สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

รายงานสรุปโครงการวิจัย งบประมาณแผ่นดินประจำปี 2541

เรื่อง

การวิเคราะห์พลังงานในอุตสาหกรรมอาหารด้วยเอ็กเซอร์ยี

(Energy Analysis in Food Industry via Exergy)

RCH
TJ
163.5
.F3
ว๖๑๕
เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 32639
วัน, เดือน, ปี 18 พ.ค. 2542

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะผู้ทำวิจัย

หัวหน้าโครงการ

นาง รุจิรา ตาปราบ

ภาควิชา อุตสาหกรรมเกษตร

คณะเทคโนโลยีการเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยต้องขอขอบคุณ โรงงานตัวอย่างที่ได้ให้ข้อมูลสำหรับการศึกษาในครั้งนี้ และงานวิจัยนี้ได้รับเงินสนับสนุนจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ประจำปีงบประมาณ 2541

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวิเคราะห์พลังงานในอุตสาหกรรมอาหารด้วยเอ็กเซอร์ยี

รุจิรา ตาปราบ
ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะเทคโนโลยีการเกษตร
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ ได้เลือกโรงงานตัวอย่างที่ผลิต ลูกชิ้น ไส้กรอก และ แฮม พบว่าการใช้พลังงานความร้อนประมาณ 50 % และที่เหลือเป็นพลังงานไฟฟ้า พลังงานความร้อนจะมาจากไอน้ำที่ความดัน 7 บาร์ของหม้อไอน้ำที่มีกำลังการผลิต 3 ตัน/ชั่วโมง การใช้พลังงานเป็นดังนี้ ประมาณ 60 % ใช้ในกระบวนการผลิตไส้กรอกที่เตาอบ 30 % ใช้ในกระบวนการผลิตแฮมที่หม้อต้ม และ 10 % ใช้ในกระบวนการผลิตลูกชิ้นที่หม้อต้ม เมื่อทำการวิเคราะห์การใช้พลังงานโดยใช้หลักกฎข้อที่หนึ่งของเทอร์โมไดนามิกส์พบว่า เตาอบมีประสิทธิภาพ 42.90 % ส่วนหม้อต้มแฮมมีประสิทธิภาพ 26.80 % และที่หม้อต้มลูกชิ้น มีประสิทธิภาพเป็น 27.42 % เมื่อทำการวิเคราะห์เอ็กเซอร์ยี พบว่ามีประสิทธิผลเป็น 35.89 %, 23.19 % และ 25.36 % ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

บทที่ 1	บทนำ	1
	1.1 บทนำ	1
	1.2 วัตถุประสงค์	2
	1.3 ขั้นตอนและวิธีการทดลอง	2
	1.4 ประโยชน์ของงานวิจัย	2
บทที่ 2	ทฤษฎีและตัวอย่างการวิเคราะห์เอ็นธัลปีและเอ็กเซอร์ยี	4
	2.1 การคำนวณเอ็นธัลปี	4
	2.2 การคำนวณเอ็กเซอร์ยี	5
	2.3 ตัวอย่างการวิเคราะห์โดยใช้เอ็นธัลปีและเอ็กเซอร์ยี	6
บทที่ 3	การวิเคราะห์พลังงานและเอ็กเซอร์ยีของโรงงานตัวอย่าง	11
	3.1 กระบวนการผลิตของโรงงานตัวอย่าง	11
	3.2 กระบวนการผลิตไส้กรอก	12
	3.3 กระบวนการผลิตแฮม	19
	3.4 กระบวนการผลิตลูกชิ้น	25
	3.5 การคำนวณเอ็นธัลปีและเอ็กเซอร์ยีของหม้อน้ำ	36
	3.6 การวิเคราะห์เอ็นธัลปีและเอ็กเซอร์ยีโดยรวม ของกระบวนการผลิตของทั้งโรงงาน	39
บทที่ 4	สรุปผลการวิเคราะห์และข้อเสนอแนะ	42
เอกสารอ้างอิง		44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 บทนำ

ในระบบทุกระบบที่ใช้พลังงาน จะมีการสูญเสียพลังงานขึ้นเสมอ ความจริงอันนี้เป็นที่ทราบกันดีทั่วไป ในหมู่ผู้ที่เกี่ยวข้องกับการใช้พลังงาน แต่ในหลายกรณีผู้ใช้พลังงาน ไม่ทราบอย่างชัดเจนว่าระบบที่ตนเองใช้อยู่นั้น มีการสูญเสียพลังงานมากน้อยเพียงใด ความคุ้นเคยกับการสูญเสียพลังงาน ความไม่รู้ถึงปริมาณพลังงานที่สูญเสียไป อาจเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ผู้ใช้พลังงานขาดความระมัดระวังในการใช้พลังงานให้ได้ประโยชน์คุ้มค่าที่สุด ในแง่ของเจ้าของกิจการ การประหยัดพลังงานโดยการใช้พลังงานให้เกิดประโยชน์สูงสุด และการป้องกันการสูญเสียพลังงานจนเกินขอบเขต จะทำให้ลดต้นทุนการผลิตซึ่งจะทำให้สินค้าที่ผลิตขึ้นมามีราคาถูกลง และจะหมายถึงผลกำไรที่มากขึ้น และความสามารถที่จะแข่งขันได้กับสินค้าประเภทเดียวกันทั้งในตลาดภายในและภายนอกประเทศ นอกจากนี้ในฐานะที่ประเทศไทยยังต้องพึ่งพาพลังงานจากต่างประเทศอยู่มาก การประหยัดพลังงานจะลดการสูญเสียดุลการค้า และการสูญเสียเงินตราต่างประเทศ ซึ่งจะทำให้เศรษฐกิจของประเทศดีขึ้นโดยส่วนรวม อันจะเอื้ออำนวยต่อการดำรงอยู่ของกิจการต่าง ๆ และเจ้าของกิจการโดยทางอ้อมอีกด้วย

พลังงานที่ใช้ในอุตสาหกรรมการผลิต ไม่ว่าจะเป็นพลังงานในรูปใด เช่น พลังงานความร้อน พลังงานไฟฟ้า เป็นต้น ต่างมีความสำคัญกับกระบวนการผลิตในโรงงานทั้งสิ้น ด้วยเหตุนี้จึงจำเป็นต้องให้ความสนใจกับการใช้พลังงานในรูปต่าง ๆ ที่มีอยู่แล้วให้มีประสิทธิภาพสูงสุดในการใช้งาน

ในโรงงานอุตสาหกรรมระบบไอน้ำเป็นที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย เพื่อให้พลังงานความร้อนในกระบวนการผลิตต่าง ๆ ทั้งนี้ เนื่องจากไอน้ำเป็นตัวพาความร้อนที่ดี มีความจุความร้อนสามารถคายความร้อนแฝงที่อุณหภูมิคงที่ และน้ำมีราคาถูก แต่การใช้ไอน้ำส่วนใหญ่แล้วยังไม่ถูกต้อง ทำให้เกิดการสูญเสียพลังงานไปโดยใช่เหตุ ได้มีผู้ศึกษาการใช้ไอน้ำในโรงงานต่าง ๆ ในประเทศออสเตรเลียจำนวน 19 โรงงาน ปรากฏว่ามีการสูญเสียพลังงานในระบบไอน้ำคิดเป็นมูลค่าถึง 1.12 ล้านเหรียญต่อปี โดยทั่วไปแล้ว ประมาณ 20 % ของเชื้อเพลิงที่ใช้ต้องสูญเสียไป เนื่องจากการใช้ไอน้ำไม่ถูกต้องในเรื่องของการประหยัดพลังงานในระบบไอน้ำ ต่อไปนี้จะกล่าวถึงสาเหตุ และแหล่งของการสูญเสียพลังงาน ตลอดทั้งวิธีการแก้ไข โดยจากตัวอย่างประกอบการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำนวณเพื่อให้ทราบถึงขนาดของปริมาณพลังงานที่อาจจะประหยัดได้ หากระบบได้รับการแก้ไขให้ถูกต้อง

โดยทั่วไปการวิเคราะห์พลังงานส่วนใหญ่ มักพิจารณาเฉพาะปริมาณของพลังงาน (Quantity of energy) ในโรงงานอุตสาหกรรม จะคิดเฉพาะในแง่ของเอ็นธัลปี (Enthalpy) อย่างไรก็ตามการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิผล จำเป็นต้องทราบถึงคุณภาพของพลังงาน (Quality of energy) ซึ่งจะเป็นดัชนีที่บ่งบอกถึงการใช้พลังงาน ว่าก่อให้เกิดเปลี่ยนแปลงคุณค่าของพลังงานมากน้อยเพียงไร ด้วยเหตุนี้จึงได้มีการหันมาหาตัวแสดงที่บ่งบอกคุณภาพของพลังงาน ได้แก่ เอ็กเซอร์ยี (Exergy) มาเสริมวิธีวินิจฉัยพลังงานในโรงงานอุตสาหกรรม เพื่อให้ทราบว่าการใช้พลังงานในปัจจุบันให้มีประสิทธิผลมากน้อยเพียงไร และแนวทางในการปรับปรุงหรือเปลี่ยนแปลงให้มีการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิผลสูงขึ้นควรดำเนินการอย่างไร

การประหยัดพลังงานในโรงงานอุตสาหกรรมอาจพิจารณาถึงประเด็นต่าง ๆ ได้หลายประเด็น กล่าวคือ

- ◊ การจัดการให้การทำงานของโรงงานมีประสิทธิภาพสูงสุด รวมทั้งการตรวจสอบ และวิเคราะห์การใช้พลังงานเพื่อลดการสูญเสียพลังงาน
- ◊ การดัดแปลงหรือแก้ไขเครื่องจักร-อุปกรณ์ที่ใช้งานมานานให้อยู่ในสภาพที่ดีขึ้นเพื่อลดความสูญเปล่าในโรงงาน
- ◊ การปรับปรุงประสิทธิภาพของกระบวนการผลิต
- ◊ การนำความร้อนที่ปล่อยทิ้งกลับมาใช้

การตรวจสอบการใช้พลังงานเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับโรงงานอุตสาหกรรมที่ต้องการให้มีการจัดการพลังงานที่ดี ซึ่งจะบ่งชี้ให้เห็นถึงแนวทางในการประหยัดพลังงาน และส่วนใดที่มีศักยภาพการประหยัดพลังงานได้สูง ซึ่งจะเป็นการช่วยให้เกิดการตัดสินใจที่จะลดต้นทุนการผลิตขั้นอุตสาหกรรมได้ง่ายขึ้น การตรวจสอบการใช้พลังงานมิใช่เป็นสิ่งที่ทำครั้งเดียวแล้วจะใช้ได้ตลอดไปแต่เป็นงานต่อเนื่องเพื่อจะได้มีการเปรียบเทียบระหว่างภาคทฤษฎี และผลทางปฏิบัติ เพื่อให้ทราบว่าพลังงานได้ถูกใช้ไปอย่างไรบ้าง และเสียค่าใช้จ่ายเท่าใด เมื่อได้ทราบถึงรายละเอียดดังกล่าวแล้วจะทำให้มองเห็นแนวทางที่จะประหยัดพลังงาน และลดต้นทุนการผลิตได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วัตถุประสงค์

1. วิเคราะห์การใช้พลังงานของโรงงานตัวอย่าง โดยการคำนวณเอ็นธัลปี (enthalpy) และประสิทธิภาพเชิงความร้อนร่วมกับการคำนวณเอ็กเซอร์ยี (exergy) และประสิทธิผลของการใช้พลังงาน
2. จากผลการวิเคราะห์ในข้อ 1 กำหนดมาตรการประหยัดพลังงานที่มีประสิทธิผลสูงสำหรับโรงงานอุตสาหกรรม

1.3 ขั้นตอน และวิธีการทดลอง

1. เลือกโรงงานอุตสาหกรรมตัวอย่าง (โรงงานผลิตไส้กรอก แฮม และลูกชิ้น) เพื่อหาข้อมูลต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องในกระบวนการผลิต
2. นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์การใช้พลังงาน ทั้งในแง่เอ็นธัลปี (enthalpy) และเอ็กเซอร์ยี (exergy) ของทั้งโรงงาน และของแต่ละระบบย่อยในโรงงาน
3. เสนอหลักการ และแนวทางปรับปรุงต่าง ๆ ของระบบที่ทำการวิเคราะห์

1.4 ประโยชน์ของงานวิจัย

1. ทำให้ทราบถึงสภาพปัจจุบันของการใช้พลังงานความร้อน ในโรงงานอุตสาหกรรมตัวอย่าง (โรงงานผลิตไส้กรอก แฮม ลูกชิ้น) ภายในประเทศโดยเฉพาะประสิทธิภาพ (efficiency) การใช้พลังงานของโรงงานดังกล่าว
2. ชี้ให้เห็นปัญหาที่แท้จริงของการปรับปรุงการใช้พลังงาน
3. สาธิตวิธีประยุกต์แนวความคิดเอ็กเซอร์ยีกับอุตสาหกรรมการผลิตในประเทศ
4. ช่วยส่งเสริมการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิผล รวมถึงการประหยัดพลังงานในอุตสาหกรรมการผลิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและตัวอย่างการวิเคราะห์เอ็นธัลปี และเอ็กเซอร์ยี

ในการวิเคราะห์การใช้พลังงาน จำเป็นต้องทราบถึงค่าของเอ็นธัลปี (enthalpy) ซึ่งเกี่ยวข้องโดยตรงกับกฎข้อที่ 1 ของเทอร์โมไดนามิกส์ ซึ่งเอ็นธัลปีจะบอกให้ทราบถึงปริมาณความร้อนที่นำไปใช้งานและปริมาณความร้อนที่สูญเสีย ประสิทธิภาพเชิงความร้อน (thermal efficiency,η) ของระบบจะให้นิยามว่า เป็นปริมาณของเอ็นธัลปีที่นำไปใช้งานหารด้วยปริมาณของเอ็นธัลปีที่ให้กับระบบทั้งหมด ส่วนกฎข้อที่ 2 ของเทอร์โมไดนามิกส์จะเกี่ยวข้องกับคุณภาพของพลังงาน ซึ่งจะบอกได้ในรูปของเอ็กเซอร์ยี โดยที่ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเอ็กเซอร์ยีหรือประสิทธผล (Effectiveness, exergetic efficiency, rational efficiency, second law efficiency, $\in$) ของระบบจะให้นิยามเป็นเอ็กเซอร์ยีที่ใช้งานหารด้วยเอ็กเซอร์ยีทั้งหมดที่ให้กับระบบ

สูตรทางเทอร์โมไดนามิกส์ที่ใช้ในการคำนวณค่าต่าง ๆ มีดังนี้

2.1 การคำนวณเอ็นธัลปี

◊ เมื่อระบบมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ

$$\Delta H = mC_p\Delta T \qquad (2.1)$$

◊ เมื่อระบบมีการเปลี่ยนแปลงสถานะ

$$\Delta H = mL \qquad (2.2)$$

◊ ค่าเอนธัลปีของน้ำมันเตา

$$\Delta H = [\text{ปริมาณน้ำมันเตา(ลิตร)}] \times [\text{LHV(kcal/l)}] \qquad (2.3)$$

◊ ค่าเอนธัลปีของความร้อนที่ผ่านผนัง

การถ่ายเทความร้อนที่ผนังเตา เป็นการถ่ายเทความร้อนแบบการนำความร้อนที่เกิดขึ้นในวัตถุที่เป็นของแข็งทึบ เมื่อมีความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิเกิดขึ้นในวัตถุจะมีการถ่ายเทความร้อนจากด้านที่มีอุณหภูมิสูงไปยังด้านที่มีอุณหภูมิต่ำ

ดังนั้นการหาค่าพลังงานความร้อนที่สูญเสียไปกับผนังได้จากสมการ

$$Q = UA\Delta T \qquad (2.4)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่การคำนวณในส่วนของผนังเตา (drying) ไส้กรอก เป็นสเตนเลส และตรงกลางเป็นโฟมชนิด polyurethane

$$\frac{1}{U}=\frac{x}{k_{stainless}}+\frac{x}{k_{foam}}+\frac{x}{k_{stainless}} \qquad (2.5)$$

ตัวอย่างการคำนวณ

ให้หาการถ่ายเทความร้อนแบบ steady state ต่อหน่วยพื้นที่ผ่านวัตถุเนื้อเดียวกันลักษณะชิ้นบาง (slab) ความหนา 5 เซนติเมตร ที่มีอุณหภูมิผิวสม่ำเสมอทั้งสองด้านเป็น 100°C และ 70°C สัมประสิทธิ์การนำความร้อนของวัตถุนี้เป็น 19 W/m°C

วิธีการคำนวณ จากสมการ $Q = UA\Delta T$

$Q/A = U\Delta T$

เมื่อ $1/U = x/k$

ดังนั้น $Q = (k/x)\Delta T$

$$= \frac{19\times(100-70)}{5\times10^{-2}}$$

$= 11{,}400\ W/m^2$

∴ อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อพื้นที่คือ 11,400 W/m^2

2.2 การคำนวณเอ็กเซอร์ยี

เอ็กเซอร์ยี (exergy) หมายถึง ศักยภาพสูงสุดในการทำงานของระบบ ที่สิ่งแวดล้อมมีอุณหภูมิ T_0

◊ ในระบบเปิด (open system)

$$\in = \Delta H - T_0\Delta S \qquad (2.6)$$

$$\in = \Delta H - T_0\left(\frac{\Delta H}{T}\right) \qquad (2.7)$$

เมื่อ T_0 = T standard

= 25 + 273.15 = 298.15 K

◊ เอ็กเซอร์ยีของน้ำมันเตา

exergy =

$$LHV\left[1.0038 + \left(0.1365 \times \frac{H}{C}\right) + \left(0.0038 \times \frac{O}{C}\right) + \left(0.0104 \times \frac{S}{C}\right)\right] \qquad (2.8)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

◊ เอ็กเซอร์ยีของความร้อนที่ผ่านผนังเตาอบ

$$\text{exergy} = \left(1-\frac{T_0}{T}\right)Q \qquad (2.9)$$

การคำนวณประสิทธิภาพตามกฎข้อที่หนึ่งของเทอร์โมไดนามิกส์ คำนวณได้จากคำจำกัดความต่อไปนี้

$$\text{efficiency} = \frac{\sum \Delta H_{output}}{\sum \Delta H_{input}} \text{x100 \%} \qquad (2.10)$$

การคำนวณประสิทธิภาพตามกฎข้อที่สองของเทอร์โมไดนามิกส์ คำนวณได้จากคำจำกัดความต่อไปนี้

$$\text{effectiveness} = \frac{\sum \Delta \epsilon_{output}}{\sum \Delta \epsilon_{input}} \text{x100 \%} \qquad (2.11)$$

2.3 ตัวอย่างการวิเคราะห์โดยใช้เอ็นธัลปี และเอ็กเซอร์ยี

การวิเคราะห์เอ็กเซอร์ยีของระบบกระบวนการผลิตนม (Exergy analysis of a milk processing system)

การประยุกต์ของการวิเคราะห์เอ็กเซอร์ยี เกี่ยวกับกระบวนการแปรรูปอาหาร มีรายงานไว้ในช่วงต้นของปี ค.ศ. 1980 Fangและคณะ (1995) ได้ศึกษาการวิเคราะห์พลังงานและเอ็กเซอร์ยีในกระบวนการผลิตนม

สมการสมดุลของพลังงาน และเอ็กเซอร์ยี ใช้เป็นพื้นฐานสำหรับการวิเคราะห์ระบบเทอร์โมไดนามิกส์ พลังงานที่ผันกลับไม่ได้ รวมถึงประสิทธิภาพของพลังงาน และเอ็กเซอร์ยี ในระบบที่คงที่ทั่ว ๆ ไป พลังงาน และเอ็กเซอร์ยีสามารถแสดงโดย

สมดุลพลังงาน $$Q = \sum_{output}(mh)_j - \sum_{input}(mh)_j + W \qquad (2.12)$$

สมดุลเอ็กเซอร์ยี $$I = \sum_{input}(me_x)_j - \sum_{output}(me_x)_j - \left(1-\frac{T_r}{T_s}\right)Q - W \qquad (2.13)$$

เมื่อ Q = พลังงานที่เข้าสู่ระบบ (kW)

W = งานหรือพลังงานที่ออกสู่ระบบ(kW)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

I = พลังงานที่ผันกลับไม่ได้ของระบบ(kW)

m_j = อัตราการไหลของกระแส j (kJ/s)

h_j = เอนธัลปีจำเพาะของกระแส j (kJ/kgK)

s_j = เอนโทรปีจำเพาะของกระแส j (kJ/kgK)

e_{xj} = $h_j - h_r - T_r(s_j - s_r)$, เอ็กเซอร์ยีจำเพาะของกระแส j(kJ/kg)

ρ = ความหนาแน่นของของไหล (kg/m^3)

T_s = อุณหภูมิการถ่ายเทความร้อนที่ผิวสัมผัส

h_r, s_r = เอนธัลปีจำเพาะ และเอนโทรปีจำเพาะที่อุณหภูมิอ้างอิง

c = ความร้อนจำเพาะ (kJ/kg K)

T = 293.15K และความดัน p_r = 1 atm

1 J พลังงานไฟฟ้า = 3.6 J พลังงานความร้อน

การใช้โดยทั่วไปหรือกฎข้อที่หนึ่งของประสิทธิภาพ (FLE) คืองานหรือพลังงานขาออก ซึ่งถูกแบ่งแยกโดยพลังงานขาเข้า ในทำนองเดียวกันเอ็กเซอร์ยี หรือกฎข้อที่สองของประสิทธิภาพ (SLE) คือการหาเอ็กเซอร์ยีขาออกซึ่งถูกแบ่งแยกโดยเอ็กเซอร์ยีขาเข้า ซึ่งเอ็กเซอร์ยีขาเข้า และขาออกถูกหาโดย เอนธัลปีจำเพาะ (specific enthalpy) และค่าเอนโทรปี และอัตราการไหลของกระแสพลังงาน จากตัวอย่างสำหรับเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่น

$$SLE = \frac{ExergyOutput}{ExergyInput} = \frac{m_c\left[h_{c1} - h_{c2} - T_r\left(s_{c2} - s_{c1}\right)\right]}{m_h\left[h_{h1} - h_{h2} - T_r\left(s_{h1} - s_{h2}\right)\right]} \qquad (2.14)$$

ซึ่งตัวห้อย 1, 2, c, h แสดงขาเข้า และขาออกจากส่วนของการลดอุณหภูมิ และส่วนของการให้ความร้อน

พิจารณาถึงระบบที่อัดไม่ได้, บริสุทธิ์, สารที่มีสถานะเดียว เปลี่ยนแปลงในเอนธัลปีจำเพาะ และเอนโทรปีสามารถที่จะถูกกำหนดจากการเปลี่ยนแปลงในอุณหภูมิ และความดันโดย

$$h_2 - h_1 = c\left(T_2 - T_1\right) + \left(p_2 - p_1\right)/\rho \qquad (2.15)$$

$$s_2 - s_1 = c\ln\left(T_2 / T_1\right) \qquad (2.16)$$

ที่ซึ่งความร้อนจำเพาะ(c)คือค่าเฉลี่ยของช่วงอุณหภูมิในการพิจารณา เนื่องจากพลังงานที่ผันกลับไม่ได้ และประสิทธิภาพของเอ็กเซอร์ยี จะเกี่ยวข้องกับ อุณหภูมิที่สามารถวัดค่าได้, ความดัน และค่าอัตราการไหล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมดุลมวล

$m_1 = m_2 \ldots\ldots = m_7 \quad m_9 = m_{10} = m_{11} \quad m_{12} = m_{13}$ (2.17)

สมดุลพลังงาน

Regenerator : $m_1(T_1 - T_2) + m_5(T_5 - T_6) = 0$ (2.18)

Homogenizer : $m_2(T_2 - T_3) + W_{14} - Q_{15} = 0$ (2.19)

Milk heater : $m_3(T_3 - T_4) + m_9(T_9 - T_{10}) = 0$ (2.20)

Holding tube : $m_4(T_4 - T_5) - Q_{17} = 0$ (2.21)

Cooler : $m_6(T_6 - T_7) + m_{12}(T_{12} - T_{13}) = 0$ (2.22)

Feedwater heater : $m_{10}c(T_{11} - T_{10}) - m_8\left[h_{fg} + c(T_8 - T_{11})\right] + Q_{18} = 0$ (2.23)

where $h_{fg} = 3439 - 3.14T_g$

(2.24)

Water pump : $m_{11}\left[c(T_9 - T_{11}) + 0.0517\right] - W_{16} = 0$ (2.25)

for $p_9 - p_{11} = 51.8$ kPa (2.26)

สมดุลเอ็กเซอร์ยี

Regenerator : $I_i = m_1 cT_r \ln\left(\frac{T_2}{T_1}\right) + m_5 cT_r \ln\left(\frac{T_6}{T_5}\right)$ (2.27)

Homogenizer : $I_{ii} = m_2 cT_r \ln\left(\frac{T_3}{T_2}\right) + Q_{15}\left(\frac{T_r}{T_s}\right)$ (2.28)

Milk heater : $I_{iii} = m_3 cT_r \ln\left(\frac{T_4}{T_3}\right) + m_9 cT_r \ln\left(\frac{T_{10}}{T_9}\right)$ (2.29)

Holding tube : $I_{iv} = m_4 cT_r \ln\left(\frac{T_5}{T_4}\right) + Q_{17}\left(\frac{T_r}{T_s}\right)$ (2.30)

Cooler : $I_v = m_6 cT_r \ln\left(\frac{T_7}{T_6}\right) + m_{12} cT_r \ln\left(\frac{T_{13}}{T_{12}}\right)$ (2.31)

Feedwater heater :

$$I_{vi} = Q_{18}\left(\frac{T_r}{T_{11}}\right) + m_{10} cT_r \ln\left(\frac{T_{11}}{T_{10}}\right) - m_8 h_{fg}\frac{T_r}{T_8} - m_8 cT_r \ln\left(\frac{T_8}{T_{11}}\right) \quad (2.32)$$

Water pump : $I_{vii} = m_{11} cT_r \ln\left(\frac{T_9}{T_{11}}\right)$ (2.33)

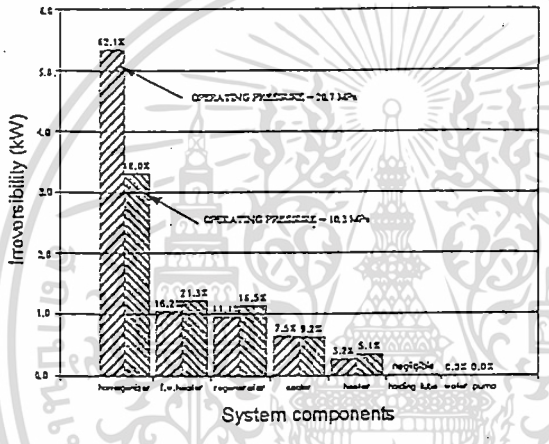
โดยรวมแล้ว ความดันที่มีความต่อเนื่อง จะเกิดขึ้นได้ในระบบ และความสัมพันธ์ของการปฏิบัติการ และเงื่อนไขของอุณหภูมิ คือ องค์ประกอบที่จำเพาะเจาะจงของระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มีการเปลี่ยนแปลงที่สามารถเกิดขึ้นได้ 10 สิ่ง ปริมาณของไหลขาเข้า, อุณหภูมิ, อุณหภูมิขาออกของนม, อัตราการไหลวนของน้ำร้อน และพลังงานขาเข้าเครื่องโฮโมจีไนซ์ (m_1, m_8, m_9, m_{12}, T_1, T_4, T_7, T_8, T_{12}, W_{14}) ถูกพิจารณาให้สามารถควบคุมการเปลี่ยนแปลงโดยอิสระ และถูกเลือกในสภาพที่สามารถเปลี่ยนแปลง การเปลี่ยนแปลงที่เหลืออยู่ถูกกำหนดโดยสมการที่ครอบคลุมของระบบ ที่รีเจนนอร์เรเตอร์เป็นรูปแบบของส่วนประกอบที่เฉพาะ ที่แสดงให้เห็นความแตกต่างระหว่างการได้ผลจากส่วนประกอบ และการวิเคราะห์ระบบ ในการแก้ปัญหาที่เหมาะสมได้ใช้สมการไม่เป็นเชิงเส้น (nonlinear equation)ประกอบจาก GAMS/MINOS โดยใช้คอมพิวเตอร์ (Brooke et.al., 1988)

ผลการวิเคราะห์

การเปรียบเทียบพลังงานที่ผันกลับไม่ได้ (Irreversibility) ในแต่ละหน่วยของการผลิตนม



รูปที่ 2.1 แสดงการเปรียบเทียบพลังงานที่ผันกลับไม่ได้ (Irreversibility) ในแต่ละหน่วยของการผลิตนม

จากรูปที่ 2.1 แสดงให้เห็นแต่ละหน่วยย่อยของระบบการผลิตนม ซึ่งมีค่าพลังงานที่ผันกลับไม่ได้ (Irreversibility) แตกต่างกัน เมื่อความดันแตกต่างกัน ในที่นี้ใช้ความดัน 20.7 MPa และ 10.3 MPa

-ในเครื่องโฮโมจีไนซ์จะเห็นว่าค่าพลังงานที่ผันกลับไม่ได้ (Irreversibility) ที่ความดัน 20.7 MPa มีค่า 62.1% และที่ความดัน 10.3 MPa มีค่า 38.0% ซึ่งมีค่าน้อยกว่า

-ในระบบให้น้ำร้อนจะเห็นว่าค่าพลังงานที่ผันกลับไม่ได้ (Irreversibility) ที่ความดัน 20.7 MPa มีค่า 16.2% และที่ความดัน 10.3 MPa มีค่า 21.3% ซึ่งมีค่ามากกว่า

-ในเครื่องรีเจนนอร์เรเตอร์จะเห็นว่าค่าพลังงานที่ผันกลับไม่ได้ (Irreversibility) ที่ความดัน 20.7 MPa มีค่า 11.1% และที่ความดัน 10.3 MPa มีค่า 16.5% ซึ่งมีค่ามากกว่า

-ในเครื่องลดอุณหภูมิจะเห็นว่าค่าพลังงานที่ผันกลับไม่ได้ (Irreversibility) ที่ความดัน 20.7 MPa มีค่า 7.5% และที่ความดัน 10.3 MPa มีค่า 9.2% ซึ่งมีค่ามากกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

-ในเครื่องให้ความร้อนจะเห็นว่าค่าพลังงานที่ผันกลับไม่ได้ (Irreversibility) ที่ความดัน 20.7 MPa มีค่า 3.2% และที่ความดัน 10.3 MPa มีค่า 5.1% ซึ่งมีค่ามากกว่า

แสดงให้เห็นถึงแนวของการกระจายตัวของเอ็กเซอร์ยีของระบบ ในระบบเครื่องโฮโมจิไนซ์มีการกระจายตัวของเอ็กเซอร์ยีมากสุดตามด้วยระบบให้น้ำร้อน (feedwater heat) มีพลังงานที่ต่ำสุดหรือประสิทธิภาพตามกฎข้อที่ 1 เครื่องให้ความร้อนประสิทธิภาพตามกฎข้อที่ 1 สามารถที่จะถูกปรับปรุงโดยเปลี่ยนเครื่องมือ ซึ่งจะลดพลังงานที่ไม่สามารถผันกลับได้ และจะเพิ่มประสิทธิภาพตามกฎข้อที่ 2 อย่างไรก็ตามในส่วนที่มากที่สุดของเครื่องโฮโมจิไนซ์ประสิทธิภาพตามกฎข้อที่ 1 ถูกคำนวณสำหรับการปฏิบัติการที่ความดันสูงสุดในขณะที่ประสิทธิภาพตามกฎข้อที่ 2 ลดลงจากที่ความดันของการปฏิบัติการเพิ่มขึ้น

เครื่องโฮโมจีไนซ์ประกอบด้วยปั๊มความดันสูง และ throttling valve สำหรับทำให้เม็ดไขมันมีขนาดเล็กลง กระบวนการโฮโมจิไนซ์เซชั่น เป็นกระบวนการที่ผันกลับไม่ได้สูง เพราะว่าเหตุของการหยุดความดันส่วนมากเกิดจากการกระจายตัวของพลังงานเกิดขึ้นโดยตรงกับของไหลนม ซึ่งไหลผ่านวาล์ว ค่าความดันในการปฏิบัติการของวาล์วส่วนใหญ่คือ พลังงานที่ผันกลับไม่ได้ส่วนใหญ่นั่นเอง

เครื่องให้น้ำร้อนได้ผสมน้ำ และความดันบรรยากาศจากไอน้ำอิ่มตัว กระบวนการผสมคือชนิดของกระบวนการที่ไม่สามารถผันกลับได้ทางกระบวนการเทอร์โมไดนามิกส์ ซึ่งคือส่วนของการควบแน่นของไอน้ำที่มีคุณภาพสูง ไม่เกิดงาน และจะเป็นน้ำที่มีพลังงานต่ำ องค์ประกอบที่รบกวนพลังงานที่ผันกลับไม่ได้ของเครื่องทำความร้อน ประกอบด้วยอัตราส่วนการผสม m_{steam}/m_{H2O} ความดันไอ และความร้อนที่สูญเสีย การลดอัตราส่วนการผสม, ความดันไอ และความร้อนที่สูญเสียกับสภาพแวดล้อม สามารถลดพลังงานที่ไม่สามารถย้อนกลับได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การวิเคราะห์พลังงานและเอ็กเซอร์ยีของโรงงานตัวอย่าง

3.1 กระบวนการผลิตของโรงงานตัวอย่าง

โรงงานตัวอย่างที่ทำการวิเคราะห์การใช้พลังงานในที่นี้เป็นโรงงานที่ทำการผลิตผลิตภัณฑ์ดังนี้

- ◊ ไส้กรอก
- ◊ แฮม
- ◊ ลูกชิ้น

พลังงานความร้อนที่ใช้ในการผลิตนั้นมาจาหม้อน้ำ (boiler) กระบวนการผลิตของโรงงานตัวอย่างได้แสดงในรูปที่ 3.1

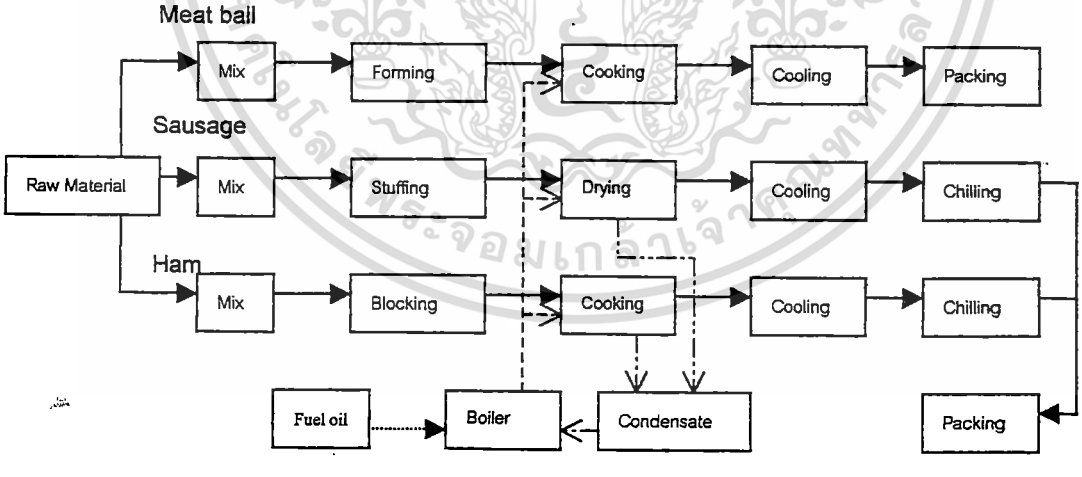


Figure 1 Simplified diagram of a food plant

รูปที่ 3.1 แสดงกระบวนการผลิตของโรงงานตัวอย่าง

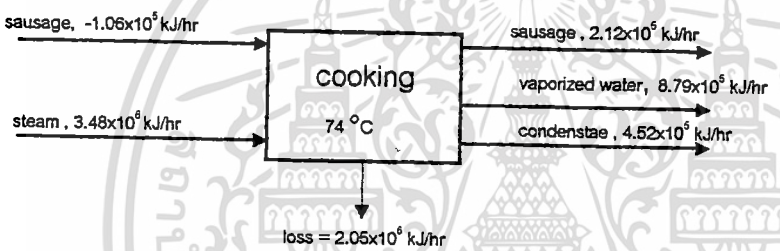
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\therefore \sum H_{output} = (2.12\times10^5\ kJ/hr) + (8.79\times10^5\ kJ/hr) + (4.52\times10^5\ kJ/hr)$$
$$= 1.54\times10^6\ kJ/hr$$

$$H_{loss} = \sum H_{input} - \sum H_{output}$$
$$= (3.59\times10^6\ kJ/hr) - (1.54\times10^6\ kJ/hr) = 2.05\times10^6\ kJ/hr$$

$$\text{enthalpy efficiency} = \frac{\sum H_{output}}{\sum H_{input}} \times 100 = \frac{1.54\times10^6}{3.59\times10^6} \times 100 = 42.90\ \%$$

$$\text{enthalpy efficiency loss} = \frac{\sum H_{input} - \sum H_{output}}{\sum H_{input}} \times 100$$
$$= \frac{2.05\times10^6}{3.59\times10^6} \times 100 = 57.10\ \%$$



รูปที่ 3.3 แสดงพลังงานขาเข้า และขาออกของเตาอบ (Drying unit)

การวิเคราะห์เอ็กเซอร์ยี

การคำนวณเอ็กเซอร์ยี

จาก $\Delta\in = \Delta H - T_0\Delta S$

$= \Delta H - [T_0 \times (\Delta H/T)]$

$= \Delta H - \left[\frac{298.15 \times \Delta H}{t°C + 273.15}\right]$

เมื่อ $T_0 = T_{standard}$

$= 25 + 273.15 = 298.15K$

$$\in_{input,\ sausage} = (-1.06\times10^5\ kJ/hr) - \left[298.15K \times \frac{(-1.06\times10^5\ kJ/hr)}{277.15K}\right]$$
$$= (-1.06\times10^5\ kJ/hr) + (1.14\times10^5\ kJ/hr)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.2 ผลการวิเคราะห์เอ็นธัลปี และเอ็กเซอร์ยีของเตาอบ (Drying unit)

ผลการวิเคราะห์เอ็นธัลปีของเตาอบแสดงไว้ในตารางที่ 3.1 และผลการวิเคราะห์เอ็กเซอร์ยีของเตาอบแสดงไว้ในตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.1 Enthalpy analysis of drying unit in sausage plant

Enthalpy input	kJ/hr	%	Enthalpy output	kJ/hr	%
1. steam	3.48×10^{6}	96.94	1. condensate	8.79×10^{5}	24.48
2. sausage	-1.06×10^{6}	2.95	2. sausage	2.12×10^{5}	5.91
			3. evaporized water	4.52×10^{5}	12.60
			4. loss	2.05×10^{6}	57.11
			-wall *	2.21×10^{4}	0.62
			-other	2.03×10^{6}	56.55
ΣH	3.59×10^{6}	100	ΣH	3.59×10^{6}	100

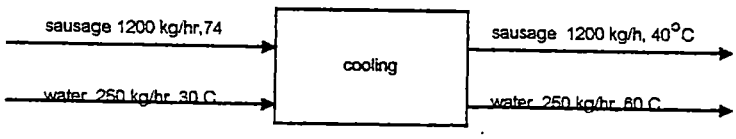
$$\text{eff} = \frac{1.54\times10^{6}}{3.59\times10^{6}} \times 100 = 42.90\%$$

ตารางที่ 3.2 Exergy analysis of drying unit in sausage plant

Exergy input	kJ/hr	%	Exergy output	kJ/hr	%
1. steam	1.11×10^{6}	98.88	1. condensate	2.81×10^{5}	25.09
2. sausage	8.00×10^{3}	1.12	2. sausage	2.99×10^{4}	2.67
			3. evaporized water	9.10×10^{4}	8.13
			4. loss	4.10×10^{5}	36.61
			- wall *	1.06×10^{3}	0.09
			Ireversibility	3.08×10^{5}	27.50
$\Sigma\epsilon$	1.12×10^{6}	100	$\Sigma\epsilon$	1.12×10^{6}	100

$$\text{eff} = \frac{4.02\times10^{5}}{1.12\times10^{6}} \times 100 = 35.89\%$$

3.2.3 การวิเคราะห์เอ็นธัลปี และเอ็กเซอร์ยีของการลดอุณหภูมิไส้กรอก (Cooling unit)



รูปที่ 3.4 แสดงอุณหภูมิขาเข้า และขาออกของการลดอุณหภูมิ (Cooling unit)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวิเคราะห์เอ็นธัลปี

การคำนวณเอ็นธัลปี

$H_{input,\ sausage} = mC_p\Delta T$

$= (1200\ kg/hr)(3.6\ kJ/kgK)(347.15 - 298.15K)$

$= 2.12 \times 10^5\ kJ/hr$

$H_{input,\ water} = (250\ kg/hr)(4.19\ kJ/kgK)(303.15 - 298.15K)$

$= 5.24 \times 10^3\ kJ/hr$

$\therefore \sum \Delta H_{input} = 2.17 \times 10^5\ kJ/hr$

$H_{output,\ sausage} = (1200\ kg/hr)(3.6\ kJ/kgK)(313.15 - 298.15K)$

$= 6.48 \times 10^4\ kJ/hr$

$H_{output,\ water} = (250\ kg/hr)(4.19\ kJ/kgK)(323.15 - 298.15K)$

$= 2.60 \times 10^4\ kJ/hr$

$\therefore \sum \Delta H_{output} = 9.10 \times 10^4\ kJ/hr$

$H_{loss} = (2.17 \times 10^5\ kJ/hr) - (9.10 \times 10^4\ kJ/hr) = 1.26 \times 10^5\ kJ/hr$

$$\text{enthalpy efficiency} = \frac{\sum H_{output}}{\sum H_{input}} = \frac{9.10 \times 10^4}{2.17 \times 10^5} \times 100 = 41.94\ \%$$

$$\text{enthalpy efficiency loss} = \frac{(2.17 \times 10^5 - 9.10 \times 10^4)}{2.17 \times 10^5} \times 100 = 58.06\%$$

การวิเคราะห์เอ็กเซอร์ยี

การคำนวณเอ็กเซอร์ยี

$$\in_{input,\ sausage} = (2.12 \times 10^5\ kJ/hr) - \left[298.15K \times \frac{(2.12 \times 10^5\ kJ/hr)}{347.15K}\right]$$

$= (2.12 \times 10^5\ kJ/hr) - (1.82 \times 10^5\ kJ/hr)$

$= 3.00 \times 10^4\ kJ/hr$

$$\in_{input,\ water} = (5.24 \times 10^3\ kJ/hr) - \left[298.15K \times \frac{(5.24 \times 10^3\ kJ/hr)}{303.15K}\right]$$

$= (5.24 \times 10^3\ kJ/hr) - (5.15 \times 10^3\ kJ/hr)$

$= 90\ kJ/hr$

$\therefore \sum \in_{input} = (3.00 \times 10^4\ kJ/hr) + (90\ kJ/hr) = 3.01 \times 10^4\ kJ/hr$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

$$\in_{output,\ sausage} = (6.48\text{x}10^4\ \text{kJ/hr}) - [298.15\text{K} \times \frac{(6.48\times10^4\ kJ/hr)}{313.15K}]$$

$$= (6.48\text{x}10^4\ \text{kJ/hr}) - (6.17\text{x}10^4\ \text{kJ/hr})$$

$$= 3.10\text{x}10^3\ \text{kJ/hr}$$

$$\in_{output,\ water} = (2.60\text{x}10^4\ \text{kJ/hr}) - [298.15\text{K} \times \frac{(2.60\times10^4\ kJ/hr)}{323.15K}]$$

$$= (2.60\text{x}10^4\ \text{kJ/hr}) - (2.40\text{x}10^4\ \text{kJ/hr})$$

$$= 2.00\text{x}10^3\ \text{kJ/hr}$$

$$\therefore \sum \in_{output} = (3.10\text{x}10^3\ \text{kJ/hr}) + (2.00\text{x}10^3\ \text{kJ/hr}) = 5.10\text{x}10^3\ \text{kJ/hr}$$

$$\in_{loss} = (1.26\text{x}10^5\text{kJ/hr}) - [298.15\text{K} \times \frac{(1.26\times10^5\ kJ/hr)}{313.15K}]$$

$$= (1.26\text{x}10^5\ \text{kJ/hr}) - (1.20\text{x}10^5\ \text{kJ/hr})$$

$$= 6.00\text{x}10^3\ \text{kJ/hr}$$

$$\text{exergy efficiency} = \frac{\sum \in_{output}}{\sum \in_{input}} = \frac{5.10\times10^3}{3.01\times10^4}\text{x}100 = 16.94\ \%$$

$$\text{exergy efficiency loss} = \frac{(6.21\times10^5 - 1.44\times10^5)}{6.21\times10^5}\text{x}100 = 76.81\ \%$$

3.2.4 ผลการวิเคราะห์เอ็นธัลปี และเอ็กเซอร์ยีของการลดอุณหภูมิไส้กรอก (Cooling unit)

ผลการวิเคราะห์เอ็นธัลปีของการลดอุณหภูมิไส้กรอกแสดงไว้ในตารางที่ 3.3 และผลการวิเคราะห์เอ็กเซอร์ยีของการลดอุณหภูมิไส้กรอกแสดงไว้ในตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.3 Enthalpy analysis of cooling sausage

Enthalpy input	kJ/hr	%	Enthalpy output	kJ/hr	%
1. sausage	$2.12\text{x}10^5$	97.70	1. sausage	$6.48\text{x}10^4$	29.86
2. water	$5.24\text{x}10^3$	2.41	2. water	$2.60\text{x}10^4$	11.98
			3. loss	$1.26\text{x}10^5$	58.06
ΣH	$2.17\text{x}10^5$	100	ΣH	$2.17\text{x}10^5$	100
			eff = $\frac{9.10\times10^4}{2.17\times10^5}$ x100 = 41.94%		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

32639

ตารางที่ 3.4 Exergy analysis of cooling sausage

Exergy input	kJ/hr	%	Exergy output	kJ/hr	%
1. sausage	3.00×10^4	99.67	1. sausage	3.10×10^3	10.30
2. water	90	0.29	2. water	2.00×10^3	6.64
			3. loss	6.00×10^3	19.93
			- Irreversibility	1.90×10^4	63.12
$\Sigma\epsilon$	3.01×10^4	100	$\Sigma\epsilon$	3.01×10^4	100
			eff = $\frac{5.10 \times 10^3}{3.01 \times 10^4}$ x100 = 16.94%		

3.2.5 วิจารณ์ผลการวิเคราะห์เอ็นธัลปี และเอ็กเซอร์ยีของกระบวนการผลิตไส้กรอก

1. จากการวิเคราะห์เอ็นธัลปีจะเห็นได้ว่าประสิทธิภาพ (efficiency) ของเตาอบมีค่าประมาณ 42.90% นั่นคือ การสูญเสียเอ็นธัลปีประมาณ 57.10% ซึ่งมีค่าค่อนข้างสูง และการสูญเสียเอ็นธัลปีในกระบวนการอบไส้กรอก อาจสูญเสียได้เนื่องจาก

   ◊ เตาอบของไส้กรอกมีรอยรั่วทำให้เกิดไอน้ำรั่วออกจากเตาอบ

   ◊ มีการสูญเสียพลังงานความร้อนผ่านผนังเตาอบ

   ◊ การสูญเสียพลังงานความร้อนของกระบวนการผลิต

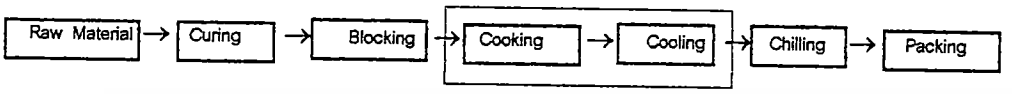
   เมื่อนำค่าการสูญเสียพลังงานความร้อนจากผนังเตาอบมาคำนวณ (ดูที่ภาคผนวก ก.) แล้วพบว่ามีค่าประมาณ 2.21×10^4 kJ/hr หรือเพียง 0.62% ซึ่งมีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับการสูญเสียพลังงานความร้อนทั้งหมด ดังนั้นการสูญเสียพลังงานความร้อนส่วนใหญ่จะเกิดจากสาเหตุอื่น ซึ่งจากการที่สังเกตจะพบว่าเตาอบมีรอยรั่วเกือบทุกเตา และส่วนมากจะรั่วบริเวณประตู และส่วนล่างที่ประตูติดกับพื้น จึงควรทำการปรับปรุงในส่วนนี้ เพื่อจะได้ใช้ประโยชน์จากพลังงานความร้อนให้เกิดประสิทธิภาพสูงขึ้นกว่าเดิม

2. จากการวิเคราะห์เอ็นธัลปี และเอ็กเซอร์ยีในส่วนของการลดอุณหภูมิของไส้กรอกหลังการอบ ซึ่งทำโดยการรดน้ำ การวิเคราะห์เอ็นธัลปีพบว่ามีประสิทธิภาพเท่ากับ 41.94% และมีพลังงานความร้อนที่สูญเสียเท่ากับ 58.06% และจากการวิเคราะห์เอ็กเซอร์ยีพบว่ามีประสิทธิภาพเท่ากับ 16.94% ซึ่งมีค่าค่อนข้างต่ำ และพบว่าในการลดอุณหภูมิโดยการลดน้ำลงบนไส้กรอกที่มีอุณหภูมิสูง ($74^\circ C$) แล้วปล่อยให้น้ำนั้นให้ไหลทิ้งไป จะเป็นการสูญเสียพลังงานที่สูญเปล่า ควรหาแนวทางต่อการจัดการที่จะนำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำที่มีอุณหภูมิค่อนข้างสูงจากการลดอุณหภูมินี้มาใช้ประโยชน์ เพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุด สำหรับการใช้พลังงาน

3.3 กระบวนการผลิตแฮม (Ham process)



กระบวนการผลิตแฮม : เริ่มจากการเตรียมวัตถุดิบแล้วทำการตัดแต่งวัตถุดิบ ทำการฉีด น้ำเกลือหลังจากนั้นทำการนวดเนื้อ และส่วนผสมต่าง ๆ เข้าด้วยกัน และทำการขึ้นรูปจึงนำไปต้มในหม้อ แล้วทำการลดอุณหภูมิ โดยนำชิ้นแฮม(ที่ยังอยู่ในพิมพ์ขึ้นรูป)ใส่ลงในหม้อน้ำที่อุณหภูมิ 30°C จนแฮมมีอุณหภูมิ 45°C แล้วนำมาหั่นเป็นชิ้นบาง ๆ (อาจเก็บในห้องเย็นเพื่อรอการหั่น และบรรจุ) แล้วทำการบรรจุเพื่อจำหน่ายต่อไป

3.3.1 การวิเคราะห์เอ็นธัลปี และเอ็กเซอร์ยีของการต้ม (Cooking unit)

รูปที่ 3.5 แสดงมวลขาเข้าและขาออกของการต้ม (Cooking unit)

การวิเคราะห์เอ็นธัลปี

การคำนวณเอ็นธัลปี

$$H_{input,\ ham} = mC_p\Delta T$$
$$= (200kg/hr)(3.08kJ/kgK)(277.15\text{-}298.15K)$$
$$= -1.29\times10^{4}\ kJ/hr$$
$$H_{input,\ steam} = (2763.5\ kJ/kg)(630kg/hr)$$
$$= 1.74\times10^{6}\ kJ/hr$$
$$\therefore \sum\Delta H_{input} = 1.75\times10^{6}\ kJ/hr$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$H_{output,\ ham}$ = (200kg/hr)(3.08kJ/kgK)(347.15-298.15K)

= 3.02×10^4 kJ/hr

$H_{output,\ condensate}$ = (697.34 kJ/kg)(630kg/hr)

= 4.39×10^5 kJ/hr

$\therefore \sum \Delta H_{output}$ = 4.69×10^5 kJ/hr

H_{loss} = $(1.75 \times 10^6$ kJ/hr)-(4.69×10^5 kJ/hr) = 1.28×10^6 kJ/hr

$$\text{enthalpy efficiency} = \frac{\sum H_{output}}{\sum H_{input}} = \frac{4.69 \times 10^5}{1.75 \times 10^6} \times 100 = 26.80\ \%$$

$$\text{enthalpy efficiency loss} = \frac{(1.75 \times 10^6 - 4.69 \times 10^5)}{1.75 \times 10^6} \times 100 = 73.20\ \%$$

รูปที่ 3.6 แสดงพลังงานขาเข้าและขาออกของการต้ม (Cooking unit)

การวิเคราะห์เอ็กเซอร์ยี

การคำนวณเอ็กเซอร์ยี

จาก $\in = \Delta H - [T0 \times (\Delta H/T)]$

$\in_{input,\ ham}$ = $(-1.29 \times 10^4$ kJ/hr) - $[298.15K \times \frac{(-1.29 \times 10^4\ kJ/hr)}{277.15K}]$

= $(-1.29 \times 10^4$ kJ/hr) + $(1.39 \times 10^4$ kJ/hr)

= 1.00×10^3 kJ/hr

$\in_{input,\ steam}$ = $(1.74 \times 10^6$ kJ/hr) - $[298.15K \times \frac{(1.74 \times 10^6\ kJ/hr)}{438.15K}]$

= $(1.74 \times 10^6$ kJ/hr) - $(1.12 \times 10^6$ kJ/hr)

= 6.20×10^5 kJ/hr

$\therefore \sum \in_{input}$ = $(1.00 \times 10^3$ kJ/hr) + $(6.20 \times 10^5$ kJ/hr) = 6.21×10^5 kJ/hr

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\in_{output,\ ham} = (3.02\text{x}10^4\ \text{kJ/hr}) - [298.15\text{K} \times \frac{(3.02\times10^4\ kJ/hr)}{347.15K}]$$

$$= (3.02\text{x}10^4\ \text{kJ/hr}) - (2.60\text{x}10^4\ \text{kJ/hr})$$

$$= 4.20\text{x}10^3\ \text{kJ/hr}$$

$$\in_{output,\ condensate} = (4.39\text{x}10^5\ \text{kJ/hr}) - [298.15\text{K} \times \frac{(4.39\times10^5\ kJ/hr)}{438.15K}]$$

$$= (4.39\text{x}10^5\ \text{kJ/hr}) - (2.99\text{x}10^5\ \text{kJ/hr})$$

$$= 1.40\text{x}10^5\ \text{kJ/hr}$$

$$\therefore \sum \in_{output} = (4.20\text{x}10^3\ \text{kJ/hr}) + (1.40\text{x}10^5\ \text{kJ/hr}) = 1.44\text{x}10^5\ \text{kJ/hr}$$

$$\in_{loss} = (1.28\text{x}10^6\ \text{kJ/hr}) - [298.15\text{K} \times \frac{(1.28\times10^6\ kJ/hr)}{347.15K}]$$

$$= (1.28\text{x}10^6\ \text{kJ/hr}) - (1.10\text{x}10^6\ \text{kJ/hr})$$

$$= 1.80\text{x}10^5\ \text{kJ/hr}$$

$$\text{exergy efficiency} = \frac{\sum \in_{output}}{\sum \in_{input}} = \frac{1.44\times10^5}{6.21\times10^5}\text{x}100 = 23.19\ \%$$

$$\text{exergy efficiency loss} = \frac{(6.21\times10^5 - 1.44\times10^5)}{6.21\times10^5}\text{x}100 = 76.81\ \%$$

3.3.2 ผลการวิเคราะห์เอ็นธัลปี และเอ็กเซอร์ยีของการต้ม (Cooking unit)

ผลการวิเคราะห์เอ็นธัลปีของการต้มแสดงไว้ในตารางที่ 3.5 และผลการวิเคราะห์เอ็กเซอร์ยีของการต้มแสดงไว้ในตารางที่ 3.6

ตารางที่ 3.5 Enthalpy analysis of cooking unit in ham plant

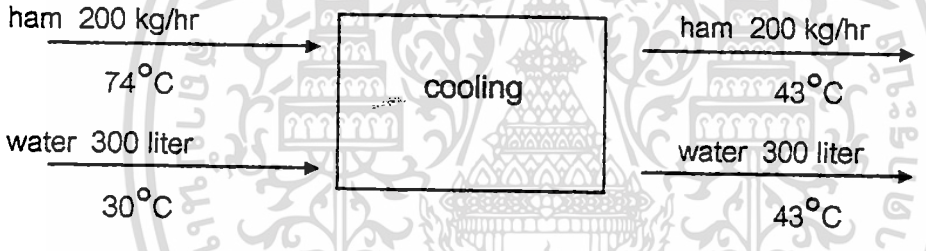
Enthalpy input	kJ/hr	%	Enthalpy output	kJ/hr	%
1. steam	$1.74\text{x}10^6$	99.43	1. condensate	$4.39\text{x}10^5$	25.09
2. ham	$-1.29\text{x}10^4$	0.73	2. ham	$3.02\text{x}10^4$	1.73
			3. loss	$1.28\text{x}10^6$	73.14
$\sum H$	$1.75\text{x}10^6$	100	$\sum H$	$1.75\text{x}10^6$	100
			eff = $\frac{4.69\times10^5}{1.75\times10^6}$ x100 = 26.80%		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.6 Exergy analysis of cooking unit in ham plant

Exergy input	kJ/hr	%	Exergy output	kJ/hr	%
1. steam	6.20×10^5	99.84	1. condensate	1.40×10^5	22.54
2. ham	1.00×10^3	0.16	2. ham	4.20×10^3	0.68
			3. loss	1.80×10^5	28.98
			- Irreversibility	2.97×10^5	47.83
$\sum \in$	6.21×10^5	100	$\sum \in$	6.21×10^5	100
			eff = $\frac{1.44 \times 10^5}{6.21 \times 10^5} \times 100 = 23.19\%$		

3.3.3 การวิเคราะห์เอ็นธัลปี และเอ็นเซอร์ยีของการลดอุณหภูมิแฮม (Cooling unit)



รูปที่ 3.7 แสดงอุณหภูมิขาเข้า และขาออกของการลดอุณหภูมิ (Cooling unit)

การวิเคราะห์เอ็นธัลปี

การคำนวณเอ็นธัลปี

$H_{input,\ ham} = mC_p\Delta T$

$= (200\ kg/hr)(3.08\ kJ/kgK)(347.15 - 298.15K)$

$= 3.02 \times 10^4\ kJ/hr$

$H_{input,\ water} = (300\ l)(4.19\ kJ/kgK)(303.15 - 298.15K)$

$= 6.29 \times 10^3\ kJ/hr$

$\therefore \sum \Delta H_{input} = (3.02 \times 10^4\ kJ/hr) + (6.29 \times 10^3\ kJ/hr) = 3.65 \times 10^4\ kJ/hr$

$H_{output,\ ham} = (200\ kg/hr)(3.08\ kJ/kgK)(316.15 - 298.15K)$

$= 1.11 \times 10^4\ kJ/hr$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$H_{output,\ water}$ = (300 kg/hr)(4.19 kJ/kgK)(316.15 - 298.15K)

= 2.26×10^4 kJ/hr

$\therefore \sum \Delta H_{output}$ = (1.11×10^4 kJ/hr) + (2.26×10^4 kJ/hr) = 3.37×10^4 kJ/hr

H_{loss} = (3.65×10^4 kJ/hr)-(3.37×10^4 kJ/hr) = 2.8×10^3 kJ/hr

$$\text{enthalpy efficiency} = \frac{\sum H_{output}}{\sum H_{input}} = \frac{3.37 \times 10^4}{3.65 \times 10^4} \times 100 = 92.33\ \%$$

$$\text{enthalpy efficiency loss} = \frac{(3.65 \times 10^4 - 3.37 \times 10^4)}{3.65 \times 10^4} \times 100 = 7.67\ \%$$

การวิเคราะห์เอ็กเซอร์ยี

การคำนวณเอ็กเซอร์ยี

$\in_{input,\ ham}$ = (3.02×10^4 kJ/hr) - [298.15K x $\frac{(3.02 \times 10^4\ kJ/hr)}{347.15K}$]

= (3.02×10^4 kJ/hr) - (2.59×10^4 kJ/hr)

= 4.30×10^3 kJ/hr

$\in_{input,\ water}$ = (6.29×10^3 kJ/hr) - [298.15K x $\frac{(6.29 \times 10^3\ kJ/hr)}{303.15K}$]

= (6.29×10^3 kJ/hr) - (6.19×10^3 kJ/hr)

= 100 kJ/hr

$\therefore \sum \in_{input}$ = (4.30×10^3 kJ/hr) + (100 kJ/hr) = 4.40×10^3 kJ/hr

$\in_{output,\ ham}$ = (1.11×10^4 kJ/hr) - [298.15K x $\frac{(1.11 \times 10^4\ kJ/hr)}{316.15K}$]

= (1.11×10^4 kJ/hr) - (1.05×10^4 kJ/hr)

= 600 kJ/hr

$\in_{output,\ water}$ = (2.26×10^4 kJ/hr) - [298.15K x $\frac{(2.26 \times 10^4\ kJ/hr)}{316.15K}$]

= (2.26×10^4 kJ/hr) - (2.13×10^4 kJ/hr)

= 1.30×10^3 kJ/hr

$\therefore \sum \in_{output}$ = (600 kJ/hr) + (1.30×10^3 kJ/hr) = 1.9×10^3 kJ/hr

$\in_{loss}$ = (2.80×10^3kJ/hr) - [298.15K x $\frac{(2.80 \times 10^3\ kJ/hr)}{316.15K}$]

= (2.80×10^3 kJ/hr) - (2.64×10^3 kJ/hr)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$= 1.60 \times 10^2$ kJ/hr

$$\text{exergy efficiency} = \frac{\sum \epsilon_{output}}{\sum \epsilon_{input}} = \frac{1.90 \times 10^3}{4.40 \times 10^3} \times 100 = 43.18\ \%$$

$$\text{exergy efficiency loss} = \frac{(4.40 \times 10^3 - 1.90 \times 10^3)}{4.40 \times 10^3} \times 100 = 56.82\ \%$$

3.3.4 ผลการวิเคราะห์เอ็นธัลปี และเอ็กเซอร์ยีของการลดอุณหภูมิแฮม (Cooling unit)

ผลการวิเคราะห์เอ็นธัลปีของการลดอุณหภูมิแฮมแสดงไว้ในตารางที่ 3.7 และผลการวิเคราะห์เอ็กเซอร์ยีของการลดอุณหภูมิแฮมแสดงไว้ในตารางที่ 3.8

ตารางที่ 3.7 Enthalpy analysis of cooling ham

Enthalpy input	kJ/hr	%	Enthalpy output	kJ/hr	%
1. ham	3.02×10^4	82.74	1. ham	1.11×10^4	30.41
2. water	6.29×10^3	17.23	2. water	2.26×10^4	61.92
			3. loss	2.80×10^3	7.67
$\sum H$	3.65×0^4	100	$\sum H$	3.65×10^4	100
			eff = $\frac{3.37 \times 10^4}{3.65 \times 10^4} \times 100 = 92.33\%$		

ตารางที่ 3.8 Exergy analysis of cooling ham

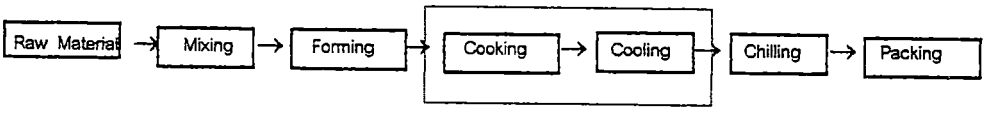
Exergy input	kJ/hr	%	Exergy output	kJ/hr	%
1. ham	4.30×10^3	97.73	1. ham	600	13.64
2. water	100	2.27	2. water	1.30×10^3	29.55
			3. loss	1.60×10^2	3.64
			- Irreversibility	2.34×10^3	53.18
$\sum \epsilon$	4.40×10^3	100	$\sum \epsilon$	4.40×10^3	100
			eff = $\frac{1.90 \times 10^3}{4.40 \times 10^3} \times 100 = 43.18\%$		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.5 วิจารณ์ผลการวิเคราะห์เอ็นธัลปี และเอ็กเซอร์ยีของกระบวนการผลิตแฮม

1. จากการวิเคราะห์เอ็นธัลปี จะเห็นได้ว่ามีประสิทธิภาพ (efficiency) เท่ากับ 26.80% ซึ่งมีค่าค่อนข้างน้อย และมีเปอร์เซนต์การสูญเสียพลังงานความร้อน 73.20% แสดงว่าการต้มแฮมในหม้อต้มมีอัตราการสูญเสียความร้อนค่อนข้างสูงอาจเกิดจากกระบวนการเพิ่มอุณหภูมิของน้ำในหม้อต้มซึ่งผ่านคอยด์ความร้อนไปเพิ่มอุณหภูมิของน้ำการสูญเสียพลังงานความร้อนมีอัตราค่อนข้างสูง เนื่องจากน้ำที่ใช้เป็นน้ำที่อุณหภูมิห้อง (25-30°C) แล้วจึงเพิ่มอุณหภูมิเป็น 74°C ต้องใช้พลังงานความร้อนค่อนข้างมาก ควรจะมีการนำน้ำที่มีความร้อนค่อนข้างสูงมาเพิ่มอุณหภูมิอีกเล็กน้อย และนำมาต้มแฮม จะช่วยประหยัดพลังงานในจุดนี้ได้มาก อาทิเช่นน้ำจากกระบวนการผลิตลูกชิ้นซึ่งมีการปล่อยคอนเดนเซททิ้ง นำกลับมาใช้ในการต้มแฮม หรืออีกปัจจัยหนึ่งความร้อนที่สูญเสียไปอาจเกิดจากการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังหม้อต้ม และตัวแบบของแฮม ซึ่งควรมีมาตรการในการออกแบบ และติดตั้งหม้อต้มแฮม และตัวแบบแฮมในโอกาสต่อไป
2. จากการวิเคราะห์เอ็กเซอร์ยีจะเห็นได้ว่ามีประสิทธิภาพเพียง 23.13 % ซึ่งแสดงให้เห็นว่ามีการสูญเสียพลังงานความร้อนสูงในกระบวนการผลิตแฮม แต่ในส่วนของการลดอุณหภูมิใช้แฮมแช่ลงในหม้อน้ำที่มีอุณหภูมิ 30°C จนกระทั่งแฮม และน้ำมีอุณหภูมิประมาณ 43°C ในการวิเคราะห์เอ็นธัลปีมีประสิทธิภาพถึง 92.33 % และการวิเคราะห์เอ็กเซอร์ยีมีประสิทธิภาพ 43.18% ซึ่งมีค่าค่อนข้างสูง แสดงว่าหม้อลดอุณหภูมิมีประสิทธิภาพในการทำงานดี และพลังงานความร้อนที่สูญเสียไปนั้นอาจเกิดจากมีการถ่ายเทพลังงานความร้อนผ่านผนังหม้อลดอุณหภูมิ และตัวแบบแฮม ซึ่งอาจมีการปรับปรุงเพื่อความเหมาะสมต่อไป

3.4 กระบวนการผลิตลูกชิ้น (meat ball process)

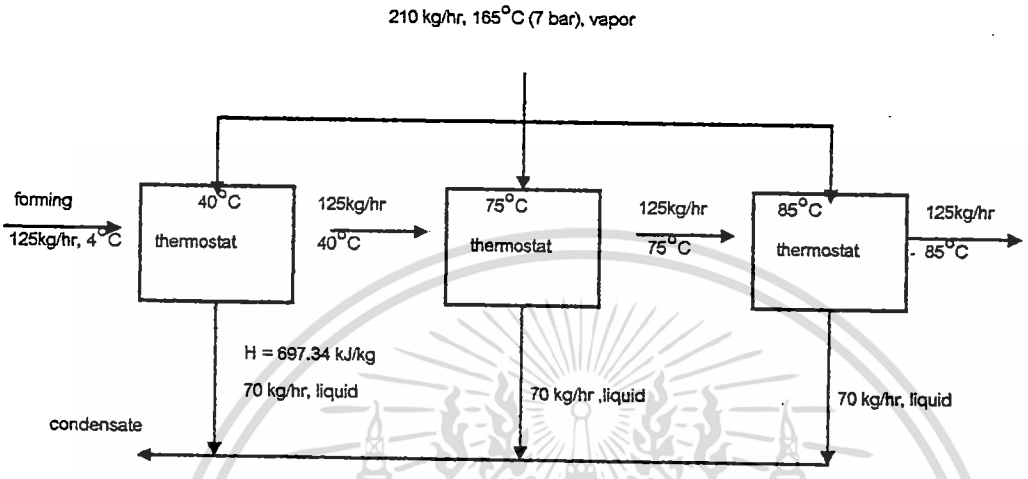


กระบวนการผลิตลูกชิ้น : เริ่มจากการเตรียมวัตถุดิบ แล้วนำวัตถุดิบ และส่วนผสม ต่าง ๆ มาผสมคลุกเคล้าให้เข้ากัน จากนั้นทำการบดนวดแล้วนำไปแช่เย็นที่อุณหภูมิเย็นจัด แล้วทำการขึ้นรูปโดยการบีบเป็นรูปกลมตามขนาดที่ต้องการ ใส่ลงในหม้อน้ำที่มีอุณหภูมิ 40°C จากนั้นถ่ายลงในหม้อที่มีอุณหภูมิ 75°C และ 85°C ตามลำดับ จากนั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำการลดอุณหภูมิโดยปล่อยให้เย็นจนอุณหภูมิลดลงเองจนถึง 45°C แล้วนำไปเก็บในห้องเย็น เพื่อรอการบรรจุ และจำหน่ายต่อไป

3.4.1 การวิเคราะห์เอ็นธัลปี และเอ็กเซอร์ยีของการต้ม (Cooking unit)



รูปที่ 3.8 แสดงมวลขาเข้า และขาออกของการต้ม (Cooking unit)

3.4.1.1 ที่หม้อต้ม 40°C

การวิเคราะห์เอ็นธัลปี

การคำนวณเอ็นธัลปี

$$H_{input,\ meat\ ball} = mC_p\Delta T$$
$$= (125kg/hr)(3.53kJ/kgK)(277.15\text{-}298.15K)$$
$$= -9.27\times10^{3}\ kJ/hr$$

$$H_{input,\ steam} = mL$$
$$= (2763.5\ kJ/kg)(70kg/hr)$$
$$= 1.93\times10^{5}\ kJ/hr$$

$$\therefore \sum\Delta H_{input} = 2.02\times10^{5}\ kJ/hr$$

$$H_{output,\ meat\ ball} = (125kg/hr)(3.53kJ/kgK)(313.15\text{-}298.15K)$$
$$= 6.62\times10^{3}\ kJ/hr$$

$$H_{output,\ condensate} = (697.34\ kJ/kg)(70kg/hr)$$
$$= 4.88\times10^{4}\ kJ/hr$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$\therefore \sum \Delta H_{output}$ = 5.54x10^4 kJ/hr

H_{loss} = (2.02x10^{5}kJ/hr) - (5.54x10^{4}kJ/hr) = 1.47x10^5 kJ/hr

enthalpy efficiency = $\frac{\sum H_{output}}{\sum H_{input}} = \frac{5.54 \times 10^4}{2.02 \times 10^5}$ x100 = 27.42%

enthalpy efficiency loss = $\frac{(2.02 \times 10^5 - 5.54 \times 10^4)}{2.02 \times 10^5}$ x100 = 72.57 %

การวิเคราะห์เอ็กเซอร์ยี

การคำนวณเอ็กเซอร์ยี

จาก $\in = \Delta H - [T0 \times (\Delta H/T)]$

$\in_{input,\ meat\ ball}$ = (-9.27x10^3 kJ/hr) - [298.15K x $\frac{(-9.27 \times 10^3\ kJ/hr)}{277.15K}$]

= (-9.27x10^3 kJ/hr) - (-9.97x10^3 kJ/hr)

= 7.00x10^2 kJ/hr

$\in_{input,\ steam}$ = (1.93x10^5 kJ/hr) - [298.15K x $\frac{(1.93 \times 10^5\ kJ/hr)}{438.15K}$]

= (1.93x10^5 kJ/hr) - (1.31x10^5 kJ/hr)

= 6.20x10^4 kJ/hr

$\therefore \sum \in_{input}$ = (7.00x10^2 kJ/hr) + (6.20x10^4 kJ/hr) = 6.27x10^4 kJ/hr

$\in_{output,\ meat\ ball}$ = (6.62x10^3 kJ/hr) - [298.15K x $\frac{(6.62 \times 10^3\ kJ/hr)}{313.15K}$]

= (6.62x10^3 kJ/hr) - (6.30x10^3 kJ/hr)

= 3.20x10^2 kJ/hr

$\in_{output,\ condensate}$ = (4.88x10^4 kJ/hr) - [298.15K x $\frac{(4.88 \times 10^4\ kJ/hr)}{438.15K}$]

= (4.88x10^4 kJ/hr) - (3.32x10^4 kJ/hr)

= 1.56x10^4 kJ/hr

$\therefore \sum \in_{output}$ = (3.20x10^2 kJ/hr) + (1.56x10^4 kJ/hr) = 1.59x10^4 kJ/hr

$\in_{loss}$ = (1.47x10^5 kJ/hr) - [298.15K x $\frac{(1.47 \times 10^5\ kJ/hr)}{313.15K}$]

= (1.47x10^5 kJ/hr) - (1.40x10^5 kJ/hr)

= 7.00x10^3 kJ/hr

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

exergy efficiency = $\frac{\sum \epsilon_{output}}{\sum \epsilon_{input}} = \frac{1.59 \times 10^4}{6.27 \times 10^4} \times 100 = 25.36\ \%$

exergy efficiency loss = $\frac{(6.27 \times 10^4 - 1.59 \times 10^4)}{6.27 \times 10^4} \times 100 = 74.64\ \%$

3.4.1.2 ที่หม้อต้ม 75°C

การวิเคราะห์เอ็นธัลปี

การคำนวณเอ็นธัลปี

$H_{input,\ meat\ ball}$ = (125kg/hr)(3.53kJ/kgK)(313.15 - 298.15K)

= 6.62×10^3 kJ/hr

$H_{input,\ steam}$ = (2763.5 kJ/kg)(70kg/hr)

= 1.93×10^5 kJ/hr

$\therefore \sum \Delta H_{input}$ = 1.99×10^5 kJ/hr

$H_{output,\ meat\ ball}$ = (125kg/hr)(3.53kJ/kgK)(348.15-298.15K)

= 2.21×10^4 kJ/hr

$H_{output,\ condensate}$ = (697.34 kJ/kg)(70kg/hr)

= 4.88×10^4 kJ/hr

$\therefore \sum \Delta H_{output}$ = 7.09×10^4 kJ/hr

H_{loss} = 1.99×10^5 kJ/hr - 7.09×10^4 kJ/hr

= 1.28×10^5 kJ/hr

enthalpy efficiency = $\frac{\sum H_{output}}{\sum H_{input}} = \frac{7.09 \times 10^4}{1.99 \times 10^5} \times 100 = 35.63\ \%$

enthalpy efficiency loss = $\frac{(1.99 \times 10^5 - 7.09 \times 10^4)}{1.99 \times 10^5} \times 100 = 64.37\ \%$

การวิเคราะห์เอ็กเซอร์ยี

การคำนวณเอ็กเซอร์ยี

$\epsilon_{Input,\ meat\ ball}$ = (6.62×10^3 kJ/hr) - [298.15K x $\frac{(6.62 \times 10^3\ kJ/hr)}{348.15K}$]

= (6.62×10^3 kJ/hr) - (5.67×10^3 kJ/hr)

= 9.50×10^2 kJ/hr

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\in_{input,\ steam} = (1.93\text{x}10^5\ \text{kJ/hr}) - [298.15\text{K} \times \frac{(1.93\times10^5\ kJ/hr)}{438.15K}]$$

$$= (1.93\text{x}10^5\ \text{kJ/hr}) - (1.31\text{x}10^5\ \text{kJ/hr})$$

$$= 6.20\text{x}10^4\ \text{kJ/hr}$$

$$\therefore \sum \in_{input} = (9.50\text{x}10^2\ \text{kJ/hr}) + (6.20\text{x}10^4\ \text{kJ/hr}) = 6.29\text{x}10^4\ \text{kJ/hr}$$

$$\in_{output,\ meat\ ball} = (2.21\text{x}10^4\ \text{kJ/hr}) - [298.15\text{K} \times \frac{(2.21\times10^4\ kJ/hr)}{348.15K}]$$

$$= (2.21\text{x}10^4\ \text{kJ/hr}) - (1.89\text{x}10^4\ \text{kJ/hr})$$

$$= 3.20\text{x}10^3\ \text{kJ/hr}$$

$$\in_{output,\ condensate} = (4.88\text{x}10^4\ \text{kJ/hr}) - [298.15\text{K} \times \frac{(4.88\times10^4\ kJ/hr)}{438.15K}]$$

$$= (4.88\text{x}10^4\ \text{kJ/hr}) - (3.32\text{x}10^4\ \text{kJ/hr})$$

$$= 1.56\text{x}10^4\ \text{kJ/hr}$$

$$\therefore \sum \in_{output} = (3.20\text{x}10^3\ \text{kJ/hr}) + (1.56\text{x}10^4\ \text{kJ/hr}) = 1.88\text{x}10^4\ \text{kJ/hr}$$

$$\in_{loss} = (1.28\text{x}10^5\ \text{kJ/hr}) - [298.15\text{K} \times \frac{(1.28\times10^5\ kJ/hr)}{348.15K}]$$

$$= (1.28\text{x}10^5\ \text{kJ/hr}) - (1.09\text{x}10^5\ \text{kJ/hr})$$

$$= 1.90\text{x}10^4\ \text{kJ/hr}$$

$$\text{exergy efficiency} = \frac{\sum \in_{output}}{\sum \in_{input}} = \frac{1.88\times10^4}{6.29\times10^4}\text{x}100 = 29.89\ \%$$

$$\text{exergy efficiency loss} = \frac{(6.29\times10^4 - 1.88\times10^4)}{6.29\times10^4}\text{x}100 = 70.11\ \%$$

3.4.1.3 ที่หม้อต้ม 85°C

การวิเคราะห์เอ็นธัลปี

การคำนวณเอ็นธัลปี

$$H_{input,\ meat\ ball} = (125\text{kg/hr})(3.53\text{kJ/kgK})(348.15 - 298.15\text{K})$$

$$= 2.21\text{x}10^4\ \text{kJ/hr}$$

$$H_{input,\ steam} = (2763.5\ \text{kJ/kg})(70\text{kg/hr})$$

$$= 1.93\text{x}10^5\ \text{kJ/hr}$$

$$\therefore \sum \Delta H_{input} = 2.15\text{x}10^5\ \text{kJ/hr}$$

$$H_{output,\ meat\ ball} = (125\text{kg/hr})(3.53\text{kJ/kgK})(358.15\text{-}298.15\text{K})$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$= 2.65 \times 10^4$ kJ/hr

$H_{output,\ condensate} = (697.34\ kJ/kg)(70kg/hr)$

$= 4.88 \times 10^4$ kJ/hr

$\therefore \sum \Delta H_{output} = 7.53 \times 10^4$ kJ/hr

$H_{loss} = 2.15 \times 10^5$ kJ/hr - 7.53×10^4 kJ/hr

$= 1.40 \times 10^5$ kJ/hr

$$\text{enthalpy efficiency} = \frac{\sum H_{output}}{\sum H_{input}} = \frac{7.53 \times 10^4}{2.15 \times 10^5} \times 100 = 35.02\ \%$$

$$\text{enthalpy efficiency loss} = \frac{(2.15 \times 10^5 - 7.53 \times 10^4)}{2.15 \times 10^5} \times 100 = 64.98\ \%$$

การวิเคราะห์เอ็กเซอร์ยี

การคำนวณเอ็กเซอร์ยี

$$\in_{input,\ meat\ ball} = (2.21 \times 10^4\ kJ/hr) - [298.15K \times \frac{(2.21 \times 10^4\ kJ/hr)}{358.15K}]$$

$= (2.21 \times 10^4$ kJ/hr) - (1.84×10^4 kJ/hr)

$= 3.70 \times 10^3$ kJ/hr

$$\in_{input,\ steam} = (1.93 \times 10^5\ kJ/hr) - [298.15K \times \frac{(1.93 \times 10^5 kJ/hr)}{438.15K}]$$

$= (1.93 \times 10^5$ kJ/hr) - (1.31×10^5 kJ/hr)

$= 6.20 \times 10^4$ kJ/hr

$\therefore \sum \in_{input} = (3.70 \times 10^3$ kJ/hr) + (6.20×10^4 kJ/hr) = 6.57×10^4 kJ/hr

$$\in_{output,\ meat\ ball} = (2.65 \times 10^4\ kJ/hr) - [298.15K \times \frac{(2.65 \times 10^4\ kJ/hr)}{358.15K}]$$

$= (2.65 \times 10^4$ kJ/hr) - (2.21×10^4 kJ/hr)

$= 4.40 \times 10^3$ kJ/hr

$$\in_{output,\ condensate} = (4.88 \times 10^4\ kJ/hr) - [298.15K \times \frac{(4.88 \times 10^4\ kJ/hr)}{438.15K}]$$

$= (4.88 \times 10^4$ kJ/hr) - (3.32×10^4 kJ/hr)

$= 1.56 \times 10^4$ kJ/hr

$\therefore \sum \in_{output} = (4.40 \times 10^3$ kJ/hr) + (1.56×10^4 kJ/hr) = 2.00×10^4 kJ/hr

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\in_{loss} = (1.40\text{x}10^5 \text{ kJ/hr}) - [298.15\text{K} \times \frac{(1.40\times10^5 kJ/hr)}{358.15K}]$$

$$= (1.40\text{x}10^5 \text{ kJ/hr}) - (1.16\text{x}10^5 \text{ kJ/hr})$$

$$= 2.40\text{x}10^4 \text{ kJ/hr}$$

$$\text{exergy efficiency} = \frac{\sum \in_{output}}{\sum \in_{input}} = \frac{2.00\times10^4}{6.57\times10^4} \text{x}100 = 30.44\ \%$$

$$\text{exergy efficiency loss} = \frac{(6.57\times10^4 - 2.00\times10^4)}{6.57\times10^4} \text{x}100 = 69.56\ \%$$

3.4.2 ผลการวิเคราะห์เอ็นธัลปี และเอ็กเซอร์ยีของการต้ม (Cooking unit)

ผลการวิเคราะห์เอ็นธัลปีของการต้มลูกชิ้นที่อุณหภูมิ 40°C แสดงไว้ในตารางที่ 3.9, ผลการวิเคราะห์เอ็กเซอร์ยีของการต้มลูกชิ้นที่อุณหภูมิ 40°C แสดงไว้ในตารางที่ 3.10, ผลการวิเคราะห์เอ็นธัลปีของการต้มลูกชิ้นที่อุณหภูมิ 75°C แสดงไว้ในตารางที่ 3.11, ผลการวิเคราะห์เอ็กเซอร์ยีของการต้มลูกชิ้นที่อุณหภูมิ 75°C แสดงไว้ในตารางที่ 3.12, ผลการวิเคราะห์เอ็นธัลปีของการต้มลูกชิ้นที่อุณหภูมิ 85°C แสดงไว้ในตารางที่ 3.13, ผลการวิเคราะห์เอ็กเซอร์ยีของการต้มลูกชิ้นที่อุณหภูมิ 85°C แสดงไว้ในตารางที่ 3.14, ผลการวิเคราะห์เอ็นธัลปีของการต้มลูกชิ้นรวมทั้งสามอุณหภูมิ แสดงไว้ในตารางที่ 3.15, ผลการวิเคราะห์เอ็กเซอร์ยีของการต้มลูกชิ้นรวมทั้งอุณหภูมิ แสดงไว้ในตารางที่ 3.16

ตารางที่ 3.9 Enthalpy analysis of cooking unit in meat ball plant (40°C)

Enthalpy input	kJ/hr	%	Enthalpy output	kJ/hr	%
1. steam	$1.93\text{x}10^5$	95.54	1. condensate	$4.88\text{x}10^4$	24.16
2. meat ball	$-9.27\text{x}10^3$	4.59	2. meat ball	$6.62\text{x}10^3$	3.28
			3. loss	$1.47\text{x}10^5$	72.77
ΣH	$2.02\text{x}10^5$	100	ΣH	$2.02\text{x}10^5$	100
			eff = $\frac{5.54\times10^4}{2.02\times10^5}$ x100 = 27.42%		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.10 Exergy analysis of cooking unit in meat ball plant (40°C)

Exergy input	kJ/hr	%	Exergy output	kJ/hr	%
1. steam	6.20×10^{4}	98.88	1. condensate	1.56×10^{4}	24.88
2. meat ball	7.00×10^{2}	1.12	2. meat ball	3.20×10^{2}	0.51
			3. loss	7.00×10^{3}	11.16
			- Irreversibility	3.98×10^{4}	63.48
$\Sigma\epsilon$	6.27×10^{4}	100	$\Sigma\epsilon$	6.27×10^{4}	100

$$\text{eff} = \frac{1.59\times10^{4}}{6.27\times10^{4}} \times 100 = 25.36\%$$

ตารางที่ 3.11 Enthalpy analysis of cooking unit in meat ball plant (75°C)

Enthalpy input	kJ/hr	%	Enthalpy output	kJ/hr	%
1. steam	1.93×10^{5}	96.98	1. condensate	4.86×10^{4}	24.52
2. meat ball	6.62×10^{3}	3.32	2. meat ball	2.21×10^{4}	11.11
			3. loss	1.28×10^{5}	64.32
ΣH	1.99×10^{5}	100	ΣH	1.99×10^{5}	100

$$\text{eff} = \frac{7.09\times10^{4}}{1.99\times10^{5}} \times 100 = 35.63\%$$

ตารางที่ 3.12 Exergy analysis of cooking unit in meat ball plant (75°C)

Exergy input	kJ/hr	%	Exergy output	kJ/hr	%
1. steam	6.20×10^{4}	98.57	1. condensate	1.56×10^{4}	24.80
2. meat ball	9.50×10^{2}	1.51	2. meat ball	3.20×10^{3}	5.09
			3. loss	1.90×10^{4}	30.21
			- Irreversibility	2.51×10^{4}	39.90
$\Sigma\epsilon$	6.29×10^{4}	100	$\Sigma\epsilon$	6.29×10^{4}	100

$$\text{eff} = \frac{1.88\times10^{4}}{6.29\times10^{4}} \times 100 = 29.89\%$$

ตารางที่ 3.13 Enthalpy analysis of cooking unit in meat ball plant (85°C)

Enthalpy input	kJ/hr	%	Enthalpy output	kJ/hr	%
1. steam	1.93×10^{5}	89.77	1. condensate	4.88×10^{4}	22.70
2. meat ball	2.21×10^{4}	10.28	2. meat ball	2.65×10^{4}	12.33
			3. loss	1.40×10^{5}	65.12
ΣH	2.15×10^{5}	100	ΣH	2.15×10^{5}	100

$$\text{eff} = \frac{7.53\times10^{4}}{2.15\times10^{5}} \times 100 = 35.02\%$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.14 Exergy analysis of cooking unit in meat ball plant (85°C)

Exergy input	kJ/hr	%	Exergy output	kJ/hr	%
1. steam	6.20×10^4	94.37	1. condensate	1.56×10^4	23.74
2. meat ball	3.70×10^3	5.63	2. meat ball	4.40×10^3	6.70
			3. loss	2.40×10^4	36.53
			- Irreversibility	2.17×10^4	33.03
$\Sigma\epsilon$	6.57×10^4	100	$\Sigma\epsilon$	6.57×10^4	100

$$\text{eff} = \frac{2.00 \times 10^4}{6.57 \times 10^4} \times 100 = 30.44\%$$

ตารางที่ 3.15 Overall enthalpy analysis of cooking unit in meat ball plant

Enthalpy input	kJ/hr	%	Enthalpy output	kJ/hr	%
1. steam	5.79×10^5	93.84	1. condensate	1.46×10^5	23.66
2. meat ball	3.80×10^4	6.16	2. meat ball	5.52×10^4	8.95
			3. loss	4.11×10^5	66.61
ΣH	6.17×10^5	100	ΣH	6.17×10^5	100

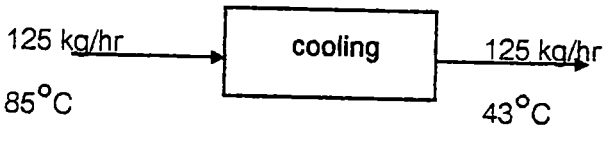
$$\text{eff} = \frac{2.01 \times 10^5}{6.17 \times 10^5} \times 100 = 32.57\%$$

ตารางที่ 3.16 Overall exergy analysis of cooking unit in meat ball plant

Exergy input	kJ/hr	%	Exergy output	kJ/hr	%
1. steam	1.86×10^5	97.38	1. condensate	4.68×10^4	24.50
2. meat ball	5.35×10^3	2.80	2. meat ball	7.92×10^3	4.15
			3. loss	5.00×10^4	26.18
			- Irreversibility	8.63×10^4	45.17
$\Sigma\epsilon$	1.91×10^5	100	$\Sigma\epsilon$	1.91×10^5	100

$$\text{eff} = \frac{5.47 \times 10^4}{1.91 \times 10^5} \times 100 = 28.65\%$$

3.4.3 การวิเคราะห์เอ็นธัลปี และเอ็กเซอร์ยีของการลดอุณหภูมิ (Cooling unit)



รูปที่ 3.9 แสดงอุณหภูมิขาเข้า และขาออกของการลดอุณหภูมิ (Cooling unit)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวิเคราะห์เอ็นธัลปี

การคำนวณเอ็นธัลปี

$$\Delta H = mC_p\Delta T$$

$$= (125kg/hr)(3.53kJ/kgK)(358.15\text{-}318.15K)$$

$$= 1.77\times10^{4}\ kJ/hr$$

การวิเคราะห์เอ็กเซอร์ยี

การคำนวณเอ็กเซอร์ยี

$$\Delta \in = \Delta H\text{-}[T0 \times (\Delta H/T)]$$

$$= (1.77\times10^{4}\ kJ/hr) - [298.15K \times \frac{1.77\times10^{4}\ kJ/hr}{318.15K}]$$

$$= (1.77\times10^{4}\ kJ/hr) - (1.66\times10^{4}\ kJ/hr)$$

$$= 1.20\times10^{3}\ kJ/hr$$

3.4.4 วิจารณ์การวิเคราะห์เอ็นธัลปี และเอ็กเซอร์ยีของกระบวนการผลิตลูกชิ้น

1. จากการวิเคราะห์เอ็นธัลปี และเอ็กเซอร์ยีจะเห็นได้ว่ามีประสิทธิภาพ (efficiency) 32.57 % และ 28.65 % ตามลำดับ ซึ่งมีค่าค่อนข้างน้อย มีการสูญเสียพลังงานความร้อนค่อนข้างสูง เนื่องจากเมื่อพิจารณาถึงกระบวนการผลิตแล้วจะต้องใช้ไอน้ำผ่านคอยด์ความร้อนทำให้น้ำสามหม้อเดือดที่ 40°C, 75°C และ 85°C ตามลำดับ ซึ่งแต่ละหม้อจะมีตัวควบคุมอุณหภูมิ เมื่อถึงอุณหภูมิที่ต้องการก็จะปล่อยไอน้ำไปเป็นคอนเดนเซททิ้งไปเป็นการสูญเสียพลังงานความร้อนไปโดยเปล่าประโยชน์ ควรมีการนำคอนเดนเซทนั้นกลับมาใช้ให้เกิดประโยชน์ โดยอาจนำกลับมาเข้า boiler อีกครั้ง เพื่อลดปริมาณน้ำที่ต้องใส่เข้าไปใน boiler เป็นการประหยัดพลังงานความร้อนอีกวิธีหนึ่ง
2. เนื่องจากในกระบวนการผลิตมีหม้ออยู่สามอุณหภูมิต้องมีการเปลี่ยนถ่ายลงหม้อแต่ละอุณหภูมิการสูญเสียพลังงานความร้อนเกิดได้ง่าย เพราะกระทำในระบบเปิดอาจสูญเสียความร้อนให้กับอากาศ หรือสภาวะแวดล้อมได้โดยง่าย ดังนั้นควรปรับปรุงสภาพห้องผลิตให้มิดชิด เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตให้สูงขึ้น
3. ในส่วนของการลดอุณหภูมิลูกชิ้น (cooling) ทำโดยการนำลูกชิ้นที่ขึ้นจากหม้อต้มอุณหภูมิ 85°C มาทำให้สะเด็ดน้ำโดยใช้อากาศที่อุณหภูมิห้อง เป็นตัวถ่ายเทความร้อนจากลูกชิ้นซึ่งมีอุณหภูมิ 85°C ให้ลดลงเหลือประมาณ 43°C พลังงานความร้อนที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ่ายเทออกมาจากลูกชิ้น ซึ่งมีค่า 1.77×10^3 kJ/hr จะทำให้อากาศภายในโรงงานที่ทำการลดอุณหภูมิมีอุณหภูมิสูงขึ้น จึงควรมีระบบการระบายความร้อนที่ดี เพื่อระบายความร้อนให้อยู่ในระดับที่ไม่เป็นอันตรายต่อสุขภาพของผู้ปฏิบัติงาน (มาตรฐานความปลอดภัยภายในโรงงานอุตสาหกรรมกำหนดอุณหภูมิในการปฏิบัติงานไว้ไม่เกิน 45°C) ควรติดตั้งพัดลมระบายอากาศหรือเป็นห้องที่ออกแบบให้สามารถถ่ายเทได้สะดวก เพื่อทำการปฏิบัติงานเป็นไปด้วยความปลอดภัย และส่งผลให้คนงานทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

4. จากการต้มลูกชิ้น จะใช้น้ำสามอุณหภูมิคือ 40°C, 75°C และ 85°C ตามที่ได้กล่าวมาแล้วนั้น ควรจะมีการนำน้ำจากหม้อที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าบางส่วนมาผสมกับน้ำที่จะเตรียมสำหรับหม้อต้มที่มีอุณหภูมิสูงกว่า เมื่อจะทำการเปลี่ยนน้ำในหม้อต้มใหม่ เพื่อเป็นการประหยัดพลังงานความร้อนในการทำให้น้ำมีอุณหภูมิสูงขึ้นจนถึงอุณหภูมิที่ต้องการ เช่น การนำน้ำจากหม้อที่มีอุณหภูมิ 40°C มาผสมสำหรับเตรียมน้ำให้ได้ 85°C ก็จะช่วยประหยัดพลังงานความร้อนในการเพิ่มอุณหภูมิของน้ำได้

3.5 การคำนวณเอ็นธัลปี และเอ็กเซอร์ยีของหม้อน้ำ (Boiler)

รูปที่ 3.10 แสดงมวลขาเข้า และมวลขาออกของหม้อน้ำ (Boiler)

การวิเคราะห์เอ็นธัลปี

การคำนวณเอ็นธัลปีของน้ำมันเตา (อยู่ในช่วง input)

น้ำมันเตามีความถ่วงจำเพาะ 0.98

น้ำมันเตาที่เข้า boiler = 169.41 l/hr

น้ำมันเตามีค่าความร้อนต่ำ (LHV) = 10000 kcal/l

$\therefore$ น้ำมันเตามี enthalpy = (169.41 l/hr)(10000 kcal/l)

= 1694100 kcal/hr (1 kcal = 4.184 kJ)

= 7.09×10^6 kJ/hr

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณเอ็นธัลปีของน้ำ

$H_{input} = mC_p\Delta T$

$= (2100\ kg/hr)(4.19\ kJ/kgK)(353.15-298.15K)$

$= 4.84\times10^5\ kJ/hr$

$H_{output} = (2100\ kg/hr)(2763.5\ kJ/kg)$

$= 5.80\times10^6\ kJ/hr$

การคำนวณเอ็นธัลปีของอากาศร้อน (อยู่ในช่วง output)

จาก $H_{flue\ gas} = m_{air} C_{p\ air} \Delta T$

$= (2353.83\ kg\ air\ *)(1.026\ kJ/kgK)(503.15-298.15K)$

$= 4.95\times10^5\ kJ/hr$

* หมายเหตุ : ดูการคำนวณได้ในภาคผนวก

$\therefore \sum H_{input} = (7.09\times10^6\ kJ/hr) + (4.84\times10^5\ kJ/hr)$

$= 7.57\times10^6\ kJ/hr$

$\therefore \sum H_{output} = (5.80\times10^6\ kJ/hr) + (4.95\times10^5\ kJ/hr)$

$= 6.30\times10^6\ kJ/hr$

enthalpy efficiency $= \frac{6.30\times10^6 kJ/hr}{7.57\times10^6 kJ/hr} \times 100 = 83.22\%$

enthalpy efficiency loss $= (7.57\times10^6\ kJ/hr) - (6.30\times10^6\ kJ/hr)$

$= 1.27\times10^6\ kJ/hr$

การวิเคราะห์เอ็กเซอร์ยี

การคำนวณเอ็กเซอร์ยีของน้ำมันเตา (อยู่ในช่วง input)

น้ำมันเตามีองค์ประกอบ C = 86.1%, H = 11.8%, S = 2.1%

จากสูตร exergy

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

$$=10000 kcal/l\left[1.0038+\left(0.1365\times\frac{0.118}{0.861}\right)+\left(0.0308\times\frac{0}{0.861}\right)+\left(0.0104\times\frac{0.021}{0.861}\right)\right]$$

$= 10000\ kcal/l\ (1.0038 + 0.0187 + 0.000254)$

$= 1.02 \times 10^4\ kcal/l$ (1 kcal = 4.184 kJ)

$= 4.27 \times 10^4\ kJ/l$

ในกระบวนการผลิตใช้น้ำมันเตาไป 169.41 l/hr

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$\therefore$ มี exergy = $(4.27 \times 10^4$ kJ/l)(169.41 l/hr) = 7.23×10^6 kJ/hr

การคำนวณเอ็กเซอร์ยีของน้ำ

$$\in_{input} = (4.84\times10^5 \text{ kJ/hr}) - \left[298.15 \times \left(\frac{4.84\times10^5}{353.15}\right)\right]$$

$$= (4.84\times10^5 \text{ kJ/hr}) - (4.09\times10^5 \text{ kJ/hr})$$

$$= 7.50\times10^4 \text{ kJ/hr}$$

$$\in_{output} = (5.80\times10^6 \text{ kJ/hr}) - \left[298.15 \times \left(\frac{5.80\times10^6}{438.15}\right)\right]$$

$$= (5.80\times10^6 \text{ kJ/hr}) - (3.95\times10^6 \text{ kJ/hr})$$

$$= 1.85\times10^6 \text{ kJ/hr}$$

การคำนวณเอ็กเซอร์ยีของอากาศร้อน

$$\in_{output} = (4.95\times10^5 \text{ kJ/hr}) - \left[298.15 \times \left(\frac{4.95\times10^5}{503.15}\right)\right]$$

$$= (4.95\times10^5 \text{ kJ/hr}) - (2.93\times10^5 \text{ kJ/hr})$$

$$= 2.02\times10^5 \text{ kJ/hr}$$

$$\therefore \sum \in_{input} = (7.23\times10^6 \text{ kJ/hr}) + (7.50\times10^4 \text{ kJ/hr})$$

$$= 7.31\times10^6 \text{ kJ/hr}$$

$$\therefore \sum \in_{output} = (1.85\times10^6 \text{ kJ/hr}) + (2.02\times10^5 \text{ kJ/hr})$$

$$= 2.05\times10^6 \text{ kJ/hr}$$

$$\text{exergy efficiency} = \frac{2.05\times10^6 kJ/hr}{7.31\times10^6 kJ/hr} \times 100 = 28.04\%$$

$$\in_{loss} = (1.27\times10^6 \text{ kJ/hr}) - \left[298.15 \times \left(\frac{1.27\times10^6}{438.15}\right)\right]$$

$$= (1.27\times10^6 \text{ kJ/hr}) - (8.64\times10^5 \text{ kJ/hr})$$

$$= 4.06\times10^5 \text{ kJ/hr}$$

3.5.1 ผลการวิเคราะห์เอ็นธัลปี และเอ็กเซอร์ยีของหม้อน้ำ (boiler)

ผลการวิเคราะห์เอ็นธัลปีของหม้อน้ำแสดงไว้ในตารางที่ 3.17 และผลการวิเคราะห์เอ็กเซอร์ยีของหม้อน้ำแสดงไว้ในตารางที่3.18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.17 Enthalpy analysis of boiler

Enthalpy input	kJ/hr	%	Enthalpy output	kJ/hr	%
1. water	4.84×10^5	6.39	1. steam	5.80×10^6	76.62
2. fuel oil	7.09×10^6	93.66	2. fuel gas	4.95×10^5	6.54
			3. loss	1.27×10^6	16.78
ΣH	7.57×10^6	100	ΣH	7.57×10^8	100
			eff = $\frac{6.30 \times 10^6}{7.57 \times 10^6}$ x100 = 83.22%		

ตารางที่ 3.18 Exergy analysis of boiler

Exergy input	kJ/hr	%	Exergy output	kJ/hr	%
1. water	7.50×10^4	1.03	1. steam	1.85×10^6	25.31
2. fuel oil	7.23×10^6	98.91	2. fuel gas	2.02×10^5	2.76
			3. loss	4.06×10^5	5.55
			- Irreversibility	4.85×10^6	66.35
$\Sigma \in$	7.31×10^6	100	$\Sigma \in$	7.31×10^6	100
			eff = $\frac{2.05 \times 10^6}{7.31 \times 10^6}$ x100 = 28.04%		

3.5.2 วิจารณ์ผลการวิเคราะห์เอ็นธัลปี และเอ็กเซอร์ยีของหม้อน้ำ (bolier)

จากการวิเคราะห์เอ็นธัลปีจะเห็นได้ว่ามีประสิทธิภาพ (efficiency) 83.22% ซึ่งมีค่าสูง และการวิเคราะห์เอ็กเซอร์ยีมีประสิทธิภาพ (efficiency) 28.04% ซึ่งไม่สูงนัก แสดงให้เห็นว่ามีการสูญเสียพลังงานความร้อนค่อนข้างสูง ซึ่งส่วนใหญ่อยู่ในส่วนของพลังงานที่ไม่สามารถย้อนกลับได้ (Irreversibility) สูงถึง 65.33% แสดงว่ามีสาเหตุหรือปัจจัยอื่น ๆ ที่มีส่วนในการทำให้เกิดการสูญเสียพลังงานความร้อนในระบบการผลิตไอน้ำ (steam) ของหม้อน้ำ (boiler) ซึ่งจะต้องทำการปรับปรุงแก้ไขเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ (efficiency) ในการทำงาน และเป็นการประหยัดพลังงานเป็นการลดต้นทุนในการผลิตให้กับโรงงานอีกทางหนึ่ง

จากการพิจารณาระบบผลิตไอน้ำของหม้อน้ำ (boiler) พบว่ามีการสูญเสียพลังงานความร้อนดังนั้น จึงควรหามาตรการที่จะประหยัดพลังงานของระบบหม้อน้ำ (boiler) ในการผลิตไอน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งการประหยัดพลังงานในระบบไอน้ำจะต้องทราบถึงสาเหตุหรือแหล่งการสูญเสียพลังงานในระบบไอน้ำเสียก่อน

3.6 การวิเคราะห์เอ็นธัลปี และเอ็กเซอร์ยีโดยรวมของกระบวนการผลิตของทั้งโรงงาน

เมื่อทำการพิจารณาระบบย่อยต่าง ๆ แล้ว นำมารวบรวมคิดเป็นระบบโดยรวมของกระบวนการผลิตทั้งโรงงาน โดยพิจารณาในขอบเขตดังรูปที่ 3.11

3.6.1 การวิเคราะห์เอ็นธัลปีโดยรวม

รูปที่ 3.11 แสดงพลังงานรวมขาเข้าและขาออกของทั้งโรงงาน

$$\sum H_{input}$$

$$= |-1.29\times10^{4}\ kJ/hr| + |-1.06\times10^{5}\ kJ/hr| + |-9.27\times10^{3}\ kJ/hr| + |5.80\times10^{6}\ kJ/hr|$$

$$= 5.93\times10^{6}\ kJ/hr$$

$$\sum H_{output}$$

$$= |1.11\times10^{4}\ kJ/hr| + |6.48\times10^{4}\ kJ/hr| + |1.77\times10^{4}\ kJ/hr| + |1.32\times10^{6}\ kJ/hr|$$

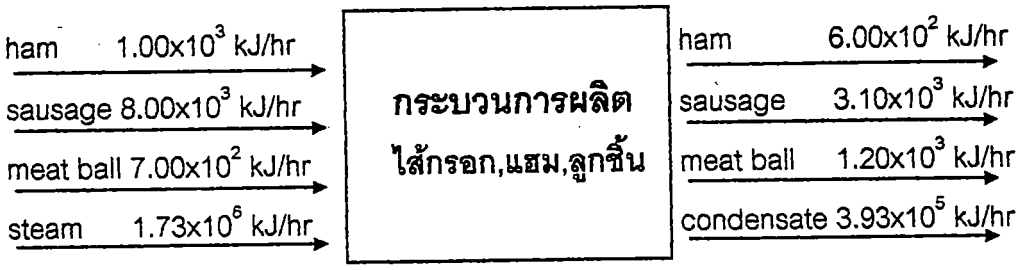
$$= 1.41\times10^{6}\ kJ/hr$$

$$\text{Overall enthalpy efficiency} = \frac{\sum H_{output}}{\sum H_{input}} \times 100$$

$$= \frac{1.41\times10^{6}}{5.93\times10^{6}} \times 100 = 23.78\ \%$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6.2 การวิเคราะห์เอ็กเซอร์ยีโดยรวม



รูปที่3.12 แสดงเอ็กเซอร์ยีขาเข้าและขาออกของทั้งโรงงาน

$$\sum \in_{input}$$
$$= |1.00\times10^{3}\ kJ/hr| + |8.00\times10^{3}\ kJ/hr| + |7.00\times10^{2}\ kJ/hr| + |1.73\times10^{6}\ kJ/hr|$$
$$= 1.74\times10^{6}\ kJ/hr$$

$$\sum \in_{output}$$
$$= |6.00\times10^{2}\ kJ/hr| + |3.10\times10^{3}\ kJ/hr| + |1.20\times10^{3}\ kJ/hr| + |3.93\times10^{5}\ kJ/hr|$$
$$= 3.98\times10^{5}\ kJ/hr$$

$$\text{Overall exergy efficiency} = \frac{\sum \in_{output}}{\sum \in_{input}} \times 100$$

$$= \frac{3.98\times10^{5}}{1.74\times10^{6}} \times 100 = 22.87\ \%$$

3.6.3 วิจารณ์ผลการวิเคราะห์เอ็นธัลปี และเอ็กเซอร์ยีโดยรวมของกระบวนการผลิต

1. จากการวิเคราะห์เอ็นธัลปี พบว่ามีประสิทธิภาพ (efficiency) 23.78 % ซึ่งพลังงานที่เข้าและออก จากระบบส่วนใหญ่คือ พลังงานในส่วนของไอน้ำ (steam) และน้ำควบแน่น (condensate) ซึ่งเกี่ยวข้องกับระบบผลิตไอน้ำ ซึ่งก็คือหม้อน้ำ (boiler) ของโรงงานนั่นเอง จากการวิเคราะห์มีการสูญเสียพลังงานความร้อนทิ้งสิ้น 75.39 % ซึ่งอยู่ในอัตราที่ค่อนข้างสูง และจากการพิจารณาถึงระบบการผลิต มีการปล่อยน้ำควบแน่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(condensate) ในส่วนของการผลิตลูกชิ้นทิ้งไป จึงควรนำน้ำส่วนนี้กลับมาใช้ประโยชน์ในส่วนอื่น ๆ ซึ่งหลักการ และแนวทางปฏิบัติจะได้นำเสนอต่อไป ซึ่งเมื่อสามารถนำน้ำส่วนนี้กลับมาใช้ได้ก็จะสามารถมีพลังงานในส่วนของพลังงานขาออก (output) เพิ่มขึ้นอีก 1.40 $x10^5$ kJ/hr ซึ่งค่อนข้างสูงจะทำให้ระบบมีประสิทธิภาพเพิ่มมากขึ้นการสูญเสียพลังงานความร้อนอาจสูญเสียในรูปอื่นได้ ซึ่งปัจจัยและแนวทางของการประหยัดพลังงานในส่วนนี้ได้กล่าวถึงในส่วนของการวิจารณ์ผลของประสิทธิภาพ (efficiency) ของหม้อน้ำ (boiler) แล้ว

2. จากการวิเคราะห์เอ็กเซอร์ยี พบว่ามีประสิทธิภาพ (efficiency) 22.87% ซึ่งมีค่าค่อนข้างต่ำมีการสูญเสียพลังงานความร้อนไปค่อนข้างมาก ซึ่งเกิดจากทุกหน่วยของระบบตั้งแต่การอบไส้กรอก การต้มแฮม การต้มลูกชิ้น รวมถึงการลดอุณหภูมิของผลิตภัณฑ์ทุกหน่วยจะมีการสูญเสียพลังงานความร้อน และพลังงานที่ไม่สามารถย้อนกลับได้ (Irreversibility) อยู่ในระดับค่อนข้างสูง ปัจจัยที่เกิดการสูญเสียส่วนใหญ่ เกิดจากการถ่ายเทพลังงานความร้อนหรือเกิดการรั่วไหลของพลังงานความร้อนออกจากหน่วยปฏิบัติงาน จึงต้องแก้ไขที่หน่วยปฏิบัติงานย่อยของระบบก่อน ซึ่งก็คือเตาอบไส้กรอก หม้อต้มแฮม หม้อต้มลูกชิ้น และในส่วนของการลดอุณหภูมิ ของแต่ละผลิตภัณฑ์ ซึ่งจะสามารถที่จะช่วยในส่วนของการสูญเสียพลังงานความร้อนของระบบรวมได้ ซึ่งจะสามารถลดต้นทุนการผลิตในระยะสั้น และระยะยาวของโรงงานได้ ซึ่งการปรับปรุงจะต้องคำนึงถึงความปลอดภัยขณะการปฏิบัติการเป็นหลักด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

สรุปผลการวิเคราะห์ และข้อเสนอแนะ

จากการคำนวณในบทที่3 ที่ผ่านมาจะเห็นว่าทั้งในส่วนของกระบวนการผลิตไส้กรอก (sausage), กระบวนการผลิตแฮม (ham), กระบวนการผลิตลูกชิ้น (meat ball), กระบวนการผลิตไอน้ำของหม้อน้ำ(boiler), ตลอดจนในกระบวนการผลิตรวมของโรงงานตัวอย่างจะมีพลังงานที่สูญเสีย (loss) อยู่ในปริมาณมาก ซึ่งควรที่จะหาแนวทางหรือมาตรการที่จะช่วยลดการสูญเสียพลังงานในส่วนนี้ไป เมื่อสามารถแก้ไขปรับปรุงให้มีการสูญเสียพลังงานได้ก็จะสามารถประหยัดต้นทุนในการผลิตของโรงงานได้ ต่อไปนี้จะเสนอแนวทางสำหรับการประหยัดพลังงานในโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งสามารถทำได้ดังนี้

1. **การจัดการให้การทำงานของโรงงานมีประสิทธิภาพ**

◊ ส่วนของเครื่องจักร สามารถทำได้โดยการหมั่นตรวจสอบให้เครื่องจักรทำงาน เมื่อมีการชำรุดก็ต้องทำการซ่อมแซม และต้องหมั่นตรวจสอบสภาพเครื่องจักรทำความสะอาด อาทิ เช่น เปลี่ยนสายน้ำมันเครื่องอยู่เสมอ และเมื่อพบข้อผิดปกติเกี่ยวกับเครื่องจักรก็ควรแจ้งฝ่ายซ่อมบำรุงหรือฝ่ายวิศวกรรมประจำโรงงานทันที เพื่อจะได้แก้ไขหรือซ่อมแซมได้อย่างถูกต้อง และทันเวลา และเมื่อเครื่องจักรมีอายุการใช้งานมากขึ้น หรือมีประสิทธิภาพลดลงก็ควรหาเครื่องจักรใหม่มาทดแทน เพื่อจะได้สามารถทำงานให้กับโรงงานได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ ทั้งนี้เป็นหน้าที่ของฝ่ายวางแผน จะต้องคำนวณทางด้านเศรษฐศาสตร์ เพื่อความเหมาะสมต่อไป

◊ ส่วนผู้ปฏิบัติงาน จะได้ผลของงานดี ผู้ปฏิบัติงานก็มีส่วนอยู่มากดังนั้นจึงควรจัดสภาพแวดล้อมของโรงงานให้เหมาะสมกับการทำงานทั้งนี้ต้องคำนึงถึงความปลอดภัยของผู้ปฏิบัติงานด้วยที่สำคัญก็คือ อุณหภูมิ และเสียงซึ่งอยู่ในระดับเกณฑ์มาตรฐาน (อุณหภูมิต้องไม่เกินกว่า 45^{o}C, เสียงต้องไม่เกินกว่า 80 เดซิเบล) ซึ่งจะส่งผลให้ผู้ปฏิบัติงานทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ และมีสุขภาพจิตที่ดี

2. **การดัดแปลงหรือแก้ไขเครื่องจักรอุปกรณ์**

จากการวิเคราะห์พลังงาน และเอ็กเซอร์ยีที่ผ่านมาจะเห็นว่ามีพลังงานสูญเสีย (loss) อยู่ในปริมาณที่ค่อนข้างสูง จึงควรมีการดัดแปลงหรือแก้ไข ในส่วนของเครื่องจักร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุปกรณ์ ซึ่งจากการพิจารณาเห็นว่าการสูญเสียพลังงานความร้อนส่วนใหญ่จะเสียในรูปของการถ่ายเทพลังงานความร้อนออกนอกระบบไป สิ่งที่เห็นได้ชัดก็คือ ในส่วนของรอยรั่วในเตาอบไส้กรอก และพลังงานความร้อนที่สูญเสียในหม้อต้มแฮม และลูกชิ้น ควรมีการปรับปรุงดัดแปลงหรือแก้ไข เพื่อความเหมาะสม และเพิ่มประสิทธิภาพ (efficiency) ให้กับกระบวนการผลิตต่อไป

3. การปรับปรุงประสิทธิภาพการผลิต

จะต้องแก้ไขตามระบบการผลิตจากระบบย่อยของโรงงานเสียก่อน เมื่อปรับปรุงในส่วนย่อยได้ก็จะช่วยลดการสูญเสีย (loss) ให้กับการผลิตของกระบวนการผลิตรวมได้ ซึ่งได้แก่ กระบวนการผลิตไส้กรอก แฮม และลูกชิ้น ตลอดจนระบบผลิตไอน้ำ

4. การนำความร้อนที่ปล่อยทิ้งกลับมาใช้

ได้มีการนำเสนอแนวคิดไปแล้วในบทที่ 3 ซึ่งจากการวิเคราะห์ และพิจารณาของโรงงานตัวอย่างพบว่าควรมีการนำน้ำควบแน่น (condensate) ของสามกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์มาใช้ แต่ในโรงงานตัวอย่างในช่วงของการผลิตลูกชิ้นมีการทิ้งน้ำควบแน่น (condensate) จึงควรหาวิธีที่จะนำน้ำส่วนนี้กลับมาใช้ เพื่อประหยัดพลังงานของโรงงาน หรืออาจจะนำน้ำควบแน่น (condensate) นี้มารวมกับน้ำอุณหภูมิต่ำกว่า เมื่อต้องการเพิ่มอุณหภูมิของน้ำให้อุณหภูมิสูงขึ้นตามต้องการ จะช่วยลดพลังงานความร้อนที่ทำให้น้ำมีอุณหภูมิสูงขึ้น ตามอุณหภูมิที่ต้องการได้ เป็นการประหยัดพลังงานอีกทางหนึ่ง

จากการทำวิเคราะห์เอ็นธัลปี และเอ็กเซอร์ยี ของงานวิจัยนี้สามารถสรุปดังนี้

1. ทำให้ทราบถึงสภาพปัจจุบันของการใช้พลังงานความร้อนของโรงงานอุตสาหกรรมโดยเฉพาะประสิทธิภาพ (efficiency) การใช้พลังงานของโรงงานดังกล่าว
2. ชี้ให้เห็นปัญหาของการปรับปรุงการใช้พลังงาน
3. เสนอแนะ และสาธิตวิธีประยุกต์แนวความคิดเอ็กเซอร์ยี (exergy) กับอุตสาหกรรมการผลิตในประเทศ
4. ช่วยส่งเสริมการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

โยชิฮิโกะ ทาคามูระ. 2525 เทคนิคการประหยัดพลังงานด้านความร้อน สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น)

Fang, Z., Larson, D.L., and Fleischmen, 1995, Exergy Analysis of a Milk Processing System, Transcation of the ASAE, Vol. 38 (6), 1825-1832.

Heldman, D.R. and Sigh, R.P. ,1981, Introduction to Food Engineering, AVI Westport.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้