

บทที่ 5

วิจารณ์ผลการทดลอง

5.1 คุณภาพวัตถุดิบ

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบโดยประมาณของปลาอุก ดังตารางที่ 4.1 พบ ความชื้น โปรตีน ไขมัน และ เถ้า 70.19, 17.43, 12.43 และ 0.01 % โดยน้ำหนัก ตามลำดับ การที่ปลาอุกมีปริมาณโปรตีน และไขมันสูง นับว่าเหมาะสมในการนำมาผลิตปลารมควัน เนื่องจากโปรตีนจากเนื้อปลาเป็นโปรตีนที่ย่อยง่ายขณะที่ปลาไขมันสูงจะให้ผลิตภัณฑ์ที่เนื้อนุ่มชวนบริโภคและความรู้สึกละเอียด ไม่กระด้าง (Pomeranze, 1985) แต่ปลาไขมันสูงอาจยังมีผลให้เบนโซ(เอ)ไพรีนในผลิตภัณฑ์ที่ได้มีปริมาณสูง เนื่องจากสารดังกล่าวสามารถแทรกซึมในส่วนไขมันของอาหารได้ดี (Rhee และ Bratzler, 1970) อย่างไรก็ตามปลาไขมันสูงน่าจะเหมาะแก่การนำมาเป็นวัตถุดิบสำหรับงานทดลองนี้เพื่อที่จะได้เห็นผลของพอลิเมอร์ชีวภาพต่อปริมาณเบนโซ(เอ)ไพรีนได้อย่างชัดเจน ด้วยเหตุนี้จึงเลือกใช้ปลาชนิดนี้เป็นวัตถุดิบในการผลิตปลารมควัน

เมื่อพิจารณาด้านความสดของปลา โดยการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ และ คุณภาพทางเคมี ได้แก่ ค่า TVB ดังตารางที่ 4.1 และ 4.2 พบว่าปลาามีเหงือกสีแดงสด ผิวหนังเป็นมันเงา ไม่ขุ่นมัว เนื้อแน่น ไม่นุ่มตามแรงมือกด ซึ่งสอดคล้องกับข้อกำหนดลักษณะของปลาที่มีความสดสูงของ Fishery Technological Development Division (1981) ส่วนคุณภาพทางเคมี พบว่าปลาอุกมีค่า TVB 11.31 mg/100g ซึ่ง TVB คือปริมาณสารประกอบไนโตรเจนที่ระเหยได้ทั้งหมด โดยเป็นการตรวจค่ารวมของปริมาณ TMA, dimethylamin (DMA) และ แอมโมเนีย ที่มีเกิดขึ้นเมื่อปลาเริ่มเสื่อมสภาพจากปฏิกิริยาของเอนไซม์ในตัวปลาและเอนไซม์จากจุลินทรีย์ (Connell, 1975) ค่า TVB จึงจัดเป็นดัชนีในการวัดความสดของเนื้อปลา โดย Uchiyama (1978) กล่าวว่า ปลาที่มีคุณภาพด้านความสดอยู่ในเกณฑ์ดี ควรมีค่า TVB อยู่ในช่วง 6 - 20 mg/100g จึงอาจกล่าวได้ว่า ปลาอุกที่ใช้เป็นวัตถุดิบ มีคุณภาพด้านความสดเหมาะสมที่จะนำมาใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับการผลิตปลารมควัน

5.2 กระบวนการผลิตปลาอุกรมควัน

การรมควันอาหาร มีวัตถุประสงค์สำคัญในการถนอมอาหาร พัฒนาสีและกลิ่นรสของผลิตภัณฑ์ (Pearson และ Gillett, 1996) การรมควันมี 2 แบบได้แก่ การรมควันแบบเย็น ใช้อุณหภูมิรมควันไม่เกิน 28 °C และการรมควันแบบร้อนซึ่งใช้อุณหภูมิช่วง 50-80 °C การรมควันแบบร้อนมีผลทำให้ผลิตภัณฑ์มีปริมาณเบนโซ(เอ)ไพรีนสูงกว่าแบบเย็น เนื่องจากอุณหภูมิรมควันที่สูงทำให้เบนโซ(เอ)ไพรีนกระจายตัวในควันได้ดีและมีโอกาสเกาะติดที่ผิวได้มาก (Girard, 1992) งานวิจัยนี้จึงเลือกใช้วิธีการรมควันแบบร้อนและรมควันในภาวะเร่ง เพื่อให้เห็นผลของการใช้สารพอลิเมอร์ชีวภาพได้อย่างชัดเจน โดยใช้ชานอ้อยเป็นแหล่งควัน ปริมาณ 700 g ต่อการรมควัน 1 รุ่น ซึ่งใช้ปลา 3.5 กิโลกรัม เนื่องจากชานอ้อยเป็นวัสดุที่ให้กลิ่นรสควันในผลิตภัณฑ์รมควันที่ผู้บริโภคยอมรับมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับ ชี้อ้อย และ กาบมะพร้าว (พงศธร, 2535) ขั้นตอนนี้จึงเป็นการศึกษาภาวะเร่งที่เหมาะสมสำหรับการผลิตปลาอุกรมควัน โดยแปรความชื้นชานอ้อยเป็น 3 ระดับ คือ 10, 20 และ 30% และแปรอุณหภูมิรมควันเป็น 50 และ 60 °C ใช้เวลาในการรมควัน 3 ชั่วโมง ประเมินคุณภาพโดยวัดปริมาณความชื้น ไขมัน คาร์โบไฮเดรต ความแน่นของเนื้อสัมผัส เบนโซ(เอ)ไพรีนที่ผิวภายนอก เนื้อใน และ คุณภาพทางประสาทสัมผัสด้าน สี กลิ่นควัน เนื้อสัมผัส รสชาติ ลักษณะปรากฏ และ ความชอบรวม โดยพิจารณาเลือกภาวะที่ดีที่สุดจากปริมาณเบนโซ(เอ)ไพรีนและคุณภาพทางประสาทสัมผัส ผลที่ได้ดังแสดงใน ตารางที่ 4.3 – 4.5 และรูปที่ 4.1 – 4.2

จากตารางที่ 4.3 ไม่พบอิทธิพลของความชื้นชานอ้อยและอุณหภูมิรมควันต่อปริมาณไขมันของปลาอุกรมควัน ($p > 0.05$) ผลดังกล่าวอาจเนื่องจากวัตถุดิบที่ใช้มาจากแหล่งเดียวกัน ขนาดใกล้เคียงกัน ปริมาณไขมันตั้งต้นจึงไม่ต่างกัน และนอกจากนั้นยังแสดงให้เห็นว่าภาวะที่ใช้ในการรมควันไม่รุนแรงพอที่จะทำให้เกิดการสูญเสียไขมันจากบริเวณเนื้อและใต้ผิวหนังของปลา พบอิทธิพลของความชื้นชานอ้อยต่อค่าความสว่าง (L) และสีเหลือง (b^*) ของปลาอุกรมควัน ($p \leq 0.05$) โดยชานอ้อยที่มีความชื้น 30 % ให้ผลิตภัณฑ์ที่มีค่าความสว่างและสีเหลืองต่ำกว่าที่ความชื้น 10 และ 20% Girard (1992) กล่าวว่า การเผาไหม้ไม้ที่มีความชื้นสูง จะมีผลให้ควันที่ได้มีสารประกอบ carbonyls ในปริมาณมาก โดยสารประกอบ carbonyls ประเภท aldehyde หรือ ketone เป็นสารตั้งต้นของปฏิกิริยา Maillard ที่ให้สีน้ำตาลแก่ผลิตภัณฑ์รมควัน Pigott และ Tucker (1990) รายงานว่า การเกิดสีน้ำตาลในผลิตภัณฑ์รมควัน เกิดจากปฏิกิริยาระหว่างสารประกอบ carbonyls ในควันกับหมู่เอมีนของกรดอะมิโนและโปรตีนและเกิดเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีสีน้ำตาลขึ้น ซึ่งปลาอุกรมจัดเป็นแหล่งโปรตีนชนิดหนึ่ง ดังนั้นปฏิกิริยา Maillard ที่เกิดขึ้นจึงมีมาก ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ปลาอุกรมควันที่ได้มีสีเข้มขึ้น พบอิทธิพลร่วมระหว่าง

ความชื้นชานอ้อยและอุณหภูมิรมควันต่อค่าสีแดง (a^*) ของปลารมควัน โดยเมื่อพิจารณาที่อุณหภูมิรมควันระดับเดียวกัน ค่าสีแดงของปลารมควันสูงขึ้นเมื่อความชื้นชานอ้อยเพิ่มขึ้น ($p \leq 0.05$) Randall (1995) รายงานว่าไม้ที่มีความชื้นสูง จะเกิดการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ โดยไอน้ำที่ระเหยจากไม้ขณะเผาไหม้มีปริมาณมาก ทำให้ดับไฟ (blow out) บางส่วนของชิ้นไม้และเกิดควันในปริมาณมากกว่าไม้ที่มีความชื้นต่ำ เมื่อควันที่ผลิตได้มีปริมาณสาร carbonyls มาก โอกาสที่จะติดบนผิวของปลาจึงมีมาก ค่าสีแดงจึงเพิ่มขึ้น เมื่อพิจารณาที่ความชื้นชานอ้อยระดับเดียวกัน ค่าสีแดงของปลารมควันจะสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิรมควันเพิ่มขึ้น ($p \leq 0.05$) Simon และคณะ (1966) รายงานว่าอุณหภูมิภายในตู้รมควันที่สูง มีผลให้ส่วนที่เป็นไอกระจายตัวได้ดี ดังนั้นค่าสีแดงที่เพิ่มขึ้น อาจเนื่องจากสารประกอบ carbonyls ที่กระจายตัวอยู่ในส่วนที่เป็นไอ มีโอกาสที่จะทำปฏิกิริยากับโปรตีนและให้สีน้ำตาลได้มากขึ้น พบอิทธิพลของอุณหภูมิรมควันต่อปริมาณความชื้นและความแน่นของเนื้อสัตว์ของปลารมควัน ($p \leq 0.05$) โดยอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น ทำให้ความชื้นของผลิตภัณฑ์ลดลง แต่ความแน่นของเนื้อสัตว์เพิ่มขึ้น อธิบายได้โดยอ้างอิง Aitken และ Connell (1979) กับ Doe และคณะ (1998) ที่รายงานว่า เมื่อให้ความร้อนแก่ผลิตภัณฑ์อาหาร พลังงานความร้อนจะกระจายเข้าสู่ผลิตภัณฑ์ และถ้าถึงระดับที่ทำให้เกิดการเดือด จะเกิดการระเหยเป็นไอในปริมาณมาก โดยอัตราการระเหยจะสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ความชื้นจึงลดลงและบริเวณผิวอาหารที่ได้มีลักษณะที่แห้ง ทำให้ค่าความแน่นของเนื้อสัตว์ที่วัดได้เพิ่มขึ้น (Aitken และ Connell, 1979)

จากตารางที่ 4.4 และ 4.5 พบอิทธิพลของความชื้นชานอ้อยต่อปริมาณเบนโซ(เอ)ไพรีน ($p \leq 0.05$) แต่ไม่พบอิทธิพลของอุณหภูมิรมควันและอิทธิพลร่วมของปัจจัยทั้งสองต่อปริมาณเบนโซ(เอ)ไพรีน ($p > 0.05$) โดยเมื่อความชื้นชานอ้อยเพิ่มขึ้น ปริมาณเบนโซ(เอ)ไพรีนที่ผิวภายนอก เนื้อใน และรวมทั้งชิ้นของปลารมควันลดลง ที่ความชื้นชานอ้อย 30 % มีปริมาณเบนโซ(เอ)ไพรีนน้อยสุด ในขณะที่ความชื้นชานอ้อย 10 % มีปริมาณมากที่สุด ที่เป็นเช่นนี้อาจเนื่องจากชานอ้อยที่มีความชื้นสูงจะนำความร้อนที่ใช้ในการเผาไหม้ส่วนหนึ่ง มาระเหยน้ำให้เป็นไ้ออกไปก่อน ทำให้อุณหภูมิในการเผาไหม้ไม้ต่ำลง ปฏิกิริยา pyrolysis จึงเกิดขึ้นได้น้อยกว่าแหล่งควันที่มีความชื้นต่ำ (Randall, 1995) Girard (1992) รายงานว่า ปฏิกิริยา pyrolysis มีผลต่อปริมาณเบนโซ(เอ)ไพรีนในควันที่ผลิตได้ โดยเมื่ออุณหภูมิการเผาไหม้สูง ทำให้สารระเหยได้จากการเผาไหม้สลายตัวเป็นอนุพันธ์ methylene ได้มาก และจากนั้นจะเกิดปฏิกิริยา dimerization, polymerization และ dehydrogenation ได้เป็นสารประกอบเบนโซ(เอ)ไพรีนขึ้น ดังนั้นเมื่ออุณหภูมิการติดไฟและเผาไหม้เชื้อเพลิงต่ำลง จึงส่งผลให้ปริมาณเบนโซ(เอ)ไพรีนภายในตู้รมควันมีปริมาณน้อย เบนโซ(เอ)ไพรีนที่เกาะบนผิวนอกและแทรกซึมลงในเนื้อปลา จึงมีน้อยเช่นกัน สอดคล้องกับผลการทดลองของ Potthast (1980) ที่พบว่า เมื่อเผาไหม้แหล่งควันที่มี

ความชื้นสูง ปริมาณเบนโซ(เอ)ไพรีนในผลิตภัณฑ์รมควันลดลง เมื่อพิจารณาร่วมกับคุณภาพทางประสาทสัมผัส (รูปที่ 4.2) จะเห็นว่าไม่มีอิทธิพลของอุณหภูมิรมควันต่อคะแนน สี กลิ่นคั่ว เนื้อสัมผัส ลักษณะปรากฏและความชอบรวมของปลารมควัน ($p > 0.05$) ทั้งนี้อาจเนื่องจากอิทธิพลของอุณหภูมิจากการเผาไหม้ไม้และความชื้นของซันอ้อยมีผลต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์มากกว่าอุณหภูมิในตู้รมควัน โดยพบอิทธิพลความชื้นซันอ้อยต่อคะแนน สี กลิ่นคั่ว เนื้อสัมผัส ลักษณะปรากฏและความชอบรวมของปลารมควัน ($p \leq 0.05$) ในลักษณะที่เมื่อปริมาณความชื้นซันอ้อยเพิ่มขึ้น คะแนนทุกลักษณะที่กล่าวมาลดลง และคะแนนสีสอดคล้องกับค่าความสว่าง (ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ 0.9775) ขณะที่คะแนนกลิ่นคั่วสอดคล้องกับปริมาณความชื้นซันอ้อย (ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ 0.9864) แสดงว่าผู้ทดสอบเห็นชัดเจนว่า ผลิตภัณฑ์มีความสว่างลดลงและกลิ่นคั่วมากขึ้น ไม่เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์รมควัน ทำให้คะแนนความชอบรวมลดลงเมื่อปริมาณความชื้นซันอ้อยสูงขึ้น

