บทที่ 5

วิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 <u>สมบัติทางกายภาพของสารละลายฟิล์มและสมบัติของผลิตภัณฑ์ปลาเส้นที่ชุบเคลือบด้วยสารละลายฟิล์ม</u>

ขั้นตอนนี้ทดลองเพื่อหาสูตรสารละลายฟิล์มที่เหมาะสมในการเคลือบปลาแผ่นอบแห้งก่อนการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ปลาเส้นเพื่อใช้ในการทดลองขั้นต่อไป การพิจารณาเลือกใช้ฟิล์มเคลือบบริโภคได้ เนื่องจากมีรายงานว่าฟิล์มเคลือบบริโภคได้เป็นวัสดุชั้นบางใช้เคลือบหรือห่อหุ้มผลิตภัณฑ์อาหาร จะทำหน้าที่คล้ายผิวอีกชั้นหนึ่ง ช่วยชะลอการซึมผ่านของไอน้ำ และป้องกันการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ (Gennadios และ Weller, 1990) จากการวิเคราะห์ขั้นตอนในกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ปลาเส้น พบว่า เนื้อปลาที่ใช้เป็นวัตถุดิบต้องสัมผัสกับความร้อนหลายขั้นตอน ตั้งแต่การขึ้นรูปเป็นแผ่นบนถาดกลิ้งร้อน การอบแห้งในตู้อบลมร้อน และการย่างด้วยแปลวไฟที่อุณหภูมิสูง ผลิตภัณฑ์มีโอกาสที่จะได้รับความร้อนเป็นเวลานานเกินไป ส่งผลให้เนื้อสัมผัสมีลักษณะแห้ง และกระด้าง เป็นปัญหาพบเสมอในขั้นตอนการผลิต ทำให้ผลผลิตที่ได้ลดลง และคุณภาพของผลิตภัณฑ์มีความไม่สม่ำเสมอ ดังนั้นจึงพิจารณาเลือกใช้ฟิล์มเคลือบบริโภคได้ในการเคลือบปลาแผ่นอบแห้ง เพื่อให้ฟิล์มทำหน้าที่คล้ายเป็นผิวอีกชั้นหนึ่งของผลิตภัณฑ์ ลดการสัมผัสกับความร้อนที่อุณหภูมิสูงของเนื้อปลา และชะลอการระเหยของไอน้ำในขณะย่าง เพื่อช่วยรักษาความชื้นของผลิตภัณฑ์ไว้ และเลือกใช้การชุบเคลือบ เพื่อให้สารเคลือบติดบนผิวปลาแผ่นอย่างสม่ำเสมอและทั่วถึง เป็นขั้นตอนที่ง่าย ไม่ต้องใช้เครื่องมือมาก และใช้ในการผลิตระดับอุตสาหกรรมได้ การเลือกชุบเคลือบปลาแผ่นอบแห้ง เนื่องจากในการผลิตระดับอุตสาหกรรม ขั้นตอนนี้เป็นกระบวนการที่ไม่ต่อเนื่อง โดยเมื่อขึ้นรูปแผ่นปลา และอบแห้งแล้ว จะมีการพักผลิตภัณฑ์ไว้ก่อนการย่างในถังสเตนเลส หรือถังพลาสติกที่มีฝาปิด อาจมีการเติมสารให้กลิ่นรสเพิ่ม (วิธีที่ใช้เป็นวิธีเฉพาะของผู้ผลิตซึ่งไม่มีการเปิดเผย) โดยในขั้นตอนนี้จะมีการปรับปริมาณความชื้นให้เพิ่มขึ้นจาก 19-22% เป็น 24-26% การพักผลิตภัณฑ์ปกติจะใช้เวลา 8-12 ชม. เพื่อให้ความชื้นกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ เมื่อย่างจะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีการพองฟู และสุกอย่างสม่ำเสมอทั่วทั้งแผ่น ดังนั้นการชุบเคลือบที่ขั้นตอนนี้ด้วยสารละลายฟิล์ม นอกจากทำได้สะดวกแล้ว ยังเป็นการเพิ่มปริมาณความชื้นให้แผ่นปลาอีกด้วย ในการทดลองได้เคลือบสารละลายฟิล์มบนผิวของแผ่นปลาแล้วทำให้แห้ง โดยการผึ่งที่อุณหภูมิ 27-31 องศาเซลเซียส เป็นเวลาประมาณ 2-3 ชั่วโมง เพื่อปรับให้ปริมาณความชื้นของปลาแผ่นเป็น 24-26 % จากนั้นพักผลิตภัณฑ์ไว้ 16-18 ชม. การที่ต้องพักผลิตภัณฑ์ไว้เป็นเวลานานกว่าการผลิตในระดับอุตสาหกรรม เนื่องจากเป็นเวลาที่สะดวกในการทดลอง สารละลายฟิล์มบนผิวของปลาแผ่นจะแห้งพอที่จะสัมผัสด้วยมือได้ แม้ยังมีลักษณะชื้น ชั้นฟิล์มจะเกิดในขั้นตอนการย่าง ซึ่งเป็นการทำให้ฟิล์มแห้งเคลือบติดบนผิวของผลิตภัณฑ์

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อพัฒนาฟิล์มเคลือบบริโภคได้ชนิดฟิล์มประกอบสำหรับเคลือบผลิตภัณฑ์ปลาเส้น ทั้งนี้เนื่องจากมีรายงานว่า ฟิล์มประกอบมีสมบัติในการป้องกัน และการใช้งานได้ดีกว่าฟิล์มเดี่ยว (Donhowe และ Fennema, 1994; McHugh, 1996) ในงานวิจัยได้เลือกใช้ CMC เป็นส่วนของพอลิแซ็คคาไรด์ เนื่องจากมีสมบัติเป็นสารให้ความข้นหนืด และความคงตัว (Nisperos-Carriedo, 1994) โซเดียมเคซีเนตเป็นส่วนของโปรตีน เนื่องจากมีสมบัติในการเชื่อมแน่น และการเกาะติดดี ละลายในน้ำได้ มีคุณค่าทางโภชนาการสูง และเป็นสารอิมัลซิไฟเออร์ (Gennadios และคณะ, 1994) และไมวาเซ็ต®5-07 เป็นส่วนของไขมัน เนื่องจากมีจุดหลอมเหลวไม่สูงมากนัก ประมาณ 41-46 องศาเซลเซียส เหมาะที่จะใช้ร่วมกับโซเดียมเคซีเนต และ CMC และมีสมบัติเป็นสารพลาสติไซเซอร์เพิ่มความโค้งงอได้ของฟิล์ม (Kester และ Fennema, 1989) โดยเตรียมในรูปสารละลายฟิล์มอิมัลชัน เนื่องจากสะดวกในการใช้งานมากกว่าฟิล์มสองชั้น ซึ่งการเตรียมฟิล์มสองชั้นจะเคลือบชั้นแรกด้วยชั้นของพอลิแซ็คคาไรด์ และโปรตีนก่อน จากนั้นจึงเคลือบทับด้วยชั้นของไขมัน (McHugh, 1996) จะเป็นการเพิ่มขั้นตอนในการผลิตมากกว่าการใช้ฟิล์มอิมัลชัน การทดลองแบ่งเป็น 4 ขั้นตอนหลัก คือ ศึกษาฟิล์มจาก CMC ฟิล์มจากโซเดียมเคซีเนต ฟิล์มประกอบจากโซเดียมเคซีเนต-ไมวาเซ็ต®5-07 และฟิล์มประกอบจากโซเดียมเคซีเนต-ไมวาเซ็ต®5-07-CMC การที่ไม่ศึกษาสารทั้งสามชนิดร่วมกันทันที (โดยใช้ Mixture Design) เนื่องจาก CMC และโซเดียมเคซีเนตมีสมบัติทางการไหลแตกต่างกันมาก ซึ่งสารละลาย CMC ที่ใช้ในงานวิจัยเป็นชนิดที่มีความหนืดปรากฏสูง มีค่าความหนืดปรากฏประมาณ 913 มิลลิปาสคาล.วินาที ที่ความเข้มข้น 1%โดยน้ำหนัก ขณะที่โซเดียมเคซีเนตมีความหนืดปรากฏต่ำมากที่ความเข้มข้นต่ำกว่า 10%โดยน้ำหนัก มีค่าความหนืดปรากฏในช่วง 1.91-23.67 มิลลิปาสคาล.วินาที และมีความหนืดปรากฏสูงมากขึ้นอย่างชัดเจน ที่ความเข้มข้น 10% โดยมีค่าประมาณ 741 มิลลิปาสคาล.วินาที และถ้าใช้ความเข้มข้นสูงกว่า 10 % สารละลายจะเกิดเป็นเจล โดยมีลักษณะเป็นก้อน และเหนียวใช้ชุบเคลือบไม่ได้ ดังนั้นสารทั้งสองชนิดนี้ไม่เหมาะที่จะใช้ร่วมกันโดยตรง เพราะไม่ทราบสัดส่วนพอเหมาะที่จะทำให้ได้สารละลายฟิล์มที่มีสมบัติการใช้งานตามต้องการ นอกจากนั้นต้องพิจารณาถึง สมบัติของฟิล์มเดี่ยวๆ ที่จะส่งผลต่อสมบัติ หรือลักษณะของผลิตภัณฑ์ปลาเส้น เพราะในงานวิจัยนี้จะเคลือบ และขึ้นรูปแผ่นฟิล์มบนผิวของผลิตภัณฑ์โดยตรง การศึกษาผลของการใช้โซเดียมเคซีเนตร่วมกับไมวาเซ็ต®5-07 ในรูปอิมัลชันก่อนผสมกับ CMC เพราะจากรายงานของ Bustillos และ Krochta (1993) ซึ่งผลิตฟิล์มอิมัลชันจากโซเดียมเคซีเนต-ไมวาเซ็ต®5-07 ได้สรุปไว้ว่า การเพิ่มปริมาณไมวาเซ็ต®5-07 ในฟิล์ม ช่วยเพิ่มสมบัติในการป้องกันการซึมของไอน้ำผ่านฟิล์ม แต่ในงานดังกล่าว ผู้วิจัยไม่ได้ศึกษาสมบัติด้านความหนืดปรากฏ และการยึดติดบนผิวผลิตภัณฑ์ ดังนั้นจึงได้ศึกษาเพิ่มเติม และใช้ชุบเคลือบผลิตภัณฑ์ในงานวิจัยนี้ เพื่อขยายผลไปถึงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ปลาเส้นที่เคลือบด้วยฟิล์มชนิดนี้ และในส่วนสุดท้ายของการพัฒนาฟิล์ม ได้ใช้สารทั้งสามชนิดร่วมกัน จากการตั้งสมมติฐานว่า การใช้สารทั้งสามชนิดร่วมกันจะช่วยเพิ่มสมบัติการป้องกันการซึมผ่านของไอน้ำ และเพิ่มสักยภาพด้านการใช้งานของฟิล์มประกอบที่ได้ นอกจากนั้นยังไม่เคยมีรายงานถึง การผลิตฟิล์มประกอบจากโซเดียมเคซีเนต-ไมวาเซ็ต®5-07-CMC

มาก่อนเลย ซึ่งจากการค้นคว้าข้อมูลเบื้องต้น พบว่า สารทั้งสามชนิดนี้ใช้ร่วมกันได้ในรูปของอิมัลชัน โดย CMC ช่วยเพิ่มความข้นหนืด และความคงตัวให้อิมัลชัน และเป็นโครงสร้างหลักของฟิล์ม ขณะที่ โซเดียมเคซีเนตทำหน้าที่เป็นสารอิมัลซิไฟเออร์ และโครงสร้างหลักของฟิล์ม ส่วนไมวาแซ็ด® 5-07 เป็นส่วนของไขมันช่วยเพิ่มสมบัติการป้องกันการซึมผ่านของไอน้ำของฟิล์ม

4.1.1 <u>สมบัติทางกายภาพของสารละลายฟิล์ม CMC และสมบัติของผลิตภัณฑ์ปลาเส้นที่ชุบเคลือบด้วยสารละลายฟิล์ม CMC</u>

การทดลองศึกษาสมบัติทางกายภาพของสารละลายฟิล์มแทนสมบัติของฟิล์ม เนื่องจากในงานวิจัยนี้จะใช้ในรูปสารละลายฟิล์ม และขึ้นรูปแผ่นฟิล์มบนผิวของผลิตภัณฑ์ ดังนั้นสมบัติที่สำคัญคือ สมบัติการยึดติดบนผิวของผลิตภัณฑ์ หรือแทนด้วยค่าน้ำหนักที่ชุบติดต่อหน่วยพื้นที่ ซึ่งหาได้จากการชั่งน้ำหนักของสารละลายฟิล์มก่อน และหลังการชุบเคลือบปลาแผ่น และหลังการชุบเคลือบจะกำจัดสารละลายฟิล์มส่วนเกินออกที่เวลาคงที่ และควบคุมอุณหภูมิขณะชุบที่ 26 องศาเซลเซียส ทั้งนี้เนื่องจากความหนืดปรากฏของสารละลายฟิล์มขึ้นกับอุณหภูมิ สารละลายฟิล์มจะมีความหนืดปรากฏสูงขึ้นที่อุณหภูมิต่ำ และจะมีค่าลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น นอกจากนี้สมบัติทางกายภาพของฟิล์มในด้านการป้องกันการซึมผ่านของไอน้ำและแก๊ส ความทนแรงดึง ความยืดตัว และมอดุลัส ขึ้นกับชั้นของฟิล์มที่ยึดติดบนผิวผลิตภัณฑ์นั้น จึงเลือกชนิดของฟิล์มจากสมบัติทางกายภาพของแผ่นฟิล์มไม่ได้ เนื่องจากยังไม่ทราบสมบัติการยึดติดบนผิวของผลิตภัณฑ์ ด้วยเหตุนี้จึงต้องศึกษาทั้งในลักษณะที่เป็นสารละลาย และเป็นชั้นฟิล์มบนผิวของผลิตภัณฑ์ที่จะใช้เคลือบจริง

4.1.1.1 <u>สมบัติทางกายภาพของสารละลายฟิล์ม CMC</u>

ผลการวัดความหนืดปรากฏ และน้ำหนักที่ชุบติดต่อหน่วยพื้นที่ แสดงในตารางที่ 4.1 และ 4.2

จากผลการทดลอง พบอิทธิพลของความเข้มข้น CMC ต่อค่าความหนืดปรากฏ ($p \leq 0.05$) โดยสารละลายฟิล์มจาก CMC มีความหนืดปรากฏในช่วง 36.90-913.49 มิลลิปาสคาล.วินาที ที่ความเข้มข้น 0.2-1 % โดยน้ำหนัก สารละลายฟิล์มที่ได้มีลักษณะใส ไม่มีสี และเป็นเนื้อเดียวกัน เมื่อพิจารณาผลของความเข้มข้นกับความหนืดปรากฏ แสดงให้เห็นว่า สารละลาย CMC มีความหนืดปรากฏสูงขึ้น เมื่อความเข้มข้นเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจาก CMC เป็นพอลิเมอร์ที่เกิดการพองตัว และอุ้มน้ำไว้ได้มาก (hydrated polymer) เมื่อเตรียมเป็นสารละลาย จะเกิดการเชื่อมพันระหว่างกับน้ำ มีการดึงน้ำเข้ามาเก็บไว้ในโมเลกุลมาก เมื่อเพิ่มความเข้มข้นขึ้น โมเลกุลจะเคลื่อนที่เข้ามาชิดกัน เกิดการพันกันของสายโซ่โมเลกุลเป็นโครงสร้างตาข่าย เป็นการพันกันทางกายภาพ (chain entanglement) ทำให้สายโซ่โมเลกุลเคลื่อนที่ได้จำกัด ร่วมกับการดึงน้ำเข้ามาไว้ในโมเลกุล ทำให้การต้านการไหล หรือความหนืดปรากฏเพิ่มขึ้น (Fedderson และ Thorp, 1993) และพบอิทธิพลของความเข้มข้น CMC ต่อน้ำหนักที่ชุบติดต่อหน่วยพื้นที่ ($p \leq 0.05$) โดยน้ำหนักของสารละลายฟิล์มที่ชุบติดจะแปรตามความเข้มข้นของ CMC แสดงว่า เมื่อความ

หนืดปรากฏสูงขึ้น สารละลายฟิล์มจะยึดเกาะที่ผิวของผลิตภัณฑ์ได้มากขึ้น ทั้งนี้อาจเนื่องจากว่า เมื่อความเข้มข้นเพิ่มขึ้น โมเลกุลที่กระจายตัวในน้ำมีโอกาสเคลื่อนที่มาชิดกันมากขึ้น ทำให้เกิดการพันกันของสายโซ่โมเลกุล ได้เป็นโครงสร้างตาข่ายที่แข็งแรงทำให้โมเลกุลของ CMC มีแรงยึดเหนี่ยวกันมากขึ้น ดังนั้นจึงเคลือบติดบนผิวของผลิตภัณฑ์ได้มากขึ้น จากการทดลอง พบว่า ในระหว่างการชุบเคลือบและผึ่งตัวอย่างที่ชุบเคลือบให้แห้งบนราวพลาสติก สารละลายฟิล์มจาก CMC อาจเกิดการไหลย้อยในช่วงแรกของการผึ่งให้แห้ง ต้องมีการพลิกด้าน เพื่อป้องกันการไหลย้อยออกจากแผ่นปลา จากผลการทดลองสรุปได้ว่า น้ำหนักของสารละลายฟิล์มที่ชุบติดบนผิวผลิตภัณฑ์ จะขึ้นกับความเข้มข้น หรือค่าความหนืดปรากฏของสารละลายฟิล์ม

เมื่อพิจารณาผลการหาความสัมพันธ์ของข้อมูลจากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (ตารางที่ 4.7) พบว่า ความหนืดปรากฏมีความสัมพันธ์ทางบวกกับน้ำหนักที่ชุบติดต่อหน่วยพื้นที่ ($p \leq 0.01$) แสดงว่าเมื่อความหนืดปรากฏเพิ่มมากขึ้น ทำให้น้ำหนักของสารละลายฟิล์มที่ชุบติดบนผิวผลิตภัณฑ์เพิ่มมากขึ้น ซึ่งจะสอดคล้องกับผลการทดลองที่กล่าวข้างต้น

4.1.1.2 <u>สมบัติของผลิตภัณฑ์ปลาเส้นที่ชุบเคลือบด้วยสารละลายฟิล์ม CMC</u>

ผลการวัดค่าผลผลิตจากการย่าง ปริมาณความชื้น ค่าสี (L, a*, b*) สมบัติทางกายภาพ (ความทนแรงดึง ความยืดตัว และมอดุลัส) และคะแนนทางประสาทสัมผัสแสดงในตารางที่ 4.3-4.10

จากผลการทดลอง ไม่พบอิทธิพลของความเข้มข้น CMC ต่อค่าผลผลิตจากการย่าง และปริมาณความชื้น ($p>0.05$) ทั้งนี้อาจเนื่องจาก ในงานวิจัยนี้เตรียมสารละลาย CMC ที่ความเข้มข้นต่ำ ในช่วง 0.2-1%โดยน้ำหนัก เมื่อขึ้นรูปเป็นแผ่นฟิล์มบนแผ่นอะคริลิกจะได้ฟิล์มที่มีลักษณะบางมาก พิจารณาได้จากลักษณะปรากฏของแผ่นฟิล์มที่ขึ้นรูปบนแผ่นอะคริลิก (ตารางที่ ฉ.1 ในภาคผนวก ฉ) โดยฟิล์มมีลักษณะใส และบาง ดังนั้นน้ำหนักของฟิล์มที่เคลือบติดบนผิวผลิตภัณฑ์อาจมีค่าน้อยมาก ส่งผลให้ค่าผลผลิตของผลิตภัณฑ์ไม่เพิ่มขึ้น การที่ปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์ไม่เพิ่มขึ้น แสดงว่า ชั้นของฟิล์มที่เคลือบบนผิวผลิตภัณฑ์ยอมให้น้ำระเหยผ่านไปได้ ในระหว่างการย่าง อาจเนื่องจาก CMC มีสมบัติที่ชอบน้ำ (Feddersen และ Thorp, 1993) มีการอธิบายโดย Elson และคณะ (1985) ว่า ถ้าฟิล์มจากพอลิแซ็คคาไรด์สัมผัสกับความชื้น โครงสร้างฟิล์มซึ่งเป็นพอลิเมอร์ที่ชอบน้ำจะเกิดการดูดซับน้ำ ไอน้ำจึงระเหยออกไปได้

ผลการทดลองที่ได้จะสอดคล้องกับการหาความสัมพันธ์ของข้อมูล (ตารางที่ 4.7) ไม่พบความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักที่ชุบติดต่อหน่วยพื้นที่กับค่าผลผลิตจากการย่าง และปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์ แสดงว่า การเพิ่มขึ้นของสารละลายฟิล์มบนผิวของผลิตภัณฑ์ ไม่มีผลต่อค่าผลผลิตจากการย่าง และปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์

จากผลการทดลอง (ตารางที่ 4.4) ไม่พบอิทธิพลของความเข้มข้น CMC ต่อค่าความสว่าง (L) ค่าสีแดง (a*) และสีเหลือง (b*) ของผลิตภัณฑ์ปลาเส้น ($p>0.05$) ทั้งนี้เนื่องจาก ชั้นฟิล์มของ CMC มีลักษณะใส และบางมาก ดังนั้นจึงไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงของค่าสี (L, a*, b*) ของผลิตภัณฑ์ ขณะที่การหาความสัมพันธ์ของข้อมูล พบความสัมพันธ์ทางลบของน้ำหนักที่ชุบติดกับค่าสีเหลืองของผลิตภัณฑ์ ($p\leq0.05$) แต่เมื่อพิจารณาจากค่าเฉลี่ยแล้วพบว่า ค่าสีเหลืองแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ ดังนั้นสรุปได้ว่า สารละลายฟิล์มที่ชุบติดไม่มีผลต่อค่าสีของผลิตภัณฑ์

จากผลการทดลอง (ตารางที่ 4.5) พบอิทธิพลของความเข้มข้น CMC ผลต่อค่าความทนแรงดึง ความยืดตัว และมอดุลัสของผลิตภัณฑ์ปลาเส้น ($p\leq0.05$) โดยค่าความทนแรงดึง ความยืดตัว และมอดุลัสของผลิตภัณฑ์มีค่าแกว่งขึ้นลง ไม่แปรตามความเข้มข้นของ CMC ขณะที่ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัส พบว่า ความเข้มข้นของ CMC มีอิทธิพลต่อการพองฟู ลักษณะสี กลิ่น เนื้อสัมผัส และความชอบรวมของผลิตภัณฑ์ปลาเส้น ($p\leq0.05$) เมื่อพิจารณาค่าความทนแรงดึง ความยืดตัว และมอดุลัสร่วมกับคะแนนการพองฟู และคะแนนเนื้อสัมผัส พบว่า ผลิตภัณฑ์ปลาเส้นที่เคลือบด้วยฟิล์มจากสารละลาย CMC เข้มข้น 0.4-1.0 % มีการพองฟูเพิ่มขึ้น (ตารางที่ 4.6) อธิบายได้โดยอ้างอิงรายงานของ Aitken และ Connell (1979) อธิบายถึง ผลของความร้อนที่มีต่อผลิตภัณฑ์อาหารว่า เมื่อความร้อนกระจายสู่ผลิตภัณฑ์ น้ำที่มีในผลิตภัณฑ์จะเกิดการเดือด และระเหยการเป็นไอ สตาร์ชเกิดการพองตัว และส่วนผสมเกิดการขยายตัวเนื่องจากแรงดันของไอน้ำที่พยายามจะระเหยออกไปจากผลิตภัณฑ์ สำหรับผลิตภัณฑ์ที่ชุบเคลือบด้วยสารละลายฟิล์ม เมื่อย่างผลิตภัณฑ์ สารละลายฟิล์มที่เคลือบอยู่จะเกิดเป็นชั้นฟิล์มคล้ายผิวอีกชั้นหนึ่งของผลิตภัณฑ์ ถึงแม้ว่าจะไม่ช่วยกันการซึมผ่านของไอน้ำออกจากฟิล์ม ดังเหตุผลที่กล่าวข้างต้น แต่ชั้นฟิล์มอาจทำให้ไอน้ำระเหยออกไปได้ยากขึ้น ดังนั้นจึงเกิดแรงดันไอมากขึ้น ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์เกิดการโป่งพอง จากการตรวจพินิจ พบว่า การโป่งพองของผลิตภัณฑ์ปลาเส้นเกิดที่เนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์เท่านั้น โดยผลิตภัณฑ์จะพองตัวแยกออกเป็นสองชั้น เกิดเป็นจุดกระจายทั่วแผ่นปลา เมื่อตัดตัวอย่างเป็นเส้น จะเห็นช่องว่างระหว่างเนื้อของผลิตภัณฑ์อย่างชัดเจน แต่ลักษณะการพองฟูของผลิตภัณฑ์ จะเกิดไม่สม่ำเสมอทั่วทั้งแผ่น (พิจารณาได้จากรูปที่ ซ.5 ในภาคผนวก ซ) ส่งผลให้ค่าความทนแรงดึง ความยืดตัว และมอดุลัสของผลิตภัณฑ์มีค่าแกว่งขึ้นลง การวัดค่าความทนแรงดึงจะเป็นการวัดค่าความเค้นสูงสุดของตัวอย่างที่เกิดขึ้นขณะทดสอบด้วยการดึงให้ตัวอย่างขาดออกจากกัน (Gennadios และคณะ, 1994) ถ้าผลิตภัณฑ์มีบริเวณที่พองฟูมาก การประสานตัวของเนื้อสัมผัสจะลดลง เมื่อใช้แรงดึงให้ขาดออกจากกันจึงขาดแยกออกจากกันได้โดยง่าย ค่าความทนแรงดึงจึงลดลง ส่งผลต่อค่ามอดุลัสซึ่งคำนวณได้จากอัตราส่วนค่าแรงต่อพื้นที่ และค่าความยาวที่ยืดออกต่อความยาวเดิม ดังนั้นเมื่อแรงต่อพื้นที่ที่ให้ลดลง ค่ามอดุลัสจะลดลงด้วย ส่วนผลิตภัณฑ์ที่เคลือบด้วยสารละลายฟิล์ม CMC เข้มข้น 1 % มีค่าความทนแรงดึง และมอดุลัสต่ำสุด ค่าความยืดตัวสูงสุด อธิบายการเปลี่ยนแปลงของค่าความทนแรงดึง และมอดุลัสได้ดังเหตุผลที่กล่าวข้างต้น ส่วนค่าความยืดตัวที่เพิ่มขึ้น อาจเกิดเนื่องจากชั้นของฟิล์มที่เคลือบอาจมีความหนาเพิ่มขึ้น พิจารณาจากน้ำหนักของสารละลายฟิล์มที่ชุบติดเพิ่มขึ้น (ตารางที่ 4.2) ดังนั้น ชั้นฟิล์มของ CMC ที่ยึดติดบนผิวผลิตภัณฑ์อาจช่วยเพิ่มความแข็งแรงของเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ได้ ถึงแม้ว่าผลิตภัณฑ์จะมีการพองฟู และแยกชั้นออกจากกันบางส่วน มีรายงาน

สนับสนุนโดย Nisperos-Carriedo (1994) กล่าวว่า ฟิล์มจาก CMC มีลักษณะใส แข็งแรง ไม่เปราะ และโค้งงอได้ แม้ว่าในงานวิจัยนี้ ฟิล์มเคลือบอาจไม่เกิดเป็นแผ่นต่อเนื่อง เพราะการขยายตัว และโป่งพองของผลิตภัณฑ์ขณะย่างก็ตาม แต่คาดว่าเนื้อฟิล์มจะยังยึดติดบนผิวผลิตภัณฑ์เป็นบางส่วน เมื่อให้แรงทดสอบในการดึงให้ขาดออกจากกัน ผลิตภัณฑ์จะยืดตัวออกได้มากขึ้นก่อนที่จะขาด เมื่อพิจารณาร่วมกับคุณภาพทางประสาทสัมผัส (ตารางที่ 4.6) พบอิทธิพลของความเข้มข้น CMC ต่อคะแนนการพองฟู ลักษณะสี กลิ่น เนื้อสัมผัส และความชอบรวมของผลิตภัณฑ์ปลาเส้น ($p\leq0.05$) โดยที่ความเข้มข้น 0.4-1% ผลิตภัณฑ์จะมีคะแนนการพองฟู และกลิ่นเพิ่มขึ้น การที่คะแนนด้านกลิ่นเพิ่มขึ้น อาจเนื่องจาก ชั้นของฟิล์มที่เพิ่มขึ้นบนผิวของผลิตภัณฑ์ เป็นชั้นที่ไม่มีกลิ่นรส ดังนั้นอาจทำให้กลิ่นรสของผลิตภัณฑ์ถดลงได้ ส่วนคะแนนเนื้อสัมผัส และความชอบรวมของผลิตภัณฑ์ถดลงที่ความเข้มข้น CMC 1% อาจเป็นผลมาจาก สมบัติทางกายภาพด้านเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์เปลี่ยนไป และจากการหาความสัมพันธ์ของข้อมูล (ตารางที่ 4.9 และ 4.10) พบว่า มอดุลัสมีความสัมพันธ์ทางบวกกับคะแนนเนื้อสัมผัส ($p\leq0.01$) ขณะที่ความทนแรงดึงมีความสัมพันธ์ทางบวกกับมอดุลัส ($p\leq0.05$) แสดงว่า ผลิตภัณฑ์ที่มีค่ามอดุลัส และความทนแรงดึงสูง จะมีคะแนนเนื้อสัมผัสสูงด้วยเช่นกัน เมื่อพิจารณาข้อมูล (ตารางที่ 4.5 และ 4.6) พบว่า ที่ความเข้มข้น 0.2-0.8% ผลิตภัณฑ์มีคะแนนเนื้อสัมผัสสูง และพบว่า น้ำหนักที่ชุบติดมีความสัมพันธ์ทางบวกกับคะแนนการพองฟู แต่มีความสัมพันธ์ทางลบกับคะแนนเนื้อสัมผัส ($p\leq0.05$) แสดงว่า น้ำหนักของสารละลายฟิล์มที่ชุบติดมีผลต่อการพองฟูของผลิตภัณฑ์ โดยการพองฟูจะเพิ่มขึ้นเมื่อน้ำหนักที่ชุบติดเพิ่มขึ้น เมื่อพิจารณาจากความสัมพันธ์ทางบวกของคะแนนความชอบรวม และเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ ($p\leq0.05$) แสดงให้เห็นว่า ผู้ทดสอบสังเกตพบความแตกต่างของเนื้อสัมผัสมากกว่าลักษณะอื่น

จากผลการทดลองทั้งหมดสรุปได้ว่า การเพิ่มความเข้มข้นของ CMC ในช่วง 0.2-1.0 %โดยน้ำหนัก ทำให้สารละลายฟิล์มมีความหนืดปรากฏเพิ่มขึ้น ส่งผลให้น้ำหนักของสารละลายฟิล์มที่ชุบติดบนผิวของผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้นเช่นกัน ส่งผลต่อสมบัติของผลิตภัณฑ์ที่เคลือบ โดยผลิตภัณฑ์จะมีการพองฟูเพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นลักษณะที่ดีของผลิตภัณฑ์ปลาเส้น แต่คุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านเนื้อสัมผัส และความชอบรวมของผลิตภัณฑ์มีค่าลดลงที่ความเข้มข้น 1 % ดังนั้นพิจารณาเลือกใช้ CMC ที่ความเข้มข้นต่ำกว่า 1 % โดยน้ำหนัก ได้ความเข้มข้นที่เหมาะสมของ CMC ในช่วง 0.2-0.8 % โดยน้ำหนัก นอกจากนั้นยังพบว่า ฟิล์มจาก CMC มีขีดจำกัดในการใช้งาน เนื่องจากฟิล์มที่ได้มีลักษณะบาง จึงไม่ช่วยเพิ่มผลผลิตจากการย่าง และปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์ แต่มีข้อดี คือ สารละลายฟิล์มมีความหนืดสูง ดังนั้นพิจารณาใช้เป็นสารช่วยเพิ่มความหนืดให้กับสารละลายฟิล์มประกอบ

4.1.2 สมบัติทางกายภาพของสารละลายฟิล์มโซเดียมแคซีเนตและสมบัติของผลิตภัณฑ์ปลาเส้นที่ชุบเคลือบด้วยสารละลายฟิล์มโซเดียมแคซีเนต

4.1.2.1 สมบัติทางกายภาพของสารละลายฟิล์มโซเดียมแคซีเนต

ผลการวัดค่าความหนืดปรากฏ น้ำหนักที่ชุบติดต่อหน่วยพื้นที่ แสดงในตารางที่ 4.11 และ 4.12

จากผลการทดลอง พบอิทธิพลของความเข้มข้นโซเดียมแคซีเนตต่อค่าความหนืดปรากฏของสารละลายฟิล์ม ($p \leq 0.05$) โดยที่ความเข้มข้น 2-6 % สารละลายมีลักษณะใส มีค่าความหนืดปรากฏ 1.91-5.36 มิลลิปาสคาล.วินาที และจะเพิ่มขึ้นเล็กน้อยที่ความเข้มข้น 8% มีค่าเท่ากับ 23.67 มิลลิปาสคาล.วินาที และที่ความเข้มข้น 10% มีความหนืดปรากฏเพิ่มสูงขึ้นอย่างชัดเจนเป็น 741.51 มิลลิปาสคาล.วินาที ทั้งนี้เนื่องจาก โซเดียมแคซีเนตมีโครงรูปเป็นทรงกลมที่ไร้ระเบียบ ดังนั้นจะมีส่วนที่ชอบน้ำ และไม่ชอบน้ำ เมื่ออยู่ในรูปสารละลายเจือจาง โมเลกุลจะการขดตัว โดยส่วนที่ไม่ชอบน้ำอยู่ภายใน และส่วนที่ชอบน้ำจะเกิดการเชื่อมพันธะกับน้ำ กระจายตัว และเคลื่อนที่อย่างอิสระในสารละลาย ทำให้มีการต้านการไหล หรือความหนืดปรากฏต่ำ แต่เมื่อความเข้มข้นเพิ่มขึ้น โมเลกุลจะเคลื่อนที่มาชนกันมากขึ้น ทำให้เกิดอันตรกิริยาระหว่างโมเลกุลแบบไฮโดรไดนามิก (hydrodynamic) หรือโพเทนเชียล (potential interaction) ทำให้ความหนืดปรากฏสูงขึ้น และความเข้มข้นที่ทำให้ความหนืดปรากฏเพิ่มสูงขึ้นอย่างมาก เรียกว่า ความเข้มข้นวิกฤตของการเกิดเจล ซึ่งที่ความเข้มข้นมากกว่าหรือเท่ากับความเข้มข้นวิกฤต สารละลายจะเกิดเป็นเจลที่แข็งแรง (Rha และ Pradipasena, 1986) แต่สารละลายฟิล์มที่ความเข้มข้นนี้ยังใช้ชุบเคลือบได้ที่อุณหภูมิ 26 องศาเซลเซียส และให้น้ำหนักที่ชุบติดสูงสุด ในส่วนของลักษณะปรากฏสารละลายฟิล์มที่ได้มีสีเหลืองอ่อน ทึบแสง และเป็นเนื้อเดียวกัน จากผลการทดลอง พบอิทธิพลของความเข้มข้นโซเดียมแคซีเนตต่อค่าน้ำหนักที่ชุบติดต่อหน่วยพื้นที่ ($p \leq 0.05$) โดยสารละลายฟิล์มที่ความเข้มข้น 10 % มีค่าน้ำหนักที่ชุบติดสูงสุด และจากการหาความสัมพันธ์ของข้อมูล (ตารางที่ 4.17) พบว่า ความหนืดปรากฏมีความสัมพันธ์ทางบวกกับน้ำหนักที่ชุบติดต่อหน่วยพื้นที่ ($p \leq 0.01$) ซึ่งความสัมพันธ์ที่ได้จะสอดคล้องผลการทดลองข้างต้น

4.1.2.2 สมบัติของผลิตภัณฑ์ปลาเส้นที่ชุบเคลือบด้วยสารละลายฟิล์มโซเดียมแคซีเนต

ผลการวัดค่าผลผลิตจากการย่าง ปริมาณความชื้น ค่าสี (L, a*, b*) สมบัติทางกายภาพ (ความทนแรงดึง ความยืดตัว และมอดุลัส) และคะแนนทางประสาทสัมผัส แสดงในตารางที่ 4.13-4.20

จากผลการทดลอง (ตารางที่ 4.13) พบอิทธิพลของความเข้มข้นโซเดียมแคซีเนตต่อค่าผลผลิตจากการย่าง และปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์ ($p \leq 0.05$) โดยผลผลิตจากการย่างของผลิตภัณฑ์มีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อชุบเคลือบที่ความเข้มข้น 6-10 % ขณะที่ปริมาณความชื้นมีค่าเพิ่มขึ้นที่ความเข้มข้น 10 % เท่านั้น ทั้งนี้เนื่องจาก ฟิล์มเคลือบจากโซเดียมแคซีเนตมีสมบัติชอบน้ำสูง (Gennadios และคณะ, 1994) ดังนั้นฟิล์มอาจเกิดการดูดซับน้ำเมื่อสัมผัสกับความชื้น และเกิดการระเหยออกไปจากโครงสร้างได้จึงกันการซึมผ่านของไอน้ำได้น้อย และที่ความเข้มข้น 10% ฟิล์มมีประสิทธิภาพในการรักษา

ความชื้นของแผ่นปลาดีกว่าที่ความเข้มข้น 2-8% ทั้งนี้อาจเนื่องจาก เกิดชั้นฟิล์มหนาเคลือบบนผิวผลิตภัณฑ์ ทำให้ไอน้ำระเหยออกไปได้ยากขึ้นขณะย่าง จากการสังเกต พบว่า ผลิตภัณฑ์ที่ชุบเคลือบด้วยสารละลายเข้มข้น 10 % จะเกิดการขยายตัวน้อยขณะย่าง เนื้อสัมผัสไม่พองฟู แต่จะพบการโป่งพองของชั้นฟิล์ม ซึ่งจะเกิดรอยไหม้สีน้ำตาลเข้มที่ชั้นของฟิล์มเมื่อสัมผัสกับความร้อน และเมื่อผลิตภัณฑ์เย็นลง ชั้นฟิล์มจะหดตัว และมีลักษณะย่นบนผลิตภัณฑ์ ความหนาของชั้นฟิล์มที่เพิ่มขึ้น พิจารณาจากค่าน้ำหนักของสารละลายฟิล์มที่ชุบติด และลักษณะปรากฏของแผ่นฟิล์มขึ้นรูปบนแผ่นอะคริลิก (ภาคผนวก ฉ) ดังนั้นผลผลิตจากการย่างที่เพิ่มขึ้น อาจเป็นผลมาจากน้ำหนักของฟิล์มที่เคลือบติด และปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์ที่เพิ่มขึ้น แผ่นฟิล์มที่ขึ้นรูปบนแผ่นอะคริลิกจะเป็นแผ่นหนา ใส มีสีเหลืองอ่อน โค้งงอได้ และไม่เปราะตรงกับลักษณะของฟิล์มที่ศึกษาโดย McHugh และ Krochta (1994)

เมื่อเปรียบเทียบสมบัติของสารละลาย CMC (ตารางที่ 4.1 และ 4.2) กับสารละลายโซเดียมเคซีเนต (ตารางที่ 4.11 และ 4.12) แสดงว่า สารละลายโซเดียมเคซีเนตมีสมบัติในการเคลือบติดบนพื้นผิวของผลิตภัณฑ์ดีกว่าสารละลาย CMC ที่ความหนืดปรากฏใกล้เคียงกัน เช่น ที่ความเข้มข้นโซเดียมเคซีเนต 8% สารละลายมีค่าความหนืดปรากฏ 23.67 มิลลิปาสคาล.วินาที และมีค่าน้ำหนักที่ชุบติดต่อหน่วยพื้นที่ 400.78 กรัม/ตารางเมตร ขณะที่สารละลาย CMC มีค่าความหนืดปรากฏ 36.90 มิลลิปาสคาล.วินาที และมีค่าน้ำหนักที่ชุบติดต่อหน่วยพื้นที่ 190 กรัม/ตารางเมตร และยังสังเกตพบว่า ลักษณะการเคลือบติดของสารละลายทั้งสองแตกต่างกัน โดยสารละลายโซเดียมเคซีเนต เมื่อเคลือบบนผิวของผลิตภัณฑ์จะเกาะติดที่ผิวทั้งหมด ขณะที่สารละลาย CMC เกิดการไหลย้อย ทำให้ต้องมีการพลิกด้านขึ้นลง เพื่อไม่ให้สารละลายไหลออกจากแผ่นปลา ทั้งนี้ด้วยเหตุผลว่า โซเดียมเคซีเนตมีสมบัติการเชื่อมแน่นและยึดติดดีกว่า CMC (Gennadios และคณะ 1994) เมื่อหาความสัมพันธ์ของข้อมูล พบว่า น้ำหนักที่ชุบติดต่อหน่วยพื้นที่มีความสัมพันธ์ทางบวกกับผลผลิตจากการย่าง ($p\leq0.01$) และปริมาณความชื้น ($p\leq0.05$) ขณะที่ปริมาณความชื้นมีความสัมพันธ์ทางบวกกับผลผลิตจากการย่าง ($p\leq0.05$) แสดงว่า เมื่อน้ำหนักของสารละลายฟิล์มที่ชุบติดเพิ่มขึ้น ทำให้ผลผลิตจากการย่าง และปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้นและการเพิ่มขึ้นของปริมาณความชื้น ทำให้ผลผลิตจากการย่างเพิ่มขึ้น ซึ่งจากความสัมพันธ์ที่ได้จะสอดคล้องกับผลการทดลองที่กล่าวข้างต้น

จากผลการทดลอง (ตารางที่ 4.14) พบอิทธิพลของความเข้มข้นโซเดียมเคซีเนตต่อค่าความสว่าง (L) ค่าสีแดง (a^*) และสีเหลือง (b^*) ของผลิตภัณฑ์ปลาเส้น ($p\leq0.05$) โดยผลิตภัณฑ์ที่เคลือบสารละลายฟิล์มที่ความเข้มข้น 10% มีค่าความสว่างลดลง ค่าสีแดง และสีเหลืองเพิ่มขึ้น ขณะที่ความเข้มข้น 2-8% ค่าสี (L, a^*, b^*) ของผลิตภัณฑ์ใกล้เคียงกัน ทั้งนี้อาจเนื่องจาก การชุบเคลือบที่ความเข้มข้นต่ำกว่า 10% ผลิตภัณฑ์จะมีชั้นของฟิล์มเคลือบบาง พิจารณาจากน้ำหนักของสารละลายฟิล์มที่ชุบติด (ตารางที่ 4.12) และลักษณะปรากฏของแผ่นฟิล์มที่ขึ้นรูปบนแผ่นอะคริลิก (ตารางที่ ฉ.2 ในภาคผนวก ฉ) พบว่าฟิล์มมีลักษณะใส และบาง ดังนั้นจึงไม่มีผลต่อสีของผลิตภัณฑ์ ส่วนที่ความเข้มข้น 10% ผลิตภัณฑ์จะมีค่าความสว่างลดลง และค่าสีแดงเพิ่มขึ้น อาจเนื่องจากเหตุผลที่กล่าวข้างต้นว่า ชั้นฟิล์มเกิดรอยไหม้สีน้ำตาลเข้ม เมื่อสัมผัสกับความร้อนขณะย่าง จากการเกิดปฏิกิริยาให้สารสีน้ำตาล Fellow (1990) อธิบายว่า เมื่อผลิตภัณฑ์อาหารได้รับความร้อน สีของผลิตภัณฑ์อาจมีสีเข้มขึ้น เนื่องจากการเกิด

ปฏิกิริยาคาราเมลของน้ำตาลให้สารเฟอร์ฟูรัล (ferfural) และไฮดรอกซีเมทิลเฟอร์ฟูรัล และจากปฏิกิริยาคาร์บอนไนเซชัน (carbonization) ของน้ำตาล ไขมัน และโปรตีน ซึ่งผลิตภัณฑ์ปลาเส้นจะมีคาร์โบไฮเดรตจากแป้งมันสำปะหลัง และน้ำตาล โปรตีน และไขมันจากซูริมิ จากการรายงานของ Suzuki (1981) กล่าวว่า เนื้อปลาประกอบด้วยโปรตีน 15-24% ไขมัน 0.1-22% และคาร์โบไฮเดรต 1-3% และส่วนประกอบของฟิล์มเป็นโปรตีนจากโซเดียมเคซีเนต ดังนั้นเมื่อผลิตภัณฑ์ได้รับความร้อน ส่วนของไขมัน และน้ำตาลอาจเกิดการหลอมละลาย สัมผัสกับโปรตีนในส่วนของฟิล์ม ทำให้เกิดปฏิกิริยาให้สารสีน้ำตาลขึ้น ไขมันนอกจากเป็นส่วนประกอบของเนื้อปลาแล้ว อาจมีการเติมเพิ่มในรูปส่วนผสมหรือสารปรุงแต่งกลิ่นรส จากการวิเคราะห์ปริมาณไขมันของผลิตภัณฑ์ปลาเส้นที่ไม่เคลือบมีปริมาณเท่ากับ 3.34% เมื่อหาความสัมพันธ์ของข้อมูล พบว่า น้ำหนักที่ชุบติดต่อหน่วยพื้นที่มีความสัมพันธ์ทางลบกับค่าความสว่าง แสดงว่า เมื่อน้ำหนักของสารละลายฟิล์มที่ชุบติดเพิ่มขึ้น มีผลทำให้ค่าความสว่างของผลิตภัณฑ์ลดลง ซึ่งจากผลการทดลอง (ตารางที่ 4.14) พบว่า ผลิตภัณฑ์จะมีค่าความสว่างลดลงที่ความเข้มข้น 8-10% และค่าสีแดงลดลงที่ความเข้มข้น 6-8% และมีค่าสูงเพิ่มขึ้นที่ความเข้มข้น 10% ทั้งนี้เนื่องจากว่า ที่ความเข้มข้น 10% ผลิตภัณฑ์จะเกิดรอยไหม้ที่แผ่นฟิล์มขณะย่าง ดังที่กล่าวข้างต้น ดังนั้นค่าสีแดงจึงเพิ่มขึ้น

จากผลการทดลอง พบอิทธิพลของความเข้มข้นของโซเดียมเคซีเนตต่อค่าความทนแรงดึง ความยืดตัว และมอดุลัสของผลิตภัณฑ์ปลาเส้น ($p\leq0.05$) โดยที่ความเข้มข้น 10 % ผลิตภัณฑ์ที่เคลือบมีสมบัติทางกายภาพด้านเนื้อสัมผัสสูงสุด แสดงว่าเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์มีการประสานตัวกันมาก เพราะไม่เกิดการพองฟูขณะย่าง ดังเหตุผลที่อธิบายไว้ข้างต้น เมื่อทดสอบความทนแรงดึงด้วยเครื่องทดสอบเนื้อสัมผัส จะดึงตัวอย่างให้ขาดจากกันได้ยาก ส่งผลให้ความทนแรงดึง ความยืดตัว และมอดุลัสมีค่าสูงขึ้น และจากการหาความสัมพันธ์ของข้อมูล (ตารางที่ 4.19) พบว่า น้ำหนักที่ชุบติดต่อหน่วยพื้นที่มีความสัมพันธ์ทางบวกกับค่ามอดุลัส ($p\leq0.05$)

จากผลคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัส พบอิทธิพลของความเข้มข้นโซเดียมเคซีเนตต่อคะแนนการพองฟู ลักษณะสี ความสม่ำเสมอของสี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบรวมของผลิตภัณฑ์ ($p\leq0.05$) โดยที่ความเข้มข้น 10 % ผลิตภัณฑ์มีคะแนนทางประสาทสัมผัสทุกลักษณะต่ำสุด ยกเว้นคะแนนกลิ่น โดยผู้ทดสอบให้ความเห็นว่า มีกลิ่นคาวปลาลดลง ทั้งนี้อาจเนื่องจาก ฟิล์มเคลือบที่ผิวของผลิตภัณฑ์เป็นชั้นที่ไม่มีกลิ่น ดังนั้นอาจทำให้กลิ่นของผลิตภัณฑ์เจือจางลง ส่วนการพองฟูของผลิตภัณฑ์ที่เพิ่มขึ้น อธิบายได้โดยเหตุผลเดียวกับข้อ 4.1.1.2 และจากการความสัมพันธ์ของข้อมูล พบว่า คะแนนความชอบรวมมีความสัมพันธ์ทางบวกกับการพองฟู ($p\leq0.05$) ลักษณะสี กลิ่น รสชาติ และเนื้อสัมผัส ($p\leq0.01$) แสดงว่า เมื่อคะแนนการพองฟู ลักษณะสี กลิ่น รสชาติ และเนื้อสัมผัสเพิ่มขึ้น ส่งผลให้คะแนนความชอบรวมเพิ่มขึ้น และพบความสัมพันธ์ทางลบของน้ำหนักที่ชุบติดต่อหน่วยพื้นที่กับคะแนนความสม่ำเสมอของสี ($p\leq0.05$) และลักษณะสี ($p\leq0.01$) และคะแนนลักษณะสีมีความสัมพันธ์ทางบวกกับค่าความสว่าง ($p\leq0.01$) และมีความสัมพันธ์ทางลบกับค่าสีแดง ($p\leq0.05$) แสดงว่าเมื่อน้ำหนักของสารละลายฟิล์มที่ชุบติดเพิ่มขึ้น ทำให้คะแนนความสม่ำเสมอของสี และลักษณะสีมีค่าลดลง และเมื่อค่าความสว่างลดลง ค่าสีแดงเพิ่มขึ้น ทำให้คะแนนลักษณะสีมีค่าลดลง และพบความสัมพันธ์

ทางลบของน้ำหนักที่ชุบติดต่อหน่วยพื้นที่กับคะแนนเนื้อสัมผัส ($p \leq 0.01$) และความชอบรวม ($p \leq 0.05$) แสดงว่า เมื่อน้ำหนักของสารละลายฟิล์มที่ชุบติดเพิ่มขึ้น มีผลทำให้ค่ามอดุลัสของผลิตภัณฑ์สูงขึ้น และพบว่า คะแนนการพองฟูมีความสัมพันธ์ทางลบกับค่าความทนแรงดึง และมีความสัมพันธ์ทางบวกกับคะแนนเนื้อสัมผัส ($p \leq 0.05$) แสดงว่า เมื่อผลิตภัณฑ์มีการพองฟูมากขึ้น ค่าความทนแรงดึงจะลดลงและทำให้คะแนนเนื้อสัมผัสมีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งความสัมพันธ์นี้จะสอดคล้องกับผลการทดลองข้างต้น

จากผลการทดลองทั้งหมด สรุปได้ว่า สารละลายโซเดียมเคซีเนตที่ความเข้มข้น 6-8% ช่วยเพิ่มผลผลิตจากการย่าง แต่ไม่มีผลต่อปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์ ส่วนที่ความเข้มข้น 10% มีค่าน้ำหนักที่ชุบติดต่อหน่วยพื้นที่สูงสุด ช่วยเพิ่มผลผลิตจากการย่าง และปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์ แต่มีข้อจำกัดในการใช้งาน คือ ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่เคลือบมีคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้อยลง เนื่องจากเกิดชั้นฟิล์มที่หนาบนผิวของผลิตภัณฑ์ ดังนั้นจึงพิจารณาใช้ร่วมกับไมวาเซ็ต®5-07 โดยพิจารณาสมบัติในการเป็นสารอิมัลซิไฟเออร์ของโซเดียมเคซีเนตร่วมด้วย เพื่อปรับปรุงสมบัติของสารละลายฟิล์มให้มีความเหมาะสมกับผลิตภัณฑ์มากขึ้นคือ ช่วยรักษาปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์ และผลิตภัณฑ์ยังคงมีคุณภาพทางประสาทสัมผัสดี

4.1.3 <u>สมบัติทางกายภาพของสารละลายฟิล์มประกอบจากโซเดียมเคซีเนต-ไมวาเซ็ต®5-07 และสมบัติของผลิตภัณฑ์ปลาเส้นที่ชุบเคลือบด้วยสารละลายฟิล์มประกอบจากโซเดียมเคซีเนต-ไมวาเซ็ต®5-07</u>

จากการทดลองขั้นที่ 4.1.2 พบว่า สารละลายโซเดียมเคซีเนตมีสมบัติในการชุบติดบนผิวผลิตภัณฑ์ได้ดีที่สุด ที่ความเข้มข้น 10% ทำให้ค่าผลผลิตจากการย่าง และปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้น แต่มีข้อจำกัดในการใช้งาน เนื่องจากทำให้คุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ด้อยลง ในขั้นตอนการทดลองนี้ จะเลือกที่ความเข้มข้น 10% เป็นความเข้มข้นตั้งต้นใช้แปรปริมาณโซเดียมเคซีเนตร่วมกับไมวาเซ็ต®5-07 เนื่องจากไมวาเซ็ต®5-07 เป็นไขมัน มีสมบัติในการป้องกันการซึมผ่านของไอน้ำได้ดี ดังนั้นการใช้สารทั้งสองชนิดร่วมกัน อาจช่วยเพิ่มสมบัติของฟิล์มในด้านการป้องกันการซึมผ่านของไอน้ำให้ดีขึ้น โดยจะศึกษาผลของปริมาณไมวาเซ็ต®5-07 ต่อสมบัติของสารละลายฟิล์ม และสมบัติของผลิตภัณฑ์ปลาเส้นที่ชุบเคลือบ

4.1.3.1 <u>สมบัติทางกายภาพของสารละลายฟิล์มประกอบจากโซเดียมเคซีเนต-ไมวาเซ็ต®5-07</u>

ผลการวัดค่าความหนืดปรากฏ และน้ำหนักที่ชุบติดต่อหน่วยพื้นที่ของสารละลายฟิล์ม แสดงในตารางที่ 4.21 และ 4.22

จากผลการทดลอง พบอิทธิพลของอัตราส่วนโซเดียมเคซีเนต-ไมวาเซ็ต®5-07 ต่อค่าความหนืดปรากฏ ($p \leq 0.05$) โดยเมื่อปริมาณไมวาเซ็ต®5-07 เพิ่มขึ้น ค่าความหนืดปรากฏของสารละลายฟิล์มลดลง จากการตรวจพินิจ พบว่า สีของสารละลายเปลี่ยนจากเหลืองอ่อนเป็นขาว มีลักษณะทึบแสง และแยกชั้น ซึ่งการแยกชั้นจะเกิดที่อัตราส่วน 5:5 และ 2:8 และพบอิทธิพลของอัตราส่วนของโซเดียมเคซีเนต-ไมวาเซ็ต®5-07 ต่อน้ำหนักที่ชุบติดต่อหน่วยพื้นที่ ($p \leq 0.05$) โดยเมื่อปริมาณไมวาเซ็ต®5-07

เพิ่มขึ้นค่าน้ำหนักของสารละลายฟิล์มที่ชุบติดจะลดลง โดยที่อัตราส่วน 2:8 มีค่าน้ำหนักที่ชุบติดต่อหน่วยพื้นที่ต่ำสุด ผลดังกล่าวนี้อาจเกิดเนื่องจาก โซเดียมเคซีเนตที่ใช้มีสมบัติเป็นสารอิมัลซิไฟเออร์ เพราะมีโครงสร้างแบบแอมฟิไฟลิก เกิดการดูดซับบนผิวอนุภาคไขมันได้ โดยการเกิดอันตรกิริยาของส่วนไม่ชอบน้ำระหว่างโมเลกุลของโปรตีน และไขมัน ซึ่งความคงตัวของอิมัลชันขึ้นกับปริมาณของสารอิมัลซิไฟเออร์ และความหนืดปรากฏของสารละลาย (Tolstoguzov, 1996) เมื่อปริมาณไมวาซ็ต®5-07 เพิ่มขึ้น ปริมาณของโซเดียมเคซีเนตจะลดลงเป็นสัดส่วนกัน ซึ่งเป็นการลดปริมาณของสารอิมัลซิไฟเออร์ และความหนืดปรากฏของสารละลายลง ส่งผลให้เกิดการแยกชั้นของอิมัลชัน ปริมาณโซเดียมเคซีเนต และความหนืดปรากฏที่ลดลงจะส่งผลให้สมบัติในการชุบติดลดลงเช่นกัน อธิบายโดยใช้เหตุผลเดียวกับข้อ 4.1.2.1 และจากการหาความสัมพันธ์ของข้อมูล พบความสัมพันธ์ทางบวกระหว่างความหนืดปรากฏกับน้ำหนักที่ชุบติดต่อหน่วยพื้นที่ ($p \leq 0.05$) แสดงว่า เมื่อความหนืดปรากฏของสารละลายฟิล์มลดลง ทำให้น้ำหนักของสารละลายฟิล์มที่ชุบติดลดลง

4.1.3.2 <u>สมบัติของผลิตภัณฑ์ปลาเส้นที่ชุบเคลือบด้วยสารละลายฟิล์มประกอบจากโซเดียมเคซีเนต-ไมวาซ็ต®5-07</u>

ผลการวัดค่าผลผลิตจากการย่าง ปริมาณความชื้น ค่าสี (L, a*, b*) สมบัติทางกายภาพ (ความทนแรงดึง ความยืดตัว และมอดุลัส) และคะแนนทางประสาทสัมผัส แสดงในตารางที่ 4.23-4.30

จากผลการทดลอง (ตารางที่ 4.23) พบอิทธิพลของอัตราส่วนของโซเดียมเคซีเนต-ไมวาซ็ต®5-07 ต่อปริมาณความชื้น และผลผลิตจากการย่าง ($p \leq 0.05$) โดยเมื่อปริมาณไมวาซ็ต®5-07 เพิ่มขึ้น ค่าน้ำหนักของสารละลายฟิล์มที่ชุบติดจะลดลง ทำให้ผลผลิตจากการย่าง และปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์ปลาเส้นมีค่าลดลง เทียบกับที่อัตราส่วน 10:0 และที่อัตราส่วน 5:5 และ 2:8 ค่าผลผลิตจากการย่าง และปริมาณความชื้นจะใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์ที่ไม่เคลือบ ทั้งนี้เนื่องจาก น้ำหนักของสารละลายฟิล์มที่ชุบติดลดลง ทำให้การเกิดชั้นฟิล์มบนผิวผลิตภัณฑ์ลดลงเช่นกัน เมื่อพิจารณาจากแผ่นฟิล์มขึ้นรูปบนแผ่นอะคริลิก (ตารางที่ ฉ.3 ในภาคผนวก ฉ) พบว่า ที่อัตราส่วน 5:5 และ 2:8 ฟิล์มจะเป็นชั้นไขสีขาว เคลือบบางมากบนแผ่นพลาสติก ผลที่ได้นี้แสดงให้เห็นว่า สมบัติทางกายภาพของฟิล์มในการป้องกันการซึมผ่านของไอน้ำ นอกจากจะขึ้นกับสมบัติของสารที่เป็นส่วนประกอบของฟิล์มแล้ว ยังขึ้นกับความหนาของฟิล์มด้วย ที่กล่าวเช่นนี้ เนื่องจากได้เปรียบเทียบข้อมูลกับรายงานของ Bustillos และ Krochta (1993) ทดสอบอัตราการซึมผ่านของไอน้ำของฟิล์มอิมัลชันจากโซเดียมเคซีเนต-ไมวาซ็ต®5-07 ที่อัตราส่วน 100:0, 80:20, 50:50 และ 20:80 ใช้สารทั้งสองชนิดที่ความเข้มข้น 8% โดยน้ำหนัก ซึ่งผู้วิจัยรายงานว่า การเพิ่มปริมาณ ไมวาซ็ต®5-07 ในสูตร มีผลทำให้อัตราการซึมผ่านของไอน้ำลดลง โดยฟิล์มอิมัลชันที่อัตราส่วน 20:80 มีอัตราการซึมผ่านของไอน้ำต่ำสุดมีค่าเท่ากับ 0.66 กรัม-มิลลิเมตร/กิโลปาสคาล-ชั่วโมง-ตารางเมตร ที่ความหนา 0.04 มิลลิเมตร แต่ในงานวิจัยนี้พบว่า เมื่อใช้ในรูปสารละลายฟิล์มที่อัตราส่วน 2:8 จะเกิดชั้นฟิล์มบางบนผิวผลิตภัณฑ์ เนื่องจากน้ำหนักของสารละลายฟิล์มที่ชุบติดน้อย ทำให้ฟิล์มป้องกันการซึมผ่านของไอน้ำได้น้อย จากการหาความสัมพันธ์ของข้อมูล

