การพัฒนาผลิตภัณฑ์แป้งชุบทอด
จากฟลาวมันสำปะหลัง ฟลาวข้าวหอมมะลิ และฟลาวเท้ายายม่อม

Product Development of Batter
from Cassava Flour, Hom Mali Rice Flour and Thao Yai Mom Flour

คำนำ

ในปัจจุบันมีอุตสาหกรรมอาหารหลายประเภทใช้แป้งสาลีเป็นวัตถุดิบ แต่เนื่องจากปริมาณการผลิตแป้งสาลีภายในประเทศยังไม่เพียงพอต่อความต้องการและยังต้องมีการนำเข้าแป้งสาลีและข้าวสาลีเพื่อเป็นวัตถุดิบในการผลิตแป้งอยู่เป็นปริมาณมาก ทางหนึ่งซึ่งจะช่วยลดการนำเข้าแป้งสาลีและข้าวสาลีจากต่างประเทศก็คือ การนำแป้งซึ่งผลิตจากวัตถุดิบที่ผลิตได้ภายในประเทศมาใช้แทนแป้งสาลี โดยเฉพาะมันสำปะหลังซึ่งมีผลผลิตรวมทั้งประเทศสูงถึง 16,938,245 ตันในปี 2548 และมีราคาเพียงกิโลกรัมละ 1.33 บาท (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2549) ซึ่งหากมีการนำมาใช้และปรับปรุงคุณสมบัติบางประการให้เหมาะสมกับแต่ละผลิตภัณฑ์ นอกจากจะช่วยลดการนำเข้าแป้งสาลี ข้าวสาลี และช่วยส่งเสริมสนับสนุนผลิตผลทางการเกษตรของไทยแล้วยังช่วยลดต้นทุนวัตถุดิบได้อีกด้วย

ปัจจุบันมีงานวิจัยที่นำแป้งมันสำปะหลัง(สตาร์ช)มาใช้เป็นวัตถุดิบทดแทนแป้งสาลีในหลายผลิตภัณฑ์ เช่น ขนมอบ(กล้าณรงค์, 2538) และเกล็ดขนมปัง(แขขวัญ, 2544) เป็นต้น ส่วนงานวิจัยที่มีการนำฟลาวมันสำปะหลังมาใช้ทดแทนแป้งสาลี เช่น พัฟเพสตรี้แช่แข็ง(เบญจพร, 2546) บัตเตอร์เค้กลดพลังงาน(พัชรินทร์, 2547) และ แป้งพิซซ่า(ปถมาภรณ์, 2548) เป็นต้น สำหรับแป้งชุบทอดที่มีจำหน่ายในท้องตลาดนั้นส่วนประกอบหลักคือแป้งสาลีโดยมีปริมาณการใช้สูงถึง 69-87% ของน้ำหนักผลิตภัณฑ์ และนอกจากแป้งสาลีแล้วยังมีส่วนประกอบของแป้งอื่นอีก เช่น แป้งข้าวเจ้า แป้งข้าวโพด แป้งข้าวเหนียว และแป้งมันสำปะหลัง มีงานวิจัยของ อนงค์ (2541) ใช้แป้งมันสำปะหลัง และแป้งข้าวเจ้าเป็นส่วนผสมของแป้งชุบทอดสำหรับผลิตภัณฑ์ประมงแช่เยือกแข็ง และ อกนิษฐ์ (2545) นำแป้งมันสำปะหลัง และแป้งมันสำปะหลังดัดแปรด้วยเอนไซม์เป็นส่วนผสมของแป้งชุบทอดสำหรับกุ้งกุลาดำชุบแป้งทอดแช่เยือกแข็ง แต่การใช้แป้งมันสำปะหลังซึ่งโดยทั่วไปที่ผลิตเป็นอุตสาหกรรมในรูปของสตาร์ชมักต้องใช้น้ำเป็นปริมาณมากในกระบวนการ

ผลิต และทำให้เกิดปัญหาน้ำเสีย ดังนั้นการนำแป้งมันสำปะหลังในรูปฟลาวซึ่งสามารถผลิตได้ภายในครัวเรือนด้วยกรรมวิธีการผลิตที่ใช้เทคโนโลยีง่าย ๆ ไม่ซับซ้อน ช่วยประหยัดน้ำมากกว่าและก่อให้เกิดน้ำเสียน้อยกว่ามาใช้ในการผลิตแป้งชุบทอดสำเร็จรูปจึงน่าจะเป็นอีกแนวทางหนึ่งซึ่งนอกจากจะช่วยส่งเสริมการใช้วัตถุดิบภายในประเทศให้มากขึ้น ช่วยลดต้นทุน และลดปัญหาน้ำเสียแล้วยังช่วยส่งเสริมอุตสาหกรรมในครัวเรือนได้อีกด้วย ดังนั้นจึงควรมีการวิจัยเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติของแป้งชุบทอดจากฟลาวมันสำปะหลังให้เหมาะสมและตรงตามความต้องการของผู้บริโภคต่อไป

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาพฤติกรรม ความต้องการ และคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่มีผลต่อการตัดสินใจเลือกซื้อผลิตภัณฑ์แป้งชุบทอดของผู้บริโภคกลุ่มเป้าหมาย
2. เพื่อศึกษาอิทธิพลของฟลาวมันสำปะหลัง ฟลาวข้าวหอมมะลิ และฟลาวเท้ายายม่อม ต่อคุณภาพทางด้านกายภาพ เคมี และคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของแป้งชุบทอด
3. เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์แป้งชุบทอดจากฟลาวผสม
4. เพื่อศึกษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์แป้งชุบทอดจากฟลาวผสมที่พัฒนาได้ และคุณภาพในระหว่างการเก็บรักษา
5. เพื่อศึกษาต้นทุนวัตถุดิบของผลิตภัณฑ์แป้งชุบทอดจากฟลาวผสม

การตรวจเอกสาร

1. มันสำปะหลังพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50

มันสำปะหลังพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 เป็นผลงานการวิจัยร่วมกันของนักวิจัย 3 หน่วยงาน คือ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรมวิชาการเกษตร และศูนย์เกษตรเขตร้อนนานาชาติ (CIAT) พันธุ์นี้เกิดจากการผสมพันธุ์ ระหว่างพันธุ์ระยอง 1 (พันธุ์พื้นเมือง) กับพันธุ์ระยอง 90 และเนื่องในวาระครบรอบ 50 ปี ของการก่อตั้งหมาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ เมื่อ พ.ศ. 2536 จึงตั้งชื่อพันธุ์นี้ว่า เกษตรศาสตร์ 50 พันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 นี้ เป็นพันธุ์ที่ให้ผลผลิตสูงและมีปริมาณแป้งในหัวสูง จึงเป็นพันธุ์ที่ต้องการของเกษตรกรและโรงงานแปรรูปมันสำปะหลัง เมื่อขายหัวมันเกษตรกรจะได้รับราคาสูงกว่าหัวพันธุ์พื้นเมืองที่เกษตรกรใช้ปลูกกันอยู่ นอกจากนั้น พันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 นี้สามารถปลูกได้ทั่วประเทศ งอกดี ลำต้นสูงใหญ่ หัวดก และหัวมีลักษณะเป็นกลุ่ม สามารถเก็บเกี่ยวสะดวกโดยแรงงานคนและเครื่องขุด ในปี 2540 พันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 เป็นมันสำปะหลังพันธุ์ดีที่เกษตรกรนิยมปลูกมากมีพื้นที่ปลูกถึง 950,000 ไร่ (เจริญศักดิ์ และคณะ, 2542)

ลักษณะประจำพันธุ์ คือยอดอ่อนสีม่วง ไม่มีขน ใบที่เจริญเต็มที่สีเขียวอมม่วง แผ่นใบเป็นแบบใบหอก (Lanceolate) ต้นสูงประมาณ 2.0 – 3.0 เมตร ลำต้นโค้ง มีสีเทาเงิน แตกกิ่งน้อย คือ 0-1 ระดับ หากแตกกิ่ง กิ่งแรกจะแตกสูงจากพื้นดินประมาณ 1.50 เมตร กิ่งทำมุมกว้าง 75 –90 องศา หัวมีขนาดสม่ำเสมอ เปลือกสีน้ำตาล เนื้อสีขาว (อัจฉรา และจรุงสิทธิ์, 2538)

การใช้ประโยชน์จากมันสำปะหลัง

ประเทศไทยปลูกมันสำปะหลังเป็นจำนวนมาก และส่งออกเป็นสินค้าในรูปต่าง ๆ การนำมันสำปะหลังมาใช้ประโยชน์ภายในประเทศค่อนข้างแคบ มักจำกัดอยู่เพียงอุตสาหกรรมแป้ง และอาหารสัตว์ ส่วนที่นำมารับประทานก็เพียงเป็นอาหารว่าง ประเภทขนมหวานเล็กน้อยเท่านั้น แต่แท้จริงแล้วมันสำปะหลังถูกนำไปใช้เป็นอาหารหลักของมนุษย์อย่างมากมาย มีหลายประเทศในโลกบริโภคมันสำปะหลังเป็นอาหารหลัก เช่นประเทศในแถบอเมริกาใต้ อัฟริกาตลอดจนบางประเทศในแถบเอเซีย เช่น อินโดนีเซีย และมีมากมายหลายประเทศที่บริโภคมันสำปะหลังเป็นอาหารสำคัญรองจากธัญพืช นอกจากจะนำมันสำปะหลังไปใช้เป็นอาหารหลักแล้ว ยังมีการนำมารับประทานได้หลายรูป เช่น ทำเป็นแป้งมันเพื่อนำไปปรุงเป็นอาหารอย่างอื่นต่อไป หัวสดยังนำมาทำเป็นมันทอด

ได้โดยปอกเปลือก ฝานเป็นแผ่นบาง ๆ นำไปทอด ใช้เป็นอาหารว่างได้ คนไทยนิยมนำมาเชื่อมและย่าง ทำเป็นขนมมันนึ่งใส่มะพร้าวและน้ำตาล (พวงเพชร, 2538)

ความเป็นพิษของมันสำปะหลัง

ในหัวและใบมันสำปะหลังมีสารไซยาโนจินิค กลูโคไซด์ที่สามารถเปลี่ยนรูปเป็นกรดไฮโดรไซยานิค (HCN) ซึ่งเป็นพิษต่อมนุษย์ และสัตว์เมื่อรับประทานเข้าไป ในหัวมันสำปะหลังสารกลูโคไซด์ส่วนใหญ่จะอยู่ในส่วนเปลือกมากกว่าส่วนเนื้อ ดังนั้นก่อนที่จะนำมันสำปะหลังมารับประทานจึงต้องมีขั้นตอนการเตรียมเพื่อลดสารกลูโคไซด์ในมันสำปะหลังลง เพื่อใช้บริโภคได้ซึ่งสามารถทำได้หลายวิธีได้แก่

1. ปอกเปลือก เป็นที่ทราบแล้วว่า สารที่เป็นพิษสะสมอยู่ในเปลือกมากกว่าในเนื้อมันสำปะหลัง การปอกเปลือกจึงเป็นการกำจัดสารดังกล่าวที่ดีที่สุด ควรทำก่อนอื่น

2. ล้างน้ำ แช่น้ำ เนื่องจากสารกลูโคไซด์ ละลายน้ำได้ดีมาก ดังนั้นการล้างน้ำหรือแช่น้ำนาน ๆ กลูโคไซด์ก็จะละลายไปมาก

3. การหั่นเป็นชิ้นบาง ๆ หรือชิ้นเล็ก ๆ หรือการขูดให้เป็นเส้น การสับ บด เหล่านี้เป็นวิธีการที่ช่วยเร่งปฏิกิริยาที่จะช่วยลดความเป็นพิษ

4. การตากให้แห้ง เช่น มันเส้นและมันอัดเม็ด เป็นวิธีลดความเป็นพิษทางหนึ่ง

5. การใช้ความร้อน กลูโคไซด์ สลายตัวได้ดีมากเมื่อทำให้ร้อน 150 องศาเซลเซียส ดังนั้นเมื่อนำหัวมันสำปะหลังมาทำให้ร้อน จะด้วยวิธีเผา อบ นึ่ง ต้ม ความเป็นพิษจะหมดไปมาก

6. การทำเป็นแป้ง ต้องผ่านการล้าง การหั่น การบด และผ่านความร้อนสูง ความเป็นพิษจึงหมดไป

7. การหมักดอง การหมักดองหัวมันสำปะหลังทำให้เกิดกรดอินทรีย์ขึ้น ซึ่งมีผลในการไฮโดรไลส์สารกลูโคไซด์ที่อยู่ในหัวมัน ทำให้แก๊สไฮโดรไซยาไนด์ระเหยไปความเป็นพิษก็จะหมดไป ชาวอัฟริกันและอเมริกาใต้ที่รับประทานมันสำปะหลังเป็นอาหารหลักใช้วิธีหมักดองกันมากในการเตรียมอาหารจากมันสำปะหลัง

แม้ว่าในบางครั้งก่อนบริโภคจะขจัดสารที่เป็นพิษออกไม่หมด ยังมีสารดังกล่าวหลงเหลืออยู่บ้าง แต่เมื่อรับประทานเข้าไป สารนี้จะถูกเอนไซม์ในลำไส้ย่อยได้อีก ฉะนั้นโอกาสที่สารพิษในหัวมันสำปะหลังจะเป็นพิษต่อการบริโภคนั้นจึงมีน้อยมาก (พวงเพชร, 2538)

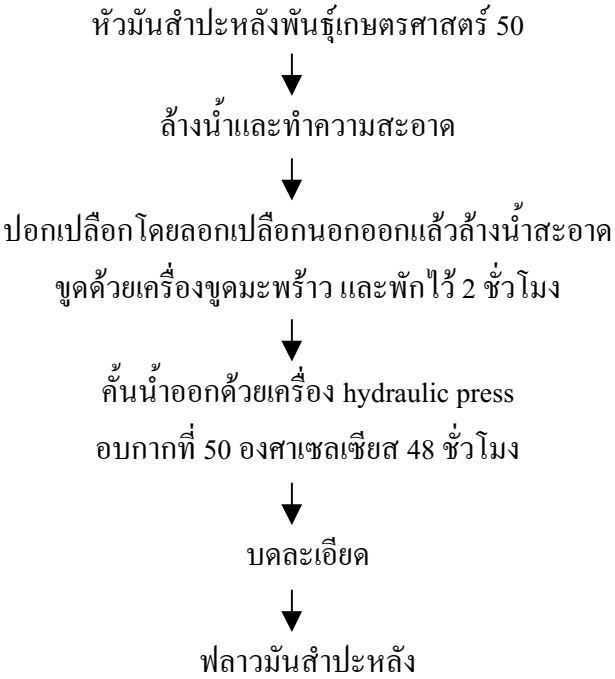
2. <u>ฟลาวมันสำปะหลัง</u>

ความแตกต่างของแป้งในรูปฟลาว และสตาร์ชนั้นอรพิณ (2533) กล่าวว่า “แป้ง” ที่คนไทยเรียกกันทั่ว ๆ ไปนั้น ได้รวมความหมายเกี่ยวกับการเรียกแป้งในภาษาอังกฤษ 2 ประเภท เข้าด้วยกัน คือ แป้งฟลาว(flour) และ แป้งสตาร์ช(starch) ซึ่งแป้งฟลาว และแป้งสตาร์ชนั้นมีส่วนประกอบทางเคมีแตกต่างกัน ส่งผลให้คุณสมบัติแตกต่างกันไปด้วย

ฟลาว(flour) หมายถึง ผลิตภัณฑ์แป้งที่ผลิตจากวัตถุดิบทางการเกษตรชนิดต่าง ๆ เช่น ข้าวเจ้า ข้าวเหนียว ข้าวสาลี ข้าวฟ่าง ข้าวโพด มันฝรั่ง มันสำปะหลัง มันเทศ ลำต้นสาคู เป็นต้น โดยนำวัตถุดิบทั้งหมดมาโม่หรือบด หรือตีจนละเอียดมาก ดังนั้นส่วนประกอบของฟลาวจึงประกอบด้วยสารอาหารต่าง ๆ ที่มีอยู่ในวัตถุดิบดั้งเดิมทั้งหมด คือ คาร์โบไฮเดรท โปรตีน ไขมัน เส้นใย แร่ธาตุต่าง ๆ เป็นต้น (อรพิณ, 2533)

สตาร์ช(starch) หมายถึง ผลิตภัณฑ์แป้งที่ผลิตจากวัตถุดิบชนิดต่าง ๆ ที่ใช้ผลิตฟลาวเช่นเดียวกัน แต่กรรมวิธีการผลิตจะแยกเอาเฉพาะส่วนที่เป็นสารอาหารคาร์โบไฮเดรท โดยมีสารอื่นปะปนมาน้อยที่สุด ดังนั้น สตาร์ชจึงประกอบด้วยสารอาหารที่เป็นคาร์โบไฮเดรทเป็นส่วนใหญ่ (อรพิณ, 2533)

<u>ขั้นตอนการผลิตฟลาวมันสำปะหลัง</u>



<u>ภาพที่ 1</u> ขั้นตอนการผลิตฟลาวมันสำปะหลัง

ที่มา : วิชัย และคณะ (2546)

ฟลาวมันสำปะหลังพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 มีองค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ ความชื้น โปรตีน ไขมัน เส้นใยหยาบ เถ้า และคาร์โบไฮเดรต เท่ากับ 6.49, 1.67, 0.25, 5.52, 0.82 และ 85.25 ตามลำดับ (พิณณัดดา, 2547) ซึ่งคิดเป็นร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง ได้เท่ากับ 6.49, 1.79, 0.27, 5.90, 0.87 และ 91.17 ตามลำดับ

การใช้ฟลาวมันสำปะหลังทดแทนแป้งสาลีในผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ พบว่า สามารถใช้ฟลาวมันสำปะหลังทดแทนแป้งสาลีได้ ร้อยละ 100 ในบัตเตอร์เค้กลดพลังงาน(พัชรินทร์, 2547) ร้อยละ 45 ในผลิตภัณฑ์เพสตรี้แช่แข็ง(เบญจพร, 2546) และ ร้อยละ 37 ในแป้งพิซซ่า(ปถมาภรณ์, 2548)

3. <u>แป้งเท้ายายม่อม</u>

แป้งเท้ายายม่อมเป็นแป้งที่ทำมาจาก หัวเท้ายายม่อม ซึ่งมีชื่ออื่น ๆ เช่น บุกรอ, ไม้เท้าฤาษี, สิ่งโตดำ, East Indian Arrowroot, Thahiti Arrowroot เป็นต้น หัวเท้ายายม่อมสดไม่สามารถรับประทานได้ เพราะมีสารรสขมที่เป็นพิษ จะสามารถรับประทานได้ต่อเมื่อมีการแปรรูปเป็นแป้งและนำมาประกอบอาหาร

ขั้นตอนในการผลิตแป้งเท้ายายม่อมทำได้โดย ปอกเปลือกหัวเท้ายายม่อมและล้างให้สะอาด จากนั้นหั่นเป็นชิ้นเล็ก ๆ และนำมาปั่นกับน้ำในอัตราส่วน หัวเท้ายายม่อม :น้ำ เท่ากับ 1 : 1 กรองเอาส่วนน้ำของหัวเท้ายายม่อมที่ได้จากการปั่นด้วยผ้าขาวบาง และทิ้งไว้ให้ตกตะกอน จากนั้นเทน้ำลงไปผสมกับตะกอนใหม่ และทิ้งให้ตกตะกอนอีกจนกระทั่งได้น้ำส่วนบนใส ไม่มีสี จึงเทน้ำส่วนบนที่ใสทิ้ง และนำตะกอนแป้งที่ได้ไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จะได้แป้งเท้ายายม่อม

องค์ประกอบทางเคมีของแป้งเท้ายายม่อมที่ผลิตได้ในห้องปฏิบัติการ ได้แก่ โปรตีน ไขมัน เส้นใยหยาบ เถ้า และคาร์โบไฮเดรต คิดเป็นร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง เท่ากับ 0.05, 0.03, 0.41, 0.15 และ 99.36 ตามลำดับ ส่วนองค์ประกอบทางเคมีของแป้งเท้ายายม่อมที่จำหน่ายตามท้องตลาด เท่ากับ 0.05, 0.02, 0.52, 0.09 และ 99.32 ตามลำดับ(ปิติพร, 2546)

4. <u>ฟลาวข้าวหอมมะลิ</u>

ข้าวหอมของไทยเป็นที่นิยมทั้งตลาดภายในประเทศและส่งออก พันธุ์ข้าวที่นำมาผลิตข้าวหอมได้แก่ พันธุ์ขาวดอกมะลิ105 และกข 15 ซึ่งเป็นข้าวอะมิโลสต่ำ ข้าวสุกจึงนุ่ม และค่อนข้างเหนียว ในขณะที่ข้าวที่มีอะมิโลสสูงจะมีลักษณะข้าวสุกร่วน แข็ง ข้าวที่มีอะมิโลสปานกลางจะค่อนข้างร่วน ไม่แข็ง นอกจากนี้ข้าวหอมมีสาร 2-acetyl-1-pyrolline มากกว่าข้าวทั่วไป และเป็นสารชนิดเดียวกับที่พบในพืชตระกูลใบเตย (งามชื่น, 2542)

เนื่องจากข้าวไทยมีปริมาณอะมิโลสแตกต่างกันทำให้สามารถแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ได้หลากหลาย เช่น ข้าวอะมิโลสสูงเหมาะที่จะนำมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์เส้นและแผ่น เช่น เส้นก๋วยเตี๋ยว เส้นหมี่ และขนมจีน เนื่องจากแป้งอะมิโลสสูงเมื่อสุกแล้วทำให้เย็นลงแป้งสุกจะไม่แฉะหนียวติดกัน ในขณะที่อาหารประเภทของกรอบ ได้แก่ ผลิตภัณฑ์อะราเร (Arare)ทำจากข้าวเหนียวซึ่งมีอะไมโลสต่ำมาก และเซมเบ(Sembei)ทำจากข้าวเจ้าที่มีอะไมโลสต่ำ (งามชื่น, 2537)

ฟลาวข้าวหอมมะลิ มีองค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ ความชื้น โปรตีน ไขมัน เส้นใยหยาบ เถ้า และคาร์โบไฮเดรต คิดเป็นร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง เท่ากับ 11.19, 7.05, 0.22, 0.60, 0.52 และ 91.61 ตามลำดับ (รองรัตน์, 2547)

การใช้แป้งจากปลายข้าวหอมมะลิทดแทนแป้งสาลีในผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ พบว่า สามารถใช้แป้งข้าวหอมมะลิทดแทนแป้งสาลีได้ ร้อยละ100 ในผลิตภัณฑ์ขนมเค้ก ส่วนผลิตภัณฑ์ปาท่องโก๋ ขนมปังแซนด์วิช ซาลาเปา และหมั่นโถว สามารถใช้แป้งข้าวหอมมะลิทดแทนแป้งสาลีได้ ร้อยละ 35 และขนมปังหวาน สามารถใช้แป้งข้าวหอมมะลิทดแทนแป้งสาลีได้ ร้อยละ 30 (เพ็ญขวัญ, 2547)

5. <u>แป้งชุบทอด</u>

แป้งชุบทอด หรือ แป้งผสมสำหรับประกอบอาหารทอด (Mixed Flour for Deep-Fry) หมายถึง แป้งที่ผสมกับส่วนประกอบอื่นใช้ชุบอาหารก่อนนำไปทอด เพื่อทำให้กรอบ(สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2534)

5.1 ประเภทของแป้งชุบทอด

Suderman (1993) แบ่งแป้งชุบทอดเป็น 2 พวกใหญ่ ๆ คือชนิดที่มี และไม่มีสารช่วยให้ฟู

1. ชนิดที่ไม่มีสารช่วยให้ฟู (Conventional or Unlevened batter) เป็นแป้งชุบทอดที่มีส่วนประกอบส่วนใหญ่เป็นฟลาวข้าวสาลี (wheat flour-based) ฟลาวข้าวโพด(corn flour-based) สตาร์ชที่ผ่านการแปรสภาพ หรือสตาร์ที่ไม่ผ่านการแปรสภาพ (starch-based) และแป้งชุบทอดโดยทั่วไปที่มีส่วนผสมของนมและไข่จะถูกจัดไว้ในกลุ่มนี้

2. ชนิดที่มีสารช่วยให้ฟู หรือ Tempura (levened) batter มีส่วนผสมที่คล้ายกับชนิดแรกแต่แตกต่างจากชนิด conventional batters ตรงที่มีส่วนผสมของสารช่วยให้ฟู (leavening agent)

