ สถาบันเทคโนโลยีพระจอม
เกล้าธนบุรี. กรุงเทพฯ.
- ศูนย์วิจัยและอบรมพลังงานจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
และสำนักงานพลังงานแห่งชาติ. 2532. การ
ศึกษาความเหมาะสมการผลิตไฟฟ้าและความ
ร้อนจากวัสดุเหลือใช้การเกษตรในโรงงาน
อุตสาหกรรม, เล่ม1-7, กรุงเทพฯ.
- สมชาติ ไสภณณฤทธิ์. 2532. การอบแห้งเมล็ดพืช
และอาหาร. สถาบันเทคโนโลยี พระจอมเกล้า
ธนบุรี. กรุงเทพฯ 202 น.
- สำนักงานปลัดกระทรวงอุตสาหกรรม. 2536 และ 2537.
ทำเนียบโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวง
อุตสาหกรรม. กรุงเทพฯ.
- Anon. 1990. Turbodyne Steam Turbines . Worthington
division, McGraw-Edison Company, New York,
23 p.
- Electric Power Research Institute (EPRI). 1986.
Reference Guide to Small Cogeneration System
for Utilities. RMR associates. California.
- Himakoun, U. 1991. Steam engines in Thailand, The
workshop of ASEAN-EC COGEN programme,
Medan, Indonesia, November 5-7.11 p.
- Himakoun, U. 1989. Studying of steam engine usage
in rice mill Northeastern region. Student project
of mechanical engineering, Khon Kaen University.
214p.
- Likitrattanaporn, C. 1993. Evaluation of performance
of the non-mixing columnar rice dryer. M.S.
Thesis Asian Institute Technology, Bangkok.
- Soponronnarit, S., K. Peanklang, and W. Tai. 1990. A
study of energy profile in a Thai rice mill. Thai
Engineering 43(5), 84-88.
- Wibulswas, P. 1991. Feasibility of cogeneration in
par-boiled rice mills: levelised cost analysis
based on exergy. Proc. Asia Energy'91, ESCAP,
October. 9 p.