



การเตรียมเม็ดเซรามิกเคลือบไคโตซานเพื่อแยกแมกนีเซียมออกจากน้ำยางธรรมชาติ
**Preparation of Chitosan Coated Ceramic Balls for Magnesium Removal from
Natural Rubber Latex**

สัตยา หัตถิยา
Sattaya Hattiya

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีพอลิเมอร์
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

**A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of
Master of Science in Polymer Science and Technology
Prince of Songkla University**

2557

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ชื่อวิทยานิพนธ์ การเตรียมเม็ดเซรามิกเคลือบโคโตซานเพื่อแยกแมกนีเซียมออกจาก
 น้ำยางธรรมชาติ
 ผู้เขียน นายสัตยา หัตถิยา
 สาขาวิชา วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีพอลิเมอร์

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	คณะกรรมการสอบ
..... (ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิรัช ทวีปรีดา)ประธานกรรมการ (ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิวัฒน์ พิษณุากร)
กรรมการ (ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิรัช ทวีปรีดา)
กรรมการ (ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จิราภรณ์ ไชยบัญญัติษฐ์)
กรรมการ (ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พลพัฒน์ รวบรวมเจริญ)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์
 ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชา
 วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีพอลิเมอร์

.....
 (รองศาสตราจารย์ ดร.ธีระพล ศรีชนะ)
 คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(3)

ขอรับรองว่า ผลงานวิจัยนี้เป็นผลมาจากการศึกษาวิจัยของนักศึกษาเอง และได้แสดงความ
ขอบคุณบุคคลที่มีส่วนช่วยเหลือแล้ว

ลงชื่อ.....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิรัช ทวีปรีดา)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

ลงชื่อ.....

(นายสัตยา หัตถิยา)

นักศึกษา

ข้าพเจ้าขอรับรองว่า ผลงานวิจัยนี้ไม่เคยเป็นส่วนหนึ่งในการอนุมัติปริญญาในระดับใดมาก่อน
และไม่ได้ถูกใช้ในการยื่นขออนุมัติปริญญาในขณะนี้

ลงชื่อ.....

(นายสัตยา หัตถิยา)

นักศึกษา

ชื่อวิทยานิพนธ์	การเตรียมเม็ดเซรามิกเคลือบโคโตซานเพื่อแยกแมกนีเซียมออกจากน้ำ ยางธรรมชาติ
ผู้เขียน	นายสัตยา หัตถิยา
สาขาวิชา	วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีพอลิเมอร์
ปีการศึกษา	2556

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ทำเตรียมและศึกษาสมบัติของเม็ดเซรามิกเคลือบด้วยโคโตซาน เพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในการแยกแมกนีเซียมออกจากน้ำยางธรรมชาติ ซึ่งมีการปรับผิวเม็ดเซรามิกโดยแช่ในน้ำเดือดและแช่ในกรดไฮโดรคลอริก ซึ่งพบว่าหลังจากแช่เม็ดเซรามิกในน้ำเดือดเป็นเวลา 2 ชั่วโมง พื้นผิวของเม็ดเซรามิกมีความขรุขระเป็นรูพรุนมากยิ่งขึ้น ส่งผลให้โคโตซานสามารถยึดเกาะบนผิวของเม็ดเซรามิกได้ดีขึ้น การเคลือบโคโตซานบนเม็ดเซรามิกสามารถเตรียมได้ด้วย 2 ขั้นตอนหลักๆ คือ ขั้นแรกใส่เม็ดเซรามิกลงในหม้อเคลือบ ปริมาณ 300 กรัม แล้วเติมสารละลายโคโตซานปริมาณ 65 กรัม โดยโคโตซานจะละลายในกรดอะซิติกเข้มข้น 1% โดยน้ำหนัก และกำหนดความเข้มข้นของโคโตซานที่แตกต่างกัน คือ 1% - 5% โดยน้ำหนัก ขั้นที่ 2 นำเม็ดเซรามิกเคลือบโคโตซานผสมกับสารละลายกลูตาโรลดีไฮด์เข้มข้น 1% โดยน้ำหนัก ซึ่งเป็นสารเชื่อมขวาง จะทำให้โคโตซานยึดเกาะอยู่บนผิวของเม็ดเซรามิกได้แข็งแรงมากขึ้น สอดคล้องกับผลการทดลองที่ได้จากการศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด และจากการนำเม็ดเซรามิกเคลือบโคโตซานที่ได้ไปประยุกต์ใช้ในด้านการแยกแมกนีเซียมออกจากสารละลายต่าง ๆ และน้ำยางธรรมชาติ พบว่าเม็ดเซรามิกเคลือบโคโตซานที่มีปริมาณโคโตซานที่เคลือบบนเม็ดเซรามิกที่มีความเข้มข้นสูงสามารถแยกแมกนีเซียมออกจากน้ำยางธรรมชาติได้ดีกว่าปริมาณโคโตซานที่มีความเข้มข้นต่ำ สอดคล้องกับผลการทดลองที่ได้จากการวัดค่าการนำไฟฟ้า และสอดคล้องกับการทดลองที่ได้จากการไทเทรตหาปริมาณแมกนีเซียมในน้ำยางธรรมชาติ และพบว่าเม็ดเซรามิกเคลือบโคโตซานที่มีความเข้มข้น 3% โดยน้ำหนัก สามารถดูดซับแมกนีเซียมออกจากน้ำยางธรรมชาติได้ดีที่สุด

Thesis Title	Preparation of chitosan coated ceramic balls for magnesium removal from natural rubber latex
Author	Mr. Sattaya Hattiya
Major Program	Polymer science and Technology
Academic year	2013

ABSTRACT

In this research, to prepare the chitosan was coated on ceramic balls for magnesium removal from natural rubber latex application. The porous ceramic balls were prepared by subcritical water treatment method, after two hour's treatment with water at 573 K, the smooth and compact surface became porous, which was covered with uniform flakes. There were two main step to get the chitosan coating supported on ceramic balls. First step, 300 g of the ceramic balls was put into conventional coating pan then 65 g of the aqueous solution containing chitosan and acetic acid were added. The concentration of acetic acid was kept as 1 wt.% with varying chitosan concentration from 1 wt.% to 5 wt.%. Second step, the coated ceramic balls were mixed with 20 g of glutaraldehyde solution with a concentration of 1 wt.%. Adsorption results were performed by complexometric titration and Inductively Couple Plasma – Optical Emission Spectrometer (ICP-OES). The morphology and characteristic of chitosan coated ceramic balls were investigated using scanning electron microscope (SEM), and infrared spectroscopy, respectively. It was found that the highest adsorbing of Mg^{2+} was 3 wt.% of chitosan.

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิรัช ทวีปรีดา อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์เป็นอย่างสูงที่กรุณาชี้แนะแนวทางในการทำวิจัย การเขียน และการแก้ไขวิทยานิพนธ์เป็นอย่างดีตลอดมา จนงานวิจัยสำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิวัฒน์ พิชญากร ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ในคำแนะนำช่วยเหลือในงานวิจัย และตรวจทานแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จิราภรณ์ ไชยบัณฑิตยษ์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พลพัฒน์ รวมเจริญ ที่เป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณทุนสถาบันวิจัยความเป็นเลิศด้านนาโนเทคโนโลยีเพื่อการพลังงาน (CENE) ที่ให้ทุนสนับสนุนสำหรับหลักสูตรปริญญาโท และบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่ให้ทุนอุดหนุนในการทำวิจัยในครั้งนี้ ขอขอบคุณสาขาวิชาวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่ได้อนุเคราะห์วัสดุอุปกรณ์และสถานที่ในการทำวิจัย ขอขอบคุณภาควิชาเทคโนโลยีเภสัชกรรม คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่ได้อนุเคราะห์ให้ใช้เครื่องมือเคลื่อน

ขอขอบคุณบริษัท ถาวรอุตสาหกรรมยางพารา (1982) จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์น้ำยาง พร้อมทั้งเจ้าหน้าที่ที่ให้ความสะดวกในการทำงานวิจัยเป็นอย่างดี

ขอขอบพระคุณคุณพ่อ คุณแม่และครอบครัวที่อบอุ่น ที่ให้ความรัก ให้การอบรมเลี้ยงดูเป็นอย่างดี ให้โอกาสและคอยสนับสนุนด้านการศึกษาของผู้วิจัยอย่างสมบูรณ์เต็มที่ได้ ขอขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่าน ผู้ให้ความรู้แก่ผู้วิจัยจนได้มีโอกาสรักษาวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จ ขอขอบคุณพี่ ๆ เพื่อน ๆ น้อง ๆ และเจ้าหน้าที่ทุก ๆ ท่านในสาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีพอลิเมอร์ ที่เป็นกำลังใจให้กันและกันเสมอ รวมทั้งให้การแนะนำและช่วยเหลือในด้านต่าง ๆ เป็นอย่างดีตลอดมา

สัตยา หัตถิยา

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	(5)
ABSTRACT	(6)
กิตติกรรมประกาศ	(7)
สารบัญ	(8)
บทที่	
1. บทนำ	
1.1 บทนำต้นเรื่อง	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2
1.3 ขอบเขตและวิธีดำเนินงานวิจัย	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับน้ำยางธรรมชาติ	4
2.2 ปัจจัยและที่มาของปริมาณแมกนีเซียมในน้ำยางธรรมชาติ	10
2.3 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับไคโตซาน	16
2.3.1 การผลิตไคโตซาน	17
2.3.2 สมบัติทางกายภาพและสมบัติทางเคมีของไคโตซาน	17
2.3.3 การประยุกต์ใช้ของไคโตซาน	18
2.4 การดูดซับ	19
2.5 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	21
2.5.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับคุณสมบัติของไคโตซานกับการพัฒนา เป็นสารดูดซับ	21
2.5.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเม็ดบีดที่เคลือบด้วยไคโตซาน	23

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3. วิธีการทดลอง	
3.1 วัสดุและสารเคมี	25
3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย	27
3.3 วิธีดำเนินการทดลอง	31
3.3.1 ศึกษาการเตรียมสารละลายโคโตซานและเคลือบโคโตซานบนเม็ดเซรามิก	31
3.3.2 ศึกษาการใช้เม็ดเซรามิกเคลือบโคโตซานในการแยกแมกนีเซียม	33
3.3.3 การหาปริมาณแมกนีเซียม	36
3.3.4 การหาปริมาณของแข็งทั้งหมด (TSC)	37
3.3.5 การหาปริมาณเนื้อยางแห้ง (DRC)	37
3.3.6 การหาปริมาณความเป็นต่างหรือปริมาณแอมโมเนีย	38
3.3.7 การหาปริมาณกรดไขมันที่ระเหยได้ (VFA)	38
3.4 การทดสอบคุณลักษณะของเม็ดเซรามิกเคลือบโคโตซาน	39
3.4.1 การทดสอบสมบัติทางเคมี	39
3.4.2 การทดสอบสมบัติทางสัณฐานวิทยา	39
4. ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง	
4.1 การเตรียมเม็ดเซรามิกเคลือบโคโตซาน ก่อนนำไปประยุกต์ใช้แยกแมกนีเซียมออกจากน้ำยางธรรมชาติ	40
4.1.1 การปรับสภาพผิวของเม็ดเซรามิกก่อนเคลือบ	40
4.1.2 การเคลือบเม็ดเซรามิกด้วยโคโตซาน	43
4.1.3 การ Cross-link เม็ดเซรามิกเคลือบโคโตซาน	45
4.2 ศึกษาอิทธิพลต่าง ๆ ที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการนำไปประยุกต์ใช้แยกแมกนีเซียมออกจากน้ำยางธรรมชาติ	48
4.2.1 อิทธิพลปริมาณความเข้มข้นของโคโตซานในน้ำกลั่นต่อค่า Conductivity	48
4.2.2 อิทธิพลปริมาณความเข้มข้นของโคโตซานในบัฟเฟอร์ pH 10 ต่อค่า Conductivity	50
4.2.3 อิทธิพลปริมาณความเข้มข้นของโคโตซานในสารละลายแมกนีเซียมซัลเฟต ต่อค่า Conductivity	52
4.2.4 อิทธิพลปริมาณความเข้มข้นของโคโตซานในสารละลายแมกนีเซียมคลอไรด์ ต่อค่า Conductivity	53

