การสกัดและการทำแห้งกาแฟ

COFFEE EXTRACTION AND DRYING PROCESS

นายนนท์ กว้างช้วน

นางสาวน้ำฝน สามหร้าว

นางสาวพุฒิพร ชื่นธรรมการย์

นางสาวศิริไพลิน โกศลพิศิษฐ์

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2551

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การสกัดและการทำแห้งกาแฟ

Coffee extraction and drying process

T104078

นายนนท์ กวั้งซ้วน
นางสาวน้ำฝน สามพร้าว
นางสาวพุฒิพร ชื่นธรรมการย์
นางสาวศิริไพลิน โกศลพิศิษฐ์

ส/ว
ว154 ก
2551
เลขหมู่.....
เลขทะเบียน...104078...
วัน,เดือน,ปี...28 ต.ค. 2552...
b.12113317
i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2551

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Coffee extraction and drying process

Mr. Nont Kwangsuan

Miss. Namfon Sampraw

Miss. Poottiporn Chueanthammakan

Miss. Siripailin Kosonpisit

A REPORT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENTS

FOR THE DEGREE OF BACHELOR OF FOOD ENGINEERING

FACULTY OF ENGINERING

KING MONGKUTT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2008

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2551

ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การสกัดและการทำแห้งกาแฟ

Coffee extraction and drying process

ผู้จัดทำ

1. นายนนท์	กวั้งซ้วน	รหัสนักศึกษา	47012291
2. นางสาวน้ำฝน	สามพร้าว	รหัสนักศึกษา	48010447
3. นางสาวพุฒิพร	ชื่นธรรมการย์	รหัสนักศึกษา	48010639
4. นางสาวศิริไพลิน	โกศลพิศิษฐ์	รหัสนักศึกษา	48010890

อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผศ.ดร.มาฤดี ผ่องพิพัฒน์พงศ์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์เรื่อง การสกัดและการทำแห้งกาแฟ
โดย นาย นนท์ กวั้งซ้วน
นางสาว น้ำฝน สามพร้าว
นางสาว พุฒิพร ชื่นธรรมการย์
นางสาว ศิริไพลิน โกศลพิศิษฐ์
อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.มาฤดี ผ่องพิพัฒน์พงศ์
ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปริญญานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอาหาร
ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บทคัดย่อ

กาแฟเป็นเครื่องดื่มที่มีบทบาทในชีวิตประจำวันของคนเป็นจำนวนมากและเพื่อสะดวกต่อการบริโภค จึงได้มีการแปรรูปกาแฟให้เป็นกาแฟผงสำเร็จรูป ขั้นตอนการแปรรูปกาแฟนั้นประกอบด้วยหลายขั้นตอน เช่น ขั้นตอนการคั่ว การสกัด การทำแห้ง การรวมกันเป็นก้อน เป็นต้น ปัจจุบันได้มีการนำเอาคลื่นอัลตร้าโซนิกมาประยุกต์ใช้กับการแปรรูปอาหารมากขึ้น เนื่องจากสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการแปรรูป โครงงานนี้จึงมุ่งศึกษาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการแปรรูปกาแฟ โดยเฉพาะในขั้นตอนการสกัดและการทำแห้งซึ่งเป็นขั้นตอนสำคัญ โดยทำการศึกษาการสกัดกาแฟร่วมกับการใช้คลื่นอัลตร้าโซนิกที่สภาวะต่างๆ ตัวแปรที่ศึกษาประกอบด้วย ระยะเวลาการสกัด (1,2,3 ชั่วโมง) และอุณหภูมิในการสกัด (60,70,80 องศาเซลเซียส) น้ำกาแฟที่สกัดได้ ถูกนำมาวิเคราะห์ค่าปริมาณผลผลิตที่ได้ของน้ำกาแฟ (%Coffee solution yield), ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (Soluble solids), ความเป็นกรด-ด่าง (pH), ปริมาณคาเฟอีน ทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัส เพื่อคัดเลือกตัวอย่างน้ำกาแฟที่เหมาะสมก่อนนำไปทดลองทำด้วยเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย โดยเมื่อเพิ่มอุณหภูมิและระยะเวลาสกัดกาแฟที่ได้จะมีค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ และปริมาณของแข็งทั้งหมดเพิ่มขึ้น ขณะที่ค่า pH ของน้ำกาแฟมีค่าลดลง สำหรับในขั้นตอนของการทำแห้ง ได้ศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิลมร้อนในการทำแห้งที่ 180,200,220 องศาเซลเซียส ผลที่ได้พบว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิลมร้อนในช่วงการทำแห้ง กาแฟผงที่ได้จะมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ และความหนาแน่นสูงขึ้น ขณะที่ค่า a_w ของผลิตภัณฑ์กาแฟผงมีค่าลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Report Title Coffee Extraction and Drying Process

By Mr. Nont Kwangsuan

Miss. Namfon Sampraw

Miss. Poottiporn Chueanthammakan

Miss. Siripailin Kosonpisit

Advisor Asst.Prof.Dr.Maradee Phongpipatpong

Report for Bachelor's Degree in Food Engineering

Department of Food Engineering

Faculty of Engineering

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

Abstract

At present coffee becomes the most popular beverage which affect everyday life. To make coffee convenient for drink, it is necessary to transform coffee bean into instant coffee product. The instant coffee process consists several steps: including bean roasting, extraction process, drying process, agglomeration etc. Nowadays the application of ultrasonic in food processing has been used increasingly, due to the advantage of cavitation, acceralated heat and mass transfer activity. Therefore, this project was aimed at the study of coffee process, especially in extraction and drying process. The first part was to investigate the effects of ultrasonic extraction parameters on coffee solutions. The parameters included extraction duration (1, 2, 3 hrs) and extraction temperature (60, 70, 80 deg. °C). The extracted was analyzed for its solution yield, soluble solids, pH, and caffeine and sensory evaluation to select the appropriate extraction conditions for the continuing spray drying step. The effect of the drying air temperatures in the range of (180-220 deg °C) was then investigated for the optimum condition. The results showed an increase in extraction time and temperature caused the higher amount of coffee solution yield and soluble solids, but the lower in pH. In drying process, an increase of drying air temperature provided the higher amount of coffee powder yield and density, but the lower value of water activity.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงได้โดยความกรุณาและความอนุเคราะห์จากคณาจารย์ที่ได้ให้คำปรึกษาแนะนำ คำชี้แนะและแนวทางในการปรับปรุงข้อบกพร่องต่างๆ ตลอดจนให้ความรู้และประสบการณ์ในการทำงานที่ดี

ขอขอบพระคุณ ผศ. ดร.มาฤดี ผ่องพิพัฒน์พงศ์ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงานที่คอยให้คำแนะนำในการทำโครงงานและการดำเนินชีวิต ตลอดจนความเป็นห่วงเป็นใยที่อาจารย์มอบให้ตลอดระยะเวลาในการทำโครงงาน

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่านที่คอยสอบถามความคืบหน้าของโครงงานและให้คำแนะนำต่างๆเวลามีปัญหา โดยเฉพาะ รศ. สาทิป รัตนภาสกร ที่มอบหนังสือเกี่ยวกับการแปรรูปกาแฟเพื่อใช้เป็นแนวทางในการทำโครงงาน และคอยบอกแหล่งข้อมูลที่เป็นประโยชน์ในการทำโครงงาน

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ของคณะวิศวกรรมอาหาร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกท่านที่ค่อยเอื้อเฟื้อให้คำแนะนำและความช่วยเหลือต่างๆ ต่อคณะผู้ทำโครงงานเป็นอย่างดี ตลอดจนเป็นธุระให้ในการดำเนินการเกี่ยวกับเอกสารต่างๆ

ขอขอบคุณบริษัทกรีนวันฟู้ด ที่ให้การสนับสนุนเรื่องเมล็ดกาแฟที่ใช้ในการทำโครงงาน

ขอบคุณเพื่อนๆ นักศึกษาทุกคน สำหรับความช่วยเหลือในการคำแนะนำต่างๆทั้งในด้านอุปกรณ์และข้อมูลในการทำโครงงาน ตลอดจนช่วยตรวจและแก้ไขข้อผิดพลาดจนทำให้ปริญญานิพนธ์เล่มนี้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ผู้ซึ่งเป็นผู้ให้กำเนิดและคอยสนับสนุนการศึกษาของคณะผู้ทำโครงงานตลอดมาเป็ยอย่างสูง

สุดท้ายนี้คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากปริญญานิพนธ์เล่มนี้ คณะผู้ทำโครงงานขอมอบให้แก่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

นายนนท์	กวั้งซ้วน
นางสาวน้ำฝน	สามพร้าว
นางสาวพุฒิพร	ชื่นธรรมการย์
นางสาวศิริไพลิน	โกศลพิศิษฐ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
ปกใน (ภาษาไทย)	I
ปกใน (ภาษาอังกฤษ)	II
หน้าอนุมัติ	III
บทคัดย่อ	IV
Abstract	V
กิตติกรรมประกาศ	VI
สารบัญ	VII
สารบัญตาราง	X
สารบัญรูปภาพ	XI
สัญลักษณ์และคำย่อ	XIV
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 หลักการ เหตุผล ที่มาของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตของโครงงาน	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 การตรวจเอกสาร	
2.1 ข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับกาแฟ	3
2.1.1 ประวัติกาแฟ	3
2.1.2 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์	3
2.1.3 กลิ่น และรสชาติของกาแฟ	5
2.1.4 สารประกอบในเมล็ดกาแฟ	5
2.1.5 สายพันธุ์กาแฟ (coffee species)	9
2.1.6 ความแตกต่างทางด้านกลิ่น และรสชาติของกาแฟโรบัสต้ากับกาแฟอาราบิก้า	9
2.2 กระบวนการแปรรูปกาแฟในอุตสาหกรรม	10
2.2.1 ขั้นตอนการแปรรูปกาแฟ	12
2.2.2 รูปแบบผลิตภัณฑ์กาแฟ	18
2.2.3 การแปรรูปผลิตภัณฑ์กาแฟ	19
2.2.4 มาตรฐานกาแฟผง	25
2.3 เครื่องอัลตร้าโซนิก	25
2.3.1 ความหมายของคลื่นอัลตร้าโซนิก	25
2.3.2 ปรากฏการณ์แคปวิเตชัน (Cavitations)	26
2.3.3 การสร้างคลื่นอัลตร้าโซนิก	27
2.3.4 ระบบอัลตร้าโซนิก (การกำเนิดคลื่น)	28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เรื่อง **หน้า**

2.3.5 ประเภทของเครื่องอัลตร้าโซนิก (ultrasonic reactor) 28
2.3.6 การประยุกษ์ใช้คลื่นอัลตร้าโซนิกในกระบวนการแปรรูปอาหาร 30
2.4 การลดขนาด (Size Reduction) 34
2.4.1 หลักการการลดขนาด 34
2.4.2 ประโยชน์ของการลดขนาด 34
2.4.3 เครื่องมือในการลดขนาด 34
2.5 การสกัด (Extraction) 35
2.5.1 หลักการการสกัด 35
2.5.2 ประโยชน์ของการสกัด 35
2.5.3 เครื่องมือในการสกัด 35
2.6 การระเหย (Evaporation) 36
2.6.1 หลักการการระเหย 36
2.6.2 ประโยชน์ของการระเหย 36
2.6.3 เครื่องมือในการระเหย 36
2.7 การทำแห้ง (Dehydration) 39
2.7.1 หลักการการทำแห้ง 39
2.7.2 ประโยชน์ของการทำแห้ง 39
2.7.3 เครื่องมือในการทำแห้ง 39
2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 43

บทที่ 3 อุปกรณ์และการทดลอง

3.1 วัตถุดิบที่ใช้ศึกษา 46
3.2 อุปกรณ์การทดลอง 46
3.3 การเตรียมวัตถุดิบกาแฟ 47
3.4 การเตรียมอุปกรณ์ 47
3.4.1 เครื่องลดขนาด 47
3.4.2 เครื่องอัลตร้าโซนิกแบบอ่าง (Bath Ultrasonication) 48
3.4.3 เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย (Spray dryer) 48
3.5 วิธีการทดลอง 49
3.6 วิเคราะห์คุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ 54
3.6.1 การสกัด 54
3.6.2 การทำแห้ง 57
3.7 การวางแผนการทดลอง 60
3.7.1 การทดลองเบื้องต้น 60
3.7.2 การสกัด 62

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เรื่อง **หน้า**

3.7.3 การอบแห้งแบบพ่นฝอย 63

บทที่ 4 ผลการทดลอง

4.1 ผลการทดลองเบื้องต้น 64

4.1.1 การทดลองหาอัตราส่วนน้ำที่ใช้ในการสกัดกาแฟ 65

4.1.2 ผลการศึกษาเปรียบเทียบการสกัดแบบใช้คลื่นอัลตร้าโซนิกและไม่ใช้คลื่นอัลตร้าโซนิก 66

4.1.3 การเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของน้ำกาแฟในระหว่างการสกัดโดยใช้คลื่นอัลตร้าโซนิก 71

4.2 การสกัดกาแฟ 73

4.2.1 ผลการวิเคราะห์คุณลักษณะของน้ำกาแฟที่ได้จากการสกัด 73

4.2.2 ผลการสกัดด้วยคลื่นอัลตร้าโซนิกต่อคุณลักษณะของน้ำกาแฟที่ได้ 75

4.2.3 การคัดเลือกสภาวะการสกัดน้ำกาแฟที่เหมาะสมในการสกัดกาแฟ 79

4.3 การทำแห้งกาแฟผงแบบพ่นฝอย 80

4.3.1 ผลการวิเคราะห์คุณลักษณะของกาแฟผงที่ได้จากการทำแห้ง 81

4.3.2 ผลการศึกษาการทำแห้งต่อคุณลักษณะของกาแฟผงที่ได้ 82

บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง 88

5.1.1 สรุปผลการหาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดกาแฟ 88

5.1.2 สรุปผลการหาสภาวะที่เหมาะสมในการทำแห้งกาแฟ 88

5.2 ปัญหาที่พบ 88

5.3 ข้อเสนอแนะ 88

เอกสารอ้างอิง

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก เมล็ดกาแฟดั่ว

ภาคผนวก ข กาแฟดั่วบด

ภาคผนวก ค การสกัดกาแฟ

ภาคผนวก ง น้ำกาแฟเข้มข้นก่อนการทำแห้ง

ภาคผนวก จ กาแฟผง

ภาคผนวก ฉ ANOVA Table (การสกัดกาแฟ)

ภาคผนวก ช ANOVA Table (การทำแห้งกาแฟ)

ภาคผนวก ซ รูปภาพเกี่ยวกับโครงงาน

ภาคผนวก ญ มาตรฐานกาแฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
ตารางที่ 2.1	องค์ประกอบทางเคมีของเมล็ดกาแฟดิบ (โดยน้ำหนักแห้ง)	7
ตารางที่ 2.2	องค์ประกอบทางเคมีของเมล็ดกาแฟคั่ว (โดยน้ำหนักแห้ง)	8
ตารางที่ 2.3	ข้อดีและข้อเสียของการผลิตเมล็ดกาแฟด้วยกระบวนการแบบเปียกและแบบแห้ง	11
ตารางที่ 2.4	ระดับการคั่วเมล็ดกาแฟ	14
ตารางที่ 3.1	ตารางการทดลองเพื่อหาอัตราส่วนน้ำต่อกาแฟ	61
ตารางที่ 3.2	การเปรียบเทียบการสกัดแบบใช้คลื่นอุลตร้าโซนิกและการไม่ใช้คลื่นอัลตร้าโซนิก	61
ตารางที่ 3.3	ตารางการทดลองการสกัดกาแฟโดยใช้คลื่นอัลตร้าโซนิกโดยใช้ปริมาณกาแฟที่ต่างกัน	62
ตารางที่ 3.4	การทดลองของการสกัดกาแฟ	62
ตารางที่ 3.5	การทดลองของกรอบแห้งแบบพ่นฝอย	63
ตารางที่ 4.1	ผลการทดลองการหาอัตราส่วนน้ำที่ใช้ในการสกัดกาแฟ	65
ตารางที่ 4.2	ผลการศึกษาเปรียบเทียบการสกัดกาแฟแบบใช้คลื่นอัลตร้าโซนิกและไม่ใช้คลื่น	66
ตารางที่ 4.3	ผลการทดลองการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของน้ำกาแฟในระหว่างการสกัดโดยใช้คลื่นอัลตร้าโซนิก	71
ตารางที่ 4.4	ตารางแสดงผลการวิเคราะห์คุณสมบัติน้ำกาแฟ	74
ตารางที่ 4.5	แสดงสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดกาแฟ	79
ตารางที่ 4.6	ผลรวมคะแนนของการทดสอบการทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัส	79
ตารางที่ 4.7	สภาวะเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยที่ใช้ในการทดลอง	80
ตารางที่ 4.8	ผลการวิเคราะห์คุณลักษณะของกาแฟผง	81

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

รูปที่		หน้า
รูปที่ 2.1	ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของกาแฟ	4
รูปที่ 2.2	เมล็ดกาแฟดิบและเมล็ดกาแฟคั่ว	8
รูปที่ 2.3	กระบวนการผลิตเมล็ดกาแฟดิบโดยกระบวนการแปรรูปแบบเปียก และแบบแห้ง	12
รูปที่ 2.4	สารประกอบที่ให้กลิ่นรสจากการแตกตัวของคาร์โบไฮเดรต และโปรตีน	17
รูปที่ 2.5	ปฏิกิริยา Strecker degradation	18
รูปที่ 2.6	ระดับสีการคั่วกาแฟ	20
รูปที่ 2.7	การสกัดกาแฟ	22
รูปที่ 2.8	การทำน้ำกาแฟเข้มข้น	23
รูปที่ 2.9	การผลิตกาแฟผงสำเร็จรูป	23
รูปที่ 2.10	ลำดับขั้นตอนการผลิตกาแฟผงสำเร็จรูป	24
รูปที่ 2.11	คลื่นความถี่ของอัลตร้าโซนิกในช่วงต่าง ๆ	25
รูปที่ 2.12	การเกิดฟองอากาศในตัวกลางเนื่องจากคลื่นอัลตร้าโซนิก	26
รูปที่ 2.13	การเกิดฟองอากาศในตัวกลางเนื่องจากคลื่นอัลตร้าโซนิก	27
รูปที่ 2.14	อ่างอัลตร้าโซนิก	29
รูปที่ 2.15	ลักษณะของฮอร์นชนิดต่างๆ	29
รูปที่ 2.16	แสดงผลของคลื่นอัลตร้าโซนิกต่อกิจกรรมเอนไซม์เพอร์ออกซิเดส (เส้นหนาคือเอนไซม์ที่ให้คลื่นอัลตร้าโซนิกขนาด 20 kHz ในฟอสเฟสบัฟเฟอร์ pH 7.0 ที่อุณหภูมิ 20°C)	30
รูปที่ 2.17	แสดงการแตกของฟองแก๊สในสารละลายที่ได้รับคลื่นอัลตร้าโซนิก ทำให้เกิดคลื่นกระแทกขนาดเล็กพุ่งเข้าสู่พื้นผิว	31
รูปที่ 2.18	แสดงการกำจัดโฟมโดยใช้คลื่นอัลตร้าโซนิกในกระบวนการผลิตอาหารบรรจุกระป๋อง	33
รูปที่ 2.19	หม้อระเหยสูญญากาศ	37
รูปที่ 2.20	เครื่องระเหยแบบท่อสั้น	37
รูปที่ 2.21	เครื่องระเหยฟิล์มไหลขึ้น (a): การทำงานปกติดี (b): การทำงานมีปัญหาเนื่องจากเกิดอากาศ และของเหลวถูกกักไว้	38
รูปที่ 2.22	เครื่องอบแห้งแบบถาด	40
รูปที่ 2.23	เครื่องอบแห้งแบบนูเมติกส์	40
รูปที่ 2.24	เครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้ง	41
รูปที่ 2.25	เครื่อง Spray dryer	41
รูปที่ 2.26	Rotary Atomizer	42
รูปที่ 2.27	Pressure Nozzles Atomizer	42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ **หน้า**

รูปที่ 2.28	Two-fluid Nozzle Atomizer	43
รูปที่ 3.1	เครื่องลดขนาด	47
รูปที่ 3.2	ตะแกรงบดขนาด 0.6 เซนติเมตร	47
รูปที่ 3.3	เครื่องอัลตร้าโซนิกแบบอ่าง	48
รูปที่ 3.4	เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย	49
รูปที่ 3.5	ภาพขั้นตอนการสกัดน้ำกาแฟ	50
รูปที่ 3.6	อัลตร้าโซนิก	51
รูปที่ 3.7	ภาพขั้นตอนการเตรียมน้ำกาแฟ	52
รูปที่ 3.8	Steam Jacket Cooker	52
รูปที่ 3.9	ภาพขั้นตอนการทำแห้ง	53
รูปที่ 3.10	เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย	54
รูปที่ 3.11	pH meter	55
รูปที่ 3.12	Refractometer	55
รูปที่ 3.13	เครื่อง High Performance Liquid Chromatography	57
รูปที่ 3.14	Magnetic stirrer	58
รูปที่ 3.15	เครื่องวัดค่าAw	59
รูปที่ 3.16	Vacuum oven	60
รูปที่ 3.17	ขั้นตอนการสกัดกาแฟ	60
รูปที่ 4.1	แสดงกราฟความเปรียบเทียบค่า %Coffee Solution Yield ของน้ำกาแฟระหว่างการสกัดแบบใช้คลื่นและไม่ใช้คลื่นที่อุณหภูมิต่างๆ	67
รูปที่ 4.2	แสดงกราฟความเปรียบเทียบค่า %Soluble solids ของน้ำกาแฟระหว่างการสกัดแบบใช้คลื่นและไม่ใช้คลื่นที่อุณหภูมิต่างๆ	68
รูปที่ 4.3	แสดงกราฟความเปรียบเทียบค่า Brix ของน้ำกาแฟระหว่างการสกัดแบบใช้คลื่นและไม่ใช้คลื่นที่อุณหภูมิต่างๆ	69
รูปที่ 4.4	แสดงกราฟความเปรียบเทียบค่า pH ของน้ำกาแฟระหว่างการสกัดแบบใช้คลื่นและไม่ใช้คลื่น ที่อุณหภูมิต่างๆ	70
รูปที่ 4.5	แสดงกราฟการเปลี่ยนแปลงค่า pH ของน้ำกาแฟในระหว่างการสกัดเมื่อเทียบกับเวลา	71
รูปที่ 4.6	แสดงกราฟการเปลี่ยนแปลงค่า Brix ของน้ำกาแฟในระหว่างการสกัดเมื่อเทียบกับเวลา	72
รูปที่ 4.7	แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างเวลา อุณหภูมิที่ใช้สกัดและค่า %Coffee Solution Yield ของน้ำกาแฟ	75

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.8	แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างเวลา อุณหภูมิที่ใช้สกัด และค่า % Soluble solids ของน้ำกาแฟ	76
รูปที่ 4.9	แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างเวลา อุณหภูมิที่ใช้สกัด และค่า Brix ของน้ำกาแฟ	77
รูปที่ 4.10	แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างเวลา อุณหภูมิที่ใช้สกัด และค่า pH ของน้ำกาแฟ	78
รูปที่ 4.11	แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิในการทำแห้ง กับค่าความชื้นของกาแฟผง	82
รูปที่ 4.12	แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิในการทำแห้ง กับ Water activity ของกาแฟผง	83
รูปที่ 4.13	แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิในการทำแห้ง กับความหนาแน่นของกาแฟผง	84
รูปที่ 4.14	แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิในการทำแห้ง กับ % Coffee Powder Yield ของกาแฟผง	85
รูปที่ 4.15	แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิในการทำแห้ง กับสภาพการละลายของกาแฟผง	86
รูปที่ 4.16	แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิในการทำแห้ง กับค่า pH ของกาแฟผง	87

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญลักษณ์ที่ใช้

- CP ผลิตภัณฑ์กาแฟผงที่ผลิตได้
- CF ปริมาณวัตถุดิบกาแฟเริ่มต้น
- CS ปริมาณผลผลิตที่ได้ของน้ำกาแฟ
- DM_{CF} น้ำหนักแห้งของกาแฟเริ่มต้น
- $\overline{D}_{pi}$ ขนาดเฉลี่ยช่องเปิดตะแกรงบนและล่าง
- $\overline{D}_{S}$ ขนาดอนุภาคเฉลี่ยของกาแฟบด
- m_{SS} ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในน้ำกาแฟ
- T_E อุณหภูมิที่ใช้ในการสกัด
- t เวลาที่ใช้ในการสกัด
- V_{CS} ปริมาตรน้ำกาแฟที่สกัดได้
- W_{CP} ปริมาณกาแฟผงที่ได้
- WS น้ำหนักปริมาณของแข็งที่ละลายได้หลังอบ
- X_i อัตราส่วนน้ำหนังที่ค้างบนตะแกรงต่อน้ำหนักทั้งหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 หลักการ เหตุผล ที่มาของปัญหา

ปัจจุบันกาแฟเป็นเครื่องดื่มที่มีบทบาทในชีวิตประจำวันของคนอย่างมาก เนื่องจากกาแฟมีสารคาเฟอีนที่ทำให้ร่างกายรู้สึกสดชื่นกระฉับกระเฉงจึงทำให้กาแฟเป็นเครื่องดื่มที่ได้รับความนิยม นอกจากนี้กาแฟผงสำเร็จรูปเป็นผลิตภัณฑ์ในรูปที่ผู้บริโภคสามารถนำมาบริโภคได้สะดวกรวดเร็ว ดังนั้นการทำกาแฟผงสำเร็จรูปควรคำนึงถึงกระบวนการผลิตที่ดีเพื่อให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีคุณภาพ ซึ่งในการผลิตกาแฟประกอบด้วย 4 ขั้นตอนสำคัญ คือการลดขนาดวัตถุดิบ การสกัด การระเหย และการทำแห้ง ในแต่ละขั้นตอนที่ผลิตมีความสำคัญต่อคุณภาพของกาแฟ โดยเฉพาะกระบวนการสกัดและการทำแห้ง เนื่องจากทั้งสองกระบวนการมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงทางเคมีและกายภาพซึ่งส่งผลต่อคุณภาพของกาแฟเป็นอย่างยิ่ง

กระบวนการสกัดกาแฟเป็นกระบวนการที่สำคัญในการผลิตกาแฟ โดยทั่วไปจะใช้การสกัดกาแฟโดยวิธี Extraction Batteries ซึ่งประกอบด้วยหม้อต้มกาแฟ 6 – 8 อัน เชื่อมต่อด้วยท่อ เพื่อสกัด Soluble solids โดยให้เกิดความเสียหายจากความร้อนน้อยลง (Heat damage) การใช้อุณหภูมิในการสกัดสูงมีผลให้กลิ่นรสของกาแฟเกิดการสูญเสียไป ซึ่งการสกัดมีปัจจัยหลายประการที่เกี่ยวข้อง อาทิ เช่น จำนวนรอบการสกัด, ปริมาณกาแฟที่ใช้ อุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการสกัด ซึ่งมีผลต่อคุณภาพกาแฟ ได้แก่ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (%Soluble solids), ค่า pH ของน้ำกาแฟ

ปัจจุบันได้มีการใช้คลื่นอัลตร้าโซนิกเข้ามาช่วยในงานอาหาร เพื่อลดระยะเวลาที่อาหารจะต้องสัมผัสกับความร้อนและให้คงคุณค่าทางอาหารอยู่ คลื่นอัลตร้าโซนิก คือพลังงานที่เกิดจากคลื่นเสียงที่มีการสั่นของคลื่นประมาณ 20,000 ครั้งต่อวินาที จากการศึกษาการใช้ประโยชน์จากอัลตร้าโซนิก พบว่ามีการนำอัลตร้าโซนิกมาประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมแปรรูปอาหารในหลายด้าน เช่น กระบวนการสเตอริไลเซชัน (Sterilization) เพื่อทำลายแบคทีเรียที่ปนเปื้อนบนผิวของไข่ การสกัด (Extraction) โดยคลื่นอัลตร้าโซนิกจะช่วยทำให้ตัวทำละลายแทรกซึมเข้าไปในวัสดุที่นำมาสกัดได้ดียิ่งขึ้น ทำให้ประสิทธิภาพการถ่ายเทมวลสาร (Mass Transfer) เพิ่มสูงขึ้น[1] เป็นต้น ดังนั้นในงานนี้จึงมีความสนใจที่จะนำคลื่นอัลตร้าโซนิกมาประยุกต์ใช้ในการสกัดกาแฟ เพื่อศึกษาถึงแนวทางการใช้คลื่นอัลตร้าโซนิกและผลกระทบของตัวแปรที่เกี่ยวข้องในการสกัดต่อคุณภาพของน้ำกาแฟที่ได้

การทำแห้งกาแฟเป็นอีกขั้นตอนสำคัญของการผลิตกาแฟ วิธีการทำแห้งกาแฟผงมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์ที่ได้ เครื่องทำแห้งที่นิยมใช้กันในอุตสาหกรรมปัจจุบันมีหลายชนิด เช่น Spray dryer, Drum dryer และ Freeze dryer เป็นต้น แต่วิธีที่นิยมใช้กันมากคือ Spray dryer [2]มีหลักการทำแห้งคือ ทำให้น้ำเกิดการระเหยออกจากอนุภาคของสารละลายที่ต้องการอย่างรวดเร็วภายในเวลาสั้นๆ เนื่องจากอนุภาคของสารจะถูกฉีดพ่นให้กระจายเป็นละอองขนาดเล็ก ทำให้น้ำที่อยู่ในสารละลายระเหยเป็นไอออกมาทางช่องลม ผลิตภัณฑ์แห้งจะถูกดูดไปตามท่อและแยกออกตามลมร้อนโดยระบบไซโคลน (cyclone) ตกลงในขวดหรือภาชนะ การอบแห้งโดยวิธีนี้จะทำให้ได้ขนาดของผลิตภัณฑ์ผงค่อนข้างสม่ำเสมอกันและอาหารสัมผัสกับความร้อนไม่นานทำให้สูญเสียคุณค่าทางอาหารน้อย และสามารถผลิตต่อเนื่องได้เป็นจำนวนมาก ซึ่งในการทำแห้งมีปัจจัยหลายประการที่เกี่ยวข้อง อาทิ เช่น ความเข้มข้นของสารละลายเริ่มต้น, อัตราการป้อนของสารละลาย, ความเร็วในการหมุนของหัวฉีด เป็นต้น แต่อย่างไรก็ตาม ปัจจัยที่สำคัญมากประการหนึ่ง คืออุณหภูมิที่ใช้ทำแห้ง เนื่องจากอุณหภูมิจะส่งผลเกี่ยวกับเรื่องความชื้น, a_w และคุณสมบัติอื่นๆของผลิตภัณฑ์ผง ดังนั้นความเข้าใจถึงผลกระทบของปัจจัยด้านอุณหภูมิลมร้อนจึงเป็นสิ่งสำคัญ เพื่อทำให้การผลิตกาแฟผงสำเร็จรูปได้คุณภาพตามต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 ศึกษาและพัฒนาเทคนิคใหม่ในการสกัดกาแฟด้วยคลื่นอัลตร้าโซนิกและทดลองหาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดกาแฟ

1.2.2 ศึกษาผลกระทบของ อุณหภูมิลมร้อนต่อการทำแห้งในการผลิตกาแฟผงสำเร็จรูปด้วยวิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอย (Spray dryer)

1.3 ขอบเขตของโครงงาน

โครงงานนี้เป็นการศึกษาและพัฒนาเทคนิคในการผลิตกาแฟผงสำเร็จรูปโดยเน้นในขั้นตอนการสกัดและการทำแห้ง โดยทำการสกัดกาแฟโดยการใช้เครื่องอัลตร้าโซนิกและทำการศึกษาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อคุณภาพน้ำกาแฟ อันได้แก่

- ระยะเวลาในการสกัดมี คือ 1, 2, 3 ชั่วโมง
- ช่วงอุณหภูมิในการสกัดคือ 60, 70, 80 องศาเซลเซียส

ส่วนในการทำแห้งโดยเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย(Spray dryer) ซึ่งในการขั้นตอนการอบแห้ง นี้จะทำการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อผลิตภัณฑ์ได้แก่

- อุณหภูมิลมร้อน โดยศึกษาที่อุณหภูมิ 180, 200, 220 องศาเซลเซียส

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ทราบผลกระทบการสกัดกาแฟด้วยคลื่นอัลตร้าโซนิกและผลกระทบของอุณหภูมิในการทำแห้งกาแฟผง

1.4.2 เป็นการพัฒนาเทคนิคใหม่ในการสกัดกาแฟ

1.4.3 ได้ข้อมูลและแนวทางการพัฒนากระบวนการผลิตกาแฟผงสำเร็จรูปในระดับอุตสาหกรรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
การตรวจเอกสาร

2.1 ข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับกาแฟ

ประเทศไทยสามารถปลูกกาแฟเป็นอันดับ 3 ในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ (รองจากอินโดนีเซียและเวียดนาม) โดยมีพื้นที่การปลูกกาแฟทั้งหมด 411,843 ไร่ พื้นที่ให้ผลผลิต 381,650 ไร่ (ปี 2541) คาดว่าในปี 2548 พื้นที่ให้ผลผลิต 409,266 ไร่ (ข้อมูลจากกรมส่งเสริมการเกษตร) โดยพื้นที่การปลูกส่วนใหญ่อยู่ทางภาคใต้และภาคเหนือ สายพันธุ์ที่มีคุณค่าทางเศรษฐกิจที่สำคัญ คือ พันธุ์อราบิก้า และพันธุ์โรบัสต้า โดยเฉพาะกาแฟโรบัสต้าของไทยเป็นชนิดที่มีคุณภาพดีและยอมรับอย่างกว้างขวางในนานาชาติ ตลาดส่งออกหลัก คือ สหรัฐอเมริกา, ยุโรป, ญี่ปุ่นและสิงค์โปร์ [5] ซึ่งมีผลผลิตดังนี้

กาแฟพันธ์โรบัสต้า: มีผลผลิตประมาณ 80,000 ตัน ต่อปี โดยร้อยละ 40 นั้นนำไปแปรรูปในประเทศและอีกร้อยและ 60 ผลิตเพื่อการส่งออก

กาแฟพันธ์ อาราบิก้า: มีผลผลิตประมาณสองถึงสามร้อยตันต่อปี โดยแทบทั้งหมดถูกนำไปแปรรูปในประเทศ [6]

2.1.1 ประวัติกาแฟ [7]

กาแฟเป็นพืชพื้นเมืองของอาบีซีเนีย และอาราเบีย ซึ่งได้ค้นพบเมื่อศตวรรษที่ 5 ที่ประเทศอาราเบีย สมัยนั้นไม่มีผู้ใดให้ความสนใจเท่าใดนักจนกระทั่งล่วงเลยมาถึงศตวรรษที่ 9 มีคนเลี้ยงแพะชาวอาราเบียคนหนึ่งชื่อคาลดี (Kaldi) นำแพะออกไปเลี้ยงตามปกติ แพะได้กินผล และใบกาแฟเข้าแล้วเกิดความคึกคะนองผิดปกติ จึงได้นำเรื่องไปเล่าให้พระมุสเล็มองค์หนึ่งฟัง พระมุสเล็มองค์นั้นจึงได้เก็บผลกาแฟมากระเทาะเปลือกเอาเมล็ดกาแฟไปคั่วแล้วต้มในน้ำร้อนดื่ม เห็นว่ามีความกระปรี้กระเปร่าดี จึงได้เล่าให้ผู้อื่นฟังต่อไป ชาวอาราเบียจึงได้เริ่มรู้จักต้นกาแฟมากขึ้น จึงทำให้กาแฟแพร่หลายเพิ่มขึ้นจากประเทศอาราเบีย เข้าสู่ชนชาวอิตาเลียน ดัทช์ เยอรมัน ฝรั่งเศสและกระบวนการผลิตกาแฟก็ได้พัฒนาขึ้นเรื่อย ๆ ในระยะต่อมา

ตามบันทึกของพระสารศาสตร์พลขันธ์ (นายเจรินี ชาวอิตาลี) เมื่อปี พ.ศ. 2454 กล่าวว่าประเทศไทยปลูกกาแฟพันธุ์อาราบิก้าตั้งแต่ปี พ.ศ. 2393 ส่วนพันธุ์โรบัสต้านั้น มีชาวไทยอิสลามผู้หนึ่งชื่อ นายตีหมุน เป็นผู้นำมาปลูกคนแรกที่อำเภอสบ้าย้อย จังหวัดสงขลา เมื่อปี พ.ศ. 2447แล้วแพร่หลายไปตามจังหวัดต่าง ๆ ของประเทศไทย

ในปัจจุบันประเทศที่มีชื่อเสียงทางด้านการผลิตกาแฟมากที่สุดคือ ประเทศบราซิล ผลิตกาแฟได้ร้อยละ 72 ของผลผลิตกาแฟทั่วโลก ซึ่งถือว่าผลิตได้มากที่สุด ส่วนประเทศที่ซื้อกาแฟมากที่สุดคือสหรัฐอเมริกา และยุโรป ประมาณร้อยละ 85 ของผลผลิตที่ได้ทั่วโลก (สมศักดิ์, 2545)

2.1.2 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์

กาแฟ (Coffee) มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Coffea* sp. จัดเป็นไม้พุ่มขนาดกลาง สูงประมาณ 3-5 เมตร ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ของกาแฟ โดยทั่วไปกาแฟมีลักษณะทางพฤษศาสตร์ดังต่อไปนี้

1. ลำต้นกาแฟ

โดยธรรมชาติแล้วกาแฟมีลักษณะลำต้นตรง ในระยะแรกของการเจริญจะไม่แตกกิ่ง แต่มีใบแตกออกเป็นข้อตรงข้ามกันเป็นคู่ ๆ เมื่อโตมากขึ้นจะมีการแตกกิ่งออกจากลำต้นในลักษณะที่แยกออกจากกัน และอยู่ตรงข้ามกัน กิ่งที่แตกออกมาใหม่จะมีใบแตกออกเป็นคู่ ๆ อยู่ตรงข้อ เช่นเดียวกับลำต้น กิ่งจะขนานไปกับพื้นดินหรือห้อยต่ำลงดิน ซึ่งเป็นที่เกิดของดอก และต่อไปนอกจากกิ่งแล้วยังมีการแตกหน่อออกจากตาของลำต้นอีกเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จำนวนมาก ทำให้หน่อที่เกิดขึ้นใหม่ไปเบียดกับลำต้นเดิม ถ้าหากปล่อยให้เจริญต่อไปเรื่อย ๆ โดยไม่มีการแต่งกิ่งจะทำให้กาแฟมีทรงพุ่มที่แน่นทึบเป็นที่สะสมของโรค ผลผลิตต่ำลง และต้นกาแฟจะตายในที่สุด

2. ดอกกาแฟ

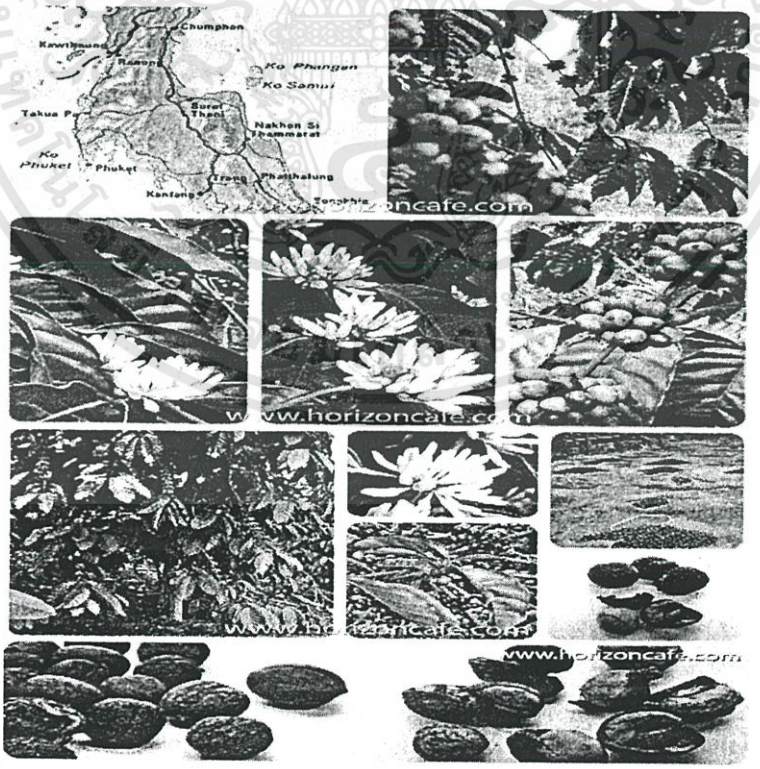
ดอกกาแฟมีสีขาวบริสุทธิ์ กลิ่นหอมคล้ายดอกมะลิ รูปคล้ายดาวมีก้านสั้น อยู่รวมกันเป็นกลุ่ม จะเกิดตามข้อต้นกาแฟบ้างเป็นส่วนน้อย แต่ส่วนใหญ่ดอกกาแฟจะออกจากข้อของกาแฟโดยเริ่มจากข้อที่อยู่ใกล้ลำต้นออกไปหาปลายกิ่ง กาแฟมีลักษณะพิเศษคือ ข้อของกิ่งจะสั้นสามารถที่จะเกิดดอก และติดได้มาก ดอกกาแฟเป็นดอกสมบูรณ์เพศ มีทั้งเกสรตัวผู้ และเกสรตัวเมียอยู่ในดอกเดียวกัน เกสรตัวเมียจะอยู่สองส่วน ส่วนเกสรตัวผู้จะมีเท่ากับกลีบดอกคือ ประมาณ2-4 อัน กาแฟบางพันธุ์อาจมีการผสมข้ามพันธุ์กันได้หากปลูกอยู่ใกล้กัน เวลาออกดอกของกาแฟขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำ ถ้าในท้องถิ่นที่มีฝนตกเป็นฤดู ดอกจะออกหลังจากฝนตกประมาณ 1 เดือน แต่ถ้าหากอากาศชุ่มชื้นอยู่ตลอดทั้งปี หรือมีการชลประทานเพียงพอ กาแฟจะออกดอกตลอดทั้งปี

3. ผลกาแฟ

แม้ว่ากาแฟจะออกดอกจำนวนมากก็ตาม แต่การติดผลจะมีเพียงร้อยละ 16-26 เมื่อกลีบดอกร่วงแล้วกาแฟจะติดเป็นผล มีลักษณะคล้ายลูกหว้า ซึ่งภายในจะแบ่งออกเป็นสองส่วน ส่วนหนึ่งมีเมล็ดกาแฟ 1 เมล็ด ซึ่งมีลักษณะแบนยาวไปตามรูปของเปลือกหุ้ม ถ้าหากเมล็ดหนึ่งเมล็ดใดลีบไปเนื่องจากการผสมพันธุ์ไม่ดี เมล็ดที่เหลืออยู่จะมีรูปกลม ส่วนยาวจะมีรูปโค้งเป็นรูปกระบอกตัด เมื่อเมล็ดสุกจะมีสีน้ำตาลปนแดง

4. เมล็ดกาแฟ

มีสีเขียวอมเทา ความยาวประมาณ ½ นิ้ว เป็นส่วนที่อยู่ในกะลาซึ่งห่อหุ้มด้วยเยื่อบาง ๆ (silver skin) และมีเปลือกแข็ง (parchment) หุ้มอีกชั้นหนึ่ง ส่วนเนื้อกาแฟที่ห่อหุ้มกะลา เมื่อสุกเต็มที่จะมีรสหวานเล็กน้อย ลักษณะเป็นยางเหนียว ๆ (สมศักดิ์, 2545)



รูปที่ 2.1 ลักษณะทางพฤษศาสตร์ของกาแฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.3 กลิ่น และรสชาติของกาแฟ

เมล็ดกาแฟสดที่ได้จากต้นหลังจากผ่านกระบวนการผลิตเมล็ดกาแฟแล้วจะมีสีเขียว และกลิ่นเหม็นเขียว ซึ่งกลิ่นและสีของเมล็ดกาแฟที่แท้จริงจะเกิดขึ้นในระหว่างการคั่วเมล็ดกาแฟ โดยทั่วไปจะคั่วเมล็ดกาแฟที่อุณหภูมิ 210 องศาเซลเซียส ใช้เวลาประมาณ 6-10 นาที น้ำมันกาแฟจะอยู่ในเมล็ดกาแฟที่ผ่านการคั่วประมาณร้อยละ 10 โดยน้ำมันกาแฟจะเป็นตัวให้กลิ่นหอมของกาแฟ ซึ่งมีความเข้มข้นประมาณร้อยละ 1.0 โดยน้ำหนักของสารประกอบระเหย ซึ่งสารประกอบเหล่านี้จะสามารถแยกออกมาได้โดยใช้วิธีการกลั่นด้วยไอน้ำ และสกัดออกมาโดยใช้ตัวทำละลายประเภท ลิโพฟิลิก เช่น อีเทอร์ เป็นต้น โดยกลิ่น และรสชาติของกาแฟจะบ่งบอกถึงคุณภาพของเมล็ดกาแฟ กลิ่น และรสชาติของกาแฟจะประกอบด้วยสารประกอบที่ระเหยได้ และสารประกอบที่ระเหยไม่ได้ โดยสารประกอบที่ระเหยไม่ได้จะเป็นสารที่ให้เฉพาะรสชาติ คือ จะให้รสขม และรสเปรี้ยว ส่วนสารประกอบที่ระเหยได้จะเป็นสารให้กลิ่น ซึ่งจะเป็นสารที่ทำให้เกิดกลิ่นรสในปาก และในโพรงจมูก ซึ่งเป็นไปได้ว่าโพรงจมูกของมนุษย์จะสามารถแยกความแตกต่างระหว่างกลิ่นรสของกาแฟที่ดีกับกลิ่นรสที่ไม่ดี (off flavor) ในกาแฟได้ และยังสามารถแยกความแตกต่างระหว่างกาแฟแต่ละพันธุ์ได้อีกด้วย

กาแฟจะประกอบด้วยสารประกอบจำนวนมากสามารถแยกออกได้จากกลิ่นของกาแฟ ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นสารพวกเฮเทอโรไซคลิก (heterocyclic) คือ สารในกลุ่มของ ฟูแรน ไพโรล ไทโอฟีน ไพราซีน และ ไพริดีน โดยสารที่เกี่ยวข้องกับกลิ่นของกาแฟโดยตรงคือ สารประกอบเฮเทอโรไซคลิกที่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบ เมล็ดกาแฟที่ไม่ผ่านการคั่วจะมีสาร methoxypyrazines ซึ่งให้กลิ่นเหม็นเขียวในกาแฟซึ่งจะมีความเข้มข้นประมาณ 10 ส่วนในหนึ่งล้านส่วน (ppm) องค์ประกอบพื้นฐานของเมล็ดกาแฟจะประกอบด้วย pyridines, quindines, aromatic amines และ alkylpyrazines องค์ประกอบของเมล็ดกาแฟในธรรมชาติจะประกอบด้วย furans, aromatic, aldehydes และแอลกอฮอล์ ส่วนสารประกอบที่ไม่ระเหยของเมล็ดกาแฟดิบจะเป็นสารตั้งต้นในการทำให้เกิดกลิ่นรสกาแฟ คือ คาร์โบไฮเดรต โปรตีน เปปไทด์ กรดอะมิโนอิสระ polyamines, tryptamines, lipids, phenolic acids, trigonelline และพวกกรดที่ไม่ระเหยชนิดต่าง ๆ ส่วนประกอบหลักของเมล็ดกาแฟที่สูญเสียไปในระหว่างการคั่ว คือ น้ำตาลซูโครสร้อยละ 0.3-7.3 Chlorogenic acid ร้อยละ 3.5-7.6 โปรตีนร้อยละ 3.1-11.6 และปริมาณของกรดอะมิโนจะมีการเปลี่ยนแปลงไปโดยกรดอะมิโนพวกอาจินีน (arginine) ซิสเตอีน (cysteine) ไลซีน (lysine) ซิสตีน(cystine) และทรีโอนีน (threonine) จะถูกทำลายไปในระหว่างการคั่ว (Maarse, 1991) แต่จะเป็นตัวหลักที่ช่วยทำให้เกิดสารประกอบที่ให้กลิ่นรสของกาแฟในช่วง 5 นาทีแรกของการคั่วที่อุณหภูมิ 220 องศาเซลเซียส (Maier, 1987)

2.1.4 สารประกอบในเมล็ดกาแฟ

1. สารประกอบไนโตรเจน

คาเฟอีนจะให้รสขม (bitter) มีค่าต่ำสุดการรับรู้รส 15-75 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณคาเฟอีนในเมล็ดกาแฟจะขึ้นกับสายพันธุ์ (Coffee Research Institute, 2001) ปริมาณคาเฟอีนในกาแฟดิบของกาแฟอาราบิก้ามีร้อยละ 1.2 ในกาแฟโรบัสต้าร้อยละ 2.2 โดยน้ำหนักแห้ง ส่วนtrigonelline เมื่อแตกตัวจะให้ทั้งกลิ่นรส และสารอาหาร พบในกาแฟสายอาราบิก้าร้อยละ 1.0 ของน้ำหนักแห้ง ส่วนในโรบัสต้ามีร้อยละ 0.7 ของน้ำหนักแห้ง ซึ่งให้รสขมอ่อน ๆ (ประมาณ ร้อยละ 25ของคาเฟอีน) ในเครื่องดื่มกาแฟ การแตกสลายของ trigonelline จะเป็นสัดส่วนกับระดับของการคั่ว จะทำให้ได้ ไพริดีน ซึ่งให้กลิ่นของการคั่ว (roasty) นอกจากนี้โปรตีน และกรดอะมิโนอิสระจะมีความสำคัญต่อการเกิดกลิ่นรสในกาแฟ เนื่องจากจะรวมตัวกับสารประกอบที่อยู่ในเมล็ดกาแฟเกิดเป็นสารที่ให้กลิ่นรส เช่น สารประกอบในกลุ่มของ ไพราซีน และไพริดีน โดยปริมาณโปรตีนขึ้นกับสายพันธุ์ของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กาแฟ และจะพบโปรตีนอยู่ในส่วนของไซโตพลาส (cytoplasm) หรือจับอยู่กับโพลีแซคคาไรด์ที่ผนังเซลล์ (Varnam and Sutherand, 1994)

2. คาร์โบไฮเดรต

ในเมล็ดกาแฟที่ยังไม่ผ่านกระบวนการคั่วพบคาร์โบไฮเดรตในรูปของน้ำตาลอิสระ และโพลีแซคคาไรด์ โดยน้ำตาลอิสระส่วนมากเป็นน้ำตาลซูโครส ปริมาณจะขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ ระดับ ความแก่ของเมล็ด โดยในอาราบิก้าพบร้อยละ 6.0-8.3 ส่วนในโรบัสต้าพบร้อยละ 3.3-4.1 โดยน้ำหนักแห้ง นอกนั้นพบว่าเป็นน้ำตาลรีดิวซ์ เช่น arabinose, galactose, raffinose, rhamnose, ribose, fructose และ glucose ซึ่งน้ำตาลมีความสำคัญในการเกิดกลิ่นรส และการเกิดสี (pigmentation) ระหว่างกระบวนการคั่ว (Varnam and Sutherand, 1994)

Oosterveld และคณะ (2003) รายงานว่าเมล็ดกาแฟสายพันธุ์อาราบิก้าที่ยังไม่ผ่านกระบวนการคั่วประกอบด้วยโพลีแซคคาไรด์ร้อยละ 48-60 ซึ่งมีองค์ประกอบหลักเป็น rabinogalactan และ galactomannans โดยกระบวนการคั่วจะมีผลต่อการสลายตัวของโพลีแซคคาไรด์ ซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (hydrolysis) ซึ่งมีผลต่อการลดมวลโมเลกุลของโพลีแซคคาไรด์ นอกจากนี้ระดับ branching ของ arabinogalactan และ galactomannans ลดลง จึงมีผลในการลดความสามารถในการละลายของโพลีแซคคาไรด์ ซึ่งการแตกสลายของโพลีแซคคาไรด์จะทำให้เกิด oligosaccharide และน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว (monosaccharide) ซึ่งขึ้นกับระดับของการคั่ว

Redgwell และคณะ (2002) พบว่าเมล็ดกาแฟที่คั่วในระดับเข้ม (dark roast) จะเกิดการแตกสลายของโพลีแซคคาไรด์ถึงร้อยละ 40 ซึ่งมากกว่าการคั่วในระดับอ่อน (light roast) และระดับกลาง (medium roast)

3. ไขมัน

องค์ประกอบของไขมันในเมล็ดกาแฟที่ยังไม่ผ่านกระบวนการคั่วประกอบด้วยน้ำมันกาแฟ (Coffee oil) ซึ่งส่วนมากพบใน endosperm และ coffee wax ซึ่งพบที่ผิวชั้นนอกของเมล็ดกาแฟ โดยพบในกาแฟสายพันธุ์อาราบิก้าร้อยละ 15 ของน้ำหนักแห้งน้ำมัน ส่วนในโรบัสต้าพบร้อยละ 10 ของน้ำหนักแห้งน้ำมัน โดยประกอบด้วย triacylglycerols และไขมันอื่น ๆ (Varnam and Sutherand, 1994)

4. กรดอินทรีย์

กรดในเมล็ดกาแฟดั่วแบ่งเป็น 3 กลุ่มได้แก่ aliphatic, alicyclic, carboxylic และ phenolic acids (Coffee Research Institute, 2001) ซึ่งมีการพบเช่นเดียวกับในเมล็ดกาแฟที่ยังไม่ผ่านกระบวนการคั่ว มีรายงานว่ากาแฟสายพันธุ์อาราบิก้ามีกรดซิตริกร้อยละ 0.5 กรดมาลิกร้อยละ 0.46 กรดออกซาลิกร้อยละ 0.2 และ กรดทาร์ทาริกร้อยละ 0.4 โดยขณะทำการเก็บรักษาเมล็ดกาแฟความเป็นกรดจะเพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นผลมาจากเอนไซม์จะย่อยสลายไขมันให้เกิดเป็นกรดไขมันอิสระ (Varnam and Sutherand, 1994) ในกาแฟอาราบิก้าที่ผ่านการคั่วแบบกลางจะมีปริมาณกรดที่สำคัญดังต่อไปนี้กรดซิตริก กรดมาลิก กรดแลคติก กรดไพรูวิก และกรดอะซิติก ร้อยละ 0.30, 0.22, 0.13, 0.07 และร้อยละ 0.27 ตามลำดับ ในกาแฟที่คั่วแบบอ่อนปริมาณกรดทั้งหมดจะมีร้อยละ 1.58 แต่เมื่อผ่านการคั่วแบบเข้มปริมาณกรดทั้งหมดจะเหลือเพียงร้อยละ 0.71 เท่านั้น (Clarke, 1986) โดยโมเลกุลของกรดที่อยู่ในรูปที่ไม่แตกตัว (undissociate acids) จะมีอิทธิพลในการควบคุมการให้เกิดกลิ่นรสที่ดีในกาแฟ (Clarke และ Macrae, 1985) องค์ประกอบของสารที่อยู่ในเมล็ดกาแฟดิบ และในกาแฟคั่วจะแตกต่างกัน ทั้งในด้านของชนิด และปริมาณ โดยสารประกอบที่อยู่ในเมล็ดกาแฟดิบ จะเป็นสารตั้งต้นที่จะเปลี่ยนแปลงไปเป็นสารประกอบที่พบในกาแฟคั่ว ซึ่งแสดงรายละเอียดดังตารางที่ 2.1 และ ตารางที่ 2.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบทางเคมีของเมล็ดกาแฟดิบ (โดยน้ำหนักแห้ง)

Classes and Components	Per Cent of Green Coffee	
	Soluble	Insoluble
1. Carbohydrates (60%)		
Reducing sugars	1.0	-
Sucrose	7.0	-
Pectins	2.0	-
Starch	-	10.0
Pentosans	-	5.0
Hemi-celluloses	-	15.0
Halo-celluloses		18.0
Lignin		2.0
2. Oil	-	13.0
3. Protein (N x 6.25)	9.0	4.0
4. Ash as oxide	2.0	2.0
5. Non–volatile acids		
Chlorogenic	6.8	-
Oxalic	0.2	-
Malic	0.3	-
Citric	0.3	-
Tartaric	0.4	-
6. Trigonelline	-	1.0
7. Caffeine** (Arabica 1.0 %, robusta 2.0%)	-	1.0
Total	29.0	71.0

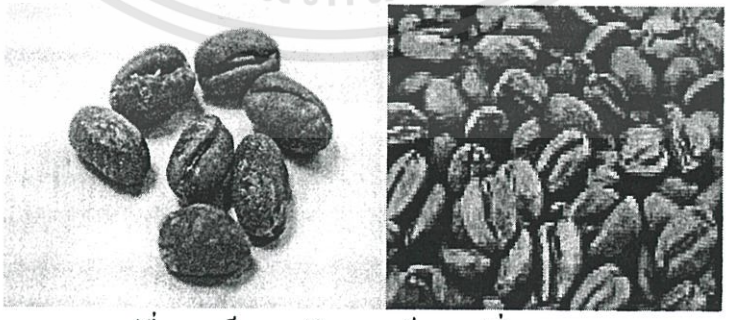
ที่มา : Sivetz (1963)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 องค์ประกอบทางเคมีของเมล็ดกาแฟดิบ (โดยน้ำหนักแห้ง)

Classes and Components	Per Cent	
	Soluble	Insoluble
1. Carbohydrates (53%)		
Reducing sugars	1.0 - 2.0	-
Caramelized sugars	10.0 - 17.0	7.0 - 0.0
Hemi-celluloses (hydrolysable)	1.0	14.0
Fiber (not hydrolysable)	-	22.0
2. Oil	-	15.0
3. Proteins (N x 6.25) ; amino acids are soluble	1.0 – 2.0	11.0
4. Ash (oxide)	3.0	1.0
5. Acids , non-volatile		-
Chlorogenic	4.5	-
Caffeic	0.5	-
Quinin	0.5	-
Oxalic, Malic ,Citric, Tartaric	1.0	-
Volatile acids	0.35	
6. Trigonelline	1.0	-
7.Caffeine (Arabica 1.0%, Robusta 2.0%)	1.2	-
8. Phenolics (estimate)	2.0	-
9. Volatiles		-
Carbon dioxide	Trace	2.0
Essence of aroma and flavor	0.04	-
Total	27.0 to 35.0	65.0 to 73.0

ที่มา : Sivetz (1963)



รูปที่ 2.2 เมล็ดกาแฟดิบและเมล็ดกาแฟคั่ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.5 สายพันธุ์กาแฟ (coffee species)

ปัจจุบันทั่วโลกมีกาแฟอยู่มากกว่า 6,000 พันธุ์ แต่มีเพียง 2 พันธุ์เท่านั้นที่ได้รับความนิยมปลูกเป็นการค้า คือ พันธุ์อาราบิก้ากับพันธุ์โรบัสต้า

