การเปรียบเทียบวิธีวิเคราะห์ปริมาณไขมันในข้าวหักข้าวเจ้าที่ใช้ในการผลิตเบียร์

COMPARISON OF ANALYTICAL METHODS OF FAT CONTENT IN BROKEN RICE IN BREWERY

ปริม โอ่วรังกูร

PREM HOVARONGKURA

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

พ.ศ. 2549

ISBN 974-15-2510-3

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การเปรียบเทียบวิธีวิเคราะห์ปริมาณไขมันในปลายข้าวเจ้าที่ใช้ในการผลิตเบียร์

COMPARISON OF ANALYTICAL METHODS OF FAT CONTENT IN BROKEN RICE IN BREWERY

พริม โฮ่วรังกูร

PRIM HOVARONGKURA

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 63383
วัน,เดือน,ปี 28 ส.ค. 2549

.b.....
.i.....

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาสุขาภิบาลอาหาร

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2549

ISBN 974-15-2513-3

COMPARISON OF ANALYTICAL METHODS OF FAT CONTENT IN BROKEN RICE IN BREWERY

PRIM HOVARONGKURA

A THESIS SUBMITTED IN PARTLY FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF

MASTER OF SCIENCE IN FOOD SANITATION

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2006

ISBN 974-15-2513-3

COPYRIGHT 2006

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การเปรียบเทียบวิธีวิเคราะห์ปริมาณไขมันในปลายข้าวเจ้าที่ใช้ในการผลิตเบียร์
COMPARISON OF ANALYTICAL METHODS OF FAT CONTENT IN BROKEN RICE IN BREWERY

ชื่อนักศึกษา นางสาวพริม โฮ่วรังกูร

รหัสประจำตัว 45063008

ปริญญา วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา สุขาภิบาลอาหาร

อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ รศ.ดร.วุฒิชัย นาครักษา

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		ลายมือชื่อ
รศ.ดร.วุฒิชัย	นาครักษา	
ผศ.ดร.ประภาพร	ขอไพบูลย์	
ดร.กิตติชัย	บรรจง	

วัน/เดือน/ปี ที่สอบ 22 พฤษภาคม 2549 เวลา 9.30 น. เป็นต้นไป

สถานที่สอบ ณ ห้องสัมมนา D213 อาคารเจ้าคุณทหาร

บัณฑิตวิทยาลัยรับรองแล้ว

(ผศ.ดร.จารุวัตร เจริญสุข)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ 29 **เดือน** พฤษภาคม **พ.ศ.** 2549

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การเปรียบเทียบวิธีวิเคราะห์ปริมาณไขมันในปลายข้าวเจ้าที่ใช้ในการผลิตเบียร์
นักศึกษา	นางสาวพริม โฮ่วรังกูร
รหัสประจำตัว	45063008
ปริญญา	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขา	สุขาภิบาลอาหาร
พ.ศ.	2549
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	รศ.ดร.วุฒิชัย นาครักษา

บทคัดย่อ

การเปรียบเทียบวิธีวิเคราะห์ปริมาณไขมันในปลายข้าวเจ้าที่ใช้ในกระบวนการผลิตเบียร์ โดยการสกัดไขมันโดยตรงด้วยเครื่อง Soxtec กับวิธีการวิเคราะห์ที่ใช้กรดในการย่อยในตัวอย่างปลายข้าวเจ้าที่ใช้ในกระบวนการผลิตเบียร์ นำผลการวิเคราะห์มาเปรียบเทียบค่าความแม่นยำ ระยะเวลาและค่าใช้จ่ายในการวิเคราะห์ หาปริมาณไขมันในตัวอย่างที่มีปริมาณไขมันแตกต่างกัน จากผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่า การวิเคราะห์ปริมาณไขมันทั้ง 2 วิธี มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P<0.05$) โดยเฉพาะเมื่อนำมาใช้ในการวิเคราะห์หาปริมาณไขมันในปลายข้าวเจ้า พบว่าวิธีการวิเคราะห์ที่ใช้กรดย่อยจะให้ผลการวิเคราะห์ปริมาณไขมันสูงและมี %RSD เท่ากับ 2.88% ในขณะที่วิธีการสกัดไขมันโดยตรงด้วยเครื่อง Soxtec จะให้ผลการวิเคราะห์ไขมันที่ต่ำกว่า มีค่า %RSD เท่ากับ 2.23% และใช้ระยะเวลาในการวิเคราะห์ปริมาณไขมันในแต่ละตัวอย่างใช้เวลา 4 ชั่วโมง เมื่อคำนวณค่าใช้จ่ายในการวิเคราะห์ตัวอย่างในระยะเวลา 1 ปี พบว่าวิธีการวิเคราะห์ไขมันโดยใช้กรดในการย่อยจะมีค่าใช้จ่ายในการวิเคราะห์ต่ำกว่า เมื่อเปรียบเทียบในเชิงสถิติระหว่างวิธีการวิเคราะห์ 2 วิธีในรูปของสมการถดถอยเชิงเส้นจะได้สมการดัง

$$\text{ไขมัน}_{\text{SOXTEC}} = 1.52 + 0.896\ \text{ไขมัน}_{\text{ACID HYDROLYSIS}}$$

Thesis Title	Comparison of Analytical Methods of Fat Content in Broken Rice in Brewery.
Student	Miss Prim Hovarongkura
Student ID.	45063008
Degree	Master of Science
Programme	Food Sanitation
Year	2006
Thesis Advisor	Assoc. Prof. Dr. Woatthichai Narkrugsa

ABSTRACT

Comparison between analytical methods of fat content with a direct extraction method by Soxtec apparatus and an acid hydrolysis method with a separation funnel technique in broken rice for brewery factory is studied. The objects to be compared are a precision (RSD), time and a cost of analytical methods. For studying of a fat content in broken rice, paddy rice, brown rice and rice bran the results show that the two methods has a highly significant difference ($P<0.05$) especially in broken rice. The analytical data of the fat content analysed by an acid hydrolysis method is high (RSD=2.88%) while the fat content analysed with Soxtec apparatus is low (RSD=2.23%). The time that use for Soxtec apparatus (4hrs.) is shorter than the analytical time used in an acid hydrolysis method (8 hrs.). But the total costs of analysis in a year round by using Soxtec apparatus higher than an acid hydrolysis method. Statistical data compare between two methods in linear regression equation is $\%\ Fat_{SOXTEC} = -1.52 + 0.896\ \%\ Fat_{Acid\ Hydrolysis.}$

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี เนื่องจากได้รับความกรุณาจาก รองศาสตราจารย์ ดร. วุฒิชัย นาครักษา ที่ได้ให้เกียรติเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ ตลอดจนให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆ อันเป็นประโยชน์แก่ข้าพเจ้าตลอดมา ข้าพเจ้ารู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์จากท่านและกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอกราบขอบพระคุณ ดร.กิตติชัย บรรจง และ ผศ.ดร. ประภาพร ขอไพบูลย์ และคณาจารย์ทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้แก่ข้าพเจ้าตลอดระยะเวลาของการศึกษา จนกระทั่งข้าพเจ้ามีโอกาสประสบความสำเร็จ

ขอขอบคุณบริษัทเบียร์ทิพย์ บริวเวอรี่ (1991) จำกัด ที่ให้โอกาสข้าพเจ้าในการทำงานวิจัยและเอื้อเฟื้อเครื่องมือและทุนในการวิจัยจนสำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

ขอขอบคุณคุณฉวีวรรณ ท้าวพา คุณบังอร เดชรัตน์และคุณสายรุ้ง ผ่องศรี ผู้ช่วยเหลืองานวิจัยในครั้งนี้ ตลอดจนขอขอบคุณพนักงานส่วนประกันคุณภาพ บริษัทเบียร์ทิพย์ บริวเวอรี่ (1991) จำกัดและบุคคลที่ผู้วิจัยไม่ได้กล่าวไว้ในที่นี้ ที่ให้การสนับสนุน และให้ความช่วยเหลือในด้านต่างๆตลอดมา

สุดท้ายนี้ขอรำลึกถึงพระคุณของบิดา มารดา พี่ น้อง และญาติมิตร ที่ให้การสนับสนุนและให้กำลังใจมาโดยตลอด

พริม โฮ่วรังกูร

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... II

กิตติกรรมประกาศ..... III

สารบัญ..... IV

สารบัญตาราง..... VI

สารบัญภาพ..... VII

บทที่ 1 บทนำ..... 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา..... 1

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา..... 2

1.3 ขอบเขตของการวิจัย..... 2

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ..... 2

บทที่ 2 ทฤษฎีและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง..... 3

2.1 โครงสร้างของเมล็ดข้าว..... 3

2.2 องค์ประกอบทางเคมีของข้าว..... 5

2.3 ไขมัน..... 6

2.4 ผลกระทบของไขมันที่มีต่อกระบวนการผลิตเบียร์..... 7

2.5 การวิเคราะห์หาปริมาณไขมันและน้ำมัน..... 11

2.6 ความแม่นยำ (Precision) และความสามารถในการทำซ้ำ (Reproducibility) ในการวิเคราะห์..... 12

บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย..... 15

3.1 วัตถุดิบและอุปกรณ์..... 15

3.2 สถานที่ดำเนินการ..... 16

3.3 วิธีการดำเนินการ..... 16

3.4 การตรวจสอบความแม่นยำของวิธีการวิเคราะห์..... 18

3.5 การวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างวิธีการวิเคราะห์..... 19

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.6 การวิเคราะห์หาสมการถดถอยเชิงเส้น (Linear Regression Equation) เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างวิธีการวิเคราะห์ 19

3.7 การเปรียบเทียบเทียบระยะเวลาในการวิเคราะห์ 20

3.8 การเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการวิเคราะห์ 20

บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ 21

4.1 การเปรียบเทียบความแม่นยำของวิธีการวิเคราะห์หาปริมาณไขมัน 21

4.2 การวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างวิธีการทดสอบ 24

4.3 การวิเคราะห์หาสมการถดถอยเชิงเส้น (Linear Regression Equation) เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างวิธีการวิเคราะห์ 24

4.4 การเปรียบเทียบระยะเวลาที่ใช้ในการวิเคราะห์และค่าใช้จ่ายในการวิเคราะห์ 26

บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ 30

5.1 สรุปผลการทดลอง 30

5.2 ข้อเสนอแนะ 31

บรรณานุกรม 32

ภาคผนวก 33

ประวัติผู้เขียน 44

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	องค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณของข้าวเปลือกและส่วนที่ได้จากการขัดสีที่ 14 % ความชื้น	6
2.2	ตารางแสดงค่า % RSD ของวิธีการวิเคราะห์ทางเคมีโดยทั่วไปตามโปรแกรม AOAC Peer Verified Method	13
4.1	ตารางแสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณไขมันด้วยวิธีสกัดไขมันโดยตรงด้วยเครื่อง Soxtec	21
4.2	ตารางแสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณไขมันด้วยวิธีย่อยด้วยกรด Acid hydrolysis	22
4.3	ตารางแสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณไขมันด้วยวิธีสกัดไขมันโดยตรงด้วยการกลั่นด้วยอุปกรณ์ Soxtec	22
4.4	แสดงตารางแสดงผลการเปรียบเทียบค่า % RSD ของการทดสอบค่าปริมาณไขมัน	23
4.5	ตารางแสดงการเปรียบเทียบระยะเวลาที่ใช้ในการทดสอบและการรายงานผลในการหาปริมาณไขมัน	27
4.6	ตารางแสดงการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการทดสอบหาปริมาณไขมัน	28
4.7	ตารางแสดงราคาปัจจัยต่างๆที่ใช้ในการคำนวณค่าใช้จ่ายในการวิเคราะห์	29
4.9	ตารางแสดงค่าใช้จ่ายในการวิเคราะห์หาปริมาณไขมันต่อปี	29

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
2.1	กลไกการเกิด Trans-2-nonenal.....	11
4.1	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง วิธีสกัดไขมันโดยตรง(Direct extraction of fat) ด้วยเครื่อง Soxtec และวิธีสกัดไขมันโดยตรง (Direct extraction of fat) ด้วยการกลั่น ด้วยอุปกรณ์ Sohxlet	25
4.2	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างวิธีสกัดไขมันโดยตรง(Direct extraction of fat) ด้วยเครื่อง Soxtec และวิธีการย่อยด้วยกรด (Acid Hydrolysis).....	26

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ข้าวเป็นวัตถุดิบสนับสนุนที่ใช้ในการต้มเบียร์ (Adjunct) ซึ่งสามารถช่วยปรับปรุงคุณลักษณะสีและกลิ่นรสของเบียร์, ปรับปรุงคุณภาพทางด้านความคงตัวของฟองเบียร์ ความนุ่น และความสามารถในการหมัก รวมไปถึงลดต้นทุนในการผลิตเบียร์

ประเทศไทยเป็นประเทศที่มีการผลิตข้าวส่งออกเป็นอันดับต้นของโลก คนไทยนิยมบริโภคข้าวเป็นอาหารหลัก แต่ในกระบวนการแปรรูปข้าว ในการสีข้าวนั้น จะได้ผลิตภัณฑ์ปลายข้าวออกมาด้วย ซึ่งปลายข้าวสามารถใช้ในกระบวนการผลิตเบียร์ได้เนื่องจาก เป็นวัตถุดิบที่มีราคาถูกและเป็นแหล่งของคาร์โบไฮเดรตที่ดี แป้งที่มีในข้าวสามารถนำไปใช้ในกระบวนการผลิตได้ง่าย แต่ต้องผ่านกระบวนการ Gelatinization ที่อุณหภูมิสูงก่อนที่จะนำมาผ่านกระบวนการเปลี่ยนเป็นน้ำตาลที่สามารถใช้ในการหมักได้ (Fermentable sugar)

ในกระบวนการผลิตเบียร์สามารถใช้ข้าวได้ถึง 20 % ขึ้นไป โดยใช้เป็นวัตถุดิบร่วมกับ Malt เพื่อที่จะลดกลิ่นรสของ malt ที่อาจมีมากจนเกินไปและให้กลิ่นรสที่เฉพาะตัวของเบียร์

ข้าวมีองค์ประกอบทางเคมีประกอบไปด้วย เส้นใย (fiber) แป้งและคาร์โบไฮเดรต (Starch & Carbohydrate) ไขมัน (lipid) โปรตีน เถ้า (Ash) และ อื่นๆ (Non-nitrogenous matter) โดยปกติข้าวจะมีปริมาณไขมันอยู่ประมาณ 0.5 % ของน้ำหนักแห้ง (Dry basis) ปริมาณไขมันในข้าวมีความสำคัญในกระบวนการผลิตเบียร์มาก เนื่องจากปริมาณไขมันที่สูงจะมีผลกระทบทำให้คุณภาพของเบียร์ลดลงโดยจะทำให้คุณภาพทางด้านกลิ่นรสและความคงตัวของฟองเบียร์ลดลง โดยข้าวที่จะนำมาผลิตเบียร์จะต้องมีปริมาณไขมันต่ำ ต้องผ่านการขัดสีเอารำออกก่อนที่จะนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตเบียร์ ดังนั้นจึงควรมีการวิเคราะห์ปริมาณของไขมันที่มีในปลายข้าวที่นำมาผลิตเบียร์

ในปัจจุบันกลุ่มโรงเบียร์ผู้ผลิตเบียร์ตราช้าง มีโรงงานผลิตเบียร์อยู่ 3 แห่ง คือ โรงงานกำแพงเพชร, โรงงานอำเภอบางบาลและอำเภอวังน้อย จังหวัดพระนครศรีอยุธยา แต่มีห้องปฏิบัติการกลางวิเคราะห์วัตถุดิบอยู่เพียงแห่งเดียว เนื่องจากต้นทุนของห้องปฏิบัติการวิเคราะห์วัตถุดิบค่อนข้างสูง จึงมีการส่งตัวอย่างระหว่างโรงงานมาวิเคราะห์คุณภาพวัตถุดิบ ทำให้เสียค่าใช้จ่ายในการเดินทาง และทราบผลวิเคราะห์ล่าช้า จึงทำให้จำเป็นต้องมีการพัฒนาวิธีการทดสอบเพื่อให้สะดวก รวดเร็วในขณะเดียวกัน ต้องมีความถูกต้องและแม่นยำของวิธีด้วย

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1.2.1 เพื่อตรวจสอบความแม่นยำของวิธีการวิเคราะห์หาปริมาณไขมันด้วยวิธีการสกัดไขมันโดยตรง (Direct extraction of fat)โดยเครื่อง Soxtec รุ่น 2050 ยี่ห้อ Foss Tecator ในตัวอย่างปลายข้าวเจ้าที่ใช้ในกระบวนการผลิตเบียร์

1.2.2 เพื่อตรวจสอบความแม่นยำของวิธีการวิเคราะห์หาปริมาณไขมันด้วยวิธีการโดยวิธีย่อยด้วยกรด(Acid Hydrolysis) อ้างอิงตามมาตรฐาน AOAC Official method 922.06 Fat in flour acid hydrolysis method ในตัวอย่างปลายข้าวเจ้าที่ใช้ในกระบวนการผลิตเบียร์ โดยใช้กรวยแยกทดแทนหลอดแก้วโมจอห์นเนียร์

1.2.3 เพื่อเปรียบเทียบวิธีการวิเคราะห์หาปริมาณไขมันด้วยเครื่อง Soxtec และวิธีการย่อยด้วยกรดและวิธีการตามมาตรฐานตาม Analytica EBC Method 6.10 Fatty substance in cereal adjunct ในรูปของสมการถดถอยเชิงเส้น (Linear Regression Equation)