ในขณะที่ Loewe (1990) แบ่งชนิดของแป้งชุบทอดไว้คล้ายกัน ดังนี้

1. Interface/Adhesion batter โดยทั่วไปมักใช้ร่วมกับเกล็ดขนมปังโดยเลือกเกล็ดขนมปังตามขนาด สี กลิ่น และความกรอบที่ต้องการ ประโยชน์หลักของแป้งชุบทอดชนิดนี้คือช่วยให้เกิดการเกาะติด (adhesive) ระหว่างผิวหน้าอาหาร กับเกล็ดขนมปัง โดยทั่วไปไม่มีการใช้สารเคมีช่วยให้ขึ้นฟู การยอมรับในผลิตภัณฑ์สุดท้ายอยู่ที่ความสม่ำเสมอและความหนาของส่วนที่เคลือบอยู่ ซึ่งขึ้นอยู่กับความหนืดของแป้งชุบทอดโดยเกล็ดขนมปังจะมีการเกาะติดได้ดีกับแป้งชุบทอดที่มีความหนืดมากกว่าแป้งชุบทอดที่มีปริมาณน้ำมากซึ่งจะให้ส่วนที่เคลือบบางกว่า

2. Puff/Tempura batter แป้งชุบทอดชนิดนี้มีฟลาว์ข้าวสาลี และฟลาว์ข้าวโพดเป็นส่วนสำคัญ สารเคมีที่ช่วยให้ขึ้นฟูช่วยให้ สามารถใช้ชุบทอดโดยเคลือบอยู่ชั้นนอกอาหารได้โดยไม่ต้องมีเกล็ดขนมปัง ดังนั้นจึงต้องมีคุณลักษณะที่มองเห็น และโครงสร้างที่ซับซ้อนกว่าชนิดแรก

5.2 ส่วนผสมของแป้งชุบทอด

Loewe (1990) แบ่งส่วนผสมของแป้งชุบทอดโดยทั่วไปออกได้เป็น ส่วนผสมหลักซึ่งเป็นส่วนผสมสำคัญในแป้งชุบทอด ประกอบด้วย แป้งสาลี แป้งข้าวโพด และสารช่วยให้ขึ้นฟู นอกจากนี้เป็นส่วนผสมอื่น ๆ ที่อาจผสมลงในแป้งชุบทอด ได้แก่ แป้งจากถั่วเหลือง ข้าวบาร์เลย์ เนยขาว

น้ำมัน นมผง สตาร์ช กัม อิมัลซิไฟเออร์ สี เกลือ น้ำตาล เดกซ์ทริน เครื่องปรุง สารให้กลิ่นรส ขนมปังป่น ปริมาณของส่วนผสมแต่ละชนิดในแป้งชุบทอดขึ้นอยู่กับอาหารที่นำมาชุบทอด และลักษณะปรากฏที่ต้องการสำหรับอาหารชนิดนั้น ๆ โดยอาจมีปริมาณมากหรือน้อยอยู่ในช่วงดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 สูตรแป้งชุบทอดโดยทั่วไป

ส่วนผสม	เปอร์เซ็นต์
ส่วนผสมหลัก	
แป้งสาลี	30 – 50
แป้งข้าวโพด	30 – 50
โซเดียมไบคาร์บอเนต	ไม่เกิน 3
กรดฟอสเฟต	ปริมาณที่ใช้ขึ้นอยู่กับสมดุลย์ความเป็นกรดด่าง
ส่วนผสมอื่น ๆ	
แป้งจากข้าว ถั่วเหลือง ข้าวบาร์เลย์	0 – 5
เนยขาว น้ำมัน	0 – 10
ผลิตภัณฑ์จากนมชนิดผง	0 – 3
สตาร์ช	0 – 5
กัม อิมัลซิไฟเออร์ สี	น้อยกว่า 1
เกลือ	ไม่เกิน 5
น้ำตาล เดกซ์ทริน	0 – 3
สารให้กลิ่นรส เครื่องปรุง ขนมปังป่น	ไม่จำกัด

ที่มา : Loewe (1990)

5.3 หน้าที่ของส่วนผสมในแป้งชุบทอด

5.3.1 แป้ง (flour)

แป้ง หมายถึง ผงละเอียดซึ่งมีสตาร์ชเป็นส่วนประกอบหลัก ได้จากแหล่งวัตถุดิบหลายชนิดซึ่งได้แก่ แป้งข้าวโพด แป้งข้าว แป้งถั่วเหลือง หรือแป้งข้าวบาร์เลย์ (Davis, 1983) แป้งสาลี แป้งมันสำปะหลัง (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2534)

ส่วนใหญ่ปริมาณแป้งในแป้งผสมชุบทอด (dry batter mix) มีอยู่ประมาณ 80 – 90 %ของน้ำหนักแป้งชุบทอดทั้งหมด (Donahoo, 1970) ทั้งนี้หน้าที่ของแป้ง (flour) ในแป้งผสมชุบทอดขึ้นอยู่กับส่วนประกอบหลักสองส่วนในแป้ง คือ สตาร์ช และโปรตีน

ก. สตาร์ช

ส่วนของสตาร์ชในแป้ง เกิดจากสายพอลิเมอร์ของกลูโคสซึ่งมีระดับความเป็นกิ่งก้าน ต่าง ๆ กัน ได้แก่ พอลิเมอร์ซึ่งมีความเป็นกิ่งสูง (อะมิโลเพกทิน) และพอลิเมอร์ซึ่งโดยพื้นฐานมีลักษณะเป็นเส้นตรง (อะมิโลส) อัตราส่วนระหว่างอะมิโลเพกทิน และอะมิโลสมีผลต่อหน้าที่การนำไปใช้ของสตาร์ช

การแยกแป้งจากเมล็ดธัญพืชจะส่งผลต่อลักษณะ และขนาดอนุภาคของแป้ง สตาร์ชแกรนูลเกิดความเสียหายจากแรงทางกลในกระบวนการผลิต เช่น การบด ซึ่งส่งผลต่อหน้าที่การนำไปใช้โดยสตาร์ชแกรนูลที่เสียหายจะดูดน้ำได้มากขึ้น หากแป้งชุบทอดมีส่วนของสตาร์ชแกรนูลที่เสียหายมากขึ้น ปริมาณน้ำที่ใช้ผสมต้องมากขึ้นเพื่อให้ได้ความหนืดเท่าเดิม

ในระบบที่มีสตาร์ชและน้ำเมื่อให้ความร้อนจะเกิดกระบวนการเจลาติไนเซชันขึ้นโดยในขั้นแรก ที่อุณหภูมิปกติ แกรนูลจะดูดซับน้ำและพองตัวขึ้น โดยน้ำจะเข้าไปในส่วนอสัณฐาน ส่วนบริเวณที่เป็นผลึกเมื่อให้ความร้อนพันธะไฮโดรเจนระหว่างสตาร์ชในส่วนนี้จะแตกออกทำให้น้ำแทรกเข้าไปได้มากขึ้น สตาร์ชเกิดการพองตัวมากขึ้นและความหนืดเพิ่มขึ้น เมื่อทำให้สตาร์ชที่เกิดเจลาติไนเซชันเย็นลงโมเลกุลของสตาร์ชจะเกิดการจัดเรียงตัวกันใหม่ หรือ รีโทรเกรเดชั่น ทำให้เกิดเป็นเจลที่แข็งขึ้นเมื่อทิ้งไว้นานขึ้น (Davis, 1983)

ข. โปรตีน

แป้งชุบทอดที่มีแป้งสาลีเป็นส่วนผสม เมื่อผสมกับน้ำแป้งจะมีความหนืดเพิ่มขึ้นเนื่องจากเกิดโปรตีนกลูเตนซึ่งให้โครงสร้างที่เกาะตัวกัน (cohesive matrix) แป้งที่มีโปรตีนมากกว่าร้อยละ 11 ทำให้อาหารมีแป้งเคลือบหนาเกินไปและไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค ส่วนแป้งที่มีโปรตีนต่ำกว่าร้อยละ 9 แป้งเคลือบจะมีลักษณะเป็นจุด (spotty) ไม่สม่ำเสมอซึ่งเป็นลักษณะปรากฏที่ไม่ดีนัก (Davis, 1983)

5.3.2 สารช่วยให้ขึ้นฟู

โซเดียมไบคาร์บอเนตเป็นแหล่งที่ให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในสารช่วยให้ขึ้นฟู ซึ่งช่วยให้เกิดการขึ้นฟูของแป้งชุบทอด (Davis, 1983) ผงฟู (Baking powder) ประกอบด้วยสิ่งสำคัญ 3 อย่าง คือ โซเดียมไบคาร์บอเนต (Baking soda) สารที่ให้ความเป็นกรด และแป้งข้าวโพด ผงฟูมีหลายชนิดขึ้นอยู่กับกรดที่นำมาผสม ซึ่งโดยทั่วไปแล้วจัดเป็น 2 แบบด้วยกัน คือ ผงฟูที่ให้ปฏิกิริยารวดเร็วหรือที่เรียกว่าผงฟูกำลังหนึ่ง (Single acting หรือ Fast action) และผงฟูที่ให้ปฏิกิริยาช้าหรือผงฟูกำลังสอง(Double acting) สำหรับผงฟูกำลังสอง ประกอบด้วย โซเดียมไบคาร์บอเนต กับกรด 2 ชนิด หรือมากกว่า กรดชนิดหนึ่งจะเกิดปฏิกิริยาเร็ว อีกชนิดหนึ่งจะเกิดปฏิกิริยาช้า กรดที่เกิดปฏิกิริยาเร็ว ได้แก่ แคลเซียมแอซิดฟอสเฟต ส่วนกรดที่เกิดปฏิกิริยาช้าอาจเป็นโซเดียมไพโรฟอสเฟตหรือโซเดียมอะลูมิเนียมซัลเฟตก็ได้ ขณะผสมกรดที่ให้ปฏิกิริยาเร็วของผงฟูชนิดนี้จะผลิตก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกมาส่วนหนึ่ง และเมื่อนำผลิตภัณฑ์เข้าอบกรดที่ให้ปฏิกิริยาช้าซึ่งเป็นพวกเกลือซัลเฟตจะผลิตก๊าซออกมาอีกส่วนหนึ่งเมื่อได้รับความร้อน (จิตธนาและอรอนงค์, 2539)

5.3.3 เกลือ

หน้าที่หลักของเกลือในแป้งชุบทอด คือ เป็นสารให้กลิ่นรส ในระบบที่มีน้ำอยู่อย่างจำกัด เกลือจะแข่งขันกับโปรตีนในแป้งเพื่อจับกับน้ำ ซึ่งทำให้อัตราการจับน้ำของโปรตีน (protein hydration) ลดลง ซึ่งในแป้งชุบทอดอาจเป็นผลให้ความหนืดของแป้งชุบทอดเกิดขึ้นได้ช้า แต่สิ่งนี้ไม่ถือเป็นปัญหาสำคัญที่พบในการใช้แป้งชุบทอด (Davis, 1983)

5.3.4 น้ำตาล

ในบางครั้งอาจมีการเติมน้ำตาลลงในแป้งชุบทอดเพื่อให้เกิดรสหวาน น้ำตาลจะแข่งขันเพื่อจับกับน้ำเช่นเดียวกันกับเกลือ ซึ่งไม่พบว่าเป็นปัญหาต่อการใช้แป้งชุบทอด (Davis, 1983)

5.3.5 เครื่องเทศ

เครื่องเทศหลายชนิดโดยเฉพาะพริกไทย และเครื่องเทศอื่น ๆ เล็กน้อย เป็นส่วนผสมในสูตรแป้งชุบทอดประมาณ 3 – 5 % การเลือกส่วนผสมของเครื่องเทศมักพิจารณาข้อมูลจากผู้ผลิตเป็นสำคัญ เช่น พริกหวาน นอกจากจะให้กลิ่นรสแล้วยังมีผลต่อสีของผลิตภัณฑ์อีกด้วย (Davis, 1983)

5.3.6 สารให้ความข้นหนืด

กัม ทำหน้าที่ 3 ประการ โดยหน้าที่สำคัญ 2 ประการ คือ ช่วยควบคุมความหนืดและทำหน้าที่อุ้มน้ำ นอกจากนั้นกัมบางชนิดสามารถเกิดเจลหรือฟิลม์ขึ้นได้เมื่อทำหน้าที่ร่วมกับส่วนผสมบางชนิด แป้งชุบทอดซึ่งมีความหนืดต่างกันเพียงเล็กน้อยอาจส่งผลต่อปริมาณแป้งชุบทอด และเกล็ดขนมปังที่ชุบติดได้ ดังนั้นการควบคุมความหนืดของสูตรแป้งชุบทอดจึงถือเป็นสิ่งสำคัญ แซนแทนเป็นกัมชนิดหนึ่งซึ่งเป็นประโยชน์อย่างมากในการควบคุมความหนืด เช่น ในแป้งชุบทอดเหลวซึ่งมีปริมาณของแข็งต่ำ สารแขวนลอยจะมีลักษณะเป็นเนื้อเดียวกันได้เมื่อใช้แซนแทนกัม (Davis, 1983) นอกจากนี้ การใช้แป้งพรีเจลลาติไนซ์ผสมลงไปในแป้งที่ใช้ชุบทอด จะช่วยเพิ่มการเกาะติดกับอาหารสูงขึ้นอีกด้วย (Suderman and Cunningham, 1983)

5.4 คุณสมบัติที่ต้องการของแป้งชุบทอด

5.4.1 ความกรอบ เป็นคุณสมบัติสำคัญของแป้งชุบทอด โดยปัจจัยที่มีผลต่อความกรอบมีดังนี้

ก. องค์ประกอบของแป้งที่เป็นส่วนผสม อัตราส่วนของอะมิโลส ต่ออะมิโลเพกติน มีผลต่ออุณหภูมิแป้งสุก และการเกิดเจลเคลือบชิ้นอาหาร แป้งที่มีอะมิโลสสูงจะมีอุณหภูมิแป้งสุกสูงซึ่งช่วยให้น้ำในส่วนผสมของแป้งหรือในชิ้นอาหารมีโอกาสได้รับความร้อนและระเหย

ออกมาได้มากก่อนที่แป้งจะเกิดเป็นเจลเคลือบชิ้นอาหาร ทำให้แป้งที่เคลือบอยู่หลังจากสุกแล้ว ดูดซับน้ำจากชิ้นอาหารได้น้อยลง จึงมีความกรอบมากกว่าแป้งที่มีอุณหภูมิแป้งสุกต่ำ ซึ่งจะเกิดเป็นเจลอย่างรวดเร็ว นอกจากนี้ แป้งที่มีปริมาณอะมิโลสสูงยังช่วยให้ผลิตภัณฑ์แป้งชุบทอดมีความกรอบสูงขึ้น แต่ต้องมีอัตราส่วนของอะมิโลส ต่ออะมิโลเพกตินในระดับที่เหมาะสมไม่สูงเกินไป เนื่องจากปริมาณอะมิโลสที่สูงมากจะทำให้ผลิตภัณฑ์มีลักษณะแข็งกระด้างจนผู้บริโภคไม่ยอมรับ (Suderman and Cunningham,1983)

องค์ประกอบอื่นซึ่งสำคัญในแป้งที่มีผลต่อความกรอบของผลิตภัณฑ์แป้งชุบทอด ได้แก่โปรตีน เนื่องจากโปรตีนมีผลต่ออุณหภูมิแป้งสุก และทำให้เกิดโครงสร้างที่แข็งแรง (Zwiercan, 1974) แป้งที่มีโปรตีนสูงมีผลทำให้อุณหภูมิแป้งสุกสูงขึ้น ระดับโปรตีนในแป้งชุบทอดที่เหมาะสมอยู่ระหว่างร้อยละ 9-11 ถ้ามีระดับสูงกว่าร้อยละ 11 ทำให้ผลิตภัณฑ์มีลักษณะแข็งเกินไป แต่ถ้าน้อยกว่าร้อยละ 9 มีแนวโน้มที่ทำให้เกิดลักษณะปรากฏที่เป็นจุด (spotty) บนชิ้นไก่ (Suderman and Cunningham,1983) นอกจากนี้คุณภาพของเม็ดแป้งก็มีผลต่อความกรอบของผลิตภัณฑ์ แป้งที่มีปริมาณเม็ดแป้งเสียหายสูงทำให้ผลิตภัณฑ์มีความกรอบมากเกินไป เนื่องจากเกิดการสุกของแป้งไม่สมบูรณ์เพียงพอในระหว่างการทอด

ข. วิธีการให้ความร้อน วิธีที่นิยมใช้คือ การทอดโดยให้น้ำมันท่วมชิ้นอาหาร deep- fat frying) ซึ่งควรควบคุมอุณหภูมิของน้ำมันที่ใช้ทอดให้อยู่ระหว่าง 150 -220 องศาเซลเซียส เพราะถ้าอุณหภูมิต่ำกว่า150 องศาเซลเซียส ผลิตภัณฑ์จะมีความพองกรอบน้อยลง แต่ถ้าอุณหภูมิสูงกว่า 220 องศาเซลเซียส จะเกิดปฏิกิริยาคาราเมลไลเซชันเร็วขึ้น ทำให้ผิวด้านนอกของผลิตภัณฑ์เกิดสีน้ำตาลอย่างรวดเร็ว น้ำในชิ้นอาหารระเหยออกไปได้น้อย ความกรอบของผลิตภัณฑ์จะลดลง (Robbin, 1976) นอกจากนี้การทำให้ชิ้นอาหารสุกก่อนนำมาชุบแป้งมีส่วนช่วยให้ผลิตภัณฑ์มีความกรอบมากขึ้น เนื่องจาก น้ำบางส่วนในอาหารได้ระเหยออกไปก่อนนำมาชุบแป้งทอดแล้ว(Suderman and Cunningham,1983)

ค. ส่วนผสมอื่น ๆ เช่น ไข่ แป้งแปรสภาพ หรือกัมบางชนิดมีผลทำให้ความกรอบของผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้น (Suderman and Cunningham,1983)

5.4.2 การพองตัว(puffing) ของแป้งชุบทอดเกิดเนื่องจากการพองตัวของเม็ดแป้ง และผงฟูที่ผสมอยู่ในแป้งชุบทอด

ก. การพองตัวโดยสมบัติของแป้ง เกิดจากเม็ดแป้งเกิดการพองตัว (swelling) และการดูดน้ำ (hydration) เมื่อได้รับความร้อน น้ำแปรสภาพเป็นไอน้ำเมื่อได้รับความร้อนสูง ทำให้ปริมาตรขยายตัวหรือพองตัวออก(Fox *et al*., 1970)

Feldberg(1969)พบว่าอัตราส่วนของอะมิโลสต่ออะมิโลเพกตินมีความสัมพันธ์กับระดับการพองตัวโดยตรง แป้งที่มีอะมิโลเพกตินสูงจะให้ผลิตภัณฑ์ที่มีการพองตัวดี แต่เบาและเปราะ

ข. สารช่วยให้ขึ้นฟู ผลิตภัณฑ์ที่มีการใช้สารช่วยให้ขึ้นฟู (levened product)จะมีความเบา รูพรุน (porous) และอ่อนนุ่ม(spongy) .ให้คุณภาพของเนื้อสัมผัสที่ดีตรงกับความต้องการ มักมีการใช้ในส่วนผสมของขนมปังหรือแป้งชุบอาหารสำหรับอาหารทอดซึ่งสารช่วยให้ฟูจะให้เกิดโครงสร้างที่เป็นรูพรุนและความกรอบในผลิตภัณฑ์ ประกอบด้วย ไบคาร์บอเนต ซึ่งเป็นสารที่ให้คาร์บอนไดออกไซด์ และกรดซึ่งเป็นตัวควบคุมการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์จากไบคาร์บอเนตในสภาวะที่มีน้ำ (Chung, 2000)

5.4.3 การดูดซับน้ำมัน ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับน้ำมันมีดังนี้

ก. องค์ประกอบของแป้งที่เป็นส่วนผสม อะมิโลส และอะมิโลเพกตินมีส่วนเกี่ยวข้องกับการพองตัวของเม็ดแป้งหลังจากได้รับความร้อนและทำให้เกิดโครงสร้างของผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะแตกต่างกันซึ่งมีผลต่อการดูดซับน้ำมันหรืออมน้ำมันของผลิตภัณฑ์ ระหว่างการทอด แป้งที่มีอะมิโลสสูงจะทำให้ผลิตภัณฑ์มีการพองตัวต่ำ ซึ่งมีผลทำให้การดูดซับน้ำมันน้อยลง แต่แป้งที่มีอะมิโลเพกตินสูงจะทำให้ผลิตภัณฑ์มีการพองตัวดี จึงทำให้อมน้ำมันได้มากในระหว่างการทอด สำหรับผลิตภัณฑ์แป้งชุบทอดควรมีลักษณะพองตัวได้ดี แต่ไม่ควรดูดซับน้ำมันมากเกินไป (อมรรัตน์, 2534)

ข. อุณหภูมิและเวลาที่ใช้ทอด เป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการดูดซับน้ำมันโดยการทอดที่อุณหภูมิสูงด้วยเวลาน้อย ทำให้การดูดซับน้ำมันต่ำลง เพราะขณะที่น้ำมันร้อนขึ้น ความหนาแน่นของน้ำมันต่ำลง น้ำมันส่วนน้อยถูกดูดซับในเวลาจำกัด ถ้าใช้อุณหภูมิต่ำในการทอด เวลา

ในการทอดนานจะทำให้อาหารดูดซับน้ำมันได้มากขึ้น พื้นผิวสัมผัสระหว่างอาหารกับน้ำมันก็มีผลต่อการดูดซับน้ำมันโดยถ้าอาหารมีขนาดใหญ่ หรือพื้นผิวสัมผัสมาก เช่น อาหารชิ้นใหญ่ หรือมีผิวหน้าขรุขระ หรือรูพรุน จะดูดซับน้ำมันได้มากกว่าอาหารที่มีขนาดเล็กหรือผิวเรียบ เพราะมีพื้นที่ผิวสัมผัสกับน้ำมันที่มากกว่า นอกจากนี้การดูดซับน้ำมัน ยังเกี่ยวข้องกับคุณสมบัติของน้ำมันที่ใช้ทอดอีกด้วย โดยการใช้น้ำมันที่มีจุดควัน (smoking point) ต่ำทำให้ไม่สามารถใช้อุณหภมิในการทอดสูง ๆ ได้ เนื่องจากการสลายตัวของน้ำมันมากขึ้น (ศศิเกษม และพรรณี, 2530)

ค. ส่วนผสมอื่น ๆ เช่น หางนม(whey) หรือสารที่ให้ความข้นหนืดพวก hydroxy propyl methyl cellulase มีผลทำให้แป้งชุบทอดดูดซับน้ำมันได้น้อยลง (Suderman and Cunningham,1983)

5.4.4 ความสามารถในการเกาะติดผิวอาหาร (adhesion) แป้งชุบทอดมักมีปัญหาในเรื่องความสามารถในการเกาะติดผิวอาหาร ซึ่งเป็นคุณภาพที่สำคัญประการหนึ่งของผลิตภัณฑ์แป้งชุบทอด เนื่องจากมีผลต่อลักษณะปรากฏของผลิตภัณฑ์และมีผลต่อความสูญเสียทางด้านเศรษฐกิจ ความสามารถในการเกาะติดชิ้นอาหารจะขึ้นอยู่กับความหนืดของแป้งชุบทอดอย่างมาก ปัจจัยที่มีผลต่อความสามารถในการเกาะติดผิวอาหารมีดังนี้

ก. องค์ประกอบของแป้งที่เป็นส่วนผสม แป้งแต่ละชนิดมีความสามารถในการเกาะติดผิวอาหารแตกต่างกัน แป้งชนิด waxy ซึ่งมีอะมิโลเพกตินปริมาณสูง เมื่อได้รับความร้อนจะเกิดเป็นเจลที่มีความหนืดมากกว่าแป้งที่มีอะมิโลสสูง แต่ถ้าหากปริมาณอะมิโลเพกตินสูงจะทำให้แป้งที่ชุบอาหารมีโครงสร้างที่เปราะและมีน้ำหนักเบา หลุดจากชิ้นอาหารได้ง่ายหลังทอด (ณรงค์ และอัญชนีย์, 2528; Hanson, 1963)

ข. ปริมาณน้ำที่ใช้ผสม ความหนืดของแป้งชุบทอดมีความสัมพันธ์อย่างมากกับการเกาะติดของส่วนผสมบนชิ้นอาหาร (Hsia *et al.*, 1992) ถ้าใช้อัตราส่วนของน้ำต่ำ ๆ จะทำให้แป้งชุบทอดมีความหนืดสูงขึ้น ทำให้ความสามารถในการเกาะติดผิวอาหารสูงขึ้นเช่นกัน แต่อาจมีผลทำให้การเกิดเจลาติไนเซชันของเม็ดสตาร์ชไม่สมบูรณ์ ส่วนการเติมน้ำปริมาณมากทำให้ความหนืดลดลง การเกาะติดก็จะลดลง จึงนิยมเติมสตาร์ชดัดแปรด้วยวิธีพันธะข้ามลงไปเพื่อปรับปรุงความหนืดให้เหมาะสม (Suderman and Cunningham,1983)

ค. วิธีการให้ความร้อน การทำให้ชิ้นอาหารสุกบางส่วนก่อนชุบแป้งจะทำให้ชิ้นอาหารมีการหดตัวก่อน เมื่อชุบแป้งแล้วนำไปทอดการหดตัวของชิ้นอาหารจะลดลงทำให้การแยกตัวของชิ้นอาหารจากเปลือกแป้งลดลง (Hanson and Fletcher, 1963) นอกจากนี้การเตรียมชิ้นอาหารโดยการ predust ด้วย egg albumin จะช่วยเพิ่มความสามารถในการเกาะติดของแป้งชุบทอดกับผิวอาหารได้ดีขึ้น

ง. สารช่วยให้เกิดความข้นหนืด (thickening agent) Baker *et al.* (1972) ศึกษาสารที่ช่วยปรับปรุงการเกาะติดผิวอาหาร ได้แก่ สตาร์ช โปรตีน และกัม พบว่า โปรตีนทำให้แป้งเกาะติดผิวอาหารได้ดีกว่าสตาร์ชและกัม ในกลุ่มโปรตีน พบว่าอัลบูมินจากไข่ผลให้ผลดีที่สุด กลูเต้น และโปรตีนจากถั่วเหลืองให้ผลรองลงมาตามลำดับ ปริมาณสารพวกโปรตีนที่ใช้เฉลี่ยประมาณร้อยละ 1.5 ซึ่งน้อยกว่าการใช้กัม แต่ต้องใช้สตาร์ชในปริมาณสูงกว่ากลุ่มอื่น ๆ คือเฉลี่ยประมาณร้อยละ 2.5

5.4.5 สีของอาหารหลังทอด สีของผลิตภัณฑ์แป้งชุบทอดผู้บริโภคส่วนมากยอมรับผลิตภัณฑ์ที่มีสีน้ำตาลทอง (golden brown) เนื่องจากปฏิกิริยาคาราเมลไลเซชัน เป็นการเปลี่ยนแปลงโดยเกิดไฮโดรไลซิสของน้ำตาลในแป้งจนได้ monosaccharide แล้วเกิดพอลิเมอไรเซชันจนได้สารสีน้ำตาลเมื่อนำไปทอดที่อุณหภูมิสูง (Pyler, 1973) สารตั้งต้นในปฏิกิริยาคาราเมลไลเซชันเกิดจากน้ำตาลในแป้ง และการย่อยสลายโมเลกุลสตาร์ชเมื่ออุณหภูมิสูง กว่า 150 องศาเซลเซียส ซึ่งทำให้พันธะแอลฟา 1,4 กลูโคซิดิกแตกออก (Van Beynum and Roles, 1985) ปัจจัยที่มีผลต่อสีมีดังนี้

ก. ชนิดของแป้งที่เป็นส่วนผสม แหล่งของโปรตีนและน้ำตาลซึ่งเกี่ยวข้องกับแป้งที่เป็นส่วนผสม แป้งผสมระหว่างแป้งข้าวเหนียวกับสตาร์ชข้าวโพดเหนียว จะให้ผลิตภัณฑ์สีน้ำตาล แวววาว แป้งสาลีทำให้เกิดสี grayish-brown ในขณะที่แป้งผสมระหว่าง waxy corn starch กับ corn starch จะให้สีที่จางกว่า ส่วนแป้งมันฝรั่งจะให้สีน้ำตาลทอง (Suderman and Cunningham,1983)

นอกจากนี้แป้งจากธัญชาติซึ่งมีเอนไซม์แอลฟา-อะมิเลส จะทำให้ผลิตภัณฑ์มีสีน้ำตาลเข้มขึ้น เนื่องจากเกิดการย่อยสตาร์ชให้อยู่ในรูปเดกซ์ทริน และเดกซ์ทรินทำให้เกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ด และคาราเมลไลเซชันมากขึ้นเมื่อนำไปทอด (Olewnik and Kulp, 1990)

ข. วิธีการให้ความร้อน การทอดที่อุณหภูมิสูงและเวลานานจะทำให้ปฏิกิริยาคาราเมลไลเซชันเกิดขึ้นมาก จนทำให้ผลิตภัณฑ์มีสีน้ำตาลเข้ม จนผู้บริโภคไม่ยอมรับ (Robbin, 1976)

6. <u>การทอด</u>

วัตถุประสงค์ของการทอด เพื่อให้อาหารมีสี กลิ่น รสชาติ และความกรอบ ดังนั้น คุณภาพการบริโภคจะเกิดจากปฏิกิริยา Maillard Browning และสารประกอบที่ระเหยได้ที่อาหารดูดซับจากน้ำมัน (นิธิยา, 2544)

6.1 การทอดแบบน้ำมันท่วม

การทอดแบบน้ำมันท่วมเป็นการทอดอาหารในน้ำมันที่มีปริมาณมากเพียงพอที่จะท่วมอาหารทั้งชิ้น การถ่ายเทความร้อนจะเกิดขึ้นทั้งการพาความร้อนในน้ำมัน และการนำความร้อนภายในชิ้นอาหาร ทำให้อาหารได้รับความร้อนจากน้ำมันทุกๆ ด้าน ดังนั้นสี และลักษณะปรากฏของชิ้นอาหารจะมีความสม่ำเสมอ การทอดแบบนี้เหมาะกับการทอดอาหารทุกรูปทรง (Fellow, 1990) การทอดแบบน้ำมันท่วมเป็นกระบวนการที่ทำให้อาหารสุกและมีความชื้นลดลง โดยการให้ชิ้นอาหารสัมผัสกับน้ำมันร้อนที่มีอุณหภูมิประมาณ 160 ถึง 200 องศาเซลเซียส จนกระทั่งจุดกึ่งกลางของชิ้นอาหาร หรือจุดร้อนช้าที่สุดมีอุณหภูมิสูงเพียงพอที่จะทำลายจุลินทรีย์ให้อยู่ในระดับที่ปลอดภัยต่อการบริโภค หรือนานเพียงพอที่จะทำให้ผลิตภัณฑ์มีลักษณะตามที่ต้องการ การทอดเป็นกระบวนการที่มีการถ่ายเทความร้อน การถ่ายเทมวลสาร รวมทั้งการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและเคมีของอาหารเกิดขึ้นพร้อม ๆ กัน(ศรีสุวรรณ, 2547)

นอกจากนี้การทอดยังมีวัตถุประสงค์เพื่อทำให้ผิวนอกของอาหารเกิดเป็นเปลือกแข็ง (crust)หุ้มอาหาร เพื่อรักษากลิ่นรส และความฉ่ำของอาหารไว้ อาหารบางชนิดสามารถทอดได้เลย เช่น มันฝรั่ง เนื้อไก่ ปลา อาหารบางชนิดนิยมเคลือบด้วยแป้งชุบทอดหรือ/และเกล็ดขนมปังก่อนทอด เช่น หัวหอมใหญ่หั่นเป็นวง ๆ เนื้อปลาหั่นเป็นแผ่นบาง ๆ และเนื้อไก่ เป็นต้น เพื่อลดการซึมผ่านของน้ำมันไปยังชิ้นอาหารและลดการเสื่อมของน้ำมันจากน้ำที่ออกมาจากอาหาร ทำให้สามารถใช้น้ำมันทอดอาหารได้นานขึ้น (ศรีสุวรรณ, 2547)

6.2 ขั้นตอนของกระบวนการทอดอาหาร

กระบวนการทอดอาหารสามารถแบ่งได้เป็น 4 ช่วง(Singh, 1995; Blumenthal ,1991) ดังนี้

1. ช่วงแรกของการให้ความร้อน (initial heating) เป็นช่วงที่ทำให้อุณหภูมิที่ผิวของอาหารเพิ่มขึ้นจนมีอุณหภูมิเท่ากับจุดเดือดของน้ำ การถ่ายเทความร้อนเป็นการพาแบบธรรมชาติที่ยังไม่มีการระเหยของน้ำ

2. ช่วงการเดือดของน้ำที่ผิวอาหาร (surface boiling) น้ำที่ผิวของอาหารจะระเหยกลายเป็นไอ ผิวหน้าเริ่มแห้งเกิดเป็นเปลือกแข็ง การถ่ายเทความร้อนเป็นการพาแบบบังคับ

3. ช่วงอัตราการระเหยลดลง (falling rate) เป็นช่วงที่อุณหภูมิที่จุดกึ่งกลางของอาหารมีอุณหภูมิสูงขึ้นเนื่องจากการสูญเสียน้ำจากภายในชิ้นอาหาร และอัตราการระเหยน้ำเริ่มช้าลง อาหารเริ่มสุก และเกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีและทางกายภาพ เช่น เกิดการเจลาติไนซ์ของแป้ง

4. จุดยุติของการเกิดฟอง(bubble end point) จะเกิดขึ้นเมื่ออาหารถูกทอดเป็นเวลานาน น้ำระเหยได้ช้าทำให้ปริมาณฟองของไอน้ำที่ออกจากผิวอาหารลดลง

คุณภาพของอาหารทอดขึ้นกับปัจจัยต่าง ๆ ได้แก่

1. กระบวนการทอด ได้แก่ อุณหภูมิของน้ำมันร้อน เวลาที่ใช้ในการทอด และระบบของการทอด

2. น้ำมัน ได้แก่ องค์ประกอบทางเคมีของน้ำมัน สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของน้ำมัน

3. อาหาร ได้แก่ องค์ประกอบของอาหาร สมบัติทางกายภาพและเคมีของอาหาร การเตรียมชิ้นอาหารก่อนทอด เช่น รูปทรงของอาหาร ความหนาของชิ้นอาหาร การลวกชิ้นอาหาร การลดความชื้นของชิ้นอาหารก่อนทอด การชุบในแป้งชุบทอด เป็นต้น

6.3 การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นระหว่างการทอด

ระหว่างการทอดจะเกิดการเปลี่ยนแปลงขึ้น 3 อย่าง(Fillion and Henry,1998) ได้แก่

1.กระบวนการทางกายภาพ (Physical process) ได้แก่ การเคลื่อนย้ายของน้ำภายในชิ้นอาหารที่ทอด และไปในน้ำมันที่ใช้ทอด และหลังจากที่น้ำกลายเป็นไอระเหย จะมีการเคลื่อนย้ายของไขมันจากชิ้นอาหารที่ทอดสู่น้ำมันที่ทอด หรือจากน้ำมันที่ทอดเข้าสู่ชิ้นอาหาร

2. การเปลี่ยนแปลงทางเคมี (Chemical changes) การเปลี่ยนแปลงทางเคมีที่เกิดขึ้นในชิ้นอาหารเกิดขึ้นเนื่องจากผลของอุณหภูมิ และการสูญเสียน้ำในการทอด

3. การเกิดปฏิกิริยาทางเคมีระหว่างน้ำมันที่ใช้ทอด และองค์ประกอบตามธรรมชาติของอาหาร หรือสารที่เกิดขึ้นระหว่างการทอด

การเปลี่ยนแปลงที่สำคัญซึ่งเกิดขึ้นในระหว่างการทอด ได้แก่

การเปลี่ยนแปลงของสตาร์ช และเยื่อใย(undigestible polysaccharides, dietary fiber) เม็ดแป้งจะเกิดการเจลาติไนซ์เมื่อสัมผัสกับน้ำมันที่ร้อน เมื่อในความร้อนต่อไปจะเกิดเปลือกที่กรอบ(crispy crust)บนผิวของชิ้นอาหาร ในสภาวะที่มีปริมาณน้ำน้อย การเจลาติไนซ์ของเม็ดแป้งจะเกิดขึ้นได้เพียงบางส่วนของเม็ดแป้งทำให้ยังคงความเป็นผลึกของเม็ดแป้งอยู่ (Gomez *et al.*, 1992) แป้งจะเกิดเป็นฟิลม์ในระห่างการทอดป้องกันการเคลื่อนที่ของน้ำมันเข้าสู่อาหารทอด และการสูญเสียน้ำออกจากชิ้นอาหาร ในระหว่างการทอด หรือการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ จะทำให้สตาร์ช เปลี่ยนแปลงไปเป็น resistant starch (แป้งที่ไม่สามารถย่อยสลายได้ด้วยเอนไซม์ และไม่สามารถดูดซึมได้ในลำไส้เล็กของมนุษย์) และ digestible dietary fiber จะไม่ละลายน้ำได้ (Thed and Phillips, 1995) เซลลูโลสจะป้องกันการเคลื่อนย้ายของน้ำมันระหว่างการทอดเนื่องจากสร้างพันธะไฮโดรเจนกับน้ำทำให้อาหารชุ่มชื้นและมีไขมันน้อย(Ang and Miller, 1991)

การดูดซับน้ำมันและสูญเสียความชื้นระหว่างการทอด ปัจจัยที่ส่งผลต่อการดูดซับน้ำมันระหว่างการทอด ได้แก่ อุณหภูมิและเวลาที่ใช้ทอด ปริมาณความชื้นโดยเฉพาะที่ชั้นผิวหน้าของอาหารทอด ชนิด ขนาด และรูปร่างของอาหาร ความแข็งแรงของเจล และความเป็นรูพรุน การเตรียมชิ้นอาหารก่อนทอด เช่น การทำแห้ง หรือการชุบด้วยแป้งชุบทอด ชนิดและคุณภาพของน้ำมัน (Jan, 1999)

การเปลี่ยนแปลงของน้ำตาลระหว่างการทอด ปฏิกิริยาหลักที่เกิดขึ้นกับน้ำตาล คือ Maillard reaction (non-enzymic browning) ซึ่งจะทำปฏิกิริยากับ free amino acids หรือ free amino groups ของโปรตีน และเปปไทด์ โดยน้ำตาลจะถูกไฮโดรไลซิสให้อยู่ในรูปน้ำตาลรีดิวซิ่ง (กลูโคส และฟรุกโตส) ก่อน (Leszkowiat *et al.*, 1990)

การเปลี่ยนแปลงของโปรตีน ในการทอดโปรตีนจะเกิดการdenature ที่อุณหภูมิต่ำกว่า 100 องศาเซลเซียส การ denature นี้จึงเกิดขึ้นทั้งส่วนนอกและส่วนในของชิ้นอาหาร ส่งผลต่อความสามารถในการอุ้มน้ำของโปรตีน(Jan, 1999)

การเกิดสารให้กลิ่นรสในอาหารทอด โดยส่วนใหญ่กลิ่นรสอาหารทอดเกิดจากสารประกอบที่เกิดจาการสลายตัวของน้ำมันที่ใช้ทอด (lipid degradation product) นอกจากนี้ส่วนประกอบที่แตกต่างกันไปของอาหารแต่ละชนิด เช่น น้ำตาล กรดอะมิโน และโปรตีน(amino acids and proteins) สารประกอบซัลเฟอร์(sulfur compounds) ไขมันในอาหาร ฟีโนลิก(phenolics) และเทอร์พีน(terpenes) ซึ่งมีปริมาณแตกต่างกันไปในอาหารแต่ละชนิดจะร่วมกันสนับสนุนให้เกิดกลิ่นรสโดยรวมของอาหารทอด(Jan, 1999)

7. <u>อายุการเก็บรักษา</u>

อายุการเก็บรักษา หมายถึง ช่วงระยะเวลาของการเก็บรักษาตั้งแต่ผลิตภัณฑ์นั้นผลิตออกมาจนกระทั่งผลิตภัณฑ์นั้นอยู่ในสภาพที่ผู้บริโภคไม่ยอมรับ การทดสอบอายุการเก็บรักษามักใช้เกณฑ์ในการพิจารณาหนึ่งหรือมากกว่าหนึ่งเกณฑ์ในการพิจารณาโดยเป็นการเปลี่ยนแปลงที่อาจทำให้ผลิตภัณฑ์ไม่เป็นที่ยอมรับ เช่น อาจใช้คะแนนเฉลี่ยจากการทดสอบทางประสาทสัมผัส การเสื่อมเสียจากจุลินทรีย์ในระดับที่ไม่ปลอดภัยต่อผู้บริโภค หรือการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพที่ทำให้ผลิตภัณฑ์ไม่เป็นที่ยอมรับต่อผู้บริโภค เช่น การเปลี่ยนแปลงในด้านสี กลิ่น กลิ่นรส เนื้อสัมผัส เป็นเกณฑ์แสดงว่าผลิตภัณฑ์หมดอายุแล้ว (รุ่งนภา, 2540; Singh, 1994)

การเปลี่ยนแปลงระหว่างการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์แป้งสำเร็จรูป เช่น แป้งขนมถ้วยฟู มีค่าวอเตอร์แอกติวิตี้ลดลง ในขณะที่เนื้อสัมผัสของขนมถ้วยฟูด้านค่าความแข็ง และความยืดหยุ่นมีค่าเพิ่มขึ้น และสามารถเก็บแป้งขนมถ้วยฟูสำเร็จรูปได้ อย่างน้อย 12 สัปดาห์ที่อุณหภูมิห้อง(รุ่งรัตน์, 2544)

8. มาตรฐานของแป้งชุบทอด

มาตรฐานอุตสาหกรรม(2534) กำหนดคุณภาพของแป้งชุบทอดไว้ดังนี้

8.1 ความชื้นต้องไม่เกิน 14% การทดสอบให้ปฏิบัติตาม AOAC(1984) ข้อ 14.004

8.2 เถ้าที่ไม่ละลายในกรดต้องไม่เกิน 0.07% การทดสอบให้ปฏิบัติตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ผลิตภัณฑ์มันสำปะหลัง มาตรฐานเลขที่ มอก. 52

8.3 จุลินทรีย์

8.3.1 โคลิฟอร์ม เมื่อทดสอบโดยวิธีเอ็มพีเอ็น (MPN) ต้องน้อยกว่า 3 ต่อตัวอย่าง 1 กรัม การทดสอบให้ปฏิบัติตาม AOAC(1984) ข้อ 46.016

8.3.2 รา ต้องไม่เกิน 100 โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม การทดสอบให้ปฏิบัติตาม AOAC(1984) ข้อ 46.011

8.4 สิ่งแปลกปลอม เช่น แมลง ผม ขนสัตว์ ต้องไม่มี การทดสอบทำได้โดยการตรวจพินิจ

8.5 ปริมาณผงชูรสไม่เกิน 1.5% การทดสอบให้ปฏิบัติตาม AOAC(1984) ข้อ 20.212 ถึง ข้อ 20.214

8.6 ห้ามใช้บอแรกซ์ในแป้งชุบทอด การทดสอบให้ปฏิบัติตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม หัวผักกาดเค็มปรุงรส มาตรฐานเลขที่ มอก. 579

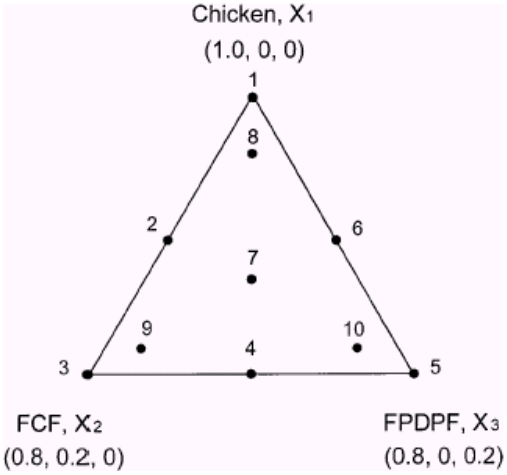
9. เทคนิคทางสถิติที่ใช้ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์

เทคนิคทางสถิติที่ใช้ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์แป้งชุบทอดจากฟลาวมันสำปะหลัง ฟลาวข้าวหอมมะลิ และฟลาวเท้ายายม่อม ได้แก่ การวางแผนการทดลองแบบผสม (Mixture Design) การวิเคราะห์ปัจจัย (Factor Analysis;FA) เทคนิคการจำแนกกลุ่มข้อมูล(Cluster Analysis) การวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก(Principal Component Analysis; PCA) การวิเคราะห์ความถดถอยโลจิสติค(Logistic Regression Analysis)

9.1 การวางแผนการทดลองแบบผสม (Mixture Design)

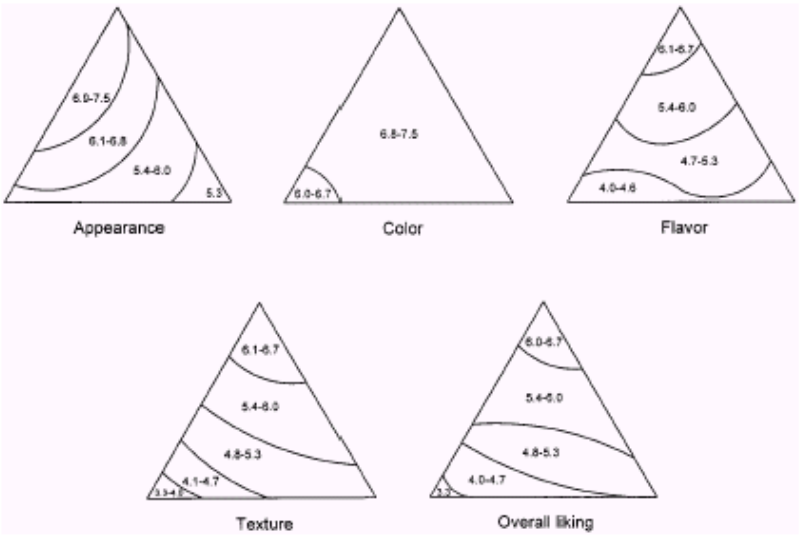
แผนการทดลองแบบผสม (Mixture Design) เป็นเทคนิคซึ่งเหมาะสำหรับการพัฒนาสูตรเมื่อมีส่วนประกอบมากกว่า 1 ชนิด โดยอาศัยหลักการที่ว่า เมื่อส่วนผสมส่วนใดเปลี่ยน ส่วนประกอบที่เหลือในสูตรจะต้องมีการเปลี่ยนแปลงด้วย โดยที่ผลรวมของส่วนประกอบทั้งหมดรวมกันเท่ากับ 1.0 หรือ 100 % (อนุวัตร, 2545)

Prinyawiwatkul *et al.* (1997) นำเทคนิคแผนการทดลองแบบผสมไปใช้ในการหาสูตรที่เหมาะสมของนักเก็ตไก่ผสมแป้งจาก fermented cowpeas(FCF) และ/หรือ fermented partially defatted peanuts(FPDPF) โดยมีข้อจำกัดของส่วนผสมนักเก็ตไก่แต่ละสูตรดังแสดงในภาพที่ 2 นำข้อมูลจากการทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคในคุณลักษณะด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่นรส เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม สร้างสมการถดถอยสำหรับทำนายค่าการยอมรับในแต่ละคุณลักษณะโดยใช้สมการ quadratic canonical polynomial แบบ Scheffe' และสร้าง contour plot จากสมการที่ได้ดังแสดงในภาพที่ 3 ก่อนนำกราฟมาซ้อนทับกันเพื่อหาขอบเขตของสูตรที่เหมาะสมดังแสดงในภาพที่ 4



<u>ภาพที่ 2</u> ขอบเขตจำกัดส่วนผสมของนักเก็ตไก่

ที่มา : Prinyawiwatkul *et al.*(1997)



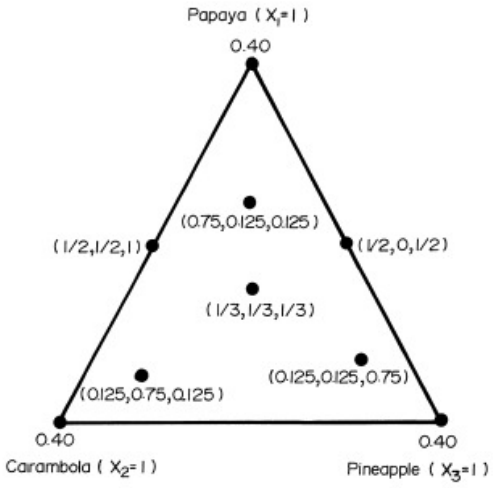
<u>ภาพที่ 3</u> กราฟแสดงแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงค่าการยอมรับในแต่ละคุณลักษณะของนักเก็ตไก่

ที่มา : Prinyawiwatkul *et al.* (1997)

ภาพที่ 4 การซ้อนทับกันของกราฟแสดงแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงค่าการยอมรับในแต่ละคุณลักษณะของนักเก็ตไก่เพื่อหาขอบเขตของสูตรที่เหมาะสม

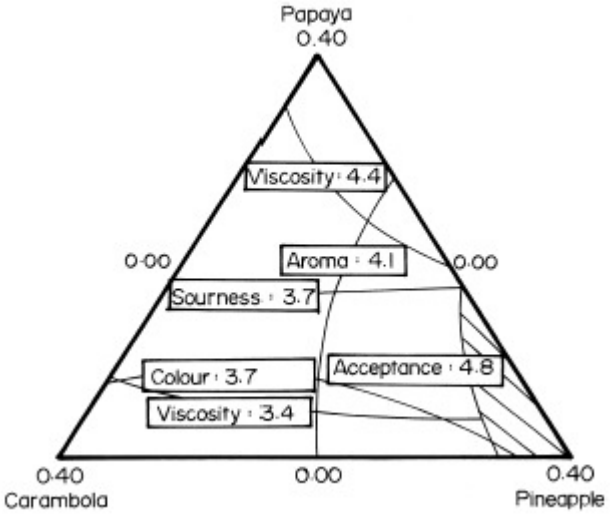
ที่มา : Prinyawiwatkul *et al.* (1997)

Abdullah and Cheng (2001)นำเทคนิคแผนการทดลองแบบผสมไปใช้ในการหาส่วนผสมระหว่างมะละกอ มะเฟือง และสัปปะรดที่เหมาะสมสำหรับแยมผลไม้เขตร้อนลดพลังงาน โดยข้อจำกัดของส่วนผสมแต่ละสูตรดังแสดงในภาพที่ 5 ประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้วยวิธีวัดค่าความชอบ(Hedonic ratings) โดยใช้ 7-point Scalesในคุณลักษณะด้านต่าง ๆ ข้อมูลที่ได้ถูกนำมาสร้างสมการทำนายค่าการยอมรับในแต่ละคุณลักษณะและสร้าง contour plot จากสมการที่ได้ก่อนนำกราฟมาซ้อนทับกันเพื่อหาขอบเขตของสูตรที่เหมาะสมดังแสดงในภาพที่ 6



ภาพที่ 5 สัดส่วนของผลไม้ที่ใช้ในสูตรแยมผลไม้เขตร้อนลดพลังงาน

ที่มา : Abdullah and Cheng (2001)



ภาพที่ 6 การซ้อนทับกันของกราฟแสดงแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงค่าการยอมรับในแต่ละคุณลักษณะของแยมผลไม้เขตร้อนลดพลังงานเพื่อหาขอบเขตของสูตรที่เหมาะสม

ที่มา : Abdullah and Cheng (2001)

9.2 การวิเคราะห์ปัจจัย (Factor Analysis; FA)

การวิเคราะห์ปัจจัยเป็นเทคนิคที่มีวัตถุประสงค์เพื่อที่จะลดจำนวนตัวแปรที่ศึกษาให้น้อยลง โดยทำการจัดกลุ่มตัวแปรที่มีความสัมพันธ์กันไว้ในกลุ่มเดียวกันที่เรียกว่า ปัจจัย (Factor) กลุ่มปัจจัย (Factors) ที่ได้จะช่วยให้สามารถอธิบายข้อมูลได้ง่ายขึ้น (กัลยา, 2544)

การวิเคราะห์ปัจจัยยึดหลักที่ว่าการที่ตัวแปรหรือข้อมูลต่าง ๆ มีความสัมพันธ์กันก็เพราะตัวแปรต่าง ๆ เหล่านี้มีปัจจัยร่วมกัน (Common factors) ถ้าเราพบว่าปัจจัยร่วม และตัวแปรเหล่านี้มีความสัมพันธ์กันสูงแทนที่จะใช้ตัวแปรจำนวนมาก ๆ เราอาจใช้ปัจจัยร่วมแทนตัวแปรเหล่านี้ได้ เป็นการลดจำนวนข้อมูลให้น้อยลง การจับกลุ่มของตัวแปรซึ่งเกิดจากความสัมพันธ์ระหว่างกันและกันของตัวแปรทำให้เราทราบถึงโครงสร้าง และแบบแผนของข้อมูล และหาปัจจัยร่วมของตัวแปรได้ (สุชาติ และ ลัดดาวัลย์, 2527)

พิมลพรรณ และคณะ (2547) นำการวิเคราะห์ปัจจัยไปใช้ในการศึกษาทัศนคติของผู้บริโภคในกรุงเทพมหานครต่อมะพร้าวเผา เพื่อจัดกลุ่มตัวแปรคุณลักษณะที่ใช้ในการพิจารณาตัดสินใจซื้อมะพร้าวเผาของผู้บริโภคจาก 17 ตัวแปร ได้แก่ ลักษณะปรากฏภายนอก สีของกะลา ขนาด

รูปร่าง น้ำหนัก กลิ่นหอมของมะพร้าวเผา ความสดใหม่ รสชาติน้ำมะพร้าวเผา รสชาติเนื้อมะพร้าวเผา ความหนาของเนื้อมะพร้าว ราคา ภาชนะบรรจุ ความสะอาด ความปลอดภัย ความสะดวกในการซื้อ ความสะดวกในการรับประทาน และคุณค่าทางโภชนาการ เมื่อนำมาวิเคราะห์ปัจจัย สามารถจัดกลุ่มของตัวแปรได้เป็น 5 ปัจจัย ซึ่งมีผลต่อการตัดสินใจซื้อมะพร้าวเผาเรียงลำดับจากมากไปน้อย คือ ลักษณะทางประสาทสัมผัส อายุของผลมะพร้าว ความปลอดภัย และคุณค่าทางโภชนาการ ลักษณะปรากฏของมะพร้าวเผา และปัจจัยทางการตลาด ตามลำดับ

9.3 เทคนิคการจำแนกกลุ่มข้อมูล(Cluster Analysis)

เทคนิค Cluster Analysis เป็นเทคนิคการจำแนก หรือแบ่ง case หรือแบ่งตัวแปรออกเป็นกลุ่มย่อย ๆ ตั้งแต่ 2 กลุ่มขึ้นไป case ที่อยู่ในกลุ่มเดียวกันจะมีลักษณะที่คล้ายกัน ส่วน case ที่อยู่ต่างกลุ่มกันจะมีลักษณะที่แตกต่างกัน ดังนั้นการพิจารณาเลือกลักษณะหรือตัวแปรที่จะนำมาใช้ในการแบ่งกลุ่ม case จึงมีความสำคัญ นอกจากนั้น case ใด case หนึ่งจะต้องอยู่ในกลุ่มหนึ่งเพียงกลุ่มเดียว สำหรับการจำแนกกลุ่มตัวแปร จะแบ่งกลุ่ม โดยให้ตัวแปรอยู่ในกลุ่มเดียวกันมีความสัมพันธ์กันมากกว่าตัวแปรที่อยู่ต่างกลุ่มกัน ตัวแปรที่อยู่ต่างกลุ่มกันมีความสัมพันธ์กันน้อย หรือไม่มีความสัมพันธ์กันเลย (กัลยา, 2544)

Lima and Guraya (2005) นำเทคนิค Cluster Analysis ไปใช้ในการหาสูตรที่เหมาะสมของเนยเมล็ดทานตะวัน(sunflower butter) ที่เหมือนกับเนยถั่วลิสงที่จำหน่ายทางการค้า โดยนำข้อมูลทางด้านประสาทสัมผัส และข้อมูลจากการวัดด้วยเครื่องมือ เป็นตัวแปรในการจำแนกกลุ่มเนยเมล็ดทานตะวัน 24 สูตร (ศึกษาตัวแปรด้านระดับการคั่ว ปริมาณน้ำตาล เกลือ สารให้ความคงตัว) และเนยถั่วลิสงที่จำหน่ายทางการค้าซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ต้นแบบ ผลการจำแนกกลุ่มข้อมูลเมื่อใช้ข้อมูลทางด้านประสาทสัมผัส พบว่า สูตรที่ดีที่สุดประกอบด้วย สารให้ความคงตัวร้อยละ 1.8 น้ำตาลร้อยละ 7 เกลือร้อยละ 1.1 และระดับการคั่วระดับต่ำ ในขณะที่เมื่อใช้ข้อมูลจากการวัดด้วยเครื่องมือในการจำแนกกลุ่ม พบว่า สูตรเนยเมล็ดทานตะวันที่ใกล้เคียงที่สุดกับผลิตภัณฑ์ต้นแบบมีปริมาณน้ำตาล และระดับการคั่ว เช่นเดียวกันกับเมื่อจำแนกกลุ่มข้อมูลด้วยข้อมูลด้านประสาทสัมผัส แต่แตกต่างกันที่ปริมาณสารให้ความคงตัวเท่ากับร้อยละ 1.6 และเกลือร้อยละ 0.9

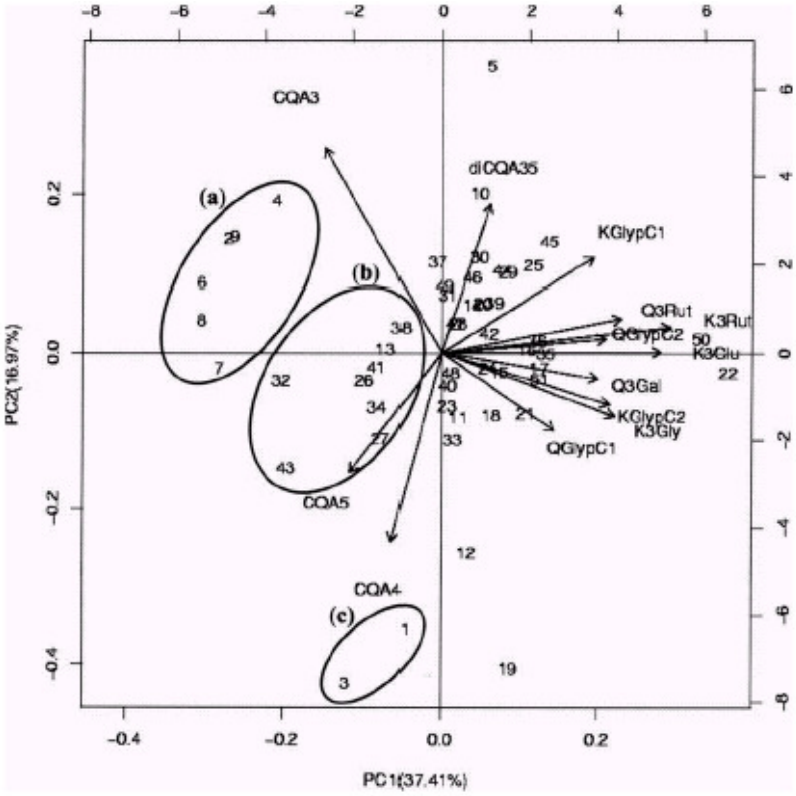
Lotong *et al*. (2003) ได้นำเทคนิค Cluster Analysis มาใช้ในการจำแนกกลุ่มน้ำส้มที่จำหน่ายในทางการค้า ร่วมกับการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก(Principal Component Analysis) เพื่ออธิบายถึงความหลากหลายของผลิตภัณฑ์น้ำส้มในคุณลักาณะด้านกลิ่นรส และอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างน้ำส้มในกลุ่ม และระหว่างกลุ่มต่าง ๆ ได้ โดยใช้ตัวแปรค่าความเข้มในคุณลักษณะด้านกลิ่นรสต่าง ๆ(Orange ID, Raw/Fresh, Cooked, Peely, Candy-Like, Citrus/Non-Orange, Fruity/Non-Citrus, Floral, Green, Overripe/Near-Fermented, Musty, Cardboard, Metallic, Plastic, Bitter Aromatics, Sour, Aromatics, Sweet Aromatics, Bitter, Sour, Sweet, Astringent, Tongue Burn/Numbing, Pungent และ Toothetch) ในการจำแนกกลุ่มน้ำส้ม 23 ตัวอย่าง ซึ่งมีความแตกต่างกันในด้านสูตร กระบวนการผลิต บรรณจุภัณฑ์ โดย 21 ตัวอย่างเป็นน้ำส้มที่มีจำหน่ายในทางการค้าโดยประกอบด้วย น้ำส้มสดที่จำหน่ายในร้านค้า 1 ยี่ห้อ, น้ำส้มเข้มข้นแช่เยือกแข็ง 4 ยี่ห้อ(นำมาเตรียมตามวิธีที่ระบุในฉลากผลิตภัณฑ์), น้ำส้มพลาสเจอไรซ์แช่แย็น 6 ยี่ห้อ, น้ำส้มจากน้ำส้มเข้มข้นแช่เย็น 4 ยี่ห้อ และ น้ำส้มชนิดสามารถเก็บได้โดยไม่ต้องแช่เย็น 6 ยี่ห้อ ส่วนตัวอย่างน้ำส้มอีก 2 ชนิดเป็นน้ำส้มสดที่เตรียมจากส้ม Sunkist™ และ ส้มวาเลนเซีย

ผลการจำแนกกลุ่มข้อมูล พบว่า สามารถจัดกลุ่มน้ำส้มทั้ง 23 ตัวอย่าง ได้เป็น 6 กลุ่ม โดยเมื่อนำตัวแปรค่าความเข้มในคุณลักษณะด้านกลิ่นรสต่าง ๆ ของน้ำส้มทั้ง 23 ตัวอย่างมาทำการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก(Principal Component Analysis) พบว่า สามารถอธิบายถึงคุณลักษณะด้านกลิ่นรสต่าง ๆ ของน้ำส้มทั้ง 6 กลุ่มได้ โดยพบว่า น้ำส้มที่มีกระบวนการผลิตคล้ายกันจะมีคุณลักษณะด้านกลิ่นรสที่คล้ายกัน และถูกจัดกลุ่มไว้ร่วมกัน

9.4 การวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก(Principal Component Analysis; PCA)

การวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก หรือ Principal Component Analysis(PCA) ซึ่งเป็นเทคนิคที่ใช้ในการจัดตัวแปรที่มีจำนวนมาก ๆ มาไว้เป็นกลุ่มของตัวแปรองค์ประกอบหลัก (Principle Component; PC) ที่ลดจำนวนตัวแปรให้น้อยลง ซึ่งพิจารณารายละเอียดทั้งหมดจากแต่ละตัวแปร โดยจะรวมตัวแปรที่มีความสัมพันธ์กันไว้ในกลุ่มเดียวกันหรือ PC เดียวกัน ตัวแปรที่อยู่ใน PC เดียวกันจะมีค่าสหสัมพันธ์กันมาก ความสัมพันธ์อาจจะเป็นในเชิงบวกหรือเชิงลบก็ได้ แต่ตัวแปรที่อยู่ต่าง PC จะไม่มีความสัมพันธ์กัน (วิลัศนา, 2546; Hair *et al*., 1998)

Silva *et al*. (2006) ใช้การวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก(Principal Component Analysis) ในการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบของสารฟีโนลิค 13 ชนิด ในผลิตภัณฑ์ quince jams ซึ่งผลิตในแบบพื้นบ้าน(สิ่งทดลอง 1-8) ผลิตในระบบอุตสาหกรรม(สิ่งทดลอง 11-51) และตัวอย่างที่เตรียมขึ้นเองในห้องปฏิบัติการ โดยการนำผล quince ต้มกับน้ำตาลในอัตราส่วน 50:50 โดยมีการปอกเปลือกผล quince (สิ่งทดลอง 9) และไม่ปอกเปลือก(สิ่งทดลอง 10) ผลจากการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักได้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างสิ่งทดลองทั้ง 51 กับองค์ประกอบของสารฟีโนลิค 13 ชนิด ดังแสดงในภาพที่ 7 ซึ่งสามารถอธิบายความแปรปรวนที่เกิดขึ้นได้ร้อยละ 54.4 โดยองค์ประกอบที่ 1(PC1) สามารถอธิบายความแปรปรวนได้ร้อยละ 37.4 และองค์ประกอบที่ 2(PC2) สามารถอธิบายได้ร้อยละ 17.0



ภาพที่ 7 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างผลิตภัณฑ์ quince jams 51 สิ่งทดลอง กับองค์ประกอบของสารฟีโนลิค 13 ชนิด ได้แก่ CQA3(3-O-caffeoylquinic acid), CQA4(4-O-caffeoylquinic acid), CQA5(5-O-caffeoylquinic acid), diCQA35(3, 5-dicaffeoylquinic acid), Q3Gal(quercetin 3-galactoside), Q3Rut(rutin), K3Gly(kaempferol 3-glycoside), K3Glu(kaempferol 3-glucoside), K3Rut (kaempferol 3-rutinoside), QGlypCl and QGlypC2(quercetin glycosides acylated with p-coumaric acid) KGlypCl and KGlypC2(kaempferol glycosides acylated with p-coumaric acid)

ที่มา : Silva *et al*. (2006)

จากผลการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก พบว่า องค์ประกอบที่ 1 สามารถอธิบายความแตกต่างระหว่างปริมาณของ 3-O- และ 5-O-caffeoylquinic acids และ สารฟลาโวนอยด์ต่าง ๆ ได้แก่ quercetin 3-galactoside, rutin, kaempferol glycoside, kaempferol 3-glucoside, kaempferol 3-rutinoside, quercetin glycosides acylated with p-coumaric acid and kaempferol glycosides acylated with p-coumaric acid ในขณะที่องค์ประกอบที่ 2 สัมพันธ์กับปริมาณของ 4-O- และ 5-O-caffeoylquinic acids ในทางตรงข้ามกับปริมาณของ 3-O-caffeoylquinic และ 3,5-dicaffeoylquinic acids จากภาพที่ 7 มีความแตกต่างอย่างชัดเจนระหว่าง quince jams ซึ่งผลิตในแบบพื้นบ้าน และผลิตในระบบอุตสาหกรรม โดยตัวอย่างที่ผลิตในระบบอุตสาหกรรมจะอยู่ในส่วนด้านขวาของแกนองค์ประกอบที่ 1 และตัวอย่างที่ผลิตในระบบอุตสาหกรรมส่วนใหญ่จะมีเปลือกของผล quince เจือปนอยู่ ในขณะที่ตัวอย่างซึ่งผลิตในระบบอุตสาหกรรมในกลุ่ม b ดังแสดงในภาพที่ 7 เป็นตัวอย่างที่มีการปอกเปลือกในขั้นตอนการผลิต หรือมีปริมาณของเปลือกน้อยกว่า ในขณะที่ตัวอย่างที่เตรียมขึ้นเองในห้องปฏิบัติการโดยใช้ผล quince ซึ่งไม่ปอกเปลือก(สิ่งทดลอง 10) มีปริมาณของสารฟลาโวนอยด์ต่าง ๆ สูง เช่นเดียวกับตัวอย่างที่ผลิตในระบบอุตสาหกรรมซึ่งมีเปลือกของผล quince เจือปนอยู่ ส่วนตัวอย่าง quince jams ซึ่งผลิตในแบบพื้นบ้านมีปริมาณของ caffeoylquinic acids สูงกว่าตัวอย่างที่ผลิตในระบบอุตสาหกรรม โดยสามารถแยก quince jams ซึ่งผลิตในแบบพื้นบ้านได้เป็น 2 ได้แก่ กลุ่ม a และ c โดยกลุ่ม a มีปริมาณ 3-O-caffeoylquinic และ 3,5-dicaffeoylquinic acids สูง ในขณะที่กลุ่ม c มีปริมาณ 4-O-caffeoylquinic acid สูง

9.5 การวิเคราะห์ความถดถอยโลจิสติค(Logistic Regression Analysis)

การวิเคราะห์ความถดถอยแบบโลจิสติคเป็นเทคนิคที่ใช้ในการพยากรณ์โอกาสที่จะเกิดเหตุการณ์ที่สนใจ เช่น สนใจการยอมรับหรือตัดสินใจซื้อผลิตภัณฑ์ของผู้บริโภค มีวัตถุประสงค์ คือ เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตาม และตัวแปรอิสระ และนำสมการความถดถอยที่ได้ไปประมาณหรือพยากรณ์ค่าตัวแปรตาม เมื่อกำหนดค่าตัวแปรอิสระ

หลักการของการวิเคราะห์ความถดถอยแบบปกติเชิงซ้อนนั้น ตัวแปรตามจะเป็นตัวแปรเชิงปริมาณในขณะที่ตัวแปรอิสระจะเป็นตัวแปรเชิงปริมาณเพียงอย่างเดียว หรืออาจมีตัวแปรบางตัวเป็นตัวแปรเชิงปริมาณ และตัวแปรบางตัวเป็นตัวแปรเชิงกลุ่ม แต่ถ้าตัวแปรตามเป็นตัวแปรเชิงกลุ่ม จะต้องใช้เทคนิคการวิเคราะห์จำแนกกลุ่ม หรือการวิเคราะห์ความถดถอยแบบโลจิสติค (กัลยา, 2544)

รองรัตน์ (2546) สร้างแบบจำลองทำนายการยอมรับผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากแป้งเผือกโดยใช้การวิเคราะห์ความถดถอยโลจิสติค เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตาม คือ การยอมรับผลิตภัณฑ์ และตัวแปรอิสระ คือ คะแนนความชอบของคุณลักษณะทางประสาทสัมผัส ด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่นเผือก กลิ่นรสเผือก ความแข็ง ความกรอบ และความง่ายในการเคี้ยวของขนมขบเคี้ยวจากแป้งเผือก จากการหาความสัมพันธ์ของตัวแปรอิสระ พบว่า คุณลักษณะต่าง ๆ ดังกล่าวมีความสัมพันธ์กัน จึงแก้ปัญหาตัวแปรมีความสัมพันธ์กัน(multicollinearity) โดยการจำแนกกลุ่มตัวแปรด้วยเทคนิค Factor Analysis เพื่อจัดกลุ่มตัวแปร และลดตัวแปรลงให้เป็นตัวแปรใหม่(ปัจจัย) ซึ่งสามารถจัดกลุ่มของตัวแปรอิสระได้ เป็น 2 ปัจจัย คือ ปัจจัยด้านเนื้อสัมผัส ประกอบด้วยตัวแปร คือ ลักษณะปรากฏ สี ความแข็ง ความกรอบ และ ความง่ายในการเคี้ยวของขนมขบเคี้ยว ปัจจัยทางด้านกลิ่นรส ประกอบด้วยตัวแปร คือ กลิ่นเผือก และกลิ่นรสเผือก จากนั้นจึงนำปัจจัยทางด้านเนื้อสัมผัส และปัจจัยทางด้านกลิ่นรสที่ได้ไปใช้เป็นตัวแปรอิสระในการวิเคราะห์ความถดถอยโลจิสติคเพื่อทำนายการยอมรับผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากแป้งเผือก ได้สมการสำหรับทำนายการยอมรับจากตัวแปร ปัจจัยทางด้านเนื้อสัมผัส และปัจจัยทางด้านกลิ่นรส ดังนี้

การยอมรับ = 1.629 +1.301*(ปัจจัยทางด้านเนื้อสัมผัส) –1.034*(ปัจจัยทางด้านกลิ่นรส)

สุธีรา และอนุวัตร (2548) ศึกษาดัชนีบ่งชี้คุณภาพของทุเรียนที่มีผลต่อการยอมรับของผู้บริโภคโดยใช้การวิเคราะห์ความถดถอยโลจิสติคในการหาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยคุณภาพทางเคมี และทางกายภาพของเนื้อทุเรียน เพื่อพยากรณ์โอกาสในการยอมรับของผู้บริโภคที่เปลี่ยนแปลงไปเมื่อลักษณะของเนื้อทุเรียนเปลี่ยนไปโดยมีตัวแปรเชิงกลุ่มคือ กลุ่มที่ยอมรับ กับกลุ่มที่ไม่ยอมรับ และตัวแปรอิสระที่ใช้ในการวิเคราะห์ คือ ตัวแปร L*, a*, b*, ความแน่นเนื้อ, ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ และปริมาณกรดที่ไตเตรทได้ ทำการวิเคราะห์แบบเลือกตัวแปรอิสระเข้าสมการความถดถอยแบบโลจิสติคโดยตัวแปรที่มีนัยสำคัญทางสถิติ($p \leq 0.05$) ได้แก่ ค่าความแน่นเนื้อ, L*, a*และ b* ซึ่งแสดงให้เห็นว่าตัวแปรเหล่านี้สามารถจัดกลุ่มการยอมรับ และไม่ยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อเนื้อทุเรียนได้ และได้สมการสำหรับทำนายการยอมรับดังนี้

การยอมรับ = -17.073 -0.254*(ความแน่นเนื้อ) + 0.182*(L*) +1.114*(a*)+ 0.161*(b*)