

รายงานการวิจัย

การตรวจหาอะคริลาไมด์ในตัวอย่างอาหารทอดของไทยที่มีคาร์โบไฮเดรตสูง

SURVEYS OF ACRYLAMIDE IN CARBOHYDRATE-RICH DEEP-FRIED THAI FOOD SAMPLES



นาย ประพันธ์ ปิ่นศิริโรตม

ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากเงินงบประมาณแผ่นดินประจำปีงบประมาณ 2552

คณะอุตสาหกรรมเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ผลิตขึ้นเพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายงานการวิจัย

การตรวจหาอะคริลาไมด์ในตัวอย่างอาหารทอดของไทยที่มีคาร์โบไฮเดรตสูง

SURVEYS OF ACRYLAMIDE IN CARBOHYDRATE-RICH
DEEP-FRIED THAI FOOD SAMPLES



เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 119114 (ค) 2
วัน, เดือน, ปี 6 S.A. 2554

b. 12296053
i.....

ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากเงินงบประมาณแผ่นดินประจำปีงบประมาณ 2552

คณะอุตสาหกรรมเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยเรื่องการตรวจหาอะคริลาไมด์ในตัวอย่างอาหารทอดของไทยที่มี คาร์โบไฮเดรตสูง ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากเงินงบประมาณแผ่นดิน ประจำปีงบประมาณ 2552 ผู้วิจัยขอขอบคุณ คุณอัญญารัตน์ นิ่มทองคำ ผู้ช่วยวิจัยที่มีส่วนให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี และขอขอบคุณ นักวิทยาศาสตร์และเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการของคณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ทุกท่าน ที่อำนวยความสะดวกในการให้บริการมาโดยตลอด



ประพันธ์ ปันศิริโรดม
หัวหน้าโครงการวิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อโครงการ การตรวจหาอะคริลาไมด์ในตัวอย่างอาหารทอดของไทยที่มี คาร์โบไฮเดรตสูง

Surveys of acrylamide in carbohydrate-rich deep-fried Thai food samples

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจาก เงินงบประมาณแผ่นดิน ประจำปีงบประมาณ 2552

จำนวนเงิน 316,900 บาท

ระยะเวลาทำการวิจัย 1 ปี ตั้งแต่ ตุลาคม 2551 ถึง กันยายน 2552

บทคัดย่อ

อะคริลาไมด์เป็นสารที่อาจก่อให้เกิดมะเร็งในมนุษย์ (กลุ่ม 2A) ซึ่งมีการตรวจพบในอาหารประเภทคาร์โบไฮเดรตที่ผ่านการปรุงด้วยความร้อนสูง งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อสำรวจปริมาณสารอะคริลาไมด์ในอาหารทอดของไทยที่มีคาร์โบไฮเดรตสูง โดยวิเคราะห์ปริมาณด้วยเครื่องลิควิดโครมาโทกราฟีสมรรถนะสูง คู่กับตัวตรวจวัดยูวี โดยใช้คอลัมน์ Synergi 4u Hydro-RP 80A C18 ขนาด 250 x 4.6 มิลลิเมตร อนุภาคขนาด 4 ไมโครเมตร มีขีดจำกัดในการตรวจพบ น้อยกว่า 8 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม และมีเปอร์เซ็นต์การคืนกลับในช่วง 98.22 ถึง 101.15 เปอร์เซ็นต์ จากการตรวจวิเคราะห์อาหารทอดของไทย 27 ชนิด จำนวน 177 ตัวอย่าง พบว่าตัวอย่างอาหารที่ตรวจพบอะคริลาไมด์คิดเป็น 66.67 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาณสารอะคริลาไมด์ที่ตรวจพบ อยู่ในช่วง ไม่พบ (น้อยกว่าขีดจำกัดการตรวจพบ) จนถึง 3,751.04 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม ตัวอย่างอาหารที่มีสารอะคริลาไมด์สูงที่สุด คือ กุ้งทอดกรอบ โดยมีค่าเฉลี่ย 1,807.29 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม รองลงมาคือ มันต่อเปลือกทอดกรอบ(ชนิดหวาน) และขนุนทอดกรอบ โดยมีค่าเฉลี่ยที่ 867.51 และ 503.56 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับค่า LD_{50} ของสารอะคริลาไมด์ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 150 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักตัว อาจกล่าวได้ว่าปริมาณอะคริลาไมด์ ในตัวอย่างอาหารที่ศึกษาอยู่ในระดับต่ำ ซึ่งการรับประทานอาหารที่มีอะคริลาไมด์ปนเปื้อน เป็นประจำก็เป็นการเพิ่มการรับสารชนิดนี้เข้าสู่ร่างกายอีกทางหนึ่ง นอกเหนือจากที่ได้รับจากสภาพแวดล้อมในชีวิตประจำวัน นอกจากนี้ยังได้นำตัวอย่างอาหารที่บดละเอียดมาวัดค่าสี L^* , a^* และ b^* และคำนวณพารามิเตอร์สีต่างๆคือ hue angle, chroma และ browning index เมื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์สีกับปริมาณอะคริลาไมด์ในตัวอย่างอาหาร พบว่าสีของตัวอย่างอาหารไม่มีความสัมพันธ์อย่างชัดเจนกับปริมาณอะคริลาไมด์ที่ตรวจพบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ABSTRACT

Acrylamide has been classified as probable human carcinogen (group 2A) and detected in carbohydrate foods that are processed at high temperature. The aim of this study was to survey the acrylamide content in deep fried carbohydrate-riched Thai foods. The acrylamide was analyzed by HPLC equipped with UV detector and Synergi 4u Hydro-RP 80A C18 column (250 x 4.6 mm.), 4 μ m particle sizes. The limit of detection (LOD) in this study was lower 8 μ g/kg and the recovery was between 98.22 – 101.15%. Twenty seven items of deep fried Thai foods in total of 177 samples were analyzed for the acrylamide content. Acrylamide was detected in 66.67% of all samples studied with the content ranged from less than not detected (< LOD) to 3,751.04 μ g/kg. The highest acrylamide content was found in banana crisp with average content of 1,807.29 μ g/kg, following by sweet potato crisp and crispy fried jackfruit with the average content of 867.51 and 503.56 μ g/kg, respectively. Although acrylamide content found in the deep fried Thai foods was considerably low comparing to LD₅₀ (150 mg/kg body weight), regular consumption of foods containing acrylamide would increase the total intake of this toxic compound beside from polluted environment. Other than the ground samples were subjected to the color measurement in *L**, *a** and *b** values, and the color parameters including hue angle, chroma and browning index were calculated. The correlation between those color parameters and acrylamide content in each sample was analyzed; however, no obvious correction could be made.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ.....	I
บทคัดย่อภาษาไทย.....	II
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญรูป.....	X
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญของวิทยานิพนธ์.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 อะครีลาไมด์.....	4
2.1.1 สมบัติทางกายภาพและเคมีของสารอะครีลาไมด์.....	4
2.1.2 ความเป็นพิษของอะครีลาไมด์.....	4
2.1.3 การเกิดสารอะครีลาไมด์ในอาหาร.....	5
2.1.4 ปริมาณสารอะครีลาไมด์ที่มีในอาหารและปริมาณที่คนได้รับจากอาหาร.....	8
2.2 ลิกควิดโครมาโทกราฟีสมรรถนะสูง (high pressure liquid chromatography, HPLC).....	10
2.2.1 หลักการพื้นฐาน.....	10
2.2.2 ส่วนประกอบต่างๆของเครื่อง HPLC	10
2.2.3 ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการแยกสารโดยเทคนิคโครมาโทกราฟี.....	16
2.3 การตรวจสอบความใช้ได้ของวิธีทดสอบ (Method of validate).....	22
2.3.1 ช่วงของการทดสอบ และความเป็นเส้นตรง (linearity).....	23
2.3.2 ความแม่นยำของการทดสอบ (accuracy).....	24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.3.3 ปริมาณต่ำสุดที่วิธีทดสอบตรวจพบในเชิงคุณภาพ (limit of detection, LOD).....	24
2.3.4 ปริมาณต่ำสุดที่วิธีทดสอบตรวจพบในเชิงปริมาณ (limit of quantification, LOQ).....	25
2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	25
2.4.1 อาหารสำเร็จรูป.....	25
2.4.2 อาหารท้องถิ่น.....	26
บทที่ 3 การดำเนินงานวิจัย.....	28
3.1 สารเคมีและอุปกรณ์สำหรับงานวิจัย.....	28
3.1.1 สารมาตรฐาน.....	28
3.1.2 สารเคมี.....	28
3.1.3 เครื่องมือและอุปกรณ์.....	28
3.1.4 ตัวอย่าง.....	29
3.2 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย.....	29
3.3 วิธีการดำเนินการ.....	29
3.3.1 การเตรียมสารละลายและสารเคมี.....	29
3.3.2 การทดสอบความถูกต้องของวิธีการวิเคราะห์.....	30
3.3.3 การวัดสี.....	31
3.3.4 การวิเคราะห์ปริมาณการปนเปื้อนของสารอะคริลาไมด์ในตัวอย่างอาหาร.....	32
3.3.5 การควบคุมคุณภาพและการรายงานผล.....	33
3.3.6 การรวบรวม วิเคราะห์ข้อมูล และประเมินผลการศึกษา.....	33
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง.....	34
4.1 การทดสอบความถูกต้องของวิธีวิเคราะห์.....	34
4.1.1 การสร้างกราฟมาตรฐาน.....	34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.1.2 การหาเปอร์เซ็นต์คืนกลับ	35
4.1.3 ขีดจำกัดการตรวจพบและปริมาณต่ำสุดที่สามารถตรวจวัดได้เชิงปริมาณ.....	36
4.2 การตรวจวิเคราะห์พารามิเตอร์สีของตัวอย่างอาหารชนิดต่างๆ.....	37
4.3 วิเคราะห์ปริมาณการปนเปื้อนอะคริลาไมด์ในตัวอย่างอาหาร.....	39
4.3.1 การจำแนกลักษณะทางกายภาพ	39
4.3.2 ปริมาณอะคริลาไมด์	42
4.4 การหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณอะคริลาไมด์กับพารามิเตอร์สี.....	45
4.4.1 การหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณอะคริลาไมด์กับพารามิเตอร์สีโดยไม่แยกชนิดตัวอย่าง.....	45
4.4.2 การหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณอะคริลาไมด์กับพารามิเตอร์สีโดยแยกตามชนิดตัวอย่าง.....	46
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	49
5.1 สรุปผลการวิจัย	49
5.2 ข้อเสนอแนะ	50
บรรณานุกรม.....	51
ภาคผนวก ก. การคำนวณเปอร์เซ็นต์การคืนกลับ	55
ภาคผนวก ข. การคำนวณขีดจำกัดการตรวจพบและปริมาณต่ำสุดที่สามารถตรวจวิเคราะห์ในเชิงปริมาณของอะคริลาไมด์ในตัวอย่างอาหารชนิดต่างๆ.....	56
ภาคผนวก ค. การคำนวณค่าพารามิเตอร์สี	57
ภาคผนวก ง. ผลการตรวจวิเคราะห์ปริมาณอะคริลาไมด์ในอาหาร.....	65
ภาคผนวก จ. การหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณอะคริลาไมด์ในอาหารกับพารามิเตอร์สี.....	75

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 การแบ่งกลุ่มสารก่อมะเร็ง	4
2.2 การเปรียบเทียบปริมาณการได้รับสารอะคริลาไมด์จากการบริโภคอาหารประจำวัน ที่นำเสนอโดยหน่วยงานต่างๆ	8
2.3 ระดับความเป็นพิษของค่า LD_{50} ที่ปริมาณต่างๆ	9
2.4 การเปรียบเทียบค่า k'	17
2.5 ค่าคงที่ a จากการวัดความกว้างพีคด้วยวิธีต่างๆ	20
2.6 เกณฑ์การยอมรับเปอร์เซ็นต์การคืนกลับตามมาตรฐาน Codex	24
3.1 ค่าสีของ hue angle	32
4.1 ค่าเปอร์เซ็นต์การคืนกลับ (% recovery) ของตัวอย่างอาหารชนิดต่างๆ	35
4.2 ขีดจำกัดในการตรวจพบ (LOD) และปริมาณต่ำสุดที่สามารถวัดได้ในเชิงปริมาณ (LOQ) ของการวิเคราะห์ปริมาณอะคริลาไมด์ในอาหารชนิดต่างๆ	36
4.3 ค่าเฉลี่ยพารามิเตอร์สีของตัวอย่างอาหารชนิดต่างๆ	37
4.4 ปริมาณอะคริลาไมด์ในตัวอย่างอาหารชนิดต่างๆ	42
4.5 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์สีกับปริมาณอะคริลาไมด์ โดยไม่แยกชนิดตัวอย่าง	46
4.6 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณอะคริลาไมด์ในตัวอย่างอาหารแต่ละชนิด กับค่าพารามิเตอร์สี	46
ก.1 การคำนวณเปอร์เซ็นต์การคืนกลับ (% recovery) ของตัวอย่างอาหารชนิดต่างๆ	55
ข.1 การคำนวณค่า LOD และ LOQ ของตัวอย่างอาหารชนิดต่างๆ	56
ค.1 การคำนวณค่าสี	58
ง.1 การคำนวณปริมาณอะคริลาไมด์ในตัวอย่างอาหารชนิดต่างๆ	66
จ.1 การวิเคราะห์หาสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณอะคริลาไมด์กับพารามิเตอร์สี ในตัวอย่างกระดาษ	75
จ.2 การวิเคราะห์หาสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณอะคริลาไมด์กับพารามิเตอร์สี ในตัวอย่างกล้วยแขก	75

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
จ.3 การวิเคราะห์หาสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณอะครีลาไมด์กับพารามิเตอร์สี่ ในตัวอย่างกล้วยทอดกรอบ (ชนิดเค็ม)	76
จ.4 การวิเคราะห์หาสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณอะครีลาไมด์กับพารามิเตอร์สี่ ในตัวอย่างกล้วยทอดกรอบ (ชนิดหวาน)	76
จ.5 การวิเคราะห์หาสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณอะครีลาไมด์กับพารามิเตอร์สี่ ในตัวอย่างกล้วยตากทอด	76
จ.6 การวิเคราะห์หาสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณอะครีลาไมด์กับพารามิเตอร์สี่ ในตัวอย่างกล้วยหอมทอดกรอบ	77
จ.7 การวิเคราะห์หาสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณอะครีลาไมด์กับพารามิเตอร์สี่ ในตัวอย่างกล้วยอบเนย	77
จ.8 การวิเคราะห์หาสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณอะครีลาไมด์กับพารามิเตอร์สี่ ในตัวอย่างขนมก้านบัว	77
จ.9 การวิเคราะห์หาสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณอะครีลาไมด์กับพารามิเตอร์สี่ ในตัวอย่างขนุนทอดกรอบ	78
จ.10 การวิเคราะห์หาสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณอะครีลาไมด์กับพารามิเตอร์สี่ ในตัวอย่างข้าวเกรียบงา	78
จ.11 การวิเคราะห์หาสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณอะครีลาไมด์กับพารามิเตอร์สี่ ในตัวอย่างข้าวแต๋น	78
จ.12 การวิเคราะห์หาสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณอะครีลาไมด์กับพารามิเตอร์สี่ ในตัวอย่างข้าวเม่า	79
จ.13 การวิเคราะห์หาสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณอะครีลาไมด์กับพารามิเตอร์สี่ ในตัวอย่างขนมไข่เต่า	79
จ.14 การวิเคราะห์หาสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณอะครีลาไมด์กับพารามิเตอร์สี่ ในตัวอย่างขนมไข่หงส์	79
จ.15 การวิเคราะห์หาสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณอะครีลาไมด์กับพารามิเตอร์สี่ ในตัวอย่างครองแครงกรอบ	80

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 โครงสร้างของกรดอะมิโนแอสพาราจีนและอะคริลาไมด์	6
2.2 กลไกการเกิดอะคริลาไมด์จากกรดอะมิโนแอสพาราจีนและกลูโคส	6
2.3 กลไกการเกิดอะคริลาไมด์จากสมมติฐานของ Zyzak และคณะ	7
2.4 หลักการทำงานของเครื่อง HPLC	10
2.5 ส่วนประกอบต่างๆของเครื่อง HPLC	11
2.6 Microsyringe	13
2.7 คอลัมน์ชนิดต่างๆและอุปกรณ์	13
2.8 โครมาโทแกรมแสดงการหาพารามิเตอร์ต่างๆ	16
2.9 โครมาโทแกรมแสดงการหาค่าซีเล็กทีวิตี	18
2.10 โครมาโทแกรมแสดงการคำนวณจำนวนเพลทของคอลัมน์	19
2.11 โครมาโทแกรมแสดงการหาค่าการแยก (R_s)	21
4.1 โครมาโทแกรมของสามละลายอะคริลาไมด์มาตรฐานที่ความเข้มข้น 100 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร	34
4.2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ใต้พีคกับความเข้มข้นของสารอะคริลาไมด์	35
4.3 แสดงสีของตัวอย่างอาหารชนิดต่างๆ	39
4.4 ตัวอย่างอาหารที่มีลักษณะบางกรอบ	40
4.5 ตัวอย่างอาหารที่มีลักษณะเป็นแท่ง	41
4.6 ตัวอย่างอาหารที่มีลักษณะเป็นชิ้นหนา	41
ง.1 โครมาโทแกรมจากการวิเคราะห์ปริมาณอะคริลาไมด์ของสารสกัดตัวอย่าง ผักทอดทอดกรอบด้วยวิธี RP-HPLC	65
ง.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณอะคริลาไมด์กับค่า L^*	84
ง.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณอะคริลาไมด์กับค่า a^*	85
ง.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณอะคริลาไมด์กับค่า b^*	85
ง.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณอะคริลาไมด์กับค่า hue angle	86
ง.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณอะคริลาไมด์กับค่า chroma	86
ง.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณอะคริลาไมด์กับค่า browning index	87

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
จ.16 การวิเคราะห์หาสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณอะครีลาไมด์กับพารามิเตอร์สี่ ในตัวอย่างขนมดอกจอก	80
จ.17 การวิเคราะห์หาสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณอะครีลาไมด์กับพารามิเตอร์สี่ ในตัวอย่างถั่วทอด	80
จ.18 การวิเคราะห์หาสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณอะครีลาไมด์กับพารามิเตอร์สี่ ในตัวอย่างทุเรียนทอดกรอบ	81
จ.19 การวิเคราะห์หาสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณอะครีลาไมด์กับพารามิเตอร์สี่ ในตัวอย่างเฟือกทอดกรอบ (ชนิดเค็ม)	81
จ.20 การวิเคราะห์หาสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณอะครีลาไมด์กับพารามิเตอร์สี่ ในตัวอย่างเฟือกทอดกรอบ (ชนิดหวาน)	81
จ.21 การวิเคราะห์หาสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณอะครีลาไมด์กับพารามิเตอร์สี่ ในตัวอย่างเฟือกทอด	82
จ.22 การวิเคราะห์หาสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณอะครีลาไมด์กับพารามิเตอร์สี่ ในตัวอย่างฟักทองทอดกรอบ	82
จ.23 การวิเคราะห์หาสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณอะครีลาไมด์กับพารามิเตอร์สี่ ในตัวอย่างมันทอดกรอบ (ชนิดเค็ม)	82
จ.24 การวิเคราะห์หาสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณอะครีลาไมด์กับพารามิเตอร์สี่ ในตัวอย่างมันทอดกรอบ (ชนิดหวาน)	83
จ.25 การวิเคราะห์หาสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณอะครีลาไมด์กับพารามิเตอร์สี่ ในตัวอย่างมันคั่วเฟือกทอดกรอบ (ชนิดหวาน)	83
จ.26 การวิเคราะห์หาสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณอะครีลาไมด์กับพารามิเตอร์สี่ ในตัวอย่างมันทอด	83
จ.27 การวิเคราะห์หาสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณอะครีลาไมด์กับพารามิเตอร์สี่ ในตัวอย่างซาลาเปาทอด	84
จ.28 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณอะครีลาไมด์กับพารามิเตอร์สี่ โดยไม่จำแนกชนิดตัวอย่าง	87

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญของงานวิจัย

ในปัจจุบันทั่วโลกมีการแข่งขันในธุรกิจเกี่ยวกับอาหารสูง ทางผู้ผลิตจึงได้มีการคิดค้นและปรับปรุงผลิตภัณฑ์อาหารที่ผลิต โดยใช้เทคโนโลยีและวิทยาการใหม่ๆ เช่น การเปลี่ยนเครื่องปรุงส่วนผสม กระบวนการผลิต และบรรจุภัณฑ์ เพื่อลดต้นทุนการผลิตและตอบสนองความต้องการของผู้บริโภค นอกจากนี้ในอุตสาหกรรมอาหารยังให้ความสำคัญเกี่ยวกับความปลอดภัยของผลิตภัณฑ์นำมาซึ่งการพัฒนาวิธีการตรวจวิเคราะห์ความปลอดภัยของอาหารและส่วนประกอบต่างๆ

เมื่อเดือนเมษายน ปีค.ศ. 2002 สำนักงานอาหารแห่งชาติ ประเทศสวีเดน (Swedish Nation Food Administration) และมหาวิทยาลัยสต็อกโฮล์ม (Stockholm university) ได้รายงานผลการวิจัยเรื่องระดับของสารอะคริลาไมด์ ในอาหารบางชนิดที่เกิดขึ้นเองระหว่างกระบวนการแปรรูปด้วยอุณหภูมิสูงโดยวิธีการทอด อบ ปิ้ง หรือย่าง และถือว่ามีส่วนเกี่ยวข้องกับความปลอดภัยของอาหาร โดยจัดว่าเป็นการปนเปื้อนทางด้านเคมีทางหนึ่ง โดยเฉพาะผลิตภัณฑ์ประเภทมันฝรั่งทอด (french fries) และผลิตภัณฑ์ขนมอบ ซึ่งสารดังกล่าวจะไม่พบในอาหารที่ปรุงสุกโดยวิธีการต้ม (Swedish Nation Food Administration, 2002)

โพลีอะคริลาไมด์ (polyacrylamide) เป็นสารโพลีเมอร์ของอะคริลาไมด์ที่นิยมใช้กันมากในอุตสาหกรรมหลายประเภท เช่น กระดาษ พลาสติก กาว สิ่งทอ เครื่องสำอาง เหมืองแร่ การบำบัดน้ำเสีย และการปรับสภาพดิน เป็นต้น (Zhang, 2007) ซึ่งในรูปของโพลีเมอร์ดังกล่าวจะเป็นสารที่ไม่มีพิษ แต่โมโนเมอร์ในรูปอะคริลาไมด์ จะมีพิษร้ายแรง สหภาพยุโรปได้กำหนดค่ามาตรฐานการปนเปื้อนของอะคริลาไมด์ในน้ำดื่ม คือ ไม่เกิน 0.1 ไมโครกรัมต่อลิตร และกำหนดค่ามาตรฐานการปนเปื้อนของอะคริลาไมด์จากพลาสติกห่อหุ้มอาหาร คือ ไม่เกิน 0.01 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (EUROPA, 2007)

จากการศึกษาของ Smith (1996) พบว่าเมื่อสารโพลีอะคริลาไมด์ได้รับอิทธิพลต่างๆ จากสภาพแวดล้อมภายนอก เช่น ความร้อน และแสง จะเกิดการสลายตัวเป็นโมโนเมอร์อะคริลาไมด์ได้ นอกจากนี้ Twaddle และคณะ (2004) ยังพบว่ายังมีการปนเปื้อนของอะคริลาไมด์จากคั่ววันนุหรี 1-2 ไมโครกรัมต่ออนุหรี 1 มวน ซึ่งโมโนเมอร์ของอะคริลาไมด์นี้เป็นสารพิษที่มนุษย์สามารถรับเข้าสู่ร่างกายได้จากสภาพแวดล้อมรอบตัว และจากการรับประทานสารนี้โดยตรงทั้งจากการปนเปื้อนในบรรจุภัณฑ์และการเกิดขึ้นเองจากปฏิกิริยาทางเคมีระหว่างการแปรรูปอาหาร

จากการศึกษาความเป็นพิษของอะคริลาไมด์ในสัตว์ทดลองพบว่าอะคริลาไมด์มีความสัมพันธ์กับความเสียหายในการเกิดโรคมะเร็ง หน่วยงานวิจัยมะเร็งระหว่างประเทศ (International Agency for Research on Cancer) เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Research on Cancer: IARC) จึงได้จัดให้อะคริลาไมด์เป็นสารที่มีความเป็นไปได้สูงที่จะก่อให้เกิดมะเร็งในมนุษย์ (กลุ่ม 2A) และทาง Joint FAO/WHO Food Standards Program Codex Committee on Food Additive and Contaminants ได้กำหนดค่า Lethal dose (LD₅₀) ของอะคริลาไมด์ที่ 150 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักตัว (JECFA, 2007)

อะคริลาไมด์ หรือ 2-โพรเพนาไมด์ (2-propenamamide) เป็นโมเลกุลขนาดเล็ก สามารถละลายได้ดีในน้ำ และตัวทำละลายที่มีขี้ว เช่น เมทานอล เอทานอล อะซิโตน อะซิโทไนโตร และเอทิลอะซิเตต (Zhang, 2007) การก่อตัวของสารอะคริลาไมด์ในอาหารเกิดจากกรดอะมิโนแอสพาราจिन และน้ำตาลรีดิวิซ์ ในปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลโดยไม่ใช้เอนไซม์ ดังนั้นอาหารที่มีส่วนประกอบของน้ำตาลรีดิวิซ์และกรดอะมิโนมาก ที่ผ่านกระบวนการแปรรูปด้วยความร้อนสูง มีโอกาสเกิดการปนเปื้อนของอะคริลาไมด์ได้สูง ตัวอย่างเช่นอาหารในกลุ่มมันฝรั่งทอดพบการปนเปื้อนที่ 1,312 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม (JECFA, 2007) เป็นต้น

ในประเทศไทยได้มีรายงานการตรวจพบสารอะคริลาไมด์ในตัวอย่างอาหารประเภทมันฝรั่งทอดโดยมีปริมาณประมาณ 1,336 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม (พนาวลัย, 2550) แต่ยังไม่มีการรายงานถึงปริมาณการปนเปื้อนของสารอะคริลาไมด์ในอาหารทอดที่มีในท้องถิ่นของไทย ซึ่งมีอาหารไทยหลายชนิดที่มีองค์ประกอบของแป้งสูงและผ่านการแปรรูปด้วยวิธีการทอด หรือใช้ความร้อนสูง สอดคล้องกับทฤษฎีการเกิดอะคริลาไมด์ เช่น กลัวยทอดกรอบ กลัวยฉาบ มันฉาบ เผือกฉาบ ครอบแครง กรอบเค็ม กลัวยแขก เป็นต้น อาหารในกลุ่มนี้มีโอกาสเสี่ยงต่อการปนเปื้อนของอะคริลาไมด์ได้สูง ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมุ่งประเด็นในการศึกษาเพื่อสำรวจการปนเปื้อนของสารอะคริลาไมด์ในกลุ่มตัวอย่างอาหารดังกล่าว เพื่อใช้เป็นฐานข้อมูลในการศึกษาแนวทางการป้องกันหรือลดปริมาณสารอะคริลาไมด์ในอาหารต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

ตรวจหาปริมาณสารอะคริลาไมด์ในตัวอย่างอาหารไทยที่ใช้วัตถุดิบที่มีคาร์โบไฮเดรตเป็นองค์ประกอบสูง และผ่านการปรุงสุกหรือแปรรูปด้วยวิธีการทอด

1.3 ขอบเขตงานวิจัย

วิเคราะห์หาปริมาณสารอะคริลาไมด์ในตัวอย่างอาหารไทยที่ใช้วัตถุดิบที่มีคาร์โบไฮเดรตเป็นองค์ประกอบสูง และผ่านการปรุงสุกหรือแปรรูปด้วยวิธีการทอดอย่างน้อย 15 ชนิดตัวอย่าง เช่น กลัวยทอดกรอบแผ่นบาง มันฉาบ เผือกฉาบ ทูเรียนทอดกรอบ กลัวยแขก มันทอด ครอบแครง กรอบเค็ม ปาท่องโก๋ ซาลาเปาทอด กระทิ์ฟัพ ขนมนไ้่นก ข้าวแต่น ขนมหอกจอก ฟักทองทอดกรอบ ข้าวเกรียบ และอื่นๆ จาก 5 แหล่ง โดยใช้เครื่อง HPLC-UV detector

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ทราบถึงปริมาณการปนเปื้อนสารอะคริลาไมด์ในอาหารทอดของไทยชนิดต่างๆ และสามารถนำข้อมูลที่ได้ไปเป็นแนวทางในการพัฒนาวิธีการลดการปนเปื้อนสารดังกล่าว

1.4.2 สามารถนำข้อมูลที่ได้จากงานวิจัยถ่ายทอดสู่ผู้ประกอบการในอุตสาหกรรมแปรรูปที่เกี่ยวข้อง และผู้ที่สนใจ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 อะคริลาไมด์

2.1.1 สมบัติทางกายภาพและเคมีของสารอะคริลาไมด์

อะคริลาไมด์ มีชื่อเรียกอื่นๆ ได้แก่ 2-โพรเพนอไมด์ (2-propenamamide) เอธิลีนคาร์โบซามาไมด์ (ethylenecarboxamide) อะคริลิก แอซิด เอไมด์ (acrylic acid amide) ไวนิล เอไมด์ (vinyl amide) และโพรเพนอิก แอซิด เอไมด์ (propenoic acid amide) มีมวลโมเลกุล 71.08 ดาลตัน สูตรโมเลกุล C_3H_5NO เป็นโมเลกุลขนาดเล็ก ลักษณะเป็นผลึกของแข็ง ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น มีจุดหลอมเหลว 84.5 องศาเซลเซียส ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส สามารถละลายได้ดีในน้ำ และตัวทำละลายที่มีขั้ว เช่น เมทานอล เอทานอล อะซิโตน อะซิโตนไไตรล์ และเอทิลอะซิเตต แต่ละลายได้น้อยในตัวทำละลายที่ไม่มีขั้ว เช่น เฮกเซน เฮปเทน และคาร์บอนเตตระคลอไรด์ (Zhang, 2007)

2.1.2 ความเป็นพิษของอะคริลาไมด์

ในการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างอะคริลาไมด์กับมะเร็งในสัตว์ทดลองของหน่วยงานวิจัยมะเร็งระหว่างประเทศ (International Agency for Research on Cancer: IARC) พบว่ามีความเสี่ยงของอะคริลาไมด์ต่อการเกิดมะเร็งได้ในสัตว์ทดลอง จึงได้จัดให้สารอะคริลาไมด์เป็นสารที่อาจก่อให้เกิดมะเร็งในคน (กลุ่ม 2A) (Terry, 2007) ซึ่งการแบ่งกลุ่มของสารก่อมะเร็งโดย IARC แสดงดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 การแบ่งกลุ่มสารก่อมะเร็ง

กลุ่ม	ระดับการเกิด
1	เป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดมะเร็งในมนุษย์
2A	อาจจะทำให้เกิดมะเร็งในมนุษย์
2B	มีความเป็นไปได้ที่ทำให้เกิดมะเร็งในมนุษย์
3	ไม่สามารถระบุได้ว่าทำให้เกิดมะเร็งในมนุษย์

ที่มา: IARC (2004)

นอกจากนี้ทาง Joint FAO/WHO Food Standards Program Codex Committee on Food Additive and Contaminants: JECFA (2007) ได้กำหนดค่า LD_{50} ของอะคริลาไมด์ที่ 150 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักตัว ซึ่งความเป็นพิษและอันตรายของอะคริลาไมด์ สามารถสรุปได้ดังนี้ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2.1 พืชต่อระบบประสาท Lopachin (2005) ได้ศึกษาความเป็นพิษของอะคริลาไมด์ในสัตว์ทดลองและมนุษย์ พบว่ามีผลทำให้เกิดอาการกล้ามเนื้อทำงานไม่ประสานกัน ส่งผลให้กล้ามเนื้อส่วนปลายอ่อนแรง มือ-เท้า ชา เนื่องจากอะคริลาไมด์มีผลต่อระบบประสาท ทำให้ปลายประสาทแอกซอน (axon) ทำงานเสื่อมลง

2.1.2.2 การก่อมะเร็ง Claeay (2007) ได้ทำการศึกษาในหนูทดลองที่ให้สารอะคริลาไมด์ พบการเกิดเนื้องอกในอวัยวะต่างๆ เช่น ไทรอยด์ (thyroid) และแอดรีนาล (adrenal) สำหรับในมนุษย์ จากผลการศึกษาระบาดวิทยาของผู้ที่ทำงานเกี่ยวข้องกับสารนี้เป็นเวลานาน พบว่ามีความเสี่ยงในการเกิดมะเร็งเพิ่มขึ้น แต่ยังไม่มีความชัดเจนที่แน่นอนว่าการรับประทานอาหารที่มีการปนเปื้อนของสารอะคริลาไมด์ จะมีความสัมพันธ์กับการเกิดมะเร็ง (Mucci, 2005)

สำหรับค่าปริมาณที่ไม่ก่อให้เกิดความเป็นพิษของอะคริลาไมด์ (no observe adverse effect level: NOAEL) เท่ากับ 0.5 มิลลิกรัมต่อน้ำหนักตัว 1 กิโลกรัมต่อวัน และปริมาณต่ำสุดที่ทำให้เกิดความเป็นพิษ (lowest observe adverse effect level: LOAEL) เท่ากับ 2 มิลลิกรัมต่อน้ำหนักตัว 1 กิโลกรัมต่อวัน (Health Canada, 2007) อย่างไรก็ตามเนื่องจากสารอะคริลาไมด์เป็นสารที่ละลายได้ดีในน้ำ สามารถดูดซึมได้อย่างรวดเร็วในระบบทางเดินอาหาร จึงถูกขับออกอย่างรวดเร็วทางปัสสาวะ ทำให้สารอะคริลาไมด์ปริมาณครึ่งหนึ่งของปริมาณที่เข้าสู่ร่างกายถูกขับออกภายในเวลา 2 ชั่วโมง (สถาบันอาหาร, 2549)

2.1.3 การเกิดสารอะคริลาไมด์ในอาหาร

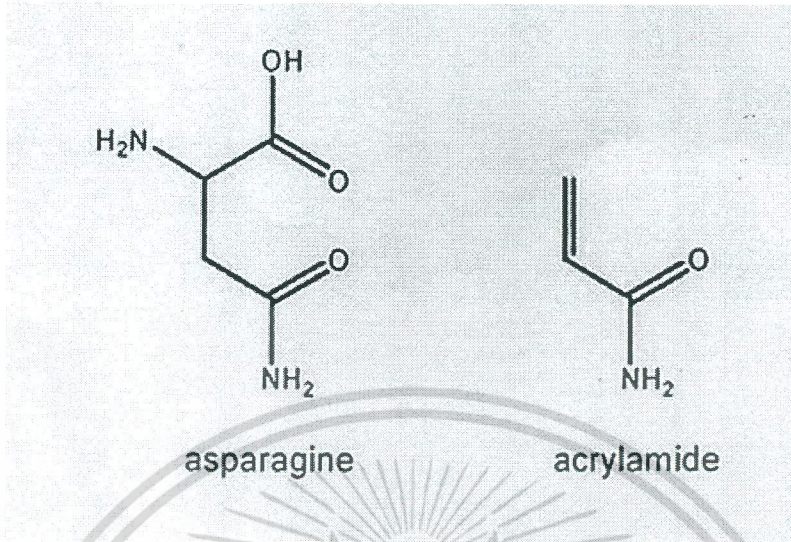
2.1.3.1 สารตั้งต้นของอะคริลาไมด์

เดือนเมษายน ค.ศ.2002 ณ การประชุมวิทยาศาสตร์นานาชาติของประเทศสวีเดน ได้มีรายงานผลงานวิจัยเรื่องการก่อตัวของสารอะคริลาไมด์ในอาหาร ระบุว่าเกิดจากกรด อะมิโนแอสพาราจีน และน้ำตาลรีดิวิซ์ ผ่านทางปฏิกิริยาเมลลาร์ดที่อุณหภูมิมากกว่า 100 องศาเซลเซียส (EFSA, 2007)

Yaylayan (2003) ได้ทำการทดลองสังเคราะห์อะคริลาไมด์ โดยอาศัยปฏิกิริยาของกรดอะมิโนแอสพาราจีนกับน้ำตาลชนิดต่างๆ พบว่าการเกิดอะคริลาไมด์ในปริมาณที่แตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับว่าเป็นน้ำตาลชนิดโมโนแซคคาไรด์ หรือไดแซคคาไรด์ นอกจากนี้น้ำตาลที่ไม่ใช่ น้ำตาลรีดิวิซ์ เช่น น้ำตาลซูโครส (sucrose) สามารถเป็นสารตั้งต้นที่ทำให้เกิดอะคริลาไมด์ได้เช่นเดียวกัน เนื่องจากเมื่อได้รับความร้อนแล้วน้ำตาลซูโครส สามารถแตกตัวได้เป็นกลูโคสกับ ฟรุคโตสได้

พนาวัลย์ (2550) ได้ศึกษาจากการใช้ไอโซโทปคาร์บอนของกลูโคสและกรดอะมิโนแอสพาราจีน แสดงให้เห็นว่าน้ำตาลไม่ใช่โครงสร้างหลักของโมเลกุลอะคริลาไมด์ นอกจากนี้พบว่าอะตอมไนโตรเจนของอะคริลาไมด์มาจากกลุ่มเอไมด์ (amide) ของแอสพาราจีน จึงระบุได้ว่ากรดอะมิโนแอสพาราจีนเป็นสารตั้งต้นหลัก (precursor) ในการเกิดอะคริลาไมด์ โดยมีข้อสนับสนุนคือ โมเลกุลของกรดอะมิโนแอสพาราจีนมีโครงสร้างใกล้เคียงกับโมเลกุลของอะคริลาไมด์ ตามรูปที่ 2.1 เมื่อกรดอะมิโนแอสพาราจีนเป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โนแอสพาราจีนถูกกำจัดคาร์บอนไดออกไซด์ (decarboxylation) และแอมโนเนีย (deamination) จะได้ สารอะคริลาไมด์



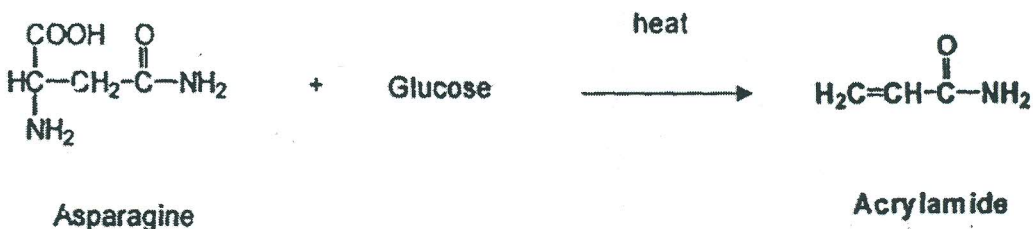
รูปที่ 2.1 โครงสร้างของกรดอะมิโนแอสพาราจีนและอะคริลาไมด์

ที่มา: พนาวัลย์ (2550)

ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดอะคริลาไมด์ในอาหาร นอกจากสารตั้งต้นของปฏิกิริยาซึ่ง ได้แก่ กรดอะมิโนแอสพาราจีน และน้ำตาลรีดิวซ์แล้ว ยังมีปัจจัยอื่นที่มีผลต่อการเกิดอะคริลาไมด์ ได้แก่ อุณหภูมิและเวลาในการปรุงหรือแปรรูปอาหาร การเก็บวัตถุดิบ สภาวะอื่นๆ หรือพารามิเตอร์ในการเกิดปฏิกิริยา เช่น ค่า pH ปริมาณน้ำ พื้นที่ผิว รวมทั้งบริเวณที่เกิดสีน้ำตาล เป็นต้น (นิธิยา, 2545)

2.1.3.2 กลไกการเกิดอะคริลาไมด์ในอาหาร

มีงานวิจัยหลายชิ้นยืนยันการเกิดอะคริลาไมด์ว่าเกิดจากปฏิกิริยาเมลลาร์ด อย่างแน่นอน เช่น งานวิจัยของ Stadler และคณะ (2002) แสดงให้เห็นว่าการสลายตัวด้วยความร้อน (pyrolysis) ของกรดอะมิโนแอสพาราจีนกับกลูโคส (หรือน้ำตาลชนิดอื่นๆ) ทำให้เกิดอะคริลาไมด์ ดังรูปที่ 2.2 โดยอัตราเร็วของปฏิกิริยาดังกล่าวสูงขึ้นประมาณ 1,700 เท่า เมื่อเปรียบเทียบกับเกิดการเกิดอะคริลาไมด์จากการสลายตัวด้วยความร้อนของกรดอะมิโนแอสพาราจีนเพียงอย่างเดียว

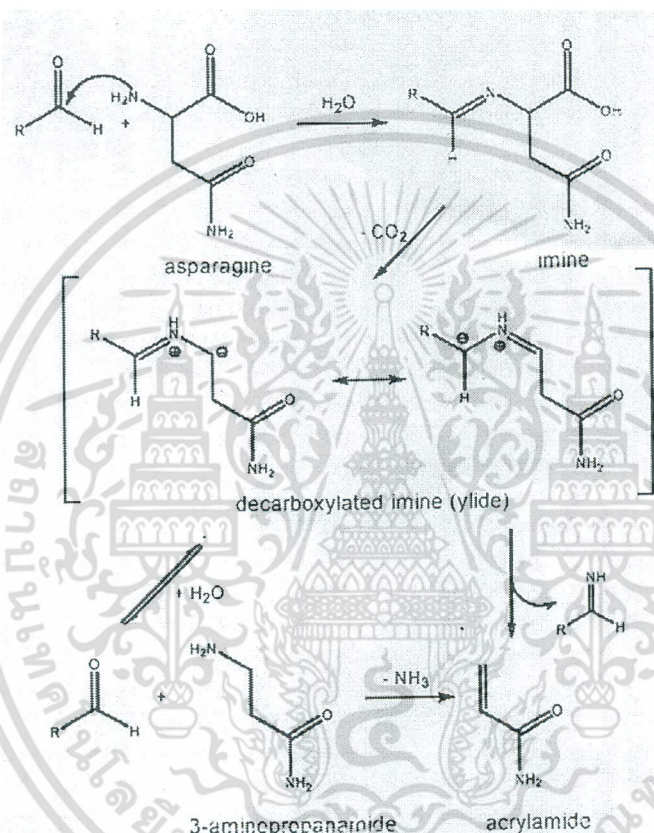


รูปที่ 2.2 กลไกการเกิดอะคริลาไมด์จากกรดอะมิโนแอสพาราจีนกับกลูโคส

ที่มา: Stadler และคณะ (2002)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Zyzak และคณะ (2003) พบว่ากลไกของการเกิดอะคริลาไมด์จากปฏิกิริยาของกรดอะมิโน แอสพาราจีนกับสารประกอบที่มีหมู่คาร์บอนิล เมื่อได้รับความร้อนจะทำให้เกิด Schiff base และเมื่อกำจัดคาร์บอนไดออกไซด์ออกจาก Schiff base จะสามารถเกิดอะคริลาไมด์ได้โดยตรงจากปฏิกิริยาการสลายตัวของอิมีน (imine) หรือเกิดจากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของ Schiff base ทำให้เกิด 3-แอมมิโนโพรพิโอนาไมด์ (3-aminopropanamide) ที่สลายให้แอมโมเนียออกมาเมื่อได้รับความร้อน ได้เป็นอะคริลาไมด์ ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 กลไกการเกิดอะคริลาไมด์จากสมมติฐานของ Zyzak และคณะ

ที่มา: Zyzak และคณะ (2003)

2.1.4 ปริมาณสารอะคริลาไมด์ที่มีในอาหารและปริมาณที่คนได้รับจากอาหาร

ผู้บริโภคทั่วไปจะได้รับสารอะคริลาไมด์เข้าสู่ร่างกายจากการบริโภคอาหาร โดยพบค่าปริมาณการบริโภคเฉลี่ย 0.2 ไมโครกรัมต่อน้ำหนักตัว 1 กิโลกรัมต่อวัน และการบริโภคที่ปริมาณสูงสุด 4 ไมโครกรัมต่อน้ำหนักตัว 1 กิโลกรัมต่อวัน นอกจากนี้ยังมีการคาดการณ์อีกว่าเด็กอาจได้รับปริมาณอะคริลาไมด์เข้าสู่ร่างกายจากการบริโภคอาหารมากกว่าผู้ใหญ่ 2-3 เท่า เนื่องจากพฤติกรรมการบริโภคของเด็กที่นิยมรับประทานขนมขบเคี้ยวที่แตกต่างจากผู้ใหญ่ (EFSA, 2007) ซึ่งปริมาณสารอะคริลาไมด์เฉลี่ยที่ได้รับจากการรับประทานอาหารประจำวันที่น่าเสนอโดยหน่วยงานต่างๆ แสดงดังตารางที่ 2.2 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สวอนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 เปรียบเทียบปริมาณการได้รับสารอะคริลาไมด์จากการบริโภคอาหารประจำวันที่น่าเสนอ
โดยหน่วยงานต่างๆ

หน่วยงาน/ประเทศ	ปริมาณการได้รับสารอะคริลาไมด์จากการ บริโภคอาหารประจำวัน (ไมโครกรัมต่อน้ำหนักตัว 1 กิโลกรัมต่อวัน)*
Food and Agriculture Organization (FAO) / World Health Organization (WHO)	0.3-0.8
European Union Scientific Committee on Food (EU SCF)	0.2-0.4
Bundesdesinstitut fur Risikobewertung (BfR), Germany. (Germany Federal Institute for Risk Assment)	1.1-3.4
Swiss Federal Office of Public Health (FOPH), Switzerland	0.28
The Norwegian Food Agency (NFA), Norway	0.32-1.35
Agency Francaise de Security des Aliment (AFSSA), France. (French Food Safety Agency)	0.5-2.9
The Swedish Nation Food Administration (SNFA), Sweden	0.45-1.03
The Nation Food Consumption Survey (NFCS), Netherlands	0.48-1.1
Untied State of America (USA)	0.43-2.31
Untied Kingdom Food Standards Agency (UK FSA)	0.3-1.8
Joint Expert Committee on Food Additives (JECFA)	1-4

* คือ การประเมินจากการบริโภคเฉลี่ย

ที่มา: Dybling และ Sanner (2003)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากข้อมูลในตารางที่ 2.2 จะเห็นได้ว่าเมื่อเปรียบเทียบกับค่า LD_{50} ของอะคริลาไมด์ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 150 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักตัว ผู้บริโภคมีโอกาสเสี่ยงที่จะได้รับปริมาณสารอะคริลาไมด์จากการบริโภคอาหารในระดับที่ก่อให้เกิดอันตรายต่อร่างกายได้ ดังในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 ระดับความเป็นพิษของค่า LD_{50} ที่ปริมาณต่างๆ

ค่า LD_{50}	ระดับความเป็นพิษ
$LD_{50} < 1$ มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักตัว	มีความเป็นพิษร้ายแรงมาก (extremely toxic)
$1 < LD_{50} < 50$ มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักตัว	มีความเป็นพิษร้ายแรง (highly toxic)
$50 < LD_{50} < 500$ มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักตัว	มีความเป็นพิษปานกลาง (moderate toxic)
$0.5 < LD_{50} < 5$ กรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักตัว	มีความเป็นพิษเล็กน้อย (slightly toxic)
$5 < LD_{50} < 15$ กรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักตัว	ไม่เป็นสารพิษ (practical non-toxic)

ที่มา : กรมควบคุมมลพิษ (2553)

2.2 ลึควิดโครมาโทกราฟีสมรรถนะสูง (High Pressure Liquid Chromatography: HPLC)

2.2.1 หลักการพื้นฐาน

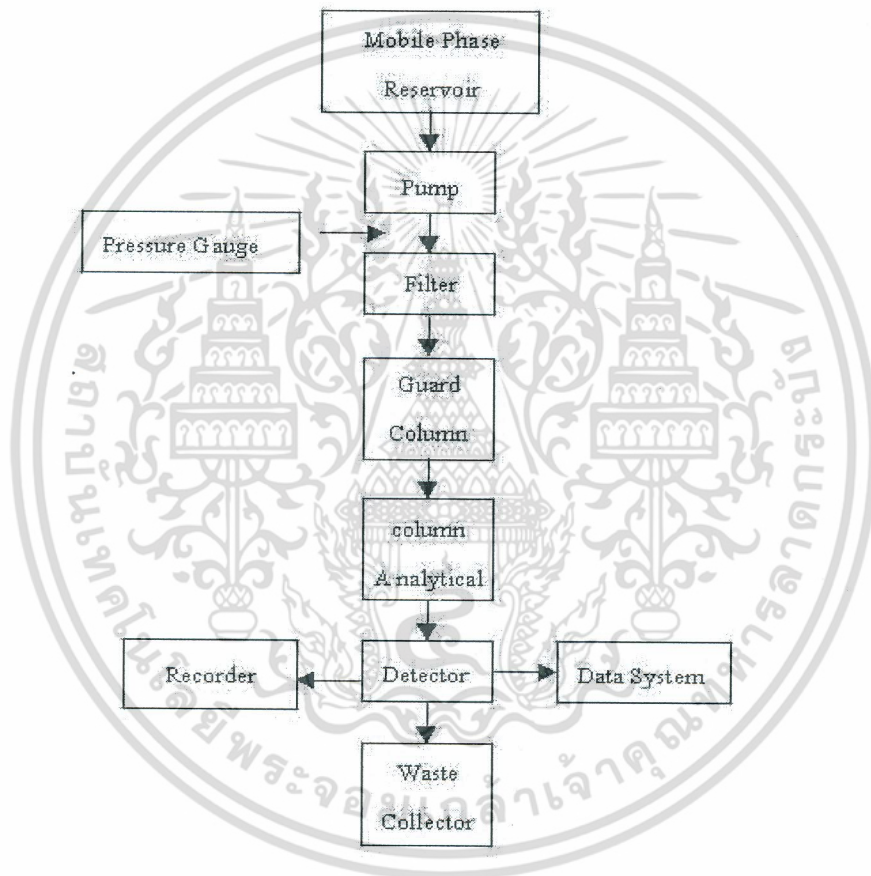
HPLC เป็นเทคนิคการแยกสารประกอบ (substances) โดยอาศัยหลักการความแตกต่างของอัตราการเคลื่อนที่ของสารประกอบในเฟสคงที่ (stationary phase) ของคอลัมน์ โดยมีเฟสเคลื่อนที่ (mobile phase) เป็นตัวพาไป เมื่อต่อเข้ากับตัวตรวจวัดสัญญาณจะสามารถตรวจวัดสารที่แยกออกมาจากคอลัมน์ได้อย่างต่อเนื่อง สามารถวิเคราะห์ได้ทั้งในเชิงคุณภาพ และเชิงปริมาณ นิยมใช้ทดสอบสารประกอบที่ระเหยยาก (non volatile compounds) หรือมีน้ำหนักโมเลกุลสูง (high molecular weight compounds)

เทคนิคการแยกสารผสมโดยใช้ปั๊มแรงดันสูง (high pressure pump) ดูดของเหลวหรือตัวทำละลาย ซึ่งทำหน้าที่เป็นเฟสเคลื่อนที่พาสารตัวอย่างที่ถูกฉีดเข้าไปทางช่องฉีดสาร (injector) เคลื่อนที่ผ่านอนุภาคของเฟสคงที่ภายในคอลัมน์ สารผสมจะถูกแยกเป็นสารเดี่ยวที่เคลื่อนออกมาจากคอลัมน์ในเวลาต่างกัน เมื่อผ่านเข้าเครื่องตรวจวัดที่มีหน้าที่ตรวจวัดสัญญาณในรูปแบบสัญญาณไฟฟ้าตามเวลา และปริมาณของสารแต่ละตัว สัญญาณจะถูกส่งไปยังเครื่องบันทึกสัญญาณและแสดงผลออกมาในรูปแบบโครมาโทแกรม (chromatogram) ประกอบด้วยพีก (peak) ของสารต่างๆที่เป็นองค์ประกอบของสารผสม (ดังรูปที่ 2.4) ด้วยหลักการดังกล่าว HPLC จึงเป็นเครื่องมือที่สามารถทดสอบสารปริมาณน้อยๆในระดับมิลลิกรัมต่อกิโลกรัม หรือ ไมโครกรัมต่อกิโลกรัมได้เป็นอย่างดี ทำให้เกิดการแยกอย่างสมบูรณ์ในระยะเวลาอันสั้น จึงจำเป็นต้องหาสภาวะดีที่สุดสำหรับการแยกสาร (คุญิตา, 2542) ใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2 ส่วนประกอบต่างๆ ของเครื่อง HPLC (รูปที่ 2.5)

2.2.2.1 ภาชนะที่บรรจุเฟสเคลื่อนที่ (Mobile Phase reservoir)

เป็นขวดสำหรับใส่ตัวทำละลายที่ใช้เป็นเฟสเคลื่อนที่ มีความจุประมาณ 1 ลิตร แต่ใน preparative HPLC ความจุของขวดควรจะมากกว่านี้ และจะมีอุปกรณ์ที่ใช้ในการไล่อากาศที่ละลายอยู่จุดประสงค์ของการไล่อากาศ คือ ต้องการกำจัดแก๊สออกซิเจนซึ่งอาจจะทำปฏิกิริยากับเฟสเคลื่อนที่บางชนิดได้ การไล่อากาศจะต้องทำเมื่อตัวทำละลายเป็นสารมีขั้ว (polar solvents) เครื่อง HPLC ของบางบริษัทสามารถใช้กับระบบที่ไม่ต้องไล่อากาศก่อนได้



รูปที่ 2.4 หลักการทำงานของเครื่อง HPLC

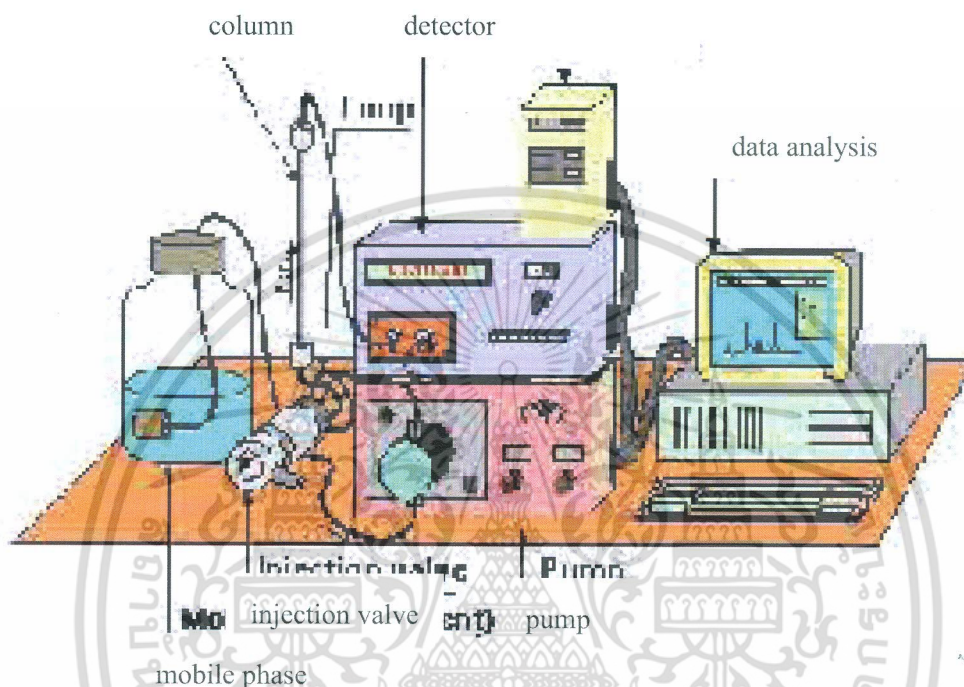
ที่มา: ศูนย์บริการเครื่องมือวิทยาศาสตร์ (2553)

2.2.2.2 เครื่องปั๊มสารละลายความดันสูง

เนื่องจาก HPLC มีความต้านทานการไหลของเฟสเคลื่อนที่ ที่จะไหลผ่านคอลัมน์ซึ่งมีอนุภาคขนาดเล็กบรรจุอยู่ ความต้านทานการไหลที่วุ่นนี้จะมากเมื่อใช้อนุภาคเล็กๆ และคอลัมน์มีขนาดเล็กอีกด้วย จึงจำเป็นต้องใช้ความดันที่สูงดันเฟสเคลื่อนที่ให้ไหลไป โดยปั๊มสามารถแบ่งออกเป็น 2 ชนิด ได้แก่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 1) Mechanical pump เป็นปั๊มที่ควบคุมให้อัตราการไหลของเฟสเคลื่อนที่มีค่าคงที่
- 2) Pneumatic pump เป็นปั๊มที่ควบคุมให้ความดันของการไหลของเฟสเคลื่อนที่มีค่าคงที่



รูปที่ 2.5 ส่วนประกอบต่างๆของเครื่อง HPLC

ที่มา: ศูนย์บริการเครื่องมือวิทยาศาสตร์ (2553)

หลักการเลือก pumping system เพื่อใช้กับ HPLC นั้นควรพิจารณาจากสมบัติต่อไปนี้

- 1) ปั๊มและส่วนประกอบควรจะทำด้วยวัสดุที่ทนต่อการสึกกร่อนต่อ ตัวทำละลายต่างๆ ที่ใช้เป็นเฟสเคลื่อนที่ ทั้งนี้รวมทั้งท่อ fittings และ flow cell เช่น ทำด้วยเหล็กไร้สนิมคุณภาพสูง polytetrafluoro-ethylene (PTFE) ruby และ sapphire
- 2) ควรจะต้องสามารถปั๊มเฟสเคลื่อนที่ ที่มีปริมาณมากๆ ได้อย่างต่อเนื่อง โดยไม่มีการขัดข้อง
- 3) สามารถให้ความดันได้ถึง 4,000-6,000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เพื่อปั๊มให้เฟสเคลื่อนที่ไหลผ่านคอลัมน์ขนาดเล็ก ยาวขนาด 30 เซนติเมตร ซึ่งบรรจุด้วยอนุภาคขนาดเล็กได้ และอย่างน้อยต้องให้ความดันได้ถึง

ขนาด 500 ปอนด์ต่อตารางนิ้วนั้น ไม่นุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 4) สามารถให้อัตราการไหลของเฟสเคลื่อนที่ได้สูงถึง 3 มิลลิลิตรต่อนาที เป็นอย่างน้อยและคงที่
- 5) ความคลาดเคลื่อนของการควบคุมการไหลของเฟสเคลื่อนที่ที่ต้องไม่เกิน 1-2 เปอร์เซ็นต์
- 6) ควรจะมีปริมาตรภายในต่ำเพื่อความสะดวกและรวดเร็วในการเปลี่ยนเฟสเคลื่อนที่
- 7) ต้องไม่มีพัลส์ (pulse) หรือมีตัวที่ใช้ลดพัลส์ (pulse damper) หรือ ไม่ทำให้เกิด detector noise

2.2.2.3 อุปกรณ์ที่ใช้ตรวจวัดความดัน (pressure monitoring devices)

อุปกรณ์ที่ใช้สำหรับตรวจวัดความดัน อยู่ระหว่างทางเข้าของคอลัมน์กับปั๊ม อุปกรณ์ตรวจวัดนี้จะบอกความดันของเฟสเคลื่อนที่ก่อนเข้าสู่คอลัมน์ เป็นสิ่งที่บ่งบอกว่ามีการอุดตันหรือไม่ หรือการทำงานของปั๊มล้มเหลวหรือไม่ นอกจากนี้ การทราบความดันของเครื่องจะช่วยให้การปรับพารามิเตอร์ต่าง ๆ เป็นไปอย่างเหมาะสมที่สุด

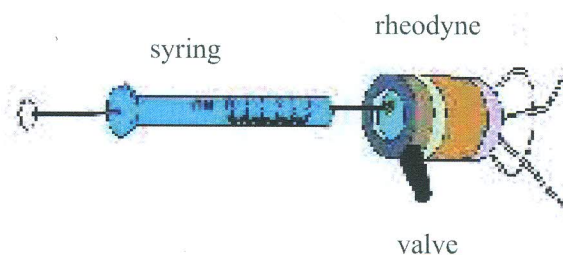
2.2.2.4 อุปกรณ์ที่ใช้สำหรับทำ gradient elution

สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท ได้แก่

- 1) แบบ low pressure gradient เป็นแบบที่ใช้วิธีการผสมตัวทำละลายที่ความดันบรรยากาศ ต่อจากนั้นก็จะถูกปั๊มต่อไปด้วยความดันสูง เข้าสู่คอลัมน์
- 2) แบบ high pressure gradient เป็นแบบที่ตัวทำละลายที่ใช้ใน gradient elution จะถูกปั๊มผ่าน high pressure pump เข้าสู่ low volume mixing chamber ก่อนจะเข้าสู่คอลัมน์

2.2.2.5 Sample introduction devices

การผ่านสารตัวอย่างเข้าไปยังคอลัมน์ มีความสำคัญค่อนข้างมากต่อการแยกสาร เนื่องจากใช้สารตัวอย่างในปริมาณน้อย และต้องการความแม่นยำสูง เพื่อให้สารตัวอย่างผ่านเข้าไปในคอลัมน์ลักษณะที่เป็นแถบที่แคบมากที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ นิยมใช้คือ microsampling valve วิธีที่ง่ายที่สุดคือใช้วิธีฉีดสารตัวอย่างผ่าน septum ด้วย microsyringe (ดังรูปที่ 2.6)



รูปที่ 2.6 microsyringe

ที่มา: ศูนย์บริการเครื่องมือวิทยาศาสตร์ (2553)

2.2.2.6 เครื่องฉีดสารตัวอย่าง

สามารถฉีดสารตัวอย่างได้ 20 ไมโครลิตร โดยไม่ต้องเปลี่ยนที่บรรจุและไม่ต้องหยุดหรือลดแรงดันของปั๊มก่อน และส่งสัญญาณไปยังเครื่องประเมินผลและบันทึกผลได้โดยอัตโนมัติ ในทันทีที่ฉีดสารตัวอย่าง

2.2.2.7 Guard column

ใช้เชื่อมต่อกับคอลัมน์ เพื่อกรองสารที่ไม่สามารถถูกชะ หรืออนุภาคเล็กๆ ช่วยยืดอายุการใช้งานของคอลัมน์

2.2.2.8 คอลัมน์

ลักษณะทั่วไปภายนอกมักทำด้วยโลหะสแตนเลส ภายในคอลัมน์จะบรรจุด้วยอนุภาคของแข็งจนเต็ม ซึ่งอนุภาคนี้อาจจะบรรจุแน่นและไม่มีช่องว่าง และใช้ปั๊มช่วยให้ตัวทำละลายไหลผ่าน อุณหภูมิของคอลัมน์สามารถควบคุมได้โดยการติดตั้งคอลัมน์ไว้ใน heater column ปัจจุบันคอลัมน์มีขนาดเล็กกลวงเรียกว่า micro bore colum (รูปที่ 2.7)



รูปที่ 2.7 คอลัมน์ชนิดต่างๆและอุปกรณ์

ที่มา: ศูนย์บริการเครื่องมือวิทยาศาสตร์ (2553)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2.9 เครื่องตรวจวัด (detector)

สิ่งที่ต้องการ คือ ความไวของเครื่องตรวจวัดซึ่งสามารถตรวจวัดสารที่แยกออกจากคอลัมน์ได้อย่างต่อเนื่อง ดังนั้นเครื่องตรวจวัดในอุดมคติควรมีลักษณะดังนี้

- มีความไวสูง และให้สัญญาณตอบรับ (response) ที่คาดคะเนได้
 - ให้สัญญาณตอบรับได้กับสารทุกชนิด
 - ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและอัตราเร็วของการไหลของเฟสเคลื่อนที่
 - เชื้อถือได้และง่ายต่อการใช้งาน
 - ความสัมพันธ์ของความเข้มข้นและสัญญาณตอบรับของเครื่องตรวจวัดควรมีลักษณะแบบเชิงเส้น (linearity) ในช่วงกว้าง
 - ไม่ทำลายสาร
 - ให้ข้อมูลเกี่ยวกับคุณภาพวิเคราะห์สำหรับพีก (peak) ที่ต้องการตรวจสอบ
- เครื่องตรวจวัดของ LC สามารถแบ่งได้เป็น 2 ชนิด ได้แก่
- 1) bulk property หรือ general detectors เป็นการวัดการเปลี่ยนแปลงของสมบัติทางกายภาพของเฟสเคลื่อนที่รวมทั้งของตัวถูกละลาย เช่น refractive index และ conductivity detectors
 - 2) solute property หรือ selective detectors เป็นการวัดการเปลี่ยนแปลงของตัวถูกละลายเพียงอย่างเดียวเท่านั้น เช่น UV-VIS, fluorescence หรือ electrochemical detectors เป็นต้น

เครื่องยูวี-วิสิเบิล ดีเทคเตอร์ (UV-VIS detectors) อาศัยการดูดกลืนแสงยูวี หรือวิสิเบิลของสารตัวอย่าง ลักษณะที่พิเศษ คือ ไม่ไวต่อการเปลี่ยนแปลงของการไหลและอุณหภูมิ แต่ค่อนข้างมีความไวสูงกับสารประกอบอินทรีย์เป็นส่วนใหญ่ ยูวี-วิสิเบิลที่นิยมใช้ใน HPLC แบ่งเป็น 3 ชนิด ได้แก่

- 1) Fixed-wavelength UV detector
- 2) Variable UV-VIS detector
- 3) Photodiode-array detector

เครื่องดิฟเฟอเรนเชียลรีแฟกโตมิเตอร์ (differential refractometers) นิยมมากใน HPLC รองลงมาจากเครื่องยูวี ดีเทคเตอร์ ใช้ตรวจสอบความแตกต่างของดรรชนีหักเห (refractive index, RI) อย่างต่อเนื่อง ระหว่างเฟสเคลื่อนที่กับเฟสเคลื่อนที่ที่มีสารประกอบของตัวถูกละลายอยู่ขณะผ่านออกจากคอลัมน์ สามารถให้สัญญาณกับตัวทำละลายได้ทั้งหมด ตราบที่ตัวถูกละลายมีค่าดรรชนีหักเหต่างจากเฟสเคลื่อนที่ เครื่อง RI ที่สำคัญมีอยู่ 3 ชนิด ได้แก่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 1) Fresnel refractometer
- 2) Deflection refractometer
- 3) Interferometric refractometer

