รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ประจำปีงบประมาณ 2545

เรื่อง

การศึกษาการใช้พลังงานในโรงงานอุตสาหกรรมการผลิตมันสำปะหลัง

(Study of Energy Utilization in Cassava Production Plant)

ผศ.ดร. รุจิรา ตาปราบ

ผศ.ดร. ประภาพร ขอไพบูลย์

โครงการคณะอุตสาหกรรมเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2545

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ประจำปี งบประมาณ 2545

เรื่อง

การศึกษาการใช้พลังงานในโรงงานอุตสาหกรรมการผลิตมันสำปะหลัง

(Study of Energy Utilization in Cassava Production Plant)

RCH
HD
9235
.C36
T6615
ฉ.2
เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....87028
วัน,เดือน,ปี.....19 ส.ค. 2552

ผศ.ดร. รุจิรา ตาปราบ
ผศ.ดร. ประภาพร ขอไพบูลย์

โครงการคณะอุตสาหกรรมเกษตร
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2545

b 11 ม.ค. 2561

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อโครงการวิจัย: การศึกษาการใช้พลังงานในโรงงานอุตสาหกรรมการผลิตมันสำปะหลัง

(Study of Energy Utilization in Cassava Production Plant)

รุจิรา ตาปราบ

โครงการคณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บทคัดย่อ

การวิเคราะห์พลังงานในโรงงานตัวอย่างนี้ได้เลือกโรงงานผลิตมันสำปะหลังอัดเม็ดเป็นกรณีศึกษา พบว่ากระบวนการผลิตมันสำปะหลังอัดเม็ดนั้นวัตถุดิบคือมันสำปะหลังเส้น ที่ได้จากการนำหัวมันมาหั่นให้เป็นเส้นแล้วตากให้แห้งที่ลานมัน มันเส้นจะถูกอัดให้เป็นเม็ดด้วยเครื่องอัดเม็ด แล้วนำไปผ่านที่อุปกรณ์อบแห้งเพื่อลดความชื้น อุปกรณ์หลักที่มีการใช้พลังงานมากได้แก่ หม้อน้ำ เครื่องอัดมันเม็ดและเตาอบลมร้อน เมื่อได้ทำการวิเคราะห์พลังงานด้วยเอ็นธัลปีและเอ็กเซอร์ยีของทั้งสามอุปกรณ์หลักพบว่ามีประสิทธิภาพดังนี้ ประสิทธิภาพด้วยเอ็นธัลปีของหม้อน้ำ เป็น 61.2 % และประสิทธิภาพด้วยเอ็กเซอร์ยีเป็น 14.7 % และค่า Irreversibility เป็น 73.6 % ส่วนเครื่องอัดมันเม็ดนั้นการศึกษานี้ได้วิเคราะห์ไว้ 5 กรณี โดยปรับเปลี่ยนปริมาณการใช้ไอน้ำและอุณหภูมิของไอน้ำที่ใช้พบว่าประสิทธิภาพด้วยเอ็นธัลปีและเอ็กเซอร์ยีของทั้ง 5 กรณีไม่แตกต่างกันมากนัก แต่ทางโรงงานสามารถเลือกเงื่อนไขที่จะประหยัดพลังงานได้จากข้อเสนอแนะ ส่วนเตาอบลมร้อนมีประสิทธิภาพด้วยเอ็นธัลปีและด้วยเอ็กเซอร์ยีเป็น 46.71 % และ 22.03 % ตามลำดับและค่า Irreversibility เป็น 53.73 % นอกจากนี้การศึกษานี้ยังได้เขียนโปรแกรมช่วยในการวิเคราะห์เอ็นธัลปีและเอ็กเซอร์ยีจากโปรแกรม Excel เพื่อที่โรงงานอื่นที่มีอุปกรณ์ในกระบวนการผลิตที่คล้ายกันสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Study of Energy Utilization in Cassava Production Plant

Ruchira Taprap

Faculty of Agro Industry Project, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

ABSTRACT

The cassava production plant has been chosen as a case study for energy analysis. The process started from raw material, dried fiber of cassava obtained from cassava root chopped into pieces then dried by sunlight at the ground field, was mixed with steam in the pellet forming unit. This pellet cassava was then dried in the continuous air dryer unit to reduce the moisture content. Then the moisture was slightly reduced at the free fall dryer unit. However, there were three main units which consumed quite a high amount of energy. Those were boiler unit, pellet forming unit and air dryer unit. When the enthalpy and exergy of those equipments were analyzed, the efficiencies of them were as follows: for boiler unit; the efficiency by enthalpy was 61.2 % and the efficiency by exergy was 14.7 % where its irreversibility was 73.6 %, for pellet forming unit; 5 cases have been proposed for this study by varying the steam consumption and steam temperature. The results of enthalpy and exergy analyses were not much different. However, the plant can find the suitable and efficiency option to operate the plant. For the air dryer unit, the efficiency by enthalpy was 46.71 % and efficiency by exergy was 22.03 % and its irreversibility was 53.73 %. Moreover, the program adapted from Excel was constructed to facilitate and encourage the studying of energy analysis especially the plant that has similar process.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

การศึกษาครั้งนี้ คณะผู้ทำวิจัยต้องขอขอบคุณโรงงานตัวอย่างที่จังหวัดชลบุรี ที่ให้ความอนุเคราะห์การเก็บข้อมูลและอำนวยความสะดวกในครั้งนี้เป็นอย่างสูง และงานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากเงินงบประมาณประจำปี 2545

คณะผู้วิจัย

พฤศจิกายน 2545

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ

กิตติกรรมประกาศ

สารบัญ

สารบัญตาราง

สารบัญรูป

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา 1

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย 2

1.3 ขั้นตอนและวิธีการ 2

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 2

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 3

2.1 การคำนวณเอ็นธัลปีและเอ็กเซอร์ยี 3

2.2 ตัวอย่างการวิเคราะห์พลังงานและเอ็กเซอร์ยีของโรงงานอุตสาหกรรม 6

บทที่ 3 การวิเคราะห์พลังงานและเอ็กเซอร์ยีของโรงงานมันสำปะหลังอัดเม็ด 10

3.1 กระบวนการการผลิตมันสำปะหลังอัดเม็ด 10

3.2 การวิเคราะห์เอ็นธัลปีและเอ็กเซอร์ยีของขบวนการผลิตมันสำปะหลังอัดเม็ด 11

3.2.1 การวิเคราะห์เอ็นธัลปีและเอ็กเซอร์ยีของหม้อน้ำ (Boiler) 12

3.2.2 การวิเคราะห์เอ็นธัลปีและเอ็กเซอร์ยีของเครื่องอัดเม็ดมันสำปะหลัง (Pellet Forming Unit) 15

3.2.3 การวิเคราะห์เอ็นธัลปีและเอ็กเซอร์ยีของเครื่องอบแห้ง (Air Dryer) 21

3.3 สรุปผลการวิเคราะห์เอ็นธัลปีและเอ็กเซอร์ยีของกระบวนการผลิตมันสำปะหลัง 24

บทที่ 4 สรุปและข้อเสนอแนะแนวทางการประหยัดพลังงานของโรงงาน 25

4.1 อุปกรณ์หม้อไอน้ำ (Boiler) 25

4.2 อุปกรณ์มันอัดเม็ด (Pellet forming unit) 28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 อุปกรณ์อบแห้งด้วยลม (Air dryer) 28

บทที่ 5 การสร้างโปรแกรมจากโปรแกรม Excel เพื่อวิเคราะห์เอ็นธัลปีและเอ็กเซอร์ยี 30

เอกสารอ้างอิง 45

ภาคผนวก ก 46

ภาคผนวก ข 47

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

		หน้า
ตารางที่ 3.1	ผลการวิเคราะห์เอ็นธัลปีของหม้อน้ำ (Boiler)	14
ตารางที่ 3.2	ผลการวิเคราะห์เอ็กเซอร์ยีของหม้อน้ำ (Boiler)	14
ตารางที่ 3.3	การวิเคราะห์เอ็นธัลปีของPellet Forming Unit ของกรณีที่ 1	16
ตารางที่ 3.4	การวิเคราะห์เอ็กเซอร์ยีของPellet Forming Unit ของกรณีที่ 1	17
ตารางที่ 3.5	ผลการวิเคราะห์เอ็นธัลปีของ Pellet Forming Unit ของกรณีที่ 2	17
ตารางที่ 3.6	ผลการวิเคราะห์เอ็กเซอร์ยีของ Pellet Forming Unit ของกรณีที่ 2	17
ตารางที่ 3.7	ผลการวิเคราะห์เอ็นธัลปีของ Pellet Forming Unit ของกรณีที่ 3	18
ตารางที่ 3.8	ผลการวิเคราะห์เอ็กเซอร์ยีของ Pellet Forming Unit ของกรณีที่ 3	18
ตารางที่ 3.9	ผลการวิเคราะห์เอ็นธัลปีของ Pellet Forming Unit ของกรณีที่ 4	19
ตารางที่ 3.10	ผลการวิเคราะห์เอ็กเซอร์ยีของ Pellet Forming Unit ของกรณีที่ 4	19
ตารางที่ 3.11	ผลการวิเคราะห์เอ็นธัลปีของ Pellet Forming Unit ของกรณีที่ 5	19
ตารางที่ 3.12	ผลการวิเคราะห์เอ็กเซอร์ยีของ Pellet Forming Unit ของกรณีที่ 5	20
ตารางที่ 3.13	เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์เอ็นธัลปีและเอ็กเซอร์ยีของเครื่องอัดเม็ดมันสำปะหลัง (Pellet Forming Unit) ของกรณีที่ 1-5	20
ตารางที่ 3.14	ผลการวิเคราะห์เอ็นธัลปีของเครื่องอบแห้ง(Air dryer)	23
ตารางที่ 3.15	ผลการวิเคราะห์เอ็กเซอร์ยีของเครื่องอบแห้ง(Air dryer)	23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2.1 แผนภาพแสดงขั้นตอนการผลิตอาหารว่างจากปลา 7
รูปที่ 2.2 แสดงสมดุลของส่วนไล่ความชื้น 7
รูปที่ 2.3 แสดงสมดุลมวลของส่วนตู้อบ 8
รูปที่ 2.4 แสดงสมดุลมวลโดยรวมของกระบวนการย่อยที่ 1
ของกระบวนการผลิตอาหารว่างจากปลา 9
รูปที่ 2.5 แสดงสมดุลมวลของส่วนย่าง 9
รูปที่ 3.1 กระบวนการผลิตมันสำปะหลังอัดเม็ด 10
รูปที่ 3.2 แสดงทิศทางการไหลของกระบวนการผลิตมันสำปะหลังอัดเม็ด 11
รูปที่ 3.3 แสดงมวลขาเข้า-ออกของหม้อน้ำ (Boiler) 12
รูปที่ 3.4 แสดงมวลขาเข้า-ออกของเครื่องอัดเม็ดมันสำปะหลัง (Pellet forming unit) 15
รูปที่ 3.5 แสดงมวลขาเข้า-ออกของเครื่องอบแห้ง (Air dryer) 21
รูปที่ 3.6 แสดงผลการวิเคราะห์ของอุปกรณ์หลักของกระบวนการผลิต 24
รูปที่ 4.1 เครื่องอุ่นอากาศแบบ Recuperative 26
รูปที่ 4.2 ระบบเก็บความร้อนคืนจากการปล่อยน้ำร้อนทิ้ง 27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

ในกระบวนการผลิตทางอุตสาหกรรมมีการใช้พลังงานหลายรูปแบบ เช่น พลังงานไฟฟ้า พลังงานความร้อน เป็นต้น ซึ่งพลังงานความร้อนส่วนใหญ่จะได้จากการสันดาปของเชื้อเพลิง หรือพลังงานความร้อนที่ได้จากไอน้ำ พลังงานเหล่านี้มีความสำคัญต่อกระบวนการผลิตในโรงงานอุตสาหกรรมและมีผลกระทบต่อทุนการผลิตของโรงงาน การใช้พลังงานในโรงงานอุตสาหกรรมควรที่จะใช้ให้มีประสิทธิภาพหรือคุณภาพอย่างแท้จริง ประสิทธิภาพของการใช้พลังงานเป็นเกณฑ์ที่ใช้วัดว่าในแต่ละกระบวนการผลิตมีการใช้พลังงานเป็นอย่างไร ในบางโรงงานผู้ประกอบการอาจมองข้ามประสิทธิภาพของการใช้พลังงานไปทำให้มีการสูญเสียพลังงานเกิดขึ้นอยู่เสมอ จึงควรที่จะมีการตรวจสอบ ศึกษาและวิเคราะห์สถานการณ์ที่เป็นอยู่ในปัจจุบันของโรงงาน เพื่อที่จะใช้เป็นแนวทางหรือทางเลือกใหม่ในการปรับปรุงกระบวนการผลิตเพื่อให้มีการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด

การตรวจสอบการใช้พลังงานมิใช่เป็นสิ่งที่ทำครั้งเดียวแล้วใช้ได้ตลอดไป แต่เป็นงานต่อเนื่องเพื่อจะได้มีการเปรียบเทียบระหว่างภาคทฤษฎีและผลทางปฏิบัติเพื่อให้ทราบว่าพลังงานได้ถูกใช้ไปอย่างไรบ้างและเสียค่าใช้จ่ายเท่าใด เมื่อได้ทราบถึงรายละเอียดดังกล่าวแล้วจะทำให้มองเห็นแนวทางที่จะประหยัด พลังงานและลดต้นทุนการผลิตได้

ในการศึกษาครั้งนี้ได้เลือกศึกษาการใช้พลังงานในโรงงานอุตสาหกรรมผลิตมันสำปะหลังอัดเม็ดของโรงงานตัวอย่างในประเทศไทยเพราะประเทศไทยเป็นแหล่งที่มีการผลิตมันสำปะหลังอัดเม็ดส่งออกสู่ตลาดยุโรปค่อนข้างมาก ถ้ามีการศึกษาถึงขั้นตอนในการลดต้นทุนการผลิตได้ก็เท่ากับเป็นการเพิ่มรายได้ให้กับผู้ประกอบการ

นอกจากนี้ในการคำนวณเพื่อวิเคราะห์ค่าเอ็นธัลปีและเอ็กเซอร์ยีมีขั้นตอนที่ยุ่งยากซึ่งอาจทำให้ค่าที่คำนวณได้เกิดการผิดพลาด ถ้าได้มีการศึกษาถึงการเขียนโปรแกรมสำเร็จรูปเพื่อใช้ในการคำนวณจะทำให้การคำนวณได้ค่าที่ถูกต้องและแม่นยำ อีกทั้งยังช่วยประหยัดเวลาและทำให้การทำงานง่ายยิ่งขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- เพื่อศึกษาถึงการใช้พลังงานของโรงงานอุตสาหกรรมมันสำปะหลังในสภาพปัจจุบัน
- เพื่อศึกษาหาแนวทางในการปรับปรุงการใช้พลังงานของโรงงานมันสำปะหลังอัดเม็ด
- เพื่อสร้างโปรแกรมที่ใช้ช่วยในการคำนวณค่าเอ็นธัลปีและเอ็กเซอร์ยีของกระบวนการผลิต

1.3 ขั้นตอนและวิธีการ

1. เลือกโรงงานอุตสาหกรรมมันสำปะหลังตัวอย่างเพื่อที่จะเก็บและรวบรวมข้อมูลการใช้พลังงานในปัจจุบันของโรงงานนั้น
2. ทำการวิเคราะห์การใช้พลังงานและเอ็กเซอร์ยีของโรงงานตัวอย่าง เพื่อให้รู้ถึงประสิทธิภาพและคุณภาพของการใช้พลังงาน
3. เสนอแนวทางในการปรับปรุงการใช้พลังงานเพื่อเป็นการลดต้นทุนการผลิต
4. เขียนโปรแกรมย่อยที่ใช้ในการคำนวณเอ็นธัลปีและเอ็กเซอร์ยีในโปรแกรมสำเร็จรูป Excel

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- เป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับวัตถุดิบ และเป็นการลดต้นทุนในการผลิต
- ชี้ให้เห็นถึงปัญหาที่แท้จริงที่ก่อให้เกิดความสูญเสียพลังงานจากกระบวนการผลิต
- ส่งเสริมการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ รวมถึงการประหยัดพลังงานในอุตสาหกรรม
- โรงงานอุตสาหกรรมที่คล้ายคลึงกันสามารถใช้เป็นแนวทางในการปรับปรุงประสิทธิภาพการ ใช้พลังงานได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การวิเคราะห์การใช้พลังงานของกระบวนการผลิตอะไรก็ตาม จำเป็นที่จะต้องรู้ถึงสภาพการใช้พลังงานในปัจจุบันของโรงงานนั้น ๆ ซึ่งข้อมูลที่ควรจะต้องรู้ได้แก่ ปริมาณการใช้พลังงาน เช่นในกระบวนการผลิต ต้องใช้ไอน้ำความดันเท่าไร ปริมาณขนาดใด หรือมีการใช้พลังงานไฟฟ้าเป็นอย่างไร เมื่อรู้ถึงข้อมูลเบื้องต้นแล้วจะสามารถวิเคราะห์ถึงประสิทธิภาพของการใช้พลังงานได้ พลังงานไม่ว่าเป็นรูปแบบใด จะมีทั้งปริมาณและคุณภาพ ซึ่งทั้งสองค่านี้ควรจะมีค่าที่สอดคล้องกัน

การวิเคราะห์หาประสิทธิภาพของพลังงานต้องใช้กฎข้อที่ 1 ของเทอร์โมไดนามิกส์หรือค่าพลังงานความร้อนซึ่งหมายถึงเอ็นธัลปี (ΔH) และการวิเคราะห์หาคุณภาพของพลังงานจะต้องใช้กฎข้อที่ 2 ของเทอร์โมไดนามิกส์ ที่เกี่ยวข้องโดยตรงกับเอนโทรปี (ΔS) ความสัมพันธ์ระหว่างเอ็นธัลปีและเอนโทรปีจะมีค่าที่เรียกว่า เอ็กเซอร์ยี ($\Delta \varepsilon$) การวิเคราะห์พลังงานด้วยค่าของเอ็นธัลปีและเอ็กเซอร์ยีบอกถึงคุณภาพของการใช้พลังงานของกระบวนการผลิต ดังนั้นการวิเคราะห์พลังงานด้วยเอ็นธัลปีและเอ็กเซอร์ยีจะต้องทำร่วมกันจึงจะทราบถึงการใช้พลังงานในโรงงานอุตสาหกรรมว่ามีประสิทธิภาพสูงสุดหรือไม่

2.1 การคำนวณเอ็นธัลปีและเอ็กเซอร์ยี

2.1.1 การคำนวณเอ็นธัลปี

สมการพื้นฐานของการคำนวณจะประกอบด้วยสองสมการหลัก ได้แก่ สมการสมดุลมวลสาร (Mass Balance) และสมการสมดุลพลังงาน (Energy Balance) จากกฎของการอนุรักษ์มวล กล่าวว่าสสารใดๆไม่อาจถูกสร้างขึ้นหรือกำจัดหมดไปได้ ดังนั้นในกระบวนการใด ๆ อาจเขียนแสดงสมดุลมวลสารได้ดังนี้

$$\text{mass input} = \text{mass output} + \text{mass accumulation} \qquad (2.1)$$

เมื่อ mass input คือ มวลสารที่เข้าสู่ระบบหรือกระบวนการนั้น ๆ

mass output คือ มวลสารที่ออกสู่ระบบนั้น ๆ อาจรวมถึงมวลที่สลายไปโดยทางปฏิบัติการทางเคมีหรือทางชีวภาพ ถ้าหากไม่มีการสะสมหรือ mass accumulation เท่ากับศูนย์ทำให้ mass input มีค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เท่ากับ mass output แต่ถ้ามีการสะสมหรือ mass accumulation ไม่เท่ากับศูนย์ ปริมาณและความเข้มข้นขององค์ประกอบในระบบอาจเปลี่ยนแปลงไปตามเวลา

ส่วนสมดุลพลังงานนั้นมีพื้นฐานจากกฎข้อที่ 1 ของเทอร์โมไดนามิกส์ (กฎของการอนุรักษ์พลังงาน; พลังงานไม่มีการสูญหายแต่สามารถเปลี่ยนรูปได้) การกำหนดขอบเขตโดยรอบของระบบเพื่อทำสมดุลพลังงานก็มีขั้นตอนคล้ายกับการคำนวณสมดุลมวลโดยมีพื้นฐานดังนี้

$$\text{Energy input} = \text{energy output} + \text{energy accumulation} \qquad (2.2)$$

เอ็นธัลปี (ΔH) เป็นปริมาณความร้อนที่เกิดขึ้นภายใต้ความดันคงที่ เมื่อระบบมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ สามารถคำนวณ ΔH ได้จาก

$$\Delta H = mC_p \Delta T \qquad (2.3)$$

เมื่อ m เป็นมวลในระบบ, Cp เป็นค่าความร้อนจำเพาะ และ ΔT เป็น การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ ถ้าหากว่าในระบบนั้นมีการเปลี่ยนแปลงสถานะ ก็จะเกิดการเปลี่ยนแปลงเอ็นธัลปี ที่มีการเปลี่ยนแปลงสถานะ (enthalpy of phase change: L) สามารถคำนวณ ΔH ได้จาก

$$\Delta H = mL \qquad (2.4)$$

นอกจากนี้ยังสามารถหาค่าเอ็นธัลปีเฉพาะของเชื้อเพลิงได้จากค่า Heating value (LHV) ของเชื้อเพลิงแต่ละชนิดได้

$$\Delta H_{fuel} = \text{ปริมาณเชื้อเพลิง} \times \text{LHV} \qquad (2.5)$$

ประสิทธิภาพ (efficiency) ตามกฎข้อที่ 1 ของเทอร์โมไดนามิกส์ สามารถคำนวณได้จากนิยาม

$$\text{ประสิทธิภาพ (\%)} = \frac{\text{(ปริมาณพลังงานที่ใช้ประโยชน์)}}{\text{(ปริมาณพลังงานที่ป้อนเข้า)}} \times 100$$

$$= \frac{\sum \Delta H_{output}}{\sum \Delta H_{intput}} \times 100$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2 การคำนวณเอ็กเซอร์ยี

การวิเคราะห์เอ็กเซอร์ยีทำให้ทราบว่า กระบวนการผลิตนั้นใช้พลังงานอย่างมีคุณภาพหรือมีประสิทธิภาพสูงสุดหรือไม่ ในการวิเคราะห์พลังงานด้วยเอ็กเซอร์ยีนั้น พลังงานที่ถูกวิเคราะห์ โดยกฎข้อที่ 1 ของเทอร์โมไดนามิกส์แล้วจะถูกนำมาคำนวณโดยใช้แนวคิดเอ็กเซอร์ยีกฎข้อที่ 2 ของเทอร์โมไดนามิกส์ สำหรับสมการสมดุลของเอ็กเซอร์ยี คือ

เอ็กเซอร์ยีที่ป้อนเข้าสู่ระบบ = (เอ็กเซอร์ยีที่ไหลออกจากระบบ) + (เอ็กเซอร์ยีสูญหนี)
+ (เอ็กเซอร์ยีที่ถูกทำลายเนื่องจากย้อนกลับไม่ได้)

$$\sum \text{exergy input} = \sum \text{exergy output} + \sum \text{exergy loss} + \text{Irreversibility} \quad (2.6)$$

เอ็นโทรปี (S) เป็นแฟคเตอร์บอกทิศทางของการเปลี่ยนแปลงในกระบวนการแบบต่างๆ หรือหมายถึงปริมาณที่บอกให้ทราบว่าในระบบหนึ่งๆจะมีการจัดเรียงตัวของสารอย่างมีระเบียบมากน้อยเพียงใด ค่าการเปลี่ยนแปลงของเอ็นโทรปีมีความสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงของเอ็นธัลปีดังนี้

$$\Delta S = \Delta H/T \quad (2.7)$$

และความสัมพันธ์ของเอ็กเซอร์ยีคือ

$$\Delta \varepsilon = \Delta H - T_o \Delta S \quad (2.8)$$
$$\Delta \varepsilon = \Delta H - T_o (\Delta H/T)$$

นอกจากนี้ยังมีการหาค่าเอ็กเซอร์ยีของเชื้อเพลิงได้โดยสมการดังต่อไปนี้

$$\text{เอ็กเซอร์ยีของเชื้อเพลิง} = LHV\,[1.0038 + (0.1365 \times (H)/(C)) + (0.0308 \times (O)/(C)) + (0.0104 \times (S)/(C))] \quad (2.9)$$

ส่วนเอ็กเซอร์ยีของความร้อนที่ผ่านผนังอุปกรณ์สามารถหาได้จากสมการ

$$\text{exergy loss} = (1 - T_o/T)\, Q \quad (2.10)$$

เมื่อ Q เป็นปริมาณความร้อนที่สูญเสียจากอุปกรณ์, T เป็นอุณหภูมิที่ผนังของอุปกรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประสิทธิผลของเอ็กเซอร์ยีสามารถคำนวณได้จาก

$$\text{ประสิทธิผล (\%)} = \frac{\text{(เอ็กเซอร์ยีที่ใช้งานได้จริง)}}{\text{(เอ็กเซอร์ยีที่ป้อนเข้า)}} \times 100$$

$$= \frac{\sum \Delta \varepsilon_{output}}{\sum \Delta \varepsilon_{input}} \times 100$$

2.2 ตัวอย่างการวิเคราะห์พลังงานและเอ็กเซอร์ยีของโรงงานอุตสาหกรรม

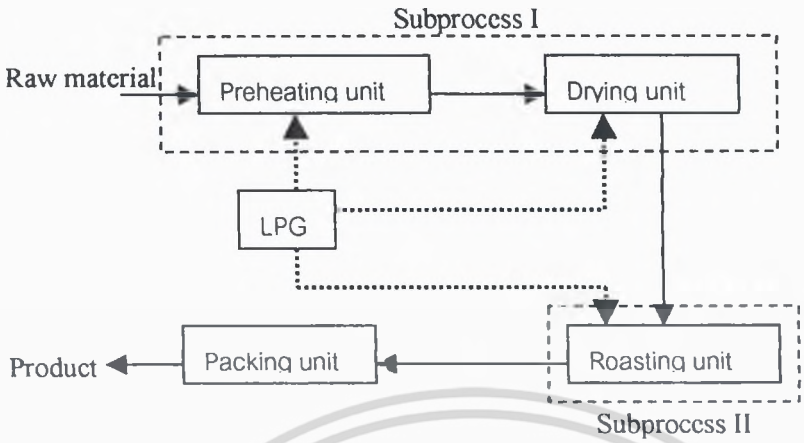
- การวิเคราะห์พลังงานด้วยเอ็นธัลปีและเอ็กเซอร์ยีของกระบวนการผลิตอาหารว่างจากปลา

วัตถุดิบคือปลาที่อุณหภูมิต่ำ จะถูกลำเลียงมาบดและเติมส่วนผสมต่าง ๆ ซึ่งในส่วนนี้จะจัดอยู่ในขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบ (raw material)ในขั้นตอนนี้จะไม่มีพลังงานความร้อนเกี่ยวข้อง หลังจากนั้นเนื้อปลาจะถูกขึ้นรูปให้เป็นแผ่นและถูกให้ความร้อนเพื่อไล่ความชื้นบางส่วนออก เรียกส่วนนี้ว่าส่วนไล่ความชื้น (prcheating unit)โดยในหน่วยการผลิตนี้อยู่ในสภาวะเปิด(open system) หลังจากนั้นเส้นปลาจะถูกส่งไปยังส่วนตู้อบ (drying unit)ซึ่งมีอุณหภูมิภายใน 80 °Cเพื่อทำให้เส้นปลาที่ 78°Cแห้ง เส้นปลาจะมีอุณหภูมิลดลงเหลือ 33°C และเส้นปลาจะถูกพักไว้ หลังจากนั้นจะนำไปในส่วนย่าง (roasting unit)เพื่อให้สุก พอง และมีสีที่น่ารับประทาน โดยในขั้นตอนนี้มีการใช้ก๊าซเหลวเป็นเชื้อเพลิงในการให้ความร้อนและหน่วยการผลิตนี้จะอยู่ในสภาวะเปิดเช่นเดียวกับส่วนไล่ความชื้น ซึ่งมีการสูญเสียพลังงานโดยเปล่าประโยชน์ค่อนข้างมาก โดยแผนผังของกระบวนการผลิตแสดงไว้ในรูปที่ 2.1

จากกระบวนการผลิตจะแบ่งกระบวนการผลิตออกเป็น 2 ส่วนย่อย คือ

1. ส่วนแรกได้แก่ ส่วนไล่ความชื้น (prcheating unit)รวมทั้งส่วนของเตาอบ (drying unit) จะเรียกส่วนนี้ว่า กระบวนการย่อยที่ 1 ของกระบวนการผลิตอาหารว่างจากปลา (subprocess1 of fish snack process)
2. ส่วนที่สองได้แก่ ส่วนของการย่าง (roasting unit)เรียกส่วนนี้ว่ากระบวนการย่อยที่ 2 ของกระบวนการผลิตอาหารว่างจากปลา (subprocess 2 of fish snack process)

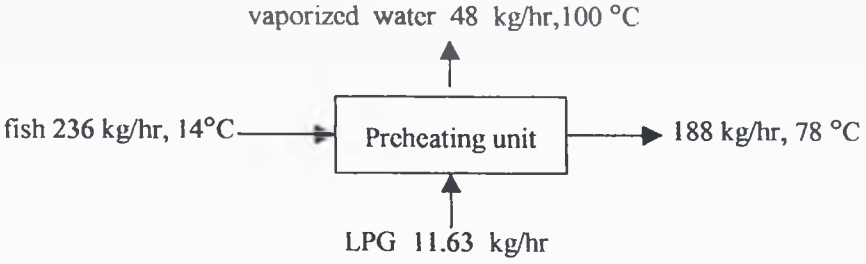
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.1 แผนภาพแสดงขั้นตอนการผลิตอาหารว่างจากปลา

เนื่องจากช่วงของการย่างเป็นช่วงที่ไม่ต่อเนื่องกัน ดังนั้นจึงแบ่งกระบวนการผลิตออกเป็น 2 ช่วง ด้วยกัน และพลังงานความร้อนที่ใช้ในกระบวนการผลิตคือ ก๊าซเหลวเพียงอย่างเดียว ดังแสดงไว้ในรูป และก่อนทำการวิเคราะห์เอ็นธัลปีและเอ็กเซอร์ยีนี้ต้องทำสมดุลมวลก่อนทุกครั้งหลังจากที่ทำสมดุลมวลแล้วจะสามารถทราบว่าในกระบวนการนี้จะมีส่วนของไอน้ำ (vaporized water) จากวัตถุดิบที่สูญหายไปเนื่องจากความร้อนจากอุปกรณ์

- การวิเคราะห์เอ็นธัลปีและเอ็กเซอร์ยีของส่วนไล่ความชื้น (preheating unit)

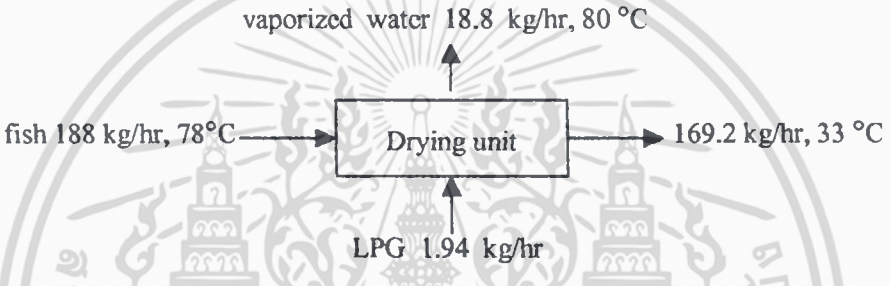


รูปที่ 2.2 แสดงสมดุลมวลของส่วนไล่ความชื้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วัตถุดิบจะถูกป้อนเข้ามาปริมาณ 236 kg/h มีอุณหภูมิ 14°C ให้ความร้อนโดยการเผาไหม้ก๊าซเหลวที่เป็นเชื้อเพลิงโดยตรง ใช้ก๊าซเหลวปริมาณ 11.63 kg/h เพื่อไล่ความชื้นออกจากวัตถุดิบ ทำให้มีน้ำหนักลดลงเหลือ 188 kg/h จึงมีส่วนที่น้ำในวัตถุดิบระเหยออกไป 48 kg/h น้ำที่ระเหยนี้ถือว่ามีอุณหภูมิ 100°C ในการคำนวณปลามีค่าความจุความร้อนจำเพาะเท่ากับ 3.433 kJ/kg°C และค่าความร้อนต่ำของก๊าซเหลวมีค่าเท่ากับ 45.606 kJ/kg หลังจากวิเคราะห์ในหน่วยไล่ความชื้นมีประสิทธิภาพเท่ากับ 27.26% แต่ค่าประสิทธิภาพที่วิเคราะห์จากเอ็กเซอร์ยีมีค่าเพียงแค่ 4.93 %

- การวิเคราะห์เอ็นธัลปีและเอ็กเซอร์ยีของตู้อบ (drying unit)



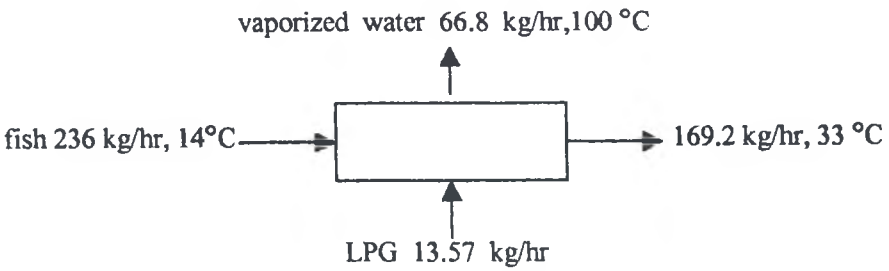
รูปที่ 2.3 แสดงสมดุลมวลของส่วนตู้อบ

วัตถุดิบหลังออกจากส่วนไล่ความชื้นจะเข้าสู่เตาอบ โดยมีก๊าซเหลวเป็นตัวให้พลังงานความร้อนวัตถุดิบที่มีน้ำหนัก 188 kg/hr หลังออกจากตู้อบจะมีน้ำหนัก 169.2 kg/hr โดยมีน้ำส่วนที่ระเหยออกไป 18.8 kg/hr หลังออกจากตู้อบวัตถุดิบจะมีอุณหภูมิ 33°C จากการคำนวณในส่วนของตู้อบพบว่ามีประสิทธิภาพของระบบนี้เท่ากับ38.21% แต่มีประสิทธิภาพที่วิเคราะห์ได้จากเอ็กเซอร์ยีเพียงแค่ 8.95% และในส่วนนี้มีการสูญเสียพลังงานไปกับผนังอุปกรณ์ จึงต้องมีการคิดพลังงานที่เสียไปกับผนังอุปกรณ์

- การวิเคราะห์เอ็นธัลปีและเอ็กเซอร์ยีของกระบวนการผลิตย่อยที่ 1 ของกระบวนการผลิตอาหารว่างจากปลา (subprocess1 of fish snack process)

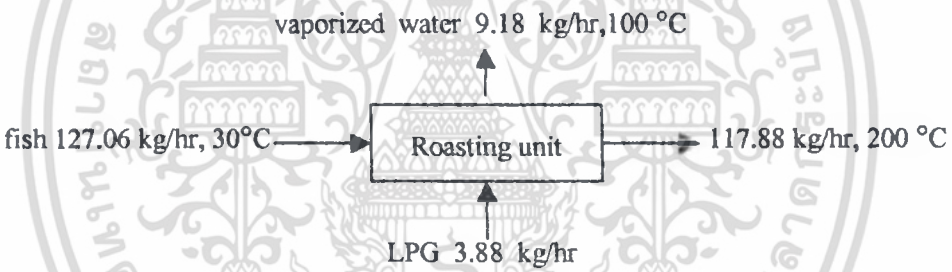
วัตถุดิบที่เข้ามาทั้งหมดมีมวลรวม 236 kg/hr อุณหภูมิ 14°C และออกไปมีมวล 169.2 kg/hr ใช้ก๊าซเหลวปริมาณ 13.57 kg/hr ส่วนแรกนี้มีน้ำที่ระเหยออกจากวัตถุดิบรวม 66.8 kg/hr กระบวนการผลิตในระบบย่อยที่ 1 คือช่วงตั้งแต่การเตรียมวัตถุดิบจนถึงการอบ สามารถคิดประสิทธิภาพมีค่า 4.74% ดังแสดงในรูปที่ 2.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 แสดงสมดุลมวลโดยรวมกระบวนการย่อยที่ 1
ของกระบวนการผลิตอาหารว่างจากปลา

- การวิเคราะห์เอ็นธัลปีและเอ็กเซอร์ยีของกระบวนการผลิตย่อยที่ 2
ของกระบวนการผลิตอาหารว่างจากปลา (subprocess2 of fish snack process)



รูปที่ 2.5 แสดงสมดุลมวลของส่วนย่าง

กระบวนการผลิตย่อยที่ 2 นี้คือ ขั้นตอนการย่าง วัตถุดิบจะมีความชื้นน้อยกว่าส่วนอื่น ๆทั้งนี้เพราะวัตถุดิบจะผ่านขั้นตอนการไล่ความชื้นและการอบมาแล้ว วัตถุดิบที่เข้าส่วนการย่างมีน้ำหนัก 127.06 kg/hrอุณหภูมิ 30°C ได้รับความร้อนจากการเผาไหม้ก๊าซเหลวเช่นเดียวกันในปริมาณ 3.88 kg/hr ทำให้วัตถุดิบมีน้ำหนักเหลือ 117.88 kg/hr อุณหภูมิ 200°C เมื่อทำสมดุลมวลพบว่ามีส่วนของน้ำที่ระเหยออกจากวัตถุดิบเพียง 9.18 kg/h มีค่าประสิทธิภาพเท่ากับ 51.12% และค่าประสิทธิภาพที่คิดด้วยแนวคิดเอ็กเซอร์ยี 16.70%

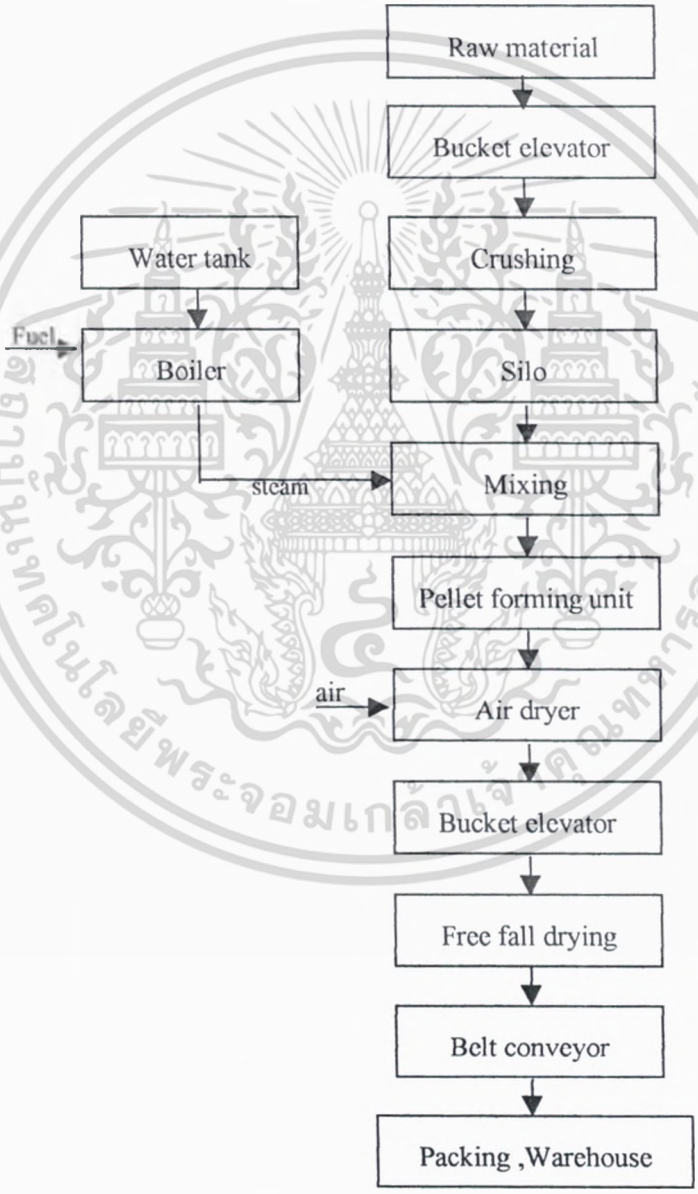
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การวิเคราะห์พลังงานและเอ็กเซอร์ยีของโรงงานมันสำปะหลังอัดเม็ด

3.1 กระบวนการผลิตมันสำปะหลังอัดเม็ด

ขั้นตอนการผลิตมันสำปะหลังอัดเม็ดแสดงในรูปที่ 3.1

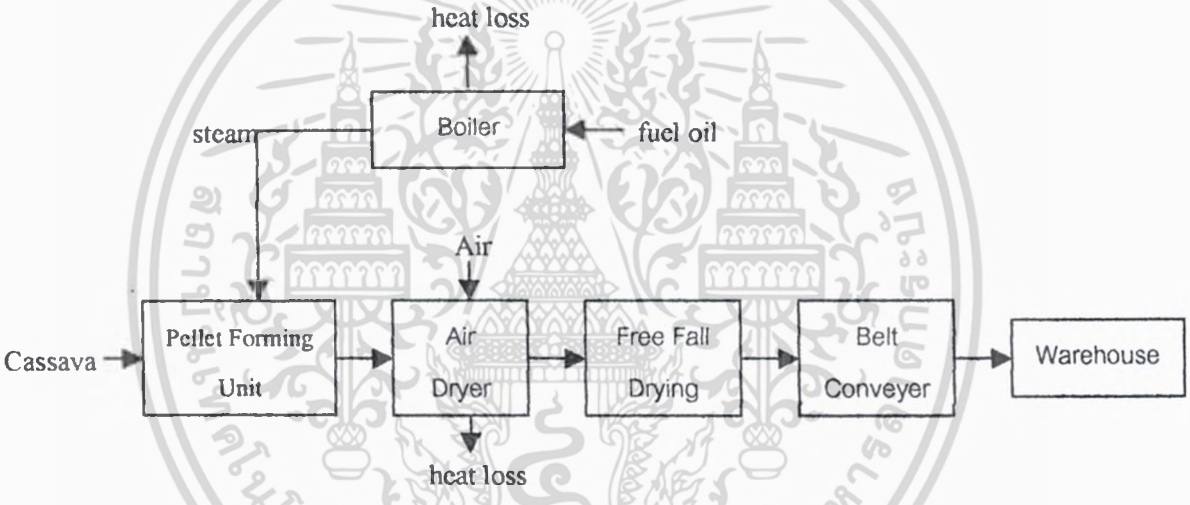


รูปที่ 3.1 กระบวนการผลิตมันสำปะหลังอัดเม็ด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระบวนการผลิตเริ่มจากนำวัตถุดิบมันสำปะหลังที่ผ่านการตากแดดมาบดโดยมีกระพ้อลำเลียง (Bucket elevator) เป็นตัวป้อนเข้าเครื่องบด (Crushing) จากนั้นต่อไปยัง Silo แล้วเข้าสู่เครื่องอัดเม็ด (Pellet forming unit) โดยให้มันสำปะหลังผสมกับไอน้ำเพื่อเพิ่มความชื้นให้แก่ตัวมันสำปะหลัง แล้วจึงอัดมันสำปะหลังเป็นเม็ดๆ จากนั้นนำมันสำปะหลังอัดเม็ดเข้าสู่เครื่องอบแห้ง (Air dryer) เพื่อไล่ความชื้นออก แล้วจึงส่งมันสำปะหลังอัดเม็ดโดยกระพ้อลำเลียง (Bucket elevator) เข้าสู่เครื่อง Free fall drying เพื่อไล่ความชื้นอีกที จากนั้นนำไปเก็บที่โกดัง (Warehouse) โดยใช้สายพานลำเลียง (Belt conveyor) ส่วนการวิเคราะห์พลังงานในส่วนต่างๆภายในโรงงานจะกล่าวถึงต่อไป

3.2 การวิเคราะห์เอ็นธัลปีและเอ็กเซอร์ยีของกระบวนการผลิตมันสำปะหลังอัดเม็ด



รูปที่ 3.2 แสดงทิศทางการไหลของกระบวนการผลิตมันสำปะหลังอัดเม็ด

จากรูปที่ 3.2 นำมันสำปะหลังที่ผ่านการบดเข้าสู่เครื่องอัดเม็ด (Pellet forming unit) ผสมกับไอน้ำซึ่งได้จากหม้อน้ำที่ใช้เชื้อเพลิงจากน้ำมันเตาผลิตไอน้ำขึ้น เพื่อเพิ่มความชื้นและพลังงานความร้อนให้แก่ตัวมันสำปะหลังแล้วจึงอัดมันสำปะหลังเป็นเม็ดๆ จากนั้นนำมันสำปะหลังที่อัดเป็นเม็ดเข้าสู่เครื่อง Air dryer เพื่อไล่ความชื้นออกซึ่งจะมีการสูญเสียพลังงานความร้อนออกจากตัวมันสำปะหลังอัดเม็ด แล้วจึงส่งมันสำปะหลังอัดเม็ดเข้าสู่เครื่อง Free fall drying เพื่อไล่ความชื้นอีกที พลังงานความร้อนในส่วนนี้ก็จะสูญเสียให้กับอากาศ จากนั้นนำไปเก็บที่โกดัง (Warehouse) โดยใช้สายพานลำเลียง (Belt conveyor)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.1 การวิเคราะห์เอ็นธัลปีและเอ็กเซอร์ยีของหม้อน้ำ (Boiler)

รูปที่ 3.3 แสดงมวลเข้าและออกของหม้อน้ำ โดยสมมุติฐานให้หม้อน้ำสามารถผลิตไอน้ำจากน้ำป้อนได้ทั้งหมดและละทิ้งน้ำที่ปล่อยทิ้ง

รูปที่ 3.3 แสดงมวลขาเข้า-ออกของหม้อน้ำ (Boiler)

เชื้อเพลิงที่ใช้ใน Boiler เป็นน้ำมันเตาเบอร์ 2 ซึ่งมีส่วนประกอบของ C 85% , H 12% และ S 3% มีค่าความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 0.940 และค่าความร้อนต่ำ (LHV) เท่ากับ 10390 kcal/l

- การวิเคราะห์เอ็นธัลปีของหม้อไอน้ำ
  - Enthalpy Input :

$$\Delta H_{\text{น้ำมันเตา}} = \text{LHV} \times \text{ปริมาตร}$$
$$= (10390\ \text{kcal/l})(120\ \text{l/hr})$$
$$= 1.2468 \times 10^{6}\ \text{kcal/hr} \qquad (1\ \text{kcal} = 4.184\ \text{kJ})$$
$$= 5.22 \times 10^{6}\ \text{kJ/hr}$$

$$\Delta H_{water} = mC_p\Delta T$$
$$= (1200\ \text{kg/hr})(4.1754\ \text{kJ/kgK})(315.15-298.15\ \text{K})$$
$$= 8.518 \times 10^{4}\ \text{kJ/hr}$$

$$\therefore \sum \Delta H_{input} = (5.22 \times 10^{6}\ \text{kJ/hr}) + (8.518 \times 10^{4}\ \text{kJ/hr})$$
$$= 5.31 \times 10^{6}\ \text{kJ/hr}$$

  - Enthalpy Output :

$$\Delta H_{\text{flue gas}} = mC_p\Delta T$$
$$= (6757.4\ \text{kg/hr})(1.026\ \text{kJ/kgK})(493.15-298.15\ \text{K})$$
$$= 1.35 \times 10^{6}\ \text{kJ/hr}$$

$$\Delta H_{steam} = mh_g$$
$$= (1200\ \text{kg/hr})(2706.3\ \text{kJ/kg})$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$= 3.25 \times 10^6$ kJ/hr

$\therefore \sum \Delta H_{output} = (1.35 \times 10^6 \text{ kJ/hr}) + (3.25 \times 10^6 \text{ kJ/hr})$

$= 4.60 \times 10^6$ kJ/hr

loss $= (5.13 \times 10^6) - (4.60 \times 10^6)$

$= 0.71 \times 10^6$ kJ/hr

- การวิเคราะห์เอ็กเซอร์ยีของหม้อไอน้ำ

  - Exergy Input :

$$\varepsilon_{\text{น้ำมันเตา}} = LHV\left[1.0038+(0.1365 \times H/C)+(0.0308 \times O/C)+(0.0104 \times S/C)\right]$$

$= 10390\left[1.0038+(0.1365 \times 0.12/0.85)+(0.0308 \times 0/0.85 +(0.0104 \times 0.03/0.85)\right]$

$= 10633.8227$ kcal/l

$= 4.45 \times 10^4$ kJ/l

ในกระบวนการผลิตใช้น้ำมันเตาไป 120 l/hr

$\varepsilon_{\text{น้ำมันเตา}} = (4.45 \times 10^4 \text{ kJ/l})(120 \text{ l/hr})$

$= 5.34 \times 10^6$ kJ/hr

$\varepsilon_{water} = \Delta H(1-T_0/T)$

$= (8.518 \times 10^4 \text{ kJ/hr})\left[1-(298.15/353.15)\right]$

$= 4.59 \times 10^3$ kJ/hr

$\therefore \sum \varepsilon_{input} = (5.34 \times 10^6 \text{ kJ/hr}) + (4.59 \times 10^3 \text{ kJ/hr})$

$= 5.34 \times 10^6$ kJ/hr

  - Exergy Output :

$\varepsilon_{flue\ gas} = (1.35 \times 10^6 \text{ kJ/hr})\left[1 - (298.15/493.15)\right]$

$= 5.34 \times 10^5$ kJ/hr

$\varepsilon_{steam} = (3.25 \times 10^6 \text{ kJ/hr})\left[1 - (298.15/393.15)\right]$

$= 7.85 \times 10^5$ kJ/hr

$\therefore \sum \varepsilon_{output} = (5.34 \times 10^5 \text{ kJ/hr}) + (7.85 \times 10^5 \text{ kJ/hr})$

$= 1.32 \times 10^6$ kJ/hr

ε loss $= (0.71 \times 10^6)\left[1 - (298.15/343.15)\right]$

$= 9.31 \times 10^4$ kJ/hr

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ผลการวิเคราะห์เอ็นธัลปีและเอ็กเซอร์ยีของหม้อน้ำ (Boiler)

ตารางที่ 3.1 ผลการวิเคราะห์เอ็นธัลปีของหม้อน้ำ(Boiler)

Enthalpy Input (kJ/hr)		%	Enthalpy Output (kJ/hr)		%
1. น้ำมันเตา (fuel oil)	5.22×10^6	98.3	1. Flue gas	1.35×10^6	25.4
2. Water	8.518×10^4	1.7	2 Steam	3.25×10^6	61.2
			3 Loss	0.71×10^6	13.4
$\sum \Delta H_{input}$	5.31×10^6	100	$\sum \Delta H_{output}$	5.31×10^6	100

ดังนั้นประสิทธิภาพโดยกฎข้อที่ 1 ของเทอร์โมไดนามิกส์ของหม้อน้ำ

$= (3.25 \times 10^6)/(5.31 \times 10^6) \times 100 = 61.2\ \%$

ตารางที่ 3.2 ผลการวิเคราะห์เอ็กเซอร์ยีของหม้อน้ำ (Boiler)

Exergy Input (kJ/hr)		%	Exergy Output (kJ/hr)		%
1. น้ำมันเตา (fuel oil)	5.34×10^6	99.92	1. Flue gas	5.34×10^5	10.00
2. Water	4.59×10^3	0.08	2. Steam	7.85×10^5	14.70
			3. Loss	9.31×10^4	1.70
			4. Irreversibility	3.93×10^6	73.60
$\sum \varepsilon_{input}$	5.34×10^6	100	$\sum \varepsilon_{output}$	5.34×10^6	100

ดังนั้นประสิทธิภาพโดยกฎข้อที่ 2 ของเทอร์โมไดนามิกส์ของหม้อน้ำ

$= (7.85 \times 10^5)/(5.34 \times 10^6) \times 100 = 14.7\ \%$

การวิเคราะห์เอ็นธัลปีและเอ็กเซอร์ยีได้แสดงผลการวิเคราะห์ดังในตารางที่ 3.1 และ 3.2 จากผลการวิเคราะห์ เมื่อคำนวณหาประสิทธิภาพโดยกฎข้อที่ 1 และ 2 ของเทอร์โมไดนามิกส์พบว่าหม้อน้ำมีประสิทธิภาพเป็น 61.2 % และ 14.7 % ตามลำดับ และมีค่าพลังงานที่สูญเสียไปประมาณ 13.4 % และ 1.70 % ตามลำดับ ส่วนค่า Irreversibility มีค่าประมาณ 73.60 % นั่นคือ เมื่อทำการวิเคราะห์โดยอาศัยกฎข้อที่ 1 ของเทอร์โมไดนามิกส์พบว่าประสิทธิภาพค่อนข้างดีเมื่อพิจารณาประสิทธิภาพด้วยเอ็กเซอร์ยี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะเห็นว่ามีค่าไม่สูงดังเช่นกฎข้อที่ 1 ทั้งนี้เนื่องจากในกฎข้อที่ 2 ของเทอร์โมไดนามิกส์นั้นมีเทอมของเอ็นโทรปีเกี่ยวข้องด้วย ซึ่งค่าของเอ็นโทรปีจะบอกถึงประสิทธิผลที่แท้จริงของกระบวนการในที่นี้หมายถึงหม้อน้ำ ดังนั้นโรงงานใดที่ต้องการจะศึกษาการใช้พลังงาน ควรที่จะวิเคราะห์ทั้งเอ็นธัลปีและเอ็กเซอร์ยีควบคู่ไปด้วย

3.2.2 การวิเคราะห์เอ็นธัลปีและเอ็กเซอร์ยีของเครื่องอัดเม็ดมันสำปะหลัง(Pellet Forming Unit)

ในส่วนของการอัดมันสำปะหลังให้เป็นเม็ดนี้ เครื่องขึ้นรูปจะใช้พลังงานไฟฟ้าส่วนหนึ่งในการอัดมันเส้นที่จะถูกทำให้นุ่มด้วยปริมาณของไอน้ำจำนวนหนึ่ง กรณีที่ 1 เป็นกรณีที่ใช้ทำงานจริงของโรงงานตัวอย่าง การศึกษานี้ต้องการที่จะตรวจสอบกรณีที่มีการเปลี่ยนปริมาณของไอน้ำที่ใช้และไอน้ำที่อุณหภูมิต่างๆกัน รูปที่ 3.4 แสดงมวลของหน่วยปฏิบัติการนี้

รูปที่ 3.4 แสดงมวลขาเข้า-ออกของเครื่องอัดเม็ดมันสำปะหลัง(Pellet Forming Unit)

❖ **กรณีที่ 1 ปริมาณไอน้ำ (steam) 1100 kg/hr ที่ 90 °C**

- mass balance : $m_{steam} + m_{มันสำปะหลัง} = m_{มันสำปะหลังอัดเม็ด}$

  1100 kg/hr + 20000 kg/hr = 21100 kg/hr

- moisture balance : 1100 + (0.11)20000 = y (21100)

  y = 0.156 = 15.6 %

- การวิเคราะห์เอ็นธัลปี
  - Enthalpy Input : $\Delta H = mC_p\Delta T$

$$\Delta H_{มันสำปะหลัง} = (20000\ kg/hr)(2.3875\ kJ/kgK)(308.15 - 298.15K)$$
$$= 4.775 \times 10^5 \quad kJ/hr$$
$$\Delta H_{Steam} = (1100\ kg/hr)(2660.1\ kJ/kg)$$
$$= 2.926 \times 10^6 \quad kJ/hr$$
$$\therefore \sum \Delta H_{input} = (4.775 \times 10^5\ kJ/hr) + (2.926 \times 10^6\ kJ/hr)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$= 3.407 \times 10^{6}$ kJ/hr

- Enthalpy Output : $\Delta H = mC_p\Delta T$

$\Delta H_{\text{มันสำปะหลังอัดเม็ด}} = (21100 \text{ kg/hr})(2.3875 \text{ kJ/kgK})(343.15 - 298.15 \text{ K})$

$= 2.267 \times 10^{6}$ kJ/hr

- การวิเคราะห์เอ็กเซอร์ยี

- Exergy Input : $\varepsilon = \Delta H(1-T_0/T)$

$\varepsilon_{\text{มันสำปะหลัง}} = (4.775 \times 10^{5} \text{ kJ/hr})\left[1 - (298.15/308.15)\right]$

$= 1.528 \times 10^{4}$ kJ/hr

$\varepsilon_{Steam} = (2.926 \times 10^{6} \text{ kJ/hr})\left[1 - (298.15/363.15)\right]$

$= 5.237 \times 10^{5}$ kJ/hr

$\therefore \sum\varepsilon_{input} = (1.528 \times 10^{4} \text{ kJ/hr}) + (5.237 \times 10^{5} \text{ kJ/hr})$

$= 5.389 \times 10^{5}$ kJ/hr

- Exergy Output :

$\varepsilon_{\text{มันสำปะหลังอัดเม็ด}} = (2.267 \times 10^{6} \text{ kJ/hr})\left[1 - (298.15/343.15)\right]$

$= 2.970 \times 10^{5}$ kJ/hr

loss $= (1.137 \times 10^{6})\left[1-(298.15/323.15)\right]$

$= 8.755 \times 10^{4}$ kJ/hr

ผลการวิเคราะห์ของทั้งเอ็นธัลปีและเอ็กเซอร์ยี ได้แสดงในตารางที่ 3.3 และ 3.4 ตามลำดับ

ตารางที่ 3.3 ผลการวิเคราะห์เอ็นธัลปีของ Pellet Forming Unit ของกรณีที่ 1

Enthalpy Input (kJ/hr)		%	Enthalpy output (kJ/hr)		%
1. มันสำปะหลัง	4.775×10^{5}	14.03	1. มันสำปะหลังอัดเม็ด	2.267×10^{6}	66.60
2. steam	2.926×10^{6}	85.87	2. Loss	1.137×10^{6}	33.40
$\sum\Delta H_{input}$	3.404×10^{6}	100	$\sum\Delta H_{output}$	3.404×10^{6}	100

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ตารางที่ 3.4 ผลการวิเคราะห์เอ็กเซอร์ยีของ Pellet Forming Unit ของกรณีที่ 1

Exergy Input (kJ/hr)		%	Exergy Output (kJ/hr)		%
1. มันสำปะหลัง	1.528×10^4	2.82	1. มันสำปะหลังอัดเม็ด	2.970×10^5	55.11
2. Steam	5.237×10^5	97.18	2. Loss	8.755×10^4	16.25
			3. Irreversibility	1.544×10^5	28.64
$\sum \varepsilon_{input}$	5.389×10^5	100	$\sum \varepsilon_{output}$	5.389×10^5	100

❖ กรณีที่ 2 ปริมาณไอน้ำ (steam) 1100 kg/hr ที่ 80 °C

ใช้หลักการวิเคราะห์เช่นเดียวกับกรณีที่ 1 โดยให้สมมุติฐานว่า เอ็นธัลปีที่สูญเสียของหน่วยปฏิบัติการนี้คงที่ จากการทำสมดุลพลังงานของอุปกรณ์พบว่า อุณหภูมิของมันอัดเม็ดจะมีค่าเท่ากับ 69.6 °C มีปริมาณความชื้นคงเดิมที่ 15.6 % ผลการวิเคราะห์แสดงในตารางที่ 3.5 และ 3.6

ตารางที่ 3.5 ผลการวิเคราะห์เอ็นธัลปีของ Pellet Forming Unit ของกรณีที่ 2

Enthalpy Input (kJ/hr)		%	Enthalpy output (kJ/hr)		%
มันสำปะหลัง	4.775×10^5	14.11	มันอัดเม็ด	2.248×10^6	66.41
steam	2.908×10^6	85.91	loss	1.137×10^6	33.59
$\sum \Delta H_{input}$	3.385×10^6	100	$\sum \Delta H_{output}$	3.385×10^6	100

ตารางที่ 3.6 ผลการวิเคราะห์เอ็กเซอร์ยีของ Pellet Forming Unit ของกรณีที่ 2

Exergy Input (kJ/hr)		%	Exergy Output (kJ/hr)		%
1. มันสำปะหลัง	1.528×10^4	3.26	มันอัดเม็ด	2.922×10^5	62.32
2. Steam	4.536×10^5	96.74	loss	8.755×10^4	18.67
			Irreversibility	8.915×10^4	19.01
$\sum \varepsilon_{input}$	4.689×10^5	100	$\sum \varepsilon_{output}$	4.689×10^5	100

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
87028

❖ **กรณีที่ 3 ปริมาณไอน้ำ (steam) 1100 kg/hr ที่ 100° C**

ใช้หลักการวิเคราะห์เช่นเดียวกับกรณีที่ 1 โดยให้สมมุติฐานว่า เอ็นธัลปีที่สูญเสียของหน่วยปฏิบัติการนี้คงที่ จากการทำสมดุลพลังงานของอุปกรณ์พบว่า อุณหภูมิของมันอัดเม็ดจะมีค่าเท่ากับ 70.3 °C มีปริมาณความชื้นคงเดิมที่ 15.6 % ผลการวิเคราะห์แสดงในตารางที่ 3.7 และ 3.8

ตารางที่ 3.7 ผลการวิเคราะห์เอ็นธัลปีของ Pellet Forming Unit ของกรณีที่ 3

Enthalpy Input (kJ/hr)		%	Enthalpy output (kJ/hr)		%
มันสำปะหลัง	4.775×10^5	13.95	มันสำปะหลังอัดเม็ด	2.285×10^6	66.77
steam	2.944×10^6	86.05	Loss	1.137×10^6	33.23
$\sum \Delta H_{input}$	3.422×10^6	100	$\sum \Delta H_{output}$	3.422×10^6	100

ตารางที่ 3.8 ผลการวิเคราะห์เอ็กเซอร์ยีของ Pellet Forming Unit ของกรณีที่ 3

Exergy Input (kJ/hr)		%	Exergy Output (kJ/hr)		%
มันสำปะหลัง	1.528×10^4	2.54	มันสำปะหลังอัดเม็ด	2.970×10^5	49.16
Steam	5.888×10^5	97.46	Loss	8.755×10^4	14.49
			Irreversibility	2.196×10^5	36.35
$\sum \varepsilon_{input}$	6.041×10^5	100	$\sum \varepsilon_{output}$	6.041×10^5	100

❖ **กรณีที่ 4 ปริมาณไอน้ำ (steam) 1000 kg/hr ที่ 90 °C**

ใช้หลักการวิเคราะห์เช่นเดียวกับกรณีที่ 1 โดยให้สมมุติฐานว่า เอ็นธัลปีที่สูญเสียของหน่วยปฏิบัติการนี้คงที่ จากการทำสมดุลพลังงานของอุปกรณ์พบว่า อุณหภูมิของมันอัดเม็ดจะมีค่าเท่ากับ 65 °C มีปริมาณความชื้นเป็น 15.2 % ผลการวิเคราะห์แสดงในตารางที่ 3.9 และ 3.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.9 ผลการวิเคราะห์เอ็นธัลปีของ Pellet Forming Unit ของกรณีที่ 4

Enthalpy Input (kJ/hr)		%	Enthalpy output (kJ/hr)		%
มันสำปะหลัง	4.775×10^3	15.23	มันสำปะหลังอัดเม็ด	2.001×10^6	63.37
steam	2.660×10^6	84.77	Loss	1.137×10^6	36.63
$\sum \Delta H_{input}$	3.138×10^6	100	$\sum \Delta H_{output}$	3.138×10^6	100

ตารางที่ 3.10 ผลการวิเคราะห์เอ็กเซอร์ยีของ Pellet Forming Unit ของกรณีที่ 4

Exergy Input (kJ/hr)		%	Exergy Output (kJ/hr)		%
มันสำปะหลัง	1.528×10^4	3.09	มันสำปะหลังอัดเม็ด	2.361×10^5	47.78
Steam	4.788×10^5	96.90	Loss	8.755×10^4	17.72
			Irreversibility	1.705×10^5	34.50
$\sum \varepsilon_{input}$	4.941×10^5	100	$\sum \varepsilon_{output}$	4.941×10^5	100

❖ **กรณีที่ 5 ปริมาณไอน้ำ (steam) 900 kg/hr ที่ 90 °C**

ใช้หลักการวิเคราะห์เช่นเดียวกับกรณีที่ 1 โดยให้สมมุติฐานว่า เอ็นธัลปีที่สูญเสียของหน่วยปฏิบัติการนี้คงที่ จากการทำสมดุลพลังงานของอุปกรณ์พบว่า อุณหภูมิของมันอัดเม็ดจะมีค่าเท่ากับ 59 °C มีปริมาณความชื้นเป็น 14.8 % ผลการวิเคราะห์แสดงในตารางที่ 3.11 และ 3.12

ตารางที่ 3.11 ผลการวิเคราะห์เอ็นธัลปีของ Pellet Forming Unit ของกรณีที่ 5

Enthalpy Input (kJ/hr)		%	Enthalpy output (kJ/hr)		%
มันสำปะหลัง	4.775×10^3	16.63	มันสำปะหลังอัดเม็ด	1.735×10^6	60.41
steam	2.394×10^6	83.37	Loss	1.137×10^6	39.59
$\sum \Delta H_{input}$	2.872×10^6	100	$\sum \Delta H_{output}$	2.872×10^6	100

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.12 ผลการวิเคราะห์เอ็กเซอร์ยีของ Pellet Forming Unit ของกรณีที่ 5

Exergy Input (kJ/hr)		%	Exergy Output (kJ/hr)		%
มันสำปะหลัง	1.528×10^4	3.55	มันสำปะหลังอัดเม็ด	1.770×10^5	39.67
Steam	4.309×10^5	96.57	Loss	8.755×10^4	19.62
			Irreversibility	1.816×10^5	40.71
$\sum \varepsilon_{input}$	4.462×10^5	100	$\sum \varepsilon_{output}$	4.462×10^5	100

- **ผลการวิเคราะห์เอ็นธัลปีและเอ็กเซอร์ยีของเครื่องอัดเม็ดมันสำปะหลัง (Pellet Forming Unit) ที่ใช้ปริมาณไอน้ำและอุณหภูมิที่ต่างๆกัน**

ตารางที่ 3.13 เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์เอ็นธัลปีและเอ็กเซอร์ยีของเครื่องอัดเม็ดมันสำปะหลัง (Pellet Forming Unit) ของกรณีที่ 1-5

กรณีศึกษา	ความชื้นมันอัดเม็ด (%)	อุณหภูมิมันอัดเม็ด ($^{\circ}C$)	ประสิทธิภาพโดยกฎข้อที่1 (%)	ประสิทธิภาพโดยกฎข้อที่2 (%)
กรณีที่ 1, ไอน้ำ 1100 kg/hr ที่ 90 $^{\circ}C$	15.6	70	66.60	55.11
กรณีที่ 2, ไอน้ำ 1100 kg/hr ที่ 80 $^{\circ}C$	15.6	69.6	66.41	62.32
กรณีที่ 3, ไอน้ำ 1100 kg/hr ที่ 100 $^{\circ}C$	15.6	70.3	66.77	49.16
กรณีที่ 4, ไอน้ำ 1000 kg/hr ที่ 90 $^{\circ}C$	15.2	65	63.37	47.78
กรณีที่ 5, ไอน้ำ 900 kg/hr ที่ 90 $^{\circ}C$	14.8	59	60.41	39.67

จากตารางที่ 3.13 พบว่า กรณีที่ 1, 2 และ 3 ใช้ไอน้ำในปริมาณที่เท่ากันแต่อุณหภูมิแตกต่างกัน ที่กรณีที่ 2 เป็นกรณีที่น่าจะเลือกเนื่องจากประสิทธิภาพโดยกฎข้อที่ 1 และข้อที่ 2 ของเทอร์โมไดนามิกส์มีค่าใกล้เคียงกัน นั่นคือ 66.41 % และ 62.32 % ตามลำดับ ความชื้นของมันอัดเม็ดไม่แตกต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และอุณหภูมิของมันอัดเม็ดไม่แตกต่างกันมากนัก ส่วนกรณีที่ 1, 4 และ 5 นั้น ใช้ไอน้ำที่อุณหภูมิที่เท่ากัน (90 ^{o}C) แต่ปริมาณของการใช้ไอน้ำต่างกัน พบว่าแต่ละกรณีค่าของประสิทธิภาพของกฎข้อที่ 1 และ 2 สัมพันธ์ทำนองเดียวกัน แต่อุณหภูมิของผลิตภัณฑ์ค่อนข้างแตกต่างกันพอสมควร ดังนั้นสรุปได้ว่าตัวแปรที่สำคัญของการปฏิบัติการของเครื่องอัดเม็ดนี้ได้แก่อุณหภูมิของไอน้ำที่ใช้

3.2.3 การวิเคราะห์เอ็นธัลปีและเอ็กเซอร์ยีของเครื่องอบแห้ง (Air Dryer)

อุปกรณ์เครื่องอบแห้งนี้ ใช้อากาศที่อุณหภูมิห้องเป็นตัวกลางของการลดอุณหภูมิและความชื้นของมันอัดเม็ด มันอัดเม็ดที่ได้การขั้นตอนของการขึ้นรูป (Pellet forming unit) จะถูกส่งมาที่เครื่องอบแห้งนี้โดยที่มันอัดเม็ดจะอยู่บนสายพาน มีความชื้นก่อนเข้าอุปกรณ์ที่ ประมาณ 16 % และเมื่อผ่านอุปกรณ์แล้วความชื้นลดลงเป็นประมาณ 14 % ปริมาณของอากาศที่ใช้หาได้โดยการทำสมดุลมวล รูปที่ 3.4 แสดงมวลของอุปกรณ์เครื่องอบแห้ง

รูปที่ 3.5 แสดงมวลขาเข้า-ออกของเครื่องอบแห้ง (Air Dryer)

- การวิเคราะห์เอ็นธัลปีของเครื่องอบแห้ง (Air Dryer)
  - Enthalpy Input : $\Delta H = mC_p\Delta T$

$$\Delta H_{air} = (27699.02\ kg/hr)(1.01304\ kJ/kgK)(307.15-298.15K)$$
$$= 2.53 \times 10^{5}\ kJ/hr$$
$$\Delta H_{\text{มันสำปะหลังอัดเม็ด}} = (21100\ kg/hr)(2.3875\ kJ/kgK)(343.15-298.15K)$$
$$= 2.27 \times 10^{6}\ kJ/hr$$
$$\therefore \sum \Delta H_{input} = (2.53 \times 10^{5}\ kJ/hr)+(2.27 \times 10^{6}\ kJ/hr)$$
$$= 2.52 \times 10^{6}\ kJ/hr$$

  - Enthalpy Output :

$$\Delta H_{air} = (27699.02\ kg/hr)(1.016\ kJ/kgK)(316.15-298.15K)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$= 5.07 \times 10^5$ kJ/hr

$\Delta H_{\text{มันสำปะหลังอัดเม็ด}} = (20609.3 \text{ kg/hr})(2.3875 \text{ kJ/kgK})(315.15\text{-}298.15\text{K})$

$= 8.36 \times 10^5$ kJ/hr

$\Delta H_{\text{ไอระเหย}} = (490.7 \text{ kg/hr})(2399.54 \text{ kJ/kg})$

$= 1.18 \times 10^6$ kJ/hr

$\therefore \sum \Delta H_{output} = (5.07 \times 10^5 \text{ kJ/hr}) + (8.36 \times 10^5 \text{ kJ/hr}) + (1.18 \times 10^6 \text{ kJ/hr})$

$= 2.52 \times 10^6$ kJ/hr

- การวิเคราะห์เอ็กเซอร์ยีของเครื่องอบแห้ง (Air Dryer)
  - Exergy Input :

$\varepsilon_{Air} = (2.53 \times 10^5 \text{ kJ/hr})\left[1\text{-}(298.15/307.15)\right]$

$= 7.41 \times 10^3$ kJ/hr

$\varepsilon_{\text{มันสำปะหลังอัดเม็ด}} = (2.27 \times 10^6 \text{ kJ/hr})\left[1\text{-}(298.15/343.15)\right]$

$= 2.98 \times 10^5$ kJ/hr

$\therefore \sum \varepsilon_{input} = (7.41 \times 10^3 \text{ kJ/hr}) + (2.98 \times 10^5 \text{ kJ/hr})$

$= 3.05 \times 10^5$ kJ/hr

  - Exergy Output : $\varepsilon = \Delta H(1\text{-}T_0/T)$

$\varepsilon_{Air} = (5.07 \times 10^5 \text{ kJ/hr})\left[1\text{-}(298.15/316.15)\right]$

$= 2.89 \times 10^4$ kJ/hr

$\varepsilon_{\text{มันสำปะหลังอัดเม็ด}} = (8.36 \times 10^5 \text{ kJ/hr})\left[1\text{-}(298.15/315.15)\right]$

$= 4.51 \times 10^4$ kJ/hr

$\varepsilon_{evaporated\ water} = (1.18 \times 10^6 \text{ kJ/hr})\left[1\text{-}(298.15/316.15)\right]$

$= 6.72 \times 10^4$ kJ/hr

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ผลการวิเคราะห์เอ็นธัลปีและเอ็กเซอร์ยีของเครื่องอบแห้ง(Air Dryer)

ตารางที่ 3.14 ผลการวิเคราะห์เอ็นธัลปีของเครื่องอบแห้ง (Air Dryer)

Enthalpy Input (kJ/hr)		%	Enthalpy Output (kJ/hr)		%
1. Air	2.53×10^5	10.0	1. Air	5.07×10^5	20.12
2. มันสำปะหลังอัดเม็ด	2.27×10^6	90.0	2. มันสำปะหลังอัดเม็ด	8.36×10^5	33.17
			3. Evaporated water	1.18×10^6	46.71
$\sum \Delta H_{input}$	2.52×10^6	100	$\sum \Delta H_{output}$	2.52×10^6	100

ดังนั้นประสิทธิภาพโดยกฎข้อที่ 1 ของเทอร์โมไดนามิกส์ของเครื่องอบแห้ง

$= (8.36 \times 10^5)/(2.52 \times 10^6) \times 100 = 33.17\ \%$

ตารางที่ 3.15 ผลการวิเคราะห์เอ็กเซอร์ยีของเครื่องอบแห้ง (Air Dryer)

Exergy Input (kJ/hr)		%	Exergy Output (kJ/hr)		%
1. Air	7.41×10^3	2.43	1. Air	2.89×10^4	9.46
2. มันสำปะหลังอัดเม็ด	2.98×10^5	97.57	2. มันสำปะหลังอัดเม็ด	4.51×10^4	14.78
			3. Evaporated water	6.72×10^4	22.03
			4. Irreversibility	1.64×10^5	53.73
$\sum \varepsilon_{input}$	3.05×10^5	100	$\sum \varepsilon_{output}$	3.05×10^5	100

ดังนั้นประสิทธิภาพโดยกฎข้อที่ 2 ของเทอร์โมไดนามิกส์ของเครื่องอบแห้ง

$= (4.51 \times 10^4)/(3.05 \times 10^5) \times 100 = 14.78\ \%$

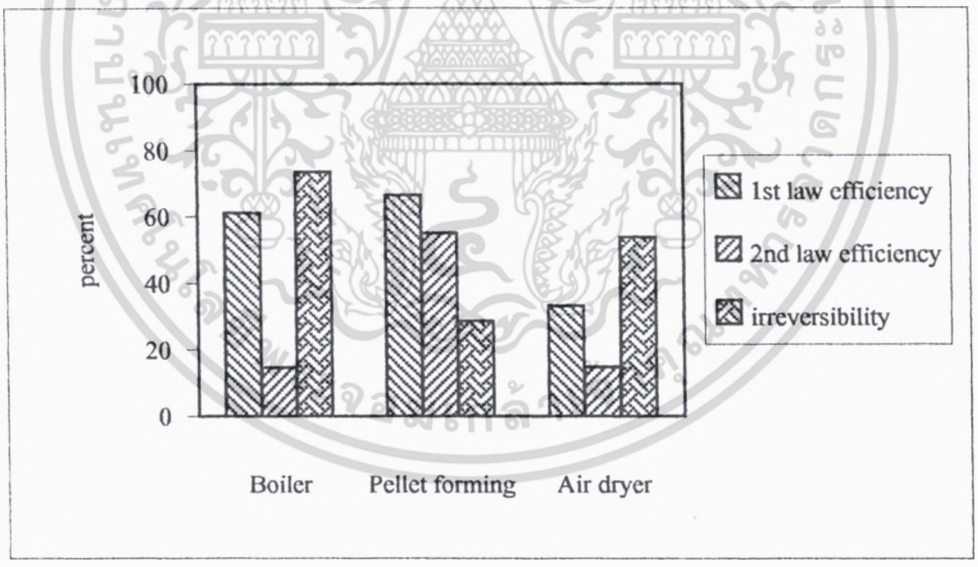
จากผลการวิเคราะห์เอ็นธัลปีและเอ็กเซอร์ยีของเครื่องอบแห้ง (Air Dryer) พบว่าอุปกรณ์มีการใช้พลังงานค่อนข้างมีประสิทธิภาพเนื่องจากอากาศที่ใช้ไม่จำเป็นที่ต้องมีอุณหภูมิสูงก็สามารถลดอุณหภูมิและความชื้นของมันอัดเม็ดได้ อย่างไรก็ตามโรงงานก็ได้ทำการลดความชื้นของมัดอัดเม็ดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ได้อีกเล็กน้อยโดยปล่อยให้ผ่านอุปกรณ์ที่มีความสูงประมาณ 6 เมตรที่เรียกว่า Free fall dryer ให้มันอัดเม็ดตกลงมาด้วยน้ำหนักของวัสดุเองและให้สัมผัสกับอากาศที่อุณหภูมิห้อง

3.3 สรุปผลการวิเคราะห์เอ็นธัลปีและเอ็กเซอร์ยีของกระบวนการผลิตมันสำปะหลัง

จากข้อมูลการวิเคราะห์ของแต่ละอุปกรณ์ในกระบวนการผลิตของโรงงานมันสำปะหลังอัดเม็ด พบว่า อุปกรณ์ที่ควรจะทำการปรับปรุงได้แก่ หม้อไอน้ำ (Boiler) เครื่องอบแห้ง (Air dryer) และ เครื่องอัดเม็ด (Pellet forming unit) ตามลำดับ โดยที่พิจารณาจากผลการวิเคราะห์ที่แสดงในรูปที่ 3.6 จะเห็นว่าค่าเปอร์เซนต์ของ irreversibility ของหม้อน้ำมีค่าสูง รองลงมาเป็นเครื่องอบแห้งด้วยอากาศ ส่วนเครื่องอัดเม็ดนั้นค่า irreversibility จะมีค่าน้อยซึ่งแสดงให้เห็นว่าอุปกรณ์นี้มีการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิผล สำหรับข้อเสนอแนะจะกล่าวในบทที่ 4 ต่อไป



รูปที่ 3.6 แสดงผลการวิเคราะห์ของอุปกรณ์หลักของกระบวนการผลิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

สรุปและข้อเสนอแนะแนวทางการประหยัดพลังงานของโรงงาน

จากการวิเคราะห์การใช้พลังงานของกระบวนการผลิตมันสำปะหลังอัดเม็ดที่กล่าวไว้ในบทที่ 3 ในแต่ละส่วนของกระบวนการผลิตมีการสูญเสียพลังงานด้วยกันทั้งสิ้นซึ่งทำให้เห็นแนวทางและวิธีการแก้ไข รวมทั้งการเลือกใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆที่เหมาะสมแก่กระบวนการผลิตในโรงงาน โดยให้มีประสิทธิภาพสูงสุดและมีการสูญเสียพลังงานน้อยที่สุดซึ่งรวมไปถึงการประหยัดต้นทุนการผลิตด้วย ข้อเสนอแนะแนวทางการประหยัดพลังงานของกระบวนการผลิตมันสำปะหลังอัดเม็ดนี้ มีข้อเสนอดังต่อไปนี้

4.1 อุปกรณ์หม้อไอน้ำ (Boiler)

สำหรับแนวทางของการปรับปรุงของอุปกรณ์หม้อไอน้ำ นี้มีข้อเสนอแนะรวมได้ดังนี้

- **การดูแลเบื้องต้น (Housekeeping Improvement)**

หมายถึงการดูแลรักษาให้อุปกรณ์อยู่ในสภาพดี ซึ่งเป็นวิธีการที่ไม่ต้องลงทุนและทำให้การใช้งานเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพและประหยัด การดูแลทำได้ดังนี้

- ตรวจดูความสะอาดของน้ำมัน และไส้กรองน้ำมันเตา
- ตรวจสอบอุณหภูมิน้ำมันเตาที่จะใช้ในเตาเผาที่จะใช้ในเตาเผาต้องมีการอุ่นให้มีอุณหภูมิประมาณ 80-100 °C
- รักษาความดันของน้ำมันกับความดันอากาศให้ถูกต้องตามชนิดหัวเผา
- ตรวจเครื่องมือวัดที่ใช้ในการปรับปรุงประสิทธิภาพของกระบวนการผลิตได้แก่เครื่องวัดก๊าซไอเสีย (Combustion Analyzer)
- ควรตรวจดูหัวเผาว่าชำรุดหรือไม่
- ตรวจสอบฉนวนเตา และฉนวนหม้อไอน้ำให้อยู่ในสภาพสมบูรณ์
- ปล่อยน้ำร้อนทิ้งเท่าที่จำเป็น
- ตรวจดูอุปกรณ์ปรับสภาพน้ำป้อนให้บริสุทธิ์ตามที่เกณฑ์กำหนด
- ตรวจดูเขม่าด้านท่อไฟ
- หมั่นตรวจดูระบบท่อจ่ายไอน้ำว่ามีการรั่วไหลของไอน้ำ หรือสภาพฉนวนหุ้มท่อชำรุดหรือไม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

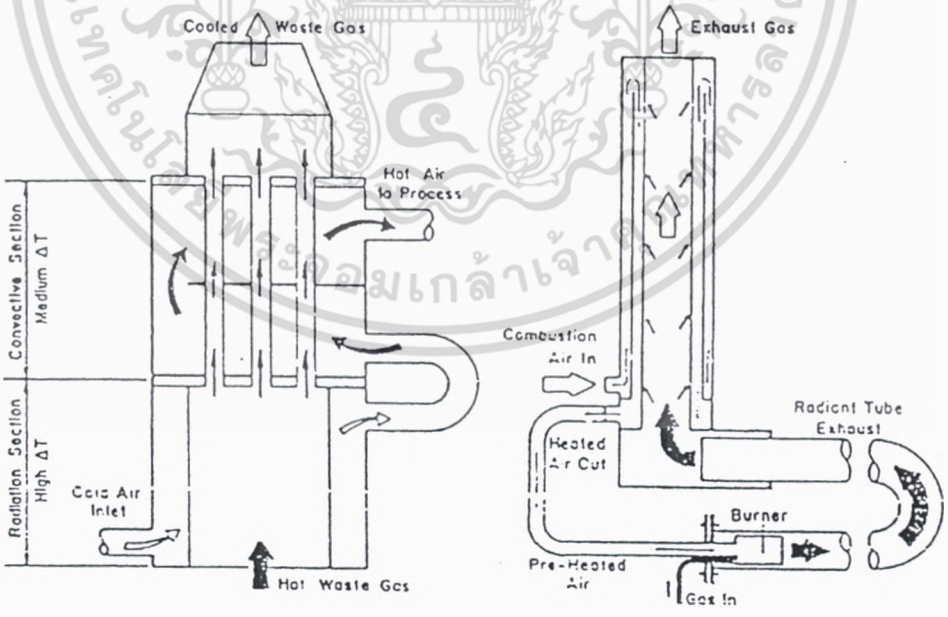
- ใช้ความดันไอน้ำให้เหมาะสมกับภาระงาน
- ตรวจกับดักไอน้ำว่าทำงานเป็นปกติหรือไม่

- **การนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้ใหม่ (Waste Heat Recovery)**

วิธีการประหยัดพลังงานวิธีนี้ ต้องลงทุนสูง ต้องวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ให้แน่ใจก่อนจะดำเนินการวิธีนี้ต้องแน่ใจว่าได้ดำเนินการประหยัดพลังงานในสองขั้นตอนแรกแล้ว กล่าวคือ การดูแลเบื้องต้นและการปรับปรุงประสิทธิภาพของกระบวนการผลิต เพราะปริมาณความร้อนที่เหลือทิ้งหลังจากได้ดำเนินการประหยัดพลังงานในสองขั้นตอนแรกแล้วอาจจะเหลือน้อยลงจนไม่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ให้คุ้มค่ากับการลงทุน การประหยัดพลังงานโดยวิธีนี้จะประหยัดพลังงานได้ประมาณ 30% ของพลังงานสูญเสียที่คิดว่าจะประหยัดได้ทั้งหมด และวิธีการเก็บคืนความร้อนทิ้งในหม้อไอน้ำและระบบไอน้ำในหม้อไอน้ำมีอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เก็บความร้อนทิ้งและนำมาใช้ใหม่ดังนี้

- **เครื่องอุ่นอากาศ (*Air Preheater*)**

เป็นอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่ติดตั้งเพิ่มเติมจากท่อก๊าซไอเสียของหม้อไอน้ำ ซึ่งจะใช้พลังงานของก๊าซไอเสียมาอุ่นอากาศก่อนเข้าในห้องเผาไหม้ของหม้อไอน้ำ



รูปที่ 4.1 เครื่องอุ่นอากาศแบบ Recuperative

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- **เครื่องอุ่นน้ำป้อนหรือเครื่องประหยัดพลังงาน (Economizer)**

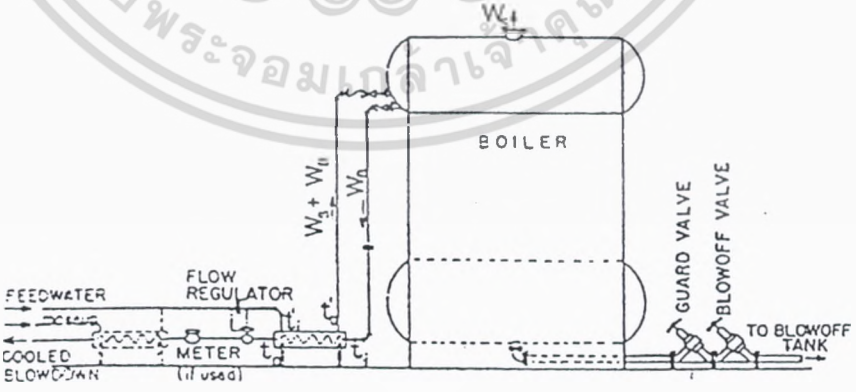
อุปกรณ์นี้เป็นเครื่องถ่ายเทความร้อนจากก๊าซไอเสียร้อนก่อนจะทิ้งปล่อง นำมาอุ่นน้ำป้อนให้มีอุณหภูมิสูงขึ้นจนถึงจุดใกล้จุดเดือดของน้ำที่ความดันใช้งาน การอุ่นน้ำป้อนช่วยให้หม้อไอน้ำสามารถผลิตไอน้ำได้รวดเร็วขึ้น และประหยัดต้นทุนการจัดหาหม้อไอน้ำในอนาคต เครื่องอุ่นน้ำป้อนช่วยประหยัดเชื้อเพลิง 2.5% ทุกๆช่วง 55.5 °C หรือ 100 °F ของอุณหภูมิที่ก๊าซไอเสียลดต่ำลง

- **การนำคอนเดนเสทกลับมาใช้ (Condensate Return)**

การนำเอาคอนเดนเสทกลับมาใช้ประโยชน์โดยนำมาผสมกับน้ำป้อนหม้อไอน้ำ (Feed water) จะทำให้น้ำป้อนมีอุณหภูมิสูงขึ้น ในสถานที่ใช้หม้อไอน้ำบางแห่ง อาจพบว่าน้ำป้อนหม้อไอน้ำมีอุณหภูมิต่ำเกินไปเนื่องมาจากปริมาณคอนเดนเสทนำกลับมาใช้น้อยเกินไป หรือท่อน้ำคอนเดนเสทไม่ได้หุ้มฉนวน หรือมีความร้อนสูญเสียที่ถังน้ำป้อน (Feed tank) ซึ่งขั้นตอนนี้ทางโรงงานได้ดำเนินการโดย ส่วนคอนเดนเสทที่นำกลับมาใช้นี้โดยประมาณ 2 % ของปริมาณไอน้ำที่ผลิตได้

- **การเก็บความร้อนคืนจากการปล่อยน้ำร้อนทิ้ง (Blow-down Heat Recovery)**

เป็นการถ่ายเทความร้อนจากน้ำร้อนทิ้งมาให้ความร้อนแก่น้ำป้อนเข้าหม้อไอน้ำก่อนที่น้ำป้อนจะไหลเข้าเครื่องอุ่นน้ำป้อน วิธีการนี้จะประหยัดเชื้อเพลิงได้ประมาณ 1-3 % ขึ้นอยู่กับปริมาณการปล่อยน้ำร้อนทิ้งและความดันใช้งานของหม้อไอน้ำ



รูปที่ 4.2 ระบบเก็บความร้อนคืนจากการปล่อยน้ำร้อนทิ้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- **การเก็บความร้อนคืนจากแฟลชสตีมมาใช้**

เมื่อคอนเดนเสทที่มีความดันสูงถูกปล่อยออกสู่บรรยากาศหรือปล่อยไปสู่อุปกรณ์ที่มีความดันต่ำลง ส่วนหนึ่งของคอนเดนเสทจะระเหยกลายเป็นไออีกครั้งหนึ่ง เราเรียกไอน้ำนี้ว่า แฟลชสตีม (Flash Steam) ซึ่งความร้อนที่ติดไปกับไอน้ำปริมาณนี้สามารถนำกลับมาใช้งานอีกคือ นำไปเป็นความร้อนของกระบวนการที่มีระดับความดันต่ำ

- **การใช้ถังสะสมไอน้ำ (Steam Accumulator)**

ถังสะสมไอน้ำหรือหม้อเก็บไอน้ำมีหน้าที่เก็บพลังงานความร้อนจากไอน้ำที่เหลือใช้ในช่วงที่ระบบใช้ไอน้ำน้อยกว่าไอน้ำที่ผลิตได้จากหม้อไอน้ำ การสะสมความร้อนนี้จะอยู่ในรูปน้ำร้อนความดันสูงเมื่อระบบไอน้ำต้องการไอน้ำมากขึ้น ถ้าหม้อไอน้ำจ่ายไอน้ำให้แก่ระบบไม่ทันต่อความต้องการจะทำให้ความดันต่ำลง น้ำร้อนในหม้อเก็บไอน้ำจะระเหยขึ้นไปเป็นแฟลชสตีมจ่ายให้แก่ระบบทำให้ระบบมีความดันสม่ำเสมอ การใช้ถังสะสมไอน้ำนี้นิยมใช้กับระบบที่มีภาระงาน (load) แบบไม่สม่ำเสมอ เกิดขึ้นในช่วงเวลาสั้น ๆ มักพบในโรงงานอุตสาหกรรมเป็นส่วนใหญ่

4.2 อุปกรณ์มันอัดเม็ด (Pellet forming unit)

ในอุปกรณ์มันอัดเม็ดนี้ ข้อเสนอแนะคือควรจะใช้ไอน้ำที่อุณหภูมิที่ไม่สูงมากประมาณ 80 - 90 ^{o}C จากผลการวิเคราะห์พบว่า ถ้าใช้ไอน้ำที่อุณหภูมิสูง ความสัมพันธ์ของประสิทธิภาพโดยกฎข้อที่ 1 และข้อที่ 2 ของเทอร์โมไดนามิกส์นั้นยิ่งไม่ดี นั่นคือ ค่าของประสิทธิภาพโดยกฎข้อที่ 1 สูงแต่ค่าประสิทธิภาพโดยกฎข้อที่ 2 กลับมีค่าต่ำ และเนื่องจากอุปกรณ์นี้ใช้ไอน้ำโดยตรงจึงไม่จำเป็นที่จะต้องใช้ไอน้ำที่ความดันสูงหรือที่อุณหภูมิสูง นั่นคืออุปกรณ์หม้อน้ำก็ใช้ได้ประสิทธิภาพดีขึ้นและอายุการใช้งานก็จะนานขึ้น

4.3 อุปกรณ์อบแห้งด้วยลม (Air Dryer)

ที่อุปกรณ์นี้สามารถลดอุณหภูมิจากประมาณ 70 ^{o}C เป็น 42 ^{o}C และความชื้นของมันอัดเม็ดได้ประมาณ 15.6 % เป็น 14 % ตามลำดับ โดยการใช้อากาศที่อุณหภูมิห้องประมาณ 34 ^{o}C แต่ถ้าโรงงานผลิตในช่วงที่อากาศมีความชื้นสูง การลดความชื้นของมันอัดเม็ดให้มีค่าประมาณ 13 – 14 % นั้นอาจจะทำได้ยากขึ้น ดังนั้น ถ้าทางโรงงานมองหาช่องทางในการปรับปรุงอากาศที่จะใช้ให้แห้งและมีอุณหภูมิสูงขึ้นเล็กน้อย เช่นเพิ่มอุณหภูมิของอากาศเป็น 37 ^{o}C ประสิทธิภาพของเครื่องอบแห้งนี้ก็จะปรับปรุงให้ดีขึ้นได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนที่อุปกรณ์ อบแห้งแบบ free fall นั้น ถ้าต้องการให้เวลาของมันอัดเม็ดสัมผัสกับอากาศให้นานขึ้น เพื่อลดความชื้นให้มากขึ้น อุปกรณ์จำเป็นที่จะต้องมีขนาดที่ยาวหรือสูงกว่าที่ใช้ในปัจจุบัน แต่นั่นหมายถึงทางโรงงานจะต้องเพิ่มค่าใช้จ่ายด้านการติดตั้งอุปกรณ์มากขึ้น ดังนั้นจึงไม่น่าที่จะเป็นทางเลือกที่น่าสนใจ

ในส่วนของโกดังเก็บผลิตภัณฑ์ก็จำเป็นที่ควรจะมีการควบคุมชื้นของอากาศในโรงงานด้วยเพื่อเป็นการควบคุมถึงความชื้นของมันอัดเม็ดด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

การสร้างโปรแกรมจากโปรแกรม Excel เพื่อวิเคราะห์เอ็นธัลปีและเอ็กเซอร์ยี

การสร้างโปรแกรมย่อยจากโปรแกรมสำเร็จรูป Excel ทำขึ้นเพื่อการนำไปใช้ช่วยในคำนวณหาพลังงานเอ็นธัลปีและเอ็กเซอร์ยีได้สะดวกยิ่งขึ้น ซึ่งสามารถนำไปใช้ในโรงงานอื่นๆที่มีกระบวนการผลิตคล้ายคลึงกัน โดยอันดับแรกในการสร้างต้องทราบสูตรการคำนวณที่ใช้และค่าต่างๆที่จะแทนในสูตร แล้วจึงนำมาเขียนลงในโปรแกรม Excel

ตัวอย่างการใช้โปรแกรมคำนวณเอ็นธัลปีและเอ็กเซอร์ยีของหม้อไอน้ำ

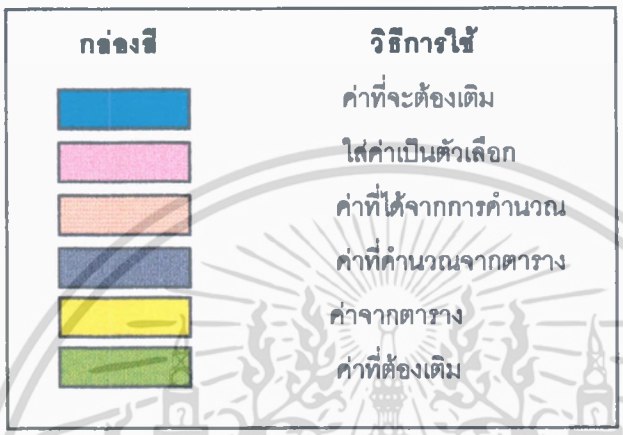
1. ดูเกรดของน้ำมันเตาที่ใช้ในตาราง เลือกเกรดน้ำมันเตาใส่ลงในช่องสีชมพู ดังในหน้าที่ 32
2. ใส่ค่าอุณหภูมิและปริมาณต่างๆลงในช่องสีเขียวดังในหน้าที่ 32
3. จากนั้นผลที่ได้จากการคำนวณจะแสดงไว้ในหน้าที่ 33
4. ใส่ค่าอัตราส่วนโดยมวลขององค์ประกอบในน้ำมันเตาดังในหน้าที่ 34
5. ใส่ค่า Cp ของน้ำที่ใช้ในหม้อน้ำ และของไอเสียและอากาศร้อนในช่องสีเขียวเข้มและที่สีเขียวอ่อนให้ใส่ช่วงอุณหภูมิซึ่งดูได้จากในตารางสีเหลืองดังในหน้าที่ 35
6. ทำเช่นเดียวกับข้อ 5 โดยใส่ลงในช่องสีเขียวอ่อนและสีเขียวเข้มด้วยค่าความร้อนแฝงต่างๆ ดังในหน้าที่ 36

ส่วนการใช้โปรแกรมของเครื่องอบแห้งและเครื่องอัดเม็ดทำได้ทำนองเดียวกันกับของหม้อไอน้ำ โดยการเติมค่าต่างๆที่ต้องทราบลงในช่องสีเขียวให้ครบจากนั้นโปรแกรมจะทำการคำนวณให้ซึ่งจะได้ผลดังตารางที่แสดงไว้ในหน้าที่ 37-44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวิเคราะห์เอ็นธัลปีและเอ็กเซอร์ยีด้วยโปรแกรม

ความหมายและการใช้งาน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าน้ำมันเตา	LHV	ความถ่วงจำเพาะ
น้ำมันเตา grade1	10,184	0.815
น้ำมันเตา grade2	10,711	0.865
น้ำมันเตา grade4	10,580	0.934
น้ำมันเตา grade5	10,390	0.940
น้ำมันเตา grade6	10,340	0.972

5 ← ดูจากตารางค่าน้ำมันแล้วเลือกเกรดน้ำมัน 1,2,4,5,6

ข้อมูล	ปริมาณ	อุณหภูมิ(oC)	อุณหภูมิ (K)	
อากาศมาตรฐาน	N	25	298.15	N
น้ำมันเตาที่ใช้(l/hr)	180	25	298.15	N
ไอเสียและอากาศร้อน(kg)	10,417.3146	220	493.15	1.0287
น้ำที่ใช้ (kg/hr)	2,000	80	353.15	4.1978
ไอน้ำที่ออก(kg/hr)	2,000	120	393.15	N
LHV (grade)	10,390			

เทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ค่า enthapy

H_{input} (oil)	7,824,916.80
H_{input} (water)	461,752.50
sum H_{input}	8,286,669.30

H_{output} (oil)	2,089,758.09
H_{output} (water)	5,412,600.00
sum H_{output}	7,502,358.09

input	value	%	output	value	%
oil	7,824,916.80	94.43	flue gas	2,089,758.09	25.22
water	461,752.50	5.57	steam	5,412,600.00	65.32
			loss	784,311.21	9.46
total	8,286,669.30	100	total	8,286,669.30	100

exergyขององค์ประกอบ

exergyน้ำมันเตาปริมาณ180kg	10,634.84
จะได้	44,496.16

ค่า exergy

E_{input} (oil)	8,009,308.66
E_{input} (water)	71,913.88
sum E_{output}	8,081,222.55

E_{output} (oil)	826,326.33
E_{output} (water)	1,307,890.12
sum E_{output}	2,134,216.45

สรุป

input	value	%	output	value	%
oil	8,009,308.66	99.11	flue gas	826,326.33	10.23
water	71,913.88	0.89	steam	1,307,890.12	16.18
			loss	102,852.99	1.27
			Irreversibility	5,844,153.11	72.32
total	8,081,222.55	100	total	8,081,222.55	100

องค์ประกอบ	อัตราส่วนโดยมวล%	อัตราส่วนโดยมวล	Air/Carbon
คาร์บอน (C)	85	0.85	0
ไฮโดรเจน (H_2)	12	0.12	0.1412
ซัลเฟอร์ (S)	3	0.03	0.0353
ออกซิเจน (O_2)	0	0	0

จำนวนออกซิเจนที่ใช้ในการเผาไหม้(kg-o_2/kgน้ำมันเตา)=	3.2570
จำนวนอากาศพอดีในการเผาไหม้(kg-o_2/kg-น้ำมันเตา)=	14.1607
ออกซิเจน ในอากาศมีมวล23% ดังนั้นอาศมีการเผาไหม้พอดี(kg-อากาศ)=	61.5681
180kg ของน้ำมันเตาใช้อากาศ(kg-อากาศ)=	10,417.3146

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

c_p (kJ/kg.K)

Substance	Temp. at 1 atm	c_p(kJ/kg.K)
water	273	4.217
***	280	4.198
	290	4.186
	300	4.179
	320	4.180
	340	4.188
	360	4.203
***	373	4.218

water in

T(K)	cp(kJ/kg.K)
340	4.1880
*** 353	4.1978 ***
360	4.2030

T(K)ห่าง	20	→	cp(kJ/kgK)ห่าง	0.01500
ถ้าT(K)ห่าง	13	→	cp(kJ/kgK)ห่าง	0.00975

Substance	T(K)	cp(kJ/kg.K)
Air	100	1.032
	150	1.012
	200	1.007
	250	1.006
***	300	1.007
	350	1.009
	400	1.014
	450	1.021
	500	1.030
	550	1.040
***	600	1.051
	650	1.063
	700	1.075
	750	1.087
	800	1.099
	850	1.110
	900	1.121
	950	1.131
	1000	1.141

hot air

T(K)	cp(kJ/kg.K)
450	1.0210
*** 493	1.0287 ***
500	1.0300

T(K)ห่าง	50	→	cp(kJ/kgK)ห่าง	0.00900
ถ้าT(K)ห่าง	43	→	cp(kJ/kgK)ห่าง	0.00774

หมายเหตุ เครื่องหมาย *** จะบอกตำแหน่งช่วงที่ใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความร้อนแฝง(kJ/kg)

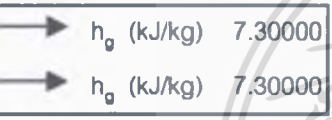
Substance	T(K)	h_g (kJ/kg)
water	373	2,676.10
***	378	2,683.80
	383	2,691.50
	388	2,699.00
	393	2,706.30
	398	2,713.50
	403	2,720.50
***	408	2,727.30
	413	2,733.90
	418	2,740.30
	423	2,746.50

steam

T(K)	h_g (kJ/kg)	
388	2,699.00	
393	2,706.30	***
393	2,706.30	

T(K)ห่าง	5
ถ้าT(K)ห่าง	5

หมายเหตุ เครื่องหมาย *** จะบอกตำแหน่งช่วงที่ใช้



สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ข้อมูล	ปริมาณ	อุณหภูมิ(°C)	อุณหภูมิ (K)	c_p (kJ/kg.K)	h_g (kJ/kg.K)
ไอน้ำ(kg/hr)	2,000	120	393.15	N	2706.30
มันเส้น(kg/hr)	1,200	30	303.15	2.3875	N
มันอัดเม็ด(kg/hr)	1,260	80	353.15	2.3875	N

3 → ไอน้ำ2000(kg/hr) → ปริมาณไอน้ำ (kg/hr) 60.00

มวลมันอัดเม็ด = 1,260.00

%ไอน้ำมันเส้น 14.29

mass balance : $m_{ไอน้ำ} + m_{มันเส้น} = m_{มันอัดเม็ด}$

moist balance : $m_{ไอน้ำ}$ +%ไอน้ำx $m_{มันเส้น}$ +%ไอน้ำ $m_{มันอัดเม็ด}$

สรุป

ค่าเอนทาลปี enthapy

H_{input}	162,378.00
H_{input}	14,325.00
sum H_{input}	176,703.00

H_{output}	165,453.75
sum H_{output}	165,453.75

input	kg/hr	%	output	kg/hr	%
steam	162,378.00	91.89	pellet	165,453.75	93.63
cassava	14,325.00	8.11	loss	11,249.25	6.37
total	176,703.00	100	total	176,703.00	100

สรุป

E_{input} (steam)	39,236.70
E_{input} (cassava)	236.27
sum E_{output}	39,472.97

E_{output}	25,767.96
sum E_{output}	25,767.96

input	kJ/hr	%	output	kJ/hr	%
steam	39,236.70	99.40	pellet	25,767.96	65.28
cassava	236.27	0.60	loss	870.28	2.20
			Irreversibility	12,834.73	32.52
total	39,472.97	100	total	39,472.97	100

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ธนาคารโลกโดยพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ความร้อนแฝง(kJ/kg)

Substance	T(K)	h_g (kJ/kg)
water	373	2,676.1
***	378	2,683.8
	383	2,691.5
	388	2,699.0
	393	2,706.3
	398	2,713.5
	403	2,720.5
***	408	2,727.3
	413	2,733.9
	418	2,740.3
	423	2,746.5

steam

T(K)	h_g (kJ/kg)
388	2,699.00
*** 393	2,706.30
393	2,706.30

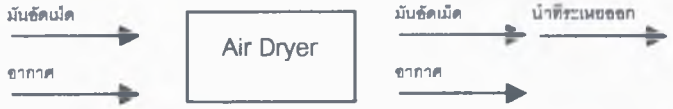
T(K)ห่าง	5
ถ้าT(K)ห่าง	5

หมายเหตุ เครื่องหมาย *** จะบอกตำแหน่งช่วงที่ใช้

h_g (kJ/kg) 7.30000

h_g (kJ/kg) 7.30000

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



ข้อมูล	ปริมาณ(kg/hr)	อุณหภูมิ °C	อุณหภูมิ °F	c_p(kJ/kg.K)	h_g (kJ/kg.K)
อากาศมาตรฐาน	N	25	298.15	N	N
อากาศเข้า	322	37	310.15	1.0074	N
อากาศออก	322	50	323.15	1.0079	N
มันลำปะหลังอัดเม็ดเข้า (kg/hr)	1,260	80	353.15	2.3875	N
มันลำปะหลังอัดเม็ดออก (kg/hr)	1,220	45	318.15	2.3875	N
น้ำที่ระเหยออก	40.0022	40	313.15	N	2,574.30

energy balance :

$$\Delta H_{air} + \Delta H_{\text{มันลำปะหลังอัดเม็ดเข้า}} = \Delta H_{\text{มันลำปะหลังอัดเม็ดออก}} + \Delta H_{air} + \Delta H_{evaporated\ water}$$

มวลน้ำ

40.0022

mass balance :

$$m_{air} + m_{\text{มันลำปะหลังอัดเม็ดเข้า}} = m_{\text{มันลำปะหลังอัดเม็ดออก}} + m_{air} + m_{evaporated\ water}$$

1,260 = 40.0022 + 1,219.998

moisture balance :

ความชื้นมันเม็ด(out) 0.1148 → 11.48

คำนวณหาค่า enthapy

H_{input} (air)	3,892.59
H_{input} (pellet)	165,453.75
sum H_{input}	169,346.34

H_{output} (air)	8,113.76
H_{output} (pellet)	58,254.89
H_{output} (evaporated water)	102,977.69
sum H_{output}	169,346.34

สรุป

input	kJ/hr	%	output	kJ/hr	%
air	3,892.59	2.30	air	8,113.76	4.79
pellet	165,453.75	97.70	pellet	58,254.89	34.40
			evaporated water	102,977.69	60.81
			loss	0.00	0.00
total	169,346.34	100	total	169,346.34	100

คำนวณค่า exergy

E_{input} (air)	150.61
E_{input} (pellet)	25,767.96
sum E_{output}	25,918.57

E_{output} (air)	627.71
E_{output} (pellet)	3,662.10
E_{output} (evaporation water)	4,932.67
sum E_{output}	13,101.22

สรุป

input	kJ/hr	%	output	kJ/hr	%
air	150.61	0.58	air	627.71	2.42
pellet	25,767.96	99.42	pellet	3,662.10	14.13
			evaporated water	4,932.67	19.03
			loss	0.00	0.00
			Irreversibility	16,696.09	64.42
total	25,918.57	100	total	25,918.57	100

c_p (kJ/kg.K)

Substance	T(K)	c_p(kJ/kg.K)
Air	100	1.032
	150	1.012
	200	1.007
	250	1.006
***	300	1.007
	350	1.009
	400	1.014
	450	1.021
	500	1.030
	550	1.040
***	600	1.051
	650	1.063
	700	1.075
	750	1.087
	800	1.099
	850	1.110
	900	1.121
	950	1.131
	1000	1.141

air in

T(K)	c_p(kJ/kg.K)
300	1.0070
*** 310	1.0074 ***
350	1.0090

T(K)ห่าง	50	→	cp(kJ/kgK)ห่าง	0.00200
ถ้าT(K)ห่าง	10	→	cp(kJ/kgK)ห่าง	0.00040

air out

T(K)	c_p(kJ/kg.K)
300	1.0070
*** 323	1.0079 ***
350	1.0090

T(K)ห่าง	50	→	cp(kJ/kgK)ห่าง	0.00200
ถ้าT(K)ห่าง	23	→	cp(kJ/kgK)ห่าง	0.00092

หมายเหตุ เครื่องหมาย *** จะบอกตำแหน่งช่วงที่ใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความร้อนแฝง(kJ/kg)

Substance	T(K)	h_g (kJ/kg)
water(steam)	278	2,510.6
	283	2,519.8
	288	2,528.9
***	293	2,538.1
	298	2,547.2
	303	2,556.3
	308	2,565.3
	313	2,574.3
	318	2,583.2
***	323	2,592.1
	328	2,600.9

evaporated water

T(K)	h_g (kJ/kg)	
308	2,565.30	
313	2,574.30	***
313	2,574.30	

T(K)ห่าง	5
ถ้าT(K)ห่าง	5

หมายเหตุ เครื่องหมาย *** จะบอกตำแหน่งช่วงที่ใช้

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารอ้างอิง

กิตติพงษ์ จันทร์กลาง,โกเมนทร์ ศรีปัญญา:**การหาค่าพลังงานในอาหารและผลิตภัณฑ์อาหาร** ปัญหาพิเศษ; ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะเทคโนโลยีการเกษตร ,2543

มนตรี พิรุณเกษตร: **คู่มืออุณหภูมิพลศาสตร์1**, พิมพ์ครั้งที่1, นำอักษรการพิมพ์, กรุงเทพ 2536

โยชิฮิโกะ ทาคามูระ. 2525: **เทคนิคการประหยัดพลังงานภาคความร้อน**, สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น) กรุงเทพมหานคร.

รุ่งนภา พงศ์สวัสดิ์มานิต. 2535: **วิศวกรรมแปรรูปอาหาร: การถนอมอาหาร**. กรุงเทพ โอเอสการพิมพ์.

วิวัฒน์ ตัณฑะพานิชกุล: **การวิเคราะห์การใช้พลังงานและมาตรการประหยัดพลังงานในโรงงานอุตสาหกรรมโดยใช้แนวความคิดเกี่ยวกับเอ็กเซอร์ยีเสริมวิธีวินิจฉัยในอดีต** ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรกฎาคม 2530.

สุจิตรา เรืองรัศมี : **การวิเคราะห์พลังงานและเอ็กเซอร์ยีในโรงงานอุตสาหกรรมอาหาร.** วิทยานิพนธ์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง: 1999.

สุธิดา พัวประเสริฐ, อาณัต มีป้อม : **การวิเคราะห์พลังงาน และexergy ของโรงงานอุตสาหกรรมอาหาร**, ปัญหาพิเศษ ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะเทคโนโลยีการเกษตร 2540

ศิริกัลยา สุวจิตตานนท์.2538 : **เทคนิคการประหยัดพลังงานในโรงงานอุตสาหกรรม** บริษัทซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด กรุงเทพมหานคร.

Adrian Bejan.1995 : **Entropy generation minimization** . The United states of America : CRC Press, Inc.

William Z. Black, James G.Hartlay : **Thermodynamic: SI Version**, Harper Collins College Publishers, New York, 1996

Yunus A. and Michael, A.B.1998 : **Thermodynamics**. The United States of America: The McGraw-Hill Companies, Inc.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

คำอธิบายสัญลักษณ์

A	:	พื้นที่ผิวที่ถ่ายเทความร้อน, kg
Cp	:	ค่าความร้อนจำเพาะกรณีที่มีความดันคงที่, kJ/kgK
ε	:	เอ็กเซอร์ยี, kJ
g	:	ค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกเท่ากับ 9.81 m/s^2
ΔH	:	เอ็นธัลปี, kg
k	:	สัมประสิทธิ์การนำความร้อน, W/m°C
L	:	ความร้อนแฝง, kcal/kg
LHV	:	ค่าความร้อนต่ำของเชื้อเพลิง, kcal/l
m	:	มวลไหลเข้า-ออกจากระบบ, kg/hr
ρ	:	ความหนาแน่น, kg/m^3
Q	:	ความร้อน, kJ
S	:	เอ็นโทรปี, kJ/kgK
T	:	อุณหภูมิสัมบูรณ์, K
T_o	:	อุณหภูมิมาตรฐาน, 398.15 K
U	:	ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนทั้งหมด, W/m^2K

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

การหาปริมาณอากาศที่พอดีในการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์กับน้ำมันเตา

เชื้อเพลิงที่ใช้ใน Boiler เป็นน้ำมันเตาเบอร์ 2 ซึ่งมีส่วนประกอบของ C 85% , H 12% และ S 3% มีค่าความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 0.940 และค่าความร้อนต่ำ (LHV) เท่ากับ 10390 kcal/l

วิธีการ หาจำนวน O_2 ทั้งหมดที่ใช้ในการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์จากปฏิกิริยาเคมีแล้วนำจำนวน O_2 ทั้งหมดเทียบหาจำนวนหรือปริมาณอากาศ

$$C + O_2 \longrightarrow CO_2 \quad (1)$$

$$2H_2 + O_2 \longrightarrow 2H_2O \quad (2)$$

$$S + O_2 \longrightarrow SO_2 \quad (3)$$

จากสมการ (1)

$$C + O_2 \longrightarrow CO_2$$

$$12\ kg\ C + 32\ kg\ O_2 \longrightarrow 44\ kg\ CO_2$$

$\therefore$ $O_2/C = 32/12 = 2.667$ kg-O_2/kg-C

และ $CO_2/C = 44/12 = 3.667$ kg CO_2/kg-C

จากสมการ (2)

$$2H_2 + O_2 \longrightarrow 2H_2O$$

$$4\ kg\ H_2 + 32\ kg\ O_2 \longrightarrow 36\ kg\ H_2O$$

$\therefore$ $O_2/H_2 = 32/4 = 8.0$ kg-O_2/kg-H_2

และ $H_2O/H_2 = 36/4 = 9.0$ kg-H_2O/kg-H_2

จากสมการ (3)

$$S + O_2 \longrightarrow SO_2$$

$$32\ kg\ S + 32\ kg\ O_2 \longrightarrow 64\ kg\ SO_2$$

$\therefore$ $O_2/S = 32/32 = 1.0$ kg-O_2/kg-S

และ $SO_2/S = 64/32 = 2.0$ kg- SO_2/kg-S

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จำนวนO_2ที่ใช้ในการเผาไหม้ = $[(O_2/C)$(Cในเชื้อเพลิง) + (O_2/H_2)(Hในเชื้อเพลิง) + (O_2/S)(Sในเชื้อเพลิง)]

= (2.667 x 0.85) + (8.0 x 0.12) + (1.0 x 0.03)

= 3.257 kg-O_2/kg-น้ำมันเตา

จำนวนออกซิเจนพอดีในการเผาไหม้น้ำมันเตาให้สมบูรณ์ = $\frac{\text{จำนวน } O_2 \text{ ที่ใช้ในการเผาไหม้}}{\text{องค์ประกอบโดยมวลของ } O_2 \text{ในอากาศ}}$

= 3.257/0.23

= 14.1607 kg-O_2/kg-น้ำมันเตา

จากออกซิเจนในอากาศมีปริมาณ 26%

ดังนั้นอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้พอดีเท่ากับ 14.1607/26 x100 = 54.46 kg-อากาศ

ความถ่วงจำเพาะของน้ำมันเตาเบอร์ 2 = 0.940

∴ น้ำมันเตา 120 ลิตร หนักเท่ากับ 0.940 x 120 = 112.8 kg-น้ำมันเตา

จาก 1 kg-น้ำมันเตา จะใช้อากาศ 54.46 kg-อากาศ

∴ 112.8 kg-น้ำมันเตา จะใช้อากาศ 54.46 x 112.8 = 6143.09 kg-อากาศ

เมื่อ excess 10%

∴ จะใช้อากาศหรือได้ fluc gas = 6143.09 + (6143.09 x10)/100 = 6757.4 kg

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้