

บทที่ 2

วิธีการวิจัย

1. วัตถุประสงค์

1.1 เต้าหู้ปลา (Fish Tofu)

ผลิตภัณฑ์เต้าหู้ปลา (Fish Tofu) จากบริษัทแปซิฟิกแปรรูปสัตว์น้ำ จำกัด รูปทรงสี่เหลี่ยม ขนาด 2.5 x 2.5 x 3.0 เซนติเมตร โดยประมาณ สีขาวล้วน ผ่านกระบวนการนึ่งแล้วแต่ยังไม่ผ่านกระบวนการทอด



ภาพประกอบ 2-1 ภาพแสดงผลิตภัณฑ์เต้าหู้ปลาที่ใช้ในการทดลอง

ผลิตภัณฑ์เต้าหู้ปลาดังกล่าวมีส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์ ดังนี้

ตารางที่ 2-1 ตารางแสดงส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์เต้าหู้ปลา

ส่วนประกอบ	เปอร์เซ็นต์
surimi	68
vegetable oil	4.3
salt	1.6
sugar	2.4
egg albumin	6
soy flour	5.2
potato starch	2
ice and water	10.5
total	100

ที่มา : บริษัทแปซิฟิกแปรรูปสัตว์น้ำ จำกัด

ในการทอดผลิตภัณฑ์เต้าหู้ปลาในระดับอุตสาหกรรมของโรงงานนั้นโดยปกติจะใช้ อัตราส่วนปริมาณเต้าหู้ปลา 3-4 กิโลกรัมต่อปริมาณน้ำมันที่ใช้ในการทอด 30 ลิตร ต่อการทอด 1 ครั้งในแบบกระทะ นอกจากนี้ราคาของผลิตภัณฑ์เต้าหู้ปลาก็มีหลายราคาขึ้นอยู่กับเกรดของเนื้อ ปลาที่ใช้เพื่อผู้บริโภคได้เลือกซื้อตามความพึงพอใจ

ตารางที่ 2-2 ตารางแสดงราคาของผลิตภัณฑ์เต้าหู้ปลา

ตรา	สถานที่สำรวจ	ปริมาณ/ราคา
ผลิตภัณฑ์แบ่งขาย (ไม่ทราบที่มา)	ตลาดสด	500 กรัม/50 บาท
PFP (Premium Quality)	Tesco Lotus, Carrefour, Big C	200 กรัม/ 60 บาท
CPIF	Tesco Lotus, Carrefour, Big C	100 กรัม/17 บาท
BK Product	Tesco Lotus	100 กรัม/17 บาท

ทำการสำรวจ ณ พื้นที่อำเภอหาดใหญ่ วันที่ 11 พฤศจิกายน 2547

ปริมาณการผลิตและราคาของผลิตภัณฑ์เต้าหู้ปลาดังกล่าวอยู่ในระดับสูง จึงไม่สามารถใช้เป็นสเกลในการทดลองได้ จึงจำเป็นต้องปรับลดอัตราส่วนผลิตภัณฑ์เต้าหู้ปลาต่อ ปริมาณน้ำมันที่ใช้ทอดตามความเหมาะสมทั้งในเรื่องปริมาณและราคา

1.2 น้ำมันถั่วเหลือง (Soybean Oil)

น้ำมันถั่วเหลือง (Soybean Oil) ที่ใช้ในการทอด จากบริษัทแปซิฟิคแปรรูปสัตว์น้ำ จำกัด

ตารางที่ 2-3 ตารางแสดงราคาของน้ำมันถั่วเหลืองผ่านกรรมวิธี

ตรา	สถานที่สำรวจ	ขนาดบรรจุ (ลิตร)	ราคา (บาท)
อ่งุ่น	Tesco Lotus	13.75	475
มรกต	Tesco Lotus	13.75	466
ทิพย์	Tesco Lotus, Carrefour, Big C	1	36.50
ก๊วก	Tesco Lotus, Carrefour, Big C	1.9	68.50, 71.50, 71
ชิม	Big C	7.5	254
Tesco Lotus	Tesco Lotus	1	34.50
Leader Price	Big C	13.75	479

ทำการสำรวจ ณ พื้นที่อำเภอหาดใหญ่ วันที่ 11 พฤศจิกายน 2547

2. สารเคมี

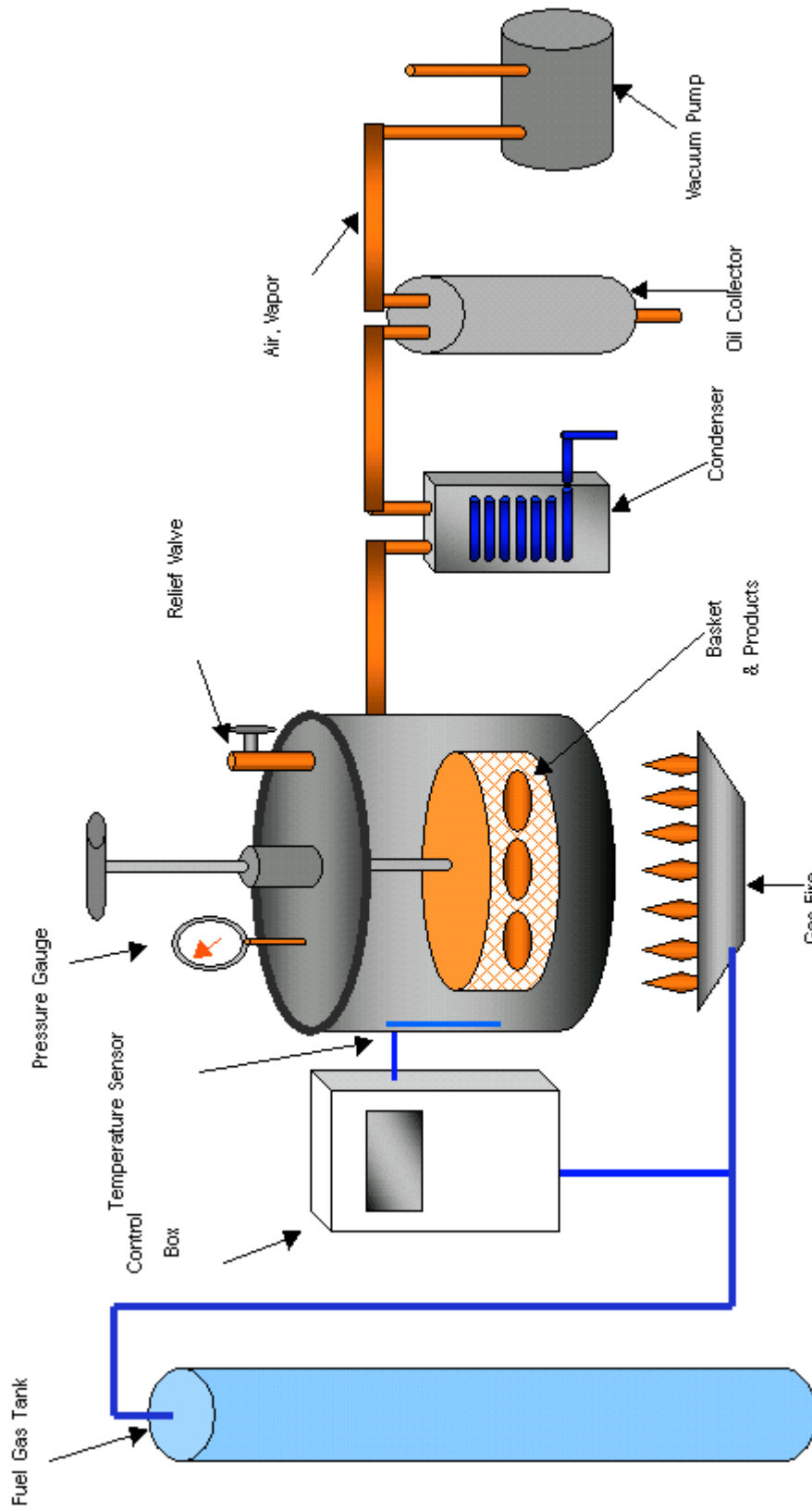
สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์หาปริมาณน้ำมัน คือ เฮกเซน (analytical reagent grade)

3. อุปกรณ์

3.1 เครื่องทอดสุญญากาศ

เครื่องทอดสุญญากาศ ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ประกอบด้วยส่วนประกอบหลัก 4 ประการ คือ

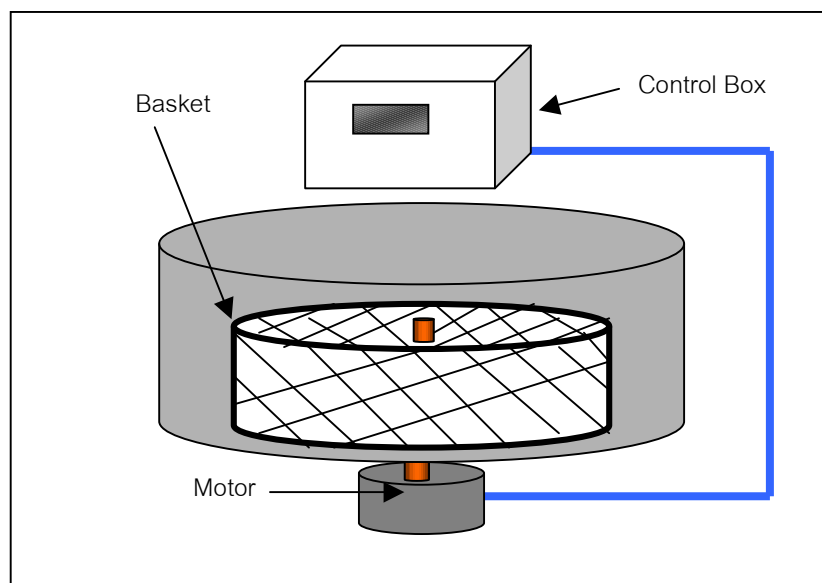
1. ชุดเครื่องทอด ประกอบด้วย หม้อทอดสุญญากาศ ตะแกรงใส่อาหาร
2. ชุดอุปกรณ์ควบแน่น ประกอบด้วย เครื่องคอนเดนเซอร์ ชุดดักจับน้ำมัน และ ท่อส่งอากาศเข้าออก
3. ชุดควบคุมความดัน ประกอบด้วย บีมสุญญากาศ ยี่ห้อ HITACHI ประเทศญี่ปุ่น เกจสุญญากาศและวาล์วปรับความดัน
4. ชุดควบคุมความร้อน ประกอบด้วย เต้าแก๊ส ถังแก๊ส เทอร์โมคัปเปิล และแผงควบคุมอุณหภูมิ



ภาพประกอบ 2-2 ภาพแสดงเครื่องพอลิเมอร์จากถ่านหิน (ดัดแปลงจาก Yamsangung, 2003)

3.2 เครื่องเหวี่ยงแยก

เครื่องเหวี่ยงแยก ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ประกอบด้วย ถังรองรับน้ำมัน ตะแกรงใส่อาหาร มอเตอร์พร้อมแกนหมุน และแผงควบคุมความเร็วรอบ



ภาพประกอบ 2-3 ภาพแสดงเครื่องเหวี่ยงแยก

3.3 ชุดอุปกรณ์สำหรับเตรียมตัวอย่าง วิเคราะห์ปริมาณความชื้นสะสมและปริมาณน้ำมันสะสม

1. เครื่องปั่นอาหารไฟฟ้า ยี่ห้อ KASSEL รุ่น TN-242 ประเทศสาธารณรัฐประชาชนจีน
2. อุปกรณ์ชุดสกัดไขมัน (soxhlet apparatus) ประกอบด้วย ขวดก้นกลม (สำหรับใส่สารตัวทำละลาย) ซอคเลต (soxhlet) อุปกรณ์ควบแน่น (condenser) เตาให้ความร้อน (heating mantle) หลอดใส่ตัวอย่าง (extraction thimble) และเครื่องระเหยสูญญากาศแบบหมุน ยี่ห้อ EYELA ประเทศญี่ปุ่น
3. ตู้อบไฟฟ้า ยี่ห้อ EYELA รุ่น NDO-600N ประเทศญี่ปุ่น
4. เครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 3 ตำแหน่ง ยี่ห้อ OHAUS รุ่น GT410 ประเทศสหรัฐอเมริกา
5. โถดูดความชื้น