(ตารางที่ 4.27) พบว่า น้ำหนักที่ชุบติดต่อหน่วยพื้นที่มีความสัมพันธ์ทางบวกกับผลผลิตจากการย่าง และปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์ ($p \leq 0.05$) แสดงว่า เมื่อน้ำหนักของสารละลายฟิล์มที่ชุบติดมีค่าลดลง ทำให้ค่าผลผลิตจากการย่าง และปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์มีค่าลดลงด้วยเช่นกัน

จากผลการทดลอง (ตารางที่ 4.24) พบอิทธิพลของอัตราส่วนของโซเดียมเคซีเนต-ไมวาเซ็ต®5-07 ต่อค่าความสว่าง (L) ค่าสีแดง (a^*) และสีเหลือง (b^*) ของผลิตภัณฑ์ปลาเส้น ($p \leq 0.05$) โดยที่อัตราส่วน 10:0 มีค่าความสว่างต่ำสุด ค่าสีแดง และสีเหลืองสูงสุด แสดงว่า มีสีเข้มขึ้น ซึ่งการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นนี้อธิบายได้ด้วยเหตุผลเดียวกับข้อ 4.1.2.2 ส่วนที่อัตราส่วน 8:2 มีค่าสีเหลืองต่ำสุด แสดงว่า มีสีอ่อนลง อาจเนื่องจากชั้นของฟิล์มมีส่วนประกอบของไมวาเซ็ต®5-07 มีสีขาวขุ่น พิจารณาจากลักษณะปรากฏของแผ่นฟิล์มที่ขึ้นรูปบนแผ่นอะคริลิก (ภาคผนวก ฉ) ดังนั้นสีของฟิล์มอาจทำให้ค่าสีเหลืองของผลิตภัณฑ์ลดลง และจากการหาความสัมพันธ์ของข้อมูล (ตารางที่ 4.28) และค่าความสว่างมีความสัมพันธ์ทางลบกับค่าสีแดง ($p \leq 0.01$) และสีเหลือง($p \leq 0.05$) แสดงว่า เมื่อค่าความสว่างลดลง ค่าสีแดง และสีเหลืองของผลิตภัณฑ์มีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งเมื่อพิจารณาจากข้อมูล (ตารางที่ 4.24) พบว่า ค่าสีของผลิตภัณฑ์จะเกิดการเปลี่ยนแปลงที่ความเข้มข้น 10:0% เท่านั้น ยกเว้น ค่าสีเหลืองของผลิตภัณฑ์ที่อัตราส่วน 8:2

จากผลการทดลอง พบอิทธิพลของอัตราส่วนของโซเดียมเคซีเนต-ไมวาเซ็ต®5-07 ต่อค่าความทนแรงดึง ความยืดตัว และมอดุลัส ($p \leq 0.05$) โดยที่อัตราส่วน 5:5 และ 2:8 ผลิตภัณฑ์มีค่าความยืดตัวเพิ่มขึ้น ค่าความทนแรงดึง และมอดุลัส เมื่อเทียบกับผลิตภัณฑ์ที่อัตราส่วน 10:0 การที่ค่าความยืดตัวของผลิตภัณฑ์ปลาเส้นมีค่าเพิ่มขึ้น อธิบายได้ว่า อาจเป็นผลจากไมวาเซ็ต®5-07 แทรกตัวเข้าในเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ปลาเส้น ระหว่างการชุบเคลือบ หรือการย่าง โดยระหว่างย่างผลิตภัณฑ์จะขยายตัวเมื่อได้รับความร้อน ขณะที่ไมวาเซ็ต®5-07 หลอมละลาย และอาจแทรกเข้าตามรูพรุนที่ผิวของผลิตภัณฑ์ เมื่อผลิตภัณฑ์เย็นลง จะเกิดผลึกแทรกตัวในเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ ดังนั้นอาจส่งผลให้ค่าความยืดตัวเพิ่มขึ้น ส่วนการเปลี่ยนแปลงของค่ามอดุลัส พิจารณาได้จากค่าความทนแรงดึง และความยืดตัวที่เปลี่ยนไป ดังที่อธิบายในข้อ 4.1.1.2 และจากการหาความสัมพันธ์ของข้อมูล (ตารางที่ 4.29) พบว่า น้ำหนักที่ชุบติดมีความสัมพันธ์ทางบวกกับค่าความทนแรงดึง ($p \leq 0.01$) แสดงว่า เมื่อน้ำหนักของสารละลายฟิล์มที่ชุบติดลดลง ค่าความทนแรงดึงของผลิตภัณฑ์จะมีค่าลดลงเช่นกัน ขณะที่คะแนนเนื้อสัมผัส และความชอบรวมลดลง เมื่อพิจารณาจากข้อมูล (ตารางที่ 4.25 และ 4.26) พบว่า ที่อัตราส่วน 5:5 และ 2:8 ผลิตภัณฑ์มีค่าความทนแรงดึง และมอดุลัสลดลง

จากผลคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัส พบอิทธิพลของอัตราส่วนของโซเดียมเคซีเนต-ไมวาเซ็ต®5-07 ต่อคะแนนการพองฟู กลิ่น เนื้อสัมผัส และความชอบรวมของผลิตภัณฑ์ปลาเส้น ($p \leq 0.05$) โดยเมื่อปริมาณไมวาเซ็ต®5-07 เพิ่มขึ้น คะแนนลักษณะสี และความสม่ำเสมอของสีของผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้น ที่อัตราส่วน 8:2 ผลิตภัณฑ์มีคะแนนการพองฟู และกลิ่นดี แต่คะแนนเนื้อสัมผัส และความชอบรวมด้อยกว่าผลิตภัณฑ์ที่ไม่เคลือบ และที่อัตราส่วน 5:5 และ 2:8 ผลิตภัณฑ์มีคุณภาพทาง

ประสาทสัมผัสทุกลักษณะดีกว่าที่อัตราส่วน 10:0 ยกเว้นคะแนนกลิ่น และผลิตภัณฑ์ที่อัตราส่วนดังกล่าวมีคะแนนกลิ่นดีกว่าผลิตภัณฑ์ที่ไม่เคลือบ เหตุผลดังอธิบายในข้อ 4.1.2.2 จากการหาความสัมพันธ์ของข้อมูล (ตารางที่ 4.28, 4.29 และ 4.30) พบความสัมพันธ์ทางบวกของค่าความสว่างกับคะแนนลักษณะสี และความสม่ำเสมอของสี ($p \leq 0.01$) แสดงว่า เมื่อค่าความสว่างลดลงทำให้คะแนนลักษณะสี และความสม่ำเสมอของสีลดลงด้วย และพบความสัมพันธ์ทางลบของน้ำหนักที่ชุบติดต่อหน่วยพื้นที่กับคะแนนเนื้อสัมผัส และความชอบรวม ($p \leq 0.01$) แสดงว่า เมื่อน้ำหนักที่ชุบติดต่อหน่วยพื้นที่ลดลง ทำให้คะแนนเนื้อสัมผัส และความชอบรวมลดลง จากข้อมูล (ตารางที่ 4.26) พบว่า ที่อัตราส่วน 10:0 และ 8:2 ผลิตภัณฑ์มีคะแนนเนื้อสัมผัส และความชอบรวมต่ำกว่าตัวอย่างที่อัตราส่วนอื่น และจากการหาความสัมพันธ์ของข้อมูลพบว่า ความชอบรวมมีความสัมพันธ์ทางบวกกับการทองฟู ลักษณะสี ความสม่ำเสมอของสี ($p \leq 0.05$) กลิ่น และเนื้อสัมผัส ($p \leq 0.01$) แสดงว่า เมื่อคะแนนการทองฟู ลักษณะสี ความสม่ำเสมอของสี กลิ่นและเนื้อสัมผัสมีค่าเพิ่มขึ้น ทำให้คะแนนความชอบรวมมีค่าเพิ่มขึ้น

จากผลการทดลองทั้งหมด สรุปได้ว่า เมื่อแปรปริมาณ ไมวาเซ็ด® 5-07 เพิ่มขึ้น ทำให้ความหนืดปรากฏ และน้ำหนักของสารละลายฟิล์มที่ชุบติดลดลง ส่งผลให้ผลผลิตจากการย่างและปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์ไม่เพิ่มขึ้น ขณะที่ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีคุณภาพทางประสาทสัมผัสทุกด้านสูง จึงพิจารณาเลือกสารละลายฟิล์มจากโซเดียมแคซีเนต-ไมวาเซ็ด® 5-07 เข้มข้น 10%โดยน้ำหนัก ที่อัตราส่วน 5:5 และ 2:8 ใช้ร่วมกับ CMC ในการทดลองขั้นต่อไป เพื่อพัฒนาสมบัติของสารละลายในการยึดติดบนผิวของผลิตภัณฑ์ให้ดีขึ้น โดย CMC จะช่วยเพิ่มความหนืด และความคงตัวให้กับอิมัลชันของฟิล์มประกอบ

4.1.4 <u>สมบัติทางกายภาพของสารละลายฟิล์มประกอบโซเดียมแคซีเนต-ไมวาเซ็ด®5-07- CMC และสมบัติของผลิตภัณฑ์ปลาเส้นที่ชุบเคลือบด้วยสารละลายฟิล์มโซเดียมแคซีเนต-ไมวาเซ็ด®5-07 - CMC</u>

จากการทดลองในข้อที่ 4.1.1-4.1.3 ได้ข้อมูลของสมบัติ และขีดจำกัดในการใช้งานของสารละลายฟิล์มแต่ละชนิดที่จะนำมาใช้ร่วมกัน และทำให้คาดคะเนได้ว่า จะใช้สารแต่ละชนิดในสัดส่วนเท่าใด เพื่อให้ได้สารละลายฟิล์มสูตรที่เหมาะสมที่สุด ดังนั้นในขั้นตอนนี้จะศึกษาการใช้สารทั้งสามชนิดร่วมกันในการผลิตสารละลายฟิล์มประกอบ ในแง่สมบัติการเคลือบติดบนผลิตภัณฑ์ และสมบัติของผลิตภัณฑ์ปลาเส้นที่ชุบเคลือบด้วยสารละลายฟิล์มประกอบ โดยใช้อัตราส่วนโซเดียมแคซีเนต-ไมวาเซ็ด®5-07 ที่เลือกจากข้อ 4.1.3 ระหว่าง 5:5 และ 2:8 แปรอัตราส่วนให้ละเอียดขึ้นเป็น 5:5, 4:6, 3:7 และ 2:8 และแปรความเข้มข้น CMC เป็น 0.2, 0.4 และ 0.6 %โดยน้ำหนักของสารละลายฟิล์ม ที่เลือกมาจากข้อ 4.1.1 การที่ไม่แปรความเข้มข้นของ CMC ที่ 0.8% เพราะจากการทดลองเบื้องต้น พบว่าที่ความเข้มข้นนี้ ทำให้สารละลายฟิล์มที่ได้มีลักษณะข้นหนืดมาก ใช้ชุบเคลือบปลาแผ่นไม่ได้

4.1.4.1 สมบัติทางกายภาพของสารละลายฟิล์มประกอบไซเดียมแคซีเนต-ไมวาเซ็ต®5-07–CMC

ผลการวัดค่าความหนืดปรากฏ ลักษณะปรากฏ และน้ำหนักที่ชุบติดต่อหน่วยพื้นที่ของสารละลายฟิล์ม แสดงในตารางที่ 4.31 และ 4.32

จากผลการวิเคราะห์ค่าความหนืดปรากฏ และน้ำหนักที่ชุบติดต่อหน่วยพื้นที่ของสารละลายฟิล์ม พบอิทธิพลร่วมของอัตราส่วนไซเดียมแคซีเนต-ไมวาเซ็ต®5-07 กับความเข้มข้น CMC ต่อค่าความหนืดปรากฏ ($p \leq 0.05$) และน้ำหนักที่ชุบติดต่อหน่วยพื้นที่ ($p \leq 0.05$) โดยสารละลายฟิล์มที่ทุกอัตราส่วน เมื่อความเข้มข้นของ CMC เพิ่มขึ้น ทำให้ค่าความหนืดปรากฏเพิ่มขึ้น สูตรที่มีอัตราส่วนองค์ประกอบ 4:6:0.6% จะมีค่าความหนืดปรากฏสูงสุด ขณะที่สูตร 2:8:0.2 % มีค่าความหนืดปรากฏต่ำสุด และที่สูตร 5:5:0.6 % มีค่าน้ำหนักที่ชุบติดต่อหน่วยพื้นที่สูงสุด

การที่ความหนืดปรากฏ และน้ำหนักของสารละลายฟิล์มที่ชุบติดทุกอัตราส่วนเพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของ CMC อธิบายได้ว่า อาจเป็นผลมาจากการเกิดอันตรกิริยาของไซเดียมแคซีเนตกับ CMC ร่วมกับการเกิดอิมัลชันกับไมวาเซ็ต®5-07 พิจารณาจากความหนืดปรากฏของสารละลายฟิล์มไซเดียมแคซีเนต-ไมวาเซ็ต®5-07 ที่อัตราส่วน 5:5 มีค่าประมาณ 10.57 มิลลิปาสคาล.วินาที (จากข้อ 4.1.3.1) ส่วนสารละลายฟิล์ม CMC เข้มข้น 0.6% มีความหนืดปรากฏ 244 มิลลิปาสคาล.วินาที (จากข้อ 4.1.1.1) แต่เมื่อผสมสารทั้งสามชนิดรวมกันในรูปอิมัลชัน (ข้อ 4.1.4.1) สารละลายฟิล์มที่ได้มีความหนืดปรากฏเพิ่มเป็น 929 มิลลิปาสคาล.วินาที ค่าความหนืดปรากฏที่เพิ่มขึ้นนี้ ส่งผลให้น้ำหนักของสารละลายฟิล์มที่ชุบติดเพิ่มขึ้นด้วยเช่นกัน โดยสารละลายฟิล์มที่ได้มีสีขาวขุ่น ทึบแสง และเกิดการแยกชั้นของสารละลายฟิล์มที่สูตร 5:5:0.2, 5:5:0.4, 5:5:0.6, 4:6:0.2, 4:6:0.4, 3:7:0.2และ 2:8:0.2 % อธิบายสมบัติของสารละลายฟิล์มโดยอ้างอิงจากแนวทฤษฎีของ Tolstoguzor (1996) รายงานถึงการเกิดอันตรกิริยาของโปรตีนกับพอลิแซ็คคาไรด์ว่า ในภาวะที่เป็นกลางหรือกรดอ่อน สารละลายโปรตีนที่มีโครงรูปเป็นทรงกลมและไร้ระเบียบ เช่น เคซีน หรือเจลาติน (ในงานวิจัยนี้ใช้ไซเดียมแคซีเนต ซึ่งเป็นรูปหนึ่งของเคซีนที่มีการผลิตทางการค้า) แสดงประจุบวก หรือเป็นพอลิแคทไอออนเกิดอันตรกิริยากับประจุลบของพอลิแซ็คคาไรด์ที่มีหมู่คาร์บอกซิล (ในงานวิจัยนี้ใช้ CMC ซึ่งเป็นพอลิแซ็คคาไรด์ที่มีประจุลบ) ได้สารเชิงซ้อนที่ละลายน้ำ โดยอันตรกิริยาจะเกิดอย่างอิสระ และกระจายอยู่บริเวณกลางมวลของโปรตีน และพอลิแซ็คคาไรด์ บริเวณรอยต่อที่เกิดอันตรกิริยาจะมีส่วนที่ชอบน้ำของสายโซ่พอลิเมอร์เดี่ยวล้อมรอบทำให้บริเวณรอยต่อหันด้านที่ไม่ชอบน้ำเข้าภายใน เกิดเป็นส่วนแกนที่ไม่ชอบน้ำ แสดงว่า โครงสร้างขั้นปฐมภูมิของสารเชิงซ้อนจะคล้ายกับโปรตีนที่มีโครงรูปเป็นทรงกลม สายโซ่ส่วนที่ไม่ได้รวมเข้าบริเวณรอยต่อจะเป็นตัวกำหนดสมบัติในการละลายน้ำ สารเชิงซ้อนที่เกิดขึ้นจะช่วยเพิ่มความคงตัวให้อิมัลชัน เนื่องจากมีปฏิกิริยาผิวสัมผัสสูง และมีโครงสร้างเป็นชั้นหนาคล้ายเจล ที่เกิดการดูดซับกับไขมัน ดังนั้นจึงทำให้อิมัลชันเกิดความคงตัว เมื่อพิจารณาจากผลการทดลองที่ได้ในงานวิจัย พบว่า สารละลายฟิล์มสูตร 3:7:0.4, 3:7:0.6, 2:8:0.4 และ 2:8:0.6 % จะเป็นอิมัลชันที่คงตัว อธิบายได้โดยใช้ทฤษฎีข้างต้น

ส่วนการแยกชั้นของสารละลายฟิล์ม อธิบายได้โดยอ้างอิงเหตุผลของ Tolstoguzor (1996) ได้อธิบายถึง การแยกชั้นของอิมัลชันที่มีโปรตีนเป็นสารอิมัลซิไฟเออร์ว่า ในภาวะการเกิดอิมัลชัน ส่วนของโปรตีนจะเกิดการดูดซับบนผิวของอนุภาคไขมันเป็นชั้นหลายชั้นที่เกิดการดูดซับห่อหุ้มอนุภาคไขมันไว้ ดังนั้นเมื่อปริมาณโปรตีนเพิ่มขึ้นจะเกิดการแยกวัฏภาคของโปรตีนซึ่งเป็นวัฏภาคต่อเนื่องที่ละลายในน้ำ ดังนั้นถ้าอ้างอิงจากรายงานนี้อาจกล่าวได้ว่า สูตรที่มีอัตราส่วนองค์ประกอบ 5:5:0.2, 5:5:0.4, 5:5:0.6, 4:6:0.2 และ 4:6:0.4 % มีสัดส่วนของโปรตีนสูงพอที่จะทำให้เกิดการแยกวัฏภาคได้

นอกจากนี้ Tolstoguzor (1996) ได้กล่าวถึง การเติมพอลิแซ็คคาไรด์ในสารละลายโปรตีนไว้ว่า นอกจากช่วยเพิ่มความหนืดให้กับน้ำซึ่งเป็นตัวกลางทำละลายแล้ว ยังช่วยเพิ่มสมบัติการเป็นสารอิมัลซิไฟเออร์ให้โปรตีนอีกด้วย ซึ่งส่งผลให้อิมัลชันเกิดความคงตัว การที่ความหนืดเพิ่มขึ้นช่วยให้อิมัลชันมีความคงตัวได้เนื่องจากอนุภาคที่แขวนลอยจะมีการเคลื่อนที่น้อยลง ทำให้อนุภาคไขมันไม่มีโอกาสที่จะรวมตัวกันได้ ดังนั้นในงานวิจัยนี้ การที่สารละลายฟิล์มสูตรที่มีความเข้มข้น CMC ต่ำ เกิดการแยกชั้น อาจกล่าวได้ว่า เกิดเนื่องจากมีความหนืดปรากฏต่ำไม่เพียงพอให้อิมัลชันเกิดความคงตัวได้ และเมื่อพิจารณาน้ำหนักของสารละลายฟิล์มที่ชุบติดสูตรที่มีปริมาณ CMC เท่ากัน เมื่อปริมาณไมวาเซ็ต®5-07 เพิ่มขึ้น ปริมาณโซเดียมแคซีเนตจะลดลงอย่างเป็นสัดส่วนกัน ทำให้น้ำหนักที่ชุบติดต่อหน่วยพื้นที่ลดลง เพราะสมบัติการยึดติดบนพื้นผิวของสารละลายฟิล์ม นอกจากจะขึ้นกับความหนืดปรากฏแล้ว ยังขึ้นกับปริมาณโซเดียมแคซีเนตด้วย เพราะโซเดียมแคซีเนตมีสมบัติในการเกาะติด และเชื่อมแน่นดี (Conca และ Yang, 1993)

เมื่อพิจารณาจากความสัมพันธ์ของข้อมูล พบความสัมพันธ์ทางบวกของความหนืดปรากฏ และน้ำหนักที่ชุบติดต่อหน่วยพื้นที่ ($p \leq 0.01$) แสดงว่า เมื่อความหนืดปรากฏเพิ่มขึ้นทำให้น้ำหนักของสารละลายฟิล์มที่ชุบติดเพิ่มขึ้นด้วย

4.1.4.2 <u>สมบัติของผลิตภัณฑ์ปลาเส้นที่ชุบเคลือบด้วยด้วยสารละลายฟิล์มประกอบโซเดียมแคซีเนต-ไมวาเซ็ต®5-07 - CMC</u>

ผลการวัดค่าผลผลิตจากการย่าง ปริมาณความชื้น ค่าสี (L, a*, b*) สมบัติทางกายภาพ (ความทนแรงดึง ความยืดตัว และมอดุลัส) และคะแนนทางประสาทสัมผัส แสดงในตารางที่ 4.33-4.46

จากผลการทดลอง ไม่พบอิทธิพลร่วมของอัตราส่วนโซเดียมแคซีเนต-ไมวาเซ็ต®5-07 กับความเข้มข้นของ CMC ต่อค่าผลผลิตจากการย่าง และปริมาณความชื้น ($p>0.05$) พบเฉพาะอิทธิพลของอัตราส่วนโซเดียมแคซีเนต-ไมวาเซ็ต®5-07 ต่อค่าผลผลิตจากการย่าง ($p \leq 0.05$) โดยผลิตภัณฑ์ที่เคลือบด้วยฟิล์มจากสารละลายโซเดียมแคซีเนต-ไมวาเซ็ต®5-07-CMC มีค่าผลผลิตจากการย่างสูงขึ้น เมื่อปริมาณโซเดียมแคซีเนตเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากสมบัติของโซเดียมแคซีเนตที่ยึดติดบนผิวของผลิตภัณฑ์ได้ดี ทำให้เกิดชั้นของฟิล์มเคลือบที่หนาขึ้น อธิบายได้เช่นเดียวกับข้อ 4.1.4.1 และพบเฉพาะอิทธิพลของความเข้มข้น CMC ต่อค่าผลผลิตจากการย่าง และปริมาณความชื้น ($p \leq 0.05$) โดยทำให้

ผลผลิตจากการย่าง และปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์สูงขึ้น เมื่อความเข้มข้นเพิ่มขึ้น ซึ่งพิจารณาได้ว่าเป็นผลมาจากความหนืดปรากฏที่เพิ่มขึ้นของสารละลาย อธิบายได้เช่นเดียวกับข้อ 4.1.4.1 และจากการหาความสัมพันธ์ของข้อมูล (ตารางที่ 4.43) พบว่า น้ำหนักที่ชุบติดมีความสัมพันธ์ทางบวกกับผลผลิตจากการย่าง และปริมาณความชื้น ($p \leq 0.01$) แสดงว่า เมื่อน้ำหนักของสารละลายฟิล์มที่ชุบติดเพิ่มขึ้น มีผลทำให้ปริมาณความชื้น และผลผลิตจากการย่างเพิ่มขึ้น และพบว่า ปริมาณความชื้นมีความสัมพันธ์ทางบวกกับผลผลิตจากการย่าง ($p \leq 0.01$) แสดงว่า ปริมาณความชื้นที่เพิ่มขึ้น ทำให้ผลผลิตจากการย่างเพิ่มขึ้น

จากผลการทดลอง (ตารางที่ 4.37) เมื่อพิจารณาเฉพาะอิทธิพลร่วมของอัตราส่วนโซเดียมเคซีเนต-ไมวาเซ็ต®5-07 กับความเข้มข้นของ CMC ต่อค่าความสว่าง (L) ค่าสีแดง (a*) และสีเหลือง (b*) ของผลิตภัณฑ์ ($p \leq 0.05$) โดยสูตรที่มีอัตราส่วนองค์ประกอบ 5:5:0.6, 4:6:0.6 % มีค่าสีแดงเพิ่มขึ้น จากการตรวจพินิจลักษณะปรากฏ พบว่า เกิดรอยไหม้ที่ฟิล์ม การเปลี่ยนแปลงของค่าสีอธิบายได้ด้วยเหตุผลเช่นเดียวกันกับข้อ 4.1.2.2 และจากการหาความสัมพันธ์ของข้อมูล (ตารางที่ 4.44) พบว่า น้ำหนักที่ชุบติดมีความสัมพันธ์ทางลบกับค่าความสว่าง ($p \leq 0.01$) และมีความสัมพันธ์ทางบวกกับค่าสีแดง ($p \leq 0.05$) แสดงว่า เมื่อน้ำหนักของสารละลายฟิล์มที่ชุบติดเพิ่มขึ้น ทำให้ค่าความสว่างของผลิตภัณฑ์ลดลง อาจเป็นผลจากชั้นฟิล์มประกอบมีสีขาว และทึบแสง และค่าสีแดงเพิ่มขึ้น อาจเกิดจากเมื่อน้ำหนักของสารละลายที่ชุบติดบนผิวผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้น จะทำให้เกิดชั้นของฟิล์มที่หนามากขึ้น ทำให้เกิดรอยไหม้ของฟิล์มขณะย่าง ความสัมพันธ์ที่ได้นี้จะสอดคล้องกับค่าสีแดงที่เพิ่มขึ้นของสูตรที่มีอัตราส่วนองค์ประกอบ 5:5:0.6 และ 4:6:0.6 %

จากผลการทดลอง (ตารางที่ 4.38) พบอิทธิพลร่วมของอัตราส่วนโซเดียมเคซีเนต-ไมวาเซ็ต®5-07กับความเข้มข้นของ CMC ต่อค่าความทนแรงดึง และมอดุลัส ($p \leq 0.05$) โดยสูตรที่มีอัตราส่วนองค์ประกอบ 2:8:0.2 และ 2:8:0.4% ผลิตภัณฑ์จะมีค่าความทนแรงดึงต่ำสุด ทั้งนี้อาจเนื่องจากผลของไมวาเซ็ต®5-07 ที่เป็นส่วนประกอบหลักของฟิล์ม และจากการหาความสัมพันธ์ของข้อมูล (ตารางที่ 4.45)พบว่า น้ำหนักที่ชุบติดต่อหน่วยพื้นที่มีความสัมพันธ์ทางบวกกับค่าความทนแรงดึง ($p \leq 0.05$) แสดงว่า เมื่อน้ำหนักของสารละลายฟิล์มที่ชุบติดเพิ่มขึ้น ทำให้ค่าความทนแรงดึงของผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้น อาจเนื่องจากเกิดชั้นฟิล์มที่หนาขึ้นบนผิวของผลิตภัณฑ์

จากผลการทดลอง (ตารางที่ 4.40) เมื่อพิจารณาเฉพาะอิทธิพลของอัตราส่วนโซเดียมเคซีเนต-ไมวาเซ็ต®5-07 ต่อค่าความยืดตัว ($p \leq 0.05$) เมื่อปริมาณไมวาเซ็ต®5-07 เพิ่มขึ้น ผลิตภัณฑ์จะมีค่าความยืดตัวสูงขึ้น อธิบายได้ด้วยเหตุผลเช่นเดียวกับข้อ 4.1.3.2

จากผลการทดลอง (ตารางที่ 4.41) เมื่อพิจารณาเฉพาะอิทธิพลของความเข้มข้นของ CMC ต่อค่าความยืดตัว ($p \leq 0.05$) โดยผลิตภัณฑ์จะมีค่าความยืดตัวสูงขึ้น เมื่อความเข้มข้นของ CMC เพิ่มขึ้น ทั้งนี้อาจเนื่องจากค่าน้ำหนักของสารละลายฟิล์มที่ชุบติดมีค่าสูงขึ้นเช่นกัน ทำให้เกิดชั้นฟิล์มที่หนาขึ้น จึงส่งผลต่อค่าความยืดตัว

ผลจากคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัส (ตารางที่ 4.42) พบอิทธิพลร่วมของอัตราส่วนโซเดียมเคซีเนต-ไมวาเซ็ต®5-07 กับความเข้มข้นของ CMC ต่อคะแนนการพองฟู่ ลักษณะสี ความสม่ำเสมอของสี เนื้อสัมผัสและความชอบรวม ($p \leq 0.05$) โดยสูตรที่มีอัตราส่วนองค์

ประกอบ 2:8:0.4 และ 2:8:0.6% ผลิตภัณฑ์จะมีคุณภาพทางประสาทสัมผัสทุกลักษณะสูงสุด และจากการหาความสัมพันธ์ของข้อมูล (ตารางที่ 4.44 4.45 และ4.46) พบความสัมพันธ์ทางลบของน้ำหนักที่ชุบติดต่อหน่วยพื้นที่กับคะแนนลักษณะสี ความสม่ำเสมอของสี ($p\leq0.01$) คะแนนเนื้อสัมผัส และความชอบรวม ($p\leq0.05$) แสดงว่า เมื่อน้ำหนักของสารละลายฟิล์มที่ชุบติดเพิ่มขึ้น ทำให้คะแนนลักษณะสี ความสม่ำเสมอของสี คะแนนเนื้อสัมผัส และความชอบรวมลดลง และพบว่า ความชอบรวมมีความสัมพันธ์ทางบวกกับการพองฟู ลักษณะสี ความสม่ำเสมอของสี กลิ่น รสชาติ และเนื้อสัมผัส ($p\leq0.01$) แสดงว่า เมื่อคะแนนการพองฟู ลักษณะสี ความสม่ำเสมอของสี กลิ่น รสชาติ และเนื้อสัมผัสเพิ่มขึ้น ทำให้คะแนนความชอบรวมเพิ่มขึ้น

จากผลการทดลองทั้งหมด สรุปได้ว่า การแปรอัตราส่วนของโซเดียมแคซีเนต-ไมวาซีด®5-07และความเข้มข้นของ CMC ทำให้สมบัติด้านการยึดติดบนพื้นผิวของสารละลายฟิล์มเพิ่มขึ้น เป็นผลเนื่องมาจากความหนืดปรากฏที่เพิ่มขึ้น และส่งผลให้ค่าผลผลิตจากการย่าง และปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์มีค่าเพิ่มขึ้น แสดงว่า การใช้สารทั้งสามชนิดร่วมกันผลิตฟิล์มประกอบชนิดอิมัลชันจะช่วยลดขีดจำกัดในการงานของฟิล์มเดี่ยวแต่ละชนิดได้ และช่วยรักษาปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์ขณะย่างได้ตรงตามวัตถุประสงค์ของงานวิจัย โดยสูตรที่มีอัตราส่วนองค์ประกอบ 2:8:0.4 และ 2:8:0.6% มีสมบัติด้านต่างๆ ดีใกล้เคียงกัน แต่เมื่อพิจารณาถึงปริมาณสารละลายฟิล์มที่ใช้ พบว่าสูตร 2:8:0.4% ใช้ปริมาณน้อยกว่า ดังนั้นจึงเลือกสูตรสารละลายฟิล์มประกอบที่เหมาะสมที่สุดคือสูตรที่ประกอบด้วยโซเดียมแคซีเนต-ไมวาซีด®5-07-CMC 2:8:0.4 % เพื่อใช้ในการทดลองต่อไป

4.2 <u>องค์ประกอบทางเคมีของผลิตภัณฑ์ปลาเส้นที่ไม่เคลือบและเคลือบฟิล์มประกอบ</u>

การเคลือบฟิล์มประกอบบนผิวของผลิตภัณฑ์ ชั้นของฟิล์มจะเป็นส่วนหนึ่งของผลิตภัณฑ์ ดังนั้นองค์ประกอบทางเคมีของผลิตภัณฑ์จะเกิดการเปลี่ยนแปลง จำเป็นต้องศึกษาเพื่อเปรียบเทียบคุณค่าทางโภชนาของผลิตภัณฑ์ ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี (ตารางที่ 4.47) พบว่า ผลิตภัณฑ์ปลาเส้นที่ไม่เคลือบมีความชื้น 14.33% โปรตีน 23.35% ไขมัน 3.34% และเถ้า 5.19% ส่วนผลิตภัณฑ์ที่เคลือบฟิล์มประกอบจากโซเดียมแคซีเนต-ไมวาเซ็ด®5-07-CMC ที่อัตราส่วนองค์ประกอบ 2 : 8 : 0.4 % มีความชื้น 15.33% โปรตีน 21.34% ไขมัน 9.04% และเถ้า 5.16% แสดงว่า ผลิตภัณฑ์ปลาเส้นที่เคลือบมีปริมาณความชื้น และไขมันเพิ่มขึ้น ขณะที่โปรตีนลดลงเมื่อเทียบกับที่ไม่เคลือบ ทั้งนี้เนื่องจากฟิล์มที่ใช้เคลือบมีส่วนประกอบหลักเป็นไขมัน ดังนั้นจึงมีผลให้ผลิตภัณฑ์ที่เคลือบมีปริมาณไขมันเพิ่มขึ้น จากการเปรียบเทียบปริมาณโปรตีน และไขมันของผลิตภัณฑ์ปลาเส้นกับผลิตภัณฑ์อาหารชนิดอื่น พบว่า มีปริมาณโปรตีนใกล้เคียงกับปลาชาร์ดีนกระป๋อง (21.7%) หรือกุนเชียง(21.3%) และมีปริมาณไขมันใกล้เคียงขนมปังปอนด์ (3-6%) แต่ต่ำกว่าไส้กรอก(15-50%) แสดงว่า ถึงแม้การเคลือบฟิล์มจะทำให้ผลิตภัณฑ์มีปริมาณไขมันสูงขึ้น แต่ก็เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีไขมันต่ำ และโปรตีนสูง จัดได้ว่าเป็นผลิตภัณฑ์มีคุณค่าทางโภชนาการสูง

4.3 ผลการชุบเคลือบด้วยสารละลายฟิล์มประกอบโซเดียมเคซีเนต-ไมวาเซ็ต® 5-07-CMC ต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ปลาเส้นระหว่างการเก็บรักษา

งานทดลองในขั้นตอนนี้เป็นการเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงคุณภาพผลิตภัณฑ์ปลาเส้นที่ไม่เคลือบ และเคลือบด้วยฟิล์มประกอบจากสารละลายโซเดียมเคซีเนต-ไมวาเซ็ต® 5-07 -CMC ที่อัตราส่วนองค์ประกอบ 2 : 8 : 0.4 % ระหว่างการเก็บรักษา บรรจุภัณฑ์ที่เลือกใช้ในการทดลองเป็นชนิดเดียวกับที่ใช้บรรจุผลิตภัณฑ์ในระดับอุตสาหกรรม จากบริษัทซันยางอุตสาหกรรมอาหาร จำกัด เป็นถุงพลาสติกชนิด OPP/CPP จากการวิเคราะห์สมบัติของบรรจุภัณฑ์ พบว่า มีความหนา 70 ไมโครเมตร มีค่าอัตราการซึมผ่านของไอน้ำ 7.2 กรัม/ตารางเมตร.วัน และอัตราการซึมผ่านของแก๊สออกซิเจน 6,110 มิลลิลิตร.มิล / ตารางเมตร.ความดันบรรยากาศ.วัน โดยสมบัติของฟิล์มพลาสติกที่ใช้จากการรายงานของศูนย์การบรรจุหีบห่อไทย พบว่า ฟิล์ม OPP และ CPP จะมีสมบัติป้องกันการซึมผ่านของไอน้ำได้ดี แต่ป้องกันการซึมผ่านของแก๊สได้ต่ำ

ผลการวัดปริมาณความชื้น ค่าสี (L, a*, b*) สมบัติทางกายภาพด้านเนื้อสัมผัส (ความทนแรงดึง ความยืดตัว และมอดุลัส) ค่า TBA จำนวนแบคทีเรียทั้งหมด จำนวนยีสต์ รา และคุณภาพทางประสาทสัมผัส แสดงในตารางที่ 4.48-4.62 และรูปที่ 4.1-4.6

ปริมาณความชื้น

จากผลการทดลอง (รูปที่ 4.1) พบว่า ปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์ปลาเส้นที่ไม่เคลือบ และเคลือบมีความสัมพันธ์กับอายุการเก็บ ($p \leq 0.05$) เมื่อพิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย (b) แทนความชันของเส้นตรง พบว่าปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์ที่ไม่เคลือบมีความชันทางลบมากกว่า แสดงว่า มีการเสียน้ำมากกว่าผลิตภัณฑ์ที่เคลือบที่อายุการเก็บเท่ากัน ทั้งนี้เนื่องจากว่าผลิตภัณฑ์ปลาเส้นปริมาณความชื้นในช่วง 14-16% ดังนั้นเมื่อเก็บรักษาในบรรยากาศปกติจะเกิดการเสียน้ำออกจากผลิตภัณฑ์ ซึ่งเมื่อพิจารณาสมบัติของภาชนะบรรจุที่ใช้ มีค่าอัตราการซึมผ่านของไอน้ำ 7.2 กรัม/ตารางเมตร.วัน ถึงแม้จะกันการซึมผ่านของไอน้ำได้ดี แต่ยังให้ไอน้ำระเหยออกไปได้ ดังนั้นปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์จะลดลงเมื่ออายุการเก็บเพิ่มขึ้น ผลิตภัณฑ์ที่เคลือบฟิล์มประกอบมีชั้นของฟิล์มที่มีไขมันเป็นองค์ประกอบอยู่ ดังนั้นจึงป้องกันการเสียน้ำได้ดีกว่าผลิตภัณฑ์ที่ไม่เคลือบ แต่เนื่องจากเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์มีลักษณะพองฟู ดังนั้นฟิล์มที่เคลือบอาจไม่เกิดเป็นชั้นเคลือบได้ตลอดทั่วทั้งพื้นผิวที่สัมผัสกับอากาศ ดังนั้นผลิตภัณฑ์จะเกิดการสูญเสียปริมาณความชื้นได้

สี

จากผลการทดลอง (รูปที่ 4.3) พบอิทธิพลร่วมของชนิดผลิตภัณฑ์กับอายุการเก็บต่อค่าสีแดงของผลิตภัณฑ์ปลาเส้น ($p \leq 0.05$) โดยผลิตภัณฑ์ที่ไม่เคลือบ และเคลือบฟิล์มประกอบจะมีค่าสีแดงเพิ่มขึ้นเมื่ออายุการเก็บเพิ่มขึ้น ที่อายุการเก็บ 12 สัปดาห์ ผลิตภัณฑ์ที่เคลือบจะมีค่าสีแดงมากกว่าผลิตภัณฑ์ที่ไม่เคลือบ แสดงว่า มีสีเข้มขึ้นมากกว่า และพบเฉพาะอิทธิพลของชนิดผลิตภัณฑ์ต่อค่าความสว่าง และสีเหลือง ($p \leq 0.05$) การที่ผลิตภัณฑ์ที่เคลือบมีสีเข้มมากกว่าผลิตภัณฑ์ที่ไม่เคลือบ ทั้งนี้อาจเนื่องจาก สีของฟิล์มเคลือบ อธิบายได้เช่นเดียวกับข้อ 4.1.4.2 และผลิตภัณฑ์ที่เคลือบมีปริมาณไขมันสูงกว่าเมื่ออายุการเก็บเพิ่มขึ้น อาจเกิดการออกซิเดชันของไขมันให้สารสีน้ำตาลมากกว่า Matsushita (1990)

ระบุว่า การเกิดออกซิเดชันของไขมันทำให้เกิดสารสีน้ำตาล แม้ไม่พบรายงานวิจัยการเปลี่ยนแปลงสีของฟิล์มเคลือบจากแอซิติเลทเต็ดมอโนกลีเซอไรด์เมื่ออายุการเก็บเพิ่มขึ้น แต่จากการรายงานของ Smith และคณะ (1990) ทดลองวัดการเกิดออกซิเดชันของไขมันในเนื้อปลาแคทฟิช (*Arius thalassinus*) ที่ตองเต็มตากแห้ง กล่าวว่า การออกซิเดชันของไขมันในอาหารที่ประกอบด้วยโปรตีน กรดอะมิโน หรือฟอสโฟลิปิด จะเกิดการทำปฏิกิริยาของสารไฮโดรเปอร์ออกไซด์เป็นผลิตภัณฑ์แรกที่เกิดจากการออกซิเดชันของไขมัน และสารประกอบที่มีมวลโมเลกุลต่ำเป็นผลิตภัณฑ์ที่สองที่เกิดจากการออกซิเดชันของไขมัน จะเป็นสารที่ทำให้เกิดกลิ่น เช่น อัลดีไฮด์ กับกรดอะมิโนที่มีในอาหารเกิดเป็นสารสีน้ำตาล ซึ่งพบการรายงานในลักษณะเดียวกันโดย Matsushita (1990) แต่ไม่มีการระบุชนิดของสารที่ทำให้เกิดสารสีน้ำตาล

<u>สมบัติทางกายภาพด้านเนื้อสัมผัส</u>

จากผลการทดลอง (รูปที่ 4.4 และตารางที่ 4.51-4.53) พบเฉพาะอิทธิพลของชนิดผลิตภัณฑ์ และอิทธิพลของอายุการเก็บต่อค่าความยืดตัว ($p\leq0.05$) และอิทธิพลของชนิดผลิตภัณฑ์ต่อค่ามอดุลัส ($p\leq0.05$) โดยผลิตภัณฑ์ที่เคลือบมีค่าความยืดตัวสูงกว่า แต่มีค่ามอดุลัสต่ำกว่าผลิตภัณฑ์ที่ไม่เคลือบ อธิบายได้เช่นเดียวกับข้อ 4.1.4 และค่าความยืดตัวของผลิตภัณฑ์ทั้งสองมีค่าลดลง เมื่ออายุการเก็บเพิ่มขึ้น โดยที่อายุการเก็บ 12 สัปดาห์ ค่าความยืดตัวต่ำสุด ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการเสียน้ำของผลิตภัณฑ์ เมื่ออายุการเก็บมากขึ้นปริมาณความชื้นในผลิตภัณฑ์จะลดลง ดังนั้นเนื้อสัมผัสจะมีลักษณะแห้งมากขึ้น มีรายงานโดย Katz และ Labuza (1981) กล่าวว่า ปริมาณน้ำในผลิตภัณฑ์อาหารชนิดเดียวมีผลต่อการยืด หรือขยายตัวของโครงสร้างสามมิติของโปรตีน และพอลิเซ็คคาไรด์ ซึ่งเป็นพอลิเมอร์ชีวภาพที่ชอบน้ำในอาหาร ดังนั้นอาจกล่าวได้ว่า ปริมาณความชื้นที่ลดลงอาจทำให้โครงสร้างคาข่ายของโปรตีนกับพอลิเซ็คคาไรด์ของผลิตภัณฑ์ปลาเส้นเกิดการหดตัว มีลักษณะแน่นขึ้น ดังนั้นจึงส่งผลให้ค่าความยืดตัวลดลง ขณะที่ค่าความทนแรงดึงไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงตลอดอายุการเก็บ ทั้งนี้อาจเนื่องจากว่าเป็นค่าที่สัมพันธ์กับการพองฟูของผลิตภัณฑ์ (จากข้อ 4.1) ดังนั้นเมื่อการพองฟูของเนื้อสัมผัสไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง ดังนั้นค่าความทนแรงดึงจึงไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงเช่นกัน

<u>ค่า TBA</u>

จากผลการทดลอง (รูปที่ 4.5 และตารางที่ 4.54, 4.55) พบเฉพาะอิทธิพลของอายุการเก็บต่อค่า TBA ($p\leq0.05$) ซึ่งจะมีค่าเพิ่มขึ้นที่อายุการเก็บ 0-6 สัปดาห์ และจะมีค่าใกล้เคียงกันที่อายุการเก็บ 8-12 สัปดาห์ โดยการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น จะเกิดคล้ายกันระหว่างผลิตภัณฑ์ปลาเส้นที่ไม่เคลือบและเคลือบ ซึ่งค่า TBA ที่อายุการเก็บ 12 สัปดาห์ มีค่าประมาณ 8.5 มิลลิกรัม/กิโลกรัมตัวอย่าง ทั้งนี้อาจเนื่องจากผลิตภัณฑ์ปลาเส้นมีส่วนประกอบหลักคือ เนื้อปลา ซึ่งมีกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว ดังนั้นจะเกิดการออกซิเดชันของไขมันได้ง่าย (Olcott, 1962) การที่ค่า TBA เพิ่มขึ้นในระหว่างการเก็บ 0-6 สัปดาห์ ทั้งนี้อาจเนื่องจากการบรรจุผลิตภัณฑ์ในภาวะบรรยากาศ ทำให้ภายในภาชนะบรรจุมีออกซิเจน และจากสมบัติของภาชนะบรรจุจะยอมให้แก๊สออกซิเจนซึมผ่านได้ ดังนั้นจึงเกิดการออกซิเดชันกับกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว ร่วมกับการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ในภาวะที่เหมาะต่อการเกิดออกซิเดชันคือ ที่อุณหภูมิ 27-31 องศาเซลเซียส การสัมผัสกับแสงสว่าง และปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์ จากการวัดค่า a_w พบว่า ผลิตภัณฑ์ปลาเส้นทั้งที่เคลือบและไม่เคลือบมีค่า a_w ในช่วง 0.6-0.7 Matsushita (1990) รายงานว่า

อาหารที่มีค่า Aw ในช่วง 0.6-0.85 อัตราการเกิดออกซิเดชันจะเพิ่มขึ้นถ้าค่า Aw เพิ่มขึ้น ดังนั้นค่า TBA ช่วง 0-6 สัปดาห์ จึงมีค่าสูงขึ้น และการที่ TBA มีค่าใกล้เคียงกันที่อายุการเก็บ 8-12 สัปดาห์ ทั้งนี้อาจเนื่องจากว่า ปัจจัยที่ส่งเสริมการเกิดออกซิเดชัน เช่น สารตั้งต้นของการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน และปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์ลดลง ดังนั้นค่าของ TBA จึงไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงมากนัก

<u>จำนวนแบคทีเรียทั้งหมด และจำนวนยีสต์และรา</u>

การทดลองวิเคราะห์หาจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด และจำนวนยีสต์รา เนื่องจากผลิตภัณฑ์ปลาเส้นมีความชื้นต่ำ มีค่าประมาณ 14-16% ดังนั้นการเสื่อมเสียจะเกิดขึ้นจากยีสต์และรา ชนิดที่ทนความแห้งแล้งได้ดี

จากผลการทดลอง (ตารางที่ 4.56) พบว่า ผลิตภัณฑ์ปลาเส้นที่ไม่เคลือบ และเคลือบฟิล์มประกอบจากโซเดียมเคซีเนต-ไมวาซีต®5-07-CMC ที่อัตราส่วนองค์ประกอบ 2 : 8 : 0.4 % มีจำนวนแบคทีเรียทั้งหมด และจำนวนยีสต์ รา ใกล้เคียงกัน เมื่ออายุการเก็บเพิ่มขึ้น โดยจำนวนแบคทีเรียทั้งหมด และจำนวนยีสต์ ราของผลิตภัณฑ์ปลาเส้นตลอดอายุการเก็บ 3 เดือนจะอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานตามประกาศของกระทรวงสาธารณสุข เรื่องคุณภาพมาตรฐานเฉพาะของอาหารสำเร็จรูปในภาชนะปิดสนิทชนิดถามิเนต ฉบับ 69(พ.ศ.2525) กำหนดให้มีการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ไม่เกิน 10,000 โคโลนีต่อกรัมอาหาร และปริมาณยีสต์และราไม่เกิน 100 โคโลนีต่อกรัมอาหาร อาจเนื่องจาก มีการบรรจุอย่างถูกสุขลักษณะ ปริมาณจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนช่วงเริ่มต้นน้อย และปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์ต่ำ จึงไม่พบการเพิ่มจำนวนของจุลินทรีย์

<u>คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัส</u>

จากผลคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัส พบอิทธิพลร่วมของชนิดผลิตภัณฑ์กับอายุการเก็บต่อคะแนนเนื้อสัมผัส ($p\leq0.05$) และอิทธิพลของชนิดผลิตภัณฑ์ต่อคะแนนสี ($p\leq0.05$) และอิทธิพลของอายุการเก็บต่อคะแนนสี และกลิ่นรส ($p\leq0.05$) แสดงว่า ผู้ทดสอบระบุความแตกต่างของเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ที่เคลือบ ไม่เคลือบ และที่อายุการเก็บแตกต่างกันได้ โดยความแตกต่างของชนิดผลิตภัณฑ์ที่ 0 สัปดาห์ ผลิตภัณฑ์ที่เคลือบมีคะแนนเนื้อสัมผัสต่ำกว่าผลิตภัณฑ์ที่ไม่เคลือบเล็กน้อย ซึ่งมีคะแนน 7.11 และ 7.56 ตามลำดับ อาจเนื่องจากผลของชั้นฟิล์มทำให้เนื้อสัมผัสเปลี่ยนแปลง แต่ที่อายุการเก็บ 12 สัปดาห์ ลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ทั้งสองไม่แตกต่างกัน ทั้งนี้อาจเนื่องจาก อัตราการเสียน้ำของผลิตภัณฑ์ที่ไม่เคลือบมากกว่าผลิตภัณฑ์ที่เคลือบ โดยผู้ทดสอบระบุว่าเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ทั้งสองจะใกล้เคียงกัน อย่างไรก็ตามถ้าพิจารณาจากอัตราการเสียน้ำของผลิตภัณฑ์ที่ไม่เคลือบ (รูปที่ 4.1) อาจคาดได้ว่า เมื่อเก็บผลิตภัณฑ์ต่อไป คะแนนเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ที่ไม่เคลือบอาจมีค่าต่ำกว่าตัวอย่างที่เคลือบ เนื่องจากมีอัตราการเสียน้ำมากกว่า และผลิตภัณฑ์ที่ไม่เคลือบได้รับคะแนนสีสูงกว่าผลิตภัณฑ์ที่เคลือบ โดยคะแนนสีของผลิตภัณฑ์ทั้งสองอยู่ในช่วงการยอมรับได้ของผู้ทดสอบ โดยมีคะแนนมากกว่า 5 ระบุระดับการยอมรับในแบบทดสอบ ดังแสดงในภาคผนวก ค คะแนนสี และกลิ่นรสมีการเปลี่ยนแปลงที่อายุการเก็บ 4 สัปดาห์ และที่ 12 สัปดาห์มีคะแนนสี และกลิ่นรสต่ำสุด แต่ยังอยู่ในช่วงการยอมรับได้ของผู้ทดสอบ โดยมีคะแนนมากกว่า 5 ระบุระดับการยอมรับในแบบทดสอบ ดังแสดงในภาคผนวก ค ดังนั้นสรุปได้ว่าผู้ทดสอบสังเกตพบ การเปลี่ยนแปลงด้านสี และกลิ่น

รสของผลิตภัณฑ์ที่อายุการเก็บ 4 สัปดาห์ แต่พบการเปลี่ยนแปลงของเนื้อสัมผัสหลังจากเก็บเป็นเวลา 6 สัปดาห์ และเมื่อเก็บถึง 12 สัปดาห์ ผู้ทดสอบยังให้การยอมรับผลิตภัณฑ์ ดังนั้นผลิตภัณฑ์มีอายุการเก็บอย่างน้อย 12 สัปดาห์

ผลจากการหาความสัมพันธ์ของข้อมูล (ตารางที่ 4.60-4.62) พบว่า อายุการเก็บมีความสัมพันธ์ทางลบกับปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์ที่ไม่เคลือบ ($p\leq0.01$) ปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์ที่เคลือบ ($p\leq0.05$) ค่าความสว่างและคะแนนลักษณะสี ($p\leq0.01$) และมีความสัมพันธ์ทางบวกกับค่าสีแดงและสีเหลืองของผลิตภัณฑ์ที่ไม่เคลือบ และเคลือบ($p\leq0.01$) แสดงว่า เมื่ออายุการเก็บเพิ่มขึ้น ผลิตภัณฑ์จะมีปริมาณความชื้นลดลง มีผลกับผลิตภัณฑ์ที่เคลือบ และไม่เคลือบ และค่าความสว่าง และคะแนนลักษณะสีของผลิตภัณฑ์จะลดลง ขณะที่ค่าสีแดง และเหลืองของผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้น และพบว่าปริมาณความชื้นมีสัมพันธ์ทางบวกกับค่าความสว่าง และคะแนนลักษณะสี ($p\leq0.05$) และมีความสัมพันธ์ทางลบค่าสีแดง และสีเหลือง ($p\leq0.05$) แสดงว่า เมื่อปริมาณความชื้นในผลิตภัณฑ์ลดลง ค่าความสว่างและคะแนนลักษณะสีมีค่าลดลง ขณะที่ค่าสีแดงและเหลืองเพิ่มขึ้น อาจเกิดจากหดตัวของโครงสร้างเนื้อสัมผัสดังเหตุผลที่กล่าวในหัวข้อสมบัติทางกายภาพด้านเนื้อสัมผัสและอาจเกิดสารสีน้ำตาลจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน ทำให้คุณภาพด้านสีของผลิตภัณฑ์เกิดการเปลี่ยนแปลง ซึ่งการเปลี่ยนแปลงนี้จะคล้ายคลึงกันระหว่างผลิตภัณฑ์ที่ไม่เคลือบและเคลือบ และพบว่าอายุการเก็บมีความสัมพันธ์ทางบวกกับค่ามอดุลัส ($p\leq0.01$) และมีความสัมพันธ์ทางลบกับค่าความยืดตัว และคะแนนเนื้อสัมผัส ($p\leq0.01$) ขณะที่ปริมาณความชื้นมีความสัมพันธ์ทางบวกกับความยืดตัว คะแนนเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ที่ไม่เคลือบและเคลือบ ($p\leq0.05$) และมีความสัมพันธ์ทางลบกับมอดุลัสของผลิตภัณฑ์ที่ไม่เคลือบ ($p\leq0.01$) แสดงว่า เมื่ออายุการเก็บเพิ่มขึ้น และปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์ลดลง ทำให้ค่าความยืดตัวลดลง ส่วนมอดุลัส (เฉพาะผลิตภัณฑ์ที่ไม่เคลือบ) เพิ่มขึ้น และคะแนนเนื้อสัมผัสมีค่าลดลงเช่นกัน และพบว่าอายุการเก็บมีความสัมพันธ์ทางบวกกับค่า TBA ($p\leq0.01$) และมีความสัมพันธ์ทางลบกับคะแนนกลิ่นรส ($p\leq0.01$) ของผลิตภัณฑ์ที่ไม่เคลือบและเคลือบ แสดงว่า เมื่ออายุการเก็บเพิ่มขึ้น ค่า TBA มีค่าสูงขึ้น ขณะที่คะแนนกลิ่นรสมีค่าลดลง ซึ่งผลจากการหาความสัมพันธ์ทั้งหมดที่ได้จะสอดคล้องกับผลที่รายงานข้างต้น และแสดงว่า มีความสอดคล้องกันระหว่างสมบัติทางกายภาพและคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์

จากผลการทดลองทั้งหมดที่อธิบายมาในงานวิจัยนี้ สรุปได้ว่า ฟิล์มประกอบที่ได้จากการใช้สารทั้งสามชนิดร่วมกัน จะช่วยลดขีดจำกัดในการใช้งานของฟิล์มเดี่ยวจาก CMC ฟิล์มจากโซเดียมแคซีเนต และฟิล์มประกอบจากโซเดียมเคซีเนตร่วมกับไมวาเซ็ต®5-07 ได้ โดยการศึกษาถึงสมบัติของฟิล์มแต่ละชนิดก่อน จะทำให้เห็นถึงสมบัติของสารแต่ละตัวอย่างชัดเจน เช่น CMC จะทำหน้าที่เป็นสารช่วยเพิ่มความข้นหนืด และความคงตัวได้ดี โซเดียมแคซีเนตมีสมบัติในการยึดติดกับผิวของผลิตภัณฑ์ได้ดี ส่วนไมวาเซ็ต®5-07 จะช่วยเพิ่มสมบัติการป้องกันการซึมผ่านของไอน้ำได้ดี แต่ทำให้สมบัติในการยึดติดบนผิวของผลิตภัณฑ์ลดลง ซึ่งข้อดีและข้อเสียที่ได้นี้ จะขยายผลไปสู่การอธิบายถึงผลที่เกิดขึ้นจากการที่ใช้สารทั้งสามชนิดร่วมกัน โดยงานวิจัยนี้ได้บรรลุถึงวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ โดยฟิล์มประกอบจากโซเดียมแคซีเนต-ไมวาเซ็ต®5-07-CMC จะช่วยเพิ่มผลผลิตจากการย่าง และปริมาณ

ความชื้นของผลิตภัณฑ์ได้ นอกจากนั้นยังช่วยชะลออัตราการเสียน้ำของผลิตภัณฑ์ในระหว่างการเก็บรักษา เมื่อเทียบกับผลิตภัณฑ์ที่ไม่เคลือบ

ความคุ้มทุนในการใช้ฟิล์มประกอบเคลือบผลิตภัณฑ์ปลาเส้น พิจารณาได้จากผลผลิตที่ได้ และราคาของสารที่ใช้ผลิตฟิล์มประกอบ จากผลการทดลอง (ตารางที่ 4.33) พบว่า ตัวอย่างที่ไม่เคลือบมีค่าผลผลิตจากการย่างเท่ากับ 83.06% ขณะที่ตัวอย่างที่เคลือบมีค่า 84.80% แสดงว่า ผลผลิตที่ได้มีค่าเพิ่มขึ้นประมาณ 1.74 % และต้นทุนของฟิล์มเคลือบ คำนวณได้จากน้ำหนักของสารละลายฟิล์มที่ชุบติด จากข้อมูล (ตารางที่ 4.32) พบว่า สารละลายฟิล์มสูตร 2:8:0.4% มีค่าน้ำหนักที่ชุบติดเท่ากับ 524.57 กรัมต่อพื้นที่ 1 ตารางเมตร โดยในสารละลายฟิล์มจะประกอบด้วยโซเดียมแคซีเนต 10.49 กรัม (0.01 x 250 บาท/กิโลกรัม ราคา 2.62 บาท) ไมวาซ็ต® 5-07 41.96 กรัม (0.042 x 240 บาท/กิโลกรัม ราคา 10.07 บาท) และ CMC 2.10 กรัม (0.0021 x 220 บาท/กิโลกรัม ราคา 0.44 บาท) รวมต้นทุนของสารที่ใช้ผลิตฟิล์มประกอบ 13.13 บาท ต่อพื้นที่ปลาแผ่น 1 ตารางเมตร บริษัทผู้ผลิตจะพิจารณาร่วมกับต้นทุนค่าอุปกรณ์และแรงงานที่ใช้ว่าคุ้มทุนหรือไม่ อย่างไรก็ตามต้องคำนึงถึงผลประโยชน์แฝงที่ไม่อาจคำนวณเป็นตัวเลขได้โดยตรง คือ การเคลือบด้วยฟิล์มประกอบจะช่วยลดการอัตราการเสียน้ำของผลิตภัณฑ์ในระหว่างการย่างได้ ดังนั้นอาจช่วยลดโอกาสที่ผลผลิตมีค่าต่ำกว่ามาตรฐานเดิม ถือเป็นการช่วยลดต้นทุนการผลิตได้ทางหนึ่ง นอกจากนั้นอาจใช้ฟิล์มเคลือบให้เกิดประโยชน์ทางด้านอื่นได้ เช่น ช่วยเพิ่มการเกาะติดของสารให้กลิ่นรส หรือเป็นชั้นที่เติมสารป้องกันการเกิดกลิ่นหืนได้

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย