การพัฒนาสูตรที่เหมาะสมสำหรับลูกชิ้นเอ็นไก่ผสมผักพื้นบ้านโดยวิธีการออกแบบการทดลอง

The Optimization of Developed Formula for Chicken Ball Mixed with domestic Vegetables by Design of Experiment Method

สมศักดิ์ แก้วพลอย[1]
[1] โปรแกรมวิชาวิศวกรรมศาสตร์ /คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม / มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา
160 ต.เขารูปช้าง อ.เมือง จ.สงขลา 90000 E-mail : somsakkp@hotmail.com

บทคัดย่อ

บทความวิจัยฉบับนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสูตรลูกชิ้นเอ็นไก่ที่เหมาะสม เพื่อนำไปพัฒนาเป็นลูกชิ้นเอ็นไก่ผสมผักพื้นบ้าน โดยการออกแบบการทดลองแบบผสม กำหนดปัจจัยที่ทำการศึกษาแบบมีกำหนดช่วงศึกษา 3 ปัจจัย คือ สาหร่าย (10-100%) ฟักทอง (10-100%) และตำลึง (10-100%) ได้สูตรการทดลองทั้งหมด 10 สูตร และวิเคราะห์ผลโดยวิธีการวิเคราะห์พื้นผิวตอบสนอง พบว่าปัจจัยทั้ง 3 มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าคะแนนความชอบโดยรวมทางประสาทสัมผัส มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และจากการวิเคราะห์หาค่าพื้นผิวตอบสนองที่เหมาะสมของลูกชิ้นเอ็นไก่ผสมผักพื้นบ้าน จะได้สูตรผสมของลูกชิ้นเอ็นไก่ผสมผักพื้นบ้านที่เหมาะสมประกอบด้วยสาหร่าย ฟักทอง และตำลึง เท่ากับร้อยละ 22.80, 38.99 และ 38.21 ตามลำดับ

คำสำคัญ: ลูกชิ้นเอ็นไก่, การออกแบบการทดลอง, ผักพื้นบ้าน

Abstract

The objective of this research is to study the optimal formula of chicken ball mixed with domestic vegetables by applying the design of experiments (DOE) method, which determine 3 studying factors in 3 ranges i.e. gracilaria (10-100%), pumpkin (10-100%) and Ivy gourd (10-100%), thus there are 10 experimental formulas. The Response Surface Methodology (RSM) is applied to result analysis and it is found that the 3 all factors have significant effect on a changing of overall liking scores of sense at a significance of 0.05 and after the analysis of the response surface to determine the optimal formula of chicken tendon ball mixed with domestic vegetables, it is found that the best ingredient make up of gracilaria, pumpkin and Ivy gourd equal to 22.80 %, 38.99 %, 38.21% respectively.

Keywords: Chicken Ball, Design of Experiment, domestic Vegetables

1. บทนำ

อุตสาหกรรมแปรรูปเนื้อไก่ เป็นอุตสาหกรรมหนึ่งที่ได้เข้ามามีบทบาทสำคัญต่อเศรษฐกิจของประเทศมากขึ้น โดยเนื้อไก่เป็นสินค้าส่งออกที่สำคัญ มีปริมาณการส่งออกที่มีมากกว่าร้อยละ 85 ของสินค้าปศุสัตว์เมื่อเปรียบเทียบกับสินค้าปศุสัตว์ของไทย นอกจากนี้ปริมาณการผลิตไก่เนื้อในประเทศ ในช่วงปี 5 ปี (2552-2555) การผลิตเนื้อไก่ของไทยเพิ่มขึ้นเฉลี่ยร้อยละ 2.74 ต่อปี โดยจากผลการสำรวจข้อมูลของสมาคมผู้ผลิตไก่เนื้อเพื่อส่งออกไทย พบว่าในปี พ.ศ. 2556 ประเทศไทยติดอันดับผู้ผลิตไก่อันดับ 11 ของโลก และเป็นผู้ส่งออกเนื้อไก่อันดับ 4 ของโลก [1] อย่างไรก็ดีในกระบวนการชำแหละไก่เพื่อการแปรรูปนั้น จะให้ผลผลิตในส่วนที่เป็นเนื้อประมาณร้อยละ 50-80 และมีส่วนที่เป็นกระดูกประมาณร้อยละ 20-50 ซึ่งจากผลการขยายตัวของอุตสาหกรรมแปรรูปไก่จึงทำให้มีเศษชิ้นเนื้อไก่ระหว่างการแปรรูปเกิดขึ้น ทั้งที่เศษชิ้นเนื้อดังกล่าว ยังคงมีคุณค่าทางโภชนาการสูง ซึ่งส่วนใหญ่แล้วเศษชิ้นเนื้อนี้มักเป็นของเหลือทิ้ง หรือนิยมนำไปใช้ในการผลิตเป็นอาหารสัตว์ และอาหารสัตว์เลี้ยงเท่านั้น [2]