1.2.4 เพื่อเปรียบเทียบเทียบค่าความแม่นยำของแต่ละวิธีทดสอบ ค่าใช้จ่าย และระยะเวลาในการวิเคราะห์ เนื่องจากวิธีการทดสอบหาปริมาณไขมันโดยตรงเครื่อง Soxtec เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้มีราคาที่ค่อนข้างสูงแต่เป็นวิธีการที่รวดเร็วและเป็นที่ยอมรับในการทดสอบหาปริมาณไขมันในตัวอย่างปลายข้าว ในขณะที่การทดสอบโดยวิธีการย่อยด้วยกรดเป็นวิธีที่สามารถทำได้ง่าย และอุปกรณ์ราคาไม่แพง

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ไขมันด้วยวิธีการสกัดไขมันโดยตรง (Direct extraction of fat) โดยเครื่อง Soxtec รุ่น 2050 ยี่ห้อ Foss Tecator และวิธีการย่อยด้วยกรด (Acid hydrolysis) ในตัวอย่าง ปลายข้าว, ข้าวเปลือก, ข้าวกล้องและรำข้าว เปรียบเทียบค่าความแม่นยำของแต่ละวิธีการทดสอบในรูปของ %RSD ค่าใช้จ่ายและระยะเวลาในการวิเคราะห์ พร้อมทั้งเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ปริมาณไขมันด้วยวิธีการสกัดไขมันโดยตรงกับวิธีการย่อยด้วยกรดและวิธีมาตรฐาน Analytica EBC Method 6.10 ในรูปของสมการถดถอยเชิงเส้นที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เพื่อให้สามารถใช้วิธีการวิเคราะห์ทดแทนกันได้

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

ผลการวิจัยสามารถนำมาใช้เป็นข้อมูลแสดงความแม่นยำ ระยะเวลาและค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณไขมันในตัวอย่างปลายข้าว เพื่อพิจารณาคัดเลือกวิธีที่เหมาะสมในการวิเคราะห์ปริมาณไขมันในปลายข้าวที่ใช้ในกระบวนการผลิตเบียร์ โดยในแต่ละวิธีการวิเคราะห์ สามารถเปรียบเทียบใช้ทดแทนกันได้

บทที่ 2
ทฤษฎีและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

2.1 โครงสร้างของข้าว

ข้าว เป็นคำทั่วไปที่ใช้เรียกเมล็ดข้าว (rice fruit, rice grain หรือ rice seed) ซึ่งทาง พฤกษศาสตร์จะหมายถึง ผล (fruit) ที่มีลักษณะเป็นผลเดี่ยว (single fruit) เกิดจากรังไข่อันเดียวชนิดลอยตัว (superior oval) ของดอกเดี่ยวในแต่ละดอกย่อย ที่เกิดรวมกันเป็นช่อดอก ผลเดี่ยวนี้จะติดแน่นอยู่กับผนังของรังไข่ หรือเยื่อหุ้มผล (pericarp) ซึ่งเมื่อผลสุกหรือแก่จะเป็นผลแห้ง (dry fruit) ที่ไม่แตก เรียกว่าเมล็ด (caryopsis grain) ที่มีเยื่อหุ้มและเปลือกหุ้มเมล็ด (testa) เชื่อมรวมกันอย่างแนบแน่นโดยตลอดผลหรือเมล็ดข้าวจะมีลักษณะแตกต่างตามพันธุ์ ในด้านขนาด รูปร่าง สี การมีหาง (awn) หรือไม่มีหาง และขน (pubescence) หรือไม่มีขนบนเปลือกแข็ง (husk หรือ hull)

เมล็ดข้าว ประกอบด้วย 2 ส่วนหลัก คือ ส่วนที่ห่อหุ้มเมล็ดข้าว (หรือผล) เรียกว่าแกลบ (hull หรือ husk) และส่วนเนื้อผล หรือผลแท้ (true fruit หรือ caryopsis grain) หรือข้าวกล้อง (caryopsis หรือ brown rice) โดยมีรายละเอียดของแต่ละส่วนดังนี้ (อรอนงค์ นัยวิกุล, 2547)

2.1.1 แกลบ ประกอบด้วย เปลือกใหญ่ (lemma), เปลือกเล็ก (palea), ขน, หาง, ขั้วเมล็ด (rachilla) และกลีบรองเมล็ด (sterile lemmas) ซึ่งเชื่อมต่อกับก้าน (pedicel)

2.1.1.1 เปลือกใหญ่ เป็นเปลือกหุ้มผลด้านท้อง (dorsal side) มีขนาดใหญ่อาจมีหางหรือไม่มีก็ได้ ลักษณะของเปลือกใหญ่จะเป็นรอยเส้น (nerves) ตามความยาวของเปลือกประมาณ 5 เส้น เปลือกใหญ่จะห่อหุ้มเมล็ดไว้ทั้ง 2 ด้านในลักษณะขบกันอยู่อย่างแน่นสนิท ประมาณ 2/3 ของเปลือกทั้งหมดตามแนวยาวของเมล็ด

2.1.1.2 เปลือกเล็ก เป็นเปลือกหุ้มเนื้อผลด้านหลัง (ventral side) ที่มีขนาดเล็กกว่าเปลือกใหญ่ประมาณ 1/3 ของเปลือกทั้งหมด จะขบอยู่ใต้เปลือกใหญ่ตามแนวยาว ทำให้เปลือกทั้ง 2 ติดกันสนิท บนผิวเปลือกเล็กจะเป็นรอยเส้นตามความยาวของเปลือกประมาณ 3 เส้น รอยเส้นบนเปลือกใหญ่และเปลือกเล็ก อาจทำให้ข้าวกล้องเป็นรอยเส้นตามไปด้วย ในข้าวบางพันธุ์ถึงแม้จะผ่านกระบวนการขัดขาว (polishing) แล้วยังอาจมีรอยเส้นค้างอยู่บนข้าวสารเรียกว่า สาแหรกข้าว

2.1.1.3 ขน จะขึ้นบนเปลือกใหญ่ และเปลือกเล็กเป็นส่วนใหญ่ อาจมีบางพันธุ์ที่ไม่มีขน แต่เป็นส่วนน้อย ขนนี้คือ ส่วนเซลล์ผิวนอก (epidermal cell) ที่เจริญกลายเป็นขน เพื่อทำหน้าที่ลดการระเหยของน้ำ ป้องกันอันตรายต่อเมล็ดต่อสภาวะภายนอกเมล็ด และเพื่อการกระจายพันธุ์ตามธรรมชาติ โดยช่วยให้เมล็ดติดไปกับคน สัตว์ หรือสิ่งของต่างๆที่มีโอกาสสัมผัสเมล็ดจนทำให้เมล็ดหลุดติดไปด้วย

2.1.1.4 หางเป็นส่วนปลายของเปลือกใหญ่ที่ยาวออกมาเกินตำแหน่งยอดดอก (apiculus) ในบางพันธุ์อาจสั้น หรือยาว หรือไม่มี ทำหน้าที่ในการกระจายพันธุ์ คล้ายขน

2.1.1.5 ขั้วเมล็ด เป็นก้านสั้น อยู่ระหว่างกลีบรองเมล็ดกับเปลือกใหญ่ และยังติดอยู่กับเมล็ดข้าวเปลือก

2.1.1.6 กลีบรองเมล็ด เป็นกลีบเล็ก 2 กลีบ อยู่ตรงข้ามกัน ใต้สุดของเมล็ด

2.1.2 ข้าวกล้องหรือเนื้อผล

2.1.2.1 เยื่อหุ้มผล

1) เอพิคาร์พ หรือเอกโซคาร์พ (epicarp หรือ exocarp) เป็นผิวหรือผนังหรือเปลือกที่อยู่นอกสุด มีลักษณะเรียบ เหนียว และมัน ประกอบด้วยเซลล์ชั้นเดียว

2) เมโซคาร์พ หรือไฮพอเดิร์ม (mesocarp หรือ hypoderm) เป็นผนังผลชั้นกลาง

3) เอนโดคาร์พ (endocarp) เป็นเยื่อชั้นใน

2.1.2.2 เยื่อหุ้มเมล็ด อยู่ถัดจากเยื่อหุ้มผลเข้ามา ประกอบด้วยเซลล์ 2 ชั้น รูปยาว เรียงตามขวาง และมีผนังบางกั้น (หนาประมาณ 0.5 ไมครอน) ภายในเซลล์มีไขมันและสารสีเช่นเดียวกับเยื่อหุ้มผล ทำให้ข้าวกล้องมีสี

2.1.2.3 นิวเซลลัส (nucellus) เป็นเซลล์ชั้นที่ติดกับเยื่อหุ้มเมล็ด แต่พันธะระหว่างนิวเซลลัสกับเยื่อหุ้มติดเมล็ดไม่แน่น จึงแยกจากกันได้ง่าย มีความหนาประมาณ 0.8 – 2.5 ไมครอน

2.1.2.4 เยื่อชั้นแอลิวโรน (aleurone layer) เป็นเยื่อชั้นถัดจากเยื่อหุ้มเมล็ด ประกอบด้วยเซลล์ 1-7 ชั้น และมีลักษณะของเยื่อหุ้มด้านหลังของเมล็ดจะหนาหว่าเยื่อหุ้มด้านท้อง ซึ่งความหนานี้จะแตกต่างไปตามพันธุ์ข้าว เช่นข้าวเมล็ดป้อม-สั้น จะมีเยื่อชั้นแอลิวโรนหนากว่าข้าวเมล็ดยาว เป็นต้น เซลล์แอลิวโรนจะไม่เชื่อมติดกับคัพภะในส่วนของใบเลี้ยงด้านท้องของเมล็ดลงมาถึงจุดเชื่อมระหว่างใบเลี้ยงกับเยื่อหุ้มรากอ่อน ซึ่งอยู่ข้างในของเมล็ด จึงแบ่งลักษณะของเซลล์แอลิวโรนเป็น 2 ลักษณะ คือเซลล์ส่วนที่ห่อหุ้มรอบเนื้อของเมล็ดจะมีรูปร่างเป็นลูกบาศก์ และมีไซโตพลาสซึม (cytoplasm) อยู่หนาแน่น ในเซลล์ยังมีหลุ่มโปรตีนที่มีรูปร่าง (protein bodies) กลุ่มไขมัน (lipid bodies) และสารอื่นๆ เช่น นิวเคลียส (nucleus), ไมโครบอดี (microbodies), ไมโทคอนเดรีย (mitochondria), เอนโดพลาสมิก เรติคิวลัม (endoplasmic reticulum), เวสิเคิล (vesicle) และพลาสมิด (plasmids) เป็นต้น ส่วนเซลล์แอลิวโรนที่ห่อหุ้มคัพภะจะบาง มีไซโทพลาสซึมน้อย รูปร่างยาว มีกลุ่มไขมัน และกลุ่มโปรตีนน้อย มีเวสิเคิลมาก เป็นต้น ส่วนผนังเซลล์จะมีโปรตีน เฮมิเซลลูโลส และเซลลูโลส ประกอบอยู่

2.1.2.5 คัพภะ หรือเชื้อชีวิต จะอยู่ที่โคนเมล็ดด้านเปลือกใหญ่ ส่วนท้องของเมล็ด มีส่วนประกอบเป็นรากอ่อน, ต้นอ่อน, เยื่อหุ้มรากอ่อน, เยื่อหุ้มต้นอ่อน, ท่อน้ำท่ออาหารและใบเลี้ยง ซึ่งเป็นใบเลี้ยงเดี่ยว คัพภะเป็นแหล่งสะสมอาหารสำหรับการเจริญเติบโตของต้นอ่อน จึงอุดมไปด้วยโปรตีนและไขมันในส่วนต่างๆ

2.1.2.6 เนื้อเมล็ดหรือเนื้อข้าว (endosperm) มีมากที่สุดในเมล็ดข้าว (ประมาณ 80 % ของน้ำหนักเมล็ดทั้งหมด) แบ่งเป็น 2 ส่วนคือส่วนชั้นซับแอลิวโรน (subaleurone layer) เป็นเซลล์ 2 ชั้นอยู่ถัดจากชั้นแอลิวโรน และส่วนที่เป็นสตาร์ชในเนื้อของเมล็ด (starchy endosperm) ในชั้นซับแอลิวโรนจะมีกลุ่มโปรตีนอยู่ภายใน 3 ลักษณะ คือลักษณะกลมใหญ่ (ขนาด 1-2 ไมครอน) กลมเล็ก (ขนาด 0.5-0.75 ไมครอน) และเป็นผลึกติดกันขนาด 2- 3.5 ไมครอน แต่ในส่วนเนื้อของเมล็ดจะมีกลุ่มโปรตีนลักษณะกลมใหญ่เท่านั้น แทรกอยู่ในระหว่างเม็ดสตาร์ช (starch granules) มีขนาด 3-9 ไมครอน ที่มีอยู่มากอัดแน่นรวมเป็นกลุ่มเม็ดสตาร์ช (compound granules) อยู่ภายในเซลล์พาเรนไคมา (parenchyma cells) ที่มีผนังเซลล์บาง มีรูปร่างรี หรือสี่เหลี่ยม เข้าสู่ใจกลางเมล็ด โดยด้านนอกของเมล็ดจะรี และยาวมากกว่าด้านในเมล็ด

2.2 องค์ประกอบทางเคมีของข้าว

องค์ประกอบทางเคมีของข้าวมีผลมากจากพันธุ์ สภาวะการปลูก การเก็บเกี่ยว และกระบวนการแปรรูปจากข้าวเปลือกเป็นข้าวกล้องและข้าวสาร การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีโดยทั่วไปใช้วิธีการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีโดยปริมาณ (Proximate analysis) เพื่อให้ทราบองค์ประกอบทางเคมี หรือสารอาหารหลักที่มีในข้าว คือ โปรตีน ไขมัน เส้นใยหยาบ เถ้า และคาร์โบไฮเดรตเป็นหลัก นอกจากนี้เป็นการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีที่ให้คุณค่าทางอาหารและโภชนาการ ได้แก่ วิตามิน แร่ธาตุ และปริมาณกรดอะมิโนที่มีในโปรตีนของข้าว

เมื่อทำการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณของข้าวเปลือก และส่วนที่ได้จากการกะเทาะเปลือก ขัดขาว ขัดมัน พบว่าแต่ละส่วนมีองค์ประกอบทางเคมี คือ โปรตีน ไขมัน เส้นใยหยาบ เถ้า คาร์โบไฮเดรต ที่ร่างกายย่อยได้ เส้นใยอาหาร (ด้วยวิธีใช้สารซักฟอกที่เป็นกลาง) และพลังงาน (ทั้งหน่วยกิโลจูล และหน่วยกิโลแคลอรี) แตกต่างกัน

จากตารางที่ 2.1 แสดงให้เห็นว่าข้าวเปลือกจะมีโปรตีนประมาณ 5.8-7.7 กรัม, ไขมัน 1.5-2.3 กรัม, เส้นใยหยาบ 7.2-10.4 กรัม, คาร์โบไฮเดรตที่ร่างกายย่อยได้ 64-73 กรัมและเส้นใยอาหาร 16.4-19.2 กรัม เมื่อกะเทาะเปลือกของข้าวเปลือกได้เป็นข้าวกล้อง ทำให้มีสารอาหารที่เป็นองค์ประกอบทางเคมีเพิ่มขึ้น คือ โปรตีน, ไขมัน, คาร์โบไฮเดรตและพลังงาน แต่ทำให้ปริมาณเส้นใยหยาบ, เถ้าและเส้นใยอาหารลดลงเนื่องจากองค์ประกอบทางเคมีเหล่านี้มีมากในแกลบ (เปลือกแข็งหุ้มเมล็ด) ส่วนข้าวสารซึ่งได้จากการขัดขาวมีปริมาณสารอาหาร คือโปรตีน, ไขมัน, เส้นใยหยาบ, เถ้า, เส้นใยอาหาร รวมทั้งพลังงานลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับข้าวกล้อง เพราะส่วนของเยื่อหุ้มผล เยื่อหุ้มเมล็ด นิวเซลลัส ชั้นแอลิวโรน รวมทั้งคัพภะหลุดออกไป ทำให้เมล็ด

ข้าวสารมีสีขาวขึ้นและมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตเพิ่มขึ้นสำหรับผลพลอยได้จากการขัดสีข้าวเปลือกที่สำคัญคือ รำข้าว ซึ่งประกอบด้วย รำจากการขัดขาว รำจากการขัดมันและคัพภะ ปนกันอยู่ ทำให้มีสารอาหารที่มีประโยชน์ต่อร่างกายอยู่สูง คือโปรตีน, ไขมัน, เส้นใยหยาบ, เถ้า, เส้นใยอาหาร แต่มีคาร์โบไฮเดรตและพลังงานลดลงเมื่อเทียบกับข้าวสาร

ตารางที่2.1 ปริมาณองค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณของข้าวเปลือกและส่วนที่ได้จากการขัดสีที่ 14 % ความชื้น

ส่วนของข้าว	โปรตีน (ก.)	ไขมัน (ก.)	เส้นใย (ก.)	คาร์โบไฮเดรต (ก.)	เส้นใยอาหาร (ก.)
ข้าวเปลือก	5.8-7.7	1.5-2.3	7.2-10.4	64-73	16.4-19.2
ข้าวกล้อง	7.1-8.3	1.6-2.8	0.6-1.0	73-87	2.9-3.9
ข้าวสาร	6.3-7.1	0.3-0.5	0.2-0.5	77-89	0.7-2.3
รำข้าว	11.3-14.9	15.0-19.7	7.0-11.4	34-62	24-29
แกลบ	2.0-2.8	0.3-0.8	34.5-45.9	22-34	66-74

ที่มา : Juliano,1993

2.3 ไขมัน (Lipid)

