

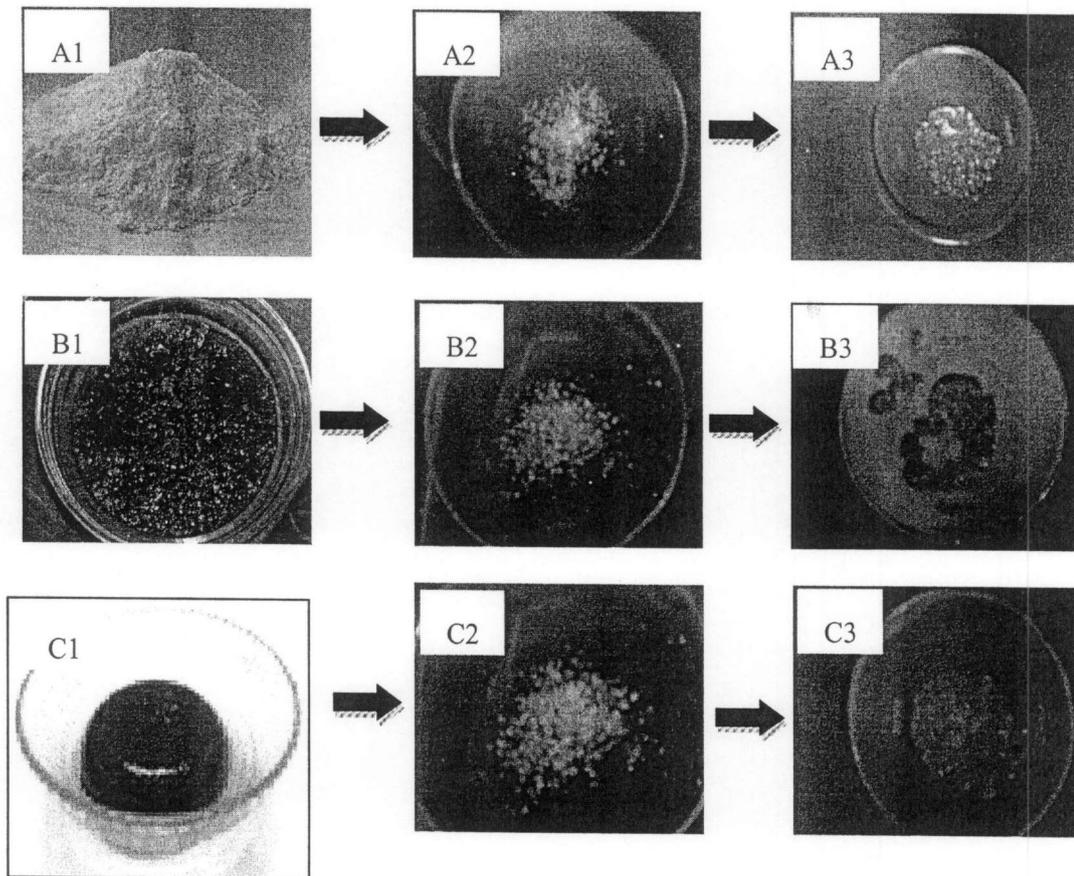


บทที่ 4

ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง

4.1 ลักษณะของผลิตภัณฑ์

4.1.1 โครงสร้างทางกายภาพ (Physical structure)



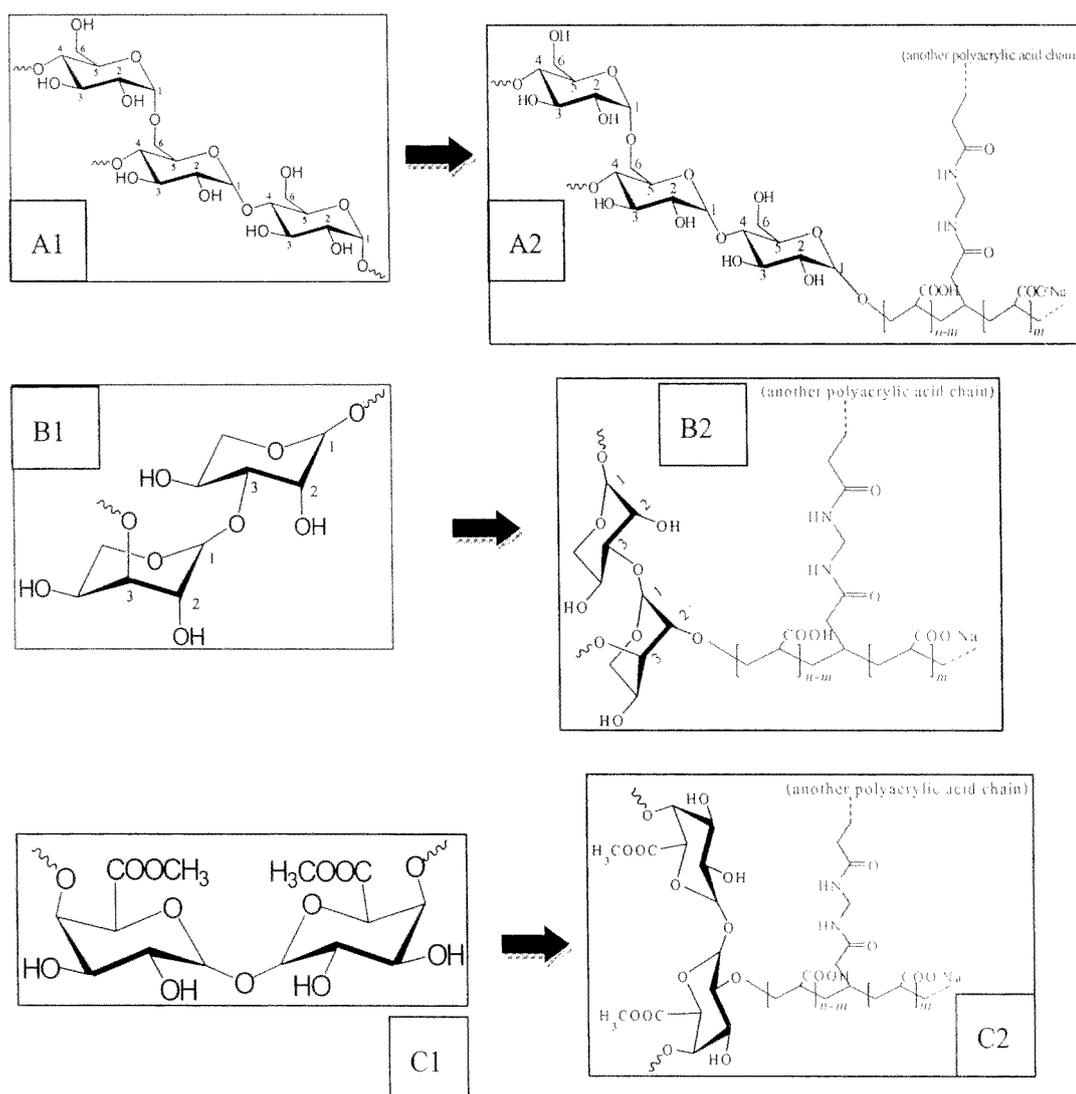
รูปที่ 4.1 โครงสร้างทางกายภาพ (Physical structure) (A1) แป้งมันสำปะหลัง (A2) พอลิเมอร์ร่วมกับก่อนคุดน้ำ (A3) พอลิเมอร์ร่วมหลังคุดน้ำ (Cassava starch-g-poly(acrylic acid)) (B1) หมากจอบ (B2) พอลิเมอร์ร่วมก่อนคุดน้ำ (B3) พอลิเมอร์ร่วมหลังคุดน้ำ (Malva nut-g- poly(acrylic acid)) (C1) เครื่องหมายน้อย (C2) พอลิเมอร์ร่วมก่อนคุดน้ำ (C3) พอลิเมอร์ร่วมหลังคุดน้ำ (Krueo Ma Noy-g-poly(acrylic acid))

แป้งมันสำปะหลังมีลักษณะเป็นผงสีขาว (รูปที่ 4.1A1) เมื่อนำมาสังเคราะห์พอลิเมอร์ร่วมกับพอลิอะคริลิกเอซิด (Cassava starch-g-poly(acrylic acid)) จะได้เม็ดพอลิเมอร์สีขาว (รูปที่ 4.1A2) เจลที่ได้จากการบวมน้ำเป็นเจลสีขาวใส (รูปที่ 4.1A3)

หมากจอบจากการนำเม็ดหมากจอบมาบวมน้ำเจลที่ได้จะเป็นสีน้ำตาล (รูปที่ 4.1B1) เมื่อนำเจลมาสังเคราะห์พอลิเมอร์ร่วมกับพอลิอะคริลิกเอซิด (Malva nut-g-poly(acrylic acid)) จะได้เม็ดผลิตภัณฑ์สีเหลืองอ่อน (รูปที่ 4.1B2) เจลที่ได้จากการบวมน้ำเป็นเจลสีขาวใส (รูปที่ 4.1B3)

เครือหมาน้อยจากการนำใบของต้นเครือหมาน้อยมาคั้นด้วยน้ำกลั่นจะได้เจลสีเขียว (รูปที่ 4.1C1) นำมาสังเคราะห์พอลิเมอร์ร่วมกับพอลิอะคริลิกเอซิด (Krueo Ma Noy-g-poly(acrylic acid)) จะได้เม็ดผลิตภัณฑ์สีเหลืองอ่อน (รูปที่ 4.1C2) เจลที่ได้จากการบวมน้ำเป็นเจลสีขาวใส (รูปที่ 4.1C3)

4.1.2 โครงสร้างทางเคมี (Chemical structure)



รูปที่ 4.2 โครงสร้างทางเคมี (Chemical structure) (A1) โครงสร้างของแป้งมันสำปะหลัง (A2) โครงสร้างพอลิเมอร์ร่วม (Cassava starch-g-poly(acrylic acid)) (B1) โครงสร้างของหมากจอบ (B2) โครงสร้างพอลิเมอร์ร่วม (Malva nut-g-poly(acrylic acid)) (C1) โครงสร้างของเครือหมาน้อย (C2) โครงสร้างพอลิเมอร์ร่วม (Krueo Ma Noy-g-poly(acrylic acid))

ลักษณะโครงสร้างทางเคมีของแป้งมันสำปะหลัง แป้งเป็นโพลิเมอร์ของกลูโคสที่มีขนาดโมเลกุลใหญ่มีสูตรทั่วไปคือ $(C_6H_{10}O_5)_n$ แป้งมีหน่วยพื้นฐานเป็น anhydroglucose unit เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ α -glycosidic linkage ที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 1 ของหน่วยกลูโคสกับคาร์บอนตำแหน่งที่ 4 ของหน่วยกลูโคสที่อยู่ถัดไป (รูปที่ 4.2A1) เมื่อผ่านกระบวนการกราฟต์ (graft) ด้วย poly(acrylic acid) จะถูก graft ติดที่หมู่ hydroxyl ของแป้งมัน ให้ผลิตภัณฑ์เป็น Cassava starch-g-poly(acrylic acid) (รูปที่ 4.2A2)

ลักษณะโครงสร้างทางเคมีของหมากจอบ เนื่องจากองค์ประกอบหลักของหมากจอบคือ คาร์โบไฮเดรตซึ่งคาร์โบไฮเดรตประกอบด้วยน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว ดังนั้นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว L-arabinose ของหมากจอบ เชื่อมต่อกันด้วย 1,3-glycosidic linkage (รูปที่ 4.2B1) เมื่อผ่านกระบวนการกราฟต์ (graft) ด้วย poly(acrylic acid) จะถูก graft ติดที่หมู่ hydroxyl ของแป้งมัน ให้ผลิตภัณฑ์เป็น Malva nut-g-poly(acrylic acid) (รูปที่ 4.2B2)

ลักษณะโครงสร้างทางเคมีของเครือหมาน้อย เนื่องจากองค์ประกอบหลักของเครือหมาน้อยคือ สารเพคติน (pectin) เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ 1,4-glycosidic linkage ของ galacturonic acid (รูปที่ 4.2C1) เมื่อผ่านกระบวนการกราฟต์ (graft) ด้วย poly(acrylic acid) จะถูก graft ติดที่หมู่ hydroxyl ของแป้งมัน ให้ผลิตภัณฑ์เป็น Krueo Ma Noy-g- poly(acrylic acid) (รูปที่ 4.2C2)

4.1.3 สภาวะการทดลองที่พอลิเมอร์สังเคราะห์สามารถดูดซับน้ำได้ดีที่สุด

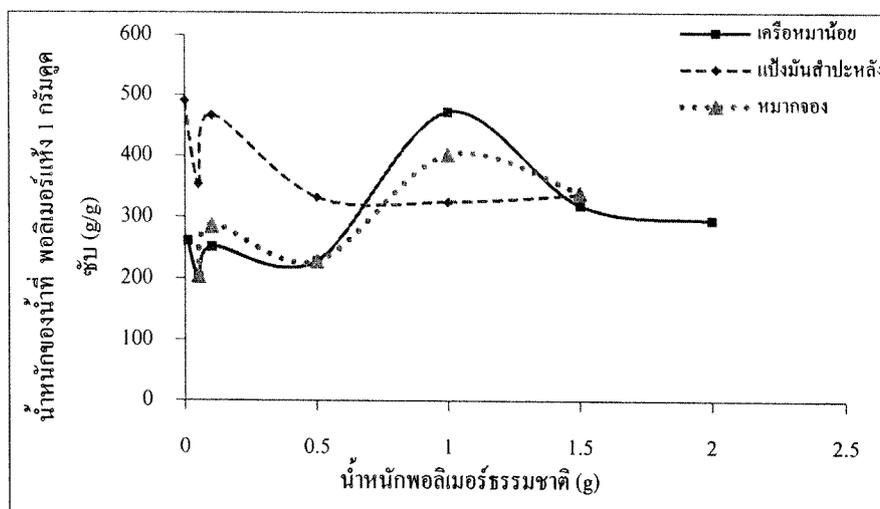
ตารางที่ 4.1 สภาวะการทดลองของ Malva nut-g-poly(acrylic acid), Krueo Ma Noy-g-poly(acrylic acid) และ Cassava starch-g-poly(acrylic acid) ที่ดูดซึมน้ำมากที่สุด

