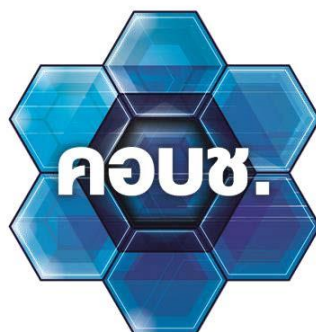




เครือข่ายองค์กรบริหารงานวิจัยแห่งชาติ
Thailand Research Organizations Network (TRON)



รายงานฉบับสมบูรณ์

โครงการวิจัยการออกแบบและสร้างเครื่องอบพองแคบหมู
สำหรับอุตสาหกรรมขนาดกลางและขนาดย่อม

โดย สวัสดิ์ กี่ไสย และคณะ

31 สิงหาคม 2559

สัญญาเลขที่ RDG5850072

รายงานฉบับสมบูรณ์

โครงการวิจัยการออกแบบและสร้างเครื่องอบพองแคบหมู
สำหรับอุตสาหกรรมขนาดกลางและขนาดย่อม

คณะผู้วิจัย

สังกัด

- | | |
|--|---|
| 1. นายสวัสดิ์ กีไสย์ | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงใหม่ |
| 2. ดร. ภาสวรรณ วัชรดำรงศักดิ์ | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงใหม่ |
| 3. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. นิวัตร มุลปา | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงใหม่ |
| 4. นางอรทัย บุญทะวงศ์ | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ลำปาง |

ชุดโครงการ การวิจัยด้านวิสาหกิจชุมชน และวิสาหกิจขนาดกลางและขนาดย่อม (SMEs)
สนับสนุนโดยสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.)
และสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ออกแบบและสร้างเครื่องอบพองแคบหมูสำหรับอุตสาหกรรมขนาดกลางและขนาดย่อม เพื่อค้นหาวัฏกรรมในการผลิตแคบหมูโดยไม่ต้องผ่านการทอดในน้ำมันและหาสภาวะการอบพองที่เหมาะสมที่สุดที่แคบหมูมีคุณภาพสูงสุด คณะผู้วิจัยขอขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) และสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) ที่ให้ทุนสนับสนุนงบประมาณประจำปี 2558 ของชุดโครงการ การวิจัยด้านวิสาหกิจชุมชน และวิสาหกิจขนาดกลางและขนาดย่อม (SMEs) และขอขอบคุณสาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงใหม่ และสาขาอุตสาหกรรมเกษตร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ลำปาง ที่เอื้อเฟื้ออุปกรณ์ เครื่องมือ และสถานที่ในการวิจัย และขอขอบคุณโรงงานแคบหมูป๊อปพอร์คป้าพัช ที่เอื้อเฟื้ออุปกรณ์ เครื่องมือ และสถานที่ในการวิจัย ตลอดจนผู้มีส่วนเกี่ยวข้องทุกท่านที่ไม่ได้กล่าว ณ ที่นี้ จนทำให้โครงการวิจัยครั้งนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

คณะผู้วิจัย
สิงหาคม 2559

คณะผู้วิจัย

หัวหน้าโครงการ

ชื่อ-สกุล อาจารย์ สวัสดิ์ กิไสย
 หน่วยงาน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงใหม่
 ที่อยู่ เลขที่ 128 หมู่ที่ 1 ถ. ห้วยแก้ว ต. ช้างเผือก อ. เมือง จ. เชียงใหม่ 50300
 โทรศัพท์ 094-710-005-9 โทรสาร 0-5328-3183
 E-mail sawad_k@hotmail.com

ผู้ร่วมงานวิจัย

1. ชื่อ-สกุล อาจารย์ ดร. ภาสวรรณ วัชรดำรงศักดิ์
 หน่วยงาน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงใหม่
 ที่อยู่ เลขที่ 128 หมู่ที่ 1 ถ. ห้วยแก้ว ต. ช้างเผือก อ. เมือง จ. เชียงใหม่ 50300
 โทรศัพท์ 0-5392-1444 ต่อ 1800 โทรสาร 0-5328-3183
 E-mail wao_narong@yahoo.com
2. ชื่อ-สกุล ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นิวัตร มูลปา
 หน่วยงาน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงใหม่
 ที่อยู่ เลขที่ 128 หมู่ที่ 1 ถ. ห้วยแก้ว ต. ช้างเผือก อ. เมือง จ. เชียงใหม่ 50300
 โทรศัพท์ 0-5392-1444 ต่อ 1800 โทรสาร 0-5328-3183
 E-mail nmoonpa@hotmail.com
3. ชื่อ-สกุล อาจารย์ อรทัย บุญทะวงศ์
 หน่วยงาน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ลำปาง
 ที่อยู่ เลขที่ 200 หมู่ที่ 17 ต. พิชัย อ. เมือง จ. ลำปาง 52000
 โทรศัพท์ 0-5434-2547-8 โทรสาร 0-5434-2549
 E-mail orathai_bun@hotmail.com

บทสรุปสำหรับผู้บริหาร

1. บทนำ

การผลิตแคบหมูเป็นวิธีการแปรรูปและการถนอมอาหารซึ่งต้องนำหนังหมูมาผ่านการทำให้พองตัว โดยทั่วไปจะเริ่มจากการต้มหนังหมูในน้ำเดือดจนหนังหมูเหล่านั้นสุก ต่อมาจะต้องทำให้ผิวหน้าของหนังหมูเกิดความแข็ง (Case hardening) ขึ้นโดยการเคี้ยว (Rendering) หนังหมูในน้ำมันที่อุณหภูมิไม่สูงมากนัก นอกจากนี้การเคี้ยวยังเป็นการลดความชื้นของหนังหมูลงอย่างมีประสิทธิภาพ เพื่อให้หนังหมูมีความชื้นภายในที่เหมาะสมสำหรับการพองตัว การทำให้ผิวหน้าของหนังหมูมีความแข็งเพียงพอที่สามารถทนต่อแรงดันที่เกิดขึ้นในขณะทอดให้พองตัว ทำให้โครงสร้างของแคบหมูไม่ยุบตัวลงมากในระหว่างการทอดให้พองตัว นอกจากนี้การทำให้ผิวหน้าของหนังหมูแข็งตัวอย่างพอเหมาะจะมีผลต่อความกรอบของแคบหมูด้วย ผู้ผลิตแคบหมูบางรายอาจนำหนังหมูที่ผ่านการต้มให้สุกแล้วมาผึ่งแดดให้แห้ง ก่อนการเคี้ยวเพราะเจลาตินที่เกิดขึ้นในระหว่างการต้มหนังหมูนั้น มีลักษณะเหนียวเมื่อมีความชื้นสูง แต่ความเหนียวของเจลาตินจะลดลงเมื่ออยู่ในสภาพที่มีความชื้นต่ำ และการทำให้หนังหมูแห้งลงก่อนการเคี้ยวจะเป็นการป้องกันการกระเด็นของน้ำมัน ในขณะเคี้ยวได้เป็นอย่างดี เมื่อเคี้ยวจนผิวหน้าของหนังหมูแข็งตัวแล้ว จะนำหนังหมูไปทอดให้พองตัวในน้ำมันที่ร้อนจัด เพราะในขณะทอดจะทำให้ไอน้ำที่ถูกกักไว้ในเจลาตินเกิดการขยายตัวอย่างรวดเร็ว และเกิดแรงดันขึ้นภายในหนังหมูทำให้หนังหมูพองตัวได้ (อาคเนย์, 2556) ดังนั้นการผลิตแคบหมูด้วยวิธีการทอดเป็นกระบวนการที่ต้องใช้น้ำมันมาก และใช้ความร้อนสูง ซึ่งเมื่อใช้น้ำมันทอดซ้ำหลายๆ ครั้ง วิตามินอีจะถูกทำลายหมด ทำให้กรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวถูกออกซิไดซ์ และเกิดปฏิกิริยาโพลีเมอร์ไรเซชันได้ง่าย ผลของปฏิกิริยาจะมีสารประกอบชนิดใหม่เกิดขึ้น ซึ่งเป็นสารพิษต่อร่างกายบางชนิดก่อมะเร็งด้วย (นิธิยา, 2544) นอกจากนี้ไขมันที่ทอดซ้ำยังมีผลต่อการกลั่นของผลิตภัณฑ์แคบหมูทำให้เกิดกลิ่นไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคหรือเกิดกลิ่นหืนขึ้น และหากแก้ไขโดยการเปลี่ยนน้ำมันใหม่ในการทอดแคบหมูทุกครั้ง จะเป็นการเพิ่มค่าใช้จ่ายในส่วนนี้เพิ่มขึ้นอีก เพื่อเป็นการแก้ปัญหาดังกล่าวและค้นหาวัฏกรรมในการผลิตแคบหมูโดยไม่ต้องผ่านการทอดในน้ำมัน โครงการวิจัยนี้จึงได้คิดที่จะออกแบบและสร้างเครื่องอบพองแคบหมูต้นแบบสำหรับการผลิตแคบหมูเพื่อจำหน่ายทั่วไปและเหมาะสมสำหรับอุตสาหกรรมขนาดกลางและขนาดย่อมและเป็นการส่งเสริมผู้ประกอบการอุตสาหกรรมขนาดกลางและขนาดย่อม (Small Medium Enterprise, SMEs) ทำให้มีความเข้มแข็งด้วยตนเองอย่างยั่งยืน และผู้ประกอบการแคบหมูในด้านการผลิตเพื่อทำเป็นธุรกิจการค้าต่อไป

2. วัตถุประสงค์

เพื่อออกแบบและสร้างเครื่องอบพองแคบหมูสำหรับอุตสาหกรรมขนาดกลางและขนาดย่อม

3. ผลการวิจัย

3.1 ผลการทดสอบการทำงานของเครื่องอบพองแคบหมู พบว่าอุณหภูมิของเครื่องอบพองแคบหมูมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน ในช่วงแรกอุณหภูมิจะเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจนกระทั่งถึงอุณหภูมิที่กำหนดไว้ จากนั้นอุณหภูมิจะเริ่มคงที่ โดยที่อุณหภูมิ 200 °C ความเร็วรอบ 16, 20 และ 24 rpm ใช้เวลาทำอุณหภูมิไม่เกิน 56 min ที่อุณหภูมิ 220 °C ความเร็วรอบ 16, 20 และ

24 rpm ใช้เวลาทำอุณหภูมิไม่เกิน 64 min และที่อุณหภูมิ 240 °C ความเร็วรอบ 16, 20 และ 24 rpm ใช้เวลาทำอุณหภูมิไม่เกิน 72 min หลังจากนั้นอุณหภูมิจะเริ่มคงที่ ซึ่งจะสามารถควบคุมอุณหภูมิไม่เกิน $\pm 9^{\circ}\text{C}$ ส่วนปริมาณการใช้พลังงานของเครื่องอบพองแคบหมู พบว่าอุณหภูมิมีผลต่อปริมาณการใช้พลังงานเชื้อเพลิงแก๊ส ที่อุณหภูมิต่ำจะมีค่าปริมาณการใช้พลังงานเชื้อเพลิงแก๊สน้อยกว่าอุณหภูมิสูง โดยที่อุณหภูมิ 200 °C ความเร็วรอบ 16, 20 และ 24 rpm มีค่าปริมาณการใช้พลังงานเชื้อเพลิงแก๊สเท่ากับ 0.45, 0.44 และ 0.44 kg/hr, ที่อุณหภูมิ 220 °C ความเร็วรอบ 16, 20 และ 24 rpm มีค่าปริมาณการใช้พลังงานเชื้อเพลิงแก๊สเท่ากับ 0.50, 0.49 และ 0.48 kg/hr และที่อุณหภูมิ 240 °C ความเร็วรอบ 16, 20 และ 24 rpm มีค่าปริมาณการใช้พลังงานเชื้อเพลิงแก๊สเท่ากับ 0.55, 0.55 และ 0.53 kg/hr ตามลำดับ และพบว่าความเร็วรอบมีผลต่อปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า ที่ความเร็วรอบต่ำจะมีค่าปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าน้อยกว่าความเร็วรอบสูง โดยที่อุณหภูมิ 200 °C ความเร็วรอบ 16, 20 และ 24 rpm มีค่าปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าเท่ากับ 0.7, 0.8 และ 0.9 kW·hr, ที่อุณหภูมิ 220 °C ความเร็วรอบ 16, 20 และ 24 rpm มีค่าปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าเท่ากับ 0.7, 0.8 และ 0.9 kW·hr และที่อุณหภูมิ 240 °C ความเร็วรอบ 16, 20 และ 24 rpm มีค่าปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าเท่ากับ 0.7, 0.8 และ 0.9 kW·hr ตามลำดับ

3.2 ผลการทดสอบการอบพองแคบหมู จะเห็นได้ว่าอุณหภูมิ ความเร็วรอบ และเวลา มีผลต่อการพองตัวของแคบหมู โดยเมื่อพิจารณาคัดเลือกแคบหมูจากแคบหมูที่พองตัวไม่น้อยกว่าร้อยละ 90 พบว่าที่อุณหภูมิ 220 °C ความเร็วรอบ 16, 20 และ 24 rpm เวลา 5 min และที่อุณหภูมิ 240 °C ความเร็วรอบ 16, 20 และ 24 rpm เวลา 5 min จากนั้นจึงกำหนดปัจจัยที่ศึกษา 2 ปัจจัย คือ อุณหภูมิการอบพอง 220 และ 240 °C ความเร็วรอบ 16, 20 และ 24 rpm พบว่าแคบหมูที่ผ่านการอบให้พองตัวที่อุณหภูมิ 220 °C ความเร็วรอบ 24 rpm มีคุณภาพดีที่สุด จากการนำแคบหมูที่ผ่านการอบทดสอบทางประสาทสัมผัสเทียบกับแคบหมูที่พองตัวด้วยวิธีการทอดในน้ำมัน พบว่ามีคะแนนความชอบเฉลี่ยทุกคุณลักษณะที่ทดสอบชิมไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) และจากการเปรียบเทียบคุณภาพแคบหมูที่ผ่านการอบให้พองตัวกับแคบหมูที่ผ่านการทอดที่มีจำหน่ายทั่วไปจำนวน 3 ตัวอย่าง พบว่าแคบหมูที่ผ่านการอบให้พองตัวมีความชื้น ความหนาแน่นเนื้อ ค่าสี $L^* a^* b^*$ ค่าความแข็ง Hardness และค่าความกรอบ Crispness มีค่าอยู่ในช่วงของค่าคุณภาพของแคบหมูที่ผ่านการทอดในน้ำมัน ส่วนปริมาณไขมันในแคบหมูที่ผ่านการอบให้พองตัวมีปริมาณไขมัน 9.52% ซึ่งมีค่าน้อยกว่าแคบหมูที่ผ่านการทอดซึ่งมีปริมาณไขมันสูงอยู่ในช่วง 28.77-34.77%

4. สรุป

4.1 การออกแบบและสร้างเครื่องอบพองแคบหมูสำหรับอุตสาหกรรมขนาดกลางและขนาดย่อม

ผลการวิจัยการออกแบบและสร้างเครื่องอบพองแคบหมู ได้เครื่องอบพองแคบหมูเป็นแบบกึ่งอัตโนมัติ ประกอบด้วยโครงสร้าง ถังขึ้นนอก ถังหมุน ถังอบพองแคบหมู ฝาหน้าเครื่อง และระบบควบคุม ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

1. โครงสร้าง ทำด้วยเหล็กใช้ติดตั้งชุดส่งกำลัง ชุดควบคุม และฐานรองรับชุดถัง (ถังขึ้นนอก ถังหมุน ถังอบพองแคบหมู และฝาหน้าเครื่อง) โดยด้านข้างฐานรองรับชุดถังจะติดตั้งเพลาสวมเข้ากับเบรคทั้ง 2 ข้าง เพื่อใช้เป็นจุดหมุนในการกดเอียงถังแล้วนำแคบหมูออกจากเครื่อง และส่วนฐานของโครงสร้างเครื่องจะติดตั้งล้อให้สามารถเคลื่อนย้ายได้สะดวก

2. ถังชั้นนอก มี 2 ชั้น ระหว่างกลางจะใส่ฉนวนใยแก้ว ด้านล่างถังจะติดตั้งเตาแก๊สอินฟราเรดขนาด 9360 kcal/hr

3. ถังหมุน ติดตั้งอยู่ภายในถังชั้นนอกโดยจะหมุนรับความร้อนจากเตาแก๊สอินฟราเรด และภายในถังหมุนจะใช้ติดตั้งถังอบพองแคบหมู ซึ่งถังหมุนสามารถหมุนได้โดยใช้มอเตอร์เกียร์ขนาด 1 hp มีอัตราทด 1:60

4. ถังอบพองแคบหมู เป็นถังทรงกระบอกวางในแนวนอน มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 570 mm ยาว 900 mm ภายในถังจะมีครีบริบเพื่อกระจายตัวให้หนังหมูรับความร้อนอย่างทั่วถึง

5. ฝาหน้าเครื่อง จะสามารถเปิด-ปิดได้เพื่อทำความสะอาดถัง ด้านหน้าจะมีช่องป้อนหนังหมูเข้า มีช่องนำแคบหมูออก และมีท่อระบายควันออก

6. วงจรควบคุม ประกอบด้วยวงจรควบคุมชุดส่งกำลังและวงจรควบคุมอุณหภูมิ โดยวงจรควบคุมชุดส่งกำลังจะใช้อินเวอร์เตอร์ควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ ส่วนวงจรควบคุมอุณหภูมิจะใช้เครื่องควบคุมอุณหภูมิเป็นตัวควบคุมอุณหภูมิห้องและควบคุมการจุดติดแก๊สและตัดการจ่ายแก๊ส

4.2 ผลการทดสอบการทำงานของเครื่องอบพองแคบหมู

ผลการทดสอบการควบคุมอุณหภูมิเครื่องอบพองแคบหมู พบว่าในช่วงแรกอุณหภูมิจะเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจนกระทั่งถึงอุณหภูมิที่กำหนดไว้ จากนั้นอุณหภูมิจะเริ่มคงที่ ส่วนปริมาณการใช้พลังงานของเครื่องอบพองแคบหมู พบว่าอุณหภูมิมิผลต่อปริมาณการใช้พลังงานเชื้อเพลิงแก๊ส ที่อุณหภูมิต่ำจะมีค่าปริมาณการใช้พลังงานเชื้อเพลิงแก๊สน้อยกว่าอุณหภูมิสูง และพบว่าความเร็วรอบมิผลต่อปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า ที่ความเร็วรอบต่ำจะมีค่าปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าน้อยกว่าความเร็วรอบสูง

4.3 ผลการทดสอบการอบพองแคบหมู

ผลการทดสอบการอบพองแคบหมู พบว่าแคบหมูที่ผ่านการอบให้พองตัวที่อุณหภูมิ 220 °C ความเร็วรอบ 24 rpm และเวลา 5 min มีคุณภาพดีที่สุด จากการนำแคบหมูที่ผ่านการอบทดสอบทางประสาทสัมผัสเทียบกับแคบหมูที่พองตัวด้วยวิธีการทอดในน้ำมัน พบว่ามีคะแนนความชอบเฉลี่ยทุกคุณลักษณะที่ทดสอบชิมไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) และจากการเปรียบเทียบคุณภาพแคบหมูที่ผ่านการอบให้พองตัวกับแคบหมูที่ผ่านการทอดที่มีจำหน่ายทั่วไปจำนวน 3 ตัวอย่าง พบว่าแคบหมูที่ผ่านการอบให้พองตัวมีความชื้น ความหนาแน่นเนื้อ ค่าสี $L^* a^* b^*$ ค่า Hardness (ความแข็ง) และค่า Crispness (ความกรอบ) มีค่าอยู่ในช่วงของค่าคุณภาพของแคบหมูที่ผ่านการทอดในน้ำมัน ส่วนปริมาณไขมันในแคบหมูที่ผ่านการอบให้พองตัวมีปริมาณไขมัน 9.52% ซึ่งมีค่าน้อยกว่าแคบหมูที่ผ่านการทอดซึ่งมีปริมาณไขมันสูงอยู่ในช่วง 28.77-34.77%

4.4 การหาประสิทธิภาพการใช้พลังงานและการวิเคราะห์เศรษฐศาสตร์

การอบพองแคบหมูด้วยเครื่องต้นแบบที่อุณหภูมิ 220 °C ความเร็วรอบ 24 rpm เวลา 5 min พบว่ามีอัตราการผลิตแคบหมูอบพองสูงสุด 10.76 kg/hr และประสิทธิภาพการใช้พลังงานเท่ากับ 24.32% มีระยะเวลาคืนทุน 2 เดือน

บทคัดย่อ

การผลิตแคะหมูด้วยวิธีการทอดเป็นกระบวนการที่ต้องใช้น้ำมันมากจึงทำให้แคะหมูมีปริมาณไขมันสูง ซึ่งเมื่อใช้น้ำมันทอดซ้ำหลายๆ ครั้ง จะส่งผลกระทบต่อสุขภาพ นอกจากนี้น้ำมันที่ทอดซ้ำยังมีผลต่อกลิ่นของแคะหมูทำให้เกิดกลิ่นไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค และหากแก้ไขโดยการเปลี่ยนน้ำมันใหม่ในการทอดแคะหมูทุกครั้งจะเป็นการเพิ่มค่าใช้จ่ายในส่วนนี้เพิ่มขึ้นอีก เพื่อเป็นการแก้ปัญหาดังกล่าวและค้นหาวัฏกรรมในการผลิตแคะหมูโดยไม่ต้องผ่านการทอดในน้ำมัน โครงการวิจัยนี้จึงได้ออกแบบและสร้างเครื่องอบพองแคะหมูต้นแบบสำหรับการผลิตแคะหมูเพื่อจำหน่ายทั่วไป เครื่องอบพองแคะหมูต้นแบบเป็นแบบกึ่งอัตโนมัติ ประกอบด้วยโครงสร้าง ถังชั้นนอก ถังชั้นใน ถังอบพองแคะหมู ฝาหน้าเครื่อง และระบบควบคุม มีหลักการทำงานโดยใช้เตาแก๊สอินฟราเรดขนาด 9,360 กิโลแคลอรีต่อชั่วโมง ให้ความร้อนกับถังอบพองมีอุณหภูมิสูงได้ตามที่กำหนด ซึ่งถังสามารถหมุนได้โดยใช้มอเตอร์เกียร์ขนาด 1 แรงม้า อัตราทด 1:60 โดยวงจรควบคุมชุดส่งกำลังจะใช้อินเวอร์เตอร์ควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ ส่วนวงจรควบคุมอุณหภูมิจะใช้เครื่องควบคุมอุณหภูมิเป็นตัวควบคุมอุณหภูมิห้องอบพอง และฝาหน้าเครื่องจะสามารถเปิด-ปิดได้เพื่อทำความสะอาดถัง ด้านหน้าจะมีช่องป้อนหนังหมูเข้า-ออกและมีท่อระบายควัน

ผลการทดสอบ พบว่าแคะหมูที่ผ่านการอบให้พองตัวที่อุณหภูมิ 220 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบ 24 รอบต่อนาที และเวลา 5 นาที มีคุณภาพดีที่สุด จากการนำแคะหมูที่ผ่านการอบทดสอบทางประสาทสัมผัสเทียบกับแคะหมูที่พองตัวด้วยวิธีการทอดในน้ำมัน พบว่ามีคะแนนความชอบเฉลี่ยทุกคุณลักษณะที่ทดสอบชิมไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) และจากการเปรียบเทียบคุณภาพแคะหมูที่ผ่านการอบให้พองตัวกับแคะหมูที่ผ่านการทอดที่มีจำหน่ายทั่วไปจำนวน 3 ตัวอย่าง พบว่าแคะหมูที่ผ่านการอบให้พองตัวมีความชื้น ความหนาแน่นเนื้อ ค่าสี $L^* a^* b^*$ ค่า Hardness และค่า Crispness มีค่าอยู่ในช่วงของค่าคุณภาพของแคะหมูที่ผ่านการทอดในน้ำมัน ส่วนปริมาณไขมันในแคะหมูที่ผ่านการอบให้พองตัวมีปริมาณไขมัน 9.52 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีค่าน้อยกว่าแคะหมูที่ผ่านการทอดซึ่งมีปริมาณไขมันสูงอยู่ในช่วง 28.77-34.77 เปอร์เซ็นต์ ส่วนประสิทธิภาพการใช้พลังงานและการวิเคราะห์เศรษฐศาสตร์ พบว่ามีอัตราการผลิตแคะหมูอบพองสูงสุด 10.76 กิโลกรัมต่อชั่วโมง และประสิทธิภาพการใช้พลังงานเท่ากับ 24.32 เปอร์เซ็นต์ มีระยะเวลาคืนทุน 2 เดือน

Abstract

Pork crackling by fried method is one of the oiliest processes which lead to make pork crackling to be high fat food. Oil was always repeated used so which could harm health and cause bad smell on pork crackling. New oil cannot be used in every fried process cause of budget problem. To solve this problem and to find a new innovation by produce pork crackling without cooking oil, this project was established. The objective of this project were to design and assembly roast pork crackling unit for retail selling. This unit was a semi-automatic machine which composed of its structure, outside bucket, rotating bucket, roast bucket, front cover and control unit. The working principle was heating roast bucket by a 9,360 kcal/hr LPG infrared burner to reach demand temperature. Rotating bucket was driven by a 1 HP gear motor with 1:60 driven ratio which was controlled its rotating speed by a inverter. The demand temperature in roast bucket was controlled by a commercial temperature control unit. Front cover could open on demand for easy cleaning. Product input and output holes were in the front together with smoke hood.

Testing result showed that, the most appropriate pork crackling was cooked at 220 degree Celsius, 24 rpm rotation at 5 minutes overall time. The eating test was done to compare this innovated pork crackling with original pork crackling and found that the average challenging point on every factor had no significant different between both parameter ($p>0.05$). The quality assurance when compare with random 3 original commercial pork crackling brands showed that this innovated pork crackling had humidity, density, color $L^* a^* b^*$ Hardness and crispness in desired range of every original pork crackling when had contained fat was only 9.52%, very less than original pork crackling which contained fat around 28.77-34.77%. The analysis showed that at production rate of 10.76 kg/hr, the energy efficiency was 24.32%, 2 months payback period.

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
คณะผู้วิจัย	ข
บทสรุปสำหรับผู้บริหาร	ค
บทคัดย่อ	ฉ
Abstract	ช
สารบัญ	ซ
สารบัญตาราง	ฅ
สารบัญรูป	ฉ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่จะได้รับจากโครงการวิจัย	2
บทที่ 2 ทบทวนเอกสารงานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	
2.1 ทบทวนเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
2.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	7
2.2.1 แคบหมู	7
2.2.2 ความรู้พื้นฐานของการอบแห้ง	10
2.2.3 ความร้อน	11
2.2.4 การถ่ายเทความร้อน	12
2.2.5 เครื่องอบแห้งแบบหมุน	14
2.2.6 ฉนวนความร้อน	18
2.2.7 การวิเคราะห์เศรษฐศาสตร์	18
2.2.8 ระบบคุณภาพอาหาร	20

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 3 การดำเนินการวิจัย

3.1 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย	25
3.1.1 การกำหนดปัญหา	27
3.1.2 การศึกษาและรวบรวมข้อมูล	27
3.1.3 การระดมความคิดเห็น	28
3.1.4 กำหนดวิธีการแก้ไขปัญหา	29
3.1.5 การออกแบบเชิงแนวคิด	29
3.1.6 การกำหนดฟังก์ชันการทำงาน	31
3.1.7 วิเคราะห์และกำหนดค่าพารามิเตอร์	32
3.1.8 การประเมินความเป็นไปได้	32
3.1.9 การออกแบบรายละเอียด	34
3.1.10 การออกแบบและคำนวณเครื่องต้นแบบ	36
3.1.11 การวิเคราะห์เศรษฐศาสตร์เบื้องต้น	36
3.1.12 เขียนแบบเครื่องต้นแบบ	37
3.1.13 การสร้างเครื่องต้นแบบ	38
3.1.14 การวางแผนการทดสอบ	40
3.1.15 การทดสอบการทำงานของเครื่องต้นแบบ	41
3.1.16 การทดสอบการอบพองแคบหมู	41
3.1.17 ผลการทดสอบและวิเคราะห์ผล	42
3.1.18 การหาประสิทธิภาพการใช้พลังงาน	43
3.1.19 การวิเคราะห์เศรษฐศาสตร์	43
3.1.20 สรุปผลการทดสอบ	43

บทที่ 4 วิธีการทดสอบและผลการทดสอบ

4.1 วิธีการทดสอบ	44
4.1.1 การทดสอบการทำงานของเครื่องอบพองแคบหมู	44
4.1.2 การทดสอบการอบพองแคบหมู	45
4.2 ผลการทดสอบ	46
4.2.1 ผลการทดสอบการทำงานของเครื่องอบพองแคบหมู	46
4.2.2 ผลการทดสอบการอบพองแคบหมู	50
4.3 การหาประสิทธิภาพการใช้พลังงาน	55
4.4 การวิเคราะห์เศรษฐศาสตร์	56

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย

5.1 สรุปผลการวิจัย	59
5.1.1 การออกแบบและสร้างเครื่องอบพองแคบหมูสำหรับอุตสาหกรรมขนาดกลางและขนาดย่อม	59
5.1.2 ผลการทดสอบการทำงานของเครื่องอบพองแคบหมู	60
5.1.3 ผลการทดสอบการอบพองแคบหมู	60
5.1.4 การหาประสิทธิภาพการใช้พลังงานและการวิเคราะห์เศรษฐศาสตร์	60

เอกสารอ้างอิง	61
---------------	----

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก การออกแบบและคำนวณเครื่องอบพองแคบหมู	65
ภาคผนวก ข ตารางที่ใช้ในการคำนวณ	74
ภาคผนวก ค บทความสำหรับเผยแพร่	82
ภาคผนวก ง ตารางสรุปเปรียบเทียบแผนงานวิจัยกับผลงานวิจัย	83
ภาคผนวก จ รูปการดำเนินงานวิจัย	85
ภาคผนวก ฉ กิจกรรมที่เกี่ยวข้องกับการนำผลจากโครงการไปใช้ประโยชน์	92

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 3.1 รายละเอียดการทดสอบบอบพองแคบหมู	41
ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบการควบคุมอุณหภูมิเครื่องอบพองแคบหมู	46
ตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบปริมาณการใช้พลังงานของเครื่องอบพองแคบหมู	49
ตารางที่ 4.3 ผลการทดสอบการอบพองแคบหมู	50
ตารางที่ 4.4 คุณภาพแคบหมูที่ผ่านการอบให้พองตัวด้วยเครื่องอบที่อุณหภูมิการอบ และความเร็วรอบถึงหมุนที่แตกต่างกัน	52
ตารางที่ 4.5 ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสระหว่างแคบหมูที่ผ่านการอบให้พองตัวด้วย เครื่องอบที่ความเร็วรอบถึงหมุนที่แตกต่างกันเทียบกับแคบหมูที่พองตัว ด้วยวิธีการทอดในน้ำมัน	53
ตารางที่ 4.6 คุณภาพแคบหมูที่ผ่านการอบให้พองตัวด้วยเครื่องอบ และแคบหมูที่ผ่านการทอดที่มีจำหน่ายทั่วไป	54
ตารางที่ 4.7 ค่าใช้จ่ายรวมของการอบพองแคบหมูด้วยเครื่องต้นแบบ	56
ตารางที่ 4.8 ค่าใช้จ่ายรวมของการทอดแคบหมูในน้ำมัน	57
ตารางที่ 4.9 การเปรียบเทียบการอบพองแคบหมูด้วยเครื่องต้นแบบกับการทอดแคบหมูในน้ำมัน	58
ตารางที่ ข-1 อากาศแห้งที่ความดันบรรยากาศ	75
ตารางที่ ข-2 ตารางคุณสมบัติของไอน้ำ	76
ตารางที่ ข-3 ตารางคุณสมบัติของวัสดุต่างๆ	77
ตารางที่ ข-4 คุณสมบัติต่างๆ ของโลหะผสม	78
ตารางที่ ข-5 ตารางเปรียบเทียบขนาดหัวเตาแก๊สแบบอินฟราเรด	79
ตารางที่ ง-1 ตารางสรุปเปรียบเทียบแผนงานวิจัยกับผลงานวิจัย	84

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 เครื่องอบพองแคบหมูโดยใช้อินฟราเรด	6
รูปที่ 2.2 การอบแห้งในช่วงอัตราการอบแห้งคงที่และลดลง	10
รูปที่ 2.3 การนำความร้อนและการพาความร้อนผ่านผนังทรงกระบอก	13
รูปที่ 2.4 แสดงชนิดของตัวตัด	16
รูปที่ 2.5 ลักษณะการติดตั้งตัวตัดในตัวถังทรงกระบอก	17
รูปที่ 2.6 การป้องกันอากาศรั่ว	18
รูปที่ 3.1 แผนผังลำดับการดำเนินงาน	25
รูปที่ 3.2 แผนผังความคิด (Mind map)	28
รูปที่ 3.3 เครื่องอบพองแคบหมูแบบสายพานลำเลียงถังทรงกระบอก	30
รูปที่ 3.4 เครื่องอบพองแคบหมูแบบถังหมุนในแนวดิ่ง	30
รูปที่ 3.5 เครื่องอบพองแคบหมูแบบถังหมุนในแนวนอน	31
รูปที่ 3.6 เครื่องอบพองแคบหมู	34
รูปที่ 3.7 ส่วนประกอบเครื่องอบพองแคบหมู	34
รูปที่ 3.8 แผนผังแสดงขั้นตอนการอบพองแคบหมู	35
รูปที่ 3.9 แสดงการควบคุมอุณหภูมิ	36
รูปที่ 3.10 ผังกระแสเงินสด	37
รูปที่ 3.11 โครงสร้าง	38
รูปที่ 3.12 ชุดถัง (ถังอบพองแคบหมู ถังหมุน ถังขึ้นนอก และฝาหน้าเครื่อง)	39
รูปที่ 3.13 วงจรควบคุม	40
รูปที่ 4.1 การทดสอบการทำงานของเครื่องอบพองแคบหมู	44
รูปที่ 4.2 การทดสอบการอบพองแคบหมู	45
รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลา	48
รูปที่ 4.4 แคบหมูที่ผ่านการอบให้พองตัวที่อุณหภูมิ 220 °C และ 240 °C	52
รูปที่ 4.5 แคบหมูทอดในน้ำมันที่มีจำหน่ายทั่วไปและแคบหมูอบให้พองตัวจากงานวิจัย	55
รูปที่ ก.1 ขนาดของหนังหมู 1 ชิ้น	66
รูปที่ ก.2 แสดงหนังหมูเปลี่ยนรูปจากเดิม 4 เท่า	67
รูปที่ ก.3 แสดงหนังหมูมีพื้นที่ที่อยู่ในถังเท่ากับ 1/4 ของถัง	67
รูปที่ ก.4 การถ่ายเทความร้อนผ่านผนัง	71
รูปที่ ก.5 การทดสอบหาแรง	73
รูปที่ จ.1 การวางแผนการดำเนินของโครงการวิจัยของคณะผู้วิจัย	86
รูปที่ จ.2 การนำเสนอรายงานความก้าวหน้า	86

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ จ.3 การนำเสนอการติดตามและประเมินผลรอบ 6-12 เดือน โครงการทุนวิจัยมุ่งเป้ากลุ่ม SME	87
รูปที่ จ.4 การดูงานการติดตามและประเมินผลรอบ 6-12 เดือน โครงการทุนวิจัยมุ่งเป้ากลุ่ม SME	87
รูปที่ จ.5 เครื่องอบพองแคบหมู	88
รูปที่ จ.6 หนังหมูกึ่งสำเร็จรูป	88
รูปที่ จ.7 การเตรียมหนังหมูกึ่งสำเร็จรูป	89
รูปที่ จ.8 การปรับตั้งอุณหภูมิ	89
รูปที่ จ.9 การปรับตั้งความเร็วรอบ	90
รูปที่ จ.10 การกดเอียงถังเพื่อนำแคบหมูออก	90
รูปที่ จ.11 แคบหมอบพองด้วยเครื่องต้นแบบ	91
รูปที่ จ.12 ตัวอย่างแคบหมูที่ อุณหภูมิ 220 °C ความเร็วรอบ 24 rpm เวลา 5 min	91
รูปที่ ฉ.1 การถ่ายทอดเทคโนโลยีการอบพองแคบหมูให้กับผู้ประกอบการ	93
รูปที่ ฉ.2 ผู้ประกอบการแนะนำแผนผังและผลิตภัณฑ์ของโรงงาน	93
รูปที่ ฉ.3 การจัดเตรียมหนังหมูกึ่งสำเร็จรูป	94
รูปที่ ฉ.4 การอธิบายหลักการทำงานและขั้นตอนการอบพองแคบหมู ที่อุณหภูมิ 220 °C ความเร็วรอบ 24 rpm เวลา 5 min	94
รูปที่ ฉ.5 แคบหมูที่ได้จากการอบพองจากเครื่องต้นแบบ	95
รูปที่ ฉ.6 การบรรจุแคบหมูใส่ถุงฟอยด์	95

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการวิจัย

แคบหมูเป็นอาหารพื้นบ้านของชาวไทย การทำแคบหมูเป็นวิธีการแปรรูปและการถนอมอาหารที่เกิดจากภูมิปัญญาชาวบ้านสืบทอดกันมาเป็นเวลาช้านาน แคบหมูเป็นอาหารสำเร็จรูปชนิดหนึ่ง ซึ่งต้องนำหนังหมูมาผ่านการทำให้พองตัว การบริโภคแคบหมูอาจทำได้หลายรูปแบบ เช่น ชาวไทยในภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ อาจนำมาบริโภคในรูปของอาหารคาวโดยตรง ใช้เป็นเครื่องจิ้มกับน้ำพริกต่างๆ หรือรับประทานร่วมกับขนมจีนน้ำเงี้ยว ซึ่งเป็นอาหารท้องถิ่นของชาวไทยภาคเหนือ นอกจากนี้ยังสามารถนำแคบหมูมาบริโภคเป็นกับแกล้มของเครื่องดื่มประเภทสุราหรือเบียร์ การผลิตแคบหมูโดยทั่วไปจะเริ่มจากการเปลี่ยนคอลลาเจน (Collagen) ที่เป็นโปรตีนส่วนใหญ่ในหนังหมู โดยเฉพาะบริเวณหนังชั้นใน (Dermis หรือ Corium) ให้เป็นเจลาติน (Gelatin) ซึ่งเป็นโครงสร้างที่สามารถกักเก็บความชื้นเอาไว้ภายใน การเปลี่ยนคอลลาเจนเป็นเจลาตินนี้ จะต้องใช้ความร้อนชื้น (Moist heat) เช่น การต้มหนังหมูในน้ำเดือดจนหนังหมูเหล่านั่นสุก ต่อมาจะต้องทำให้ผิวหนังของหนังหมูเกิดความแข็ง (Case hardening) ขึ้นโดยการเคี้ยว (Rendering) หนังหมูในน้ำมันที่อุณหภูมิไม่สูงมากนัก นอกจากนี้การเคี้ยวยังเป็นการลดความชื้นของหนังหมูลงอย่างมีประสิทธิภาพ เพื่อให้หนังหมูมีความชื้นภายในที่เหมาะสมสำหรับการพองตัว การทำให้ผิวหนังของหนังหมูมีความแข็งเพียงพอที่สามารถทนต่อแรงดันที่เกิดขึ้นในขณะทอดให้พองตัว ทำให้โครงสร้างของแคบหมูไม่ยุบตัวลงมากในระหว่างการทอดให้พองตัว นอกจากนี้การทำให้ผิวหนังของหนังหมูแข็งตัวอย่างพอเหมาะจะมีผลต่อความกรอบของแคบหมูด้วย ผู้ผลิตแคบหมูบางรายอาจนำหนังหมูที่ผ่านการต้มให้สุกแล้วมาผึ่งแดดให้แห้ง ก่อนการเคี้ยวเพราะเจลาตินที่เกิดขึ้นในระหว่างการต้มหนังหมูนั้น มีลักษณะเหนียวเมื่อมีความชื้นสูง แต่ความเหนียวของเจลาตินจะลดลงเมื่ออยู่ในสภาพที่มีความชื้นต่ำ และการทำให้หนังหมูแห้งลงก่อนการเคี้ยวจะเป็นการป้องกันการกระเด็นของน้ำมัน ในขณะเคี้ยวได้เป็นอย่างดี เมื่อเคี้ยวจนผิวหนังของหนังหมูแข็งตัวแล้ว จะนำหนังหมูไปทอดให้พองตัวในน้ำมันที่ร้อนจัด เพราะในขณะทอดจะทำให้ไอน้ำที่ถูกกักไว้ในเจลาตินเกิดการขยายตัวอย่างรวดเร็ว และเกิดแรงดันขึ้นภายในหนังหมูทำให้หนังหมูพองตัวได้(อาคเนย์, 2556)

