

เอกสารผลงานที่เสนอประเมิน
เพื่อแต่งตั้งให้ดำรงตำแหน่งนักวิทยาศาสตร์ 7 ว

การศึกษาเปรียบเทียบวิธีวิเคราะห์
ปริมาณกาก (crude fiber) ในอาหาร

ของ

นางศรีสุดา ห่มระฤก
นักวิทยาศาสตร์ 6 ว

นางสาวพูนทรัพย์ วิชัยพงษ์
นักวิทยาศาสตร์ 6 ว

กลุ่มงานคุณค่าทางโภชนาการ
กองวิทยาศาสตร์ชีวภาพ กรมวิทยาศาสตร์บริการ
กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม

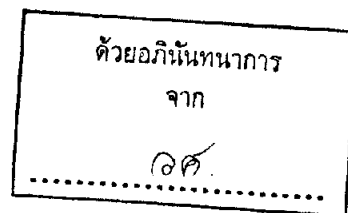
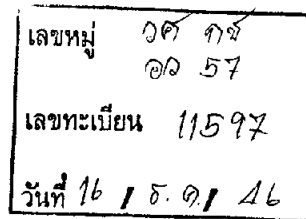
บทคัดย่อ

การศึกษาทดลองนี้เป็นการศึกษาวิธีวิเคราะห์ปริมาณกาก (crude fiber) โดยวิธีใช้เครื่องย่อยกาก (Crude Fiber Extractor) ตามวิธีทดสอบ AOAC(1995) ซึ่งเป็นวิธีมาตรฐานเดิมที่ใช้อยู่ในกลุ่มงานคุณค่าทางโภชนาการ กองวิทยาศาสตร์ชีวภาพ กรมวิทยาศาสตร์บริการ เปรียบเทียบกับวิธีวิเคราะห์ปริมาณกากโดยใช้เครื่อง Fibertec Sytem I ซึ่งเป็นวิธีแบบกึ่งอัตโนมัติ วิธีวิเคราะห์ทั้งสองวิธีนี้ใช้หลักการเดียวกัน มีหลายขั้นตอนเริ่มจากการย่อยตัวอย่างด้วยสารละลายกรดและด่างภายใต้สภาวะที่กำหนด นำส่วนที่เหลือจากการย่อยไปอบและเผา คำนวณหาส่วนที่หายไปหลังจากการเผา จากผลการทดลองหาปริมาณกากในตัวอย่างชนิดเดียวกัน โดยใช้วิธีวิเคราะห์ทั้งสองวิธีนี้ พบว่าผลวิเคราะห์ของแต่ละวิธีมีค่าใกล้เคียงกัน นำผลวิเคราะห์ทั้งหมดของทั้งสองวิธีนี้ มาประเมินค่าทางสถิติ โดยการทดสอบแบบที (The Student t Test) นำค่า t ที่คำนวณได้ (เท่ากับ -1.69) เปรียบเทียบกับค่าวิกฤตในตาราง t ที่ degree of freedom (df) = 30-1 ได้ค่า $t_{critical} = 2.04$ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 พบว่าค่า t ที่คำนวณได้ มีค่าน้อยกว่าค่าวิกฤต ($-1.69 < 2.04$) แสดงว่าผลการวิเคราะห์ปริมาณกากทั้งสองวิธีนี้ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ สามารถใช้วิธีวิเคราะห์ปริมาณกากโดยใช้เครื่อง Fibertec Sytem I เป็นวิธีวิเคราะห์อีกวิธีหนึ่งในห้องปฏิบัติการได้

จากการทดลองวิเคราะห์ปริมาณกากในตัวอย่างอาหารประเภทวัตถุดิบเต็มอาหารสัตว์ และอาหารประเภทข้าว จำนวน 30 ตัวอย่าง โดยวิธีใช้เครื่องย่อยกาก ตามวิธีทดสอบ AOAC(1995) ซึ่งเป็นวิธีมาตรฐานกับวิธีวิเคราะห์ปริมาณกากโดยใช้เครื่อง Fibertec Sytem I พบว่าตัวอย่างประเภทวัตถุดิบเต็มอาหารสัตว์ เช่น ปลาป่น จะมีปริมาณกากอาหารไม่เกินร้อยละ 0.5 และตัวอย่างมันสำปะหลังอัดเม็ดจะมีปริมาณกากอาหารอยู่ในช่วงร้อยละ 2-6 อาหารไก่จะมีปริมาณกากอาหารอยู่ในช่วงร้อยละ 4-5 มะพร้าวเส้นอบแห้งจะมีปริมาณกากอาหารไม่เกินร้อยละ 9 ส่วนอาหารประเภทข้าว เช่น ข้าวโอ๊ตจะมีปริมาณกากอาหารอยู่ในช่วงร้อยละ 1-1.5 ข้าวเจ้าผสมข้าวแดงและน้ำมันข้าวกับยาคุมมีปริมาณกากไม่เกินร้อยละ 1 พวงรำข้าวสาลีจะมีปริมาณกากอาหารไม่เกินร้อยละ 9 จากผลการวิเคราะห์ปริมาณกากอาหารนี้ รำข้าวสาลีและมะพร้าวเส้นอบแห้งจะมีปริมาณกากอาหารสูงมาก ปลาป่นจะมีปริมาณกากอาหารน้อยที่สุด

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	i
สารบัญ	ii
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ปัญหาและที่มาของการทดลอง	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ระยะเวลาดำเนินการ	2
1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ	2
บทที่ 2 วารสารปริทัศน์	3
บทที่ 3 วัสดุ อุปกรณ์และการดำเนินงาน	8
3.1 ตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษาทดลอง	8
3.2 วิธีวิเคราะห์ปริมาณกากโดยใช้เครื่องย่อยกากและวิธีใช้เครื่องไฟเบอร์เทค	8
3.3 วิธีการประเมินและเปรียบเทียบผลทางสถิติ	14
บทที่ 4 ผลการทดลอง	18
บทที่ 5 วิเคราะห์ผลการทดลอง	20
บทที่ 6 สรุปผลการทดลอง	22
กิตติกรรมประกาศ	23
เอกสารอ้างอิง	24
ภาคผนวก	
ตารางที่ 2 เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ปริมาณกากในตัวอย่างต่าง ๆ โดยวิธีย่อยด้วยเครื่องย่อยกาก และวิธีใช้เครื่อง Fibertec System I	25
กราฟรูปที่ 1 แสดงการเปรียบเทียบผลวิเคราะห์ปริมาณกาก(Crude fiber)โดยวิธีใช้เครื่องย่อยกาก (Crude fiber Extractor)และวิธีใช้เครื่อง Fibertec System I	27
รูปของเครื่อง Fibertec System I	29
ภาพเครื่องมือและขั้นตอนการหาคากโดยใช้เครื่อง Fibertec System I	30



บทที่ 1

บทนำ

เทคนิคการวิเคราะห์ทดสอบทางวิทยาศาสตร์มักใช้เครื่องมือพื้นฐานที่ไม่ยุ่งยากและใช้ปริมาณตัวอย่างและสารเคมีค่อนข้างมาก ทำให้สิ้นเปลืองเวลาและค่าใช้จ่าย ดังนั้นเทคนิคการวิเคราะห์ต่างๆจึงได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง จนกระทั่งในปัจจุบันได้มีการผลิตเครื่องมือวิเคราะห์ทางวิทยาศาสตร์ขั้นสูง เพื่อช่วยให้การวิเคราะห์สะดวก รวดเร็วและประหยัด แต่อย่างไรก็ตาม การนำเครื่องมือดังกล่าวมาใช้ ผู้ใช้จะต้องทำการตรวจสอบความแม่นยำเสียก่อนเพื่อให้เกิดความเชื่อมั่นในผลวิเคราะห์ที่ได้รับจากการใช้เครื่องมือ โดยการเปรียบเทียบผลกับวิธีวิเคราะห์เดิมที่ได้รับการยอมรับอย่างเป็นทางการแล้ว (official method)

วิธีวิเคราะห์ปริมาณกาก ใช้เครื่องย่อยกาก (Crude fiber Extractor) ตามวิธีทดสอบ AOAC (1995) ซึ่งเป็นวิธีมาตรฐาน ที่ใช้ในกลุ่มงานคุณค่าทางโภชนาการ ซึ่งในการวิเคราะห์ต้องทำที่ละขั้นตอน ในการย่อยตัวอย่างด้วยสารละลายกรดและด่างนั้น มีขั้นตอนของการกรองและถ่ายกากซึ่งต้องใช้ความระมัดระวังเป็นพิเศษเพื่อมิให้เกิดการผิดพลาดในระหว่างขั้นตอนเหล่านั้น วิธีวิเคราะห์ปริมาณกากโดยใช้เครื่องย่อยกาก เป็นวิธีที่ให้ผลดีแต่ค่อนข้างยุ่งยากและใช้เวลานาน

สำหรับวิธีวิเคราะห์ปริมาณกาก โดยใช้เครื่อง Fibertec Sytem I เป็นวิธีแบบกึ่งอัตโนมัติ การใช้เครื่องสะดวกและรวดเร็วกว่าใช้เครื่องย่อยกาก ทำให้สามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการวิเคราะห์ตัวอย่างได้มากขึ้น

ดังนั้นเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการให้บริการวิเคราะห์ของกลุ่มงานคุณค่าทางโภชนาการ และผลการวิเคราะห์ปริมาณกากแบบกึ่งอัตโนมัติด้วยเครื่อง Fibertec Sytem I ได้รับความเชื่อมั่นว่าถูกต้องแม่นยำ จนสามารถใช้เป็นวิธีวิเคราะห์อีกวิธีหนึ่งในห้องปฏิบัติการแทนการใช้เครื่องย่อยกากตามวิธีทดสอบ AOAC(1995) ซึ่งเป็นวิธีมาตรฐานเดิม จึงได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบวิธีวิเคราะห์ปริมาณกากในอาหารระหว่าง 2 วิธีนี้

1.1 ปัญหาและที่มาของการทดลอง

วิธีวิเคราะห์ปริมาณกาก ใช้เครื่องย่อยกากตามวิธีทดสอบ AOAC (1995) ซึ่งเป็นวิธีมาตรฐานเดิม มีการวิเคราะห์หลายขั้นตอน เริ่มตั้งแต่การย่อยตัวอย่างด้วยสารละลายกรดและด่าง การกรองและถ่ายกาก ซึ่งค่อนข้างจะเป็นวิธีที่ยุ่งยากและใช้เวลานาน ต้องใช้ความ

ระมัดระวังเป็นพิเศษแต่ก็เป็นวิธีที่ให้ผลดี ต่อมาวิธีวิเคราะห์ปริมาณกาก ได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง โดยได้นำเทคนิคของเครื่อง Fibertec System I ซึ่งเป็นเครื่องวิเคราะห์หาปริมาณกาก (crude fiber) แบบกึ่งอัตโนมัติ มีการพัฒนาให้สามารถต้มกรด ต่าง น้ำกลั่น การกรองและล้างตัวอย่างได้ภายในเครื่อง ซึ่งไม่ต้องเสียเวลาถ่ายตัวอย่างแบบวิธีเดิมและสามารถวิเคราะห์ได้ที่หลายตัวอย่างพร้อม ๆ กันทำให้ประหยัดเวลา สะดวกและรวดเร็วขึ้น