1. กาแฟพันธุ์อาราบิก้า (*Coffea arabica*) เป็นพันธุ์ที่นิยมปลูกกันมากที่สุดในโลกมีถิ่นกำเนิดดั้งเดิมบริเวณประเทศเอธิโอเปีย เนื่องจากกาแฟพันธุ์นี้จะสามารถเจริญเติบโตได้ดีในสภาพอากาศค่อนข้างเย็น อุณหภูมิประมาณ 15-24 องศาเซลเซียส เป็นพืชกึ่งเมืองหนาว กาแฟพันธุ์นี้จะมีคุณภาพดีที่สุด มีรสชาติหอมหวนชวนดื่ม และมีความเป็นกรดเล็กน้อย ปลูกกันมากบนพื้นที่สูงจากระดับน้ำทะเลประมาณ 1,500-2,000 เมตร (Varnam และ Sutherland, 1994)ระยะเวลาตั้งแต่ออกดอกจนถึงเก็บเกี่ยวใช้เวลาประมาณ 6-8 เดือน โดยกาแฟพันธุ์อาราบิก้าจะมีปริมาณคาเฟอีนประมาณร้อยละ 0.5-1.4 (สมเจตต์, 2546)

2. กาแฟพันธุ์โรบัสต้า (*Coffea canephora var. robusta*) เป็นพันธุ์ที่สามารถปรับตัวเข้ากับสภาพแวดล้อมได้ดีมากเป็นกาแฟสายพันธุ์ดั้งเดิมแถบศูนย์สูตร มีรสชาติขมเข้ม มีความทนทานต่อโรคมากกว่ากาแฟพันธุ์อาราบิก้า สามารถเจริญเติบโตได้ในสภาพอากาศอบอุ่นกว่ากาแฟพันธุ์อาราบิก้าคือ ประมาณ 20-32 องศาเซลเซียส สามารถปลูกได้ตั้งแต่ระดับน้ำทะเลจนถึงระดับความสูง 1,200 เมตรเหนือระดับน้ำทะเล ระยะเวลาตั้งแต่ออกดอกจนถึงเก็บเกี่ยวประมาณ 9-11 เดือน กาแฟพันธุ์นี้เป็นพันธุ์ที่ต้องการความชุ่มชื้น และมีฝนตกสม่ำเสมอสามารถเจริญเติบโตได้ดีทั้งในที่ร่ม และกลางแจ้ง แต่จะชอบร่มเงามากกว่า สามารถทนทานต่อความชื้นในดินสูงหรือดินที่ระบายน้ำได้ไม่ดี กาแฟพันธุ์โรบัสต้าให้ผลผลิตสูงกว่าพันธุ์อาราบิก้าเล็กน้อยแม้ว่าผลจะมีขนาดเล็กกว่ากาแฟพันธุ์อาราบิก้าก็ตาม แต่จะมีข้อเสีย คือ หลังจากให้ผลผลิตสูงในปีหนึ่งๆ แล้วกิ่งแขนงมักจะมีการแห้งตายเป็นจำนวนมาก ทำให้ผลผลิตในปีต่อไปลดต่ำลง โดยกาแฟพันธุ์โรบัสต้าจะมีปริมาณคาเฟอีนประมาณร้อยละ 1.7-4.0 (สมเจตต์, 2546)

2.1.6 ความแตกต่างทางด้านกลิ่น และรสชาติของกาแฟโรบัสต้ากับกาแฟอาราบิก้า

กาแฟพันธุ์อาราบิก้าเป็นพันธุ์สำคัญของตลาดกาแฟโลก เนื่องจากกาแฟพันธุ์อาราบิก้ามีปริมาณการผลิตทั่วโลกประมาณร้อยละ 80 ส่วนกาแฟโรบัสต้ามีเพียงร้อยละ 20 ลักษณะเด่นของกาแฟพันธุ์อาราบิก้า คือ มีรสชาติความขมที่น่าพึงพอใจอย่างเด่นชัดประกอบกับมีกลิ่นหอมเป็นลักษณะเฉพาะตัว จึงทำให้กาแฟพันธุ์อาราบิก้ามีราคาสูงกว่ากาแฟชนิดอื่น ๆ แต่ตลาดกาแฟในประเทศไทยนั้นจะมีกาแฟพันธุ์โรบัสต้าเป็นหลักซึ่งพิจารณาจากจำนวนผลผลิตกาแฟที่ผลิตได้ในประเทศ กาแฟพันธุ์โรบัสต้าในภาคใต้มีผลผลิตปีละประมาณ 80,000 ตัน ส่วนกาแฟพันธุ์อาราบิก้าในภาคเหนือผลิตได้เพียงปีละประมาณ 400 ตัน (พงษ์ศักดิ์ และ บัณฑูรย์, 2542) กาแฟพันธุ์อาราบิก้ามีกลิ่น และรสชาติแตกต่างจากกาแฟพันธุ์โรบัสต้าคือ กาแฟพันธุ์อาราบิก้ามีรสชาติคล้ายไวน์ (winey) มีรสเปรี้ยวคล้ายรสเปรี้ยวของกรดน้ำส้มหรือน้ำส้มสายชู (sour) มีรสชาติคล้ายน้ำนม (milky) มีรสชาติ หรือกลิ่นกาแฟที่คล้ายถั่วคั่ว (nutty) มีกลิ่นหอมของกาแฟที่คล้ายดอกไม้ (fragrant) มีกลิ่นหอมของกาแฟที่คล้ายกับผลไม้จำพวกส้ม (citrus) และจะมีกลิ่นหอมของกาแฟที่คล้ายผลแบล็คเคอเรนท์ (black currant) มากกว่ากาแฟพันธุ์โรบัสต้า

กาแฟโรบัสต้าจะมีกลิ่น และรสชาติที่แตกต่างจากกาแฟอาราบิก้าคือ กาแฟโรบัสต้าจะมีกลิ่นคล้ายของเสีย (rotten) มีกลิ่นเหม็นอับ หรือกลิ่นหืน (rancid) มีกลิ่นคล้ายกับกลิ่นสาบของสัตว์ (animal-like) มีกลิ่น และรสชาติคล้ายกับอาหารไหม้ (burnt) รสชาติคล้ายไขมันละลายอยู่ในกาแฟ (motor oil) มีกลิ่นคล้ายยาง (rubber-like) มีกลิ่นคล้ายขี้เถ้าหรือเถ้าถ่าน (ashy) และจะมีกลิ่นสาบ หรือเหม็นอับมากกว่ากาแฟอาราบิก้า (musty) (พงษ์ศักดิ์ และ บัณฑูรย์, 2542)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 กระบวนการแปรรูปกาแฟในอุตสาหกรรม

กรรมวิธีการผลิตที่ดีจะส่งผลถึงคุณภาพของเมล็ดกาแฟที่ผลิตได้ การผลิตเมล็ดกาแฟสามารถทำได้ 2 วิธี คือ การแปรรูปแบบเปียก และแบบแห้ง

1. กระบวนการแปรรูปแบบแห้ง หรือแบบธรรมชาติ (dry process หรือ natural process) เป็นกระบวนการแปรรูปที่มีมานาน ง่าย และนิยมใช้กับกาแฟโรบัสต้าแต่ในประเทศบราซิลจะใช้กับกาแฟอาราบิก้าด้วยเนื่องจากผลผลิตกาแฟในประเทศบราซิลมีปริมาณมาก จึงใช้ผลกาแฟสุก ผลกาแฟดิบ ผลที่สุกจนแห้งคาต้นมาผ่านกระบวนการแปรรูปแบบแห้ง ส่งผลให้กาแฟที่ได้มีคุณภาพไม่ดี ราคาที่ขายในท้องตลาดจึงมีราคาต่ำ (Varnam และ Sutherland, 1994) นอกจากนี้ความชื้นของเมล็ดกาแฟยังแตกต่างกันมากจากร้อยละ 30 ถึงร้อยละ 65 เมื่อความชื้นต่างกันคุณภาพของกาแฟจะแตกต่างกัน ผลกาแฟสุกเต็มที่จะร่วงลงดิน ทำให้เกิดการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ และเมื่อฝนตกทำให้ผลกาแฟเปียกอาจมีการเจริญของเชื้อราได้ (Clarke, 1986)

ผลกาแฟสุกจะมีเมือก (mucilage) และจะค่อย ๆ สลายจากนั้นจะถูกดูดซึมเข้าสู่ภายในเมล็ด ทำให้เกิดกลิ่นรสที่ดีขึ้น แต่ยากที่จะควบคุมจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนได้ ความผันแปรของดินฟ้าอากาศทำให้กาแฟเสื่อมเสียคุณภาพ ถ้าหากมีการควบคุมความชื้นให้ได้เช่นเดียวกระบวนการแปรรูปแบบเปียกจะได้เมล็ดกาแฟที่มีคุณภาพดีขึ้น (Varnam และ Sutherland, 1994) หลังจากเก็บผลกาแฟที่สุกเต็มที่แห้งคาต้นแต่ความชื้นก็ยังสูงอยู่ จำเป็นต้องนำมาผึ่งแดดให้แห้ง (sun drying) ซึ่งจะใช้เวลานานถึง 3 เท่าของแบบเปียกเนื่องจากความชื้นระเหยออกลำบาก ทำให้มีโอกาสติดเชื้อเนื่องจากจุลินทรีย์มีมากขึ้น

การตากแห้งเป็นการลดความชื้นของเมล็ดกาแฟให้เหลือประมาณร้อยละ 12+1 ถ้าหากความชื้นประมาณร้อยละ 15 เชื้อรา แบคทีเรีย สามารถเจริญ และทำลายคุณภาพเมล็ดกาแฟได้ถ้าหากความชื้นประมาณร้อยละ 20 จะเกิดการงอกของเมล็ดกาแฟก็จะมีการใช้สารอาหารในเมล็ด ถ้าหากความชื้นประมาณร้อยละ 8 เมล็ดกาแฟจะหดตัวลงมากคุณภาพก็จะด้อยลง ดั้งนั้นต้องพยายามควบคุมความชื้นให้ได้ประมาณร้อยละ 12

การตากแห้งมี 2 ระบบคือ การใช้แสงอาทิตย์ แต่ต้องใช้พื้นที่มาก การควบคุมไม่ให้อากาศเปลี่ยนแปลงค่อนข้างยาก มีการปนเปื้อนจากจุลินทรีย์ง่าย ต้องใช้แรงงานสูงเนื่องจากต้องเกลี่ยบ่อยครั้ง ใช้เวลาในการทำแห้งนาน อีกวิธีคือการใช้ตู้อบไฟฟ้า ซึ่งสามารถควบคุมอุณหภูมิได้ ใช้พื้นที่ในการตากแห้งน้อย ควบคุมอากาศเข้าออกได้ ใช้แรงงานต่ำ และใช้เวลาในการตากแห้งน้อย

ซึ่งกระบวนการแปรรูปแบบแห้งนี้มีข้อดีตรงที่ขั้นตอนในการแปรรูปนั้นไม่ยุ่งยาก และใช้เวลารวดเร็วกว่ากระบวนการแปรรูปแบบเปียก แต่อย่างไรก็ตามคุณภาพของกาแฟที่ผ่านกระบวนการแปรรูปแบบแห้งจะได้กาแฟดิบที่มีคุณภาพต่ำกว่าการผ่านกระบวนการแปรรูปแบบเปียกเนื่องจากเมล็ดกาแฟจะมีความไวต่อการดูดกลิ่นได้ดีจึงดูดกลิ่นอับจากเปลือกในระหว่างการตากเพราะใช้เวลาในการทำแห้งนานกว่ากระบวนการแปรรูปแบบเปียก (Sivetz และ Foote, 1963)

2. กระบวนการแปรรูปแบบเปียก (wet process) การเก็บผลกาแฟจะเก็บเฉพาะผลกาแฟที่สุกเท่านั้น ถ้ามีผลดิบ หรือผลที่สุกเกินไปติดมาจะทำให้คุณภาพด้อยลงเนื่องจากการสุกของผลกาแฟจะไม่เท่ากัน ดังนั้นการเก็บเมล็ดกาแฟต้องใช้ต้นทุนที่สูง การเก็บผลกาแฟแบบนี้จะได้กาแฟที่สะอาดซึ่งต่างจากแบบแห้ง ผลกาแฟที่เก็บมาจะมีความชื้นประมาณร้อยละ 60-75 การเก็บมักเก็บในตอนเช้าถึงบ่าย และต้องนำมาแปรรูปภายในวันที่เก็บ หรือปล่อยทิ้งไว้ไม่เกิน 12-24 ชั่วโมง จึงเป็นกระบวนการที่ทำให้ได้เมล็ดกาแฟที่มีคุณภาพสูง (Varnam และ Sutherland, 1994)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การปลอกเปลือกผลกาแฟที่เก็บมาแล้วควรปลอกในวันนั้น ถ้าไม่ทันไม่ควรเก็บเกิน 1 คืนเพราะจะเกิดการหมัก ทำให้เมล็ดกาแฟเสื่อมคุณภาพ การปลอกเปลือกจะให้ผลดีถ้าใช้เครื่องปลอกเปลือก หลังจากปลอกเปลือกแล้วจะเห็นว่ามีอีกชั้นที่หุ้มเมล็ดไว้มีลักษณะเป็นเมือก มีความหนาราว 0.8 มิลลิเมตร ซึ่งประกอบด้วยน้ำและเอนไซม์ต่าง ๆ ร้อยละ 80 ของเอนไซม์ ได้แก่ protopectinase, pectin esterase และ pectinase และ อีกร้อยละ 20 เป็น insoluble mucilage ซึ่งใน insoluble mucilage ร้อยละ 80 เป็นน้ำตาล และอีกร้อยละ 20 เป็นสารประเภท pectin, protopectin, pectin ester (methyl pectin ester) และ pectin acid ส่วนของเมือกเป็นส่วนที่เกิดขึ้นเมื่อเมล็ดค่อย ๆ สุกไม่สามารถนำมาล้างน้ำออกได้ เพราะว่าจะติดอยู่กับเมล็ดกาแฟ ถ้าหากปล่อยให้สุกคาต้นจะมีเอนไซม์มาย่อยโพลีเมอร์เหล่านี้ให้ได้น้ำตาลกาแลคโตส ซึ่งจุลินทรีย์สามารถใช้ได้ ถ้าทิ้งไว้จะทำให้คุณภาพของกาแฟลดลง (Sivetz และ Foote, 1963)

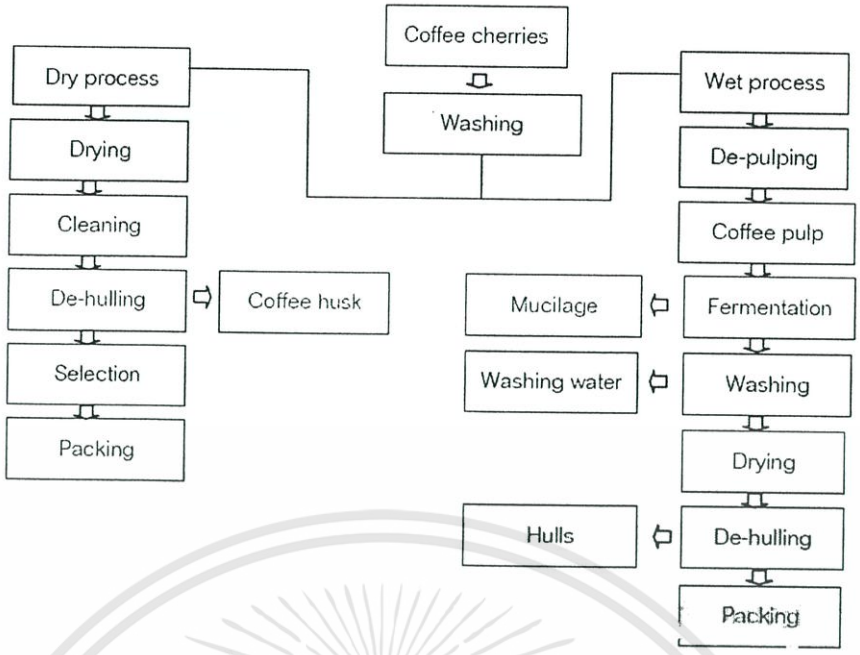
จากนั้นจะผ่านขั้นตอนที่มีความสำคัญคือ ขั้นตอนในการหมักเพื่อนำเมือกที่ติดเมล็ดกาแฟออกซึ่งขั้นตอนดังกล่าวเป็นขั้นตอนที่สำคัญทำให้เกิดกลิ่นรสเฉพาะ (specific flavor) ในกาแฟเนื่องจากการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ทำให้น้ำหมักกาแฟมีสภาพเป็นกรด และเชื้อจุลินทรีย์ยังสร้างเอนไซม์เพคตินเนส ซึ่งช่วยในการกำจัดเมือก สายพันธุ์ของแบคทีเรียที่สร้างกรดคือ Enterococcus ซึ่งเป็นกลุ่มของแบคทีเรียที่มีความสามารถในการสร้างกรดแลคติก ทำให้น้ำหมักมีค่าความเป็นกรด-ด่างลดลงจาก 6.8 เหลือ 4.3 จากค่าความเป็นกรดที่ลดลงส่งผลให้เกิดการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ เพคตินเนส แต่ก็มีผลดีในแง่ของการป้องกันการเจริญของจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดการเสื่อมเสีย แต่การหมักเมล็ดกาแฟเป็นเวลานานมีผลทำเกิดกลิ่นรสที่ไม่ดีในกาแฟ ซึ่งโดยทั่วไปจะทำการหมัก 24-36 ชั่วโมง (Varnam และ Sutherland, 1994) การแปรรูปแบบเปียกทำให้เมล็ดกาแฟแห้งเร็ว ดังนั้นเมล็ดกาแฟที่ผ่านการแปรรูปแบบเปียกจะมีกลิ่นหอม และเป็นที่นิยมมากกว่าเมล็ดกาแฟที่ผ่านการแปรรูปแบบแห้ง (Sivetz และ Foote, 1963) กระบวนการแปรรูปทั้ง 2 วิธีมีข้อดีข้อเสียต่างกันดังแสดงในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 ข้อดีและข้อเสียของการผลิตเมล็ดกาแฟด้วยกระบวนการแบบเปียก และแบบแห้ง

วิธีการผลิต	ข้อดี	ข้อเสีย
แบบแห้ง	1.เป็นวิธีที่ง่าย และต้นทุนต่ำ	1.เมล็ดกาแฟดิบที่ได้มีคุณภาพต่ำ
	2.ผลกาแฟไม่จำเป็นต้องสุกสม่ำเสมอกัน	กว่าวิธีเปียก
	3.ไม่ต้องใช้ความรู้ความชำนาญมาก	2.ใช้เวลาในการตากนาน
	4.เหมาะสมกับพื้นที่ที่มีน้ำจำกัด	
แบบเปียก	1.ใช้เวลาและพื้นที่ในการตากน้อยกว่าวิธีแห้ง	1.ต้นทุนสูง ต้องใช้ความรู้ ไม่
	2.มีเมล็ดแตกหักน้อยกว่าในขั้นตอนการคั่ว	สามารถทำได้กับผลกาแฟดิบ
	3.เมล็ดกาแฟมีคุณภาพดีกว่าวิธีแห้ง	2.ต้องใช้น้ำปริมาณมาก

ที่มา : พงษ์ศักดิ์ อังกสิทธิ์ และบัณฑูรย์ วาฤทธิ์ (2542)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 กระบวนการผลิตเมล็ดกาแฟดิบโดยกระบวนการแปรรูปแบบเปียก และแบบแห้ง
ที่มา : Pandey และคณะ (2000)

2.2.1 ขั้นตอนการแปรรูปกาแฟ

1. การทำลายเมือก

1.1 โดยการหมัก (fermentation)

เมล็ดกาแฟที่ผ่านการปลอกเปลือกแล้ว เมื่อทิ้งไว้จะเกิดการหมักโดยเอนไซม์ที่มีอยู่ในตัวของเมือกเอง เมื่อเอนไซม์ย่อยแล้วเมือกจะแตกตัวให้สารที่มีโมเลกุลเล็ก ๆ ในระหว่างการหมักเชื้อจุลินทรีย์ในกลุ่มของแบคทีเรีย จะสร้างกรดอินทรีย์ทำให้น้ำหมักมีสภาพเป็นกรดจึงส่งผลให้เกิดการเจริญของยีสต์ในช่วงท้ายของการหมัก (Varnam และ Sutherland, 1994) โดยยีสต์จะเปลี่ยนน้ำตาลกาแลคโตส ได้เป็นแอลกอฮอล์จากนั้นแบคทีเรียจะเปลี่ยนแอลกอฮอล์เป็น กรดอะซิติก (acetic acid) กรดบิวทาริก (butyric acid) หรือกรดที่มีคาร์บอนสายยาว การเกิดกรดพวกนี้จะทำให้เกิดกลิ่นฉุนเป็นเหตุให้คุณภาพของกาแฟต่ำลง จึงมีการควบคุมไม่ให้กรดพวกนี้เกิดขึ้น โดยปกติจะหมักไว้ที่ 24-36 ชั่วโมง เมื่อครบกำหนดแล้วขยี้เมือกออกให้หมด โดยสังเกตว่าเมล็ดกาแฟจะไม่ลื่น

1.2 โดยการใช้สารเคมี (chemical treatment)

วิธีนี้ใช้เวลาสั้น โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ความเข้มข้นร้อยละ 3-5 หรืออาจใช้สารละลายโซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) ความเข้มข้นร้อยละ 6-8 ใช้เวลา 1-3 ชั่วโมง ทดสอบโดยการใช้มือจับเมล็ดกาแฟถ้ากำจัดเมือกออกหมดแล้วจะไม่ลื่น

1.3 โดยการใช้เอนไซม์ (enzyme treatment)

การใช้เอนไซม์เพกติเนส (Pectinase) ที่สกัดมาจากเชื้อรา จะมีขายตามท้องตลาดในรูปผง เพื่อที่จะได้กระจายตัวได้ดี วิธีการใช้เอนไซม์จะมีประสิทธิภาพสูงในการกำจัดเมือกทำให้ใช้เวลาในการย่อยสลายเร็วขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 โดยการใช้ความร้อน (heat treatment)

จากการทดลองพบว่ากรดเพคตินนิก (Pectinic acid) เมื่อให้ความร้อน 50 องศาเซลเซียส สามารถทำให้สารเหล่านี้ละลายได้ หลักการ คือ แช่เมล็ดกาแฟในน้ำร้อนอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 20-30 นาที แต่ถ้าใช้อุณหภูมิสูงกว่านี้จะมีผลทำให้คุณภาพของกาแฟด้อยลง

1.5 โดยการใช้วิธีขัดสี (physical treatment)

การกำจัดเมือกออกด้วยการขัดสี โดยอาศัยการขัดสีของตัวเมล็ดกาแฟเอง ใช้เครื่องมือที่เรียกว่า Aquapulper เป็นเครื่องที่กำจัดเนื้อ และเมือกออกโดยใช้น้ำเป็นตัวนำ เครื่องมือนี้มีลักษณะเป็นรูปกรวย จะมีการขัดสี และต้องปรับขนาดของช่องให้มีขนาดเหมาะสมกับขนาดเมล็ดกาแฟเพื่อป้องกันการแตกของเมล็ด ข้อเสียของวิธีนี้ คือ ต้องใช้น้ำมาก และใช้พลังงานสูงจึงส่งผลให้มีต้นทุนที่สูงตามไปด้วย แต่มีข้อดี คือ ประหยัดเวลา และใช้กับกาแฟที่มีปริมาณมากเหมาะกับการผลิตในระดับอุตสาหกรรมหลังจากนำเมือกออกจากเมล็ดแล้ว จะผ่านเมล็ดกาแฟมาเข้าเครื่องล้าง วิธีการล้างนี้เป็นการขจัดเมือกที่เหลืออยู่ออกให้หมด ทำให้เมล็ดกาแฟสะอาดมากขึ้น (Sivetz และ Foote, 1963)

2. การตากแห้งเมล็ดกาแฟ

กาแฟที่ผลิตแบบเปียกจะมีความชื้นประมาณร้อยละ 55-60 อาจใช้การตากแห้งแบบตู้อบไฟฟ้า หรือผึ่งแดดเกลี่ยบนพื้น การตากแห้งใช้เวลาประมาณ 7 วัน ขึ้นอยู่กับสภาพอากาศ การตากจะตากกันในตอนเช้า และเก็บกองเป็นภูเขาในตอนบ่ายแล้วนำผ้าใบมาคลุมไว้เพื่อให้ความชื้นของเมล็ดกาแฟใกล้เคียงกัน เนื่องจากบางเมล็ดจะมีความชื้นต่ำเมื่อเก็บกองจะมีการถ่ายเทความชื้น ในวันต่อมาให้เกลี่ยตากใหม่ กระทำแบบนี้ไปเรื่อย ๆ จนกระทั่งเมล็ดกาแฟมีความชื้นประมาณร้อยละ 12 จากนั้นนำเมล็ดกาแฟไปกะเทาะเอาเปลือกหุ้มเมล็ดออก ที่ความชื้นร้อยละ 12 จะทำการกะเทาะออกง่าย การกะเทาะจะใช้เครื่องมือที่มีลักษณะคล้ายกับเครื่องสีข้าวแยกเอาเปลือกหุ้มเมล็ดออก เมล็ดภายในจะขัดสีกันเองจนไม่มีเปลือกติดอยู่ คัดเมล็ดที่เสียออกและบรรจุลงกระสอบ

คุณภาพของกาแฟที่มีการย่อยเมือกออก (Digested mucilage) คุณภาพจะดีกว่าเมล็ดกาแฟที่ล้างแบบธรรมดา (washed bean) และดีกว่ากาแฟที่ไม่เอาเมือกออก (mucilage bean) เนื่องจากกาแฟที่ไม่ได้นำเมือกออกเมื่อนำไปตาก เมือกจะเหนียวติดกับพื้น และเมือกทำให้กาแฟแห้งยากโอกาสปนเปื้อนของเชื้อจุลินทรีย์จึงมีมาก และความร้อนจากดวงอาทิตย์ไม่เพียงพอที่จะทำลายเอนไซม์ เอนไซม์จะทำการย่อยเมือกให้เป็น galacturonic acid จากนั้นยีสต์จะเข้าไปเปลี่ยนให้เป็นแอลกอฮอล์ และแบคทีเรียจะเปลี่ยนต่อเป็น กรดอะซิติก และกรดบิวทาริก ทำให้กาแฟมีกลิ่นที่ไม่ดี (Clarke, 1986)

3. การกะเทาะเปลือกเมล็ดกาแฟ

เป็นการนำส่วนของเปลือกนอก เปลือกแข็งหุ้มเมล็ด และส่วนของเยื่อออก แต่ในการแปรรูปแบบเปียกจะเป็นการนำส่วนของ เปลือกแข็งหุ้มเมล็ด และเยื่อออกเท่านั้น เพราะว่าเปลือกนอกได้นำออกไปก่อนที่จะมีการกำจัดเมือกแล้ว จึงใช้แรงขัดสีน้อยกว่าแบบแห้ง ส่วนการแปรรูปกาแฟแบบแห้ง กาแฟจะแห้งทั้งเมล็ดจึงต้องนำส่วนของเปลือกนอก เปลือกแข็งหุ้มเมล็ด และส่วนของเยื่อออก เมล็ดกาแฟจะสีกันเอง จากนั้นใช้ลมเป่าเปลือกแข็งหุ้มเมล็ด และส่วนของเยื่อออก

4. กระบวนการคั่วเมล็ดกาแฟ (roasting process)

ในระหว่างการคั่วเมล็ดกาแฟจะเกิดการเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบทางเคมีทำให้ได้กลิ่นและรสชาติของกาแฟที่กลมกลืนกัน โดยในขั้นตอนแรกของการคั่วเมล็ดกาแฟจะเริ่มดูดความร้อนและเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีเหลืองอ่อน ๆ มีกลิ่นคล้ายกับกลิ่นของข้าวโพดคั่ว เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นถึง 205 องศาเซลเซียส เมล็ดกาแฟจะเริ่ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พองตัวเป็นสองเท่า และเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลอ่อนๆ มีการสูญเสียน้ำหนักประมาณร้อยละ 5 และค่าสีออกตรอน (agtron number) อยู่ประมาณ 90-95 เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นถึง 220 องศาเซลเซียส สีของเมล็ดกาแฟจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล และค่าสีออกตรอนจะลดลงเหลือ 60-65 มีการสูญเสียน้ำหนักไปร้อยละ 13 โดยในขั้นตอนนี้จะมีการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีที่เรียกว่ากระบวนการไพโรไลซีส (pyrolysis) ซึ่งมีส่วนสำคัญทำให้สารประกอบในกลุ่มของคาร์โบไฮเดรตเกิดการแตกตัว และมีการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกมา เมื่อสิ้นสุดการคั่วต้องทำให้เมล็ดกาแฟเย็นตัวลง (Coffee Research Institute, 2001) ซึ่งระยะเวลาในการคั่วจะแตกต่างกันออกไปขึ้นอยู่กับระดับการคั่วว่าจะเป็นการคั่วแบบใด โดยทั่วไปการคั่วกาแฟสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ระดับ คือการคั่วแบบอ่อน (light roast) ใช้อุณหภูมิประมาณ 193-199 องศาเซลเซียส การคั่วแบบกลาง (medium roast) ใช้อุณหภูมิประมาณ 204 องศาเซลเซียส และการคั่วแบบเข้ม (heavy roast) ใช้อุณหภูมิประมาณ 218-221 องศาเซลเซียส (Clarke, 1985) ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความชอบของผู้บริโภค เนื่องจากระดับของการคั่วจะส่งผลต่อกลิ่น และรสชาติของกาแฟที่แตกต่างกันออกไป (ตารางที่ 2.4) และระดับการคั่วส่วนมากจะดูจากค่าสีหลังจากการคั่วเสร็จโดยใช้เครื่อง Agtron roast analyzer (Coffee Research Institute, 2001) การควบคุมสภาวะในการคั่วมีผลต่อคุณสมบัติทางกายภาพ และเคมีของเมล็ดกาแฟจึงมีการวัด และควบคุมตัวแปรต่างๆ เช่น การถ่ายเทความร้อน อัตราการสูญเสียน้ำ อุณหภูมิในการคั่ว และอุณหภูมิของเมล็ดกาแฟ ซึ่งช่วยในการควบคุมอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีต่าง ๆ ที่จะมีผลต่อคุณภาพของกาแฟ (Schenker และคณะ, 2002)

ตารางที่ 2.4 ระดับการคั่วเมล็ดกาแฟ

ระดับการคั่ว	คุณลักษณะ
แบบอ่อน	มีสีน้ำตาลคล้ายกับสีของอบเชย ความข้นหนืดน้อย มีความเป็นกรดอ่อนๆ และการเกิดกลิ่นรสยังเกิดขึ้นไม่สมบูรณ์
แบบอ่อน-กลาง	มีสีน้ำตาลอ่อน ๆ มีความเป็นกรด และความข้นหนืดเพิ่มขึ้นเล็กน้อย
แบบกลาง	มีสีน้ำตาล ความเป็นกรด และความข้นหนืดเพิ่มขึ้น
แบบกลาง-เข้ม	มีสีน้ำตาลอ่อนเข้ม มีหยดน้ำมันเคลือบที่ผิวของเมล็ดกาแฟเล็กน้อย ความเป็นกรดเริ่มลดลง และความข้นหนืดเพิ่มขึ้น เหมาะสำหรับการทำกาแฟเอสเปรสโซ
แบบเข้ม	มีสีน้ำตาลดำ และหยดน้ำมันเคลือบรอบเมล็ดกาแฟ กลิ่นกาแฟเริ่มหายไป แต่ความข้นหนืดจะเพิ่มขึ้น
แบบเข้มมาก	กาแฟสีดำสนิท มีน้ำมันออกมาเคลือบผิวด้านนอกมาก กลิ่นกาแฟ และความข้นหนืดค่อนข้างน้อย

ที่มา : Coffee Research Institute (2001)

- **ปฏิกิริยาไพโรไลซิส (pyrolysis)**

เป็นปฏิกิริยาที่สารอินทรีย์เกิดการสลายตัวไปสู่องค์ประกอบที่มีขนาดเล็กลงในสภาวะที่มีความร้อนสูง ปราศจากออกซิเจน และมีการปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ออกสู่บรรยากาศ การเกิดปฏิกิริยาไพโรไลซิสขึ้นอยู่กับสารตั้งต้น และอุณหภูมิที่ใช้ โดยทั่วไปอุณหภูมิจะอยู่ในช่วง 220 องศาเซลเซียส ขึ้นไป ส่งผลให้เมล็ดกาแฟมีสีน้ำตาลเข้ม พองตัว และเปราะ แตกง่าย มีน้ำมันออกมา และมีสารให้กลิ่นรสเกิดขึ้น (Janssen, 1997)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- **การเปลี่ยนแปลงของเมล็ดกาแฟในระหว่างการคั่ว**

การคั่วกาแฟเป็นขั้นตอนเกี่ยวกับการปรับปรุงกลิ่นรสของกาแฟ โดยการให้ความร้อนแก่เมล็ดกาแฟเพื่อไล่ความชื้น อีกทั้งก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมี และทางกายภาพ น้ำซึ่งอยู่ในรูปของความชื้นในเมล็ดกาแฟจะกลายเป็นไอออกจากเมล็ดที่อุณหภูมิของเมล็ดกาแฟประมาณ 100 องศาเซลเซียส เมื่ออุณหภูมิของเมล็ดสูงขึ้นถึง 180 องศาเซลเซียส จะเกิดการสลายตัว เนื่องจากความร้อน หรือที่เรียกว่าไพโรไลซีส รวมถึงการเปลี่ยนแปลงทางเคมีภายในเมล็ด ซึ่งจะเปลี่ยนสารประกอบอินทรีย์บางส่วนในเมล็ดไปเป็นสารที่ให้กลิ่น และรส (aroma and flavor) เช่น เปลี่ยนโปรตีน คาร์โบไฮเดรต ไปเป็น อัลดีไฮด์ คีโตน แอลกอฮอล์ ฯลฯ ปฏิกิริยาที่เกิดจากไพโรไลซีสบางชนิดเป็นแบบคายความร้อน (exothermic reaction) ทำให้เมล็ดกาแฟมีอุณหภูมิสูงขึ้นเป็น 200-210 องศาเซลเซียส กาแฟที่ผ่านการคั่วจะมีน้ำหนักน้อยกว่าเดิม น้ำหนักที่หายไปอยู่ในช่วงร้อยละ 12-20 ขึ้นอยู่กับระดับของการคั่ว โดยน้ำหนักที่หายไปคิดจากเมล็ดกาแฟที่มีความชื้นเริ่มต้นร้อยละ 10-12 ในช่วงที่น้ำหนักหายไปอย่างรวดเร็วเมล็ดกาแฟจะเริ่มเปลี่ยน เป็นสีน้ำตาลและสีของเมล็ดจะเข้มขึ้นเมื่อน้ำหนักหายไปมากขึ้น นอกจากนี้เมล็ดกาแฟจะเกิดการพองตัว และ เพิ่มขนาดเป็นสองเท่าจากเดิม (สมหมาย, 2528)

1. การเปลี่ยนแปลงทางด้านกายภาพ

กาแฟที่ผ่านการคั่วจะเกิดการเปลี่ยนแปลงทางด้านกายภาพ ทำให้รูปร่าง ขนาด และ คุณสมบัติทางกายภาพอื่น ๆ เปลี่ยนไป ได้แก่

1.1 น้ำหนักที่หายไปทั้งหมด (total weight loss)

โดยทั่วไปมีค่าประมาณร้อยละ 15-18 คิดจากกาแฟที่มีความชื้นร้อยละ 10-12 และเป็นน้ำหนักที่หายไปหลังจากเกิดไพโรไลซีส ร้อยละ 4-6 องค์ประกอบที่หายไปมากที่สุดคือ กรดคลอโรเจนิก (chlorogenic acid) โดยกรดชนิดนี้เริ่มต้นจะมีปริมาณร้อยละ 7 และหลังการคั่วจะลดลงเหลือเพียงร้อยละ 4 เนื่องจากการสลายตัวไปเป็นสารประกอบในกลุ่มของ ฟีนอล (Ky และคณะ, 2001) ซึ่งจะมีผลต่อรสชาติของกาแฟมาก ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ซึ่งเป็นผลจากไพโรไลซีสก็สูญเสียไปบางส่วน ในขณะที่คาเฟอีนมีการสูญเสียไปเพียงเล็กน้อยเท่านั้น

1.2 การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)

การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด-ด่างของกาแฟเกิดเนื่องจากไพโรไลซีสของคาร์โบไฮเดรตกลายเป็นกรดคาร์บอกซิลิก ทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่างของกาแฟลดลงจาก 5.5-4.9 โดยจะขึ้นกับระดับการคั่วกาแฟ กาแฟที่คั่วเข้มมาก ๆ ค่าความเป็นกรด-ด่างจะลดลง เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิจะทำให้กรดสลายตัวและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ก็ถูกขับออกไป

1.3 การเปลี่ยนแปลงสี และรสชาติ

สีของกาแฟที่เปลี่ยนแปลงหลังการคั่วเกิดขึ้นได้เพราะไพโรไลซีสของคาร์บอน และโปรตีนแต่รสชาติเปลี่ยนแปลงเนื่องจากโปรตีน และกรดไขมันที่ถูกไฮโดรไลซ์ (Sivetz และ Foote, 1963)

2. การเปลี่ยนแปลงทางด้านเคมี

ขั้นตอนของการคั่วกาแฟส่งผลให้เกิดปฏิกิริยาที่สำคัญเช่น ปฏิกิริยาเมลลาร์ด การเกิดคาราเมล Strecker degradation และ กระบวนการไพโรไลซีส ซึ่งก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของกาแฟอย่างมาก รวมทั้งการเกิดสารประกอบใหม่ องค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญของกาแฟที่เกิดการเปลี่ยนแปลง ได้แก่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1 กรดที่ระเหยได้ (volatile acids)

ในกระบวนการคั่วกาแฟสิ่งที่นิยมศึกษากันคือ ความสัมพันธ์ระหว่างกรดที่ระเหยได้กับอุณหภูมิ สี และน้ำหนักที่หายไปของเมล็ดกาแฟ การเปลี่ยนแปลงของปริมาณกรดมีผลต่อรสชาติของกาแฟมากกว่าการเปลี่ยนแปลงทางด้านสีของกาแฟ หรืออุณหภูมิของเมล็ด โดยพบว่ากรดฟอร์มิก (formic acid) และกรดอะซิติก (acetic acid) จะถูกขับออกมาในช่วงแรกของการคั่ว รวมทั้งกรดที่ไม่ระเหย (non volatile acids) ด้วย กรดที่ระเหยได้จะมีปริมาณสูงสุดก่อนการเกิดไพโรไลซีส แต่เมื่อทำการคั่วไปนาน ๆ สีของเมล็ดกาแฟจะเข้มขึ้น ส่วนปริมาณกรดระเหยก็จะลดลง การคั่วที่พอเหมาะจะทำให้มีกรดระเหยอยู่ในระดับที่ทำให้กาแฟมีรสชาติดี แต่ถ้าเกิดไพโรไลซีสมากเกินไปกรดระเหยจะถูกขับออกหมด (Sivetz และ Foote, 1963)

2.2 น้ำตาลซูโครส

มีประมาณร้อยละ 7 น้ำตาลซูโครสอาจเกิดปฏิกิริยาคาราเมลไลเซชัน (caramelization) ได้สารโพลีเมอร์หรือสลายตัวได้เป็นสารประกอบคาร์บอนสายสั้น ๆ (short chain carbon) ซึ่งจะทำปฏิกิริยาได้เป็นสารประกอบคาร์บอนที่ซับซ้อน หรืออาจทำปฏิกิริยากับโปรตีน เกิดสารประกอบที่ซับซ้อน และให้รสชาติที่ดี (ภาพที่ 2.2) เมื่อดึงน้ำออกจากน้ำตาลซูโครส (dehydration) และทำการย่อย (hydrolize) จะให้น้ำตาลรีดิวซ์ชิง แต่ถ้าทำโพลีเมอร์ไรซ์ (polymerize) จะทำให้เกิดสารที่มีสีน้ำตาล หรืออาจถูกย่อยให้สารประกอบอินทรีย์ที่ระเหย น้ำ และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (Sivetz และ Foote, 1963)

2.3 กรดที่ไม่ระเหย (non volatile acids)

กรดคาร์บอกซิลิก เป็นกรดที่ไม่ระเหยที่เกิดจากการสลายตัวของคาร์โบไฮเดรตเมื่อได้รับความร้อน กรดนี้มีผลต่อค่าความเป็นกรด-ด่างของกาแฟ แต่กรดฟีโนลิกมีอยู่ในปริมาณต่ำจึงไม่มีผลต่อค่าความเป็นด่าง แต่จะไปมีผลต่อกลิ่นรสของกาแฟมากกว่าเนื่องจากจะให้กลิ่นรสที่แรง และโดยทั่วไปกาแฟที่คั่วแบบกลางจะให้ค่าความเป็นกรดมากกว่ากาแฟที่คั่วแบบเข้ม จากการศึกษาพบว่ากรดอินทรีย์ที่มีความสำคัญในกาแฟ คือ กรดคลอโรเจนิก กรดอะซิติก และกรดซิตริก ซึ่งกรดคลอโรเจนิกจะพบในกาแฟดิบร้อยละ 7 แต่ส่วนใหญ่จะถูกทำลายไปในระหว่างที่คั่ว (Sivetz และ Foote, 1963)

2.4 สารประกอบระเหย (volatile compounds)

เป็นสารที่ทำให้เกิดกลิ่นในกาแฟ เกิดจากการสลายตัวโดยความร้อนของสารประกอบอินทรีย์บางตัวและถูกกักเก็บไว้ในเซลล์ของเมล็ด สารประกอบระเหยนี้แม้จะมีปริมาณน้อย (ร้อยละ 0.04 ของน้ำหนักกาแฟคั่ว) แต่ก็มีผลต่อรสชาติของกาแฟเป็นอย่างมาก สารที่ระเหยนี้จะเป็นสารในกลุ่มของ อัลดีไฮด์ และคีโตน ที่เกิดจากการแตกตัวของโปรตีน และคาร์โบไฮเดรตเมื่อได้รับความร้อน (Sivetz และ Foote, 1963)

2.5 โปรตีน

มีอยู่ประมาณร้อยละ 13 โดยน้ำหนัก สารประกอบที่ได้จากการเปลี่ยนแปลงของโปรตีนจะมีผลต่อรสชาติของกาแฟมาก โปรตีนที่ถูกเปลี่ยนสภาพจะมีความสามารถในการละลายน้ำลดลง โปรตีนสามารถถูกไฮโดรไลซ์ต่อไปได้ เปปไทด์ กรดอะมิโน เอมีน ไดซัลไฟด์ ซึ่งถูกกักอยู่ในเมล็ดกาแฟ และละลายออกมาเมื่อทำการสกัด การไฮโดรไลซ์โปรตีนนอกจากจะให้สารที่ให้กลิ่นรสแล้วยังทำให้เกิดสารที่จะทำปฏิกิริยากับสารอื่นเกิดกลิ่น และรสได้เช่นกัน (Sivetz และ Foote, 1963)

2.6 คาเฟอีน (caffeine)

คาเฟอีนจะไม่สลายตัวในระหว่างการคั่ว แต่อาจมีบางส่วนที่ระเหิดไปบาง และเมื่อลดอุณหภูมิลง การระเหิดจะน้อยลง กาแฟที่สกัดคาเฟอีนออกจึงไม่มีผลทำให้กลิ่นของกาแฟเปลี่ยนไป (Sivetz และ Foote, 1963)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

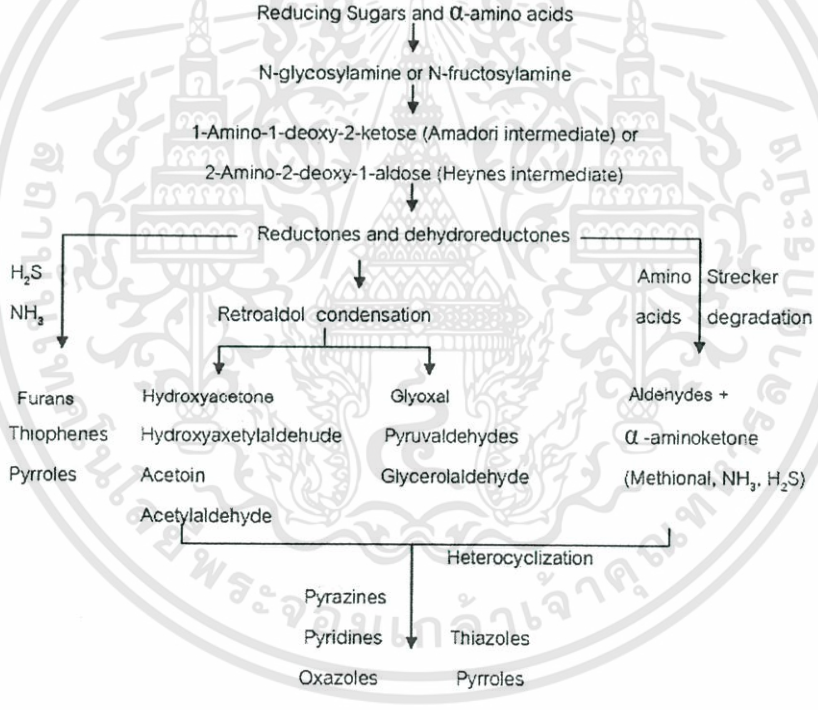
สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

2.7 ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

โดยปกติเมล็ดกาแฟจะไม่มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์อยู่ แต่จะเกิดขึ้นระหว่างการคั่วโดยมากเกิดจากการสลายตัวของกรดคาร์บอกซิลิกในกระบวนการไพโรไลซีส และให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกมาประมาณร้อยละ 1-2 กาแฟคั่วที่ยังไม่ได้บดจะมีความสามารถในการเก็บก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้มากกว่ากาแฟที่บดแล้ว ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่อยู่ในเมล็ดจะช่วยป้องกันการแพร่เข้าของอากาศ และความชื้น เป็นการยับยั้งการเกิดกลิ่นเหม็นหืนจึงทำให้เก็บรักษาได้นาน (Sivetz และ Foote, 1963)

2.8 น้ำมัน

เมล็ดกาแฟจะมีน้ำมันอยู่ประมาณร้อยละ 12 และในจำนวนนี้ร้อยละ 95 จะไม่เปลี่ยนแปลงในขณะที่ทำการคั่ว แต่น้ำมันที่มีกรดไม่อิ่มตัวเป็นส่วนประกอบ เช่น กลีเซอไรด์ (glyceride) จะถูกไฮโดรไลซ์ไปเป็นกรดไขมันอิสระ (free fatty acids) และ กลีเซอรีน (glycerine) เกิดเป็นกลิ่นกาแฟ เวลาชงกาแฟจึงมีน้ำมันลอยอยู่ที่ผิว โดยขณะที่ให้ความร้อนจะทำให้โปรตีนที่ปนอยู่กับน้ำมันเปลี่ยนสภาพไปจากเดิม น้ำมันที่ถูกกักไว้จะถูกปล่อยออกมา และเกิดการรวมตัวเป็นหยด และในขณะที่คั่วผิวของเมล็ดกาแฟจะอ่อนตัวลง ทำให้น้ำมันผ่านออกมา ผิวของเมล็ดกาแฟจึงถูกเคลือบด้วยน้ำมัน (Sivetz และ Foote, 1963)

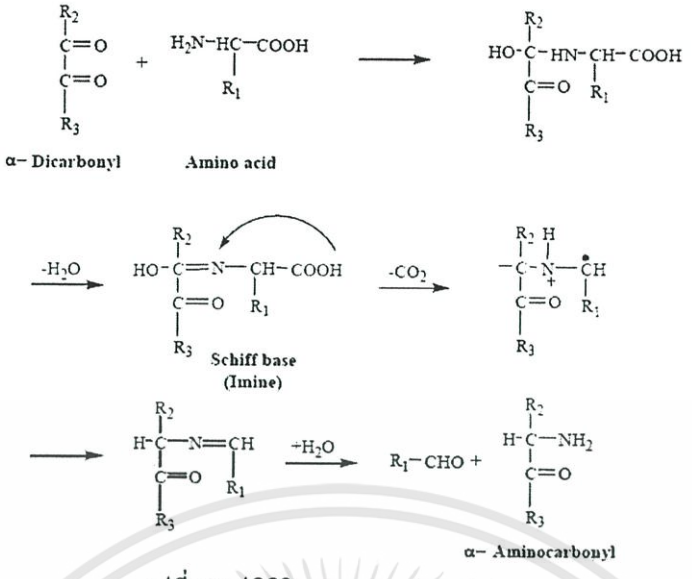


รูปที่ 2.4 สารประกอบที่ให้กลิ่นรสจากการแตกตัวของคาร์โบไฮเดรต และโปรตีน

ที่มา : Scarpellino และ Soukup (1993)

การสลายตัวแบบ Strecker degradation เป็นปฏิกิริยาระหว่างไดคาร์บอนิลกับกรดอะมิโนเป็นทั้ง 1-deoxyosone และ 3-deoxyosone เกิด retroaldolization ได้ไดคาร์บอนิล ซึ่งเป็นสารมัธยันต์อีกชนิดหนึ่ง คือ อัลดีไฮด์และแอลฟา-อะมิโนคีโตน (α-amino ketone) ซึ่งอาจเกิดการรวมตัวกันต่อไปเกิดเป็นสารให้กลิ่นรส เช่น ไพริดีน ไพราซีนและ imidazole และในระหว่างปฏิกิริยา Strecker degradation จะเกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ แสดงดังภาพที่ 2.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
104078



รูปที่ 2.5 ปฏิกิริยา Strecker degradation

ที่มา : Scarpellino และ Soukup (1993)

- **อิทธิพลของระดับการคั่ว (effect of degree of roasting)**

เวลาที่ใช้ในการคั่วมีผลต่อสีของกาแฟเป็นอย่างมาก รวมถึงคุณสมบัติทางกายภาพ และทางเคมีด้วย นอกจากนี้ระดับการคั่วยังมีผลต่อคุณสมบัติอื่น ๆ ของกาแฟ คือ

1. ความเป็นกรด (acidity) ค่าความเป็นกรดของกาแฟจะขึ้นอยู่กับระดับการคั่ว คือ กาแฟที่คั่วอย่างอ่อนจะให้ค่าเป็นกรดสูง แต่ถ้ากาแฟที่คั่วเข้มมาก ๆ จะส่งผลให้ค่าความกรดที่ต่ำลง

2. ส่วนที่สามารถละลายน้ำได้ (water solubles) ซึ่งระดับการคั่วจะมีผลต่อปริมาณของส่วนที่สามารถละลายน้ำได้ โดยใช้น้ำสกัดที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส กาแฟที่คั่วแบบกลางจะสามารถถูกน้ำสกัดออกมาได้มากกว่ากาแฟที่ผ่านการคั่วแบบเข้ม เนื่องจากกาแฟที่คั่วแบบเข้มจะมีน้ำมันออกมามากจึงมีผลต่อการสกัดของสารที่ละลายน้ำได้ (Sivetz, 1963)

Maria และคณะ (1996) ได้ทำการวิเคราะห์กาแฟสายพันธุ์อาราบิก้าโดยใช้ High Resolution Gas Chromatography-Mass Spectrometry (HRGC-MS) พบว่ากระบวนการคั่วเมล็ดกาแฟทำให้เกิดการแตกสลาย (degradation) ของ trigonelline น้ำตาลซูโครส กรดอะมิโน และ arabinogalactan และเกิดสารประกอบประเภท ฟูแรน ไพราซีน ไพริดีน และไพโรล การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของเมล็ดกาแฟระหว่างกระบวนการคั่วนั้นมีความสำคัญ โดยเมล็ดกาแฟจะเกิดการขยายตัว (popping) เนื่องจากเกิดการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างขนาดเล็ก (microstructure) ของเมล็ด ทำให้เมล็ดกาแฟเพิ่มปริมาตร ความหนาแน่นจะลดลง และเกิดช่องว่างขนาดใหญ่ (large micropore) ในผนังเซลล์ ซึ่งทำให้ความสามารถในการสกัด(extractability) เพิ่มสูงขึ้น จึงมีผลดีในขั้นตอนการสกัดในการผลิตกาแฟสำเร็จรูป (instant coffee) (Clarke, 1985; Redgwell และคณะ, 2002)

2.2.2 รูปแบบผลิตภัณฑ์กาแฟ [8]

ประเภทสินค้ากาแฟสามารถแบ่งเป็น 3 ลักษณะตามสภาพขั้นตอนก่อนการบริโภค ได้แก่

1. เมล็ดกาแฟคั่ว

1.1 เมล็ดกาแฟคั่ว (Coffee Bean) ผลกาแฟเชอรี่ (Cherry) เมื่อเก็บจากต้นจะนำมาผ่านวิธีการอบแห้ง (Dry method) หรือวิธีการเปียก (Wet Method) ซึ่งเป็นขั้นตอนการลอกเปลือกและผิวชั้นนอก เพื่อให้ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมล็ดกาแฟ หลังจากนั้นเมล็ดจะถูกนำมาคั่วด้วยความร้อน ผู้บริโภคจะซื้อเมล็ดกาแฟที่คั่วแล้วมาบดเองหรือให้ร้านบดให้เป็นผงเพื่อนำไปเข้าเครื่องชงกาแฟเพื่อดื่มต่อไป ผู้บริโภคชั้นนี้ส่วนใหญ่เป็นร้านกาแฟสดหรือคอกาแฟที่รู้เรื่องคุณภาพ ความละมุน รสชาติกาแฟ

1.2 กาแฟคั่วบด (Ground Coffee) ผู้บริโภคซื้อกาแฟที่คั่วและบดแล้ว และอาจมีการผสม (Blend) ระหว่างพันธุ์หรือระดับการคั่วเพื่อให้ได้รสชาติหรือราคาเหมาะสมไปเข้าเครื่องชงกาแฟ ผู้บริโภคชั้นนี้มีลักษณะเหมือนกับผู้บริโภคตามข้อ 1

2. ผงกาแฟสำเร็จรูป (Instant Coffee) กาแฟได้ผ่านกรรมวิธีทำให้สำเร็จโดยทำให้เป็นผง และสามารถคืนสภาพเมื่อผสมกับน้ำร้อน ผู้บริโภคซื้อไปชงดื่มได้ทันที ผู้บริโภคชั้นนี้เน้นความสะดวกและราคา

3. กาแฟกระป๋อง (Instant Coffee canned) กาแฟพร้อมดื่มเป็นกาแฟที่ผลิตจำนวนมาก ปรุงสำเร็จบรรจุในกระป๋องหรือบรรจุภัณฑ์อื่นๆ ความสะดวกและราคาเป็นปัจจัยในการบริโภคมากกว่าคุณภาพสำหรับผู้บริโภคกาแฟในร้านกาแฟพรีเมียมเป็นผู้บริโภคที่นิยมกาแฟสด เน้นคุณภาพ รสชาติของกาแฟคั่ว และต้องการความสะดวกสบายในการบริโภคภายในสถานที่ร้านค้า

2.2.3 การแปรรูปผลิตภัณฑ์กาแฟ

1. การแปรรูปผลิตภัณฑ์กาแฟคั่ว/บด

เมล็ดกาแฟที่ผ่านการคั่วเพื่อให้มีกลิ่นและรสชาติกาแฟแล้ว มักจะถูกนำไปผ่านกระบวนการแปรรูปอื่นๆ เพื่อความสะดวกต่อการใช้ของผู้บริโภค ส่วนใหญ่จะมีการนำไปผลิตเป็นกาแฟสำเร็จรูป (Instant coffee) และกาแฟคั่วบด นอกจากนี้ยังนำไปผสมในการทำอาหารคาวหวาน และเครื่องดื่มชนิดต่างๆ มากมาย เช่น เบเกอร์รี่จากกาแฟ ไอศกรีมกาแฟ ทอฟฟี่กาแฟ และอื่นๆ เป็นต้น โดยมีขั้นตอนการแปรรูปกาแฟคั่วและกาแฟคั่วบด ดังนี้

1.1 การคัดเลือกชนิดกาแฟ (Selection) กาแฟที่ผู้ผลิตต้องการให้มีกลิ่น และรสชาติต่างๆ นั้น ได้จากการผสมกาแฟพันธุ์อาราบิก้าและพันธุ์โรบัสต้าจากหลายแหล่งเข้าด้วยกันและอบที่อุณหภูมิแตกต่างกัน ถ้าต้องการกาแฟที่มีกลิ่นหอมและรสอ่อนใช้กาแฟพันธุ์อาราบิก้า และถ้าต้องการกาแฟที่มีกลิ่นฉุนและรสชาติเข้มข้น หรือใช้ในการผลิตกาแฟสำเร็จรูปจะใช้กาแฟพันธุ์โรบัสต้า

1.2 การกำจัดคาเฟอีน (Decaffeination) สำหรับเมล็ดกาแฟที่ต้องการใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตกาแฟคาเฟอีนต่ำ มักนิยมกำจัดคาเฟอีนก่อนที่จะมีการอบเมล็ดกาแฟการสกัดคาเฟอีนอาจทำได้โดยการใช้ตัวทำละลาย เช่น เมธิลีน คลอไรด์ (Methyleun chloride) และเอธิลอะซิเตท (Ethalcetate) ก่อนสกัดต้องมีการทำให้เมล็ดกาแฟชื้นด้วยไอน้ำ หลังจากนั้นใช้ตัวทำละลายสกัดคาเฟอีนออกจากเมล็ดกาแฟ ตัวทำละลายที่ตกค้างอยู่จะทำให้ระเหยออกโดยใช้ไอน้ำร้อนและการอบแห้ง ในปัจจุบันมีการใช้น้ำในการสกัด หรือใช้คาร์บอนไดออกไซด์เหลวเป็นตัวทำละลายสกัดคาเฟอีนออกแล้วนั้นจะมีปริมาณคาเฟอีนตกค้างน้อยกว่าร้อยละ 0.1

1.3 การคั่ว (Roasting) การคั่วกาแฟทางอุตสาหกรรมโดยทั่วไปจะใช้อากาศที่ทำให้ร้อนโดยก๊าซหุงต้ม ในขั้นแรกเป็นการคั่วที่อุณหภูมิไม่สูงมาก เพื่อระเหยน้ำในเมล็ดกาแฟออกเสียก่อน หลังจากนั้นใช้อุณหภูมิที่ 200-250 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5-30 นาที เพื่อคั่วให้กาแฟมีกลิ่นที่ต้องการ กลิ่นของกาแฟเกิดจากการละลายตัวของสารต่างๆ จากปฏิกิริยาไพโรไลซิส (Pyroysis) ซึ่งการละลายของสารเหล่านี้ก่อให้เกิดสารที่ให้กลิ่น รส รวมทั้งก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และทำให้น้ำหนักของเมล็ดซึ่งมีสีน้ำตาลเข้มแล้วยังดูได้จากน้ำหนักเมล็ดที่เล็กลง เนื่องจากการระเหยของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และสารต่างๆ จากเมล็ดกาแฟได้ดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคั่วระดับต่ำ (Light roast) น้ำหนักเมล็ดจะลดลงร้อยละ 3-5