ลูกชิ้นเอ็นไก่ (Chicken Balls) เป็นผลิตภัณฑ์หนึ่งที่ได้จากการนำเศษชิ้นไก่ที่เหลือจากการ แปรรูปมาทำการบดให้ละเอียดจนเกิดเป็นมวลเหนียว ซึ่งเป็นลักษณะของอิมัลชันได้ดี ซึ่งส่วนใหญ่ได้มาจากเนื้อที่ถูกบดจนละเอียด [3] มีวิธีการผลิตที่ไม่ยุ่งยากนักสามารถนำมารับประทาน หรือใช้ในการทำอาหารได้หลายอย่าง เช่น ลูกชิ้นลวก ลูกชิ้นปิ้ง ลูกชิ้นทอด ก๋วยเตี๋ยวลูกชิ้น เป็นต้น เพื่อเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับเศษชิ้นเนื้อไก่ ตลอดจนเป็นการนำผลพลอยได้ และของเหลือจากการแปรรูปมาใช้ให้เกิดประโยชน์มากขึ้น ทางคณะผู้วิจัยจึงได้เล็งเห็นถึงความสำคัญของเศษชิ้นไก่ดังกล่าว จึงได้นำเศษชิ้นไก่มาผลิตเป็นลูกชิ้นเอ็นไก่ แต่เนื่องจากในลูกชิ้นเอ็นไก่มีส่วนผสมของโปรตีนเป็นหลัก [4] ดังนั้นเพื่อเป็นการเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการ จึงได้นำผักพื้นบ้านมาใช้เป็นส่วนผสมในการผลิตลูกชิ้นเอ็นไก่ โดยอาศัยเทคนิคการออกแบบการทดลองแบบผสม (Mixture Design) [5], [6] ด้วยโปรแกรม Minitab โดยใช้หลักการย่อยแบบเอ็กทรีมเวอร์ทิส (Extreme Vertices) ซึ่งเป็นการ

ออกแบบการทดลองแบบที่มีข้อจำกัดสัดส่วน (Design with Constraints on Proportion) [7] เนื่องจากในการผลิตลูกชิ้นเอ็นไก่ผสมผักพื้นบ้านนี้ จะทำการศึกษาในส่วนของอัตราส่วนของผักพื้นบ้าน จำนวน 3 ชนิด ในการใช้เป็นส่วนผสมของลูกชิ้นเอ็นไก่ [8] โดยกำหนดให้ปัจจัยหรือตัวแปรอื่นๆ มีค่าคงที่ (Fixed Variable) ซึ่งชนิดและปริมาณของผักพื้นบ้านดังกล่าวจะได้จากการสำรวจผู้บริโภค เพื่อปรับปรุงสูตรของลูกชิ้นเอ็นไก่ผสมผักพื้นบ้านให้เหมาะสมต่อการยอมรับของผู้บริโภคต่อไป [9] โดยการนำเอาเทคนิคการออกแบบการทดลองแบบผสมดังกล่าวมาใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์นั้น คาดว่าจะทำให้มีรูปแบบและวิธีการผลิตผลิตภัณฑ์ลูกชิ้นเอ็นไก่ผสมผักพื้นบ้านที่มีทิศทางและเป็นระบบชัดเจนขึ้น ซึ่งนอกจากจะเป็นประโยชน์ต่อผู้ประกอบการทั้งในระดับอุตสาหกรรม วิสาหกิจขนาดกลาง และขนาดย่อม หรือวิสาหกิจชุมชน และผู้ที่เริ่มสนใจจะประกอบธุรกิจประเภทนี้แล้ว โครงการวิจัยฉบับนี้ยังเป็นอีกแนวทางเลือกหนึ่งในการประยุกต์ใช้ประโยชน์จากเศษชิ้นไก่ ช่วยเพิ่มมูลค่าให้กับผลผลิต เพิ่มคุณค่าทางโภชนาการให้กับผลิตภัณฑ์มากขึ้น ตลอดจนสร้างรายได้ให้กับกลุ่มชาวบ้าน และพัฒนาเป็นสินค้าส่งออกในเชิงพาณิชย์ต่อไป

2. วัตถุประสงค์

1) เพื่อหาสูตรพื้นฐานของลูกชิ้นเอ็นไก่ผสมผักพื้นบ้าน

2) เพื่อพัฒนาสูตรที่เหมาะสมโดยวิธีการออกแบบการทดลองแบบผสมของลูกชิ้นเอ็นไก่ผสมผักพื้นบ้าน

3. ทฤษฎี กรอบแนวคิดการวิจัย และผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

3.1 การออกแบบการทดลอง (Design of Experiment; DOE)

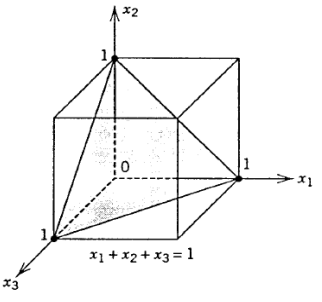
ในการตัดสินใจทางวิศวกรรมก่อนที่จะทำการทดลองเพื่อให้ได้มาซึ่งข้อมูลที่มีสาระสนเทศครบถ้วนนั้น จำเป็นจะต้องมีการวางแผนการทดลองที่ดีเสียก่อนเพื่อป้องกันความผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นและเข้ามาปะปนในข้อมูลซึ่งอาจจะส่งผลทำให้การวิเคราะห์การทดลองมีความผิดพลาดได้ ดังนั้นก่อนทำการทดลองจึงจำเป็นต้องทำการออกแบบการทดลองเสียก่อน ซึ่งในการออกแบบการทดลองนั้นมีหลักการที่สำคัญอยู่ 3 ประการคือ การซ้ำ (Replication) การสุ่ม (Randomization) และการสกัดกั้น (Blocking) [10]

