

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

- กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน. พระราชบัญญัติ การส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพมหานคร : โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, 2535.
- กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน. กฎกระทรวง ออกตามความในพระราชบัญญัติ การส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, 2535.
- การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย. 2535. การรับซื้อไฟฟ้าจากผู้ผลิตรายเล็ก งวดที่ 1. (ม.ป.ท.).
- การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย. 2535. อัตรารับซื้อพลังไฟฟ้าจากผู้ผลิตรายเล็ก. (ม.ป.ท.).
- การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย. 2536. ขยายเวลาการรับซื้อไฟฟ้าจากผู้ผลิตรายเล็ก งวดที่ 1. (ม.ป.ท.).
- กิตติ ภัคดีวัฒน์กุล และ จำลอง คุรุอดสาหะ. Visual Basic 5 ฉบับ โปรแกรมเมอร์. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: ไทยเจริญการพิมพ์, 2541.
- จิระ จริงจิตร. เรียนลัด Visual Basic. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร: โปรวิชั่น, 2538.
- เทียบ เอื้อกิจ. การวิเคราะห์พลังงานและแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ของระบบการผลิตพลังงานร่วมในโรงงานย้อมผ้า. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2532.
- ประยุทธ์ ทองนิมิตร. ศักยภาพของการใช้ระบบผลิตพลังงานร่วมในโรงงานอุตสาหกรรมผลิตเยื่อกระดาษทั่วประเทศ. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2535.
- สันติ ยุกตจรงค์. ระบบผลิตพลังงานร่วมในโรงงานอาหารกระป๋อง. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2533.
- สถาบันวิจัยพลังงาน จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. รายงานการศึกษาเรื่องการใช้และการประหยัดพลังงานในโรงงานน้ำตาล. (ม.ป.ท., ม.ป.ป.).
- อัสวิทย์ ปัทมะเวณ. ตามรอยน้ำตาล. กรุงเทพมหานคร: ที. พี. พรินท์. (ม.ป.ป.)

ภาษาอังกฤษ

Balakrishnan, S.V. Energy Analysis of Cogeneration in a Sugar Mill. A Research Study Report, Energy Technology Division, Asian Institute of Technology (AIT), Thailand, 1986.

Chen, C.P., and Chou, C.C. Cane Sugar Handbook. 21th ed. New York, U.S.A.

EGAT, "Annual Report 1996." Electricity Generating Authority of Thailand, Nonthaburi, Thailand, 1997.

EGAT, "Annual Report 1997." Electricity Generating Authority of Thailand, Nonthaburi, Thailand, 1998.

El-Wakil, M. Powerplant Technology. New York: McGraw-Hill Book, 1984.

Incropera, F.P. Fundamentals of Heat and Mass Transfer. Singapore: John Wiley & Sons, Inc., 1990.

Hugot, E. Handbook of Can Sugar Engineering. New York, U.S.A., 1986.

Wark, K. JR. Advanced Thermodynamics for Engineers. Singapore: McGraw-Hill Book, 1995.

Office of the Cane and Sugar Board. "Summary of Laboratory Reports 1995 - 1996." Office of the Cane Sugar Board, Ministry of Industry, Bangkok, Thailand, 1996.

Office of the Cane and Sugar Board. "Summary of Laboratory Reports 1996 - 1997." Office of the Cane Sugar Board, Ministry of Industry, Bangkok, Thailand, 1997.

Office of the Cane and Sugar Board. "Summary of Laboratory Reports 1997 - 1998." Office of the Cane Sugar Board, Ministry of Industry, Bangkok, Thailand, 1998.

Payne, William F. Cogeneration Sourcebook. Georgia: Fairmont Press, 1985.

Polimeros, George. Energy Cogeneration Handbook. New York: Industrial Press, 1981.

Renzo, De. Cogeneration Technology and Economics for the Process Industries. Park Ridge, New Jersey, U.S.A., 1983.

Science and technology division. "Summary of Laboratory Reports 1980-1990." Office of the Cane Sugar Board, Ministry of Industry, Bangkok, Thailand, 1998.

Stoecker, W., F. Design of Thermal Systems. 3th ed. New York: McGraw-Hill Book, 1989.

Viqar, S. A. Energy Analysis and Conservation in Cogeneration System in a Sugar Mill in Pakistan. A Thesis Report, Energy Technology Division, Asian Institute of Technology (AIT), Thailand, 1988.

ภาคผนวก ก.

โรงงานน้ำตาลในประเทศไทย

ก.1 โรงงานน้ำตาลในประเทศไทย

โรงงานน้ำตาลในประเทศไทยมีอยู่หลายโรงงาน แต่ละโรงงานมีกำลังการผลิตแตกต่างกัน ตั้งกระจายอยู่ตามภาคต่างๆ เป็นจำนวนทั้งสิ้น 46 โรงงาน ดังรายชื่อต่อไปนี้

ตาราง ก.1 โรงงานน้ำตาลในประเทศไทย

| ลำดับ | โรงงานน้ำตาล | สถานที่ตั้ง | กำลังการผลิต (ตันอ้อย/วัน) |
|--------------------|--------------------------|-------------------------|-------------------------------|
| เขตภาคเหนือ | | | |
| 1 | เชียงใหม่ | อ.สันกำแพง จ.เชียงใหม่ | 1,538 |
| 2 | ลำปาง | อ.เกาะคา จ.ลำปาง | 2,936 |
| 3 | อุตรดิตถ์ | อ.เมือง จ.อุตรดิตถ์ | 1,736 |
| 4 | ไทยเอกลักษณ์ | อ.เมือง จ.อุตรดิตถ์ | 18,000 |
| 5 | มิตรสยาม | อ.เมือง จ.กำแพงเพชร | 18,000 |
| 6 | กำแพงเพชร | อ.เมือง จ.กำแพงเพชร | 8,000 |
| 7 | นครเพชร | อ.เมือง จ.กำแพงเพชร | 24,000 |
| 8 | รวมผลอุตสาหกรรมนครสวรรค์ | อ.เมือง จ.นครสวรรค์ | 8,800 |
| 9 | เกษตรไทย | อ.ตาคลี จ.นครสวรรค์ | 40,000 |
| 10 | พิษณุโลก | อ.บางกระทุ่ม จ.พิษณุโลก | 12,000 |
| 11 | ไทยรุ่งเรืองอุตสาหกรรม | อ.ศรีเทพ จ.เพชรบูรณ์ | 24,000 |

ตาราง ก.1 โรงงานน้ำตาลในประเทศไทย(ต่อ)

| ลำดับที่ | โรงงานน้ำตาล | สถานที่ตั้ง | กำลังการผลิต (ตัน/วัน) |
|---------------------------------|---------------------------|------------------------------|---------------------------|
| เขตภาคกลาง | | | |
| 12 | สุพรรณบุรี | อ.สามชุก จ.สุพรรณบุรี | 4,228 |
| 13 | มิตรผล | อ.ด่านช้าง จ.สุพรรณบุรี | 21,511 |
| 14 | อู่ทอง | อ.อู่ทอง จ.สุพรรณบุรี | 17,731 |
| 15 | สิงห์บุรี | อ.บางระจัน จ.สิงห์บุรี | 9,131 |
| 16 | ที.เอ็น. | อ.ท่าหลวง จ.ลพบุรี | 18,000 |
| 17 | สระบุรี | อ.วังม่วง จ.สระบุรี | 22,970 |
| 18 | ปราณบุรี | อ.ปราณบุรี จ.ประจวบคีรีขันธ์ | 7,000 |
| 19 | ราชบุรี | อ.บ้านโป่ง จ.ราชบุรี | 12,000 |
| 20 | บ้านโป่ง | อ.บ้านโป่ง จ.ราชบุรี | 9,131 |
| 21 | อุตสาหกรรมน้ำตาลกาญจนบุรี | อ.บ้านไร่ จ.อุทัยธานี | 11,990 |
| 22 | มิตรเกษตร | อ.ท่ามะกา จ.กาญจนบุรี | 11,890 |
| 23 | ไทยกาญจนบุรี | อ.ท่ามะกา จ.กาญจนบุรี | 11,764 |
| 24 | นิวกุงไทย | อ.ท่ามะกา จ.กาญจนบุรี | 8,385 |
| 25 | ท่ามะกา | อ.ท่ามะกา จ.กาญจนบุรี | 18,038 |
| 26 | ประจวบอุตสาหกรรม | อ.ท่ามะกา จ.กาญจนบุรี | 9,131 |
| 27 | ไทยเพิ่มพูนอุตสาหกรรม | อ.ท่าม่วง จ.กาญจนบุรี | 9,635 |
| 28 | ไทยอุตสาหกรรม | อ.ท่ามะกา จ.กาญจนบุรี | 12,030 |
| 29 | วังขนาย | อ.ท่าม่วง จ.กาญจนบุรี | 15,453 |
| เขตภาคตะวันออกเฉียงเหนือ | | | |
| 30 | วนชัยอุตสาหกรรม | อ.คำม่วง จ.กาฬสินธุ์ | 6,000 |
| 31 | มิตรภูเวียง | อ.หนองเรือ จ.ขอนแก่น | 15,165 |
| 32 | ขอนแก่น | อ.น้ำพอง จ.ขอนแก่น | 20,400 |

ตาราง ก.1 โรงงานน้ำตาลในประเทศไทย(ต่อ)

| ลำดับที่ | โรงงานน้ำตาล | สถานที่ตั้ง | กำลังการผลิต (ตัน/วัน) |
|-----------------------|----------------------|----------------------------|---------------------------|
| 33 | กุมภวาปี | อ.กุมภวาปี จ.อุดรธานี | 12,000 |
| 34 | เกษตรผล | อ.กุมภวาปี จ.อุดรธานี | 10,211 |
| 35 | ทรายขาวเริ่มอุดม | อ.หนองหาน จ.อุดรธานี | 12,611 |
| 36 | บุรีรัมย์ | อ.คูเมือง จ.บุรีรัมย์ | 7,070 |
| 37 | สหเรือง | อ.เมือง จ.มุกดาหาร | 5,998 |
| 38 | รวมเกษตรกรอุตสาหกรรม | อ.ภูเขียว จ.ชัยภูมิ | 18,000 |
| 39 | อุตสาหกรรมโคราช | อ.พิมาย จ.นครราชสีมา | 24,000 |
| 40 | ราชสีมา (อ่างเวียง) | อ.แก้งสนามนาง จ.นครราชสีมา | 36,000 |
| 41 | หนองใหญ่ (ครบุรี) | อ.ครบุรี จ.นครราชสีมา | 13,690 |
| เขตภาคตะวันออก | | | |
| 42 | อุตสาหกรรมชลบุรี | อ.บ้านบึง จ.ชลบุรี | 6,838 |
| 43 | สหการน้ำตาลชลบุรี | อ.บ้านบึง จ.ชลบุรี | 4,051 |
| 44 | นิวกวังสุนหลี | อ.พนัสนิคม จ.ชลบุรี | 6,479 |
| 45 | ตะวันออก | อ.วัฒนานคร จ.สระแก้ว | 18,000 |
| 46 | ระยอง | อ.บ้านค่าย จ.ระยอง | 2,556 |

หมายเหตุ ข้อมูลจากสำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย สำนักงานปลัดกระทรวง
อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม ฤดูกาลผลิตปี 2539/2540

ก.2 เกณฑ์ในการคัดเลือกโรงงานตัวอย่าง

จากการศึกษารวบรวมข้อมูลต่างๆของโรงงานน้ำตาลในด้านพลังงาน แล้วใช้เป็นแนวทางใช้เป็นแนวทางในการคัดเลือกโรงงานน้ำตาลตัวอย่าง เพื่อตรวจสอบในชั้นรายละเอียด ได้ตั้งเกณฑ์เพื่อคัดเลือกโรงงานดังนี้

เกณฑ์ในการคัดเลือกโรงงาน เพื่อตรวจสอบการใช้พลังงานชั้นรายละเอียด

1. การแบ่งแยกขนาดของโรงงานออกเป็น
 - โรงงานน้ำตาลขนาดเล็ก กำลังการผลิตต่ำกว่า 8,000
 - โรงงานน้ำตาลขนาดกลาง กำลังการผลิตอยู่ในช่วงระหว่าง 8,000 - 15,000
 - โรงงานน้ำตาลขนาดใหญ่ กำลังการผลิตสูงกว่า 15,000
2. การแบ่งแยกกลุ่มของโรงงานน้ำตาลออกเป็นรายภาค คือ ภาคกลาง ภาคเหนือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และภาคตะวันออก
3. การคัดเลือกตามความสนใจของผู้ประกอบการโรงงานน้ำตาล

ก.3 โรงงานน้ำตาลที่ได้รับการคัดเลือก

| | | |
|---------------|-----------------------|-------------|
| ชื่อโรงงาน | โรงงานน้ำตาล ก. | |
| ที่ตั้งโรงงาน | ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ | |
| กำลังการผลิต | 15,000 | ตันอ้อย/วัน |

| | | |
|---------------|-----------------|-------------|
| ชื่อโรงงาน | โรงงานน้ำตาล ข. | |
| ที่ตั้งโรงงาน | ภาคเหนือ | |
| กำลังการผลิต | 18,000 | ตันอ้อย/วัน |

| | | |
|---------------|-----------------|-------------|
| ชื่อโรงงาน | โรงงานน้ำตาล ค. | |
| ที่ตั้งโรงงาน | ภาคตะวันออก | |
| กำลังการผลิต | 6,500 | ตันอ้อย/วัน |

ภาคผนวก ข.

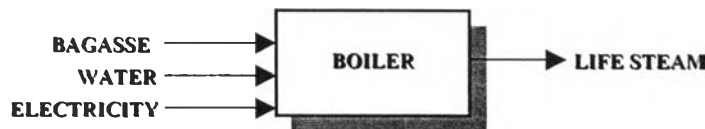
ประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำและกังหันไอน้ำ

ข.1 บทนำ

หม้อไอน้ำและกังหันไอน้ำเป็นอุปกรณ์ที่มีความสำคัญยิ่งในโรงงานน้ำตาล การหาประสิทธิภาพการทำงานของหม้อไอน้ำและกังหันไอน้ำ โดยมีจุดประสงค์เพื่อตรวจสอบสภาพการทำงานของหม้อไอน้ำและกังหันไอน้ำ ที่มีการทำงานใช้งานอยู่ในปัจจุบัน ว่ามีการทำงานที่ได้้อยู่ภายใต้สภาวะที่ยอมรับได้หรือไม่ เนื่องจากหม้อไอน้ำและกังหันไอน้ำเป็นอุปกรณ์ขนาดใหญ่ที่มีการใช้พลังงานที่สิ้นเปลือง ถ้าการทำงานของอุปกรณ์เหล่านี้มีประสิทธิภาพการทำงานที่ต่ำ ก็จะเป็นการสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายในด้านเชื้อเพลิง ซึ่งเป็นต้นทุนที่สำคัญยิ่งของโรงงาน ดังนั้น การดูแลและรักษาระบบหม้อไอน้ำและกังหันไอน้ำให้มีประสิทธิภาพอยู่เสมอ ก็จะเป็นการลดต้นทุนของทางโรงงานได้อีกวิธีหนึ่ง

ข.2 หม้อไอน้ำ

หม้อไอน้ำเป็นอุปกรณ์หนึ่งที่มีความสำคัญในระบบผลิตไอน้ำเพื่อป้อนให้แก่กระบวนการผลิต การทำงานของหม้อไอน้ำที่มีประสิทธิภาพก็จะส่งผลให้ปริมาณการใช้กากอ้อยลดลง ซึ่งจะเป็นการลดต้นทุนของผู้ประกอบการ ดังนั้นดูแลหม้อไอน้ำให้มีประสิทธิภาพสูง จะช่วยให้เกิดการประหยัดพลังงาน ลดการสูญเสียเปลืองของพลังงานโดยไม่จำเป็น



รูปที่ ข.1 แผนภาพแสดงการใช้พลังงานของหม้อไอน้ำ

ในการวิเคราะห์การใช้กากอ้อยและประสิทธิภาพหม้อไอน้ำโดยละเอียดทำโดยการวิเคราะห์การเผาไหม้ของกากอ้อยในหม้อไอน้ำและการคำนวณอัตราการใช้กากอ้อยจะคำนวณโดยวิเคราะห์จากส่วนประกอบของธาตุทางเคมีในกากอ้อย โดยอาศัยหลักการพื้นฐานของการเผาไหม้ของวัสดุที่

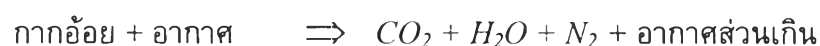
เป็นสารอินทรีย์ การคำนวณอัตราการใช้กากอ้อยจากผลิตผลหลังจากการเผาไหม้ โดยคิดจาก %CO₂(โดยปริมาตร), %O₂(โดยปริมาตร), CO หน่วย ppm. และอุณหภูมิของก๊าซร้อนทั้งจากหม้อไอน้ำ ส่วนการหาประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำคำนวณได้จากการทำสมดุลการใช้มวลและสมดุลพลังงานภายในหม้อไอน้ำ

ขั้นตอนการวิเคราะห์หม้อไอน้ำมีดังนี้

- บันทึกผลการทำงานของหม้อไอน้ำและตรวจวัดค่าการเผาไหม้ที่เกิดขึ้น
- สร้างสมการการสันดาปของกากอ้อยกับอากาศ
- ทำสมดุลของสมการเพื่อหาสัดส่วนของการเกิดของ CO₂ และ O₂
- คำนวณความร้อนสูญเสียของหม้อไอน้ำทางก๊าซร้อนทิ้ง ความร้อนสูญเสียทางผนังของหม้อไอน้ำปริมาณกากอ้อยไม่เผาไหม้ การสูญเสียพลังงานเนื่องจากเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ และพลังงานที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์จากกากอ้อย
- คำนวณอัตราการใช้กากอ้อยจากข้อมูลอัตราผลิตไอน้ำและพลังงานที่นำไปใช้ประโยชน์จากกากอ้อย
- สมการการสันดาปและสมดุลการเกิดการสันดาป

จากผลของการวิเคราะห์กากอ้อยตัวอย่างโดยมวล ประกอบด้วย %C = a, %H = b, %N₂ = c และ %O₂ = d สมการสันดาปของ 100 กิโลกรัมกากอ้อยแห้งหรือเท่ากับกากอ้อยเปียก 204 กิโลกรัม (ความชื้นกากอ้อย 51%)

- สมการการเผาไหม้เบื้องต้น พิจารณาการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ (Ideal Combustion)

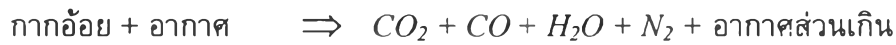


เขียนอยู่ในรูปสมการเคมีได้ดังนี้

$$\left[\frac{a}{12} \text{C} + \frac{b}{2} \text{H}_2 + \frac{c}{32} \text{O}_2 + \frac{d}{28} \text{N}_2 \right] + \left[\frac{E}{100} (\text{O}_2 + 3.76 \text{N}_2) \right]$$

$$\Rightarrow \frac{a}{12}CO_2 + \frac{b}{2}H_2O + \frac{(E-100)}{100}O_2 + \frac{E}{100} \times 3.76N_2 + \frac{d}{28}N_2 \quad (\text{ข.1})$$

- พิจารณาการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ (Incomplete Combustion)



เขียนอยู่ในรูปสมการเคมีได้ดังนี้

$$\left[\frac{a}{12}C + \frac{b}{2}H_2 + \frac{c}{32}O_2 + \frac{d}{28}N_2 \right] + \left[\frac{E}{100}(O_2 + 3.76 N_2) \right] \quad (\text{ข.2})$$

$$\Rightarrow \left(\frac{a}{12} - Y \right) CO_2 + YCO + \frac{b}{2}H_2O + \frac{(E-100)}{100}O_2 + \frac{Y}{2}O_2 + \frac{E}{100} \times 3.76N_2 + \frac{d}{28}N_2$$

- พิจารณาการเผาไหม้ที่รวมเอาความชื้นในกากอ้อย (Incomplete Combustion with Moisture Content in Bagasse)



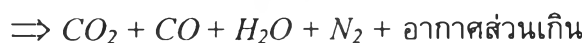
เขียนอยู่ในรูปสมการเคมีได้ดังนี้

$$\left[\frac{a}{12}C + \frac{b}{2}H_2 + \frac{c}{32}O_2 + \frac{d}{28}N_2 \right] + \left[\frac{E}{100}(O_2 + 3.76 N_2) \right] + \left[\frac{104}{18}H_2O \right]$$

$$\Rightarrow \left(\frac{a}{12} - Y \right) CO_2 + YCO + \frac{b}{2}H_2O + \frac{(E-100)}{100}O_2 + \frac{Y}{2}O_2 + \frac{E}{100} \times 3.76N_2 + \frac{d}{28}N_2 + \frac{104}{18}H_2O \quad (\text{ข.3})$$

- พิจารณาการเผาไหม้ที่รวมเอาความชื้นในอากาศ (Incomplete Combustion with Moisture Content in Air)

กากอ้อย + อากาศ + น้ำในการอ้อย + น้ำในอากาศ



เขียนอยู่ในรูปสมการเคมีได้ดังนี้

$$\left[\frac{a}{12}C + \frac{b}{2}H_2 + \frac{c}{32}O_2 + \frac{d}{28}N_2 \right] + \left[\frac{E}{100}(O_2 + 3.76 N_2 + xH_2O) \right] + \left[\frac{104}{18} H_2O \right]$$

$$\Rightarrow \left(\frac{a}{12} - Y \right) CO_2 + YCO + \frac{b}{2}H_2O + \frac{(E-100)}{100}O_2 + \frac{Y}{2}O_2 + \frac{E}{100} \times 3.76N_2$$

$$+ \frac{d}{28}N_2 + \frac{Ex}{100}H_2O + \frac{104}{18}H_2O \quad (ข.4)$$

โดยที่

| | | |
|-----|-----|----------------------------|
| E | คือ | %ของอากาศใช้สันดาปทางทฤษฎี |
| x | คือ | จำนวนโมลของไอน้ำในอากาศ |
| Y | คือ | จำนวนโมลของ CO |
| a | คือ | % โดยมวลของ C ในกากอ้อย |
| b | คือ | % โดยมวลของ H ในกากอ้อย |
| c | คือ | % โดยมวลของ O ในกากอ้อย |
| d | คือ | % โดยมวลของ N ในกากอ้อย |

ในการตรวจสอบร้อยละของ O_2 , CO และ CO_2 จะใช้วิธีการตรวจสอบตรงโดยใช้เครื่องวิเคราะห์ก๊าซ (Flue Gas Analyzer: Testo 350)

อุณหภูมิก๊าซร้อนทิ้งอุณหภูมิ 250 °C น้ำอยู่ที่สภาวะไอ เมื่อก๊าซร้อนทิ้งถูกดูดเข้า ปีมซึ่งทำงานที่อุณหภูมิประมาณอุณหภูมิบรรยากาศ ไอน้ำในก๊าซร้อนทิ้งกลั่นตัวบางส่วนคำนวณ ได้โดยสมการ

$$NM_{WC} = \frac{NM_w - \left(\frac{P_{v,a}}{P_{atm}}\right) NM_{Exh}}{1 - \left(\frac{P_{v,a}}{P_a}\right)} \quad (ข.5)$$

จำนวนโมลของไอน้ำที่เหลืออยู่ในก๊าซร้อนทิ้ง = (8.75 + Ex/100) - NM_{WC}

เมื่อ

| | | |
|------------|---|--|
| E | = | % การใช้อากาศตามทฤษฎี |
| NM_{WC} | = | จำนวนโมลน้ำกลั่นตัวที่อุณหภูมิบรรยากาศ |
| NM_w | = | จำนวนโมลของไอน้ำในก๊าซร้อนทิ้ง |
| NM_{Exh} | = | จำนวนโมลรวมของก๊าซร้อนทิ้ง |
| x | = | จำนวนโมลไอน้ำในอากาศ |
| $P_{v,a}$ | = | ความดันไอน้ำที่อุณหภูมิบรรยากาศ |
| P_a | = | ความดันบรรยากาศ |

- การคำนวณทางด้านพลังงาน

$$Q_{Bagasse} = Q_c - Q_{Flue\ gas} - Q_{Surface} - Q_{Unburn\ bagasse} - Q_{Blow\ down} \quad (ข.6)$$

เมื่อ

| | | |
|---------------|---|---|
| $Q_{Bagasse}$ | = | พลังงานความร้อนที่ได้จากการสันดาปของกากอ้อยแห้ง 100 kg. ที่ความชื้น 51% |
| Q_c | = | เมื่อความร้อนจำเพาะกากอ้อยนำไปใช้ประโยชน์ |
| $Q_{Surface}$ | = | สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนที่ผืนเตา x ผลต่างอุณหภูมิเฉลี่ยของผืนเตากับ |

$$\begin{aligned}
 & \text{อุณหภูมิของบรรยากาศ} \times \text{พื้นที่ผืนังเตา} \\
 Q_{\text{Unburn bagasse}} &= \text{ความร้อนสูญเสียเนื่องจากการ Blow down} \\
 &= (\text{มวลน้ำป้อน-มวลไอน้ำ}) \times (h_f \text{ ที่ความดันไอน้ำ} - h_f \text{ น้ำที่อุณหภูมิบรรยากาศ}) \\
 Q_{\text{Flue gas}} &= \text{ความร้อนสูญเสียทางก๊าซร้อนทิ้ง} \\
 &= Q_{\text{Moistures in bagasse}} + Q_{c_p \text{ gass}} + Q_{\text{Incomplete}} \quad (\text{ข.7})
 \end{aligned}$$

โดยที่

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{Moistures in bagasse}} &= \text{ความร้อนแฝงสูญเสียเพื่อไ้ระเหยน้ำในกากอ้อย} \\
 &= \text{มวลน้ำในกากอ้อย} \times h_f \text{ (ที่อุณหภูมิบรรยากาศ)} \\
 Q_{c_p \text{ gass}} &= \text{ความร้อนจำเพาะก๊าซร้อน} \\
 &= \text{มวลก๊าซร้อน} \times c_p \times (\text{อุณหภูมิก๊าซร้อน} - \text{อุณหภูมิบรรยากาศ}) \\
 Q_{\text{Incomplete}} &= \text{ความร้อนสูญเสียเนื่องจากเผาไหม้ไม่สมบูรณ์} \\
 &= \text{ปริมาณ } CO(\text{ppm})/10^6 \times \text{จำนวนโมลก๊าซร้อน} \times \text{ผลต่างเอนทาลปีของการสันดาปของ} \\
 & \quad CO_2 \text{ และ } CO
 \end{aligned}$$

- การคำนวณหาอัตราการใช้กากอ้อย

$$\begin{aligned}
 \text{อัตราการใช้กากอ้อย} (\dot{m}_{\text{Bagasse}}) &= \{ \text{อัตราการไหลไอน้ำ} \times (h_o - h_{fi}) + Q_{\text{Flue gas}} + Q_{\text{Surface}} + \\
 & \quad Q_{\text{Unburn bagasse}} + Q_{\text{Blow down}} \} / Q_{\text{Bagasse}} \quad (\text{ข.8})
 \end{aligned}$$

เมื่อ

$$\begin{aligned}
 \dot{m}_{\text{Bagasse}} &= \text{อัตราการใช้กากอ้อย} \\
 h_o \text{ และ } h_{fi} &= \text{พลังงานของไอน้ำที่จ่ายจากหม้อไอน้ำและน้ำป้อนตามลำดับ}
 \end{aligned}$$

- ประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำ

$$\eta = \frac{\text{พลังงานที่ใช้ในการต้มน้ำ}}{\text{พลังงานจากการเผาไหม้เชื้อเพลิง} + \text{พลังงานกล}} \quad (\text{ข.9})$$

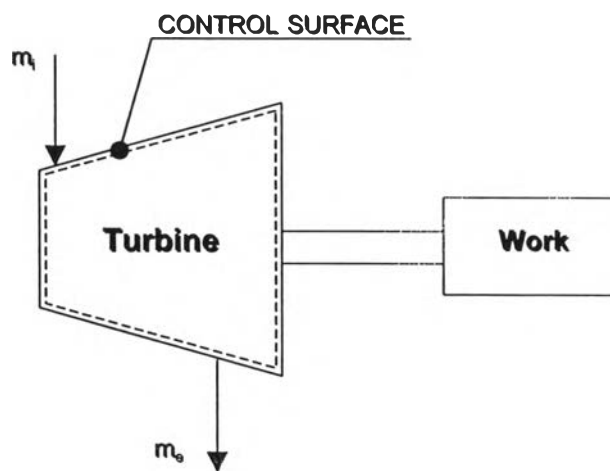
$$\eta = \frac{\dot{m}_{\text{Steam}} (h_{\text{Steam}} - h_{\text{Water}})}{\dot{m}_{\text{Bagasse}} LHV + \dot{W}} \quad (\text{ข.10})$$

โดยที่

| | | |
|--------------------------------------|---|--|
| \dot{m}_{Steam} | = | อัตราไอน้ำที่ผลิตได้ |
| \dot{m}_{Bagasse} | = | อัตราการใช้กากอ้อย |
| $h_{\text{Steam}}, h_{\text{Water}}$ | = | พลังงานที่อยู่ในไอน้ำและในน้ำป้อน ตามลำดับ |
| \dot{W} | = | พลังงานไฟฟ้าหรือพลังงานกล |
| LHV | = | ค่าความร้อนต่ำในกากอ้อย |

ข.3 กังหันไอน้ำ

กังหันไอน้ำเป็นอุปกรณ์ผลิตต้นกำลังเพื่อขับอุปกรณ์ที่ต้องการกำลังกลเพื่อผลิตงานตามความต้องการ หลักการทำงานของกังหันไอน้ำนั้นจะแปรเปลี่ยนพลังงานความร้อนที่อยู่ในรูปของไอน้ำความดันสูงไปเป็นพลังงานกลโดยอาศัยการขยายตัวของของไหลภายในพื้นที่ควบคุมแล้วขับกังหันทำให้เกิดกำลังทางกล



รูปที่ ข.2 แสดงขอบเขตปริมาตรควบคุมของกังหันไอน้ำ

กำหนดปริมาณควบคุมเฉพาะกังหันไอน้ำ ให้การไหลของไอน้ำผ่านกังหันไอน้ำเป็นแบบสภาวะอยู่ตัว การไหลอยู่ตัว (Steady State Steady Flow: SSSF) นั่นคือ

1. สภาวะต่างๆ ของปริมาตรควบคุมและสภาวะข้างเคียงคงที่
2. ความเร็วและคุณสมบัติมีค่าคงที่ตลอดพื้นผิวดของการไหล ทั้งทางเข้าและทางออกและไม่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลา
3. อัตราการไหลเชิงมวลเข้าเท่ากับอัตราการไหลเชิงมวลออก คือ ไม่มีการเปลี่ยนแปลงของมวลภายในปริมาตรควบคุม
4. อัตราการถ่ายเทความร้อนและการทำงานผ่านพื้นผิวควบคุมค่าคงที่

- ประสิทธิภาพตามกฎข้อที่หนึ่งของเทอร์โมไดนามิกส์

จากกฎข้อที่หนึ่งของเทอร์โมไดนามิกส์สำหรับปริมาตรควบคุมแบบสภาวะอยู่ตัว การไหลอยู่ตัว

$$\dot{Q} - \dot{W} = \sum \dot{m}_e \left(h_e + \frac{V_e^2}{2} + gz_e \right) - \sum \dot{m}_i \left(h_i + \frac{V_i^2}{2} + gz_i \right) \quad (\text{ข.11})$$

สำหรับกังหันไอน้ำภายใต้สภาวะการไหลของไอน้ำผ่านกังหันไอน้ำเป็นแบบสภาวะอยู่ตัว การไหลอยู่ตัว นั่นคือ สภาวะการทำงานของกังหันไอน้ำแบบจินตนาการ(Ideal Process) ซึ่งก็คือกระบวนการแบบไอเซนทรอปิก ความแตกต่างของพลังงานระหว่างสภาวะขาเข้า(ความดันและอุณหภูมิ)และความดันไอน้ำขาออก สิ่งที่เราได้จากกระบวนการนี้ก็คืองานที่กังหันไอน้ำผลิตได้

พิจารณาให้กังหันไอน้ำมีการถ่ายเทความร้อน การเปลี่ยนแปลงพลังงานศักย์และพลังงานจลน์มีค่าน้อยและตัดทิ้งได้ ดังนั้น งานที่ระบบผลิตได้จะเท่ากับ

$$\dot{W} = \dot{m}(h_i - h_e) \quad (\text{ข.12})$$

การหาประสิทธิภาพของกังหันไอน้ำแบบไอเซนทรอปิก จะมีค่าเป็นอัตราส่วนของงานที่ได้จากระบบจริงต่องานที่ได้จากระบบแบบไอเซนทรอปิก

$$\eta_T = \frac{\text{actual turbine work}}{\text{isentropic turbine work}} = \frac{w_a}{w_s} \quad (\text{ข.13})$$

โดยที่ ค่าการเปลี่ยนแปลงพลังงานศักย์และพลังงานจลน์ของของไหลที่ผ่านเข้าสู่ระบบมีค่าน้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับค่าการเปลี่ยนแปลงของพลังงานภายในของของไหล(Enthalpy) จึงไม่นำมาพิจารณาไปด้วย ดังนั้นงานที่เกิดขึ้นเนื่องจากกังหันไอน้ำจะอยู่ในรูปของการเปลี่ยนแปลงของพลังงานภายในของของไหล และจากความสัมพันธ์ข้างต้นสำหรับเหตุการณ์นี้จะสามารถกล่าวได้ว่า

$$\eta_T \cong \frac{h_1 - h_2}{h_1 - h_{2s}} \quad (\text{ข.14})$$

- ประสิทธิภาพตามกฎข้อที่สองของเทอร์โมไดนามิกส์

$$\dot{Q} - \dot{W} = \sum \dot{m}_e \left(h_e + \frac{V_e^2}{2} + gz_e \right) - \sum \dot{m}_i \left(h_i + \frac{V_i^2}{2} + gz_i \right) \quad (\text{ข.11})$$

$$\dot{Q} - \dot{W} = \dot{m} \Delta h + \Delta ke + \Delta pe \quad (\text{ข.15})$$

จากกฎข้อที่สองของเทอร์โมไดนามิกส์

$$\dot{S}_{Gen} = \sum \dot{m}_e s_e - \sum \dot{m}_i s_i + \frac{\dot{Q}_{surr}}{T_0} \quad (\text{ข.16})$$

เมื่อ $\dot{Q}_{surr} = -\dot{Q}$ และ \dot{S}_{Gen} คือ อัตราการเกิดของค่าเอนโทรปีของระบบ

พิจารณาสมการทั้งสองจะได้

$$\dot{W} = \sum \dot{m}_i \left(h_i + \frac{V_i^2}{2} + gz_i - T_0 s_i \right) - \sum \dot{m}_e \left(h_e + \frac{V_e^2}{2} + gz_e - T_0 s_e \right) - T_0 \dot{S}_{Gen} \quad (\text{ข.17})$$

สมการข้างต้นคืองานที่ระบบทำได้จริงๆ (Actual Work) หรือเรียกอีกอย่างว่า งานที่เกิดประโยชน์ (Useful Work) โดยที่ระบบมีการไหลแบบคงตัวและพื้นที่ควบคุมของระบบถูกบังคับดังแสดงในรูปที่ ข.2 ส่วนงานที่ผันกลับไม่ได้ (Reversible Work) สามารถหาได้โดยให้ค่าของ \dot{S}_{Gen} เท่ากับศูนย์ จะได้เป็น

$$\dot{W}_{rev} = \sum \dot{m}_i \left(h_i + \frac{V_i^2}{2} + gz_i - T_0 s_i \right) - \sum \dot{m}_e \left(h_e + \frac{V_e^2}{2} + gz_e - T_0 s_e \right) \quad (\text{ข.18})$$

สำหรับของไหลที่ไหลเข้าอุปกรณ์ที่มีการไหลคงตัวเพียงชนิดเดียว

$$\dot{W}_{rev} = \dot{m} \left[(h_i - h_e) - T_0 (s_i - s_e) + \frac{V_i^2 - V_e^2}{2} + g(z_i - z_e) \right] \quad (\text{ข.19})$$

หรือ

$$w_{rev} = (h_i - h_e) - T_0 \times (s_i - s_e) + \frac{V_i^2 - V_e^2}{2} + g \times (z_i - z_e) \quad (\text{ข.20})$$

$$= T_0 \Delta s - \Delta h - \Delta ke - \Delta pe \quad (\text{ข.21})$$

จาก (ข.20) พิจารณาให้กังหันไอน้ำมีการถ่ายเทความร้อน การเปลี่ยนแปลงพลังงานศักย์และพลังงานจลน์มีค่าน้อยมากและสามารถตัดทิ้งได้ ดังนั้นจะสามารถเขียนสมการใหม่ได้ดังนี้

$$\dot{W}_{rev} = \dot{m}[(h_i - h_e) - T_0(s_i - s_e)] \quad (\text{ข.22})$$

ดังนั้นประสิทธิภาพของกังหันไอน้ำตามกฎข้อที่สองของเทอร์โมไดนามิกส์เป็น

$$\eta_{II} = \frac{\dot{W}}{\dot{W}_{rev}} \times 100 \quad (\text{ข.23})$$

- กำลังงานที่ผลิตได้จากกังหันไอน้ำ

พิจารณาความดันไอน้ำขาเข้ากังหันไอน้ำที่ $40 \text{ kg/cm}^2 \text{ G}$ อุณหภูมิไอน้ำ $450 \text{ }^\circ\text{C}$ จากตารางไอน้ำยิ่งยวด จะได้

$$h_i = 3330 \text{ kJ/kg}$$

$$s_i = 6.936 \text{ kJ/kg.K}$$

พิจารณาความดันไอน้ำขาเข้ากังหันไอน้ำที่ $1.5 \text{ kg/cm}^2 \text{ G}$ อุณหภูมิไอน้ำ $120 \text{ }^\circ\text{C}$ จากตารางไอน้ำยิ่งยวด จะได้

$$h_e = 2711 \text{ kJ/kg}$$

$$s_e = 7.269 \text{ kJ/kg.K}$$

กำลังงานที่ผลิตได้จากกังหันไอน้ำต่ออัตราการไหลของไอน้ำผ่านกังหันไอน้ำแบบไอเซน
 ทรอปิก 1 kg/h สามารถหาได้จากสมการที่ (ข.12) จะได้ดังต่อไปนี้

$$P_{Turbine} = \dot{m}(h_i - h_e)$$

$$P_{Turbine} = 1 \times (3330 - 2711)$$

$$= 619 \quad \text{kJ/h}$$

เพราะฉะนั้น กำลังงานที่ผลิตได้จากกังหันไอน้ำต่ออัตราการไหลของไอน้ำผ่านกังหันไอน้ำ
 แบบไอเซนทรอปิก 1000 kg/h (Power to Steam Ratio : PSR)

$$\text{PSR} = 619 \times 1000 / 3600$$

$$= 171.94 \text{ kW}/(1000 \text{ kg/h})$$

หรือ

$$\text{PSR} = 171.94 \text{ kW}/(\text{ton/h})$$

ภาคผนวก ค.

ข้อมูลจากการตรวจวัดการใช้พลังงาน

ค.1 บทนำ

ข้อมูลการทำงานของโรงงานน้ำตาลตัวอย่าง 3 โรงงานนี้เป็นข้อมูลการปฏิบัติงานของโรงงานน้ำตาลในฤดูการผลิตปี 2540/2541 โดยจะสมมติให้การปฏิบัติงานของโรงงานน้ำตาลแต่ละโรงงานมีสภาวะเดียวกันตลอดช่วงฤดูหีบอ้อยโดยไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก

ค.2 ข้อมูลโดยทั่วไปของโรงงานน้ำตาลตัวอย่าง

ในการประเมินประสิทธิภาพของโรงงานตัวอย่างนี้ ผู้จัดทำวิทยานิพนธ์ได้ทำการคัดเลือกโรงงานตัวอย่างมา 3 โรงงาน(ภาคผนวก ก.) เพื่อเป็นตัวอย่างในการประเมิน ดังนี้

1. โรงงานน้ำตาล ก. เป็นโรงงานน้ำตาลขนาดกลาง ตั้งอยู่ในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ มีกำลังการผลิต 15000 ตันต่อวัน ในฤดูการผลิตปี 2540/2541 เริ่มทำการหีบอ้อยเมื่อวันที่ 25 พฤศจิกายน พ.ศ. 2540และสิ้นสุดการหีบอ้อยเมื่อวันที่ 25 มีนาคม พ.ศ. 2541 รวมเป็นระยะเวลาหีบอ้อย 121 วันและในช่วงนอกฤดูหีบอ้อยจะทำการละลายน้ำตาลจนกว่ากากอ้อยจะหมด (โรงงานจะสำรองกากอ้อยไว้ใช้ในการขุนเตาในฤดูการผลิตต่อไป 100,000 ตัน) ตลอดฤดูหีบอ้อยมีอ้อยเข้าหีบสุทธิเป็น 1,743,215 ตัน ผลิตน้ำตาลเป็นปริมาณ 191,650 ตัน (คิดเป็น 9.1 ตันอ้อยต่อตันน้ำตาล) ในส่วนของโรงงานมีหม้อไอน้ำ 5 ตัว (กำลังการผลิตไอน้ำ 55 ตันต่อชั่วโมง 4 ตัวและ 250 ตันต่อชั่วโมง 1 ตัว) ทำงานที่ 2 ความดัน คือ ที่ความดันทำงานประมาณ $20 \text{ kg/cm}^2 \text{ G}$ และ $30 \text{ kg/cm}^2 \text{ G}$ กังหันไอน้ำที่ใช้แบ่งออกเป็น 2 ระบบ ทำงานที่ความดันต่างกัน ในแต่ละความดันจะมีกังหันไอน้ำที่ทำหน้าที่ขับเคลื่อนเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ลุกหีบและอุปกรณ์ที่จำเป็นอื่นๆ โรงงานมีกำลังการผลิตไฟฟ้ารวม 27 MW แบ่งเป็น 2 ระบบได้แก่ ที่ความดันไอน้ำ $20 \text{ kg/cm}^2 \text{ G}$ มีกำลังการผลิตไฟฟ้าเป็น 15 MW โดยใช้หม้อไอน้ำ 4 ตัว ผลิตไอน้ำจ่ายให้แก่กังหันไอน้ำขนาด 2.5 MW 2 ตัวและขนาด 10 MW 1 ตัว หม้อไอน้ำแต่ละตัวมีกำลังการผลิตไอน้ำขนาดเท่าๆกันคือ 55 ton/h ทำให้หม้อไอน้ำแต่ละลูกต้องรับภาระการผลิตไฟฟ้าลูกละ 3.75 MW โดยประมาณ ส่วนที่ความดันไอน้ำเป็น $30 \text{ kg/cm}^2 \text{ G}$ มีกำลังการผลิตไฟฟ้าเป็น 12 MW โดยใช้หม้อไอน้ำขนาด 250 ton/h

2. โรงงานน้ำตาล ข. เป็นโรงงานน้ำตาลขนาดใหญ่ ตั้งอยู่ในพื้นที่ภาคเหนือ มีกำลังการผลิต 18000 ตันต่อวัน ในฤดูการผลิตปี 2540/2541 เริ่มทำการหีบอ้อยเมื่อวันที่ 23 ธันวาคม พ.ศ. 2540 และสิ้นสุดการหีบอ้อยเมื่อวันที่ 1 เมษายน พ.ศ. 2541 รวมเป็นระยะเวลาหีบอ้อย 100 วัน มีอ้อยเข้าหีบสุทธิเป็น 1,100,778 ตัน ผลิตน้ำตาลเป็นปริมาณ 109,032 ตัน (คิดเป็น 10.10 ตันอ้อยต่อตันน้ำตาล) ในส่วนของโรงงานมีหม้อไอน้ำ 5 ตัว (กำลังการผลิตไอน้ำ 72 ตันต่อชั่วโมง 2 ตัวและ 60 ตันต่อชั่วโมง 3 ตัว) ทำงานที่ความดันทำงานประมาณ $22 \text{ kg/cm}^2 \text{ G}$ มีกังหันไอน้ำทำหน้าที่ขับเคลื่อนเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ลุกหีบและอุปกรณ์ที่จำเป็นอื่นๆ โดยที่ระบบมีกำลังการผลิตไฟฟ้าเป็น 16.4 MW โดยใช้ไอน้ำจากหม้อไอน้ำ 5 ตัว

3. โรงงานน้ำตาล ค. เป็นโรงงานน้ำตาลขนาดเล็ก ตั้งอยู่ในพื้นที่ภาคตะวันออก มีกำลังการผลิต 6,000 ตันต่อวัน ในฤดูการผลิตปี 2540/2541 เริ่มทำการหีบอ้อยเมื่อวันที่ 18 ธันวาคม พ.ศ. 2540 และสิ้นสุดการหีบอ้อยเมื่อวันที่ 8 มีนาคม พ.ศ. 2541 รวมเป็นระยะเวลาหีบอ้อย 81 วัน มีอ้อยเข้าหีบสุทธิเป็น 404,997 ตัน ผลิตน้ำตาลเป็นปริมาณ 34,940 ตัน (คิดเป็น 11.59 ตันอ้อยต่อตันน้ำตาล) ในส่วนของโรงงานมีหม้อไอน้ำ 4 ตัว (กำลังการผลิตไอน้ำ 10, 20, 30 และ 80 ตันต่อชั่วโมงอย่างละ 1 ตัว) ทำงานที่ 3 ความดัน คือ ที่ความดันทำงานประมาณ 7, 15 และ $25 \text{ kg/cm}^2 \text{ G}$ ไอน้ำที่ใช้แบ่งออกเป็น 3 ระบบที่ความดันต่างกัน ที่ความดัน $7 \text{ kg/cm}^2 \text{ G}$ จะผลิตไอน้ำจ่ายให้กับเครื่องจักรไอน้ำ 2 ตัว ส่วนที่ความดันอื่นๆจะผลิตไอน้ำจ่ายให้กับกังหันไอน้ำที่ทำหน้าที่ขับเคลื่อนเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ลุกหีบและอุปกรณ์ที่จำเป็นอื่นๆ โรงงานมีกำลังการผลิตไฟฟ้ารวม 10 MW แบ่งเป็น 2 ระบบ ได้แก่ ระบบความดันไอน้ำ $15 \text{ kg/cm}^2 \text{ G}$ นั้นมีกำลังการผลิตไฟฟ้าเป็น 2.5 MW ใช้หม้อไอน้ำขนาด 20 และ 30 ton/h ส่วนที่ระบบไอน้ำความดัน $25 \text{ kg/cm}^2 \text{ G}$ มีกำลังการผลิตไฟฟ้าเป็น 7.5 MW โดยใช้หม้อไอน้ำขนาด 80 ton/h

ค.3 ข้อมูลทำงานของหม้อไอน้ำและกังหันไอน้ำ

ตารางที่ ค.1 ข้อมูลการทำงานของหม้อไอน้ำลูกลูกที่ 1 ของโรงงานน้ำตาล ก.(ข้อมูลการทำงานวันที่ 24 ธันวาคม พ.ศ. 2540)

| Time period | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
|---------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Water counter (ton) | 11099 | 11124 | 11158 | 11180 | 11199 | 11222 | 11247 | 11275 | 11302 | 11326 | 11352 | 11389 |
| Pressure (kg/cm ² G) | 25 | 28 | 26 | 25 | 28 | 25 | 24 | 24 | 24 | 23 | 23 | 24 |
| Temperature (°C) | 103 | 103 | 103 | 103 | 103 | 103 | 103 | 103 | 103 | 103 | 103 | 103 |
| Steam counter (ton) | 18865 | 18901 | 18955 | 18985 | 19009 | 19043 | 19081 | 19120 | 19163 | 19198 | 19236 | 19294 |
| Pressure (kg/cm ² G) | 18 | 18 | 20 | 19 | 19 | 19 | 18 | 19 | 16 | 16 | 19 | 19 |
| Temperature (°C) | 348 | 352 | 354 | 335 | 354 | 390 | 372 | 347 | 378 | 361 | 367 | 359 |

| Time period | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 |
|---------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Water counter (ton) | 11407 | 11429 | 11452 | 11488 | 11499 | 11523 | 11542 | 11568 | 11593 | 11619 | 11646 | 11674 |
| Pressure (kg/cm ² G) | 24 | 26 | 25 | 25 | 24 | 29 | 24 | 23 | 25 | 23 | 23 | 23 |
| Temperature (°C) | 103 | 103 | 103 | 103 | 103 | 103 | 103 | 103 | 103 | 103 | 103 | 103 |
| Steam counter (ton) | 19319 | 19347 | 19378 | 19410 | 19469 | 19483 | 19511 | 19569 | 19589 | 19624 | 19660 | 19702 |
| Pressure (kg/cm ² G) | 18 | 19 | 20 | 19 | 18 | 19 | 19 | 17 | 20 | 17 | 18 | 19 |
| Temperature (°C) | 337 | 331 | 338 | 348 | 394 | 315 | 376 | 363 | 357 | 359 | 354 | 350 |

ตารางที่ ค.2 ข้อมูลการทำงานของหม้อไอน้ำลูกที่ 2 ของโรงงานน้ำตาล ก.(ข้อมูลการทำงานวันที่ 24 ธันวาคม พ.ศ. 2540)

| Time period | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
|---------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Water counter (ton) | 12288 | 12314 | 12351 | 12378 | 12397 | 12423 | 12455 | 12482 | 12515 | 12546 | 12569 | 12605 |
| Pressure (kg/cm ² G) | 26 | 28 | 26 | 29 | 28 | 22 | 24 | 21 | 25 | 24 | 24 | 24 |
| Temperature (°C) | 103 | 103 | 103 | 103 | 103 | 103 | 103 | 103 | 103 | 103 | 103 | 103 |
| Steam counter (ton) | 19819 | 19862 | 19921 | 19959 | 19982 | 20022 | 20070 | 20114 | 20165 | 20204 | 20251 | 20304 |
| Pressure (kg/cm ² G) | 18 | 18 | 20 | 19 | 19 | 19 | 18 | 19 | 16 | 16 | 19 | 19 |
| Temperature (°C) | 328 | 355 | 371 | 364 | 356 | 362 | 329 | 372 | 353 | 378 | 358 | 367 |

| Time period | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 |
|---------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Water counter (ton) | 12629 | 12652 | 12678 | 12699 | 12731 | 12755 | 12778 | 12806 | 12832 | 12857 | 12885 | 12917 |
| Pressure (kg/cm ² G) | 25 | 27 | 24 | 25 | 25 | 24 | 27 | 25 | 26 | 24 | 22 | 23 |
| Temperature (°C) | 103 | 103 | 103 | 103 | 103 | 103 | 103 | 103 | 103 | 103 | 103 | 103 |
| Steam counter (ton) | 20338 | 20368 | 20405 | 20435 | 20484 | 20517 | 20550 | 20587 | 20627 | 20663 | 20706 | 20758 |
| Pressure (kg/cm ² G) | 19 | 19 | 20 | 19 | 18 | 17 | 19 | 17 | 20 | 17 | 18 | 19 |
| Temperature (°C) | 327 | 310 | 369 | 356 | 318 | 250 | 286 | 300 | 283 | 306 | 335 | 297 |

ตารางที่ ค.3 ข้อมูลการทำงานของหม้อไอน้ำลูกที่ 3 ของโรงงานน้ำตาล ก.(ข้อมูลการทำงานวันที่ 24 ธันวาคม พ.ศ. 2540)

| Time period | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
|---------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Water counter (ton) | 14772 | 14793 | 14823 | 14843 | 14860 | 14880 | 14904 | 14927 | 14952 | 14975 | 14997 | 15029 |
| Pressure (kg/cm ² G) | 25 | 25 | 26 | 27 | 28 | 23 | 23 | 24 | 28 | 25 | 24 | 24 |
| Temperature (°C) | 103 | 103 | 103 | 103 | 103 | 103 | 103 | 103 | 103 | 103 | 103 | 103 |
| Steam counter (ton) | 19171 | 19207 | 19246 | 19269 | 19291 | 19314 | 19344 | 19375 | 19408 | 19439 | 19468 | 19511 |
| Pressure (kg/cm ² G) | 18 | 18 | 20 | 19 | 19 | 19 | 18 | 19 | 16 | 16 | 19 | 19 |
| Temperature (°C) | 313 | 307 | 314 | 319 | 296 | 293 | 276 | 288 | 300 | 309 | 298 | 341 |

| Time period | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 |
|---------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Water counter (ton) | 15048 | 15067 | 15087 | 15104 | 15128 | 15154 | 15176 | 15196 | 15215 | 15233 | 15256 | 15283 |
| Pressure (kg/cm ² G) | 25 | 26 | 26 | 23 | 23 | 28 | 27 | 25 | 24 | 23 | 23 | 25 |
| Temperature (°C) | 103 | 103 | 103 | 103 | 103 | 103 | 103 | 103 | 103 | 103 | 103 | 103 |
| Steam counter (ton) | 19532 | 19552 | 19576 | 19594 | 19634 | 19665 | 19693 | 19715 | 19735 | 19755 | 19780 | 19815 |
| Pressure (kg/cm ² G) | 19 | 19 | 20 | 19 | 18 | 17 | 19 | 17 | 20 | 17 | 18 | 19 |
| Temperature (°C) | 309 | 285 | 294 | 269 | 344 | 297 | 342 | 295 | 330 | 361 | 352 | 275 |

ตารางที่ ค.4 ข้อมูลการทำงานของหม้อไอน้ำลูกที่ 4 ของโรงงานน้ำตาล ก.(ข้อมูลการทำงานวันที่ 24 ธันวาคม พ.ศ. 2540)

| Time period | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
|---------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Water counter (ton) | 15455 | 15480 | 15520 | 15547 | 15563 | 15591 | 15625 | 15655 | 15685 | 15713 | 15742 | 15780 |
| Pressure (kg/cm ² G) | 26 | 26 | 26 | 25 | 28 | 24 | 19 | 25 | 25 | 27 | 23 | 24 |
| Temperature (°C) | 103 | 103 | 103 | 103 | 103 | 103 | 103 | 103 | 103 | 103 | 103 | 103 |
| Steam counter (ton) | 21852 | 21899 | 21965 | 22001 | 22025 | 22069 | 22118 | 22166 | 22222 | 22268 | 22317 | 22373 |
| Pressure (kg/cm ² G) | 28 | 47 | 66 | 36 | 24 | 44 | 49 | 48 | 56 | 46 | 49 | 56 |
| Temperature (°C) | 340 | 340 | 340 | 340 | 340 | 340 | 340 | 340 | 340 | 340 | 340 | 340 |

| Time period | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 |
|---------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Water counter (ton) | 15799 | 15824 | 15847 | 15873 | 15899 | 15923 | 15945 | 15974 | 15995 | 16017 | 16043 | 16078 |
| Pressure (kg/cm ² G) | 25 | 24 | 25 | 24 | 23 | 24 | 26 | 26 | 29 | 23 | 21 | 24 |
| Temperature (°C) | 103 | 103 | 103 | 103 | 103 | 103 | 103 | 103 | 103 | 103 | 103 | 103 |
| Steam counter (ton) | 22395 | 22431 | 22460 | 22497 | 22539 | 22574 | 22601 | 22644 | 22665 | 22696 | 22731 | 22779 |
| Pressure (kg/cm ² G) | 22 | 36 | 29 | 37 | 42 | 35 | 27 | 43 | 21 | 31 | 35 | 48 |
| Temperature (°C) | 340 | 340 | 340 | 340 | 340 | 340 | 340 | 340 | 340 | 340 | 340 | 340 |

ตารางที่ ค.5 ข้อมูลการทำงานของหม้อไอน้ำลูกที่ 5 ของโรงงานน้ำตาล ก.(ข้อมูลการทำงานวันที่ 24 ธันวาคม พ.ศ. 2540)

| Time period | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
|---------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Water counter (ton) | 181047 | 181270 | 181520 | 181734 | 181934 | 182157 | 182366 | 182634 | 182865 | 183036 | 183280 | 183513 |
| Pressure (kg/cm ² G) | 42 | 41.5 | 40.7 | 41.3 | 41 | 40.6 | 41.6 | 42 | 40.5 | 41 | 41 | 41 |
| Temperature (°C) | 103 | 104 | 103 | 104 | 102 | 103 | 104 | 104 | 103 | 103 | 104 | 104 |
| Steam counter (ton) | 122833 | 123076 | 123306 | 123535 | 123734 | 123958 | 124165 | 124432 | 124664 | 124835 | 125080 | 125312 |
| Pressure (kg/cm ² G) | 28.9 | 28.4 | 29.2 | 28.1 | 28.5 | 28.9 | 29.2 | 29.1 | 29.1 | 29.1 | 30 | 28.5 |
| Temperature (°C) | 366 | 359 | 370 | 379 | 364 | 367 | 379 | 384 | 381 | 366 | 390 | 375 |

| Time period | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 |
|---------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Water counter (ton) | 183712 | 183926 | 184156 | 184351 | 184581 | 184792 | 184986 | 185209 | 185425 | 185529 | 185877 | 186043 |
| Pressure (kg/cm ² G) | 41.7 | 41.5 | 41.1 | 41.4 | 41.6 | 41.6 | 41.2 | 42.1 | 40.9 | 41.6 | 42.8 | 41.8 |
| Temperature (°C) | 103 | 103 | 103 | 103 | 103 | 105 | 104 | 102 | 105 | 103.1 | 103.1 | 103.3 |
| Steam counter (ton) | 125509 | 125732 | 125952 | 126149 | 126385 | 126599 | 126781 | 127003 | 127221 | 127421 | 127667 | 127883 |
| Pressure (kg/cm ² G) | 28.4 | 28.8 | 28.7 | 29 | 29 | 27.8 | 29.2 | 29 | 28 | 29 | 30 | 29.5 |
| Temperature (°C) | 370 | 357 | 375 | 382 | 364 | 384 | 376 | 386 | 389 | 382 | 372 | 387 |

ตารางที่ ค.6 ข้อมูลการทำงานของหม้อไอน้ำลูกที่ 1 ของโรงงานน้ำตาล ข. (ข้อมูลการทำงานวันที่ 13 มกราคม พ.ศ. 2541)

| Time period | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
|---------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Water counter (ton) | 306476 | 307198 | 307836 | 308572 | 309291 | 309972 | 310633 | 311292 | 312022 | 312718 | 313383 | 313967 |
| Pressure (kg/cm ² G) | 22 | 21.5 | 21.5 | 22 | 22 | 21 | 21 | 21 | 21 | 22 | 21.5 | 21 |
| Temperature (°C) | 106 | 106 | 106 | 106 | 106 | 106 | 106 | 106 | 106 | 106 | 106 | 103 |
| Steam counter (ton) | 311323 | 312064 | 312719 | 313474 | 314206 | 314830 | 315556 | 316240 | 316990 | 317703 | 318374 | 318975 |
| Pressure (kg/cm ² G) | 22 | 21.5 | 21.5 | 22 | 22 | 21.5 | 21.5 | 21.5 | 21.5 | 22 | 21.5 | 21.5 |
| Temperature (°C) | 274 | 278 | 265 | 273 | 269 | 262 | 264 | 267 | 274 | 272 | 257 | 270 |

ตารางที่ ค.7 ข้อมูลการทำงานของหม้อไอน้ำลูกที่ 2 ของโรงงานน้ำตาล ข. (ข้อมูลการทำงานวันที่ 13 มกราคม พ.ศ. 2541)

| Time period | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
|---------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Water counter (ton) | 287041 | 287687 | 288331 | 288831 | 289544 | 290175 | 290781 | 291381 | 292091 | 292769 | 293326 | 293879 |
| Pressure (kg/cm ² G) | 22 | 22 | 22 | 21.5 | 21.5 | 21 | 21.5 | 21.5 | 21 | 21.5 | 21 | 21 |
| Temperature (°C) | 108 | 108 | 108 | 108 | 108 | 108 | 108 | 108 | 108 | 107 | 108 | 103 |
| Steam counter (ton) | 288481 | 289130 | 289779 | 290391 | 291006 | 291639 | 292246 | 292857 | 293560 | 294219 | 294823 | 295376 |
| Pressure (kg/cm ² G) | 22 | 22 | 22 | 21.5 | 22 | 21.5 | 21.5 | 22 | 22 | 22 | 21.5 | 21.5 |
| Temperature (°C) | 361 | 369 | 372 | 340 | 364 | 360 | 347 | 362 | 373 | 361 | 358 | 355 |

ตารางที่ ค.8 ข้อมูลการทำงานของหม้อไอน้ำลูกที่ 3 ของโรงงานน้ำตาล ข. (ข้อมูลการทำงานวันที่ 13 มกราคม พ.ศ. 2541)

| Time period | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
|---------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Water counter (ton) | 226916 | 227431 | 227944 | 228493 | 229024 | 229469 | 230010 | 230501 | 231056 | 231576 | 232044 | 232461 |
| Pressure (kg/cm ² G) | 21.5 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21.5 |
| Temperature (°C) | 108 | 108 | 109 | 109 | 109 | 108 | 108 | 109 | 109 | 108 | 109 | 103 |
| Steam counter (ton) | 219531 | 220031 | 220528 | 221066 | 221581 | 222067 | 222530 | 223013 | 223559 | 224065 | 224614 | 224921 |
| Pressure (kg/cm ² G) | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21.5 | 21.5 | 21.5 | 21.5 | 21 | 21 | 21 |
| Temperature (°C) | 358 | 358 | 356 | 359 | 360 | 356 | 356 | 360 | 366 | 358 | 352 | 384 |

ตารางที่ ค.9 ข้อมูลการทำงานของหม้อไอน้ำลูกที่ 4 ของโรงงานน้ำตาล ข. (ข้อมูลการทำงานวันที่ 13 มกราคม พ.ศ. 2541)

| Time period | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
|---------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Water counter (ton) | 241231 | 241786 | 242336 | 242927 | 243497 | 244041 | 244560 | 245093 | 245685 | 246229 | 246724 | 247156 |
| Pressure (kg/cm ² G) | 21 | 21.5 | 21 | 21.5 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 |
| Temperature (°C) | 107 | 107 | 107 | 107 | 107 | 107 | 107 | 107 | 107 | 107 | 107 | 102 |
| Steam counter (ton) | 216586 | 217094 | 217601 | 218151 | 218674 | 219172 | 219642 | 220133 | 220682 | 221180 | 221631 | 222020 |
| Pressure (kg/cm ² G) | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21.5 | 21.5 | 21.5 | 21 | 21 | 21 |
| Temperature (°C) | 356 | 355 | 357 | 356 | 356 | 356 | 359 | 353 | 352 | 354 | 346 | 382 |

ตารางที่ ค.10 ข้อมูลการทำงานของหม้อไอน้ำลูกที่ 5 ของโรงงานน้ำตาล ข.(ข้อมูลการทำงานวันที่ 13 มกราคม พ.ศ. 2541)

| Time period | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
|---------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Water counter (ton) | 362647 | 363496 | 364326 | 365191 | 366011 | 366863 | 367672 | 368487 | 369329 | 370149 | 370933 | 371641 |
| Pressure (kg/cm ² G) | 23 | 23 | 23 | 23 | 23 | 23 | 23 | 23 | 23 | 23 | 23 | 23 |
| Temperature (°C) | 102 | 102 | 102 | 102 | 102 | 102 | 102 | 102 | 102 | 102 | 103 | 102 |
| Steam counter (ton) | 349681 | 350596 | 351315 | 352161 | 352953 | 353776 | 354560 | 355350 | 356171 | 356971 | 357727 | 358419 |
| Pressure (kg/cm ² G) | 20.5 | 20.5 | 21 | 20.5 | 20.5 | 20.5 | 20.5 | 20.5 | 20.5 | 20.5 | 20.5 | 20.5 |
| Temperature (°C) | 367 | 367 | 369 | 368 | 367 | 366 | 367 | 366 | 366 | 367 | 365 | 364 |

ตารางที่ ค.11 ข้อมูลการทำงานของหม้อไอน้ำลูกที่ 1 ของโรงงานน้ำตาล ค.(ข้อมูลการทำงานวันที่ 2 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2541)

| Time period | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
|---------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Water counter (ton) | 9327 | 9338 | 9350 | 9361 | 9373 | 9383 | 9394 | 9404 | 9415 | 9427 | 9438 | 9448 |
| Pressure (kg/cm ² G) | 10 | 10 | 10 | 10 | 8 | 9 | 10 | 10 | 10 | 9.5 | 10 | 9 |
| Temperature (°C) | 95 | 95 | 95 | 95 | 95 | 95 | 95 | 95 | 95 | 95 | 95 | 95 |
| Steam counter (ton) | 10059 | 10072 | 10085 | 10098 | 10111 | 10123 | 10135 | 10146 | 10159 | 10171 | 10183 | 10195 |
| Pressure (kg/cm ² G) | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 |
| Temperature (°C) | 175 | 175 | 175 | 175 | 175 | 175 | 175 | 175 | 175 | 175 | 175 | 175 |

| Time period | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 |
|---------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Water counter (ton) | 9455 | 9462 | 9473 | 9484 | 9493 | 9504 | 9516 | 9526 | 9537 | 9548 | 9559 | 9570 |
| Pressure (kg/cm ² G) | 10 | 8.5 | 9.5 | 10 | 9.5 | 10 | 9 | 10 | 10 | 9 | 10 | 9.5 |
| Temperature (°C) | 95 | 95 | 95 | 95 | 95 | 95 | 95 | 95 | 95 | 95 | 95 | 95 |
| Steam counter (ton) | 10203 | 10211 | 10224 | 10238 | 10248 | 10261 | 10274 | 10287 | 10300 | 10312 | 10326 | 10338 |
| Pressure (kg/cm ² G) | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 |
| Temperature (°C) | 175 | 175 | 175 | 175 | 175 | 175 | 175 | 175 | 175 | 175 | 175 | 175 |

ตารางที่ ค.12 ข้อมูลการทำงานของหม้อไอน้ำลูกที่ 2 ของโรงงานน้ำตาล ค.(ข้อมูลการทำงานวันที่ 2 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2541)

| Time period | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
|---------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Water counter (ton) | 17751 | 17770 | 17793 | 17815 | 17836 | 17856 | 17876 | 17897 | 17918 | 17939 | 17960 | 17980 |
| Pressure (kg/cm ² G) | 14 | 14 | 13.5 | 15 | 14.5 | 14.5 | 14 | 13.5 | 14.5 | 12.5 | 14 | 13.5 |
| Temperature (°C) | 95 | 95 | 95 | 95 | 95 | 95 | 95 | 95 | 95 | 95 | 95 | 95 |
| Steam counter (ton) | 17438 | 17458 | 17480 | 17502 | 17523 | 17543 | 17563 | 17584 | 17605 | 17626 | 17647 | 17666 |
| Pressure (kg/cm ² G) | 14 | 14 | 13.5 | 15 | 14.5 | 14.5 | 14 | 13.5 | 14.5 | 12.5 | 14 | 13.5 |
| Temperature (°C) | 340 | 340 | 340 | 340 | 340 | 340 | 340 | 340 | 340 | 340 | 340 | 340 |

| Time period | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 |
|---------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Water counter (ton) | 17999 | 18016 | 18037 | 18057 | 18076 | 18097 | 18118 | 18139 | 18161 | 18180 | 18202 | 18222 |
| Pressure (kg/cm ² G) | 15 | 13.5 | 14 | 15 | 14 | 15 | 15 | 14.5 | 15 | 15 | 14 | 14.5 |
| Temperature (°C) | 95 | 95 | 95 | 95 | 95 | 95 | 95 | 95 | 95 | 95 | 95 | 95 |
| Steam counter (ton) | 17685 | 17701 | 17722 | 17742 | 17761 | 17782 | 17802 | 17823 | 17845 | 17864 | 17885 | 17905 |
| Pressure (kg/cm ² G) | 15 | 13.5 | 14 | 15 | 14 | 15 | 15 | 14.5 | 15 | 15 | 14 | 14.5 |
| Temperature (°C) | 340 | 340 | 340 | 340 | 340 | 340 | 340 | 340 | 340 | 340 | 340 | 340 |

ตารางที่ ค.13 ข้อมูลการทำงานของหม้อไอน้ำลูกที่ 3 ของโรงงานน้ำตาล ค.(ข้อมูลการทำงานวันที่ 2 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2541)

| Time period | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
|---------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Water counter (ton) | 112449 | 112482 | 112516 | 112550 | 112582 | 112614 | 112646 | 112678 | 112710 | 112743 | 112774 | 112806 |
| Pressure (kg/cm ² G) | 13.5 | 14 | 13.5 | 15 | 15 | 15 | 15 | 13 | 14 | 12 | 14 | 14 |
| Temperature (°C) | 103 | 103 | 103 | 103 | 103 | 103 | 103 | 103 | 103 | 103 | 103 | 103 |
| Steam counter (ton) | 117532 | 117567 | 117603 | 117640 | 117675 | 117709 | 117743 | 117777 | 117812 | 117848 | 117883 | 117916 |
| Pressure (kg/cm ² G) | 13.5 | 14 | 13.5 | 15 | 15 | 15 | 15 | 13 | 14 | 12 | 14 | 14 |
| Temperature (°C) | 340 | 340 | 340 | 340 | 340 | 340 | 340 | 340 | 340 | 340 | 340 | 340 |

| Time period | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 |
|---------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Water counter (ton) | 112833 | 112857 | 112889 | 112918 | 112948 | 112982 | 113017 | 113051 | 113084 | 113115 | 113149 | 113181 |
| Pressure (kg/cm ² G) | 14.5 | 13 | 13 | 14 | 13.5 | 14 | 14 | 14 | 14.5 | 14.5 | 14 | 14 |
| Temperature (°C) | 103 | 103 | 103 | 103 | 103 | 103 | 103 | 103 | 103 | 103 | 103 | 103 |
| Steam counter (ton) | 117944 | 117968 | 118003 | 118033 | 118067 | 118102 | 118135 | 118169 | 118202 | 118236 | 118271 | 118306 |
| Pressure (kg/cm ² G) | 14.5 | 13 | 13 | 14 | 13.5 | 14 | 14 | 14 | 14.5 | 14.5 | 14 | 14 |
| Temperature (°C) | 340 | 340 | 340 | 340 | 340 | 340 | 340 | 340 | 340 | 340 | 340 | 340 |

ตารางที่ ค.14 ข้อมูลการทำงานของหม้อไอน้ำลูกที่ 4 ของโรงงานน้ำตาล ค. (ข้อมูลการทำงานวันที่ 2 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2541)

| Time period | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
|---------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Water counter (ton) | 87815 | 88707 | 89592 | 90462 | 91363 | 92242 | 93093 | 93955 | 94765 | 95580 | 96420 | 97292 |
| Pressure (kg/cm ² G) | 56 | 56 | 56 | 56 | 56 | 56 | 56 | 58 | 58 | 58 | 58 | 58 |
| Temperature (°C) | 110 | 105 | 105 | 105 | 105 | 105 | 110 | 110 | 105 | 105 | 105 | 105 |
| Steam counter (ton) | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Pressure (kg/cm ² G) | 25 | 25 | 25 | 25 | 26 | 26 | 26 | 25 | 27 | 27 | 25 | 25 |
| Temperature (°C) | 380 | 375 | 380 | 380 | 375 | 370 | 370 | 375 | 340 | 370 | 365 | 380 |

| Time period | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 |
|---------------------------------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Water counter (ton) | 98116 | 98987 | 99872 | 100784 | 101674 | 102584 | 103418 | 104284 | 105118 | 105976 | 106827 | 107694 |
| Pressure (kg/cm ² G) | 58 | 58 | 58 | 58 | 58 | 58 | 58 | 58 | 58 | 58 | 58 | 58 |
| Temperature (°C) | 110 | 110 | 105 | 105 | 110 | 105 | 105 | 105 | 110 | 110 | 110 | 110 |
| Steam counter (ton) | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Pressure (kg/cm ² G) | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 26 | 25 | 25 | 26 | 25 | 26 | 25 |
| Temperature (°C) | 375 | 360 | 375 | 370 | 375 | 375 | 370 | 370 | 375 | 375 | 375 | 375 |

ตารางที่ ค.15 ผลการตรวจวัดก๊าซทิ้งของหม้อไอน้ำที่ 1 โรงงานน้ำตาล ก.

| หม้อไอน้ำ | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|-------------------------|------|-----|------|------|-----|
| ปริมาณ %CO ₂ | 3 | 5.1 | 3.6 | 4.7 | 9 |
| ปริมาณ %O ₂ | 16.2 | 13 | 15.3 | 13.6 | 8 |
| อุณหภูมิของก๊าซ °C | 213 | 224 | 193 | 203 | 205 |

ตารางที่ ค.16 ผลการตรวจวัดก๊าซทิ้งของหม้อไอน้ำที่ 1 โรงงานน้ำตาล ข.

| หม้อไอน้ำ | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|-------------------------|-----|-----|-----|------|------|
| ปริมาณ %CO ₂ | 9 | 8.8 | 9.1 | 6.8 | 10.2 |
| ปริมาณ %O ₂ | 8.7 | 8.8 | 8.8 | 11.9 | 7.3 |
| อุณหภูมิของก๊าซ °C | 218 | 168 | 216 | 237 | 197 |

ตารางที่ ค.17 ผลการตรวจวัดก๊าซทิ้งของหม้อไอน้ำที่ 1 โรงงานน้ำตาล ค.

| หม้อไอน้ำ | 1 | 2 | 3 | 4 |
|-------------------------|-----|-----|-----|-----|
| ปริมาณ %CO ₂ | 8.5 | 9 | 9.3 | 8.2 |
| ปริมาณ %O ₂ | 7.9 | 7 | 6.7 | 8.2 |
| อุณหภูมิของก๊าซ °C | 316 | 314 | 244 | 212 |

ตาราง ค.18 กังหันไอน้ำชนิดต่างๆ ของโรงงานน้ำตาล ก.

| กังหันไอน้ำ | ความดันไอน้ำ (kg/cm ² G) | | ความเร็วรอบ | กำลัง แรงม้า | หมายเหตุ |
|--|-------------------------------------|-------|-------------|-----------------|----------|
| | ขาเข้า | ขาออก | | | |
| กังหันไอน้ำชนิดที่ 1 | | | | | |
| มีด 1 | 18 | 1.5 | 4500 | 1206 | |
| มีด 2 | 18 | 1.5 | 4500 | 1206 | |
| ค้อน | 28 | 1.5 | 4000 | 6500 | |
| ลูกหีบ 1 | 18 | 1.1 | 4500 | 1206 | |
| ลูกหีบ 2 | 18 | 1.5 | 4500 | 1206 | |
| ลูกหีบ 3 | 18 | 1.5 | 4530 | 1206 | |
| ลูกหีบ 4 | 18 | 1.5 | 4500 | 1206 | |
| ลูกหีบ 5 | 18 | 1.5 | 4500 | 2200 | |
| กังหันไอน้ำชนิดที่ 2 | | | | | |
| ค้อน | 18 | 1.5 | 4500 | 1206 | |
| ลูกหีบ 1 | 18 | 1.5 | 5000 | 1206 | |
| ลูกหีบ 2 | 18 | 1.5 | 5000 | 1206 | |
| ลูกหีบ 3 | 18 | 1.5 | 3000 | 600 | |
| ลูกหีบ 4 | 18 | 1.5 | 5000 | 1206 | |
| ลูกหีบ 5 | 18 | 1.5 | 5000 | 1206 | |
| กังหันไอน้ำขับเคลื่อนเครื่องกำเนิดไฟฟ้า | | | | | |
| 1 | 18 | 1.5 | 1500 | 2.5 (MW) | |
| 2 | 18 | 1.5 | 1500 | 2.5 (MW) | |
| 3 | 28 | 1.5 | 1500 | 12 (MW) | |
| 4 | 18 | 1.5 | 4500 | 10 (MW) | |

ตาราง ค.19 กังหันไอน้ำชนิดต่างๆของโรงงานน้ำตาล ข.

| กังหันไอน้ำ | ความดันไอน้ำ (kg/cm ² G) | | ความเร็วรอบ | กำลัง แรงม้า | หมายเหตุ |
|--|-------------------------------------|-------|-------------|-----------------|----------|
| | ขาเข้า | ขาออก | | | |
| กังหันไอน้ำที่ 1 | | | | | |
| ก้อน | 20 | 1.5 | 6182 | 6500 | |
| 1 | 24 | 1 | 4500 | 2200 | |
| 2 | 24 | 1 | 4500 | 2200 | |
| 3 | 24 | 1 | 4500 | 2200 | |
| 4 | 24 | 1 | 4500 | 2000 | |
| 5 | 24 | 1 | 4500 | 2200 | |
| กังหันไอน้ำขับเคลื่อนเครื่องกำเนิดไฟฟ้า | | | | | |
| 1 | 18 | 1 | 4793 | 4300 | |
| 2 | 19 | 1 | 4800 | 4500 | |
| 3 | 20 | 1 | 4800 | 4500 | |
| 4 | 21 | 2 | 4811 | 4500 | |
| 5 | 21 | 2 | 4811 | 4157 | |

ตาราง ค.20 กังหันไอน้ำชนิดต่างๆของโรงงานน้ำตาล ค.

| กังหันไอน้ำ | ความดันไอน้ำ (kg/cm ² G) | | ความเร็วรอบ | กำลัง แรงม้า | หมายเหตุ |
|--|-------------------------------------|-------|-------------|-----------------|------------------|
| | ขาเข้า | ขาออก | | | |
| รางหีบอ้อยที่ 1 | | | | | |
| มีด 2 | 12 | 1 | 600 | 500 | |
| ค้อน | 12 | 1 | 1000 | 804 | |
| ลูกหีบ 1 | 7 | 1 | 50-60 | 500 | เครื่องจักรไอน้ำ |
| ลูกหีบ 2 | 7 | 1 | 60-70 | 1000 | เครื่องจักรไอน้ำ |
| รางหีบอ้อยที่ 2 | | | | | |
| มีด 2 | 25 | 2 | 4176 | 1000 | |
| ค้อน | 25 | 2 | 5484 | 2000 | |
| กังหันไอน้ำขับเคลื่อนเครื่องกำเนิดไฟฟ้า | | | | | |
| 1 | 12 | 1.5 | 4933 | 2685 | |
| 2 | 19 | 1 | 6717 | 4500 | |
| 3 | 26 | 1 | 5488 | 3206 | |

ภาคผนวก ง.

การวิเคราะห์ทางเทคนิคของโรงงานน้ำตาลตัวอย่าง

ง.1 บทนำ

การประเมินหาประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำและกังหันไอน้ำ สามารถประเมินได้โดยการใช้โปรแกรมการตรวจสอบประสิทธิภาพของโรงงานน้ำตาล ซึ่งโปรแกรมคอมพิวเตอร์นี้ผู้วิจัยได้พัฒนาขึ้นตามวัตถุประสงค์ของการทำวิทยานิพนธ์ในข้อที่ 2 มีวัตถุประสงค์เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำและกังหันไอน้ำในโรงงานน้ำตาล ภาคผนวกนี้เป็นตัวอย่างการคำนวณตามโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ได้นำเสนอเพื่อให้เป็นตัวอย่างของการใช้และงานต่อการพิจารณา ข้อมูลตัวอย่างนี้จะขอใช้ข้อมูลของโรงงานน้ำตาล ก. เป็นตัวอย่างของข้อมูลในการพิจารณา

ง.2 การประเมินประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำของโรงงานตัวอย่าง

ตัวอย่างการประเมินประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำ ผู้วิจัยขอยกตัวอย่างของหม้อไอน้ำลูกที่ 1 ของโรงงานน้ำตาล ก. ที่มีกำลังการผลิตไอน้ำ 55 ตันต่อชั่วโมง โดยการใช้ข้อมูลการปฏิบัติงานของวันที่ 24 ธันวาคม พ.ศ. 2540 เป็นตัวอย่างในการประเมินประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำ ส่วนผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำลูกอื่นๆ จะทำการประเมินโดยใช้โปรแกรมประเมินประสิทธิภาพโรงงานน้ำตาล

1. ข้อมูลหม้อไอน้ำลูกที่ 1 ของโรงงานน้ำตาล ก.

- ข้อมูลทั่วไปของหม้อไอน้ำลูกที่ 1 โรงงานน้ำตาล ก.
 - ชนิดของหม้อไอน้ำ Water tube bagasse as fire
 - กำลังการผลิตไอน้ำ 55 ตันต่อชั่วโมง
 - ความดันของไอน้ำ 20 kg_f/cm² G
 - อุณหภูมิของไอน้ำ 360 °C
 - พลังงานของไอน้ำที่ผลิตได้ 3153 kJ/kg

| | | |
|------------------------------|---------|---------------|
| - เอนโทรปีของไอน้ำที่ผลิตได้ | 7.016 | $kJ/kg.K$ |
| - ความดันของน้ำป้อน | 24.7 | $kg_f/cm^2 G$ |
| - อุณหภูมิของน้ำป้อน | 103 | $^{\circ}C$ |
| - พลังงานของน้ำป้อน | 433.4 | kJ/kg |
| - เอนโทรปีของน้ำป้อน | 1.34 | $kJ/kg.K$ |
| - อุณหภูมิของสิ่งแวดล้อม | 30 | $^{\circ}C$ |
| - ค่าพลังงานจากกากอ้อย | 8752.78 | kJ/kg |

- ข้อมูลอากาศเข้า

| | | |
|--------------------------|--------|-------------|
| - ความชื้นในอากาศ | 50 | % |
| - อุณหภูมิของอากาศ | 30 | $^{\circ}C$ |
| - ความดันของไอน้ำในอากาศ | 5.628 | kPa |
| - ความดันบรรยากาศ | 101.35 | kPa |

- ข้อมูลของก๊าซร้อนทิ้ง

| | | |
|-----------------------------|--------|-------------|
| - อุณหภูมิของก๊าซร้อนทิ้ง | 213 | $^{\circ}C$ |
| - ความดันของก๊าซร้อนทิ้ง | 101.35 | kPa |
| - ปริมาณของ CO | 924* | $ppm.$ |
| - ร้อยละของ O ₂ | 16.2* | % |
| - ร้อยละของ CO ₂ | 3* | % |

* จากการตรวจวัดการทำงานด้วยเครื่องวิเคราะห์ก๊าซ

- ข้อมูลการทำงานของหม้อไอน้ำ

| | | |
|---|-------|---------------|
| - ข้อมูลการทำงานของหม้อไอน้ำ 1 ของโรงงาน ก. (ตาราง ค.1) | | |
| - ความดันไอน้ำเฉลี่ย | 18.5 | $kg_f/cm^2 G$ |
| - อุณหภูมิไอน้ำเฉลี่ย | 355.8 | $^{\circ}C$ |
| - อัตราจ่ายไอน้ำเฉลี่ย | 45 | ton/h |

3. ผลการประเมินประสิทธิภาพหม้อไอน้ำลูกที่ 1 ของโรงงานน้ำตาล ก.

จากการนำข้อมูลดิบป้อนข้อมูลลงโปรแกรมประเมินประสิทธิภาพโรงงานน้ำตาล ในส่วนของการประเมินประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำในโรงหม้อไอน้ำ จะได้ผลลัพธ์ดังต่อไปนี้

| | | |
|---|-------|-----------------------|
| - อัตราการใช้กากอ้อย | 32.43 | ตันต่อชั่วโมง |
| - สัดส่วนอัตราการใช้ไอน้ำต่อกากอ้อยที่ใช้ | 1.38 | ton_steam/ton_bagasse |
| - ปริมาณของอากาศส่วนเกิน(Excess Air) | 620 | % |
| - สัดส่วนของอากาศต่อเชื้อเพลิงที่ใช้ | 15.5 | |
| - ประสิทธิภาพหม้อไอน้ำตามกฎข้อที่ 1 | 46 | % |
| - ประสิทธิภาพหม้อไอน้ำตามกฎข้อที่ 2 | 16 | % |

ง.4 ผลการประเมินประสิทธิภาพหม้อไอน้ำของโรงงานตัวอย่าง

ในทำนองเดียวกัน การประเมินประสิทธิภาพหม้อไอน้ำของโรงงานตัวอย่างอื่นๆ จะได้ผลการประเมินดังแสดงในตารางที่ ง.2 , ง.3 และ ง.4 ตามลำดับ

ตารางที่ ง.2 แสดงผลการประเมินหม้อไอน้ำของโรงงานน้ำตาล ก.

| รายละเอียด | หน่วย | หม้อไอน้ำ | | | | |
|---------------------------------------|-------------|-----------|-------|-------|-------|------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| กำลังการผลิต | ตัน/ชั่วโมง | 55 | 55 | 55 | 55 | 250 |
| อัตราการใช้กากอ้อย | ตัน/ชั่วโมง | 32.43 | 24.06 | 24.41 | 25.55 | 96.5 |
| ประสิทธิภาพทางเทอร์โมไดนามิกส์ | | | | | | |
| กฎข้อที่ 1 | | 46% | 62% | 54% | 58% | 76% |
| กฎข้อที่ 2 | | 16% | 23% | 20% | 22% | 33% |

ตารางที่ ง.3 แสดงผลการประเมินหม้อไอน้ำของโรงงานน้ำตาล ข.

| รายละเอียด | หน่วย | หม้อไอน้ำ | | | | |
|---------------------------------------|-------------|-----------|-------|-------|-------|-------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| กำลังการผลิต | ตัน/ชั่วโมง | 72 | 72 | 60 | 60 | 60 |
| อัตราการใช้กากอ้อย | ตัน/ชั่วโมง | 22.83 | 18.23 | 22.83 | 25.36 | 19.36 |
| ประสิทธิภาพทางเทอร์โมไดนามิกส์ | | | | | | |
| กฎข้อที่ 1 | | 65% | 70% | 65% | 57% | 68% |
| กฎข้อที่ 2 | | 25% | 28% | 25% | 21% | 27% |

ตารางที่ ง.4 แสดงผลการประเมินหม้อไอน้ำของโรงงานน้ำตาล ค.

| รายละเอียด | หน่วย | หม้อไอน้ำ | | | |
|---------------------------------------|-------------|-----------|-------|-------|-------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 |
| กำลังการผลิต | ตัน/ชั่วโมง | 10 | 20 | 30 | 80 |
| อัตราการใช้กากอ้อย | ตัน/ชั่วโมง | 25.21 | 24.32 | 22.62 | 19.36 |
| ประสิทธิภาพทางเทอร์โมไดนามิกส์ | | | | | |
| กฎข้อที่ 1 | | 61% | 63% | 68% | 71% |
| กฎข้อที่ 2 | | 23% | 24% | 27% | 29% |

ง.5 การประเมินประสิทธิภาพกังหันไอน้ำของโรงงานตัวอย่าง

ตัวอย่างการประเมินประสิทธิภาพของกังหันไอน้ำ ผู้วิจัยขอยกตัวอย่างของกังหันไอน้ำที่ขับเคลื่อนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าของโรงงานน้ำตาล ก. ที่มีขนาด 2.5 เมกะวัตต์ โดยการใช้ข้อมูลการปฏิบัติงานของวันที่ 24 ธันวาคม พ.ศ. 2540 เป็นตัวอย่างในการประเมินประสิทธิภาพของกังหันไอน้ำ ส่วนผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของกังหันไอน้ำตัวอื่นๆ จะทำการประเมินโดยใช้โปรแกรมประสิทธิภาพของโรงงานน้ำตาล

1. ข้อมูลของกังหันไอน้ำตัวที่ 1 ของโรงงานน้ำตาล ก.

| | | |
|-----------------------------------|-------|-------------------------------------|
| ● ข้อมูลทั่วไปของกังหันไอน้ำ | | |
| - ชนิดของกังหันไอน้ำ | | Back Pressure Steam Turbine |
| - ไฟฟ้าที่ผลิตได้สูงสุด | 2.5 | <i>MW</i> |
| - ความเร็วรอบของกังหันไอน้ำสูงสุด | 3600 | <i>rpm.</i> |
| - ความดันไอน้ำขาเข้าสูงสุด | 22 | $\text{kg}_f/\text{cm}^2 \text{ G}$ |
| - อุณหภูมิไอน้ำขาเข้าสูงสุด | 360 | $^{\circ}\text{C}$ |
| - ความดันไอน้ำขาออกสูงสุด | 5 | $\text{kg}_f/\text{cm}^2 \text{ G}$ |
| ● ข้อมูลการทำงานของกังหันไอน้ำ | | |
| - ความดันไอน้ำขาเข้า(เฉลี่ย) | 18 | $\text{kg}_f/\text{cm}^2 \text{ G}$ |
| - อุณหภูมิไอน้ำขาเข้า(เฉลี่ย) | 350 | $^{\circ}\text{C}$ |
| - พลังงานของไอน้ำที่ผลิตได้ | 3153 | <i>kJ/kg</i> |
| - เอนโทรปีของไอน้ำที่ผลิตได้ | 7.016 | <i>kJ/kg.K</i> |
| - ความดันไอน้ำขาออก(เฉลี่ย) | 1.5 | $\text{kg}_f/\text{cm}^2 \text{ G}$ |
| - อุณหภูมิไอน้ำขาออก(เฉลี่ย) | 120 | $^{\circ}\text{C}$ |
| - กำลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้(เฉลี่ย) | 2.5 | <i>MW</i> |
| - พลังงานของไอน้ำขาออก | 2711 | <i>kJ/kg</i> |
| - เอนโทรปีของไอน้ำที่ผลิตได้ | 7.269 | <i>kJ/kg.K</i> |
| - Power factor | 0.8 | |
| - อุณหภูมิของสิ่งแวดล้อม | 30 | $^{\circ}\text{C}$ |

2. การประเมินประสิทธิภาพของกังหันไอน้ำตัวที่ 1 ของโรงงานน้ำตาล ก.

การประเมินประสิทธิภาพของกังหันไอน้ำโดยทั่วไปจะประเมินโดยใช้วิธีการที่เรียกว่า ประสิทธิภาพของกังหันไอน้ำแบบไอเซนโทรปิก ดังนี้

- จากตารางไอน้ำยิ่งยวด พิจารณาที่ความดันขาเข้ากังหันไอน้ำ
(18 kg_f/cm² G, อุณหภูมิ 350 °C) อ่านค่าได้ดังนี้

| | | |
|------------------------------|-------|----------------|
| - พลังงานของไอน้ำ (h_1) | 3153 | <i>kJ/kg</i> |
| - เอนโทรปีของไอน้ำ (s_1) | 7.016 | <i>kJ/kg.K</i> |
- จากตารางไอน้ำยิ่งยวด พิจารณาที่ความดันไอน้ำขาออกจากกังหันไอน้ำ
(1.5 kg_f/cm² G, อุณหภูมิ 120 °C) อ่านค่าได้ดังนี้

| | | |
|------------------------------|-------|----------------|
| - พลังงานของไอน้ำ (h_2) | 2711 | <i>kJ/kg</i> |
| - เอนโทรปีของไอน้ำ (s_2) | 7.269 | <i>kJ/kg.K</i> |
- จากตารางไอน้ำอิ่มตัว พิจารณาที่ความดันไอน้ำขาออก
(1.5 kg_f/cm² G) อ่านค่าได้ดังนี้

| | | |
|-------------------------------------|-------|----------------|
| - พลังงานของไอน้ำอิ่มตัว (h_g) | 2694 | <i>kJ/kg</i> |
| - เอนโทรปีของไอน้ำอิ่มตัว (s_g) | 7.223 | <i>kJ/kg.K</i> |
| - พลังงานของน้ำอิ่มตัว (h_f) | 467.1 | <i>kJ/kg</i> |
| - เอนโทรปีของน้ำอิ่มตัว (s_f) | 1.434 | <i>kJ/kg.K</i> |

พิจารณาที่ค่าเอนโทรปี

$$s_{2s} = s_f + x(s_g - s_f)$$

$$s_{2s} = s_1 = 7.016 \quad \text{kJ/kg.K}$$

จะได้

$$7.016 = 1.434 + x(7.223 - 1.434)$$

$$x = 0.96$$

พิจารณาที่ค่าเอนทาลปี

$$h_{2s} = h_f + x(h_g - h_f)$$

$$= 467.1 + 0.96(2694 - 467.1)$$

$$h_{2s} = 2614.37 \quad \text{kJ/kg}$$

ประสิทธิภาพของกังหันไอน้ำตามกฎข้อที่ 1 ของเทอร์โมไดนามิกส์

$$\begin{aligned}\eta_I &= \frac{h_1 - h_2}{h_1 - h_{2s}} \\ &= \frac{3153 - 2711}{3153 - 2614.37} \\ &= 82\%\end{aligned}$$

ประสิทธิภาพของกังหันไอน้ำตามกฎข้อที่ 2 ของเทอร์โมไดนามิกส์

$$\begin{aligned}\eta_{II} &= \frac{h_1 - h_2}{(h_1 - h_2) - (273 + T_0) \times (s_1 - s_2)} \\ &= \frac{3153 - 2711}{(3153 - 2711) - (273 + 30) \times (7.016 - 7.269)} \\ &= 85\%\end{aligned}$$

จากการป้อนข้อมูลลงโปรแกรมการคำนวณประสิทธิภาพของโรงงานน้ำตาล ในส่วนของการหาประสิทธิภาพกังหันไอน้ำของอุปกรณ์ในโรงไฟฟ้า จะได้ผลการประเมินดังต่อไปนี้

1. ที่ความดันไอน้ำ 20 kg_f/cm² G
 - ประสิทธิภาพกังหันไอน้ำ(ไอเซนโทรปิก) 82 %
 - ประสิทธิภาพหม้อไอน้ำตามกฎข้อที่ 2 85 %
2. ที่ความดันไอน้ำ 30 kg_f/cm² G
 - ประสิทธิภาพกังหันไอน้ำ(ไอเซนโทรปิก) 94 %
 - ประสิทธิภาพหม้อไอน้ำตามกฎข้อที่ 2 95 %

การประเมินประสิทธิภาพกักหน้ไอน้ำของโรงงานตัวอย่าง จะประเมินโดยใช้การวิเคราะห์กักหน้ไอน้ำแบบไอเซนโทรปิกและตามกฎข้อที่สองของเทอร์โมไดนามิกส์ ซึ่งการประเมินประสิทธิภาพหม้อไอน้ำของโรงงานตัวอย่างอื่นๆ จะได้ผลการประเมินดังแสดง

- โรงงานน้ำตาล ก.

| | |
|---|-----|
| ความดันไอน้ำใช้งาน ที่ $20 \text{ kg/cm}^2 \text{ G}$ | |
| ประสิทธิภาพแบบไอเซนโทรปิก | 76% |
| ประสิทธิภาพตามกฎข้อที่สอง | 80% |
| ความดันไอน้ำใช้งาน ที่ $30 \text{ kg/cm}^2 \text{ G}$ | |
| ประสิทธิภาพแบบไอเซนโทรปิก | 92% |
| ประสิทธิภาพตามกฎข้อที่สอง | 95% |

- โรงงานน้ำตาล ข.

| | |
|---|-----|
| ความดันไอน้ำใช้งาน ที่ $20 \text{ kg/cm}^2 \text{ G}$ | |
| ประสิทธิภาพแบบไอเซนโทรปิก | 77% |
| ประสิทธิภาพตามกฎข้อที่สอง | 80% |

- โรงงานน้ำตาล ค.

| | |
|---|-----|
| ความดันไอน้ำใช้งาน ที่ $7 \text{ kg/cm}^2 \text{ G}$ | |
| ประสิทธิภาพแบบไอเซนโทรปิก | 30% |
| ประสิทธิภาพตามกฎข้อที่สอง | 35% |
| ความดันไอน้ำใช้งาน ที่ $15 \text{ kg/cm}^2 \text{ G}$ | |
| ประสิทธิภาพแบบไอเซนโทรปิก | 82% |
| ประสิทธิภาพตามกฎข้อที่สอง | 86% |
| ความดันไอน้ำใช้งาน ที่ $25 \text{ kg/cm}^2 \text{ G}$ | |
| ประสิทธิภาพแบบไอเซนโทรปิก | 78% |
| ประสิทธิภาพตามกฎข้อที่สอง | 84% |

ง.5 การประเมินกำลังการผลิตไฟฟ้าของหม้อไอน้ำ

ในการวิเคราะห์เพื่อประเมินกำลังการผลิตไฟฟ้าของหม้อไอน้ำ จะพิจารณาโดยที่จะสมมติให้ไอน้ำที่หม้อไอน้ำผลิตได้ทั้งหมดจ่ายให้เฉพาะกังหันไอน้ำขับเคลื่อนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเท่านั้นเพื่อผลิตไฟฟ้าเพียงอย่างเดียว ซึ่งจะทำให้เราสามารถประเมินกำลังการผลิตไฟฟ้าของหม้อไอน้ำได้

1. ข้อมูลทั่วไปของหม้อไอน้ำและกังหันไอน้ำที่พิจารณา

- ข้อมูลหม้อไอน้ำ

ข้อมูลการทำงานหม้อไอน้ำลูกที่ 1 ของโรงงานน้ำตาล ก.

| | | |
|---------------------------|----------------------------|------------------------------------|
| - ชนิดของหม้อไอน้ำ | Water tube bagasse as fire | |
| - กำลังการผลิตไอน้ำ | 55 | ตันต่อชั่วโมง |
| - ความดันไอน้ำ | 20 | kg _r /cm ² G |
| - อุณหภูมิไอน้ำ | 360 | Celsius |
| - อัตราการจ่ายไอน้ำเฉลี่ย | 45 | ตันต่อชั่วโมง |

- ข้อมูลกังหันไอน้ำ

ข้อมูลของกังหันไอน้ำขับเคลื่อนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าตัวที่ 3 ของโรงงานน้ำตาล ก.

| | | |
|-------------------------------|-------|------------------------------------|
| - ความดันไอน้ำขาเข้า(เฉลี่ย) | 18.5 | kg _r /cm ² G |
| - อุณหภูมิไอน้ำขาเข้า(เฉลี่ย) | 355.8 | °C |
| - ความดันไอน้ำขาออก(เฉลี่ย) | 1.5 | kg _r /cm ² G |
| - อุณหภูมิไอน้ำขาออก(เฉลี่ย) | 120 | °C |
| - Power factor | 0.8 | |
| - อุณหภูมิของสิ่งแวดล้อม | 30 | °C |

- กำลังการผลิตไฟฟ้าของหม้อไอน้ำคิดเป็น

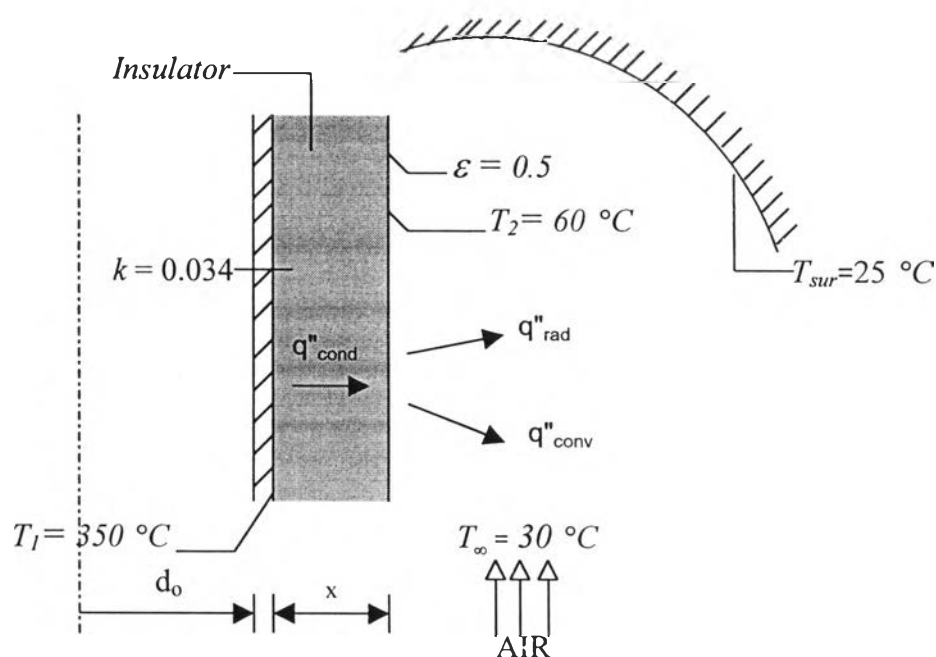
| | | |
|--|---------|------|
| - พลังงานในไอน้ำขาเข้ากังหันไอน้ำ(45x3153) | 141,885 | MJ/h |
| - พลังงานในไอน้ำขาออกกังหันไอน้ำ(45x2711) | 121,995 | MJ/h |
| - กำลังการผลิตไฟฟ้าสูงสุดของหม้อไอน้ำ | 5.53 | MW |

2. การสูญเสียความร้อน

เนื่องจากการในการทำงานจริงนั้น ไม่สามารถติดตั้งกั้นไอน้ำที่ขับเคลื่อนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่โรงหม้อไอน้ำได้ จึงต้องมีการติดตั้งท่อส่งไอน้ำ เพื่อจ่ายไปยังกังหันไอน้ำ ในสภาพการทำงานในปัจจุบัน ระบบท่อมักไม่ได้การเอาใจใส่ดูแลที่ดีเพียงพอ ทำให้ระบบท่อส่งมีปัญหาเช่น ท่อรั่ว ฉนวนกันความร้อนไม่ได้ตามที่ต้องการ เป็นต้น ก่อให้เกิดความสูญเสียพลังงานไปเป็นจำนวนหนึ่ง การสูญเสียที่เกิดขึ้นมีดังต่อไปนี้

2.1 การสูญเสียความร้อนที่ผิวท่อส่งไอน้ำ

การประเมินหาความสูญเสียความร้อนผ่านฉนวนกันความร้อนของท่อส่งไอน้ำสามารถคำนวณได้ดังตัวอย่างการคำนวณต่อไปนี้



รูปที่ ง.1 แสดงการถ่ายเทความร้อนผ่านฉนวนหนึ่งท่อ

- การถ่ายเทความร้อนผ่านผิวท่อส่งไอน้ำ

พิจารณารูปที่ ง.1 แสดงการถ่ายเทความร้อนผ่านฉนวนหนึ่งท่อ ค่าของตัวแปรต่างแสดงไว้ในตารางที่ ง.5

ตารางที่ ง.5 แสดงค่าตัวแปรต่างๆของการคำนวณการสูญเสียผ่านท่อส่งไอน้ำ

| Description | Unit | Symbol | Dimension | Remark |
|---------------------------|----------|--------|-----------|---------|
| Pipe diameter (JIS G5522) | <i>m</i> | d_o | 0.631 | 24 inch |
| Pipe & Insulator diameter | <i>m</i> | d_2 | 0.7324 | |
| Pipe long | <i>m</i> | L | 10 | |
| Pipe & Insulator area | m^2 | A | 23. | |
| Pipe surface temp. | <i>K</i> | T_s | 623 | 350 °C |
| Insulator surface temp. | <i>K</i> | T_I | 333 | 60 °C |
| Ambient temp. | <i>K</i> | T_a | 303 | 30 °C |
| Film temperature | <i>K</i> | T_f | 318 | 45 °C |

จากค่าต่างๆในตารางที่ ง.5 ของอากาศและอุณหภูมิผิวท่อที่ต้องการจะสามารถหาค่าของผิวการถ่ายเทความร้อนของอากาศบนฉนวนกันความร้อนได้มีค่าเท่ากับ $(60+30)/2 = 45$ °C ใช้ค่าของอุณหภูมิผิวไปเปิดตารางคุณสมบัติอากาศที่อุณหภูมิ T_f จะได้

ตารางที่ ง.6 แสดงคุณลักษณะของอากาศจากตารางของคุณสมบัติอากาศ

| Description | Unit | Symbol | Dimension | Remark |
|---|-----------|----------|-----------|--------|
| Air property : (from Table) @ T_f condition | | | | |
| Thermal conductivity | $W/(m.K)$ | k | 2.78E-02 | |
| Kinematic viscosity | m^2/s | ν | 1.79E-05 | |
| Thermal diffusivity | m^2/s | α | 2.55E-05 | |
| Prandtl number | | Pr | 7.04E-01 | |
| Volumetric diffusion expansion coefficient | K^{-1} | β | 3.14E-03 | |

จากคุณสมบัติของอากาศหาความร้อนที่ผิวได้โดยใช้การคำนวณในการพาความร้อนและการแผ่รังสีความร้อนที่ผนังท่อไอน้ำ

โดยที่

$$q''_{conv} = h(T_i - T_a)$$

$$q''_{rad} = \varepsilon \sigma (T_i^4 - T_a^4)$$

ตาราง ง.7 แสดงผลการคำนวณการถ่ายเทความร้อนที่ผิวท่อ

| Description | Unit | Symbol | Dimension | Remark |
|--------------------------------------|---------------|-----------------|-----------|------------|
| Convection | | | | |
| Reynolds Number | | Ra_D | 7.97E+08 | |
| Nusselt number | | Nu | 107.7 | |
| Convection heat transfer coefficient | $W/(m^2K)$ | h_c | 4.1 | |
| Heat losses with convection | W | q''_{conv} | 2818.9 | 10148 kJ/h |
| Radiation | | | | |
| Emissivity | | ϵ | 0.5 | |
| Stefan-Boltzmann constant | $W/(m^2.K^4)$ | σ | 5.67E-08 | |
| Heat losses with radiation | W | q''_{rad} | 2522.778 | 9082 kJ/h |
| Overall heat losses in piping | W | $q''_{Surface}$ | 5341.68 | 19230 kJ/h |

พิจารณาจากรูปที่ ง.1 สามารถประเมินหาความหนาของฉนวนที่เหมาะสม(ต่ำสุด) เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพการใช้งานที่สูงสุด

จากสมดุลพลังงาน

$$q''_{cond} = q''_{conv} + q''_{rad}$$

และ $q''_{cond} = k(T_i - T_a)/x$

จะได้ $q''_{conv} + q''_{rad} = k(T_i - T_a)/x$

ความหนาของฉนวน $x = k(T_i - T_a)/(q''_{conv} + q''_{rad})$

ตารางที่ ง.8 แสดงผลการคำนวณหาความหนาของฉนวนที่เหมาะสม

| Description | Unit | Symbol | Dimension | Remark |
|----------------------|-----------|--------|-----------|--------|
| Conduction | | | | |
| Thermal conductivity | $W/(m.K)$ | k | 0.034 | |
| Insulator thickness | m | | 0.051 | 2 inch |

สรุป การประเมินการสูญเสียความร้อนที่ผิวท่อเป็น

| | | |
|--|-------|-------------|
| - การสูญเสียความร้อนจากการพาความร้อน | 10.15 | <i>MJ/h</i> |
| - การสูญเสียความร้อนจากการแผ่รังสีความร้อน | 9.1 | <i>MJ/h</i> |
| - การสูญเสียความร้อนที่ผิวของฉนวนรวมเป็น | 19.25 | <i>MJ/h</i> |

2.2 การสูญเสียจากการรั่วไหลของไอน้ำ

สมมติให้การรั่วไหลของระบบเป็น 0.1 % (ของกำลังการผลิตไอน้ำ)

| | | |
|---------------------------|--------|-------------|
| ปริมาณของไอน้ำสูญเสียเป็น | 45 | <i>kg</i> |
| คิดเป็นพลังงาน | 141.89 | <i>MJ/h</i> |

2.3 การสูญเสียที่ไม่สามารถประเมินได้

สมมติให้ความร้อนสูญเสียที่ไม่สามารถประเมินได้ 1% (ของไอน้ำสูญเสีย)

| | | |
|----------------|------|-------------|
| คิดเป็นพลังงาน | 1.42 | <i>MJ/h</i> |
|----------------|------|-------------|

2.4 สรุป

| | | |
|--|--------|-------------|
| ผลการประเมินการสูญเสียที่เกิดขึ้นมีค่าเป็น | | |
| ระบบท่อที่มีการสูญเสียพลังงานรวม | 162.56 | <i>MJ/h</i> |

3. ผลการประเมินกำลังการผลิตไฟฟ้าของหม้อไอน้ำ

| | | |
|---|------------|-------------|
| จากการสูญเสียที่เกิดขึ้นทำให้กำลังการผลิตไฟฟ้าของหม้อไอน้ำต่ำอย่างลดลง ดังนั้น พลังงานคงเหลือก่อนเข้ากังหันไอน้ำจึงเป็น | 141,722.44 | <i>MJ/h</i> |
| คิดเป็นกำลังไฟฟ้าเท่ากับ | 5.48 | <i>MW</i> |

ภาคผนวก จ.

การวิเคราะห์ทางเทคนิคของหม้อไอน้ำใหม่

จากทฤษฎีในบทที่ 4 แสดงให้เห็นว่าเมื่อความดันของไอน้ำเพิ่มสูงขึ้นจะทำให้ไอน้ำมีพลังงานเพิ่มสูงขึ้น จำเป็นต้องใช้กากอ้อยเพิ่มขึ้น ส่งผลให้หม้อไอน้ำมีกำลังการผลิตไฟฟ้าที่สูงกว่าหม้อไอน้ำที่มีความดันต่ำกว่า

จากผลการประเมินประสิทธิภาพหม้อไอน้ำของโรงงานน้ำตาล ก. ในภาคผนวก ง. เห็นได้ว่า หม้อไอน้ำลูกที่ 1 จะมีประสิทธิภาพการทำงานต่ำที่สุด(ประสิทธิภาพตามกฎข้อที่ 1 ของเทอร์โมไดนามิกส์เป็น 46%) และประสิทธิภาพต่ำกว่า 50% ซึ่งเป็นค่าที่ต่ำกว่าที่เราจะยอมรับได้ จากการประเมินในภาคผนวก ง. จะเห็นได้ว่า ที่ประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำต่ำ จะทำให้อัตรการใช้กากอ้อยเป็นเชื้อเพลิงสูง การลดปริมาณการใช้กากอ้อยสามารถทำได้หลายวิธี เช่น โดยการเปลี่ยนหม้อไอน้ำใหม่หรือการควบคุมการเผาไหม้ของหม้อไอน้ำ ในการปรับปรุงระบบหม้อไอน้ำให้มีความดันไอน้ำเพิ่มสูงขึ้นเป็น 40 kg/cm² G นี้ ผู้วิจัยจึงเลือกพิจารณาที่จะเปลี่ยนหม้อไอน้ำลูกที่ 1 ของโรงงานน้ำตาล ก. โดยการนำหม้อไอน้ำลูกใหม่มาเปลี่ยนแทน พร้อมทั้งทำการศึกษาหาความเป็นไปได้ในการปรับเปลี่ยนหม้อไอน้ำนี้ โดยพิจารณาถึงความเหมาะสมเมื่อเทียบกับระบบเดิมที่ใช้อยู่ การใช้กากอ้อยที่เพิ่มขึ้นและปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้เพิ่ม

จ.1 การประเมินการทำงานหม้อไอน้ำใหม่

1. ข้อมูลทั่วไปของหม้อไอน้ำใหม่

| | | |
|---------------------------------------|---------|-------|
| - กำลังการผลิตของหม้อไอน้ำใหม่ | 55 | ton/h |
| - กำลังการผลิตของหม้อไอน้ำใหม่ | 45 | ton/h |
| - ประสิทธิภาพการทำงานของหม้อไอน้ำใหม่ | 76 | % |
| - อุณหภูมิแวดล้อม | 30 | °C |
| - กากอ้อยมีความชื้น | 51 | % |
| - พลังงานในกากอ้อย | 8752.78 | kJ/kg |

ในการประเมินนี้ จะแบ่งระบบออกเป็น 3 แบบ คือ

| | | |
|----------------------------|-------|-----------------------------------|
| 1.1. หม้อไอน้ำที่มีความดัน | 20 | $\text{kg}/\text{cm}^2 \text{ G}$ |
| อุณหภูมิไอน้ำ | 350 | $^{\circ}\text{C}$ |
| พลังงานไอน้ำ | 3137 | kJ/kg |
| เอนโทรปีไอน้ำ | 6.956 | $\text{kJ}/\text{kg.K}$ |
| ความดันของน้ำป้อน | 24 | $\text{kg}/\text{cm}^2 \text{ G}$ |
| อุณหภูมิของน้ำป้อน | 103 | $^{\circ}\text{C}$ |
| น้ำป้อนมีพลังงานเท่ากับ | 433.4 | kJ/kg |
| เอนโทรปีของน้ำป้อน | 1.34 | $\text{kJ}/\text{kg.K}$ |
| 1.2. หม้อไอน้ำที่มีความดัน | 30 | $\text{kg}/\text{cm}^2 \text{ G}$ |
| อุณหภูมิไอน้ำ | 450 | $^{\circ}\text{C}$ |
| พลังงานไอน้ำ | 3344 | kJ/kg |
| เอนโทรปีไอน้ำ | 7.083 | $\text{kJ}/\text{kg.K}$ |
| ความดันของน้ำป้อน | 34 | $\text{kg}/\text{cm}^2 \text{ G}$ |
| อุณหภูมิของน้ำป้อน | 103 | $^{\circ}\text{C}$ |
| น้ำป้อนมีพลังงานเท่ากับ | 433.4 | kJ/kg |
| เอนโทรปีของน้ำป้อน | 1.34 | $\text{kJ}/\text{kg.K}$ |
| 1.3. หม้อไอน้ำที่มีความดัน | 40 | $\text{kg}/\text{cm}^2 \text{ G}$ |
| อุณหภูมิไอน้ำ | 480 | $^{\circ}\text{C}$ |
| พลังงานไอน้ำ | 3399 | kJ/kg |
| เอนโทรปีไอน้ำ | 7.03 | $\text{kJ}/\text{kg.K}$ |
| ความดันของน้ำป้อน | 44 | $\text{kg}/\text{cm}^2 \text{ G}$ |
| อุณหภูมิของน้ำป้อน | 103 | $^{\circ}\text{C}$ |
| น้ำป้อนมีพลังงานเท่ากับ | 433.4 | kJ/kg |
| เอนโทรปีของน้ำป้อน | 1.34 | $\text{kJ}/\text{kg.K}$ |

2. การประเมินการใช้กากอ้อยของหม้อไอน้ำใหม่

การประเมินการใช้กากอ้อยของหม้อไอน้ำที่ความดันไอน้ำทั้ง 3 ความดัน สามารถเขียนสรุปผลการประเมินได้ดังตารางที่ จ.1

ตาราง จ.1 แสดงผลการวิเคราะห์การติดตั้งหม้อไอน้ำที่ประสิทธิภาพการทำงานที่ 76%
ณ.ความดันไอน้ำต่างๆ

| Description | Unit | | | |
|-------------------------------------|----------------------------|-----------|-----------|-----------|
| New boiler capacity | <i>Ton/h</i> | 55 | 55 | 55 |
| Steam condition: | | | | |
| Pressure | $\text{kg/cm}^2 \text{ G}$ | 20 | 30 | 40 |
| Temperature | $^{\circ}\text{C}$ | 350 | 450 | 480 |
| Energy for steam | kJ/kg | 3137 | 3344 | 3399 |
| Water supply condition: | | | | |
| Pressure | $\text{kg/cm}^2 \text{ G}$ | 24 | 34 | 44 |
| Temperature | $^{\circ}\text{C}$ | 103 | 103 | 103 |
| Energy of water supply | kJ/kg | 433.4 | 433.4 | 433.4 |
| Calculation: | | | | |
| Energy in steam (New boiler) | MJ/h | 148698 | 160083 | 163108 |
| Energy of bagasse will supply | MJ/h | 195655.26 | 210635.53 | 214615.79 |
| Bagasse used rate | ton/h | 22.35 | 24.06 | 24.52 |
| Compression with old boiler: | | | | |
| Bagasse used (Old boiler) | ton/h | 39.27 | 39.27 | 39.27 |
| Bagasse saving | ton/h | 16.92 | 15.21 | 14.75 |
| | % | 43.08 | 38.72 | 37.56 |
| Economic | | | | |
| Time of milling season | h/y | 2904 | 2904 | 2904 |
| Bagasse saving | ton/y | 49128.59 | 44158.43 | 42837.86 |
| Bagasse price | ฿/ton | 250 | 250 | 250 |
| Annual saving | M฿/y | 12.28 | 11.04 | 10.71 |

สมมติให้ โครงการลงทุนมีระยะเวลา 20 ปี โดยแบ่งออกเป็นดังนี้ ในช่วงเวลา 5 ปีแรก ให้การดำเนินงานของหม้อไอน้ำมีประสิทธิภาพการทำงานที่ 76% เมื่อช่วงเวลากการดำเนินงานในปีที่ 5-10 ให้ประสิทธิภาพหม้อไอน้ำลดลงเหลือ 72.5% ส่วนเมื่ออายุการดำเนินงานในช่วงปีที่ 10-15 ให้ประสิทธิภาพหม้อไอน้ำลดลงเหลือ 70% และเมื่ออายุการดำเนินงานถึงปีที่ 20 ประสิทธิภาพลดลงเป็น 67.5% (ภายใต้เงื่อนไขที่ทางโรงงานทำการดูแลรักษาระบบที่ดี) จะได้

ตาราง จ.2 แสดงผลการวิเคราะห์การทำงานของหม้อไอน้ำตลอดอายุของโครงการ
หม้อไอน้ำทำงานที่ความดันไอน้ำเป็น 20 kg/cm² G

| Description | Unit | | | | |
|-------------------------------------|-------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | | 0-5 | 5-10 | 10-15 | 15-20 |
| Boiler Life | Year | 0-5 | 5-10 | 10-15 | 15-20 |
| Boiler Efficiency | % | 76 | 72.5 | 70 | 67.5 |
| New boiler capacity | ton/h | 55 | 55 | 55 | 55 |
| Calculation: | | | | | |
| Energy in steam (New boiler) | MJ/h | 148698 | 148698 | 148698 | 148698 |
| Energy of bagasse will supply | MJ/h | 195655.26 | 205100.69 | 212425.71 | 220293.33 |
| Bagasse used rate | ton/h | 22.35 | 23.43 | 24.27 | 25.17 |
| Compression with old boiler: | | | | | |
| Bagasse used (Old boiler) | ton/h | 39.27 | 39.27 | 39.27 | 39.27 |
| Bagasse saving | ton/h | 16.92 | 15.84 | 15.00 | 14.10 |
| | % | 43.08 | 40.33 | 38.20 | 35.91 |
| Economic | | | | | |
| Time milling | h/y | 2904 | 2904 | 2904 | 2904 |
| Bagasse saving | ton/y | 49128.59 | 45994.78 | 43564.48 | 40954.16 |
| Bagasse price | ฿/ton | 250 | 250 | 250 | 250 |
| Annual saving | M฿/y | 12.28 | 11.50 | 10.89 | 10.24 |

ตาราง จ.3 แสดงผลการวิเคราะห์การทำงานของหม้อไอน้ำตลอดอายุของโครงการ
หม้อไอน้ำทำงานที่ความดันไอน้ำเป็น 30 kg/cm² G

| Description | Unit | | | | |
|-------------------------------------|-------|----------|----------|----------|----------|
| Boiler Life | Year | 0-5 | 5-10 | 10-15 | 15-20 |
| Boiler Efficiency | % | 76 | 72.5 | 70 | 67.5 |
| New boiler capacity | ton/h | 55 | 55 | 55 | 55 |
| Bagasse used rate | ton/h | 24.06 | 25.23 | 26.13 | 27.10 |
| Compression with old boiler: | | | | | |
| Bagasse used (Old boiler) | ton/h | 39.27 | 39.27 | 39.27 | 39.27 |
| Bagasse saving | ton/h | 15.21 | 14.04 | 13.14 | 12.18 |
| | % | 38.72 | 35.76 | 33.47 | 31.00 |
| Economic | | | | | |
| Bagasse saving | ton/y | 44158.43 | 40784.69 | 38168.31 | 35358.14 |
| Annual saving | M฿/y | 11.04 | 10.20 | 9.54 | 8.84 |

ตาราง จ.4 แสดงผลการวิเคราะห์การทำงานของหม้อไอน้ำตลอดอายุของโครงการ
หม้อไอน้ำทำงานที่ความดันไอน้ำเป็น 40 kg/cm² G

| Description | Unit | | | | |
|-------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Boiler Life | Year | 0-5 | 5-10 | 10-15 | 15-20 |
| Boiler Efficiency | % | 76 | 72.5 | 70 | 67.5 |
| New boiler capacity | ton/h | 55 | 55 | 55 | 55 |
| Bagasse used rate | ton/h | 24.52 | 25.70 | 26.62 | 27.61 |
| Compression with old boiler: | | | | | |
| Bagasse used (Old boiler) | ton/h | 39.27 | 39.27 | 39.27 | 39.27 |
| Bagasse saving | ton/h | 14.75 | 13.57 | 12.65 | 11.66 |
| | % | 37.56 | 34.55 | 32.21 | 29.71 |

ตาราง จ.4 แสดงผลการวิเคราะห์การทำงานของหม้อไอน้ำตลอดอายุของโครงการ
หม้อไอน้ำทำงานที่ความดันไอน้ำเป็น 40 kg/cm² G (ต่อ)

| Description | Unit | | | | |
|-----------------|-------|----------|----------|----------|----------|
| Economic | | | | | |
| Bagasse saving | ton/y | 42837.86 | 39400.36 | 36734.55 | 33871.27 |
| Annual saving | M฿/y | 10.71 | 9.85 | 9.18 | 8.47 |

จ.3. การประเมินกำลังการผลิตไฟฟ้าของหม้อไอน้ำใหม่

ในการวิเคราะห์เพื่อประเมินกำลังการผลิตไฟฟ้าในของหม้อไอน้ำใหม่ จะพิจารณาเช่นเดียวกับภาคผนวก ง.5 โดยจะสมมติให้ไอน้ำที่หม้อไอน้ำใหม่ผลิตได้ทั้งหมดจ่ายให้เฉพาะกังหันไอน้ำขับเคลื่อนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเพื่อผลิตไฟฟ้าเพียงอย่างเดียว ทำให้เราสามารถประเมินกำลังการผลิตไฟฟ้าของหม้อไอน้ำได้ ในการพิจารณาจะสมมติให้มีการสูญเสียไอน้ำของระบบและไม่มีสูญเสียจากการถ่ายเทความร้อน โดยที่ ประสิทธิภาพของกังหันไอน้ำของเป็น 85 %

1. ข้อมูลทั่วไปของหม้อไอน้ำและกังหันไอน้ำที่พิจารณา

- ข้อมูลหม้อไอน้ำ

ข้อมูลการทำงานหม้อไอน้ำลูกลูกที่ 1 ของโรงงานน้ำตาล ก.