เครื่องดีเทกเตอร์ฟลูออเรสเซนต์ (fluorescent detector) มีความจำเพาะสูง (selective) เนื่องจากมันมีความสามารถในการวัดฟลูออเรสเซนต์ที่ได้ออกมาจากตัวถูกละลายบางชนิด เมื่อถูกกระตุ้น (excited) ด้วยแสงยูวี ดีเทกเตอร์ชนิดนี้มีประโยชน์มากเมื่อนำมาตรวจหาสาร ในสารตัวอย่างทางชีวภาพ (biological samples) ต่างๆ ที่มีปริมาณน้อยๆ

2.2.3 ปัจจัยต่างๆที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการแยกสารโดยเทคนิคโครมาโทกราฟี

2.2.3.1 Partition ratio (partition coefficient, K) เป็นค่าคงที่ ที่อธิบายถึงสมดุลของการกระจายตัวของสารตัวอย่างระหว่างเฟสทั้งสอง คือ เฟสคงที่ และเฟสเคลื่อนที่ โดยค่า K ได้จาก อัตราส่วนของความเข้มข้นของสารในเฟสคงที่ กับความเข้มข้นของสารในเฟสเคลื่อนที่ หรืออัตราส่วนของเวลาที่สารอยู่ในเฟสคงที่ กับเวลาที่สารอยู่ในเฟสเคลื่อนที่ ดังสมการที่ 2.1

$$K = \frac{C_s}{C_m} \quad \text{หรือ} \quad K = \frac{t_s}{t_m} \quad (2.1)$$

โดยที่ C_s = ความเข้มข้นของสารในเฟสคงที่
 C_m = ความเข้มข้นของสารในเฟสเคลื่อนที่
 t_s = เวลาที่สารอยู่ในเฟสคงที่
 t_m = เวลาที่สารอยู่ในเฟสเคลื่อนที่

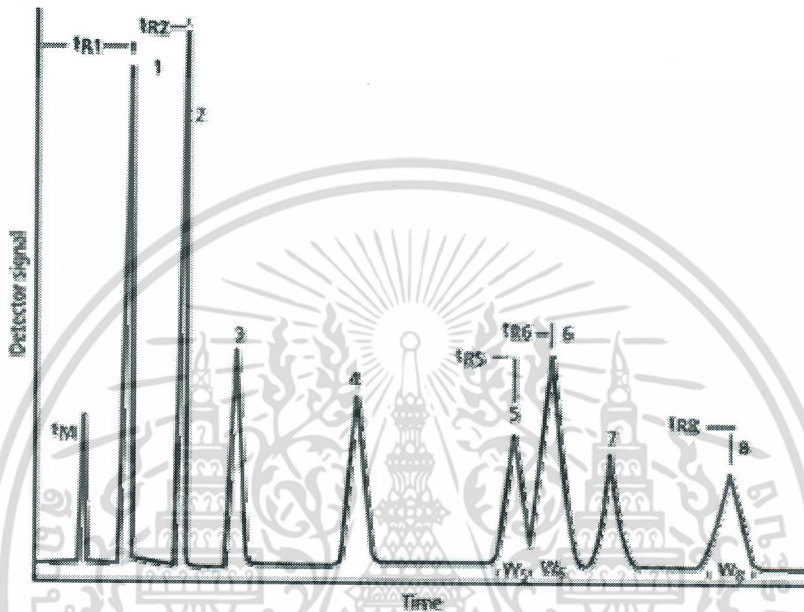
สารแต่ละชนิดจะมีค่า K คงที่เฉพาะในแต่ละสภาวะที่ทดสอบเท่านั้น ค่า K แปรผันตามอุณหภูมิของการทดลอง และส่วนประกอบของเฟสเคลื่อนที่ แต่ไม่ขึ้นกับจำนวนของสารที่นำมาตรวจวิเคราะห์ สามารถนำไปใช้งานด้านการวิเคราะห์เชิงคุณภาพ แต่การวัดค่า K จากโครมาโทแกรมโดยตรงนั้นทำได้ยาก จึงไม่นิยมใช้ในการพิสูจน์เอกลักษณ์ของสาร และมักใช้พารามิเตอร์ตัวอื่นที่สามารถวัดค่าจากโครมาโทแกรมโดยตรงในการพิสูจน์เอกลักษณ์ของสาร เช่น เวลาที่สารออกจากคอลัมน์ เป็นต้น

2.2.3.2 เวลาที่สารออกจากคอลัมน์ (retention time, t_R) เป็นระยะเวลาที่เฟสเคลื่อนที่ใช้ในการพาหรือชะล้างสารตัวอย่างให้เคลื่อนผ่านเฟสคงที่ หรือระยะเวลาตั้งแต่เริ่มฉีดสารตัวอย่างเข้าสู่คอลัมน์จนถึงเวลาที่อยู่นิ่ง ตำแหน่งจุดยอดของพีคบน โครมาโทแกรม ดังแสดงในรูปที่ 2.8

เวลาที่สารออกจากคอลัมน์ เป็นพารามิเตอร์ที่วัดและอ่านค่าได้จาก โครมาโทแกรม โดยตรง สามารถใช้ในการวิเคราะห์เชิงคุณภาพ หรือพิสูจน์เอกลักษณ์ของสาร แต่การวัดค่าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เปลี่ยนแปลงสถานะที่ใช้ในการทดลอง เช่น อัตราการไหลของเฟสเคลื่อนที่ จะทำให้การพิสูจน์เอกลักษณ์ผิดพลาดได้ จึงนิยมใช้พารามิเตอร์ตัวอื่น เช่น เวลาการคงไว้สัมพัทธ์ จะให้ผลถูกต้องกว่า

2.2.3.3 Corrected retention time (t'_R) คือ ระยะเวลาตั้งแต่ตำแหน่งจุดยอดของพีคของสารไม่ถูกหน่วงเหนี่ยวบนเฟสคงที่ ถึงเวลาที่ตำแหน่งจุดยอดของพีคของสารตัวอย่างบน โครมาโทแกรม หรือระยะเวลาที่สารตัวอย่างถูกหน่วงเหนี่ยวให้อยู่ในเฟสคงที่



รูปที่ 2.8 โครมาโทแกรมแสดงการหาพารามิเตอร์ต่างๆ

ที่มา: ISA (2010)

2.2.3.4 แฟกเตอร์ความจุ (capacity factor, k') เป็นค่าที่บอกให้ทราบว่าสารตัวอย่างหน่วงเหนี่ยวอยู่ในคอลัมน์ได้แค่ไหนเพียงใด ขณะทำการแยกโดยการชะแบบไอโซครีติก ค่า k' นี้หาได้จาก corrected retention time ของสารที่วิเคราะห์หารด้วยเวลาสารที่ไม่ถูกหน่วงเหนี่ยว หรือเวลาที่เฟสเคลื่อนที่ผ่านคอลัมน์ (t_0) ดังสมการ 2.2

$$k' = (t_R - t_0) / t_0 \quad (2.2)$$

k' เป็นพารามิเตอร์ที่บอกถึงลักษณะการทำงานของคอลัมน์ ปัจจัยที่มีผลต่อค่า k' คือ องค์ประกอบของเฟสเคลื่อนที่ เฟสคงที่ และอุณหภูมิของการทดลอง โดยทั่วไปค่า k' ของสารจะอยู่ระหว่าง 2-5 ทั้งนี้เพราะเวลาที่ใช้แยกสมมูลกันดี และค่า k' ที่เหมาะสมของการแยกสารที่ซับซ้อนควรมีค่าระหว่าง $1 \leq k' \leq 16$ ในการปฏิบัติควรหาค่า k' ของพีคของสารที่ใช้ทดสอบอย่างน้อย 1 พีคคือ พีคแรก เพื่อให้แน่ใจว่าพีคของสารที่ใช้ทดสอบแยกออกจากตัวทำละลาย หรือพีคของสารปนเปื้อนซึ่งมักจะถูกชะออกมาใกล้เคียงหรือที่เดียวกับ t_0 พีคของสารที่ใช้ทดสอบ ไม่ควรมีค่า k' สูงเกิน 10-15 ค่าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพราะจะใช้เวลานาน ทำให้พิกที่ได้กว้างและแยกได้ไม่ดี ทำให้การตรวจวัดลำบาก ค่า k' บอกให้ทราบถึงเวลาที่สารชะล้างออกมาจากคอลัมน์ บอกลักษณะของพิก กว้างหรือแคบ การตรวจวัดยากหรือง่าย ความแรงของเฟสเคลื่อนที่แรงหรืออ่อน ดังแสดงในตารางที่ 2.4 จากข้อมูลนี้สามารถนำมาปรับค่า k' ให้เหมาะสม เพื่อให้การแยกสาร ได้ดีที่สุด

ตารางที่ 2.4 การเปรียบเทียบค่า k'

ข้อมูล	ค่า k' ต่ำ	ค่า k' สูง
เวลาที่สารถูกพาออกจากคอลัมน์	น้อย	มาก
ลักษณะของพิก	แหลมสูง	กว้างเตี้ย
การตรวจวัด	ง่าย	ยาก
ความแรงของเฟสเคลื่อนที่	แรง	อ่อน

ที่มา : แม้น และอมร (2534)

การปรับปรุงหรือควบคุมค่า k' ในกรณีที่ค่า k' ที่ได้จากการทดลองไม่เหมาะสม อาจสูงหรือต่ำเกินไป ทำให้การแยกไม่ดี มีวิธีการปรับปรุงค่า k' หรือเวลาของการชะล้างเพื่อให้เกิดการแยกที่ดีขึ้นได้ดังนี้

1) ปรับเปลี่ยนส่วนผสม หรือความแรงของตัวทำละลาย หรือเฟสเคลื่อนที่ โดยไม่เปลี่ยนคุณสมบัติทางเคมีของตัวทำละลาย ในทางปฏิบัติการเลือกเฟสเคลื่อนที่ที่เหมาะสมนั้น จะต้องพิจารณาจากสมบัติของสารตัวอย่างเป็นหลัก และความแรงของเฟสเคลื่อนที่ที่เหมาะสม ทำโดยการแยกสารที่ต้องการ 1-2 ครั้ง แล้วพิจารณาค่า k' ที่ได้ หลังจากนั้นจึงปรับความแรงของเฟสเคลื่อนที่ ให้แรงขึ้นหรืออ่อนลง เพื่อให้เกิดการแยกที่ดีขึ้น วิธีที่ง่ายและสะดวกในการปรับความแรง คือ ปรับความเข้มข้นของตัวทำละลาย ความเป็นกรด-ด่าง ความมีขี้ว โดยไม่เปลี่ยนสมบัติทางเคมีหรือชนิดของตัวทำละลายที่เป็นส่วนประกอบของเฟสเคลื่อนที่ โดยทั่วไปมักจะใช้ตัวทำละลายผสมที่ให้ค่า $1 \leq k' \leq 10$ เพื่อให้การเกิดการแยก และเวลาในการแยกไม่นานเกินไป ถ้าต้องการเปลี่ยนค่า k' ให้ใช้เฟสเคลื่อนที่ที่มีความแรงน้อย ในทางตรงข้ามถ้าต้องการลดค่า k' ให้ใช้เฟสที่มีความแรงเพิ่มขึ้น

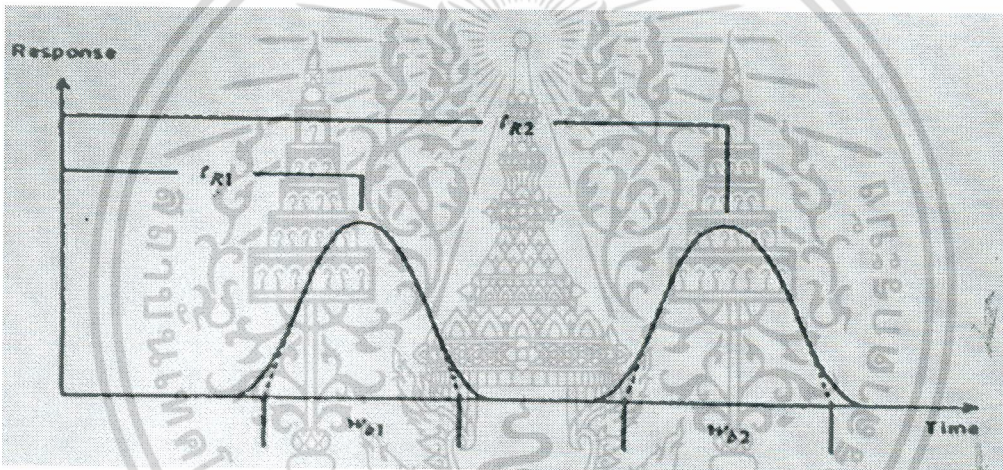
2) เพิ่มหรือลดปริมาณของเฟสคงที่ ในกรณีที่เป็นโครมาโทกราฟีแบบแยกขนาดจำเพาะ (size exclusion chromatography) ทำได้โดยการเพิ่มหรือลดปริมาณของรูพรุน และพื้นที่ผิวของสารบรรจุในคอลัมน์ ในกรณีของสารที่เป็นโครมาโทกราฟีแบบแลกเปลี่ยนไอออนบนสารบรรจุ การปรับเปลี่ยนปัจจัยที่มีผลต่อค่า K อุณหภูมิ และอัตราการเร็วของการไหลของเฟสเคลื่อนที่เป็นปัจจัยที่มีผลต่อความผันแปรของค่า K ดังนั้นจึงมีผลต่อค่า k' ด้วย

2.2.3.5 ค่าซีเล็กติวิตี (selectivity factor, α) เป็นค่าที่บอกให้ทราบว่าพิกของสาร 2 ชนิด แยกออกก็จากกันได้ดีเพียงใด ดังรูปที่ 2.9 การแยกออกจากกันนี้ขึ้นกับค่า r_R หรือค่า k' เท่านั้น โดยไม่

คำนึงถึงความกว้างของพีค และค่าที่เกี่ยวข้องกับ relative partition coefficient หรืออัตราส่วนของแฟกเตอร์ความจุ 2 ชนิดที่มีพีคติดกัน สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$\alpha = \frac{k'_2}{k'_1} = \frac{t'_{R2}}{t'_{R1}} \quad (2.3)$$

โดยที่ k'_1 = ค่าแฟกเตอร์ความจุของพีคที่ 1
 k'_2 = ค่าแฟกเตอร์ความจุของพีคที่ 2
 t'_{R1} = Corrected retention time ของพีคที่ 1
 t'_{R2} = Corrected retention time ของพีคที่ 2



รูปที่ 2.9 โครมาโทแกรมแสดงการหาค่าซีเล็กติวิตี

ที่มา: คณิตา (2542)

ค่าซีเล็กติวิตี เป็นค่าที่มีความสำคัญมาก เป็นตัวบอกใบ้ให้ทราบว่าคอลัมน์หรือเฟสคงที่นั้นทำงานอยู่ในสภาวะใด ค่านี้ขึ้นกับองค์ประกอบของเฟสเคลื่อนที่ พื้นที่ผิวของเฟสคงที่ และอุณหภูมิในการแยกสาร ค่า α จะมีค่ามากกว่า 1 จึงจะมีการแยกเกิดขึ้น ถ้าค่า $\alpha = 1$ แสดงว่าพีคทั้งสองทับกัน เนื่องจากพีคทั้งสองมีเวลาการคงไว้เท่ากับค่า α ที่เหมาะสม คือ ระหว่าง 1.5 ถึง 4.0

การควบคุมหรือปรับเปลี่ยนค่าซีเล็กติวิตี เพื่อให้สาร 2 ชนิดที่อยู่ใกล้กันแยกออกจากกันได้ดีขึ้นเท่านั้น สามารถทำได้โดยวิธีต่างๆ ดังนี้

1) ปรับองค์ประกอบของเฟสเคลื่อนที่ เป็นการปรับความแรงของเฟสเคลื่อนที่ โดยการเปลี่ยนชนิดของตัวทำละลายที่เป็นองค์ประกอบ เป็นการเปลี่ยนสมบัติทางเคมีของตัวทำละลาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

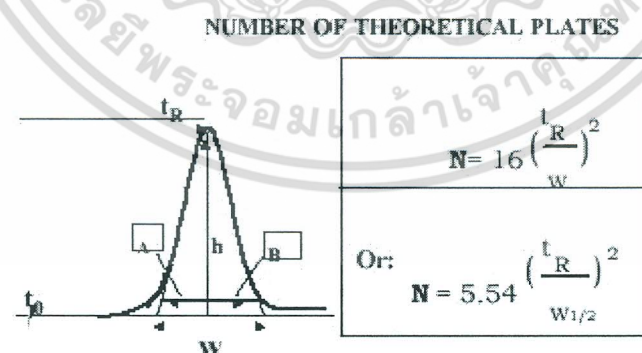
2) เปลี่ยนค่าความเป็นกรด-ด่าง ของเฟสเคลื่อนที่ นิยมใช้กับการแยกสารที่มีการแตกตัวเป็นไอออน การปรับเปลี่ยนค่าความเป็นกรด-ด่าง ของเฟสเคลื่อนที่มักทำให้ค่า α เปลี่ยนแปลง แต่ค่า k' เปลี่ยนแปลงไม่มากนัก ส่วนมากใช้วิธีการแลกเปลี่ยนไอออน (ion-exchange) และไอออนแพร์ (ion-pair)

3) เปลี่ยนเฟสคงที่ ทำโดยการเปลี่ยนชนิดของคอลัมน์วิธีนี้ไม่สะดวก เสียค่าใช้จ่ายสูงกว่าการปรับเปลี่ยนเฟสเคลื่อนที่ จึงไม่ค่อยเป็นที่นิยมแต่ให้ผลดีมาก ถ้ามีการเปลี่ยนคอลัมน์ใหม่ เฟสเคลื่อนที่ที่จะต้องปรับเปลี่ยนด้วยเช่นกัน เพื่อให้มีความแรงพอที่จะทำให้ได้ค่า k' ที่เหมาะสม

4) เปลี่ยนอุณหภูมิของคอลัมน์ โดยทั่วไปการเพิ่มอุณหภูมิ จะทำให้ค่า k' ลดลง ดังนั้นถ้าต้องการเพิ่มอุณหภูมิของคอลัมน์ จำเป็นต้องลดความแรงของเฟสเคลื่อนที่ เพื่อเป็นการชดเชยค่า k' อยู่ในช่วงที่เหมาะสม การเพิ่มอุณหภูมิของคอลัมน์มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่า α เพียงเล็กน้อย

5) การใช้ปฏิกิริยาทางเคมี ปฏิกิริยาที่นิยมใช้ คือ คอมเพล็กซ์เซชัน (complexation) โดยการเติมซิลเวอร์ไนเตรท (silver nitrate) ลงในเฟสเคลื่อนที่ ซึ่งซิลเวอร์ไอออนจะเป็นตัวทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของค่า k_r และค่า α ทำให้การแยกดีขึ้น

2.2.3.6 ประสิทธิภาพของคอลัมน์พิจารณาได้จากความกว้างของพีกที่ถูกชะล้างออกมา ประสิทธิภาพของคอลัมน์ที่ดี พีกแต่ละพีกที่ถูกชะล้างออกมาจะต้องมีฐานที่แคบและแยกออกจากกัน ได้ ค่าที่วัดประสิทธิภาพของคอลัมน์คือ จำนวนเพลทของคอลัมน์ (number of theoretical plate; N) และความสูงของเพลทแต่ละเพลทในคอลัมน์ (height equivalent to a theoretical plate, H หรือ HETP) ดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 โครมาโทแกรมสำหรับคำนวณจำนวนเพลทของคอลัมน์

ที่มา: ISA (2010)

จำนวนเพลทของคอลัมน์เป็นตัวชี้บ่งถึงประสิทธิภาพของคอลัมน์ ว่าคอลัมน์นั้นมีการบรรจุดีเพียงใด พิจารณาจากความกว้างของพีกขณะเคลื่อนที่ผ่านคอลัมน์ โดยเปรียบเทียบความเอกลสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กว้างของพีค กับเวลาที่สารเคลื่อนที่ผ่านคอลัมน์ สามารถคำนวณได้จาก
ที่ 2.4 โครมาโทแกรมดังสมการ

$$N = a \left(\frac{t'_R}{W} \right)^2 \quad (2.4)$$

โดยที่ N = จำนวนเพลท
 t_R = เวลาคงไว้ของสาร
 W = ความกว้างของพีคที่ตำแหน่งความสูงที่กำหนด
 a = ค่าคงที่ขึ้นกับวิธีวัดความกว้างของพีค (ตามตารางที่ 2.5)

ตารางที่ 2.5 ค่าคงที่ a จากการวัดความกว้างของพีคโดยวิธีการต่างๆ

วิธี	ค่า a
ความกว้างของพีคที่ครึ่งหนึ่งของความสูง	5.54
ความกว้างของพีคที่ 4.4% ของความสูง (5σ)	25
Tangent	16

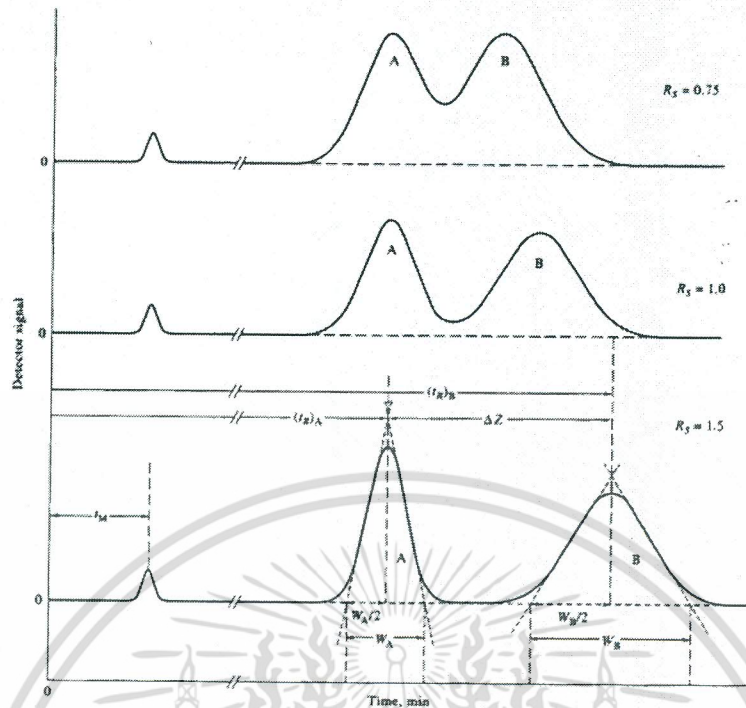
ที่มา: แม้น และอมร (2534)

2.2.3.7 ความสามารถในการแยก (resolution) เป็นค่าที่บอกให้ทราบว่าพีคของสารสองชนิดที่อยู่ติดกันแยกออกจากกันได้ดีเพียงใด ซึ่งการแยกนี้จะต้องพิจารณาทั้งระยะเวลาที่สารเคลื่อนที่ผ่านคอลัมน์ และความกว้างของพีคทั้งสอง ดังรูปที่ 2.11 คำนวณได้จากระยะห่างระหว่างจุดสูงสุดของพีคทั้งสองหารด้วยความกว้างเฉลี่ยของพีคทั้งสอง ดังสมการที่ 2.5

$$R_s = \frac{(t_2 - t_1)}{\frac{1}{2}(W_1 + W_2)} \quad (2.5)$$

โดยที่ R_s = ค่าความสามารถในการแยก (resolution)
 t_1 และ t_2 = การคงไว้ของพีคที่ 1 และพีคที่ 2 ตามลำดับ
 W_1 และ W_2 = ความกว้างของพีคที่ 1 และพีคที่ 2 ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.11 โครมาโทแกรมสำหรับคำนวณค่าการแยก (R_s)

ที่มา: ISA (2010)

ถ้าพิกสมมาตร R_s มีค่าเท่ากับ 1.5 แสดงว่าการแยกของพิกทั้งสองลงถึง เบสไลน์ จะมีการทับกันเพียง 0.3 เปอร์เซ็นต์ ถือเป็นการแยกอย่างสมบูรณ์ ถ้า R_s มีค่าเท่ากับ 1.0 พิกทั้งสองจะทับกันบางส่วน คือประมาณ 2 เปอร์เซ็นต์ และการแยกนี้สามารถนำมาใช้งานในการทดสอบเชิงปริมาณได้ ถ้า R_s มีค่าเท่ากับ 0.75 พิกทั้งสองจะทับกันมาก ไม่สามารถใช้ในการทดสอบเชิงปริมาณได้ และถ้า R_s มีค่าสูงเกินไป จะทำให้พิกทั้งสองห่างกันมาก เป็นผลให้สิ้นเปลืองเวลาและตัวทำละลายโดยไม่จำเป็น ดังนั้นควรปรับสภาวะเพื่อให้ได้ R_s ที่เหมาะสม

จะเห็นว่าความสามารถในการแยกเกี่ยวข้องกับเวลาการคงไว้ และความกว้างของพิก โดยที่เวลาจะเกี่ยวข้องกับแฟกเตอร์ความจุ (k') และค่าซีเล็คติวิตี (α) ส่วนความกว้างของพิกเกี่ยวข้องกับประสิทธิภาพของคอลัมน์ (N) ค่า R_s จะเพิ่มเมื่อ Δt เพิ่ม และความกว้างของ พิกลดลง จากความสัมพันธ์ของค่าความสามารถในการแยกกับพารามิเตอร์ดังกล่าว สามารถเขียนเป็นสมการความสัมพันธ์ได้ตามสมการที่ 2.6

$$R_s = \frac{1}{4}(\alpha-1)\sqrt{N}\left[\frac{k'}{1+k'}\right] \quad (2.6)$$

จากสมการสามารถใช้เป็นแนวทางในการเลือกสภาวะที่เหมาะสมเพื่อให้เกิดการแยกที่ดีที่สุด และใช้เวลาน้อย ได้ 3 วิธีคือ

1) การปรับค่าแฟกเตอร์ความจุ (k')

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) การปรับค่าซีเล็กติวิตี (α)

3) การปรับจำนวนเพลท (N)

ในเวลาทำงานจะต้องพิจารณาว่าควรปรับพารามิเตอร์ตัวใดก่อนหลัง เพื่อให้เกิดการแยกที่ดีขึ้น โดยสิ่งที่ง่ายและสะดวกคือ การปรับค่าแฟกเตอร์ความจุ (k') และค่าซีเล็กติวิตี (α) ก่อน ถ้าการแยกยังไม่ดีจึงปรับจำนวนเพลท ซึ่งไม่สะดวกและเสียค่าใช้จ่ายสูง

ประสิทธิภาพของคอลัมน์เกี่ยวข้องกับอิทธิพลทางไคเนติก (kinetic effect) ซึ่งมีผลต่อความกว้างของพีค ค่าซีเล็กติวิตี และค่าแฟกเตอร์ความจุ เกี่ยวกับเทอร์โมไดนามิกของสารที่ทำให้เกิดการแยก กับค่าการกระจายตัวของสาร (distribution coefficient, K) และปริมาณของเฟสเคลื่อนที่และเฟสคงที่ ค่าซีเล็กติวิตี (α) เกี่ยวข้องกับคุณสมบัติของสาร 2 ชนิดเท่านั้น ส่วนค่าแฟกเตอร์ความจุเกี่ยวข้องกับคุณสมบัติของสารและคอลัมน์

การปรับประสิทธิภาพของคอลัมน์ (column efficiency) สามารถปรับค่าจำนวนเพลทของคอลัมน์ เพื่อให้ความสามารถในการแยกดีขึ้นนั้นควรเป็นทางเลือกสุดท้าย เนื่องจากเสียค่าใช้จ่ายสูงและไม่สะดวก การเพิ่มจำนวนเพลทของคอลัมน์ทำได้โดยการเพิ่มความยาวคอลัมน์ ทำให้พีคที่ได้แคบลง โดยทั่วไปมักจะลดความสูงของเพลทแต่ละเพลทในคอลัมน์ลง ซึ่งค่าความสูงของเพลทมีความสัมพันธ์กับจำนวนเพลทในคอลัมน์ คือ ค่าความสูงของเพลทต่ำ จำนวนเพลทจะสูง การลดความสูงของเพลททำได้โดยเปลี่ยนอัตราการไหลของเฟสเคลื่อนที่ ลดขนาดอนุภาคของสารที่บรรจุอยู่ในคอลัมน์ ลดความหนืดของเฟสเคลื่อนที่ (เพื่อเพิ่มอัตราการกระจายตัวของสารในเฟสเคลื่อนที่ ทำให้พีคแคบลง) และเพิ่มอุณหภูมิของคอลัมน์

2.3 การตรวจสอบความใช้ได้ของวิธีทดสอบ (method of validate)

การทดสอบทางห้องปฏิบัติการที่จะให้ผลถูกต้องและเป็นที่น่าเชื่อถือนั้น วิธีทดสอบเป็นองค์ประกอบที่สำคัญยิ่ง ดังนั้นเมื่อเลือกนำวิธีทดสอบใดมาใช้ ไม่ว่าจะเป็วิธีมาตรฐาน หรือวิธีที่พัฒนาขึ้นเองในห้องปฏิบัติการ จะต้องมีการทดสอบว่าสามารถใช้ทดสอบตัวอย่างได้ถูกต้องตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้

การตรวจสอบความใช้ได้ของวิธีทดสอบนั้น จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องปฏิบัติ ก่อนนำวิธีการทดสอบนั้นมาใช้งาน ไม่ว่าจะวิธีนั้นจะถูกดำเนินการมาอย่างไร เช่น การนำวิธีทดสอบมาตรฐานมาใช้ ทดสอบอาหาร หรือองค์ประกอบที่นอกเหนือจากที่กำหนดไว้ในขอบข่ายของวิธีนั้น หรือมีการปรับเปลี่ยนเงื่อนไขที่กำหนดไว้ในวิธีมาตรฐานหรือวิธีที่มีอยู่เดิม หรือวิธีที่จะนำมาใช้ไม่มีข้อมูลเกี่ยวกับคุณลักษณะเฉพาะของวิธีหรือมีไม่สมบูรณ์ตามความจำเป็นของการใช้งาน หรือเป็นวิธีใหม่ที่ห้องปฏิบัติการพัฒนาขึ้น ส่วนในกรณีที่น่าวิธีมาตรฐานหรือวิธีที่พัฒนาอย่างดีแล้วมาใช้โดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงใดๆ ก็จำเป็นต้องทวนสอบ (verify) โดยห้องปฏิบัติการ เพื่อยืนยันสมรรถนะของเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ห้องปฏิบัติการว่าสามารถทำได้ตามที่ระบุในวิธี การตรวจสอบความใช้ได้วิธีทดสอบ เป็นกระบวนการศึกษาทางห้องปฏิบัติการเพื่อการศึกษา หรือยืนยันคุณลักษณะเฉพาะของวิธีทดสอบ (method performance characteristics) และประเมินด้วยวิธีทางสถิติว่าวิธีทดสอบดังกล่าวมีความถูกต้อง และเหมาะสมตามวัตถุประสงค์ของการทำงาน ซึ่งคุณลักษณะเฉพาะของวิธีเหล่านี้ ได้แก่ ช่วงของการทดสอบ (range) ความเป็นเส้นตรง (linearity) ความแม่นยำของการทดสอบ (accuracy) ความเที่ยงของการทดสอบ (precision) ความจำเพาะเจาะจง (specificity/selectivity) ความทนของวิธี (rugged/robustness) และปริมาณต่ำสุดที่วิธีทดสอบตรวจวัดเชิงปริมาณ (limit of quantification, LOQ) เป็นต้น การศึกษาคุณลักษณะเฉพาะเหล่านี้ อาจไม่จำเป็นต้องดำเนินการทั้งหมด ทั้งนี้ขึ้นกับวิธีทดสอบ และวัตถุประสงค์การใช้งาน (นภาพรรณ, 2552)

2.3.1 ช่วงของการทดสอบ และความเป็นเส้นตรง

ช่วงทดสอบ คือ ช่วงความเข้มข้นของสารที่วิเคราะห์ระหว่างค่าต่ำสุด และค่าสูงสุดที่เป็นเส้นตรง ให้ผลการทดสอบที่มีความเที่ยง ความแม่นยำตามเกณฑ์ที่ยอมรับ ภายใต้สภาวะการทดลองที่ระบุไว้ ส่วนความเป็นเส้นตรงเป็นคุณลักษณะเฉพาะของวิธีวิเคราะห์ห้อย่างเป็นสัดส่วน โดยตรงระหว่างสัญญาณจากเครื่องมือตรวจวัด และความเข้มข้นของสารในช่วงของการทดสอบ

2.3.1.1 ขั้นตอนการทดสอบช่วงของการทดสอบ

- 1) กำหนดช่วงความเข้มข้นของสารที่ใช้ทดสอบ
- 2) ทดสอบตัวอย่างที่เติมสารที่ต้องการทดสอบ (fortified sample blank หรือ fortified sample) ที่ความเข้มข้นต่างๆ อย่างน้อย 7 ความเข้มข้น ความเข้มข้นละ 1 ซ้ำ แล้วทดสอบตามขั้นตอน
- 3) เขียนกราฟระหว่างความเข้มข้นตัวอย่างที่เติมสารที่ต้องการทดสอบ (แกน X) กับสัญญาณ (แกน Y)

- 4) พิจารณาความเข้มข้นที่เป็นความเป็นเส้นตรง

2.3.1.2 ขั้นตอนการทดสอบความเป็นเส้นตรง

- 1) ทดสอบตัวอย่างที่เติมสารที่ต้องการทดสอบ ในความเข้มข้นของช่วงการทดสอบ อย่างน้อย 7 ความเข้มข้น ความเข้มข้นละ 3 ซ้ำ แล้วทดสอบตามขั้นตอน
- 2) เขียนกราฟระหว่างความเข้มข้นของตัวอย่าง (แกน X) กับพื้นที่ใต้พีค (แกน Y)
- 3) หาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r); $r \geq 0.995$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2 ความแม่นยำของการทดสอบ (accuracy)