จากข้อมูลดังกล่าวจึงได้วางแผนการทดลองและศึกษาเปรียบเทียบวิธีวิเคราะห์ปริมาณกากในอาหารทั้งสองวิธี เพื่อให้ได้ข้อมูลที่แสดงว่าสามารถใช้เป็นวิธีวิเคราะห์อีกวิธีหนึ่งในห้องปฏิบัติการแทนวิธีมาตรฐานได้

1.2 วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาเปรียบเทียบวิธีวิเคราะห์ปริมาณกากในอาหารโดยวิธีใช้เครื่องย่อยกาก ตามวิธีทดสอบ AOAC(1995) ซึ่งเป็นวิธีมาตรฐานเดิมที่ใช้อยู่ในกลุ่มงานคุณค่าทางโภชนาการ กับวิธีวิเคราะห์ปริมาณกากโดยใช้เครื่อง Fibertec Sytem I ซึ่งเป็นวิธีแบบกึ่งอัตโนมัติ

1.3 ระยะเวลาดำเนินการ

พ.ศ. 2543 – 2544 (2 ปี)

1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ

ได้ข้อมูลแสดงว่าวิธีวิเคราะห์ปริมาณกากด้วยเครื่อง Fibertec System I ให้ผลวิเคราะห์ที่ถูกต้องแม่นยำ เทียบเท่าวิธีมาตรฐานเดิม แต่ใช้เวลาและปริมาณสารเคมีน้อยลง ทำให้ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการวิเคราะห์ตัวอย่างได้มากขึ้น

บทที่ 2

วารสารปริทัศน์

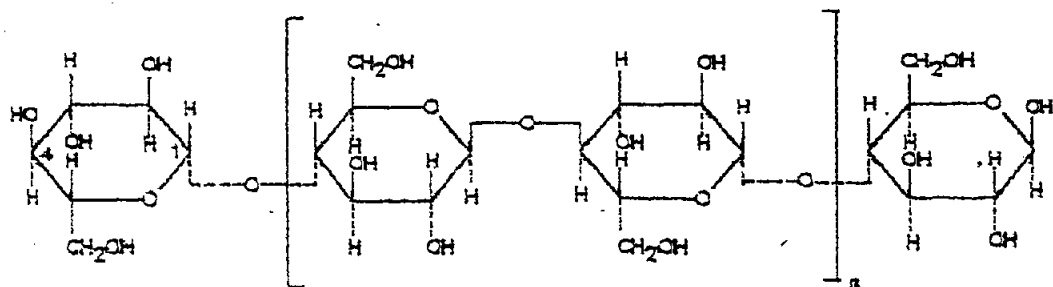
การวิเคราะห์ปริมาณกากในอาหาร⁽⁶⁾ (crude fiber) นั้นมีมาตั้งแต่ต้นศตวรรษที่ 17 เริ่มโดยการวิเคราะห์ส่วนประกอบซึ่งสะสมในโครงสร้างพืช ต่อมาในต้นศตวรรษที่ 19 เริ่มมีวิธีการแรกสุดในการวิเคราะห์กากอาหาร โดยการใช้สารเคมีและถูกพัฒนาขึ้นมาโดย Dave และ Murray และใน ค.ศ. 1886 การวิเคราะห์กากอาหารตามวิธีของ Wende ก็ถูกปรับปรุงพัฒนาขึ้นโดย Hennenbergc และ Stoh mann ซึ่งในปี 1886 AOAC ก็ได้ยอมรับวิธีการนี้

ต้นศตวรรษที่ 19 ทั้งนักเคมีและนักพฤกษศาสตร์ได้แสดงให้เห็นว่า กากอาหารประกอบด้วยส่วนประกอบทางเคมีหลาย ๆ อย่าง แต่ส่วนประกอบที่สำคัญที่สุด คือ เซลลูโลส เฮมิ-เซลลูโลส เพกตินและลิกนิน ในพืชที่โตเต็มที่จะมีปริมาณของลิกนินสูง แต่ในพืชที่ยังโตไม่เต็มที่ประกอบด้วยเซลลูโลสในปริมาณสูง สำหรับในการวิเคราะห์กากอาหาร เป็นสิ่งสำคัญที่จะต้องรู้ความแตกต่างเหล่านี้ เพราะมีผลกระทบต่อสารประกอบย่อยที่แตกต่างกันของกากอาหาร และความแตกต่างที่สัตว์สามารถย่อยสารเยื่อใยในระดับที่มากน้อยต่างกัน

กาก⁽⁷⁾ (crude fiber) หมายถึง ส่วนประกอบของพืชซึ่งประกอบไปด้วยเซลลูโลสเป็นส่วนใหญ่ นอกจากนั้นยังมี เฮมิ-เซลลูโลส เพกตินและลิกนิน ดังนี้

◆ เซลลูโลส (cellulose) เป็นพอลิแซ็กคาไรด์ (polysaccharide) หรือน้ำตาลหลายชั้นประกอบด้วย หน่วยโมโนเมอร์ (monomer units) คือ กลูโคสเชื่อมต่อกันโดยพันธะเบต้าไกลโคซิดิก (β -glycosidic bonds)

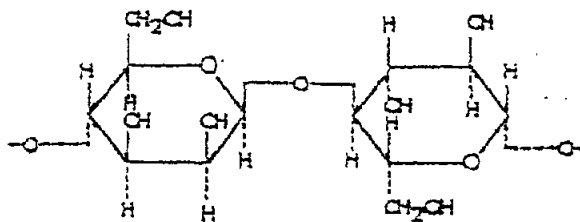
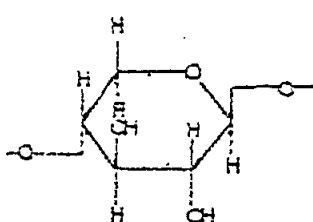
เซลลูโลสส่วนใหญ่จะอยู่ที่ผนังเซลล์ของผักและผลไม้ มีมากในใบ ก้านใบและเปลือกผลไม้ เซลล์ของผักมีเซลลูโลสมากกว่าผลไม้ คนและสัตว์ที่มีระบบทางเดินอาหารกระเพาะเดี่ยวไม่มีเอนไซม์สำหรับย่อยเซลลูโลส ดังนั้นเซลลูโลสของผักและผลไม้ จึงไม่ถูกย่อยในร่างกาย ดังนั้นจะเหลือเป็นกากอาหารและถูกขับถ่ายออกไป



สูตรโครงสร้างทางเคมีของเซลลูโลส

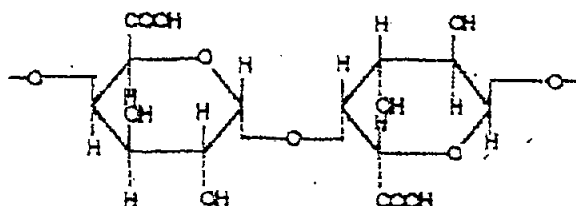
◆ เฮมิเซลลูโลส (hemicellulose) เป็นส่วนประกอบของผนังเซลล์ของพืช ซึ่งจะรวมโพลีแซ็กคาไรด์หลายชนิดไว้ด้วยกัน โพลีแซ็กคาไรด์เหล่านี้แตกต่างจากเซลลูโลสและสารจำพวกเพกติน เฮมิเซลลูโลสในพืชบกไม่ละลายน้ำแต่ละลายได้ในสารละลายเอควียสของต่าง ซึ่งบางชนิดประกอบด้วยหน่วยของน้ำตาลเพนโตส (pentose units) และหน่วยของน้ำตาลเฮกโซส (hexose units) บางชนิดประกอบด้วยหน่วยของกรดเฮกซูโรนิก (hexuronic acid units) และในบางกรณีอาจพบดีออกซีเฮกโซส (deoxyhexose) และแอล-รามโนส (L-rhamnose) ตัวอย่างของเฮมิเซลลูโลส ได้แก่

- ไซแลน (xylan) ซึ่งประกอบด้วยหน่วยของน้ำตาลไซโลส
- แมนแนน (mannan) ซึ่งประกอบด้วยหน่วยของน้ำตาลแมนโนส
- อะราบิโนกลูคูโรโนไซแลน (arabinoglucuronoxylan) ซึ่งประกอบด้วยหน่วยของน้ำตาลอะราบิโนส, กรดกลูคูโรนิก และไซโลส เป็นต้น



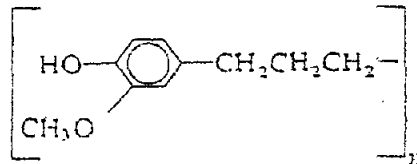
สูตรโครงสร้างทางเคมีของ ดี-ไซแลนซ์ สูตรโครงสร้างทางเคมีของ ดี-กลูโค-ดี-แมนแนนซ์

◆ เพกติน (Pectin) เป็นสารประกอบที่มีโมเลกุลของน้ำตาลจำนวนมากและในหมู่โมเลกุลของน้ำตาลบางหมู่มีกลุ่มเมทิลและกลุ่มกรดยูโรนิก เพกตินบางชนิดไม่ละลายน้ำ ถ้ากลุ่มไฮดรอกซิลในกรดถูกแทนที่ด้วยกลุ่มเมทิล สารประกอบเพกตินนั้นก็จะละลายได้ในสารละลายต่าง เพกตินพบมากในผนังเซลล์พืช ทำหน้าที่ยึดเซลล์ให้เชื่อมติดกัน มีมากในแอปเปิล ส้ม องุ่น ถั่วฝัก ผลไม้พวกสตรอเบอร์รี่ มันและแครอท จากการศึกษาวิจัย พบว่าเพกตินมีส่วนช่วยลดปริมาณคอเลสเตอรอลในร่างกายมนุษย์



สูตรโครงสร้างทางเคมีของ สารประกอบเพกติน

◆ ลิกนิน (lignin) เป็นส่วนประกอบสำคัญของผนังเซลล์พืชไม้ยืนต้น เปลือกของเมล็ดพืชและความเหนียวของเส้นใยของผัก ลำต้นของผักที่แข็งแรงและค่อนข้างแก่ โครงสร้างลิกนินเป็นโพลีเมอร์ของอนุพันธ์ของฟีนิลโพรเพน (phenyl propane derivatives) พบมากในข้าว เช่น ข้าวสาลี ข้าวโอ๊ต ำ แบ่งที่ไม่ผ่านกรรมวิธีขัดและฟอกสี ผลไม้พวกเบอร์รี่ สตรอเบอร์รี่ ราสเบอร์รี่ เชเลอรี่ ถั่วถอก กะหล่ำปลีและมะเขือเทศ



สูตรโครงสร้างทางเคมีของลิกนิน

กากอาหาร (crude fiber) เป็นสารที่ไม่ถูกย่อยในร่างกายคนและสัตว์ เป็นสารที่ไม่ละลายในกรดหรือด่างเจือจางภายใต้สภาวะที่กำหนด

หลักการวิเคราะห์กากอาหาร คือ สกัดไขมันออกจากตัวอย่างด้วยอีเทอร์และต้มภายใต้สภาวะที่มีการไหลกลับ (reflux) เป็นเวลา 30 นาที ด้วยสารละลายกรดซัลฟิวริกเข้มข้น และนำไปกรองแล้วล้างด้วยน้ำร้อนจนกระทั่งไม่มีความเป็นกรดเหลืออยู่เลย ส่วนที่เหลือนี้นำไปต้มกับสารละลาย NaOH, หรือ KOH แล้วกรองผ่าน Alundum crucible จากนั้นอบในตู้อบ ซึ่งน้ำหนักแล้วนำไปเผาในเตาเผา ทิ้งไว้ให้เย็นแล้วชั่งน้ำหนักอีกครั้งหนึ่ง น้ำหนักที่หายไประหว่างการเผา คือ ปริมาณกากอาหาร

กาก (residue) ที่ได้จากการวิเคราะห์จะมีเซลลูโลส และลิกนิน ประมาณร้อยละ 97 แม้ว่าในอาหาร เริ่มต้นจะไม่มีเซลลูโลสและลิกนินในปริมาณมาก เช่นในข้าวสาลี มีกากอาหารประมาณร้อยละ 2 เท่านั้น กากอาหารนี้ไม่สามารถย่อยได้ในร่างกายคน และยังไม่สามารถแทนด้วยสารประกอบหรือกลุ่มของสารประกอบจำพวกใด ๆ อีกด้วย

อย่างไรก็ตาม กากอาหารมีประโยชน์ในการวิเคราะห์อาหารและอาหารสัตว์ เช่น ใช้เป็นดัชนีของคุณค่าทางอาหารในอาหารสัตว์ต่าง ๆ คือ ถ้าเมล็ดมีกากอาหารสูงจะมีคุณค่าทางอาหารต่ำหรือใช้ในการตรวจสอบหาสิ่งแปลกปลอม เช่น การปลอมปนเครื่องเทศด้วยกากจะมีปริมาณกากอาหารเพิ่มขึ้น นอกจากนี้กากอาหารยังใช้กำหนดคุณภาพของผักและผลไม้สด จะเห็นว่าถ้าผักและผลไม้แก่เกินไปจะมีปริมาณกากอาหารสูงขึ้น อย่างไรก็ตาม ถ้า

มีการเปลี่ยนแปลงปริมาณกากอาหารเพียงเล็กน้อยก็มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะของเนื้อสัมผัสและการยอมรับของผู้บริโภค

ประโยชน์ของกากอาหาร⁽²⁾

1. ช่วยในการขับถ่าย เช่น ผู้ป่วยด้วยโรคท้องผูก โรคริดสีดวงทวาร ถ้ารับประทานอาหารพวกที่มีกากอาหารมาก ๆ เช่น พืชผักและผลไม้ จะมีอาการดีขึ้นเพราะน้ำย่อยในกระเพาะอาหารและลำไส้เล็ก ย่อยกากอาหารไม่ได้ กากอาหารจะผ่านไปลำไส้ใหญ่ ทำให้เพิ่มน้ำหนักอุจจาระ ช่วยกระตุ้นให้ลำไส้ใหญ่บีบตัวมากขึ้น และอุจจาระจะไม่แข็ง ซึ่งทำให้ระบบขับถ่ายดีขึ้น

2. ป้องกันโรคมะเร็งลำไส้ใหญ่ เนื่องจากกากอาหารมีผลทำให้อาหารผ่านจากปากถึงทวารหนักในอัตราที่เร็วขึ้น ดังนั้นเวลาของการสัมผัสระหว่างสารพิษรวมทั้งสารที่ก่อให้เกิดมะเร็งที่มีอยู่ในอาหารกับเยื่อบุลำไส้จะน้อยลง โอกาสที่สารพิษจะทำลายเยื่อบุลำไส้ย่อมเป็นไปได้น้อย ด้วยเหตุนี้จึงมีผู้ตั้งสมมติฐานว่า การรับประทานกากอาหารอาจป้องกันมะเร็งลำไส้ใหญ่ได้

3. ป้องกันโรคหัวใจขาดเลือด กากอาหารสามารถลดระดับคอเลสเตอรอลในเลือดได้ โดยกากอาหารจะจับคอเลสเตอรอล ทำให้ปริมาณของคอเลสเตอรอลที่ถูกดูดซึมเข้าสู่ร่างกายน้อยลง ดังนั้นการรับประทานอาหารที่มีกากอาหารเป็นวิธีหนึ่งที่จะควบคุมระดับคอเลสเตอรอลในเลือดให้อยู่ในเกณฑ์ปกติ

4. กากอาหารกับการลดน้ำหนัก อาหารที่มีกากอาหารมากจะทำให้เรารู้สึกอิ่มเร็วและอิ่มได้นานกว่าอาหารที่มีกากอาหารน้อย เช่น ผักผลไม้ จะไม่ให้พลังงานสูงและมีแคลอรีต่ำ ซึ่งถ้าเรารับประทานอาหารประเภทที่มีกากมาก ๆ ควบคู่กับการออกกำลังกายอย่างสม่ำเสมอ ก็สามารถจะให้น้ำหนักตัวลดลงได้ และมีสุขภาพที่ดีขึ้นด้วย

ในการวิเคราะห์อาหารที่มีเซลลูโลส มักนิยมหาปริมาณกากอาหาร ซึ่งเป็นสารที่ไม่ถูกย่อยในร่างกายคนและสัตว์ เป็นสารที่ไม่ละลายในกรดหรือด่างเจือจางภายใต้สภาวะที่กำหนด

วิธีวิเคราะห์ปริมาณกากอาหาร⁽⁵⁾ โดยใช้เครื่องย่อยกาก ตามวิธีทดสอบ AOAC(1995) ซึ่งเป็นวิธีมาตรฐานเดิม

หลักการวิเคราะห์กากอาหาร คือ

1. สกัดไขมันออกจากตัวอย่างก่อนแล้วอบให้แห้ง ต่อจากนั้นชั่งใส่ปิกรขนาด 600 มิลลิลิตร

2. ขั้นตอนการต้มด้วยสารละลายกรดซัลฟิวริก 0.255 นอร์แมล ภายใต้สภาวะที่มีการไหลกลับ (reflux) เป็นเวลา 30 นาที
3. กรองและล้างด้วยน้ำร้อนจนกระทั่งหมดความเป็นกรดเหลืออยู่
4. ขั้นตอนการต้มด้วยสารละลายต่างโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.313 นอร์แมล ภายใต้ สภาวะที่มีการไหลกลับ (reflux) เป็นเวลาอีก 30 นาที
5. กรองส่วนที่เหลือแล้วถ่ายใส่ถ้วยอะลูมิเนียม (Alundum crucible)
6. ขั้นตอนการอบในตู้อบ และชั่งน้ำหนัก
7. ขั้นตอนการนำไปเผาในเตาเผา ทิ้งไว้ให้เย็นแล้วชั่งน้ำหนัก น้ำหนักที่หายไป ระหว่างการเผาคือ ปริมาณของกากอาหาร

บทที่ 3

วัสดุ อุปกรณ์และวิธีดำเนินการ

3.1 ตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษาทดลอง

เป็นผลิตภัณฑ์อาหารที่มีปริมาณกากอาหารค่อนข้างสูงจำนวน 30 ตัวอย่างได้แก่

1. ข้าวโอ๊ต
2. ข้าวแดงผสมข้าวเจ้า
3. ข้าวกระยาจ
4. จมูกข้าวสาลี
5. รำข้าวสาลี
6. ถั่วเหลือง
7. กากถั่วเหลือง
8. เมล็ดมะม่วงหิมพานต์
9. มะพร้าวอบแห้ง
10. ปลาป่น
11. อาหารไก่
12. มันสำปะหลังอัดเม็ด

3.2 วิธีวิเคราะห์ปริมาณกากโดยใช้เครื่องย่อยกากและวิธีใช้เครื่องไฟเบอร์เทค

I. วิธีย่อยโดยใช้เครื่องย่อยกาก (Crude Fiber Extractor)

1. เครื่องมือและอุปกรณ์

- 1.1 บีกเกอร์ทรงสูงชนิดไม่มีปาก ขนาด 600 มิลลิลิตร
- 1.2 บีกเกอร์ ขนาด 250 มิลลิลิตร
- 1.3 กระจกตวง ขนาด 250 มิลลิลิตร
- 1.4 ขวดแก้วกลมก้นแบนบรรจุน้ำ
- 1.5 เครื่องย่อย ประกอบด้วย เครื่องควบคุมแรงสำหรับควบคุมปริมาตรของสารละลายให้คงที่ตลอดเวลาการย่อย และเตาไฟฟ้าซึ่งปรับอุณหภูมิได้
- 1.6 ผ้ากรอง หรือผ้าลินิน (Linen cloth) ขนาด 20 เมช หรือมีเส้นด้าย 18 เส้นต่อ 1 เซนติเมตร

- 1.7 สแปทูลา(spatula)
- 1.8 กรวยบุคเนอร์ (büchner funnel)
- 1.9 ขวดสำหรับกรองดูด (suction flask) ขนาด 500 มิลลิลิตร พร้อมอุปกรณ์
- 1.10 ขวดแก้วเป่าน้ำ (wash bottle) ขนาด 500 มิลลิลิตร
- 1.11 กระดาษกรองวัตแมน เบอร์ 541
- 1.12 ถ้วยอะลูมิเนียม (alundum crucible) ชนิดอาร์-98 พร้อมกรวยแก้วและยางรอง
- 1.13 กระดาษลิตมัส
- 1.14 เต้าไฟฟ้า
- 1.15 ตู้อบไฟฟ้าควบคุมอุณหภูมิได้
- 1.16 เต้าเผาไฟฟ้าควบคุมอุณหภูมิได้
- 1.17 เดซิกเคเตอร์ที่มีสารดูดความชื้น เช่น ซิลิกาเจล
- 1.18 เครื่องชั่งไฟฟ้า ชั่งน้ำหนักได้ละเอียด 0.1 มิลลิกรัม
- 1.19 สคูป

2. สารเคมี

- 2.1 กรดซัลฟิวริก ความเข้มข้นร้อยละ 1.25 (0.255 ± 0.005 นอร์แมล)
- 2.2 โซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้นร้อยละ 1.25 (0.313 ± 0.005 นอร์แมล)
- 2.3 เอทิลแอลกอฮอล์ ความเข้มข้นร้อยละ 95

3. วิธีวิเคราะห์

- 3.1 ชั่งตัวอย่างที่มีไขมันไม่เกิน 1 % หรือตัวอย่างที่สกัดไขมันออกและอบแห้งแล้ว ให้ได้น้ำหนักแน่นอนโดยใช้สคูป(1.19)ใส่ตัวอย่างและชั่งน้ำหนัก(W_1) ถ่ายตัวอย่างลงในบีกเกอร์ (1.1) แล้วชั่งน้ำหนักสคูปที่ถ่ายตัวอย่างออกแล้ว (W_2)
- 3.2 ตวงสารละลายกรดซัลฟิวริก (2.1)จำนวน 200 มิลลิลิตร ด้วยกระบอกตวง(1.3) ถ่ายใส่บีกเกอร์ (1.2) แล้วนำไปต้มบนเต้าไฟฟ้า (1.14)โดยปิดปากบีกเกอร์ด้วยขวดแก้วกลมก้นแบนบรรจุน้ำ(1.4)
- 3.3 เมื่อสารละลายกรดซัลฟิวริกเริ่มเดือด จึงถ่ายลงในบีกเกอร์ในข้อ 3.1 พร้อมกับหมุนบีกเกอร์เพื่อไม่ให้ตัวอย่างเกาะติดกัน

- 3.4 นำไปต้มบนเตาไฟฟ้า เมื่อเริ่มเดือดจึงนำไปเข้าเครื่องย่อย (1.5) ทันทัน ต้มให้เดือดต่อไปอีกเป็นเวลา 30 นาที
- 3.5 กรองทันทีด้วยกรวยบุคเนอร์ (1.8) ที่มีผ้ากรอง (1.6) โดยใช้แรงสุญญากาศจากน้ำผ่านขวดแก้วสำหรับกรองดูด (1.9)
- 3.6 ฉีดล้างสิ่งที่เหลือในบีกเกอร์ด้วยน้ำร้อนหลายครั้ง ลงในกรวยบุคเนอร์
- 3.7 ล้างสิ่งที่เหลือบนผ้ากรอง ด้วยน้ำร้อนจนหมดกรด ทดสอบโดยสารละลายที่กรองได้ ไม่เปลี่ยนสีกระดาษลิตมัส(1.13)สีน้ำเงินเป็นสีแดง
- 3.8 ตวงสารละลายไซเตียมไฮดรอกไซด์ (2.2) 200 มิลลิลิตร ถ่ายใส่ขวดแก้วเปาน้ำ (1.10)ที่ใช้ต้มต่าง นำไปต้มให้เดือดบนเตาไฟฟ้า แล้วฉีดล้างกากบนผ้ากรองลงในบีกเกอร์ใบเดิมให้หมด (ควรตั้งขวดต่างบนเตาไฟฟ้าเมื่อจะเริ่มทำการกรอง)
- 3.9 นำไปต้มบนเตาไฟฟ้าให้เดือดโดยปิดปากบีกเกอร์ด้วยขวดแก้วกลมกันแบบบรรจุน้ำ
- 3.10 นำไปเข้าเครื่องย่อยทันที ต้มให้เดือดต่อไปอีกเป็นเวลา 30 นาที
- 3.11 กรองทันทีผ่านกรวยบุคเนอร์ซึ่งบุด้วยกระดาษกรอง (1.11) ที่ตัดพอดีและฉีดน้ำให้แบบสนิทกับกรวยบุคเนอร์แล้ว
- 3.12 ฉีดล้างในบีกเกอร์ด้วยน้ำร้อนให้น้ำนี้ชะล้างกากจนหมดต่าง ทดสอบโดยสารละลายที่กรองได้ไม่เปลี่ยนสีกระดาษลิตมัสสีแดงเป็นสีน้ำเงิน
- 3.13 ถ่ายกากทั้งหมดลงในถ้วยอะลันดัม (1.12) ถ้ามีกากมากให้ใช้สแปงูลาดักกากถ่ายลงถ้วยอะลันดัมก่อน เมื่อเหลือกากจำนวนเล็กน้อยจึงใช้น้ำร้อนฉีดชะส่วนที่ค้างลงในถ้วยอะลันดัม แล้วล้างด้วยเอทิลแอลกอฮอล์(2.3) 5 มิลลิลิตร
- 3.14 นำไปอบในตู้อบไฟฟ้า (1.15) อุณหภูมิ 100 ± 2 องศาเซลเซียส. เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ทำให้เย็นในเดซิเคเตอร์ ชั่งน้ำหนัก (W_3)
- 3.15 เผาถ้วยอะลันดัมพร้อมกากที่อบแห้งแล้วในเตาเผาไฟฟ้า (1.16) อุณหภูมิ 550 ± 25 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ทำให้เย็นในเดซิเคเตอร์ ชั่งน้ำหนัก (W_4)

4. วิธีคำนวณ

- 4.1 ถ้าใช้ตัวอย่างทั้งหมด

$$\text{ปริมาณกากร้อยละของน้ำหนัก} = \frac{(W_3 - W_4) \times 100}{(W_1 - W_2)}$$

เมื่อ W_1	=	น้ำหนักสตูปและตัวอย่าง เป็นกรัม
W_2	=	น้ำหนักสตูปที่ถ่ายตัวอย่างออกแล้ว เป็นกรัม
W_3	=	น้ำหนักถ้วยอะลันดัมและกากหลังจากอบแห้ง เป็นกรัม
W_4	=	น้ำหนักถ้วยอะลันดัมและกากหลังจากการเผา เป็นกรัม

4.2 ถ้าใช้ตัวอย่างที่ผ่านการวิเคราะห์หาคาร์บอนและไขมันแล้ว

$$\text{ปริมาณกาก ร้อยละของน้ำหนัก} = \frac{(w_3 - w_4) \times (100 - \%H_2O - \%fat)}{(w_1 - w_2)}$$

เมื่อ W_1	=	น้ำหนักสตูปและตัวอย่าง เป็นกรัม
W_2	=	น้ำหนักสตูปที่ถ่ายตัวอย่างออกแล้ว เป็นกรัม
W_3	=	น้ำหนักถ้วยอะลันดัมและกากหลังจากอบแห้ง เป็นกรัม
W_4	=	น้ำหนักถ้วยอะลันดัมและกากหลังจากการเผา เป็นกรัม
$\% H_2O$	=	ปริมาณคาร์บอนของตัวอย่าง เป็นร้อยละ
$\% fat$	=	ปริมาณไขมันของตัวอย่าง เป็นร้อยละ

II วิธีใช้เครื่องไฟเบอร์เทค (Fibertec System I)

1. เครื่องมือและอุปกรณ์

- 1.1 ถ้วยกรอง ซึ่งมีที่กรองมาตรฐาน ความละเอียด เบอร์ 2 (Crucible with a standard inserted filter with porosity No. 2)
- 1.2 ที่จับถ้วย (Crucible holder)
- 1.3 ที่วางถ้วย (Crucible stand)
- 1.4 ขวดใส่สารเคมี 1 พร้อมกระป๋องโลหะมีที่จับ (Reagent bottle I and holder)
- 1.5 ขวดใส่สารเคมี 2 พร้อมกระป๋องโลหะมีที่จับ (Reagent bottle II and holder)
- 1.6 ขวดสำหรับรองรับน้ำล้างพร้อมกระป๋องโลหะมีที่จับ 2 ใบ
- 1.7 ขวดฉีดพ่นฝอยสีแดง (Spray bottle-red)
- 1.8 ขวดฉีดพ่นฝอยสีขาว (Spray bottle-white)
- 1.9 Reflector
- 1.10 เคชิกเคเตอร์ที่มีสารดูดคาร์บอน เช่น ซิลิกาเจล

- 1.11 ตู้อบไฟฟ้าควบคุมอุณหภูมิได้
- 1.12 เตาเผาไฟฟ้าควบคุมอุณหภูมิได้
- 1.13 เครื่องชั่งไฟฟ้า ชั่งได้ละเอียด 0.1 มิลลิกรัม
- 1.14 Fibertec System I ประกอบด้วย
 - 1.13.1 Hot Extraction Unit
 - 1.13.2 Cold Extraction Unit
 (ภาพเครื่องมืออยู่ในภาคผนวกรูปที่ 1 และ 2)

2. สารเคมี

- 2.1 กรดซัลฟิวริก ความเข้มข้น 0.255 ± 0.005 นอร์แมล
- 2.2 โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 0.223 ± 0.005 นอร์แมล
- 2.3 สารกันฟอง นอร์มอล-ออกทานอล (n-Octanal)
- 2.4 อะซิโตน (acetone)
- 2.5 ซีโลท์ (celite) 545

3. วิธีวิเคราะห์ ทำการวิเคราะห์สองซ้ำ

1. ชั่งน้ำหนักถ้วยกรอง (1.1) W_1 ใส่ตัวอย่างที่รู้น้ำหนักแน่นอนหรือใช้ตัวอย่างที่กำจัดความชื้นและไขมันออกแล้วลงในถ้วยกรองนี้ ชั่งน้ำหนัก W_2
2. ตัวอย่างที่มีไขมันสูงต้องสกัดไขมันออกก่อน โดยการสกัดด้วยอะซิโตน 3 ครั้ง ครั้งละ 15 มิลลิลิตร แต่แต่ละครั้งแช่ 15 นาที ใน Cold Extraction Unit ถ้าใช้ตัวอย่างที่กำจัดความชื้นและไขมันออกแล้ว ไม่ต้องสกัดด้วยอะซิโตน กรณีตัวอย่างที่กรองยาก ให้ใส่ซีโลท์ประมาณ 0.3 กรัม (ใช้ช้อนตวง) ลงในตัวอย่าง ก่อนเติมสารเคมี (2.1)
3. นำไปติดตั้งในเครื่องวิเคราะห์กาก Fibertec System I ที่เตรียมพร้อมไว้แล้ว ทำการย่อยด้วยกรดและต่าง

3.1 Hot Extraction

- การย่อยด้วยกรดซัลฟิวริก
- เปิดลิ้นทั้ง 6 ไปทางซ้ายที่ REAGENT 1 เพื่อเติมกรด เมื่อสารละลายในหลอดแก้วถึงขีดบน (150 มิลลิลิตร) หมุนกลับมาอยู่ที่ตำแหน่ง STOP

- เติมน้ำมันฟอง นอร์มอล - ออกทานอล ประมาณ 2 – 3 หยด
 - หมุนปุ่มควบคุมอุณหภูมิ EFFECT ไปทางขวาสุด ไฟจะติด
 - เมื่อกรตเริ่มเดือด ลดอุณหภูมิ โดยหมุนปุ่ม EFFECT กลับมาทางซ้าย เพื่อให้เดือดเพียงเล็กน้อยสม่ำเสมอ
 - หมุนปุ่ม EXTRACTION ตั้งเวลา 30 นาที
 - เมื่อสก็ตครบ 30 นาที สัญญาณดัง หมุนปุ่ม EFFECT ไปที่ RESET เพื่อปิด
 - กดปุ่ม VACUUM บนแผงบังคับ และปรับขึ้นไปที่ VACUUM เพื่อดูดกรตทุกหลอด เมื่อกรตออกหมดแล้ว หมุนไปที่ STOP
 - ถ้าวัดอย่างกรวยยาก กดปุ่ม PRESSURE PUMP และปรับลงมาที่ PRESSURE
 - เมื่อดูดกรตออกหมดทุกหลอดแล้ว หมุนไปที่ STOP ปิดปุ่ม VACUUM และกดปุ่ม PRESSURE
 - ล้างตัวอย่างทุกหลอดด้วยน้ำร้อน โดยกดปุ่มด้านบน เลื่อนไปและกดปุ่มล้างที่หลอด ทำการล้างและดูดออกเช่นนี้อีก 2 ครั้ง
- ข การย่อยด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์
- เปิดลิ้นทั้ง 6 ไปทางขวา ที่ REAGENT 2 เพื่อเติมต่างที่หลอด
 - ปิดปุ่ม REAGENT PUMP แล้วทำเช่นเดียวกับข้อ ก.

2. Cold Extraction

- ใช้ที่จับถ้วย นำถ้วยพร้อมตัวอย่างที่ย่อยและล้างแล้วไปวางที่ Cold Extraction Unit ดึงคันโยกด้านซ้ายลง
- ล้างถ้วยด้วยอะซิโตน
- กดปุ่ม VACUUM ของหน่วยสกัดร้อน และปรับไปที่ VACUUM จนกากแห้ง จึงหมุนกลับไป CLOSED
- เมื่อล้างถ้วยกรงทั้งหมดแล้ว เลื่อนลิ้นไปที่ REST ปิดปุ่ม VACUUM ที่ Hot Extraction Unit

4. อบถ้วยกรงและสิ่งที่เหลือจากการย่อยในตู้อบไฟฟ้า (1.11) ที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส. เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ทำให้เย็นในเดซิเคเตอร์ (1.10) ชั่งน้ำหนัก W_3

5. เมาถ้วยกรองและสิ่งทึบในเตาเผาไฟฟ้า (1.12) โดยเริ่มตั้งแต่อุณหภูมิห้องแล้วค่อย ๆ เพิ่มอุณหภูมิอย่างช้า ๆ ประมาณ 40 องศาเซลเซียสต่อนาที จนถึงอุณหภูมิ 500 ± 25 องศาเซลเซียส แล้วคงไว้ที่อุณหภูมินี้ อย่างน้อย 3 ชั่วโมง จึงปิดสวิทช์ Heater รอจนอุณหภูมิลดลงไม่เกิน 130 องศาเซลเซียส จึงจะนำออกมาทำให้เย็นถึงอุณหภูมิห้องในเดซิกเคเตอร์ ชั่งน้ำหนัก W_4

4. การคำนวณ

4.1 ถ้าใช้ตัวอย่างทั้งหมด

$$\text{ปริมาณกาก ร้อยละของน้ำหนัก} = \frac{(W_3 - W_4) \times 100}{(W_1 - W_2)}$$

เมื่อ	W_1	=	น้ำหนักถ้วยกรอง เป็นกรัม
	W_2	=	น้ำหนักถ้วยกรอง และตัวอย่าง เป็นกรัม
	W_3	=	น้ำหนักถ้วยกรองและกากหลังจากอบแห้ง เป็นกรัม
	W_4	=	น้ำหนักถ้วยกรองและกากหลังจากการเผา เป็นกรัม

4.2 ถ้าใช้ตัวอย่างที่ผ่านการวิเคราะห์ความชื้นและไขมันแล้ว

$$\text{ปริมาณกาก ร้อยละของน้ำหนัก} = \frac{(w_3 - w_4) \times (100 - \%H_2O - \%fat)}{(w_2 - w_1)}$$

เมื่อ	W_1	=	น้ำหนักถ้วยกรอง เป็นกรัม
	W_2	=	น้ำหนักถ้วยกรอง และตัวอย่าง เป็นกรัม
	W_3	=	น้ำหนักถ้วยกรองและกากหลังจากอบแห้ง เป็นกรัม
	W_4	=	น้ำหนักถ้วยกรองและกากหลังจากการเผา เป็นกรัม
	$\% H_2O$	=	ปริมาณความชื้นของตัวอย่าง เป็นร้อยละ
	$\% fat$	=	ปริมาณไขมันของตัวอย่าง เป็นร้อยละ

3.3 วิธีการประเมินและเปรียบเทียบผลทางสถิติ

ในการวิเคราะห์หาปริมาณกากของตัวอย่างอาหารชนิดต่างๆ รวม 30 ตัวอย่าง โดยการวิเคราะห์โดยวิธีใช้เครื่องย่อยกาก ตามวิธีทดสอบ AOAC(1995) ซึ่งเป็นวิธีมาตรฐานเดิม

กับวิธีใช้เครื่อง Fibertec System I ได้ผลตามข้อมูลดังแสดงในภาคผนวกตารางที่ 2 ผลของการวิเคราะห์ทั้งสองวิธีนี้ จะมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญหรือไม่ เราจะใช้วิธีทดสอบทางสถิติ โดยการทดสอบแบบที่ ⁽³⁾(The Student t Test)

การทดสอบแบบที เป็นการทดสอบอีกแบบหนึ่งที่ถูกนำมาใช้ในการเปรียบเทียบผลการทดลองสองเขตที่ได้จากสารตัวอย่างเดียวกัน เขตหนึ่งทำการทดลองโดยวิธีวิเคราะห์มาตรฐานซึ่งเป็นที่ยอมรับ(accepted method) และอีกเขตหนึ่งทำการทดลองโดยวิธีที่ต้องการทดสอบ (test method) โดยใช้ความรู้ทางสถิติคำนวณหาค่า t จากผลการทดลองทั้งสอง แล้วนำค่า t ที่คำนวณได้เปรียบเทียบกับค่า t จากตาราง ถ้าค่า t ที่คำนวณได้มีค่ามากกว่าค่า t จากตาราง ก็แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญระหว่างผลการวิเคราะห์ทั้งสองวิธี แต่ถ้าค่า t ที่คำนวณได้น้อยกว่าค่า t จากตาราง แสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญระหว่างผลการวิเคราะห์ทั้งสองวิธี แต่เราไม่สามารถจะกล่าวได้ว่าผลการวิเคราะห์ทั้งสองเหมือนกัน

ในการทดสอบว่าวิธีวิเคราะห์ทั้งสองวิธีนี้ จะมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญหรือไม่ เราจะใช้การทดสอบแบบทีคู่ (Paired t-test) ซึ่งวิธีวิเคราะห์ที่ต้องการทดสอบคือการวิเคราะห์โดยใช้เครื่อง Fibertec System I และวิธีที่เป็นมาตรฐานคือการวิเคราะห์โดยใช้เครื่องย่อยกาก โดยใช้ตัวอย่างหลายชนิดและแต่ละชนิดจะวิเคราะห์สองซ้ำแล้วหาค่าเฉลี่ยกำหนดให้

X_1 = เป็นค่าเฉลี่ยของผลวิเคราะห์ที่ได้จากการวิเคราะห์โดยใช้เครื่องย่อยกาก

X_2 = เป็นค่าเฉลี่ยของผลวิเคราะห์ที่ได้จากวิธีใช้เครื่อง Fibertec System I

$X_1 - X_2 = d_i$ = ค่าความแตกต่างระหว่างผลการวิเคราะห์ทั้งสองวิธีของแต่ละตัวอย่าง

N = จำนวนตัวอย่างที่ใช้ในการทดลอง

นำค่าความแตกต่างระหว่างผลการวิเคราะห์ทั้งสองวิธีของแต่ละตัวอย่าง(ดูตารางที่1) จำนวนทุกตัวอย่างมาหาค่าเฉลี่ย (\bar{d}) หาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S_d) ของผลต่างทั้งสองวิธีวิเคราะห์และหาค่า t จากสูตร $t = \frac{\bar{d}}{S_d/\sqrt{N}}$

เทียบค่า t ที่คำนวณได้ (เท่ากับ -1.69) กับค่าวิกฤตในตาราง t ที่ degree of freedom (df) = 30-1 ได้ค่า $t_{critical} = 2.04$ ที่ระดับความเชื่อมั่น ร้อยละ 95 สรุปผลว่าค่า t ที่คำนวณได้มีค่าน้อยกว่ากับค่าวิกฤต ($-1.69 < 2.04$) แสดงว่าผลการวิเคราะห์ทั้งสองวิธีไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

**ตารางที่ 1 การประเมินค่าทางสถิติเพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของ
วิธีวิเคราะห์**

ตัวอย่างที่	X_1	X_2	$X_1 - X_2 (d_i)$	$d_i - \bar{d}$	$(d_i - \bar{d})^2$
1	0.95	0.93	0.02	0.06	0.0036
2	0.42	0.54	-0.12	-0.08	0.0064
3	1.02	1.09	-0.07	-0.03	0.0009
4	1.08	1.14	-0.06	-0.02	0.0004
5	1.18	1.20	-0.02	-0.02	0.0004
6	1.50	1.54	0.16	0.20	0.0400
7	2.06	2.14	-0.08	-0.04	0.0016
8	8.95	8.64	0.31	0.35	0.1225
9	0.82	0.92	-0.10	-0.06	0.0036
10	3.94	4.09	-0.15	-0.11	0.0121
11	4.64	4.72	-0.08	-0.04	0.0016
12	5.18	5.12	0.06	0.10	0.0100
13	8.90	8.80	0.10	0.14	0.0196
14	0.18	0.20	-0.02	0.02	0.0004
15	0.28	0.17	0.11	0.15	0.0225
16	0.26	0.38	-0.12	-0.08	0.0064
17	0.37	0.47	-0.10	-0.06	0.0036
18	4.55	4.70	-0.15	-0.11	0.0121
19	4.95	5.08	-0.13	-0.09	0.0081
20	2.40	2.49	-0.09	-0.05	0.0025
21	2.87	3.02	-0.15	-0.11	0.0121
22	3.02	3.00	0.02	0.06	0.0036
23	3.02	3.07	-0.05	-0.01	0.0001
24	3.06	3.29	-0.23	-0.19	0.0361

ตารางที่ 1 การประเมินค่าทางสถิติเพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของ
วิธีวิเคราะห์ (ต่อ)

ตัวอย่างที่	X_1	X_2	$X_1 - X_2 (d_i)$	$d_i - \bar{d}$	$(d_i - \bar{d})^2$
25	3.16	3.21	-0.05	-0.01	0.0001
26	4.64	4.72	-0.08	-0.04	0.0016
27	4.65	4.87	-0.22	-0.18	0.0324
28	4.86	5.08	-0.22	-0.18	0.0324
29	5.29	5.31	-0.02	-0.02	0.0004
30	5.71	5.51	0.20	0.24	0.0576
Σd_i			-1.33		
$\Sigma (d_i - \bar{d})^2$					0.455
N					30
\bar{d}					-0.04
Df (N-1)					29
$S_d = \sqrt{\Sigma (d_i - \bar{d})^2 / N - 1}$					0.13
$t = \frac{\bar{d}}{s_d / \sqrt{N}}$					-1.69
$t_{critical}$					2.04

บทที่ 4

ผลการทดลอง

จากการศึกษาทดลองวิเคราะห์ปริมาณกากอาหาร โดยใช้เครื่องย่อยกาก ตามวิธีทดสอบ AOAC(1995) ซึ่งเป็นวิธีมาตรฐานเดิมที่ใช้อยู่ในกลุ่มงานคุณค่าทางโภชนาการ กองวิทยาศาสตร์ชีวภาพ กรมวิทยาศาสตร์บริการ เปรียบเทียบกับการวิเคราะห์โดยใช้เครื่อง Fibertec System I ซึ่งเป็นวิธีแบบกึ่งอัตโนมัติ พบว่าผลวิเคราะห์มีค่าใกล้เคียงกันและเมื่อนำผลวิเคราะห์ทั้งหมดของทั้งสองวิธีนี้ มาประเมินค่าทางสถิติ โดยการทดสอบแบบที (The Student t Test) เปรียบเทียบค่า t ที่คำนวณได้ (เท่ากับ -1.69) กับค่าวิกฤตในตาราง t ที่ degree of freedom (df) = 30-1 ได้ค่า $t_{critical} = 2.04$ ที่ระดับความเชื่อมั่น ร้อยละ 95 พบว่าค่า t ที่คำนวณได้มีค่าน้อยกว่าค่าวิกฤต ($-1.69 < 2.04$) (ดูตารางที่ 1) แสดงว่าผลการวิเคราะห์ปริมาณกากทั้งสองวิธีนี้ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ สามารถใช้วิธีวิเคราะห์ปริมาณกากโดยใช้เครื่อง Fibertec Sytem I เป็นวิธีวิเคราะห์หรือวิธีหนึ่งในห้องปฏิบัติการได้

จากการวิเคราะห์หาปริมาณกากในตัวอย่างอาหารประเภทวัตถุดิบเดิมอาหารสัตว์ เช่น ปลาป่น มันสำปะหลังอัดเม็ดแข็ง มะพร้าวอบแห้ง กากถั่วเหลือง และอาหารประเภทข้าว เช่น ข้าวโอ๊ต ข้าวแดงผสมข้าวเจ้า จมูกข้าวสาลีและรำข้าวสาลี จำนวน 30 ตัวอย่าง ทำการวิเคราะห์สองซ้ำ โดยใช้วิธีการวิเคราะห์ 2 วิธีนี้ พบว่าตัวอย่างประเภทวัตถุดิบเดิมอาหารสัตว์ เช่น ปลาป่น เมื่อวิเคราะห์โดยวิธีใช้เครื่องย่อยกากจะมีปริมาณกากอยู่ในช่วงร้อยละ 0.18-0.37 และวิเคราะห์โดยใช้เครื่อง Fibertec Sytem I จะมีปริมาณกากอยู่ในช่วงร้อยละ 0.20-0.47 ตัวอย่างมันสำปะหลังอัดเม็ดเมื่อวิเคราะห์โดยใช้เครื่องย่อยกากจะมีปริมาณกากร้อยละ 2.40-5.71 วิธีใช้เครื่อง Fibertec Sytem I จะมีปริมาณกากร้อยละ 2.49-5.81 ตัวอย่างประเภทถั่วเหลืองและกากถั่วเหลืองเมื่อวิเคราะห์โดยใช้เครื่องย่อยกากจะมีปริมาณกากร้อยละ 3.94-4.64 วิธีใช้เครื่อง Fibertec Sytem I จะมีปริมาณกากร้อยละ 4.09-4.72

ส่วนผลการวิเคราะห์ปริมาณกากอาหารประเภทข้าว เช่น ข้าวโอ๊ตเมื่อวิเคราะห์โดยใช้เครื่องย่อยกากจะมีปริมาณกากร้อยละ 1.02-1.05 วิธีใช้เครื่อง Fibertec Sytem I จะมีปริมาณกากร้อยละ 1.09-1.54 จมูกข้าวสาลีวิเคราะห์โดยใช้เครื่องย่อยกากจะมีปริมาณกากร้อยละ 2.06 วิธีใช้เครื่อง Fibertec Sytem I จะมีปริมาณกากร้อยละ 2.14 และรำข้าวเมื่อ

วิเคราะห์โดยใช้เครื่องย่อยกากจะมีปริมาณกากร้อยละ 8.95 วิธีใช้เครื่อง Fibertec Sytem I จะมีปริมาณกากร้อยละ 8.64 (ผลการทดลองแสดงในภาคผนวกตารางที่2)

บทที่ 5

วิจารณ์ผลการทดลอง

จากผลการวิเคราะห์ปริมาณกากในตัวอย่างอาหารประเภทต่างๆ จำนวน 30 ตัวอย่าง โดยศึกษาทดลองเปรียบเทียบวิธีวิเคราะห์ 2 วิธี คือ การวิเคราะห์ด้วยเครื่องย่อยกาก ตามวิธีทดสอบ AOAC (1995) ซึ่งเป็นวิธีมาตรฐานเดิมที่ใช้อยู่ในกลุ่มงานคุณค่าทางโภชนาการกับการวิเคราะห์โดยใช้เครื่อง Fibertec System I ซึ่งเป็นวิธีกึ่งอัตโนมัติ พบว่าผลวิเคราะห์มีค่าใกล้เคียงกัน เมื่อนำไปประเมินค่าทางสถิติไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งวิธีวิเคราะห์ทั้งสองวิธีนี้ใช้หลักการเดียวกันคือ การย่อยตัวอย่างด้วยสารละลายกรดและด่างภายใต้สภาวะที่กำหนด นำส่วนที่เหลือจากการย่อยไปอบและเผา คำนวณหาส่วนที่หายไปหลังจากการเผา

วิธีวิเคราะห์หาปริมาณกากอาหารโดยใช้เครื่องย่อยกาก ค่อนข้างยุ่งยากต้องใช้ความระมัดระวังทุกขั้นตอนเป็นพิเศษ เพื่อมิให้เกิดการผิดพลาดในระหว่างขั้นตอนนั้นๆ เริ่มตั้งแต่การต้มกรดและด่างให้ร้อนก่อนที่จะใส่ในตัวอย่างถ้าไม่คอยระวังกรดกับด่างที่ต้มไว้อาจจะล้นจากภาชนะที่ต้มลงสู่แทนให้ความร้อนได้ การถ่ายและการกรองตัวอย่างหลังจากการย่อยตัวอย่างด้วยสารละลายกรดและด่างแล้ว ต้องใช้น้ำร้อนฉีดล้างตัวอย่างให้หมดกรดและด่าง ในการฉีดน้ำร้อนนี้ต้องทำด้วยความระมัดระวัง เพราะอาจจะพลาดถูกมือทำให้มือพอง การวิเคราะห์โดยวิธีนี้อาจเกิดการผิดพลาดได้ ถ้าผู้วิเคราะห์ไม่มีความชำนาญเพียงพอเนื่องจากขั้นตอนในการย่อยด้วยกรดและด่างต้องถ่ายตัวอย่างจากภาชนะที่ใช้ย่อยลงสู่ภาชนะที่ใช้กรองถึงสองครั้ง การวิเคราะห์ด้วยเครื่องย่อยกากจะใช้ปริมาณกรดและด่างอย่างละ 200 มิลลิลิตร จำนวนตัวอย่างที่สามารถวิเคราะห์ได้ 1 ตัวอย่างต่อครั้ง และระยะเวลาที่ใช้ในการวิเคราะห์ประมาณ 2 วันต่อ 1 ตัวอย่าง

สำหรับวิธีวิเคราะห์ปริมาณกาก โดยใช้เครื่อง Fibertec System I เป็นวิธีแบบกึ่งอัตโนมัติ ขั้นตอนการวิเคราะห์เหมือนกับวิธีวิเคราะห์โดยใช้เครื่องย่อยกากทุกอย่าง การใช้เครื่องสะดวกและรวดเร็วกว่าไม่ต้องต้มกรดและด่างไว้ก่อน เมื่อชั่งตัวอย่างใส่ถ้วยกรองเสร็จสามารถนำไปติดตั้งในเครื่องวิเคราะห์กาก Fibertec System I ที่เตรียมพร้อมไว้แล้ว เริ่มทำการย่อยด้วยกรดและด่างและทำได้ต่อเนื่องจนเสร็จสิ้นการวิเคราะห์โดยไม่มีการถ่ายตัวอย่างจากอีกภาชนะหนึ่งไปอีกภาชนะหนึ่ง ในเครื่องวิเคราะห์กาก Fibertec System I จะมีระบบปั๊มสุญญากาศดึงกรดและด่างที่ใช้ย่อยตัวอย่างออกได้เลย ทำให้ระยะเวลาในการวิเคราะห์น้อยลงสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการวิเคราะห์ตัวอย่างได้มากขึ้น ปริมาณกรดและด่างที่ใช้อย่าง

ละ 150 มิลลิลิตร จำนวนตัวอย่างที่สามารถวิเคราะห์ได้ 3 ตัวอย่างต่อครั้ง ระยะเวลาที่ใช้ในการวิเคราะห์ประมาณ 1 วันต่อ 1 ตัวอย่าง

เมื่อเปรียบเทียบวิธีวิเคราะห์ทั้งสองวิธีจะเห็นว่า วิธีวิเคราะห์ปริมาณกากโดยใช้เครื่องย่อยกาก เป็นวิธีวิเคราะห์ที่ให้ผลดีแต่ค่อนข้างยุ่งยากต้องใช้ความระมัดระวังเป็นพิเศษ สามารถวิเคราะห์ได้กับทุกตัวอย่างไม่ว่าจะเป็นของเหลวหรือของแข็ง เนื่องจากภาชนะที่ใช้ใส่ตัวอย่างเป็นปีกเกอร์ที่สามารถใช้ต้มกรดและล้างได้เลย แต่ในการวิเคราะห์วิธีนี้จะใช้ปริมาณสารเคมีมากกว่า ระยะเวลาานกว่า จำนวนตัวอย่างที่วิเคราะห์ได้น้อยกว่าการวิเคราะห์โดยใช้เครื่อง Fibertec Sytem I แต่การวิเคราะห์โดยใช้เครื่อง Fibertec Sytem I ก็มีข้อจำกัดของชนิดตัวอย่าง ไม่เหมาะที่จะวิเคราะห์ตัวอย่างที่เป็นของเหลวเนื่องจากภาชนะที่ใช้ใส่ตัวอย่างเป็นถ้วยกรองที่มีรูพรุน และในขณะที่ทำการวิเคราะห์มีการใส่กรดและล้างที่ร้อนและต้มเดือดจะทำให้ตัวอย่างซึมออกนอกถ้วยกรองและอาจทำให้เครื่องเสียได้

จากข้อมูลดังกล่าวมา การที่จะเลือกใช้วิธีวิเคราะห์วิธีใดวิธีหนึ่งนั้น จะต้องพิจารณาถึงความเหมาะสมของตัวอย่างที่จะวิเคราะห์และจำนวนตัวอย่างที่ส่งให้วิเคราะห์ด้วย

บทที่ 6

สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาทดลองวิเคราะห์ปริมาณกาก ในตัวอย่างอาหารประเภทวัตถุดิบเดิม อาหารสัตว์ เช่น ปลาป่น มันสำปะหลังอัดเม็ดแข็ง มะพร้าวเส้นอบแห้ง กากถั่วเหลือง และอาหารประเภทข้าว เช่น ข้าวโอ๊ต ข้าวแดงผสมข้าวเจ้า จมูกข้าวสาลีและรำข้าวสาลี จำนวน 30 ตัวอย่าง โดยการวิเคราะห์สองซ้ำ โดยใช้วิธีการวิเคราะห์ 2 วิธี คือ การวิเคราะห์ด้วยเครื่องย่อยกาก ตามวิธีทดสอบ AOAC (1995) ซึ่งเป็นวิธีมาตรฐานเดิมที่ใช้อยู่ในกลุ่มงานคุณค่าทางโภชนาการ กองวิทยาศาสตร์ชีวภาพ กรมวิทยาศาสตร์บริการ กับการวิเคราะห์ปริมาณกากโดยใช้เครื่อง Fibertec System I ซึ่งเป็นวิธีกึ่งอัตโนมัติ เมื่อเปรียบเทียบผลวิเคราะห์ ของ 2 วิธี พบว่าผลวิเคราะห์มีค่าใกล้เคียงกันเมื่อนำผลวิเคราะห์ทั้งหมดของทั้งสองวิธีนี้ มาประเมินค่าทางสถิติ โดยการใช้ t-Test คำนวณหาค่า t และเปรียบเทียบกับค่าวิกฤตในตาราง t ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 พบว่าค่า t ที่คำนวณได้มีค่าน้อยกว่าค่าวิกฤต แสดงว่าผล การวิเคราะห์ปริมาณกากทั้งสองวิธีนี้ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ สามารถใช้วิธี วิเคราะห์ปริมาณกากโดยใช้เครื่อง Fibertec System I เป็นวิธีวิเคราะห์อีกวิธีหนึ่งในห้อง ปฏิบัติการได้

จากผลการวิเคราะห์ปริมาณกากอาหาร พบว่าตัวอย่างประเภทวัตถุดิบเดิมอาหาร สัตว์ เช่น ปลาป่น จะมีปริมาณกากอาหารอยู่ในช่วงร้อยละ 0.18-0.47 ตัวอย่างมันสำปะหลัง อัดเม็ดจะมีปริมาณกากอาหารอยู่ในช่วงร้อยละ 2.40-5.81 มะพร้าวเส้นอบแห้งจะมีปริมาณ กากอาหารไม่เกินร้อยละ 8.90 กากถั่วเหลืองจะมีปริมาณกากอาหารประมาณร้อยละ 4 อาหารไก่จะมีปริมาณกากอาหารประมาณร้อยละ 5 จะมีปริมาณกากอาหารไม่เกินร้อยละ 0.5 และตัวอย่างมันสำปะหลังอัดเม็ดจะมีปริมาณกากอาหารอยู่ในช่วงร้อยละ 2-6 อาหารไก่ จะมีปริมาณกากอาหารอยู่ในช่วงร้อยละ 4-5 มะพร้าวเส้นอบแห้งจะมีปริมาณกากอาหารไม่ เกินร้อยละ 9 ส่วนอาหารประเภทข้าว เช่น ข้าวโอ๊ตจะมีปริมาณกากอาหารอยู่ในช่วงร้อยละ 1-1.5 ข้าวเจ้าผสมข้าวแดงและน้ำนมข้าวกับยาคุมมีปริมาณกากไม่เกินร้อยละ 1 พวงรำข้าว สาลีจะมีปริมาณกากอาหารไม่เกินร้อยละ 9 จากผลการวิเคราะห์ปริมาณกากอาหารนี้ จำนวน ตัวอย่างทั้งหมด 30 ตัวอย่างนี้ รำข้าวสาลีและมะพร้าวเส้นอบแห้งจะมีปริมาณกากอาหารสูง มาก ปลาป่นจะมีปริมาณกากอาหารน้อยที่สุด

กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบคุณ คุณสุจินต์ ศรีคงศรี (ผู้อำนวยการกอง กองวิทยาศาสตร์ชีวภาพ) และ คุณศิริบุญ พูลสวัสดิ์ (หัวหน้ากลุ่มงานคุณค่าทางโภชนาการ) คุณสุนทร เป็รื่องการ (หัวหน้ากลุ่มงานชีวเคมี) และ คุณอารีย์ ชูวิสิฐกุล (หัวหน้ากลุ่มงานเทคโนโลยี 1) ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำ และแก้ไขข้อบกพร่องของรายงานฉบับนี้จนสำเร็จสมบูรณ์ด้วยดี และขอขอบคุณ คุณวิภาวรรณ ศรีมุข ซึ่งช่วยให้ข้อมูลบางส่วนจนทำให้รายงานฉบับนี้สำเร็จสมบูรณ์

เอกสารอ้างอิง

1. รัชนี้ ตันตะพานิชกุล. เคมีอาหาร. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยรามคำแหง, 2536.
2. วิชัย ตันไพจิตร. โภชนาการเพื่อสุขภาพ. กรุงเทพมหานคร : โรงพิมพ์อักษรสมัย, 2530.
3. ศุภชัย ใช้เทียมวงศ์. ปฏิบัติการเคมีปริมาณวิเคราะห์. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2543.
4. Horwitz, William Dr. edit. Official methods of analysis of AOAC international. 17th ed. Gaithersburg : AOAC, 2000.
5. Marten Wennerholm. Fiber Analysis in the feed Industry. In Focus vol.16, No.1, 1993,p13
6. Tecator AB. Manual : fibertec system I. Höganäs : Tecator AB, n.d.

ภาคผนวก

ตารางที่ 2 เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ปริมาณกากในตัวอย่างต่าง ๆ โดยวิธีย่อยด้วยเครื่องย่อยกาก และวิธีใช้เครื่อง Fibertec System I

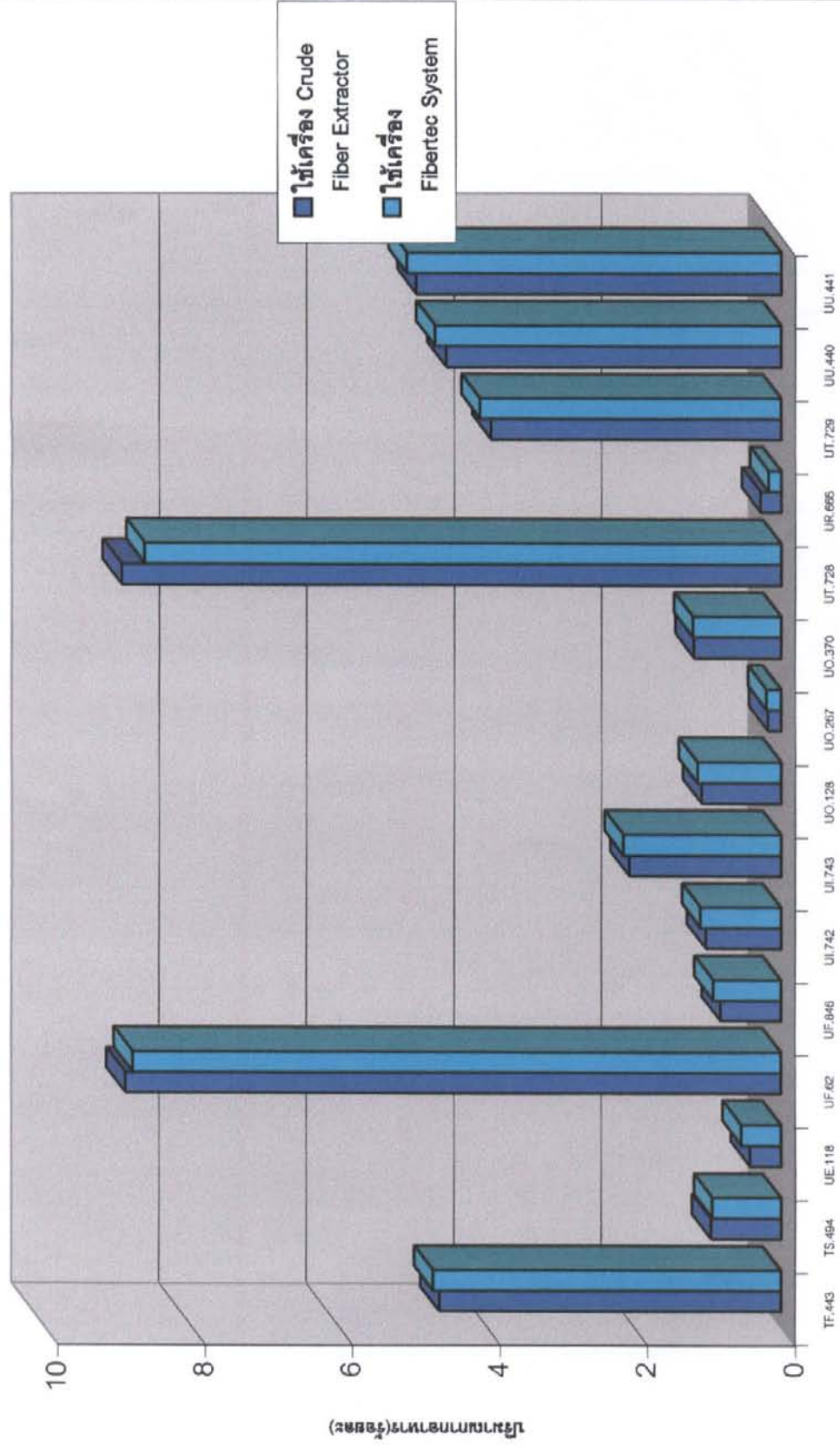
ลำดับที่	ชื่อตัวอย่าง	ปริมาณกาก ร้อยละ	
		วิธีย่อยด้วยเครื่องย่อยกาก	วิธีใช้เครื่อง Fibertec System I
1	ข้าวแดงผสมข้าวเจ้า	0.95	0.93
2	น้ำนมข้าวกระยาจุก	0.42	0.54
3	ข้าวโอ๊ตธรรมชาติ	1.02	1.09
4	ข้าวโอ๊ต 100 %	1.08	1.14
5	ข้าวโอ๊ต	1.18	1.20
6	ข้าวโอ๊ต	1.50	1.54
7	จมูกข้าวสาลี	2.06	2.14
8	รำข้าวสาลี	8.95	8.64
9	เมล็ดมะม่วงหิมพานต์	0.82	0.92
10	กากถั่วเหลือง	3.94	4.09
11	ถั่วเหลือง	4.64	4.72
12	มะพร้าวอบแห้ง	5.18	5.12
13	มะพร้าวเส้นอบแห้ง	8.90	8.80
14	ปลาป่น	0.18	0.20
15	ปลาป่น	0.26	0.38
16	ปลาป่น	0.28	0.17
17	ปลาป่น	0.37	0.47
18	อาหารไก่	4.55	4.70
19	อาหารไก่	4.95	5.08
20	มันสำปะหลังอัดเม็ด	2.40	2.49
21	มันสำปะหลังอัดเม็ด	2.87	3.02
22	มันสำปะหลังอัดเม็ด	3.02	3.07
23	มันสำปะหลังอัดเม็ด	3.02	3.15

ตารางที่ 2 เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ปริมาณกากในตัวอย่างต่าง ๆ โดยวิธี
ย่อยด้วยเครื่องย่อยกาก และวิธีใช้เครื่อง Fibertec System I (ต่อ)

ลำดับที่	ชื่อตัวอย่าง	ปริมาณกาก ร้อยละ	
		วิธีย่อยด้วย เครื่องย่อยกาก	วิธีใช้เครื่อง Fibertec System I
24	มันสำปะหลังอัดเม็ด	3.06	3.29
25	มันสำปะหลังอัดเม็ด	3.16	3.21
26	มันสำปะหลังอัดเม็ด	4.64	4.72
27	มันสำปะหลังอัดเม็ด	4.65	4.87
28	มันสำปะหลังอัดเม็ด	4.86	5.08
29	มันสำปะหลังอัดเม็ด	5.29	5.41
30	มันสำปะหลังอัดเม็ด	5.71	5.81

หมายเหตุ ผลวิเคราะห์ที่แสดงในตารางทั้งสองวิธี เป็นค่าเฉลี่ยของการวิเคราะห์สองซ้ำ

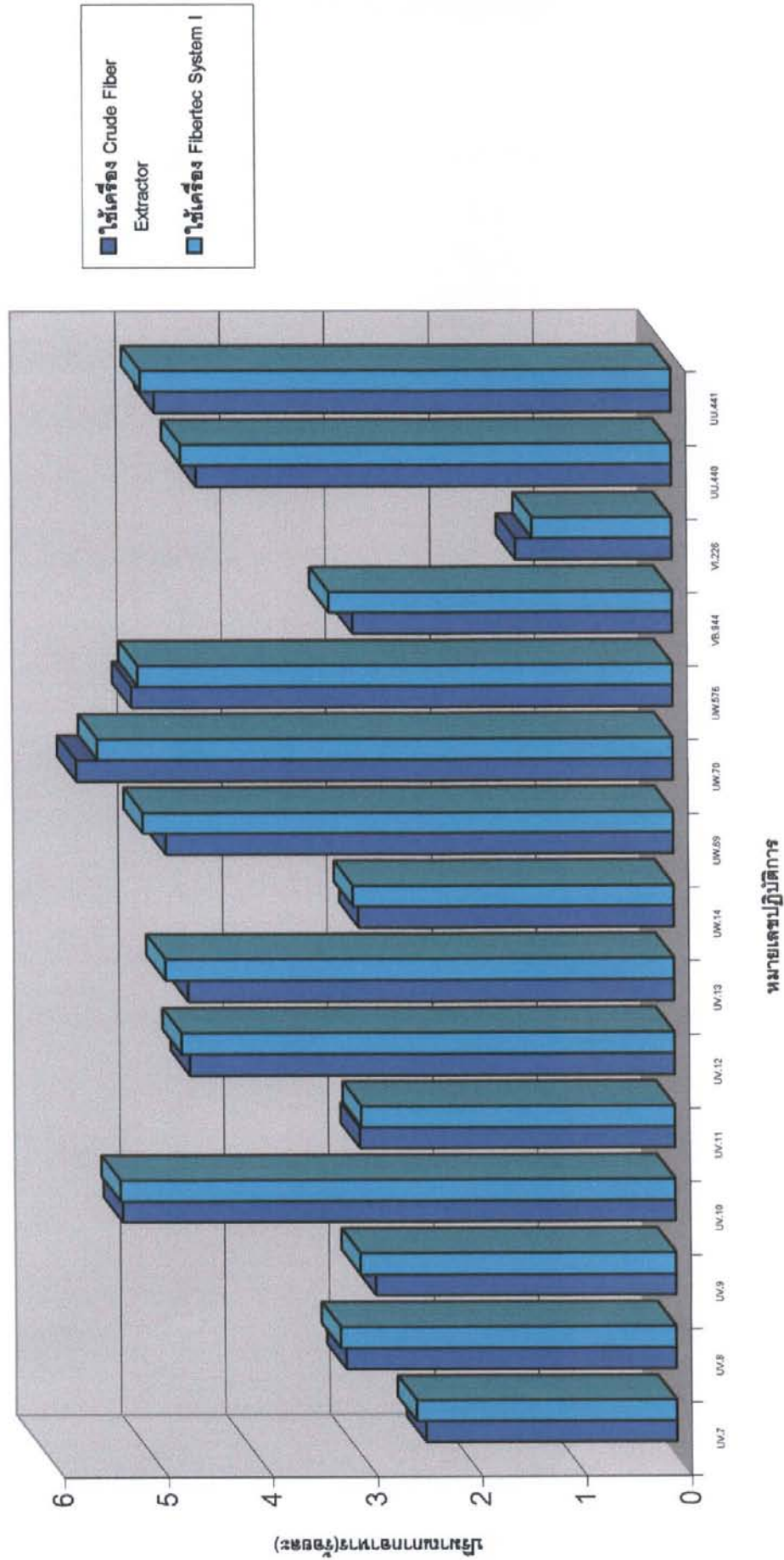
รูปที่ 1 กราฟแสดงการเปรียบเทียบผลวิเคราะห์ปริมาณกาก(Crude fiber) โดยวิธีเครื่องย่อยกาก Crude fiber Extractor และวิธีใช้เครื่อง Fibertec System I



หมายเลขปฏิบัติการ

(ร้อยละ)ผลของกากใย

รูปที่ 2 กราฟแสดงการเปรียบเทียบผลวิเคราะห์ปริมาณกาก(Crude fiber) โดยวิธีเครื่องย่อยกาก Crude fiber Extractor และวิธีใช้เครื่อง Fibertec System I



หมายเลขปฏิบัติการ

(แสดงผลวิเคราะห์)



รูปที่ 1 Hot Extraction Unit



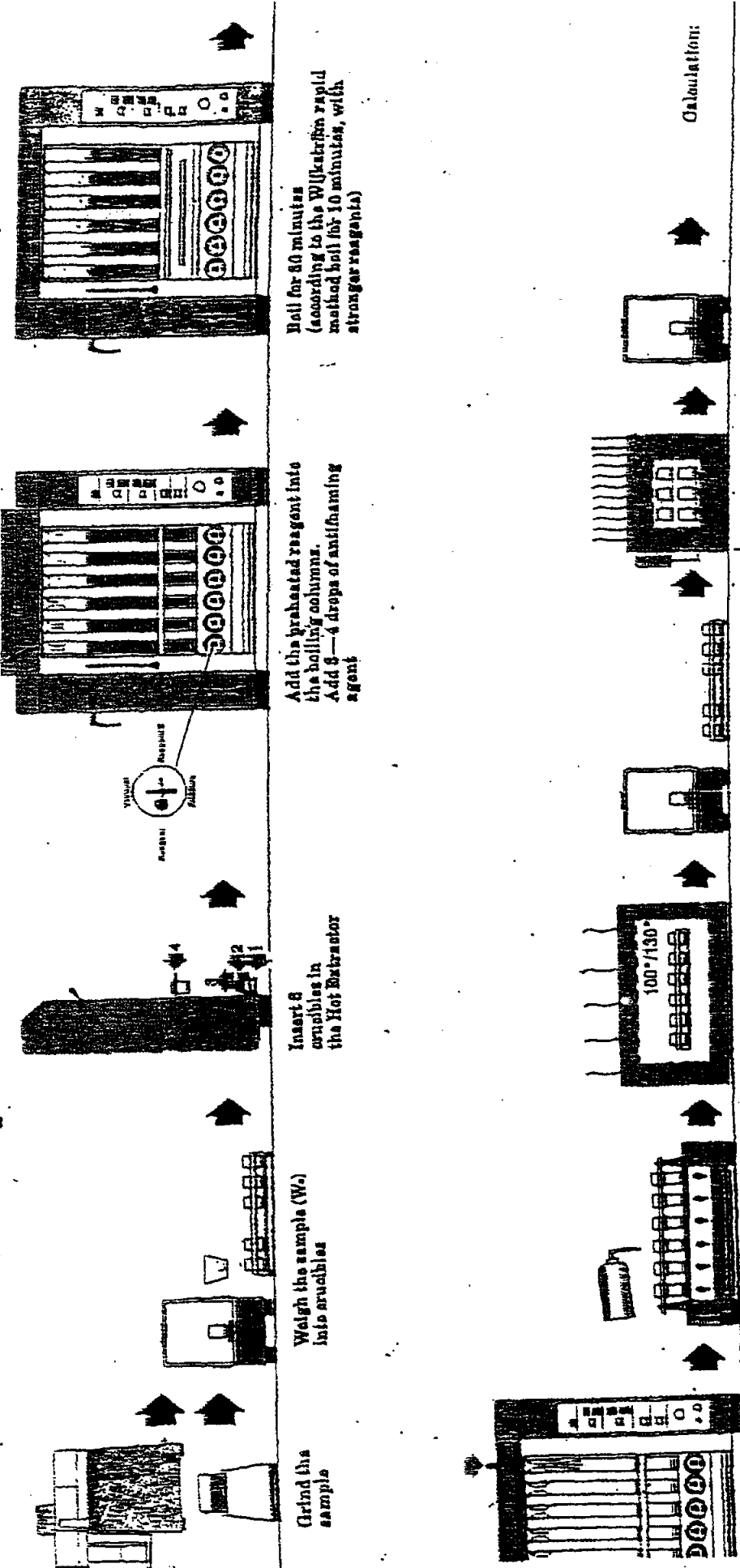
รูปที่ 2 Cold Extraction Unit

รูปของเครื่อง Fibertec System 1

Fibre procedure according to the Weende method with Fibertec System I



Indicator



Grind the sample

Weigh the sample (W₁) into crucibles

Insert 8 crucibles in the Hot Extractor

Add the preheated reagent into the boiling columns. Add 8—4 drops of antiflaming agent

Boil for 80 minutes (according to the Weende rapid method) for 10 minutes, with stronger reagent

Filter of the reagent. Wash 8 times with water. Repeat extraction procedure with reagent 2

Wash 8 times with solvent in the Cold Extractor

Dry the residue

Weigh the residue (W₂)

Ash

Weigh the ash (W₃)

Calculation:
% Fibre = $\frac{W_1 - W_2}{W_1} \cdot 100$

ภาพเครื่องมือและขั้นตอนการหาค่าโดยใช้เครื่อง Fibertec System I