หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

# บทที่ 5

## วิจารณ์ผลการทดลอง

### 5.1 ศึกษาสมบัติของแป้งชุบทอดทางการค้า

#### 5.1.1 อุณหภูมิแป้งสุก การเปลี่ยนแปลงความหนืด และองค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญของแป้งชุบทอดทางการค้า

จากการพิจารณาสมบัติของแป้งชุบทอดทางการค้าทั้ง 5 ตัวอย่าง พบว่า มีอุณหภูมิแป้งสุก การเปลี่ยนแปลงความหนืดของ paste เมื่อได้รับความร้อนที่อุณหภูมิต่างๆ ตลอดจนปริมาณอะไมโลสแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เป็นเพราะชนิดและปริมาณของแป้งที่เป็นส่วนผสมหลัก รวมทั้งส่วนผสมอื่นที่ใช้เพื่อให้มีหน้าที่เฉพาะด้าน เช่น น้ำตาล เกลือ ผงฟู และสารช่วยความคงตัว เป็นต้น สำหรับส่วนผสมหลักโดยประมาณที่ระบุบนฉลากของแป้งชุบทอดตัวอย่างที่ 1 ประกอบด้วยแป้งสาลีร้อยละ 87 แป้งชุบทอดตัวอย่างที่ 2 ประกอบด้วยแป้งสาลีและแป้งข้าวเหนียว ร้อยละ 85 และ 5 ตามลำดับ แป้งชุบทอดตัวอย่างที่ 3 ประกอบด้วยแป้งสาลี แป้งข้าวโพด และแป้งข้าวเจ้าร้อยละ 69 15 และ 9 ตามลำดับ ส่วนแป้งตัวอย่างที่ 4 ประกอบด้วย แป้งสาลี แป้งข้าวโพด และแป้งข้าวเจ้า แป้งตัวอย่างที่ 5 ประกอบด้วยแป้งสาลี แป้งข้าวโพด และแป้งมัน aromat โดยไม่บอกปริมาณ

ผลการศึกษาพบว่า อุณหภูมิแป้งสุกของแป้งตัวอย่างที่ 4 มีค่าสูงที่สุด และตัวอย่างที่ 1 มีค่าต่ำที่สุด คาดว่าเป็นเพราะตัวอย่างที่ 4 มีส่วนผสมของแป้งข้าวโพดและแป้งข้าวเจ้า ซึ่งโดยทั่วไปมีอุณหภูมิแป้งสุกสูง นอกจากนี้ยังมีส่วนผสมของฟอสเฟต และสารช่วยความคงตัวซึ่งฟอสเฟต หรือสารช่วยความคงตัวบางชนิดมีผลยับยั้งการพองตัวของเม็ดแป้ง ทำให้มีอุณหภูมิแป้งสุกสูงขึ้น ส่วนตัวอย่างที่ 1 มีค่าต่ำที่สุดนั้น เนื่องจากมีส่วนผสมเป็นแป้งสาลีซึ่งมีอุณหภูมิแป้งสุกต่ำในปริมาณมาก จึงส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีอุณหภูมิแป้งสุกต่ำ นอกจากนี้ พบว่า การเปลี่ยนแปลงความหนืดของ paste เมื่อได้รับความร้อนที่อุณหภูมิต่างๆ แตกต่างกันโดยที่ความหนืดที่อุณหภูมิ 95°C ของแป้งชุบทอดตัวอย่างที่ 2 4 และ 5 มีค่าสูง ไม่แตกต่างกันทางสถิติ เป็นเพราะตัวอย่างที่ 2 มีส่วนผสมของแป้งข้าวเหนียว ตัวอย่างที่ 4 มีส่วนผสมของแป้งข้าวโพด และตัวอย่างที่ 5 มีส่วนผสมของแป้งข้าวโพดกับแป้งมัน aromat ตามลำดับ แต่ความหนืดของแป้งชุบทอดตัวอย่างที่ 1 มีค่าต่ำ เพราะมีส่วนผสมของแป้งสาลีในปริมาณมาก โดยทั่วไปแป้งข้าวโพดหรือแป้ง waxy จากธัญพืช เช่น แป้งข้าวเหนียว แป้งมันสำปะหลัง มีความหนืดสูงกว่าแป้งสาลี

เมื่อได้รับความร้อนที่ 95°C นาน 20 นาที พบว่า ความหนืดของแป้งชุบทอดทุกตัวอย่างยังคงมีค่าเท่าเดิม แสดงว่า มีเสถียรภาพความหนืดระหว่าง heating cycle คงที่ เป็นเพราะสมบัติของแป้งสาลีที่เป็นส่วนผสมหลัก ประกอบกับส่วนผสมอื่นที่ใช้ เช่น น้ำตาล เกลือ ฟอสเฟตหรือสารช่วยความคงตัวที่ใช้ในบางสูตร มีส่วนช่วยส่งเสริมให้เม็ดแป้งมีความคงทนต่อการกวนในระหว่างได้รับความร้อนสูงขึ้น และเมื่อ paste เย็นลงจนมีอุณหภูมิ 50°C พบว่า ความหนืดของการคืนตัวของแป้งชุบทอดตัวอย่างที่ 4 มีค่าต่ำที่สุด เนื่องจากมีส่วนผสมของฟอสเฟต ตัวอย่างที่ 3 มีค่าสูง เพราะมีแป้งข้าวโพดผสมในปริมาณมาก

สำหรับปริมาณอะไมโลสในแป้งตัวอย่างต่างๆ นั้น พบว่า ในตัวอย่างที่ 3 มีปริมาณมากที่สุด เป็นเพราะมีแป้งข้าวโพดและแป้งข้าวเจ้าซึ่งมีอะไมโลสสูงเป็นส่วนผสมในปริมาณมาก และในตัวอย่างอื่นๆ ก็ระบุว่า มีแป้งข้าวโพดหรือแป้งข้าวเจ้าเป็นส่วนผสม ดังนั้น จึงมีผลทำให้ปริมาณอะไมโลสสูงกว่าตัวอย่างที่ 1 ซึ่งมีปริมาณต่ำที่สุดเพราะมีแป้งสาลีซึ่งมีอะไมโลสต่ำเป็นส่วนผสมอยู่สูงถึงร้อยละ 87 แต่ตัวอย่างที่ 1 มีปริมาณโปรตีนสูง เพราะมีส่วนผสมของแป้งสาลีสูง สำหรับตัวอย่างที่ 3 มีแป้งสาลีเป็นส่วนผสมในปริมาณน้อย จึงทำให้มีโปรตีนต่ำ

โดยทั่วไปอัตราส่วนของอะไมโลสต่ออะไมโลเพคติน และโปรตีนมีความสำคัญต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์แป้งชุบทอด คือมีส่วนเกี่ยวข้องกับอุณหภูมิแป้งสุก ความหนืด รวมทั้งลักษณะคุณภาพด้านความกรอบ การพองตัว และการอมน้ำมันของผลิตภัณฑ์ ดังผลการทดลองในข้อ 5.1.2

5.1.2 <u>ลักษณะคุณภาพทั่วไปของแป้งชุบทอดทางการค้า</u>

5.1.2.1 <u>ลักษณะทางกายภายด้านแรงตัดขาดและการพองตัวภายหลังการทอด</u>

จากผลการศึกษาค่าแรงตัดขาดของแป้งชุบทอดทางการค้าทั้ง 5 ตัวอย่าง ด้วยเครื่อง Texturometer พบว่า ค่าแรงตัดขาดของตัวอย่างที่ 3 มีค่าสูงสุด เป็นผลจากสมบัติของแป้งที่เป็นส่วนผสม เนื่องจากแป้งตัวอย่างที่ 3 มีแป้งข้าวโพดและแป้งข้าวเจ้า ซึ่งมีปริมาณอะไมโลสสูงเป็นส่วนผสมในปริมาณมาก ช่วยให้เกิดฟิล์มที่มีลักษณะแข็งแรงสูงกว่าแป้งมันหรือแป้งสาลี ดังนั้น จึงทำให้ค่าแรงตัดขาดของผลิตภัณฑ์สูงขึ้น นอกจากนี้ ปริมาณอะไมโลสในแป้งที่เป็นส่วนผสมยังมีผลถึงการพองตัวของผลิตภัณฑ์ภายหลังการทอด คือ ถ้ามีปริมาณอะไมโลสสูงการพองตัวจะลดลง ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาการพองตัวของผลิตภัณฑ์ โดยพิจารณาค่า bulk density ที่พบว่า ตัวอย่างที่ 3 มีค่าสูงสุด แสดงว่า มีการพองตัวน้อยที่สุดเนื่องจากมีปริมาณอะไมโลสมากที่สุด ส่วนตัวอย่างที่ 1 และ 2 มีค่า bulk density ต่ำที่สุด ซึ่งแสดงว่า มีการพองตัวมากที่สุดเป็นเพราะ

ตัวอย่างที่ 1 และ 2 มีอะไมโลสต่ำจึงทำให้เกิดการพองตัวได้ดี ประกอบกับตัวอย่างที่ 1 และ 2 มีแป้งสาลีเป็นส่วนผสมอยู่ในปริมาณมาก จึงมีกลูเต้นซึ่งทำให้เกิดโครงสร้างที่สามารถกักเก็บก๊าซที่เกิดจากปฏิกิริยาของผงฟูในระหว่างการทอดได้มาก จึงมีส่วนช่วยเสริมให้การพองตัวของผลิตภัณฑ์ดีขึ้น

5.1.2.2 ลักษณะทางประสาทสัมผัส

จากผลการทดลอง พบว่า แป้งตัวอย่างที่ 1 2 และ 3 ได้คะแนนด้านสีอยู่ในระดับสูงกว่าตัวอย่าง 4 และ 5 ส่วนคะแนนทดสอบด้านความกรอบ การอมน้ำมัน และการยอมรับรวมของแป้งตัวอย่างที่ 1-4 มีค่าสูงกว่าตัวอย่างที่ 5 ส่วนใหญ่คะแนนการทดสอบคุณภาพด้านต่างๆ ของตัวอย่างที่ 2 มีค่าอยู่ในระดับสูง

ผลจากการทดลองอาจสรุปได้ว่า คะแนนการทดสอบคุณภาพด้านต่างๆ ของผลิตภัณฑ์แป้งชุบทอดทางการค้าที่ผู้บริโภคส่วนใหญ่ยอมรับ คือ มีสีอยู่ระหว่าง 4-5 คะแนน (มีระดับสีอยู่ระหว่างสีเหลือง-สีน้ำตาลทอง) ความกรอบอยู่ระหว่าง 4-5 คะแนน สำหรับคะแนนการอมน้ำมันพบว่า มีค่าต่ำ (อยู่ระหว่าง 2-3 คะแนน) แสดงว่าผู้บริโภคส่วนใหญ่ไม่ชอบผลิตภัณฑ์ที่ลักษณะการอมน้ำมันสูง