ความแม่นยำเป็นคุณลักษณะของวิธีที่แสดงความใกล้เคียงของผลการวิเคราะห์หาค่าจริงหรือค่าอ้างอิงที่ยอมรับ การทดสอบความแม่นยำทำได้โดยการประเมินด้วยการคำนวณเปอร์เซ็นต์การคืนกลับ (% recovery) ซึ่งเป็นค่าที่แสดงประสิทธิภาพของวิธีที่มีต่อสารตัวอย่าง

$$\text{เปอร์เซ็นต์คืนกลับ} = \frac{(C_1 - C_2) \times 100}{C_3} \quad (2.7)$$

โดยที่ C_1 = ความเข้มข้นของสารที่สนใจซึ่งได้จากการทดสอบ (spiked sample)

C_2 = ความเข้มข้นของสารที่สนใจที่มีในตัวอย่าง (unspiked sample)

C_3 = ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานที่เติม

เกณฑ์การยอมรับเปอร์เซ็นต์การคืนกลับตามมาตรฐาน โคเด็กซ์ ได้กำหนดไว้ดังตารางที่

2.6

ตารางที่ 2.6 เกณฑ์การยอมรับเปอร์เซ็นต์การคืนกลับตามมาตรฐาน โคเด็กซ์

ความเข้มข้น	เปอร์เซ็นต์การคืนกลับ (%)
< 1 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม	50 – 120
> 1 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม ≤ 0.01 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม	60 – 120
> 0.01 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ≤ 0.1 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม	70 – 120
> 0.1 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม < 1.0 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม	70 – 110
> 1.0 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม	70 – 110

ที่มา : Codex Alimentarius Commission (2002)

2.3.3 ปริมาณต่ำสุดที่วิธีทดสอบตรวจพบได้เชิงคุณภาพ (limit of detection, LOD)

ความเข้มข้นต่ำที่สุดของสารที่สนใจในตัวอย่างที่วิธีทดสอบสามารถตรวจวัดได้ โดยที่ความเข้มข้นระดับนี้ไม่อาจบอกเป็นปริมาณที่มีความถูกต้อง และเที่ยงตรงในระดับที่ยอมรับได้ เนื่องจากความไม่แน่นอนสูง

ขั้นตอนการทดสอบ LOD (กรณี blank sample ไม่สามารถอ่านสัญญาณได้)

- 1) ทดสอบตัวอย่างที่เติมสารที่ต้องการทดสอบที่ระดับต่ำสุดที่ยอมรับได้
- 2) คำนวณค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD)
- 3) คำนวณค่า LOD จากสูตร $LOD = \text{ค่าเฉลี่ย} + 3SD$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.4 ปริมาณต่ำสุดที่สามารถตรวจวัดเชิงปริมาณ (limit of quantification, LOQ)

ความเข้มข้นต่ำที่สุดของสารที่สนใจในตัวอย่างที่วิธีทดสอบสามารถตรวจวัดได้ ที่ความเข้มข้นระดับนี้สามารถรายงานเป็นปริมาณที่มีความแม่นยำ และความเที่ยงในระดับที่ยอมรับได้
ขั้นตอนการทดสอบ LOQ (กรณี blank sample ไม่สามารถอ่านสัญญาณได้)

- 1) หาค่า LOQ โดยประมาณจาก SD ที่ได้จากการหา LOD
- 2) ประมาณค่า LOQ จากสูตร $LOQ = \text{ค่าเฉลี่ย} + 10SD$
- 3) ยืนยันค่า LOQ ที่มีความแม่นยำ ความเที่ยง ในระดับที่ยอมรับได้

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

หลังจากที่ได้มีประกาศเรื่องการพบอะคริลาไมด์ในอาหารนั้น หลายประเทศมีการตื่นตัวในการตรวจสอบการปนเปื้อนของอะคริลาไมด์ในอาหาร โดยแบ่งออกเป็นตรวจสอบอาหารสำเร็จรูป และ การตรวจสอบอาหารท้องถิ่น ดังตัวอย่างต่อไปนี้

2.4.1 อาหารสำเร็จรูป

พนาวัลย์ (2550) ได้ตรวจวิเคราะห์อาหารของไทยที่คาดว่ามีการปนเปื้อนอะคริลาไมด์ ซึ่งส่วนใหญ่เป็นอาหารประเภทคาร์โบไฮเดรตที่ผ่านกระบวนการให้ความร้อนสูง จำนวน 161 ตัวอย่าง โดยนำตัวอย่างมาสกัดด้วยสารละลายผสมเมทานอลในน้ำ 70 เปอร์เซ็นต์ สกัดสิ่งรบกวนด้วยเฟสของแข็ง (solid extraction phase: SPE) ใช้วิธีการตรวจวิเคราะห์ด้วย LC-ESI-MS/MS พบว่า ผลิตภัณฑ์ที่มีวัตถุติดจากมันฝรั่งมีปริมาณอะคริลาไมด์เฉลี่ย 1,336 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม รองลงมาเป็นผลิตภัณฑ์ในกลุ่มกาแฟสำเร็จรูป 404 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม

Murkovic (2004) ได้วิเคราะห์ปริมาณอะคริลาไมด์ในอาหารพร้อมบริโภค (ready-to-eat) ในประเทศออสเตรีย จำนวน 158 ตัวอย่าง โดยสกัดอะคริลาไมด์ออกจากตัวอย่างที่แยกไขมันออกแล้ว สกัดสิ่งรบกวนด้วย SPE ใช้วิธีการตรวจวิเคราะห์ด้วย HPLC/MS ก่อนพบปริมาณอะคริลาไมด์มีมากที่สุด ในผลิตภัณฑ์ประเภทมันฝรั่งทอด คือ 499 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม รองลงมาเป็นผลิตภัณฑ์ประเภทกาแฟ คือ 169 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม

Viklund และคณะ (2006) ได้ทำการวิเคราะห์มันฝรั่งทอดที่ 160 องศาเซลเซียส นาน 2 ถึง 4.5 นาที ทำการวัดสีด้วยเครื่องวัดสีดิจิทัล (digital imaging) และสกัดอะคริลาไมด์ก่อนนำมากรองผ่านเฟสของแข็ง มีเปอร์เซ็นต์การคืนกลับที่ 95 เปอร์เซ็นต์ วิเคราะห์ปริมาณอะคริลาไมด์ด้วยเครื่อง LC-MS พบว่าค่าสีมีความสัมพันธ์กับปริมาณอะคริลาไมด์ โดยมีค่า L^* (lightness) ลดลง และค่า a^* (redness) และ b^* (yellowness) เพิ่มขึ้น เมื่อค่าอะคริลาไมด์เพิ่มขึ้น และพบว่าสิ่งที่มีผลต่อปริมาณอะคริลาไมด์ ได้แก่ สี และปริมาณน้ำอิสระในตัวอย่าง (water activity: A_w)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

JECFA (2007) ได้ตรวจสอบอาหารในประเทศนอร์เวย์ สวีเดน สวิตเซอร์แลนด์ อังกฤษ และสหรัฐอเมริกา พบว่าผลิตภัณฑ์ในกลุ่มมันฝรั่งมีปริมาณอะคริลาไมด์เฉลี่ย 1,312 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม และผลิตภัณฑ์ขนมอบมีปริมาณอะคริลาไมด์เฉลี่ย 423 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม

2.4.2 อาหารท้องถิ่น

Tateo (2007) ได้ศึกษาปริมาณอะคริลาไมด์ในข้าวสุก ซอสมะเขือเทศ และอาหารจานด่วน (fast food) บางชนิดที่เป็นอาหารที่นิยมรับประทานกัน โดยสุ่มตัวอย่างจากตลาดอิตาเลียน จำนวน 27 ชนิดตัวอย่าง โดยนำตัวอย่างมาสกัดไขมันออกด้วยเฮกเซน และสกัดอะคริลาไมด์ด้วยเมทานอล ก่อนนำมาตรวจวิเคราะห์ด้วย GC/MS พบว่าซอสมะเขือเทศ ข้าว และริซอตโต (risotto) มีปริมาณอะคริลาไมด์ต่ำกว่า 50 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม

Nigel (2007) ได้ตรวจวิเคราะห์มันฝรั่ง 3 พันธุ์ ได้แก่ Rooster, Record และ Oilean เพื่อหาสารตั้งต้นของอะคริลาไมด์ พบว่ามันฝรั่งทั้ง 3 พันธุ์ มีปริมาณแอสพาราจีนและน้ำตาลรีดิคูลูซสูงไม่แตกต่างกัน ทำให้มีความเสี่ยงสูงที่จะเกิดอะคริลาไมด์ในอาหารที่นำมันฝรั่งเหล่านี้ไปใช้เป็นวัตถุดิบ

Wang (2007) ได้ทำการศึกษาปริมาณอะคริลาไมด์ในอาหารทอดประเภทแป้งพื้นเมืองของจีน โดยนำตัวอย่างมาสกัดอะคริลาไมด์ด้วยน้ำ และสกัดสิ่งรบกวนด้วย SPE ใช้วิธีการตรวจวิเคราะห์ด้วย HPLC/UV พบว่าพายไข่ทอด (fried egg pastry) มีปริมาณอะคริลาไมด์เฉลี่ย 198 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม และแป้งหวานทอด (fried sweet dumpling) มีปริมาณอะคริลาไมด์เฉลี่ย 136 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม

Olemz และคณะ (2008) ได้ทำการสำรวจปริมาณอะคริลาไมด์ในอาหารที่จำหน่ายในตลาดของประเทศตุรกี ประเภทอาหารสำเร็จรูป และของหวานท้องถิ่น ที่คาดว่ามีการปนเปื้อนของอะคริลาไมด์ จำนวน 311 ตัวอย่าง โดยใช้เครื่อง GC-MS พบว่าอาหารสำเร็จรูปประเภทมันฝรั่งทอดกรอบ มีปริมาณอะคริลาไมด์เฉลี่ย 834 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม และของหวานประเภทแป้งทอด (kemalpassa dessert) มีปริมาณอะคริลาไมด์เฉลี่ย 512 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม นอกจากนี้ยังพบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของปริมาณอะคริลาไมด์ระหว่างอาหารที่วิเคราะห์เมื่อวันที่ผลิตกับอาหารที่วิเคราะห์หลัง 6 เดือนนับจากวันที่ผลิต

Karasek และคณะ (2009) ได้ทำการวิเคราะห์หาอะคริลาไมด์ในเกาลัดคั่วและผลิตภัณฑ์ขนมอบที่มีเกาลัดเป็นส่วนประกอบ จำนวน 31 ตัวอย่าง จาก 9 ประเทศในทวีปยุโรปโดยนำตัวอย่างมาสกัดอะคริลาไมด์ด้วยน้ำ และสกัดสิ่งรบกวนด้วย SPE ใช้วิธีการตรวจวิเคราะห์ด้วย HPLC-MS/MS พบว่าในตัวอย่างเกาลัดคั่วมีปริมาณอะคริลาไมด์ในช่วง น้อยกว่า 8 ถึง 1,278 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งมีค่าเฉลี่ยของปริมาณอะคริลาไมด์คือ 90 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม ส่วนผลิตภัณฑ์ขนมอบที่มีเกาลัดเป็นส่วนประกอบ มีปริมาณอะคริลาไมด์ในช่วง น้อยกว่า 4 ถึง 159 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม และยังพบว่าระยะเวลาการให้ความร้อนมีผลต่อปริมาณอะคริลาไมด์อีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Daniali และคณะ (2010) ได้ทำการวิเคราะห์ปริมาณอะคริลาไมด์ในผลิตภัณฑ์อบและทอดที่มีกล้วยเป็นส่วนประกอบ จากตลาดต่างๆในประเทศมาเลเซีย โดยใช้เครื่อง GC-MS พบว่าในตัวอย่างกล้วยทอด (pisang goreng) มีปริมาณอะคริลาไมด์มากที่สุดในช่วง 74.0 ถึง 7,468.8 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม รองลงมาคือกล้วยทอดกรอบชนิดหวาน (kerepek pisang manis) มีปริมาณอะคริลาไมด์ในช่วง 160.7 ถึง 500.4 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งขีดจำกัดในการตรวจพบอยู่ที่ 5 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม และจากการศึกษานี้พบว่าอัตราการได้รับอะคริลาไมด์ในประเทศมาเลเซียอยู่ที่ 1.2 ไมโครกรัมต่อน้ำหนักตัว 1 กิโลกรัม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การดำเนินงานวิจัย

3.1 สารเคมีและอุปกรณ์สำหรับงานวิจัย

3.1.1 สารมาตรฐาน

- อะคริลาไมด์ 99 เปอร์เซนต์ (C_3H_5NO , Electrophoresis grade, Sigma, เยอรมนี)

3.1.2 สารเคมี

- อะซิโตไนไตรท์ (CH_3CN , HPLC grade, Lab scan, ไทย)
- เมททานอล (CH_3OH , HPLC grade, Scharlab, สเปน)
- เฮกเซน ($CH_3(CH_2)_4CH_3$, AR grade, Lab scan, ไทย)
- โพแทสเซียมเฮกซาไซยาโนเฟอร์เรท ($K_4[Fe(CN)_6] \cdot 3H_2O$, AR grade, Merck, เยอรมนี)
- ซิงค์ ซัลเฟต ($ZnSO_4$, AR grade, Merck, เยอรมนี)
- น้ำปราศจากไอออน (H_2O , HPLC grade, Lab scan, ไทย)

3.1.3 เครื่องมือและอุปกรณ์

- เครื่องบดตัวอย่าง (Moulinex, Model 645, เม็กซิโก)
- เครื่องวัดสี (Minolta, CR 400, ญี่ปุ่น)
- เครื่องชั่งน้ำหนัก ทศนิยม 4 ตำแหน่ง (Sartorius, ED 2248, เยอรมนี)
- Autopipett ขนาด 20 – 200, 1,000 และ 5,000 ไมโครลิตร
- เครื่องผสม (Scientific industries, Genie 2, ไทย)
- เครื่องเขย่า (GFL, 3017, เยอรมนี)
- เครื่องหมุนเหวี่ยง (Beckman coulter, Allegra 64R, สหรัฐอเมริกา)
- กระดาษกรอง (Whatman, No.4, อังกฤษ)
- ปุ่มสุญญากาศ (Sibata, WI-20, ญี่ปุ่น)
- ตู้อบลมร้อน (Mettler, BE 400, เยอรมนี)
- Solid phase extraction (Agela, Cleanert PEP-SEP, 60 mg, 3ml, สหรัฐอเมริกา)
- 12 port SPE vacuum manifold (Mediwax, สหรัฐอเมริกา)
- Syring filter (Chromex, PVDF, 0.2 μm , 13 mm, อังกฤษ)
- Filter membrane (Munktell, PVDF, 0.2 μm , 47 mm, สวีเดน)
- อัลตราโซนิกบาร์ท (Mettler, 4.6, สหรัฐอเมริกา)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- เครื่อง HPLC (Agilent technologies, HP100, เยอรมนี)
- รีเวิร์สเฟสคอลัมน์ (Phenomenex, C18, 4 μ m, 250 x 4.60 mm, สหรัฐอเมริกา)

3.1.4 ตัวอย่าง

สุ่มตัวอย่างอาหารไทยที่มีคาร์โบไฮเดรตเป็นองค์ประกอบสูง และผ่านการให้ความร้อนด้วยวิธีการทอดพร้อมจذبันท์ที่ลักษณะกายภาพเบื้องต้น จากตลาดต่างๆใน 5 เขตของกรุงเทพมหานคร คือ ตลาดกระบี่ บางแค ยานนาวา วัฒนา และ ดุสิต จำนวน 27 ประเภท รวมทั้งสิ้น 177 ตัวอย่าง ได้แก่ ก๋วยเตี๋ยวทอดกรอบ (ชนิดเค็ม) ก๋วยเตี๋ยวทอดกรอบ (ชนิดหวาน) ก๋วยเตี๋ยวแกง ก๋วยเตี๋ยวตากทอด ก๋วยเตี๋ยวหอมทอดกรอบ ก๋วยเตี๋ยวอบเนย มันเทศทอดกรอบ (ชนิดเค็ม) มันเทศทอดกรอบ (ชนิดหวาน) มันต่อเผือกทอดกรอบ (ชนิดหวาน) มันเทศทอด เผือกทอด เผือกทอดกรอบ (ชนิดเค็ม) เผือกทอดกรอบ (ชนิดหวาน) พุรีเย็นทอดกรอบ ขนุนทอดกรอบ พักทองทอดกรอบ ข้าวแต่น ข้าวเม่า ถั่วทอด กระจ่างสารท ขนมน้ำแข็ง หงส์ ขนมน้ำแข็งเต่า ซาลาเปาทอด ครอบแครงกรอบ ข้าวเกรียบงา ขนมหอกจอก และขนมก้านบัว ตัวอย่างอาหารทอดทั้งหมดจะแบ่งบรรจุในถุงพลาสติกแบบมีปากปิดสนิท (Zip lock) ก่อนเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส สำหรับใช้ในการทดลอง

3.2 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

- 3.2.1 การทดสอบความถูกต้องของวิธีการวิเคราะห์
- 3.2.2 ตรวจสอบค่าสีของตัวอย่างอาหารชนิดต่างๆ
- 3.2.3 วิเคราะห์ปริมาณการปนเปื้อนของสารอะคริลาไมด์ในตัวอย่างอาหาร
 - 3.2.3.1 การสกัดสารอะคริลาไมด์ในตัวอย่างอาหาร
 - 3.2.3.2 การวิเคราะห์ปริมาณสารอะคริลาไมด์ในตัวอย่างอาหารด้วยเครื่อง HPLC
- 3.2.4 สรุปรวบรวม วิเคราะห์ข้อมูล และประเมินผลการศึกษา

3.3 วิธีดำเนินการ

3.3.1 การเตรียมสารละลายและสารเคมี

- 3.3.1.1 สารละลายอะซิโตนไตรท์ 1 เปอร์เซนต์โดยปริมาตร
 ปิเปตอะซิโตนไตรท์ จำนวน 10 มิลลิลิตร ลงในขวดปรับปริมาตรขนาด 1,000 มิลลิลิตร ละลายและปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออน
- 3.3.1.2 สารละลายอะคริลาไมด์มาตรฐาน 1,000 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร (standard stock solution)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซังสารอะคริลาไมด์มาตรฐาน 99 เปอร์เซ็นต์ 0.100 กรัม ละลายและปรับปริมาตรด้วยสารละลายอะซิโตไนไตรท์ 1 เปอร์เซ็นต์ ในขวดปรับปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตรเก็บในขวดแก้วสีชาที่มีฝาเป็นโพลีเตตระฟลูออโรไทลีน (PTFE) ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส

3.3.1.3 สารละลายอะคริลาไมด์มาตรฐาน 100 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร (standard working solution)

ปิเปตสารละลายอะคริลาไมด์มาตรฐาน 1,000 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร จำนวน 10 มิลลิลิตร ลงในขวดปรับปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร ละลายและปรับปริมาตรด้วยสารละลายอะซิโตไนไตรท์ 1 เปอร์เซ็นต์

3.3.1.4 สารละลายอะคริลาไมด์มาตรฐานสำหรับสร้างกราฟมาตรฐาน (standard calibration solution)

ทำการเจือจางสารละลายอะคริลาไมด์มาตรฐาน 1,000 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ด้วยสารละลายอะซิโตไนไตรท์ 1 เปอร์เซ็นต์ ให้มีความเข้มข้น 500, 250, 125, 62.50, 31.25, 15.63, 7.82, 3.91, 1.96 และ 0.98 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร โดยวิธี 2 flow serial dilution

3.3.1.5 สารละลายเมทานอล 70 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร

ตวงเมทานอล จำนวน 700 มิลลิลิตร ลงในขวดปรับปริมาตรขนาด 1,000 มิลลิลิตร ละลายและปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออน

3.3.1.6 สารละลาย Carrez I

ซังโพแทสเซียมเฮกซาไซยาโนเฟอร์เรท จำนวน 15.00 กรัม ละลายด้วยน้ำปราศจากไอออน 100 มิลลิลิตร เก็บในขวดแก้วสีชาที่มีฝาเป็นโพลีเตตระฟลูออโรไทลีน (PTFE) ที่อุณหภูมิห้อง

3.3.1.7 สารละลาย Carrez II

ซังซิงค์ ซัลเฟต จำนวน 30.00 กรัม ละลายด้วยน้ำปราศจากไอออน 100 มิลลิลิตร เก็บในขวดแก้วสีชาที่มีฝาเป็นโพลีเตตระฟลูออโรไทลีน (PTFE) ที่อุณหภูมิห้อง

3.3.2 การทดสอบความถูกต้องของวิธีการวิเคราะห์

3.3.2.1 การสร้างกราฟมาตรฐาน

นำสารละลายอะคริลาไมด์มาตรฐาน 10 ระดับความเข้มข้น ได้แก่ 500, 250, 125, 62.50, 31.25, 15.63, 7.82, 3.91, 1.96 และ 0.98 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร (ข้อ 3.3.1.4) มาทำการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง HPLC โดยฉีดผ่านรีเวิร์สเฟสคอลัมน์ (C18, 4 ไมโครเมตร, 250 x 4.60 มิลลิเมตร) ในปริมาตร 10 ไมโครลิตร ใช้สารละลายอะซิโตไนไตรท์ 1 เปอร์เซ็นต์ เป็นเฟสเคลื่อนที่ ที่อัตราการไหล 0.5 มิลลิลิตรต่อนาที ควบคู่กับตัวตรวจวัดยูวี (UV detector) ความยาวคลื่น 225 นาโนเมตร เพื่อหาเวลาชะ (retention time) และพื้นที่ใต้พีค (peak area) ของสารอะคริลาไมด์มาตรฐานที่ความเข้มข้นต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากนั้นสร้างกราฟระหว่างพื้นที่ใต้พีคที่ได้กับความเข้มข้นของสารอะคริลาไมด์ คำนวณหาสมการเชิงเส้นถดถอย (regression line) และสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (coefficient of determination, R^2)

3.3.2.2 การหาค่าเปอร์เซ็นต์คืนกลับ (% recovery)

วิเคราะห์ตัวอย่างอาหารที่ไม่มีสารอะคริลาไมด์ (Blank sample) และตัวอย่างอาหารที่มีการเติมสารละลายอะคริลาไมด์มาตรฐานเข้มข้น 100 ไมโครกรัมต่อมิลลิตร จำนวน 500 ไมโครลิตร ตามขั้นตอนการสกัดและวิเคราะห์ตัวอย่าง (ข้อ 3.3.4) นำผลที่ได้มาคำนวณหาการคืนกลับ (ภาคผนวก ก.) ซึ่งเกณฑ์มาตรฐานที่ยอมรับในการทดสอบค่าเปอร์เซ็นต์การคืนกลับจะอยู่ในช่วงระหว่าง 70 ถึง 110 เปอร์เซ็นต์

3.3.2.3 ขีดจำกัดการตรวจพบ (limit of detection, LOD) และปริมาณต่ำสุดที่สามารถตรวจวัดได้ในเชิงปริมาณ (limit of quantification, LOQ)

วิเคราะห์ตัวอย่างอาหารที่ไม่มีสารอะคริลาไมด์ ได้แก่ ข้าวเหนียว กว๊วยต้ม พักทองต้ม ข้าวโพดต้ม มันเทศต้ม เผือกต้ม ที่มีการเติมสารละลายอะคริลาไมด์มาตรฐานเข้มข้น 100 ไมโครกรัมต่อมิลลิตร จำนวน 500 ไมโครลิตร ลงไปก่อนนำไปสกัดและวิเคราะห์ตัวอย่างตามขั้นตอน (ข้อ 3.3.4) หาค่าเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) ของความเข้มข้นตัวอย่าง โดย LOD และ LOQ คำนวณได้จากสมการในภาคผนวก ข.

3.3.3 การวัดสี

นำตัวอย่างอาหารทอดที่สุ่มมาจากแหล่งจาก มาบดให้ละเอียดด้วยเครื่องบดตัวอย่าง (645, Moulinex, เม็กซีโก) จากนั้นนำตัวอย่างที่บดได้บรรจุลงในถุงพลาสติกใส วัดค่าสีด้วยเครื่องวัดสี (CD 400, Minolta, ญี่ปุ่น) บันทึกค่าที่วัดได้ในรูปของค่า L^* , a^* , b^* และนำค่าที่ได้มาแปลผลเป็นพารามิเตอร์สีของตัวอย่าง (ภาคผนวก ค.) ดังนี้

- hue angle เป็นค่าที่ใช้บอกถึงช่วงสีของวัตถุ โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 0-360
- chroma บอกถึงความชัดเจนของวัตถุ มีค่าระหว่าง 0-90 ถ้ามีค่าเข้าใกล้ 0 แสดงว่าวัตถุมืดซีดหรือสีเทา ถ้ามีค่าเข้าใกล้ 90 แสดงว่าวัตถุมีสีเข้ม
- browning index ค่าบ่งชี้การเกิดสีน้ำตาลที่มีโปรตีนเป็นสารตั้งต้นในปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลโดยไม่ใช้เอนไซม์ หรือปฏิกิริยามเมลลาร์ด (Maillard's reaction)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 ค่าสีของ hue angle

ค่าจากการคำนวณ	สี
0-45	สีม่วงแดง – สีส้มแดง
45-90	สีส้มแดง – สีเหลือง
90-135	สีเหลือง – สีเหลืองเขียว
135-180	สีเหลืองเขียว – สีเขียว
180-225	สีเขียว – สีนํ้าเงินเขียว
225-270	สีนํ้าเงินเขียว – สีนํ้าเงิน
270-315	สีนํ้าเงิน-สีม่วง
315-360	สีม่วง-สีม่วงแดง

ที่มา: Rungtip (2551)

3.3.4 การวิเคราะห์ปริมาณการปนเปื้อนของสารอะคริลาไมด์ในตัวอย่างอาหาร

3.3.4.1 การสกัดสารอะคริลาไมด์ในตัวอย่างอาหาร (Nitchapansri, 2007)

ชั่งน้ำหนักตัวอย่างอาหารที่บดละเอียด (ข้อ 3.3.3) จำนวน 2.0000 กรัม ใส่ในขวดรูปชมพู่ ขนาด 125 มิลลิลิตร เติมสารละลายเมทานอล 70 เปอร์เซ็นต์ จำนวน 20 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันบนเครื่องผสม นาน 1 นาที จากนั้นนำไปตั้งบนเครื่องเขย่า ที่ความเร็ว 100 รอบต่อนาที เป็นเวลา 60 นาที เติมน้ำที่ได้อุ่นในหลอดสำหรับเครื่องหมุนเหวี่ยง ขนาด 50 มิลลิลิตร ก่อนนำไปหมุนเหวี่ยงด้วยเครื่องหมุนเหวี่ยง ที่ความเร็ว 6,000 รอบต่อนาที ควบคุมอุณหภูมิที่ 0 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที กรองส่วนใสที่ได้ผ่านกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 4

นำสารสกัดจากตัวอย่าง ใส่ลงในกรวยแยก ขนาด 100 มิลลิลิตร เติมเฮกเซน 20 มิลลิลิตร เขย่าเพื่อแยกไขมันออกจากสารสกัดจากตัวอย่าง ตั้งทิ้งไว้เพื่อให้เกิดการแยกชั้น ถ่ายสารละลายชั้นล่างลงสู่บีกเกอร์ ขนาด 50 มิลลิลิตร เปิดสารละลายจากตัวอย่าง 10 มิลลิลิตร ใส่ในขวดรูปชมพู่ ขนาด 125 มิลลิลิตร เติมสารละลาย Carrez I และสารละลาย Carrez II อย่างละ 150 ไมโครลิตร ผสมให้เข้ากันบนเครื่องผสม นาน 1 นาที นำไปตั้งบนเครื่องเขย่าที่ความเร็ว 100 รอบต่อนาที เป็นเวลา 30 นาที เติมน้ำที่ได้อุ่นในหลอดสำหรับเครื่องหมุนเหวี่ยง ขนาด 50 มิลลิลิตร ก่อนนำไปหมุนเหวี่ยงที่ความเร็ว 6,000 รอบต่อนาที ควบคุมอุณหภูมิที่ 0 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที เก็บส่วนใสไว้สำหรับกรองผ่าน SPE ต่อไป

ปรับสภาพ (precondition) SPE ด้วยเมทานอล 3 มิลลิลิตร และน้ำปราศจากไอออน 3 มิลลิลิตร ตามลำดับ ทิ้งส่วนที่ถูกระบายออกมา เปิดสารละลายส่วนที่ใสที่ได้จากการหมุนเหวี่ยง 3 มิลลิลิตร กรองผ่าน SPE ทิ้งสารละลายที่กรองได้ 10 หยดแรก จากนั้นเก็บสารละลายส่วนที่ผ่าน SPE ออกมาใส่ในขวดสีชาขนาด 4 มิลลิลิตร นำไปประเหยแห้งในตู้อบลมร้อน ที่ 65 องศาเซลเซียส เติมน้ำที่ปราศจากไอออน 1 มิลลิลิตร และนำสารละลายที่ได้อุ่นในหลอดสำหรับเครื่องหมุนเหวี่ยง ขนาด 50 มิลลิลิตร ก่อนนำไปหมุนเหวี่ยงที่ความเร็ว 6,000 รอบต่อนาที ควบคุมอุณหภูมิที่ 0 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที เก็บส่วนใสไว้สำหรับกรองผ่าน SPE ต่อไป

สารละลายอะซิโตนไตรท์ 1 เปอร์เซ็นต์ จำนวน 1 มิลลิลิตร กลับลงไป ผสมให้เข้ากันบนเครื่องผสม นาน 1 นาที จากนั้นนำมากรองผ่าน syring filter ชนิด PVDF ขนาด 0.2 ไมโครเมตร ลงในขวดสีชา ขนาด 1 มิลลิลิตร เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส สำหรับวิเคราะห์ด้วยเครื่อง HPLC ต่อไป

3.3.4.2 การวิเคราะห์ปริมาณสารอะคริลาไมด์ในตัวอย่างอาหารด้วยเครื่อง HPLC

ฉีดสารตัวอย่างปริมาตร 10 ไมโครลิตร ผ่านเข้าไปในคอลัมน์ (C18) ขนาด 250 x 4.6 มิลลิเมตร อนุภาคขนาด 4 ไมโครเมตร (Phenomenex, USA) โดยใช้ความถี่กับตัวตรวจวัดยูวี ที่ ความยาวคลื่น 225 นาโนเมตร ใช้สารละลายอะซิโตนไตรท์ความเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์ เป็นเฟส เคลื่อนที่ ควบคุมอัตราการไหลที่ 0.5 มิลลิลิตรต่อนาที ผลที่วิเคราะห์ได้นำมาคำนวณหาปริมาณสาร อะคริลาไมด์ในตัวอย่างจากสมการระหว่างพื้นที่ใต้พีคกับความเข้มข้นของสารอะคริลาไมด์มาตรฐาน (ข้อ 3.3.2.1)

3.3.5 การควบคุมคุณภาพและการรายงานผล

ในการควบคุมคุณภาพของการวิเคราะห์ จะทำการทดสอบซ้ำ (duplicate) 3 ครั้งในทุก ตัวอย่าง และทำการฉีดสารละลายมาตรฐานอะคริลาไมด์ 100 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร เพื่อตรวจสอบ สภาวะของเครื่อง HPLC และเวลาชะสารตัวอย่าง ในทุก 5 ตัวอย่างที่ทำการวิเคราะห์ ส่วนการรายงาน ผลวิเคราะห์ ในกรณีค่าที่วิเคราะห์ได้น้อยกว่า ขีดจำกัดการตรวจพบ (limit of detection, LOD) ให้ รายงาน “ไม่พบ” หรือในกรณีค่าที่ได้มากกว่าหรือเท่ากับขีดจำกัดการตรวจพบ (limit of detection, LOD) ให้รายงานตามค่าจริง

3.3.6 การรวบรวม วิเคราะห์ข้อมูล และประเมินผลการศึกษา

ในการศึกษาในครั้งนี้ ได้ทำการวิเคราะห์ค่าดัชนีสี และปริมาณอะคริลาไมด์ในตัวอย่าง อาหารชนิดต่างๆ จึงนำค่าที่ได้มาหาค่าเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน รวมทั้งนำข้อมูลมาหา ความสัมพันธ์ (correlate) ระหว่างค่าสีกับปริมาณอะคริลาไมด์ โดยโปรแกรม SPSS (11.5) ด้วยเครื่อง คอมพิวเตอร์

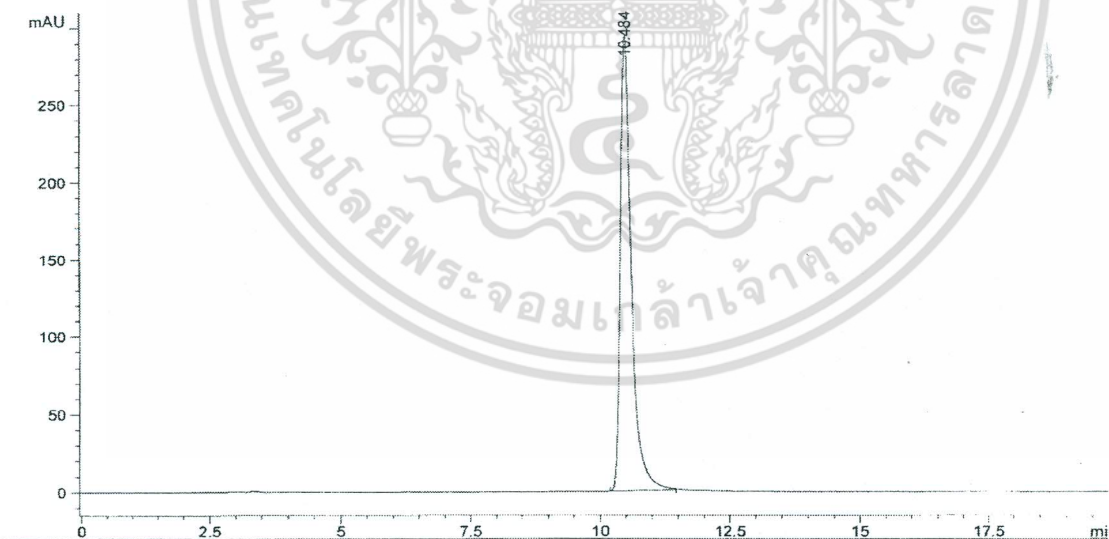
บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 การทดสอบความถูกต้องของวิธีการวิเคราะห์