จากการวิจัยของอรทัย (2547) พบว่า แคบหมูสามารถทำให้พองตัวได้โดยไม่ต้องผ่านการทอดในน้ำมัน แต่สามารถทำการผลิตแคบหมูได้ด้วยวิธีการอบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 200 °C เป็นเวลา 3-4 min ซึ่งทำให้แคบหมูไม่ได้รับผลกระทบจากน้ำมันที่ใช้ทอดที่อุณหภูมิสูงหรือจากการใช้น้ำมันทอดซ้ำอย่างที่ผ่านมา ทำให้สามารถลดปริมาณไขมันและลดการหืนในผลิตภัณฑ์แคบหมูได้ และได้จดอนุสิทธิบัตรโดยสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) ได้ถ่ายทอดเทคโนโลยีการผลิตแคบหมูให้กับเชียงใหม่ป้าพัช ซึ่งปัจจุบันได้จดทะเบียนเป็นนิติบุคคลในนาม บริษัทเซวาร์ธรรวรณ์เฮลท์ตี้ฟู้ดส์ จำกัด สร้างโรงงานในการผลิตและได้ขอความช่วยเหลือทางเทคโนโลยีในการสร้างเครื่องปอบแบบต่อเนื่อง (สายพานลำเลียง) โดยใช้อินฟราเรด เพื่อผลิตในเชิงอุตสาหกรรม จากโครงการ iTAP สวทช. ซึ่งพบปัญหาของกำลังการผลิตไม่เพียงพอ (3kg/hr) อุณหภูมิไม่สม่ำเสมอเท่าที่ควร และเกิดคราบน้ำมันสะสม

ทำให้มีความยุ่งยากในการทำความสะอาดสายพานลำเลียง เพื่อเป็นการแก้ปัญหาดังกล่าวและค้นหานวัตกรรมในการผลิตแคบหมูโดยไม่ต้องผ่านการทอดในน้ำมัน ดังนั้นโครงการวิจัยนี้จึงได้คิดที่จะออกแบบและสร้างเครื่องอบพองแคบหมูต้นแบบสำหรับการผลิตแคบหมูเพื่อจำหน่ายทั่วไป และเหมาะสำหรับอุตสาหกรรมขนาดกลางและขนาดย่อมและเป็นการส่งเสริมผู้ประกอบการอุตสาหกรรมขนาดกลางและขนาดย่อม (Small Medium Enterprise, SMEs) ทำให้มีความเข้มแข็งด้วยตนเองอย่างยั่งยืน และผู้ประกอบการแคบหมูในด้านการผลิตเพื่อทำเป็นธุรกิจการค้าต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

- 1) เพื่อออกแบบและสร้างเครื่องอบพองแคบหมูสำหรับอุตสาหกรรมขนาดกลางและขนาดย่อม

1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย

- 1) ถังอบพองแคบหมูทำจากสแตนเลส
- 2) ทดลองอบพองแคบหมูที่อุณหภูมิ 200-240 °C
- 3) อัตราการอบพองแคบหมูไม่น้อยกว่า 3 kg/hr

1.4 ประโยชน์ที่จะได้รับจากโครงการวิจัย

- 1) ได้เครื่องอบพองแคบหมูต้นแบบสำหรับการผลิตแคบหมูที่มีประสิทธิภาพเพื่อจำหน่ายทั่วไป และเหมาะสำหรับอุตสาหกรรมขนาดย่อม

บทที่ 2

บททวนเอกสารงานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 บททวนเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ธนวัฒน์ ขาญธัญกร (2542) ได้ศึกษากระบวนการผลิตแคบหมู มีปัจจัยที่ศึกษา 2 ปัจจัย คือ เวลาที่ใช้ในการอบแห้งหมูและลำดับของการคลุกเครื่องปรุงโดยใช้เวลา 3 4 และ 5 hr ตามลำดับ และมีลำดับการคลุกเครื่องปรุงก่อนการทอดและหลังการทอด การทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสโดยวิธีเรียงลำดับคุณภาพ พบว่า ทั้ง 2 ปัจจัย มีผลต่อคุณภาพของแคบหมู โดยหนึ่งหมูที่อบ 3 hr หลังจากการทอดครั้งที่ 1 ก่อนนำไปทอดครั้งที่ 2 ได้แก่ 0 min 15 min และ 4 hr ตามลำดับ ทำการตรวจวัดค่าความชื้นและดัชนีการพองตัว และคุณภาพทางประสาทสัมผัส โดยวิธีเรียงลำดับคุณภาพ พบว่า แคบหมูที่ได้ค่าความชื้นร้อยละ 10.35 12.53 และ 16.76 ตามลำดับ ดัชนีการพองตัว เท่ากับร้อยละ 15.47 32.42 และ 39.81 ตามลำดับ ส่วนคุณภาพทางประสาทสัมผัส พบว่า เวลา 0 min ให้คุณภาพทางประสาทสัมผัสต่ำกว่าเวลา 15 min และ 4 hr ส่วนเวลา 15 min และ 4 hr ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ จากนั้นทำการศึกษากายารยอมรับโดยรวมของผู้บริโภคที่มีต่อแคบหมูที่ทำการพัฒนาแล้วเปรียบเทียบกับแคบหมูที่มีอยู่ในท้องตลาดโดยใช้วิธีการให้คะแนนความชอบ 7 คะแนน พบว่าคะแนนเฉลี่ยความชอบของแคบหมูมีค่าเท่ากับ 4.73 และ 5.58 ตามลำดับ

ณัฐพล ลัฐถาวณิช (2544) ได้พัฒนาผลิตภัณฑ์แคบหมูเทียมปรุงรส โดยมีส่วนประกอบเป็นแป้งมันสำปะหลัง และเจลาติน เป็นส่วนประกอบหลัก เพื่อทดแทนการใช้หนังหมูที่นำมาทำผลิตภัณฑ์ โดยทั่วไปการทดสอบทางด้านกายภาพในส่วนของการพองตัวของแคบหมูที่พัฒนาขึ้น ยังไม่ใกล้เคียงกับแคบหมูโดยทั่วไป ซึ่งมีความพองตัวน้อยทำให้ยังไม่เป็นที่พึงพอใจของผู้บริโภค ส่วนค่าความชื้น และค่า Aw อยู่ที่ ร้อยละ 3.53 และ 0.141 ซึ่งเหมาะสมกับผลิตภัณฑ์ที่เป็นของแห้ง การปรับปรุงพัฒนาสูตรการผลิต ในส่วนของรสชาติการผลิต (สีผลิตภัณฑ์, กลิ่นรส, ความกรอบ, ความแข็ง, ความเค็ม, กลิ่นรสที่บ่งบอกความเผ็ด) เป็นที่พึงพอใจของผู้บริโภคดี ในส่วนของกระบวนการผลิตการทอดแคบหมูเทียมใช้ที่อุณหภูมิที่ 170 °C เป็นเวลา 50 sec เหมาะสมที่สุด ปริมาณโปรตีนมีอยู่ร้อยละ 21.20 ซึ่งสูญหายไปจากกระบวนการทอดการวัดเชื้อจุลินทรีย์ประเภทยีสต์ รา เท่ากับ 2.4×10^2 cfu/g

กิตติศักดิ์ จันทนสกุลวงศ์และคณะ (2546) ได้ศึกษาอายุการเก็บของแคบหมูในฟิล์ม และวิธีบรรจุที่แตกต่างกัน โดยแคบหมูเป็นผลิตภัณฑ์พื้นบ้านของคนภาคเหนือ ที่เกิดจากการนำหนังหมูที่มีมันมาทอด แคบหมูจะมีอายุการเก็บรักษาได้ประมาณ 1 อาทิตย์เมื่อบรรจุโดยใช้ถุง Polyethylene ความเสื่อมเสียที่เกิดขึ้นเกิดจากสาเหตุ 2 ประการ 1) เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation) ของไขมันที่อยู่ในแคบหมู ทำให้เกิดกลิ่นเหม็นหืน 2) เกิดจากความชื้น ซึ่งทำให้แคบหมูไม่กรอบ การทดลองเป็นการศึกษาอายุการเก็บของแคบหมูโดยนำแคบหมูแบบมีมันมาบรรจุในบรรจุภัณฑ์ 2 ชนิด บรรจุภัณฑ์ชนิดแรกเป็นถุงที่ทำจากฟิล์ม Oriented Polypropylene laminate กับ Cast Polypropylene (OPP/CPP) หนา 0.082 mm ซึ่งมีค่า Water Vapor Transmission Rate (WVTR) ที่อุณหภูมิ 35 °C ความชื้นสัมพัทธ์

90% เท่ากับ $1.17 \text{ g/m}^2/\text{day}$ และมีค่า Oxygen Transmission Rate (OTR) เท่ากับ $15.6 \text{ cm}^3/\text{m}^2/\text{day}$ ณ สภาวะเดียวกันกับฟิล์มข้างต้น นำแคบหมุบรรจุในถุงละๆ 200 g โดยบรรจุภัณฑ์แต่ละชนิดใช้วิธีการบรรจุที่แตกต่างกัน 3 สภาวะ คือ ใช้ O_2 absorber, N_2 flush และแบบธรรมดา จากนั้นปิดผนึกถุงด้วยลวดร้อน และนำไปเก็บรักษาไว้อุณหภูมิห้อง มีการตรวจผลใน 2 ทาง คือทางเคมีและทางประสาทสัมผัส โดยทางเคมีจะตรวจ 2 ลักษณะ คือ ปฏิกริยาออกซิเดชัน ซึ่งจะวัดผลออกมาโดยการหาค่า Thiobarbituric acid (TBA) number โดยใช้ Thiobarbituric acid เป็น reagent และนำวัดค่าการดูดกลืนแสง ที่ความยาวคลื่น 538 nm และนำค่าที่ได้มาคำนวณค่า Thiobarbituric acid number โดยใช้ Thiobarbituric acid และการหาความชื้นที่มีอยู่ในแคบหมุโดยใช้ moisture can และคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ความชื้นที่มีอยู่ในผลิตภัณฑ์ส่วนการตรวจสอบทางด้านประสาทสัมผัสโดยการสำรวจการยอมรับของผู้บริโภค การทดสอบด้านประสาทสัมผัสทำการทดสอบโดยผู้บริโภค 50 คน มาชิมตัวอย่างทุกๆ 2 สัปดาห์ เป็นเวลา 3 เดือน ซึ่งพิจารณา 2 ด้าน คือด้านความกรอบและความชื้น มีการแปรผลออกมาเป็นระดับคะแนนเฉลี่ย แบบทดสอบที่ใช้มีระดับคะแนนอยู่ที่ 1-5 โดยระดับคะแนนที่สูงกว่าแสดงว่าผู้บริโภคให้การยอมรับที่ดีกว่าในคุณลักษณะนั้น ถ้าระดับคะแนนต่ำกว่า 2 ถือว่าผู้บริโภคไม่ยอมรับคุณลักษณะนั้นจากการศึกษา พบว่ามีเพียงแคบหมุที่บรรจุในถุง Cast Polypropylene laminate กับ Oriented Polypropylene ที่ปิดผนึกแบบธรรมดาและแบบที่ใส่ตัว O_2 absorber เท่านั้นที่มีอายุการเก็บไม่ถึง 3 เดือน แต่วิธีการบรรจุแบบอื่นๆ สามารถเก็บแคบหมุไว้ได้นานเกินกว่า 3 เดือน

อรรถัย บุญทะวงศ์ (2547) ได้ทำวิจัยเรื่องการผลิตแคบหมุด้วยวิธีการอบโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาเครื่องมือและสภาวะที่เหมาะสมต่อการผลิตผลิตภัณฑ์แคบหมุซึ่งได้ใช้เครื่องมือ 3 ชนิด คือ ตู้อบลมร้อนแบบถาด เตาอบแบบไฟฟ้า และเตาอบแบบแก๊ส และทำการศึกษาอุณหภูมิในการให้ความร้อนพบว่าตู้อบลมร้อนแบบถาดทำให้แคบหมุพองตัวได้ดีที่สุดที่อุณหภูมิ 200°C ซึ่งได้จดอนุสิทธิบัตรโดยสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)

อรรถัย บุญทะวงศ์ (2547) ได้ศึกษาและพัฒนาแนวทางการผลิตแคบหมุถึงสำเร็จรูป เพื่อให้ได้กระบวนการผลิตและสภาวะการเก็บที่เหมาะสม และสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในระดับอุตสาหกรรมจากการศึกษาพบปัญหาในขณะทอด คือ หนังหมูติดกันเป็นก้อน เนื่องจากหนังหมูมีความชื้นสูง ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้ศึกษาการลดความชื้นในหนังหมูก่อนทอดโดยใช้ตู้อบลมร้อนแบบถาด โดยศึกษาอุณหภูมิในการอบ 3 ระดับ คือ 60°C 70°C และ 80°C ตามลำดับ พบว่าคุณภาพของแคบหมุที่ได้ไม่แตกต่างกัน ($P>0.05$) ดังนั้นอุณหภูมิการอบที่เหมาะสม คือ 80°C ซึ่งเป็นการอบที่ใช้เวลาน้อยที่สุด เมื่อนำแคบหมุที่ผลิตจากการวิจัยไปเปรียบเทียบกับแคบหมุที่มีจำหน่ายในตลาดจำนวน 3 ตัวอย่าง พบว่าลักษณะเนื้อสัมผัสด้านความกรอบของแคบหมุไม่แตกต่างกัน แต่แตกต่างกันด้านสี เนื่องจากปริมาณผสมสีอ้วดำหรือเครื่องปรุงรสไม่เท่ากัน และได้ศึกษาภาชนะบรรจุ และสภาวะการเก็บที่เหมาะสมต่อผลิตภัณฑ์แคบหมุถึงสำเร็จรูปใน 3 ปัจจัย คือ ภาชนะบรรจุ ลักษณะการบรรจุ และอุณหภูมิในการเก็บรักษา พบว่าการบรรจุแคบหมุถึงสำเร็จรูปแบบสุญญากาศในถุง Retort Pouch และการเก็บรักษา ณ อุณหภูมิ -18°C จะรักษาคุณภาพของแคบหมุถึงสำเร็จรูปได้ดีที่สุด สำหรับด้านการยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อแคบหมุถึงสำเร็จรูป พบว่า ผู้บริโภคให้การยอมรับในผลิตภัณฑ์แคบหมุถึงสำเร็จรูปร้อยละ 95.00 และมีความ

ต้องการซื้อร้อยละ 66.67 เหตุผลของผู้บริโภคในการซื้อแคบหมูกึ่งสำเร็จรูป คือ สะดวกในการรับประทานและเก็บไว้ได้นานร้อยละ 31.67

อรรถัย บุญทะวงศ์ (2548) ได้พัฒนาสูตรและกระบวนการผลิตแคบหมูด้วยวิธีการอบ เพื่อให้แคบหมูมีคุณภาพด้านกลิ่นและรสชาติเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคมากขึ้น และสามารถอบให้พองตัวได้ด้วยเตาอบที่มีจำหน่าย และใช้ในครัวเรือนได้หลากหลายมากขึ้น จากการศึกษาได้กระบวนการผลิตที่เหมาะสม คือ การนำหนังหมูล้างทำความสะอาด จากนั้นต้มในสารละลายเกลือผสมน้ำส้มสายชู จากนั้นหมักหนังหมูด้วยเครื่องปรุงรส และเติมสารกันหืน BHT (Butylated Hydroxy Toluene) ความเข้มข้นร้อยละ 0.01 ของน้ำหนักหนังหมู นำหนังหมูไปอบเพื่อลดความชื้นที่อุณหภูมิ 90 °C นาน 4 hr และนำหนังหมูต้มในน้ำมันที่อุณหภูมิ 100 °C นาน 2.5 hr ได้เป็นแคบหมูกึ่งสำเร็จรูปสำหรับอบให้พองตัวได้ด้วยเตาอบ โดยแคบหมูกึ่งสำเร็จรูปบรรจุถุงพลาสติกในลอนสามารถเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องได้นานมากกว่า 4 เดือนผลการทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคทั่วไปที่มีต่อแคบหมูหลังการอบให้พองตัวด้วยเตาอบ จำนวน 500 คน พบว่าผู้บริโภคมียอมรับผลิตภัณฑ์ร้อยละ 95.00 และมีความต้องการซื้อร้อยละ 89.47 และหากมีการจำหน่ายแคบหมูกึ่งสำเร็จรูปสำหรับเตาอบผู้บริโภคมียอมรับความต้องการซื้อร้อยละ 82.74 โดยมีเหตุผลในการซื้อ คือ ปลอดภัยจากน้ำมันทอดซ้ำ ผลิตภัณฑ์ใหม่ที่น่าสนใจ มีปริมาณไขมันน้อยกว่าแคบหมูที่ผ่านการทอดในน้ำมัน สำหรับเป็นของฝาก สะดวกในการรับประทาน และเป็นอาหารเพื่อสุขภาพ

วัชรินทร์ มีรอด (2553) ได้ศึกษาประเมินงานเกี่ยวกับการถ่ายทอดความรู้ด้าน GHP ให้แก่กลุ่มชุมชนที่ผลิตผลิตภัณฑ์แคบหมูและการต่อยอดความรู้โดยคัดเลือกผู้ผลิตแคบหมูในจังหวัดเชียงราย ซึ่งแคบหมูเป็นผลิตภัณฑ์อาหารพื้นบ้านที่สำคัญอย่างหนึ่งที่มีการผลิตและจำหน่ายอย่างแพร่หลาย การผลิตแคบหมูในจังหวัดเชียงรายมีมูลค่าทางเศรษฐกิจไม่ต่ำกว่า 1,500 ล้านบาท สร้างงานไม่ต่ำกว่า 2,000 คน แต่ยังมีปัญหาด้านความปลอดภัยในกระบวนการผลิตซึ่งอาจก่อให้เกิดความเสี่ยงซึ่งอาจก่อให้เกิดความเสี่ยงและอันตรายต่อสุขภาพของผู้บริโภค ศูนย์พันธุวิศวกรรมและเทคโนโลยีชีวภาพแห่งชาติ (ศช.) จึงได้จัดทำโครงการถ่ายทอดความรู้ด้านสุขลักษณะที่ดีในการผลิตอาหารให้มีความปลอดภัยโดยใช้หลัก GHP (Good Hygiene Practice) ตั้งแต่ปี 2544 งานวิจัยนี้เป็นการติดตามประเมินผลและการต่อยอดในด้านการพัฒนาองค์ความรู้ในด้านต่างๆ ซึ่งพบว่ากิจกรรมการถ่ายทอดความรู้ด้าน GHP ของ ศช. มีผลอย่างมากต่อการกระตุ้นให้ผู้ผลิตปรับเปลี่ยนพฤติกรรมในการผลิตโดยคำนึงถึงความปลอดภัยต่อผู้ผลิต แรงงานและผู้บริโภคเพิ่มขึ้น ช่วยยกระดับคุณภาพของสินค้าทำให้ได้รับเครื่องหมาย ออย. และมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน (มผช.) อายุการเก็บรักษาสินค้ายาวนานขึ้น ยอดขายขยายตัวเพิ่มขึ้นอย่างน้อยร้อยละ 10 และช่วยเพิ่มความรู้ด้านสุขาภิบาล การบำบัดน้ำเสีย ลดการใช้น้ำมันทอดซ้ำ ส่วนในการต่อยอดองค์ความรู้ได้ผล 2 ประการ คือ 1) รูปแบบการสร้างวิทยากรท้องถิ่นในจังหวัดเชียงราย 2) การขยายผลของความรู้โดยจัดทำคู่มือการผลิตแคบหมูและถ่ายทอดเทคโนโลยีการผลิตแคบหมูที่ถูกสุขลักษณะผ่านแหล่งเรียนรู้

สมาน ดาวเวียงกัน (2555) ได้ถ่ายทอดเทคโนโลยีการผลิตแคบหมูให้กับเชียงใหม่ป้าพัช ซึ่งปัจจุบันได้จดทะเบียนเป็นนิติบุคคลในนาม บริษัทเชวาร์ธารวรรณ์เฮลท์ตี้ฟู้ดส์ จำกัด ได้ขอความช่วยเหลือทางเทคโนโลยีในการสร้างเครื่องป้อนแบบต่อเนื่อง (สายพานลำเลียง) โดยใช้อินฟราเรด เพื่อ

ผลิตในเชิงอุตสาหกรรม จากโครงการ iTAP สวทช.ดังแสดงในรูปที่ 2.1 ซึ่งได้ใช้แหล่งพลังงานจากอินฟราเรด แต่พบปัญหว่ากำลังการผลิตไม่เพียงพอ (3 kg/hr) และอุณหภูมิไม่สม่ำเสมอ ทำให้แคบหมูที่อยู่ทางด้านข้างพองตัวไม่เต็มที่ และเกิดคราบน้ำมันสะสมทำให้มีความยุ่งยากในการทำความสะดวกสบายของสายพานลำเลียงที่มีลักษณะเป็นตระแกรง การต้องเรียงหนังหมูลงบนสายพาน ซึ่งเป็นการทำงานที่ต้องใช้แรงงานและเวลามาก นอกจากนี้ยังพบว่าเครื่องอบที่พัฒนาขึ้นมานั้นสิ้นเปลืองพลังงานสูงเนื่องจากความร้อนสูญเสียทางสายพานที่เป็นโลหะ และทำให้ผู้ปฏิบัติงานเรียงหนังหมูบนสายพานต้องทำงานบนสายพานที่ร้อน ทำให้เกิดความล้าและอันตรายจากการสัมผัสกับโลหะร้อน



รูปที่ 2.1 เครื่องอบพองแคบหมูโดยใช้อินฟราเรด

นิพนธ์วิวัฒน์ ธนสาร (2556) ได้ออกแบบและพัฒนาเครื่องอบเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตแคบหมู ในกระบวนการผลิตแคบหมูของขั้นตอนการตากหนังหมูด้วยแสงแดด เนื่องจากมีผลจากปัจจัยภายนอกมาเกี่ยวข้อง เช่น สภาพอากาศที่ไม่เหมาะสม ทำให้ใช้ระยะเวลานาน ส่งผลให้ประสิทธิภาพในการผลิตลดลง จึงออกแบบและพัฒนาเครื่องอบพองแคบหมูด้วยลมร้อนให้สามารถบรรจุปริมาณหนังหมูก่อนอบสูงสุด 30 kg เครื่องอบทำงานโดยใช้พัดลมดูดอากาศจากภายนอกเป่าผ่านแผ่นโลหะร้อนที่ให้พลังงานด้วยแก๊สปิโตรเลียมเหลวหลังจากนั้นอากาศที่มีอุณหภูมิสูงจะไหลเข้าห้องอบผ่านแผ่นกระจายลมที่ถูกออกแบบเป็นพิเศษไปยังแต่ละถาดความชื้นที่เกิดขึ้น จะถ่ายเทออกนอกเตาไปพร้อมกับอากาศร้อนผ่านช่องเปิดบริเวณด้านบนในการออกแบบมีการจำลองการไหลของอากาศและความร้อนภายในเครื่องอบด้วยวิธีพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ ทำให้มีจุดเด่น คือ อากาศภายในห้องอบไหลเวียนอย่างสม่ำเสมอ และมีช่องเปิดขนาดใหญ่ ทำให้ความชื้นสามารถระบายออกได้สะดวกเครื่องอบนี้มีอัตราการไหลเชิงปริมาตรของอากาศสูงสุด $8 \text{ m}^3/\text{min}$ ผลการทดลองพบว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมในการอบหนังหมูอยู่ในช่วง $40\text{--}50^\circ\text{C}$ หากบรรจุหนังหมุก่อนอบไม่เกิน 18 kg ต่อการอบหนึ่งครั้ง คุณภาพหนังหมูหลังการอบจะสูงถึง 100% หากบรรจุ 19-30 kg ของเสียหลังอบไม่เกิน 15% โดยเครื่องอบนี้สามารถลดระยะเวลาจากเดิมที่ต้องตากแดด 8-12 hr เหลือเพียง 4.5 hr

จากการศึกษาข้างต้น การผลิตแคบหมูมีกระบวนการผลิตที่แตกต่างกันทั้งในอดีตและปัจจุบัน ซึ่งได้ศึกษาและพัฒนากระบวนการผลิตในขั้นตอนต่างๆ ได้แก่ อายุการเก็บแคบหมู การพัฒนาแคบหมู กึ่งสำเร็จรูป การอบแทนการตากหนังหมูด้วยแสงแดด การผลิตแคบหมูด้วยวิธีการอบพองแทนการทอดให้พองตัวในน้ำมันซึ่งงานวิจัยส่วนใหญ่มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาให้แคบหมูมีคุณภาพด้านกลิ่นสี ความกรอบ และรสชาติเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคมากขึ้น อีกทั้งการพัฒนาการผลิตแคบหมูโดยไม่ใช้น้ำมัน

เป็นอาหารเพื่อสุขภาพที่น่าสนใจในปัจจุบัน ซึ่งสามารถช่วยลดปริมาณไขมัน การหืนของแคบหมู ปลอดภัยจากการใช้น้ำมันทอดซ้ำ จากความสำคัญข้างต้น ทางคณะผู้วิจัยจึงมีแนวคิดสร้างนวัตกรรม เครื่องอบพองแคบหมูที่มีประสิทธิภาพ เพื่อส่งเสริมผู้ประกอบการในการผลิตแคบหมูโดยไม่ผ่านการทอดในน้ำมันสู่เชิงพาณิชย์

ดังนั้นจึงมีความจำเป็นจะต้องทำการศึกษาวิจัยการผลิตแคบหมูโดยไม่ใช้น้ำมันที่เป็นนวัตกรรมใหม่ของการผลิตแคบหมูอีกแนวทางหนึ่ง และเพื่อผลิตแคบหมูให้มีคุณภาพใกล้เคียงกับแคบหมูที่ใช้ น้ำมันทอด ทางคณะผู้วิจัยจึงได้ทำการออกแบบและสร้างเครื่องอบพองแคบหมูสำหรับอุตสาหกรรม ขนาดกลางและขนาดย่อม โดยศึกษาจากพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้อง และตรวจสอบวิเคราะห์คุณภาพต่างๆ เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมต่อการผลิตผลิตภัณฑ์แคบหมูให้เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค

2.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.2.1 แคบหมู

แคบหมูเป็นอาหารของคนทางภาคเหนือ ปัจจุบันนิยมรับประทานกันทุกภาค แคบหมู คือ การนำหนังหมูมาผ่านกรรมวิธีต่างๆ มีการปรุงรสด้วย เกลือ ซีอิ๊ว และผงชูรส หนังหมูที่ผ่านกรรมวิธีต่างๆ แล้วจะมีลักษณะพอง กรอบ สีน้ำตาลอ่อนหรือน้ำตาลเข้ม รสชาติเค็มเล็กน้อย เมื่อเสร็จสิ้นกระบวนการผลิตแล้วจึงเรียกหนังหมูว่า แคบหมู การผลิตแคบหมูทางภาคเหนือมักเป็นแบบพื้นบ้าน มีวิธีการผลิตค่อนข้างแตกต่างกัน ทำให้คุณภาพของแคบหมูแตกต่างกัน โดยเฉพาะความกรอบ การพองตัว และสี เมื่อเก็บไว้นานจะสูญเสียความกรอบ เนื่องจากดูดความชื้นจากอากาศเข้าไป แคบหมูสามารถเก็บไว้ในถุง Polyethylene ได้นานประมาณ 1 สัปดาห์เท่านั้น (ธนวัฒน์, 2542)

ประเภทของแคบหมู

- 1) แคบหมูไร้มัน ทำจากหนังหมูล้วนๆ ส่วนมากนิยมนำมาประกอบอาหาร เช่น ทำกระเพาะปลา ต้มยำ และยำแคบหมู เป็นต้น
- 2) แคบหมูติดมันบ้างไม่มากนัก ลักษณะจะเป็นก้อนกลมๆ นิยมรับประทานเป็นเครื่องเคียงอาหารอื่น
- 3) แคบหมูติดมันและมีเนื้อปน ทำจากหนังหมูด้านข้างซี่โครง (ชุดวิชาการศึกษาอาชีพ, 2548)

วิธีการผลิตของแคบหมูทั้ง 3 ชนิด จะแตกต่างกัน แคบหมูติดมันมีกรรมวิธีการผลิตที่ค่อนข้างยุ่งยากกว่าแคบหมูไร้มัน เวลาที่ใช้ในการผลิตจะนาน มีปัญหาในการติดกันของหนังหมูมาก สีของแคบหมูที่ได้ควบคุมได้ยาก ความสม่ำเสมอของสีมีน้อย ทำให้คุณภาพของแคบหมูแตกต่างกัน โดยเฉพาะความกรอบ การพองตัว และสี เมื่อเก็บไว้นานจะสูญเสียความกรอบ เนื่องจากดูดความชื้นจากอากาศเข้าไป

ขั้นตอนการผลิตแคบหมู

1) การเลือกหนังหมู

หนังหมูเป็นวัตถุดิบหลักและเป็นองค์ประกอบที่สำคัญในการทำแคบหมู แคบหมูจะอร่อย มีลักษณะดีหรือไม่ขึ้นอยู่กับหนังหมู ฉะนั้นจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องเลือกหนังหมูที่เหมาะสมในการทำแคบหมูมากที่สุด การเลือกหนังหมูควรเป็นหนังหมูที่ได้จากข้างลำตัว และหนังสะโพก เป็นหนังหมูใหม่ ไม่มีกลิ่นเหม็น สะอาด มีสีขาวอมชมพูจางๆ ไม่มีสีซีดคล้ำ ไม่มีขนติด และต้องไม่เป็นหนังที่ได้จากหมูที่มีอายุน้อยเกินไป ควรจะมีอายุระหว่าง 3-6 เดือน (ยิ่งศักดิ์, มปป.)

2) การหั่นหนังหมู

การหั่นหนังหมูมีผลต่อขนาดของแคบหมูให้มีลักษณะพองมากหรือน้อย และเป็นเส้นตรงหรือขดงอเป็นก้อนกลม จะต้องคำนึงถึงลักษณะของหนังหมู และขนาดที่ตัดไปพร้อมกัน จึงจะได้แคบหมูที่มีลักษณะพอง และขดงอเป็นก้อนกลมน่ารับประทาน แบ่งการหั่นได้ 2 ขั้นตอน ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 หั่นหนังหมูตามความยาวของลำตัวหมู โดยกำหนดชิ้นส่วนของหนังหมูที่ต้องการหั่นให้ได้ขนาด 1-1.5x3 in โดยหั่นหนังหมูตามยาว 3 in

ขั้นตอนที่ 2 จากการหั่นหนังหมูตามความยาวของลำตัวหมู 3 in แล้วจึงนำหนังหมูมาหั่นเป็นชิ้นเล็กๆ จากนั้นนำไปล้างน้ำสะอาด พักไว้ให้สะเด็ดน้ำ (ยิ่งศักดิ์, มปป.)

3) การต้มหนังหมู

การต้มหนังหมูในน้ำเดือดนาน 15 min คอลลาเจนที่เป็นโปรตีนส่วนใหญ่ในหนังหมูชั้นในจะกลายเป็นเจลาติน ซึ่งเป็นโครงสร้างที่สามารถกักความชื้นไว้ภายใน ซึ่งคอลลาเจนมีลักษณะยาวเป็น stiff โปรตีน ซึ่งทั้งหมดเป็น prevalent protein ผิวหนังจะเป็นคอลลาเจนเกือบทั้งหมด ซึ่งมีเอ็นเชื่อมติดกับกล้ามเนื้อและกระดูก การตัดเนื้อที่มีคอลลาเจนสูง จะใช้กระบวนการในการหุงต้มด้วยความร้อนขึ้น เช่น การต้มเนื้อจนเปื่อย คอลลาเจนสามารถละลายได้ในน้ำ และเมื่อถูกต้มอย่างช้าๆ ด้วยความร้อน มันจะกลายเป็นเจลาติน (Science of meat, 1990)

ในสภาวะธรรมชาติคอลลาเจนจะอยู่ในลักษณะเป็นเส้นใยที่มีสามโพลีเปปไทด์พันโดยรอบ โครงสร้างมีลักษณะเป็นเกลียว คอลลาเจนจะเปลี่ยนกลับไปเป็นเจลาตินโดยความร้อนที่มีน้ำเป็นตัวพา จากนั้นความสัมพันธ์ของพันธะ (พันธะนอนโควาเลนต์) ที่ยึดสายของสามโพลีเปปไทด์จะเสียสภาพ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความแข็งแรงของพันธะโควาเลนต์ และก่อให้เกิดสารละลายที่มีโพลีเปปไทด์มีรูปร่างที่ไม่แน่นอน เมื่อสารละลายเจลาตินเย็นลงต่ำกว่าอุณหภูมิแน่นอน โมเลกุลจะเข้ามาสมทบกับอีกโมเลกุลหนึ่งในลำดับเดียวกัน กลับขึ้นมาเป็นโครงสร้างแบบเกลียวดั้งเดิม ในตอนนี้ในจุดที่เข้าเชื่อมต่อกันเป็น junction zone จะก่อเป็นรูปร่างในจุดเชื่อมต่อ junction zone นี้ จะเป็นตัวกำหนดในการกลับไปเป็นรูปแบบเดิม สามโพลีเปปไทด์ในรูปแบบเกลียว ถ้ามีปริมาณเจลาตินอยู่จะเกิดการฟอร์มตัวเป็นเจลเจลประกอบด้วยโครงสร้างแบบสามมิติ เครือข่ายของโมเลกุลเจลาตินที่เชื่อมต่อกันโดย junction zone เจลจะมีลักษณะคล้ายของแข็งแม้ว่ามันจะมีลักษณะเป็น viscoelastic (Ask the experts : Chemistry, 1999)

4) การอุ่นหนังหมูในน้ำมัน

การอุ่นหนังหมูในน้ำมัน 120 °C นาน 1 hr โดยการอุ่นหรือการเคี่ยวหนังหมูทำให้ผิวหนังของหนังหมูเกิดความแข็ง ช่วยให้ทนต่อแรงดันที่เกิดขึ้นขณะพองตัว ทำให้โครงสร้างของแคบหมูไม่ยุบตัวลงมากในระหว่างการทอดให้พองตัว และมีความกรอบหลังการทอด

5) การทอดหนังหมู

การทอดหนังหมูในน้ำมันที่อุณหภูมิ 220 °C จะทำให้อิน้ำที่ถูกกักไว้ในเจลาตินของหนังหมูเกิดการขยายตัวอย่างรวดเร็ว และเกิดแรงดันขึ้นภายในหนังหมู ทำให้หนังหมูพองตัว (สถาบันอาหาร , มปป.)

จากการศึกษาของพันธิพา และคณะ (2532) พบว่าขั้นตอนแรกของการผลิตแคบหมูเริ่มด้วยนำหนังหมูมาต้มในน้ำมันที่อุณหภูมิ 110 °C นาน 30 min แล้วตามด้วยการเพิ่มอุณหภูมิเป็น 130 °C อีก 15 min การใช้อุณหภูมิต่ำในระยะแรกเป็นการลดความชื้นของหนังหมูให้น้อยลงส่วนการใช้อุณหภูมิสูงขึ้นในระยะสุดท้ายเป็นการสร้างเกราะขึ้นรอบๆ หนังหมูป้องกันไม่ให้น้ำระเหยออกไปได้ง่าย ในขณะที่ทอดให้พองตัว ช่วยให้หนังหมูพองตัวดีขึ้น ต่อจากนั้นจึงปล่อยให้เย็นตัวพร้อมกับน้ำมันขั้นตอนนี้เป็นกระบวนการกระจายความชื้น ช่วยให้การพองตัวเป็นไปอย่างสม่ำเสมอ และผลของอุณหภูมิการทอดที่มีผลต่อการพองตัวของแคบหมู พบว่าเมื่อนำหนังหมูที่ลดความชื้นแล้วมาทอด หนังหมูจะพองตัวออก การพองตัวนี้จะเกิดขึ้นมากถ้าใช้อุณหภูมิสูงมากพอ เพื่อให้เกิดไอน้ำขึ้นเกิดการหลอมเหลวของเจลาตินเล็กน้อย สำหรับการทดลองทอดที่อุณหภูมิ 200 220 และ 240 °C พบว่าการพองตัวของแคบหมูจะสูงที่ 220 °C และรองลงมาที่อุณหภูมิ 200 และ 240 °C ตามลำดับ โดยมีดัชนีการพองตัวเท่ากับ 9.1 8.9 และ 8.1 ตามลำดับ เห็นได้ว่าการทอดที่อุณหภูมิ 200–220 °C จะให้ผลดีที่สุด ส่วนการทอดที่อุณหภูมิ 240 °C จะสูงเกินไปทำให้เจลาตินหลอมเหลวพร้อมหรือก่อนการเกิดไอน้ำเล็กน้อย แรงดันของไอน้ำจึงมีน้อยการพองตัวจึงน้อยลง (Matz, 1970)

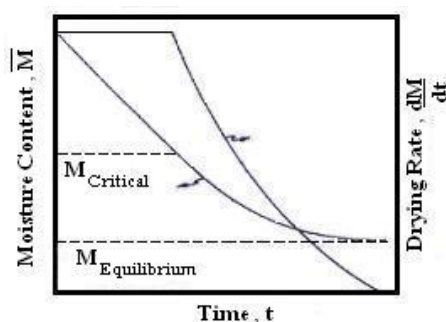
ผลของการลดความชื้นที่มีต่อคุณภาพของแคบหมู พบว่าเมื่อนำหนังหมูไปทอดลดความชื้นการใช้อุณหภูมิ 2 ระดับ มีผลต่อคุณภาพของแคบหมูมาก โดยเฉพาะสี ลักษณะภายนอก และลักษณะเนื้อสัมผัส การใช้อุณหภูมิสูงเกินไปจะทำให้แคบหมูที่ได้มีสีเหลืองเข้มหรือสีน้ำตาล มีพองอากาศขนาดเล็ก และมีเนื้อแข็งกรอบสีน้ำตาลเกิดจากปฏิกิริยาระหว่างโปรตีนกับน้ำตาลที่มีอยู่ในหนังหมูร้อยละ 1 (Idson and Braswall, 1957) ทั้งนี้เนื่องจากหนังหมูที่ผ่านการทอดที่อุณหภูมิสูงจะมีความชื้นเหลือน้อย เมื่อนำไปทอดให้พองตัวจะสูญเสียความชื้นไปอีกส่วนหนึ่งในสภาพเช่นนี้ แคบหมูจะมีความชื้นเหลือน้อยมาก ทำให้ปฏิกิริยาสีน้ำตาลเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว สำหรับลักษณะความกรอบนั้นเกิดจากการพองตัวและความชื้นที่เหลือน้อย ถ้าแคบหมูมีการพองตัวมาก พองอากาศภายในแคบหมูจะมีขนาดใหญ่ และเนื้อสัมผัสจะกรอบมาก ในทางตรงกันข้ามถ้าแคบหมูมีการพองตัวน้อยพองอากาศภายในแคบหมูจะมีขนาดเล็ก และเนื้อสัมผัสค่อนข้างแข็ง สำหรับความชื้นนั้นจะเป็นกำหนดการจับตัวกันของโมเลกุลโปรตีน ถ้าแคบหมูมีความชื้นเหลือน้อยการจับตัวกันของโปรตีนจะแน่นมาก ทำให้แคบหมูมีเนื้อสัมผัสที่แข็ง ด้วยเหตุนี้เมื่อนำหนังหมูที่มีความชื้นต่ำมาทอด พบว่ามีลักษณะกรอบแข็ง มีสีน้ำตาลเข้ม ทั้งนี้เกิดจากหนังหมูมีการพองตัวน้อย และมีความชื้นเหลือน้อย แต่ถ้าหนังหมูที่มีความชื้นสูงมาทอด พบว่าแคบหมูที่ได้มีลักษณะกรอบนุ่มและมีสีเหลืองมากขึ้น เกิดจากหนังหมูมีการพองตัวมากขึ้น ในขณะที่เดียวกันแคบหมูที่ได้ก็มีความชื้นเหลือน้อยมากขึ้น อย่างไรก็ตามถ้าหนังหมูมีความชื้นมากเกินไป เมื่อนำไปทอดจะไม่พองตัวมากนัก และแคบหมูที่ได้จะมีความชื้นเหลือน้อยมาก เนื้อจึงมีลักษณะเหนียว จากผลการทดลองทั้งหมดแสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิเริ่มต้นและอุณหภูมิสุดท้ายของการทอดมีผลต่อความชื้นและความชื้นที่เหลือนั้นมีผลต่อคุณภาพของแคบหมู (Matz, 1970)

มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนแคบหมู

มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนนี้ครอบคลุมแคบหมูที่มีลักษณะเป็นเส้น เป็นชิ้นใหญ่ มีชั้นไขมันแข็งติดอยู่หรือไม่ก็ได้ บรรจุในภาชนะลักษณะทั่วไป ต้องมีขนาดชิ้นและการพองตัวสม่ำเสมอ อาจแตกหักได้เล็กน้อย ไม่มีส่วนที่เป็นขนหมุดติดอยู่ ต้องมีสีที่ดีตามธรรมชาติของส่วนประกอบที่ใช้ ไม่มีรอยไหม้ และมีกลิ่นรสที่ดีตามธรรมชาติของส่วนประกอบที่ใช้ ปราศจากกลิ่นอื่นที่ไม่พึงประสงค์ เช่น กลิ่นอับ กลิ่นหืน ส่วนลักษณะเนื้อสัมผัส ต้องกรอบ ไม่เหนียว ไม่แข็งกระด้าง ความชื้นไม่เกินร้อยละ 2.5 โดยน้ำหนัก และจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด ต้องไม่เกิน 1×10^4 โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 g ยีสต์และรา ต้องไม่เกิน 100 โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 g (กระทรวงอุตสาหกรรม, 2553)

2.2.2 ความรู้พื้นฐานของการอบแห้ง

ในการอบแห้งวัสดุโดยทั่วไปจะใช้อากาศร้อนเป็นตัวกลางในการอบแห้งโดยที่การถ่ายเทความร้อนจากอากาศไปยังวัสดุจะเกิดขึ้นพร้อมๆ กัน ความร้อนส่วนใหญ่จะถูกนำไปใช้ในการระเหยน้ำออกจากผิววัสดุ ถ้าผิววัสดุมีปริมาณน้ำอยู่เป็นจำนวนมาก อุณหภูมิและความเข้มข้นของไอน้ำที่ผิวก็จะคงที่ ซึ่งส่งผลอัตราการอบแห้งคงที่ ถ้าอุณหภูมิ ความชื้น และความเร็วของอากาศมีค่าคงที่ เมื่อผิวของวัสดุมีปริมาณน้ำลดลงมาแล้ว อุณหภูมิและความเข้มข้นของไอน้ำที่ผิวของวัสดุย่อมเปลี่ยนแปลงไป โดยที่อุณหภูมิจะสูงขึ้น และความเข้มข้นไอน้ำจะลดลง ซึ่งส่งผลให้อัตราการอบแห้งลดลง รูปที่ 2.2 แสดงการเปลี่ยนแปลงความชื้นและอัตราการอบแห้งเทียบกับเวลา ภายใต้อุณหภูมิ ความชื้น และความเร็วของอากาศคงที่ ความชื้นที่อยู่ระหว่างช่วงอัตราการอบแห้งคงที่และช่วงอัตราการอบแห้งลดลง เรียกว่า ความชื้นวิกฤต



รูปที่ 2.2 การอบแห้งในช่วงอัตราการอบแห้งคงที่และลดลง
ที่มา : Brooker et al. (1981)

วัสดุการเกษตรส่วนใหญ่มีโครงสร้างภายในเป็นรูพรุน ซึ่งสามารถแบ่งการอบแห้งได้เป็นสองช่วง คือ ช่วงแรกในขณะที่มีความชื้นสูงอยู่ การถ่ายเทความร้อนและมวลระหว่างวัสดุและอากาศเหมือนกับการถ่ายเทความร้อนและมวลที่เกิดขึ้นที่กระเปาะเปียกของเทอร์โมมิเตอร์ ซึ่งการอบแห้งเป็นแบบอัตราการอบแห้งคงที่ (Constant Drying Rate) ช่วงที่สอง คือ ช่วงที่ความชื้นของวัสดุมีค่าต่ำกว่าความชื้นวิกฤต การถ่ายเทความร้อนและมวลไม่เกิดขึ้นเฉพาะที่ผิววัสดุเท่านั้น แต่เกิดขึ้นภายในเนื้อของวัสดุด้วยการเคลื่อนที่ของน้ำจากภายในเนื้อวัสดุมายังผิวช้ากว่าการพาความชื้นจากผิววัสดุไปยังอากาศ ทำให้อัตราการอบแห้งลดลง (Falling Drying Rate)

การอบแห้ง

การอบแห้ง คือ กระบวนการลดความชื้น ซึ่งส่วนใหญ่ใช้การถ่ายเทความร้อนไปยังวัสดุที่ชื้น เพื่อไล่ความชื้นออกโดยการระเหย โดยใช้ความร้อนที่ได้รับเป็นความร้อนแฝงของการระเหย ผลผลิตทางการเกษตรส่วนใหญ่จะมีความชื้นค่อนข้างสูงขณะทำการเก็บเกี่ยว ทำให้เก็บรักษาไม่ได้นาน การอบแห้งจะช่วยให้สามารถเก็บรักษาผลผลิตไว้ได้เป็นระยะเวลายาวนานขึ้น

ความชื้นเป็นตัวบอกปริมาณของน้ำที่มีอยู่ในวัสดุเมื่อเทียบกับมวลของวัสดุชื้นหรือแห้ง ความชื้นในวัสดุสามารถแสดงได้เป็น 2 แบบ คือ

1) ความชื้นมาตรฐานเปียก (wet basis), M_w

$$M_w = \frac{W - d}{W} \times 100 \quad (2.1)$$

2) ความชื้นมาตรฐานแห้ง (dry basis), M_d

$$M_d = \frac{W - d}{d} \times 100 \quad (2.2)$$

เมื่อ W คือ มวลของวัสดุ, kg

d คือ มวลของวัสดุแห้ง, kg

M_w คือ ความชื้นมาตรฐานเปียก, %w.b.