ในการออกแบบการทดลองนั้นสามารถแบ่งออกเป็นขั้นตอนหลัก ๆ ประกอบด้วย (1) การระบุปัญหา (2) การเลือกปัจจัยและระดับของปัจจัย และ (3) การเลือกตัวแปรตอบสนอง จากขั้นตอนทั้ง 3 เป็นขั้นตอนของการวางแผนก่อนการทดลอง (Pre-Experimental Planning) ซึ่งถ้าสามารถระบุสิ่งต่าง ๆ ได้อย่างถูกต้องและครบถ้วนแล้ว ในขั้นตอนของการออกแบบการทดลองก็จะมีความง่าย ซึ่งในขั้นตอนของการออกแบบการทดลองนั้นผู้ทดลองจำเป็นจะต้องทำการเลือกรูปแบบการทดลองโดยนำสาระที่ได้จากขั้นตอนทั้ง 3 ขั้นตอนแรกมาทำการพิจารณาและเลือกรูปแบบการทดลอง (การสุ่ม) รวมไปถึงการกำหนดว่าจะใช้การสกัดกั้นในการทดลองหรือไม่ด้วย [6]

3.2 การออกแบบการทดลองแบบผสม

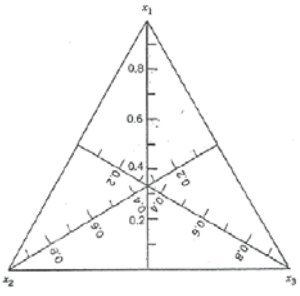
การออกแบบการทดลองแบบผสม (Mixture Design) คือการทดลองวิเคราะห์ค่าผลตอบที่เป็นฟังก์ชันของเปอร์เซ็นต์ของส่วนประกอบ (Components) [11] มีวัตถุประสงค์คือสำรวจผลตอบเพื่อประมาณค่าพารามิเตอร์ของแต่ละส่วนประกอบที่จะทำให้ผลตอบมีค่าที่ดีที่สุด หรือเป็นไปตามที่ผู้ทดลองต้องการ

การทดลองแบบผสมเป็นการออกแบบพื้นผิวตอบสนองประเภทหนึ่งที่มีข้อจำกัดคือ ระดับของปัจจัยหรือส่วนประกอบจะไม่เป็นอิสระต่อกัน ยกตัวอย่างเช่น ถ้าของผสมที่จะทำการทดลองประกอบไปด้วย 3 ส่วนผสมแล้ว เป็นไปได้ว่าแต่ละส่วนผสมจะถูกใช้เป็นสัดส่วนตั้งแต่ 0 เปอร์เซ็นต์จนถึง 100 เปอร์เซ็นต์ และผลรวมของแต่ละส่วนผสมจะต้องเท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์พอดี หรือคิดเป็น 1 ส่วน ข้อจำกัดนี้ถูกแสดงเป็นกราฟิกดังแสดงในภาพที่ 1 ช่องว่างระหว่างปัจจัย (ส่วนที่แรเงา) สำหรับการออกแบบจะรวมเอาค่าทั้งหมดของทั้งสามส่วนผสม ที่อยู่บนส่วนของเส้นตรง $x_1+x_2+x_3 = 1$ ซึ่งแต่ละส่วนผสมจะถูกจำกัดด้วยขอบเขต 0 และ 1 สำหรับแต่ละจุดยอดของสามเหลี่ยมเรียกว่าเป็นส่วนผสมบริสุทธิ์ (Pure Blend) นั่นคือส่วนผสมที่มี 100 เปอร์เซ็นต์ของส่วนประกอบนั้นเพียงอย่างเดียว



ภาพที่ 1 ช่องว่างที่ถูกจำกัดของปัจจัยของส่วนผสมที่มี 3 ส่วนผสม

เมื่อมี 3 ส่วนผสมบริเวณของการทดลองที่ถูกจำกัด สามารถเขียนอยู่บนกราฟแกนสามเส้น ดังแสดงในภาพที่ 2 แต่ละด้านของทั้งสามด้านจะไม่มีส่วนผสมของทั้งสามส่วนประกอบนี้ และจะเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ถึง 100 เปอร์เซ็นต์ (ชื่อของส่วนประกอบจะถูกเขียนอยู่ที่จุดยอดที่อยู่ตรงกันข้าม)



ภาพที่ 2 ระบบโคออร์ดิเนทแกนสามเส้น

การออกแบบโครงตาข่ายอย่างง่าย (Simplex Lattice Design) เพื่ออำนวยความสะดวกในการเลือก สูตรผสมให้กับผู้ทดลองโดยเลือกมาจาก สูตรผสมทั้งหมดที่เป็นไปได้จริงซึ่งมีจำนวนนับไม่ถ้วน [12] การออกแบบโครงตาข่ายอย่างง่าย (Simplex Lattice Design) สำหรับ p ส่วนผสม สามารถกำหนดได้ ด้วยพิกัด (Coordinate) ต่อไปนี้

$$x_i = 0, 1/m, 2/m, \ldots, 1 \quad (1)$$

เมื่อ x_i แทนสัดส่วนของส่วนประกอบที่ i

m แทนส่วนแบ่งที่เท่ากันของส่วนประกอบที่ i

p แทนจำนวนส่วนผสม

$i = 1, 2, 3, \ldots, p$

$m = 1, 2, 3, \ldots, p$

จำนวนสูตรผสมที่ผู้ทดลองต้องผสมทั้งหมดที่ระบุบนโครงตาข่ายอย่างง่าย คำนวณได้จาก

$$N = (p+m-1)!/(m!(p-1)!) \quad (2)$$

เช่น จำนวนสูตรที่ผสมจาก 3 ส่วนผสม เมื่อกำหนดให้ m = 2 จะได้ 6 สูตรดังนี้

(x_1, x_2, x_3) = (1, 0, 0), (0, 1, 0), (0, 0, 1), (1/2, 1/2, 0),(1/2, 0, 1/2), (0, 1/2, 1/2) (3)

4. วิธีดำเนินงาน

เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์ผลทางสถิติ โดยใช้โปรแกรม Minitab R.16 สำหรับการออกแบบการทดลองแบบผสมและการคำนวณเพื่อหาค่าที่เหมาะสมของการทดลอง (Optimization) โดยแบ่งการทดลองออกได้ดังนี้

4.1 ศึกษาสูตรพื้นฐานของลูกชิ้นเอ็นไก่ผสมผักพื้นบ้าน

โดยนำลูกชิ้นเอ็นไก่ซึ่งดัดแปลงจากตำรับของสัญชัย [4] ดังแสดงในตารางที่ 1 ในปริมาณที่แตกต่างกัน 3 ระดับ คือร้อยละ 20, 30 และ40 ตามลำดับ มาศึกษาชนิดและปริมาณของผักพื้นบ้าน โดยใช้ผักพื้นบ้านจำนวน 4 ชนิด คือสาหร่าย ฟักทอง ตำลึง และโหรพา ดังแสดงในตารางที่ 2 แล้วทำการประเมินคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัส Hedonic-9-Scale ซึ่งมีระดับคะแนนตั้งแต่ 1 ถึง 9 คะแนน (คะแนน เท่ากับ 1 หมายถึง ไม่ชอบมากที่สุด และคะแนนเท่ากับ 9 หมายถึง ชอบมากที่สุด) โดยการทดสอบด้านความชอบรวม โดยใช้ผู้ทดสอบชิม จำนวน 10 คน เพื่อหาสูตรที่เหมาะสมที่สุดในการเลือกเป็นสูตรพื้นฐานลูกชิ้นเอ็นไก่ผสมผักพื้นบ้านเพื่อนำไปใช้ในการทดลองขั้นตอนต่อไป

ตารางที่ 1 ส่วนผสมของลูกชิ้นเอ็นไก่

ส่วนผสม	ร้อยละโดยหนัก
เนื้อไก่และเอ็นไก่	82.5
เกลือ	2.0
ฟอสเฟต	0.3
ผงชูรส	0.2
แป้งมัน	3.0
พริกไทยป่น	1.5
กระเทียม	0.5
น้ำแข็ง	10.0

ตารางที่ 2 การออกแบบการทดลองเพื่อหาสูตรพื้นฐานในการผลิตลูกชิ้นเอ็นไก่

ส่วน	ลูกชิ้น	ผักพื้นบ้าน (ร้อยละ)			
ผสม	เอ็นไก่	สาย	ฟักทอง	ตำลึง	โหรพา
1	90	3.33	3.33	3.33	-
2	90	3.33	3.33	-	3.33
3	80	6.66	6.66	6.66	-
4	80	6.66	6.66	-	6.66
5	70	10	10	10	-
6	70	10	10	-	10
7	60	13.33	13.33	13.33	-
8	60	13.33	13.33	-	13.33

4.2 การทดลองเพื่อหาสูตรที่เหมาะสมในการผลิตลูกชิ้นเอ็นไก่ผสมผักพื้นบ้าน

โดยใช้เทคนิคการออกแบบการทดลองแบบผสม [13] โดยนำลูกชิ้นเอ็นไก่ผสมผักพื้นบ้านที่คัดเลือกได้จากการทดลองในหัวข้อที่ 4.1 มาหาระดับปัจจัยที่เหมาะสมด้วยวิธีการใช้เทคนิคการออกแบบการทดลองแบบผสม (Mixture Design) แบบย่อยเอ็กทรีมเวอร์ทิส (Extreme Vertices) โดยกำหนดอัตราส่วนผสมของผักพื้นบ้านทั้ง 3 ชนิดที่คัดเลือกได้รวมกันแล้วเท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์ [11] แสดงระดับปัจจัยต่างๆได้ ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ปัจจัยและระดับอัตราส่วนผสมของผักพื้นบ้านในการทดลอง

ปัจจัย	ชนิดผัก	ร้อยละ	
		ระดับต่ำ	ระดับสูง
1	A	10	100
2	B	10	100
3	C	10	100

A = Gracilaria, B = Pumpkin, C = Gourd

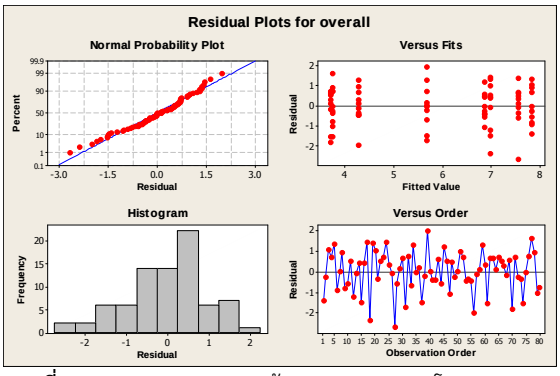
จากนั้นทำการประเมินคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัส Hedonic-9-Scale โดยมีระดับคะแนนตั้งแต่ 1 ถึง 9 คะแนน (คะแนน เท่ากับ 1 หมายถึง ไม่ชอบมากที่สุด และคะแนนเท่ากับ 9 หมายถึง ชอบมากที่สุด) ทำการทดสอบด้านความชอบรวม โดยใช้ผู้ทดสอบชิม จำนวน 50 คน เพื่อหาระดับปัจจัยปัจจัยที่เหมาะสมในการผลิตลูกชิ้นเอ็นไก่ผสมผักพื้นบ้าน [14]