การคั่วระดับปานกลาง (Medium roast) น้ำหนักเมล็ดจะลดลงร้อยละ 5-8

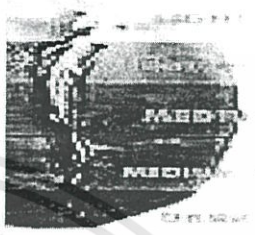
การคั่วระดับมาก (Dark roast) น้ำหนักเมล็ดจะลดลงร้อยละ 8-14

การคั่วกาแฟฝรั่งเศส (French roast) น้ำหนักเมล็ดจะลดลงร้อยละ 18

การคั่วกาแฟอิตาลี (Italian roast) น้ำหนักเมล็ดจะลดลงร้อยละ 20

ระดับต่างๆ ของการคั่วสามารถควบคุมได้จากการกำหนดอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการคั่วกาแฟที่มีคุณภาพต่ำมีกลิ่นไม่ดีนักมักจะผ่านการคั่วระดับมาก นอกจากนี้ยังแบ่งระดับการคั่วออกเป็น 5 ระดับดังภาพ 2.6

1. Light
2. Light Medium
3. Medium
4. Medium Dark
5. Dark



รูปที่ 2.6 ระดับสีการคั่วกาแฟ

1.4 การบด กาแฟที่ผ่านการคั่วแล้วจะจำหน่ายทั้งเมล็ดหรืออาจบดเพื่อความสะดวกในการชง ก่อนบดเมล็ดกาแฟจะทำให้มีความชื้นเพิ่มขึ้น เนื่องจากเมล็ดแห้งจะมีความเปราะเมื่อบดจะได้ขนาดอนุภาคไม่สม่ำเสมอ การบดจะเป็นการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นระหว่างการคั่ว และสะสมอยู่ในเมล็ดกาแฟ นอกจากนั้นการบดจะทำให้มีการเสียดสีและเกิดความร้อนขึ้น ซึ่งขนาดของกาแฟที่บดละเอียดจะขึ้นกับเครื่องที่ใช้ชงกาแฟสำหรับกาแฟใช้ในอุตสาหกรรมจะเป็นการบดหยาบ เนื่องจากการบดละเอียดจะทำให้การไหลของน้ำที่ใช้ในการชงกาแฟช้าเกินไปสำหรับการผลิตทางอุตสาหกรรม

1.5 การบรรจุและการเก็บรักษา การเก็บบรรจุในภาชนะบรรจุจะต้องมีการทิ้งช่วงให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นในช่วงการอบและถูกสะสมไว้ในเมล็ดกาแฟระเหยไปเสียก่อน ปกติกาแฟ 1 กรัม จะให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 2-6 มิลลิลิตร ดังนั้นถ้าบรรจุและเปิดผนึกเร็วเกินไปก๊าซที่ระเหยออกมาหลังการปิดผนึกจะดันภาชนะบรรจุให้แตกออกได้

2. การแปรรูปกาแฟผงสำเร็จรูป

กรรมวิธีการผลิตกาแฟผงสำเร็จรูป เริ่มต้นจากการนำเมล็ดกาแฟที่ผ่านการคั่วแล้วมาบดเป็นผงแล้วนำมาผ่านกระบวนการแปรรูป 4 ขั้นตอน ดังนี้

2.1 การต้มสกัดกาแฟ (Extraction หรือ Percolation)

จุดประสงค์ของการต้มสกัดกาแฟเพื่อสกัดเอา Soluble Solid ออกมาจากเมล็ดกาแฟ ส่วนพวก Insoluble Solid ก็ยังคงอยู่ในเมล็ดกาแฟ ขั้นตอนนี้เป็นการแยก Soluble Solid ออกจากกาแฟที่คั่วบดแล้ว โดยผ่านไปใน Extraction Battery ซึ่งประกอบด้วยหม้อต้มกาแฟ 6-8 อัน เชื่อมต่อด้วยท่อ จุดประสงค์เพื่อ

(1) ทำให้กาแฟคั่วเปียก

(2) สกัดเอา Soluble Solid โดยการเกิด Heat Damage น้อยที่สุด

(3) ทำให้เกิด Soluble Material เพิ่มมากขึ้น โดยขบวนการไฮโดรไลซิสของ Insoluble Carbohydrate ขึ้นในตอนท้าย

(4) เป็นการป้องกัน Fat และ Wax ซึ่งจะมีผลต่อการทำแห้งและอายุการเก็บรักษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การไหลของน้ำและเมล็ดกาแฟคั่วใน Battery จะเป็นแบบ Counter Current ในการสกัดที่หม้อต้มกาแฟที่ 1 จะมีกาแฟคั่วที่ได้รับการสกัดมาแล้ว 4 ครั้ง จะผ่านน้ำที่ทำให้ร้อนถึง 300 องศาฟาเรนไฮด์ แล้วผ่านต่อไปยังหม้อต้มกาแฟที่ 2 ซึ่งจะมีกาแฟคั่วที่ได้รับการสกัดมาแล้ว 3 ครั้ง และหม้อต้มกาแฟที่ 3 ก็จะมีกาแฟคั่วที่ได้รับการสกัดมาแล้ว 2 ครั้ง และอุณหภูมิของน้ำยังคงเป็น 300 องศาฟาเรนไฮด์อยู่ พอเข้าไปยังหม้อต้มกาแฟที่ 4 จะคงอุณหภูมิ 230 องศาฟาเรนไฮด์ และหม้อต้มกาแฟที่ 5 นี้จะได้รับการสกัดมาแล้ว 4 ครั้ง แล้วผ่านไปยังหม้อต้มกาแฟที่ 6 ซึ่งมี Fresh Coffee จะคงอุณหภูมิเป็น 180 องศาฟาเรนไฮด์ แล้วนำสิ่งที่สกัดได้เข้าเครื่องทำแห้งต่อไป ส่วนในหม้อต้มกาแฟที่ 6 จะมีกาแฟคั่วที่บรรจุใหม่ลงไปเรื่อยๆ พร้อมที่จะเข้าไปทดแทนกาแฟในหม้อต้มกาแฟที่ 5 อีก

หม้อต้มกาแฟที่ 1, 2 และ 3 เป็นส่วนที่มี Soluble Solid ในกาแฟคั่วอยู่น้อยจึงจำเป็นต้องใช้น้ำที่มีอุณหภูมิสูงเพื่อทำให้เกิดไฮโดรไลซีสของคาร์โบไฮเดรตและละลายออกมากับน้ำ และเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการละลายในน้ำให้สูงขึ้น จึงใช้น้ำใหม่ๆ ที่เข้ามาครั้งแรกซึ่งไม่มี Soluble Solid อยู่มากนักผ่านเข้าไป

ส่วนหม้อต้มกาแฟที่ 4 และ 5 น้ำจะมีอุณภูมิต่ำเพื่อทำให้ Fat และ Wax ต่างๆ จับตัวกัน ทำให้สามารถที่จะกรองได้โดยผงกาแฟที่อัดตัวในหม้อต้มกาแฟ โดยทั่วไปจะนำเอาสิ่งที่สกัดได้ไปทำให้แห้งทันทีหรือมิฉะนั้นก็จะต้องให้มีอุณหภูมิต่ำลงเป็น 50 องศาฟาเรนไฮด์ เพื่อป้องกันการสูญเสียกลิ่น

วงจรเวลาของการสกัด ประมาณ 30-90 นาที โดยมีอัตราส่วนของน้ำต่อกาแฟคั่วเป็น 1.2 : 1 ถึง 1.8 : 1 น้ำที่นำมาสกัดควรเป็นน้ำที่บริสุทธิ์ปราศจากกลิ่นรส ที่สำคัญที่สุดคือ ความกระด้างถาวรของน้ำซึ่ง มีความเป็นด่าง จะไปเพิ่ม pH ของกาแฟ และความเป็นกรดลงซึ่งกรดบางตัวเป็นองค์ประกอบที่สำคัญของกลิ่น ทำให้กาแฟเกิดรสขม น้ำก่อนส่งเข้าหม้อต้มที่ 1 น้ำร้อนจะถูกปั๊มเข้าหม้อที่ 1 ด้วยความดันประมาณ 80 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ส่วนกาแฟที่สกัดได้จะถูกไขออกที่หม้อ 6 น้ำกาแฟที่ไขออกมาจะผ่านการกรอง แล้วถูกทำให้เย็นลงทันทีที่อุณหภูมิ 40-50 องศาฟาเรนไฮด์ โดย Plate Cooler ส่วนกาแฟก็จะมีการตรวจหาปริมาณของแข็ง ทั้งหมดว่าได้ค่าตรงตามความต้องการหรือไม่ คือ ร้อยละ 30 ความสะอาดของน้ำกาแฟว่ามีกากกาแฟอยู่หรือไม่ ตรงตามความต้องการก็จะนำน้ำกาแฟนั้นไปทำการปรับมาตรฐานโดยการนำผงกาแฟสำเร็จรูปละเอียดที่มีอยู่ มาผสมลงไปนั้น จึงส่งเข้าเครื่อง Dryer ต่อไป

ปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้ นอกจากขึ้นกับการออกแบบหม้อต้มสกัดแล้วยังขึ้นกับปัจจัยอื่นอีก เช่น อุณหภูมิที่ใช้ในการสกัด ขนาดของผงกาแฟดิบและความแก่อ่อนในการคั่ว ซึ่งผลของปัจจัยต่างๆ เหล่านี้ พอสรุปได้ ดังนี้

(1) การเพิ่มอุณหภูมิของน้ำที่ใช้สกัดจะช่วยเพิ่มความเข้มข้นและเพิ่มผลผลิตของน้ำกาแฟที่สกัดได้แต่การเพิ่มอุณหภูมิสูงมากเกินไป จะทำให้รสชาติกาแฟไม่ดี

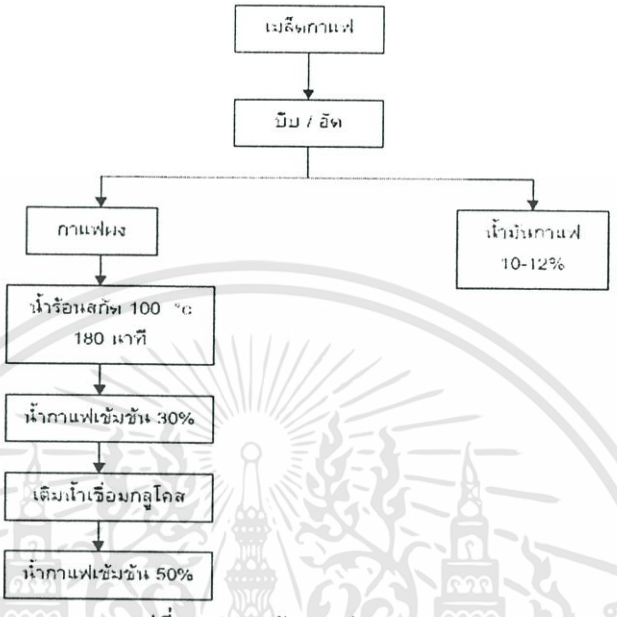
(2) ขนาดของกาแฟบด ถ้ามีขนาดเล็กจะเพิ่มประสิทธิภาพของการสกัดและเพิ่มความเข้มข้นของน้ำกาแฟ แต่ถ้ามีขนาดเล็กเกินไป กาแฟจะปล่อยไขมันออกมามากเกินไป

(3) วงจรเวลาการสกัด ถ้าสั้นเกินไปจะลดความเข้มข้นของน้ำกาแฟ ทำให้ผลผลิตต่ำ แต่ถ้ายาวเกินไปจะทำให้กลิ่นรสของกาแฟฉุนเกินไป

(4) ปริมาณน้ำที่ใช้ในการต้มสกัด ถ้ามากเกินไปจะทำให้ได้น้ำกาแฟมาก ทำให้ต้องนำผลกาแฟสำเร็จรูปมาผสมมากในการปรับปริมาณของแข็งทั้งหมด ให้ได้ตามต้องการ และเป็นผลให้กลิ่นรสของกาแฟเสียไป ในทางตรงกันข้ามถ้าใช้น้ำน้อยไปจะทำให้ความเข้มข้นของน้ำกาแฟมาก และจะทำให้กลิ่นรสกาแฟไม่ดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจากนี้พันธุ์ของกาแฟก็มีผลต่อการสกัด กาแฟบางพันธุ์ เช่น โรบัสต้า จะมีเนื้อนิ่มกว่ากาแฟบางชนิด ทำให้สกัดได้ง่ายกว่า ดังนั้นจึงมีปัญหาในการผสม เพราะกาแฟที่มีเนื้อนิ่มจะถูกสกัดอย่างรวดเร็ว ทำให้ความเข้มข้นของน้ำสกัดเพิ่มขึ้น และมีผลไปยับยั้งการสกัดของกาแฟชนิดอื่นที่ผสมอยู่



รูปที่ 2.7 การสกัดกาแฟ

ที่มา : สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร

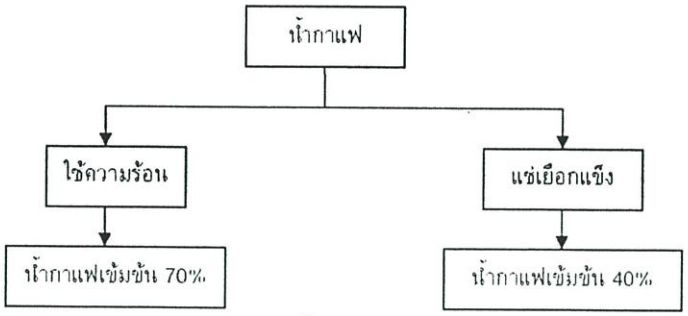
2.2 การทำแห้ง (Dehydrate)

วิธีทำให้แห้งมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์ได้ หากควบคุมไม่ดีแล้วจะทำให้คุณภาพของผลิตภัณฑ์ไม่ดี และทำให้การควบคุมคุณภาพตั้งแต่แรกไม่มีผล เครื่องทำแห้งที่นิยมใช้กันมากมายหลายชนิด เช่น Spray Dryer, Drum Dryer และ Freeze Dryer เป็นต้น และวิธีที่นิยมใช้ส่วนมากเป็น Spray Dryer และFreeze Dryer

น้ำกาแฟก่อนเข้า Spray Dryer ควรมีปริมาณของแข็งทั้งหมดเป็นร้อยละ 30 และอุณหภูมิ 40-50 องศาฟาเรนไฮต์ จะถูปั๊มไปยังส่วนบนของ Spray Dryer โดยผ่าน Pre-heater สู่กระบอกฉีดของเครื่องพ่นฝอย โดยใช้ความดันประมาณ 300-500 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ใน Chamber มักมีอุณหภูมิสูงเพื่อจะได้ Soluble Solid ที่เป็นผงออกมา เนื่องจากกาแฟผงสำเร็จรูปนี้เป็นสารที่ดูดความชื้นได้ดีและเกิดปฏิกิริยารวมตัวกับออกซิเจนได้ง่าย ดังนั้นการเก็บจึงต้องระมัดระวังเรื่องความชื้นและอากาศ ภาชนะที่จะเก็บกาแฟผงต้องสามารถป้องกันความชื้นและอากาศเข้าไป ภาชนะที่นิยมใช้เก็บกาแฟที่ได้จากเครื่องทำแห้งแล้ว คือ Totebins ซึ่งเป็นถุงที่มีฝาปิดแน่นหนา สามารถป้องกันความชื้น อากาศ และยังสามารถป้องกันพวกหนูและแมลงได้อีกด้วย

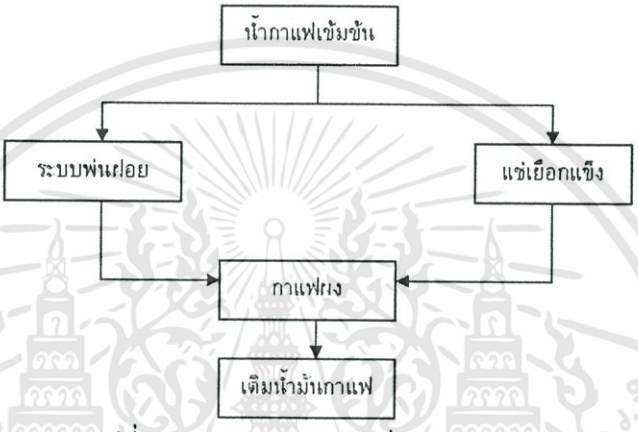
ความชื้นของกาแฟจะแปรผกผันกับความร้อนที่ใช้ในการทำแห้ง อุณหภูมิอากาศเข้าและอุณหภูมิของน้ำกาแฟที่เข้าเครื่องทำแห้ง อุณหภูมิของอากาศร้อนที่เข้าเครื่อง แต่จะแปรผันตรงกับความฝอยของน้ำกาแฟขณะถูกพ่นฝอย และอุณหภูมิของน้ำกาแฟที่เข้าเครื่องทำแห้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.8 การทำน้ำกาแฟเข้มข้น

ที่มา : สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร



รูปที่ 2.9 การผลิตกาแฟผงสำเร็จรูป

ที่มา : สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร

2.3 การบรรจุกาแฟและการเก็บรักษา (Packing and Storage)

เมื่อกาแฟผงออกจากเครื่องทำแห้งจะผ่านไปยังเครื่องบรรจุกาแฟ ซึ่งเป็นเครื่องอัตโนมัติแบบสุญญากาศ มีภาชนะมารองรับกาแฟซึ่งส่วนมากเป็นขวดแก้ว เมื่อขวดแก้วรองรับกาแฟผงจะถูกส่งเข้าสู่เครื่องปิดผนึกด้วยกระดาษเคลือบ Wax หรือกระดาษที่หุ้มด้วย Aluminum Foil ติดแน่นพร้อมทั้งใช้ระบบสุญญากาศเข้าช่วย เพื่อป้องกันการเข้าของออกซิเจน เครื่องมือนี้จะวัดปริมาตรสุทธิในตัวเอง ดังนั้นจึงมีผลต่อน้ำหนักกาแฟผงอย่างมาก ถ้าหากกาแฟผงที่ผลิตแต่ละครั้งมีความหนาแน่นไม่เท่ากัน ถ้ากาแฟมีความหนาแน่นมาก จะทำให้น้ำหนักสุทธิมากด้วย

ในการเก็บรักษากาแฟผงสำเร็จรูป ความชื้นของกาแฟมีความสำคัญมาก ถ้าหากกาแฟมีความชื้นสูงจะเสื่อมคุณภาพเร็วกว่ากาแฟที่มีความชื้นต่ำ นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับลักษณะการบรรจุด้วย ถ้าบรรจุด้วยอากาศปกติ ซึ่งมีปริมาณออกซิเจนร้อยละ 20 กาแฟผงจะเกิดการเสื่อมเสียเร็ว เพราะออกซิเจนมีผลต่อการเกิดปฏิกิริยารวมตัวกับออกซิเจนของกาแฟผงด้วย

ผลิตภัณฑ์กาแฟผงสำเร็จรูปมักจะมีการสูญเสียกลิ่นรสไปในขณะทำแห้ง ดังนั้นอาจมีการเติมกลิ่นรสดังนี้ โดยการเติมกลิ่นรสในสภาพเป็นน้ำมันลงในผงกาแฟ วิธีนี้ทำให้กลิ่นของกาแฟผงดีแต่จะด้อยลงเมื่อนำมาชงเป็นเครื่องดื่มกาแฟ รวมทั้งทำให้เกิดคราบน้ำมันที่ผิวหน้าของเครื่องดื่ม อีกวิธีหนึ่งโดยการผสมด้วยกาแฟคั่วสดที่บดละเอียดลงไปทำให้กลิ่นดีขึ้น แต่มักจะเกิดปัญหาตะกอนขณะที่ชงดื่มเป็นเครื่องดื่ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 กรรมวิธีในการผลิต (Agglomeration Coffee)

วิธีการนี้เป็นวิธีการทำให้คุณสมบัติการละลายของกาแฟผงสำเร็จรูปดีขึ้น โดยขบวนการนี้เป็นการที่ทำให้วัสดุที่เป็นผงมาจับตัวกันเป็นก้อนที่มีลักษณะโครงสร้างที่เป็นรูพรุน จะทำให้มีน้ำหนักมากขึ้น ซึ่งจะมีผลต่อการกระจายตัวของวัตถุดีขึ้น ทำให้แต่ละอนุภาคได้สัมผัสกับของเหลวอย่างทั่วถึง เนื่องจากว่ากาแฟที่ผลิตแบบ Spray Drying หรือโดยวิธีการบดละเอียดมักเป็นกาแฟที่มีขนาดอนุภาคเล็กมาก มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 5 -150 ไมครอน ซึ่งเมื่อใส่น้ำชงเป็นเครื่องดื่มจะเกิดการลอยอยู่ที่ผิวหน้าของของเหลว เนื่องจากแต่ละอนุภาคมีน้ำหนักน้อยกว่าแรงตึงผิวและอนุภาคที่มีขนาดเล็กมากทำให้ไม่มีช่องว่างระหว่างอนุภาค ทำให้ไม่เกิดการแทรกซึมน้ำผ่านระหว่างอนุภาคเกิดขึ้น จึงมีผลทำให้อนุภาคไม่เปียกอย่างสม่ำเสมอและเกิดการรวมเป็นก้อน โดยที่ผิวนอกจะเปียกแต่ภายในตรงกลางไม่เปียก จึงทำให้คุณสมบัติการกระจายตัวเสียไป

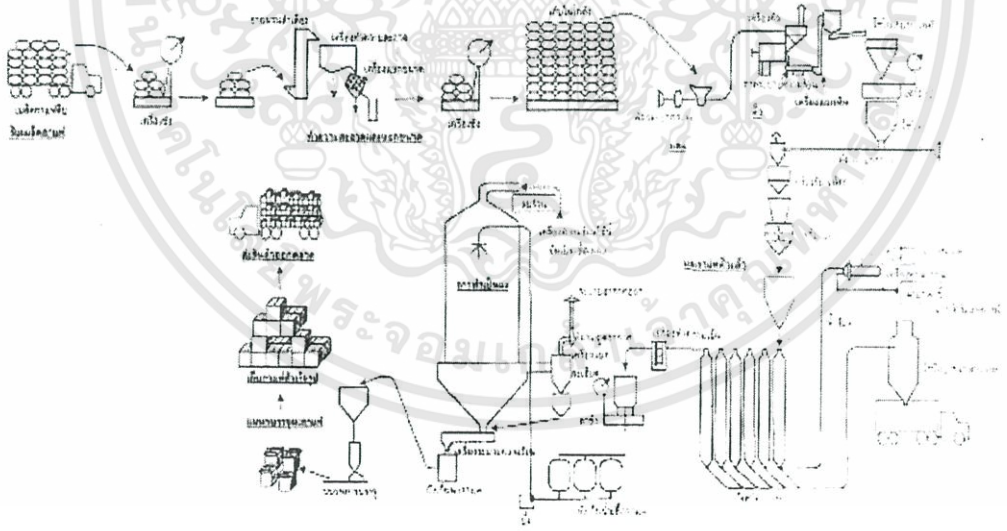
หลักในการทำ Agglomeration

(1) Wetting ในขั้นนี้อนุภาคจะถูกทำให้ผิวนอกเปียกอย่างสม่ำเสมอกัน โดยการใช้ตัวทำละลายที่เหมาะสม เช่น น้ำ อาจอยู่ในรูปของไอน้ำหรืออยู่ในรูปละอองน้ำเล็กๆ ก็ได้

(2) Equilibration อนุภาคที่เปียกชื้นจะถูกเก็บในเครื่องมือที่ทำให้เกิดความชื้นเกิดการสมดุล แล้วหลังจากนั้นอนุภาคจะถูกทำให้รวมกันเป็นก้อน Granule

(3) Drying ก้อน Granule ที่ได้จะผ่านไปยังเครื่องทำแห้งเพื่อลดความชื้นลงให้เหลือในระดับที่ต้องการได้

(4) Cooling เป็นขั้นตอนสุดท้าย ซึ่ง Agglomerated Material ที่ได้จะถูกทำให้เย็น แล้วนำมาแยกขนาดตามความต้องการแล้วบรรจุเก็บพวกที่มีขนาดเล็กจะถูกนำกลับไปทำใหม่อีกครั้งหนึ่ง



รูปที่ 2.10 ลำดับขั้นตอนการผลิตกาแฟผงสำเร็จรูป
ที่มา : ปัญญารัฐ ไม้สนธิ์, 2545.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

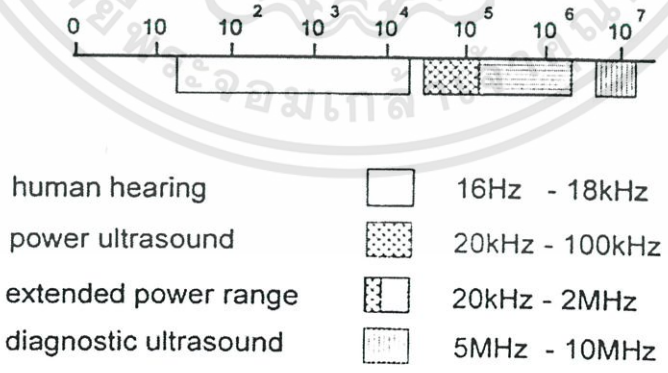
2.2.4 มาตรฐานกาแฟผง

ผลิตภัณฑ์กาแฟผงสำเร็จรูปสุดท้ายควรมีคุณสมบัติดังนี้ คือ ความเป็นกรดเป็นด่าง 4.85-5.0 ความหนาแน่น 16-18 ปอนด์ต่อลูกบาศก์ฟุต ความชื้นร้อยละ 3.0-3.5 ความเป็นกรด (Titrable acidity) 5.5-6.0 มิลลิลิตร 0.1 นอร์มัลของ NaOH น้ำหนักกาแฟผง 1.8 กรัม การทดสอบด้วยตะแกรงขนาด 100 mesh ควรผ่านอย่างน้อยร้อยละ 90 ปริมาณคาเฟอีนร้อยละ 3.0 และปริมาณคาร์โบไฮเดรต ร้อยละ 34-36 (รายละเอียดมาตรฐานกาแฟแสดงในภาคผนวก ญ)

2.3 เครื่องอัลตร้าโซนิก [2]

2.3.1 ความหมายของคลื่นอัลตร้าโซนิก

คลื่นอัลตร้าซาวน์หรือคลื่นอัลตร้าโซนิก (ultrasonic waves) หมายถึงพลังงานที่เกิดจากคลื่นเสียงที่มีการสั่นของคลื่นประมาณ 20,000 ครั้งต่อวินาทีหรือสูงกว่า (Hoover, 2000) หรือหมายถึงคลื่นความดัน (pressure waves) ที่มีความถี่ (frequency) สูงกว่าคลื่นเสียงปกติ (สูงกว่า 20,000 กิโลเฮิร์ตซ์, kHz) ส่วนคำว่าอัลตร้าโซนิกส์ (ultrasonics) หรือโซนิเคชันส์ (sonications) หมายถึงการศึกษาเกี่ยวกับคลื่นเสียงหรืออัลตร้าซาวน์ในช่วงความถี่ดังกล่าวซึ่งมนุษย์ไม่สามารถได้ยินโดยทั่วไปแล้วคลื่นเสียง (sound) ที่มนุษย์ได้ยินนั้นเกิดจากการสั่นสะเทือนของตัวกลางที่ยืดหยุ่น(elastic medium) ที่มีความถี่อยู่ในช่วง 20 – 20,000 kHz คลื่นเสียงผ่านเข้าสู่ตัวกลางที่ยืดหยุ่นในลักษณะที่เป็นคลื่นตามยาว (longitudinal waves) แต่คลื่นเสียงที่ผ่านเข้าไปภายในวัตถุที่เป็นของแข็งอาจอยู่ในลักษณะที่เป็นคลื่นตามยาวหรือคลื่นตามขวาง (transverse waves)ในการศึกษา การใช้ประโยชน์จากอัลตร้าโซนิกตั้งแต่ต้นจนถึงปัจจุบัน พบว่ามีการนำอัลตร้าโซนิกมาประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมหรือในกระบวนการแปรรูปอาหาร โดยสามารถแบ่งออกได้เป็น 2ประเภทใหญ่ๆ ได้แก่ การใช้อัลตร้าโซนิกกำลังต่ำและความถี่สูง (low power and high frequencies) ซึ่งใช้ในด้านการวิเคราะห์ (diagnostic ultrasound) เป็นส่วนใหญ่และการใช้อัลตร้าโซนิกกำลังสูงและความถี่ต่ำ (high power and low frequencies) หรือที่เรียกว่าพาวเวอร์อัลตร้าซาวน์ (power ultrasound) ที่มักนำมาประยุกต์ใช้ในกระบวนการแปรรูปอาหาร (Mason,1998) คลื่นความถี่ของอัลตร้าโซนิกในช่วงต่าง ๆ แสดงดังภาพที่ 2.11



รูปที่ 2.11 คลื่นความถี่ของอัลตร้าโซนิกในช่วงต่าง ๆ

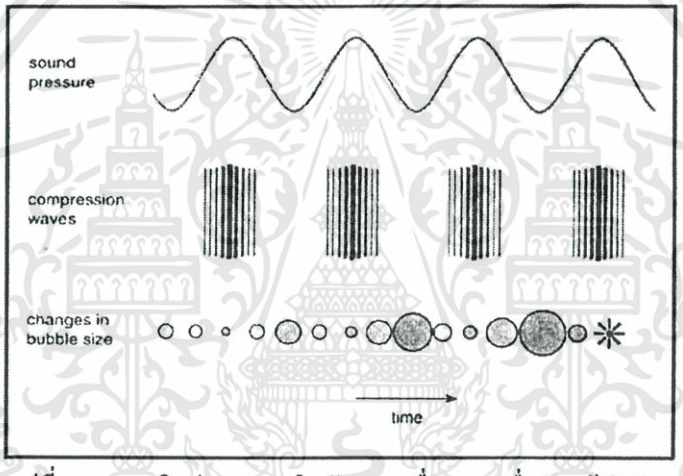
ที่มา : Mason (1998)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การใช้พาวเวอร์อัลตร้าซาวน์ในกระบวนการแปรรูปอาหาร ทำให้เกิดผลต่อคุณสมบัติทางกลและทางเคมีของอาหารเนื่องจากคลื่นดังกล่าวทำให้เกิดปรากฏการณ์แคปวิเตชัน (Cavitations) และส่วนมากใช้คลื่นในช่วงความถี่ 20 – 40 kHz ซึ่งเป็นความถี่ที่สร้างขึ้นจากอุปกรณ์อัลตร้าโซนิกทั่วไปที่ใช้ในการทำความสะอาด การทำให้เซลล์แตกและในการขึ้นรูปพลาสติก เป็นต้น

2.3.2 ปรากฏการณ์แคปวิเตชัน (Cavitations)

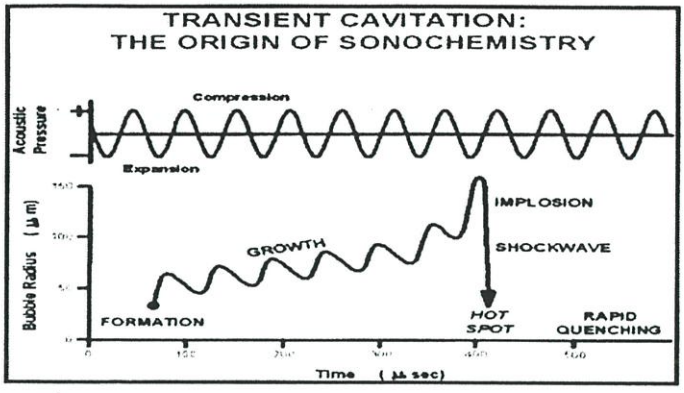
ปรากฏการณ์แคปวิเตชันหมายถึงกระบวนการที่เกิดขึ้นในตัวกลาง หรือสารละลายที่ได้รับคลื่นเสียงอัลตร้าโซนิกโดยทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางด้านเคมีและทางกายภาพ (จากแรงกล) เนื่องมาจากฟองอากาศ (bubbles) ที่เกิดขึ้น ซึ่งการที่ฟองอากาศเกิดขึ้นได้นั้นเนื่องมาจาก โครงสร้างของของเหลวที่ได้รับคลื่นอัลตร้าโซนิกจะถูกบีบอัด (compress) และคลายตัว (stretch) ซ้ำไปมาเป็นจำนวนหลายพันรอบ ทำให้เกิดฟองอากาศขึ้นแสดงดังภาพที่ 2.10 และฟองอากาศที่เกิดขึ้นภายในของเหลวนี้จะสัมผัสกับแรงสั่นที่เกิดจากคลื่นอัลตร้าโซนิกเป็นระยะและเกิดการแลกเปลี่ยนแก๊สระหว่างกัน (Atchley and Crum, 1998) เป็นผลให้ฟองอากาศมีขนาดใหญ่ขึ้นไป เรื่อยๆ จนกระทั่งแตกออกในที่สุดแสดงดังภาพที่ 2.12



รูปที่ 2.12 การเกิดฟองอากาศในตัวกลางเนื่องจากคลื่นอัลตร้าโซนิก
ที่มา : Suslick (1994)

แคปวิเตชันสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่แคปวิเตชันแบบถาวร (stable cavitations) และแคปวิเตชันแบบชั่วคราว (transient cavitations) ซึ่งแต่ละแบบจะมีผลทำให้พฤติกรรมหรือลักษณะของฟองแก๊สที่ได้รับคลื่นอัลตร้าโซนิกแตกต่างกันออกไป โดยแคปวิเตชันแบบถาวรจะเกิดขึ้นเมื่อฟองอากาศหรือฟองแก๊สเกิดการสั่นแกว่ง (oscillate) เมื่อได้รับคลื่นอัลตร้าโซนิกเป็นจำนวนหลายรอบของการสั่นแต่ไม่เกิดการแตกของฟองอากาศหรือฟองแก๊ส ดังกล่าว ซึ่งฟองอากาศหรือฟองแก๊สนี้อาจจะเพิ่มขนาดขึ้นจนถึงขนาดเรโซแนนซ์ (resonance size) (เป็นขนาดของฟองแก๊สที่มีความถี่ธรรมชาติเท่ากันกับความถี่ในการสั่นแบบบังคับ) ส่วนแคปวิเตชันแบบชั่วคราวนั้น เกิดขึ้นในระยะการบีบอัดของฟองแก๊ส (compression phase) ในของเหลวที่ได้รับความเครียด (tension stress) ที่เกิดขึ้นขณะเริ่มเกิดการขยายตัวของฟองแก๊ส ซึ่งมีผลทำให้การแตกของฟองแก๊สเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว หรืออาจเกิดจากฟองแก๊สเกิดการสั่นแกว่งและขยายขนาดเพิ่มขึ้นในลักษณะคงที่ในระยะเวลาหนึ่ง ก่อนที่จะแตกออกอย่างรวดเร็วเมื่อฟองแก๊สนั้นขยายขนาดขึ้นเมื่อถึงขนาดที่จำเพาะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.13 การเกิดฟองอากาศในตัวกลางเนื่องจากคลื่นอัลตร้าโซนิก
ที่มา : Suslick (1994)

Sala et al. (1995) รายงานว่าในสภาวะที่ฟองอากาศแตกนั้นพบว่าทำให้เกิดอุณหภูมิสูงขึ้นถึง 5,000 เคลวิน (K) และความดันสูงถึง 2,000 atm ในบริเวณจุดที่เกิดคลื่นกระแทก (shock waves) ทั้งนี้เนื่องจากในระหว่างการเกิดการขยายและหดตัวของฟองแก๊สนั้นจะเกิดสมดุลขึ้นระหว่างความดันไอภายในและภายนอกฟองแก๊สและพื้นที่ผิวของฟองแก๊สขณะขยายตัวจะมีมากกว่าพื้นที่ผิวของฟองแก๊สขณะหดตัว จึงเป็นผลให้การซึมผ่านของแก๊สในขณะที่ขยายตัวเกิดขึ้นได้มากกว่าและฟองแก๊สนี้จะขยายตัวเพิ่มขึ้นเมื่อจำนวนรอบความถี่เพิ่มขึ้น โดยอัตราส่วนของอัตราการซึมผ่านของแก๊สในขณะขยายตัวต่ออัตราการซึมผ่านของแก๊สในขณะถูกอัดจะเพิ่มมากขึ้นในแต่ละรอบ จนกระทั่งฟองแก๊สมีขนาดเรโซแนนซ์ ซึ่งทำให้ช่องว่างภายในฟองแก๊สมีขนาดโตขึ้นอย่างรวดเร็วภายในหนึ่งรอบของการสั่น และเนื่องจากพลังงานที่ได้รับจากคลื่นอัลตร้าโซนิกไม่เพียงพอในการคงสภาวะของแก๊สหรือไอ จึงทำให้เกิดการควบแน่น (condensation) ขึ้นทันทีทันใด โดยโมเลกุลที่ควบแน่นนั้นจะชนซึ่งกันและกันอย่างรุนแรง ทำให้เกิดคลื่นกระแทกขึ้นและเกิดจุดหรือบริเวณเล็กๆ ที่มีอุณหภูมิและความดันที่สูงมาก (Suslick, 1988) และเป็นที่เชื่อกันว่าปรากฏการณ์นี้เป็นปรากฏการณ์ที่สำคัญที่เกิดในระหว่างที่ของเหลวได้รับคลื่นอัลตร้าโซนิก ซึ่งทันทีที่ฟองแก๊สหรือฟองอากาศแตกจะเกิดการปลดปล่อยพลังงานที่ใช้ในการเร่งปฏิกิริยาเคมีหรือสร้างวิถีของปฏิกิริยา (reaction pathway) หรือทำให้เกิดผลิตภัณฑ์ใหม่ที่แตกต่างไปจากปฏิกิริยาเดิมจากสภาวะปกติ Williams (1994) รายงานว่าในการพูดคุยทั่วไป พบว่ากำลังของเสียง (sound power levels) มีค่าประมาณ 10-7 Wm-2 และเครื่องขุดเจาะถนน (pneumatic drill) ที่มีความดังของเสียง 110 dB จะให้ค่ากำลังของเสียงที่ประมาณ 10-1 Wm-2 แต่ในส่วนของคลื่นอัลตร้าซาวน์กำลังสูง (high power ultrasound) พบว่าค่าระดับกำลังของเสียงอยู่ในช่วง 103 to 106 Wm-2 (ที่ 106 Wm-2 พบว่าอัลตร้าซาวน์จะสามารถเจาะทะลุแผ่นอะลูมิเนียมฟอล์ยได้ภายใน 30วินาที) และความดันที่เกิดขึ้นจะสูงถึง 104 atm และมีอุณหภูมิสูงประมาณ 1,000 ถึง 1,500 K

2.3.3 การสร้างคลื่นอัลตร้าโซนิก

การใช้ประโยชน์จากคลื่นอัลตร้าโซนิกในกระบวนการแปรรูปอาหารจำเป็นต้องรู้และเข้าใจถึงการเกิดคลื่นรวมทั้งวิธีการนำพลังงานคลื่นที่สร้างขึ้นไปใช้ในกระบวนการดังกล่าว แหล่งของคลื่นอัลตร้าโซนิกและชนิดของอุปกรณ์ให้กำเนิดคลื่นที่สร้างขึ้นจาก ทรานส์ดิวเซอร์ (Transducer) ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่เปลี่ยนพลังงานกลหรือพลังงานไฟฟ้าไปเป็นพลังงานเสียง เป็นสิ่งสำคัญอันดับแรกในการตัดสินใจนำอัลตร้าโซนิกมาประยุกต์ใช้ในกระบวนการแปรรูปอาหาร โดยทั่วไปสามารถแบ่งทรานส์ดิวเซอร์เป็นประเภทใหญ่ๆ ได้ 3 ประเภทได้แก่

1. ลิควิดไดร์ฟเวนทรานส์ดิวเซอร์ (liquid driven transducer)
2. แมกนีโตสตริกทีฟทรานส์ดิวเซอร์ (magnetostrictive transducer)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. พีโซอิเล็คตริกทรานส์ดิวเซอร์ (piezoelectric transducer)

2.3.4 ระบบอัลตร้าโซนิก (การกำเนิดคลื่น)

ระบบอัลตร้าโซนิกที่ใช้ลิควิดทรานส์ดิวเซอร์นั้นเป็นระบบที่ง่ายที่สุดและมีความทนทาน แต่ในการใช้งานจะขึ้นอยู่กับความเร็วในการปั๊มของเหลวให้เคลื่อนที่ผ่านรูขนาดเล็กไปยังแผ่นโลหะขนาดบาง ดังนั้นการนำไปประยุกต์ใช้งานของระบบอัลตร้าโซนิกที่ใช้ลิควิดทรานส์ดิวเซอร์จึงได้แก่การผสม (Mixing) และการโฮโมจีไนส์ (homogenization) ซึ่งช่วยทำให้กระบวนการดังกล่าวมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น อุปกรณ์ส่วนใหญ่ที่ใช้เป็นตัวให้กำเนิดพาวเวอร์อัลตร้าซาวน์ในปัจจุบันได้แก่ระบบที่ใช้ไฟฟ้าเพื่อทำให้เกิดคลื่นเสียง (electro acoustic systems) เช่นพีโซอิเล็คตริกหรือแมกนีโตสตริกทีฟทรานส์ดิวเซอร์ หลังจากที่ใช้อุปกรณ์ดังกล่าวให้กำเนิดคลื่นแล้วจะต้องมีอุปกรณ์ที่ใช้ในการส่งถ่ายคลื่นอัลตร้าซาวน์ไปยังของเหลว โดยสรุปแล้วระบบอัลตร้าโซนิกจะต้องมีอุปกรณ์ที่สำคัญและจำเป็นอยู่ 3 ส่วน ได้แก่

1. เครื่องกำเนิดกระแสไฟฟ้า (generator) โดยการเปลี่ยนกระแสไฟฟ้ากระแสตรงไปเป็นกระแสสลับที่ความถี่ที่ต้องการและผ่านเข้าสู่ทรานส์ดิวเซอร์

2. ทรานส์ดิวเซอร์ ซึ่งทำหน้าที่เปลี่ยนไฟฟ้ากระแสสลับความถี่สูงไปเป็นการสั่นเนื่องจากพลังงานกล ทรานส์ดิวเซอร์ที่นิยมในปัจจุบันคือชนิดที่ใช้เทคโนโลยีพีโซอิเล็คตริก โดยที่รูปร่างและขนาดของทรานส์ดิวเซอร์ที่นำมาประกบกันจะขึ้นอยู่กับความถี่ที่ต้องการใช้งานและพลังงานจากทรานส์ดิวเซอร์แต่ละชนิดจะแปรผกผันกับกำลังสองของความถี่ ดังนั้นในการประยุกต์ใช้พาวเวอร์อัลตร้าซาวน์จึงมักใช้ที่ช่วงความถี่ต่ำ โดยตัวทรานส์ดิวเซอร์จะอยู่ติดกับบูสเตอร์ (booster) หรือฮอร์น (horn) ด้านบนและเชื่อมต่อกับระบบส่งถ่ายพลังงาน

3. ระบบส่งถ่ายพลังงาน (delivery systems) ซึ่งจะทำหน้าที่ส่งถ่ายพลังงานจากการสั่นสะเทือนไปยังของเหลว ในกรณีที่เป็นอ่างอัลตร้าโซนิก (ultrasonic bath) ตัวทรานส์ดิวเซอร์จะอยู่บริเวณฐานตรงด้านล่างของตัวอ่างหรือถังและส่งถ่ายพลังงานโดยตรงไปยังของเหลวที่อยู่ภายในอ่าง ส่วนระบบที่ต้องการพลังงานที่สูงกว่านี้ จะใช้วิธีขยายสัญญาณหรือพลังงานและส่งถ่ายพลังงานไปยังของเหลว โดยใช้อุปกรณ์ที่เรียกว่าฮอร์น ซึ่งเป็นแท่งโลหะที่มีรูปร่างแตกต่างกันและจะติดกับทรานส์ดิวเซอร์ โดยตัวฮอร์นมักทำจากวัสดุที่ทำให้เกิดขนาดของความยาวคลื่นครึ่งหนึ่งหรือเพิ่มขึ้นเป็นจำนวนเท่าตัวของความยาวคลื่นเสียง หลังจากใช้งานเป็นเวลานานจะทำให้บริเวณส่วนปลายของฮอร์นเกิดการกัดกร่อนและมีผลต่อความยาวของฮอร์น โดยทำให้สั้นลง จึงนิยมใช้ส่วนปลายฮอร์นชนิดที่ถอดเข้าออกได้และเป็นเกลียวซึ่งสามารถเปลี่ยนได้ง่าย

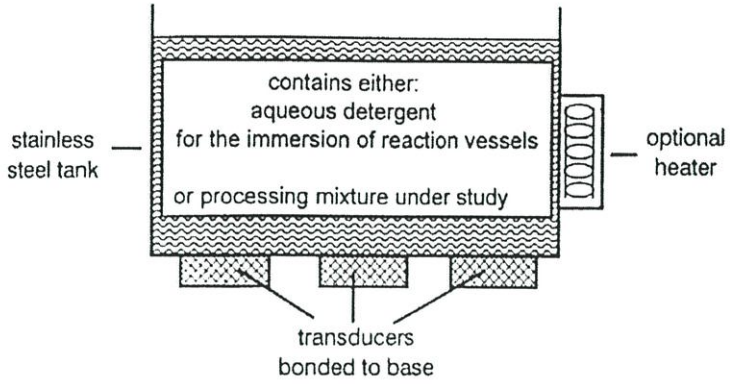
2.3.5 ประเภทของเครื่องอัลตร้าโซนิก (ultrasonic reactor)

เครื่องอัลตร้าโซนิกที่ใช้อยู่ทั่วไปในปัจจุบันมีความแตกต่างกันตรงที่การออกแบบแหล่งกำเนิดไฟฟ้า แหล่งกำเนิดคลื่นและตัวเครื่องหรือเซลล์ที่ใช้ร่วมกับแหล่งกำเนิดคลื่น โดยสามารถแบ่งเป็นชนิดต่างๆ ดังนี้

1. อ่างอัลตร้าโซนิก (ultrasonic baths)

อ่างอัลตร้าโซนิกเป็นอุปกรณ์ที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายและมีการนำมาใช้เป็นเวลานานแล้วโดยเฉพาะในห้องปฏิบัติการเนื่องจากมีราคาไม่แพงเมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องที่ใช้ระบบโพรบ โดยทั่วไปทรานส์ดิวเซอร์จะติดอยู่กับบริเวณฐานด้านล่างของอ่างและความถี่ที่ใช้งานส่วนใหญ่ประมาณ 40 kHz อ่างอัลตร้าโซนิกมีลักษณะดังภาพที่ 2.14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

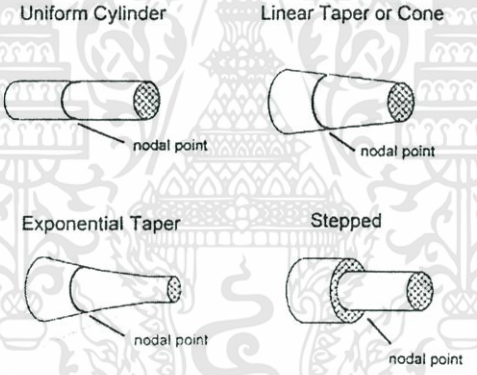


รูปที่ 2.14 อ่างอัลตร้าโซนิก

ที่มา : Mason (1998)

2. ระบบอัลตร้าโซนิกแบบโพรบ (ultrasonic probe systems)

ในการขยายพลังงานหรือคลื่นเสียงที่เกิดขึ้นจากทรานส์ดิวเซอร์นั้น โดยทั่วไปจะนำทรานส์ดิวเซอร์มาต่อเข้ากับอุปกรณ์ที่เรียกว่าฮอร์น (Horn) ลักษณะของฮอร์นจะมีความแตกต่างกันออกไปดังภาพที่ 2.11 โดยฮอร์นส่วนใหญ่จะให้ขนาดของความยาวคลื่นครึ่งหนึ่งหรือเป็นพหุคูณกับความยาวของคลื่นเสียงของวัสดุที่นำมาผลิตระบบอัลตร้าโซนิกแบบโพรบแสดงดังภาพที่ 2.15



รูปที่ 2.15 ลักษณะของฮอร์นชนิดต่างๆ

ที่มา : Mason (1998)

3. อุปกรณ์ที่ใช้ในระบบแผ่นสั่นคู่ขนาน (Equipment Involving Parallel Vibrating Plates)

ระบบนี้พบว่าเป็นทางเลือกที่ดีในการนำคลื่นอัลตร้าโซนิกมาใช้กับงานที่มีลักษณะต่อเนื่อง โดยผลิตภัณฑ์จะได้รับคลื่นอัลตร้าโซนิกอย่างสม่ำเสมอในระหว่างทางที่ไปยังเครื่องอัลตร้าโซนิก ซึ่งทำให้เกิดการสั่นที่บริเวณผนังด้านในตัวเครื่อง เมื่อแผ่นดังกล่าวเคลื่อนที่เข้ามาใกล้กันมากขึ้นจะมีผลทำให้การลดทอนพลังงาน (Attenuation) ของคลื่นเสียงภายในของเหลวมีค่าต่ำสุดและไม่เกิดคลื่น ข้อดีของระบบแผ่นสั่นคู่ที่ติดตั้งในแต่ละด้านของของเหลวเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ระบบแผ่นสั่นแผ่นเดียว คือ คลื่นพลังงานที่เกิดขึ้นก่อนที่จะส่งถ่ายไปยังของเหลวจะสะท้อนไปยังแผ่นที่สั่นอีกแผ่นหนึ่งที่อยู่ตรงข้าม ทำให้ผลที่เกิดจากแรงกลที่มีค่าสูงสุด

4. ระบบการสั่นตามแนวรัศมี (Radial Vibrating Systems)

ในการให้พลังงานคลื่นอัลตร้าโซนิกกับของเหลวที่อยู่ภายในท่อนั้น วิธีที่ดีที่สุด คือ การใช้การสั่นของท่อเพื่อทำให้เกิดคลื่นพลังงานขึ้น ซึ่งจะทำให้อัตราการไหลมีค่าสูงขึ้นรวมทั้งใช้ได้กับผลิตภัณฑ์ที่มีความข้นหนืด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สูงได้ ลักษณะการตัดขวางของท่อดังกล่าวมีความสำคัญโดยท่อทรงกระบอกที่สั้นจะทำให้เกิดคลื่นอัลตร้าโซนิกสูงสุดตรงบริเวณกึ่งกลางท่อ เช่นเดียวกับท่อที่มีลักษณะหกเหลี่ยม และเกิดพลังงานน้อยกว่าตรงบริเวณที่ใกล้พื้นผิวด้านในของท่อมีผลดี คือ ช่วยลดปัญหาที่เกิดจากการกัดกร่อนตรงบริเวณดังกล่าว การนำทรานส์ดิวเซอร์มาเชื่อมต่อกับท่อโลหะโดยตรง ทำให้สามารถเกิดคลื่นในแนวรัศมีและเกิดบัพ (Nodes) และปฏิบัพ (Antinodes) เป็นช่วงระยะเท่ากับ $\lambda/2$ตามความยาวของท่อ

2.3.6 การประยุกษ์ใช้คลื่นอัลตร้าโซนิกในกระบวนการแปรรูปอาหาร

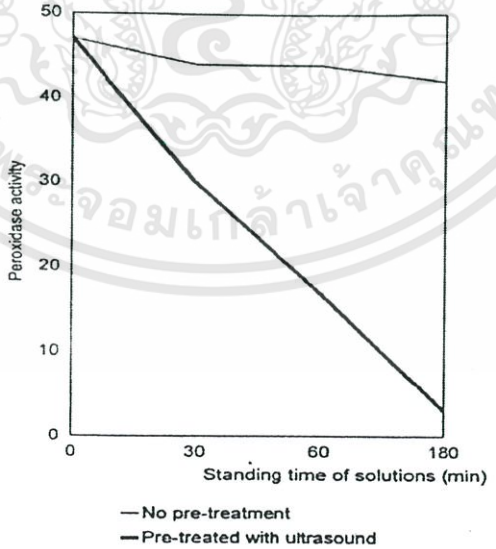
การนำคลื่นอัลตร้าโซนิกมาประยุกษ์ใช้ในกระบวนการแปรรูปอาหารนั้น มีความหลากหลายและแตกต่างกันไปตามชนิดหรือประเภทของอาหารและวัตถุประสงค์ของการนำไปใช้ Mason (1998) รายงานการประยุกษ์ใช้คลื่นอัลตร้าโซนิกในกระบวนการแปรรูปอาหาร

1. กระบวนการออกซิเดชัน (Oxidation Process)

มีการนำคลื่นอัลตร้าโซนิกมาใช้ในการเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชัน เช่น ปฏิกิริยาการบ่ม (Aging) ของผลิตภัณฑ์หมัก เช่น ไวน์และสุรากลั่น โดยทำให้เกิดกลิ่นรสและรสชาติที่เฉพาะตัวในช่วงระยะเวลาการบ่มที่สั้นลง เช่น การศึกษาการใช้คลื่นอัลตร้าโซนิกขนาด 1 MHz แก่ผลิตภัณฑ์หมักดังกล่าว ซึ่งทำให้อัตราส่วนระหว่างแอลกอฮอล์ต่อเอสเทอร์เกินความสมดุลและช่วยให้เกิดลักษณะปรากฏที่ดี และในส่วนของวีสกี้ (Whisky) พบว่าช่วยลดเวลาในการบ่มให้ต่ำกว่า 1 ปีได้

2. ปฏิกิริยาเอนไซม์ (Enzyme Reactions)

เป็นที่ทราบกันดีแล้วว่ากิจกรรมเอนไซม์ต่างๆ จะถูกยับยั้งได้เนื่องจากการเกิดปรากฏการณ์แคปวิเตชันตัวอย่าง เช่น มีการศึกษาการใช้คลื่นอัลตร้าโซนิกขนาด 20 kHz ที่กำลัง 371 $W.cm^{-2}$ แก่เอนไซม์เพอร์ออกซิเดส (Peroxidase) ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่พบในผักและผลไม้สดและเป็นเอนไซม์ที่กระตุ้นให้เกิดรสชาติผิดปกติและทำให้เกิดสีน้ำตาล เมื่อให้คลื่นอัลตร้าโซนิกขนาดดังกล่าวแก่เอนไซม์ในฟอสเฟสบัฟเฟอร์ pH 7.0 ที่อุณหภูมิ 20°C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง พบว่ากิจกรรมของเอนไซม์นี้ลดลง 90% แสดงดังรูปที่ 2.16



รูปที่ 2.16 แสดงผลของคลื่นอัลตร้าโซนิกต่อกิจกรรมเอนไซม์เพอร์ออกซิเดส (เส้นหนาคือเอนไซม์ที่ให้คลื่นอัลตร้าโซนิกขนาด 20 kHz ในฟอสเฟสบัฟเฟอร์ pH 7.0 ที่อุณหภูมิ 20°C)

ที่มา: Mason (1998)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

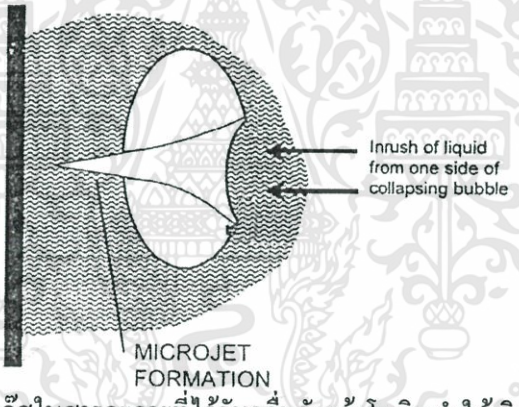
นอกจากนั้นยังมีรายงานการศึกษาการทนต่อคลื่นอัลตร้าโซนิกของเอนไซม์ชนิดต่างๆ พบว่าสามารถเรียงลำดับความทนได้ดังนี้ ออกซิเดส (Oxidase) < คะตะเลส (Catalase) ที่ความเข้มข้นต่ำ < รีดักชัน (Reductase) และอะมัยเลส (Amylase)

3. การกระตุ้นเซลล์ของสิ่งมีชีวิต (Stimulation of Living Cells)

มีรายงานการศึกษาการใช้คลื่นอัลตร้าโซนิกช่วยในการผลิตโยเกิร์ต โดยพบว่าสามารถลดเวลาในการผลิตลงถึง 40% และยังช่วยปรับปรุงลักษณะของโยเกิร์ต เช่น เนื้อสัมผัสให้ดีขึ้น นอกจากนั้นคลื่นอัลตร้าโซนิกยังสามารถกระตุ้นการงอกของเมล็ดพืชได้ ทำให้ปริมาณผลผลิตในการผลิตขนาดใหญ่เพิ่มสูงขึ้น โดยคลื่นอัลตร้าโซนิกจะเหนี่ยวนำให้การงอกของเมล็ดเกิดได้รวดเร็วขึ้นรวมทั้งกระตุ้นให้รากงอกได้เร็วขึ้น เช่น ในเมล็ดทานตะวัน เมื่อทดลองใช้คลื่นอัลตร้าโซนิกพบว่าจะสามารถงอกในดินได้ดีกว่าเมล็ดที่ไม่ได้รับคลื่นถึง 3 เท่า หรือในมะเขือเทศซึ่งพบว่าเมล็ดมะเขือเทศที่ได้รับคลื่นอัลตร้าโซนิกจะลดระยะเวลาการสุกได้เป็นระยะเวลาถึง 10 วัน

4. กระบวนการสเตอริไลเซชัน (Sterilization)

มีการนำคลื่นอัลตร้าโซนิกมาใช้ในการทำความสะอาด โดยช่วยลดการปนเปื้อนที่บริเวณพื้นผิว (Surface Decontamination) เนื่องจากการเกิดคลื่นกระแทกขนาดเล็ก (Micro jet) จากการที่ฟองอากาศเกิดการแตกและมีทิศทางพุ่งเข้าสู่พื้นผิวด้วยความเร็วสูง เป็นผลให้สิ่งสกปรกและแบคทีเรียที่เกาะติดอยู่ที่บริเวณพื้นผิวหลุดออก แสดงดังรูปที่ 2.17



รูปที่ 2.17 แสดงการแตกของฟองแก๊สในสารละลายที่ได้รับคลื่นอัลตร้าโซนิก ทำให้เกิดคลื่นกระแทกขนาดเล็กพุ่งเข้าสู่พื้นผิว

ที่มา: Mason (1998)

