

บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 บทสรุป

จากการศึกษาการดัดแปรแป้งพุทธรักษาและคุณสมบัติของแป้งที่ผ่านการดัดแปร โดยเตรียมแป้งที่ความเข้มข้น 35% ใช้ความเข้มข้น OSA 1 และ 3% (w/w แป้ง) ที่มีการเจือจาง 5 เท่า ด้วย isopropyl alcohol กำหนดระยะเวลาในการดัดแปรที่ 2, 3 และ 4 ชั่วโมง ควบคุมอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาที่ 35 องศาเซลเซียส และ pH อยู่ในช่วง 8.0-8.5 สามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

1. จากการศึกษาผลของความเข้มข้น OSA 1 และ 3% (w/w แป้ง) ในการดัดแปรแป้งที่มีต่อระดับการแทนที่และประสิทธิภาพในการทำปฏิกิริยา พบว่าเมื่อใช้ปริมาณ OSA 1% ปฏิกิริยาการแทนที่ที่เกิดขึ้นเกือบสมบูรณ์ภายในเวลา 2 ชั่วโมง ($RE = 98 \pm 4\%$) ดังนั้นการเพิ่มเวลาการทำปฏิกิริยาเป็น 3 หรือ 4 ชั่วโมงจึงไม่ทำให้ค่า DS สูงขึ้น เมื่อเพิ่มปริมาณการใช้ OSA จาก 1% เป็น 3 % (w/w แป้ง) พบว่าแป้งดัดแปร OSA 3% มีค่า DS สูงขึ้น (0.0117-0.0156) แต่ค่า RE ลดลงมาก (51-68%)

2. การเพิ่มระดับการแทนที่และประสิทธิภาพในการเกิดปฏิกิริยา อาจทำได้โดยการเพิ่มระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาหรือหาวิธีที่ช่วยให้ OSA ผ่านเข้าไปในเม็ดแป้งให้ได้มากขึ้น ซึ่งในงานวิจัยนี้เลือกใช้แป้งดัดแปรด้วยความร้อนขึ้นเป็นวัตถุดิบเริ่มต้น จากการศึกษาพบว่า การดัดแปรแป้งด้วยความร้อนขึ้นในสภาวะเดียวกันกับแป้ง native โดยใช้ OSA 3 % (w/w แป้ง) (HOSA 3%) พบว่าที่ระยะเวลาในการดัดแปรเท่ากัน แป้ง HOSA 3% มีค่า DS และ RE สูงกว่าแป้ง OSA 3% สำหรับการเพิ่มระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา พบว่าทั้งแป้ง OSA 3% และแป้ง HOSA 3% มีแนวโน้มเดียวกันคือ การเพิ่มเวลาในการทำปฏิกิริยาจะทำให้ได้แป้งมีค่า DS และ RE เพิ่มขึ้น และจะมีค่าสูงสุดที่ระยะเวลานึ่ง ซึ่งถ้าเพิ่มเวลาการทำปฏิกิริยาต่อไปอีกจะทำให้ DS และ RE มีค่าลดลง โดยแป้ง OSA 3% มีค่า DS และ RE สูงสุดที่ระยะเวลา 4 ชั่วโมง ($DS = 0.0160$ และ $RE = 69\%$) ส่วนแป้ง HOSA 3% มีค่า DS และ RE สูงสุดที่ระยะเวลา 5-6 ชั่วโมง ($DS = 0.0209-0.0212$ และ $RE = 90-92\%$)

3. การศึกษาลักษณะเม็ดแป้งพุทธรักษา โดยใช้เครื่อง SEM พบว่า เม็ดแป้งที่ไม่ผ่านการดัดแปรมีลักษณะกลมแบนหรือเป็นรูปไข่ มีขนาด 10-100 μm พื้นผิวเรียบ ส่วนแป้งดัดแปรทั้ง แป้ง OSA, แป้ง HMT และแป้ง HOSA พบว่า รูปร่างและขนาดของเม็ดแป้งไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง แต่แป้ง

ดัดแปรด้วย OSA ที่ดัดแปรนานขึ้น (3-4 ชั่วโมง) มีพื้นผิวของเม็ดแป้งบางส่วนจะมีลักษณะขรุขระ และอาจมีรอยแตกบ้างเล็กน้อย

4. การศึกษาลักษณะโครงสร้างผลึกของแป้งพุทธรักษา โดยใช้เครื่อง X-ray diffractometer พบว่าแป้งที่ไม่ผ่านการดัดแปรมีพิกขนาดเล็กที่ 5.6° พีกเดี่ยวที่ 17° และพีกคู่ที่ 22° และ 24° ซึ่งเป็นลักษณะของแป้งที่มีโครงสร้างผลึกแบบ B การดัดแปรแป้งด้วย OSA ที่สภาวะต่างๆ พบว่าไม่ทำให้ลักษณะพีกของแป้งเปลี่ยนไป แต่ในแป้ง HMT และแป้ง HOSA พบว่า มีรูปแบบของพีกเปลี่ยนไป โดยพีกที่ 5.6° จะมีขนาดเล็กลง และพีกคู่ที่ 22° และ 24° จะรวมตัวเป็นพีกเดี่ยว ผลการทดลองนี้บ่งชี้ว่าการดัดแปรด้วยความร้อนส่งผลให้การจัดเรียงตัวของโมเลกุลแป้ง โดยเฉพาะในส่วนเกลียวคู่ของอะไมโลเพคตินภายในเม็ดแป้งเปลี่ยนแปลงไป

5. การศึกษาหมู่ฟังก์ชันภายใน โครงสร้างของแป้งพุทธรักษาที่ใช้เครื่อง Fourier transform infrared spectrometer (FT-IR) โดยพีก 1572 cm^{-1} แสดงถึงหมู่ carboxylate RCOO^- และพีกที่ 1724 cm^{-1} แสดงถึงหมู่ ester carbonyl group จากการทดลองพบว่าแป้งดัดแปร OSA1% 3h, แป้ง OSA3% และแป้ง HOSA3% มีพีกใหม่ที่ช่วง $1564\text{--}1568\text{ cm}^{-1}$ ซึ่งแสดงว่าแป้งดัดแปรมีหมู่ RCOO^- (ester carbonyl group) เพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามในแป้งดัดแปร OSA1% 2h และ OSA1% 4h ไม่พบพีกนี้อาจเนื่องจากมีระดับการแทนที่ต่ำทำให้ไม่สามารถสังเกตเห็นพีกนี้ได้

6. จากการศึกษาสมบัติการเปลี่ยนแปลงความหนืดด้วยเครื่อง Rapid visco analyzer ที่ความเข้มข้นแป้ง 8 % (โดยน้ำหนัก) พบว่าแป้งดัดแปร OSA 1% มีความหนืดสูงขึ้นเมื่อใช้เวลาในการดัดแปรแป้ง 2 และ 3 ชั่วโมง แต่เมื่อเพิ่มเวลาเป็น 4 ชั่วโมง แป้งดัดแปรกลับมีความหนืดลดลงโดยมีค่าใกล้เคียงกับแป้ง native สำหรับแป้งดัดแปร OSA 3% การเพิ่มขึ้นของความหนืดเมื่อใช้เวลาในการดัดแปรแป้ง 2 และ 3 ชั่วโมง มีแนวโน้มเช่นเดียวกับแป้งที่ดัดแปรด้วย OSA 1% ส่วนแป้งที่ดัดแปรเป็นเวลา 4 ชั่วโมง มีความหนืดที่ใกล้เคียงกับแป้งดัดแปรที่ 3 ชั่วโมง อุณหภูมิเริ่มเกิดความหนืด (pasting temperature) และค่า breakdown ของแป้ง OSA มีค่าลดลงจากแป้งที่ไม่ผ่านการดัดแปรแต่ setback มีค่าสูงขึ้น สำหรับแป้ง HMT และแป้ง HOSA พบว่า มีความหนืดลดลงอย่างมาก และไม่มีค่า breakdown เนื่องจากการดัดแปรด้วยความร้อนส่งผลให้โมเลกุลแป้งจัดเรียงตัวใหม่ทำให้เม็ดแป้งมีความแข็งแรงมากขึ้น และแป้ง HOSA มีความหนืดเพิ่มสูงขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับแป้ง HMT โดยความหนืดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาในการดัดแปร อย่างไรก็ตามความหนืดของแป้ง HOSA ก็ยังต่ำกว่าแป้งที่ไม่ดัดแปรและแป้ง OSA มาก

7. การศึกษาลักษณะของเจลแป็งพุทธรักษา พบว่าเมื่อให้ความร้อนกับเม็ดแป็งในสถานะที่มีน้ำมากเกินพอ เม็ดแป็งที่ไม่ผ่านการตัดแปรงจะการพองตัวและแตกออกเกิดการสูญเสียสภาพของเม็ดแป็งอย่างสมบูรณ์ ส่วนเจลแป็ง OSA เม็ดแป็งจะเกิดการพองตัวและแตกออก แต่ยังคงสภาพของเม็ดแป็งไว้ได้ การคงสภาพของเม็ดแป็งจะดีขึ้นตามลำดับเมื่อเพิ่มระยะเวลาในการตัดแปรงมากขึ้น อย่างไรก็ตามไม่สามารถสังเกตเห็นความแตกต่างของเม็ดแป็งได้ชัดเจนระหว่างแป็งที่ตัดแปรงด้วย OSA 1% และ 3% สำหรับลักษณะของเจลแป็ง HMT และแป็ง HOSA พบว่าเม็ดแป็งมีการพองตัวมากขึ้นแต่ไม่แตกออก และสังเกตเห็นช่องว่างภายในเม็ดแป็งที่ขยายใหญ่ขึ้น

8. จากการวิเคราะห์การเกิดเจลตาติในเซชันโดยเครื่อง Differential scanning calorimetry พบว่าแป็งที่ไม่ผ่านการตัดแปรงและแป็งตัดแปรงด้วย OSA มีลักษณะที่คล้ายคลึงกันมาก โดยแป็ง OSA3% จะมีอุณหภูมิในการเกิดเจลตาติในเซชันต่ำกว่าแป็งที่ไม่ผ่านการตัดแปรงเล็กน้อย ส่วนค่าเอนทัลปีในการเกิดเจลตาติในเซชันของแป็ง OSA ก็มีแนวโน้มลดลง เนื่องจากการแทนที่ด้วยหมู่ออกทินิลซัลฟอนิก ทำให้โครงสร้างในส่วนอสัณฐานและส่วนผลึกของเม็ดแป็งเกิดการเปลี่ยนแปลง สำหรับแป็ง HMT จะมีลักษณะ thermogram ที่แตกต่างออกไป กล่าวคือ endotherm จะเลื่อนไปทางอุณหภูมิที่สูงกว่าและความสูงของพีคลดลง โดยอุณหภูมิเริ่มเกิดเจลตาติในเซชันจะเพิ่มขึ้นและช่วงอุณหภูมิในการเกิดเจลตาติในเซชันกว้างขึ้น ค่าเอนทัลปีมีค่าใกล้เคียงกับแป็งที่ไม่ผ่านการตัดแปรงเมื่อนำแป็ง HMT ไปตัดแปรงต่อด้วย OSA พบว่าแป็งที่ได้มี thermogram ที่คล้ายกับแป็ง HMT โดยค่าเอนทัลปีมีแนวโน้มลดลงเมื่อตัดแปรงด้วย OSA โดยใช้ระยะเวลานานขึ้น

9. จากการตรวจสอบความสามารถในการเป็นสารอิมัลซิไฟเออร์ของแป็งตัดแปรง พบว่าผลิตภัณฑ์ทางการค้า Hi-cap100 มีค่า emulsification capacity (EC) เท่ากับ 100% ตลอดช่วงเวลาการทดลอง (5 วัน) แสดงว่า Hi-cap100 มีความสามารถในการเป็นสารอิมัลซิไฟเออร์ที่ดีมาก สำหรับแป็งที่ไม่ผ่านการตัดแปรงและแป็งตัดแปรงด้วยความร้อนขึ้นพบว่าค่า EC ต่ำมาก (26-28% ในวันแรก) และลดลงเมื่อตั้งทิ้งไว้วันขึ้น (12-15% ในวันที่ 5) โดยของผสมมีการแยกชั้นอย่างชัดเจน สำหรับแป็ง OSA1% และ 3% พบว่าค่า EC มีค่ามากกว่าแป็ง native (75-76% ในวันแรก) และแป็ง HOSA มีค่า EC มากกว่าแป็ง HMT โดยแป็ง HOSA1% มีค่า EC อยู่ในช่วง 35.7-37.7% และในแป็ง HOSA3% มีค่า EC อยู่ในช่วง 47.0-49.3% โดยค่า EC ลดลงเมื่อตั้งทิ้งไว้ การเพิ่มเวลาในการตัดแปรงแป็งไม่ส่งผลต่อค่า EC มากนัก การเพิ่มความเข้มข้นของ OSA ในการตัดแปรงเป็น 3% พบว่าทำให้ค่า EC เพิ่มขึ้นเล็กน้อย สำหรับแป็ง HOSA เมื่อเปรียบเทียบกับแป็ง OSA ที่ตัดแปรงในสถานะเดียวกัน พบว่าแป็ง HOSA มีค่า EC ต่ำกว่ามากทั้งๆ ที่มีค่า DS สูงกว่า

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. การศึกษาความสามารถในการเป็นอิมัลซิไฟเออร์ของแป้ง OSA ในงานวิจัยนี้ทำในตัวอย่างที่เป็นสารละลายเกลือ (NaCl 0.5 M) เท่านั้น แต่ในสภาพการนำไปใช้จริงอาจมีองค์ประกอบอื่นๆ ที่มีผลต่อความสามารถในการเป็นอิมัลซิไฟเออร์ของแป้ง OSA เช่น น้ำตาล เกลือฟอสเฟต ค่าความเป็นกรดด่าง เป็นต้น จึงควรทำการศึกษาเพิ่มเติมถึงปัจจัยอื่นๆ ที่มีผลต่อความสามารถในการเป็นอิมัลซิไฟเออร์
2. ในการศึกษาความสามารถในการเป็นอิมัลซิไฟเออร์ของแป้ง OSA ควรจะเพิ่มระยะเวลาในการต้มแป้ง OSA ให้นานขึ้น (มากกว่า 5 นาที) เพื่อให้เม็ดแป้ง OSA และแป้ง HOSA แดกกระจายมากขึ้นซึ่งจะทำให้โมเลกุลแป้งที่มีหมู่แทนที่ทำปฏิกิริยากับน้ำมันได้ดีขึ้น
3. การเลือกใช้แป้งดัดแปรด้วยความร้อนขึ้นที่สภาวะอื่นๆ ที่มีความหนืดสูงขึ้นและค่า setback ต่ำ มาดัดแปรต่อยด้วย OSA อาจทำให้ค่าความหนืดและค่า EC ของแป้งที่ได้เพิ่มขึ้น
4. ควรทำการศึกษาหา resistant starch ของแป้งพุทธรักษาที่ผ่านการดัดแปรด้วย OSA เพื่อนำไปใช้ในอุตสาหกรรมอาหารโดยใช้เป็นส่วนผสมในอาหารเช่น พวกขนมอบกรอบ ขนมขบเคี้ยว และธัญพืชสำเร็จรูป เพื่อเพิ่มปริมาณเส้นใย
5. ควรทำการศึกษาหาความคงตัวของแป้งดัดแปรต่อการแช่เยือกแข็ง-ละลาย เพื่อให้ทราบถึงศักยภาพในการนำแป้ง OSA ไปใช้ในอุตสาหกรรมอาหารแช่แข็ง