5. ผลการศึกษา/การทดลอง

5.1 สูตรพื้นฐานของลูกชิ้นเอ็นไก่ผสมผักพื้นบ้าน

ข้อมูลที่ได้จากการทดลอง โดยใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว (One-Way ANOVA) จำนวน 8 สูตร โดยใช้ผู้ทดสอบชิมจำนวน 10 คน ใช้จำนวนตัวอย่างทั้งสิน 80 ตัวอย่าง วิเคราะห์ผลโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป Minitab

1) การตรวจสอบคุณภาพของข้อมูล เมื่อดำเนินการทดลองตามที่ได้ออกแบบไว้ก็จะได้ค่าความชอบโดยรวม แต่ก่อนที่จะนำข้อมูลไปวิเคราะห์ต้องตรวจสอบก่อนว่าข้อมูลที่เก็บมานั้นเป็นข้อมูลที่มีคุณภาพหรือไม่ โดยมีความจำเป็นต้องพิสูจน์ถึงคุณสมบัติ (Model Adequacy Checking) ของข้อมูล 3 ประการด้วยกันคือ การทดสอบความอิสระของข้อมูล (Independence Test) การทดสอบความเป็นปกติของข้อมูล (Normality Test) และการทดสอบความมีเสถียรภาพของข้อมูล (Variance Stability Test)



ภาพที่ 3 การตรวจสอบคุณภาพข้อมูลของความชอบโดยรวมของสูตรพื้นฐาน

จากภาพที่ 3 ข้อมูลมีการกระจายไร้รูปแบบ ซึ่งแสดงว่ามีความอิสระของข้อมูลนั่นคือข้อมูลเก็บมาอย่างสุ่ม นอกจากนี้กราฟที่ได้มีลักษณะเป็นเส้นตรงแสดงให้เห็นถึงความเป็นปกติของข้อมูลที่ได้ดำเนินการทดลอง และจากการทดลองข้อมูลมีความเสถียรภาพของความแปรปรวนตามที่ได้ออกแบบไว้ ดังนั้นสรุปได้ว่าข้อมูลมีคุณสมบัติทั้ง 3 ประการ

2) การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว

ตารางที่ 4 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนสูตรพื้นฐานของลูกชิ้นเอ็นไก่ผสมผักพื้นบ้าน

One-way ANOVA: overall versus mixture

```
Source   DF      SS     MS      F      P
mixture   7  206.38  29.48  28.44  0.000
Error    72   74.65   1.04
Total    79  281.02

S = 1.018   R-Sq = 73.44%   R-Sq(adj) = 70.86%
```

```
                                Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev
Level      N   Mean  StDev   +---------+---------+---------+---------
mixture1  10  7.820  0.959                                  (---*---)
mixture2  10  6.985  1.294                            (----*---)
mixture3  10  7.543  1.105                               (---*----)
mixture4  10  5.677  1.146                     (---*---)
mixture5  10  6.857  0.682                          (----*---)
mixture6  10  4.273  0.927          (----*----)
mixture7  10  3.709  0.935       (----*---)
mixture8  10  3.730  0.982        (---*---)
                                +---------+---------+---------+---------
                               3.0       4.5       6.0       7.5

Pooled StDev = 1.018
```

การวิเคราะห์ผลการทดลองของการทดสอบความชอบโดยรวมลูกชิ้นเอ็นเอ็นไก่ผสมผักพื้นบ้าน การวิเคราะห์ความแปรปรวนจากการทดสอบวัดค่าความชอบโดยรวมที่ได้ออกแบบไว้ได้ผลว่า R^2 มีค่าเท่ากับ 73.44% และค่า Adjust R^2 มีค่าเท่ากับ 70.86% ซึ่งหมายความว่าถ้าหากความแปรปรวนในข้อมูลมี 100 คะแนน^2 แล้วความแปรปรวน 73.44% สามารถอธิบายได้ด้วยตัว

แบบถดถอย ส่วนปริมาณที่เหลือไม่สามารถอธิบายได้เนื่องจากสาเหตุที่ไม่สามารถควบคุมได้

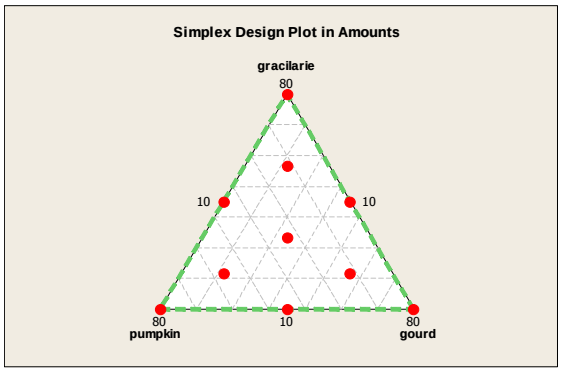
ดังนั้นจะเห็นได้ว่าความผันแปรของข้อมูลความชอบโดยรวมส่วนใหญ่สามารถอธิบายได้ด้วยตัวแบบถดถอย แสดงว่าการออกแบบการทดลองนี้มีความถูกต้องและมีความเหมาะสม จึงสามารถวิเคราะห์ความแปรปรวนได้ดังแสดงในตารางที่ 4