นอกจากนั้นยังสามารถใช้คลื่นอัลตร้าโซนิกในการทำลายแบคทีเรียที่ปนเปื้อนบนผิวของไข่โดยใช้ร่วมกับสารฆ่าเชื้อแบคทีเรีย (Bactericide) และคลื่นอัลตร้าโซนิกช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อด้วยสารเคมี เนื่องจากทำให้เซลล์แบคทีเรียที่เกาะกลุ่มกันอยู่เกิดการแตกกระจาย เป็นผลให้สารเคมีสามารถสัมผัสกับเชื้อจุลินทรีย์ได้มากยิ่งขึ้น

5. การใช้อัลตร้าโซนิกในการทำให้เกิดอิมัลชัน (Ultrasonic emulsification)

คลื่นอัลตร้าโซนิกทำให้อิมัลชันเสถียรขึ้น เนื่องจากการที่ฟองอากาศเกิดการแตกตรงบริเวณที่เป็นรอยต่อระหว่างเฟส (Phase Boundary) ของของเหลวสองชนิดที่เข้ากันไม่ได้ ซึ่งคลื่นกระแทกที่มีแรงดันสูงที่เกิดขึ้นจะทำให้การผสมและเข้ากันได้ดียิ่งขึ้น นอกจากนั้นการใช้คลื่นอัลตร้าโซนิกในแบบที่เรียกว่า ลิควิดวิซเทิล (Liquid Whistle) สามารถใช้ในกระบวนการผลิตที่ไหลอย่างต่อเนื่อง (Flow Processing) และสามารถเชื่อมต่อกับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบประมวลผลได้ ทำให้สามารถเพิ่มปริมาตรในการผลิตได้สูงถึง 12,000 ลิตรต่อชั่วโมง เช่น ในการผลิตน้ำผลไม้ ซอสมะเขือเทศและมายองเนส เป็นต้น

6. การสกัด (Extraction)

คลื่นอัลตร้าโซนิกจะช่วยทำให้ตัวทำละลายแทรกซึมเข้าไปในวัสดุที่นำมาสกัดได้ดียิ่งขึ้น ทำให้ประสิทธิภาพการถ่ายเทมวลสาร (Mass Transfer) เพิ่มสูงขึ้น นอกจากนั้นคลื่นอัลตร้าโซนิกยังไปทำลายพื้นผิวที่บริเวณผนังเซลล์และภายในเซลล์ทำให้สารที่ต้องการสกัดสามารถออกมาได้ง่ายขึ้น ตัวอย่างเช่น การสกัดน้ำตาลออกจากหัวบีทรูท (Sugar Beets) การสกัดโปรตีนจากสาหร่ายและจากถั่วเหลืองที่สกัดไขมัน การสกัดสารในชาออกจากใบชาในการผลิตชาสำเร็จรูปละลายได้ทันที เป็นต้น

7. การใช้คลื่นอัลตร้าโซนิกกับผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ (Meat Products)

การใช้คลื่นอัลตร้าโซนิกจะช่วยสกัดสารพวกโปรตีนที่ละลายในน้ำเกลือที่อยู่ในเนื้อสัตว์ออกมาได้เพิ่มมากขึ้นโดยใช้ร่วมกับสารละลายเกลือ ซึ่งคลื่นอัลตร้าโซนิกจะไปทำลายโครงสร้างไมโอไฟบริล (Myofibrils) ภายในเนื้อสัตว์ และทำให้สารละลายภายในเซลล์ไหลออกมาเป็นผลให้เนื้อสัตว์เกาะติดกันได้ดีขึ้น นอกจากนั้นคลื่นอัลตร้าโซนิกยังทำให้เนื้อสัตว์มีความนุ่มเพิ่มขึ้น โดยมีผลทำลายเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน (Connective Tissues) ทำให้มีปริมาณลดลง

8. การตกผลึก (Crystallization)

คลื่นอัลตร้าโซนิกช่วยในการก่อตัวของผลึกขณะเริ่มต้น (Initiation of Seeding) และช่วยในการขยายขนาดผลึก (Crystal Growth) โดยมีรายงานว่า คลื่นอัลตร้าโซนิกช่วยเร่งอัตราการเกิดนิวเคลียส (The Nucleation Rate) และเร่งอัตราการขยายขนาดผลึกในสารละลายอิ่มตัว (Saturated) หรือในอาหารหรือตัวกลางที่เย็นยิ่งยวด (Super cooled medium) ซึ่งสันนิษฐานว่าเกิดจากปรากฏการณ์แคปวิเตชัน ซึ่งนำมาประยุกษ์ใช้ในการผลิตยาและในผลไม้แช่เยือกแข็ง เช่น สตอเบอร์รี่แช่เยือกแข็ง โดยช่วยทำให้ลดการเปลี่ยนแปลงของขนาดผลึกของน้ำแข็งที่เกิดภายในเซลล์ รวมทั้งทำให้ผลึกน้ำแข็งที่เกิดภายในเซลล์มีขนาดเล็กลงเป็นผลให้โอกาสในการทำลายเซลล์เนื่องจากการเกิดผลึกน้ำแข็งลดลงไปด้วย

9. การกำจัดแก๊สออกจากของเหลว (Degassing of liquids)

การกำจัดแก๊สออกจากของเหลว เป็นผลมาจากการเกิดปรากฏการณ์แคปติเวชัน ซึ่งแก๊สที่ละลายอยู่ (Dissolved Gases) หรือฟองอากาศ (Gas Bubbles) ขนาดเล็กภายในสารละลายจะเปรียบเสมือนนิวเคลียสสำหรับการเกิดฟองแก๊สที่จะขยายขนาดเพิ่มขึ้น และเกิดการแตกออกเมื่อได้รับคลื่นอัลตร้าโซนิก เป็นผลให้ฟองอากาศที่อยู่ภายในของเหลวรวมตัวกันมีขนาดใหญ่ขึ้นและลอยตัวขึ้นมาอยู่ที่บริเวณพื้นผิวและหลุดออกไป เช่น การใช้คลื่นอัลตร้าโซนิกกับของเหลวที่มีความหนืดสูง เช่น ช็อคโกแล็ต ทำให้ลดการเกิดฟองอากาศภายในผลิตภัณฑ์ได้

10. การใช้คลื่นอัลตร้าโซนิกช่วยในการกรอง (Acoustically Aided Filtration)

คลื่นอัลตร้าโซนิกช่วยทำให้อัตราการกรองของของเหลวเพิ่มขึ้น โดยทำให้เกิดผลที่สำคัญต่อการกรองสองประการ ได้แก่ ทำให้เกิดการรวมตัวกัน (Agglomeration) ของอนุภาคที่มีขนาดเล็ก (Fine Particles) ทำให้การกรองเกิดขึ้นได้รวดเร็ว และอีกประการหนึ่ง คือ คลื่นอัลตร้าโซนิกจะให้พลังงานบางส่วนที่เกิดขึ้นจากการสั่นของวัตถุ (Vibration Energy) แก่ของเหลว มีผลทำให้อนุภาคบางส่วนยังคงแขวนลอยอยู่ได้ และทำให้สามารถแยกตัวทำละลายออกมาได้เพิ่มขึ้น ตัวอย่างเช่น ใช้คลื่นอัลตร้าโซนิกในการช่วยการกรองน้ำแอปเปิ้ล ทำให้ปริมาณผลผลิตเพิ่มสูงขึ้น เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

11. การทำแห้ง (Acoustic Drying)

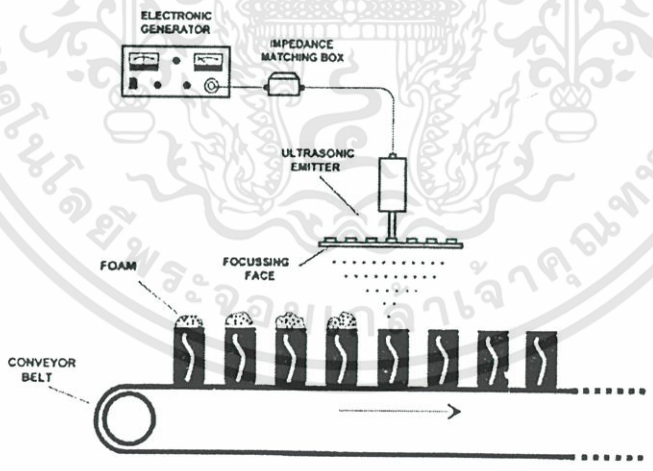
การใช้คลื่นอัลตร้าโซนิกร่วมกับกระบวนการทำแห้ง จะทำให้สามารถลดอุณหภูมิการทำแห้งลงได้และทำให้ปฏิกิริยาการเกิดออกซิเดชันหรือการสลายตัว (Degradation) ของสารลดลง มีการศึกษาหลากหลายเกี่ยวกับการนำคลื่นอัลตร้าโซนิกมาใช้ร่วมกับกระบวนการทำแห้งในการผลิตอาหารประเภทต่างๆ และมีสภาวะที่แตกต่างกันออกไป ทั้งนี้เนื่องมาจากผลของการเกิดปรากฏการณ์แคปติเวชันทำให้โครงสร้างของวัตถุดิบถูกทำลาย ทำให้การถ่ายเทความร้อนเพิ่มสูงขึ้นถึงประมาณ 30-60 %

12. ผลต่อเมล็ดข้าว (Effects on Rice Grains)

มีการศึกษาการให้คลื่นอัลตร้าโซนิกแก่เมล็ดข้าวในน้ำ ซึ่งจะมีผลทำให้สตาร์ชออกมาจากเมล็ดข้างได้รวดเร็วขึ้นในระหว่างการหุง เนื่องจากการเกิดปรากฏการณ์แคปติเวชันตรงบริเวณพื้นผิวของข้าวทำให้เกิดการทำลายผนังชั้นนอกของเมล็ดข้าว เป็นผลให้ลดระยะเวลาในการหุงต้มและเวลาในการเกิดเจลสั้นลง

13. การกำจัดโฟม (Deforming)

Gallego-Juarez (1998) รายงานว่า โฟม คือ ฟองแก๊สที่เกิดขึ้นเนื่องจากการกระจายตัวของแก๊สภายในของเหลวซึ่งมีระยะห่างฟองแก๊สแต่ละฟองน้อยมาก ซึ่งในระบบของโฟมนั้นพบว่าอัตราส่วนของปริมาตรอากาศหรือแก๊สและของเหลวมีค่าสูงมากและค่า Bulk Density ของโฟมมีค่าใกล้เคียงกับแก๊ส วิธีการดั้งเดิมในการกำจัดโฟม คือ การใช้ความร้อน สารเคมี ใช้กระแสไฟฟ้า และใช้แรงกลซึ่งมีข้อจำกัดที่แตกต่างกันออกไป โดยทั่วไปการบรรจุของเหลวที่มีโฟมล้นออกมาจากภาชนะบรรจุหลังจากเติมลงไปและนำไปปิดผนึกทันที จะทำให้ปริมาตรของของเหลวในภาชนะบรรจุลดลง การกำจัดโฟมที่ล้นเกินออกมาจึงเป็นสิ่งที่จำเป็น ในการใช้คลื่นอัลตร้าโซนิกเพื่อกำจัดโฟมที่ล้นออกมาแสดงดังรูปที่ 2.18 โดยพบว่ามีประสิทธิภาพสูงกว่าการทำลายโฟมด้วยวิธีอื่นๆ และสามารถกระทำได้อย่างรวดเร็วและใช้พลังงานที่ต่ำกว่า



รูปที่ 2.18 แสดงการกำจัดโฟมโดยใช้คลื่นอัลตร้าโซนิกในกระบวนการผลิตอาหารบรรจุกระป๋อง

ที่มา: Gallego-Juarez (1998)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 การลดขนาด (Size Reduction) [9]

2.4.1 หลักการการลดขนาด

เป็นการให้พลังงานเพื่อทำลายแรงยึดเหนี่ยวของสาร ซึ่งปริมาณพลังงานที่อาหารดูดซับเข้าไปก่อนการแตกหักวัดได้จากความแข็งและแนวโน้มที่จะเกิดการแตกร้าวซึ่งขึ้นอยู่กับโครงสร้างของอาหาร อาหารที่แข็งกว่ามักจะดูดซับพลังงานมากกว่าอาหารที่อ่อนกว่าและใช้พลังงานการทำให้แตกหักสูงกว่า อาหารที่มีแนวเปราะบางต้องการพลังงานทำให้อาหารแตกหักน้อย การทำให้อาหารที่เป็นผลึกแตกต้องใช้แรงบีบอัด สำหรับอาหารเส้นใยจำเป็นต้องใช้ทั้งแรงกระแทกและแรงเฉือน การบดอาหารที่นุ่มจมให้แตกละเอียดต้องใช้แรงเฉือนดังนั้นปริมาณการลดขนาด พลังงานที่ใช้และปริมาณของความร้อนที่จะเกิดขึ้นในอาหารจึงขึ้นอยู่กับขนาดของแรงและเวลาที่ให้แรงแก่อาหารนั้นๆ

2.4.2 ประโยชน์ของการลดขนาด [1]

1. เป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวต่อปริมาตรของอาหารซึ่งมีผลในการเพิ่มอัตราการทำแห้ง การให้ความร้อนหรือการทำให้เย็น ทั้งยังเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพและอัตราการสกัดสารที่ละลายได้ในน้ำ เช่น การสกัดน้ำผลได้จากผลไม้บด

2. การลดขนาดและการร่อนคัดแยกจะทำให้ได้อาหารซึ่งมีขนาดตามต้องการเช่น น้ำตาลไอซิ่ง เครื่องเทศและแป้งข้าวโพด การลดขนาดช่วยให้สมบัติการทำงานหรือกระบวนการแปรรูปขั้นต่อไปง่ายขึ้น

3. ขนาดอนุภาคของอาหารที่ใกล้เคียงกันจะช่วยให้การผสมส่วนผสมต่าง ๆ ทำได้ดียิ่งขึ้น เช่นซุปแห้งและส่วนผสมของขนมเค้ก

การลดขนาดหรืออิมัลซิฟิเคชันมีผลในการยืดอายุการเก็บรักษาอาหารน้อยมาก แต่เป็นวิธีที่ช่วยพัฒนาคุณภาพการบริโภคและเพิ่มความเหมาะสมของอาหารสำหรับกระบวนการแปรรูปขั้นต่อไป รวมทั้งช่วยเพิ่มความหลากหลายในการนำผลิตภัณฑ์ไปใช้ อย่างไรก็ตามกรรมวิธีดังกล่าวอาจไปเร่งการเสื่อมเสียของอาหารเนื่องจากมีเอนไซม์บางชนิดที่ถูกปล่อยออกมาจากเนื้อเยื่อที่ฉีกขาด หรือเร่งกิจกรรมของจุลินทรีย์และปฏิกิริยาออกซิเดชันเพราะมีพื้นที่ผิวมากขึ้นทำให้เกิดการสัมผัสกับอากาศมากขึ้นการป้องกันการเสื่อมเสียดังกล่าวอาจทำได้โดยการจัดการหรือทรีทเมนท์ หรือเติมสารบางชนิด

2.4.3 เครื่องมือในการลดขนาด

1. เบอร์มิล บางทีเรียกว่า Attrition หรือ Disc Mill โดยปกติแล้วจะประกอบด้วยจานบดสองชั้นเป็นตัวขัดสีกันซึ่งมีทั้งแกนนอนและแกนตั้ง การทำงานนั้นจานหนึ่งจะอยู่กับที่ส่วนอีกจานก็จะหมุนหรือจะหมุนสวนทางกันทั้งสองจานก็ได้ เบอร์มิลเหมาะสำหรับการบดหยาบและละเอียดปานกลาง และหมุนด้วยความเร็วรอบประมาณ 400-1800 รอบ/นาที ความละเอียดที่ได้นั้นขึ้นอยู่กับความถี่ของส่วนที่ยื่นออกมาจากจาน อัตราการป้อนและความชื้นของวัตถุ ชนิดของวัตถุดิบและกำลังของเครื่อง

2. แฮมเมอร์มิล มีส่วนประกอบที่สำคัญคือ ค้อนที่หมุนได้อิสระติดอยู่บนแกนเพลา ตะแกรงและตัวเป่าลม ส่วนค้อนนั้นจะถูกเหวี่ยงด้วยความเร็ว 2,500-4,000 รอบ/นาที โดยปกิแล้วค้อนนี้จะหมุนรอบตัวเองให้ได้ระยะทาง 15,000-20,000 ฟุต/นาที กล่าวคือ ขนาดของเส้น รอบวงต้องสัมพันธ์กับความเร็วรอบด้วย ส่วนตะแกรงจะติดอยู่ใต้ค้อนและเมื่อค้อนหมุนจะไม่สัมผัสถูกตะแกรง เมื่อวัตถุดิบถูกย่อยให้มีขนาดเล็กลงแล้วส่วนที่เล็กจนสามารถผ่านตะแกรงได้ จะถูกลมที่เป่ามาทางด้านล่างพาออกไปกักเก็บไว้และส่วนที่ขนาดใหญ่จะถูกย่อยต่อไปจนสามารถผ่านตะแกรงได้หมด ค้อนนี้สามารถถอดเปลี่ยนหรือซ่อมแซมได้ด้วย อัตราการป้อนก็ควบคุมด้วยช่องที่เลื่อนเปิดปิด แฮมเมอร์มิลเหมาะสำหรับการบดละเอียดและละเอียดปานกลาง มีข้อได้เปรียบแบบอื่นๆ คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สามารถต่อโดยตรงกับมอเตอร์ได้และใช้พลังงานน้อย ความละเอียดในการบดนั้นขึ้นกับขนาดของตะแกรงและอัตราการป้อนวัตถุดิบ

3. โรลเลอร์มิล ประกอบด้วยตัวบดที่มีลักษณะเป็นแท่งทรงกระบอกกลมหลายๆตัว เพื่อความละเอียดในการบด ถ้าจำนวนบดยิ่งมากความละเอียดก็มากขึ้นได้ การทำงานวัตถุดิบจะถูกป้อนและเคลื่อนที่ไปยังช่องว่างในระหว่างที่ถูกบด ซึ่งมีระยะห่างแตกต่างกันไป จนได้ส่วนที่บดละเอียดตามต้องการ

4. คอมบิเนชั่นมิล โดยหลักการทำงานแล้ว เหมือนกับแบบแฮมเมอร์มิลทุกประการ เพียงแต่ตัวค้อนที่ใช้ตีนั้นจะติดแบบตายตัวของแกนเพลาทำให้มีประสิทธิภาพสูงกว่าแบบแรก

2.5 การสกัด (Extraction)

2.5.1 หลักการการสกัด [10]

การสกัดเป็นกระบวนการหนึ่งในการแปรรูปอาหาร โดยเป็นกระบวนการแยกที่เกี่ยวข้องกับ 2 เฟส โดยที่ตัวทำละลายเป็นสารที่เติมเข้าไปเพื่อให้เกิดอีกเฟสที่แตกต่างจากเฟสเดิมขององค์ประกอบที่ต้องการแยก การแยกจะเกิดขึ้นได้เมื่อองค์ประกอบที่ต้องการแยกละลายออกมาในตัวทำละลายขณะที่องค์ประกอบอื่น ๆ ที่เหลือยังคงอยู่ในเฟสเริ่มต้นสองเฟสดังกล่าวอาจจะเป็นของแข็งกับของเหลว ของเหลวที่ไม่สามารถผสมกันได้ หรือของแข็งกับแก๊สก็ได้ การสกัดในระบบของแข็ง – ของเหลวมักเรียกว่า ลี้ชิ่ง (leaching) ส่วนการสกัดแบบซุปเปอร์คริทิคอล – ฟลูอิด (supercritical fluid extraction) ซึ่งเป็นการสกัดด้วยของไหลที่อยู่ในสภาวะเหนือจุดวิกฤติ ก็เป็นการพัฒนาวิธีการสกัดซึ่งเกี่ยวข้องกับของแข็งและแก๊สที่สภาวะเหนือจุดวิกฤติ

2.5.2 ประโยชน์ของการสกัด [1]

ทำให้สามารถแยกสารที่เป็นประโยชน์หรือสารที่มีความสำคัญ ออกจากวัตถุดิบทั้งที่เป็นของแข็งและของเหลว เพื่อนำไปใช้ในการบริโภคโดยตรงหรือเพื่อใช้ในกระบวนการแปรรูปต่อไปได้

การสกัดใช้ในอุตสาหกรรมน้ำมันมานานแล้ว เนื่องจากน้ำมันจากถั่วเหลือง ข้าวโพด หรือรำข้าวไม่สามารถแยกออกมาได้โดยใช้แรงกดอัด จึงจำเป็นต้องใช้การสกัดด้วยตัวทำละลาย แต่น้ำมันจากถั่วลิสงได้จากการกดอัด แล้วทำการสกัดส่วนที่เหลือจากการอัด เพื่อให้สกัดน้ำมันออกไปได้อย่างสมบูรณ์ ลักษณะที่สำคัญอย่างหนึ่งของของแข็งที่เหลือจากการสกัดด้วยตัวทำละลาย คือ มีโปรตีนที่มีคุณภาพสูงเหลืออยู่ ซึ่งเหมาะสำหรับการแปรรูปเพื่อเป็นอาหารในลักษณะผงต่อไป ส่วนในอุตสาหกรรมกลิ่นรส (Flavor) ก็มีการสกัดกลิ่นรสธรรมชาติและน้ำมันเครื่องเทศ (spice oils) ด้วย

การสกัดยังใช้ในอุตสาหกรรมน้ำตาล เพื่อแยกน้ำตาลออกจากอ้อย ซึ่งเป็นรูปแบบหนึ่งของการสกัด โดยน้ำตาลจากอ้อยจะถูกแยกด้วยวิธีการกดอัดทางกลหลายขั้น ในขณะเดียวกัน ก็มีการเติมน้ำเข้าไปในระหว่างขั้นต่าง ๆ เหล่านี้ นอกจากนี้ยังใช้การสกัดในอุตสาหกรรมอาหารอื่น ๆ เช่น การสกัดคาเฟอีนจากเมล็ดกาแฟด้วยน้ำหรือตัวทำละลายอินทรีย์ หรือการสกัดกาแฟหรือชาด้วยน้ำร้อนเพื่อเข้าสู่กระบวนการอบแห้งแบบแช่แข็ง (Freeze drying) หรือแบบพ่นฝอย (Spray drying) ส่วนการสกัดแบบซุปเปอร์คริทิคอล-ฟลูอิด พบว่ามีประสิทธิภาพสูงสำหรับการผลิตกาแฟที่ไม่มีคาเฟอีน หรือใช้เป็นวิธีการลดคลอเลสเตอร์รอลในไข่ทั้งฟอง ไข่แดง หรือเนย

2.5.3 เครื่องมือในการสกัด [11]

1. Single Extractor จะมีชั้นของของแข็งอยู่ภายในถัง ด้านล่างมีฐานรองรับซึ่งสามารถให้สารละลายไหลผ่านได้ เมื่อใส่วัตถุดิบเข้าในถังจะมีส่วนที่สเปรย์ตัวทำละลายอยู่ด้านบน ตัวถูกละลายจะถูกชะออกไปจาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วัตถุดิบ ซึ่งตัวถูกละลายบางชนิดสามารถชะออกได้ง่าย โดยการปล่อยให้ตัวทำละลายไหลผ่านเพียงเที่ยวเดียว ทิศทางการไหลในการสกัดส่วนใหญ่จะมีลักษณะสวนทางกัน

2. Bollman Extractor จะมีลักษณะเป็นกะบะที่ใส่วัตถุดิบและต่ออยู่บนแกนที่หมุน ซึ่งจะมีตัวทำละลายไหลผ่านแต่จะไม่มีการกวน กำลังผลิต 50-500 ตัน/วัน

3. Hildebrant Extractor จะมีลักษณะเป็นสกรูอยู่ภายในท่อที่มีลักษณะเป็นรูปตัว U ซึ่งจะมีตัวทำละลายไหลผ่านอยู่ภานในท่อนั้น

2.6 การระเหย (Evaporation) [1] , [11]

2.6.1 หลักการการระเหย

เป็นกระบวนการให้ความร้อนแก่ของเหลว ในขณะเดียวกันก็มีของเหลวบางส่วนเกิดการเปลี่ยนสถานะไปเป็นไอเป็นผลให้ของเหลวที่เหลืออยู่มีความเข้มข้นสูงขึ้น ความร้อนที่ให้หรือถ่ายเทไปยังของเหลวทำให้เกิดการเดือดของของเหลว ของเหลวในอุตสาหกรรมอาหารโดยมากจะอยู่ในรูปของสารละลายที่มีน้ำเป็นองค์ประกอบหลักและมีส่วนของตัวถูกละลาย เช่นสารจำพวกน้ำตาล ดังนั้นน้ำจึงจัดเป็นตัวทำละลายในอาหารเหลวและจะถูกกำจัดออกไปด้วยวิธีการระเหย เพื่อให้ได้อาหารเหลวหรือสารละลายที่เข้มข้นมากขึ้น

การระเหยเป็นการทำให้เข้มข้นโดยการกำจัดน้ำบางส่วนออกจากอาหารเหลวด้วยการต้มโดยอาศัยความแตกต่างระหว่างความสามารถในการระเหยของน้ำและตัวละลาย ในขณะที่วิธีทำให้เข้มข้นวิธีอื่นๆ อาศัยความแตกต่างด้านอัตราการแพร่ที่อุณหภูมิห้อง เช่น การทำให้เข้มข้นโดยใช้เมมเบรน หรือการทำให้เข้มข้นด้วยการแช่เยือกแข็งซึ่งอาศัยความแตกต่างเรื่องจุดเยือกแข็ง อาหารที่ผ่านการทำให้เข้มข้นมักจะต้องผ่านกระบวนการอื่นอีกก่อนจะนำไปจำหน่าย

2.6.2 ประโยชน์ของการระเหย

1. เป็นการทำให้อาหารต่างๆ เช่น น้ำผลไม้ นม และกาแฟมีความเข้มข้นขึ้น โดยการลดน้ำหนักและปริมาตรก่อนเข้าสู่กระบวนการทำให้แห้ง แช่แข็ง หรือการสเตอริไลท์ ทั้งนี้เพื่อประหยัดพลังงานในกระบวนการต่อไป ทั้งยังเป็นการลดค่าใช้จ่ายในการเก็บรักษา การขนส่งและกระจายสินค้า

2. เป็นการเพิ่มปริมาณของแข็งในอาหาร เช่น แยมและกากน้ำตาล (molasses) นับเป็นการถนอมรักษาอาหารการลดค่าวอลเตอร์แอคทีวิตี้

3. เป็นการเพิ่มความสะดวกให้แก่ผู้บริโภค เช่น นำผลไม้เข้มข้นที่ต้องนำมาเจือจางเวลาดื่ม ซุป ซอส มะเขือเทศ หรือกระทิยมบดละเอียด หรือเป็นการเพิ่มความสะดวกให้แก่ผู้ผลิต เช่น เพ็คติน หรือน้ำผลไม้เข้มข้นสำหรับใช้ทำไอศกรีมหรือผลิตภัณฑ์ขนมอบ

4. การระเหยทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงกลิ่นหรือสีของอาหาร เช่น น้ำเชื่อมคาราเมล ซึ่งสามารถนำไปใช้ในผลิตภัณฑ์ขนมอบหรือลูกกวาดที่ทำจากน้ำตาล

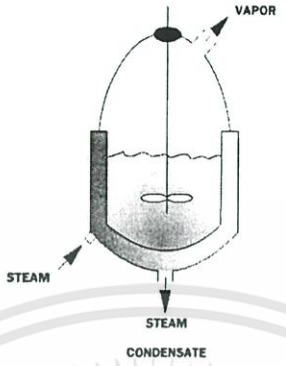
2.6.3 เครื่องมือในการระเหย [12]

1. เครื่องระเหยแบบกะทะเปิดหรือปิด (Open or closed-pan evaporator)

เครื่องระเหยแบบนี้ประกอบด้วยหม้อต้มทรงกลมที่ได้รับความร้อนโดยตรงจากแก๊สหรือขดลวดต้านทานไฟฟ้าหรือให้ความร้อนผ่านไอน้ำที่ไหลผ่านท่อในแจ็คเก็ต (steam-jacketed) ที่หุ้มเครื่อง เครื่องมีฝาปิดเพื่อทำให้เกิดสูญญากาศพร้อมทั้งมีที่กวนเพื่อเพิ่มอัตราการถ่ายเทความร้อนและเพื่อป้องกันไม่ให้อาหารไหม้ติดหม้อ เครื่องมีอัตราการถ่ายเทความร้อนและประสิทธิภาพการใช้พลังงานค่อนข้างต่ำ ภาพที่ 2.19 เป็นหม้อระเหย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

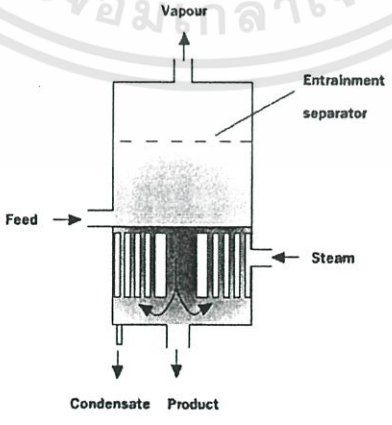
สูญญากาศ อาหารที่ไวต่อความร้อนอาจเกิดความเสียหายได้ อย่างไรก็ตามเครื่องนี้มีราคาต้นทุนต่ำและใช้ได้กับผลิตภัณฑ์หลายชนิด จึงมีการประยุกต์ใช้อย่างกว้างขวางในการเตรียมอาหารประเภทซอสและน้ำเกรวี่หรือการผลิตแยมและอาหารอื่น ๆ เครื่องระเหยนี้จัดเป็นแบบเก่าที่สุดและง่ายที่สุดที่มีใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร



รูปที่ 2.19 หม้อระเหยสูญญากาศ

2. เครื่องระเหยแบบท่อสั้น (Short-tube evaporator)

เครื่องนี้เป็นตัวอย่างของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อและเชลล์ซึ่งใช้ในการพาสเจอร์ไรซ์ การสเตอริไลซ์ และการแช่แข็ง เครื่องประกอบด้วยเวสเซล (หรือเชลล์) ซึ่งประกอบด้วยท่อจำนวนมากโดยส่วนใหญ่จะอยู่ในแนวตั้งมากกว่าแนวนอน อาหารเหลวจะร้อนขึ้นด้วยไอน้ำที่ควบแน่นภายนอกท่อแล้วไหลขึ้นมาตามท่อเดือนแล้วไหลกลับลงมาทางตรงกลางเครื่อง การจัดเรียงตัวท่อตามแนวตั้งช่วยให้การพาความร้อนดีขึ้นจึงเป็นการเพิ่มอัตราการถ่ายเทความร้อน (ภาพที่ 2.20) มีการออกแบบท่อให้อยู่ในภาชนะซึ่งนำออกไปล้างทำความสะอาดได้ง่าย เครื่องระเหยแบบนี้ใช้เงินลงทุนและค่าดูแลรักษาต่ำมีอัตราการถ่ายเทความร้อนสูงและความยืดหยุ่นที่จะใช้กับอาหารชนิดต่าง ๆ ได้มากกว่าเครื่องระเหยแบบกะทะเปิดหรือปิดถ้าใช้กับอาหารที่มีความหนืดต่ำ เครื่องนี้ไม่เหมาะกับอาหารที่มีความหนืดสูงเพราะทำให้การผสมได้ไม่ดีนัก จึงอาจทำให้อาหารไหม้บนผิวท่อได้และตามมาด้วยความเสียหายเนื่องจากความร้อนเครื่องมีอัตราการแลกเปลี่ยนความร้อนต่ำและทำความสะอาดยาก นิยมใช้เครื่องนี้กับน้ำเชื่อม น้ำเกลือ และน้ำผลไม้

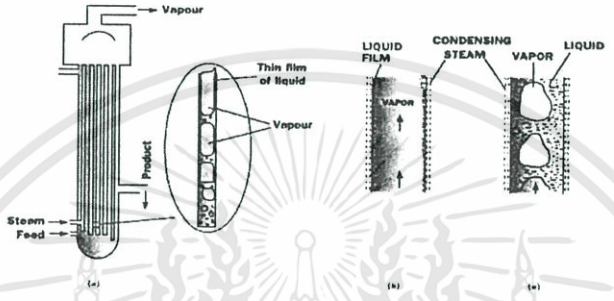


รูปที่ 2.20 เครื่องระเหยแบบท่อสั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. เครื่องระเหยแบบท่อยาว (Long-tube evaporator)

เครื่องระเหยแบบนี้ประกอบด้วยท่อที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางยาวได้ถึง 5 เซนติเมตร จัดเรียงตัวตามแนวตั้งภายในเชลล์ไอน้ำซึ่งสูง 3-15 เมตร อาหารเหลวจะทำให้ร้อนขึ้นก่อนถึงจุดเดือนก่อนจะเข้าสู่เครื่องระเหยและถูกทำให้ร้อนและเดือดต่อภายในท่อ การขยายตัวของไอน้ำจะไปดันฟิล์มของอาหารที่ถูกทำให้ข้นขึ้นอย่างรวดเร็วบนผิวท่อแต่ละท่อ (ภาพที่ 2.21) อาหารข้นจะแยกตัวจากไอน้ำและออกจากเครื่องระเหยผ่านเข้ามาในเครื่องต่อมาในระบบระเหยชนิดหลายเครื่องหรือไหลเวียนไปมา ไอน้ำจะถูกนำไปใช้ใหม่ภายในระบบหรือใช้ในระบบอัดไอน้ำใหม่



รูปที่ 2.21 เครื่องระเหยฟิล์มไหลขึ้น (a): การทำงานปกติดี (b): การทำงานมีปัญหาเนื่องจากเกิดอากาศ และของเหลวถูกกักไว้

4. เครื่องระเหยแบบแผ่น (Plate evaporator)

โครงสร้างของเครื่องระเหยแบบแผ่นคล้ายคลึงกับเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่ใช้สำหรับการพาสเจอไรซ์และการสเตอริไลซ์ที่อุณหภูมิสูง อย่างไรก็ตามตัวกลางให้ความร้อนในเครื่องระเหยจะเป็นไอน้ำ และใช้หลักการไหลขึ้นและไหลลงของฟิล์มเพื่อทำให้อาหารซึ่งอยู่ในช่องว่างระหว่างแผนให้ความร้อนเข้มข้นขึ้น อาหารเหลวจะถูกส่งเข้ามาทางด้านล่างของส่วนฟิล์มไหลขึ้นแล้วจะเดือดแล้วเคลื่อนที่ขึ้นไปด้านบนของแผ่นเข้าไปอยู่ในส่วนของฟิล์มไหลลงในขณะที่ยังเดือดต่อไป จำนวนของช่องฟิล์มไหลขึ้นและไหลลงจากเครื่องขึ้นอยู่กับอัตราการผลิตและระดับความเข้มข้นที่ต้องการ ไอน้ำและอาหารข้นจะถูกแยกออกจากกันข้างนอกเครื่องระเหยหรือนำกลับมาใช้ใหม่ได้โดยการอัดเพื่อนำมาใช้ในระบบระเหยชนิดหลายเครื่องต่อไป

5. เครื่องระเหยแบบเพิ่มพื้นที่การไหล (Expanding-flow evaporator)

หลักการของเครื่องระเหยแบบนี้คลายคลึงกับเครื่องระเหยแบบแผ่น แต่เครื่องจะประกอบด้วยชั้นของภาชนะรูปกรวยคว่ำแทนที่จะเป็นแผนซ้อนกัน ลักษณะคล้ายกับเครื่องระเหยแบบเซนตริเทอร์ม (centri-therm evaporator) อาหารเหลวจะไหลจากแกนกลางของเครื่องเข้าสู่ช่องว่างในแต่ระกรวยและเกิดการระเหยในระหว่างที่อาหารผ่านตามช่องทำให้มีพื้นที่ผิวมากขึ้น (ซึ่งเป็นที่มาของชื่อเครื่อง) ส่วนผสมของไอน้ำและอาหารเข้มข้นจะเคลื่อนที่ออกมาจากกรวยตามมุมที่เอียงและแยกออกจากกัน มีการให้ไอน้ำตามช่องต่าง ๆ โดยเครื่องนี้ซึ่งออกแบบให้เกิดไซโคลนเอฟเฟคท์ (cyclone effect) ความเร็วในการเคลื่อนที่ของของเหลวจะลดลงเรื่อย ๆ ตามช่องทำให้เกิดค่าสัมประสิทธิในการควบแน่นไอมน้ำของฟิล์มเครื่องระเหยนี้มีข้อดีหลายอย่างคือมีขนาดกระทัดรัด เวลาที่อาหารอยู่ในเครื่องสั้น มีความยืดหยุ่นสูงโดยการเปลี่ยนจำนวนกรวย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. เครื่องระเหยแบบฟิล์มบาง ๆ ที่มีการกวนเชิงกล (Mechanical (or agitated) thin – film evaporator)

เครื่องระเหยชนิดนี้แบ่งเป็นแบบมีใบมีดขูดหรือแบบกวาดผิวได้ขึ้นกับความแตกต่างเรื่องความหนาของฟิล์มอาหารที่กำลังจะผ่านกระบวนการ ฟิล์มที่ได้จากการใช้เครื่องระเหยแบบกวาดผิวได้หนาประมาณ 0.25 มิลลิเมตร ในขณะที่เครื่องระเหยแบบฟิล์มบางจะมีฟิล์มหนาถึง 1.25 มิลลิเมตร เครื่องระเหยทั้ง 2 ชนิด จะมีสตรีมแจ็คเก็ตหุ้มรอบแกนหมุนความเร็วสูงซึ่งมีใบมีดสั้น ๆ ติดอยู่ตามยาวของแกน รูปแบบของเครื่องจะคล้ายคลึงกับเครื่องสเตอริไลซ์ปลอดเชื้อแบบมีใบมีดขูด อาหารเหลวจะไหลเข้ามาผ่านช่องว่างระหว่างกานหมุนและผิวร้อนของเครื่องและเกิดการระเหยอย่างรวดเร็วในขณะที่ฟิล์มอาหารบาง ๆ จะถูกขูดออกโดยใบมีดบนแกนหมุน ใบมีดนี้ทำให้ฟิล์มถูกกวนอย่างรุนแรงจึงเป็นการป้องกันไม่ให้อาหารไหม้บนผิวร้อนและเป็นการเพิ่มอัตราการถ่ายเทความร้อนด้วย (Anon,1981) มีการปรับเวลาให้อาหารอยู่ในเครื่องได้ตั้งแต่ 0.5 วินาที ถึง 100 วินาที ขึ้นอยู่กับชนิดของอาหารและระดับความเข้มข้นที่ต้องการ

2.7 การทำแห้ง (Dehydration) [1]

2.7.1 หลักการการทำแห้ง

การทำให้แห้งหรือการกำจัดน้ำ หมายถึง การใช้ความร้อนภายใต้สภาวะควบคุมเพื่อกำจัดน้ำส่วนใหญ่ที่อยู่ในอาหาร โดยการระเหยน้ำหรือการระเหิดของแข็งในการอบแห้งแบบระเหิด (freeze drying) คำจำกัดความนี้จะไม่รวมถึงการกำจัดน้ำออกจากอาหารด้วยวิธีอื่น ๆ เช่น การแยกโดยทางกล การทำให้เข้มข้นโดยใช้เมมเบรน การระเหย และการอบ เนื่องจากในกระบวนการเหล่านี้จะมีการกำจัดน้ำน้อยกว่าการทำให้แห้ง อย่างไรก็ตามการทำแห้งทำให้เกิดการสูญเสียทั้งคุณภาพการบริโภคและคุณค่าทางโภชนาการของอาหาร วัตถุประสงค์หลักของการออกแบบเครื่องทำแห้งคือ การหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการทำอาหารแต่ละชนิดให้แห้งโดยมีการสูญเสียคุณภาพการบริโภคและคุณค่าทางโภชนาการน้อยที่สุด ตัวอย่างอาหารแห้งที่ผลิตในระดับอุตสาหกรรมที่สำคัญได้แก่ น้ำตาล กาแฟ นม มันฝรั่ง แป้ง ถั่ว ส่วนผสมสำหรับทาขนมปัง อาหารเช้าประเภทที่ทำมาจากธัญพืช ชาและเครื่องเทศ

2.7.2 ประโยชน์ของการทำแห้ง

1. เป็นการถนอมอาหารทำให้สามารถเก็บไว้ได้นานขึ้น
2. เป็นการลดความสามารถในการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์
3. เป็นการลดปฏิกิริยาเคมีหรือการทำงานของเอนไซม์ต่างๆในอาหาร
4. สามารถลดปริมาตรและน้ำหนักของอาหาร ซึ่งช่วยให้ลดค่าใช้จ่ายในการดำเนินการอื่นๆ เช่นการลำเลียง การขนส่ง การเก็บรักษา และระยะเวลาในการให้ความร้อน
5. เปลี่ยนสภาพวัตถุดิบให้อยู่ในรูปแบบที่เหมาะสม เพื่อเป็นวัตถุดิบตั้งต้นของกระบวนการแปรรูปอื่นๆต่อไป
6. เพิ่มความหลากหลายของผลิตภัณฑ์และความสะดวกให้แก่ผู้บริโภค

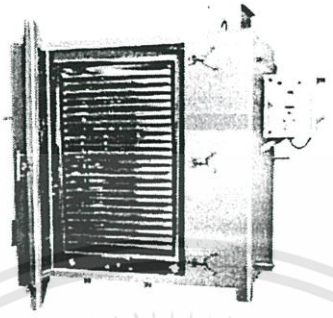
2.7.3 เครื่องมือในการทำแห้ง

1. เครื่องอบแห้งแบบถาด (Tray dryer) [1]

เครื่องอบแห้งแบบถาดประกอบด้วยถาดเตี้ยๆ ที่มีช่องตาข่ายอยู่ด้านล่างและบุเครื่องด้วยฉนวน ในแต่ละถาดจะบรรจุอาหารชิ้นบางๆ อากาศร้อนจะไหลหมุนเวียนอยู่ในตู้ มีระบบท่อหรือแบฟเฟิล เพื่อนำลมร้อนขึ้นไปด้านบนผ่านแต่ละถาดเพื่อให้ลมร้อนกระจายอย่างสม่ำเสมอ อาจมีการติดตั้งเครื่องทำความร้อนเพิ่มด้านบนหรือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

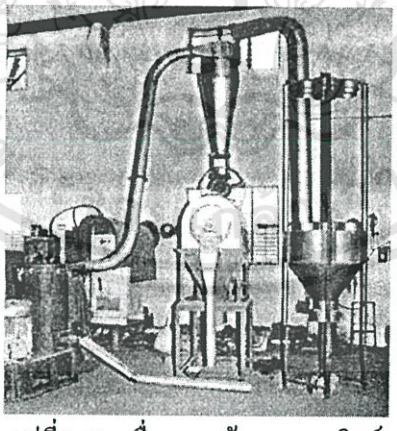
ด้านข้างของถาดเพื่อเพิ่มอัตราการทำแห้ง นิยมใช้เครื่องอบแห้งแบบถาดในการผลิตอาหารในปริมาณต่ำ หรือสำหรับใช้ในโรงงานต้นแบบ เครื่องอบชนิดนี้ใช้เงินลงทุนและค่าดูแลรักษาต่ำแต่ควบคุมดูแลยาก และคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้ไม่สม่ำเสมอ



รูปที่ 2.22 เครื่องอบแห้งแบบถาด

2. เครื่องอบแห้งแบบนูเมติกส์ (Pneumatic dryer)

อาหารที่เป็นชิ้นหรือผงจะถูกอบแห้งอย่างต่อเนื่องในท่อโลหะแนวนอนหรือแนวตั้งในเครื่องอบแห้งแบบนูเมติกส์ และใช้ไซโคลนเพื่อแยกผลิตภัณฑ์ที่แห้งแล้วออกมา ชิ้นอาหารซึ่งโดยทั่วไปจะมีความชื้นน้อยกว่า 40% จะถูกส่งเข้าไปในท่อและแขวนลอยอยู่ในอากาศร้อน มีการปรับความเร็วลมในเครื่องอบแห้งแบบตั้งเพื่อให้ชิ้นอาหารอยู่แยกกัน อาหารที่เบากว่าหรือเล็กกว่าจะแห้งเร็วกว่าและเคลื่อนที่ไปยังไซโคลนเร็วกว่าชิ้นอาหารที่หนักกว่า เครื่องอบแห้งแบบนูเมติกส์ใช้เงินลงทุนต่ำแต่ให้อัตราการทำแห้งและประสิทธิภาพของความร้อนสูง ควบคุมสภาวะการอบแห้งได้ดี นิยมใช้วิธีนี้หลังการอบแห้งแบบพ่นฝอย เพื่อผลิตอาหารที่มีความชื้นต่ำกว่าปกติ



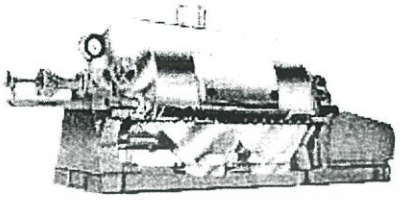
รูปที่ 2.23 เครื่องอบแห้งแบบนูเมติกส์

3. เครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้ง (Drum dryer)

มีการให้ความร้อนลูกกลิ้งที่ทำจากโลหะเหล็กทรงกระบอกกลวงซึ่งหมุนอย่างช้าๆ โดยใช้ไอน้ำความดันสูงที่อุณหภูมิ 120-170 องศาเซลเซียส อาหารจะแผ่เป็นชิ้นบางๆอย่างสม่ำเสมอบนผิวของลูกกลิ้งโดยการจุ่ม การฉีดพ่นหรือการแผ่บางๆ อาหารแห้งจะถูกขูดออกโดยใบมีดซึ่งจะสัมผัสกับผิวของลูกกลิ้งอย่างสม่ำเสมอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

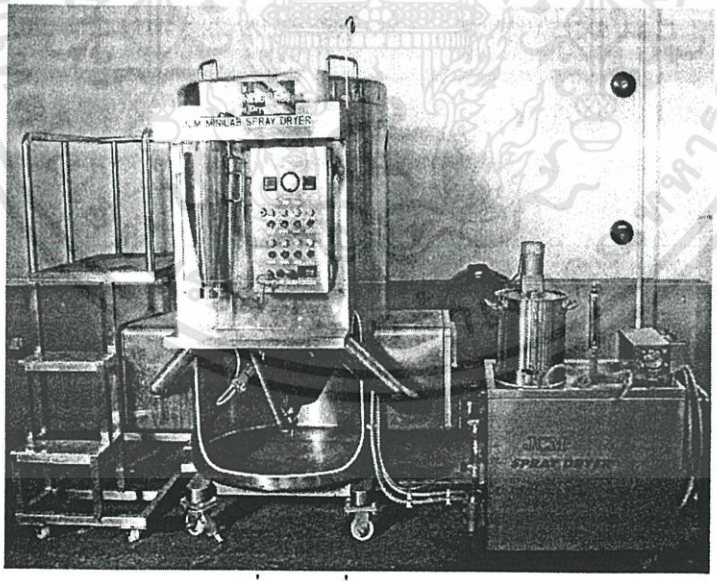
เครื่องอบแห้งแบบนี้ให้อัตราการอบแห้งและประสิทธิภาพการใช้พลังงานสูง เหมาะกับอาหารเหลวที่มีขนาดของอนุภาคใหญ่เกินกว่าจะใช้เครื่องอบแห้งแบบฉีดพ่นฝอย อย่างไรก็ตามต้องใช้เงินลงทุนสูงและอาหารที่มีความไวต่อความร้อนอาจเกิดความเสียหายได้



รูปที่ 2.24 เครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้ง

4. เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย (Spray dryer) [13]

สารที่ต้องการทำให้แห้งจะทำให้เกิดการระเหยของน้ำออกจากอนุภาคของสารที่ต้องการอย่างรวดเร็วภายในเวลาสั้นๆ ประมาณ1-10 วินาที เนื่องจากอนุภาคของสารจะถูกฉีดพ่นให้กระจายเป็นละอองขนาดเล็กทำให้มีสัดส่วนต่อปริมาตรสูง จึงก่อให้เกิดการถ่ายโอนความร้อนและมวลสารได้ดีและน้ำที่อยู่ในสารละลายจะระเหยเป็นไอออกมาทางช่องลม ส่วนผลิตภัณฑ์แห้งจะถูกดูดไปตามท่อและแยกออกตามลมร้อนโดยระบบไซโคลน (cyclone) ตกลงในขวดหรือภาชนะ ดังแสดงในรูปที่ 2.25



รูปที่ 2.25 เครื่อง Spray dryer

- **ส่วนประกอบที่สำคัญของเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย**

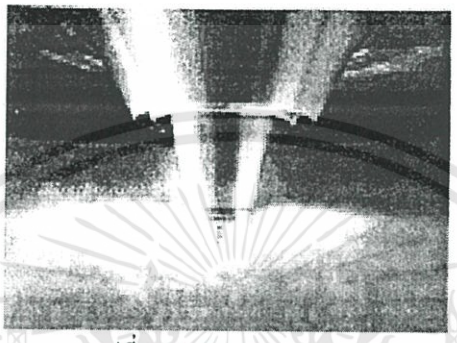
1. ภาชนะทำแห้ง (drying chamber) จะมีลักษณะเป็นกระบอกสูงและเป็นส่วนที่จะมีการถ่ายเทความร้อนกับละอองของสารละลาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. หัวฉีด (atomizer, nozzle) ทำหน้าที่ฉีดหรือเหวี่ยงสารละลายให้เป็นละอองฝอย ซึ่งอาจแบ่งออกได้เป็นหัวฉีดที่ฉีดสารละลายออกมาทางรูเล็กๆและประเภทจานหมุน (rotary disc) ซึ่งประเภทหัวฉีดแบ่งได้ดังนี้

2.1 Rotary Atomizer [14]

Atomizer ชนิดนี้ อาหารเหลวจะไหลลงบนจานหมุนใกล้กับจุดศูนย์กลาง โดยจานหมุนจะมีความเร็วรอบประมาณ 5,000-10,000 รอบต่อนาที อาหารเหลวที่ตกลงบนจานหมุนจะถูกเหวี่ยงออกด้านข้างกระจายเป็นละอองขนาดอนุภาคเฉลี่ยประมาณ 30-120 ไมครอน ซึ่งขนาดเฉลี่ยนี้จะแปรผันตรงกับอัตราการไหลของ feed และความหนืด แต่จะแปรผกผันกับอัตราการหมุนและเส้นผ่านศูนย์กลางของจานหมุน



รูปที่ 2.26 Rotary Atomizer

2.2 Pressure Nozzles Atomizer

Atomizer ชนิดนี้อาหารเหลวจะไหลผ่านช่องของหัวฉีดภายใต้ความดันสูง ทำให้ของเหลวที่ออกมาจากหัวฉีดกระจายเป็นละอองฝอยได้โดยที่ไม่ต้องใช้อากาศ อนุภาคที่ได้จะมีขนาดเฉลี่ยประมาณ 120-250 ไมครอน โดยขนาดอนุภาคจะแปรผันตรงกับอัตราการไหลของ feed และความหนืด แต่จะแปรผกผันกับความดัน

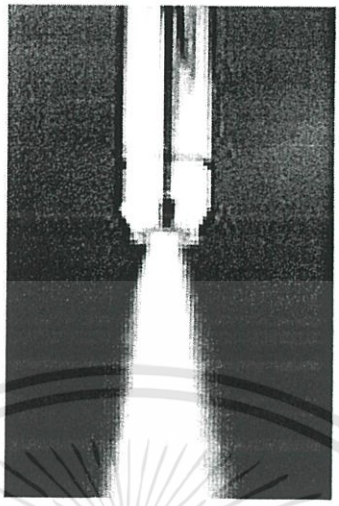
รูปที่ 2.27 Pressure Nozzles Atomizer

2.3 Two-fluid Nozzle Atomizer (Pneumatic Nozzle Atomizer)

Atomizer ชนิดนี้อาหารเหลวและอากาศจะไหลผ่านหัวของ nozzle ซึ่งจะทำให้อาหารเหลวแตกเป็นละอองฝอย เนื่องจากการไหลผ่านของอากาศด้วยความเร็วสูงภายใน nozzle การปรับอัตราการไหลของอากาศ จะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ช่วยในการกระจายเป็นละอองของอาหารเหลว วิธีนี้นิยมใช้กับอาหารเหลวที่มีความหนืดสูง แต่อย่างไรก็ตาม วิธีนี้มีค่าดำเนิน การที่สูงแต่ให้ผลผลิตค่อนข้างต่ำ



รูปที่ 2.28 Two-fluid Nozzle Atomizer

3. ที่กระจายลม (Air Disperser) เป็นส่วนกระจายลมร้อนเข้าเครื่องทำแห้ง เพื่อให้สัมผัสกับอาหารเหลวที่พ่นออกมาเป็นละออง การเป่าลมร้อนอาจกระทำไปในทิศทางเดียวหรือสวนทางกันกับอาหารเหลว

4. ระบบแยกอาหารผงออกจากความร้อน (Recovery System) เป็นการแยกอาหารผงที่ได้ออกจากลมร้อน โดยอาศัยหลักการหมุนของกระแสลมร้อนให้มากระทบกับผนังท่อเพื่อผงที่หนักกว่าจะได้ตกลงสู่เบื้องล่าง คุณสมบัติของผงที่ได้จะขึ้นกับความเข้มข้นของอาหารเหลวเริ่มต้น อุณหภูมิลมร้อนขาเข้าและออกจากเครื่อง ความเร็วในการหมุนของหัวฉีด เปอร์เซ็นต์ความชื้นของอาหารและวัตถุดิบ ความสูงของห้องทำแห้ง อาหารผงที่ได้จะมีความชื้นไม่เกิน 5 เปอร์เซ็นต์และสามารถละลายน้ำได้ดีมาก ตัวอย่างของการทำอาหารผงคือ กาแฟผง นมผง

2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ชลิดา เลื่อมใสสุข และคณะ(2001) ได้ศึกษาการผลิตน้ำผักผลไม้รวมชนิดผงสำเร็จรูปโดยวิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอย[15] โดยน้ำผักและน้ำผลไม้ประกอบด้วย น้ำแครอท น้ำส้ม และน้ำสับปะรด ในอัตราส่วน 55 ต่อ 40 ต่อ 5 ตามลำดับ และใช้มอลโตเด็กซ์ทรินร้อยละ 20 โดยน้ำหนักต่อปริมาตรของน้ำผักผลไม้เป็นสารที่ช่วยในการทำแห้งร่วมกับการระเหยน้ำด้วยเครื่องระเหยแบบหมุนระบบสุญญากาศจนวัตถุดิบก่อนเข้าเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดประมาณ 40 องศาบริกซ์ ทำการศึกษาอุณหภูมิอากาศร้อนขาเข้าของเครื่องทำแห้งเป็น 3 ระดับ คือ 130, 150และ 170 องศาเซลเซียส ผลพบว่าอุณหภูมิอากาศร้อนขาเข้าที่เหมาะสมคือที่ระดับอุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เนื่องจากผลิตภัณฑ์ผงที่ผลิตได้มีปริมาณความชื้นต่ำที่สุด(ร้อยละ 1.69+0.23) มีค่าการละลายสูง(ร้อยละ 94.48+0.96) และมีคะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสในด้านลักษณะปรากฏของผง สีของผลิตภัณฑ์ผงที่ผ่านการละลายแล้ว กลิ่นรส อยู่ในช่วงชอบปานกลางถึงชอบมาก

สมจิตร วงศ์กำชัย (2544) ได้ศึกษาการสกัดสารอะเซียติโคไซด์จากผงใบบัวบกด้วยคลื่นเหนือเสียง[16] โดยทำการศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการสกัด ได้แก่ เวลาในการสกัด ชนิดและความเข้มข้นของตัวทำละลาย ขนาดผงใบบัวบก อัตราส่วนของผงใบบัวบกต่อตัวทำละลาย และความเข้มของคลื่นเหนือเสียง โดยใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แหล่งกำเนิดคลื่นเหนือเสียงต่างกัน 2 ชนิดได้แก่ อัลตราโซนิคโพรบ (ความถี่ 20 กิโลเฮิร์ซ) และอ่างทำความสะอาดด้วยคลื่นเหนือเสียง (ความถี่ 47 กิโลเฮิร์ซ) ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า การสกัดโดยใช้คลื่นเหนือเสียงสามารถให้ปริมาณอะเซียติโคไซด์มากกว่าในกรณีที่ไม่ใช้คลื่นเหนือเสียงสูงถึง 3 เท่า และเมื่อเปรียบเทียบที่ปริมาณของอะเซียติโคไซด์ที่สกัดได้เท่ากัน (คือ 1.2 กรัมอะเซียติโค-ไซด์ต่อ 100 กรัมผงใบบัวบก) พบว่า เมื่อใช้คลื่นเหนือเสียงจะใช้เวลาในการสกัดเพียง 1 นาที ส่วนกรณีไม่ใช้คลื่นเหนือเสียง ต้องใช้เวลาในการสกัดนานถึง 90 นาที

Ai-jun Hu และคณะ (2007) ได้ศึกษาการสกัดน้ำมันและ สาร coixenolide จาก adlay seed โดยใช้วิธีอุลตร้าโซนิก[3] โดยศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการสกัดดังนี้ อุณหภูมิ ความดัน ระยะเวลา อัตราการไหลของคาร์บอนไดออกไซด์ และกำลังไฟฟ้า ซึ่งได้ทดลองสกัดแบบไม่ใช้คลื่นอุลตร้าโซนิกที่ อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส ความดัน 25 MPa ระยะเวลา 4 ชั่วโมง อัตราการไหลของคาร์บอนไดออกไซด์ 3.5 ลิตรต่อชั่วโมง ในขณะที่การสกัดแบบใช้คลื่นอุลตร้าโซนิกที่ อุณหภูมิ 40องศาเซลเซียส ความดัน 20 MPa ระยะเวลา 3.5 ชั่วโมง อัตราการไหลของคาร์บอนไดออกไซด์ 3 ลิตรต่อชั่วโมง ผลปรากฏว่าการสกัดแบบใช้คลื่นอุลตร้าโซนิกสามารถลดอุณหภูมิ ความดัน ระยะเวลา อัตราการไหลของคาร์บอนไดออกไซด์ลงได้ และสามารถเพิ่มเปอร์เซ็นต์ yield ได้ 14 เปอร์เซ็นต์

D. Chiou และคณะ (2008) ได้ศึกษาการเกิดผลึกในการอบแห้งแบบพ่นฝอย[17] ซึ่งการเลียนแบบพฤติกรรมการเกิดผลึกในเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยมีการพัฒนาและประยุกต์ใช้น้ำตาลแล็คโตส โดยใช้วิธี Buchi-290 laboratory scale dryer การเจริญเติบโตของผลึกถูกจำลองโดยใช้วิธี Williams–Landel–Ferry (WLF) และจะใช้สารละลายแล็คโตสในการเกิดผลึก จากการสำรวจพบว่าการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิจะมีผลต่อการเกิดผลึก ดังที่ได้ศึกษาผลกระทบต่อการเกิดผลึกของแล็คโตสในอุณหภูมิขาเข้าช่วง 134 - 210 C และจากข้อมูลพบว่าใช้วิธี WLF จะทำให้ข้อมูลมีความแม่นยำในการทำนาย นอกจากนี้การเกิดผลึกแบบไม่มีรูปร่างไม่สามารถที่จะมองข้ามความสัมพันธ์ในการเกิดผลึกกับการหยดสารละลายได้

D.Meterc และคณะ (2008) ได้ศึกษาการทำแห้งสารสกัดจากชาเขียวโดยใช้การทำแห้งแบบพ่นฝอยและได้ทำการศึกษากระบวนการใหม่ในการทำแห้งสารสกัดจากธรรมชาติ [18] โดยใช้การทำแห้งแบบพ่นฝอยที่ใช้ความดันสูง เรียกว่า Particles from Gas Saturated Solutions (PGSS) ซึ่งในการทำแห้งจะใช้อุณหภูมิต่ำประมาณ 30 – 60 $^{\circ}c$ ทำให้มีผลกระทบต่อสาระสำคัญต่างๆ ในวัตถุดิบน้อยมาก เห็นได้จากหลังการทำแห้งมีการตรวจสอบพบว่าสารสำคัญในชาเขียวคือ Polyphenols สูญเสียไปในกระบวนการทำแห้งน้อยมาก

IvanaT.Stanisavljevic และคณะ (2007) ได้ศึกษาการสกัดน้ำมันจากเมล็ดtobaccoด้วยคลื่นอัลตร้าโซนิค [19] ในการสกัดสารในเมล็ดtobacco จะใช้สารละลายคือ n-hexane และ petroleum ether โดยทำการศึกษาปัจจัยเกี่ยวกับ อุณหภูมิและอัตราส่วนระหว่างเมล็ดกับสารละลาย นอกจากนี้ปริมาณน้ำมันที่ได้จะขึ้นกับการทำให้เมล็ดละเอียดก่อนการสกัด อัตราส่วนระหว่างเมล็ดกับสารละลาย และชนิดของสารที่ใช้สกัด ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าปริมาณน้ำมันจะมากขึ้นหากมีการเพิ่มอุณหภูมิในการสกัด และลดอัตราส่วนระหว่างเม็ดกับสารละลาย และในการศึกษาพบว่าการสกัดแบบอัลตร้าโซนิคจะทำให้ได้ปริมาณน้ำมันน้อยกว่าการสกัดแบบ Soxhlet

Ivetta Vincze และคณะ (2004) ได้ทำการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับการประยุกต์ใช้ Nanofiltration ในการสกัดน้ำกาแฟเข้มข้น [20] พบว่าวิธีที่เหมาะสมที่สุดในการทำแห้งน้ำกาแฟสกัดคือการอบแห้งแบบพ่นฝอย (Spray-drying) ซึ่งต้องพ่นฝอยละอองน้ำกาแฟให้เข้าไปสัมผัสกับอากาศร้อน (อุณหภูมิ 150-300 $^{\circ}c$) ภายในห้องอบแห้ง และละอองน้ำกาแฟจะแห้งอย่างรวดเร็วภายใน 1-10 วินาที เนื่องจากมีพื้นที่ผิวสัมผัสมากทำให้การถ่ายเทความ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ร้อนทำได้อย่างรวดเร็ว การทำแห้งแบบพ่นฝอยมีค่าใช้จ่ายในการดำเนินการสูงมากจึงอาจไม่เหมาะกับผลิตภัณฑ์บางประเภท

Jian Pan และคณะ (2008) ได้ศึกษาการสกัดสาร monocrotophos, dimethoate, imidacloprid, carbendazim,carbaryl และ simazine จากกากของใบผัก[21] โดยใช้เครื่องอุลตร้าโซนิกร่วมกับสารละลายในการสกัด ซึ่งได้ศึกษาปัจจัยเกี่ยวกับ ชนิดของสารละลาย ระยะเวลา และจำนวนครั้งในการสกัด ในการสกัดไม่ต้องมีการจัดระเบียบก่อนเพื่อศึกษาผลกระทบของวิธีการสกัดด้วยเครื่องอุลตร้าโซนิกร่วมกับสารละลายอย่างแท้จริง ซึ่งจุดประสงค์ในการสกัดครั้งนี้เพื่อสกัดสารทั้ง 6 ชนิด ภายในครั้งเดียว โดยใช้สารละลาย ethyl acetate ปริมาณ 40 มิลลิลิตร และใช้ระยะเวลาในการสกัด 35 นาที การคืนตัวมากกว่า 83 เปอร์เซ็นต์ และ LOQ น้อยกว่า 1.4 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม การสกัดด้วยวิธีนี้เป็นวิธีที่ง่าย ค่าใช้จ่ายต่ำ และมีประสิทธิภาพกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการสกัด homogenized extraction

Meng Wai Woo และคณะ (2008) ได้ศึกษาการตกตะกอนของอนุภาคไร้รูปร่างและคุณภาพของผลิตภัณฑ์ภายใต้สภาวะต่างๆ[22] ซึ่งได้ทดลองการทำแห้งแบบพ่นฝอยน้ำผักและผลไม้ ร่วมกับการใช้น้ำตาลที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ โดยจะศึกษาผลกระทบต่อผนังของอนุภาค ที่สภาวะต่างกันและศึกษาการตกตะกอนของอนุภาคในเครื่องจักรและปรากฏการณ์ทางกายภาพภายในห้องอบแห้ง ผลการทดลองปรากฏว่าอนุภาคของผลิตภัณฑ์ทางด้านล่างถังของเครื่องจักรจะมีเปอร์เซ็นความชื้นสูงกว่าอนุภาคที่ตกตะกอนอยู่บนแผ่นโลหะทางด้านในเครื่อง และเปอร์เซ็นความชื้นในเครื่องจักรบริเวณหัวพ่นฝอยจะมีความชื้นค่อนข้างสูง และอนุภาคที่ตกตะกอนไกลจากหัวพ่นฝอยจะมีความชื้นต่ำกว่า นอกจากนี้การกระจายของอนุภาค ขนาดต่างๆ นั้นขนาดอนุภาคขนาดเล็กจะเคลื่อนที่อยู่ที่ตรงกลางของกระแสลมร้อนในขณะที่อนุภาคขนาดใหญ่จะเวียนกลับมาในถัง

Sandra Regina Georgetti และคณะ (2008) ได้ทำการศึกษาการทำแห้งสารสกัดถั่วเหลืองโดยใช้เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย[23] โดยศึกษาผลกระทบของการทำแห้งต่อคุณสมบัติทางเคมีและปฏิกิริยาด้าน antioxidant จากผลการศึกษาได้แสดงให้เห็นว่า การเลือก excipient มีความสำคัญคือเป็นตัวกำหนดคุณภาพสารเคมีและคุณค่าทางโภชนาการของการทำแห้งสารสกัดถั่วเหลือง นอกจากนี้ยังได้กล่าวว่า การทำแห้งแบบพ่นฝอยได้รับความนิยมในเทคโนโลยีการทำแห้งในอุตสาหกรรมอาหาร อุตสาหกรรมเคมีและอุตสาหกรรมยา เนื่องจากผลิตภัณฑ์ที่ได้มีคุณภาพสูง ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการต่ำ การอบแห้งแบบพ่นฝอยกำลังนิยมใช้มากในอุตสาหกรรมที่เกี่ยวกับกระบวนการผลิตสมุนไพร เหตุผลหลักที่สำคัญที่ทำให้การอบแห้งแบบพ่นฝอยได้รับความนิยมเนื่องจากทำให้ผลิตภัณฑ์มีคุณภาพที่แน่นอนและเหมาะกับกระบวนการที่มีการผลิตแบบต่อเนื่อง(Souzo&Oliveira,2006)

Tao Xia และคณะ (2006) ได้ศึกษาผลกระทบต่อสารเคมีและคุณภาพกลิ่นรสในการสกัดชาแบบอัลตร้าโซนิค[24] ซึ่งการสกัดแบบอัลตร้าโซนิคแสดงให้เห็นว่าการสกัดด้วยความถี่และอุณหภูมิต่ำ ทำให้สารเคมีที่เป็นองค์ประกอบในชา polyphenols, amino acid และ caffeine มีมากขึ้นในการชง ผลในการใช้การสกัดแบบอัลต้าโซนิคสามารถเพิ่มผลผลิตของอโรม่า และไกโคซิดิก อโรม่า นอกจากนี้การสกัดโดยใช้อุณหภูมิสูงทำให้มีค่าโปรตีนและเป็กตินมากขึ้น แต่จะทำให้ กลิ่น รสชาติและสีมีคุณภาพต่ำลง ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าการสกัดที่อุณหภูมิต่ำเป็นการพัฒนาและปรับปรุงคุณภาพทางเคมีและทางประสาทสัมผัสของเครื่องดื่มชา (Zhang, Yang, &Lin, 1998)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
อุปกรณ์และการทดลอง

ในการศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตกาแฟผง ได้แบ่งการศึกษาออกเป็น 2 ส่วน คือ 1) ศึกษาการสกัดกาแฟด้วยคลื่นอัลตราโซนิก โดยมีตัวแปรศึกษาคือ ระยะเวลาในการสกัดและอุณหภูมิที่ใช้สกัด และ 2) ศึกษาการทำแห้งกาแฟผงด้วยวิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอย ตัวแปรที่ศึกษาคือ อุณหภูมิลมร้อนที่ใช้ในการทำแห้ง

3.1 วัตถุดิบที่ใช้ศึกษา

กาแฟที่ใช้ศึกษาเป็นเมล็ดกาแฟพันธุ์โรบัสต้า (จาก บ้านไร่กาแฟ)ที่ผ่านการคั่วโดยได้รับความอนุเคราะห์จากบริษัทกรีนวันฟู้ด จำนวนทั้งสิ้น 100 กิโลกรัม

3.2 อุปกรณ์การทดลอง

ขั้นตอนการสกัดน้ำกาแฟ

1. ชุดเครื่องอัลตร้าโซนิกแบบอ่างและฮีทเตอร์
2. บีกเกอร์ขนาด 2 ลิตร
3. รีแฟคโตมิเตอร์
4. เทอร์โมมิเตอร์
5. พีเอชมิเตอร์
6. ถุงกรอง
7. ทัพพี
8. Steam Jacket Cooker
9. ถาดสแตนเลส

ขั้นตอนการทำแห้ง

1. เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย JCM รุ่น minilab SDE-10
2. ปั๊มลม
3. เตาแก๊ส
4. หม้อและทัพพีสแตนเลส
5. เครื่องชั่งน้ำหนัก
6. เครื่องวัดความเร็วลม
7. ถุงฟอยล์
8. เครื่อง Seal
9. ตู้แช่เย็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การเตรียมวัตถุดิบกาแฟ

นำกาแฟพันธุ์โรบัสต้ามาบดด้วยเครื่อง Hammer mill (ดังรูปที่ 3.1) จากนั้นนำไปหาขนาดอนุภาคเฉลี่ยของกาแฟบดด้วยวิธี Screen Analysis เปิดการสั่นแบบ 3 มิติ เป็นเวลา 20 นาที และนำ Sieveแต่ละชั้นมาชั่งน้ำหนักเพื่อคำนวณหาขนาดอนุภาคเฉลี่ยจากสมการ

$$\bar{D}_s = \frac{1}{\sum_{i=1}^{n} \frac{x_i}{D_{pi}}}$$

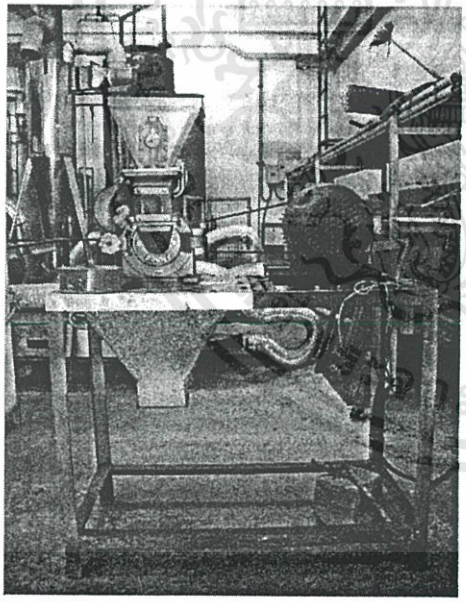
และทำการวิเคราะห์คุณสมบัติพื้นฐานของกาแฟ ประกอบด้วย ค่าความชื้น, ความหนาแน่น, ขนาดของเมล็ดกาแฟและค่า a_w กาแฟที่ผ่านการบดนำมาเก็บรักษาในตู้แช่เย็นที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส ก่อนมาใช้ในการทดลอง

3.4 การเตรียมอุปกรณ์

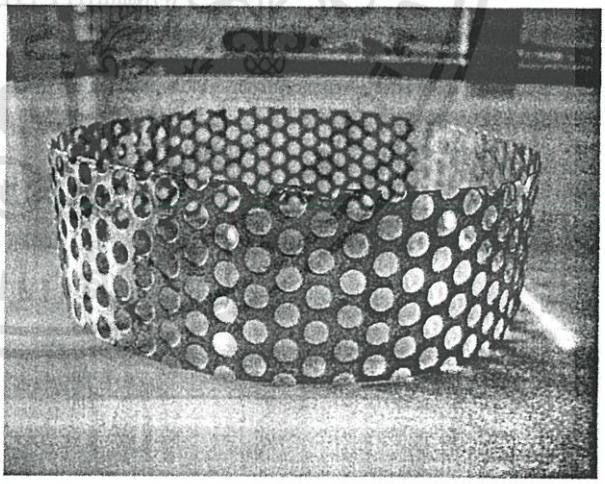
3.4.1 เครื่องลดขนาด

เครื่องลดขนาดแบบ Hammer mill อัตราการป้อน 0.5 กิโลกรัมต่อนาที

1. ทำความสะอาดเครื่องก่อนการใช้งาน โดยใช้ข้าวสารมาบดก่อนใช้งาน
2. ใส่ตะแกรงขนาดรูเปิด 0.6 เซนติเมตรดังรูปที่ 3.2 ปิดฝาเครื่องทางด้านหน้าให้สนิท
3. ใส่เมล็ดกาแฟทางด้านบนของเครื่อง เปิดช่องให้เมล็ดกาแฟไหลในอัตราคงที่
4. เปิดสวิทซ์ทำงานของเครื่อง
5. นำภาชนะมาใส่กาแฟบดทางด้านล่างของเครื่อง



รูปที่ 3.1 เครื่องลดขนาด



รูปที่ 3.2 ตะแกรงบดขนาด 0.6 เซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.2 เครื่องอัลตร้าโซนิกแบบอ่าง (Bath Ultrasonication)

รูปทรงถังสี่เหลี่ยมกว้าง 200 มิลลิเมตร ยาว 250 มิลลิเมตร สูง 300 มิลลิเมตร ความจุประมาณ 12-15 ลิตร โดยเครื่องจะประกอบด้วย เครื่องกำเนิดกระแสไฟฟ้า ทรานส์ดิวเซอร์ความถี่ 40 kHzและระบบส่งถ่ายพลังงาน

1. เตรียมบีกเกอร์ทำการสกัดกาแฟ โดยใช้อัตราส่วนน้ำ: กาแฟ คือ 2:1 จากนั้นนำบีกเกอร์ดังกล่าววางในอ่างอัลตร้าโซนิก ดังรูปที่3.3 โดยต้องระวังไม่ให้บีกเกอร์สัมผัสกับแผงความร้อนภายในอ่างอัลตร้าโซนิก

2. ติดตั้งอุปกรณ์เพื่อช่วยในการกวนกาแฟระหว่างการทำการสกัดกาแฟ

3. เติมน้ำเข้าไปในอ่างอัลตร้าโซนิกโดยให้ปริมาณน้ำในอ่างมากกว่าปริมาณน้ำในบีกเกอร์ เล็กน้อยต่อท่อน้ำหล่อเย็น

4. เปิดสวิทช์ควบคุมอุณหภูมิพร้อมทั้งปรับค่าอุณหภูมิตามที่ต้องการ คือ 60, 70และ80 องศาเซลเซียส

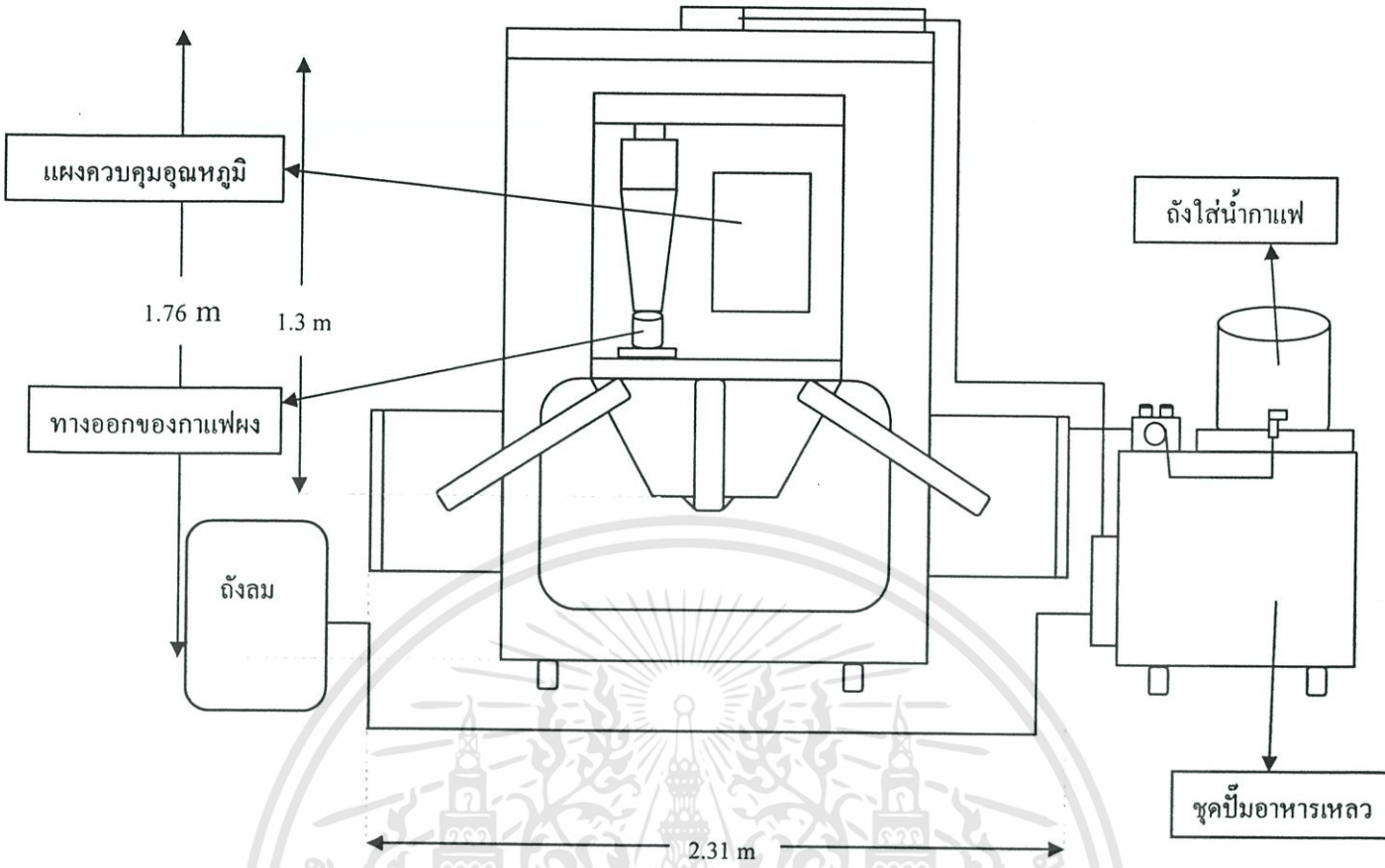
5. เปิดสวิทช์อ่างอัลตร้าโซนิกพร้อมปรับค่าความถี่

รูปที่ 3.3 เครื่องอัลตร้าโซนิกแบบอ่าง

3.4.3 เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย (Spray dryer)

Spray dryer ประกอบไปด้วยภาชนะทำแห้ง (Drying chamber) จะมีลักษณะเป็นกระบอกสูงและเป็นส่วนที่จะมีการถ่ายเทความร้อนกับละอองของสารละลายและหัวฉีด (Atomizer, Nozzle) ทำหน้าที่ฉีดสารละลายให้เป็นละอองฝอย โดยจะเลือกใช้หัวฉีดแบบ Two fluid nozzle ที่อัตราการป้อน 9.96 ลิตรต่อชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย

1. เตรียมน้ำกาแฟที่มีความเข้มข้น 33 $^{\circ}$Brix
2. ติดตั้งส่วนประกอบต่างๆของเครื่องทำแห้งให้เรียบร้อย ก่อนเปิดเมนสวิทช์
3. ปรับอัตราการไหลและอุณหภูมิลมร้อน รอจนกระทั่งอุณหภูมิคงที่
4. เริ่มทำการเปิดปั๊มป้อนอาหารเหลว เริ่มต้น ให้ทดลองป้อนน้ำเปล่าเข้าเครื่อง โดยค่อยๆเพิ่มอัตราการไหลของน้ำจนกระทั่งได้ค่าอัตราการไหลตามต้องการ ใช้หัวฉีดที่ความดันลมที่ 0.5 MPa
5. เมื่ออุณหภูมิภายในห้องทำแห้งมีค่าคงที่ จากนั้นจึงเริ่มป้อนน้ำกาแฟที่เตรียมไว้เข้าเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย
6. ในขณะทำแห้ง สังเกตการทำงานของปั๊มลมที่ส่งไปกระแทกผนังของห้องทำแห้งเป็นระยะ อย่างต่อเนื่อง เพื่อป้องกันการสะสมผลิตภัณฑ์ผงที่บริเวณผนังห้องทำแห้ง

3.5 วิธีการทดลอง

ในการทดลองนี้มีการแบ่งการทดลองออกเป็น 3 ตอน คือการสกัดน้ำกาแฟ, การเตรียมน้ำกาแฟเพื่อทำแห้ง และการทำแห้ง ซึ่งการสกัดน้ำกาแฟตัวแปรต้นที่ทำการศึกษา คือระยะเวลาในการสกัด และอุณหภูมิของการสกัดกาแฟ ส่วนการทำแห้งตัวแปรต้นที่จะทำการศึกษา คืออุณหภูมิลมร้อนที่ใช้ในการทำแห้ง

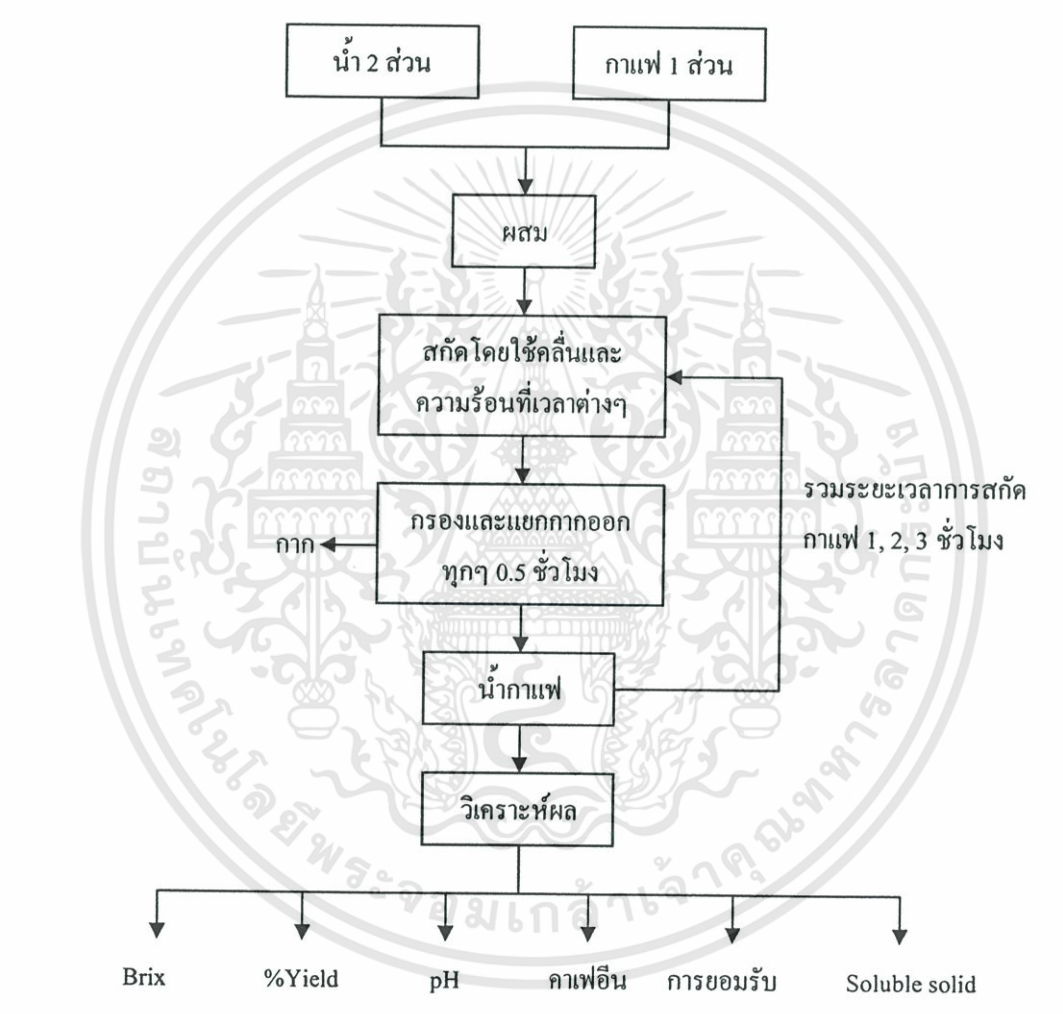
นอกจากนี้ได้ทำการทดลองเบื้องต้นเพื่อหาอัตราส่วนน้ำที่ใช้ในการสกัดกาแฟ, เพื่อเปรียบเทียบการสกัดแบบใช้คลื่นอุลตร้าโซนิกและการไม่ใช้คลื่นอัลตร้าโซนิก และศึกษาการทดลองการสกัดกาแฟโดยใช้คลื่นอัลตร้าโซนิกโดยใช้ปริมาณกาแฟที่ต่างกัน เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงของค่า Brix และค่า pH

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตอนที่ 1

- **การสกัดน้ำกาแฟ**

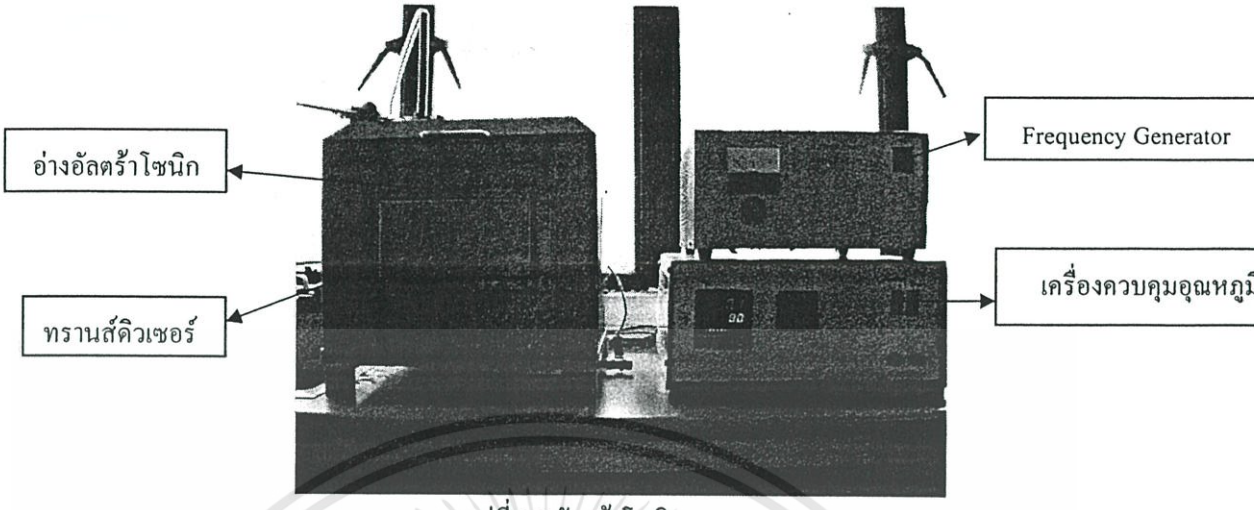
1. นำเมล็ดกาแฟ 1 ส่วน มาบดด้วยเครื่องลดขนาด
2. นำเมล็ดกาแฟที่บดมาผสมกับน้ำกรอง 2 ส่วน
3. นำไปสกัดด้วยคลื่นอัลตร้าโซนิก ที่ช่วงอุณหภูมิและระยะเวลาที่ต้องการจะศึกษา โดยในการสกัดนี้จะต้องเปลี่ยนกาแฟบดที่จะสกัดทุกๆ 0.5 ชั่วโมง
4. แยกกากกาแฟด้วยชุดอุปกรณ์กดแยกกาก
5. นำน้ำกาแฟที่ได้มาวัดและวิเคราะห์ผล



รูปที่ 3.5 ภาพขั้นตอนการสกัดน้ำกาแฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- **การเตรียมเครื่องอัลตร้าโซนิก**



รูปที่ 3.6 อัลตร้าโซนิก

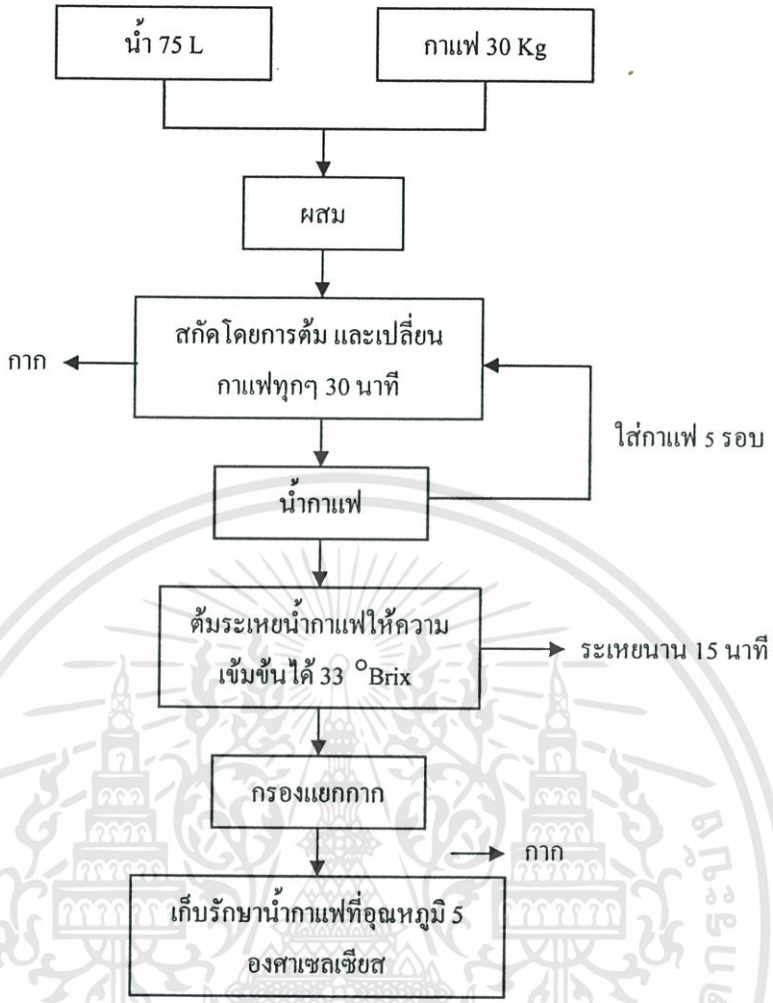
1. เติมน้ำลงในอ่างอัลตร้าโซนิก ดังรูปที่ 3.6 มีรูปทรงเป็นถังสี่เหลี่ยมกว้าง 200 มิลลิเมตร ยาว 250 มิลลิเมตร สูง 300 มิลลิเมตร ความจุประมาณ 12-15 ลิตร
2. ต่อท่อน้ำหล่อเย็นและเปิดให้น้ำมีการไหลเข้าออกตลอดเวลาการใช้งาน
3. เปิดสวิทช์ Heater และตั้งอุณหภูมิ
4. เมื่อได้อุณหภูมิที่ต้องการ ให้นำบีกเกอร์น้ำกาแฟใส่ลงในอ่างอัลตร้าโซนิก
5. เปิดสวิทช์เครื่องกำเนิดไฟฟ้า ทำการสกัดตามแผนการทดลอง

ตอนที่ 2 การทำแห้ง

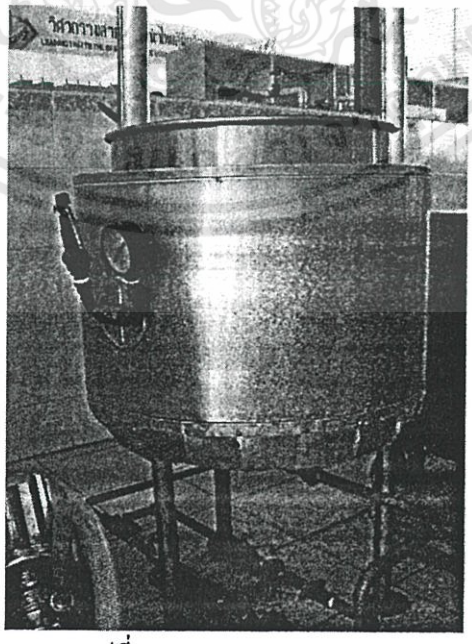
- **การเตรียมน้ำกาแฟ**

1. เตรียมกาแฟบด 30 กิโลกรัมและน้ำ 75 ลิตร
2. เปิด Boiler เพื่อต้มน้ำใน Steam Jacket Cooker
3. ใส่กาแฟบดประมาณ 6 กิโลกรัมต่อครั้ง ต้มเป็นเวลา 30 นาที และตักกากกาแฟเปลี่ยนทุกๆ 30 นาที
4. ต้มเพื่อระเหยน้ำให้ได้ความเข้มข้น 33 $^{\circ}$Brix
5. กรองน้ำกาแฟเข้มข้น เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส นำน้ำกาแฟส่งวัดค่าปริมาณคาเฟอีนในน้ำกาแฟที่สถาบันอาหาร (National food institute)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.7 ภาพขั้นตอนการเตรียมน้ำกาแฟ



รูปที่ 3.8 Steam Jacket Cooker

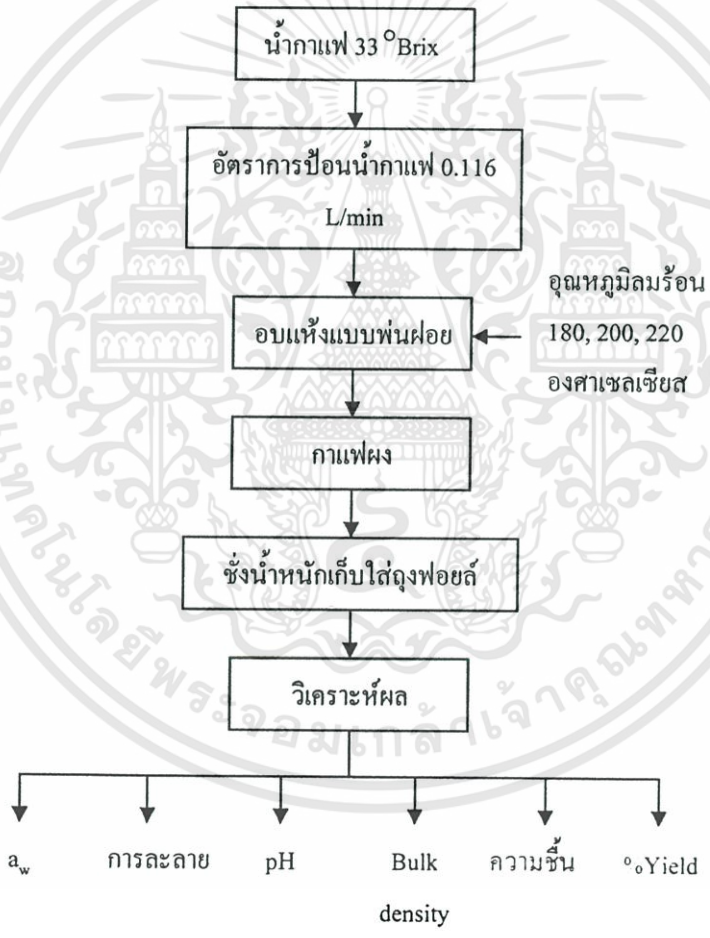
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- **การเตรียม** Steam Jacket Cooker

1. เติมน้ำใน Steam Jacket Cooker ดังรูปที่ 3.8 ปริมาณ 75 ลิตร
2. เปิดสวิทซ์เครื่องกำเนิดไอน้ำ และวาล์วทางด้านหลัง Steam Jacket Cooker
3. เมื่อน้ำได้อุณหภูมิตามที่ต้องการ (ประมาณ 90 องศาเซลเซียส) ใส่กาแฟบดลงไปเพื่อทำการสกัด
4. สกัดกาแฟตามแผนการทดลอง ให้ความเข้มข้นน้ำกาแฟได้ 33 $^{\circ}$Brix

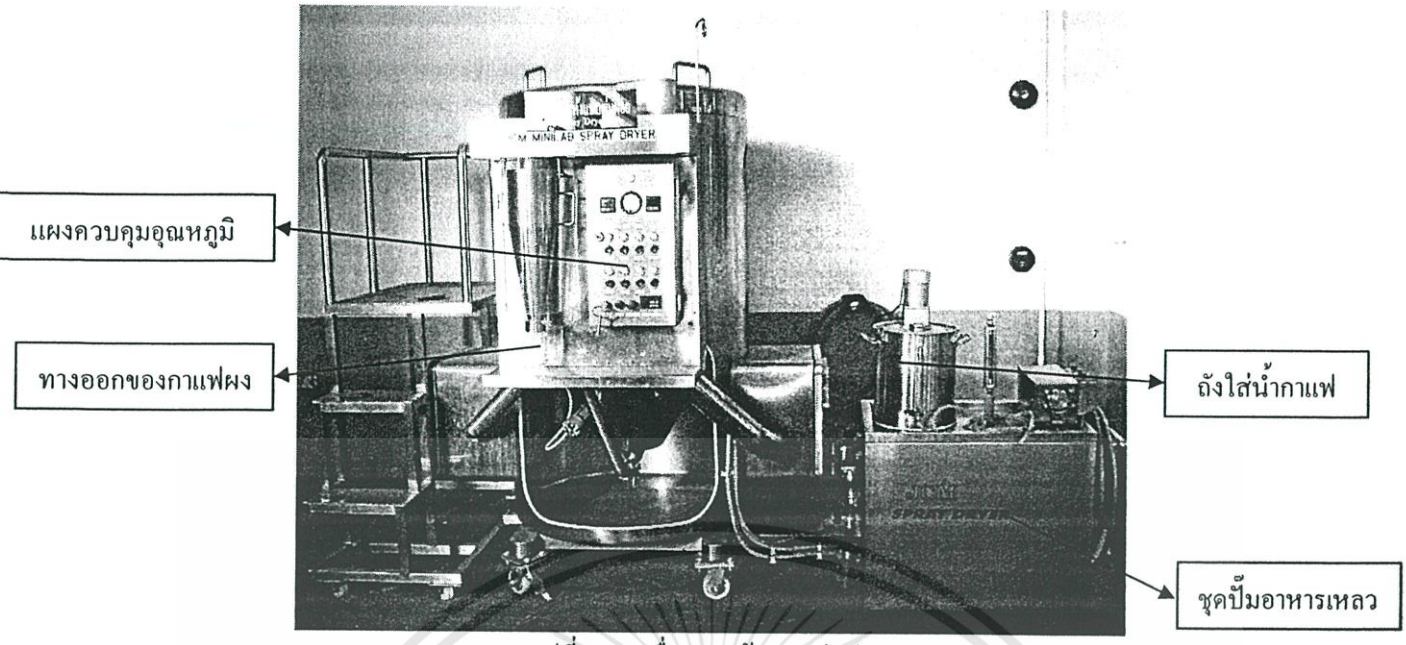
- **การทำแห้ง**

1. เตรียมน้ำกาแฟที่มีความเข้มข้น 33 $^{\circ}$Brix
2. เปิดเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยปรับค่าอุณหภูมิตามตารางแผนการทดลอง
3. เมื่ออุณหภูมิภายในห้องอบแห้งคงที่ จึงเริ่มป้อนน้ำกาแฟโดยให้อัตราการไหลเป็นไปตามที่กำหนด
4. เก็บผลิตภัณฑ์แห้งทั้งหมดชั่งน้ำหนักและบรรจุใส่ถุงฟอยล์ เพื่อนำไปวิเคราะห์ผล



รูปที่ 3.9 ภาพขั้นตอนการทำแห้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.10 เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย

- **การเตรียมเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย**

1. เปิดเมนสวิทซ์เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยพร้อมทั้งปรับอุณหภูมิลมร้อนตามแผนการทดลอง

2. เตรียมเครื่อง Spray dryer ดังรูปที่ 3.10 โดยนำหัวฉีดแบบ Two fluid nozzle ต่อท่อลมและท่อของเหลว ทดลองใช้น้ำจ่าย

3. เมื่ออุณหภูมิภายในห้องอบคงที่ จึงเริ่มป้อนน้ำกาแฟ ปรับวาล์วมอเตอร์จ่ายของเหลวไปที่เลข 20

4. เก็บผลิตภัณฑ์แห้งไปชั่งน้ำหนัก และเก็บเข้าถุงฟอยล์ รอนำเข้าสู่กระบวนการวิเคราะห์ต่อไป

3.6 วิเคราะห์คุณลักษณะของผลิตภัณฑ์

3.6.1 การฮกัด

- **การวัดค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำกาแฟ (pH)**

เครื่องมือ

1) เครื่องวัด pH meter ยี่ห้อ Consort รุ่น C830 ดังรูปที่ 3.11

2) อินดิเคเตอร์ที่ pH 4 และ pH 7

วิธีวิเคราะห์

1. เปิดเครื่องวัด pH meter นำ Probe ออกจากขวดพลาสติกเล็ก

2. กดปุ่ม Calculate นำ Probe จุ่มลงในอินดิเคเตอร์เขียวที่มี pH 7 อ่านค่าหากได้ค่าpH เท่ากับ7 ให้ล้าง Probe

3. กดปุ่ม Calculate อีกครั้งและนำ Probe จุ่มลงในอินดิเคเตอร์แดงที่มี pH 4 อ่านค่าหากได้ค่าpH เท่ากับ4 ให้ล้าง Probe

4. นำ Probe จุ่มลงในสารละลายที่ต้องการจะวัดหาค่า pH อ่านค่าเมื่อค่าหยุดนิ่งเป็นเวลา 15 วินาที ทำเช่นนี้ 3 ครั้งเพื่อหาค่าเฉลี่ย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.11 pH meter

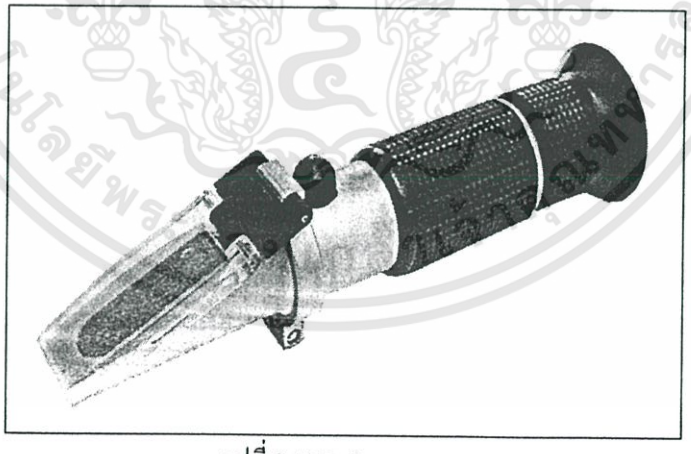
- **การหาค่าความหวานของน้ำกาแฟ (°Brix)**

  เครื่องมือ

  Refractometer ดังรูปที่ 3.12

  วิธีวิเคราะห์

  1. เตรียมสารละลายตัวอย่างที่ต้องการจะตรวจหาให้มีอุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส
  2. หยดสารละลายลงบนแผ่นแก้วของ Refractometer
  3. ปิดแผ่นพลาสติกเพื่อให้สารละลายตัวอย่างเกิดการกระจายตัวบนแผ่นแก้ว
  4. ส่องเพื่ออ่านค่าบนสเกลในที่สว่างและทำซ้ำ 2 ครั้งเพื่อหาค่าเฉลี่ย



รูปที่ 3.12 Refractometer

- **ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (%Soluble solids)**

  เครื่องมือ

  1) ตู้อบไฟฟ้า

  2) Water bath

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) กระดาษฟอลย์

4) เดซิเคเตอร์ (Desiccator)หรือโถดูดความชื้น

5) เครื่องชั่งน้ำหนัก

วิธีการวิเคราะห์

1.ใช้ตัวอย่างจำนวน 25 มิลลิลิตร ใส่ในบีกเกอร์ขนาด 50 มิลลิลิตร

2.นำไประเหยใน Water bath ที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส จนเหลือประมาณ 10 มิลลิลิตร

3.นำฟอลย์มาอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 1 ชั่วโมงนำไปใส่ในเดซิเคเตอร์ทิ้งไว้ให้เย็น

4.นำตัวอย่างที่เหลือมาใส่ในฟอลย์ที่ผ่านการอบ

5.นำเข้าตู้อบไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส อบจนน้ำหนักคงที่ และชั่งน้ำหนัก

$$\%SS = \frac{m_{ss}}{25} * 100$$

- **ปริมาณผลผลิตที่ได้ของน้ำกาแฟ (%Coffee solution yield)**

เปอร์เซ็นผลิตภัณฑ์ที่ได้ คืออัตราส่วนปริมาณของแข็งทั้งหมดในผลิตภัณฑ์เมื่อเทียบกับเมล็ดกาแฟหาได้โดยนำมาคำนวณ

$$\%Yield_{CS} = \frac{m_{SS} * V_{CS}}{DM_{CF}} * 100$$

- **การทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัสโดยใช้สเกลแบบ 9 (9- Point hedonic) [25]**

เครื่องมือ

1. ใบประเมิน 9-Point hedonic
2. ตัวอย่างผลิตภัณฑ์

โดยกำหนดตัวอย่างดังนี้

ตัวอย่าง 1 คือสกัดที่อุณหภูมิ 70 °c เวลาในการสกัด 2 ชั่วโมง

ตัวอย่าง 2 คือสกัดที่อุณหภูมิ 70 °c เวลาในการสกัด 3 ชั่วโมง

ตัวอย่าง 3 คือสกัดที่อุณหภูมิ 80 °c เวลาในการสกัด 2 ชั่วโมง

ตัวอย่าง 4 คือสกัดที่อุณหภูมิ 80 °c เวลาในการสกัด 3 ชั่วโมง

ตัวอย่าง 5 คือกาแฟที่มีจำหน่ายตามห้องตลาดยี่ห้อเนสกาแฟ (Nestcafe)

วิธีวิเคราะห์

1. ตั้งวัตถุประสงค์ในการทดสอบ

2. เตรียมผลิตภัณฑ์ที่จะทดสอบ ควรจะมีตัวอย่างถูกนำเสนอพร้อมกัน 1 - 4 ตัวอย่างและแต่ละตัวอย่างที่นำเสนอ จะมีตัวอย่างควบคุม 1 ตัวอย่างและตัวอย่างทดสอบอีก 4 ตัวอย่าง ตัวอย่างดังกล่าวจะถูกนำมาใส่รหัสสุ่มซึ่งเป็นจำนวนเลข 3 ตัวก่อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. เมื่อการทดสอบเสร็จสิ้นลงแล้ว จะนำผลที่ได้มาเปลี่ยนเป็นคะแนนโดย 9คือชอบมากที่สุด, 8คือชอบมาก, 7คือชอบปานกลาง, 6คือชอบเล็กน้อย, 5คือบอกไม่ได้ว่าชอบหรือไม่ชอบ, 4คือไม่ชอบเล็กน้อย, 3คือไม่ชอบปานกลาง, 2คือไม่ชอบมาก, 1คือไม่ชอบมากที่สุด

4. เขียนผลลงในตารางบันทึกผล

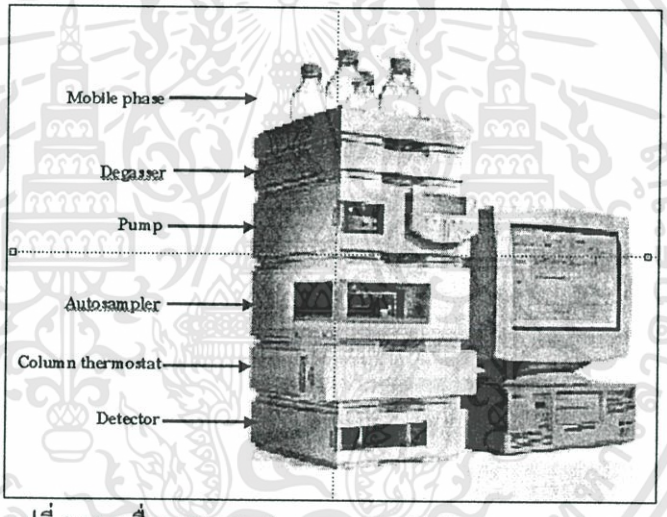
5. วิเคราะห์ความแปรปรวน

6. เขียนตารางวิเคราะห์ความแปรปรวนการยอมรับผลิตภัณฑ์ ทำการวิเคราะห์ผลโดยเปรียบเทียบค่า F – value ที่ได้จากการคำนวณกับตาราง

7. วิเคราะห์คะแนนการยอมรับตัวอย่างน้ำกาแฟที่ได้จากการสกัด เพื่อหาสภาวะของการสกัดกาแฟที่ดีที่สุด

- **ปริมาณคาเฟอีนในน้ำกาแฟโดยวิธี High Performance Liquid Chromatography [4]**

ส่งวัดค่าปริมาณคาเฟอีนในน้ำกาแฟที่สถาบันอาหาร (National food institute) 2008 ซอยจรัญสนิทวงศ์ 40 ถนนจรัญสนิทวงศ์ แขวงบางยี่ขัน เขตบางพลัด กรุงเทพฯ 10700



รูปที่ 3.13 เครื่อง High Performance Liquid Chromatography

3.6.2 การทำแห้ง

การวิเคราะห์คุณลักษณะของผลิตภัณฑ์แห้งจะมีการวัดค่าบางอย่างที่เหมือนกับการสกัด และมีการวัดค่าบางอย่างที่เพิ่มเติมจากการสกัดโดยการวัดค่าที่เหมือนกับการสกัดจะมีดังนี้

- การวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)
- การหาค่าความหวาน (Brix)

ส่วนการวัดค่าที่มีการเพิ่มเติมจากการสกัดคือ

- **ความหนาแน่น**

เครื่องมือ

1) เครื่องชั่งน้ำหนัก

2) ถ้วยขนาด 12 มิลลิลิตรหรือภาชนะที่ทราบปริมาตรแน่นอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีการวิเคราะห์

1. ชั่งน้ำหนักถ้วยขนาด 12 มิลลิลิตรหรือภาชนะที่ทราบปริมาตรแน่นอน
2. ใส่ตัวอย่างให้เต็มภาชนะและปาดออก
3. คำนวณเพื่อหาค่าความหนาแน่น จาก

$$\rho = \frac{m}{v}$$

โดย ρ คือ Density

m คือ น้ำหนักตัวอย่าง

v คือ ปริมาตรภาชนะ

- **ความสามารถในการละลาย [26]**

เครื่องมือ

1) Magnetic stirrer รูปที่ 3.14

2) บีกเกอร์

วิธีการวิเคราะห์

ชั่งตัวอย่างด้วยน้ำหนักที่แน่นอน 10 กรัม ละลายในน้ำกลั่นที่อุณหภูมิห้อง ปริมาตร 250 มิลลิลิตร กวนของผสมทั้งหมดด้วย Magnetic stirrer ที่ความเร็วระดับ 5 วัดเวลาที่ใช้ในการละลายของตัวอย่างสมบูรณ์

รูปที่ 3.14 Magnetic stirrer

- **ปริมาณผลิตภัณฑ์กาแฟผงที่ผลิตได้ (%Coffee powder yield)**

เปอร์เซ็นผลิตภัณฑ์ผงที่ได้ คืออัตราส่วนปริมาณของแข็งทั้งหมดในผลิตภัณฑ์แห้งต่อปริมาณของแข็งทั้งหมดในวัตถุดิบที่ป้อน หาโดยการชั่งน้ำหนักของผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่ได้ และปริมาณของแข็งในวัตถุดิบเริ่มต้น โดยนำตัวอย่างน้ำกาแฟ มาหาความชื้นและนำมาคำนวณโดย

$$\%\text{Yield}_{CP} = \frac{W_{CP}}{SS_{CF}} * 100$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

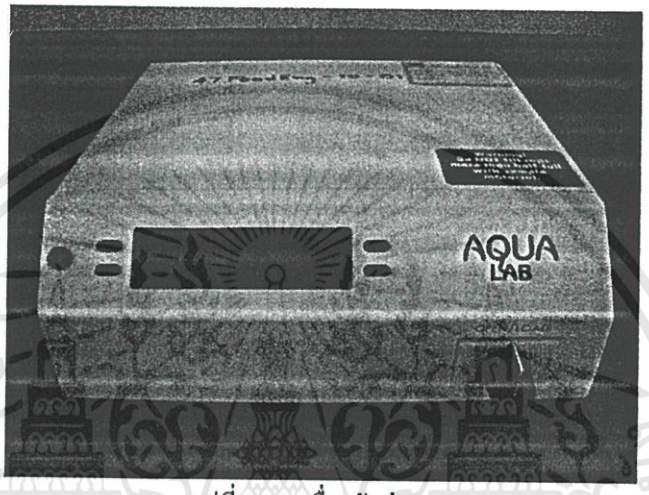
- **การหาค่า water activiv (a_w)**

เครื่องมือ

เครื่องวัดค่า a_w อัตโนมัติยี่ห้อ AQUA LAB model series 3 TE ดังรูปที่ 3.15

วิธีวิเคราะห์

Water activity หมายถึง อัตราส่วนความดันไอน้ำของน้ำในอาหาร (P) ต่อความดันไอของน้ำบริสุทธิ์ที่อิ่มตัวที่อุณหภูมิเดียวกัน (P_o) ซึ่งสามารถวัดค่านี้ได้โดยใช้เครื่องวัด a_w ของผลิตภัณฑ์ 3 ครั้งแล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย



รูปที่ 3.15 เครื่องวัดค่า a_w

- **ความชื้น (Moisture) (AOAC,1983)**

เครื่องมือ

1) ตู้อบไฟฟ้า

2) ถ้วยอลูมิเนียม

3) เดซิเคเตอร์ (Desiccator) หรือโถดูดความชื้น

4) เครื่องชั่งน้ำหนัก

5) Vacuum oven รูปที่ 3.16

วิธีการวิเคราะห์

1. อบถ้วยอลูมิเนียม ในตู้อบอุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง
2. นำไปใส่ในเดซิเคเตอร์ทิ้งไว้ให้เย็น
3. ชั่งน้ำหนักถ้วยอลูมิเนียมคงที่ คือมีน้ำหนักต่างกันน้อยกว่า 2%
5. ชั่งน้ำหนักตัวอย่างประมาณ 3 กรัม เกลี่ยวัตถุดิบให้มีระดับสม่ำเสมอ
6. นำไปอบใน Vacuum oven ที่อุณหภูมิ 70$\pm$1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 16$\pm$0.5 ชั่วโมง
7. ปิดฝา นำมาทำให้เย็นในเดซิเคเตอร์ แล้วชั่งน้ำหนัก
8. อบซ้ำอีกประมาณครึ่งชั่วโมง หรือจนได้น้ำหนักคงที่ คำนวณหาปริมาณความชื้นมาตรฐานแห้ง (Dry basis)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\%\text{Moisture} = \frac{(m_1 - m_2) * 100}{m_1 - m_0}$$

โดย m_0 = น้ำหนักถ้วยและฝา

m_1 = น้ำหนักถ้วย ฝา และตัวอย่างก่อนอบ

m_2 = น้ำหนักถ้วย ฝา และตัวอย่างหลังอบ

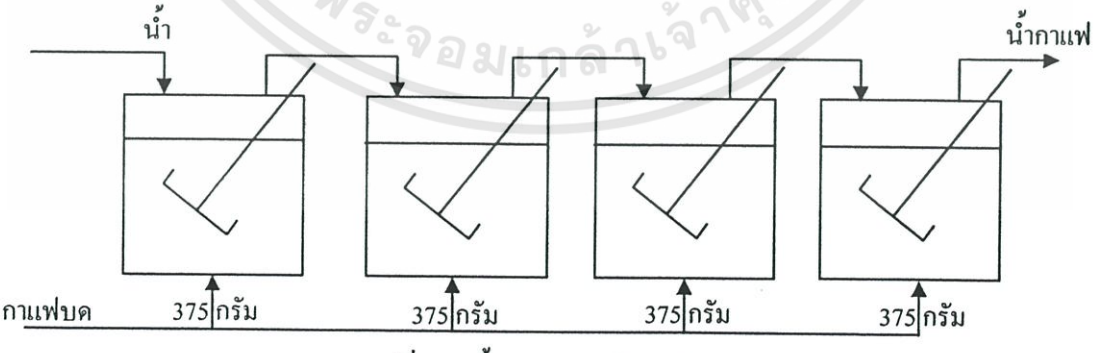
รูปที่ 3.16 Vacuum oven

3.7 การวางแผนการทดลอง

3.7.1 การทดลองเบื้องต้น

- เพื่อหาอัตราส่วนน้ำที่ใช้ในการสกัดกาแฟ

เป็นการศึกษาเพื่อหาอัตราส่วนของน้ำต่อกาแฟ โดยจะทำการสกัด 4 ครั้ง ที่อุณหภูมิ 60-80 องศาเซลเซียส ในการสกัดแต่ละครั้งจะใช้เวลา 30 นาที, ปริมาณกาแฟบด 375 กรัม และปริมาณน้ำที่เริ่มต้นใช้สกัดกาแฟ 1500 มิลลิลิตร ดังรูปที่ 3.17 น้ำกาแฟที่สกัดได้ในแต่ละครั้งจะใช้ในการสกัดกาแฟครั้งต่อไป ดังตารางที่ 3.1



รูปที่ 3.17 ขั้นตอนการสกัดกาแฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 ตารางการทดลองเพื่อหาอัตราส่วนน้ำต่อกาแฟ

ครั้งที่	อุณหภูมิน้ำที่ใช้สกัด	ปริมาณกาแฟ(g)	ปริมาตรน้ำเริ่มต้นที่ใช้สกัด(ml)
1	60	375	1500
2	80	375	1500
3	80	375	1500
4	80	375	900