5.2 ศึกษาสมบัติของแป้งข้าวเจ้าจากโรงงานผลิตภายในประเทศ

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบของแป้งข้าวเจ้าจากโรงงานผลิตภายในประเทศเพื่อคัดเลือกแป้งข้าวเจ้าที่มีคุณภาพดี พบว่า แป้งข้าวเจ้าตัวอย่างที่ 1 มีปริมาณอะไมโลสระดับปานกลางเมื่อเปรียบเทียบระหว่าง 3 ตัวอย่าง แต่มีปริมาณไขมันต่ำกว่าและที่สำคัญคือ มี pH เป็นกลาง แตกต่างจากอีก 2 ตัวอย่างที่มี pH เป็นกรด แสดงว่า แป้งตัวอย่างที่ 2 และ 3 อาจมีการล่าช้าในระหว่างการผลิต หรือมีการปนเปื้อนของจุลินทรีย์สูงก่อนทำแห้ง จุลินทรีย์จึงเจริญและผลิตกรดได้ดี หรืออีกกรณีหนึ่ง คือในการผลิตแป้งตัวอย่างที่ 2 อาจมีการใช้ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในขบวนการผลิตเพื่อฟอกสีและยับยั้งการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ปริมาณสูงเกินไป ทำให้มีซัลเฟอร์ไดออกไซด์เหลือตกค้างมาก เป็นผลให้ผลิตภัณฑ์มีสภาพความเป็นกรดสูง ซึ่งในงานวิจัยนี้ไม่ต้องการวัตถุดิบที่มีความเป็นกรดสูง เนื่องจาก กรดสามารถสลาย (hydrolyse) พันธะ $\alpha$- 1,4 glucosidic ของโพลิเมอร์เม็ดแป้งได้ ซึ่งมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงความหนืดของ paste แป้งเมื่อได้รับความร้อน และจากการทดลอง พบว่า แป้งตัวอย่างที่ 2 ซึ่งมีความเป็นกรดสูงที่สุด มีอุณหภูมิแป้งสุกต่ำ เม็ดแป้งพองตัวอย่างรวดเร็ว มี

ความหนืดที่ 95°C สูง ความหนืดเฉลี่ยของการคืนตัวทั้งหมดสูงกว่าตัวอย่างที่ 1 และ 3 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) แสดงว่า กรดไปสลายพันธะ - 1,4 glucosidic ของโพลิเมอร์เม็ดแป้ง ทำให้ความแข็งแรงระหว่างโมเลกุลลดลง จึงดูดน้ำได้เร็วขึ้น และโพลิเมอร์ถูกตัดลงจนมีขนาดโมเลกุลของอะไมโลสที่เหมาะสมซึ่งสามารถเคลื่อนที่รวมตัวกันใหม่ หรือจับกับอะไมโลเพคตินได้ดีขึ้น ดังนั้น จึงเกิดการคืนตัวได้เร็วขึ้น

จากการพิจารณาสมบัติทางกายภาพด้านความหนืดของ paste ทั้ง 3 ตัวอย่าง ประกอบกับสมบัติทางเคมี จึงคัดเลือกแป้งตัวอย่างที่ 1 เป็นวัตถุดิบในการศึกษาปฏิกิริยาcross-linking ต่อไป

## 5.3 ปัจจัยที่มีผลต่อปฏิกิริยา cross-linking แป้งข้าวเจ้าด้วยโซเดียมไตรเมต้าฟอสเฟต

### 5.3.1 ผลของความเร็วของเครื่องกวนในระหว่างการทำปฏิกิริยา cross - linking

#### 5.3.1.1 ผลของความเร็วของเครื่องกวนในระหว่างการทำปฏิกิริยา cross-linking ต่อสมบัติแป้งข้าวเจ้าแปรสภาพ เปรียบเทียบกับ native rice flour

เนื่องจากในงานวิจัยนี้มีข้อจำกัดของเครื่องกวนที่ใช้ คือ ปรับระดับได้ตั้งแต่ 10-110 รอบต่อนาที ดังนั้น จึงได้เลือกศึกษาความเร็วของเครื่องกวน 2 ระดับ คือ 60 และ 110 รอบต่อนาที ในระหว่างการทำปฏิกิริยา cross-linking แป้งข้าวเจ้าด้วยโซเดียมไตรเมต้าฟอสเฟตร้อยละ 1.4 ของน้ำหนักแป้งแห้ง อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 50°C และ 55°C เวลา 1.5 ชั่วโมง ติดตามผลของปฏิกิริยาต่อความหนืดของ paste แป้งข้าวเจ้าแปรสภาพโดยใช้ Brabender Visco-Amylograph จากการทดลองพบว่า ความหนืดของ paste แป้งข้าวเจ้าแปรสภาพมีแนวโน้มลดลง ไม่ปรากฏเป็นยอดสูงสุด มีเสถียรภาพความหนืดระหว่าง heating cycle สูงขึ้น แต่เกิดการคืนตัวต่ำลงเมื่อเปรียบเทียบกับ native rice flour เนื่องจาก native rice flour มีเฉพาะพันธะไฮโดรเจน เป็นแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของเม็ดแป้งเท่านั้น เมื่อได้รับความร้อน พันธะไฮโดรเจนมีความแข็งแรงน้อยลงหรือถูกทำลายไป ทำให้เม็ดแป้งสามารถดูดน้ำได้มากขึ้น ความหนืดของ paste จึงเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว ปรากฏเป็นยอดสูงสุด มีเสถียรภาพความหนืดระหว่าง heating cycle ต่ำ และเกิดการคืนตัวสูง แต่แป้งแปรสภาพโดยวิธี cross - linking ด้วย

โซเดียมไตรเมต้าฟอสเฟต มี functional group ที่สามารถทำปฏิกิริยา phosphorylation กับหมู่ไฮดรอกซิลของโพลิเมอร์เม็ดแป้ง โดยสร้างพันธะฟอสเฟตไดเอสเตอร์ (phosphated diester) เชื่อมระหว่างโพลิเมอร์เม็ดแป้ง ทำให้มีความแข็งแรงมากขึ้น ส่งผลให้เม็ดแป้งดูดน้ำได้น้อยลงและมีสมบัติแตกต่างจาก native rice flour ดังกล่าวแล้ว จึงได้นำไปศึกษาให้ละเอียดยิ่งขึ้นในข้อต่อไป

5.3.1.2 ผลของความเร็วของเครื่องกวนในระหว่างการทำปฏิกิริยา cross-linking ที่สภาวะต่างกัน

จากการทดลองทั้งที่อุณหภูมิ 50°C และ 55°C พบว่า ความเร็วของเครื่องกวนที่ใช้มีผลต่อความหนืดของ paste แป้งข้าวเจ้าแปรสภาพที่ได้ แสดงให้เห็นว่า ระดับความเร็วของเครื่องกวนมีผลต่อการเกิดปฏิกิริยา cross-linking เนื่องจากถ้าปฏิกิริยาเกิดได้ดี จะทำให้เม็ดแป้งมีความแข็งแรงมากขึ้น เป็นผลให้ความหนืดของ paste แป้งแปรสภาพมีแนวโน้มลดลง ในงานวิจัยนี้พบว่า เมื่อใช้เครื่องกวนที่มีความเร็วในระดับสูง คือ 110 รอบต่อนาที ทำให้ paste แป้งข้าวเจ้าแปรสภาพมีความหนืดลดลง เม็ดแป้งมีความคงทนต่อการกวนระหว่างได้รับความร้อนมากขึ้น จึงมีเสถียรภาพความหนืดระหว่าง heating cycle สูงขึ้น และเกิดการคืนตัวน้อยลง ซึ่งแตกต่างจาก paste แป้งข้าวเจ้าแปรสภาพ ซึ่งใช้เครื่องกวนที่มีความเร็ว 60 รอบต่อนาที

นอกจากนี้พบว่า ความเร็วของเครื่องกวนมีผลต่อปริมาณอะไมโลสในแป้งข้าวเจ้าแปรสภาพ โดยที่เมื่อใช้ความเร็วของเครื่องกวนในระดับสูงขึ้น มีผลทำให้ปริมาณอะไมโลสในแป้งข้าวเจ้าแปรสภาพสูงขึ้นเช่นกัน ทั้งนี้เนื่องจาก เมื่อความเร็วของเครื่องกวนสูงขึ้น ทำให้ปฏิกิริยา cross-linking เกิดได้ดีขึ้น โซเดียมไตรเมต้าฟอสเฟตสามารถเชื่อมโยงระหว่างกิ่งก้านที่เป็นสาขาของอะไมโลเพคตินให้มีลักษณะเป็นสายยาวคล้ายอะไมโลสได้มากขึ้น จึงทำให้จับไอโอดีนได้ดีขึ้น ดังนั้น ผลวิเคราะห์ปริมาณอะไมโลสโดยใช้ไอโอดีน จึงมีค่าสูงขึ้น

จากผลการทดลองที่ได้แสดงให้เห็นว่า การกวนในระหว่างการทำปฏิกิริยา ทำให้โซเดียมไตรเมต้าฟอสเฟตซึ่งเป็น cross-linking reagent มีพลังงานจลน์สูงขึ้น จึงเคลื่อนที่เข้าทำปฏิกิริยาได้เร็วขึ้น นอกจากนี้ ยังทำให้พันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุลแป้งสั้นสะเทือนซึ่งส่งผลให้พันธะมีความแข็งแรงน้อยลง สารที่ใช้สามารถเข้าทำปฏิกิริยาได้ง่าย เป็นผลให้ปฏิกิริยาเกิดได้สม่ำเสมอและดีขึ้น แต่ต้องคำนึงถึงระดับความเร็วของเครื่องกวนที่ใช้ ให้อยู่ในระดับที่เหมาะสม คือต้องไม่สูงเกินไปจนทำให้เม็ดแป้งแตก หรือมีระดับต่ำเกินไปจนปฏิกิริยาเกิดได้น้อย

5.3.2 ผลของปริมาณโซเดียมไตรเมต้าฟอสเฟต อุณหภูมิ และเวลาในการทำปฏิกิริยาที่มีต่อปฏิกิริยา cross-linking แป้งข้าวเจ้าโดยใช้เครื่องกวนที่มีความเร็ว 110 รอบต่อนาที

5.3.2.1 ผลของปริมาณโซเดียมไตรเมต้าฟอสเฟต อุณหภูมิ และเวลาในการทำปฏิกิริยาต่ออุณหภูมิแป้งสุกและการเปลี่ยนแปลงความหนืดของ paste แป้งข้าวเจ้าแปรสภาพ

ก. จากผลการศึกษาปริมาณโซเดียมไตรเมต้าฟอสเฟต 3 ระดับ คือ ร้อยละ 1.4 1.7 และ 2.0 ของน้ำหนักแป้งแห้งในการทำปฏิกิริยา cross-linking แป้งข้าวเจ้าที่สภาวะต่างๆ โดยใช้เครื่องกวนที่มีความเร็ว 110 รอบต่อนาที พบว่า ปริมาณโซเดียมไตรเมต้าฟอสเฟตมีผลต่อสมบัติของแป้งข้าวเจ้าแปรสภาพ โดยพิจารณาจากการเปลี่ยนแปลงความหนืดของ paste ซึ่งวัดด้วยเครื่อง Brabender Visco-Amylograph ได้ผลดังนี้

อุณหภูมิแป้งสุก พิจารณาจากจุดที่เส้นกราฟของ Brabender Visco-Amylograph เริ่มเบี่ยงเบนจากเส้นฐานของกราฟ เป็นจุดที่เม็ดแป้งมีการดูดน้ำอย่างรวดเร็ว และพองตัวขึ้นมาก ทำให้สารละลายแป้งเริ่มเกิดความข้นหนืดซึ่งเครื่องวัดตรวจสอบได้ ดังนั้น เส้นกราฟจึงเริ่มเบี่ยงเบนออกจากฐาน จากการทดลองพบว่า เมื่อปริมาณโซเดียมไตรเมต้าฟอสเฟตมีระดับสูงขึ้น ทำให้อุณหภูมิแป้งสุกสูงขึ้นด้วย เนื่องจาก เมื่อมีปริมาณโซเดียมไตรเมต้าฟอสเฟตมากขึ้นมีโอกาสที่สารจะเข้าทำปฏิกิริยาสร้างพันธะฟอสเฟตไดเอสเทอร์เชื่อมระหว่างโพลิเมอร์เม็ดแป้งได้มากขึ้น ทำให้แรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลเม็ดแป้งแข็งแรงมากขึ้นเช่นกัน เป็นผลให้เม็ดแป้งดูดน้ำได้น้อยลง เม็ดแป้งสุกช้าลง ดังนั้น อุณหภูมิแป้งสุกจึงมีค่าสูงขึ้น

ความหนืดของ paste ที่อุณหภูมิ 95°C พบว่า เมื่อปริมาณโซเดียมไตรเมต้าฟอสเฟตมีระดับสูงขึ้น ทำให้ความหนืดของ paste ลดต่ำลง เพราะทำให้เกิดปฏิกิริยา cross-linking ได้มากขึ้น จึงทำให้เม็ดแป้งดูดน้ำได้น้อย การพองตัวของเม็ดแป้งลดลง ดังนั้น ความหนืดของ paste จึงต่ำ ไม่ปรากฏเป็นยอดสูงสุดเหมือนแป้งข้าวเจ้าแปรสภาพด้วยโซเดียมไตรเมต้าฟอสเฟตระดับต่ำ แต่ถ้าปริมาณโซเดียมไตรเมต้าฟอสเฟตมีระดับสูงมากจนเกิด cross-linking สูงเกินไป จะมีผลทำให้ความหนืดของ paste แป้งข้าวเจ้าแปรสภาพลดต่ำมาก เนื่องจากเม็ดแป้งไม่สามารถดูดน้ำได้เพียงพอสำหรับการสุกของเม็ดแป้ง จากการทดลองพบว่า ปริมาณโซเดียมไตรเมต้าฟอสเฟตร้อยละ 2.0 ของน้ำหนักแป้งแห้ง มีผลทำให้เม็ดแป้งมีความแข็งแรงมากจนพองตัวในน้ำเดือด

ได้น้อยลง ความหนืดของ paste จึงต่ำกว่าเมื่อแปรสภาพด้วยโซเดียมไตรเมต้าฟอสเฟตร้อยละ 1.4 และ 1.7

เสถียรภาพความหนืดระหว่าง heating cycle มีค่าเท่ากับ ผลต่างระหว่างค่าความหนืดสูงสุด และความหนืดที่ 95°C นาน 20 นาที ถ้าผลต่างมีค่าน้อยหมายถึง paste มีเสถียรภาพความหนืดระหว่าง heating cycle สูง ในทางตรงข้าม ถ้าผลต่างมีค่ามาก หมายถึง paste มีเสถียรภาพความหนืดต่ำ จากการทดลองพบว่า เมื่อปริมาณโซเดียมไตรเมต้าฟอสเฟตสูงขึ้น มีผลทำให้เสถียรภาพความหนืดระหว่าง heating cycle ของ paste สูงขึ้น เนื่องจากเมื่อมี cross-linking reagent มากขึ้น ทำให้ปฏิกิริยา cross-linking เกิดได้ดี ซึ่งมีผลทำให้เม็ดแป้งมีความคงทนต่อการกวนในระหว่างได้รับความร้อนดีขึ้น ดังนั้นเสถียรภาพความหนืดระหว่าง heating cycle ของ paste จึงสูงขึ้น

การคืนตัวของ paste พิจารณาจากความหนืดของการคืนตัวทั้งหมด (total setback) ซึ่งมีค่าเท่ากับ ผลต่างระหว่างค่าความหนืดที่อุณหภูมิ 50°C และความหนืดที่อุณหภูมิ 95°C นาน 20 นาที ถ้าผลต่างมีค่าน้อย หมายถึง paste เกิดการคืนตัวน้อย จากการทดลองพบว่า ปริมาณโซเดียมไตรเมต้าฟอสเฟตมีผลต่อการคืนตัวของ paste แป้งข้าวเจ้าแปรสภาพในทิศทางตรงข้ามกับปริมาณสารที่ใช้ คือ เมื่อปริมาณโซเดียมไตรเมต้าฟอสเฟตสูงขึ้น มีผลทำให้การคืนตัวของ paste ต่ำลง เพราะโซเดียมไตรเมต้าฟอสเฟตมีโอกาสเข้าไปสร้างพันธะเชื่อมระหว่างโมเลกุลได้มาก ทำให้โมเลกุลอะไมโลส์และอะไมโลเพคตินมีขนาดใหญ่กว่าเดิมจึงเคลื่อนที่มารวมตัวกันได้ยากขึ้น ดังนั้น การคืนตัวของ paste จึงลดต่ำลง

ข. สำหรับผลของอุณหภูมิ พบว่า อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยามีผลต่อความหนืดของ paste แป้งข้าวเจ้าแปรสภาพ โดยมีแนวโน้มลักษณะเดียวกับผลของปริมาณโซเดียมไตรเมต้าฟอสเฟต คือ เมื่ออุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาสูงขึ้นทำให้ปฏิกิริยา cross-linking เกิดได้ดีขึ้น เนื่องจากเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลแป้งมีความแข็งแรงน้อยลง โซเดียมไตรเมต้าฟอสเฟต จึงสามารถเข้าทำปฏิกิริยาได้ง่ายขึ้น ดังนั้น ปฏิกิริยาจึงเกิดได้ดีขึ้น เป็นผลให้อุณหภูมิแป้งสุกมีแนวโน้มสูงขึ้น ความหนืดและการคืนตัวของ paste แป้งข้าวเจ้าแปรสภาพต่ำลง แต่มีเสถียรภาพความหนืดสูงขึ้น

ค. เวลาในการทำปฏิกิริยา มีผลต่อปฏิกิริยา cross-linking ในทิศทางเดียวกับผลของปริมาณโซเดียมไตรเมต้าฟอสเฟตและอุณหภูมิ คือ เมื่อเวลาในการทำปฏิกิริยา

มีระดับสูงขึ้นมีผลทำให้ปฏิกิริยาเกิดได้ดีขึ้น เนื่องจากสารมีโอกาสทำปฏิกิริยาได้นานขึ้น ดังนั้น อุณหภูมิแป้งสุกและเสถียรภาพความหนืด มีแนวโน้นสูงขึ้น แต่ความหนืดและการคืนตัวของ paste แป้งข้าวเจ้าแปรสภาพลดต่ำลง เช่นเดียวกัน

ง. จากการวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่า อิทธิพลร่วม 2 ปัจจัย คือ ปริมาณโซเดียมไตรเมต้าฟอส์เฟตกับเวลา อุณหภูมิกับเวลา และอิทธิพลร่วม 3 ปัจจัย ระหว่าง ปริมาณโซเดียมไตรเมต้าฟอส์เฟต อุณหภูมิ และเวลาในการทำปฏิกิริยา (ตารางที่27) มีความสัมพันธ์ในทิศทางเสริมกัน คือ เมื่อแต่ละปัจจัยมีระดับสูงขึ้น มีผลทำให้ปฏิกิริยา cross-linking เกิดได้ดีขึ้น ซึ่งทำให้ความหนืดและการคืนตัวของ paste ลดลง แต่มีเสถียรภาพความหนืดระหว่าง heating cycle สูงขึ้น นอกจากนี้พบว่า มีเฉพาะอิทธิพลร่วมระหว่าง เวลา และอุณหภูมิเท่านั้น ที่มีผลทำให้อุณหภูมิแป้งสุกสูงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เนื่องจากในการศึกษานี้ ได้ติดตามการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิแป้งสุก โดยพิจารณาจากจุดที่เส้นกราฟเบี่ยงเบนออกจากฐานของ Amylograph เท่านั้น โดยไม่ได้วิเคราะห์ทางเคมีประกอบการพิจารณาอีกครั้งหนึ่ง ดังนั้น ความคลาดเคลื่อนจึงอาจเกิดขึ้น เนื่องจากอุปกรณ์ที่ใช้คือ Brabender Visco- Amylograph มีความละเอียดในการตรวจสอบไม่เพียงพอ

แต่อย่างไรก็ตามจากการตรวจสอบเอกสารพบว่า แม้จะใช้วิธีตรวจสอบอุณหภูมิแป้งสุกอย่างง่ายและแม่นยำที่นิยมใช้ทั่วไป คือ การตรวจสอบการสูญเสียเครื่องหมายกากบาท เมื่อน้ำแป้งได้รับความร้อนอย่างช้าๆ โดยใช้กล้องจุลทรรศน์ แบบ Kofler (Kofler hot stage microscope) ซึ่งจะบันทึกจุดเริ่มต้น จุดกลาง และจุดสุดท้ายของการเกิดการสุกของแป้ง คือ เมื่อเม็ดแป้งประมาณร้อยละ 2 , 50 และ 98 เริ่มพองตัวและสูญเสียเครื่องหมายกากบาท ตามลำดับ หรือวิธีทางเคมี โดยหาเปอร์เซ็นต์การสุกของแป้งด้วยการย่อยแป้งที่เกิดการสุกแล้ว เป็นกลูโคสด้วยเอนไซม์กลูโคอมัยเลส (glucoamylase) แล้ววิเคราะห์ปริมาณกลูโคสที่ได้ด้วยเอนไซม์กลูโคสออกซิเดส (53) พบว่า ผลการตรวจสอบทั้ง 2 วิธีดังกล่าว บางกรณีศึกษาให้ผลขัดแย้งกัน แต่โดยทั่วไปนิยมใช้การตรวจสอบการสูญเสียเครื่องหมายกากบาท เนื่องจากมีข้อกำจัดด้านอุปกรณ์ คือ กล้อง Kofler สำหรับการตรวจสอบ ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงเลือกศึกษาอุณหภูมิแป้งสุกโดยพิจารณาจาก Amylograph

5.3.2.2 ผลของปริมาณโซเดียมไตรเมต้าฟอสเฟต อุณหภูมิ และเวลาในการทำปฏิกิริยาต่อปริมาณฟอสฟอรัส และอะไมโลสในแป้งข้าวเจ้าแปรสภาพ

ผลการวิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัสในรูปฟอสเฟต ในแป้งข้าวเจ้าแปรสภาพโดยใช้ปริมาณโซเดียมไตรเมต้าฟอสเฟตต่างกันในการทำปฏิกิริยาที่สภาวะต่างๆ พบว่า การเพิ่มปริมาณโซเดียมไตรเมต้าฟอสเฟตในการทำปฏิกิริยา cross-linking มีผลทำให้ปริมาณฟอสฟอรัสในแป้งข้าวเจ้าแปรสภาพสูงขึ้นเช่นกัน ซึ่งแสดงให้เห็นว่า เมื่อปริมาณโซเดียมไตรเมต้าฟอสเฟตมีระดับสูงขึ้น ทำให้มีการเชื่อมโยงระหว่างโมเลกุลได้มากขึ้น ดังนั้นผลวิเคราะห์จึงสูงขึ้นด้วย แต่พบว่า ปริมาณฟอสเฟตในแป้งข้าวเจ้าแปรสภาพ ทุกสภาวะที่ทำการทดลองมีปริมาณต่ำกว่าข้อกำหนดของสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา กระทรวงสาธารณสุข ของประเทศไทยและสหรัฐอเมริกา

นอกจากนี้ พบว่า ปริมาณฟอสฟอรัสและอุณหภูมิแป้งสุก มีความสัมพันธ์กัน เพราะเมื่อปริมาณฟอสฟอรัสสูง ทำให้มีการสร้างพันธะที่แข็งแรงมากขึ้น จนเม็ดแป้งดูดน้ำได้น้อย และสุกช้าลงดังกล่าวแล้ว แต่เนื่องจากการสุกของแป้งยังเกี่ยวข้องกับปัยจัยอื่นอีก ดังนั้นจึงทำให้มีความสัมพันธ์เป็นแบบพาราโบลา (ดังแสดงในรูปที่ 31)

สำหรับปริมาณอะไมโลสในแป้งข้าวเจ้าแปรสภาพ พบว่า ปริมาณโซเดียมไตรเมต้าฟอสเฟตมีผลต่อปริมาณอะไมโลสในแป้งข้าวเจ้าแปรสภาพแตกต่างกันคือ เมื่อใช้ปริมาณโซเดียมไตรเมต้าฟอสเฟตในระดับสูง ทำให้มีโอกาสเกิดการเชื่อมโยงระหว่างกิ่งก้านที่เป็นสาขาของโมเลกุลอะไมโลเพคตินได้มากขึ้น ดังนั้น จึงทำให้ปริมาณอะไมโลสในแป้งข้าวเจ้าแปรสภาพสูงขึ้น

จากการวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่า เมื่ออิทธิพลร่วม 2 ปัจจัย ระหว่างปริมาณโซเดียมไตรเมต้าฟอสเฟตกับเวลา อุณหภูมิกับเวลา และอิทธิพลร่วม 3 ปัจจัย ระหว่างปริมาณโซเดียมไตรเมต้าฟอสเฟต อุณหภูมิและเวลา ในการทำปฏิกิริยามีระดับสูงขึ้น มีผลทำให้ปริมาณฟอสฟอรัสและอะไมโลสในแป้งข้าวเจ้าแปรสภาพสูงขึ้นเช่นกัน (ดังแสดงในตารางที่ 34) และพบว่า ปริมาณฟอสฟอรัส (X) และปริมาณอะไมโลส (Y) ในแป้งข้าวเจ้าแปรสภาพ มีการเปลี่ยนแปลงในทิศทางเดียวกัน คือ เมื่อปริมาณฟอสฟอรัสซึ่งเป็นผลจากการทำปฏิกิริยา cross-linking สูงขึ้น ปริมาณอะไมโลสในแป้งข้าวเจ้าแปรสภาพก็จะค่อยๆ เพิ่มขึ้น โดยมีความสัมพันธ์แบบพาราโบลา ตามสมการ $Y = 20.94 + 0.58X + 0.015X^2$ ($R^2 = 0.976$) แสดงให้เห็นว่า เมื่อปฏิกิริยา cross-linking เกิดได้ดีขึ้น มีผลทำให้ปริมาณอะไมโลสที่วิเคราะห์ได้

ในแป้งข้าวเจ้าแปรสภาพค่อยๆ เพิ่มขึ้น ตามปริมาณของฟอสฟอรัสที่สูงขึ้น โดยมีสัดส่วนไม่คงที่ เนื่องจากมีบางส่วนของโซเดียมไตรเมต้าฟอสเฟตเท่านั้นที่เข้าทำปฏิกิริยา (bounded phosphate) และมีบางส่วนที่ยังคงอยู่ในรูปอิสระ (free phosphate) ดังนั้น อัตราส่วนของฟอสฟอรัส และอะไมโลสที่เพิ่มขึ้นจึงไม่คงที่เป็นเส้นตรงแต่มีความสัมพันธ์กันแบบพาราโบลา (ดังแสดงในรูปที่ 33)

นอกจากนี้ยังพบว่า ปริมาณอะไมโลส (Y) ในแป้งข้าวเจ้าแปรสภาพมีผลต่อการคืนตัวของ paste โดยมีความสัมพันธ์แบบเอกซ์โปเนนเชียล ตามสมการ $Y = 2.8*10^{12}\ e^{-0.99x}$ ($R^2 = 0.947$) หมายถึง เมื่อปริมาณอะไมโลสระดับต่ำๆ มีผลทำให้เกิดการคืนตัวสูง หรือ มีอัตราการคืนตัวเร็ว (slope มีค่ามาก) แต่เมื่อปริมาณอะไมโลสมีระดับสูงขึ้น พบว่าการคืนตัวของ paste ต่ำลง รวมทั้งอัตราการเกิดการคืนตัวจะช้าลง (slope มีค่าน้อย ) แสดงว่า เมื่อปริมาณอะไมโลสต่ำ หมายถึง เกิดการ cross-linking ระหว่างโมเลกุลได้น้อย อะไมโลสและอะไมโลเพคตินยังคงมีขนาดโมเลกุลไม่ใหญ่มากนักสามารถเคลื่อนที่มาจับกันได้ การคืนตัวของ paste จึงสูงและมีอัตราการเกิดเร็ว แต่เมื่อปริมาณอะไมโลสสูงขึ้น หมายถึง เกิดการ cross-linking มากขึ้นซึ่งทำให้โมเลกุลอะไมโลส อะไมโลเพคตินมีขนาดใหญ่ขึ้นจึงเคลื่อนที่มารวมกันได้ยาก ดังนั้นการคืนตัวของ paste จึงน้อยลง และอัตราการเกิดการคืนตัวจะค่อยๆ ช้าลง ในลักษณะแบบเอกซ์โปเนนเชียล (ดังแสดงในรูปที่ 34)

<u>คัดเลือกแป้งข้าวเจ้าแปรสภาพที่มีสมบัติเหมาะสมสำหรับการนำไปใช้ในผลิตภัณฑ์แป้งชุบทอด</u>

<u>ผลการคัดเลือกแป้งข้าวเจ้าแปรสภาพโดยใช้เกณฑ์การเปลี่ยนแปลงความหนืดของ paste และปริมาณอะไมโลสที่เหมาะสม</u>

จากผลการทดลองแปรสภาพแป้งข้าวเจ้าโดยวิธี cross-linking ด้วยโซเดียมไตรเมต้าฟอสเฟตร้อยละ 1.4 1.7 และ 2.0 ของน้ำหนักแป้งแห้ง อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 50 และ 55°C เวลา 1.5 3.0 และ 4.5 ชั่วโมง pH ของน้ำแป้งระหว่างทำปฏิกิริยา 11.00±0.10 ความเร็วของเครื่องกวนคงที่ คือ 110 รอบต่อนาที และผลการศึกษาสมบัติด้านต่างๆ ของแป้งชุบทอดทางการค้า ได้คัดเลือกแป้งข้าวเจ้าแปรสภาพที่มีสมบัติเหมาะสมสำหรับนำไปใช้ในการผลิตภัณฑ์แป้งชุบทอดเพื่อพัฒนาสูตรโดยพิจารณาสมบัติสำคัญที่มีผลต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์ด้านความกรอบ การอมน้ำมัน ความสามารถในการเกาะผิวอาหาร การพองตัว และสีของผลิตภัณฑ์ โดยใช้สมบัติของแป้งชุบทอดทางการค้า เป็น

เกณฑ์ขั้นต่ำในการคัดเลือกดังนี้

อุณหภูมิแป้งสุก เนื่องจากลักษณะเด่นของผลิตภัณฑ์คือ ความกรอบ ดังนั้น แป้งชุบทอดควรมีอุณหภูมิแป้งสุกสูง ทั้งนี้เพื่อให้น้ำที่ผสมในแป้งหรือในชิ้นอาหารมีโอกาสถูกความร้อน และระเหยออกได้มาก ก่อนที่แป้งเกิดเป็นเจลเคลือบชิ้นอาหารซึ่งการเกิดเป็นเจลของแป้ง จะเป็นสาเหตุให้น้ำระเหยออกได้น้อยลง แป้งที่เคลือบอยู่หลังทอดสุกแล้ว สามารถดูดน้ำจากชิ้นอาหารได้มากขึ้น เป็นผลให้ความกรอบของผลิตภัณฑ์ลดลง ดังนั้น เกณฑ์สำหรับอุณหภูมิแป้งสุก ควรอยู่ในช่วงเดียวกับแป้งชุบทอดทางการค้าคือ 64.13-69.00°C หรือสูงกว่านี้

ปริมาณอะไมโลส แป้งชุบทอดควรมีปริมาณอะไมโลสในระดับที่เหมาะสม ไม่ควรมีปริมาณสูงหรือต่ำเกินไป เนื่องจากอะไมโลสมีส่วนช่วยให้อุณหภูมิแป้งสุกสูงขึ้น แป้งที่มีอะไมโลสสูงจะมีอุณหภูมิในการพองตัวของเม็ดแป้งสูงกว่าปกติ ซึ่งช่วยเพิ่มความกรอบของผลิตภัณฑ์ให้สูงขึ้น แต่เนื่องจากอะไมโลสทำให้เกิดฟิล์มที่มีลักษณะแข็งแรง ดังนั้น ถ้ามีปริมาณสูงเกินไป จะมีผลทำให้ผลิตภัณฑ์มีลักษณะแข็งกระด้าง นอกจากนี้ อัตราส่วนของอะไมโลส์ต่ออะไมโลเพคตินยังมีผลต่อคุณภาพทั่วไปของผลิตภัณฑ์ คือ ถ้ามีปริมาณอะไมโลสสูงเกินไป ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีค่าปริมาตรจำเพาะหรือ การพองตัว (puffing) ลดลงและช่วยลดการดูดซับน้ำมันให้น้อยลง เกณฑ์ที่กำหนดคือ ควรมีปริมาณอะไมโลสในช่วงร้อยละ 19.08-20.91 หรือสูงกว่านี้ โดยไม่มีผลทำให้คุณภาพด้านอื่น เช่น การพองตัวต่ำลง

เกณฑ์สำคัญลำดับรอง ได้แก่

ความหนืดที่อุณหภูมิ 95°C เป็นความหนืดที่เกิดขึ้นเมื่อน้ำแป้งได้รับความร้อนมากกว่าอุณหภูมิแป้งสุก ทำให้เม็ดแป้งที่พองตัวเต็มที่แตกออก อะไมโลส์แยกตัวออกจากอะไมโลเพคตินหลุดออกมาสู่สารละลาย ทำให้เกิดมีลักษณะข้นหนืด ถ้า paste มีความหนืดสูง แสดงว่า เม็ดแป้งมีการพองตัวมากและแตกตัวได้ง่าย อะไมโลสหลุดออกจากเม็ดแป้งได้มากขึ้น จึงมีโอกาสเกิดเป็นเจลเคลือบชิ้นอาหารได้เร็วขึ้น แป้งชุบทอดจึงไม่ควรมีความหนืดสูงมากนักเพราะเป็นการปิดกั้นการระเหยของน้ำออกจากผลิตภัณฑ์ ทำให้ผลิตภัณฑ์มีความชื้นสูง เป็นผลให้ความกรอบของผลิตภัณฑ์ลดลง ดังนั้นจึงใช้เกณฑ์โดยกำหนดให้มีความหนืดอยู่ในช่วงเดียวกับแป้งชุบทอดทางการค้า คือ 130-175 บี.ยู หรือถ้าต่ำกว่าแป้งชุบทอดทางการค้า ซึ่งอาจปรับปรุงให้มีความหนืดระดับเดียวกับแป้งชุบทอดทางการค้าโดยผสมกับแป้งชนิดอื่นในอัตราส่วนไม่สูงมากนัก ทั้งนี้ต้องพิจารณาต้นทุนที่เพิ่มขึ้นจากการผสมกับแป้งอื่นเป็นเกณฑ์

ความหนืดที่ 50°C เป็นความหนืดของ paste เมื่อเย็นลงจนมีอุณหภูมิ 50°C ในขณะที่ปล่อยให้ paste เย็นตัวลงนั้น โมเลกุลของอะไมโลสและอะไมโลเพคตินจะเคลื่อนที่มาจับตัวกันใน 3 ทิศทาง เกิดเป็นเจลดังกล่าวแล้วในข้อ 2.2.5 ถ้าค่าที่ได้สูงมาก แสดงว่า อะไมโลสและอะไมโลเพคตินจับตัวกันมาก เจลที่ได้มีความหนืดสูง สำหรับผลิตภัณฑ์แป้งชุบทอดนั้นควรมีความหนืดของ paste เมื่อเย็นลงในระดับที่สูงพอเหมาะ เพื่อช่วยให้เกิดการเกาะติดกับชิ้นอาหารได้ดีขึ้นหลังจากผ่านการทอดที่อุณหภูมิสูง ไม่ลอกหลุดจากชิ้นอาหารได้ง่ายในระหว่างการบรรจุซึ่งช่วยให้ผลิตภัณฑ์มีลักษณะปรากฏที่ดีเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค แต่ถ้ามีความหนืดสูงเกินไปอาจทำให้เกิดการคืนตัวได้เร็วและมากขึ้น จึงใช้ความหนืดของแป้งชุบทอดทางการค้าเป็นเกณฑ์ คือ มีความหนืดระหว่าง 203-275 บี.ยู. หรือต่ำกว่าแป้งชุบทอดทางการค้าก็ใช้ได้โดยผสมกับแป้งชนิดอื่น ซึ่งต้องพิจารณาต้นทุนที่เพิ่มขึ้นเป็นเกณฑ์ เช่นเดียวกับการพิจารณาความหนืดที่ 95°C

การคืนตัวของ paste แป้งชุบทอดควรมีการคืนตัวของ paste ต่ำ เนื่องจากเป็นระบบที่มีความเข้มข้นของแป้งสูงซึ่งเป็นปัจจัยส่งเสริมให้เกิดการคืนตัวได้มาก ถ้าการคืนตัวของ paste มีค่าสูงมากเมื่อปล่อยทิ้งไว้เป็นเวลานานขึ้น โอกาสที่จะเกิดการคืนตัวได้มาก จนกระทั่งเกิดการแยกตัวของน้ำจึงมีสูง ซึ่งอาจเป็นผลเสีย คือทำให้ความกรอบของผลิตภัณฑ์ลดต่ำลง จึงใช้ช่วงความหนืดที่แสดงถึงการคืนตัวของแป้งชุบทอดทางการค้าเป็นเกณฑ์ คือ 40-145 บี.ยู. หรือต่ำกว่า ซึ่งเป็นผลดีต่อผลิตภัณฑ์ คือมีโอกาสเกิดการคืนตัวน้อย

ถ้าจะคัดเลือกแป้งข้าวเจ้าแปรสภาพโดยใช้เกณฑ์ดังกล่าวข้างต้น พบว่า แป้งข้าวเจ้าแปรสภาพตัวอย่างที่ 1 2 และ 4 มีอุณหภูมิแป้งสุก ปริมาณอะไมโลส และการเปลี่ยนแปลงความหนืดเมื่อได้รับความร้อนที่อุณหภูมิต่างๆ เหมาะสมสำหรับการนำไปใช้ในผลิตภัณฑ์แป้งชุบทอด ซึ่งอาจพัฒนาสูตรให้มีสมบัติเหมาะสมยิ่งขึ้น โดยการผสมกับแป้งชนิดอื่นต่อไป

อย่างไรก็ตามแป้งข้าวเจ้าแปรสภาพตัวอย่างที่ 1 มีความหนืดที่อุณหภูมิ 95°C และ 50°C ของ paste ต่ำกว่าความหนืดที่อุณหภูมิเดียวกันของ paste แป้งชุบทอดทางการค้าประมาณครึ่งหนึ่ง ถ้านำไปใช้ในผลิตภัณฑ์จะต้องผสมแป้งข้าวโพดเพื่อให้มีความหนืดของ paste สูงขึ้นอยู่ในช่วงเดียวกับแป้งชุบทอดทางการค้า ในปริมาณที่มากกว่าเมื่อใช้แป้งข้าวเจ้าแปรสภาพตัวอย่างที่ 2 แต่เนื่องจาก แป้งข้าวโพดมีราคาแพง (32 บาท/กิโลกรัม) จึงไม่ควรใช้ผสมในอัตราส่วนสูง ดังนั้นแป้งข้าวเจ้าแปรสภาพตัวอย่างที่ 2 จึงเหมาะสมกว่า จึงได้คัดเลือกตัวอย่างที่ 1 ออก ส่วนแป้งตัวอย่างที่ 4 พบว่า มีความหนืดเหมาะสมอยู่ในช่วงเดียวกับแป้งชุบทอดทางการค้าแล้ว สามารถ

ใช้เป็นส่วนผสมหลักทั้งหมดโดยไม่ต้องผสมแป้งชนิดอื่น รวมทั้งมีอุณหภูมิแป้งสุกและปริมาณอะไมโลสอยู่ในระดับที่ต้องการ ดังนั้น จึงเลือกแป้งข้าวเจ้าแปรสภาพตัวอย่างที่ 4 และตัวอย่างที่ 2 ไปใช้ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์แป้งชุบทอดต่อไป

5.4 ศึกษาการพัฒนาสูตรแป้งชุบทอด ซึ่งใช้แป้งข้าวเจ้าแปรสภาพเป็นส่วนผสมในอัตราส่วนต่างกัน

5.4.1 ศึกษาผลของแป้งสาลีชนิดเอนกประสงค์และแป้งขนมปังต่อสมบัติของแป้งชุบทอดซึ่งใช้แป้งข้าวเจ้าแปรสภาพเป็นส่วนผสมในอัตราส่วนต่างกัน

จากการศึกษาผลของแป้งสาลีชนิดเอนกประสงค์และแป้งขนมปัง ต่อสมบัติของแป้งชุบทอดซึ่งใช้แป้งข้าวเจ้าแปรสภาพเป็นส่วนผสมในอัตราส่วนต่างกันคือสูตร A-E และ A1-E1 พบว่า แป้งทั้ง 2 ชนิดดังกล่าว มีผลทำให้ อุณหภูมิแป้งสุก ความหนืดที่ 95°C ความหนืด 50°C ความหนืดของการคืนตัวทั้งหมด ตลอดจนองค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญ คือ ปริมาณอะไมโลส ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 39) มีเฉพาะปริมาณโปรตีนเท่านั้นที่มีความแตกต่างทางสถิติ ทั้งนี้อาจเนื่องจากองค์ประกอบของแป้งทั้ง 2 ชนิดดังกล่าว มีค่าใกล้เคียงกันแต่มีสมบัติที่แตกต่างกันอย่างเด่นชัด คือ ปริมาณโปรตีน สำหรับองค์ประกอบที่สำคัญอีกอย่างหนึ่ง คือ ปริมาณเม็ดแป้งที่เสียหายซึ่งจะมีผลต่ออุณหภูมิแป้งสุก และการเปลี่ยนแปลงความหนืดของ paste เช่นกัน โดยทั่วไปแป้งขนมปังจะมีเม็ดแป้งที่เสียหายมากกว่าแป้งอเนกประสงค์ เป็นเพราะส่วนใหญ่แป้งขนมปังผลิตมาจากข้าวสาลีชนิดแข็ง (hard wheat) ซึ่งต้องใช้การบดที่รุนแรง แต่ตัวอย่างจากการศึกษานี้ คือ แป้งขนมปังมีปริมาณเม็ดแป้งเสียหาย (มีประมาณร้อยละ 8) สูงกว่าแป้งเอนกประสงค์ (มีประมาณร้อยละ 7) เพียงเล็กน้อย จึงมีผลทำให้สมบัติของผลิตภัณฑ์จากแป้งทั้ง 2 ชนิดไม่มีความแตกต่างทางสถิติ และมีรายงานศึกษาพบว่า ในผลิตภัณฑ์แป้งชุบทอดถ้ามีปริมาณเม็ดแป้งที่เสียหายในระดับที่เหมาะสม จะช่วยให้ batter เกาะติดชิ้นอาหารได้ดีขึ้นก่อนนำไปทอด นอกจากนี้ แป้งขนมปังยังมีปริมาณโปรตีนสูงกว่าแป้งเอนกประสงค์ ประกอบกับมีราคาใกล้เคียงกัน ดังนั้น จึงเลือกใช้แป้งชุบทอดสูตร A1-E1 ซึ่งใช้แป้งขนมปังเป็นส่วนผสม เพื่อให้มีคุณค่าทางโภชนาการสูงขึ้นรวมทั้งช่วยให้แป้งเกาะติดชิ้นอาหารก่อนทอดได้ดีขึ้น สำหรับใช้ในการศึกษาต่อไป

5.4.2 ศึกษาสมบัติของแป้งชุบทอดซึ่งใช้แป้งข้าวเจ้าแปรสภาพเป็นส่วนผสมในอัตราส่วนต่างกัน

5.4.2.1 อุณหภูมิแป้งสุก การเปลี่ยนแปลงความหนืด และองค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญ

จากผลการศึกษาพบว่า อุณหภูมิแป้งสุกของแป้งชุบทอดสูตรต่างๆ ที่ศึกษามีค่าแตกต่างกัน ขึ้นกับปริมาณแป้งแต่ละชนิดที่ใช้เป็นส่วนผสม แป้งข้าวเจ้าแปรสภาพมีการเชื่อมโยงระหว่างโมเลกุลของโพลิเมอร์ด้วยพันธะฟอสเฟตไดเอสเทอร์นอกเหนือจากพันธะไฮโดรเจน ซึ่งทำให้มีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลแข็งแรงมากขึ้น แป้งสุกช้าลง อุณหภูมิแป้งสุกจึงสูงขึ้น แต่แป้งสาลีโดยเฉพาะแป้งขนมปังมีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลเฉพาะพันธะไฮโดรเจนเท่านั้น จึงมีความแข็งแรงน้อยกว่าแป้งข้าวเจ้าแปรสภาพ และมีเม็ดแป้งที่เสียหายในระหว่างการบดทำให้แรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลลดลง ประกอบกับมีปริมาณอะไมโลสต่ำ ส่งผลให้เม็ดแป้งดูดน้ำและสุกได้เร็วขึ้น จึงมีอุณหภูมิแป้งสุกต่ำกว่าแป้งข้าวเจ้าแปรสภาพ ส่วนแป้งข้าวโพดมีปริมาณอะไมโลสสูงกว่าแป้งขนมปัง ทำให้มีโครงสร้างที่แข็งแรงกว่า เป็นผลให้อุณหภูมิแป้งสุกสูงกว่าแป้งขนมปัง แต่มีการใช้แป้งข้าวโพดเป็นส่วนผสมในปริมาณน้อย จึงมีผลต่ออุณหภูมิแป้งสุกตลอดจนสมบัติอื่นๆ ของแป้งชุบทอดน้อยกว่าแป้งข้าวเจ้าแปรสภาพและแป้งขนมปัง ดังนั้น แป้งชุบทอดสูตรที่มีอัตราส่วนของแป้งข้าวเจ้าแปรสภาพสูง คือ สูตร F A1 และ B1 จึงมีอุณหภูมิแป้งสุกสูง และเมื่ออัตราส่วนของแป้งข้าวเจ้าแปรสภาพลดลง มีผลทำให้อุณหภูมิแป้งสุกของแป้งชุบทอดต่ำลงด้วย เช่น สูตร E1 หรือ C1 กับ D1

จากการเปรียบเทียบกับอุณหภูมิแป้งสุกของแป้งชุบทอดทางการค้า (ตารางที่ 4) ซึ่งใช้เป็นเกณฑ์ พบว่า แป้งชุบทอดทุกสูตรมีอุณหภูมิแป้งสุกระดับเดียว หรือสูงกว่าแป้งชุบทอดทางการค้าโดยเฉพาะสูตร F A1 และ B1 มีอุณหภูมิแป้งสุกสูงกว่าเกณฑ์มากซึ่งจะเป็นผลดีต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ คือ ช่วยให้มีความกรอบมากขึ้น

นอกจากนี้ พบว่า ชนิดและปริมาณของแป้งที่เป็นส่วนผสมยังมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงความหนืด และองค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญของแป้งชุบทอด ดังนี้

ความหนืดที่ 95°C เนื่องจากแป้งข้าวเจ้าแปรสภาพสามารถดูดน้ำและพองตัวได้น้อย เพราะมีพันธะระหว่างโมเลกุลที่แข็งแรงดังกล่าวแล้วจึงทำให้มีความหนืดต่ำ ส่วนแป้งขนมปังมีโปรตีนซึ่งเกาะติดแน่นอยู่กับเม็ดแป้งทำให้เม็ดแป้งดูดน้ำและพองตัวได้น้อย จึงมีผลทำให้ความหนืดของแป้งชุบทอดต่ำลงเช่นกัน ดังนั้นสูตรที่มีแป้งข้าวเจ้าแปรสภาพหรือแป้งขนมปังในปริมาณมาก

เช่น สูตร F และ A1 หรือ D1 จึงมีความหนืดต่ำไม่แตกต่างกัน แต่แป้งข้าวโพดมีผลในทิศทางตรงข้าม เนื่องจากเม็ดแป้งข้าวโพดสามารถดูดน้ำและพองตัวได้ดีรวมทั้งมีองค์ประกอบอื่น เช่น โปรตีนอยู่น้อยจึงทำให้มีความหนืดสูงมาก ดังนั้น แม้จะใช้ในปริมาณน้อยก็มีผลทำให้ความหนืดของแป้งชุบทอดสูงขึ้น และหากใช้ในปริมาณมากจะช่วยให้ความหนืดสูงยิ่งขึ้น เช่น สูตร A1 กับ B1 หรือ C1 กับ D1 เป็นต้น

จากการพิจารณาความหนืดของแป้งชุบทอดทั้ง 6 สูตร พบว่า ความหนืดของแป้งชุบทอดสูตร A1 D1 และ F อยู่ในระดับเดียวกับเกณฑ์ที่กำหนด (ตารางที่ 4) แต่สูตร B1 C1 และ E1 มีค่าสูงกว่าเกณฑ์

ความหนืดที่ 50°C เนื่องจากโมเลกุลอะไมโลสและอะไมโลเพคตินในแป้งข้าวเจ้าแปรสภาพ มีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลที่แข็งแรง จึงเคลื่อนที่มาจับตัวกันเกิดโครงสร้างสามมิติหรือเจลได้น้อย และแป้งขนมปังมีอะไมโลสในปริมาณต่ำ ประกอบกับเม็ดแป้งเกิดการเสียหายระหว่างการบดทำให้ขนาดโมเลกุลของอะไมโลสสั้นลง จึงจับตัวกับอะไมโลเพคตินได้น้อย ส่งผลให้สูตรที่มีอัตราส่วนแป้งข้าวเจ้าแปรสภาพหรือแป้งขนมปังสูง เช่น สูตร F และ A1 หรือ D1 มีความหนืดต่ำ แต่แป้งข้าวโพดมีปริมาณอะไมโลส์สูงและมีสมบัติที่ทำให้เกิดเจลซึ่งมีความหนืดสูงมาก จึงมีผลทำให้ความหนืดของสูตร B1 และ C1 สูงกว่าสูตร A1 และ D1

จากการเปรียบเทียบกับความหนืดของแป้งชุบทอดทางการค้า (ตารางที่ 4) ที่ใช้เป็นเกณฑ์ พบว่า ความหนืดของแป้งชุบทอดสูตร A1 D1 และ F อยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด แต่สูตร B1 C1 และ E1 มีค่าสูงกว่า ซึ่งอาจทำให้ความกรอบของผลิตภัณฑ์ลดลง

การคืนตัวของ paste แป้งชุบทอด เนื่องจากโมเลกุลอะไมโลสและอะไมโลเพคตินในแป้งข้าวเจ้าแปรสภาพมีขนาดใหญ่ขึ้น เพราะมีการสร้างพันธะเชื่อมโยงระหว่างโมเลกุล ทำให้เคลื่อนที่มารวมกันได้ยากขึ้น และแป้งขนมปังมีปริมาณและขนาดของอะไมโลสไม่เหมาะสมดังกล่าวแล้วข้างต้น เป็นผลให้แป้งชุบทอดสูตรที่มีแป้งข้าวเจ้าแปรสภาพ หรือแป้งขนมปังเป็นส่วนผสมในปริมาณมากเกิดการคืนตัวต่ำลง เช่น สูตร F และ A1 หรือ D1 แต่แป้งข้าวโพดมีผลในทิศทางตรงข้ามคือ ทำให้เกิดการคืนตัวสูงขึ้น เนื่องจากมีปริมาณอะไมโลสสูง สามารถเคลื่อนที่มาจับกันเองหรือจับกับอะไมโลเพคตินได้มากทำให้แป้งชุบทอดสูตรที่มีแป้งข้าวโพดผสมอยู่ในปริมาณมากเกิดการคืนตัวสูงขึ้น เช่น สูตร B1 และ C1

จากการเปรียบเทียบกับเกณฑ์ พบว่า ความหนืดของการคืนตัวของแป้งชุบทอดสูตร A1-D1 มีค่าอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด ส่วนสูตร F และ E1 มีค่า 30 และ 150 บี.ยู. ตามลำดับ ซึ่งพบว่า ไม่มีความแตกต่างทางสถิติกับเกณฑ์ที่ใช้

จุดที่น่าสังเกตคือ แป้งข้าวเจ้าแปรสภาพซึ่งมีปริมาณอะไมโลสสูง แต่ทำให้เกิดการคืนตัวของ paste ต่ำ เนื่องจากมีขนาดโมเลกุลของอะไมโลสไม่เหมาะสมดังกล่าว ดังนั้น อาจกล่าวได้ว่านอกจากปริมาณแล้ว ขนาดโมเลกุลของอะไมโลสเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อการเกิดการคืนตัวของ paste

โดยทั่วไปมีรายงานพบว่าถ้ามีปริมาณอะไมโลสสูงและมีขนาดของโมเลกุลที่เหมาะสมมีผลทำให้เกิดการคืนตัวสูงขึ้น และจากการทดลองในข้อ 4.3.2.2 ซึ่งพบว่าปริมาณอะไมโลสและการคืนตัวของแป้งข้าวเจ้าแปรสภาพมีความสัมพันธ์กันแบบเอกซ์โปเนนเชียล แต่ในแป้งชุบทอดซึ่งเป็นระบบที่ซับซ้อนนั้น มีปัจจัยหลายประการที่อาจมีผลต่อการคืนตัวของ paste ได้แก่ น้ำตาล เกลือ ผงฟู และปริมาณโปรตีน เป็นต้น จึงไม่อาจหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณอะไมโลสและการคืนตัวของ paste ได้

ปริมาณอะไมโลส แป้งข้าวเจ้าแปรสภาพมีผลทำให้ปริมาณอะไมโลสในแป้งชุบทอดสูง เพราะมีการเชื่อมโยงระหว่างกิ่งก้านของโมเลกุลอะไมโลเพคตินให้มีลักษณะเป็นสายยาวคล้ายอะไมโลสมากขึ้น ส่วนแป้งขนมปังมีปริมาณอะไมโลสต่ำ แต่แป้งข้าวโพดมีปริมาณอะไมโลสสูงกว่าแป้งขนมปัง ดังนั้น แป้งชุบทอดสูตรที่มีอัตราส่วนของแป้งข้าวเจ้าแปรสภาพ หรือแป้งข้าวโพดสูง เช่น สูตร F A1 B1 และ E1 จึงมีปริมาณอะไมโลสสูงขึ้น แต่ถ้ามีอัตราส่วนของแป้งขนมปังสูงทำให้ปริมาณอะไมโลสต่ำลง เช่น สูตร C1 และ D1 เป็นต้น และจากการเปรียบเทียบกับปริมาณอะไมโลสในแป้งชุบทอดทางการค้า (ตารางที่ 4) ที่ใช้เป็นเกณฑ์ พบว่า แป้งชุบทอดสูตร C1 และ D1 มีปริมาณอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด แต่สูตร F A1 B1 และ E1 มีปริมาณสูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนด

อะไมโลสมีส่วนช่วยให้ความกรอบของผลิตภัณฑ์สูงขึ้น รวมทั้งทำให้การคืนตัวของ paste ต่ำลง และช่วยให้การอมน้ำมันของผลิตภัณฑ์ลดลง ดังกล่าวแล้วข้างต้น แต่ถ้ามีปริมาณอะไมโลสสูงมาก ทำให้การพองตัวของผลิตภัณฑ์น้อยมาก จนมีลักษณะผิวเรียบเกินไป ดังนั้นในผลิตภัณฑ์จึงควรมีปริมาณอะไมโลสอยู่ในระดับที่เหมาะสมไม่สูงหรือต่ำเกินไป

ปริมาณโปรตีน แป้งขนมปังเป็นปัจจัยที่มีผลมากที่สุด เนื่องจากมีปริมาณโปรตีนสูงที่สุด และโปรตีนที่สำคัญคือกลูเต้น มีสมบัติแตกต่างจากโปรตีนในแป้งชนิดอื่นๆ นอกจากนี้ แป้งข้าวเจ้าซึ่งมีโปรตีนร้อยละ 6.96 ก็มีผลต่อปริมาณโปรตีนในแป้งชุบทอดเช่นกัน แป้งข้าวโพดมีผลน้อยมาก เนื่องจากมีโปรตีนต่ำเพียงร้อยละ 0.50 และใช้เป็นส่วนผสมในปริมาณน้อยมากเมื่อเทียบกับแป้งสาลีหรือแป้งข้าวเจ้าแปรสภาพ ดังนั้น แป้งชุบทอดที่มีส่วนผสมของแป้งสาลีสูง เช่น สูตร D1 และ C1 จึงมีโปรตีนสูงมาก เมื่อปริมาณแป้งสาลีลดลงมีผลทำให้โปรตีนในแป้งชุบทอดต่ำลง และสูตรที่ไม่มีแป้งสาลีเป็นส่วนผสมเลย คือ สูตร F พบว่ามีปริมาณโปรตีนต่ำที่สุด

จากการเปรียบเทียบกับเกณฑ์ที่ใช้ คือ มีปริมาณระหว่างร้อยละ 9-11 พบว่า ปริมาณโปรตีนในแป้งชุบทอดสูตร A1 B1 และ E1 อยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด แต่สูตร C1 กับ D1 มีปริมาณสูงกว่าเกณฑ์ซึ่งเป็นผลเสียต่อผลิตภัณฑ์ เพราะทำให้มีลักษณะแข็งกระด้างเกินไป และสูตร F มีปริมาณต่ำกว่าเกณฑ์ซึ่งทำให้เกิดลักษณะปรากฏที่ไม่ดีดังกล่าวแล้ว แม้ว่าสูตรA1 B1 และ E1 มีปริมาณใกล้เคียงกับแป้งชุบทอดทางการค้า แต่มีอัตราส่วนของกลูเต้นต่ำกว่าเนื่องจากโปรตีนในแป้งชุบทอดทั้ง 3 สูตรดังกล่าวเป็นโปรตีนที่มาจากแป้งข้าวเจ้าในอัตราส่วนใกล้เคียงหรือน้อยกว่าโปรตีนจากแป้งขนมปัง

ชนิดและปริมาณโปรตีนในผลิตภัณฑ์แป้งชุบทอด นอกจากมีความสำคัญทางด้านโภชนาการ และเกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงความหนืดของ paste เมื่อได้รับความร้อนดังกล่าวแล้ว ยังมีผลต่อความสามารถในการเกาะติดผิวอาหารของแป้งชุบทอด รวมทั้งลักษณะปรากฏด้านสี การพองตัว การอมน้ำมัน และความกรอบของผลิตภัณฑ์เช่นกัน

จากการพิจารณาสมบัติที่ใช้เป็นเกณฑ์สำคัญ คือ อุณหภูมิแป้งสุก และปริมาณอะไมโลส พบว่า แป้งชุบทอดที่มีแป้งข้าวเจ้าแปรสภาพเป็นส่วนผสมในอัตราส่วนต่างกันทั้ง 6 สูตรมีสมบัติดังกล่าวได้ตามเกณฑ์ที่กำหนด โดยเฉพาะสูตร A1 B1 และ F มีอุณหภูมิแป้งสุกและปริมาณอะไมโลสสูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนดซึ่งอาจเป็นผลดีต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ สำหรับเกณฑ์ลำดับรองที่ใช้พิจารณา คือ ความหนืดที่ 95°C และ 50°C พบว่า เฉพาะสูตร A1 D1 และ F เท่านั้นที่มีความหนืดในระดับเดียวกับเกณฑ์ที่ใช้ เมื่อพิจารณาความหนืดของการคืนตัวของทุกสูตร พบว่า อยู่ในระดับเดียวกับเกณฑ์ สำหรับปริมาณโปรตีน พบว่า มีเฉพาะสูตร A1 B1 E1 เท่านั้นที่อยู่ในระดับเดียวกับเกณฑ์ ดังนั้นสูตร A1 จึงเป็นสูตรเดียวที่มีสมบัติ คือ อุณหภูมิแป้งสุก การเปลี่ยนแปลงความหนืด และองค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญตามเกณฑ์ซึ่งกำหนดไว้

5.4.2.2 ลักษณะคุณภาพของแป้งชุบทอด

5.4.2.2.1 ลักษณะทางกายภาพด้านแรงตัดขาดและการพองตัวภายหลังการทอด

จากการศึกษา พบว่า ชนิดและปริมาณของแป้งที่เป็นส่วนผสมมีผลต่อลักษณะทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ ดังนี้

ค่าแรงตัดขาด เนื่องจากแป้งข้าวเจ้าแปรสภาพเกิดเป็นเจลได้ช้าลงซึ่งทำให้น้ำสามารถระเหยออกจากชิ้นอาหารมากขึ้น ผลิตภัณฑ์มีความชื้นน้อยลง ประกอบกับมีปริมาณอะไมโลสสูงซึ่งทำให้เกิดฟิล์มที่มีความแข็งแรงจำนวนมาก เป็นผลให้ค่าแรงตัดขาดของผลิตภัณฑ์สูงขึ้น ส่วนแป้งขนมปังเกิดเป็นเจลได้เร็วกว่า และมีปริมาณอะไมโลสต่ำกว่าแป้งข้าวเจ้าแปรสภาพ แต่มีอะไมโลเพคตินสูงทำให้ผลิตภัณฑ์มีความชื้นสูงและมีโครงสร้างที่แข็งแรงน้อยกว่า แต่มีโปรตีนซึ่งช่วยให้ค่าแรงตัดขาดของผลิตภัณฑ์สูงขึ้นเล็กน้อย เนื่องจากเมื่อได้รับความร้อนและเสียสภาพ (denature) แล้ว ทำให้เกิดโครงสร้างที่แข็งแรงขึ้นเช่นกัน สำหรับแป้งข้าวโพดจะเกิดเป็นเจลได้ช้าและมีอะไมโลสสูงกว่าแป้งขนมปัง แต่เนื่องจากใช้เป็นส่วนผสมในปริมาณน้อยมาก จึงมีส่วนช่วยให้ค่าแรงตัดขาดของผลิตภัณฑ์สูงขึ้นเพียงเล็กน้อย แป้งข้าวเจ้าแปรสภาพและแป้งขนมปังจึงเป็นส่วนผสมที่มีผลต่อค่าแรงตัดขาดของผลิตภัณฑ์มากกว่าแป้งข้าวโพด ดังนั้น สูตรที่มีอัตราส่วนของแป้งข้าวเจ้าแปรสภาพสูงจะมีค่าแรงตัดขาดสูง เช่น สูตร F A1 และ B1 เมื่ออัตราส่วนของแป้งข้าวเจ้าแปรสภาพลดลง แต่แป้งสาลีสูงขึ้นทำให้ค่าแรงตัดขาดของผลิตภัณฑ์ลดลง เช่น สูตร C1 และ D1 สำหรับ สูตร A1 และ B1 ซึ่งมีอัตราส่วนของแป้งข้าวเจ้าแปรสภาพเท่ากัน แต่สูตร B1 มีค่าแรงตัดขาดมากกว่าเป็นเพราะมีแป้งข้าวโพดสูงกว่า 2 เท่า แต่สำหรับสูตร C1 มีค่าแรงตัดขาดไม่แตกต่างจากสูตร D1 ทั้งที่มีแป้งข้าวโพดเป็นส่วนผสมมากกว่า อาจเป็นเพราะสูตร D1 มีโปรตีนสูงกว่า

จากการเปรียบเทียบค่าแรงตัดขาดของแป้งชุบทอดสูตร C1 และ D1ไม่แตกต่างจากเกณฑ์ที่ใช้ แต่สูตร A1 B1 E1 และ F มีค่าแรงตัดขาดสูงกว่าเกณฑ์ซึ่งอาจเป็นผลดีต่อผลิตภัณฑ์ เนื่องจากถ้ามีแรงตัดขาดสูง หมายถึง ผลิตภัณฑ์มีโครงสร้างที่แข็งแรงเป็นผลให้มีลักษณะกรอบมากกว่าผลิตภัณฑ์ที่มีค่าแรงตัดขาดต่ำ แต่ถ้ามีค่าแรงตัดขาดสูงมากอาจเป็นผลเสียเนื่องจากผลิตภัณฑ์มีลักษณะแข็งกระด้างเกินไป ดังนั้น จึงควรมีค่าอยู่ในระดับที่เหมาะสมซึ่งต้องพิจารณาร่วมกับการทดสอบทางประสาทสัมผัส เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ซึ่งมีความกรอบเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค

การพองตัวของผลิตภัณฑ์ แป้งข้าวเจ้าแปรสภาพมีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลที่แข็งแรงและมีปริมาณอะไมโลสสูง แต่มีอะไมโลเพคตินซึ่งทำให้เกิดการพองตัวได้ดีในปริมาณต่ำ ประกอบกับกลูเตลินซึ่งเป็นโปรตีนในแป้งข้าวเจ้าไม่สามารถกักเก็บก๊าซที่เกิดจากปฏิกิริยาของผงฟูเมื่อได้รับความร้อนไว้ได้ทำให้การพองตัวของผลิตภัณฑ์ลดลง แต่แป้งขนมปังมีอะไมโลเพคตินในปริมาณสูง รวมทั้งมีกลูเต้นซึ่งสามารถกักเก็บก๊าซได้ดีจึงทำให้การพองตัวสูงขึ้น สำหรับแป้งข้าวโพดมีผลต่อการพองตัวน้อย เพราะมีปริมาณน้อยมากในสูตร และไม่มีโปรตีนที่มีสมบัติเด่นเหมือนกลูเต้น ดังนั้น แป้งชุบทอดสูตรที่มีแป้งข้าวเจ้าแปรสภาพเป็นส่วนผสมในปริมาณมากจึงมีการพองตัวน้อย เช่น สูตร F A1 และ B1 และเมื่อแป้งข้าวเจ้าแปรสภาพมีปริมาณต่ำลง แต่แป้งขนมปังมีปริมาณสูงขึ้นทำให้การพองตัวของผลิตภัณฑ์มากขึ้น เช่น สูตร E1 C1 และ D1

จากการศึกษาการพองตัวโดยพิจารณาค่า bulk density เปรียบเทียบกับเกณฑ์ที่ใช้คือค่า bulk density ของแป้งชุบทอดทางการค้า พบว่า การพองตัวของแป้งชุบทอดสูตร C1 D1 และ E1 อยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด แต่สูตร A1 B1 และ F มีการพองตัวต่ำกว่าเกณฑ์ซึ่งอาจปรับปรุงให้มีการพองตัวของผลิตภัณฑ์สูงขึ้นได้ด้วยการเพิ่มปริมาณผงฟู เนื่องจากในการทดลองนี้ใช้ผงฟูเพียงร้อยละ 4.50 ซึ่งน้อยกว่าในสูตรแป้งชุบทอดทางการค้าบางตัวอย่าง

จากการเปรียบเทียบลักษณะทางกายภาพ พบว่า สูตร A1 มีค่าแรงตัดขาดสูงกว่าเกณฑ์ซึ่งอาจเป็นผลดี แต่มีการพองตัวต่ำกว่าเกณฑ์เล็กน้อยซึ่งอาจปรับปรุงได้โดยการเติมผงฟูเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย ดังนั้น สูตร A1 จึงมีแนวโน้มที่จะให้ผลิตภัณฑ์ซึ่งมีความกรอบสูงกว่าสูตรอื่นๆ และมีการพองตัวที่ไม่ต่ำเกินไป

5.4.2.2.2 <u>ลักษณะทางประสาทสัมผัส</u>

จากการพิจารณาคุณภาพด้านต่างๆ ของผลิตภัณฑ์โดยการทดสอบทางประสาทสัมผัส พบว่า ชนิดและปริมาณของแป้งที่ใช้มีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ดังนี้

สี พบว่า ปัจจัยสำคัญที่เกี่ยวข้องคือปริมาณโปรตีน เนื่องจากโปรตีนสามารถทำปฏิกิริยา Maillard แล้วเกิดเป็นสีน้ำตาลได้ ทำให้สูตรที่มีแป้งขนมปังเป็นส่วนผสมในปริมาณมาก เช่น สูตร C1 และ D1 มีสีค่อนไปทางสีน้ำตาล และสูตรที่มีแป้งข้าวเจ้าแปรสภาพในปริมาณมากมีสีในระดับเหลืองอ่อน ดังนั้น สูตรที่มีอัตราส่วนผสมแป้งข้าวเจ้าแปรสภาพและแป้งขนมปังในปริมาณใกล้เคียงกัน จึงทำให้ผลิตภัณฑ์มีสีในระดับที่ผู้บริโภคยอมรับมากที่สุด

จากการเปรียบเทียบกับเกณฑ์ที่ใช้พบว่า สูตร A1 และ

B1 มีสีอยู่ในระดับเดียวกับเกณฑ์ แต่สูตร C1 D1 E1 มีสีเข้มกว่าเกณฑ์ ในขณะที่สูตร F มีสีอ่อนกว่าเกณฑ์

ความกรอบ แป้งข้าวเจ้าแปรสภาพซึ่งมีอุณหภูมิแป้งสุกและปริมาณอะไมโลสสูงทำให้ผลิตภัณฑ์มีความชื้นต่ำและมีโครงสร้างที่แข็งแรงดังกล่าวแล้ว ประกอบกับไม่สามารถกักเก็บก๊าซไว้ได้มากเท่ากลูเต้น จึงทำให้ผลิตภัณฑ์มีลักษณะกรอบร่วนเนื้อแน่น แต่แป้งขนมปังนอกจากมีเม็ดแป้งที่เสียหายแล้ว ยังมีอะไมโลเพคตินสูงและโปรตีนซึ่งเป็นกลูเต้นที่สามารถกักเก็บก๊าซไว้ได้มาก ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีลักษณะกรอบเบาเนื้อเปราะ สำหรับแป้งข้าวโพดซึ่งมีอุณหภูมิแป้งสุกและอะไมโลสสูงจะให้ผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะคล้ายแป้งข้าวเจ้ามากกว่าแป้งขนมปัง แต่เนื่องจากมีปริมาณต่ำมาก จึงมีผลน้อยกว่าแป้งข้าวเจ้าแปรสภาพและแป้งขนมปัง ดังนั้นสูตรที่มีอัตราส่วนของแป้งข้าวเจ้าแปรสภาพสูงมาก เช่น สูตร F หรือมีแป้งข้าวเจ้าแปรสภาพรวมทั้งแป้งข้าวโพดในปริมาณสูง เช่น สูตร B1 จึงมีลักษณะแข็งเกินไปหรือกรอบกระด้างซึ่งผู้บริโภคไม่ยอมรับ ดังนั้นอัตราส่วนของอะไมโลสต่ออะไมโลเพคตินรวมทั้งปริมาณโปรตีนจึงมีความสำคัญต่อความกรอบของผลิตภัณฑ์ โดยควรอยู่ในระดับที่เหมาะสม และจากการเปรียบเทียบกับเกณฑ์ (ตารางที่ 6) พบว่า ความกรอบของสูตร A1 C1 D1 และ E1 อยู่ระดับเดียวกับเกณฑ์ที่ใช้ แต่สูตร B1 และ F มีคะแนนต่ำกว่าเกณฑ์

การอมน้ำมัน แป้งข้าวเจ้าแปรสภาพมีผลทำให้การพองตัวของผลิตภัณฑ์ลดลง จึงมีพื้นที่ผิวในการดูดซับน้ำมันน้อยลง แต่แป้งขนมปังทำให้เกิดการพองตัวได้ดีจึงมีพื้นที่ผิวสำหรับการดูดซับน้ำมันในระหว่างการทอดได้มากขึ้น ดังนั้น เมื่อมีอัตราส่วนของแป้งข้าวเจ้าแปรสภาพสูงขึ้น ผลิตภัณฑ์จึงมีการอมน้ำมันน้อยลง จากการเปรียบเทียบกับเกณฑ์ พบว่า สูตร C1 D1 และ E1 มีคะแนนอยู่ในเกณฑ์ แต่สูตร A1 B1 และ F มีคะแนนสูงกว่าเกณฑ์

จากการพิจารณาผลการทดลองอาจกล่าวได้ว่า ปริมาณอะไมโลส การพองตัว และการอมน้ำมันของผลิตภัณฑ์มีความสัมพันธ์กันคือ ถ้ามีปริมาณอะไมโลสสูงทำให้การพองตัวและการอมน้ำมันของผลิตภัณฑ์น้อยลง ในทางตรงข้าม ถ้ามีปริมาณอะไมโลสต่ำการพองตัวและการอมน้ำมันจะเพิ่มขึ้น นอกจากนี้พบว่า คะแนนการยอมรับรวมของผลิตภัณฑ์สูตร A1 E1 และ B1 อยู่ในระดับที่ผู้บริโภคชอบถึงชอบมาก แสดงว่า ผู้บริโภคชอบผลิตภัณฑ์ที่กรอบและอมน้ำมันน้อย แม้ว่าจะมีสีเข้มกว่าสีน้ำตาลทอง หรือมีลักษณะกรอบกระด้างเล็กน้อยก็ยังยอมรับได้ แต่ไม่ยอมรับผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะแข็งกระด้างเกินไป แม้ว่าจะอมน้ำมันน้อย เช่น สูตร F และจากการเปรียบเทียบกับเกณฑ์ที่กำหนด พบว่า สูตร A1 มีคะแนนสูงกว่าเกณฑ์ สูตร B1 และ E1 มีคะแนนอยู่ในระดับเดียวกับเกณฑ์ แต่สูตร C1 D1 และ F มีคะแนนต่ำกว่าเกณฑ์

จากการทดสอบลักษณะทางประสาทสัมผัส โดยพิจารณาสี ความกรอบ การอมน้ำมัน และการยอมรับรวม เปรียบเทียบกับลักษณะดังกล่าวของแป้งชุบทอดทางการค้าที่ใช้เป็นเกณฑ์ พบว่า สูตร A1 มีลักษณะคุณภาพทั่วไปตามเกณฑ์ที่กำหนด นอกจากนี้ยังมีการอมน้ำมันน้อยกว่าแป้งชุบทอดทางการค้า

จากผลการศึกษาสมบัติแป้งชุบทอดซึ่งใช้แป้งข้าวเจ้าแปรสภาพเป็นส่วนผสมในอัตราส่วนต่างกัน พบว่า แป้งชุบทอดสูตร A1 ซึ่งมีอัตราส่วนของแป้งข้าวเจ้าแปรสภาพ ต่อแป้งขนมปัง ต่อแป้งข้าวโพด ร้อยละ 40:55:5 มีสมบัติที่สำคัญได้แก่ อุณหภูมิแป้งสุก 70.13°C ความหนืดที่อุณหภูมิ 95 และ 50°C มีค่า 170 และ 280 บี.ยู. ตามลำดับ ความหนืดของการคืนตัวทั้งหมด 110 บี.ยู. ปริมาณอะไมโลสและโปรตีนร้อยละ 22.24 และ 10.29 ตามลำดับ มีสี และความกรอบอยู่ในระดับเดียวกับแป้งชุบทอดทางการค้า แต่มีการอมน้ำมันน้อยกว่าและได้รับการยอมรับรวมสูงกว่าแป้งชุบทอดทางการค้า

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย