

ศักยภาพการผลิตไฟฟ้าและความร้อนร่วมในโรงสีข้าวขาวของประเทศไทย

## Potential of Cogeneration in Thai White Rice Mills

วารุณี เตียบ สมชาติ โสภณรณฤทธิ์ และ ยวดี เรืองเดช

คณะพลังงานและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

ถนนประชาธิปไตย บางมด ทุ่งครุ กรุงเทพฯ 10140

โทร 024708632-33 โทรสาร 024708635

E-Mail: warunee.tia@kmutt.ac.th

## บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาความเป็นไปได้ทั้งทางด้านเทคนิค และการเงินในการนำระบบผลิตไฟฟ้าและความร้อนร่วม มาใช้งานใน โรงสีข้าวขนาด 100-2000 ตัน/วัน โดยไฟฟ้าที่ผลิตได้จะนำมาใช้ใน กระบวนการสีข้าว ไฟฟ้าส่วนที่เหลือจะขายให้แก่การไฟฟ้า สำหรับ ความร้อนจากไอน้ำจากอกถังหั่นจะนำมาใช้ในระบบอบแห้งและระบบ ทำความเย็นแบบดูดกลืน การหาขนาดของระบบผลิตไฟฟ้าและความ ร้อนร่วมโดยใช้ถังหั่นไอน้ำแบบความดันด้านกลับ (back-pressure) ได้ ออกแบบโดยพิจารณานำกลับมาใช้ทั้งหมดมาใช้เป็นเชื้อเพลิง ผลการศึกษา พบว่า โรงสีขนาด 100-500 ตัน/ สามารถผลิตไฟฟ้าได้ 344-1718 kW มี ระยะเวลาคืนทุน 6.5-2.1 ปี และ ค่า IRR 15.8-47.9% โรงสีขนาด 800- 200 ตัน/วัน สามารถผลิตไฟฟ้าได้ 2966-7416 kW มีระยะเวลาคืนทุน 3.4-3 ปี และ ได้ค่า IRR 29.5-34.6% ในการวิเคราะห์ค่าความไวของตัว แปรที่มีผลต่ออัตราผลตอบแทนการลงทุน พบว่า ตัวแปรที่มีความไวสูง ได้แก่ อัตราค่าไฟฟ้าที่ซื้อจากการไฟฟ้า ส่วนราคาขายชี้นำและกลับ อัตรา ค่าไฟฟ้าที่ขายกลับให้การไฟฟ้า และราคาและกลับ มีความไวต่ำ

**คำสำคัญ (keywords) :** ระบบทำความเย็นแบบดูดกลืน / ระบบผลิตไฟฟ้าและความร้อนร่วม / โรงสีข้าวขาว

## ABSTRACT

This research aims to evaluate both technical and financial potential of cogeneration system in white rice mills with capacity of 100-2000 tons/day. The generated electricity is supplied to milling process and exported the surplus electricity to the grid. The exhaust heat from steam turbine is also utilized for drying and cooling paddy by absorption chiller. The topping-cycle cogenerations with back-pressure steam turbine are designed based on husk-match. Results from this study indicated that the generated electricity for 100-500 tons/day and 800-2000 tons/day were 344-1718 kW and 2966-7416 kW with payback periods of 6.5-2.1 years and 3.4-3 years respectively, and the corresponded internal rate of return were 15.8-48.0% and 29.5-34.6%. The sensitivity analysis of the effects of parameters on the internal rate

of return was carried out. It was found that the purchased electricity price was highly sensitive, while the ash price, buy back rate and husk price were less sensitive.

**Keywords:** Absorption chiller/ Cogeneration system/ White rice mill

## 1. บทนำ

การที่ประเทศไทยประสบปัญหาเศรษฐกิจ บวกกับการต้องนำเข้าพลังงานจากต่างประเทศประมาณร้อยละ 50 ของการจัดหาพลังงานทั้งหมด[1] รัฐจึงสนับสนุนให้มีการจัดหาพลังงานจากแหล่งภายในประเทศ และใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ การผลิตไฟฟ้าโดยใช้ กากหรือเศษวัสดุเหลือใช้เป็นเชื้อเพลิง และการผลิตไฟฟ้าโดยระบบ Cogeneration เป็นระบบผลิตต้นกำลังที่มีประสิทธิภาพเพราะสามารถผลิตได้ทั้งไฟฟ้าและความร้อนจากเชื้อเพลิงเดียวกัน อีกทั้งแบ่งเบาภาระทางด้านการลงทุนในระบบผลิตและจำหน่ายไฟฟ้าของประเทศ รัฐได้ให้การสนับสนุนโดยรับซื้อไฟฟ้าจากผู้ผลิตด้วยกระบวนการดังกล่าว โรงสีข้าวเป็นอุตสาหกรรมหนึ่งที่มีแคลบเป็นวัสดุเหลือใช้มาก ในการสีข้าวจะได้แคลบประมาณร้อยละ 22-25 ของน้ำหนักข้าวเปลือก จากสถิติกรมโรงงานอุตสาหกรรมปี 2542 มีโรงสีข้าวตั้งแต่ขนาด 10-2000 ตัน/วัน ประมาณ 6000 โรง ซึ่งส่วนใหญ่เป็นการสีข้าวขาว จากข้อมูลสถานภาพผู้ผลิตไฟฟ้ารายเล็กที่ขายไฟฟ้าให้กับการไฟฟ้า ณ กุมภาพันธ์ 2544 พบว่า มีกำลังการผลิตไฟฟ้าโดยใช้แคลบเป็นเชื้อเพลิงอย่างเดียว และใช้แคลบร่วมกับเศษไม้ 24.9 MW และ 60.8 MW ตามลำดับ ซึ่งได้ทำสัญญาขายไฟฟ้ารวมทั้งสิ้น 51.7 MW [2] ปัจจุบันโรงสีข้าวส่วนใหญ่มีเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกเพื่อลดความชื้นข้าวก่อนสี และมีการเก็บข้าวไว้รอสีในช่วงที่ไม่มีการรับซื้อข้าวเปลือกได้ การเก็บรักษาวข้าวเปลือกมีหลายวิธี Chek และ Hassan [3] [4] ได้ศึกษาวิธีเก็บข้าวเปลือกด้วยการอบแห้งร่วมกับการทำความเย็นข้าวเปลือกพบว่า ข้าวที่ผ่านการสีแล้วมีคุณภาพดี มีเปอร์เซ็นต์ต้นข้าวเพิ่มขึ้น