จากตารางที่ 4 จะเห็นได้ว่าลูกชิ้นเอ็นไก่ผสมผักพื้นบ้านทั้ง 8 สูตร มีค่า P < 0.05 (Sig = 0.000) แสดงว่าปฏิเสธสมมติฐานหลัก (H_0) ยอมรับสมมติฐานรอง (H_1) ดังนั้นจะเห็นได้ว่าผู้ทดสอบชิมมีความชอบโดยรวมลูกชิ้นเอ็นไก่ผสมผักพื้นบ้านทั้ง 8 สูตรมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความมีนัยสำคัญ 0.05

ผลการเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ย ระหว่างลูกชิ้นเอ็นไก่ผสมผักพื้นบ้านทั้ง 8 สูตร ปรากฏว่าผู้ทดสอบชิมมีความชอบลูกชิ้นเอ็นไก่ผสมผักพื้นบ้านสูตรที่ 1 แตกต่างจากสูตรที่ 4, 6, 7 และสูตรที่ 8 อย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความมีนัยสำคัญ 0.05 และเมื่อเปรียบเทียบความชอบของลูกชิ้นเอ็นไก่ระหว่างสูตรที่ 1 สูตรที่ 2 สูตรที่ 3 และสูตรที่ 5 แล้ว พบว่าสูตรที่ 1 ผู้ทดสอบชิมมีความชอบมากกว่า ดังนั้นจึงเลือกเป็นสูตรพื้นฐานลูกชิ้นเอ็นไก่ผสมผักพื้นบ้านในการทดลองขั้นต่อไป

5.2 ผลการวิเคราะห์การออกแบบการทดลองของการพัฒนาสูตรที่เหมาะสม

นำลูกชิ้นเอ็นไก่สูตรที่ 1 ตามหัวข้อที่ 5.1 มาออกแบบการทดลองแบบผสม (Mixture Design) แบบย่อยเอ็กทรีมเวอร์ทิส (Extreme Vertices) โดยทำการเลือกใช้แบบจำลองกำลังสอง (Quadratic Model) [6] ซึ่งกำหนดอัตราส่วนผสมของผักพื้นบ้านและกำหนดจุดที่เลือกสำหรับการทดลอง ดังแสดงในภาพที่ 4 ซึ่งมีสูตรการทดลองทั้งหมด10 สูตร จำนวนซ้ำ 2 ครั้ง การทดลองเมื่อทำการวิเคราะห์การถดถอยของค่าทดสอบทางด้านประสาทสัมผัสด้านความชอบโดยรวม ดังแสดงในตารางที่ 5



ภาพที่ 4 สูตรการทดลองสำหรับการออกแบบการทดลองแบบผสมแบบย่อยเอ็กทรีมเวอร์ทิส

ตารางที่ 5 การวิเคราะห์การถดถอยสำหรับแผนการทดลองแบบผสม

Regression for Mixtures: overal versus gracilarie, pumpkin, gourd

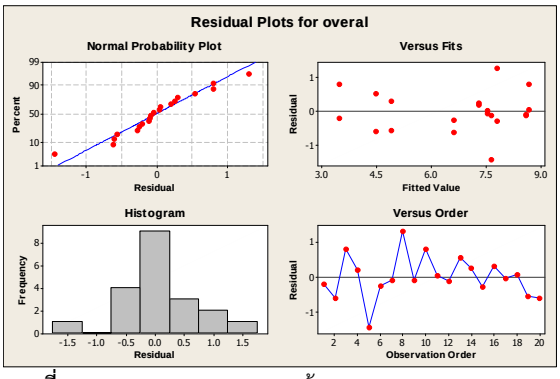
Estimated Regression Coefficients for overal (component proportions)

Term	Coef	SE Coef	T	P	VIF
gracilarie	0.853	1.061	*	*	7.373
pumpkin	0.771	1.061	*	*	7.373
gourd	-2.644	1.061	*	*	7.373
gracilarie*pumpkin	15.838	4.486	3.53	0.003	8.447
gracilarie*gourd	29.207	4.486	6.51	0.000	8.447
pumpkin*gourd	36.254	4.486	8.08	0.000	8.447

S = 0.699387 PRESS = 13.3347
R-Sq = 89.66% R-Sq(pred) = 79.86% R-Sq(adj) = 85.96%

Analysis of Variance for overal (component proportions)

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	5	59.367	59.367	11.8734	24.27	0.000
Linear	2	1.209	4.037	2.0185	4.13	0.039
Quadratic	3	58.158	58.158	19.3860	39.63	0.000
gracilar*pumpkin	1	5.794	6.097	6.0968	12.46	0.003
gracilar*gourd	1	20.420	20.734	20.7336	42.39	0.000
pumpkin*gourd	1	31.944	31.944	31.9444	65.31	0.000
Residual Error	14	6.848	6.848	0.4891		
Lack-of-Fit	4	2.817	2.817	0.7043	1.75	0.216
Pure Error	10	4.031	4.031	0.4031		
Total	19	66.215				



ภาพที่ 5 การตรวจสอบคุณภาพของข้อมูลของการทดลองแบบผสม

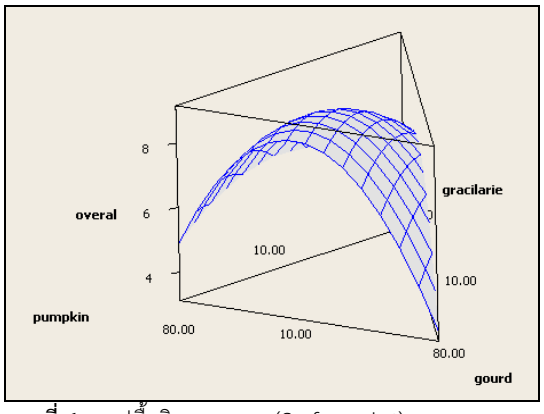
จากภาพที่ 5 ข้อมูลมีการกระจายไร้รูปแบบ ซึ่งแสดงว่ามีความอิสระของข้อมูลนั่นคือข้อมูลเก็บมาอย่างสุ่ม นอกจากนี้กราฟที่ได้มีลักษณะเป็นเส้นตรงแสดงให้เห็นถึงความเป็นปกติของข้อมูลที่ได้ดำเนินการทดลอง และจากการทดลองข้อมูลมีความเสถียรภาพของความแปรปรวนตามที่ได้ออกแบบไว้ ดังนั้นสรุปได้ว่าข้อมูลมีคุณสมบัติทั้ง 3 ประการ

จากการวิเคราะห์การถดถอยในตารางที่ 5 พบว่าปัจจัยที่มีผลต่อความชอบโดยรวมของลูกชิ้นเอ็นไก่ผสมผักพื้นบ้าน ซึ่งมีค่า P-Value น้อยกว่าระดับนัยสำคัญ 005 คือสาหร่าย (A) ฟักทอง (B) ตำลึง (C) อิทธิพลร่วมระหว่างสาหร่ายกับฟักทอง (AB) อิทธิพลร่วมระหว่างสาหร่ายกับตำลึง (AC) และอิทธิพลร่วมระหว่างฟักทองกับตำลึง (BC) และค่า Lack of Fit มีค่า P-Value เท่ากับ 0.216 ซึ่งมีค่ามากกว่า 0.05 นั่นหมายความว่าสมการที่ได้มีความแม่นยำเพียงพอในการพยากรณ์ค่าความชอบโดยรวมของลูกชิ้นเอ็นไก่ผสมผักพื้นบ้าน

นำปัจจัยที่มีผลต่อความชอบโดยรวมจากการทดลองแบบผสม (Mixture Design) มาทำการวิเคราะห์การถดถอยต่อเพื่อสร้างสมการถดถอยประมาณค่าความชอบโดยรวมและวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยต่างๆ ดังแสดงในสมการที่ 1

$$Y = 0.00852531A + 0.00771269B - 0.0264357C + 0.00158382AB + 0.00292074AC + 0.00362538BC \quad (4)$$

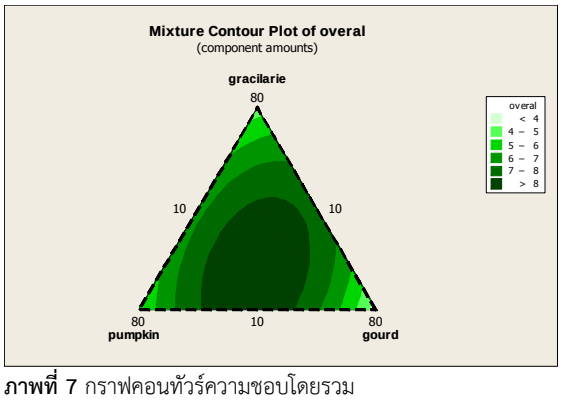
โดยมีสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ R^2 เท่ากับ 89.66 % หมายความว่าในความผันแปรของค่าความชอบโดยรวมทั้งหมด 100% สมการถดถอยนี้สามารถพยากรณ์ได้ถูกต้องถึง 89.66 %



ภาพที่ 6 กราฟพื้นผิวตอบสนอง (Surface plot)

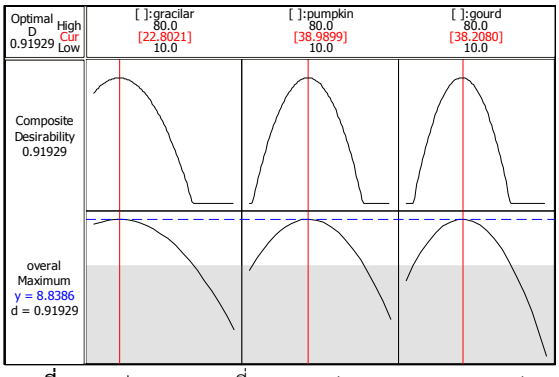
จากภาพที่ 6 กราฟพื้นผิวตอบสนองแสดงให้เห็นผลของปริมาณของสาหร่าย ฟักทองและตำลึง พบว่าเมื่อปริมาณสาหร่าย ฟักทองและตำลึงมีปริมาณลดน้อยลงจะทำให้ความชอบโดยรวมเพิ่มสูงขึ้น

เมื่อนำสมการที่ได้ไปทำการหาค่าที่เหมาะสมทางด้านความชอบโดยรวม โดยใช้กราฟคอนทัวร์ในการวิเคราะห์ค่าที่เหมาะสมความชอบโดยรวมของลูกชิ้นเอ็นไก่ผสมผักพื้นบ้าน ดังแสดงในภาพที่ 7



