



รายงานวิจัย

การเตรียมและสมบัติของไฮโดรเจลคอมโพสิตผสมมะพร้าว The Preparation and Properties of Hydrogel Composite Materials Mixed with Coconut Coir

นางสาวบุญศรี คู่สุพรรณ
นายสมชาย อุดร

โครงการวิจัยทุนสนับสนุนของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

งบประมาณรายได้ ปี พ.ศ. 2560

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

รายงานวิจัย

การเตรียมและสมบัติของไฮโดรเจลคอมโพสิตผสมมะพร้าว The Preparation and Properties of Hydrogel Composite Materials Mixed with Coconut Coir

คณะผู้วิจัย

นางสาวบุญศรี คู่สุขธรรม

นายสมชาย อุดร

สังกัด

สาขาวิชาวิศวกรรมเคมีสิ่งทอ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

สาขาวิชาวิศวกรรมเคมีสิ่งทอ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

โครงการวิจัยทุนสนับสนุนของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

งบประมาณรายได้ ปี พ.ศ. 2560

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ ที่ให้ทุนสนับสนุนการวิจัย
ประจำปีงบประมาณ 2560



บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาการเตรียมไฮโดรเจลและไฮโดรเจลคอมโพสิตผสมขุยมะพร้าว วัตถุประสงค์ของการศึกษาเพื่อศึกษาสมบัติการการดูดน้ำของไฮโดรเจลและไฮโดรเจลคอมโพสิต ไฮโดรเจลเตรียมโดยการผสม 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต พอลิอะคริลาไมด์ และโซเดียมแอลจีเนตในปริมาณต่าง ๆ ปฏิกริยาพอลิเมอร์ไรเซชันของไฮโดรเจลเกิดขึ้นโดยใช้โพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟตเป็นสารเริ่มปฏิกิริยา เอ็น, เอ็น, เอ็น', เอ็น'-เตตระเมทิลเอทิลีนไดเอมีนเป็นสารเร่ง และเอ็น, เอ็น'-เมทิลีนบิสอะคริลาไมด์ เป็นสารเชื่อมขวาง ส่วนไฮโดรเจลคอมโพสิตเตรียมโดยผสมขุยมะพร้าวลงในไฮโดรเจล

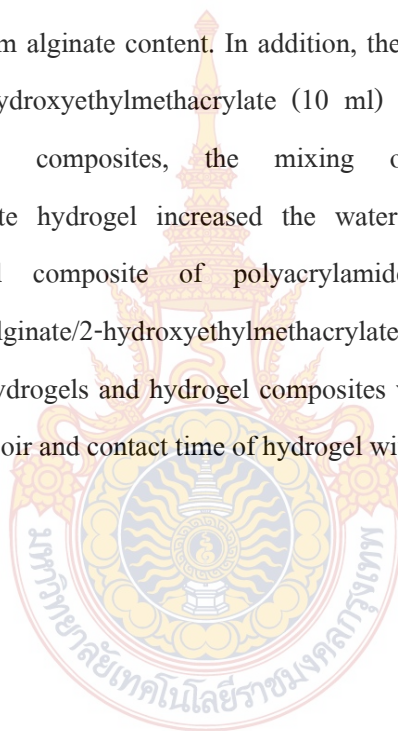
ผลจากการศึกษาพบว่า การดูดน้ำของไฮโดรเจลเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณพอลิอะคริลาไมด์ และโซเดียมแอลจีเนตเพิ่มขึ้น นอกจากนี้การผสมพอลิอะคริลาไมด์ (0.3 กรัม) โซเดียมแอลจีเนต (0.4 กรัม) และ 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต (10 มิลลิลิตร) ช่วยปรับปรุงสมบัติการดูดน้ำของไฮโดรเจล ในไฮโดรเจลคอมโพสิตการผสมขุยมะพร้าวในโซเดียมแอลจีเนต/2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต ทำให้การดูดน้ำเพิ่มขึ้น แต่อย่างไรก็ตามการดูดน้ำของไฮโดรเจลคอมโพสิตของพอลิอะคริลาไมด์/2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต และพอลิอะคริลาไมด์/โซเดียมแอลจีเนต/2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลตลดลง ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดน้ำของไฮโดรเจลและไฮโดรเจลคอมโพสิตคือ ปริมาณของพอลิอะคริลาไมด์ โซเดียมแอลจีเนต ขุยมะพร้าว และระยะเวลาในการสัมผัสกับน้ำของไฮโดรเจล



ABSTRACT

This research studied of preparation of ydrogel and hhydrogel composites mixed with coconut coir. The objective was to study the water absorption property of hydrogels and hydrogel composites. The hydrogel were prepared by mixing 2-hydroxyethylmethacrylate, polyacrylamide and sodium alginate at various ratio. The polymerization reaction of hydrogel was occurred by using potassium persulphate as an initiator, N, N, N', N'-tetramethylethylene diamine as an accelerator and N, N'-methylenebisacrylamide as a crosslinker. Also, the hydrogel composite was prepared by mixing coconut coir in the hydrogels.

The results showed that the water absorption of the hydrogels increased with decreasing polyacrylamide and sodium alginate content. In addition, the mixing of polyacrylamide (0.3 g) alginate (0.4 g) and 2-hydroxyethylmethacrylate (10 ml) improved the water absorption of hydrogel. In hydrogel composites, the mixing of coconut coir in alginate/2-hydroxyethylmethacrylate hydrogel increased the water absorption. However, the water absorption of hydrogel composite of polyacrylamide/2-hydroxyethylmethacrylate and polyacrylamide/sodium alginate/2-hydroxyethylmethacrylate decreased. Factors effecting the water absorption of the hydrogels and hydrogel composites were the content of polyacrylamide sodium alginate coconut coir and contact time of hydrogel with water.



สารบัญเรื่อง

หน้า

กิตติกรรมประกาศ	
บทคัดย่อ (ภาษาไทย)	
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ)	
สารบัญเรื่อง	
สารบัญตาราง	
สารบัญภาพประกอบ	
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขต	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 มะพร้าว	4
2.1.1 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์	4
2.1.2 อุตสาหกรรมมะพร้าว	5
2.1.3 เส้นใยมะพร้าวและขุยมะพร้าว	6
2.1.4 งานวิจัยเกี่ยวกับเส้นใยมะพร้าวและขุยมะพร้าว	7
2.2 วัสดุคอมโพสิต	8
2.2.1 ส่วนประกอบของวัสดุคอมโพสิต	8
2.2.2 ประเภทของวัสดุคอมโพสิต	8
2.3 ไฮโดรเจล	9
2.3.1 วิธีการเตรียมไฮโดรเจล	9
2.3.2 สมบัติของไฮโดรเจล	11
2.3.3 งานวิจัยเกี่ยวกับไฮโดรเจล	11
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	13
3.1 สารเคมี	13
3.2 การเตรียมไฮโดรเจลและไฮโดรเจลคอมโพสิตผสมขุยมะพร้าว	14

	หน้า
3.2.1 อิทธิพลของพอลิอะคริลาไมด์ในการเตรียมไฮโดรเจลและไฮโดรเจลคอมโพสิต	15
3.2.2 อิทธิพลของโซเดียมแอลจีเนตในการเตรียมไฮโดรเจลและไฮโดรเจล-คอมโพสิต	16
3.2.3 อิทธิพลของขุยมะพร้าวในการเตรียมไฮโดรเจลและไฮโดรเจลคอมโพสิต	17
3.3 การตรวจสอบลักษณะพื้นผิวของขุยมะพร้าว	18
3.4 การตรวจสอบสมบัติของไฮโดรเจลและไฮโดรเจลคอมโพสิต	18
3.4.1 การตรวจสอบหุ้มน้ำที่ขึ้นทางเคมีโดยใช้เครื่องอินฟราเรดสเปกโตรโฟมิเตอร์	18
3.4.2 การตรวจสอบลักษณะพื้นผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด	18
3.4.3 การตรวจสอบสมบัติการดูดน้ำ	18
บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล	19
4.1 การเกิดไฮโดรเจลของ 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต	19
4.2 การเตรียมไฮโดรเจลและไฮโดรเจลคอมโพสิตผสมขุยมะพร้าว	21
4.2.1 อิทธิพลของพอลิอะคริลาไมด์ต่อสมบัติการดูดน้ำของไฮโดรเจลและไฮโดรเจล-คอมโพสิต	21
4.2.2 อิทธิพลของโซเดียมแอลจีเนตต่อสมบัติการดูดน้ำของไฮโดรเจลและไฮโดรเจลคอมโพสิต	24
4.2.3 อิทธิพลของขุยมะพร้าวต่อสมบัติการดูดน้ำของไฮโดรเจลและไฮโดรเจลคอมโพสิต	28
4.2.4 การเปรียบเทียบสมบัติการดูดน้ำของไฮโดรเจลและไฮโดรเจลคอมโพสิต	31
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและการอภิปรายผล	34
เอกสารอ้างอิง	35
ภาคผนวก ก	38
ภาคผนวก ข	47
ภาคผนวก ค	60
ภาคผนวก ง	63
ประวัติผู้วิจัย	70

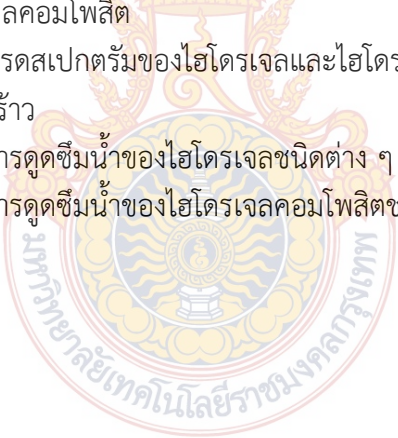
สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	ส่วนประกอบของมะพร้าว	5
2.2	องค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยมะพร้าว	6
2.3	การดูดซับน้ำของขุยมะพร้าว	7
3.1	สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง	13
3.2	ปริมาณสารที่ใช้ในการเตรียมเม็ดลูกปัดพอลิเมอร์โครงข่ายเชื่อมโยงซึ่งกันและกัน	15
3.3	ปริมาณสารที่ใช้ในการเตรียมเม็ดลูกปัดพอลิเมอร์โครงข่ายเชื่อมโยงซึ่งกันและกัน	16
3.4	ปริมาณสารที่ใช้ในการเตรียมเม็ดลูกปัดพอลิเมอร์โครงข่ายเชื่อมโยงซึ่งกันและกัน	17
4.1	ลักษณะทางกายภาพของไฮโดรเจลและไฮโดรเจลคอมโพสิตจากการใช้พอลิอะคริลาไมด์ในปริมาณต่าง ๆ	21
4.2	ลักษณะทางกายภาพของไฮโดรเจลจากการใช้โซเดียมแอลจิเนตในปริมาณต่าง ๆ	24
4.3	ลักษณะทางกายภาพของไฮโดรเจลจากการผสมขุยมะพร้าวในปริมาณต่าง ๆ	28



สารบัญภาพประกอบ

ภาพประกอบที่		หน้า
2.1	ลักษณะภาคตัดขวางของผลมะพร้าว	4
4.1	ลักษณะทางกายภาพของไฮโดรเจล และไฮโดรเจลคอมโพสิต	22
4.2	อิทธิพลของพอลิอะคริลาไมด์ต่อสมบัติการดูดน้ำของไฮโดรเจล	22
4.3	อิทธิพลของพอลิอะคริลาไมด์ต่อสมบัติการดูดน้ำของไฮโดรเจลคอมโพสิต	23
4.4	ลักษณะทางกายภาพของไฮโดรเจล และไฮโดรเจลคอมโพสิต	25
4.5	อิทธิพลของแอลจินเนตต่อสมบัติการดูดน้ำของไฮโดรเจล	26
4.6	อิทธิพลของแอลจินเนตต่อสมบัติการดูดน้ำของไฮโดรเจลคอมโพสิต	26
4.7	ลักษณะรูพรุนในขุยมะพร้าว	27
4.8	ลักษณะทางกายภาพของไฮโดรเจล และไฮโดรเจลคอมโพสิต	28
4.9	ลักษณะพื้นผิวของไฮโดรเจลคอมโพสิตที่เกิดจากเตรียมโดยใช้โซเดียมแอลจินเนตปริมาณ 0.4 กรัม พอลิอะคริลาไมด์ปริมาณ 0.3 กรัม 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลตปริมาณ 10 มิลลิลิตร ผสมกับขุยมะพร้าวปริมาณ 2 กรัม	29
4.10	อิทธิพลของขุยมะพร้าวต่อสมบัติการดูดซึมน้ำของไฮโดรเจลและไฮโดรเจลคอมโพสิต	30
4.11	อินฟราเรดสเปกตรัมของไฮโดรเจลและไฮโดรเจลคอมโพสิตผสมขุยมะพร้าว	31
4.12	สมบัติการดูดซึมน้ำของไฮโดรเจลชนิดต่าง ๆ	32
4.13	สมบัติการดูดซึมน้ำของไฮโดรเจลคอมโพสิตชนิดต่าง ๆ	33



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

มะพร้าว เป็นพืชที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจของประเทศไทย และมะพร้าวเป็นผลผลิตทางการเกษตรที่มีการใช้ภายในประเทศ และส่งเป็นสินค้าออกไปยังต่างประเทศ ในปีพ.ศ. 2557 มะพร้าว มีการใช้ภายในประเทศ 1,089,590 ตัน และมีการส่งออกเป็นมะพร้าวผลสด (60,797 ตัน) มะพร้าวฝอย (3,441 ตัน) และกะทิสำเร็จรูป (179,297 ตัน) โดยในปีพ.ศ. 2557 สินค้าส่งออกของมะพร้าวคิดเป็นมูลค่า 11,392 ล้านบาท (กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรมศุลกากร, สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2559)

มะพร้าว สามารถแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ได้หลายชนิด โดยผลิตภัณฑ์ที่สำคัญ ได้แก่ เนื้อมะพร้าวแห้ง (copra) กะทิ (coconut milk) และน้ำมันมะพร้าว (coconut oil) (สำนักงานยุทธศาสตร์การพาณิชย์, กลุ่มวิจัยเศรษฐกิจการค้าการลงทุน, 2553) นอกจากนี้ส่วนที่เหลือของมะพร้าวนำไปใช้ในอุตสาหกรรมอื่น ๆ เช่น กากมะพร้าวนำไปผลิตอาหารสัตว์ กะลามะพร้าวนำมาผลิตเป็นถ่าน (charcoal) และถ่านกัมมันต์ (activated charcoal) เส้นใยมะพร้าวนำมาผลิตเป็นเส้นใยทำแท่งเพาะชำ และวัสดุป้องกันการกัดเซาะในงานด้านธรณี เส้นใยมีความแข็งแรง เหนียว ซึ่งสามารถใช้ทดแทนเส้นใยสังเคราะห์ในพอลิเมอร์คอมโพสิต (Greer, 2008, p.2)

ในประเทศไทยมีการปลูกมะพร้าวประมาณ 1.9 ล้านต้น/ปี โดยมีของเสียจากมะพร้าวประมาณ 0.69 ล้านตัน/ปี (Rawangkul, Khedari, Hirunlabh & Zeghmatti, 2010, p. 216-222) การเพิ่มมูลค่าให้กับ ส่วนที่เหลือของมะพร้าวเป็นเรื่องน่าสนใจ ในผลมะพร้าวมีเส้นใยมะพร้าวเป็นองค์ประกอบมากที่สุด ซึ่งมีปริมาณร้อยละ 35 เมื่อนำมาตีใยจะได้ขุยมะพร้าว เส้นใยมะพร้าวมีปริมาณลิกนินสูง จึงมีความแข็งแรง และมีความทนทานสูง (Abdullah, 2010, p. 14) เส้นใยมีความต้านทานต่อเชื้อราและแบคทีเรีย ขุยมะพร้าวจึงมีความเสถียร ทางด้านชีวภาพ (Asiah, Mohd, Khanf, Marziah & Shaharuddin, 2004, p. 121-133) การศึกษาวิจัยเกี่ยวกับขุยมะพร้าวมีการศึกษาในด้านต่าง ๆ เช่น การใช้เป็นวัสดุเสริมแรงพอลิเมอร์ เนื่องจากขุยมะพร้าวมีความแข็งแรงสูง และมีราคาถูก (Ganiron, 2013, p. 13-26; Suardana, Lokantara, & Lim, 2011, p. 113-125) ขุยมะพร้าวมีการนำมาเป็นแหล่งพลังงานประมาณ 0.2 ล้านตัน/ปี ใช้ประโยชน์ในด้านอื่น ๆ เช่น วัสดุในการเพาะปลูก ใช้ในงานก่อสร้าง ขุยมะพร้าวแห้งใช้เป็นวัสดุดูดความชื้น (Rawangkul, Khedari, Hirunlabh & Zeghmatti, 2010, p. 216-222) ขุยมะพร้าวเมื่อแช่น้ำไว้เป็นระยะเวลา 1 ชั่วโมง จะดูดน้ำไว้ได้ร้อยละ 65.7 ขุยมะพร้าวดูดซับน้ำได้ดี เนื่องจากโครงสร้างของขุยมะพร้าวมีรูพรุน (Israel, Ogali, Akaranta & Obot, 2010, p. 60-75)

วัสดุคอมโพสิต (composite materials) เป็นวัสดุที่ประกอบด้วยวัสดุต่าง ๆ จำนวนสองชนิด หรือมากกว่าสองชนิดมาเป็นองค์ประกอบร่วมกัน ซึ่งจะทำให้วัสดุคอมโพสิตมีสมบัติในด้านต่าง ๆ (เช่น ความแข็งแรง ความยืดหยุ่น ความต้านทานต่อแรงที่มากกระทำ) ดีกว่าเมื่อมีการใช้วัสดุ

แต่ละชนิดเพียงลำพังอย่างเดียว ในวัสดุคอมโพสิตประกอบด้วยวัฏภาคต่อเนื่อง (continuous phase) หรือเรียกว่า เมทริกซ์ (matrix) และวัฏภาคไม่ต่อเนื่อง (discontinuous phase)

วัสดุที่ทำหน้าที่เป็นเมทริกซ์ เช่น พอลิเมอร์ เซรามิก หรือโลหะ ส่วนวัสดุที่เป็นวัฏภาคไม่ต่อเนื่องมีการเติมลงไปเมทริกซ์เพื่อจุดประสงค์ในด้านต่าง ๆ เช่น ช่วยลดต้นทุนการผลิต หรือเป็นสารช่วยเสริมแรง (reinforcing agents) ให้กับเมทริกซ์ ทำให้ได้วัสดุคอมโพสิตที่มีสมบัติเชิงกลดีขึ้น จากการศึกษาค้นคว้าพบว่า มีการใช้วัสดุเสริมแรงชนิดต่าง ๆ ผสมลงไปในวัสดุคอมโพสิต เช่น เส้นใยปอกระเจา และเส้นใยป่านศรนารายณ์ (Boonpalan, Umapathy & Jenyfer, 2012, p. 145-149) เส้นใยเซลลูโลสจากพืชชนิดต่าง ๆ (Westrup et al. 2014, p. 337-344)

การนำขุยมะพร้าวมาขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ เป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับวัสดุที่ได้จากมะพร้าว ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงจะทำการศึกษการเตรียมไฮโดรเจลคอมโพสิตผสมขุยมะพร้าว โดยพอลิเมอร์ธรรมชาติและพอลิเมอร์สังเคราะห์ทำหน้าที่เป็นเมทริกซ์ พอลิเมอร์ที่ทำหน้าที่เป็นเมทริกซ์คือ โซเดียมแอลจีเนต พอลิอะคริลาไมด์ และพอลิ(2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต) และเสริมแรงด้วยขุยมะพร้าว จากการศึกษาในเบื้องต้นพบว่ามีความเป็นไปได้ในการขึ้นรูปวัสดุให้เป็นวัสดุคอมโพสิต วัสดุที่ได้มีความแข็งแรง ยืดหยุ่น และพองตัวได้เมื่อมีการดูดน้ำเข้าไปในวัสดุ วัสดุคอมโพสิตจากโครงการนี้คาดว่าจะสามารถนำไปใช้เป็นวัสดุอุ้มน้ำในด้านการเกษตร ภาชนะในเรือนเพาะชำประเภทไม้ดอกไม้ประดับ และโฟมสำหรับการจัดดอกไม้ (floral foam)

1.2 วัตถุประสงค์

- 1.2.1 เพื่อเตรียมไฮโดรเจลคอมโพสิตผสมขุยมะพร้าว
- 1.2.2 เพื่อศึกษาสมบัติของวัสดุคอมโพสิตที่ได้จากการเตรียม

1.3 ขอบเขต

โครงการวิจัยนี้ศึกษาการเตรียมไฮโดรเจลคอมโพสิตผสมขุยมะพร้าว โดยมีขอบเขตของการวิจัย ดังนี้

- 1.3.1 วัสดุคอมโพสิตที่ศึกษาในโครงการนี้เตรียมจากโซเดียมแอลจีเนต พอลิอะคริลาไมด์ และพอลิ(2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต) ผสมกันในปริมาณต่าง ๆ โดยเสริมแรงด้วยขุยมะพร้าว
- 1.3.2 การตรวจสอบลักษณะพื้นผิวของขุยมะพร้าวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope)
- 1.3.3 การตรวจสอบสมบัติของวัสดุคอมโพสิต โดยตรวจสอบสมบัติต่าง ๆ ดังนี้
 - 1.3.3.1 การตรวจสอบหมู่ฟังก์ชันทางเคมีด้วยเทคนิคอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี
 - 1.3.3.2 การตรวจสอบลักษณะพื้นผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด
 - 1.3.3.3 การตรวจสอบสมบัติการดูดน้ำของวัสดุคอมโพสิต

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ผลจากการวิจัยนี้สามารถนำวัสดุคอมโพสิตมาใช้เป็นวัสดุที่ใช้ในการเกษตร วัสดุเพื่อการจัดดอกไม้ (floral foam)



บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 มะพร้าว

2.1.1 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ (กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรมศุลกากรสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2559)

มะพร้าว เป็นพืชยืนต้นอยู่ในตระกูลปาล์ม ภาคที่มีการปลูกมากคือ ภาคใต้ (จังหวัดสุราษฎร์ธานี ชุมพร นครศรีธรรมราช) ภาคตะวันออก (จังหวัดชลบุรี ระยอง ฯลฯ) ภาคตะวันตก (จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ สมุทรสงคราม ฯลฯ)

ลำต้น มีลำต้นเดียว ไม่แตกแขนง

ใบ เป็นใบประกอบ

ดอก ออกเป็นช่อ มีทั้งดอกตัวผู้ และดอกตัวเมีย อยู่ในช่อเดียวกัน

ผล หลังจากปลูกแล้ว 5-6 ปี จึงจะให้ผล ผลของมะพร้าว มีเปลือก 3 ชั้น ดังแสดงในภาพที่

2.1



ภาพที่ 2.1 ลักษณะภาคตัดขวางของผลมะพร้าว (Greer, 2008, p. 2)

ลักษณะภาคตัดขวางของผลมะพร้าวมีส่วนประกอบ ดังนี้

- 1) เปลือกชั้นนอก (exocarp or epidermis or skin) มีลักษณะเป็นเส้นใยที่เหนียวและแข็ง เมื่อแก่อาจมีสีเขียว แดง เหลือง หรือน้ำตาล
 - 2) เปลือกชั้นกลาง (mesocarp or husk) มีลักษณะเป็นเส้นใย มีความหนาพอประมาณ
 - 3) เปลือกชั้นใน (endocarp or shell) มีลักษณะแข็ง หรือเรียกว่ากะลา
- เมล็ด (seed of kernel or copra) คือเนื้อมะพร้าว ภายในเมล็ดเมื่อเป็นผลอ่อนจะมีน้ำอยู่เต็ม ผลแก่น้ำมะพร้าวจะแห้งไปบางส่วน

2.1.2 อุตสาหกรรมมะพร้าว

มะพร้าว จัดเป็นพืชในตระกูลปาล์ม มะพร้าว 1 ผล มีส่วนประกอบ ดังนี้

ตารางที่ 2.1 ส่วนประกอบของมะพร้าว (Waifielate and Abiola. 2008: 18)

ส่วนประกอบ	ปริมาณ (ร้อยละโดยน้ำหนัก)
เนื้อมะพร้าว	28
กะลามะพร้าว	12
กาบมะพร้าว	35

ต้นมะพร้าว ให้ผลผลิตเป็นผลมะพร้าวประมาณ 120 ลูก/ปี มะพร้าว 1 ผล มีมวลทั้งหมด 1.6 กิโลกรัม ซึ่งประกอบด้วยเส้นใยร้อยละ 35 เนื้อมะพร้าวร้อยละ 28 กะลามะพร้าวร้อยละ 12 น้ำมะพร้าวร้อยละ 5 และปริมาณน้ำในเส้นใยร้อยละ 20 (Bradley and Huang, n.d., 1-9)

เนื้อมะพร้าว สามารถนำมารับประทานได้ ในเนื้อมะพร้าวมีน้ำเป็นองค์ประกอบร้อยละ 50 ส่วนของน้ำมันร้อยละ 33 และส่วนเนื้อร้อยละ 17 น้ำมันมะพร้าวสามารถนำมาผลิตเป็นไบโอดีเซล

กะลามะพร้าว ให้พลังงานความร้อนสูงมาก จึงนำมาผลิตเป็นถ่านเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิง กะลามะพร้าว 10 กิโลกรัม สามารถนำมาผลิตเป็นถ่านได้ 3.5 กิโลกรัม ในขณะที่ไม้เนื้อแข็งทั่วไป 10 กิโลกรัม จะผลิตถ่านได้ 1 กิโลกรัม นอกจากนี้เมื่อนำกะลามะพร้าวมาบดให้มีขนาด 50 ไมครอน สามารถนำมาใช้เป็นวัสดุเสริมแรงในพลาสติกที่ใช้ในงานวิศวกรรม

เส้นใยมะพร้าว ประกอบด้วยส่วนเส้นใยร้อยละ 33 และลิกนินร้อยละ 67 เส้นใยมะพร้าว สามารถดูดน้ำได้ 10 เท่า ของน้ำหนักของเส้นใย เส้นใยมะพร้าวนำมาผลิตเป็นแผ่นบอร์ดอัด โดยไม่ต้องใช้ตัวประสาน (binder) เนื่องจากลิกนินเมื่อได้รับความร้อนจะทำหน้าที่เป็นตัวประสาน อนุภาคเส้นใย ทำให้ยึดติดกันได้ นอกจากนี้เส้นใยมะพร้าวมักนำมาใช้เป็นวัสดุเสริมแรง

ส่วนประกอบของมะพร้าวก่อให้เกิดอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับมะพร้าว อุตสาหกรรมมะพร้าวแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ

- 1) ผลิตภัณฑ์แปรรูปเพื่อการบริโภค เช่น อุตสาหกรรมมะพร้าวแห้ง อุตสาหกรรมน้ำมันมะพร้าว อุตสาหกรรมกะทิเข้มข้น อุตสาหกรรมน้ำตาลมะพร้าว
- 2) ผลิตภัณฑ์เพื่ออุตสาหกรรมและอุปโภค เช่น อุตสาหกรรมเส้นใยมะพร้าว อุตสาหกรรมแท่งเพาะชำ อุตสาหกรรมเผื่อถ่านจากกะลามะพร้าว

2.1.3 เส้นใยมะพร้าวและขุยมะพร้าว

เส้นใยมะพร้าว เมื่อนำมาตีจะได้ขุยมะพร้าว

2.1.3.1 องค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยมะพร้าว (Granion. 2013: 13-26)

เส้นใยมะพร้าวมีองค์ประกอบทางเคมีดังแสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 องค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยมะพร้าว

องค์ประกอบทางเคมี	ปริมาณ (ร้อยละโดยน้ำหนัก)
ลิกนิน	40-45
เซลลูโลส	32-43
เฮมิเซลลูโลส	0.15-0.25
เพกทิน	3-4
สารที่ละลายน้ำได้	5
เถ้า	2

2.1.3.2 สมบัติของเส้นใยมะพร้าวและขุยมะพร้าว

สมบัติของเส้นใยมะพร้าวและขุยมะพร้าวที่สำคัญมี ดังนี้ (Adad, Fornes, Carrion & Noguera, 2005, 2138-2144; Suardana, Lokantara & Lim, 2011, 113-125)

- 1) แข็งแรง
- 2) ไม่เป็นพิษ
- 3) สามารถย่อยสลายได้
- 4) มีความหนาแน่นต่ำ
- 5) มีสมบัติชอบน้ำ
- 6) มีน้ำหนักเบา มีความหนาแน่นน้อย (0.04-0.08 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร) จึงขนส่งง่าย

7) ขุยมะพร้าวมีร่วนมาก (ความพรุนร้อยละ 95.5 (โดยปริมาตร)) จึงสามารถดูดน้ำได้เป็นจำนวนมาก ความสามารถในการเปียกเกิดขึ้นได้ง่ายและรวดเร็ว ซึ่งมีคุณลักษณะคล้ายไฮโดรเจลของพอลิเมอร์สังเคราะห์ ในขณะที่เดียวกันน้ำสามารถกำจัดออกจากเส้นใยได้ง่าย และมีอากาศถ่ายเทเข้าออกในเส้นใยได้ดี ซึ่งเหมาะสำหรับเป็นวัสดุเพาะปลูก

2.1.4 งานวิจัยเกี่ยวกับเส้นใยมะพร้าวและขุยมะพร้าว

Israel และคณะ (Israel, Ogali, Akaranta & Obot, 2010, 60-75) ศึกษาสมบัติการดูดซับน้ำของขุยมะพร้าวที่ระยะ เวลาต่าง ๆ ผลการศึกษาแสดงดังในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 การดูดซับน้ำของขุยมะพร้าว

ระยะเวลาการดูดซับน้ำ (ชั่วโมง)	ร้อยละของปริมาณน้ำที่ดูดซับ
1	65.7
5	70.8
10	77.7
24	85.7

ขุยมะพร้าวดูดซับน้ำได้ดี เนื่องจากโครงสร้างของขุยมะพร้าวมีร่วน นอกจากนี้ขุยมะพร้าวมีเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบที่สำคัญ เซลลูโลสมีหมู่ไฮดรอกซิลเป็นองค์ประกอบจึงมีผลทำให้ขุยมะพร้าวดูดน้ำได้ดี

Suardana Lokantara และ Lim (Suardana, Lokantara & Lim, 2011, 113-125) ศึกษาสมบัติเชิงกลของการเสริมแรงพอลิแลคติกแอซิดด้วยขุยมะพร้าว ผลจากการศึกษาพบว่า การเสริมแรงพอลิแลคติกแอซิดด้วยขุยมะพร้าว ทำให้วัสดุคอมโพสิตดูดน้ำได้เพิ่มขึ้น ซึ่งมีผลทำให้ความต้านทานแรงดึง และความแข็งแรงของการโค้งงอของวัสดุคอมโพสิตลดลง เนื่องจากวัสดุคอมโพสิตมีสมบัติชอบน้ำและดูดน้ำได้ดี

Aireddy และ Mishra (Aireddy & Mishra, 2011, 139-152) เตรียมคอมโพสิตของอีพอกซี โดยใช้ขุยมะพร้าวเป็นวัสดุเสริมแรง ผลจากการศึกษาพบว่าความต้านทานต่อการขาดของคอมโพสิตขึ้นอยู่กับปริมาณของขุยมะพร้าว และแรงที่ใช้ในการขาดบนคอมโพสิต โดยความต้านทานต่อการขาดของคอมโพสิตเพิ่มขึ้น เมื่อปริมาณขุยมะพร้าวเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ความต้านทานต่อการขาดลดลง เมื่อมีแรงกระทำต่อวัสดุคอมโพสิตเพิ่มมากขึ้น

Chandra และคณะ (Chandra, Madhusudan, Raghavendra & Rao, 2012, 371-374) ศึกษาการเสริมแรงอีพอกซีด้วยขุยมะพร้าวในปริมาณต่าง ๆ (ร้อยละ 10 20 และ 30 โดยน้ำหนัก)

ผลจากการศึกษาพบว่า เมื่อปริมาณขุยมะพร้าวในพอลิเมอร์คอมโพสิตเพิ่มขึ้น พอลิเมอร์คอมโพสิต จะมีความคงทนต่อการขัดถูลดลง

Junior และคณะ (Junior, Lopes, Costa & Monteior, 2010, 113-118) ศึกษาสมบัติ ความต้านทานแรงดึงของพอลิเอสเทอร์คอมโพสิตที่เสริมแรงด้วยเส้นใยมะพร้าว ผลจากการศึกษา พบว่า ความต้านทานแรงดึงของคอมโพสิตเพิ่มขึ้น เมื่อผสมเส้นใยมะพร้าวลงไปใพอลิเอสเทอร์ ในปริมาณร้อยละ 40

2.2 วัสดุคอมโพสิต (Composite Materials) (Chowdhury, 2010, n.p.)

วัสดุคอมโพสิต จัดเป็นวัสดุวิศวกรรมซึ่งประกอบด้วยวัสดุสองชนิดหรือมากกว่ามาผสมกัน ซึ่งจะทำให้มีสมบัติในด้านต่าง ๆ ดีกว่าการใช้วัสดุเพียงชนิดใดชนิดหนึ่งเพียงอย่างเดียว

2.2.1 ส่วนประกอบของวัสดุคอมโพสิต

วัสดุคอมโพสิต มีส่วนประกอบที่สำคัญ ดังนี้

- 1) วัฏภาคต่อเนื่อง หรือ วัฏภาคเมทริกซ์ (matrix phase) จัดเป็นวัฏภาคที่เป็นส่วนประกอบหลักของวัสดุคอมโพสิต
- 2) วัฏภาคไม่ต่อเนื่อง วัฏภาคนี้จะกระจายตัวอยู่ในเมทริกซ์ของวัสดุคอมโพสิต การเติมสารตัวเติมลงไปในเมทริกซ์อาจมีจุดประสงค์เพื่อลดต้นทุนการผลิต หรือช่วยเสริมแรงให้กับวัสดุคอมโพสิต ทำให้วัสดุมีสมบัติเชิงกลดีขึ้น

2.2.2 ประเภทของวัสดุคอมโพสิต

ประเภทของวัสดุคอมโพสิต แบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ แบ่งตามชนิดของเมทริกซ์ และแบ่งตามชนิดของสารเสริมแรง

- 1) การแบ่งประเภทของวัสดุคอมโพสิตตามชนิดของเมทริกซ์ แบ่งได้ดังนี้

1.1) วัสดุคอมโพสิตที่มีเมทริกซ์เป็นโลหะ เช่น อะลูมิเนียม แมกนีเซียม คอปเปอร์ เหล็ก การผลิตวัสดุคอมโพสิตของโลหะมีจุดประสงค์เพื่อลดต้นทุนการผลิต วัสดุมีน้ำหนักเบา มีความแข็งแรง

1.2) วัสดุคอมโพสิตที่มีเมทริกซ์เป็นพอลิเมอร์ วัสดุคอมโพสิตประเภทนี้มีการใช้ ในทางการค้ามากที่สุด พอลิเมอร์ที่เป็นเมทริกซ์อาจเป็นเทอร์โมเซต เช่น อีพอกซี เทอร์โมพลาสติก เช่น ไนลอน พอลิสไตรีน

1.3) วัสดุคอมโพสิตที่มีเมทริกซ์เป็นเซรามิก เป็นวัสดุที่มีเมทริกซ์เป็นเซรามิก และวัฏภาคไม่ต่อเนื่องเป็นเซรามิก เพื่อทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีสมบัติตามต้องการ

2) การประเภทของวัสดุคอมโพสิตตามชนิดของวัสดุภาคไม่ต่อเนื่อง แบ่งได้ดังนี้

2.1) วัสดุภาคไม่ต่อเนื่องเป็นอนุภาคของสาร ซึ่งอาจอยู่ในรูปทรงกลม รูปลูกบาศก์ มีลักษณะเป็นเกล็ด หรือรูปทรงอื่น ๆ อนุภาคเหล่านี้จะช่วยเพิ่มด้านความแข็งแรงรูปให้กับวัสดุคอมโพสิต วัสดุภาคไม่ต่อเนื่องที่เป็นอนุภาคของสารมีการใช้งานอย่างกว้างขวาง เพื่อปรับปรุงสมบัติของเมทริกซ์ เช่น สมบัติทางความร้อน สมบัติทางไฟฟ้า ความคงทนต่อการขีดถู สมบัติเชิงกล เป็นต้น

2.2) วัสดุภาคไม่ต่อเนื่องเป็นเส้นใย เมทริกซ์จะยึดกับเส้นใยไว้ และป้องกันเส้นใยจากการถูกทำลาย เส้นใยที่อยู่ในเมทริกซ์จะช่วยรับแรงจากเมทริกซ์ เส้นใยที่ใช้อาจเป็นเส้นใยธรรมชาติ เช่น เส้นใยเซลลูโลสจากพืช หรือเส้นใยสังเคราะห์ เช่น ไนลอน

การเสริมแรงวัสดุคอมโพสิตด้วยเส้นใยธรรมชาติมีข้อดีคือ เส้นใยธรรมชาติเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม สามารถย่อยสลายได้ไม่เป็นพิษ มีความหนาแน่นต่ำ มีน้ำหนักเบา ราคาถูก ส่วนข้อเสียของเส้นใยธรรมชาติคือ เส้นใยจะเกาะรวมตัวกันในระหว่างกระบวนการขึ้นรูปคอมโพสิต และถ้ากระบวนการผลิตต้องใช้ ความร้อนสูง เส้นใยธรรมชาติจะมีความคงทนต่อความร้อนต่ำ

2.3 ไฮโดรเจล

2.3.1 วิธีการเตรียมไฮโดรเจล (Das, 2013, 112-115)

วิธีการเตรียมไฮโดรเจลมีดังนี้

1) การเตรียมไฮโดรเจลจากไฮโมพอลิเมอร์

ไฮโมพอลิเมอร์ไฮโดรเจล เป็นไฮโดรเจลที่เกิดจากมอนอเมอร์เพียงชนิดเดียว เมื่อเกิดปฏิกิริยา พอลิเมอร์ไรเซชัน จะได้ไฮโดรเจลพอลิเมอร์ที่เกิดการเชื่อมขวาง พอลิเมอร์ที่เกิดการเชื่อมขวางจะมีสมบัติชอบน้ำ ไฮโดรเจลชนิดนี้ เช่น พอลิ(2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต) ซึ่งใช้ในระบบนำส่งยา และทำคอนแทกเลนส์ พอลิเอทิลีนไกลคอล ใช้ในการผลิตเนื้อเยื่อ และการนำส่งยา

2) การเตรียมไฮโดรเจลจากพอลิเมอร์ร่วม (copolymer)

พอลิเมอร์ร่วมไฮโดรเจล เป็นไฮโดรเจลที่เกิดการเชื่อมขวางของมอนอเมอร์และโคมอนอเมอร์ โดยมีมอนอเมอร์อย่างน้อยหนึ่งชนิดมีสมบัติชอบน้ำ เพื่อให้ไฮโดรเจลเกิดการพองตัวได้ ตัวอย่างไฮโดรเจลชนิดนี้ เช่น พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ผสมกับเจลาติน เดกซ์ทริน ซึ่งใช้ในระบบการนำส่งยา

อะคริลาไมด์/อะคริลิกแอซิดไฮโดรเจล โดยใช้เอ็น, เอ็น'-เมทิลีนบิสอะคริลาไมด์ เป็นสารเชื่อมขวาง ไฮโดรเจลที่ได้จะมีลักษณะใส เมื่อผสมอนุภาคนาโนของซิลเวอร์ลงไปไฮโดรเจล ทำให้ไฮโดรเจลมีสมบัติต้านทานเชื้อแบคทีเรีย

3) การเตรียมไฮโดรเจลจากพอลิเมอร์กึ่งโครงข่ายเชื่อมโยงซึ่งกันและกัน (semiinterpenetrating polymer network; semi-IPN) เป็นไฮโดรเจลที่เตรียมจากพอลิเมอร์ที่เกิดการเชื่อมโยงเป็นร่างแหชนิดหนึ่งพองตัวอยู่ในมอนอเมอร์อีกชนิดหนึ่ง ถ้าพอลิเมอร์ที่มีโครงสร้างเป็นเส้นตรงแทรกซึมเข้าไปในพอลิเมอร์ที่มีโครงสร้างแบบร่างแห และเกิดพันธะเคมีระหว่างพอลิเมอร์ การเกิดไฮโดรเจลในลักษณะนี้เรียกว่า พอลิเมอร์กึ่งโครงข่ายเชื่อมโยงซึ่งกันและกัน

ไฮโดรเจลชนิดนี้ เช่น พอลิแอลลิลแอมโมเนียมคลอไรด์ที่มีโครงสร้างแบบเส้นตรงในพอลิเมอร์ร่วมของอะคริลาไมด์/อะคริลิกแอซิด โดยใช้เอ็น, เอ็น'-เมทิลีนบิสอะคริลาไมด์ เป็นสารเชื่อมขวาง พันธะเคมีที่เชื่อมโยงระหว่างพอลิเมอร์ทั้งสองชนิดมีทั้งพันธะโคเวเลนต์และพันธะอออนิก พันธะโคเวเลนต์ทำให้โครงสร้างของไฮโดรเจลคงรูป ส่วนพันธะอออนิกทำให้ไฮโดรเจลมีความแข็งแรงสูง

พอลิเมอร์กึ่งโครงข่ายเชื่อมโยงซึ่งกันและกันที่ประกอบด้วยแอลจิเนตและพอลิ(เอ็น-ไอโซโพรพิลอะคริลาไมด์) ที่ผ่านการปรับปรุงให้มีหมู่เอมีนที่ปลายโซ่ของพอลิเมอร์ แอลจิเนตผ่านการเชื่อมขวางด้วยสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ พอลิเมอร์ทั้งสองชนิดนี้จะเกิดพอลิอิเล็กโตรไลต์เชิงซ้อนซึ่งกันและกัน นอกจากนี้หมู่คาร์บอนิลของแอลจิเนตทำปฏิกิริยากับหมู่อะมิโนของพอลิเมอร์ร่วมไฮโดรเจลที่ได้มีสมบัติพองตัวดีที่อุณหภูมิและค่าความเป็นกรด-เบส (pH) ต่าง ๆ

4) พอลิเมอร์โครงข่ายเชื่อมโยงซึ่งกันและกัน (inter penetrating polymer network; IPN) พอลิเมอร์โครงข่ายเชื่อมโยงซึ่งกันและกันเป็นไฮโดรเจลที่เกิดจากพอลิเมอร์ทั้งสองชนิดที่นำมาผลิตเป็นไฮโดรเจลมีการเชื่อมขวางทั้งสองชนิด โดยนำไฮโดรเจลที่มีการพอลิเมไรซ์บางส่วน แخلลงในสารละลายมอนอเมอร์ สารเริ่มปฏิกิริยา (initiator) และสารเชื่อมขวาง จากนั้นทำให้เกิดปฏิกิริยา พอลิเมไรเซชัน และเกิดการเชื่อมขวางของพอลิเมอร์ทั้งสองชนิด การผลิตไฮโดรเจลโดยวิธีนี้ทำให้ ไฮโดรเจลมีความเสถียรดี ตัวอย่างไฮโดรเจลชนิดนี้ เช่น พอลิเมอร์โครงข่ายเชื่อมโยงซึ่งกันและกันของ พอลิยูรีเทน/พอลิอะคริลาไมด์ เตรียมโดยนำพอลิยูรีเทนผสมกับพอลิอะคริลาไมด์ จากนั้นเติมสารเชื่อมขวางด้วยไวนิลฟิโรลลิโดน และเอ็น, เอ็น'-เมทิลีนบิสอะคริลาไมด์ และทำให้เกิดการเชื่อมขวางภายใต้แสงอัลตราไวโอเลต ไฮโดรเจลที่ได้ใช้เป็นวัสดุปิดบาดแผล กล้ามเนื้อเทียม และวัสดุสำหรับแยกสารทางชีวภาพ

2.3.2 สมบัติของไฮโดรเจล (Das, 2013, 115-116)

ไฮโดรเจลเป็นเจลที่มีสมบัติชอบน้ำ ส่วนใหญ่ใช้ในทางยา และทางการแพทย์ สมบัติของไฮโดรเจลที่สำคัญมี ดังนี้

1) สมบัติการพองตัว โฟลิดเมอร์ในไฮโดรเจลมีการเชื่อมขวางกัน ซึ่งอาจเป็นการเชื่อมขวางทางฟิสิกส์ หรือการเชื่อมขวางทางเคมี การเปลี่ยนแปลงของสิ่งแวดล้อมต่าง ๆ มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของไฮโดรเจล

สภาวะแวดล้อมต่าง ๆ เช่น ค่าความเป็นกรด-เบส (pH) อุณหภูมิ สัญญาณทางไฟฟ้า เอนไซม์ หรือไอออนต่าง ๆ ล้วนนำไปสู่การเปลี่ยนแปลงของไฮโดรเจล ซึ่งอาจทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงขนาดของไฮโดรเจล ปริมาณน้ำในไฮโดรเจล

2) สมบัติเชิงกล สมบัติเชิงกลของไฮโดรเจลควรคงรูปอยู่ในตลอดช่วงของการใช้งาน การเปลี่ยนแปลงดัดกรีของการเชื่อมขวางมีผลต่อสมบัติเชิงกลของไฮโดรเจล การเพิ่มดัดกรีของการเชื่อมขวางจะทำให้ไฮโดรเจลมีความแข็งเพิ่มขึ้น แต่จะทำให้ร้อยละของการยืดตัวลดลง ซึ่งอาจทำให้โครงสร้างของไฮโดรเจลเปราะเพิ่มขึ้น ดังนั้นดัดกรีของการเชื่อมขวางจึงต้องอยู่ในระดับที่เหมาะสม เพื่อให้ไฮโดรเจลมีความแข็งแรงและยืดหยุ่นได้ การทำปฏิกิริยาโคพอลิเมอร์เชนด้วยคอมอนอเมอร์ อาจทำให้เกิดพันธะไฮโดรเจนภายในไฮโดรเจล ซึ่งช่วยปรับปรุงไฮโดรเจลทำให้ไฮโดรเจลมีสมบัติตามต้องการ

3) สมบัติความเข้ากันได้ทางชีวภาพ (biocompatible properties) สมบัติความเข้ากันได้ทางชีวภาพและความไม่เป็นพิษ มีความสำคัญต่อการนำไฮโดรเจลไปใช้ในทางการแพทย์

2.3.3 งานวิจัยเกี่ยวกับไฮโดรเจล

ไฮโดรเจลมีข้อจำกัดในการใช้งาน เนื่องจากไฮโดรเจลมีสมบัติเชิงกลต่ำ การปรับปรุงสมบัติเชิงกลของไฮโดรเจลโดยการเสริมแรงด้วยเส้นใยชนิดเทอร์โมพลาสติกมีการศึกษาโดย Lin และคณะ (Lin et al, 2014, 7519-7527) ไฮโดรเจลของแอลจินेटผสมกับพอลิอะคริลาไมด์ เมื่อเสริมแรงด้วยเส้นใย พบว่าค่ามอดุลัส ความเหนียว (toughness) และความเค้นที่จุดคราก (yield stress) มีค่าเพิ่มขึ้น

ไฮโดรเจลส่วนใหญ่มีสมบัติเปราะ (brittle) การพัฒนาไฮโดรเจลที่มีสมบัติเหนียว (tough) แข็ง (stiff) และแข็งแรง (strength) ทำได้โดยการเตรียมไฮบริดไฮโดรเจลและเสริมแรงด้วยเส้นใยแอลจินेट มีสมบัติเชิงกลต่ำ การเตรียมไฮบริดไฮโดรเจลของแอลจินेटผสมกับพอลิอะคริลาไมด์ ทำให้ไฮโดรเจลมีสมบัติเหนียว ไฮบริดไฮโดรเจลนี้เมื่อนำมาเสริมแรงด้วยเส้นใยโลหะสแตนเลส ทำให้ไฮโดรเจลมีความแข็ง และแข็งแรงมากขึ้นกว่าเดิม (Illeperuma, 2014, 1-18)

Bakarich และคณะ (Bakarich et al, 2014, 15998-16006) ศึกษาการเสริมแรง
แอลจินेट/พอลิอะคริลาไมด์ไฮโดรเจลด้วยเส้นใย ผลจากการศึกษาพบว่า ไฮโดรเจลมีการพองตัวดี
และมีสมบัติเชิงกลดีกว่าไฮโดรเจลที่ไม่ได้เสริมแรงด้วยเส้นใย

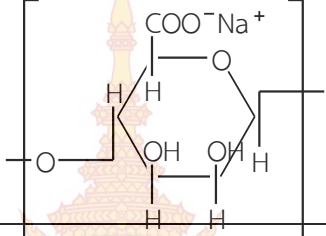
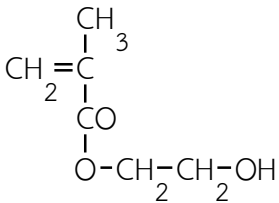
บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 สารเคมี

สารเคมีที่ใช้ในการทดลองมี ดังนี้

ตารางที่ 3.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

ชื่อสารเคมี	สูตรเคมี	บริษัท
ขุยมะพร้าว	-	ตลาดขายต้นไม้
โซเดียมแอลจีเนต (ALG)		Fluka
โพแทสเซียมเพอร์ซัลเฟต	$K_2S_2O_8$	M&B Laboratory Chemical
พอลิอะคริลาไมด์ (PAM)	$-[CH_2CH-CO-NH_2]_n$	บริษัท สตาร์ เทค เคมีคอล อินดัสเทรียล จำกัด
เอ็น,เอ็น'-เมทิลีนบิสอะคริลาไมด์ (MBAM)	$CH_2(NH-CO-CH=CH_2)_2$	Fluka
เอ็น, เอ็น, เอ็น', เอ็น'-เตตระเมทิลเอทิลีนไดเอมีน (TMEDA)	$(CH_3)_2N-CH_2-CH_2-N(CH_3)_2$	Fluka
2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต (HEMA) ความเข้มข้นร้อยละ 97		Fluka

3.2 การเตรียมไฮโดรเจลและไฮโดรเจลคอมโพสิตผสมขุยมะพร้าว

วิธีการทดลอง

1) ผสมโซเดียมแอลจีเนต พอลิอะคริลาไมด์ และ 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลตในปริมาณต่าง ๆ เข้าด้วยกันในน้ำกลั่น

- 2) จากนั้นเติมโพแทสเซียมเพอร์ซัลเฟต และเอ็น, เอ็น'-เมทิลีนบิสอะคริลาไมด์ ลงไป
- 3) ผสมขุยมะพร้าวตามปริมาณที่กำหนดลงไป และคนให้เข้ากัน
- 4) เติมเอ็น, เอ็น, เอ็น', เอ็น'-เตตระเมทิลเอทิลีนไดเอมีน ลงไปในของเหลวข้างต้น และคนให้ เข้ากัน จากนั้นทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง
- 5) เมื่อครบเวลาตามที่กำหนด นำก้อนวัสดุคอมโพสิตอบที่อุณหภูมิ 80°C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง

3.2.1 อิทธิพลของพอลิอะคริลาไมด์ในการเตรียมไฮโดรเจลและไฮโดรเจลคอมโพสิต

อิทธิพลของพอลิอะคริลาไมด์ในการเตรียมไฮโดรเจลและไฮโดรเจลคอมโพสิต ปริมาณสารเคมีที่ใช้แสดงดังในตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 ปริมาณสารที่ใช้ในการศึกษาอิทธิพลของพอลิอะคริลาไมด์ในการเตรียมไฮโดรเจลและไฮโดรเจลคอมโพสิต

ชนิดของไฮโดรเจล	ปริมาณสารเคมีที่ใช้							CoCo (กรัม)
	H ₂ O (กรัม)	PAM (กรัม)	HEMA (มิลลิลิตร)	K ₂ S ₂ O ₈ (กรัม)	TMEDA (มิลลิลิตร)	MBAM (กรัม)	ไม่ผสม	ผสม
PAM 0	20	0	10	0.1	1	0.1	0	2
PAM 0.1	20	0.1	10	0.1	1	0.1	0	2
PAM 0.3	20	0.3	10	0.1	1	0.1	0	2
PAM 0.5	20	0.5	10	0.1	1	0.1	0	2

H ₂ O	= น้ำ
PAM	= พอลิอะคริลาไมด์
HEMA	= 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต
K ₂ S ₂ O ₈	= โพแทสเซียมเพอร์ซัลเฟต
TMEDA	= เอ็น, เอ็น, เอ็น', เอ็น'-เตตระเมทิลเอทิลีนไดเอมีน
MBAM	= เอ็น, เอ็น'-เมทิลีนบิสอะคริลาไมด์
CoCo	= ขุยมะพร้าว

3.2.2 อิทธิพลของโซเดียมแอลจีเนตในการเตรียมไฮโดรเจลและไฮโดรเจลคอมโพสิต

อิทธิพลของโซเดียมแอลจีเนตในการเตรียมไฮโดรเจลและไฮโดรเจลคอมโพสิต ปริมาณสารเคมีที่ใช้แสดงดังในตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 ปริมาณสารที่ใช้ในการศึกษาเตรียมอิทธิพลของโซเดียมแอลจีเนตในการเตรียมไฮโดรเจลและไฮโดรเจลคอมโพสิต

ชนิดของไฮโดรเจล	ปริมาณสารเคมีที่ใช้							
	H ₂ O (กรัม)	ALG (กรัม)	HEMA (มิลลิลิตร)	K ₂ S ₂ O ₈ (กรัม)	TMEDA (มิลลิลิตร)	MBAM (กรัม)	CoCo (กรัม)	
							ไม่ผสม	ผสม
ALG 0	20	0	10	0.1	1	0.1	0	2
ALG 0.2	20	0.2	10	0.1	1	0.1	0	2
ALG 0.4	20	0.4	10	0.1	1	0.1	0	2
ALG 0.6	20	0.6	10	0.1	1	0.1	0	2
ALG 0.8	20	0.8	10	0.1	1	0.1	0	2
ALG 1	20	1	10	0.1	1	0.1	0	2

H₂O = น้ำ
 ALG = โซเดียมแอลจีเนต
 HEMA = 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต
 K₂S₂O₈ = โพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟต
 TMEDA = เอ็น, เอ็น, เอ็น', เอ็น'-เตตระเมทิลเอทิลีนไดเอมีน
 MBAM = เอ็น, เอ็น'-เมทิลีนบิสอะคริลาไมด์
 CoCo = ขุยมะพร้าว

3.2.3 อิทธิพลของขุยมะพร้าวในการเตรียมไฮโดรเจลและไฮโดรเจลคอมโพสิต

ปริมาณสารเคมีที่ใช้แสดงดังในตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 ปริมาณสารที่ใช้ในการศึกษาอิทธิพลของขุยมะพร้าวในการเตรียมไฮโดรเจลและไฮโดรเจลคอมโพสิต

ชนิดของไฮโดรเจล	ปริมาณสารเคมีที่ใช้							
	H ₂ O (กรัม)	ALG (กรัม)	PAM (กรัม)	HEMA (มิลลิลิตร)	K ₂ S ₂ O ₈ (กรัม)	TMEDA (มิลลิลิตร)	MBAM (กรัม)	CoCo (กรัม)
CoCo 0	20	0.4	0.3	10	0.1	1	0.1	0
CoCo 0.1	20	0.4	0.3	10	0.1	1	0.1	0.1
CoCo 0.5	20	0.4	0.3	10	0.1	1	0.1	0.5
CoCo 1.0	20	0.4	0.3	10	0.1	1	0.1	1.0
CoCo 1.5	20	0.4	0.3	10	0.1	1	0.1	1.5
CoCo 2.0	20	0.4	0.3	10	0.1	1	0.1	2

H ₂ O	= น้ำ
ALG	= โซเดียมแอลจิเนต
PAM	= พอลิอะคริลาไมด์
HEMA	= 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต
K ₂ S ₂ O ₈	= โพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟต
TMEDA	= เอ็น, เอ็น, เอ็น', เอ็น'-เตตระเมทิลเอทิลีนไดเอมีน
MBAM	= เอ็น, เอ็น'-เมทิลีนบิสอะคริลาไมด์
CoCo	= ขุยมะพร้าว

3.3 การตรวจสอบลักษณะพื้นผิวของขุยมะพร้าว

การตรวจสอบลักษณะพื้นผิวของขุยมะพร้าวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ตรวจสอบโดยนำขุยมะพร้าวมาเคลือบด้วยทองใน JEOL JEC-1200 Fine Coater และตรวจสอบสัญญาณด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (JSM-5410 LV Scanning Electron Microscope)

3.4 การตรวจสอบสมบัติของไฮโดรเจลและไฮโดรเจลคอมโพสิต

3.4.1 การตรวจสอบหมู่ฟังก์ชันทางเคมีโดยใช้เครื่องอินฟราเรดสเปกโตรโฟมิเตอร์

ไฮโดรเจลและไฮโดรเจลคอมโพสิต นำมาตรวจสอบโดยใช้เทคนิคอินฟราเรดสเปกโตรสโกปี (Perkin-Elmer FT-IR Spectrometer System 2000) ในช่วง 4000-370 เซนติเมตร⁻¹ โดยผสมกับโพแทสเซียมโบรไมด์

บทที่ 4

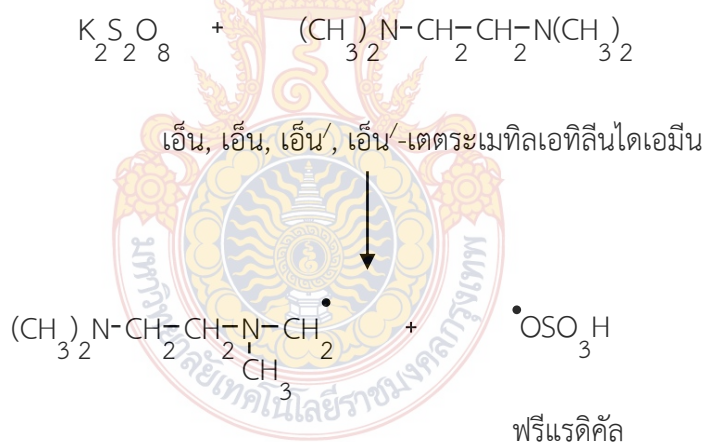
ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

4.1 การเกิดไฮโดรเจลของ 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต

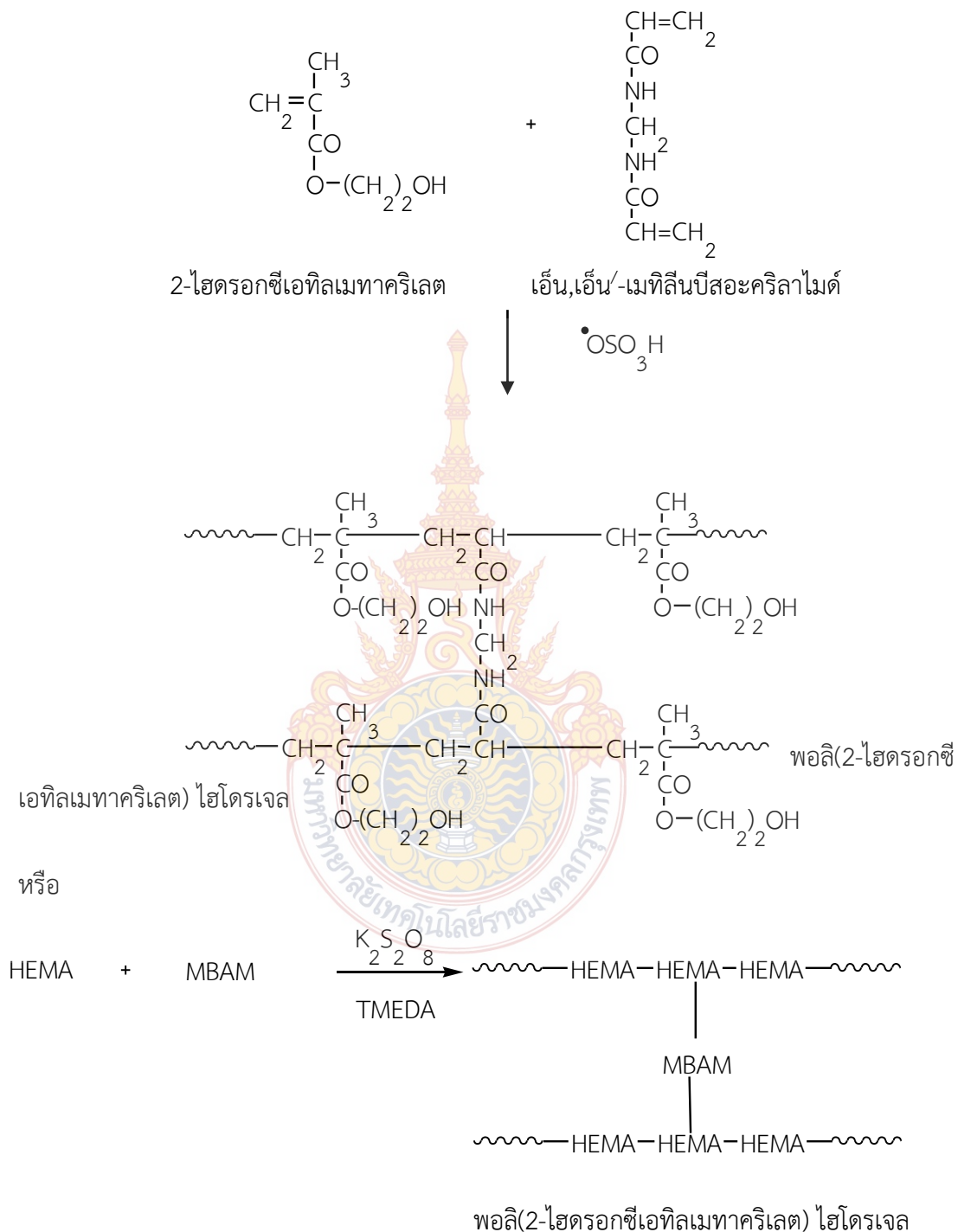
การเกิดไฮโดรเจลของ 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลตเป็นการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันของ 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต ซึ่งจะต้องมีองค์ประกอบที่สำคัญคือ สารเริ่มปฏิกิริยา (initiator) สารเร่ง (accelerator) และสารเชื่อมขวาง (crosslinker) โดยในการศึกษานี้ใช้โพแทสเซียมเพอร์ซัลเฟตเป็นสารเริ่มปฏิกิริยา เอ็น, เอ็น, เอ็น', เอ็น'-เตตระเมทิลเอทิลีนไดเอมีนเป็นสารเร่ง และเอ็น,เอ็น'-เมทิลีนบิสอะคริลาไมด์เป็นสารเชื่อมขวาง

การเกิดไฮโดรเจลของ 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลตมีปฏิกิริยาเกิดขึ้น ดังนี้

1. การทำปฏิกิริยาระหว่างโพแทสเซียมเพอร์ซัลเฟต กับเอ็น, เอ็น, เอ็น', เอ็น'-เตตระเมทิลเอทิลีนไดเอมีน (TMEDA) ทำให้เกิดฟรีแรดิคัล (free radical) ชนิดต่าง ๆ ปฏิกิริยาเกิดขึ้น ดังนี้ (Zhou, Yao & Kurth, 1997, p. 1012)



2. การทำปฏิกิริยาระหว่าง 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต (HEMA) กับเอ็น,เอ็น'-เมทิลีน-บิสอะคริลาไมด์ (MBAM) และฟรีแรดิคัลปฏิกิริยาเกิดขึ้น ดังนี้



4.2 การเตรียมไฮโดรเจลและไฮโดรเจลคอมโพสิตผสมขุยมะพร้าว

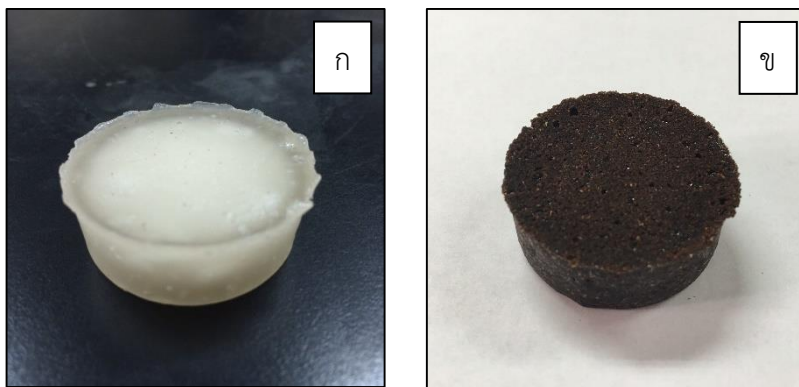
4.2.1 อิทธิพลของพอลิอะคริลาไมด์ต่อสมบัติการดูดน้ำของไฮโดรเจลและไฮโดรเจลคอมโพสิต

ไฮโดรเจลเตรียมจากการนำพอลิอะคริลาไมด์ (PAM) ปริมาณต่าง ๆ มาผสมกับ 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต (10 มิลลิลิตร) การเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันของ 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต ร่วมกับพอลิอะคริลาไมด์จะใช้โพแทสเซียมเพอร์ซันเฟตเป็นการเริ่มปฏิกิริยา เอ็น, เอ็น, เอ็น', เอ็น'-เตตระเมทิลเอทิลีนไดเอมีนเป็นการเร่ง และ เอ็น,เอ็น'-เมทิลีนบิสอะคริลาไมด์เป็นการเชื่อมขวาง ส่วนไฮโดรเจลคอมโพสิตเกิดจากการผสมขุยมะพร้าว (ปริมาณ 2 กรัม) ลงในไฮโดรเจลและไฮโดรเจลคอมโพสิต ลักษณะทางกายภาพของไฮโดรเจลแสดงดังในตารางที่ 4.1 และภาพที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ลักษณะทางกายภาพของไฮโดรเจลและไฮโดรเจลคอมโพสิตจากการใช้พอลิอะคริลาไมด์ในปริมาณต่าง ๆ

ชนิดของไฮโดรเจล	ปริมาณของพอลิอะคริลาไมด์ (กรัม)	ลักษณะทางกายภาพ	
		ไม่ผสมขุยมะพร้าว	ผสมขุยมะพร้าว
PAM 0	0	สีขาวขุ่น แข็ง และคงรูปดี	สีน้ำตาล แข็ง และคงรูปดี
PAM 0.1	0.1	สีขาว แข็ง และคงรูปดี	สีน้ำตาล แข็ง และคงรูปดี
PAM 0.3	0.2	สีขาว แข็ง และคงรูปดี	สีน้ำตาล แข็ง และคงรูปดี
PAM 0.5	0.5	สีขาว แข็ง และคงรูปดี	สีน้ำตาล แข็ง และคงรูปดี





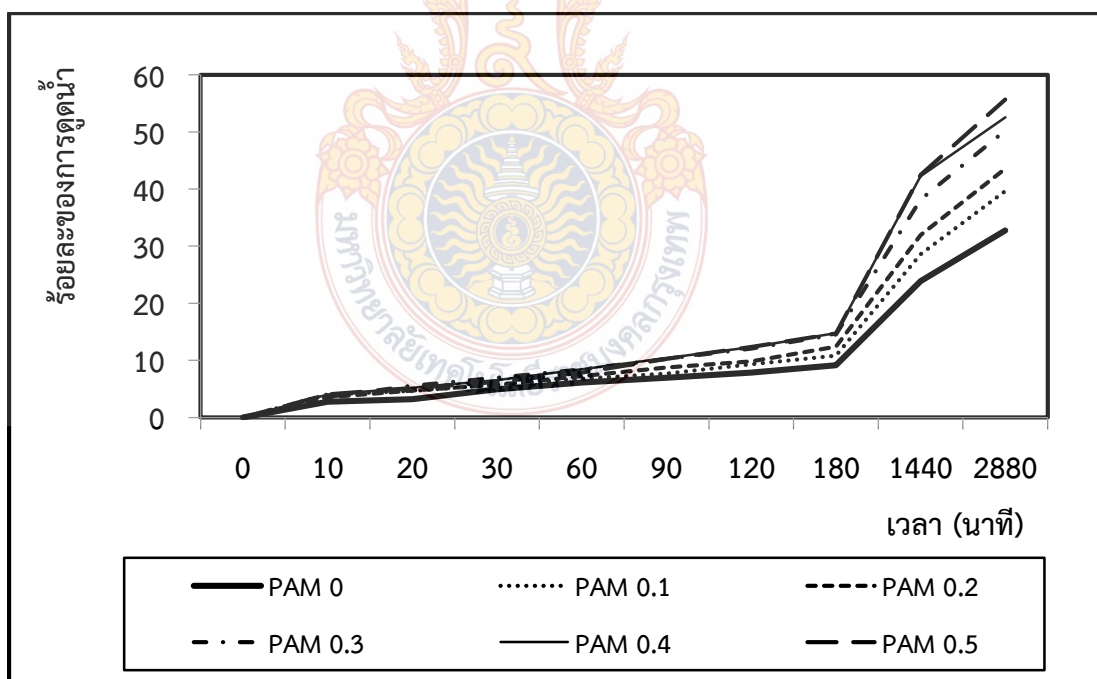
ภาพที่ 4.1 ลักษณะทางกายภาพของไฮโดรเจล (ก) และไฮโดรเจลคอมโพสิต (ข)

ก. พอลิอะคริลาไมด์ 0.3 กรัม

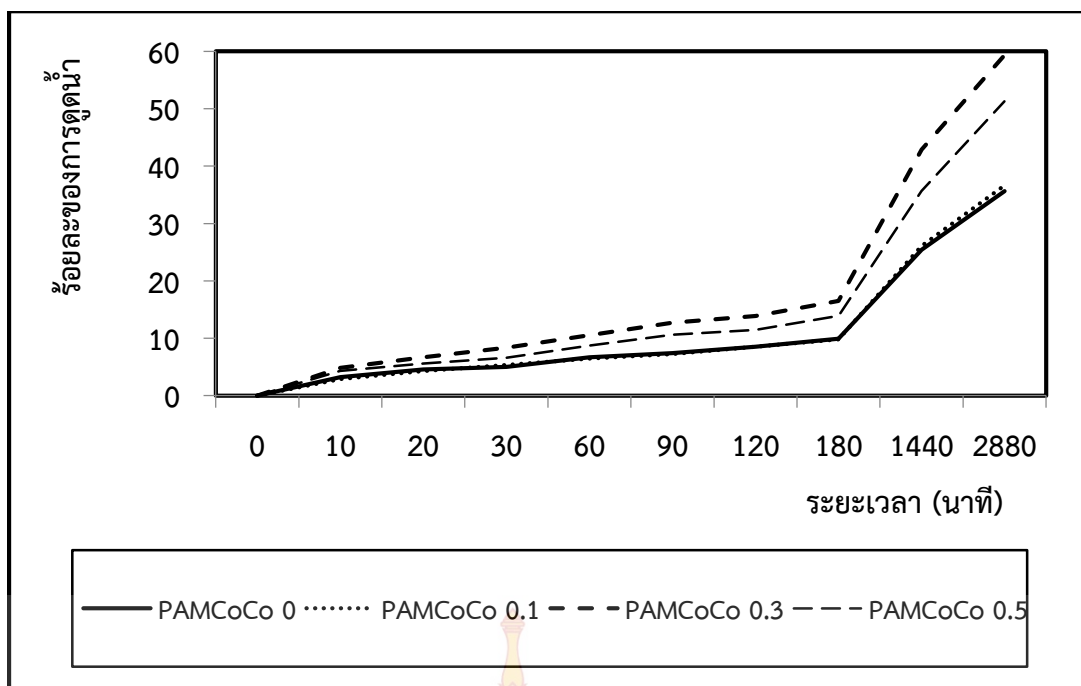
ข. พอลิอะคริลาไมด์ 0.3 กรัมผสมกับขุยมะพร้าว 2 กรัม

ผลจากการศึกษาพบว่าไฮโดรเจลของ 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลตผสมพอลิอะคริลาไมด์ มีสีขาว และเมื่อผสมพอลิอะคริลาไมด์ต่าง ๆ ร่วมกับ 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต ไฮโดรเจลที่ได้จะมีลักษณะแข็งและคงรูปดี ส่วนไฮโดรเจลคอมโพสิตจะมีสีน้ำตาลซึ่งเกิดจากสีของขุยมะพร้าวที่ผสมลงไปไฮโดรเจล

สมบัติการดูดน้ำของไฮโดรเจลและไฮโดรเจลคอมโพสิตแสดงดังในภาพที่ 4.2-4.3



ภาพที่ 4.2 อิทธิพลของพอลิอะคริลาไมด์ต่อสมบัติการดูดน้ำของไฮโดรเจล



ภาพที่ 4.3 อิทธิพลของพอลิอะคริลาไมด์ต่อสมบัติการดูดน้ำของไฮโดรเจลคอมโพสิต

ผลจากการศึกษาพบว่า เมื่อปริมาณของพอลิอะคริลาไมด์เพิ่มขึ้น ไฮโดรเจลจะมีการดูดน้ำเพิ่มขึ้น และการดูดน้ำจะเริ่มคงที่เมื่อใช้พอลิอะคริลาไมด์ 0.3 กรัม (ดูภาพที่ 4.2) การดูดน้ำของพอลิอะคริลาไมด์/พอลิ (2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต) เกิดขึ้นเนื่องจากพอลิอะคริลาไมด์และพอลิ(2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต) มีสมบัติชอบน้ำ โดยพอลิอะคริลาไมด์มีหมู่เอไมด์ ($\text{หมู่}-\text{CO}-\text{NH}_2$) เป็นองค์ประกอบ ส่วนพอลิ (2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต) มีหมู่ไฮดรอกซิล ($\text{หมู่}-\text{OH}$) เป็นองค์ประกอบ นอกจากนี้พอลิ(2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต) จะช่วยให้ไฮโดรเจลสามารถขึ้นรูปได้ตามต้องการ

อิทธิพลของระยะเวลาในการสัมผัสกับน้ำต่อการดูดน้ำของไฮโดรเจลพบว่า เมื่อระยะเวลาในการสัมผัสเพิ่มขึ้น การดูดน้ำของไฮโดรเจลจะเพิ่มขึ้น และเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อทิ้งไว้เป็นเวลา 24 ชั่วโมง การดูดน้ำของไฮโดรเจลเกิดจากเมื่อพอลิเมอร์ของแข็งมีการสัมผัสกับของเหลว ของเหลวจะแพร่เข้าไปในพอลิเมอร์ ทำให้พอลิเมอร์เกิดการพองตัว นอกจากนี้การเคลื่อนที่ของโซ่พอลิเมอร์จะทำให้เกิดช่องว่างระหว่างโซ่พอลิเมอร์ ทำให้น้ำมีการเคลื่อนที่เข้าไปในพอลิเมอร์ได้เช่นกัน (Druzynaka/8 Cznbenko, 2012, 61) ดังนั้นปริมาณของพอลิอะคริลาไมด์มีผลต่อการดูดน้ำของไฮโดรเจล

เมื่อมีการผสมขุยมะพร้าวจำนวน 2 กรัม ลงในพอลิอะคริลาไมด์/พอลิ(2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต) ไฮโดรเจล พบว่าการผสมขุยมะพร้าวทำให้ไฮโดรเจลมีการดูดน้ำลดลง (ดูภาพที่ 4.2 และ 4.3) ทั้งนี้อาจเกิดขึ้นเนื่องจากขุยมะพร้าวสามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนกับพอลิอะคริลาไมด์ ทำให้ช่องว่างในไฮโดรเจลลดลง น้ำจึงแทรกซึมเข้าไปในไฮโดรเจลลดลง นอกจากนี้เมื่อระยะเวลาที่ไฮโดรเจลสัมผัสกับน้ำเพิ่มขึ้น ไฮโดรเจลจะดูดน้ำได้เพิ่มขึ้น และผลจากการศึกษาพบว่า เมื่อใช้พอลิอะคริลาไมด์ 0.3 กรัม ร่วมกับขุยมะพร้าว 2 กรัม มีการดูดน้ำมากที่สุด (ร้อยละ 5.09-59.93)

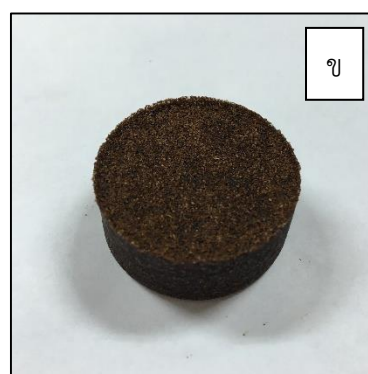
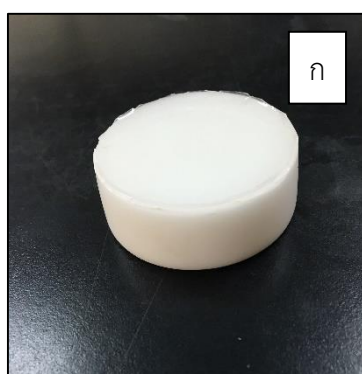
การศึกษาการเตรียมไฮโดรเจลในขั้นต่อไป จึงเลือกใช้พอลิอะคริลาไมด์จำนวน 0.3 กรัม ดังนั้น ขุยมะพร้าวจึงมีผลต่อการดูดน้ำของไฮโดรเจล

4.2.2 อิทธิพลของโซเดียมแอลจีเนตต่อสมบัติการดูดน้ำของไฮโดรเจลและไฮโดรเจลคอมโพสิต

ไฮโดรเจลเตรียมจากการนำโซเดียมแอลจีเนต (ALG) ปริมาณต่างๆ มาผสมกับ 2-ไฮดรอกซีเอทิลทาคริเลต (10 มิลลิลิตร) การเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์เชนซ์ของ 2-ไฮดรอกซีเอทิลทาคริเลต ร่วมกับโซเดียมแอลจีเนต (ALG) จะใช้โพแทสเซียมเพอร์ซันเฟตเป็นการเริ่มปฏิกิริยา เอ็น, เอ็น, เอ็น',-เอ็น'-เตตระเมทิลเอทิลีนไดเอมีนเป็นการเร่ง และ เอ็น,เอ็น'-เมทิลีนบิสอะคริลาไมด์ เป็นสารเชื่อมขวาง ส่วนไฮโดรเจลคอมโพสิตเกิดจากการผสมขุยมะพร้าว (ปริมาณ 2 กรัม) ลงในไฮโดรเจล ลักษณะทางกายภาพของไฮโดรเจลแสดงดังในตารางที่ 4.2 และภาพที่ 4.4

ตารางที่ 4.2 ลักษณะทางกายภาพของไฮโดรเจลจากการใช้โซเดียมแอลจีเนตในปริมาณต่าง ๆ

ชนิดของไฮโดรเจล	ปริมาณของ โซเดียมแอลจีเนต (กรัม)	ลักษณะทางกายภาพ	
		ไม่ผสมขุยมะพร้าว	ผสมขุยมะพร้าว
ALG 0	0	สีขาว แข็ง และคงรูปดี	สีน้ำตาล แข็ง และคงรูปดี
ALG 0.2	0.2	สีเหลืองอ่อน แข็ง และคงรูปดี	สีน้ำตาล แข็ง และคงรูปดี
ALG 0.4	0.4	สีเหลืองอ่อน แข็ง และคงรูปดี	สีน้ำตาล แข็ง และคงรูปดี
ALG 0.6	0.6	สีเหลือง แข็ง และคงรูปดี	สีน้ำตาล แข็ง และคงรูปดี
ALG 0.8	0.8	สีเหลืองเข้ม แข็ง และคงรูปได้ดี	สีน้ำตาล แข็ง และคงรูปดี
ALG 1	1.0	สีเหลืองเข้มไหม้ แข็ง และคงรูปได้ดี	สีน้ำตาล แข็ง และคงรูปดี

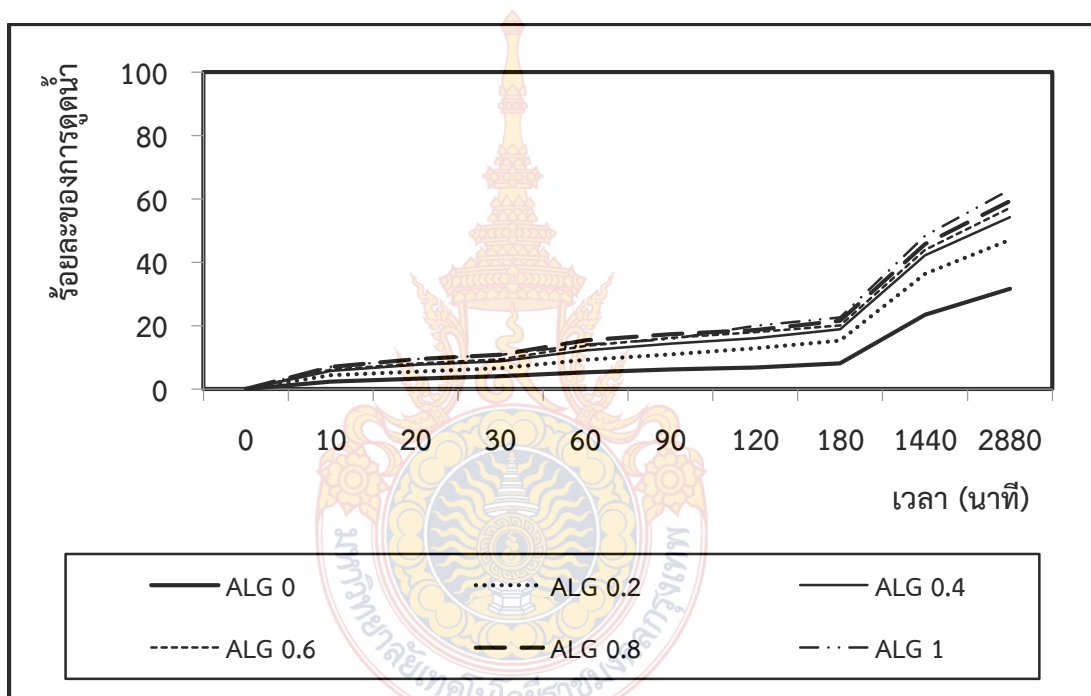


ภาพที่ 4.4 ลักษณะทางกายภาพของไฮโดรเจล (ก) และไฮโดรเจลคอมโพสิต (ข)

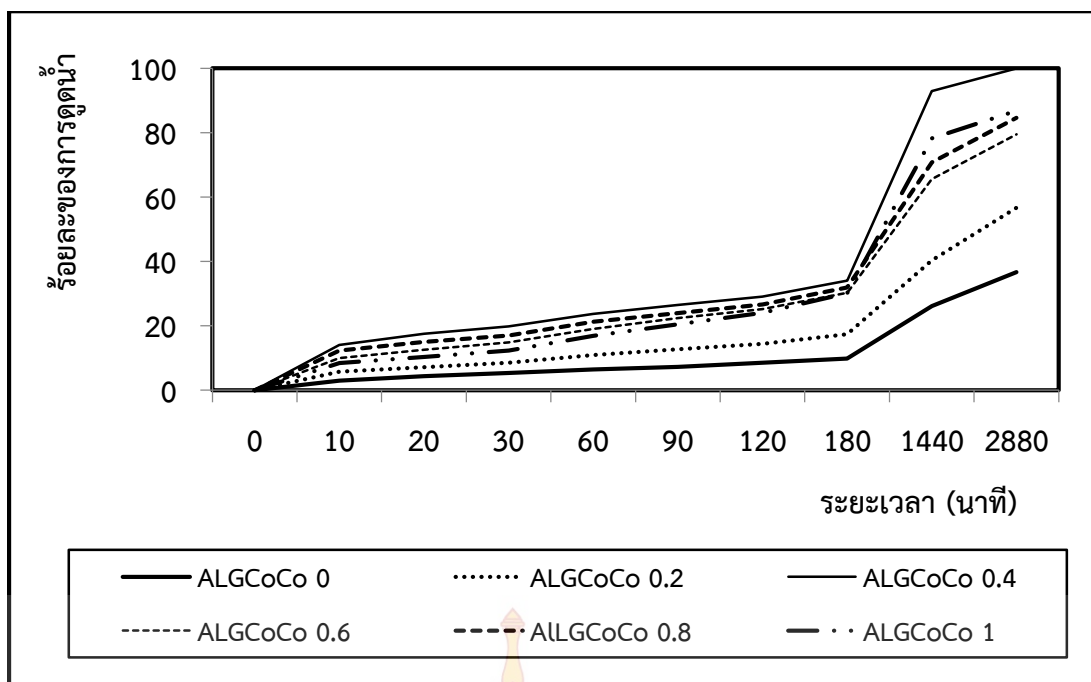
- ก. โซเดียมแอลจีเนต 0 กรัม ไม่ผสมขุยมะพร้าว
 ข. โซเดียมแอลจีเนต 0 กรัม ผสมขุยมะพร้าวปริมาณ 2 กรัม

ผลจากการศึกษาพบว่าไฮโดรเจลของ 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลตมีสีขาว และเมื่อผสมโซเดียมแอลจีเนตปริมาณต่าง ๆ ร่วมกับ 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต ไฮโดรเจลที่ได้จะมีสีเหลืองอ่อนและมีลักษณะแข็งและคงรูปได้ดี ส่วนไฮโดรเจลคอมโพสิตจะมีสีน้ำตาล ซึ่งเกิดจากสีของขุยมะพร้าวที่ผสมลงไปไฮโดรเจล

สมบัติการดูดน้ำของไฮโดรเจลและไฮโดรเจลคอมโพสิตแสดงดังในภาพที่ 4.5-4.6



ภาพที่ 4.5 อิทธิพลของแอลจีเนตต่อสมบัติการดูดน้ำของไฮโดรเจล

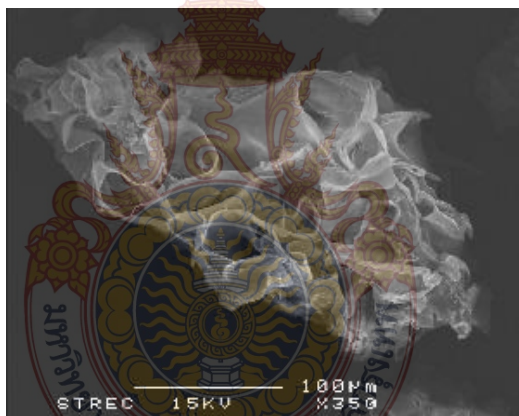


ภาพที่ 4.6 อิทธิพลของแอลจินตต่อสมบัติการดูดน้ำของไฮโดรเจลคอมโพสิต



ผลจากการศึกษาพบว่า เมื่อปริมาณโซเดียมโซเดียมแอลจิเนตเพิ่มขึ้น ไฮโดรเจลดูดน้ำได้เพิ่มขึ้น (ดูภาพที่ 4.5) และเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อไฮโดรเจลมีการสัมผัสกับน้ำเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ซึ่งมีลักษณะคล้ายคลึงกับไฮโดรเจลของพอลิอะคริลาไมด์/พอลิ(2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต) การดูดน้ำของโซเดียมแอลจิเนต/พอลิ(2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต) เกิดจากสมบัติที่ชอบน้ำของโซเดียมแอลจิเนตและพอลิ(2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต) แต่อย่างไรก็ตามพบว่า การดูดน้ำของไฮโดรเจลมีการเพิ่มขึ้นปริมาณน้อยเมื่อใช้โซเดียมแอลจิเนตปริมาณตั้งแต่ 0.6 ขึ้นไป ดังนั้นโซเดียมแอลจิเนตมีผลต่อการดูดน้ำของไฮโดรเจล

การผสมขุยมะพร้าวจำนวน 2 กรัมลงในโซเดียมแอลจิเนต/พอลิ (2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต) ผลจากการศึกษาพบว่า ทำให้ไฮโดรเจลมีการดูดน้ำเพิ่มขึ้นและเพิ่มขึ้นสูงสุด เมื่อใช้โซเดียมแอลจิเนต 0.4 กรัม ร่วมกับขุยมะพร้าวจำนวน 2 กรัม (ดูภาพที่ 4.6) การดูดน้ำที่เพิ่มขึ้นของไฮโดรเจลเมื่อมีการผสมขุยมะพร้าวเป็นเพราะขุยมะพร้าวมีรูพรุนทำให้ไฮโดรเจลดูดน้ำได้ดี (ดูภาพที่ 4.7) และขุยมะพร้าวมีหมู่ $-OH$ นอกจากนี้การผลึกกันของหมู่ $-COO-$ ในโซเดียมแอลจิเนต และหมู่ $-OH$ ในขุยมะพร้าว ทำให้โซ่พอลิเมอร์แยกห่างออกจากกัน และเกิดช่องว่างระหว่างโซ่พอลิเมอร์ โมเลกุลของน้ำจึงแทรกซึมเข้าไปในไฮโดรเจลได้มากขึ้น และการดูดน้ำจะเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาในการดูดน้ำเพิ่มขึ้น ดังนั้นขุยมะพร้าวมีผลต่อการดูดน้ำของไฮโดรเจล และการศึกษาการเตรียมไฮโดรเจลในขั้นต่อไปจะเลือกใช้โซเดียมแอลจิเนตปริมาณ 0.4 กรัม



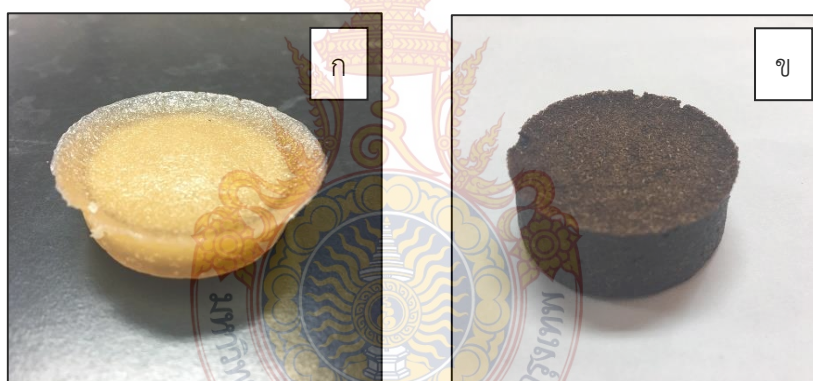
ภาพที่ 4.7 ลักษณะรูพรุนในขุยมะพร้าว

4.2.3 อิทธิพลของขุยมะพร้าวต่อสมบัติการดูดน้ำของไฮโดรเจลและไฮโดรเจลคอมโพสิต

ไฮโดรเจลเตรียมจากการนำโซเดียมแอลจีเนตปริมาณ 0.4 กรัม และพอลิอะคริลาไมด์ปริมาณ 0.3 กรัม มาผสมกับ 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต (10 มิลลิลิตร) ส่วนไฮโดรเจลคอมโพสิตเกิดจากการผสมขุยมะพร้าวในปริมาณต่าง ๆ ลงในไฮโดรเจล ลักษณะทางกายภาพของไฮโดรเจลแสดงดังในตารางที่ 4.3 และ ภาพที่ 4.8-4.9

ตารางที่ 4.3 ลักษณะทางกายภาพของไฮโดรเจลจากการผสมขุยมะพร้าวในปริมาณต่างๆ

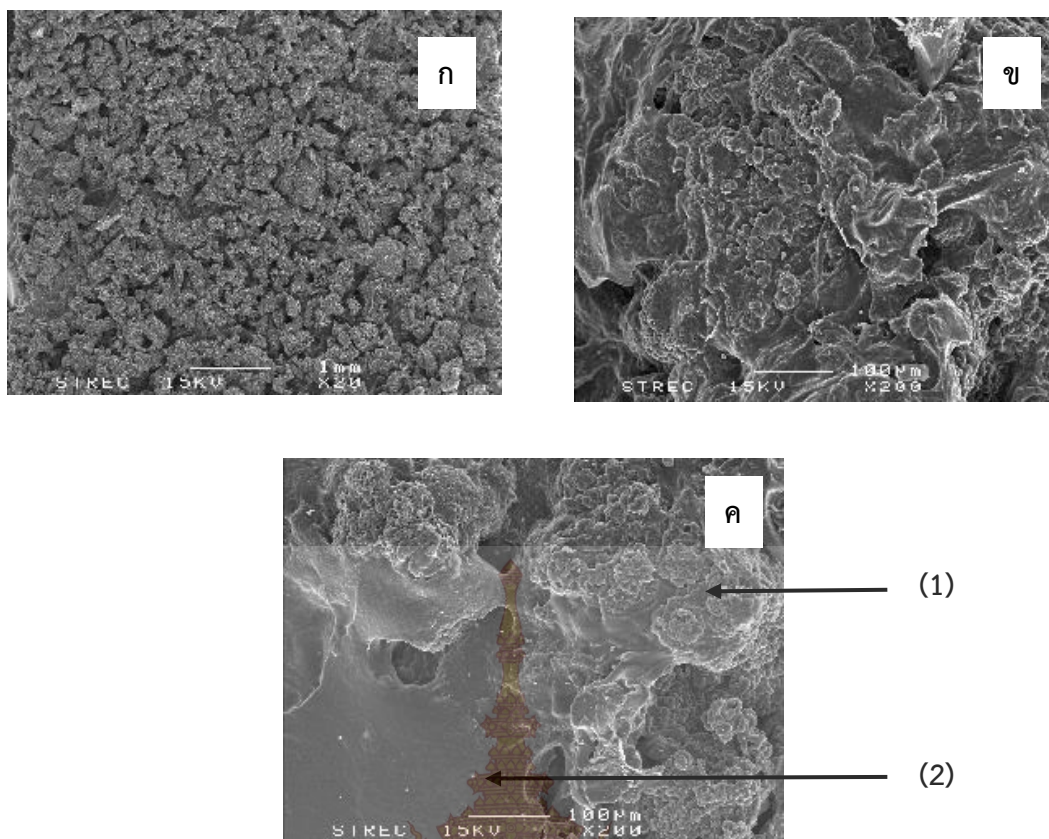
ชนิดของไฮโดรเจล	ปริมาณของ ขุยมะพร้าว (กรัม)	ลักษณะทางกายภาพ
CoCo 0	0	สีเหลือง แข็ง และคงรูปดี
CoCo 0.1	0.1	สีน้ำตาลอ่อน แข็ง และคงรูปดี
CoCo 0.5	0.5	สีน้ำตาลอ่อน แข็ง และคงรูปดี
CoCo 1	1.0	สีน้ำตาล แข็ง และคงรูปดี
CoCo 1.5	1.5	สีน้ำตาลเข้ม แข็ง และคงรูปดี
CoCo 2	2.0	มีสีน้ำตาลเข้ม แข็ง และคงรูปดี



ภาพที่ 4.8 ลักษณะทางกายภาพของไฮโดรเจล (ก) และไฮโดรเจลคอมโพสิต (ข)

ก. ไม่ผสมขุยมะพร้าว

ข. ผสมขุยมะพร้าวปริมาณ 2 กรัม



ภาพที่ 4.9 ลักษณะพื้นผิวของไฮโดรเจลคอมโพสิตที่เกิดจากเตรียมโดยใช้โซเดียมแอลจีเนตปริมาณ 0.4 กรัม พอลิอะคริลาไมด์ปริมาณ 0.3 กรัม 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลตปริมาณ 10 มิลลิลิตร ผสมกับขุยมะพร้าวปริมาณ 2 กรัม

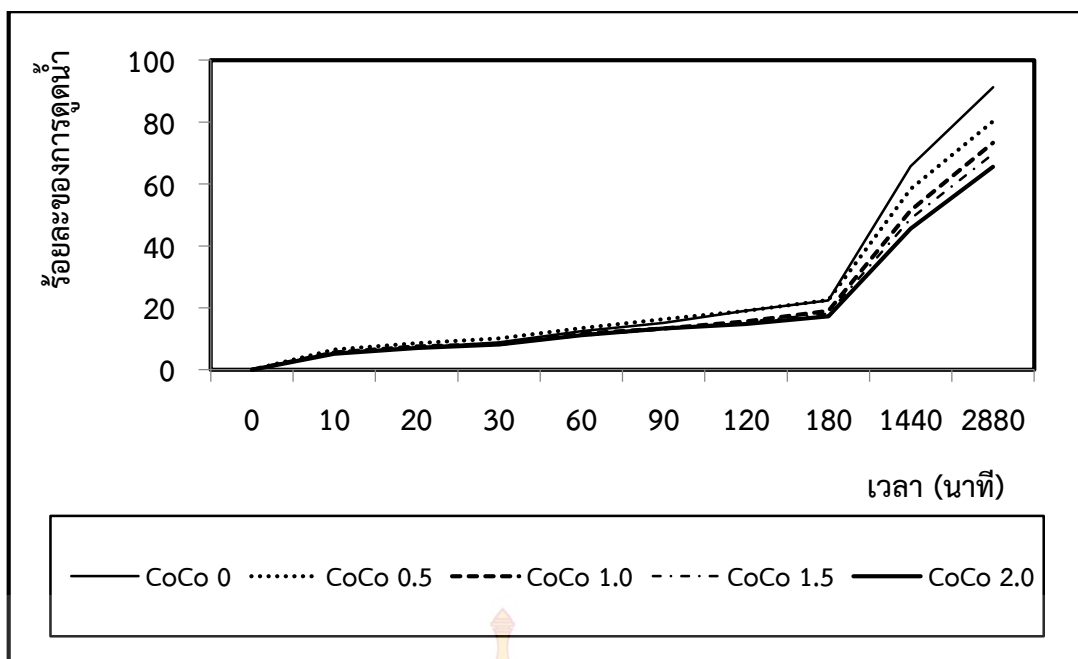
ก. กำลังขยาย 20x

ข. กำลังขยาย 200x แสดงวิญภาคของแอลจีเนต

ค. กำลังขยาย 200x แสดงวิญภาคของแอลจีเนต (1) ร่วมกับวิญภาคของ พอลิอะคริลาไมด์ และ 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต (2)

ผลจากการศึกษาพบว่าไฮโดรเจลของ 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลตผสมโซเดียมแอลจีเนต และพอลิอะคริลาไมด์ ไฮโดรเจลที่ได้จะมีลักษณะแข็งและคงรูปได้ดี ส่วนไฮโดรเจลคอมโพสิต จะมีสีน้ำตาล ซึ่งเกิดจากสีของขุยมะพร้าวที่ผสมลงไปในไฮโดรเจล พื้นผิวมีลักษณะขรุขระ (ดูภาพที่ 4.9) พื้นผิวของไฮโดรเจลคอมโพสิตเมื่อมองด้วยตาเปล่าจะมีลักษณะเรียบ แต่เมื่อตรวจสอบ ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (ดูภาพที่ 4.9) พบว่ามีลักษณะขรุขระ โดยวิญภาคของ แอลจีเนตมีพื้นผิวขรุขระ แต่วิญภาคของ 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลตมีลักษณะเรียบ

สมบัติการดูดน้ำของไฮโดรเจลและไฮโดรเจลคอมโพสิตแสดงดังในภาพที่ 4.10

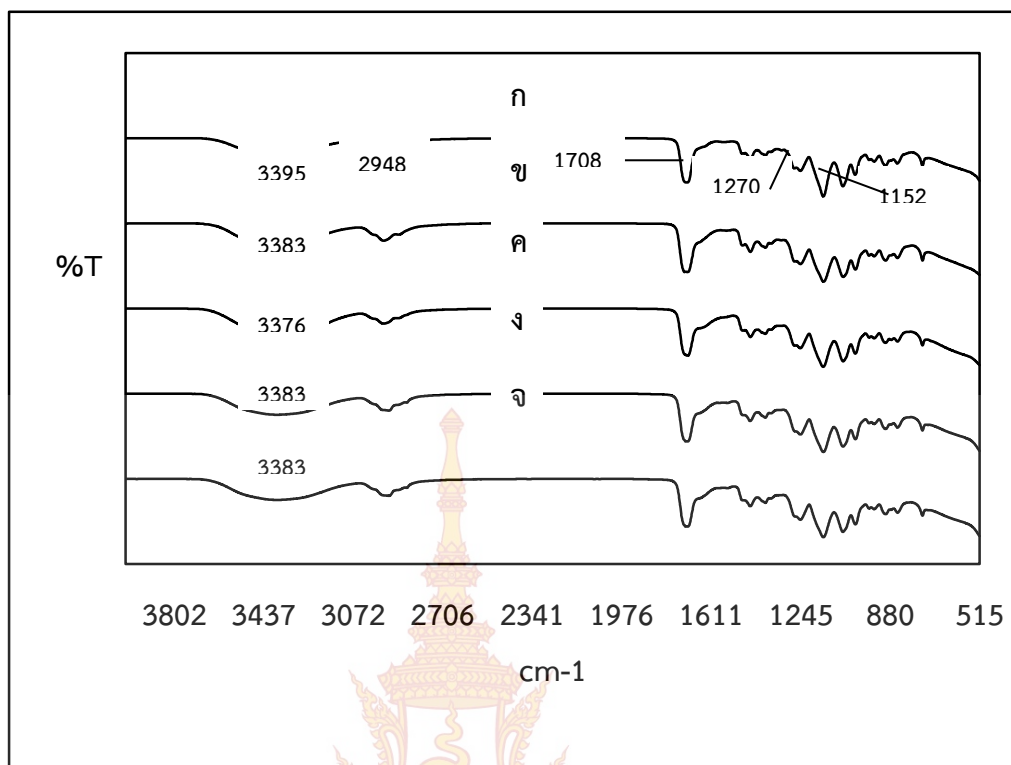


ภาพที่ 4.10 อิทธิพลของขุยมะพร้าวต่อสมบัติการดูดซึมน้ำของไฮโดรเจลและไฮโดรเจลคอมโพสิต

ไฮโดรเจลที่เกิดจากการนำพอลิอะคริลาไมด์ 0.3 กรัม ร่วมกับโซเดียมแอลจีเนต 0.4 กรัม และพอลิ (2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต) ในปริมาณคงที่ (10 มิลลิลิตร) และศึกษาอิทธิพลของขุยมะพร้าวต่อสมบัติการดูดน้ำของไฮโดรเจล ผลของการศึกษาพบว่า การดูดน้ำจะเพิ่มขึ้น เมื่อเวลาที่ใช้ในการดูดน้ำเพิ่มขึ้น แต่เมื่อปริมาณขุยมะพร้าวเพิ่มขึ้น การดูดน้ำของไฮโดรเจลจึงลดลง ทั้งนี้เป็นผลเนื่องจากการเกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างหมู่ -OH ในขุยมะพร้าวกับหมู่ -CO-NH₂ ของพอลิอะคริลาไมด์ ช่องว่างระหว่างโซ่พอลิเมอร์จึงลดลง การดูดน้ำของไฮโดรเจลจึงลดลงเมื่อปริมาณของขุยมะพร้าวเพิ่มขึ้น โดยอิทธิพลจากการเกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างหมู่ -OH และหมู่-CO-NH₂ มีมากกว่าการเกิดแรงผลักระหว่างหมู่ -OH ในขุยมะพร้าวกับหมู่ -COO- ของโซเดียม-แอลจีเนตที่จะทำให้โซ่พอลิเมอร์แยกห่างออกจากกัน ดังนั้นปริมาณขุยมะพร้าวมีผลต่อการดูดน้ำของไฮโดรเจล

4.2.4 การเปรียบเทียบสมบัติการดูดน้ำของไฮโดรเจลและไฮโดรเจลคอมโพสิต

ไฮโดรเจลและไฮโดรเจลคอมโพสิตนำมาตรวจสอบหมู่ฟังก์ชันโดยใช้เครื่องอินฟราเรดสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ผลการศึกษาแสดงดังในภาพที่ 4.11



ภาพที่ 4.11 อินฟราเรดสเปกตรัมของไฮโดรเจลและไฮโดรเจลคอมโพสิตผสมขุยมะพร้าว

- ก. พอลิ (2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต) ไฮโดรเจล
- ข. พอลิอะคริลาไมด์/พอลิ (2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต) ไฮโดรเจล
- ค. แอลจีเนต/พอลิ (2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต) ไฮโดรเจล
- ง. พอลิอะคริลาไมด์/แอลจีเนต/พอลิ (2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต) ไฮโดรเจล
- จ. พอลิอะคริลาไมด์/แอลจีเนต/พอลิ (2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต)/ขุยมะพร้าว

ไฮโดรเจลคอมโพสิต

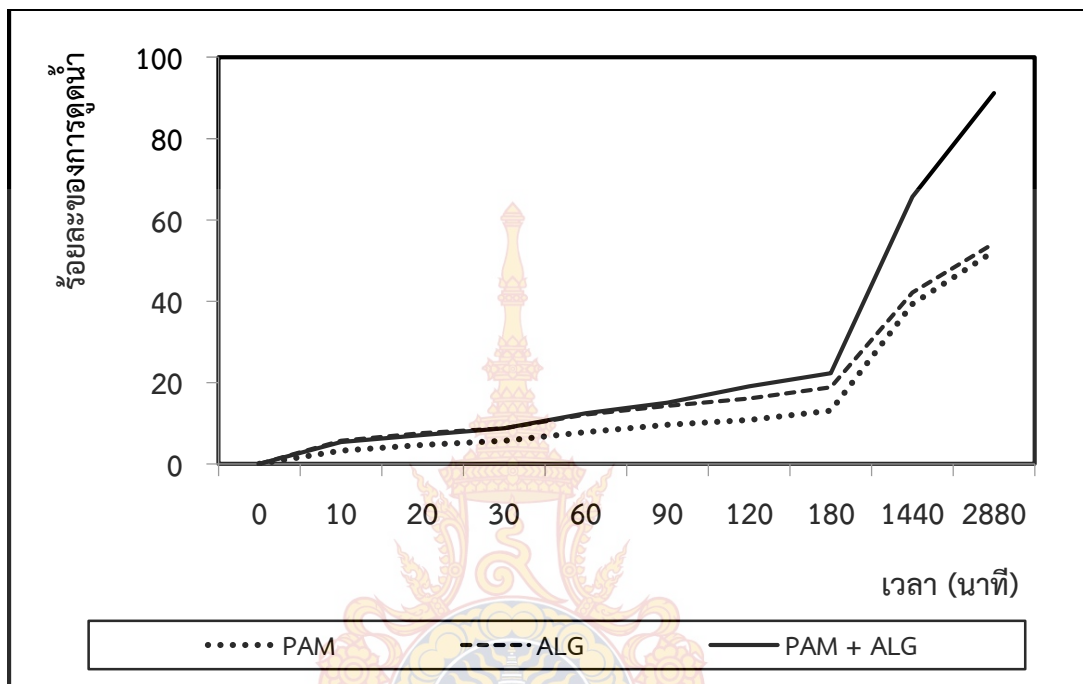
โดยทั่วไปพอลิ (2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต) ปรากฏสเปกตรัมของการดูดกลืนแสงของหมู่ -OH ที่บริเวณ 3,400 เซนติเมตร⁻¹ ปรากฏสเปกตรัมของหมู่ -CH₃ ที่บริเวณ 2,900 เซนติเมตร⁻¹ ปรากฏสเปกตรัมของ C=O ที่บริเวณ 1,726 และ 1,260 เซนติเมตร⁻¹ (Ferreira, Vidal and Gil, 2000, 173)

พอลิอะคริลาไมด์ ปรากฏสเปกตรัมของการดูดกลืนแสงของหมู่ N-H ที่บริเวณ 3,335 เซนติเมตร⁻¹ ปรากฏสเปกตรัมของหมู่ C=O ที่บริเวณ 1,660 เซนติเมตร⁻¹ (Murugan, Mohas and Bigotto, 1998, 509)

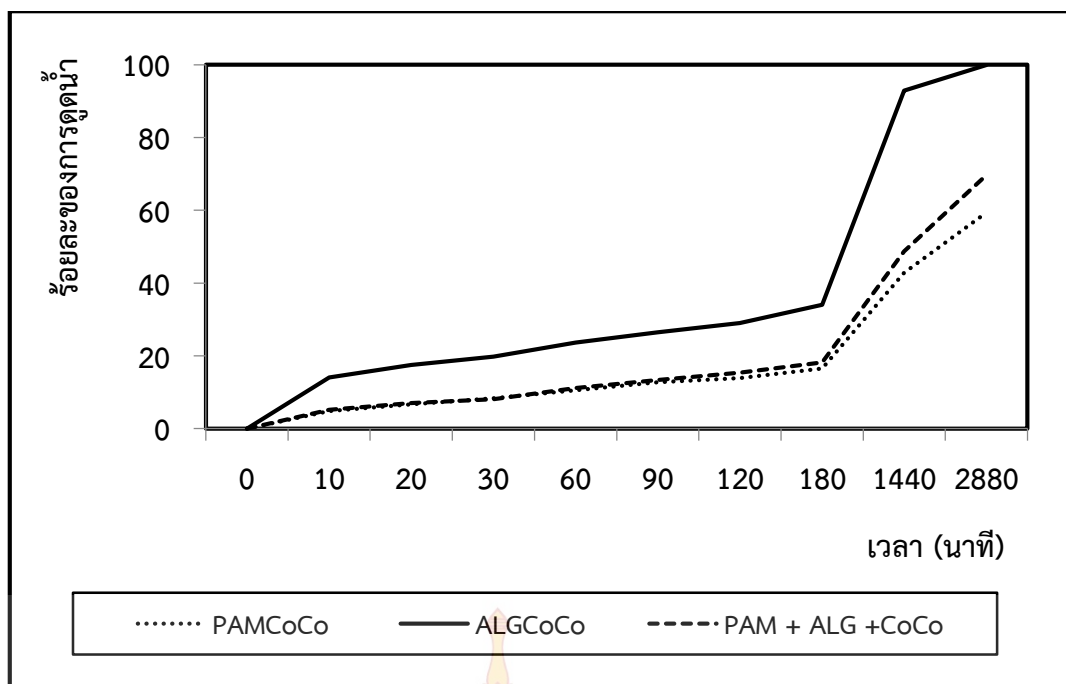
โซเดียมแอลจีเนต ปรากฏสเปกตรัมของการดูดกลืนแสงของหมู่ -OH ที่บริเวณ 3,435 เซนติเมตร⁻¹ ปรากฏสเปกตรัมของหมู่ -COO⁻ ที่บริเวณ 1,627 เซนติเมตร⁻¹ ปรากฏสเปกตรัมของหมู่ C-O ใน C-O-C ที่บริเวณ 1,130 เซนติเมตร⁻¹ (Kim, Yoon and Kim, 2004, 3706)

ในงานวิจัยนี้พบว่า สเปกตรัมของการดูดกลืนแสงของไฮโดรเจลและไฮโดรเจลคอมโพสิตมีลักษณะคล้ายคลึงกัน ซึ่งเกิดขึ้นเนื่องจากสารเคมีที่ใช้ในการเตรียมไฮโดรเจลและขุยมะพร้าวที่ผสมลงไปไฮโดรเจลมีโครงสร้างทางเคมีที่คล้ายคลึงกัน

เมื่อเปรียบเทียบการดูดน้ำของไฮโดรเจลและไฮโดรเจลคอมโพสิตชนิดต่าง ๆ ผลการศึกษาแสดงดังภาพที่ 4.12-4.13



ภาพที่ 4.12 สมบัติการดูดซึมน้ำของไฮโดรเจลชนิดต่าง ๆ



ภาพที่ 4.13 สมบัติการดูดซึมน้ำของไฮโดรเจลคอมโพสิตชนิดต่าง ๆ

เมื่อเปรียบเทียบสมบัติการดูดน้ำของพอลิอะคริลาไมด์ไฮโดรเจล (ใช้พอลิอะคริลาไมด์ 0.3 กรัม) โซเดียมแอลจิเนตไฮโดรเจล (ใช้โซเดียมแอลจิเนต 0.4 กรัม) และไฮโดรเจลของพอลิอะคริลาไมด์ผสมกับโซเดียมแอลจิเนต (ดูภาพที่ 4.12) ผลจากการศึกษาพบว่า โซเดียมแอลจิเนตไฮโดรเจลดูดน้ำได้ดีกว่าพอลิอะคริลาไมด์ไฮโดรเจล ทั้งนี้เนื่องจากหมู่ $-COONa$ โซเดียมแอลจิเนตเกิดการผลึกซึ่งกันและกัน โซพอลิเมอร์จึงแยกห่างออกจากกัน โมเลกุลของน้ำจึงเข้าไปในโซพอลิเมอร์ได้ดี ส่วนพอลิอะคริลาไมด์มีหมู่ $-CO-NH_2$ เป็นองค์ประกอบ ซึ่งสามารถเกิดไฮโดรเจนซึ่งกันและกันได้ ช่องว่างระหว่างโซพอลิเมอร์จึงลดลง การดูดน้ำของพอลิอะคริลาไมด์ไฮโดรเจลจึงน้อยกว่าโซเดียมแอลจิเนตไฮโดรเจล โดยมีการศึกษาพบว่าการเกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างหมู่เอไมด์ภายในโมเลกุลของพอลิอะคริลาไมด์ จึงทำให้จำนวนหมู่ฟังก์ชันที่มีสมบัติชอบน้ำของพอลิเมอร์รวมในไฮโดรเจลลดลง (Isik, 2000, 147-156)

เมื่อมีการใช้พอลิอะคริลาไมด์ร่วมกับโซเดียมแอลจิเนต พบว่าการดูดน้ำของไฮโดรเจลเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ซึ่งแสดงว่าสมบัติที่ชอบน้ำของพอลิเมอร์ทั้งสองชนิด มีส่วนเสริมซึ่งกันและกัน แต่เมื่อมีการผสมขุยมะพร้าวลงไป (ดูภาพที่ 4.13) การดูดน้ำของไฮโดรเจลมีค่าลดลง ทั้งนี้เนื่องจากการเกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างหมู่ $-OH$ ของมะพร้าวกับหมู่ $-CO-NH_2$ ในพอลิอะคริลาไมด์ น้ำจึงแทรกซึมเข้าไปในไฮโดรเจลได้น้อยลง

บทที่ 5

บทสรุป

งานวิจัยนี้ศึกษาการเตรียมและสมบัติการดูดน้ำของไฮโดรเจลผสมขุยมะพร้าว สามารถสรุปการวิจัยได้ดังนี้

5.1 สรุปผล

1. การผสมพอลิอะคริลาไมด์หรือโซเดียมแอลจีเนตลงใน 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต ทำให้ไฮโดรเจลดูดน้ำได้เพิ่มขึ้น และการดูดน้ำจะเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณของพอลิอะคริลาไมด์หรือโซเดียมแอลจีเนตเพิ่มขึ้น
2. การผสมขุยมะพร้าวลงในโซเดียมแอลจีเนตไฮโดรเจล ทำให้ไฮโดรเจลดูดน้ำเพิ่มขึ้น แต่การผสมขุยมะพร้าวลงในพอลิอะคริลาไมด์ไฮโดรเจล และพอลิอะคริลาไมด์ผสมกับโซเดียมแอลจีเนต จะทำให้ไฮโดรเจลดูดน้ำได้ลดลง
3. การดูดน้ำของไฮโดรเจลและไฮโดรเจลคอมโพสิตขึ้นอยู่กับปริมาณของพอลิอะคริลาไมด์ โซเดียม-แอลจีเนต ขุยมะพร้าว และระยะเวลาที่ไฮโดรเจลสัมผัสกับน้ำ

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ศึกษาโดยใช้มอนอเมอร์ชนิดอื่น เช่น อะคริลิกแอซิด แทน 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต
2. ใช้อะคริลาไมด์มอนอเมอร์ร่วมกับ 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต เนื่องจากพอลิอะคริลาไมด์ที่ใช้ศึกษานี้มีน้ำหนักโมเลกุลสูง โซพอลิเมอร์มีความยาวมาก จึงละลายน้ำได้ยาก



เอกสารอ้างอิง

- กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรมศุลกากร, สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. (2559). **ศูนย์ข้อมูลผลไม้** [ออนไลน์]. สืบค้นจาก <http://www.oae.go.th/fruits/index.php/technology>
- สำนักงานยุทธศาสตร์การพาณิชย์, กลุ่มวิจัยเศรษฐกิจการค้าการลงทุน. (2553). **มะพร้าว** [ออนไลน์]. สืบค้นจาก http://fic.nfi.or.th/food/upload/pdf17_1688pdf
- Abad, M. et al. (2005). Physical Properties of Various Coconut Coir Dusts Compared to Peat. **Hort Science**, 40 (7), 2138-2144.
- Abdullah, M.M.B. (2010). **Biodegradation Behavior of Coconut Husk (Coir) Fiber Reinforced Starch Bio-Composite**. A Thesis Bachelor of Chemical Engineering (Biotechnology). Faculty of Chemical and Natural Resources Engineering, University of Malaysia Pahang.
- Airedy, H and Mishra, S.C. (2011). Tribological Behaviour and Mechanical Properties of Bio Waste Reinforced Polymer Matrix Composites **Journal of Metal and Material Science**. 53 (2),139-152.
- Asiah, A. Mohd, R.I., Khanf, R.Y., Marziah, M & Shaharuddin, M. (2004). Physical and Chemical Properties of Coconut Coir Dust and Oil Palm Empty Fruit Bunch and the Growth of Hybrid Heat Tolerant Cauliflower Plant. **Pertanika Journal of Tropical Agricultural Science**. 27 (2), 121-133.
- Bakarich, S.E. et al. (2014). Three-Dimensional Printing Fiber Reinforced Hydrogel Composite. **ACS Applied Material Interfaces**. 6 (18), 15998-16006.
- Boopalan, M., Umapathy, M.J. and Jenyfer, P. (2012). A Comparative Study on the Mechanical Properties of Jute and Sisal Fiber Reinforced Polymer Composite. **Silicon**. 4, 145-149.
- Bradley, W. and Huang, H. (n.d.). **Converting Coconut into Value-Added Products: Serving christ by serving the poorest of the poor**. Waco, Texas: Baylor University.
- Chandra, R.C.H. et al. (2012). Investigation into Wear Behavior of Coir Fiber Reinforced Epoxy Composites with the Taguchi Method. **Journal of Engineering Research Application**. 2 (5), 371-374.
- Chowdhry, D. (2010). **Study on Mechanical Behaviour of Wood Dust Filled Polymer Composites**. National Institute of Technology Rourkela.
- Das, N. (2013). Preparation Methods and Properties of Hydrogel: Review. **International Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Science**. 5 (3), 112-117.

- Graniron, Jr. T.U. (2013). Investigation on the Use of Coco Coir Polypropylene as Thermal Insulator. **International Journal of Advanced Science and Technology**. 59, 13-26.
- Greer, S.B.M.E. (2008). **Converting Coconut Husks into Binderless Particle Board**. A Thesis Master Science in Mechanical Engineering. Department of Engineering, Baylor University, Waco, Texas,
- Illeperuma, W.R.K. et al. (2014). Fiber-Reinforced Tough Hydrogel. **Extreme Mechanics Letters**. 1, 1-18.
- Israel, A. Ogali,R., Akaranta, O., & Obot, I. B.. (2010). Removal of Cu(II) from Aqueous Solution Using Coconut (*Cocos nucifera L.*) Coir Dust. **Der Pharma Chemica**. 2 (5), 60-75.
- Junior, H.P.G.H., Lopes, F.P.D., Costa, L.L., & Monteior,S.N. (2010). Mechanical Properties of Tensile tested Coir fiber reinforced Polyester Composite. **Revista Materia**. 15 (2), 113-118.
- Lin, S. et al. (2014). Design of Stiff, Tough and Stretchy Hydrogel Composites via Nanoscale Hybrid Crosslinking and Macroscale Fiber Reinforcement. **Soft Matter**. 10, 7519-7527.
- Rawangkul, R., Khedari,J., Hirunlabh, J. & Zeghmami, B. (2010). Characteristics and Performance Analysis of a Natural Desiccant Prepared from Coconut Coir. **Science Asia**. 36, 216-222.
- Santafe, Jr, H.P.G. et al. (2010). Mechanical Properties of Tensile Tested Coir Fiber Reinforced Polyester Composite. **Revista Materia**. 15, 113-118.
- Suardana, N.P.G., Lokantara, L.P. and Lim, J.L. (2011). Influence of Water Absorption on Mechanical Properties of Coconut Coir Fiber/Poly-Lactic Acid Biocomposites. **Materials Physics and Mechanics**. 12, 113-125.
- Waifielate,A.A. and Abiola, B.O. (2008). **Mechanical Property Evaluation of Coconut Fibre**. A Thesis Master Science in Mechanical Engineering. Department of Mechanical Engineering, Blekinge Institute of Technology, Karlskrona, Sweden,
- Westrup, J.L. et al. (2014). Effect of Chemical Treatments on the Properties of HDPE Composite with *Luffa cylindrical* Fiber. **Cellulose Chemistry and Technology**. 48 (3-4), 337-344.

ภาคผนวก ก

อิทธิพลของพอลิอะคริลาไมด์ต่อการดูดซึมของไฮโดรเจลและไฮโดรเจลคอมโพสิต



ตารางที่ 1 การดูดน้ำของไฮโดรเจลชนิด PAM 0

เวลา (นาทึ)	ร้อยละของการดูดน้ำ			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย
0	0	0	0	0
10	2.38	3.11	2.78	2.76
20	3.19	3.58	4.65	3.81
30	4.07	4.76	5.99	4.94
60	5.25	6.44	6.73	6.14
90	6.13	7.32	7.39	6.95
120	6.82	8.12	8.66	7.87
180	8.08	9.75	9.53	9.12
1440	23.48	23.17	24.98	23.88
2880	31.62	32.78	33.77	32.72



ตารางที่ 2 การดูดน้ำของไฮโดรเจลชนิด PAM 0.1

เวลา (นาทื)	ร้อยละของการดูดน้ำ			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย
0	0	0	0	0
10	3.06	4.34	4.82	4.07
20	3.80	4.99	5.13	4.64
30	4.68	5.48	6.98	5.71
60	6.12	6.88	7.43	6.81
90	7.68	7.23	8.11	7.67
120	8.61	9.54	9.83	9.33
180	9.86	10.87	11.79	10.84
1440	28.52	30.56	26.73	28.60
2880	39.51	38.66	40.72	39.63



ตารางที่ 3 การดูดน้ำของไฮโดรเจลชนิด PAM 0.3

เวลา (นาทื)	ร้อยละของการดูดน้ำ			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย
0	0	0	0	0
10	3.24	4.54	4.29	4.02
20	4.63	5.87	5.04	5.18
30	5.69	7.54	6.33	6.52
60	7.81	8.99	8.51	8.44
90	9.60	11.32	10.32	10.41
120	10.79	14.32	11.75	12.29
180	13.11	15.78	15.44	14.78
1440	39.27	43.87	43.56	42.23
2880	52.32	53.45	51.83	52.53



ตารางที่ 4 การดูดน้ำของไฮโดรเจลชนิด PAM 0.5

เวลา (นาทื)	ร้อยละของการดูดน้ำ			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย
0	0	0	0	0
10	3.74	4.28	4.11	4.04
20	4.74	5.83	4.98	5.18
30	5.47	6.91	6.33	6.24
60	7.68	8.35	7.54	7.86
90	9.75	10.22	10.76	10.24
120	11.35	12.93	12.72	12.33
180	13.68	15.33	14.99	14.67
1440	40.19	43.67	43.65	42.50
2880	55.14	54.99	56.82	55.65



ตารางที่ 5 การดูดน้ำของไฮโดรเจลคอมโพสิตชนิด PAM 0

เวลา (นาทื)	ร้อยละของการดูดน้ำ			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย
0	0	0	0	0
10	3.21	2.88	3.99	3.36
20	4.58	3.98	4.76	4.44
30	5.01	4.78	6.44	5.41
60	6.68	6.39	7.64	6.90
90	7.42	8.21	8.98	8.20
120	8.54	8.98	9.01	8.84
180	9.90	10.45	10.45	10.27
1440	25.43	26.15	26.02	25.87
2880	35.64	34.12	37.98	35.91



ตารางที่ 6 การดูดน้ำของไฮโดรเจลคอมโพสิตชนิด PAM 0.1

เวลา (นาทึ)	ร้อยละของการดูดน้ำ			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย
0	0	0	0	0
10	2.91	3.17	3.11	3.06
20	4.31	4.01	5.66	4.66
30	5.32	5.12	6.92	5.79
60	6.44	7.22	7.43	7.03
90	7.25	7.99	8.44	7.89
120	8.5	8.65	9.09	8.75
180	9.82	11.87	10.43	10.71
1440	26.08	27.32	25.77	26.39
2880	36.65	37.99	39.88	38.17



ตารางที่ 7 การดูดน้ำของไฮโดรเจลคอมโพสิตชนิด PAM 0.3

เวลา (นาทื)	ร้อยละของการดูดน้ำ			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย
0	0	0	0	0
10	4.84	5.88	4.55	5.09
20	6.7	7.32	7.58	7.20
30	8.34	9.11	9.11	8.85
60	10.56	11.32	10.32	10.73
90	12.72	13.21	13.57	13.17
120	13.86	14.88	14.99	14.58
180	16.49	15.43	17.32	16.41
1440	42.87	43.21	43.59	43.22
2880	59.35	60.43	60.02	59.93



ตารางที่ 8 การดูดน้ำของไฮโดรเจลคอมโพสิตชนิด PAM 0.5

เวลา (นาทื)	ร้อยละของการดูดน้ำ			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย
0	0	0	0	0
10	4.3	4.1	5.77	4.72
20	5.58	6.13	6.12	5.94
30	6.61	7.43	7.43	7.16
60	8.73	9.55	9.55	9.28
90	10.61	11.25	11.98	11.28
120	11.46	12.76	12.34	12.19
180	13.88	14.88	15.33	14.70
1440	35.65	34.21	36.22	35.36
2880	51.3	52.54	50.67	51.50



ภาคผนวก ข

อิทธิพลของแอลจินต์ต่อการดูดซึมของไฮโดรเจลและไฮโดรเจลคอมโพสิต



ตารางที่ 1 การดูดน้ำของไฮโดรเจลชนิด ALG 0

เวลา (นาทึ)	ร้อยละของการดูดน้ำ			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย
0	0	0	0	0
10	2.75	3.78	4.06	3.53
20	3.23	3.97	4.42	3.87
30	3.92	4.96	4.76	4.55
60	5.43	5.97	5.63	5.68
90	6.26	7.33	6.97	6.85
120	7.22	7.87	7.42	7.50
180	8.53	11.61	11.39	10.51
1440	23.86	22.34	21.64	22.61
2880	32.6	32.43	32.21	32.41



ตารางที่ 2 การดูดน้ำของไฮโดรเจลชนิด ALG 0.2

เวลา (นาทื)	ร้อยละของการดูดน้ำ			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย
0	0	0	0	0
10	4.30	4.47	4.97	4.58
20	5.45	5.03	6.77	5.75
30	6.53	5.09	8.57	6.73
60	9.18	10.64	10.86	10.23
90	10.90	11.73	11.32	11.32
120	12.84	15.03	15.23	14.37
180	15.28	15.76	15.49	15.51
1440	36.37	41.56	42.21	40.05
2880	47.06	46.06	46.12	46.41



ตารางที่ 3 การดูดน้ำของไฮโดรเจลชนิด ALG 0.4

เวลา (นาทื)	ร้อยละของการดูดน้ำ			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย
0	0	0	0	0
10	5.71	5.1	5.41	5.41
20	7.59	7.32	7.31	7.41
30	8.75	8.46	8.32	8.51
60	12.15	11.49	11.36	11.67
90	14.31	13.97	14.41	14.23
120	16.05	16.01	15.93	16.00
180	18.87	17.61	17.41	17.96
1440	42.15	42.62	42.21	42.33
2880	54.23	54.04	53.04	53.77



ตารางที่ 4 การดูดน้ำของไฮโดรเจลชนิด ALG 0.6

เวลา (นาทึ)	ร้อยละของการดูดน้ำ			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย
0	0	0	0	0
10	6.09	6.02	6.22	6.11
20	7.99	7.34	7.41	7.58
30	9.39	9.42	8.97	9.26
60	13.64	12.06	12.01	12.57
90	16.14	15.56	14.95	15.55
120	18.63	16.09	16.01	16.91
180	21.49	19.32	19.03	19.95
1440	45.78	43.58	43.48	44.28
2880	59.35	59.42	58.84	59.20



ตารางที่ 5 การดูดน้ำของไฮโดรเจลชนิด ALG 0.8

เวลา (นาทึ)	ร้อยละของการดูดน้ำ			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย
0	0	0	0	0
10	6.94	7.04	7.09	7.02
20	9.42	9.42	8.49	9.11
30	10.81	10.6	9.96	10.46
60	15.41	15.04	15.01	15.15
90	17.31	18.61	19.02	18.31
120	19.94	19.42	19.46	19.61
180	22.57	22.55	23.04	22.72
1440	48.35	48.32	49.04	48.57
2880	62.89	64.88	65.09	64.29



ตารางที่ 6 การดูดน้ำของไฮโดรเจลชนิด ALG 1.0

เวลา (นาทื)	ร้อยละของการดูดน้ำ			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย
0	0	0	0	0
10	7.01	7.06	7.10	7.06
20	9.45	9.44	9.46	9.45
30	10.8	11.09	12.06	11.32
60	13.96	14.41	14.32	14.23
90	15.75	14.57	14.56	14.96
120	17.89	18.71	18.49	18.36
180	20.11	20.63	20.34	20.36
1440	43.87	43.32	42.32	43.17
2880	57.12	56.41	57.16	56.90



ตารางที่ 7 การดูดน้ำของไฮโดรเจลคอมโพสิตชนิด ALG 0

เวลา (นาทื)	ร้อยละของการดูดน้ำ			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย
0	0	0	0	0
10	3.08	3.42	4.83	3.78
20	4.01	4.66	5.01	4.56
30	4.56	4.98	5.19	4.91
60	5.77	5.67	6.02	5.82
90	6.87	7.09	6.98	6.98
120	7.75	8.10	7.40	7.75
180	9.02	8.84	10.34	9.40
1440	23.16	22.93	22.83	22.97
2880	31.24	30.66	32.88	31.59



ตารางที่ 8 การดูดน้ำของไฮโดรเจลคอมโพสิตชนิด ALG 0.2

เวลา (นาทื)	ร้อยละของการดูดน้ำ			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย
0	0	0	0	0
10	5.76	4.68	5.1	5.18
20	7.1	7.22	6.86	7.06
30	8.51	8.12	8.43	8.35
60	10.87	11.33	11.44	11.21
90	12.73	13.4	13.21	13.11
120	14.33	15.34	15.93	15.20
180	17.34	16.37	16.98	16.90
1440	40.31	38.68	41.32	40.10
2880	56.62	55.67	57.92	56.74



ตารางที่ 11 การดูดน้ำของไฮโดรเจลคอมโพสิตชนิด ALG 0.8

เวลา (นาทื)	ร้อยละของการดูดน้ำ			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย
0	0	0	0	0
10	12.28	11.92	13.86	12.69
20	14.99	15.38	14.30	14.89
30	17.00	18.49	16.45	17.31
60	21.23	20.35	20.43	20.67
90	23.94	22.13	23.99	23.35
120	26.65	27.46	26.45	26.85
180	31.85	30.45	30.54	30.95
1440	70.78	71.23	69.11	70.37
2880	84.59	85.82	83.67	84.69



ตารางที่ 12 การดูดน้ำของไฮโดรเจลคอมโพสิตชนิด ALG 1.0

เวลา (นาทีก)	ร้อยละของการดูดน้ำ			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย
0	0	0	0	0
10	8.43	9.21	9.21	8.95
20	10.32	11.98	11.43	11.24
30	12.27	12.57	12.33	12.39
60	16.86	15.29	15.34	15.83
90	20.45	19.77	21.88	20.70
120	24.04	23.19	25.78	24.34
180	30.14	31.98	31.24	31.12
1440	78.28	77.32	80.32	78.64
2880	86.84	87.28	87.11	87.08



ภาคผนวก ค

การเปรียบเทียบสมบัติการดูดน้ำของไฮโดรเจลและไฮโดรเจลคอมโพสิตชนิดต่าง ๆ



ภาคผนวก ง

อิทธิพลของขุยมะพร้าวต่อสมบัติการดูดน้ำของไฮโดรเจลและไฮโดรเจลคอมโพสิต



ตารางที่ 1 การดูดน้ำของไฮโดรเจลคอมโพสิตชนิด CoCo 0 g

เวลา (นาทื)	ร้อยละของการดูดน้ำ			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย
0	0	0	0	0
10	5.38	4.97	5.77	5.37
20	7.53	7.02	6.83	7.13
30	8.99	8.14	9.23	8.79
60	12.91	11.50	13.07	12.49
90	15.37	14.87	15.03	15.09
120	19.06	19.53	18.64	19.08
180	22.67	22.56	21.74	22.32
1440	65.79	65.05	66.28	65.71
2880	91.70	90.52	91.39	91.20



ตารางที่ 3 การดูดน้ำของไฮโดรเจลคอมโพสิตชนิด CoCo 0.5

เวลา (นาทื)	ร้อยละของการดูดน้ำ			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย
0	0	0	0	0
10	6.36	6.03	7.11	6.50
20	8.96	8.71	8.09	8.59
30	10.27	10.35	9.85	10.16
60	13.79	12.96	13.61	13.45
90	16.24	16.77	15.94	16.32
120	19.00	18.68	19.46	19.05
180	22.3	22.05	23.15	22.50
1440	58.39	59.13	57.81	58.44
2880	80.76	80.24	79.73	80.24



ตารางที่ 4 การดูดน้ำของไฮโดรเจลคอมโพสิตชนิด CoCo 1.0

เวลา (นาทื)	ร้อยละของการดูดน้ำ			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย
0	0	0	0	0
10	5.66	5.23	5.71	5.53
20	7.26	7.41	8.02	7.56
30	8.56	7.96	8.17	8.23
60	11.54	11.31	12.15	11.67
90	13.64	12.87	13.51	13.34
120	15.96	15.23	15.62	15.60
180	18.94	19.24	18.76	18.98
1440	51.52	50.73	52.18	51.48
2880	73.37	73.46	72.95	73.26



ตารางที่ 5 การดูดน้ำของไฮโดรเจลคอมโพสิตชนิด CoCo 1.5

เวลา (นาทื)	ร้อยละของการดูดน้ำ			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย
0	0	0	0	0
10	5.32	5.31	6.17	5.60
20	7.11	7.65	6.52	7.09
30	8.36	8.22	7.96	8.18
60	10.91	11.34	10.78	11.01
90	13.05	12.81	13.29	13.05
120	14.71	14.66	15.03	14.80
180	17.61	17.23	16.91	17.25
1440	45.58	45.45	45.74	45.59
2880	65.47	65.11	65.97	65.52



ตารางที่ 6 การดูดน้ำของไฮโดรเจลคอมโพสิตชนิด CoCo 2.0

เวลา (นาทึ)	ร้อยละของการดูดน้ำ			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย
0	0	0	0	0
10	5.14	5.51	4.96	5.20
20	7.08	7.37	6.71	7.05
30	8.19	7.92	8.22	8.11
60	11.18	11.52	10.81	11.17
90	13.40	13.63	12.98	13.34
120	15.76	15.42	15.02	15.40
180	18.05	18.63	17.82	18.17
1440	48.47	48.63	49.11	48.74
2880	69.72	69.25	70.09	69.69



ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ-นามสกุล	นางสาวบุญศรี คู่สุพรรณ
วัน เดือน ปี เกิด	20 กรกฎาคม พ.ศ. 2507
สถานที่เกิด	กรุงเทพมหานคร
ประวัติการศึกษา	
ปริญญาตรี	มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ปทุมวัน (2525-2528) การศึกษบัณฑิต (วิทยาศาสตร์-เคมี)
ปริญญาโท	มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร (2528-2531) การศึกษามหาบัณฑิต (เคมี)
ปริญญาโท	มหาวิทยาลัยมหิดล (2536-2539) วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์พอลิเมอร์)
ปริญญาเอก	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (2544-2547) วิทยาศาสตรดุษฎีบัณฑิต (วัสดุศาสตร์)
ประวัติการทำงาน	
	2532-ปัจจุบัน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ สาขาวิชาวิศวกรรมเคมีสิ่งทอ คณะอุตสาหกรรมสิ่งทอ

