

การประเมินประสิทธิภาพของการผลิตไอน้ำจากการลดความชื้นของชานอ้อย
กรณีศึกษาโรงไฟฟ้าชีวมวล



สารนิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีและการจัดการพลังงาน สหสาขาวิชาเทคโนโลยีและการจัดการพลังงาน
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2563
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

The Assessment of Steam Generation Efficiency from Bagasse Moisture Reduction



An Independent Study Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science in Energy Technology and Management

Inter-Department of Energy Technology and Management

GRADUATE SCHOOL

Chulalongkorn University

Academic Year 2020

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อสารนิพนธ์	การประเมินประสิทธิภาพของการผลิตไอน้ำจากการลด
	ความชื้นของขานอ้อย กรณีศึกษาโรงไฟฟ้าชีวมวล
โดย	นายกมล เพ็ญเจริญ
สาขาวิชา	เทคโนโลยีและการจัดการพลังงาน
อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก	รองศาสตราจารย์ ดร.วิทยา ยงเจริญ

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้รับสารนิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

คณะกรรมการสอบสารนิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ฐิติศักดิ์ บุญปราโมทย์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก
(รองศาสตราจารย์ ดร.วิทยา ยงเจริญ)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.ประพันธ์ คูชลธารา)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

กมล เพ็ญเจริญ : การประเมินประสิทธิภาพของการผลิตไอน้ำจากการลดความชื้นของ
 ชานอ้อย กรณีศึกษาโรงไฟฟ้าชีวมวล. (The Assessment of Steam Generation
 Efficiency from Bagasse Moisture Reduction) อ.ที่ปรึกษาหลัก : รศ. วิชา ยง
 เจริญ

ในโรงงานผลิตน้ำตาลจะมีของเสียเป็นชานอ้อยหลังจากการผลิตน้ำตาล ชานอ้อย
 สามารถนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้าได้ และเป็นที่น่าทึ่งกันว่าชานอ้อยที่ได้มาจากการ
 ผลิตน้ำตาลนั้นมีความชื้นสะสมไว้มาก ทำให้ประสิทธิภาพในการให้ความร้อนลดลง จุดประสงค์ของ
 การศึกษานี้เพื่อประเมินประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำหลังจากลดความชื้นของชานอ้อย โดยใช้
 เครื่องอบชานอ้อยแบบสายพาน ประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำคำนวณโดยใช้วิธีแบบทางอ้อม เมื่อลด
 ความชื้นของเชื้อเพลิงชานอ้อยลงจากร้อยละ 51.3 เหลือร้อยละ 37.2 ประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำ
 จะเพิ่มขึ้นร้อยละ 5.7



สาขาวิชา เทคโนโลยีและการจัด
 การพลังงาน

ปีการศึกษา 2563

ลายมือชื่อนิสิต

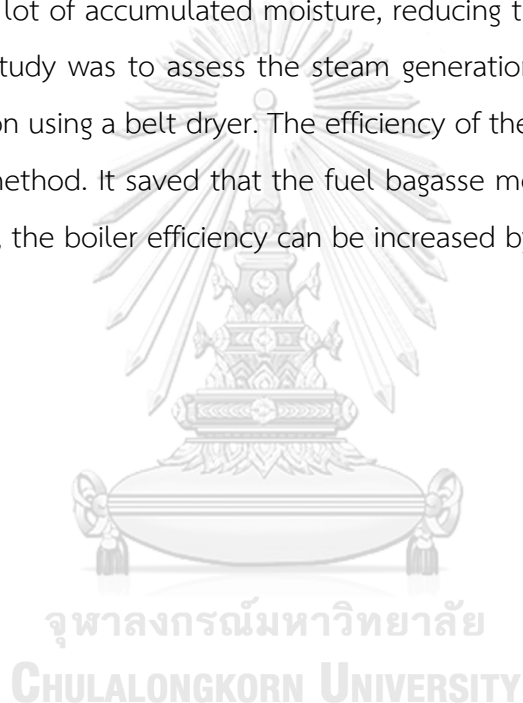
ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก

6280002520 : MAJOR ENERGY TECHNOLOGY AND MANAGEMENT

KEYWORD:

Kamon Fuengcharoen : The Assessment of Steam Generation Efficiency from Bagasse Moisture Reduction. Advisor: Assoc. Prof. Withaya Yongchareon, Ph.D.

In a sugar factory, Bagasse is a waste after sugar production. Bagasse can be used as a fuel to generate electricity. It is well known that bagasse from sugar production has a lot of accumulated moisture, reducing the heating efficiency. The purpose of this study was to assess the steam generation efficiency from bagasse moisture reduction using a belt dryer. The efficiency of the boiler was calculated by using indirectly method. It saved that the fuel bagasse moisture was reduced from 51.3 % to 37.2 %, the boiler efficiency can be increased by 5.7 %.



Field of Study: Energy Technology and
Management

Student's Signature

Academic Year: 2020

Advisor's Signature

กิตติกรรมประกาศ

สารนิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดีเนื่องด้วยความกรุณาและความช่วยเหลือเป็นอย่างยิ่งจากรองศาสตราจารย์ ดร.วิทยา ยงเจริญ อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก ที่กรุณาเสียสละเวลาในการให้คำแนะนำปรึกษา ตลอดจนแก้ไขปรับปรุงข้อบกพร่องของสารนิพนธ์นับตั้งแต่เริ่มดำเนินการจนสารนิพนธ์ฉบับนี้มีความเรียบร้อยสมบูรณ์ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งในความกรุณาและขอบกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเจ้าหน้าที่บัณฑิตวิทยาลัยและเจ้าหน้าที่ภาควิชาเทคโนโลยีการจัดการพลังงาน จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยทุกท่าน ที่ให้ความสะดวกด้านอำนวยความสะดวกและประสานงานในการทำสารนิพนธ์ให้ผู้เขียนตลอดมาจนจัดทำสารนิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ครอบครัว และเพื่อนๆ ที่คอยให้คำปรึกษา ให้กำลังใจ และเป็นแรงกระตุ้นให้ข้าพเจ้าประสบความสำเร็จในการศึกษาลุล่วงไปด้วยดี และรวมถึงผู้มีพระคุณทุกท่านที่มีได้เอ่ยนามไว้ ณ ที่นี้

กมล เพ็ญเจริญ



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สารบัญ

	หน้า
.....	ค
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ค
.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ง
กิตติกรรมประกาศ.....	จ
สารบัญ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญรูปภาพ.....	ญ
บทที่ 1	1
บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 สมมติฐาน	2
1.4 ขอบเขต	2
บทที่ 2	3
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 โรงไฟฟ้าเชื้อเพลิงชีวมวล (Biomass Power Plant).....	3
2.2 การอบแห้งชีวมวล	3
2.3 เครื่องอบแห้งในอุตสาหกรรมสำหรับไบโอแมส	4
2.4 หลักการในการเลือกเครื่องอบแห้งแบบสายพาน	9
2.5 การหาประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำ.....	9

2.6 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	14
บทที่ 3	16
การดำเนินการ.....	16
3.1 ขั้นตอนการทำวิจัย.....	16
3.2 การทำงานของเครื่องอบชานอ้อย	18
3.3 การวิเคราะห์ชานอ้อยเพื่อใช้คำนวณหาค่าความร้อนสูญเสีย	20
3.4 การคำนวณหาค่าความสูญเสียของหม้อไอน้ำสามารถทำได้ดังนี้	22
3.5 การหาค่าความไวเพื่อระบุความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นจากการประมาณค่าอุณหภูมิก๊าซไอเสีย	24
บทที่ 4	26
ผลการศึกษา	26
4.1 ผลการอบชานอ้อย.....	26
4.2 ผลของการคำนวณค่าความสูญเสียของหม้อไอน้ำ	28
4.3 ผลของการคำนวณหาผลกระทบของค่าของอุณหภูมิก๊าซไอเสียต่อประสิทธิภาพหม้อไอน้ำ ..	31
บทที่ 5	32
สรุปผลการศึกษา และข้อเสนอแนะ.....	32
5.1 สรุปผลการศึกษา.....	32
5.2 ข้อเสนอแนะ	32
บรรณานุกรม.....	33
ภาคผนวก ก.....	35
ผลการทดสอบองค์ประกอบของเชื้อเพลิงชานอ้อย	35
ภาคผนวก ข.....	38
วิธีและผลการคำนวณ.....	38
ประวัติผู้เขียน.....	41



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1 พารามิเตอร์การออกแบบโดยทั่วไปและความต้องการความร้อนสำหรับเครื่องอบแห้ง	5
ตารางที่ 2 ข้อควรพิจารณาในการเลือกเครื่องอบแห้ง.....	8
ตารางที่ 3 ปริมาณธาตุองค์ประกอบและค่าความร้อนเผาไหม้ของเชื้อเพลิงที่ความชื้นร้อยละ 37.18.....	16
ตารางที่ 4 ปริมาณธาตุองค์ประกอบและค่าความร้อนเผาไหม้ของเชื้อเพลิงที่ความชื้นร้อยละ 51.30.....	16
ตารางที่ 5 ข้อมูลตัวแปรการทำงานต่างๆ ของเครื่องอบخانอ้อย.....	20
ตารางที่ 6 องค์ประกอบเชื้อเพลิงของخانอ้อยที่ค่าความชื้นร้อยละ 37.18 และการวิเคราะห์ก๊าซไอเสีย.....	22
ตารางที่ 7 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพหม้อไอน้ำที่خانอ้อยที่มีความชื้นร้อยละ 51.30 กับความชื้นร้อยละ 37.18.....	30
ตารางที่ 8 ผลกระทบของอุณหภูมิก๊าซไอเสียต่อประสิทธิภาพหม้อไอน้ำ.....	31

สารบัญรูปภาพ

	หน้า
รูปที่ 1 แผนผังของกระบวนการอบแห้งชีวมวลที่ใช้ความร้อนเหลือทิ้งจากโรงไฟฟ้า	4
รูปที่ 2 เครื่องอบแห้งแบบถ่วงหมุน (Rotary Dryer)	6
รูปที่ 3 เครื่องอบแห้งแบบใช้ลม (Flash Dryer).....	7
รูปที่ 4 เครื่องอบแห้งประเภทสายพาน.....	8
รูปที่ 5 ไดอะแกรมแสดงโครงสร้างของการสูญเสียความร้อนในระบบหม้อไอน้ำ	10
รูปที่ 6 แผนภาพแสดงลำดับขั้นตอนการวิจัย.....	18
รูปที่ 7 แผนภาพแสดงการทำงานของเครื่องอบชานอ้อย	19
รูปที่ 8 แผนผังแสดงการทำงานของหม้อไอน้ำเมื่อใช้ชานอ้อยที่ความชื้น 37.18%	21
รูปที่ 9 กราฟแสดงผลของการทำงานของเครื่องอบแห้ง.....	26
รูปที่ 10 ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิของน้ำร้อน อุณหภูมิเครื่องอบ กับความชื้นขาออกของเครื่องอบ.....	27
รูปที่ 11 ไดอะแกรมแสดงสมดุลมวล และสมดุลพลังงาน.....	28
รูปที่ 12 ไดอะแกรมสมดุลพลังงานที่เกิดขึ้นจากการคำนวณประสิทธิภาพที่ความชื้นร้อยละ 51.30 และร้อยละ 37.18	29
รูปที่ 13 ไดอะแกรมสมดุลมวลที่เกิดขึ้นจากการคำนวณประสิทธิภาพที่ความชื้น 51.30% และ 37.18%	29
รูปที่ 14 ผลทดสอบปริมาณธาตุองค์ประกอบของเชื้อเพลิงที่ความชื้น 37.18 เปอร์เซ็นต์	36
รูปที่ 15 ผลทดสอบปริมาณธาตุองค์ประกอบของเชื้อเพลิงที่ความชื้น 51.30 เปอร์เซ็นต์	37

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ประเทศไทยมีการปลูกอ้อยในหลายจังหวัดเพื่อใช้ผลิตน้ำตาลทรายสำหรับใช้ภายในประเทศและเป็นสินค้าส่งออกนอกประเทศและทำรายได้ให้กับประเทศไทยอยู่ในลำดับต้นๆของผลิตภัณฑ์เกษตร ในกระบวนการผลิตน้ำตาล เมื่อบีบสกัดน้ำตาลจากต้นอ้อยแล้วจะเหลือชานอ้อยซึ่งเป็นวัสดุเส้นใยที่เป็นผลพลอยได้หลักอย่างหนึ่งของโรงงานผลิตน้ำตาล ชานอ้อยที่ได้รับหลังจากสกัดน้ำอ้อยนี้สามารถนำไปใช้ทำแผ่นไม้ชานอ้อยได้ สำหรับโรงงานทำน้ำตาลขนาดใหญ่จะมีชานอ้อยเหลือเป็นปริมาณมากจึงนำชานอ้อยไปใช้เป็นเชื้อเพลิงหลักสำหรับหม้อไอน้ำในการผลิตพลังงานไฟฟ้าในระบบโคเจนเนอเรชันที่ได้ทั้งไอน้ำและไฟฟ้าไปใช้ในโรงงาน และส่วนเกินจะขายให้กับผู้รับซื้อ ชานอ้อยสดที่ได้มาจากเครื่องอัดจะมีส่วนประกอบหลักคือความชื้นร้อยละ 50 เส้นใยร้อยละ 47 ความชื้นในชานอ้อยจะทำให้มีค่าความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้มีต่ำทำให้ได้ประสิทธิภาพหม้อไอน้ำต่ำตามไปด้วย ดังนั้นหากมีการอบแห้งให้กับชานอ้อยจะทำให้ค่าความร้อนจากการเผาไหม้สูงขึ้นและจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพหม้อไอน้ำด้วย เพื่อเป็นการลดต้นทุนในการอบแห้ง หากมีความร้อนเหลือใช้จากกระบวนการผลิตหรือการใช้ก๊าซไอเสียที่ยังมีอุณหภูมิสูงจากการผลิตไฟฟ้ามาใช้กับเครื่องอบก็จะลดต้นทุนได้อย่างมาก

ในการหาประสิทธิภาพหม้อไอน้ำโดยทั่วไปสามารถหาได้ 2 วิธีคือการหาแบบทางตรงและแบบทางอ้อม การหาแบบทางตรงจะเป็นการตรวจวัดและคำนวณความร้อนจากไอน้ำที่หม้อไอน้ำผลิต ส่วนวิธีแบบทางอ้อมจะหาความร้อนจากไอน้ำได้โดยการตรวจวัดและคำนวณความร้อนสูญเสียต่างๆ ที่ใช้ในการผลิตไอน้ำแล้วนำไปหักล้างจากความร้อนจากเชื้อเพลิง ประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำจะเป็นอัตราส่วนของความร้อนจากไอน้ำต่อความร้อนจากเชื้อเพลิง การหาประสิทธิภาพโดยวิธีแบบอ้อมจะได้เปรียบกว่าวิธีทางตรงจะรู้ว่าความร้อนจะสูญเสียไปทางใดบ้างและมากน้อยเท่าใดเพื่อจะได้หาทางป้องกันไม่ให้ความร้อนสูญเสียไปเพื่อปรับปรุงให้หม้อไอน้ำมีประสิทธิภาพสูงขึ้น

ในงานวิจัยนี้ จึงหาประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำด้วยวิธีทางอ้อมสำหรับโรงไฟฟ้าแห่งหนึ่งในจังหวัดสุพรรณบุรี ที่มีการผลิตน้ำตาล และนำชานอ้อยมาใช้เป็นเชื้อเพลิงในการเผาไหม้ และมีการใช้เครื่องอบแห้งแบบสายพานในการลดความชื้นของชานอ้อยก่อนที่จะนำมาเป็นเชื้อเพลิง

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อลดความชื้นของชานอ้อย

1.2.2 เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำ

1.3 สมมติฐาน

ลดความชื้นในชานอ้อยโดยใช้เครื่องอบทำให้ประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำสูงขึ้น

1.4 ขอบเขต

ใช้ข้อมูลจากโรงงานน้ำตาลแห่งหนึ่งที่อำเภอด่านช้าง จังหวัดสุพรรณบุรี



บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 โรงไฟฟ้าเชื้อเพลิงชีวมวล (Biomass Power Plant)

โรงไฟฟ้าเชื้อเพลิงชีวมวลเป็นโรงไฟฟ้าที่ใช้เศษวัสดุจากเชื้อเพลิงชีวมวล ได้แก่ กากหรือเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร กากจากผลผลิตทางการเกษตรที่ผ่านการแปรรูปแล้ว อาทิ แกลบ ชานอ้อย เศษไม้ กากปาล์ม กากมันสำปะหลัง ชังข้าวโพด กากและกะลามะพร้าว เป็นต้น นำมาเป็นเชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้าและไอน้ำ ซึ่งอาจเป็นเศษวัสดุชนิดเดียว หรือหลายชนิดรวมกันก็ได้ โดยชีวมวลแต่ละชนิดมีคุณสมบัติแตกต่างกันไป สำหรับโรงไฟฟ้าที่เลือกใช้แกลบเป็นเชื้อเพลิง เนื่องจากแกลบมีความชื้นต่ำ จึงให้ค่าความร้อนสูงและมีหลักการทำงานคล้ายกับโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อน แต่จะใช้ชีวมวลเป็นเชื้อเพลิงในการเผาไหม้ เพื่อให้เกิดความร้อนในการผลิตไอน้ำแทนเชื้อเพลิงจากฟอสซิล (น้ำมัน, ถ่านหิน, ก๊าซธรรมชาติ)

หลักการทำงาน

2.1.1 เริ่มจากการลำเลียงเชื้อเพลิงชีวมวลเข้าสู่โรงเก็บ และหากเชื้อเพลิงชีวมวลนั้นมีความชื้นอาจมีการนำมาตากแดดให้แห้งก่อน

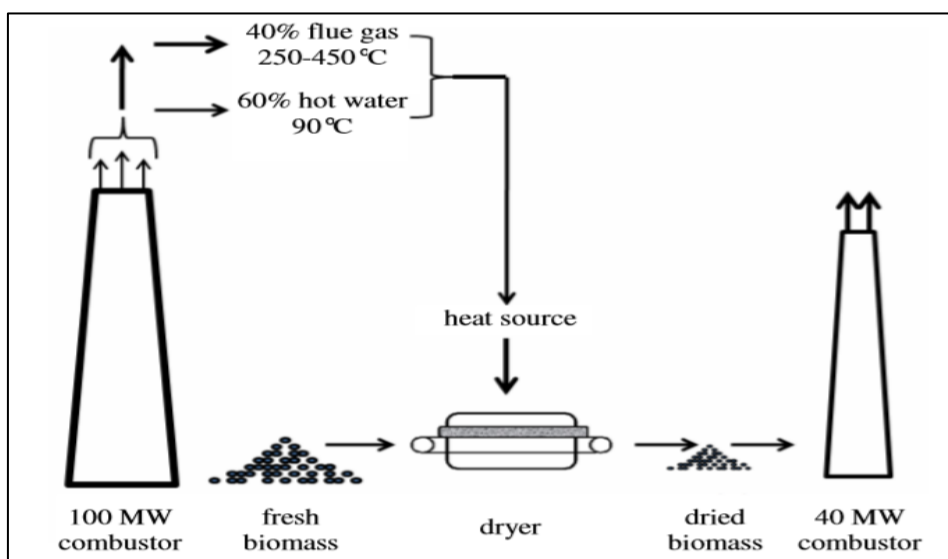
2.1.2 ชีวมวลจะถูกนำมาบดให้ละเอียด (เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการเผาไหม้) แล้วนำไปสู่ไซโลเพื่อป้อนเชื้อเพลิงเข้าสู่ห้องเผาไหม้

2.1.3 พลังงานความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้จะนำไปต้มน้ำจากนั้นจะได้ไอน้ำส่งไปเข้ากังหัน (Turbines) ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generator) เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า

2.1.4 ไอน้ำร้อนที่ผ่านกระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้าแล้ว จะถูกทำให้เย็นลงด้วยกระบวนการควบแน่นด้วย Condenser จะควบแน่นเป็นน้ำ ซึ่งจะถูกรวบรวมและส่งด้วยปั๊มน้ำ (Boiler Feed Pump) ไปเติมให้กับหม้อไอน้ำเพื่อให้หมุ่เวียนกลายเป็นไอน้ำต่อไป ส่วนน้ำหล่อเย็น (Cooling Water) ที่ใช้ในการควบแน่นแล้วมีอุณหภูมิสูงขึ้น เนื่องจากได้รับความร้อนที่ถ่ายเทมาจากไอน้ำ จะถูกทำให้เย็นลงโดยใช้หอหล่อเย็น (Cooling Tower) ระบายความร้อนออกจากน้ำหล่อเย็นสู่อากาศ ส่วนน้ำที่อุณหภูมิลดลงแล้วก็จะถูกนำมาใช้ใหม่อีก

2.2 การอบแห้งชีวมวล

การอบแห้งชีวมวลเป็นกระบวนการที่มีการใช้พลังงานมาก โดยการอบแห้งชีวมวลจะนำความร้อนที่ใช้ในการอบแห้งมาจากหลายวิธีโดยวิธีที่นิยมใช้คือการนำเอาน้ำร้อนเหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตไฟฟ้ามาใช้ซึ่งจะมีอุณหภูมิอยู่ที่ประมาณ 90 ถึง 100 องศาเซลเซียส มาให้ความร้อนผ่านเครื่องอบเพื่อทำการลดความชื้นที่สะสมอยู่ในเชื้อเพลิง เชื้อเพลิงแห่งนี้จะเป็นเชื้อเพลิงเพื่อผลิตไฟฟ้าสำหรับโรงไฟฟ้าขนาดเล็กดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 แผนผังของกระบวนการอบแห้งชีวมวลที่ใช้ความร้อนเหลือทิ้งจากโรงไฟฟ้า

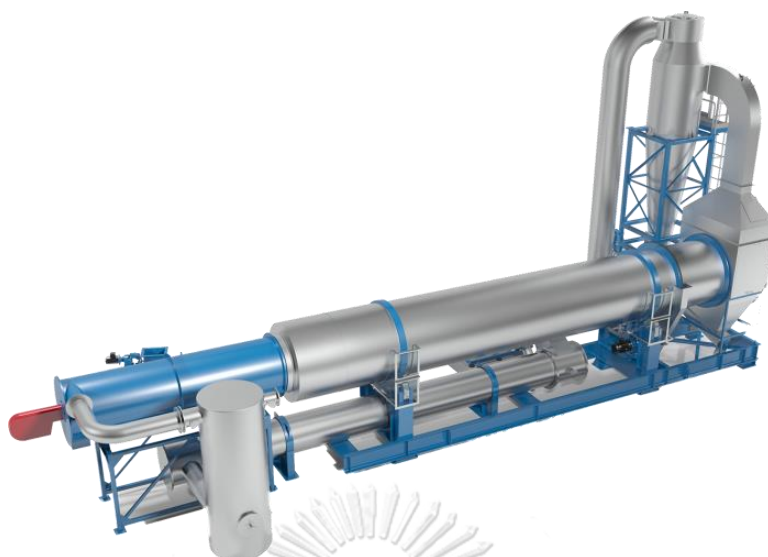
2.3 เครื่องอบแห้งในอุตสาหกรรมสำหรับไบโอแมส

เทคนิคที่โดดเด่นในการเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวมวลในช่วงปี 1970 คือการเผาแบบใช้ตะแกรง หม้อไอน้ำประเภทนี้สามารถจัดการกับเชื้อเพลิงที่มีระดับความชื้นที่ต่างกันได้ แต่ในอุดมคติแล้ว ควรใช้ความชื้นระหว่าง 30-40% ตั้งแต่ปี 1970 หม้อไอน้ำได้เปลี่ยนวิธีการเผาแบบตะแกรงมาเป็นกระบวนการเผาไหม้แบบฟลูอิดไธซ์เบด หม้อไอน้ำแบบฟลูอิดไธซ์ที่ใช้วิธีการกระบวนการเผาไหม้มีความเหมาะสมกับเชื้อเพลิงชีวมวลที่มีความชื้นมากกว่าการเผาไหม้แบบตะแกรง อย่างไรก็ตามการใช้เชื้อเพลิงที่มีความชื้นสูงจะลดประสิทธิภาพการใช้พลังงานโดยรวมของโรงไฟฟ้าและลดความจุของหม้อไอน้ำ การติดตั้งเครื่องอบแห้งเพื่อใช้งานร่วมกับหม้อไอน้ำในช่วงปี 1970 ถึง 1980 เครื่องอบแห้งในอุตสาหกรรมมักจะเป็นเครื่องอบแห้งแบบใช้ก๊าซไอเสียโดยตรง ซึ่งก๊าซไอเสียนั้นได้มาจากหม้อไอน้ำโดยตรง หรือได้มาจากการสร้างขึ้นจากหัวเผาที่ถูกแยกออกมา เครื่องอบแห้งที่ใช้กันทั่วไปในอุตสาหกรรม ได้แก่ เครื่องอบแห้งแบบโรตารี เครื่องอบแห้งแบบแฟลช และเครื่องอบแห้งแบบสายพาน พารามิเตอร์การออกแบบโดยทั่วไปและความต้องการความร้อนสำหรับเครื่องอบแห้งแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 พารามิเตอร์การออกแบบโดยทั่วไปและความต้องการความร้อนสำหรับเครื่องอบแห้ง

	Dryer Type		
	Rotary	Flash	Belt
Evaporation Rate (t/h)	3-23	4.8-17	0.5-40
Drying Temperature (°C)	200-600	150-280	30-200
Capacity (t/h)	3-45	4.4-16	-
Feed Moisture at Inlet (%)	45-65	45-65	45-72
Moisture Discharge (%)	10-45	10-45	15-25
Feed Moisture at Outlet (%)	-	12	25
Pressure Drop (kPa)	2.5-3.7	7.5	0.5
Optimal Particle Size (mm)	19-50	-	-
Maximum Particle Size (mm)	2.5-125	0.5-50	-
Thermal Requirement (GJ/t-evaporation)	3.0-4.0	2.7-2.8	1.26-2.6

2.3.1 เครื่องอบแห้งแบบถ่วงหมุน (Rotary dryers) แสดงในรูปที่ 2 เครื่องอบแห้งประเภทนี้ได้รับความนิยมมากในการนำไปใช้กับเชื้อเพลิงชีวมวลและมีค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงน้อย เครื่องอบแห้งประเภทนี้มีส่วนประกอบที่ง่าย และมีความยืดหยุ่นสูงสามารถที่จะทำงานได้หลายสภาวะรวมถึงสามารถที่จะใช้งานกับวัสดุและขนาดที่แตกต่างกันได้สามารถที่จะรองรับขนาดของวัสดุได้ตั้งแต่ 2.5 ถึง 125 มิลลิเมตร อย่างไรก็ตามการควบคุมความชื้นของเครื่องอบแห้งประเภทนี้สามารถทำได้ยากเนื่องจากอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งอยู่ในช่วง 200 ถึง 600 องศาเซลเซียส จึงมีความเสี่ยงที่จะก่อให้เกิดไฟไหม้ได้สูงและความจุในการอบแห้งได้ตั้งแต่ 3 ถึง 45 ตันต่อชั่วโมง ความสามารถในการลดความชื้นอยู่ที่ร้อยละ 10 ถึง 45 รวมถึงเครื่องอบแห้งนี้ต้องการพื้นที่ในการติดตั้งมาก



รูปที่ 2 เครื่องอบแห้งแบบถังหมุน (Rotary Dryer)

เครื่องอบแห้งแบบถังหมุนมีลักษณะการทำงานโดยการป้อนวัสดุที่ต้องการเข้าไปผ่านฝาครอบส่วนหัว และในส่วนของฝาครอบนั้นจะเป็นทางเข้าของลมร้อนที่ใช้ในการอบแห้งเช่นกัน โดยหลังจากป้อนวัสดุผ่านฝาครอบจะถูกส่งไปยังถึงส่วนตรงกลางที่จะหมุน โดยด้านในถังจะมีใบที่ติดอยู่ทำให้สามารถลำเลียงวัสดุไปยังทางออกได้ขณะที่วัสดุกำลังถูกส่งไปยังทางออก ลมร้อนที่ถูกป้อนเข้ามาจะไหลผ่านวัสดุไปยังทางออกเช่นกันทำให้วัสดุที่ถูกป้อนถูกดูดซับความชื้นออกไป

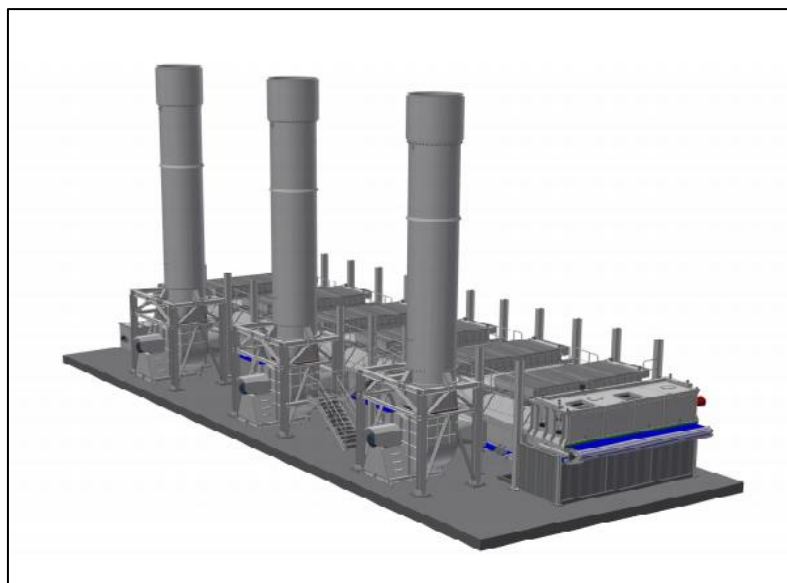
2.3.2 เครื่องทำแห้งแบบไชล์ม (Flash dryer) แสดงในรูปที่ 3 เครื่องอบแห้งประเภทนี้สามารถอบแห้งชีวมวลได้อย่างรวดเร็วสามารถลดความชื้นได้อย่างรวดเร็ว โดยวัสดุที่ต้องการอบแห้งจะถูกผสมเข้ากับลมร้อนส่งผ่านท่อเพื่อให้เกิดถ่ายเทของมวลและความร้อนทำให้วัสดุที่อบนั้นแห้งอย่างรวดเร็ว เครื่องอบแห้งประเภทนี้จะต้องมีขนาดของชีวมวลที่นำมาอบขนาดโดยเฉลี่ยอยู่ที่ 0.5 ถึง 50 มิลลิเมตร ซึ่งเป็นขนาดเล็กที่สุดจากเครื่องอบแห้งทุกชนิด เพื่อให้วัสดุที่อบสามารถที่จะลอยตัวในอากาศได้ อุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งจะอยู่ระหว่าง 150 ถึง 280 องศาเซลเซียส พื้นที่ในการติดตั้งนั้นจะน้อยกว่าเครื่องอบแบบถังหมุนแต่มีค่าใช้จ่ายในการติดตั้งที่สูงกว่า ความจุที่ใช้ในการใส่วัสดุเพื่ออบแห้งขึ้นอยู่กับการออกแบบโดยทั่วไปจะมีความจุอยู่ที่ 4.4 ถึง 16 ตันต่อชั่วโมง เครื่องอบแห้งชนิดนี้มีความเสี่ยงที่จะเกิดไฟไหม้น้อยกว่าแบบเครื่องอบแห้งแบบถังหมุน ใช้เวลาและอุณหภูมิในการอบน้อยกว่า



รูปที่ 3 เครื่องอบแห้งแบบใช้ลม (Flash Dryer)

การทำงานของเครื่องอบแห้งแบบใช้ลม จะทำการป้อนวัสดุด้วยที่ใช้อบแห้งเข้าไปที่ท่อลำเลียงพร้อมกับลมร้อนทำให้เกิดการผสมกัน ทำให้ความชื้นที่อยู่ในวัสดุลดลงและวัสดุกับลมร้อนจะถูกลำเลียงไปยังไซโคลนเพื่อทำการแยกลมร้อนออกจากวัสดุที่ใช้อบแห้งออกจากกัน

2.3.3 เครื่องอบแห้งแบบสายพาน (Belt dryer) แสดงในรูปที่ 4 การอบจะทำโดยลำเลียงวัสดุบนสายพานที่มีรูปทรงเคลื่อนที่อย่างต่อเนื่องโดยมีพัดลมเป็นตัวกลางในการให้ความร้อนไปยังวัสดุที่ต้องการอบแห้ง เครื่องอบชนิดนี้สามารถที่จะใช้งานได้หลากหลายวัสดุ เครื่องอบแบบสายพานมักจะทำงานด้วยอุณหภูมิที่ต่ำโดยทั่วไปจะอยู่ที่ประมาณ 30 ถึง 200 องศาเซลเซียส เนื่องจากวัสดุถูกลำเลียงโดยสายพานทำให้สามารถที่จะรองรับขนาดของวัสดุได้หลายขนาด รวมถึงความต่อเนื่องในการทำงานสามารถที่จะออกแบบให้มีความจุในการป้อนเชื้อเพลิงได้ตามต้องการแต่สามารถที่จะลดความชื้นได้น้อยที่สุดจากเครื่องอบแห้งทุกชนิดที่กล่าวมาคือร้อยละ 15 ถึง 25 แต่มีอันตรายจากไฟไหม้ที่น้อยที่สุดจากเครื่องอบแห้งทุกชนิด การที่ทำให้ลมร้อนถูกเป่าลงไปยังสายพานได้รวดเร็วเพียงพอจะทำให้มีก๊าซปริมาณมากผสมกับวัสดุที่อบแห้งทำให้สามารถถ่ายเทความร้อนและมวลสูง ทำให้สามารถลดความชื้นได้รวดเร็ว



รูปที่ 4 เครื่องอบแห้งประเภทสายพาน

การทำงานของเครื่องอบแห้งแบบสายพาน จะเป็นการทำวัสดุที่ต้องการอบแห้งป้อนเข้าไปยังสายพานลำเลียงที่มีรูปพุน้ำวัสดุที่ต้องการอบแห้งผ่านความร้อนที่ได้จากน้ำร้อนที่เหลือทิ้งในการผลิตไอน้ำโดยใช้พัดลมเป่าลมร้อนผ่านรูปพุนของสายพานไปที่วัสดุที่อยู่บนสายพานเพื่อทำให้เกิดการระเหยของความชื้นภายในวัสดุที่ต้องการอบแห้งทำให้ความชื้นที่สะสมอยู่ลดลง และออกไปสู่ทางออกเพื่อนำไปจัดเก็บ

ข้อควรพิจารณาในการเลือกเครื่องอบแห้งแสดงในตารางที่ 2
ตารางที่ 2 ข้อควรพิจารณาในการเลือกเครื่องอบแห้ง

	Dryer Type		
	Rotary	Flash	Belt
Requires Small Particles	none	yes	none
Heat Recovery	difficult	difficult	easy
Fire Hazard	high	medium	low
Air Emission	medium	high	low
Steam Use	yes	none	yes

2.4 หลักการในการเลือกเครื่องอบแห้งแบบสายพาน

เครื่องอบแบบสายพานนั้นมีความสามารถที่จะรองรับขนาดของวัสดุได้หลากหลายขนาด และความจุมีความเสี่ยงในการติดไฟน้อย และสามารถส่งวัสดุได้อย่างต่อเนื่อง เครื่องอบแห้งแบบสายพานในงานวิจัยนี้มีความจุโดยเฉลี่ยจะป้อนชานอ้อยที่ 60 ตันต่อชั่วโมง เนื่องจากเครื่องอบแบบสายพานโดยทั่วไปจะมีการใช้สายพานที่มีรูปพรรณในการลำเลียง และการให้ความร้อนกับวัสดุ โดยในที่นี้จะใช้น้ำร้อนเหลือทิ้งที่ได้หลังจากผลิตไอน้ำจากหม้อไอน้ำที่มีอุณหภูมิเฉลี่ยที่ 100 องศาเซลเซียส เข้าไปยังเครื่องอบแห้งแบบสายพานและใช้พัฒนาในการเป่าลมร้อนจากน้ำร้อนผ่านไปยังวัสดุเพื่อลดความชื้น เครื่องอบแห้งแบบสายพานสามารถที่จะลดความชื้นของวัสดุได้ประมาณร้อยละ 15 ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของน้ำร้อนที่ใช้ และมีค่าความสูญเสียที่เกิดขึ้นในเครื่องอบแห้งต่ำ

2.5 การหาประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำ

การหาประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำสามารถคำนวณหาได้ 2 วิธีคือ วิธีแบบตรง (the input-output method) และวิธีแบบอ้อม (heat loss method) การหาประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำด้วยวิธีแบบอ้อม จะมีความแม่นยำมากกว่าวิธีแบบตรง และ การหาประสิทธิภาพหม้อไอน้ำด้วยวิธีแบบอ้อมยังมีข้อดีคือ ความผิดพลาดที่เกิดจากการวัดจะไม่ทำให้ผลการคำนวณหาประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำเปลี่ยนไปมาก

2.5.1 วิธีการหาประสิทธิภาพหม้อไอน้ำแบบตรง

สามารถคำนวณได้จากเอาต์พุตของไอน้ำ และอินพุตจากความร้อนที่ใส่เข้าไปตามสมการดังนี้

$$\text{ประสิทธิภาพหม้อไอน้ำแบบตรง} = \frac{\text{Heat Output}}{\text{Heat Input}} \times 100$$

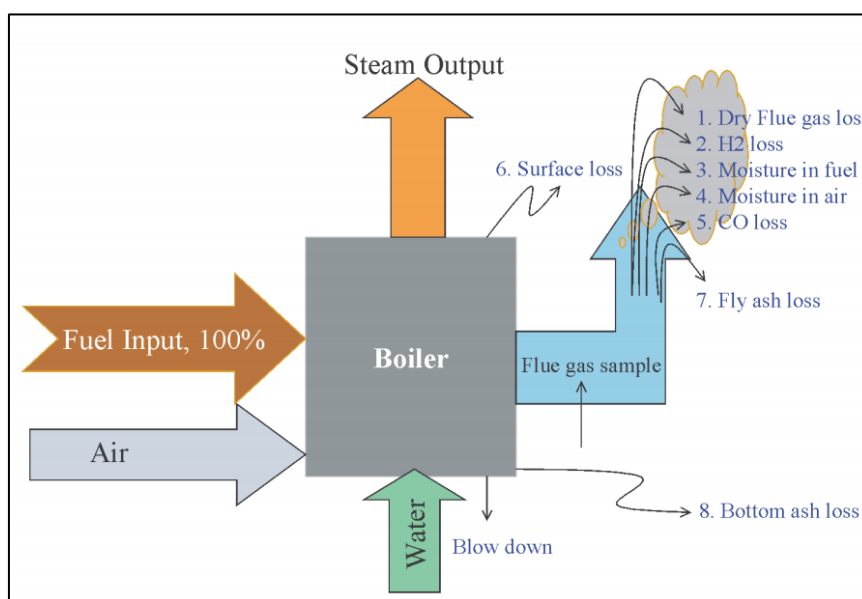
$$= \frac{\text{Steam Flow Rate} \times (\text{Steam Enthalpy} - \text{Feed Water Enthalpy})}{\text{Fuel Firing Rate} \times \text{Gross Calorific Value}} \times 100$$

(1-1)

2.5.2 วิธีการหาประสิทธิภาพหม้อไอน้ำแบบอ้อม

ประสิทธิภาพสามารถหาได้โดยการวัดและคำนวณหาค่าการสูญเสียทั้งหมดที่เกิดขึ้นในหม้อไอน้ำ ประสิทธิภาพหม้อไอน้ำสามารถหาได้โดยการนำค่าการสูญเสียไปลบออกจากประสิทธิภาพทั้งหมดหนึ่งร้อยเปอร์เซ็นต์ ข้อได้เปรียบที่สำคัญของวิธีนี้คือข้อผิดพลาดในการวัดจะไม่ทำให้ประสิทธิภาพเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญและมีการแยกค่าการสูญเสียออกจากกันค่อนข้างชัดเจน การหาประสิทธิภาพหม้อไอน้ำโดยใช้วิธีแบบอ้อมที่กล่าวข้างต้น มีการคิดความ

ร้อนสูญเสียทั้งหมด 7 ทางคือ 1) ทางก๊าซไอเสียแห้ง 2) ทางส่วนประกอบไฮโดรเจนของเชื้อเพลิง 3) ทางความชื้นของเชื้อเพลิง 4) ทางความชื้นของอากาศ 5) ทางการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ 6) ทางผนังของหม้อไอน้ำ 7) ทางซีเถ้าลอย และ 8) ทางซีเถ้าด้านล่าง ดังแสดงในรูปที่ 5 ความร้อนสูญเสียผ่านทางผนังของหม้อไอน้ำต้องการคุณสมบัติเฉพาะของหม้อไอน้ำและความร้อนสูญเสียทางซีเถ้าต้องการการวิเคราะห์ซีเถ้าที่ละเอียด อย่างไรก็ตามการสูญเสียทั้งสองนี้จะมีค่าน้อยประมาณร้อยละ 2 ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงไม่ได้คิดการสูญเสียทั้งสองนี้



รูปที่ 5 ไดอะแกรมแสดงโครงสร้างของการสูญเสียความร้อนในระบบหม้อไอน้ำ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบของเชื้อเพลิง อากาศที่ใช้ในการเผาไหม้ตามทฤษฎี (stoichiometric) สามารถหาได้ตามสมการด้านล่างนี้

2.5.2.1 อากาศตามทฤษฎีที่จำเป็นสำหรับการเผาไหม้

$$= \frac{[(11.6 \times C) + \{34.8 \times (H_2 - O_2/8)\} + (4.35 \times S)]}{100}$$

(1-2)

2.5.2.2 % อากาศส่วนเกินที่ให้มา (EA) [8]

อากาศส่วนเกินสามารถหาได้จากสมการการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง สำหรับเชื้อเพลิงแข็งที่มีส่วนประกอบส่วนใหญ่เป็นไฮโดรคาร์บอน มีการเผาไหม้สมบูรณ์หรือมีการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์เพียงเล็กน้อย ในทางปฏิบัติสามารถประมาณอากาศส่วนเกินได้จากการวิเคราะห์ก๊าซไอเสียแห้งตามสมการที่ 1-3

$$EA = \frac{\%O_2}{21 - \%O_2} \times 100 \text{ หรือ } \frac{7900 \times [(CO_2\%)_t - (CO_2\%)_a]}{[(CO_2\%)_a \times (100 - (CO_2\%)_t)]}$$

$\%O_2$ = ปริมาณของออกซิเจนที่วัดได้ในหม้อต้มไอน้ำ

$(CO_2\%)_a$ = ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่วัดได้ในหม้อต้มไอน้ำ

(1-3)

2.5.2.3 ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ทางทฤษฎี $(CO_2\%)_t$

$$(CO_2\%)_t = \frac{\text{Moles of C}}{\text{Moles of } N_2 + \text{Moles of C}}$$

(1-4)

$$\text{Moles of } N_2 = \frac{\text{Wt. of } N_2 \text{ in theoretical air}}{\text{Mol. wt. of } N_2} + \frac{\text{Wt. of } N_2 \text{ in fuel}}{\text{Mol. Wt. of } N_2}$$

(1-5)

$$\text{Moles of C} = \frac{\text{Wt. of C in fuel}}{\text{Mol. Wt. of C}}$$

(1-6)

2.5.2.4 มวลอากาศจริง(AAS)

$$AAS = \left[1 + \frac{EA}{100} \right] \times \text{theoretical air (kg of fuel)}$$

(1-7)

2.5.2.5 มวลของก๊าซไอเสียแห้ง = มวลของคาร์บอนไดออกไซด์ + มวลของคาร์บอนมอนนอกไซด์ + มวลของไนโตรเจนในเชื้อเพลิง + มวลของไนโตรเจนในอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้ + มวลของออกซิเจนในก๊าซไอเสีย

(1-8)

สูตรคำนวณค่าการสูญเสียที่ใช้กับหม้อไอน้ำมีดังนี้

1) การสูญเสียเนื่องจากก๊าซเสียแห่ง L1

การสูญเสียเนื่องจากก๊าซไอเสียแห่ง L1 เป็นค่าการสูญเสียที่มากที่สุดจากการสูญเสียทั้งหมดและสามารถคำนวณได้ด้วยสูตรต่อไปนี้ :

$$L1 = \frac{m \times C_p \times (T_f + T_a)}{GCV \text{ of fuel}} \times 100 \quad (1-9)$$

โดยที่ m = มวลของก๊าซไอเสียแห่งในหน่วยกิโลกรัม / กิโลกรัมของเชื้อเพลิง
 = ผลิตรภัณฑ์จากการเผาไหม้จากเชื้อเพลิง: $CO_2 + SO_2 + N_2$ ในเชื้อเพลิง + N_2 ในมวลอากาศจริงที่จ่าย + O_2 ในก๊าซไอเสีย
 C_p = ความร้อนจำเพาะของก๊าซไอเสียในหน่วย $kCal / kg \text{ } ^\circ C$ (ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.23) (Anonymous, 2012)
 T_f = อุณหภูมิของก๊าซไอเสียเป็น $^\circ C$
 T_a = อุณหภูมิอากาศแวดล้อมเป็น $^\circ C$
 GCV = ปริมาณความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ใน 1 หน่วยปริมาณเชื้อเพลิง

2) การสูญเสียเนื่องจากไฮโดรเจนในเชื้อเพลิง L2

การเผาไหม้ของไฮโดรเจนทำให้เกิดน้ำ จึงสูญเสียความร้อนไปในรูปของความร้อนแฝงให้ได้ไอน้ำและความร้อนสัมผัส เพื่อให้มีอุณหภูมิเท่ากับก๊าซไอเสีย

$$L2 = \frac{9 \times H_2 \times 584 + C_p(T_f - T_a)}{GCV \text{ of fuel}} \times 100 \quad (1-10)$$

โดยที่ H_2 = กิโลกรัมของไฮโดรเจนที่มีอยู่ในเชื้อเพลิงต่อกิโลกรัมของเชื้อเพลิง
 C_p = ความร้อนจำเพาะของไอน้ำร้อนยวดยิ่งในหน่วย $kCal / kg \text{ } ^\circ C$ (ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.45)
 T_f = อุณหภูมิของก๊าซไอเสียเป็น $^\circ C$

T_a = อุณหภูมิอากาศแวดล้อมเป็น $^{\circ}\text{C}$

584 = ความร้อนแฝงที่สอดคล้องกับความดันของไอน้ำ kCal / kg

GCV = ปริมาณความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ใน 1 หน่วยปริมาณเชื้อเพลิง

3) การสูญเสียเนื่องจากความชื้นในเชื้อเพลิง L3

เนื่องจากในเชื้อเพลิงมีความชื้นสะสมอยู่ทำให้ความร้อนที่เกิดขึ้นถูกทำให้สูญเสียไปกับการให้ความชื้นระเหยเป็นไอน้ำและมีอุณหภูมิเท่ากับก๊าซไอเสีย การสูญเสียนี้สามารถคำนวณได้ด้วยสูตรต่อไปนี้

$$L3 = \frac{M \times 584 + C_p(T_f - T_a)}{\text{GCV of fuel}} \times 100 \quad (1-11)$$

โดยที่ M = ความชื้นในเชื้อเพลิงต่อกิโลกรัมเชื้อเพลิง

C_p = ความร้อนจำเพาะของไอน้ำร้อนยวดยิ่งในหน่วย $\text{kCal} / \text{kg}^{\circ}\text{C}$ (ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.45)

T_f = อุณหภูมิของก๊าซไอเสียเป็น $^{\circ}\text{C}$

T_a = อุณหภูมิอากาศแวดล้อมเป็น $^{\circ}\text{C}$

584 = ความร้อนแฝงของน้ำ $\text{kCal} / \text{kg}^{\circ}$

GCV = ปริมาณความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ใน 1 หน่วยปริมาณเชื้อเพลิง

4) การสูญเสียเนื่องจากความชื้นในอากาศ L4

เนื่องจากในอากาศมีความชื้นอยู่ทำให้ความร้อนที่เกิดขึ้นสูญเสียไปกับการให้ความชื้นมีอุณหภูมิเท่ากับก๊าซไอเสีย การสูญเสียนี้สามารถคำนวณได้ด้วยสูตรต่อไปนี้

$$L4 = \frac{\text{AAS} \times \text{humidity factor} \times C_p \times (T_f - T_a) \times 100}{\text{GCV of fuel}} \quad (1-12)$$

โดยที่ AAS = มวลของอากาศที่จ่ายจริงต่อกิโลกรัมเชื้อเพลิง

Humidity factor (Humidity Ratio) ที่ 30°C , 50% RH = $\text{kg. น้ำ} / \text{kg. อากาศแห้ง}$ (ค่าเป็น 0.0217)

C_p = ความร้อนจำเพาะของไอน้ำร้อนยวดยิ่งในหน่วย $\text{kCal} / \text{kg}^{\circ}\text{C}$ (ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.45)

T_f = อุณหภูมิของก๊าซไอเสียเป็น °C

T_a = อุณหภูมิแวดล้อมเป็น °C

GCV = ปริมาณความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ใน 1 หน่วยปริมาณเชื้อเพลิง

5) การสูญเสียเนื่องจากคาร์บอนมอนอกไซด์ L5

การเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ทำให้เกิดก๊าซ CO ทำให้เกิดการสูญเสียพลังงาน สามารถคำนวณได้ด้วยสูตรต่อไปนี้

$$L5 = \frac{\%CO \times C \times 5744}{(\%CO + \%CO_2) \times GCV \text{ of fuel}} \times 100$$

(1-13)

โดยที่ CO = ปริมาณ CO ในก๊าซไอเสีย (%)

CO₂ = ปริมาณ CO₂ ในก๊าซไอเสีย (%)

C = ปริมาณคาร์บอน kg. / kg. ของเชื้อเพลิง

5744 = ความร้อนสูญเสียเนื่องจากการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์

GCV = ปริมาณความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ใน 1 หน่วยปริมาณเชื้อเพลิง

2.6 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับความชื้นในการใช้ชานอ้อยเป็นเชื้อเพลิงในการผลิตไอน้ำของหม้อไอน้ำ โดยมีปัจจัยที่มีส่วนในการลดความชื้นของชานอ้อยได้แก่ เครื่องอบแห้ง และประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำ โดยความชื้นที่สะสมอยู่ในชานอ้อยนั้นทำให้ประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำลดลง (นายทศพร กลิ่นมาลี 2558) การป้อนชานอ้อยเป็นเชื้อเพลิงหากมีการทำให้ความชื้นลดลงจะสามารถเพิ่มประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำลดปริมาณของจำนวนเชื้อเพลิงที่ใช้ และปล่อยมลพิษน้อยลง โดยส่วนใหญ่ความชื้นที่อยู่สะสมอยู่ในชานอ้อยจะมีปริมาณร้อยละ 51 แต่ปริมาณความชื้นที่เหมาะสมในการใช้กับหม้อไอน้ำนั้นจะอยู่ที่ประมาณร้อยละ 30 ถึง 40 แต่หากลดความชื้นของชานอ้อยลงต่ำกว่าร้อยละ 30 จะมีโอกาสที่จะเกิดการติดไฟได้ (Amos 1999)

เครื่องอบแห้งแบบสายพานใช้เป็นเครื่องมือในการลดความชื้นของชานอ้อย โดยการให้ความร้อนไปยังชานอ้อยทำให้เกิดระเหยของน้ำในชานอ้อยออกมาทางผิวของวัสดุการเลือกเครื่องอบให้เหมาะกับชนิดของวัสดุมีปัจจัยหลายอย่างที่ต้งคำนึงถึงหลัก ๆ ได้แก่ ชนิดและขนาดของวัสดุ ความร้อนขาเข้าที่ใช้ในการลดความชื้น และความชื้นที่สะสมอยู่ในวัสดุที่ต้องการอบแห้ง โดยลักษณะของเครื่องอบแห้งแต่ละชนิดนั้นมีความสามารถในการทำงานแตกต่างกันออกไป โดยเครื่องอบแห้งแบบใช้ลมจะใช้วัสดุที่มีขนาดเล็ก แต่สามารถที่จะให้ความร้อนได้น้อยในส่วนของเครื่องอบแห้งแบบถังหมุนนั้นสามารถที่จะใส่วัสดุได้หลากหลายขนาด และมี

ความเร็วในการอบแห้งมากที่สุด และลดความชื้นของวัสดุได้มากที่สุดเช่นกัน ถึงอย่างนั้นเครื่องอบแห้งแบบถังหมุนมีค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงสูง (Pinji-aksorn 2019) ในการวิจัยนี้เลือกใช้เครื่องอบแห้งแบบสายพานเนื่องจากสามารถที่จะใช้งานกับวัสดุที่มีขนาดแตกต่างกันได้ และใช้อุณหภูมิที่ต่ำในการอบแห้งทำให้มีค่าใช้จ่ายในการจัดการน้อย มีความเสี่ยงต่อการติดไฟและเกิดมลพิษได้น้อยกว่าเครื่องอบในทุกชนิด (Hanning Li, Qun Chen, Xiaohui Zhang, Karen N Finney, Vida N Sharifi, Jim Swithenbank 2012)

การคำนวณประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำสามารถใช้วิธีการคำนวณได้ 2 แบบคือ แบบทางตรง และแบบทางอ้อม โดยการวิจัยนี้จะใช้การคำนวณแบบทางอ้อม ด้วยการหาค่าความสูญเสียของพลังงานเป็นร้อยละไปหักลบกับจำนวนร้อยละหนึ่งร้อย ข้อดีของการคำนวณแบบทางอ้อมคือค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นจะไม่ส่งผลกระทบต่อความผิดพลาดในการคำนวณส่วนอื่น ๆ ที่ไม่เกี่ยวข้องมากนัก อากาศที่ใช้ในการเผาไหม้ทางทฤษฎีคำนวณได้จากส่วนประกอบของธาตุของเชื้อเพลิง และร้อยละของอากาศส่วนเกิน (EA) ซึ่งคำนวณจากสูตร $(O_2\%)/(21 - O_2\%)$ โดย O_2 เป็นออกซิเจนส่วนเกินที่วัดได้ในก๊าซไอเสียแห้ง และนำค่าอุณหภูมิของก๊าซไอเสียมาใช้เป็นข้อมูลในการคำนวณหาค่าความสูญเสียของหม้อไอน้ำ (Nishant Singh, Bhanu Pratap, Bhanu Pratap 2018), และ Mr. Sandip. V. Borate , Mr. P. S. Patil 2014) การหาผลของความชื้นในชานอ้อยต่อประสิทธิภาพหม้อไอน้ำขนาด 115 ตันต่อชั่วโมง (Nishant Singh , Bhanu Pratap, Bhanu Pratap 2018) ได้วิเคราะห์ประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำที่ร้อยละ 67.26 ที่ความชื้นของชานอ้อยร้อยละ 50 และอุณหภูมิก๊าซไอเสีย 127 องศาเซลเซียส และได้ประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำที่ร้อยละ 74.77 ที่ความชื้นที่ร้อยละ 38 ที่อุณหภูมิก๊าซไอเสีย 139 องศาเซลเซียส พบว่าประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำเพิ่มขึ้นร้อยละ 7.51 เมื่อความชื้นในชานอ้อยลดลงร้อยละ 12 และอุณหภูมิของก๊าซไอเสียเพิ่มขึ้น 12 องศาเซลเซียส หรือ อุณหภูมิก๊าซไอเสียลดลง 1 องศาเซลเซียสต่อความชื้นในชานอ้อยเพิ่มขึ้นร้อยละ 1

บทที่ 3

การดำเนินการ

3.1 ขั้นตอนการทำวิจัย

3.1.1 เก็บข้อมูลของชานอ้อยทั้งจากก่อนผ่านเครื่องอบแห้งและหลังจากผ่านเครื่องอบแห้งไปหาค่าปริมาณธาตุองค์ประกอบ และค่าความร้อนจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงเพื่อนำข้อมูลไปใช้ในการคำนวณประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำ ผลการวิเคราะห์ชานอ้อยที่ความชื้นร้อยละ 37.18 ได้ปริมาณธาตุองค์ประกอบดังนี้ คาร์บอนร้อยละ 30.50 ออกซิเจนร้อยละ 22.72 ไฮโดรเจนร้อยละ 7.9 ไนโตรเจนร้อยละ 0.14 กำมะถันร้อยละ 0.02 เถ้าร้อยละ 1.54 และค่าความร้อนในการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงที่ 2879 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัมดังแสดงในตารางที่ 3 และที่ความชื้นร้อยละ 50.30 ได้ปริมาณธาตุองค์ประกอบ และค่าความร้อนจากการเผาไหม้ทำให้ได้ปริมาณธาตุองค์ประกอบดังนี้ คาร์บอนร้อยละ 23.40 ออกซิเจนร้อยละ 15.10 ไฮโดรเจนร้อยละ 8.6 ไนโตรเจนร้อยละ 0.11 กำมะถันร้อยละ 0.01 เถ้าร้อยละ 1.53 และค่าความร้อนในการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงที่ 2192 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัมดังแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 3 ปริมาณธาตุองค์ประกอบและค่าความร้อนเผาไหม้ของเชื้อเพลิงที่ความชื้นร้อยละ 37.18

Fuel specifications of Bagasse (in %)			
Carbon	30.50%	Hydrogen	7.9%
Oxygen	22.72%	Nitrogen	0.14%
Sulfur	0.02%	Moisture	37.18%
Ash	1.54 %	GCV	2879 kcal/kg

ตารางที่ 4 ปริมาณธาตุองค์ประกอบและค่าความร้อนเผาไหม้ของเชื้อเพลิงที่ความชื้นร้อยละ 51.30

Fuel specifications of Bagasse (in %)			
Carbon	23.40%	Hydrogen	8.6%
Oxygen	15.10%	Nitrogen	0.11%
Sulfur	0.01%	Moisture	51.30%
Ash	1.53 %	GCV	2192 kcal/kg

3.1.2 เก็บข้อมูลจากเครื่องอบแห้งเพื่อนำไปคำนวณหาสมมูลมวล สมดุลพลังงาน และพลังงานที่สูญเสียจากการอบแห้งชานอ้อย

3.1.3 เก็บข้อมูลของหม้อไอน้ำเพื่อนำไปใช้ในการคำนวณร่วมกับข้อมูลที่ได้จากชานอ้อยเพื่อหาประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำ

3.1.4 คำนวณหาประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำโดยการใช้ชานอ้อยเป็นเชื้อเพลิง โดยคำนวณที่ความชื้นของชานอ้อยในปริมาณร้อยละ 51.30 และ 37.18 เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำเมื่อความชื้นลดลง

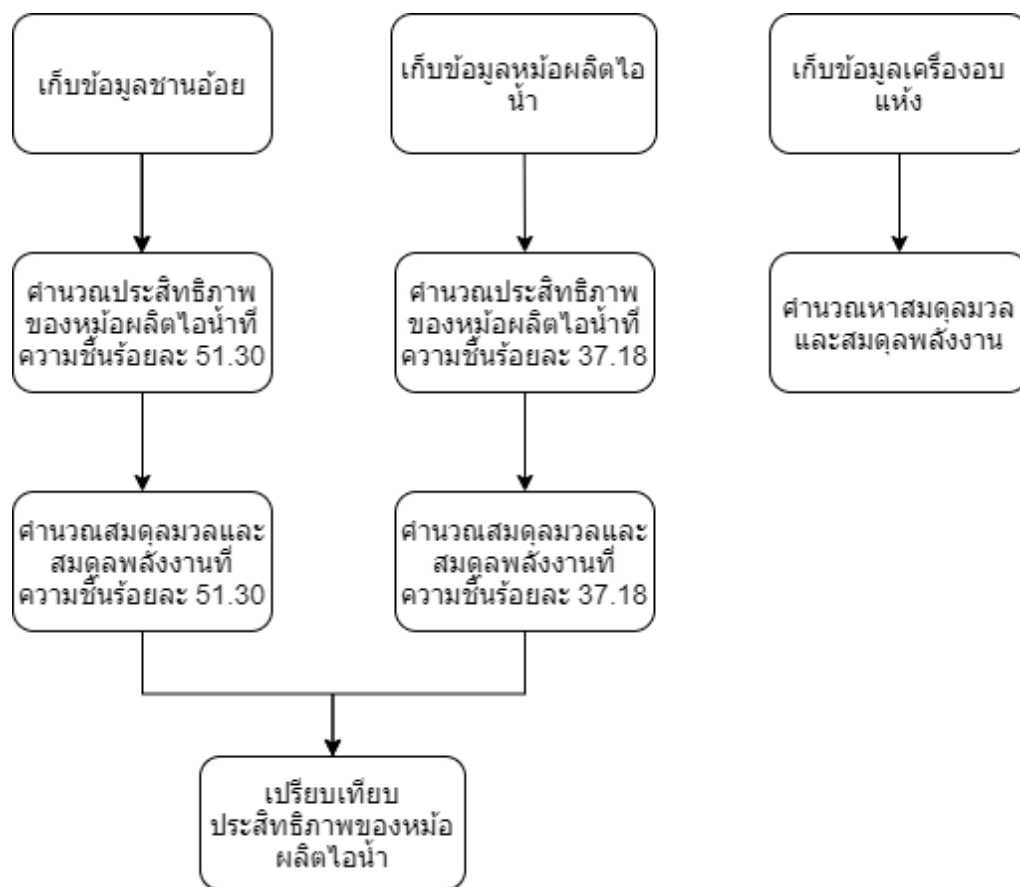
3.1.5 คำนวณหาสมมูลมวล และสมดุลพลังงานของหม้อไอน้ำที่เกิดขึ้นจากการใช้เชื้อเพลิงชานอ้อยที่ในปริมาณร้อยละ 51.30 และ 37.18

3.1.6 คำนวณค่าความอ่อนไหวของข้อมูลเนื่องจากการจำลองข้อมูลของค่าความร้อน ก๊าซเชื้อเพลิงเพื่อหาความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นจากการจำลองข้อมูลนั้น

ลำดับขั้นตอนการวิจัยแสดงในรูปที่ 6 จากการเก็บข้อมูลของเครื่องอบแห้งชานอ้อย จะได้ความชื้นของชานอ้อยที่ลดลง และวิเคราะห์สมมูลมวล สมดุลความร้อน และประสิทธิภาพของเครื่องอบแห้ง

การเก็บข้อมูลของหม้อไอน้ำและการวิเคราะห์ธาตุองค์ประกอบของเชื้อเพลิงที่ความชื้นร้อยละ 37.18 และที่ความชื้นร้อยละ 50.30 จะวิเคราะห์การสูญเสียความร้อนต่างๆ และประสิทธิภาพหม้อไอน้ำ วิเคราะห์สมมูลมวล และสมดุลความร้อน

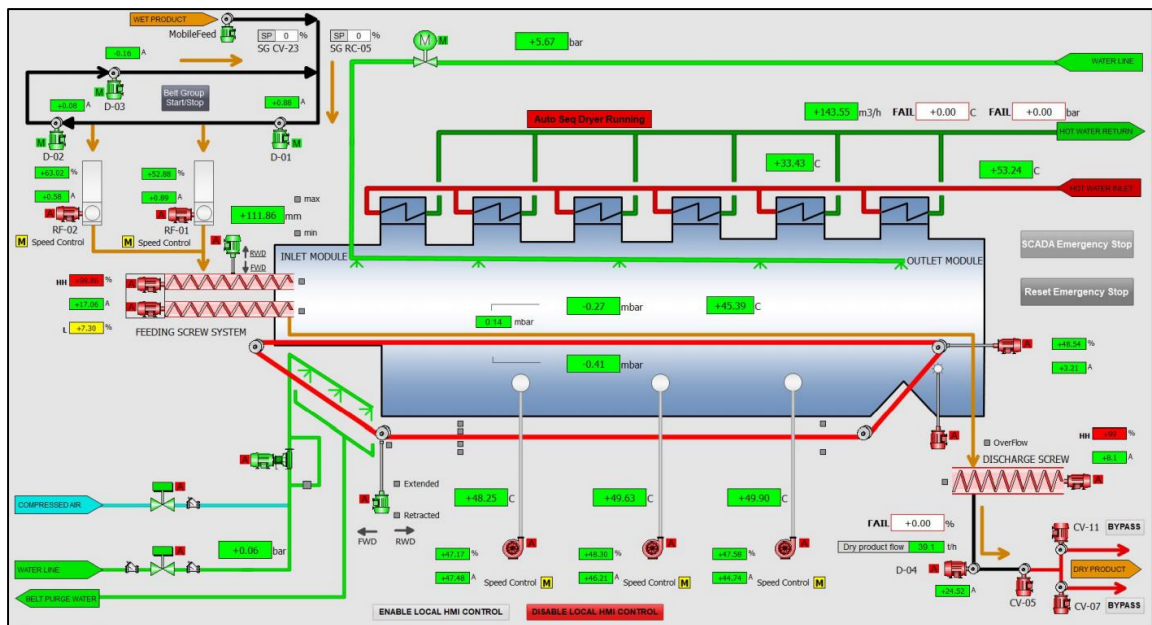
สุดท้ายได้วิเคราะห์เปรียบเทียบประสิทธิภาพหม้อไอน้ำเมื่อความชื้นของชานอ้อยลดลง



รูปที่ 6 แผนภาพแสดงลำดับขั้นตอนการวิจัย

3.2 การทำงานของเครื่องอบชานอ้อย

ในโรงงานน้ำตาลแห่งหนึ่งในจังหวัดสุพรรณบุรี ได้ทำการติดตั้งเครื่องอบแห้งแบบสายพานเพื่อลดความชื้นของชานอ้อยโดยการนำไปอบแห้งก่อน จะนำชานอ้อยไปเป็นเชื้อเพลิงในผลิตไอน้ำโดยได้มีการติดตั้งเครื่องอบแห้งที่มีขนาดความจุ 60 ตันต่อชั่วโมง แผนภาพการทำงานแสดงในรูปที่ 7 ใช้ความร้อนจากน้ำร้อนที่เหลือทิ้งจากการผลิตไอน้ำของหม้อไอน้ำที่ผลิตไฟฟ้ามาให้ความร้อนโดยผ่านชุดคอยล์น้ำร้อนทางด้านบนของเครื่องอบแห้งที่อุณหภูมิเฉลี่ย 100 องศาเซลเซียส มีพัดลม 3 ชุด หมุนเวียนอากาศผ่านชุดคอยล์น้ำร้อนและส่งเข้าใต้สายพานลำเลียงที่มีรูพรุนไปยังชานอ้อย ความร้อนจะทำให้น้ำที่สะสมอยู่ในชานอ้อยระเหยเป็นไอออกสู่อากาศภายนอก ส่งผลให้ความชื้นในชานอ้อยลดลง



รูปที่ 7 แผนภาพแสดงการทำงานของเครื่องอบชานอ้อย

การเก็บข้อมูลเครื่องอบแห้งแบบสายพานที่ได้มีการติดตั้งสามารถเก็บข้อมูลของค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในการอบชานอ้อยดังแสดงในตารางที่ 5 ประกอบด้วย ปริมาณของชานอ้อยที่เข้าและออกจากเครื่องอบ 60 ตันต่อชั่วโมง และ 53.59 ตันต่อชั่วโมงตามลำดับ ร้อยละของความชื้นในชานอ้อยทั้งก่อนเข้าและออกจากเข้าเครื่องอบแห้งเป็นร้อยละ 51.3 และร้อยละ 37.18 ตามลำดับ รวมถึงค่าของอุณหภูมิของน้ำร้อนทั้งด้านขาเข้าและออกที่เกิดขึ้นภายในเครื่องอบแห้งคือด้านขาเข้าเฉลี่ย 103.8 องศาเซลเซียส ด้านขาออก 73.76 องศาเซลเซียส รวมทั้งอุณหภูมิเครื่องอบและอุณหภูมิอากาศภายนอก

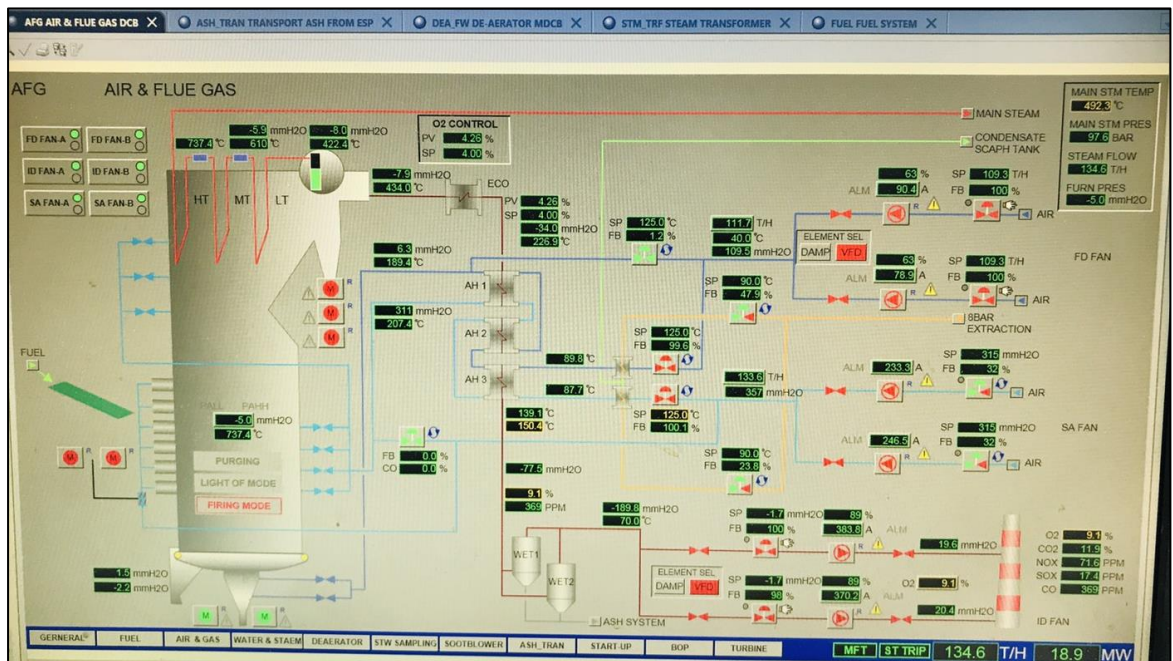
ตารางที่ 5 ข้อมูลตัวแปรการทำงานต่างๆ ของเครื่องอบชานอ้อย

#	From time	To time	Dry product capacity [ton/hr]	Wet product capacity [ton/hr]	Hot water inlet temp. [°C]	Hot water return temp. [°C]	Air ambient temp. [°C]	Dryer temp. [°C]	Exhaust fan 1 temp. [°C]	Exhaust fan 2 temp. [°C]	Exhaust fan 3 temp. [°C]	Exhaust fan 1 speed [%]	Exhaust fan 2 speed [%]	Exhaust fan 2 speed [%]	Outlet moisture [%]
1	11:00	11:14	56.1	60	91.7	67.0	33.6	82.8	41.6	46.1	42.6	85.7	64.4	65.1	37.4
2	11:15	11:29	58.6	60	100.2	73.7	33.9	91.9	45.1	50.0	46.5	85.5	62.3	62.6	35.9
3	11:30	11:44	40.3	60	102.4	76.6	34.3	94.7	47.8	53.0	50.0	85.8	54.4	54.3	34.9
3	11:45	11:59	28.3	60	96.4	75.3	34.5	93.8	53.7	57.7	55.2	83.7	58.2	57.9	31.9
4	12:00	12:14	60.4	60	81.5	61.5	34.5	75.8	40.3	43.6	40.5	81.1	59.1	58.8	37.3
5	12:15	12:29	60.2	60	100.2	73.7	34.8	91.1	44.9	48.8	43.9	81.0	59.2	59.5	37.1
6	12:30	12:44	36.2	60	103.9	76.8	35.5	96.7	49.0	53.5	47.7	80.7	63.1	62.7	37.1
7	12:45	12:59	60.1	60	106.0	73.1	35.1	96.5	44.5	48.2	43.7	81.1	81.4	81.6	35.9
8	14:15	14:29	55.3	60	91.4	67.6	35.8	83.7	42.3	46.3	40.6	80.9	73.0	73.2	35.6
9	14:30	14:44	54.9	60	97.0	71.7	35.8	88.4	43.7	48.8	42.4	80.9	64.4	64.5	34.6
10	14:45	14:59	51.9	60	103.0	76.9	36.3	95.1	47.6	52.8	46.8	81.1	61.4	61.1	32.3
11	15:00	15:14	55.9	60	108.0	81.5	36.0	99.9	45.7	51.3	49.4	81.1	55.2	54.7	35.0
12	15:15	15:29	59.9	60	111.2	81.1	36.2	102.3	46.9	52.3	45.4	81.2	67.3	67.3	38.1
13	15:30	15:44	55.7	60	111.0	73.3	36.4	100.0	45.4	50.0	44.2	94.9	94.1	94.1	36.2
14	15:45	15:59	55.7	60	112.0	72.8	36.1	100.0	46.7	51.5	46.9	95.7	97.5	97.4	38.0
15	16:00	16:14	59.7	60	111.8	72.7	35.8	99.9	43.0	45.6	43.8	95.6	98.8	98.7	36.5
16	16:15	16:29	51.7	60	111.9	73.5	35.7	100.2	46.5	49.7	46.4	95.6	95.7	95.5	33.2
17	16:30	16:44	59.5	60	112.2	74.3	35.6	101.0	46.5	50.4	46.2	95.6	92.2	92.1	33.2
18	16:45	16:59	51.7	60	112.5	75.5	35.5	101.7	48.6	52.9	44.9	95.5	85.8	85.6	33.9
19	17:00	17:14	59.6	60	111.7	76.6	35.2	102.0	47.1	54.7	44.3	95.5	80.1	80.1	33.0

3.3 การวิเคราะห์ชานอ้อยเพื่อใช้คำนวณหาค่าความร้อนสูญเสีย

ได้จากการนำเอาชานอ้อยก่อนที่จะเข้าเครื่องอบแห้ง และหลังเข้าเครื่องอบแห้งมาหาค่าปริมาณธาตุองค์ประกอบ และค่าความร้อนจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง ขนาดของหม้อไอน้ำที่ใช้ในการคำนวณนี้มีความดันเป็น 97.6 บาร์ และผลิตไอน้ำอยู่ที่ 134.6 ตันไอน้ำต่อชั่วโมง (Tons of steam/Hour) และใช้เชื้อเพลิงสูงสุด 100 ตันต่อชั่วโมง (Tons/Hour)

การเก็บข้อมูลหม้อไอน้ำเพื่อนำไปคำนวณหาประสิทธิภาพนั้นสามารถที่จะรับข้อมูลบางส่วนจากค่าพารามิเตอร์ที่แสดงการเก็บข้อมูลของหม้อไอน้ำที่ใช้ชานอ้อยในปริมาณความชื้นที่ร้อยละ 37.18 ดังแสดงในรูปที่ 8 จากแผนผังการทำงานจะได้อุณหภูมิอากาศป้อนเข้า 40 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 60 อุณหภูมิของก๊าซไอเสียที่ออกจากชุดอีโคโนไมเซอร์ 150.4 องศาเซลเซียส และองค์ประกอบของก๊าซไอเสียแห้งมี ปริมาณออกซิเจนร้อยละ 9.1 ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 11.9 และก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ร้อยละ 0.0369



รูปที่ 8 แผนผังแสดงการทำงานของหม้อไอน้ำเมื่อใช้ชานอ้อยที่ความชื้น 37.18%

ในการคำนวณหาค่าความสูญเสียที่เกิดขึ้นในหม้อไอน้ำจะทำการคำนวณหาค่าทั้งหมด 5 อย่าง ได้แก่ 1. ค่าความสูญเสียจากก๊าซเชื้อเพลิง 2. ค่าความสูญเสียจากความชื้นของเชื้อเพลิง 3. ความสูญเสียจากความชื้นในอากาศ 4. ค่าความสูญเสียจากไฮโดรเจนในเชื้อเพลิง 5. ค่าความสูญเสียจากเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ ซึ่งในที่นี้จะไม่มีการคำนวณค่าความสูญเสียในส่วน of ค่าความสูญเสียของขี้เถ้าที่ลอยตัวในหม้อไอน้ำ ค่าความสูญเสียของผนังหม้อไอน้ำ และค่าความสูญเสียจากการไม่เผาไหม้ในเตาด้านล่าง เนื่องจากค่าความสูญเสียเหล่านั้นมีผลต่อประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำน้อยมาก จึงสมมุติไม่ให้เกิดค่าความสูญเสียเหล่านั้นขึ้น

จากผลการทดสอบคุณสมบัติของชานอ้อยที่ความชื้นของชานอ้อยที่ร้อยละ 37.18 และพารามิเตอร์การทำงานของหม้อไอน้ำจะได้ข้อมูลธาตุองค์ประกอบของชานอ้อยและองค์ประกอบของก๊าซไอเสียแห้ง แสดงในตารางที่ 6 เพื่อนำไปใช้ในการคำนวณการสูญเสียความร้อนต่าง ๆ และประสิทธิภาพหม้อไอน้ำ

ตารางที่ 6 องค์ประกอบเชื้อเพลิงของขาน้อยที่ค่าความชื้นร้อยละ 37.18 และการวิเคราะห์ก๊าซไอเสีย

		Flue gas temperature	150.4 °C
Steam Pressure	97.6 bars	% CO ₂ in fuel gas	11.9 %
Steam Temperature	492.5 °C	% CO in fuel gas	0.0369 %
Relative Humidity	60 %	% O ₂	9.1 %
Water inlet temperature	169 °C	Ambient temperature	40 °C
Fuel specifications of Bagasse (in %)			
Carbon	30.530%	Hydrogen	3.706%
Oxygen	26.887%	Nitrogen	0.145%
Sulfur	0.189%	Moisture	37.18%
Ash	1.55 %	GCV	2879 kcal/kg

3.4 การคำนวณหาค่าความสูญเสียของหม้อไอน้ำสามารถหาได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \% \text{ Heat loss in dry flue gas (L1)} &= (m \times C_p \times (T_f - T_a)) / (\text{GCV of fuel}) \times 100 \% \\ &= \{[6.742 \times 0.23 \times (150.4 - 40)] / 2879\} \times 100 \\ &= 5.95 \% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \% \text{ Heat loss H}_2 \text{ in fuel (L2)} &= (9 \times H_2 \times (584 + C_p (T_f - T_a))) / (\text{GCV of fuel}) \times 100 \% \\ &= \{[9 \times 0.037 \times (584 + 0.45(150.4 - 40))] / 2879\} \times 100 \\ &= 7.34 \% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \% \text{ Heat loss moisture in fuel (L3)} &= (M \times (584 + C_p (T_f - T_a))) / (\text{GCV of fuel}) \times 100 \% \\ &= \{[0.3718 \times (584 + 0.45(150.4 - 40))] / 2879\} \times 100 \\ &= 8.19 \% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \% \text{ Heat loss moisture in air (L4)} &= (\text{AAS} \times \text{humidity factor} \times C_p \times (T_f - T_a)) / (\text{GCV of fuel}) \times 100 \% \\ &= [6.463 \times 0.0286 \times 0.45 (150.4 - 40) / 2879] \times 100 \\ &= 0.32 \% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \% \text{ Heat loss partial conversion of C to CO (L5)} &= (\% \text{CO} \times C \times 5744) / ((\% \text{CO} + \% \text{CO}_2) \\ &\quad \times \text{GCV of fuel}) \times 100 \% \\ &= [0.0369 \times 0.305 \times 5744 / (0.0369 + 11.9) \times 2879] \times 100 \\ &= 0.19 \% \end{aligned}$$

$$\text{ประสิทธิภาพหม้อไอน้ำ} = 100 - (5.95+7.34+8.19+0.32+0.19) = 78.01 \%$$

ในการคำนวณหาประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำที่ความชื้นชานอ้อยร้อยละ 51.30 เพื่อให้การเผาไหม้เหมือนกับที่ความชื้นของชานอ้อยร้อยละ 37.18 และมีองค์ประกอบของก๊าซไอเสียแห่งเท่ากัน โดยความชื้นที่เพิ่มขึ้นจะไม่เปลี่ยนแปลงกระบวนการเผาไหม้เพียงแต่ลดความร้อนสัมผัสหรือลดอุณหภูมิก๊าซไอเสียเท่านั้น จึงต้องเพิ่มปริมาณชานอ้อยป้อนเข้าเป็น 1.3 เท่าของชานอ้อยที่ความชื้นร้อยละ 37.18 โดยหลังจากที่เพิ่มปริมาณชานอ้อยแล้วจะต้องประกอบของเชื้อเพลิงคือ คาร์บอน 30.53 กรัม ออกซิเจน 27.16 กรัม ไฮโดรเจน 3.75 กรัม ไนโตรเจน 0.001 กรัม กำมะถัน 0.001 กรัม ซัลเฟอร์ 0.01 กรัม และความชื้น 67.13 กรัม ทำให้ค่าความร้อนของชานอ้อยเป็น 2866 กิโลแคลอรีต่อ 1.3 กิโลกรัมชานอ้อย และเนื่องจากไม่สามารถได้อุณหภูมิของก๊าซไอเสียจากทางโรงงานที่ความชื้นชานอ้อยร้อยละ 51.3 จึงได้ประมาณการจากงานวิจัยที่คล้ายกัน [1] คืออุณหภูมิก๊าซไอเสียลดลง 1 องศาเซลเซียส ต่อความชื้นที่เพิ่มขึ้นร้อยละ 1

การคำนวณหาค่าความสูญเสียของหม้อไอน้ำสามารถหาได้ดังนี้

$$\% \text{ Heat loss in dry flue gas (L1)} = (m \times C_p \times (T_f - T_a)) / (\text{GCV of fuel}) \times 100 \%$$

$$= \{ [6.748 \times 0.23 \times (136.4 - 40)] / 2866 \} \times 100$$

$$= 5.22 \%$$

$$\% \text{ Heat loss H}_2 \text{ in fuel (L2)} = (9 \times H_2 \times (584 + C_p (T_f - T_a))) / (\text{GCV of fuel}) \times 100 \%$$

$$= \{ [9 \times 0.037 \times (584 + 0.45(136.4 - 40))] / 2866 \} \times 100$$

$$= 7.39 \%$$

$$\% \text{ Heat loss moisture in fuel (L3)} = (M \times (584 + C_p (T_f - T_a))) / (\text{GCV of fuel}) \times 100 \%$$

$$= \{ [0.671 \times (584 + 0.45(136.4 - 40))] / 2866 \} \times 100$$

$$= 14.67 \%$$

$$\% \text{ Heat loss moisture in air (L4)} = (\text{AAS} \times \text{humidity factor} \times C_p \times (T_f - T_a)) / (\text{GCV of fuel})$$

$$\times 100 \%$$

$$= [6.470 \times 0.0286 \times 0.45(136.4 - 40) / 2866] \times 100$$

$$= 0.28 \%$$

$$\% \text{ Heat loss partial conversion of C to CO (L5)} = (\% \text{CO} \times C \times 5744) / ((\% \text{CO} + \% \text{CO}_2)$$

$$\times \text{GCV of fuel}) \times 100 \%$$

$$= [0.0369 \times 0.305 \times 5744 / (0.0369 + 11.9) \times 2866] \times$$

$$100$$

$$= 0.19 \%$$

3.5 การหาค่าความไวเพื่อระบุความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นจากการประมาณค่าอุณหภูมิก๊าซไอเสีย

การหาค่าความคลาดเคลื่อน (Sensitivity) ของอุณหภูมิไอเสีย ในการระบุความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นจากการกำหนดค่าอุณหภูมิก๊าซไอเสียลดลง 1 องศาเซลเซียส ต่อความชื้นที่เพิ่มขึ้นร้อยละ 1 ในที่นี้ได้เพิ่มความชื้นจากร้อยละ 37.18 เป็นร้อยละ 51.30 ทำให้ค่าอุณหภูมิก๊าซไอเสียลดลง 14 องศาเซลเซียส โดยจะทำการวิเคราะห์หาค่าความไวที่ร้อยละ 50 ของอุณหภูมิก๊าซไอเสียที่ได้ประมาณการไว้ โดยค่าอุณหภูมิก๊าซไอเสียที่เปลี่ยนไปคืออุณหภูมิเพิ่มขึ้นเป็น 143.4 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิลดลงเป็น 129.4 องศาเซลเซียส

การคำนวณหาค่าความสูญเสียของหม้อไอน้ำที่อุณหภูมิก๊าซไอเสีย 129.4 องศาเซลเซียส สามารถหาได้ดังนี้

$$\% \text{ Heat loss in dry flue gas (L1)} = (m \times C_p \times (T_f - T_a)) / (\text{GCV of fuel}) \times 100 \%$$

$$= \{ [6.748 \times 0.23 \times (129.4 - 40)] / 2866 \} \times 100$$

$$= 4.85 \%$$

$$\% \text{ Heat loss H}_2 \text{ in fuel (L2)} = (9 \times H_2 \times (584 + C_p (T_f - T_a))) / (\text{GCV of fuel}) \times 100 \%$$

$$= [9 \times 0.0370 \times (584 + 0.45(129.4 - 40))] / 2866 \times 100$$

$$= 7.36 \%$$

$$\% \text{ Heat loss moisture in fuel (L3)} = (M \times (584 + C_p (T_f - T_a))) / (\text{GCV of fuel}) \times 100 \%$$

$$= [0.671 \times (584 + 0.45(129.4 - 40))] / 2866 \times 100$$

$$= 14.62 \%$$

$$\% \text{ Heat loss moisture in air (L4)} = (\text{AAS} \times \text{humidity factor} \times C_p \times (T_f - T_a)) / (\text{GCV of fuel})$$

$$\times 100 \%$$

$$= [6.470 \times 0.0286 \times 0.45(129.4 - 40)] / 2866 \times 100$$

$$= 0.26 \%$$

$$\% \text{ Heat loss partial conversion of C to CO (L5)} = (\% \text{CO} \times C \times 5744) / ((\% \text{CO} + \% \text{CO}_2) \times \text{GCV of fuel}) \times 100 \%$$

$$= [0.0369 \times 0.305 \times 5744 / (0.0369 + 11.9) \times 2866] \times$$

$$100$$

$$= 0.19 \%$$

การคำนวณหาค่าความสูญเสียของหม้อไอน้ำที่ค่าอุณหภูมิก๊าซไอเสีย 143.4 องศาเซลเซียส สามารถหาได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \% \text{ Heat loss in dry flue gas (L1)} &= (m \times C_p \times (T_f - T_a)) / (\text{GCV of fuel}) \times 100 \% \\ &= \{[6.748 \times 0.23 \times (143.4 - 40)] / 2866\} \times 100 \\ &= 5.56 \% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \% \text{ Heat loss H}_2 \text{ in fuel (L2)} &= (9 \times H_2 \times (584 + C_p (T_f - T_a))) / (\text{GCV of fuel}) \times 100 \% \\ &= [9 \times 0.370 \times (584 + 0.45(143.4 - 40))] / 2866 \times 100 \\ &= 7.43 \% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \% \text{ Heat loss moisture in fuel (L3)} &= (M \times (584 + C_p (T_f - T_a))) / (\text{GCV of fuel}) \times 100 \% \\ &= [0.671 \times (584 + 0.45(143.4 - 40))] / 2866 \times 100 \\ &= 14.77\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \% \text{ Heat loss moisture in air (L4)} &= (\text{AAS} \times \text{humidity factor} \times C_p \times (T_f - T_a)) / (\text{GCV of fuel}) \\ &\times 100 \% \\ &= [6.470 \times 0.0286 \times 0.45(143.4 - 40) / 2866] \times 100 \\ &= 0.31 \% \end{aligned}$$

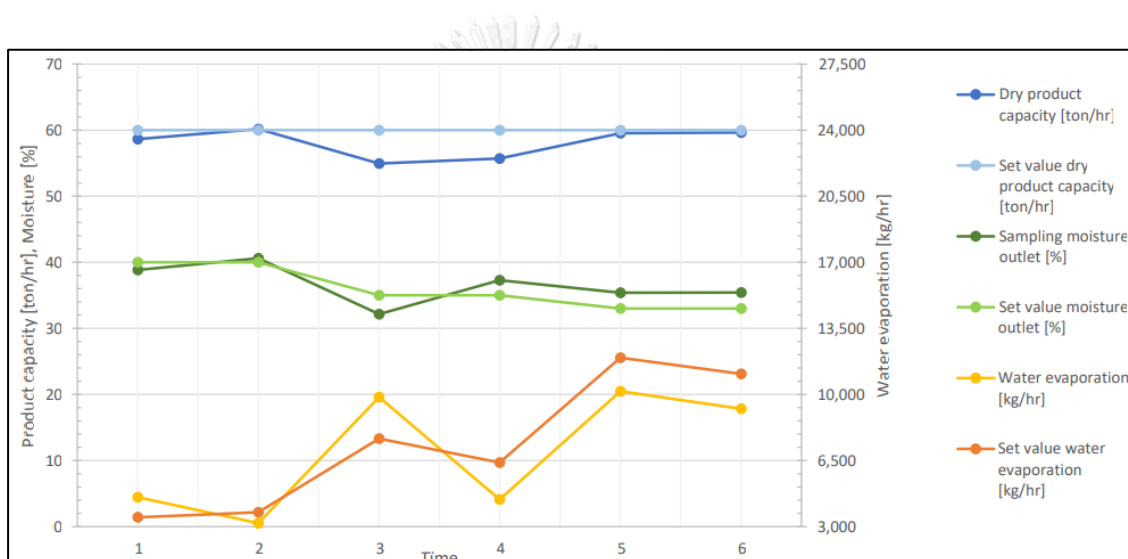
$$\begin{aligned} \% \text{ Heat loss partial conversion of C to CO (L5)} &= (\% \text{CO} \times C \times 5744) / ((\% \text{CO} + \% \text{CO}_2) \\ &\times \text{GCV of fuel}) \times 100 \% \\ &= [0.0369 \times 0.305 \times 5744 / (0.0369 + 11.9) \times 2866] \times \\ &100 \\ &= 0.19 \% \end{aligned}$$

บทที่ 4

ผลการศึกษา

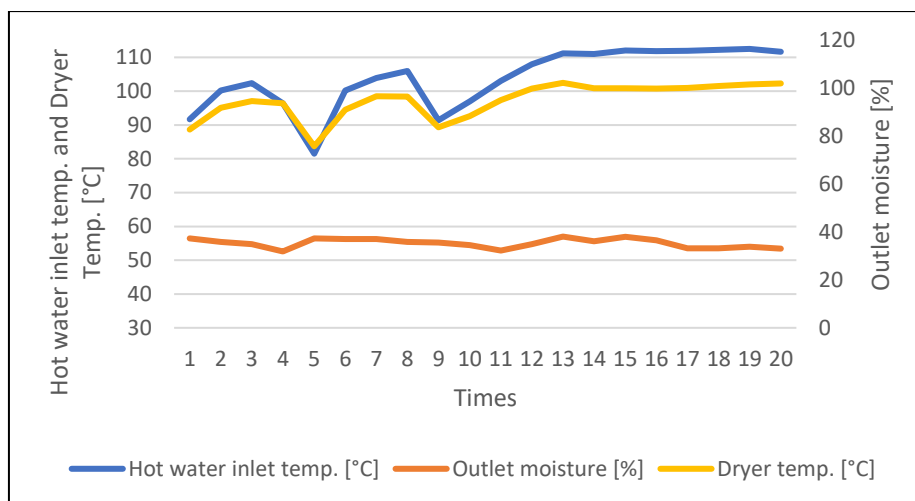
4.1 ผลการอบชานอ้อย

การทำงานของเครื่องอบแห้งที่เวลาต่างๆแสดงในรูปที่ 9 จะเห็นว่าเครื่องอบชานอ้อยนี้สามารถลดความชื้นของชานอ้อยได้จากประมาณร้อยละ 50 ลดลงเหลือประมาณร้อยละ 37 ปริมาณน้ำที่ระเหยออกไป 6.41 ตันต่อชั่วโมง โดยที่ได้ชานอ้อยแห้งออกมาที่ปริมาณเฉลี่ย 53.59 ตันต่อชั่วโมง เพื่อนำไปเป็นข้อมูลในการหาสมมูลมวลของเครื่องอบแห้ง



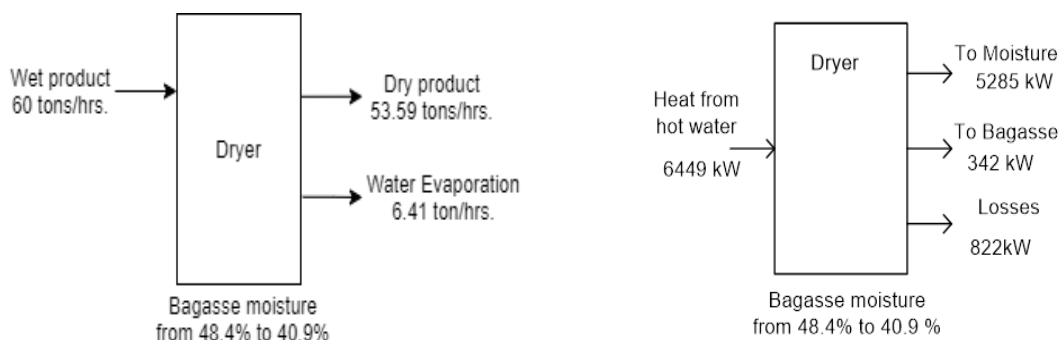
รูปที่ 9 กราฟแสดงผลของการทำงานของเครื่องอบแห้ง

ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิของน้ำร้อน อุณหภูมิเครื่องอบ กับความชื้นขาออกของเครื่องอบที่เวลาต่างๆแสดงในรูปที่ 10 จากรูปเครื่องอบแห้งสามารถควบคุมความชื้นของชานอ้อยที่ออกจากเครื่องอบเฉลี่ยที่ ร้อยละ 35 โดยมีอุณหภูมิของน้ำร้อนที่ถูกป้อนเข้าไปที่เครื่องอบแห้งมีอุณหภูมิเฉลี่ยที่ 103.8 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิในเครื่องอบแห้งเฉลี่ย 100 องศาเซลเซียส



รูปที่ 10 ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิของน้ำร้อน อุณหภูมิเครื่องอบ กับความชื้นขาออกของเครื่องอบ

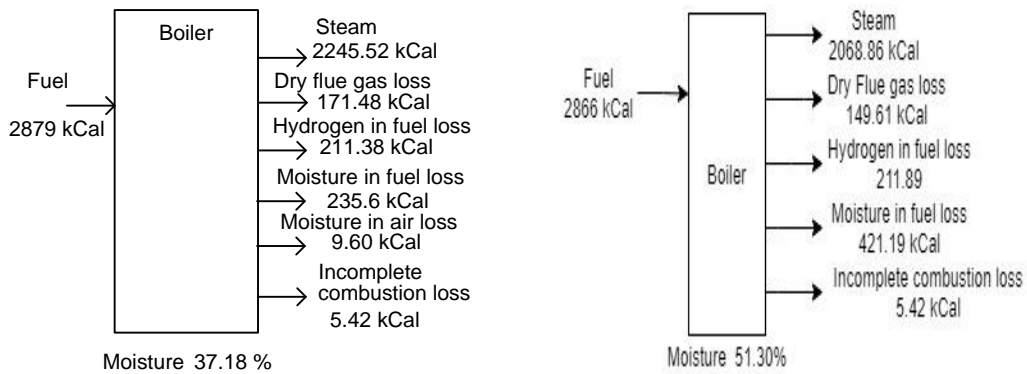
จากข้อมูลของเครื่องอบแห่งนี้สามารถจะระบุค่าสมมูลมวลที่เกิดขึ้นในระบบดังแสดงในรูปที่ 11 ดังนี้ ป้อนชานอ้อยที่มีความชื้นสูงเข้าไปในเครื่องอบแห่งนี้โดยมีปริมาณเฉลี่ยทั้งหมด 60 ตันต่อชั่วโมง หลังจากกระบวนการอบแห้งชานอ้อยสำเร็จจะทำให้ได้ชานอ้อยหลังจากที่ลดความชื้นแล้วออกมาจากเครื่องอบแห่งนี้มีปริมาณเฉลี่ยอยู่ที่ 53.59 ตันต่อชั่วโมง มีการระเหยของน้ำจากการลดความชื้นของชานอ้อยในปริมาณ 6.41 ตันต่อชั่วโมง และสมมูลพลังงานที่เกิดขึ้นของเครื่องอบแห่งนี้มีพลังงานด้านขาเข้าที่เป็นส่วนของการใส่น้ำร้อนเข้าไปในระบบทั้งหมด 6449 กิโลวัตต์ ในฝั่งของด้านขาออกส่วนของพลังงานลดความชื้นความชื้น 5285 กิโลวัตต์ ความร้อนที่ทำให้ชานอ้อยมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้น 342 กิโลวัตต์ และในส่วนของพลังงานความร้อนสูญเสีย 822 กิโลวัตต์ จากข้อมูลดังกล่าวเครื่องอบแห่งนี้สามารถลดความชื้นของชานอ้อยปริมาณ 60 ตันต่อชั่วโมง จากความชื้นร้อยละ 48.4 เหลือเป็นความชื้นร้อยละ 40.9 โดยใช้ความร้อนจากน้ำร้อน 6449 กิโลวัตต์ หรือ ใช้ความร้อน 0.11 กิโลวัตต์ชั่วโมง ต่อการอบชานอ้อย 1 กิโลกรัม และเครื่องอบมีประสิทธิภาพร้อยละ 87.3



รูปที่ 11 1 โตะแกรมแสดงสมดุลมวล และสมดุลพลังงาน

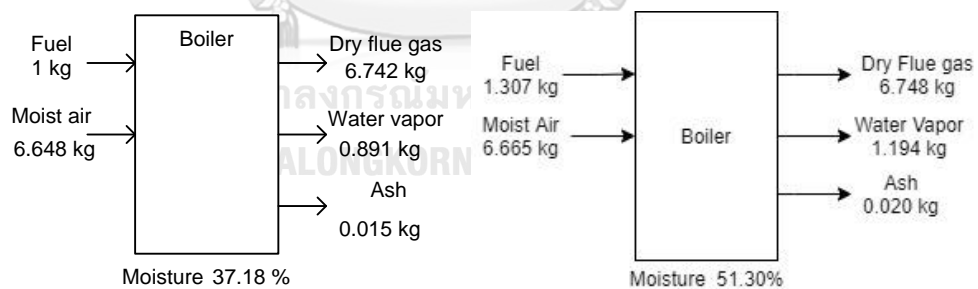
4.2 ผลของการคำนวณค่าความสูญเสียของหม้อไอน้ำ

หม้อไอน้ำนั้นสามารถที่จะบอกถึงประสิทธิภาพของการผลิตไอน้ำได้ด้วยการคำนวณ หรือตรวจสอบวัดค่าของการสูญเสียความร้อนที่เกิดขึ้นจากการสูญเสียต่าง ๆ ในรูปที่ 12 แสดงให้เห็นถึงสมดุลพลังงานของหม้อไอน้ำโดยการป้อนเชื้อเพลิงที่มีความชื้นร้อยละ 37.18 ซึ่งพลังงานของเชื้อเพลิงขาเข้ามีพลังงานทั้งหมด 2866 กิโลแคลอรี ทำให้สามารถผลิตไอน้ำออกมาได้โดยคิดเป็นพลังงาน 2245.52 กิโลแคลอรี พลังงานที่สูญเสียไปรวมกันได้ทั้งหมด 796.15 กิโลแคลอรี โดยพลังงานที่สูญเสียสามารถที่จะแยกเป็นชนิดต่างๆได้ดังนี้ การสูญเสียจากก๊าซไอเสีย 171.48 กิโลแคลอรี การสูญเสียจากไฮโดรเจนในเชื้อเพลิง 211.38 กิโลแคลอรี การสูญเสียจากความชื้นในเชื้อเพลิง 235.60 กิโลแคลอรี การสูญเสียจากความชื้นในอากาศ 9.60 กิโลแคลอรี และการสูญเสียจากการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ 5.42 กิโลแคลอรี ในส่วนของการป้อนเชื้อเพลิงที่มีความชื้นร้อยละ 51.30 เข้าไปซึ่งมีพลังงานขาเข้าทั้งหมด 2866 กิโลแคลอรี ทำให้สามารถผลิตไอน้ำออกมาได้โดยคิดเป็นพลังงาน 2068.86 กิโลแคลอรี พลังงานที่สูญเสียไปรวมกันได้ทั้งหมด 633.48 กิโลแคลอรี โดยพลังงานที่สูญเสียสามารถที่จะแยกออกเป็นชนิดได้ดังนี้ การสูญเสียจากก๊าซไอเสีย 149.61 กิโลแคลอรี การสูญเสียจากไฮโดรเจนในเชื้อเพลิง 211.89 กิโลแคลอรี การสูญเสียจากความชื้นในเชื้อเพลิง 421.19 กิโลแคลอรี การสูญเสียจากความชื้นในอากาศ 8.03 กิโลแคลอรี และการสูญเสียจากการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ 5.42 กิโลแคลอรี



รูปที่ 12 ไดอะแกรมสมดุลพลังงานที่เกิดขึ้นจากการคำนวณประสิทธิภาพที่ความชื้นร้อยละ 51.30 และร้อยละ 37.18

จากการคำนวณประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำ สมดุลมวลที่เกิดขึ้นในหม้อไอน้ำที่เห็นได้จาก รูปที่ 13 ที่ความชื้นเชื้อเพลิงร้อยละ 37.18 และมีการป้อนเชื้อเพลิงเข้าไปหม้อไอน้ำปริมาณ 1 กิโลกรัม และมีมวลของอากาศชื้นเข้าไป 6.648 กิโลกรัม ในส่วนของขาออกมีมวลของก๊าซไอเสียแห้งออกมา 6.742 กิโลกรัม มวลของไอน้ำ 0.891 กิโลกรัม และมวลของขี้เถ้า 0.015 กิโลกรัม และที่ความชื้นเชื้อเพลิงร้อยละ 51.30 จะมีการป้อนเชื้อเพลิงเข้าไป 1.307 กิโลกรัม และมีมวลของอากาศชื้นเข้าไป 6.655 กิโลกรัม ส่วนขาออกมีมวลของก๊าซไอเสียแห้งที่ 6.748 กิโลกรัม ไอน้ำ 1.194 กิโลกรัม และขี้เถ้า 0.020 กิโลกรัม



รูปที่ 13 ไดอะแกรมสมดุลมวลที่เกิดขึ้นจากการคำนวณประสิทธิภาพที่ความชื้น 51.30% และ 37.18%

จากสมดุลมวลที่เกิดขึ้นจากการคำนวณจะเห็นว่าการลดความชื้นของเชื้อเพลิงจะส่งผลให้การใช้ปริมาณเชื้อเพลิงในการผลิตไอน้ำของหม้อไอน้ำลดลงเห็นได้จากรูปที่ 13 เชื้อเพลิงที่มีความชื้นร้อยละ 51.30 มีการป้อนเชื้อเพลิงในขาเข้า 1.301 กิโลกรัม ทำให้ได้มวลของก๊าซไอเสียแห้งใกล้เคียงกับเชื้อเพลิงที่มีความชื้นร้อยละ 37.18 ที่ป้อนเชื้อเพลิงขาเข้า 1 กิโลกรัม

เชื้อเพลิงที่ใช้ในการให้ความร้อนเพื่อผลิตไอน้ำของหม้อไอน้ำนั้น เป็นสิ่งสำคัญที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำ ในที่นี้จะเป็นการศึกษาผลการเปรียบเทียบของประสิทธิภาพหม้อไอน้ำเมื่อทำการลดความชื้นของเชื้อเพลิง เนื่องจากเชื้อเพลิงที่ใช้เป็นชานอ้อย ซึ่งเป็นที่ทราบดีว่าในชานอ้อยนั้นมีความชื้นสะสมอยู่มาก หากทำการลดความชื้นของชานอ้อยลงจากร้อยละ 51.30 เป็นร้อยละ 37.18 จะทำให้ประสิทธิภาพนั้นเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 72.75 เป็นร้อยละ 78.00 ดังแสดงในตารางที่ 7

ตารางที่ 7 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพหม้อไอน้ำที่ชานอ้อยที่มีความชื้นร้อยละ 51.30 กับความชื้นร้อยละ 37.18

Heat Loss due to	Symbol	Moisture in Fuel, %		Heat loss, kCal	
		51.30	37.18	51.30	37.18
Dry flue gas, %	L1	5.22	5.96	149.61	171.48
Hydrogen in fuel, %	L2	7.39	7.34	211.89	211.38
Moisture in fuel, %	L3	14.67	8.18	421.19	235.60
Moisture in air, %	L4	0.28	0.33	8.03	9.60
Incomplete Combustion, %	L5	0.19	0.19	5.42	5.42
Total losses, %; kCal		27.75	22.00	796.15	633.48
Gross Calorific Value, kCal/kg fuel	GCV	2865	2879		
Boiler Efficiency	η	72.25	78.00		

จากตารางที่ 7 จะเห็นว่าประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำที่ใช้ชานอ้อยเป็นเชื้อเพลิงนั้น ถ้าหากลดความชื้นลงจะสามารถเพิ่มประสิทธิภาพได้ จากการคำนวณค่าความสูญเสียทั้ง 5 แบบ ค่าความสูญเสียที่เกิดการเปลี่ยนแปลงและมีผลมากที่สุดคือ ค่าความสูญเสียที่เกิดจากความชื้นในเชื้อเพลิง และในส่วนของค่าความสูญเสียจากก๊าซไอเสีย และค่าสูญเสียจากไฮโดรเจนในเชื้อเพลิงนั้นมีการเปลี่ยนแปลงที่น้อยแต่ส่งผลต่อประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำค่อนข้างมาก โดยในที่นี้ปริมาณธาตุองค์ประกอบที่มีความสำคัญกับเชื้อเพลิงที่จะส่งผลให้เกิดค่าความสูญเสียนั้นคือจำนวนคาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจนที่อยู่ในเชื้อเพลิง ซึ่งองค์ประกอบธาตุเหล่านี้จะเพิ่มขึ้นเมื่อความชื้นในเชื้อเพลิงลดลงและยังส่งผลให้ประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำเพิ่มขึ้นด้วย หากมวลของเชื้อเพลิงที่เพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าความสูญเสียจากเชื้อเพลิงและความชื้นในอากาศเพิ่มขึ้น และในส่วนของค่าเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์นั้นจะเป็นค่าคงที่เนื่องจากกำหนดให้คาร์บอนของออกซิเจน ร้อยละของคาร์บอนนอกไซด และร้อยละของคาร์บอนไดออกไซด์นั้นเท่าเดิม

4.3 ผลของการคำนวณหาผลกระทบของค่าของอุณหภูมิก๊าซไอเสียต่อประสิทธิภาพหม้อไอน้ำ

เนื่องจากอุณหภูมิก๊าซไอเสียที่ความชื้นร้อยละ 51.30 มาจากการประมาณการจากงานวิจัยที่คล้ายกัน [1] โดยที่กำหนดให้มีอุณหภูมิก๊าซไอเสียลดลง 1 องศาเซลเซียส ต่อความชื้นที่เพิ่มขึ้นร้อยละ 1 จึงได้มีการหาผลกระทบของค่าอุณหภูมิก๊าซไอเสียเพื่อวิเคราะห์ถึงผลที่มีต่อประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำ โดยได้ทำการเพิ่ม และลดค่าอุณหภูมิก๊าซไอเสียเพียงอย่างเดียว เพื่อดูความเปลี่ยนแปลงของประสิทธิภาพหม้อไอน้ำจากตารางที่ 8 จะพบว่าเมื่ออุณหภูมิไอเสียเปลี่ยนไปร้อยละ 50 ของอุณหภูมิที่ลดลง จะทำให้ประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำเปลี่ยนแปลงน้อยกว่าร้อยละ 0.6 เมื่ออุณหภูมิไอเสียลดลงประสิทธิภาพจะเพิ่มขึ้น แต่ถ้าอุณหภูมิไอเสียเพิ่มขึ้นประสิทธิภาพจะลดลง

ตารางที่ 8 ผลกระทบของอุณหภูมิก๊าซไอเสียต่อประสิทธิภาพหม้อไอน้ำ

Heat Loss due to	Symbol	Flue gas Temperature, °C		
		129.4	143.4	136.4
Dry flue gas, %	L1	4.84	5.60	5.23
Hydrogen in fuel, %	L2	7.36	7.43	7.40
Moisture in fuel, %	L3	14.62	14.77	11.23
Moisture in air, %	L4	0.26	0.31	0.29
Incomplete Combustion, %	L5	0.19	0.19	0.19
Total losses, %; kCal		27.27	28.30	24.34
Gross Calorific Value, kCal/1.3 kg fuel	GCV	2865	2865	2865
Boiler Efficiency, %	η	72.73	71.70	72.25
Difference, %		0.48	-0.55	

บทที่ 5

สรุปผลการศึกษา และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการศึกษา

5.1.1 เครื่องอบแห้งสามารถลดความชื้นของชานอ้อยปริมาณ 60 ตันต่อชั่วโมง จากความชื้นร้อยละ 48.4 เหลือเป็นความชื้นร้อยละ 40.9 โดยใช้ความร้อนจากน้ำร้อน 6449 กิโลวัตต์ หรือ ใช้ความร้อน 0.11 กิโลวัตต์ชั่วโมง ต่อการอบชานอ้อย 1 กิโลกรัมต่อชั่วโมง และเครื่องอบมีประสิทธิภาพร้อยละ 87.3

5.1.2 ประสิทธิภาพหม้อไอน้ำจะเพิ่มขึ้นร้อยละ 5.75 จากร้อยละ 72.25 เป็นร้อยละ 78 เมื่อลดความชื้นของเชื้อเพลิงชานอ้อยลงร้อยละ 14.12 จากร้อยละ 51.30 เป็นร้อยละ 37.18 และค่าการสูญเสียความร้อนจากความชื้นสะสมภายในเชื้อเพลิงชานอ้อย มีผลต่อการผลิตไอน้ำมากที่สุด รองลงมาเป็นค่าการสูญเสียความร้อนจากไฮโดรเจนในเชื้อเพลิง ส่วนของค่าการสูญเสียที่เกิดขึ้นจากความชื้นในอากาศ และการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์จะมีค่าน้อยมาก

5.1.3 อุณหภูมิของก๊าซไอเสียที่เกิดขึ้นหากมีการลดลงจะส่งผลให้ประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำเพิ่มขึ้นโดยจะเพิ่มขึ้นร้อยละ 0.6 จากการเพิ่มของอุณหภูมิก๊าซไอเสียที่ 7 องศาเซลเซียส และหากอุณหภูมิของก๊าซเพิ่มขึ้น 7 องศาเซลเซียสจะทำให้ประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำลดลงร้อยละ 0.6

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ในส่วนของเครื่องอบแห้งนั้นจะใช้น้ำร้อนในการลดความชื้นของชานอ้อย ซึ่งน้ำร้อนที่เข้าเครื่องอบมีอุณหภูมิที่แตกต่างกันประมาณร้อยละ 10 ทำให้ค่าความชื้นของชานอ้อยที่ออกมาจากเครื่องอบนั้นมีความชื้นที่ยังคงสูงกว่าปกติ ควรที่จะควบคุมอุณหภูมิของน้ำร้อนที่เข้าเครื่องอบเพื่อทำให้ความชื้นของชานอ้อยที่ได้ออกมามีค่าใกล้เคียงกัน

5.2.2 จากการคำนวณค่าการสูญเสียของหม้อไอน้ำ หากสามารถลดความชื้นของชานอ้อยลงได้ จะทำให้หม้อไอน้ำมีประสิทธิภาพสูงขึ้นเป็นผลให้ประหยัดพลังงาน

5.2.3 มาตรการที่สามารถเพิ่มประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำได้สูงคือ ลดปริมาณออกซิเจนในก๊าซไอเสียลงโดยลดอากาศส่วนเกินให้เหมาะสมกับการเผาไหม้ที่สมบูรณ์

บรรณานุกรม

(1999). Industrial Boilers, Longman Scientific Technical.

Amos, W. A. (1999). "Report on biomass drying technology. In.: National Renewable Energy Lab., Golden, CO (US)."

Anjum Munir, J. Z. A., Sidrah Ashfaq, Abdul Ghafoor. (2014). "Performance evaluation of a biomass boiler on the basis of heat loss method and total heat values of steam."

Juan H. Sosa-Arno, J. L. G. C., Maria A. Silva and Silvia A. Nebra. (2006). "Sugar Cane Bagasse Drying."

Li, H., Qun Chen, Xiaohui Zhang, Karen N Finney, Vida N Sharifi, Jim Swithenbank. (2012). "Evaluation of a biomass drying process using waste heat from process industries: A case study."

Loftness., R. L. Energy Hand book, Second edition, Von Nostrand Reinhold Company

Mr. Sandip. V. Borate, M. P. S. P. (2014). "Performance evaluation of a forced convection solar bagasse dryer to increase the boiler efficiency."

Nishant Singh, B. P., Bhanu Pratap. (2018). "Performance evaluation of Boiler in 46 MW Bagasse Based Cogeneration Power Plant."

Pinji-aksorn, S. (2019). The Financial analysis of bagasse dryer in biomass powerplant (Case Study). Energy Technology and Management, Chulalongkorn University.

R. J. Panchal, S. M. S., S. Panchal. (2016). "Effect of coal moisture on enigration efficiency and boiler economy."

Sankalp Shrivastav, I. H. (2013). "Design and analysis of bagasse dryer to recover energy of water tube boiler in a sugar factory."





ภาคผนวก ก

ผลการทดสอบองค์ประกอบของเชื้อเพลิงชานอ้อย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

CHULALONGKORN UNIVERSITY

 รายงานการทดสอบ				
ชื่อวัตถุตัวอย่าง	เครื่องหมาย / ตรา	หมายเลขปฏิบัติการ		
Saw Dust	-	L64/00318.2		
ผลการทดสอบ				
		สภาพของตัวอย่าง ตามที่ได้รับ	สภาพของตัวอย่าง ที่ผ่านการผึ่งแห้ง	สภาพของตัวอย่าง ที่ผ่านการอบแห้ง ที่ 105 °ซ
1. ความชื้น	ร้อยละ	37.18	7.67	-
2. เถ้า	ร้อยละ	1.54	2.27	2.46
3. สารที่ระเหยได้	ร้อยละ	51.61	75.86	82.16
4. คาร์บอนคงตัว	ร้อยละ	9.67	14.20	15.38
5. คาร์บอน (C)	ร้อยละ	30.5	44.9	48.6
6. ไฮโดรเจน (H)	ร้อยละ	7.9	6.3	5.9
7. ไนโตรเจน (N)	ร้อยละ	0.14	0.21	0.23
8. กำมะถัน (S)	ร้อยละ	0.02	0.03	0.03
9. ออกซิเจน (O)	ร้อยละ	59.9	46.3	42.8
10. ค่าความร้อนแบบกรอส (gross) แคลอรีต่อกรัม		2879	4232	4584
11. ค่าความร้อนแบบเนท (net) แคลอรีต่อกรัม		2470	3904	4277

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 14 ผลทดสอบปริมาณธาตุองค์ประกอบของเชื้อเพลิงที่ความชื้น 37.18 เปอร์เซ็นต์

 รายงานการทดสอบ			
ชื่อวัตถุตัวอย่าง	เครื่องหมาย / ตรา	หมายเลขปฏิบัติการ	
Bagasses DC	-	L64/00318.1	
ผลการทดสอบ			
	สภาพของตัวอย่าง ตามที่ได้รับ	สภาพของตัวอย่าง ที่ผ่านการผึ่งแห้ง	สภาพของตัวอย่าง ที่ผ่านการอบแห้ง ที่ 105 °ซ
1. ความชื้น	ร้อยละ 51.30	7.45	-
2. เถ้า	ร้อยละ 1.53	2.91	3.14
3. สารที่ระเหยได้	ร้อยละ 40.89	77.70	83.95
4. คาร์บอนคงตัว	ร้อยละ 6.28	11.94	12.91
5. คาร์บอน (C)	ร้อยละ 23.4	44.4	48.0
6. ไฮโดรเจน (H)	ร้อยละ 8.6	6.3	5.9
7. ไนโตรเจน (N)	ร้อยละ 0.11	0.21	0.23
8. กำมะถัน (S)	ร้อยละ 0.01	0.02	0.02
9. ออกซิเจน (O)	ร้อยละ 66.4	46.2	42.7
10. ค่าความร้อนแบบกรอส (gross) แคลอรีต่อกรัม	2192	4166	4501
11. ค่าความร้อนแบบเนท (net) แคลอรีต่อกรัม	1743	3838	4194

รูปที่ 15 ผลทดสอบปริมาณธาตุองค์ประกอบของเชื้อเพลิงที่ความชื้น 51.30 เปอร์เซ็นต์

ภาคผนวก ข

วิธีและผลการคำนวณ

ตัวแปรสำหรับการคำนวณสมดุลมวล และสมดุลพลังงานของเครื่องอบแห้งแบบสายพาน ดังต่อไปนี้

Q_w	= ปริมาณความร้อนของน้ำร้อน kW
Q_m	= ปริมาณความร้อนของความชื้น kW
Q_b	= ปริมาณความร้อนของชานอ้อย kW
m	= คีอมวลของวัสดุ kg
C_p	= ค่าความจุความร้อนจำเพาะของวัสดุ kW/kg.K
h_{fg}	= ค่าความร้อนแฝงของวัสดุ kW/kg
T_i	= อุณหภูมิเริ่มต้นของวัสดุ °C
T_f	= อุณหภูมิสุดท้ายของวัสดุ °C
T_{ao}	= อุณหภูมิอากาศออก °C
T_{bi}	= อุณหภูมิชานอ้อยเริ่มต้น °C
T_{bf}	= อุณหภูมิชานอ้อยสุดท้าย °C

การคำนวณสมดุลมวลและสมดุลพลังงานของเครื่องอบแห้งแบบสายพาน

Heat from hot water

$$\begin{aligned}
 Q_w &= m \times C_p (T_o - T_i) \\
 &= 138390 \times 4.194 \times (95 - 55) / 3600 \\
 &= 6449 \text{ kW}
 \end{aligned}$$

Heat to moisture

$$\begin{aligned}
 Q_m &= m \times (h_{fg} + C_p (T_{ao} - T_{bi})) \\
 &= 7546 \times (2400 + 2.0267 \times (95 - 35)) / 3600 \\
 &= 5285 \text{ kW}
 \end{aligned}$$

Heat to bagasse

$$\begin{aligned}
 Q_b &= m \times C_p \times (T_{bf} - T_{bi}) \\
 &= 52440 \times 2.35 \times (45 - 35) / 3600 \\
 &= 342 \text{ kW}
 \end{aligned}$$

Losses

$$\begin{aligned}
 Q_L &= Q_w - Q_m - Q_b \\
 &= 6449 - 5285 - 342
 \end{aligned}$$

$$= 822 \text{ kW}$$

การคำนวณอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงทางทฤษฎี (สโตอิชิโอเมตริก) และอากาศส่วนเกินของความชื้นที่ 37.18 เปอร์เซ็นต์

$$\text{Theoretical air requirement} = [(11.6 \times C) + \{34.8 \times (H_2 - O_2/8)\} + (4.35 \times S)] / 100 \text{ kg/kg of fuel}$$

$$= [(11.6 \times 30.53) + \{34.8 \times (3.71 - 26.89/8)\} + (4.35 \times 0.019)] / 100$$

$$= 3.663 \text{ kg/kg of fuel}$$

$$\text{Moles of N}_2 = [\text{Wt of N}_2 \text{ in theoretical air} / \text{Mol.wt of N}_2] +$$

$$[\text{Wt of N}_2 \text{ in fuel} / \text{Mol.Wt of N}_2]$$

$$= [(3.66 \times 77/100) / 28] + [0.000188 / 28]$$

$$= 0.101$$

$$\text{Moles of C}$$

$$= \text{Wt of C in fuel} / \text{Molecular Wt of C}$$

$$= 0.3053 / 12$$

$$= 0.025$$

$$\% \text{CO}_2 \text{ at theoretical condition} = \text{Moles of C} / \text{Moles of N}_2 + \text{Moles of C}$$

$$(\% \text{CO}_2) \text{ t} = 0.0254 / (0.1007 + 0.0254)$$

$$= 20.165 \%$$

$$\% \text{ Excess air supplied (EA)} = \% \text{O}_2 \times 100 / 21 - \% \text{O}_2$$

$$= 9.1 \times 100 / 21 - 9.1$$

$$= 76.47 \%$$

$$\text{Actual mass of air supplied} = [1 + \text{EA}/100] \times \text{Theoretical air}$$

$$= [1 + 76.47/100] \times 3.66$$

$$= 6.46 \text{ kg/kg of fuel}$$

$$\text{Mass of dry flue gas}$$

$$= \text{Mass of C} + \text{Mass of N}_2 \text{ content in fuel} + \text{Mass of N}_2 \text{ combustion air supplied} + \text{Mass of O in flue gas}$$

$$= (0.3053 \times 44 / 12) + 0.001445 + (6.463 \times 77/100)$$

$$+ (6.463 - 3.662) \times 23/100$$

$$= 6.741 \text{ kg/kg of fuel}$$

การคำนวณอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงทางทฤษฎี (สโตอิชิโอเมตริก) และอากาศส่วนเกินของความชื้นที่ 51.30 เปอร์เซ็นต์

$$\text{Theoretical air requirement} = [(11.6 \times C) + \{34.8 \times (H_2 - O_2/8)\} + (4.35 \times S)] / 100$$

kg/kg of fuel

$$= [(11.6 \times 30.530) + \{34.8 \times (3.753 - 27.159/8)\} + (4.35 \times 0.0127)] / 100$$

$$= 3.66 \text{ kg/kg of fuel}$$

$$\text{Moles of N}_2 = [\text{Wt of N}_2 \text{ in theoretical air} / \text{Mol.wt of N}_2] + [\text{Wt of N}_2 \text{ in fuel} / \text{Mol.Wt of N}_2]$$

$$= [(3.666 \times 77/100) / 28] + [0.000127 / 28]$$

$$= 0.101$$

$$\text{Moles of C} = \text{Wt of C in fuel} / \text{Molecular Wt of C}$$

$$= 0.3053 / 12$$

$$= 0.0254$$

$$\% \text{CO}_2 \text{ at theoretical condition} = \text{Moles of C} / \text{Moles of N}_2 + \text{Moles of C}$$

$$(\% \text{CO}_2) \text{ t} = 0.0254 / (0.1008 + 0.02544)$$

$$= 20.147 \%$$

$$\% \text{ Excess air supplied (EA)} = \% \text{O}_2 \times 100 / 21 - \% \text{O}_2$$

$$= 9.1 \times 100 / 21 - 9.1$$

$$= 76.47 \%$$

$$\text{Actual mass of air supplied} = [1 + \text{EA}/100] \times \text{Theoretical air}$$

$$= [1 + 76.47/100] \times 3.66$$

$$= 6.475 \text{ kg/kg of fuel}$$

$$\text{Mass of dry flue gas} = \text{Mass of C} + \text{Mass of N}_2 \text{ content in fuel} + \text{Mass of N}_2 \text{ combustion air supplied} + \text{Mass of O in flue gas}$$

$$= (0.3055 \times 44 / 12) + 0.001464 +$$

$$(6.4751 \times 77/100) + (6.4751 - 3.6666)$$

$$\times 23/100$$

$$= 6.748 \text{ kg/kg of fuel}$$

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	Kamon Fuengcharoen
วัน เดือน ปี เกิด	22 March 1993
สถานที่เกิด	Ubon Ratchathani
ที่อยู่ปัจจุบัน	70 ซอยพุทธมณฑล สาย 3 ซอย 18/4 แขวงศาลาธรรมสพน์ เขตทวีวัฒนา กรุงเทพมหานคร 10170



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY