18390

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การศึกษาการใช้พลังงานในโรงงานอุตสาหกรรมการผลิตมันสำปะหลัง

(Study of Energy Utilization in Cassava Production Plant)

T096850

นางสาวชลลดา นามประเทือง

นางสาวอรอุมา มาลามาศ

นายนครินทร์ ภระมรทัต

ปพ.
ช224ก
2544

เลขหมู่.....96850.....
เลขทะเบียน.....
วัน,เดือน,ปี.....5 JUN 2009.....

รายงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาศาสตร์บัณฑิต

ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะเทคโนโลยีการเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2544

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใบรับรองปัญหาพิเศษ

เรื่อง

การศึกษาการใช้พลังงานในโรงงานอุตสาหกรรมการผลิตมันสำปะหลัง

(Study of Energy Utilization in Cassava Production Plant)

โดย

น.ส.ชลลดา นามประเทือง

น.ส.อรอุมา มาลามาศ

นายนครินทร์ ภระมรทัต

ได้รับการเห็นชอบจาก

..... **...../...../..... อาจารย์ที่ปรึกษาปัญหาพิเศษ**

(ผศ.ดร. รุจิรา ตาปราบ)

ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น.ส. ชลลดา นามประเทือง น.ส. อรอุมา มาลามาศ นาย นครินทร์ ภระมรทัต:การศึกษาการใช้พลังงานในโรงงานอุตสาหกรรมการผลิตมันสำปะหลัง(Study of Energy Utilization in Cassava Production Plant) อาจารย์ที่ปรึกษา: ผศ. ดร. รุจิรา ตาปราบ

บทคัดย่อ

ในกระบวนการผลิตมันสำปะหลัง มีการใช้พลังงานจำนวนมาก สิ่งที่มีความสำคัญคือ การเลือกใช้พลังงานให้มีประสิทธิภาพสูงสุดในแต่ละกระบวนการ ดังนั้นจึงต้องมีการวิเคราะห์การใช้พลังงานโดยใช้กฎข้อที่ 1ของเทอร์โมไดนามิกส์ และกฎข้อที่ 2 ของเทอร์โมไดนามิกส์ เพื่อหาประสิทธิภาพของพลังงาน การวิเคราะห์ได้แบ่งออกเป็น 4 เครื่องมือ คือ Boiler, Pellet Forming Unit, Air Dryer และ Free Fall Drying จากผลที่ได้จะเห็นว่า Boiler มีค่าประสิทธิภาพโดยกฎข้อที่ 1 ของเทอร์โมไดนามิกส์ค่อนข้างสูง ส่วนประสิทธิภาพโดยกฎข้อที่ 2 จะมีค่าที่ต่ำกว่ามาก เนื่องจากมีการสูญเสียความร้อนจากปัจจัยต่าง ๆ Pellet Forming Unit ได้แบ่งออกเป็น 4กรณี โดยใช้การแปรผันปริมาณไอน้ำ กรณีที่ได้ประสิทธิภาพสูงที่สุดคือใช้ปริมาณไอน้ำ 60 kg/hr ค่าความชื้นที่ออกมามีค่าต่ำ ที่ 14.29% Air Dryer ได้แบ่งออกเป็น 2 กรณี กรณีที่1 ใช้การแปรผันของอุณหภูมิอบแห้ง จะได้ผลว่าอุณหภูมิอากาศที่ใช้ในการอบแห้งที่มากขึ้น ปริมาณไอน้ำที่ระเหยออกได้ค่าที่ใกล้เคียงกันรวมถึงประสิทธิภาพมีค่าใกล้เคียงกัน ดังนั้นอุณหภูมิต่ำสุดที่นำมาวิเคราะห์คือ 37 ° C จะช่วยประหยัดพลังงานมากที่สุด กรณีที่ 2 ใช้การแปรผันมันสำปะหลังอัดเม็ดขาเข้า ได้ประสิทธิภาพไม่แตกต่างกันและปริมาณมันสำปะหลังอัดเม็ดขาเข้ายิ่งเพิ่มขึ้นก็จะทำให้ปริมาณอากาศที่ใช้เพิ่มขึ้นตามไปด้วย ส่วนFree Fall Drying ปริมาณมันสำปะหลังอัดเม็ดที่ตกลงมาใช้เวลาใกล้เคียงกัน จากการวิเคราะห์ทั้ง 4 เครื่องมือจะทำให้สามารถเลือกใช้ วิธีที่เหมาะสมกับการทำงาน ให้มีประสิทธิภาพสูงสุด และสูญเสียพลังงานน้อยที่สุด นอกจากนี้ การคำนวณประสิทธิภาพของพลังงานมีขั้นตอนที่ยุ่งยาก จึงได้ทำการสร้างโปรแกรมย่อยจากการประยุกต์โปรแกรมสำเร็จรูป Excel ซึ่งจะทำให้การคำนวณมีความสะดวกมากยิ่งขึ้น

ชลลดา นามประเทือง
อรอุมา มาลามาศ
นครินทร์ ภระมรทัต ..../...../.....

ลายชื่อนักศึกษา อาจารย์ที่ปรึกษา วัน เดือน ปี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ในครั้งนี้ทางคณะผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณ ผศ.ดร. รุจิรา ตาปราบ เป็นอย่างยิ่งที่กรุณาให้คำปรึกษาและข้อแนะนำต่างๆ จนปัญหาพิเศษฉบับนี้สำเร็จลงได้

กราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ที่คอยเป็นกำลังใจ ห่วงใยและติดตามผลของการทำปัญหาพิเศษในครั้งนี้ ทำให้คณะผู้จัดทำเกิดแรงผลักดันทำงานชิ้นนี้ให้เสร็จสมบูรณ์ ขอบคุณเพื่อนๆสำหรับคำแนะนำและกำลังใจที่มีให้เสมอมา

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณตัวเอง และเพื่อนร่วมทำรายงานปัญหาพิเศษฉบับนี้ที่คอยช่วยเหลือ และแก้ไขปัญหาต่างๆที่เกิดขึ้นให้ผ่านไปได้ด้วยดี

น.ส.ชลลดา นามประเทือง
น.ส. อรอุมา มาลามาศ
นาย นครินทร์ ภระมรทัต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	ก
กิตติกรรมประกาศ	ข
สารบัญ	ค
สารบัญตาราง	จ
สารบัญรูปภาพ	ช
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขั้นตอนและวิธีการ	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎี	
2.1 การคำนวณเอ็นธัลปีและเอ็กเซอร์ยี	3
2.2 ตัวอย่างการวิเคราะห์โดยใช้หลักเอ็นธัลปีและเอ็กเซอร์ยี	6
บทที่ 3 การวิเคราะห์พลังงานและเอ็กเซอร์ยีของโรงงานมันสำปะหลังอัดเม็ด	
3.1 กระบวนการการผลิตมันสำปะหลังอัดเม็ด	10
3.2 การวิเคราะห์เอ็นธัลปีและเอ็กเซอร์ยีของขบวนการผลิตมันสำปะหลังอัดเม็ด	11
3.2.1 การวิเคราะห์เอ็นธัลปีและเอ็กเซอร์ยีของหม้อน้ำ (Boiler)	12
3.2.3 การวิเคราะห์เอ็นธัลปีและเอ็กเซอร์ยีของเครื่องอัดเม็ดมันสำปะหลัง(Pellet Forming Unit)	15
3.2.5 การวิเคราะห์เอ็นธัลปีและเอ็กเซอร์ยีของเครื่องอบแห้ง (Air Dryer)	24
3.2.7 การวิเคราะห์เวลาที่มันสำปะหลังอัดเม็ดใช้ในการทำแห้งในเครื่อง Free Fall Drying	46
บทที่ 4 สรุปและข้อเสนอแนะในการประหยัดพลังงาน	
4.1 การตรวจสอบและวิเคราะห์การใช้พลังงาน	47
4.2 หม้อไอน้ำ	50
บทที่ 5 การสร้างโปรแกรมย่อยในโปรแกรม Excel เพื่อใช้ในการคำนวณ	56
เอกสารอ้างอิง	70
ภาคผนวก ก	71

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	หน้า
ภาคผนวก ข	73
ภาคผนวก ค	74
ภาคผนวก ง	75
ภาคผนวก จ	76
ภาคผนวก ฉ	77
ประวัติผู้เขียน	78

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 Unitในกรณีให้Steam 80 kg/hr	16
ตารางที่ 3.4	การวิเคราะห์เอ็กเซอร์ยีของPellet Forming Unitในกรณีให้Steam 80 kg/hr	16
ตารางที่ 3.5	ผลการวิเคราะห์เอ็นธัลปีของ Pellet Forming Unitในกรณีให้Steam 80 kg/hr	18
ตารางที่ 3.6	ผลการวิเคราะห์เอ็กเซอร์ยีของ Pellet Forming Unitในกรณีให้Steam 80 kg/hr	18
ตารางที่ 3.7	ผลการวิเคราะห์เอ็นธัลปีของ Pellet Forming Unitในกรณีให้Steam 100 kg/hr	20
ตารางที่ 3.8	ผลการวิเคราะห์เอ็กเซอร์ยีของ Pellet Forming Unitในกรณีให้Steam 100 kg/hr	20
ตารางที่ 3.9	ผลการวิเคราะห์เอ็นธัลปีของ Pellet Forming Unitในกรณีให้Steam 120 kg/hr	22
ตารางที่ 3.10	ผลการวิเคราะห์เอ็กเซอร์ยีของ Pellet Forming Unitในกรณีให้Steam 120 kg/hr	22
ตารางที่ 3.11	เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์เอ็นธัลปีและเอ็กเซอร์ยีของเครื่องอัดเม็ดมันสำปะหลัง (Pellet Forming Unit)ที่ใช้ปริมาณไอน้ำต่างกัน	23
ตารางที่ 3.12	ผลการวิเคราะห์เอ็นธัลปีของเครื่องอบแห้งในกรณีให้อากาศอุณหภูมิ 37°C	26
ตารางที่ 3.13	ผลการวิเคราะห์เอ็กเซอร์ยีของเครื่องอบแห้งในกรณีให้อากาศอุณหภูมิ 37°C	26
ตารางที่ 3.14	ผลการวิเคราะห์เอ็นธัลปีของเครื่องอบแห้งในกรณีให้อากาศอุณหภูมิ 40°C	29
ตารางที่ 3.15	ผลการวิเคราะห์เอ็กเซอร์ยีของเครื่องอบแห้งในกรณีให้อากาศอุณหภูมิ 40°C	29
ตารางที่ 3.16	ผลการวิเคราะห์เอ็นธัลปีของเครื่องอบแห้งในกรณีให้อากาศอุณหภูมิ 45°C	32
ตารางที่ 3.17	ผลการวิเคราะห์เอ็กเซอร์ยีของเครื่องอบแห้งในกรณีให้อากาศอุณหภูมิ 45°C	32
ตารางที่ 3.18	ผลการวิเคราะห์เอ็นธัลปีของเครื่องอบแห้งในกรณีมันสำปะหลังอัดเม็ดขาเข้าเครื่องอบแห้งเท่ากับ 1260 kg/hr	35
ตารางที่ 3.19	ผลการวิเคราะห์เอ็กเซอร์ยีของเครื่องอบแห้งในกรณีมันสำปะหลังอัดเม็ดขาเข้าเครื่องอบแห้งเท่ากับ 1260 kg/hr	35
ตารางที่ 3.20	ผลการวิเคราะห์เอ็นธัลปีของเครื่องอบแห้ง ในกรณีมันสำปะหลังอัดเม็ดขาเข้าเครื่องอบแห้งเท่ากับ 1400 kg/hr	38
ตารางที่ 3.21	ผลการวิเคราะห์เอ็กเซอร์ยีของเครื่องอบแห้ง ในกรณีมันสำปะหลังอัดเม็ดขาเข้าเครื่องอบแห้งเท่ากับ 1400 kg/hr	38

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้า

ตารางที่ 3.22 ผลการวิเคราะห์เอ็นธัลปีของเครื่องอบแห้ง ในกรณีมันสำปะหลัง อัดเม็ดขาเข้าเครื่องอบแห้งเท่ากับ 1500 kg/hr 41
ตารางที่ 3.23 ผลการวิเคราะห์เอ็กเซอร์ยีของเครื่องอบแห้ง ในกรณีมันสำปะหลัง อัดเม็ดขาเข้าเครื่องอบแห้งเท่ากับ 1500 kg/hr 41
ตารางที่ 3.24 ผลการวิเคราะห์เอ็นธัลปีของเครื่องอบแห้ง ในกรณีมันสำปะหลัง อัดเม็ดขาเข้าเครื่องอบแห้งเท่ากับ 2000 kg/hr 44
ตารางที่ 3.25 ผลการวิเคราะห์เอ็กเซอร์ยีของเครื่องอบแห้งในกรณีมันสำปะหลัง อัดเม็ดขาเข้าเครื่องอบแห้งเท่ากับ 2000 kg/hr 44
ตารางที่ 3.26 เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์เอ็นธัลปีและเอ็กเซอร์ยีของเครื่องอบแห้ง(Air Dryer) ที่ให้อากาศที่ใช้ในการอบแห้ง และไอน้ำที่ระเหยออกมีอุณหภูมิที่แตกต่างกัน 45
ตารางที่ 3.27 เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์เอ็นธัลปีและเอ็กเซอร์ยีของเครื่องอบแห้ง (Air Dryer)โดยที่มันสำปะหลังอัดเม็ดขาเข้ามีปริมาณที่แตกต่างกัน 45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

		หน้า
รูปที่ 2.1	แผนภาพแสดงขั้นตอนการผลิตอาหารว่างจากปลา	6
รูปที่ 2.2	แสดงสมดุลมวลของส่วนไล่ความชื้น	7
รูปที่ 2.3	แสดงสมดุลมวลของส่วนตู้อบ	8
รูปที่ 2.4	แสดงสมดุลมวลโดยรวมกระบวนการย่อยที่ 1 ของกระบวนการผลิตอาหารว่างจากปลา	8
รูปที่ 2.5	แสดงสมดุลมวลของส่วนย่าง	9
รูปที่ 3.1	กระบวนการผลิตมันสำปะหลังอัดเม็ด	10
รูปที่ 3.2	แสดงทิศทางการไหลของพลังงานความร้อนในกระบวนการผลิตมันสำปะหลังอัดเม็ด	11
รูปที่ 3.3	แสดงมวลขาเข้า-ออกของหม้อน้ำ (Boiler)	12
รูปที่ 3.4	แสดงมวลขาเข้า-ออกของเครื่องอัดเม็ดมันสำปะหลัง(Pellet Forming Unit)	15
รูปที่ 3.5	แสดงมวลขาเข้า-ออกของเครื่องอบแห้ง (Air Dryer)	24
รูปที่ 3.6	แสดงมวลขาเข้า-ออกของเครื่องอบแห้ง (Air Dryer)	33
รูปที่ 3.7	Free Fall Drying	46
รูปที่ 4.1	เครื่องอุ่นอากาศแบบ Recuperative	53
รูปที่ 4.2	ระบบเก็บความร้อนคืนจากการปล่อยน้ำร้อนทิ้ง	54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

ในกระบวนการผลิตทางอุตสาหกรรมมีการใช้พลังงานหลายรูปแบบ ได้แก่ พลังงานไฟฟ้า พลังงานความร้อนหรือเชื้อเพลิง เป็นต้น ซึ่งพลังงานเหล่านี้มีความสำคัญต่อกระบวนการผลิตในโรงงานอุตสาหกรรมและมีส่วนช่วยในการลดต้นทุนการผลิตนั่นก็หมายถึงผลกำไรที่มากขึ้น ดังนั้นการใช้พลังงานในโรงงานอุตสาหกรรมควรใช้ให้มีประสิทธิภาพหรือคุณภาพสูงสุด ประสิทธิภาพของการใช้พลังงานเป็นเกณฑ์ที่ใช้วัดว่าในแต่ละกระบวนการผลิตเป็นอย่างไร ในบางโรงงานผู้ประกอบการอาจมองข้ามประสิทธิภาพของการใช้พลังงานไปทำให้มีการสูญเสียพลังงานเกิดขึ้นอยู่เสมอ จึงต้องมีการตรวจสอบ ศึกษา และวิเคราะห์สถานการณ์ที่เป็นอยู่ในปัจจุบันของโรงงาน เพื่อที่จะใช้เป็นแนวทางหรือทางเลือกใหม่ในการปรับปรุงกระบวนการผลิตให้มีการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด

การตรวจสอบการใช้พลังงานมิใช่เป็นสิ่งที่ทำครั้งเดียวแล้วใช้ได้ตลอดไป แต่เป็นงานต่อเนื่องเพื่อจะได้มีการเปรียบเทียบระหว่างภาคทฤษฎีและผลทางปฏิบัติเพื่อให้ทราบว่าพลังงานได้ถูกใช้ไปอย่างไรบ้างและเสียค่าใช้จ่ายเท่าใด เมื่อได้ทราบถึงรายละเอียดดังกล่าวแล้วจะทำให้มองเห็นแนวทางที่จะประหยัด พลังงานและลดต้นทุนการผลิตได้ ในอดีตที่ผ่านมาได้มีนักวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับพลังงานในกระบวนการผลิต ได้แก่ มนตรี (1986) ได้ศึกษาการใช้พลังงานของโรงงานอะไหล่รถยนต์แห่งหนึ่งในประเทศไทย วิวัฒน์และรุจิรา (1987) ได้ศึกษาการใช้พลังงานในอุตสาหกรรมอาหาร เป็นต้น

อย่างไรก็ตาม ยังไม่มีการศึกษาการใช้พลังงานในโรงงานอุตสาหกรรมผลิตมันสำปะหลังอัดเม็ดซึ่งปัญหาพิเศษนี้ต้องการที่จะเลือกกระบวนการผลิตมันสำปะหลังอัดเม็ดเป็นตัวอย่างกรณีศึกษา เพราะประเทศไทยเป็นแหล่งที่มีการผลิตมันสำปะหลังอัดเม็ดส่งออกสู่ตลาดยุโรปค่อนข้างมาก ถ้ามีการศึกษาถึงขั้นตอนในการลดต้นทุนการผลิตได้ก็เท่ากับเป็นการเพิ่มรายได้ให้กับผู้ประกอบการ

นอกจากนี้ในการคำนวณเพื่อวิเคราะห์ค่าเอ็นธัลปีและเอ็กเซอร์ยีมีขั้นตอนที่ยุ่งยากซึ่งอาจทำให้ค่าที่คำนวณได้เกิดการผิดพลาด ถ้าได้มีการศึกษาถึงการเขียนโปรแกรมสำเร็จรูปเพื่อใช้ในการคำนวณจะทำให้การคำนวณได้ค่าที่ถูกต้องและแม่นยำ อีกทั้งยังช่วยประหยัดเวลาและทำให้การทำงานง่ายยิ่งขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาถึงการใช้พลังงานของโรงงานอุตสาหกรรมมันสำปะหลังในสภาพปัจจุบัน
2. เพื่อศึกษาหาแนวทางในการปรับปรุงการใช้พลังงานของโรงงานมันสำปะหลังอัดเม็ด
3. เพื่อศึกษาการใช้โปรแกรมย่อยที่ใช้ในการคำนวณเอ็นธัลปีและเอ็กเซอร์ยีในโปรแกรมสำเร็จรูป Excel

1.3 ขั้นตอนและวิธีการ

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

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับวัตถุดิบ
2. เป็นการลดต้นทุนในการผลิต
3. ชี้ให้เห็นถึงปัญหาที่แท้จริงที่ก่อให้เกิดความสูญเสียพลังงานจากกระบวนการผลิต
4. ส่งเสริมการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ รวมถึงการประหยัดพลังงานในอุตสาหกรรม
5. โรงงานอุตสาหกรรมที่คล้ายคลึงกัน สามารถใช้เป็นแนวทางในการปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงานได้
6. สามารถใช้โปรแกรมย่อยใน Excel เพื่อคำนวณค่าเอ็นธัลปีและเอ็กเซอร์ยีในกรณีที่ศึกษาต่อไปได้สะดวกยิ่งขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎี

การวิเคราะห์การใช้พลังงานของกระบวนการผลิตอะไรก็ตามจำเป็นที่จะต้องรู้ถึงสภาพการใช้พลังงานในปัจจุบันของโรงงานนั้น ๆ ซึ่งข้อมูลที่ควรจะต้องรู้ได้แก่ ปริมาณการใช้พลังงาน เช่นในกระบวนการผลิต ต้องใช้ไอน้ำความดันเท่าไร ปริมาณขนาดใด หรือมีการใช้พลังงานไฟฟ้าเป็นอย่างไร เมื่อรู้ถึง ข้อมูลเบื้องต้นแล้วจะสามารถวิเคราะห์ถึงประสิทธิภาพของการใช้พลังงานได้ พลังงานไม่ว่าเป็นรูปแบบใด จะมีทั้งปริมาณและคุณภาพ ซึ่งทั้งสองค่านี้ควรจะมีค่าที่สอดคล้องกัน

การวิเคราะห์หาประสิทธิภาพของพลังงานต้องใช้กฎข้อที่ 1 ของเทอร์โมไดนามิกส์หรือค่าพลังงานความร้อนซึ่งหมายถึงเอ็นธัลปี(ΔH) และการวิเคราะห์หาคุณภาพของพลังงานจะต้องใช้กฎข้อที่ 2 ของเทอร์โมไดนามิกส์ ที่เรียกว่า เอ็กเซอร์ยี (ε) การวิเคราะห์พลังงานด้วยเอ็นธัลปีและเอ็กเซอร์ยีบอกถึงคุณภาพของพลังงาน ดังนั้นการวิเคราะห์พลังงานด้วยเอ็นธัลปีและเอ็กเซอร์ยีจะต้องทำร่วมกันจึงจะทราบถึงการใช้พลังงานในโรงงานอุตสาหกรรมว่ามีประสิทธิภาพสูงสุดหรือไม่

2.1 การคำนวณเอ็นธัลปีและเอ็กเซอร์ยี

2.1.1 การคำนวณเอ็นธัลปี

จากกฎของการอนุรักษ์มวล กล่าวว่า สสารใดๆไม่อาจถูกสร้างขึ้นหรือกำจัดหมดไปได้ ดังนั้นในกระบวนการใด ๆ อาจเขียนแสดงสมดุลมวลสารได้ดังนี้

$$\text{mass input} = \text{mass output} + \text{mass accumulation}$$

mass input คือ มวลสารที่เข้าสู่ระบบหรือกระบวนการนั้น ๆ

mass output คือ มวลสารที่ออกสู่ระบบนั้น ๆ อาจรวมถึงมวลที่สลายไปโดยทางปฏิบัติการทางเคมีหรือทางชีวภาพ ถ้าหากไม่มีการสะสมหรือ mass accumulation เท่ากับศูนย์ทำให้ mass input มีค่าเท่ากับ mass output แต่ถ้ามีการสะสมหรือ mass accumulation ไม่เท่ากับศูนย์ ปริมาณและความเข้มข้นขององค์ประกอบในระบบอาจเปลี่ยนแปลงไปตามเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนสมดุลพลังงานนั้นมีพื้นฐานจากกฎข้อที่ 1 ของเทอร์โมไดนามิกส์ (กฎของการอนุรักษ์พลังงานไม่มีการสูญหายแต่สามารถเปลี่ยนรูปได้) การกำหนดขอบเขตโดยรอบของระบบเพื่อทำสมดุลพลังงานก็มีขั้นตอนคล้ายกับการคำนวณสมดุลมวลโดยมีพื้นฐานดังนี้

$$\text{Energy input} = \text{energy output} + \text{energy accumulation}$$

เอ็นธัลปี (H) เป็นปริมาณความร้อนที่เกิดขึ้นภายใต้ความดันคงที่ เมื่อระบบมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ สามารถคำนวณ H ได้จาก

$$\Delta H = mc_p \Delta T$$

ถ้าหากว่าในระบบนั้นมีการเปลี่ยนแปลงสถานะ ก็จะเกิดการเปลี่ยนแปลงเอ็นธัลปี ที่มีการเปลี่ยนแปลงสถานะ(enthalpy change with a change in phase) สามารถคำนวณ Hได้จาก

$$\Delta H = mL$$

นอกจากนี้ยังสามารถหาค่าเอ็นธัลปีเฉพาะ เช่น ค่าเอ็นธัลปีของเชื้อเพลิง

$$\Delta H = \text{ปริมาณเชื้อเพลิง x LHV}$$

พลังงานที่สูญเสียไปกับผนังอุปกรณ์ (Q) หาได้จากสมการ

$$Q = UA\Delta T$$

สามารถหาค่าประสิทธิภาพการส่งผ่านความร้อน (U) ได้จาก

$$1/U = \sum Xi/Ki$$

ประสิทธิภาพ (efficiency) ตามกฎข้อที่ 1 ของเทอร์โมไดนามิกส์ สามารถคำนวณได้จาก

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

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2 การคำนวณเอ็กเซอร์ยี

การวิเคราะห์เอ็กเซอร์ยีทำให้ทราบว่า กระบวนการผลิตนั้นใช้พลังงานอย่างมีคุณภาพหรืออย่างมีประสิทธิภาพสูงสุดหรือไม่ ในการวิเคราะห์พลังงานด้วยเอ็กเซอร์ยีนั้น พลังงานที่ถูกวิเคราะห์ โดยกฎข้อที่ 1 ของเทอร์โมไดนามิกส์แล้วจะถูกนำมาคำนวณโดยใช้แนวคิดเอ็กเซอร์ยีกฎข้อที่ 2 ของเทอร์โมไดนามิกส์ สำหรับสมการสมดุลของเอ็กเซอร์ยี คือ

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

$$\sum \text{exergy input} = \sum \text{exergy output} + \sum \text{exergy stored+irreversibility}$$

โดยพลังงานที่มีการใช้จะเรียกว่า availability แต่พลังงานที่เป็น irreversibility คือพลังงานที่ไม่สามารถผันกลับได้

เอ็นโทรปี (S) เป็นแฟคเตอร์บอกทิศทางของการเปลี่ยนแปลงในกระบวนการแบบต่างๆ หรือหมายถึงปริมาณที่บอกให้ทราบว่าในระบบหนึ่งๆจะมีการจัดเรียงตัวของสารอย่างมีระเบียบมากน้อยเพียงใด

$$\Delta S = \Delta H/T$$

$$\varepsilon = \Delta H - T_o \Delta S$$

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

นอกจากนี้ยังมีการหาค่าเอ็กเซอร์ยีของเชื้อเพลิงได้โดยสมการนี้

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

ส่วนเอ็กเซอร์ยีของความร้อนที่ผ่านผนังอุปกรณ์สามารถหาได้จากสมการนี้

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

ประสิทธิผลของเอ็กเซอร์ยีสามารถคำนวณได้จาก

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

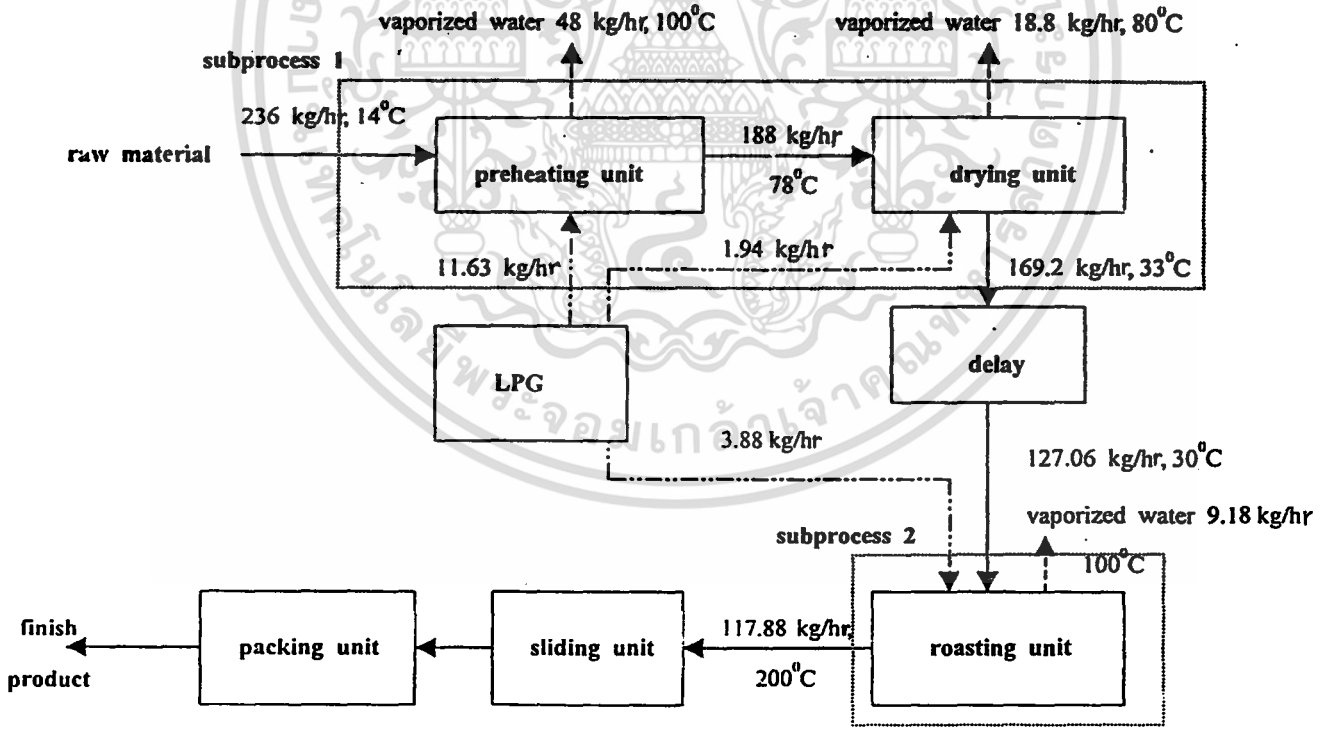
$$= \frac{\sum \Delta \in_{output}}{\sum \Delta \in_{iutput}} \times 100$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 ตัวอย่างการวิเคราะห์โดยใช้หลักเอ็นธัลปีและเอ็กเซอร์ยี

- การวิเคราะห์พลังงานด้วยเอ็นธัลปีและเอ็กเซอร์ยีของกระบวนการผลิตอาหารว่างจากปลา

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



รูปที่ 2.1 แผนภาพแสดงขั้นตอนการผลิตอาหารว่างจากปลา

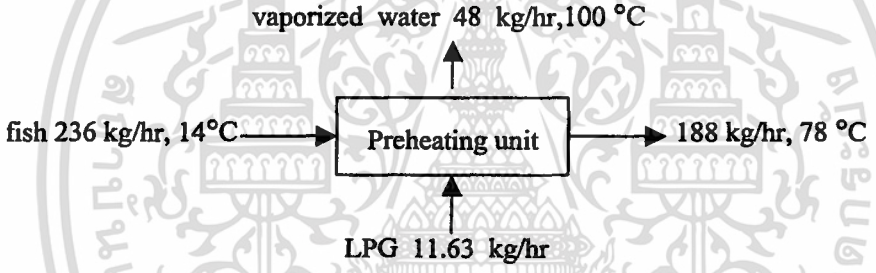
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากกระบวนการผลิตจะแบ่งกระบวนการออกเป็น 2 ส่วนย่อย คือ

1. ส่วนแรกได้แก่ ส่วนไล่ความชื้น(preheating 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)

ทั้งนี้เพราะช่วงของการย่างเป็นช่วงที่ไม่ต่อเนื่องกัน ดังนั้นจึงแบ่งกระบวนการผลิตออกเป็น 2 ช่วงด้วยกัน และพลังงานความร้อนที่ใช้ในกระบวนการผลิตคือ ก๊าซเหลวเพียงอย่างเดียว ดังแสดงไว้ในรูป และก่อนทำการวิเคราะห์เอ็นธัลปีและเอ็กเซอร์ยีนี้ต้องทำสมดุลมวลก่อนทุกครั้งหลังจากที่ทำสมดุลมวลแล้วพบว่าในกระบวนการนี้จะมีส่วนของไอน้ำ (vaporized water) จากวัตถุดิบที่สูญเสียไปกับความร้อน ดังแสดงข้อมูลอยู่ในวงเล็บของแผนภาพ

- การวิเคราะห์เอ็นธัลปีและเอ็กเซอร์ยีของส่วนไล่ความชื้น (preheating unit)

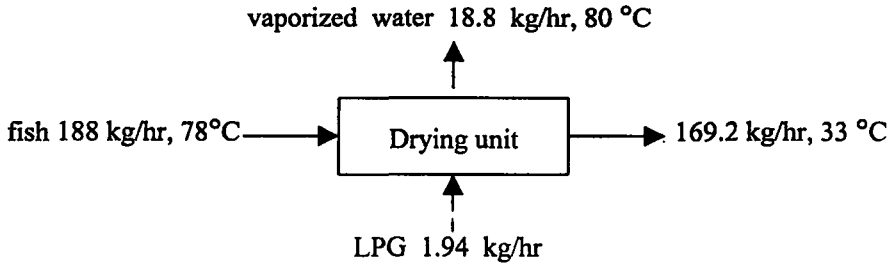


รูปที่ 2.2 แสดงสมดุลมวลของส่วนไล่ความชื้น

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

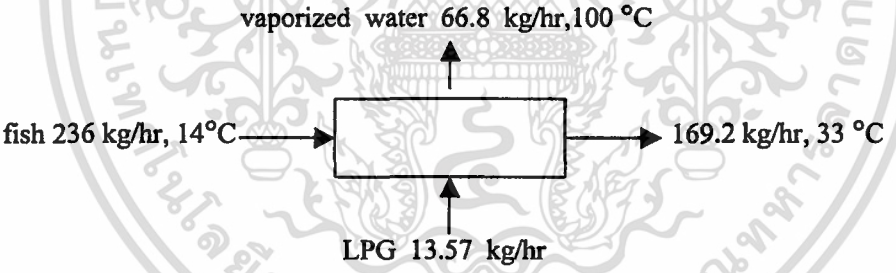
- การวิเคราะห์เอ็นธัลปีและเอ็กเซอร์ยีของตู้อบ(drying unit)



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)

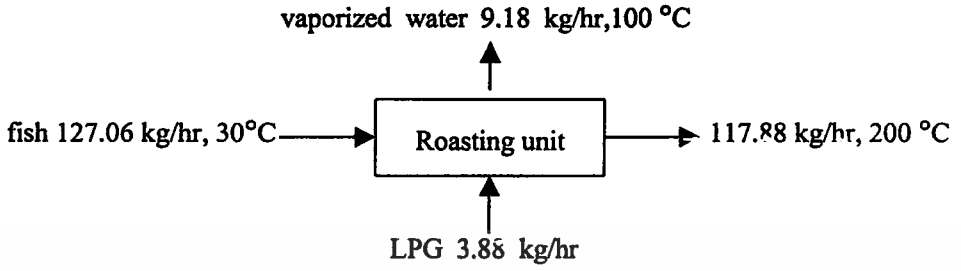


รูปที่ 2.4 แสดงสมดุลมวลโดยรวมกระบวนการย่อยที่ 1 ของกระบวนการผลิตอาหารว่างจากปลา

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- การวิเคราะห์เอ็นธัลปีและเอ็กเซอร์ยีของกระบวนการผลิตย่อยที่ 2 ของกระบวนการผลิตอาหารว่างจากปลา(subprocess2 of fish snack process)



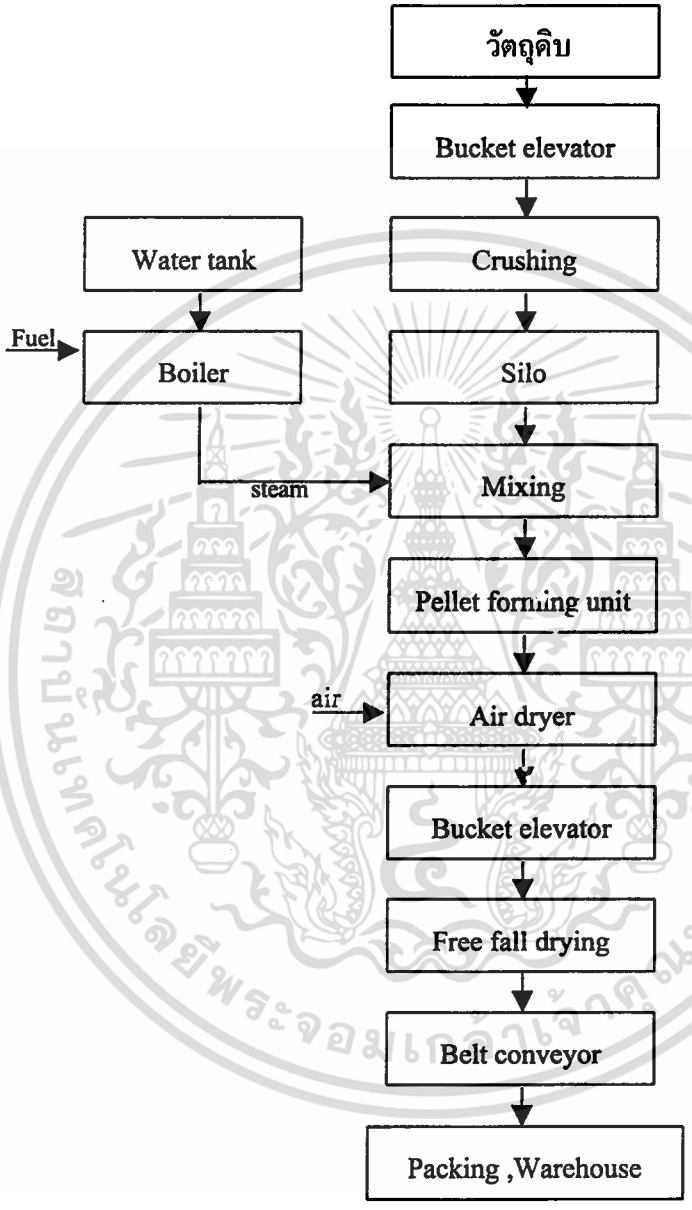
รูปที่ 2.5 แสดงสมดุลมวลของส่วนย่าง

กระบวนการผลิตย่อยที่ 2 นี้คือ ขั้นตอนการย่าง วัตถุดิบจะมีความชื้นน้อยกว่าส่วนอื่น ๆทั้งนี้เพราะวัตถุดิบจะผ่านขั้นตอนการไล่ความชื้นและการอบมาแล้ว วัตถุดิบที่เข้าส่วนการย่างมีน้ำหนัก 127.06 kg/hrอุณหภูมิ30°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 กระบวนการการผลิตมันสำปะหลังอัดเม็ด

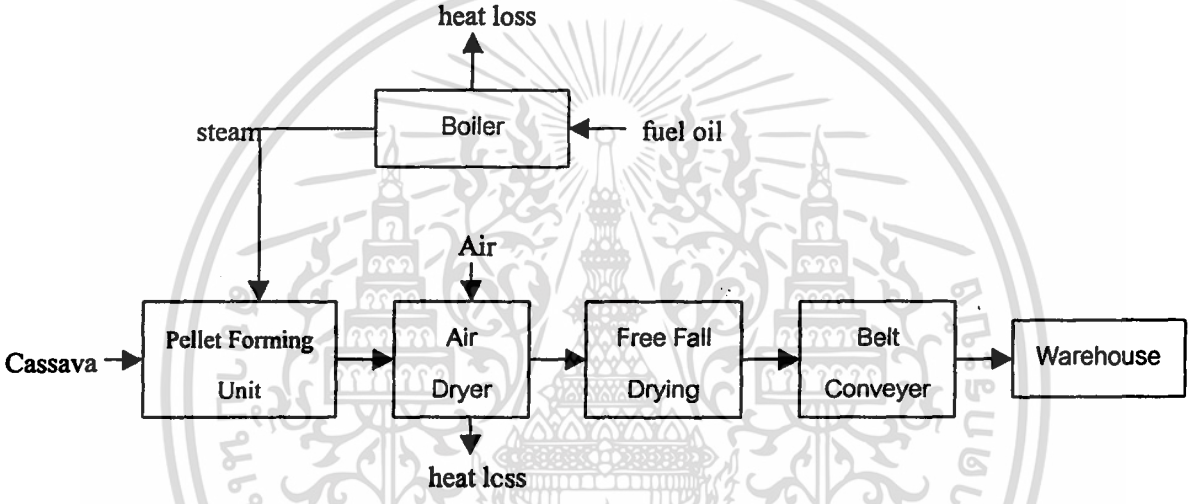


รูปที่ 3.1 กระบวนการผลิตมันสำปะหลังอัดเม็ด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระบวนการผลิตเริ่มจากนำวัตถุดิบมันสำปะหลังที่ผ่านการตากแดดมาบดโดยมีกระพ้อลำเลียง (Bucket elevator) มาสู่เครื่องบด(Crushing) จากนั้นนำเข้าสู่ Silo แล้วเข้าสู่เครื่องอัดเม็ด (Pellet forming unit) ให้มันสำปะหลังผสมกับไอน้ำเพื่อเพิ่มความชื้นให้แก่ตัวมันสำปะหลัง แล้วจึงอัดมันสำปะหลังเป็นเม็ดๆ จากนั้นนำมันสำปะหลังอัดเม็ดเข้าสู่เครื่องอบแห้ง (Air dryer) เพื่อไล่ความชื้นออก แล้วจึงขนส่ง มันสำปะหลังอัดเม็ดโดยกระพ้อลำเลียง (Bucket elevator) เข้าสู่เครื่อง Free fall drying เพื่อไล่ความชื้นอีกที จากนั้นนำไปเก็บที่ห้องเก็บ (Warehouse) โดยใช้สายพานลำเลียง (Belt conveyor) เป็นตัวนำไปเก็บ ส่วนการวิเคราะห์พลังงานในส่วนต่างๆภายในโรงงานจะกล่าวถึงต่อไป

3.2 การวิเคราะห์เอ็นธัลปีและเอ็กเซอร์ยีของขบวนการผลิตมันสำปะหลังอัดเม็ด

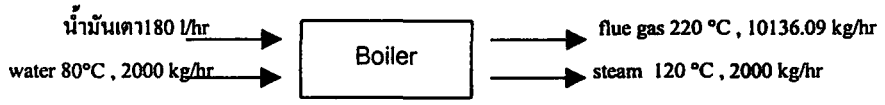


รูปที่ 3.2 แสดงทิศทางการไหลของพลังงานความร้อนในกระบวนการผลิตมันสำปะหลังอัดเม็ด

จากรูปนำมันสำปะหลังที่ผ่านการบดเข้าสู่เครื่องอัดเม็ด (Pellet forming unit) มันสำปะหลังจะผสมกับไอน้ำที่อุณหภูมิ 120 °C ความดัน 1 bar ซึ่งได้จากหม้อน้ำที่ใช้พลังงานจากน้ำมันเตาผลิตไอน้ำขึ้น เพื่อเพิ่มความชื้นและพลังงานความร้อนให้แก่ตัวมันสำปะหลังแล้วจึงอัดมันสำปะหลังเป็นเม็ดๆ จากนั้นนำมันสำปะหลังที่อัดเป็นเม็ดเข้าสู่เครื่อง Air dryer เพื่อไล่ความชื้นออกซึ่งจะมีการสูญเสียพลังงานความร้อนออกจากตัวสำปะหลังอัดเม็ด แล้วจึงส่งมันสำปะหลังอัดเม็ดเข้าสู่เครื่อง Free fall drying เพื่อไล่ความชื้นอีกทีพลังงานความร้อนในส่วนนี้ก็จะสูญเสียให้กับอากาศ จากนั้นนำไปเก็บที่ห้องเก็บ (Warehouse) โดยใช้สายพานลำเลียง (Belt conveyor) เป็นตัวนำไปเก็บซึ่งจะมีการสูญเสียพลังงานความร้อนอีกเช่นกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.1 การวิเคราะห์เอ็นธัลปีและเอ็กเซอร์ยีของหม้อน้ำ (Boiler)



รูปที่ 3.3 แสดงมวลขาเข้า-ออกของหม้อน้ำ (Boiler)

เชื้อเพลิงที่ใช้ใน Boiler เป็นน้ำมันเตาเบอร์ 5 ซึ่งมีส่วนประกอบของ C 85% , H 12% และ S 3% มีค่าความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 0.940 และค่าความร้อนต่ำ (LHV) เท่ากับ 10390 kcal/l

- การคำนวณเอ็นธัลปี

  - Enthalpy Input :

$$\Delta H_{\text{น้ำมันเตา}} = \text{LHV x ปริมาตร}$$
$$= (10390\ \text{kcal/l})(180\ \text{l/hr})$$
$$= 1.8702 \times 10^{6}\ \text{kcal/hr} \qquad (1\ \text{kcal} = 4.184\ \text{kJ})$$
$$= 7.82 \times 10^{6}\ \text{kJ/hr}$$
$$\Delta H_{water} = mC_p\Delta T$$
$$= (2000\ \text{kg/hr})(4.198\ \text{kJ/kgK})(353.15\text{-}298.15\ \text{K})$$
$$= 0.46 \times 10^{6}\ \text{kJ/hr}$$
$$\therefore \sum \Delta H_{input} = (7.82 \times 10^{6}\ \text{kJ/hr}) + (0.46 \times 10^{6}\ \text{kJ/hr})$$
$$= 8.28 \times 10^{6}\ \text{kJ/hr}$$

  - Enthalpy Output :

$$\Delta H_{\text{fuel gas}} = mC_p\Delta T$$
$$= (10136.09\ \text{kg/hr})(1.026\ \text{kJ/kgK})(493.15\text{-}298.15\ \text{K})$$
$$= 2.03 \times 10^{6}\ \text{kJ/hr}$$
$$\Delta H_{steam} = mh_g$$
$$= (2000\ \text{kg/hr})(2706.3\ \text{kJ/kg})$$
$$= 5.41 \times 10^{6}\ \text{kJ/hr}$$
$$\therefore \sum \Delta H_{output} = (2.03 \times 10^{6}\ \text{kJ/hr}) + (5.41 \times 10^{6}\ \text{kJ/hr})$$
$$= 7.44 \times 10^{6}\ \text{kJ/hr}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- การคำนวณเอ็กเซอร์ยี

  - Exergy Input :

$$\varepsilon_{\text{น้ำมันเตา}} = LHV\left[1.0038+(0.1365xH/C)+(0.0308xO/C)+(0.0104xS/C)\right]$$

$$= 10390\left[1.0038+(0.1365x0.12/0.85)+(0.0308x0/0.85\right.$$

$$\left.+(0.0104x0.03/0.85)\right]$$

$$= 10633.8227 \quad kcal/l$$

$$= 4.45 \times 10^{4} \quad kJ/l$$

ในกระบวนการผลิตใช้น้ำมันเตาไป 180 l/hr

$$\varepsilon_{\text{น้ำมันเตา}} = (4.45 \times 10^{4}\ kJ/l)(180\ l/hr)$$

$$= 8.01 \times 10^{6} \quad kJ/hr$$

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

$$= (0.46 \times 10^{6}\ kJ/hr)\left[1-(298.15/353.15)\right]$$

$$= 0.08 \times 10^{6} \quad kJ/hr$$

$$\therefore \sum\varepsilon_{input} = (8.01 \times 10^{6}\ kJ/hr)+(0.08 \times 10^{6}\ kJ/hr)$$

$$= 8.09 \times 10^{6} \quad kJ/hr$$

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

$$\varepsilon_{\text{fuel gas}} = (2.03 \times 10^{6}\ kJ/hr)\left[1-(298.15/493.15)\right]$$

$$= 0.80 \times 10^{6} \quad kJ/hr$$

$$\varepsilon_{steam} = (5.41 \times 10^{6}\ kJ/hr)\left[1-(298.15/393.15)\right]$$

$$= 1.31 \times 10^{6} \quad kJ/hr$$

$$\therefore \sum\varepsilon_{output} = (0.80 \times 10^{6}\ kJ/hr)+(1.31 \times 10^{6}\ kJ/hr)$$

$$= 2.11 \times 10^{6} \quad kJ/hr$$

$$\text{loss} = (0.84 \times 10^{6})\left[1-(298.15/343.15)\right]$$

$$= 0.11 \times 10^{6} \quad kJ/hr$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ผลการวิเคราะห์เอ็นธัลปี และเอ็กเซอร์ยีของหม้อน้ำ (Boiler)

ตารางที่ 3.1 ผลการวิเคราะห์เอ็นธัลปีของหม้อน้ำ (Boiler)

Enthalpy Input (kJ/hr)		%	Enthalpy Output (kJ/hr)		%
1. น้ำมันเตา (fuel oil)	7.82×10^6	94.44	1. Flue gas	2.03×10^6	24.52
2. Water	0.46×10^6	5.56	2 Steam	5.41×10^6	65.34
			3 Loss	0.84×10^6	10.14
$\sum \Delta H_{input}$	8.28×10^6	100	$\sum \Delta H_{output}$	8.28×10^6	100

ดังนั้นประสิทธิภาพโดยกฎข้อที่ 1 ของเทอร์โมไดนามิกส์ของหม้อน้ำ

$= (5.41 \times 10^6)/(8.28 \times 10^6) \times 100 = 65.34\ \%$

ตารางที่ 3.2 ผลการวิเคราะห์เอ็กเซอร์ยีของหม้อน้ำ (Boiler)

Exergy Input (kJ/hr)		%	Exergy Output (kJ/hr)		%
1. น้ำมันเตา (fuel oil)	8.01×10^6	99.01	1. Flue gas	0.80×10^6	9.89
2. Water	0.08×10^6	0.99	2. Steam	1.31×10^6	16.19
			3. Loss	0.11×10^6	1.36
			4. Irreversibility	5.87×10^6	72.56
$\sum \varepsilon_{input}$	8.09×10^6	100	$\sum \varepsilon_{output}$	8.09×10^6	100

ดังนั้นประสิทธิภาพโดยกฎข้อที่ 2 ของเทอร์โมไดนามิกส์ของหม้อน้ำ

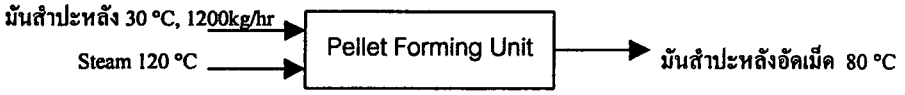
$= (1.31 \times 10^6)/(8.09 \times 10^6) \times 100 = 16.19\ \%$

3.2.2 วิจารณ์ผลการวิเคราะห์เอ็นธัลปี และเอ็กเซอร์ยีของหม้อน้ำ (Boiler)

จากการวิเคราะห์เอ็นธัลปีและเอ็กเซอร์ยีจะได้ผลดังในตารางที่ 3.1 และ 3.2 จากตารางจะได้ประสิทธิภาพโดยกฎข้อที่ 1 และ 2 ของเทอร์โมไดนามิกซ์เท่ากับ 65.34% และ 16.19% ตามลำดับ และมีค่าพลังงานที่สูญเสียไปประมาณ 10% และ 1.36% ตามลำดับ ซึ่งการสูญเสียพลังงานไปนั้นอาจเกิดจากปัจจัยต่างๆ เช่น เกิดการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ หม้อน้ำที่ใช้เป็นหม้อน้ำเก่าซึ่งทำให้สูญเสียพลังงานไปกับผนัง หม้อน้ำเป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.3 การวิเคราะห์เอ็นธัลปีและเอ็กเซอร์ยีของเครื่องอัดเม็ดมันสำปะหลัง(Pellet Forming Unit)



รูปที่ 3.4 แสดงมวลขาเข้า-ออกของเครื่องอัดเม็ดมันสำปะหลัง(Pellet Forming Unit)

❖ **<u>กรณีที่ 1</u> ให้ steam 60 kg/hr**

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

$$60 + 1200 = 1260$$

- moisture balance : $60 + (0.1)1200 = y(1260)$

$$y = 0.1429 = 14.29\ \%$$

- การคำนวณเอ็นธัลปี

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

$$\Delta H_{มันสำปะหลัง} = (1200\ kg/hr)(2.3875\ kJ/kgK)(303.15-298.15K)$$
$$= 0.14 \times 10^5\ kJ/hr$$
$$\Delta H_{Steam} = (60\ kg/hr)(2706.3\ kJ/kg)$$
$$= 1.62 \times 10^5\ kJ/hr$$
$$\therefore \sum\Delta H_{input} = (0.14 \times 10^5\ kJ/hr)+(1.62 \times 10^5\ kJ/hr)$$
$$= 1.76 \times 10^5\ kJ/hr$$

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

$$\Delta H_{มันสำปะหลังอัดเม็ด} = (1260\ kg/hr)(2.3875\ kJ/kgK)(353.15-298.15\ K)$$
$$= 1.65 \times 10^5\ kJ/hr$$

- การคำนวณเอ็กเซอร์ยี

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

$$\varepsilon_{มันสำปะหลัง} = (0.14 \times 10^5\ kJ/hr)\left[1-(298.15/303.15)\right]$$
$$= 0.0023\times10^5\ kJ/hr$$
$$\varepsilon_{Steam} = (1.62 \times 10^5\ kJ/hr)\left[1-(298.15/393.15)\right]$$
$$= 0.39 \times 10^5\ kJ/hr$$
$$\therefore \sum\varepsilon_{input} = (0.0023 \times 10^5\ kJ/hr)+(0.39 \times 10^5\ kJ/hr)$$
$$= 0.3923\times10^5\ kJ/hr$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

$\varepsilon_{\text{มันสำปะหลังอัดเม็ด}} = (1.65 \times 10^5 \text{ kJ/hr})[1-(298.15/353.15)]$

$= 0.26 \times 10^5$ kJ/hr

loss $= (0.11 \times 10^5)[1-(298.15/323.15)]$

$= 0.0085 \times 10^5$ kJ/hr

- ผลการวิเคราะห์เอ็นธัลปีและเอ็กเซอร์ยีเครื่องอัดเม็ดมันสำปะหลัง(Pellet Forming Unit) ที่ใช้ปริมาณไอน้ำ 60 kJ/hr

ตารางที่ 3.3 การวิเคราะห์เอ็นธัลปีของPellet Forming Unit

Enthalpy Input (kJ/hr)		%	Enthalpy Input (kJ/hr)		%
1. มันสำปะหลัง	0.14×10^5	7.95	1. มันสำปะหลังอัดเม็ด	1.65×10^5	93.75
2. steam	1.62×10^5	92.05	2. Loss	0.11×10^5	6.25
$\sum \Delta H_{input}$	1.76×10^5	100	$\sum \Delta H_{output}$	1.76×10^5	100

ตารางที่ 3.4 การวิเคราะห์เอ็กเซอร์ยีของPellet Forming Unit

Exergy Input (kJ/hr)		%	Exergy Output (kJ/hr)		%
1. มันสำปะหลัง	0.0023×10^5	99.41	1. มันสำปะหลังอัดเม็ด	0.26×10^5	66.28
2. Steam	0.39×10^5	0.59	2. Loss	0.0085×10^5	2.17
			3. Irreversibility	0.1238×10^5	31.55
$\sum \varepsilon_{input}$	0.3923×10^5	100	$\sum \varepsilon_{output}$	0.3923×10^5	100

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

❖ **<u>กรณีที่ 2</u>** ให้ steam 80 kg/hr

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

  $80 + 1200 = 1280$

- moisture balance : $80 + (0.1)1200 = y\,(1280)$

  $y = 0.1563 = 15.63\ \%$

- การคำนวณเอ็นธัลปี

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

$$\Delta H_{มันสำปะหลัง} = (1200\ kg/hr)(2.3875\ kJ/kgK)(303.15\text{-}298.15K)$$
$$= 0.14 \times 10^5 \quad kJ/hr$$
$$\Delta H_{Steam} = (80\ kg/hr)(2706.3\ kJ/kg)$$
$$= 2.17 \times 10^5 \quad kJ/hr$$
$$\therefore \sum \Delta H_{input} = (0.14 \times 10^5\ kJ/hr) + (2.17 \times 10^5\ kJ/hr)$$
$$= 2.31 \times 10^5 \quad kJ/hr$$

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

$$\Delta H_{มันสำปะหลังอัดเม็ด} = (1280\ kg/hr)(2.3875\ kJ/kgK)(353.15\text{-}298.15\ K)$$
$$= 1.68 \times 10^5 \quad kJ/hr$$

- การคำนวณเอ็กเซอร์ยี

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

$$\varepsilon_{มันสำปะหลัง} = (0.14 \times 10^5\ kJ/hr)\left[1\text{-}(298.15/303.15)\right]$$
$$= 0.0023 \times 10^5 \quad kJ/hr$$
$$\varepsilon_{Steam} = (2.17 \times 10^5\ kJ/hr)\left[1\text{-}(298.15/393.15)\right]$$
$$= 0.52 \times 10^5 \quad kJ/hr$$
$$\therefore \sum \varepsilon_{input} = (0.0023 \times 10^5\ kJ/hr) + (0.52 \times 10^5\ kJ/hr)$$
$$= 0.5223 \times 10^5 \quad kJ/hr$$

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

$$\varepsilon_{มันสำปะหลังอัดเม็ด} = (1.68 \times 10^5\ kJ/hr)\left[1\text{-}(298.15/353.15)\right]$$
$$= 0.26 \times 10^5 \quad kJ/hr$$
$$loss = (0.63 \times 10^5)\left[1\text{-}(298.15/323.15)\right]$$
$$= 0.0487 \times 10^5 \quad kJ/hr$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

96850

- ผลการวิเคราะห์เอ็นธัลปีและเอ็กเซอร์ยีของเครื่องอัดเม็ดมันสำปะหลัง(Pellet Forming Unit)ที่ใช้ปริมาณไอน้ำ 80 kg/hr

ตารางที่ 3.5 ผลการวิเคราะห์เอ็นธัลปีของ Pellet Forming Unit

Enthalpy Input (kJ/hr)		%	Enthalpy Output (kJ/hr)		%
1. มันสำปะหลัง	0.14×10^5	6.06	1. มันสำปะหลังอัดเม็ด	1.68×10^5	72.73
2. steam	2.17×10^5	93.94	2. Loss	0.63×10^5	27.27
$\sum \Delta H_{input}$	2.31×10^5	100	$\sum \Delta H_{output}$	2.31×10^5	100

ตารางที่ 3.6 ผลการวิเคราะห์เอ็กเซอร์ยีของ Pellet Forming Unit

Exergy Input (kJ/hr)		%	Exergy Output (kJ/hr)		%
1. มันสำปะหลัง	0.0023×10^5	0.44	1. มันสำปะหลังอัดเม็ด	0.26×10^5	49.78
2. Steam	0.52×10^5	99.56	2. Loss	0.0487×10^5	9.32
			3. Irreversibility	0.2136×10^5	40.90
$\sum \varepsilon_{input}$	0.5223×10^5	100	$\sum \varepsilon_{output}$	0.5223×10^5	100

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

❖ **<u>กรณีที่ 3</u> ให้ steam 100 kg/hr**

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

$$100 + 1200 = 1300$$

- moisture balance : $100 + (0.1)1200 = y\,(1300)$

$$y = 0.1692 = 16.92\,\%$$

- การคำนวณเอ็นธัลปี

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

$$\Delta H_{มันสำปะหลัง} = (1200\ kg/hr)(2.3875\ kJ/kgK)(303.15-298.15K)$$
$$= 0.14 \times 10^5\ kJ/hr$$
$$\Delta H_{Steam} = (100\ kg/hr)(2706.3\ kJ/kg)$$
$$= 2.71 \times 10^5\ kJ/hr$$
$$\therefore \sum \Delta H_{input} = (0.14 \times 10^5\ kJ/hr)+(2.71 \times 10^5\ kJ/hr)$$
$$= 2.85 \times 10^5\ kJ/hr$$

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

$$\Delta H_{มันสำปะหลังอัดเม็ด} = (1300\ kg/hr)(2.3875\ kJ/kgK)(353.15-298.15\ K)$$
$$= 1.71 \times 10^5\ kJ/h$$

- การคำนวณเอ็กเซอร์ยี

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

$$\varepsilon_{มันสำปะหลัง} = (0.14 \times 10^5\ kJ/hr)\left[1-(298.15/303.15)\right]$$
$$= 0.0023 \times 10^5\ kJ/hr$$
$$\varepsilon_{Steam} = (2.71 \times 10^5\ kJ/hr)\left[1-(298.15/393.15)\right]$$
$$= 0.65 \times 10^5\ kJ/hr$$
$$\therefore \sum \varepsilon_{input} = (0.0023 \times 10^5\ kJ/hr)+(0.65 \times 10^5\ kJ/hr)$$
$$= 0.6523 \times 10^5\ kJ/hr$$

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

$$\varepsilon_{มันสำปะหลังอัดเม็ด} = (1.71 \times 10^5\ kJ/hr)\left[1-(298.15/353.15)\right]$$
$$= 0.27 \times 10^5\ kJ/hr$$
$$\text{loss} = (1.14 \times 10^5)\left[1-(298.15/323.15)\right]$$
$$= 0.09 \times 10^5\ kJ/hr$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ผลการวิเคราะห์เอ็นธัลปีและเอ็กเซอร์ยีของเครื่องอัดเม็ดมันสำปะหลัง(Pellet Forming Unit)ที่ใช้ปริมาณไอน้ำ 100 kg/hr

ตารางที่ 3.7 ผลการวิเคราะห์เอ็นธัลปีของ Pellet Forming Unit

Enthalpy Input (kJ/hr)		%	Enthalpy Output (kJ/hr)		%
1. มันสำปะหลัง	0.14×10^5	4.91	1. มันสำปะหลังอัดเม็ด	1.71×10^5	60.0
2. steam	2.71×10^5	95.09	2. Loss	1.14×10^5	40.0
$\sum \Delta H_{input}$	2.85×10^5	100	$\sum \Delta H_{output}$	2.85×10^5	100

ตารางที่ 3.8 ผลการวิเคราะห์เอ็กเซอร์ยีของ Pellet Forming Unit

Exergy Input (kJ/hr)		%	Exergy Output (kJ/hr)		%
1. มันสำปะหลัง	0.0023×10^5	0.35	1. มันสำปะหลังอัดเม็ด	0.27×10^5	41.39
2. steam	0.65×10^5	99.65	2. Loss	0.09×10^5	13.80
			3. Irreversibility	0.2923×10^5	44.81
$\sum \varepsilon_{input}$	0.6523×10^5	100	$\sum \varepsilon_{output}$	0.6523×10^5	100

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

❖ **กรณีที่ 4** ให้ steam 120 kg/hr

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

$$120 + 1200 = 1320$$

- moisture balance : $120 + (0.1)1200 = y\,(1320)$

$$y = 0.1818 = 18.18\,\%$$

- การคำนวณเอ็นธัลปี

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

$$\Delta H_{มันสำปะหลัง} = (1200\ kg/hr)(2.3875\ kJ/kgK)(303.15-298.15K)$$
$$= 0.14 \times 10^5 \quad kJ/hr$$
$$\Delta H_{Steam} = (120\ kg/hr)(2706.3\ kJ/kg)$$
$$= 3.25 \times 10^5 \quad kJ/hr$$
$$\therefore \sum \Delta H_{input} = (0.14 \times 10^5\ kJ/hr) + (3.25 \times 10^5\ kJ/hr)$$
$$= 3.39 \times 10^5 \quad kJ/hr$$

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

$$\Delta H_{มันสำปะหลังอัดเม็ด} = (1320\ kg/hr)(2.3875\ kJ/kgK)(353.15-298.15\ K)$$
$$= 1.73 \times 10^5 \quad kJ/hr$$

- การคำนวณเอ็กเซอร์ยี

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

$$\varepsilon_{มันสำปะหลัง} = (0.14 \times 10^5\ kJ/hr)\left[1-(298.15/303.15)\right]$$
$$= 0.0023 \times 10^5 \quad kJ/hr$$
$$\varepsilon_{Steam} = (3.25 \times 10^5\ kJ/hr)\left[1-(298.15/393.15)\right]$$
$$= 0.79 \times 10^5 \quad kJ/hr$$
$$\therefore \sum \varepsilon_{input} = (0.0023 \times 10^5\ kJ/hr) + (0.79 \times 10^5\ kJ/hr)$$
$$= 0.7923 \times 10^5 \quad kJ/hr$$

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

$$\varepsilon_{มันสำปะหลังอัดเม็ด} = (1.73 \times 10^5\ kJ/hr)\left[1-(298.15/353.15)\right]$$
$$= 0.27 \times 10^5 \quad kJ/hr$$
$$\text{loss} = (1.66 \times 10^5)\left[1-(298.15/323.15)\right]$$
$$= 0.13 \times 10^5 \quad kJ/hr$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ห้องสมุดคณะเทคโนโลยีการเกษตร
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าฯ ฉลองกรุงธ

- ผลการวิเคราะห์เอ็นธัลปีและเอ็กเซอร์ยีของเครื่องอัดเม็ดมันสำปะหลัง(Pellet Forming Unit)ที่ใช้ปริมาณไอน้ำ 120 kg/hr

ตารางที่ 3.9 ผลการวิเคราะห์เอ็นธัลปีของ Pellet Forming Unit

Enthalpy Input (kJ/hr)		%	Enthalpy Output (kJ/hr)		%
1. มันสำปะหลัง	0.14×10^5		1. มันสำปะหลังอัดเม็ด	1.73×10^5	51.03
2. steam	3.25×10^5		2. Loss	1.66×10^5	48.97
$\sum \Delta H_{input}$	3.39×10^5	100	$\sum \Delta H_{output}$	3.39×10^5	100

ตารางที่ 3.10 ผลการวิเคราะห์เอ็กเซอร์ยีของ Pellet Forming Unit

Exergy Input kJ/hr)		%	Exergy Output (kJ/hr)		%
1. มันสำปะหลัง	0.0023×10^5	0.29	1. มันสำปะหลังอัดเม็ด	0.27×10^5	34.08
2. steam	0.79×10^5	99.71	2. Loss	0.13×10^5	16.41
			3. Irreversibility	0.3923×10^5	49.51
$\sum \varepsilon_{input}$	0.7923×10^5	100	$\sum \varepsilon_{output}$	0.7923×10^5	100

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.4 วิจารณ์ผลการวิเคราะห์เอ็นธัลปีและเอ็กเซอร์ยีของเครื่องอัดเม็ดมันสำปะหลัง(Pellet Forming Unit)ที่ใช้ปริมาณไอน้ำต่างกัน

ตารางที่ 3.11 เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์เอ็นธัลปีและเอ็กเซอร์ยีของเครื่องอัดเม็ดมันสำปะหลัง (Pellet Forming Unit)ที่ใช้ปริมาณไอน้ำต่างกัน

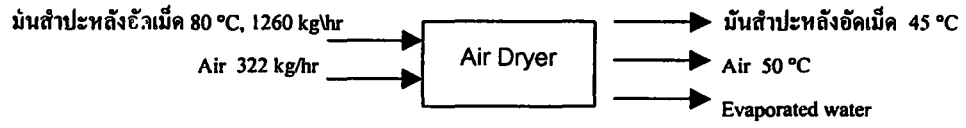
Steam (kg/hr)	ความชื้นของมันสำปะหลังอัดเม็ดที่ออกจากเครื่อง Pellet Forming Unit (%)	ประสิทธิภาพโดยกฎข้อที่ 1 ของเทอร์โมไดนามิกส์ (%)	ประสิทธิภาพโดยกฎข้อที่ 2 ของเทอร์โมไดนามิกส์ (%)
60	14.29	93.75	66.28
80	15.63	72.73	49.78
100	16.92	60.00	41.39
120	18.18	51.03	34.08

วัตถุดิบถูกป้อนเข้ามาประมาณ 1,200 kg/hr มีอุณหภูมิ 30°C โดยให้ไอน้ำที่ปริมาณต่างๆกันดังนี้ 60 kg/hr, 80 kg/hr, 100 kg/hr และ 120 kg/hr ที่อุณหภูมิ 120°C เพื่ออัดให้เป็นเม็ด โดยขาออกจะได้มันสำปะหลังอัดเม็ดที่มีอุณหภูมิ 80°C หลังจากวิเคราะห์เอ็นธัลปีและเอ็กเซอร์ยีแล้ว จะได้ประสิทธิภาพ (Efficiency) ดังตารางที่ 3.11 จะเห็นว่าเครื่องอัดเม็ดมันสำปะหลังที่ใช้ปริมาณไอน้ำ 60 kg/hr จะมีประสิทธิภาพสูงที่สุด คือ ประสิทธิภาพโดยกฎข้อที่ 1 ของเทอร์โมไดนามิกส์จะเท่ากับ 93.75 % ประสิทธิภาพโดยกฎข้อที่ 2 ของเทอร์โมไดนามิกส์จะเท่ากับ 66.28 % และค่าความชื้นของมันสำปะหลังอัดเม็ดที่ออกมาก็มีค่าต่ำสุดเช่นกันคือ 14.29 % จากผลที่ได้นี้การใช้ปริมาณไอน้ำยิ่งมากจะทำให้ความชื้นยิ่งสูงตาม ดังนั้นในการผลิตควรเลือกใช้ปริมาณไอน้ำต่ำและพอเหมาะกับวัตถุดิบ ซึ่งจะทำให้เป็นการประหยัดพลังงานในกระบวนการขั้นต่อไปและสามารถลดต้นทุนการผลิตได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.5 การวิเคราะห์เอ็นธัลปีและเอ็กเซอร์ยีของเครื่องอบแห้ง (Air Dryer)

<u>กรณีที่ 1</u> กำหนดให้ปริมาณมันสำปะหลังอัดเม็ดขาเข้าเครื่องอบแห้งคงที่เท่ากับ 1260 kg/hr ซึ่งมีความชื้นเท่ากับ 14.29 % และให้ปริมาณอากาศที่ใช้ในการอบแห้งเท่ากับ 322 kg/hr



รูปที่ 3.5 แสดงมวลขาเข้า-ออกของเครื่องอบแห้ง (Air Dryer)

❖ **ให้อากาศที่ใช้ในการอบแห้งมีอุณหภูมิ 37 °C และไอน้ำที่ระเหยออกมีอุณหภูมิ 40 °C**

- energy balance :

$$\Delta H_{air} + \Delta H_{\text{มันสำปะหลังอัดเม็ดเข้า}} = \Delta H_{\text{มันสำปะหลังอัดเม็ดออก}} + \Delta H_{air} + \Delta H_{\text{evaporated water}}$$

$$322(1.0056)(310.15-298.15) + 1260(2.3875)(353.15-298.15) = 322(1.0064)(323.15-298.15) + X(2574.3) + (1260-X)(2.3875)(318.15-298.15)$$

$$X = 40.00$$

- mass balance : $m_{air} + m_{\text{มันสำปะหลังอัดเม็ดเข้า}} = m_{\text{มันสำปะหลังอัดเม็ดออก}} + m_{air} + m_{\text{evaporated water}}$

$$1260 = 40 + 1220$$

- moisture balance : $1260(0.1429) = 40 + Y\,(1220)$

$$y = 0.1148 = 11.48\ \%$$

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

$$\Delta H_{air} = (322\ kg/hr)(1.0056\ kJ/kgK)(310.15-298.15K)$$
$$= 0.39 \times 10^4\ kJ/hr$$

$$\Delta H_{\text{มันสำปะหลังอัดเม็ด}} = (1260\ kg/hr)(2.3875\ kJ/kgK)(353.15-298.15K)$$
$$= 16.55 \times 10^4\ kJ/hr$$

$$\therefore \sum \Delta H_{input} = (0.39 \times 10^4\ kJ/hr)+(16.55 \times 10^4\ kJ/hr)$$
$$= 16.94 \times 10^4\ kJ/hr$$

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

$$\Delta H_{air} = (322\ kg/hr)(1.0064\ kJ/kgK)(323.15-298.15K)$$
$$= 0.81 \times 10^4\ kJ/hr$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$\Delta H_{\text{มันสำปะหลังอัดเม็ด}}$ = (1260 kg/hr)(2.3875 kJ/kgK)(318.15-298.15K)

= 5.80×10^4 kJ/hr

$\Delta H_{\text{evaporated water}}$ = (40 kg/hr)(2574.3 kJ/kg)

= 10.30×10^4 kJ/hr

- การคำนวณเอ็กเซอร์ยี

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

ε_{Air} = $(0.39 \times 10^4$ kJ/hr$)[1-(298.15/310.15)]$

= 0.0151×10^4 kJ/hr

$\varepsilon_{\text{มันสำปะหลังอัดเม็ด}}$ = $(16.55 \times 10^4$ kJ/hr$)[1-(298.15/353.15)]$

= 2.5775×10^4 kJ/hr

$\therefore \sum\varepsilon_{\text{input}}$ = $(0.0151 \times 10^4$ kJ/hr$)+(2.5775 \times 10^4$ kJ/hr)

= 2.5926×10^4 kJ/hr

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

ε_{Air} = $(0.81 \times 10^4$ kJ/hr$)[1-(298.15/323.15)]$

= 0.0627×10^4 kJ/hr

$\varepsilon_{\text{มันสำปะหลังอัดเม็ด}}$ = $(5.80 \times 10^4$ kJ/hr$)[1-(298.15/318.15)]$

= 0.3646×10^4 kJ/hr

$\varepsilon_{\text{evaporated water}}$ = $(10.30 \times 10^4$ kJ/hr$)[1-(298.15/313.15)]$

= 0.4934×10^4 kJ/hr

loss = $(0.03 \times 10^4)[1-(298.15/313.15)]$

= 0.0019×10^4 kJ/hr

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ผลการวิเคราะห์เอ็นธัลปีและเอ็กเซอร์ยีของเครื่องอบแห้ง(Air Dryer)โดยให้อากาศที่ใช้ในการอบแห้งมีอุณหภูมิ 37 °C และไอน้ำที่ระเหยออกมีอุณหภูมิ 40 °C

ตารางที่ 3.12 ผลการวิเคราะห์เอ็นธัลปีของเครื่องอบแห้ง (Air Dryer)

Enthalpy Input (kJ/hr)		%	Enthalpy Output (kJ/hr)		%
1. Air	0.39×10^4	2.30	1. Air	0.81×10^4	4.78
2. มันสำปะหลังอัดเม็ด	16.55×10^4	97.70	2. มันสำปะหลังอัดเม็ด	5.80×10^4	34.24
			3. Evaporated water	10.30×10^4	60.80
			4. Loss	0.03×10^4	0.18
$\sum \Delta H_{input}$	16.94×10^4	100	$\sum \Delta H_{output}$	16.94×10^4	100

ตารางที่ 3.13 ผลการวิเคราะห์เอ็กเซอร์ยีของเครื่องอบแห้ง (Air Dryer)

Exergy Input (kJ/hr)		%	Exergy Output (kJ/hr)		%
1. Air	0.0151×10^4	0.58	1. Air	0.0627×10^4	2.42
2. มันสำปะหลังอัดเม็ด	2.5775×10^4	99.42	2. มันสำปะหลังอัดเม็ด	0.3646×10^4	14.06
			3. Evaporated water	0.4934×10^4	19.03
			4. Loss	0.0019×10^4	0.07
			5. Irreversibility	1.6700×10^4	64.42
$\sum \varepsilon_{input}$	2.5926×10^4	100	$\sum \varepsilon_{output}$	2.5926×10^4	100

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

❖ **ให้อากาศที่ใช้ในการอบแห้งมีอุณหภูมิ 40 °C และไอน้ำที่ระเหยออกมีอุณหภูมิ 50 °C**

- energy balance :

$$\Delta H_{air} + \Delta H_{\text{มันสำปะหลังอัดเม็ดเข้า}} = \Delta H_{\text{มันสำปะหลังอัดเม็ดออก}} + \Delta H_{air} + \Delta H_{evaporated\ water}$$

$$322(1.0058)(313.15-298.15) + 1260(2.3875)(353.15-298.15) = 322(1.0064)(323.15-298.15) + X(2592.1) + (1260-X)(2.3875)(318.15-298.15)$$

$$X = 40.10$$

- mass balance : $m_{air} + m_{\text{มันสำปะหลังอัดเม็ดเข้า}} = m_{\text{มันสำปะหลังอัดเม็ดออก}} + m_{air} + m_{evaporated\ water}$

$$1260 = 40.10 + 1219.90$$

- moisture balance : $1260(0.1429) = 40.10 + Y\,(1219.90)$

$$y = 0.1147 = 11.47\ \%$$

- การคำนวณเอ็นธัลปี

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

$$\Delta H_{air} = (322\ kg/hr)(1.0058\ kJ/kgK)(313.15-298.15K)$$
$$= 0.49 \times 10^4\ kJ/hr$$

$$\Delta H_{\text{มันสำปะหลังอัดเม็ด}} = (1260\ kg/hr)(2.3875\ kJ/kgK)(353.15-298.15K)$$
$$= 16.55 \times 10^4\ kJ/hr$$

$$\therefore \sum \Delta H_{input} = (0.49 \times 10^4\ kJ/hr)+(16.55 \times 10^4\ kJ/hr)$$
$$= 17.04 \times 10^4\ kJ/hr$$

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

$$\Delta H_{air} = (322\ kg/hr)(1.0064\ kJ/kgK)(323.15-298.15K)$$
$$= 0.81 \times 10^4\ kJ/hr$$

$$\Delta H_{\text{มันสำปะหลังอัดเม็ด}} = (1219.9\ kg/hr)(2.3875\ kJ/kgK)(318.15-298.15K)$$
$$= 5.80 \times 10^4\ kJ/hr$$

$$\Delta H_{evaporated\ water} = (40\ kg/hr)(2592.1\ kJ/kg)$$
$$= 10.40 \times 10^4\ kJ/hr$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- **การคำนวณเอ็กเซอร์ยี**

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

$$\varepsilon_{Air} = (0.49 \times 10^4 \text{ kJ/hr})\left[1-(298.15/313.15)\right]$$
$$= 0.0235 \times 10^4 \text{ kJ/hr}$$

$$\varepsilon_{\text{มันสำปะหลังอัดเม็ด}} = (10.55 \times 10^4 \text{ kJ/hr})\left[1-(298.15/353.15)\right]$$
$$= 2.5775 \times 10^4 \text{ kJ/hr}$$

$$\therefore \sum\varepsilon_{input} = (0.0235 \times 10^4 \text{ kJ/hr})+(2.5775 \times 10^4 \text{ kJ/hr})$$
$$= 2.6010 \times 10^4 \text{ kJ/hr}$$

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

$$\varepsilon_{Air} = (0.81 \times 10^4 \text{ kJ/hr})\left[1-(298.15/323.15)\right]$$
$$= 0.0627 \times 10^4 \text{ kJ/hr}$$

$$\varepsilon_{\text{มันสำปะหลังอัดเม็ด}} = (5.82 \times 10^4 \text{ kJ/hr})\left[1-(298.15/318.15)\right]$$
$$= 0.3659 \times 10^4 \text{ kJ/hr}$$

$$\varepsilon_{\text{evaporated water}} = (10.40 \times 10^4 \text{ kJ/hr})\left[1-(298.15/323.15)\right]$$
$$= 0.8046 \times 10^4 \text{ kJ/hr}$$

$$\text{loss} = (0.01 \times 10^4)\left[1-(298.15/313.15)\right]$$
$$= 0.0005 \times 10^4 \text{ kJ/hr}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ผลการวิเคราะห์เอ็นธัลปีและเอ็กเซอร์ยีของเครื่องอบแห้ง(Air Dryer)โดยให้อากาศที่ใช้ในการอบแห้งมีอุณหภูมิ 40 °C และไอน้ำที่ระเหยออกมีอุณหภูมิ 50 °C

ตารางที่ 3.14 ผลการวิเคราะห์เอ็นธัลปีของเครื่องอบแห้ง (Air Dryer)

Enthalpy Input (kJ/hr)		%	Enthalpy Output (kJ/hr)		%
1. Air	0.49×10^4	2.88	1. Air	0.81×10^4	4.75
2. มันสำปะหลังอัดเม็ด	16.55×10^4	97.70	2. มันสำปะหลังอัดเม็ด	5.82×10^4	34.15
			3. Evaporated water	10.40×10^4	61.03
			4. Loss	0.01×10^4	0.06
$\sum \Delta H_{input}$	17.04×10^4	100	$\sum \Delta H_{output}$	17.04×10^4	100

ตารางที่ 3.15 ผลการวิเคราะห์เอ็กเซอร์ยีของเครื่องอบแห้ง (Air Dryer)

Exergy Input (kJ/hr)		%	Exergy Output (kJ/hr)		%
1. Air	0.0235×10^4	0.90	1. Air	0.0627×10^4	2.41
2. มันสำปะหลังอัดเม็ด	2.5775×10^4	99.10	2. มันสำปะหลังอัดเม็ด	0.3659×10^4	14.07
			3. Evaporated water	0.8046×10^4	30.93
			4. Loss	0.0005×10^4	0.02
			5. Irreversibility	1.3673×10^4	52.57
$\sum \varepsilon_{input}$	2.6010×10^4	100	$\sum \varepsilon_{output}$	2.6010×10^4	100

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

❖ ให้อากาศที่ใช้ในการอบแห้งมีอุณหภูมิ 45 °C และไอน้ำที่ระเหยออกมีอุณหภูมิ 50 °C

- energy balance :

$$\Delta H_{air} + \Delta H_{\text{มันสำปะหลังอัดเม็ดเข้า}} = \Delta H_{\text{มันสำปะหลังอัดเม็ดออก}} + \Delta H_{air} + \Delta H_{\text{evaporated water}}$$

$$322(1.0061)(318.15-298.15) + 1260(2.3875)(353.15-298.15) = 322(1.0064)(323.15-298.15) + X(2592.1) + (1260-X)(2.3875)(318.15-298.15)$$

$$X = 40.74$$

- mass balance : $m_{air} + m_{\text{มันสำปะหลังอัดเม็ดเข้า}} = m_{\text{มันสำปะหลังอัดเม็ดออก}} + m_{air} + m_{\text{evaporated water}}$

$$1260 = 40.74 + 1219.26$$

- moisture balance : $1260(0.1429) = 40.74 + Y(1219.26)$

$$y = 0.1143 = 11.43\ \%$$

- การคำนวณเอ็นธัลปี

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

$$\Delta H_{air} = (322\ kg/hr)(1.0061\ kJ/kgK)(318.15-298.15K)$$
$$= 0.65 \times 10^4\ kJ/hr$$

$$\Delta H_{\text{มันสำปะหลังอัดเม็ด}} = (1260\ kg/hr)(2.3875\ kJ/kgK)(353.15-298.15K)$$
$$= 16.55 \times 10^4\ kJ/hr$$

$$\therefore \sum \Delta H_{input} = (0.65 \times 10^4\ kJ/hr) + (16.55 \times 10^4\ kJ/hr)$$
$$= 17.20 \times 10^4\ kJ/hr$$

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

$$\Delta H_{air} = (322\ kg/hr)(1.0064\ kJ/kgK)(323.15-298.15K)$$
$$= 0.81 \times 10^4\ kJ/hr$$

$$\Delta H_{\text{มันสำปะหลังอัดเม็ด}} = (1219.26\ kg/hr)(2.3875\ kJ/kgK)(318.15-298.15K)$$
$$= 5.82 \times 10^4\ kJ/hr$$

$$\Delta H_{\text{evaporated water}} = (40.74\ kg/hr)(2592.1\ kJ/kg)$$
$$= 5.82 \times 10^4\ kJ/hr$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- การคำนวณเอ็กเซอร์ยี

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

$$\varepsilon_{Air} = (0.65 \times 10^4 \text{ kJ/hr})\left[1-(298.15/318.15)\right]$$
$$= 0.0409 \times 10^4 \text{ kJ/hr}$$
$$\varepsilon_{\text{มันสำปะหลังอัดเม็ด}} = (16.55 \times 10^4 \text{ kJ/hr})\left[1-(298.15/353.15)\right]$$
$$= 2.5775 \times 10^4 \text{ kJ/hr}$$
$$\therefore \sum\varepsilon_{input} = (0.0409 \times 10^4 \text{ kJ/hr})+(2.5775 \times 10^4 \text{ kJ/hr})$$
$$= 2.6184 \times 10^4 \text{ kJ/hr}$$

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

$$\varepsilon_{Air} = (0.81 \times 10^4 \text{ kJ/hr})\left[1-(298.15/323.15)\right]$$
$$= 0.0627 \times 10^4 \text{ kJ/hr}$$
$$\varepsilon_{\text{มันสำปะหลังอัดเม็ด}} = (5.82 \times 10^4 \text{ kJ/hr})\left[1-(298.15/318.15)\right]$$
$$= 0.3659 \times 10^4 \text{ kJ/hr}$$
$$\varepsilon_{\text{evaporated water}} = (10.56 \times 10^4 \text{ kJ/hr})\left[1-(298.15/323.15)\right]$$
$$= 0.8169 \times 10^4 \text{ kJ/hr}$$
$$\text{loss} = (0.01 \times 10^4) - \left[1-(298.15/313.15)\right]$$
$$= 0.0005 \times 10^4 \text{ kJ/hr}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ผลการวิเคราะห์เอ็นธัลปีและเอ็กเซอร์ยีของเครื่องอบแห้ง (Air Dryer) โดยให้อากาศที่ใช้ในการแห้งมีอุณหภูมิ 45 °C และไอน้ำที่ระเหยออกมีอุณหภูมิ 50 °C

ตารางที่ 3.16 ผลการวิเคราะห์เอ็นธัลปีของเครื่องอบแห้ง (Air Dryer)

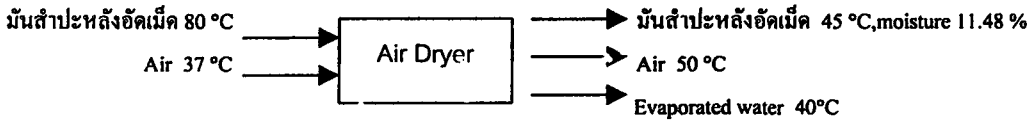
Enthalpy Input (kJ/hr)		%	Enthalpy Output (kJ/hr)		%
1. Air	0.65×10^4	3.78	1. Air	0.81×10^4	4.70
2. มันสำปะหลังอัดเม็ด	16.55×10^4	96.22	2. มันสำปะหลังอัดเม็ด	5.82×10^4	33.84
			3. Evaporated water	10.56×10^4	61.40
			4. Loss	0.01×10^4	0.06
$\sum \Delta H_{input}$	17.20×10^4	100	$\sum \Delta H_{output}$	17.20×10^4	100

ตารางที่ 3.17 ผลการวิเคราะห์เอ็กเซอร์ยีของเครื่องอบแห้ง (Air Dryer)

Exergy Input (kJ/hr)		%	Exergy Output (kJ/hr)		%
1. Air	0.0409×10^4	1.56	1. Air	0.0627×10^4	2.39
2. มันสำปะหลังอัดเม็ด	2.5775×10^4	98.44	2. มันสำปะหลังอัดเม็ด	0.3659×10^4	13.97
			3. Evaporated water	0.8169×10^4	31.19
			4. Loss	0.0005×10^4	0.02
			5. Irreversibility	1.3724×10^4	52.41
$\sum \varepsilon_{input}$	2.6184×10^4	100	$\sum \varepsilon_{output}$	2.6184×10^4	100

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<u>กรณีที่ 2</u> กำหนดให้ความชื้นของมันสำปะหลังอัดเม็ดขาออกจากเครื่องอบแห้งคงที่เท่ากับ11.48% และให้อุณหภูมิอากาศที่ใช้ในการอบแห้งเท่ากับ 37 °C



รูปที่ 3.6 แสดงมวลขาเข้า-ออกของเครื่องอบแห้ง (Air Dryer)

❖ **ให้มันสำปะหลังอัดเม็ดขาเข้าเครื่องอบแห้งเท่ากับ 1260 kg/hr**

- moisture balance : $1260(0.1429) = X + (1260-X)(0.1148)$

$$X = 40.00$$

- mass balance : $m_{air} + m_{\text{มันสำปะหลังอัดเม็ดเข้า}} = m_{\text{มันสำปะหลังอัดเม็ดออก}} + m_{air} + m_{evaporated\ water}$

$$1260 = 40 + 1220$$

- energy balance :

$$\Delta H_{air} + \Delta H_{\text{มันสำปะหลังอัดเม็ดเข้า}} = \Delta H_{\text{มันสำปะหลังอัดเม็ดออก}} + \Delta H_{air} + \Delta H_{evaporated\ water}$$

$$m_{air}(1.0056)(310.15-298.15) + 1260(2.3875)(353.15-298.15) = m_{air}(1.0064)(323.15-298.15) + 40(2574.3) + (1260-X)(2.3875)(318.15-298.15)$$

$$m_{air} = 322 \text{ kg/hr}$$

- การคำนวณเอ็นธัลปี

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

$$\Delta H_{air} = (322 \text{ kg/hr})(1.0056 \text{ kJ/kgK})(310.15-298.15\text{K})$$
$$= 0.39 \times 10^4 \text{ kJ/hr}$$

$$\Delta H_{\text{มันสำปะหลังอัดเม็ด}} = (1260 \text{ kg/hr})(2.3875 \text{ kJ/kgK})(353.15-298.15\text{K})$$
$$= 16.55 \times 10^4 \text{ kJ/hr}$$

$$\therefore \sum \Delta H_{input} = (0.39 \times 10^4 \text{ kJ/hr}) + (16.55 \times 10^4 \text{ kJ/hr})$$
$$= 16.94 \times 10^4 \text{ kJ/hr}$$

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

$$\Delta H_{air} = (322 \text{ kg/hr})(1.0064 \text{ kJ/kgK})(323.15-298.15\text{K})$$
$$= 0.81 \times 10^4 \text{ kJ/hr}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\Delta H_{\text{มันสำปะหลังอัดเม็ด}} = (1260\ \text{kg/hr})(2.3875\ \text{kJ/kgK})(318.15\text{-}298.15\text{K})$$
$$= 5.80 \times 10^4 \quad \text{kJ/hr}$$
$$\Delta H_{\text{evaporated water}} = (40\ \text{kg/hr})(2574.3\ \text{kJ/kg})$$
$$= 10.30 \times 10^4 \quad \text{kJ/hr}$$

- **การคำนวณเอ็กเซอร์ยี**

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

$$\varepsilon_{Air} = (0.39 \times 10^4\ \text{kJ/hr})\left[1\text{-}(298.15/310.15)\right]$$
$$= 0.0151 \times 10^4 \quad \text{kJ/hr}$$
$$\varepsilon_{\text{มันสำปะหลังอัดเม็ด}} = (16.55 \times 10^4\ \text{kJ/hr})\left[1\text{-}(298.15/353.15)\right]$$
$$= 2.5775 \times 10^4 \quad \text{kJ/hr}$$
$$\therefore \sum \varepsilon_{input} = (0.0151 \times 10^4\ \text{kJ/hr}) + (2.5775 \times 10^4\ \text{kJ/hr})$$
$$= 2.5926 \times 10^4 \quad \text{kJ/hr}$$

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

$$\varepsilon_{Air} = (0.81 \times 10^4\ \text{kJ/hr})\left[1\text{-}(298.15/323.15)\right]$$
$$= 0.0627 \times 10^4 \quad \text{kJ/hr}$$

$$\varepsilon_{\text{มันสำปะหลังอัดเม็ด}} = (5.80 \times 10^4\ \text{kJ/hr})\left[1\text{-}(298.15/318.15)\right]$$
$$= 0.3646 \times 10^4 \quad \text{kJ/hr}$$
$$\varepsilon_{\text{evaporated water}} = (10.30 \times 10^4\ \text{kJ/hr})\left[1\text{-}(298.15/313.15)\right]$$
$$= 0.4934 \times 10^4 \quad \text{kJ/hr}$$
$$\text{loss} = (0.03 \times 10^4)\left[1\text{-}(298.15/313.15)\right]$$
$$= 0.0019 \times 10^4 \quad \text{kJ/hr}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ผลการวิเคราะห์เอ็นธัลปีและเอ็กเซอร์ยีของเครื่องอบแห้ง (Air Dryer) โดยให้มันสำปะหลังอัดเม็ดขาเข้าเครื่องอบแห้งเท่ากับ 1260 kg/hr

ตารางที่ 3.18 ผลการวิเคราะห์เอ็นธัลปีของเครื่องอบแห้ง (Air Dryer)

Enthalpy Input (kJ/hr)		%	Enthalpy Output (kJ/hr)		%
1. Air	0.39×10^4	2.30	1. Air	0.81×10^4	4.78
2. มันสำปะหลังอัดเม็ด	16.55×10^4	97.70	2. มันสำปะหลังอัดเม็ด	5.80×10^4	34.24
			3. Evaporated water	10.30×10^4	60.80
			4. Loss	0.03×10^4	0.18
$\sum \Delta H_{input}$	16.94×10^4	100	$\sum \Delta H_{output}$	16.94×10^4	100

ตารางที่ 3.19 ผลการวิเคราะห์เอ็กเซอร์ยีของเครื่องอบแห้ง (Air Dryer)

Exergy Input (kJ/hr)		%	Exergy Output (kJ/hr)		%
1. Air	0.0151×10^4	0.58	1. Air	0.0627×10^4	2.42
2. มันสำปะหลังอัดเม็ด	2.5775×10^4	99.42	2. มันสำปะหลังอัดเม็ด	0.3646×10^4	14.06
			3. Evaporated water	0.4934×10^4	19.03
			4. Loss	0.0019×10^4	0.07
			5. Irreversibility	1.6700×10^4	64.42
$\sum \varepsilon_{input}$	2.5926×10^4	100	$\sum \varepsilon_{output}$	2.5926×10^4	100

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

❖ **ให้มันสำปะหลังอัดเม็ดขาเข้าเครื่องอบแห้งเท่ากับ 1400 kg/hr**

- moisture balance : $1400(0.1429) = X + (1400-X)(0.1148)$

$$X = 44.44$$

- mass baiance : $m_{air} + m_{\text{มันสำปะหลังอัดเม็ดเข้า}} = m_{\text{มันสำปะหลังอัดเม็ดออก}} + m_{air} + m_{evaporated\ water}$

$$1400 = 44.44 + 1355.56$$

- energy balance :

$$\Delta H_{air} + \Delta H_{\text{มันสำปะหลังอัดเม็ดเข้า}} = \Delta H_{\text{มันสำปะหลังอัดเม็ดออก}} + \Delta H_{air} + \Delta H_{evaporated\ water}$$

$$m_{air}(1.0056)(310.15-298.15) + 1400(2.3875)(353.15-298.15) = m_{air}(1.0064)(323.15-298.15) + 44.44(2574.3) + 1355.56(2.3875)(318.15-298.15)$$

$$m_{air} = 359 \text{ kg/hr}$$

- การคำนวณเอ็นธัลปี

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

$$\Delta H_{air} = (359 \text{ kg/hr})(1.0056 \text{ kJ/kgK})(310.15-298.15\text{K})$$
$$= 0.43 \times 10^4 \text{ kJ/hr}$$

$$\Delta H_{\text{มันสำปะหลังอัดเม็ด}} = (1400 \text{ kg/hr})(2.3875 \text{ kJ/kgK})(353.15-298.15\text{K})$$
$$= 18.38 \times 10^4 \text{ kJ/hr}$$

$$\therefore \sum \Delta H_{input} = (0.43 \times 10^4 \text{ kJ/hr}) + (18.38 \times 10^4 \text{ kJ/hr})$$
$$= 18.81 \times 10^4 \text{ kJ/hr}$$

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

$$\Delta H_{air} = (359 \text{ kg/hr})(1.0064 \text{ kJ/kgK})(323.15-298.15\text{K})$$
$$= 0.90 \times 10^4 \text{ kJ/hr}$$

$$\Delta H_{\text{มันสำปะหลังอัดเม็ด}} = (1355.56 \text{ kg/hr})(2.3875 \text{ kJ/kgK})(318.15-298.15\text{K})$$
$$= 6.47 \times 10^4 \text{ kJ/hr}$$

$$\Delta H_{evaporated\ water} = (44.44 \text{ kg/hr})(2574.3 \text{ kJ/kg})$$
$$= 10.30 \times 10^4 \text{ kJ/hr}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- การคำนวณเอ็กเซอร์ยี

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

$$\varepsilon_{Air} = (0.43 \times 10^4 \text{ kJ/hr})\left[1-(298.15/310.15)\right]$$
$$= 0.0166 \times 10^4 \text{ kJ/hr}$$

$$\varepsilon_{\text{มันสำปะหลังอัดเม็ด}} = (18.38 \times 10^4 \text{ kJ/hr})\left[1-(298.15/353.15)\right]$$
$$= 2.8625 \times 10^4 \text{ kJ/hr}$$

$$\therefore \sum\varepsilon_{input} = (0.0166 \times 10^4 \text{ kJ/hr})+(2.8625 \times 10^4 \text{ kJ/hr})$$
$$= 2.8791 \times 10^4 \text{ kJ/hr}$$

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

$$\varepsilon_{Air} = (0.90 \times 10^4 \text{ kJ/hr})\left[1-(298.15/323.15)\right]$$
$$= 0.0696 \times 10^4 \text{ kJ/hr}$$

$$\varepsilon_{\text{มันสำปะหลังอัดเม็ด}} = (6.47 \times 10^4 \text{ kJ/hr})\left[1-(298.15/318.15)\right]$$
$$= 0.4067 \times 10^4 \text{ kJ/hr}$$

$$\varepsilon_{\text{evaporated water}} = (11.44 \times 10^4 \text{ kJ/hr})\left[1-(298.15/313.15)\right]$$
$$= 0.5480 \times 10^4 \text{ kJ/hr}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ผลการวิเคราะห์เอ็นธัลปีและเอ็กเซอร์ยีของเครื่องอบแห้ง (Air Dryer) โดยให้มันสำปะหลังอัดเม็ดขาเข้าเครื่องอบแห้งเท่ากับ 1400 kg/hr

ตารางที่ 3.20 ผลการวิเคราะห์เอ็นธัลปีของเครื่องอบแห้ง (Air Dryer)

Enthalpy Input (kJ/hr)		%	Enthalpy Output (kJ/hr)		%
1. Air	0.43×10^4	2.29	1. Air	0.90×10^4	4.78
2. มันสำปะหลังอัดเม็ด	18.38×10^4	97.71	2. มันสำปะหลังอัดเม็ด	6.47×10^4	34.40
			3. Evaporated water	11.44×10^4	60.82
			4. Loss	0	0
$\sum \Delta H_{input}$	18.81×10^4	100	$\sum \Delta H_{output}$	18.81×10^4	100

ตารางที่ 3.21 ผลการวิเคราะห์เอ็กเซอร์ยีของเครื่องอบแห้ง (Air Dryer)

Exergy Input (kJ/hr)		%	Exergy Output (kJ/hr)		%
1. Air	0.0166×10^4	0.58	1. Air	0.0696×10^4	2.42
2. มันสำปะหลังอัดเม็ด	2.8625×10^4	99.42	2. มันสำปะหลังอัดเม็ด	0.4067×10^4	14.13
			3. Evaporated water	0.5480×10^4	19.03
			4. Loss	0	0
			5. Irreversibility	1.8548×10^4	64.42
$\sum \varepsilon_{input}$	2.8791×10^4	100	$\sum \varepsilon_{output}$	2.8791×10^4	100

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

❖ **ให้มันสำปะหลังอัดเม็ดขาเข้าเครื่องอบแห้งเท่ากับ 1500 kg/hr**

- moisture balance : $1500(0.1429) = X + (1500-X)(0.1148)$

$$X = 47.62$$

- mass balance : $m_{air} + m_{\text{มันสำปะหลังอัดเม็ดเข้า}} = m_{\text{มันสำปะหลังอัดเม็ดออก}} + m_{air} + m_{evaporated\ water}$

$$1500 = 47.62 + 1452.38$$

- energy balance :

$$\Delta H_{air} + \Delta H_{\text{มันสำปะหลังอัดเม็ดเข้า}} = \Delta H_{\text{มันสำปะหลังอัดเม็ดออก}} + \Delta H_{air} + \Delta H_{evaporated\ water}$$

$$m_{air}(1.0056)(310.15-298.15) + 1500(2.3875)(353.15-298.15) = m_{air}(1.0064)(323.15-298.15) + 47.62(2574.3) + 1452.38(2.3875)(318.15-298.15)$$

$$m_{air} = 384 \text{ kg/hr}$$

- การคำนวณเอ็นธัลปี

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

$$\Delta H_{air} = (384 \text{ kg/hr})(1.0056 \text{ kJ/kgK})(310.15-298.15\text{K})$$
$$= 0.46 \times 10^{4} \text{ kJ/hr}$$

$$\Delta H_{\text{มันสำปะหลังอัดเม็ด}} = (1500 \text{ kg/hr})(2.3875 \text{ kJ/kgK})(353.15-298.15\text{K})$$
$$= 19.70 \times 10^{4} \text{ kJ/hr}$$

$$\therefore \sum \Delta H_{input} = (0.46 \times 10^{4} \text{ kJ/hr}) + (19.70 \times 10^{4} \text{ kJ/hr})$$
$$= 20.16 \times 10^{4} \text{ kJ/hr}$$

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

$$\Delta H_{air} = (384 \text{ kg/hr})(1.0064 \text{ kJ/kgK})(323.15-298.15\text{K})$$
$$= 0.97 \times 10^{4} \text{ kJ/hr}$$

$$\Delta H_{\text{มันสำปะหลังอัดเม็ด}} = (1452.38 \text{ kg/hr})(2.3875 \text{ kJ/kgK})(318.15-298.15\text{K})$$
$$= 6.93 \times 10^{4} \text{ kJ/hr}$$

$$\Delta H_{evaporated\ water} = (47.62 \text{ kg/hr})(2574.3 \text{ kJ/kg})$$
$$= 12.26 \times 10^{4} \text{ kJ/hr}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- **การคำนวณเอ็กเซอร์ยี**

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

$$\varepsilon_{Air} = (0.46 \times 10^4 \text{ kJ/hr})\left[1-(298.15/310.15)\right]$$
$$= 0.0178 \times 10^4 \text{ kJ/hr}$$

$$\varepsilon_{\text{มันสำปะหลังอัดเม็ด}} = (19.70 \times 10^4 \text{ kJ/hr})\left[1-(298.15/353.15)\right]$$
$$= 3.0681 \times 10^4 \text{ kJ/hr}$$

$$\therefore \sum\varepsilon_{input} = (0.0178 \times 10^4 \text{ kJ/hr})+(3.0681 \times 10^4 \text{ kJ/hr})$$
$$= 3.0859 \times 10^4 \text{ kJ/hr}$$

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

$$\varepsilon_{Air} = (0.97 \times 10^4 \text{ kJ/hr})\left[1-(298.15/323.15)\right]$$
$$= 0.0750 \times 10^4 \text{ kJ/hr}$$

$$\varepsilon_{\text{มันสำปะหลังอัดเม็ด}} = (6.93 \times 10^4 \text{ kJ/hr})\left[1-(298.15/318.15)\right]$$
$$= 0.4356 \times 10^4 \text{ kJ/hr}$$

$$\varepsilon_{\text{evaporated water}} = (12.26 \times 10^4 \text{ kJ/hr})\left[1-(298.15/313.15)\right]$$
$$= 0.58.73 \times 10^4 \text{ kJ/hr}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ผลการวิเคราะห์เอ็นธัลปีและเอ็กเซอร์ยีของเครื่องอบแห้ง (Air Dryer) โดยให้มันสำปะหลังอัดเม็ดขาเข้าเครื่องอบแห้งเท่ากับ 1500 kg/hr

ตารางที่ 3.22 ผลการวิเคราะห์เอ็นธัลปีของเครื่องอบแห้ง (Air Dryer)

Enthalpy Input (kJ/hr)		%	Enthalpy Output (kJ/hr)		%
1. Air	0.46×10^4	2.28	1. Air	0.97×10^4	4.81
2. มันสำปะหลังอัดเม็ด	19.70×10^4	97.72	2. มันสำปะหลังอัดเม็ด	6.93×10^4	34.38
			3. Evaporated water	12.26×10^4	60.81
			4. Loss	0	0
$\sum \Delta H_{input}$	20.16×10^4	100	$\sum \Delta H_{output}$	20.16×10^4	100

ตารางที่ 3.23 ผลการวิเคราะห์เอ็กเซอร์ยีของเครื่องอบแห้ง (Air Dryer)

Exergy Input (kJ/hr)		%	Exergy Output (kJ/hr)		%
1. Air	0.0178×10^4	0.58	1. Air	0.0750×10^4	2.43
2. มันสำปะหลังอัดเม็ด	3.0681×10^4	99.42	2. มันสำปะหลังอัดเม็ด	0.4356×10^4	14.12
			3. Evaporated water	0.5873×10^4	19.03
			4. Loss	0	0
			5. Irreversibility	1.9880×10^4	64.42
$\sum \varepsilon_{input}$	3.085×10^4	100	$\sum \varepsilon_{output}$	3.0859×10^4	100

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

❖ **ให้มันสำปะหลังอัดเม็ดขาเข้าเครื่องอบแห้งเท่ากับ 2000 kg/hr**

- moisture balance : $2000(0.1429) = X + (2000-X)(0.1148)$

$$X = 63.49$$

- mass balance : $m_{air} + m_{\text{มันสำปะหลังอัดเม็ดขาเข้า}} = m_{\text{มันสำปะหลังอัดเม็ดขาออก}} + m_{air} + m_{evaporated\ water}$

$$2000 = 63.49 + 1936.51$$

- energy balance :

$$\Delta H_{air} + \Delta H_{\text{มันสำปะหลังอัดเม็ดเข้า}} = \Delta H_{\text{มันสำปะหลังอัดเม็ดออก}} + \Delta H_{air} + \Delta H_{evaporated\ water}$$

$$m_{air}(1.0056)(310.15-298.15) + 2000(2.3875)(353.15-298.15) = m_{air}(1.0064)(323.15-298.15) + 63.49(2574.3) + 1936.51(2.3875)(318.15-298.15)$$

$$m_{air} = 512 \text{ kg/hr}$$

- การวิเคราะห์เอ็นธัลปี

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

$$\Delta H_{air} = (512 \text{ kg/hr})(1.0056 \text{ kJ/kgK})(310.15-298.15\text{K})$$
$$= 0.62 \times 10^4 \text{ kJ/hr}$$

$$\Delta H_{\text{มันสำปะหลังอัดเม็ด}} = (2000 \text{ kg/hr})(2.3875 \text{ kJ/kgK})(353.15-298.15\text{K})$$
$$= 26.26 \times 10^4 \text{ kJ/hr}$$

$$\therefore \sum \Delta H_{input} = (0.62 \times 10^4 \text{ kJ/hr}) + (26.26 \times 10^4 \text{ kJ/hr})$$
$$= 26.88 \times 10^4 \text{ kJ/hr}$$

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

$$\Delta H_{air} = (512 \text{ kg/hr})(1.0064 \text{ kJ/kgK})(323.15-298.15\text{K})$$
$$= 1.29 \times 10^4 \text{ kJ/hr}$$

$$\Delta H_{\text{มันสำปะหลังอัดเม็ด}} = (1936.51 \text{ kg/hr})(2.3875 \text{ kJ/kgK})(318.15-298.15\text{K})$$
$$= 9.25 \times 10^4 \text{ kJ/hr}$$

$$\Delta H_{evaporated\ water} = (63.49 \text{ kg/hr})(2574.3 \text{ kJ/kg})$$
$$= 16.34 \times 10^4 \text{ kJ/hr}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- การวิเคราะห์เอ็กเซอร์ยี

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

$$\varepsilon_{Air} = (0.62 \times 10^4 \text{ kJ/hr})\left[1-(298.15/310.15)\right]$$
$$= 0.0240 \times 10^4 \text{ kJ/hr}$$
$$\varepsilon_{\text{มันสำปะหลังอัดเม็ด}} = (26.26 \times 10^4 \text{ kJ/hr})\left[1-(298.15/353.15)\right]$$
$$= 4.0898 \times 10^4 \text{ kJ/hr}$$
$$\therefore \sum\varepsilon_{input} = (0.0240 \times 10^4 \text{ kJ/hr})+(4.0898 \times 10^4 \text{ kJ/hr})$$
$$= 4.1138 \times 10^4 \text{ kJ/hr}$$

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

$$\varepsilon_{Air} = (1.29 \times 10^4 \text{ kJ/hr})\left[1-(298.15/323.15)\right]$$
$$= 0.0998 \times 10^4 \text{ kJ/hr}$$
$$\varepsilon_{\text{มันสำปะหลังอัดเม็ด}} = (9.25 \times 10^4 \text{ kJ/hr})\left[1-(298.15/318.15)\right]$$
$$= 0.5815 \times 10^4 \text{ kJ/hr}$$
$$\varepsilon_{\text{evaporated water}} = (16.34 \times 10^4 \text{ kJ/hr})\left[1-(298.15/313.15)\right]$$
$$= 0.7827 \times 10^4 \text{ kJ/hr}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ผลการวิเคราะห์เอ็นธัลปีและเอ็กเซอร์ยีของเครื่องอบแห้ง (Air Dryer) โดยให้มันสำปะหลังอัดเม็ดขาเข้าเครื่องอบแห้งเท่ากับ 2000 kg/hr

ตารางที่ 3.24 ผลการวิเคราะห์เอ็นธัลปีของเครื่องอบแห้ง (Air Dryer)

Enthalpy Input (kJ/hr)		%	Enthalpy Output (kJ/hr)		%
1. Air	0.62×10^4	2.31	1. Air	1.29×10^4	4.80
2. มันสำปะหลังอัดเม็ด	26.26×10^4	97.69	2. มันสำปะหลังอัดเม็ด	9.25×10^4	34.41
			3. Evaporated water	16.34×10^4	60.79
			4. Loss	0	0
$\sum \Delta H_{input}$	26.88×10^4	100	$\sum \Delta H_{output}$	26.88×10^4	100

ตารางที่ 3.25 ผลการวิเคราะห์เอ็กเซอร์ยีของเครื่องอบแห้ง (Air Dryer)

Exergy Input (kJ/hr)		%	Exergy Output (kJ/hr)		%
1. Air	0.0240×10^4	0.58	1. Air	0.0998×10^4	2.43
2. มันสำปะหลังอัดเม็ด	4.0898×10^4	99.42	2. มันสำปะหลังอัดเม็ด	0.5815×10^4	14.13
			3. Evaporated water	0.7827×10^4	19.03
			4. Loss	0	0
			5. Irreversibility	2.6498×10^4	64.41
$\sum \varepsilon_{input}$	4.1138×10^4	100	$\sum \varepsilon_{output}$	4.1138×10^4	100

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.6 วิจารณ์ผลการวิเคราะห์เอ็นธัลปีและเอ็กเซอร์ยีของเครื่องอบแห้ง(Air Dryer) ในกรณีต่างๆ

ตารางที่ 3.26 เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์เอ็นธัลปีและเอ็กเซอร์ยีของเครื่องอบแห้ง(Air Dryer)ที่ให้อากาศที่ใช้ในการอบแห้ง และไอน้ำที่ระเหยออกมีอุณหภูมิที่แตกต่างกัน

อุณหภูมิอากาศขาเข้า (°C)	อุณหภูมิไอน้ำที่ระเหยออก (°C)	ปริมาณไอน้ำที่ระเหยออก(kg/hr)	ประสิทธิภาพโดยกฎข้อที่ 1 ของเทอร์โมไดนามิกส์ (%)	ประสิทธิภาพโดยกฎข้อที่ 2 ของเทอร์โมไดนามิกส์ (%)
37	40	40.00	60.80	19.03
40	50	40.10	61.03	30.93
45	50	40.74	61.40	31.19

จากตารางที่ 3.26 การวิเคราะห์เอ็นธัลปีและเอ็กเซอร์ยีของเครื่องอบแห้ง(Air Dryer)ที่ให้อากาศที่ใช้ในการอบแห้ง และไอน้ำที่ระเหยออกมีอุณหภูมิที่แตกต่างกันจะเห็นได้ว่าปริมาณไอน้ำที่ระเหยออกมีค่าที่ไม่แตกต่างกันมากนักประมาณ 40 kg/hr รวมถึงประสิทธิภาพโดยกฎข้อที่ 1 ของเทอร์โมไดนามิกส์ที่มีค่าประมาณ 61 % แต่ประสิทธิภาพโดยกฎข้อที่ 2 ของกรณีที่ 1 จะมีค่าต่ำกว่ากรณีอื่นๆ เนื่องจากอุณหภูมิที่ไอน้ำระเหยออกมีค่าต่ำกว่าในกรณีที่ 2 และ 3 ดังนั้นการเลือกใช้อุณหภูมิอากาศที่ใช้ในการอบแห้งควรใช้อุณหภูมิบรรยากาศ เพื่อเป็นการประหยัดพลังงานในการผลิตอากาศให้อุณหภูมิสูงขึ้นและประหยัดค่าใช้จ่ายได้อีกด้วย

ตารางที่ 3.27 เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์เอ็นธัลปีและเอ็กเซอร์ยีของเครื่องอบแห้ง(Air Dryer) โดยที่มันสำปะหลังอัดเม็ดขาเข้ามีปริมาณที่แตกต่างกัน

ปริมาณมันสำปะหลังอัดเม็ดขาเข้า (kg/hr)	ปริมาณอากาศที่ใช้ (kg/hr)	ปริมาณไอน้ำที่ระเหยออก(kg/hr)	ประสิทธิภาพโดยกฎข้อที่ 1 ของเทอร์โมไดนามิกส์ (%)	ประสิทธิภาพโดยกฎข้อที่ 2 ของเทอร์โมไดนามิกส์ (%)
1260	40.00	322	60.80	19.03
1400	44.44	359	60.82	19.03
1500	47.62	384	60.81	19.03
2000	63.49	512	60.79	19.03

จากตารางที่ 3.27 จากการวิเคราะห์เอ็นธัลปีและเอ็กเซอร์ยีของเครื่องอบแห้งจะได้ประสิทธิภาพ ตามกฎข้อที่ 1 และข้อที่ 2 ของเทอร์โมไดนามิกส์ในแต่ละกรณีที่มีค่าไม่แตกต่างกันประมาณ 60.8% และ 19.03% ตามลำดับ ในการวิเคราะห์ได้มีการเปลี่ยนปริมาณมันสำปะหลังอัดเม็ดขาเข้าเครื่องอบแห้ง เพื่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดูปริมาณอากาศที่ใช้ในการอบแห้งและปริมาณไอน้ำที่ระเหยออกไปว่ามีความแตกต่างกันมากน้อยเพียงไร จะเห็นว่าปริมาณมันสำปะหลังอัดเม็ดขาเข้าเครื่องอบแห้งที่เพิ่มมากขึ้นทำปริมาณอากาศที่ก็เพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย ดังนั้นการเลือกใช้ปริมาณอากาศจะขึ้นอยู่กับปริมาณมันสำปะหลังอัดเม็ดซึ่งควรเลือกใช้ในปริมาณที่เหมาะสมที่สามารถลดความชื้นได้ตามต้องการและประหยัดค่าใช้จ่ายมากที่สุด

3.2.7 การวิเคราะห์เวลาที่มันสำปะหลังอัดเม็ดใช้ในการทำแห้งในเครื่อง Free Fall Drying

รูปที่ 3.7 Free Fall Drying

มันสำปะหลังอัดเม็ดที่ผ่านเครื่องอบแห้งมาแล้วนั้นจะนำมาเข้าเครื่อง Free Fall Drying ที่มีความสูงประมาณ 3 เมตรมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 เมตรและมีปริมาตร 2.36 ลูกบาศก์เมตร ซึ่งเครื่องนี้จะทำให้มันสำปะหลังอัดเม็ดมีอุณหภูมิและความชื้นลดลงจากเดิมเล็กน้อย และเนื่องจากเครื่อง Free Fall Drying นี้ไม่ได้ใช้พลังงานอื่นช่วยนอกจากใช้อากาศที่มีอยู่ในบรรยากาศ มันสำปะหลังอัดเม็ดสามารถสัมผัสอากาศได้โดยการปล่อยให้เม็ดมันสำปะหลังตกลงด้วยแรงโน้มถ่วงโลก ซึ่งช่วยให้มันสำปะหลังอัดเม็ดที่ติดกันกระจายตัวออกจากกัน และยังช่วยให้ไม่เกิดการปนเปื้อนจากฝุ่นผงอีกด้วย ดังนั้นจึงมีการวิเคราะห์เพียงค่าเวลาที่มันสำปะหลังอัดเม็ดใช้ในเครื่อง Free Fall Drying โดยจากการวิเคราะห์จะได้เวลาที่ใช้ในเครื่องประมาณ 2 วินาทีต่อปริมาณมันสำปะหลังอัดเม็ดเข้าเครื่อง 339 กรัมต่อวินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
สรุปและข้อเสนอแนะในการประหยัดพลังงาน

จากการวิเคราะห์การใช้พลังงานของกระบวนการผลิตมันสำปะหลังอัดเม็ดที่กล่าวไว้ในบทที่ 3 ในแต่ละส่วนของกระบวนการผลิตมีการสูญเสียพลังงานด้วยกันทั้งสิ้นซึ่งทำให้เห็นแนวทางและวิธีการแก้ไข รวมทั้งการเลือกใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆที่เหมาะสมแก่กระบวนการผลิตในโรงงาน โดยให้มีประสิทธิภาพสูงสุดและมีการสูญเสียพลังงานน้อยที่สุดซึ่งรวมไปถึงการประหยัดต้นทุนการผลิตด้วย

4.1 การตรวจสอบและวิเคราะห์การใช้พลังงาน

การตรวจสอบและวิเคราะห์การใช้พลังงานเป็นกิจกรรมสำหรับกำหนดปริมาณการใช้พลังงานในโรงงานอุตสาหกรรม ประสิทธิภาพของการจัดการด้านอนุรักษ์พลังงานในโรงงานโดยรวม และความเป็นไปได้ในการลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน จะวัดการใช้พลังงานจริงและเปรียบเทียบกับค่าประเมินของพลังงานต่ำสุดที่ต้องใช้ ซึ่งเป็นการชี้ให้เห็นถึงการใช้พลังงานและเป็นการหาปริมาณพลังงานที่ใช้ในแต่ละระบบ นอกจากนี้ยังสามารถชี้ให้เห็นว่าส่วนใดที่มีศักยภาพการประหยัดพลังงานสูงอีกด้วย

4.1.1 การตรวจสอบและวิเคราะห์การใช้พลังงานเบื้องต้น

สิ่งสำคัญในการดำเนินการตรวจสอบ และวิเคราะห์การใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพก็คือการกำหนดวัตถุประสงค์ในการตรวจสอบ และวิเคราะห์ไว้อย่างดี เพื่อให้มั่นใจได้ว่าข้อมูลที่ได้รับสามารถนำไปคำนวณหาศักยภาพการประหยัดพลังงานได้ การดำเนินการตรวจสอบและวิเคราะห์นี้จะต้องทำให้เสร็จภายใน 2-3 วันแรกของการตรวจเยี่ยมโรงงานและวิเคราะห์การใช้พลังงานในภายหลัง วัตถุประสงค์และการดำเนินการตรวจสอบและวิเคราะห์พลังงานเบื้องต้นมีดังต่อไปนี้

1. การพิจารณาวัตถุประสงค์ของการดำเนินการตรวจสอบและวิเคราะห์การใช้พลังงาน รวมไปถึงการจัดการในโรงงาน
2. การรวบรวมข้อมูลการใช้พลังงานและข้อมูลการผลิตในอดีต
3. การกำหนดวิธีการตรวจสอบและค้นหาส่วนที่มีศักยภาพการประหยัดพลังงาน
4. การหาประสิทธิภาพการใช้พลังงาน
5. การประเมินความเป็นไปได้ในการตรวจสอบและวิเคราะห์การใช้พลังงาน
6. การเตรียมแผนการดำเนินการตรวจสอบและวิเคราะห์การใช้พลังงานโดยละเอียด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.2 การตรวจสอบและวิเคราะห์การใช้พลังงานโดยละเอียด

การตรวจสอบและวิเคราะห์การใช้พลังงานโดยละเอียดจะทำได้ก็ต่อเมื่อทำการตรวจสอบ และวิเคราะห์การใช้พลังงานเบื้องต้นแล้ว ซึ่งหมายความว่างานหลักของการดำเนินการตรวจสอบและวิเคราะห์การใช้พลังงานโดยละเอียดนั้นถูกกำหนดไว้แล้ว และมีการใช้เทคนิคการคำนวณและตรวจวัดที่ละเอียดอ่อน สำหรับการประเมินความเป็นไปได้ในการประหยัดพลังงาน ผลจากการตรวจสอบและวิเคราะห์การใช้พลังงานโดยละเอียดก็คือ ข้อมูลการใช้พลังงานพื้นฐาน และค่าความแตกต่างระหว่างปริมาณการใช้พลังงานตามทฤษฎีหรือพลังงานต่ำสุดที่ต้องใช้กับการใช้พลังงานจริง ซึ่งจะนำไปสู่ความเข้าใจที่ดียิ่งขึ้นว่าพลังงานใช้ไปอย่างไรในโรงงาน และนำมาตรการการปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงานมาใช้เพื่อการลดค่าความแตกต่างดังกล่าวให้น้อยที่สุด

4.1.3 แผนอนุรักษ์พลังงาน

แผนอนุรักษ์พลังงานเป็นวิธีดำเนินการสำคัญในการแก้ปัญหาการสูญเสียพลังงาน ซึ่งหาได้จากการตรวจสอบและวิเคราะห์การใช้พลังงาน และการประเมินศักยภาพของแผนอนุรักษ์พลังงานในด้านเทคนิคและการลงทุน แผนอนุรักษ์พลังงานแบ่งออกเป็น 3 ชนิด ดังนี้

1. แผนการระยะสั้น แผนการนี้จะเน้นเกี่ยวกับการเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานและการใช้พลังงานที่ทำได้ไม่ยาก ซึ่งเรียกว่า วิธีการดูแลและบำรุงรักษาที่ดี โดยลงทุนด้วยเงินจำนวนเล็กน้อยหรือไม่มีการลงทุน นอกจากนี้ การฝึกอบรมและให้ความรู้แก่พนักงานทุกคน ให้ตระหนักถึงความสำคัญของแผนอนุรักษ์พลังงานก็เป็นสิ่งที่ควรทำอย่างยิ่ง
2. แผนการระยะปานกลาง แผนการนี้เป็นการนำวิธีการดูแลและบำรุงรักษาที่ดี และการเพิ่มหรือดัดแปลงอุปกรณ์มาเพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงาน ซึ่งมีการตรวจสอบและวิเคราะห์การใช้ พลังงานเข้ามาเกี่ยวข้อง โดยแผนการจะมีการลงทุนและใช้เวลาพอสมควร
3. แผนการระยะยาว แผนการนี้จะเกิดขึ้นก็ต่อเมื่อ สภาวะการผลิตของโรงงานไม่สามารถปรับปรุงประสิทธิภาพได้ และจำเป็นต้องเปลี่ยนอุปกรณ์ที่มีอยู่ให้ทันสมัย การนำอุปกรณ์และกระบวนการผลิตสมัยใหม่มาใช้ ต้องได้รับการพิสูจน์แล้วว่าประหยัดพลังงานได้อย่างมากพร้อมที่จะนำมาใช้และให้ผลตอบแทนจากการลงทุนได้อย่างพอเพียง

ในการเริ่มต้นดำเนินแผนอนุรักษ์พลังงานควรเริ่มจากแผนการระยะสั้นก่อนถึงแม้ว่าแผนการระยะยาวจะสามารถให้ผลตอบแทนในระยะเวลาคืนทุนสั้นก็ตาม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.4 การดำเนินการจัดการด้านพลังอย่างเป็นระบบ

การดำเนินการอย่างเป็นระบบ หมายถึง การค้นหาผลกระทบภายในโรงงานซึ่งประกอบด้วยผลกระทบจากปัจจัยสำคัญต่าง ๆ ของกระบวนการผลิต และการตัดสินใจเลือกแผนอนุรักษ์พลังงานที่เหมาะสมโดยเริ่มจากการศึกษาและทำความเข้าใจหน่วยงานและแผนกต่างๆของโรงงาน ไปจนสามารถรู้ได้ว่าหน่วยงานและแผนกต่าง ๆ มีความสัมพันธ์ในการใช้พลังงานกันอย่างไร

การดำเนินการจัดการด้านพลังงานอย่างเป็นระบบ จำเป็นต้องมีการศึกษาและทำความเข้าใจต่อผลกระทบระหว่างปัจจัยสำคัญต่างๆในโรงงาน ได้แก่ สภาวะแวดล้อม ผลผลิต การตลาด พนักงาน เทคโนโลยี อุปกรณ์ และเครื่องมือ เมื่อนำวิธีการดำเนินการจัดการอย่างเป็นระบบมาใช้ในโรงงานจะเปรียบเสมือนเครื่องมือซึ่งรวมเอามาตรการการอนุรักษ์พลังงานหลาย ๆ มาตรการเข้าด้วยกัน ได้แก่

1. การจูงใจและฝึกอบรมพนักงาน
2. การปรับปรุงวิธีการดูแลและบำรุงรักษา
3. การปรับปรุงประสิทธิภาพของอุปกรณ์และเทคโนโลยีการผลิต
4. การใช้ การจ่าย และการผลิตพลังงานที่มีประสิทธิภาพ

การดำเนินการจัดการด้านพลังงานอย่างเป็นระบบจะทำให้เกิดการประหยัดพลังงานในทันทีซึ่งเพิ่มการยอมรับของแผนการและยังให้ผลตอบแทนถาวรแก่โรงงาน ดังนั้นการดำเนินการจัดการไม่มุ่งเน้นเพียงแค่ประสิทธิภาพของการใช้และจ่ายพลังงาน แต่ยังรวมถึงความต้องการพลังงานในกระบวนการผลิต วัตถุดิบที่พอเพียงกับความต้องการและการดำเนินการจัดการซึ่งรวบรวมเอาทรัพยากรทั้งหมดไว้ ประกอบด้วย แรงงาน พลังงาน วัตถุดิบ และเทคโนโลยีในการผลิต ด้วยวิธีการใช้ต้นทุนอย่างมีประสิทธิภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 หม้อไอน้ำ

4.2.1 การสูญเสียพลังงานในหม้อน้ำ

สามารถแบ่งออกได้เป็นประเภทใหญ่ๆอยู่ 3 ทาง

1. การสูญเสียทางก๊าซไอเสีย
2. การสูญเสียจากการปล่อยน้ำร้อนทิ้ง
3. การสูญเสียทางการแผ่รังสีที่เปลือกหม้อน้ำ

- **การสูญเสียทางก๊าซไอเสีย**

การสูญเสียจะมีค่ามากหรือน้อยขึ้นอยู่กับว่าการเผาไหม้เกิดขึ้นสมบูรณ์หรือไม่ อาจสังเกตได้จากเปอร์เซ็นต์ของคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) เปอร์เซ็นต์ออกซิเจน(O_2) ที่เหลืออยู่ในก๊าซไอเสีย และปริมาณเปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน(Excess Air) ที่ป้อนเข้าเตาเผาของไหม้ไอน้ำ

ประสิทธิภาพที่ดีสำหรับหม้อไอน้ำที่ใช้น้ำมันเตา ปริมาณอากาศส่วนเกินจะประมาณ 10-20 % หรือปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ อยู่ในช่วง 13-14 % ปริมาณอากาศส่วนเกิน อาจจะวัดได้จากปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ หรือออกซิเจนในก๊าซไอเสียร้อนในปล่อง ค่าทั้งสองมีความสำคัญต่อการรักษาระดับอากาศส่วนเกิน เพื่อให้หม้อไอน้ำสามารถทำงานที่ประสิทธิภาพสูง หรือเป็นการลดค่าใช้จ่ายเชื้อเพลิง อากาศที่ใช้ในการเผาไหม้จะต้องมีไม่มากกว่าที่จำเป็นที่จะทำให้การเผาไหม้ได้อย่างสมบูรณ์ ถ้าอากาศส่วนเกินมากเกินไปการสูญเสียความร้อนไปกับก๊าซร้อนจะมากขึ้น เนื่องจากอากาศส่วนเกินนี้ จะดูดความร้อนจากเตาเผาไปทิ้งปล่องโดยเปล่าประโยชน์ ถ้าอากาศส่วนเกินน้อยเกินไปการเผาไหม้อาจไม่สมบูรณ์ เชื้อเพลิงที่ไม่ได้เผาไหม้จะผ่านออกไปจากปล่องในรูปควันดำหรือเขม่า ซึ่งเป็นการสูญเสียเช่นเดียวกัน

นอกจากอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงที่เหมาะสมแล้ว ในการใช้งานหม้อไอน้ำต้องดูสภาพการทำงานของหม้อไอน้ำ และอุปกรณ์เผาไหม้ให้อยู่สภาพดีและมีประสิทธิภาพสูงด้วยกล่าวคือ ถ้าตรวจด้านน้ำ(Water Side) ของหม้อไอน้ำแล้วพบตะกรันหนา ความร้อนก๊าซร้อนจะถ่ายเทให้น้ำในหม้อไอน้ำได้น้อย จะสูญเสียความร้อนออกไปที่ปล่องมากขึ้น และถ้าตรวจด้านไฟ (Fire Side) แล้วพบว่ามีเขม่าหนา เขม่านี้จะเป็นฉนวนความร้อนที่ต้านทานการถ่ายเทความร้อน ทำให้การถ่ายเทความร้อนจากก๊าซร้อนไปยังน้ำได้น้อยลงและทำให้พลังงานความร้อน สูญเสียทางก๊าซไอเสียมากขึ้นด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- **การสูญเสียจากการปล่อยน้ำร้อนทิ้ง**

การปล่อยน้ำร้อนทิ้งเป็นสิ่งจำเป็นที่ต้องทำเพื่อลดความเข้มข้นของสารละลายเกลือต่างๆในน้ำของหม้อไอน้ำและเพื่อป้องกันการเกาะของรุกรันที่ผิวถ่ายเทความร้อน เพื่อหลีกเลี่ยงการเกิดฟองติดไปกับไอน้ำ (Carry Over) และป้องกันการปริแตกของโครงสร้างเหล็กของหม้อไอน้ำ หม้อไอน้ำทุกๆตัวต้องควบคุมความเข้มข้นมิให้มากเกินไปโดยการเปิดวาล์วที่ส่วนล่างของหม้อไอน้ำ เพื่อปล่อยน้ำร้อนที่มีเกลือละลายอยู่ออกจากหม้อไอน้ำการเปิดน้ำร้อนทิ้งไปนี้ทำให้ความร้อนสูญเสียไป แต่เพื่อป้องกันการสูญเสียความร้อนมากเกินไป การปล่อยน้ำร้อนทิ้งควรจะรักษาระดับให้ต่ำที่สุด แต่ถ้าทำการปล่อยน้ำทิ้งอย่างต่อเนื่อง ควรนำความร้อนจากการปล่อยน้ำร้อนทิ้งไปอุ่นน้ำป้อนก่อนเข้าหม้อไอน้ำโดยให้ใช้เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

- **การสูญเสียทางแผ่รังสีที่เปลือกหม้อไอน้ำ**

การสูญเสียความร้อนผ่านผนังเตามี 3 รูปแบบ คือการนำความร้อน การพาความร้อน และการแผ่รังสีความร้อน การสูญเสียความร้อนทั้ง 3 รูปแบบ จะเกิดขึ้นเกี่ยวเนื่องกันจากด้านในของหม้อไอน้ำออกไปสู่ด้านนอก เรียกรวมทั้งหมดนี้ว่า การสูญเสียทางแผ่รังสี หม้อไอน้ำที่ผลิตขึ้นมาในปัจจุบันจะมีการสูญเสียทางแผ่รังสีประมาณ 1% ของความร้อนที่ให้กับหม้อไอน้ำขณะที่ทำงานสูงสุด สำหรับหม้อไอน้ำเก่าที่ไม่มีฉนวนหุ้มหรือฉนวนเสื่อมสภาพ ไม่ได้ดูแลให้อยู่ในสภาพดีการสูญเสียทางการแผ่รังสีอาจมีค่าถึง 10% การสูญเสียทางแผ่รังสีไม่อาจวัดได้โดยตรง แต่มักจะคำนวณได้จากพลังงานที่ให้กับหม้อไอน้ำหักลบกับการสูญเสียในแบบอื่นๆออก แล้วที่เหลือให้เป็นการสูญเสียทางแผ่รังสี

ปริมาณความร้อนที่สูญเสียทางแผ่รังสีจะมีค่าเท่ากันไม่ว่าหม้อไอน้ำจะผลิตไอน้ำมากหรือน้อย หรืออาจกล่าวได้ว่า การสูญเสียทางแผ่รังสีจะมีค่าเท่ากันตลอดช่วงการทำงาน ฉะนั้นในการใช้หม้อไอน้ำอย่างประหยัดจึงควรวางแผนในการใช้หม้อไอน้ำให้น้อยชุดที่สุดเท่าที่จะทำได้ กล่าวคือถ้าใช้หม้อไอน้ำ 1 ลูก ทำงาน 100 % load มีการสูญเสียทางแผ่รังสี 4 % แต่ถ้าให้หม้อไอน้ำ 2 ลูก ทำงานลูกละ 50% load จะทำให้การสูญเสียทางแผ่รังสีเพิ่มขึ้นเป็น 8 % ซึ่งเป็นการสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายเชื้อเพลิงอย่างคาดไม่ถึง ปริมาณความต้องการไอน้ำในแต่ละวันควรจะได้มีการพิจารณาวางแผนการทำงานของหม้อไอน้ำ และอุปกรณ์ที่ใช้ไอน้ำให้เหมาะสม เพื่อให้ใช้หม้อไอน้ำน้อยตัวที่สุด ประโยชน์ที่ได้รับก็คือ เป็นการลดค่าเชื้อเพลิงที่ใช้ผลิตไอน้ำ ลดการเสี่ยงต่อการทำงานเกินกำลังของหม้อไอน้ำ ดังนั้นหม้อไอน้ำที่ไม่ได้เปิดทำงานในช่วงเวลานั้นๆ ควรจะปิดวาล์วแยกออกจากท่อร่วมไอน้ำ(Steam Header) ที่มีหม้อไอน้ำตัวอื่นทำงานอยู่และควรตรวจสอบว่าวาล์วอยู่ในสภาพปกติไม่รั่วซึม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 การประหยัดพลังงานในหม้อไอน้ำ

การประหยัดพลังงานในหม้อไอน้ำ หมายถึง การผลิตและใช้พลังงานความร้อนจากไอน้ำเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด แนวทางในการปรับปรุงประสิทธิภาพและประหยัดของหม้อไอน้ำมีอยู่ดังนี้

- **การดูแลเบื้องต้น (Housekeeping Improvement)**

หมายถึงการดูแลรักษาให้อุปกรณ์อยู่ในสภาพดี ซึ่งเป็นวิธีการที่ไม่ต้องลงทุนและทำให้การใช้งานเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพและประหยัด การดูแลทำได้ดังนี้

1. ตรวจดูความสะอาดของน้ำมัน และไส้กรองน้ำมันเตา
2. ตรวจสอบอุณหภูมิน้ำมันเตาที่จะใช้ในเตาเผาที่จะใช้ในเตาเผาต้องมีการอุ่นให้มีอุณหภูมิประมาณ 80-100 °C
3. รักษาความดันของน้ำมันกับความดันอากาศให้ถูกต้องตามชนิดหัวเผา
4. ตรวจเครื่องมือวัดที่ใช้ในการปรับปรุงประสิทธิภาพของกระบวนการผลิตได้แก่เครื่องวัดก๊าซไอเสีย (Combustion Analyzer)
5. ควรตรวจดูหัวเผาว่าชำรุดหรือไม่
6. ตรวจสอบฉนวนเตา และฉนวนหม้อไอน้ำให้อยู่ในสภาพสมบูรณ์
7. ปล่อยน้ำร้อนทิ้งเท่าที่จำเป็น
8. ตรวจดูอุปกรณ์ปรับสภาพน้ำป้อนให้บริสุทธิ์ตามที่เกณฑ์กำหนด
9. ตรวจดูเขม่าด้านท่อไฟ
10. หมั่นตรวจดูระบบท่อจ่ายไอน้ำว่ามีการรั่วไหลของไอน้ำ หรือสภาพฉนวนหุ้มท่อชำรุดหรือไม่
11. ใช้ความดันไอน้ำให้เหมาะสมกับภาระงาน
12. ตรวจกับดักไอน้ำว่าทำงานเป็นปกติหรือไม่

การปรับปรุงประสิทธิภาพของกระบวนการผลิต (Processes Improvements) เป็นขั้นตอนที่ต้องลงทุนในการซื้อเครื่องมือตรวจวัด และพิจารณาการใช้พลังงานให้ละเอียดขึ้น โดยเริ่มพิจารณาตั้งแต่ตำแหน่งที่พลังงานป้อนเข้ามาในกระบวนการวิเคราะห์พลังงานที่ใช้ประโยชน์จริงเป็นเท่าใด และพลังงานสูญเสียมีปริมาณเท่าใด แล้วทำดุลพลังงานของกระบวนการ เมื่อได้ตัวเลขจากการวิเคราะห์พลังงานที่จุดต่าง ๆ ในกระบวนการแล้ว จะนำตัวเลขนี้ไปเปรียบเทียบกับตัวเลขประสิทธิภาพที่ออกแบบไว้ว่าการใช้งานที่ดำเนินอยู่นี้ เป็นไปตามที่ออกแบบไว้หรือไม่ ถ้าไม่เป็นไปตามที่ออกแบบไว้ต้องพิจารณาว่าจะต้องลงทุนอะไรเพิ่มเติม เพื่อให้เครื่องทำงานไปตามประสิทธิภาพที่ออกแบบไว้

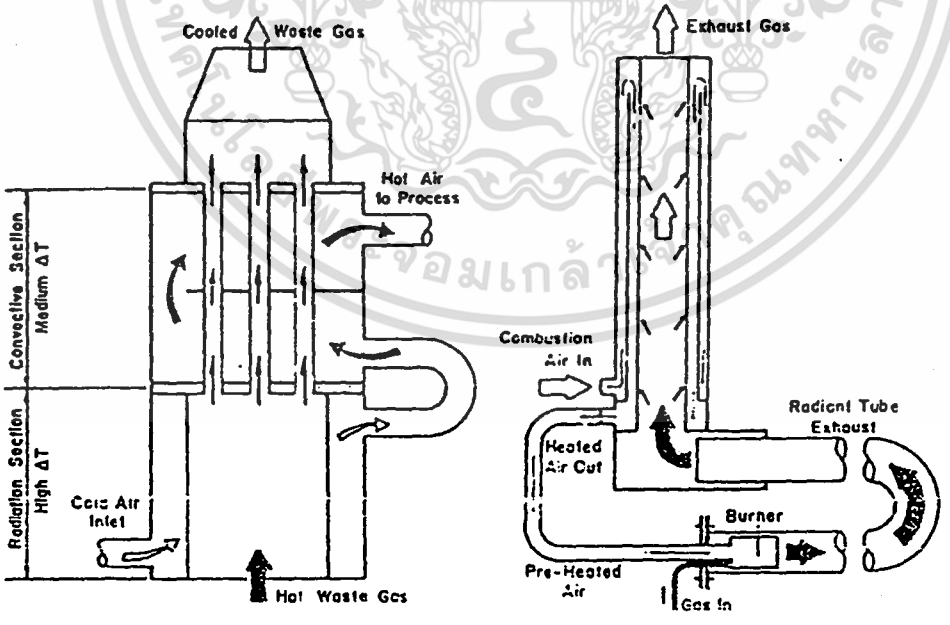
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก่อนการปรับปรุงต้องเริ่มจากการประเมินประสิทธิภาพของกระบวนการผลิตที่เป็นอยู่ และควรเปรียบเทียบกับกระบวนการผลิตแบบเดียวกันของโรงงานอื่นที่อยู่ในประเทศหรือต่างประเทศ ในบางครั้งอาจจะหาประสิทธิภาพของการใช้พลังงานได้จากบริษัทผู้ผลิตเครื่องจักรนั้นๆ หรืออาจจะวิเคราะห์หาเองตามทฤษฎีเพื่อหาค่าที่เหมาะสมก่อนจะตัดสินใจว่าจะเปลี่ยนกระบวนการผลิตใหม่หรือไม่ ควรได้มีการพิจารณาเสียก่อนว่าสามารถที่จะปรับปรุงเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตเดิมได้มากน้อยเพียงใด

- **การนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้ใหม่ (Waste Heat Recovery)**

วิธีการประหยัดพลังงานวิธีนี้ ต้องลงทุนสูง ต้องวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ให้แน่ใจก่อนจะดำเนินการวิธีนี้ต้องแน่ใจว่าได้ดำเนินการประหยัดพลังงานในสองขั้นตอนแรกแล้ว กล่าวคือ การดูแลเบื้องต้นและการปรับปรุงประสิทธิภาพของกระบวนการผลิต เพราะปริมาณความร้อนที่เหลือทิ้งหลังจากได้ดำเนินการประหยัดพลังงานในสองขั้นตอนแรกแล้วอาจจะเหลือน้อยลงจนไม่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ให้คุ้มค่ากับการลงทุน การประหยัดพลังงานโดยวิธีนี้จะประหยัดพลังงานได้ประมาณ 30% ของพลังงานสูญเสียที่คิดว่าจะประหยัดได้ทั้งหมด และวิธีการเก็บคืนความร้อนทิ้งในหม้อไอน้ำและระบบไอน้ำในหม้อไอน้ำมีอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เก็บความร้อนทิ้งและนำมาใช้ใหม่ดังนี้

1. เครื่องอุ่นอากาศ (Air Preheater) เป็นอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่ติดตั้งเพิ่มเติมจากท่อก๊าซไอเสียของหม้อไอน้ำ ซึ่งจะใช้พลังงานของก๊าซไอเสียมาอุ่นอากาศก่อนเข้าในห้องเผาไหม้ของหม้อไอน้ำ



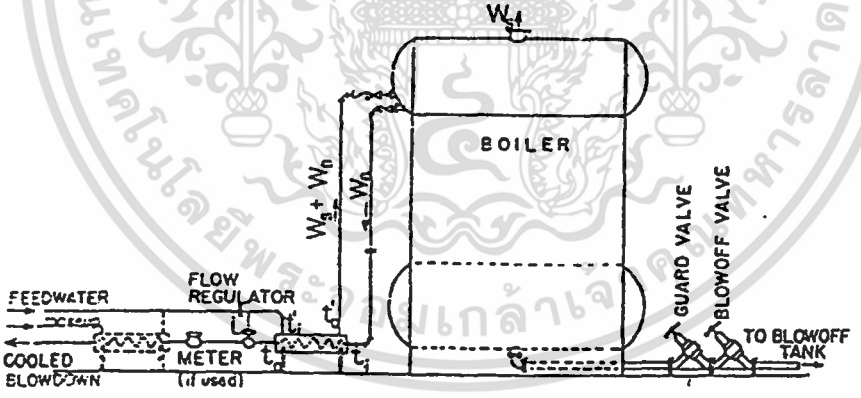
รูปที่ 4.1 เครื่องอุ่นอากาศแบบ Recuperative

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. เครื่องอุ่นน้ำป้อนหรือเครื่องประหยัดพลังงาน (Economizer) อุปกรณ์นี้เป็นเครื่องถ่ายเทความร้อนจากก๊าซไอเสียร้อนก่อนจะทิ้งปล่อง นำมาอุ่นน้ำป้อนให้มีอุณหภูมิสูงขึ้นจนถึงจุดใกล้จุดเดือดของน้ำที่ความดันใช้งาน การอุ่นน้ำป้อนช่วยให้หม้อไอน้ำสามารถผลิตไอน้ำได้รวดเร็วขึ้น และประหยัดต้นทุนการจัดหาหม้อไอน้ำในอนาคต เครื่องอุ่นน้ำป้อนช่วยประหยัดเชื้อเพลิง 2.5% ทุกๆช่วง 55.5 °C หรือ 100 °F ของอุณหภูมิที่ก๊าซไอเสียลดต่ำลง

3. การนำคอนเดนเสทกลับมาใช้(Condensate Return) การนำเอาคอนเดนเสทกลับมาใช้ประโยชน์โดยนำมาผสมกับน้ำป้อนหม้อไอน้ำ (Feed water) จะทำให้น้ำป้อนมีอุณหภูมิสูงขึ้น ในสถานที่ใช้หม้อไอน้ำบางแห่ง อาจพบว่าน้ำป้อนหม้อไอน้ำมีอุณหภูมิต่ำเกินไปเนื่องมาจากปริมาณคอนเดนเสทนำกลับมาใช้น้อยเกินไป หรือท่อน้ำคอนเดนเสทไม่ได้หุ้มฉนวน หรือมีความร้อนสูญเสียที่ถังน้ำป้อน (Feed tank) บางครั้งอาจพบว่ามีน้ำล้นจาก(Feed tank) เนื่องจากระบบควบคุม Feed pump ไม่ตัดการทำงานเมื่อน้ำถึงระดับ

4. การเก็บความร้อนคืนจากการปล่อยน้ำร้อนทิ้ง (Blow-down Heat Recovery) เป็นการถ่ายเทความร้อนจากน้ำร้อนทิ้งมาให้ความร้อนแก่น้ำป้อนเข้าหม้อไอน้ำก่อนที่น้ำป้อนจะไหลเข้าเครื่องอุ่นน้ำป้อน วิธีการนี้จะประหยัดเชื้อเพลิงได้ประมาณ 1-3 % ขึ้นอยู่กับปริมาณการปล่อยน้ำร้อนทิ้งและความดันใช้งานของหม้อไอน้ำ



รูปที่ 4.2 ระบบเก็บความร้อนคืนจากการปล่อยน้ำร้อนทิ้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. การเก็บความร้อนคืนจากแฟลชสตีมมาใช้ เมื่อคอนเดนเสทที่มีความดันสูงถูกปล่อยออกสู่บรรยากาศหรือปล่อยไปสู่อุปกรณ์ที่มีความดันต่ำลง ส่วนหนึ่งของคอนเดนเสทจะระเหยกลายเป็นไอีกครั้งหนึ่ง เราเรียกไอน้ำนี้ว่า แฟลชสตีม (Flash Steam) ซึ่งความร้อนที่ติดไปกับไอน้ำปริมาณนี้สามารถนำกลับมาใช้งานอีกได้ นำไปเป็นความร้อนของกระบวนการที่มีระดับความดันต่ำ

6. การใช้ถังสะสมไอน้ำ (Steam Accumulator) ถังสะสมไอน้ำหรือหม้อเก็บไอน้ำมีหน้าที่เก็บพลังงานความร้อนจากไอน้ำที่เหลือใช้ในช่วงที่ระบบใช้ไอน้ำน้อยกว่าไอน้ำที่ผลิตได้จากหม้อไอน้ำ การสะสมความร้อนนี้จะอยู่ในรูปน้ำร้อนความดันสูงเมื่อระบบไอน้ำต้องการไอน้ำมากขึ้น ถ้าหม้อไอน้ำจ่ายไอน้ำให้แก่ระบบไม่ทันต่อความต้องการจะทำให้ความดันต่ำลง น้ำร้อนในหม้อเก็บไอน้ำจะระเหยขึ้นไปเป็นแฟลชสตีมจ่ายให้แก่ระบบทำให้ระบบมีความดันสม่ำเสมอ การใช้ถังสะสมไอน้ำนี้นิยมใช้กับระบบที่มีภาระงาน (load) แบบไม่สม่ำเสมอ เกิดขึ้นในช่วงเวลาสั้น ๆ มักพบในโรงงานอุตสาหกรรมเป็นส่วนใหญ่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
การสร้างโปรแกรมย่อยในโปรแกรม Excel เพื่อใช้ในการคำนวณ

การสร้างโปรแกรมย่อยในโปรแกรม Excel ทำขึ้นเพื่อการนำไปใช้คำนวณหาพลังงานเอ็นธัลปีและเอ็กเซอร์ยีได้สะดวกยิ่งขึ้นซึ่งสามารถนำไปใช้ในโรงงานอื่นๆที่มีกระบวนการผลิตคล้ายกัน โดยอันดับแรกในการสร้างต้องทราบสูตรการคำนวณที่ใช้และค่าต่างๆที่จะแทนในสูตร แล้วจึงนำมาเขียนลงในโปรแกรม Excel

วิธีการใช้งานโปรแกรม

1. ดูเกรดของน้ำมันเตาที่ใช้ในตาราง เลือกเกรดน้ำมันเตาใส่ลงในช่องสีชมพู ดังในหน้าที่ 58
2. จากนั้นใส่ค่าอุณหภูมิและปริมาณต่างๆลงในช่องสีเขียวดังในหน้าที่ 58
3. จากนั้นผลที่ได้จากการคำนวณจะแสดงไว้ในหน้าที่ 59
4. ใส่ค่าอัตราส่วนโดยมวลขององค์ประกอบในน้ำมันเตาดังในหน้าที่ 60
5. ใส่ค่า cp ของน้ำที่ใช้ในหม้อน้ำ และของไอเสียและอากาศร้อนในช่องสีเขียวเข้มและที่สีเขียวอ่อนให้ใส่ช่วงอุณหภูมิซึ่งดูได้จากในตารางสีเหลืองดังในหน้าที่ 61
6. ทำเช่นเดียวกับข้อ 5 โดยใส่ลงในช่องสีเขียวอ่อนและสีเขียวเข้มด้วยค่าความร้อนแฝงต่างๆ ดังในหน้าที่ 62

ส่วนของเครื่องอบแห้งและเครื่องอัดเม็ดทำเช่นเดียวกันโดยการเติมค่าต่างๆที่ต้องทราบลงในช่องสีเขียวให้ครบจากนั้นโปรแกรมจะทำการคำนวณให้ซึ่งจะได้ผลดังตารางที่แสดงไว้ในหน้าที่ 63-69

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวิเคราะห์พลังงาน Enthapy กับ Exergy

Ex กล่องสี

กล่องสี	แนะนำ
	ให้เติมค่าต่างๆที่ได้มา
	ใส่ค่า เป็น choice
	เป็นค่าที่ได้จากการคำนวณ
	เป็นค่าคำนวณจากตาราง
	เป็นค่าจากตาราง
	ให้เติมค่าอุณหภูมิหรือค่าCp

Ex ตาราง

**********	**********
water	0.00
	0.00
	0.00

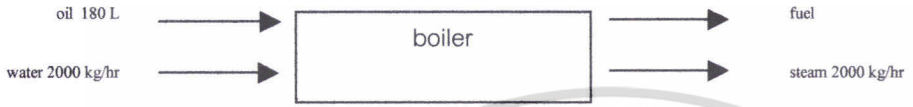
Ex ตารางสรุป

**********	**********	**********
******	###	###
******	###	N

→ สีของตารางสรุป

→ N=none

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ค่าน้ำมันเตา	LHV	ความถ่วงจำเพาะ
น้ำมันเตา grade1	10,884	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(°C)	อุณหภูมิ (K)	c_p(kJ/kg.K)
อากาศมาตรฐาน	N	25	298.15	N
น้ำมันเตาที่ใช้(l/hr)	180	25	298.15	N
ไอเสียและอากาศร้อน(kg)	10,417.31	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			

คำนวณหาค่า enthapy

สรุป

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	2,706.3 ← h_g
sum H_{output}	7,502,358.09	

input	kJ/hr	%	output	kJ/hr	%
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

คำนวณค่า exergy

สรุป

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

input	kJ/hr	%	output	kJ/hr	%
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

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

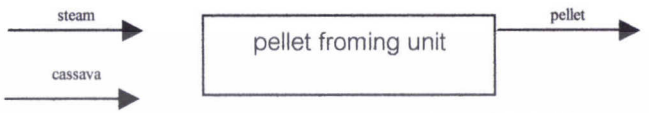
steam

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

T(K)ห่าง	5	→	h_g (kJ/kg)	7.30000
ถ้าT(K)ห่าง	5	→	h_g (kJ/kg)	7.30000

หมายเหตุ เครื่องหมาย *** จะแตกต่างกันแล้วแต่ช่วงที่ใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



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) → จะใช้ไอน้ำ (kg/hr) → 60.00

มวลมันอัดเม็ด = → 1,260.00

%ไอน้ำมันเม็ด= → 14.29

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

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

คำนวณหาค่า enthapy → สรุป

H_{input} (steam)	162,378.00
H_{input} (cassava)	14,325.00
sum H_{input}	176,703.00

H_{output} (pellet)	165,453.75
sum H_{output}	165,453.75

input	kJ/hr	%	output	kJ/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

คำนวณค่า exergy

สรุป

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

E_{output} (pellet)	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
			Irreversibili	12,834.73	32.52
total	39,472.97	100	total	39,472.97	100

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	→	h_g (kJ/kg)	7.30000
ถ้าT(K)ห่าง	5	→	h_g (kJ/kg)	7.30000

หมายเหตุ เครื่องหมาย *** จะบอกตำแหน่งช่วงที่ใช้

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
มันสำปะหลังอัดเม็ดเข้า (kg/hr)	1,260	80	353.15	2.3875	N
มันสำปะหลังอัดเม็ดออก (kg/hr)	1,220	45	318.15	2.3875	N
น้ำที่ระเหยออก	40.0022	40	313.15	N	2,574.30

energy balance :

$$\Delta H_{air} + \Delta H_{\text{มันสำปะหลังอัดเม็ดเข้า}} = \Delta H_{\text{มันสำปะหลังอัดเม็ดออก}} + \Delta H_{air} + \Delta H_{evaporated\ water}$$

มวลโดยน้ำ

40.0022

mass balance :

$$m_{air} + m_{\text{มันสำปะหลังอัดเม็ดเข้า}} = m_{\text{มันสำปะหลังอัดเม็ดออก}} + m_{air} + m_{evaporated\ water}$$

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)ต่าง	0.00200
ถ้าT(K)ห่าง	10	→	cp(kJ/kgK)ต่าง	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)ต่าง	0.00200
ถ้าT(K)ห่าง	23	→	cp(kJ/kgK)ต่าง	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	→	h_g (kJ/kg)	9.00000
ถ้าT(K)ห่าง	5	→	h_g (kJ/kg)	9.00000

หมายเหตุ เครื่องหมาย *** จะบอกตำแหน่งช่วงที่ใช้

เอกสารอ้างอิง

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

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

โยชิยิโกะ 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,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 Mc.Graw-Hill Companies,Inc.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

คำอธิบายสัญลักษณ์

A	:	พื้นที่ผิวที่ถ่ายเทความร้อน, kg
A_1	:	พื้นที่ผิวหน้าตัดของเครื่อง Free Fall Drying
Cp	:	ค่าความร้อนจำเพาะกรณีที่มีความดันคงที่, kJ/kgK
ε	:	เอ็กเซอร์ยี, kJ
g	:	ค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกเท่ากับ 9.81 m/s^2
ΔH	:	เอ็นธัลปี, kg
h	:	ความสูง, m
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
Q_i	:	ปริมาณของมันสำปะหลังอัดเม็ดที่ไหลเข้าเครื่อง Free Fall Drying, kg/hr
S	:	เอ็นโทรปี, kJ/kgK
T	:	อุณหภูมิสัมบูรณ์, K
T_o	:	อุณหภูมิมาตรฐาน, 398.15 K
U	:	ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนทั้งหมด, W/m^2K
V_1	:	ความเร็วต้น, m/s
V_2	:	ความเร็วปลาย, m/s

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

การหาปริมาณอากาศที่พอดีในการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์กับน้ำมันเตา

เชื้อเพลิงที่ใช้ใน Boiler เป็นน้ำมันเตาเบอร์ 5 ซึ่งมีส่วนประกอบของ C 85% , H 12% และ S 3% มีค่าความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 0.940 และค่าความร้อนต่ำ (LHV) เท่ากับ 10390 kcal/l

<u>วิธีการ</u> หาจำนวน O_2 ทั้งหมดที่ใช้ในการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์จากปฏิกิริยาเคมีแล้วนำจำนวน O_2 ทั้งหมดเทียบหาจำนวนหรือปริมาณอากาศ

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

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

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

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 5 = 0.940
∴ น้ำมันเตา 180 ลิตร หนักเท่ากับ 0.940 x 180 = 169.2 kg-น้ำมันเตา

จาก 1 kg-น้ำมันเตา จะใช้อากาศ 54.46 kg-อากาศ
∴ 169.2 kg-น้ำมันเตา จะใช้อากาศ 54.46 x 169.2 = 9214.63 kg-อากาศ

เมื่อ excess 10%
∴ จะใช้อากาศหรือได้ flue gas = 9214.63 + (9214.63 x10)/100 = 10136.09 kg

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

การคำนวณเวลาที่ใช้ในเครื่อง Free Fall Drying

ให้ปริมาณมันสำปะหลังอัดเม็ดขาเข้าเท่ากับ 1220 kg/hr หรือเท่ากับ 0.3389 kg/s

กำหนดให้ความหนาแน่นของมันสำปะหลังอัดเม็ดเท่ากับ 1391 kg/m^3

จาก $Q_1 = \rho_1 V_1 A_1 \longrightarrow V_1 = Q_1/\rho_1 A_1$

$V_1 = 0.3389/(1391 \times 3.1415) = 7.76 \times 10^{-5}$ m/s

จาก $V_2^2 = V_1^2 + 2gh$

$V_2^2 = (7.76 \times 10^{-5})^2 + 2(9.8)(3)$

$V_2 = 7.67$ m/s

จาก $h = vt + 1/2gt^2$

$3 = 7.67t + 1/2(9.8)t^2$

$t = 1.90$ s

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง

ตาราง แสดงค่า Cp และ Cv ของอากาศ

Temp. (K)	Cp	Cv
	Air	
250	1.003	0.716
300	1.005	0.718
350	1.008	0.721
400	1.013	0.726
450	1.020	0.733
500	1.029	0.742
550	1.040	0.753
600	1.051	0.764
650	1.063	0.776
700	1.075	0.788
750	1.087	0.800
800	1.099	0.812
900	1.121	0.834
1000	1.142	0.855

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก จ

ตาราง แสดงส่วนผสมและค่าความร้อนโดยเฉลี่ยของเชื้อเพลิง

เชื้อเพลิง	ส่วนผสมตามน้ำหนัก				ค่าความร้อน (kcal/kg)	
	คาร์บอน	ไฮโดรเจน	กำมะถัน	เถ้า	Gross	Net
ก๊าซธรรมชาติ	75	25	-	-	13,250	11,940
โปรเปน	82	18	-	-	11,980	11,030
บิวเทน(LPG)	83	17	-	-	11,800	10,900
แนพธา	85	15	0.03	-	11,500	10,640
น้ำมันก๊าด	86	14	0.04	-	11,000	10,310
น้ำมันดีเซลรอบเร็ว(โซล่า)	86	13.2	0.8	-	10,800	10,130
น้ำมันดีเซลรอบช้า(ขี้โล้)	86	12.7	1.3	0.01	10,670	10,040
น้ำมันเตาเบอร์ 4	87	12.5	0.7	0.02	10,580	10,050
น้ำมันเตาเบอร์ 5	85	12	3.0	0.04	10,390	9,790
น้ำมันเตาเบอร์ 6	85	11.7	3.2	0.08	10,340	9,750
น้ำมันหล่อลื่น	85	14.9	0.01	-	-	-
ถ่านหิน , บิทูมินัส	80	5.5	1.5	5	7,830	7,550
ถ่านโค๊ก	85	0.5	1	12	7,000	6,950
ลิกไนท์	72	4.5	2	12	6,700	-
ถ่าน	-	-	-	-	8,000	-
ฟืน	-	-	-	-	4,800	-
ชานอ้อย	-	-	-	-	2,600	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ฉ

ตารางที่ ไอน้ำอิ่มตัวที่อุณหภูมิองศาเซลเซียส

Temp., T°C	Sat. press., P_{sat} kPa	Specific volume, m³/kg: Sat. liquid, v_f	Specific volume, m³/kg: Sat. vapor, v_g	Internal energy, kJ/kg: Sat. liquid, u_f	Internal energy, kJ/kg: Evap., u_{fg}	Internal energy, kJ/kg: Sat. vapor, u_g	Enthalpy, kJ/kg: Sat. liquid, h_f	Enthalpy, kJ/kg: Evap., h_{fg}	Enthalpy, kJ/kg: Sat. vapor, h_g	Entropy, kJ/(kg·K): Sat. liquid, s_f	Entropy, kJ/(kg·K): Evap., s_{fg}	Entropy, kJ/(kg·K): Sat. vapor, s_g
0.01	0.6113	0.001000	206.14	0.0	2375.3	2375.3	0.01	2501.3	2501.4	0.000	9.1562	9.1562
5	0.8721	0.001000	147.12	20.97	2361.3	2382.3	20.98	2489.6	2510.6	0.0761	8.9496	9.0257
10	1.2276	0.001000	106.38	42.00	2347.2	2389.2	42.01	2477.7	2519.8	0.1510	8.7498	8.9008
15	1.7051	0.001001	77.93	62.99	2333.1	2396.1	62.99	2465.9	2528.9	0.2245	8.5569	8.7814
20	2.339	0.001002	57.79	83.95	2319.0	2402.9	83.96	2454.1	2538.1	0.2966	8.3706	8.6672
25	3.169	0.001003	43.36	104.88	2304.9	2409.8	104.89	2442.3	2547.2	0.3674	8.1905	8.5580
30	4.246	0.001004	32.89	125.78	2290.8	2416.6	125.79	2430.5	2556.3	0.4369	8.0164	8.4533
35	5.628	0.001006	25.22	146.67	2276.7	2423.4	146.68	2418.6	2565.3	0.5053	7.8478	8.3531
40	7.384	0.001008	19.52	167.56	2262.6	2430.1	167.57	2406.7	2574.3	0.5725	7.6845	8.2570
45	9.593	0.001010	15.26	188.44	2248.4	2436.8	188.45	2394.8	2583.2	0.6387	7.5261	8.1648
50	12.349	0.001012	12.03	209.32	2234.2	2443.5	209.33	2382.7	2592.1	0.7038	7.3725	8.0763
55	15.758	0.001015	9.568	230.21	2219.9	2450.1	230.23	2370.7	2600.9	0.7679	7.2234	7.9913
60	19.940	0.001017	7.671	251.11	2205.5	2456.6	251.13	2358.5	2609.6	0.8312	7.0784	7.9096
65	25.03	0.001020	6.197	272.02	2191.1	2463.1	272.06	2346.2	2618.3	0.8935	6.9375	7.8310
70	31.19	0.001023	5.042	292.95	2176.6	2469.6	292.98	2333.8	2626.8	0.9549	6.8004	7.7553
75	38.58	0.001026	4.131	313.90	2162.0	2475.9	313.93	2321.4	2635.3	1.0155	6.6669	7.6824
80	47.39	0.001029	3.407	334.86	2147.4	2482.2	334.91	2308.8	2643.7	1.0753	6.5369	7.6122
85	57.83	0.001033	2.828	355.84	2132.6	2488.4	355.90	2296.0	2651.9	1.1343	6.4102	7.5445
90	70.14	0.001036	2.361	376.85	2117.7	2494.5	376.92	2283.2	2660.1	1.1925	6.2866	7.4791
95	84.55	0.001040	1.982	397.88	2102.7	2500.6	397.96	2270.2	2668.1	1.2500	6.1659	7.4159
	Sat. press., MPa											
100	0.10135	0.001044	1.6729	418.94	2087.6	2506.5	419.04	2257.0	2676.1	1.3069	6.0480	7.3549
105	0.12082	0.001048	1.4194	440.02	2072.3	2512.4	440.15	2243.7	2683.8	1.3630	5.9328	7.2958
110	0.14327	0.001052	1.2102	461.14	2057.0	2518.1	461.30	2230.2	2691.5	1.4185	5.8202	7.2387
115	0.16906	0.001056	1.0366	482.30	2041.4	2523.7	482.48	2216.5	2699.0	1.4734	5.7100	7.1833
120	0.19853	0.001060	0.8919	503.50	2025.8	2529.3	503.71	2202.6	2706.3	1.5276	5.6020	7.1296
125	0.2321	0.001065	0.7706	524.74	2009.9	2534.6	524.99	2188.5	2713.5	1.5813	5.4962	7.0775
130	0.2701	0.001070	0.6685	546.02	1993.9	2539.9	546.31	2174.2	2720.5	1.6344	5.3925	7.0269
135	0.3130	0.001075	0.5822	567.35	1977.7	2545.0	567.69	2159.6	2727.3	1.6870	5.2907	6.9777
140	0.3613	0.001080	0.5089	588.74	1961.3	2550.0	589.13	2144.7	2733.9	1.7391	5.1908	6.9299
145	0.4154	0.001085	0.4463	610.18	1944.7	2554.9	610.63	2129.6	2740.3	1.7907	5.0926	6.8833
150	0.4758	0.001091	0.3928	631.68	1927.9	2559.5	632.20	2114.3	2746.5	1.8418	4.9960	6.8379
155	0.5431	0.001096	0.3468	653.24	1910.8	2564.1	653.84	2098.6	2752.4	1.8925	4.9010	6.7935
160	0.6178	0.001102	0.3071	674.87	1893.5	2568.4	675.55	2082.6	2758.1	1.9427	4.8075	6.7502
165	0.7005	0.001108	0.2727	696.56	1876.0	2572.5	697.34	2066.2	2763.5	1.9925	4.7153	6.7078
170	0.7917	0.001114	0.2428	718.33	1858.1	2576.5	719.21	2049.5	2768.7	2.0419	4.6244	6.6663
175	0.8920	0.001121	0.2168	740.17	1840.0	2580.2	741.17	2032.4	2773.6	2.0909	4.5347	6.6256
180	1.0021	0.001127	0.19405	762.09	1821.6	2583.7	763.22	2015.0	2778.2	2.1396	4.4461	6.5857
185	1.1227	0.001134	0.17409	784.10	1802.9	2587.0	785.37	1997.1	2782.4	2.1879	4.3586	6.5465
190	1.2544	0.001141	0.15654	806.19	1783.8	2590.0	807.62	1978.8	2786.4	2.2359	4.2720	6.5079
195	1.3978	0.001149	0.14105	828.37	1764.4	2592.8	829.98	1960.0	2790.0	2.2835	4.1863	6.4698

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

นางสาวชลลดา นามประเทือง เกิดเมื่อวันที่ 15 มกราคม พ.ศ. 2524 จังหวัดชลบุรี สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลายจากโรงเรียนชลราษฎรอำรุง จังหวัดชลบุรี ปี 2540 และสำเร็จการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาตรีวิทยาศาสตร์บัณฑิต(วิศวกรรมแปรรูปอาหาร) สาขาวิชาวิศวกรรมแปรรูปอาหาร ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในปีการศึกษา 2544

นางสาวอรอุมา มาลามาศ เกิดเมื่อวันที่ 3 พฤษภาคม พ.ศ. 2522 จังหวัดกรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลายจาก โรงเรียนวัดอินทราราม จังหวัดกรุงเทพมหานคร ปี 2540 และสำเร็จการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาตรีวิทยาศาสตร์บัณฑิต(วิศวกรรมแปรรูปอาหาร) สาขาวิชาวิศวกรรมแปรรูปอาหาร ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในปีการศึกษา 2544

นายนครินทร์ ภระมรทัต เกิดเมื่อวันที่ 22 กรกฎาคม พ.ศ. 2523 จังหวัดกรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลายจากโรงเรียนสาธิตมหาวิทยาลัยรามคำแหงจังหวัดกรุงเทพมหานครปี 2540 และสำเร็จการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาตรีวิทยาศาสตร์บัณฑิต(วิศวกรรมแปรรูปอาหาร) สาขาวิชาวิศวกรรมแปรรูปอาหาร ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในปีการศึกษา 2544

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้