ภาพที่ 7 กราฟคอนทัวร์ความชอบโดยรวม

จากการวิเคราะห์ Response Optimization ได้ค่าระดับปัจจัยที่เหมาะสมสำหรับความชอบโดยรวมของลูกชิ้นเอ็นไก่ผสมผักพื้นบ้าน ดังแสดงในภาพที่ 8 พบว่าเงื่อนไขของสูตรลูกชิ้นเอ็นไก่ที่เหมาะสม (Optimum Desirability) ที่ทำให้ความชอบโดยรวมมากที่สุดคือ ปัจจัย A : สาหร่ายเท่ากับร้อยละ 22.80 ปัจจัย B : ฟักทองเท่ากับร้อยละ 38.99 และปัจจัย C : ตำลึงเท่ากับร้อยละ 38.21



ภาพที่ 8 กราฟแสดงสภาวะที่เหมาะสม (Optimization Chart)

6. สรุปและการอภิปรายผล

จากการทดลองพัฒนาสูตรลูกชิ้นเอ็นไก่ผสมผักพื้นบ้านและวัดค่าความชอบโดยรวมโดยการทดสอบชิม เมื่อนำผลการทดลองมาวิเคราะห์ด้วยวิธีการทางสถิติ สามารถสรุปได้ว่าปัจจัยที่มีผลต่อความชอบโดยรวมของลูกชิ้นเอ็นไก่ผสมผักพื้นบ้านคือ สาหร่าย ฟักทองและตำลึง ซึ่งสูตรที่เหมาะสมของลูกชิ้นเอ็นไก่ผสมผักพื้นบ้านคือสาหร่ายเท่ากับร้อยละ 22.80 ฟักทองเท่ากับร้อยละ 38.99 และตำลึงเท่ากับร้อยละ 38.21 ตามลำดับ และสามารถสร้างสมการถดถอยประมาณค่าความชอบโดยรวมและวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยต่างๆ คือ $Y = 0.009A + 0.008B - 0.026C + 0.002AB + 0.003AC + 0.004C$

7. ข้อเสนอแนะ

7.1 ควรมีการศึกษาร่วมกับอุตสาหกรรมหรือผู้ประกอบการ เพื่อที่จะได้หาค่าตัวแปรที่สำคัญมากที่สุดที่มีผลต่อความชอบโดยรวม ซึ่งจะเป็นประโยชน์อย่างมากในการพัฒนาสูตร

7.2 ตัวแปรตามอื่นๆ เช่นค่าความเหนียวนุ่ม เป็นต้น ควรจะได้รับความสนใจในการศึกษาครั้งต่อไป

8. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณโปรแกรมวิชาวิศวกรรมศาสตร์ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา สำหรับการสนับสนุน

สถานที่ในการทำงานวิจัย และขอขอบคุณสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา ที่สนับสนุนทุนอุดหนุนการวิจัยในครั้งนี้

9. เอกสารอ้างอิง

[1] สำนักบริหารการค้าสินค้าทั่วไป กลุ่มสินค้าเกษตร กรมการค้าต่างประเทศ กระทรวงพาณิชย์, "สินค้าไก่และผลิตภัณฑ์", 2556.

[2] กองโภชนาการ กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข, "ตำรับอาหารพืชผักสมุนไพร", นนทบุรี, 2544.

[3] เยาวลักษณ์ สุรพันธพิศิษฐ์, "เนื้อสัตว์และผลิตภัณฑ์", คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2536.

[4] สัญชัย จตุรสิทธา, "เทคโนโลยีเนื้อสัตว์", ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2543.

[5] ปรเมศ ชุติมา, "การออกแบบการทดลองทางวิศวกรรม", จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพ, 2545.

[6] Mongomery, DC., "Design and Analysis of Experiments", 6th ed. John Wiley&Son Inc., New York, 2000.

[7] สราวุฒิ ทองเจิม, "การพัฒนาผลิตภัณฑ์ลูกชิ้นหมูโดยใช้เทคนิคการออกแบบการทดลอง", วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2551.

[8] ก่องกานดา ชยามฤต, "สมุนไพร ตอนที่ 6", สวนพฤกษาศาสตร์ป่าไม้ สำนักวิชาการป่าไม้ กรมป่าไม้, 2540.

[9] สุกัญญา อมรานันทศักดิ์, "การศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของกากถั่วเหลืองในผลิตภัณฑ์ลูกชิ้นหมู", ปัญหาพิเศษ ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะเกษตรและชีวภาพ มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม, 2548.

[10] กิติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ, "สถิติสำหรับงานวิศวกรรม เล่ม 2", สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), กรุงเทพ, 2545.

[11] Myers, R.H. and D.C. Montgomery., "Response Surface Methodology Process and Product Optimization Using Designed Experiments", 2nd ed. John Wiley and Son, Inc., New York. 2002.

[12] Scheff, H., "The Analysis of Variance", 2nd ed., John Wiley and Son, Inc., New York, 1973.

[13] Lawson, J. and J. Erjavec., "Modern Statistics for Engineering and Quality Improvement", Duxbury, Australia. 2001.

[14] สมศักดิ์ แก้วพลอย, "การออกแบบการทดลองแบบผสมเพื่อหาระดับของปัจจัยที่เหมาะสมในการผลิตลูกชิ้นเอ็นไก่ผสมผักพื้นบ้าน", การประชุมวิชาการการวิจัยดำเนินงานแห่งชาติ ประจำปี 2556, นครราชสีมา, 2556.