จากการทดลองทั้งหมดสรุปได้ว่า การเพิ่มอุณหภูมิรมควัน ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีความชื้นลดลงและความแน่นของเนื้อสัมผัสเพิ่มขึ้น แต่ไม่มีผลต่อปริมาณเบนโซ(เอ)ไพรีน ในขณะที่การเพิ่มปริมาณความชื้นซันอ้อยในช่วง 10-30 % ทำให้ปลารมควันที่ได้มีสีเข้มขึ้นแต่ปริมาณเบนโซ(เอ)ไพรีนลดลงที่ความชื้นซันอ้อย 30 % คุณภาพทางประสาทสัมผัสด้าน สี กลิ่นคั่ว เนื้อสัมผัส รสชาติ ลักษณะปรากฏและความชอบรวมมีค่าลดลง เนื่องจากผลิตภัณฑ์มี สีเข้ม ลักษณะปรากฏแห้งและกลิ่นคั่วรุนแรงไม่เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์รมควัน การที่ลักษณะปรากฏแห้งอาจเกิดเนื่องจากการคายน้ำที่เกิดจากการเผาไหม้ไม้ที่อุณหภูมิต่ำ มีความเป็นกรดสูงกว่าพวกที่ได้จากการเผาไหม้ที่อุณหภูมิสูง (Gilbert และ Knowles, 1975) ทำให้โอกาสที่โปรตีนบริเวณผิวภายนอกของผลิตภัณฑ์เกิดการเปลี่ยนแปลงสภาพในระหว่างการรมควันได้มาก ลักษณะปรากฏของผิวภายนอกที่ได้จึงแห้ง ดังนั้นจึงพิจารณาเลือกภาวะที่เหมาะสมในการผลิตปลาดุกรมควันที่ความชื้นซันอ้อย 20 % อุณหภูมิรมควัน 50 °C (รูปแสดงในภาคผนวก ข1.) เนื่องจากที่ภาวะนี้ปลารมควันที่ได้ยังคงมีคุณภาพทางประสาทสัมผัสเป็นที่ยอมรับและให้ลักษณะปลารมควันที่ดี มีความชื้นอยู่ในช่วง 58-60 % โดยน้ำหนัก Pigott และ Tucker (1990) รายงานว่าปลาที่ผ่านการรมควันแบบร้อน ควรมีความชื้นอยู่ในช่วง 60-70%โดยน้ำหนัก และที่ภาวะดังกล่าวมีปริมาณเบนโซ(เอ)ไพรีนเกินมาตรฐานแต่ไม่มากจนเกินไป เหมาะแก่การนำมาใช้ในงานทดลองขั้นต่อไป

5.3 ผลความเข้มข้นของพอลิเมอร์ชีวภาพเมื่อความหนาชั้นเคลือบต่างกัน

ขั้นตอนที่ทดลองเพื่อหาสูตรสารละลายพอลิเมอร์ชีวภาพที่เหมาะสมในการเคลือบปลาคุณกรมควัน เพื่อลดปริมาณเบนโซ(เอ)ไพรีน การที่เลือกใช้พอลิเมอร์ชีวภาพเคลือบชั้นปลาคุณกรมควันสืบเนื่องจากมีผู้รายงานว่าพอลิเมอร์ชีวภาพประเภทพอลิแซคคาไรด์ โดยเฉพาะ cellulose ที่ใช้เป็นได้บรรจุผลิตภัณฑ์นมควัน เช่น ไข่กรอก ลดปริมาณเบนโซ(เอ)ไพรีนในผลิตภัณฑ์นมควันได้ เพราะ cellulose เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีสมบัติชอบน้ำ เมื่อคุณคติน้ำจะบวมและอุ้มน้ำไว้ใน ส่งผลให้เบนโซ(เอ)ไพรีนซึ่งมีสมบัติไม่ชอบน้ำและมีน้ำหนักโมเลกุลสูงซึมผ่านได้น้อย (Rhee และ Bratzler, 1970) ดังนั้นจึงพิจารณาเลือกใช้พอลิเมอร์ชีวภาพประเภท polysaccharide ที่มีสมบัติการเกิดเจลหรือพองตัวในน้ำเคลือบชั้นปลาคุณกรมควัน เพื่อให้สารเคลือบทำหน้าที่คล้ายเป็นผิวอีกชั้นหนึ่งของผลิตภัณฑ์ในการลดการปนเปื้อนของเบนโซ(เอ)ไพรีน โดยที่สารพอลิเมอร์ชีวภาพนั้นๆต้องไม่มีผลในทางลบต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ สำหรับการเลือกใช้วิธีเคลือบแทนวิธีอื่นๆก็เพื่อให้สารพอลิเมอร์ชีวภาพเกิดเป็นชั้นบางที่ติดอยู่บนผิวของปลาอย่างสม่ำเสมอและทั่วถึงอีกทั้งการเคลือบยังเป็นขั้นตอนที่ง่าย สะดวก ไม่ต้องใช้เครื่องมือมากและผลิตในระดับอุตสาหกรรมในอนาคตได้ ในการทดลองได้เคลือบสารละลายพอลิเมอร์ชีวภาพบนผิวปลาคุณกรมควัน เพื่อให้ชั้นเคลือบเกิดขึ้นในขั้นตอนการอบและรมควัน ซึ่งเป็นการทำให้แห้งและเคลือบติดบนผิวหน้าได้ดี

งานวิจัยได้เลือกใช้พอลิเมอร์ชีวภาพ 3 ชนิด ได้แก่ HPMC, MC และ HPC เนื่องจากสารทั้ง 3 ชนิดดังกล่าวมีสมบัติชอบน้ำโดย HPMC และ MC มีสมบัติเกิดเจลที่มีโครงร่าง 3 มิติเมื่อได้รับความร้อน สาร 2 ชนิดนี้ต่างกันตรงที่ HPMC มีหมู่ propyl ที่ชอบน้ำมากกว่า methyl ของ MC ในขณะที่ HPC มีสมบัติเมื่อคุณคติน้ำจะบวม แต่ไม่เกิดเจลเมื่อได้รับความร้อน (Coffey และคณะ, 1995)

ในการศึกษาผลของความเข้มข้นพอลิเมอร์ชีวภาพ ได้แบ่งการทดลองเป็น 2 ขั้นตอนหลัก คือ การศึกษาผลความเข้มข้นของพอลิเมอร์ชีวภาพเมื่อความหนาชั้นเคลือบต่างกัน เพื่อหาระดับความเข้มข้นพอลิเมอร์แต่ละชนิดที่เหมาะสมสำหรับการผลิตปลาคุณกรมควัน โดยพิจารณาเลือกจากเกณฑ์ปริมาณเบนโซ(เอ)ไพรีนและคุณภาพทางประสาทสัมผัส จากนั้นจึงศึกษาผลของพอลิเมอร์ชีวภาพเมื่อความหนาชั้นเคลือบเท่ากัน เพื่อหาระดับความเข้มข้นของพอลิเมอร์ชีวภาพแต่ละชนิดที่มีประสิทธิภาพในการลดเบนโซ(เอ)ไพรีนได้สูงสุดโดยไม่มีอิทธิพลจากความไม่สม่ำเสมอของความหนาของชั้นฟิล์มมารบกวน

5.3.1 สมบัติทางกายภาพของสารละลายฟิล์มและฟิล์มที่ขึ้นรูปจากสารละลาย HPMC กับสมบัติของปลารมควันที่หุบเคลือบสารละลาย HPMC

การทดลองในเบื้องต้นได้ศึกษาสมบัติทางกายภาพของสารละลายฟิล์มก่อน เนื่องจากในงานวิจัยใช้สารพอลิเมอร์ในรูปสารละลายและขึ้นรูปฟิล์มบนผิวผลิตภัณฑ์ ดังนั้นสมบัติที่สำคัญคือความหนืดปรากฏและสมบัติการยึดติดบนผิวของผลิตภัณฑ์ซึ่งแทนด้วยค่าน้ำหนักหุบติดต่อหน่วยพื้นที่ในการทดลองยังได้ควบคุมอุณหภูมิของสารละลายฟิล์มขณะหุบเคลือบไว้ที่ 30°C เนื่องจากความหนืดของสารละลายขึ้นกับอุณหภูมิ สารละลายจะมีความหนืดปรากฏสูงขึ้น ที่อุณหภูมิต่ำและต่ำลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น นอกจากนี้สมบัติทางกายภาพของฟิล์มในด้านการป้องกันการซึมผ่านไอน้ำและก๊าซยังขึ้นกับความหนาชั้นฟิล์มของที่ยึดติดบนผิวของผลิตภัณฑ์นั้น ด้วยเหตุนี้จึงต้องศึกษาทั้งในลักษณะที่เป็นสารละลายและเป็นชั้นเคลือบบนผิวของผลิตภัณฑ์ที่ใช้เคลือบจริง

5.3.1.1 สมบัติทางกายภาพของสารละลายฟิล์มและแผ่นฟิล์มที่ขึ้นรูปจากสารละลาย HPMC

ผลการวัดความหนืดปรากฏ น้ำหนักหุบติดต่อหน่วยพื้นที่ ความหนาฟิล์ม และปริมาณพอลิเมอร์ที่หุบปลา แสดงในตารางที่ 4.6 และ 4.7

จากผลการทดลอง (ตารางที่ 4.6) พบอิทธิพลของความเข้มข้น HPMC ต่อค่าความหนืดปรากฏและน้ำหนักหุบติดต่อหน่วยพื้นที่ ($p \leq 0.05$) โดยสารละลายที่มีความเข้มข้น 1.33 – 3.80%w/w มีความหนืดปรากฏในช่วง 320.40 – 12213.00 cPs มีลักษณะใส ไม่มีสีและเมื่อความเข้มข้นเพิ่มขึ้นความหนืดจะสูงขึ้น เนื่องจาก HPMC เป็นพอลิเมอร์ที่มีสมบัติอุ้มน้ำไว้ในโมเลกุล เมื่อเพิ่มความเข้มข้นโมเลกุลจะเคลื่อนที่เข้าชิดกันมากและเกิดการพันกันของสายโซ่โมเลกุลเป็นโครงร่างตาข่าย ซึ่งด้านการไหล ความหนืดปรากฏจึงเพิ่มขึ้น (Saunders, 1988) ส่วนค่าน้ำหนักหุบติดของสารละลายต่อหน่วยพื้นที่ แปรตามความเข้มข้นของ HPMC เช่นกัน แสดงว่าเมื่อความหนืดปรากฏของสารละลายสูงขึ้น สารละลายมีโอกาสยึดเกาะที่ผิวของผลิตภัณฑ์ได้มากขึ้น (พบค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างความหนืดปรากฏและน้ำหนักหุบติดต่อหน่วยพื้นที่เป็น 0.9901) ทั้งนี้อาจเนื่องจากเมื่อความเข้มข้นเพิ่มมากขึ้น โมเลกุลที่กระจายตัวในน้ำมีโอกาสเคลื่อนที่เข้าใกล้กัน จึงเกิดแรงยึดเหนี่ยวซึ่งกันและกันขึ้นและยึดเหนี่ยวด้วยพันธะไฮโดรเจนกับโปรตีนเนื้อปลาได้มากขึ้น จึงเคลือบติดบนผิวของผลิตภัณฑ์ได้มากและส่งผลกระทบต่อความหนาฟิล์มและปริมาณพอลิเมอร์ที่หุบปลา (ตารางที่ 4.7) ด้วย โดยค่าดังกล่าวสูงขึ้นเมื่อน้ำหนักหุบติดต่อหน่วยพื้นที่เพิ่มมากขึ้น(ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักหุบติดต่อหน่วยพื้นที่

ที่กับความหนาฟิล์มและปริมาณพอลิเมอร์ที่ผิวปลาเป็น 0.9488 และ 0.9496 ตามลำดับ) เนื่องจากปริมาณพอลิเมอร์ที่ผิวปลาเป็นค่าที่แสดงน้ำหนักสารพอลิเมอร์ตั้งต้นเมื่อยังไม่ได้เตรียมเป็นสารละลายที่เคลือบบนผิวปลาหลังการชุบสารละลายสูตรต่างๆ จึงคำนวณค่าดังกล่าวเพื่อแสดงให้เห็นผลของประสิทธิภาพของตัวพอลิเมอร์ชีวภาพเองต่อปริมาณเบนโซ(เอ)ไพรีนในผลิตภัณฑ์ เพื่อแสดงให้เห็นว่าถ้ามีการนำไปประยุกต์ใช้ในการผลิตจริงแล้วจะต้องใช้สารพอลิเมอร์ตั้งต้นในปริมาณเท่าใด

จากผลการทดลองสรุปได้ว่า เมื่อพิจารณาผลของการหาความสัมพันธ์ของข้อมูลจากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ พบว่าความหนืดปรากฏมีความสัมพันธ์ทางบวกกับน้ำหนักที่ชุบคิดต่อหน่วยพื้นที่ แสดงว่าเมื่อความหนืดปรากฏเพิ่มมากขึ้น ทำให้น้ำหนักของสารละลายที่ชุบคิดบนผิวผลิตภัณฑ์เพิ่มมากขึ้น และเมื่อน้ำหนักที่ชุบคิดเพิ่มขึ้น จึงส่งผลต่อความหนาฟิล์มและปริมาณพอลิเมอร์ที่ผิวปลา โดยค่าดังกล่าวมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเช่นกัน

5.3.1.2 สมบัติของปลารมควันที่ชุบเคลือบสารละลาย HPMC

ผลการวิเคราะห์ค่า ความชื้น ไชมัน เบนโซ(เอ)ไพรีน ดี (L, a^*, b^*) ความแน่นของเนื้อสัมผัส และ คะแนนทางประสาทสัมผัสของปลารมควันที่ชุบเคลือบ แสดงในตารางที่ 4.8 และ รูปที่ 4.3 – 4.4

จากผลการทดลอง (ตารางที่ 4.8) ไม่พบอิทธิพลของความเข้มข้น HPMC ต่อปริมาณ ไชมันของปลาดุกรมควัน ($p > 0.05$) ทั้งนี้อาจเนื่องจากวัตถุดิบที่ใช้ผลิตปลารมควันมาจากแหล่งเดียวกัน ภาวะการเลี้ยงและอาหารที่ปลาได้รับเป็นอย่างเดียวกัน อัตราการสะสมของไขมันในเนื้อและได้ผิวหนัง จึงใกล้เคียงกัน อีกทั้งอายุ ขนาดและน้ำหนักของปลาใกล้เคียงกัน ปริมาณ ไชมันตั้งต้นจึงไม่ต่างกัน และเมื่อรมควันด้วยภาวะเดียวกัน ปริมาณไขมันในผลิตภัณฑ์จึงใกล้เคียงกัน แต่ว่าความเข้มข้น HPMC ทำให้ความชื้น ความแน่นของเนื้อสัมผัส ค่าความสว่าง (L) และสีเหลือง (b^*) ของผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้น ขณะที่ค่าสีแดง (a^*) ต่ำลง ($p \leq 0.05$) การที่ความชื้นเพิ่มขึ้นจาก 58.56 เป็น 63.27 % โดยน้ำหนัก เมื่อความเข้มข้นของ HPMC เพิ่มขึ้นจาก 1.33 เป็น 3.80 %w/w อาจอธิบายโดยอ้างอิงรายงานของ Aitken และ Connell (1979) ที่กล่าวว่า เมื่อพลังงานความร้อนถ่ายเทสู่ผลิตภัณฑ์ในปริมาณมากพอ น้ำในผลิตภัณฑ์จะระเหยเป็นไอออกจากผิวภายนอกและภายในผลิตภัณฑ์ตามลำดับ สำหรับปลาที่ชุบเคลือบด้วยสารละลาย HPMC แล้วจึงรมควัน สารละลายที่เคลือบอยู่จะเกิดเป็นชั้นเคลือบคล้ายผิวอีกชั้นหนึ่งของผลิตภัณฑ์ และความหนาของชั้นเคลือบที่สูงขึ้นจะทำให้ไอน้ำในเนื้อเยื่อระเหยออกไปได้ยากขึ้น (ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างความชื้นของผลิตภัณฑ์และความหนาฟิล์มเป็น 0.9458) และการที่