- เพื่อเปรียบเทียบการสกัดแบบใช้คลื่นอุลตร้าโซนิกและการไม่ใช้คลื่นอัลตร้าโซนิก

เป็นการศึกษาเพื่อเปรียบเทียบการสกัดในช่วงเวลา 30 นาที ตัวแปรที่ศึกษาได้แก่ อุณหภูมิในการสกัดกาแฟ 60, 70 และ80 องศาเซลเซียส และลักษณะการสกัด ได้แก่การใช้คลื่นอุลตร้าโซนิกและการไม่ใช้คลื่นอุลตร้าโซนิก แต่ละตัวแปรประกอบด้วย 3x2 ระดับ รวม 6 การทดลอง (ตามตารางที่ 3.2)

ตารางที่ 3.2 การเปรียบเทียบการสกัดแบบใช้คลื่นอุลตร้าโซนิกและการไม่ใช้คลื่นอัลต้าโซนิก

การทดลองที่	ตัวแปรที่ศึกษา	
	อุณหภูมิ (°c)	ความถี่ (kHz)
1	60	0
2	60	40
3	70	0
4	70	40
5	80	0
6	80	40

- ศึกษาการทดลองการสกัดกาแฟโดยใช้คลื่นอัลตร้าโซนิก โดยใช้ปริมาณกาแฟที่ต่างกัน

ทดลองเพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงของค่า Brix และค่า pH ตัวแปรที่ศึกษา คือ ปริมาณการใช้กาแฟที่ต่างกัน 100 – 600กรัม ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสโดยใช้น้ำกรองปริมาณ 1200 มิลลิลิตร เป็นเวลา 3 ชั่วโมง รวม 6 การทดลอง (ตามตารางที่ 3.3)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.3 ตารางการทดลองการสกัดกาแฟโดยใช้คลื่นอัลตร้าโซนิก โดยใช้ปริมาณกาแฟที่ต่างกัน

การทดลอง	ปริมาณกาแฟ (g)
1	100
2	200
3	300
4	400
5	500
6	600

3.7.2 การสกัด

ในการทดลองสกัดด้วยคลื่นความถี่อัลตร้าโซนิก ตัวแปรที่ศึกษาได้แก่ ระยะเวลาในการสกัด 1, 2 และ 3 ชั่วโมง และช่วงอุณหภูมิของการสกัดกาแฟ 60, 70 และ80 องศาเซลเซียส แต่ละตัว ประกอบด้วย 3x3 ระดับ ซึ่งจะได้การทดลองทั้งหมด 9 การทดลอง และการทดลองทั้ง 9 การทดลองนี้จะมีการทำซ้ำการทดลองละ 2 ซ้ำ (ดังตารางที่ 3.4)

ตารางที่ 3.4 การทดลองของการสกัดกาแฟ

การทดลองที่	ตัวแปรที่ศึกษา	
	อุณหภูมิ (°c)	ระยะเวลา (ชั่วโมง)
1	60	1
2	60	2
3	60	3
4	70	1
5	70	2
6	70	3
7	80	1
8	80	2
9	80	3

หลังจากการทดลองการสกัดกาแฟทั้งหมด 18 การทดลอง จะทำการเลือกน้ำกาแฟที่ดีที่สุด 4 สภาวะ โดยจะใช้ pH และ Brix เป็นเกณฑ์ในการเลือก เพื่อทำการทดสอบการยอมรับโดยใช้สเกลแบบ 9 (9- Point hedonic) เมื่อได้น้ำกาแฟที่สภาวะที่ดีที่สุดจะต้องส่งวัดปริมาณคาเฟอีนที่สถาบันอาหาร (National food institute)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.7.3 การอบแห้งแบบพ่นฝอย

ในการทำแห้งกาแฟโดยใช้เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย (Spray dryer) ตัวแปรที่ศึกษา คือ อุณหภูมิลมร้อนที่ใช้ในการทำแห้ง 180, 200 และ220 องศาเซลเซียส ประกอบด้วย 3 ระดับ ซึ่งจากการวางแผนการทดลองจะได้การทดลองทั้งหมด 3 การทดลอง จะมีการทำซ้ำการทดลองละ 2 ซ้ำ (ดังตารางที่ 3.5)

ตารางที่ 3.5 การทดลองของกรอบแห้งแบบพ่นฝอย

การทดลองที่	อุณหภูมิลมร้อน(°c)
1	180
2	200
3	220

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลอง

ขั้นตอนการทำกาแฟผงมีหลายขั้นตอน แต่การศึกษาการทำกาแฟผงครั้งนี้ได้แบ่งการศึกษาออกเป็น 2 ขั้นตอน คือ การสกัดกาแฟและการทำแห้งกาแฟ

4.1 ผลการทดลองเบื้องต้น

ในขั้นตอนการสกัดกาแฟมีปัจจัยหลายประการที่เกี่ยวข้อง เช่น ขนาดอนุภาคเมล็ดกาแฟที่นำมาสกัด อัตราส่วนของเมล็ดกาแฟ: น้ำในการสกัด อุณหภูมิน้ำที่ใช้ ระยะเวลา และวิธีการสกัด เป็นต้น แต่อย่างไรก็ตาม ในการศึกษานี้ มุ่งเน้นที่จะพัฒนาวิธีการสกัดใหม่ด้วยคลื่นอุลตร้าโซนิก จึงได้ทำการทดลองเบื้องต้น เพื่อกำหนดค่าสภาวะการสกัดเบื้องต้น ก่อนนำไปศึกษาเทคนิคการสกัดด้วยคลื่นอัลตร้าโซนิก ต่อไปโดยในการสกัดกาแฟจะใช้ใช้ความถี่ 40 kHz

เมล็ดกาแฟดั่วที่ผ่านการบดด้วยเครื่อง Hammer Mill เมื่อนำมาวิเคราะห์ขนาดอนุภาคด้วยวิธี Screen Analysis มีขนาดอนุภาคเฉลี่ย 1.12 mm และมีปริมาณความชื้น 0.9720 % มาตรฐานเปียก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.1 การทดลองหาอัตราส่วนน้ำที่ใช้ในการสกัดกาแฟ

เพื่อกำหนดอัตราส่วนของเมล็ดกาแฟ: น้ำที่ใช้สกัดด้วยคลื่นอัลตร้าโซนิกให้มีค่าคงที่ตลอดการศึกษานั้น จึงได้ทำการทดลองหาปริมาณน้ำที่เหมาะสม ผลที่ได้เป็นดังนี้

ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองการหาอัตราส่วนน้ำที่ใช้ในการสกัดกาแฟ

ครั้งที่	อุณหภูมิน้ำที่ใช้สกัด (c)	ปริมาณกาแฟ(g) ที่ใช้ในการสกัด	น้ำกาแฟจากขั้นตอนก่อนหน้า	น้ำที่เติม(ml)	น้ำกาแฟก่อนสกัด		น้ำกาแฟหลังการสกัด	
					ปริมาตรรวมน้ำที่ใช้สกัด(ml)	Brix เริ่มต้นของน้ำที่ใช้สกัด	ปริมาตรที่ได้ (ml)	Brix
1	80	375	-	1500	1500	0	900	5.5
2	80	375	900	600	1500	2.5	900	9.5
3	80	375	900	600	1500	5	900	11
4	80	375	900	-	900	11	300	23
รวม		**1500**		**2700**				

จากตาราง จะเห็นว่าเพื่อให้ได้น้ำกาแฟที่ปริมาณของแข็งที่ละลายได้มีค่าสูง จะต้องทำการสกัด 4 รอบ โดยใช้ปริมาณกาแฟทั้งสิ้น 1500 กรัม ต่อน้ำจำนวน 2700 กรัม จะได้ น้ำกาแฟความเข้มข้น 23 Brix เป็นจำนวนปริมาตร 300 ml (304.50 กรัม) ดังนั้นจากการทดลองสามารถสรุปได้ว่า ในการสกัดควรใช้อัตราส่วน น้ำ: กาแฟ = 2:1.11 (โดยน้ำหนัก) เพื่อให้ได้น้ำกาแฟเข้มข้นประมาณ 20 Brix ขึ้นไป

4.1.2 ผลการศึกษาเปรียบเทียบการสกัดแบบใช้คลื่นอัลตร้าโซนิกและไม่ใช้คลื่นอัลตร้าโซนิก

จากการสำรวจเอกสารมีรายงานว่าการนำคลื่นอุลตร้าโซนิกสามารถช่วยลดระยะเวลาการสกัด ลดพลังงาน เป็นผลให้การสกัดมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น[1] แต่อย่างไรก็ตาม ยังไม่มีรายงานการนำคลื่นมาใช้ในการสกัดกาแฟ จึงได้นำมาทดลองศึกษาเปรียบเทียบกับการสกัดแบบธรรมดาที่ปราศจากการใช้คลื่น ก่อนจะศึกษาการพัฒนาเทคนิคการสกัดต่อไป โดยผลการทดลองที่ได้แสดงในตารางที่ 4.2

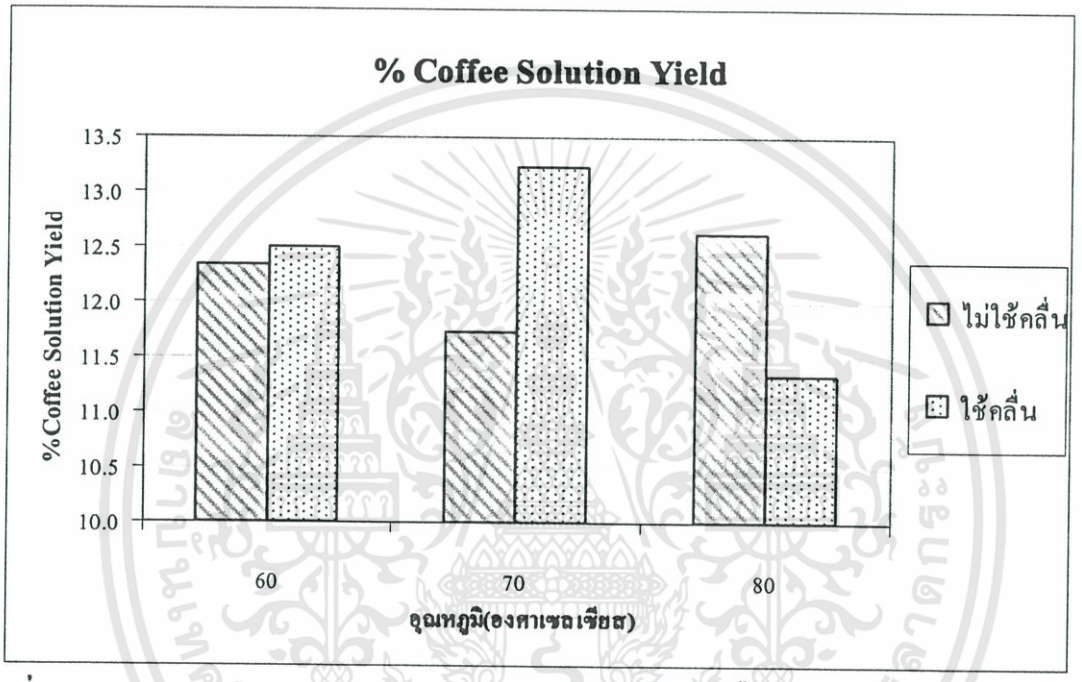
ตารางที่ 4.2 ผลการศึกษาเปรียบเทียบการสกัดกาแฟแบบใช้คลื่นอัลตร้าโซนิกและไม่ใช้คลื่น

การทดลองที่	อุณหภูมิ (°c)	วิธีการสกัด	เวลา (min)	pH	Brix	%Soluble solids	% Yield
1	60	ไม่ใช้คลื่น	30	6.39	8.00	7.72	12.35
2	60	ใช้คลื่น	30	6.23	8.00	8.12	12.50
3	70	ไม่ใช้คลื่น	30	6.16	7.00	7.80	11.73
4	70	ใช้คลื่น	30	6.08	8.00	8.83	13.23
5	80	ไม่ใช้คลื่น	30	5.96	8.00	7.86	12.63
6	80	ใช้คลื่น	30	5.98	8.00	8.03	11.33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- **ผลต่อค่าปริมาณผลผลิตที่ได้ของน้ำกาแฟ (%Coffee Solution Yield)**

ค่าปริมาณผลผลิตที่ได้ คือ อัตราส่วนปริมาณของแข็งทั้งหมดในน้ำกาแฟเมื่อเทียบกับเมล็ดกาแฟ การวิเคราะห์ค่าปริมาณผลผลิตที่ได้ พิจารณาจากปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ได้ ซึ่งประกอบด้วยคาร์โบไฮเดรต น้ำมันกาแฟ กรด คาเฟอีน ฯลฯ โดยค่าปริมาณผลผลิตที่ได้จากการทดลองมีค่าอยู่ในช่วง 11.33-13.24 % จากรูปที่ 4.1 พบว่าการสกัดกาแฟโดยใช้คลื่นอัลตร้าโซนิกทำให้ค่าปริมาณผลผลิตที่ได้ของน้ำกาแฟมีค่าสูงกว่าการสกัดโดยไม่ใช้คลื่น นอกจากนี้การคำนวณค่า ปริมาณผลผลิตที่ได้นั้น ต้องใช้อาศัยค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้เป็นข้อมูลในการคำนวณพบว่าปริมาณ ค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ของน้ำกาแฟจากการใช้คลื่นอัลตร้าโซนิกมีค่ามากกว่า ทำให้ค่าปริมาณผลผลิตที่ได้มีค่ามากกว่าการไม่ใช้คลื่น

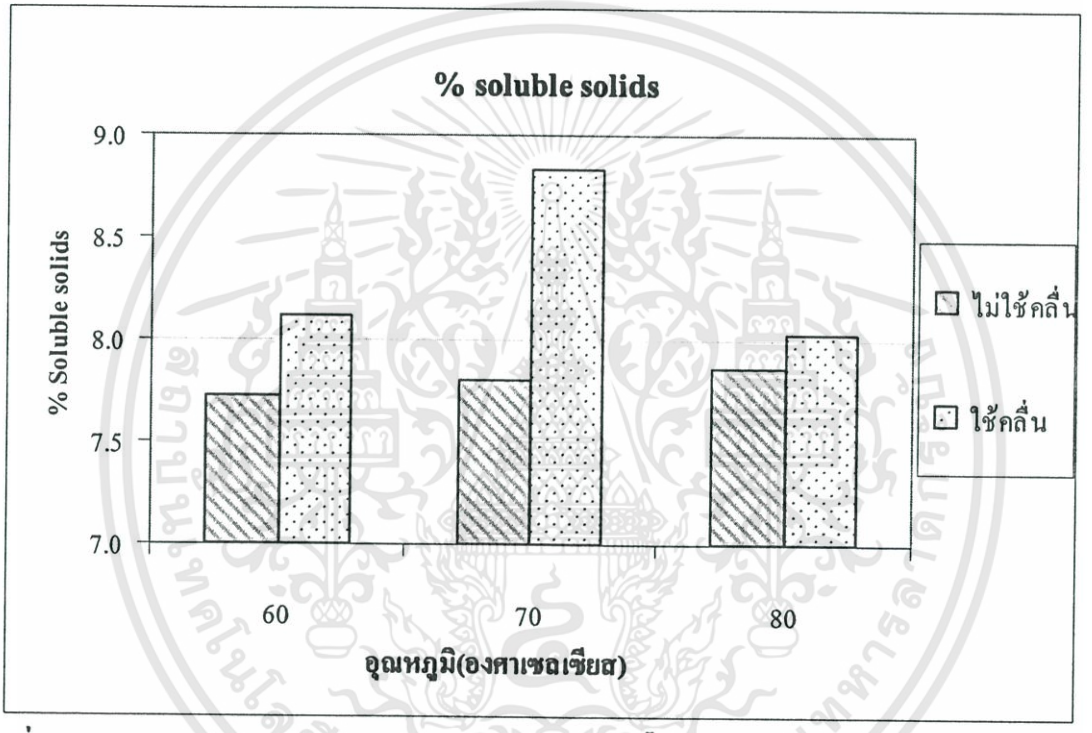


รูปที่ 4.1 แสดงกราฟความเปรียบเทียบค่า %Coffee Solution Yield ของน้ำกาแฟระหว่างการสกัดแบบใช้คลื่นและไม่ใช้คลื่นที่อุณหภูมิต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- **ผลต่อค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (%Soluble solids) ของน้ำกาแฟ**

จากการวิเคราะห์ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ด้วยวิธีตามหัวข้อ 3.6.1 พบว่าการสกัดกาแฟโดยใช้คลื่นอัลตร้าโซนิกทำให้ค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ของน้ำกาแฟมีค่าสูงกว่าการสกัดโดยไม่ใช้คลื่น โดยค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้มีค่าอยู่ในช่วง 7.72-8.84 % ทั้งนี้เนื่องจากลักษณะการสั่นสะเทือนของคลื่นอัลตร้าโซนิกสามารถช่วยทำให้ตัวทำละลาย (น้ำ) แทรกซึมเข้าไปในกาแฟและชะละลายสารสกัดออกมาได้ดียิ่งขึ้น ทำให้ประสิทธิภาพการถ่ายเทมวลสาร (Mass Transfer) เพิ่มสูงขึ้น เป็นผลให้ปริมาณของแข็งที่สามารถละลายได้ออกมาเพิ่มมากขึ้น จากรูปที่ 4.2 จะเห็นว่าค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้มีค่าสูงสุดที่อุณหภูมิ 70°C แต่เมื่ออุณหภูมิการสกัดเพิ่มขึ้นเป็น 80°C ค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้กลับมีค่าลดลง ทั้งนี้อาจเป็นเพราะประสิทธิภาพการทำงานของเพียโซอิเล็กทริกทรานส์ดิวเซอร์ ซึ่งเป็นตัวกำเนิดคลื่นต่ำมีความสามารถลดลง

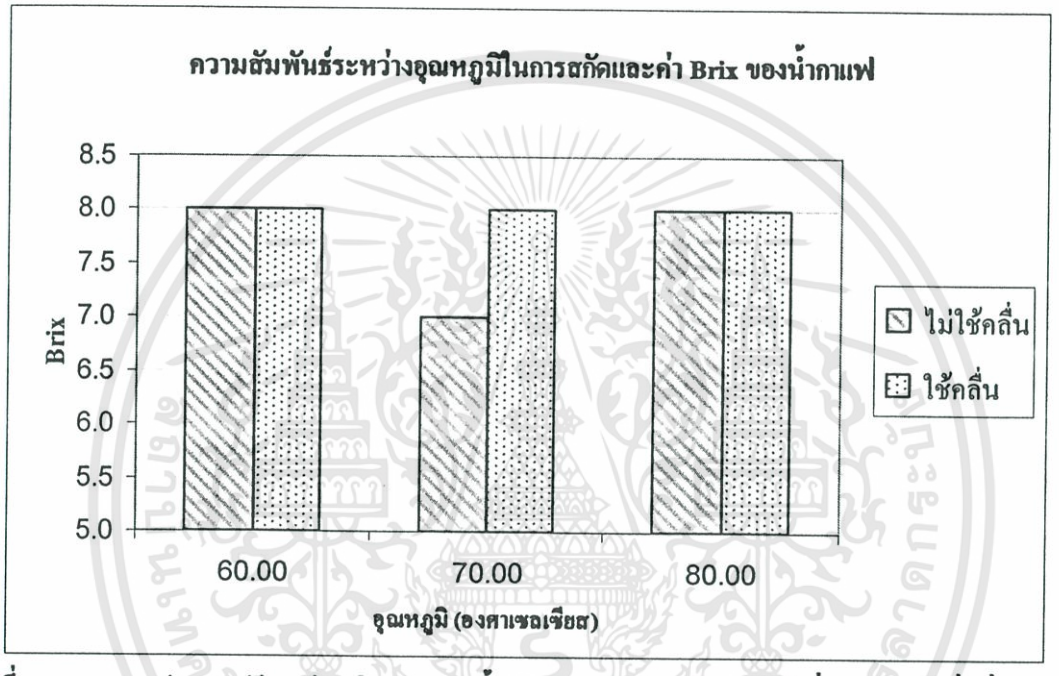


รูปที่ 4.2 แสดงกราฟความเปรียบเทียบค่า %Soluble solids ของน้ำกาแฟระหว่างการสกัดแบบใช้คลื่นและไม่ใช้คลื่นที่อุณหภูมิต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- **ผลต่อค่า Brix ของน้ำกาแฟ**

บริกซ์ (Brix) หมายถึง ร้อยละของของแข็งที่ละลายอยู่ในสารละลายน้ำกาแฟที่สกัดได้มีค่า Brix อยู่ในช่วง 7-8 Brix การสกัดกาแฟโดยใช้คลื่นอัลตร้าโซนิกทำให้ค่า Brix ของน้ำกาแฟมีค่าใกล้เคียงกันคือที่ 8 Brix ขณะที่การสกัดโดยไม่ใช้คลื่น ค่า Brix ที่อุณหภูมิการสกัด 70°C มีค่าต่ำกว่าสภาวะอื่นๆดังแสดงในรูปที่ 4.3 แต่อย่างไรก็ตามผลที่ได้พบว่าเมื่อสกัดกาแฟด้วยคลื่นอัลตร้าโซนิกที่อุณหภูมิการสกัด.60-80 °c ปริมาณความเข้มข้นน้ำกาแฟที่สกัดได้ไม่มีความแตกต่างกัน เนื่องจากการวัดค่า Brix ของน้ำกาแฟใช้เครื่อง Refractometer ในการวัด และอาศัยการอ่านค่าจากการหักเหของแสง ซึ่งในการอ่านค่าอาจมีการผิดพลาดจากผู้อ่านและความละเอียดของสเกลในการอ่านได้

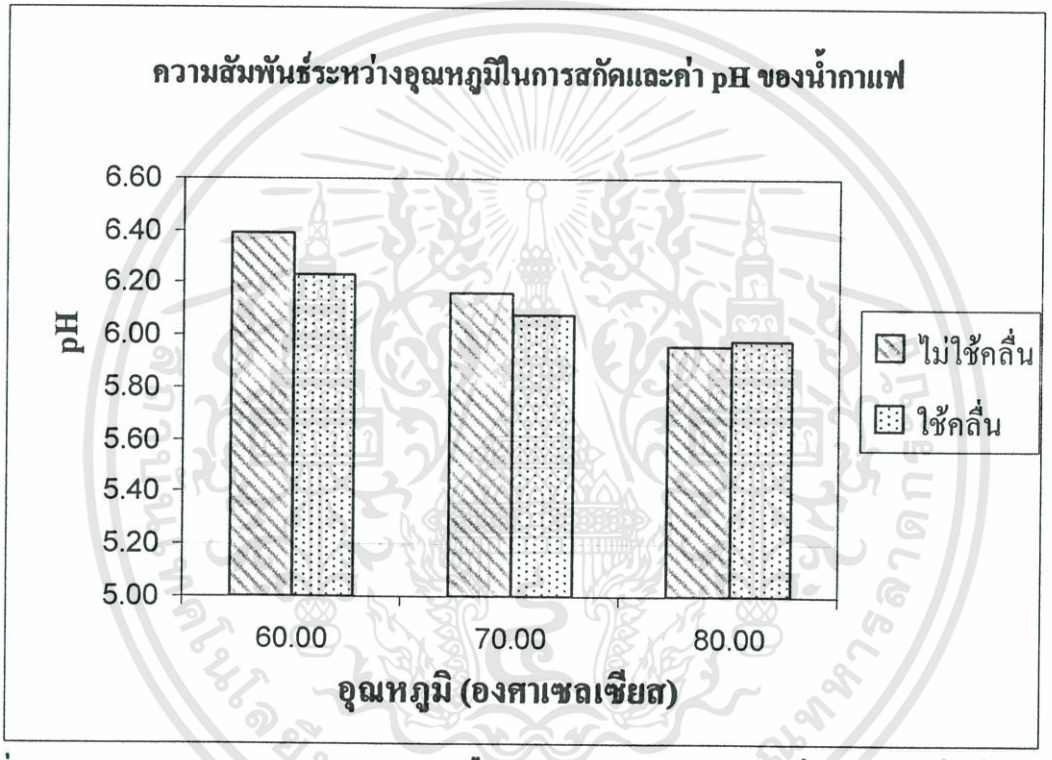


รูปที่ 4.3 แสดงกราฟความเปรียบเทียบค่า Brix ของน้ำกาแฟระหว่างการสกัดแบบใช้คลื่นและไม่ใช้คลื่นที่อุณหภูมิต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- **ผลต่อค่า pH ของน้ำกาแฟ**

ค่าpH ของน้ำกาแฟที่สกัดได้มีค่าอยู่ในช่วง 5.90 - 6.40 ซึ่งพบว่าเมื่อทำการสกัดกาแฟที่อุณหภูมิสูงขึ้น ค่า pH ของน้ำกาแฟมีค่าลดลง เนื่องจากการเพิ่มอุณหภูมิของน้ำที่ใช้สกัดจะทำให้สามารถสกัดกรดต่างๆที่อยู่ในกาแฟออกมาได้มากขึ้นดังนั้นน้ำกาแฟที่สกัดได้จึงทำให้มีค่าความเป็นกรดมากขึ้น จากรูปที่ 4.4 และพบว่าการสกัดกาแฟโดยใช้คลื่นอัลตร้าโซนิกทำให้ค่า pH ของน้ำกาแฟมีค่าต่ำกว่าการสกัดโดยไม่ใช้คลื่น เนื่องจากคลื่นอัลตร้าโซนิกจะช่วยทำให้ตัวทำละลาย(น้ำ)แทรกซึมเข้าไปในกาแฟที่นำมาสกัดได้ดียิ่งขึ้น ทำให้ประสิทธิภาพการถ่ายเทมวลสาร (Mass Transfer) เพิ่มสูงขึ้นจึงสามารถสกัดสารในกาแฟออกมาได้มากขึ้น เช่น คาร์โบไฮเดรต น้ำมันกาแฟ กรด คาเฟอีน ซึ่งหมายถึงกรดต่างๆที่มีอยู่ในกาแฟสามารถออกมาได้มากขึ้น โดยกรดที่มีอยู่ในกาแฟ เช่น Chlorogenic ,Oxalic,Malic,Caffeic นอกจากนั้นคลื่นอัลตร้าโซนิกยังไปทำลายพื้นผิวที่บริเวณผนังเซลล์และภายในเซลล์ทำให้สารที่ต้องการสกัดสามารถออกมาได้ง่ายขึ้น



รูปที่ 4.4 แสดงกราฟความเปรียบเทียบค่า pH ของน้ำกาแฟระหว่างการสกัดแบบใช้คลื่นและไม่ใช้คลื่น ที่อุณหภูมิต่างๆ

จากการทดลองโดยศึกษาการใช้คลื่นอัลตร้าโซนิกและไม่ใช้คลื่น เมื่อวิเคราะห์ค่า pH, Brix, ค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้และค่าปริมาณผลผลิตที่ได้ สามารสรุปได้ว่าการสกัดกาแฟโดยใช้คลื่นอัลตร้าโซนิกช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการสกัดกาแฟได้ดีกว่า เนื่องจากส่งผลให้ค่า Brix และค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้มีค่าสูง แต่ค่า pH มีค่าต่ำกว่า การใช้คลื่นสามารถสกัดสารที่เป็นกรดและค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในเมล็ดกาแฟออกมาได้ในปริมาณมากกว่า ทำให้ค่าปริมาณผลผลิตที่ได้มีค่ามากกว่าเมื่อสกัดแบบไม่ใช้คลื่น นอกจากนี้การใช้คลื่นอัลตร้าโซนิกยังสามารถสกัดเอาน้ำมันกาแฟออกมาได้มากกว่า จากการสังเกตส่วนที่ลอยอยู่บนผิวหน้าของน้ำกาแฟในระหว่างการทดลอง จึงสรุปได้ว่าการสกัดกาแฟโดยใช้คลื่นอัลตร้าโซนิกดีกว่าการสกัดโดยไม่ใช้คลื่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

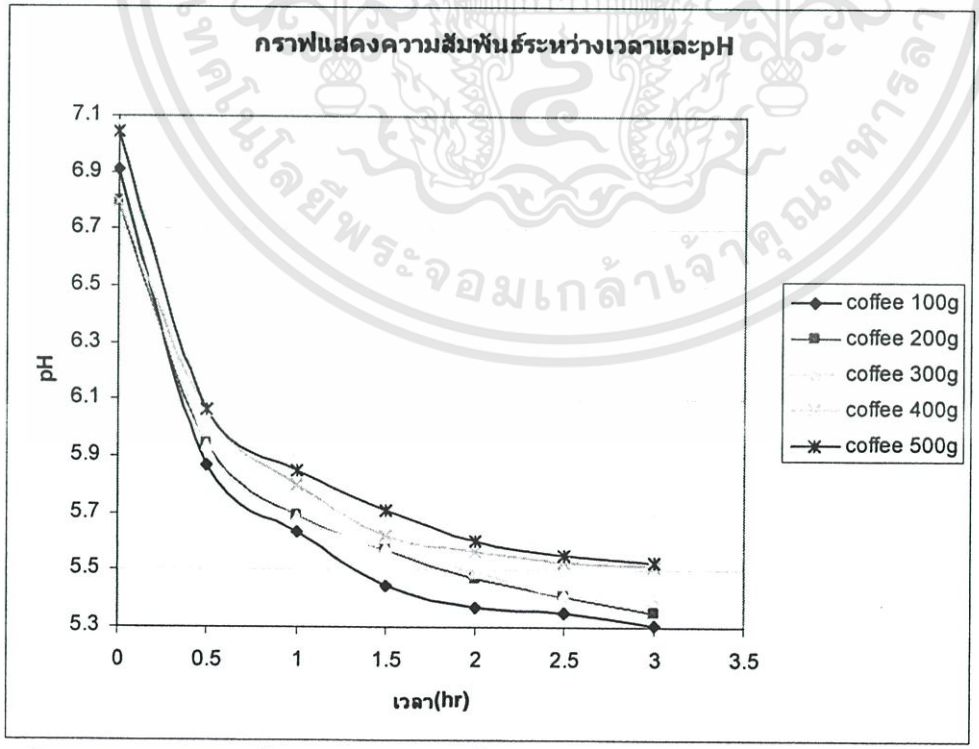
4.1.3 การเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของน้ำกาแฟในระหว่างการสกัดโดยใช้คลื่นอัลตร้าโซนิก

ตามตารางการทดลองที่ 3.3 ได้ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ผลการทดลองการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของน้ำกาแฟในระหว่างการสกัดโดยใช้คลื่นอัลตร้าโซนิก

เวลา (ชั่วโมง)	การทดลองที่									
	1		2		3		4		5	
	pH	Brix	pH	Brix	pH	Brix	pH	Brix	pH	Brix
0	6.91	0	6.80	0	7.06	0	6.80	0	7.05	0
0.5	5.87	2	5.94	5	5.94	7	6.06	8	6.07	9.5
1.0	5.63	2	5.69	5	5.68	7	5.80	9	5.85	11
1.5	5.45	2	5.57	5	5.58	7	5.62	9	5.71	11
2.0	5.37	2	5.47	5	5.50	7	5.57	9	5.60	11
2.5	5.35	3	5.41	5	5.42	8	5.53	9.5	5.55	11
3.0	5.30	3	5.35	5	5.40	8	5.52	10	5.53	12.5

- **ผลต่อค่า pH ของน้ำกาแฟ**

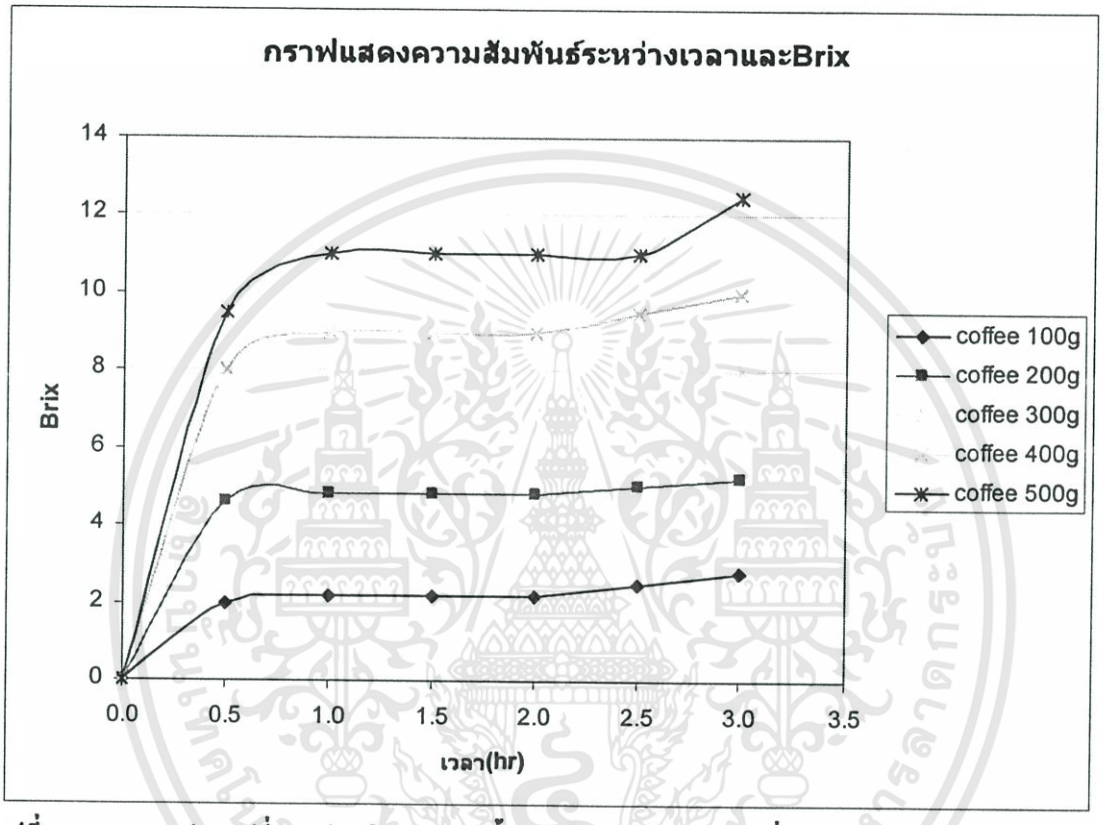


รูปที่ 4.5 แสดงกราฟการเปลี่ยนแปลงค่า pH ของน้ำกาแฟในระหว่างการสกัดเมื่อเทียบกับเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.5 พบว่าเมื่อเวลาในการสกัดกาแฟเพิ่มขึ้นทำให้ค่า pH ของน้ำกาแฟลดลง เนื่องจากระยะเวลาในการสกัดมีผลต่อความเข้มข้นของน้ำกาแฟ โดยถ้าใช้ระยะเวลาในการสกัดมากขึ้นจะทำให้สามารถสกัด สารที่เป็นกรดออกมามากขึ้นเช่น Chlorogenic ,Oxalic,Malic,Caffeic ทำให้ค่าความเป็นกรดสูงขึ้น pH จึงมีค่าลดลง แต่เมื่อใช้กาแฟในการสกัดปริมาณมากขึ้นค่า pH ของน้ำกาแฟจะมีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากน้ำซึ่งเป็นตัวกลางในการสกัดไม่สามารถแทรกซึมเข้าไปในกาแฟได้อย่างทั่วถึงจึงสกัดสารออกมาได้น้อยกว่า

- **ผลต่อค่า Brix ของน้ำกาแฟ**



รูปที่ 4.6 แสดงกราฟการเปลี่ยนแปลงค่า Brix ของน้ำกาแฟในระหว่างการสกัดเมื่อเทียบกับเวลา

จากรูปที่ 4.6 พบว่าเมื่อเวลาในการสกัดกาแฟเพิ่มขึ้นทำให้ค่า Brix ของน้ำกาแฟเพิ่มขึ้น เนื่องจากระยะเวลาในการสกัดมีผลต่อความเข้มข้นของน้ำกาแฟ โดยถ้าใช้ระยะเวลาในการสกัดมากขึ้นจะทำให้น้ำกาแฟมีความเข้มข้นมากขึ้น ค่า Brix จึงมีค่าที่สูงขึ้น จากการสังเกตพบว่าการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของน้ำกาแฟเกิดขึ้นรวดเร็วในช่วงต้นของการสกัดคือ ที่ระยะเวลา 1 ชั่วโมงแรก จากนั้นเริ่มเข้าสู่สภาวะสมดุล การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นภายหลังจึงมีเพียงเล็กน้อย แต่มีรายงานว่า เมื่ออุณหภูมิมีค่าสูงและมีการใช้คลื่นอัลตร้าโซนิกร่วมด้วยจะช่วยให้ได้ปริมาณสารสกัดมากขึ้น และเมื่อใช้ปริมาณกาแฟที่ใช้สกัดเพิ่มขึ้น ค่า Brix ของน้ำกาแฟมีค่าสูงขึ้น เนื่องจากเมื่อใช้กาแฟมากขึ้นปริมาณของแข็งที่สามารถละลายได้ที่มีอยู่ในกาแฟก็ออกมามากขึ้น ทำให้ค่า Brix มีค่าที่สูงขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การสกัดกาแฟ

จากผลการทดลองเบื้องต้น นำมากำหนดค่าเพื่อศึกษาผลกระทบที่เกี่ยวข้องในการสกัดด้วยคลื่นอัลตร้าโซนิกโดยใช้ความถี่ 40 kHz ซึ่งในการสกัดกาแฟอัตราส่วนน้ำต่อกาแฟที่ใช้ในการสกัดเท่ากับ 2:1 ระยะเวลาในการสกัด 1, 2และ 3 ชั่วโมง อุณหภูมิในการสกัด 60, 70 , 80 องศาเซลเซียส โดย

4.2.1 ผลการวิเคราะห์คุณลักษณะของน้ำกาแฟที่ได้จากการสกัด

จากการดำเนินการทดลองการสกัดกาแฟตามหัวข้อที่ 3.4 โดยผลการวิเคราะห์คุณลักษณะของน้ำกาแฟที่สกัดด้วยคลื่นอัลตร้าโซนิกที่สภาวะต่างๆ เป็นดังนี้

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 ตารางแสดงผลการวิเคราะห์คุณสมบัติน้ำกาแฟ

การทดลองที่	อุณหภูมิ (c)	เวลา (ชั่วโมง)	pH	Brix	ความหนาแน่น (g/ml)	ปริมาตรน้ำกาแฟที่สกัดได้ (ml)	ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (% Soluble solids)	ปริมาณผลผลิตที่ได้ (% Coffee Solution Yield)
1	60	1	6.30	14.50	1.01	226.00	14.18 ± 2.30	6.56 ± 1.28
2	60	2	6.25	17.80	1.01	224.00	16.67 ± 2.30	6.33 ± 1.28
3	60	3	6.20	23.00	1.02	235.00	25.75 ± 2.30	8.29 ± 1.28
4	70	1	6.13	15.00	0.98	224.00	14.01 ± 2.30	6.21 ± 1.28
5	70	2	6.17	19.00	1.02	187.50	18.86 ± 2.30	6.09 ± 1.28
6	70	3	6.11	24.50	1.02	106.25	21.40 ± 2.30	3.06 ± 1.28
7	80	1	6.00	17.80	1.01	188.50	15.73 ± 2.30	6.04 ± 1.28
8	80	2	5.95	23.00	1.01	157.25	22.05 ± 2.30	5.92 ± 1.28
9	80	3	6.03	31.00	1.02	75.50	29.44 ± 2.30	3.06 ± 1.28

จากการศึกษาการสกัดกาแฟพบว่าการทดลองที่ 3, 5, 6, 8 และ 9 ให้ค่า Brix และค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ค่อนข้างสูงกว่าสภาวะอื่น ส่วนค่าปริมาณผลผลิตที่ได้มีค่าลดลงเมื่อเวลาในการสกัดเพิ่มขึ้นเนื่องจากเกิดปัญหาการสะสมของน้ำกาแฟที่ติดค้างไปกับกากกาแฟที่คัดแยกออกในทุกรอบของการสกัดเมื่อระยะเวลาในการสกัดเพิ่มขึ้น แต่หากทำการสกัดแบบต่อเนื่องจะทำให้ได้ปริมาณผลผลิตที่ได้ของน้ำกาแฟเพิ่มขึ้น

4.2.2 ผลการสกัดด้วยคลื่นอัลตร้าโซนิกต่อคุณลักษณะของน้ำกาแฟที่ได้

เมื่อนำผลการทดลองที่ได้ไปสร้างความสัมพันธ์ระหว่างคุณลักษณะต่างๆที่ศึกษากับตัวแปรที่ศึกษาซึ่งประกอบด้วย ค่า pH, Brix, %Soluble solids และ %Coffee Solution Yieldโดยใช้ความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ในรูปแบบสมการโพลีโนเมียลกำลังสอง ดังนี้

$$Y = a_{11}x_1^2 + a_{22}x_2^2 + a_1x_1 + a_2x_2 + a_{12}x_1x_2 + a_0$$

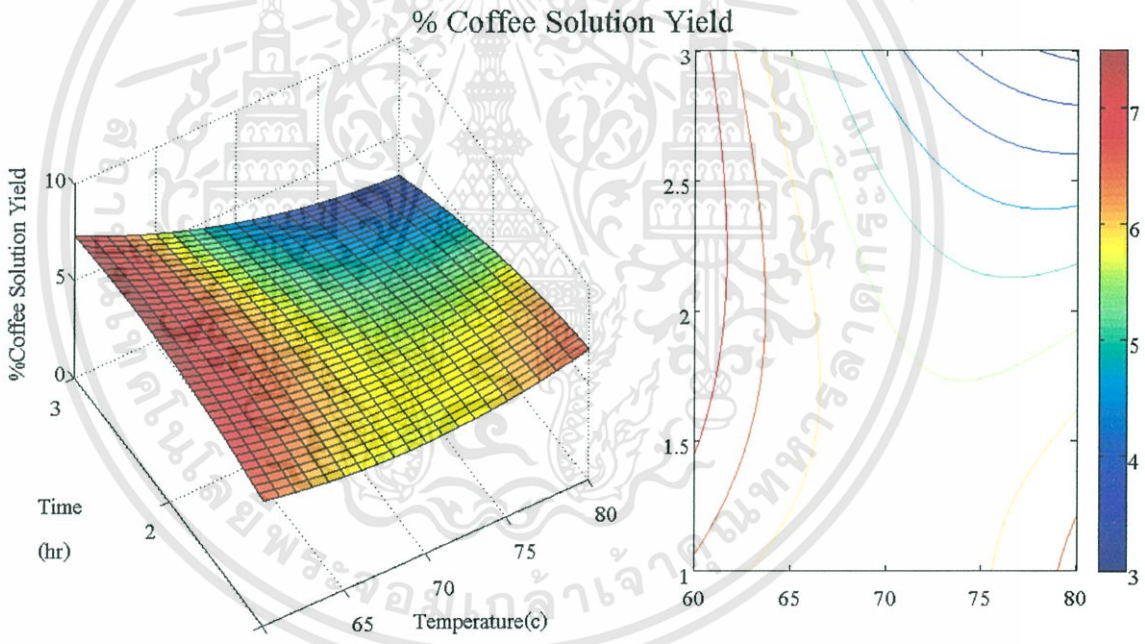
- **ผลต่อค่าปริมาณผลผลิตที่ได้ของน้ำกาแฟ (% Coffee Solution Yield)**

ค่าปริมาณผลผลิตที่ได้ของน้ำกาแฟในการทดลองนี้อยู่ในช่วง 3.059 - 8.290 พบว่าเมื่อและเวลาในการสกัดเพิ่มขึ้นค่าปริมาณผลผลิตที่ได้ของน้ำกาแฟมีค่าลดลง โดยเมื่อนำผลที่ได้มาสร้างความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ผลผลิตได้กับอุณหภูมิในการสกัด(T_E), เวลาในการสกัด (t) สามารถแสดงได้ดังนี้

$$\%Yield_{CS} = -1.1419\ T_E + 9.8109\ t + 0.0091\ T_E^{\ 2} - 0.5768\ t^2 - 0.1177\ T_E\ t + 39.9891 \quad \ldots (1)$$

$R^2 = 0.7794$, S.E = 1.2811, $p < 0.35$

จากการทดลองพบว่าลักษณะความสัมพันธ์ที่ได้ค่า R^2 และค่า S.Eอยู่ในเกณฑ์ดี



รูปที่ 4.7 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างเวลา อุณหภูมิที่ใช้สกัดและค่า %Coffee Solution Yield ของน้ำกาแฟ

จากรูปที่ 4.7 พบว่าเมื่อใช้เวลาในการสกัดเพิ่มจะทำให้ค่าปริมาณผลผลิตที่ได้ของน้ำกาแฟมีค่าลดลง เนื่องจากเมื่อใช้เวลาในการสกัดเพิ่มขึ้นจะทำให้ปริมาณกาแฟบดที่ใช้มากขึ้น ดังนั้นจึงมีการสูญเสียน้ำกาแฟที่สกัดได้ไปกับกากของกาแฟมากขึ้นค่าปริมาณผลผลิตที่ได้ของน้ำกาแฟจึงมีค่าค่อนข้างต่ำ เนื่องจากการทดลองเป็นการจำลองการสกัดแบบ Extraction batteries ดังนั้นจึงเกิดปัญหาการสะสมของน้ำกาแฟที่ติดค้างไปกับกากกาแฟที่คัดแยกออกในทุกรอบของการสกัดเมื่อระยะเวลาในการสกัดเพิ่มขึ้น หมายถึงจำนวนรอบของการสูญเสียน้ำกาแฟก็เพิ่มขึ้นด้วย แต่อย่างไรก็ตามหากทำการสกัดแบบต่อเนื่องจะทำให้ได้ปริมาณผลผลิตที่ได้ของน้ำกาแฟเพิ่มขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

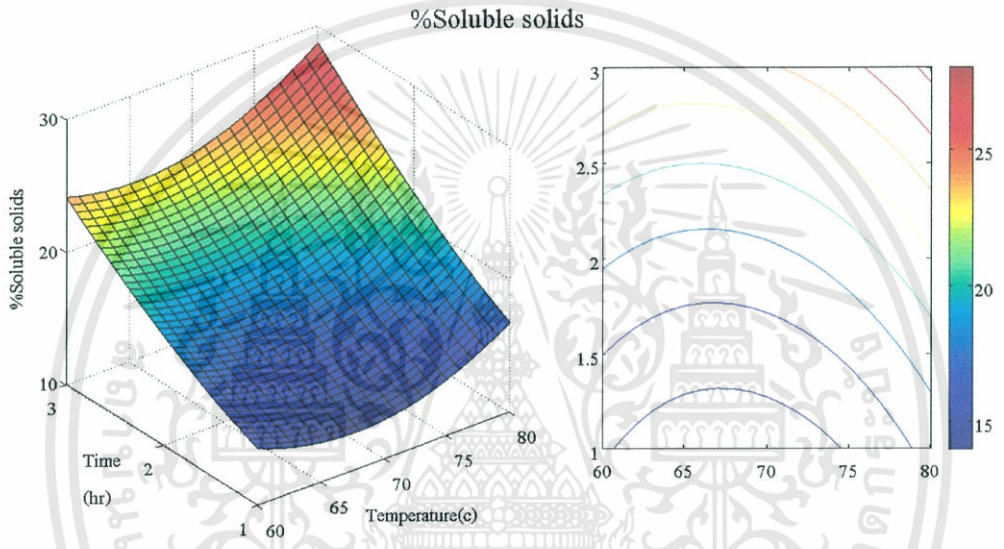
- **ผลต่อค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ของน้ำกาแฟ (%Soluble solids)**

ค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ของน้ำกาแฟที่สกัดด้วยอัลตร้าโซนิกมีค่าอยู่ในช่วง 14 – 30% โดยเมื่อใช้เวลาในการสกัดเพิ่มขึ้นค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ของน้ำกาแฟจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อนำผลที่ได้มาสร้างความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ระหว่างค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้กับอุณหภูมิในการสกัด (T_E), เวลาในการสกัด (t) สามารถแสดงได้ดังนี้

$$\%SS = -3.4991\ T_E - 1.8690\ t + 0.02549\ T_E^{\ 2} + 0.89005\ t^2 + 0.0536\ T_E\ t + 130.1953 \quad \ldots (2)$$

$R^2 = 0.9303$, S.E = 2.3010, $p < 0.07$

จากการทดลองพบว่าลักษณะความสัมพันธ์ที่ได้ค่า R^2 และค่า S.E อยู่ในเกณฑ์ดี



รูปที่ 4.8 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างเวลา อุณหภูมิที่ใช้สกัดและค่า % Soluble solids ของน้ำกาแฟ

จากรูปที่ 4.8 พบว่าเมื่อเวลาในการสกัดเพิ่มขึ้นจะทำให้สามารถสกัดของแข็งที่สามารถละลายได้ภายในกาแฟออกมาได้มากขึ้นค่าทำให้ค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ของน้ำกาแฟมีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากลักษณะการสั่นสะเทือนของคลื่นอัลตร้าโซนิกสามารถช่วยทำให้ตัวทำละลาย (น้ำ) แทรกซึมเข้าไปในกาแฟและชะละลายสารสกัดออกมาได้ดียิ่งขึ้น ทำให้ประสิทธิภาพการถ่ายเทมวลสาร (Mass Transfer) เพิ่มสูงขึ้น เป็นผลให้ปริมาณของแข็งที่สามารถละลายได้ออกมาเพิ่มมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

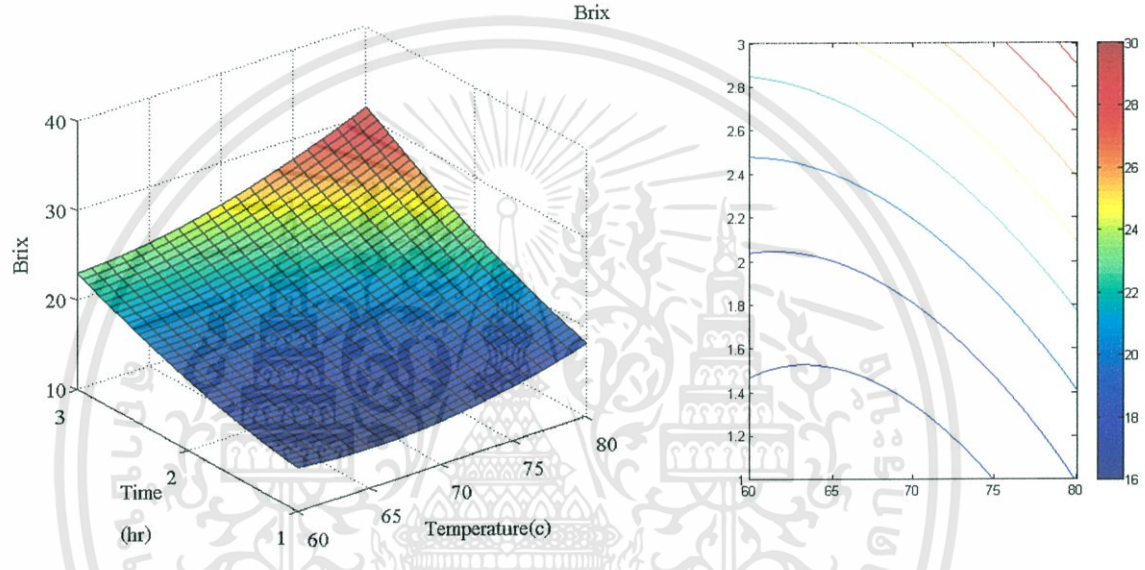
- **ผลต่อค่า Brix ของน้ำกาแฟ**

ค่า Brix ของน้ำกาแฟที่สกัดด้วยอัลตร้าโซนิกมีค่าอยู่ในช่วง 14.5 - 31 โดยเมื่อใช้อุณหภูมิในการสกัดเพิ่มขึ้นค่า Brix ของน้ำกาแฟจะมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อนำผลที่ได้มาสร้างความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ระหว่าง Brix กับอุณหภูมิในการสกัด (T_E), เวลาในการสกัด (t) สามารถแสดงได้ดังนี้

$$Brix = -2.2958\ T_E - 7.2708\ t + 0.0167\ T_E^{\ 2} + 1.0417\ t^2 + 0.1188\ T_E t + 91.5972 \quad \ldots (3)$$

$R^2 = 0.9965$, S.E = 0.5040, $p < 0.01$

จากการทดลองพบว่าลักษณะความสัมพันธ์ที่ได้ค่า R^2 และค่า S.E อยู่ในเกณฑ์ดี



รูปที่ 4.9 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างเวลา อุณหภูมิที่ใช้สกัดและค่า Brix ของน้ำกาแฟ

จากรูปที่ 4.9 พบว่าเมื่อเวลาในการสกัดเพิ่มขึ้นค่า Brix ของน้ำกาแฟมีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากเมื่อใช้คลื่นอัลตร้าโซนิกจะช่วยทำให้ตัวทำละลายแทรกซึมเข้าไปในวัสดุที่นำมาสกัดได้ดียิ่งขึ้น ทำให้ประสิทธิภาพการถ่ายเทมวลสาร (Mass Transfer) เพิ่มสูงขึ้น นอกจากนั้นคลื่นอัลตร้าโซนิกยังไปทำลายพื้นผิวที่บริเวณผนังเซลล์และภายในเซลล์ทำให้สารที่ต้องการสกัดสามารถออกมาได้ง่ายขึ้นประกอบกับเวลาที่ใช้ในการสกัดเพิ่มจะทำให้สามารถสกัดของแข็งที่สามรถละลายได้ภายในกาแฟออกมาได้มากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

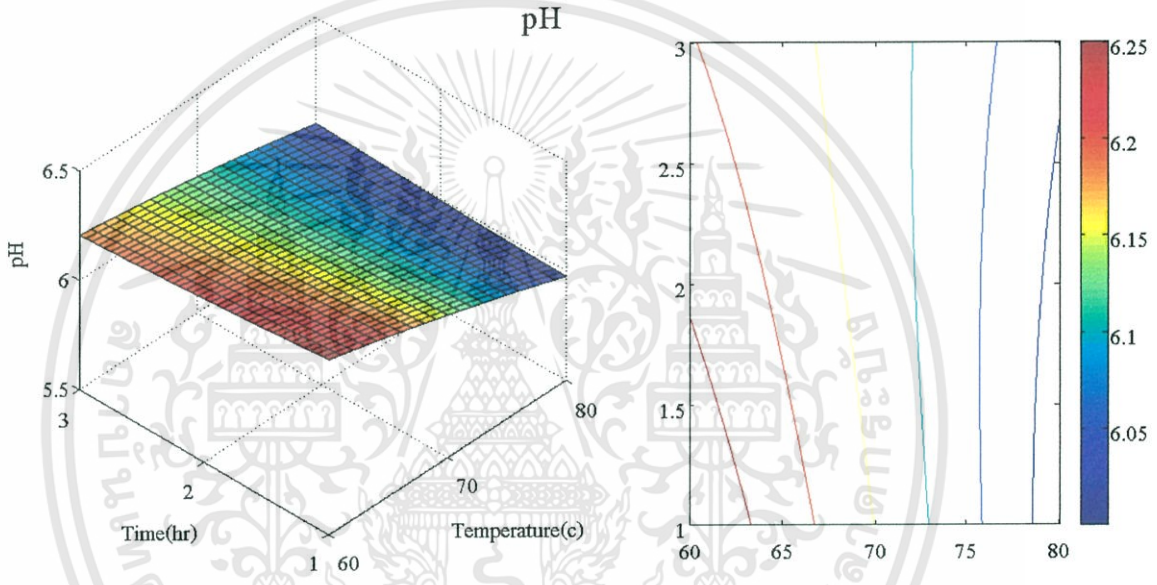
- **ผลต่อค่า pH ของน้ำกาแฟ**

ค่า pH ของน้ำกาแฟที่สกัดด้วยอัลตร้าโซนิกมีค่าอยู่ในช่วง.5.90-6.30 โดยเมื่อใช้อุณหภูมิในการสกัดเพิ่มขึ้นค่า pH ของน้ำกาแฟจะมีค่าลดลง เนื่องจากสามารถสกัดสารที่เป็นกรดในกาแฟออกมาได้มากขึ้นทำให้ค่า pH มีค่าลดลง เมื่อนำผลที่ได้มาสร้างความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ระหว่าง pH กับอุณหภูมิในการสกัด (T_E), เวลาในการสกัด (t) สามารถแสดงได้ดังนี้

$$pH = 0.00042\ T_E - 0.265\ t - 0.000142\ T_E^{\ 2} + 0.005833\ t^2 + 0.00325\ T_E\ t + 6.8461 \quad \ldots (4)$$

$R^2 = 0.9593$, S.E = 0.0386, $p < 0.05$

จากการทดลองพบว่าลักษณะความสัมพันธ์ที่ได้ค่า R^2 และค่า S.E อยู่ในเกณฑ์ดี



รูปที่ 4.10 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างเวลา อุณหภูมิที่ใช้สกัดและค่า pH ของน้ำกาแฟ

จากรูปที่ 4.10 พบว่าเมื่ออุณหภูมิในการสกัดเพิ่มขึ้นค่า pH ของน้ำกาแฟมีค่าลดลง เนื่องจากเมื่อใช้อุณหภูมิในการสกัดเพิ่มจะทำให้สามารถสกัดสารที่เป็นกรดภายในกาแฟออกมาได้มากขึ้น โดยกรดที่มีอยู่ในกาแฟ เช่น Chlorogenic, Oxalic, Malic, Caffeic แต่เมื่อเวลาในการสกัดเพิ่มขึ้นค่า pH ของน้ำกาแฟมีค่าไม่แตกต่างกันเนื่องจากช่วงระยะเวลาในการสกัดอาจไม่เพียงพอให้เห็นความแตกต่างของค่า pH ที่ชัดเจน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.3 การคัดเลือกสภาวะการสกัดน้ำกาแฟที่เหมาะสมในการสกัดกาแฟ

ในการคัดเลือกสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดกาแฟเพื่อใช้เป็นวัตถุดิบเริ่มต้นก่อนนำไปทำแห้ง อาศัยเกณฑ์การพิจารณา pH มีค่าต่ำกว่า 6.0 และมีค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้สูงกว่า 18% ได้ทั้งหมด 4 สภาวะที่ใกล้เคียงกัน ดังแสดงในตารางที่ 4.5 จากนั้นจึงทำการทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัสต่อไป

ตารางที่ 4.5 แสดงสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดกาแฟ

ตัวอย่าง	อุณหภูมิในการสกัด(°c)	เวลาในการสกัด(ชั่วโมง)
1	70	2
2	70	3
3	80	2
4	80	3

จากนั้นนำตัวอย่างทั้ง 4 มาเปรียบเทียบการยอมรับทางประสาทสัมผัสกับตัวอย่างที่5 ซึ่งเป็นตัวอย่างกาแฟสำเร็จรูปในท้องตลาด (ยี่ห้อ Nastcafe) เป็นเกณฑ์อ้างอิง