ไขมันหรือลิปิดเป็นสารประกอบอินทรีย์ที่พบได้ในสิ่งมีชีวิตโดยมีลักษณะเด่นคือ เป็นสารที่ไม่ละลายน้ำ แต่ละลายได้ในตัวทำละลายอินทรีย์ เช่น เฮกเซน อะซีโตน อีเทอร์ คลอโรฟอร์ม เบนซีน เป็นต้น ไขมันเป็นสารที่ทำหน้าที่สำคัญ 4 อย่างคือ

1) เป็นส่วนประกอบของเยื่อเซลล์ และเยื่อหุ้มองค์ประกอบต่างๆ ภายในเซลล์ เป็นส่วนที่ทำหน้าที่เกี่ยวกับการลำเลียงโมเลกุลที่ไม่มีขั้ว (Non-polar molecule) บางชนิด ผ่านเซลล์หรือองค์ประกอบของเซลล์และเกี่ยวข้องกับการขนส่งโมเลกุลดังกล่าวผ่านของเหลวในร่างกาย (Biological fluids)

2) เป็นที่เก็บสะสมพลังงานความร้อนในร่างกาย ไขมันหนึ่งกรัมให้พลังงานความร้อนสูงถึง 9 กิโลแคลอรี่ ในขณะที่ คาร์โบไฮเดรต หนึ่งกรัมให้พลังงานเพียง 4 กิโลแคลอรี่ ร่างกายจึงสามารถเก็บสะสมพลังงานความร้อนไว้ในรูปของไขมันได้เป็นอย่างดี และยังสามารถขนส่งไปยังแหล่งที่ขาดพลังงานความร้อนได้ง่ายโดยผ่านทางเลือด

3) เป็นส่วนที่ห่อหุ้มป้องกันอวัยวะต่างๆและเป็นส่วนประกอบที่สำคัญของผนังเซลล์ บักเตรีและพืชชั้นสูง

4) ไขมันบางชนิดมีบทบาทที่สำคัญในการดำรงชีวิต เช่น เป็นแหล่งผลิต ของวิตามิน รวมทั้งพวกฮอร์โมนประเภท สเตอรอยด์ เป็นต้น

ไขมันที่พบทั่วไปในธรรมชาติมีหลายชนิด แต่ละชนิดมีโครงสร้างและคุณสมบัติแตกต่างกัน อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาถึงองค์ประกอบและโครงสร้างโมเลกุลแล้ว อาจแยกออกได้เป็น 4 ประเภท

1) ลิปิดอย่างง่าย (Simple Lipid) ได้แก่ เอสเทอร์ของกรดไขมันกับแอลกอฮอล์ชนิดต่างๆ ซึ่งแบ่งออกได้ตามชนิดของแอลกอฮอล์และสมบัติทางฟิสิกส์ คือถ้าแอลกอฮอล์นั้นเป็น กลีเซอรอล(Glycerol) ไขมันจะถูกจัดเป็นพวก กลีเซอไรด์ (Glyceride) กลีเซอไรด์ซึ่งเป็นของแข็งที่อุณหภูมิห้องเรียกว่า ไขมัน (Fat) หากอยู่ในสภาพของเหลวเรียกว่าน้ำมัน (Oil)

2) ลิปิดองค์ประกอบ (Compound Lipid) ได้แก่ ไขมันธรรมดาที่มีสารอื่นมาประกอบเพิ่มขึ้นอีกส่วนหนึ่ง ซึ่งอาจแบ่งย่อยได้ดังนี้

ก. ฟอสโฟลิปิด (Phospho lipid) คือฟอสฟาไทด์ (phosphatide) เป็นสารไขมันที่มีกรดฟอสฟอริกและสารประกอบของไนโตรเจนในโมเลกุล เช่น เลซิทิน (Lecithin) เซฟาลิน (Cephalin) เป็นต้น ซึ่งฟอสโฟลิปิด เป็นส่วนประกอบที่สำคัญของเยื่อหุ้มเซลล์ มีปริมาณเพียงเล็กน้อยในไขมันและน้ำมันที่ใช้เป็นอาหาร มีประโยชน์ในด้านอาหารคือเป็นสารที่ทำให้น้ำกับไขมันผสมกันได้

ข. ไกลโคลิปิด (Glycol lipid) หรือเรียกอีกอย่างว่า ซีรีโบรไซด์ (Cerebrocide) ซึ่งประกอบด้วยกลีเซอรอล กรดไขมันและคาร์โบไฮเดรต ซึ่งพบในใบของพืชสาหร่าย ตลอดจนระบบประสาทส่วนกลางของสัตว์ คือในสมองส่วนซีรีบัมนั่นเอง

ค. สฟิงโกลิปิด (Sphingo lipid) เกิดจากสารประกอบที่มีชื่อเรียกว่า สฟิงโกซีน (Sphingosine) ตัวอย่าง สฟิงโกลิปิดที่สำคัญเช่น เซราไมด์ (Ceramide) ซึ่งพบในเยื่อหุ้มเซลล์ของพืชและสัตว์

ง. ลิโพโปรตีน (Lipo protein) เป็นอนุพันธ์ของโปรตีนหรือสารจำพวกโปรตีน ลิโพโปรตีนที่สำคัญได้แก่ ลิโพโปรตีนที่พบในพลาสมาของเลือด เช่น HDL LDL

3) อนุพันธ์ลิปิด (Derived Lipid) ได้แก่อนุพันธ์ต่างๆ ที่เกิดขึ้นจากการสลายตัวของไขมันสองประเภทข้างต้น เช่น กรดไขมัน กลีเซอรอล สเตอรอล และแอลกอออล์ที่มีโมเลกุลใหญ่

4) ไขมันเบ็ดเตล็ด ได้แก่สารอื่นๆที่มีสมบัติคล้ายไขมันและละลายในสารละลายที่ใช้ในการสกัดไขมัน มักพบรวมอยู่กับไขมันประเภทอื่นๆ ในธรรมชาติสารอาหารเหล่านี้ ได้แก่ สเตอรอยด์ วิตามินที่ละลายได้ในไขมัน และสารประกอบเทอร์ปีน (Terpene)

2.4 ผลกระทบของไขมันที่มีต่อกระบวนการผลิตเบียร์

เบียร์คือเครื่องมือที่มีแอลกอฮอร์ซึ่งได้มาจากการหมักน้ำตาลที่ได้มาจากมอลท์ (malt) และมีกลิ่นรสที่เฉพาะตัวซึ่งได้มาจากฮอพ (Hop) ในเบียร์บางชนิดมีการนำแอดจั้ง (Adjunct) ซึ่งเป็นแหล่งของคาร์โบไฮเดรตที่ดีเป็นวัตถุดิบเสริมนอกเหนือจากมอลท์ ส่วนกระบวนการหมักนิยมใช้ยีสต์เพื่อเปลี่ยนน้ำตาลให้กลายเป็นแอลกอฮอล์

ในแต่ละประเทศจะนิยมดื่มเบียร์ชนิดแตกต่างกัน ซึ่งปัจจัยที่มีผลต่อชนิดของเบียร์ในแต่ละประเทศขึ้นอยู่กับชนิดของวัตถุดิบที่อยู่ในแต่ละพื้นที่เช่น ข้าวเจ้า ข้าวโพด และพฤติกรรมของผู้บริโภค

ลาเกอร์ เบียร์ (Lager Beer) เป็นเบียร์ที่นิยมเป็นอย่างมากเนื่องจากมีรสชาติที่อ่อนนุ่ม ในขณะที่เอลเบียร์ (Ale Beer) ซึ่งเป็นเบียร์ที่มีแอลกอฮอล์ต่ำกว่าลาเกอร์เบียร์ จะเป็นที่นิยมอย่างมากในสหราชอาณาจักร (Institute of Brewing, 1998)

2.4.1 ฟองเบียร์

ฟองเบียร์เป็นคุณลักษณะที่สำคัญสำหรับผู้ผลิตเบียร์และผู้บริโภค ลักษณะปรากฏและความคงตัวของฟองเบียร์จะมีอิทธิพลอย่างมากต่อการยอมรับของผู้ บริโภค ซึ่งคุณภาพของฟองเบียร์จะมีผลกับราคาของเบียร์ โดยทั่วไปผู้บริโภคนิยมที่จะดื่มเบียร์ที่มีฟองมากและเป็นฟองที่มีขนาดเล็กเนื่องจากฟองขนาดเล็กจะมีความคงตัวของฟองมากกว่าฟองขนาดใหญ่ และจะมีเนื้อสัมผัสเหมือนครีม โดยเฉพาะอย่างยิ่งในผลิตภัณฑ์เบียร์สดจะมีผลกระทบมากกว่าผลิตภัณฑ์ ที่บรรจุในภาชนะบรรจุขนาดเล็ก เช่น ขวดหรือกระป๋อง

2.4.1.1 ลักษณะที่ดีของฟองเบียร์

คุณภาพของฟองเบียร์ที่ดี คือ ความสามารถในการการเกิดฟองในเบียร์ การมีความคงตัวที่ดีภายหลังจากการเกิดฟองเรียบร้อยแล้วซึ่งจะแตกต่างกับผลิตภัณฑ์โซดาซึ่งมีความคงตัวในการเกิดฟองของเบียร์ไม่ดี รวมถึงคุณภาพของเบียร์ในการเกิดฟองที่อยู่คงทน ที่เรียกว่าคลิ้ง (Cling) คือการที่ฟองเกาะอยู่ที่บริเวณพื้นผิวของแก้วเมื่อรินเบียร์ลงไปในแก้ว

2.4.1.2 การเกิดฟอง

การเกิดฟองในเบียร์องค์ประกอบในเบียร์ควรจะมีแก๊สคาร์บอนไดออก ไซด์ที่เพียงพอให้สามารถเกิดฟองในเบียร์ได้ ในกรณีที่เบียร์มีปริมาณคาร์บอน ไดออกไซด์ต่ำ เช่นในคาร์ส (Cask) หรือ เอล (Ale) จะมีผลให้มีปริมาณฟองที่น้อย ทำให้อาจต้องใช้แรงทางกล (Physical action) เช่นจากการปั๊ม เพื่อทำให้เกิดการเริ่มเป็นฟองระยะนี้เรียกว่านิวคลีเอชั่น (Nucleation) การเกิดฟองที่ดีฟองที่เกิดขึ้นจะต้องมีขนาดที่เล็กและเท่าๆกัน ซึ่งจะทำให้มีความคงตัวตัวของฟองมากยิ่งขึ้นเนื่องจากขนาดฟองที่เท่าๆกันทำให้ฟองแตกตัวน้อยลง โดยฟองที่เกิดขึ้นในสภาวะที่มีแก๊สไนโตรเจนจะทำให้มีขนาดฟองที่เล็ก ดังนั้นในกระบวนการผลิตเบียร์ โรงเบียร์บางแห่งจึงมีการนำแก๊สไนโตรเจนมาใช้เพื่อให้ฟองเบียร์มีความคงตัวมากยิ่งขึ้น

หัวใจหลักในการเกิดฟองคือโปรตีน โดยโปรตีนที่ทำให้เกิดฟองจะเป็นโปรตีนที่ไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic) ซึ่งทำให้โปรตีนเหล่านี้ลอยตัวขึ้นอยู่กลายเป็นฟอง บริเวณพื้นผิวของน้ำเบียร์โปรตีนเหล่านี้มีแหล่งที่มาจากมอลท์ (Malt) ซึ่งเป็นวัตถุดิบหลักในการผลิตเบียร์ โปรตีนนี้จะเพิ่มขึ้นระหว่างขั้นตอนกระบวนการงอก (Germination) ในการทำมอลท์ติ้ง (Malting) บาร์เลย์ โปรตีนเหล่านี้จะมีการสูญเสียระหว่างกระบวนการผลิตเบียร์ เช่นกระบวนการหมักอย่างรุนแรงในถังหมัก หรือกระบวนการกรองที่มีพื้นที่ผิวการกรองมากจะทำให้ฟองเบียร์ติด

อยู่ที่บริเวณพื้นผิวการกรอง ปัจจัยที่มีผลอาจทำให้ความคงตัวของฟองเบียร์น้อยคือ การใช้แอดจั๊ง (Adjunct) ที่มีปริมาณโปรตีนต่ำ เช่น น้ำตาล, ข้าว, ข้าวโพด ปริมาณมากในการผลิตเบียร์ โปรตีนเกิดการสูญหายระหว่างกระบวนการผลิตเช่นการเกิดฟองล้นกระหว่างกระบวนการหมักที่รุนแรง และการแตกของฟองโปรตีนจากเอนไซม์ที่ผลิตขึ้นโดยยีสต์ (Bamforth, 2000)

ในกระบวนการผลิตเบียร์เซอเฟสแอคทีฟโปรตีน(Surface-active protein) และ โพลีเปปไทด์ (Polypeptide) เป็นส่วนสำคัญที่ทำให้ฟองเบียร์มีความคงตัว โดยส่วนที่ไม่มีขั้วของโปรตีน จะรวมตัวกันทำให้เพิ่มความสามารถในการคงตัวของฟองโดยเกิดรูปแบบที่เรียกว่า วิสโค-อิลาสติก สกิน (Visco-elastic skin) รอบๆฟอง (Wild และคณะ, 2003) บิทเทอร์ แอซิด (Bitter Acid) จะช่วยสนับสนุนในการเชื่อมต่อกันของโปรตีนและทำการล๊อคให้อยู่ในสภาพที่เสถียรมากขึ้น ทำให้เบียร์ที่ผลิตจากมอลท์ในสัดส่วนปริมาณที่มาก และมีใช้ ฮอพ (Hop) ที่มีความขมมาก จะทำให้เกิดฟองมากขึ้นด้วย ในกระบวนการผลิตเบียร์นอกจากพิจารณาเรื่องปัจจัยที่มีผลกระทบในการเกิดฟองเบียร์และความคงทนของฟองเบียร์แล้ว ยังต้องพิจารณาถึงปัจจัยที่เป็นตัวยับยั้งการเกิดฟองหรือทำลายฟองเบียร์อีกด้วย โดยปัจจัยที่ทำให้การเกิดฟองและความคงตัวของฟองลดลง ปัจจัยหลักที่อยู่ 2 ปัจจัยคือ

1) เอทานอล (Ethanol) ปริมาณแอลกอฮอล์จำนวนเล็กน้อย (ประมาณ 1 %) จะช่วยเสริมการเกิดฟองในเบียร์ แต่หากมีปริมาณแอลกอฮอล์เพิ่มขึ้นปริมาณแอลกอฮอล์จะทำลายฟองเบียร์โดยจะไปทำลายโครงสร้างโมเลกุลโปรตีน หากปริมาณแอลกอฮอล์สูงขึ้นก็จะมีความเสี่ยงต่อการสูญเสียความคงตัวของฟองมากยิ่งขึ้น

2) ไขมัน (Lipid) เป็นสารประกอบที่มีความสามารถในการละลายน้ำต่ำ ไขมันสามารถจะทำลายปฏิกิริยาระหว่างโปรตีนที่ดูดซับกันอยู่ด้วยการลดความแข็งแรงและความยืด หยุ่นของชั้นของโปรตีนที่ดูดซับกันอยู่ ชั้นของโปรตีนจะถูกทำให้ดูดซับให้น้อยลงจะมีความทนทานต่อสิ่งรบกวนได้น้อยลงและฟองจะสามารถแตกได้ง่ายยิ่งขึ้น นอกจากนี้ ไขมันยังสามารถดูดซับที่ชั้นโปรตีนที่ดูดซับกันอยู่และเกิดการรวมตัวกันระหว่างไขมัน แทนที่โปรตีนที่บริเวณพื้นผิวของฟองได้ (Wild และคณะ, 2003) ระดับไขมันจะขึ้นกับวัตถุดิบที่ใช้ในกระบวน การผลิตเบียร์ โดยมอลท์จะมีปริมาณไขมันในปริมาณค่อนข้างมากแต่เนื่องจากไขมันที่พบในมอลท์มีความสามารถในการละลายน้อยจึงทำให้ถูกสกัดออกมากับน้ำเวิร์ธ(Wort)ได้น้อยและสูญเสียไปในกระบวนการเปลี่ยนแป้งเป็นน้ำตาล (Mashing) มากกว่า 30 % ขึ้นไป (Drost และคณะ, 1989) และยังมีการสูญเสียในกระบวนการผลิตเบียร์ขั้นตอนอื่นๆอีก เช่น ตะกอนโปรตีนต่างๆ ยีสต์ และสารช่วยกรอง (Filter aid) ในกระบวนการผลิตเบียร์ หรือไขมันในกระบวนการผลิตเบียร์อาจเกิดได้จากการปนเปื้อนจากอุปกรณ์เครื่องมือที่ใช้ในกระบวนการผลิต (Dickie และคณะ, 2001)

2.4.1.3 กระบวนการผลิตเบียร์ที่มีผลกระทบต่อการเกิดฟองเบียร์

ก. วัตถุดิบ

โปรตีนที่ทำให้เกิดความคงตัวของฟองเบียร์จะเกิดขึ้นในกระบวนการผลิตมอลท์ซึ่งจะเกิดในขั้นตอนการงอกของข้าวบาเลย์ซึ่งเป็นขั้นตอนที่เอนไซม์ในมอลท์ทำการย่อยสลายผนังเซลล์ของเม็ดแป้งภายในเอนโดเสปิร์มของมอลท์เพื่อปลดปล่อยโปรตีนออกมา ซึ่งในขั้นตอนนี้เรียกว่า การโมดิฟิเคชั่น (Modification)

ข. กระบวนการเปลี่ยนแป้งเป็นน้ำตาล (Brewhouse)

โปรตีนที่ทำให้เกิดฟองจะถูกสกัดออกมาในน้ำเวิร์ธระหว่างกระบวนการเปลี่ยนแป้งเป็นน้ำตาล (Mashing) แต่เมื่อนำมาผ่านกระบวนการต้ม โปรตีนที่ทำให้เกิดฟองสูญเสียไปเนื่องจากผ่านการต้มที่อุณหภูมิสูงจะทำให้โปรตีนเสื่อมสภาพและตกตะกอน

ค. กระบวนการหมักและการปรับสภาพเบียร์

ฟองเบียร์จะมีการสูญเสียในขั้นตอนการหมักหากมีกระบวน การหมักที่รุนแรงจนทำให้เกิดฟองมากเกินไป และฟองล้น ในโรงเบียร์บางแห่งอาจมีการใช้เทคนิคเติมสารที่ช่วยยับยั้งการเกิดฟองที่ไม่ไปจับตัวกับยีสต์ในขณะหมัก และสามารถกำจัดของได้ในขั้นตอนการกรองเบียร์

ง. กระบวนการกรองและการฆ่าเชื้อ

กระบวนการกรองที่มีขั้นตอนการกรองหลายครั้งจะทำให้มีการสูญเสียฟองเบียร์เนื่องจากฟองเบียร์จะติดอยู่บริเวณพื้นที่ผิวการกรอง ในขณะที่ขั้นตอนการฆ่าเชื้อด้วยวิธีการพลาสเจอไรเซชั่น จะช่วยให้ฟองเบียร์มีความคงตัวมากขึ้นเนื่องจากเป็นการกำจัด Proteolytic enzyme ซึ่งเป็นเมตาบอไลท์ของยีสต์ในกระบวนการหมักได้

2.4.2 การเกิดกลิ่นรสที่ผิดปกติ

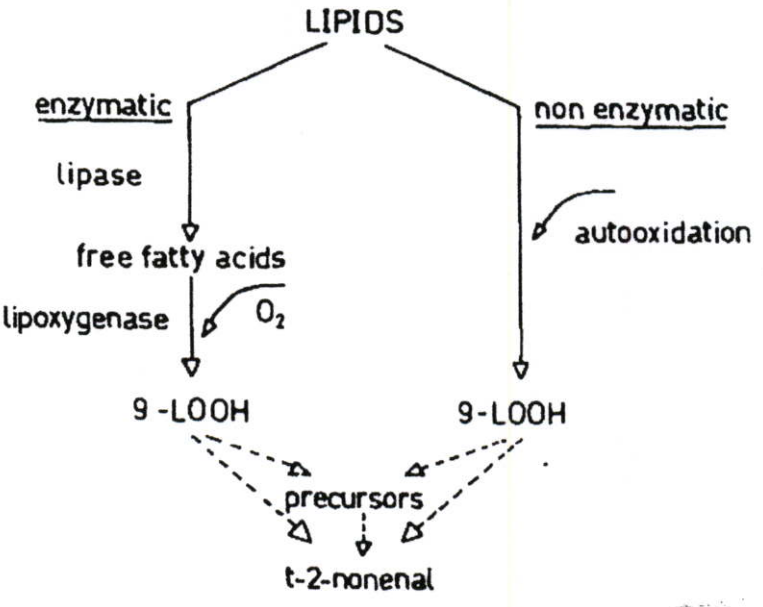
ความคงตัวของกลิ่นรส (Flavor Stability) เป็นปัจจัยคุณภาพที่มีความสำคัญในกระบวนการผลิตเบียร์ โดยปริมาณอากาศที่มีมากเกินไปหรือการใช้อุณหภูมิสูงและเวลาที่นานในการพลาสเจอไรส์เซชั่น (Pasteurization) สามารถทำให้เกิดกลิ่นรสที่ผิดปกติได้ เบียร์ที่สัมผัสกับแสงอาจทำให้เกิดกลิ่นรสที่เรียกว่า ซันสตรัค (Sun struck) ได้ โดยหากเก็บเบียร์หลังผ่านการพลาสเจอไรส์เซชั่น (Pasteurization) เป็นระยะเวลานาน จะทำให้เกิดการออกซิเดชั่น และหลังจากนั้นจะทำให้เบียร์มีกลิ่นรสผิดปกติที่เรียกว่า สเตล (Stale)

กรณีเบียร์ที่มีกลิ่นรสที่เรียกว่า ซันสตรัค (Sun struck) สามารถป้องกันได้โดยการหลีกเลี่ยงให้เบียร์สัมผัสกับรังสีอุลตร้าไวโอเลต (UV) โดยใช้ภาชนะบรรจุที่เหมาะสมหรือใช้ฮอพ (HOP) ที่สามารถป้องกันการเกิดกลิ่นรสที่เรียกว่า ซันสตรัค (Sun struck) ได้

ในกรณีเบียร์ที่มีกลิ่นรสที่ผิดปกติคล้ายกลิ่นฟาง (Strawlike) กล่องกระดาษเก่า (Cardboard) ในเบียร์ที่มีอายุประมาณ 1 ถึง 3 เดือน ซึ่งมักเกิดในลาเกอร์เบียร์ (Lager beer) ที่ผลิต

จากมอลท์ที่มีค่าสีต่ำ และผสมแอดจั้ง (Adjunct) ทำให้ดื่มได้ง่ายและมีรสชาติที่ละเอียดอ่อน จึงทำให้ไวต่อการเกิดกลิ่นรสที่ผิดปกติ

การเกิด Trans-2-nonenal เป็นสาเหตุหลักที่ทำให้เกิดกลิ่นรสที่เรียกว่า สเตล (Stale) ในเบียร์โดยกลไกในการเกิด Trans-2-nonenal ในเบียร์สามารถเกิดได้ในปฏิกิริยาออกซิเดชั่นที่มีเอนไซม์ (Enzymatic) และแบบปฏิกิริยาออกซิเดชั่นที่ไม่มีเอนไซม์ (Non enzymatic) ของกรดไขมันอิสระ (Free fatty acid) ในผลิตภัณฑ์เบียร์สำเร็จรูปจะพบปริมาณไขมันประมาณน้อยกกว่า 4 มิลลิกรัมของกรดไขมันอิสระต่อลิตร โดยคิดเป็น 0.03 % ของปริมาณไขมันที่มีในวัตถุดิบที่ใช้ในกระบวนการผลิต (Drost และคณะ, 1989)



ภาพที่ 2.1 กลไกการเกิด trans-2-nonenal

ที่มา : Drost และคณะ, 1989

2.5 การวิเคราะห์หาปริมาณไขมันและน้ำมัน

ไขมันและน้ำมันที่มีอยู่ในเนื้อเยื่อสัตว์ หรือน้ำมันพืช หรืออาหารชนิดต่างๆ มีสมบัติไม่ละลานน้ำแตะจะละลายได้ดีในตัวทำละลายอินทรีย์ เช่นปิโตรเลียมอีเทอร์ ไดเอทิลอีเทอร์ คาร์บอนเตตระคลอไรด์ คลอโรฟอร์ม และเฮกเซนเป็นต้น จึงต้องทำการสกัดไขมันและน้ำมันออกจากอาหารด้วยตัวทำละลายอินทรีย์แล้วระเหยเอาตัวทำละลายออก ไขมันหรือน้ำมันที่สกัดได้ด้วยตัวทำละลายนี้เรียกว่า crude fat หรือ crude oil ถ้าใช้ตัวทำละลายที่เป็นอีเทอร์ อาจเรียกว่า ether extract ก็ได้ สารที่สกัดได้ทั้งหมดนอกจากมีไขมันและน้ำมันซึ่งเป็นไตรเอซิลกลีเซอรอลแล้ว ยังอาจมีไขหรือแวกซ์ สารสี ไฮโดรคาร์บอน สเตอรอยด์ และกรดไขมันอิสระปนออกมาอีกด้วย

ปริมาณไขมันและน้ำมันในอาหารแต่ละชนิดจะผันแปรเป็นช่วงกว้าง เช่น ผักและผลไม้ส่วนใหญ่มีไขมันต่ำกว่า 1 เปอร์เซ็นต์ ยกเว้น อะโวกาโด มีไขมัน 26 เปอร์เซ็นต์ มะกอกมีน้ำมัน 17 เปอร์เซ็นต์ น้ำนมมีไขมัน 3.6 เปอร์เซ็นต์ เนยมีไขมันนม 82 เปอร์เซ็นต์ และพวกถั่วต่างๆ มีไขมันและน้ำมันประมาณ 35-70 เปอร์เซ็นต์ เป็นต้น วิธีการสกัดไขมันและน้ำมันทำได้ดังนี้

2.5.1 วิธีสกัดไขมันโดยตรง (Direct extraction of fat)

เป็นวิธีการวิเคราะห์ที่นำตัวอย่างที่แห้ง นำมาถ่ายใส่ทิมเบิล (Thimble) ทั้งหมดแล้วสกัดด้วยอีเทอร์ ใช้เวลาประมาณ 4- 6 ชั่วโมง สารละลายที่มีไขมันนำไประเหยอีเทอร์ออกบนเครื่องอังไอน้ำจนเกือบแห้ง นำบีกเกอร์ที่มีไขมันไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 100^{o}C เพื่อไล่อีเทอร์และน้ำที่อาจหลงเหลืออยู่ให้หมด นำมาชั่งน้ำหนัก ค่าความแตกต่างระหว่างก่อนและหลังการสกัดคือน้ำหนักไขมัน เครื่องมือที่นิยมใช้ในการสกัดไขมันคือ เครื่องสกัด ซอร์กเลต (Soxhlet extractor) และเครื่องโกลด์ฟิช (Gold fisch) เป็นต้น ตัวอย่างที่ใช้เช่น ปลาป่น กากถั่วเหลือง ข้าวต่างๆ เช่นข้าวโอ๊ต ข้าวสาลี ขนมปัง ถั่วเหลือง อาหารเช้าที่ทำจากธัญพืช เป็นต้น ซึ่งส่วนที่สกัดออกมาได้นั้นประกอบด้วยไขมันหรือไตรกลีเซอไรด์ ฟอสฟอลิปิด เลซิทิน สเตอรอล กรดไขมันอิสระ ไข และสารพวกเม็ดสี ไขมันที่สกัดได้นี้นิยมเรียกว่า ไขมันรวม (Total fat หรือ Crude fat) ข้อเสียของการวิเคราะห์ด้วยวิธีนี้คือ เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์มีราคาค่อนข้างสูง แต่สามารถประหยัดเวลาในการวิเคราะห์ได้เนื่องจากเครื่องจะทำการสกัดให้โดยอัตโนมัติ

2.5.2 วิธี Alkaline treatment (Roese- Gottlieb and Mojonnier)

ผลิตภัณฑ์นมใช้ด่างในการ pre-treat โดยใช้แอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ ไปทำให้อิมัลชั่นของไขมันแตกออกและโปรตีนอ่อนตัวละลายลงมา แล้วทำการสกัดไขมันด้วยตัวทำละลายอินทรีย์ คืออีเทอร์กับปิโตรเลียมอีเทอร์ ตัวอย่างที่ใช้เช่น นมและผลิตภัณฑ์จากนม นมผง นมข้นหวาน นมสด ครีม ไอศกรีม โยเกิร์ต กะทิ เป็นต้น

2.5.3 วิธีไฮโดรไลส์ด้วยกรด (Acid hydrolysis)

ใช้ในการวิเคราะห์ตัวอย่างแป้ง อาหารที่ผ่านการอบ ผลไม้ในอาหารอบ ผลิตภัณฑ์จากไข่ มะกะโรนี น้ำสลัด เนยแข็ง มาการีน เนื้อปลา ปลากระป๋อง เป็นต้น ใช้กรดไฮโดรคลอริกย่อยไขมัน โปรตีนและแป้งให้แตกตัวออกจากกันแล้วทำการสกัดไขมันด้วยอีเทอร์และปิโตรเลียมอีเทอร์ ประกอบกับอาศัยแรงเหวี่ยงจะแยกออกมาได้อย่างสมบูรณ์ ข้อดีคือเป็นวิธีที่ใช้อุปกรณ์เครื่องมือที่หาได้ง่าย ราคาไม่แพง

2.6 ความแม่นยำ (Precision) และความสามารถในการทำซ้ำ (Reproducibility) ในการวิเคราะห์

ความแม่นยำในการวิเคราะห์สามารถตรวจสอบได้โดยการวิเคราะห์ตัวอย่างซ้ำกันหลายๆ ครั้ง การตรวจสอบค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานในการวิเคราะห์สามารถแบ่งได้เป็น 3 ประเภทคือ ค่าความสามารถในการอ่านค่าซ้ำ (Repeatability) ค่าความแม่นยำขั้นกลาง (Intermediate Precision)

และค่าความสามารถในการทำซ้ำ (Reproducibility) ค่าความสามารถในการอ่านค่าซ้ำ (Repeatability) สามารถหาได้จากการวิเคราะห์ตัวอย่างภายในห้องปฏิบัติการ พนักงานวิเคราะห์ เครื่องมือวิเคราะห์ เดียวกันภายในระยะเวลาเดียวกันหรือใกล้เคียงกัน และคำนวณค่า % RSD (Relative Standard Deviation) หลักเกณฑ์การยอมรับความแม่นยำจะขึ้นอยู่กับชนิดของการวิเคราะห์ ในการวิเคราะห์ตัวอย่างอาหาร ค่าความแม่นยำจะขึ้นอยู่กับชนิดของอาหารที่วิเคราะห์ ค่าความเข้มข้นของสิ่งที่ต้องการวิเคราะห์ และเทคนิคในการวิเคราะห์ ซึ่งค่าความแม่นยำนี้จะอยู่ในช่วงระหว่าง 2% หรืออาจจะมีค่ามากกว่า 20 %

ตารางที่ 2.2 ตารางแสดงค่า % RSD ของวิธีการวิเคราะห์ทางเคมีโดยทั่วไปตามโปรแกรม AOAC Peer Verified Method

Analyte, %	Unit	RSD, %
100	100%	1.3
10	10%	2.8
1	1%	2.7
0.1	0.10%	3.7
0.01	100 ppm	5.3
0.001	10 ppm	7.3
0.0001	1 ppm	11
0.00001	100 ppb	15
0.000001	10 ppb	21
0.0000001	1 ppb	30

ที่มา : AOAC Peer Verified Methods 1993.

ค่าความแม่นยำขั้นกลาง (Intermediate Precision) เป็นค่าที่แสดงการเปลี่ยนแปลงของกระบวนการวิเคราะห์ในระยะยาวโดยการเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์จากการวิเคราะห์ภายในห้องปฏิบัติการเดียวกันเป็นระยะ เวลาหลายสัปดาห์ ซึ่งวิธีการหาค่าความแม่นยำขั้นกลางนี้ จะสามารถบอกถึงความขัดแย้งกันของผลการวิเคราะห์ที่เกิดจากผู้วิเคราะห์ เครื่องมือ รวมไปถึงสารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์ที่แตกต่างกันได้ ค่าความสามารถในการทำซ้ำ (Reproducibility) วัตถุประสงค์หลักคือบอกถึงค่าความแม่นยำระหว่างห้องปฏิบัติการ สามารถหาได้โดยการวิเคราะห์ตัวอย่างที่เป็นเนื้อเดียวกัน ชนิดเดียวกัน ในห้องปฏิบัติการ ผู้วิเคราะห์ สภาวะแวดล้อมในการวิเคราะห์ที่แตกต่างกัน แต่ยังคงเป็นการวิเคราะห์ด้วยวิธีเดียวกัน

ในการทำการวิเคราะห์หาปริมาณไขมันในปลายข้าว ซึ่งเป็นวัตถุดิบในกระบวนการผลิตเบียร์ มีความสำคัญเป็นอย่างมากเนื่องจากจากปลายข้าวอาจมีปริมาณไขมันในปริมาณที่มาก หากมีรำข้าวปนมากับปลายข้าวหรือทำการเก็บข้าวไว้เป็นระยะเวลานาน โดยปริมาณไขมันจะไปทำลายความคงตัวของฟองเบียร์ และอาจทำให้เกิด กลิ่นรสที่ผิดปกติในเบียร์ได้ (Off flavor) ดังนั้นในการควบคุมคุณภาพของวัตถุดิบปลายข้าวควรทำการวิเคราะห์ปริมาณไขมันเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดปัญหาในระหว่างกระบวนการผลิต

บทที่ 3
วิธีการดำเนินการวิจัย

3.1 วัตถุดิบและอุปกรณ์

3.1.1 วัตถุดิบ

3.1.1.1 ปลายข้าวที่มีปริมาณไขมันอยู่ระหว่าง 0.3-0.5 %

3.1.1.2 ข้าวเปลือกที่มีปริมาณไขมันอยู่ระหว่าง 1.5-2.3 %

3.1.1.3 ข้าวกล้องที่มีปริมาณไขมันอยู่ระหว่าง 1.6-2.8 %

3.1.1.4 รำข้าวที่มีปริมาณไขมันอยู่ระหว่าง 9.00-19.7 %

3.1.2 เครื่องมือ

3.1.2.1 เครื่อง Soxtec ยี่ห้อ Foss Tecator รุ่น 2050

3.1.2.2 Disc Mill type DLFU ยี่ห้อ Buhler

3.1.2.3 เครื่องชั่งไฟฟ้า 4 ตำแหน่ง ยี่ห้อ Mettler Toledo พิสัย 0.0001-220 g

3.1.2.4 ตู้อบไฟฟ้า ยี่ห้อ Memmert รุ่น UM 400 พิสัย 30-200°C

3.1.2.5 Desiccator ที่มีสารดูดความชื้นเช่น ซิลิกาเจล

3.1.2.6 ตู้ดูดควัน (Hood)

3.1.2.7 Hot Plate

3.1.3 อุปกรณ์

3.1.3.1 ถ้วยสกัด (Extraction cup)

3.1.3.2 ทิมเบิลกระดาษ (Cellulose Thimble)

3.1.3.3 กระดาษกรองที่ปราศจากไขมัน

3.1.3.4 กรวยแยก ขนาด 250 mL พร้อมจุกปิด (Separatory funnel with stopper)

3.1.4 สารเคมี

3.1.4.1 กรดไฮโดรคลอริก (Hydrochloric acid) ความเข้มข้นร้อยละ 36.5-38.0 (w/v) อัตราส่วน 25:11 (กรด: น้ำ)

3.1.4.2 เอทิล แอลกอฮอล์ (Ethyl alcohol)ความเข้มข้นร้อยละ 95 (v/v)

3.1.4.3 ไดเอทิล อีเทอร์ (Diethyl ether)

3.1.4.4 ปิโตรเลียม อีเทอร์ (Petroleum ether)จุดเดือด 30-60°C

3.1.4.5 สารละลายผสมระหว่าง ไดเอทิล อีเทอร์ (Diethyl ether) และ ปิโตรเลียม อีเทอร์ (Petroleum ether) จุดเดือด 30-60°C อัตราส่วน 1:1

3.2 สถานที่ดำเนินการ

ห้องปฏิบัติการควบคุมคุณภาพทางวัตถุดิบ ส่วนประกันคุณภาพ
บริษัทเบียร์ทิพย์ บริวเวอรี่ (1991) จำกัด
68 ม. 2 ตำบลน้ำเต้า
อ. บางบาล จ.พระนครศรีอยุธยา

3.3 วิธีการดำเนินการ

3.3.1 การสุ่มตัวอย่าง

3.3.1.1 นำตัวอย่างข้าวเปลือก ปลายข้าว ข้าวกล้องและรำข้าว แต่ละชนิดจำนวนอย่างน้อย 5 กิโลกรัม

3.3.1.2 นำมาผสมให้เข้ากันด้วยเครื่องแบ่งตัวอย่าง

3.3.1.3 นำมาแบ่งบรรจุใส่ถุงในสภาวะสุญญากาศ เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง

3.3.2 การเตรียมตัวอย่าง

นำตัวอย่างมาบดด้วยเครื่องบดตัวอย่างให้ได้อนุภาคประมาณ 0.2 มิลลิเมตร ก่อนนำไปทำการวิเคราะห์

3.3.3 การวิเคราะห์หาปริมาณไขมัน (น้ำหนักแห้ง (Dry basis))

3.3.3.1 การวิเคราะห์ไขมัน ด้วยวิธีสกัดไขมันโดยตรง (Direct extraction of fat) ด้วยเครื่อง Soxtec

1) นำ Extraction Cup ไปอบที่อุณหภูมิ 105°C เป็นระยะเวลา 3 ชั่วโมง
2) นำ Extraction cup มาทำให้เย็นใน Desiccator
3) ชั่งน้ำหนักที่แน่นอนของ Extraction cup ด้วยเครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง
4) ชั่ง Thimble พร้อมกระดาษ
5) ชั่งน้ำหนักตัวอย่างที่แน่นอนประมาณ 2 กรัม (W_1) ใส่ในกระดาษกรอง พับกระดาษกรองหุ้มตัวอย่างให้มิดชิด
6) ใส่กระดาษกรองลงใน Thimble กระดาษ ปิดด้วยสำลี
7) นำเข้าเครื่อง Soxtec ที่เปิดระบบน้ำเย็นและระบบความร้อนโดยให้ห่วงโลหะสำหรับยึด Thimble ยึดติดกับเครื่องควบแน่น
8) เลื่อนให้ Thimble อยู่ในตำแหน่ง Rinsing
9) เติม Petroleum Ether 75 mL ลงในถ้วยสกัดที่อบและชั่งน้ำหนัก

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

10) Boiling ตัวอย่างด้วย Petroleum Ether เป็นระยะเวลา 30 นาที

11) Rinsing ตัวอย่างด้วย Petroleum Ether เป็นระยะเวลา 1 ชั่วโมง

12) Recovery Petroleum Ether เป็นระยะเวลา 10 นาที

13) Drying ตัวอย่างด้วยลม เป็นระยะเวลา 5 นาที

14) นำ Extraction cup อบที่อุณหภูมิ 105°C เป็นระยะเวลา 1 ชั่วโมง

15) นำ Extraction cup มาทำให้เย็นใน Desiccator เป็นระยะเวลา 30 นาที

16) ชั่งน้ำหนัก Extraction Cup (W_2)

17) คำนวณปริมาณไขมัน

$$\% \text{ Fat (Dry Basis)} = \frac{(W_2 - W_1)}{W_1} \times 100$$

3.3.3.2 การวิเคราะห์ไขมัน โดยวิธีย่อยด้วยกรด (Acid Hydrolysis)

1) ชั่งน้ำหนักที่แน่นอนของตัวอย่าง ประมาณ 2 กรัม (W_1) ใส่ลงในถ้วย

2) เติมเอทิลแอลกอฮอล์ เล็กน้อยลงในถ้วยที่ชั่งตัวอย่าง คนให้ทั่ว

3) เติมกรดไฮโดรคลอริก ความเข้มข้น 25:11 จำนวน 10 mL คนให้ทั่วกัน ปิดถ้วยด้วยกระจกนาฬิกา

4) นำไปตั้งตั้งบนเครื่องอังไอน้ำ ในตู้ดูดควัน คนเป็นระยะ เป็นเวลา 90 นาที ตั้งทิ้งไว้ให้อุ่น

5) ถ่ายตัวอย่างใส่ กรวยแยก ด้วยน้ำอุ่นจำนวนเล็กน้อย

6) เติมเอทิล แอลกอฮอล์ 10 mL โดยล้างสิ่งที่เหลือในถ้วยลงไปด้วย

7) ล้างถ้วยด้วยไดเอทิล อีเทอร์ 25 mL โดยแบ่งออกเป็น 3 ครั้ง ถ่ายรวมลงใน กรวยแยก ทำการเขย่าแรงๆนาน 1 นาที

8) ล้างถ้วยด้วยปิโตรเลียม อีเทอร์ 25 mL โดยแบ่งออกเป็น 3 ครั้ง ถ่ายรวมลงใน กรวยแยก ทำการเขย่าแรงๆนาน 1 นาที

9) ตั้งทิ้งไว้ให้แยกชั้น ประมาณ 30 นาที

10) ถ่ายสารละลายส่วนใส ใส่ลงใน Erlenmeyer Flask นำไปตั้งบนเครื่องอังไอน้ำ เพื่อระเหยสารระลายออกจนแห้ง

11) ทำการสกัดอีก 2 ครั้ง โดยใช้ ไดเอทิล อีเทอร์ และปิโตรเลียม อีเทอร์ อย่างละ 15 mL

12) อบ Erlenmeyer Flask ที่อุณหภูมิ 105 $\pm$ 1°c นาน 2 ชั่วโมง

13) ทำให้เย็นใน Descicator 30 นาที ชั่งน้ำหนัก (W_2)

14) ล้างไขมันออกโดยใช้ สารละลายผสมระหว่าง ไดเอทิล อีเทอร์ กับ ปิโตรเลียมอีเทอร์ อัตราส่วน 1:1 3 ครั้ง ครั้งละ 10 mL แล้วนำขวดแก้วไปอบที่อุณหภูมิ 105 $\pm$ 1°c นาน 1 ชั่วโมง

63383

15) ทำให้เย็นใน Descicator 30 นาที ชั่งน้ำหนัก (W_3)

16) คำนวณปริมาณไขมัน

$$\% \text{ Fat (Dry Basis)} = \frac{(W_2 - W_3)}{W_1} \times 100$$

3.3.3.2 การวิเคราะห์ไขมัน ด้วยวิธีการสกัดไขมันโดยตรง (Direct extraction of fat) โดยการกลั่นด้วยอุปกรณ์ Soxhlet

1) อบขวดสำหรับสกัดหาไขมันที่อุณหภูมิ $105 \pm 1^{\circ}$c อย่างน้อย 1 ชั่วโมง
2) นำ ขวดสำหรับสกัดหาไขมันมาทำให้เย็นใน Desiccator
3) ชั่งน้ำหนักที่แน่นอนของขวดสำหรับสกัดหาไขมัน ด้วยเครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง (W_1)
4) ชั่งน้ำหนักตัวอย่างที่แน่นอนประมาณ 2 กรัม (W_2) ใส่ในกระดาษกรอง พับกระดาษกรองหุ้มตัวอย่างให้มิดชิด
5) ใส่กระดาษกรองลงใน Thimble กระดาษ ปิดด้วยสำลี
6) ต่อขวดสำหรับสกัดหาไขมันเข้ากับ อุปกรณ์การสกัด (Soxhlet extractor) เติม ปิโตเลียมอีเทอร์ ประมาณ 250 mL ลงในขวดสำหรับสกัดหาไขมัน
7) ใส่ Thimble ที่มีตัวอย่าง ลงไปในอุปกรณ์สกัด ต่ออุปกรณ์เข้ากับคอนเดนเซอร์ (Condenser) ทำการสกัดเป็นระยะเวลา 3 ชั่วโมง
8) นำขวดสำหรับสกัดหาไขมันอบที่ อุณหภูมิ $105 \pm 1^{\circ}$ 60 นาที
9) ทำให้เย็นใน Descicator 30 นาที ชั่งน้ำหนัก (W_3)
10) การคำนวณปริมาณไขมัน

$$\% \text{ Fat (Dry Basis)} = \frac{(W_3 - W_1)}{W_2} \times 100$$

3.4 การตรวจสอบความแม่นยำของวิธีการวิเคราะห์

ทำการตรวจสอบความแม่นยำในแต่ละวิธีโดยการนำผลการวิเคราะห์มาคำนวณหาค่า % RSD (Relative Standard Deviation) หรือค่า CV (Coefficiency of Variation) ซึ่งเป็นค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ซ้ำและสามารถบอกถึงความแม่นยำของวิธีการวิเคราะห์ โดยพิจารณาจากค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของผลการวิเคราะห์และค่าเฉลี่ยการวิเคราะห์ตามสูตรดังนี้

$$\% \text{ RSD} = \frac{SD.}{\overline{X}} \times 100$$

เมื่อ SD. หมายถึง ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

$\overline{X}$ หมายถึง ค่าเฉลี่ย

จากนั้นถึงนำค่า % RSD มาเปรียบเทียบกับค่า % RSD ตามเกณฑ์มาตรฐานของ AOAC Peer verified methods ซึ่งเป็นการกำหนดค่าความแม่นยำที่สามารถยอมรับได้ของวิธีการวิเคราะห์ค่าทางเคมีทั่วไปที่ระดับความเข้มข้นของสารตัวอย่างต่างๆ กัน

3.4.1 วิธีสกัดไขมันโดยตรง (Direct extraction of fat) ด้วยเครื่อง Soxtec

วิเคราะห์ตัวอย่างด้วยเครื่อง Soxtec จำนวน 5 ซ้ำ นำผลการวิเคราะห์มาคำนวณหาค่า % RSD

3.4.2 วิธีสกัดไขมันโดยตรง (Direct extraction of fat) ด้วยการกลั่นด้วยอุปกรณ์ Soxhlet

วิเคราะห์ตัวอย่างด้วยเครื่อง Soxhlet จำนวน 5 ซ้ำ นำผลการวิเคราะห์มาคำนวณหาค่า % RSD

3.4.3 วิธีย่อยด้วยกรด (Acid Hydrolysis)

ทำการวิเคราะห์ตัวอย่างด้วยวิธีย่อยด้วยกรด (Acid Hydrolysis) จำนวน 5 ซ้ำ นำผลการวิเคราะห์มาคำนวณหาค่า % RSD

3.5 การวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างวิธีการวิเคราะห์

นำผลการวิเคราะห์ตัวอย่างข้าวเปลือก ปลายข้าว ข้าวกล้อง และรำข้าว มาทำการวิเคราะห์ความแตกต่างโดยใช้ Analysis of variance (ANOVA) เพื่อศึกษาว่าผลการวิเคราะห์จากวิธีการวิเคราะห์ทั้ง 3 วิธี ผลการวิเคราะห์มีความแตกต่างกันหรือไม่ ด้วยโปรแกรม Minitab เวอร์ชั่น 14 จากบริษัท Minitab Inc.

3.6 การวิเคราะห์หาสมการถดถอยเชิงเส้น (Linear Regression Equation) เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างวิธีการวิเคราะห์

นำผลการวิเคราะห์ตัวอย่างข้าวเปลือก ปลายข้าว ข้าวกล้อง และรำข้าว มาวิเคราะห์หาสมการถดถอยเชิงเส้น(Linear Regression Equation) ด้วยโปรแกรม Minitab เวอร์ชั่น 14 จากบริษัท Minitab Inc. ระหว่างวิธีการวิเคราะห์ 2 วิธีคือ

1) วิธีสกัดไขมันโดยตรง (Direct extraction of fat) ด้วยเครื่อง Soxtec และวิธีสกัดไขมันโดยตรง (Direct extraction of fat) ด้วยการกลั่นด้วยอุปกรณ์ Soxhlet

2) วิธีสกัดไขมันโดยตรง (Direct extraction of fat) ด้วยเครื่อง Soxtec และวิธีการย่อยด้วยกรด (Acid Hydrolysis)

นำผลการวิเคราะห์ของทั้ง 3 วิธี มาจัดทำเป็นสมการเชิงเส้น (Model Equation)

3.7 การเปรียบเทียบเทียบระยะเวลาในการวิเคราะห์

คำนวณระยะเวลาที่ใช้ในการวิเคราะห์แต่ละวิธีวิเคราะห์ โดยพิจารณาถึงระยะ เวลาที่ใช้ในการวิเคราะห์จริง และระยะเวลาที่ใช้ในวิเคราะห์ต่อตัวอย่างโดยรวมถึงการรับตัวอย่างและการรายงานผล พร้อมทั้งเปรียบเทียบหาวิธีที่ใช้ระยะเวลาในการวิเคราะห์น้อยที่สุด

3.8 การเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการวิเคราะห์

คำนวณค่าใช้จ่ายในการวิเคราะห์ต่อตัวอย่าง แบ่งเป็นตัวอย่างที่ส่งมาจากโรงเบียร์ จังหวัดกำแพงเพชร และตัวอย่างที่ส่งมาจากโรงเบียร์ อำเภอวังน้อย จังหวัดพระนครศรี อยุธยา โดยครอบคลุมถึงค่าใช้จ่ายด้านสารเคมี เครื่องมือ (รวมค่าเสื่อมราคาของเครื่องมือ 20% ของราคาเครื่องมือต่อปี) การขนส่ง (ระยะทางระหว่างโรงเบียร์จังหวัดกำแพงเพชรอยู่ห่างจากโรงเบียร์ อ. บางบาล จ. พระนครศรีอยุธยาประมาณ 250 กิโลเมตร และโรงเบียร์ อ. วังน้อย อยู่ห่างจากโรงเบียร์ อ.บางบาลประมาณ 45 กิโลเมตร) และค่าแรง (155 บาท/คน/วัน) ทั้ง 3 วิธีวิเคราะห์พร้อมทั้งเปรียบเทียบหาวิธีที่มีค่าใช้จ่ายน้อยที่สุด

บทที่ 4
ผลการทดลองและวิจารณ์

4.1 การเปรียบเทียบความแม่นยำของวิธีการวิเคราะห์หาปริมาณไขมัน

จากการวิเคราะห์หาค่าปริมาณไขมันในตัวอย่างปลายข้าว ข้าวเปลือก ข้าวกล้องและรำข้าว ด้วยวิธีสกัดไขมันโดยตรง (Direct extraction of fat) ด้วยเครื่อง Soxtec วิธีสกัดไขมันโดยตรง (Direct extraction of fat) ด้วยการกลั่นด้วยอุปกรณ์ Soxhlet และวิธีการย่อยด้วยกรด (Acid Hydrolysis) มีผลการวิเคราะห์ดังตารางที่ 4.1-4.3

ตารางที่ 4.1 ตารางแสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณไขมันด้วยวิธีสกัดไขมันโดยตรงด้วยเครื่อง Soxtec

จำนวนซ้ำ	ปริมาณไขมันในตัวอย่าง (%)			
	ปลายข้าว	ข้าวเปลือก	ข้าวกล้อง	รำข้าว
1	0.50	2.08	2.55	9.78
2	0.51	2.08	2.59	9.62
3	0.50	2.10	2.59	9.58
4	0.51	2.06	2.78	9.88
5	0.53	2.06	2.34	9.77
Average	0.51	2.08	2.57	9.73
SD	0.01	0.01	0.14	0.11
RSD	2.23	0.72	5.45	1.14

ตารางที่ 4.2 ตารางแสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณไขมันด้วยวิธีย่อยด้วยกรด

จำนวนซ้ำ	ปริมาณไขมันในตัวอย่าง (%)			
	ปลายข้าว	ข้าวเปลือก	ข้าวกล้อง	รำข้าว
1	2.42	3.93	4.80	12.98
2	2.63	3.43	4.14	12.24
3	2.45	3.58	4.95	12.10
4	2.51	4.56	4.20	12.68
5	2.52	3.90	4.17	12.80
Average	2.51	3.88	4.45	12.56
SD	0.07	0.39	0.35	0.34
RSD	2.88	10.03	7.84	2.67

ตารางที่4.3 ตารางแสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณไขมันด้วยวิธีสกัดไขมันโดยตรงด้วยการกลั่นด้วยอุปกรณ์ Soxhlet

จำนวนซ้ำ	ปริมาณไขมันในตัวอย่าง (%)			
	ปลายข้าว	ข้าวเปลือก	ข้าวกล้อง	รำข้าว
1	0.49	1.94	2.40	9.14
2	0.43	2.01	2.21	9.52
3	0.53	1.89	2.14	9.47
4	0.43	1.83	2.34	9.13
5	0.44	1.90	2.37	9.04
Average	0.46	1.91	2.29	9.26
SD	0.04	0.06	0.10	0.20
RSD	8.58	3.11	4.36	2.11

จากผลการวิเคราะห์พบว่าการทดสอบหาปริมาณไขมันในตัวอย่างปลายข้าว ข้าวเปลือก ข้าวกล้องและรำข้าวด้วย วิธีการย่อยด้วยกรดจะให้ค่าการวิเคราะห์ที่สูงที่สุด และวิธีสกัดไขมันโดยตรงด้วยการกลั่นด้วยอุปกรณ์ Soxhlet จะให้ค่าการวิเคราะห์ที่ต่ำที่สุด เมื่อทำการคำนวณค่า Relative Standard Deviation % RSD ในแต่ละวิธีการทดสอบจะมีผลดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ตารางแสดงผลการเปรียบเทียบค่า % RSD ของการทดสอบค่าปริมาณไขมัน

Method	% RSD			
	ปลายข้าว	ข้าวเปลือก	ข้าวกล้อง	รำข้าว
เกณฑ์ (% RSD)*	3.7	2.7	2.7	2.7
Soxtec	2.23	0.72	5.45	1.14
Acid Hydrolysis	2.88	10.03	7.84	2.67
Soxhlet	8.58	3.11	4.36	2.11

* เกณฑ์ %RSD จาก AOAC Peer Verified Methods 1993.

พบว่าการวิเคราะห์หาค่าปริมาณไขมันในตัวอย่างด้วยวิธีสกัดไขมันโดยตรง ด้วยเครื่อง Soxtec เป็นวิธีที่มีค่า % RSD ต่ำที่สุด และการวิเคราะห์โดยวิธีการย่อยด้วยกรดเป็นวิธีที่มีค่า % RSD สูงสุด โดยเมื่อเปรียบเทียบค่า % RSD กับเกณฑ์มาตรฐานของ AOAC Peer Verified Methods ซึ่งเป็นเกณฑ์ที่ใช้เปรียบเทียบความแม่นยำในการทดสอบทางเคมีโดยทั่วไป ดังตารางที่ 4.5 พบว่า ตัวอย่างปลายข้าวจะมีผลการวิเคราะห์ไขมันอยู่ที่ระดับความเข้มข้น(% Analyte) อยู่ที่ 0.1 % จึงกำหนดให้มีเกณฑ์ %RSD อยู่ที่ค่าไม่เกิน 3.7 % ในขณะที่ข้าวเปลือก ข้าวกล้องและรำข้าว มีผลการวิเคราะห์ไขมันอยู่ที่ระดับความเข้มข้น (% Analyte) ที่ระดับ 1% จึงกำหนดให้มีเกณฑ์ %RSD อยู่ที่ค่าไม่เกิน 2.7% จากผลการวิเคราะห์พบว่าการวิเคราะห์ด้วยวิธีการย่อยด้วยกรดในตัวอย่างข้าวเปลือกจะมีค่า% RSD สูงที่สุดเท่ากับ 10.03 % และเมื่อพิจารณาจากผลการคำนวณค่า %RSD พบว่าตัวอย่างไม่มีผลต่อค่า % RSD เนื่องจากค่า % RSD ที่สูงจะกระจายอยู่ในหลายชนิดตัวอย่าง ดังนั้นค่าความคลาดเคลื่อนในการวิเคราะห์ที่เกิดขึ้นเป็นแบบสุ่ม จึงอาจเกิดเนื่องมาจากวิธีการวิเคราะห์

เมื่อนำค่า %RSD มาพิจารณาเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานที่โรงเบียร์กำหนดขึ้นคือ ปลายข้าวจะต้องมีปริมาณไขมันไม่เกิน 1 % ของน้ำหนักแห้ง เมื่อนำมาเทียบค่าความคลาดเคลื่อนที่ 10 % มาเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานพบว่าผลการวิเคราะห์จะคลาดเคลื่อนอยู่ที่ระดับ 0.1 % ซึ่งโดยทั่วไปปลายข้าวจะมีปริมาณไขมันอยู่ที่ ประมาณ 0.5 % ดังนั้นความคลาดเคลื่อนที่ ระดับ 0.1 % จึงสามารถยอมรับได้ในกรณีตัวอย่างปลายข้าว

4.2 การวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างวิธีการทดสอบ

จากการวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างวิธีการทดสอบด้วยโปรแกรม Minitab ทดสอบโดยใช้ Analysis of variance (ANOVA) 1 tail ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % จากการทดสอบหาค่าปริมาณไขมันในตัวอย่างปลายข้าว ข้าวเปลือก ข้าวกล้องและรำข้าว โดยกำหนดให้วิธีการวิเคราะห์ด้วยวิธีสกัดไขมันโดยตรงด้วยเครื่อง Soxtec วิธีสกัดไขมันโดยตรงด้วยการกลั่นด้วยอุปกรณ์ Soxhlet และวิธีการย่อยด้วยกรดเป็น Treatment ผลการวิเคราะห์พบว่าวิธีการทดสอบทั้ง 3 วิธีมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

4.3 การวิเคราะห์หาสมการถดถอยเชิงเส้น (Linear Regression Equation) เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างวิธีการวิเคราะห์

4.3.1 ผลการวิเคราะห์หาสมการถดถอยเชิงเส้น (Linear Regression Equation) ระหว่างวิธีสกัดไขมันโดยตรงด้วยเครื่อง Soxtec และวิธีสกัดไขมันโดยตรงด้วยการกลั่นด้วยอุปกรณ์ Soxhlet

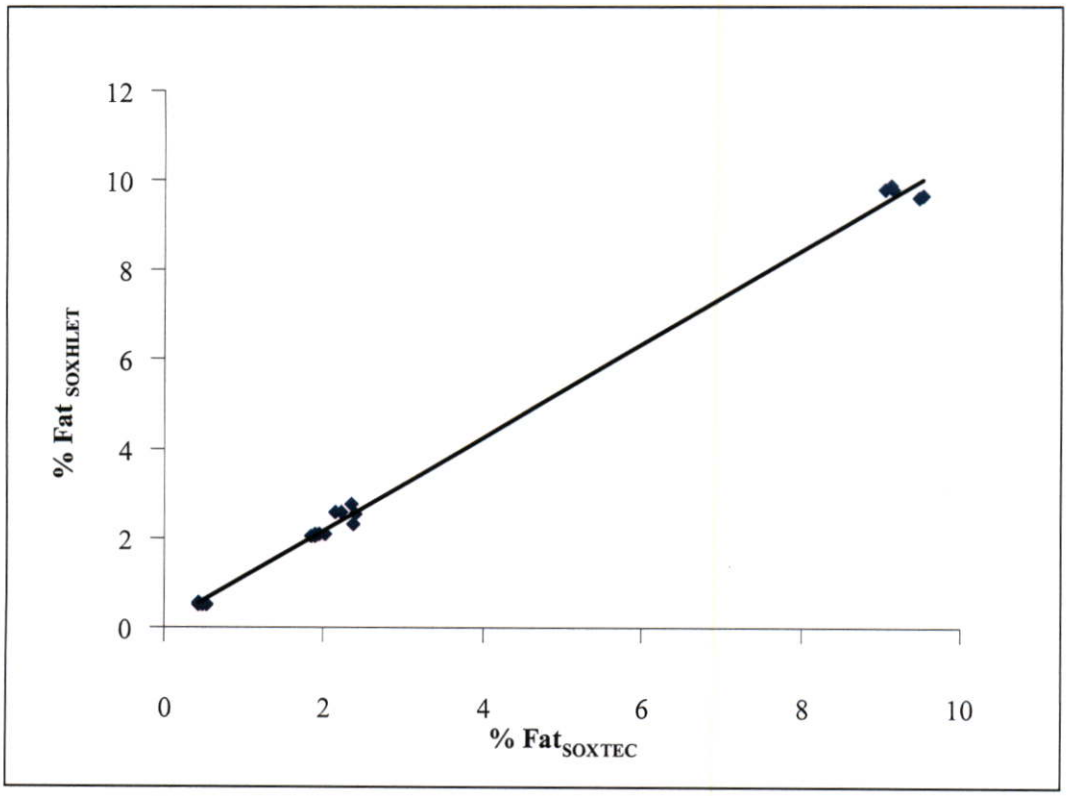
จากผลการวิเคราะห์หาปริมาณไขมันในตัวอย่างปลายข้าว ข้าวเปลือก ข้าวกล้องและรำข้าว ด้วยวิธีสกัดไขมันโดยตรงด้วยเครื่อง Soxtec และการกลั่นด้วยอุปกรณ์ Soxhlet จำนวน 5 ซ้ำ เมื่อนำมาวิเคราะห์หาสมการถดถอยเชิงเส้นพบว่า มีความสัมพันธ์กันดังภาพที่ 4.1 ซึ่งสามารถจัดทำเป็นสมการเชิงเส้นได้คือ

$$\%\ Fat_{SOXTEC} = 0.0960 + 1.04\ \%\ Fat_{SOXHLET}$$

จากสมการถดถอยเชิงเส้นพบว่ามีค่า R^2 เท่ากับ 99.7 % เมื่อทดลองแทนค่าจากวิเคราะห์ตัวอย่างปลายข้าวเจ้าที่ใช้ในกระบวนการผลิตเบียร์ภายในห้อง ปฏิบัติการวิเคราะห์วัตถุดิบด้วยวิธีสกัดไขมันโดยการกลั่นด้วยอุปกรณ์ Soxhlet พบว่าผลการวิเคราะห์ค่าปริมาณไขมันเท่ากับ 0.44 เมื่อแทนค่าตามสมการถดถอยเชิงเส้นจะได้ดังนี้

$$\%\ Fat_{SOXTEC} = 0.0960 + (1.04 \times 0.44)$$
$$= 0.55$$

เมื่อนำตัวอย่างปลายข้าวเดียวกันไปทำการวิเคราะห์หาปริมาณไขมันด้วยวิธีสกัดไขมันโดยตรงด้วยเครื่อง Soxtec เพื่อเป็นการทวนสอบผลการวิเคราะห์พบว่ามีผลการวิเคราะห์ปริมาณไขมันเท่ากับ 0.51 %



ภาพที่ 4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง วิธีสกัดไขมันโดยตรง (Direct extraction of fat) ด้วยเครื่อง Soxtec และวิธีสกัดไขมันโดยตรง (Direct extraction of fat) ด้วยการกลั่นด้วยอุปกรณ์ Soxhlet

4.3.2 ผลการวิเคราะห์หาสมการถดถอยเชิงเส้น (Linear Regression Equation) ระหว่างวิธีสกัดไขมันโดยตรงด้วยเครื่อง Soxtec และวิธีการย่อยด้วยกรด

จากผลการวิเคราะห์หาปริมาณไขมันในตัวอย่างปลายข้าว ข้าวเปลือก ข้าวกล้องและรำข้าว ด้วยวิธีสกัดไขมันโดยตรงด้วยเครื่อง Soxtec และวิธีการย่อยด้วยกรด (Acid Hydrolysis) จำนวน 5 ซ้ำ เมื่อนำมาวิเคราะห์หาสมการถดถอยเชิงเส้นพบว่า มีความสัมพันธ์กันดังภาพที่ 4.2 ซึ่งสามารถจัดทำเป็นสมการเชิงเส้นได้คือ

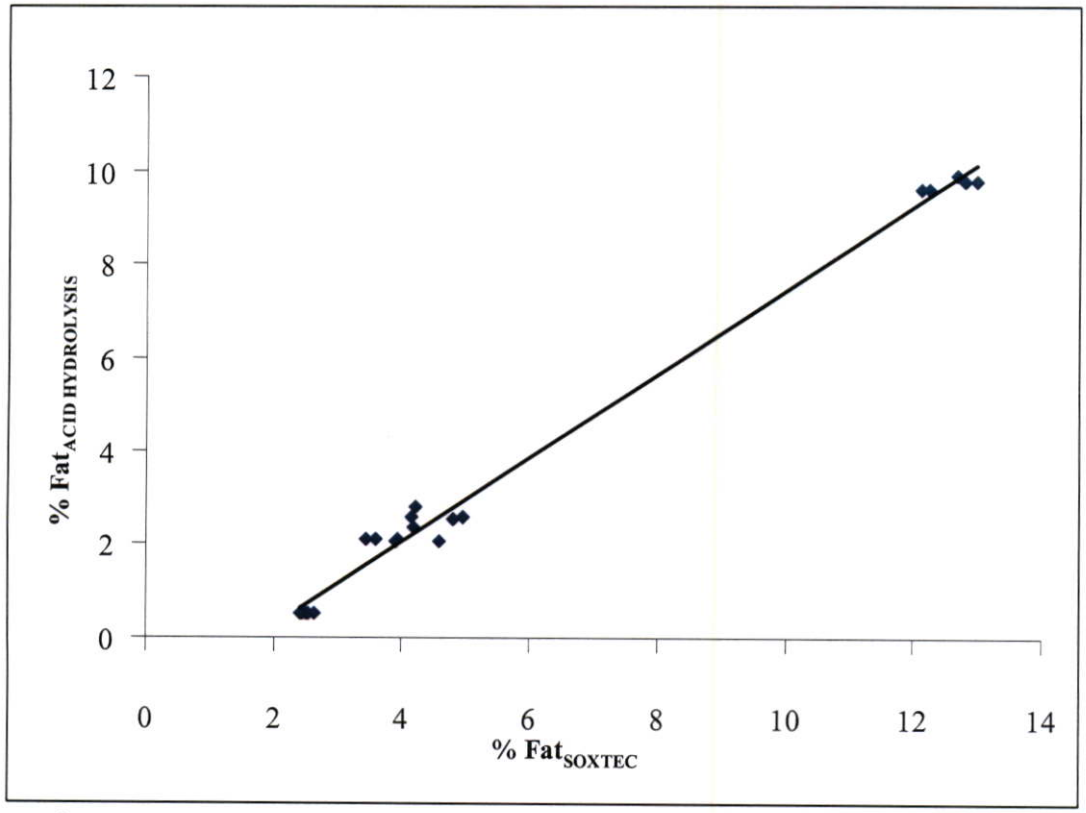
$$\% \text{ Fat}_{\text{SOXTEC}} = -1.52 + 0.896 \% \text{ Fat}_{\text{Acid Hydrolysis}}$$

จากสมการถดถอยเชิงเส้นพบว่ามีค่า R^2 เท่ากับ 99.2 % เมื่อทดลองแทนค่าจากวิเคราะห์ตัวอย่างปลายข้าวเจ้าที่ใช้ในกระบวนการผลิตเบียร์ภายในห้องปฏิบัติการวิเคราะห์วัตถุดิบด้วยวิธีสกัดไขมันโดยการย่อยด้วยกรดพบว่าผลการวิเคราะห์ค่าปริมาณไขมันเท่ากับ 2.30 % เมื่อแทนค่าตามสมการถดถอยเชิงเส้นจะได้ดังนี้

$$\% \text{ Fat}_{\text{SOXTEC}} = -1.52 + (0.896 \times 2.30)$$

$$= 0.54$$

เมื่อนำตัวอย่างปลายข้าวเดียวกันไปทำการวิเคราะห์หาปริมาณไขมันด้วยวิธีสกัดไขมันโดยตรงด้วยเครื่อง Soxtec เพื่อเป็นการทวนสอบผลการวิเคราะห์พบว่ามีผลการวิเคราะห์ปริมาณไขมันเท่ากับ 0.51 %



ภาพที่ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง วิธีสกัดไขมันโดยตรง (Direct extraction of fat) ด้วยเครื่อง Soxtec และวิธีการย่อยด้วยกรด (Acid Hydrolysis)

4.4 การเปรียบเทียบระยะเวลาที่ใช้ในการวิเคราะห์และค่าใช้จ่ายในการวิเคราะห์

4.4.1 ระยะเวลาการวิเคราะห์

จากตารางแสดงการเปรียบเทียบระยะเวลาที่ใช้ในการทดสอบและการรายงานผลในการหาปริมาณไขมัน (ตารางที่ 4.5) พบว่าการหาปริมาณไขมันด้วยวิธีการสกัดไขมันโดยตรงด้วยเครื่อง Soxtec ใช้ระยะเวลาในการวิเคราะห์ทั้งหมดประมาณ 4 ชั่วโมง วิธีการย่อยด้วยกรดใช้ระยะเวลาในการวิเคราะห์ทั้งหมดประมาณ 8 ชั่วโมงและวิธีการสกัดไขมันโดยตรงด้วยด้วยการกลั่นด้วยอุปกรณ์ Soxhlet ใช้ระยะเวลาในการวิเคราะห์ทั้งหมดประมาณ 5 ชั่วโมง ดังนั้นวิธีการหาปริมาณไขมันด้วยเครื่อง Soxtec ใช้ระยะเวลาในการวิเคราะห์น้อยที่สุด ในขณะที่วิธีการย่อยด้วยกรด จะใช้ระยะเวลานานที่สุด

ตารางที่ 4.5 ตารางแสดงการเปรียบเทียบระยะเวลาที่ใช้ในการทดสอบและการรายงานผลในการหาปริมาณไขมัน

ระยะเวลา (ชั่วโมง)	วิธีการทดสอบ		
	SOXTEC	ACID HYDROLYSIS	SOXHLET
ระยะเวลาที่ใช้ในการวิเคราะห์	4	8	5
ระยะเวลาการรายงานผลหลังจากส่งตัวอย่าง	≥ 24	8	5

แต่เมื่อทำการเปรียบเทียบระยะเวลาการรายงานผลการทดสอบหลังจากการส่งตัวอย่างพบว่าการหาปริมาณไขมันด้วยวิธีการวิธีสกัดไขมันโดยตรงด้วยเครื่อง Soxtec จะมีระยะเวลามากที่สุด เนื่องจากระยะทางระหว่างโรงเบียร์ โดยโรงเบียร์จังหวัดกำแพงเพชรอยู่ห่างจากโรงเบียร์ อ.บางบาล จ. พระนครศรีอยุธยา ประมาณ 250 กิโลเมตร และโรงเบียร์ อ. วังน้อยอยู่ห่างจากโรงเบียร์ อ.บางบาลประมาณ 45 กิโลเมตร และเนื่องจากขั้นตอนในการส่งตัวอย่างจะทำการรวมตัวอย่างส่งมาวิเคราะห์ซึ่งโรงเบียร์จังหวัด กำแพงเพชรจะมีการส่งตัวอย่างวิเคราะห์อาทิตย์ละ 2-3 ครั้ง และโรงเบียร์ อ.วังน้อย สามารถส่งตัวอย่างวิเคราะห์ได้อาทิตย์ละ 3-4 ครั้ง โดยปกติแล้วตัวอย่างที่ส่งมาวิเคราะห์ ณ ห้องปฏิบัติการกลางจะใช้ระยะเวลาในการขนส่งไม่น้อยกว่า 24 ชั่วโมง จึงเริ่มทำการวิเคราะห์ได้ เนื่องจากรถที่ใช้ขนส่งตัวอย่างมาถึงโรงเบียร์ อ.บางบาลนอกเวลาปฏิบัติงาน จึงสามารถเริ่มวิเคราะห์ได้ในวันถัดไป และขึ้นอยู่กับลำดับความสำคัญของตัวอย่างวิเคราะห์ เนื่องจากห้องปฏิบัติการกลางจะต้องทำการวิเคราะห์วัตถุดิบอื่นๆ ที่ใช้ในกระบวนการผลิตเบียร์ด้วย

4.4.2 ค่าใช้จ่ายในการวิเคราะห์

จากแผนการสุ่มตัวอย่างในการรับวัตถุดิบกำหนดให้มีการสุ่มตัวอย่างปลายข้าวทำการวิเคราะห์หาปริมาณไขมันสัปดาห์ละ 1 ตัวอย่างต่อโรงเบียร์ ในระยะเวลา 1 ปี จึงต้องทำการวิเคราะห์ตัวอย่างทั้งหมด 156 ตัวอย่าง เมื่อทำการคำนวณหาค่าใช้จ่ายต่อ 1 ตัวอย่างดังตารางที่ 4.6 โดยพิจารณาจากสารเคมี เครื่องมือ ค่าใช้จ่ายในการขนส่งและค่าแรง พบว่า วิธีการทดสอบด้วยการย่อยด้วยกรดมีค่าใช้จ่ายในการวิเคราะห์ต่อตัวอย่างน้อยที่สุด เท่ากับ 186.70 บาทต่อตัวอย่าง และวิธีการสกัดไขมันโดยตรงด้วย Soxtec ในตัวอย่างที่ส่งมาจากโรงงานกำแพงเพชรจะมีค่าใช้จ่ายในการวิเคราะห์มากที่สุด คือ 1874.50 บาทต่อตัวอย่าง

ตารางที่ 4.6 ตารางแสดงการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการทดสอบหาปริมาณไขมัน

ค่าใช้จ่ายในการทดสอบต่อตัวอย่าง (บาท)	วิธีการทดสอบ			
	SOXTEC		ACID HYDROLYSIS	SOXHLET
	กำแพงเพชร	วังน้อย		
สารเคมี				
- Petroleum Ether	15.00	16.00	11.00	50.00
- Diethyl Ether	-	-	16.50	-
- Sulfuric Acid	-	-	1.40	-
-Ethyl Alcohol	-	-	2.80	-
เครื่องมือ	1,282.00	1,282.00	-	129.82
ค่าใช่จ่ายในการขนส่ง	500.00	100.00	-	-
ค่าแรง	77.50	77.50	155.00	97.00
Total	1,874.50	1,475.50	186.70	276.82

ในการคำนวณค่าใช้จ่ายในการวิเคราะห์ ปัจจัยที่นำมาพิจารณามีค่าใช้ จ่ายดังตารางที่ 4.7 เนื่องจากเครื่อง Soxtec มีมูลค่า 1,000,000.00 บาท ทางโรงเบียร์คำนวณอายุการใช้งานเครื่องมือมีระยะเวลา 5 ปี และตัดค่าเสื่อมราคา 20 % ของราคาในทุกๆ ปี และอุปกรณ์ Soxhlet glassware system คำนวณอายุการใช้งานที่ 2 ชุดต่อ 1 ปี เนื่องจากเป็นอุปกรณ์เครื่องแก้วที่สามารถแตกชำรุดได้ง่าย

เมื่อทำการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการวิเคราะห์ต่อปีระหว่าง 3 วิธีและการส่งตัวอย่างวิเคราะห์ ณ กรมวิทยาศาสตร์บริการ ซึ่งมีการใช้จ่ายในการวิเคราะห์ 500 บาทต่อตัวอย่าง พบว่า วิธีการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Soxtec มีค่าใช้จ่ายในการวิเคราะห์ต่อปีสูงที่สุดและวิธีการวิเคราะห์ด้วยการย่อยด้วยกรดจะมีค่าใช้จ่ายในการวิเคราะห์ต่อปีน้อยที่สุด ดังตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.7 ตารางแสดงราคาปัจจัยต่างๆที่ใช้ในการคำนวณค่าใช้จ่ายในการวิเคราะห์

ปัจจัย	หน่วย	ราคา (บาท)
สารเคมี		
- Petroleum Ether	4000 mL	790.00
- Diethyl Ether	2500 mL	760.00
- Sulfuric Acid	2500 mL	500.00
-Ethyl Alcohol	2500 mL	700.00
เครื่องมือ		
- Soxtec รุ่น 2050 ยี่ห้อ Foss Tecator	1 เครื่อง	1,000,000.00
- Soxhlet Glassware System	2 ชุด	20,252.00
ระยะทาง (ค่าน้ำมัน)		
- โรงเบียร์ จ.กำแพงเพชร	250 km	500.00
- โรงเบียร์ อ.วังน้อย	45 km	100.00
ค่าแรง	8 ชั่วโมง/1 วัน	155.00

ตารางที่ 4.8 ตารางแสดงค่าใช้จ่ายในการวิเคราะห์หาปริมาณไขมันต่อปี

	ค่าใช้จ่ายในการวิเคราะห์			
	กรมวิทยาศาสตร์บริการ	Soxtec	Acid Hydrolysis	Soxhlet
จำนวนตัวอย่าง/ปี	156	156	156	156
ค่าใช้จ่ายในการวิเคราะห์/ตัวอย่าง (บาท)	500.00	1,477.00	186.70	276.82
ค่าใช้จ่ายในการวิเคราะห์/ปี	78,000.00	230,412.00	29,125.20	43,183.92

บทที่ 5
สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการเปรียบเทียบวิธีวิเคราะห์ปริมาณไขมันในปลายข้าวเจ้าที่ใช้ในการผลิตเบียร์ด้วยวิธีสกัดไขมันโดยตรง (Direct extraction of fat) ด้วยเครื่อง Soxtec วิธีสกัดไขมันโดยตรงด้วยการกลั่นด้วยอุปกรณ์ Soxhlet และวิธีการย่อยด้วยกรดพบว่า วิธีการสกัดไขมันโดยตรงด้วยเครื่อง Soxtec จากการพิจารณาด้วยค่า %RSD พบว่าวิธีการสกัดไขมันโดยตรงด้วยเครื่อง Soxtec เป็นวิธีที่มีความแม่นยำในการวิเคราะห์มากที่สุด เนื่องจากมีค่า % RSD ที่น้อยที่สุด ซึ่งอาจเกิดจากเป็นวิธีที่ใช้เครื่องมือหาแบบอัตโนมัติ และสามารถทำการทดสอบได้ 6 ตัวอย่างในขณะเดียวกัน จึงทำให้มีโอกาสเกิดข้อผิดพลาดที่เกิดจากผู้ทำการทดสอบและสภาวะการทดสอบได้น้อย โดยข้อผิดพลาดหลักอาจเกิดมาจากการทำงานของเครื่อง หรือเทคนิคของผู้วิเคราะห์ในการเตรียมตัวอย่าง ในขณะที่ วิธีการย่อยด้วยกรด และวิธีสกัดไขมันโดยตรงด้วยการกลั่นด้วยอุปกรณ์ Soxhlet มีค่า % RSD ที่สูงกว่า เนื่องจากเป็นวิธีที่มีขั้นตอนในการวิเคราะห์หลายขั้นตอน ทำให้การฝึกอบรมความชำนาญและเทคนิคการวิเคราะห์มีความจำเป็นอย่างมากต่อการทำการวิเคราะห์ด้วยวิธีดังกล่าว

เมื่อเปรียบเทียบระยะเวลาที่ใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณไขมันพบว่าวิธีสกัดไขมันโดยตรงด้วยเครื่อง Soxtec ใช้ระยะเวลาน้อยที่สุดคือ 4 ชั่วโมง เนื่องจากเป็นการกลั่นด้วยเครื่องมืออัตโนมัติและมีขั้นตอนในการวิเคราะห์น้อย วิธีสกัดไขมันโดยตรงด้วยการกลั่นด้วยอุปกรณ์ Soxhlet ใช้ระยะเวลาในการวิเคราะห์ 5 ชั่วโมง ซึ่งในขณะการกลั่นเป็นเวลา 3 ชั่วโมง จะต้องมีการเฝ้าระวังอัตราการกลั่นอยู่เสมอ จึงไม่สะดวกในการวิเคราะห์ โดยในการทำงานภายในห้องปฏิบัติการของโรงเบียร์ มีจำนวนตัวอย่างที่ต้องทำการวิเคราะห์จำนวนมาก หากต้องใช้ระยะเวลาในการวิเคราะห์เป็นระยะเวลานาน ทำให้ประสิทธิภาพในการทำงานของพนักงานลดลงโดยไม่จำเป็น ในขณะที่วิธีการย่อยด้วยกรดใช้ระยะเวลาในการวิเคราะห์มากที่สุดคือ 8 ชั่วโมงเนื่องจากมีการใช้กรดและความร้อน ก่อนนำมาสกัดด้วยตัวทำละลายอีกครั้ง จึงทำให้ใช้เวลาในการทดสอบมากกว่าวิธีการอื่นๆ แต่เนื่องจากวิธีวิธีสกัดไขมันด้วยเครื่อง Soxtec จำเป็นต้องใช้เครื่องมือโดยเฉพาะ ซึ่งปัจจุบันมีเครื่อง Soxtec อยู่ที่โรงเบียร์ อ.บางบาล จ.พระนครศรีอยุธยา ซึ่งเป็นห้องปฏิบัติการกลาง ดังนั้นในการส่งตัวอย่างระหว่างโรงเบียร์ จึงมีระยะเวลาที่ใช้ในการขนส่งตัวอย่าง โดยปกติจะมีการกำหนดวันที่ส่งตัวอย่าง โรงเบียร์อ.วังน้อย จ.พระนครศรีอยุธยาจะมีการส่งตัวอย่างทุกวัน มีระยะเวลาในการเดินทางประมาณ 45 นาที ในขณะที่โรงเบียร์ จ.กำแพงเพชร จะทำการส่งตัวอย่างอาทิตย์ละ 2-3 ครั้ง ขึ้นอยู่กับความเร่งด่วนในการวิเคราะห์ ใช้ระยะเวลาในการเดินทางประมาณ 3 ชั่วโมง ซึ่งในการส่งตัวอย่างไม่มีการกำหนดเวลาที่แน่นอน โดยปกติเมื่อรถส่ง

ตัวอย่างออกจากโรงเบียร์ต่างๆแล้ว ห้องปฏิบัติการจะได้รับตัวอย่างในวันถัดไป จึงทำให้มีระยะเวลาที่ใช้ในการรายงานผลการทดสอบนานมากยิ่งขึ้น

จากการเปรียบเทียบวิธีการวิเคราะห์ปริมาณไขมันในปลายข้าวเจ้าที่ใช้ในการผลิตเบียร์ด้วยวิธีสกัดไขมันโดยตรงด้วยเครื่อง Soxtec วิธีสกัดไขมันโดยตรงด้วยการกลั่นด้วยอุปกรณ์ Soxhlet และวิธีการย่อยด้วยกรด เมื่อเปรียบเทียบค่าความแม่นยำ ค่าใช้จ่ายและระยะเวลาที่ใช้ในการวิเคราะห์แล้วพบว่า วิธีการย่อยด้วยกรด เป็นวิธีที่เหมาะสม สามารถใช้ทดแทนวิธีสกัดไขมันโดยตรงด้วยเครื่อง Soxtec ได้โดยสามารถเปรียบเทียบในรูปของสมการถดถอยเชิงเส้นดังนี้

$$\%\ Fat_{SOXTEC} = -1.52 + 0.896\ \%\ Fat_{ACID\ HYDROLYSIS}$$

เนื่องจากเป็นวิธีที่มีความแม่นยำอยู่ในระดับที่ยอมรับได้โดยมีค่า %RSD เท่ากับ 2.88 และมีค่าใช้จ่ายในการวิเคราะห์ต่ำที่สุดคือ 186.70 บาทต่อตัวอย่าง ซึ่งเป็นค่าใช้จ่ายน้อยที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการวิเคราะห์ที่สกัดไขมันโดยตรงทั้ง 2 วิธี

5.2 ข้อเสนอแนะ

จากการทำการเปรียบเทียบวิธีการวิเคราะห์หาปริมาณไขมันในปลายข้าวทั้ง 3 วิธี การจัดทำสมการถดถอยเชิงเส้นพบว่าเนื่องจากข้อจำกัดเรื่องตัวอย่างที่มีระดับความเข้มข้นแตกต่างกันคือมีช่วงการกระจายระดับความเข้มข้นไม่สม่ำเสมอ โดยเฉพาอย่างยิ่งตัวอย่างรำข้าวซึ่งมีปริมาณไขมันที่ค่อนข้างสูง หากพบว่าวิธีการวิเคราะห์หาปริมาณไขมันในตัวอย่างรำข้าวมีความแม่นยำน้อย ก็จะมีผลกระทบต่อสมการถดถอยเชิงเส้นมาก โดยจะทำให้เมื่อแปรผลเป็นการวิเคราะห์หาปริมาณไขมันด้วยเครื่อง Soxtec อาจมีความแม่นยำน้อย ดังนั้นในการนำสมการถดถอยเชิงเส้นไปใช้ในการปฏิบัติงานจริงจึงมีการเก็บข้อมูลผลการวิเคราะห์เพิ่มเติมอย่างต่อเนื่องเพื่อให้สมการถดถอยเชิงเส้นที่มีความแม่นยำมากยิ่งขึ้น

บรรณานุกรม

เอกสารประกอบการฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการ หลักสูตรเทคนิคการวิเคราะห์ไขมันในผลิตภัณฑ์อาหารและอาหารสัตว์. 2547. กรุงเทพฯ กรมวิทยาศาสตร์บริการ. 600 หน้า

อาภัสสรา ชมิดท์. 2537. **ชีวเคมี**. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ.

อรอนงค์ นัยวิกุล. 2547. **ข้าว: วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี**. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ. 366 หน้า

นิธิยา รัตนาปนนท์. 2548. **วิทยาศาสตร์การอาหารของไขมันและน้ำมัน**. โอเดียนสโตร์. กรุงเทพฯ.

Lumley I.D. and Colwell R.K. 1991. **Extraction of fats from fatty foods and determination of fat content in: Analysis of oilseeds, Fats and Fatty Foods**, J.B. Rossell and J.L.R. Pritchard, (editors.) Elsevier Applied Science. Essex. England. pp: 227-255.

Hough J.S., Briggs D.E., Stevens R. and Young T.W. 1982. **Malting and brewing science volumn 2 : Malt and sweet wort**. 2 ed. Chapman&Hall.

AOAC. 1999. **Official method of analysis. 16 th edition,** Fat in flour, acid hydrolysis method.. Chapter 32.

ASBC. 1976. **American society of brewing chemist. 8th revise edition**. Method of analysis, Cereal adjunct- 4. 1976.

EBC. 2000. **European brewing convention**. Fatty Substance in Cereal Adjuncts, Section 6, method 6.10.

Wild P.J., Husband F.A., Cooper D., Ridout M.J., Muller R.E. and Mills E.N. 2003. **Destabilization of beer foam by lipids : Structural and interfacial effects**. J. Am. Soc. Brew. Chem. 61: 196-202.

Dickie K.H., Cann C., Norman E.C., Bamforth C.W. and Muller R.E. 2001. **Foam-negative materials.**. J. Am. Soc. Brew. Chem. 59: 17-23.

Charlie B. 2000. **Beer quality series: foam**. Brewers' Guardain. 129: 40-43.

Drost B.W., van den Berg R., Freijee F. J. M., van der Veide E. G., and Hollemans M.1989. **Flavor Stability**. ASBC Journal. Vol. 48 No.4:124-131.

An overview of the brewing and packaging process. 1993. London. Institute of brewing foundation certificate.

Method validation. http://www.labcopliance.com

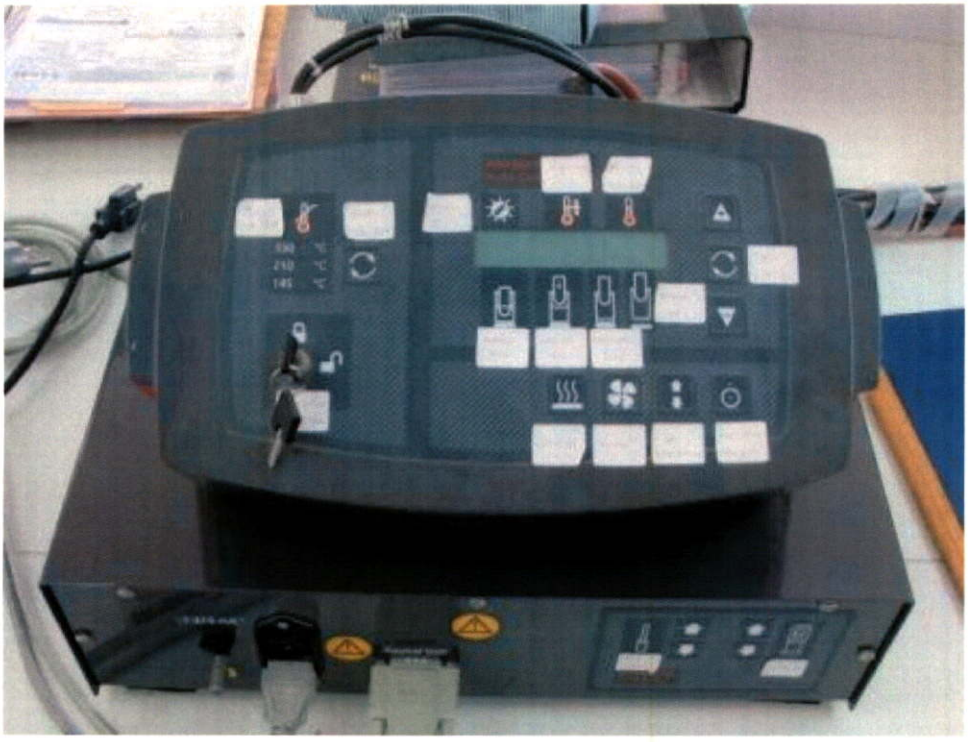
ภาคผนวก

1. อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์

ภาพที่ 1 เครื่อง Disc Mill

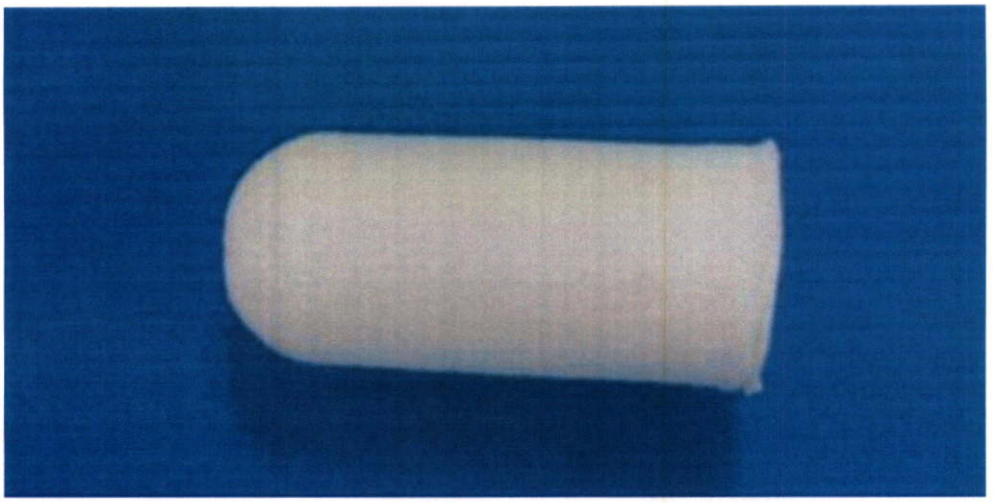
ภาพที่ 2 Desiccator

ภาพที่3 เครื่อง Soxtec



ภาพที่4 ชุดควบคุมเครื่อง Soxtec

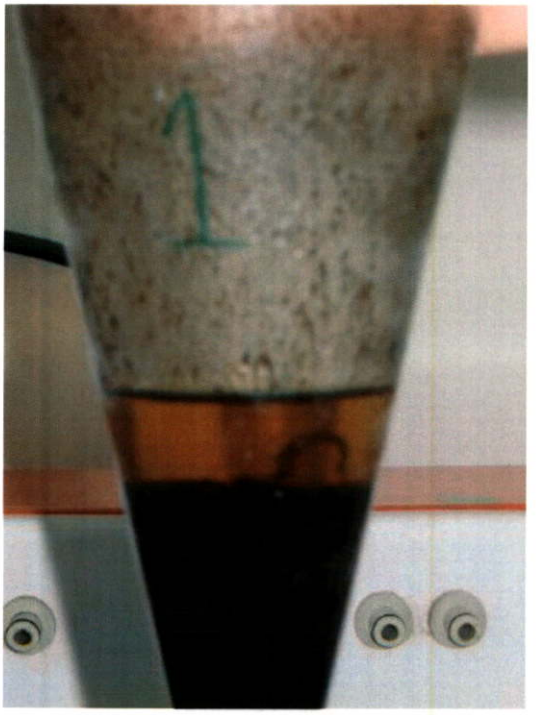
ภาพที่ 4 Extraction Cup



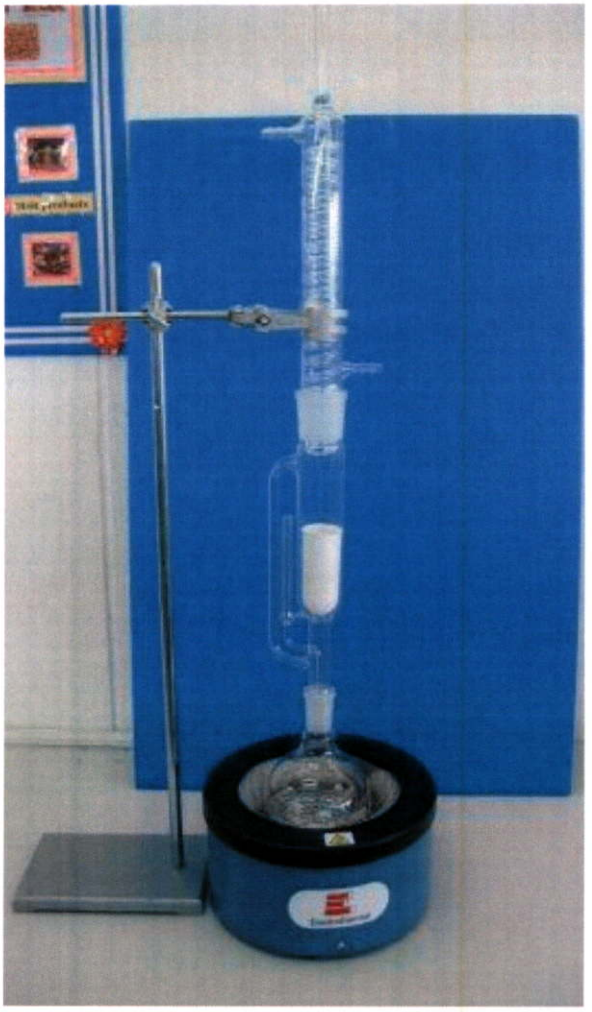
ภาพที่ 5 Thimble

ภาพที่ 6 ตู้อบ (Oven)

ภาพที่ 7 การย่อยด้วยกรด (Acid Hydrolysis)



ภาพที่ 8 การแยกชั้นของตัวอย่าง



ภาพที่ 9 Soxhlet Extraction Apparatus

ตารางที่1 แสดงผลการเปรียบเทียบการวิเคราะห์ตัวอย่างรำข้าวจากโรงสีระหว่างห้องปฏิบัติการบริษัทเบียร์ทิพย์ บริวเวอรี่ (1991) จำกัด กับกรมวิทยาศาสตร์บริการ

จำนวนซ้ำ	ปริมาณไขมันในตัวอย่าง (%)		
	กรมวิทยาศาสตร์บริการ	ห้องปฏิบัติการเบียร์ทิพย์	
	วิธี Acid Hydrolysis	วิธี Acid Hydrolysis	เครื่อง Soxtec
1	1.59	2.90	1.60
2	1.01	2.67	1.56
3	1.62	2.54	1.62
4	1.25	3.01	1.71
5	1.22	2.34	1.70
Average	1.34	2.69	1.64
SD.	0.23	0.24	0.06
RSD.	17.44	8.98	3.55

ตารางที่ 2 แสดงผลการวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างวิธีการทดสอบด้วย ANOVA 1 tail ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ในตัวอย่างปลายข้าว ข้าวเปลือก ข้าวกล้องและรำข้าว โดยกำหนดให้ Treatment คือวิธีการวิเคราะห์

ตารางที่ 2.1 ปลายข้าว

Source	DF	SS	MS	F	P
treatment	2	13.59	6.80	2354.47	0.00
Error	12	0.03	0.00		
Total	14	13.63			

ตารางที่ 2.2 ข้าวเปลือก

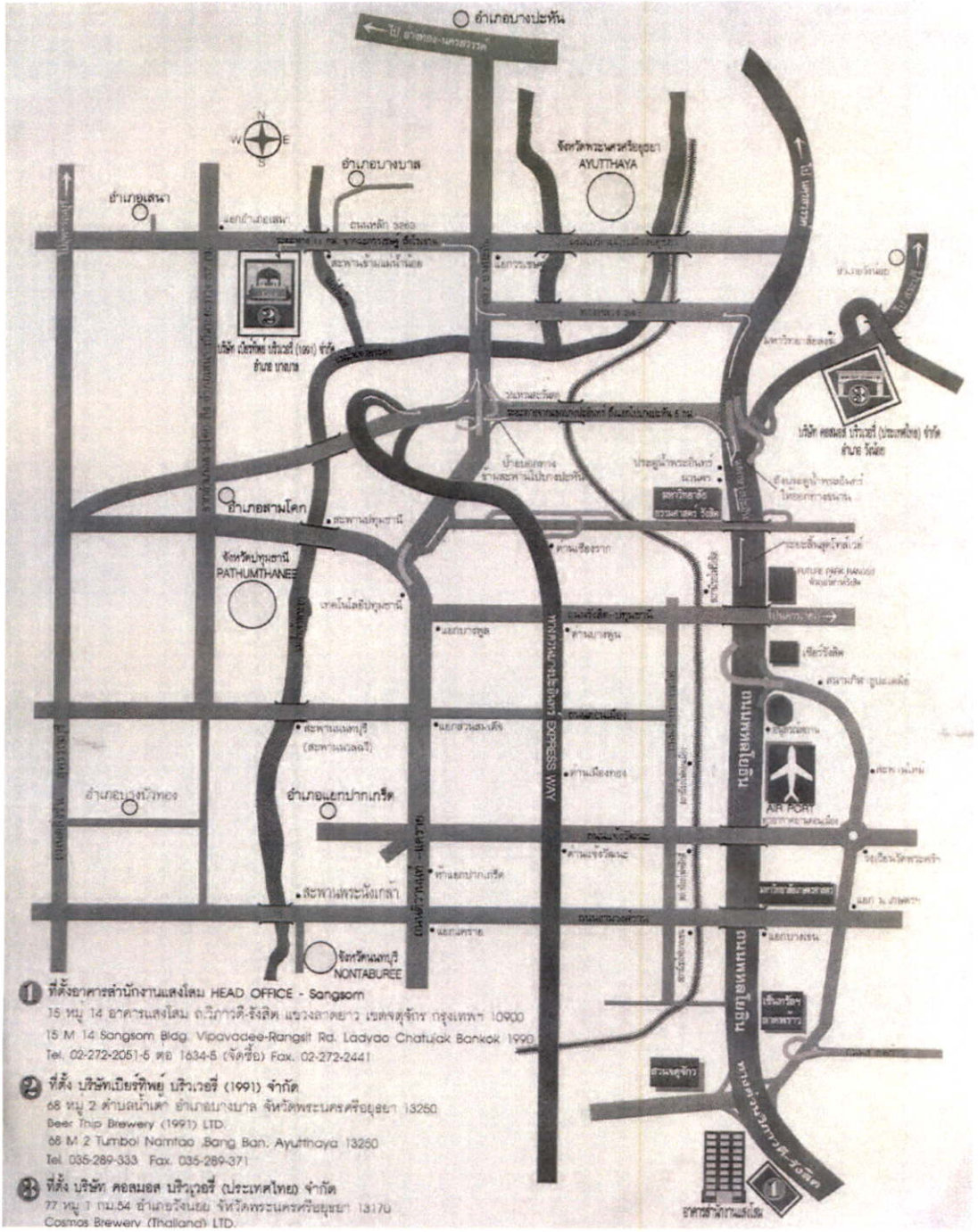
Source	DF	SS	MS	F	P
treatment	2	11.91	5.95	92.01	0.00
Error	12	0.78	0.06		
Total	14	12.69			

ตารางที่ 2.3 ข้าวกล้อง

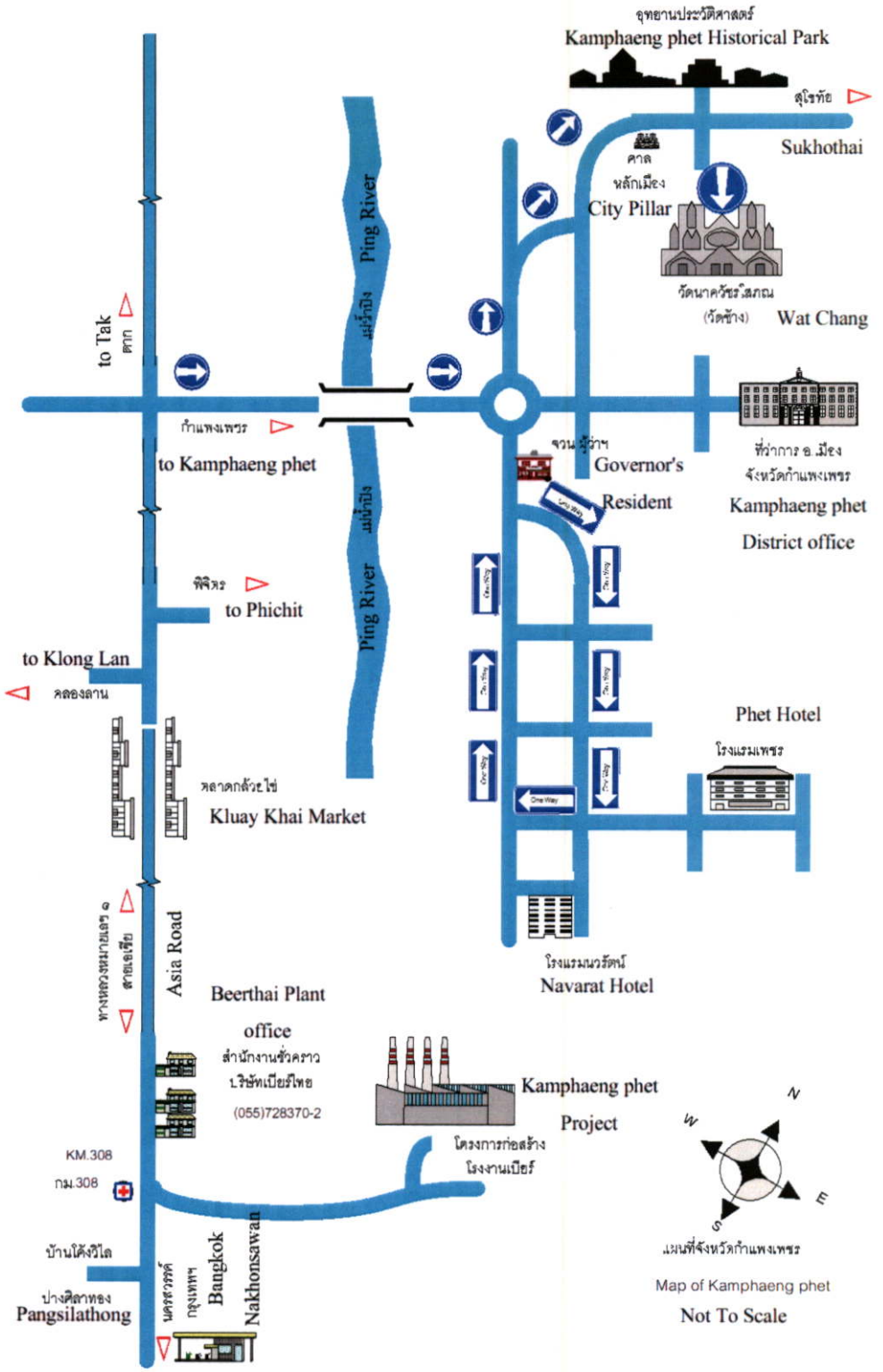
Source	DF	SS	MS	F	P
treatment	2	13.81	6.90	109.36	0.00
Error	12	0.76	0.06		
Total	14	14.57			

ตารางที่ 2.4 รำข้าว

Source	DF	SS	MS	F	P
treatment	2	31.90	15.95	234.85	0.00
Error	12	0.81	0.07		
Total	14	32.71			



ภาพที่ 10 แผนที่แสดงตำแหน่งบริษัทเบียร์ทิพย์ บริวเวอรี่ (1991) จำกัด (โรงเบียร์อ.บางบาล) และบริษัทคอสมอส บริวเวอรี่ (ประเทศไทย) จำกัด (โรงเบียร์ อ.วังน้อย)



ภาพที่ 11 แผนที่แสดงตำแหน่งบริษัทเบียร์ไทย (1991) จำกัด (มหาชน) จ. กำแพงเพชร

ประวัติผู้เขียน

นางสาวพริม โฮ่วรังกูร เกิดเมื่อวันที่ 5 สิงหาคม พ.ศ. 2521 ที่จังหวัดกรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี วิทยาศาสตร์บัณฑิต เทคโนโลยีอาหาร จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ปีการศึกษา 2542

ในปี พ.ศ. 2543 ในตำแหน่ง Supervisor แผนกควบคุมคุณภาพทางเคมี ส่วนประกันคุณภาพ บริษัทเบียร์ทิพย์ บริวเวอรี่ (1991) จำกัด ปัจจุบันดำรงตำแหน่ง ผู้ช่วยหัวหน้าแผนกควบคุมคุณภาพทางเคมี แผนกควบคุมคุณภาพทางเคมี ส่วนประกันคุณภาพ บริษัทเบียร์ทิพย์ บริวเวอรี่ (1991) จำกัด