6. ชุดตู้อบสุญญากาศ ประกอบด้วย ตู้อบสุญญากาศไฟฟ้า ยี่ห้อ NAPCO รุ่น 5831 ประเทศสหรัฐอเมริกา อ่างควบคุมอุณหภูมิ ยี่ห้อ EYELA รุ่น NCB221 ประเทศญี่ปุ่น และมีสุญญากาศ ยี่ห้อ HITACHI ประเทศญี่ปุ่น

4. วิธีการทดลอง

4.1 การทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ

ทอดตัวอย่างเต้าหู้ปลา ขนาด 2.5 x 2.5 x 3.0 เซนติเมตร จำนวน 8 ชิ้น (น้ำหนักประมาณ 160 กรัม) ในน้ำมันถั่วเหลืองปริมาณ 12 ลิตร ด้วยเครื่องทอดสุญญากาศ ที่ความดัน 50, 60 และ 70 เซนติเมตรปรอท อุณหภูมิน้ำมัน 100, 120 และ 140 องศาเซลเซียส และเวลา 0, 30, 60, 90, 120 และ 150 วินาที เหยียงแยกน้ำมันที่ผิวตัวอย่างด้วยเครื่องเหยียงแยก ที่ความเร็วรอบ 450 rpm เป็นเวลา 120 วินาที สุ่มเก็บตัวอย่าง 3 ชิ้น จากตัวอย่างทั้งหมด 8 ชิ้น ในถุงพลาสติก polyethylene ชนิด zip bag และปิดปากถุงสนิท จากนั้นนำไปวิเคราะห์หาปริมาณความชื้น (ดัดแปลงจาก A.O.A.C., 1990) และปริมาณไขมัน (ดัดแปลงจาก A.O.A.C., 1990) ภายในผลิตภัณฑ์เต้าหู้ปลา เพื่อคัดเลือกสภาวะที่มีปริมาณน้ำมันภายในผลิตภัณฑ์ต่ำสุดไว้ใช้ทำการเปรียบเทียบกับทอดภายใต้สภาวะบรรยากาศ และปริมาณน้ำมันที่วิเคราะห์ได้จะนำไปใช้ในการคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ของน้ำมันที่ถูกดูดซึมโดยผลิตภัณฑ์

การทอดตัวอย่างผลิตภัณฑ์เต้าหู้ปลาที่เวลาต่าง ๆ ได้แก่ เวลา 30, 60, 90, 120 และ 150 วินาที นั้น ทำได้โดยการนำผลิตภัณฑ์เต้าหู้ปลาตัวอย่างซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่ยังไม่ผ่านการทอด มีสีขาวล้วนจำนวน 8 ชิ้น ใส่ในตะกร้าทอด ทำการประกอบฝาเครื่องทอดสุญญากาศติดกับตะกร้า และล็อกไว้ นำไปวางบนหม้อทอดสุญญากาศ ซึ่งบรรจุน้ำมันที่ใช้ในการทอดที่ให้ความร้อนจนได้อุณหภูมิที่ต้องการแล้ว ทำการล็อกฝาหม้อทอดสุญญากาศกับเครื่องทอดสุญญากาศ ปิดวาร์ว ปรับความดันและเปิดปั๊มสุญญากาศ ทำการปรับความดันภายในหม้อทอดสุญญากาศให้ได้ความดันสุญญากาศที่ต้องการด้วยวาร์วปรับความดัน แล้วจึงทำการกดตะกร้าบรรจุอาหารลงในน้ำมัน พร้อมเริ่มจับเวลาในการทอด จนกระทั่งถึงเวลาที่กำหนดจึงยกตะกร้าบรรจุอาหารขึ้นจากน้ำมัน และล็อกไว้ ทำการสะเด็ดน้ำมันโดยการปล่อยทิ้งไว้ประมาณ 10 วินาที จากนั้นทำการเปิดวาร์ว ปรับความดันให้ความดันภายในหม้อทอดกลับสู่สภาวะบรรยากาศ ทำการปิดปั๊มสุญญากาศ และปลดล็อกฝานำออกจากหม้อทอดสุญญากาศ จากนั้นจึงนำฝาน้ำมันทอดสุญญากาศและตะกร้าบรรจุอาหารออกมา ทำการปลดล็อกฝาน้ำมันทอดสุญญากาศออกจากตะกร้าบรรจุอาหาร แล้วจึงนำผลิตภัณฑ์ตัวอย่างที่ผ่านการทอดดังกล่าวไปผ่านการเหยียงสะเด็ดน้ำมันก่อนบรรจุ จึงได้ผลิตภัณฑ์เต้าหู้ปลาที่ผ่านการทอดที่เวลาต่าง ๆ

4.2 การทอดภายใต้สภาวะบรรยากาศ

ทอดตัวอย่างเต้าหู้ปลา ด้วยขนาดเต้าหู้ปลา จำนวนเต้าหู้ปลา ปริมาณน้ำมันในการทอดและเวลาในการทอดเช่นเดียวกันกับการทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ แต่ใช้อุณหภูมิน้ำมันในการทอด 165 องศาเซลเซียส และเปิดฝาหม้อทอดสุญญากาศไว้ ทำการเหวี่ยงแยกน้ำมันที่ผิวตัวอย่างด้วยเวลาและความเร็วรอบเช่นเดียวกันกับการทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ จากนั้นนำไปวิเคราะห์หาปริมาณความชื้นและปริมาณไขมันด้วยวิธีการเช่นเดียวกันกับการทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ เพื่อใช้ในการศึกษาเปรียบเทียบกับ การทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ บรรยากาศ

4.3 การศึกษาคุณภาพน้ำมันหลังทอด

สำหรับการทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ ทำการทอดตัวอย่างเต้าหู้ปลา ขนาด 2.5 x 2.5 x 3.0 เซนติเมตร จำนวน 8 ชิ้น (น้ำหนักประมาณ 160 กรัม) ในน้ำมันถั่วเหลืองปริมาณ 12 ลิตร เป็นเวลา 150 วินาที ด้วยเครื่องทอดสุญญากาศ ที่ความดันและอุณหภูมิน้ำมันในการทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศที่เหมาะสม ทำการเก็บตัวอย่างน้ำมันก่อนทำการทอด หลังจากทำการทอดผ่านไป 5, 10, 15, 20, 25 และ 30 ครั้ง ในภาชนะแก้วปิดสนิท ตัวอย่างละ 300 มิลลิลิตร และสำหรับการทอดภายใต้สภาวะบรรยากาศนั้น ทำการทอดตัวอย่างเต้าหู้ปลาด้วยเครื่องทอดสุญญากาศ โดยใช้ขนาดเต้าหู้ปลา จำนวนเต้าหู้ปลา ปริมาณน้ำมันที่ใช้ทอดและเวลาในการทอดเช่นเดียวกันกับการทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ แต่ดำเนินการโดยเปิดฝาหม้อทอดสุญญากาศไว้ ทำการเก็บตัวอย่างน้ำมันด้วยจำนวนครั้งในการทอดและปริมาณเช่นเดียวกันกับการทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ จากนั้นนำไปวิเคราะห์คุณภาพน้ำมันของน้ำมันที่ใช้ในการทอด โดยส่งวิเคราะห์ตัวอย่าง ณ ศูนย์พัฒนาอุตสาหกรรมเกษตรเพื่อการส่งออก คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ตามตัวแปรและวิธีการทดสอบดังนี้

ตารางที่ 2-4 ตารางแสดงค่าต่าง ๆ ที่ใช้ในการวิเคราะห์คุณภาพน้ำมันและวิธีการทดสอบ

การวิเคราะห์	วิธีการทดสอบ/ เครื่องมือที่ใช้ทดสอบ
FFA	Buege and Aust, 1978
PV	IUPAC, 1979
TBA	IUPAC, 1979
L a b	Illuminant D65/10° Hunter Lab

4.4 การวิเคราะห์โครงสร้างของผลิตภัณฑ์

การวิเคราะห์โครงสร้างของผลิตภัณฑ์ ทำการศึกษาจากภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (Scanning Electron Microscopy, SEM) โดยการสุ่มเก็บตัวอย่างเต้าหู้ปลา ขนาด 2.5 x 2.5 x 3.0 เซนติเมตร จากตัวอย่างเต้าหู้ปลาก่อนการทอด ตัวอย่างเต้าหู้ปลาหลังการทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ โดยทำการทอดเต้าหู้ปลา ขนาดเดียวกัน จำนวน 8 ชิ้น (น้ำหนักประมาณ 160 กรัม) ในน้ำมันถั่วเหลืองปริมาณ 12 ลิตร เป็นเวลา 150 วินาที ด้วยเครื่องทอดสุญญากาศ ที่ความดันและอุณหภูมิน้ำมันในการทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศที่เหมาะสม และตัวอย่างเต้าหู้ปลาหลังการทอดภายใต้สภาวะบรรยากาศ โดยทำการทอดเต้าหู้ปลา ขนาด จำนวน เต้าหู้ปลา เวลาในการทอดเช่นเดียวกันกับการทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ แต่ดำเนินการโดยเปิดฝามือทอดสุญญากาศไว้ ตัวอย่างละ 3 ชิ้น ในถุงพลาสติก polyethylene ชนิด zip bag และปิดปากถุงสนิท ส่งวิเคราะห์ตัวอย่าง ณ ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

4.5 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่บริเวณกึ่งกลางและผิวของผลิตภัณฑ์

สำหรับการทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ ทำการทอดตัวอย่างเต้าหู้ปลา ขนาด 2.5 x 2.5 x 3.0 เซนติเมตร จำนวน 8 ชิ้น (น้ำหนักประมาณ 160 กรัม) ในน้ำมันถั่วเหลืองปริมาณ 12 ลิตร เป็นเวลา 150 วินาที ด้วยเครื่องทอดสุญญากาศ ที่ความดันและอุณหภูมิน้ำมันในการทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศที่เหมาะสม โดยเสียบเทอร์โมคัปเปิลที่บริเวณกึ่งกลางชิ้นตัวอย่างและที่ผิวชิ้นตัวอย่าง เป็นชั้น ๆ จำนวนรวมทั้งสิ้น 5 จุด ทำการวัดอุณหภูมิที่ได้เมื่อเวลาในการทอดเปลี่ยนไป จาก 0, 15, 30, 45, 60, 75, 90, 105, 120, 135 และ 150 วินาที ทำการบันทึกค่า

อุณหภูมิที่เปลี่ยนไปจากตัวอย่างเต้าหู้ปลาที่สุ่มเสียบเทอร์โมคัปเปิล 3 ชั้น โดยทำซ้ำจำนวน 3 ครั้ง สำหรับการทดสอบภายใต้สภาวะบรรยากาศนั้น ทำการทดสอบตัวอย่างเต้าหู้ปลาด้วยเครื่องทดสอบสุญญากาศ โดยเปิดฝาหม้อทดสอบสุญญากาศไว้ ทำการเสียบเทอร์โมคัปเปิลและวัดอุณหภูมิที่เปลี่ยนไปพร้อมทั้งบันทึกค่าไว้เช่นเดียวกันกับการทดสอบภายใต้สภาวะสุญญากาศ เพื่อนำข้อมูลที่ได้จากการทดลองไปใช้ในการเขียนแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ต่อไป

4.6 การเขียนและประยุกต์ใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

ทำการศึกษาสมการทางคณิตศาสตร์ของการถ่ายโอนความร้อนและการถ่ายโอนมวลสาร (Heat Transfer and Mass Transfer Equation) และโปรแกรมคอมพิวเตอร์ (Matlab 6.1) แล้วประยุกต์ใช้สมการทางคณิตศาสตร์และโปรแกรมคอมพิวเตอร์ดังกล่าวในรูปแบบไฟไนต์เอลิเมนต์ 2 มิติ (2-D Finite Element Model) โดยศึกษาถึงอิทธิพลของความชื้นเริ่มต้นของผลิตภัณฑ์ เวลาที่ใช้ในการทอด ความดันที่ใช้ในการทอด และอุณหภูมิที่ใช้ในการทอด เพื่อแสดงการถ่ายโอนความร้อนและการดูดซึมน้ำมันของผลิตภัณฑ์เต้าหู้ปลาในการทดสอบภายใต้สภาวะสุญญากาศ



ภาพประกอบ 2-4 ภาพแสดงเครื่องทอดสุญญากาศและเครื่องเหวี่ยงแยก