เนื่องจากการผลิตไฟฟ้าด้วยระบบ Cogeneration เป็นระบบที่มีประสิทธิภาพ และมีขนาดกำลังผลิตตั้งแต่ขนาดเล็กจนถึงขนาดใหญ่ ดังนั้นในการศึกษานี้จึงมีวัตถุประสงค์ที่จะประเมินหาความเป็นไปได้ทั้งทางด้านเทคนิคและการเงินของการผลิตไฟฟ้าด้วยระบบ Cogeneration

RECEIVED 23 JULY, 2001

ACCEPTED 3 MAY, 2002

ในโรงสีข้าวขาวโดยใช้เกลบเป็นเชื้อเพลิง โดยนำความร้อนที่ได้จากระบบมาใช้ในการอบแห้ง และทำความเย็นแบบดูดกลืน

## 2. โรงสีข้าวขาว

ปัจจุบันโรงสีข้าวขาวขนาดใหญ่จะมีการสีข้าวเกือบตลอดปี จึงมีการรับซื้อข้าวเกือบตลอดปี ทั้งข้าวนปี และนาปรัง โดยฤดูกาลเก็บเกี่ยวของข้าวนาปีอยู่ในช่วงเดือน พฤศจิกายนถึงกุมภาพันธ์ ส่วนข้าวนาปรังฤดูกาลเก็บเกี่ยวไม่แน่นอน สามารถเก็บเกี่ยวได้ทั้งปี ผลผลิตข้าวนาปรังจะออกประมาณ 5 เดือนต่อครั้ง และสามารถเพาะปลูกได้ 2 ปี 5 ครั้ง ในการเก็บเกี่ยวข้าวนาปีปัจจุบันมักใช้รถเกี่ยวข้าว ซึ่งเก็บเกี่ยวข้าวในช่วงที่ข้าวมีความชื้นสูง จากการสำรวจข้อมูลโรงสีด้วยแบบสอบถามจำนวน 16 โรงพบว่าระยะเวลาในการเก็บข้าวเปลือกก่อนสีอยู่ในช่วง 10 วันถึง 3 เดือน มีการใช้เครื่องอบแห้งข้าวเปลือก โดยเครื่องอบแห้งส่วนใหญ่เป็นเครื่องฟูลิโคซ์เบด และเครื่องอบแห้งแบบ Louisiana State University (LSU dryer).

โรงสีข้าวที่พิจารณาในการศึกษานี้เป็นโรงสีข้าวขนาด 100-2,000 ตัน/ชม. พลังงานที่ใช้ในโรงสีข้าวส่วนใหญ่ได้แก่ ไฟฟ้า จากการศึกษการใช้พลังงานในโรงสีข้าวขนาดกำลังผลิตสูงสุด 1000 ตัน/วัน พบว่า การใช้ไฟฟ้าในการสีข้าว บรรจุงวด รวมถึงสำนักงานมีค่า 145.4 MJ/ตันข้าวเปลือก หรือ 40.4 kWh/ตันข้าวเปลือก [5] จะเห็นได้ว่าในกระบวนการสีข้าวขาวใช้พลังงานไฟฟ้าอย่างเดียวนั้น จึงมีเกลบเหลือมาก ถึงแม้ว่าโรงสีอาจนำเกลบมาใช้เป็นเชื้อเพลิงในการอบแห้งข้าวเปลือก แต่ก็เป็นส่วนน้อยยังคงมีเกลบเหลืออีกปริมาณมาก จึงมีโรงสีข้าวขนาดใหญ่บางโรงได้นำเกลบมาใช้เป็นเชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้าสำหรับใช้เดินเครื่องสามารถขายให้ต่างประเทศ เพื่อใช้เป็นส่วนประกอบในการผลิตตัวกรองน้ำ หรือใช้ในเตาหลอมเหล็ก เป็นต้น [6] เนื่องจากข้าวเปลือกที่มีความชื้นสูงจึงต้องนำมาอบแห้งให้เหลือความชื้นเริ่มต้นประมาณ 12-14 %w.b.(wet basis) ก่อนจะถูกส่งเข้ากระบวนการสีข้าวต่อไป โดยโรงสีใช้พลังงานไฟฟ้าในการสีข้าว ข้าวเปลือกส่วนที่เหลือจากการสีจะนำมาเก็บเข้าไซโล เพื่อรอการสีในเดือนที่ไม่มีมีการรับซื้อข้าวเปลือก เมื่อข้าวเปลือกกองรวมกันเป็นเวลานานๆ ถึงแม้จะมีความชื้นต่ำ แต่เมล็ดข้าวยังมีการหายใจ ทำให้เกิดความร้อนขึ้นในกองข้าว และเกิดความเสียหายแก่กองข้าวเปลือกได้ จึงต้องมีการระบายความร้อนให้แก่กองข้าวเปลือกโดยวิธีการเป่าลมเย็น

## 3. ระบบผลิตไฟฟ้าและเก็บรักษาข้าว

เนื่องจากเชื้อเพลิงที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้าเป็นเกลบ ดังนั้นจึงพิจารณาใช้ cogeneration แบบ back-pressure steam turbine topping system หม้อไอน้ำที่ใช้เป็นแบบตะกรับ(Stoker) ข้อได้เปรียบของหม้อไอน้ำแบบนี้ คือสามารถควบคุมคุณภาพของเชื้อเพลิงได้ตามความต้องการของตลาด จึงทำให้สามารถขายเชื้อเพลิงได้ และจากการสอบถามบริษัทผู้จำหน่ายหม้อไอน้ำ พบ

ว่าหม้อไอน้ำที่ความดันสูง 40 bar(abs.) อุณหภูมิ 400°C ที่มีขายเชิงพาณิชย์จะมีขนาดตั้งแต่ 20-130 ตัน/ชม. จากข้อมูลปริมาณเกลบที่เหลือพบว่าหม้อไอน้ำนี้เหมาะสำหรับโรงสีที่มีขนาดตั้งแต่ 800 ตัน/วันขึ้นไป ส่วนโรงสีที่มีขนาดเล็กกว่านี้จะใช้หม้อไอน้ำที่ความดัน 25 bar(abs.) อุณหภูมิ 400°C ที่มีขายตั้งแต่ขนาด 1.5 ตัน/ชม. ขึ้นไป สำหรับกังหันไอน้ำที่ใช้เป็นแบบหลายขั้น(multistage) ประสิทธิภาพอยู่ในช่วงร้อยละ 80-87 ไอน้ำที่ออกจากกังหันที่ 2 -3 bar (abs) อุณหภูมิ 173°C-184°C นำมาใช้อบแห้งข้าวเปลือก โดยใช้เครื่องฟูลิโคซ์เบดและเป่าลมเย็นด้วยเครื่องทำความเย็นแบบดูดกลืน (absorption chiller) ไอน้ำที่เหลือใช้จะระบายความร้อนทั้งที่เครื่องควบแน่น และในช่วงที่ไม่มีมีการอบแห้งไอน้ำบางส่วนจะนำไประบายความร้อนทั้งที่เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

การอบแห้งข้าวเปลือก จะนำไอน้ำความดันต่ำที่ออกจากกังหันไอน้ำมาแลกเปลี่ยนความร้อนกับอากาศ โดยใช้เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบทอมีครีบ ให้ไอน้ำไหลผ่านในท่อที่มีครีบและอากาศไหลผ่านนอกท่อ ระบบอบแห้งแบ่งเป็น 2 ช่วงดังแสดงในรูปที่ 1 โดยในช่วงแรกจะอบแห้งข้าวเปลือกที่มีความชื้นค่อนข้างสูงด้วยเครื่องอบแห้งฟูลิโคซ์เบด ข้าวเปลือกหลังอบแห้งจะมีอุณหภูมิสูง ทำการลดอุณหภูมิข้าวเปลือกโดยผ่านเข้าถังเป่าลมด้วยอากาศแวดล้อม ช่วงที่ 2 หลังจากข้าวเปลือกมีอุณหภูมิลดลงแล้วจะนำไปเข้าเครื่องอบแห้งเครื่องที่ 2 เมื่อผ่านการอบแห้งแล้วจะลดอุณหภูมิข้าวเปลือกโดยใช้อากาศแวดล้อมเช่นเดียวกับช่วงที่ 1 รายละเอียดข้อมูลระบบอบแห้งแสดงในตารางที่ 1

การเป่าลมเย็นเพื่อระบายความร้อนข้าวเปลือกที่เก็บในไซโล ใช้วิธีการของ Maier [8] ข้าวเปลือกแห้ง ความชื้นประมาณ 13.5-14% w.b. ที่เก็บไว้ในไซโลเพื่อรอการสีข้าว จะทำการระบายความร้อนแก่ข้าวเปลือกโดยการเป่าลมเย็น ข้าวเปลือกหลังจากเป่าลมเย็นเป็นเวลานาน 144 ชั่วโมง ต่อเนื่องกัน จะสามารถเก็บรักษาไว้ได้นานประมาณ 2 เดือน โดยไม่เกิดความเสียหายแก่กองข้าวเปลือก หลังจากนั้นถ้าต้องการเก็บข้าวเปลือกต่อไปอีกจะต้องเป่าลมเย็นใหม่อีกครั้ง ข้อมูลจากการเป่าลมเย็นข้าวเปลือก 1,000 ตัน ความชื้น 13.5% w.b. อุณหภูมิ 29°C ลมเย็นที่ใช้เป่า อุณหภูมิ 15°C ความชื้นสัมพัทธ์ 65% อัตราการไหลเชิงปริมาตรของลม 0.15 ลบ.ม/นาที่ตันข้าวเปลือก ขนาดพิกัดการทำความเย็น 167 ตันความเย็น ระยะเวลาทำความเย็น 144 ชั่วโมง จะทำให้ข้าวเปลือกมีอุณหภูมิลดลงเป็น 15°C เครื่องทำความเย็นที่ใช้ในการศึกษาเป็นแบบดูดกลืน เพื่อนำไอน้ำจากระบบ cogeneration มาใช้ประโยชน์ โดยใช้สารทำความเย็นเป็นแบบลิเทียมโบรไมด์ (LiBr) กับน้ำ และต้องการไอน้ำที่ความดันไม่เกิน 1 barg.

## 4. การวิเคราะห์ความเป็นไปได้ของระบบ cogeneration

ในการออกแบบขนาดของระบบ cogeneration ได้พิจารณาแบบใช้เกลบทั้งหมดที่ได้จากการสีข้าวเป็นเชื้อเพลิง (husk-match) จากข้อมูลทางด้านเทคนิคที่ได้กล่าวมาแล้ว และสมมติฐานทางด้าน

เทคนิคและการเงินสามารถประเมินหาปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้ตามขั้นตอนที่แสดงในรูปที่ 2 ในการวิเคราะห์ความคุ้มค่าของการลงทุนได้คำนวณหาอัตราผลตอบแทนภายใน (IRR) และระยะเวลาคืนทุน นอกจากนี้ได้มีการวิเคราะห์หาความไวของตัวแปรต่างๆ เพื่อการเปลี่ยนแปลงของผลตอบแทนการลงทุน ซึ่งได้แก่ ราคาขายเชื้อเพลิง ค่าแลกเปลี่ยน อัตราค่าไฟฟ้าเฉลี่ยที่ซื้อจากการไฟฟ้า และอัตราค่าไฟฟ้าที่ขายกลับ

#### สมมติฐานทางด้านเทคนิค

- ค่าความร้อนของแก๊สที่ความชื้น 12.4%d.b. เท่ากับ 14942 kJ/kg-husk
- ประสิทธิภาพหม้อไอน้ำและกังหันไอน้ำ (ไอเซนโทรปิก) 70%
- ประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 90%
- ความต้องการใช้ไฟฟ้าในโรงสีในช่วงที่มีการสีข้าว 40.4 kWh/ตันข้าวเปลือก
- ความต้องการใช้ไฟฟ้าในการอบแห้งแสดงดังตารางที่ 1
- ช่วงเวลาที่ซื้อข้าวมาปิ้งคือ พ.ค - ส.ค. และในปี คือ ต.ค - ม.ค.
- ความชื้นเฉลี่ยของข้าวเปลือกที่ซื้อเท่ากับ 19.3%w.b. และก่อนสีข้าวเท่ากับ 12-14%w.b.

#### สมมติฐานทางการเงิน

- จำนวนวันทำงาน 270 วัน/ปี
- มูลค่าแก๊ส 300 บาท/ตัน (ที่โรงสีสามารถขายได้)
- ราคาซื้อแก๊ส 1,700 บาท/ตัน
- อัตราค่าไฟฟ้าเฉลี่ยที่ซื้อจากการไฟฟ้า 2.62 บาท/kWh
- อัตราค่าไฟฟ้าที่ขายกลับให้การไฟฟ้า 2.01 บาท/kWh ซึ่งเป็นสัญญาแบบไม่กำหนดค่าพลังไฟฟ้า (non-firm)
- อัตราค่าไฟฟ้าสำรอง ตามอัตราค่าไฟฟ้าภูมิภาคที่แรงดัน 12-24 กิโลวัตต์ [9]
  - ราคาน้ำมันดิบ 8 บาท/ลบ.ม.
  - ค่าปรับสภาพน้ำ 8 บาท/ลบ.ม.
  - ค่าบำรุงรักษาระบบ Cogeneration 5% ของราคาระบบ
  - อายุการใช้งานระบบ 25 ปี
  - อัตราภาษีเงินได้ 30%
  - ค่าเสื่อมราคาแบบเส้นตรง
  - ไม่คิดมูลค่าซาก
  - ค่าอัตราการขยายตัว (escalation) ของตัวแปรต่างๆ ต่อปี มีค่าดังนี้ [10] ค่าไฟฟ้าที่ซื้อจากการไฟฟ้า และค่าไฟฟ้าสำรอง 1% ค่าดำเนินการและบำรุงรักษาของระบบ 5%

## 5. ผลการวิเคราะห์

ผลการวิเคราะห์ทางด้านเทคนิคและการเงินสรุปแสดงในตารางที่ 2 และ 3 พบว่าโรงสีขนาด 100 - 500 ตัน/วัน และขนาด 800 - 2,000 ตัน/วัน เมื่อนำที่แก๊สทั้งหมดมาใช้ในการผลิตไฟฟ้า จะผลิตไฟฟ้าได้ 0.344 - 1.718 MW และ 3.3 - 8.2 MW ตามลำดับ คิดเป็นพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยที่ผลิตได้ 3.4 kW/ตันข้าวเปลือก และ 3.79 kW/ตันข้าวเปลือก ตามลำดับ ไอน้ำที่ออกจากกังหันนำไปใช้ในการอบแห้งประมาณ 15% และทำความเย็นข้าวเปลือกประมาณ 4-5% ของไอน้ำทั้งหมด ไอน้ำส่วนที่เหลือใช้ 79% ของไอน้ำทั้งหมด นำไประบายความร้อนทิ้งที่เครื่องควบแน่น และไอน้ำส่วนที่เหลืออีก 1-2% นำไประบายความร้อนที่เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนในช่วงที่ไม่มีการอบแห้ง สำหรับโรงสีขนาด 100 ตัน/วัน ต้องการขนาดทำความเย็นเพียง 50 ตัน เครื่องทำความเย็นแบบดูดกลืน ขนาดเล็กสุดที่มีจำหน่ายคือ ขนาด 100 ตัน/วัน ดังนั้นจึงต้องใช้ขนาด 100 ตัน/วัน ทำให้ต้นทุนค่าติดตั้งระบบสูงเกินความจำเป็น ผลวิเคราะห์ทางการเงิน พบว่า ส่วนใหญ่มีระยะเวลาคืนทุนสั้นไม่เกิน 3.5 ปี และรักษาผลตอบแทนก่อนหักสูง ยกเว้นโรงสีขนาด 100 ตัน/วัน

ผลการวิเคราะห์ความไวของตัวแปรต่างๆ พบว่า ถ้าไม่มีการขายแก๊ส หรือราคาซื้อแก๊สลดลง 100% พบว่า โรงสีขนาด 100 ตัน/วัน ได้อัตราผลตอบแทนต่ำมาก น้อยกว่า 3% จึงไม่เหมาะสมที่จะลงทุน ส่วนโรงสีขนาดมากกว่า 100 ตัน/วัน ราคาแก๊สมีความไวไม่มาก เมื่อราคาซื้อแก๊สลดลง 100% อัตราผลตอบแทนการลงทุนลดลง 39%-44% จากเดิม สำหรับอัตราค่าไฟฟ้าที่ซื้อจากการไฟฟ้า พบว่ามีค่าความไวสูง เมื่อเปลี่ยนแปลงอัตราค่าไฟฟ้าของค่าไฟฟ้าเพิ่มขึ้น และลดลง 5% จะมีผลทำให้ผลตอบแทนการลงทุนเปลี่ยนแปลงไปอยู่ในช่วง 6 - 16% จึงมีค่าความไวสูง และผลการเปลี่ยนอัตราค่าไฟฟ้าที่ขายกลับให้การไฟฟ้า พบว่ามีความไวน้อย ถ้ามีการเปลี่ยนแปลงค่าไฟฟ้าประมาณ 20% จะทำให้ผลตอบแทนการลงทุนเปลี่ยนแปลงไป 4 - 9% ส่วนราคาแก๊สมีความไวน้อย เมื่อเปลี่ยนแปลงราคาแก๊สไป 67% จะมีผลทำให้อัตราผลตอบแทนการลงทุนเปลี่ยนแปลงไป 19 - 37% อย่างไรก็ตามการวิเคราะห์ความไวของตัวแปรต่างๆ พบว่า โรงสีขนาด 100 ตัน/วัน ไม่เหมาะสมที่จะลงทุน ส่วนโรงสีขนาดอื่นยังคงให้อัตราผลตอบแทนสูงกว่า 17%

ในการศึกษานี้จะเก็บรักษาข้าวเปลือกโดยวิธีการเป่าลมเย็นซึ่งเป็นการเก็บรักษาข้าวเปลือกที่อุณหภูมิต่ำจะทำให้ข้าวคุณภาพดี แต่ในการวิเคราะห์นี้ไม่ได้นำผลที่ได้ข้าวคุณภาพดีมาคิดเป็นผลตอบแทนที่ได้รับเพิ่มขึ้น ดังนั้นถ้าไม่ใช้เครื่องทำความเย็นแต่ใช้อากาศแวดล้อมเป่าแทนก็จะทำให้ได้ผลตอบแทนสูงขึ้น

## 6. สรุป

1. การผลิตไฟฟ้าจากแก๊สทั้งหมดในโรงสีข้าวด้วยระบบ cogeneration แบบกังหันไอน้ำ โดยนำไอน้ำที่ออกจากกังหันไปใช้ใน

การอบแห้ง และการทำความเย็นข้าวเปลือกด้วยเครื่องทำความเย็นแบบดูดกลืน ส่วนไอน้ำที่เหลือใช้นำไประบายความร้อนทิ้งที่เครื่องควบแน่นพบว่า

โรงสีขนาด 100-500 ตัน/วัน ไอน้ำเข้ากังหันที่ 25 bar(abs.) 400°C ออกจากกังหันที่ 2 bar(abs.) 184°C สามารถผลิตไฟฟ้าได้ 344-1718 kW มีไฟฟ้าขายกลับให้การไฟฟ้า 295-2775 MWh/ปี เงินลงทุนรวมของระบบ 16.9-34.3 ล้านบาท มีระยะเวลาคืนทุน 6.5-2.1 ปี และ ค่า IRR 15.8-48.0% ตามลำดับ

โรงสีขนาด 800-200 ตัน/วัน ไอน้ำเข้ากังหันที่ 40 bar(abs.) 400 °C ออกจากกังหันที่ 3 bar(abs.) 173 °C สามารถผลิตไฟฟ้าได้ 2966-7416 kW มีไฟฟ้าขายกลับให้การไฟฟ้า 6459-16410 MWh/ปี เงินลงทุนรวมของระบบ 94.8-209.2 ล้านบาท มีระยะเวลาคืนทุน 3.4-3 ปี และ ค่า IRR 29.5-34.6% ตามลำดับ

2. ผลการวิเคราะห์ค่าความไว พบว่า ตัวแปรที่มีความไวสูง ได้แก่ อัตราการขยายตัว (escalation) ของค่าไฟฟ้าที่ซื้อจากการไฟฟ้า ตัวแปรที่มีความไวต่ำ ได้แก่ ราคาขายซีเมนต์ แกลบ อัตราค่าไฟฟ้าที่ขายกลับให้การไฟฟ้า และราคาแกลบ โรงสีขนาด 100 ตัน/วัน ไม่เหมาะสมที่จะลงทุนเพราะให้อัตราผลตอบแทนการลงทุนต่ำมาก สำหรับโรงสีขนาด 200-2000 ตัน/วัน ให้อัตราผลตอบแทนสูงกว่า 17%

#### เอกสารอ้างอิง

- [1] รายงานพลังงานของประเทศไทย 2542 กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม  
[2] <http://www.egat.or.th,2001>.

- [3] Chek, T.I., 1989, "A Trial Study on the Application of Paddy Cooling Technique in Combination with the Use of LSU Drying System", The Workshop on Grain Drying and Bulk Handling and Storage Systems in Asean, 17-20 October, Pitsanuloke, Thailand.  
[4] Chek, T.I., and Hassan, B.B., 1995, "Paddy Cooling in Bernas Grains Complexes", The 17<sup>th</sup> ASEAN Technical Seminar on Grain Postharvest Technology, July 25-27, Perak, Malaysia, pp.22.  
[5] Ekasilp, W., Soponronnannarit, S. and Therdyothin, A., 1999, "Sizing of Rice Mill's Cogeneration System", ASEAN Journal on Science & Technology Development, Vol.16, No.1, June, pp. 39-57.  
[6] ศรีลักษณ์ ศิลป์, 2542, "จากข้าวเปลือกสู่พลังงาน", พลังงานและสิ่งแวดล้อม, ฉบับที่ 5, เดือนพฤษภาคม, หน้า 5-9.  
[7] นเรศ มีโส, สมชาติ โสภณธฤทธิ์ และสมบุญ เวชกามา, 2543, "การประเมินสมรรถนะระบบอบแห้งของโรงสีข้าวในเขตภาคกลางของประเทศไทย", วิศวกรรมสาร มก., ฉบับที่ 40, หน้า 81-93.  
[8] Maier, D.E., Bakker-Argema, F.W. and Ilgantileke, S.G., 1993, "Ambient and Chilled Paddy Aeration under Thai Conditions", *Agricultural Engineering Journal*, pp. 15-33.  
[9] <http://www.pea.or.th,2001>.  
[10] <http://www.dedp.go.th,2001>.



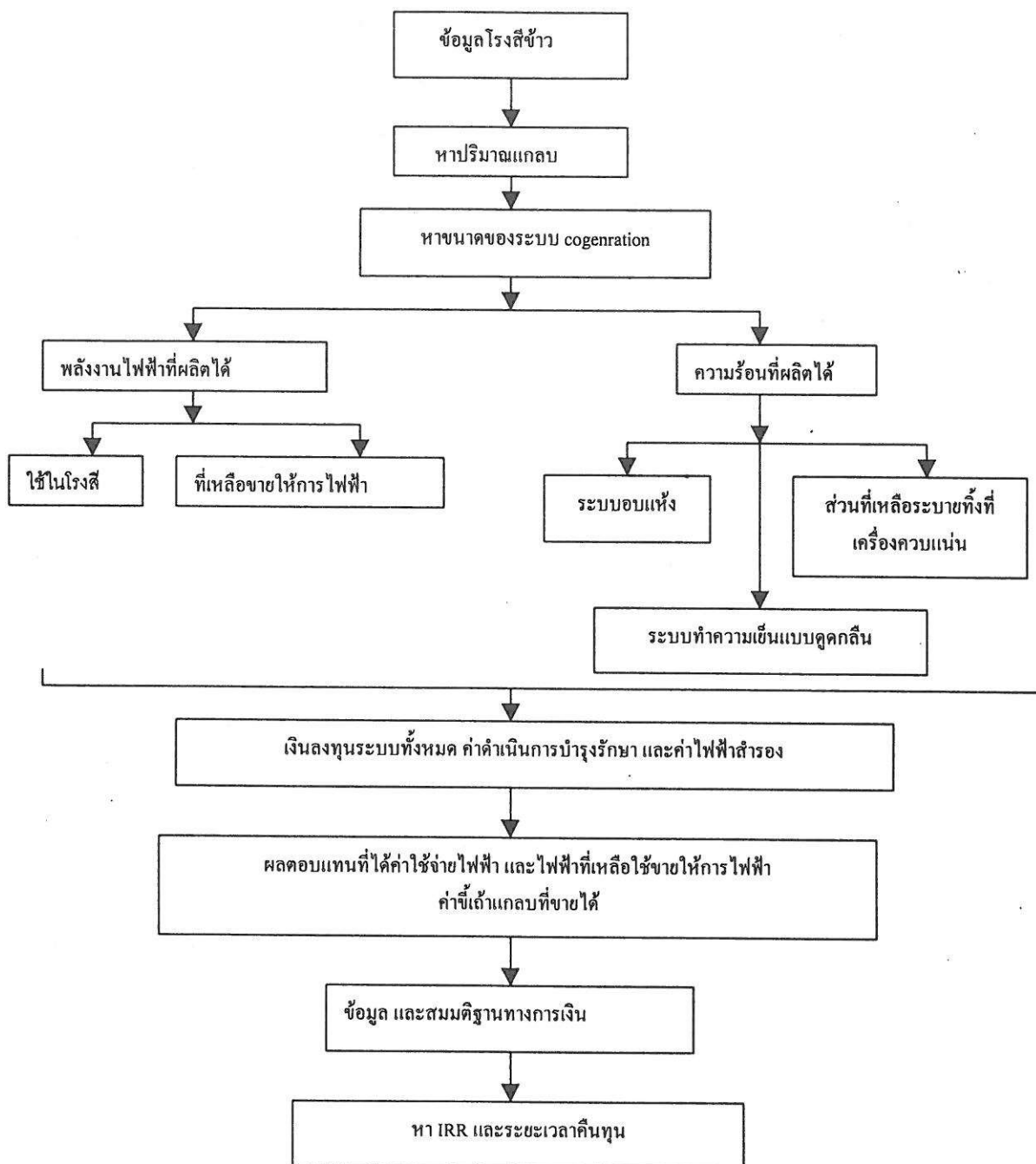
รูปที่ 1 กระบวนการอบแห้งข้าวเปลือก [7]

ตารางที่ 1 ข้อมูลระบบอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไคซ์เบค [7]

|                                              | ช่วงที่ 1 | ช่วงที่ 2 |
|----------------------------------------------|-----------|-----------|
| อัตราการอบแห้ง (ตันข้าวเปลือกชื้น/ชม.)       | 9.54      | 9.06      |
| อุณหภูมิอบแห้ง (°C)                          | 142       | 141       |
| ใช้พลังงานความร้อนเฉลี่ย (MJ/kg-water evap.) | 2.56      | 5.82      |
| ความสามารถในการระเหยน้ำ (kg-water evap./h)   | 483       | 217       |
| พลังงานความร้อนที่ใช้อบแห้ง (MJ/h)           | 1,238     | 1,265     |
| กำลังไฟฟ้าที่ใช้อบแห้ง (kWe)                 | 43*       | 32.3*     |
| กำลังไฟฟ้าสำหรับเครื่องฟลูอิดไคซ์เบค (kWe)   | 35.4      | 29.2      |

\* กำลังไฟฟ้าสำหรับเครื่องทำความสะอาด, เครื่องอบแห้งและเครื่องเป่าลมเย็น

\*\* กำลังไฟฟ้าสำหรับเครื่องอบแห้งและเครื่องเป่าลมเย็น



รูปที่ 2 แผนผังแสดงขั้นตอนหาศักยภาพทางเทคนิค และการเงิน ของโรงสีข้าวขาว กรณีใช้แกลบทั้งหมดที่ได้จากการสีข้าวเป็นเชื้อเพลิง

ตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์โรงสีข้าว ขนาด 100-500 ตัน/วัน

|                                                     |       |       |       |       |       |
|-----------------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| ขนาดโรงสีข้าว (ตัน/วัน)                             | 100   | 200   | 300   | 400   | 500   |
| จำนวนวันทำงาน (วัน/ปี)                              | 270   | 270   | 270   | 270   | 270   |
| อุณหภูมิน้ำป้อนหม้อไอน้ำ (°C)                       | 105   | 105   | 105   | 105   | 105   |
| ผลิตไอน้ำที่ความดัน (bar,abs.)                      | 25    | 25    | 25    | 25    | 25    |
| อุณหภูมิไอน้ำ (°C)                                  | 400   | 400   | 400   | 400   | 400   |
| อัตราไอน้ำที่ผลิตได้ (kg/s)                         | 0.95  | 1.90  | 2.85  | 3.81  | 4.76  |
| ความดันไอน้ำขาออกกังหัน (bar.a.)                    | 2     | 2     | 2     | 2     | 2     |
| อุณหภูมิไอน้ำขาออกกังหัน (°C)                       | 184   | 184   | 184   | 184   | 184   |
| กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ (kW)                           | 344   | 687   | 1031  | 1374  | 1718  |
| ไฟฟ้าที่ผลิตได้ต่อปี (kWh×10 <sup>3</sup> /year)    | 2226  | 4453  | 6679  | 8905  | 11132 |
| ไฟฟ้าที่ใช้ทั้งหมด (kWh×10 <sup>3</sup> /year)      | 1931  | 3436  | 5030  | 6646  | 8357  |
| ไฟฟ้าที่เหลือใช้ (kWh×10 <sup>3</sup> /year)        | 295   | 1017  | 1649  | 2259  | 2775  |
| ขนาดพิกัดหม้อไอน้ำ (ตัน/ชม.)                        | 4     | 8     | 12    | 16    | 20    |
| ขนาดกังหันไอน้ำ (MW)                                | 0.4   | 0.8   | 1.2   | 1.6   | 2.0   |
| ขนาดเครื่องทำความเย็นแบบดูดกลืน (ตันความเย็น)       | 50    | 100   | 150   | 200   | 251   |
| ขนาดคอนเดนเซอร์ (MW)                                | 1.9   | 3.8   | 5.7   | 7.6   | 9.5   |
| เงินลงทุนระบบผลิตไอน้ำ (ล้านบาท)                    | 7.38  | 8.56  | 9.75  | 10.60 | 11.05 |
| เงินลงทุนกังหันไอน้ำและเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (ล้านบาท) | 4.60  | 6.12  | 6.50  | 8.40  | 10.30 |
| เงินลงทุนระบบเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน (ล้านบาท)    | 0.167 | 0.374 | 0.581 | 0.787 | 0.994 |
| เงินลงทุนเครื่องทำความเย็นแบบดูดกลืน (ล้านบาท)      | 2.18  | 2.18  | 3.03  | 3.82  | 4.58  |
| เงินลงทุนระบบคอนเดนเซอร์รวมหอผึ่งลม (ล้านบาท)       | 0.368 | 0.737 | 1.106 | 1.475 | 1.843 |
| ค่าติดตั้ง, เดินท่อและอื่น ๆ (ล้านบาท)              | 2.20  | 2.82  | 3.27  | 3.89  | 4.47  |
| เงินลงทุนรวมของระบบ (ล้านบาท)                       | 16.90 | 21.64 | 25.09 | 29.81 | 34.29 |
| รายรับสุทธิของปีที่ 1 (ล้านบาท/ปี)                  | 3.47  | 8.43  | 13.28 | 17.86 | 22.31 |
| ระยะเวลาคืนทุน (ปี)                                 | 6.5   | 3.5   | 2.6   | 2.3   | 2.1   |
| % IRR                                               | 15.83 | 28.9  | 38.79 | 44.3  | 47.95 |

ตารางที่ 3 ผลการวิเคราะห์โรงสีข้าว ขนาด 800-2,000 ตัน/วัน

|                                                     |       |        |        |        |        |
|-----------------------------------------------------|-------|--------|--------|--------|--------|
| ขนาดโรงสีข้าว (ตัน/วัน)                             | 800   | 1000   | 1200   | 1500   | 2000   |
| จำนวนวันทำงาน (วัน/ปี)                              | 270   | 270    | 270    | 270    | 270    |
| อุณหภูมิน้ำป้อนหม้อไอน้ำ (°C)                       | 140   | 140    | 140    | 140    | 140    |
| ผลิตไอน้ำที่ความดัน (bar,abs.)                      | 40    | 40     | 40     | 40     | 40     |
| อุณหภูมิไอน้ำ (°C)                                  | 400   | 400    | 400    | 400    | 400    |
| อัตราไอน้ำที่ผลิตได้ (kg/s)                         | 8.12  | 10.15  | 12.18  | 15.22  | 20.29  |
| ความดันไอน้ำขาออกกังหัน (bar,abs.)                  | 3     | 3      | 3      | 3      | 3      |
| อุณหภูมิไอน้ำขาออกกังหัน (°C)                       | 173   | 173    | 173    | 173    | 173    |
| กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ (kW)                           | 2966  | 3708   | 5000   | 5562   | 7416   |
| ไฟฟ้าที่ผลิตได้ต่อปี (kWh×10 <sup>3</sup> /year)    | 19223 | 24028  | 28834  | 36043  | 48057  |
| ไฟฟ้าที่ใช้ทั้งหมด (kWh×10 <sup>3</sup> /year)      | 12764 | 15842  | 18871  | 23725  | 31647  |
| ไฟฟ้าที่เหลือใช้ (kWh×10 <sup>3</sup> /year)        | 6459  | 8186   | 9963   | 12318  | 16410  |
| ขนาดพิกัดหม้อไอน้ำ (ตัน/ชม.)                        | 32    | 40     | 48     | 60     | 80     |
| ขนาดกังหันไอน้ำ (MW)                                | 3.3   | 4.1    | 4.9    | 6.1    | 8.2    |
| ขนาดเครื่องทำความเย็นแบบดูดกลืน (ตันความเย็น)       | 401   | 501    | 601    | 752    | 1002   |
| ขนาดคอนเดนเซอร์ (MW)                                | 16    | 19.5   | 23.5   | 29.5   | 39     |
| เงินลงทุนระบบผลิตไอน้ำ (ล้านบาท)                    | 38.05 | 46.85  | 54.04  | 62.84  | 74.18  |
| เงินลงทุนกังหันไอน้ำและเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (ล้านบาท) | 33    | 41     | 49     | 61     | 82     |
| เงินลงทุนระบบเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน (ล้านบาท)    | 1.613 | 2.027  | 2.44   | 3.06   | 4.093  |
| เงินลงทุนเครื่องทำความเย็นแบบดูดกลืน (ล้านบาท)      | 6.70  | 8.03   | 9.31   | 11.16  | 14.09  |
| เงินลงทุนระบบคอนเดนเซอร์รวมหอผึ่งลม (ล้านบาท)       | 3.104 | 3.784  | 4.56   | 5.725  | 7.568  |
| ค่าติดตั้ง, เดินท่อและอื่น ๆ (ล้านบาท)              | 12.37 | 15.25  | 17.90  | 21.57  | 27.29  |
| ราคารวมของระบบ (ล้านบาท)                            | 94.84 | 116.94 | 137.25 | 165.36 | 209.22 |
| รายรับสุทธิของปีที่ 1 (ล้านบาท/ปี)                  | 38.21 | 48.08  | 58.14  | 72.71  | 97.48  |
| ระยะเวลาคืนทุน (ปี)                                 | 3.4   | 3.3    | 3.2    | 3.1    | 2.9    |
| % IRR                                               | 29.54 | 29.95  | 31.07  | 32.48  | 34.56  |