M_d คือ ความชื้นมาตรฐานแห้ง, %d.b.

2.2.3 ความร้อน

ความร้อน สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท ได้แก่ ความร้อนสัมผัส (Sensible Heat) และความร้อนแฝง (Latent Heat)

1) ความร้อนสัมผัส คือ ปริมาณความร้อนจำนวนหนึ่งที่ทำให้สารหนึ่งๆ มีอุณหภูมิเปลี่ยนแปลง โดยไม่ทำให้สถานะของสารนั้นเปลี่ยนแปลง ปริมาณความร้อนสัมผัสนี้คือ

$$Q_s = mC_p\Delta T \quad (2.3)$$

เมื่อ Q_s คือ ความร้อนสัมผัส, kJ

m คือ มวล, kg

C_p คือ ค่าความร้อนจำเพาะ, kJ/kg·K

ΔT คือ การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ, K

2) **ความร้อนแฝง** คือปริมาณความร้อนจำนวนหนึ่งที่ให้แก่สารหนึ่งๆ แล้วทำให้สารนั้นเปลี่ยนแปลงสถานะภายใต้อุณหภูมิคงที่ ปริมาณความร้อนแฝงนี้คือ

$$Q_L = m_w h_{fg} \quad (2.4)$$

เมื่อ Q_L คือ ความร้อนแฝง, kJ

m_w คือ มวลของน้ำ, kg

h_{fg} คือ ความร้อนแฝงจำเพาะ, kJ/kg

2.2.4 การถ่ายเทความร้อน

การถ่ายเทความร้อนมี 3 แบบ ได้แก่ การนำความร้อน การพาความร้อน และการแผ่รังสีความร้อน โดยมีรายละเอียดดังนี้

1) **การนำความร้อน** คือ การส่งถ่ายพลังงานความร้อนที่เกิดขึ้นในตัวกลาง อัตราการถ่ายเทความร้อนผ่านตัวกลางจากด้านที่มีอุณหภูมิสูงไปสู่ด้านที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า โดยส่งผ่านความร้อนจากโมเลกุลหนึ่งสู่มอเลกุลหนึ่งอย่างต่อเนื่องกัน การนำความร้อนสามารถเกิดขึ้นได้ในตัวกลางที่เป็นของแข็ง ของเหลว และก๊าซ ดังนั้นอัตราการถ่ายเทความร้อนผ่านตัวกลางแบบการนำความร้อนคำนวณได้จากกฎของฟูเรียร์

$$Q_{\text{cond}} = -kA \frac{dT}{dx} \quad (2.5)$$

เมื่อ Q_{cond} คือ อัตราการถ่ายเทความร้อนโดยการนำ, W

k คือ ค่าสภาพการนำความร้อน, W/m·K

A คือ พื้นที่การถ่ายเทความร้อน, m²

dT/dx คือ การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิของตัวกลางในทิศทาง x , K/m

2) **การพาความร้อน** คือ การถ่ายเทความร้อนระหว่างผิวของแข็งกับของไหล ผลการเคลื่อนไหวของของไหลส่งผลให้เกิดการถ่ายเทโมเมนตัม ซึ่งมีผลต่อสัมประสิทธิ์การพาความร้อนที่ผิวของแข็งนั้น (h , W/m²·K) พลังงานความร้อนถูกโอนถ่ายเป็นผลมาจากการแพร่ (diffusion) ของโมเลกุล และผลจากการเคลื่อนไหวไปทั้งปริมาตรของของไหล

การพาความร้อนแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ

2.1) การพาความร้อนตามธรรมชาติ (natural convection) กล่าวถึงการเคลื่อนไหวของของไหลเป็นผลของแรงลอยตัวซึ่งเกิดจากผลการเปลี่ยนแปลงความหนาแน่น อันเกิดจากมีผลต่างของอุณหภูมิของของไหลใน 2 บริเวณ

2.2) การพาความร้อนโดยบังคับ (forced convection) กล่าวถึงการเคลื่อนไหวของของไหลที่เป็นผลมาจากการกระทำจากภายนอก เช่น เครื่องสูบลม เครื่องเป่าลม ฯลฯ

ดังนั้นจะคำนวณอัตราการถ่ายเทความร้อนโดยการพาความร้อนได้จากสมการ

$$Q_{\text{conv}} = hA\Delta T \quad (2.6)$$

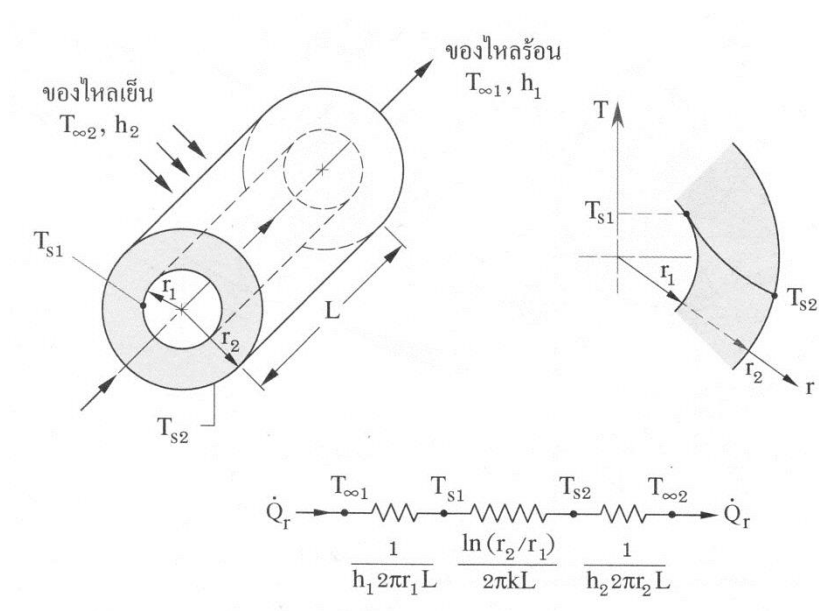
เมื่อ Q คือ อัตราการถ่ายเทความร้อนโดยการพา, W

h คือ ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน, $\text{W/m}^2\cdot\text{K}$

A คือ พื้นที่การถ่ายเทความร้อน, m^2

ΔT คือ ผลต่างของอุณหภูมิระหว่างผิวสองด้าน, K

สำหรับงานวิจัยนี้ได้พิจารณาการถ่ายเทความร้อนของถังทรงกระบอกทั้งการนำความร้อน
รวมกับการพาความร้อนผ่านผนังทรงกระบอกดังนี้



รูปที่ 2.3 การนำความร้อนและการพาความร้อนผ่านผนังทรงกระบอก
ที่มา: มนตรี พิรุณเกษตร (2541)

$$Q = \frac{T_{\infty 1} - T_{\infty 2}}{R_{\text{total}}} \quad (2.7)$$

$$R_{\text{total}} = R_{\text{conv1}} + R_{\text{cond}} + R_{\text{conv2}} \quad (2.8)$$

$$R_{\text{total}} = \frac{1}{h_1 2\pi r_1 L} + \frac{\ln(r_2 / r_1)}{2\pi k L} + \frac{1}{h_2 2\pi r_2 L} \quad (2.9)$$

เมื่อ Q	คือ อัตราการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังทรงกระบอก, W
$T_{\infty 1}$	คือ อุณหภูมิผิวใน, K
$T_{\infty 2}$	คือ อุณหภูมิผิวนอก, K
R_{total}	คือ ค่าความต้านทานความร้อนรวม, W/K
h	คือ สัมประสิทธิ์การพาความร้อน, W/m ² ·K
k	คือ ค่าสภาพการนำความร้อน, W/m·K
r_1	คือ รัศมีภายใน, m
r_2	คือ รัศมีภายนอก, m
L	คือ ความยาว, m

3) การแผ่รังสีความร้อน คือ การถ่ายเทความร้อนจากผิวดังกล่าวหนึ่งไปสู่อีกผิวดังกล่าวหนึ่ง ซึ่งมีอุณหภูมิแตกต่างกัน พลังงานของการแผ่รังสีถูกส่งถ่ายในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า หรือในรูปของโฟตอนโดยไม่ต้องอาศัยวัสดุตัวกลาง การแผ่รังสีความร้อนจึงสามารถเกิดในสุญญากาศได้ ดังนั้นสามารถคำนวณอัตราการถ่ายเทความร้อนโดยการแผ่รังสีได้จากสมการ

$$Q_{rad} = \sigma T^4 \quad (2.10)$$

เมื่อ Q_{rad}	คือ อัตราการถ่ายเทความร้อนโดยการแผ่รังสี, W
σ	คือ ค่าคงที่ของสเตฟาน-โบลต์ซมันน์เท่ากับ 5.67×10^{-8} W/m ² ·K ⁴
T	คือ อุณหภูมิผิวแผ่รังสี, K

2.2.5 เครื่องอบแห้งแบบหมุน

เครื่องอบแห้งแบบหมุน ประกอบด้วยกระบอกที่หมุนรอบแกนกลาง วัสดุจะถูกป้อนเข้ากระบอก และถูกทำให้แห้งโดยการสัมผัสกับร้อนที่ไหลผ่านกระบอก หรือโดยการสัมผัสกับผิวให้ความร้อนในขณะวัสดุเคลื่อนที่ไปตามกระบอก ซึ่งเครื่องดังกล่าวมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

การจำแนกประเภทเครื่องอบแห้งแบบหมุน

เครื่องอบแห้งแบบหมุน สามารถจำแนกออกเป็นประเภทต่างๆ ได้ดังต่อไปนี้

- 1) เครื่องอบแห้งแบบหมุนชนิดรับความร้อนโดยตรง (ลมร้อนสัมผัสกับวัสดุอบแห้งโดยตรง) เครื่องดังกล่าวนี้จะมีแบบไหลขนาน แบบไหลสวนทาง
- 2) เครื่องอบแห้งแบบหมุนชนิดรับความร้อนโดยทางอ้อมความร้อน (ความร้อนถ่ายเทผ่านผนังของกระบอกโดยการนำความร้อน)
- 3) เครื่องอบแห้งแบบหมุนชนิดรับความร้อนโดยตรงและทางอ้อม (แบบผสมของ 1 และ 2)

1) เครื่องอบแห้งแบบหมุนชนิดรับความร้อนโดยตรง เครื่องอบแห้งแบบนี้ ซึ่งวัสดุอบแห้งและลมร้อนสัมผัสกันโดยตรง เป็นที่นิยมใช้กันอย่างกว้างขวางที่สุด ในกรณีของการไหลขนาน วัสดุอบแห้งและลมร้อนจะเคลื่อนที่ไปในทิศทางเดียวกัน ถึงแม้ว่าก๊าซที่ใช้จะมีอุณหภูมิค่อนข้างสูง อุณหภูมิของวัสดุอบแห้งที่สัมผัสกับลมร้อนที่เข้ามาจะยังคงมีค่าเท่ากับอุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศ เพราะว่าการอบแห้งอยู่ในช่วงของการระเหยของผิววัสดุ ส่วนที่ทางออกของเครื่องอบแห้งอุณหภูมิ

ร้อนจะลดน้อยลงแล้ว ดังนั้นอุณหภูมิของผลิตภัณฑ์อบแห้งจะไม่ขึ้นสูงมากนัก ถึงแม้ว่าการอบแห้งจะเกิดขึ้นในช่วงของการเพิ่มอุณหภูมิของวัสดุ สรุปลักษณะพิเศษอย่างหนึ่งของการไหลแบบขนาน คือคุณภาพของวัสดุแทบไม่เคยเสื่อมลง ถึงแม้ผลิตภัณฑ์ที่ใช้จะมีอุณหภูมิค่อนข้างสูง

ในการไหลแบบสวนทาง วัสดุอบแห้งจะเคลื่อนที่ไปในทิศทางตรงข้ามกับทิศทางการเคลื่อนที่ของลมร้อน ดังนั้นวิธีนี้เหมาะสำหรับกรณีที่ต้องการเพิ่มอุณหภูมิของผลิตภัณฑ์ให้สูงมากๆ

2) เครื่องอบแห้งแบบหมุนชนิดรับความร้อนโดยทางอ้อม ในเครื่องอบแห้งประเภทนี้ วัสดุอบแห้งจะถูกทำให้ร้อนโดยการนำความร้อนผ่านผนังโลหะ และโดยการแผ่รังสีความร้อน ลักษณะพิเศษบางประการ ได้แก่

2.1) ประสิทธิภาพเชิงความร้อนมีค่าสูง เพราะว่าอากาศที่ใช้ขับไล่ไอน้ำที่ระเหยออกจากวัสดุมีปริมาณน้อย

2.2) การเก็บสารละลายที่เป็นความชื้นของวัสดุกลับคืนมาทำได้ง่าย เพราะความชื้นของอากาศทั้งมีค่าสูงนอกจากนี้ ปริมาณฝุ่นที่เกิดจากกระแสลมร้อนก็มีค่อนข้างน้อย

สำหรับประเภทที่ให้ความร้อนผ่านผนังนอก ด้านนอกของกระบอกอบแห้งจะถูกสร้างเป็นเตาเผาและกระบอกจะถูกทำให้ร้อนโดยก๊าซที่เกิดจากการสันดาปอยู่ภายนอก เป็นต้น นอกจากการอบแห้งแล้วยังใช้สำหรับทำความร้อน, ย่าง (Roasting), เผาเป็นผง (Calcination), และอื่นๆ อีกด้วย

3) เครื่องอบแห้งแบบหมุนชนิดรับความร้อนโดยตรงและทางอ้อม เครื่องอบแห้งประเภทนี้เป็นแบบผสมของ 2 และ 3 เครื่องประเภทนี้ได้รับการดัดแปลงแก้ไขมาหลายเพื่อจุดประสงค์ต่างๆ กัน รูปแบบในปัจจุบัน ประกอบด้วย กระบอกสองชั้น ลมร้อนจะไหลผ่านกระบอกชั้นในก่อน แล้วไปเปลี่ยนทิศทางการไหลด้านปลายที่ถ่ายผลิตภัณฑ์ออกเพื่อไหลย้อนทางไปในช่องว่างวงแหวนระหว่างกระบอกในและกระบอกนอก จนไปถูกปล่อยออกที่ปลายทางเข้าของวัสดุอบแห้ง ส่วนวัสดุอบแห้งจะเคลื่อนที่ไปในช่องว่างวงแหวนในทิศทางตรงข้ามกับลมร้อน นอกจากจะได้รับความร้อนจากการสัมผัสกับลมร้อนแล้ว วัสดุยังได้รับความร้อนผ่านของกระบอกในโดยการนำความร้อนอีกด้วย ลักษณะพิเศษนี้ทำให้สามารถใช้ก๊าซร้อนจัดได้ เพราะก๊าซร้อนจะถ่ายเทความร้อนบางส่วนผ่านผนังของกระบอกใน ทำให้อุณหภูมิของก๊าซร้อนลดลงพอที่จะไปสัมผัสกับวัสดุอบแห้งโดยตรงได้

ลักษณะเด่น

1) สามารถอบแห้งวัสดุปริมาณมากอย่างต่อเนื่องได้ เครื่องอบแห้งแบบหมุนสำหรับงานอบแห้งอย่างต่อเนื่องในปริมาณมากๆ มีหลายเครื่องที่ใช้ระเหยความชื้นมากกว่า 10 ตัน/ชม.

2) ใช้งานง่ายเพราะมีโครงสร้างง่ายๆ โครงสร้างหลักประกอบด้วยกระบอกที่หมุนรอบแกนกลางโดยทำมุมเอียงที่เหมาะสมกับแนวระดับ ดังนั้นจึงทนทานและแทบไม่เคยเสียเลย

3) สามารถปรับตัวให้เข้ากับสภาพการเปลี่ยนแปลงรูปร่างลักษณะของวัสดุอบแห้งได้ง่าย เมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องอบแห้งประเภทอื่นๆ เช่น เครื่องอบแห้งแบบไหลผ่าน (through flow dryer), เครื่องอบแห้งแบบพาหะลม (pneumatic conveying dryers) และเครื่องอบแห้งแบบ (fluidized bed) เครื่องอบแห้งแบบหมุนสามารถปรับตัวให้เข้ากับการเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นและขนาดอนุภาคของวัสดุอบแห้งที่ป้อนเข้าได้ในช่วงที่กว้างกว่า

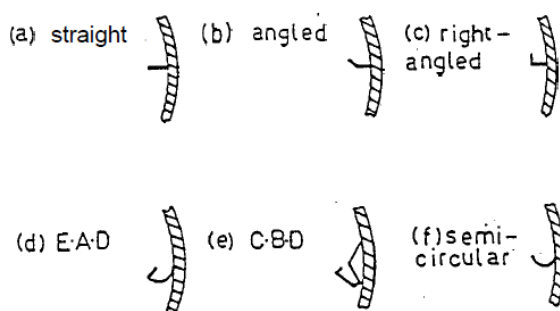
4) สามารถใช้ลมร้อนที่อุณหภูมิสูงได้ โครงสร้างของเครื่องอบแห้งแบบหมุนสามารถทนอุณหภูมิสูงๆ ได้ วัสดุอบแห้งหลายๆ ชนิดสามารถอบแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิหลายร้อยองศาเซลเซียสได้ ถ้าใช้การไหลแบบขนาน ในกรณีเช่นนั้นจะกินกำลังไฟน้อยกว่าเครื่องอบแห้งประเภทอื่น อีกทั้งยังสามารถเพิ่มประสิทธิภาพเชิงความร้อนให้สูงเกิน 70% ได้ด้วยถ้าหมุนเวียนอากาศส่วนใหญ่ที่ใช้แล้วกลับมาใช้งานอีก เครื่องอบแห้งแบบหมุนมีใช้กันอย่างแพร่หลายสำหรับอบแห้งวัสดุจำพวกซีเมนต์อย่างต่อเนื่องในปริมาณมากและที่อุณหภูมิสูงๆ

โครงสร้างหลัก

1) โครงสร้างหลัก (main body) โครงสร้างหลักซึ่งเป็นรูปทรงกระบอกมักจะทำด้วยเหล็กแผ่น เหล็กไร้สนิม (stainless steel) และเหล็กหล่อ ในกรณีที่ต้องใช้งานที่อุณหภูมิสูง บางครั้งจะบุด้านในของผนังด้วยพลาสติกทนความร้อน เครื่องอบแห้งที่ใช้งานจริงๆ มีตั้งแต่ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.5 m ถึง 3 m กว่า และความยาวตั้งแต่ 2 m ถึง 50 m

ความหนาของผนังเครื่องอบแห้งจะกำหนดจากการคำนวณความแข็งแรงของวัสดุซึ่งขึ้นกับน้ำหนักของวัสดุอบแห้งในเครื่อง น้ำหนักของวัสดุที่ใช้บุด้านในของกระบอกและความยาวและเส้นผ่าศูนย์กลางของกระบอกนอกจากนี้ ยังต้องพิจารณาปัจจัยอื่นๆ อีก เช่น ฤทธิ์กัดกร่อนและสึกหรอของวัสดุอบแห้ง อายุการใช้งาน เป็นต้น

2) ตัวตัก (Flight) ส่วนใหญ่เครื่องอบแห้งแบบหมุนที่ให้ความร้อนโดยตรง จะมีตัวตักติดอยู่ที่ผนังด้านในของตัวถังทรงกระบอก เพื่อช่วยในการผสมกันระหว่างวัสดุเปียกกับอากาศร้อน รูปที่ 2.4 แสดงชนิดของตัวตัก

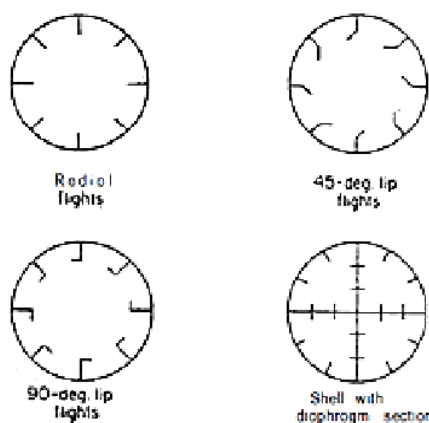


รูปที่ 2.4 แสดงชนิดของตัวตัก

ที่มา : Perry (1984)

ในเครื่องอบแห้งอาจมีการนำตัวตักแต่ละชนิดมาใช้ร่วมกันได้ จากรูป 2.4a โดยทั่วไปจะใช้กับวัสดุเปียกที่ขอบติดตามผนังของตัวถังทรงกระบอก และส่วนใหญ่ที่ปลายของตัวถังทรงกระบอก ลักษณะของตัวตักจะเอียง (Spiral flight) เพื่อช่วยในการนำวัสดุที่ต้องการอบแห้งเข้าไปในตัวถังทรงกระบอก สำหรับวัสดุที่ไม่เหนียวส่วนใหญ่ใช้ Angle กับ Right Flight (2.4b, 2.4c) ตัวตักแบบ 2.4a, 2.4b และ 2.4c ปกติใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมส่วนแบบ 2.4d, 2.4e, และ 2.4f ใช้ทดลองในห้องปฏิบัติการ

ลักษณะการติดตั้งของตัวตักภายในตัวถังทรงกระบอก ขึ้นกับวัตถุประสงค์ของการใช้งาน ตัวตักที่มีลักษณะยุ่งยากซับซ้อน ใช้สำหรับอบแห้งวัสดุที่ติดกันเป็นก้อน เพื่อช่วยในการกระจายตัวของก้อนวัสดุ ซึ่งแสดงด้วยรูปที่ 2.5 และความลึกของตัวตักส่วนใหญ่อยู่ในช่วง D/12 ถึง D/8 (Mujumdar)

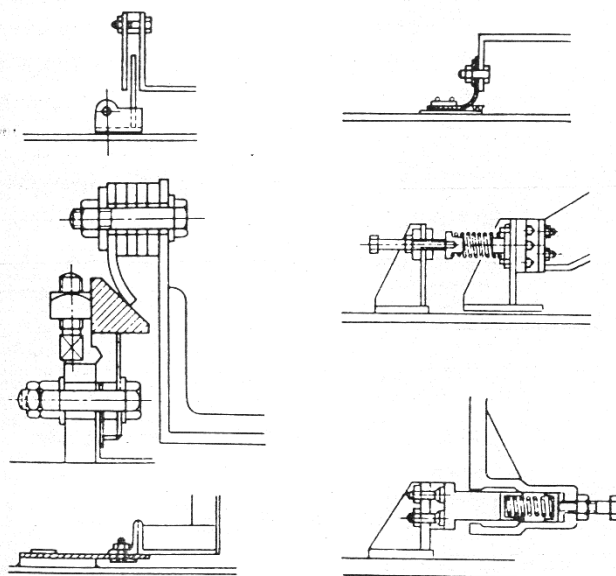


รูปที่ 2.5 ลักษณะการติดตั้งตัวตักในตัวถังทรงกระบอก
ที่มา : Perry (1984)

3) ล้อและลูกกลิ้ง เป็นชิ้นส่วนที่รองรับการหมุนเวียนของเครื่อง วัสดุที่ใช้ทำอาจเป็น เหล็กหล่อ เหล็กรูป เหล็กกล้า เป็นต้น จุดที่รองรับอาจมีจำนวน 2, 3 และ 4 จุดขึ้นอยู่กับความยาวของตัวเครื่องอบแห้ง เส้นผ่านศูนย์กลางของลูกกลิ้งเป็นประมาณ $1/4$ ของเส้นผ่าศูนย์กลางของล้อแต่ต้องเลือกใช้ตัวเลขที่หารไม่ลงตัวเพื่อหลีกเลี่ยงการสัมผัสที่ตำแหน่งเดิม เพื่อป้องกันการสึกหรอของผิวสัมผัส จะต้องให้ความสนใจเกี่ยวกับการหล่อลื่นและการป้องกันฝุ่น ยิ่งกว่านั้น การเลือกชนิดของลูกปืน (bearings) สำหรับลูกกลิ้งจะต้องคำนึงถึงสถานที่ติดตั้ง น้ำหนักที่รับ เป็นต้น เพื่อป้องกันการเคลื่อนที่ของตัวเครื่องในแนวแกนจะต้องทำ thrust structure ไว้ที่บริเวณที่ผลจากความร้อนมีน้อยและใกล้ๆ กับ driving gear โดยทั่วไปจะใช้ thrust rollers อย่างไรก็ดีในกรณีที่ thrust loads มีน้อยอาจเจาะร่องไว้บนล้อหรือลูกกลิ้งเพื่อรองรับ thrust load ถ้าจะขาดความระมัดระวังในการติดตั้งจะเกิดปัญหาตามมาในไม่ช้า เช่น การสึกหรอด้านเดียวของลูกกลิ้ง เป็นต้น

4) Driving gears ในกรณีที่ต้องใช้กำลังไม่มากอาจขับเคลื่อนแกนของลูกกลิ้งเพื่อหมุนตัวเครื่องโดยแรงเสียดทานกับล้อ เมื่อต้องการกำลังเพิ่มขึ้นเล็กน้อยจะขับเคลื่อนโดยใช้โซ่ สำหรับเครื่องอบแห้งขนาดใหญ่จะใช้ driving gear เนื่องจากชุดของมอเตอร์, เฟืองทด, เกียร์เปลี่ยนความเร็ว เป็นต้น ที่กะทัดรัดหาได้ง่าย การเลือกชุดเหล่านี้ควรทำอย่างมีเหตุผลเพื่อให้สามารถหมุนตัวเครื่องอบแห้งตามจำนวนรอบการหมุนต่อนาทีที่กำหนดไว้

5) Air seals เราจำเป็นต้องใช้ seals ณ ตำแหน่งที่ตัวเครื่องที่หมุนพบกับส่วนที่อยู่นิ่งเพื่อป้องกันการรั่วไหลของลมร้อนและการแทรกซึมของอากาศจากข้างนอก ส่วนใหญ่แล้วจะใช้ labyrinth-structure และทำให้เกิดความมิดชิดของอากาศ (airtightness) โดยอาศัยคุณสมบัติยืดหยุ่นของวัสดุ



รูปที่ 2.6 การป้องกันอากาศรั่ว
ที่มา : วิวัฒน์ ตัณฑะพานิชกุล (2529)

2.2.6 ฉนวนความร้อน

ฉนวนเป็นวัสดุที่นำมาใช้หุ้มท่อหรือภาชนะเพื่อป้องกันความร้อนสูญเสีย ซึ่งจะทำให้ระบบทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพและประหยัดพลังงานมากขึ้น ฉนวนความร้อนจะต้องเลือกใช้ให้เป็นไปตามวัตถุประสงค์กับงาน และตามชนิดของฉนวน สำหรับงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้ฉนวนความร้อนแบบใยแก้ว โดยทำมาจากแก้วหรือเศษแก้วมาหลอมและปั่นจนเป็นเส้นใยละเอียด แล้วนำมาขึ้นรูปเป็นฉนวนความร้อนในรูปแบบต่างๆ เช่น ฉนวนแบบคลุมท่อ ฉนวนแบบแผ่น และฉนวนแบบหุ้มท่อ ฉนวนประเภทนี้เป็นฉนวนเส้นใยแบบเซลล์เปิด มีโครงสร้างภายในเป็นเส้นใยและช่องว่างอากาศ จัดเป็นวัสดุประเภทไม่ลามไฟ มีทั้งชนิดที่มีวัสดุปิดผิว และไม่มีวัสดุปิดผิวขึ้นอยู่กับการใช้งาน วัสดุปิดผิวส่วนใหญ่จะเป็นแผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ เพื่อใช้ป้องกันไอน้ำและความชื้น (Vapor Barrier) ฉนวนชนิดนี้โดยทั่วไปจะกันไฟไม่ได้ มีอุณหภูมิใช้งานไม่เกิน 700 °C แต่ไม่ทนต่อความเปียกชื้น และการควบแน่นเป็นหยดน้ำ โดยจะสูญเสียคุณสมบัติในการกันความร้อนไปเมื่อเปียกชื้น

2.2.7 การวิเคราะห์เศรษฐศาสตร์

การผลิตแฉะหมด้วยกรรมวิธีการทอดแบบเดิม จะมีค่าใช้จ่ายในส่วนของการทอด คือ ค่าน้ำมันสำหรับทอด ค่าเชื้อเพลิง และค่าแรงคนงานทอดแฉะหม การผลิตแฉะหมโดยการทำให้ฟองตัวด้วยเครื่องอบฟองนั้น ทำให้ผู้ประกอบการลดค่าใช้จ่ายในส่วนของการทอด คือ ค่าน้ำมันสำหรับทอด ค่าเชื้อเพลิง และค่าแรงคนงานทอดแฉะหม อีกทั้งยังสามารถเพิ่มรายได้ให้มากขึ้นเนื่องจากสามารถขยายตลาดในการจำหน่ายได้มากขึ้น เนื่องจากเครื่องอบฟองสามารถนำเสนอสู่ตลาดโดยไม่ต้องผ่านการทอดในน้ำมัน ผลิตได้รวดเร็ว ส่วนการอบแฉะหมทำให้ฟองตัวด้วยเครื่องอบฟองนั้นดีกว่าวิธีการทอดแบบเดิมมีผลดีต่อผู้บริโภค คือ ได้รับประทานแฉะหมที่ปลอดภัยมากขึ้น ซึ่งแฉะหมที่มีการใช้น้ำมันทอดนั้น จะพบปัญหาด้านคุณภาพ คือ มีสารพิษตกค้าง และสุขลักษณะไม่ค่อยดีนัก ปริมาณไขมันจากน้ำมัน

ที่ใช้ทอดสูง เก็บผลิตภัณฑ์ไว้ได้ไม่นาน หรือพบปัญหาผลิตภัณฑ์แคบหมูมีลักษณะทางประสาทสัมผัสไม่ค่อยดีนัก เช่น มีกลิ่นหืน เป็นต้น แต่หากเป็นแคบหมูที่ผลิตด้วยวิธีการอบด้วยเครื่องอบเพื่อให้เกิดการพองตัวจะสามารถลดปัญหาดังกล่าวข้างต้นได้ อีกทั้งยังได้รับประทานแคบหมูที่ทำเสร็จใหม่ๆ

การออกแบบทางวิศวกรรมจะสามารถเป็นไปได้ในทางปฏิบัติต่อเมื่อมีการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์แล้วพบว่า สามารถให้ผลตอบแทนที่คุ้มค่าต่อการลงทุนมากที่สุดหรือมีค่าใช้จ่ายที่น้อยที่สุด โดยมีระยะเวลาคืนทุนเร็วที่สุด การประเมินค่าทางเศรษฐศาสตร์วิธีที่ง่ายและนิยมใช้มาก คือ การวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์ ซึ่งคิดได้ 2 ลักษณะ ได้แก่

1) ระยะเวลาการคืนทุน (Simple Payback Period)

วิธีนี้ใช้คำนวณหาจำนวนปีที่คุ้มทุนของโครงการ ซึ่งจะไม่มีการคิดภาษีและนำดอกเบี้ยมาร่วมวิเคราะห์ ทำให้ง่ายแก่การคำนวณ โดยการแปลงรายรับทั้งหมดที่เกิดขึ้นของการดำเนินงานแล้วนำมาเปรียบเทียบกับรายจ่ายจะทำให้ทราบว่า จะได้รับเงินคืนทุนช้าหรือเร็วเท่าใด ระยะเวลาคืนทุนคำนวณได้จากสมการ

$$\text{ระยะเวลาคืนทุน} = \frac{\text{เงินลงทุน}}{\text{กระแสเงินสดสุทธิต่อปี}} \quad (2.11)$$

ซึ่งกระแสเงินสดสุทธิต่อปี = กระแสเงินสดที่ได้รับต่อปี - กระแสเงินสดที่จ่ายต่อปี

2) อัตราผลตอบแทนการลงทุน (Internal Rate of Return หรือ IRR)

เป็นการหาอัตราผลตอบแทนการลงทุนที่ทำให้มูลค่าปัจจุบันของผลตอบแทนจากการลงทุนเท่ากับมูลค่าปัจจุบันของค่าใช้จ่ายจากการลงทุน ซึ่งเกณฑ์ในการตัดสินใจ คือ ค่า IRR มีมากกว่าอัตราขั้นต่ำของผลตอบแทนที่ยอมรับได้ก็คุ้มค่าที่จะลงทุน โดยอัตราขั้นต่ำของผลตอบแทนของธนาคารกรุงไทย ณ วันที่ 26 พฤษภาคม 2558 มีค่า 7.875% สามารถคำนวณได้ดังสมการ

$$\sum_{n=1}^N \frac{NCF_n}{(1+i^*)^n} - TIC = 0 \quad (2.12)$$

เมื่อ TIC คือ เงินลงทุนทั้งหมด, บาท

NCF_n คือ กระแสเงินสดสุทธิของปีที่ n , บาท/ปี

i^* คือ อัตราผลตอบแทนการลงทุน, IRR

N คือ economic life, ปี

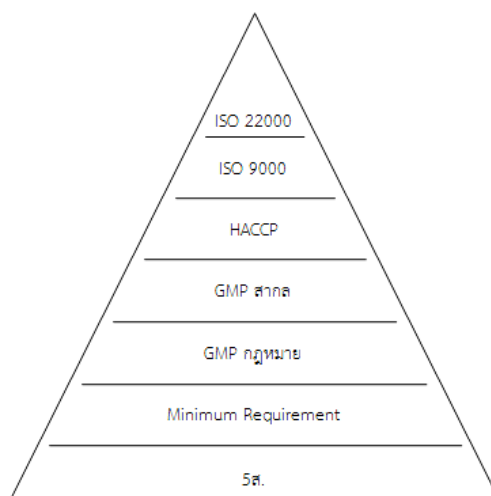
2.2.8 ระบบคุณภาพอาหาร (Quality System): GMP/HACCP

การผลิตอาหารนอกจากจะต้องศึกษาพระราชบัญญัติอาหารและกฎระเบียบต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง การเตรียมความพร้อมหรือการปรับปรุงสถานที่ผลิตอาหารให้สะอาดและได้มาตรฐานก็เป็นปัจจัยสำคัญที่จะทำให้อาหารที่ผลิตมีคุณภาพและปลอดภัย

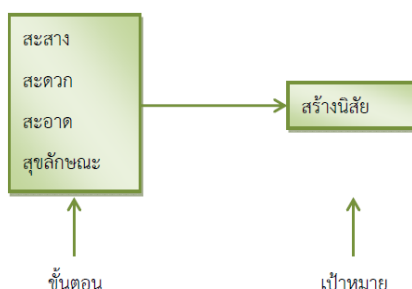
ระบบคุณภาพ (Quality System) หรือบางครั้งเรียกว่า ระบบประกันคุณภาพ (Quality Assurance System) เป็นการดำเนินการเพื่อให้สถานที่ผลิตมีมาตรฐาน โดยคำนึงถึงทุกขั้นตอนของการผลิตรวมทั้งปัจจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง ซึ่งจะต้องถูกควบคุมตรวจสอบอย่างเป็นระบบต่อเนื่องและสม่ำเสมอเพื่อให้ผลิตภัณฑ์ขั้นสุดท้ายมีคุณภาพและปลอดภัยมากยิ่งขึ้น หากระบบมีการดำเนินการถูกต้องแล้วจะสามารถช่วยตรวจสอบกลับถึงสาเหตุได้เมื่อผลิตภัณฑ์มีปัญหา แต่อย่างไรก็ตามระบบนี้เป็นระบบที่เน้นการป้องกันมากกว่าการแก้ไขปัญหา

ในระดับสากลระบบคุณภาพในอุตสาหกรรมอาหาร ได้แก่ GMP และ HACCP ซึ่งปัจจุบันมีความสำคัญและมีการดำเนินการมากขึ้นในประเทศไทย โดยเฉพาะอุตสาหกรรมขนาดใหญ่และอุตสาหกรรมส่งออก เนื่องจากกระแสความต้องการการบริโภคอาหารภายในประเทศ และกระแสการค้าโลกที่มีการแข่งขันในเรื่องคุณภาพมาตรฐานและความปลอดภัยของอาหารมากยิ่งขึ้น

เส้นทางและลำดับขั้นตอนของระบบคุณภาพอาหารที่ดีในประเทศไทยมิใช่เริ่มต้นในเรื่อง GMP และ HACCP ได้เลย แต่ควรมีการดำเนินการตั้งแต่ขั้นต้น/ขั้นพื้นฐานจนถึงลำดับสากล ดังนี้



1. 5ส เป็นกิจกรรมพื้นฐาน ซึ่งเป็นการปูพื้นฐานการจัดการในองค์กร ในการปรับปรุงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพทั้งด้านการผลิต คุณภาพ ต้นทุน การจัดส่ง ความปลอดภัย ขวัญกำลังใจ และสภาพแวดล้อมในการทำงาน ซึ่ง 5ส ประกอบด้วยขั้นตอนและเป้าหมายดังนี้



เป้าหมายของ 5ส คือ การสร้างนิสัยให้บุคลากรในองค์กรมีระเบียบวินัย และรักษาสภาพแวดล้อมของสังคมให้น่าอยู่ การที่จะนำความรู้หรือเทคนิคอื่นๆ มาใช้เพื่อเพิ่มผลผลิตก็จะทำให้ดียิ่งขึ้น การบริหารงานก็จะมีประสิทธิภาพและเกิดประสิทธิผลตามมา

2. หลักเกณฑ์ขั้นต่ำในการดำเนินการสถานที่ผลิตอาหาร (Minimum Requirement) ซึ่งสอดคล้องกับกฎกระทรวงฉบับที่ 1 ภายใต้ พรบ.อาหาร พ.ศ.2522 เป็นหลักเกณฑ์ที่จัดทำขึ้นโดยสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา ตั้งแต่ปี 2523 มีวัตถุประสงค์เพื่อให้ผู้ผลิตจัดสถานที่ เครื่องจักร อุปกรณ์ และให้มีการดำเนินการในหลักการขั้นต่ำในเรื่องสุขาภิบาลและสุขลักษณะเบื้องต้น ทั้งนี้ผู้ผลิตจะได้มีแนวทางในการดำเนินการที่ถูกต้องก่อนที่จะบริโภคอาหาร และปัจจุบันกระทรวงสาธารณสุขได้มีการพัฒนาการควบคุมสถานที่ผลิตและกระบวนการผลิต โดยใช้หลักเกณฑ์และวิธีการที่ดีในการผลิต หรือที่เรียกว่า GMP แต่หลักเกณฑ์ฯ นี้ยังสามารถนำไปใช้กับกลุ่มอาหารที่นอกเหนือจากที่ควบคุมด้วย GMP ซึ่งจะเป็นกลุ่มอาหารทั่วไปที่เข้าข่ายโรงงานและไม่ได้ขายโดยตรงต่อผู้บริโภค แต่ขายเป็นวัตถุดิบให้โรงงานผลิตอาหาร ภัตตาคารร้านอาหาร

3. หลักเกณฑ์วิธีการที่ดีในการผลิตอาหาร (GMP : Good Manufacturing Practice) GMP ที่นำมาเป็นมาตรการบังคับใช้เป็นกฎหมายนั้น ได้นำแนวทางข้อกำหนดเป็นไปตาม Codex ซึ่งเป็นที่ยอมรับของสากลแต่มีการปรับรายละเอียดบางประเด็นหรือเป็นการปรับให้ง่ายขึ้น (Simplify) เพื่อให้เหมาะสมกับศักยภาพของผู้ผลิตอาหารภายในประเทศ ซึ่งสามารถปฏิบัติได้จริง แต่ยังมีข้อกำหนดที่เป็นหลักการที่สำคัญเหมือนกับของ Codex แต่สามารถนำไปใช้ได้กับสถานประกอบการทุกขนาด ทุกประเภท ทุกผลิตภัณฑ์ ตามสภาพการณ์ของประเทศไทย นอกจากนี้ยังเป็นการพัฒนามาตรฐานสูงขึ้นมาจากหลักเกณฑ์ขั้นพื้นฐาน (Minimum Requirement) ที่สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยาใช้ในการพิจารณาอนุญาตผลิตเป็นเกณฑ์ ซึ่งทั้งผู้ประกอบการและเจ้าหน้าที่รู้จักคุ้นเคยกันดีและปฏิบัติกันอยู่แล้ว เพียงแต่จะต้องมีการปฏิบัติในรายละเอียดบางประเด็นที่เคร่งครัดและจริงจังมากขึ้น ซึ่งอาจกล่าวได้ว่า GMP สุขลักษณะทั่วไปนี้ผู้ประกอบการสามารถนำไปปฏิบัติตามได้ ในขณะที่กฎระเบียบข้อบังคับของหลักการสำคัญก็มีความน่าเชื่อถือในระดับสากล

- มาตรการ GMP เป็นการปรับเปลี่ยนระบบโดยใช้กฎหมายเป็นมาตรการรองรับ ซึ่งจะเป็นวิธีที่จะทำให้เกิดผลสัมฤทธิ์ในรูปธรรมได้อย่างแท้จริง แต่การเปลี่ยนแปลงในลักษณะดังกล่าว ในระยะเริ่มแรกซึ่งเป็นระยะการปรับตัวของระบบ ย่อมก่อให้เกิดผลกระทบหรือปัญหาอุปสรรคแก่ผู้ที่เกี่ยวข้อง โดยเฉพาะอย่างยิ่งต่อผู้ประกอบการด้านอาหารทั้งหมดของประเทศ ดังนั้นจึงได้มีการกำหนดให้มีระยะเวลาผ่อนผันเพื่อประโยชน์ในการปรับตัวและเตรียมความพร้อมของสถานประกอบการในปัจจุบัน GMP ได้ถูกกำหนดให้เป็นกฎหมาย เพื่อมุ่งมั่นเน้นให้เกิดผลดีต่อคุณภาพและความปลอดภัยของผลิตภัณฑ์อาหาร ประกอบด้วย

1. ประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 193) พ.ศ. 2543 และ (ฉบับที่ 239) พ.ศ. 2544 เรื่องวิธีการผลิต เครื่องมือเครื่องใช้ในการผลิต และการเก็บรักษาอาหาร (GMP สุขลักษณะทั่วไป)

ข้อกำหนด GMP สุขลักษณะทั่วไป มีอยู่ 6 ข้อกำหนด ดังนี้

1. สถานที่ตั้งและอาคารผลิต
2. เครื่องมือ เครื่องจักร และอุปกรณ์ในการผลิต
3. การควบคุมกระบวนการผลิต
4. การสุขาภิบาล

5. การบำรุงรักษาและการทำความสะอาด

6. บุคลากรและสุขลักษณะ

ในแต่ละข้อกำหนดมีวัตถุประสงค์หลักเพื่อให้ผู้ผลิตมีมาตรการป้องกันการปนเปื้อนอันตรายทั้งทางด้านจุลินทรีย์ เคมี และกายภาพ ลงสู่ผลิตภัณฑ์ ซึ่งอาจมาจากสิ่งแวดล้อม ตัวอาคาร เครื่องจักรอุปกรณ์ที่ใช้

การดำเนินงานในแต่ละขั้นตอนการผลิต รวมถึงการจัดการในด้านสุขอนามัยทั้งในส่วนของ ความสะอาด การบำรุงรักษา และผู้ปฏิบัติงาน

4. GMP สาภัก นอกจาก GMP กฎหมายดังกล่าวข้างต้น กรณีผู้ผลิตจะจัดทำระบบ GMP ให้ เทียบเท่าสาภักเพื่อการส่งออกหรือเพื่อพัฒนาระบบให้สูงขึ้นก่อนที่จะเข้าสู่ระบบ HACCP นั้น ก็สามารถ ดำเนินการตามมาตรฐาน codex (General Principle of Food Hygiene) ซึ่งขณะนี้ประเทศไทยได้ รับมาประกาศใช้เป็นมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก. 7000-2540) แล้ว ซึ่งมีหัวข้อสำคัญๆ ดังนี้

1. การออกแบบและสิ่งอำนวยความสะดวก
2. การควบคุมการปฏิบัติงาน
3. การบำรุงรักษาและการสุขาภิบาล
4. สุขลักษณะส่วนบุคคล
5. การขนส่ง
6. ข้อมูลเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์และการสร้างความเข้าใจให้กับผู้บริโภค
7. การฝึกอบรม

5. ระบบวิเคราะห์อันตรายและควบคุมจุดวิกฤต (HACCP: Hazard Analysis and Critical Control Point) ระบบคุณภาพอาหารที่สูงขึ้นไปอีกคือ ระบบวิเคราะห์อันตรายและควบคุมจุดวิกฤต ซึ่ง การที่ผู้ผลิตจะดำเนินการจัดทำระบบนี้ต้องมีพื้นฐานในเรื่องระบบ GMP ที่ดีเสียก่อน ปัจจุบันในวงการ อุตสาหกรรมต่างๆ ยอมรับว่าระบบบริหารคุณภาพเป็นระบบที่ให้ธุรกิจอยู่รอดและเติบโตได้ระยะยาว อุตสาหกรรมก็เช่นกันได้เริ่มให้ความสำคัญในการนำระบบบริหารคุณภาพมาใช้อย่างกว้างขวางขึ้น แนวคิดเรื่องการจัดการคุณภาพเปลี่ยนไป โดยหันมาให้ความสำคัญกับการประกันคุณภาพที่มุ่งการ ป้องกัน เน้นการดำเนินงานที่ถูกต้องตั้งแต่เริ่มต้นและตลอดสายการผลิตมากกว่าการตรวจสอบ ผลิตภัณฑ์สุดท้าย หลายประเทศเริ่มกำหนดกฎหมายบังคับให้ผู้ประกอบการต้องนำระบบ HACCP มาใช้ ในอุตสาหกรรมอาหาร เพื่อเพิ่มความปลอดภัยให้แก่อาหารที่ผลิตขึ้น และในปี 2540 องค์การมาตรฐาน อาหารระหว่างประเทศ (Codex) ร่วมกับ เอฟ เอ โอ/ดับบลิว เอชโอ (FAO/WHO) ประกาศใช้ ข้อเสนอแนะสำหรับการนำระบบการวิเคราะห์อันตรายและจุดวิกฤตที่ต้องควบคุม (Codex Alimentarius Supplement to Volume 1B-1997; Annex to CAC/RCP-1 (1969), Rev.3 (1997) : Hazard Analysis and Critical Control Point (HACCP) System and Guidelines for its Application) เป็น ข้อกำหนดสาภักโดยรวมหลักเกณฑ์ทั่วไปเกี่ยวกับสุขลักษณะอาหาร (Recommendation Codex Code of Practices: General Principle for Food Hygiene) เป็นโปรแกรมพื้นฐานที่ต้องดำเนินการ

- หลักการของระบบ HACCP ครอบคลุมถึงการป้องกันปัญหาจากอันตราย 3 สาเหตุ ได้แก่ อันตรายทางชีวภาพ ซึ่งเป็นอันตรายจากเชื้อจุลินทรีย์ อันตรายจากสารเคมี ได้แก่ สารเคมีที่ใช้ในการ เพาะเลี้ยง เพาะปลูก ในกระบวนการผลิตวัตถุดิบ อาทิ สารปฏิชีวนะ สารเร่งการเจริญเติบโต สารเคมี กำจัดศัตรูพืช สารเคมีที่ใช้เป็นวัตถุเจือปนในอาหาร เช่น วัตถุกันเสีย และสารเคมีที่ใช้ในโรงงาน เช่น

น้ำมันหล่อลื่น จาระบี สารเคมีทำความสะอาดเครื่องจักรอุปกรณ์ในโรงงาน เป็นต้น และอันตรายทางกายภาพสิ่งปลอมปนต่างๆ อาทิ เศษแก้ว เศษกระจก โลหะ อันตรายทางชีวภาพเป็นสิ่งที่ต้องให้ความสำคัญมากที่สุดในระบบ HACCP เนื่องจากอันตรายประเภทอื่นมีขอบเขตการก่อให้เกิดปัญหาต่อผู้บริโภคในวงจำกัด และบางครั้งผู้บริโภคสามารถตรวจพบได้ด้วยตัวเอง แต่การบริโภคอาหารที่ปนเปื้อนด้วยจุลินทรีย์นั้น อาจส่งผลกระทบต่อผู้บริโภคโดยแพร่หลายและพิษที่เกิดขึ้นอาจรุนแรงจนถึงชีวิตได้ ระบบ HACCP เกี่ยวข้องกับการควบคุมปัจจัยต่างๆ ที่ส่งผลกระทบต่อวัตถุดิบกระบวนการผลิต และผลิตภัณฑ์ วัตถุประสงค์ของการใช้ระบบ HACCP เพื่อให้สามารถพิสูจน์ได้ว่าผลิตภัณฑ์นั้น ได้ผลิตขึ้นอย่างถูกต้องลักษณะและปลอดภัยต่อผู้บริโภค และการประยุกต์ใช้หลักการ HACCP อย่างได้ผลขึ้นกับการมุ่งมั่นและสนับสนุนจากฝ่ายบริหาร ความร่วมมือจากฝ่ายต่างๆ ในองค์กรและที่สำคัญยิ่ง คือ การที่หน่วยงานนั้นๆ ต้องมีการจัดทำระบบพื้นฐานเกี่ยวกับสุขลักษณะโรงงานเสียก่อนระบบ HACCP สามารถนำมาประยุกต์ใช้กับกับอุตสาหกรรมอาหารทุกประเภทและทุกขนาดธุรกิจ ทั้งกับกระบวนการผลิตที่เรียบง่ายและซับซ้อน โดยสามารถจะนำไปใช้กับผลิตภัณฑ์ที่ทำการผลิตแล้วหรือที่จะเริ่มทำการผลิต

- ระบบ HACCP ประกอบด้วยหลักการ 7 ข้อ ดังนี้

1. ดำเนินการวิเคราะห์อันตราย (Conduct a hazard analysis)
2. หาจุดวิกฤตที่ต้องควบคุม (Determine the critical control point CCPs)
3. กำหนดค่าวิกฤต (Establish critical limit)
4. กำหนดระบบเพื่อเฝ้าระวังจุดวิกฤตที่ต้องควบคุม (Establish a system to monitor control of the CCP)
5. กำหนดวิธีแก้ไข เมื่อตรวจพบว่าจุดวิกฤตที่ต้องควบคุมเฉพาะจุดใดจุดหนึ่งไม่อยู่ภายใต้การควบคุม (Establish the corrective action to be taken when monitoring indicates that a particular CCP is not under control)
6. กำหนดการทวนสอบเพื่อยืนยันประสิทธิภาพการดำเนินงานของระบบ HACCP (Establish procedures for verification to confirm that the HACCP system is working effectively)
7. กำหนดเอกสารที่เกี่ยวข้องกับวิธีการปฏิบัติและบันทึกข้อมูลต่างๆ ที่เหมาะสม ตามหลักการเหล่านี้ และการประยุกต์ใช้ (Establish documentation concerning all procedures and records appropriate to these principles and their application) การจัดทำระบบคุณภาพบางครั้งผู้ผลิตสามารถนำหลักการจัดการ (Management) และระบบเอกสาร (Document) เข้ามาเสริมเพื่อให้สามารถป้องกันอันตรายที่อาจเกิดขึ้นกับอาหารที่ผลิต และสามารถมีระบบเอกสารที่สามารถทวนสอบปัญหาและแก้ไขปัญหาได้ถูกต้อง ซึ่งจะช่วยให้อาหารที่ผลิตปลอดภัยมากยิ่งขึ้น จึงมีผู้นำระบบ ISO เข้ามาใช้

6. มอก. 9001-2544 (ISO 9001 : 2000) เป็นระบบการบริหารงานคุณภาพซึ่งมีข้อกำหนดหลัก 4 หัวข้อใหญ่ๆ คือ

1. ระบบการจัดการคุณภาพ
2. ความรับผิดชอบด้านการผลิต/บริการ
3. การจัดการทรัพยากร
4. การผลิต (และ/หรือการบริการ)

ทั้งนี้ระบบ ISO 9001 ต้องนำมาประกอบการพิจารณาร่วมกับ ISO 9000 และ 9004 ซึ่งทั้ง 3 เล่ม ถูกบรรจุเป็น มอก. ซึ่งผู้ผลิตสามารถสอบถามรายละเอียดและหาซื้อได้ทั้งชุดในราคา 185 บาทที่สำนักงานมาตรฐานอุตสาหกรรม (สมอ.) เบอร์โทร 02-202-3426

7. ISO 22000 : 2005 เป็นระบบสากลที่เพิ่งนำมาใช้ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเป็นการจัดการระบบอาหารปลอดภัยตลอดห่วงโซ่อาหาร เป็นระบบที่เชื่อมโยงระหว่าง ISO 9001 กับ ระบบ HACCP โดยมีหัวข้อหลักใหญ่ๆ คือ

1. ระบบการจัดการอาหารปลอดภัย
2. ความรับผิดชอบด้านการจัดการ
3. ทรัพยากรมนุษย์
4. การวางแผนและการคำนึงถึงผลิตภัณฑ์ที่ปลอดภัย
5. การทวนสอบและปรับปรุงระบบการจัดการอาหารปลอดภัย

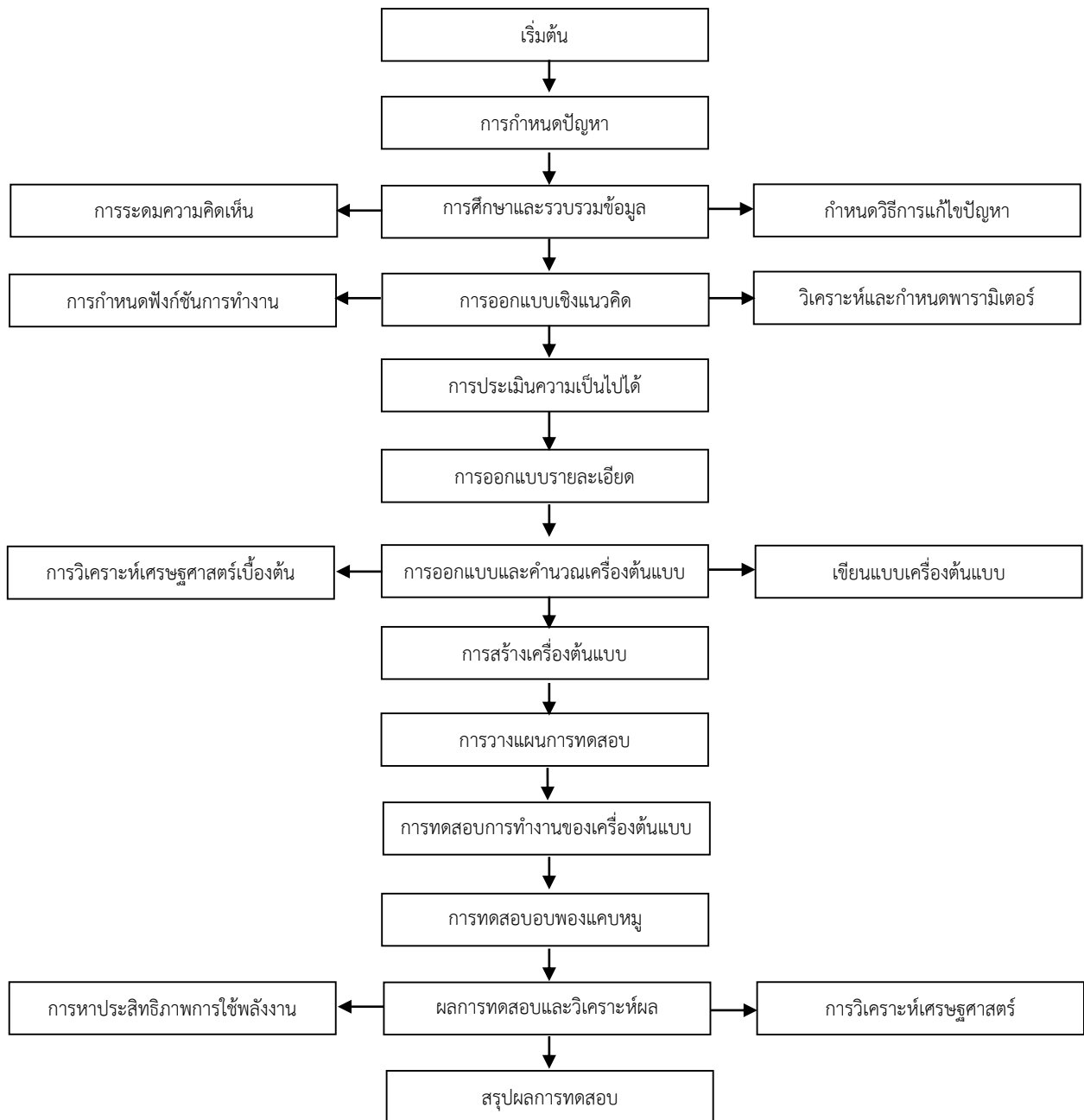
ระบบ ISO 22000 ขณะนี้ ยังมีการปรับปรุงและพัฒนาเพื่อให้สามารถใช้กับทุกกิจกรรมธุรกิจที่เกี่ยวข้องกับอาหาร เช่น ฟาร์ม แหล่งผลิต ขนส่ง ร้านอาหาร โรงพยาบาล และโรงเรียน เป็นต้น

บทที่ 3

การดำเนินการวิจัย

3.1 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

ขั้นตอนการดำเนินการวิจัยของเครื่องอบพองแคบหมู มีกระบวนการและผลลัพธ์ตามแผนผังลำดับการดำเนินงานดังนี้



รูปที่ 3.1 แผนผังลำดับการดำเนินงาน

จากรูปที่ 3.1 แผนผังลำดับการดำเนินงาน เริ่มต้นจากการกำหนดปัญหาจากการผลิตแคปหมูโดยการทอดในน้ำมันที่มีผลกระทบต่อผู้บริโภคและผู้ประกอบการ และปัญหาต่างๆ ที่มีผลกระทบต่อผลิตภัณฑ์ จากนั้นทำการศึกษาและรวบรวมข้อมูลของเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อหาแนวทางความเป็นไปได้ในการผลิตแคปหมูโดยวิธีการอบพอง โดยศึกษาเทคนิคและวิธีการออกแบบทางวิศวกรรมแล้วนำมาประยุกต์เข้ากับปัญหาของงานวิจัย ในขั้นตอนนี้คณะผู้วิจัยได้ทำการระดมความคิดเห็นแสดงถึงความต้องการของผู้บริโภคและผู้ประกอบการจากแผนผังความคิด พร้อมกับกำหนดวิธีการแก้ไขปัญหานั้นหลังจากนั้นเมื่อได้ผลลัพธ์ดังกล่าวจึงนำมาออกแบบเชิงแนวคิดจากการรับรู้ปัญหาต่างๆ แล้วพิจารณาถึงส่วนประกอบหลักและลักษณะการทำงานของเครื่องให้สอดคล้องกับวิธีการแก้ไขปัญหาดังนั้นจึงได้ออกแบบหาแนวทางความเป็นไปได้ด้วยสันนิษฐานวิทายมาทำการวิเคราะห์อีกครั้ง เพื่อการพัฒนากระบวนการประกอบกับเมื่อทราบว่าการออกแบบเชิงแนวคิดนี้ยังมีข้อบกพร่องอยู่หรือไม่ ถ้าแบบยังมีข้อบกพร่องจะต้องทำการวิเคราะห์ซ้ำจนกว่าจะได้แบบเชิงแนวคิดที่มีประสิทธิภาพสูงสุด คณะผู้วิจัยจึงออกแบบเชิงแนวคิดเครื่องอบพองแคปหมูไว้ 3 แบบ แล้วจำลองรูปเครื่องอบพองแคปหมูขึ้นมาโดยโปรแกรมเขียนแบบ แสดงถึงลักษณะการทำงานของเครื่องและการติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆ ไว้ในตำแหน่งที่ใช้งานที่เหมาะสม จากนั้นกำหนดฟังก์ชันการทำงานของเครื่องอบพองแคปหมู โดยพิจารณาถึงขั้นตอนการทำงานของเครื่องและนำเทคโนโลยีมาประยุกต์เข้ากับฟังก์ชันในแต่ละส่วนของเครื่องอบพองแคปหมูให้มีประสิทธิภาพการทำงานสูงสุด เมื่อออกแบบเชิงแนวคิดแล้วเสร็จจึงทำการวิเคราะห์และกำหนดพารามิเตอร์จากการศึกษาและรวบรวมข้อมูลเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อให้เหมาะสมต่อกระบวนการผลิตแคปหมู จากนั้นทำการประเมินความเป็นไปได้ของเครื่องจากการออกแบบเชิงแนวคิดทั้ง 3 แบบ จากข้อดีและข้อเสียแล้วพิจารณาเลือกแบบที่มีประสิทธิภาพและความเป็นไปได้ในการพัฒนาสูงสุด แล้วออกแบบรายละเอียดของเครื่องเกี่ยวกับส่วนประกอบของเครื่อง ขั้นตอนการอบพองแคปหมู และการควบคุมอุณหภูมิ เมื่อได้รายละเอียดครบถ้วนจึงทำการออกแบบและคำนวณเครื่องต้นแบบ โดยการคำนวณหาขนาดรูปร่าง อุปกรณ์หลัก ซึ่งใช้เทคนิควิเคราะห์ตัวแปรเป็นเครื่องมือในการออกแบบ ต่อไปทำการวิเคราะห์เศรษฐศาสตร์เบื้องต้น เพื่อทราบถึงผลตอบแทนของการลงทุนว่าควรตัดสินใจเลือกโครงการดังกล่าวหรือไม่ โดยใช้วิธีตัดสินใจจากการวิเคราะห์มูลค่าปัจจุบันที่ให้ผลตอบแทนเท่ากับหรือมากกว่าอัตราผลตอบแทนการลงทุนขั้นต่ำ หลังจากได้ออกแบบรายละเอียดการออกแบบและคำนวณเครื่องต้นแบบ และในแง่อื่นครบถ้วนแล้ว คณะผู้วิจัยทำจึงนำรายละเอียดทั้งหมดให้วิศวกรเขียนแบบเครื่องต้นแบบโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อใช้เป็นแบบสั่งงาน หลังจากนั้นเป็นขั้นตอนการสร้างเครื่องต้นแบบรวมถึงการวางแผนการทดสอบ โดยการศึกษาปริมาณการอบพองแคปหมูต่อครั้ง อุณหภูมิการอบพอง เวลาการอบพอง และความเร็วรอบของถังหมุน เมื่อดำเนินการสร้างเครื่องเสร็จจึงทำการทดสอบการทำงานของเครื่องต้นแบบให้ได้ตามการวางแผนการทดสอบเพื่อวิเคราะห์การควบคุมอุณหภูมิและปริมาณการใช้พลังงาน เมื่อพบปัญหาจะทำการพัฒนาปรับปรุงแก้ไขระบบเครื่องอบพองแคปหมูจนกระทั่งระบบการทำงานของเครื่องอบพองแคปหมูมีการทำงานที่เหมาะสม ต่อไปจึงเริ่มทำการทดสอบอบพองแคปหมูและคำนวณหาร้อยละของแคปหมูที่พองตัวที่เหมาะสม จากนั้นนำแคปหมูไปตรวจสอบคุณภาพและวิเคราะห์หาสภาวะอบพองที่เหมาะสมที่สุด แล้วทำการหาประสิทธิภาพการใช้พลังงานและวิเคราะห์เศรษฐศาสตร์หาระยะเวลาคืนทุนและอัตราผลตอบแทนการลงทุนเพื่อใช้เป็นเกณฑ์ในการตัดสินใจว่าคุ้มค่าต่อการลงทุนหรือไม่ เมื่อเสร็จสิ้นกระบวนการทั้งหมดจึงสรุปผลการทดสอบการอบพองแคปหมู ซึ่งได้อธิบายรายละเอียดดังนี้

3.1.1 การกำหนดปัญหา

การผลิตแคะหมูด้วยวิธีการทอดเป็นกระบวนการที่ต้องใช้น้ำมันมากและใช้ความร้อนสูง ซึ่งเมื่อใช้น้ำมันทอดซ้ำหลายๆ ครั้ง วิตามินอีจะถูกทำลายหมด ทำให้กรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวถูกออกซิไดซ์ และเกิดปฏิกิริยาโพลีเมอร์ไรเซชันได้ง่าย ผลของปฏิกิริยาจะมีสารประกอบชนิดใหม่เกิดขึ้น ซึ่งเป็นสารพิษต่อร่างกายบางชนิดก่อมะเร็งด้วย (นิธิยา, 2544) นอกจากนี้ น้ำมันที่ทอดซ้ำยังมีผลต่อกลิ่นของผลิตภัณฑ์แคะหมูทำให้เกิดกลิ่นไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคหรือเกิดกลิ่นหืนขึ้น และหากแก้ไขโดยการเปลี่ยนน้ำมันใหม่ในการทอดแคะหมูทุกครั้ง จะเป็นการเพิ่มค่าใช้จ่ายในส่วนนี้เพิ่มขึ้นอีก อีกทั้งในปัจจุบันราคาน้ำมันพืชมีราคาเพิ่มสูงถึงลิตรละ 55 บาท

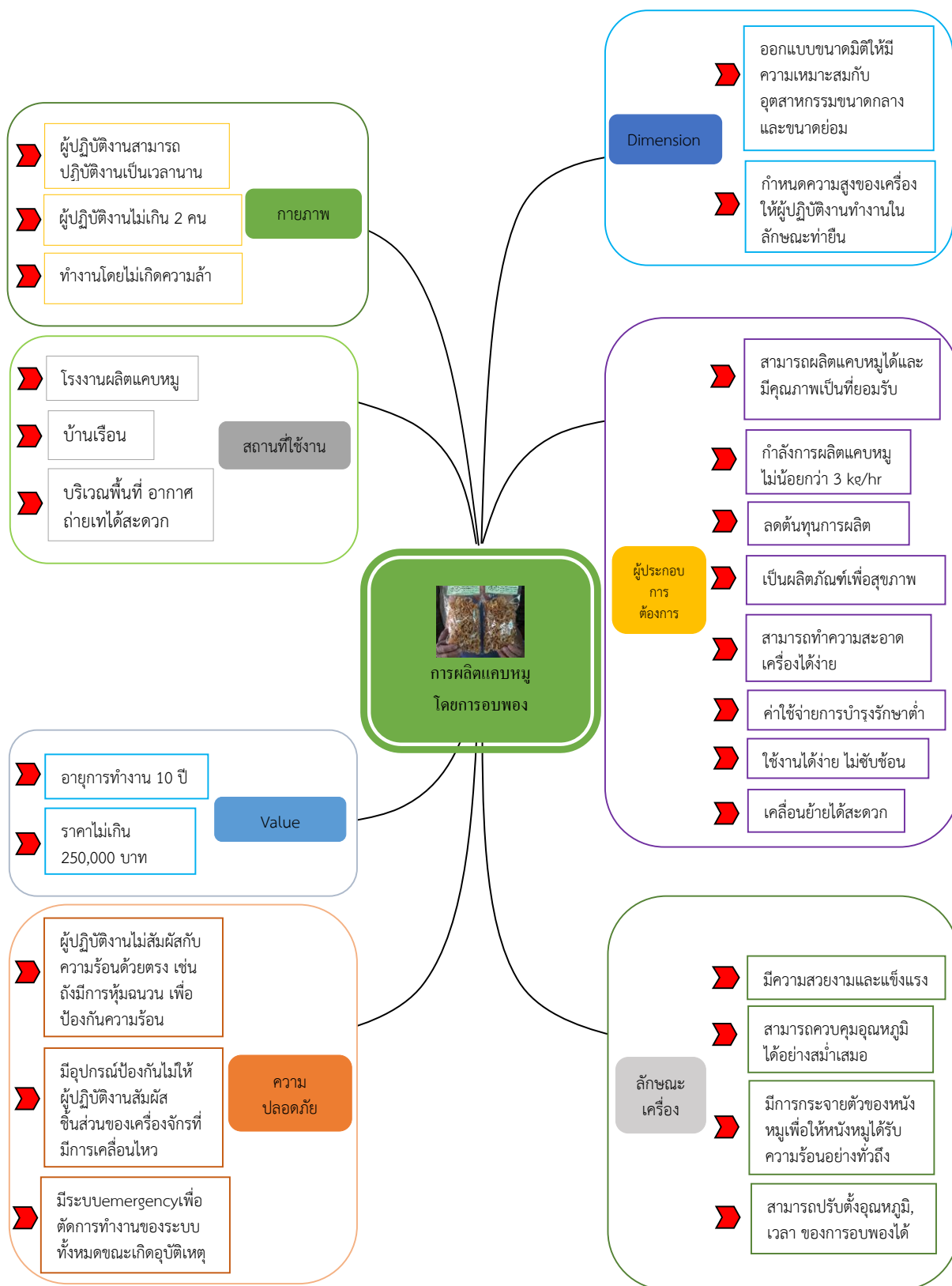
การเปลี่ยนแปลงกระบวนการแปรรูปอาหาร ที่จะทำให้แคะหมูเกิดการพองตัวโดยไม่ต้องใช้น้ำมันทอด ซึ่งหากใช้เครื่องมือในการทำแคะหมูพองตัว จะสามารถควบคุมคุณภาพของแคะหมูได้ มีความเป็นนวัตกรรม ส่งผลให้ด้านสุขลักษณะต่อสุขภาพดีขึ้น เนื่องจากการนำแคะหมูมาอบให้พองตัวนั้นจะสามารถลดจำนวนจุลินทรีย์ได้บางส่วน ไม่มีสารพิษตกค้างเนื่องจากน้ำมันที่ใช้ทอด ลดปริมาณไขมันในแคะหมู ลดค่าใช้จ่ายในการซื้อน้ำมันที่ใช้ทอด ลดค่าเชื้อเพลิงและค่าแรงงานในการทอดแคะหมู และปริมาณไขมันไม่เพิ่มขึ้นในแคะหมู เนื่องจากกระบวนการทอดอีกด้วย อีกทั้งการอบด้วยเครื่องอบพองใช้เวลาในขั้นตอนการปฏิบัติที่สั้น สะดวก และรวดเร็ว

3.1.2 การศึกษาและรวบรวมข้อมูล

จากการศึกษาและรวบรวมข้อมูลเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง การผลิตแคะหมูมีกระบวนการผลิตที่แตกต่างกันทั้งในอดีตและปัจจุบัน ซึ่งงานวิจัยส่วนใหญ่ได้ศึกษาและพัฒนากระบวนการผลิตในขั้นตอนต่างๆ ได้แก่ อายุการเก็บแคะหมู การพัฒนาแคะหมูกึ่งสำเร็จรูป การอบแทนการตากแห้งหมูด้วยแสงแดด สำหรับการผลิตแคะหมูด้วยวิธีการอบพองแทนการทอดให้พองตัวในน้ำมัน พบว่าอรทัย บุญทะวงศ์ (2547) ได้ศึกษาการผลิตแคะหมูด้วยวิธีการอบโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาเครื่องมือและสภาวะที่เหมาะสมต่อการผลิตผลิตภัณฑ์แคะหมูซึ่งได้ใช้เครื่องมือ 3 ชนิด คือ ตู้อบลมร้อนแบบถาด เตาอบแบบไฟฟ้า และเตาอบแบบแก๊ส และทำการศึกษาอุณหภูมิในการให้ความร้อน พบว่าตู้อบลมร้อนแบบถาดทำให้แคะหมูพองตัวได้ดีที่สุดที่อุณหภูมิ 200 °C จากนั้นสมาน ดาวเวียงกัน (2555) ได้ออกแบบและสร้างเครื่องป้อนแบบต่อเนื่อง (สายพานลำเลียง) โดยใช้อินฟราเรดเป็นแหล่งให้ความร้อนโดยผลิตในเชิงอุตสาหกรรม ซึ่งพบปัญหากำลังการผลิตไม่เพียงพอ (3 kg/hr) และอุณหภูมิไม่สม่ำเสมอทำให้แคะหมูที่อยู่ทางด้านข้างพองตัวไม่เต็มที่ และเกิดคราบน้ำมันสะสมทำให้มีความยุ่งยากในการทำ ความสะอาดสายพานลำเลียงที่มีลักษณะเป็นตระแกรง การต้องเรียงหนังหมูลงบนสายพานซึ่งเป็นการทำงานที่ต้องใช้แรงงานและเวลามาก นอกจากนี้ยังพบว่าเครื่องอบพองที่พัฒนาขึ้นมานั้นสิ้นเปลืองพลังงานสูงเนื่องจากความร้อนสูญเสียทางสายพานที่เป็นโลหะ และทำให้ผู้ปฏิบัติงานเรียงหนังหมูบนสายพานต้องทำงานบนสายพานที่มีความร้อน ทำให้เกิดความล้าและอันตรายจากการสัมผัสกับโลหะร้อน

3.1.3 การระดมความคิดเห็น

ได้แสดงถึงความต้องการของผู้บริโภคและผู้ประกอบการเป็นแผนผังความคิด (Mind map) ได้ดังนี้



รูปที่ 3.2 แผนผังความคิด (Mind map)

3.1.4 กำหนดวิธีการแก้ไขปัญห

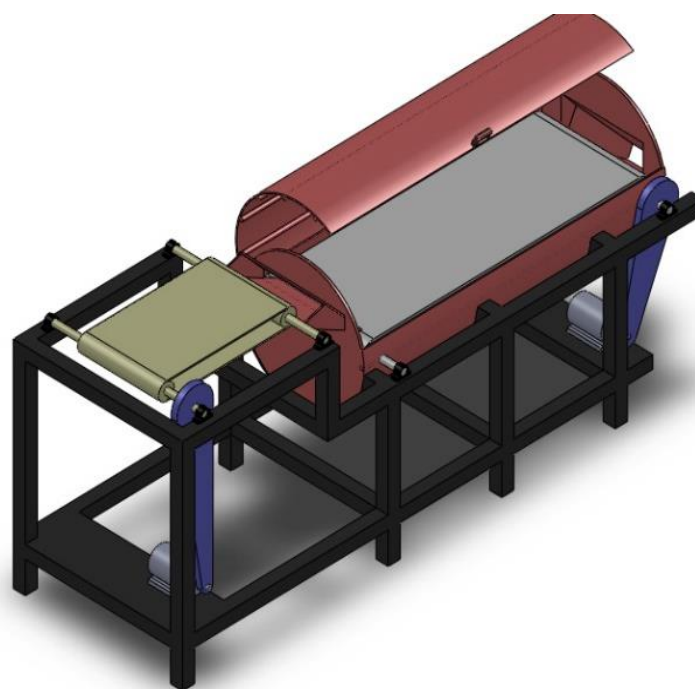
ซึ่งได้กำหนดวิธีการแก้ไขปัญหของการอบพองแคบหมูดังนี้

1. การผลิตแคบหมูโดยการใช้ไขมันทอด
 - เปลี่ยนวิธีการผลิตแคบหมูโดยการใช้ไขมันทอดเป็นการอบพองแคบหมู เพื่อแก้ไขปัญหการใช้ไขมันเก่าทอดซ้ำที่มีผลกระทบต่อผลิตภัณฑ์แคบหมูและผู้บริโภค
 - ออกแบบเครื่องอบพองเป็นแบบกึ่งอัตโนมัติหรืออัตโนมัติ
2. การทำความสะอาดคราบน้ำมันที่สะสม
 - ออกแบบการถอด-ประกอบของชิ้นส่วนที่สัมผัสหนังหมูให้สามารถทำความสะอาดได้ง่าย
3. การสิ้นเปลืองพลังงานของเครื่อง
 - ติดตั้งฉนวนกันความร้อนสูญเสียให้ห้องอบพอง
 - พิจารณาเลือกใช้แหล่งให้ความร้อนที่เหมาะสม
4. การพองตัวของแคบหมู
 - ออกแบบให้หนังหมูมีการเคลื่อนที่และกระจายตัวอย่างต่อเนื่องขณะรับความร้อน
 - ติดตั้งระบบควบคุมอุณหภูมิให้ห้องอบพองมีอุณหภูมิอย่างสม่ำเสมอ
5. ผู้ปฏิบัติงาน
 - ออกแบบเครื่องอบพองให้มีความเหมาะสมกับสรีระของผู้ปฏิบัติงาน
 - มีระบบป้องกันความปลอดภัยของเครื่องอบพองให้ผู้ปฏิบัติงานหยุดเครื่องขณะเกิดอุบัติเหตุ

3.1.5 การออกแบบเชิงแนวคิด

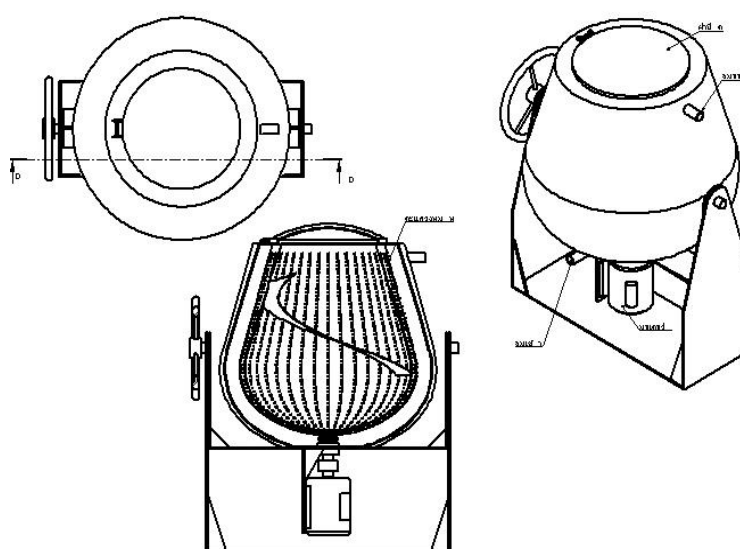
จากการรับรู้ถึงปัญหาต่างๆ ประกอบกับการศึกษาค้นคว้าเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง แล้วพิจารณาถึงส่วนประกอบหลักและลักษณะการทำงานของเครื่องให้สอดคล้องกับวิธีการแก้ไขปัญหาดังนั้นจึงได้ออกแบบหาแนวทางความเป็นไปได้ด้วยสันนิษฐานวิทยามาทำการวิเคราะห์และออกแบบให้เครื่องอบพองแคบหมูสามารถผลิตแคบหมูได้คุณภาพเป็นที่ยอมรับของผู้ประกอบการและผู้บริโภค ดังนั้นคณะผู้วิจัยจึงออกแบบเชิงแนวคิดไว้ 3 แบบ ดังนี้

แบบที่ 1. เครื่องอบพองแคบหมูแบบสายพานลำเลียงถึงทรงกระบอกร ประกอบด้วย สายพานลำเลียง 2 ชุด คือ 1) ชุดป้อนหนังหมูเรียงเข้าห้องอบ จะควบคุมการป้อนของหนังหมูให้สม่ำเสมอ และให้ผู้ปฏิบัติงานไม่เกิดการล้าในการทำงานเนื่องจากไม่ได้สัมผัสความร้อนโดยตรง 2) ชุดอบหนังหมู จะควบคุมความเร็วหนังหมูให้มีความเหมาะสมต่อการพองตัวของแคบหมู ส่วนการให้ความร้อนจะใช้ขดลวดความร้อน โดยจะออกแบบให้ห้องอบเป็นถึงทรงกระบอกรที่มีฉนวนกันความร้อนเพื่อลดการสูญเสียความร้อนดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 เครื่องอบพองแคบหมูแบบสายพานลำเลียงถึงทรงกระบอก

แบบที่ 2 เครื่องอบพองแคบหมูแบบถังหมุนในแนวตั้ง เป็นการใช้ถังหมุนในแนวตั้งคล้ายกับเครื่องผสมปูนที่มีฝาเปิด-ปิดนำวัตถุดิบเข้าด้านบนและนำออกโดยการเอียงถัง ดังแสดงในรูปที่ 3.4 เครื่องชนิดนี้จะป้อนวัตถุดิบโดยไม่ต้องใช้คนเรียงหนังหมู และหนังหมูจะคลุกเคล้ากันเองภายใน ทำให้ง่ายต่อการกระจายความร้อนให้หนังหมู ง่ายต่อการทำความสะอาด ลักษณะเครื่องประกอบด้วยถัง 2 ชั้น โดยที่ถังชั้นในเป็นตะแกรงมีรูและหมุนได้เพื่อใส่หนังหมูที่จะอบพอง ส่วนถังชั้นนอกทำด้วยสแตนเลส ส่วนการให้ความร้อนจะใช้ขดลวดความร้อนโดยจะติดตั้งไว้ระหว่างถังชั้นในและถังชั้นนอก

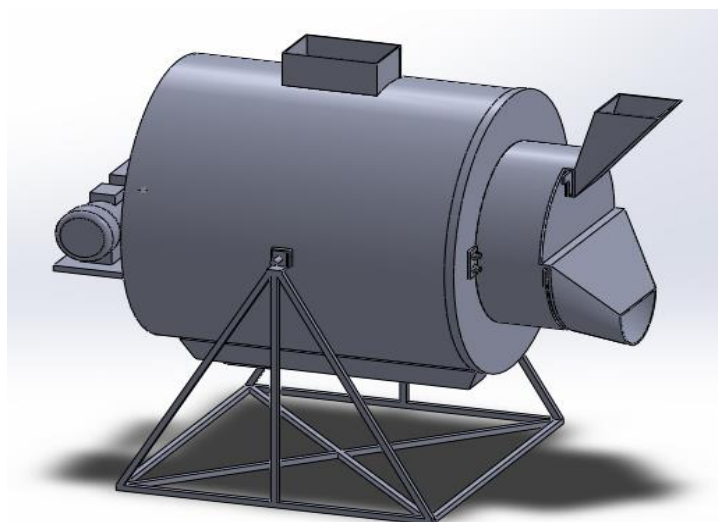


รูปที่ 3.4 เครื่องอบพองแคบหมูแบบถังหมุนในแนวตั้ง

แบบที่ 3 เครื่องอบพองแคบหมูแบบถ้งหมุนในแนวนอน เป็นแบบถ้งหมุนในแนวนอน ซึ่งมีลักษณะการทำงานคล้ายกับแบบสองแต่มีข้อดีคือ

1) การกระจายตัวของหนังหมูอย่างสม่ำเสมอดีกว่าแบบที่สอง เนื่องจากการติดตั้งครีบล้อมรอบหนังหมูที่หนังหมูคลุกเคล้ากันมากกว่าทำให้หนังหมูไม่รวมกันเป็นก้อน อีกทั้งเมื่อหนังหมูพองตัวจะทำให้ไม่เสียรูปหรือเกิดการแตกหักได้ง่าย

2) ใช้เตาแก๊สอินฟราเรดเป็นแหล่งให้ความร้อนทำให้การควบคุมอุณหภูมิได้อย่างรวดเร็วและมีอุณหภูมิที่สม่ำเสมอ ส่วนการป้อนเข้า-ออกของหนังหมูจะมีช่องที่เปิด-ปิดได้เพื่อลดการสูญเสียความร้อน ดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 เครื่องอบพองแคบหมูแบบถ้งหมุนในแนวนอน

3.1.6 การกำหนดฟังก์ชันการทำงาน

จากการออกแบบเชิงแนวคิดจึงได้ทำการกำหนดฟังก์ชันการทำงานของเครื่องอบพองแคบหมูทั้ง 3 แบบ โดยมีรายละเอียดดังนี้

แบบที่ 1 เครื่องอบพองแคบหมูแบบสายพานลำเลียงถ้งทรงกระบอก เป็นแบบอัตโนมัติมีฟังก์ชันการทำงานของชุดให้ความร้อนและชุดสายพานลำเลียง โดยเมื่อทำการเดินเครื่องอบพอง เครื่องควบคุมอุณหภูมิจะควบคุมชุดให้ความร้อนของชุดลดความร้อนที่ติดตั้งไว้ภายในห้องอบพอง ซึ่งจะทำให้การเพิ่มอุณหภูมิจนกระทั่งมีอุณหภูมิตามที่กำหนด พร้อมกับการทำงานของมอเตอร์ที่ควบคุมความเร็วรอบด้วยอินเวอร์เตอร์จะส่งกำลังผ่านสายพานขับเคลื่อนชุดสายพานลำเลียง 2 ชุด คือ 1) ชุดป้อนหนังหมูเรียงเข้าห้องอบ 2) ชุดอบหนังหมู ดังนั้นเมื่อเครื่องมีอุณหภูมิตามที่กำหนด จะใช้คนป้อนหนังหมูวางบนสายพานของชุดป้อนหนังหมูเรียงหนังหมูเข้าห้องอบ จากนั้นสายพานของชุดอบหนังหมูจะลำเลียงแคบหมูออกจากห้องอบพอง

แบบที่ 2 เครื่องอบพองแคบหมูแบบถ้งหมุนในแนวตั้ง เป็นแบบกึ่งอัตโนมัติมีฟังก์ชันการทำงานคล้ายกับเครื่องผสมปูน โดยเมื่อทำการเดินเครื่องอบพอง เครื่องควบคุมอุณหภูมิจะควบคุมชุดให้ความร้อนของชุดลดความร้อนที่ติดตั้งไว้ระหว่างถังชั้นในและถังชั้นนอก ซึ่งจะทำให้การเพิ่มอุณหภูมิจนกระทั่งมีอุณหภูมิตามที่กำหนด พร้อมกับการทำงานของมอเตอร์ที่ควบคุมความเร็วรอบด้วยอินเวอร์เตอร์จะส่ง

กำลังขับหมุนเพลาลงถึงชั้นใน ดังนั้นเมื่อเครื่องมีอุณหภูมิตามที่กำหนด ให้เปิดฝาด้านบนแล้วป้อนหนังหมู และเมื่ออบพองเสร็จจะนำแคบหมูออกโดยเปิดฝาด้านบนแล้วกดเอียงถึง

แบบที่ 3 เครื่องอบพองแคบหมูแบบถ้งหมุนในแนวนอน เป็นแบบกึ่งอัตโนมัติมีฟังก์ชันการทำงานชุดให้ความร้อน โดยเมื่อทำการเดินเครื่องอบพอง เครื่องควบคุมอุณหภูมิจะควบคุมชุดให้ความร้อนของเตาแก๊สอินฟราเรดที่ติดตั้งไว้ระหว่างถ้งหมุนนอกและถ้งหมุน ซึ่งจะทำการเพิ่มอุณหภูมิจนกระทั่งมีอุณหภูมิตามที่กำหนด พร้อมกับการทำงานของมอเตอร์ที่ควบคุมความเร็วรอบด้วยอินเวอร์เตอร์จะส่งกำลังขับหมุนเพลาลงถึงถ้งหมุน ดังนั้นเมื่อเครื่องมีอุณหภูมิตามที่กำหนด ให้เปิดช่องป้อนหนังหมูแล้วป้อนหนังหมูเข้าถ้งหมุน และเมื่ออบพองเสร็จจะนำแคบหมูออกโดยเปิดช่องนำแคบหมูออกแล้วกดเอียงถึง

3.1.7 วิเคราะห์และกำหนดค่าพารามิเตอร์

จากการศึกษาและรวบรวมข้อมูลเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง จึงได้วิเคราะห์และกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมต่อกระบวนการอบพองแคบหมูดังนี้

- 1) อัตราการอบพองแคบหมูมากกว่า 3 kg/hr
- 2) อุณหภูมิการอบพองแคบหมู 200-240 °C
- 3) การอบพองแคบหมูใช้เวลาไม่เกิน 5 min
- 4) การขยายตัวของแคบหมูหลังการอบ 3-5 เท่า
- 5) แคบหมูมีความชื้นไม่เกิน 2.5%w.b.

3.1.8 การประเมินความเป็นไปได้

จากการออกแบบเชิงแนวคิดของเครื่องอบพองแคบหมูทั้ง 3 แบบ คณะผู้วิจัยจึงทำการประเมินความเป็นไปได้ โดยพิจารณาถึงส่วนประกอบหลัก ลักษณะการทำงาน และฟังก์ชันการทำงานของเครื่องดังนี้

แบบที่ 1 เครื่องอบพองหนังหมูแบบสายพานลำเลียงถ้งหมุนกระบอกล

ข้อดี	ข้อเสีย
1. เครื่องอบพองเป็นแบบอัตโนมัติ 2. ผู้ปฏิบัติงานไม่ต้องเรียงหนังหมู 3. มีการติดตั้งถ้งหมุนกันความร้อนสูญเสีย 4. ผู้ปฏิบัติงานไม่เกิดความล้าเนื่องจากไม่สัมผัสกับความร้อนตลอดเวลา 5. มีระบบป้องกันความปลอดภัย 6. สามารถเคลื่อนย้ายได้	1. ผู้ปฏิบัติงานต้องเรียงหนังหมู 2. ทำความสะอาดสายพานได้ยาก 3. ใช้ขดลวดความร้อนเป็นแหล่งให้ความร้อน ทำให้การควบคุมอุณหภูมิไม่สม่ำเสมอ 4. หนังหมูไม่สามารถกระจายตัวอย่างต่อเนื่องขณะรับความร้อนมีผลทำให้หนังมีพองตัวไม่สม่ำเสมอหรืออาจจะไหม้ได้

แบบที่ 2 เครื่องอบพองแคบหมูแบบถังหมุนในแนวตั้ง

ข้อดี	ข้อเสีย
1. ผู้ปฏิบัติงานไม่ต้องเรียงหนังหมู 2. สามารถทำความสะอาดได้ 3. มีการติดตั้งฉนวนกันความร้อนสูญเสีย 4. หนังหมูมีการเคลื่อนที่และกระจายตัวอย่างต่อเนื่องขณะรับความร้อนทำให้หนังมีพองตัวอย่างสม่ำเสมอ 5. ผู้ปฏิบัติงานไม่เกิดความล้าเนื่องจากไม่สัมผัสกับความร้อนตลอดเวลา 6. มีระบบป้องกันความปลอดภัย 7. สามารถเคลื่อนย้ายได้	1. เครื่องอบพองเป็นแบบกึ่งอัตโนมัติ 2. ถังอบพองเป็นวงแนวตั้ง ทำให้มีพื้นที่ในการรับความร้อนน้อยกว่าแนวระดับ 3. ถังไม่สามารถถอด-ประกอบได้ 4. ใช้ขดลวดความร้อนเป็นแหล่งให้ความร้อนทำให้การควบคุมอุณหภูมิไม่สม่ำเสมอ

แบบที่ 3 เครื่องอบพองแคบหมูแบบถังหมุนในแนวนอน

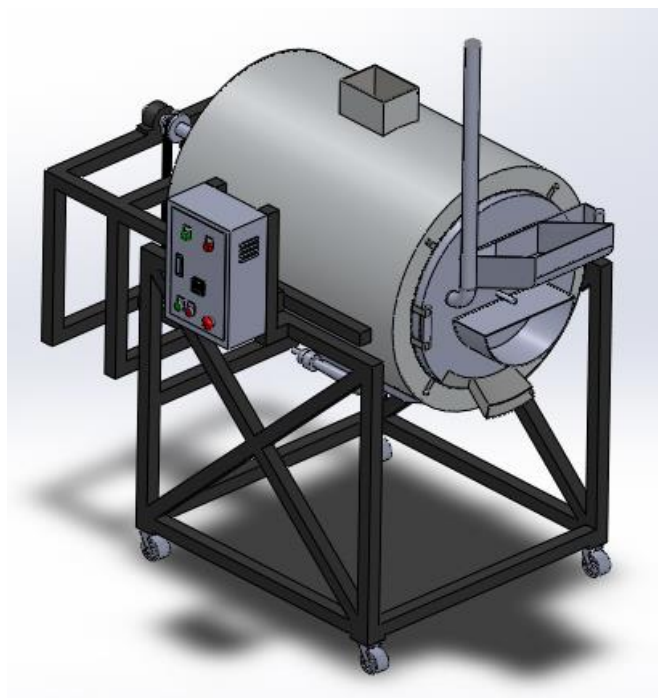
ข้อดี	ข้อเสีย
1. ผู้ปฏิบัติงานไม่ต้องเรียงหนังหมู 2. ถังสามารถถอด-ประกอบและทำความสะอาดได้ง่าย 3. มีการติดตั้งฉนวนกันความร้อนสูญเสีย 4. ใช้เตาแก๊สอินฟราเรดเป็นแหล่งให้ความร้อนทำให้การควบคุมอุณหภูมิได้อย่างสม่ำเสมอ 5. หนังหมูมีการเคลื่อนที่และกระจายตัวอย่างต่อเนื่องขณะรับความร้อนทำให้หนังมีพองตัวอย่างสม่ำเสมอ 6. ถังอบพองเป็นรูปทรงกระบอกวงแนวระดับ ทำให้มีพื้นที่ในการรับความร้อนมากกว่าแนวตั้ง 7. ผู้ปฏิบัติงานไม่เกิดความล้าเนื่องจากไม่สัมผัสกับความร้อนตลอดเวลา 8. มีระบบป้องกันความปลอดภัย 9. สามารถเคลื่อนย้ายได้	1. เครื่องอบพองเป็นแบบกึ่งอัตโนมัติ

คณะผู้วิจัยจึงพิจารณาเครื่องอบพองแคบหมูทั้ง 3 แบบ จากข้อดี-ข้อเสีย ดังนั้นจึงเลือกแบบที่ 3 เนื่องจากมีความเป็นไปได้มากที่สุดที่จะแก้ไขปัญหาต่างๆ ของโครงการและผลิตแคบหมูได้คุณภาพตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนแคบหมู

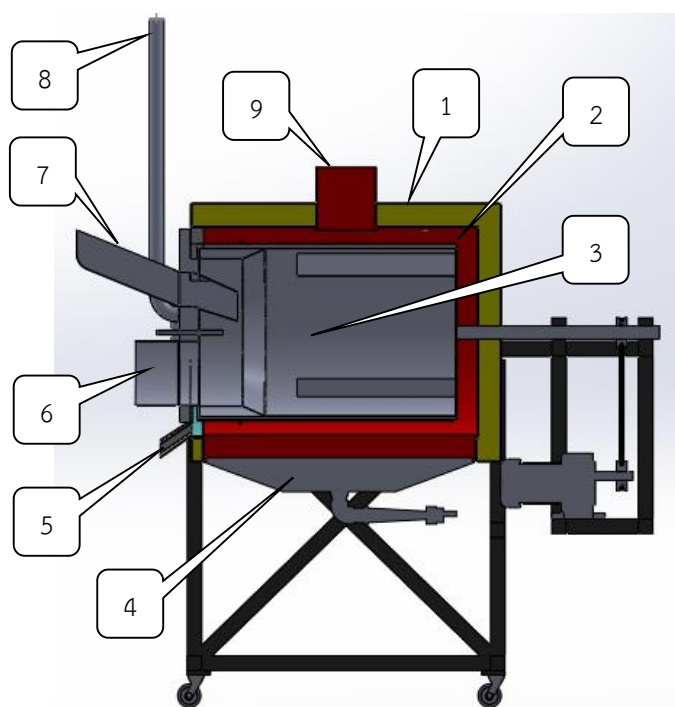
3.1.9 การออกแบบรายละเอียด

จากการเลือกเครื่องอบพองแคบหมู แบบที่ 3 ในขั้นตอนนี้จะเป็นการออกแบบรายละเอียดเกี่ยวกับส่วนประกอบของเครื่องอบพองแคบหมู ขั้นตอนการอบพองแคบหมู และการควบคุมอุณหภูมิ ดังนี้

1) ส่วนประกอบของเครื่องอบพองแคบหมู



รูปที่ 3.6 เครื่องอบพองแคบหมู



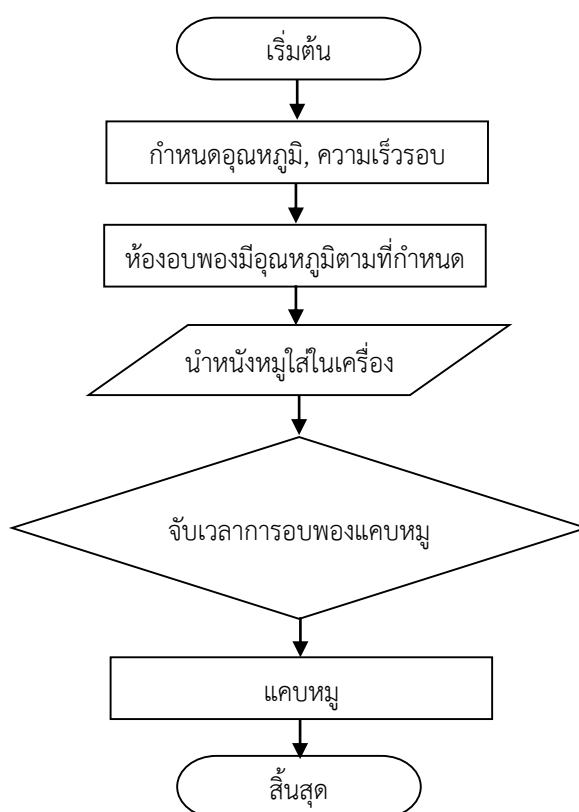
- หมายเลข 1 ถังชั้นนอก
- หมายเลข 2 ถังหมุน
- หมายเลข 3 ถังอบพองแคบหมู
- หมายเลข 4 เตาแก๊สอินฟราเรด
- หมายเลข 5 ช่องระบายน้ำมันออก
- หมายเลข 6 ช่องน้ำแคบหมูออก
- หมายเลข 7 ช่องป้อนแคบหมูเข้า
- หมายเลข 8 ท่อระบายควัน
- หมายเลข 9 ท่อระบายอากาศร้อนออก

รูปที่ 3.7 ส่วนประกอบเครื่องอบพองแคบหมู

ในการออกแบบรายละเอียดนี้จะพิจารณาต่อไปถึงการเลือกวัสดุในการสร้างเครื่องจักรสำหรับอุตสาหกรรมอาหารตามมาตรฐานอุตสาหกรรมอาหาร ได้แก่ GMP, HACCP เป็นต้น เพื่อให้วัสดุนั้นไม่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพของอาหารและไม่เป็นพิษต่อผู้บริโภค เช่น เลือกใช้สแตนเลส เบอร์ 304 อีกทั้งต้องคำนึงถึงผลกระทบที่มีต่อผู้ปฏิบัติงานกับเครื่องจักร ซึ่งจะต้องออกแบบให้สอดคล้องกับการใช้งานและเหมาะสมกับสรีระการทำงานของคน เพื่อให้คนสามารถทำงานได้สะดวกและมีประสิทธิภาพการทำงานสูง ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อผลผลิตของการผลิตในภาพรวม ดังนั้นจึงออกแบบรายละเอียดส่วนประกอบของเครื่องดังรูปที่ 3.6 และรูปที่ 3.7

หมายเหตุ จากการออกแบบรายละเอียดของเครื่องอบพองแคบหมู ตามแบบที่ 3 คณะผู้วิจัยได้ศึกษากระบวนการอบพองแคบหมูจะมีน้ำมันออกจากหนังหมูกึ่งสำเร็จรูป ซึ่งส่งผลทำให้เกิดควันและอาจทำให้เกิดกลิ่นไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค ดังนั้นจึงออกแบบช่องระบายน้ำมันออก และท่อระบายควัน

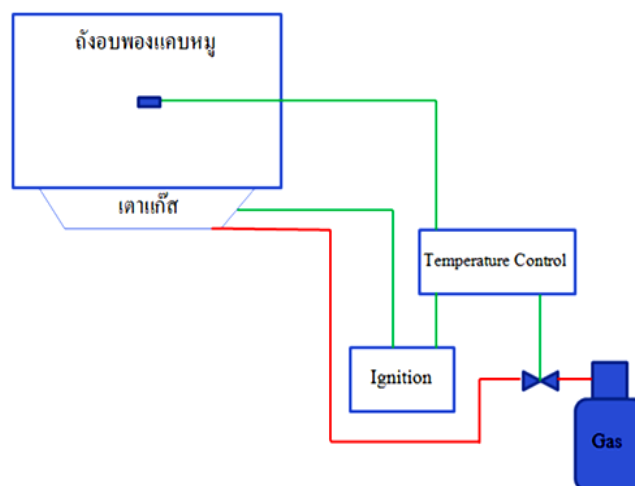
2. ขั้นตอนการอบพองแคบหมูเครื่องอบพองแคบหมู



รูปที่ 3.8 แผนผังแสดงขั้นตอนการอบพองแคบหมู

จากรูปที่ 3.8 แผนผังแสดงขั้นตอนการอบพองแคบหมู เริ่มต้นจากการปรับตั้งอุณหภูมิห้องอบพอง และความเร็วรอบของถัง เมื่ออุณหภูมิห้องอบพองมีอุณหภูมิตามที่กำหนดให้นำหนังหมูใส่เครื่องพร้อมกับจับเวลา หลังจากนั้นนำแคบหมูออกจากเครื่องและเริ่มทำการอบพองแคบหมูครั้งต่อไป

3. การควบคุมอุณหภูมิ



รูปที่ 3.9 แสดงการควบคุมอุณหภูมิ

จากรูปที่ 3.9 แสดงการควบคุมอุณหภูมิของเครื่องอบพองแคบหมู จะใช้วิธีการควบคุมด้วยเครื่องควบคุมอุณหภูมิควบคุมอุณหภูมิให้ห้องอบพองแคบหมูมีอุณหภูมิตามที่กำหนด ซึ่งเมื่อเริ่มเดินเครื่องอบให้ปรับตั้งอุณหภูมิที่เครื่องควบคุมอุณหภูมิ จากนั้นเซนเซอร์วัดอุณหภูมิจะตรวจสอบอุณหภูมิของห้องอบและส่งสัญญาณควบคุมไปยังกล่องจุดแก๊สอัตโนมัติและโซลินอยด์วาล์วแก๊สเพื่อจุดติดแก๊ส เมื่ออุณหภูมิของห้องอบเพิ่มสูงขึ้นจนกระทั่งอุณหภูมิถึงค่าที่กำหนดไว้ เครื่องควบคุมอุณหภูมิจะส่งสัญญาณให้โซลินอยด์วาล์วแก๊สเพื่อตัดแก๊สซึ่งระบบการทำงานจะเป็นวัฏจักรแบบนี้จนกระทั่งหยุดการทำงาน

3.1.10 การออกแบบและคำนวณเครื่องต้นแบบ

การออกแบบเครื่องต้นแบบ โดยการคำนวณหาขนาดของรูปร่าง อุปกรณ์หลักของเครื่องอบพองแคบหมู ซึ่งได้พิจารณาจากการออกแบบรายละเอียด การวิเคราะห์และกำหนดค่าพารามิเตอร์ แล้วได้คำนวณไว้ดังภาคผนวก ก การออกแบบและคำนวณเครื่องอบพองแคบหมู ดังนี้

- 1) ถังอบพองมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 570 mm ความยาว 890 mm
- 2) เตาแก๊สอินฟราเรดมีขนาด 9360 kcal/hr หรือ 10.87 kW
- 3) มอเตอร์ขนาด 1 hp

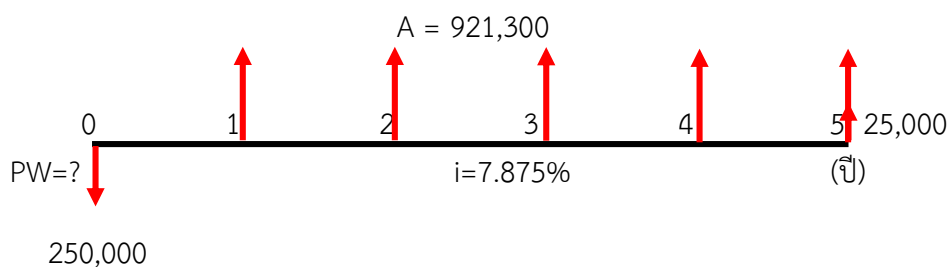
3.1.11 การวิเคราะห์เศรษฐศาสตร์เบื้องต้น

การวิเคราะห์ต้นทุนในการสร้างเครื่องดังกล่าวนี้จะใช้วิธีการวิเคราะห์มูลค่าปัจจุบัน และใช้วิธีการตัดสินใจคือ ถ้าค่า $PW \geq 0$ แสดงว่าโครงการนี้ให้ผลตอบแทนเท่ากับหรือมากกว่าอัตราผลตอบแทนการลงทุนขั้นต่ำ (Minimum Attractive Rate of Return, MARR) ดังนั้นคณะผู้วิจัยจึงได้ประมาณค่าการจัดทำเครื่องอบพองแคบหมู 250,000 บาท ค่าหนังหมูกึ่งสำเร็จรูป 150 บาทต่อกิโลกรัม และประมาณการอบพองแคบหมู 24 กิโลกรัมต่อวัน (เมื่อได้แคบหมูน้ำหนักแคบหมูจะลดลง 10%) ค่าแก๊สหุงต้ม 700 บาทต่อเดือน ค่าไฟฟ้า 300 บาทต่อเดือน ค่าดำเนินงานรายปี 3% ของราคาเครื่อง ค่าแรงงาน 8,000 บาทต่อเดือน รายได้จากการขายแคบหมู 300 บาทต่อกิโลกรัม มูลค่าซาก 10% ของราคาเครื่อง อายุ

โครงการ 5 ปี และ MARR 7.875% (ของธนาคารกรุงไทย ณ วันที่ 26 พฤษภาคม 2558) มีรายละเอียดดังนี้

ราคาเครื่อง, บาท	250,000
ค่าใช้จ่ายทั้งหมดรายปี	1,411,500
รายได้ต่อปี	2,332,800
มูลค่าซาก	25,000
อายุโครงการ	5

ดังนั้นสามารถเขียนผังกระแสเงินสด



รูปที่ 3.10 ผังกระแสเงินสด

$$PW = -250,000 + 921,300(P/A, 7.875\%, 5) + 25,000(P/F, 7.875\%, 5)$$

$$PW = 3,457,739.71$$

ดังนั้น จะเห็นได้ว่า PW มีค่าสูงมากจึงควรตัดสินใจทำโครงการดังกล่าวนี้

3.1.12 เขียนแบบเครื่องต้นแบบ

หลังจากได้ออกแบบรายละเอียด การออกแบบเครื่องต้นแบบ และในแง่อื่นครบถ้วนแล้ว คณะผู้วิจัยจึงนำรายละเอียดทั้งหมดให้วิศวกรจัดทำเป็นแบบสั่งงานโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อใช้เป็นแบบในการสร้างเครื่องอบพองแคบหมู

3.1.13 การสร้างเครื่องต้นแบบ

การสร้างเครื่องต้นแบบได้ดำเนินการสร้างโครงสร้าง ชุดถัง (ถังชั้นนอกถัง ถังหมุน อบพอง แคมหมู และฝาหน้าเครื่อง) และระบบควบคุม

1. โครงสร้าง ทำด้วยเหล็ก ใช้ติดตั้งชุดส่งกำลัง ชุดควบคุม และฐานรองรับชุดถัง (ถังชั้นนอก ถังหมุน ถังอบพองแคมหมู และฝาหน้าเครื่อง) โดยด้านข้างฐานรองรับชุดถังจะติดตั้งเพลาสวมเข้ากับแปรงทั้ง 2 ข้าง เพื่อใช้เป็นจุดหมุนในการกดยืดถังแล้วนำแคมหมูออกจากเครื่อง และส่วนฐานของโครงสร้างเครื่องจะติดตั้งล้อให้สามารถเคลื่อนย้ายได้สะดวก



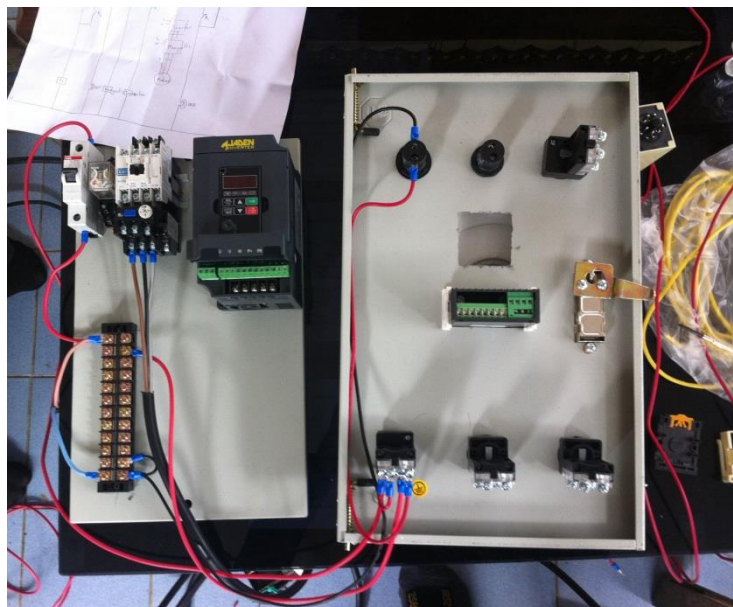
รูปที่ 3.11 โครงสร้าง

2. ชุดถัง ทำด้วยสแตนเลสเบอร์ 304 ประกอบด้วยถังชั้นนอกมี 2 ชั้น ระหว่างกลางจะใส่ฉนวนใยแก้ว และด้านล่างถังจะติดตั้งเตาแก๊สอินฟราเรด, ถังหมุนจะมีเพลาลูกเบี้ยวและติดตั้งอยู่ภายในถังชั้นนอกโดยจะหมุนรับความร้อนจากเตาแก๊สอินฟราเรด และภายในถังหมุนจะใช้ติดตั้งถังอบพองแคบหมู, ถังอบพองแคบหมูเป็นห้องอบพองแคบหมู ภายในถังจะมีครีบอกเพื่อกระจายตัวให้หนังหมูรับความร้อนอย่างทั่วถึง และฝาหน้าเครื่องสามารถเปิด-ปิดได้ ด้านหน้าจะมีช่องป้อนหนังหมูเข้า มีช่องนำแคบหมูออก และมีท่อระบายควันออก



รูปที่ 3.12 ชุดถัง (ถังอบพองแคบหมู ถังหมุน ถังชั้นนอก และฝาหน้าเครื่อง)

3. วงจรควบคุม ประกอบด้วยวงจรควบคุมชุดส่งกำลังและวงจรควบคุมอุณหภูมิ โดยวงจรควบคุมชุดส่งกำลังจะใช้อินเวอร์เตอร์ควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ เพื่อใช้ปรับความเร็วรอบของถังให้หมุนตามที่กำหนด ส่วนวงจรควบคุมอุณหภูมิจะใช้เครื่องควบคุมอุณหภูมิเป็นตัวควบคุมอุณหภูมิห้องและควบคุมการจุดติดแก๊สและตัดการจ่ายแก๊ส เพื่อให้อุณหภูมิห้องอบมีอุณหภูมิตามที่กำหนด



รูปที่ 3.13 วงจรควบคุม

3.1.14 การวางแผนการทดสอบ

จากการวิเคราะห์และกำหนดค่าพารามิเตอร์จึงทำการวางแผนการทดสอบโดยการศึกษাপริมาณการอบพองแคบหมูต่อครั้ง อุณหภูมิการอบพอง เวลาการอบพอง และความเร็วรอบของถังหมุน โดยทดสอบการอบพองแคบหมูจำนวน 3 ซ้ำ ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

1. ศึกษาปริมาณการอบพองแคบหมูต่อครั้ง คือ 1 kg
2. ศึกษาอุณหภูมิการอบพองที่เหมาะสม 3 ระดับ คือ 200, 220 และ 240 °C
3. ศึกษาเวลาการอบพองที่เหมาะสมในเวลาต่างๆ กัน คือ 3, 4 และ 5 min
4. ศึกษาความเร็วรอบของถังหมุนที่เหมาะสม 3 ระดับ คือ 16, 20 และ 24 rpm

ดังนั้นจึงทำการวางแผนการทดสอบได้ 2 วิธี คือ การทดสอบการทำงานของเครื่องอบพองแคบหมู และการทดสอบอบพองแคบหมู

แคบหมูที่นำมาทดสอบการพองตัว ได้จากวิธีการผลิตแคบหมูด้วยวิธีการอบของอรัญ และคณะ (2548) คือ นำหนังหมูล้างน้ำสะอาด ต้มในน้ำเดือดประมาณ 10-15 นาที ตัดส่วนที่เป็นมันออก หั่นให้เป็นเส้น คลุกกับส่วนผสมที่เตรียมไว้และหมักทิ้งไว้ นำหนังหมูเข้าอบเพื่อลดความชื้นที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส นาน 3 ชั่วโมง 30 นาที ได้เป็นแคบหมูกึ่งสำเร็จรูป เพื่อนำไปทดสอบต่อไป

3.1.15 การทดสอบการทำงานของเครื่องต้นแบบ

หลังจากดำเนินการสร้างเครื่องเสร็จจึงทำการทดสอบการทำงานของเครื่องต้นแบบให้ได้ตามการวางแผนการทดสอบ แล้วทำการทดสอบการทำงานโดยการควบคุมความเร็วรอบถึงหมุนที่ความเร็วรอบ 16, 20 และ 24 rpm และอุณหภูมิห้อง 200, 220 และ 240 °C พร้อมกับอ่านค่าและบันทึกอุณหภูมิทุกๆ 2 min เป็นเวลา 120 min จากนั้นทำการวิเคราะห์การควบคุมอุณหภูมิและปริมาณการใช้พลังงานของเครื่องอบพองแคบหมู เมื่อพบปัญหาจะทำการพัฒนาปรับปรุงแก้ไขระบบเครื่องอบพองแคบหมูจนกระทั่งระบบการทำงานของเครื่องอบพองแคบหมูมีประสิทธิภาพที่เหมาะสม

3.1.16 การทดสอบการอบพองแคบหมู

จากวางแผนการทดสอบโดยมีเงื่อนไขของปริมาณหนังหมูที่ใช้อบพอง 1 kg/ครั้ง, อุณหภูมิการอบพอง คือ 200, 220 และ 240 °C, ความเร็วรอบถึงหมุน คือ 16, 20 และ 24 rpm และเวลาการอบพองแคบหมู คือ 3, 4 และ 5 min คณะผู้วิจัยจึงทดสอบการอบพองแคบหมุดังตามตารางที่ 3.1 โดยเริ่มจากการอ่านค่าและบันทึกน้ำหนักหนังหมูก่อนการอบพอง อุณหภูมิ จากนั้นทำตามขั้นตอนการอบพองแคบหมูของเครื่องอบพองแคบหมู (รูปที่ 3.8) พร้อมกับอ่านค่าและบันทึกค่ากระแสไฟฟ้า น้ำหนักหนังหมูหลังการอบพอง (การพองตัวดี, ไม่พองตัว และไหม้) ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า และปริมาณการใช้พลังงานเชื้อเพลิง หลังจากนั้นจะคำนวณหาร้อยละของแคบหมูที่พองตัวด้วยวิธีการชั่งน้ำหนัก เพื่อคัดเลือกแคบหมูที่พองตัวไม่น้อยกว่าร้อยละ 90 ไปดำเนินการตรวจสอบคุณภาพ

ตารางที่ 3.1 รายละเอียดการทดสอบอบพองแคบหมู

สภาวะการทดสอบ		
อุณหภูมิ (°C)	เวลา (min)	ความเร็วรอบ (rpm)
200	3	16
200	3	20
200	3	24
200	4	16
200	4	20
200	4	24
200	5	16
200	5	20
200	5	24
220	3	16
220	3	20
220	3	24
220	4	16
220	4	20
220	4	24
220	5	16
220	5	20
220	5	24
240	3	16
240	3	20
240	3	24
240	4	16
240	4	20
240	4	24
240	5	16
240	5	20
240	5	24

3.1.17 ผลการทดสอบและวิเคราะห์ผล

จากการทดสอบการอบพองแคบหมู จึงนำตัวอย่างแคบหมูที่พองตัวไม่น้อยกว่าร้อยละ 90 ไปดำเนินการตรวจสอบคุณภาพดังนี้

- อัตราการพองตัว (Expansion ratio) โดยวิธีการวัดปริมาตรของแคบหมูก่อนอบพอง และวัดปริมาตรของแคบหมูหลังอบพอง คัดแปลงจาก Nath and Chattopadhyay (2008) มีสูตรคำนวณดังนี้

อัตราการพองตัว = ปริมาตรแคบหมูหลังการอบพอง/ปริมาตรแคบหมูก่อนการอบพอง

- ปริมาณความชื้น (AOAC, 2000)

- ค่าสี (L^* (lightness value), a^* (redness value), b^* (yellowness value) ด้วยเครื่อง Colorimeter (ระบบ Hunter Lab รุ่น Color Quest XE, U.S.A)

- ลักษณะเนื้อสัมผัส วัดค่าความแข็ง (Hardness) และความกรอบ (Crispness) ด้วยเครื่อง Texture Analyzer (Stable Micro System รุ่น TA.XT.Plus, U.S.A)

วางแผนการทดลองแบบ Factorial in Completely Randomized Design (CRD) นำข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์ความแปรปรวน Analysis of Variance (ANOVA) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของตัวอย่างด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DNMRT) นำข้อมูลที่ได้คัดเลือกสภาวะการผลิตที่เหมาะสม เพื่อนำไปศึกษาในขั้นตอนต่อไป

- นำสภาวะการอบแคบหมูที่ผ่านคัดเลือกจากข้างต้น นำไปทำการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสเทียบกับแคบหมูที่พองตัวด้วยการทอดในน้ำมัน โดยเตรียมจากแคบหมูกิ่งสำเร็จรูปเดียวกัน จากนั้นแบ่งการทำให้พองตัวด้วยวิธีการอบ และการทอดในน้ำมัน จากนั้นนำไปทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสแบบ Hedonic scaling 9 point โดยใช้ผู้ทดสอบชิมจำนวน 50 คน ตรวจสอบคุณภาพทางด้านลักษณะปรากฏ กลิ่น ลักษณะเนื้อสัมผัส (ความกรอบ) และความชอบรวม วางแผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block Design (RCBD) นำข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์ความแปรปรวน Analysis of Variance (ANOVA) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของตัวอย่างด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DNMRT) นำข้อมูลที่ได้คัดเลือกสภาวะการอบที่เหมาะสมที่สุด เพื่อนำไปศึกษาในขั้นตอนต่อไป