- **การทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัส (Sensory Test)**

ทำการทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัสตามหัวข้อ 3.5 ได้ผลการทดสอบของการทดสอบการยอมรับด้านกลิ่น รสชาติ ความเปรี้ยว ความชอบโดยรวม โดยระดับนัยสำคัญ (Alpha) = 0.05 ค่า F ที่คำนวณได้ของการทดสอบการยอมรับทุกด้านพบว่าค่า F ที่ได้มีค่าน้อยกว่าค่า F ที่ได้จากตารางสถิติซึ่งมีค่าเท่ากับ 2.49 ดังนั้นจึงสรุปว่าผู้ประเมินชอบตัวอย่างทั้ง 5 ไม่แตกต่างกัน

เมื่อการวิเคราะห์ผลทางสถิติพบว่าผู้ประเมินชอบตัวอย่างทั้ง 5 ไม่แตกต่างกัน จึงได้ทำการหาผลรวมคะแนนของการทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัส

- **การหาผลรวมคะแนนของการทดสอบการทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัส** ได้ผลดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 ผลรวมคะแนนของการทดสอบการทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัส

ตัวอย่าง	ค่าเฉลี่ย				ผลรวมคะแนน
	กลิ่น	รสชาติ	ความเปรี้ยว	ความชอบโดยรวม	
1	5.85	5.60	5.00	5.55	22.00
2	5.50	5.35	5.15	5.35	21.35
3	5.70	5.70	5.70	6.15	23.25
4	6.00	5.20	5.25	5.75	22.20
5	5.75	3.20	3.45	3.65	16.05

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัส พบว่า ตัวอย่างที่ได้รับการยอมรับทางด้านกลิ่น รสชาติ ความเปรี้ยว ความชอบโดยรวม และมีคะแนนรวมทางการยอมรับทางประสาทสัมผัสสูงที่สุด คือ สภาวะการสกัดที่อุณหภูมิ 80 °c เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

- **ผลของการวัดคาเฟอีนของน้ำกาแฟ**

เมื่อส่งตัวอย่างน้ำกาแฟที่ได้รับการยอมรับสูงที่สุดเพื่อวัดปริมาณคาเฟอีนตามหัวข้อ 3.5 พบว่า วัดปริมาณคาเฟอีนในน้ำกาแฟได้เท่ากับ 1.45 g/100 ml

โดยทำการส่งตรวจวัดปริมาณคาเฟอีนที่ สถาบันอาหาร (National Food Institute) 2008 ซอยจรัญสนิทวงศ์ 40 ถนนจรัญสนิทวงศ์ แขวงบางยี่ขัน เขตบางพลัด กรุงเทพฯ 10700

4.3 การทำแห้งกาแฟผงแบบพ่นฝอย

การทดลองอบแห้งกาแฟผงแบบพ่นฝอย ได้เตรียมน้ำกาแฟตามวิธี 3.4 โดยในการสกัดใช้เครื่องSteam jacket cooker ซึ่งได้น้ำกาแฟความเข้มข้น 33 Brix ปริมาณคาเฟอีน 2.57 g/100 ml และปริมาณความชื้น 66.26 % ซึ่งน้ำกาแฟที่ได้ใช้เป็นวัตถุดิบเริ่มต้นในการทำแห้งแบบพ่นฝอยต่อไป สำหรับสภาวะของเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยเป็นดังนี้

ตารางที่ 4.7 สภาวะเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยที่ใช้ในการทดลอง

No	อุปกรณ์		ค่าที่กำหนด	หมายเหตุ
1	ปั๊มป้อนวัตถุดิบ	การปรับค่าการป้อน	20(สเกลที่ปรับค่า)	0.116 ลิตรต่อนาที
2	อุณหภูมิลมร้อน	ทางเข้า	180-200 °c	
		ทางออก	100 °c	ความเร็วลม 18.2 m/s
3	เครื่องดูดลม(Blower)	ความเร็วรอบ	3000 rpm	
4	หัวพ่นวัตถุดิบ	ชนิด	Two-fluid nozzle	
		ทิศทางการทำแห้ง	Parallel	
5	เครื่องทำความร้อน	แผงความร้อน 4 ชุด	ใช้ 3 ชุด (1.5,3,3 kW)	ควบคุมอัตโนมัติ 1 ตัว
6	ปั๊มลม	ความดันปั๊มลม	0.89 Mpa	
		ความดันที่หัวพ่น	0.75 Mpa	
		ความดันที่ป้อนวัตถุดิบ	0.48 Mpa	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.1 ผลการวิเคราะห์คุณลักษณะของกาแฟผงที่ได้จากการทำแห้ง

จากการดำเนินการทดลองการทำกาแฟผงด้วยเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยตามตารางการทดลองที่ 3.5 กำหนดนั้นให้ผลของคุณลักษณะผงกาแฟที่สภาวะต่างๆ เป็นดังนี้

ตารางที่ 4.8 ผลการวิเคราะห์คุณลักษณะของกาแฟผง

การทดลองที่	อุณหภูมิลมร้อน (°c)	ความหนาแน่น (g/ml)	สภาพการละลาย (วินาที)	% Yield	Water activity	% ความชื้น	pH
1	180	0.2188	63.5	44.455 ± 0.843	0.1595 ± 0.003	0.425	5.145
2	200	0.2303	70.5	53.765 ± 0.843	0.1535 ± 0.003	0.490	5.130
3	220	0.2350	73.0	61.010 ± 0.843	0.1400 ± 0.003	0.405	5.140

ในการทดลองนี้ต้องการที่จะศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์กับปัจจัยการอบแห้ง โดยจะศึกษาเพื่อหาช่วงอุณหภูมิลมร้อนที่เหมาะสมที่สุดในการผลิตกาแฟผง

จากการทดลองพบว่า ในการทดลองที่ 2และ3 มีปริมาณผลิตภัณฑ์ผงที่ได้อยู่ในระดับสูงกว่า 50% นอกจากนี้ยังพบว่าที่อุณหภูมิลมร้อนที่ใช้ในการทำแห้งสูงจะทำให้ได้ปริมาณผลิตภัณฑ์ผงมากกว่าที่อุณหภูมิต่ำ เนื่องจากที่อุณหภูมิต่ำกาแฟผงยังไม่แห้งพอ ดังนั้นจึงเกิดการติดอยู่ภายในเครื่องจำนวนมาก

ผลิตภัณฑ์กาแฟผงที่ได้ถูกนำมาทดสอบความสามารถในการละลายโดยพิจารณาจากเวลาที่ใช้ในการละลาย เมื่อเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์กาแฟผงสำเร็จรูปที่มีจำหน่ายในตลาด พบว่าผลิตภัณฑ์กาแฟผงในตลาดใช้เวลาในการละลายน้อยกว่าหลายเท่า ซึ่งอาจมีสาเหตุมาจากผลิตภัณฑ์กาแฟผงสำเร็จรูปในตลาดได้ผ่านกระบวนการแอกโกลเมอเรชั่น (Agglomeration) ซึ่งเป็นการพ่นไอน้ำหรือละอองน้ำเล็กน้อยลงบนผงกาแฟที่แห้งแล้วเพื่อให้จับตัวกัน โดยยังมีรูพรุนภายใน จากนั้นจึงทำแห้งซ้ำจะได้ผงกาแฟที่ละลายน้ำได้ดี ไม่จับตัวเป็นก้อนเมื่อทำการชง ทำให้การละลายของกาแฟผงสำเร็จรูปในตลาดละลายได้ดีกว่า

ค่า Water activity ของกาแฟผงมีค่าต่ำกว่า 0.3 ซึ่งถือว่ามีความปลอดภัยจากเชื้อจุลลินทรีย์

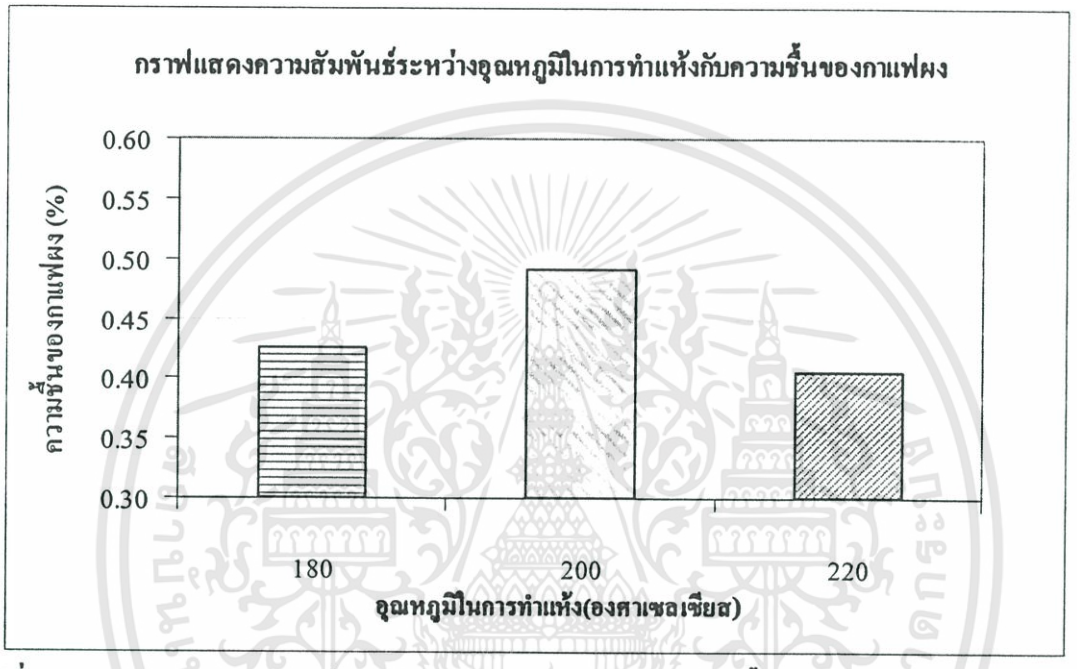
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.2 ผลการศึกษาการทำแห้งต่อคุณลักษณะของกาแฟผงที่ได้

เมื่อนำผลการทดลองที่ได้ไปสร้างความสัมพันธ์ระหว่างคุณลักษณะต่างๆที่ศึกษากับตัวแปรที่ศึกษาโดยใช้ความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ โดยใช้หลัก Multiple Regression ในรูปแบบ 1^{st} order และ 2^{nd} orderโดยค่าสหสัมพันธ์ของตัวแปรในสมการและค่าความสัมพันธ์ทางสถิติต่างๆ แสดงไว้ดังนี้

- **ผลต่อความชื้นของกาแฟผง (Moisture Content)**

ค่าความชื้นของกาแฟผงที่ผลิตได้ในการทดลองนี้อยู่ในช่วง 0.22 – 0.49 พบว่าเมื่ออุณหภูมิลมร้อนขาเข้ามีค่าสูงขึ้น ค่าความชื้นของกาแฟผงผลิตได้จะมีค่าลดลง



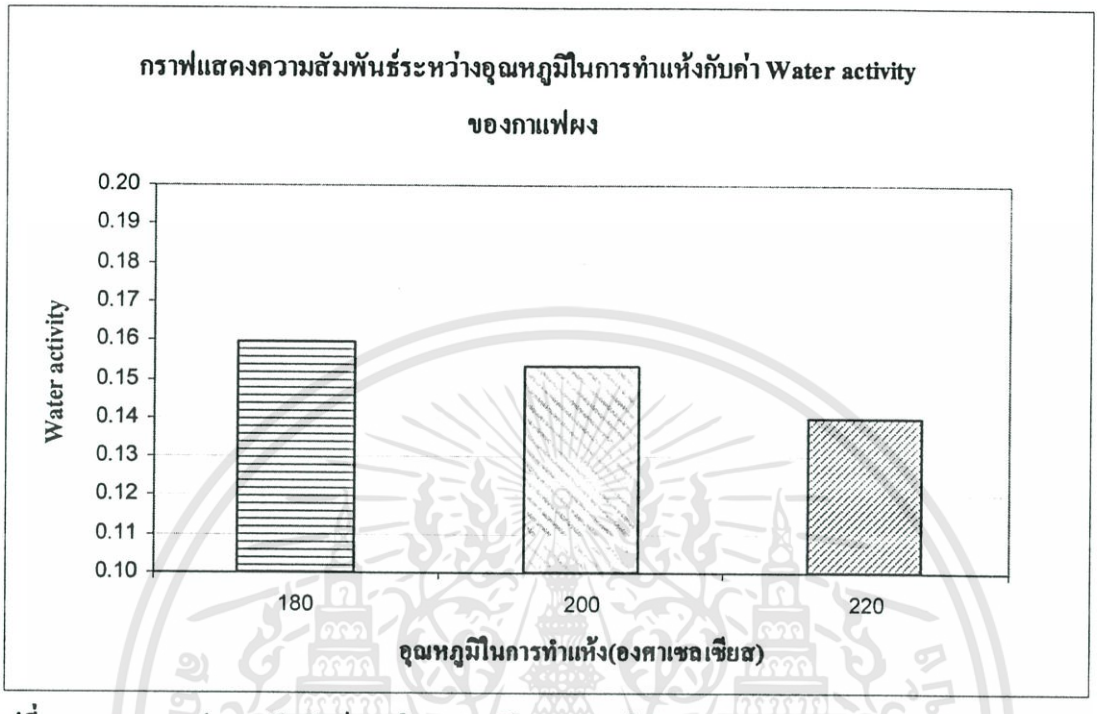
รูปที่ 4.11 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิในการทำแห้งกับค่าความชื้นของกาแฟผง

จากรูปที่ 4.11 พบว่าเมื่ออุณหภูมิลมร้อนขาเข้ามีค่าสูงขึ้น ค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นของกาแฟผงผลิตได้จะมีค่าลดลง แต่เนื่องจากที่อุณหภูมิ 200°c ได้ทดลองในขณะที่อากาศภายนอกมีความชื้นสูงจึงส่งผลให้ค่าความชื้นของกาแฟผงสูงตามไปด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- **ผลต่อค่า Water activity ของกาแฟผง**

ค่า Water activity ของกาแฟผงที่ผลิตได้ในการทดลองนี้อยู่ในช่วง 0.131-0.165 พบว่าเมื่ออุณหภูมิลมร้อนขาเข้ามีค่าสูงขึ้น ค่า Water activity ของกาแฟผงผลิตได้จะมีค่าลดลง



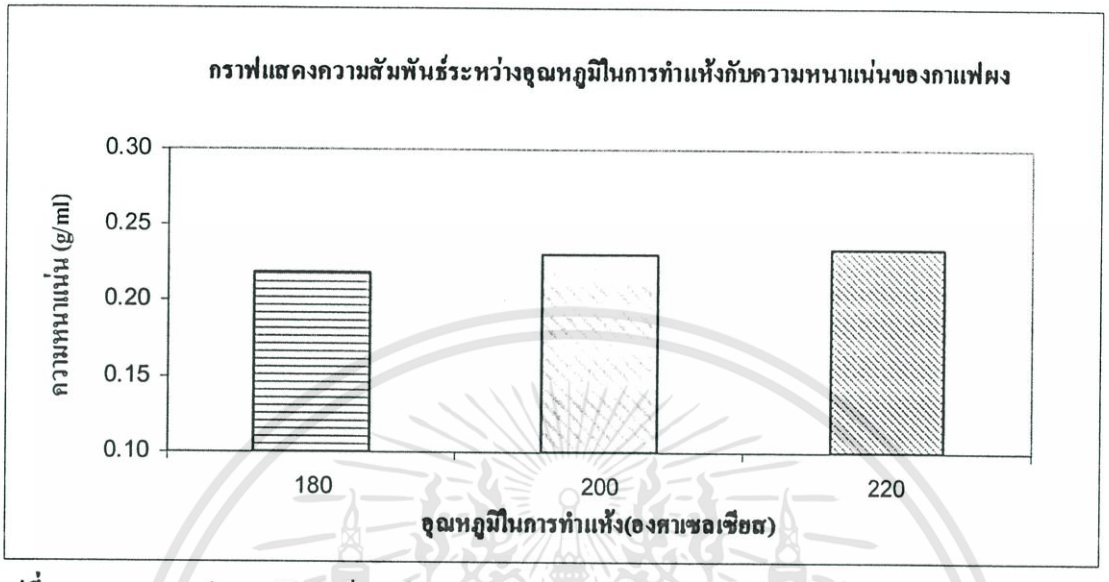
รูปที่ 4.12 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิในการทำแห้งกับ Water activity ของกาแฟผง

จากรูปที่ 4.12 พบว่าเมื่ออุณหภูมิลมร้อนขาเข้ามีค่าสูงขึ้น ค่า Water activity ของกาแฟผงผลิตได้จะมีค่าลดลง เนื่องจากเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นสามารถระเหยน้ำได้มากกว่าที่อุณหภูมิต่ำ ทำให้ปริมาณน้ำอิสระที่เหลืออยู่ภายในกาแฟผงมีปริมาณที่น้อยกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- **ผลต่อค่าความหนาแน่นของกาแฟผง (Density)**

ค่าความหนาแน่นของกาแฟผงที่ผลิตได้ในการทดลองนี้อยู่ในช่วง 0.2188 – 0.2351 g/ml พบว่าเมื่ออุณหภูมิลมร้อนขาเข้ามีค่าสูงขึ้น ค่าความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์ผงที่ได้จะมีค่าสูงขึ้นด้วย



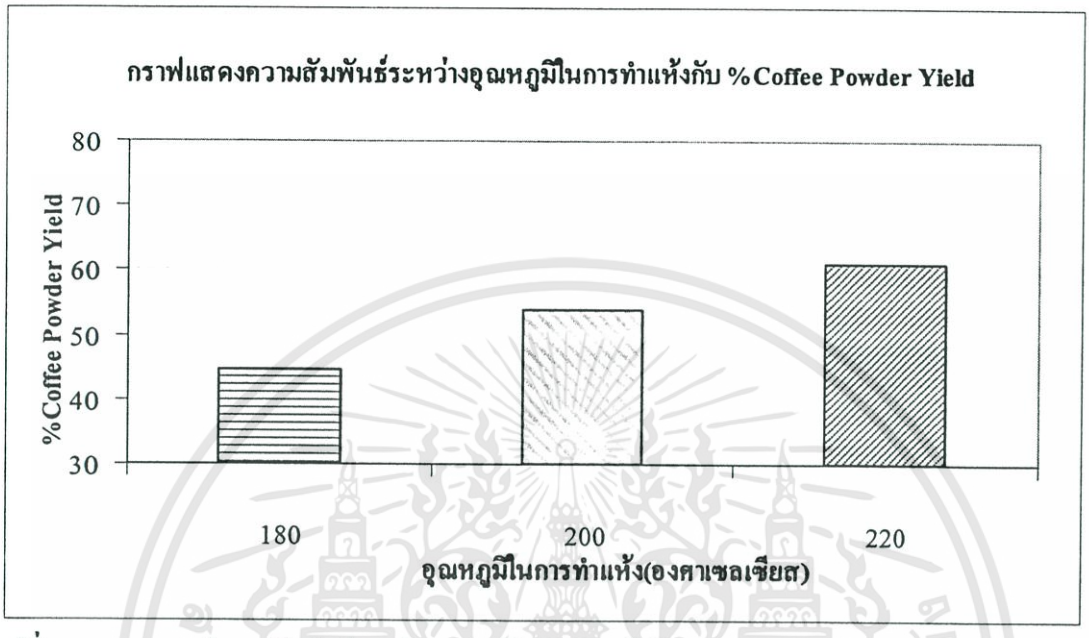
รูปที่ 4.13 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิในการทำแห้งกับความหนาแน่นของกาแฟผง

จากรูปที่ 4.13 พบว่าเมื่ออุณหภูมิลมร้อนขาเข้ามีค่าสูงขึ้น ค่าความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์ผงที่ได้จะมีค่าสูงขึ้นด้วยเนื่องจากที่อุณหภูมิสูงสามารถระเหยน้ำที่มีได้มากกว่า ดังนั้นกาแฟผงที่ได้จึงมีปริมาณของแข็งที่เหลืออยู่มากกว่าและผงกาแฟมีขนาดเล็กลงทำให้มีความละเอียดของผงมากขึ้น เมื่อนำไปทำการวัดค่าความหนาแน่นทำให้ได้น้ำหนักที่มากกว่าที่ปริมาตรเท่ากันจึงมีความหนาแน่นมากกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- **ผลต่อค่าปริมาณผลผลิตที่ได้ของกาแฟผง (%Coffee Powder Yield)**

ผลผลิตที่ได้จากการทำแห้งส่วนใหญ่ประกอบด้วยคาร์โบไฮเดรต เมื่อนำมาคำนวณเป็นผลต่อค่าปริมาณผลผลิตที่ได้เทียบกับปริมาณน้ำกาแฟสกัดที่นำมาทำแห้ง ปริมาณผลผลิตที่ได้ของกาแฟผงในการทดลองอยู่ในช่วง 37.81 – 66.06%



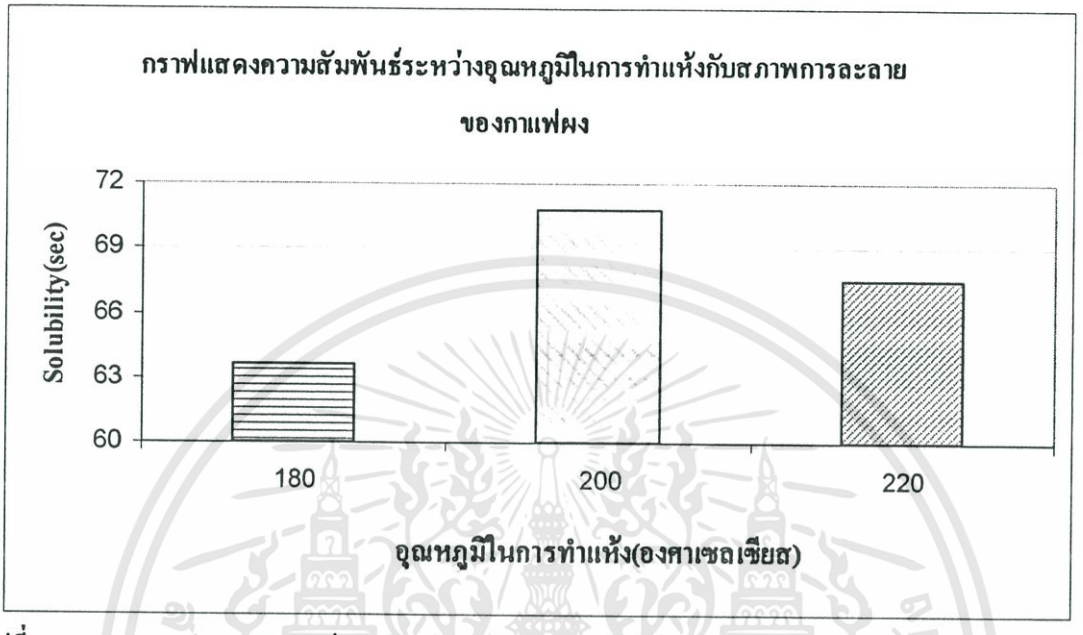
รูปที่ 4.14 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิในการทำแห้งกับ % Coffee Powder Yield ของกาแฟผง

จากรูปที่ 4.14 พบว่าเมื่ออุณหภูมิลมร้อนในการทำแห้งมีค่าสูงขึ้น ปริมาณผลผลิตที่ได้ของกาแฟผงจะมีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากไม่เกิดการสูญเสียผลิตภัณฑ์ภายในส่วนต่างๆของเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย แต่ที่อุณหภูมิลมร้อนต่ำจะทำให้กาแฟผงไม่แห้งจึงเกาะติดผนังภายในเครื่องอบแห้งเป็นจำนวนมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- **ผลต่อสภาพการละลายของกาแฟผง (Solubility)**

*สภาพการละลาย*ได้ของสาร (Solubility) หมายถึง ความสามารถของสารที่ละลายในสารอื่นที่เป็นตัวทำละลายจนเป็นสารละลายอิ่มตัว ณ อุณหภูมิคงที่ ค่าสภาพการละลายของกาแฟผงที่ผลิตได้ในการทดลองนี้อยู่ในช่วง 63 – 75 วินาทีเมื่อ



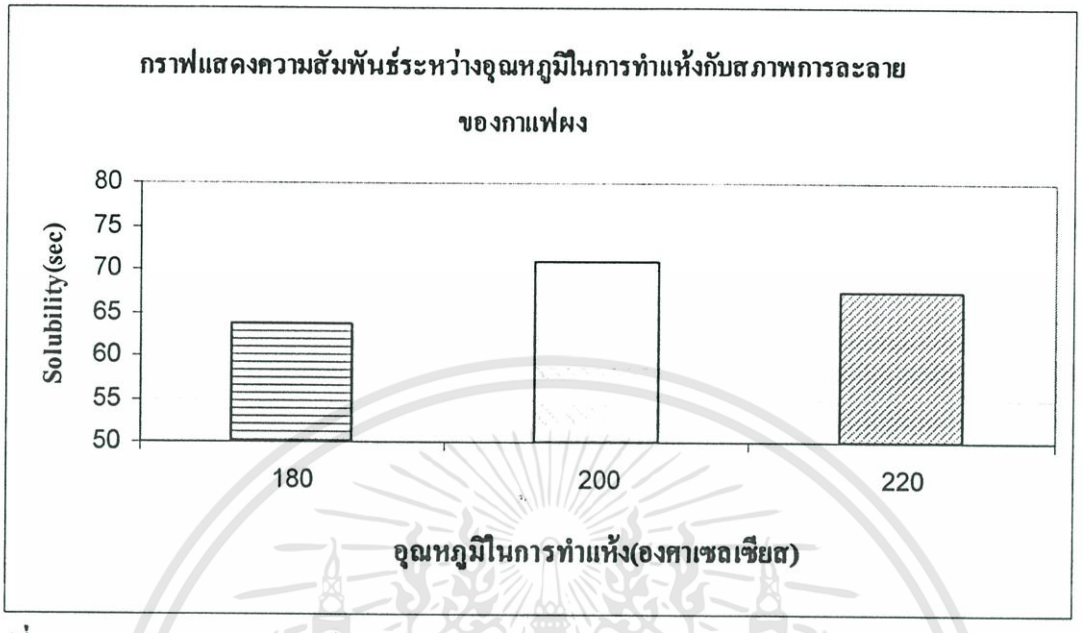
รูปที่ 4.15 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิในการทำแห้งกับสภาพการละลายของกาแฟผง

จากรูปที่ 4.15 พบว่าเมื่ออุณหภูมิลมร้อนขาเข้ามีค่า 180 °c มีสภาพการละลายของกาแฟผงดีที่สุด หมายถึงใช้เวลาในการละลายน้อยที่สุด เนื่องจากผลิตภัณฑ์กาแฟผงที่ได้มีความชื้นอยู่มากทำให้ผลิตภัณฑ์เกิดการรวมตัวกันทำให้การดูดซับน้ำทำได้ดีขึ้น มีน้ำหนักเพิ่มขึ้นเกิดการเกาะตัวกันดีขึ้นและการละลายได้ดี จึงใช้เวลาในการละลายน้อยกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- **ผลต่อค่า pH ของกาแฟผง**

ค่า pH ของกาแฟผงที่ผลิตได้ในการทดลองนี้อยู่ในช่วง 5.132 – 5.147



รูปที่ 4.16 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิในการทำแห้งกับค่า pH ของกาแฟผง

จากรูปที่ 4.16 พบว่าเมื่อทำแห้งที่อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 200 °c จะทำให้กาแฟผงมีค่า pH ต่ำที่สุด แสดงถึงการมีปริมาณ Soluble Solid เหลืออยู่ในกาแฟผงมากที่สุด โดยของแข็งที่สามารถละลายได้คือสารประเภทกรดต่างๆ เช่น Chlorogenic, Oxalic, Malic, Caffeic ซึ่งสารเหล่านี้จะทำให้กาแฟผงมีค่าเป็นกรด

จากการวิเคราะห์ค่า ความหนาแน่น, ความสามารถในการละลาย, ปริมาณผลผลิตที่ได้ของกาแฟผง, a_w, ความชื้นของกาแฟผง ไม่สามารถสรุปได้ว่าสภาวะใดคือสภาวะที่ดีที่สุดในการทำแห้งกาแฟ แต่เนื่องจากค่าปริมาณผลผลิตที่ได้มีความสำคัญในการผลิตกาแฟผง เนื่องจากการทำแห้งที่อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 220 °c ให้ค่าปริมาณผลผลิตที่ได้ของกาแฟผงมีค่าสูงที่สุดจึงเลือกสภาวะที่เหมาะสม คือ การทำแห้งที่อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 220 °c

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

5.1.1 สรุปผลการหาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดกาแฟ

จากการศึกษาผลของการสกัดกาแฟด้วยคลื่นอัลตร้าโซนิกความถี่ 40 kHz โดยการใช้การสกัดกาแฟด้วยอัตราส่วน น้ำ: กาแฟ เท่ากับ 2: 1 สกัดที่อุณหภูมิ 60, 70 และ 80 °c เวลาในการสกัดกาแฟ 1, 2 และ 3 ชั่วโมง พบว่า

- การสกัดกาแฟโดยการใช้คลื่นอัลตร้าโซนิกให้ผลการสกัดที่ดีกว่าการไม่ใช้คลื่น
- เมื่อใช้อุณหภูมิในการสกัดกาแฟสูงขึ้น ค่า Brix ,%Soluble Solid ,%Yield ของน้ำกาแฟจะมีค่าเพิ่มขึ้น ส่วนค่า pHของน้ำกาแฟมีค่าลดลง
- เมื่อใช้เวลาในการสกัดกาแฟมากขึ้น ค่า Brix ,%Soluble Solid ,%Yield ของน้ำกาแฟจะมีค่าเพิ่มขึ้น ส่วนค่า pHของน้ำกาแฟมีค่าลดลง
- จากการทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัสพบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดกาแฟคือ การสกัดกาแฟที่อุณหภูมิ 80 °c เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

5.1.2 สรุปผลการหาสภาวะที่เหมาะสมในการทำแห้งกาแฟ

จากการศึกษาผลของการทำแห้งกาแฟด้วยเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย โดยใช้ Blower Speed control 3000 rpm อัตราการป้อนวัตถุดิบ 0.00696 m^3/sec อุณหภูมิลมร้อนขาออก 100 °c ความเร็วลมขาออก 18.2 m/s และทำแห้งที่อุณหภูมิ 180, 200 และ 220 °c พบว่า

- เมื่ออุณหภูมิลมร้อนขาเข้ามีค่าสูงขึ้น ค่าความหนาแน่นและเปอร์เซ็นต์ของกาแฟผงที่ผลิตได้จะมีค่าสูงขึ้น ส่วนค่า Water activity ของกาแฟผงผลิตได้จะมีค่าลดลง
- อุณหภูมิที่เหมาะสมในการทำแห้งกาแฟคือ 220 °c

5.2 ปัญหาที่พบ

- การทำความสะอาดถังบรรจุของเครื่องอัลตร้าโซนิกทำได้ยากเนื่องจากมีท่อระบายน้ำออกขนาดเล็กและบริเวณด้านล่างของถังบรรจุยากต่อการทำความสะอาดเนื่องจากมี heater ติดตั้งขวางอยู่ ควรมีสายยางเพื่อทำกาลักน้ำซึ่งจะทำให้การทำความสะอาดและการระบายน้ำทิ้งทำได้ง่ายขึ้น
- ตัวเครื่องกำเนิดคลื่นของเครื่องอัลตร้าโซนิกมักมีไฟฟ้ารั่ว ไม่ควรสัมผัสและควรสวมรองเท้าผ้าใบขณะทำการทดลอง
- ควรมีการควบคุมดูแลด้านสุขลักษณะของการใช้เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย (Spray Dryer) โดยเฉพาะเรื่องความสะอาดของ Blower
- การใช้อัตราการป้อนวัตถุดิบ (feed) ที่สูงมาก เมื่อวัตถุดิบมีค่า Brix สูง เพราะจะทำให้การพ่นฝอยวัตถุดิบทำได้ช้า ทำให้หัวพ่น (Two fluid nozzle atomizer) เกิดการอุดตันได้

5.3 ข้อเสนอแนะ

- ควรศึกษาการทำ Agglomeration กาแฟผง เพื่อคุณภาพของกาแฟผงที่ดีขึ้นและควรทำการทดลองในปริมาณที่มากเพื่อจะได้เห็นผลการวิเคราะห์ที่ชัดเจนและแม่นยำมากยิ่งขึ้น
- ควรศึกษาการนำกากกาแฟหลังจากการสกัดไปใช้เพื่อให้เกิดประโยชน์มากขึ้น เนื่องจากยังมีสารต่างๆ ภายในกาแฟเหลืออยู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ควรศึกษาการแยกน้ำมันกาแฟเก็บไว้ก่อนการสกัด เพื่อเป็นการรักษากลิ่นรสของกาแฟได้มากขึ้น
- ควรศึกษาการทำแห้งด้วยวิธีอื่นเพื่อประสิทธิภาพการทำแห้งที่ดีขึ้น เช่น การทำแห้งด้วยวิธีเยือกแข็ง (Freeze Drying)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

[1] วิไล รังสาดทอง. 2547. เทคโนโลยีการแปรรูปอาหาร. กรุงเทพฯ : บริษัทเท็กซ์ แอนด์ เจอร์นัล พับลิเคชั่น จำกัด.

[2] แคทลียา อัสสรัตนะ และคณะ. 2549. "การศึกษาผลของการให้ความร้อนร่วมกับการใช้คลื่นอุลตร้าโซนิกที่มีต่อคุณภาพกุ้งขาว." วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

[3] Ai-jun Hu , Shuna Zhao , Hanhua Liang , Tai-qiu Qiu , Guohua Chen. 2007. "Ultrasound assisted supercritical fluid extraction of oil and coixenolide from adlay seed." Journal of Ultrasonics Sonochemistry. 14 : 219–224.

[4] กลุ่มงานวิเคราะห์สินค้าและของกลาง.การหาปริมาณคาเฟอีนในเครื่องดื่มน้ำชาและกาแฟ และการหาปริมาณธีโอโบรมีนในเครื่องดื่มน้ำโกโก้ โดยวิธี High Performance Liquid Chromatography. 2549. [Online]. เข้าถึงได้จาก : URL : http://lab.excise.go.th/group3/beverage/bev_caff.htm

[5] กาแฟ.2551. [online].เข้าถึงได้จาก:URL: http://www.tistr-foodprocess.net/Coffee.htm

[6] ประวัติกาแฟไทย.2551.[online].เข้าถึงได้จาก:URL:http://www.boncafe.co.th/thai-coffee-th.htm

[7] นนทวัชร ชิตวิลัย. 2547. "การเปลี่ยนแปลงของ สารประกอบระเหยและกรดอินทรีย์ระหว่างกระบวนการหมักของกาแฟอาราบิก้าที่ปลูกในประเทศไทย." วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร, มหาวิทยาลัยศิลปากร.

[8] อุตสาหกรรมกาแฟ.2545.สถาบันอาหาร.[online]. เข้าถึงได้จาก:URL: http://www.nfi.or.th/bi/vfc/pdffile/coffee

[9] วิชญา เลิศวิสุทธิ์ และคณะ. 2548. "การออกแบบและการศึกษาเครื่องโม่บดเพื่อทำน้ำมะขามเปียก." วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

[10] วิศวกรรมการแปรสภาพผลิตผลเกษตร 2. 2549. [online]. เข้าถึงได้จาก : URL : http://203.158.184.2 / elearning/AgriProEn2/unit1301.htm

[11] เอกสารประกอบการเรียนวิชา Unit operation.2550. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง คณะวิศกรรมศาสตร์ สาขาวิศกรรมอาหาร

[12] วิศวกรรมการแปรสภาพผลิตผลเกษตร 2. 2549. [online]. เข้าถึงได้จาก : URL : http://203.158.184.2/ elearning/AgriProEn2/unit1203.htm#top

[13] ญาณิกา มณีศรี และคณะ. 2549. "ผลของสภาวะการผลิตต่อการผลิตน้ำลำไยผงด้วยเครื่องอบแห้งแบบพ่น ฝอย." วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

[14] การทำงานของ Spray Dryer เบื้องต้น.2548. สถาบันวิจัยและพัฒนา.[online]. เข้าถึงได้จาก : http://www.gpo.or.th/rdi/html/spray.html

[15] ชลิดา เลื่อมใสสุข, อัญชลี ศรีไสย. 2001. "การผลิตน้ำผักผลไม้รวมชนิดผงสำเร็จรูปโดยวิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอย." วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การอาหารและโภชนาการ, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. [online]. เข้าถึงได้จาก : URL: http://www2. sat.psu.ac.th /foodsci/ project _ file44 (6).pdf

[16] สมจิตร วงศ์กำชัย. 2544. "ผลของการใช้คลื่นเหนือเสียงต่อการสกัดสารสำคัญจากบัวบก." วิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

[17] D. Chiou, T.A.G. Langrish , R. Braham. 2008. "The effect of temperature on the crystallinity of lactose powders produced by spray drying." Journal of Food Engineering. 86 : 288–293.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[18] D.Meterc , M.Petermann , E.Weidner. 2008. "Drying of aqueous green tea extracts using a supercritical fluid spray process." Journal of Supercritical Fluids. 45 : 253–259.

[19] IvanaT.Stanisavljevic , M.L.Lazic , V.B.Veljkovic. 2007. "Ultrasonic extraction of oil from tobacco(Nicotiana tabacum L.) seeds." Journal of Ultrasonics Sonochemistry. 14 : 646–652.

[20] Ivetta Vincze, Gyula Vatai.2004. "Application of nanofiltration for coffee extract concentration". Journal of Desalination. 162 : 287-294.

[21] Jian Pan , Xiao-Xiao Xia , Juan Liang. 2008. "Analysis of pesticide multi-residues in leafy vegetables by ultrasonic solvent extraction and liquid chromatography-tandem mass spectrometry." Journal of Ultrasonics Sonochemistry. 15 : 25–32.

[22] Meng Wai Woo , Wan Ramli Wan Daud , Siti Masrinda Tasirin , Meor Zainal Meor Talib. 2008. "Amorphous particle deposition and product quality under different conditions in a spray dryer." Journal of Particuology. xxx : xxx–xxx.

[23] Sandra Regina Georgetti , Rúbia Casagrande , Cláudia Regina Fernandes Souza , Wanderley Pereira Oliveira , Maria José Vieira Fonseca. 2008. "Spray drying of the soybean extract: Effects on chemical properties and antioxidant activity." Journal of LWT. 41 : 1521–1527.

[24] Tao Xia, Si quan Shi, Xiaochun Wan .2006. "Impact of ultrasonic-assisted extraction on the chemical and sensory quality of tea infusion." Journal of Food Engineering. 74 : 557–560.

[25] การทดสอบทางประสาทสัมผัสการทดสอบ9 point hedonic scale. 2548. [Online]. เข้าถึงได้จาก : URL : http://coursewares.mju.ac.th/ft461/pdf/13.pdf

[26] กมลกาญจน์ จิญกาญจน์ และคณะ. 2543. การผลิตมิลค์เชครสสมุนไพรผงและผลิตภัณฑ์. ปัญหาพิเศษ ปริญญาตรีพฤกษศาสตร์อุตสาหกรรมเกษตร. คณะเทคโนโลยีการเกษตร,สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก. เมล็ดกาแฟดิบ

ตารางผลการทดลองการหาขนาดของกาแฟดิบ

Arabica	กว้าง (ซม.)	ยาว (ซม.)	สูง (ซม.)
	0.90	1.17	0.56
	0.83	1.09	0.54
	0.97	1.30	0.61
	0.92	1.04	0.64
	0.81	1.05	0.50
	0.88	1.12	0.53
	0.92	1.29	0.57
	0.73	1.11	0.48
	0.88	1.07	0.49
	0.91	1.08	0.53
	0.92	1.16	0.56
	0.83	1.14	0.55
	0.94	1.12	0.56
	0.84	1.07	0.49
	0.84	1.02	0.52
	0.83	1.10	0.50
	0.90	1.27	0.53
	0.85	1.05	0.49
	0.90	1.11	0.53
	0.85	1.09	0.56
	0.85	0.98	0.45
	0.81	1.05	0.52
	0.94	1.12	0.55
	0.80	1.06	0.49
	0.87	1.14	0.55
	0.84	1.10	0.55
	0.83	0.96	0.50
	0.88	1.17	0.58
	0.91	1.09	0.56
	0.86	1.08	0.52
เฉลี่ย	0.87	1.11	0.53

Robusta	กว้าง (ซม.)	ยาว (ซม.)	สูง (ซม.)
	0.90	1.09	0.55
	0.90	1.09	0.55
	0.77	1.91	0.46
	0.77	0.97	0.49
	0.72	1.15	0.55
	0.89	1.08	0.44
	0.76	0.91	0.46
	0.93	1.13	0.55
	0.67	0.81	0.46
	0.69	0.98	0.47
	0.85	1.04	0.54
	0.76	0.96	0.49
	0.66	1.03	0.55
	0.74	0.84	0.44
	0.63	0.70	0.39
	0.88	1.10	0.57
	0.84	1.05	0.51
	0.71	0.75	0.36
	0.76	1.07	0.42
	0.66	0.92	0.42
	0.80	1.00	0.49
	0.72	0.83	0.44
	0.73	0.82	0.48
	0.75	0.97	0.42
	0.75	0.79	0.50
	0.73	0.99	0.47
	0.55	1.00	0.46
	0.80	0.98	0.44
	0.75	0.89	0.45
	0.76	0.96	0.48
เฉลี่ย	0.76	0.99	0.48

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผลการทดลองการหา Bulk Density ของกาแฟคั่ว

ตัวอย่าง	น้ำหนักกาแฟ (kg)	Bulk Density(kg/m3)
1	0.3385	338.5080
2	0.3331	333.0580
3	0.3374	337.3880
	เฉลี่ย	336.3180

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข. กาแฟคั่วบด

ตารางผลการทดลองการหาขนาดเฉลี่ยของกาแฟบดโดยวิธี Screen Analysis

Mesh No.	ขนาด sieve Dpi(mm.)	Dpi bar(mm.)	นน.ตะแกรง(g)	นน.ตะแกรง+กาแฟ(g)	นน.กาแฟที่ค้าง(g)	อัตราส่วน นน. ที่ค้าง/นน.ทั้งหมด Xi	Xi/Dpibar
8	2.36	0	394	418.95	24.95	0.103806948	0
16	1.18	1.77	347.85	494.18	146.33	0.60882047	0.343966367
30	0.6	0.89	313.81	364.47	50.66	0.210775952	0.236826912
40	0.425	0.5125	308.25	317.05	8.8	0.036613272	0.071440531
Pan		0.2125	251.18	260.79	9.61	0.039983358	0.188156977
				รวม	240.35	รวม	0.840390788

ขนาดอนุภาคเฉลี่ย	1.19	mm.

ตารางผลการทดลองการวัดค่า Aw กาแฟดั่ว

ตัวอย่างกาแฟ	ค่า Aw	อุณหภูมิตัวอย่าง C
1	0.1550	25.10
2	0.1540	25.00
3	0.1510	25.00
เฉลี่ย	0.1533	25.03

ตารางผลการทดลองหาความชื้นของกาแฟดั่ว

ตัวอย่าง	น้ำหนัก (กรัม)						
	ถ้วย+ฝา	ถ้วย+ฝา+กาแฟบด(ก่อนอบ)	กาแฟบด(ก่อนอบ)	ถ้วย+ฝา+กาแฟบด(หลังอบ)	กาแฟบด(หลังอบ)	%wb	%db
1	17.8875	20.9616	3.0741	20.9258	3.0383	1.1646	1.1783
2	17.8015	20.2965	2.4950	20.2730	2.4715	0.9419	0.9508
3	17.7845	20.8360	3.0515	20.8045	3.0200	1.0323	1.0430
4	17.8169	20.3000	2.4831	20.2803	2.4634	0.7934	0.7997
5	17.6986	20.8325	3.1339	20.8022	3.1036	0.9668	0.9763
6	17.8907	20.4844	2.5937	20.4602	2.5695	0.9330	0.9418
					ave	0.9720	0.9817

ภาคผนวก ค. การสกัดกาแฟ

ตารางผลการทดลองการสกัดกาแฟ

การทดลองที่	ระยะเวลา	อุณหภูมิ	ปริมาณน้ำเริ่มต้น	ปริมาณกาแฟ	ช่วงเวลา	pH	Brix	ปริมาตรน้ำกาแฟที่ได้
1	60	60	1000	250	30	6.27		
						6.25		
						6.26		
						6.26	6	520 mL
				250	30	6.27		
						6.28		
						6.25		
						6.27	15	140 mL
รวม				500 g	60 min			
2	120	60	1200	150	30	6.67		
						6.66		
						6.66		
						6.66	2	1000 mL
				150	30	6.29		
						6.26		
						6.28		
						6.28	5.5	720 mL
				150	30	6.21		
						6.22		
						6.19		
						6.21	10	450 mL
				150	30	6.22		
						6.23		
						6.24		
						6.23	18	175 mL
รวม				600 g	120 min			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองที่	ระยะเวลา	อุณหภูมิ	ปริมาณน้ำเริ่มต้น	ปริมาณกาแฟ	ช่วงเวลา	pH	Brix	ปริมาตรน้ำกาแฟที่ได้
3	180	60	1500	125	30	6.63		
						6.66		
						6.66		
						6.65	1	1235 mL
				125	30	6.29		
						6.29		
						6.33		
						6.30	3	1000 mL
				125	30	6.18		
						6.21		
						6.25		
						6.21	7	740 mL
				125	30	6.10		
						6.14		
						6.15		
						6.13	11	500 mL
				125	30	6.12		
						6.12		
						6.10		
						6.11	18	300 mL
				125	30	6.17		
						6.19		
						6.20		
						6.19	24	145 mL
รวม				750 g	180 min			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองที่	ระยะเวลา	อุณหภูมิ	ปริมาณน้ำเริ่มต้น	ปริมาณกาแฟ	ช่วงเวลา	pH	Brix	ปริมาตรน้ำกาแฟที่ได้
4	60	70	1000	250	30	6.18		
						6.17		
						6.15		
						6.17	5	600 mL
				250	30	5.93		
						5.94		
						5.95		
						5.94	14	226 mL
รวม				500 g	60 min			
5	120	70	1200	150	30	6.23		
						6.21		
						6.22		
						6.22	2	910 mL
				150	30	6.07		
						6.07		
						6.08		
						6.07	6	650 mL
				150	30	5.99		
						6.07		
						6.06		
						6.04	11.5	390 mL
				150	30	6.10		
						6.09		
						6.10		
						6.10	21	175 mL
รวม				600 g	120 min			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองที่	ระยะเวลา	อุณหภูมิ	ปริมาณน้ำเริ่มต้น	ปริมาณกาแฟ	ช่วงเวลา	pH	Brix	ปริมาตรน้ำกาแฟที่ได้
6	180	60	1500	125	30	6.65		
						6.53		
						6.54		
						6.57	1	1265 mL
				125	30	5.99		
						6.03		
						5.97		
						6.00	4	1000 mL
				125	30	5.93		
						5.95		
						5.93		
						5.94	7	800 mL
				125	30	5.92		
						5.91		
						5.93		
						5.92	11	550 mL
				125	30	5.93		
						5.91		
						5.92		
						5.92	16	310 mL
				125	30	6.03		
						6.08		
						6.07		
						6.06	28	125 mL
รวม				750 g	180 min			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองที่	ระยะเวลา	อุณหภูมิ	ปริมาณน้ำเริ่มต้น	ปริมาณกาแฟ	ช่วงเวลา	pH	Brix	ปริมาตรน้ำกาแฟที่ได้
7	60	80	1000	250	30	5.91		
						5.94		
						5.93		
						5.93	6	600 mL
				250	30	5.97		
						5.99		
						6.00		
						5.99	18	163 mL
รวม				500 g	60 min			
8	120	80	1200	150	30	6.06		
						6.06		
						6.06		
						6.06	2	960 mL
				150	30	5.84		
						5.84		
						5.83		
						5.84	6	690 mL
				150	30	5.61		
						5.60		
						5.63		
						5.61	12	420 mL
				150	30	5.87		
						5.85		
						5.83		
						5.85	22	162.5 mL
รวม				600 g	120 min			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองที่	ระยะเวลา	อุณหภูมิ	ปริมาณน้ำเริ่มต้น	ปริมาณกาแฟ	ช่วงเวลา	pH	Brix	ปริมาตรน้ำกาแฟที่ได้
9	180	80	1500	125	30	6.12		
						6.13		
						6.13		
						6.13	1	1220 mL
				125	30	5.84		
						5.82		
						5.82		
						5.83	4	945 mL
				125	30	5.79		
						5.75		
						5.77		
						5.77	7	690 mL
				125	30	5.70		
						5.72		
						5.71		
						5.71	12	440 mL
				125	30	5.74		
						5.70		
						5.71		
						5.72	19	250 mL
				125	30	5.99		
						6.01		
						6.02		
						6.01	31	76 mL
รวม				750 g	180 min			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองที่	ระยะเวลา	อุณหภูมิ	ปริมาณน้ำเริ่มต้น	ปริมาณกาแฟ	ช่วงเวลา	pH	Brix	ปริมาตรน้ำกาแฟที่ได้
10	60	60	1000	250	30	6.35		
						6.34		
						6.34		
						6.34	5	600 mL
				250	30	6.33		
						6.32		
						6.32		
						6.32	14	232 mL
รวม				500 g	60 min			
11	120	60	1200	150	30	6.47		
						6.48		
						6.44		
						6.46	2	980 mL
				150	30	6.29		
						6.32		
						6.34		
						6.32	6	710 mL
				150	30	6.25		
						6.26		
						6.25		
						6.25	10	480 mL
				150	30	6.28		
						6.27		
						6.26		
						6.27	17.5	238 mL
รวม				600 g	120 min			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองที่	ระยะเวลา	อุณหภูมิ	ปริมาณน้ำเริ่มต้น	ปริมาณกาแฟ	ช่วงเวลา	pH	Brix	ปริมาตรน้ำกาแฟที่ได้
12	180	60	1500	125	30	6.77		
						6.72		
						6.71		
						6.73	1.5	1280 mL
				125	30	6.30		
						6.35		
						6.37		
						6.34	3.5	1050 mL
				125	30	6.25		
						6.22		
						6.23		
						6.23	6	820 mL
				125	30	6.22		
						6.21		
						6.21		
						6.21	10	610 mL
				125	30	6.18		
						6.18		
						6.17		
						6.18	13.5	415 mL
				125	30	6.18		
						6.20		
						6.24		
						6.21	21.5	240 mL
รวม				750 g	180 min			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองที่	ระยะเวลา	อุณหภูมิ	ปริมาณน้ำเริ่มต้น	ปริมาณกาแฟ	ช่วงเวลา	pH	Brix	ปริมาตรน้ำกาแฟที่ได้
13	60	70	1000	250	30	6.31		
						6.32		
						6.31		
						6.31	5	620 mL
				250	30	6.33		
						6.32		
						6.32		
						6.32	16	222 mL
รวม				500 g	60 min			
14	120	70	1200	150	30	6.20		
						6.21		
						6.20		
						6.20	2	940 mL
				150	30	6.04		
						6.04		
						6.05		
						6.04	6	680 mL
				150	30	6.06		
						6.04		
						6.07		
						6.06	11	430 mL
				150	30	6.09		
						6.12		
						6.08		
						6.10	20	200 mL
รวม				600 g	120 min			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองที่	ระยะเวลา	อุณหภูมิ	ปริมาณน้ำเริ่มต้น	ปริมาณกาแฟ	ช่วงเวลา	pH	Brix	ปริมาตรน้ำกาแฟที่ได้
15	180	60	1500	125	30	6.36		
						6.39		
						6.38		
						6.38	1.5	1260 mL
				125	30	6.00		
						5.98		
						5.98		
						5.99	4	1010 mL
				125	30	5.82		
						5.91		
						5.92		
						5.88	7	780 mL
				125	30	5.92		
						5.96		
						5.93		
						5.94	11	540 mL
				125	30	5.98		
						5.97		
						5.98		
						5.98	17	310 mL
				125	30	6.14		
						6.16		
						6.14		
						6.15	28	87.5 mL
รวม				750 g	180 min			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองที่	ระยะเวลา	อุณหภูมิ	ปริมาณน้ำเริ่มต้น	ปริมาณกาแฟ	ช่วงเวลา	pH	Brix	ปริมาตรน้ำกาแฟที่ได้
16	60	80	1000	250	30	5.93		
						5.94		
						5.95		
						5.94	6	620 mL
				250	30	5.97		
						6.01		
						6.02		
						6.00		194 mL
รวม				500 g	60 min			
17	120	80	1200	150	30	5.92		
						5.93		
						5.92		
						5.92	2	940 mL
				150	30	5.85		
						5.83		
						5.82		
						5.83	6.5	630 mL
				150	30	5.82		
						5.82		
						5.81		
						5.82	12	360 mL
				150	30	5.98		
						6.00		
						5.99		
						5.99	24.0	112.5 mL
รวม				600 g	120 min			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองที่	ระยะเวลา	อุณหภูมิ	ปริมาณน้ำเริ่มต้น	ปริมาณกาแฟ	ช่วงเวลา	pH	Brix	ปริมาตรน้ำกาแฟที่ได้
18	**180**	**80**	**1500**	**125**	**30**	**5.90**		
						5.93		
						5.91		
						5.91	**1**	**1280 mL**
				125	30	5.80		
						5.78		
						5.80		
						5.79	4	1000 mL
				125	**30**	**5.75**		
						5.75		
						5.76		
						5.75	7.5	750 mL
				125	30	5.79		
						5.75		
						5.79		
						5.78	**11.5**	**500 mL**
				125	30	5.87		
						5.86		
						5.80		
						5.84	18	295 mL
				125	30	**6.01**		
						6.06		
						6.08		
						6.05	**31**	**75 mL**
รวม				750 g	180 min			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผลการทดลอง การหาSoluble Solid ของน้ำกาแฟ

การทดลองที่	น้ำหนัก (กรัม)			น้ำกาแฟ(g)	Soluble solid / Coffee Solution	%Soluble solid / Coffee Solution
	ฟอยล์	ฟอยล์+น้ำกาแฟ(หลังอบ) 26 hr.	Soluble solid(หลังอบ) 26 hr.	(Coffee Solution)		
1	0.4391	3.8793	3.4402	25.4700	0.1351	13.5069
2	0.4883	4.6332	4.1449	24.9500	0.1661	16.6128
3	0.5291	7.3170	6.7879	25.3500	0.2678	26.7767
4	0.5591	3.9855	3.4264	23.9400	0.1431	14.3124
5	0.5946	5.2125	4.6179	25.5400	0.1808	18.0810
6	0.3683	5.2355	4.8672	24.8300	0.1960	19.6021
7	0.5703	4.4707	3.9004	25.2200	0.1547	15.4655
8	0.4947	6.3186	5.8239	24.8000	0.2348	23.4835
9	0.3578	7.3927	7.0349	24.4900	0.2873	28.7256
10	0.5276	4.2702	3.7426	25.1800	0.1486	14.8634
11	0.5870	4.8329	4.2459	25.3800	0.1673	16.7293
12	0.4908	6.8188	6.3280	25.6000	0.2472	24.7188
13	0.2783	3.7202	3.4419	25.1200	0.1370	13.7018
14	0.5353	5.5479	5.0126	25.5300	0.1963	19.6342
15	0.2800	6.3421	6.0621	26.1300	0.2320	23.1998
16	0.2665	4.2956	4.0291	25.1900	0.1599	15.9948
17	0.5347	5.8895	5.3548	25.9600	0.2063	20.6271
18	0.4540	8.4826	8.0286	26.6300	0.3015	30.1487

ตารางผลการทดลองการหาค่า %Yield ของน้ำกาแฟสกัด

การทดลองที่	น้ำหนักกาแฟที่ใช้สกัด (g)	ปริมาตรน้ำกาแฟที่สกัดได้ (ml)	ความหนาแน่นน้ำกาแฟสกัด (g/ml)	DM ของกาแฟที่ใช้สกัด (g)	น้ำหนักน้ำกาแฟที่สกัด Coffee Solution(g)	Soluble solid / Coffee Solution	Soluble Solid (g)	%Yield
1	500	220	1.0188	495.3650	224.1360	0.1351	30.2738	6.1114
2	600	210	0.9980	594.4380	209.5800	0.1661	34.8172	5.8572
3	750	230	1.0140	743.0475	233.2200	0.2678	62.4487	8.4044
4	500	226	0.9576	495.3650	216.4176	0.1431	30.9747	6.2529
5	600	175	1.0216	594.4380	178.7800	0.1808	32.3253	5.4380
6	750	125	0.9932	743.0475	124.1500	0.1960	24.3360	3.2752
7	500	183	1.0088	495.3650	184.6104	0.1547	28.5509	5.7636
8	600	162.5	0.9920	594.4380	161.2000	0.2348	37.8554	6.3683
9	750	76	0.9796	743.0475	74.4496	0.2873	21.3861	2.8782
10	500	232	1.0072	495.3650	233.6704	0.1486	34.7313	7.0113
11	600	238	1.0152	594.4380	241.6176	0.1673	40.4210	6.7999
12	750	240	1.0240	743.0475	245.7600	0.2472	60.7488	8.1756
13	500	222	1.0048	495.3650	223.0656	0.1370	30.5641	6.1700
14	600	200	1.0212	594.4380	204.2400	0.1963	40.1008	6.7460
15	750	87.5	1.0452	743.0475	91.4550	0.2320	21.2174	2.8555
16	500	194	1.0076	495.3650	195.4744	0.1599	31.2658	6.3117
17	600	152	1.0384	594.4380	157.8368	0.2063	32.5572	5.4770
18	750	75	1.0652	743.0475	79.8900	0.3015	24.0858	3.2415

ตารางผลการ Sensory Test : ความชอบโดยรวม

ตัวอย่าง	735	424	224	342	581
ผู้ทดสอบ	คะแนน				
1	8	6	8	6	4
2	7	4	6	4	3
3	6	8	8	7	6
4	6	2	8	6	6
5	3	2	9	3	1
6	6	7	5	4	2
7	8	7	4	7	2
8	5	4	6	7	4
9	6	5	7	6	1
10	3	6	5	7	4
11	4	2	2	3	3
12	6	7	9	2	1
13	6	7	7	6	4
14	4	3	5	5	2
15	6	7	2	7	5
16	7	7	7	6	4
17	5	7	7	5	4
18	8	7	9	9	7
19	4	7	1	6	9
20	3	2	8	9	1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผลการวัดปริมาณคาเฟอีนของน้ำกาแฟสกัดที่ 80 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 2 ชั่วโมง

Test Report

Date received	17-Dec-08			
Operation no	MC 01938			
Sample description	น้ำกาแฟเข้มข้น A			
Sample condition	in plastic bottle	Qty : 1 bottle		Weight : 300 ml
Remark	normal condition			
Date tested	22-Dec-08	Date completed :		24-Dec-08
Test item(s)	Test Method	Acc.	Result	Units
Caffeine	In-house method by HPLC based on IFU(1995) NO.63		1.45	g/100 ml