สภาวะการทดลอง	สภาวะเริ่มต้น	สภาวะที่ดูดน้ำมากที่สุด		
		หมากจอบ	เครือหมาน้อย	แป้งมันสำปะหลัง
ปริมาณของพืชท้องถิ่น (g)	0.01	1.0	1.0	0.1
ปริมาณ Ammonium persulfate (g)	0.01	0.05	0.01	0.1
อุณหภูมิ (°C)	70	90	80	90
ความเข้มข้น Acrylic acid (%V/V)	50	50	60	50
ปริมาณ MBA (g)	0.005	0.003	0.001	0.005
ความเข้มข้น NaOH (M)	1	1	3	1
เวลาของขั้นริเริ่มปฏิกิริยา (min)	15	15	15	15
เวลาของขั้นทำปฏิกิริยากับเบส (min)	15	15	15	15
ปริมาณน้ำที่ถูกดูดซับ (g/g)	-	619.80	824.86	592.19

จากตารางที่ 4.1 ปริมาณน้ำมากที่สุดที่ถูกดูดซับของพอลิเมอร์แห้ง 3 ชนิด ได้แก่ Malva nut-g-poly(acrylic acid), Krueo Ma Noy-g-poly(acrylic acid) และ Cassava starch-g-poly(acrylic acid) เป็น 619.80 กรัม/กรัม, 824.86 กรัม/กรัม และ 592.19 กรัม/กรัม ตามลำดับ

4.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับ

4.2.1 น้ำหนักพอลิเมอร์ธรรมชาติ



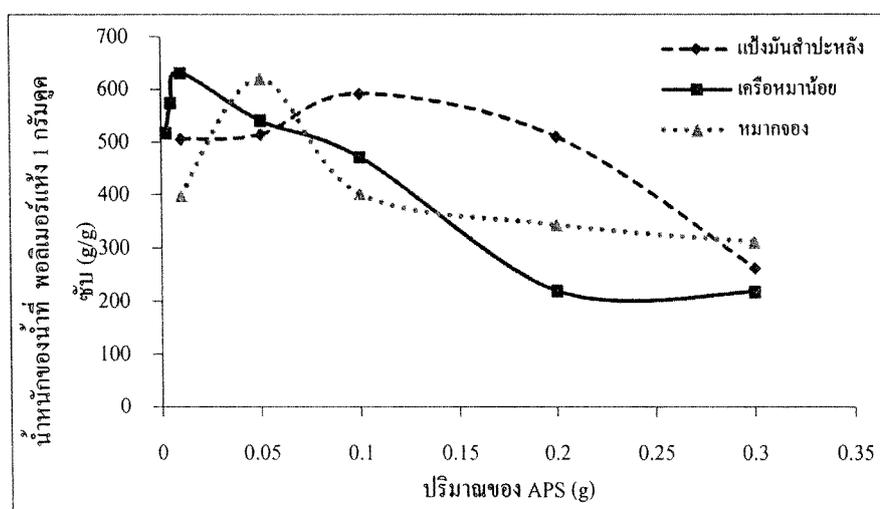
รูปที่ 4.3 ปริมาณของเครื่องหมาน้อย แป้งมันสำปะหลังและหมากจอบ

สิ่งสำคัญในการกราฟต์ (graft) poly (acrylic acid) ลงบนพอลิเมอร์ธรรมชาติคือการสร้างฟรีเรดิคัล (free radical) จากการเหนี่ยวนำให้พอลิเมอร์ธรรมชาติแตกพันธะเกิดอนุมูลอิสระที่ว่องไวในการเกิดปฏิกิริยาที่หมู่ไฮดรอกซิล (hydroxyl group, OH) ของพอลิเมอร์ธรรมชาติ ซึ่งพอลิเมอร์ธรรมชาติที่ใช้คือ หมากจอบ เครื่องหมาน้อยและแป้งมันสำปะหลัง ผลของปริมาณพอลิเมอร์ธรรมชาติ (0, 0.01, 0.05, 0.1, 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 กรัม) ที่มีผลต่ออัตราการดูดซับน้ำของ x-Malva nut-g-poly(acrylic acid), x-Krueo Ma Noy-g-poly(acrylic acid) และ x-Cassava starch-g-poly(acrylic acid) แสดงในรูปที่ 4.3 ซึ่งอัตราการดูดซับน้ำจะเพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มปริมาณของพอลิเมอร์ธรรมชาติจนกระทั่งให้อัตราการดูดซับน้ำสูงสุดคือ เมื่อใช้ปริมาณของแป้งมันสำปะหลัง 0.1 กรัม ได้ 466 กรัม/กรัม เมื่อใช้ปริมาณของเครื่องหมาน้อย 1 กรัม ได้ 472 กรัม/กรัมและเมื่อใช้ปริมาณของหมากจอบ 1 กรัม ได้ 401 กรัม/กรัม

เมื่อใช้ปริมาณของพอลิเมอร์ธรรมชาติ 0 กรัม พบว่าอัตราการดูดซับน้ำมากที่สุดคือ 490 กรัม/กรัม เนื่องจากเมื่อสังเคราะห์ร่วมกับพอลิเมอร์ธรรมชาติ แอมโมเนียมเปอร์ซัลเฟต (ammonium

persulfate) จะเหนี่ยวนำให้พอลิเมอร์ธรรมชาติเกิดการแตกตัวเป็นฟรีแรดิคัล (free radical) ทำปฏิกิริยาต่อกับมอนอเมอร์ เกิดการเชื่อมขวางระหว่าง 2 สายโซ่พอลิเมอร์ ด้วยสารเชื่อมขวาง เพื่อให้เกิดโครงสร้างร่างแหจากนั้น หมู่คาร์บอกซิลิกของมอนอเมอร์ acrylic acid (-COOH) จะถูก saponified เป็น carboxylate groups (COO^-Na^+) ทำให้สามารถดูดน้ำเข้ามาในโครงสร้างซึ่งในขั้นตอนนี้ carboxylate groups (COO^-Na^+) และ HO^-H^+ อาจเกิดการดึงดูดกันเอง (Attractive electrostatic force) และผลักกัน (Electrostatic repulsion) เมื่อให้ปริมาณของพอลิเมอร์ธรรมชาติเพิ่มขึ้น (>0.1 กรัม และ >1 กรัม) อัตราการดูดซับน้ำจะลดลงเนื่องจากไปเพิ่มความหนืดให้กับระบบ และไปขัดขวางการเคลื่อนที่ของโมเลกุลของพอลิเมอร์ธรรมชาติในการทำปฏิกิริยากับฟรีแรดิคัลเริ่มต้น (free radical initiator) (Rodríguez, Alvarez-Lorenzo and Concheiro (2003)

4.2.2 สารริเริ่มปฏิกิริยา



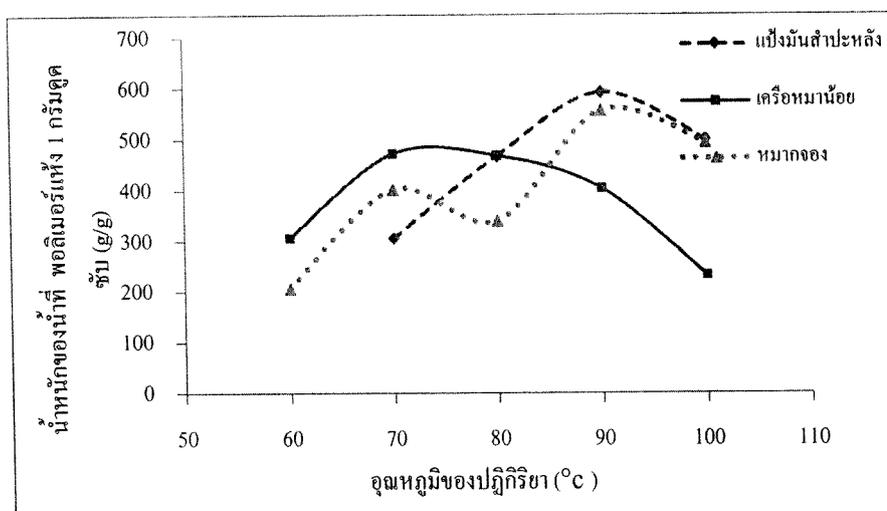
รูปที่ 4.4 ปริมาณสารริเริ่มปฏิกิริยาของแป้งมันสำปะหลัง เครือหนาน้อยและหมากจอง

แอมโมเนียมเปอร์ซัลเฟต (ammonium persulfate, APS) เป็นสารริเริ่มปฏิกิริยาซึ่งจะเหนี่ยวนำให้พอลิเมอร์ธรรมชาติแตกตัวเป็นฟรีแรดิคัล (free radical) เกิดขึ้นในกระบวนการกราฟต์โคพอลิเมอไรเซชัน (graft copolymerization) ลงบนพอลิเมอร์ธรรมชาติ ในรูปที่ 4.4 แสดงผลของปริมาณ APS (0.05, 0.1, 0.5, 1, และ 1.5 กรัม) บนอัตราการดูดซับน้ำของ x-Krueo Ma Noy-g-PAA, x-Cassava starch-g-PAA และ x-Malva nut-g-PAA

อัตราการดูดซับน้ำมากที่สุดของหมากจอง เครือหนาน้อยและแป้งมันสำปะหลัง เมื่อใช้ปริมาณ APS (0.05, 0.01 และ 0.1 กรัม) ตามลำดับ อัตราการดูดซับน้ำของ x-Malva nut-g-PAA, x-Krueo Ma Noy-g-PAA และ x-Cassava starch-g-PAA คือ 619, 631 และ 592 กรัม/กรัม ตามลำดับ

เมื่อปริมาณ APS สูงขึ้น มีผลให้ปริมาณฟรีเรดิคัล (free radical) เพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน ทำให้ไฮโมพอลิเมอร์ไรเซชันของการกราฟต์ (graft) มอนอเมอร์และในการเกิดการรวมตัวกับตัวเอง (Self-termination) ของตัวริเริ่มปฏิกิริยา (Athawale and Lele, 2000a, 2000b) เมื่อใช้ปริมาณ APS ลดลง อัตราการดูดซับน้ำลดลง

4.2.3 อุณหภูมิของปฏิกิริยา

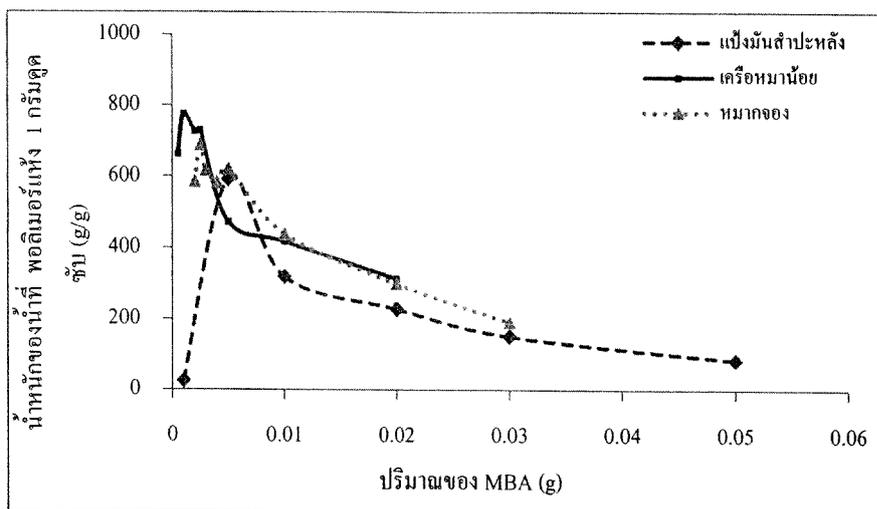


รูปที่ 4.5 อุณหภูมิของปฏิกิริยา (°C) ของเป่ามันสำปะหลัง เครื่องหมาน้อยและหมากจอบ

อุณหภูมิของปฏิกิริยาส่งผลต่อกระบวนการการสังเคราะห์พอลิเมอร์ร่วม (copolymer) โดยต้องการอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการแตกตัวของแอมโมเนียมเปอร์ซัลเฟต (ammonium persulfate, APS) การแตกพันธะคู่ของ acrylic acid และการแพร่กระจายของโซเดียมไฮดรอกไซด์ (sodium hydroxide; NaOH) ระหว่างกระบวนการสaponification (saponification process) ซึ่งอัตราการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชัน (polymerization reaction) จะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิของปฏิกิริยาเพิ่มขึ้นแสดงในรูปที่ 4.5 การแตกตัวของ APS เริ่มที่อุณหภูมิประมาณ 60 องศาเซลเซียส ในเป่ามันสำปะหลังและหมากจอบ ที่อุณหภูมิประมาณ 70 องศาเซลเซียส ในเครื่องหมาน้อย ผลลัพธ์จะเกิดเจลที่มีลักษณะเป็นเจลเหลวในน้ำ ทำให้ไม่สามารถวัดอัตราการดูดซับน้ำได้เมื่อเพิ่มอุณหภูมิของปฏิกิริยา (> 60 องศาเซลเซียส) จำนวนของ APS แตกตัวมากขึ้น ทำให้การกราฟต์ (graft) ของ poly (acrylic acid) บนพอลิเมอร์ธรรมชาติเพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้อัตราการดูดซับน้ำเพิ่มมากขึ้น จนกระทั่งที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ของเครื่องหมาน้อยและที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส ของเป่ามันสำปะหลังและหมากจอบ จะมีอัตราการดูดซับน้ำสูงที่สุดเมื่อเพิ่มอุณหภูมิของปฏิกิริยาขึ้น (>80 องศาเซลเซียส และ > 90 องศาเซลเซียส ตามลำดับ) อัตราการดูดซับน้ำจะลดลง เนื่องจากอัตราการเกิดปฏิกิริยาสูงมากที่อุณหภูมิของปฏิกิริยาสูง ส่งผลให้สารละลายมีความหนืดสูงทำให้กระบวนการ

พอลิเมอไรเซชัน (polymerization process) ของมอนอเมอร์ในขั้นสิ้นสุดของปฏิกิริยาเกิดเร็วขึ้น นอกจากนี้ที่อุณหภูมิสูงๆ จะทำลายโครงสร้างหลักของพอลิเมอร์ธรรมชาติ

4.2.4 ปริมาณของสารเชื่อมขวาง



รูปที่ 4.6 ปริมาณ MBA ของแป้งมันสำปะหลัง เครือหนาน้อยและหมากจอง

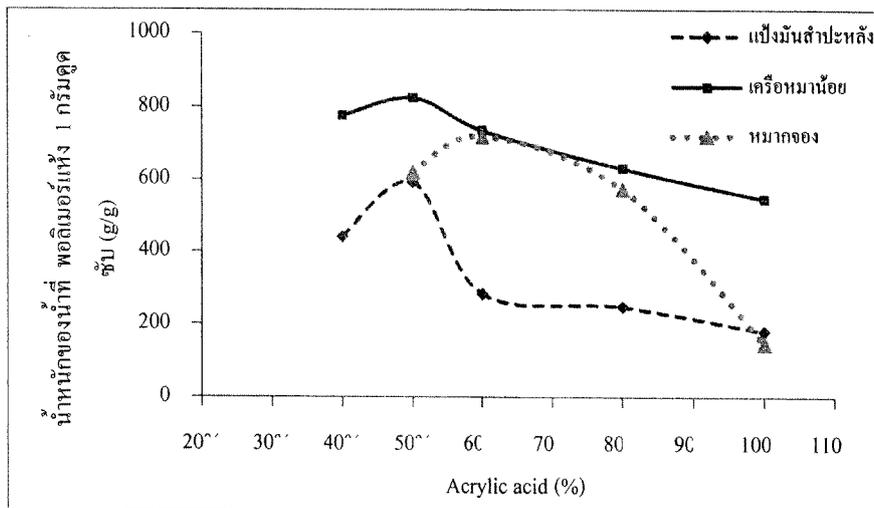
โครงสร้างของพอลิเมอร์ร่วม (copolymer) เป็นโครงสร้างร่างแห ซึ่งคุณน้ำไว้ในโครงสร้าง จำนวนของน้ำเข้าไปอยู่ในตัวเชื่อมขวางระหว่างสายโซ่ PAA ตัวเชื่อมขวางสร้างพันธะกับสายโซ่ graft-PAA ผลของปริมาณ MBA (0.001, 0.005, 0.01, 0.02, 0.03, และ 0.05 กรัม) ต่ออัตราการดูดซับน้ำของ x-Krueo Ma Noy-g-PAA, x-Cassava starch-g-PAA และ x-Malva nut-g-PAA แสดงในรูปที่ 4.6

อัตราการดูดซับน้ำมากที่สุดของหมากจองคือ 0.003 กรัม อัตราการดูดซับน้ำของ x-Malva nut-g-PAA คือ 616 กรัม/กรัม เมื่อเพิ่มปริมาณ MBA อัตราการดูดซับน้ำเพิ่มขึ้นตามไปด้วย จนกระทั่งปริมาณ MBA 0.003 กรัม เมื่อปริมาณ MBA มากกว่า 0.003 กรัม อัตราการดูดซับน้ำของ x-Malva nut-g-PAA ลดลง เนื่องจากว่าปริมาณ MBA น้อยทำให้โครงสร้างไม่เป็นเจล จึงไม่สามารถวัดอัตราการดูดซับน้ำได้ (Liu, Wang and Wang, 2007) สภาวะที่ดีที่สุดของปริมาณ MBA คือ 0.003 กรัม เพราะว่าโครงสร้างร่างแหที่ดูดซับน้ำไว้มีการขยายของโครงสร้างเจล ในทางตรงกันข้ามเมื่อปริมาณตัวเชื่อมขวางสูง จะจำกัดการขยายตัวของโครงสร้างร่างแหเมื่อดูดซับน้ำ จากสมการการดูดซับน้ำ Flory's (Flory, 1953)

อัตราการดูดซับน้ำมากที่สุดของเครือหนาน้อยคือ 0.001 กรัม อัตราการดูดซับน้ำของ x-Krueo Ma Noy-g-PAA คือ 775 กรัม/กรัม เช่นเดียวกับหมากจอง

อัตราการดูดซับน้ำมากที่สุดของแป้งมันสำปะหลังคือ 0.005 กรัม อัตราการดูดซับน้ำของ x-Cassava starch-g-PAA คือ 592 กรัม/กรัม เช่นเดียวกับหมากจอบ

4.2.5 ปริมาณมอนอเมอร์

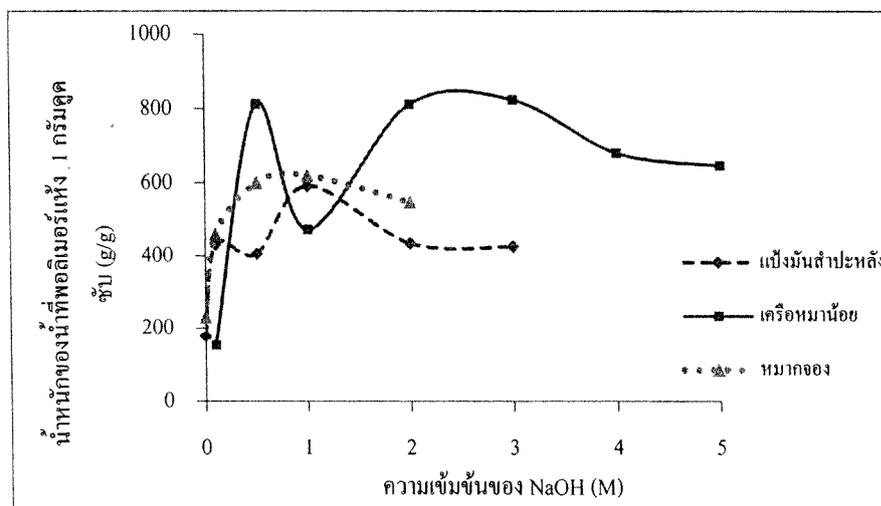


รูปที่ 4.7 ปริมาณ Acrylic acid ของแป้งมันสำปะหลัง เครื่องหมายน้อยและหมากจอบ

อีกปัจจัยหนึ่งที่สำคัญสำหรับกระบวนการการสังเคราะห์พอลิเมอร์ร่วม (copolymer) คือ การต่อกิ่ง (graft) มอนอเมอร์ลงไปบนพอลิเมอร์ธรรมชาติจากรูปที่ 4.7 แสดงให้เห็นผลของความเข้มข้น acrylic acid (AA) ที่ 40%, 50%, 60%, 80% และ 100% ที่มีผลต่ออัตราการดูดซับน้ำ ซึ่งอัตราการดูดซับน้ำจะเพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มเปอร์เซ็นต์ acrylic acid ขึ้นจนกระทั่งถึง 50% ของแป้งมันสำปะหลัง และเครื่องหมายน้อย ที่ 60% ของหมากจอบอัตราการดูดซับน้ำสูงที่สุด

ที่ 40%AA จะสังเกตเห็นว่ามีอัตราการดูดซับน้ำที่ต่ำที่สุด เนื่องจากสายโซ่ของการต่อกิ่ง (graft) poly(acrylic acid) สั้นเกินไป (Chen et al., 2004) สำหรับการดูดซับน้ำ เมื่อสายโซ่ของการต่อกิ่ง poly (acrylic acid) ยาว คาดว่าจะทำให้อัตราการดูดซับน้ำได้ดีขึ้น (ประมาณ 50%) (Zhang, Li and Wang, 2006) แต่เมื่อเพิ่ม %AA มากขึ้น (> 50% AA) ของแป้งมันสำปะหลังและเครื่องหมายน้อย ที่ 60% AA ของหมากจอบ) อัตราการดูดซับน้ำจะค่อยๆ ลดลง เนื่องจากไปเพิ่มความหนืดให้แก่กระบวนการพอลิเมอไรเซชัน (polymerization process) ในขั้นการสิ้นสุดของปฏิกิริยา

4.2.6 ความเข้มข้นของเบส



รูปที่ 4.8 ความเข้มข้นของ NaOH ของแป้งมันสำปะหลัง เครือหมาน้อยและหมากจอบ

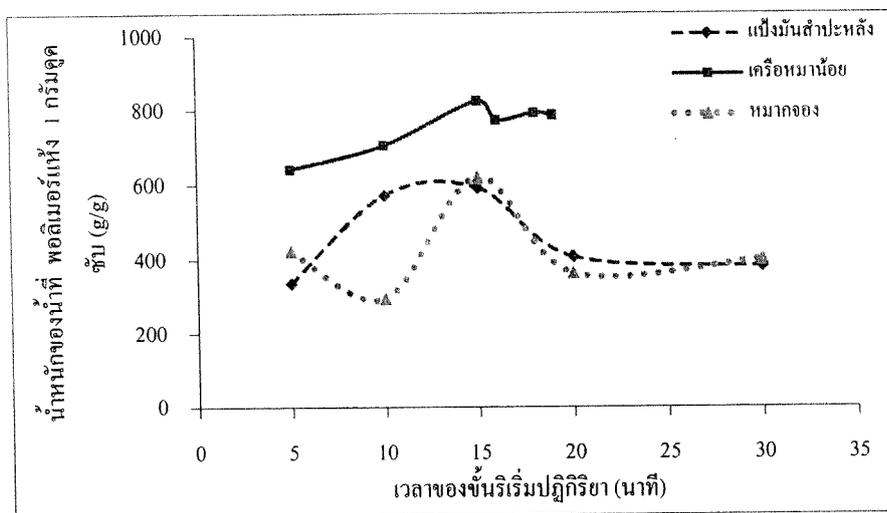
รูปที่ 4.8 แสดงผลความเข้มข้นของ NaOH บนอัตราการดูดซับน้ำ เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของ NaOH ปริมาณของโซเดียมไอออน (Na^+) เพิ่มขึ้น (Wu et al., 2003) อัตราการดูดซับน้ำของ x-Krueo Ma Noy-g-PAA, x-Cassava starch-g-PAA และ x-Malva nut-g-PAA แสดงในรูปที่ 4.8

อัตราการดูดซับน้ำมากที่สุดของหมากจอบเมื่อใช้ความเข้มข้นของ NaOH 1 M อัตราการดูดซับน้ำของ x-Malva nut-g-PAA เพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของ NaOH จนกระทั่งอัตราการดูดซับน้ำสูงสุด 619 กรัม/กรัม เมื่อใช้ NaOH 1 M ที่ความเข้มข้นของ NaOH 0 M อัตราการดูดซับน้ำต่ำสุด 230 กรัม/กรัม เนื่องจากว่าหมู่คาร์บอกซิลิกของ acrylic acid ($-\text{COOH}$) จะไม่ถูก saponified เป็น carboxylate groups (COO^-Na^+) โดยใช้ NaOH ทำให้สายโซ่พอลิเมอร์ไม่มีความดันออสโมติกแตกต่างกับน้ำที่อยู่ด้านนอก จึงดูดน้ำเข้ามาในโครงสร้างของพอลิเมอร์ได้น้อย ความดันออสโมติกจะดูดน้ำเข้ามาในโครงสร้างของพอลิเมอร์รวม (copolymer) ปริมาณโซเดียมไอออน (Na^+) จะเปลี่ยนสายโซ่ของกราฟต์ (graft) PAA ให้มีแรงผลักสามารถขยายโครงสร้างเมื่อมีการดูดซับน้ำ เมื่อปริมาณโซเดียมไอออน (Na^+) มากเกินไป (NaOH 2 M) ทำให้เกิดแรงผลักของประจุลบของ $-\text{COO}^-$ ทำให้แรงดึงดูดระหว่าง $-\text{COO}^-$ กับ Na^+ ลดลง ดังนั้นส่งผลให้การขยายตัวของโครงสร้างพอลิเมอร์รวม (copolymer) ลดลงและอัตราการดูดซับน้ำลดลงตามไปด้วย (Fatang et al., 2006; Liu, Wang and Wang, 2007; Wu et al., 2003)

อัตราการดูดซับน้ำมากที่สุดของเครือหมาน้อยเมื่อใช้ความเข้มข้นของ NaOH 3 M อัตราการดูดซับน้ำของ x-Krueo Ma Noy-g-PAA เพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของ NaOH จนกระทั่งอัตราการดูดซับน้ำสูงสุด 824 กรัม/กรัม เช่นเดียวกับหมากจอบ

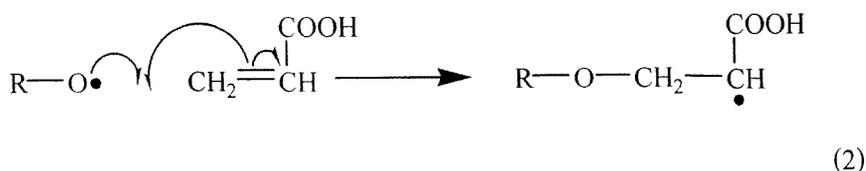
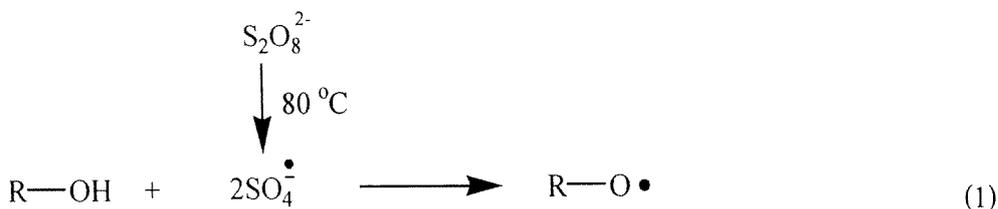
อัตราการดูดซับน้ำมากที่สุดของแป้งมันเมื่อใช้ความเข้มข้นของ NaOH 1 M อัตราการดูดซับน้ำของ x-Cassava starch-g-PAA เพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของ NaOH จนกระทั่งอัตราการดูดซับน้ำสูงสุด 592 กรัม/กรัม เช่นเดียวกับหมากจอบ

4.2.7 เวลาของขั้นริเริ่มปฏิกิริยา



รูปที่ 4.9 เวลาของขั้นริเริ่มปฏิกิริยาของแป้งมันสำปะหลัง เครื่องหมายน้อยและหมากจอบ

แอมโมเนียมเปอร์ซัลเฟต (Ammonium persulfate; APS) เป็นตัวริเริ่มฟรีเรดิคัล (free radical) ที่สามารถละลายน้ำได้ APS ต้องการความร้อนในการแตกตัวเป็นซัลเฟตเรดิคัล (sulfate radical) จากนั้น จะไปดึงเอาอะตอมไฮโดรเจนจาก -OH group ของสายโซ่หลักของพอลิเมอร์ธรรมชาติ (R-OH) ทำให้เกิดอนุมูลอิสระที่ว่องไวในการเกิดปฏิกิริยาที่หมู่ไฮดรอกซิล (-OH) ของพอลิเมอร์ธรรมชาติซึ่งอนุมูลอิสระที่ว่องไวนี้ จะทำปฏิกิริยากับมอนอเมอร์เกิดการต่อกิ่ง (graft) มอนอเมอร์ไปบนพอลิเมอร์ธรรมชาติดังรูปที่ 4.10

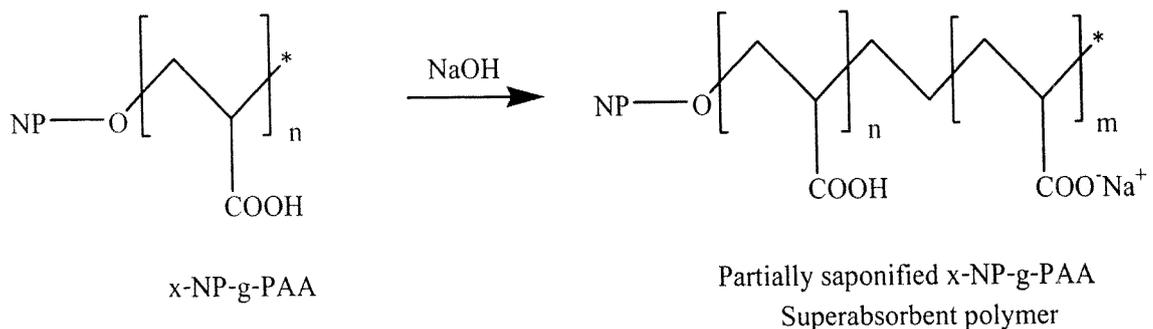


รูปที่ 4.10 กลไกการเกิดอนุมูลอิสระที่หมู่ไฮดรอกซิลของพอลิเมอร์ธรรมชาติ

จากรูปที่ 4.9 แสดงให้เห็นเวลาของขั้นเริ่มปฏิกิริยา (5, 10, 15, 20 และ 30 นาที) ที่มีผลต่ออัตราการดูดซับน้ำ พบว่าอัตราการดูดซับน้ำจะเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ เมื่อให้เวลาของขั้นเริ่มปฏิกิริยามากขึ้นจนกระทั่งถึง 15 นาที จะมีอัตราการดูดซับน้ำสูงที่สุด เนื่องจากเมื่อให้เวลาของขั้นเริ่มปฏิกิริยาเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จะเป็นการให้ความร้อนเพิ่มขึ้น ซึ่ง APS ต้องใช้ความร้อนเพื่อแตกตัวเป็นซัลเฟตเรดิคัล (sulfate radical) เมื่อให้เวลาของขั้นเริ่มปฏิกิริยามากขึ้น (>15 นาที) อัตราการดูดซับน้ำจะค่อยๆ ลดลง เนื่องจากการให้ความร้อนเพิ่มมากขึ้นจะเกิดการแตกตัวของ APS ทำให้เกิดอนุมูลอิสระที่ว่องไวในการเกิดปฏิกิริยากับมอนอเมอร์มากขึ้นทำให้เกิดความหนืดไปเพิ่มความหนืดในกระบวนการ polymerization ในขั้นสิ้นสุดของปฏิกิริยา

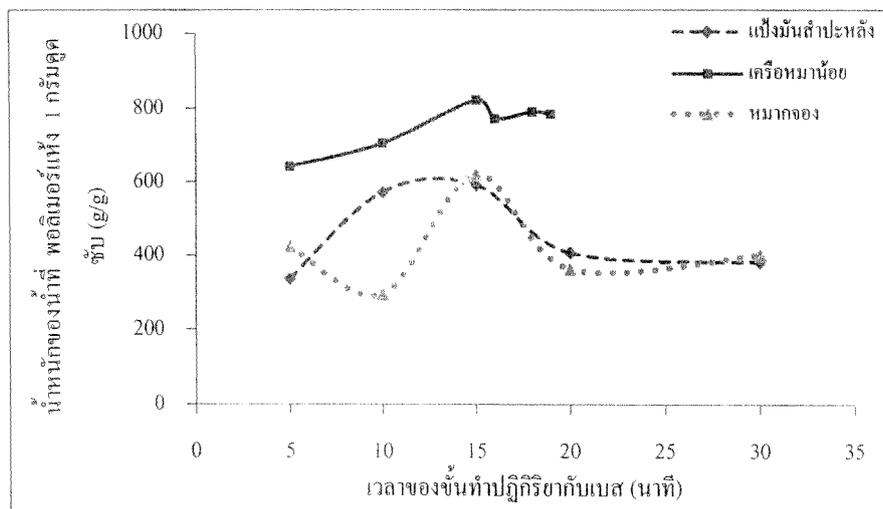
4.2.8 เวลาของขั้นทำปฏิกิริยากับเบส

การเพิ่มความดันออสโมติกในโครงสร้างของ PAA ด้วยโซเดียมไอออน (Na^+ ions) ที่ได้จากระบวนการทำปฏิกิริยากับเบส (saponification) โดยใช้ NaOH เป็นการเพิ่มอัตราการดูดซับน้ำของพอลิเมอร์ ซึ่งปฏิกิริยาของ NaOH กับหมู่คาร์บอกซิลิก ($-\text{COOH}$) ในโครงสร้างที่กราฟต์ (graft-PAA) จะให้ผลิตภัณฑ์เป็นหมู่คาร์บอกซิเลต carboxylate groups (COO^-Na^+) แสดงในรูปที่ 4.11 (Liu, Wang and Wang, 2007)



รูปที่ 4.11 ขั้นทำปฏิกิริยากับเบสของ x-NP-g-PAA (Liu, Wang and Wang, 2007)

ผลของเวลาการทำปฏิกิริยากับเบส (5, 10, 15, 20 และ 30 นาที) บนอัตราการดูดซับน้ำของ x-Krueo Ma Noy-g-PAA, x-Cassava starch-g-PAA และ x-Malva nut-g-PAA แสดงในรูปที่ 4.12 เมื่อใช้เวลาการทำปฏิกิริยากับเบสมากทำให้หมู่คาร์บอกซิเลต carboxylate groups (COO^-Na^+) เพิ่มขึ้น (Wu et al., 2003)



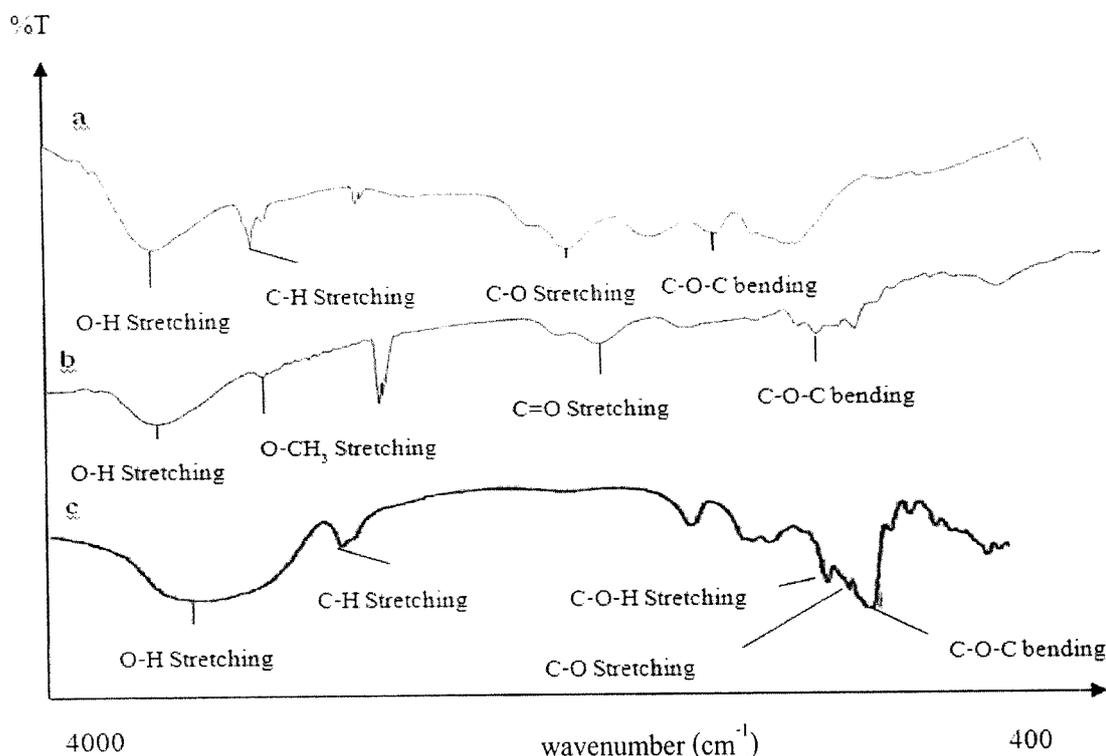
รูปที่ 4.12 เวลาของขั้นทำปฏิกิริยากับเบสของแป้งมันสำปะหลัง เครื่องหมายน้อยและหมากจอบ

อัตราการดูดซับน้ำมากที่สุดของแป้งมันสำปะหลัง หมากจอบและเครื่องหมายน้อย เมื่อใช้เวลาการทำปฏิกิริยาเบส 15 นาที อัตราการดูดซับน้ำของ x-Cassava starch-g-PAA, x-Krueo Ma Noy-g-PAA และ x-Malva nut-g-PAA สอดคล้องกับทฤษฎีของ Flory's (Flory, 1953) ที่กล่าวว่า ประจุบนโครงสร้างร่างแหพอลิเมอร์ของตัวดูดซับน้ำมาก (superabsorbent) มีสัมพันธ์กับหมู่ชอบน้ำ (hydrophilic) แรงผลัก (Electrostatic repulsion) ของอิเล็กตรอนระหว่างประจุบนพอลิเมอร์ที่แตกพันธะและจะมีแรงดันออสโมติกระหว่างโครงสร้างร่างแหกับน้ำ ดังนั้นชนิดและจำนวนของหมู่ชอบน้ำ (superabsorbent) บนโครงสร้างร่างแหมีผลต่อการดูดซับน้ำ

4.3 Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR)

โดยทั่วไปแล้วเทคนิคทาง FTIR เป็นเทคนิคที่นิยมใช้ในการศึกษาหมู่ฟังก์ชันภายในโครงสร้างของพอลิเมอร์ดูดซึมน้ำมาก (Lanthong, Nuisin and Kiatkamjornwong, 2006)

4.3.1 FTIR spectra of natural polymer



รูปที่ 4.13 IR spectra of natural polymer (a) หมาจอง (b) เครือหมาน้อย (c) แป้งมันสำปะหลัง

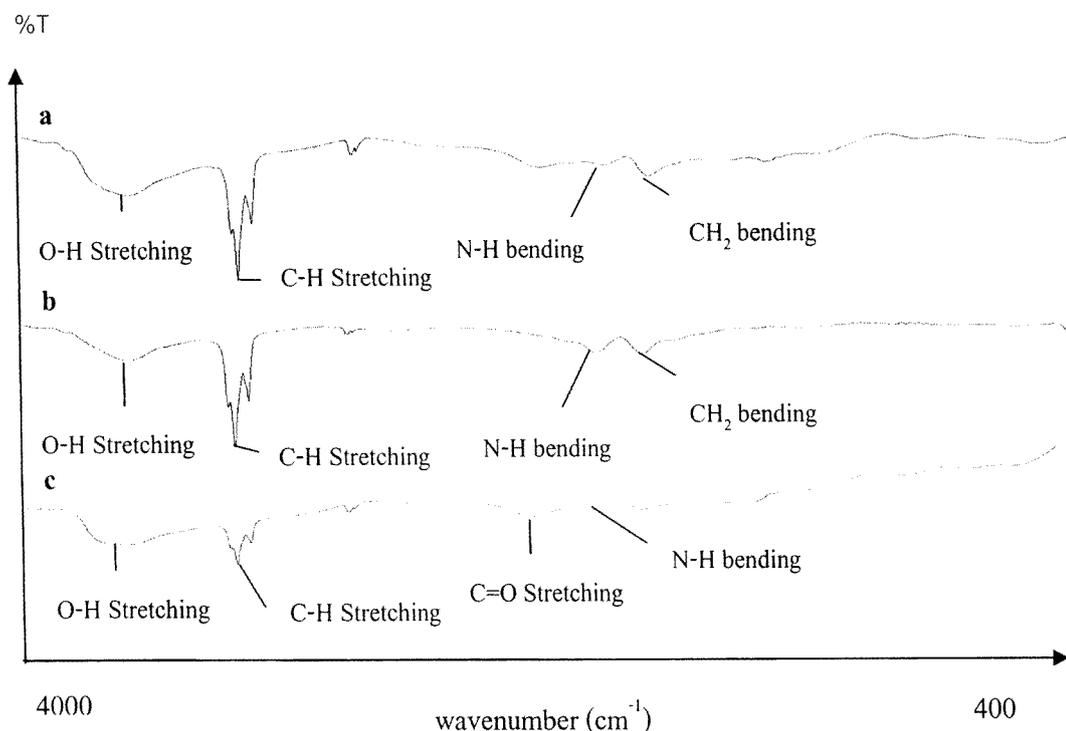
ลักษณะพีดของหมาจอง (รูปที่ 4.13a) (Srichamroen and Chavasit, 2011) ปรากฏพีดที่ตำแหน่ง 3430, 2930, 1254 และ 1055 cm^{-1} โดยพีดที่ตำแหน่ง 3430 cm^{-1} พบว่าเป็น O-H Stretching ของหมู่ไฮดรอกซิลในโครงสร้างของหมาจอง พีดที่ตำแหน่ง 2930 cm^{-1} พบว่าเป็น C-H Stretching ของหมู่แอลคิล (alkyl) พีดที่ตำแหน่ง 1254 cm^{-1} พบว่าเป็น C-O Stretching และพีดที่ตำแหน่ง 1055 cm^{-1} พบว่าเป็น C-O-C bending ของพันธะไกลโคซิดิก (glycosidic bonding)