ปริมาณเนื้อพอลิเมอร์ที่ผิวปลามีค่าสูง เมื่อความเข้มข้นสารละลายเพิ่มขึ้น จะเป็นผลให้โมเลกุลของ HPMC มีแรงยึดเหนี่ยวกันมากขึ้นและเกิดการพันของสายโซ่โมเลกุลเป็นโครงร่างตาข่าย 3 มิติที่แข็งแรง (Coffey และคณะ, 1995) จึงทำให้ค่าความแน่นของเนื้อสัมผัสเพิ่มสูงขึ้น (ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างความแน่นของเนื้อสัมผัสกับปริมาณพอลิเมอร์ที่ผิวปลา 0.9730) ในส่วนของค่าความสว่าง (L) และ สีเหลือง (b*) ที่สูงขึ้น แต่ค่าสีแดง (a*) ลดลง เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของ HPMC และมากที่สุดเมื่อความเข้มข้นเป็น 3.80 %w/w ทั้งนี้อาจเนื่องจากในระหว่างการรมควัน สารละลายที่เคลือบอยู่ เกิดเป็นชั้นเคลือบคล้ายผิวอีกชั้นหนึ่งของผลิตภัณฑ์ เมื่อความเข้มข้นของสารละลายสูงขึ้น ความหนาชั้นเคลือบที่ได้ก็เพิ่มขึ้น ส่งผลให้ความชื้นของผลิตภัณฑ์ที่วัดได้มีค่าเพิ่มสูงขึ้นเช่นกัน Hutchings (1999) กล่าวว่าปริมาณความชื้น หรือค่า A_w ที่เพิ่มขึ้น มีผลทำให้ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลแบบ nonenzymatic browning เกิดได้ช้าลง ดังนั้นเมื่อความชื้นของผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้นจึงทำให้ปฏิกิริยา Maillard ที่ให้สีน้ำตาลแก่ผลิตภัณฑ์รมควันเกิดได้ช้าลง ความเข้มข้นของสีน้ำตาลจึงลดลง

จากผลการทดลอง (รูปที่ 4.3) พบอิทธิพลของความเข้มข้น HPMC ต่อปริมาณเบนโซไซโพรินทั้งที่ผิวภายนอกและเนื้อในของผลิตภัณฑ์ ($p \leq 0.05$) โดยเบนโซไซโพรินมีปริมาณลดลง เมื่อความเข้มข้นของสารละลายสูงขึ้น ทั้งนี้อาจเป็นผลของความหนาชั้นเคลือบและปริมาณ HPMC ที่สูงขึ้น (พิจารณาจากตารางที่ 4.8) เนื่องจาก HPMC มีสมบัติเกิดเจลเมื่อได้รับความร้อน เมื่อให้ความร้อนในช่วง $50-80^\circ\text{C}$ ซึ่งเป็นอุณหภูมิระดับเดียวกับอุณหภูมิรมควัน ทำให้หมู่ methyl ของ HPMC หันเข้ามาและจับกับ HPMC อีกโมเลกุล โดยการรวมตัวกันเป็นแบบ hydrophobic interaction และหันหมู่ชอบน้ำออกด้านนอก ทำให้เจลที่ได้อูมน้ำและมีสมบัติชอบน้ำ (Balasubramaniam และคณะ, 1997) ดังนั้นเมื่อปริมาณ HPMC เพิ่มสูงขึ้น เบนโซไซโพรินที่ผิวภายนอกจึงมีปริมาณลดลง ประกอบกับความหนาของชั้นเคลือบที่เพิ่มขึ้นจาก 7.82 เป็น 24.64 μm ทำให้เบนโซไซโพรินที่มีสมบัติไม่ชอบน้ำและน้ำหนักโมเลกุลสูงซึมผ่านได้น้อยลง (Rhee และ Bratzler, 1970) เบนโซไซโพรินที่เนื้อในจึงมีปริมาณต่ำ เมื่อพิจารณาพร้อมกับคุณภาพทางประสาทสัมผัส (ตารางที่ 4.4) พบอิทธิพลของความเข้มข้น HPMC ต่อคะแนน สี กลิ่นควัน เนื้อสัมผัส รสชาติ ลักษณะปรากฏและความชอบรวมของปลารมควัน ($p \leq 0.05$) โดยผลิตภัณฑ์ที่ชุบเคลือบสารละลายเข้มข้น 1.33-2.44 %w/w มีคะแนนทางประสาทสัมผัสในเกณฑ์ดีทุกด้าน เพราะมี สี กลิ่นควัน เนื้อสัมผัสที่ดีและผลิตภัณฑ์มีลักษณะปรากฏที่มันเงา เรียบเป็นเนื้อเดียวกัน แต่เมื่อระดับความเข้มข้นสารละลายที่ชุบเคลือบเป็น 3.80%w/w ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีกลิ่นแอมกอลที่เป็นส่วนประกอบในการเตรียมสารละลายและชั้นของแผ่นฟิล์มที่เคลือบบนผิวมีลักษณะโป่งพองเป็นจุดๆ ผลิตภัณฑ์จึงมีคะแนนทางประสาทสัมผัสต่ำลง และสาเหตุที่ฟิล์มเกิดการโป่งพองอาจอธิบายได้ว่าผลิตภัณฑ์ที่เคลือบผิวด้วยฟิล์มพอลิเมอร์ที่ความหนาของชั้นเคลือบมาก เมื่อรมควัน สารละลายที่เคลือบ

จึงทำหน้าที่คล้ายผิวอีกชั้นหนึ่งของผลิตภัณฑ์จะกักสารระเหยได้ เช่น แอลกอฮอล์ในสารเคลือบและไอน้ำที่ระเหยออกจากผลิตภัณฑ์ไว้ได้มาก ดังนั้นแรงดันไอน้ำจึงถูกกักอยู่ภายใต้ชั้นเคลือบมากขึ้นจนถึงระดับที่ส่งผลให้ผิวของชั้นเคลือบเกิดการโป่งพอง

จากการทดลองทั้งหมดสรุปได้ว่า การเพิ่มความเข้มข้นของสารละลาย HPMC จาก 1.33 – 3.80 %w/w ทำให้ค่าความหนืดปรากฏเพิ่มขึ้น น้ำหนักสารละลายชุบติดบนผิวผลิตภัณฑ์ ความหนาฟิล์มและปริมาณพอลิเมอร์ที่ผิวเพิ่มสูงขึ้น ส่งผลต่อสมบัติของปลารมควันที่ได้ โดยปลารมควันที่ได้จากการชุบเคลือบสารละลายจาก 1.33 – 2.44 %w/w มีลักษณะที่มันเงาและเรียบเป็นเนื้อเดียวกัน ปริมาณความชื้น ความแน่นของเนื้อสัมผัส ค่าความสว่างและสีเหลืองเพิ่มสูงขึ้นซึ่งเป็นลักษณะที่ดีของปลารมควัน คุณภาพทางประสาทสัมผัสจึงอยู่ในเกณฑ์ดีทุกด้าน แต่เมื่อความเข้มข้นของสารละลายเพิ่มเป็น 3.80 %w/w แม้ว่าปริมาณความชื้น ค่าความแน่นของเนื้อสัมผัส ความสว่างและสีเหลืองจะเพิ่มขึ้น แต่ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีกลิ่นแอลกอฮอล์และชั้นของแผ่นฟิล์มที่เคลือบผิวมีลักษณะโป่งพองเป็นจุดๆ ซึ่งเป็นผลเนื่องมาจากความหนาของชั้นเคลือบที่มากขึ้น คະแนนทางประสาทสัมผัสจึงต่ำลง ในส่วนของปริมาณเบนโซ(เอ)ไพรีนที่ผิวภายนอกและเนื้อใน พบว่าปลารมควันที่ได้จากการชุบเคลือบสารละลายมีปริมาณดังกล่าวลดลงเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายจาก 1.33 เป็น 3.80%w/w ดังนั้นจึงพิจารณาเลือกใช้ HPMC ที่ความเข้มข้น 2.44 %w/w เนื่องจากให้ลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่ดี โดยมีคะแนนทางประสาทสัมผัสอยู่ในเกณฑ์ดีและสามารถลดปริมาณเบนโซ(เอ)ไพรีนได้ต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน ซึ่งผลการลดเบนโซ(เอ)ไพรีนที่ระดับความเข้มข้นดังกล่าว แสดงให้เห็นว่านอกจากเป็นผลเนื่องมาจากประสิทธิภาพของสารพอลิเมอร์ชีวภาพแล้วยังมีอิทธิพลอื่นคือความหนาของชั้นเคลือบรวมอยู่ด้วย เนื่องจากเมื่อความเข้มข้นของสารละลายเพิ่มสูงขึ้น ความหนาชั้นเคลือบก็จะเพิ่มขึ้นเช่นกัน ทำให้มีผลของตัวแปรนี้รวมอยู่ด้วย

5.3.2 สมบัติทางกายภาพของสารละลายฟิล์มและแผ่นฟิล์มที่ขึ้นรูปจากสารละลาย MC กับสมบัติของปลารมควันที่ชุบเคลือบสารละลาย MC

5.3.2.1 สมบัติทางกายภาพของสารละลายฟิล์มและแผ่นฟิล์มที่ขึ้นรูปจากสารละลาย MC

ผลการวัดความหนืดปรากฏ น้ำหนักชุบติดต่อหน่วยพื้นที่ ความหนาฟิล์ม และปริมาณพอลิเมอร์ที่ผิวปลา แสดงในตารางที่ 4.9 – 4.10

จากผลการทดลอง พบว่าลักษณะปรากฏของสารละลายที่ได้มีลักษณะใส ไม่มีสี และจากข้อมูลตารางที่ 4.9 พบอิทธิพลของความเข้มข้น MC ต่อค่าความหนืดปรากฏของสารละลาย ($p \leq 0.05$) โดยเมื่อเพิ่มความเข้มข้นจาก 3.54 เป็น 7.84 %w/w ทำให้ค่าความหนืดปรากฏเพิ่มสูงขึ้นจาก 317.20 เป็น 12155.20 cPs ผลดังกล่าวเกิดเนื่องจาก เมื่อเพิ่มความเข้มข้น ทำให้โมเลกุลเกิดการเชื่อมพันธะกับน้ำและเคลื่อนที่เข้าชิดกันมากขึ้น เกิดการพันของสายโซ่โมเลกุลเป็นโครงร่างตาข่าย ซึ่งด้านการไหล ความหนืดปรากฏจึงสูงขึ้น (Saunders, 1988) และจากผลการทดลอง พบอิทธิพลของความเข้มข้น MC ต่อค่าน้ำหนักหุบติดต่อหน่วยพื้นที่ ($p \leq 0.05$) โดยค่าดังกล่าวเพิ่มสูงขึ้นเมื่อความเข้มข้นของ MC เพิ่มขึ้นเช่นกันและพบว่าสารละลายที่ความเข้มข้น 7.84 %w/w มีค่าน้ำหนักหุบติดต่อหน่วยพื้นที่สูงสุด แสดงว่าเมื่อความเข้มข้นของสารละลายเพิ่มมากขึ้น ทำให้ความหนืดปรากฏมีค่าสูงขึ้น สารละลายจึงมีโอกาสยึดเกาะที่ผิวของผลิตภัณฑ์ได้มากขึ้น (พบค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างความหนืดปรากฏและค่าน้ำหนักหุบติดของสารละลายต่อหน่วยพื้นที่เป็น 0.9900) เนื่องจากเมื่อความเข้มข้นเพิ่มมากขึ้น โมเลกุลที่กระจายตัวในน้ำมีโอกาสเคลื่อนที่เข้าใกล้กัน ทำให้โมเลกุลของ MC มีแรงยึดเหนี่ยวซึ่งกันและกันและยึดเหนี่ยวด้วยพันธะไฮโดรเจนกับโปรตีนเนื้อปลาได้มากขึ้น และจากผลการทดลอง (ตารางที่ 4.10) ยังพบอิทธิพลของค่าน้ำหนักหุบติดต่อหน่วยพื้นที่ต่อค่าความหนาฟิล์มและปริมาณพอลิเมอร์ที่ผิวปลา ($p \leq 0.05$) เนื่องจากทั้งสองค่าดังกล่าวคำนวณมาจากค่าน้ำหนักหุบติดต่อหน่วยพื้นที่ ดังนั้นเมื่อน้ำหนักของสารละลายที่หุบติดเพิ่มสูงขึ้น ความหนาฟิล์มและปริมาณพอลิเมอร์ที่ผิวปลาจึงเพิ่มขึ้นเช่นกัน (ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักหุบติดต่อหน่วยพื้นที่กับความหนาฟิล์มและปริมาณพอลิเมอร์ที่ผิวปลา 0.9596 และ 0.9690 ตามลำดับ)

จากผลการทดลองสรุปได้ว่า ปริมาณพอลิเมอร์ที่ผิวปลาและความหนาฟิล์ม มีความสัมพันธ์ทางตรงกับค่าน้ำหนักหุบติดของสารละลายบนผิวของผลิตภัณฑ์ และค่าน้ำหนักหุบติดดังกล่าวดังกล่าวจะขึ้นกับค่าความหนืดปรากฏของสารละลาย กล่าวคือ เมื่อความหนืดปรากฏเพิ่มสูงขึ้น ส่งผลให้ค่าน้ำหนักของสารละลายที่หุบติดบนผิวผลิตภัณฑ์เพิ่มมากขึ้น ทำให้ปริมาณพอลิเมอร์ที่ผิวปลาและความหนาฟิล์มเพิ่มสูงขึ้นเช่นกัน

5.3.2.2 สมบัติของปลารมควันที่หุบเคลือบสารละลาย MC

ผลการวิเคราะห์ค่า ความชื้น ไนมัน เบนโซ(เอ)ไพรีน สี (L, a^*, b^*) ความแน่นของเนื้อสัมผัสและคะแนนทางประสาทสัมผัสของปลารมควันที่หุบเคลือบ แสดงในตารางที่ 4.11 และรูปที่ 4.5 – 4.6

