

บทที่ 4

ผลการวิจัย

จากการศึกษาการอบแห้งปลากะตักด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่ง และดีซอร์พชั่นไอโซเทอร์มของปลากะตัก โดยแบ่งงานวิจัยออกเป็น 4 ส่วน คือการตรวจสอบคุณภาพวัตถุดิบ การศึกษาจุลศาสตร์การอบแห้งปลากะตักด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่ง การตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์ และการศึกษาดีซอร์พชั่นไอโซเทอร์มของปลากะตัก ได้ผลการทดลองดังต่อไปนี้

การตรวจสอบคุณภาพวัตถุดิบ



ภาพที่ 4-1 ปลากะตักสด (*Stolephorus indicus*)

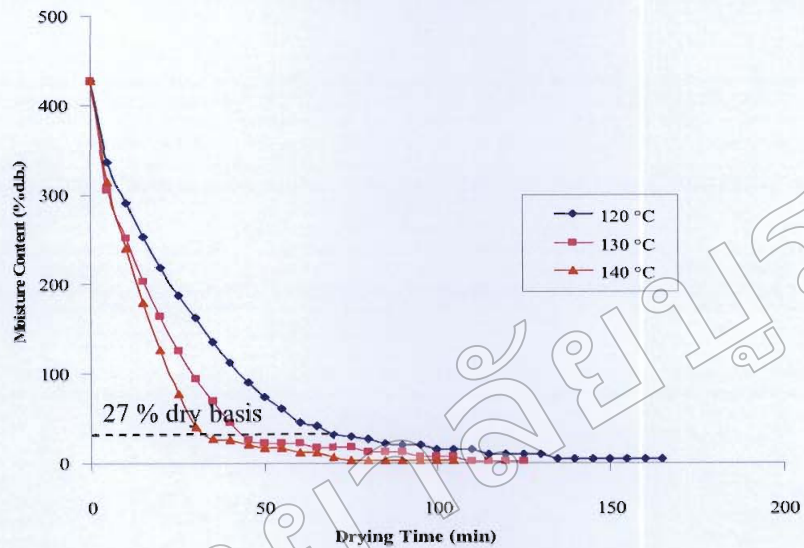
ปลากะตักสดจาก บริษัทพีทีเอส มารีน โปรดักส์ จำกัด ต.แสนสุข อ.เมือง จ.ชลบุรี มีขนาดความยาวจากหัวถึงหาง 4.5 - 7 เซนติเมตร มีลักษณะสมบูรณ์คือลำตัวตรง ยาวเรียว ด้านข้างแบน ท้องเป็นสัน ท้องไม่แตก หัวโต ตาโต ตาเป็นสีดำมัน ตาคำไม่ขุ่น ผิวหนัง มีความเป็นมันเงา เกิดบริเวณหน้าครีบท้องแข็งเป็นหนาม แถบข้างลำตัวสีเงินชัดเจน เนื้อสัมผัสไม่นุ่มตามแรงกด เมื่อตรวจสอบคุณภาพทางเคมี ให้ผลดังตารางที่ 4-1

ตารางที่ 4-1 คุณภาพทางเคมีของปลากะตักสด

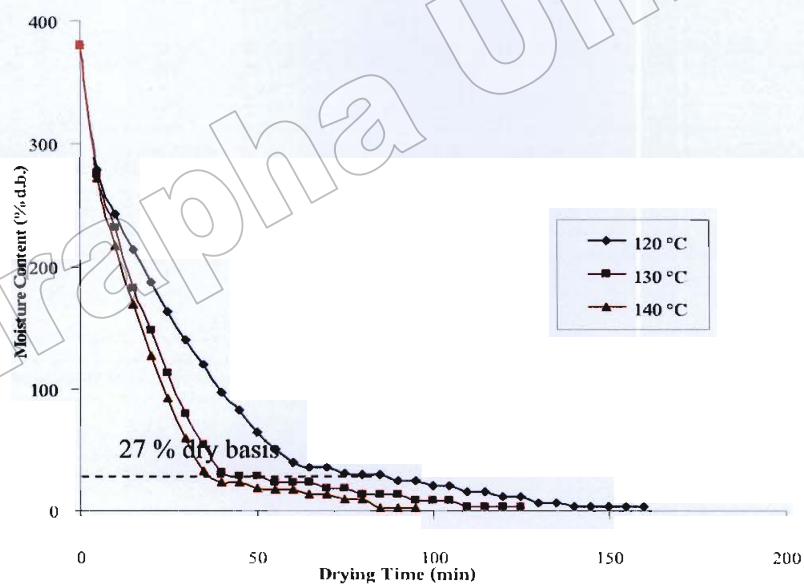
องค์ประกอบทางเคมี	ปริมาณ
ความชื้น (เปอร์เซ็นต์มาตรฐานแห้ง)	427±2.02
ค่าออกเตอร์แอคติวิตี	0.98±0.02
โปรตีน (เปอร์เซ็นต์)	21.63.12
ไขมัน (เปอร์เซ็นต์)	2.5±2.34
เถ้า (เปอร์เซ็นต์)	7.3±0.316
ปริมาณเกลือ (เปอร์เซ็นต์)	0.65±0.13
ค่าความเป็นกรด ค่าง (pH)	6.7±0.01

การศึกษาจุลศาสตร์การอบแห้งปลากะตักด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่ง

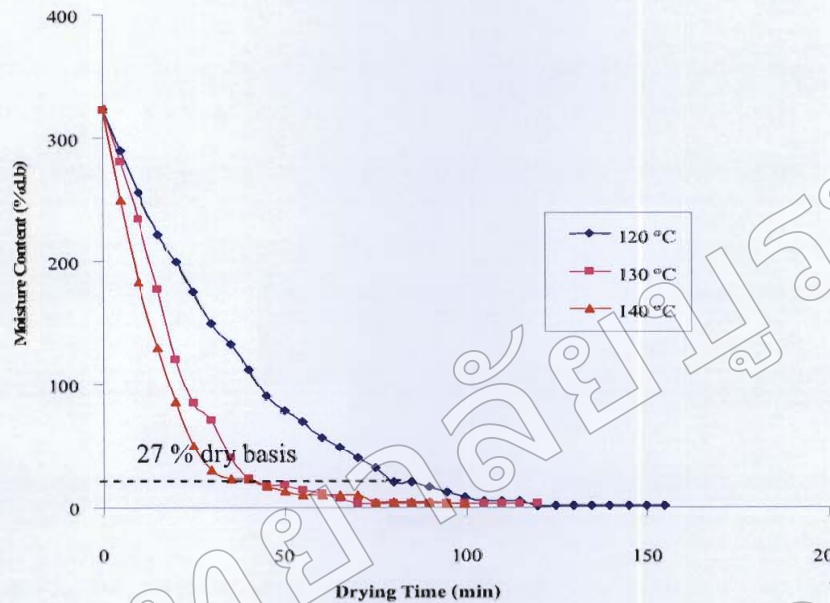
ในการทดลองศึกษาจุลศาสตร์การอบแห้งปลากะตัก โดยมีวิธีการเตรียมวัตถุดิบคือ ปลากะตักสด ปลากะตักแช่น้ำเกลือความเข้มข้น 3 เปอร์เซ็นต์ และปลากะตักคั่วในน้ำเกลือความเข้มข้น 3 เปอร์เซ็นต์ และอบแห้งปลากะตักปริมาณ 100 กรัม ที่อุณหภูมิ 120, 130 และ 140 °C ความเร็วลม 1.46 เมตรต่อวินาที จนมีความชื้นสุดท้ายเท่ากับ 27 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานแห้ง พบว่า ปลากะตักสดจากความชื้นเริ่มต้นประมาณ 427 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานแห้ง ใช้เวลาในการอบแห้ง 80, 45 และ 35 นาที ตามลำดับ การอบแห้งปลากะตักแช่น้ำเกลือความเข้มข้น 3 เปอร์เซ็นต์ ความชื้นเริ่มต้นประมาณ 380 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานแห้ง ใช้เวลาในการอบแห้ง 80, 45 และ 40 นาที ตามลำดับ และการอบแห้งปลากะตักคั่วในน้ำเกลือความเข้มข้น 3 เปอร์เซ็นต์ ความชื้นเริ่มต้นประมาณ 323 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานแห้ง ใช้เวลาในการอบแห้ง 70, 40 และ 30 นาที ตามลำดับ ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นกับเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง ดังแสดงในภาพที่ 4 – 2, 4 – 3 และ 4 – 4 ตามลำดับ



ภาพที่ 4-2 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นและเวลาในการทำให้ปลากะตักที่อุณหภูมิ 120, 130 และ 140 °C



ภาพที่ 4-3 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นและเวลาในการทำให้ปลากะตักแช่ในน้ำเกลือ ความเข้มข้น 3 เปอร์เซ็นต์ที่อุณหภูมิ 120, 130 และ 140 °C



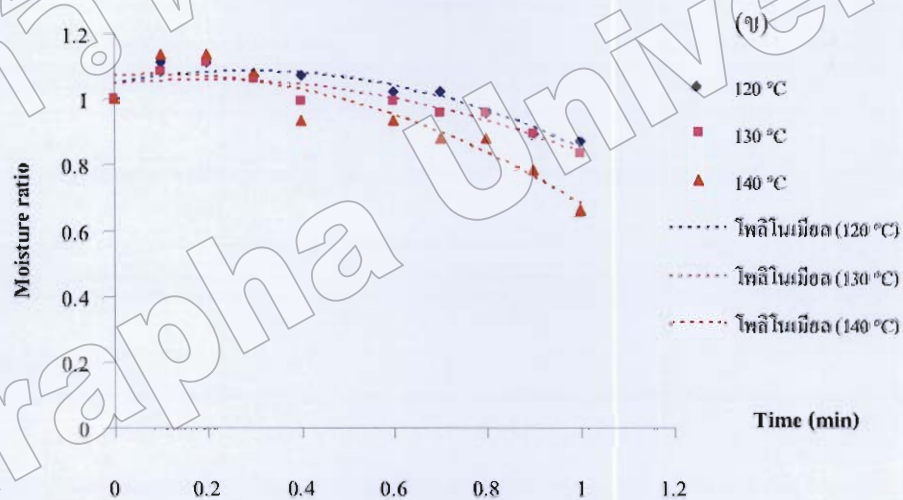
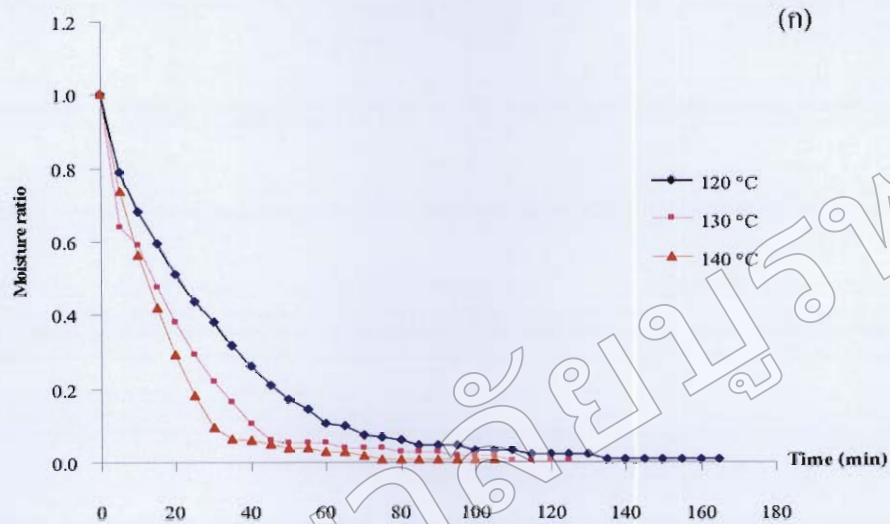
ภาพที่ 4-4 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นและเวลาในการทำแห้งปลากะตักต้มในน้ำเกลือ ความเข้มข้น 3 เปอร์เซ็นต์ ที่อุณหภูมิ 120, 130 และ 140 °C

จากผลการทดลองการอบแห้งปลากะตักด้วยไอน้ำร้อนชนิดที่อุณหภูมิ 120 130 และ 140 °C ดังแสดงในภาพที่ 4-2, 4-3 และ 4-4 ตามลำดับ สามารถหาค่าความชื้นสมดุลของปลากะตักในแต่ละสภาวะของการทดลอง ดังตารางที่ 4-2

ตารางที่ 4-2 ค่าความชื้นสมดุลของปลากะตัก ปลากะตักแช่ในน้ำเกลือความเข้มข้น 3 เปอร์เซ็นต์และปลากะตักต้มในน้ำเกลือความเข้มข้น 3 เปอร์เซ็นต์ ที่อุณหภูมิ 120, 130 และ 140 °C

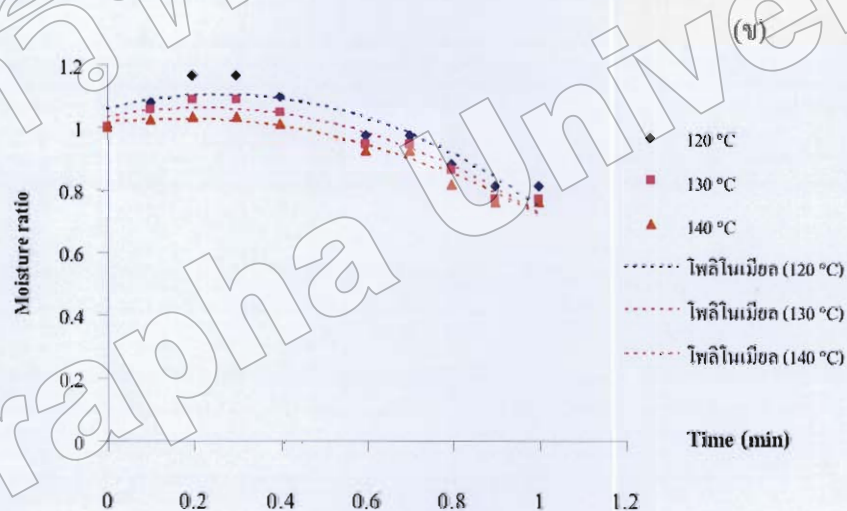
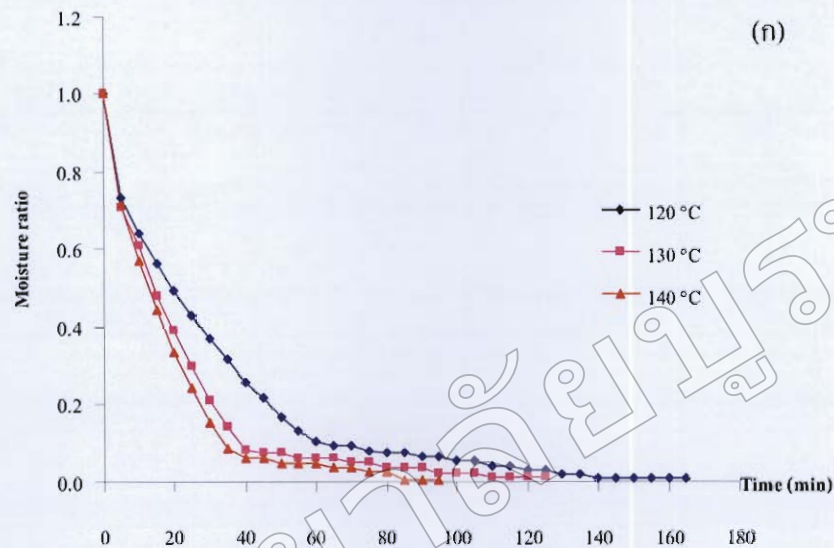
อุณหภูมิ (°C)	ค่าความชื้นสมดุล (เปอร์เซ็นต์มาตรฐานแห้ง)		
	ปลากะตัก	ปลากะตักแช่ ในน้ำเกลือ 3 เปอร์เซ็นต์	ปลากะตักต้ม ในน้ำเกลือ 3 เปอร์เซ็นต์
120	3.30	3.11	2.51
130	3.17	2.62	2.03
140	2.37	1.69	0.72

จากผลการศึกษาการอบแห้งปลากะตักและค่าความชื้นสัมพัทธ์ของปลากะตักอบแห้งที่อุณหภูมิและวิธีการเตรียมต่าง ๆ (ตารางที่ 4-2) สามารถหาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความชื้นกับเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง ดังแสดงในภาพที่ 4-5 (ก) ถึง 4-7 (ก) และภาพที่ 4-5 (ข) ถึง 4-7 (ข) โดยภาพที่ 4-5 (ก) ถึง 4-7 (ก) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความชื้นกับเวลาในการอบแห้งปลากะตักที่อุณหภูมิ 120, 130 และ 140 °C ตลอดระยะเวลาของการอบแห้งทั้งหมดและภาพที่ 4-5 (ข) ถึง 4-7 (ข) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความชื้นกับเวลาของการอบแห้งปลากะตักที่อุณหภูมิ 120, 130 และ 140 °C ในช่วง 1 นาทีแรกของการอบแห้ง ซึ่งแสดงให้เห็นถึงช่วงเวลาของการเพิ่มอุณหภูมิของวัสดุ การเปลี่ยนแปลงเช่นนี้เป็นลักษณะเฉพาะของการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบไอน้ำร้อนยวดยิ่ง โดยสมการความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความชื้นกับเวลาในช่วง 1 นาทีแรก แสดงดังตารางที่ 4-3



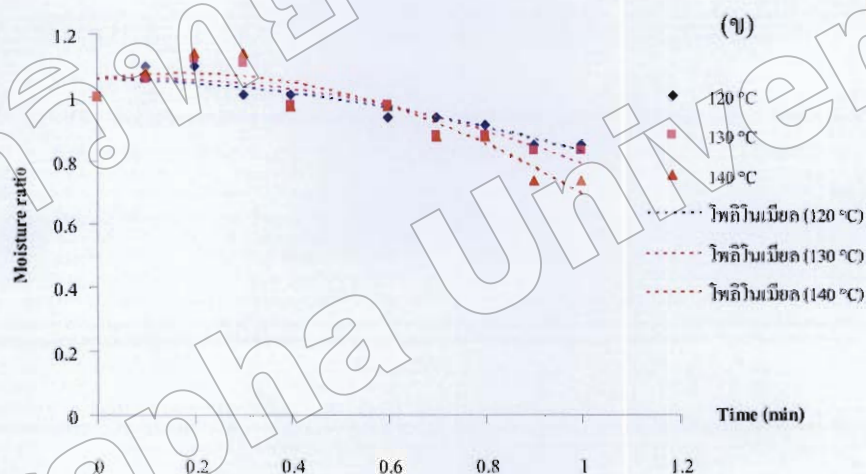
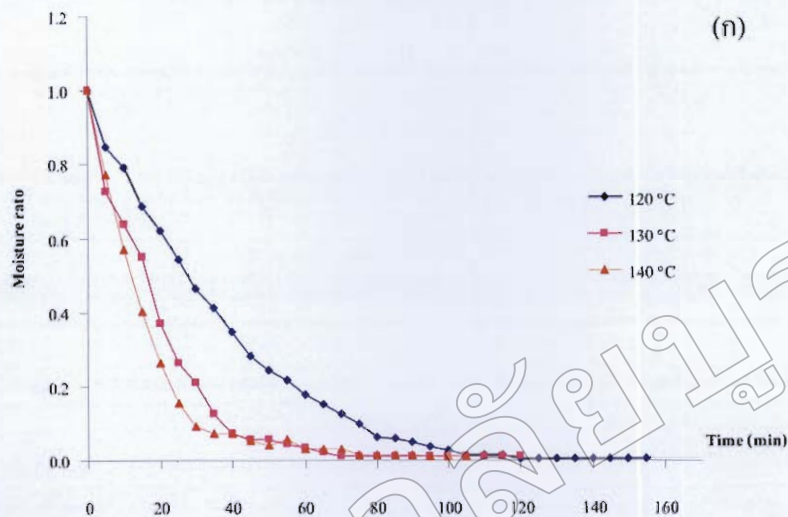
ภาพที่ 4-5 (ก) ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความชื้นกับเวลาของการอบแห้งปลากระดี่
ที่อุณหภูมิ 120, 130 และ 140 °C (ความชื้นเริ่มต้น 427 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานแห้ง)

(ข) ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความชื้นกับเวลาของการอบแห้งปลากระดี่
ที่อุณหภูมิ 120, 130 และ 140 °C ในช่วง 1 นาทีแรกของการอบแห้ง



ภาพที่ 4-6 (ก) ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความชื้นกับเวลาของการอบแห้งปลากะดักแช่ในน้ำเกลือ 3 เปอร์เซ็นต์ ที่อุณหภูมิ 120, 130 และ 140 °C (ความชื้นเริ่มต้น 380 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานแห้ง)

(ข) ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความชื้นกับเวลาของการอบแห้งปลากะดักแช่ในน้ำเกลือ 3 เปอร์เซ็นต์ ที่อุณหภูมิ 120, 130 และ 140 °C ในช่วง 1 นาทีแรกของการอบแห้ง



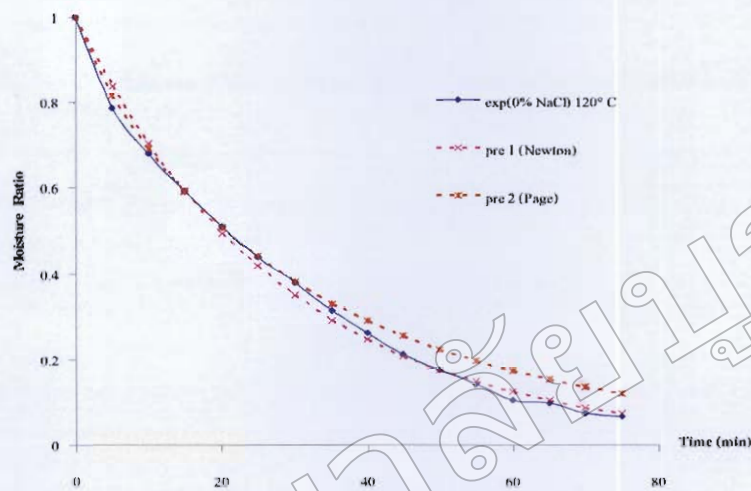
ภาพที่ 4-7 (ก) ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความชื้นกับเวลาของการอบแห้งปลากะตักต้มใน
น้ำเกลือ 3 เปอร์เซ็นต์ ที่อุณหภูมิ 120, 130 และ 140 °C (ความชื้นเริ่มต้น
323 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานแห้ง)

(ข) ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความชื้นกับเวลาของการอบแห้งปลากะตักต้มใน
น้ำเกลือ 3 เปอร์เซ็นต์ ที่อุณหภูมิ 120, 130 และ 140 °C ในช่วง 1 นาทีแรก
ของการอบแห้ง

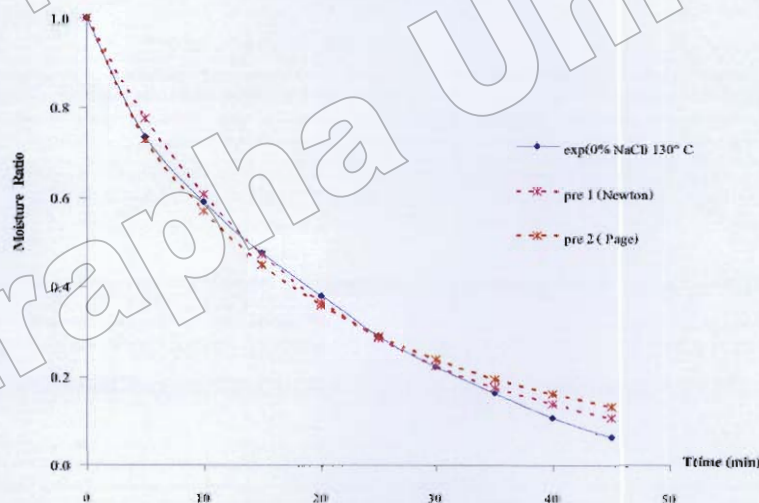
ตารางที่ 4-3 สมการความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความชื้นและเวลาของการอบแห้งปลากะตัก ในช่วง 1 นาทีแรก

วิธีการเตรียม	อุณหภูมิ (°C)	สมการความสัมพันธ์	R ²
ปลากะตักสด	120	$-0.4683x^2 + 0.2699x + 1.045$	0.900
	130	$-0.3418x^2 + 0.1301x + 1.0441$	0.861
	140	$-0.4751x^2 + 0.0834x + 1.0693$	0.877
ปลากะตักแช่น้ำเกลือ	120	$-0.6584x^2 + 0.3475x + 1.0582$	0.867
	130	$-0.5562x^2 + 0.2473x + 1.0326$	0.940
	140	$-0.4416x^2 + 0.1473x + 1.0131$	0.955
ปลากะตักต้มในน้ำเกลือ	120	$-0.1911x^2 - 0.0382x + 1.0561$	0.854
	130	$-0.315x^2 + 0.0503x + 1.0536$	0.816
	140	$-0.5566x^2 + 0.1926x + 1.0551$	0.872

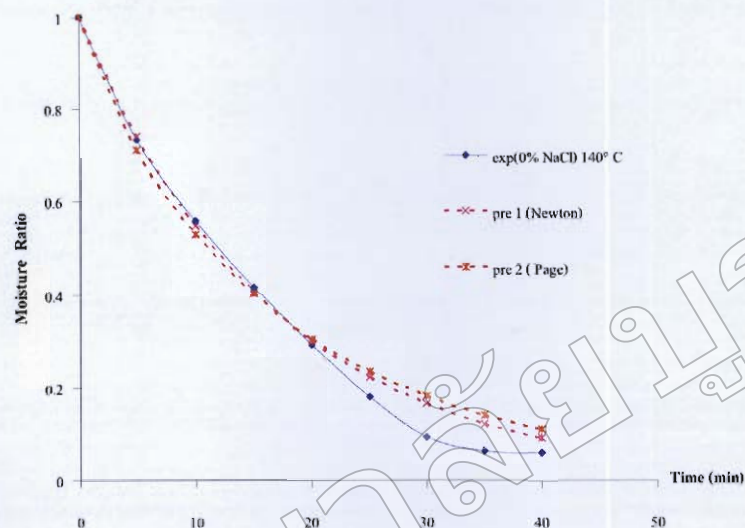
จากภาพที่ 4 – 5 (ข) ถึงภาพที่ 4 – 7 (ข) แสดงให้เห็นว่า ในช่วงแรกของการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนขดยิ่งจะเกิดการควบแน่นของไอน้ำที่ผิวของปลากะตัก ทำให้เกิดช่วงอัตราส่วนความชื้นเพิ่มขึ้นมากกว่า 1.0 ในการอบแห้งปลากะตัก แต่อย่างไรก็ตาม การเปลี่ยนแปลงนี้จะเกิดขึ้นในช่วงระยะเวลาสั้นมาก คือเกิดขึ้นภายใน 30 วินาทีแรกของการอบแห้ง แล้วจึงตามมาด้วยการลดลงของความชื้นอย่างต่อเนื่อง (ภาพที่ 4 – 5 (ก) ถึง 4 – 7 (ก)) แสดงให้เห็นว่าการเปลี่ยนแปลงหลักที่เกิดขึ้นในระหว่างการอบแห้ง คือช่วงของอัตราส่วนความชื้นที่ลดลง ดังนั้นในการทำนายการเปลี่ยนแปลงของอัตราส่วนความชื้นในระหว่างการอบแห้งด้วยแบบจำลองของ Newton และ Page จึงเริ่มต้นการทำนายจากจุดที่มีอัตราส่วนความชื้นลดลงก็คือ จุดที่เวลาเท่ากับ 30 วินาที ในปลากะตักสด ปลากะตักแช่น้ำเกลือ 3 เปอร์เซ็นต์ และปลากะตักต้มในน้ำเกลือ 3 เปอร์เซ็นต์ แสดงดังภาพที่ 4 – 8 ถึง ภาพที่ 4 – 16



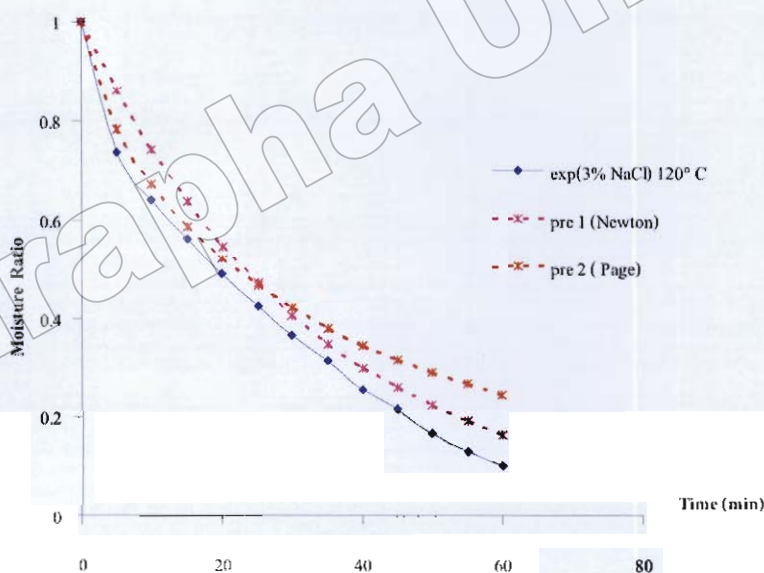
ภาพที่ 4-8 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความชื้นกับเวลาของการอบแห้งของปลากระตัก ระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 120 °C ที่ได้จากการทดลองและจากการทำนาย



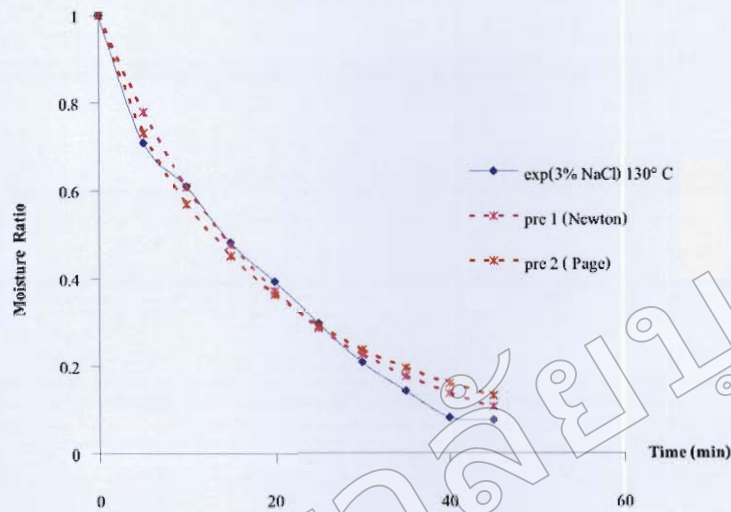
ภาพที่ 4-9 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความชื้นกับเวลาของการอบแห้งของปลากระตัก ระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 130 °C ที่ได้จากการทดลองและจากการทำนาย



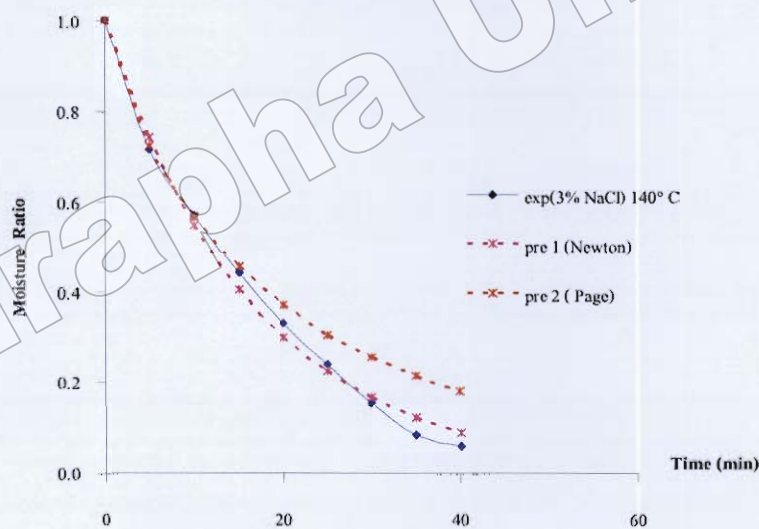
ภาพที่ 4-10 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความชื้นกับเวลาของการอบแห้งของปลากระดัก
ระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 140 °C ที่ได้จากการทดลองและจากการทำนาย



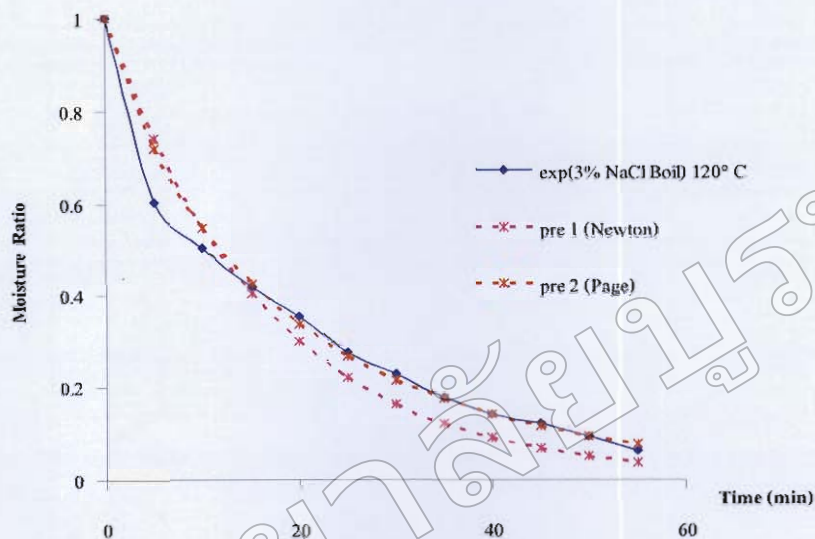
ภาพที่ 4-11 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความชื้นกับเวลาของการอบแห้งของปลากระดัก
แช่ในน้ำเกลือ 3 เปอร์เซ็นต์ ระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 120 °C
ที่ได้จากการทดลองและจากการทำนาย



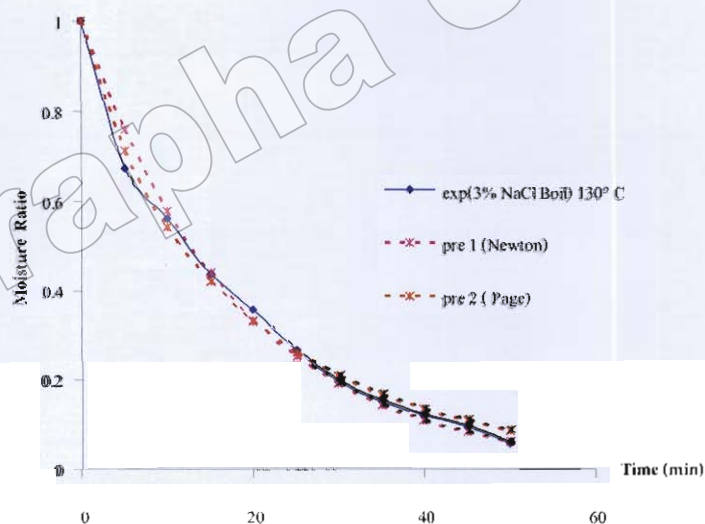
ภาพที่ 4 – 12 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความชื้นกับเวลาของการอบแห้งของปลากระดัก
แช่ในน้ำเกลือ 3 เปอร์เซ็นต์ ระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 130 °C
ที่ได้จากการทดลองและจากการทำนาย



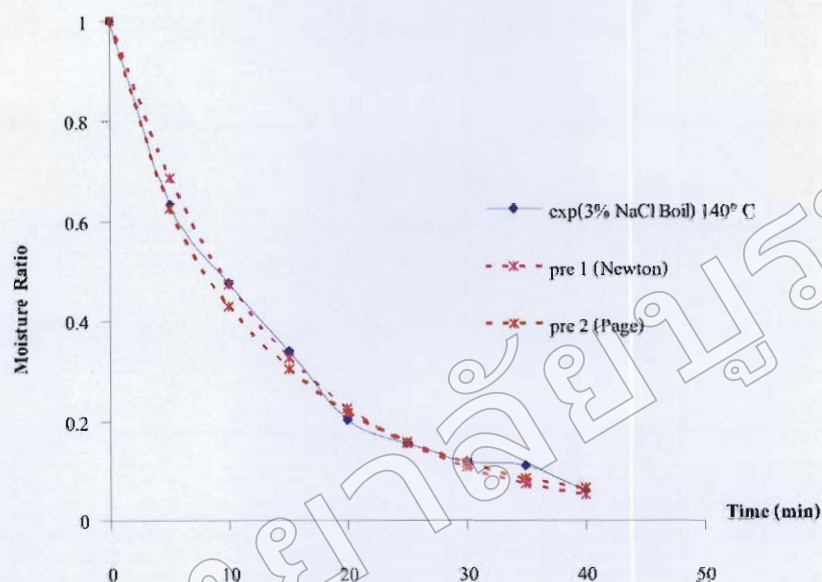
ภาพที่ 4 – 13 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความชื้นกับเวลาของการอบแห้งของปลากระดัก
แช่ในน้ำเกลือ 3 เปอร์เซ็นต์ ระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 140 °C
ที่ได้จากการทดลองและจากการทำนาย



ภาพที่ 4-14 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความชื้นกับเวลาของการอบแห้งของปลากระดัก
คัมในน้ำเกลือ 3 เปอร์เซ็นต์ ระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 120 °C
ที่ได้จากการทดลองและจากการทำนาย



ภาพที่ 4-15 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความชื้นกับเวลาของการอบแห้งของปลากระดัก
คัมในน้ำเกลือ 3 เปอร์เซ็นต์ ระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 130 °C
ที่ได้จากการทดลองและจากการทำนาย



ภาพที่ 4-16 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความชื้นกับเวลาของการอบแห้งของปลากระดัก
ต้มในน้ำเกลือ 3 เปอร์เซ็นต์ ระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 140 °C
ที่ได้จากการทดลองและจากการทำนาย

จากภาพที่ 4-8 ถึงภาพที่ 4-16 พบว่าผลจากการเปรียบเทียบค่าที่ได้จากการทดลอง
อบแห้งปลากระดักด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่ง กับแบบจำลองของ Newton และ Page มีค่าใกล้เคียงกันมาก
โดยมีค่า SEE ต่ำกว่า 1.0 และค่า R^2 สูงกว่า 0.90 ในทุกการทดลอง (ตารางที่ 4-4) แสดงว่า
แบบจำลองของ Newton และ Page สามารถอธิบายพฤติกรรมของการอบแห้งปลากระดักด้วยไอน้ำร้อน
ยวดยิ่งได้เป็นอย่างดี และจากการแทนค่าอัตราส่วนความชื้นกับเวลาลงในแบบจำลองของ Newton
และ Page สามารถหาค่าคงที่ ค่า SEE และค่า R^2 ในแบบจำลองทั้งสองสำหรับปลากระดักสด ปลา
กระดักแช่ในน้ำเกลือ 3 เปอร์เซ็นต์ และปลากระดักต้มในน้ำเกลือ 3 เปอร์เซ็นต์ แสดงดังตารางที่ 4-4

ตารางที่ 4 – 4 ค่าคงที่ ค่า SEE และค่า R^2 ของแบบจำลอง Newton และ Page

วิธีการเตรียม	อุณหภูมิ (°C)	ค่าคงที่			SEE		R^2	
		Newton	Page		Newton	Page	Newton	Page
		K	K	n				
ปลากระดักสด	120	0.035	0.05	0.87	0.02	0.038	0.995	0.996
	130	0.050	0.08	0.85	0.02	0.032	0.996	0.992
	140	0.060	0.08	0.90	0.04	0.048	0.995	0.990
ปลากระดักแช่ในน้ำเกลือ	120	0.030	0.08	0.70	0.06	0.08	0.986	0.991
	130	0.050	0.085	0.85	0.04	0.04	0.989	0.986
	140	0.060	0.09	0.80	0.03	0.06	0.992	0.990
ปลากระดักต้มในน้ำเกลือ	120	0.050	0.085	0.85	0.061	0.036	0.970	0.986
	130	0.055	0.087	0.85	0.029	0.020	0.992	0.995
	140	0.075	0.120	0.85	0.024	0.023	0.994	0.995

การตรวจสอบคุณภาพทางกายภาพของผลิตภัณฑ์

ในการตรวจสอบคุณภาพทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ปลากะตักหลังการอบแห้ง โดยทำการอบแห้งปลากะตักด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่ง จนกระทั่งปลากะตักมีค่าความชื้นสุดท้ายประมาณ 27 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานแห้ง มีคุณภาพด้านต่าง ๆ ดังนี้

1. คุณภาพทางกายภาพของปลากะตักหลังอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่ง

1.1 ค่าสี

ค่าสีของปลากะตักจะวัดด้วยเครื่องวัดสี (Miniscan) ใช้ระบบสี CIE LAB โดยวัดค่าสีของปลากะตักในเทอมของตัวแปร L^* , a^* และ b^* โดยที่ L^* หมายถึงค่าความสว่าง (Lightness) มีค่าตั้งแต่ 0 (ดำ) จนถึง 100 (ขาว) a^* หมายถึงค่าความเป็นสีแดงและสีเขียว และ b^* หมายถึงค่าความเป็นสีเหลืองและสีน้ำเงิน ค่าสีของปลากะตักสด แสดงดังตารางที่ 4 – 5

อุณหภูมิในการอบแห้งที่ 120, 130 และ 140 °C มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าสีของปลากะตักสด ปลากะตักอบแห้งมีค่าความสว่างและค่าความเป็นสีเหลืองแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ที่อุณหภูมิ 120 °C ใช้ระยะเวลาในการอบแห้งนาน ทำให้ปลากะตักมีค่าความสว่างและค่าความเป็นสีเหลืองต่ำสุด ที่อุณหภูมิ 130 °C ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีค่าความสว่างและค่าความเป็นสีเหลืองสูงสุด ส่วนค่าความเป็นสีแดงไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) การเปลี่ยนแปลงค่าสีของปลากะตักภายหลังการอบแห้ง เนื่องจากความร้อนที่ใช้ในการอบแห้งทำให้น้ำระเหยออกจากตัวปลาและโปรตีนในปลาแข็งตัว รวมทั้งเซลล์กล้ามเนื้อของปลามีขนาดสั้นกว่าเนื้อสัตว์ชนิดอื่น รอบ ๆ มัดกล้ามเนื้อมีเนื้อเยื่อเกี่ยวพันหุ้มอยู่ ดังนั้นเมื่อมีการใช้ความร้อนสูงเกินไปหรือการใช้ระยะเวลาในการอบแห้งนานเกินไป ทำให้ปลาหดตัวมากจึงส่งผลกระทบต่อสีของปลากะตักด้วย

ตารางที่ 4 – 5 ผลของอุณหภูมิการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนวยคึ่งต่อคุณภาพทางกายภาพของปลากระตัก

อุณหภูมิ (°C)	ความชื้น (เปอร์เซ็นต์) มาตรฐานแห้ง	คุณภาพทางกายภาพ					ค่าความแข็ง¹ (นิวตัน) ^{ns}	
		ค่าเฉลี่ย แอมพลิจูด	ค่าเฉลี่ย L*	ค่าเฉลี่ย a* ^{ns}	ค่าเฉลี่ย b*	การหดตัว¹ (เปอร์เซ็นต์)		สีตัว¹ (เปอร์เซ็นต์)
120	27 ±2.0	0.67	47.76±0.59 ^c	1.81±0.10	13.12±0.91 ^b	71.59±0.77 ^b	76.48±1.05 ^b	34.58±1.23
130	27 ±2.0	0.65	51.10±0.17 ^a	1.81±0.36	14.63±0.29 ^a	73.73±1.00 ^{ab}	82.38±2.32 ^a	36.57±1.28
140	27 ±2.0	0.65	50.35±0.93 ^b	1.78±0.31	14.16±0.02 ^{ab}	76.10±2.27 ^a	76.22±0.67 ^b	36.67±1.34

^{a,b,c}... หมายถึง ตัวอักษรต่างกันในแต่ละแถวแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

^{ns}... หมายถึง ค่าในคอลัมน์เดียวกันในแต่ละแถวไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p>0.05)

¹ หมายถึง ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (ทำการทดลอง 3 ครั้ง)

1.2 การหดตัว

การทดสอบคุณภาพด้านการหดตัวของปลากะตัก ใช้วิธีการแทนที่ปริมาตรในของเหลว โดยของเหลวที่ใช้ทดสอบคือ เอ็น เฮปเทน (n-heptane) ความเข้มข้น 99 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 4 – 5) ซึ่งการหดตัวของปลากะตักหลังการอบแห้งนั้นเนื่องมาจากความร้อนจากไอน้ำร้อนยวดยิ่ง โดยที่ความร้อนส่งผลให้เส้นใยกลั่นเนื้อหดสั้นลงและเกิดการจับตัวกันแน่น คุณภาพด้านการหดตัวของปลากะตักหลังการอบแห้ง พบว่า ค่าการหดตัวที่อุณหภูมิ 120 °C มีค่าการหดตัวน้อยที่สุดและค่าการหดตัวจะเพิ่มมากขึ้นเมื่ออุณหภูมิในการอบแห้งสูงขึ้น และเมื่อทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบค่าทางสถิติพบว่าค่าการหดตัวของปลากะตักอบแห้งที่อุณหภูมิ 120, 130 และ 140 °C มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

1.3 การคืนตัว

การทดสอบคุณภาพด้านการคืนตัวของปลากะตัก ทำการทดสอบโดยการนำปลากะตักหลังจากการอบแห้ง ต้ม ในน้ำร้อนที่อุณหภูมิประมาณ 90 °C เป็นเวลา 15 นาที โดยทำการบันทึกน้ำหนักของปลากะตักทุก ๆ 1 นาที จากผลการทดลอง พบว่า ค่าการคืนตัวของปลากะตักสดที่ผ่านการอบแห้ง ที่อุณหภูมิ 120, 130 และ 140 °C จะเริ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงแรก ที่เวลาประมาณ 8 นาที และเพิ่มขึ้นอย่างช้า ๆ เป็นระยะเวลา 14 นาที จากนั้นจะเริ่มคงที่ (ภาพที่ 4 – 17) ค่าการคืนตัวของปลากะตักสดหลังการอบแห้งที่อุณหภูมิ 120, 130 และ 140 °C เมื่อผ่านการทดสอบการคืนตัวเป็นระยะเวลา 15 นาที คือ 76.48, 82.38 และ 76.22 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งอุณหภูมิ 130 °C จะให้ค่าการคืนตัวสูงที่สุด ($p \leq 0.05$)

2. คุณภาพทางกายภาพของปลากะตักปลากะตักแช่น้ำเกลือ 3 เปอร์เซ็นต์ หลังอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่ง

2.1 ค่าสี

ค่าสีของปลากะตักแช่น้ำเกลือ 3 เปอร์เซ็นต์ ที่ผ่านการอบแห้ง ด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่ง ที่อุณหภูมิ 120, 130 และ 140 °C (ตารางที่ 4 – 6) จากการทดลองพบว่า สำหรับปลากะตักแช่น้ำเกลือ 3 เปอร์เซ็นต์ มีค่าความสว่างอยู่ระหว่าง 48.55 – 50.18 ค่าความเป็นสีแดง 1.07 – 1.18 และค่าความเป็นสีเหลือง 11.59 – 12.98 ตามลำดับ โดยค่าความเป็นสีเหลือง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ที่อุณหภูมิ 130 °C ผลลัพธ์ที่ได้มีค่าความเป็นสีเหลืองต่ำสุด

2.2 การหดตัว

จากการทดสอบคุณภาพด้านการหดตัวของปลากะตักหลังการอบแห้ง พบว่า ค่าการหดตัวของปลากะตักแช่น้ำเกลือ 3 เปอร์เซ็นต์ หลังการอบแห้ง (ตารางที่ 4 – 6) ที่อุณหภูมิ 120, 130 และ 140 °C คือ 71.41, 74.76 และ 76.09 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ค่าการหดตัวที่อุณหภูมิ 120 °C มีค่าการหดตัวน้อยที่สุดและค่าการหดตัวจะเพิ่มมากขึ้นเมื่ออุณหภูมิในการอบแห้งสูงขึ้นคล้ายกับในปลากะตักสดอบแห้ง และเมื่อทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบค่าทางสถิติพบว่าค่าการหดตัวของปลากะตักอบแห้งที่อุณหภูมิ 120, 130 และ 140 °C มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

2.3 การคิ่นตัว

จากผลการทดลอง พบว่า ค่าการคิ่นตัวปลากะตักแช่น้ำเกลือ 3 เปอร์เซ็นต์ ที่ผ่านการอบแห้ง ที่อุณหภูมิ 120, 130 และ 140 °C (ภาพที่ 4 – 19) มีแนวโน้มคล้ายกับในปลากะตักสดคือการคิ่นตัวได้ใกล้เคียงกันในทุกอุณหภูมิการอบแห้ง โดยจะเริ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงแรกที่เวลาประมาณ 8 นาที และเพิ่มขึ้นอย่างช้า ๆ เป็นระยะเวลา 14 นาที ค่าการคิ่นตัวของปลากะตักแช่น้ำเกลือ 3 เปอร์เซ็นต์ หลังการอบแห้งที่อุณหภูมิ 120, 130 และ 140 °C เมื่อผ่านการทดสอบการคิ่นตัวเป็นระยะเวลา 15 นาที คือ 60.43, 61.25 และ 59.55 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งทั้งอุณหภูมิ 120, 130 และ 140 °C ให้ค่าการคิ่นตัวใกล้เคียงกัน และเมื่อทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบค่าทางสถิติ พบว่า การคิ่นตัวไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

ตารางที่ 4-6 ผลของอุณหภูมิการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนชนิดยิ่งต่อคุณภาพทางกายภาพของปลากระตักแช่ในน้ำเกลือ 3 เปอร์เซ็นต์

อุณหภูมิ (°C)	ความชื้น (เปอร์เซ็นต์) มาตรฐานแห้ง)	คุณภาพทางกายภาพ					ค่าความแข็ง! (นิวตัน) ^{ns}	
		ค่าอัตรา แอคทีวิตี	ค่าสี! L* ^{ns}	b*	การหดตัว! (เปอร์เซ็นต์)	คืนตัว! (เปอร์เซ็นต์) ^{ns}		
120	27 ±2.0	0.67	48.55±0.93	1.07±0.08	12.43±0.02 ^{ab}	71.41±1.48 ^b	60.43±0.80	32.52±1.03
130	27 ±2.0	0.65	50.18 ±0.03	1.18±0.01	11.59±0.44 ^b	74.76±1.79 ^b	61.25±1.17	32.31±1.59
140	27 ±2.0	0.65	49.32±1.88	1.14±0.11	12.98±0.27 ^a	76.09±0.04 ^a	59.55±1.20	33.80±0.85

^{a,b,c...} หมายถึง ตัวอักษรต่างกันในแต่ละแถวแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

^{ns...} หมายถึง ค่าในคอลัมน์เดียวกันในแถวนี้ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

¹ หมายถึง ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (ทำการทดลอง 3 ครั้ง)

3. คุณภาพทางกายภาพของปลากะตักปลากะตักคัมในน้ำเกลือ 3 เปอร์เซนต์ หลังอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่ง

3.1 ค่าสี

ค่าสีของปลากะตักคัมในน้ำเกลือ 3 เปอร์เซนต์ ที่ผ่านการอบแห้ง ด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่อุณหภูมิ 120, 130 และ 140 °C (ตารางที่ 4 – 7) จากการทดลองพบว่า สำหรับปลากะตักคัมในน้ำเกลือ 3 เปอร์เซนต์ มีค่าความสว่างอยู่ระหว่าง 45.10 – 47.28 ค่าความเป็นสีแดง 0.75 – 1.13 และค่าความเป็นสีเหลือง 9.65 – 11.58 ตามลำดับ โดยค่าความเป็นสีเหลือง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ที่อุณหภูมิ 130 °C ผลลัพธ์ที่ได้มีค่าความเป็นสีเหลืองสูงสุด ความสว่างและค่าความเป็นสีแดง การอบแห้งที่อุณหภูมิแตกต่างกัน ค่าที่ได้ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

3.2 การหดตัว

คุณภาพด้านการหดตัวของปลากะตักหลังการอบแห้ง (ตารางที่ 4 – 7) พบว่า ค่าการหดตัวของปลากะตักคัมในน้ำเกลือ 3 เปอร์เซนต์ หลังการอบแห้งที่อุณหภูมิ 120, 130 และ 140 °C คือ 62.17, 66.90 และ 68.18 เปอร์เซนต์ ตามลำดับ ค่าการหดตัวที่อุณหภูมิ 120 °C มีค่าการหดตัวน้อยที่สุดและค่าการหดตัวจะเพิ่มมากขึ้นเมื่ออุณหภูมิในการอบแห้งสูงขึ้น ที่อุณหภูมิ 130 และ 140 °C ให้ค่าหดตัวใกล้เคียงกัน ซึ่งผลการทดสอบที่ได้จะมีแนวโน้มคล้ายกับในปลากะตักสดและปลากะตักแช่น้ำเกลือ 3 เปอร์เซนต์คอบแห้ง คือผลของอุณหภูมิในการอบแห้งที่อุณหภูมิสูงกว่าจะทำให้ปลากะตักหลังการอบแห้งจะเกิดการหดตัวมากกว่าปลากะตักหลังการอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำเล็กน้อย เนื่องจากการอบแห้งปลากะตักที่อุณหภูมิสูงจะทำให้โปรตีนเกิดการจับตัวกันแน่นกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำ

3.3 การคืนตัว

จากผลการทดลอง พบว่า ค่าการคืนตัวของปลากะตักคัมในน้ำเกลือ 3 เปอร์เซนต์ ที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 120, 130 และ 140 °C (ภาพที่ 4 – 20) มีแนวโน้มคล้ายกับในปลากะตักสดและปลากะตักแช่น้ำเกลือ 3 เปอร์เซนต์ คือการคืนตัวได้ใกล้เคียงกันในทุกอุณหภูมิการอบแห้ง โดยจะเริ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงแรก ที่เวลาประมาณ 8 นาที และเพิ่มขึ้นอย่างช้า ๆ เป็นระยะเวลา 14 นาที ค่าการคืนตัวของปลากะตักคัมในน้ำเกลือ 3 เปอร์เซนต์ หลังการอบแห้งที่อุณหภูมิ 120, 130 และ 140 °C เมื่อผ่านการทดสอบการคืนตัวเป็นระยะเวลา 15 นาที คือ 61.43, 60.25 และ 60.15 เปอร์เซนต์ ตามลำดับ ซึ่งอุณหภูมิ 130 และ 140 °C ให้ค่าการคืนตัวใกล้เคียงกัน แต่ที่อุณหภูมิ 120 °C จะให้ค่าการคืนตัวสูงที่สุด เมื่อทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบค่าทางสถิติ พบว่าการคืนตัวไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

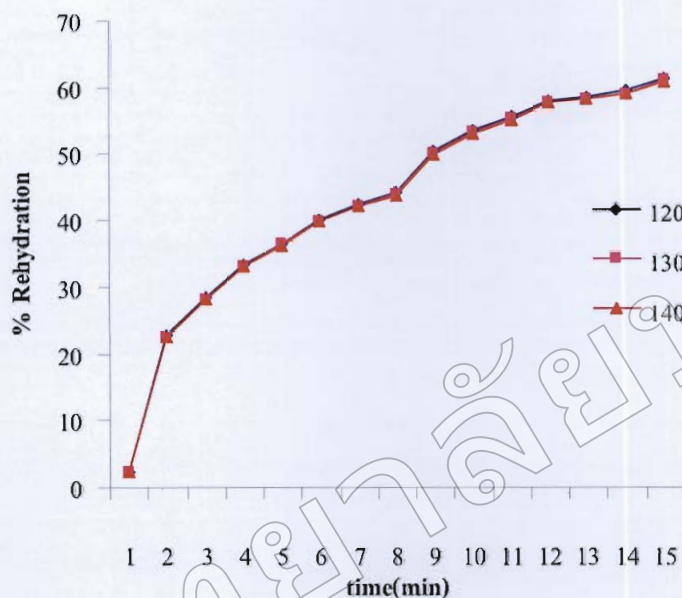
ตารางที่ 4 – 7 ผลของอุณหภูมิการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวติ่งต่อคุณภาพทางกายภาพของปลากระตักต้มในน้ำเกลือ 3 เปอร์เซ็นต์

อุณหภูมิ (°C)	คุณภาพทางกายภาพ							
	ความชื้น (เปอร์เซ็นต์) มาตรฐานแห้ง)	ค่าอัตรา แอคทีวิตี	ค่าสี ¹		การหดตัว ¹ (เปอร์เซ็นต์) (เปอร์เซ็นต์) ^{ns}	คืนตัว ¹ (เปอร์เซ็นต์) ^{ns}	ค่าความแข็ง ¹ (N) ^{ns}	
			L* ^{ns}	a* ^{ns}				
								b*
120	26 ±2.0	0.56	47.28 ±1.05	0.75 ±0.16	9.65±0.30 ^b	62.17±0.08 ^b	61.43±0.80	31.94±0.24
130	25 ±2.0	0.52	45.96 ±0.30	1.13±0.05	11.58±0.25 ^a	66.90±2.44 ^{ab}	60.25±0.18	30.20±0.17
140	25 ±2.0	0.51	45.10±0.36	1.07±0.09	10.61±0.44 ^{ab}	68.18±2.65 ^a	60.15±1.14	28.99±1.00

^{a,b,c,...} หมายถึง ตัวอักษรต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

^{ns} หมายถึง ค่าในคอลัมน์เดียวกันในแนวตั้งไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

¹ หมายถึง ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (ทำการทดลอง 3 จั)



ภาพที่ 4-19 การคืนตัวของปลากะตักต้มในน้ำเกลือ 3 เปอร์เซ็นต์ ที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 120, 130 และ 140 °C

3.4 ค่าความแข็ง

การทดสอบคุณภาพด้านลักษณะเนื้อสัมผัสของปลากะตักด้านความแข็ง โดยสุ่มตัวอย่างปลากะตักต้มในน้ำเกลือ 3 เปอร์เซ็นต์ อบแห้งที่อุณหภูมิต่าง ๆ มาวัดค่าความแข็ง ด้วย **เครื่องวัดลักษณะเนื้อสัมผัส (Texture Analyser)** ค่าความแข็งของปลากะตักต้มในน้ำเกลือ 3 เปอร์เซ็นต์ หลังการอบแห้ง แสดงดังตารางที่ 4-7 จากผลการทดลอง พบว่า ค่าความแข็งของปลากะตักต้มในน้ำเกลือ 3 เปอร์เซ็นต์ ที่ผ่านการอบแห้ง ที่อุณหภูมิ 120, 130 และ 140 °C คือ 31.94, 30.20 และ 28.99 นิวตัน ตามลำดับ ผลของการต้มและอุณหภูมิในการอบแห้งทำให้ปลากะตักหลังการอบแห้งที่อุณหภูมิสูง (140 °C) จะมีความแข็งมากกว่าปลากะตักหลังการอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำ (120 °C) เนื่องจากการอบแห้งปลากะตักที่อุณหภูมิสูงจะทำให้โปรตีนเกิดการจับตัวกันแน่นกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำเล็กน้อย แต่อย่างไรก็ตาม เมื่อทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบค่าทางสถิติของการอบแห้งปลากะตักต้มในน้ำเกลือ 3 เปอร์เซ็นต์ ปรากฏว่าค่าความแข็งของปลากะตักต้มในน้ำเกลือ 3 เปอร์เซ็นต์หลังการอบแห้งไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) ผลการทดลองที่ได้มีแนวโน้มเช่นเดียวกับผลของปลากะตักสดและปลากะตักแช่ในน้ำเกลือ 3 เปอร์เซ็นต์

การตรวจสอบคุณภาพทางเคมีและจุลินทรีย์ของผลิตภัณฑ์

1. คุณภาพทางเคมีและจุลินทรีย์ของปลากะตักหลังอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่ง

1.1 คุณภาพทางเคมี

คุณภาพทางเคมีของผลิตภัณฑ์ปลากะตักอบแห้งคือ ปริมาณเกลือและปริมาณเถ้าที่ไม่ละลายในกรด ผลการทดลอง (ตารางที่ 4-8) พบว่า ปลากะตักหลังอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่อุณหภูมิ 120, 130 และ 140 °C มีปริมาณเกลือเท่ากับ 0.79, 0.80 และ 0.80 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เมื่อทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบค่าทางสถิติ พบว่าปริมาณเกลือไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) และปริมาณเถ้าที่ละลายในกรดเท่ากับ 0.91, 1.03 และ 1.03 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เมื่อทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบค่าทางสถิติ พบว่าปริมาณเถ้าที่ไม่ละลายในกรดไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ตามร่างมาตรฐานปลากะตักต้มตากแห้งของ Codex (วรรณวิภา สุวรรณรักษ์, 2546) กำหนดปริมาณเกลือไม่เกิน 15 เปอร์เซ็นต์ และกำหนดปริมาณเถ้าที่ละลายในกรดไม่เกิน 1.5 เปอร์เซ็นต์ จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าปลากะตักหลังอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดของการส่งออกปลากะตักต้มตากแห้ง

ตารางที่ 4 – 8 ผลของอุณหภูมิการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งต่อคุณภาพทางเคมีและจุลินทรีย์ของปลากะตัก

อุณหภูมิ (°C)	คุณภาพทางเคมี		คุณภาพทางจุลินทรีย์		
	ปริมาณเกลือ ¹ (เปอร์เซ็นต์) ^{ns}	ปริมาณเถ้าที่ไม่ละลายในกรด ¹ (เปอร์เซ็นต์) ^{ns}	ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (โคโลนีต่อกรัม)	ราและยีสต์ (โคโลนีต่อกรัม)	<i>S. aureus</i> (โคโลนีต่อกรัม)
120	1.79±0.26	0.91±0.13	6.3×10 ²	<10	<10
130	1.80±0.25	1.03±1.22	5.2×10 ²	<10	<10
140	1.80±0.26	1.03±1.83	5.0×10 ²	<10	<10

^{a,b,c,...} หมายถึง ตัวอักษรต่างกันในแนวดิ่งแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

^{ns}... หมายถึง ค่าในคอลัมน์เดียวกันในแนวดิ่งไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

¹ หมายถึง ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (ทำการทดลอง 3 ซ้ำ)

1.2 คุณภาพทางจุลินทรีย์

คุณภาพทางจุลินทรีย์ของผลิตภัณฑ์ปลากะตักอบแห้งคือ ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด เชื้อราและยีสต์ และเชื้อ *Staphylococcus aureus* จากผลการทดลอง (ตารางที่ 4 – 8) พบว่าปลากะตักหลังอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่อุณหภูมิ 120, 130 และ 140 °C มีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดเท่ากับ 6.30×10^2 , 5.20×10^2 และ 5.0×10^2 โคโลนีต่อกรัม ตามลำดับ เชื้อราและยีสต์และเชื้อ *Staphylococcus aureus* น้อยกว่า 10 โคโลนีต่อกรัม ซึ่งผลิตภัณฑ์ปลากะตักอบแห้งมีคุณภาพตามเกณฑ์มาตรฐานของการส่งออกปลากะตักต้มตากแห้ง (บริษัท ทีทีไอเอส จำกัด, 2540) ที่กำหนดปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดไม่เกิน 1×10^5 โคโลนีต่อกรัม เชื้อราและยีสต์ไม่เกิน 100 โคโลนีต่อกรัม และเชื้อ *Staphylococcus aureus* ไม่เกิน 100 โคโลนีต่อกรัม

2. คุณภาพทางเคมีและจุลินทรีย์ของปลากะตักแช่น้ำเกลือ 3 เปอร์เซ็นต์ หลังอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่ง

2.1 คุณภาพทางเคมี

คุณภาพทางเคมีของผลิตภัณฑ์ปลากะตักแช่น้ำเกลือ 3 เปอร์เซ็นต์ หลังอบแห้งคือ ปริมาณเกลือและปริมาณเถ้าที่ไม่ละลายในกรด ผลการทดลอง (ตารางที่ 4 – 9) พบว่า ปลากะตักแช่น้ำเกลือ 3 เปอร์เซ็นต์ หลังอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่อุณหภูมิ 120, 130 และ 140 °C มีปริมาณเกลือเท่ากับ 3.48, 3.49 และ 3.51 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เมื่อทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบค่าทางสถิติ พบว่าปริมาณเกลือไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) และปริมาณเถ้าที่ละลายในกรดเท่ากับ 1.05, 1.01 และ 1.05 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เมื่อทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบค่าทางสถิติ พบว่าปริมาณเถ้าที่ไม่ละลายในกรดไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) คุณภาพทางเคมีของผลิตภัณฑ์ปลากะตักแช่น้ำเกลือ 3 เปอร์เซ็นต์ อบแห้งยังอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของการส่งออกปลากะตักต้มตากแห้ง

ตารางที่ 4 – 9 ผลของอุณหภูมิการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนขดย้งต่อคุณภาพทางเคมีและจุลินทรีย์ของปลากระดักแช่น้ำเกลือ 3 เปอร์เซ็นต์

อุณหภูมิ (°C)	คุณภาพทางเคมี		คุณภาพทางจุลินทรีย์		
	ปริมาณเกลือ ¹ (เปอร์เซ็นต์) ^{ns}	ปริมาณเถ้าที่ไม่ละลายในกรด ¹ (เปอร์เซ็นต์) ^{ns}	ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (โคโลนีต่อกรัม)	ราและยีสต์ (โคโลนีต่อกรัม)	<i>S. aureus</i> (โคโลนีต่อกรัม)
120	3.48±0.34	1.05±2.46	2.8x10 ²	<10	<10
130	3.49±0.66	1.01±0.31	2.3x10 ²	<10	<10
140	3.51±0.72	1.05±0.17	2.3x10 ²	<10	<10

^{a,b,c...} หมายถึง ตัวอักษรต่างกันในแนวดิ่งแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

^{ns}... หมายถึง ค่าในคอลัมน์เดียวกันในแนวดิ่งไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

¹ หมายถึง ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (ทำการทดลอง 3 ซ้ำ)

2.2 คุณภาพทางจุลินทรีย์

คุณภาพทางจุลินทรีย์ของผลิตภัณฑ์ปลากระดักแช่น้ำเกลือ 3 เปอร์เซ็นต์ อบแห้งคือปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด เชื้อราและยีสต์ และเชื้อ *Staphylococcus aureus* จากผลการทดลอง (ตารางที่ 4 – 9) พบว่า ปลากระดักแช่น้ำเกลือ 3 เปอร์เซ็นต์ หลังอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนขดย้งที่อุณหภูมิ 120, 130 และ 140 °C มีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด เท่ากับ 2.8x10², 2.3x10² และ 2.3x10² โคโลนีต่อกรัม ตามลำดับ เชื้อราและยีสต์และเชื้อ *Staphylococcus aureus* น้อยกว่า 10 โคโลนีต่อกรัม ผลิตภัณฑ์ปลากระดักแช่น้ำเกลือ 3 เปอร์เซ็นต์ อบแห้งยังอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของการส่งออกปลากระดักคัมดากแห้ง

3. คุณภาพทางเคมีและจุลินทรีย์ของปลากระดักคัมดากแช่น้ำเกลือ 3 เปอร์เซ็นต์ หลังอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนขดย้ง

3.1 คุณภาพทางเคมี

คุณภาพทางเคมีของผลิตภัณฑ์ปลากระดักคัมดากแช่น้ำเกลือ 3 เปอร์เซ็นต์ หลังอบแห้งคือปริมาณเกลือและปริมาณเถ้าที่ไม่ละลายในกรด ผลการทดลอง (ตารางที่ 4-10) พบว่า ปลากระดักคัมดากแช่น้ำเกลือ 3 เปอร์เซ็นต์ หลังอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนขดย้งที่อุณหภูมิ 120, 130 และ 140 °C มีปริมาณเกลือเท่ากับ 5.76, 5.77 และ 6.02 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เมื่อทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบค่า

ทางสถิติ พบว่าปริมาณเกลือไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) และปริมาณ
 เกลือที่ละลายในกรดเท่ากับ 1.03, 1.07 และ 1.05 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เมื่อทำการวิเคราะห์
 เปรียบเทียบค่าทางสถิติ พบว่าปริมาณเกลือที่ไม่ละลายในกรดไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ
 ทางสถิติ ($p > 0.05$) คุณภาพทางเคมีของผลิตภัณฑ์ปลากระดักต้มในน้ำเกลือ 3 เปอร์เซ็นต์ อบแห้งยัง
 อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของการส่งออกปลากระดักต้มตากแห้ง

ตารางที่ 4 – 10 ผลของอุณหภูมิการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งต่อคุณภาพทางเคมีและจุลินทรีย์
 ของปลากระดักต้มในน้ำเกลือ 3 เปอร์เซ็นต์

อุณหภูมิ (°C)	คุณภาพทางเคมี		คุณภาพทางจุลินทรีย์		
	ปริมาณเกลือ ¹ (เปอร์เซ็นต์) ^{ns}	ปริมาณเกลือที่ไม่ ละลายในกรด ¹ (เปอร์เซ็นต์) ^{ns}	ปริมาณจุลินทรีย์ ทั้งหมด (โคโลนีต่อกรัม)	ราและยีสต์ (โคโลนีต่อกรัม)	<i>S. aureus</i> (โคโลนีต่อกรัม)
120	5.76±0.62	1.03±1.83	2.22×10 ²	<10	<10
130	5.77±0.61	1.07±0.78	2.10×10 ²	<10	<10
140	6.02±0.41	1.05±2.14	2.06×10 ²	<10	<10

^{a,b,c,...} หมายถึง ตัวอักษรต่างกันในแต่ละแถวแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

^{ns...} หมายถึง ค่าในคอลัมน์เดียวกันในแต่ละแถวไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

¹ หมายถึง ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (ทำการทดลอง 3 ซ้ำ)

3.2 คุณภาพทางจุลินทรีย์

คุณภาพทางจุลินทรีย์ของผลิตภัณฑ์ปลากระดักปลากระดักต้มในน้ำเกลือ 3 เปอร์เซ็นต์
 อบแห้งคือ ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด เชื้อราและยีสต์ และเชื้อ *Staphylococcus aureus* ผลการทดลอง
 (ตารางที่ 4 – 10) พบว่าปลากระดักต้มในน้ำเกลือ 3 เปอร์เซ็นต์ หลังอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่
 อุณหภูมิ 120, 130 และ 140 °C มีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด เท่ากับ 2.22×10², 2.10×10² และ 2.06×10²
 โคโลนีต่อกรัม ตามลำดับ เชื้อราและยีสต์และเชื้อ *Staphylococcus aureus* น้อยกว่า 10 โคโลนีต่อ
 กรัม ผลิตภัณฑ์ปลากระดักต้มในน้ำเกลือ 3 เปอร์เซ็นต์ อบแห้งยังอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของการ
 ส่งออกปลากระดักต้มตากแห้ง

5. การศึกษาโครงสร้างเนื้อปลากะตักด้วยกล้องจุลทรรศน์

การศึกษาโครงสร้างเนื้อปลากะตักด้วยกล้องจุลทรรศน์ โดยนำตัวอย่างปลากะตักที่ผ่านการเตรียมและอบแห้งในสภาวะต่าง ๆ มาคั้นตัวในน้ำร้อนที่อุณหภูมิประมาณ 100°C นาน 15 นาที นำตัวอย่างเนื้อปลากะตักส่องดูภาพตัดขวาง (Cross section) ด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงที่กำลังขยาย 100 เท่าและ 200 เท่า แสดงดังตารางที่ 4 – 11, 4-12 และ 4-13

ตารางที่ 4 – 11 ภาพตัดขวางจากกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง ของกล้ามเนื้อปลากะตักอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่อุณหภูมิ 120 130 และ 140°C หลังคั้นตัว

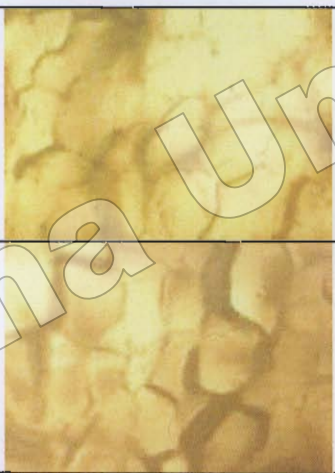
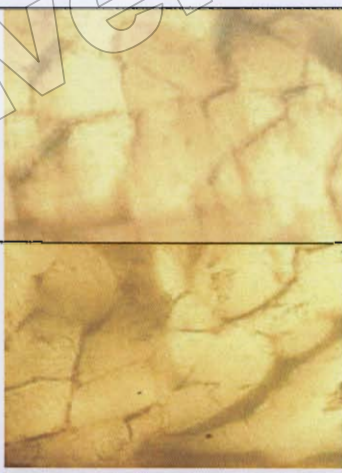
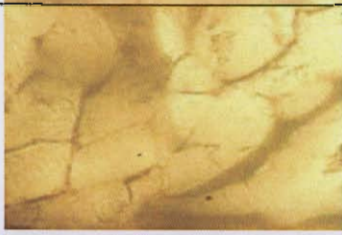
อุณหภูมิในการอบแห้ง ($^{\circ}\text{C}$)	ภาพตัดขวางกล้ามเนื้อปลา	
	ก*	ข*
120		
130		
140		

* หมายเหตุ ก* ภาพตัดขวางกำลังขยาย 100 เท่า และ ข* ภาพตัดขวางกำลังขยาย 200 เท่า

ผลการตรวจวิเคราะห์โครงสร้างของชิ้นตัวอย่างปลากะตักที่ผ่านการอบแห้ง เมื่อนำมาคั้นตัวในน้ำร้อน โดยแสดงภาพภาคตัดขวางของชิ้นตัวอย่าง จากตารางที่ 4 – 11 พบว่าโครงสร้างของเส้นใยกล้ามเนื้อปลากะตัก ที่ถูกปกคลุมไปด้วยเนื้อเยื่อเกี่ยวพันจำนวนมากคล้ายกันกับโครงสร้างของเส้นใยกล้ามเนื้อของสัตว์อื่น ๆ เช่น เนื้อไก่ เนื้อหมู เนื้อวัวและเนื้อปลา แต่ของปลา

กะตักจะมีขนาดเล็กกว่า (George & Barbee, 1990) จากตารางที่ 4 – 11 ภาพตัดขวางของกล้ามเนื้อปลา จะเห็นลักษณะของเซลล์มีรูปร่างกลม ๆ ติดกัน โดยปลากะตักอบแห้งที่อุณหภูมิ 130 °C มีปริมาณของรูพรุนมีขนาดเล็กและเกิดขึ้นสม่ำเสมอ สอดคล้องกับผลของค่าการกินตัวของปลากะตักอบแห้ง (ตารางที่ 4-5) เพราะมีค่าการกินตัวสูงที่สุด มีลักษณะของเซลล์ที่สมบูรณ์ มากกว่าอุณหภูมิ 120 และ 140 °C เนื่องจากที่อุณหภูมิ 120 °C ใช้ระยะเวลาในการอบแห้งนาน และที่อุณหภูมิ 140 °C เป็นอุณหภูมิที่สูงเกินไป ทำให้โปรตีนในเนื้อปลาเกิดการเปลี่ยนแปลงไปมาก

ตารางที่ 4 – 12 ภาพตัดขวางจากกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง ของกล้ามเนื้อปลากะตักแช่ในน้ำเกลือ 3 เปอร์เซ็นต์ อบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่อุณหภูมิ 120, 130 และ 140 °C หลังกินตัว

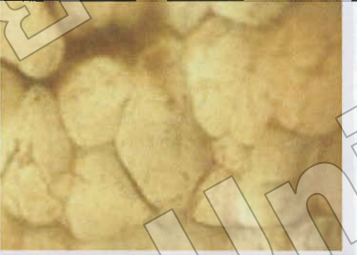
อุณหภูมิในการอบแห้ง (°C)	ภาพตัดขวางกล้ามเนื้อปลา	
	ก*	ข*
120		
130		
140		

* หมายถึง ก* ภาพตัดขวางกำลังขยาย 100 เท่า และ ข* ภาพตัดขวางกำลังขยาย 200 เท่า

ผลการตรวจวิเคราะห์ โครงสร้างของชิ้นตัวอย่างปลากะตักแช่ในน้ำเกลือ 3 เปอร์เซ็นต์ ที่ผ่านการอบแห้ง เมื่อนำมากินตัวในน้ำร้อน โดยแสดงภาพภาคตัดขวางของชิ้นตัวอย่าง พบว่าให้ผล

ทำนองเดียวกันกับปลากะตักสด เมื่อพิจารณาจากภาพโครงสร้างเนื้อปลาที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 130 °C (ตารางที่ 4-12) พบว่ามีปริมาณของรูพรุนมีขนาดเล็กและเกิดขึ้นสม่ำเสมอ จึงทำให้การดูดน้ำของเนื้อเยื่อปลากะตักเกิดได้มาก สอดคล้องกับผลของการคืนตัวของปลากะตักสดอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนขุดย้งที่อุณหภูมิ 130 °C (ตารางที่ 4-6) เพราะมีค่าการคืนตัวสูงที่สุด

ตารางที่ 4 – 13 ภาพตัดขวาง จากกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง ของกล้ามเนื้อปลากะตักต้มในน้ำเกลือ 3 เปอร์เซ็นต์ อบแห้งด้วยไอน้ำร้อนขุดย้งที่อุณหภูมิ 120, 130 และ 140 °C หลังคืนตัว

อุณหภูมิในการอบแห้ง (°C)	ภาพตัดขวางกล้ามเนื้อปลา	
	ก*	ข*
120		
130		
140		

* หมายเหตุ ก ภาพตัดขวางกำลังขยาย 100 เท่า และ ข ภาพตัดขวางกำลังขยาย 200 เท่า

ผลการตรวจวิเคราะห์โครงสร้างของชิ้นตัวอย่างปลากะตักต้มในน้ำเกลือ 3 เปอร์เซ็นต์ ที่ผ่านการอบแห้ง เมื่อนำมาคืนตัวในน้ำร้อน โดยแสดงภาพภาคตัดขวางของชิ้นตัวอย่าง พบว่าให้ผลทำนองเดียวกันกับปลากะตักและปลากะตักแช่ในน้ำเกลือ 3 เปอร์เซ็นต์ เมื่อพิจารณาจากภาพ

โครงสร้างเนื้อปลาที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 120, 130 และ 140 °C (ตารางที่ 4-12) พบว่ารูปร่างของโครงสร้างมีการเปลี่ยนแปลงไปมาก อาจเนื่องจากมีกระบวนการให้ความร้อน (การต้ม) แก่ปลากะตักในขั้นตอนแรก ก่อนการนำไปอบแห้ง จึงส่งผลต่อโครงสร้างและรูปร่างของเซลล์เนื้อเยื่อปลา

6. การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส

นำตัวอย่างปลากะตักที่ผ่านการเตรียมและอบแห้งในสภาวะต่างๆ มาทดสอบในน้ำมันอุณหภูมิ 170 °C เวลา 3 นาที ใช้วิธีการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสแบบให้คะแนนความชอบ 9 ระดับ (9 - Point Hedonic Scale) ผลการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสในคุณลักษณะด้านสี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม โดย 1 คะแนน หมายถึง ไม่ชอบมากที่สุด และ 9 คะแนน หมายถึง ชอบมากที่สุด แสดงดังตารางที่ 4 – 14

ตารางที่ 4-14 ผลการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของปลากะตักกอบแห้ง

วิธีการเตรียม	อุณหภูมิ(°C)	สี	กลิ่น	รสชาติ	เนื้อสัมผัส	ความชอบโดยรวม
ปลากะตัก	120	7.10±0.84 ^a	5.80±1.00 ^{bcd}	5.70±1.88 ^b	5.80±1.19 ^{ab}	5.80±1.86 ^b
	130	6.90±0.96 ^{ab}	6.50±0.82 ^a	7.10±0.84 ^a	6.50±1.14 ^a	6.90±0.96 ^a
	140	4.50±1.38 ^c	5.60±1.04 ^{cd}	5.40±1.45 ^{bc}	5.60±1.65 ^b	5.30±1.51 ^b
ปลากะตักแช่น้ำเกลือ	120	6.30±1.21 ^c	5.90±1.24 ^{bcd}	5.50±1.04 ^b	5.80±1.27 ^{ab}	5.70±1.37 ^b
	130	6.50±0.68 ^{bc}	6.20±1.19 ^{ab}	6.10±1.40 ^b	5.60±0.93 ^b	5.90±1.45 ^b
	140	4.90±1.47 ^{de}	5.40±0.81 ^d	4.70±1.58 ^c	5.40±1.89 ^b	4.40±1.38 ^c
ปลากะตักต้มในน้ำเกลือ	120	6.00±1.11 ^c	6.00±1.36 ^{abc}	6.10±1.16 ^b	4.30±1.58 ^c	5.60±1.16 ^b
	130	5.30±1.58 ^d	5.80±1.00 ^{bcd}	5.40±2.04 ^{bc}	5.40±1.71 ^b	6.00±1.44 ^b
	140	4.80±1.10 ^{de}	5.50±0.51 ^{cd}	5.40±0.81 ^{bc}	5.40±0.81 ^b	5.50±0.51 ^b

หมายเหตุ

9= ชอบมากที่สุด, 8= ชอบมาก, 7= ชอบปานกลาง, 6= ชอบเล็กน้อย, 5= เฉยๆ

4= ไม่ชอบเล็กน้อย, 3= ไม่ชอบปานกลาง, 2= ไม่ชอบมาก, 1= ไม่ชอบมากที่สุด

^{a,b,c,...} หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกันในแต่ละแถวมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

¹ หมายถึง ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

จากการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ปลากระดัก (ตารางที่ 4-14) ในคุณลักษณะด้านสี กลิ่น รสชาติ ลักษณะเนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม โดย 1 คะแนน หมายถึง ไม่ชอบมากที่สุด และ 9 คะแนน หมายถึงชอบมากที่สุด พบว่า

ทางด้านสี ตัวอย่างปลากระดักอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนชนิดยิ่งที่อุณหภูมิ 120 °C ได้รับคะแนนความชอบสูงสุด โดยได้คะแนน 7.10 ซึ่งหมายถึงคะแนนความชอบปานกลาง ในขณะที่ตัวอย่างปลากระดักอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนชนิดยิ่งที่อุณหภูมิ 140 °C ได้รับคะแนนต่ำที่สุด โดยได้คะแนน 4.50 ซึ่งหมายถึงคะแนนไม่ชอบเล็กน้อย ($p<0.05$)

ทางด้านกลิ่น ตัวอย่างปลากระดักอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนชนิดยิ่งที่อุณหภูมิ 130 °C ได้รับคะแนนความชอบสูงสุด โดยได้คะแนน 6.50 ซึ่งหมายถึงคะแนนความชอบเล็กน้อยถึงปานกลาง ในขณะที่ตัวอย่างปลากระดักแช่น้ำเกลือ 3 เปอร์เซ็นต์ อบแห้งด้วยไอน้ำร้อนชนิดยิ่งที่อุณหภูมิ 140 °C ได้รับคะแนนต่ำที่สุด โดยได้คะแนน 5.40 ซึ่งหมายถึงคะแนนเฉย ๆ ($p<0.05$)

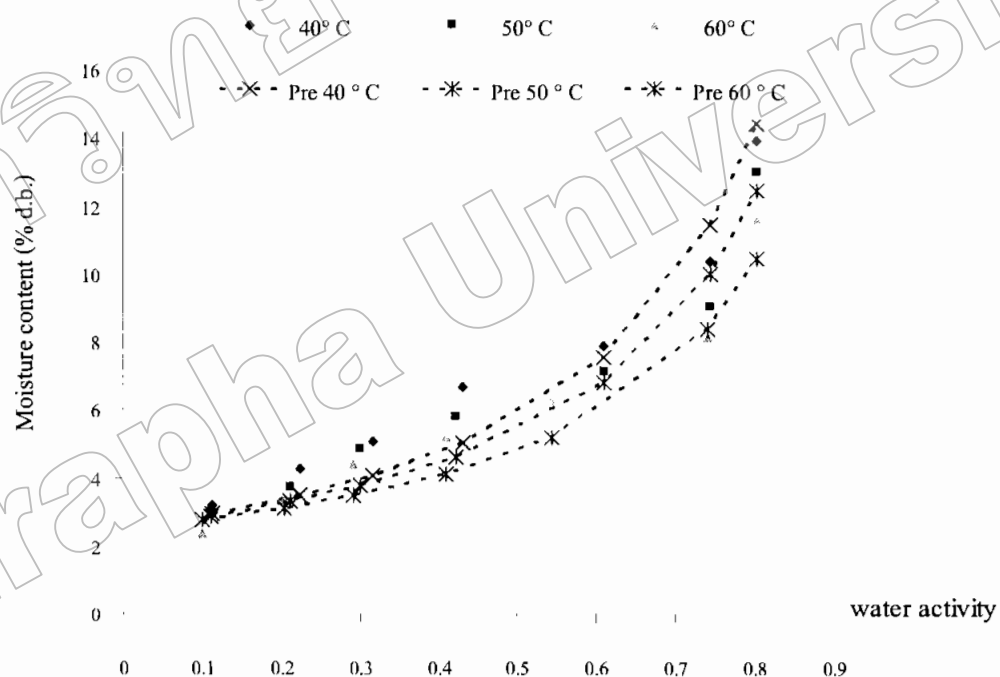
ทางด้านรสชาติ ตัวอย่างปลากระดักอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนชนิดยิ่งที่อุณหภูมิ 130 °C ได้รับคะแนนความชอบสูงสุด โดยได้คะแนน 7.10 ซึ่งหมายถึงคะแนนความชอบปานกลาง ในขณะที่ตัวอย่างปลากระดักแช่น้ำเกลือ 3 เปอร์เซ็นต์ อบแห้งด้วยไอน้ำร้อนชนิดยิ่งที่อุณหภูมิ 140 °C ได้รับคะแนนต่ำที่สุด โดยได้คะแนน 4.70 ซึ่งหมายถึงคะแนนไม่ชอบเล็กน้อยถึงเฉย ๆ ($p<0.05$)

ทางด้านเนื้อสัมผัส ตัวอย่างปลากระดักอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนชนิดยิ่งที่อุณหภูมิ 130 °C ได้รับคะแนนความชอบสูงสุด โดยได้คะแนน 6.50 ซึ่งหมายถึงคะแนนความชอบเล็กน้อยถึงความชอบปานกลาง ในขณะที่ตัวอย่างปลากระดักต้มในน้ำเกลือ 3 เปอร์เซ็นต์ อบแห้งด้วยไอน้ำร้อนชนิดยิ่งที่อุณหภูมิ 120 °C ได้รับคะแนนต่ำที่สุด โดยได้คะแนน 4.30 ซึ่งหมายถึงคะแนนไม่ชอบเล็กน้อย ($p<0.05$)

ความชอบโดยรวม ตัวอย่างปลากระดักอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนชนิดยิ่งที่อุณหภูมิ 130 °C ได้รับคะแนนความชอบสูงสุด โดยได้คะแนน 6.90 ซึ่งหมายถึงคะแนนความชอบเล็กน้อยถึงความชอบปานกลาง ในขณะที่ตัวอย่างปลากระดักต้มในน้ำเกลือ 3 เปอร์เซ็นต์ อบแห้งด้วยไอน้ำร้อนชนิดยิ่งที่อุณหภูมิ 140 °C ได้รับคะแนนต่ำที่สุด โดยได้คะแนน 4.40 ซึ่งหมายถึงคะแนนไม่ชอบเล็กน้อย ($p<0.05$)

การศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิของปลากระดี่

จากการทดลองหาปริมาณความชื้นสมดุลของปลากระดี่ ทำการทดลองที่อุณหภูมิ 40 50 และ 60 °C และค่าวอเตอร์แอคทิวิตี 0.10-0.80 ด้วยสารละลายเกลือมาตรฐาน เป็นสารควบคุมค่าวอเตอร์แอคทิวิตี และใช้ตู้อบเป็นส่วนควบคุมอุณหภูมิ สามารถสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นสมดุลของปลากระดี่กับค่าวอเตอร์แอคทิวิตี ดังแสดงในภาพที่ 4-20 โดยความสัมพันธ์มีลักษณะเป็นรูปซิกมอยด์ (Sigmoid Shape) เมื่อทดลองแทนค่าปริมาณความชื้นสมดุล (M_e) และค่าวอเตอร์แอคทิวิตี (a_w) ลงในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของ GAB สามารถหาค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ได้แก่ ค่าความชื้นสมดุลใน 1 ชั้นโมเลกุลของ GAB (M_{gm}) ค่าคงที่ K และ C ได้ดังตารางที่ 4 – 15



ภาพที่ 4 – 20 คืออิทธิพลของอุณหภูมิของปลากระดี่ ระหว่างค่าที่ได้จากการทดลองและค่าที่ได้จากการทำนาย ด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของ GAB

ตารางที่ 4 – 15 ค่าคงที่, ค่า SEE และค่า R^2 ของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของ GAB
ของปลากะดักที่อุณหภูมิต่าง ๆ

อุณหภูมิ (°C)	ค่าคงที่				
	M_{gm} (เปอร์เซ็นต์มาตรฐานแห้ง)	C	K	SEE	R^2
40	3.395	1.05	0.95	0.924	0.974
50	3.376	0.95	0.95	0.773	0.964
60	2.706	0.95	0.95	0.832	0.956

จากภาพที่ 4 – 21 พบว่า ที่อุณหภูมิเดียวกัน ค่าความชื้นของปลากะดักมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อค่า
วอเตอร์แอคทิวิตีสูงขึ้น ซึ่งแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของ GAB สามารถทำนายปริมาณความชื้น
สมดุลในช่วงค่าวอเตอร์แอคทิวิตี 0.10 – 0.80 ได้ดี โดยที่อุณหภูมิ 40, 50 และ 60 °C มี ค่า SEE
เท่ากับ 0.924, 0.773 และ 0.832 ตามลำดับ และค่า R^2 เท่ากับ 0.974, 0.964 และ 0.956 ตามลำดับ