บทที่ 5

วิจารณ์ผลการทดลอง

5.1 ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบ

การศึกษาในขั้นตอนนี้ ได้หาองค์ประกอบทางเคมีของแป้งสาลี แป้งข้าวเจ้าและแป้งข้าวโพดที่เป็นวัตถุดิบหลักในการผลิตแป้งชุบทอด และรำสกัดไขมัน ซึ่งเป็นแหล่งเส้นใยอาหารที่นำมาทดแทนบางส่วนของแป้งในผลิตภัณฑ์ นอกจากนี้ยังวิเคราะห์ปริมาณความชื้นและไขมันของหอมใหญ่และปลาหมึกซึ่งเป็นวัสดุอาหาร ที่นำมาชุบทอด

จากผลการวิเคราะห์องค์ประกอบโดยประมาณของแป้งทั้ง 3 ชนิด พบว่า ส่วนประกอบต่างๆ ยกเว้นโปรตีนมีค่าใกล้เคียงกัน โดยแป้งสาลีมีโปรตีนสูงสุดคือ 11.2% ซึ่งปริมาณโปรตีนในแป้งสาลีมีผลต่อการเกิดโครงสร้างของแป้งที่เกาะติดอยู่บนชิ้นอาหารในผลิตภัณฑ์อาหารชุบแป้งทอด ทั้งนี้เพราะโครงสร้างของแป้งเกิดจากการดูดกลืนน้ำและการพองตัวของเม็ดแป้งเมื่อได้รับความร้อน ร่วมกับการเกิดโครงสร้างของกลูเตน ที่ได้จากการรวมตัวกันของโปรตีน ไกลอะดิน และกลูเตนิน ดังนั้นถ้าโปรตีนในแป้งสาลีต่ำกว่า 9% แป้งดูดกลืนน้ำได้น้อยทำให้โปรตีนทั้ง 2 ชนิด รวมตัวกันได้ยาก จึงมีผลให้โครงสร้างของแป้ง ที่ได้ไม่แข็งแรง เกิดการยุบตัวได้ง่าย (Matz,1972) สำหรับส่วนประกอบอื่นที่มีผลต่อลักษณะของผลิตภัณฑ์ คือ คาร์โบไฮเดรต ซึ่งประกอบด้วย อะไมโลส และอะไมโลเพคติน สัดส่วนของโพลีแซคคาไรด์ทั้ง 2 ชนิดนี้มีผลต่อความกรอบ การพองตัว ความสามารถในการเกาะติดชิ้นอาหารและการอมน้ำมันของผลิตภัณฑ์อาหารชุบแป้งทอด อะไมโลสมีสมบัติซึ่งจะดูดกลืนน้ำได้น้อยเมื่อได้รับความร้อน เพราะมีอุณหภูมิในการเกิดเจลสูงเมื่อทอดจะเสียน้ำก่อนเกิดเจล จึงมีความกรอบมาก ถ้ามีอะไมโลสมากในโครงสร้างจะมีผลให้เม็ดแป้งเกิดการพองตัวได้น้อย(Whistler และ Daniel, 1990) เมื่อผ่านการทอดความชื้นสุดท้ายต่ำแป้งชุบทอดที่ได้จะมีความกรอบมากกว่า นอกจากนี้ระหว่างทอด การที่แป้งมีความชื้นเริ่มต้นต่ำ การเกิดกลไกในการแทนที่น้ำซึ่งระเหยออกไปขณะทอดด้วยน้ำมันมีน้อย ผลิตภัณฑ์จึงอมน้ำมันต่ำ (Saguy และ Pinthus, 1995) สำหรับการเกาะติดชิ้นอาหาร แป้งที่มีอะไมโลเพคตินสูงเมื่อได้รับความร้อนจะเกิดเจลที่มีความข้นหนืดสูงและคงตัวดี (Whistler และ Daniel, 1990) จึงเกาะติดชิ้นอาหารได้มากกว่าแป้งที่มีอะไมโลเพคตินต่ำ Eliasson และ Gudmundsson (1996) รายงานว่า แป้งสาลี แป้งข้าวเจ้า และแป้งข้าวโพด มีอัตราส่วนอะไมโลสต่ออะไมโลเพคตินดังนี้ 28:72,17:83 และ 28:72 ตามลำดับ เมื่อพิจารณาเฉพาะปริมาณอะไมโลสและอะไมโลเพคติน จะเห็นว่า

ถ้าใช้แป้งสาลีหรือแป้งข้าวโพด เป็นแป้งชุบทอดเพียงชนิดเดียว อาหารชุบแป้งทอดที่ได้น่าจะมีลักษณะกรอบร่วน เนื่องจากมีอะไมโลสสูง ขณะที่ถ้าใช้แป้ง ข้าวเจ้า อาหารชุบแป้งทอดที่ได้น่าจะมีลักษณะ กรอบแข็ง เนื่องจากมีอะไมโลสต่ำทำให้มี การพองตัวของเม็ดแป้งได้น้อย สำหรับการเกาะติดชิ้นอาหาร แป้งข้าวเจ้าจะเกาะติดได้ดีกว่า แป้งสาลีและแป้งข้าวโพด เนื่องจากมีอะไมโลเพคตินอยู่สูง เมื่อได้รับความร้อนจะเกิดเจลซึ่งให้ความหนืดสูงและคงตัวดี

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของรำสกัดไขมันพบว่ามีโปรตีน 12.97% โปรตีนจากรำข้าวมีค่า PER สูงกว่าโปรตีนจากข้าวโพดและข้าวสาลี (Barber และ Barber, 1980) โปรตีนในรำข้าวมีบทบาทสำคัญต่อการเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ด ซึ่งทำให้สีของรำข้าวเข้มขึ้นเมื่อได้รับความร้อน (Fennema, 1996) รำข้าวที่ใช้ในงานวิจัยนี้มีไขมัน 1.87% เนื่องจากผ่านการสกัดไขมันมาแล้วปริมาณไขมันจึงต่ำ ปริมาณคาร์โบไฮเดรตที่วัดได้จะเป็นส่วนของแป้งและน้ำตาล สำหรับเส้นใยหยาบ (crude fiber) จะมีปริมาณต่ำกว่าเส้นใยอาหาร ทั้งนี้เนื่องจากในการวิเคราะห์ปริมาณเส้นใยหยาบ ค่าที่ได้เป็น เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน สรุปในการวิเคราะห์ปริมาณเส้นใยอาหาร ค่าที่ได้จะเป็น เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส ลิกนิน และเส้นใยอาหารกลุ่มที่ละลายน้ำ คือ กัม มิวซิเลจ และเพคติน (Spiller และ Amen, 1976) รำสกัดไขมันมีเส้นใยอาหารอยู่ 34.40% ซึ่งเปรียบเทียบกับเส้นใยอาหารจากธัญพืชชนิดอื่น เช่น รำข้าวโพดมี 88% รำข้าวสาลีมี 43% รำข้าวโอ๊ตมี 22% และรำข้าวบาร์เลย์มี 64.7% จะเห็นว่ารำข้าวมีเส้นใยอาหารอยู่ในระดับปานกลางโดยเส้นใยอาหารในรำข้าวประมาณ 97% เป็นเส้นใยชนิดไม่ละลายน้ำ (Stauffer, 1993)

สำหรับหอมใหญ่และปลาหมึกนั้นวิเคราะห์เฉพาะปริมาณความชื้นและไขมัน เพราะความชื้นในอาหารมีผลต่อการดูดกลืนน้ำมันของอาหารชนิดนั้นๆ โดยอาหารที่มีความชื้นเริ่มต้นสูงจะดูดกลืนน้ำมันได้มากกว่าอาหารที่มีความชื้นเริ่มต้นต่ำเนื่องจากเมื่อให้ความร้อนกับอาหาร การระเหยของน้ำในเนื้อเยื่อจะทำให้เกิดช่องว่างภายในอาหาร น้ำมันที่อยู่บริเวณผิวอาหารแทรกเข้าไปอยู่ในช่องว่างที่เกิดขึ้น อาหารจึงดูดกลืนน้ำมันมากขึ้น (Saguy และ Pinthus, 1995) เมื่อพิจารณาวัสดุอาหารทั้ง 2 ชนิด พบว่า หอมใหญ่และปลาหมึกมีความชื้น 88.93 และ 80.06% ตามลำดับ ซึ่งจัดว่าเป็นอาหารที่มีความชื้นสูงจึงมีแนวโน้มที่จะเกิดการอมน้ำมันได้มากแต่ทั้งนี้จะต้องพิจารณาร่วมกับแป้งที่นำมาชุบทอด ส่วนปริมาณไขมันมีรายงานว่าอาหารบางชนิดที่มีไขมันสูง เช่น พายและโดนัทแบบยุโรปที่เรียกว่า เบอร์ไลน์เนอร์ (berliners) เมื่อผ่านการทอดจะมีการอมน้ำมันสูง (Saguy และ Pinthus, 1995) ทั้งนี้เนื่องจากในผลิตภัณฑ์ทั้ง 2 ชนิดมีเนยขาว ซึ่งทำหน้าที่ช่วยกักเก็บฟองอากาศขณะตีส่วนผสมทำให้เกิดฟองอากาศขนาดเล็กกระจายอยู่ทั่วไป (Pyler, 1973) เมื่อนำไปทอด อากาศได้รับความร้อนจะขยายตัวทำให้เนื้อขนมฟูขึ้นเกิดช่องว่างภายในที่มีขนาดใหญ่และน้ำมันแทรกเข้าไปได้มาก ทำให้ผลิตภัณฑ์อมน้ำมันมากขึ้น (Saguy และ Pinthus, 1995) ในส่วนของหอมใหญ่และปลาหมึก ถึงแม้จะมีปริมาณไขมัน 0.33 และ 0.81% ตามลำดับ ซึ่งเป็น

ปริมาณที่ต่ำแต่ทั้งนี้จะต้องคำนึงถึงลักษณะเนื้อเยื่อของอาหารทั้ง 2 ชนิด โดยในหอมใหญ่เนื้อเยื่อเป็นเซลพาเรนไคมา(parenchyma cells) มีผนังเซลบาง มีรูปร่างหลายเหลี่ยมลูกบาศก์และจัดเรียงตัวกันอย่างหลวมๆ โดยมีอากาศคั่นอยู่ระหว่างเซล (Luh และ Woodroof, 1988) ขณะที่เนื้อเยื่อของปลาหมึกประกอบด้วยเนื้อเยื่อกล้ามเนื้อ (muscle tissues) หรือเส้นใยกล้ามเนื้อ (muscle fibers) และเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน (connective tissues) ซึ่งเรียงตัวกันอย่างหนาแน่น มีช่องว่างระหว่างเซลน้อย (Van Arsdel และ Copley, 1963) เนื้อเยื่อของหอมหัวใหญ่จึงมีโอกาสดูดกลืนน้ำมันได้มากกว่าเพราะมีการจัดเรียงตัวของเซลอย่างหลวม และมีอากาศเป็นช่องว่างอยู่มาก ทำให้ขณะทอดน้ำมันมีโอกาสเข้าไปในเนื้อเยื่อได้มาก

5.2 <u>คัดเลือกสูตรที่เหมาะสมสำหรับผลิตแป้งชุบทอดเสริมรำสกัด</u>

จากการทดลองผลิตเบื้องต้นพบว่า สูตรที่ประกอบด้วยแป้งสาลีสูงกว่า 95% น้ำแป้งดิบที่เตรียมได้ มีความข้นสูงมาก ทำให้น้ำแป้งเกาะติดชิ้นอาหารมากกว่าและมีความหนาไม่สม่ำเสมอ และที่ระดับต่ำกว่า 50% น้ำแป้งดิบมีความข้นน้อยเกินไป จนไม่เกาะติดกับชิ้นอาหาร จึงแปรปริมาณแป้งสาลีเป็น 50-95% สำหรับแป้งข้าวเจ้าและแป้งข้าวโพด พบว่าถ้าใช้สูงกว่า 40 และ 30% ตามลำดับ น้ำแป้งดิบเกาะติดกับชิ้นอาหารน้อยเกินไป และที่ระดับต่ำกว่า 5% หอมใหญ่และปลาหมึกชุบแป้งทอด มีลักษณะปรากฏไม่แตกต่างจากที่ระดับ 0% ซึ่งในงานวิจัยนี้ต้องการใช้แป้งข้าวเจ้าและแป้งข้าวโพดทดแทนแป้งสาลีบางส่วน จึงเลือกระดับต่ำสุดที่ 5% ดังนั้นจึงแปรปริมาณแป้งข้าวเจ้าเป็น 5-40% และแป้งข้าวโพด 5-30% ตามลำดับ จากพื้นที่ที่เป็นไปตามข้อกำหนด (เมื่อใช้ mixture design) เลือกสูตรสำหรับการทดลองผลิต 5 สูตร ดังตารางที่ 3.1

การศึกษาในขั้นนี้ ได้แปรปริมาณน้ำไปพร้อมกับอัตราส่วนของแป้งโดยแปรอัตราส่วนแป้ง:น้ำ เป็น 3 ระดับคือ 1:1.3, 1:1.4 และ 1:1.5 โดยจากการศึกษาเบื้องต้นพบว่าปริมาณน้ำที่ระดับต่ำกว่า 1.3 ส่วน น้ำแป้งดิบที่เตรียมได้มีความข้นสูงมาก มีผลให้น้ำแป้งติดกับชิ้นอาหารมากและมีความหนาไม่สม่ำเสมอ และที่ระดับสูงกว่า 1.5 ส่วน น้ำแป้งดิบที่ได้มีความข้นน้อยเกินไป ทำให้เกาะติดกับชิ้นอาหารได้น้อย

เลือกสูตรแป้งและอัตราส่วนแป้ง: น้ำที่เหมาะสมโดยวิเคราะห์ค่า ความข้นของน้ำแป้งดิบได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.2 ความหนาแน่นและความแข็งของก้อนแป้งทอด แสดงในตารางที่ 4.3-4.5 การเกาะติดชิ้นอาหาร ความชื้น ปริมาณไขมัน สี และคุณภาพทางประสาทสัมผัสผลิตภัณฑ์หอมใหญ่ชุบแป้งทอด แสดงผลในตารางที่ 4.6-4.13 และปลาหมึกชุบแป้งทอดแสดงผลในตารางที่ 4.14-4.21

ผลการวิเคราะห์ความข้นของน้ำแป้งดิบ (ตารางที่ 4.2) พบว่ามีอิทธิพลร่วมระหว่างสูตรแป้งกับอัตราส่วนแป้ง:น้ำต่อค่าความข้น ($p \leq 0.05$) โดยสูตรที่ประกอบด้วยแป้งสาลี 90%

กับอัตราส่วนแป้ง: น้ำ 1:1.3 มีความข้นสูงสุด เนื่องจากความสามารถในการดูดกลืนน้ำของแป้งเมื่อผสมกับน้ำ แป้งที่มีโปรตีนสูง (14-16%) ดูดกลืนน้ำได้ประมาณ 60-65 % ของน้ำหนักแป้งในน้ำ ส่วนแป้งที่มีโปรตีนต่ำ (8-10 %) จะดูดกลืนน้ำได้ประมาณ 40-45% ของน้ำหนักแป้งในน้ำ (Kamel และ Stauffer,1993) จากผลการวิเคราะห์โปรตีน (ตารางที่ 4.1) จะเห็นว่าแป้งสาลีมีโปรตีนสูงกว่าแป้งข้าวเจ้าและแป้งข้าวโพด ดังนั้นตัวอย่างที่มีส่วนประกอบของแป้งสาลีสูง จึงมีโปรตีนสูงซึ่งโปรตีนในแป้งสาลี (ไกลอะดิน และ กลูเตนิน) จะเกิดพันธะกับน้ำโดยเกิดจากโมเลกุลไนโตรเจนและออกซิเจนมี unshared อิเล็คตรอน 1 คู่ ซึ่งเป็นอิเล็คตรอนที่เกิดพันธะไฮโดรเจนได้ ไนโตรเจนที่เกี่ยวข้องกับพันธะเปปไทด์และไนโตรเจนที่อยู่ในกลุ่มอะมิโนอิสระก็มีสภาพเช่นเดียวกัน คือมีประจุบวกที่สามารถเกิดพันธะกับออกซิเจนของน้ำได้ ออกซิเจนที่อยู่ในกลุ่มคาร์บอกซิลหรืออยู่ในกลุ่มคาร์บอนิลจะมีประจุลบสูง จึงจับไฮโดรเจนของน้ำได้ด้วยพันธะที่แข็งแรงกว่าการจับตัวของไนโตรเจนกับออกซิเจน (Kinsella, 1976) เมื่อโปรตีนดูดกลืนน้ำจะทำให้อาหารพองตัวและมีปริมาตรเพิ่มขึ้น น้ำแป้งมีความข้นมากขึ้น (Pomeranz, 1991) โปรตีนในแป้งดูดกลืนน้ำไว้ได้มากประมาณ 200% ของน้ำหนัก ในขณะที่สตาร์ชดูดกลืนน้ำได้เพียง 15% ของน้ำหนัก (Kamel และ Stauffer, 1993) แต่อย่างไรก็ตามสตาร์ชยังมีบทบาทสำคัญในการดูดกลืนน้ำเพราะสตาร์ชซึ่งมีอะไมโลส และอะไมโลเพคติน เป็นส่วนประกอบมีอยู่ในแป้งถึงประมาณ 7 เท่าของโปรตีน โดยปกติแล้วสตาร์ชไม่ละลายในน้ำเย็นแต่เมื่อให้ความร้อนแก่น้ำแป้งดิบ สตาร์ชจะดูดกลืนน้ำเข้าไป พองตัวมากขึ้น จนในที่สุดจะแตกออกทำให้เกิดความหนืดขึ้น (Eliasson และ Gudmundsson, 1996) Duckworth (1976) ศึกษาการดูดกลืนน้ำของส่วนผสมต่างๆของขนมปังปอนด์รายงานว่าโปรตีนดูดกลืนน้ำ 31.2% แป้งดูดกลืนน้ำ 45.5% และ เพ็นโตซานดูดกลืนน้ำ 23.4% อย่างไรก็ตามปริมาณน้ำที่ส่วนผสมดูดกลืนเข้าไปเพื่อให้เกิดก้อนแป้งนั้น ขึ้นอยู่กับปริมาณโปรตีนและจำนวนเม็ดแป้งที่แตกตัว ถ้าแป้งมีโปรตีนสูงและมีเม็ดแป้งแตกตัวจำนวนมาก การดูดกลืนน้ำจะมากขึ้นเม็ดแป้งที่แตกตัวดูดกลืนน้ำได้ 2 เท่าของเม็ดแป้งปกติ การใช้น้ำน้อยเกินไปจะเกิดก้อนแป้งที่แข็งหรือไม่จับตัวกันเป็นก้อน แต่ถ้าใช้น้ำมากเกินไปจะให้สารแขวนลอยแทนก้อนแป้ง (Whister และ Daniel, 1990) ดังนั้นจะเห็นได้ว่าเมื่อปริมาณน้ำในสูตรสูงความข้นของน้ำแป้งดิบลดลง

ผลการวิเคราะห์ค่าความหนาแน่น (ตารางที่ 4.3-4.5) พบอิทธิพลของปริมาณน้ำต่อค่าความหนาแน่นของก้อนแป้งทอด ($p \leq 0.05$) (ตารางที่ 4.4) โดยอัตราส่วนแป้ง : น้ำ 1:1.5 ให้ก้อนแป้งทอดที่มีค่าความหนาแน่นสูง (ตารางที่ 4.5) ค่าความหนาแน่นของก้อนแป้งทอดเป็นค่าที่แสดงถึงความสามารถในการพองตัวของก้อนแป้ง ซึ่งวัดเป็นน้ำหนักต่อปริมาตรดังนั้นก้อนแป้งที่มีค่าความหนาแน่นต่ำจะพองตัวดี ขณะที่ก้อนแป้งความหนาแน่นสูงพองตัวน้อย การพองตัวของก้อนแป้งเกิดจากความดันไอน้ำและความต้านทานของเนื้อเยื่ออาหาร ความดันไอน้ำเกิดจากการให้พลังงานความร้อนแก่อาหาร ทำให้น้ำที่แทรกอยู่เกิดการขยายตัวดันให้

เนื้อเยื่อของอาหารเป็นโพรงหรือรูพรุนเพื่อให้ไอน้ำเคลื่อนที่ออกจากเนื้อเยื่อ ขณะเดียวกันมีความต้านทานของเนื้อเยื่ออาหาร ไม่ให้ไอน้ำขยายตัวหลุดออกไป ถ้าให้พลังงานความร้อนพอเหมาะจะทำให้ความดันไอน้ำเท่ากับความต้านทาน ผลิตภัณฑ์ที่พองตัวจะมีรูพรุนสม่ำเสมอ มีโครงสร้างและลักษณะเนื้อสัมผัสดี ดังนั้นในสูตรที่มีปริมาณน้ำสูงแป้งชุบทอดควรมีค่าความหนาแน่นต่ำกว่าสูตรที่มีปริมาณน้ำต่ำ แต่จากการวัดในการทดลองนี้สูตรที่มีปริมาณน้ำมากเกินไปแป้งจะไม่เกาะตัวกันเมื่อทอด ทำให้แยกเป็นเศษแป้งชิ้นเล็กๆซึ่งเมื่อนำไปแทนที่เม็ดแมงลักเพื่อวัดปริมาตร จะเกิดการอัดตัวกันแน่นดังนั้นค่าความหนาแน่นที่ได้จึงสูงกว่าที่ควรจะเป็น

เมื่อพิจารณาค่าความแข็ง (ตารางที่ 4.4) พบอิทธิพลร่วมระหว่างสูตรแป้งกับอัตราส่วนแป้ง : น้ำ ต่อค่าความแข็งของก้อนแป้งทอด ($p \leq 0.05$) โดยแป้งสูตรที่ประกอบด้วยแป้งสาลี 90% และ 72% กับอัตราส่วนแป้ง : น้ำ 1: 1.3 มีค่าความแข็งสูง อาจเนื่องมาจากมีโปรตีนสูง เมื่อผสมแป้งกับน้ำเข้าด้วยกัน น้ำจะจับกับโมเลกุลของโปรตีน บางส่วนของโมเลกุลจะคลายตัวออก โดยเฉพาะโมเลกุลของกลูเตนิน หลังจากนั้นโมเลกุลโปรตีนที่คลายตัวออกแล้วจะหันมาจับตัวกันในสามทิศทาง เกิดเป็นร่างแห โดยใช้แรงที่ประกอบด้วยพันธะไฮโดรเจน พันธะไดซัลไฟด์ และพันธะไฮโดรโฟบิค ผลที่ได้คือกลูเตน (Pomeranz, 1991) เมื่อได้รับความร้อนจากการทอด โปรตีนจะเกิดการแปลงสภาพ (denature) ทำให้อะตอมโมเลกุลมีการเรียงตัวใหม่ เป็นผลให้เกิดการหดรัดตัวเข้าและจับเป็นก้อน (coaglutation) ซึ่งจะทำให้โปรตีนเสียความสามารถในการละลายน้ำและแข็งตัวมากขึ้น (Kinsella,1976)

5.2.1 ผลิตภัณฑ์หอมใหญ่ชุบแป้งทอด

ผลการวิเคราะห์ค่าการเกาะติดชิ้นอาหารของแป้งชุบทอดสำหรับผลิตภัณฑ์หอมใหญ่ชุบแป้งทอด (ตารางที่ 4.6) พบอิทธิพลของสูตรแป้งกับอัตราส่วน แป้ง: น้ำ ต่อการเกาะติดชิ้นหอมใหญ่ ($p \leq 0.05$) โดยสูตรแป้งที่ประกอบด้วยแป้งสาลี 90% และอัตราส่วนแป้ง:น้ำ 1:1.3 มีค่าการเกาะติดชิ้นอาหารสูงสุด ผลดังกล่าวสอดคล้องกับค่าความข้นของ น้ำแป้งดิบ (ตารางที่ 4.2) ที่พบว่า สูตรที่ประกอบด้วยแป้งสาลี 90% กับอัตราส่วนแป้ง : น้ำ 1:1.3 มีค่าความข้นสูงสุด ซึ่งจะทำให้น้ำแป้งดิบเกาะติดชิ้นอาหารได้มากกว่าตัวอย่างที่มีค่าความข้นต่ำกว่า

สรุปได้ว่าสูตรที่ประกอบด้วยแป้งสาลีสูงและน้ำต่ำจะมีค่าความข้นและการเกาะติดชิ้นอาหารของแป้งชุบทอดสูง เนื่องจากสูตรที่มีแป้งสาลีสูงจะมีโปรตีนสูงด้วย โปรตีนมีคุณสมบัติในการทำให้อาหารเกาะตัว-เกาะติด ทำหน้าที่เหมือนกาว โดยเป็นตัวกลางให้อาหารเกาะติดกัน สมบัติการเกาะติดกันของโปรตีนขึ้นอยู่กับค่า pH และกำลังไอโอนิคของอาหาร ปัจจัยทั้งสองจะมีผลต่อประจุและขนาดของโมเลกุลของโปรตีน โดยในภาวะที่ pH ต่ำ โปรตีนจะมีประจุเป็นบวกเกิดแรงผลักระหว่างโมเลกุลโปรตีนขณะที่ pH สูงมากโปรตีนจะมี

ประจุเป็นลบเกิดแรงผลักระหว่างโมเลกุลโปรตีนได้เช่นกันเป็นผลให้โปรตีนมีการละลายดี แต่ที่ pH เท่ากับ pI โปรตีนจะมีประจุสุทธิเท่ากับศูนย์ ซึ่งแรงผลักระหว่างโมเลกุลจะน้อยที่สุดจึงจับกันเองและอาจตกตะกอนได้ สำหรับกำลังไอโอนิคในกรณีที่มีเกลือในระบบจะทำให้กรดอะมิโนกลุ่มที่แตกตัวได้ในโปรตีนคงสภาวะดีขึ้นเนื่องจากเกลือที่เข้ามาล้อมรอบโมเลกุลโปรตีนช่วยดึงน้ำมาล้อมรอบโปรตีนมากขึ้นด้วย (Kinsella, 1976)

ผลจากการวิเคราะห์ความชื้นพบว่า ผลิตภัณฑ์หอมใหญ่ชุบแป้งทอดมีความชื้นสูงขึ้นเมื่อปริมาณน้ำตั้งต้นสูง เนื่องจากปริมาณน้ำมากขึ้นโปรตีนและสตาร์ชจะจับโมเลกุลน้ำไว้มากขึ้น เมื่อให้ความร้อนแก่หอมใหญ่ชุบแป้งทอดที่อุณหภูมิและเวลาเดียวกันจึงมีผลให้น้ำในตัวอย่างระเหยออกไปน้อยกว่าทำให้ผลิตภัณฑ์มีความชื้นสุดท้ายสูง

ผลการวิเคราะห์ไขมัน พบว่าผลิตภัณฑ์ที่ใช้อัตราส่วนแป้ง : น้ำ 1:1.3 มีระดับไขมันต่ำสุด ผลดังกล่าวนี้อาจอธิบายได้จากค่าความชื้นเริ่มต้นของผลิตภัณฑ์ โดยผลิตภัณฑ์ที่ใช้ปริมาณน้ำเริ่มต้นสูงจะมีความชื้นเริ่มต้นสูง ซึ่งความชื้นที่มีอยู่ในอาหารจะเป็นเกณฑ์บอกปริมาณน้ำมันที่จะดูดกลืนเข้าไปในเนื้อเยื่ออาหาร อาหารที่มีความชื้นสูงจะอมน้ำมันมากด้วยสาเหตุด้านกลไกในการเสียน้ำระหว่างทอด โดยขณะเริ่มทอด บริเวณผิวนอกของอาหารซึ่งมีทั้งน้ำอิสระและน้ำที่ยึดติดกับโมเลกุลของโปรตีน เมื่อสัมผัสกับน้ำมันที่มีอุณหภูมิสูงน้ำอิสระจะเริ่มระเหยทำให้ปริมาณลดลงอย่างรวดเร็ว ขณะเดียวกันโมเลกุลของน้ำที่อยู่ด้านในถัดเข้ามาจะเริ่มกลายเป็นไอและพยายามหาช่องทางที่จะผ่านออกไป การระเหยของน้ำที่อยู่ภายในเนื้อเยื่อ ทำให้น้ำมันที่อยู่บริเวณผิวของอาหารแทรกเข้าไปในช่องว่างที่เกิดขึ้น (Saguy และ Pinthus, 1995) ผลิตภัณฑ์จึงอมน้ำมันได้มาก

