บทที่ 4

การประเมินประสิทธิภาพของระบบ

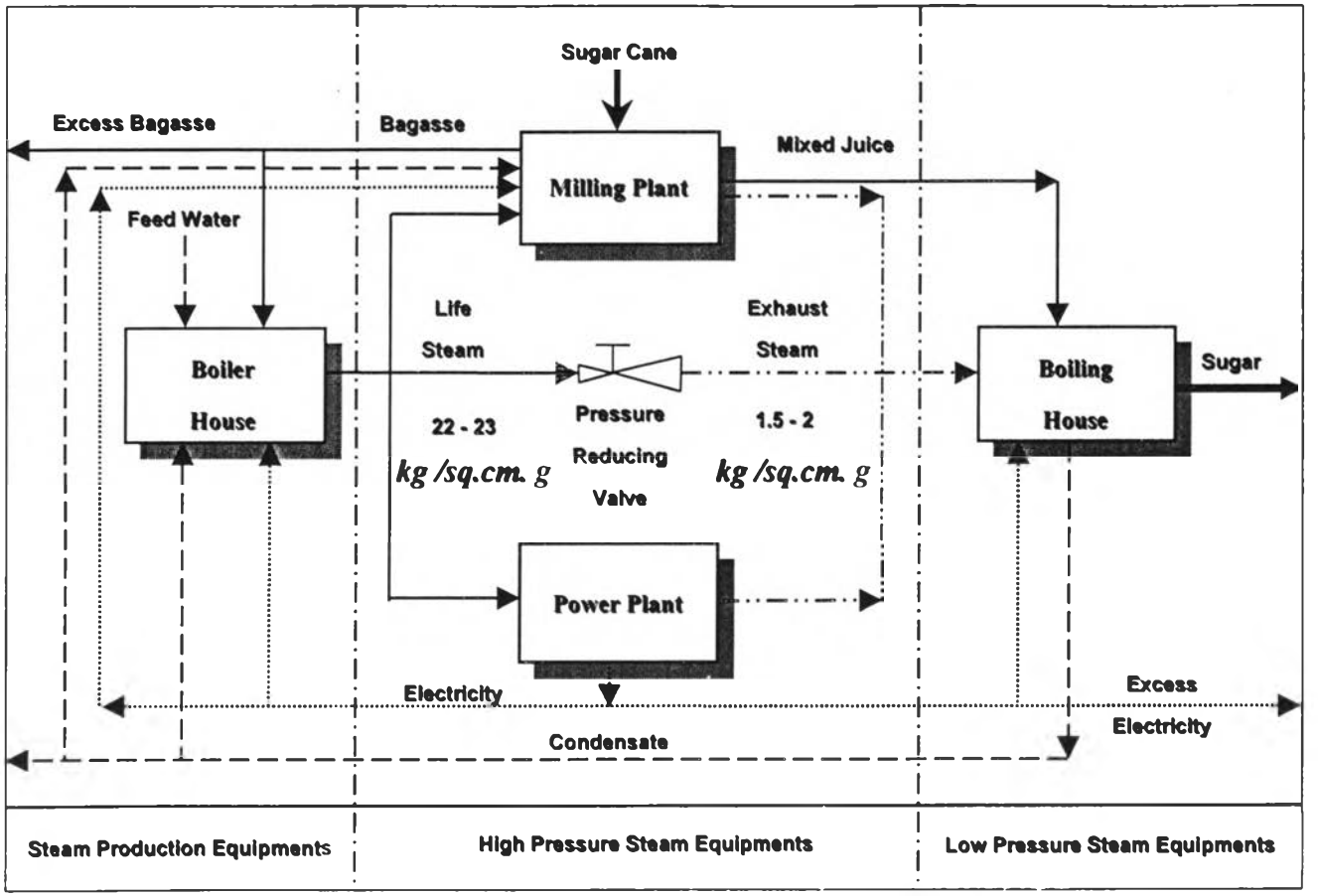
4.1 กล่าวนำ

ปัจจุบันประเทศไทยได้มีการตื่นตัวทางด้านการดูแลการใช้พลังงานให้เกิดประสิทธิภาพมากขึ้น โดยในขั้นต้นรัฐบาลได้ออกพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2535 อีกทั้งยังออกพระราชกฤษฎีกากำหนดโรงงานควบคุมและอาคารควบคุมพร้อมทั้งกฎกระทรวง โดยให้กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อมเป็นผู้กำกับดูแลบังคับแก่โรงงานอุตสาหกรรมที่มีการใช้พลังงานที่สูงทำการตรวจวัดและทำรายงานการใช้พลังงานของโรงงานพร้อมทั้งเสนอแผนปรับปรุงเพื่อการใช้พลังงานอย่างคุ้มค่าและเกิดประสิทธิภาพสูงสุด ก่อให้เกิดการตื่นตัวในด้านการอนุรักษ์พลังงานเป็นอย่างมาก

จากสถิติการใช้พลังงานโดยรวมของประเทศ พ.ศ. 2540 ภาคอุตสาหกรรมเป็นส่วนที่มีการใช้พลังงานที่สูง อุตสาหกรรมผลิตน้ำตาลทรายเป็นอุตสาหกรรมที่สำคัญของประเทศและยังเป็นอุตสาหกรรมอีกประเภทหนึ่งที่มีการใช้พลังงานในกระบวนการผลิตสูง โดยเฉพาะในช่วงฤดูหีบอ้อย หากแต่ว่าโรงงานผลิตน้ำตาลทรายทุกโรงงานมีศักยภาพที่จะผลิตกระแสไฟฟ้าใช้เองภายในโรงงานและบางโรงงานยังสามารถที่จะผลิตกระแสไฟฟ้าเพื่อจำหน่าย เป็นการลดต้นทุนการผลิตของโรงงานอีกทั้งยังเพิ่มรายได้ให้แก่โรงงานอีกทางหนึ่ง ทั้งยังส่งผลให้ปริมาณไฟฟ้าสำรองของประเทศเพิ่มขึ้นด้วย แต่ทว่า สภาพการใช้พลังงานในกระบวนการผลิตในโรงงานนั้นส่วนใหญ่จะมีประสิทธิภาพต่ำ เนื่องจากปัจจัยหลายประการ อาทิเช่น อายุการใช้งานของอุปกรณ์ที่ยาวนาน การขาดความรู้ในการดูแลรักษาที่ถูกต้อง เป็นต้น

4.2 สภาพการใช้พลังงานภายในโรงงาน

โรงงานน้ำตาลโดยทั่วๆไป มีหลักการทำงานโดยเริ่มจากหม้อไอน้ำผลิตไอน้ำที่ความดันระหว่าง 22 - 23 kg_f/cm^2 G ที่อุณหภูมิ 360 $^{\circ}C$ โดยใช้กากอ้อยเป็นเชื้อเพลิง ไอน้ำแห้ง(Life Steam)ที่ผลิตได้จะใช้เป็นแหล่งกำเนิดพลังงานทางกลโดยใช้ไอน้ำแห้งขับกังหันไอน้ำเพื่อการสกัดน้ำตาลและผลิตไฟฟ้า ไอน้ำที่ผ่านกังหันไอน้ำจะมีคุณภาพของไอน้ำลดลงและมีความดันอยู่ประมาณ 1.5 kg_f/cm^2 G ซึ่งเรียกว่า ไอน้ำเสีย(Exhaust Steam) จะถูกนำไปใช้ในการให้ความร้อนของกระบวนการผลิตต่อไป ในกรณีที่ไอน้ำที่จ่ายให้กระบวนการผลิตไม่เพียงพอต่อความต้องการใช้ อุปกรณ์ลดความดันก็จะยอมให้ไอน้ำแห้งผ่านเข้าไปสู่หัวจ่ายไอน้ำความดันต่ำ



รูปที่ 4.1 การใช้พลังงานภายในโรงงานน้ำตาล

โดยอุปกรณ์ลดความดันของไอน้ำนี้ทำงานโดยการให้ไอน้ำผ่านออริฟิธพร้อมทั้งสเปร์ยน้ำเพื่อลดอุณหภูมิ

กระแสไฟฟ้าที่โรงงานผลิตได้จากการใช้ไอน้ำความดันสูงขับกังหันไอน้ำที่ใช้ขับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าถูกนำไปใช้ในกระบวนการผลิตและที่พักอาศัยภายในโรงงาน กระแสไฟฟ้าส่วนที่เหลือก็สามารถขายให้แก่การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยได้

4.2.1 อุปกรณ์

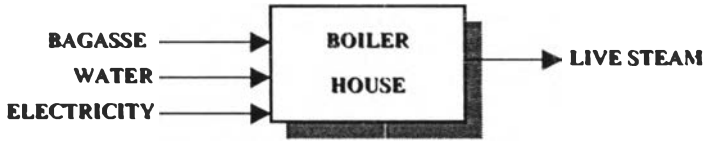
กระบวนการผลิตในโรงงานน้ำตาล เป็นกระบวนการผลิตที่มีการใช้อุปกรณ์หลากหลายชนิด อุปกรณ์แต่ละชนิดจะมีการใช้งานที่แตกต่างกัน ตามวัตถุประสงค์ของการใช้งาน การจัดแบ่งกลุ่มอุปกรณ์จึงเป็นสิ่งที่ทำได้ยาก จากลักษณะการใช้ไอน้ำในโรงงานน้ำตาล (รูปที่ 4.1) สามารถแบ่งกลุ่มอุปกรณ์ได้เป็น 3 กลุ่มได้แก่ กลุ่มอุปกรณ์ที่ใช้ผลิตไอน้ำ กลุ่มอุปกรณ์ที่ใช้ไอน้ำความดันสูงและกลุ่มอุปกรณ์ที่ใช้ไอน้ำความดันต่ำ ซึ่งทั้งสามกลุ่มนี้จะมีจุดประสงค์การใช้ไอน้ำที่แตกต่างกัน

- อุปกรณ์ผลิตไอน้ำความดันสูง หม้อไอน้ำเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ผลิตไอน้ำเพื่อนำไปใช้ในกระบวนการผลิต ไอน้ำทั้งหมดที่ใช้ในกระบวนการผลิตของโรงงานน้ำตาลได้มาจากการผลิตในส่วนนี้ หม้อไอน้ำจึงเป็นส่วนที่สำคัญยิ่งของโรงงาน หลักการทำงานของหม้อไอน้ำจะเปลี่ยนพลังงานที่อยู่ในรูปแหล่งของเชื้อเพลิง(กากอ้อย) ไปเป็นพลังงานความร้อนของไอน้ำ(ไอน้ำยิ่งยวด)
- กลุ่มอุปกรณ์ที่ใช้ไอน้ำความดันสูง เป็นอุปกรณ์ที่เปลี่ยนพลังงานที่อยู่ในรูปของไอน้ำความดันสูงไปเป็นพลังงานกล เพื่อผลิตกำลังกลตามภาระงานในส่วนต่างๆของโรงงาน อุปกรณ์ที่ใช้ไอน้ำความดันสูงนี้ ได้แก่ กังหันไอน้ำที่ใช้ในโรงงานทั้งหมด ภาระงานกลที่กังหันไอน้ำต้องผลิตจะขึ้นอยู่กับการใช้งานของกังหันไอน้ำซึ่ง ยกตัวอย่างได้คือ ใช้เป็นต้นกำลังขับพัดลมในโรงหม้อไอน้ำ ใช้เป็นต้นกำลังขับเครื่องต้นกำลังในโรงหีบอ้อยเพื่อจัดเตรียมอ้อยและการสกัดน้ำอ้อย อีกทั้งยังเป็นต้นกำลังขับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเพื่อการผลิตกระแสไฟฟ้าในโรงไฟฟ้า
- กลุ่มอุปกรณ์ที่ใช้ไอน้ำความดันต่ำ เป็นกลุ่มของอุปกรณ์ที่นำพลังงานความร้อนที่อยู่ในรูปของไอน้ำความดันต่ำมาใช้ประโยชน์จากความร้อนที่ได้จากการเปลี่ยนสถานะของของเหลว เป็นแหล่งความร้อนในกระบวนการผลิต โดยพลังงานในไอน้ำเกือบ 80% ของไอน้ำที่ผลิตได้ออกมาจากหม้อไอน้ำจะถูกนำไปใช้ในส่วนนี้ จัดได้ว่าเป็นส่วนที่สำคัญของโรงงานอุปกรณ์ที่ใช้ไอน้ำความดันต่ำ ประกอบด้วย หม้ออุ่นน้ำอ้อย

หม้อต้มระเหยและหม้อเคี่ยวน้ำตาล เป็นอุปกรณ์ที่ใช้อุ่นน้ำอ้อย ระเหยน้ำจากน้ำอ้อยและดกผลึกน้ำตาล ตามลำดับ

การจัดกลุ่มของอุปกรณ์ตามลักษณะของการใช้ไอน้ำนี้ หากพิจารณาลักษณะการใช้งานและสถานที่ตั้งของอุปกรณ์กลุ่มยกตัวอย่างเช่น มีดฟันอ้อย, ค้อนทุบอ้อยและลูกหีบเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการสกัดน้ำตาลในอ้อย จัดไว้ในกลุ่มของอุปกรณ์ที่ใช้ในโรงหีบอ้อย เป็นต้น ทำให้สามารถแบ่งกลุ่มของอุปกรณ์ได้เป็น 4 กลุ่มได้ดังนี้ โรงหม้อไอน้ำ โรงไฟฟ้า โรงหีบอ้อย และโรงต้มระเหย ซึ่งแต่ละกลุ่มของอุปกรณ์ก็จะมีลักษณะของการใช้พลังงานที่แตกต่างกันไป

ก) โรงหม้อไอน้ำ(Boiler House) อุปกรณ์ที่สำคัญๆในส่วนของโรงหม้อไอน้ำ ได้แก่หม้อไอน้ำ อุปกรณ์อื่นประกอบไปด้วย พัดลมเป่า(Force draft fan) พัดลมดูด(Induce draft fan) พัดลมข้าง(Second force draft fan)และเครื่องสูบน้ำ(Water feed pump) อุปกรณ์เหล่านี้จะถูกขับโดยเครื่องต้นกำลัง 2 ประเภทได้แก่ กังหันไอน้ำหรือมอเตอร์ไฟฟ้า พลังงานที่โรงหม้อไอน้ำผลิตได้คือ ไอน้ำความดันสูงป้อนเข้าสู่กระบวนการผลิตของโรงงาน ส่วนพลังงานที่ป้อนเข้าสู่โรงหม้อไอน้ำคือ กากอ้อยจากการหีบอ้อยและพลังงานกล ดังแสดงในรูปที่ 4.2

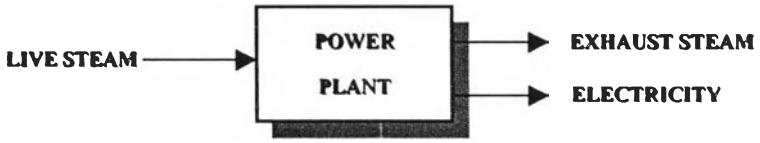


รูปที่ 4.2 แผนภาพแสดงลักษณะการใช้พลังงานในโรงหม้อไอน้ำ

ข) โรงสกัดน้ำอ้อย(Milling House) อุปกรณ์ที่สำคัญๆในโรงสกัดน้ำอ้อยได้แก่ มอเตอร์ไฟฟ้าและกังหันไอน้ำขับอุปกรณ์ต้นกำลังต่างๆ เช่น ขับมีดฟันอ้อย เครื่องฉีกอ้อยและลูกหีบ(Mill Roller) พลังงานด้านออกโรงสกัดน้ำอ้อยได้คือ ไอน้ำความดันต่ำจะถูกส่งไปยังกระบวนการผลิต ส่วนพลังงานที่ป้อนเข้าสู่โรงสกัดน้ำอ้อยคือ ไอน้ำความดันสูงจากหม้อไอน้ำและมอเตอร์ไฟฟ้า ดังแสดงในรูปที่ 4.3

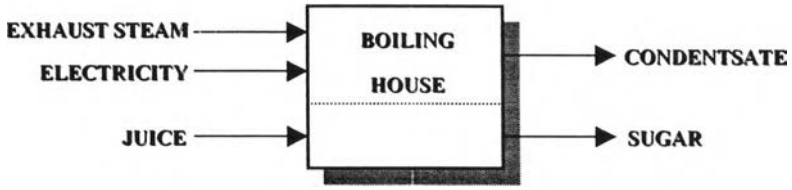
รูปที่ 4.3 แผนภาพแสดงลักษณะการใช้พลังงานในโรงหีบอ้อย

ค) โรงไฟฟ้า(Power Plant) จัดว่าเป็นส่วนที่สำคัญยิ่งของโรงงานน้ำตาลอีกส่วนหนึ่ง อุปกรณ์ที่สำคัญในโรงไฟฟ้าได้แก่ กังหันและเครื่องกำเนิดไฟฟ้า(Generator) โดยใช้กังหันไอน้ำเป็นต้นกำลัง พลังงานที่โรงไฟฟ้าผลิตได้คือพลังงานไฟฟ้าและไอน้ำความดันต่ำ ไอน้ำที่ได้นี้จะเรียกว่าไอเสียจะถูกส่งไปยังกระบวนการผลิต พลังงานไฟฟ้าที่ได้จะแบ่งเป็นสองส่วน ในส่วนแรกจะจ่ายไปยังส่วนต่างๆของโรงงาน อีกส่วนหนึ่งจะถูกส่งไปยังส่วนต่อเชื่อมกับการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยเพื่อขาย โดยที่พลังงานที่ป้อนเข้าสู่โรงไฟฟ้าคือ ไอน้ำความดันสูงจากโรงหม้อไอน้ำ ดังแสดงในรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 แผนภาพแสดงลักษณะการใช้พลังงานในโรงไฟฟ้า

ง) โรงต้มระเหย(Boiling House) จัดเป็นส่วนที่มีความสำคัญที่สุดของโรงงาน ในส่วนนี้มีการใช้พลังงานถึง 80% ของไอน้ำที่ผลิตได้ อุปกรณ์สำคัญประกอบไปด้วย ชุดหม้ออุ่น ชุดหม้อต้ม หม้อเคี่ยวและหม้อปั่น การใช้พลังงานในส่วนนี้จะแตกต่างจากในส่วนอื่นๆ โดยในส่วนของโรงต้มระเหยจะใช้ไอน้ำเป็นแหล่งพลังงานความร้อนถ่ายเทความร้อนกับน้ำเชื่อมเพื่อที่จะนำพลังงานความร้อนนั้นไประเหยน้ำที่อยู่ในน้ำเชื่อมเพื่อให้เกิดการตกผลึกน้ำตาล อุปกรณ์บางส่วนจะใช้พลังงานในรูปของกระแสไฟฟ้าเพื่อเป็นต้นกำลังขับอุปกรณ์ พลังงานที่โรงต้มผลิตได้คือความร้อนในน้ำควบแน่น จะถูกส่งไปยังถังพักน้ำร้อน(Condensate Tank) ส่วนพลังงานที่ป้อนเข้าสู่โรงต้มคือ ไอน้ำความดันต่ำจากโรงไฟฟ้าและโรงหีบอ้อยรวมถึงพลังงานไฟฟ้า ดังแสดงในรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 แผนภาพแสดงลักษณะการใช้พลังงานในโรงต้ม

4.2.2 เชื้อเพลิง

โรงงานน้ำตาลใช้กากอ้อยเป็นเชื้อเพลิงของหม้อไอน้ำ ในการผลิตไอน้ำที่ความดันและอุณหภูมิทำงาน ส่วนกากอ้อยที่ใช้เป็นผลผลิตจากกระบวนการสกัดน้ำอ้อยในโรงหีบอ้อย ไอน้ำที่ได้จะถูกแจกจ่ายไปยังส่วนต่างๆของกระบวนการผลิต เช่น กังหันไอน้ำที่ขับของมีดตัดอ้อย ค้อนทุบอ้อย ลูกหีบและเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ใช้ในโรงงาน

สัดส่วนของกากอ้อยที่ได้จากการหีบอ้อยโดยประมาณเป็น 28% - 30% ของอ้อยเข้าหีบ กากอ้อยที่ได้จากกระบวนการสกัดน้ำอ้อยมีความชื้นประมาณ 48% - 53% (มาตรฐานเปียก) ซึ่งจะขึ้นอยู่กับลักษณะและความเร็วรอบของลูกหีบ กากอ้อยถูกลำเลียงโดยสายพานหรือรางจากลูกหีบป้อนเข้าหม้อไอน้ำโดยตรง กากอ้อยส่วนที่เหลือใช้ถูกลำเลียงโดยสายพานหรือรางนำไปกองไว้ที่ลานหลังโรงงานเพื่อสำรองไว้นำกลับมาใช้เมื่อกระบวนการสกัดน้ำอ้อยหยุดชั่วคราวและใช้ในกิจกรรมต่างในช่วงหลังฤดูการหีบอ้อย หากมีกากอ้อยเหลือมากเกินความต้องการ โรงงานสามารถขายให้แก่โรงงานกระดาษที่ใช้เป็นวัตถุดิบของการผลิตกระดาษได้ เป็นการเพิ่มรายได้ให้แก่ทางโรงงาน

- <u>ความชื้นในกากอ้อย</u>

ความชื้นของกากอ้อยระบุเป็นมาตรฐานเปียก สมการของความชื้นคือ

ความชื้นกากอ้อย%(มาตรฐานเปียก) = (มวลน้ำในกากอ้อย/มวลกากอ้อยรวม) x 100

= 100 x มวลน้ำในกากอ้อย/(มวลน้ำในกากอ้อย+มวลกากอ้อยแห้ง)

ยกตัวอย่างเช่น กากอ้อยที่ความชื้น 52% มีมวลน้ำในกากอ้อยเท่ากับ 52% และมวลกากอ้อยแห้งเท่ากับ 48% พลังงานความร้อนได้จากการเผาไหม้กากอ้อยมาจากกากอ้อยแห้งเท่านั้น ดังนั้นพลังงานต่อมวลกากอ้อยจะลดต่ำลงเมื่อกากอ้อยมีความชื้นสูงขึ้น

- <u>ส่วนประกอบของสารในกากอ้อย</u>

กากอ้อยประกอบด้วยธาตุหลักคือ Carbon, Hydrogen, OxygenและNitrogen แทนด้วยสัญลักษณ์ตามลำดับดังนี้ C, H, O, และ N ตามลำดับ สัดส่วนของธาตุดังกล่าวขึ้นกับชนิดของอ้อยและพื้นที่ปลูกอ้อย จากกากอ้อยของโรงงานน้ำตาลตัวอย่างที่ได้เข้าทำการศึกษา ได้จัดส่งให้กรมวิทยาศาสตร์บริการ กระทรวงวิทยาศาสตร์วิเคราะห์ ผลการวิเคราะห์มีดังนี้

ตารางที่ 4.1(ก.) แสดงสัดส่วนร้อยละ(โดยน้ำหนัก)ของธาตุในกากอ้อย*
โดยการวิเคราะห์โดยวิธี Ultimate Analyses

โรงงาน	จังหวัด	สัดส่วนของธาตุ (%)				
		C	H	O	N	S
1.	เขตภาคเหนือ	43.5	6.0	45.4	0.22	0.08
2.	เขตภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	43.1	6.4	49.2	0.17	0.03
3.	เขตภาคกลาง (ตอนบน)	46.1	6.1	43.7	0.38	0.04
4.	เขตภาคกลาง (ตอนล่าง)	46	5.8	45.8	0.42	0.08
5.	เขตภาคตะวันออก	43.8	5.9	47.9	0.13	0.09
6.	เขตภาคตะวันตก	37.3	7.1	51.6	0.20	0.06

* วิเคราะห์โดย กรมวิทยาศาสตร์บริการ กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม

ตารางที่ 4.1(ข.) แสดงสัดส่วนร้อยละ(โดยน้ำหนัก)ของสารประกอบในกากอ้อย*
โดยการวิเคราะห์โดยวิธี Proximate Analyses

โรงงาน	จังหวัด	สัดส่วนของสารประกอบ %				Calorific
		Fixed Carbon	Volatile Matter	Moisture	Ash	value kcal/kg
1.	เขตภาคเหนือ	7.7	81.2	6.3	4.8	3,967
2.	เขตภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	7.2	80.5	11.7	1.1	4,076
3.	เขตภาคกลาง (ตอนบน)	6.8	83.3	6.2	3.7	4,095
4.	เขตภาคกลาง (ตอนล่าง)	7.7	84.6	5.8	1.9	4,132
5.	เขตภาคตะวันออก	7.4	80.7	9.7	2.2	4,100
6.	เขตภาคตะวันตก	6.1	71.5	18.7	3.7	3,542

* วิเคราะห์โดย กรมวิทยาศาสตร์บริการ กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม

ตารางที่ 4.1(ค.) แสดงค่าความร้อนจากการเผาไหม้สูงสุด-ต่ำสุดของกากอ้อย

โรงงาน	จังหวัด	High heating value : HHV (kJ/kg)	High heating value : LHV (kJ/kg)
1.	เขตภาคเหนือ	17,830	16,526
2.	เขตภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	19,241	17,832
3.	เขตภาคกลาง (ตอนบน)	18,327	17,002
4.	เขตภาคกลาง (ตอนล่าง)	18,406	17,150
5.	เขตภาคตะวันออก	19,256	17,974
6.	เขตภาคตะวันตก	19,482	17,939

- <u>ค่าความร้อนจากการเผาไหม้</u>

การหาค่าความร้อนจากการเผาไหม้ของกากอ้อย(Heating value) คือปริมาณความร้อนที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ของเชื้อเพลิงที่อุณหภูมิบรรยากาศ การหาค่าความร้อนโดยทั่วไปจะหาได้จากการทดสอบแบบมาตราฐานในBomb calorimeter ค่าความร้อนโดยทั่วไปแบ่งเป็น 2 ประเภทคือ ค่าความร้อนของการเผาไหม้สูง(High heating value: HHV)และค่าความร้อนจากการเผาไหม้ต่ำ(Low heating value: LHV) ความสัมพันธ์ของ HHVและLHV อยู่ในรูปของ

$$LHV = HHV - m_W \times h_{fg} \qquad (4.1)$$

โดยที่ m_W = ปริมาณของไอน้ำอิ่มตัวในอากาศที่เกิดขึ้นหลังจากการเผาไหม้ต่อหน่วยเชื้อเพลิง

h_{fg} = ค่าความร้อนจำเพาะของการกลายเป็นไออิ่มตัวของน้ำ

ซึ่งค่าความร้อนจากการเผาไหม้ของกากอ้อยของโรงงานตัวอย่างตามพื้นที่ในส่วนต่างๆ ของประเทศไทยได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.1(ค.)

ความร้อนจำเพาะของกากอ้อยได้จากธาตุ C, H สันดาปกับออกซิเจนที่มีในกากอ้อยและในอากาศให้ก๊าซ CO_2, H_2O และพลังงานความร้อน ค่าความร้อนของกากอ้อยได้จากกากอ้อยแห้งเท่านั้นเช่นกากอ้อยจากโรงงานน้ำตาล ก. มีความชื้นที่ 51% มีมวลน้ำ 51% ที่เหลือ 49% เป็นกากอ้อยแห้ง ดังนั้นค่าความร้อนจำเพาะของกากอ้อยที่ความชื้น 51% จากโรงงานน้ำตาล ก. เท่ากับ 9,428 kJ/kg น้ำในกากอ้อยนอกจากไม่ให้พลังงานยังต้องใช้พลังงานความร้อนเพื่อเปลี่ยนสถานะเป็นไอน้ำและถูกพาออกในรูปก๊าซร้อนทิ้งทางปล่องของเตาหม้อไอน้ำ เช่น กากอ้อยมวล 1 kg ความชื้น 51% ใช้กับเตาหม้อไอน้ำอุณหภูมิก๊าซร้อนทิ้ง 200 องศาเซลเซียส พลังงานความร้อนสูญเสียเพื่อระเหยน้ำ 0.51 kg ในกากอ้อยและความร้อนจำเพาะสูญเสียทางก๊าซร้อนทิ้งเท่ากับ 1,398 kJ ดังนั้นค่าความร้อนที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์เหลือเท่ากับ 8,030 kJ/kg (กากอ้อยชื้น 51 %)

4.3 การหาประสิทธิภาพการทำงานของระบบ

อุปกรณ์ที่สำคัญในกระบวนการผลิตน้ำตาลและเป็นอุปกรณ์ที่มีการใช้พลังงานมาก ได้แก่ หม้อไอน้ำและกังหันไอน้ำ การใช้พลังงานของอุปกรณ์ต่างๆเหล่านี้ จะมีผลกระทบมากอย่างมากต่อการใช้พลังงานภายในโรงงาน วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงเน้นที่จะประเมินประสิทธิภาพของอุปกรณ์ที่สำคัญ 2 ส่วนคือ หม้อไอน้ำและกังหันไอน้ำ

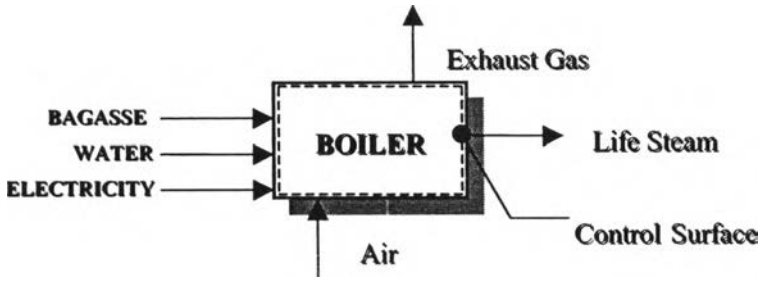
ก) หม้อไอน้ำ (Boiler)

หม้อไอน้ำเป็นอุปกรณ์ที่ติดตั้งอยู่ในโรงหม้อไอน้ำ ทำหน้าที่ในการผลิตไอน้ำเพื่อใช้ในกระบวนการต่างๆในโรงงาน การทำงานของหม้อไอน้ำอย่างมีประสิทธิภาพส่งผลให้ปริมาณการใช้เชื้อเพลิงลดน้อยลง ซึ่งจะเป็นการลดต้นทุนของผู้ประกอบการ ดังนั้นการดูแลหม้อไอน้ำให้มีประสิทธิภาพสูง จะช่วยให้เกิดการประหยัดพลังงาน ลดการสูญเปล่าของพลังงานโดยไม่จำเป็น การคำนวณหาประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำจึงเป็นสิ่งจำเป็นที่จะใช้ในการประเมินเบื้องต้นได้ว่าการใช้งานของหม้อไอน้ำมีประสิทธิภาพและเหมาะสมหรือไม่ ถ้าหากประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำไม่เหมาะสมจะสามารถหาแนวทางการปรับปรุงได้อย่างไร ซึ่งแนวทางในการปรับปรุงหม้อไอน้ำให้มีประสิทธิภาพมีอยู่ด้วยกันหลายวิธี เช่น การลดอากาศส่วนเกินในการเผาไหม้โดยการควบคุมอากาศให้มีความเหมาะสม การเพิ่มอุณหภูมิของน้ำป้อนให้สูงขึ้นโดยการติดตั้ง Economizer หรือการอุ่นอากาศก่อนเข้าหม้อไอน้ำโดยการติดตั้ง Air pre-heater เป็นต้น

การหาประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำโดยทั่วไปสามารถคำนวณหาได้ โดยอาศัยหลักการวิเคราะห์ตามกฎข้อที่หนึ่งและสองของเทอร์โมไดนามิกส์ การวิเคราะห์ตามกฎข้อที่หนึ่งของเทอร์โมไดนามิกส์เป็นการวิเคราะห์ด้านปริมาณของพลังงาน ส่วนการวิเคราะห์ตามกฎข้อที่

I18509774

สองของเทอร์โมไดนามิกส์เป็นการวิเคราะห์ถึงการสูญเสียของพลังงานซึ่งเกิดจากการถูกทำลายเนื่องจากไม่สามารถย้อนกลับได้ การวิเคราะห์หาประสิทธิภาพตามกฎข้อที่หนึ่งและสองของเทอร์โมไดนามิกส์ สามารถหาได้ดังต่อไปนี้



รูปที่ 4.6 ขอบเขตปริมาตรควบคุมของหม้อไอน้ำ

จากรูปที่ 4.6 กำหนดปริมาตรควบคุมเฉพาะหม้อไอน้ำ จะถือว่า

1. สภาวะต่างๆ ของปริมาตรควบคุมและสภาวะข้างเคียงคงที่
2. ความเร็วและคุณสมบัติมีค่าคงที่ตลอดพื้นผิวของการไหล ทั้งทางเข้าและทางออกและไม่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลา
3. อัตราการไหลเชิงมวลเข้าเท่ากับอัตราการไหลเชิงมวลออก คือ ไม่มีการเปลี่ยนแปลงของมวลภายในปริมาตรการควบคุม
4. อัตราการถ่ายเทความร้อนผ่านพื้นผิวควบคุมมีค่าคงที่
5. การเปลี่ยนแปลงพลังงานศักย์และพลังงานจลน์มีค่าน้อยและตัดทิ้งได้
6. องค์ประกอบของกากอ้อย เช่น ค่าความร้อน ความชื้นและความหนาแน่นและองค์ประกอบทางเคมี กำหนดให้มีค่าคงที่

- ประสิทธิภาพตามกฎข้อที่หนึ่งของเทอร์โมไดนามิกส์

$$\eta = \frac{\textit{พลังงานที่ใช้ในการต้มน้ำ}}{\textit{พลังงานจากการเผาไหม้เชื้อเพลิง} \quad + \quad \textit{พลังงานกล}} \qquad (4.2)$$

โดยที่

พลังงานที่ระบบผลิตได้ = พลังงานที่ใช้ในการต้มน้ำ

$= m_{Steam} \times (h_{Steam} - h_{Water})$

พลังงานที่ป้อนเข้าสู่ระบบ = พลังงานจากการเผาไหม้เชื้อเพลิง + พลังงานกล

$= \dot{m}_{Bagasse} LHV + \dot{W}_{Mechanical}$

แทนค่าต่าง ๆ ข้างต้น ลงในสมการที่ (4.2) จะได้ดังต่อไปนี้

$$\eta = \frac{\dot{m}_{Steam}\left(h_{Steam} - h_{Water}\right)}{\dot{m}_{Bagasse} LHV + \dot{W}} \qquad (4.3)$$

โดยที่

η	=	ประสิทธิภาพตามกฎข้อที่ 1 ของเทอร์โมไดนามิกส์	
$\dot{m}_{Stream}$	=	อัตราการไหลเชิงมวลของไอน้ำ:	ton/h
$\dot{m}_{Bagasse}$	=	อัตราการป้อนของเชื้อเพลิง(กากอ้อย):	ton/h
h_{Steam}, h_{Water}	=	พลังงานที่อยู่ในไอน้ำและในน้ำป้อน ตามลำดับ:	kJ/kg
$\dot{W}$	=	พลังงานกล(Mechanical work)	kJ/h
LHV	=	ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง(กากอ้อย)ที่ความชื้นของโรงงาน (ความชื้นประมาณ 50%):	kJ/kg

เนื่องจากพลังงานกลที่ป้อนเข้าสู่ระบบมีค่าน้อย เมื่อเปรียบเทียบพลังงานจากเชื้อเพลิงและตัดทิ้งได้ ดังนั้น จากสมการที่ (4.3) จะได้ดังต่อไปนี้

$$\eta = \frac{\dot{m}_{Steam}\left(h_{Steam} - h_{Water}\right)}{\dot{m}_{Bagasse} LHV} \qquad (4.4)$$

- ประสิทธิภาพตามกฎข้อที่ 2 ของเทอร์โมไดนามิกส์

$$\varepsilon = \frac{\textit{อะเวเลบิลิตีที่ระบบผลิตได้}}{\textit{อะเวเลบิลิตีที่ป้อนเข้าสู่ระบบ}} \qquad (4.5)$$

โดยที่

อะเวเลบิลิตีที่ระบบผลิตได้ = อะเวเลบิลิตีของน้ำที่เพิ่มขึ้น

= m_{Steam} x (h_{Steam} - h_{Water}) - m_{Steam} x T_o x

= (s_{Steam} - s_{Water})

อะเวเลบิลิตีที่ป้อนเข้าสู่ระบบ = อะเวเลบิลิตีเชื้อเพลิง + พลังงานกล

= $m_{Bagasse}a_{Bagasse} + \dot{W}_{Mechanical}$

เมื่อ $a_{Bagasse}$ = อะเวเลบิลิตีของเชื้อเพลิง

= LHV

แทนค่าต่าง ๆ ข้างต้น ลงในสมการที่ (4.5) จะได้ดังต่อไปนี้

$$\varepsilon = \frac{m_{Steam} \times (h_{Steam} - h_{Water}) - m_{Steam} \times T_0 \times (s_{Steam} - s_{Water})}{\dot{m}_{Bagasse} \times LHV + \dot{W}} \times 100 \qquad (4.6)$$

โดยที่

ε	=	ประสิทธิภาพตามกฎข้อที่ 2 ของเทอร์โมไดนามิกส์	
$\dot{m}_{Stream}$	=	อัตราการไหลเชิงมวลของไอน้ำ:	ton/h
$\dot{m}_{Bagasse}$	=	อัตราการป้อนของเชื้อเพลิง(กากอ้อย):	ton/h
h_{Steam}, h_{Water}	=	พลังงานที่อยู่ในไอน้ำและในน้ำป้อน ตามลำดับ:	kJ/kg
$\dot{W}$	=	พลังงานกล(Mechanical work)	kJ/h
LHV	=	ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง(กากอ้อย)ที่ความชื้นของโรงงาน (ความชื้นประมาณ 50%):	kJ/kg
s_{Steam}	=	เอนโทรปีของไอน้ำ:	kJ/(kg.K)
s_{Water}	=	เอนโทรปีของน้ำป้อน:	kJ/(kg.K)
T_0	=	อุณหภูมิของสิ่งแวดล้อม:	^oC

ในที่นี้จะกำหนดให้พลังงานไฟฟ้าที่ป้อนเข้าสู่ระบบมีค่าน้อย เมื่อเปรียบเทียบกับพลังงานของเชื้อเพลิงและละทิ้งได้ จากสมการที่ (4.6) จึงสามารถลดรูปได้ดังต่อไปนี้

$$\varepsilon = \frac{m_{Steam} \times (h_{Steam} - h_{Water}) - m_{Steam} \times T_0 \times (s_{Steam} - s_{Water})}{\dot{m}_{Bagasse} \times LHV} \times 100 \qquad (4.7)$$

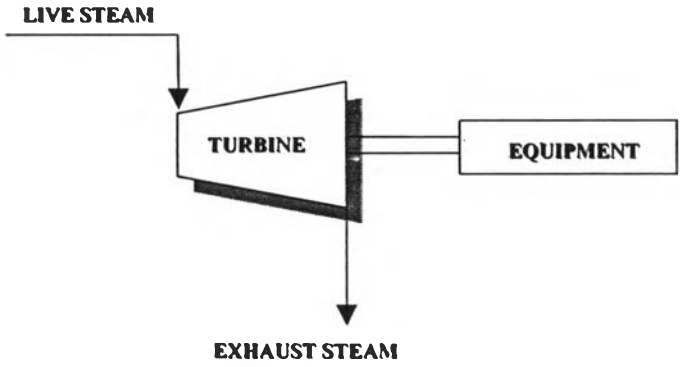
ข) กังหันไอน้ำ (Steam Turbine)

กังหันไอน้ำเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ผลิตกำลังงาน เพื่อขับอุปกรณ์ต้นกำลังต่างๆตามภาระงาน กังหันไอน้ำจึงเป็นอุปกรณ์ที่สำคัญอีกประเภทหนึ่งในกระบวนการผลิต การทำงานของกังหันไอน้ำโดยทั่วไปจะเปลี่ยนพลังงานที่อยู่ในรูปของพลังงานความร้อนเป็นพลังงานกล กังหันไอน้ำมีอยู่ด้วยกันหลายประเภท กังหันไอน้ำที่มีใช้อยู่โดยทั่วๆแบ่งเป็น

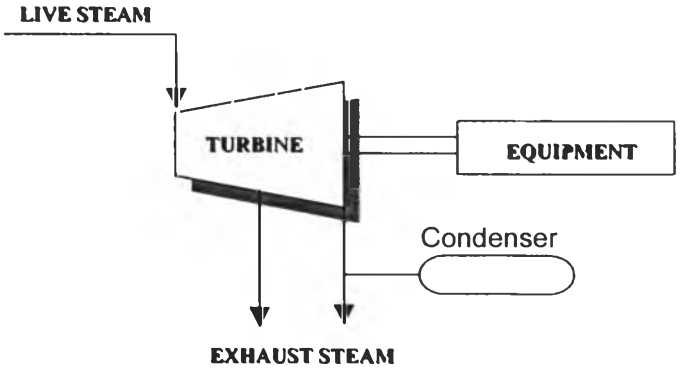
- กังหันไอน้ำชนิด Non-condensing (back pressure) steam turbine (BPST) เป็นกังหันไอน้ำที่มีใช้กันอยู่ในระบบอุตสาหกรรมโดยทั่วๆไปและเป็นที่นิยมใช้ในโรงงานน้ำตาลมากที่สุด เพราะมีราคาไม่สูงมากนักเมื่อเทียบกับกังหันไอน้ำชนิดอื่นๆ กังหันไอน้ำจะทำหน้าที่ผลิตกำลังกลเพื่อขับอุปกรณ์ ไอน้ำที่ป้อนให้กับกังหันไอน้ำชนิดนี้ จะเป็นไอน้ำความดันสูง อาศัยหลักการขยายตัวของไอน้ำ เมื่ออุณหภูมิและความดันของไอน้ำเปลี่ยนไป ไอน้ำที่ขยายตัวแล้วจะถูกปล่อยออกมาเป็นไอเสีย ซึ่งยังมีพลังงานอีกมากมายที่ยังคงอยู่ในไอน้ำเสียนี้ จึงถูกนำไปใช้ในกระบวนการผลิตต่อไป ความดันและอุณหภูมิของไอน้ำขาออกนี้จะถูกควบคุมโดยความต้องการใช้ไอน้ำในกระบวนการผลิต

- กังหันไอน้ำชนิด Single extraction-condensing steam turbine (SECST) เป็นกังหันไอน้ำที่เริ่มมีการใช้กันมากขึ้นในกระบวนการผลิตของโรงงานในประเทศไทย ลักษณะการทำงานของระบบหม้อไอน้ำประเภทนี้จะเหมือนกับระบบกังหันไอน้ำชนิด Back pressure steam turbine ข้อดีของกังหันไอน้ำระบบนี้คือ เมื่อความต้องการใช้น้ำในกระบวนการผลิตลดน้องลง เราไม่จำเป็นต้องไปลดการทำงานของหม้อไอน้ำลง ซึ่งจะทำให้หม้อไอน้ำมีประสิทธิภาพลดลง กังหันไอน้ำจะผลิตกระแสไฟฟ้ามากขึ้นโดยการปล่อยให้ไอน้ำผ่านกังหันไอน้ำจนกระทั่งใกล้เข้าสู่สภาวะของของเหลว โดยที่กังหันไอน้ำชนิดนี้จะติดตั้งอุปกรณ์เสริม นั่นคือ ระบบควบแน่นไอน้ำ(Condensing unit) เพื่อควบแน่นไอน้ำในสภาวะสุดท้ายให้เป็นน้ำร้อนแล้วป้อนร้อนที่ได้กลับเข้าสู่ระบบหม้อไอน้ำโดยตรงและยังเป็นการรักษาปริมาณไอน้ำส่วนเกินที่ต้องระบายทิ้งเวลาที่เกิดปัญหาในระบบการผลิต ข้อเสียของกังหันไอน้ำชนิดนี้คือราคาสูงกว่ากังหันไอน้ำชนิดแรกประมาณ 1.5 - 2 เท่าของราคาของกังหันชนิดแรก (ข้อมูลจากตัวแทนจำหน่ายกังหันไอน้ำของบริษัท Shinko ในประเทศไทย)

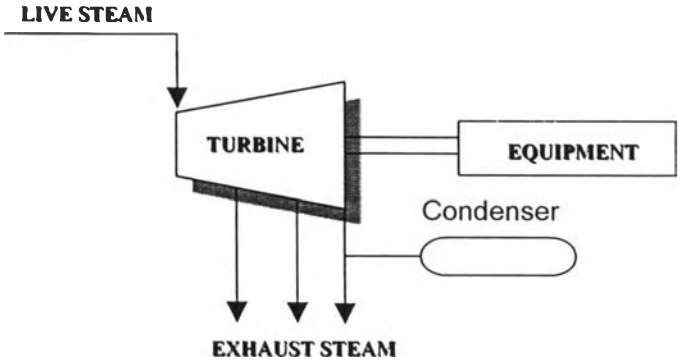
- กังหันไอน้ำชนิด Double extraction-condensing steam turbine (DECST) เป็นกังหันไอน้ำที่ยังไม่ค่อยใช้กันแพร่หลายนักในระบบอุตสาหกรรมเพราะมีราคาสูงมากเมื่อเทียบกับกังหันไอน้ำทั้ง 3 ชนิด แต่จะเป็นที่นิยมในโรงงานขนาดใหญ่ที่มีสภาวะของการใช้ไอน้ำที่มีช่วงของความดันไอน้ำใช้งานมากกว่า 2 ช่วงความดัน โดยที่กังหันไอน้ำชนิดนี้จะมีลักษณะการทำงานเช่นเดียวกับกังหันไอน้ำชนิด Single extraction-condensing steam turbine แต่จะสามารถดึงไอน้ำที่มีความดันที่สูงกว่าความดันใช้งานในกระบวนการผลิตได้ เพื่อเพิ่มทดแทนการขาดแคลนปริมาณไอน้ำในช่วงความดันปานกลาง



รูปที่ 4.7 แผนภาพของกังหันไอน้ำชนิด
Back Pressure Steam Turbine (BPST)



รูปที่ 4.8 แผนภาพของกังหันไอน้ำชนิด
Single Extraction-condensing Steam Turbine (SECST)



รูปที่ 4.9 แผนภาพของกังหันไอน้ำชนิด
Double Extraction-condensing Steam Turbine (DECST)

ในเบื้องต้นเราจะพิจารณากังหันไอน้ำชนิด Back pressure steam turbine เนื่องจากโรงงานน้ำตาลทุกโรงงานยังไม่มีการใช้กังหันไอน้ำชนิดอื่นๆ (การสำรวจโรงงานน้ำตาลทั่วประเทศ ฤดูการผลิตปี 2539/2540) การหาประสิทธิภาพของกังหันไอน้ำ ถ้าเป็นกังหันไอน้ำที่เพิ่งติดตั้งใหม่สามารถหาประสิทธิภาพของกังหันไอน้ำได้จากกราฟแสดงประสิทธิภาพซึ่งบริษัทผู้ผลิตจะแนบให้มากับคู่มือและแบบของกังหันไอน้ำ หากเป็นกังหันไอน้ำที่มีอายุการใช้งานที่ยาวนาน(ประมาณ 20 ปีขึ้นไป) กราฟแสดงประสิทธิภาพนี้อาจไม่สามารถที่จะแสดงให้ทราบถึงการประสิทธิภาพการทำงานของกังหันไอน้ำได้ถูกต้องนัก ซึ่งจะทำให้ผลของการประเมินประสิทธิภาพนั้นผิดพลาดจากความเป็นจริงมาก ดังนั้นวิธีการประเมินประสิทธิภาพของกังหันไอน้ำที่มีอายุการใช้งานที่นานอาจจะต้องทำโดยวิธีการอื่น

$$\eta = \frac{\textit{กำลังงานหรือกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้}}{\textit{กำลังงานที่ได้รับจากไอน้ำ}}$$

$$\eta_{Turbine} = \frac{\dot{W}}{\dot{m}_{Steam} \times (h_i - h_o)} \qquad (4.8)$$

ในการประเมินประสิทธิภาพของกังหันไอน้ำ จำเป็นที่จะทราบข้อมูลดังต่อไปนี้

1. ความดันของไอน้ำขาเข้ากังหันไอน้ำ (P_i)
2. อุณหภูมิของไอน้ำขาเข้ากังหันไอน้ำ (T_i)
3. ความดันของไอน้ำขาออกจากกังหันไอน้ำ (P_o)
4. อุณหภูมิของไอน้ำขาออกจากกังหันไอน้ำ (T_o)
5. อัตราการใช้ไอน้ำของกังหันไอน้ำ ($\dot{m}_{Steam}$)
6. ภาระงานหรือกำลังไฟฟ้าที่ได้จากอุปกรณ์ที่ใช้ขับ ($\dot{W}$)

โดยที่ h_i และ h_o คือ พลังงานขาเข้าและขาออกจากกังหันไอน้ำ ซึ่งสามารถหาได้จาก (P_i, T_i) และ (P_o, T_o) ตามลำดับ ในการประเมินประสิทธิภาพโดยพิจารณาโดยสมการนั้น ตัวแปรที่ไม่ทราบค่าที่มีผลต่อประสิทธิภาพของกังหันไอน้ำได้แก่ อัตราการไหลของไอน้ำและภาระงานที่กังหันไอน้ำต้องรองรับ ในการหาค่าของตัวแปรเหล่านี้ สามารถทำได้ดังนี้

- <u>อัตราการใช้ไอน้ำ</u>

สามารถประเมินได้จากการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดอัตราการไหลของไอน้ำเป็นการวัดการใช้ไอน้ำโดยตรงซึ่งมีราคาค่อนข้างสูงและยังมีความยุ่งยากในการติดตั้ง

- <u>ภาระงาน</u> กังหันไอน้ำมักจะนำไปใช้ขับอุปกรณ์ต้นกำลังต่างๆ ดังนั้นภาระงานของกังหันไอน้ำอาจจะประเมินได้เท่ากับงานทางกลของอุปกรณ์ทางกลนั้นๆ โดยจะแปรผันตามปริมาณของกากในอ้อยและอัตราการหีบอ้อย งานทางกลของอุปกรณ์ทางกลต่างๆ สามารถประเมินได้ดังนี้

- งานของมีดฟันอ้อย

$$\dot{W}_{\text{Knife No. 1}} = 24*FPC*TCH \quad (4.9)$$

$$\dot{W}_{\text{Knife No. 2}} = 40*FPC*TCH \quad (4.10)$$

$$\dot{W}_{\text{Knife No. 3}} = 16*FPC*TCH \quad (4.11)$$

- งานของเครื่องฉีกอ้อย

$$\dot{W}_{\text{Shredder}} = \phi*FPC*TCH \quad (4.12)$$

โดยที่

4 - 6	kg (Light hammer)	ϕ = 10 - 12
7 - 10	kg (Medium hammer)	ϕ = 12 - 15
10 - 20	kg (Heavy hammer)	ϕ = 40 - 50

- งานของระบบสกัดน้ำอ้อย

$$\dot{W}_{\text{Crushers}} = \frac{nD}{0.82}\left[\left(0.5*\frac{6r-5}{\sqrt{r}\left(1+\sqrt{r-1}\right)}*\sqrt{\varepsilon_A}+0.04\right)F+L\right] \quad (4.13)$$

$$\dot{W}_{\text{Mill No. 1}} = \frac{nD}{0.82}\left[\left(0.45*\frac{6r-5}{\sqrt{r}\left(1+\sqrt{r-1}\right)}*\sqrt{\varepsilon_A}+0.075\right)F+4L\right] \quad (4.14)$$

$$\dot{W}_{\text{Mill Other}} = \frac{nD}{0.82}\left[\left(0.4*\frac{6r-5}{\sqrt{r}\left(1+\sqrt{r-1}\right)}*\sqrt{\varepsilon_A}+0.075\right)F+4L\right] \quad (4.15)$$

- งานของพัดลมและเครื่องสูบ

$$\dot{W}_{\text{Pump Blower}} = \Delta P * Q \quad (4.16)$$

$$= \rho * g * h * Q \quad (4.17)$$

- งานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

$$\dot{W}_{\text{Generator}} = \text{Mega-Watt(MW) Output} \quad (4.18)$$

โดยที่

$\dot{W}$	=	Work	:	kW
D	=	Diameter	:	m.
e	=	Distant between roller	:	m.
n	=	Turbine Speed	:	rpm.
r	=	Radius = D/2	:	m.
L	=	Roller Length	:	m.
ε_{Λ}	=	e/D		
F	=	0.1*L*D*P		
P	=	Hydraulic Pressure	:	kg_f/cm^2 G
FPC	=	Fiber percent Cane	:	%
TCH	=	Ton per Cane Crushing	:	ton/h