- นำสภาวะการอบแคบหมูที่ผ่านคัดเลือกจากการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส นำไปเปรียบเทียบคุณภาพกับผลิตภัณฑ์แคบหมูที่มีจำหน่ายทั่วไปด้วยการสุ่ม ซึ่งเป็นแคบหมูที่ผลิตด้วยวิธีการทอดในน้ำมันให้พองตัวจำนวน 3 ตัวอย่าง จากนั้นตรวจสอบคุณภาพแคบหมู คือ ความชื้น (AOAC, 2000) ไขมัน (AOAC, 2000) ความหนาแน่นเนื้อ (solid density) คัดแปลงจาก Singh and Singh (1999) ค่าสี L^* a^* b^* ด้วยเครื่อง Colorimeter (ระบบ Hunter Lab รุ่น Color Quest XE, U.S.A) และลักษณะเนื้อสัมผัสด้านค่าความแข็ง (Hardness) และความกรอบ (Crispness) ด้วยเครื่อง Texture Analyzer (Stable Micro System รุ่น TA.XT.Plus, U.S.A) วางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) นำข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของตัวอย่างด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DNMRT)

3.1.18 การหาประสิทธิภาพการใช้พลังงาน

การหาประสิทธิภาพการใช้พลังงาน ซึ่งได้คำนวณจากปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าและปริมาณการใช้พลังงานเชื้อเพลิงแก๊สในการอบพองแคบหมู โดยคำนวณค่าประสิทธิภาพการใช้พลังงาน คือ พลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้จริงในการอบพองแคบหมูต่อพลังงานที่ใช้ในการผลิตทั้งหมด

3.1.19 การวิเคราะห์เศรษฐศาสตร์

โครงการดังกล่าวนี้จะสามารถเป็นไปได้ในทางปฏิบัติต่อเมื่อมีการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์แล้วพบว่าสามารถให้ผลตอบแทนที่คุ้มค่าต่อการลงทุนมากที่สุด โดยมีระยะเวลาคืนทุนเร็วที่สุด การประเมินค่าทางเศรษฐศาสตร์วิธีที่ง่ายและนิยมใช้มาก คือ การวิเคราะห์หาระยะเวลาการคืนทุน (Simple Payback Period) เพื่อจะทำให้ทราบว่าจะได้รับเงินคืนทุนช้าหรือเร็วเท่าใด หรืออัตราผลตอบแทนการลงทุน (Internal Rate of Return หรือ IRR) เพื่อใช้เป็นเกณฑ์ในการตัดสินใจว่าให้ผลตอบแทนที่คุ้มค่าต่อการลงทุนหรือไม่

3.1.20 สรุปผลการทดสอบ

เมื่อโครงการได้ดำเนินงานตามการดำเนินการวิจัยแล้วเสร็จ คณะผู้วิจัยจึงทำการสรุปตามวัตถุประสงค์โดยมีรายละเอียดดังนี้

1. การออกแบบและสร้างเครื่องเครื่องอบพองแคบหมูสำหรับอุตสาหกรรมขนาดกลางและขนาดย่อม ซึ่งประกอบด้วยส่วนประกอบ ลักษณะรูปร่าง และหลักการทำงาน
2. ผลการทดสอบและวิเคราะห์ผลของการอบพองแคบหมู
3. การหาประสิทธิภาพการใช้พลังงาน
4. การวิเคราะห์เศรษฐศาสตร์

บทที่ 4

วิธีการทดสอบและผลการทดสอบ

4.1 วิธีการทดสอบ

วิธีการทดสอบได้แบ่งออกเป็น 2 วิธี คือ 1. การทดสอบการทำงานของเครื่องอบฟองแคบหมู โดยทดสอบการควบคุมอุณหภูมิ เพื่อทำการวิเคราะห์การควบคุมอุณหภูมิและปริมาณการใช้พลังงาน 2. การทดสอบการอบฟองแคบหมู โดยทดสอบตามเงื่อนไขจากปริมาณที่ใช้ในการอบฟองแคบหมู อุณหภูมิที่ใช้ในการอบฟองแคบหมู เวลาที่ใช้ในการอบฟองอบฟองแคบหมู และความเร็วรอบของถังหมุน แล้วทำการวิเคราะห์พารามิเตอร์และตรวจสอบคุณภาพแคบหมู เพื่อหาสภาวะการอบฟองแคบหมูที่เหมาะสมที่สุด

4.1.1 การทดสอบการทำงานของเครื่องอบฟองแคบหมู โดยเริ่มจากติดตั้งเครื่องมือวัดอุณหภูมิ, แคลมป์มิเตอร์, เครื่องชั่งน้ำหนัก และมีเตอร์ไฟฟ้า จากนั้นอ่านค่าและบันทึกผล (อุณหภูมิ, น้ำหนักแก๊ส, พลังงานไฟฟ้า) เปิดสวิตช์ที่ตู้ควบคุมกดปุ่มสตาร์ท (ปุ่มสีเขียว) ทำการปรับตั้งเครื่องควบคุมอุณหภูมิที่อุณหภูมิ 200 °C พร้อมกับปรับความเร็วรอบที่อินเวอร์เตอร์ให้มีความเร็วรอบ 16 rpm เมื่อทำการปรับตั้งค่าต่างๆ เสร็จให้เดินเครื่องพร้อมกับเริ่มจับเวลา อ่านค่าและบันทึกผล (อุณหภูมิ, น้ำหนักแก๊ส, พลังงานไฟฟ้า) ทุกๆ 2 min เป็นเวลา 120 min และทำการทดสอบให้ครบตามหัวข้อ 3.1.15 จากนั้นเมื่อได้ค่าครบถ้วนแล้วคณะผู้วิจัยจะทำการวิเคราะห์การควบคุมอุณหภูมิและปริมาณการใช้พลังงาน



รูปที่ 4.1 การทดสอบการทำงานของเครื่องอบฟองแคบหมู

4.1.2 การทดสอบการอบพองแคบหมู โดยเริ่มจากติดตั้งเครื่องมือวัดอุณหภูมิ, แคลมป์มิเตอร์, เครื่องชั่งน้ำหนัก และมิเตอร์ไฟฟ้า จากนั้นเปิดสวิตซ์ที่ตู้ควบคุม กดปุ่มสตาร์ท (ปุ่มสีเขียว) ทำการปรับตั้งเครื่องควบคุมอุณหภูมิที่อุณหภูมิ 200°C พร้อมกับปรับความเร็วรอบที่อินเวอร์เตอร์ให้มีความเร็วรอบ 16 rpm เมื่อทำการปรับตั้งค่าต่างๆ เสร็จให้นำหนังหมูที่ผ่านกรรมวิธีการเบื้องต้น มาชั่งน้ำหนัก 1 kg แล้ววัดปริมาตรหนังหมูและบันทึกผล จากนั้นเริ่มเดินเครื่องร่อนกระทั่งอุณหภูมิถึงค่าที่กำหนดไว้ ให้นำหนังหมูใส่เข้าไปในเครื่องอบพองแคบหมูพร้อมกับเริ่มจับเวลา อ่านค่าและบันทึกผล (น้ำหนักแก๊ส และพลังงานไฟฟ้า) เมื่อครบ 3 min ให้อ่านค่าและบันทึกผล (น้ำหนักแก๊ส และพลังงานไฟฟ้า) พร้อมก็นำแคบหมูออกจากเครื่องอบพองแคบหมู โดยการกดเอียงเครื่องอบพองแคบหมู หลังจากนั้นคัดแยกแคบหมูเป็นส่วนดี-เสีย แล้วชั่งน้ำหนักและวัดปริมาตร อ่านค่าและบันทึกผลเสร็จ จะนำค่าไปคำนวณหาร้อยละของแคบหมูที่พองตัว จากนั้นทำการทดสอบให้ครบตามตารางที่ 3.1 และคณะผู้วิจัยจะพิจารณาคัดเลือกแคบหมูจากแคบหมูที่พองตัวไม่น้อยกว่าร้อยละ 90 ไปดำเนินการตรวจสอบคุณภาพและวิเคราะห์หาสภาวะการอบพองแคบหมูที่เหมาะสมที่สุด หลังจากนั้นทำการหาประสิทธิภาพการใช้พลังงานและวิเคราะห์เศรษฐศาสตร์



รูปที่ 4.2 การทดสอบการอบพองแคบหมู

4.2 ผลการทดสอบ

4.2.1 ผลการทดสอบการทำงานของเครื่องอบฟองแคบหมู

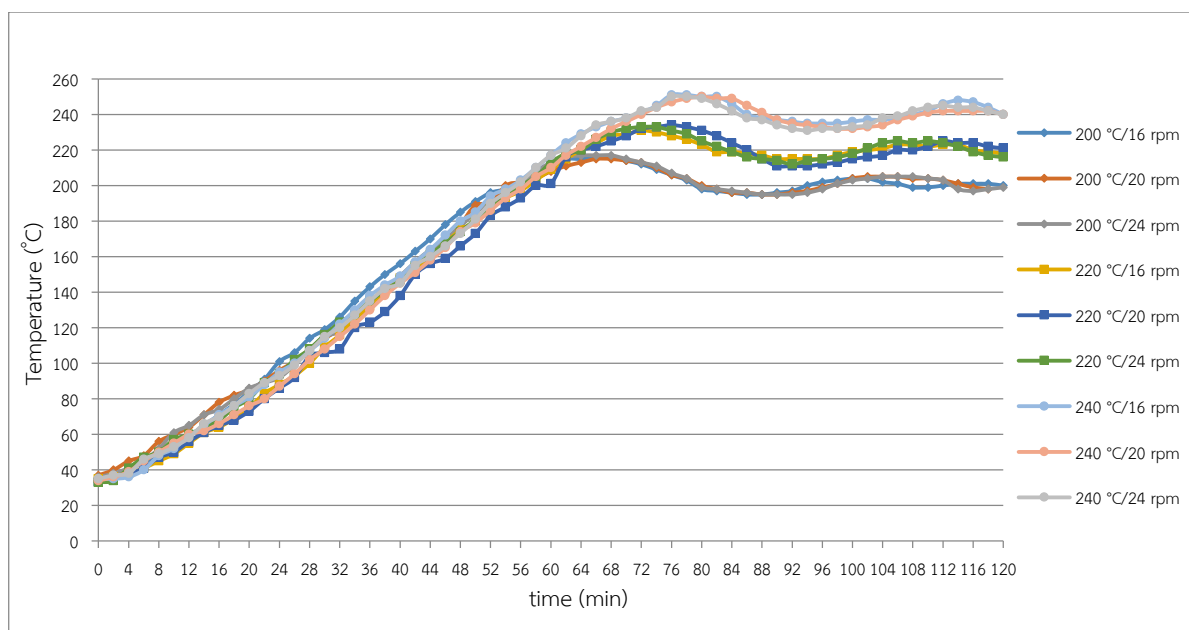
ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบการควบคุมอุณหภูมิเครื่องอบฟองแคบหมู

เวลา (min)	การควบคุมอุณหภูมิ 200 °C			การควบคุมอุณหภูมิ 220 °C			การควบคุมอุณหภูมิ 240 °C		
	ความเร็ว รอบ 16 rpm	ความเร็ว รอบ 20 rpm	ความเร็ว รอบ 24 rpm	ความเร็ว รอบ 16 rpm	ความเร็ว รอบ 20 rpm	ความเร็ว รอบ 24 rpm	ความเร็ว รอบ 16 rpm	ความเร็ว รอบ 20 rpm	ความเร็ว รอบ 24 rpm
	อุณหภูมิห้องอบฟอง (°C)			อุณหภูมิห้องอบฟอง (°C)			อุณหภูมิห้องอบฟอง (°C)		
0	34	34	36	35	33	33	35	34	35
2	36	37	38	36	35	34	35	36	37
4	40	40	41	38	38	41	36	39	38
6	44	45	45	41	41	47	40	45	46
8	49	48	52	45	47	50	48	50	49
10	55	56	61	49	50	57	52	55	53
12	59	60	65	55	56	60	59	60	58
14	65	64	71	61	61	64	65	62	66
16	71	71	74	64	65	68	71	66	70
18	77	78	80	69	68	75	76	71	76
20	84	82	86	75	73	80	81	76	83
22	91	85	89	83	80	89	88	80	89
24	101	90	92	88	86	94	95	87	93
26	106	96	99	93	92	102	100	94	99
28	114	101	108	100	104	108	107	102	107
30	119	108	115	109	106	116	114	108	115
32	126	114	118	116	108	123	122	115	120
34	135	119	127	125	120	128	130	122	127
36	143	125	134	132	123	135	138	130	135
38	150	133	141	140	129	141	144	138	142
40	156	140	149	148	138	147	149	145	145
42	163	146	157	154	150	155	157	151	155
44	170	151	164	160	156	161	164	158	160
46	178	160	170	168	159	168	172	165	166
48	185	169	177	175	166	174	180	174	173
50	191	178	185	180	173	181	185	179	181
52	196	189	190	187	183	187	194	186	190
54	198	190	196	193	188	194	198	193	196
56	202	200	201	197	193	200	203	198	202
58	205	202	208	203	200	205	210	205	210
60	212	204	213	209	201	213	217	210	217

ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบการควบคุมอุณหภูมิเครื่องอบพองแคบหมู (ต่อ)

เวลา (min)	การควบคุมอุณหภูมิ 200 °C			การควบคุมอุณหภูมิ 220 °C			การควบคุมอุณหภูมิ 240 °C		
	ความเร็ว รอบ 16 rpm	ความเร็ว รอบ 20 rpm	ความเร็ว รอบ 24 rpm	ความเร็ว รอบ 16 rpm	ความเร็ว รอบ 20 rpm	ความเร็ว รอบ 24 rpm	ความเร็ว รอบ 16 rpm	ความเร็ว รอบ 20 rpm	ความเร็ว รอบ 24 rpm
	อุณหภูมิห้องอบพอง (°C)			อุณหภูมิห้องอบพอง (°C)			อุณหภูมิห้องอบพอง (°C)		
62	215	208	216	215	216	218	224	217	221
64	215	211	217	220	220	220	229	222	228
66	216	213	217	224	222	226	233	227	234
68	216	215	217	228	225	230	236	232	236
70	214	215	215	229	228	232	238	236	238
72	212	214	213	231	232	233	241	240	242
74	209	213	211	230	233	233	245	244	244
76	206	210	207	228	234	231	251	247	250
78	203	206	204	226	233	229	251	249	250
80	198	204	199	223	231	225	250	250	249
82	197	200	198	219	228	222	250	249	246
84	196	198	197	219	224	219	246	249	242
86	195	196	196	218	220	216	240	245	238
88	195	196	195	217	215	215	238	241	237
90	196	195	195	215	211	214	237	237	234
92	197	195	195	215	211	212	236	235	232
94	200	196	196	215	211	214	235	234	231
96	202	197	198	215	212	215	235	233	232
98	203	199	201	217	213	216	235	232	232
100	204	201	203	219	215	218	236	232	233
102	204	204	204	220	216	221	237	233	234
104	202	205	205	221	217	224	237	234	238
106	201	205	205	223	220	225	238	237	239
108	199	205	205	223	220	224	240	239	242
110	199	204	204	222	222	225	242	241	244
112	200	204	203	223	225	224	246	242	245
114	201	203	198	223	224	222	248	242	244
116	201	201	197	220	224	219	247	242	244
118	201	199	198	219	222	217	244	242	242
120	200	198	199	218	221	216	240	240	240

4.2.1.1 กราฟการควบคุมอุณหภูมิของเครื่องอบพองแคบหมู



รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลา

จากรูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลา พบว่าอุณหภูมิของเครื่องอบพองแคบหมูมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน ในช่วงแรกอุณหภูมิจะเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจนกระทั่งถึงอุณหภูมิที่กำหนดไว้ จากนั้นอุณหภูมิจะเริ่มคงที่ โดยที่อุณหภูมิ 200 °C ความเร็วรอบ 16, 20 และ 24 rpm ใช้เวลาทำอุณหภูมิไม่เกิน 56 min หลังจากนั้นอุณหภูมิจะเริ่มคงที่ ซึ่งจะสามารถควบคุมอุณหภูมิไม่เกิน $\pm 5^{\circ}\text{C}$, ที่อุณหภูมิ 220 °C ความเร็วรอบ 16, 20 และ 24 rpm ใช้เวลาทำอุณหภูมิไม่เกิน 64 min หลังจากนั้นอุณหภูมิจะเริ่มคงที่ ซึ่งจะสามารถควบคุมอุณหภูมิไม่เกิน $\pm 9^{\circ}\text{C}$ และที่อุณหภูมิ 240 °C ความเร็วรอบ 16, 20 และ 24 rpm ใช้เวลาทำอุณหภูมิไม่เกิน 72 min หลังจากนั้นอุณหภูมิจะเริ่มคงที่ ซึ่งจะสามารถควบคุมอุณหภูมิไม่เกิน $\pm 9^{\circ}\text{C}$

ตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบปริมาณการใช้พลังงานของเครื่องอบพองแคบหมู

ความเร็วรอบ (rpm)	อุณหภูมิ (°C)	ปริมาณการใช้พลังงาน เชื้อเพลิงแก๊ส (kg/hr)	ปริมาณการใช้พลังงาน เชื้อเพลิงไฟฟ้า (kW·hr)
16	200	0.45	0.7
	220	0.50	0.7
	240	0.55	0.7
20	200	0.44	0.8
	220	0.49	0.8
	240	0.55	0.8
24	200	0.44	0.9
	220	0.48	0.9
	240	0.53	0.9

จากตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบปริมาณการใช้พลังงานของเครื่องอบพองแคบหมู พบว่าอุณหภูมิมีผลต่อปริมาณการใช้พลังงานเชื้อเพลิงแก๊ส ที่อุณหภูมิต่ำจะมีค่าปริมาณการใช้พลังงานเชื้อเพลิงแก๊สน้อยกว่าอุณหภูมิสูง โดยที่อุณหภูมิ 200 °C ความเร็วรอบ 16, 20 และ 24 rpm มีค่าปริมาณการใช้พลังงานเชื้อเพลิงแก๊สเท่ากับ 0.45, 0.44 และ 0.44 kg/hr, ที่อุณหภูมิ 220 °C ความเร็วรอบ 16, 20 และ 24 rpm มีค่าปริมาณการใช้พลังงานเชื้อเพลิงแก๊สเท่ากับ 0.50, 0.49 และ 0.48 kg/hr และที่อุณหภูมิ 240 °C ความเร็วรอบ 16, 20 และ 24 rpm มีค่าปริมาณการใช้พลังงานเชื้อเพลิงแก๊สเท่ากับ 0.55, 0.55 และ 0.53 kg/hr ตามลำดับ

และพบว่าความเร็วรอบมีผลต่อปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า ที่ความเร็วรอบต่ำจะมีค่าปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าน้อยกว่าความเร็วรอบสูง โดยที่อุณหภูมิ 200 °C ความเร็วรอบ 16, 20 และ 24 rpm มีค่าปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าเท่ากับ 0.7, 0.8 และ 0.9 kW·hr, ที่อุณหภูมิ 220 °C ความเร็วรอบ 16, 20 และ 24 rpm มีค่าปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าเท่ากับ 0.7, 0.8 และ 0.9 kW·hr และที่อุณหภูมิ 240 °C ความเร็วรอบ 16, 20 และ 24 rpm มีค่าปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าเท่ากับ 0.7, 0.8 และ 0.9 kW·hr ตามลำดับ

4.2.2 ผลการทดสอบการอบฟองแคบหมู

1. ผลการทดสอบการอบฟองแคบหมู

ตารางที่ 4.3 ผลการทดสอบการอบฟองแคบหมู

อุณหภูมิ (°C)	เวลา (min)	ความเร็วรอบ (rpm)	น้ำหนักแคบหมูหลังการอบฟอง			ร้อยละแคบหมู ที่ฟองตัว
			การฟองตัวดี (g)	ไม่ฟองตัว (g)	ไหม้ (g)	
200	3	16	0	987	0	0.00
		20	0	981	0	0.00
		24	0	975	0	0.00
	4	16	0	967	0	0.00
		20	12	931	0	1.27
		24	47	899	0	4.97
	5	16	69	879	0	7.28
		20	97	847	0	10.28
		24	112	822	0	11.99
220	3	16	18	937	0	1.88
		20	15	934	0	1.58
		24	40	897	0	4.27
	4	16	159	776	4	16.93
		20	195	720	1	21.25
		24	281	625	6	30.81
	5	16	835	81	8	90.33
		20	862	37	7	95.18
		24	892	0	5	99.48
240	3	16	21	924	0	2.22
		20	61	888	0	6.43
		24	86	848	0	9.21
	4	16	311	581	5	34.67
		20	342	539	25	37.75
		24	444	487	16	46.88
	5	16	889	0	33	96.39
		20	881	0	23	97.46
		24	868	0	35	96.09

จากตารางที่ 4.3 ผลการทดสอบการอบฟองแคบหมู พบว่าอุณหภูมิที่ใช้ในการอบฟอง เวลาที่ใช้ในการอบฟองแคบหมู และความเร็วรอบของถังหมุน มีผลต่อการฟองตัวของแคบหมู โดยที่อุณหภูมิ 200 °C ความเร็วรอบ 16, 20 และ 24 rpm เวลา 3, 4 และ 5 min แคบหมูมีแนวโน้มไม่ฟองตัว ที่อุณหภูมิ 220 °C ความเร็วรอบ 16, 20 และ 24 rpm เวลา 3, 4 และ 5 min แคบหมูมีแนวโน้มฟองตัวดีและไม่ฟองตัว และที่อุณหภูมิ 240 °C ความเร็วรอบ 16, 20 และ 24 rpm เวลา 3, 4 และ 5 min แคบหมูมีแนวโน้มฟองตัวดี ไม่ฟองตัว และไหม้

เมื่อพิจารณาคัดเลือกแคบหมูที่ฟองตัวไม่น้อยกว่า 90 % พบว่าที่อุณหภูมิ 220 °C ความเร็วรอบ 16, 20 และ 24 rpm เวลา 5 min มีแคบหมูที่ฟองตัว 90.33, 95.18 และ 99.48 % ที่อุณหภูมิ 240 °C ความเร็วรอบ 16, 20 และ 24 rpm เวลา 5 min มีแคบหมูที่ฟองตัว 96.39, 97.46 และ 96.09 % ตามลำดับ

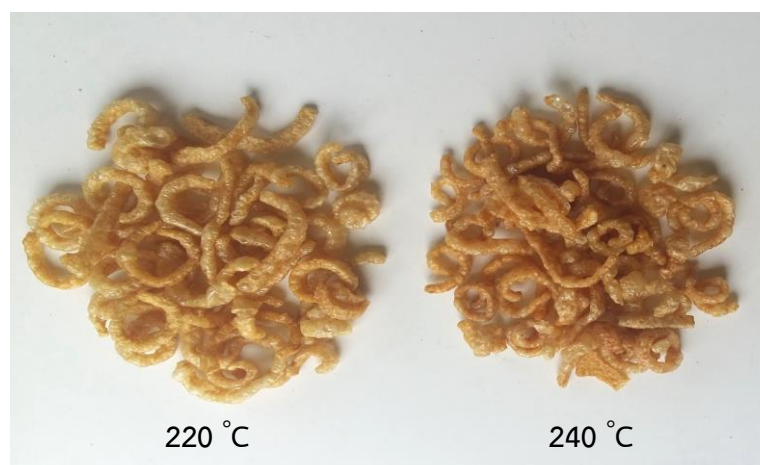
2. ผลการตรวจสอบคุณภาพ

นำแคบหมูที่ผ่านการคัดเลือกจากข้อ 4.2.2 ข้อ 1 พบว่า สามารถกำหนดปัจจัยการอบแคบหมูให้พอตัวได้ 2 ปัจจัย คือ อุณหภูมิ 220 และ 240 °C และใช้ความเร็วรอบ 16, 20 และ 24 rpm จากนั้นนำแคบหมูหลังผ่านการอบให้พอตัวไปตรวจสอบคุณภาพได้ผลดังนี้

ปัจจัยด้านอุณหภูมิการอบพอ พบว่า ไม่มีผลต่อค่าความชื้น ค่าสี L^* ค่าสี b^* และค่า Crispness (Linear distance) ของแคบหมูอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) แต่มีผลต่ออัตราการพองตัว ค่าสี a^* และค่า Hardness ของแคบหมูอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq 0.05$) (ตารางที่ 4.4) โดยอุณหภูมิ 220 °C มีค่าอัตราการพองตัวที่มากกว่าอุณหภูมิ 240 °C ทั้งนี้หนังหมูที่ผ่านการลดความชื้นแล้วนำมาอบให้พอตัว การพองตัวนี้จะเกิดขึ้นได้มาก หากใช้อุณหภูมิสูงมากพอ เพื่อให้เกิดไอน้ำขึ้นก่อนการหลอมเหลวของเจลาตินเล็กน้อย แต่หากหนังหมูได้รับความร้อนสูงบริเวณผิวจะแห้งมาก จุดหลอมเหลวจึงสูงเกินไป ทำให้หลอมเหลวได้ช้ากว่าการเกิดไอน้ำมาก ไอน้ำที่เกิดขึ้นก่อนจะหนีออกไปบางส่วน แรงดันจึงลดลงมาก การพองตัวจึงต่ำลง (พันธิพาและคณะ, 2532 ; Matz, 1993) จากการทดสอบจะเห็นได้ว่าการอบพอที่อุณหภูมิ 240 °C จะสูงเกินไปส่งผลให้เจลาตินเกิดการหลอมเหลวพร้อมหรือก่อนการเกิดไอน้ำเล็กน้อย แรงดันของไอน้ำจึงมีน้อยการพองตัวจึงน้อยลง ส่งผลลักษณะโครงสร้างหรือฟองอากาศภายในแคบหมูมีขนาดเล็ก ทำให้แคบหมูมีค่า hardness สูงกว่า อีกทั้งการใช้อุณหภูมิสูงกว่ามีผลต่อค่า a^* ทำให้แคบหมูมีสีแดงที่เข้มกว่าการอบพอที่อุณหภูมิ 220 °C (รูปที่ 4.4 และตารางที่ 4.4)

ปัจจัยด้านความเร็วรอบถังหมน และอิทธิพลร่วมทั้ง 2 ปัจจัย พบว่าค่าความชื้น อัตราการพองตัว ค่าสี L^* b^* a^* ค่า Hardness และค่า Crispness (Linear distance) ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) (ตารางที่ 4.4) หากพิจารณาคุณภาพแคบหมูทั้ง 6 สิ่งทดลองจากอิทธิพลร่วมทั้ง 2 ปัจจัย พบว่า แคบหมูมีปริมาณความชื้นอยู่ในช่วง 0.56-0.81% ซึ่งมีค่าอยู่ในมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน เรื่อง แคบหมู (มผช.101/2553) โดยกำหนดปริมาณความชื้นไม่เกิน 2.5% จากงานวิจัยของอรทัยและคณะ (2548) ได้นำแคบหมูโร้มน้ำมันเส้นเล็กที่มีจำหน่ายทั่วไปจำนวน 4 ตัวอย่าง มาตรวจสอบคุณภาพพบว่าแคบหมูมีค่าสี L^* (40.45-49.29) a^* (0.49-4.90) b^* (17.81-25.34) และค่า Hardness (16.31-21.77 N) ซึ่งแคบหมูที่ได้จากการทดสอบเครื่องต้นแบบมีค่าสี L^* (46.93-52.79) a^* (4.83-7.30) b^* (23.36-27.21) และค่า Hardness (12.07-17.78 N) ซึ่งค่าสีของแคบหมูที่ได้จากการทดสอบเครื่องต้นแบบมีค่าสูงกว่าแคบหมูที่มีจำหน่ายทั่วไปเล็กน้อย ทั้งนี้ค่าสีของแคบหมูอาจมีผลมาจากหนังหมู ส่วนผสมที่ใช้ปรุงรส และน้ำมันที่ใช้เคี่ยวหนังหมูกึ่งสำเร็จรูป ทำให้แคบหมูมีค่าสีแตกต่างกันได้ ส่วนค่า Hardness แคบหมูที่ได้จากการทดสอบเครื่องต้นแบบมีค่าน้อยกว่าแคบหมูที่มีจำหน่ายทั่วไป แสดงให้เห็นว่าแคบหมูที่ได้จากการทดสอบเครื่องต้นแบบมีการพองตัวอยู่ในเกณฑ์ที่สามารถยอมรับได้

ดังนั้นจึงเลือกสภาวะการอบแคบหมูให้พอตัวที่อุณหภูมิ 220 °C เนื่องจากมีค่าอัตราการพองตัวที่มากกว่า มีสีที่อ่อนกว่า และแคบหมูมีค่าความแข็งน้อยกว่าการอบพอที่อุณหภูมิ 240 °C และเลือกการใช้ความเร็วรอบ 16, 20 และ 24 rpm นำไปศึกษาในขั้นตอนต่อไป



รูปที่ 4.4 แคบหมูที่ผ่านการอบให้พองตัวที่อุณหภูมิ 220 °C และ 240 °C

ตารางที่ 4.4 คุณภาพแคบหมูที่ผ่านการอบให้พองตัวด้วยเครื่องอบที่อุณหภูมิการอบ และ ความเร็วรอบถึงหมุนที่แตกต่างกัน

สิ่งทดลอง	ความชื้น (%)	อัตรา การพองตัว (เท่า)	ค่าสี			ลักษณะเนื้อสัมผัส	
			L*	a*	b*	Hardness (N)	Linear distance (kg.s)
อุณหภูมิ (°C)	ns	*	ns	*	ns	*	ns
220	0.70±0.14	7.77±0.62a	51.31±2.36	5.75±1.14b	24.65±2.14	12.85±2.34b	13.34±2.30
240	0.58±0.17	6.96±0.60b	48.72±3.09	7.02±1.12a	26.54±2.11	16.33±2.56a	14.61±2.13
ความเร็ว (rpm)	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
16	0.75±0.18	7.02±0.70	50.74±2.57	6.03±0.70	24.86±2.17	13.90±2.24	13.59±2.69
20	0.63±0.12	7.61±0.74	49.86±3.95	6.06±1.63	24.98±2.53	14.94±3.57	13.94±1.98
24	0.54±0.13	7.46±0.72	49.45±2.65	7.06±1.26	26.94±1.81	14.93±3.39	14.39±2.37
อุณหภูมิ x ความเร็ว	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
220x16	0.81±0.05	7.58±0.42	50.34±1.86	5.43±0.19	23.36±1.16	13.19±1.21	12.62±2.78
220x20	0.70±0.06	8.04±0.88	52.79±1.74	4.83±0.94	23.37±1.27	13.27±4.16	12.79±1.79
220x24	0.59±0.18	7.74±0.63	50.79±3.27	6.99±0.73	27.21±0.75	12.07±1.34	14.60±2.55
240x16	0.68±0.25	6.47±0.35	51.14±3.55	6.63±0.34	26.35±1.94	14.60±3.10	14.57±2.73
240x20	0.56±0.13	7.18±0.18	46.93±3.19	7.30±1.06	26.59±2.57	16.60±2.52	15.09±1.64
240x24	0.48±0.04	7.23±0.86	48.10±1.17	7.13±1.85	26.67±2.72	17.78±1.58	14.18±2.71

หมายเหตุ * หมายถึง สิ่งทดลองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ns หมายถึง สิ่งทดลองไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

3. ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสแคบหมูที่อบให้พองตัวกับแคบหมูที่พองตัวด้วยวิธีการทอด

จากการคัดเลือกสภาวะการอบแคบหมูให้พองตัวที่อุณหภูมิ 220 °C และใช้ความเร็วรอบ 16, 20 และ 24 rpm นำมาทดสอบทางประสาทสัมผัสเทียบกับแคบหมูที่พองตัวด้วยวิธีการทอดในน้ำมัน โดยเตรียมจากแคบหมูที่สำเร็จรูปชุดเดียวกัน พบว่า คะแนนความชอบเฉลี่ยทุกคุณลักษณะที่ทดสอบชิมมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) (ตารางที่ 4.5) โดยแคบหมูที่ผ่านการอบให้พองตัวที่ใช้ความเร็วรอบ 24 rpm และแคบหมูที่ผ่านการทอดมีคะแนนความชอบเฉลี่ยสูงทุกคุณลักษณะ และไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ดังนั้นสภาวะการอบแคบหมูให้พองตัวที่อุณหภูมิ 220 °C และใช้ความเร็วรอบ 24 rpm จึงเป็นสภาวะที่เหมาะสมที่สุด

ตารางที่ 4.5 ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสระหว่างแคบหมูที่ผ่านการอบให้พองตัวด้วยเครื่องอบที่ความเร็วรอบถึงหมุนที่แตกต่างกันเทียบกับแคบหมูที่พองตัวด้วยวิธีการทอดในน้ำมัน

ความเร็วรอบถึงหมุน (rpm)	ลักษณะปรากฏ	กลิ่น	ความกรอบ	ความชอบรวม
16	6.69±1.27b	5.74±1.58b	6.89±1.47b	6.69±1.24b
20	6.71±1.48b	5.94±1.42ab	7.02±1.20ab	6.68±1.32b
24	7.00±1.11ab	6.41±1.41a	7.43±0.88a	6.97±0.99ab
แคบหมูทอดในน้ำมัน	7.28±1.07a	6.42±1.43a	7.36±1.00a	7.32±1.01a

หมายเหตุ a, b ในแนวตั้ง หมายถึง สิ่งทดลองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

4. ผลการเปรียบเทียบคุณภาพทางกายภาพและเคมีของแคบหมูที่ผ่านการอบให้พองตัวกับแคบหมูที่พองตัวด้วยวิธีการทอดในน้ำมันที่มีจำหน่ายทั่วไป

จากการเปรียบเทียบคุณภาพแคบหมูที่ผ่านการอบให้พองตัวกับแคบหมูที่ผ่านการทอดที่มีจำหน่ายทั่วไปจำนวน 3 ตัวอย่าง (รูปที่ 4.5) พบว่าแคบหมูทุกตัวอย่างมีปริมาณความชื้นอยู่ในช่วง 0.43-1.90% (ตารางที่ 4.6) ซึ่งมีค่าอยู่ในมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน เรื่องแคบหมู (มผช.101/2553) โดยกำหนดปริมาณความชื้นไม่เกิน 2.5% แคบหมูแต่ละตัวอย่างมีปริมาณไขมันแตกต่างกัน เนื่องจากการขั้นตอนการทำให้แคบหมูพองตัวที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยแคบหมูที่ผ่านการอบให้พองตัวมีปริมาณไขมัน 9.52% ซึ่งมีย่าน้อยที่สุด แคบหมูที่ผ่านการทอดที่มีจำหน่ายทั่วไป (ตลาด 1) มีปริมาณไขมันสูงที่สุด คือ 34.77% รองลงมา คือ ตลาด 3 และตลาด 2 มีปริมาณไขมัน 28.99 และ 27.77% ตามลำดับ (ตารางที่ 4.6) และจากงานวิจัยของอรัญ และคณะ (2548) พบว่าแคบหมูไร้มันเส้นเล็กที่มีจำหน่ายทั่วไปมีไขมันสูงเช่นกันอยู่ในช่วง 33.24-45.66% ทั้งนี้อาหารที่ผ่านการทอดที่มีลักษณะเป็นรูปพูน น้ำและไอน้ำจะเคลื่อนที่ออกมาก่อน และจะถูกแทนที่ด้วยน้ำมันระหว่างการทอด (วิลโลว์, 2545 ; นิธิยา และไพโรจน์, 2547) โดยแคบหมูที่ผ่านการอบจากงานวิจัยนี้ มีปริมาณไขมันใกล้เคียงกับแคบหมูที่ผลิตด้วยวิธีการอบของอรัญ และคณะ (2548; 2549; 2557) ซึ่งมีไขมัน 14.59, 11.30 และ 6.28% ตามลำดับ การที่แคบหมูที่ผ่านการอบมีปริมาณไขมันที่น้อย ทั้งนี้เนื่องจากแคบหมูที่สำเร็จรูปเมื่อผ่านการอบที่อุณหภูมิสูงมากพอ ความร้อนที่ได้รับจะทำให้ไขมันภายในแคบหมูที่สำเร็จรูปกลายเป็นไอน้ำ ทำให้อาหารที่อุกักไว้ในเจลาตินเกิดการขยายตัวอย่างรวดเร็ว และเกิดแรงดันขึ้นภายในหนังหมู ทำให้หนังหมูพองตัวได้ (อาคเนย์, 2556) และจากการที่หนังหมูเกิดการขยายตัวมากขึ้นนั้น อาจ

ส่งผลให้ไขมันในหนังหมูถูกกำจัดออกมาจากโครงสร้างได้ และจากการวิจัยพบว่าเครื่องอบแคบหมูจะมีคราบไขมันติดอยู่เช่นกัน ด้านค่าความหนาแน่นเนื้อ (solid density) ของแคบหมูที่ผ่านการอบเท่ากับ 0.10 g/cm^3 ซึ่งมีค่าไม่แตกต่างกับแคบหมูที่มีจำหน่ายทั่วไป (ตลาด 3) ซึ่งมีค่าความหนาแน่นเนื้อน้อยที่สุดเท่ากับ 0.09 g/cm^3 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) และมีค่าความหนาแน่นเนื้อน้อยกว่าแคบหมูที่มีจำหน่ายทั่วไป (ตลาด 1 และตลาด 2) แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq 0.05$) แสดงให้เห็นได้ว่าแคบหมูที่ผ่านการอบมีการพองตัวอยู่ในเกณฑ์เดียวกับแคบหมูที่มีจำหน่ายทั่วไป ส่วนค่าสี L^* ของแคบหมูที่ผ่านการอบเท่ากับ 52.42 ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วงของแคบหมูที่มีจำหน่ายทั่วไป (49.53-55.08) ค่าสี a^* ของแคบหมูที่ผ่านการอบมีค่าความเข้มของสีแดงเท่ากับ 9.07 ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) กับแคบหมูที่มีจำหน่ายทั่วไป (ตลาด 1 และตลาด 2) ซึ่งมีค่าสี a^* เท่ากับ 9.23 และ 9.20 ตามลำดับ ค่าสี b^* ของแคบหมูที่ผ่านการอบเท่ากับ 29.12 ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วงของแคบหมูที่มีจำหน่ายทั่วไป (27.35-30.66) ทั้งนี้ค่าสีของแคบหมูอาจมีผลมาจากหนังหมูที่ใช้เป็นวัตถุดิบส่วนผสมที่ใช้ปรุงรส เช่น ซอส หรือซีอิ๊ว น้ำมันที่ใช้ทอดแคบหมู และวิธีการทอด เป็นต้น ทำให้แคบหมูมีค่าสีแตกต่างกันได้ ด้านค่า Hardness ของแคบหมูที่ผ่านการอบเท่ากับ 27.14 N ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วงของแคบหมูที่มีจำหน่ายทั่วไป คือ 20.17-29.10 N ส่วนค่า Crispness (Linear distance) ของแคบหมูที่ผ่านการอบเท่ากับ 19.56 kg.s ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วงของแคบหมูที่มีจำหน่ายทั่วไป คือ 15.63-22.51 kg.s (ตารางที่ 4.6) จากการเปรียบเทียบคุณภาพแคบหมูที่ผ่านการอบด้วยเครื่องอบต้นแบบนี้ จักเห็นได้ว่าแคบหมูมีค่าคุณภาพใกล้เคียงกับแคบหมูที่มีจำหน่ายทั่วไป โดยมีส่วนที่ดีกว่า คือ แคบหมูที่ผ่านการอบมีปริมาณไขมันที่น้อยกว่าแคบหมูที่ผ่านการทอดในน้ำมันถึง 3 เท่า

ตารางที่ 4.6 คุณภาพแคบหมูที่ผ่านการอบให้พองตัวด้วยเครื่องอบ และแคบหมูที่ผ่านการทอดที่มีจำหน่ายทั่วไป

ตัวอย่าง	ความชื้น (%)	ไขมัน (%)	ความหนาแน่นเนื้อ (g/cm^3)	ค่าสี			ลักษณะเนื้อสัมผัส	
				L^*	a^*	b^*	Hardness (N)	Linear distance (kg.s)
ตลาด 1	$0.43\pm 0.01d$	$34.77\pm 1.11a$	$0.12\pm 0.01b$	$49.53\pm 0.72c$	$9.20\pm 0.37a$	$27.35\pm 0.71c$	$25.01\pm 8.30ab$	$17.16\pm 3.87bc$
ตลาด 2	$1.59\pm 0.08c$	$27.77\pm 0.93b$	$0.15\pm 0.02a$	$55.08\pm 0.60a$	$9.23\pm 0.82a$	$30.66\pm 0.59a$	$29.10\pm 10.33a$	$22.51\pm 4.40a$
ตลาด 3	$1.46\pm 0.02b$	$28.99\pm 0.63b$	$0.09\pm 0.01c$	$54.65\pm 1.09ab$	$7.54\pm 0.31b$	$29.38\pm 0.49b$	$20.17\pm 7.40b$	$15.63\pm 5.03c$
วิจัย	$1.90\pm 0.04a$	$9.52\pm 0.86c$	$0.10\pm 0.01bc$	$52.42\pm 1.99b$	$9.07\pm 0.19a$	$29.21\pm 0.60b$	$27.14\pm 8.05a$	$19.56\pm 7.85ab$



รูปที่ 4.5 แคบหมูทอดในน้ำมันที่มีจำหน่ายทั่วไปและแคบหมูอบให้พองตัวจากงานวิจัย

4.3 การหาประสิทธิภาพการใช้พลังงาน

การหาประสิทธิภาพการใช้พลังงาน ที่อุณหภูมิ 220 °C ความเร็วรอบ 24 rpm เวลา 5 min ซึ่งใช้หนังหมู 1 kg อบพองด้วยเครื่องต้นแบบ จะได้แคบหมู 0.897 kg โดยมีการใช้ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า 0.075 kW·hr ปริมาณการใช้พลังงานเชื้อเพลิงแก๊ส 0.059 kg และเลือกใช้อุณหภูมิบรรยากาศ 35 °C ค่าความร้อนจำเพาะของหนังหมู 2.85 kJ/kg·K ค่าความร้อนแฝงจำเพาะ 1,941 kJ/kg ค่าความร้อนแก๊สแอลพีจี 46,110 kJ/kg

$$\text{ประสิทธิภาพการใช้พลังงาน} = \left(\frac{\dot{m}C_p\Delta T + \dot{m}_w h_{fg}}{\dot{m}_{\text{gas}}HV + \left(\frac{\dot{m}_{pe}}{t} \right)} \right) \times 100\%$$

$$= \left(\frac{\left(\frac{(1\text{kg}) \times (2.85\text{ kJ/kg} \cdot \text{K}) \times (185\text{K})}{(5 \times 60\text{ sec})} \right) + \left(\frac{(0.103\text{ kg}) \times (1,941\text{ kJ/kg})}{(5 \times 60\text{ sec})} \right)}{\left(\frac{(0.059\text{ kg}) \times (46,110\text{ kJ/kg})}{(5 \times 60\text{ sec})} \right) + \left(\frac{(0.075\text{ kW} \cdot \text{hr}) \times \left(\frac{60\text{ min}}{1\text{ hr}} \right)}{(5\text{ min})} \right)} \right) \times 100\%$$

$$= 24.32\%$$

การอบพองแคบหมูด้วยเครื่องต้นแบบที่อุณหภูมิ 220 °C ความเร็วรอบ 24 rpm เวลา 5 min พบว่ามีอัตราการผลิตแคบหมูอบพองได้สูงสุด 10.76 kg/hr และประสิทธิภาพการใช้พลังงานเท่ากับ 24.32% เนื่องจากเป็นประสิทธิภาพจากพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้จริงในการอบพองแคบหมูต่อพลังงานที่ใช้ในการผลิตทั้งหมด และส่วนพลังงานสูญเสียจะเป็นพลังงานที่ให้ความร้อนกับถังชั้นนอก ถังหมน ถังอบพองแคบหมู ฝาหน้าเครื่อง และอื่นๆ

4.4 การวิเคราะห์เศรษฐศาสตร์

การวิเคราะห์เศรษฐศาสตร์ โครงการวิจัยนี้ได้ทำการวิเคราะห์หาระยะเวลาการคืนทุน (Simple Payback Period) เพื่อให้ทราบว่าได้รับเงินคืนทุนช้าหรือเร็วเท่าใด และใช้เป็นเกณฑ์ในการตัดสินใจว่าให้ผลตอบแทนที่คุ้มค่าต่อการลงทุนหรือไม่ ดังนั้นคณะผู้วิจัยจึงได้วิเคราะห์เศรษฐศาสตร์ของการอบฟองแคบหมูที่อุณหภูมิ 220 °C ความเร็วรอบ 24 rpm เวลา 5 min โดยกำหนดค่าใช้จ่ายรวมดังนี้ เครื่องอบฟองแคบหมู 250,000 บาท ราคาหนังหมูกึ่งสำเร็จรูป 350 บาท/kg ทำการอบฟองแคบหมูได้ครั้งละ 1 kg ใช้เวลา 5 min/ครั้ง รวมทั้งหมดจะใช้หนังหมูกึ่งสำเร็จรูป 12 kg/hr หลังการอบจะได้แคบหมู 0.897 kg/ครั้ง (10.764 kg/hr) การอบฟองแคบหมูแต่ละครั้งจะใช้ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า 0.075 kW-hr และปริมาณการใช้พลังงานเชื้อเพลิงแก๊ส 0.059 kg ใช้แรงงานในการอบฟองแคบหมู 2 คน มีค่าจ้างวันละ 300 บาท ทำงาน 30 วัน วันละ 8 ชั่วโมง และมีการบำรุงรักษาและการดำเนินการ 500 บาท/เดือน และได้กำหนดการผลิตแคบหมูที่กำลังการผลิตสูงสุด ดังนั้นจะได้ค่าใช้จ่ายรวมดังตารางที่ 4.7

หมายเหตุ ราคาจำหน่ายแคบหมูอบฟองด้วยเครื่องต้นแบบ 450 บาท/kg ราคาเชื้อเพลิงแก๊สประมาณ 390 บาท/ถัง และอัตราปกติปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าเกินกว่า 150 หน่วยต่อเดือน (อัตราค่าไฟฟ้านี้เริ่มใช้ตั้งแต่ค่าไฟฟ้า ประจำเดือนพฤศจิกายน 2558 เป็นต้นไป ค่าพลังงานไฟฟ้า 150 kW-hr (หน่วย) หน่วยละ 3.2484 บาท, 250 kW-hr (หน่วย) หน่วยละ 4.2218 บาท, เกินกว่า 400 kW-hr (หน่วย) หน่วยละ 4.4217 บาท ค่า Ft เดือน มกราคม 2559 - เมษายน 2559 เท่ากับ -4.80 สตางค์/หน่วย)

ตารางที่ 4.7 ค่าใช้จ่ายรวมของการอบฟองแคบหมูด้วยเครื่องต้นแบบ

ลำดับ	รายการ	ราคา	หน่วย
1	เครื่องอบฟองแคบหมู	250,000	บาท
2	หนังหมูกึ่งสำเร็จรูป (350 บาท/kg x 12 kg/hr x 8 hr/วัน x 30 วัน/เดือน x 12 เดือน/ปี)	12,096,000	บาทต่อปี
3	ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า (0.075 kW-hr/kg x 12 kg/hr x 8 hr/วัน x 30 วัน/เดือน) รวมทั้งหมด 216 kW-hr/เดือน (คิดค่าไฟฟ้าต่อปี)	9,066.37	บาทต่อปี
4	ปริมาณการใช้พลังงานเชื้อเพลิงแก๊ส (0.059 kg _{gas} /kg x 12 kg/hr x 8 hr/วัน x 30 วัน/เดือน x 12 เดือน/ปี x 26 บาท/kg _{gas})	53,015.04	บาทต่อปี
5	แรงงาน (300 บาท/คน x 2 คน/วัน x 30 วัน/เดือน x 12 เดือน/ปี)	216,000	บาทต่อปี
6	การบำรุงรักษาและการดำเนินการ (500 บาท/เดือน x 12 เดือน/ปี)	6,000	บาทต่อปี
7	แคบหมู (450 บาท/kg x 10.764 kg/hr x 8 hr/วัน x 30 วัน/เดือน x 12 เดือน/ปี)	13,950,144	บาทต่อปี
รายจ่าย		12,380,081	บาทต่อปี
รายรับ		13,950,144	บาทต่อปี
กำไร		1,570,063	บาทต่อปี

การหาระยะเวลาคืนทุน โครงการวิจัยนี้จะไม่มีการคิดภาษีและนำดอกเบี้ยมารวมวิเคราะห์ ทำให้ง่ายแก่การคำนวณ และจะทำให้ทราบว่าจะได้รับเงินคืนทุนช้าหรือเร็วเท่าใด

$$\begin{aligned}\text{ระยะเวลาคืนทุน} &= \frac{\text{เงินลงทุน}}{\text{กระแสเงินสดสุทธิต่อปี}} \\ &= 250,000 \text{ บาท} / (13,950,144 - 12,380,081) \text{ บาท/ปี} \\ &= 0.159 \text{ ปี หรือประมาณ 2 เดือน}\end{aligned}$$

จะเห็นว่าเมื่อตัดสินใจทำโครงการดังกล่าวสามารถคืนทุนได้ภายใน 2 เดือน ถือว่าเป็นกำไรที่สูงมากของการดำเนินงาน

จากนั้นคณะผู้วิจัยจึงได้เปรียบเทียบการอบพองแคบหมูด้วยเครื่องต้นแบบกับการทอดแคบหมูในน้ำมัน เพื่อใช้เป็นข้อมูลให้ผู้ประกอบการใช้พิจารณาตัดสินใจลงทุนหรือไม่ ดังนั้นจึงได้สอบถามการทอดแคบหมูในน้ำมัน (โรงงานแคบหมูป๊อบพอร์คป่าพซ์) ดังนี้ ราคาหนังหมูกึ่งสำเร็จรูป 350 บาท/kg ทำการทอดแคบหมู 1 kg ใช้เวลา 20 min รวมทั้งหมดจะใช้หนังหมูกึ่งสำเร็จรูป 3 kg/hr หลังการทอดจะได้แคบหมู 3.2 kg/hr การทอดแคบหมูแต่ละครั้งจะใช้ปริมาณการใช้พลังงานเชื้อเพลิงแก๊ส 1 kg_{gas}/kg ใช้ น้ำมันในการทอดแคบหมู 6 ลิตร/วัน ค่าน้ำมันในการทอด 40 บาท/ลิตร ใช้แรงงานในการอบพองแคบหมู 2 คน มีค่าจ้างวันละ 300 บาท ทำงาน 30 วัน วันละ 8 ชั่วโมง และมีการบำรุงรักษาและการดำเนินการ 500 บาท/เดือน และได้กำหนดการผลิตแคบหมูที่กำลังการผลิตสูงสุด ดังนั้นจะได้ค่าใช้จ่ายรวมดังตารางที่ 4.8

หมายเหตุ ราคาจำหน่ายแคบหมูทอดในน้ำมัน 400 บาท/kg ราคาเชื้อเพลิงแก๊สประมาณ 390 บาท/ถัง

ตารางที่ 4.8 ค่าใช้จ่ายรวมของการทอดแคบหมูในน้ำมัน

ลำดับ	รายการ	ราคา	หน่วย
1	หนังหมูกึ่งสำเร็จรูป (350 บาท/kg x 3 kg/hr x 8 hr/วัน x 30 วัน/เดือน x 12 เดือน/ปี)	3,024,000	บาทต่อปี
2	ปริมาณการใช้พลังงานเชื้อเพลิงแก๊ส (1 kg _{gas} /kg x 3 kg/hr x 8 hr/วัน x 30 วัน/เดือน x 12 เดือน/ปี x 26 บาท/kg _{gas})	224,640	บาทต่อปี
3	ค่าน้ำมันหมู (6 ลิตร/วัน x 40 บาท/ลิตร x 30 วัน/เดือน x 12 เดือน/ปี)	86,400	บาทต่อปี
4	แรงงาน (300 บาท/คน x 2 คน/วัน x 30 วัน/เดือน x 12 เดือน/ปี)	216,000	บาทต่อปี
5	การบำรุงรักษาและการดำเนินการ (500 บาท/เดือน x 12 เดือน/ปี)	6,000	บาทต่อปี
6	แคบหมู (400 บาท/kg x 3.2 kg/hr x 8 hr/วัน x 30 วัน/เดือน x 12 เดือน/ปี)	3,686,400	บาทต่อปี
รายจ่าย		3,557,040	บาทต่อปี
รายรับ		3,686,400	บาทต่อปี
กำไร		129,360	บาทต่อปี

ตารางที่ 4.9 การเปรียบเทียบการอบพองแคบหมูด้วยเครื่องต้นแบบกับการทอดแคบหมูในน้ำมัน

รายละเอียด	การอบพองแคบหมู ด้วยเครื่องต้นแบบ	การทอดแคบหมูในน้ำมัน
1. เงินลงทุน	250,000 บาท	ไม่มี
2. ต้นทุนการผลิตแคบหมู	399.35 บาท/kg	385.96 บาท/kg
2. ราคาจำหน่ายแคบหมู	450 บาท/kg	400 บาท/kg
3. กำไรต่อกิโลกรัม	50.65 บาท/kg	14.04 บาท/kg
3. อัตราการผลิตแคบหมู	10.764 kg/hr	3.2 kg/hr

จากตาราง 4.9 การเปรียบเทียบการอบพองแคบหมูด้วยเครื่องต้นแบบกับการทอดแคบหมูในน้ำมัน พบว่าเมื่อตัดสินใจลงทุนผลิตแคบหมูด้วยวิธีการอบพองจากเครื่องต้นแบบจะใช้เงินลงทุน 250,000 บาท ทำให้มีอัตราการผลิตเพิ่มขึ้น 3.36 เท่า และมีรายได้เพิ่มขึ้นมากกว่าการทอดแคบหมูในน้ำมัน โดยจำหน่ายเป็นผลิตภัณฑ์เพื่อสุขภาพ ไขมันต่ำ ราคา 450 บาท/kg ดังนั้นจะมีกำไรเพิ่มขึ้น 3.60 เท่า

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย

5.1 สรุปผลการวิจัย

5.1.1 การออกแบบและสร้างเครื่องอบพองแคบหมูสำหรับอุตสาหกรรมขนาดกลางและขนาดย่อม

ผลการวิจัยการออกแบบและสร้างเครื่องอบพองแคบหมู ได้เครื่องอบพองแคบหมูเป็นแบบกึ่งอัตโนมัติ ประกอบด้วยโครงสร้าง ถังชั้นนอก ถังหมุน ถังอบพองแคบหมู ฝาหน้าเครื่อง และระบบควบคุม ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

1. โครงสร้าง ทำด้วยเหล็กใช้ติดตั้งชุดส่งกำลัง ชุดควบคุม และฐานรองรับชุดถัง (ถังชั้นนอก ถังหมุน ถังอบพองแคบหมู และฝาหน้าเครื่อง) โดยด้านข้างฐานรองรับชุดถังจะติดตั้งเพลาสวมเข้ากับแบริ่งทั้ง 2 ข้าง เพื่อใช้เป็นจุดหมุนในการทดเอียงถังแล้วนำแคบหมูออกจากเครื่อง และส่วนฐานของโครงสร้างเครื่องจะติดตั้งล้อให้สามารถเคลื่อนย้ายได้สะดวก

2. ถังชั้นนอก มี 2 ชั้น ระหว่างกลางจะใส่ฉนวนใยแก้ว ด้านล่างถังจะติดตั้งเตาแก๊สอินฟราเรดขนาด 9360 kcal/hr

3. ถังหมุน ติดตั้งอยู่ภายในถังชั้นนอกโดยจะหมุนรับความร้อนจากเตาแก๊สอินฟราเรดและภายในถังหมุนจะใช้ติดตั้งถังอบพองแคบหมู ซึ่งถังหมุนสามารถหมุนได้โดยใช้มอเตอร์เกียร์ขนาด 1 hp มีอัตราทด 1:60

4. ถังอบพองแคบหมู เป็นถังทรงกระบอกวางในแนวนอน มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 570 mm ยาว 900 mm ภายในถังจะมีครีบอกกระจายตัวให้หนังหมูรับความร้อนอย่างทั่วถึง

5. ฝาหน้าเครื่อง จะสามารถเปิด-ปิดได้เพื่อทำความสะอาดถัง ด้านหน้าจะมีช่องป้อนหนังหมูเข้า มีช่องนำแคบหมูออก และมีท่อระบายควันออก

6. วงจรควบคุม ประกอบด้วยวงจรควบคุมชุดส่งกำลังและวงจรควบคุมอุณหภูมิ โดยวงจรควบคุมชุดส่งกำลังจะใช้อินเวอร์เตอร์ควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ ส่วนวงจรควบคุมอุณหภูมิจะใช้เครื่องควบคุมอุณหภูมิเป็นตัวควบคุมอุณหภูมิห้องและควบคุมการจุดติดแก๊สและตัดการจ่ายแก๊ส

5.1.2 ผลการทดสอบการทำงานของเครื่องอบพองแคบหมู

ผลการทดสอบการควบคุมอุณหภูมิเครื่องอบพองแคบหมู พบว่าในช่วงแรกอุณหภูมิจะเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจนกระทั่งถึงอุณหภูมิที่กำหนดไว้ จากนั้นอุณหภูมิจะเริ่มคงที่ ส่วนปริมาณการใช้พลังงานของเครื่องอบพองแคบหมู พบว่าอุณหภูมิมีผลต่อปริมาณการใช้พลังงานเชื้อเพลิงแก๊ส ที่อุณหภูมิต่ำจะมีค่าปริมาณการใช้พลังงานเชื้อเพลิงแก๊สน้อยกว่าอุณหภูมิสูง และพบว่าความเร็วรอบมีผลต่อปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า ที่ความเร็วรอบต่ำจะมีค่าปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าน้อยกว่าความเร็วรอบสูง

5.1.3 ผลการทดสอบการอบพองแคบหมู

ผลการทดสอบการอบพองแคบหมู เมื่อพิจารณาคัดเลือกแคบหมูจากแคบหมูที่พองตัวไม่น้อยกว่าร้อยละ 90 พบว่าที่อุณหภูมิ 220 °C ความเร็วรอบ 16, 20 และ 24 rpm เวลา 5 min มีแคบหมูที่พองตัว 90.33, 95.18 และ 99.48% ที่อุณหภูมิ 240 °C ความเร็วรอบ 16, 20 และ 24 rpm เวลา 5 min มีแคบหมูที่พองตัว 96.39, 97.46 และ 96.09% ตามลำดับ จากนั้นจึงกำหนดปัจจัยที่ศึกษา 2 ปัจจัย คือ อุณหภูมิการอบพอง 220 และ 240 °C และใช้ความเร็วรอบถึงหมุน 16, 20 และ 24 rpm พบว่าแคบหมูที่ผ่านการอบให้พองตัวที่อุณหภูมิ 220 °C และการใช้ความเร็วรอบถึงหมุน 24 rpm มีคุณภาพดีที่สุด จากการนำแคบหมูที่ผ่านการอบทดสอบทางประสาทสัมผัสเทียบกับแคบหมูที่พองตัวด้วยวิธีการทอดในน้ำมัน พบว่ามีคะแนนความชอบเฉลี่ยทุกคุณลักษณะที่ทดสอบชิมไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) และจากการเปรียบเทียบคุณภาพแคบหมูที่ผ่านการอบให้พองตัวกับแคบหมูที่ผ่านการทอดที่มีจำหน่ายทั่วไปจำนวน 3 ตัวอย่าง พบว่าแคบหมูที่ผ่านการอบให้พองตัวมีความชื้น ความหนาแน่นเนื้อ ค่าสี L^* a^* b^* ค่า Hardness และค่า Crispness มีค่าอยู่ในช่วงของค่าคุณภาพของแคบหมูที่ผ่านการทอดในน้ำมัน ส่วนปริมาณไขมันในแคบหมูที่ผ่านการอบให้พองตัวมีปริมาณไขมัน 9.52% ซึ่งมีค่าน้อยกว่าแคบหมูที่ผ่านการทอดซึ่งมีปริมาณไขมันสูงอยู่ในช่วง 28.77-34.77%

5.1.4 การหาประสิทธิภาพการใช้พลังงานและการวิเคราะห์เศรษฐศาสตร์

การอบพองแคบหมูด้วยเครื่องต้นแบบที่อุณหภูมิ 220 °C ความเร็วรอบ 24 rpm เวลา 5 min พบว่ามีอัตราการผลิตแคบหมูอบพองสูงสุด 10.76 kg/hr และประสิทธิภาพการใช้พลังงานเท่ากับ 24.32% มีระยะเวลาคืนทุน 2 เดือน

เอกสารอ้างอิง

- กระทรวงอุตสาหกรรม. 2553. มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน แคบหมู (มผช.101/2553). กรุงเทพฯ.
- กิตติศักดิ์ จันทนสกุลวงศ์, เขียวภา สอนอ่อน และพีรพัฒน์ ทรัพย์พนาชัย. 2546. การศึกษาอายุการเก็บของแคบหมูในฟิล์มและวิธีการบรรจุที่แตกต่างกัน. สาขาวิชาเทคโนโลยีการบรรจุ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่.
- กัลยาณี ดีประเสริฐวงศ์. ระบบคุณภาพอาหาร [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา http://iodinethailand.fda.moph.go.th/food/data/document/2554/GMP4-3_System_Definition.pdf (1 ตุลาคม 2558)
- ชุดวิชาการศึกษาอาชีพ. 2548. การทำแคบหมู. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา http://dnfe5.nfe.go.th/ilp/occupation/45303/45303_1.html (20 ตุลาคม 2558)
- ณัฐพล ลัทธิถาวรวิชัย. 2554. ผลิตภัณฑ์แคบหมูเทียมปรุงรส. คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่.
- เตาแก๊สอินฟราเรด. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา <http://www.abb-furnace.com> (20 ตุลาคม 2558).
- ทะนงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์. 2539. การออกแบบระบบพลังงานความร้อน. กรุงเทพฯ : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. หน้า 55-90.
- ธนวัฒน์ ขาญธัญกร. 2542. การพัฒนากระบวนการผลิตแคบหมูและการทดสอบผู้บริโภค. คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่.
- นิธิยา รัตนานนท์ และไพโรจน์ วิริยจารี. 2547. เทคโนโลยีอุตสาหกรรมเกษตร. TRIO Advertising & Media Co., Ltd., เชียงใหม่.
- นิธิยา รัตนานนท์. 2533. วิทยาศาสตร์อาหารไขมันและน้ำมัน. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่.
- _____. 2543. เคมีอาหาร. ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่.
- _____. 2544. หลักการแปรรูปอาหารเบื้องต้น. โอเดียนสโตร์, กรุงเทพฯ.
- _____. 2548. วิทยาศาสตร์การอาหารของไขมันและน้ำมัน. สำนักพิมพ์ โอเดียนสโตร์, กรุงเทพฯ.
- _____. 2549. เคมีอาหาร. พิมพ์ครั้งที่ 2. สำนักพิมพ์ โอเดียนสโตร์, กรุงเทพฯ.
- ผ่องศรี ศิวราศักดิ์. 2551. การถ่ายโอนความร้อน. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ. บริษัท ทริปเปิ้ล เอ็ดดูเคชั่น จำกัด.
- พันธิพา จันทวัฒน์ ณรงค์ นิยมวิทย์ และธนศ แก้วกำเนิด. 2532. ผลของความชื้น การกระจายความชื้น และอุณหภูมิที่ใช้ทอดที่มีผลต่อคุณภาพของแคบหมู. อาหาร. 19(2):79-88.
- มนตรี พิรุณเกษตร. 2539. เฮอร์โม-ความร้อนประยุกต์. กรุงเทพฯ. บริษัท ซีเอ็ดดูเคชั่น จำกัด (มหาชน).
- _____. 2541. การถ่ายเทความร้อน ฉบับเตรียมสอบและเสริมประสบการณ์. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ. บริษัท วิทย์พัฒน์ จำกัด.

- ยั้งศักดิ์ จงเลิศเจษฎวงษ์. มปป. “ศิลปะศาสตร์การอาหาร” [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา <http://www.yingsakfood.com/webboard/Question.asp?GID=2143> (20 ตุลาคม 2558)
- เรียวโซ โทเอ. 2539. อุปกรณ์อบแห้งในอุตสาหกรรม. แปลและเรียบเรียงโดย วิวัฒน์ ตันตะพานิชกุล. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ. บริษัท ซีเอ็ดดูเคชั่น จำกัด.
- วิไล รังสาดทอง. 2545. เทคโนโลยีการแปรรูปอาหาร. พิมพ์ครั้งที่ 2. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, กรุงเทพฯ.
- สมชาติ โสภณธรณฤทธิ. 2540. การอบแห้งเมล็ดพืชและอาหารบางประเภท. พิมพ์ครั้งที่ 7 กรุงเทพฯ : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- สมจินต์ พ่วงเจริญชัย. 2555. เฮอร์มิโดนามิกส์ 1. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ. บริษัท ทริปปี้ล เอ็ดดูเคชั่น จำกัด.
- สมาน ดาวเวียงกัน. 2555. การออกแบบและชุดอบลมร้อนแคบหมูแบบต่อเนื่อง. โครงการสนับสนุนการพัฒนาเทคโนโลยีของอุตสาหกรรมไทย สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ, เชียงใหม่.
- สุนันท์ ศรีณนิตย์. 2535. การถ่ายเทความร้อน. ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยี พระจอมเกล้าธนบุรี.
- อรทัย บุญทะวงศ์ และลินดา จินาการ. 2547. ผลของกระบวนการผลิตและสภาวะการเก็บรักษาต่อคุณภาพทางเคมีและกายภาพของแคบหมูกึ่งสำเร็จรูป. เครือข่ายการวิจัยภาคเหนือตอนบน สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา.
- อรทัย บุญทะวงศ์. 2548. การพัฒนาสูตรและกระบวนการผลิตแคบหมูด้วยวิธีการอบ. รายงานฉบับสมบูรณ์ สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย, กรุงเทพฯ.
- อรทัย บุญทะวงศ์ ลินดา จินาการ และนภสร จัยเจริญ. 2548. การผลิตแคบหมูด้วยวิธีการอบ. รายงานฉบับสมบูรณ์ สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย, กรุงเทพฯ.
- อรทัย บุญทะวงศ์ กมลรัตน์ ครุฑาโรจน์ และนภสร จัยเจริญ. 2549. แคบหมูกึ่งสำเร็จรูปสำหรับไมโครเวฟ. รายงานฉบับสมบูรณ์ สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.). กรุงเทพฯ.
- อรทัย บุญทะวงศ์. 2557. การพัฒนาสูตรและกระบวนการผลิตแคบหมูด้วยวิธีการอบ. รายงานฉบับสมบูรณ์ สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย, กรุงเทพฯ.
- อาคเนย์ นวลมณี. 2556. การทำแคบหมู. [ระบบออนไลน์] แหล่งที่มา : http://cookingthai108.blogspot.com/2013/06/blog-post_1273.html. (3 มิถุนายน 2557).
- อัครเดช สีนุรักษ์. 2547. การทำความเย็น. คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- Ask the experts : Chemistry. 1999. What is jell-O? How does it turn from a liquid to a Solid when it cools?. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา www.sciam.com/askexpert_question.cfm. (20 ตุลาคม 2558)
- Association of Official Analytical Chemists (AOAC). 2000. Official Methods of Analysis. 17thed. The United State of America, Arlington.

- Matz, S.A. 1970. Manufacture of breakfast cereal. อ้างโดยพันธิพา และคณะ. ผลของความชื้นการกระจายความชื้นและอุณหภูมิที่ใช้ทอดที่มีผลต่อคุณภาพของแครกเกอร์. อาหาร. 19(2) : 79-88.
- Matz, S.A. 1993. Snack food technology. 3rded. Avi-Van Nostrand, New York.
- Nath, A. and Chattopadhyay, P. K. 2008. Effect of process parameters and soy flour concentration on quality attributes and microstructural change in ready-to-eat potato-soy snack using high-temperature short time air puffing. LWT-Food Science and Technology, 41, 707-715.
- Science of meat. 1990. What make juicy and tender?. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา <http://www.exploratorium.edu/cooking/meat/INT-what-makes-juicy.html> (20 ตุลาคม 2558)
- Singh, J. and Singh, N. 1999. Effects of different ingredients and microwave power on popping characteristics of popcorn. Journal of Food Engineering, 42, 161-165.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

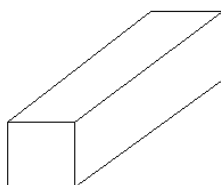
การออกแบบและคำนวณเครื่องอบพองแคบหมู

1. การออกแบบและคำนวณเครื่องอบพองแคบหมู

การออกแบบและคำนวณเครื่องอบพองแคบหมู เริ่มจากการหาขนาดของถังอบพอง ขนาดของเตาแก๊สอินฟราเรดที่ใช้เป็นแหล่งให้ความร้อน และขนาดของมอเตอร์ที่ใช้เป็นต้นกำลัง โดยมีรายละเอียดดังนี้

1.1 การหาขนาดถังอบพอง

จากการเลือกเครื่องอบพองแคบหมูตามแบบที่ 3 เป็นเครื่องต้นแบบซึ่งได้ใช้เตาแก๊สอินฟราเรดเป็นแหล่งให้ความร้อน ทางคณะผู้วิจัยจึงเริ่มออกแบบและคำนวณหาขนาดถังอบพองแคบหมู (ทรงกระบอก) โดยได้ศึกษาข้อมูลของขนาดของเตาแก๊สอินฟราเรดที่มีจำหน่ายทั่วไป พบว่าเตาแก๊สมีขนาดเท่ากับ 1,350-10,800 kcal/hr มีความยาวประมาณ 165-1,100 mm ดังนั้นจึงได้กำหนดให้ถังหมรมีความยาวเท่ากับ 900 mm และให้ถังอบพองมีความยาวเท่ากับ 890 mm เนื่องจากต้องคำนึงถึงพื้นที่ที่หนังหมูการกระจายตัวรับความร้อนอย่างทั่วถึง และให้ได้รูปร่างของถังอบพองมีเส้นผ่านศูนย์กลางที่เหมาะสมกับการทำงานระหว่างเครื่องกับผู้ปฏิบัติงาน ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้



รูปที่ ก.1 ขนาดของหนังหมู 1 ชิ้น

- 1) หนังหมู 1 ชิ้น มีปริมาตร $V = 6 \times 6 \times 50 = 1,800 \text{ mm}^3$
- 2) การขยายตัวของหนังหมูหลังการอบ 3-5 เท่า
- 3) การขยายตัวของหนังหมู 1 ชิ้น จะมีปริมาตร $V = 1,800 \times 4.5 = 8,100 \text{ mm}^3$ และในการทดสอบใช้ปริมาณหนังหมูครั้งละ 1 kg

หาปริมาตรรวมของการขยายตัวของหนังหมู 1 kg

$$V = \left(\frac{1000 \text{ g}}{0.6 \text{ g}} \right) \times 8100 = 13.5 \times 10^6 \text{ mm}^3$$

จะได้ปริมาตรรวมของการขยายตัวของหนังหมู 1 kg เท่ากับ $13,500,000 \text{ mm}^3$

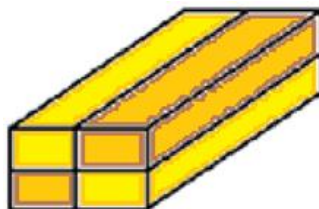
จากปริมาตรรวมของการขยายตัวของหนังหมู 1 kg และถังอบพองมีความยาวเท่ากับ 890 mm จะได้พื้นที่ของถังอบพองแคบหมู (ทรงกระบอก)

$$V = A \times L$$

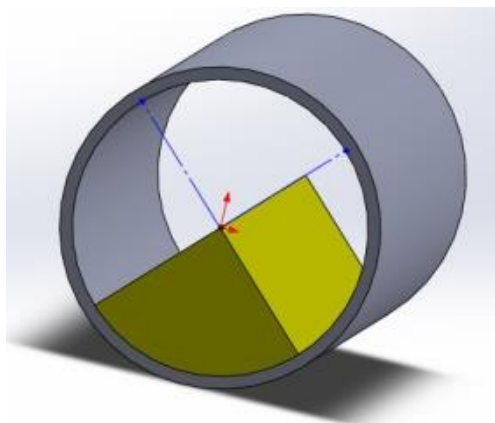
$$A = \frac{13.5 \times 10^6}{890} \text{ เมื่อ } A = \frac{\pi d^2}{4}$$

$$A = 15,168.539 \text{ mm}^2$$

จากนั้นพิจารณาถึงขั้นตอนการอบพองแคบหมูซึ่งแคบหมูจะต้องมีพื้นที่ในการกระจายตัวรับความร้อนอย่างทั่วถึง ดังนั้นจึงกำหนดให้หนังหมูมีการเปลี่ยนรูปจากเดิม 4 เท่า และหนังหมูมีพื้นที่ที่อยู่ในถึงเท่ากับ $1/4$ ของถึง ดังรูปที่ ก.2 และ ก.3



รูปที่ ก.2 แสดงหนังหมูเปลี่ยนรูปจากเดิม 4 เท่า



รูปที่ ก.3 แสดงหนังหมูมีพื้นที่ที่อยู่ในถึงเท่ากับ $1/4$ ของถึง

จากรูปที่ ก.2 และรูปที่ ก.3 จะได้พื้นที่ของถึงอบพองแคบหมู (ทรงกระบอก)

$$A = 15168.539 \times 4 \times 4 \text{ mm}^2 = 242696.629 \text{ mm}^2$$

หาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของถึงอบพองแคบหมู (ทรงกระบอก)

$$A = \frac{\pi d^2}{4} = 242696.629 \text{ mm}^2$$

$$d = 555.88 \text{ mm}$$

เลือกถึงอบพองแคบหมูมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 570 mm

ดังนั้นสรุปได้ว่าถึงอบพองแคบหมูมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 570 mm มีความยาว 890 mm และถึงหมูมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 600 mm มีความยาว 900 mm

1.2 การหาขนาดของเตาแก๊สอินฟราเรด

การหาขนาดของเตาแก๊สอินฟราเรดที่ใช้เป็นแหล่งความร้อนของเครื่องอบพองแคบหมู ซึ่งจากการออกแบบจะเห็นว่าเตาแก๊สอินฟราเรดจะติดตั้งไว้ด้านล่างของถังชั้นนอก เพื่อส่งความร้อนให้กับถังหมุนผ่านถังอบพอง เป็นห้องอบพองแคบหมู และจากหลักการทำงานของเครื่องอบพองแคบหมูจะมีช่วงการทำงานแบ่งออกเป็น 2 ช่วง คือ ช่วงการให้ความร้อน และช่วงการอบพองแคบหมู มีรายละเอียดดังนี้

- 1) อุณหภูมิการอบพองแคบหมู 200-240 °C
- 2) การอบพองแคบหมูใช้เวลาไม่เกิน 5 min
- 3) การขยายตัวของแคบหมูหลังการอบ 3-5 เท่า
- 4) ปริมาณการอบพองแคบหมู 0.5-1 kg/ครั้ง
- 5) ใช้เวลาในการทำอุณหภูมิ 15 min
- 6) ค่า C_p ของหนังหมูเท่ากับ 2.85 kJ/kg·K
- 7) ค่า C_p ของสแตนเลสเท่ากับ 0.502 kJ/kg·K
- 8) ใช้เตาแก๊สอินฟราเรดเป็นแหล่งให้ความร้อน
- 9) ความชื้นเริ่มต้นของหนังหมู 9-9.5%w.b.
- 10) ความชื้นสุดท้ายของหนังหมูไม่เกิน 2.5%w.b.

1.2.1 ช่วงการให้ความร้อน

1) ค่าความร้อนของถัง

สมมติให้มวลของถังเท่ากับ 75 kg ทำการเปลี่ยนอุณหภูมิห้องอบจาก 30 °C เป็น 240 °C และการคำนวณการถ่ายเทความร้อน พบว่าผิวถังอบพองแคบหมูมีอุณหภูมิเท่ากับ 245.53 °C

$$\begin{aligned} \text{จากสมการ } \dot{Q}_{sl} &= \dot{m} C_{p_{sl}} \Delta T \\ &= \frac{(75 \text{ kg}) \times (0.502 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K}) \times (518.53 - 303) \text{ K}}{(15 \times 60) \text{ s}} \\ \dot{Q}_{sl} &= 9.02 \text{ kW} \end{aligned}$$

2) ค่าความร้อนของอากาศ

การทำให้อากาศเปลี่ยนอุณหภูมิจาก 30 °C เป็น 240 °C ในเวลา 15 min

$$\begin{aligned} \text{จากสมการ } \rho &= \frac{m}{V} \\ \text{จากภาคผนวก ข ตารางที่ ข-1 } \rho &= 0.8650 \text{ kg/m}^3 \text{ ที่อุณหภูมิ } 135 \text{ °C} \\ m &= 0.8650 \times \left(\frac{\pi (0.57)^2}{4} \right) \times 0.89 = 0.196 \text{ kg} \end{aligned}$$

จากสมการ $\dot{Q}_{air} = \dot{m}C_p \Delta T$

จากภาคผนวก ข ตารางที่ ข-1 $C_p = 1.0125 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K}$ ที่อุณหภูมิ 135°C

$$\dot{Q}_{air} = \frac{(0.196 \text{ kg}) \times (1.0125 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K}) \times (513 - 303) \text{ K}}{(15 \times 60) \text{ sec}}$$

$$\dot{Q}_{air} = 0.046 \text{ kW}$$

จะได้ค่าความร้อนรวม

$$\dot{Q}_{total} = \dot{Q}_{sl} + \dot{Q}_{air}$$

$$\dot{Q}_{total} = 9.02 + 0.046$$

$$\dot{Q}_{total} = 9.06 \text{ kW}$$

ดังนั้นช่วงการให้ความร้อนจะมีค่าความร้อนรวมเท่ากับ 9.06 kW หรือ 7795.41 kcal/hr

1.2.2 ช่วงการอบพองแคะหมู

1) ค่าความร้อนของหนังหมู

การทำให้หนังหมูเปลี่ยนอุณหภูมิจาก 30°C เป็น 240°C ที่เวลา 3 min

จากสมการ $\dot{Q}_s = \dot{m}C_p \Delta T$

$$\dot{Q}_s = \frac{(1 \text{ kg}) \times (2.85 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K}) \times (513 - 303) \text{ K}}{(3 \times 60) \text{ s}}$$

$$\dot{Q}_s = 3.325 \text{ kW}$$

การทำให้หนังหมูเปลี่ยนสถานะจากของเหลวกลายเป็นไอ ที่ความชื้นเริ่มต้น $9.25\% \text{ w.b.}$ ให้เหลือความชื้น $2\% \text{ w.b.}$

จากสมการ $M_w = \frac{(w - d)}{w}$

$$d = 1 (1 - 0.0925) = 0.9075 \text{ kg}$$

จะได้น้ำหนักหนังหมูแห้งเท่ากับ 0.9075 kg

หาน้ำหนักหนังหมูที่ความชื้น $2\% \text{ w.b.}$

จากสมการ $M_w = \frac{(w - d)}{w}$

แทนค่า $w = \frac{0.9075}{(1 - 0.02)} = 0.926 \text{ kg}$

จะได้น้ำหนักหนังหมูที่ความชื้น $2\% \text{ w.b.}$ เท่ากับ 0.926 kg

หาปริมาณน้ำที่ต้องระเหยออกจากหนังหมู

$$m_w = 1 - 0.926 = 0.0739 \text{ kg}$$

หาค่าความร้อนแฝงของหนังหมูที่ใช้ในการระเหยน้ำออกจากหนังหมู ที่เวลา 3 min

จากสมการ $\dot{Q}_L = \dot{m}_w h_{fg}$

จากภาคผนวก ข ตารางที่ ข-2 $h_{fg} = 1,941 \text{ kJ/kg}$ ที่อุณหภูมิ 200°C

$$\dot{Q}_L = \frac{0.0739 \text{ kg} \times 1,941 \text{ kJ/kg}}{3 \times 60 \text{ sec}}$$

$$\dot{Q}_L = 0.797 \text{ kW}$$

หาค่าความร้อนของหนังหมูรวม

$$\dot{Q}_{\text{KABMOO}} = \dot{Q}_S + \dot{Q}_L$$

$$\dot{Q}_{\text{KABMOO}} = 3.325 + 0.797$$

$$\dot{Q}_{\text{KABMOO}} = 4.122 \text{ kW}$$

ดังนั้นจะได้ค่าความร้อนของหนังหมูเท่ากับ 4.122 kW

2) ค่าความร้อนของอากาศ

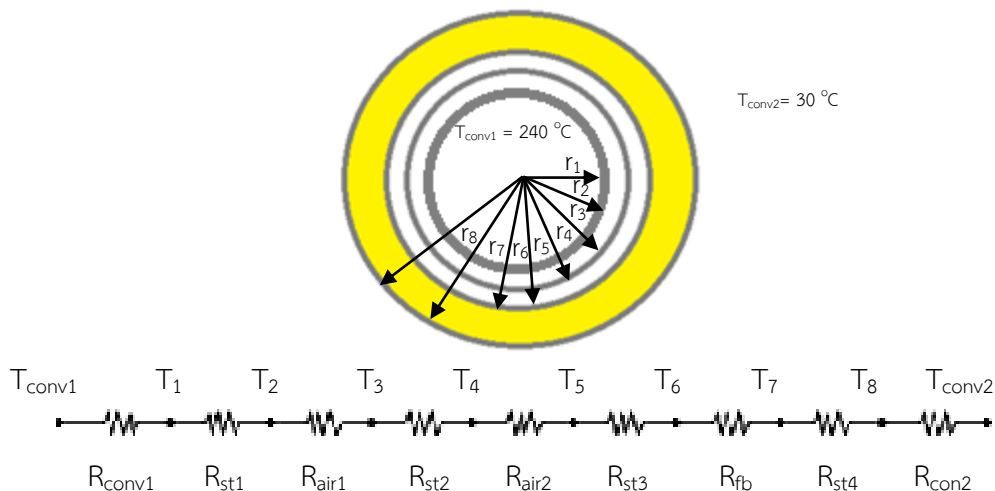
การทำให้อากาศเปลี่ยนอุณหภูมิจาก 30°C เป็น 240°C ในเวลา 3 min

จากสมการ $\dot{Q}_{\text{air}} = \dot{m} C_p \Delta T$

$$\dot{Q}_{\text{air}} = \frac{(0.196 \text{ kg}) \times (1.0125 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K}) \times (513 - 303) \text{ K}}{(3 \times 60) \text{ sec}}$$

$$\dot{Q}_{\text{air}} = 0.23 \text{ kW}$$

3) ค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านผนัง



รูปที่ ก.4 การถ่ายเทความร้อนผ่านผนัง

จากภาคผนวก ข ตารางที่ ข-3 $h_{\text{air}} = 9.37 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$

$$k_{\text{fb}} = 0.039 \text{ W/m} \cdot \text{K}$$

ตารางที่ ข-4 $k_{\text{st}} = 14.4 \text{ W/m} \cdot \text{K}$

จากสมการ $\dot{Q} = \frac{T_{\text{conv1}} - T_{\text{conv2}}}{R_{\text{total}}}$

หาพื้นที่ผนังถึงขอบพองแคบหมู

$$A_1 = 2\pi r_1 L = 2\pi(0.281)(0.886) = 1.564 \text{ m}^2$$

$$A_2 = 2\pi r_2 L = 2\pi(0.285)(0.89) = 1.594 \text{ m}^2$$

หาพื้นที่ผนังถึงชั้นใน (ถึงหมุน)

$$A_3 = 2\pi r_3 L = 2\pi(0.296)(0.896) = 1.666 \text{ m}^2$$

$$A_4 = 2\pi r_4 L = 2\pi(0.3)(0.9) = 1.696 \text{ m}^2$$

หาพื้นที่ผนังถึงชั้นนอก

$$A_5 = 2\pi r_5 L = 2\pi(0.354)(0.94) = 2.091 \text{ m}^2$$

$$A_6 = 2\pi r_8 L = 2\pi(0.438)(1.0762) = 2.962 \text{ m}^2$$

หาค่าความต้านทานความร้อนรวม

$$R_{\text{conv1}} = \frac{1}{hA_1} = \frac{1}{(9.37 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K})(1.564 \text{ m}^2)} = 0.0682 \text{ K/W}$$

$$R_{st1} = \frac{\ln(r_2/r_1)}{2\pi Lk} = \frac{\ln(0.285/0.281)}{2\pi(0.89)(14.4)} = 0.000175 \text{ K/W}$$

$$R_{air1} = \frac{1}{h(A_3 - A_2)} = \frac{1}{(9.37\text{W/m}^2 \cdot \text{K})(0.072\text{m}^2)} = 1.482 \text{ K/W}$$

$$R_{st2} = \frac{\ln(r_2/r_1)}{2\pi Lk} = \frac{\ln(0.3/0.296)}{2\pi(0.9)(14.4)} = 0.000164 \text{ K/W}$$

$$R_{air2} = \frac{1}{h(A_5 - A_4)} = \frac{1}{(9.37\text{W/m}^2 \cdot \text{K})(0.395\text{m}^2)} = 0.27 \text{ K/W}$$

$$R_{st3} = \frac{\ln(r_6/r_5)}{2\pi Lk} = \frac{\ln(0.358/0.354)}{2\pi(0.94)(14.4)} = 0.000132 \text{ K/W}$$

$$R_{fb} = \frac{\ln(r_7/r_6)}{2\pi Lk} = \frac{\ln(0.434/0.358)}{2\pi(1.0722)(0.039)} = 0.732 \text{ K/W}$$

$$R_{st3} = \frac{\ln(r_8/r_7)}{2\pi Lk} = \frac{\ln(0.438/0.434)}{2\pi(1.0762)(14.4)} = 0.0000942 \text{ K/W}$$

$$R_{conv2} = \frac{1}{hA_6} = \frac{1}{(9.37\text{W/m}^2 \cdot \text{K})(2.962 \text{ m}^2)} = 0.036 \text{ K/W}$$

จะได้ค่าความต้านทานความร้อนรวม

$$R_{total} = 0.0682 + 0.000175 + 1.482 + 0.000164 + 0.27 + 0.000132 + 0.732 + 0.0000942 + 0.036 = 2.627 \text{ K/W}$$

แทนค่า $\dot{Q}_{tf} = \frac{T_{\infty 1} - T_{\infty 2}}{R_{total}} = \frac{513 - 303}{2.588} = 81.12\text{W} = 0.081\text{kW}$

จะได้ค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังเท่ากับ 0.08112 kW

หาค่าอุณหภูมิผิวของถังอบพองแคบหมู

$$\dot{Q} = \frac{T_1 - T_{conv1}}{R_{conv1}}$$

$$81.12\text{W} = \frac{T_1 - 513\text{K}}{0.0682\text{K/W}}$$

$$T_1 = 518.53\text{K}$$

จะได้อุณหภูมิผิวของถังอบพองแคบหมูเท่ากับ $T_1 = 518.53\text{K}$ หรือ 245.53°C

จะได้ค่าความร้อนรวม

$$\begin{aligned}\dot{Q}_{\text{total}} &= Q_{\text{KABMOO}} + Q_{\text{air}} + Q_{\text{tf}} \\ \dot{Q}_{\text{total}} &= 4.122 + 0.23 + 0.081 = 4.43 \text{ kW}\end{aligned}$$

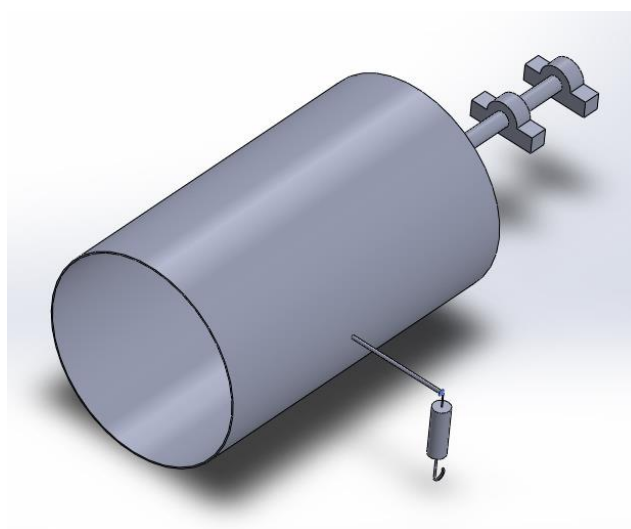
ดังนั้นช่วงการอบพองแคบหมูจะมีค่าความร้อนรวมเท่ากับ 4.43 kW หรือ 3811.66 kcal/hr

จากการคำนวณหาขนาดของเตาแก๊สอินฟราเรดดังกล่าว (ช่วงการให้ความร้อน) มีขนาดเท่ากับ 9.06 kW หรือ 7795.41 kcal/hr และเลือกค่าความปลอดภัย 1.2 จะได้เตาแก๊สอินฟราเรดขนาด 10.87 kW หรือ 9352.77 kcal/hr ดังนั้นจึงเลือกใช้เตาแก๊สอินฟราเรดรุ่น A-2602 ขนาด 9,360 kcal/hr ดังภาคผนวก ข ตารางที่ ข-5

1.3 การหาขนาดของมอเตอร์

การหาขนาดของมอเตอร์ที่ใช้เป็นต้นกำลังขับเคลื่อนไปยังถังหมุน ซึ่งถังหมุนภายในจะมีถังอบพองเพื่อใช้ออบพองแคบหมู โดยคณะผู้วิจัยทำการทดสอบหาแรงที่ใช้ในการหมุนถังดังกล่าวแล้วหาค่าแรงเฉลี่ย ดังรูปที่ ก.5 และได้กำหนดเงื่อนไขดังนี้

- 1) ความเร็วรอบของมอเตอร์ 1,450 rpm
- 2) เส้นผ่านศูนย์กลางของถังอบพองแคบหมู เท่ากับ 0.6 m



รูปที่ ก.5 การทดสอบหาแรง

จากการทดสอบหาแรงที่ใช้ในการหมุนถัง พบว่าได้แรงเฉลี่ยเท่ากับ 1.47 kg_f

จากสมการ $P = 2\pi Tn$

$$P = \frac{2 \times \pi \times 1.47 \times 0.3 \times 9.81 \times 1450}{60} = 656.907 \text{ W}$$

ดังนั้นจึงเลือกมอเตอร์ขนาด 746 W หรือ 1 hp

ภาคผนวก ข
ตารางที่ใช้ในการคำนวณ

ตารางที่ ข-1 อากาศแห้งที่ความดันบรรยากาศ

TEMPERATURE,		DENSITY,	COEFFICIENT OF THERMAL EXPANSION,	SPECIFIC HEAT,	THERMAL CONDUCTIVITY,	THERMAL DIFFUSIVITY,	ABSOLUTE VISCOSITY,	KINEMATIC VISCOSITY,	PRANDTL NUMBER,	
T		ρ	$\beta \times 10^3$	c_p	k	$\alpha \times 10^6$	$\mu \times 10^6$	$\nu \times 10^6$	Pr	$\frac{g\beta}{\nu^2} \times 10^{-8}$
K	°C	(kg/m ³)	(1/K)	(J/kg·K)	(W/m·K)	(m ² /s)	(N·s/m ²)	(m ² /s)		(1/K·m ²)
273	0	1.252	3.66	1011	0.0237	19.2	17.456	13.9	0.71	1.85
293	20	1.164	3.41	1012	0.0251	22.0	18.240	15.7	0.71	1.36
313	40	1.092	3.19	1014	0.0265	24.8	19.123	17.6	0.71	1.01
333	60	1.025	3.00	1017	0.0279	27.6	19.907	19.4	0.71	0.782
353	80	0.968	2.83	1019	0.0293	30.6	20.790	21.5	0.71	0.600
373	100	0.916	2.68	1022	0.0307	33.6	21.673	23.6	0.71	0.472
473	200	0.723	2.11	1035	0.0370	49.7	25.693	35.5	0.71	0.164
573	300	0.596	1.75	1047	0.0429	68.9	39.322	49.2	0.71	0.0709
673	400	0.508	1.49	1059	0.0485	89.4	32.754	64.6	0.72	0.0350
773	500	0.442	1.29	1076	0.0540	113.2	35.794	81.0	0.72	0.0193
1273	1000	0.268	0.79	1139	0.0762	240	48.445	181	0.74	0.00236

ที่มา : การถ่ายเทความร้อน, รศ. สุนันท์ ศรีณยนิตย์. คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

ตารางที่ ข-2 ตารางคุณสมบัติของไอน้ำ

Temp. T, °C	Saturation Pressure P, kPa	Density ρ , kg/m ³		Enthalpy of Vaporization h _g , kJ/kg	Specific Heat C _p , J/kg · °C		Thermal Conductivity k, W/m · °C		Dynamic Viscosity μ , kg/m · s		Prandtl Number, Pr		Volume Expansion Coefficient β , 1/K
		Liquid	Vapor		Liquid	Vapor	Liquid	Vapor	Liquid	Vapor	Liquid	Vapor	
0.01	0.6113	999.8	0.0048	2501	4217	1854	0.561	0.0171	1.792x10 ⁻³	0.922x10 ⁻⁵	13.5	1.00	-0.068x10 ⁻³
5	0.8721	999.9	0.0068	2490	4205	1857	0.571	0.0173	1.519 x10 ⁻³	0.934 x10 ⁻⁵	11.2	1.00	0.015 x10 ⁻³
10	1.2276	999.7	0.0094	2478	4194	1862	0.580	0.0176	1.307 x10 ⁻³	0.946 x10 ⁻⁵	9.45	1.00	0.733 x10 ⁻³
15	1.7051	999.1	0.0128	2466	4186	1863	0.589	0.0179	1.138 x10 ⁻³	0.959 x10 ⁻⁵	8.09	1.00	0.138 x10 ⁻³
20	2.339	998.0	0.0173	2454	4182	1867	0.598	0.0182	1.002 x10 ⁻³	0.973 x10 ⁻⁵	7.01	1.00	0.195 x10 ⁻³
25	3.169	997.0	0.0231	2442	4180	1870	0.607	0.0186	0.891 x10 ⁻³	0.987 x10 ⁻⁵	6.14	1.00	0.247 x10 ⁻³
30	4.246	996.0	0.0304	2431	4178	1875	0.615	0.0189	0.798 x10 ⁻³	1.001 x10 ⁻⁵	5.42	1.00	0.294 x10 ⁻³
35	5.628	994.0	0.0397	2419	4178	1880	0.623	0.0192	0.720 x10 ⁻³	1.016 x10 ⁻⁵	4.83	1.00	0.337 x10 ⁻³
40	7.384	992.1	0.0512	2407	4179	1885	0.631	0.0196	0.653 x10 ⁻³	1.031 x10 ⁻⁵	4.32	1.00	0.377 x10 ⁻³
45	9.593	990.1	0.0655	2395	4180	1892	0.637	0.0200	0.596 x10 ⁻³	1.046 x10 ⁻⁵	3.91	1.00	0.415 x10 ⁻³
50	12.35	988.1	0.0831	2383	4181	1900	0.644	0.0204	0.547 x10 ⁻³	1.062 x10 ⁻⁵	3.55	1.00	0.451 x10 ⁻³
55	15.76	985.2	0.1045	2371	4183	1908	0.649	0.0208	0.504 x10 ⁻³	1.077 x10 ⁻⁵	3.25	1.00	0.484 x10 ⁻³
60	19.94	983.3	0.1304	2359	4185	1916	0.654	0.0212	0.467 x10 ⁻³	1.093 x10 ⁻⁵	2.99	1.00	0.517 x10 ⁻³
65	25.03	980.4	0.1614	2346	4187	1926	0.659	0.0216	0.433 x10 ⁻³	1.110 x10 ⁻⁵	2.75	1.00	0.548 x10 ⁻³
70	31.19	977.5	0.1983	2334	4190	1936	0.663	0.0221	0.404 x10 ⁻³	1.126 x10 ⁻⁵	2.55	1.00	0.578 x10 ⁻³
75	38.58	974.7	0.2421	2321	4193	1948	0.667	0.0225	0.378 x10 ⁻³	1.142 x10 ⁻⁵	2.38	1.00	0.607 x10 ⁻³
80	47.39	971.8	0.2935	2309	4197	1962	0.670	0.0230	0.355 x10 ⁻³	1.159 x10 ⁻⁵	2.22	1.00	0.653 x10 ⁻³
85	57.83	968.1	0.3536	2296	4201	1977	0.673	0.0235	0.333 x10 ⁻³	1.176 x10 ⁻⁵	2.08	1.00	0.670 x10 ⁻³
90	70.14	965.3	0.4235	2283	4206	1993	0.675	0.0240	0.315 x10 ⁻³	1.193 x10 ⁻⁵	1.96	1.00	0.702 x10 ⁻³
95	84.55	961.5	0.5045	2270	4212	2010	0.677	0.0246	0.297 x10 ⁻³	1.210 x10 ⁻⁵	1.85	1.00	0.716 x10 ⁻³
100	101.33	957.9	0.5978	2257	4217	2029	0.679	0.0251	0.282 x10 ⁻³	1.227 x10 ⁻⁵	1.75	1.00	0.750 x10 ⁻³

ตารางที่ ข-2 ตารางคุณสมบัติของไอน้ำ (ต่อ)

Temp. T, °C	Saturation Pressure P, kPa	Density ρ , kg/m ³		Enthalpy of Vaporization h _g , kJ/kg	Specific Heat C _p , J/kg · °C		Thermal Conductivity k, W/m · °C		Dynamic Viscosity μ , kg/m · s		Prandtl Number, Pr		Volume Expansion Coefficient β , 1/K
		Liquid	Vapor		Liquid	Vapor	Liquid	Vapor	Liquid	Vapor	Liquid	Vapor	
110	143.27	950.6	0.8263	2230	4229	2071	0.682	0.0262	0.255x10 ⁻³	1.261x10 ⁻⁵	1.58	1.00	0.798x10 ⁻³
120	198.53	943.4	1.121	2203	4244	2120	0.683	0.0275	0.232 x10 ⁻³	1.296 x10 ⁻⁵	1.44	1.00	0.858 x10 ⁻³
130	270.10	934.6	1.496	2174	4263	2177	0.684	0.0288	0.213 x10 ⁻³	1.330 x10 ⁻⁵	1.33	1.01	0.913 x10 ⁻³
140	361.30	921.7	1.965	2145	4286	2244	0.683	0.0301	0.197 x10 ⁻³	1.365 x10 ⁻⁵	1.24	1.02	0.970 x10 ⁻³
150	475.80	916.6	2.546	2114	4311	2314	0.682	0.0316	0.183 x10 ⁻³	1.399 x10 ⁻⁵	1.16	1.02	1.025 x10 ⁻³
160	617.80	907.4	3.256	2083	4340	2420	0.680	0.0331	0.170 x10 ⁻³	1.434 x10 ⁻⁵	1.09	1.05	1.145 x10 ⁻³
170	791.70	897.7	4.119	2050	4370	2490	0.677	0.0347	0.160 x10 ⁻³	1.468 x10 ⁻⁵	1.03	1.05	1.178 x10 ⁻³
180	1002.1	887.3	5.153	2015	4410	2590	0.673	0.0364	0.150 x10 ⁻³	1.502 x10 ⁻⁵	0.983	1.07	1.210 x10 ⁻³
190	1254.4	876.4	6.388	1979	4460	2710	0.669	0.0382	0.142 x10 ⁻³	1.537 x10 ⁻⁵	0.947	1.09	1.280 x10 ⁻³
200	1553.8	864.3	7.852	1941	4500	2840	0.663	0.0401	0.134 x10 ⁻³	1.571 x10 ⁻⁵	0.910	1.00	1.350 x10 ⁻³
220	2318	840.3	11.60	1859	4610	3110	0.650	0.0442	0.122 x10 ⁻³	1.641 x10 ⁻⁵	0.865	1.15	1.520 x10 ⁻³
240	3344	813.7	16.73	1767	4760	3520	0.632	0.0487	0.111 x10 ⁻³	1.712 x10 ⁻⁵	0.836	1.24	1.720 x10 ⁻³
260	4688	783.7	23.69	1663	4970	4070	0.609	0.0540	0.102 x10 ⁻³	1.788 x10 ⁻⁵	0.832	1.35	2.000 x10 ⁻³
280	6412	750.8	33.15	1544	5280	4835	0.581	0.0605	0.094 x10 ⁻³	1.870 x10 ⁻⁵	0.854	1.49	2.380 x10 ⁻³
300	8581	713.8	46.15	1405	5750	5980	0.548	0.0695	0.086 x10 ⁻³	1.965 x10 ⁻⁵	0.902	1.69	2.950 x10 ⁻³
320	11,274	667.1	64.57	1239	6540	7900	0.509	0.0836	0.078 x10 ⁻³	2.084 x10 ⁻⁵	1.00	1.97	-
340	14,586	610.5	92.62	1028	8240	11,870	0.469	0.110	0.070 x10 ⁻³	2.255 x10 ⁻⁵	1.23	2.43	-
360	18,651	528.3	144.0	720	14,690	25,800	0.427	0.178	0.060 x10 ⁻³	2.571 x10 ⁻⁵	2.06	3.73	-
374.14	22,090	317.0	317.0	0	α	α	α	α	0.043 x10 ⁻³	4.313 x10 ⁻⁵	-	-	-

Note 1: Kinematic viscosity ν and thermal diffusivity α can be calculated from their definition, $\nu = \mu/\rho$ and $\alpha = k/\rho C_p = \nu/Pr$. The temperature 0.01°C, 100°C, and 374.14°C are triple-boiling and critical-point temperature of water respectively.

Note 2: The unit kJ/kg·°C for specific heat is equivalent to kJ/kg, and the unit W/m·°C for the thermal conductivity is equivalent to W/m·K.

ที่มา : การถ่ายโอนความร้อน, ผ่องศรี ศีวรศักดิ์. บริษัท ทริปเพิล เอ็ดดูเคชั่น จำกัด, กรุงเทพฯ.พ.ศ.

ตารางที่ ข-3 ตารางคุณสมบัติของวัสดุต่างๆ

Material	Description	Thermal Conductivity (k) W/m K	Thermal Conductance (C) W/m ² K
Masonry	Brick, common	0.72	
	Brick, face	1.30	
	Concrete, mortar or plaster	0.72	
	Concrete, sand aggregate	1.73	
	Concrete block		
	Sand aggregate 100 mm		7.95
	Sand aggregate 200 mm		5.11
	Sand aggregate 300 mm		4.43
	Cinder aggregate 100 mm		5.11
	Cinder aggregate 200 mm		3.29
	Cinder aggregate 300 mm		3.01
	Gypsum plaster 13 mm		17.72
	Tile, hollow clay 100 mm		5.11
	Tile, hollow clay 150 mm		3.75
	Tile, hollow clay 200 mm		3.07
Woods	Maple, oak, similar hardwoods	0.16	
	Fir, pine, similar softwoods	0.12	
	Plywood 13 mm		9.09
	Plywood 19 mm		6.08
Roofing	Asphalt roll roofing		36.91
	Built-up roofing 9 mm		17.03
Insulating materials	Blanket or batt, mineral or glass fiber	0.039	
	Board or slab		
	Cellular glass	0.058	
	Corkboard	0.043	
	Glass fiber	0.036	
	Expanded polystyrene (smooth)	0.029	
	Expanded polystyrene (cut cell)	0.036	
	Expanded polyurethane	0.025	
	Loose fill		
	Milled paper or wood pulp	0.039	
	Sawdust or shavings	0.065	
	Mineral wool (rock, glass, slag)	0.039	
	Redwood bark	0.037	
	Wood fiber (soft woods)	0.043	
Surface conductance (convection coefficient)	Still air		9.37
	Moving air (3.35 m/s or 12 km/h)		22.70
	Moving air (6.7 m/s or 24 km/h)		34.10
Glass	Single pane		6.42
	Two pane		2.61
	Three pane		1.65
	Four pane		1.19

Adapted from ASHRAE Data Book, Fundamentals Volume, 1972 Edition, by permission of the American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers.

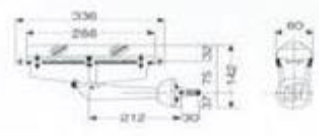
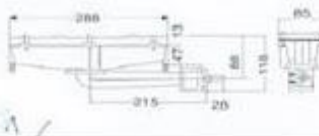
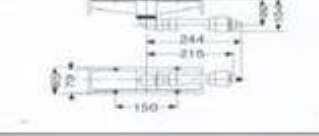
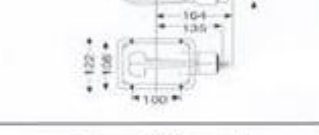
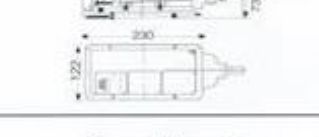
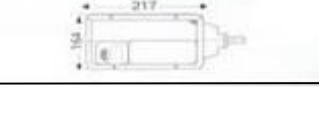
ที่มา : การทำความเย็น, อัครเดช สินธุภักดิ์. คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้า
คุณทหารลาดกระบัง

ตารางที่ ข-4 คุณสมบัติต่างๆ ของโลหะผสม

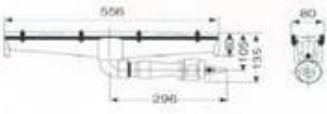
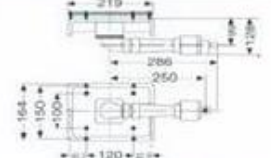
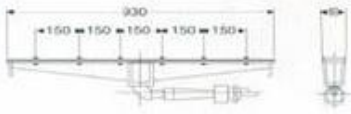
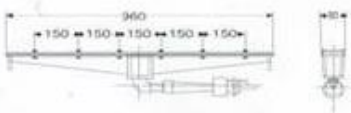
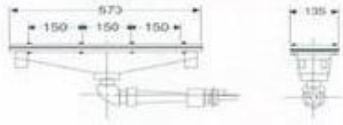
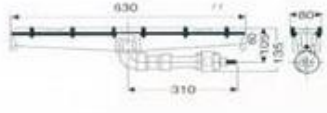
METAL	COMPOSITION (%)	PROPERTIES AT 293 K OR 20°C			
		ρ (kg/m ³)	c_p (J/kg·K)	k (W/m·K)	$\alpha \times 10^5$ (m ² /s)
Aluminum					
Duralumin	94–96 Al, 3–5 Cu, trace Mg	2787	833	164	6.676
Silumin	87 Al, 13Si	2659	871	164	7.099
Copper					
Aluminum Bronze	95 Cu, 5 Al	8666	410	83	2.330
Bronze	75 Cu, 25 Sn	8666	343	26	0.859
Red brass	85 Cu, 9 Sn, 6 Zn	8714	385	61	1.804
Brass	70 Cu, 30 Zn	8522	385	111	3.412
German silver	62 Cu, 15 Ni, 22 Zn	8618	394	24.9	0.733
Constan- tan	60 Cu, 40 Ni	8922	410	22.7	0.612
Iron					
Cast iron	≈4 C	7272	420	52	1.702
Wrought iron	0.5 CH	7849	460	59	1.626
Steel					
Carbon steel	1 C	7801	473	43	1.172
	1.5 C	7753	486	36	0.970
Chrome steel	1 Cr	7865	460	61	1.665
	5 Cr	7833	460	40	1.110
	10 Cr	7785	460	31	0.867
Chrome- nickel steel	15 Cr, 10 Ni	7865	460	19	0.526
	20 Cr, 15 Ni	7833	460	15.1	0.415
Nickel steel	10 Ni	7945	460	26	0.720
	20 Ni	7993	460	19	0.526
	40 Ni	8169	460	10	0.279
	60 Ni	8378	460	19	0.493
Nickel- chrome steel	80 Ni, 15 C	8522	460	17	0.444
	40 Ni, 15 C	8073	460	11.6	0.305
Manganese steel	1 Mn	7865	460	50	1.388
	5 Mn	7849	460	22	0.637
Silicon steel	1 Si	7769	460	42	1.164
	5 Si	7417	460	19	0.555
Stainless steel	Type 304	7817	461	14.4	0.387
	Type 347	7817	461	14.3	0.387
Tungsten steel	1 W	7913	448	66	1.858
	5 W	8073	435	54	1.525

ที่มา : การถ่ายเทความร้อน, รศ. สุนันท์ ศรีฉนวนินิตย์. คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอม
เกล้าธนบุรี

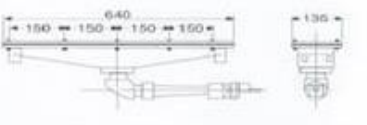
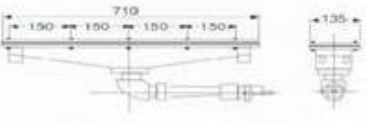
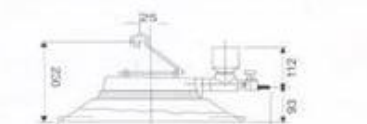
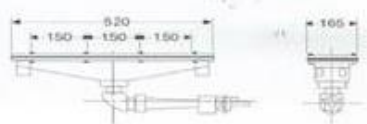
ตารางที่ ข-5 ตารางเปรียบเทียบขนาดหัวเตาแก๊สแบบอินฟราเรด

A-401 	Consumption/LPG:0.11 kg/hr Consumption/NGV:0.12 m ³ /hr Heat :1350 kcal/hr Weight:2.6 kg connect:1/8inc quantity (sheet):4 (2x2)	
A-402 	Consumption/LPG:0.11 kg/hr Consumption/NGV :0.12 m ³ /hr Heat :1350 kcal/hr Weight:2.85 kg connect:1/8inc quantity (sheet):4 (2x2)	
A-403 	Consumption/LPG:0.11 kg/hr Consumption/NGV:0.12 m ³ /hr Heat :1350 kcal/hr Weight:2.9 kg connect:1/8inc quantity (sheet):4 (2x2)	
A-406 	Consumption/LPG:0.11 kg/hr Consumption/NGV:0.12 m ³ /hr Heat :1350 kcal/hr Weight:1.9 kg connect:1/8inc quantity (sheet):4 (2x2)	
A-601 	Consumption/LPG:0.17 kg/hr Consumption/NGV :0.18 m ³ /hr Heat :2030 kcal/hr Weight:2.5 kg connect:1/8inc quantity (sheet):6 (2x3)	
A-602 	Consumption/LPG:0.17 kg/hr Consumption/NGV :0.18 m ³ /hr Heat :2030 kcal/hr Weight:3.8 kg connect:1/8inc or 3/8inc quantity (sheet):6 (2x3)	
A-606 	Consumption/LPG:0.17 kg/hr Consumption/NGV:0.18 m ³ /hr Heat :2030 kcal/hr Weight:2.5 kg connect:1/8inc quantity (sheet):6 (2x3)	
A-801 	Consumption/LPG:0.22 kg/hr Consumption/NGV :0.24 m ³ /hr Heat :2700 kcal/hr Weight:3.8 kg connect:3/8inc quantity (sheet):8 (4x2)	

ตารางที่ ข-5 ตารางเปรียบเทียบขนาดหัวเตาแก๊สแบบอินฟราเรด (ต่อ)

A-802 	Consumption/LPG:0.22 kg/hr Consumption/NGV:0.24 m ³ /hr Heat :2030 kcal/hr Weight:5.8 kg connect :3/8inc quantity (sheet):8 (2x4)	
A-822 	Consumption/LPG:0.22 kg/hr Consumption/NGV:0.24 m ³ /hr Heat :2700 kcal/hr Weight:4.5 kg connect :3/8inc quantity (sheet):8 (4x2)	
A-1002 	Consumption/LPG:0.28 kg/hr Consumption/NGV:0.30 m ³ /hr Heat :3380 kcal/hr Weight:6.85 kg connect :3/8inc quantity (sheet):10 (2x5)	
A-1202 	Consumption/LPG :0.34 kg/hr Consumption/NGV :0.37 m ³ /hr Heat :4060 kcal/hr Weight :7.6 kg connect :3/8inc quantity (sheet) :12 (2x6)	
A-1302 	Consumption/LPG :0.37 kg/hr Consumption/NGV :0.4 m ³ /hr Heat :4680 kcal/hr Weight :8.2 kg connect :3/8inc quantity (sheet) :13 (2x6.5)	
A-1402 	Consumption/LPG :0.39 kg/hr Consumption/NGV :0.43 m ³ /hr Heat :4720 kcal/hr Weight :8.95 kg connect :3/8inc quantity (sheet) :14 (2x7)	
A-1602 	Consumption/LPG :0.45 kg/hr Consumption/NGV :0.49 m ³ /hr Heat :5400 kcal/hr Weight :8 kg connect :3/8inc quantity (sheet) :14 (4x4)	
A-902 	Consumption/LPG :0.25 kg/hr Consumption/NGV :0.27 m ³ /hr Heat :3000 kcal/hr Weight :6.4 kg connect :3/8inc quantity (sheet) :9 (2x4.5)	

ตารางที่ ข-5 ตารางเปรียบเทียบขนาดหัวเตาแก๊สแบบอินฟราเรด (ต่อ)

 A-1802	Consumption/LPG: 0.51 kg/hr Consumption/NGV: 0.54 m³/hr Heat : 6090 kcal/hr Weight: 9.1 kg connect: 3/8inc quantity (sheet): 18 (4x4.5)	
 A-2002	Consumption/LPG : 0.55 kg/hr Consumption/NGV : 0.6 m³/hr Heat : 6750 kcal/hr Weight : 11.15 kg connect : 3/8inc quantity (sheet) : 20 (4x5)	
 A-2402	Consumption/LPG : 0.68 kg/hr Consumption/NGV : 0.74 m³/hr Heat : 8120 kcal/hr Weight : 11.7 kg connect : 3/4inc quantity (sheet) : 24 (4x6)	
 A-2602	Consumption/LPG: 0.74 kg/hr Consumption/NGV : 0.8 m³/hr Heat : 9360 kcal/hr Weight : 13 kg connect : 3/8inc quantity (sheet): 26 (4x6.5)	
 A-3200	Consumption/LPG : 0.9 kg/hr Consumption/NGV : 0.98 m³/hr Heat : 10800 kcal/hr Weight : 14.5 kg connect : 3/8inc quantity (sheet) : 32 (4x8)	
 A-811	Consumption/LPG : 0.22 kg/hr Consumption/NGV : 0.24 m³/hr Heat : 2030 kcal/hr Weight : 4.25 kg connect : One port quantity (sheet) : 8 (4x2)	
 A-812	Consumption/LPG : 0.22 kg/hr Consumption/NGV : 0.24 m³/hr Heat : 2030 kcal/hr Weight : 4.5 kg connect : two port quantity (sheet) : 8 (4x2)	
 A-2001	Consumption/LPG : 0.55 kg/hr Consumption/NGV : 0.6 m³/hr Heat : 6750 kcal/hr Weight : 9.6 kg connect : 3/8inc quantity (sheet) : 18 (4x4.5)	

ที่มา : สืบค้นจาก <http://www.abb-furnace.com/furnace-accessories/INFRARED.BURNER.html>. (20 ตุลาคม 2558)

ภาคผนวก ค

บทความสำหรับเผยแพร่

(บทความสำหรับเผยแพร่ได้ตัดตามความเหมาะสมจากรายงานฉบับสมบูรณ์

และอยู่ระหว่างการดำเนินการส่งบทความวิจัย)

ภาคผนวก ง

ตารางสรุปเปรียบเทียบแผนงานวิจัยกับผลงานวิจัย

ตารางที่ ง-1 ตารางสรุปเปรียบเทียบแผนงานวิจัยกับผลงานวิจัย

วัตถุประสงค์	กิจกรรม	ผลการทดสอบที่ได้
1. เพื่อออกแบบและสร้างเครื่องอบพองแคบหมูสำหรับอุตสาหกรรมขนาดกลางและขนาดย่อม	1. การออกแบบและสร้างเครื่องอบพองแคบหมูต้นแบบ	เครื่องอบพองแคบหมูต้นแบบเป็นแบบกึ่งอัตโนมัติ ประกอบด้วยโครงสร้าง ถึงชั้นนอก ถึงหมุ่น ถึงอบพองแคบหมู ฝาหน้าเครื่อง และระบบควบคุม มีหลักการทำงานโดยใช้เตาแก๊สอินฟราเรดขนาด 9360 kcal/hr ให้ความร้อนกับถึงอบพองมีอุณหภูมิสูงได้ตามที่กำหนด ซึ่งถึงสามารถหมุ่นได้โดยใช้มอเตอร์เกียร์ขนาด 1 HP อัตราทด 1:60 โดยวงจรควบคุมชุดส่งกำลังจะใช้อินเวอร์เตอร์ควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ ส่วนวงจรควบคุมอุณหภูมิจะใช้เครื่องควบคุมอุณหภูมิเป็นตัวควบคุมอุณหภูมิห้องอบพอง และฝาหน้าเครื่องจะสามารถเปิด-ปิดได้เพื่อทำความสะอาดถึง ด้านหน้าจะมีช่องป้อนหนังหมูเข้า-ออกและมีที่ระบายควัน
	2. การทดสอบการทำงานของเครื่องอบพองแคบหมู	ผลการทดสอบการควบคุมอุณหภูมิเครื่องอบพองแคบหมู พบว่าในช่วงแรกอุณหภูมิจะเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจนกระทั่งถึงอุณหภูมิที่กำหนดไว้ จากนั้นอุณหภูมิจะเริ่มคงที่ ส่วนปริมาณการใช้พลังงานของเครื่องอบพองแคบหมู พบว่าที่อุณหภูมิต่ำจะมีค่าปริมาณการใช้พลังงานเชื้อเพลิงแก๊สน้อยกว่าอุณหภูมิสูง และพบว่าความเร็วรอบต่ำจะมีค่าปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าน้อยกว่าความเร็วรอบสูง
	3. การทดสอบการอบพองแคบหมู	ผลการทดสอบ พบว่าแคบหมูที่ผ่านการอบให้พองตัวที่อุณหภูมิ 220 °C ความเร็วรอบ 24 rpm และเวลา 5 min มีคุณภาพดีที่สุด
	4. หาประสิทธิภาพการใช้พลังงานและการวิเคราะห์เศรษฐศาสตร์	การหาประสิทธิภาพการใช้พลังงานและการวิเคราะห์เศรษฐศาสตร์ พบว่ามีอัตราการผลิตแคบหมูอบพองสูงสุด 10.76 kg/hr และประสิทธิภาพการใช้พลังงานเท่ากับ 24.32% มีระยะเวลาคืนทุน 2 เดือน

ภาคผนวก จ
รูปการดำเนินงานวิจัย



รูปที่ จ.1 การวางแผนการดำเนินของโครงการวิจัยของคณะผู้วิจัย



รูปที่ จ.2 การนำเสนอรายงานความก้าวหน้า



รูปที่ จ.3 การนำเสนอการติดตามและประเมินผลรอบ 6-12 เดือน โครงการทุนวิจัยมุ่งเป้ากลุ่ม SME



รูปที่ จ.4 การดูงานการติดตามและประเมินผลรอบ 6-12 เดือน
โครงการทุนวิจัยมุ่งเป้ากลุ่ม SME



รูปที่ จ.5 เครื่องอบพองแคบหมู



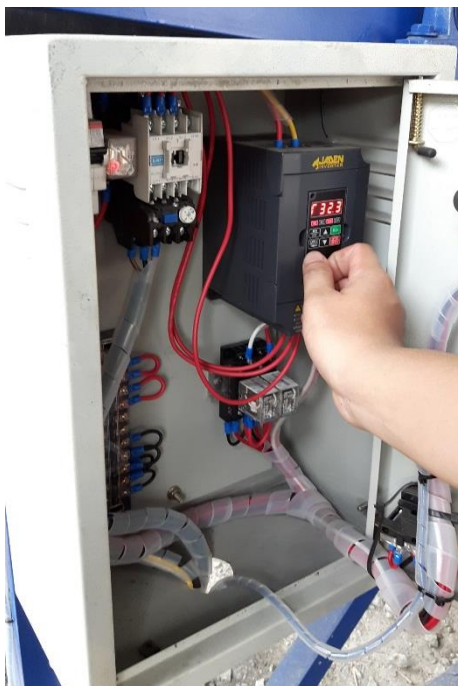
รูปที่ จ.6 หนังหมูกึ่งสำเร็จรูป



รูปที่ จ.7 การเตรียมหนังหมูกึ่งสำเร็จรูป



รูปที่ จ.8 การปรับตั้งอุณหภูมิ



รูปที่ จ.9 การปรับตั้งความเร็วรอบ



รูปที่ จ.10 การกดเอียงถึงเพื่อนำแคบหมูออก



รูปที่ จ.11 แคบหมอบพองด้วยเครื่องต้นแบบ



รูปที่ จ.12 ตัวอย่างแคบหมูที่ อุณหภูมิ 220 °C ความเร็วรอบ 24 rpm เวลา 5 min

ภาคผนวก ฉ

กิจกรรมที่เกี่ยวข้องกับการนำผลจากโครงการไปใช้ประโยชน์

การถ่ายทอดเทคโนโลยีการอบพองแคบหมูของโครงการการออกแบบและสร้างเครื่องอบพองแคบหมูสำหรับอุตสาหกรรมขนาดกลางและขนาดย่อมให้กับโรงงานแคบหมูป๊อบพอร์คป่าพซ์ (ณ วันที่ 18 มิถุนายน 2559) ดังนี้



รูปที่ ฉ.1 การถ่ายทอดเทคโนโลยีการอบพองแคบหมูให้กับผู้ประกอบการ



รูปที่ ฉ.2 ผู้ประกอบการแนะนำแผนผังและผลิตภัณฑ์ของโรงงาน



รูปที่ ฉ.3 การจัดเตรียมหนังหมูกึ่งสำเร็จรูป



รูปที่ ฉ.4 การอธิบายหลักการทำงานและขั้นตอนการอบพองแคบหมู
ที่อุณหภูมิ 220 °C ความเร็วรอบ 24 rpm เวลา 5 min



รูปที่ ฉ.5 แคบหมูที่ได้จากการอบพองจากเครื่องต้นแบบ



รูปที่ ฉ.6 การบรรจุแคบหมูใส่ถุงฟอยด์