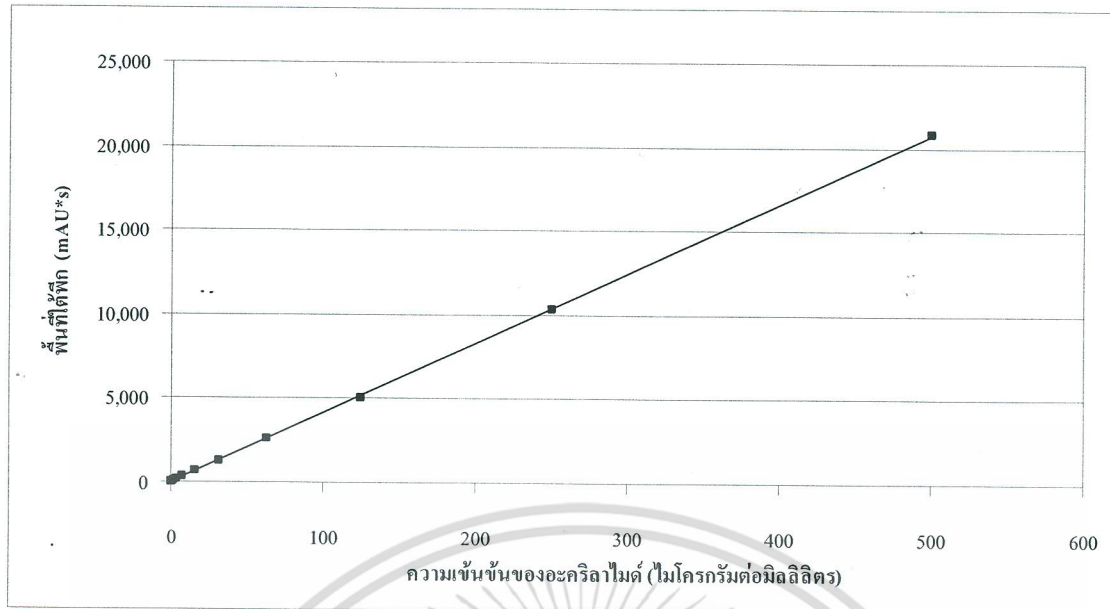
4.1.1 การสร้างกราฟมาตรฐาน

นำสารละลายอะคริลาไมด์มาตรฐาน 10 ระดับความเข้มข้น ได้แก่ 500, 250, 125, 62.50, 31.25, 15.63, 7.82, 3.91, 1.96 และ 0.98 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร มาทำการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง HPLC โดยฉีดผ่านรีเวิร์สเฟสคอลัมน์ ปริมาตร 10 ไมโครลิตร มีสารละลายอะซิโตนในไตรท์ 1 เปอร์เซ็นต์ เป็นเฟสเคลื่อนที่ ที่อัตราการไหล 0.5 มิลลิลิตรต่อนาที ควบคู่กับตัวตรวจวัดยูวี (UV detector) ความยาวคลื่น 225 นาโนเมตร เพื่อหาเวลาชะ (retention time) และพื้นที่ใต้พีค (peak area) ของสารอะคริลาไมด์ มาตรฐานที่ความเข้มข้นต่างๆ ความเข้มข้นละ 3 ชั่วโมง ตัวอย่างโครมาโทแกรมในรูปที่ 4.1 จากนั้นสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ใต้พีคที่ได้ (แกน y) กับความเข้มข้นของสารอะคริลาไมด์ (แกน x) ได้กราฟมาตรฐานดังรูปที่ 4.2 ได้สมการเชิงเส้นถดถอย (regression line) คือ $y = 41.461x$ และสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (coefficient of determination, R^2) คือ 0.9999 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์การยอมรับ



รูปที่ 4.1 โครมาโทแกรมของสารละลายอะคริลาไมด์มาตรฐานที่ความเข้มข้น 100 ไมโครกรัมต่อ มิลลิลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ใต้พีคกับความเข้มข้นของสารอะคริลาไมด์

4.1.2 การหาค่าเปอร์เซ็นต์คืนกลับ

วิเคราะห์ตัวอย่างอาหารที่ไม่มีสารอะคริลาไมด์ (blank sample) และตัวอย่างอาหารที่มีการเติมสารละลายอะคริลาไมด์มาตรฐานความเข้มข้น 100 ไมโครกรัมต่อมิลลิตร จำนวน 500 ไมโครลิตร ตามขั้นตอนการสกัดและวิเคราะห์ตัวอย่าง เพื่อเป็นการตรวจสอบว่าวิธีที่นำมาสกัดนี้สามารถใช้ได้กับทุกชนิดตัวอย่างหรือไม่ ซึ่งตัวอย่างที่ใช้ได้แก่ ก๋วยเต๋ม ข้าวหนึ่ง ข้าวโพดคั้ม มันเทศคั้ม ฟักทองคั้ม และเผือกคั้ม นำผลที่ได้มาคำนวณหาค่าการคืนกลับ ได้ค่าอยู่ในช่วง 98.22 ถึง 101.15 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 4.1) ซึ่งเกณฑ์มาตรฐานที่ยอมรับในการทดสอบค่าเปอร์เซ็นต์การคืนกลับตามมาตรฐานโคเด็กซ์จะอยู่ในช่วงระหว่าง 70 – 110 เปอร์เซ็นต์ (Codex, 2002)

ตารางที่ 4.1 ค่าเปอร์เซ็นต์การคืนกลับ (% recovery) ของตัวอย่างอาหารชนิดต่างๆ

ชนิดของตัวอย่างอาหาร	ค่าเปอร์เซ็นต์การคืนกลับ (%)	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD)
ก๋วยเต๋ม	101.15	0.050
ข้าวหนึ่ง	98.78	0.094
ข้าวโพดคั้ม	98.22	0.061
มันเทศคั้ม	98.72	0.151
ฟักทองคั้ม	99.10	0.089
เผือกคั้ม	99.04	0.124

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.3 ขีดจำกัดการตรวจพบ และปริมาณต่ำสุดที่สามารถตรวจวัดได้ในเชิงปริมาณ

วิเคราะห์ตัวอย่างอาหารไม่มีสารอะคริลาไมด์ ได้แก่ ข้าวหนึ่ง ก๋วยเต๋ม ฟักทองต้ม ข้าวโพดต้ม มันเทศต้ม เผือกต้ม ที่มีการเติมสารละลายอะคริลาไมด์มาตรฐานเข้มข้น 100 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร จำนวน 500 ไมโครลิตร ลงไปก่อนนำไปสกัดและวิเคราะห์ตัวอย่างตามขั้นตอนในข้อที่ 3.3.4.1 ชนิดละ 3 ชั่วโมง ค่าเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) ของความเข้มข้นตัวอย่าง เพื่อนำมาคำนวณค่าขีดจำกัดการตรวจพบ และปริมาณต่ำสุดที่สามารถตรวจวัดได้ในเชิงปริมาณ โดยที่ค่าขีดจำกัดการตรวจพบ คือ ค่าเฉลี่ยของความเข้มข้นในตัวอย่าง + 3 เท่าของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของอาหารแต่ละชนิด เป็นการรายงานปริมาณต่ำสุดที่สามารถตรวจวัดได้ในเชิงคุณภาพ พบว่าค่าขีดจำกัดการตรวจพบของทุกชนิดตัวอย่างมีค่าต่ำกว่า 8 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งอยู่ในช่วง 7.549 ถึง 7.857 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม และปริมาณต่ำสุดที่สามารถตรวจวัดได้ในเชิงปริมาณ คือ ค่าเฉลี่ยของความเข้มข้นในตัวอย่าง + 10 เท่าของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของอาหารแต่ละชนิด พบว่าปริมาณต่ำสุดที่สามารถตรวจวัดได้ในเชิงปริมาณของทุกชนิดตัวอย่างมีค่าต่ำกว่า 9 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม อยู่ในช่วง 7.973 ถึง 8.914 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม (ตารางที่ 4.2)

ตารางที่ 4.2 ขีดจำกัดการตรวจพบ (LOD) และปริมาณต่ำสุดที่สามารถตรวจวัดได้ในเชิงปริมาณ (LOQ) ของการวิเคราะห์อะคริลาไมด์ในอาหารชนิดต่างๆ

ชนิดของตัวอย่างอาหาร	LOD (ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม)	LOQ (ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม)
ก๋วยเต๋ม	7.736	8.085
ข้าวหนึ่ง	7.691	8.347
ข้าวโพดต้ม	7.549	7.973
มันเทศต้ม	7.857	8.914
ฟักทองต้ม	7.699	8.321
เผือกต้ม	7.801	8.671

จากการทดลองพบว่าชนิดของตัวอย่างอาหารที่แตกต่างกันให้ค่าเปอร์เซ็นต์การคืนกลับขีดจำกัดการตรวจพบ และปริมาณต่ำสุดที่สามารถตรวจวัดได้ในเชิงปริมาณ ที่ใกล้เคียงกัน แสดงให้เห็นว่าวิธีการสกัดและวิเคราะห์อะคริลาไมด์ในงานวิจัยนี้ สามารถใช้ได้กับตัวอย่างอาหารที่หลากหลาย การเปลี่ยนแปลงชนิดตัวอย่างไม่มีผลต่อปริมาณอะคริลาไมด์ที่ตรวจวัดได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การตรวจหาค่าสีของตัวอย่างอาหารชนิดต่างๆ

การเกิดสารอะคริลาไมด์ในอาหารนั้นเกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาเมลลาร์ด ซึ่งเป็นปฏิกิริยาที่ทำให้เกิดสีน้ำตาลโดยไม่ใช้เอนไซม์ ดังนั้นการวัดพารามิเตอร์ของสีจึงอาจมีความสัมพันธ์กับปริมาณอะคริลาไมด์ในอาหาร และเพื่อให้ง่ายต่อการระบุค่าสี โดยการนำตัวอย่างอาหารทอดมาบดให้ละเอียดแล้วทำการวัดค่าสีด้วยเครื่องวัดสี บันทึกค่าที่วัดได้ ในรูปของค่า L^* , a^* , b^* และนำค่าที่ได้มาแปลผลเป็นค่าพารามิเตอร์สีของตัวอย่าง ได้แก่ hue angle, chroma และ browning index (BI) ซึ่งได้ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ค่าเฉลี่ยพารามิเตอร์สีของตัวอย่างอาหารชนิดต่างๆ

ลำดับ	ชนิดตัวอย่าง	จำนวนตัวอย่าง	hue angle		chroma		browning index	
			ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
1	กระยาสารท	6	62.57	2.00	18.19	1.69	40.35	3.03
2	กล้วยแขก	7	59.98	6.07	15.93	1.82	40.09	5.23
3	กล้วยทอดกรอบ (ชนิดเค็ม)	6	66.23	5.87	23.74	5.18	55.12	8.44
4	กล้วยทอดกรอบ (ชนิดหวาน)	10	70.22	1.63	26.23	2.58	55.58	7.18
5	กล้วยตากทอด	2	48.57	2.79	14.72	0.43	40.68	1.24
6	กล้วยหอม ทอดกรอบ	7	63.38	22.62	24.14	6.22	51.93	14.26
7	กล้วยอบเนย	6	58.14	2.57	21.50	0.90	45.56	2.29
8	ขนมก้านบัว	3	66.17	0.12	25.40	0.16	48.87	1.05
9	ขนุนทอดกรอบ	5	80.99	2.82	38.95	5.87	74.07	10.61
10	ข้าวเกรียบงา	4	52.14	1.59	18.93	0.28	46.51	1.22
11	ข้าวแต๋น	12	58.56	8.24	20.75	4.43	42.41	7.76
12	ข้าวเม่า	8	71.45	11.94	17.81	3.92	48.26	10.12
13	ขนมไข่เต่า	2	76.22	3.99	20.78	0.37	44.89	1.72
14	ขนมไข่หงส์	7	55.86	15.58	19.83	5.76	51.94	12.27
15	ครองแครง	9	61.41	1.11	26.83	1.55	64.43	5.26

กรอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 (ต่อ)

ลำดับ	ชนิดตัวอย่าง	จำนวนตัวอย่าง	hue angle		chroma		browning index	
			ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
16	ขนมดอกจอก	2	55.66	0.70	14.26	1.18	34.08	3.09
17	ถั่วทอด	6	54.15	1.57	22.10	2.32	52.59	7.01
18	ทุเรียนทอด	9	79.79	2.94	25.73	0.92	45.40	3.03
19	เผือกทอดกรอบ (ชนิดเค็ม)	12	55.95	8.54	19.60	6.40	38.13	12.99
20	เผือกทอดกรอบ (ชนิดหวาน)	10	52.74	3.61	16.34	3.17	34.46	8.63
21	เผือกทอด	2	52.30	1.32	15.25	1.65	36.40	7.09
22	ฟักทองทอด กรอบ	7	69.97	1.69	27.82	1.86	79.59	6.97
23	มันทอดกรอบ (ชนิดเค็ม)	5	69.42	9.57	27.07	8.16	53.63	18.12
24	มันทอดกรอบ (ชนิดหวาน)	10	73.52	4.58	32.56	2.87	70.80	6.70
25	มันต่อเผือก ทอดกรอบ (ชนิดหวาน)	7	27.72	16.65	18.35	0.97	36.23	5.24
26	มันทอด	7	73.88	5.11	25.79	3.99	59.72	11.25
27	ซาลาเปาทอด	6	64.32	8.96	17.37	4.18	41.46	8.32

มีงานวิจัยของ Franco และคณะ (2005) ที่ระบุว่า การวัดค่าสีในตัวอย่างนั้นช่วยบอกถึงปริมาณอะคริลาไมด์ในตัวอย่างอาหารชนิดนั้นๆ ได้อีกทางหนึ่ง โดยพบว่าค่า L^* (lightness) และค่า a^* (readness) ในอาหารนั้นมีความสัมพันธ์กับการเกิดอะคริลาไมด์ในตัวอย่างอาหารชนิดเดียวกัน อีกทั้งอะคริลาไมด์ยังเกิดผ่านปฏิกิริยาเมลลาร์ด ซึ่งเป็นปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลโดยไม่ใช่เอนไซม์ (EPSA, 2007)

จากการทดลองพบว่า ค่า hue angle ของตัวอย่างอาหารส่วนใหญ่อยู่ในกลุ่มสีส้มแดงถึงสีเหลือง เนื่องจากมีค่าเข้าใกล้ 90 องศา โดยมีค่าระหว่าง 80.99 ถึง 27.72 ซึ่งค่าสูงที่สุดคือ ขนุนทอดกรอบ และค่าต่ำที่สุดคือ มันต่อเผือกทอดกรอบ (ชนิดหวาน) สำหรับค่า chroma ซึ่งบอกความเข้มของสี พบว่าในตัวอย่างที่สุ่มมามีค่าใกล้เคียงกันทั้งหมด โดยมีค่าระหว่าง 38.95 ถึง 14.26 ซึ่งค่าสูงที่สุดคือ ขนุนทอดกรอบ (ชนิดหวาน) และค่าต่ำที่สุดคือ มันต่อเผือกทอดกรอบ (ชนิดหวาน) ซึ่งค่าสูงที่สุดคือ ขนุนทอดกรอบ (ชนิดหวาน) และค่าต่ำที่สุดคือ มันต่อเผือกทอดกรอบ (ชนิดหวาน) อย่างไรก็ตาม การวัดค่าสีไม่ได้บ่งชี้ถึงปริมาณอะคริลาไมด์ที่แน่นอน และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรอบ และค่าต่ำที่สุดคือ ขนมหอกจอก ส่วนค่า browning index เป็นค่าที่บ่งชี้ถึงสีน้ำตาล โดยมีค่าระหว่าง 79.59 ถึง 34.08 ซึ่งตัวอย่างที่มีค่าสูงที่สุดคือ ฟักทองทอดกรอบ มีค่าเท่ากับ 79.59 และตัวอย่างที่มีค่าต่ำที่สุดคือ ขนมหอกจอก มีค่าเท่ากับ 34.08 ดังรูปที่ 4.3 ซึ่งในแต่ละชนิดของตัวอย่างอาหารนั้นมีความแตกต่างกันมาก จะเห็นได้จากค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานมีค่าค่อนข้างสูง เช่น ค่า browning index ในตัวอย่างมันทอดกรอบ(ชนิดเค็ม) มีค่าเฉลี่ยคือ 53.63 แต่มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสูงถึง 18.12 ซึ่งอาจมีสาเหตุจากความแก่-อ่อนของวัตถุดิบที่ใช้ ส่วนประกอบ อุณหภูมิที่ใช้ทอด ระยะเวลาการทอด และกรรมวิธีการผลิต ที่มีความแตกต่างกันของแต่ละผู้ผลิตเป็นต้น



รูปที่ 4.3 สีของตัวอย่างอาหารชนิดต่าง ก. ขนุนทอดกรอบ ข. มันต่อเปลือกทอดกรอบ(ชนิดหวาน) ค. ขนมหอกจอก ง. ฟักทองทอดกรอบ

4.3 วิเคราะห์ปริมาณการปนเปื้อนของสารอะคริลาไมด์ในตัวอย่างอาหาร

จากการเก็บตัวอย่างอาหารทอดทั้งหมด 27 ประเภท จำนวน 177 ตัวอย่าง มาจำแนกลักษณะทางกายภาพ และปริมาณสารอะคริลาไมด์ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.4

4.3.1 การจำแนกลักษณะทางกายภาพของตัวอย่าง

จากลักษณะกายภาพของตัวอย่างอาหารที่ศึกษา สามารถจำแนกออกเป็น 3 กลุ่ม ดังนี้

1) อาหารที่มีลักษณะบางกรอบ หรือมีลักษณะเป็นเม็ล็ด (รูปที่ 4.4) ซึ่งมีพื้นที่ผิวสูง ได้แก่ กล้วยทอดกรอบ(ชนิดเค็ม) กล้วยทอดกรอบ(ชนิดหวาน) กล้วยหอมทอดกรอบ กล้วยอบเนย เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) อาหารที่มีลักษณะเป็นแท่ง และมีพื้นที่ผิวปานกลาง (รูปที่ 4.5) ได้แก่ ขนมห่านบัว เผือกทอดกรอบ(ชนิดเค็ม) มันทอดกรอบ(ชนิดเค็ม)



ก.



ข.



ค.

รูปที่ 4.5 ตัวอย่างอาหารที่มีลักษณะเป็นแท่ง ก. ขนมห่านบัว ข. เผือกทอดกรอบ(ชนิดเค็ม) ค. มันทอดกรอบ(ชนิดเค็ม)

3) อาหารที่มีลักษณะเป็นชิ้นหนา และมีพื้นที่ผิวน้อย (รูปที่ 4.6) ได้แก่ กุ้งย่าง แยก กุ้งตากทอด ข้าวเม่า ขนมห่านบัว หงส์ ครอบแครงกรอบ เผือกทอด มันทอด ซาลาเปาทอด



ก.



ข.



ค.



ง.



จ.



ฉ.



ช.



ซ.



ณ.

รูปที่ 4.6 ตัวอย่างอาหารที่มีลักษณะเป็นชิ้นหนา ก. กุ้งย่างแยก ข. กุ้งตากทอด ค. ข้าวเม่า ง. ขนมห่านบัว หงส์ จ. ครอบแครงกรอบ ฉ. เผือกทอด ช. มันทอด ซ. ซาลาเปาทอด ณ. ขนมห่านบัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.2 ปริมาณสารอะคริลาไมด์

จากการศึกษาปริมาณอะคริลาไมด์ในตัวอย่างอาหาร 27 ชนิด เป็นจำนวนทั้งสิ้น 177 ตัวอย่าง พบว่าตัวอย่างที่ศึกษานั้นมีปริมาณสารอะคริลาไมด์มากน้อยต่างกันไป ดังแสดงในตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ปริมาณอะคริลาไมด์ที่มีในตัวอย่างอาหารชนิดต่างๆ

ลำดับ	ตัวอย่าง	อะคริลาไมด์ (ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม)			จำนวน ตัวอย่าง
		ช่วงที่พบ	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน	
1	กระยาสาธ ^า	114.59 – 314.40	188.17	74.78	6
2	กล้วยแขก ^บ	47.30 – 114.96	86.9	29.93	7
3	กล้วยทอดกรอบ (ชนิดเค็ม) ^บ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	6
4	กล้วยทอดกรอบ (ชนิดหวาน) ^บ	ไม่พบ – 243.91	220.03	29.82	10
5	กล้วยตากทอด ^บ	120.41 – 173.70	147.06	37.68	2
6	กล้วยหอมทอดกรอบ ^บ	1,025.48 – 3,751.04	1,807.29	923.63	7
7	กล้วยอบเนย ^บ	ไม่พบ – 139.93	130.01	8.87	6
8	ขนมก้านบัว ^า	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	3
9	ขนุนทอดกรอบ	250.79 – 780.02	503.56	241.79	5
10	ข้าวเกรียบงา ^า	258.23 – 348.97	293.73	41.90	4
11	ข้าวแต๋น ^า	36.09 – 297.56	133.39	94.43	12
12	ข้าวเม้า ^า	ไม่พบ – 196.62	155.16	53.57	8
13	ขนมไข่เต่า ^ค	87.28 – 127.67	107.47	28.56	2
14	ขนมไข่หงส์ ^า	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	7
15	ครองแครงกรอบ ^า	ไม่พบ – 1,755.46	499.15	707.35	9
16	ขนมดอกจอก ^า	51.87 – 84.47	68.17	23.05	2
17	ถั่วทอด	ไม่พบ – 44.40	40.43	5.62	6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 (ต่อ)

ลำดับ	ตัวอย่าง	อะคริลาไมด์ (ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม)			จำนวน ตัวอย่าง
		ช่วงที่พบ	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน	
18	ทุเรียนทอด	ไม่พบ – 59.38	58.38	1.43	9
19	เผือกทอดกรอบ (ชนิดเค็ม) ^d	ไม่พบ – 198.54	138.37	62.53	12
20	เผือกทอดกรอบ (ชนิดหวาน) ^d	ไม่พบ – 173.21	103.98	48.75	10
21	เผือกทอด ^d	52.85 – 64.80	58.83	8.45	2
22	ฟักทองทอดกรอบ	ไม่พบ – 506.57	256.18	160.15	7
23	มันทอดกรอบ (ชนิดเค็ม) ^c	ไม่พบ – 671.48	231.58	294.95	5
24	มันทอดกรอบ (ชนิดหวาน) ^c	96.04 – 398.44	240.24	89.35	10
25	มันต่อเผือก ทอดกรอบ (ชนิดหวาน) ^c	ไม่พบ – 1,494.77	867.51	508.88	7
26	มันทอด ^c	32.74 – 117.49	68.69	32.09	7
27	ซาลาเปาทอด ^a	75.21 – 308.21	147.24	85.83	6

^a ตัวอย่างที่มีวัดจุดดับหลักจากข้าวและแป้งจากข้าวชนิดต่างๆ

^b ตัวอย่างที่มีวัดจุดดับหลักจากกล้วย

^c ตัวอย่างที่มีวัดจุดดับหลักจากมันและแป้งจากมัน

^d ตัวอย่างที่มีวัดจุดดับหลักจากเผือก

จากการทดลองพบว่าปริมาณอะคริลาไมด์ในตัวอย่างอาหารนั้นอยู่ในช่วง ไม่พบ ถึง 3,751.04 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม โดยตัวอย่างที่มีปริมาณสารอะคริลาไมด์เฉลี่ยต่ำกว่าขีดจำกัดที่ตรวจวัดได้มี 3 ชนิด ได้แก่ กล้วยทอดกรอบ(ชนิดเค็ม) ขนมไข่หงส์ และขนมก้านบัว และตัวอย่างที่มีสารอะคริลาไมด์เฉลี่ยสูงที่สุดคือ กล้วยหอมทอดกรอบ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1,807.29 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อตัวอย่างที่นำมาวิเคราะห์หาปริมาณอะคริลาไมด์ มาแยกย่อยตามวัตถุดิบหลักที่นำมาใช้ผลิต สามารถแบ่งออกได้เป็นกลุ่ม ดังนี้

1) ตัวอย่างที่มีวัตถุดิบหลักจากข้าวและแป้งที่ทำจากข้าวชนิดต่างๆ ได้แก่ กระจยาสารท ข้าวแต่น ข้าวเกรียบงา ข้าวเม่า ขนมไข่หงส์ ขนมก้านบัว ครอบแครงกรอบ และซาลาเปาทอด มีปริมาณอะคริลาไมด์เฉลี่ยที่พบอยู่ในช่วง ไม่พบ ถึง 499.15 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม โดยครอบแครงกรอบเป็นตัวอย่างที่พบอะคริลาไมด์มากที่สุดในกลุ่มนี้ ซึ่งทำมาจากแป้งสาลีทอดกรอบและปรุงรสด้วยน้ำตาล

2) ตัวอย่างที่มีวัตถุดิบหลักจากกล้วย ได้แก่ กล้วยแขก กล้วยตากทอด กล้วยหอมทอด กล้วยทอดกรอบ(ชนิดเค็ม) กล้วยทอดกรอบ(ชนิดหวาน) และกล้วยอบเนย มีปริมาณอะคริลาไมด์เฉลี่ยที่พบอยู่ในช่วง ไม่พบ ถึง 1,807.29 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม โดยกล้วยหอมทอดกรอบเป็นตัวอย่างที่พบอะคริลาไมด์มากที่สุดในกลุ่มนี้

3) ตัวอย่างที่มีวัตถุดิบหลักจากมันและแป้งจากมัน ได้แก่ ขนมไข่เต่า มันทอด มันทอดกรอบ(ชนิดเค็ม) มันทอดกรอบ(ชนิดหวาน) และมันต่อเฟือกทอดกรอบ(ชนิดหวาน) มีปริมาณอะคริลาไมด์เฉลี่ยที่พบอยู่ในช่วง 68.69 ถึง 867.51 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม โดยมันต่อเฟือกทอดกรอบ(ชนิดหวาน) เป็นตัวอย่างที่พบอะคริลาไมด์มากที่สุดในกลุ่มนี้

4) ตัวอย่างที่มีวัตถุดิบหลักจากเฟือก ได้แก่ เฟือกทอด เฟือกทอดกรอบ(ชนิดเค็ม) และเฟือกทอดกรอบ(ชนิดหวาน) มีปริมาณอะคริลาไมด์เฉลี่ยที่พบอยู่ในช่วง 58.83 ถึง 138.37 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม โดยเฟือกทอดกรอบ(ชนิดเค็ม) เป็นตัวอย่างที่พบอะคริลาไมด์มากที่สุดในกลุ่มนี้

5) ตัวอย่างอื่นๆ ได้แก่ ขนุนทอดกรอบ มีปริมาณอะคริลาไมด์เฉลี่ย 503.56 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม หุเรียนทอดกรอบ มีปริมาณอะคริลาไมด์เฉลี่ย 58.38 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม พักทองทอดกรอบ มีปริมาณอะคริลาไมด์เฉลี่ย 256.18 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม และถั่วทอด มีปริมาณอะคริลาไมด์เฉลี่ย 40.45 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม

ในงานวิจัยนี้ได้มีการตรวจพบอะคริลาไมด์ในอาหารหลากหลายประเภทถึง 66.67 เปอร์เซ็นต์ของตัวอย่างที่ได้ทำมาทดสอบ จากผลการทดลองอาจกล่าวได้ว่าตัวอย่างที่มีปริมาณน้ำตาลเป็นส่วนประกอบสูง มีลักษณะบางกรอบ พื้นผิวที่ผิวมาก เช่น กล้วยหอม ซึ่งมีน้ำตาลอยู่ถึง 20.67 เปอร์เซ็นต์ (พรพิศ, 2553) จะมีแนวโน้มในการตรวจพบปริมาณสารอะคริลาไมด์สูงกว่าตัวอย่างที่มีไขมัน มีพื้นที่ผิวน้อย ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการมีพื้นที่ผิวในการได้รับความร้อนมากกว่า ทำให้ปฏิกิริยาเมลลาร์ดเกิดขึ้นได้ดีกว่า ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Vural (2005) ที่พบว่าสารอะคริลาไมด์ที่บริเวณพื้นผิวมีมากกว่ากึ่งกลางของตัวอย่างมันฝรั่งทอด และงานวิจัย Trude และคณะ (2005) ที่ได้ทำการศึกษาพบว่าปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่มีอยู่ในวัตถุดิบที่นำมาปรุงอาหารนั้น มีผลต่อปริมาณอะคริลาไมด์ในตัวอย่างอาหารหลังการแปรรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างอาหารที่มีแนวโน้มในการพบปริมาณอะคริลาไมด์สูง มักเป็นตัวอย่างอาหารที่มีสารตั้งต้นในการเกิดอะคริลาไมด์ ทั้งกรดอะมิโนแอสพาราจีน และน้ำตาลรีดิซ เป็นองค์ประกอบสูง เช่น มันฝรั่งมีปริมาณกรดอะมิโนแอสพาราจีนสูงถึง 1,489.2 มิลลิกรัมต่อน้ำหนัก 100 กรัม (Farkas และคณะ, 2003) ทำให้ผลิตภัณฑ์จากมันฝรั่งพบอะคริลาไมด์สูง ในขณะที่กล้วยหอม มีปริมาณกรดอะมิโนแอสพาราจีน 70 มิลลิกรัมต่อน้ำหนัก 100 กรัม (Bassam และคณะ, 2011) และมันต่อเปลือก มีปริมาณกรดอะมิโนแอสพาราจีน 61.48 มิลลิกรัมต่อน้ำหนัก 100 กรัม (Woolfe และคณะ, 2003) เมื่อนำมาแปรรูปโดยการทอดที่ความร้อนสูง มีลักษณะบางกรอบ หรือมีพื้นที่ผิวที่ได้รับความร้อนมาก จึงทำให้เกิดอะคริลาไมด์ในปริมาณที่สูง

จากการศึกษาในครั้งนี้พบว่าตัวอย่างอาหารทอดของไทยที่มีคาร์โบไฮเดรตสูงที่นำมาวิเคราะห์นั้น มีปริมาณอะคริลาไมด์ไปในแนวทางเดียวกับอาหารที่มีคาร์โบไฮเดรตสูงจากทั่วโลก เนื่องจากการตรวจพบอะคริลาไมด์ในอาหารที่มีคาร์โบไฮเดรตมาก และผ่านการแปรรูปด้วยความร้อนสูง จากประเทศต่างๆ เช่น สหรัฐอเมริกา พบผลิตภัณฑ์ขนมอบ มีปริมาณอะคริลาไมด์เฉลี่ย 423 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม, พายฟักทองมีปริมาณอะคริลาไมด์เฉลี่ย 25.5 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม (US.FDA, 2006) และ Kim (2006) พบมันหวานเผา มีปริมาณอะคริลาไมด์เฉลี่ย 4,080 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม มันหวานทอด มีปริมาณอะคริลาไมด์เฉลี่ย 1,570 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม และขนมทอดกรอบที่ทำจากข้าว มีปริมาณอะคริลาไมด์เฉลี่ย 169 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม ส่วนในประเทศจีนซาลาเปาทอดมีปริมาณอะคริลาไมด์เฉลี่ย 198 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม (Wang, 2007) และอาหารทอดที่มีวัตถุดิบหลักเป็นแป้งของตุรกี มีปริมาณอะคริลาไมด์เฉลี่ย 512 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม (Olmez และคณะ, 2008) และในมาเลเซียได้มีการตรวจพบอะคริลาไมด์เฉลี่ยในอาหารที่มีวัตถุดิบหลักเป็นกล้วยสูงถึง 3,584.8 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม

4.4 การหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณอะคริลาไมด์กับพารามิเตอร์สี

การหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficient, r) ระหว่างปริมาณอะคริลาไมด์ในอาหารกับพารามิเตอร์สี สามารถหาได้จากโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป โดยแยกคำนวณเป็น 2 ประเภทคือ

4.4.1 การหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณอะคริลาไมด์ในอาหารกับพารามิเตอร์สี โดยไม่แยกชนิดตัวอย่าง

เพื่อเป็นการหาความสัมพันธ์ของปริมาณอะคริลาไมด์กับพารามิเตอร์สี ในทุกตัวอย่างที่นำมาทดสอบ ดังแสดงในตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณอะคริลาไมด์กับพารามิเตอร์สีโดยไม่แยกชนิดตัวอย่าง

พารามิเตอร์สี	สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r)
L^*	0.1803
a^*	0.1997
b^*	0.0520
hue angle	0.2375
chroma	0.0583
browning index	0.0860

พบว่าค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างค่าสีกับปริมาณอะคริลาไมด์โดยไม่แยกชนิดตัวอย่างนั้นมีค่าน้อยมาก แสดงให้เห็นว่าพารามิเตอร์สี ไม่สามารถสร้างความสัมพันธ์กับปริมาณอะคริลาไมด์ในตัวอย่างอาหารทอดที่ศึกษาในงานวิจัยครั้งนี้ได้

4.4.2 การหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณอะคริลาไมด์ในอาหารกับพารามิเตอร์สี โดยแยกตามชนิดตัวอย่าง

เพื่อเป็นการหาความสัมพันธ์ของปริมาณอะคริลาไมด์กับพารามิเตอร์สีในตัวอย่าง แต่ละชนิด ดังแสดงในตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณอะคริลาไมด์ในตัวอย่างอาหารแต่ละชนิดและพารามิเตอร์สี

ลำดับ	ชนิดตัวอย่าง	สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์					จำนวนตัวอย่าง	
		L^*	a^*	b^*	hue angle	chroma		BI
1	กระยาสาธ	-0.957*	-0.758*	-0.634	-0.179	-0.688	-0.466	6
2	กล้วยแขก	-0.981*	0.021	-0.152	-0.098	-0.145	0.192	7
3	กล้วยทอดกรอบ (ชนิดเค็ม)	-	-	-	-	-	-	6
4	กล้วยทอดกรอบ (ชนิดหวาน)	-0.791*	-0.069	-0.114	-0.002	-0.113	0.132	10
5	กล้วยตากทอด	-	-	-	-	-	-	2
6	กล้วยหอมทอด	-0.841*	0.758*	-0.724*	-0.808*	-0.575	-0.112	7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.6 (ต่อ)

ลำดับ	ชนิดตัวอย่าง	สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์						จำนวนตัวอย่าง
		L^*	a^*	b^*	hue angle	chroma	BI	
7	กล้วยอบเนย	-0.782*	-0.122	0.032	0.093	-0.069	0.700	6
8	ขนมก้านบัว	-	-	-	-	-	-	3
9	ขนุนทอดกรอบ	-0.963*	0.908*	-0.547	-0.974*	-0.518	0.258	5
10	ข้าวเกรียบงา	-0.938*	0.225	0.153	-0.132	0.380	-0.941*	12
11	ข้าวแต๋น	-0.943*	-0.056	-0.859*	-0.861*	-0.813*	-0.686*	8
12	ข้าวเม่า	-0.676*	0.012	-0.256	-0.029	-0.260	0.129	4
13	ขนมไข่เต่า	-	-	-	-	-	-	2
14	ขนมไข่หงส์	-	-	-	-	-	-	7
15	ครองแครงกรอบ	-0.707	-0.150	0.908*	0.745	0.824*	0.936*	5
16	ขนมดอกจอก	-	-	-	-	-	-	2
17	ถั่วทอด	-0.748*	0.412	0.392	0.408	0.408	0.658	6
18	ทุเรียนทอด	-0.773*	0.580	-0.818*	-0.679*	-0.690*	0.319	9
19	เผือกทอดกรอบ (ชนิดเค็ม)	-0.941*	0.292	-0.398	-0.347	-0.362	-0.214	12
20	เผือกทอดกรอบ (ชนิดหวาน)	-0.977*	0.648	0.318	-0.611*	0.482	0.680*	10
21	เผือกทอด	-	-	-	-	-	-	2
22	ฟักทองทอด กรอบ	-0.928*	-0.748*	0.006	0.772*	-0.113	0.361	7
23	มันทอดกรอบ (ชนิดเค็ม)	-0.720	0.606	0.363	0.099	0.404	0.616	5
24	มันทอดกรอบ (ชนิดหวาน)	-0.877*	0.806*	-0.391	-0.839*	-0.246	0.682*	10
25	มันต่อเผือก ทอดกรอบ (ชนิดหวาน)	-0.910*	0.774*	-0.794*	-0.806*	-0.310	-0.652	7
26	มันทอด	-0.936*	0.194	-0.489	-0.466	-0.366	0.017	7
27	ซาลาเปาทอด	-0.849*	0.717	-0.434	-0.654	-0.323	0.087	6

* มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยามให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจากอะคริลาไมด์เกิดจากปฏิกิริยาเมลลาร์ด ซึ่งเป็นปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลโดยไม่ใช้เอนไซม์ ดังนั้นการวัดค่าสีจึงอาจมีความสัมพันธ์กับปริมาณของอะคริลาไมด์ในอาหารนั้นๆ ได้ โดยงานวิจัยของ Franco และคณะ (2005) ระบุว่าค่า L^* (lightness) และค่า a^* (readness) ในอาหารนั้นมีความสัมพันธ์กับการเกิดอะคริลาไมด์ในตัวอย่างอาหารชนิดเดียวกัน คือ เมื่อค่า L^* ลดลง ค่า a^* เพิ่มขึ้น เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีสีเข้มมากขึ้นมีผลต่อปริมาณอะคริลาไมด์ที่เพิ่มขึ้นด้วย

จากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์สีต่างๆ ได้แก่ ค่า L^* , a^* , b^* , hue angle, chroma และ browning index กับปริมาณอะคริลาไมด์ในตัวอย่างอาหารแต่ละชนิด ดังตารางที่ 4.6 พบว่าพารามิเตอร์ที่มีความสัมพันธ์กับอะคริลาไมด์มากที่สุดคือค่า L^* ซึ่งเป็นค่าที่บอกความสว่างของสี เมื่อค่า L^* ลดต่ำลงตัวอย่างจะมีสีเข้มมากขึ้น และพบอะคริลาไมด์ที่สูงขึ้นอีกด้วย นอกจากนี้ยังพบค่า browning index มีความสัมพันธ์กับปริมาณอะคริลาไมด์ในอาหารบางชนิด เช่น ครอบแครงกรอบเปลือกทอดกรอบ(ชนิดหวาน) และมันทอดกรอบ(ชนิดหวาน) ที่เมื่อค่าการเกิดสีน้ำตาลเพิ่มขึ้น ปริมาณอะคริลาไมด์จะมีแนวโน้มสูงขึ้น

ส่วนค่า a^* , b^* , hue angle และ chroma ยังไม่สามารถระบุความสัมพันธ์ได้อย่างชัดเจน เนื่องจากพารามิเตอร์สีของแต่ละชนิดตัวอย่างมีความแตกต่างกันมาก ตามข้อที่ 4.2 ทั้งจากความแตกต่างวัตถุดิบที่ใช้ ส่วนประกอบ อุณหภูมิที่ใช้ทอด ระยะเวลาการทอด และกรรมวิธีการผลิต เป็นต้น ซึ่งปัจจัยเหล่านี้ล้วนส่งผลต่อพารามิเตอร์สีและปริมาณอะคริลาไมด์ในอาหารนั้นๆ

จากการทดลองในครั้งนี้พบว่ากล้วยทอดกรอบ(ชนิดเค็ม) ขนมห่านบัว และขนมไข่หงส์ ไม่สามารถนำมาหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ได้ เนื่องจากไม่พบอะคริลาไมด์ในตัวอย่างเหล่านี้ ส่วนในตัวอย่างกล้วยตากทอด ขนมห่านบัว และขนมดอกจอก และเปลือกทอด ไม่สามารถระบุถึงค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ได้ เนื่องจากมีจำนวนตัวอย่างน้อยเกินไป

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ทำการสำรวจปริมาณสารอะคริลาไมด์ในอาหารทอดของไทยที่มีคาร์โบไฮเดรตสูง 27 ชนิด จำนวน 177 ตัวอย่าง มาทำการสกัดสารอะคริลาไมด์ด้วยสารละลายเมทานอล 70 เปอร์เซ็นต์ และวิเคราะห์ปริมาณด้วยเครื่อง HPLC โดยมีผู้เป็นตัวตรวจวัดนั้น พบว่าวิธีการสกัดที่ใช้ สามารถใช้ได้กับตัวอย่างที่มีวัตถุดิบแตกต่างกันได้หลายประเภท จะเห็นได้จากค่าเปอร์เซ็นต์การคืนกลับของตัวอย่างอาหารแต่ละชนิดนั้นมีค่าใกล้เคียงกันระหว่าง 98.22 ถึง 101.15 เปอร์เซ็นต์ และอยู่ในช่วงการยอมรับ มีค่า LOD ต่ำกว่า 8 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม และค่า LOQ ต่ำกว่า 9 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม ในทุกชนิดตัวอย่าง

จากการทดลองในครั้งนี้ ได้มีการตรวจพบสารอะคริลาไมด์ในตัวอย่างอาหารเกือบทุกชนิด ตัวอย่าง คิดเป็น 66.67 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งปริมาณอะคริลาไมด์ในตัวอย่างอยู่ในช่วง ไม่พบ (น้อยกว่าขีดจำกัดการตรวจพบ) จนถึง 3,751.04 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม โดยพบว่ากลิ่นหอมทอดกรอบเป็นตัวอย่างที่พบปริมาณอะคริลาไมด์มากที่สุด มีค่าเฉลี่ยที่ 1,807.29 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 923.63 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม รองลงมาคือมันต่อเปลือกทอดกรอบ(ชนิดหวาน) และขนุนทอดกรอบ โดยมีค่าเฉลี่ยที่ 867.51 และ 503.56 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ

นอกจากนี้ยังได้ทำการวัดสี และคำนวณพารามิเตอร์สี ได้แก่ ค่า hue angle, chroma และ browning index เพื่อให้ง่ายต่อการระบุค่าสีของตัวอย่าง พบว่าค่า hue angle ของตัวอย่างที่นำมาวิเคราะห์นั้นอยู่ในช่วง 27.27 ถึง 80.99 ซึ่งตรงกับช่วงค่าสีส้มแดงถึงสีเหลือง ยกเว้นมันต่อเปลือกทอดกรอบ(ชนิดหวาน)ที่มีค่าต่ำที่สุด เนื่องจากสีของวัตถุดิบนั้นเป็นสีม่วงแดง สำหรับค่า chroma ของตัวอย่างที่นำมาวิเคราะห์ในครั้งนี้ใกล้เคียงกัน คืออยู่ในช่วง 14.26 ถึง 38.95 และสุดท้ายค่าการเกิดสีน้ำตาล (browning index) อยู่ในช่วง 34.08 ถึง 79.59 และพบว่าในตัวอย่างอาหารประเภทเดียวกันแต่ต่างแหล่งผลิตจะให้สีที่แตกต่างกันมาก เห็นได้จากค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของสีที่ค่อนข้างสูง

เมื่อนำปริมาณอะคริลาไมด์ในอาหารกับพารามิเตอร์สี มาหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ โดยไม่แยกชนิดตัวอย่าง พบว่าไม่สามารถสร้างความสัมพันธ์กับได้ เนื่องจากตัวอย่างอาหารแต่ละชนิดแตกต่างกันมาก และเมื่อนำปริมาณอะคริลาไมด์ในอาหารกับพารามิเตอร์สี มาหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์โดยแยกออกตามชนิดตัวอย่างพบว่า ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ไม่สามารถระบุความสัมพันธ์ได้อย่างชัดเจน มีเพียงค่า L^* ที่ลดลงแสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์กับปริมาณอะคริลาไมด์ที่มีในอาหารที่เพิ่มขึ้น ส่วนค่า browning index ที่เพิ่มขึ้น สามารถบอกถึงความสัมพันธ์กับปริมาณอะคริลาไมด์ที่เพิ่มขึ้น เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น มิอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในตัวอย่างอาหารบางชนิดเท่านั้น เช่น ครอบแครงกรอบ เผือกทอดกรอบ(ชนิดหวาน) และมันทอดกรอบ(ชนิดหวาน)

ทั้งนี้ความสัมพันธ์ของสีกับปริมาณอะคริลาไมด์ของตัวอย่างอาหารชนิดต่างๆนั้นไม่สามารถระบุได้ชัดเจน เนื่องจากไม่สามารถบอกได้ว่าสีที่เกิดขึ้นในตัวอย่างนั้นมาจากปฏิกิริยามลลาร์ดเพียงอย่างเดียว เพราะในตัวอย่างนั้นมีน้ำตาลเป็นส่วนประกอบอยู่ด้วยทำให้เกิดสีจากปฏิกิริยาการaramelไลเซชัน (caramelization) ซึ่งทำให้เกิดสีน้ำตาลได้เช่นเดียวกัน

ดังนั้นการวัดสีเพื่อเปรียบเทียบกับปริมาณอะคริลาไมด์ในอาหารที่วางจำหน่ายโดยทั่วไปจึงยังไม่สามารถระบุได้อย่างชัดเจน แต่สามารถแสดงให้เห็นถึงแนวโน้มการมีอยู่ของอะคริลาไมด์ในอาหารที่มีสีเข้มกว่าปกติได้ เพื่อเป็นการลดปริมาณการได้รับสารอะคริลาไมด์เข้าสู่ร่างกาย จึงควรหลีกเลี่ยงการรับประทานอาหารที่มีคาร์โบไฮเดรตเป็นส่วนประกอบ ผ่านการทอดด้วยความร้อนสูง ลักษณะบางกรอบ สีเข้ม

อย่างไรก็ตามปริมาณสารอะคริลาไมด์ที่พบในอาหารนั้นถือว่ามีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับค่า LD_{50} ที่สามารถก่อให้เกิดอันตรายได้ แต่หากในแต่ละวันมนุษย์ได้รับสารอะคริลาไมด์สะสมเพิ่มจากสภาพแวดล้อม การบริโภคอาหารที่มีสารอะคริลาไมด์จึงอาจเป็นสาเหตุในการเพิ่มปริมาณการรับสารที่อาจก่อให้เกิดมะเร็งเข้าสู่ร่างกายได้

5.2 ข้อเสนอแนะ

ข้อมูลจากการสำรวจการปนเปื้อนอะคริลาไมด์ในอาหารทอดของไทยที่มีคาร์โบไฮเดรตสูงนี้สามารถใช้ประกอบการประเมินการได้รับอะคริลาไมด์จากการบริโภคอาหารประจำวัน และการประเมินความเสี่ยงการบริโภคอาหารที่ปนเปื้อนสารนี้ของคนไทยได้ และควรศึกษาถึงความสัมพันธ์ของสีกับปริมาณอะคริลาไมด์ที่มีในอาหารแต่ละชนิด เช่น กลัวยหอมทอดกรอบ และครอบแครงกรอบ เป็นต้น เพื่อเป็นแนวทางให้กับผู้ประกอบการในการผลิตเนื่องจากการวัดสีนั้นสามารถทำได้ง่ายกว่าการวิเคราะห์ปริมาณอะคริลาไมด์มาก และเป็นแนวทางให้กับผู้บริโภคในการเลือกบริโภคอาหารชนิดต่างๆ อีกทั้งยังควรศึกษาถึงวิธีการลดปริมาณอะคริลาไมด์ที่เกิดขึ้นในอาหารด้วย

บรรณานุกรม

- กรมควบคุมมลพิษ. 2553. เอกสารข้อมูลความปลอดภัยสารเคมี(MSDS). ศูนย์ข้อมูลวัตถุอันตรายและเคมีภัณฑ์. กรมควบคุมมลพิษ. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก <http://msds.pcd.go.yh/definition.html>
- คณิตา ตังคณานุรักษ์. 2542. เทคนิคการแยกสารทางเคมี. โครงการตำราคณะวิทยาศาสตร์. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- นภาพรรณ ตุ่มสังข์ทอง. 2552. “การทดสอบความใช้ได้ของการปรับปรุงสภาวะการทดสอบปริมาณเตตราไซคลิกลินและอนุพันธ์ในกุ้งด้วยวิธีลิกวิดโครมาโทกราฟีสมรรถนะสูง” วิทยานิพนธ์-วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์อาหาร บัณฑิตวิทยาลัย. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- นิธิยา รัตนพานนท์. 2545. “ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล.” หน้า 316-334. เคมีอาหาร. กรุงเทพฯ: โอเดียนสโตร์.
- พนาวลัย กิ่งกลางดอน. 2550. “การพัฒนาและทดสอบความถูกต้องของวิธีวิเคราะห์ปริมาณสารอะคริลาไมด์ในอาหารโดยใช้วิธีเจือจางไอโซโทปและตรวจวัดด้วย LC-ESI-MS/MS.” วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเคมี บัณฑิตวิทยาลัย. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- พรพิศ. 2553. ปริมาณน้ำตาลในผลไม้ที่คุณควรทราบ. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก <http://healthy.in.th/categories/healthful/news/3945>.
- แม่น อมรสิทธิ์ และอมร เพชรสม. 2534. Principle and techniques of instrumental analysis. กรุงเทพฯ ห้างหุ้นส่วนจำกัดกรุงเทพการพิมพ์.
- ศูนย์บริการเครื่องมือวิทยาศาสตร์. 2553. High Pressure Liquid Chromatography: HPLC. คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <http://www.kmitl.ac.th/sisc/HPLC/model>.
- สถาบันอาหาร. 2549. อะคริลาไมด์กับสุขภาพ. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: <http://www.nfi.or.th/foodalert>.
- Bassam, J., Brat, P., Bohuon, P., Boulanger, R. and Gunata, Z. 2011. “Acrylamide kinetic in plantain during heating process: precursors and effect of water activity.” **Food Rese. Inter.** In press.
- Claey, W.L. 2005. “Quantify the formation of carcinogens during food processing: acrylamide.” **Trend Food Sci. Tech.** 16 : 181-193.
- Codex Alimentarius Commission. 2002. **Codex committee on methods of analysis and sampling.** 18-22 November 2002. Budapest Hungary.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Daniali, G., Jinap, S., Zaidul S.I.M. and Hanifah, N.L. 2010. "Determination of acrylamide in banana base snacks by gas chromatograph-mass spectrometry." **J. Food Research Inter.** 17 : 433-439.
- Dybling, E. and Sanner, T. 2003. "Risk assessment of acrylamide in foods." **Toxicol.Sci.** 75 : 7-15.
- EFSA. 2007. **Acrylamide in Food.** [Online]. Available : <http://www.efsa.com>.
- EUROPA. 2007. **Food contaminants–Acrylamide.** [Online]. Available : <http://eurlex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2007:123:0033:0040:EN:PDF>.
- Farkas, T. and Toulouee, J. 2003. "Asparagine analysis in food products." **The application book April 2003.** California : Pheronenex.
- Franco, P., Karl, K. and Kit, G. 2005. "Acrylamide content and color development in fried potato strips." **J. Food Research Inter.** 39 : 40-46.
- Health Cannada. 2007. **Acrylamide.** [Online]. Available : <http://www.hc-sc.gc>.
- IARC. 2004. **Monographs-Classifications.** International Agency for Research on Cancer. [Online]. Available : <http://monographs.iarc.fr>.
- ISA. 2010. **Technical Information: HPLC.** The International Standard for Automation. [Online]. Available : <http://www.isa.org>.
- JECFA. 2007. **Purposed draft code of practice for the reduction of acrylamide in food.** Codex alimentarius commission. 16-20 April 2007. Beijing China. [Online]. Available : http://www.who.int/ipcs/food/jecfa/summaries/summary_report_64_final.pdf.
- Karasek, L., Wenzl, T. and Anklam, E. 2009. "Determination of acrylamide in roasted chestnut-based foods by isotope dilution HPLC-MS/MS." **J. Agric. Food Chem.** 144 : 1555-1558.
- Kim, B. 2006. **Top twenty acrylamide – rich foods.** [Online]. Available : <http://drbenkim.com>.
- Lopachin, R.M. 2005. "Acrylamide neurotoxicity: neurological, morphological and molecular endpoints in animal models." 21-37. Friedman, M. and Mottram, D. **Chemistry and safety of acrylamide in foods.** New York : Springer
- Mucci, L.A. 2005. "The role of epidemiology in understanding the relationship between dietary acrylamide and cancer risk in humans." 39-47. Friedman, M. and Mottram, D. **Chemistry and safety of acrylamide in foods.** New York : Springer
- Murkovic, M. 2004. "Acrylamide in Austrian food." **J. Biochem. Biophys. Method.** 61 : 161-167.
- Nigel, P.B. 2007. "A survey of acrylamide precursors in Irish ware potatoes and acrylamide levelin French fries." **LWT.** 40 : 1601-1609.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Nitchapansri, J. 2007. "Analysis of acrylamide contaminated in food by extraction/High Performance Liquid Chromatography (HPLC)." Degree of Master of Science in Analytical Chemistry. Prince of Songkla University.
- Olmez, H., Tuncay, F., Ozcan, N. and Demirel, S. 2008. "A survey of acrylamide level in food from the Turkish market." **J. Food Comp. Anal.** 21 : 564-568.
- Rungtip. 2551. การวัดค่าสีในระบบ CIE. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <http://archive.lib.cmu.ac/th/full/T/2551>.
- Smith, E.A. 1996. "Environment degradation of polyacrylamide: effect of artificial environmental condition, temperature, light, and pH." **Ecotoxicol. Environ. Safe.** 35 : 121-135.
- Stadler, R.H., Blank, I., Varga, N., Robert, F., Hau, J., Guy, P.A., Robert, M.C. and Riediker, S. 2002. "Acrylamide form maillard reaction products." **Nature.** 419 : 449-450.
- Swedish Nation Food Administration. 2002. **Acrylamide is formed during the preparation of food and occurs in many food stuffs.** [Online]. Available : http://www.slv.se/templates/SLV_Page.aspx?id=6182.
- Tateo, F. 2007. "Acrylamide levels in cooked rice, tomato sauces, and some fast food on the Italian market." **J. Food Comp. Anal.** 20 : 232-235.
- Terry, M. 2007. **Carcinogen.** [Online]. Available : <http://www.about.com>.
- Trude, W., Hilde, O., Olga, L., Svein, H.K., Erland, B. and Agnieszka, K. 2005. "Acrylamide in potato crisp- the effect of raw material and processing." **LWT.** 39 : 571-575
- Twaddle, N.C., McDaniel, L.P., Gamboa da Costa, G., Churchwell, M.I., Beland, F.A. and Doerge, D.R. 2004. "Determination of acrylamide and glycidamide serum toxicokinetics in B6C3F1 mice using LC-ES/MS/MS." **Cancer Let.** 27 : 9-17.
- US.FDA. 2006. **Survey data on acrylamide in food: total diet study result.** [Online]. Available : <http://www.hhs.gov>
- Viklund, G., Mendoza, F., Sjöholm, I. and Skong, K. 2006. "An experimental set-up for studying acrylamide formation in potato crisps." **LWT.** 40 : 1066-1071.
- Vural, G. 2005. "Relation between the acrylamide formation and time-temperature history of surface and corn regions of French fried" **J. Food Eng.** 77 : 972-976.
- Wang, H. 2007. "SPE/HPLC/UV studies on acrylamide in deep-fried flour-based indigenous Chinese foods." **Microchem. J.** 89 : 90-97.
- Woolfe, J.A. 2003. **Sweet potato an untapped food resource.** Sweden.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Yaylayan, V.A. 2003. "Why asparagines need carbohydrates to generate acrylamide." **J. Agric. Food Chem.** 51 : 1753-1757.
- Zhang, Y. 2007. "Formation and reduction of acrylamide in maillard reaction: a review based on the current state of knowledge." **Food Sci. Nutr.** 47 : 521-542.
- Zyzak, D.V., Sanders, R.A., Stojanovic, M., Tallmadge, D.H., Eberhart, B., Ewald, D.K., Gruber, D.C., Morsch T.R., Strothers, M.A., Rizzi G.P. and Villagran M.D. 2003. "Acrylamide formation mechanism in heat foods." **J. Agric. Food Chem.** 15 : 4782-4787.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.

การคำนวณเปอร์เซ็นต์การคืนกลับ (%recovery)

วิเคราะห์ตัวอย่างอาหารที่ไม่มีสารอะคริลาไมด์ (blank sample) และตัวอย่างอาหารที่มีการเติมสารละลายอะคริลาไมด์มาตรฐานเข้มข้น 100 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร จำนวน 500 ไมโครลิตร นำผลที่ได้มาคำนวณหาค่าการคืนกลับ (ตามสมการ) ซึ่งเกณฑ์มาตรฐานที่ยอมรับในการทดสอบค่าเปอร์เซ็นต์การคืนกลับจะอยู่ในช่วงระหว่าง 70 ถึง 110 เปอร์เซ็นต์

$$\text{เปอร์เซ็นต์การคืนกลับ} = \frac{(C_1 - C_2) \times 100}{C_3}$$

โดยที่ C_1 = ความเข้มข้นของสารที่สนใจซึ่งได้จากการทดสอบ (spiked sample)
 C_2 = ความเข้มข้นของสารที่สนใจที่มีในตัวอย่าง (unspiked sample)
 C_3 = ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานที่เติม

ตารางที่ ก.1 การคำนวณเปอร์เซ็นต์การคืนกลับ (%recovery) ของตัวอย่างอาหารชนิดต่างๆ

ชนิดตัวอย่าง	C_1	C_2	C_3	%recovery	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
				(%)	(SD)
กล้วยต้ม	7.586	0	7.5	101.15	0.050
ข้าวเหนียว	7.409	0	7.5	98.79	0.094
ข้าวโพดต้ม	7.367	0	7.5	98.22	0.061
มันเทศต้ม	7.404	0	7.5	98.72	0.151
ฟักทองต้ม	7.433	0	7.5	99.10	0.089
เผือกต้ม	7.428	0	7.5	99.04	0.124

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.

การคำนวณขีดจำกัดการตรวจพบ และปริมาณต่ำสุดที่สามารถตรวจวัดเชิงปริมาณ ของอะคริลาไมด์ในตัวอย่างอาหารชนิดต่างๆ

วิเคราะห์ตัวอย่างอาหารไม่มีสารอะคริลาไมด์ ได้แก่ ข้าวหนึ่ง ก๋วยเต๋ม ผักทองต้ม ข้าวโพดต้ม มันเทศต้ม เผือกต้ม ที่มีการเติมสารละลายอะคริลาไมด์มาตรฐานเข้มข้น 100 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร จำนวน 500 ไมโครลิตร ลงไปก่อนนำไปสกัดและวิเคราะห์ตัวอย่างตามขั้นตอน (ข้อ 3.3.4) หาค่าเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) ของความเข้มข้นตัวอย่าง จากนั้นนำมาคำนวณหาค่า LOD และ LOQ

$$\text{LOD} = \text{ค่าเฉลี่ยของความเข้มข้นในตัวอย่าง} + 3\text{SD}$$

$$\text{LOQ} = \text{ค่าเฉลี่ยของความเข้มข้นในตัวอย่าง} + 10\text{SD}$$

ตารางที่ ข.1 แสดงการคำนวณค่า LOD และ LOQ ของตัวอย่างอาหารชนิดต่างๆ

ชนิด ตัวอย่าง	ความเข้มข้นอะคริลาไมด์ (ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม)				ค่า LOD	ค่า LOQ
	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน (SD)	3SD	10SD		
ก๋วยเต๋ม	7.586	0.050	0.150	0.499	7.736	8.085
ข้าวหนึ่ง	7.409	0.094	0.281	0.938	7.691	8.347
ข้าวโพดต้ม	7.367	0.061	0.182	0.607	7.549	7.973
มันเทศต้ม	7.404	0.151	0.453	1.510	7.857	8.914
ผักทองต้ม	7.433	0.089	0.267	0.889	7.699	8.321
เผือกต้ม	7.428	0.124	0.373	1.243	7.801	8.671

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.

การคำนวณค่าพารามิเตอร์สี

นำตัวอย่างอาหารทอดมาบดให้ละเอียดด้วยเครื่องบดตัวอย่าง (645, Moulinex, เม็กซิโก) จากนั้นนำตัวอย่างที่บดได้บรรจุลงในถุงพลาสติกใส วัดค่าสีด้วยเครื่องวัดสี (CD 400, Minolta, ญี่ปุ่น) บันทึกค่าที่วัดได้ ในรูปของค่า L^* , a^* , b^* และนำค่าที่ได้มาแปลผลเป็นค่าพารามิเตอร์สีของตัวอย่าง ดังนี้

1) hue angle เป็นค่าที่ใช้บอกถึงกลุ่มสี เช่น ตัวอย่างมีค่าเข้าใกล้ มุม 90 องศา แสดงว่าตัวอย่างจะมีค่าอยู่ในกลุ่มสีเหลือง

$$\text{hue angle} = \arctan(b/a)$$

2) chroma มีค่าระหว่าง 0-90 ถ้ามีค่าเข้าใกล้ 0 แสดงว่าวัตถุนั้นสีซีดหรือเป็นสีเทา ถ้ามีค่าเข้าใกล้ 90 แสดงว่าวัตถุนั้นเข้ม

$$\text{chroma} = \sqrt{a^2 + b^2}$$

3) browning index ค่าบ่งชี้การเกิดสีน้ำตาลที่มีโปรตีนเป็นสารตั้งต้นในปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลโดยไม่ใช้เอนไซม์ หรือปฏิกิริยาเมลลาร์ด (Maillard's reaction)

$$\text{Browning index} = \frac{[100 \times (X - 0.31)]}{0.17}$$

$$\text{โดยที่ } X = \frac{(a + 1.75 \times L)}{(5.645 \times L + a - 3.012 \times b)}$$

ตารางที่ ค.1 การคำนวณค่าพารามิเตอร์สีในตัวอย่างอาหารชนิดต่างๆ

ลำดับ	ชนิดตัวอย่าง	L^*	a^*	b^*	hue angle	chroma	browning index
1	กระยาสารท	60.82	8.24	15.99	62.74	17.99	39.98
2	กระยาสารท	60.37	8.71	14.74	59.42	17.12	38.13
3	กระยาสารท	57.31	7.55	15.17	63.54	16.94	39.94
4	กระยาสารท	61.33	7.92	15.15	62.40	17.10	37.40
5	กระยาสารท	61.91	8.78	16.38	61.81	18.58	40.66
6	กระยาสารท	63.86	8.87	19.46	65.50	21.39	45.99
7	กล้วยแขก	55.98	7.93	17.04	65.04	18.79	46.14
8	กล้วยแขก	51.86	5.72	15.09	69.24	16.14	41.94
9	กล้วยแขก	51.35	8.43	11.48	53.71	14.24	36.89
10	กล้วยแขก	51.53	9.20	15.52	59.34	18.04	48.39
11	กล้วยแขก	52.32	7.71	12.08	57.45	14.33	36.62
12	กล้วยแขก	54.23	9.02	11.73	52.44	14.80	36.11
13	กล้วยแขก	56.43	6.98	13.49	62.64	15.19	35.96
14	กล้วยทอดกรอบ(ชนิดเค็ม)	62.77	10.21	21.45	64.55	23.76	53.10
15	กล้วยทอดกรอบ(ชนิดเค็ม)	59.90	10.56	21.46	63.80	23.92	56.59
16	กล้วยทอดกรอบ(ชนิดเค็ม)	65.78	8.63	27.80	72.75	29.11	63.38
17	กล้วยทอดกรอบ(ชนิดเค็ม)	65.35	8.09	28.67	74.24	29.79	65.49
18	กล้วยทอดกรอบ(ชนิดเค็ม)	53.02	8.69	16.37	62.04	18.53	48.40
19	กล้วยทอดกรอบ(ชนิดเค็ม)	53.84	9.43	14.51	59.98	17.31	43.75
20	กล้วยทอดกรอบ(ชนิดหวาน)	61.59	9.51	24.52	68.80	26.30	61.16
21	กล้วยทอดกรอบ(ชนิดหวาน)	65.29	8.11	23.22	70.75	24.60	52.32
22	กล้วยทอดกรอบ(ชนิดหวาน)	67.59	7.33	24.93	73.62	25.99	53.12
23	กล้วยทอดกรอบ(ชนิดหวาน)	64.10	8.24	24.33	71.29	25.69	56.30
24	กล้วยทอดกรอบ(ชนิดหวาน)	66.32	7.83	20.51	69.10	21.95	45.08
25	กล้วยทอดกรอบ(ชนิดหวาน)	69.73	7.43	21.34	70.80	22.60	43.76
26	กล้วยทอดกรอบ(ชนิดหวาน)	66.84	10.37	28.79	70.24	30.60	66.53
27	กล้วยทอดกรอบ(ชนิดหวาน)	66.75	9.24	26.44	70.24	28.01	59.64

เอกสารนี้เป็นลิขสิทธิ์ของกรมการโฆษณาแห่งชาติ ไม่สามารถเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตให้ใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.1 (ต่อ)

ลำดับ	ชนิดตัวอย่าง	L^*	a^*	b^*	hue angle	chroma	browning index
28	กล้วยทอดกรอบ(ชนิดหวาน)	65.59	10.11	24.47	67.55	26.48	57.21
29	กล้วยทอดกรอบ(ชนิดหวาน)	66.14	9.69	26.38	69.83	28.10	60.69
30	กล้วยตากทอด	48.19	9.55	11.60	50.54	15.03	41.55
31	กล้วยตากทอด	47.36	9.91	10.48	46.60	14.42	39.81
32	กล้วยหอมทอด	65.37	8.00	33.03	76.38	27.60	66.65
33	กล้วยหอมทอด	59.24	6.27	26.88	76.87	33.99	77.08
34	กล้วยหอมทอด	76.80	6.40	26.01	76.18	26.79	46.70
35	กล้วยหอมทอด	74.25	5.58	24.84	77.34	25.46	45.47
36	กล้วยหอมทอด	73.25	5.07	20.84	76.33	21.45	37.96
37	กล้วยหอมทอด	43.21	14.12	7.92	29.29	16.19	43.05
38	กล้วยหอมทอด	44.30	14.98	9.10	31.28	17.53	46.62
39	กล้วยอบเนย	63.19	11.63	17.46	56.33	20.98	45.33
40	กล้วยอบเนย	63.29	11.16	17.86	58.00	21.06	45.58
41	กล้วยอบเนย	63.65	9.49	17.78	61.93	20.15	43.20
42	กล้วยอบเนย	61.85	10.92	19.32	60.52	22.19	49.84
43	กล้วยอบเนย	68.62	12.19	18.54	56.68	22.19	44.03
44	กล้วยอบเนย	67.33	12.73	18.44	55.38	22.41	45.36
45	ขนมก้านบัว	70.52	10.25	23.20	66.16	25.36	49.95
46	ขนมก้านบัว	72.84	10.07	23.17	66.30	25.26	47.84
47	ขนมก้านบัว	72.52	10.38	23.38	66.06	25.58	48.83
48	ขนุนทอดกรอบ	67.74	7.15	34.85	78.41	35.58	77.47
49	ขนุนทอดกรอบ	67.24	7.18	32.45	77.52	33.23	71.76
50	ขนุนทอดกรอบ	83.22	3.87	35.14	83.72	35.35	56.75
51	ขนุนทอดกรอบ	81.27	5.68	44.63	82.75	44.99	81.27
52	ขนุนทอดกรอบ	81.15	5.91	45.23	82.56	45.61	83.12
53	ข้าวเกรียบงา	55.54	12.17	14.61	50.21	19.01	46.03
54	ข้าวเกรียบงา	56.32	11.16	15.23	53.77	18.88	45.54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.1 (ต่อ)

ลำดับ	ชนิดตัวอย่าง	L^*	a^*	b^*	hue angle	chroma	browning index
55	ข้าวเกรียบงา	54.60	11.16	14.85	53.07	18.58	46.20
56	ข้าวเกรียบงา	54.09	11.97	15.06	51.52	19.24	48.29
57	ข้าวแต๋น	73.30	9.70	22.39	66.58	24.40	45.60
58	ข้าวแต๋น	71.70	10.25	22.30	65.31	24.54	47.18
59	ข้าวแต๋น	67.19	10.92	21.16	62.70	23.81	49.18
60	ข้าวแต๋น	68.92	9.64	19.50	63.69	21.75	43.02
61	ข้าวแต๋น	69.85	10.19	20.73	63.82	23.10	45.38
62	ข้าวแต๋น	67.10	12.78	21.60	59.39	25.10	52.23
63	ข้าวแต๋น	66.56	12.86	21.31	58.89	24.89	52.18
64	ข้าวแต๋น	67.55	9.42	18.43	62.93	20.70	41.61
65	ข้าวแต๋น	64.52	8.16	16.15	63.19	18.09	37.64
66	ข้าวแต๋น	57.15	10.10	10.84	47.02	14.82	33.51
67	ข้าวแต๋น	57.12	10.05	10.26	45.59	14.36	32.22
68	ข้าวแต๋น	58.31	9.75	9.30	43.65	13.47	29.16
69	ข้าวเม่า	56.80	4.14	18.02	77.06	18.49	42.81
70	ข้าวเม่า	57.44	4.11	25.09	80.67	25.42	61.12
71	ข้าวเม่า	45.15	0.25	15.36	89.07	15.36	40.89
72	ข้าวเม่า	45.76	3.02	15.11	78.70	15.41	44.14
73	ข้าวเม่า	44.93	4.60	13.00	70.51	13.79	41.12
74	ข้าวเม่า	45.08	9.56	17.77	61.72	20.18	64.80
75	ข้าวเม่า	50.14	7.78	11.94	56.91	14.25	38.13
76	ข้าวเม่า	51.41	10.69	16.41	56.92	19.58	53.10
77	ขนมไข่เต่า	62.93	4.00	20.66	79.04	20.51	46.11
78	ขนมไข่เต่า	60.08	5.86	19.66	73.40	21.04	43.68
79	ขนมไข่หงส์	54.73	9.11	19.03	64.42	21.10	54.27
80	ขนมไข่หงส์	51.95	7.47	16.08	65.08	17.73	47.03
81	ขนมไข่หงส์	59.41	7.68	25.72	73.37	26.84	64.94

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.1 (ต่อ)

ลำดับ	ชนิดตัวอย่าง	L^*	a^*	b^*	hue angle	chroma	browning index
82	ขนมไข่หงส์	58.49	10.42	25.79	68.00	27.82	69.97
83	ขนมไข่หงส์	47.34	12.01	13.33	47.98	17.94	51.02
84	ขนมไข่หงส์	42.56	10.67	7.78	36.10	13.21	37.83
85	ขนมไข่หงส์	44.79	11.43	8.33	36.08	14.14	38.53
86	ครองแครงกรอบ	55.68	12.71	24.92	62.98	27.97	74.80
87	ครองแครงกรอบ	56.15	12.07	22.68	61.98	25.69	66.57
88	ครองแครงกรอบ	64.70	12.39	23.07	61.76	26.19	57.45
89	ครองแครงกรอบ	64.58	12.89	24.81	62.55	27.96	62.30
90	ครองแครงกรอบ	60.83	13.46	22.82	59.47	26.49	62.47
91	ครองแครงกรอบ	58.34	12.06	21.57	60.79	24.71	60.57
92	ครองแครงกรอบ	59.36	11.91	22.06	61.64	25.07	60.42
93	ครองแครงกรอบ	62.39	13.84	25.29	61.31	28.83	67.31
94	ครองแครงกรอบ	61.28	14.20	24.82	60.23	28.59	67.97
95	ขนมดอกจอก	55.53	8.41	12.54	56.15	15.10	36.26
96	ขนมดอกจอก	55.43	7.67	11.02	55.16	13.43	31.90
97	ถั่วทอด	56.13	14.05	20.30	55.31	24.69	62.48
98	ถั่วทอด	58.64	14.31	19.60	53.87	24.27	57.89
99	ถั่วทอด	57.62	10.98	14.67	53.19	18.32	42.85
100	ถั่วทอด	55.65	12.97	17.36	53.24	21.67	53.86
101	ถั่วทอด	62.32	12.34	18.81	56.73	22.50	49.90
102	ถั่วทอด	59.29	12.84	16.78	52.58	21.13	48.59
103	ทุเรียนทอด	76.90	3.99	25.15	80.99	25.46	42.60
104	ทุเรียนทอด	76.06	3.33	26.09	82.73	26.30	44.29
105	ทุเรียนทอด	77.00	3.48	25.39	82.20	25.63	42.47
106	ทุเรียนทอด	72.38	6.62	24.15	74.67	25.04	46.58
107	ทุเรียนทอด	67.49	4.74	24.48	79.04	24.93	49.27
108	ทุเรียนทอด	73.70	5.26	24.11	77.69	24.68	44.11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.1 (ต่อ)

ลำดับ	ชนิดตัวอย่าง	L^*	a^*	b^*	hue angle	chroma	browning index
109	ทุเรียนทอด	76.30	2.63	25.15	84.03	25.29	41.62
110	ทุเรียนทอด	74.44	5.42	26.76	78.55	27.30	48.98
111	ทุเรียนทอด	73.87	5.50	26.35	78.21	26.92	48.69
112	เผือกทอดกรอบ(ชนิดเค็ม)	63.10	9.94	12.24	50.92	15.77	32.68
113	เผือกทอดกรอบ(ชนิดเค็ม)	63.73	9.73	14.73	56.55	17.65	37.04
114	เผือกทอดกรอบ(ชนิดเค็ม)	72.60	10.15	12.70	51.37	16.26	29.07
115	เผือกทอดกรอบ(ชนิดเค็ม)	72.44	9.83	13.36	53.66	16.59	29.93
116	เผือกทอดกรอบ(ชนิดเค็ม)	70.68	10.51	13.83	52.77	17.37	32.25
117	เผือกทอดกรอบ(ชนิดเค็ม)	65.67	11.52	14.83	52.16	18.78	37.99
118	เผือกทอดกรอบ(ชนิดเค็ม)	67.29	11.29	14.55	52.19	18.42	36.21
119	เผือกทอดกรอบ(ชนิดเค็ม)	69.80	10.35	13.79	53.11	17.24	32.46
120	เผือกทอดกรอบ(ชนิดเค็ม)	69.03	9.53	12.12	51.82	15.42	29.02
121	เผือกทอดกรอบ(ชนิดเค็ม)	65.79	10.14	11.73	49.16	15.51	30.50
122	เผือกทอดกรอบ(ชนิดเค็ม)	72.01	9.59	31.43	73.03	32.86	65.82
123	เผือกทอดกรอบ(ชนิดเค็ม)	73.88	8.84	32.14	74.62	33.33	64.55
124	เผือกทอดกรอบ(ชนิดหวาน)	59.97	11.98	14.42	50.28	18.75	41.63
125	เผือกทอดกรอบ(ชนิดหวาน)	57.54	13.94	15.40	47.85	20.77	48.29
126	เผือกทอดกรอบ(ชนิดหวาน)	58.22	13.31	15.69	49.69	20.58	47.58
127	เผือกทอดกรอบ(ชนิดหวาน)	67.97	9.37	16.14	59.86	18.66	36.78
128	เผือกทอดกรอบ(ชนิดหวาน)	64.84	9.49	12.48	52.75	15.68	31.69
129	เผือกทอดกรอบ(ชนิดหวาน)	66.21	9.52	11.23	49.71	14.72	28.71
130	เผือกทอดกรอบ(ชนิดหวาน)	67.82	9.32	12.79	53.92	15.83	30.57
131	เผือกทอดกรอบ(ชนิดหวาน)	64.13	7.99	11.02	54.56	13.61	27.60
132	เผือกทอดกรอบ(ชนิดหวาน)	63.43	7.03	10.56	56.35	12.69	25.97
133	เผือกทอดกรอบ(ชนิดหวาน)	60.76	7.39	9.61	52.44	12.12	25.76
134	เผือกทอด	58.81	8.43	11.28	53.23	16.41	41.42
135	เผือกทอด	52.94	10.25	12.82	51.36	14.08	31.39

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเฉพาะภายใน ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.1 (ต่อ)

ลำดับ	ชนิดตัวอย่าง	L^*	a^*	b^*	hue angle	chroma	browning index
136	ฟักทองทอดกรอบ	51.65	8.33	24.00	70.86	25.40	72.78
137	ฟักทองทอดกรอบ	50.14	8.60	27.86	72.85	29.16	90.48
138	ฟักทองทอดกรอบ	53.05	10.34	27.73	69.55	29.60	85.86
139	ฟักทองทอดกรอบ	53.00	9.64	23.66	67.83	25.55	71.18
140	ฟักทองทอดกรอบ	53.62	9.72	25.54	69.16	27.33	76.33
141	ฟักทองทอดกรอบ	55.75	10.83	27.96	68.64	29.98	81.86
142	ฟักทองทอดกรอบ	53.10	9.09	26.21	70.89	27.74	78.67
143	มันทอดกรอบ(ชนิดเค็ม)	72.23	7.30	31.50	76.95	32.33	63.30
144	มันทอดกรอบ(ชนิดเค็ม)	72.02	6.45	30.98	78.34	31.64	61.42
145	มันทอดกรอบ(ชนิดเค็ม)	69.49	9.87	33.49	73.58	34.91	74.36
146	มันทอดกรอบ(ชนิดเค็ม)	70.72	9.28	15.78	59.54	18.31	34.45
147	มันทอดกรอบ(ชนิดเค็ม)	69.76	9.63	15.38	58.68	18.15	34.61
148	มันทอดกรอบ(ชนิดหวาน)	68.27	10.50	32.62	72.16	34.27	74.52
149	มันทอดกรอบ(ชนิดหวาน)	68.03	11.25	32.49	70.90	34.38	75.36
150	มันทอดกรอบ(ชนิดหวาน)	67.16	10.59	30.73	70.99	32.50	71.27
151	มันทอดกรอบ(ชนิดหวาน)	58.14	10.54	27.27	68.87	29.24	75.05
152	มันทอดกรอบ(ชนิดหวาน)	59.18	10.30	24.28	67.01	26.37	64.59
153	มันทอดกรอบ(ชนิดหวาน)	68.82	10.17	33.78	73.24	35.28	76.40
154	มันทอดกรอบ(ชนิดหวาน)	67.59	9.84	33.38	73.58	34.80	76.78
155	มันทอดกรอบ(ชนิดหวาน)	68.78	7.12	34.17	78.23	34.90	74.06
156	มันทอดกรอบ(ชนิดหวาน)	73.68	5.13	31.38	80.72	31.80	59.17
157	มันทอดกรอบ(ชนิดหวาน)	73.01	5.85	31.47	79.47	32.01	60.83
158	มันต่อเปลือกทอดกรอบ(ชนิดหวาน)	51.31	17.50	4.73	15.12	18.13	33.13
159	มันต่อเปลือกทอดกรอบ(ชนิดหวาน)	50.16	17.62	4.55	14.48	18.20	33.62
160	มันต่อเปลือกทอดกรอบ(ชนิดหวาน)	52.08	16.38	6.22	20.79	17.52	34.52
161	มันต่อเปลือกทอดกรอบ(ชนิดหวาน)	60.19	11.58	16.81	55.44	20.41	46.34
162	มันต่อเปลือกทอดกรอบ(ชนิดหวาน)	57.26	11.85	13.03	47.72	17.61	40.46

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.1 (ต่อ)

ลำดับ	ชนิดตัวอย่าง	L^*	a^*	b^*	hue angle	chroma	browning index
163	มันต่อเปลือกทอดกรอบ(ชนิดหวาน)	56.73	17.29	6.71	21.21	18.55	33.74
164	มันต่อเปลือกทอดกรอบ(ชนิดหวาน)	56.83	17.01	5.96	19.31	18.02	31.82
165	มันทอด	58.06	5.61	22.73	76.14	23.41	55.73
166	มันทอด	60.47	6.22	23.80	75.35	24.60	56.54
167	มันทอด	60.06	3.51	20.71	80.38	21.01	45.69
168	มันทอด	55.28	11.57	23.56	63.84	26.25	69.81
169	มันทอด	63.70	8.98	28.36	72.43	29.75	67.89
170	มันทอด	64.16	9.33	30.95	73.22	32.33	74.70
171	มันทอด	65.41	5.69	22.48	75.80	23.19	47.71
172	ซาลาเปาทอด	63.62	5.99	22.38	75.02	23.17	49.46
173	ซาลาเปาทอด	60.09	5.64	20.38	74.53	21.15	47.57
174	ซาลาเปาทอด	52.79	6.07	10.53	60.04	12.15	30.29
175	ซาลาเปาทอด	55.56	6.01	13.14	65.42	14.45	34.48
176	ซาลาเปาทอด	49.97	9.64	14.93	57.15	17.77	49.10
177	ซาลาเปาทอด	54.64	9.18	12.51	53.73	15.52	37.86

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

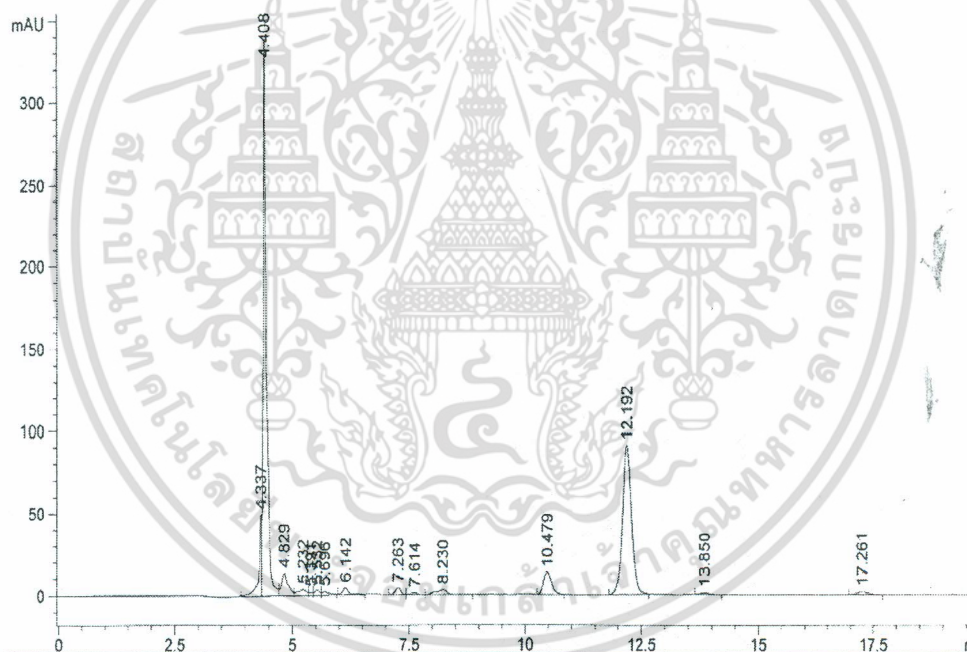
ภาคผนวก ง.

ผลการตรวจวิเคราะห์ปริมาณอะคริลาไมด์ในอาหาร

การคำนวณหาปริมาณอะคริลาไมด์ในตัวอย่างอาหารนั้น สามารถคำนวณได้จากกราฟมาตรฐานที่สร้างจากความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ใต้พีคที่ได้ (แกน y) กับความเข้มข้นของสารอะคริลาไมด์ (แกน x) ได้สมการเชิงเส้นถดถอย (regression line) คือ

$$y = 41.461x$$

ตัวอย่างที่ 1 การคำนวณปริมาณอะคริลาไมด์ในตัวอย่างฟักทองทอดกรอบ



รูปที่ ง.1 โครมาโทแกรมจากการวิเคราะห์ปริมาณอะคริลาไมด์ของสารสกัดตัวอย่างฟักทองทอดกรอบ ด้วยวิธี RP-HPLC

จากรูปที่ 1 ได้พีคของอะคริลาไมด์ออกมาที่เวลา 10.479 นาที และมีพื้นที่ใต้พีคเท่ากับ 45.5005 mAU*s แทนค่าหาความเข้มข้นของอะคริลาไมด์ได้

$$\begin{aligned} x &= 45.5005/41.416 \\ &= 1.0974 \text{ ไมโครกรัมต่อสารสกัดเข้มข้น 1 มิลลิลิตร} \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แต่ในขั้นตอนการสกัดตัวอย่างได้มีการทำให้เข้มข้นขึ้นด้วยการนำสารสกัดตัวอย่าง 3 มิลลิเมตร ไปประเหยแห้ง ก่อนเติมสารละลายอะซิโตนไตรที่เข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์ กลับลงไป 1 มิลลิเมตร จากตัวอย่าง 2.0935 กรัม จึงได้

$$\begin{aligned} \text{ปริมาณอะคริลาไมด์} &= \frac{\text{ปริมาณอะคริลาไมด์(ไมโครกรัมต่อสารสกัดเข้มข้น 1 มิลลิเมตร)} \times 1,000}{3 \times \text{น้ำหนักของตัวอย่าง(กรัม)}} \\ &= \frac{1.0974 \times 1,000}{3 \times 2.0935} \\ &= 174.74 \text{ ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม} \end{aligned}$$

ตารางที่ ง.1 การคำนวณปริมาณอะคริลาไมด์ในตัวอย่างอาหารชนิดต่างๆ

ลำดับ	ชนิดตัวอย่าง	น้ำหนัก (กรัม)	Peak area (mAU*s)	µgAA/ 3 ml sample	µgAA/ 1 ml sample	µgAA/kg
1	กระยาสารท	2.0386	49.4950	1.1938	0.3979	195.19
2	กระยาสารท	2.0813	56.9292	1.3731	0.4577	219.91
3	กระยาสารท	2.0910	81.7707	1.9722	0.6574	314.40
4	กระยาสารท	2.0275	42.5389	1.0260	0.3420	168.68
5	กระยาสารท	2.0601	29.7796	0.7183	0.2394	116.22
6	กระยาสารท	2.1352	30.4339	0.7340	0.2447	114.59
7	กล้วยแขก	2.0019	14.0015	0.3377	0.1126	56.23
8	กล้วยแขก	2.2296	30.3760	0.7326	0.2442	109.53
9	กล้วยแขก	2.1456	30.6795	0.7400	0.2467	114.96
10	กล้วยแขก	2.0063	28.1698	0.6794	0.2265	112.88
11	กล้วยแขก	2.0138	26.1967	0.6318	0.2106	104.59
12	กล้วยแขก	2.0674	16.1534	0.3896	0.1299	62.82
13	กล้วยแขก	2.0525	12.0763	0.2913	0.0971	47.30
14	กล้วยทอดกรอบ (ชนิดเค็ม)	2.0499	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
15	กล้วยทอดกรอบ (ชนิดเค็ม)	2.0484	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.1 (ต่อ)

ลำดับ	ชนิดตัวอย่าง	น้ำหนัก (กรัม)	Peak area (mAU*s)	µgAA/ 3 ml sample	µgAA/ 1 ml sample	µgAA/kg
16	กล้วยทอดกรอบ (ชนิดเค็ม)	2.0983	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
17	กล้วยทอดกรอบ (ชนิดเค็ม)	2.0398	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
18	กล้วยทอดกรอบ (ชนิดเค็ม)	2.0340	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
19	กล้วยทอดกรอบ (ชนิดเค็ม)	2.0558	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
20	กล้วยทอดกรอบ (ชนิดหวาน)	2.0417	61.9404	1.4939	0.4980	243.91
21	กล้วยทอดกรอบ (ชนิดหวาน)	2.0282	47.0747	1.1354	0.3785	186.60
22	กล้วยทอดกรอบ (ชนิดหวาน)	2.0099	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
23	กล้วยทอดกรอบ (ชนิดหวาน)	2.0012	57.1441	1.3783	0.4594	229.57
24	กล้วยทอดกรอบ (ชนิดหวาน)	2.0817	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
25	กล้วยทอดกรอบ (ชนิดหวาน)	2.0635	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
26	กล้วยทอดกรอบ (ชนิดหวาน)	2.0100	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
27	กล้วยทอดกรอบ (ชนิดหวาน)	2.0619	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
28	กล้วยทอดกรอบ (ชนิดหวาน)	1.9986	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
29	กล้วยทอดกรอบ (ชนิดหวาน)	2.0344	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
30	กล้วยตากทอด	2.0116	30.1280	0.7267	0.2422	120.41
31	กล้วยตากทอด	2.1837	47.1795	1.1379	0.3793	173.70
32	กล้วยหอมทอด	2.0870	396.8099	9.5707	3.1902	1,528.62
33	กล้วยหอมทอด	2.0128	447.9842	10.8050	3.6017	1,789.37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.1 (ต่อ)

ลำดับ	ชนิดตัวอย่าง	น้ำหนัก (กรัม)	Peak area (mAU*s)	µgAA/ 3 ml sample	µgAA/ 1 ml sample	µgAA/kg
34	กล้วยหอมทอด	2.0438	260.6921	6.2876	2.0959	1,025.48
35	กล้วยหอมทอด	2.0398	289.7689	6.9890	2.3297	1,142.10
36	กล้วยหอมทอด	2.0298	353.4782	8.5256	2.8419	1,400.07
37	กล้วยหอมทอด	2.0036	934.8115	22.5468	7.5156	3,751.04
38	กล้วยหอมทอด	2.0634	516.9910	12.4693	4.1564	2,014.37
39	กล้วยอบเนย	2.0843	32.9925	0.7957	0.2652	127.26
40	กล้วยอบเนย	2.0044	30.6240	0.7386	0.2462	122.83
41	กล้วยอบเนย	2.0420	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
42	กล้วยอบเนย	2.0927	36.4221	0.8785	0.2928	139.93
43	กล้วยอบเนย	2.0675	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
44	กล้วยอบเนย	1.9950	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
45	ขนมก้านบัว	2.0100	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
46	ขนมก้านบัว	2.0231	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
47	ขนมก้านบัว	2.0162	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
48	ขนุนทอดกรอบ	2.0169	182.2996	4.3969	1.4656	726.68
49	ขนุนทอดกรอบ	2.0784	201.6500	4.8636	1.6212	780.02
50	ขนุนทอดกรอบ	2.0534	64.0537	1.5449	0.5150	250.79
51	ขนุนทอดกรอบ	2.0557	76.3598	1.8417	0.6139	298.64
52	ขนุนทอดกรอบ	2.0192	115.9550	2.7967	0.9322	461.69
53	ข้าวเกรียบงา	2.0295	66.7319	1.6095	0.5365	264.35
54	ข้าวเกรียบงา	2.0908	67.1541	1.6197	0.5399	258.23
55	ข้าวเกรียบงา	2.0061	75.7023	1.8259	0.6086	303.39
56	ข้าวเกรียบงา	2.0321	88.2044	2.1274	0.7091	348.97
57	ข้าวแต๋น	2.0532	9.2169	0.2223	0.0741	36.09
58	ข้าวแต๋น	2.0098	9.4179	0.2272	0.0757	37.67
59	ข้าวแต๋น	2.0119	21.1351	0.5098	0.1699	84.46
60	ข้าวแต๋น	2.0282	13.9866	0.3373	0.1124	55.44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.1 (ต่อ)

ลำดับ	ชนิดตัวอย่าง	น้ำหนัก (กรัม)	Peak area (mAU*s)	µgAA/ 3 ml sample	µgAA/ 1 ml sample	µgAA/kg
61	ข้าวแต๋น	2.0321	10.2252	0.2466	0.0822	40.45
62	ข้าวแต๋น	2.0903	32.9540	0.7948	0.2649	126.75
63	ข้าวแต๋น	2.0935	41.4904	1.0007	0.3336	159.34
64	ข้าวแต๋น	2.0475	17.4463	0.4208	0.1403	68.50
65	ข้าวแต๋น	2.0257	53.0572	1.2797	0.4266	210.58
66	ข้าวแต๋น	2.0101	65.9698	1.5911	0.5304	263.86
67	ข้าวแต๋น	2.0454	75.7020	1.8259	0.6086	297.56
68	ข้าวแต๋น	2.0579	56.3093	1.3581	0.4527	219.99
69	ข้าวเม่า	2.0058	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
70	ข้าวเม่า	2.1922	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
71	ข้าวเม่า	2.0789	24.4817	0.5905	0.1968	94.68
72	ข้าวเม่า	2.0529	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
73	ข้าวเม่า	2.0271	49.5751	1.1957	0.3986	196.62
74	ข้าวเม่า	2.0134	43.6224	1.0521	0.3507	174.19
75	ข้าวเม่า	2.0105	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
76	ข้าวเม่า	2.0506	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
77	ขนมไข่เต่า	1.9961	21.6690	0.5226	0.1742	87.28
78	ขนมไข่เต่า	2.0605	32.7199	0.7892	0.2631	127.67
79	ขนมไข่หงส์	2.1105	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
80	ขนมไข่หงส์	2.2315	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
81	ขนมไข่หงส์	2.0880	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
82	ขนมไข่หงส์	2.0882	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
83	ขนมไข่หงส์	2.0433	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
84	ขนมไข่หงส์	2.0423	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
85	ขนมไข่หงส์	2.0113	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
86	ครองแครงกรอบ	2.0684	451.6331	10.8930	3.6310	1,755.46
87	ครองแครงกรอบ	2.0424	77.8374	1.8774	0.6258	306.40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.1 (ต่อ)

ลำดับ	ชนิดตัวอย่าง	น้ำหนัก (กรัม)	Peak area (mAU*s)	µgAA/ 3 ml sample	µgAA/ 1 ml sample	µgAA/kg
88	ครองแครงกรอบ	2.0138	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
89	ครองแครงกรอบ	2.0413	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
90	ครองแครงกรอบ	2.0292	19.0961	0.4606	0.1535	75.66
91	ครองแครงกรอบ	2.0888	54.2676	1.3089	0.4363	208.87
92	ครองแครงกรอบ	2.0010	37.1810	0.8968	0.2989	149.39
93	ครองแครงกรอบ	2.0579	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
94	ครองแครงกรอบ	2.0519	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
95	ขนมดอกจอก	2.0074	12.9501	0.3123	0.1041	51.87
96	ขนมดอกจอก	1.9964	20.9743	0.5059	0.1686	84.47
97	ถั่วทอด	2.0432	11.2843	0.2722	0.0907	44.40
98	ถั่วทอด	2.0194	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
99	ถั่วทอด	2.0086	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
100	ถั่วทอด	2.0634	9.3554	0.2256	0.0752	36.45
101	ถั่วทอด	2.0106	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
102	ถั่วทอด	2.0670	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
103	ทุเรียนทอด	2.0921	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
104	ทุเรียนทอด	2.0517	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
105	ทุเรียนทอด	2.0548	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
106	ทุเรียนทอด	2.0205	14.8356	0.3578	0.1193	59.03
107	ทุเรียนทอด	2.0341	15.0225	0.3623	0.1208	59.38
108	ทุเรียนทอด	2.0438	14.4252	0.3479	0.1160	56.74
109	ทุเรียนทอด	2.0481	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
110	ทุเรียนทอด	2.0075	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
111	ทุเรียนทอด	2.0048	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
112	เผือกทอดกรอบ (ชนิดเค็ม)	2.0012	49.4200	1.1920	0.3973	198.54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.1 (ต่อ)

ลำดับ	ชนิดตัวอย่าง	น้ำหนัก (กรัม)	Peak area (mAU*s)	µgAA/ 3 ml sample	µgAA/ 1 ml sample	µgAA/kg
113	เปลือกทอดกรอบ (ชนิดเค็ม)	2.0990	49.7484	1.1999	0.4000	190.55
114	เปลือกทอดกรอบ (ชนิดเค็ม)	2.0140	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
115	เปลือกทอดกรอบ (ชนิดเค็ม)	2.0353	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
116	เปลือกทอดกรอบ (ชนิดเค็ม)	2.0108	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
117	เปลือกทอดกรอบ (ชนิดเค็ม)	2.0876	48.5435	1.1708	0.3903	186.95
118	เปลือกทอดกรอบ (ชนิดเค็ม)	2.0427	17.5514	0.4233	0.1411	69.08
119	เปลือกทอดกรอบ (ชนิดเค็ม)	2.0883	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
120	เปลือกทอดกรอบ (ชนิดเค็ม)	2.0987	16.2254	0.3913	0.1304	62.16
121	เปลือกทอดกรอบ (ชนิดเค็ม)	1.9958	30.5158	0.7360	0.2453	122.93
122	เปลือกทอดกรอบ (ชนิดเค็ม)	2.0109	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
123	เปลือกทอดกรอบ (ชนิดเค็ม)	2.0526	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
124	เปลือกทอดกรอบ (ชนิดหวาน)	2.0472	27.8224	0.6711	0.2237	109.26
125	เปลือกทอดกรอบ (ชนิดหวาน)	2.0104	43.3125	1.0447	0.3482	173.21
126	เปลือกทอดกรอบ (ชนิดหวาน)	2.0102	41.7284	1.0064	0.3355	166.89
127	เปลือกทอดกรอบ (ชนิดหวาน)	2.0769	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
128	เปลือกทอดกรอบ (ชนิดหวาน)	2.0480	12.8961	0.3110	0.1037	50.63

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.1 (ต่อ)

ลำดับ	ชนิดตัวอย่าง	น้ำหนัก (กรัม)	Peak area (mAU*s)	µgAA/ 3 ml sample	µgAA/ 1 ml sample	µgAA/kg
129	เปลือกทอดกรอบ (ชนิดหวาน)	2.0500	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
130	เปลือกทอดกรอบ (ชนิดหวาน)	2.0933	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
131	เปลือกทอดกรอบ (ชนิดหวาน)	2.0590	17.0665	0.4116	0.1372	66.64
132	เปลือกทอดกรอบ (ชนิดหวาน)	2.0508	18.3754	0.4432	0.1477	72.04
133	เปลือกทอดกรอบ (ชนิดหวาน)	2.0444	22.6835	0.5471	0.1824	89.20
134	เปลือกทอด	2.0684	13.5973	0.3280	0.1093	52.85
135	เปลือกทอด	2.1318	17.1824	0.4144	0.1381	64.80
136	ฟักทองทอดกรอบ	2.0937	84.1933	2.0307	0.6769	323.30
137	ฟักทองทอดกรอบ	2.0238	127.5175	3.0756	1.0252	506.57
138	ฟักทองทอดกรอบ	2.0154	39.9409	0.9633	0.3211	159.33
139	ฟักทองทอดกรอบ	2.0935	45.5005	1.0974	0.3658	174.74
140	ฟักทองทอดกรอบ	2.0629	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
141	ฟักทองทอดกรอบ	2.0916	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
142	ฟักทองทอดกรอบ	2.0879	30.3760	0.7326	0.2442	116.97
143	มันทอดกรอบ (ชนิดเค็ม)	2.0556	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
144	มันทอดกรอบ (ชนิดเค็ม)	2.0495	11.8798	0.2865	0.0955	46.60
145	มันทอดกรอบ (ชนิดเค็ม)	2.0065	167.5849	4.0420	1.3473	671.48
146	มันทอดกรอบ (ชนิดเค็ม)	2.0194	21.2129	0.5116	0.1705	84.45
147	มันทอดกรอบ (ชนิดเค็ม)	2.0800	32.0286	0.7725	0.2575	123.80
148	มันทอดกรอบ (ชนิดหวาน)	2.0717	66.5830	1.6059	0.5353	258.39

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.1 (ต่อ)

ลำดับ	ชนิดตัวอย่าง	น้ำหนัก (กรัม)	Peak area (mAU*s)	µgAA/ 3 ml sample	µgAA/ 1 ml sample	µgAA/kg
149	มันทอดกรอบ (ชนิดหวาน)	2.0323	67.2512	1.6220	0.5407	266.04
150	มันทอดกรอบ (ชนิดหวาน)	2.0078	68.7232	1.6575	0.5525	275.18
151	มันทอดกรอบ (ชนิดหวาน)	2.0301	100.6101	2.4266	0.8089	398.44
152	มันทอดกรอบ (ชนิดหวาน)	2.0875	74.5995	1.7993	0.5998	287.31
153	มันทอดกรอบ (ชนิดหวาน)	2.0236	52.7570	1.2724	0.4241	209.60
154	มันทอดกรอบ (ชนิดหวาน)	2.1016	71.0905	1.7146	0.5715	271.96
155	มันทอดกรอบ (ชนิดหวาน)	2.0496	61.0339	1.4721	0.4907	239.41
156	มันทอดกรอบ (ชนิดหวาน)	2.0654	24.6735	0.5951	0.1984	96.04
157	มันทอดกรอบ (ชนิดหวาน)	2.0046	24.9455	0.6017	0.2006	100.05
158	มันต่อเปลือกทอดกรอบ (ชนิดหวาน)	2.0740	345.1549	8.3248	2.7749	1,337.96
159	มันต่อเปลือกทอดกรอบ (ชนิดหวาน)	2.0498	381.1069	9.1919	3.0640	1,494.77
160	มันต่อเปลือกทอดกรอบ (ชนิดหวาน)	2.0313	155.3391	3.7466	1.2489	614.82
161	มันต่อเปลือกทอดกรอบ (ชนิดหวาน)	2.0097	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
162	มันต่อเปลือกทอดกรอบ (ชนิดหวาน)	2.0931	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
163	มันต่อเปลือกทอดกรอบ (ชนิดหวาน)	2.0982	118.7660	2.8645	0.9548	455.08
164	มันต่อเปลือกทอดกรอบ (ชนิดหวาน)	2.0303	109.8389	2.6492	0.8831	434.95
165	มันทอด	2.2721	30.5575	0.7370	0.2457	108.13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.1 (ต่อ)

ลำดับ	ชนิดตัวอย่าง	น้ำหนัก (กรัม)	Peak area (mAU*s)	$\mu\text{gAA}/$ 3 ml sample	$\mu\text{gAA}/$ 1 ml sample	$\mu\text{gAA}/\text{kg}$
166	มันทอด	2.0548	16.0352	0.3868	0.1289	62.74
167	มันทอด	2.0368	16.1965	0.3906	0.1302	63.93
168	มันทอด	2.0610	30.1201	0.7265	0.2422	117.49
169	มันทอด	2.0195	12.9541	0.3124	0.1041	51.57
170	มันทอด	2.0378	8.2994	0.2002	0.0667	32.74
171	มันทอด	2.0184	11.1035	0.2678	0.0893	44.23
172	ซาลาเปาทอด	2.0864	19.5170	0.4707	0.1569	75.21
173	ซาลาเปาทอด	1.9871	21.0464	0.5076	0.1692	85.15
174	ซาลาเปาทอด	2.0720	43.8200	1.0569	0.3523	170.03
175	ซาลาเปาทอด	2.0691	29.4246	0.7097	0.2366	114.33
176	ซาลาเปาทอด	2.0634	79.1015	1.9079	0.6360	308.21
177	ซาลาเปาทอด	2.0288	32.9375	0.7944	0.2648	130.52

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก จ.

การหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation) ระหว่าง ปริมาณอะคริลาไมด์ในอาหารกับพารามิเตอร์สี

การหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณอะคริลาไมด์ในอาหารกับพารามิเตอร์สี โดยแยกตามตัวอย่างแต่ละชนิด เนื่องจากตัวอย่างแต่ละชนิดนั้นมีวัตถุดิบและส่วนประกอบที่แตกต่างกัน จึงไม่สามารถนำมาเปรียบเทียบกันได้

ตารางที่ จ.1 การวิเคราะห์หาสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณอะคริลาไมด์กับพารามิเตอร์สีในตัวอย่างกระดาษทราย

		L^*	a^*	b^*	hue angle	chroma	browning index
Acrylamide	Pearson Correlation	-0.957*	-0.758*	-0.634	-0.179	-0.688	-0.446
	Sig. (2-tailed)	0.001	0.040	0.088	0.367	0.065	0.188
	จำนวนตัวอย่าง	6	6	6	6	6	6

* คือ มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางที่ จ.2 การวิเคราะห์หาสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณอะคริลาไมด์กับพารามิเตอร์สีในตัวอย่างในตัวอย่างกล้วยแขก

		L^*	a^*	b^*	hue angle	chroma	browning index
Acrylamide	Pearson Correlation	-0.981*	0.021	-0.152	-0.098	-0.145	0.192
	Sig. (2-tailed)	0.000	0.483	0.372	0.417	0.378	0.340
	จำนวนตัวอย่าง	7	7	7	7	7	7

* คือ มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางที่ ๓.3 การวิเคราะห์หาสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณอะคริลาไมด์กับพารามิเตอร์สีในตัวอย่างในตัวอย่างกล้วยทอดกรอบ(ชนิดเค็ม)

		L^*	a^*	b^*	hue angle	chroma	browning index
Acrylamide	Pearson	a	a	a	a	a	a
	Correlation						
	Sig. (2-tailed)	-	-	-	-	-	-
	จำนวนตัวอย่าง	6	6	6	6	6	6

a ไม่สามารถคำนวณได้เนื่องจากไม่พบอะคริลาไมด์

ตารางที่ ๓.4 การวิเคราะห์หาสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณอะคริลาไมด์กับพารามิเตอร์สีในตัวอย่างในตัวอย่างกล้วยทอดกรอบ(ชนิดหวาน)

		L^*	a^*	b^*	hue angle	chroma	browning index
Acrylamide	Pearson	-0.791*	-0.069	-0.114	-0.002	-0.113	0.132
	Correlation						
	Sig. (2-tailed)	0.003	0.425	0.377	0.498	0.378	0.358
	จำนวนตัวอย่าง	10	10	10	10	10	10

* คือ มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางที่ ๓.5 การวิเคราะห์หาสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณอะคริลาไมด์กับพารามิเตอร์สีในตัวอย่างในตัวอย่างกล้วยตากทอด

		L^*	a^*	b^*	hue angle	chroma	browning index
Acrylamide	Pearson	a	a	a	a	a	a
	Correlation						
	Sig. (2-tailed)	-	-	-	-	-	-
	จำนวนตัวอย่าง	2	2	2	2	2	2

a ไม่สามารถคำนวณได้เนื่องจากจำนวนตัวอย่งน้อยเกินไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ จ.6 การวิเคราะห์หาสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณอะคริลาไมด์กับพารามิเตอร์สีในตัวอย่างในตัวอย่างกล้วยหอมทอดกรอบ

		L^*	a^*	b^*	hue angle	chroma	browning index
Acrylamide	Pearson	-0.841*	0.758*	-0.724*	-0.808*	-0.575	-0.112
	Correlation						
	Sig. (2-tailed)	0.009	0.024	0.033	0.014	0.088	0.406
	จำนวนตัวอย่าง	7	7	7	7	7	7

* คือ มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางที่ จ.7 การวิเคราะห์หาสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณอะคริลาไมด์กับพารามิเตอร์สีในตัวอย่างในตัวอย่างกล้วยอบเนย

		L^*	a^*	b^*	hue angle	chroma	browning index
Acrylamide	Pearson	-0.782*	-0.122	0.032	0.093	-0.069	0.700
	Correlation						
	Sig. (2-tailed)	0.033	0.409	0.476	0.430	0.448	0.061
	จำนวนตัวอย่าง	6	6	6	6	6	6

* คือ มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางที่ จ.8 การวิเคราะห์หาสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณอะคริลาไมด์กับพารามิเตอร์สีในตัวอย่างในตัวอย่างขนมก้านบัว

		L^*	a^*	b^*	hue angle	chroma	browning index
Acrylamide	Pearson	a	a	a	a	a	a
	Correlation						
	Sig. (2-tailed)	-	-	-	-	-	-
	จำนวนตัวอย่าง	3	3	3	3	3	3

a ไม่สามารถคำนวณได้เนื่องจากไม่พบอะคริลาไมด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ จ.9 การวิเคราะห์หาสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณอะคริลาไมด์กับพารามิเตอร์สีในตัวอย่างในตัวอย่างขนุนทอดกรอบ

		L^*	a^*	b^*	hue angle	chroma	browning index
Acrylamide	Pearson	-0.963*	0.908*	-0.547	-0.974*	-0.518	0.258
	Correlation						
	Sig. (2-tailed)	0.004	0.017	0.170	0.003	0.186	0.338
	จำนวนตัวอย่าง	5	5	5	5	5	5

* คือ มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางที่ จ.10 การวิเคราะห์หาสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณอะคริลาไมด์กับพารามิเตอร์สีในตัวอย่างในตัวอย่างข้าวเกรียบงา

		L^*	a^*	b^*	hue angle	chroma	browning index
Acrylamide	Pearson	-0.938*	0.225	0.153	-0.132	0.380	0.941*
	Correlation						
	Sig. (2-tailed)	0.031	0.387	0.423	0.434	0.310	0.029
	จำนวนตัวอย่าง	4	4	4	4	4	4

* คือ มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางที่ จ.11 การวิเคราะห์หาสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณอะคริลาไมด์กับพารามิเตอร์สีในตัวอย่างในตัวอย่างข้าวแต๋น

		L^*	a^*	b^*	hue angle	chroma	browning index
Acrylamide	Pearson	-0.943*	-0.056	-0.859*	-0.861*	-0.813*	-0.686*
	Correlation						
	Sig. (2-tailed)	0.000	0.431	0.000	0.000	0.001	0.007
	จำนวนตัวอย่าง	12	12	12	12	12	12

* คือ มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ จ.12 การวิเคราะห์หาสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณอะคริลาไมด์กับพารามิเตอร์สีในตัวอย่างในตัวอย่างข้าวเม่า

		L^*	a^*	b^*	hue angle	chroma	browning index
Acrylamide	Pearson Correlation	-0.676*	0.012	-0.256	-0.029	-0.260	0.129
	Sig. (2-tailed)	0.033	0.489	0.271	0.473	0.267	0.381
	จำนวนตัวอย่าง	8	8	8	8	8	8

* คือ มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางที่ จ.13 การวิเคราะห์หาสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณอะคริลาไมด์กับพารามิเตอร์สีในตัวอย่างในตัวอย่างขนมไข่เต่า

		L^*	a^*	b^*	hue angle	chroma	browning index
Acrylamide	Pearson Correlation	a	a	a	a	a	a
	Sig. (2-tailed)	-	-	-	-	-	-
	จำนวนตัวอย่าง	2	2	2	2	2	2

a ไม่สามารถคำนวณได้เนื่องจากจำนวนตัวอย่างน้อยเกินไป

ตารางที่ จ.14 การวิเคราะห์หาสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณอะคริลาไมด์กับพารามิเตอร์สีในตัวอย่างในตัวอย่างขนมไข่หงส์

		L^*	a^*	b^*	hue angle	chroma	browning index
Acrylamide	Pearson Correlation	a	a	a	a	a	a
	Sig. (2-tailed)	-	-	-	-	-	-
	จำนวนตัวอย่าง	7	7	7	7	7	7

a ไม่สามารถคำนวณได้เนื่องจากไม่พบอะคริลาไมด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ จ.15 การวิเคราะห์หาสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณอะคริลาไมด์กับพารามิเตอร์สีในตัวอย่างในตัวอย่างครองแครงกรอบ

		<i>L*</i>	<i>a*</i>	<i>b*</i>	hue angle	chroma	browning index
Acrylamide	Pearson Correlation	-0.707	0.150	0.908*	0.745	0.824*	0.936*
	Sig. (2-tailed)	0.091	0.405	0.016	0.074	0.043	0.010
	จำนวนตัวอย่าง	5	5	5	5	5	5

* คือ มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางที่ จ.16 การวิเคราะห์หาสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณอะคริลาไมด์กับพารามิเตอร์สีในตัวอย่างในตัวอย่างขนมดอกจอก

		<i>L*</i>	<i>a*</i>	<i>b*</i>	hue angle	chroma	browning index
Acrylamide	Pearson Correlation	a	a	a	a	a	a
	Sig. (2-tailed)	-	-	-	-	-	-
	จำนวนตัวอย่าง	2	2	2	2	2	2

a ไม่สามารถคำนวณได้เนื่องจากจำนวนตัวอย่างน้อยเกินไป

ตารางที่ จ.17 การวิเคราะห์หาสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณอะคริลาไมด์กับพารามิเตอร์สีในตัวอย่างถั่วทอด

		<i>L*</i>	<i>a*</i>	<i>b*</i>	hue angle	chroma	browning index
Acrylamide	Pearson Correlation	-0.748*	0.412	0.392	0.110	0.408	0.658
	Sig. (2-tailed)	0.044	0.208	0.221	0.418	0.211	0.078
	จำนวนตัวอย่าง	6	6	6	6	6	6

* คือ มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ๑.18 การวิเคราะห์หาสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณอะคริลาไมด์กับพารามิเตอร์สีในตัวอย่างทุเรียนทอด

		<i>L*</i>	<i>a*</i>	<i>b*</i>	hue angle	chroma	browning index
Acrylamide	Pearson Correlation	-0.773*	0.580	-0.818*	-0.679*	-0.690*	0.319
	Sig. (2-tailed)	0.007	0.051	0.004	0.022	0.020	0.201
	จำนวนตัวอย่าง	9	9	9	9	9	9

* คือ มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางที่ ๑.19 การวิเคราะห์หาสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณอะคริลาไมด์กับพารามิเตอร์สีในตัวอย่างเผือกทอดกรอบ(ชนิดเค็ม)

		<i>L*</i>	<i>a*</i>	<i>b*</i>	hue angle	chroma	browning index
Acrylamide	Pearson Correlation	-0.941*	0.292	-0.368	-0.374	-0.362	-0.247
	Sig. (2-tailed)	0.000	0.178	0.120	0.115	0.124	0.220
	จำนวนตัวอย่าง	12	12	12	12	12	12

* คือ มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางที่ ๑.20 การวิเคราะห์หาสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณอะคริลาไมด์กับพารามิเตอร์สีในตัวอย่างเผือกทอดกรอบ(ชนิดหวาน)

		<i>L*</i>	<i>a*</i>	<i>b*</i>	hue angle	chroma	browning index
Acrylamide	Pearson Correlation	-0.977*	0.648*	0.318	-0.611*	0.482	0.680*
	Sig. (2-tailed)	0.000	0.021	0.185	0.030	0.079	0.015
	จำนวนตัวอย่าง	10	10	10	10	10	10

* คือ มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ จ.21 การวิเคราะห์หาสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณอะคริลาไมด์กับพารามิเตอร์สีในตัวอย่างเผือกทอด

		<i>L*</i>	<i>a*</i>	<i>b*</i>	hue angle	chroma	browning index
Acrylamide	Pearson	a	a	a	a	a	a
	Correlation						
	Sig. (2-tailed)	-	-	-	-	-	-
	จำนวนตัวอย่าง	2	2	2	2	2	2

a ไม่สามารถคำนวณได้เนื่องจากจำนวนตัวอย่างน้อยเกินไป

ตารางที่ จ.22 การวิเคราะห์หาสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณอะคริลาไมด์กับพารามิเตอร์สีในตัวอย่างฟักทองทอดกรอบ

		<i>L*</i>	<i>a*</i>	<i>b*</i>	hue angle	chroma	browning index
Acrylamide	Pearson	-0.928*	-0.748*	0.006	0.772*	-0.113	0.361
	Correlation						
	Sig. (2-tailed)	0.001	0.027	0.495	0.021	0.404	0.213
	จำนวนตัวอย่าง	7	7	7	7	7	7

* คือ มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางที่ จ.23 การวิเคราะห์หาสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณอะคริลาไมด์กับพารามิเตอร์สีในตัวอย่างมันทอดกรอบ(ชนิดเค็ม)

		<i>L*</i>	<i>a*</i>	<i>b*</i>	hue angle	chroma	browning index
Acrylamide	Pearson	-0.720	0.606	0.363	0.099	0.404	0.516
	Correlation						
	Sig. (2-tailed)	0.085	0.139	0.274	0.437	0.250	0.187
	จำนวนตัวอย่าง	5	5	5	5	5	5

* คือ มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ จ.24 การวิเคราะห์หาสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณอะคริลาไมด์กับพารามิเตอร์สีในตัวอย่างมันทอดกรอบ(ชนิดหวาน)

		L^*	a^*	b^*	hue angle	chroma	browning index
Acrylamide	Pearson	-0.877*	0.806*	-0.391	-0.839*	-0.246	0.682*
	Correlation						
	Sig. (2-tailed)	0.000	0.002	0.132	0.001	0.247	0.015
	จำนวนตัวอย่าง	10	10	10	10	10	10

* คือ มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางที่ จ.25 การวิเคราะห์หาสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณอะคริลาไมด์กับพารามิเตอร์สีในตัวอย่างมันต่อเปลือกทอดกรอบ(ชนิดหวาน)

		L^*	a^*	b^*	hue angle	chroma	browning index
Acrylamide	Pearson	-0.910*	0.774*	-0.794*	-0.802*	-0.310	-0.652
	Correlation						
	Sig. (2-tailed)	0.002	0.021	0.017	0.015	0.249	0.056
	จำนวนตัวอย่าง	7	7	7	7	7	7

* คือ มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางที่ จ.26 การวิเคราะห์หาสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณอะคริลาไมด์กับพารามิเตอร์สีในตัวอย่างมันทอด

		L^*	a^*	b^*	hue angle	chroma	browning index
Acrylamide	Pearson	-0.936*	0.194	-0.489	-0.446	-0.366	0.017
	Correlation						
	Sig. (2-tailed)	0.001	0.338	0.133	0.158	0.210	0.486
	จำนวนตัวอย่าง	7	7	7	7	7	7

* คือ มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

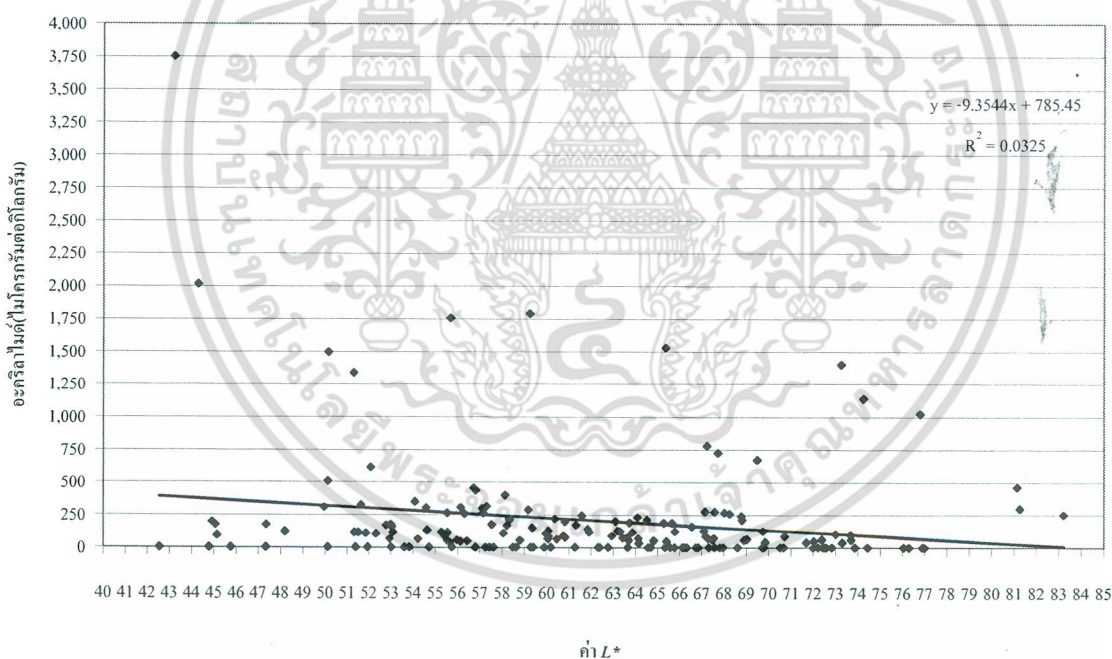
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ จ.27 การวิเคราะห์หาสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณอะคริลาไมด์กับพารามิเตอร์สีในตัวอย่างชาลาเปาทอด

		<i>L</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	Hue angle	Chroma	Browning index
Acrylamide	Pearson	-0.849*	0.717	-0.434	-0.654	-0.323	0.087
	Correlation						
	Sig. (2-tailed)	0.016	0.054	0.195	0.080	0.266	0.435
	จำนวนตัวอย่าง	6	6	6	6	6	6

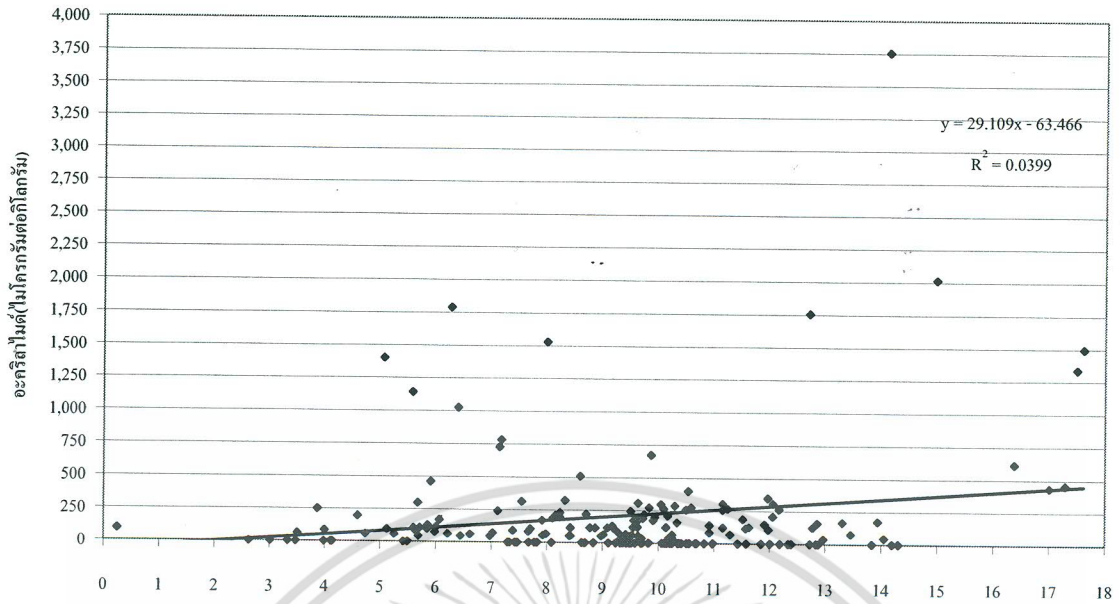
* คือ มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

เมื่อสร้างกราฟระหว่างปริมาณอะคริลาไมด์ที่พบและพารามิเตอร์สี เพื่อหาความสัมพันธ์ของค่าทั้งสอง โดยไม่แยกชนิดของตัวอย่าง ได้กราฟดังต่อไปนี้

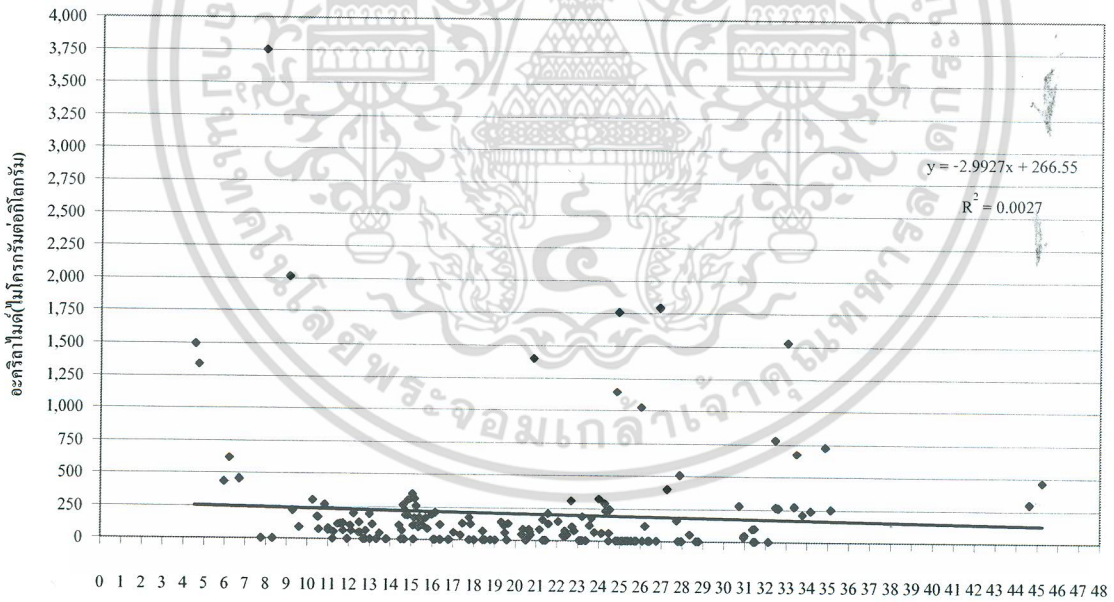


รูปที่ จ.1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณอะคริลาไมด์กับค่า L^* โดยไม่แยกชนิดตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

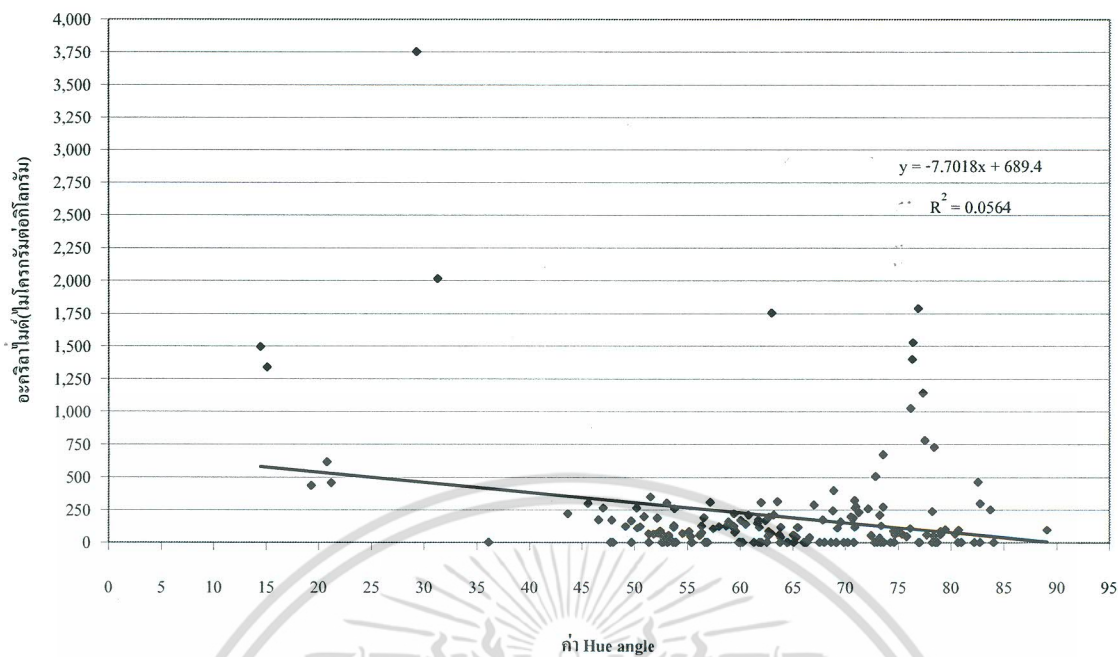


รูปที่ จ.2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณอะครีลาไมด์กับค่า a^* โดยไม่แยกชนิดตัวอย่าง

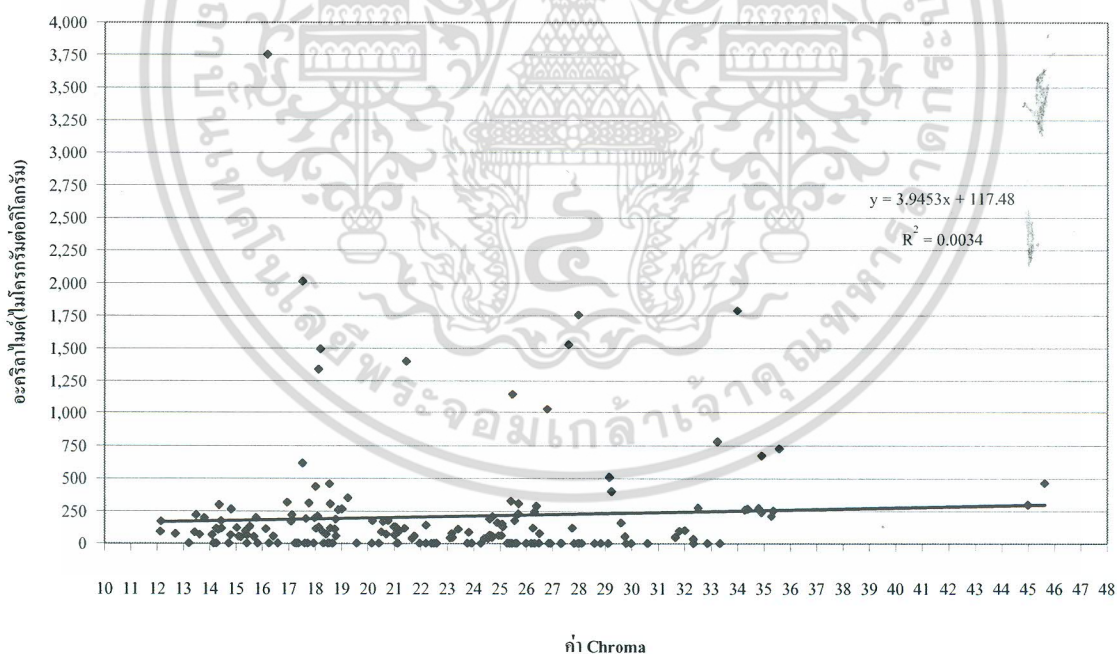


รูปที่ จ.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณอะครีลาไมด์กับค่า b^* โดยไม่แยกชนิดตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

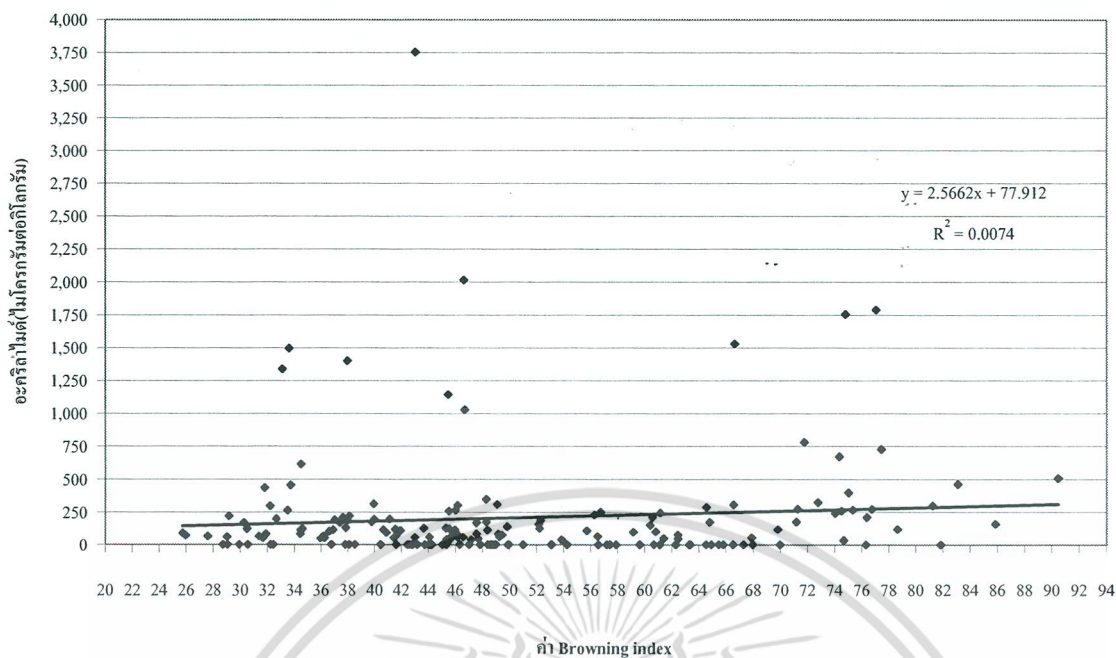


รูปที่ ๑.๔ กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณอะครีลาไมด์กับค่า hue angle โดยไม่แยกชนิดตัวอย่าง



รูปที่ ๑.๕ กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณอะครีลาไมด์กับค่า chroma โดยไม่แยกชนิดตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ จ.6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณอะคริลาไมด์กับค่า browning index โดยไม่แยกชนิดตัวอย่าง

จากกราฟของปริมาณอะคริลาไมด์กับพารามิเตอร์สีต่างๆ พบว่ามีการกระจายตัวสูง ความสัมพันธ์เป็นไปอย่างไม่ชัดเจน เมื่อนำมาคำนวณหาสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ได้ค่าตามตารางที่ จ.28

ตารางที่ จ.28 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณอะคริลาไมด์กับพารามิเตอร์สีต่างๆ โดยไม่แยกชนิดตัวอย่าง

พารามิเตอร์สี	สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (r^2)	สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r)
L^*	0.0325	0.1803
a^*	0.0399	0.1997
b^*	0.0027	0.0520
hue angle	0.0564	0.2375
chroma	0.0034	0.0583
browning index	0.0074	0.0860

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



หนังสือเป็นสมบัติของเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
โปรดช่วยกันรักษา

www.lib.kmitl.ac.th

สำนักหอสมุดกลาง โทร. 0 2739 2221

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้