ลักษณะพีดของเครือหมาน้อย (รูปที่ 4.13b) (Singthong et al., 2003) ปรากฏพีดที่ตำแหน่ง 3430, 2938, 1634 และ 1104 cm^{-1} โดยพีดที่ตำแหน่ง 3430 cm^{-1} พบว่าเป็น O-H Stretching ของหมู่ไฮดรอกซิลในโครงสร้างของเครือหมาน้อย พีดที่ตำแหน่ง 2938 cm^{-1} พบว่าเป็น O-CH₃ Stretching ของหมู่เมทิลเอสเทอร์ (methyl ester) ของ galacturonic acid พีดที่ตำแหน่ง 1634 cm^{-1}

พบว่าเป็น C=O Stretching ของ carboxylate group (COO^-) และพีคที่ตำแหน่ง 1104 cm^{-1} พบว่าเป็น C-O-C bending ของพันธะไกลโคซิดิก (glycosidic bonding)

ลักษณะพีคของแป้งมันสำปะหลัง (รูปที่ 4.13c) ปรากฏพีคที่ตำแหน่ง $3200-3600$, 2932 , 1155 , 1078 และ 1016 cm^{-1} โดยพีคที่ตำแหน่ง $3200-3600 \text{ cm}^{-1}$ พบว่าเป็น O-H Stretching ของหมู่ไฮดรอกซิลในโครงสร้างของแป้งมันสำปะหลัง พีคที่ตำแหน่ง 2932 cm^{-1} พบว่าเป็น C-H Stretching ของหมู่แอลคิล (alkyl) พีคที่ตำแหน่ง 1155 cm^{-1} พบว่าเป็น C-O-H Stretching พีคที่ตำแหน่ง 1078 cm^{-1} พบว่าเป็น C-O Stretching และพีคที่ตำแหน่ง 1016 cm^{-1} พบว่าเป็น C-O-C bending ของพันธะไกลโคซิดิก (glycosidic bonding)

4.3.2 FTIR spectra of saponified poly(acrylic acid)

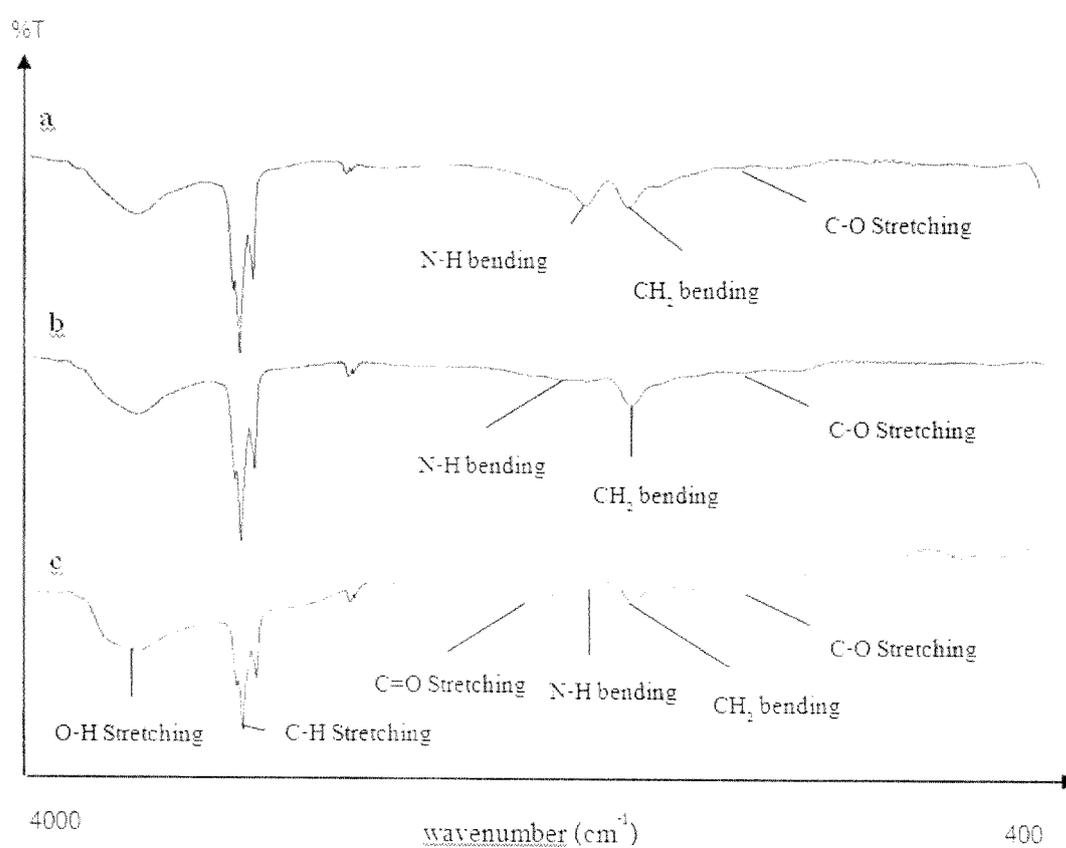


รูปที่ 4.14 IR spectra of saponified poly(acrylic acid) ที่มีอัตราการดูดซับน้ำดีที่สุด โดยไม่มี (a) แป้งมันสำปะหลัง (b) เครื่องหมายน้อย (c) มากจาง

ลักษณะพีคของ saponified poly(acrylic acid) ที่มีอัตราการดูดซับน้ำดีที่สุด โดยไม่มีแป้งมันสำปะหลัง (รูปที่ 4.14a) ไม่มีเครื่องหมายน้อย (รูปที่ 4.14b) และไม่มีหมากจาง (รูปที่ 4.14c) ปรากฏพีคที่ตำแหน่ง 3463 , 2922 , 1728 , 1562 , 1452 และ 1160 cm^{-1} โดยพีคที่ 3463 cm^{-1} พบว่าเป็นการสั่นของ -OH- Stretching ของหมู่ acrylic acid ในสายโซ่พอลิเมอร์ พีคที่ตำแหน่ง 2922 cm^{-1}

พบว่า เป็น C-H Stretching ของหมู่แอลคิล (alkyl) พีคที่ตำแหน่ง 1728 cm^{-1} เป็น C=O Stretching ของหมู่คาร์บอกซิลิกของมอนอเมอร์ acrylic acid ($-\text{COOH}$) พีคที่ตำแหน่ง 1562 cm^{-1} เป็น N-H bending ของหมู่เอไมด์ (amide) ในโครงสร้างโมเลกุลของ N,N-methylenebisacrylamide (MBA) ซึ่งเป็นสารเชื่อมขวางระหว่าง 2 สายโซ่พอลิเมอร์ ทำให้เกิดโครงสร้างร่างแหซึ่งคูดน้ำไว้ในโครงสร้างได้ พีคที่ตำแหน่ง 1452 cm^{-1} พบว่าเป็น $-\text{CH}_2$ -bending เป็นการสั่นของหมู่ $-\text{CH}-\text{CO}-$ group ในสายโซ่พอลิเมอร์และพีคที่ตำแหน่ง 1160 cm^{-1} พบว่าเป็น C-O Stretching ควบคู่กับ O-H in-plane bending ของหมู่คาร์บอกซิล (carboxyl group) ใน poly(acrylic acid)

4.3.3 FTIR Spectra of Krueo Ma Noy-g-poly(acrylic acid)

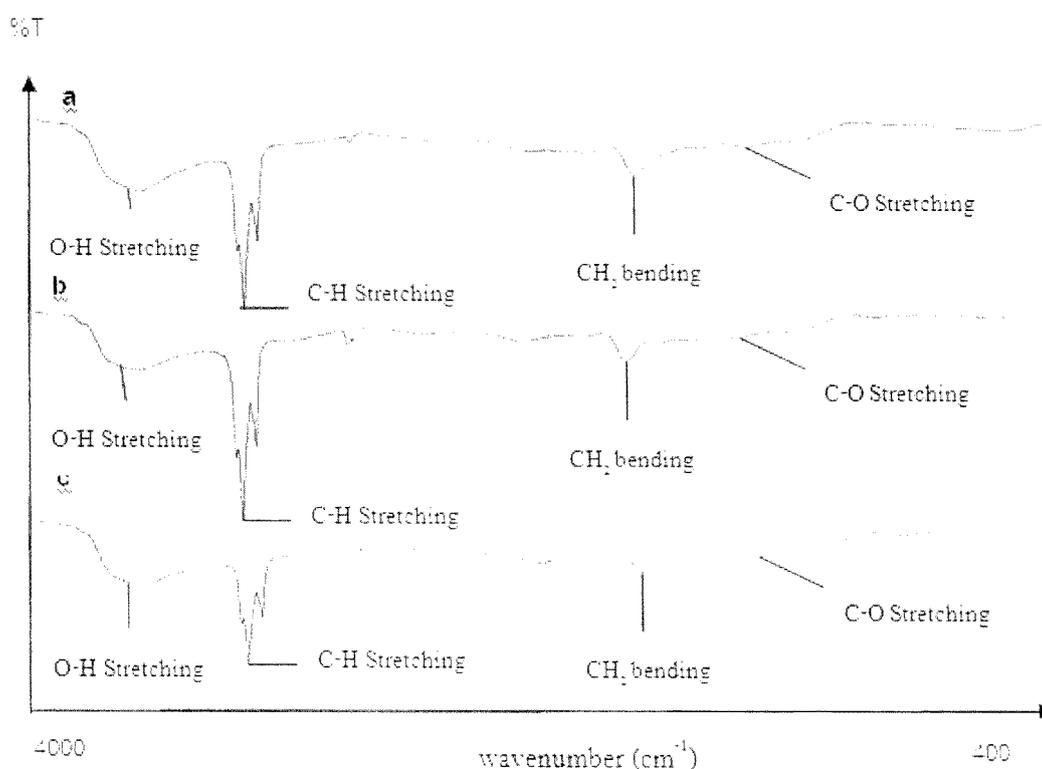


รูปที่ 4.15 IR Spectra of Krueo Ma Noy-g-poly (acrylic acid) ที่มีอัตราการคูดซึบน้ำ (a) 824 กรัม/กรัม (b) 541 กรัม/กรัมและ (c) 220 กรัม/กรัม

ลักษณะพีคของ Krueo Ma Noy-g-poly(acrylic acid) ที่มีอัตราการคูดซึบน้ำมากที่สุดคือ 824 กรัม/กรัม ปรากฏพีคที่ตำแหน่ง $3426, 2922, 1562, 1454$ และ 1162 cm^{-1} (รูปที่ 4.15a) ลักษณะพีคของ Krueo Ma Noy-g-poly(acrylic acid) ที่มีอัตราการคูดซึบน้ำปานกลางคือ 541 กรัม/กรัม ปรากฏพีคที่ตำแหน่ง $3466, 2930, 1566, 1458$ และ 1162 cm^{-1} (รูปที่ 4.15b) และลักษณะพีคของ

Krueo Ma Noy-g-poly(acrylic acid) ที่มีอัตราการดูดซับน้ำน้อยที่สุดคือ 220 กรัม/กรัม ปรากฏพีกที่ตำแหน่ง 3508, 2930, 1728, 1552, 1458 และ 1162 cm^{-1} (รูปที่ 4.15c) โดยพีกที่ตำแหน่ง 3426, 3466 และ 3508 cm^{-1} พบว่าเป็นการสั่นของ -OH- Stretching ที่ไม่แตกต่างกันของทั้งในโครงสร้างเครือหมาน้อยและ acrylic acid พีกที่ตำแหน่ง 2922 และ 2930 cm^{-1} พบว่าเป็น -CH- Stretching ของหมู่แอลคิล (alkyl) พีกที่ตำแหน่ง 1728 cm^{-1} ของ Krueo Ma Noy-g-poly(acrylic acid) ที่มีอัตราการดูดซับน้ำน้อยที่สุดพบว่าเป็นการสั่นของ C=O Stretching ของหมู่คาร์บอกซิลิกของมอนอเมอร์ acrylic acid (-COOH) ซึ่งที่อัตราการดูดซับน้ำมากที่สุดและปานกลางไม่พบแถบการสั่นของ C=O Stretching พีกที่ตำแหน่ง 1562, 1566 และ 1552 cm^{-1} พบว่าเป็น -NH- bending ของหมู่เอไมด์ (amide) ในโครงสร้างโมเลกุลของ N,N-methylenebisacrylamide (MBA) ซึ่งเป็นสารเชื่อมขวางระหว่าง 2 สายโซ่พอลิเมอร์ทำให้เกิดโครงสร้างร่างแหซึ่งดูดน้ำไว้ในโครงสร้างได้ พีกที่ตำแหน่ง 1454 และ 1458 cm^{-1} พบว่า -CH₂-bending เป็นการสั่นของหมู่ -CH-CO- group ในสายโซ่พอลิเมอร์ และพีกที่ตำแหน่ง 1162 cm^{-1} พบว่าเป็น C-O Stretching ควบคู่กับ O-H in-plane bending ของหมู่คาร์บอกซิล (carboxyl group) ใน poly(acrylic acid)

4.3.4 FTIR Spectra of Malva nut-g-poly(acrylic acid)

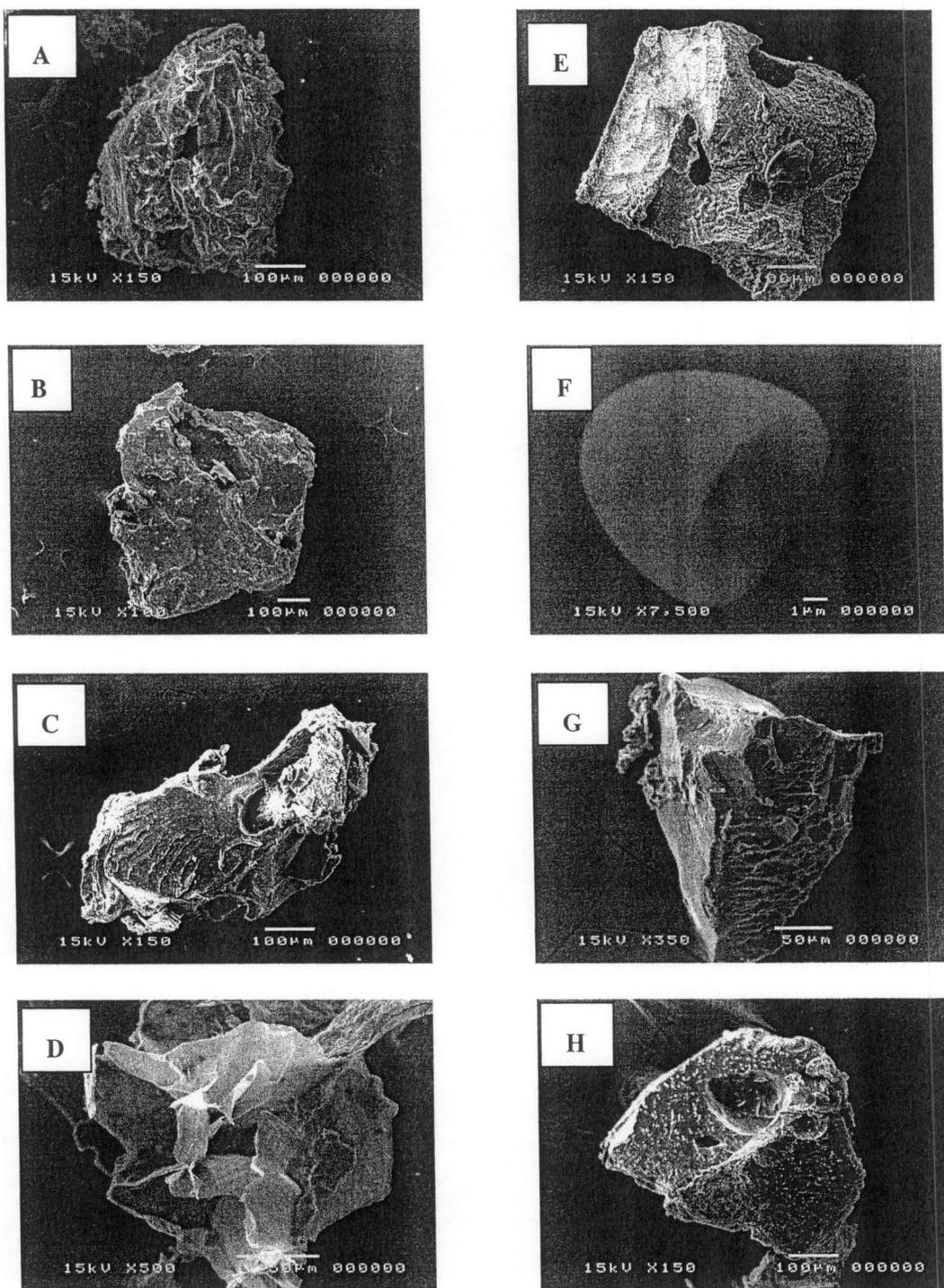


รูปที่ 4.16 IR Spectra of Malva nut-g-poly(acrylic acid) ที่มีอัตราการดูดซับน้ำ (a) 556 กรัม/กรัม (b) 401 กรัม/กรัม และ (c) 205 กรัม/กรัม

ลักษณะพิกของ Malva nut-g-poly(acrylic acid) ที่มีอัตราการดูดซับน้ำมากที่สุดคือ 556 กรัม/กรัม ปรากฏพิกที่ตำแหน่ง 3471, 2922, 1456 และ 1160 cm^{-1} (รูปที่ 4.16a) ลักษณะพิกของ Malva nut-g-poly(acrylic acid) ที่มีอัตราการดูดซับน้ำปานกลางคือ 401 กรัม/กรัม ปรากฏพิกที่ตำแหน่ง 3459, 2926, 1456 และ 1160 cm^{-1} (รูปที่ 4.16b) ลักษณะพิกของ Malva nut-g-poly(acrylic acid) ที่มีอัตราการดูดซับน้ำน้อยที่สุดปรากฏพิกที่ตำแหน่ง 3446, 2922, 1458 และ 1160 cm^{-1} (รูปที่ 4.16c) โดยพิกที่ตำแหน่ง 3471, 3459 และ 3446 cm^{-1} พบว่าเป็นการสั่นของ -OH- Stretching ที่ไม่แตกต่างกันของทั้งในโครงสร้างเครือหมาน้อยและ acrylic acid พิกที่ตำแหน่ง 2922 และ 2926 cm^{-1} พบว่าเป็น -CH- Stretching ของหมู่แอลคิล (alkyl) พิกที่ตำแหน่ง 1456 และ 1458 cm^{-1} พบว่า -CH₂-bending เป็นการสั่นของหมู่ -CH-CO- group ในสายโซ่พอลิเมอร์และพิกที่ตำแหน่ง 1160 cm^{-1} พบว่าเป็น C-O Stretching ควบคู่กับ O-H in-plane bending ของหมู่คาร์บอกซิล (carboxyl group) ใน poly(acrylic acid)

4.4 ผลการศึกษาลักษณะจุลโครงสร้างของเม็ดพอลิเมอร์ดูดซับน้ำมาก ด้วยเทคนิค Scanning Electron Microscopy (SEM)

จากการศึกษาจุลโครงสร้างของเม็ดพอลิเมอร์ดูดซับน้ำมาก ด้วยเครื่อง SEM โดยใช้กำลังขยายที่แตกต่างกันตามขนาดของเม็ดพอลิเมอร์ดูดซับน้ำมาก พบว่าที่หมากจอบ (รูปที่ 4.17A) เครือหมาน้อย (รูปที่ 4.17D) และแป้งมันสำปะหลัง (รูปที่ 4.17F) มีลักษณะเป็นรูพรุนและพื้นผิวมีความขรุขระน้อยกว่า (poly(acrylic acid); PAA) และเมื่อผ่านการกราฟต์ (graft) ด้วย poly(acrylic acid) ลงบนพอลิเมอร์ธรรมชาติ ในรูปที่ 4.17C พอลิเมอร์มีความเป็นรูพรุนสูงขึ้น มีอัตราการดูดซับน้ำมากที่สุด 619 กรัม/กรัม ในรูปที่ 4.17D เป็นรูปของเครือหมาน้อย จะมีพื้นผิวค่อนข้างเรียบ เมื่อกราฟต์ (graft) ด้วย poly(acrylic acid) ลงบนเครือหมาน้อยในรูปที่ 4.17E ลักษณะพื้นผิวมีความเป็นรูพรุนสูง พื้นผิวมีความขรุขระสูง ซึ่งมีอัตราการดูดซับน้ำมากที่สุด 824 กรัม/กรัม ในรูปที่ 4.17F เป็นของแป้งมันสำปะหลังเช่นเดียวกับเครือหมาน้อย เมื่อกราฟต์ (graft) ด้วย poly(acrylic acid) ลงบนแป้งมันสำปะหลังในรูปที่ 4.17H มีลักษณะเป็นรูพรุนสูง มีอัตราการดูดซับน้ำมากที่สุด 592 กรัม/กรัม ในส่วนของรูปที่ 4.17B และรูปที่ 4.17G เป็นพื้นผิวของ poly(acrylic acid) ที่ไม่ได้ graft พอลิเมอร์ธรรมชาติ



รูปที่ 4.17 SEM micrographs ของพอลิเมอร์ธรรมชาติ PAA และพอลิเมอร์ร่วม

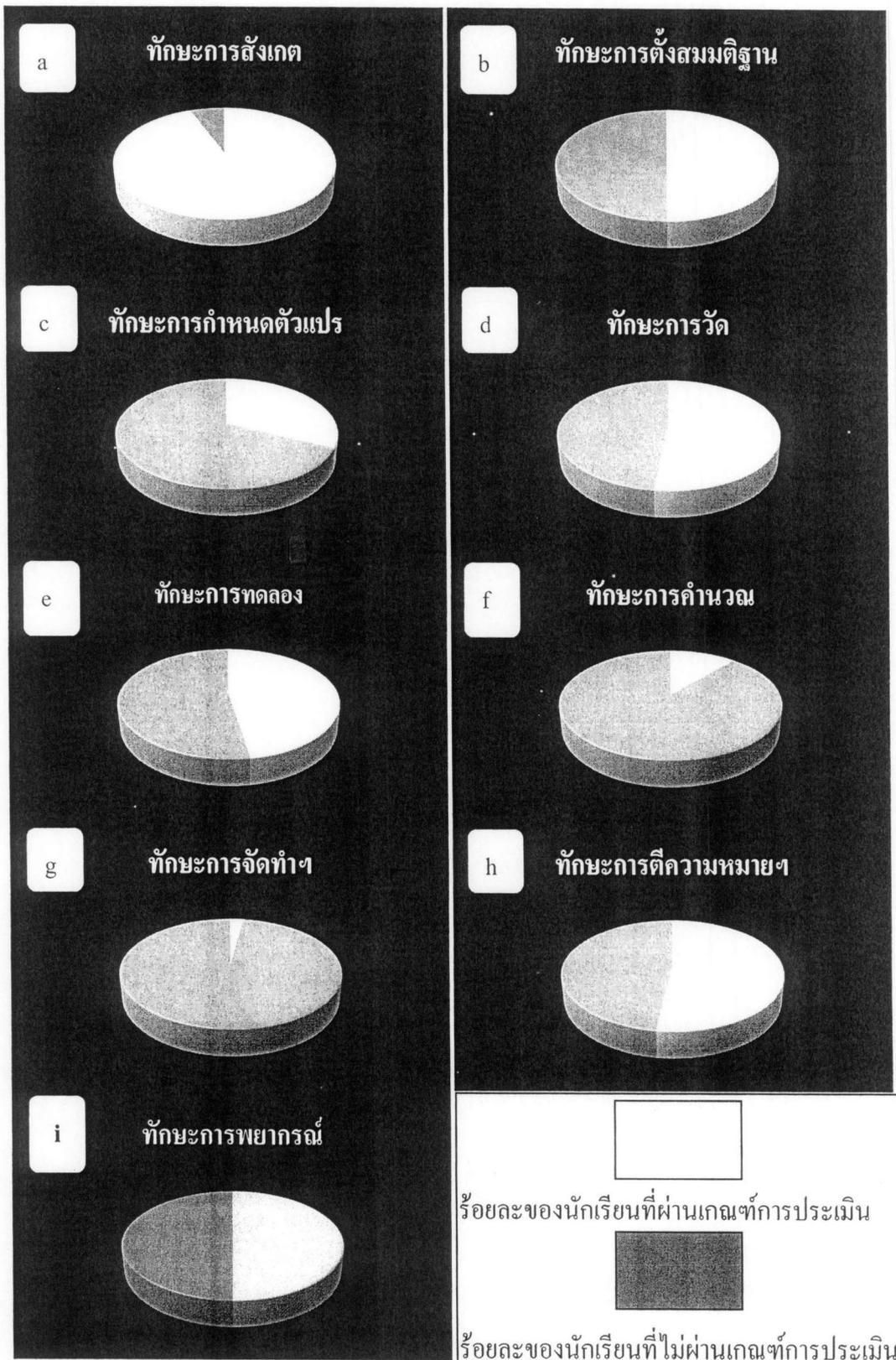
(A) หมาจอก, (B) PAA, (C) Malva nut-g-PAA, (D) เครือหมาน้อย, (E) Krueo Ma Noy-g-PAA, (F) แป้งมันสำปะหลัง, (G) PAA, (H) Cassava starch-g-PAA

ตารางที่ 4.3 ขนาดของอนุภาคและขนาดของรูพรุนของพอลิเมอร์

รูปที่	พอลิเมอร์	ขนาดของอนุภาคและขนาดของรูพรุน	
		ขนาดของอนุภาค (μm)	ขนาดของรูพรุน (μm)
4.16			
A	หมากจอบ	338	79
B	พอลิเมอร์สังเคราะห์	494	136
C	Malva nut-g-PAA	472	101
D	เครื่องหมาน้อย	504	86
E	Krueo Ma Noy-g-PAA	601	47
F	แป้งมันสำปะหลัง	483	156
G	พอลิเมอร์สังเคราะห์	141	18
H	Cassava starch-g-PAA	484	145

4.5 การประเมินทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์

การประเมินทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ด้วยชุดทดลอง เรื่องพอลิเมอร์ดูดซึมน้ำ มากที่ข่อยสลายได้ทางชีวภาพจากหมากจอบ ด้วยชุดทดลองที่สร้างขึ้นพร้อมทั้งคู่มือปฏิบัติการ สำหรับครูและนักเรียน สามารถวัดทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนได้ 10 ทักษะ ได้แก่ ทักษะการสังเกต ทักษะการตั้งสมมติฐาน ทักษะการกำหนดและควบคุมตัวแปร ทักษะการวัด ทักษะการทดลอง ทักษะการคำนวณ ทักษะการจัดทำและสื่อความหมายข้อมูล ทักษะการตีความหมายข้อมูลและลงข้อสรุป และทักษะการพยากรณ์ร้อยละของนักเรียนที่ผ่านและไม่ผ่านเกณฑ์การประเมิน ซึ่งเมื่อพิจารณาโดยภาพรวมแล้ว พบว่า โรงเรียนที่มีข้อจำกัดในการทำปฏิบัติการเคมี นักเรียนมีทักษะการสังเกตที่ดี (รูปที่ 4.18) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยที่ผ่านมาในการพัฒนาทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ (อุบลวรรณ ใต้ทอง, 2553; นุจรี มโนมัย, 2555) ส่วนทักษะที่นักเรียนผ่านเกณฑ์การประเมินน้อยที่สุดคือทักษะการจัดทำและสื่อความหมายข้อมูล (รูปที่ 4.18) เพราะนักเรียนบางคนก็เขียนตัวแปรต้นไว้ในแกน Y ซึ่งตามหลักการสร้างกราฟแล้ว ต้องระบุไว้ในแกน X และไม่มีการระบุหน่วยของแกน X และ Y สำหรับทักษะการจัดทำและสื่อความหมายข้อมูล นั้น เป็นทักษะกระบวนการวิทยาศาสตร์ขั้นพื้นฐาน ซึ่งขัดแย้งกับงานวิจัยเกี่ยวกับทักษะทางวิทยาศาสตร์ในรายวิชาเคมีที่ผ่านมาซึ่งกล่าวว่า ทักษะกระบวนการวิทยาศาสตร์ขั้นผสมผสานคือ ทักษะการตีความหมายข้อมูลและลงข้อสรุปน้อยที่สุด (อุบลวรรณ ใต้ทอง, 2553) และทักษะการตั้งสมมติฐาน (นุจรี มโนมัย, 2555) เป็นทักษะที่นักเรียนทำคะแนนได้น้อย



รูปที่ 4.18 ร้อยละของนักเรียนที่ผ่านและไม่ผ่านเกณฑ์การประเมิน (a) ทักษะการสังเกต (b) ทักษะการตั้งสมมติฐาน (c) ทักษะการกำหนดและควบคุมตัวแปร (d) ทักษะการวัด (e) ทักษะการทดลอง (f) ทักษะการคำนวณ (g) ทักษะการจัดทำและสื่อความหมายข้อมูล (h) ทักษะการตีความหมายข้อมูลและลงข้อสรุป และ (i) ทักษะการพยากรณ์

เมื่อพิจารณาแต่ละทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ ผลการวิจัยแสดงดังต่อไปนี้

4.5.1 การสังเกต (Obervation)

ทักษะการสังเกตเป็นทักษะที่นักเรียนใช้ประสาทสัมผัส ได้แก่ ตา หู จมูก ลิ้น และสัมผัสในการบอกรายละเอียดของสิ่งนั้น ซึ่งสามารถสังเกตได้ทั้งในเชิงคุณภาพและปริมาณ จากกิจกรรมให้นักเรียนสังเกตผ้าอ้อมเด็กก่อนและหลังเทน้ำ ผลการสังเกตดังแสดงในตารางที่ 4.4 และ 4.5 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.4 ผลการสังเกตผ้าอ้อมเด็กก่อนเทน้ำ

การสังเกตผ้าอ้อมเด็กก่อนเทน้ำ	จำนวนนักเรียน (คน)	ทักษะ
นุ่ม	4	การสังเกต
น้ำหนักเบา	12	การสังเกต
ผิวนุ่ม	10	การสังเกต
เป็นชั้น ๆ	12	การสังเกต
แห้ง	6	การสังเกต
เส้นใยละเอียดคล้ายสำลี	20	การสังเกต
เป็นขน	4	การสังเกต
แต่ละชั้นมีแผ่นกัน แผ่นสุดท้ายหนาสุด	3	การสังเกต
ไม่มีกลิ่น	5	การสังเกต
สีขาว	1	การสังเกต
ด้านนอกอาจเป็นเยื่อกระดาษ	2	การลงความคิดเห็น
ด้านในมีเยื่อเหมือนสำลีหรือกระดาษชำระ	3	การลงความคิดเห็น
เส้นใยสังเคราะห์	5	การลงความคิดเห็น
ทักษะการสังเกต (ร้อยละ)	89	

ตารางที่ 4.5 ผลการสังเกตผ้าอ้อมเด็กหลังเทน้ำ

การสังเกตผ้าอ้อมเด็กหลังเทน้ำ	จำนวนนักเรียน (คน)	ทักษะ
น้ำซึมซับทีละชั้น	10	การสังเกต
พองตัว	34	การสังเกต
เกิดเป็นเม็ดเจล	23	การสังเกต
ดูดน้ำได้ 80 ml	1	การสังเกต
มีเม็ดนุ่มออกมา	1	การสังเกต

การสังเกตผ้าอ้อมเด็กหลังเท้า	จำนวนนักเรียน (คน)	ทักษะ
น้ำไม่ไหลออกมา	3	การสังเกต
เส้นใยข้างบนแห้ง	2	การสังเกต
ผ้าอ้อมน้ำหนักเพิ่มขึ้น	1	การสังเกต
ทักษะการสังเกต (ร้อยละ)	100	
รวมทักษะการสังเกตก่อนเท้า และหลังเท้าลงบนผ้าอ้อมเด็ก (ร้อยละ)	94	

นักเรียนส่วนใหญ่ร้อยละ 89 (ตารางที่ 4.4) สามารถสังเกตผ้าอ้อมก่อนดูน้ำได้โดยไม่อธิบายข้อมูล มีนักเรียนเพียง 23% ซึ่งบันทึกการสังเกตเป็นการลงความคิดเห็น ได้แก่ ด้านนอกอาจเป็นเยื่อกระดาษ ด้านในมีเยื่อเหมือนสำลีหรือกระดาษชำระ และเส้นใยสังเคราะห์

นักเรียนทั้งหมด สามารถสังเกตผ้าอ้อมหลังดูน้ำได้ โดยไม่อธิบายข้อมูลหรือลงความคิดเห็นข้อมูล (ตารางที่ 4.5) ดังนั้นเมื่อหาค่าเฉลี่ยทักษะการสังเกตจากการสังเกตผ้าอ้อมก่อนและหลังดูน้ำ ค่าเฉลี่ยคะแนนทักษะการสังเกตเท่ากับ 94 (รูปที่ 4.18a) ซึ่งคะแนนสูงมาก เพราะเป็นทักษะพื้นฐานที่นักเรียนมีและงานวิจัยส่วนใหญ่ที่เกี่ยวกับทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ก็สรุปว่าทักษะนี้เป็นทักษะที่ง่ายซึ่งนักเรียนทำคะแนนได้สูง

4.5.2 การตั้งสมมติฐาน

จากการประเมินโดยให้นักเรียนตั้งสมมติฐานจากโจทย์วิจัยซึ่งกำหนดมาจากการทดลองซึ่งครูแบ่งนักเรียนเป็น 5 กลุ่ม โดยแต่ละกลุ่มทำการทดลองโดยใช้พืชท้องถิ่นชนิดเดียวกันคือหมากจอบ แต่ปริมาณของ MBA ต่างกัน เนื่องจากไม่มีนักเรียนคนใด ตั้งโจทย์วิจัยหรือคำถามวิจัยได้ถูกต้อง ดังนั้นจึงไม่มีนักเรียนคนใดตั้งสมมติฐานได้ถูกต้อง แต่เมื่อพิจารณาความสอดคล้องของโจทย์วิจัยที่นักเรียนเขียนกับความสอดคล้องของสมมติฐาน พบว่า ไม่มีนักเรียนที่ตั้งสมมติฐานได้ครอบคลุมโจทย์วิจัย แต่จากตารางที่ 4.6 มีนักเรียนร้อยละ 50 ซึ่งสมมติฐานบางส่วนสอดคล้องกับโจทย์วิจัย (รูปที่ 4.18b) และนักเรียนร้อยละ 43 ที่ตั้งสมมติฐานไม่สอดคล้องกับโจทย์วิจัย และมีนักเรียนส่วนน้อยร้อยละ 7 ที่ไม่เขียนคำตอบในข้อนี้

ตารางที่ 4.6 การตั้งสมมติฐานจากการทดลองที่กำหนดให้

สมมติฐาน	จำนวนนักเรียน	
	คน	ร้อยละ
บางส่วนสอดคล้องกับโจทย์วิจัย	20	50
ไม่สอดคล้องกับโจทย์วิจัยเลย	17	43
ไม่ตอบ	7	17
รวม	44	100

4.5.3 ทักษะการกำหนดและควบคุมตัวแปร

เมื่อกำหนดสถานการณ์การทดลองซึ่งครูแบ่งนักเรียนเป็น 5 กลุ่ม โดยแต่ละกลุ่มทำการทดลองโดยใช้พืชท้องถิ่นชนิดเดียวกันคือหมากจอบ แต่ปริมาณของ MBA ต่างกัน ดังนั้น ตัวแปรต้นที่ถูกต้องคือ ปริมาณ MBA เพราะโจทย์ระบุว่าปริมาณ MBA แตกต่างกัน ดังนั้นจากการวิจัยจึงสรุปได้ว่าไม่มีนักเรียนคนใดตอบถูกต้อง สำหรับคำตอบของนักเรียนส่วนใหญ่ 93% (ตารางที่ 4.7) ระบุว่าหมากจอบเป็นตัวแปรต้น

ตารางที่ 4.7 ผลการกำหนดตัวแปรต้นของนักเรียน

ตัวแปรต้น	จำนวนนักเรียน	
	คน	ร้อยละ
หมากจอบ	41	93
น้ำ	2	5
ไม่ตอบ	1	2

ตัวแปรตามที่ต้องการคือปริมาณน้ำที่พอลิเมอร์ที่สังเคราะห์ได้ดูดซับไว้ ดังนั้นบทปฏิบัติการควรเพิ่มวิธีการทดลองขั้นตอนที่ 7 เป็นขั้นที่นักเรียนต้องนำพอลิเมอร์แห้งที่สังเคราะห์ได้มาทดสอบดูดน้ำโดยชั่งพอลิเมอร์แห้งมาประมาณ 0.1 กรัมและแช่น้ำนาน 24 ชั่วโมงแล้วชั่งน้ำหนักของพอลิเมอร์ที่บวมน้ำอีกครั้ง

ไม่มีนักเรียนคนใดตอบถูก และนักเรียนร้อยละ 9 ไม่ตอบ (ตารางที่ 4.8) และจากข้อมูลที่สำรวจได้ในครั้งนี้พบว่า นักเรียนร้อยละ 11 กำหนดตัวแปรต้นและตัวแปรตามเป็นสิ่งเดียวกัน ดังนั้นนักเรียนส่วนนี้อาจแยกความแตกต่างระหว่าง 2 ตัวแปรนี้ไม่ได้

ตารางที่ 4.8 การกำหนดตัวแปรตามของนักเรียน

ตัวแปรตาม	จำนวนนักเรียน	
	คน	ร้อยละ
หมากจอบ น้ำ อุปกรณ์	3	7
หมากจอบ	2	5
หมากจอบ	2	5
หมากจอบกลายเป็นวุ้น	9	20
น้ำ ภาชนะ	7	16
น้ำ ภาชนะ อุปกรณ์ต่าง ๆ	4	9
น้ำ	13	29
ไม่ตอบ	4	9

สำหรับตัวแปรควบคุมนักเรียนร้อยละ 96 กำหนดตัวแปรควบคุมได้ถูกต้องคือ น้ำ อุณหภูมิ เวลา มีนักเรียนร้อยละ 2 ที่ตอบว่าปริมาณของสารเคมี ซึ่งผิดเพราะปริมาณของ MBA ซึ่งเป็นสารเคมีนั้นเป็นตัวแปรต้นไม่ใช่ตัวแปรควบคุม และนักเรียนร้อยละ 2 ไม่เขียนแสดงคำตอบ

ดังนั้นโดยภาพรวม ไม่มีนักเรียนคนใดกำหนดตัวแปรต้นและตัวแปรตามได้ถูกต้อง แต่กำหนดตัวแปรควบคุมได้ถูกต้องร้อยละ 96 เมื่อนำมาหาค่าเฉลี่ยของทั้ง 3 ตัวแปร ได้จำนวนนักเรียนที่ผ่านเกณฑ์ทักษะนี้โดยเฉลี่ย 32% (รูปที่ 4.18c)

4.5.4 ทักษะการวัด

จากการประเมินทักษะการวัด โดยให้นักเรียนเลือกใช้อุปกรณ์การวัดที่กำหนดให้ในการทำการทดลองสังเคราะห์พอลิเมอร์คูดซึมน้ำมากทั้ง 6 ขั้นตอน ผลการวิจัยดังแสดงในตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 จำนวนนักเรียนที่เลือกใช้อุปกรณ์การทดลองได้อย่างถูกต้อง

ขั้นตอนที่	อุปกรณ์	จำนวนนักเรียนที่เลือกใช้ได้อย่างถูกต้อง	
		จำนวนคน	ร้อยละ
1	หลอดทดลอง	4	9.09
	แม่เหล็กกวนสาร (magnetic stirrer)	6	13.64
	หลอดทดลอง	30	68.18
	เครื่องทำความร้อน (hot plate)	13	29.55

ขั้นตอน ที่	อุปกรณ์	จำนวนนักเรียนที่เลือกใช้ได้อย่างถูกต้อง	
		จำนวนคน	ร้อยละ
2	บีกเกอร์	29	65.91
3	เครื่องปั่นน้ำผลไม้	41	93.18
4	ขวดรูปชมพู่	18	40.91
5	กระชอน	41	93.18
6	ตุ๋น	23	52.27
	เฉลี่ย	23	51.77

จากการทดสอบให้นักเรียนเลือกอุปกรณ์วิทยาศาสตร์เพื่อมาทำการทดลองในขั้นตอนต่าง ๆ ของการสังเคราะห์พอลิเมอร์คูดซึมน้ำมากนั้น พบว่าอุปกรณ์ที่นักเรียนเลือกใช้ได้อย่างถูกต้องตามวัตถุประสงค์การใช้งาน ได้แก่ ใช้กระชอนเพื่อกรองเจล และใช้เครื่องปั่นน้ำผลไม้เพื่อให้เจลมีขนาดเล็กคิดเป็นร้อยละ 93 รองลงมาคือนักเรียนร้อยละ 66 ใช้บีกเกอร์ในการเตรียมสารละลายผสม ความเข้าใจไม่ถูกต้องในการใช้อุปกรณ์ได้แก่

นักเรียนส่วนใหญ่ร้อยละ 86 ทำปฏิกิริยาระหว่างสารตั้งต้นในบีกเกอร์ ซึ่งส่วนใหญ่แล้วในระดับมัธยมศึกษา นักเรียนคุ้นเคยกับเครื่องแก้วนี้ แต่ในปฏิบัติการนี้เนื่องจากข้อจำกัดที่ว่าเกิดฟรีเรดิคัล (free radical) ขึ้นในปฏิกิริยา ดังนั้นการที่สารสัมผัสกับอากาศจะทำให้ฟรีเรดิคัลเฉื่อยต่อปฏิกิริยา

นักเรียนร้อยละ 59 ใช้แท่งแก้วคนสารในการกวนสารละลายให้เป็นเนื้อเดียวกัน ซึ่งถูกต้องในหลักการ แต่ในปฏิบัติการนี้ เนื่องจากเราจะวางหลอดทดลองบนเครื่องทำความร้อนและกวนสารอัตโนมัติ จึงใช้แท่งแม่เหล็กกวนสารจึงจะเหมาะสมที่สุด และการทำปฏิกิริยาที่ให้กำเนิดฟรีเรดิคัลในระบบปิด จะทำให้เกิดปฏิกิริยาได้ดีกว่าระบบเปิด

นักเรียนร้อยละ 14 ทำปฏิกิริยาในตุ๋น แทนที่จะทำปฏิกิริยาบนเครื่องทำความร้อนและกวนสาร

สรุปโดยภาพรวม ความถูกต้องของการเลือกใช้เครื่องมือในการวัดเท่ากับร้อยละ 51.77 (รูปที่ 4.18d)

4.5.5 ทักษะการทดลอง

คะแนนทักษะการทดลองพิจารณาจาก 2 ส่วน ได้แก่ การเลือกใช้อุปกรณ์การวัดได้อย่างเหมาะสม และการเลือกใช้สารเคมีให้สอดคล้องกับการสังเคราะห์สารในขั้นตอนนั้น ๆ สำหรับส่วน

การเลือกใช้เครื่องมือที่ประเมินเช่นเดียวกับทักษะการวัด ซึ่งผลการวิจัยพบว่านักเรียนร้อยละ 23 เลือกใช้อุปกรณ์การทดลองได้อย่างถูกต้อง ส่วนการเลือกใช้สารเคมีนั้นแสดงผลในตารางที่ 4.10

ตารางที่ 4.10 จำนวนนักเรียนที่เลือกใช้สารเคมีได้อย่างถูกต้อง

ขั้นตอน ที่	สารเคมี	จำนวนนักเรียนที่เลือกใช้ได้อย่างถูกต้อง	
		จำนวนคน	ร้อยละ
1	Ammonium persulfate	27	9.09
2	Acrylic acid	6	13.64
	MBA	30	68.18
4	NaOH	13	29.55
	เฉลี่ย	19	43.18

โดยภาพรวมนักเรียนร้อยละ 9 เลือกใช้สารเคมีซึ่งสมบัติในการเกิดปฏิกิริยาตรงกับหลักการในขั้นตอนนั้น ๆ โดยมีสารเคมีให้เลือกทั้งหมด 4 สารเคมี และนักเรียนร้อยละ 2 เลือกใช้อุปกรณ์ได้อย่างถูกต้องทั้ง 9 ช่องคำถาม โดยมีนักเรียนร้อยละ 7 ตอบไม่ครบทุกช่องคำถาม

ความเข้าใจถูกต้องมากที่สุดในการเลือกใช้สารเคมีคือเลือกใช้ NaOH สำหรับทำให้หมู่ฟังก์ชันของ acrylic acid เปลี่ยนจาก $-COOH$ เป็น $-COO^-Na^+$ แสดงว่านักเรียนส่วนใหญ่ (66%) เข้าใจการเกิดปฏิกิริยาในเบื้องต้นว่าถ้าในโครงสร้างของสารผลิตภัณฑ์มีธาตุ Na ดังนั้นสารตั้งต้นก็ต้องมี Na เป็นองค์ประกอบด้วย ส่วนนักเรียนที่มีความเข้าใจว่า APS เป็นสารที่ทำให้เกิดฟรีแรดิคัลที่พอลิเมอร์ธรรมชาติก็มากมีมากถึง 61%

ความเข้าใจไม่ถูกต้องของการเลือกใช้สารเคมีที่สมบัติในการเกิดปฏิกิริยาตรงกับหลักการของขั้นตอนการทดลองนั้น ๆ ได้แก่ การทำปฏิกิริยาระหว่าง acrylic acid กับ MBA เพื่อต่อพอลิเมอร์สังเคราะห์เข้าไปในโครงสร้างและทำให้พอลิเมอร์สองสายเชื่อมต่อกัน มีนักเรียนเพียง 16% เท่านั้นที่ตอบถูกต้อง นอกนั้นเข้าใจผิด

โดยภาพรวมค่าเฉลี่ยของทักษะการทดลองจากการเลือกใช้อุปกรณ์และสารเคมีให้ถูกต้องมีค่าเท่ากับการหาค่าเฉลี่ยของคะแนนการเลือกใช้อุปกรณ์ถูกต้องร้อยละ 51.77 และการเลือกใช้สารเคมีที่ถูกต้องร้อยละ 43.18 ดังนั้นค่าเฉลี่ยของทักษะการทดลองเท่ากับ 47.48 (รูปที่ 4.18e)

4.5.6 ทักษะการคำนวณ

การวิเคราะห์ทักษะการคำนวณจากการกำหนดโจทย์การเตรียมสารละลายที่ว่างเตรียม acrylic acid 60% 5 mL จาก acrylic acid 99% ค่าตอบของการคำนวณที่ถูกต้องคือ 3 mL นั่นคือ ต้องตวงปริมาตรของ acrylic acid 99% มา 3 mL และเติมน้ำอีก 2 mL ซึ่งไม่มีนักเรียนคนใดเขียนสรุป

การคำนวณเช่นนี้เลย แต่เมื่อให้นักเรียนมานำเสนอหน้าชั้นเรียน นักเรียนสรุปได้อย่างถูกต้องแต่ไม่เขียนแสดง นักเรียนเพียงแต่ระบุวิธีการคำนวณและคำตอบเท่านั้น มีนักเรียนร้อยละ 11 ตอบถูกต้อง (รูปที่ 4.18f) และนักเรียนส่วนมากไม่ตอบ แสดงให้เห็นว่าถึงแม้นักเรียนจะเรียนเรื่องปริมาณสารสัมพันธ์ในเรื่องทฤษฎีและการคำนวณ เมื่อขาดการปฏิบัติจริงเช่นเดียวกับผู้ช่วยนักวิจัยหรือเจ้าหน้าที่ปฏิบัติการจึงทำให้นักเรียนขาดความมั่นใจในการตอบ

ตารางที่ 4.11 คำตอบของนักเรียนจากการทำโจทย์การเตรียมสารละลาย

คำตอบ (mL)	จำนวนนักเรียน		หมายเหตุ
	คน	ร้อยละ	
1188	1	2.27	
65	5	11.36	
39	1	2.27	
8.25	6	13.64	
7.8	4	9.09	
6	1	2.27	
3	5	11.36	คำตอบที่ถูกต้อง
0.3	1	2.27	
ไม่ตอบ	20	45.45	

4.5.7 การจัดทำและสื่อความหมายข้อมูล (Organizing Data and Communication)

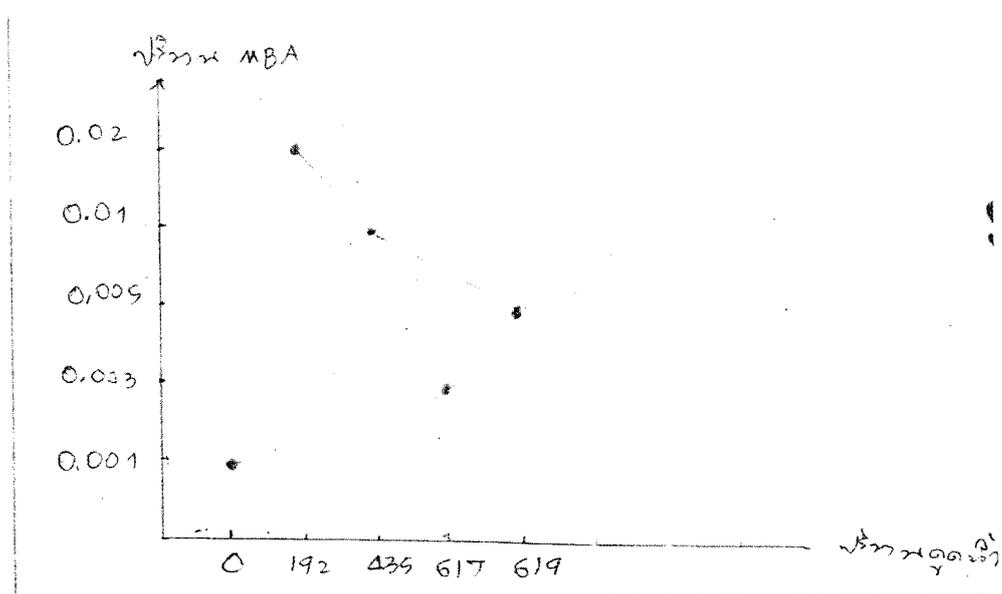
การประเมินทักษะการจัดกระทำและสื่อความหมายข้อมูลจากที่ให้นักเรียนสร้างกราฟจากผลการทดลองหาปริมาณการดูดซับน้ำของพอลิเมอร์ที่สังเคราะห์ได้เมื่อใช้ปริมาณ MBA แตกต่างกันได้ผลดังตารางที่ 4.12

ตารางที่ 4.12 ร้อยละนักเรียนที่สร้างกราฟได้ไม่สมบูรณ์ในประเด็นต่าง ๆ

ประเด็นในการสร้างกราฟไม่สมบูรณ์	จำนวนนักเรียน (คน)	จำนวนนักเรียน (ร้อยละ)
ชื่อแกนไม่มี	3	6.82
ไม่มีหน่วยแสดง (รูปที่ 4.19)	28	63.64
ตัวแปรต้นแกน y ตัวแปรตามแกน x (รูปที่ 4.19)	23	52.27

ประเด็นในการสร้างกราฟไม่สมบูรณ์	จำนวนนักเรียน (คน)	จำนวนนักเรียน (ร้อยละ)
สเกลของแกน x และ y (รูปที่ 4.19)	6	13.64
แสดงด้วยกราฟแท่ง	1	2.27
ไม่วาดเส้นแสดงกราฟ	1	2.27
ไม่เขียนผลการทดลอง	1	2.27

นักเรียนร้อยละ 97.73 สร้างกราฟได้ไม่สมบูรณ์ซึ่งข้อบกพร่องแสดงดังตารางที่ 4.12 ดังนั้น มีนักเรียนเพียง 2.27% เท่านั้นที่ผ่านเกณฑ์การพิจารณาในทักขณะนี้ (รูปที่ 4.18g)



รูปที่ 4.19 การสร้างกราฟที่ไม่ถูกต้องในการกำหนดค่าแกน x

4.5.8 ทักหะการตีความหมายข้อมูลและลงข้อสรุป

นักเรียนสรุปได้ถูกต้องทั้งหมด 52% (รูปที่ 4.18h) ซึ่งคำตอบของนักเรียน 50% คือเมื่อ ปริมาณ MBA เพิ่มมากขึ้น อัตราการดูดซับน้ำจะลดลง มีนักเรียนเพียง 2% เท่านั้นที่สรุปว่าจากการ ทดลองหมากจอบ ถ้าสาร MBA มีปริมาณมากจะทำให้การดูดซับน้ำได้น้อย ปริมาณที่เหมาะสมที่จะ ดูดน้ำได้ดีที่ 0.005 กรัม นักเรียนอีก 2% มีแนวทางสรุปที่ถูกต้อง แต่สรุปผิด เป็น เมื่อปริมาณ MBA เพิ่มมากขึ้น อัตราการดูดซับน้ำจะเพิ่มขึ้น ส่วนนักเรียนอีก 20% ไม่ได้สรุปผลการทดลองแต่เขียนผล การทดลองอีกครั้ง และนักเรียน 2% ไม่แสดงคำตอบ

4.5.9 ทักษะการพยากรณ์

จากการกำหนดโจทย์ให้นักเรียนทำนายผลการทดลองจากกราฟที่สร้างขึ้นในทักษะการจัดทำและสื่อความหมายข้อมูล นักเรียนร้อยละ 50 ตอบถูกต้อง (รูปที่ 4.18i) นักเรียนร้อยละ 29.55 พยากรณ์ได้ไม่ถูกต้อง และนักเรียนอีกร้อยละ 20.45 ไม่เขียนแสดงคำตอบในข้อนี้