ภาคผนวก ง. น้ำกาแฟเข้มข้นก่อนการทำแห้ง

ตารางผลการทดลองการหา %soluble solid ของน้ำกาแฟที่นำไปใช้ในการทำแห้ง

ตัวอย่างที่	น้ำหนัก (กรัม)				น้ำกาแฟ(g)	Soluble solid / Coffee Solution	%Soluble solid / Coffee Solution
	ฟอยล์	ฟอยล์+น้ำกาแฟ(ก่อนอบ)	ฟอยล์+น้ำกาแฟ(หลังอบ) 26 hr.	Soluble solid(หลังอบ) 26 hr.	(Coffee Solution)		
1	0.5220	5.8611	2.3108	1.7888	5.3391	0.3350	33.5036
2	0.5264	5.8655	2.3407	1.8143	5.3391	0.3398	33.9812
3	0.5085	5.8476	2.3100	1.8015	5.3391	0.3374	33.7414
						เฉลี่ย	33.7421

ตารางผลการทดลองการหา %ความชื้นฐานเปียกของน้ำกาแฟที่นำไปใช้ในการทำแห้ง

ตัวอย่างที่	น้ำหนัก (กรัม)					เปอร์เซ็นต์ความชื้นฐานเปียก
	ฟอยล์	ฟอยล์+น้ำกาแฟ(ก่อนอบ)	น้ำกาแฟ(ก่อนอบ)	ฟอยล์+น้ำกาแฟ(หลังอบ)	น้ำกาแฟ(หลังอบ)	
1	0.5220	5.8611	5.3391	2.3108	1.7888	66.4962
2	0.5264	5.8655	5.3391	2.3407	1.8143	66.0186
3	0.5085	5.8476	5.3391	2.3100	1.8015	66.2584
					เฉลี่ย	66.2577

ตารางผลการวัดปริมาณคาเฟอีนของน้ำกาแฟเพื่อนำไปทำแห้ง

Test Report

Date received	17-Dec-08				
Operation no	MC 01939				
Sample description	น้ำกาแฟเข้มข้น B				
Sample condition	in plastic bottle	Qty : 1 bottle			Weight : 300 ml
Remark	normal condition				
Date tested	22-Dec-08	Date completed :			24-Dec-08
Test item(s)		Test Method	Acc.	Result	Units
Caffeine		In-house method by HPLC based on IFU(1995) NO.63		2.57	g/100 ml

ภาคผนวก จ. กาแฟผง

ตารางผลการทดลองการวัดค่า True Density ของกาแฟผง

การทดลองที่	น้ำหนัก (g)				Density (g/ml)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	
1	2.6492	2.6379	2.5897	2.6256	0.2188
2	2.6532	2.5972	2.6285	2.6263	0.2189
3	2.7666	2.7526	2.7587	2.7593	0.2299
4	2.7619	2.7894	2.7572	2.7695	0.2308
5	2.8260	2.8345	2.8029	2.8211	0.2351
6	2.8162	2.8167	2.8256	2.8195	0.2350

ตารางผลการทดลองการวัดการละลายของกาแฟผง

การทดลองที่	วัดครั้งที่ 1	วัดครั้งที่ 2	วัดครั้งที่ 3	เฉลี่ย
	เวลาในการละลาย (s)			
1	65	60	64	63.0
2	72	70	69	70.3
3	76	73	75	74.7
4	66	63	64	64.3
5	73	70	71	71.3
6	72	70	70	70.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผลการทดลองการวัดค่า pH และค่า Brix ของกาแฟผง

ตัวอย่าง	วัดครั้งที่ 1					วัดครั้งที่ 2					วัดครั้งที่ 3					เฉลี่ย	
	pH1	pH2	pH3	pH Avg	Brix	pH1	pH2	pH3	pH Avg	Brix	pH1	pH2	pH3	pH Avg	Brix	pH	Brix
1	5.19	5.21	5.20	5.20	4.2	5.18	5.22	5.19	5.20	4.7	5.22	5.19	5.20	5.20	4.5	5.20	4.47
2	5.09	5.07	5.06	5.07	4.8	5.09	5.08	5.13	5.10	4.6	5.09	5.10	5.13	5.11	5.0	5.09	4.80
3	5.17	5.17	5.15	5.16	4.7	5.17	5.18	5.21	5.19	4.8	5.19	5.19	5.20	5.19	4.9	5.18	4.80
4	5.08	5.09	5.09	5.09	5.0	5.08	5.07	5.09	5.08	5.0	5.08	5.07	5.09	5.08	4.9	5.08	4.97
5	5.17	5.17	5.17	5.17	5.0	5.18	5.18	5.18	5.18	5.0	5.17	5.16	5.18	5.17	4.9	5.17	4.97
6	5.12	5.11	5.10	5.11	4.9	5.10	5.10	5.09	5.10	4.8	5.12	5.11	5.11	5.11	4.8	5.11	4.83

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ตารางผลการทดลองการอบหาความชื้นของกาแฟผง

การทดลองที่	ซ้ำที่	น้ำหนัก(g)					%ความชื้นฐานเปียก	%ความชื้นฐานแห้ง
		ถ้วย+ฝา	ถ้วย+ฝา+กาแฟผง (ก่อนอบ)	กาแฟผง (ก่อนอบ)	ถ้วย+ฝา+กาแฟผง (หลังอบ)	กาแฟผง (หลังอบ)		
1	1	17.7128	20.6640	2.9512	20.6596	2.9468	0.1491	0.1493
	2	17.7118	20.7177	3.0059	20.7089	2.9971	0.2928	0.2936
2	1	18.0006	21.3658	3.3652	21.3489	3.3483	0.5022	0.5047
	2	17.9991	20.9727	2.9736	20.9597	2.9606	0.4372	0.4391
3	1	17.9277	20.9843	3.0566	20.9738	3.0461	0.3435	0.3447
	2	17.9265	20.9452	3.0187	20.9350	3.0085	0.3379	0.3390
4	1	17.7795	20.7541	2.9746	20.7344	2.9549	0.6623	0.6667
	2	17.7538	20.7515	2.9977	20.7335	2.9797	0.6005	0.6041
5	1	17.8438	20.9066	3.0628	20.8915	3.0477	0.4930	0.4955
	2	17.8427	20.8423	2.9996	20.8263	2.9836	0.5334	0.5363
6	1	17.8606	20.9783	3.1177	20.9654	3.1048	0.4138	0.4155
	2	18.1464	21.2552	3.1088	21.2389	3.0925	0.5243	0.5271

ตารางผลการทดลองการวัดค่า aw ของกาแฟผง

การทดลองที่	วัดครั้งที่ 1		วัดครั้งที่ 2		วัดครั้งที่ 3		เฉลี่ย	
	aw	อุณหภูมิ c	aw	อุณหภูมิ c	aw	อุณหภูมิ c	aw	อุณหภูมิ c
1	0.1580	24.80	0.1410	24.70	0.1720	24.80	0.1570	24.77
2	0.1770	24.70	0.1520	24.60	0.1580	24.70	0.1623	24.67
3	0.1620	24.70	0.1650	24.80	0.1680	24.70	0.1650	24.73
4	0.1430	25.00	0.1450	25.00	0.1370	24.90	0.1417	24.97
5	0.1440	24.70	0.1460	24.80	0.1560	24.80	0.1487	24.77
6	0.1310	24.80	0.1180	24.80	0.1440	24.90	0.1310	24.83

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผลการทดลองการหา %Yield ของกาแฟผง

การทดลองที่	น้ำหนักของน้ำกาแฟเริ่มต้น(g)	ค่าความชื้นของน้ำกาแฟ 33 Brix	น้ำหนักของกาแฟผงที่ได้(g)	%Yield กาแฟผง
1	2135.6	66.2577	272.49	37.8143
2	1067.8	66.2577	163.75	45.4482
3	1067.8	66.2577	201.61	55.9562
4	854.24	66.2577	147.28	51.0963
5	1067.8	66.2577	223.67	62.0788
6	1067.8	66.2577	238.02	66.0616

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ฉ. ANOVA Table (การสกัดกาแฟ)

pH(Coffee Solution)

SUMMARY OUTPUT

Regression Statistics	
Multiple R	0.979488452
R Square	0.959397627
Adjusted R Square	0.891727005
Standard Error	0.038670019
Observations	9

ANOVA

	df	*SS*	*MS*	*F*	*Significance F*
Regression	5	0.106002778	0.021200556	14.1774613	0.02677064
Residual	3	0.004486111	0.00149537		
Total	8	0.110488889			

	Coefficients	*Standard Error*	*t Stat*	*P-value*	*Lower 95%*	*Upper 95%*	*Lower 95.0%*	*Upper 95.0%*
Intercept	6.846111111	1.357067311	5.044783744	0.015020488	2.527317261	11.16490496	2.527317261	11.16490496
X Variable 1	0.000416667	0.038508557	0.010820106	0.992046291	-0.122134748	0.122968081	-0.122134748	0.122968081
X Variable 2	-0.265	0.17472973	-1.516627998	0.226630278	-0.821067982	0.291067982	-0.821067982	0.291067982
X Variable 3	-0.000141667	0.000273438	-0.518093672	0.640178277	-0.001011869	0.000728536	-0.001011869	0.000728536
X Variable 4	0.005833333	0.027343833	0.213332688	0.844742709	-0.081186946	0.092853613	-0.081186946	0.092853613
X Variable 5	0.00325	0.001933501	1.680888752	0.191375747	-0.002903263	0.009403263	-0.002903263	0.009403263

Brix(Coffee Solution)

SUMMARY OUTPUT

Regression Statistics	
Multiple R	0.998284005
R Square	0.996570955
Adjusted R Square	0.990855881
Standard Error	0.504034648
Observations	9

ANOVA

	df	*SS*	*MS*	*F*	*Significance F*
Regression	5	221.5017361	44.30034722	174.3758542	0.000679668
Residual	3	0.762152778	0.254050926		
Total	8	222.2638889			

	Coefficients	*Standard Error*	*t Stat*	*P-value*	*Lower 95%*	*Upper 95%*	*Lower 95.0%*	*Upper 95.0%*
Intercept	91.59722222	17.68835293	5.178391827	0.013978199	35.30498881	147.8894556	35.30498881	147.8894556
X Variable 1	-2.295833333	0.50193011	-4.574009986	0.019609965	-3.893198956	-0.698467711	-3.893198956	-0.698467711
X Variable 2	-7.270833333	2.277470762	-3.19250348	0.049615799	-14.51876174	-0.022904923	-14.51876174	-0.022904923
X Variable 3	0.016666667	0.003564063	4.676310677	0.018472065	0.005324227	0.028009106	0.005324227	0.028009106
X Variable 4	1.041666667	0.356406317	2.922694173	0.061362147	-0.092577301	2.175910634	-0.092577301	2.175910634
X Variable 5	0.11875	0.025201732	4.711977662	0.018095552	0.03854684	0.19895316	0.03854684	0.19895316

Soluble solid(Coffee Solution)

SUMMARY OUTPUT

Regression Statistics	
Multiple R	0.964572197
R Square	0.930399524
Adjusted R Square	0.814398731
Standard Error	2.301051433
Observations	9

ANOVA

	df	*SS*	*MS*	*F*	*Significance F*
Regression	5	212.339689	42.4679378	8.020630701	0.058488067
Residual	3	15.8845131	5.294837698		
Total	8	228.2242021			

	Coefficients	*Standard Error*	*t Stat*	*P-value*	*Lower 95%*	*Upper 95%*	*Lower 95.0%*	*Upper 95.0%*
Intercept	130.1952845	80.75200792	1.612285414	0.205294018	-126.7936447	387.1842137	-126.7936447	387.1842137
X Variable 1	-3.499121524	2.291443661	-1.527037991	0.224193147	-10.79151794	3.793274887	-10.79151794	3.793274887
X Variable 2	-1.868972219	10.39725619	-0.179756292	0.868799944	-34.95768177	31.21973733	-34.95768177	31.21973733
X Variable 3	0.025492007	0.016270891	1.566724749	0.215164195	-0.026289229	0.077273243	-0.026289229	0.077273243
X Variable 4	0.890055008	1.627089072	0.547022915	0.622427603	-4.288068598	6.068178613	-4.288068598	6.068178613
X Variable 5	0.053609282	0.115052572	0.465954664	0.672993225	-0.312539349	0.419757914	-0.312539349	0.419757914

%Yield(Coffee Solution)

SUMMARY OUTPUT

Regression Statistics	
Multiple R	0.882885111
R Square	0.779486119
Adjusted R Square	0.411962985
Standard Error	1.281097825
Observations	9

ANOVA

	df	*SS*	*MS*	*F*	*Significance F*
Regression	5	17.40436955	3.480873911	2.120917151	0.284642179
Residual	3	4.923634913	1.641211638		
Total	8	22.32800447			

	Coefficients	*Standard Error*	*t Stat*	*P-value*	*Lower 95%*	*Upper 95%*	*Lower 95.0%*	*Upper 95.0%*
Intercept	39.98915886	44.95823963	0.889473413	0.439272579	-103.0880247	183.0663424	-103.0880247	183.0663424
X Variable 1	-1.141911445	1.27574875	-0.895091173	0.436693501	-5.201913342	2.918090451	-5.201913342	2.918090451
X Variable 2	9.810918952	5.788615632	1.694864468	0.188672921	-8.611039477	28.23287738	-8.611039477	28.23287738
X Variable 3	0.009104097	0.00905873	1.005008134	0.388936553	-0.019724824	0.037933017	-0.019724824	0.037933017
X Variable 4	-0.576772672	0.90587296	-0.636703707	0.569575937	-3.459664724	2.306119381	-3.459664724	2.306119381
X Variable 5	-0.117662511	0.064054891	-1.836901276	0.163541547	-0.321513763	0.086188741	-0.321513763	0.086188741

ภาคผนวก ช. ANOVA Table (การทำแห้งกาแฟ)

pH (Instant Coffee)

SUMMARY OUTPUT

Regression Statistics	
Multiple R	1
R Square	1
Adjusted R Square	65535
Standard Error	0
Observations	3

ANOVA

	df	*SS*	*MS*	*F*	*Significance F*
Regression	2	0.000116667	5.83333E-05	#NUM!	#NUM!
Residual	0	0	65535		
Total	2	0.000116667			

	Coefficients	*Standard Error*	*t Stat*	*P-value*	*Lower 95%*	*Upper 95%*	*Lower 95.0%*	*Upper 95.0%*
Intercept	6.405	0	65535	#NUM!	6.405	6.405	6.405	6.405
X Variable 1	-0.012625	0	65535	#NUM!	-0.012625	-0.012625	-0.012625	-0.012625
X Variable 2	3.125E-05	0	65535	#NUM!	3.125E-05	3.125E-05	3.125E-05	3.125E-05

Moisture Content (Instant Coffee)

SUMMARY OUTPUT

Regression Statistics	
Multiple R	1
R Square	1
Adjusted R Square	65535
Standard Error	0
Observations	3

ANOVA

	df	*SS*	*MS*	*F*	*Significance F*
Regression	2	800	400	#NUM!	#NUM!
Residual	0	0	65535		
Total	2	800			

	Coefficients	*Standard Error*	*t Stat*	*P-value*	*Lower 95%*	*Upper 95%*	*Lower 95.0%*	*Upper 95.0%*
Intercept	5339.239545	0	65535	#NUM!	5339.239545	5339.239545	5339.239545	5339.239545
X Variable 1	-22870.3223	0	65535	#NUM!	-22870.3223	-22870.3223	-22870.3223	-22870.3223
X Variable 2	25257.96419	0	65535	#NUM!	25257.96419	25257.96419	25257.96419	25257.96419

Aw (Instant Coffee)

SUMMARY OUTPUT

Regression Statistics	
Multiple R	0.97622104
R Square	0.953007519
Adjusted R Square	0.906015038
Standard Error	0.003061862
Observations	3

ANOVA

	df	*SS*	*MS*	*F*	*Significance F*
Regression	1	0.000190125	0.000190125	20.28	0.13910922
Residual	1	9.375E-06	9.375E-06		
Total	2	0.0001995			

	Coefficients	*Standard Error*	*t Stat*	*P-value*	*Lower 95%*	*Upper 95%*	*Lower 95.0%*	*Upper 95.0%*
Intercept	0.2485	0.021722684	11.43965451	0.055509159	-0.02751287	0.52451287	-0.02751287	0.52451287
X Variable 1	-0.0004875	0.000108253	-4.5033321	0.13910922	-0.001862987	0.000887987	-0.001862987	0.000887987

True density (Instant Coffee)

SUMMARY OUTPUT

Regression Statistics	
Multiple R	0.971867835
R Square	0.944527089
Adjusted R Square	0.889054177
Standard Error	0.002776088
Observations	3

ANOVA

	df	*SS*	*MS*	*F*	*Significance F*
Regression	1	0.00013122	0.00013122	17.02681661	0.15136314
Residual	1	7.70667E-06	7.70667E-06		
Total	2	0.000138927			

	Coefficients	*Standard Error*	*t Stat*	*P-value*	*Lower 95%*	*Upper 95%*	*Lower 95.0%*	*Upper 95.0%*
Intercept	0.147083333	0.019695233	7.467965963	0.084742646	-0.103168336	0.397335002	-0.103168336	0.397335002
X Variable 1	0.000405	9.81495E-05	4.126356336	0.15136314	-0.000842108	0.001652108	-0.000842108	0.001652108

Solubility (Instant Coffee)

SUMMARY OUTPUT

Regression Statistics	
Multiple R	1
R Square	1
Adjusted R Square	65535
Standard Error	0
Observations	3

ANOVA

	df	*SS*	*MS*	*F*	*Significance F*
Regression	2	800	400	#NUM!	#NUM!
Residual	0	0	65535		
Total	2	800			

	Coefficients	*Standard Error*	*t Stat*	*P-value*	*Lower 95%*	*Upper 95%*	*Lower 95.0%*	*Upper 95.0%*
Intercept	2422.075188	0	65535	#NUM!	2422.075188	2422.075188	2422.075188	2422.075188
X Variable 1	-69.68421053	0	65535	#NUM!	-69.68421053	-69.68421053	-69.68421053	-69.68421053
X Variable 2	0.541353383	0	65535	#NUM!	0.541353383	0.541353383	0.541353383	0.541353383

% Yield (Instant Coffee)

SUMMARY OUTPUT

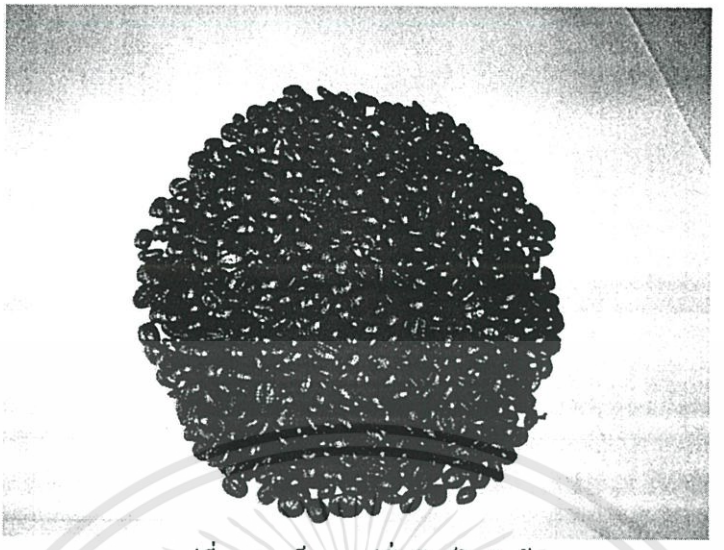
Regression Statistics	
Multiple R	0.997416876
R Square	0.994840425
Adjusted R Square	0.98968085
Standard Error	0.84303272
Observations	3

ANOVA

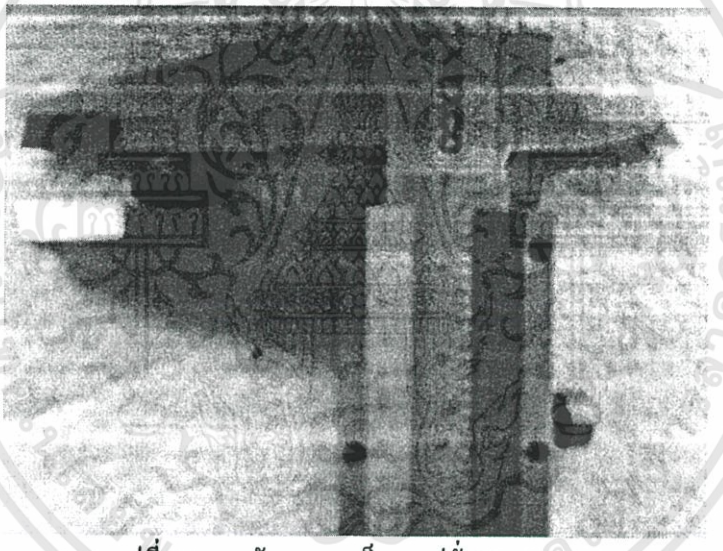
	df	*SS*	*MS*	*F*	*Significance F*
Regression	1	137.0340125	137.0340125	192.8144211	0.045767928
Residual	1	0.710704167	0.710704167		
Total	2	137.7447167			

	Coefficients	*Standard Error*	*t Stat*	*P-value*	*Lower 95%*	*Upper 95%*	*Lower 95.0%*	*Upper 95.0%*
Intercept	-29.69833333	5.980978994	-4.965463575	0.126517207	-105.6938769	46.29721027	-105.6938769	46.29721027
X Variable 1	0.413875	0.029805708	13.88576325	0.045767928	0.035157576	0.792592424	0.035157576	0.792592424

ภาคผนวก ซ. รูปภาพเกี่ยวกับโครงงาน

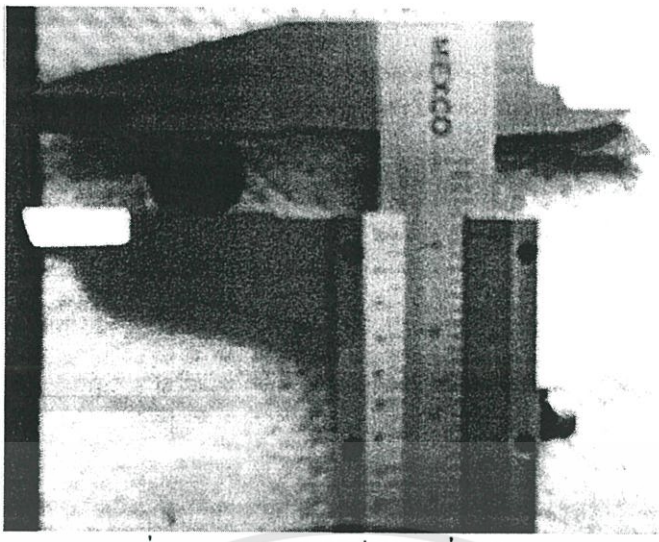


รูปที่ ซ. 1 เมล็ดกาแฟดั่วพันธุ์โรบัสต้า

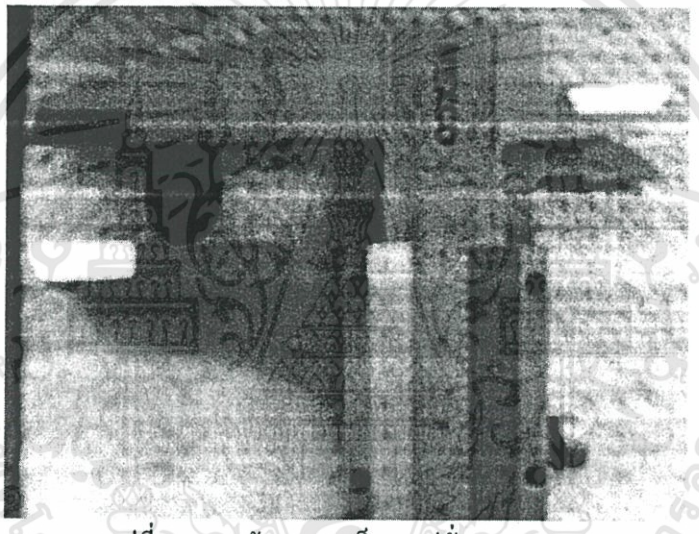


รูปที่ ซ. 2 การวัดขนาดเมล็ดกาแฟดั่ว (ความหนา)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

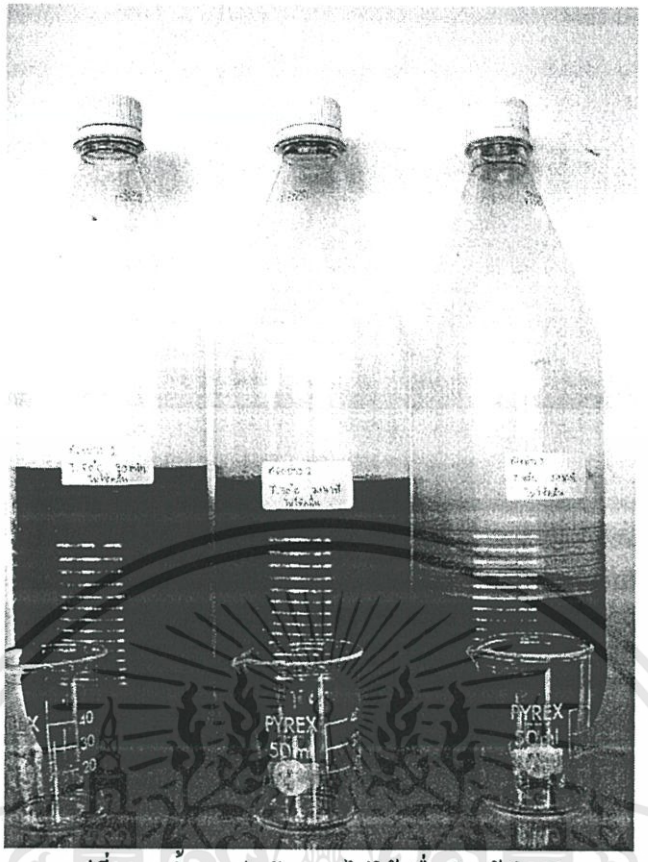


รูปที่ ซ. 3 การวัดขนาดเมล็ดกาแฟดั่ว (ความกว้าง)

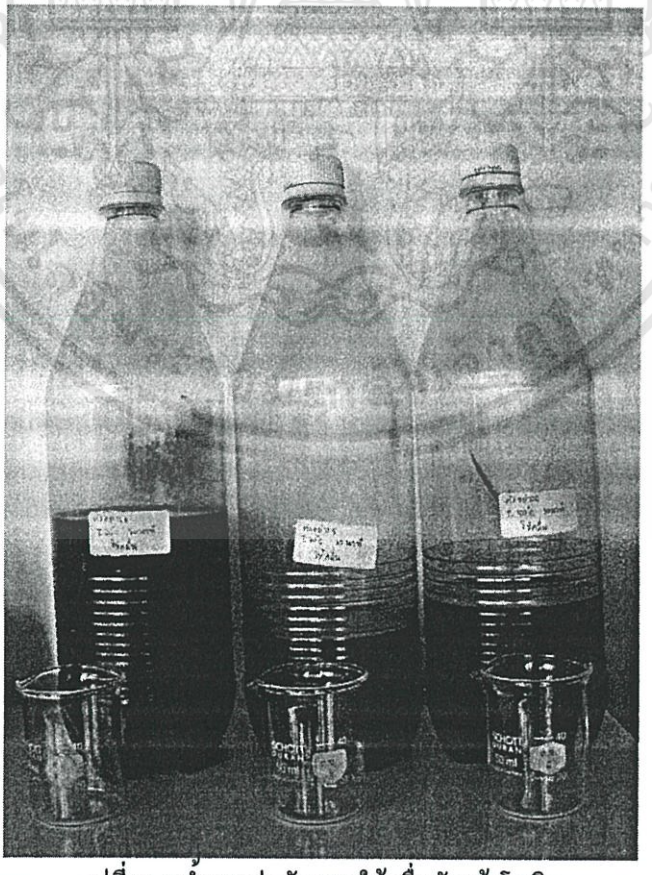


รูปที่ ซ. 4 การวัดขนาดเมล็ดกาแฟดั่ว (ความยาว)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

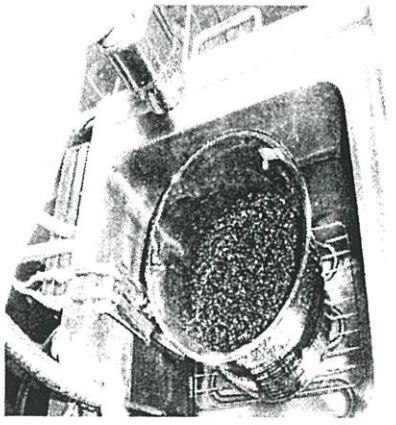


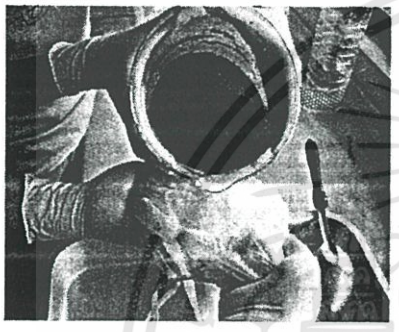
รูปที่ ซ. 5 น้ำกาแฟสกัดแบบไม่ใช้คลื่นอัลตร้าโซนิก

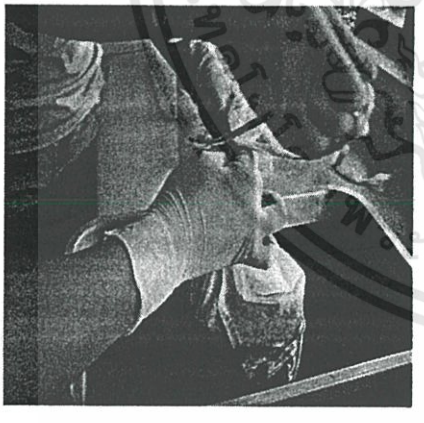


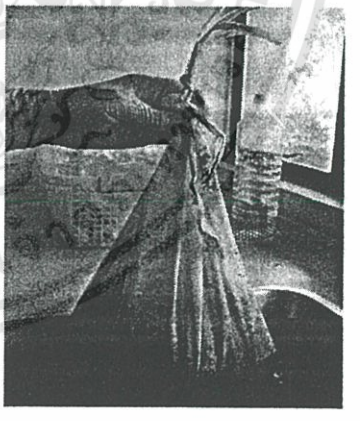
รูปที่ ซ. 6 น้ำกาแฟสกัดแบบใช้คลื่นอัลตร้าโซนิก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

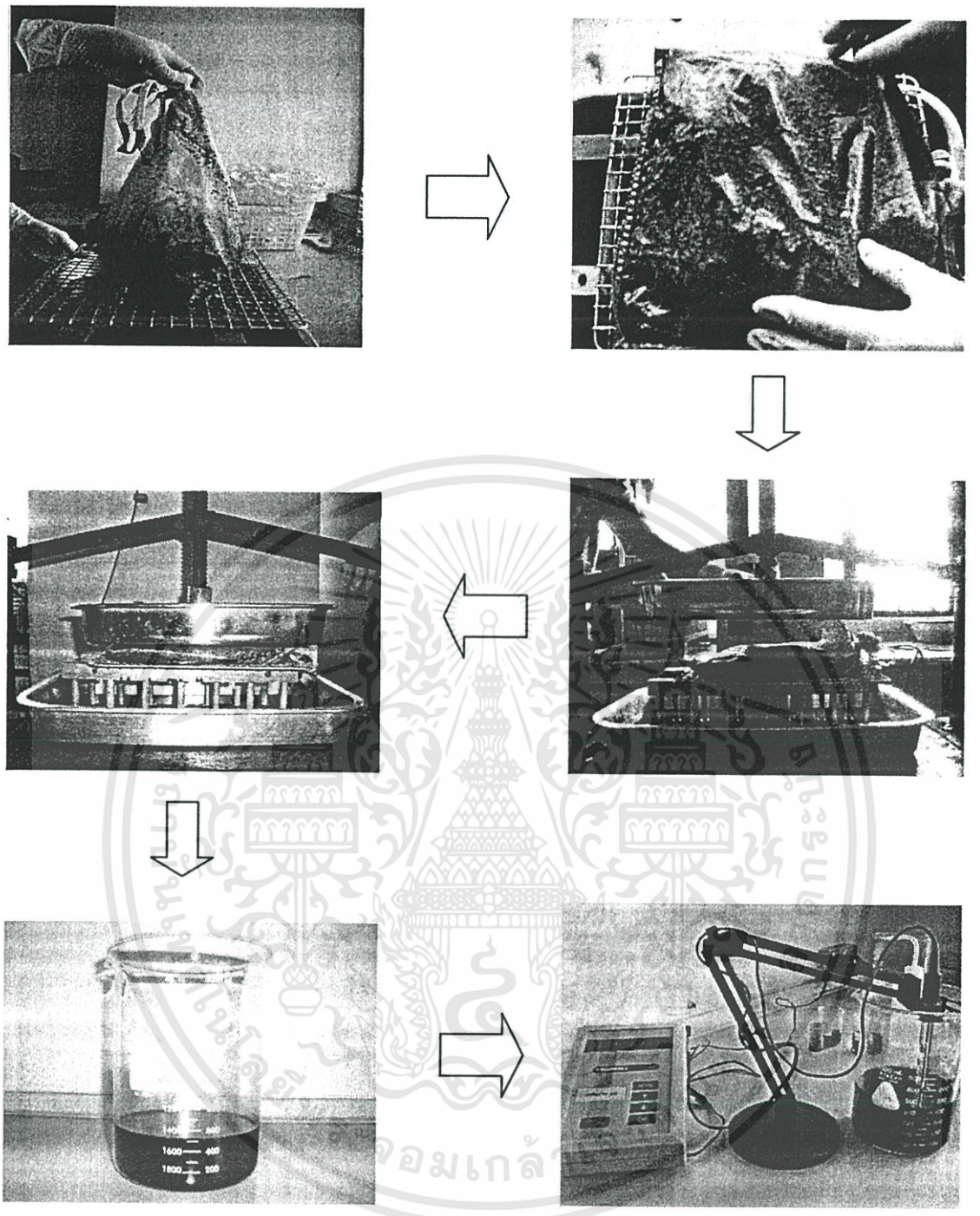






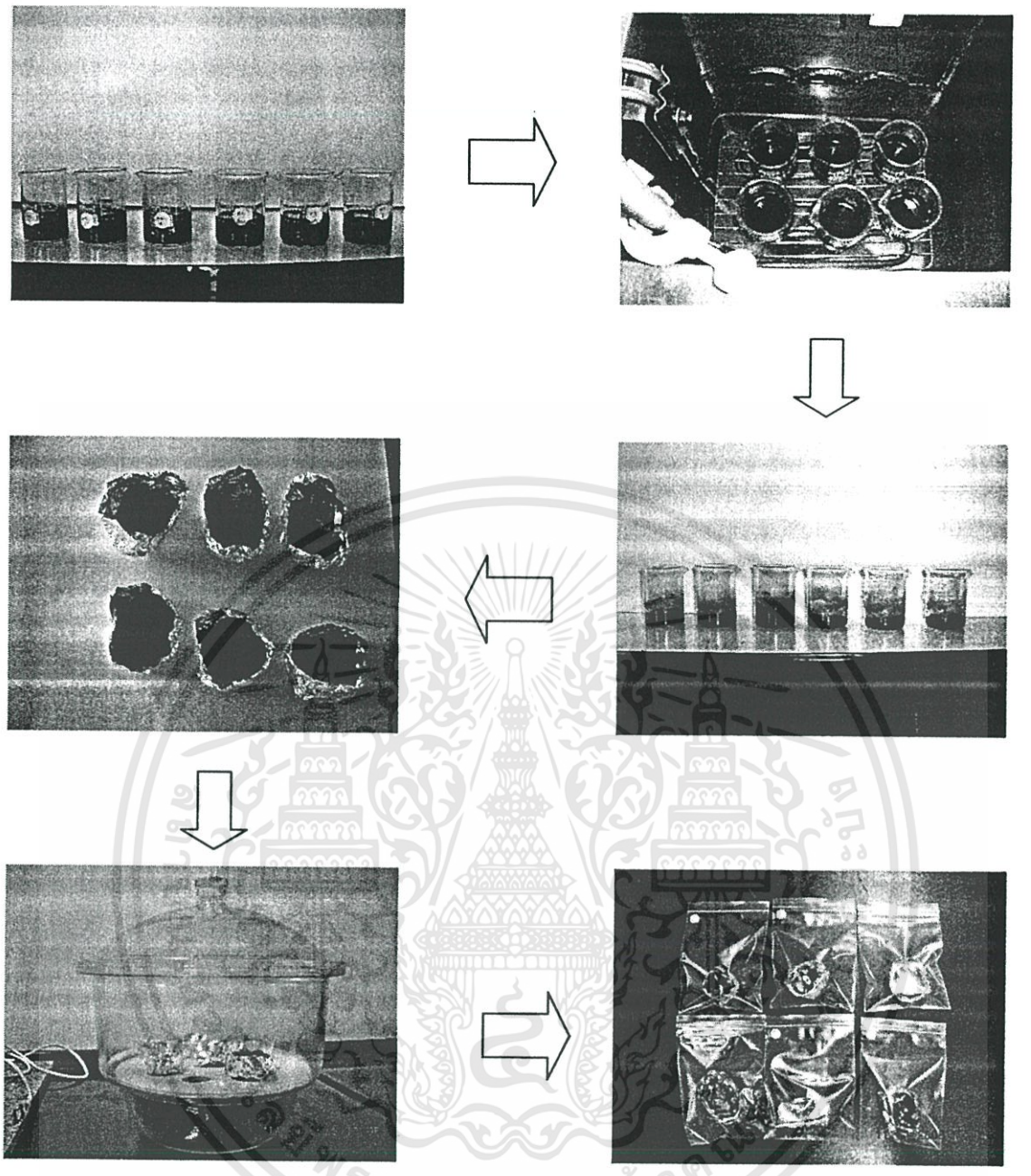


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



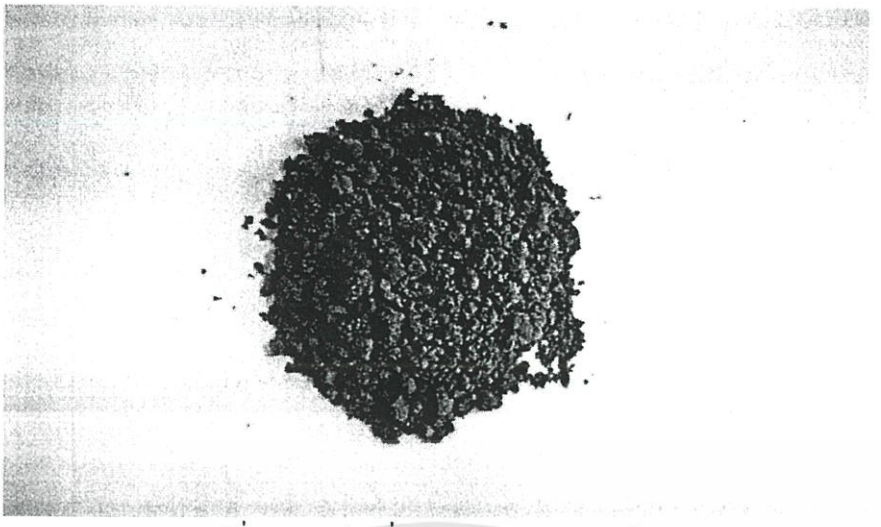
รูปที่ ซ. 7 ขั้นตอนการสกัดน้ำกาแฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



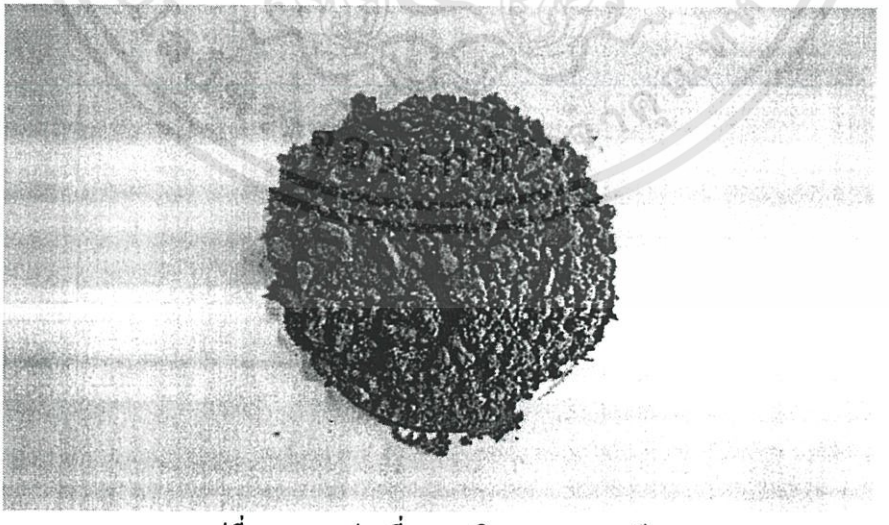
รูปที่ ซ. 8 ขั้นตอนการหาปริมาณของแข็งที่สามารถละลายได้ (% Solible solid)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



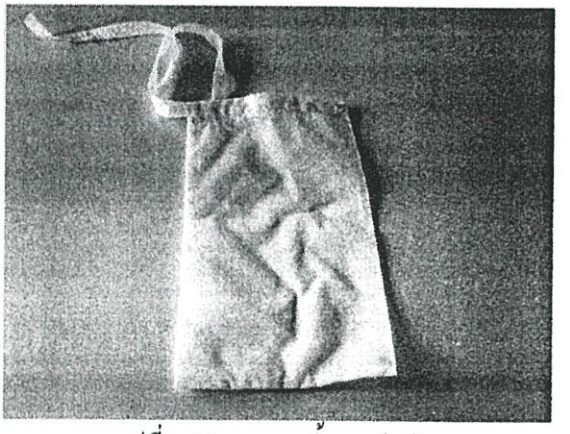
รูปที่ ซ.9 กาแฟผงที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส

รูปที่ ซ.10 กาแฟผงที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส

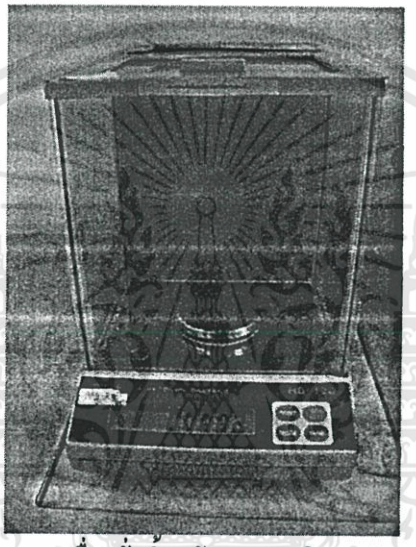


รูปที่ ซ.11 กาแฟผงที่อุณหภูมิ 220 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ซ.12 ถุงกรองน้ำกาแฟสกัด

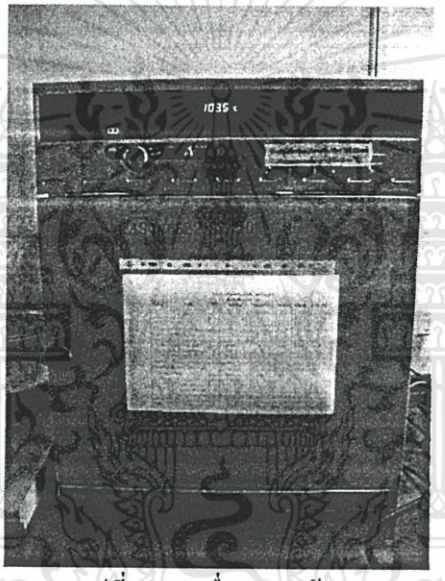


รูปที่ ซ.13 เครื่องชั่งน้ำหนักแบบทศนิยม 4 ตำแหน่ง

รูปที่ ซ.14 เครื่องชั่งน้ำหนักแบบทศนิยม 2 ตำแหน่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ซ.15 โถดูดความชื้น



รูปที่ ซ.16 เครื่องอบลมร้อน

รูปที่ ซ.17 เครื่องอบแห้งแบบสูญญากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ญ. มาตรฐานกาแฟ

ประกาศกระทรวงสาธารณสุข

(ฉบับที่ 197) พ.ศ. 2543

เรื่อง กาแฟ

โดยที่เป็นการสมควรปรับปรุงประกาศกระทรวงสาธารณสุขว่าด้วยเรื่อง กาแฟอาศัยอำนาจตามความในมาตรา 5 และมาตรา 6(3)(4)(5)(6)(7) และ (10) แห่งพระราช บัญญัติอาหาร พ.ศ.2522 อันเป็นพระราชบัญญัติที่มีบทบัญญัติบางประการเกี่ยวกับการจำกัดสิทธิและ เสรีภาพของบุคคล ซึ่งมาตรา 29 ประกอบกับมาตรา 35 มาตรา 48 และมาตรา 50ของรัฐธรรมนูญแห่ง ราชอาณาจักรไทยบัญญัติให้กระทำได้โดยอาศัยอำนาจตามบทบัญญัติแห่งกฎหมายรัฐมนตรีว่าการกระทรวงสาธารณสุขออกประกาศไว้ ดังต่อไปนี้

ข้อ 1 ให้ยกเลิก

(1) ประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 77 (พ.ศ.2527) เรื่อง กาแฟ ลงวันที่13มกราคม พ.ศ.2527

(2) ประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 132 (พ.ศ.2533) เรื่อง กาแฟ (ฉบับที่2) ลงวันที่ 15 ตุลาคม พ.ศ.2533

(3) ประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 181) พ.ศ.2540 เรื่อง กาแฟ (ฉบับที่3) ลงวันที่ 21 พฤศจิกายน พ.ศ.2540

ข้อ 2 ให้กาแฟที่คั่วแล้ว เป็นอาหารที่กำหนดคุณภาพหรือมาตรฐาน

ข้อ 3 กาแฟตามข้อ 2 แบ่งออกเป็น 6 ชนิด ดังต่อไปนี้

(1) กาแฟแท้ หมายความว่า ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากผลที่แก่จัดของต้นกาแฟในสกุลคอฟเฟีย (Coffea) ผ่านกรรมวิธีเอาเมล็ดออก นำเมล็ดมาคั่วจนได้ที่ และอาจบดให้ได้ขนาดตามความต้องการ

(2) กาแฟผสม หมายความว่า ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกาแฟตาม (1) ที่มีสิ่งอื่นที่ไม่เป็นอันตรายต่อสุขภาพเป็นส่วนผสมอยู่ด้วย

(3) กาแฟที่สกัดกาเฟอีนออก หมายความว่า ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกาแฟตาม (1) ที่ได้สกัดเอากาเฟอีนออก

(4) กาแฟสำเร็จรูป หมายความว่า ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากผลที่แก่จัดของต้นกาแฟในสกุลคอฟเฟียผ่านกรรมวิธีเอาเมล็ดออก นำเมล็ดมาคั่วจนได้ที่โดยมิได้มีการผสมสิ่งอื่นใด แล้วนำมาสกัดด้วยน้ำเท่านั้น นำไประเหยน้ำออกจนแห้งด้วยกรรมวิธีที่เหมาะสม มีลักษณะเป็นผง หรือเป็นเกล็ด หรือลักษณะ อื่น ๆ และสามารถละลายน้ำได้หมดทันที

(5) กาแฟสำเร็จรูปผสม หมายความว่า กาแฟสำเร็จรูปตาม (4) ที่มีสิ่งอื่นที่ไม่เป็นอันตรายต่อสุขภาพเป็นส่วนผสมอยู่ด้วย

(6) กาแฟสำเร็จรูปที่สกัดกาเฟอีนออก หมายความว่า ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกาแฟตาม (4) ที่ได้สกัดเอากาเฟอีนออก

ในกรณีที่นำกาแฟตาม (1)(2)(3)(4)(5) หรือ (6) มาปรุงแต่งรสในลักษณะพร้อมบริโภคและบรรจุในภาชนะปิดสนิทไม่ว่าผลิตภัณฑ์ดังกล่าวจะเป็นชนิดเหลวหรือแห้ง ให้ถือว่าเป็นกาแฟซึ่งต้องปฏิบัติตามประกาศฉบับนี้ด้วย

ข้อ 4 กาแฟแท้ต้องมีคุณภาพหรือมาตรฐาน ดังต่อไปนี้

(1) มีกลิ่นและรสของกาแฟแท้

(2) มีเถ้าทั้งหมดไม่เกินร้อยละ 6 ของน้ำหนัก และเถ้าทั้งหมดนั้นต้องละลายน้ำได้ไม่น้อยกว่าร้อยละ 75 ของน้ำหนัก

(3) มีกาเฟอีนไม่น้อยกว่าร้อยละ 1 ของน้ำหนัก

(4) มีน้ำตาล คำนวณเป็นน้ำตาลอินเวิร์ตทั้งหมดได้ไม่เกินร้อยละ 1.5 ของน้ำหนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(5) ไม่ผสมวัตถุอื่นใด ยกเว้นวัตถุที่ไม่เป็นอันตรายต่อสุขภาพที่ใช้เพื่อการคั่วและแต่งกลิ่น

(6) ไม่ใช้สี เว้นแต่สีน้ำตาลเคี่ยวไหม้หรือสีคาราเมล

ข้อ 5 กาแฟผสมต้องมีคุณภาพหรือมาตรฐาน ดังต่อไปนี้

(1) มีกาแฟเป็นส่วนผสมไม่น้อยกว่าร้อยละ 20 ของน้ำหนักเมื่อแห้ง

(2) ใช้วัตถุที่ให้ความหวานแทนน้ำตาลได้ตามมาตรฐาน เอฟ เอ โอ/ดับบลิว เอชโอ, โคเด็กซ์ (Joint FAO/WHO, Codex) ที่ว่าด้วยเรื่อง วัตถุเจือปนอาหาร และฉบับที่ได้แก้ไขเพิ่มเติม ในกรณีที่ไม่มีมาตรฐานกำหนดไว้ตามวรรคหนึ่ง ให้สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยาประกาศกำหนดโดยความเห็นชอบของคณะกรรมการอาหาร

(3) มีคุณภาพหรือมาตรฐานตามที่ได้รับความเห็นชอบจากสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา

ข้อ 6 กาแฟที่สกัดกาเฟอีนออก ต้องมีคุณภาพหรือมาตรฐาน ดังต่อไปนี้

(1) มีกาเฟอีนไม่เกินร้อยละ 0.1 ของน้ำหนัก

(2) มีคุณภาพหรือมาตรฐานตามที่ได้รับความเห็นชอบจากสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา

ข้อ 7 กาแฟสำเร็จรูป ต้องมีคุณภาพหรือมาตรฐาน ดังต่อไปนี้

(1) มีกลิ่นและรสของกาแฟแท้

(2) มีความชื้นไม่เกินร้อยละ 5 ของน้ำหนัก

(3) มีเถ้าทั้งหมดไม่น้อยกว่าร้อยละ 5 ของน้ำหนักเมื่อแห้ง

(4) มีกาเฟอีนไม่น้อยกว่าร้อยละ 2.5 ของน้ำหนัก

ข้อ 8 กาแฟสำเร็จรูปผสม ต้องมีคุณภาพหรือมาตรฐาน ดังต่อไปนี้

(1) มีความชื้นไม่เกินร้อยละ 5 ของน้ำหนัก

(2) มีกาเฟอีนไม่น้อยกว่าร้อยละ 1.5 ของน้ำหนัก

(3) ไม่ใช้สี เว้นแต่ สีน้ำตาลเคี่ยวไหม้ หรือสีคาราเมล

(4) ใช้วัตถุที่ให้ความหวานแทนน้ำตาลได้ตามมาตรฐาน เอฟ เอ โอ/ดับบลิว เอชโอ, โคเด็กซ์ (Joint FAO/WHO, Codex) ที่ว่าด้วยเรื่อง วัตถุเจือปนอาหาร และฉบับที่ได้แก้ไขเพิ่มเติมในกรณีที่ไม่มีมาตรฐานกำหนดไว้ตามวรรคหนึ่ง ให้สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยาประกาศกำหนดโดยความเห็นชอบของคณะกรรมการอาหาร

(5) มีคุณภาพหรือมาตรฐานตามที่ได้รับความเห็นชอบจากสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา

ข้อ 9 กาแฟสำเร็จรูปที่สกัดกาเฟอีนออก ต้องมีคุณภาพหรือมาตรฐาน ดังต่อไปนี้

(1) มีความชื้นไม่เกินร้อยละ 5 ของน้ำหนัก

(2) มีกาเฟอีนไม่เกินร้อยละ 0.3 ของน้ำหนัก

(3) มีคุณภาพหรือมาตรฐานตามที่ได้รับความเห็นชอบจากสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา

ข้อ 10 กาแฟตามวรรคสองของข้อ 3 ชนิดเหลว ต้องมีคุณภาพหรือมาตรฐาน ดังต่อไปนี้

(1) มีกลิ่นและรสตามลักษณะเฉพาะของกาแฟนั้น

(2) มีกาเฟอีนไม่เกิน 100 มิลลิกรัม ต่อกาแฟปรุงสำเร็จชนิดเหลว 100 มิลลิลิตรและกาเฟอีนดังกล่าวต้องมาจากกาแฟที่ใช้เป็นวัตถุดิบเท่านั้น

(3) ตรวจพบแบคทีเรียชนิดโคลิฟอร์ม น้อยกว่า 2.2 ต่อกาแฟ 100 มิลลิลิตร โดยวิธี เอ็ม พี เอ็น (Most Probable Number)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(4) ตรวจไม่พบแบคทีเรียชนิด อี.โคไล (Escherichia coli)

(5) ไม่มีจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรค

(6) ไม่มีสารเป็นพิษจากจุลินทรีย์หรือสารเป็นพิษอื่นในปริมาณที่อาจเป็นอันตรายต่อสุขภาพ

(7) ไม่มียีสต์และเชื้อรา

(8) ใช้วัตถุที่ให้ความหวานแทนน้ำตาลได้ตามมาตรฐาน เอฟ เอ โอ/ดับบลิว เอชโอ, โคเด็กซ์ (Joint FAO/WHO, Codex) ที่ว่าด้วยเรื่อง วัตถุเจือปนอาหาร และฉบับที่ได้แก้ไขเพิ่มเติมในกรณีที่ไม่มีมาตรฐานกำหนดไว้ตามวรรคหนึ่ง ให้สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยาประกาศกำหนดโดยความเห็นชอบของคณะกรรมการอาหาร

(9) มีวัตถุกันเสียได้ ดังต่อไปนี้

(9.1) ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ไม่เกิน 70 มิลลิกรัม ต่อกาแฟปรุงสำเร็จ 1 กิโลกรัม

(9.2) กรดเบนโซอิค หรือกรดซอร์บิค หรือเกลือของกรดทั้งสองนี้ โดยคำนวณเป็นตัวกรดได้ไม่เกิน 200 มิลลิกรัม ต่อกาแฟปรุงสำเร็จ 1 กิโลกรัมการใช้วัตถุกันเสียให้ใช้ได้เพียงชนิดหนึ่งชนิดใดตามปริมาณที่กำหนดใน (9.1) หรือ (9.2) ถ้าใช้เกินหนึ่งชนิด ต้องมีปริมาณรวมกันไม่เกินปริมาณของวัตถุกันเสียชนิดที่กำหนดให้ใช้น้อยที่สุด เมื่อจำเป็นต้องใช้วัตถุกันเสียแตกต่างไปจากที่กำหนดไว้ดังกล่าวข้างต้น ต้องได้รับความเห็นชอบจากสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา

ข้อ 11 กาแฟปรุงสำเร็จชนิดแห้ง ต้องมีคุณภาพหรือมาตรฐาน ดังต่อไปนี้

(1) ความชื้นได้ไม่เกินร้อยละ 6 ของน้ำหนัก

(2) เมื่อละลายหรือผสมน้ำตามที่กำหนดไว้ในฉลาก ต้องมีคุณภาพหรือมาตรฐาน ตามข้อ 10

ข้อ 12 ผู้ผลิตหรือผู้นำเข้ากาแฟเพื่อจำหน่าย ต้องปฏิบัติตามประกาศกระทรวงสาธารณสุขว่าด้วยเรื่อง วิธีการผลิต เครื่องมือเครื่องใช้ในการผลิต และการเก็บรักษาอาหาร

ข้อ 13 การใช้ภาชนะบน3619 .รจุกาแฟ ให้ปฏิบัติตามประกาศกระทรวงสาธารณสุขว่าด้วยเรื่อง ภาชนะบรรจุ

ข้อ 14 การแสดงฉลากของกาแฟ ให้ปฏิบัติตามประกาศกระทรวงสาธารณสุขว่าด้วยเรื่อง ฉลาก

ข้อ 15 ให้ใบสำคัญการขึ้นทะเบียนตำรับอาหาร หรือใบสำคัญการใช้ฉลากอาหารตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 77 (พ.ศ.2527) เรื่อง กาแฟ ลงวันที่ 13 มกราคม พ.ศ.2527แก้ไข เพิ่มเติมโดยประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 132 (พ.ศ.2533) เรื่อง กาแฟ (ฉบับที่ 2) ลงวันที่ 15 ตุลาคม พ.ศ.2533 และประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 181) พ.ศ.2540 เรื่องกาแฟ (ฉบับที่ 3) ลงวันที่ 21 พฤศจิกายน พ.ศ.2540 ซึ่งออกให้ก่อนวันที่ประกาศนี้ใช้บังคับยังคงใช้ต่อไปได้อีกสองปี นับแต่วันที่ประกาศนี้ใช้บังคับ

ข้อ 16 ให้ผู้ผลิต ผู้นำเข้ากาแฟที่ได้รับอนุญาตอยู่ก่อนวันที่ประกาศนี้ใช้บังคับยื่นคำขอรับเลขสารบบอาหารภายในหนึ่งปี นับแต่วันที่ประกาศนี้ใช้บังคับ เมื่อยื่นคำขอดังกล่าวแล้วให้ได้รับการผ่อนผันการปฏิบัติตามข้อ 12 ภายในสองปี นับแต่วันที่ประกาศนี้ใช้บังคับ และให้คงใช้ฉลากเดิมที่เหลืออยู่ต่อไปจนกว่าจะหมดแต่ต้องไม่เกินสองปี นับแต่วันที่ประกาศนี้ใช้บังคับ

ข้อ 17 ประกาศนี้ ให้ใช้บังคับเมื่อพ้นกำหนดหนึ่งร้อยแปดสิบวันนับแต่วันถัดจากวันประกาศในราชกิจจานุเบกษาเป็นต้นไปประกาศ ณ วันที่ 19 กันยายน พ.ศ.2543 กร ทัพพะรังสีรัฐมนตรีว่าการกระทรวงสาธารณสุข (ราชกิจจานุเบกษาฉบับประกาศทั่วไป เล่ม 118 ตอนพิเศษ 6 ง. ลงวันที่ 24 มกราคม พ.ศ.2544)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้