เมื่อพิจารณาค่าสี ที่วัดโดยเครื่องวัดสี (ตารางที่ 4.10) พบว่า ให้ผลสอดคล้องกับผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ กล่าวคือ สูตรที่ประกอบด้วยแป้งสาลีต่ำ (50%) และปริมาณน้ำสูง (1:1.5) มีค่าความสว่างและสีเหลืองต่ำสุด ($p \leq 0.05$) แสดงว่าผลิตภัณฑ์มีสีเหลืองต่ำ และที่ระดับนี้ผู้ทดสอบเห็นว่าผลิตภัณฑ์มีสีอ่อนเกินไป เหตุที่ผลิตภัณฑ์มีสีอ่อนลงเมื่อระดับแป้งสาลีต่ำ อาจเนื่องมาจากสารให้สีที่อยู่ในแป้งสาลีซึ่งโดยทั่วไปจะเป็นสารให้สีพวกแคโรทีนอยด์ ซึ่งเป็นสารให้สีเหลือง หรือสีเหลืองอมแดงแก่ผลิตภัณฑ์ (Desrosier, 1977) มีอยู่น้อยกว่าในตัวอย่างที่มีแป้งสาลีมากกว่า สำหรับปริมาณน้ำที่เพิ่มสูงขึ้น จะมีผลทำให้ค่าความสว่างและสีเหลืองต่ำทั้งนี้เนื่องจาก ที่ปริมาณน้ำมากขึ้นส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีความสามารถเกาะติดชิ้นอาหารลดลง ดังนั้นเมื่อใช้เวลาทอดเท่ากัน ผลิตภัณฑ์ที่มีแป้งเกาะติดอยู่น้อย จะทำให้เกิดการส่งผ่านความร้อนได้ดีกว่าจึงสุกเร็วกว่า สีของผลิตภัณฑ์ที่ได้จึงมีสีเข้มกว่า

สำหรับคะแนนความกรอบ(ตารางที่ 4.13) พบว่า ให้ผลสอดคล้องกับค่าความหนาแน่น (ตารางที่ 4.3) กล่าวคือ สูตรที่ประกอบด้วยแป้งสาลีสูง 90% และปริมาณน้ำ 1:1.3 และ 1:1.4 มีคะแนนความกรอบสูงสุด ($p \leq 0.05$) ซึ่งเมื่อพิจารณาที่ค่าความหนาแน่น

พบว่าทั้งสองสูตรมีค่าความหนาแน่นต่ำซึ่งแสดงได้ดีถึงการพองตัวของก้อนแป้งทอดส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีคะแนนความกรอบสูง ดังเหตุผลที่อธิบายไปในส่วนของค่าความหนาแน่น

เมื่อพิจารณาคะแนนรสชาติของผลิตภัณฑ์ (ตารางที่ 4.13) พบว่าอัตราส่วนแป้ง : น้ำ 1:1.5 ให้ผลิตภัณฑ์ที่มีคะแนนรสชาติต่ำสุด ($p \leq 0.05$) ซึ่งผู้ทดสอบให้ความเห็นว่าผลิตภัณฑ์มีการอมน้ำมันมาก อาจเนื่องจากน้ำในเนื้อเยื่ออาหารระเหยออกไปเมื่อได้รับความร้อนจากการทอดทำให้เกิดช่องว่างภายในเนื้อเยื่อ น้ำมันที่อยู่บริเวณผิวของอาหารจึงแทรกเข้าไปในช่องว่างที่เกิดขึ้น จึงมีผลให้ผลิตภัณฑ์ที่มีน้ำสูง มีการอมน้ำมันสูง (Saguy และ Pinthus, 1995)

อิทธิพลของสูตรแป้งและอัตราส่วน แป้ง:น้ำ มีผลต่อคะแนนการยอมรับรวม (ตารางที่ 4.13) ($p \leq 0.05$) สูตรที่ประกอบด้วยแป้งสาลี 90% และอัตราส่วนแป้ง: น้ำ 1:1.3, 1:1.4 คะแนนการยอมรับรวมสูงสุด เนื่องจากมีคะแนนสี ความกรอบ และรสชาติอยู่ในระดับสูงสุด แสดงว่าคะแนนการยอมรับรวมของผลิตภัณฑ์หอมใหญ่ชุบแป้งทอดได้รับอิทธิพลจากสมบัติทั้งสามอย่างที่กล่าวมา แต่ในการพิจารณาเลือกสูตรแป้งที่เหมาะสมสำหรับนำไปผลิตแป้งชุบทอดเสริมรำสกัดไขมัน นอกจากคะแนนทางประสาทสัมผัสแล้วยังต้องคำนึงถึงสีของผลิตภัณฑ์ ซึ่งจากผลการทดลองพบว่าสูตรที่ประกอบด้วยแป้งสาลี 90 % มีค่าความสว่างต่ำและมีค่าสีเหลืองสูง (ตารางที่ 4.10) แสดงให้เห็นว่าผลิตภัณฑ์มีสีค่อนข้างเข้มซึ่งถ้านำไปเสริมรำสกัดที่มีสีค่อนข้างเข้มจะทำให้ผลิตภัณฑ์มีสีเข้มมาก ดังนั้นจึงต้องเลือกสูตรแป้งที่ให้ค่าความสว่างสูงและมีค่าสีเหลืองต่ำ ซึ่งก็คือสูตรที่ประกอบด้วยแป้งสาลี 72 หรือ 65 % แต่เลือกสูตรที่ประกอบด้วย แป้งสาลี 65 % เนื่องจากใช้ปริมาณแป้งสาลีน้อยกว่า

5.2.2 ผลิตภัณฑ์ปลาหมึกชุบแป้งทอด

เมื่อพิจารณาค่าการเกาะติดชิ้นอาหารของแป้งชุบทอด สำหรับผลิตภัณฑ์ปลาหมึกชุบแป้งทอด (ตารางที่ 4.14) จะเห็นว่ามีอิทธิพลร่วมระหว่างสูตรแป้งกับอัตราส่วนแป้ง : น้ำ ต่อค่าดังกล่าว ($p \leq 0.05$) โดยสูตรที่ประกอบด้วยแป้งสาลี 90% กับอัตราส่วนแป้ง : น้ำ 1:1.3 มีค่าเฉลี่ยการเกาะติดชิ้นอาหารสูงสุด ผลดังกล่าวนี้เป็นไปในแนวเดียวกับผลิตภัณฑ์หอมใหญ่ชุบแป้งทอด แม้ว่าโครงสร้างของเนื้อเยื่อปลาหมึกจะแตกต่างจากโครงสร้างของหอมใหญ่กล่าวคือ ปลาหมึกประกอบด้วยเนื้อเยื่อกล้ามเนื้อ หรือเส้นใยกล้ามเนื้อและเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน ซึ่งทำให้ไม่มีช่องว่างระหว่างเซล ส่วนโครงสร้างของหอมใหญ่เป็นเซลพาเรนไคมามีผนังเซลบางยาวมีรูปร่างเป็นรูปหลายเหลี่ยมหรือเป็นสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ เซลพาเรนไคมาไม่ได้เรียงกันอย่างหนาแน่นและมีอากาศคั่นอยู่เกิดเป็นช่องว่างระหว่างเซล (Luh และ Woodroof, 1988) แต่ผลจากการเกาะติดที่ได้พบว่ามีแนวโน้มไปในทางเดียวกันทั้งหอมใหญ่และปลาหมึก แสดงว่าอิทธิพลของปริมาณโปรตีนในแป้งและความข้นของน้ำแป้งดิบ

ซึ่งทำให้เกิดการเกาะติดชิ้นอาหารได้ดีนั้นมีผลมากกว่าอิทธิพลจากความแตกต่างของเนื้อเยื่อหอมใหญ่และปลาหมึก จึงใช้เหตุผลเดียวกันอธิบายได้

เมื่อพิจารณาค่าความชื้น และไขมันของปลาหมึกชุบแป้งทอด (ตารางที่ 4.18) พบว่า สูตรที่ใช้อัตราส่วนแป้ง : น้ำ 1: 1.5 มีค่าความชื้นและไขมันสูงสุด ซึ่งให้ผลเช่นเดียวกันกับหอมใหญ่ชุบแป้งทอดและอาจใช้เหตุผลเดียวกับหอมใหญ่ชุบแป้งทอด ที่กล่าวมาแล้วในการอธิบายในส่วนของหอมใหญ่

ผลการวิเคราะห์ค่าสี ด้วยเครื่องวัดสี (ตารางที่ 4.18) พบว่าให้ผลสอดคล้องกับคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านสี(ตารางที่ 4.21) กล่าวคือ สูตรที่ประกอบด้วยแป้งสาลี 90% มีค่าสีเหลืองสูงสุด แสดงว่าผลิตภัณฑ์มีสีเหลืองเข้มมากที่สุด และที่ระดับนี้ผู้ทดสอบเห็นว่าเป็นสีที่เหมาะสมสำหรับผลิตภัณฑ์ปลาหมึกชุบแป้งทอด ทั้งนี้การเกิดสีของอาหารชุบแป้งทอดจะมีผลมาจากปริมาณโปรตีนและน้ำตาลในแป้งซึ่งทำให้เกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ด และนอกจากนี้ยังมีสารให้สีพวกแคโรทีนอยด์ ซึ่งเป็นสารให้สีเหลืองหรือสีเหลืองอมแดงแก่ผลิตภัณฑ์ (Desrosier,1977)

สำหรับคะแนนความกรอบ (ตารางที่ 4.21) พบว่า ให้ผลสอดคล้องกับค่าความหนาแน่น ที่เกี่ยวเนื่องไปถึงการพองตัวของแป้ง (ตารางที่ 4.3) กล่าวคือ สูตรที่ประกอบด้วยแป้งสาลีสูง 90% และปริมาณน้ำต่ำ 1.3 และ 1.4 มีความหนาแน่นต่ำแสดงว่าการพองตัวของแป้งสูง มีคะแนนความกรอบสูงสุด ($p \leq 0.05$) ซึ่งผลเป็นเช่นเดียวกับหอมใหญ่ จึงสามารถอธิบายได้ในทำนองเดียวกัน

เมื่อพิจารณาคะแนนรสชาติ พบว่า อิทธิพลของสูตรแป้งและอัตราส่วนแป้ง:น้ำไม่มีผลต่อคะแนนรสชาติ ($p \leq 0.05$) แม้ว่าจะแปรปริมาณน้ำในตัวอย่างสูงขึ้น แต่ไม่มีผลต่อการอมน้ำมันในผลิตภัณฑ์สุดท้าย ซึ่งให้ผลในทางตรงข้ามกับหอมใหญ่ชุบแป้งทอด ที่พบว่าเมื่อใช้อัตราส่วนแป้ง : น้ำสูงขึ้น ผลิตภัณฑ์มีการอมน้ำมันมากขึ้น อาจเนื่องมาจากความแตกต่างของโครงสร้างของหอมใหญ่ และปลาหมึก ดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้น ทำให้น้ำเคลื่อนที่ออกจากเนื้อเยื่อได้สะดวกรวดเร็ว ในขณะที่ปลาหมึกซึ่งไม่มีช่องว่างระหว่างเซลที่ต่อเนื่องเป็นทางให้น้ำแพร่ผ่าน น้ำจึงแพร่ผ่านเซลได้ช้ากว่า (Van Arsdel และ Copley,1963) ทำให้น้ำมันแพร่เข้าแทนที่น้ำในเนื้อเยื่อได้น้อยกว่า

สำหรับคะแนนการยอมรับรวม พบอิทธิพลของสูตรแป้งและอัตราส่วนแป้ง : น้ำต่อคะแนนการยอมรับรวม ($p \leq 0.05$) ผลิตภัณฑ์แป้งชุบทอดประกอบด้วยแป้งสาลี 90% และอัตราส่วนแป้ง : น้ำ 1:1.3 และ 1:1.4 มีคะแนนการยอมรับรวมสูงสุด เนื่องจากมีคะแนนสีและความกรอบอยู่ในระดับสูงสุด

จากสมบัติที่กล่าวมาทั้งหมดสามารถเลือกสูตรแป้งและอัตราส่วนแป้ง : น้ำ ที่ทำให้ผลิตภัณฑ์ปลาหมึกชุบแป้งทอดมีค่าความหนาแน่นต่ำ ความแข็งสูง มีการเกาะติดชิ้นอาหารในช่วง 30-60 % (จากการทดลองเบื้องต้น) ความชื้นและไขมันต่ำ มีคะแนน

ความกรอบ รสชาติ และการยอมรับรวมสูง เนื่องจากสูตรที่คัดเลือกได้ต้องนำไปเสริมรำสกัด ซึ่งจะทำให้มีสีเข้มขึ้น ดังนั้นค่าสีต้องมีค่าความสว่างสูง และค่าสีเหลืองต่ำ เพราะฉะนั้นสูตรแป้งที่เหมาะสมคือสูตรที่ประกอบด้วย แป้งสาลี 55% ที่อัตราส่วนแป้งต่อน้ำ 1 : 1.3

5.3 ศึกษาปริมาณรำสกัดไขมันสำหรับผลิตแป้งชุบทอด

5.3.1 ศึกษาปริมาณรำสกัดไขมันขั้นต้น

การออกแบบการทดลองในขั้นตอนนี้ ศึกษาโดยแปรปริมาณรำสกัดไขมันเป็น 5, 15, 25 และ 35 % ของน้ำหนักแป้ง ในสูตรแป้งที่คัดเลือกได้จากข้อ 5.2 เพื่อกำหนดช่วงกว้างที่อาจใช้ได้ในสูตร โดยผลิตภัณฑ์ยังมีลักษณะของอาหารชุบแป้งทอดที่ดี การเลือกช่วงที่เหมาะสมทำโดยวิเคราะห์ปริมาณไขมันและทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านสี ความกรอบ ความรู้สึกเมื่อเคี้ยวแป้งและกลืน การอมน้ำมันและการยอมรับรวมของผลิตภัณฑ์หอมใหญ่ และปลาหมึกชุบแป้งทอด ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 4.23 และ 4.24 ตามลำดับ ส่วนผลของปริมาณไขมันในผลิตภัณฑ์ทั้ง 2 ชนิด แสดงในตารางที่ 4.22 จากผลการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ พบว่าผลการทดลองในส่วนของหอมใหญ่และปลาหมึกชุบแป้งทอดเสริมรำสกัดไขมันมีแนวโน้มไปในทางเดียวกัน ดังนั้นจึงอธิบายไว้รวมกันดังนี้

ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านสี (ตารางที่ 4.23-4.24) พบว่าผลิตภัณฑ์มีคุณภาพด้านสีต่ำลงเมื่อปริมาณรำสกัดไขมันเพิ่มขึ้น ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการเกิดสีน้ำตาลในผลิตภัณฑ์อาหารชุบแป้งทอดจากปฏิกิริยาคาราเมลไลเซชั่นของน้ำตาลที่เติมลงในสูตรแป้งชุบทอด โดยเป็นผลจากการเกิดไฮโดรไลซิสของน้ำตาลจนได้โมโนแซคคาไรด์ แล้วเกิดโพลีเมอร์ไรซ์เซชั่น ได้สารสีน้ำตาล และจากการที่น้ำตาลและกรดอะมิโนจากโปรตีนในแป้งได้รับความร้อนเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดได้สารโพลีเมอร์ที่มีสีน้ำตาล เช่น 5-ไฮดรอกซีเมทธิล-2-ฟิวราลดีไฮด์ (5-hydroxymethyl-2-furaldehyde) (Fennema,1996) การเติมรำสกัดที่มีโปรตีนอยู่ 12.69 % (ตารางที่ 4.1) ลงในแป้งชุบทอดอาจทำให้เกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดเพิ่มมากขึ้นโดยโปรตีนในรำสกัดทำปฏิกิริยากับน้ำตาลที่มีอยู่ในสูตรแป้งได้โพลีเมอร์ที่มีสีน้ำตาล ดังนั้นเมื่อปริมาณรำสกัดสูงขึ้น สีของผลิตภัณฑ์จึงเข้มขึ้น จากผลการทดลองพบว่าผู้ทดสอบจะให้คะแนนสีสูงในผลิตภัณฑ์ ที่มีรำสกัด 5 % เนื่องจากสูตรแป้งที่เลือกจากข้อ 5.2 เป็นสูตรที่ค่าความสว่างสูง และมีค่าสีเหลืองต่ำ เมื่อเติมรำสกัดในปริมาณต่ำสีของผลิตภัณฑ์จึงดีขึ้น แต่เมื่อเพิ่มปริมาณรำสกัดมากขึ้นสีจะเข้มมากขึ้น คะแนนด้านสีจึงลดลง และเมื่อเพิ่มปริมาณรำสกัดถึง 35 % ผู้ทดสอบไม่ยอมรับผลิตภัณฑ์ เนื่องจากสีเข้มมากเกินไป

ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านความกรอบ(ตารางที่ 4.23-4.24) พบว่าผลิตภัณฑ์มีคุณภาพด้านความกรอบต่ำลงเมื่อปริมาณรำสกัดไขมันมากขึ้น เนื่องจากส่วน

ประกอบของเส้นใยอาหารในรำสกัด 97 % เป็นพวกที่ไม่ละลายน้ำ เช่น เซลลูโลส ซึ่งโมเลกุลของเซลลูโลสจะยึดกันด้วยพันธะไฮโดรเจนที่แข็งแรงกว่าอะไมโลสในแป้ง โดยโมเลกุลเซลลูโลสจะรวมตัวกันเป็นเส้นใยและมีลักษณะเป็นผลึกที่ไม่ละลายน้ำ (Stauffer,1993) แต่ก็มีบางส่วนที่ไม่รวมตัวกันเป็นผลึกเพราะมีโมเลกุลของน้ำตาลและกรดยูโรนิคแทรกอยู่และหมู่ไฮดรอกซิลที่อยู่บริเวณนี้ทำปฏิกิริยากับสารเคมีต่าง ๆได้ เนื่องจากไม่มีพันธะไฮโดรเจนที่แข็งแรงเหมือนในส่วนที่เป็นผลึกจึงสันนิษฐานว่าปริมาณน้ำที่ดูดกลืนเข้าในโมเลกุลจะขึ้นอยู่กับส่วนที่ไม่เป็นผลึก (Whistler และ Daniel, 1990) จากรายงานของ James และ Sloan (1984) พบว่ารำสกัดสามารถดูดกลืนน้ำได้ถึง 282.4% ของน้ำหนักรำ ดังนั้นการเพิ่มปริมาณรำสกัดในผลิตภัณฑ์ทำให้มีการดูดกลืนน้ำเข้าไปในผลิตภัณฑ์มากขึ้น ผลิตภัณฑ์ที่ได้จึงมีความกรอบลดลง จากผลการทดลองพบว่าผลิตภัณฑ์ที่เติมรำสกัด 5 % มีคะแนนความกรอบสูง ทั้งนี้เพราะรำสกัดประกอบด้วยเซลลูโลสซึ่งเป็นเส้นใยที่มีความแข็งแรงเมื่อเติมในปริมาณต่ำทำให้ โครงสร้างของแป้งชุบทอดแข็งแรงขึ้นไม่ยุบตัวง่าย มีความแข็งเพิ่มขึ้น ทำให้ผู้ทดสอบรู้สึกว่าผลิตภัณฑ์มีความกรอบเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของ Ang (1991) ศึกษาการเติมเส้นใยอาหารในแป้งชุบทอด โดยใช้เส้นใยอาหารจากเซลลูโลสผง ข้าวโอ๊ต ถั่วเหลือง ถั่ว และชูการ์บีท (sugar beet) ความยาว 50-300 ไมครอน ปริมาณ 0.3-3.0 % ของน้ำหนักแห้งทั้งหมด พบว่าผลิตภัณฑ์สุดท้ายมีความแข็งแรงมากขึ้น ไม่เกิดการยุบตัวของแป้งชุบทอด ซึ่งเกิดจากแรงดันที่สร้างขึ้นระหว่างตัวแป้งชุบทอดและอาหารระหว่างทอด

ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านความรู้สึกเมื่อเคี้ยวแป้งและกลืน (ตารางที่ 4.23-4.24) พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณรำสกัด ผู้ทดสอบจะรู้สึกขึ้นคอและคะแนนความรู้สึกเมื่อเคี้ยวแป้งและกลืนลดลง เนื่องจากรำสกัดที่เป็นส่วนผสมในแป้งชุบทอดได้มาจากส่วนของเพอริคาพ (pericarp) อะลิวโรน (aleurone) และซับอะลิวโรน (subaleurone) ซึ่งเป็นบริเวณที่ถัดจากเปลือกของเมล็ดข้าว(Saunder,1990) เมื่อนำมาผ่านตะแกรงร่อนขนาด300 ไมครอน ก็ยังมีขนาดของอนุภาคใหญ่กว่าแป้งทั้ง 3 ชนิด ซึ่งจะมีอนุภาคในช่วง 75-100 ไมครอน ทำให้ผู้ทดสอบรู้สึกได้ถึงความหยาบของเส้นใย (Kent, 1984) นอกจากนี้จากการทดลองของ Augustin และคณะ (1989) ที่ศึกษาปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมด (total dietary fiber) ในผลิตภัณฑ์ชุบแป้งและขนมปังที่เสริมเส้นใยอาหารก่อนนำไปทอดและหลังทอด พบว่าผลิตภัณฑ์ที่ทอดในน้ำมันพืชที่มีอุณหภูมิประมาณ 190°C ปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมดลดลง 0.1-0.5 % เมื่อเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์ที่ยังไม่ผ่านการทอด ซึ่งสาเหตุที่เป็นเช่นนี้เพราะการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิน้ำมันที่ใช้ทอดมีผลทำให้ความสามารถในการละลายของเส้นใยอาหารเพิ่มมากขึ้น แสดงว่ามีเส้นใยอาหารบางส่วนไม่เปลี่ยนแปลงโครงสร้างเมื่ออยู่ในภาวะที่มีความร้อนสูง ดังนั้นผลิตภัณฑ์อาหารชุบแป้งทอดที่เสริมรำสกัด หลังจากทอดอาจมีเส้นใยอาหารที่ไม่เปลี่ยนแปลงโครงสร้างเหลืออยู่ ทำให้ผู้ทดสอบรู้สึกได้ และการที่เส้นใยอาหารถูกย่อยด้วยเอนไซม์ที่มีใน ร่างกายมนุษย์ไม่ได้ เมื่อผู้ทดสอบรับประทานผลิตภัณฑ์ เอนไซม์ที่มี

ไม่สามารถย่อยเส้นใยอาหารได้ (Trowell, 1976) เมื่อรับประทานในปริมาณมากจึงรู้สึกขึ้นคอ จากผลการทดลองพบว่าผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาณรำสกัด 5 % ผู้ทดสอบยังไม่รู้สึกขึ้นคอ และเมื่อเพิ่มปริมาณรำสกัดมากขึ้นผู้ทดสอบจะรู้สึกขึ้นคอมากขึ้น โดยถ้าเพิ่มปริมาณรำสกัดสูงถึง 35 % ผู้ทดสอบไม่ยอมรับผลิตภัณฑ์

ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านการอมน้ำมัน (ตารางที่ 4.23-4.24) ผู้ทดสอบให้คะแนนสูงขึ้นเมื่อปริมาณรำสกัดเพิ่มขึ้น ทั้งนี้ผู้ทดสอบให้เหตุผลว่าผลิตภัณฑ์มีการอมน้ำมันลดลง ซึ่งยืนยันได้จากผลการวิเคราะห์ปริมาณไขมันในผลิตภัณฑ์(ตารางที่ 4.22)ซึ่งมีค่าลดลง เมื่อปริมาณรำสกัดในผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้นเหตุที่เป็นเช่นนี้เพราะการอมน้ำมันในผลิตภัณฑ์มีความสัมพันธ์กับความชื้นของอาหาร โดยขณะเริ่มทอดบริเวณผิวนอกของอาหารมีทั้งน้ำอิสระ และน้ำที่ยึดติดกับโมเลกุลของโปรตีน เมื่อสัมผัสกับน้ำมันที่มีอุณหภูมิสูงน้ำอิสระจะเริ่มระเหยทำให้ปริมาณลดลงอย่างรวดเร็วบริเวณผิวนอกของผลิตภัณฑ์จึงเกิดการแห้งเป็นเปลือกนอกซึ่งจะขัดขวางไม่ให้น้ำอิสระระเหยออกไปได้อีก ขณะเดียวกันโมเลกุลของน้ำที่อยู่ด้านในถัดเข้ามาก็จะเริ่มกลายเป็นไอ และพยายามหาช่องทางเพื่อที่จะผ่านออกไป ดังนั้นการระเหยของน้ำที่อยู่ภายในเนื้อเยื่อทำให้เกิดช่องว่างภายในเนื้อเยื่อ ทำให้น้ำมันที่อยู่บริเวณผิวของอาหารแทรกเข้าไปในช่องว่างที่เกิดขึ้น ดังนั้นถ้ามีน้ำระเหยออกมามากจะเกิดช่องว่างในการที่น้ำมันจะเข้าไปแทรกอยู่ได้มากจึงเกิดการอมน้ำมันเพิ่มขึ้น (Saguy และ Pinthus, 1995) แต่การเติมรำสกัดในแป้งชุบทอดนั้น รำสกัดจะทำหน้าที่ดูดซับน้ำไว้โดยการสร้างพันธะไฮโดรเจนระหว่างเซลลูโลสกับโมเลกุลของน้ำ เป็นผลให้น้ำในเนื้อเยื่อระเหยออกไปได้น้อย น้ำมันจึงแทนที่น้ำได้น้อยลง ทำให้ปริมาณไขมันในผลิตภัณฑ์ลดลง ซึ่งผลการทดลองสอดคล้องกับงานวิจัยของ Ang (1993) ศึกษาการเติมเซลลูโลสผงที่มีความยาวมากกว่า 100 ไมครอน ในปริมาณ 1 % ของน้ำหนักแป้งทั้งหมดในแป้งชุบทอด สำหรับไก่ ปลา และเห็ด พบว่าสามารถลดปริมาณไขมันลง 7-28 % เมื่อเทียบกับผลิตภัณฑ์ที่ไม่เติมเซลลูโลสผง

จากผลการทดลองพบว่าผลิตภัณฑ์ที่มีรำสกัด 5 % มีปริมาณไขมันไม่แตกต่างจากผลิตภัณฑ์ที่ไม่เสริมรำสกัด โดยผลิตภัณฑ์มีปริมาณไขมันลดลงอย่างเห็นได้ชัดเมื่อเติมรำสกัดตั้งแต่ 15 % ขึ้นไป

ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านการยอมรับรวม (ตารางที่ 4.23-4.24) พบว่าผู้ทดสอบให้คะแนนการยอมรับรวมต่ำลงเมื่อปริมาณรำสกัดในผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้น ทั้งนี้แสดงว่า คะแนนการยอมรับรวมเป็นผลมาจากคะแนนด้านสี ความกรอบ และความรู้สึกเมื่อเคี้ยวแป้งและกลืน โดยผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาณรำสกัด 5% มีคะแนนการยอมรับรวมสูงสุด ($p \leq 0.05$) เนื่องจากมีคะแนนด้านสี ความกรอบ และความรู้สึกเมื่อเคี้ยวแป้งและกลืนสูงสุด ($p \leq 0.05$)

จากผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสทั้งหมด จะเห็นได้ว่าผลิตภัณฑ์หอมใหญ่และปลาหมึกชุบแป้งทอด ที่มีปริมาณรำสกัด 5 % มีคะแนนด้านต่าง ๆ สูงสุด ($p \leq 0.05$)

ยกเว้นด้านการอมน้ำมัน เมื่อพิจารณาจากปริมาณไขมัน พบว่า ผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาณรำสกัด 5% มีไขมันไม่แตกต่างจากผลิตภัณฑ์ที่ไม่มีการเสริมรำสกัด ดังนั้นจึงพิจารณาผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาณรำสกัดตั้งแต่ 15% ขึ้นไป พบว่า คะแนนทางประสาทสัมผัสทุกด้าน ยกเว้นด้านการอมน้ำมันมีแนวโน้มลดลง โดยเฉพาะผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาณรำสกัด 35% ผู้ทดสอบไม่ยอมรับผลิตภัณฑ์ จึงเลือกปริมาณรำสกัดตั้งแต่ 15 - 25% สำหรับศึกษาในขั้นต่อไป

5.3.2 ศึกษาปริมาณรำสกัดไขมันที่ดีที่สุดสำหรับการผลิตแป้งชุบทอด

ผลิตหอมใหญ่ และปลาหมึกชุบแป้งทอด โดยแปรปริมาณรำสกัดจากช่วงกว้างที่สรุปได้จากข้อ 5.3.1 (15-25%) ซึ่งจะแปรปริมาณรำสกัดอีกครั้งโดยเพิ่มปริมาณขึ้นครั้งละ 3% เป็น 15, 18, 21, 24 และ 27% ของน้ำหนักแป้ง เลือกปริมาณรำสกัดที่ดีที่สุดโดยวิเคราะห์ความข้นของน้ำแป้งดิบ ความแข็งและความหนาแน่นของก้อนแป้งทอด ความชื้น ไขมัน การเกาะติดชิ้นอาหาร สี และคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านสี ความกรอบ ความรู้สึกเมื่อเคี้ยวแป้งและกลืน การอมน้ำมัน และการยอมรับรวม ผลการทดลองสำหรับหอมใหญ่ชุบแป้งทอดแสดงในตารางที่ 4.25-4.30 และปลาหมึกแสดงในตารางที่ 4.31-4.36

5.3.2.1 ผลิตภัณฑ์หอมใหญ่ชุบแป้งทอดเสริมรำสกัดไขมัน

ความข้นของแป้งดิบ เป็นปัจจัยที่เป็นดัชนีสำหรับการเกาะติดชิ้นอาหาร ตัวอย่างที่มีความข้นสูง จะมีความสามารถในการเกาะติดชิ้นอาหารได้สูง จากการทดลองพบว่าเมื่อผลิตภัณฑ์มีปริมาณรำสกัดเพิ่มขึ้น ค่าความข้นเพิ่มขึ้น (ตารางที่ 4.25) ทั้งนี้เนื่องมาจาก เส้นใยอาหารในรำสกัดเป็นพวกเซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลส ซึ่งอยู่ในกลุ่มของเส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำแต่มีความสามารถในการดูดกลืนน้ำได้ดี (Thebaudin และคณะ, 1997) ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของ James และ Sloan (1984) ที่ศึกษาสมบัติด้านการใช้งานของรำสกัด พบว่ารำสกัดดูดกลืนน้ำได้ 282.4% ของน้ำหนักรำ ดังนั้นผลิตภัณฑ์มีปริมาณรำสกัดเพิ่มขึ้นจึง ดูดกลืนน้ำได้มากส่งผลให้มีความข้นสูงขึ้น

การเกาะติดชิ้นอาหารเป็นสมบัติที่สำคัญอย่างหนึ่งของแป้งชุบทอด ซึ่งจะสัมพันธ์กับค่าความข้นของน้ำแป้งดิบ แป้งชุบทอดที่มีรำสกัดมาก ความข้นสูงขึ้น ทำให้การเกาะติดชิ้นอาหารเพิ่มขึ้นด้วย (ตารางที่ 4.29) จากการทดลองเบื้องต้น พบว่าผู้ทดสอบให้การยอมรับผลิตภัณฑ์ที่มีค่าการเกาะติดชิ้นอาหารในช่วง 30-60% จึงใช้เกณฑ์นี้ในการเลือกผลิตภัณฑ์ที่เหมาะสม ผลการทดลองที่ได้พบว่า ผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาณรำสกัด 15, 18 และ 21% มีค่าการเกาะติดชิ้นอาหารในช่วงไม่เกิน 60%

ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านความกรอบ(ตารางที่ 4.30) แสดงว่าคุณภาพด้านความกรอบของผลิตภัณฑ์ลดลง เมื่อแป้งชุบทอดมีรำสกัดเพิ่มขึ้น ดังที่ได้อธิบายไปแล้วในข้อ 5.3.1 ซึ่งยืนยันได้ว่าการที่ความกรอบของผลิตภัณฑ์ลดลงเป็นผลมาจากการดูดกลืนน้ำเข้าไปในโมเลกุลของรำสกัดมากขึ้น โดยดูจากปริมาณความชื้น (ตารางที่ 4.28) จะเห็นได้ว่าเมื่อปริมาณรำสกัดเพิ่มขึ้น ความชื้นในผลิตภัณฑ์จะเพิ่มขึ้นตามไปด้วย นอกจากนี้ยังทำให้ความแข็งของก้อนแป้งทอดลดลงเช่นกัน (ตารางที่ 4.26) ในส่วนของความหนาแน่น (ตารางที่ 4.26) ซึ่งเป็นค่าที่แสดงถึงความสามารถในการพองตัวของแป้ง พบว่า ปริมาณรำสกัดที่เพิ่มขึ้นไม่มีผลต่อความสามารถในการพองตัวของแป้ง ทั้งนี้การพองตัวของแป้งเกิดจากดูดกลืนน้ำของเม็ดแป้ง เมื่อได้รับความร้อนน้ำแปรสภาพเป็นไอน้ำ ทำให้แป้งขยายหรือพองตัวออก (Fox และ Cameron,1970) และเกิดจากผงฟูที่เติมลงในผลิตภัณฑ์ ได้รับความร้อนแล้วให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ทำให้แป้งเกิดการพองตัวได้เช่นกัน (Kamel และ Stauffer, 1993) เมื่อพิจารณาถึงชนิดของเส้นใยอาหารในรำสกัด ซึ่งส่วนใหญ่เป็นเซลลูโลสที่มีโครงสร้างเป็นโมเลกุลกลูโคสที่เชื่อมกันด้วยพันธะไกลโคซิดิกชนิด β-1,4 เกิดเป็นโครงสร้างที่แข็งแรงมากกว่าอะไมโลสที่เป็นองค์ประกอบของแป้ง ซึ่งประกอบด้วยโมเลกุลของกลูโคสที่เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ α-1,4 (Stauffer, 1993) จึงทำให้เซลลูโลสไม่สามารถขยายตัวหรือ พองตัวเหมือนอะไมโลสในแป้ง รำสกัดที่เติมลงในแป้งชุบทอดจึงไม่มีผลต่อการพองตัวของแป้ง เมื่อพิจารณาด้านความแข็ง ความชื้นของก้อนแป้ง และคะแนนความกรอบ (ตารางที่ 4.26, 4.28 และ 4.30) พบว่า ตัวอย่างที่มีค่าความแข็งสูง ความชื้นต่ำ จะได้รับคะแนนความกรอบสูง โดยพบว่าผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาณรำสกัด 15 และ 18% ให้สมบัติตามเกณฑ์มากที่สุด

ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านสี (ตารางที่ 4.30) พบว่าเมื่อผลิตภัณฑ์มีปริมาณรำสกัดเพิ่มมากขึ้น คะแนนสีจะลดลง ทั้งนี้เป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงสีของผลิตภัณฑ์เมื่อได้รับความร้อนซึ่งสามารถอธิบายได้เช่นเดียวกับข้อ 5.3.1 และเมื่อพิจารณาจากค่าสี (ตารางที่ 4.29) ที่ได้จากเครื่องวัดสี พบว่า เมื่อปริมาณรำสกัดในผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้น ผลิตภัณฑ์มีค่าความสว่างลดลง โดยค่าสีแดงและค่าสีเหลือง ไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) แสดงว่าการเพิ่มปริมาณรำสกัด ผลิตภัณฑ์มีสีเข้มขึ้น ดังนั้นการพิจารณาคะแนนด้านสีจึงใช้ค่าความสว่างของผลิตภัณฑ์เป็นเกณฑ์ พบว่าผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาณรำสกัด 15, 18 และ 21% มีคะแนนสูงสุดและมีค่าความสว่างสูงสุด ($p\leq0.05$)

ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านความรู้สึกเมื่อเคี้ยวแป้งและกลืน (ตารางที่ 4.30) พบว่า เมื่อปริมาณรำสกัดในผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้น ผู้ทดสอบจะให้การยอมรับผลิตภัณฑ์ลดลง สาเหตุที่เป็นเช่นนี้อธิบายได้เช่นเดียวกับข้อ 5.3.1 จากผลการทดลองที่ได้จะเห็นได้ว่าผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาณรำสกัด 15 และ 18% มีคะแนนสูงสุด($p\leq0.05$)

ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านการอมน้ำมัน(ตารางที่ 4.30) พบว่า เมื่อปริมาณรำสกัดเพิ่มขึ้น ผู้ทดสอบจะให้คะแนนสูงขึ้น ทั้งนี้เพราะผู้ทดสอบรู้สึกว่ามีการ

อมน้ำมันลดลง โดยเมื่อพิจารณาร่วมกับปริมาณไขมันในผลิตภัณฑ์ (ตารางที่ 4.28) จะเห็นว่าผลที่ได้สอดคล้องกัน ทั้งนี้เป็นผลมาจากการดูดกลืนน้ำได้มากขึ้นเมื่อปริมาณรำสกัดเพิ่มขึ้น ผลที่เกิดขึ้นอธิบายได้เช่นเดียวกับข้อ5.3.1ดังนั้นการพิจารณาสมบัติด้านการอมน้ำมัน จึงใช้เกณฑ์จากคะแนนการอมน้ำมันและปริมาณไขมัน ในการทดลองพบว่า ผลิตภัณฑ์ที่มีรำสกัด 21, 24 และ 27% มีคะแนนการอมน้ำมันสูงสุดและมีปริมาณไขมันต่ำสุด ($p \leq 0.05$)

เนื่องจากผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาณรำสกัด 15, 18 และ 21%มีคะแนนทางด้านสี, ความกรอบและความรู้สึกเมื่อเคี้ยวแป้งและกลืน จึงส่งผลให้คะแนนการยอมรับรวมสูงขึ้นตามไปด้วย

ดังนั้นเมื่อพิจารณาเกณฑ์ที่ใช้ตัดสินทั้งทางกายภาพและทางประสาทสัมผัสทั้งหมด จึงสรุปได้ว่าปริมาณรำสกัดที่ดีที่สุดสำหรับผลิตผลิตภัณฑ์หอมใหญ่ชุบแป้งทอด คือ 21% ของน้ำหนักแป้ง ซึ่งให้ค่าการเกาะติดชิ้นอาหารอยู่ในเกณฑ์ดี ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีการอมน้ำมันต่ำ มีคะแนนด้านสี, ความกรอบ, ความรู้สึกเมื่อเคี้ยวแป้งและกลืน และการยอมรับรวมอยู่ในเกณฑ์ปานกลางถึงดี

5.3.2.2 <u>ผลิตภัณฑ์ปลาหมึกชุบแป้งทอดเสริมรำสกัดไขมัน</u>

จากผลการทดลองที่ได้พบว่า ค่าความข้นของน้ำแป้งดิบสำหรับผลิตภัณฑ์ปลาหมึกชุบแป้งทอด (ตารางที่ 4.31) มีแนวโน้มเช่นเดียวกับความข้นของน้ำแป้งดิบในผลิตภัณฑ์หอมใหญ่ชุบแป้งทอด คือ เมื่อปริมาณรำสกัดเพิ่มขึ้น ค่าความข้นของน้ำแป้งดิบก็จะเพิ่มขึ้น ซึ่งเหตุที่เป็นเช่นนี้ได้อธิบายไว้แล้วในส่วนของหอมใหญ่

สำหรับค่าการเกาะติดชิ้นอาหารนั้น เป็นสมบัติที่สำคัญอย่างหนึ่งของแป้งชุบทอด ซึ่งสัมพันธ์กับค่าความข้นของแป้งดิบ แป้งชุบทอดที่มีรำสกัดมาก ความข้นสูงสุด ทำให้การเกาะติดชิ้นอาหารเพิ่มขึ้นด้วย (ตารางที่ 4.33) จากการทดลองเบื้องต้น พบว่าผู้ทดสอบให้การยอมรับผลิตภัณฑ์ที่มีค่าการเกาะติดชิ้นอาหารในช่วง 30-60% จึงใช้เกณฑ์นี้ในการเลือกผลิตภัณฑ์ที่เหมาะสม ผลการทดลองที่ได้พบว่า ผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาณรำ 15 และ 18% มีค่าการเกาะติดชิ้นอาหารในช่วงไม่เกิน 60%

ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านความกรอบ (ตารางที่ 4.36) พบว่า เมื่อปริมาณรำสกัดในผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้น ผลิตภัณฑ์มีความกรอบลดลง ซึ่งผลที่เกิดขึ้นนี้สามารถอธิบายได้เช่นเดียวกับในข้อ 5.3.1 โดยเมื่อพิจารณาร่วมกับผลของปริมาณความชื้น (ตารางที่ 4.34) และความแข็งของก้อนแป้งทอด (ตารางที่ 4.32) พบว่าการเพิ่มปริมาณรำสกัดในผลิตภัณฑ์ ทำให้คะแนนความกรอบต่ำลง ซึ่งเป็นผลจากการที่ผลิตภัณฑ์มีความชื้นเพิ่มขึ้นและมีความแข็งของก้อนแป้งทอดลดลง ส่วนการพองตัวของก้อนแป้งทอดนั้น พบว่าการเพิ่มปริมาณรำสกัดไม่มีผลต่อการพองตัวของก้อนแป้ง ซึ่งสามารถใช้เหตุผลเดียวกับในส่วน

ของหอมใหญ่อธิบายได้ ดังนั้นการพิจารณาเกณฑ์ด้านความกรอบ จึงเลือกจากคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านความกรอบ ความชื้น และค่าความแข็งของก้อนแป้งทอดรวมกัน จากผลการทดลองพบว่าผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาณรำสกัด 15 และ 18% มีคะแนนด้านความกรอบสูงสุด ($p \leq 0.05$)

ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านสี (ตารางที่ 4.36) พบว่าเมื่อปริมาณรำสกัดในผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้น คุณภาพด้านสีของผลิตภัณฑ์ลดลง เนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงสีของผลิตภัณฑ์ ซึ่งอธิบายได้เช่นเดียวกับในข้อ 5.3.1 เมื่อพิจารณาร่วมกับค่าสีที่วัดได้จากเครื่องวัดสี (ตารางที่ 4.35) ผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาณรำสกัดเพิ่มขึ้นจะมีค่าความสว่างลดลง ขณะที่ค่าสีแดงและค่าสีเหลืองไม่เปลี่ยน ($p>0.05$) ผลจากการพิจารณาค่าสี และคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านสี ผลิตภัณฑ์ที่มีรำสกัด 15 และ 18 % มีค่าความสว่างสูงและมีคะแนนด้านสีอยู่ในเกณฑ์ดี

ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านความรู้สึกเมื่อเคี้ยวแป้งและกลืน (ตารางที่ 4.36) พบว่า เมื่อปริมาณรำสกัดในผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้น ให้คะแนนที่ได้ต่ำลง ซึ่งผลที่เกิดขึ้นนี้อธิบายได้เช่นเดียวกับข้อ 5.3.1 และสรุปได้ว่า ผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาณรำสกัดไขมัน15, 18 และ 21% มีคะแนนดังกล่าวดีกว่าตัวอย่างที่มีรำสกัด 24 และ 27% ($p\leq0.05$)

ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านการอมน้ำมัน(ตารางที่ 4.36) แสดงว่าเมื่อปริมาณรำสกัดในผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้น ผู้ทดสอบจะให้คะแนนสูงขึ้น ทั้งนี้เพราะว่าผู้ทดสอบรู้สึกว่าการอมน้ำมันลดลง โดยเมื่อพิจารณาร่วมกับปริมาณไขมันในผลิตภัณฑ์ (ตารางที่ 4.34) จะเห็นว่าผลที่ได้สอดคล้องกันซึ่งสามารถอธิบายได้เช่นเดียวกับข้อ 5.3.1 จากผลการทดลองพบว่า ผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาณรำสกัดไขมัน 24 และ 27% มีการอมน้ำมันน้อยที่สุด

จากการพิจารณาคะแนนด้านการยอมรับรวมของผลิตภัณฑ์ (ตารางที่ 4.36) พบว่าผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาณรำสกัด 18 และ 21% ของน้ำหนักแป้ง มีคะแนนอยู่ในระดับสูงสุด เนื่องจากมีคะแนนด้านสีความกรอบ และความรู้สึกเมื่อเคี้ยวแป้งและกลืนสูง ดังนั้นจึงมีคะแนนการยอมรับรวมสูงสุดเช่นกัน แต่เมื่อใช้รำสกัดถึง 21% อัตราการเกาะติดของแป้งชุบทอดจะสูงถึงประมาณ 60 % ซึ่งนับว่าสูงเกินไป

ดังนั้นเมื่อพิจารณาเกณฑ์ที่ใช้ตัดสินทั้งทางกายภาพและทางประสาทสัมผัสทั้งหมดข้อสรุปได้ว่า ปริมาณรำสกัดที่ดีที่สุดสำหรับผลิตภัณฑ์ปลาหมึกชุบแป้งทอดคือ 18 % ของน้ำหนักแป้ง ซึ่งให้ค่าการเกาะติดชิ้นอาหารอยู่ในเกณฑ์ที่ดี ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีการอมน้ำมันปานกลาง มีคะแนนด้านสี ความกรอบ ความรู้สึกเมื่อเคี้ยวแป้งและกลืน และการยอมรับรวมอยู่ในเกณฑ์ดี

5.3.3 ศึกษาภาวะในการทอดเพื่อปรับปรุงคุณภาพด้านความกรอบของผลิตภัณฑ์

การศึกษาในขั้นตอนนี้เป็นการศึกษาที่ต่อเนื่องจากข้อ 5.3.2 ซึ่งผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสแสดงว่า คุณภาพด้านความกรอบของหอมใหญ่และปลาหมึกชุบแป้งทอดเสริมรำสกัดไขมันยังอยู่ในเกณฑ์ไม่เป็นที่น่าพอใจนัก โดยผู้ทดสอบให้คะแนนความกรอบอยู่ในช่วงที่พอยอมรับได้โดยคะแนนความกรอบเท่ากับ 7.40 และ 7.60 สำหรับผลิตภัณฑ์หอมใหญ่และปลาหมึกชุบแป้งทอดเสริมรำสกัดไขมัน ตามลำดับ ดังนั้นจึงปรับปรุงคุณภาพโดยแปรภาวะในการทอด สาเหตุที่เลือกใช้การทอดที่อุณหภูมิสูงขึ้น เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิจะทำให้ความชื้นของอาหารลดลงอย่างรวดเร็วและการระเหยของน้ำที่อยู่บริเวณผิวอาหารอย่างรวดเร็วจะทำให้เกิดเปลือกนอก กล่าวคือความชื้นที่ผิวของอาหารจะระเหยออกไปเนื่องจากได้รับพลังงานความร้อน ทำให้เกิดความแตกต่างของความดันไอน้ำ จากนั้นความชื้นภายในชิ้นอาหารจะเคลื่อนที่ออกสู่ผิวนอก ขณะที่ความชื้นที่ผิวระเหยออกไปตลอดเวลา อัตราการระเหยของน้ำที่ผิวจะขึ้นกับลักษณะธรรมชาติของอาหารและอัตราการให้ความร้อน ช่วงแรกการระเหยของน้ำจะอยู่ที่ผิวของชิ้นอาหาร เมื่อทอดต่อไปอัตราการระเหยของน้ำจากชิ้นอาหารจะมากกว่าอัตราการเคลื่อนที่ของน้ำจากภายในออกมาด้านนอกจึงทำให้การระเหยของน้ำค่อย ๆเคลื่อนเข้าสู่ด้านในของชิ้นอาหาร ผิวของชิ้นอาหารจึงแห้งและเกิดเปลือกนอกขึ้นซึ่งเป็นลักษณะสำคัญที่ทำให้เกิดความกรอบ (Pinthus, Weinberg และ Saguy, 1995b) นอกจากนี้การลดเวลาทอดยังมีผลให้ระยะเวลาที่อาหารสัมผัสกับน้ำมันลดลง จึงลดปริมาณไขมันในชิ้นอาหารได้ (Thorner, 1973)

จากการทดลองเบื้องต้นก่อนเลือกแปรอุณหภูมิทอดพบว่าถ้าใช้อุณหภูมิสูงกว่า 210°C น้ำมันจะเกิดควันซึ่งถ้าใช้ทอดผลิตภัณฑ์ต่อไปจะเป็นสาเหตุทำให้น้ำมันเสื่อมคุณภาพเนื่องจากเกิดปฏิกิริยาโพลีเมอร์ไรซ์เซชั่น ออกซิเดชั่น และไฮโดไลซิส ได้เร็วขึ้น (Lawson, 1985) จึงแปรภาวะในการทอดสำหรับหอมใหญ่ ที่อุณหภูมิ 210±5°C เวลา 40 และ 50 วินาที ปลาหมึกใช้อุณหภูมิ 210±5 °C เวลา 70 และ 80 วินาที เปรียบเทียบคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสผลิตภัณฑ์ ด้านสี ความกรอบ ความรู้สึกเมื่อเคี้ยวแป้งและกลิ่นการอมน้ำมัน และการยอมรับรวม กับการทอดที่ภาวะการผลิตเดิม (ข้อ 5.2)ผลการทดลองสำหรับผลิตภัณฑ์หอมใหญ่ชุบแป้งทอด แสดงในตารางที่ 4.37 และ 4.38 ส่วนปลาหมึกชุบแป้งทอดแสดงในตารางที่ 4.39 และ 4.40

จากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติพบว่า การเพิ่มอุณหภูมิและลดเวลาในการทอดไม่มีผลต่อคะแนนสี และ ความรู้สึกเมื่อเคี้ยวแป้ง และกลิ่น ($p>0.05$) ของผลิตภัณฑ์หอมใหญ่และปลาหมึกชุบแป้งทอด ในส่วนคะแนนสีนั้นการเพิ่มอุณหภูมิทอดจะทำให้เกิดปฏิกิริยาคาราเมลไลเซชั่น และ ปฏิกิริยา เมลลาร์ด ได้เร็วขึ้น (Thorner, 1973) แต่ระยะเวลาในการเกิดปฏิกิริยาสั้นลง เนื่องจากเวลาที่ใช้ทอดลดลง ทำให้สีของผลิตภัณฑ์ไม่แตกต่าง

กัน สำหรับความรู้สึกเมื่อเคี้ยวแป้งและกลืน การเพิ่มอุณหภูมิไม่มีผลต่อปริมาณรำสกัดที่ใช้ในผลิตภัณฑ์ ดังนั้นจึงไม่มีผลต่อความรู้สึกเมื่อเคี้ยวแป้งและกลืน ในส่วนของความกรอบ การอมน้ำมันและการยอมรับรวมของทั้ง 2 ผลิตภัณฑ์ พบว่าคะแนนทุกลักษณะเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มอุณหภูมิและลดเวลาในการทอด

<u>หอมใหญ่</u>

ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านความกรอบ (ตารางที่ 4.38) พบว่าผลิตภัณฑ์มีคุณภาพด้านความกรอบสูงขึ้น เมื่อเพิ่มอุณหภูมิและลดเวลาในการทอด ทั้งนี้เนื่องจากการเพิ่มอุณหภูมิทำให้น้ำอิสระและน้ำที่ยึดอยู่ที่โมเลกุลของโปรตีนกลายเป็นไอได้เร็วขึ้น โดยการลดลงของน้ำอิสระจะทำให้เกิดเปลือกนอกบริเวณผิวหน้าของผลิตภัณฑ์ ซึ่งเป็นลักษณะที่ทำให้ของผลิตภัณฑ์มีความกรอบเพิ่มขึ้น (Pinthus, Weinberg และ Saguy, 1995b) ขณะเดียวกันโมเลกุลของน้ำที่อยู่ด้านในถัดเข้ามาจะเริ่มกลายเป็นไอและพยายามหาช่องทางเพื่อที่จะผ่านออกไป การเพิ่มอุณหภูมิช่วยเพิ่มแรงดันให้กับไอน้ำ ทำให้ไอน้ำระเหยออกมาได้เพิ่มขึ้น (Eskew, Cording และ Sullivan, 1963) ซึ่งจะเห็นได้จากปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์มีค่าลดลง (ตารางที่ 4.37)

ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านการอมน้ำมัน (ตารางที่ 4.38) พบว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิและลดเวลาในการทอด ผลิตภัณฑ์มีการอมน้ำมันลดลง ซึ่งสอดคล้องกับผลของปริมาณไขมัน(ตารางที่ 4.37)ทั้งนี้เนื่องจากการเพิ่มอุณหภูมิและลดเวลาในการทอดจะทำให้ผลิตภัณฑ์สุกเร็วขึ้น โดยที่ผลิตภัณฑ์มีระยะเวลาในการสัมผัสกับน้ำมันลดลงจึงดูดกลืนน้ำมันได้น้อย (Thorner, 1973)

ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านการยอมรับรวม(ตารางที่ 4.38) พบว่าผู้ทดสอบจะให้คะแนนการยอมรับรวมสูงขึ้น ในผลิตภัณฑ์ซึ่งทอดที่อุณหภูมิ 210° C เนื่องจากผลิตภัณฑ์มีคะแนนด้านความกรอบ และการอมน้ำมัน สูงกว่าผลิตภัณฑ์ซึ่งทอดที่อุณหภูมิ 200°C

จากผลการทดลองทั้งหมด พบว่าการทอดที่อุณหภูมิ 200°C 60 วินาที ให้ผลิตภัณฑ์ที่มีคะแนนความกรอบ การอมน้ำมัน และการยอมรับรวมต่ำสุด ($p \leq 0.05$) ขณะที่การทอดที่อุณหภูมิ 210°C, 40 หรือ 50 วินาที ให้ผลิตภัณฑ์ที่มีคะแนนทั้ง 3 ด้านไม่แตกต่างกัน ($p > 0.05$) โดยที่ภาวะการทอด 210°C, 40 วินาที ผลิตภัณฑ์มีปริมาณไขมันและความชื้นต่ำสุด จึงเลือกเวลาและอุณหภูมิดังกล่าว สำหรับทอดผลิตภัณฑ์หอมใหญ่ชุบแป้งทอดเสริมรำสกัด

<u>ปลาหมึก</u>

ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านความกรอบ การอมน้ำมัน และการยอมรับรวมของผลิตภัณฑ์ปลาหมึกชุบแป้งทอด (ตารางที่ 4.40) มีผลการทดลองไปใน

แนวทางเดียวกันกับผลิตภัณฑ์หอมใหญ่ชุบแป้งทอด ซึ่งสามารถอธิบายผลที่เกิดขึ้นได้เช่นเดียวกับในหอมใหญ่

จากผลการทดลองทั้งหมดพบว่าการทอดที่อุณหภูมิ 200°C, 90 วินาที ให้ผลิตภัณฑ์มีคะแนนความกรอบ การอมน้ำมัน และการยอมรับรวมต่ำสุด ($p \leq 0.05$) โดยที่ภาวะการทอดที่ 210°C 70 หรือ 80 วินาที ให้ผลิตภัณฑ์ที่มีคะแนนทั้ง 3 ด้านไม่แตกต่างกัน ($p > 0.05$) จึงพิจารณาที่ปริมาณไขมันและความชื้น (ตารางที่ 4.39) พบว่ายังคง ไม่แตกต่างกัน จึงเลือกเวลาในการทอด 70 วินาที เนื่องจากใช้เวลาน้อยกว่า สำหรับการทอดผลิตภัณฑ์ปลาหมึกชุบแป้งทอดเสริมรำสกัด

5.4 <u>การเปลี่ยนแปลงคุณภาพระหว่างเก็บแป้งชุบทอดและผลิตภัณฑ์ชุบแป้งทอดแช่แข็ง</u>

5.4.1 <u>แป้งชุบทอด</u>

การเปลี่ยนแปลงคุณภาพของตัวอย่างแป้งชุบทอดมีสาเหตุหลักมาจากการเปลี่ยนแปลงความชื้น โดยถ้าแป้งชุบทอดมีความชื้นสูงกว่า 14% จะทำให้จุลินทรีย์เจริญเติบโตได้ Ayres, Mundt และ Sandine (1980) ได้รายงานว่าแป้งสาลีที่มีความชื้น 16% จะตรวจพบจุลินทรีย์พวก *penicillium, aspergillus, cladosporium, mucor* และ *rhizopus* แต่ถ้าแป้งชุบทอดมีความชื้น ต่ำกว่า 5% สามารถเกิดปฏิกิริยาการสลายไขมันโดยเอนไซม์ไลเปสทั้งนี้เนื่องจากเอนไซม์จะทำงานได้ดีที่ความชื้นต่ำกว่า 5% (Galliard, 1994) นอกจากนี้เมื่อความชื้นเพิ่มขึ้นแป้งจะเกิดการเกาะตัวกันเป็นก้อนทำให้ความสามารถในการดูดกลืนน้ำเข้าไปในโมเลกุลของแป้งลดลง สำหรับการวิเคราะห์ปริมาณเถ้า ทำเนื่องจากมาตรฐานผลิตภัณฑ์แป้งผสมสำหรับประกอบอาหารทอดกำหนดปริมาณเถ้าไว้ไม่เกินร้อยละ 0.07 การใช้รำสกัดซึ่งมีแร่ธาตุเป็นองค์ประกอบอยู่ด้วยอาจเป็นผลให้ปริมาณเถ้าของแป้งชุบทอดสูงเกินเกณฑ์มาตรฐานนี้ได้ จึงวิเคราะห์ปริมาณเถ้าในผลิตภัณฑ์แป้งชุบทอดเสริมรำสกัดไขมันด้วย

จากการทดลองเก็บแป้งชุบทอดทั้งสองสูตรในถุง OPP/PE/AL/PE มีความหนารวม 77 ไมโครเมตร มีค่าการซึมผ่านของน้ำ (WVTR) 10 $g/m^2/day$ ที่ 37°C, 90% RH และ ค่าการซึมผ่านของออกซิเจน (OTR) 7.5 $cm^3/m^2/day$ ที่ 25°C, 0% RH (บริษัทสตรองแพคจำกัด มหาชน) โดยปิดผนึกที่ความดันบรรยากาศและเก็บตัวอย่างที่อุณหภูมิห้อง (28-30°C) เป็นเวลา 4 เดือน พบว่าระหว่างเก็บปริมาณความชื้นและเถ้า (รูปที่ 4.1 และ 4.2) ไม่แตกต่างกัน ($p > 0.05$) โดยมีค่าความชื้นอยู่ในช่วง 11-13% ทั้งนี้เนื่องมาจากภาชนะบรรจุที่ใช้มี AL ซึ่งมีสมบัติในการป้องกันการซึมผ่านของน้ำและออกซิเจนได้ดี ป้องกันแสง ส่วนการใช้ OPP จะช่วยเสริมความสามารถของ AL และในทางการค้าจะทำหน้าที่เป็นฟิล์มชั้นนอกสำหรับพิมพ์ข้อความและรูปภาพ สำหรับ PE ในชั้นที่สองจะเป็นตัวเชื่อมระหว่าง OPP

และ AL ส่วน PE ในชั้นสุดท้ายจะทำหน้าที่เป็นตัวเชื่อมติดเมื่อปิดผนึกด้วยความร้อน (Frank, 1992) และจากการที่ภาชนะบรรจุมีค่า WVTR ต่ำ ปริมาณความชื้นจึงไม่แตกต่างกัน ส่วนผลของปริมาณเถ้าของผลิตภัณฑ์ทั้งสองตัวอย่าง พบว่ามีปริมาณเถ้ามากกว่าร้อยละ 0.07 (รูปที่ 4.1 และ 4.2) ทั้งนี้เป็นผลมาจากการเติมรำสกัด ซึ่งเถ้าที่ตรวจพบเป็นแร่ธาตุที่มีในผลิตภัณฑ์ในรูปออกไซด์ของโลหะ ซัลเฟต ฟอสเฟต ไนเตรต คลอไรด์ และเฮไลด์ ซึ่งจะไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงระหว่างการเก็บ (Fennema, 1996) ดังนั้นปริมาณเถ้าจึงไม่แตกต่างกัน โดยที่แร่ธาตุเหล่านี้จะอยู่ในรำสกัดเป็นส่วนใหญ่ ซึ่งจะเห็นได้ว่าปริมาณเถ้าในแป้งชุบทอดสำหรับหอมใหญ่มากกว่าที่ตรวจพบใน แป้งชุบทอดสำหรับปลาหมึก ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณรำสกัดในแป้งชุบทอดสำหรับหอมใหญ่มีมากกว่าในแป้งชุบทอดสำหรับปลาหมึก

5.4.2 <u>ผลิตภัณฑ์ชุบแป้งทอดแช่แข็ง</u>

5.4.2.1 <u>ภาวะที่เหมาะสมในการแช่แข็งผลิตภัณฑ์หอมใหญ่และปลาหมึกชุบแป้งทอดเสริมรำสกัดไขมัน</u>

การศึกษาในขั้นตอนนี้เพื่อหาภาวะในการแช่แข็งผลิตภัณฑ์ก่อนที่จะนำไปเก็บรักษา โดยหาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการแช่แข็งผลิตภัณฑ์ด้วยเครื่อง Cryo-test chamber และไนโตรเจนเหลว โดยหอมใหญ่ชุบแป้งทอดแปรอุณหภูมิแช่แข็งเป็น -30°, -40° และ -50°C ส่วนปลาหมึกชุบแป้งทอดเป็น -70°, -80° และ -90°C ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ใช้ในการแช่แข็งกับอุณหภูมิของผลิตภัณฑ์หอมใหญ่และปลาหมึกชุบแป้งทอดแสดง ดังรูปที่ 4.3 และ 4.4 ตามลำดับ จากกราฟที่ได้สามารถประมาณเวลาแช่แข็งสำหรับผลิตภัณฑ์หอมใหญ่และปลาหมึกชุบแป้งทอดดังแสดงในตารางที่ 4.41 เลือกภาวะที่เหมาะสมในการ แช่แข็งผลิตภัณฑ์ โดยวิเคราะห์ค่าการเสียน้ำหนักหลังแช่แข็ง การเสียน้ำหนักจากการให้ความร้อนและทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านสี ความกรอบ ความรู้สึกเมื่อเคี้ยวแป้งและกลืน การอมน้ำมัน และการยอมรับรวม ผลการทดลองสำหรับหอมใหญ่แสดงในตารางที่ 4.42 และ 4.43 ปลาหมึกชุบแป้งทอดแสดงในตารางที่ 4.44 และ 4.45

<u>หอมใหญ่</u>

ในการเลือกอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการแช่แข็งผลิตภัณฑ์หอมใหญ่ชุบแป้งทอด ต้องคำนึงถึงผลของการลดอุณหภูมิต่อเนื้อเยื่อของหอมใหญ่ ทั้งนี้เพราะเนื้อเยื่อของหอมใหญ่มีโครงสร้างไม่แข็งแรง จึงเลือกใช้อุณหภูมิ -30°C เป็นอุณหภูมิเริ่มต้น เหตุที่เลือกอุณหภูมิ -30°C เพราะใกล้เคียงกับอุณหภูมิแช่แข็งแบบลมเป่า (air blast) ซึ่งถ้าเลือกที่อุณหภูมิที่สูงกว่า -30°C อัตราการแช่แข็งจะช้ามาก ทำให้เกิดผลึกน้ำแข็งขนาดใหญ่และเป็นผลเสียต่อเซลของหอมใหญ่ (Fennema, 1975) จากนั้นลดอุณหภูมิลงทีละ

10°C พบว่าที่อุณหภูมิ -60°C จะเกิดรอยแตกที่ชั้นแป้งทอดของผลิตภัณฑ์ ซึ่งเป็นผลมาจากที่แช่แข็งอย่างรวดเร็ว การเปลี่ยนสถานะเป็นของแข็งของน้ำที่อยู่บริเวณชั้นแป้งทอดของผลิตภัณฑ์เกิดขึ้นในขณะที่น้ำในชิ้นหอมใหญ่ยังมีสถานะเป็นของเหลว เมื่อผลิตภัณฑ์ถ่ายเทความร้อนให้แก่สารทำความเย็นไปเรื่อย ๆน้ำภายในหอมใหญ่เปลี่ยนสถานะเป็นของแข็งและขยายตัว ส่งผลให้เกิดแรงดันต่อชั้นแป้งทอด ชั้นแป้งทอดขาดการยืดหยุ่นจากการเปลี่ยนสถานะเป็นน้ำแข็งของน้ำจึงแตกออกจากกัน (Brown, 1979) ดังนั้นจึงแปรอุณหภูมิในการแช่แข็งที่ -30°, -40° และ -50°C จากผลการทดลองที่ได้พบว่า เมื่อลดอุณหภูมิในการแช่แข็งลง เวลาที่ใช้ในการแช่แข็งจะลดลงด้วย (ตารางที่ 4.41) ทั้งนี้เนื่องจากผลต่างอุณหภูมิในการถ่ายทอดความร้อน (temperature gradient) ที่ต่างกันมากขึ้นจะทำให้การถ่ายเทความร้อนเกิดได้มากขึ้นเช่นเดียวกัน (Fennema, 1975)

ผลิตภัณฑ์ที่แช่แข็งทั้ง 3 อุณหภูมิ มีค่าการเสียน้ำหนักระหว่างการแช่แข็งไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) (ตารางที่ 4.44) ทั้งนี้เพราะวิธีที่ใช้ในการแช่แข็งเป็นแบบไครโอจินิก ซึ่งใช้ไนโตรเจนเหลวเป็นสารทำความเย็น การแช่แข็งแบบนี้สารทำความเย็นที่ใช้มีอุณหภูมิต่ำมาก ซึ่งเป็นผลให้ผลต่างอุณหภูมิระหว่างผลิตภัณฑ์และสภาพแวดล้อมภายนอกผลิตภัณฑ์สูงความร้อนในอาหารจึงถ่ายโอนออกมาอย่างรวดเร็วตามกลไกการนำความร้อน ทำให้น้ำเปลี่ยนสถานะเป็นของแข็งอย่างรวดเร็วเมื่อเทียบกับการแช่แข็งทางกล ซึ่งการที่น้ำเปลี่ยนสถานะเป็นของแข็งช้า ประกอบกับการที่สภาพแวดล้อมผลิตภัณฑ์มีการไหลเวียนของอากาศที่ความเร็วสูงจึงทำให้เกิดการเสียน้ำจากการระเหยของน้ำออกสู่บรรยากาศรอบผลิตภัณฑ์ได้มากกว่าผลิตภัณฑ์ที่แช่แข็งแบบไครโอจินิค (Fennema, Powrie และ Marth, 1973) ส่วนการสูญเสียน้ำหนักหลังจากให้ความร้อนสูงสุด ($p\leq0.05$) เมื่อใช้อุณหภูมิ -30°C ขณะที่ผลิตภัณฑ์แช่แข็งที่อุณหภูมิ -40° และ -50°C มีค่าดังกล่าวไม่ต่างกัน($p>0.05$) ทั้งนี้เนื่องจากผลิตภัณฑ์ที่แช่แข็งที่อุณหภูมิ -30°C มีอัตราการแช่แข็งช้ากว่าที่-40°และ-50°C โดยปกติการแช่แข็งที่ช้ากว่าจะมีผลทำให้ขนาดของผลึกน้ำแข็งภายในอาหารแช่แข็ง มีขนาดใหญ่กว่า (Frazier และ Westhoff, 1988) จากผลการทดลองจึงคาดว่าขนาดของผลึกน้ำแข็งในผลิตภัณฑ์ที่แช่แข็งที่อุณหภูมิ -30°C มีขนาดใหญ่กว่าผลิตภัณฑ์ที่แช่แข็งที่อุณหภูมิ -40° และ -50°C ซึ่งมีผลทำลายโครงสร้างของผลิตภัณฑ์อย่างมีนัยสำคัญ ดังนั้นน้ำที่ละลายออกมาขณะให้ความร้อนผลิตภัณฑ์ที่แช่แข็งที่อุณหภูมิ -30°C จึงมีมากกว่าน้ำที่ละลายออกมาในผลิตภัณฑ์ที่แช่แข็งที่อุณหภูมิ -40° และ -50°C

ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์(ตารางที่ 4.43) พบว่าผลิตภัณฑ์ซึ่งแช่แข็งที่ -30°,-40° และ -50°C มีคะแนนด้านสี ความรู้สึกเมื่อเคี้ยวแป้งและกลีน และการอมน้ำมัน ไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) ทั้งนี้เนื่องจากในด้านความรู้สึกเมื่อเคี้ยวแป้งและกลีนในผลิตภัณฑ์ที่ใช้แป้งชุบทอดเสริมรำสกัดไขมันจะขึ้นกับปริมาณของ

รำสกัดที่ใช้ในผลิตภัณฑ์ การแปรอัตราการแช่แข็งซึ่งไม่มีผลต่อปริมาณรำสกัดในผลิตภัณฑ์ จึงไม่มีผลต่อความรู้สึกเมื่อเคี้ยวแป้งและกลืน ส่วนด้านสีของผลิตภัณฑ์และการอมน้ำมัน โดยปกติที่อัตราการแช่แข็งที่แตกต่างกันมีผลโดยตรงต่อความสมบูรณ์ของโครงสร้างภายในชิ้นอาหาร (Fennema, Powrie และ Marth, 1973) ซึ่งน่าจะมีผลกระทบต่อสีและการอมน้ำมันของผลิตภัณฑ์ แต่ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสที่ไม่แตกต่าง คาดว่าเกิดจากการที่ความแตกต่างที่เกิดขึ้นมีไม่มากพอที่จะทำให้ผู้ทดสอบสามารถตรวจพบได้ แต่ผลิตภัณฑ์ที่แช่แข็งที่ -30°C มีคะแนนด้านความกรอบและการยอมรับรวมต่ำสุด ($p \leq 0.05$) ซึ่งสาเหตุที่เป็นเช่นนี้น่าจะเป็นผลจากการแช่แข็งที่ -30°C มีอัตราการแช่แข็งช้าที่สุดดังนั้นจึงน่าจะเป็นไปได้ที่ขนาดของผลึกน้ำแข็งในผลิตภัณฑ์ที่แช่แข็งที่อุณหภูมิ -30°C มีขนาดใหญ่กว่าผลึกน้ำแข็งในผลิตภัณฑ์ที่แช่แข็งที่อุณหภูมิ -40° และ -50°C การเกิดผลึกน้ำแข็งขนาดใหญ่มีผลให้น้ำที่ละลายออกมาขณะให้ความร้อนมีปริมาณมาก ทำให้ชั้นแป้งชุบทอดมีความชื้นมากขึ้นจึงส่งผลต่อเนื้อสัมผัสของ ผลิตภัณฑ์ทำให้ผลิตภัณฑ์มีคะแนนความกรอบลดลง ซึ่งส่งผลต่อคะแนนการยอมรับรวมของผลิตภัณฑ์ทำให้คะแนนการยอมรับรวมลดลงเช่นกัน นอกจากนี้เป็นที่น่าสังเกตว่าผลิตภัณฑ์ที่แช่แข็งที่อุณหภูมิ -40° และ -50°C มีการเสียน้ำหนักจากการให้ความร้อน และมีคะแนนความกรอบและการยอมรับรวมที่ดีกว่าผลิตภัณฑ์ที่แช่แข็งที่อุณหภูมิ -30°C ทั้งนี้ Fellow (1990) พบว่า ช่วงอุณหภูมิ 0 ถึง -5°C เป็นช่วงที่เรียกว่า ช่วงวิกฤต (critical zone) สำหรับการแช่แข็งอาหารทั่วไป โดยถ้าผลิตภัณฑ์มีระยะเวลาอยู่ในช่วงวิกฤตมากจะมีผลทำให้จำนวนผลึกน้ำแข็งในอาหารน้อยและมีขนาดใหญ่ เมื่อสังเกตกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาในการแช่แข็งของหอมใหญ่ชุบแป้งทอด (รูปที่ 4.3) จะเห็นว่าระยะเวลาที่อยู่ในช่วงวิกฤตของการแช่แข็งที่อุณหภูมิ -40° และ -50°C ใกล้เคียงกันและน้อยกว่าการแช่แข็งที่อุณหภูมิ -30°C ดังนั้นขนาดของผลึกน้ำแข็งในผลิตภัณฑ์ที่แช่แข็งที่อุณหภูมิ -40° และ -50°C น่าจะมีขนาดใกล้เคียงกัน และเล็กกว่าผลึกน้ำแข็งในผลิตภัณฑ์ที่แช่แข็งที่อุณหภูมิ -30°C จึงทำให้คุณภาพด้านต่างๆ ของ ผลิตภัณฑ์มีลักษณะใกล้เคียงกัน

<u>ปลาหมึก</u>

การเลือกแปรอุณหภูมิในการแช่แข็งผลิตภัณฑ์ปลาหมึกชุบแป้งทอดนั้นได้เลือกที่อุณหภูมิต่ำกว่า -60°C ทั้งนี้เนื่องจากผลของการทดลองเบื้องต้นพบว่าเมื่อใช้อุณหภูมิตั้งแต่ -60°C ขึ้นไป อัตราการแช่แข็งจะช้ามากทำให้ผลิตภัณฑ์มีคุณภาพไม่ดี (Fennema, 1975) ส่วนที่อุณหภูมิต่ำกว่า -90°C เกิดรอยแตกที่ผิวผลิตภัณฑ์ซึ่งปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นนี้อธิบายได้เช่นเดียวกับที่เกิดในหอมใหญ่แต่หอมใหญ่จะเกิดได้ที่อุณหภูมิสูงกว่า -60°C ทั้งนี้เนื่องจากลักษณะโครงสร้างเนื้อเยื่อของหอมใหญ่ประกอบด้วยเซลพาเรนไคมา มีผนังเซลบางยาว มีรูปร่างหลายเหลี่ยมหรือเป็นสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ เรียงตัวกันอย่างหลวมๆ โดยมีช่องอากาศคั่นกลางอยู่ระหว่างเซล (Luh และ Woodroof, 1988) ขณะที่

เนื้อเยื่อของปลาหมึกประกอบด้วยเนื้อเยื่อกล้ามเนื้อ หรือเส้นใยกล้ามเนื้อและเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน ซึ่งไม่มีช่องว่างระหว่างเซลที่ต่อเนื่องเป็นทางยาวให้น้ำแพร่ผ่าน และน้ำที่อยู่ในเนื้อเยื่อของปลาหมึก จะมีส่วนที่เป็นน้ำอิสระและน้ำที่สร้างพันธะไอออนิกกับโมเลกุลโปรตีน (Van Arsdel และ Copley, 1963)จากลักษณะของเนื้อเยื่อที่แตกต่างกันและปริมาณความชื้นเริ่มต้นที่วัดได้ (ตารางที่ 4.1) จะเห็นได้ว่า น้ำในเนื้อเยื่อของหอมใหญ่มีโอกาศที่จะเกิดการเปลี่ยนสถานะเป็นของแข็งและขยายตัวส่งผลให้เกิดแรงดันต่อชิ้นแป้งทอดได้เร็วกว่าน้ำในเนื้อเยื่อปลาหมึก ทำให้เกิดรอยแตกที่ผิวของผลิตภัณฑ์หอมใหญ่ชุบแป้งทอดที่อุณหภูมิสูงกว่าผลิตภัณฑ์ปลาหมึกชุบแป้งทอด ดังนั้นจึงแปรอุณหภูมิในการแช่แข็งผลิตภัณฑ์ปลาหมึกชุบแป้งทอดเป็น -70°,-80° และ -90°C จากผลการทดลองเมื่อลดอุณหภูมิในการแช่แข็งลงเวลาที่ใช้ในการแช่แข็งจนทำให้อุณหภูมิภายในของผลิตภัณฑ์เป็น -18°C จะลดลง (ตารางที่4.41)

ผลิตภัณฑ์ที่แช่แข็งทั้ง 3 อุณหภูมิ มีการเสียน้ำหนักหลังแช่แข็งและจากการให้ความร้อนไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) ในส่วนของการเสียน้ำหนักหลังแช่แข็งอธิบายได้เช่นเดียวกับที่เกิดขึ้นในหอมใหญ่ สำหรับค่าการเสียน้ำหนักจากการให้ความร้อนเมื่อพิจารณาเวลาที่ใช้ในการแช่แข็ง (ตารางที่ 4.41) จะเห็นได้ว่าเวลาที่ใช้ในการแช่แข็งของทั้ง 3 อุณหภูมิใกล้เคียงกัน ทั้งนี้อาจเป็นเพราะว่าการที่ผลิตภัณฑ์ปลาหมึกชุบแป้งทอดสามารถทนอุณหภูมิแช่แข็งที่ต่ำกว่าผลิตภัณฑ์หอมใหญ่ชุบแป้งทอด ซึ่งอุณหภูมิแช่แข็งที่ต่ำกว่า - 60°C จะทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนได้อย่างรวดเร็ว อัตราเร็วในการแช่แข็งสูง (Sebranek, 1982) เนื่องจากอุณหภูมิสูงสุดในการแช่แข็งสำหรับปลาหมึกชุบแป้งทอดคือ -70°C ยังเป็นอุณหภูมิที่ต่ำมากจนน้ำในผลิตภัณฑ์สามารถแข็งตัวได้อย่างรวดเร็ว ดังนั้นเวลาในการแช่แข็งจึงไม่ต่างกันมากระหว่าง -70 °, -80° และ -90°C ในทางกลับกันอุณหภูมิสูงสุดในการแช่แข็งหอมใหญ่ชุบแป้งทอดคือ -30°C เป็นอุณหภูมิที่ให้อัตราเร็วในการแช่แข็งต่ำ ดังนั้นเวลาในการแช่แข็งหอมใหญ่ชุบแป้งทอดจึงแตกต่างกันระหว่าง -30° กับ -40° และ -50°C

ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์พบว่าผลิตภัณฑ์ซึ่งแช่แข็งที่ -70 °, -80° และ -90°C มีคะแนนในทุกด้านไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) ซึ่งเป็นผลมาจากอัตราการแช่แข็งของผลิตภัณฑ์ที่ทั้งสามอุณหภูมิมีค่าใกล้เคียงกัน ดังนั้นจึงพิจารณาที่เวลาในการแช่แข็งโดยเลือกที่อุณหภูมิ -90°C เนื่องจากใช้เวลาน้อยที่สุด

5.4.2.2 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพระหว่างเก็บที่ภาวะเยือกแข็ง

การเปลี่ยนแปลงคุณภาพระหว่างเก็บหอมใหญ่และปลาหมึกชุบแป้งทอดเสริมรำสกัดไขมัน เกิดจากปฏิกิริยาทางเคมี ทางกายภาพ และเอนไซม์ การเปลี่ยนแปลงทางเคมีและเอนไซม์ที่พบในผลิตภัณฑ์อาหารทอดแช่แข็งก็คือการเกิดกลิ่นหืนของผลิตภัณฑ์ซึ่งมีสาเหตุมาจากปฏิกิริยา 2 ชนิดคือ ลิโปไลซิส (lipolysis) เป็นปฏิกิริยาของเอนไซม์ไลเปสที่มาจากจุลินทรีย์ที่เจริญช่วงก่อนการแช่แข็ง ซึ่งจะไฮโดรไลส์กลีเซอร์ไรด์เกิดเป็นกลีเซอรอลและกรดไขมันอิสระ ส่วนปฏิกิริยาชนิดที่ 2 คือปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดไขมันอิสระซึ่งจะถูกเร่งด้วยโปรออกซิแดนท์ (prooxidants) ทำให้เกิดสารประกอบสุดท้ายคืออัลดีไฮด์และคีโตน ที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงกลิ่นรสของผลิตภัณฑ์ (Allen และ Hamilton, 1994) วิธีที่นิยมใช้ในการตรวจสอบกลิ่นรสหืน ได้แก่การวัดค่า TBA ซึ่งเป็นการวัดโดยเทียบจากระดับของอัลดีไฮด์ที่มีอยู่ในผลิตภัณฑ์โดย TBA จะทำปฏิกิริยากับมาลอนอัลดีไฮด์ (malonaldehyde) ให้สารสีแดงที่วัดโดยใช้เครื่องสเปคโตรโฟโตมิเตอร์ ส่วนการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของผลิตภัณฑ์เช่นการเปลี่ยนสีของผลิตภัณฑ์ระหว่างการเก็บ ซึ่งเกิดจากมีการระเหยของน้ำที่ผิวหน้าของชิ้นผลิตภัณฑ์ทำให้เกิดรอยไหม้จากการแช่แข็ง (freezer burn) ทำให้ผลิตภัณฑ์มีสีเข้มขึ้น นอกจากนี้เนื้อสัมผัสบริเวณที่เกิดรอยไหม้จากการแช่แข็งจะแห้งและเหนียว (Frazier และ Westhoff, 1988)

ขั้นตอนนี้จึงศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพระหว่างเก็บผลิตภัณฑ์โดยผลิตหอมใหญ่และปลาหมึกชุบแป้งทอดเสริมรำสกัดไขมันแช่แข็งตามภาวะที่สรุปได้จากข้อ 5.4.2.1 บรรจุผลิตภัณฑ์หอมใหญ่และปลาหมึกในถุงพลาสติก NY/L-LDPE ปิดผนึกที่ภาวะสุญญากาศ เก็บตัวอย่างที่ -18 °C เป็นเวลา 12 สัปดาห์ ระหว่างเก็บสุ่มตัวอย่างทุก 3 สัปดาห์ วิเคราะห์ค่า TBA ปริมาณแบคทีเรีย รา และทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านสี ความกรอบ ความรู้สึกเมื่อเคี้ยวแป้งและกลืน การอมน้ำมัน และการยอมรับรวม ผลการทดลองสำหรับหอมใหญ่แสดงดังรูปที่ 4.5-4.7 และภาคผนวก ค ตารางที่ ค.27-ค.30 ปลาหมึกแสดงดังรูปที่ 4.8-4.10 และภาคผนวก ค ตารางที่ ค.31-ค.34

ผลการวิเคราะห์พบว่าผลิตภัณฑ์ทั้งสองชนิดมีผลการทดลองไปในทางเดียวกัน จึงอธิบายผลที่เกิดขึ้นไปพร้อมกันผลการวิเคราะห์ค่า TBA ซึ่งแสดงถึงการเกิดกลิ่นหืนของผลิตภัณฑ์พบว่าเมื่อเก็บเป็นระยะเวลานานขึ้น ค่า TBA ของผลิตภัณฑ์จะเพิ่มขึ้น ($p \leq 0.05$) เหตุที่เป็นเช่นนี้เพราะว่าน้ำมันที่มีในผลิตภัณฑ์ทำปฏิกิริยากับออกซิเจนที่อาจจะซึมผ่านภาชนะบรรจุซึ่งมีค่า WVTR = 8 g/m^2/day อุณหภูมิ 37 °C 90% RH มีค่า OTR = 32 cm^3/m^2/day อุณหภูมิ 25 °C 0% RH (บริษัท สดรองแพค จำกัด มหาชน) แต่ค่า TBA ที่วัดได้มีค่าเพิ่มขึ้นจาก 0.13-0.30 และ 0.19-0.40 mg/kg ($p \leq 0.05$) สำหรับหอมหัวใหญ่และปลาหมึกตามลำดับ แต่ผู้บริโภคยังยอมรับผลิตภัณฑ์อยู่ ทั้งนี้เพราะค่า TBA ที่

ได้มีค่าไม่สูงมาก เนื่องจากภาชนะบรรจุที่ใช้ประกอบด้วย NY มีสมบัติในการป้องกันการซึมผ่านของไขมัน น้ำมัน น้ำ และก๊าซ ได้ดีมาก โดยมีค่า WVTR 63-340 g/m^2/day อุณหภูมิ 37°C 90%RH และ OTR 40-1400 cm^3/m^2/day อุณหภูมิ 25 °C 50%RH แต่ NY เมื่อโดนน้ำจะทำให้สมบัติด้านการซึมผ่านออกซิเจนเปลี่ยนไปโดยจะเพิ่มสูงขึ้น ดังนั้นการลามิเนทด้วย L-LDPE จะช่วยให้ออกซิเจนซึมผ่านได้น้อยลง เพราะ L-LDPE มีสมบัติในการป้องกันการซึมผ่านของไอน้ำได้ดี(WVTR 16-24 g/m^2/day อุณหภูมิ 37°C 90%RH) มีความยืดหยุ่นสูงและสามารถเชื่อมติดได้ดีด้วยความร้อน (Frank, 1992) ดังนั้นค่า TBA ที่เพิ่มขึ้นจึงไม่สูงมาก นอกจากนี้การบรรจุที่ภาวะสุญญากาศและการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -18°C ก็มีส่วนช่วยในการชลอการเกิดปฏิกิริยา

ผลการวิเคราะห์ปริมาณแบคทีเรียและรา พบว่าเมื่อระยะเวลาในการเก็บเพิ่มขึ้น ปริมาณแบคทีเรียและราจะลดลง ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อผลิตภัณฑ์ผ่านการแช่แข็ง แบคทีเรียและราบางส่วนถูกทำลาย แต่บางส่วนยังคงเหลืออยู่ แต่อยู่ในสภาพอ่อนแอ ดังนั้นเมื่อเก็บในภาวะแช่แข็ง ซึ่งเป็นภาวะที่ไม่เหมาะสมสำหรับการเจริญของแบคทีเรียและรา เนื่องจากระหว่างการเก็บในภาวะเยือกแข็งการเคลื่อนย้ายของผลึกน้ำแข็งเกิดเป็นผลึกใหม่ขนาดใหญ่ทำให้ความเข้มข้นภายในเซลจุลินทรีย์เปลี่ยนแปลง ทำให้โปรตีนของเซลและผนังเซลของจุลินทรีย์เสื่อมสภาพ (Daudin, 1992) แบคทีเรียและราที่เหลืออยู่จึงอ่อนแอลงและค่อยๆถูกทำลายไปเมื่อระยะเวลาในการเก็บนานขึ้น จากปริมาณแบคทีเรียและราที่ตรวจพบในสัปดาห์ที่ 12 มีค่าต่ำกว่า 300 โคโลนี/กรัม ซึ่งเมื่อเทียบกับปริมาณจุลินทรีย์ที่ยอมให้มีได้ในผลิตภัณฑ์ปลาชุบขนมปังทอดแช่แข็งคือ 2.5 X 10^4 โคโลนี/กรัม (ICMSF, 1974) จะเห็นได้ว่า ผลิตภัณฑ์หอมใหญ่และปลาหมึกชุบแป้งทอดเสริมรำสกัดไขมันมีปริมาณจุลินทรีย์ต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานดังกล่าว

ผลการวิเคราะห์คะแนนทางประสาทสัมผัส พบว่าผลิตภัณฑ์ทั้ง 2 ชนิด เมื่อเก็บเป็นระยะเวลา 4 เดือน คะแนนความกรอบและการยอมรับรวมของผลิตภัณฑ์ลดลง ($p \leq 0.05$) แต่ก็ยังอยู่ในเกณฑ์ยอมรับได้ส่วนคะแนนด้านอื่นไม่มีความแตกต่างกัน ($p > 0.05$) สาเหตุที่เป็นเช่นนี้ Reid (1993) ได้อธิบายว่า ธรรมชาติของผลึกน้ำแข็งจะไม่เสถียร เมื่อเก็บเป็นระยะเวลานานจะเกิดการรวมตัวกันเป็นผลึกขนาดใหญ่ได้ เรียกปรากฏการณ์นี้ว่า Oswald ripening นอกจากนี้การเกิด retrogradation ของแป้งชุบทอดที่เกิดจากโมเลกุลของอะไมโลสสามารถจับกันเองใหม่หรือจับกับโมเลกุลของอะไมโลเพคติน ด้วยพันธะไฮโดรเจน มีผลทำให้สูญเสียโมเลกุลของน้ำที่เคยจับอยู่กับอะไมโลสและอะไมโลเพคติน และน้ำที่ปลดปล่อยออกมานี้ทำให้เกิดผลึกน้ำแข็งใหม่ที่มีขนาดใหญ่ขึ้น (Jeremiah,1995)โดยผลึกขนาดใหญ่นี้มีผลทำให้น้ำที่ละลายออกมาขณะให้ความร้อนมีปริมาณมากจึงส่งผลต่อเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ (Frazier และ Westhoff, 1988) ทำให้ความกรอบของผลิตภัณฑ์ลดลง ส่วนคะแนนการยอมรับรวมก็เป็นผลมาจากคะแนนความกรอบจึงมีคะแนนลดลงด้วยเช่นกัน