การศึกษาการปรับปรุงระบบผลิตไอน้ำเพื่อการผลิตไฟฟ้า ในโรงงานน้ำตาล

นาย ศุภกิจ ศรีวัฒรางกูร

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2541
ISBN 974-331-302-8
ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I18500274

A STUDY OF STEAM SYSTEM IMPROVEMENT FOR ELECTRICITY GENERATION IN SUGAR MILL FACTORIES

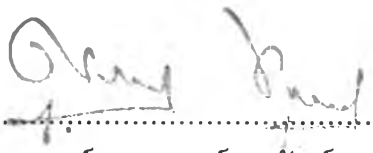
Mr. Suppakit Sriwattarangkoon

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering in Mechanical Engineering
Department of Mechanical Engineering
Graduate School
Chulalongkorn University
Academic Year 1998

ISBN 974-331-302-8

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การศึกษาการปรับปรุงระบบไอน้ำเพื่อการผลิตไฟฟ้าในโรงงานน้ำตาล
โดย	นายศุภกิจ ศรีวัฒรางกูร
ภาควิชา	วิศวกรรมเครื่องกล
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์ มิ่งศักดิ์ ตั้งตระกูล

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต



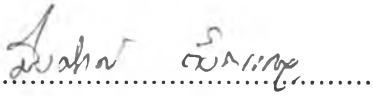
..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(ศาสตราจารย์ นายแพทย์ ศุภวัฒน์ ชุติวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร. มานิจ ทองประเสริฐ)



..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(อาจารย์ มิ่งศักดิ์ ตั้งตระกูล)

..... กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร. พงษ์ธร จรัญญากรณ์)

..... กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ คุณวุฒิ ดำรงค์พลาสิทธิ์)

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสีเขียวนี้เพียงแผ่นเดียว

ศุภกิจ ศรีวัฒรางกูร : การศึกษาการปรับปรุงระบบผลิตไอน้ำเพื่อการผลิตไฟฟ้าในโรงงานน้ำตาล (A STUDY OF STEAM SYSTEM IMPROVEMENT FOR ELECTRICITY GENERATION IN SUGAR MILL FACTORIES) อ.ที่ปรึกษา : อาจารย์ มิ่งศักดิ์ ตั้งตระกูล ; 150 หน้า.
ISBN 974-331-302-8.

จุดประสงค์ของงานวิจัยนี้คือการศึกษาความเป็นไปได้ในการปรับปรุงประสิทธิภาพระบบไอน้ำเพื่อการเพิ่มการผลิตไฟฟ้าในโรงงานน้ำตาล ด้วยการเพิ่มความดันหม้อไอน้ำเป็น 40 kg_f/cm^2 G โดยพิจารณาถึงความสามารถในการผลิตกระแสไฟฟ้าและปริมาณการใช้กากอ้อยที่เพิ่มสูงขึ้น

ในการศึกษาการใช้ระบบผลิตพลังงานร่วมในโรงงานน้ำตาลตัวอย่าง 3 โรงงาน พบว่า ประสิทธิภาพโดยเฉลี่ยของหม้อไอน้ำเป็น 63% และ 24% ตามกฎข้อที่หนึ่งและสองของเทอร์โมไดนามิกส์ตามลำดับ จากผลการประเมิน จึงคัดเลือกหม้อไอน้ำที่มีประสิทธิภาพต่ำที่สุด เพื่อศึกษาตามวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ต่อไป

ผู้วิจัยได้ทำการประดิษฐ์โปรแกรมสำหรับประเมินประสิทธิภาพของระบบผลิตพลังงานร่วมของโรงงานน้ำตาลขึ้น เพื่อใช้เป็นเครื่องมือในการประเมินการใช้พลังงานของอุปกรณ์ในโรงงานน้ำตาล ซึ่งทางผู้ประกอบการสามารถที่จะนำไปใช้ในการตรวจสอบการใช้พลังงานในโรงงานน้ำตาลเพื่อวางแผนการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

จากการประเมินทางด้านเทคนิคหลังจากเปลี่ยนหม้อไอน้ำลูกใหม่ ความดันหม้อไอน้ำเป็น 30 และ 40 kg_f/cm^2 G พบว่า กำลังการผลิตไฟฟ้าของโรงงานเพิ่มขึ้นจากเดิมโดยประมาณเป็น 29.86 และ 30.55 MW จาก 27 MW ตามลำดับและประหยัดกากอ้อยได้ปีละประมาณ 26,034 และ 24,714 ตัน จาก 591,109 ตัน ตามลำดับ ผลการประเมินทางด้านเศรษฐศาสตร์พบว่า ค่า IRR เป็น 20% และ 18% ตามลำดับ

ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล	ลายมือชื่อนิสิต .....
สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล	ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....
ปีการศึกษา 2541	ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสีเขียวเพียงแผ่นเดียว

3971884821 : MAJOR MAJOR MECHANICAL ENGINEER
KEY WORD: CANE SUGAR / COGENERATION / BOILER EFFICIENCY / POWER GENERATION

SUPPAKIT SRIWATTARANGKOON: A STUDY OF STEAM SYSTEM IMPROVEMENT FOR ELECTRICITY GENERATION IN SUGAR MILL FACTORIES : THESIS ADVISOR : MINGSAK TANGTAKUL. 150 pp.

ISBN 974-331-302-8.

The objective of this research is to study the improvement of power generation in sugar mill factories by increasing the steam pressure up to 40 kg_f/cm^2 G. The purposes are to increase power generation and to determine bagasse consumption of the new system.

A study of an existing cogeneration system in sugar mill facotories was performed. Energy and exergy analysis of component on cogeneration were carried out. The study of these different factories indicated that the average efficiencies of boiler for the first law and the second law were approximately 63 and 24% respectively. The boiler with the lowest efficiency was studied in depth to fulfil the thesis's objectives.

A program called Chugar was written to support sugar mill operation process. It is the tool that used to estimate the energy and exergy analysis of component on cogeneration such that the management can used it to make the better of energy consumption.

The cases study showed that after changing the lowest efficiency boiler to the new pressure boiler, 30 and 40 kg_f/cm^2 G. The estimate power generation will increase to 29.86 and 30.55 MW, from 27 MW and bagasse saving of 26,034 and 24,714 tons from 591,109 tons, respectively. The economic study shows that the IRR are 20% and 18% which indicates that the project is feasible since it is higher than the accepted value of 20 %

ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

ปีการศึกษา 2541 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลือของ อาจารย์ มิ่งศักดิ์ ตั้งตระกูล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร.มานิจ ทองประเสริฐ ประธานกรรมการวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร.พงษ์ธร จรัญญากรณ์ และรองศาสตราจารย์ คุณวุฒิ ดำรงค์พลาสิทธิ์ อาจารย์กรรมการวิทยานิพนธ์ ซึ่งทุกท่านได้ให้คำแนะนำ ข้อคิดเห็นและข้อเสนอแนะต่างๆ ที่เป็นประโยชน์ต่อการทำวิจัยมาโดยตลอด ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่านอย่างสูง

ขอขอบคุณ รุ่นพี่วิศวกรและเจ้าหน้าที่ของโรงงานน้ำตาลทุกท่าน ที่เอื้ออำนวยความสะดวกทั้งทางด้านเอกสารและคำแนะนำต่างๆ ตลอดช่วงเวลาของการเก็บข้อมูลการทำงานของโรงงานน้ำตาล โดยเฉพาะพี่คนอง ศักดิ์เพ็ชร์ ผู้จัดการฝ่ายผลิต โรงงานน้ำตาลมิตรผล สาขามิตรภูเวียง ที่ให้คำปรึกษาและชี้แนะสำหรับการวิเคราะห์ด้วยดีมาตลอด

เอกสารทุกฉบับและข้อมูลอันเป็นประโยชน์สำหรับงานทำวิจัยนี้ ได้รับความอนุเคราะห์โดย คุณจำรูญ สีนาและเจ้าหน้าที่ในส่วนต่างๆของสำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย กระทรวงอุตสาหกรรม จึงขอขอบคุณ ณ. ที่นี้ด้วย

ขอบคุณ คุณณรงค์ อัมพวานนท์ บริษัท ณรงค์เอ็นเตอร์ไพรซ์, Mr. Yoshiaki Igarashi ผู้จัดการสำนักงานผู้แทน(กรุงเทพฯ) บริษัท ชินโกะ อินท์ ลิมิเต็ด ที่ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลด้านราคาของอุปกรณ์ต่างๆ และ คุณอุมาพร ประวัติพัฒนากูล เลขานุการผู้จัดการสำนักงานผู้แทน(กรุงเทพฯ) บริษัท ชินโกะ อินท์ ลิมิเต็ด ผู้ประสานงานติดต่อด้านต่างๆ

ขอบคุณ น้องพลชมพูนุช ทองแถม ณ. อยุธยา ที่ให้ช่วยเหลือและปรึกษาในด้านการเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์มาโดยตลอด น้องทิพย์วัลย์ โอภาศิริรัตน์ และ ทัศนีย์ กระโหมวงศ์ ที่คอยช่วยงานด้านเอกสารและงานทั่วไปอยู่เสมอ

ขอบคุณ เพื่อนๆและพี่ๆ นิสิตปริญญาโททุกท่าน ที่ให้แนะนำและคำปรึกษาด้านวิชาการ ตลอดจนกำลังใจในการทำงานโดยตลอด

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยใคร่ขอขอบพระคุณมารดาและน้านิดย์ เลขวัตรประดิษฐ์ ที่สนับสนุนการศึกษาของผู้วิจัยและคอยให้กำลังใจเสมอมา

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... จ
กิตติกรรมประกาศ..... ฉ
สารบัญตาราง..... ฌ
สารบัญภาพ..... ญ
รายการสัญลักษณ์..... ฒ

บทที่

1. บทนำ..... 1
   1.1 ความสำคัญและที่มา..... 1
   1.2 วัตถุประสงค์..... 2
   1.3 ขอบเขตงานวิจัย..... 2
   1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ..... 3
2 ผลงานวิจัยที่ผ่านมา..... 4
3 กระบวนการผลิตน้ำตาลทราย..... 8
   3.1 กล่าวนำ..... 8
   3.2 กระบวนการผลิตของโรงงานน้ำตาล..... 11
   3.3 การแบ่งกลุ่มโรงงานน้ำตาล..... 26
4 การประเมินประสิทธิภาพของระบบ..... 27
   4.1 กล่าวนำ..... 27
   4.2 สภาพการใช้พลังงานภายในโรงงาน..... 27
   4.3 การหาประสิทธิภาพการทำงานของระบบ..... 35
5 การพัฒนาการผลิตไฟฟ้าในโรงงานน้ำตาล..... 44
   5.1 กล่าวนำ..... 44
   5.2 แนวความคิดในการพัฒนาระบบ..... 45
   5.3 ข้อเสนอแนะเบื้องต้น..... 46
   5.4 ข้อกำหนด..... 47

บทที่ (ต่อ) หน้า

5.5 การคัดเลือกระบบ..... 47
5.6 การประเมินทางด้านเทคนิค..... 49
5.7 การประเมินทางด้านเศรษฐศาสตร์..... 50
6. ผลและการวิเคราะห์..... 56
6.1 ผลการประเมินประสิทธิภาพการทำงานของอุปกรณ์ในโรงาน
น้ำตาลตัวอย่าง..... 56
6.2 การคัดเลือกระบบ(หม้อไอน้ำ)ในการพิจารณา..... 59
6.3 ผลการประเมินการทำงานของหม้อไอน้ำใหม่..... 60
6.4 การเข้ากันได้กับระบบเดิม..... 63
6.5 การประเมินทางด้านเศรษฐศาสตร์..... 66
7. สรุปและข้อเสนอแนะ..... 67
7.1 สรุปผลการศึกษา..... 67
7.2 ข้อเสนอแนะ..... 69
รายการอ้างอิง..... 70
ภาคผนวก ก..... 73
ภาคผนวก ข..... 77
ภาคผนวก ค..... 89
ภาคผนวก ง..... 107
ภาคผนวก จ..... 121
ภาคผนวก ฉ..... 128
ภาคผนวก ช..... 134
ประวัติผู้เขียน..... 150

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
4.1(ก.)	แสดงสัดส่วนร้อยละ(โดยน้ำหนัก)ของธาตุในกากอ้อยโดยการวิเคราะห์โดยวิธี Ultimate Analyses.....	33
4.1(ข.)	แสดงสัดส่วนร้อยละ(โดยน้ำหนัก)ของสารประกอบในกากอ้อยโดยการวิเคราะห์โดยวิธี Proximate Analyses.....	33
4.1(ค.)	แสดงค่าความร้อนจากการเผาไหม้สูงสุด-ต่ำสุดของกากอ้อย.....	34
5.1	ข้อมูลทางด้านเศรษฐศาสตร์.....	54
6.1(ก.)	แสดงผลการประเมินหม้อไอน้ำของโรงงานน้ำตาล ก.....	57
6.1(ข.)	แสดงผลการประเมินหม้อไอน้ำของโรงงานน้ำตาล ข.....	57
6.1(ค.)	แสดงผลการประเมินหม้อไอน้ำของโรงงานน้ำตาล ค.....	57
6.2	แสดงผลการวิเคราะห์การทำงานของหม้อไอน้ำใหม่ในฤดูหีบที่ประสิทธิภาพการทำงานที่76% ณ.ความดันไอน้ำต่างๆ.....	60
6.3(ก.)	แสดงผลการวิเคราะห์การทำงานของหม้อไอน้ำดลอดอายุของโครงการหม้อไอน้ำทำงานที่ความดันไอน้ำเป็น 20 kg_f/cm^2 G.....	61
6.3(ข.)	แสดงผลการวิเคราะห์การทำงานของหม้อไอน้ำดลอดอายุของโครงการหม้อไอน้ำทำงานที่ความดันไอน้ำเป็น 30 kg_f/cm^2 G.....	61
6.3(ค.)	แสดงผลการวิเคราะห์การทำงานของหม้อไอน้ำดลอดอายุของโครงการหม้อไอน้ำทำงานที่ความดันไอน้ำเป็น 40 kg_f/cm^2 G.....	62
6.4	กำลังการผลิตไฟฟ้าของหม้อไอน้ำที่ความดันต่างๆ	63

สารบัญรูปภาพ

รูปที่		หน้า
1.1	โรงงานน้ำตาลทรายและกำลังการหีบอ้อยในประเทศไทย.....	2
3.1	กระบวนการผลิตน้ำตาลทรายดิบของโรงงานน้ำตาล.....	9
3.2	กระบวนการแปรรูปอ้อย.....	10
3.3	การทำงานของชุดเกลี่ยอ้อย.....	11
3.4	ลักษณะการทำงานของมีดและใบมีดบางชนิด.....	12
3.5	Tongaat shredder	
	3.5 (A.) Shredder side.....	12
	3.5 (B.) Shredder feeding.....	12
3.6	ลักษณะการพรมน้ำแบบ Compound Imbibition.....	13
3.7	ลักษณะโดยทั่วไปของลูกหีบ.....	13
3.8	รายละเอียดภายในของลูกหีบ	
	3.8 (ก.) ลูกหีบมีขนาดต่างกัน.....	14
	3.8 (ข.) ลูกหีบมีขนาดเท่ากัน.....	14
3.9	Bagasse fired boiler, 70 t/h.....	15
3.10	Spreader-stoker furnace with rocking grate.....	15
3.11	DSM SCREEN.....	16
3.12	หม้ออุ่นน้ำอ้อย.....	17
3.13	ถังพักน้ำอ้อยใส.....	18
3.14	หม้อกรองละเอียด (Campbell filter).....	18
3.15	หม้อต้มระเหยน้ำตาล (Evaporator)	
	3.15 (ก.) ส่วนต่างๆของหม้อต้มระเหยน้ำตาล.....	20
	3.15 (ข.) รังผึ้ง(Half-Calandria)ของหม้อต้มระเหยน้ำตาล.....	20
3.16	หม้อระเหยน้ำอ้อยชนิดพื้นที่ถ่ายเทความร้อนแผ่น (Plate evaporator; Alfa-Laval)	
	3.16 (ก.) ลักษณะโดยทั่วไป.....	21
	3.16 (ข.) การไหลผ่านของของไหล.....	21
3.17	หม้อเคี่ยวน้ำตาลและพื้นที่ถ่ายเทความร้อย (Vacuum Pan & Calandria Pans).....	23

3.18 Fletcher Smith (FS) continuous pan

3.18 (A.) Cut-open view..... 24

3.18 (B.) Massecuite flow path..... 24

3.19 Centrifugal (Batch-type)..... 25

3.20 Continuous Centrifugal..... 25

4.1 การใช้พลังงานภายในโรงงานน้ำตาล..... 28

4.2 แผนภาพแสดงลักษณะการใช้พลังงานในโรงหม้อไอน้ำ..... 30

4.3 แผนภาพแสดงลักษณะการใช้พลังงานในโรงหีบอ้อย..... 30

4.4 แผนภาพแสดงลักษณะการใช้พลังงานในโรงไฟฟ้า..... 31

4.5 แผนภาพแสดงลักษณะการใช้พลังงานในโรงต้ม..... 31

4.6 ขอบเขตปริมาตรควบคุมของหม้อไอน้ำ..... 36

4.7 แบบจำลองของกังหันไอน้ำชนิด Back Pressure Steam Turbine..... 40

4.8 แบบจำลองของกังหันไอน้ำชนิด Single Extraction-condensing Steam Turbine..... 40

4.9 แบบจำลองของกังหันไอน้ำชนิด Double Extraction-condensing Steam Turbine..... 40

5.1 ค่าพลังงานที่ความดันต่างๆ (T-s diagram)..... 45

5.2(ก.) ตัวอย่างระบบผลิตพลังงานร่วมโดยใช้กังหันไอน้ำชนิดธรรมดาที่ความดันขาออกเป็น 2 kg_f/cm^2 G..... 48

5.2(ข.) ตัวอย่างระบบผลิตพลังงานร่วมโดยใช้กังหันไอน้ำชนิดธรรมดาที่ความดันขาออกเป็น 23 kg_f/cm^2 G..... 49

รายการสัญลักษณ์

σ	Stefan-Boltzmann constant
α	Thermal diffusivity
β	Volumetric diffusion expansion coefficient
ε	Emissivity
ε_B	อายุของหม้อไอน้ำ
ε_{Boiler}	ประสิทธิภาพหม้อไอน้ำตามกฎข้อที่สองของเทอร์โมไดนามิกส์
ε_G	อายุของกังหันไอน้ำ
η_{Boiler}	ประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำตามกฎข้อที่หนึ่งของเทอร์โมไดนามิกส์
η_r	ประสิทธิภาพของเฟืองทดรอบ
$\eta_{Turbine}$	ประสิทธิภาพของกังหันไอน้ำแบบไอเซนโทรปิก
η_{II}	ประสิทธิภาพของกังหันไอน้ำตามกฎข้อที่สอง
ν	Kinematic viscosity
ρ_B	ราคาซากของหม้อไอน้ำ
ρ_G	ราคาซากของกังหันไอน้ำ
τ_B	สัดส่วนของค่าบำรุงรักษาระบบรายปีต่อราคาดันทุนของหม้อไอน้ำ
τ_G	สัดส่วนของค่าบำรุงรักษาระบบรายปีต่อราคาดันทุนของกังหันไอน้ำ
A	พื้นที่
$B_{bagasse}$	กากอ้อยที่ถูกใช้ไปในกระบวนการผลิตดลอดฤดูหีบ
B_{con}	ปริมาณการใช้กากอ้อย
B_d	ปริมาณกากอ้อยที่จำเป็นในกระบวนการผลิต
B_g	ปริมาณกากอ้อยที่ผลิตได้
$B_{ex\text{-}bag}$	ปริมาณกากอ้อยส่วนเกิน
$BPST$	Back Pressure Steam Turbine
Bx	Brix
C_{bag}	ราคาของกากอ้อย
C_{ele}	ราคาการรับซื้อไฟฟ้าของการไฟฟ้าฝ่ายผลิต
$DECST$	Double extraction condensing steam turbine
d	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง
HHV	ค่าความร้อนจำเพาะสูง

h	ชั่วโมง
hp	แรงม้า
h_C	ค่าคงที่ของการพาความร้อน
h_f	พลังงานของไอน้ำอิ่มตัว
h_g	พลังงานของน้ำอิ่มตัว
h_S	อัตราการใช้ไอน้ำของกังหันไอน้ำ
I	รายรับ
I_B	ต้นทุนของหม้อไอน้ำ
I_G	ต้นทุนของกังหันไอน้ำพร้อมเครื่องกำเนิดไฟฟ้า
k	ค่าคงที่ของการถ่ายเทความร้อน
g	กรัม
J	จูน
W	วัตต์
L	ความยาว
LHV	ค่าความร้อนจำเพาะต่ำ
Nu	Nusselt number
Pr	Prandtl number
Ra_D	Reynolds Number
r	อัตราดอกเบี้ย
s_f	เอนโทรปีของไอน้ำอิ่มตัว
s_g	เอนโทรปีของน้ำอิ่มตัว
T	อุณหภูมิ
ton	ตัน (1000 กิโลกรัม)
TCD	ต้นอ้อยต่อวัน
TCH	ต้นอ้อยต่อชั่วโมง
TFH	ต้นกากต่อชั่วโมง
TSR	อัตราการใช้ไอน้ำทางทฤษฎีของกังหันไอน้ำ
W_d	ปริมาณไฟฟ้าที่ใช้ภายในโรงงาน
W_g	ปริมาณไฟฟ้าที่ขาย
Z	กำไร
Z_f	ต้นทุนคงที่(รายปี)ของระบบ
Z_r	ต้นทุนแปรผัน(รายปี)ของระบบ