จากผลการทดลอง (ตารางที่ 4.11) พบอิทธิพลของความเข้มข้น MC ต่อปริมาณความชื้น ค่าความแน่นของเนื้อสัมผัส ความสว่าง (L) สีแดง (a*) และ สีเหลือง (b*) ของผลิตภัณฑ์ ($p \leq 0.05$) ไม่พบอิทธิพลของความเข้มข้น MC ต่อปริมาณไขมันของปลาตุกรมควัน ($p > 0.05$) อาจอธิบายผลต่อปริมาณไขมันได้เนื่องจากวัตถุดิบที่ใช้ผลิตปลาตุกรมควันที่มาจากแหล่งเดียวกัน ภาวะการเลี้ยงและอาหารที่ปลาได้รับเป็นอย่างเดียวกัน อีกทั้งอายุ ขนาดและน้ำหนักใกล้เคียงกัน เมื่อรมควันด้วยภาวะเดียวกัน ปริมาณไขมันในผลิตภัณฑ์จึงใกล้เคียงกัน เมื่อพิจารณาปริมาณความชื้นพบว่า เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของ MC จาก 3.54 เป็น 7.84 %w/w ทำให้ความชื้นของผลิตภัณฑ์เพิ่มสูงขึ้น ทั้งนี้อาจเนื่องจากเมื่อปลาดูถูกหุบเคลือบด้วยสารละลาย MC ระหว่างการรมควัน สารละลายที่เคลือบอยู่จะทำหน้าที่คล้ายผิวอีกชั้นหนึ่งของผลิตภัณฑ์ และเมื่อความหนาของชั้นเคลือบสูงขึ้น ทำให้น้ำในผลิตภัณฑ์ที่จะระเหยกลายเป็นไอออกจากผิวและเนื้อในยากขึ้น (ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างความชื้นของผลิตภัณฑ์และความหนาฟิล์ม 0.9394) ในส่วนของค่าความแน่นของเนื้อสัมผัส พบว่าเมื่อความเข้มข้นของ MC เพิ่มมากขึ้น ค่าดังกล่าวเพิ่มสูงขึ้นเช่นกัน ($p \leq 0.05$) อาจเนื่องจากเมื่อความเข้มข้นของสารละลายเพิ่มขึ้น ปริมาณสารพอลิเมอร์ที่ผิวปลาจะมีค่าเพิ่มสูงขึ้นด้วย เป็นผลให้โมเลกุลของ MC เกิดแรงยึดเหนี่ยวซึ่งกันและกันและเกิดการพันของสายโซ่โมเลกุลเป็นโครงร่างตาข่าย 3 มิติที่แข็งแรงมากขึ้น (Coffey และคณะ, 1995) ทำให้ค่าความแน่นของเนื้อสัมผัสเพิ่มขึ้น (ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างค่าความแน่นเนื้อและปริมาณพอลิเมอร์ที่ผิวปลา 0.9750) เมื่อพิจารณาที่ค่าสี พบว่าค่าความสว่าง (L) และสีเหลือง (b*) สูงขึ้น แต่ค่าสีแดง (a*) ลดลง เมื่อความเข้มข้นของ MC เพิ่มสูงขึ้น ($p \leq 0.05$) อาจเนื่องจากเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายสูงขึ้น ส่งผลให้ค่าน้ำหนักของสารละลายที่หุบติดบนผิวผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้นเช่นกัน จึงทำให้ในระหว่างการรมควัน สารละลายที่เคลือบอยู่เกิดเป็นชั้นเคลือบที่หนา มากขึ้น ทำให้ความชื้นของผลิตภัณฑ์เพิ่มสูงขึ้น สามารถอธิบายโดยเหตุผลเช่นเดียวกับข้อ 5.3.1.2

จากผลการทดลอง (รูปที่ 4.5) พบอิทธิพลของความเข้มข้น MC ต่อปริมาณเบนโซ(เอ)ไพรีน ทั้งที่ผิวภายนอกและเนื้อในของผลิตภัณฑ์ ($p \leq 0.05$) โดยเบนโซ(เอ)ไพรีนที่ผิวภายนอกมีปริมาณน้อยลง และคงที่เมื่อความเข้มข้นของสารละลายสูงขึ้นเป็น 5.57 และ 7.84 %w/w ทั้งนี้อาจเป็นผลของปริมาณ MC ที่สูงขึ้น เนื่องจากเมื่อให้ความร้อนในช่วง 50 – 80 °C ซึ่งเป็นความร้อนระดับเดียวกับอุณหภูมิรมควัน ทำให้โมเลกุลน้ำบริเวณใกล้หมู่มื้อชอบน้ำของ MC แยกตัวออก ส่งผลให้หมู่มethyl ของ MC หันเข้าหาและจับกับ MC อีกโมเลกุลและหันหมู่มื้อชอบน้ำออก เกิดเป็นเจลโครงร่าง 3 มิติที่มีสมบัติชอบน้ำและแข็งแรงเพียงพอต่อการลดปริมาณเบนโซ(เอ)ไพรีน(Donhowe และ Fennema, 1993; Debeaufort และ Voilley, 1997) ในส่วนของปริมาณเบนโซ(เอ)ไพรีนที่เนื้อในของผลิตภัณฑ์ พบว่ามีปริมาณต่ำลง เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายและต่ำที่สุดเมื่อความเข้มข้นเป็น 7.84 %w/w ทั้งนี้อาจเนื่องจากเมื่อ

ความเข้มข้นของสารละลายเพิ่มขึ้น ความหนาของชั้นเคลือบก็เพิ่มสูงขึ้นเช่นกัน ทำให้เบนโซ(เอ)ไพรีน ที่มีสมบัติไม่ชอบน้ำและน้ำหนักโมเลกุลสูงซึมผ่านได้น้อยลง (Rhee และ Bratzler, 1970) เมื่อพิจารณา ร่วมกับคุณภาพทางประสาทสัมผัส (รูปที่ 4.6) พบอิทธิพลของความเข้มข้น MC ต่อคะแนน สี กลิ่น คาวัน เนื้อสัมผัส รสชาติ ลักษณะปรากฏและความชอบรวมของปลารมควัน ($p \leq 0.05$) โดยผลิตภัณฑ์ที่ ชุบเคลือบสารละลายเข้มข้น 3.54 – 5.57 %w/w มีคะแนนทางประสาทสัมผัสในเกณฑ์ดีทุกด้านเนื่องจากมี สี กลิ่นคาวัน เนื้อสัมผัสที่ดีและผลิตภัณฑ์มีลักษณะปรากฏที่มันเงา เรียบเป็นเนื้อเดียวกัน แต่เมื่อระดับความเข้มข้นสารละลายที่ชุบเคลือบเพิ่มเป็น 7.84%w/w ผลิตภัณฑ์มีคะแนนทางประสาทสัมผัสต่ำลง เนื่องจากมีกลิ่นของแอลกอฮอล์ที่เป็นส่วนประกอบในการเตรียมสารละลายและชั้นเคลือบของปลารมควันมีลักษณะโป่งพองเป็นจุดๆ สามารถอธิบายได้โดยเหตุผลเช่นเดียวกับข้อ 5.3.1.2

จากการทดลองทั้งหมดสรุปได้ว่า ความหนืดปรากฏ น้ำหนักของสารละลายที่ชุบติดบนผิวผลิตภัณฑ์ ความหนาฟิล์ม และ ปริมาณพอลิเมอร์ที่ผิว แปรตามความเข้มข้นของสารละลาย โดยเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายจาก 3.54 เป็น 7.84 %w/w ทำให้ทุกค่าที่กล่าวมาเพิ่มสูงขึ้น ส่งผลต่อสมบัติของปลารมควันที่ได้ โดยปลารมควันที่ได้จากการชุบเคลือบสารละลายเข้มข้น 3.54 และ 5.57 %w/w มีลักษณะที่มันเงาและเรียบเป็นเนื้อเดียวกัน ปริมาณความชื้น ความแน่นของเนื้อสัมผัส ค่าความสว่างและสีเหลืองเพิ่มขึ้น ทำให้คุณภาพทางประสาทสัมผัสอยู่ในเกณฑ์ดี แต่เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายเป็น 7.84 %w/w ผลิตภัณฑ์มีคะแนนทางประสาทสัมผัสต่ำลง เนื่องจากมีกลิ่นแอลกอฮอล์และชั้นของแผ่นฟิล์มมีลักษณะโป่งพองเป็นจุดๆ ในส่วนของปริมาณเบนโซ(เอ)ไพรีนที่ผิวภายนอกและเนื้อใน พบว่า ปลารมควันมีปริมาณดังกล่าวลดลงเมื่อความเข้มข้นของสารละลายเพิ่มขึ้น และจากผลการทดลองชี้ให้เห็นว่า ปริมาณเบนโซ(เอ)ไพรีนที่ลดลงนั้น นอกจากเป็นผลเนื่องมาจากประสิทธิภาพของสารพอลิเมอร์ซึ่งภาพแล้วยังมีอิทธิพลของความหนาชั้นเคลือบรวมอยู่ด้วย ดังนั้นจึงพิจารณาเลือกใช้ MC ที่ความเข้มข้น 5.57 %w/w เนื่องจากสามารถลดปริมาณเบนโซ(เอ)ไพรีนได้ต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานและให้ลักษณะของผลิตภัณฑ์ดี โดยมีคะแนนทางประสาทสัมผัสอยู่ในเกณฑ์ดี

5.3.3 สมบัติทางกายภาพของสารละลายฟิล์มและแผ่นฟิล์มที่ขึ้นรูปจากสารละลาย HPC กับสมบัติของปลารมควันที่ชุบเคลือบสารละลาย HPC

5.3.3.1 สมบัติทางกายภาพของสารละลายฟิล์มและแผ่นฟิล์มที่ขึ้นรูปจากสารละลาย

HPC

ผลการวัดความหนืดปรากฏ น้ำหนักขุบคิดต่อหน่วยพื้นที่ ความหนาฟิล์มและปริมาณพอลิเมอร์ที่ผิวปลา แสดงในตารางที่ 4.12 และ 4.13

จากการทดลอง (ตารางที่ 4.12) พบอิทธิพลความเข้มข้นของ HPC ต่อค่าความหนืดปรากฏและน้ำหนักขุบคิดต่อหน่วยพื้นที่ ($p \leq 0.05$) สารละลายที่ได้มีลักษณะใส ไม่มีสี และเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารละลาย ความหนืดปรากฏมีค่าสูงขึ้น เนื่องจาก HPC เป็นพอลิเมอร์ที่มีสมบัติเมื่อคูดกลืนน้ำจะบวม ดังนั้นเมื่อเพิ่มความเข้มข้น โมเลกุลมีโอกาสเคลื่อนที่เข้าใกล้และชนกันมากขึ้นทำให้ความหนืดปรากฏเพิ่มขึ้น (Suto, 1998) ในส่วนค่าน้ำหนักขุบคิดของสารละลายต่อหน่วยพื้นที่ พบว่าแปรตามความเข้มข้นของ HPC เช่นกัน (ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างความหนืดปรากฏและน้ำหนักขุบคิดต่อหน่วยพื้นที่ 0.9933) เนื่องจากเมื่อเพิ่มความเข้มข้น ทำให้ความหนืดปรากฏของสารละลายสูงขึ้น โมเลกุลจึงมีโอกาสเข้าใกล้กันและยึดเกาะที่ผิวของผลิตภัณฑ์ได้มาก ดังนั้นจึงเคลือบติดบนผิวของผลิตภัณฑ์ได้มากกว่า ส่งผลต่อค่าความหนาฟิล์มและปริมาณพอลิเมอร์ที่ผิวปลา (ตารางที่ 4.13) สูงขึ้นเช่นกัน (ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักขุบคิดต่อหน่วยพื้นที่กับความหนาฟิล์มและปริมาณพอลิเมอร์ที่ผิวปลาเป็น 0.956 และ 0.9891 ตามลำดับ)

จากผลการทดลองสรุปได้ว่า ความหนืดปรากฏมีความสัมพันธ์ทางตรงกับความเข้มข้นของสารละลาย โดยเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารละลาย ความหนืดปรากฏมีค่าเพิ่มสูงขึ้น และส่งผลให้ค่าน้ำหนักของสารละลายที่ขุบคิดต่อหน่วยพื้นที่เพิ่มขึ้นเช่นกัน และจากการหาความสัมพันธ์ของข้อมูล พบว่าค่าน้ำหนักขุบคิดของสารละลายมีความสัมพันธ์ทางบวกกับค่าความหนาฟิล์มและปริมาณพอลิเมอร์ที่ผิวปลา โดยทั้งสองค่าที่กล่าวมาเพิ่มสูงขึ้น เมื่อน้ำหนักขุบคิดของสารละลายต่อหน่วยพื้นที่เพิ่มขึ้น

5.3.3.2 สมบัติของปลารมควันที่ขุบเคลือบสารละลาย HPC

ผลการวิเคราะห์ค่า ความชื้น ไขมัน เบนโซ(เอ)ไพรีน ดี (L, a*, b*) ความแน่นของเนื้อสัมผัส และ คะแนนทางประสาทสัมผัส แสดงในตารางที่ 4.14 และรูปที่ 4.7 – 4.8

จากการทดลอง (ตารางที่ 4.14) พบว่าความเข้มข้นของ HPC ทำให้ความชื้น ความแน่นของเนื้อสัมผัส ค่าความสว่าง (L) และสีเหลือง (b*) ของผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้นขณะที่ค่าสีแดง (a*) ลดลง ($p \leq 0.05$) โดยเมื่อความเข้มข้นของสารละลายเพิ่มสูงขึ้นจาก 3.42 เป็น 7.60 %w/w ทำให้ความชื้นของผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้นจาก 58.47 เป็น 61.02 %โดยน้ำหนัก ค่าความสว่าง (L) สีเหลือง (b*) ของผลิตภัณฑ์เพิ่มสูงขึ้นจาก 30.60 เป็น 32.18 และ +6.69 เป็น +6.92 ตามลำดับ ในขณะที่ค่าสีแดง

(a*) ลดลงจาก +8.04 เป็น +7.89 สามารถอธิบายได้โดยเหตุผลเช่นเดียวกับข้อ 5.3.1.2 ในส่วนค่าความแน่นของเนื้อสัมผัสที่เพิ่มขึ้นนั้น อาจเป็นผลเนื่องจากเมื่อความเข้มข้นของสารละลายเพิ่มขึ้น ส่งผลต่อปริมาณพอลิเมอร์ที่ผิวปลามีค่าเพิ่มสูงขึ้น ทำให้โมเลกุลของ HPC ซึ่งมีสายยาวและเกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างสายโซ่โมเลกุล มีแรงยึดเหนี่ยวซึ่งกันและกันมากขึ้น ประกอบกับ HPC มีสมบัติเป็น thermoplastic ที่มีความแข็งแรงและเหนียว (Krochta และ Mulder – Johnston, 1997) จึงทำให้ค่าความแน่นของเนื้อสัมผัสเพิ่มขึ้น (ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างความแน่นเนื้อและปริมาณพอลิเมอร์ที่ผิวปลา 0.9781) Harper (1996) รายงานว่า thermoplastic เป็นพอลิเมอร์ที่มีสายโซ่หลักเป็นคาร์บอนที่มีความแข็งแรงและเหนียว สามารถหลอมเหลวได้เมื่อได้รับความร้อนหรือความดันเพียงพอและแข็งตัวเมื่อเย็นลง สามารถนำกลับมาหลอมใหม่ได้อีก เมื่อพิจารณาที่ปริมาณไขมัน พบว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารละลาย ปริมาณไขมันไม่มีความแตกต่างกัน ($p > 0.05$) ทั้งนี้อาจเนื่องจากวัตถุดิบที่ใช้ผลิตปลารวมควันมาจากแหล่งเดียวกัน อาหารที่ปลาได้รับและภาวะการเลี้ยง รวมทั้ง อายุ ขนาดและน้ำหนักใกล้เคียงกัน ทำให้ปริมาณไขมันในผลิตภัณฑ์ใกล้เคียงกัน

จากผลการทดลอง (รูปที่ 4.7) พบอิทธิพลของความเข้มข้น HPC ต่อปริมาณเบนโซ(เอ)ไพรีนทั้งที่ผิวภายนอกและเนื้อในของผลิตภัณฑ์ ($p \leq 0.05$) โดยเมื่อความเข้มข้นของสารละลายสูงขึ้น ปริมาณเบนโซ(เอ)ไพรีนที่ผิวภายนอกและเนื้อในมีปริมาณต่ำลง ทั้งนี้อาจเป็นผลของความหนาชั้นเคลือบและปริมาณ HPC ที่สูงขึ้น (พิจารณาจากตารางที่ 4.13) เนื่องจาก HPC เป็นเซลลูโลสที่มีสมบัติเมื่อถูกกลืนน้ำจะบวมและให้ฟิล์มที่มีสมบัติชอบน้ำ (Suto, 1998; Mori, Morimoto และ Nakamura, 1999) ดังนั้นเมื่อปริมาณ HPC เพิ่มสูงขึ้น เบนโซ(เอ)ไพรีนที่ผิวภายนอกจึงน้อยลง ในส่วนของปริมาณเบนโซ(เอ)ไพรีนที่เนื้อใน พบว่าเมื่อความหนาของชั้นเคลือบเพิ่มขึ้นจาก 8.60 เป็น 24.61 μm ส่งผลให้เบนโซ(เอ)ไพรีนที่มีสมบัติไม่ชอบน้ำและมีน้ำหนักโมเลกุลสูงซึมผ่านได้น้อยลง ทำให้ปริมาณของสารดังกล่าวที่เนื้อในลดลง เมื่อพิจารณาพร้อมกับคุณภาพทางประสาทสัมผัส (รูปที่ 4.8) ไม่พบอิทธิพลของความเข้มข้น HPC ต่อคะแนนสีของปลารวมควัน ($p > 0.05$) ทั้งนี้อาจเนื่องจากผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการหุบเคลือบไม่มีความเป็นมันเงา ดังนั้นจึงทำให้ผู้ทดสอบไม่เห็นความแตกต่างของสีผลิตภัณฑ์ ในขณะที่เครื่องวัดสี มีความละเอียดมากพอที่จะแยกความแตกต่างได้ พบอิทธิพลของความเข้มข้น HPC ต่อคะแนน กลิ่นควัน เนื้อสัมผัส รสชาติ ลักษณะปรากฏ และ ความชอบรวมของปลารวมควัน ($p \leq 0.05$) โดยเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายจาก 3.42 เป็น 7.60 % w/w ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีแนวโน้มคะแนนทางประสาทสัมผัสทุกด้านลดลง เนื่องจากผลิตภัณฑ์ที่ได้ไม่มีความเป็นมันเงา แต่อย่างไรก็ตามคะแนนทางประสาทสัมผัสยังอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ทุกด้าน โดยมีคะแนนสี กลิ่นควัน เนื้อสัมผัส รสชาติ ลักษณะปรากฏและความชอบรวมเป็น 5.90, 4.92, 5.03, 4.94, 5.00 และ 5.07 ตามลำดับ

จากการทดลองทั้งหมดสรุปได้ว่า การเพิ่มความเข้มข้นของ HPC ทำให้ค่าความหนืดปรากฏ น้หนักสารละลายขุบติคบนผิวผลิตภัณฑ์ ความหนาฟิล์ม และปริมาณพอลิเมอร์ที่ผิวเพิ่มสูงขึ้น ส่งผลต่อสมบัติของปลารมควันที่ได้ โดยปลารมควันที่ได้จากการขุบเคลือบสารละลายมีปริมาณความชื้น ความแน่นของเนื้อสัมผัส ค่าความสว่างและสีเหลืองเพิ่มขึ้น ทำให้คุณภาพทางประสาทสัมผัสอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ ในส่วนของปริมาณเบนโซ(เอ)ไพรีนที่ผิวภายนอกและเนื้อในพบว่าเมื่อความเข้มข้นของสารละลายเพิ่มขึ้นจาก 3.41 เป็น 7.60%w/w ปลารมควันที่ได้จากการขุบเคลือบสารละลายมีปริมาณดังกล่าวน้อยลง ดังนั้นจึงพิจารณาเลือกใช้ HPC ที่ความเข้มข้น 7.60 %w/w เนื่องจากให้ลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่ดี โดยมีคะแนนทางประสาทสัมผัสทุกด้านอยู่ในระดับที่ยอมรับได้ และสามารถลดปริมาณเบนโซ(เอ)ไพรีนได้สูงสุด และจากผลการทดลองทั้งหมดที่กล่าวมาแสดงให้เห็นว่าเบนโซ(เอ)ไพรีนที่ลดลงนั้นนอกจากเป็นผลของประสิทธิภาพพอลิเมอร์ชีวภาพแล้ว ยังมีอิทธิพลของความหนาชั้นเคลือบร่วมอยู่ด้วย

5.4 ผลความเข้มข้นของพอลิเมอร์ชีวภาพเมื่อความหนาของชั้นเคลือบเท่ากัน

จากผลการทดลองในข้อ 4.3 ได้ข้อมูลของระดับความเข้มข้นที่เหมาะสมในการขุบเคลือบปลาคุกโดยยังคงลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่ดี รวมทั้งสมบัติและขีดจำกัดการใช้งานของสารละลายพอลิเมอร์ชีวภาพแต่ละชนิด แต่ข้อมูลดังกล่าวไม่สามารถเปรียบเทียบเฉพาะประสิทธิภาพของพอลิเมอร์ชีวภาพได้ เนื่องจากความเข้มข้นของสารละลายที่ต่างกัน ทำให้ความหนาของชั้นเคลือบต่างกันด้วย จึงมีผลของ 2 ตัวแปรร่วมกัน ดังนั้นในงานทดลองนี้จึงออกแบบโดยควบคุมความหนาของชั้นเคลือบแต่ละความเข้มข้นให้เท่ากัน เพื่อเปรียบเทียบเฉพาะประสิทธิภาพของพอลิเมอร์ชีวภาพเพียงปัจจัยเดียว และในการทดลองนี้ได้แปรช่วงความเข้มข้นให้แคบลง โดยเลือกความเข้มข้นที่ดีที่สุดจากข้อ 5.3.1 – 5.3.3 ได้แก่ HPMC เข้มข้น 2.44 %w/w MC เข้มข้น 5.57 %w/w และ HPC เข้มข้น 7.60 %w/w โดยแปร HPMC เป็น 1.69, 2.44 และ 3.26 %w/w MC เป็น 4.31, 5.57 และ 6.63 %w/w HPC เป็น 6.93, 7.60 และ 8.24%w/w

5.4.1 สมบัติทางกายภาพของสารละลายฟิล์มและแผ่นฟิล์มที่ขึ้นรูปจากสารละลาย HPMC กับสมบัติของปลารมควันที่ขุบเคลือบสารละลาย HPMC

ในขั้นตอนการทดลองนี้ได้หุบเคลือบสารละลายที่มีความเข้มข้นต่างกัน ให้มีความหนาของชั้นเคลือบเท่ากันในช่วง 17 – 20 μm ได้โดยใช้เวลาการหุบเคลือบและพักตัวอย่างที่แตกต่างกัน โดย HPMC เข้มข้น 1.69 %w/w หุบเคลือบปลาตุกในสารละลายนาน 20 วินาที พักสารละลาย 1 นาที ทำซ้ำ 3 ครั้ง HPMC เข้มข้น 2.44 %w/w หุบเคลือบปลาตุกในสารละลายนาน 20 วินาที พักสารละลาย 1 นาที HPMC เข้มข้น 3.26 %w/w หุบเคลือบปลาตุกในสารละลายนาน 5 วินาที พักสารละลาย 1 นาที

5.4.1.1 สมบัติทางกายภาพของสารละลายฟิล์มและแผ่นฟิล์มที่ขึ้นรูปจากสารละลาย

HPMC

ผลการวัดความหนืดปรากฏ นำหนักหุบคิดต่อหน่วยพื้นที่ ความหนาฟิล์ม และปริมาณพอลิเมอร์ที่ผิวปลา แสดงในตารางที่ 4.15 และ 4.16

จากผลการทดลอง พบอิทธิพลของความเข้มข้น HPMC ต่อความหนืดปรากฏ ($p \leq 0.05$) โดยเมื่อความเข้มข้นของสารละลายเพิ่มขึ้นจาก 1.69 เป็น 3.26 %w/w ทำให้ความหนืดปรากฏสูงขึ้นจาก 1429 เป็น 10566 cPs และส่งผลให้ปริมาณพอลิเมอร์ที่ผิวปลาเพิ่มสูงขึ้น ทั้งนี้อธิบายได้โดยเหตุผลเช่นเดียวกับข้อ 5.3.1.1 และเมื่อความเข้มข้นของสารละลายเพิ่มสูงขึ้น ทำให้โมเลกุลเกิดการเชื่อมพันธะกับน้ำและเคลื่อนที่เข้าชิดกัน เกิดการพันของสายโซ่โมเลกุลและมีแรงยึดเหนี่ยวซึ่งกันและกันมากขึ้น (Saunders, 1988) ทำให้มีโอกาสยึดเกาะที่ผิวผลิตภัณฑ์ได้มาก ทำให้ต้องใช้เวลาและจำนวนครั้งในการหุบเคลือบสารละลายที่มีความเข้มข้นสูงน้อยกว่าที่ระดับความเข้มข้นของสารละลายต่ำ จึงจะได้ความหนาของชั้นเคลือบเท่ากัน

จากผลการทดลองสรุปได้ว่า ความเข้มข้นของสารละลายมีผลต่อค่าความหนืดปรากฏของสารละลาย โดยเมื่อความเข้มข้นเพิ่มขึ้น ทำให้ความหนืดปรากฏมีค่าเพิ่มสูงขึ้น และเพื่อต้องการให้ความหนาของชั้นเคลือบเท่ากันแต่ปริมาณพอลิเมอร์ที่ผิวปลายังคงต่างกัน ทำให้ต้องควบคุมภาวะการหุบเคลือบดังที่กล่าวมาในข้างต้น

5.4.1.2 สมบัติของปลารมควันที่หุบเคลือบสารละลาย HPMC

ผลการวิเคราะห์ค่า ความชื้น ไบมัน เบนโซ(เอ)ไพรีน ดี (L, a*, b*) ความแน่นของเนื้อสัมผัส และ คะแนนทางประสาทสัมผัสของปลารมควันที่หุบเคลือบ แสดงในตารางที่ 4.17 และ รูปที่ 4.9-4.10

จากผลการทดลอง (ตารางที่ 4.17) พบอิทธิพลของความเข้มข้น HPMC ต่อ ปริมาณ ความชื้น ค่าความแน่นของเนื้อสัมผัส ความสว่าง (L) สีแดง (a*) และสีเหลือง (b*) ของปลารมควันที่ ชุบเคลือบและไม่ชุบเคลือบสารละลาย ($p \leq 0.05$) โดยปลารมควันที่ชุบเคลือบ มีค่าทุกค่าที่กล่าวมา สูงกว่าปลารมควันที่ไม่ชุบเคลือบ อธิบายได้โดยเหตุผลเช่นเดียวกับข้อ 5.3.1.2 และเมื่อพิจารณาเฉพาะ ผลกระทบที่ความหนาของชั้นเคลือบเท่านั้น ไม่พบอิทธิพลของความเข้มข้นสารละลายต่อความชื้น ($p > 0.05$) อาจเนื่องจากความหนาของชั้นเคลือบที่เท่ากัน ทำให้น้ำในผลิตภัณฑ์ที่ระเหยเป็นไอออกจาก ผิวภายนอกและภายในผลิตภัณฑ์มีปริมาณที่เท่าๆกัน ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองในข้อ 4.3.1.2 (ตารางที่ 4.8) ที่พบว่าความหนาของชั้นเคลือบมีผลต่อความชื้นของผลิตภัณฑ์ ในลักษณะที่ความหนา ของชั้นเคลือบที่เพิ่มขึ้น ทำให้ความชื้นของผลิตภัณฑ์จึงมีค่าเพิ่มขึ้นด้วย ในส่วนของค่าความแน่น ของเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ที่ความหนาชั้นเคลือบเท่ากัน พบว่าเมื่อชุบเคลือบผลิตภัณฑ์ด้วยสาร ละลาย HPMC ที่ระดับความเข้มข้น 1.69 – 2.44 %w/w ค่าดังกล่าว ไม่มีความแตกต่างกันแต่ต่างจากปลา รมควันที่ชุบเคลือบด้วยสารละลายเข้มข้น 3.26 %w/w ($p \leq 0.05$) ทั้งนี้อาจเนื่องจากที่ระดับความเข้มข้น 3.26 %w/w มีปริมาณพอลิเมอร์ที่ผิวปลามากพอที่จะทำให้โมเลกุลของ HPMC เกิดเป็นโครงร่างตาข่าย ที่แข็งแรงมากกว่า ซึ่งจากผลดังกล่าว แสดงให้เห็นว่าเมื่อควบคุมความหนาของชั้นเคลือบให้เท่ากันแล้ว ปัจจัยที่มีผลทำให้ค่าความแน่นของเนื้อสัมผัสเพิ่มขึ้นคือปริมาณพอลิเมอร์ที่ผิวปลา ซึ่งสอดคล้องกับ ผลการทดลองในข้อ 4.3.1.2 (ตารางที่ 4.8) ที่พบว่าค่าความแน่นของเนื้อสัมผัสเพิ่มขึ้นตามปริมาณสาร พอลิเมอร์ที่ผิวปลาเช่นกัน เมื่อพิจารณาที่ค่าความสว่าง (L) สีแดง (a*) และสีเหลือง (b*) พบว่า ค่าดังกล่าว ไม่มีความแตกต่างกันเมื่อความหนาของชั้นเคลือบเท่ากัน ($P > 0.05$) ซึ่งต่างจากผลการทดลอง ในข้อ 4.3.1.2 ในลักษณะที่เมื่อความหนาของชั้นเคลือบเพิ่มสูงขึ้น ทำให้ค่าความสว่างและสีเหลืองเพิ่ม แต่สีแดงลดลง เนื่องจากความเข้มข้นน้ำตาลในผลิตภัณฑ์ลดลง ทั้งนี้อธิบายได้โดยเหตุผลเช่นเดียวกับ ข้อ 5.3.1.2

จากผลการทดลอง (รูปที่ 4.9) พบอิทธิพลของความเข้มข้น HPMC ต่อปริมาณเบนโซ (เอ)ไพรีนทั้งที่ผิวภายนอกและเนื้อในของผลิตภัณฑ์ ($p \leq 0.05$) โดยเมื่อความเข้มข้นของสารละลายเพิ่ม ขึ้นจาก 1.69 เป็น 3.26 %w/w ปริมาณของ HPMC ก็เพิ่มสูงขึ้นเช่นกัน โดยเพิ่มจาก 18.09 เป็น 35.19 g/m^2 ทำให้เบนโซ(เอ)ไพรีนที่บริเวณผิวภายนอกมีปริมาณน้อยลง อธิบายได้โดยเหตุผลเช่นเดียวกับ ข้อ 5.3.1.2 ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับผลการทดลองในข้อ 4.3.1.2 (รูปที่ 4.3) พบว่าแนวโน้มการลดลงของ ปริมาณเบนโซ(เอ)ไพรีนเป็นไปในแนวทางเดียวกัน คือเมื่อสารพอลิเมอร์ที่ผิวปลาเพิ่มมากขึ้น ปริมาณ เบนโซ(เอ)ไพรีนที่ผิวภายนอกน้อยลง เมื่อพิจารณาปริมาณเบนโซ(เอ)ไพรีนที่บริเวณเนื้อใน พบว่า แม้ความหนาของชั้นเคลือบจะเท่ากันแต่ปริมาณพอลิเมอร์ที่เพิ่มขึ้น ทำให้เบนโซ(เอ)ไพรีนที่บริเวณ

ดังกล่าวยังคงมีปริมาณลดลงอย่างต่อเนื่อง ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากผลของประสิทธิภาพสารพอลิเมอร์ที่บริเวณผิวปลา ที่ทำให้ปริมาณเบนโซ(เอ)ไพรีนบริเวณผิวภายนอกลดลง จึงส่งผลต่อปริมาณที่ซึมผ่านชั้นเคลือบ ในลักษณะที่เมื่อผิวภายนอกมีปริมาณเบนโซ(เอ)ไพรีนน้อยลง ทำให้ปริมาณที่ซึมผ่านชั้นเคลือบมีน้อยลงเช่นกัน ซึ่งผลดังกล่าวสอดคล้องกับผลการทดลองในข้อ 4.3.1.2 แต่เนื่องจากประสิทธิภาพการลดเบนโซ(เอ)ไพรีนของข้อดังกล่าว มาจากผลของประสิทธิภาพพอลิเมอร์ชีวภาพและความหนาของชั้นเคลือบที่เพิ่มสูงขึ้นร่วมกัน จึงทำให้ลดปริมาณเบนโซ(เอ)ไพรีนได้มากกว่าที่ความหนาของชั้นเคลือบเท่ากัน เมื่อพิจารณาพร้อมกับคุณภาพทางประสาทสัมผัส (รูปที่ 4.10) พบอิทธิพลของความเข้มข้น HPMC ต่อคะแนน สี กลิ่นคาว เนื้อสัมผัส และ ความชอบรวม ของปลารมควันที่ชุบเคลือบกับไม่ชุบเคลือบ ($p \leq 0.05$) โดยปลารมควันที่ชุบเคลือบมีคะแนนดังกล่าวอยู่ในเกณฑ์ดีและสูงกว่าปลารมควันที่ไม่ชุบเคลือบ เนื่องจากมีสี กลิ่นคาว เนื้อสัมผัสที่ดีและลักษณะปรากฏที่มันเงา ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองในข้อ 4.3.1.2 (รูปที่ 4.4) แต่เมื่อพิจารณาเฉพาะปลารมควันที่ความหนาของชั้นเคลือบเท่ากัน พบว่าคะแนน สี กลิ่นคาว เนื้อสัมผัส รสชาติ ลักษณะปรากฏและความชอบรวมของผลิตภัณฑ์ ไม่มีความแตกต่างกัน ($p > 0.05$) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากผลของความหนาชั้นเคลือบที่เท่ากัน ทำให้ผู้ทดสอบไม่สามารถแยกความแตกต่างของผลิตภัณฑ์ได้ ในขณะที่เครื่องวัดเนื้อสัมผัส และ สี มีความละเอียดมากพอที่จะแยกความแตกต่างได้ ซึ่งต่างจากผลการทดลองในข้อ 4.3.1.2 (รูปที่ 4.4) ที่ผู้ทดสอบสามารถแยกความแตกต่างของคะแนนดังกล่าวได้ เนื่องจากความหนาของชั้นเคลือบแตกต่างกัน โดยผลิตภัณฑ์ที่มีความหนาสูงสุดจะมีคะแนนทุกด้านที่กล่าวมาลดลงและอยู่ในเกณฑ์ที่ไม่ยอมรับ

จากผลการทดลองทั้งหมดสรุปได้ว่า การเพิ่มความเข้มข้นของ HPMC ในช่วง 1.69 – 3.26 %w/w ทำให้สารละลายมีความหนืดปรากฏเพิ่มขึ้น แต่จากการควบคุมเวลาในการชุบเคลือบและพักสารละลายรวมทั้งจำนวนครั้งในการชุบเคลือบที่แตกต่างกัน ทำให้ค่าความหนาฟิล์มเท่ากัน ในขณะที่ปริมาณพอลิเมอร์ที่ผิวปลายังคงต่างกัน และจากการที่ความหนาของชั้นเคลือบเท่ากัน ทำให้ไม่มีผลต่อสมบัติของปลารมควันที่ชุบเคลือบและคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ที่ได้ยังอยู่ในเกณฑ์ดี เมื่อพิจารณาปริมาณเบนโซ(เอ)ไพรีนที่ผิวภายนอกและเนื้อใน พบว่าเมื่อควบคุมความหนาของชั้นเคลือบให้เท่ากันแล้วเปรียบเทียบเฉพาะประสิทธิภาพของสารพอลิเมอร์เพียงปัจจัยเดียว จะเห็นว่าปริมาณ HPMC ที่เพิ่มขึ้น มีผลทำให้เบนโซ(เอ)ไพรีนที่ผิวภายนอกและเนื้อในลดลง ดังนั้นจึงพิจารณาเลือก HPMC ที่ความเข้มข้น 3.26 %w/w เนื่องจากให้ลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่ดี มีคะแนนทางประสาทสัมผัสอยู่ในเกณฑ์ดีและสามารถลดปริมาณเบนโซ(เอ)ไพรีนได้สูงที่สุด

5.4.2 สมบัติทางกายภาพของสารละลายฟิล์มและแผ่นฟิล์มที่ขึ้นรูปจากสารละลาย MC กับสมบัติของปลารมควันที่ชุบเคลือบสารละลาย MC

ในขั้นตอนการทดลองนี้ใช้ภาวะการชุบเคลือบที่แตกต่างกันในแต่ละความเข้มข้นเพื่อให้ได้ความหนาของชั้นเคลือบเท่ากันในช่วง 17 – 20 μm โดย MC เข้มข้น 4.31 %w/w ชุบเคลือบปลาคุกในสารละลายนาน 20 วินาที พักสารละลาย 1 นาที ทำซ้ำ 3 ครั้ง MC เข้มข้น 5.57 %w/w ชุบเคลือบปลาคุกในสารละลายนาน 20 วินาที พักสารละลาย 1 นาที MC เข้มข้น 6.63 %w/w ชุบเคลือบปลาคุกในสารละลายนาน 5 วินาที พักสารละลาย 1 นาที

5.4.2.1 สมบัติทางกายภาพของสารละลายฟิล์มและแผ่นฟิล์มที่ขึ้นรูปจากสารละลาย

MC

ผลการวัดความหนืดปรากฏ น้ำหนักชุบติดต่อหน่วยพื้นที่ ความหนาฟิล์ม และปริมาณพอลิเมอร์ที่ผิวปลา แสดงในตารางที่ 4.18-4.19

จากผลการทดลอง พบอิทธิพลของความเข้มข้น MC ต่อค่าความหนืดปรากฏ ($p \leq 0.05$) โดยเมื่อความเข้มข้นของสารละลายเพิ่มขึ้น ทำให้ความหนืดปรากฏเพิ่มสูงขึ้น และส่งผลต่อปริมาณพอลิเมอร์ที่ผิวปลา โดยเมื่อความหนืดปรากฏของสารละลายเพิ่มขึ้นจาก 1210.80 เป็น 10428.80 cPs ทำให้ปริมาณพอลิเมอร์ที่ผิวปลาเพิ่มจาก 46.22 เป็น 70.92 g/m^2 ซึ่งสามารถอธิบายได้โดยเหตุผลเช่นเดียวกับข้อ 5.3.2.1 แต่เพื่อให้ความหนาของชั้นเคลือบเท่ากัน จึงต้องใช้เวลาและจำนวนครั้งในการชุบเคลือบสารละลายที่ความเข้มข้นสูงน้อยกว่าที่ระดับความเข้มข้นต่ำ ซึ่งสามารถอธิบายโดยเหตุผลเช่นเดียวกับข้อ 5.4.1.1

5.4.2.2 สมบัติของปลารมควันที่ชุบเคลือบสารละลาย MC

ผลการวิเคราะห์ค่า ความชื้น ไซมัน เบนโซ(เอ)ไพรีน สี (L, a^*, b^*) ความแน่นของเนื้อสัมผัส และ คะแนนทางประสาทสัมผัสของปลารมควันที่ชุบเคลือบ แสดงในตารางที่ 4.20 และรูปที่ 4.11-4.12

จากผลการทดลอง (ตารางที่ 4.20) พบอิทธิพลของความเข้มข้น MC ต่อ ความชื้น ความแน่นของเนื้อสัมผัส ค่าความสว่าง (L) สีแดง (a^*) และสีเหลือง (b^*) ของปลารมควันที่ชุบเคลือบและไม่ชุบเคลือบสารละลาย ($p \leq 0.05$) โดยค่าทุกค่าที่กล่าวมาของปลารมควันที่ชุบเคลือบสารละลาย MC สูงกว่าปลารมควันที่ไม่ชุบเคลือบ สามารถอธิบายได้โดยเหตุผลเช่นเดียวกับข้อ 5.3.2.2 เมื่อพิจารณาเฉพาะผลิตภัณฑ์ที่ความหนาของชั้นเคลือบเท่ากัน พบว่าความชื้น ความแน่นของเนื้อ

สัมผัส และ ค่าสี ของผลิตภัณฑ์ไม่มีความแตกต่างกัน ($p>0.05$) อธิบายได้โดยเหตุผลเช่นเดียวกับข้อ 5.4.1.2

จากผลการทดลอง (รูปที่ 4.11) พบอิทธิพลของความเข้มข้น MC ต่อปริมาณเบนโซไพรีนทั้งที่ผิวภายนอกและเนื้อในของผลิตภัณฑ์ ($p\leq 0.05$) โดยเมื่อพิจารณาปริมาณเบนโซไพรีนที่ผิวภายนอก พบว่า เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารละลาย ทำให้ปริมาณ MC เพิ่มขึ้น ส่งผลให้เบนโซไพรีนที่บริเวณดังกล่าวมีปริมาณน้อยลงและเริ่มคงที่เมื่อความเข้มข้นของ MC เป็น 5.57 และ 6.63 %w/w อธิบายได้โดยเหตุผลเช่นเดียวกับข้อ 5.3.2.2 และเมื่อพิจารณาปริมาณเบนโซไพรีนที่บริเวณเนื้อในผลิตภัณฑ์ พบว่าแม้ความหนาของชั้นเคลือบจะเท่ากันแต่ปริมาณสารพอลิเมอร์ที่เพิ่มสูงขึ้น ทำให้ปริมาณเบนโซไพรีนที่เนื้อในมีปริมาณน้อยลงและเริ่มคงที่เมื่อความเข้มข้นของ MC เป็น 5.57 และ 6.63 %w/w เช่นกัน ทั้งนี้อาจเนื่องจากที่ระดับความเข้มข้นดังกล่าว ปริมาณเบนโซไพรีนที่บริเวณผิวภายนอกเริ่มคงที่แล้วเช่นกัน ดังนั้นเมื่อความหนาของชั้นเคลือบเท่ากัน จึงส่งผลให้เบนโซไพรีนที่ผิวภายนอกซึมผ่านชั้นเคลือบเข้าสู่เนื้อในผลิตภัณฑ์ได้เท่าๆกัน จะเห็นว่าการทดลองของปริมาณเบนโซไพรีนทั้งที่ผิวภายนอกและเนื้อในนั้น เป็นผลเนื่องมาจากประสิทธิภาพของสารพอลิเมอร์เพียงปัจจัยเดียว ซึ่งต่างจากผลการทดลองในข้อ 4.3.2.2 ในลักษณะที่แม้ว่าการทดลองของปริมาณเบนโซไพรีนที่ผิวภายนอกของผลิตภัณฑ์ที่หุบเคลือบสารละลายเข้มข้น 5.57 และ 7.84 %w/w จะเริ่มคงที่แล้วแต่ปริมาณเบนโซไพรีนที่เนื้อในยังคงมีแนวโน้มลดลงอีก ซึ่งอาจเกิดเนื่องจากผลิตภัณฑ์ในข้อ 4.3.2.2 มีความหนาของชั้นเคลือบที่แตกต่างกัน โดยมีค่าเพิ่มสูงขึ้น จึงทำให้เบนโซไพรีนซึมผ่านเข้าสู่เนื้อในได้น้อยลง เมื่อพิจารณาร่วมกับคุณภาพทางประสาทสัมผัส (รูปที่ 4.11) พบอิทธิพลของความเข้มข้น MC ต่อคะแนน สี กลิ่นคาว เนื้อสัมผัส รสชาติ ลักษณะปรากฏ และความชอบรวมของปลารมควันที่หุบเคลือบกับไม่หุบเคลือบ ($p>0.05$) โดยปลารมควันที่หุบเคลือบมีคะแนนดังกล่าวสูงกว่าและอยู่ในเกณฑ์ดี เนื่องจากมีสี กลิ่นคาว เนื้อสัมผัสที่ดี และ ลักษณะปรากฏมันเงา ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองในข้อ 4.3.2.2 (รูปที่ 4.6) แต่เมื่อพิจารณาเฉพาะปลารมควันที่ความหนาชั้นเคลือบเท่ากัน ไม่พบอิทธิพลของความเข้มข้น MC ต่อคะแนนทุกค่าที่กล่าวมา ($p>0.05$) อธิบายได้โดยเหตุผลเช่นเดียวกับข้อ 5.4.1.2

จากการทดลองทั้งหมดสรุปได้ว่า การเพิ่มความเข้มข้นของ MC ทำให้สารละลายมีความหนืดปรากฏเพิ่มขึ้น และเมื่อควบคุมภาวะในการหุบเคลือบให้มีความหนาฟิล์มเท่ากัน ทำให้สมบัติของปลารมควันที่หุบเคลือบไม่แตกต่างกัน และ คุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ที่ได้ยังอยู่ในเกณฑ์ดี เมื่อพิจารณาที่ปริมาณเบนโซไพรีนทั้งที่ผิวภายนอกและเนื้อใน พบว่าเมื่อควบคุมปัจจัยความหนาของชั้นเคลือบให้เท่ากันเพื่อศึกษาเฉพาะประสิทธิภาพพอลิเมอร์ชีวภาพ จะเห็นว่า

ปริมาณ MC ที่เพิ่มขึ้น ทำให้เบนโซ(เอ)ไพรีนที่ผิวภายนอกและเนื้อในมีปริมาณลดลงและคงที่เมื่อระดับความเข้มข้น MC เป็น 5.57 และ 6.63 %w/w ดังนั้นจึงพิจารณาเลือก MC ที่ความเข้มข้น 5.57 %w/w เนื่องจากให้ลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่ดี มีคะแนนทางประสาทสัมผัสอยู่ในเกณฑ์ดีและสามารถลดปริมาณเบนโซ(เอ)ไพรีนได้สูงที่สุดเท่ากับระดับความเข้มข้น 6.63 %w/w แต่ใช้ปริมาณสาร MC น้อยกว่า

5.4.3 สมบัติทางกายภาพของสารละลายฟิล์มและแผ่นฟิล์มที่ขึ้นรูปจากสารละลาย HPC กับสมบัติของปลารมควันที่หุบเคลือบสารละลาย HPC

ในการทดลองนี้ใช้ภาวะการหุบเคลือบและพักตัวอย่างที่แตกต่างกันเพื่อให้ได้ความหนาชั้นเคลือบเท่ากัน โดย HPC เข้มข้น 6.93 %w/w หุบเคลือบปลาคุกในสารละลายทันที พักสารละลาย 5 นาที HPC เข้มข้น 7.60 %w/w หุบเคลือบปลาคุกในสารละลายทันที พักสารละลาย 7 นาที HPC เข้มข้น 8.24 %w/w หุบเคลือบปลาคุกในสารละลายทันที พักสารละลาย 10 นาที

5.4.3.1 สมบัติทางกายภาพของสารละลายฟิล์มและแผ่นฟิล์มที่ขึ้นรูปจากสารละลาย HPC

ผลการวัดความหนืดปรากฏ น้ำหนักหุบคิดต่อหน่วยพื้นที่ ความหนาฟิล์ม และปริมาณพอลิเมอร์ที่ผิวปลา แสดงในตารางที่ 4.21 – 4.22

จากผลการทดลอง พบอิทธิพลของความเข้มข้น HPC ต่อค่าความหนืดปรากฏ ($p \leq 0.05$) โดยสารละลายจาก HPC มีความหนืดปรากฏเพิ่มขึ้นจาก 11401.20 เป็น 12973.40 cPs เมื่อความเข้มข้นของสารละลายเพิ่มขึ้น อธิบายได้โดยเหตุผลเช่นเดียวกับข้อ 5.3.3.1 และเพื่อต้องการให้ความหนาของชั้นเคลือบเท่ากันจึงใช้ภาวะในการหุบเคลือบสารละลายที่ต่างกัน อธิบายได้โดยเหตุผลเช่นเดียวกับข้อ 5.4.1.1

5.4.3.2 สมบัติของปลารมควันที่หุบเคลือบสารละลาย HPC

ผลการวิเคราะห์ค่า ความชื้น ไขมัน เบนโซ(เอ)ไพรีน สี (L, a^*, b^*) ความแน่นของเนื้อสัมผัส และ คะแนนทางประสาทสัมผัส แสดงในตารางที่ 4.23 และรูปที่ 4.13- 4.14

จากผลการทดลอง (ตารางที่ 4.23) พบอิทธิพลของความเข้มข้น HPC ต่อความชื้น ความแน่นของเนื้อสัมผัส ค่าสี (L , a^* , b^*) ของปลารมควันที่ชุบเคลือบและ ไม่ชุบเคลือบสารละลาย ($p \leq 0.05$) โดยค่าดังกล่าวของปลารมควันที่ชุบเคลือบสารละลายมีค่าสูงกว่าปลารมควันที่ไม่ชุบเคลือบอธิบายได้โดยเหตุผลเช่นเดียวกับข้อ 5.3.3.2 เมื่อพิจารณาเฉพาะผลิตภัณฑ์ที่ความหนาของชั้นเคลือบเท่ากัน ไม่พบอิทธิพลของความเข้มข้นสารละลายต่อความชื้น ความแน่นของเนื้อสัมผัส และ ค่าสี ของปลารมควัน ($p > 0.05$) ในส่วนของความชื้น และ ค่าสี อธิบายโดยเหตุผลเช่นเดียวกับข้อ 5.4.1.2 ในขณะที่ค่าความแน่นของเนื้อสัมผัสที่ไม่ต่างกันนั้น อาจเกิดเนื่องจาก เมื่อความหนาของชั้นเคลือบเท่ากัน ทำให้โมเลกุลของ HPC ซึ่งเป็นพอลิเมอร์ที่มีสายยาว เกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างสายโซ่โมเลกุลและมีแรงยึดเหนี่ยวที่แข็งแรงใกล้เคียงกัน เมื่อเปรียบเทียบกับผลการทดลองในข้อ 4.3.3.2 พบว่าไม่สอดคล้องกัน โดยค่าความแน่นของเนื้อสัมผัสในข้อดังกล่าวเพิ่มสูงขึ้นซึ่งอาจเกิดเนื่องจากความหนาของชั้นเคลือบและปริมาณพอลิเมอร์ที่เพิ่มสูงขึ้นมาก จึงทำให้โมเลกุลของ HPC เกิดแรงยึดเหนี่ยวที่แข็งแรงมากกว่าที่ความหนาชั้นเคลือบเท่ากัน

จากผลการทดลอง (รูปที่ 4.13) พบอิทธิพลของความเข้มข้น HPC ต่อปริมาณเบนโซไพรีนที่ผิวภายนอกและเนื้อในของผลิตภัณฑ์ ($p \leq 0.05$) โดยผลิตภัณฑ์ที่ชุบเคลือบสารละลาย HPC มีปริมาณดังกล่าวลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์ที่ไม่ชุบเคลือบ อธิบายได้โดยเหตุผลเช่นเดียวกับข้อ 5.3.3.2 และเมื่อความหนาของชั้นเคลือบเท่ากัน ไม่พบอิทธิพลของความเข้มข้น HPC ต่อปริมาณเบนโซไพรีนที่ผิวภายนอกและเนื้อในของผลิตภัณฑ์ ($p > 0.05$) อาจอธิบายได้ว่าที่ระดับความเข้มข้นของสารละลาย 6.93 – 8.24%w/w โดยมีความหนาชั้นเคลือบในช่วง 17-20 μm โมเลกุลของ HPC ซึ่งมีสมบัติเมื่อคูดกตินน้ำจะบวมและให้ฟิล์มที่มีสมบัติขบหน้านั้นมีปริมาณพอลิเมอร์ชีวภาพอยู่ในระดับที่เพียงพอต่อการลดเบนโซไพรีนจึงทำให้ค่าดังกล่าวที่บริเวณผิวภายนอกไม่แตกต่างกันและส่งผลให้ปริมาณเบนโซไพรีนซึมผ่านเข้าเนื้อในผลิตภัณฑ์ได้เท่าๆกัน ซึ่งต่างจากผลการทดลองในข้อ 4.3.3.2 ในลักษณะที่เมื่อความเข้มข้นของสารละลายในข้อดังกล่าวเพิ่มขึ้น ปริมาณเบนโซไพรีนที่บริเวณผิวภายนอกและเนื้อในน้อยลง อาจเนื่องมาจากผลของประสิทธิภาพสารพอลิเมอร์ชีวภาพและความหนาของชั้นเคลือบที่เพิ่มสูงขึ้นร่วมกัน จึงทำให้ลดปริมาณเบนโซไพรีนได้มากกว่าที่ความหนาของชั้นเคลือบเท่ากัน เมื่อพิจารณาร่วมกับคุณภาพทางประสาทสัมผัส (รูปที่ 4.14) ไม่พบอิทธิพลของความเข้มข้น HPC ต่อคะแนน สี ของปลารมควันที่ชุบเคลือบและ ไม่ชุบเคลือบสารละลาย ($p > 0.05$) อาจเนื่องจากผลิตภัณฑ์ที่ชุบเคลือบไม่มีความเป็นมันเงา ทำให้ผู้ทดสอบไม่สามารถแยกความแตกต่างได้ ในขณะที่เครื่องวัดสีมีความละเอียดมากพอที่จะแยกความแตกต่างได้ ในส่วนของคะแนนกลิ่นควัน เนื้อสัมผัส ลักษณะปรากฏ และ ความชอบรวมของผลิตภัณฑ์ พบว่าผลิตภัณฑ์ที่ชุบเคลือบมี

คะแนนดังกล่าวต่างจากปลารมควันที่ไม่ชุบเคลือบ ($p \leq 0.05$) โดยปลารมควันที่ชุบเคลือบมีคะแนนดังกล่าวลดลงแต่อยู่ในเกณฑ์ดี เนื่องจากมีสี กลิ่นควัน และ เนื้อสัมผัสที่ดี ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองในข้อ 4.3.3.2 เมื่อพิจารณาเฉพาะปลารมควันที่ความหนาชั้นเคลือบเท่ากัน ปรากฏว่าไม่พบอิทธิพลของความเข้มข้น HPC ต่อคะแนนสี กลิ่นควัน เนื้อสัมผัส รสชาติ ลักษณะปรากฏและความชอบรวมของผลิตภัณฑ์ ($p > 0.05$) อธิบายได้โดยเหตุผลเช่นเดียวกับข้อ 5.4.1.2

จากการทดลองทั้งหมดสรุปได้ว่า การเพิ่มความเข้มข้นของ HPC ทำให้สารละลายมีความหนืดปรากฏเพิ่มขึ้น และเมื่อความหนาของชั้นเคลือบเท่ากัน ทำให้สมบัติทางเคมีของปลารมควันที่ชุบเคลือบไม่แตกต่างกัน และ คุณภาพทางประสาทสัมผัสของปลารมควันที่ได้ยังอยู่ในเกณฑ์ยอมรับได้ เมื่อพิจารณาปริมาณเบนโซ(เอ)ไพรีนที่ผิวภายนอก และ เนื้อใน พบว่าเมื่อควบคุมความหนาของชั้นเคลือบให้เท่ากัน แล้วเปรียบเทียบเฉพาะผลของพอลิเมอร์ชีวภาพเพียงปัจจัยเดียว จะเห็นว่าปริมาณ HPC ที่เพิ่มขึ้น ไม่สามารถลดปริมาณเบนโซ(เอ)ไพรีนให้ต่ำลงได้อีก ดังนั้นจึงเลือกความเข้มข้นที่ดีที่สุดของ HPC ที่ 6.93 %w/w ระดับความหนา 17-20 μm เนื่องจากให้ลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่ดี โดยมีคะแนนทางประสาทสัมผัสอยู่ในระดับยอมรับได้และสามารถลดปริมาณเบนโซ(เอ)ไพรีนได้สูงสุดเท่ากับที่ระดับความเข้มข้น 7.60 และ 8.24 %w/w

5.5 เปรียบเทียบประสิทธิภาพของสารพอลิเมอร์ชีวภาพ

จากการทดลองทั้งหมดที่ผ่านมา สามารถเลือกระดับความเข้มข้นของสารละลายพอลิเมอร์ชีวภาพแต่ละชนิดที่เหมาะสมสำหรับการเคลือบปลารมควัน โดยใช้สมบัติทางกายภาพและคุณภาพของผลิตภัณฑ์เป็นเกณฑ์ในการคัดเลือก แต่ยังไม่ทราบประสิทธิภาพในเชิงเปรียบเทียบของสารทั้ง 3 ชนิด ดังนั้นจึงออกแบบงานทดลองนี้ขึ้นเพื่อคัดเลือกชนิดของพอลิเมอร์ชีวภาพที่เหมาะสมที่สุด โดยเลือก HPMC, MC และ HPC ความเข้มข้นที่ดีที่สุดที่สรุปได้คือ 3.26, 5.57 และ 6.93 %w/w ตามลำดับ ขั้นตอนนี้ได้ชุบเคลือบสารเคลือบแต่ละชนิดให้มีความหนาชั้นเคลือบเท่ากัน เพื่อประเมินประสิทธิภาพของพอลิเมอร์ชีวภาพได้ชัดเจนยิ่งขึ้น

5.5.1 สมบัติทางกายภาพของสารละลายฟิล์มและฟิล์มที่ขึ้นรูปจากสารละลายพอลิเมอร์ชีวภาพ

ในขั้นตอนการทดลองนี้ได้ชุบเคลือบสารละลายต่างชนิดและมีความเข้มข้นต่างกัน เคลือบผิวปลาโดยมีความหนาของชั้นเคลือบเท่ากันระหว่าง 17 -20 μm ได้ โดยควบคุมภาวะในการชุบเคลือบที่

แตกต่างกัน โดย HPMC เข้มข้น 3.26 %w/w ชุบเคลือบปลาคุกในสารละลายนาน 5 วินาที พักสารละลาย 1 นาที MC เข้มข้น 5.57 %w/w ชุบเคลือบปลาคุกในสารละลายนาน 20 วินาที พักสารละลาย 1 นาที HPC เข้มข้น 6.93 %w/w ชุบเคลือบปลาคุกในสารละลายทันที พักสารละลาย 5 นาที ผลการวัดความหนืดปรากฏ น้ำหนักชุบติดต่อหน่วยพื้นที่ ความหนาฟิล์ม และ ปริมาณพอลิเมอร์ที่ผิวปลา แสดงในตารางที่ 4.24-4.25

จากผลการทดลอง พบว่าความหนืดปรากฏของสารละลายพอลิเมอร์ชีวภาพทั้ง 3 ชนิดแตกต่างกัน ($p < 0.05$) ทั้งนี้อาจเนื่องจากระดับความเข้มข้นและน้ำหนักโมเลกุลที่ต่างกัน ทำให้จำนวนโมเลกุลที่เชื่อมพันธะกับน้ำและมีโอกาสเคลื่อนที่เข้าชิดกันเกิดแรงยึดเหนี่ยวที่แตกต่างกัน จะเห็นได้ว่า HPC เข้มข้น 6.93%w/w มีความหนืดปรากฏสูงสุด ในขณะที่ MC 5.57%w/w มีความหนืดปรากฏต่ำสุด ซึ่งอาจเกิดจาก MC มีน้ำหนักโมเลกุลที่ต่ำกว่าและมีหมู่ methyl แทนที่เพียงหมู่เดียว แม้การแทนที่ด้วยหมู่ methyl จะทำให้โมเลกุลของเซลลูโลสมีความสามารถในการละลายน้ำได้ดีขึ้น (Zecher และ Gerrish, 1992) แต่ความสามารถในการเชื่อมพันธะกับน้ำของหมู่ methyl มีน้อยกว่าหมู่ propyl (Coffey และคณะ, 1995) จึงทำให้ความหนืดปรากฏของ MC เข้มข้น 5.57 %w/w มีค่าต่ำกว่า HPC เข้มข้น 6.93 %w/w และ HPMC เข้มข้น 3.26 %w/w ซึ่งมีหมู่แทนที่เป็นหมู่ propyl และ propyl กับ methyl ตามลำดับ และจากค่าความหนืดปรากฏ จึงต้องใช้ภาวะการชุบเคลือบของแต่ละพอลิเมอร์แตกต่างกัน และจากการควบคุมดังกล่าวมีผลให้ HPC เข้มข้น 6.93 %w/w มีค่าน้ำหนักชุบติดต่อหน่วยพื้นที่ต่ำกว่า HPMC เข้มข้น 3.26 %w/w และ MC เข้มข้น 5.57 %w/w

5.5.2 สมบัติของปลารมควันที่ชุบเคลือบสารละลายพอลิเมอร์ชีวภาพ

ผลการวิเคราะห์ค่า ความชื้น ไขมัน เบนโซ(เอ)ไพรีน ดี (L, a*, b*) ความแน่นของเนื้อสัมผัสและคะแนนทางประสาทสัมผัสของปลารมควันที่ชุบเคลือบ แสดงในตารางที่ 4.26 และรูปที่ 4.15-4.16

จากผลการทดลอง (ตารางที่ 4.26) ไม่พบอิทธิพลของ HPMC MC และ HPC ต่อปริมาณไขมันของปลารมควัน ($p > 0.05$) ทั้งนี้อาจเนื่องจากวัตถุดิบที่ใช้ผลิตปลารมควันมาจากแหล่งเดียวกัน ภาวะการเลี้ยงและอาหารที่ปลาได้รับเป็นอย่างเดียวกัน อัตราการสะสมของไขมันในเนื้อและได้ผิวหนังจึงใกล้เคียงกัน อีกทั้งอายุ ขนาดและน้ำหนักของปลาใกล้เคียงกัน ปริมาณไขมันตั้งต้นจึงไม่ต่างกัน และเมื่อรมควันด้วยภาวะเดียวกันโดยมีความหนาของชั้นเคลือบเท่ากัน จึงทำให้ปริมาณไขมันไม่ต่างกัน และเมื่อพิจารณาเฉพาะปลารมควันที่ชุบเคลือบสารละลายพอลิเมอร์ทั้ง 3 ชนิด โดยมีความหนาของชั้นเคลือบ

เท่ากัน พบว่าความชื้นและสีไม่มีความแตกต่างกัน ($p>0.05$) อธิบายได้โดยใช้เหตุผลเช่นเดียวกับข้อ 5.4.1.2 ในส่วนของค่าความแน่นของเนื้อสัมผัส พบว่าปลารมควันที่ชุบเคลือบสารละลาย HPC เข้มข้น 6.93 %w/w มีค่าดังกล่าว 301.90 g ซึ่งสูงกว่า HPMC เข้มข้น 3.26 %w/w และ MC เข้มข้น 5.57 %w/w ที่มีค่าความแน่นของเนื้อสัมผัสเป็น 280.16 และ 273.99 ตามลำดับ ผลดังกล่าวอาจเนื่องจาก HPC มีสมบัติเป็น thermoplastic ที่มีความแข็งแรงและเหนียว (Krochta และ Mulder-Johnston, 1997) และที่ระดับความเข้มข้น 6.93 %w/w มีปริมาณ HPC ที่สูงมากจึงทำให้เกิดแรงยึดเหนี่ยวซึ่งกันและกันมาก ค่าความแน่นของเนื้อสัมผัสที่วัดได้จึงสูงมากกว่า

จากผลการทดลอง (รูปที่ 4.15) พบว่าเมื่อความหนาของชั้นเคลือบเท่ากัน ปริมาณเบนโซ(เอ)ไพรีนที่ผิวภายนอกของปลารมควันที่ชุบเคลือบสารละลาย HPMC เข้มข้น 3.26%w/w และ MC เข้มข้น 5.57 %w/w ไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) เนื่องจากพอลิเมอร์ชีวภาพทั้ง 2 ชนิดมีสมบัติที่คล้ายกัน คือเกิดเจลเมื่อได้รับความร้อน โดยเมื่อให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 50 – 80 °C ซึ่งเป็นระดับเดียวกับอุณหภูมิรมควัน ทำให้โมเลกุลน้ำบริเวณใกล้หุ้มขอบน้ำของ MC และ HPMC แยกตัวออก ส่งผลให้หมู่ methyl หันเข้าหาและจับกับอีกโมเลกุล โดยการรวมตัวกันเป็นแบบ hydrophobic interaction และหันหุ้มขอบน้ำออก เกิดเป็นเจลโครงร่าง 3 มิติที่มีสมบัติชอบน้ำ (Donhowe และ Fennema, 1993; Balasubramaniam และคณะ, 1997) จึงทำให้ปริมาณเบนโซ(เอ)ไพรีนที่ผิวภายนอกลดลง และเมื่อพิจารณาที่ปริมาณสารพอลิเมอร์ที่ผิวปลา (ตารางที่ 4.25) จะเห็นว่า HPMC ใช้ปริมาณสารพอลิเมอร์ตั้งต้นในการลดเบนโซ(เอ)ไพรีนน้อยกว่า MC ผลดังกล่าวอาจเนื่องจาก HPMC มีหมู่แทนที่ในโมเลกุล 2 หมู่ คือ methyl และ propyl โดย propyl มีความชอบน้ำมากกว่า methyl ในขณะที่ MC มีหมู่แทนที่เพียงหมู่เดียวคือ methyl ทำให้โมเลกุลของ HPMC มีความสามารถในการอุ้มน้ำและให้ฟิล์มที่มีสมบัติชอบน้ำมากกว่า จึงลดปริมาณเบนโซ(เอ)ไพรีนได้มาก และจากผลการทดลอง (รูปที่ 4.15) พบว่าผลิตภัณฑ์ที่ชุบเคลือบสารละลาย HPC เข้มข้น 6.93 %w/w มีปริมาณเบนโซ(เอ)ไพรีนที่ผิวภายนอก 1.02 ppb ซึ่งสูงกว่า HPMC เข้มข้น 3.26 %w/w และ MC เข้มข้น 5.57 %w/w ที่มีปริมาณสารดังกล่าวเป็น 0.76 และ 0.75 ppb ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากโมเลกุลของ HPC มีสมบัติที่เมื่อถูกกลืนน้ำจะบวมและให้ฟิล์มที่ชอบน้ำแต่ไม่เกิดเจลเมื่อได้รับความร้อน (Coffey และคณะ, 1995) ซึ่งต่างจาก HPMC และ MC ที่สารทั้ง 2 ชนิดดังกล่าวมีสมบัติเกิดเจลเป็นโครงร่าง 3 มิติที่แข็งแรงและอุ้มน้ำไว้ในโมเลกุลได้มากกว่า จึงมีประสิทธิภาพในการลดปริมาณเบนโซ(เอ)ไพรีนที่ผิวภายนอกได้ดีกว่า และเมื่อพิจารณาปริมาณเบนโซ(เอ)ไพรีนที่บริเวณเนื้อในผลิตภัณฑ์ พบว่าแม้ความหนาของชั้นเคลือบจะเท่ากัน แต่ปลารมควันที่ชุบเคลือบด้วยสารละลาย HPC เข้มข้น 6.93 %w/w ก็ยังคงมีปริมาณดังกล่าวสูงกว่าเช่นกัน ผลดังกล่าวอาจเกิดเนื่องจากปลารมควันที่ชุบเคลือบสารละลาย HPC ที่ระดับความเข้มข้นดังกล่าวมี

ปริมาณเบนโซ(เอ)ไพรีนที่ผิวภายนอกมากกว่า ทำให้ปริมาณสารที่ซึมผ่านเข้าสู่เนื้อในผลิตภัณฑ์มีมาก และจากสมบัติของ HPC ที่กล่าวมาแล้วจึงทำให้ความสามารถในการป้องกันการซึมผ่านของเบนโซ(เอ)ไพรีนมีน้อยกว่า HPMC และ MC สนับสนุนเหตุผลดังกล่าวได้จากผลการทดลองในตารางที่ 4.25 ที่พบว่า แม้ปริมาณสารพอลิเมอร์ที่ผิวปลาของสารละลาย MC เข้มข้น 5.57 %w/w และ HPC เข้มข้น 6.93%w/w จะมีใกล้เคียงกัน แต่ประสิทธิภาพในการลดเบนโซ(เอ)ไพรีนที่ผิวภายนอกและเนื้อใน (รูปที่ 4.15) มีความแตกต่างกัน ($p \leq 0.05$) โดยประสิทธิภาพของสารละลาย MC เข้มข้น 5.57 %w/w ดีกว่า ซึ่งอธิบายได้โดยเหตุผลดังกล่าวมาแล้วในข้างต้น เมื่อพิจารณาร่วมกับคุณภาพทางประสาทสัมผัส (รูปที่ 4.16) จะเห็นว่าไม่มีอิทธิพลของ HPMC, MC และ HPC ต่อคะแนนรสชาติของปลารมควัน ($p > 0.05$) ทั้งนี้อาจเนื่องจากพอลิเมอร์ชีวภาพทั้ง 3 ชนิด ไม่มี สี และ กลิ่นรส จึงไม่พบความแตกต่างของคะแนนดังกล่าว แต่พบอิทธิพลของ HPMC, MC และ HPC ต่อคะแนน สี กลิ่นควัน เนื้อสัมผัส ลักษณะปรากฏและความชอบรวมของปลารมควันที่หุบเคลือบสารละลาย ($p \leq 0.05$) โดยปลารมควันที่หุบเคลือบสารละลาย HPMC เข้มข้น 3.26%w/w และ MC เข้มข้น 5.57%w/w มีคะแนนดังกล่าวสูงกว่า ปลารมควันที่หุบเคลือบสารละลาย HPC เข้มข้น 6.93%w/w และคะแนนดังกล่าวอยู่ในเกณฑ์ดี เพราะมี สี กลิ่นควัน เนื้อสัมผัสที่ดี และมีลักษณะปรากฏที่มันเงา สอดคล้องกับรายงานของ Huse, Mallikarjunan และ Chinnan (1998) ที่ว่าผลิตภัณฑ์ที่หุบเคลือบด้วย HPMC และ MC มีลักษณะปรากฏที่มันเงา ในขณะที่ปลารมควันที่หุบเคลือบสารละลาย HPC เข้มข้น 6.93%w/w มีคะแนนดังกล่าวลดลงเล็กน้อย เนื่องจากผลิตภัณฑ์ที่ได้มีลักษณะปรากฏที่ไม่มันเงา แต่อย่างไรก็ตาม คะแนนดังกล่าวยังอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้

จากการทดลองทั้งหมดสรุปได้ว่า พอลิเมอร์ชีวภาพทั้ง 3 ชนิดมีประสิทธิภาพในการลดปริมาณเบนโซ(เอ)ไพรีนทั้งที่ผิวภายนอกและเนื้อในของผลิตภัณฑ์รมควันและสามารถคงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ไว้ โดยปลารมควันที่หุบเคลือบพอลิเมอร์ชีวภาพทั้ง 3 ชนิด มีคะแนนทางประสาทสัมผัสอยู่ในเกณฑ์ดี เนื่องจากมีสี กลิ่นควัน เนื้อสัมผัส ลักษณะปรากฏที่ดีและผลิตภัณฑ์เรียบเป็นเนื้อเดียวกัน

ความคุ้มค่าในการใช้สารพอลิเมอร์ชีวภาพ พิจารณาได้จากประสิทธิภาพในการลดเบนโซ(เอ)ไพรีนและราคาของสารพอลิเมอร์ชีวภาพ จากผลการทดลอง (รูปที่ 4.15) พบว่า ปลารมควันที่ไม่หุบเคลือบมีปริมาณเบนโซ(เอ)ไพรีนรวมทั้งสิ้น 2.38 ppb ขณะที่ปลารมควันหุบเคลือบสารละลาย HPMC, MC และ HPC มีปริมาณเบนโซ(เอ)ไพรีน 0.82, 0.83 และ 1.20 ppb ตามลำดับ แสดงว่าปลารมควันที่หุบเคลือบสารละลาย มีปริมาณเบนโซ(เอ)ไพรีนลดลง 65.54, 65.13 และ 49.58% เมื่อเปรียบเทียบกับปลารมควันไม่หุบเคลือบ และต้นทุนของสารเคลือบคำนวณได้จากปริมาณสารพอลิเมอร์ที่ผิวปลาจากข้อมูล (ตารางที่ 4.25) พบว่าสารละลาย HPMC เข้มข้น 3.26%w/w มีปริมาณ HPMC ที่ผิวปลา

35.82 g (35.82 x 27 บาท/กรัม ราคา 967.14 บาทต่อพื้นที่ปลา 1 m²) สารละลาย MC เข้มข้น 5.57%w/w มีปริมาณ MC ที่ผิวปลา 60.35 g (60.35 x 24 บาท/กรัม ราคา 1,448.40 บาทต่อพื้นที่ปลา 1 m²) สารละลาย HPC เข้มข้น 6.93%w/w มีปริมาณ HPC ที่ผิวปลา 60.77 g (60.77 x 20 บาท/กรัม ราคา 1,215.40 บาทต่อพื้นที่ปลา 1 m²)

ดังนั้นจึงอาจสรุปได้ว่าพอลิเมอร์ชีวภาพที่ดีที่สุด คือ HPMC 3.26 %w/w เนื่องจากราคาต้นทุนต่ำสุด สามารถลดปริมาณเบนโซ(เอ)ไพรีนได้สูงที่สุดใกล้เคียงกับ MC เข้มข้น 5.57%w/w แต่มากกว่า HPC เข้มข้น 6.93%w/w และไม่ทำให้คุณภาพของผลิตภัณฑ์ปลารมควันด้อยลง (รูปแสดงในภาคผนวก ข2.)

จากผลการทดลองทั้งหมดที่รายงานสำหรับงานวิจัยนี้ แสดงให้เห็นว่างานวิจัยนี้ได้บรรลุวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ เนื่องจากพอลิเมอร์ชีวภาพทั้ง 3 ชนิดที่ใช้เคลือบปลารมควัน ไม่ทำให้คุณภาพของผลิตภัณฑ์รมควันด้อยลงและสามารถลดปริมาณเบนโซ(เอ)ไพรีนได้ โดยอาศัยสมบัติของพอลิเมอร์ที่มีความชอบน้ำและเกิดเป็นชั้นเคลือบหรือฟิล์มบนผิวผลิตภัณฑ์ซึ่งสามารถป้องกันการซึมผ่านของเบนโซ(เอ)ไพรีนได้ เนื่องจากเบนโซ(เอ)ไพรีนมีสมบัติไม่ชอบน้ำและมีน้ำหนักโมเลกุลสูง เมื่อผลิตภัณฑ์ถูกเคลือบด้วยพอลิเมอร์ชีวภาพดังกล่าว ทำให้เบนโซ(เอ)ไพรีนมีประสิทธิภาพในการซึมผ่านน้อยลง และพบว่าสารละลาย HPMC เข้มข้น 3.26 %w/w ชูบเคลือบที่ระดับความหนา 17 – 20 μm มีประสิทธิภาพในการลดเบนโซ(เอ)ไพรีนได้สูงที่สุดโดยไม่ทำให้คุณภาพของปลารมควันด้อยลง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย