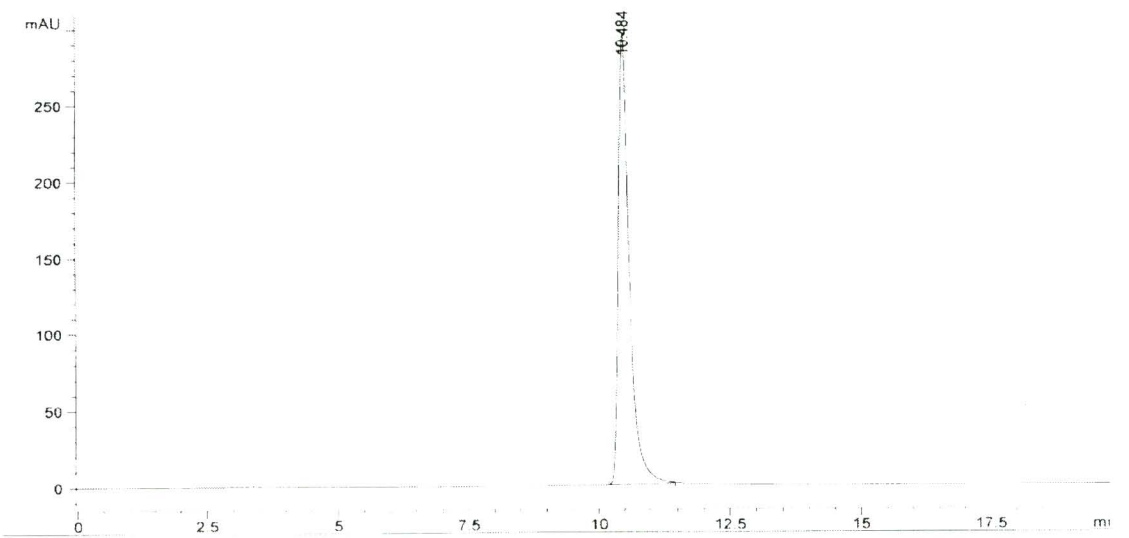
บทที่ 4
ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

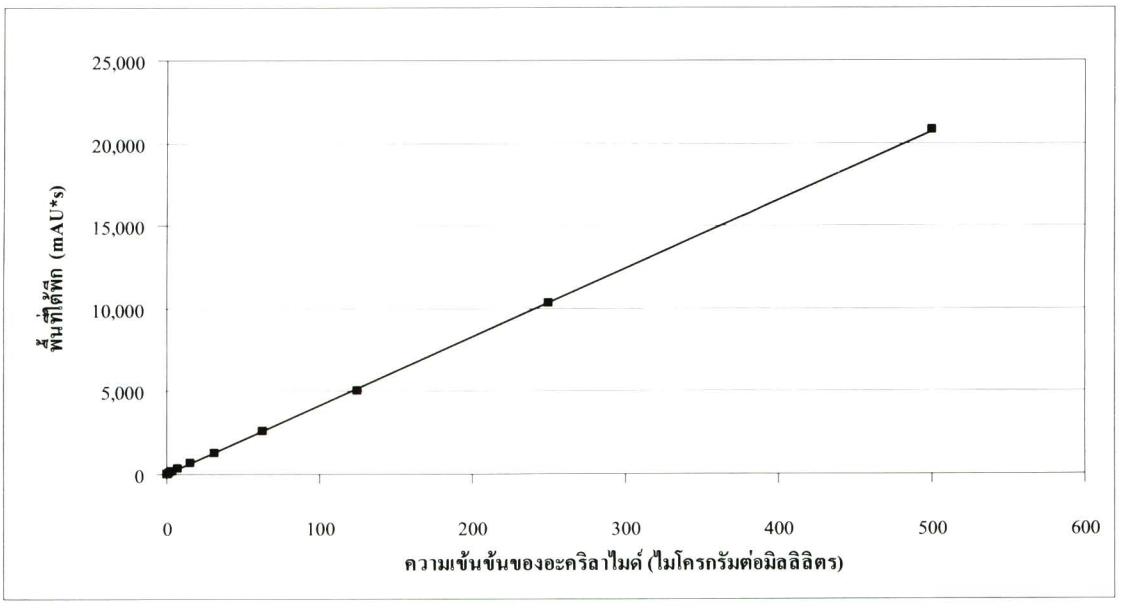
4.1 การทดสอบความถูกต้องของวิธีการวิเคราะห์

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 มีสารละลายอะซิโตไนไตรท์ 1 เปอร์เซ็นต์ เป็นเฟสเคลื่อนที่ ที่อัตราการไหล 0.5 มิลลิลิตรต่อนาที ควบคู่กับตัวตรวจวัดยูวี (UV detector) ความยาวคลื่น 225 นาโนเมตร เพื่อหาเวลาชะ (retention time) และพื้นที่ใต้พีก (peak area) ของสารอะคริลาไมด์มาตรฐานที่ความเข้มข้นต่างๆ ความเข้มข้นละ 3 ซ้ำ ดังตัวอย่างโครมาโทแกรมในรูปที่ 4.1 จากนั้นสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ใต้พีกที่ได้ (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 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร



รูปที่ 4.2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ใต้พีกกับความเข้มข้นของสารอะคริลาไมด์

4.1.2 การหาค่าเปอร์เซ็นต์คืนกลับ

วิเคราะห์ตัวอย่างอาหารที่ไม่มีสารอะคริลาไมด์ (blank sample) และตัวอย่างอาหารที่มีการเติมสารละลายอะคริลาไมด์มาตรฐานความเข้มข้น 100 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร จำนวน 500 ไมโครลิตร ตามขั้นตอนการสกัดและวิเคราะห์ตัวอย่าง เพื่อเป็นการตรวจสอบว่าวิธีที่นำมาสกัดนี้สามารถใช้ได้กับทุกชนิดตัวอย่างหรือไม่ ซึ่งตัวอย่างที่ใช้ได้แก่ กล้วยต้ม ข้าวนึ่ง ข้าวโพดต้ม มันเทศต้ม ฟักทองต้ม และเผือกต้ม 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)
กล้วยต้ม	101.15	0.050
ข้าวนึ่ง	98.78	0.094
ข้าวโพดต้ม	98.22	0.061
มันเทศต้ม	98.72	0.151
ฟักทองต้ม	99.10	0.089
เผือกต้ม	99.04	0.124

4.1.3 ขีดจำกัดการตรวจพบ และปริมาณต่ำสุดที่สามารถตรวจวัดได้ในเชิงปริมาณ

วิเคราะห์ตัวอย่างอาหารไม่มีสารอะคริลาไมด์ ได้แก่ ข้าวนึ่ง กล้วยต้ม ฟักทองต้ม ข้าวโพดต้ม มันเทศต้ม เผือกต้ม ที่มีการเติมสารละลายอะคริลาไมด์มาตรฐานเข้มข้น 100 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร จำนวน 500 ไมโครลิตร ลงไปก่อนนำไปสกัดและวิเคราะห์ตัวอย่างตามขั้นตอนในข้อที่ 3.3.4.1 ชนิดละ 3 ซ้ำ หาค่าเฉลี่ย 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)
กล้วยต้ม	7.736	8.085
ข้าวนึ่ง	7.691	8.347
ข้าวโพดต้ม	7.549	7.973
มันเทศต้ม	7.857	8.914
ฟักทองต้ม	7.699	8.321
เผือกต้ม	7.801	8.671

จากการทดลองพบว่าชนิดของตัวอย่างอาหารที่แตกต่างกันให้ค่าเปอร์เซ็นต์การคืนกลับ ขีดจำกัดการตรวจพบ และปริมาณต่ำสุดที่สามารถตรวจวัดได้ในเชิงปริมาณ ที่ใกล้เคียงกัน แสดงให้เห็นว่าวิธีการสกัดและวิเคราะห์อะคริลาไมด์ในงานวิจัยนี้ สามารถใช้ได้กับตัวอย่างอาหารที่หลากหลาย การเปลี่ยนแปลงชนิดตัวอย่างไม่มีผลต่อปริมาณอะคริลาไมด์ที่ตรวจวัดได้

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	กล้วยหอมทอดกรอบ	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	ครองแครงกรอบ	9	61.41	1.11	26.83	1.55	64.43	5.26

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	ฟักทองทอดกรอบ	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	มันต่อเผือกทอดกรอบ (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) ที่ระบุว่าการวัดค่าสีในตัวอย่างนั้นช่วยบอกถึงปริมาณอะคริลาไมด์ในตัวอย่างอาหารชนิดนั้นๆได้อีกทางหนึ่ง โดยพบว่าค่า L^* (lightness) และค่า a^* (readness) ในอาหารนั้นมีความสัมพันธ์กับการเกิดอะคริลาไมด์ในตัวอย่างอาหารชนิดเดียวกัน อีกทั้งอะคริลาไมด์ยังเกิดผ่านปฏิกิริยาเมลลาร์ด ซึ่งเป็นปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลโดยไม่ใช้เอนไซม์ (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 ขนุนทอด

กรอบ และค่าต่ำที่สุดคือ ขนมดอกจอก ส่วนค่า browning index เป็นค่าที่บ่งชี้ถึงสีน้ำตาล โดยมีค่าระหว่าง 79.59 ถึง 34.08 ซึ่งตัวอย่างที่มีค่าสูงที่สุดคือ ฟักทองทอดกรอบ มีค่าเท่ากับ 79.59 และตัวอย่างที่มีค่าต่ำที่สุดคือ ขนมดอกจอก 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

ก. ข.

ค. ง.

รูปที่ 4.3 สีของตัวอย่างอาหารชนิดต่าง ก. ขนุนทอดกรอบ ข. มันต่อเผือกทอดกรอบ(ชนิดหวาน) ค. ขนมดอกจอก 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 หรือมีลักษณะเป็นเมล็ด (รูปที่ 4.4) ซึ่งมีพื้นที่ผิวสูง ได้แก่ กล้วยทอดกรอบ(ชนิดเค็ม) กล้วยทอดกรอบ(ชนิดหวาน) กล้วยหอมทอดกรอบ กล้วยอบเนย

ขนุนทอดกรอบ ข้าวเกรียบงา ข้าวแต๋น กระยาสารท ขนมดอกจอก ทุเรียนทอดกรอบ เผือกทอดกรอบ (ชนิดหวาน) ฟักทองทอดกรอบ มันต่อเผือกทอดกรอบ(ชนิดหวาน) มันทอดกรอบ(ชนิดหวาน) ถั่วทอด

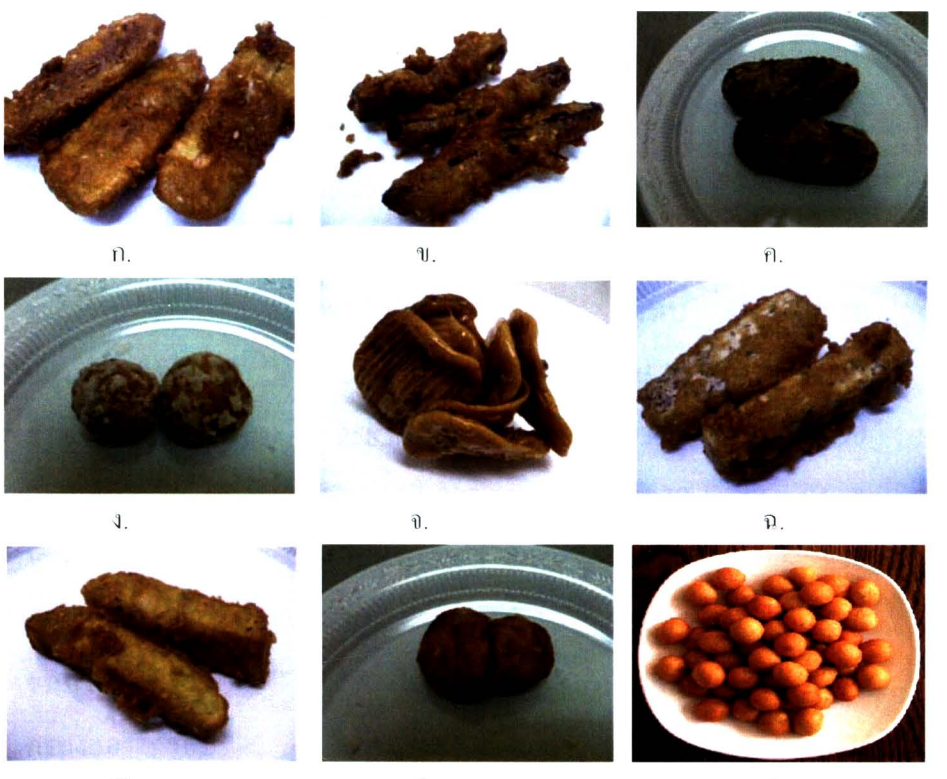
รูปที่ 4.4 ตัวอย่างอาหารที่มีลักษณะเป็นแผ่นบางกรอบ ก. กล้วยทอดกรอบ(ชนิดเค็ม) ข. กล้วยหอมทอดกรอบ ค. กล้วยอบเนย ง. ข้าวเกรียบงา จ. ข้าวแต๋น ฉ. ถั่วทอด ช. เผือกทอดกรอบ(ชนิดหวาน) ซ. ทุเรียนทอดกรอบ ฌ. มันทอดกรอบ(ชนิดหวาน) ญ. กล้วยทอดกรอบ(ชนิดหวาน) ฎ. ขนุนทอดกรอบ ฏ. กระยาสารท ฒ.ขนมดอกจอก ฐ. ฟักทองทอดกรอบ ณ. มันต่อเผือกทอดกรอบ(ชนิดหวาน)

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

ก. ข. ค.

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

3) อาหารที่มีลักษณะเป็นชิ้นหนา และมีพื้นที่ผิวน้อย (รูปที่ 4.6) ได้แก่ กล้วยแขก กล้วยตากทอด ข้าวเม่า ขนมไข่เต่า ขนมไข่หงส์ ครองแครงกรอบ เผือกทอด มันทอด ซาลาเปาทอด



ก. ข. ค.

ง. จ. ฉ.

ช. ซ. ฌ.

รูปที่ 4.6 ตัวอย่างอาหารที่มีลักษณะเป็นชิ้นหนา ก. กล้วยแขก ข. กล้วยตากทอด ค. ข้าวเม่า ง. ขนมไข่หงส์ จ. ครองแครงกรอบ ฉ. เผือกทอด ช. มันทอด ซ. ซาลาเปาทอด ฌ. ขนมไข่เต่า

4.3.2 ปริมาณสารอะคริลาไมด์

จากการศึกษาปริมาณอะคริลาไมด์ในตัวอย่างอาหาร 27 ชนิด เป็นจำนวนทั้งสิ้น 177 ตัวอย่าง พบว่าตัวอย่างที่ศึกษานั้นมีปริมาณสารอะคริลาไมด์มากน้อยต่างกันไป ดังแสดงในตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ปริมาณอะคริลาไมด์ที่มีในตัวอย่างอาหารชนิดต่างๆ

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

ตารางที่ 4.4 (ต่อ)

ลำดับ	ตัวอย่าง	อะคริลาไมด์ (ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม)			จำนวนตัวอย่าง
		ช่วงที่พบ	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	
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	มันต่อเผือกทอดกรอบ (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] ตัวอย่างที่มีวัตถุดิบหลักจากข้าวและแป้งจากข้าวชนิดต่างๆ

[b] ตัวอย่างที่มีวัตถุดิบหลักจากกล้วย

[c] ตัวอย่างที่มีวัตถุดิบหลักจากมันและแป้งจากมัน

[d] ตัวอย่างที่มีวัตถุดิบหลักจากเผือก

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

เมื่อตัวอย่างที่นำมาวิเคราะห์หาปริมาณอะคริลาไมด์ มาแยกย่อยตามวัตถุดิบหลักที่นำมาใช้ผลิต สามารถแบ่งออกได้เป็นกลุ่ม ดังนี้

1) ตัวอย่างที่มีวัตถุดิบหลักจากข้าวและแป้งที่ทำจากข้าวชนิดต่างๆ ได้แก่ กระยาสารท ข้าวแต๋น ข้าวเกรียบงา ข้าวเม่า ขนมไข่หงส์ ขนมก้านบัว ครองแครงกรอบ และซาลาเปาทอด มีปริมาณอะคริลาไมด์เฉลี่ยที่พบอยู่ในช่วง ไม่พบ ถึง 499.15 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม โดยครองแครงกรอบเป็นตัวอย่างที่พบอะคริลาไมด์มากที่สุดในกลุ่มนี้ 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) และมันต่อเผือกทอดกรอบ(ชนิดหวาน) มีปริมาณอะคริลาไมด์เฉลี่ยที่พบอยู่ในช่วง 68.69 ถึง 867.51 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม โดยมันต่อเผือกทอดกรอบ(ชนิดหวาน) เป็นตัวอย่างที่พบอะคริลาไมด์มากที่สุดในกลุ่มนี้

4) ตัวอย่างที่มีวัตถุดิบหลักจากเผือก ได้แก่ เผือกทอด เผือกทอดกรอบ(ชนิดเค็ม) และเผือกทอดกรอบ(ชนิดหวาน) มีปริมาณอะคริลาไมด์เฉลี่ยที่พบอยู่ในช่วง 58.83 ถึง 138.37 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม โดยเผือกทอดกรอบ(ชนิดเค็ม) เป็นตัวอย่างที่พบอะคริลาไมด์มากที่สุดในกลุ่มนี้

5) ตัวอย่างอื่นๆ ได้แก่ ขนุนทอดกรอบ มีปริมาณอะคริลาไมด์เฉลี่ย 503.56 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม ทุเรียนทอดกรอบ มีปริมาณอะคริลาไมด์เฉลี่ย 58.38 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม ฟักทองทอดกรอบ มีปริมาณอะคริลาไมด์เฉลี่ย 256.18 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม และถั่วทอด มีปริมาณอะคริลาไมด์เฉลี่ย 40.45 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม

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

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

จากการศึกษาในครั้งนี้พบว่าตัวอย่างอาหารทอดของไทยที่มีคาร์โบไฮเดรตสูงที่นำมาวิเคราะห์นั้น มีปริมาณอะคริลาไมด์ไปในแนวทางเดียวกับอาหารที่มีคาร์โบไฮเดตรสูงจากทั่วโลก เนื่องจากมีการตรวจพบอะคริลาไมด์ในอาหารที่มีคาร์โบไฮเดรตมาก 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 การหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณอะคริลาไมด์ในอาหารกับพารามิเตอร์สีโดยไม่แยกชนิดตัวอย่าง

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 ไม่สามารถสร้างความสัมพันธ์กับปริมาณอะคริลาไมด์มนตัวอย่างอาหารทอดที่ศึกษาในงานวิจัยครั้งนี้ได้

4.4.2 การหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณอะคริลาไมด์ในอาหารกับพารามิเตอร์สีโดยแยกตามชนิดตัวอย่าง

เพื่อเป็นการหาความสัมพันธ์ของปริมาณอะคริลาไมด์กับพารามิเตอร์สีในตัวอย่าง แต่ละชนิด ดังแสดงในตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณอะคริลาไมด์ในตัวอย่างอาหารแต่ละชนิดและพารามิเตอร์สี

ลำดับ	ชนิดตัวอย่าง	สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์						จำนวนตัวอย่าง
		L^*	a^*	b^*	hue angle	chroma	BI	
1	กระยาสารท	-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	กล้วยหอมทอดกรอบ	-0.841*	0.758*	-0.724*	-0.808*	-0.575	-0.112	7

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	ฟักทองทอดกรอบ	-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	มันต่อเผือกทอดกรอบ (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 ($p < 0.05$)

เนื่องจากอะคริลาไมด์เกิดจากปฏิกิริยาเมลลาร์ด ซึ่งเป็นปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลโดยไม่ใช้เอนไซม์ ดังนั้นการวัดค่าสีจึงอาจมีความสัมพันธ์กับปริมาณของอะคริลาไมด์ในอาหารนั้นๆได้ 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 ครองแครงกรอบ เผือกทอดกรอบ(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) ขนมก้านบัว และขนมไข่หงส์ ไม่สามารถนำมาหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ได้ เนื่องไม่พบอะคริลาไมด์ในตัวอย่างเหล่านี้ ส่วนในตัวอย่างกล้วยตากทอด ขนมไข่เต่า ขนมดอกจอก และเผือกทอด ไม่สามารถระบุถึงค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ได้ เนื่องจากมีจำนวนตัวอย่างน้อยเกินไป