- ชนิดของหม้อไอน้ำ Water tube bagasse as fire
- กำลังการผลิตไอน้ำ 55 ตันต่อชั่วโมง

- ข้อมูลกังหันไอน้ำ

1. สภาวะของไอน้ำขาเข้า

- กังหันไอน้ำที่มีความดัน 40 kg/cm² G
- อุณหภูมิไอน้ำ 450 °C
- พลังงานไอน้ำ 3399 kJ/kg
- เอนโทรปีไอน้ำ 7.03 kJ/kg.K

2. สภาวะของไอน้ำขาออก

| | | |
|----------------------|-------|----------------------------|
| - ความดันไอน้ำขาออก | 1.5 | $\text{kg/cm}^2 \text{ G}$ |
| - อุณหภูมิไอน้ำขาออก | 120 | $^{\circ}\text{C}$ |
| - พลังงานไอน้ำขาออก | 2711 | kJ/kg |
| - เอนโทรปีไอน้ำขาออก | 7.269 | kJ/kg.K |

- กำลังการผลิตไฟฟ้าของหม้อไอน้ำใหม่

| | | |
|---------------------------------------|---------|---------------|
| - พลังงานในไอน้ำขาเข้ากังหันไอน้ำ | 152,781 | MJ/h |
| - พลังงานในไอน้ำขาออกกังหันไอน้ำ | 121,995 | MJ/h |
| - กำลังการผลิตไฟฟ้าสูงสุดของหม้อไอน้ำ | 8.55 | MW |

3. ผลการประเมินกำลังการผลิตไฟฟ้าของหม้อไอน้ำ

| | | |
|--------------------------------------|------|-------------|
| - ปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้(ของระบบเดิม) | 3.75 | MW |
| - ปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้(ของระบบใหม่) | 8.55 | MW |
| - ปริมาณไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นคิดเป็น | 4.8 | MW |

ในทำนองเดียวกัน ที่ความดันไอน้ำอื่นๆจะประเมินได้ดังตาราง

ตาราง จ.5 กำลังการผลิตไฟฟ้าของหม้อไอน้ำที่ความดันไอน้ำต่างๆ

| รายละเอียด | หน่วย | | | |
|--------------------------------|----------------------------|------|------|------|
| อัตราการผลิตไอน้ำ | ton/h | 55 | 55 | 55 |
| ประสิทธิภาพหม้อไอน้ำ | % | 76 | 76 | 76 |
| ความดันไอน้ำขาเข้ากังหันไอน้ำ | $\text{kg/cm}^2 \text{ G}$ | 20 | 30 | 40 |
| อุณหภูมิไอน้ำขาเข้ากังหันไอน้ำ | $^{\circ}\text{C}$ | 350 | 450 | 480 |
| ความดันไอน้ำขาออกกังหันไอน้ำ | $\text{kg/cm}^2 \text{ G}$ | 1.5 | 1.5 | 1.5 |
| อุณหภูมิไอน้ำขาออกกังหันไอน้ำ | $^{\circ}\text{C}$ | 120 | 120 | 120 |
| กำลังการผลิตไฟฟ้า | MW | 5.33 | 7.86 | 8.55 |

ภาคผนวก จ.

การเข้ากันได้กับระบบเดิมและการวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์

จากการวิเคราะห์ทางด้านเทคนิคของหม้อไอน้ำใหม่ทำให้ประเมินศักยภาพของการใช้กากอ้อยได้ จะเห็นได้ว่า กากอ้อยที่ใช้จะลดลงซึ่งจะทำให้เราสามารถประหยัดกากอ้อยที่ต้องสูญเสียไปเนื่องจากการใช้งานหม้อไอน้ำที่มีประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำที่ต่ำกว่าที่จะยอมรับได้ ในการตัดสินใจในการลงทุนของระบบ ผู้ลงทุนจะต้องพิจารณาถึงการเข้ากันได้กับระบบเดิม และข้อมูลทางด้านเศรษฐศาสตร์ในการตัดสินใจ การเข้ากันได้กับระบบเดิมที่โรงงานมีอยู่ จะทำให้ค่าใช้จ่ายของโรงงานลดน้อยลง การวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์จะทำให้โรงงานสามารถประมาณค่าใช้จ่ายและวางแผนการดำเนินงานของทางโรงงานได้อย่างถูกต้อง ทางผู้วิจัยจะขอกล่าวถึงการวิเคราะห์ในเชิงเศรษฐศาสตร์เบื้องต้น เพื่อใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้นในการพิจารณาถึงความเหมาะสมที่จะปรับปรุงระบบให้เป็นระบบใหม่ จากข้อมูลการวิเคราะห์ทางด้านเทคนิค เราจะพิจารณาได้ว่า ระบบมีกำลังการผลิตไฟฟ้าได้มากขึ้น แต่ไฟฟ้าที่ผลิตได้มากขึ้นนี้ ก็ต้องได้รับการสนับสนุนจากรัฐบาลเพื่อเป็นแรงจูงใจให้ผู้ประกอบการพัฒนาระบบให้ดีขึ้น

จ.2 ข้อมูลเบื้องต้น

- ข้อมูลทั่วไป

| | | |
|--|-----------|--------|
| - จำนวนอ้อยเข้าหีบ(ฤดูหีบอ้อยปี 2540/2541) | 1,743,215 | ton |
| - ชั่วโมงการทำงานของโรงงาน | 2,904 | h |
| - กากอ้อยที่ผลิตได้ | 871,500 | ton |
| - ความชื้นในกากอ้อย | 51 | % |
| - กำลังการผลิตไฟฟ้า(ในฤดูหีบ) | 15 | MW |
| - กำลังการผลิตไฟฟ้า (ในฤดูหีบ) | 10 | MW |
| - ขายให้การไฟฟ้าที่ | 8 | MW |
| - ราคาการรับซื้อไฟฟ้า | 1400 | บาท/MW |

หลังฤดูหีบอ้อย โรงงานจะทำการละลายน้ำตาล จนกระทั่งเหลือกากอ้อยจำนวนหนึ่ง(100,000 ตัน) เพื่อทำการอุ่นหม้อไอน้ำในฤดูการผลิตในปีต่อไป จึงทำให้โรงงานไม่มีการขายกากอ้อย

จ.3 การวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์

1. สภาวะการทำงานในปัจจุบัน

- พิจารณาในฤดูหีบอ้อย

1. กากอ้อย

| | | |
|----------------------------------|-----------|-------|
| กากอ้อย(หลังสำรองกากอ้อย) | 771,500 | ton |
| อัตราการใช้กากอ้อย(จากตาราง ง.2) | 203.55 | ton/h |
| คิดเป็นการใช้กากอ้อย | 591,109.2 | ton |
| กากอ้อยส่วนเกินเป็น | 180,390.8 | ton |

2. ไฟฟ้า

| | | |
|-----------------------------------|-------|---------|
| กำลังการผลิตไฟฟ้า | 27 | MW |
| ขายไฟฟ้าที่ | 8 | MW |
| ความต้องการใช้ไฟฟ้าทั้งโรงงานเป็น | 19 | MW |
| คิดเป็นเงิน | 32.52 | ล้านบาท |

- พิจารณานอกฤดูหีบอ้อย

นอกฤดูหีบอ้อย โรงงานใช้หม้อไอน้ำขนาด 55 ตันต่อชั่วโมง 2 ตัวในการผลิตไอน้ำ เพื่อป้อนเข้าสู่กระบวนการผลิต โดยสมมติให้ทางโรงงานใช้กากอ้อยหมดพอดี

1. กากอ้อย

| | | |
|----------------------------------|-----------|-------|
| กากอ้อยที่สามารถใช้ได้ | 180,390.8 | ton |
| อัตราการใช้กากอ้อย(จากตาราง ง.2) | 53.23 | ton/h |
| จำนวนชั่วโมงในการทำงานนอกฤดู | 3388.89 | h |
| คิดเป็น | 141 | day |
| คิดเป็น | 4.71 | month |

2. ไฟฟ้า

| | | |
|-----------------------------------|-------|---------|
| กำลังการผลิตไฟฟ้า | 10 | MW |
| ขายไฟฟ้าที่ | 8 | MW |
| ความต้องการใช้ไฟฟ้าทั้งโรงงานเป็น | 2 | MW |
| คิดเป็นเงิน | 37.96 | ล้านบาท |

- สรุปรายได้ของโรงงานน้ำตาลที่สภาวะการทำงานต่างๆเป็น

| | | |
|--------------------|-------|---------|
| ขายไฟฟ้าในฤดูหีบ | 32.52 | ล้านบาท |
| ขายไฟฟ้านอกฤดูหีบ | 37.96 | ล้านบาท |
| รวมรายได้ของโรงงาน | 70.48 | ล้านบาท |

2. โรงงานทำการติดตั้งระบบใหม่

2.1 ความดันไอน้ำ 20 kg/cm² G

- พิจารณาในฤดูหีบอ้อย

1. กากอ้อย

| | | |
|----------------------------------|-----------|-------|
| กากอ้อย(หลังสำรองกากอ้อย) | 771,500 | ton |
| อัตราการใช้กากอ้อย(จากตาราง ง.2) | 193.47 | ton/h |
| คิดเป็นการใช้กากอ้อย | 561487.04 | ton |
| กากอ้อยส่วนเกินเป็น | 209652.96 | ton |

2. ไฟฟ้า

| | | |
|-----------------------------------|-------|---------|
| ขายไฟฟ้าที่ | 8 | MW |
| ความต้องการใช้ไฟฟ้าทั้งโรงงานเป็น | 19 | MW |
| คิดเป็นเงิน | 32.52 | ล้านบาท |

- พิจารณานอกฤดูหีบอ้อย

นอกฤดูหีบอ้อย โรงงานใช้หม้อไอน้ำขนาด 55 ตันต่อชั่วโมง 2 ตัวในการผลิตไอน้ำ เพื่อป้อนเข้าสู่กระบวนการผลิต โดยสมมติให้ทางโรงงานใช้กากอ้อยหมดพอดี

1. กากอ้อย

| | | |
|----------------------------------|-----------|-------|
| กากอ้อยที่สามารถใช้ได้ | 180,390.8 | ton |
| อัตราการใช้กากอ้อย(จากตาราง ง.2) | 48.19 | ton/h |
| จำนวนชั่วโมงในการทำงานนอกฤดู | 4350.84 | h |
| คิดเป็น | 181.29 | day |
| คิดเป็น | 6.04 | month |

2. ไฟฟ้า

| | | |
|-------------------|----|----|
| กำลังการผลิตไฟฟ้า | 10 | MW |
| ขายไฟฟ้าที่ | 8 | MW |

| | | |
|--|------------|----------------------|
| ความต้องการใช้ไฟฟ้าทั้งโรงงานเป็น คิดเป็นเงิน | 2 48.73 | <i>MW</i> ล้านบาท |
| • สรุปรายได้ของโรงงานน้ำตาลที่สภาวะการทำงานต่างๆเป็น | | |
| ขายไฟฟ้าในฤดูหีบ | 32.52 | ล้านบาท |
| ขายไฟฟ้านอกฤดูหีบ | 48.73 | ล้านบาท |
| รวมรายได้ของโรงงาน | 81.25 | ล้านบาท |

2.2 ความดันไอน้ำ 30 kg, /cm² G

• พิจารณาในฤดูหีบอ้อย

1. กากอ้อย

| | | |
|----------------------------------|-----------|--------------|
| กากอ้อย(หลังสำรองกากอ้อย) | 771,500 | <i>ton</i> |
| อัตราการใช้กากอ้อย(จากตาราง ง.2) | 194.58 | <i>ton/h</i> |
| ใช้กากอ้อย | 565074.80 | <i>ton</i> |

2. ไฟฟ้า

| | | |
|-----------------------------------|-------|-----------|
| ขายไฟฟ้าที่ | 10.86 | <i>MW</i> |
| ความต้องการใช้ไฟฟ้าทั้งโรงงานเป็น | 19 | <i>MW</i> |
| คิดเป็นเงิน | 44.15 | ล้านบาท |

• พิจารณานอกฤดูหีบอ้อย

นอกฤดูหีบอ้อย โรงงานใช้หม้อไอน้ำขนาด 55 ตันต่อชั่วโมง 2 ตัวในการผลิตไอน้ำ เพื่อป้อนเข้าสู่กระบวนการผลิต โดยสมมติให้ทางโรงงานใช้กากอ้อยหมดพอดี

1. กากอ้อย

| | | |
|----------------------------------|-----------|--------------|
| กากอ้อยที่สามารถใช้ได้ | 206425.20 | <i>ton</i> |
| อัตราการใช้กากอ้อย(จากตาราง ง.2) | 48.12 | <i>ton/h</i> |
| จำนวนชั่วโมงในการทำงานนอกฤดู | 4289.36 | <i>h</i> |
| คิดเป็น | 178.72 | <i>day</i> |
| คิดเป็น | 5.96 | <i>month</i> |

2. ไฟฟ้า

| | | |
|-------------------|-------|-----------|
| กำลังการผลิตไฟฟ้า | 10 | <i>MW</i> |
| ขายไฟฟ้าที่ | 10.86 | <i>MW</i> |

| | | |
|--|------------|----------------------|
| ความต้องการใช้ไฟฟ้าทั้งโรงงานเป็น คิดเป็นเงิน | 2 67.20 | <i>MW</i> ล้านบาท |
| • สรุปรายได้ของโรงงานน้ำตาลที่สภาวะการทำงานต่างๆเป็น | | |
| ขายไฟฟ้าในฤดูหีบ | 44.15 | ล้านบาท |
| ขายไฟฟ้านอกฤดูหีบ | 67.20 | ล้านบาท |
| รวมรายได้ของโรงงาน | 111.35 | ล้านบาท |

2.3 ความดันไอน้ำ 40 kg, /cm² G

• พิจารณาในฤดูหีบอ้อย

1. กากอ้อย

| | | |
|----------------------------------|-----------|--------------|
| กากอ้อย(หลังสำรองกากอ้อย) | 771,500 | <i>ton</i> |
| อัตราการใช้กากอ้อย(จากตาราง ง.2) | 195.04 | <i>ton/h</i> |
| ใช้กากอ้อย | 566395.37 | <i>ton</i> |

2. ไฟฟ้า

| | | |
|--|-------------|----------------------|
| ขายไฟฟ้าที่ | 11.55 | <i>MW</i> |
| ความต้องการใช้ไฟฟ้าทั้งโรงงานเป็น คิดเป็นเงิน | 19 46.96 | <i>MW</i> ล้านบาท |

• พิจารณานอกฤดูหีบอ้อย

นอกฤดูหีบอ้อย โรงงานใช้หม้อไอน้ำขนาด 55 ตันต่อชั่วโมง 2 ตัวในการผลิตไอน้ำ เพื่อป้อนเข้าสู่กระบวนการผลิต โดยสมมติให้ทางโรงงานใช้กากอ้อยหมดพอดี

1. กากอ้อย

| | | |
|----------------------------------|-----------|--------------|
| กากอ้อยที่สามารถใช้ได้ | 205104.63 | <i>ton</i> |
| อัตราการใช้กากอ้อย(จากตาราง ง.2) | 48.58 | <i>ton/h</i> |
| จำนวนชั่วโมงในการทำงานนอกฤดู | 4222.02 | <i>h</i> |
| คิดเป็น | 175.92 | <i>day</i> |
| คิดเป็น | 5.86 | <i>month</i> |

2. ไฟฟ้า

| | | |
|-------------------|-------|-----------|
| กำลังการผลิตไฟฟ้า | 10 | <i>MW</i> |
| ขายไฟฟ้าที่ | 11.55 | <i>MW</i> |

| | | | | | | | | | | | |
|--|------------|---------------|------------------|-------|---------|-------------------|-------|---------|--------------------|--------|---------|
| ความต้องการใช้ไฟฟ้าทั้งโรงงานเป็น คิดเป็นเงิน | 2 70.22 | MW ล้านบาท | | | | | | | | | |
| <ul style="list-style-type: none"> สรุปรายได้ของโรงงานน้ำตาลที่สภาวะการทำงานต่างๆเป็น <table border="1"> <tr> <td>ขายไฟฟ้าในฤดูหีบ</td> <td>46.96</td> <td>ล้านบาท</td> </tr> <tr> <td>ขายไฟฟ้านอกฤดูหีบ</td> <td>70.22</td> <td>ล้านบาท</td> </tr> <tr> <td>รวมรายได้ของโรงงาน</td> <td>117.18</td> <td>ล้านบาท</td> </tr> </table> | | | ขายไฟฟ้าในฤดูหีบ | 46.96 | ล้านบาท | ขายไฟฟ้านอกฤดูหีบ | 70.22 | ล้านบาท | รวมรายได้ของโรงงาน | 117.18 | ล้านบาท |
| ขายไฟฟ้าในฤดูหีบ | 46.96 | ล้านบาท | | | | | | | | | |
| ขายไฟฟ้านอกฤดูหีบ | 70.22 | ล้านบาท | | | | | | | | | |
| รวมรายได้ของโรงงาน | 117.18 | ล้านบาท | | | | | | | | | |

ฉ.4 การวิเคราะห์เพื่อการลงทุน

ตารางที่ ฉ.1 แสดงผลการประเมินทางด้านเศรษฐศาสตร์ของระบบใหม่

| รายละเอียด | หน่วย | ความดันไอน้ำ | | |
|-------------------------------------|---------|--------------|-------|-------|
| | | 20 | 30 | 40 |
| อุปกรณ์ | | | | |
| หม้อไอน้ำ ¹ | ล้านบาท | 85 | 85 | 108 |
| ระบบเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ² | ล้านบาท | 73.5 | 112.2 | 145.2 |
| ระบบทำน้ำสะอาด | ล้านบาท | 5 | 7.5 | 10 |
| รวมเงินลงทุน | ล้านบาท | 163.5 | 204.7 | 262.6 |
| การประเมินทางด้านเศรษฐศาสตร์ | | | | |
| อายุโครงการ | ปี | 20 | 20 | 20 |
| รายรับต่อปี | ล้านบาท | 10.77 | 40.87 | 46.69 |
| IRR | % | 4 | 20 | 17 |
| ระยะเวลาคืนทุน | ปี | 15.18 | 5.01 | 5.62 |

หมายเหตุ

ก. ราคานี้รวมค่าติดตั้งและภาษีแล้ว

ข. ราคาของอุปกรณ์ต่างๆ ได้รับความอนุเคราะห์ข้อมูลจากตัวแทนจำหน่ายดังนี้

¹ ราคาโดยประมาณของหม้อไอน้ำซึ่งประกอบด้วย หม้อไอน้ำ, Foundation, Air Pre-heater และ Economizer จาก Narong Enterprise Co.,Ltd

² ราคาโดยประมาณของกังหันไอน้ำขับเคลื่อนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซึ่งประกอบด้วย กังหันไอน้ำและเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ข้อมูลจาก Shinko Ind.,Ltd.

ภาคผนวก ข.

โปรแกรมวิเคราะห์ประสิทธิภาพ

ข.1 กล่าวนำ

โปรแกรมวิเคราะห์ประสิทธิภาพ(Chugar Program) เป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ถูกระดมทุนเพื่อเป็นเครื่องมือของการทำวิทยานิพนธ์ในการประเมินประสิทธิภาพการใช้พลังงานของอุปกรณ์ในโรงงานน้ำตาล เนื่องจากผู้วิจัยสังเกตเห็นถึงความจำเป็นในการตรวจสอบสภาพการใช้พลังงานภายในโรงงาน อีกทั้งผู้ประกอบการโรงงานน้ำตาลก็มีความกระตือรือร้นในการตรวจสอบการใช้พลังงานโดยโรงงานเอง หากแต่ผู้ประกอบการยังขาดความรู้และความชำนาญในการปฏิบัติ การประมัตถุโปรแกรมเพื่อการวิเคราะห์ประสิทธิภาพนี้จึงได้เกิดขึ้น ซึ่งจะส่งผลให้การวิเคราะห์ประสิทธิภาพเป็นไปในแนวทางเดียวกัน ก่อให้เกิดมาตรฐานการทำงานมากขึ้น ส่งผลให้เกิดการวางแผนการทำงานที่ถูกต้อง เป็นการนำไปสู่การพัฒนาระบบให้ดีขึ้น

โปรแกรมวิเคราะห์ประสิทธิภาพนี้ ถูกพัฒนาโดยใช้ภาษา Visual Basic Programming เนื่องจากข้อดีของโปรแกรมในการรับ-ส่งข้อมูลที่ดู่ง่าย ไม่ยุ่งยากซับซ้อน ทำให้ผู้ใช้ไม่สับสนกับข้อมูล อีกทั้งยังมีโครงสร้างภาษาที่ไม่ซับซ้อน เรียนรู้การใช้งานได้ง่ายและรวดเร็ว ทางด้านการนำเสนอข้อมูล สามารถที่จะเสนอผลการวิเคราะห์ในรูปแบบของตารางและรูปภาพได้ชัดเจน ผู้วิจัยจึงเลือกใช้โปรแกรมภาษานี้

อนึ่ง โปรแกรมนี้ได้ถูกระดมทุนขึ้นในช่วงเวลาสั้นๆ จึงไม่สามารถครอบคลุมถึงอุปกรณ์ทุกชนิดภายในโรงงานน้ำตาลและยังทำให้การตรวจสอบความผิดพลาดของโปรแกรมยังไม่ดีพอ ซึ่งอาจจะเกิดข้อผิดพลาดขึ้นบ้าง ผู้วิจัยหวังว่าโปรแกรมนี้จะได้รับการพัฒนาต่อไปในอนาคต ข้อผิดพลาดประการใด ทางผู้วิจัยต้องขออภัยไว้ ณ.ที่นี้ หวังว่าผู้ที่นำโปรแกรมนี้ไปใช้ประโยชน์ จะช่วยเสนอแนะข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้น เพื่อประโยชน์ในการพัฒนาต่อไป โดยส่งข้อเสนอแนะที่อาจารย์มิ่งศักดิ์ ตั้งตระกูล หน่วยปฏิบัติการพลังงาน ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาด้านวิทยานิพนธ์ของผู้วิจัย

ข.2 รายละเอียดของโปรแกรม Chugar

โปรแกรมวิเคราะห์ประสิทธิภาพเป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ใช้ตรวจสอบการทำงานของระบบผลิตพลังงานร่วมของโรงงานน้ำตาล ในที่นี้จะขอยกตัวอย่างการทำงานของโรงงานน้ำ

ดาส ก. โดยใช้ข้อมูลการทำงานของในโรงงานน้ำตาลในช่วงฤดูการผลิตปี 2540/2541 ที่ผ่านมาเป็นตัวอย่างของการใช้โปรแกรม

- การทำงานของโปรแกรม

เริ่มการทำงานของโปรแกรมโดยการรับข้อมูลทั่วไปของโรงงานและการทำงานของโรงงาน ข้อมูลที่ได้จะถูกเก็บเข้าสู่ระบบฐานข้อมูลเพื่อรอการใช้งานต่อไป หลังจากนั้น ก็จะเข้าสู่ส่วนที่เป็นโปรแกรม โปรแกรมนี้จะแบ่งกลุ่มของอุปกรณ์ภายในโรงงานเป็น 4 กลุ่มใหญ่ๆ ตามลักษณะของการใช้ไอน้ำ การเข้าสู่การคำนวณในแต่ละส่วนทำได้โดยการเลือกที่รูปภาพที่ใช้แสดงกลุ่มของอุปกรณ์ เช่น Boiler House เป็นส่วนของหม้อไอน้ำ Power Plant เป็นส่วนของกังหันไอน้ำที่ขับเคลื่อนเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เป็นต้น ในแต่ละส่วนก็จะมีวิธีการวิเคราะห์ที่แตกต่างกันออกไป แต่มีหลักการทำงานที่คล้ายกันคือจะรับข้อมูลการทำงานของอุปกรณ์ คำนวณผลแสดงผลการคำนวณและจัดเก็บข้อมูล ในการจัดเก็บข้อมูลนี้เพื่อหวังที่จะทำการตรวจสอบเปรียบเทียบสภาวะการทำงานของอุปกรณ์ได้ตลอดเวลา

- ส่วนของโรงหม้อไอน้ำ (Boiler House)

โปรแกรมจะทำการรับข้อมูลพลังงานขาเข้าแล้วนำมาวิเคราะห์เปรียบเทียบกับข้อมูลการวิเคราะห์ของการเผาไหม้ของกากอ้อยตามทฤษฎี ข้อมูลสำคัญยิ่งในการวิเคราะห์นั้นคือข้อมูลการวิเคราะห์ก๊าซ ใช้เป็นข้อมูลในเปรียบเทียบการเกิดส่วนประกอบของก๊าซที่เกิดขึ้นจริงและตามทฤษฎีว่ามีความแตกต่างกันเท่าไร เพื่อหาปริมาณอากาศส่วนเกินที่ใช้ในกระบวนการเผาไหม้และปริมาณของเชื้อเพลิงที่จะต้องใช้ ทำให้เราหาประสิทธิภาพการทำงานของหม้อไอน้ำได้

- ส่วนของโรงไฟฟ้า(Power Plant)

ในโรงไฟฟ้านี้จะมีอุปกรณ์ไม่มากนัก ได้แก่ กังหันไอน้ำและเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ข้อมูลขาเข้าของโรงไฟฟ้านี้จะดูจากปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้เป็นหลัก ข้อมูลของการทำงานของภาระงานที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าผลิตได้นี้จะได้จากอุปกรณ์วัดของทางโรงงานเอง รวมทั้งข้อมูลสภาวะไอน้ำขาออก-เข้ากังหันไอน้ำและข้อมูลอื่นๆที่จำเป็น

- ส่วนของโรงสกัดน้ำอ้อย(Milling Plant)

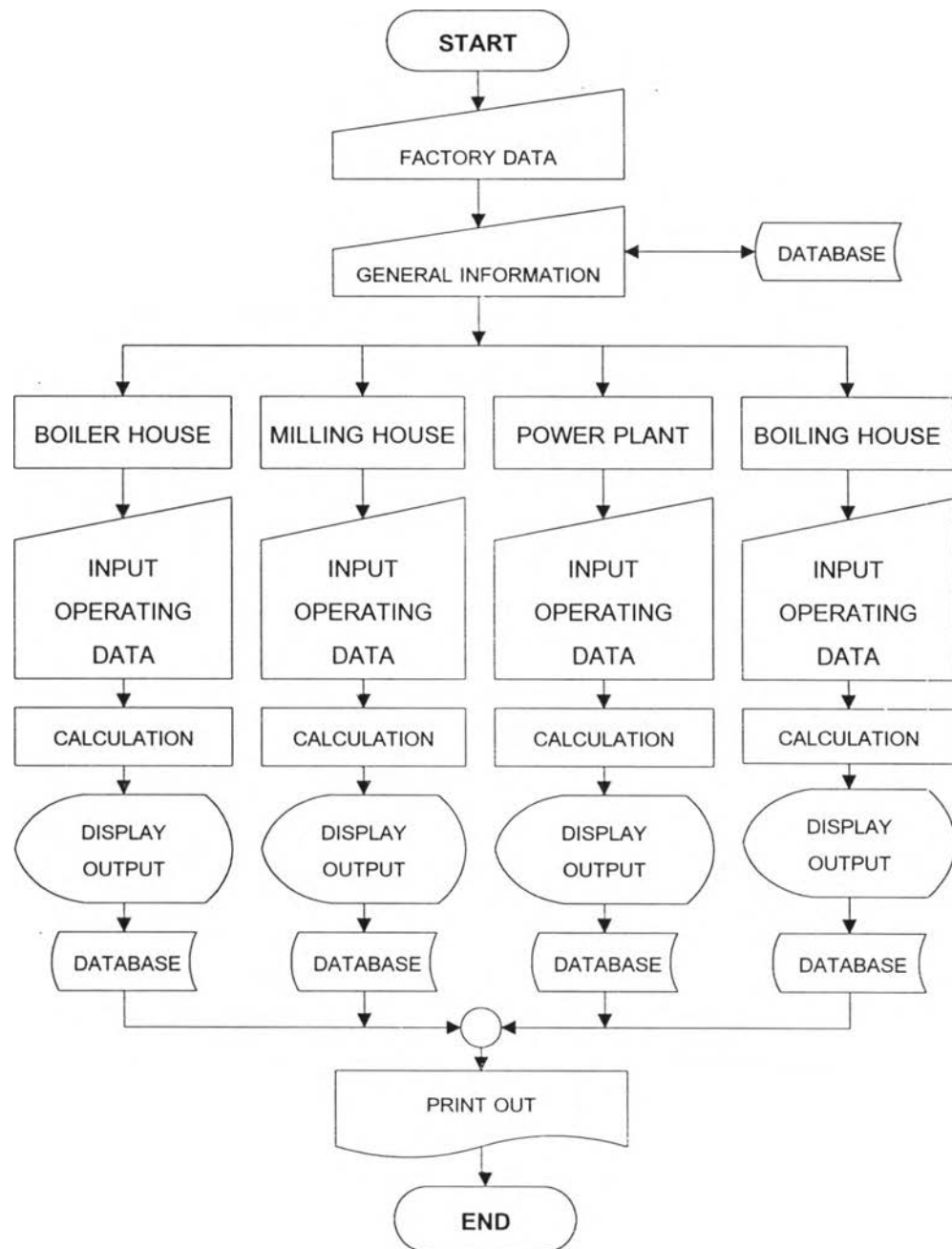
อุปกรณ์ที่ใช้ในโรงสกัดน้ำอ้อยโดยส่วนใหญ่จะประกอบด้วยกังหันไอน้ำที่ใช้ขับเคลื่อนอุปกรณ์ทางกลต่างๆ การรับข้อมูลจะรับข้อมูลของการทำงานของภาระงานที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าผลิตได้และสภาวะไอน้ำขาเข้า-ออกของกังหันไอน้ำ รวมทั้งข้อมูลอื่นๆที่จำเป็น

- ส่วนของโรงต้มระเหย

อุปกรณ์หลักที่ใช้ในโรงต้มระเหยนี้จะมีหลายประเภท อุปกรณ์ที่มีการใช้พลังงานสูง ได้แก่ หม้อต้มอุ่นอ้อย หม้อต้มน้ำตาลและหม้อเคี้ยวน้ำตาล ซึ่งในส่วนของโปรแกรมในส่วนนี้กำลังอยู่ในระหว่างการพัฒนาเพราะความยุ่งยากของระบบที่ทางโรงงานน้ำตาลแต่ละโรงงานที่มีระบบไม่เหมือนกัน อีกทั้งการใช้ไอน้ำในกระบวนการผลิตยังไม่มีแบบแผนที่แน่นอนและตายตัวขึ้นอยู่กับประสบการณ์ของผู้ดำเนินงานเป็นหลัก ทำให้การประเมินเป็นสิ่งที่ยากลำบาก

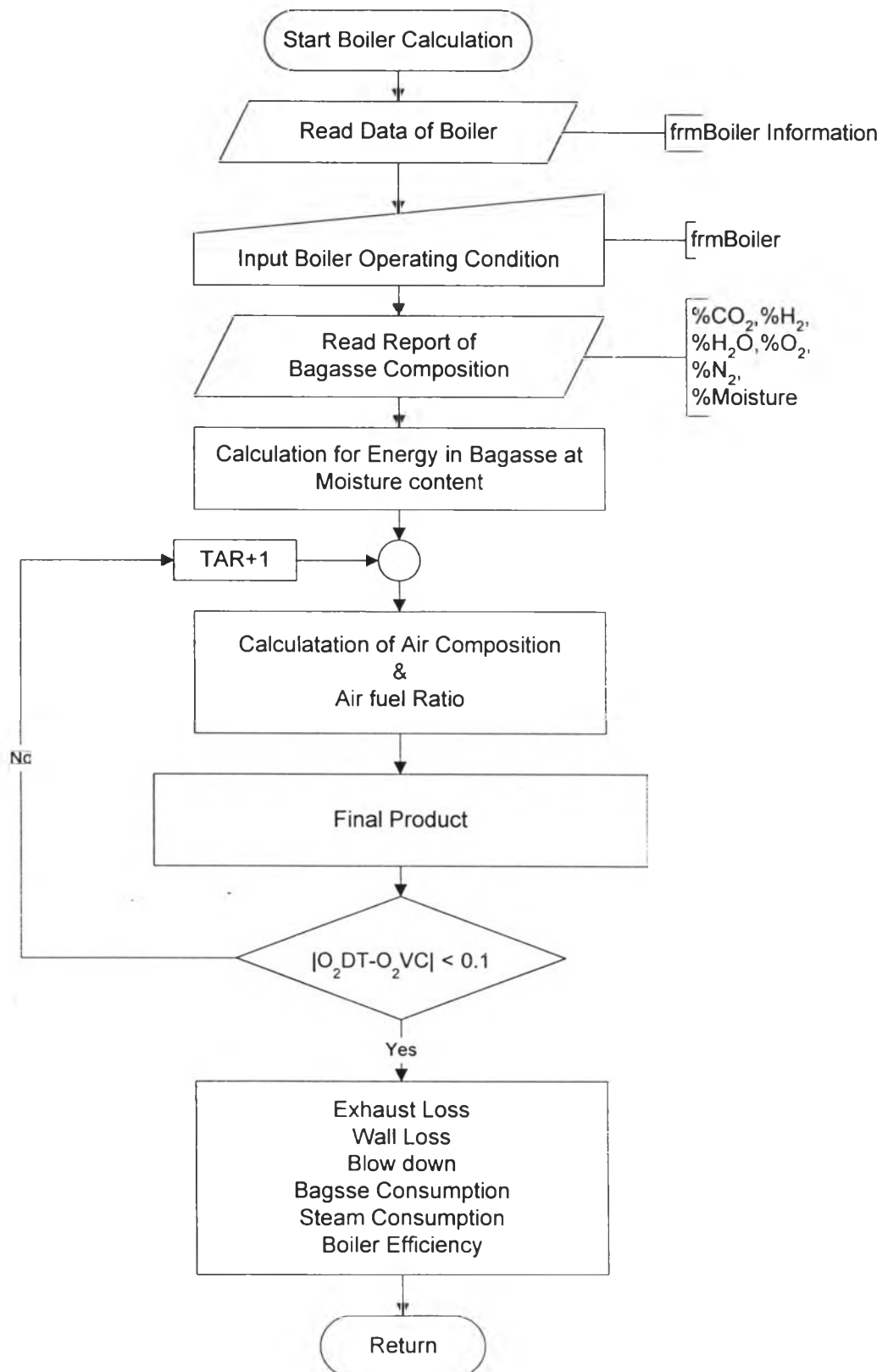
ข้อสังเกต

แผนของโรงงาน(Plan) หมายถึง การดำเนินงานที่มีมากกว่า 1 เดือน ซึ่งแตกต่างจากที่ใช้งานในปัจจุบัน นั้นหมายถึง แผนงานในอนาคต หรือ แนวทางในการพัฒนาระบบ เช่น การปรับปรุงระบบโดยเพิ่มความดันของไอน้ำ เป็นต้น โดยทั่วไปควรจะต้องเก็บข้อมูลการทำงานในสภาวะปัจจุบัน ไว้ในแผนที่ 0000 เพื่อประโยชน์ในการวิเคราะห์ต่อไปในอนาคต



รูปที่ ช.1 แผนภาพแสดงการทำงานของโปรแกรม Chugar

รูปที่ ข.2 แผนภาพแสดงส่วนคำนวณของหม้อไอน้ำ

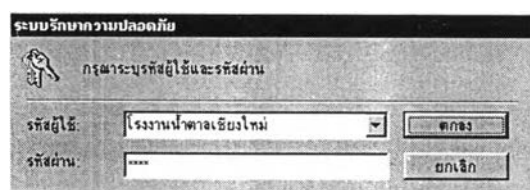




รูปที่ ข.3 โปรแกรมวิเคราะห์ประสิทธิภาพ



รูปที่ ข.4 Chugar program background



รูปที่ ข.5 ระบบรักษาความปลอดภัยของโปรแกรม

Thailand Sugar Mill Information

Factory Name: Institute of Energy Research

Address: Chulalongkorn University Bangkok Thailand

Zip Code: 10330 Factory Capacity: 50000

Phone Number: 02-2186642

Fax Number: 02-2186642

Email Address: 3971884@dustra.eng.chula.ac.th

Energy's Responsibility Contactor: Mingsak Tangtrakul

OK Cancel

รูปที่ ข.6 ข้อมูลทั่วไปของโปรแกรม

Installation (Equipment)

Plan: 0000 Factory Name: Institute of Energy Research

Boiler House: Boiler Set: 5 Boiling House: Heater: 8, Before Clarifier: 8, After Clarifier: 10

Milling House: Line of Milling: 2 Operating Steam Pressure: 1st Line: 20 kg/cm.g, 2nd Line: 30 kg/cm.g, 3rd Line: 30 kg/cm.g

Power Plant: Generator Set: 5 Evaporator: 1st Effect: Pre-Evaporator, Quadruple Effect, Sextuple Effect; 2nd Effect: Pre-Evaporator, Quadruple Effect, Sextuple Effect

Vacuum Pan: A: 5, B: 6, C: 7

OK Cancel

รูปที่ ข.7 อุปกรณ์ภายในโรงงาน

Installation (Equipment)

? This plan already exists. Replace existing plan?

Yes No

รูปที่ ข.8 ระบบความปลอดภัยของฐานข้อมูล(1)

Thailand Sugar Mill Factory
 Factory Name: Institute of Energy Research

Plan No.: 0000

Operation Data:
 Year: 2540
 Date: 24-12
 Capacity: 15165

| | Brix | Pct | Sucrose | Apparent purity | Gravily purity | Moisture | Suspended material |
|----------------|-------|-------|---------|-----------------|----------------|----------|--------------------|
| Primary juice | 15.69 | 9.33 | | | | | |
| 2nd-mill juice | 1.52 | | | | | | |
| Residual juice | | | 10 | | | | |
| Mixed juice | 14.73 | 11.98 | 3.49 | | 81.3 | | |
| Final molasses | | | 23.67 | | 34.8 | | 57.21 |
| Final bagasse | 1.99 | | | | | 50.43 | |
| Filter cake | 1.88 | | | | | | |
| Raw sugar | | | | 75 | | | |

Cane:
 Tons cane crushed: 18088.01

High Pressure Steam Line:
 20 kg/sq.cm.g
 30 kg/sq.cm.g
 kg/sq.cm.g

Low Pressure Steam Line:
 kg/sq.cm.g
 2 kg/sq.cm.g

| | Weight | % on cane |
|---------------------------------|-------------|-----------|
| Cane crushed | 18088.01 | 100 |
| Mixed juice obtained | 18588.5 | 102.77 |
| Imbibition juice obtained | 5502.524742 | 30.42 |
| Weight of filter cake | 648 | |
| Weight of final molasses | 1255.22 | |
| Sucrose lost in molasses % cane | | 15.11 |
| Sucrose recovered % cane | | 84.01 |

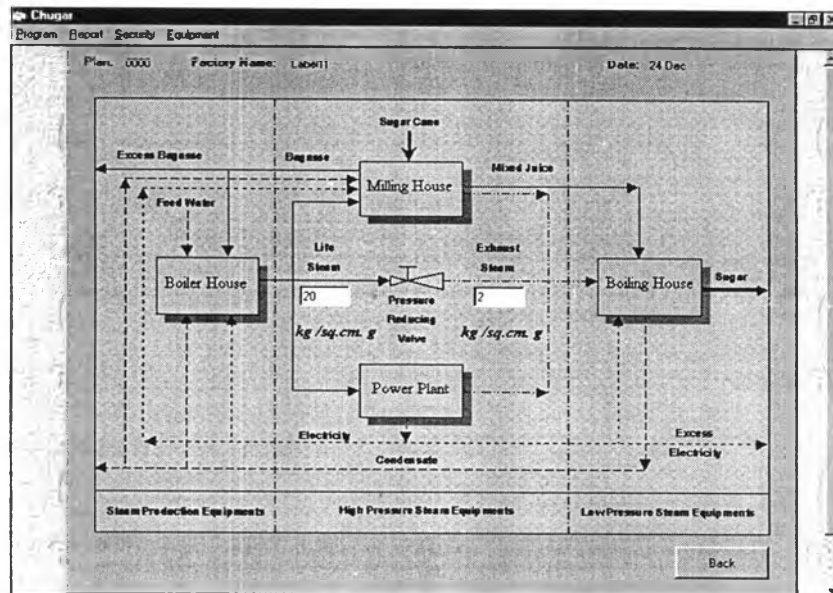
รูปที่ ข.9 ข้อมูลการทำงานของโรงงาน

Thailand Sugar Mill Factory

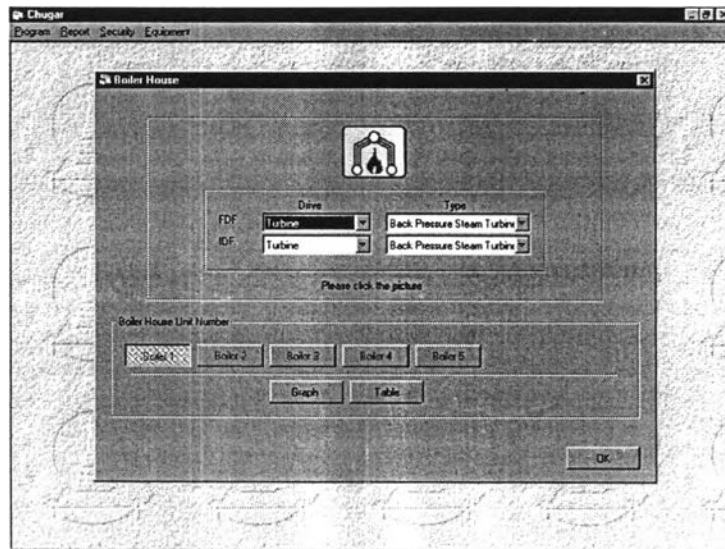
? You have already calculate 24/12/2540 date. Do you want to overwrite it?

Yes No

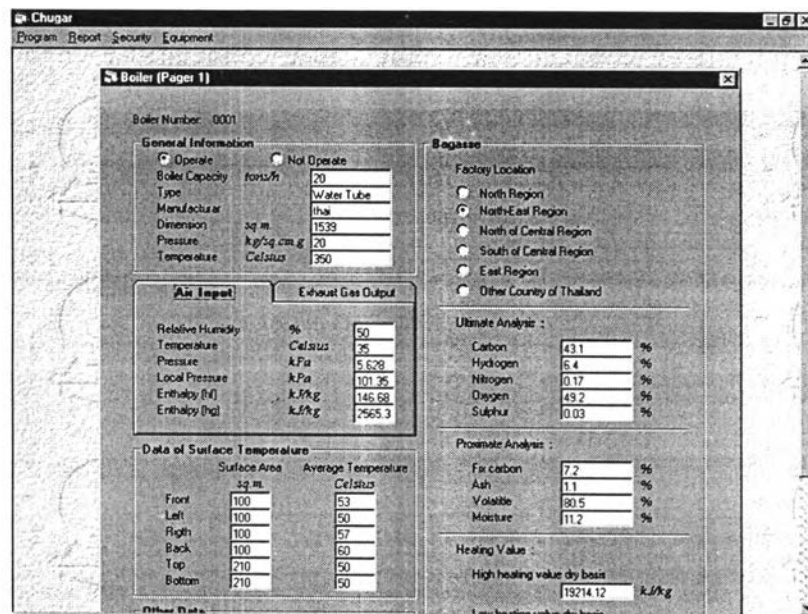
รูปที่ ข.10 ระบบความปลอดภัยของฐานข้อมูล(2)



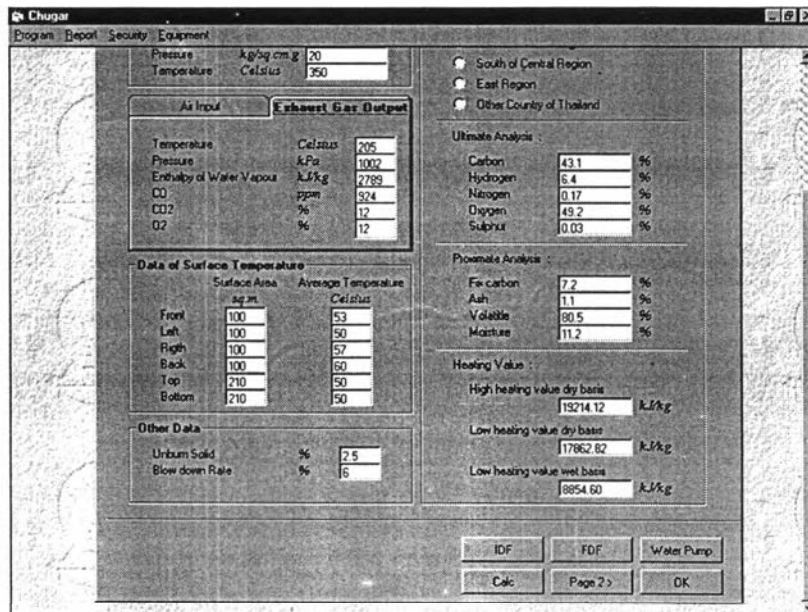
รูปที่ ข.11 ทางเข้าสู่การปฏิบัติงานของโปรแกรม



รูปที่ ข.12 เข้าสู่การทำงานของโรงหม้อไอน้ำ



รูปที่ ข.13 ข้อมูลการทำงานของหม้อไอน้ำ หน้า 1



รูปที่ ข.14 ข้อมูลการทำงานของหม้อไอน้ำ หน้า 1 (ต่อ)

The screenshot shows the Thailand Sugar Mill Factory software interface with a detailed boiler performance table. The table is organized into two main time periods: 00:00-09:00 and 12:00-21:00.

| Factory Name | | Boiler No | Date | Pressure (kg/cm ²) | Sugarose Moisture | | | | | |
|------------------------------|---|-----------|--------------|--------------------------------|-------------------|---------|-------|----------|----------|----------|
| Institute of Energy Research | | 0001 | 24 ส.ค. 2540 | 20 | 50.43 | | | | | |
| Time | 00:00 01:00 02:00 03:00 04:00 05:00 06:00 07:00 08:00 09:00 | | | | | | | | | |
| Time Period | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | |
| Water Counter | Tons | 11099 | 11124 | 11158 | 11180 | 11199 | 11222 | 11247 | 11275 | 11302 |
| Water Consumption | Tons/h | - | 25 | 34 | 22 | 19 | 23 | 25 | 26 | 27 |
| Pressure | kg/sq.cm. | 25 | 28 | 26 | 25 | 28 | 25 | 24 | 24 | 24 |
| Temperature | °C | 103 | 103 | 103 | 103 | 103 | 103 | 103 | 103 | 103 |
| Enthalpy | kJ/kg | 433.5 | 433.7 | 433.5 | 433.5 | 433.7 | 433.5 | 433.4 | 433.4 | 433.4 |
| Steam Counter | Tons | 18865 | 18901 | 18955 | 18985 | 19009 | 19043 | 19081 | 19120 | 19163 |
| Steam Generate | Tons/h | - | 36 | 54 | 30 | 24 | 34 | 38 | 36 | 43 |
| Pressure | kg/sq.cm. | 18 | 18 | 20 | 19 | 19 | 19 | 18 | 19 | 16 |
| Temperature | °C | 348 | 352 | 354 | 335 | 354 | 390 | 372 | 347 | 378 |
| Enthalpy | kJ/kg | 3137 | 3146 | 3146 | 3106 | 3148 | 3227 | 3190 | 3132 | 3206 |
| Net Energy Gain | kJ/h | 0 | 97642.8 | 146475 | 80175 | 65143.2 | 94579 | 104750.8 | 105245.4 | 113221.8 |
| Time | 12:00 13:00 14:00 15:00 16:00 17:00 18:00 19:00 20:00 21:00 | | | | | | | | | |
| Time Period | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | |
| Water Counter | Tons | 11407 | 11429 | 11452 | 11488 | 11499 | 11523 | 11542 | 11568 | 11593 |
| Water Consumption | Tons/h | 18 | 22 | 23 | 36 | 11 | 24 | 19 | 26 | 25 |
| Pressure | kg/sq.cm. | 24 | 26 | 25 | 25 | 24 | 29 | 24 | 23 | 25 |
| Temperature | °C | 103 | 103 | 103 | 103 | 103 | 103 | 103 | 103 | 103 |
| Enthalpy | kJ/kg | 433.4 | 433.5 | 433.5 | 433.5 | 433.4 | 433.8 | 433.4 | 433.3 | 433.5 |
| Steam Counter | Tons | 19319 | 19347 | 19378 | 19410 | 19469 | 19483 | 19511 | 19569 | 19589 |
| Steam Generate | Tons/h | 25 | 28 | 31 | 32 | 59 | 14 | 28 | 56 | 20 |
| Pressure | kg/sq.cm. | 18 | 19 | 20 | 19 | 18 | 19 | 19 | 17 | 20 |

รูปที่ ข.15 ข้อมูลการทำงานของหม้อไอน้ำ(หม้อที่ 2) ส่วนที่ 1

Thailand Sugar Mill Factory
Program Report Security Equipment

Date: 24 ส.ค. 2540
Pressure (kg/cm²): 20
Bagasse Moisture: 50.43
Water Counter: 11099
Steam Counter: 18865

| | 02:00 | 03:00 | 04:00 | 05:00 | 06:00 | 07:00 | 08:00 | 09:00 | 10:00 | 11:00 | 12:00 |
|--------|---------|--------|---------|--------|----------|----------|----------|---------|----------|----------|----------|
| 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | |
| 11124 | 11158 | 11180 | 11189 | 11222 | 11247 | 11275 | 11302 | 11326 | 11352 | 11389 | 11369.00 |
| 25 | 34 | 22 | 19 | 23 | 25 | 28 | 27 | 24 | 26 | 37 | 24.92 |
| 28 | 26 | 25 | 28 | 25 | 24 | 24 | 24 | 23 | 24 | 24 | 103.00 |
| 103 | 103 | 103 | 103 | 103 | 103 | 103 | 103 | 103 | 103 | 103 | 433.47 |
| 433.7 | 433.5 | 433.5 | 433.7 | 433.5 | 433.4 | 433.4 | 433.4 | 433.3 | 433.3 | 433.4 | 18901.00 |
| 18901 | 18955 | 18985 | 19009 | 19043 | 19081 | 19120 | 19163 | 19198 | 19236 | 19294 | 36 |
| 36 | 54 | 30 | 24 | 34 | 38 | 39 | 43 | 35 | 38 | 58 | 19294.00 |
| 18 | 20 | 19 | 19 | 19 | 18 | 19 | 16 | 16 | 19 | 19 | 18.33 |
| 352 | 354 | 335 | 354 | 390 | 372 | 347 | 378 | 361 | 367 | 359 | 359.75 |
| 3146 | 3146 | 3106 | 3148 | 3227 | 3190 | 3132 | 3206 | 3169 | 3177 | 3159 | 3151.92 |
| 7642.8 | 14647.5 | 8017.5 | 65143.2 | 9497.9 | 104750.8 | 105245.4 | 119221.8 | 95743.5 | 104260.6 | 158094.8 | |
| | 14:00 | 15:00 | 16:00 | 17:00 | 18:00 | 19:00 | 20:00 | 21:00 | 22:00 | 23:00 | 24:00 |
| 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | |
| 11429 | 11452 | 11488 | 11499 | 11523 | 11542 | 11568 | 11593 | 11619 | 11646 | 11674 | 11593.00 |
| 22 | 23 | 26 | 11 | 24 | 18 | 26 | 25 | 26 | 27 | 28 | 26.00 |
| 26 | 25 | 25 | 24 | 29 | 24 | 23 | 25 | 23 | 23 | 23 | 24.50 |
| 103 | 103 | 103 | 103 | 103 | 103 | 103 | 103 | 103 | 103 | 103 | 103.00 |
| 433.5 | 433.5 | 433.5 | 433.4 | 433.8 | 433.4 | 433.3 | 433.5 | 433.3 | 433.3 | 433.3 | 433.43 |
| 19347 | 19378 | 19410 | 19469 | 19483 | 19511 | 19569 | 19589 | 19624 | 19660 | 19702 | 19347.00 |
| 28 | 31 | 32 | 59 | 14 | 28 | 58 | 20 | 35 | 36 | 42 | 408.00 |
| 19 | 20 | 19 | 18 | 19 | 19 | 17 | 20 | 17 | 18 | 19 | 18.58 |

รูปที่ ข.16 ข้อมูลการทำงานของหม้อไอน้ำ(หน้าที่ 2) ส่วนที่ 2

Thailand Sugar Mill Factory
Program Report Security Equipment

| | 18 | 18 | 20 | 19 | 19 | 19 | 18 | 19 | 16 |
|-----------------|--------------------|------|---------|---------|--------|---------|--------|----------|----------|
| Pressure | kg/cm ² | 19 | 18 | 20 | 19 | 19 | 19 | 18 | 19 |
| Temperature | °C | 348 | 352 | 354 | 335 | 354 | 390 | 372 | 347 |
| Enthalpy | kJ/kg | 3137 | 3146 | 3146 | 3106 | 3148 | 3227 | 3190 | 3132 |
| Net Energy Gain | kJ/h | 0 | 97642.8 | 14647.5 | 8017.5 | 65143.2 | 9497.9 | 104750.8 | 105245.4 |

| Time | 12:00 | 13:00 | 14:00 | 15:00 | 16:00 | 17:00 | 18:00 | 19:00 | 20:00 | 21:00 |
|-------------------|--------------------|-------|-------|---------|-------|----------|---------|---------|----------|-------|
| Time Period | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | |
| Water Counter | Tons | 11487 | 11429 | 11452 | 11488 | 11499 | 11523 | 11542 | 11568 | 11593 |
| Water Consumption | Tons/h | 18 | 22 | 23 | 26 | 25 | 24 | 26 | 26 | 26 |
| Pressure | kg/cm ² | 24 | 26 | 25 | 25 | 24 | 29 | 24 | 23 | 25 |
| Temperature | °C | 103 | 103 | 103 | 103 | 103 | 103 | 103 | 103 | 103 |
| Enthalpy | kJ/kg | 433.4 | 433.5 | 433.5 | 433.5 | 433.4 | 433.8 | 433.4 | 433.3 | 433.5 |
| Steam Counter | Tons | 19319 | 19347 | 19378 | 19410 | 19469 | 19483 | 19511 | 19569 | 19589 |
| Steam Generate | Tons/h | 25 | 26 | 31 | 32 | 59 | 14 | 28 | 58 | 20 |
| Pressure | kg/cm ² | 18 | 19 | 20 | 19 | 18 | 19 | 19 | 17 | 20 |
| Temperature | °C | 337 | 331 | 338 | 348 | 354 | 315 | 376 | 363 | 357 |
| Enthalpy | kJ/kg | 3112 | 3097 | 3110 | 3135 | 3238 | 3061 | 3192 | 3172 | 3153 |
| Net Energy Gain | kJ/h | 66965 | 74678 | 82371.5 | 86448 | 165471.4 | 36280.8 | 77380.8 | 168944.6 | 54390 |

| Water Data | | Steam Data | |
|-------------------|--------------------|------------|--|
| Water Consumption | Tons/h | 3851 | |
| Pressure | kg/cm ² | 18.455 | |
| Temperature | °C | 355.79 | |
| Enthalpy | kJ/kg | 3152.92 | |

รูปที่ ข.17 ข้อมูลการทำงานของหม้อไอน้ำ(หน้าที่ 2) ส่วนที่ 3

Thailand Sugar Mill Factory

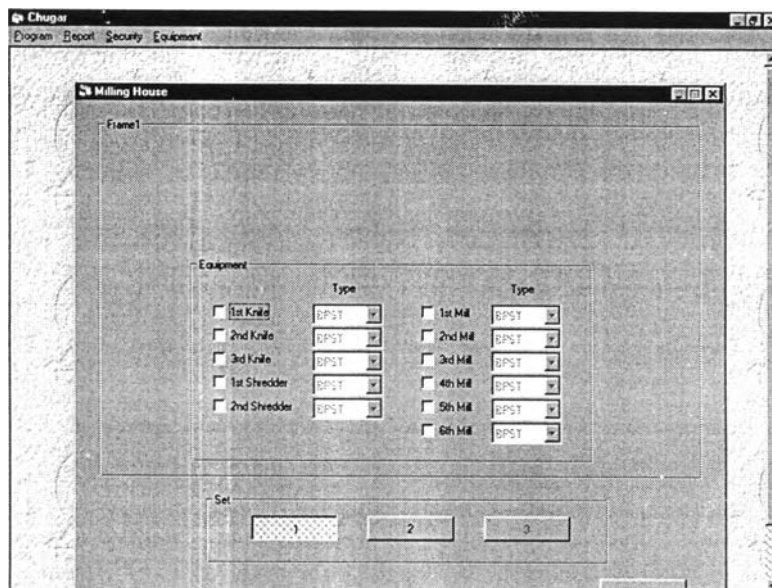
| Program | Report | Security | Equipment | | | | | | | | | | | |
|---|---------|----------|-----------|---------|----------|----------|----------|---------|----------|----------|--|---------|--|--------|
| 18 | 20 | 19 | 19 | 19 | 18 | 19 | 16 | 16 | 19 | 19 | | 18.33 | | |
| 952 | 354 | 335 | 354 | 390 | 372 | 347 | 378 | 361 | 367 | 369 | | 359.75 | | |
| 3146 | 3146 | 3106 | 3148 | 3227 | 3190 | 3132 | 3206 | 3169 | 3177 | 3159 | | 3161.92 | | |
| 7642.8 | 146475 | 60175 | 65143.2 | 54979 | 104750.8 | 105245.4 | 113221.8 | 95743.5 | 104760.6 | 158064.8 | | | | |
| 14.00 15.00 16.00 17.00 18.00 19.00 20.00 21.00 22.00 23.00 24.00 | | | | | | | | | | | | | | |
| 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | | | | |
| 11429 | 11452 | 11488 | 11499 | 11523 | 11542 | 11568 | 11593 | 11619 | 11646 | 11674 | | | | |
| 22 | 23 | 26 | 11 | 24 | 19 | 26 | 25 | 26 | 27 | 28 | | 265.00 | | |
| 26 | 25 | 25 | 24 | 29 | 24 | 23 | 25 | 23 | 23 | 23 | | 24.50 | | |
| 103 | 103 | 103 | 103 | 103 | 103 | 103 | 103 | 103 | 103 | 103 | | 103.00 | | |
| 433.5 | 433.5 | 433.5 | 433.4 | 433.8 | 433.4 | 433.3 | 433.5 | 433.3 | 433.3 | 433.3 | | 433.3 | | 433.43 |
| 19347 | 19378 | 19410 | 19469 | 19483 | 19511 | 19569 | 19589 | 19624 | 19660 | 19702 | | 19702 | | |
| 28 | 31 | 32 | 33 | 14 | 28 | 38 | 20 | 35 | 36 | 42 | | 408.00 | | |
| 19 | 20 | 19 | 18 | 19 | 19 | 17 | 20 | 17 | 18 | 19 | | 18.58 | | |
| 931 | 338 | 348 | 394 | 315 | 376 | 363 | 357 | 359 | 354 | 350 | | 351.83 | | |
| 3097 | 3110 | 3135 | 3238 | 3061 | 3197 | 3172 | 3153 | 3163 | 3150 | 3139 | | 3143.92 | | |
| 4578 | 82971.5 | 66446 | 165471.4 | 36780.8 | 77380.8 | 158844.6 | 54380 | 95539.5 | 97801.2 | 113633.4 | | | | |

Steam Data

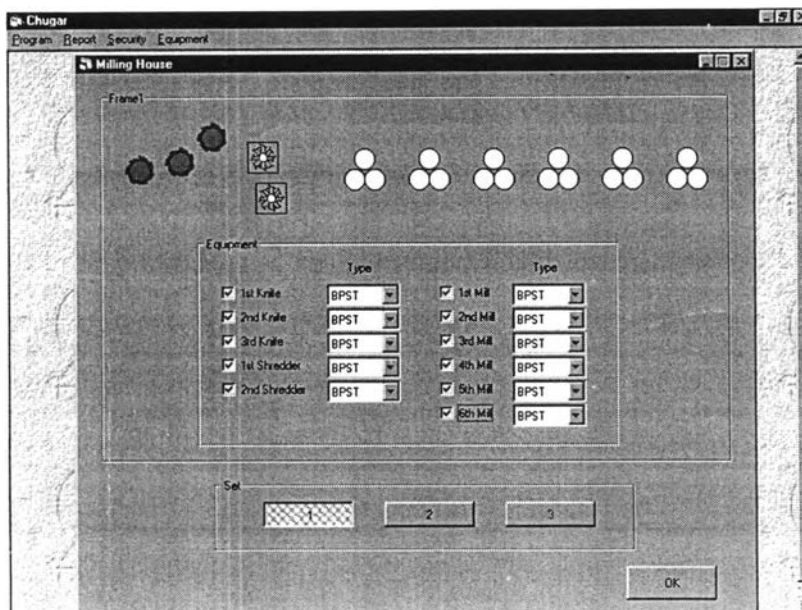
| | | |
|----------------|---------|---------|
| Steam Generate | Tons/h | 9851 |
| Pressure | kg/h/cm | 18.455 |
| Temperature | °C | 355.79 |
| Enthalpy | kJ/kg | 3152.92 |

< Back

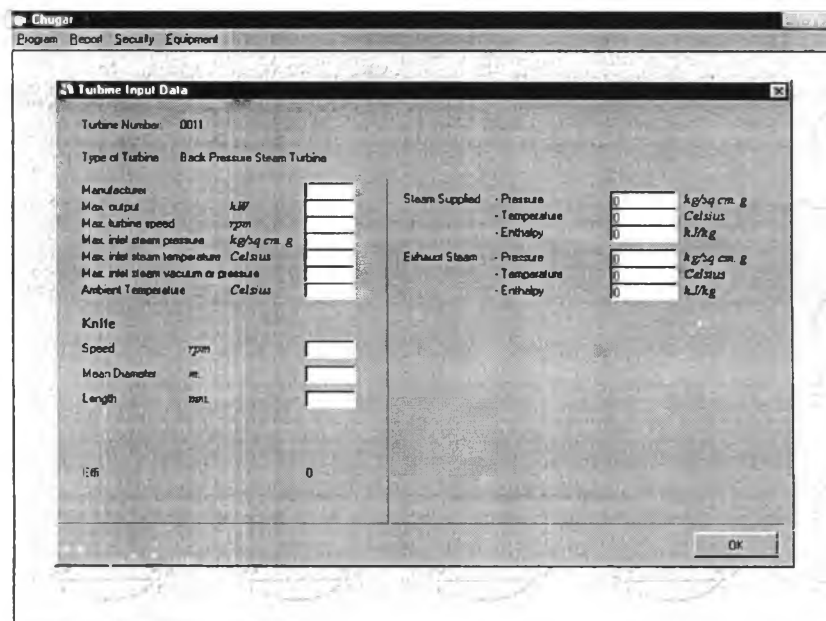
รูปที่ ข.18 ข้อมูลการทำงานของหม้อไอน้ำ(หน้าที่ 2) ส่วนที่ 4



รูปที่ ข.19 โรงสกัดน้ำอ้อย(โรงหีบอ้อย)



รูปที่ ข.20 โรงสกัดน้ำอ้อย(โรงหีบอ้อย) (ต่อ)



รูปที่ ข.21 กังหันไอน้ำขับมิดฟันอ้อย

Chugan
Program Report Security Equipment

Turbine Input Data

Turbine Number: 0011
Type of Turbine: Back Pressure Steam Turbine

Manufacturer:
Max. output: kW
Max. turbine speed: rpm
Max. inlet steam pressure: kg/sq.cm.g
Max. inlet steam temperature: Celsius
Max. inlet steam vacuum or pressure:
Ambient Temperature: Celsius

Milli Roller
Roller Length: m
Roller (Top) Diameter: m
Distant between roller: m
Roller Speed: m
Hydrolic Pressure: rpm
Eth: Label37

Steam Supplied: Pressure: 0 kg/sq.cm.g
Temperature: 0 Celsius
Enthalpy: 0 kJ/kg

Exhaust Steam: Pressure: 0 kg/sq.cm.g
Temperature: 0 Celsius
Enthalpy: 0 kJ/kg

OK

รูปที่ ข.22 กังหันไอน้ำขับเคลื่อน

Chugan
Program Report Security Equipment

Power Plant

Generator

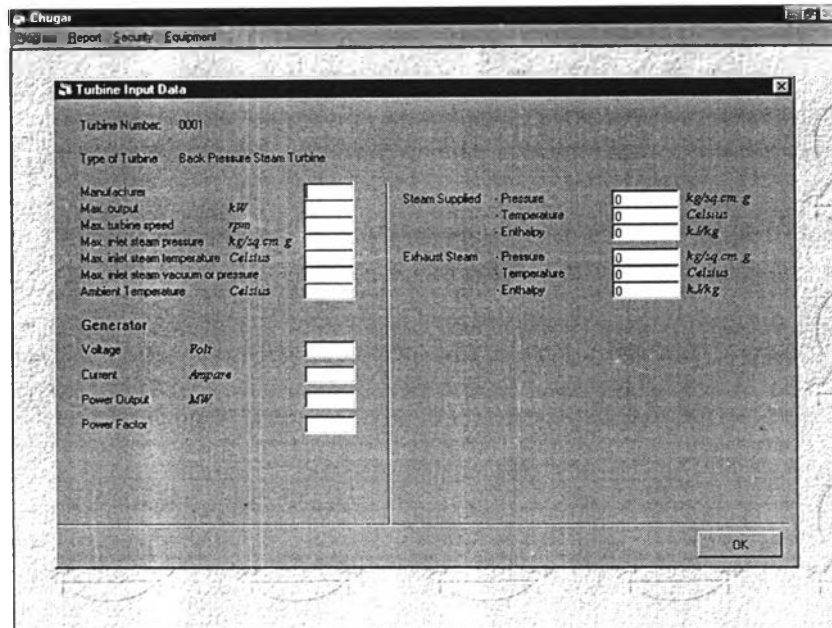
Turbine Type: Back Pressure Steam Turbine

Boiler House
Generator 1 Generator 2 Generator 3 Generator 4 Generator 5

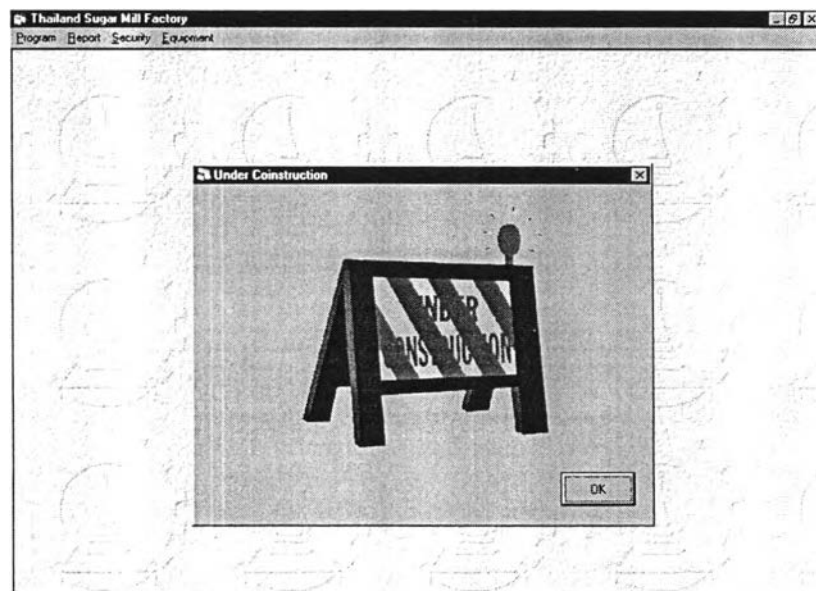
The Report of Calculation: Graph Table

Relation OK

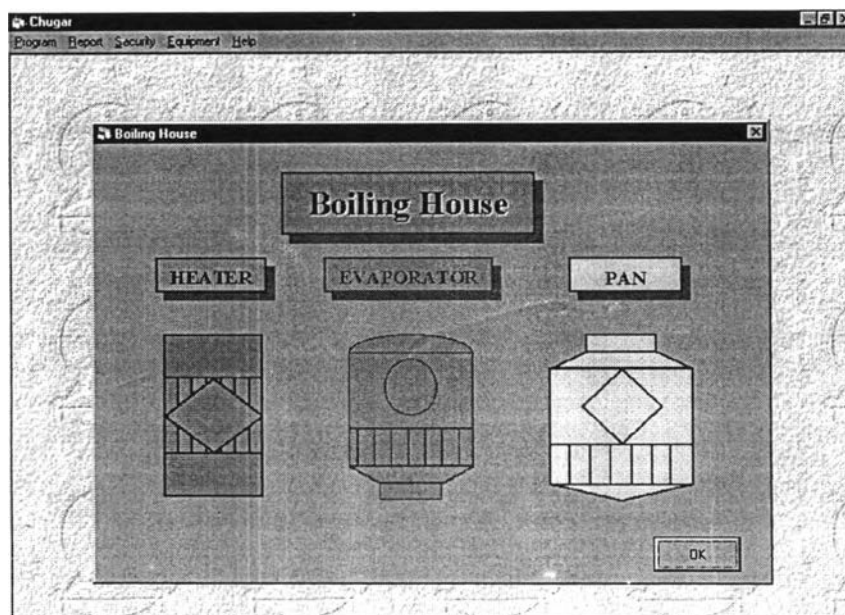
รูปที่ ข.23 โรงไฟฟ้า



รูปที่ ข.24 กังหันไอน้ำขับเคลื่อนเครื่องกำเนิดไฟฟ้า



รูปที่ ข.25 รอรับการพัฒนาต่อไปในอนาคต



รูปที่ ข.26 โรงต้มระเหย(กระบวนการผลิต)

ประวัติผู้เขียน

นายศุภกิจ ศรีวัชรานุกร เกิดวันที่ 29 มิถุนายน พ.ศ. 2516 จังหวัดกรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ในปีการศึกษา 2538 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2539