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.2.5 อิทธิพลปริมาณความเข้มข้นของโคโตะซานในน้ำอย่างธรรมชาติ ต่อค่า Conductivity	54
4.3 การทดสอบประสิทธิภาพในการแยกโลหะแมกนีเซียมด้วยเม็ดเซรามิก เคลือบโคโตะซาน	57
4.3.1 การแยกโลหะแมกนีเซียมออกจากสารละลายแมกนีเซียมซัลเฟต ด้วยเม็ดเซรามิกเคลือบโคโตะซาน	57
4.3.2 การแยกโลหะแมกนีเซียมออกจากน้ำอย่างธรรมชาติด้วยเม็ดเซรามิก เคลือบโคโตะซาน	58
4.4 การศึกษาผิวหน้าและภายในของเม็ดเซรามิกเคลือบโคโตะซานหลังจาก การนำไปใช้ประยุกต์แยกแมกนีเซียม	60
4.4.1 การศึกษาภายในของเม็ดเซรามิกเคลือบโคโตะซานหลังจากการ ทดสอบแยกแมกนีเซียม	60
4.4.2 การศึกษาผิวหน้าของเม็ดเซรามิกเคลือบโคโตะซานหลังจากการ ทดสอบแยกแมกนีเซียม	61
5.สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผลการทดลอง	65
5.2 จุดเด่นของงานวิจัยนี้	66
5.3 ข้อเสนอแนะ	66
บรรณานุกรม	67
ภาคผนวก	70
ก รูปแสดงขั้นตอนหาปริมาณ DSC	71
ข รูปแสดงขั้นตอนหาปริมาณกรดไขมันที่ระเหยได้	73
ค เอกสารตีพิมพ์เผยแพร่ผลงาน	75
ง การจดอนุสิทธิบัตร	85
ประวัติผู้เขียน	89

รายการตาราง

ตาราง	หน้า
2.1 คุณภาพของน้ำยางที่ได้จากอำเภอต่าง ๆ ในจังหวัดตรัง	11
4.1 น้ำหนักของเม็ดเซรามิกก่อนเคลือบและหลังการเคลือบ	43
4.2 ค่า Conductivity ของน้ำกลั่นแช่เม็ดเซรามิกเคลือบไคโตซาน 2 ชั่วโมง	48
4.3 ค่า Conductivity ของน้ำกลั่นแช่เม็ดเซรามิกเคลือบไคโตซาน 6 ชั่วโมง	49
4.4 ค่า Conductivity ของสารละลายบัฟเฟอร์ pH 10 แช่เม็ดเซรามิกเคลือบไคโตซาน ความเข้มข้นต่าง ๆ ในระยะเวลา 2 ชั่วโมง	51
4.5 ค่า Conductivity ของสารละลายแมกนีเซียมซัลเฟตที่แช่เม็ดเซรามิกเคลือบไคโตซานที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ในระยะเวลา 2 ชั่วโมง	52
4.6 ค่า Conductivity ของสารละลายแมกนีเซียมคลอไรด์ที่แช่เม็ดเซรามิกเคลือบไคโตซานที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ในระยะเวลา 2 ชั่วโมง	53
4.7 สมบัติน้ำยางสด	54
4.8 ค่า Conductivity ของน้ำยางสดที่แช่เม็ดเซรามิกเคลือบไคโตซานที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ในระยะเวลา 6 ชั่วโมง	54
4.9 สมบัติน้ำยางข้น	55
4.10 ค่า Conductivity ของน้ำยางข้นที่แช่เม็ดเซรามิกเคลือบไคโตซานที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ในระยะเวลา 6 ชั่วโมง	56
4.11 ปริมาณแมกนีเซียมในสารละลายแมกนีเซียมซัลเฟตหลังจากการแช่เม็ดเซรามิกเคลือบไคโตซานที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ในระยะเวลา 2 ชั่วโมง	57
4.12 สมบัติน้ำยางสด	59
4.13 ปริมาณแมกนีเซียมในน้ำยาง หลังจากนำน้ำยางไหลผ่านเม็ดเซรามิกเคลือบไคโตซานเข้มข้น 3%	59
4.14 ปริมาณแมกนีเซียมในน้ำยาง หลังจากนำน้ำยางไหลผ่านเม็ดเซรามิกเคลือบไคโตซาน 3% Cross-link	60

รายการรูป

รูปที่	หน้า
2.1	4
2.2	5
2.3	6
2.4	7
2.5	8
2.6	10
2.7	12
2.8	13
2.9	14
2.10	15
2.11	16
3.1	26
3.2	27
3.3	28
3.4	28
3.5	29
3.6	30
3.7	31
3.8	32
3.9	34
3.10	35
3.11	35
3.12	36
3.13	39

รายการรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.1 ลักษณะของเม็ดเซรามิกปกติ	41
4.2 ลักษณะของเม็ดเซรามิกหลังการปรับสภาพผิวแล้ว	42
4.3 ลักษณะของเม็ดเซรามิกเคลือบด้วยไคโตซานเข้มข้น 3%	44
4.4 ATR-FTIR สเปกตรัมของเม็ดเซรามิกเคลือบไคโตซาน	45
4.5 การเกิดการเชื่อมขวางของโมเลกุลไคโตซานด้วยกลูตารอลดีไฮด์	46
4.6 ลักษณะของเม็ดเซรามิกเคลือบด้วยไคโตซานที่มีการ Cross-link	47
4.7 ค่า Conductivity ของน้ำกลั่นแช่เม็ดเซรามิกเคลือบไคโตซาน 2 ชั่วโมง	49
4.8 ค่า Conductivity ของน้ำกลั่นแช่เม็ดเซรามิกเคลือบไคโตซาน 6 ชั่วโมง	50
4.9 ค่า Conductivity ของสารละลายบัฟเฟอร์ pH 10 แช่เม็ดเซรามิกเคลือบไคโตซาน ความเข้มข้นต่างๆ	51
4.10 ค่า Conductivity ของสารละลายแมกนีเซียมซัลเฟตที่แช่เม็ดเซรามิกเคลือบไคโตซานความเข้มข้นต่าง ๆ ในระยะเวลา 2 ชั่วโมง	52
4.11 ค่า Conductivity ของสารละลายแมกนีเซียมคลอไรด์ที่แช่เม็ดเซรามิกเคลือบไคโตซานที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ในระยะเวลา 2 ชั่วโมง	53
4.12 ค่า Conductivity ของน้ำยางสดที่แช่เม็ดเซรามิกเคลือบไคโตซานที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ในระยะเวลา 6 ชั่วโมง	55
4.13 ค่า Conductivity ของน้ำยางข้นที่แช่เม็ดเซรามิกเคลือบไคโตซานที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ในระยะเวลา 6 ชั่วโมง	56
4.14 ปริมาณแมกนีเซียมที่เหลืออยู่หลังการแช่เม็ดเซรามิกเคลือบไคโตซานที่ความเข้มข้นต่าง ๆ	58
4.15 ปริมาณแมกนีเซียมในน้ำยาง หลังจากการนำน้ำยางไหลผ่านเม็ดเซรามิกเคลือบไคโตซาน 3%	59
4.16 ปริมาณแมกนีเซียมในน้ำยาง หลังจากการนำน้ำยางไหลผ่านเม็ดเซรามิกเคลือบไคโตซาน 3% Cross-link	60
4.17 ธาตุต่างๆที่ตรวจพบภายในเม็ดเซรามิกเคลือบไคโตซาน หลังการทดสอบการแยกแมกนีเซียม	61
4.18 ธาตุต่างๆที่ตรวจพบบนผิวของเม็ดเซรามิกเคลือบไคโตซาน หลังการทดสอบการ	

แยกแมกนีเซียม	62
4.19 เม็ดเซรามิกเคลือบโคโตนหลังแช่น้ำยาง	63
4.20 เม็ดเซรามิกหลังการแช่ด้วยกรดและล้างน้ำสะอาด	64

สัญลักษณ์คำย่อและตัวย่อ

ตัวย่อ	ชื่อภาษาอังกฤษ	ชื่อภาษาไทย
FT-IR	Fourier transform infrared spectrometer	เครื่องฟูเรียร์ทรานฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์
NR	natural rubber	ยางธรรมชาติ
SEM	scanning electron microscope	กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด
°C	degree celsius	องศาเซลเซียส
%	percent	เปอร์เซ็นต์
phr	Part per hundred rubber	ส่วนในร้อยส่วนของยาง

บทที่ 1

บทนำ

1.1 บทนำ

ประเทศไทยเป็นแหล่งผลิตน้ำยางข้นที่ส่งออกสู่ตลาดโลกเป็นอันดับหนึ่ง ซึ่งน้ำยางข้นเป็นวัตถุดิบสำคัญของการผลิตผลิตภัณฑ์ เช่น ถุงมือ ลูกโป่ง ถุงยางอนามัย หัวนมยาง อุปกรณ์ทางการแพทย์ ผลิตภัณฑ์ยางพองน้ำ ท่อยาง กาว และสายยางยืด เป็นต้น โดยวิธีการผลิตน้ำยางข้นจากน้ำยางธรรมชาติที่สำคัญคือ วิธีการปั่นแยก ซึ่งวิธีการปั่นแยกเป็นวิธีที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมการผลิตน้ำยางข้นจากน้ำยางธรรมชาติเพราะสามารถผลิตได้ในปริมาณมากและได้ผลผลิตอย่างต่อเนื่องโดยตลอด อย่างไรก็ตาม จากการที่น้ำยางสดมีองค์ประกอบอื่นที่ไม่ใช่ยางปนอยู่ด้วย โดยเฉพาะอย่างยิ่งแมกนีเซียม ซึ่งแมกนีเซียมที่พบในน้ำยางสดมาจากหลายปัจจัย เช่น การใส่ปุ๋ย ซึ่งแมกนีเซียมเป็นธาตุอาหารรองที่มีผลต่อการเติบโตของยางพาราและการเพิ่มผลผลิตของยาง (คุณภาพของน้ำยาง) เนื่องจากแมกนีเซียมเป็นส่วนประกอบของคลอโรฟิลล์ เป็นตัวกระตุ้นให้เอนไซม์ทำงาน และมีหน้าที่สำคัญในกระบวนการใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ การใส่ปุ๋ยแมกนีเซียมจะมีผลทำให้โพแทสเซียมในใบยางลดลง แต่มีผลทำให้ต้นยางให้น้ำยางเพิ่มขึ้น แต่ถ้าต้นยางขาดแมกนีเซียมจะทำให้การเจริญเติบโตหยุดชะงักและให้น้ำยางลดน้อยลง (มานะชัย สังข์วาทิน, 2551) ในขณะที่เดียวกันน้ำยางที่มีปริมาณแมกนีเซียมสูงจะมีความไม่คงตัวและอาจเกิดการจับตัวก่อนกำหนด (Precoagulation) (อรวรรณ ศิริรัตน์พิริยะ และคณะ, 2552 อ้างถึงใน นุชนาถ กังพิสดาร, 2547) นอกจากนี้ปริมาณแมกนีเซียมในน้ำยางสดจะแปรปรวน ขึ้นอยู่กับปัจจัยอื่นๆ นอกจากการใส่ปุ๋ยแล้ว ได้แก่ พันธุ์ยาง สภาพของพื้นที่ปลูกยาง และฤดูกาล เป็นต้น (วารภรณ์ ขจรไชยกูล, 2549) กระบวนการผลิตน้ำยางข้น เมื่อมีการรวบรวมน้ำยางสดได้แล้ว จะต้องตรวจสอบ และทำให้ปริมาณแมกนีเซียมลดลงมากที่สุด คือ ควรให้ต่ำกว่า 100 ppm on total solid โดยการสารเติม Diammonia hydrogen orthophosphate (DAP) และต้องพักน้ำยางสดไว้เป็นระยะเวลา 8-12 ชั่วโมง เป็นอย่างน้อย เพื่อให้ DAP เกิดปฏิกิริยาการรวมตัวเข้ากับแมกนีเซียม ได้เป็น Magnesium ammonium phosphate ซึ่งจะตกตะกอน แยกตัวออกจากน้ำยางสด อยู่ในลักษณะของตะกอนหรือสลัดจ์ (Sludge) เรียกอีกอย่างหนึ่งว่า กากขี้แบ่ง (สระเราะ นิยมเดชา, 2552 อ้างถึงใน วันชัย แก้วยอด, 2540) โดยกากขี้แบ่งที่เกิดขึ้น มีลักษณะเป็นของแข็งสีขาว หรือสีเหลืองอ่อน เนื่องจากมีแมกนีเซียมและฟอสฟอรัสเป็น

องค์ประกอบที่สำคัญ (สระระ นิยมเดชา, 2552 อ้างถึงใน สมทิพย์ ด้านธีรวณิชย์, 2545) นอกจากนี้ยังมีกากขี้แป้งบางส่วนเกิดขึ้นภายในเครื่องปั้นแยก ที่เรียกว่า Bowl body และสะสมอยู่ระหว่างชั้นของจานแยก ขึ้นอยู่กับปริมาณแมกนีเซียมที่ยังหลงเหลืออยู่ในน้ำยางสด หากมีกากขี้แป้งสะสมอยู่มากจะทำให้เครื่องอุดตันได้เร็ว จนต้องหยุดเดินเครื่องเพื่อทำความสะอาด โดยทั่วไปจะทำความสะอาดทุกๆ 1-2 ชั่วโมง (บุญธรรม นิธิอุทัย และคณะ, ม.ป.ป.) ซึ่งในการผลิตน้ำยางข้นของประเทศไทยจะเกิดกากขี้แป้งขึ้น 10 กิโลกรัมต่อตันน้ำยางข้น หรือประมาณ 8,000 ตันต่อปี หรือปริมาณเฉลี่ย 0.39 – 1.58 ตันต่อวัน (วันชัย แก้วยอด, 2540) กากขี้แป้งที่ได้จากกระบวนการผลิตน้ำยางข้นเป็นของเสียที่รอการกำจัดต่อไป โดยทั่วไปโรงงานอุตสาหกรรมมักกำจัดด้วยวิธีการต่างๆ เช่น การกองทิ้งไว้ เอาไปถมที่ ถมถนน เผาทิ้ง หรือทิ้งรวมกับขยะอื่นๆ (วราศรี เทกประสิทธิ์, 2543) ถึงแม้ว่าในปัจจุบันได้มีการพัฒนาเทคโนโลยีใหม่ๆ เพื่อการแยกเนื้อยางออกจากกากขี้แป้งได้เป็นผลสำเร็จ และมีงานวิจัยจำนวนหนึ่งที่ได้ให้ความสำคัญในการนำตะกอนแมกนีเซียมมาใช้ประโยชน์ด้านต่างๆ อุตสาหกรรมการผลิตน้ำยางข้นยังคงเกิดการสูญเสียทั้งในด้านของสารเคมี ระยะเวลาที่ต้องรอในการพักน้ำยางสด และค่าใช้จ่ายต่างๆ ที่เกิดขึ้นจากการกำจัดกากขี้แป้งเพื่อไม่ให้เป็นปัญหาต่อสิ่งแวดล้อม

งานวิจัยนี้จึงสนใจที่จะพัฒนากระบวนการลดปริมาณแมกนีเซียมในน้ำยางสด โดยศึกษาการเตรียมเม็ดเซรามิกเคลือบด้วยโคโตซาน ซึ่งนำไปประยุกต์ใช้เป็นเม็ดดูดซับแมกนีเซียมในน้ำยางธรรมชาติและสารละลายต่าง ๆ เนื่องจากโคโตซานมีประจุบวกและมีความหนาแน่นของประจุสูง โดยประจุบวกของโคโตซานจะทำปฏิกิริยาอย่างรุนแรงกับพื้นผิวที่มีประจุลบเพื่อทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนประจุ โคโตซานจึงมีความสามารถในการเกาะเป็นกลุ่มได้ดี โดยสามารถแลกเปลี่ยนเป็นประจุกับโปรตีน สีย้อม กรดไขมันอิสระ และโลหะหนักที่อยู่ในรูปสารละลายได้ดี โคโตซานจึงใช้เป็นสารกระตุ้นให้เกิดการตกตะกอนได้ดี ประกอบกับโคโตซานเป็นสารที่สามารถย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ มีความปลอดภัยต่อการใช้งานกับมนุษย์ สัตว์ และสิ่งแวดล้อม โคโตซานจึงถูกนำมาศึกษาและถูกนำมาใช้อย่างกว้างขวาง ซึ่งรวมทั้งนำมาศึกษาในงานวิจัยนี้ด้วย โดยการเคลือบโคโตซานบนเม็ดเซรามิกจะใช้หม้อเคลือบที่มีลมร้อนเป่าอยู่ภายใน ซึ่งทำให้การเคลือบมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อศึกษาการเตรียมการเคลือบเม็ดเซรามิกด้วยโคโตซาน
2. เพื่อศึกษาคูณลักษณะของเม็ดเซรามิกเคลือบโคโตซานที่ได้

3. เพื่อศึกษาแนวทางการนำเม็ดเซรามิกเคลือบไคโตซานไปประยุกต์ใช้ในการแยกแมกนีเซียมออกจากน้ำยางธรรมชาติ

1.3 ขอบเขตและวิธีดำเนินงานวิจัย

1. ศึกษาการเคลือบเม็ดเซรามิกด้วยไคโตซาน โดยกำหนดชนิดของไคโตซาน ได้แก่ ไคโตซานจากเปลือกกุ้งแบบน้ำหนักโมเลกุลต่ำ คือ $8-12 \times 10^4$ Da และมี % deacetylation degree คือ 85% ซึ่งใช้ความเข้มข้นที่แตกต่างกัน ได้แก่ 1, 3 และ 5% โดยน้ำหนัก
2. ศึกษาผลของสาร cross-link ที่ใช้เคลือบเม็ดเซรามิกด้วยไคโตซาน
3. ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมที่ใช้เม็ดเซรามิกเคลือบไคโตซานแยกแมกนีเซียมออกจากน้ำยางธรรมชาติ
4. วิเคราะห์และสรุปผลการวิจัย

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

เป็นแนวทางในการพัฒนาไคโตซานซึ่งเป็นพอลิเมอร์ที่ได้จากธรรมชาติและมีแหล่งวัตถุดิบภายในประเทศ ซึ่งไคโตซานจะนำไปเคลือบเม็ดเซรามิก โดยการเคลือบด้วยหม้อเคลือบ และได้ศึกษาการนำเม็ดเซรามิกเคลือบไคโตซานที่ได้ไปประยุกต์ใช้ในการแยกแมกนีเซียมในน้ำยางธรรมชาติ ซึ่งสามารถช่วยลดการสูญเสียทั้งในด้านของสารเคมี ระยะเวลาที่ต้องรอในการพักน้ำยางสดในกระบวนการผลิตน้ำยางข้น และลดค่าใช้จ่ายต่างๆ ที่เกิดขึ้นจากการกำจัดกากขี้แป้งเพื่อไม่ให้เป็นปัญหาต่อสิ่งแวดล้อมต่อไป

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับน้ำยางธรรมชาติ

น้ำยางเป็นของเหลวสีขาวถึงขาวปนเหลือง ชุ่มชื้น อยู่ในท่อน้ำยางซึ่งเรียงตัวกันอยู่ในส่วนเปลือกของต้นยางพารา การจะเอาน้ำยางออกจากต้นยาง จะต้องใช้มีดกรีดยางเพื่อตัดท่อน้ำยางให้ขาดออกจากกัน

ในน้ำยางจะมีส่วนประกอบหลักที่สำคัญอยู่ 2 ส่วน คือ ส่วนที่เป็นเนื้อยาง (เนื้อยางแห้ง) และส่วนที่ไม่ใช่ยาง

เนื้อยางแห้ง หมายถึง ปริมาณของเนื้อยางที่อยู่ในน้ำยาง ตามปกติในน้ำยางจะมีเนื้อยางแห้งประมาณ 25-45% เนื้อยางแห้งนี้เองที่เป็นวัสดุมหัศจรรย์ที่มนุษย์นำไปใช้ให้เกิดประโยชน์ต่อการดำรงชีพ จนกลายเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับชีวิตประจำวัน ของสังคมมนุษย์ในปัจจุบัน

น้ำยางมีความหนาแน่น 0.98 มีค่าความเป็นกรดต่าง (pH) ประมาณ 6.8 เมื่อตรวจดูในห้องปฏิบัติการจะพบว่า มีอนุภาคขนาดต่างๆ กันแขวนอยู่ในของเหลว อนุภาคเหล่านี้จะมีประจุเป็นลบ ผลักกันอยู่ตลอดเวลา ทำให้อนุภาคเหล่านั้น แขนงลอยและคงสภาพเป็นน้ำยางอยู่ได้จนกว่าจะมีสภาพแวดล้อมและปัจจัยต่าง ๆ มารบกวน ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลง ซึ่งจะทำให้น้ำยางเสียเสถียรภาพ และจับตัวกันเป็นก้อน



รูปที่ 2.1 น้ำยางสดจากต้นยางพารา

ส่วนประกอบของน้ำยาง

น้ำยางประกอบด้วย	ปริมาณของแข็งทั้งหมด	22-48%
	ปริมาณเนื้อยางแห้ง	25-45%
	สารจำพวกโปรตีน	1.5 %
	สารพวกเรซิน	2.0 %
	คาร์โบไฮเดรต	1.0 %
	สารอินทรีย์	0.5 %

ในส่วนประกอบของน้ำยางที่กล่าวแล้วนั้นสามารถแบ่งออกเป็นส่วนสำคัญได้ 2 ส่วนคือ

1. ส่วนที่เป็นเนื้อยาง ประมาณ 35 %
2. ส่วนที่ไม่ใช่ยาง ประมาณ 65 %

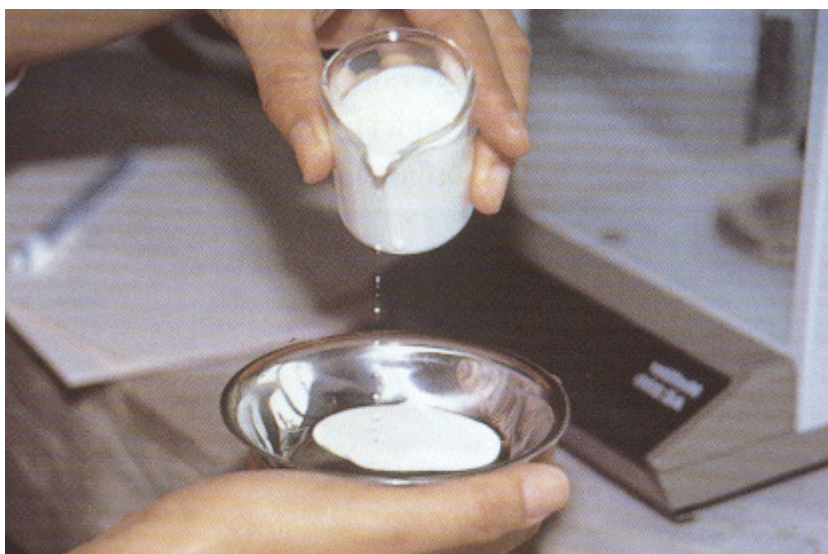


รูปที่ 2.2 น้ำยางธรรมชาติ

1) ส่วนที่เป็นเนื้อยาง

- เป็นอนุภาคที่แขวนลอยอยู่ในน้ำยาง
- เป็นสารประกอบพวกไฮโดรคาร์บอน
- มีความหนาแน่น 0.92
- เป็นโมเลกุลขนาดใหญ่ เส้นผ่านศูนย์กลาง 2 – 3 ไมครอน ไม่ละลายน้ำรูปทรงมีทั้งทรงกลมและทรงรี
- ในสภาพของน้ำยางจะถูกห่อหุ้มด้วยชั้นของสารจำพวกไขมันและสารจำพวกโปรตีนในเนื้อยางแห้ง (Dry Rubber Content, DSC) ประกอบด้วย

- ยาง (Hydrocarbon)	86%
- น้ำ (การกระจายอยู่ใน Hydrocarbon)	10%
- สารประเภทไขมัน	3%
- สารประเภทโปรตีน	1%
- โลหะบางชนิด เช่น แมกนีเซียม	
โปแตสเซียม และทองแดงประมาณ	0.5%



รูปที่ 2.3 น้ียงสด

2) ส่วนที่ไม่ใช่ยาง

ส่วนนี้ประกอบด้วย ส่วนสำคัญ 2 ส่วน คือ ส่วนที่เป็นน้ำหรือที่เรียกว่าซีรัม (Serum) และส่วนของลูตอยด์ (Lutoid) และสารอื่น

2.1 ส่วนที่เป็นน้ำหรือเรียกว่า ซีรัม

- มีความหนาแน่น ประมาณ 1.02
- ประกอบด้วยสารพวกคาร์โบไฮเดรต และกรดอะมิโน

2.2 ส่วนของลูตอยด์ และสารอื่น

ลูตอยด์

- เป็นอนุภาคกลม มีเยื่อบางหุ้มอยู่
- ขนาดใหญ่กว่าอนุภาคของยางมีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 2 - 5 ไมครอน

- ภายในเยื่อบาง ประกอบด้วยส่วนที่เรียกว่า บี-ซีรัม ที่มีส่วนของสารละลาย กรด กลีโค โปรตีน น้ำตาล และโพลีฟีนอลออกซิเดส ซึ่งเป็นส่วนสำคัญที่ทำให้ยางมีสีคล้ำเมื่อสัมผัสกับออกซิเจนในอากาศ

- ของเหลวในลุตอยด์ มี pH 5.5

- ลุตอยด์จะบวมพองและแตกออกเมื่อเติมน้ำลงไปใต้น้ำยาง เป็นผลให้ยางมีความหนืดเพิ่มขึ้น

- ในการกรีดยาง เมื่อน้ำยางไหลออกได้สักครู่ความเข้มข้นของน้ำยางในท่อน้ำยางจะเจือจางลงเป็นผลให้ลุตอยด์เกิดการพองตัวและแตกออกทำให้น้ำยางจับตัวอุดท่อน้ำยาง และน้ำยางหยุดไหล

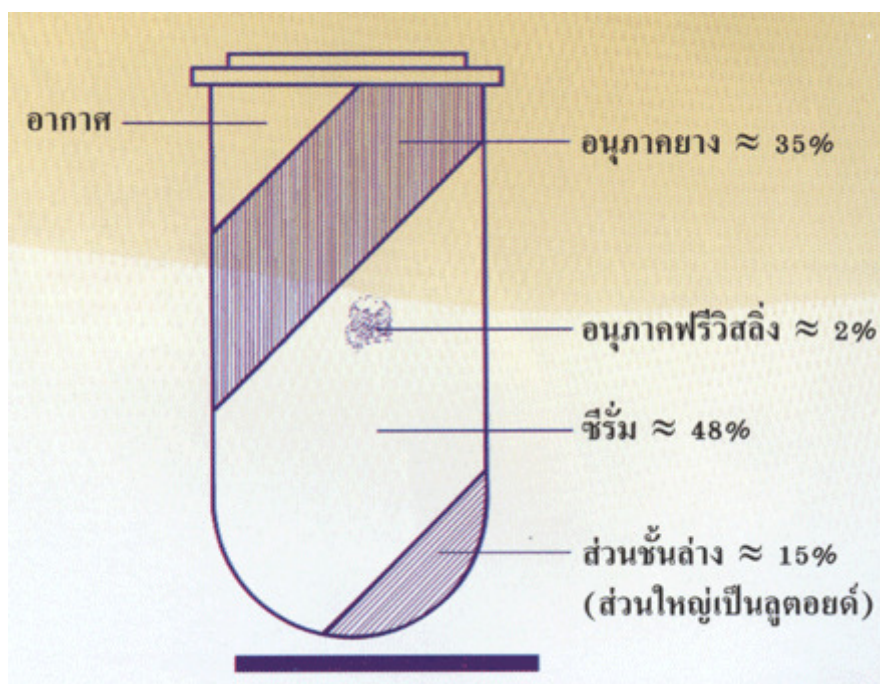
สารอื่น หรือที่เรียกว่า อนุภาค ฟรี วิสลิ่ง (Frey wysling)

- เป็นอนุภาคที่มีสีเหลืองเข้ม ซึ่งมีสีเหลืองเข้มจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปริมาณของสารคาโรทีนอยด์ที่ประกอบอยู่

- ขนาดใหญ่กว่าอนุภาคของยางและมีความหนาแน่นมากกว่ายางเล็กน้อย

- มีส่วนประกอบของไขมันรวมอยู่ด้วย

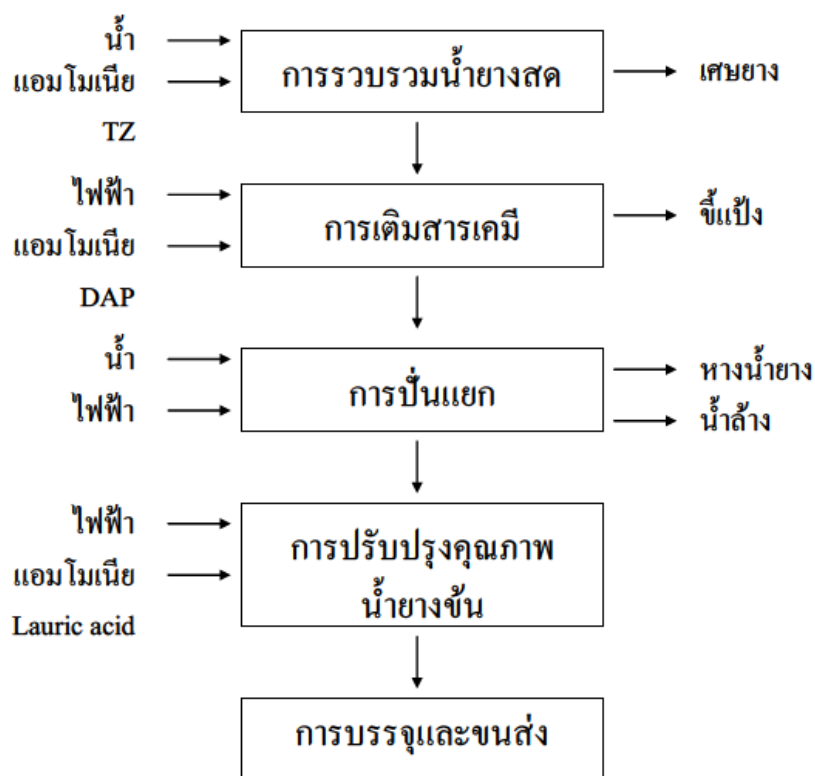
ถ้านำน้ำยางไปปั่นด้วยเครื่องปั่น (Centrifuge) โดยใช้ความเร็วสูง น้ำยางจะแยกออกเป็นชั้น 4 ชั้น ดังภาพ



รูปที่ 2.4 การแยกน้ำยางด้วยเครื่องปั่น

น้ำยางสดจากต้นยางจะมีความเข้มข้นของเนื้อยางเพียง 30-40% เท่านั้น ดังนั้นมันจึงไม่เป็นการประหยัดที่จะทำการขนส่งน้ำยางสดที่ถูกรักษาสภาพไว้ ไปในระยะทางที่ไกลๆ วิธีการโดยทั่วไปมักจะทำให้น้ำยางมีความเข้มข้นเพิ่มขึ้น โดยการเอาน้ำออกเพื่อให้มีค่า DRC ประมาณ 60% เพื่อการประหยัดค่าใช้จ่ายในการขนส่ง ดังนั้นกระบวนการแปรรูปน้ำยางเป็นผลิตภัณฑ์จึงมีการปรับให้ใช้น้ำยางที่มีความเข้มข้นสูง (DRC ~ 60%) โดยตรง ตัวอย่างเช่น การทำยางฟองน้ำ นอกจากนี้ยังพบว่าน้ำยางชั้นมีคุณภาพที่สม่ำเสมอยิ่งกว่าน้ำยางสด ไม่ว่าจะเป็นความเข้มข้นของน้ำยาง ปริมาณสารที่ไม่ใช่ยางในน้ำยาง เป็นผลให้กระบวนการทำงานในโรงงานทำได้ง่ายกว่าการใช้งานน้ำยางสด

กระบวนการปั่นแยก (centrifugation) เป็นวิธีการที่สำคัญที่สุดในอุตสาหกรรมการผลิตน้ำยางชั้นจากน้ำยางธรรมชาติเพราะสามารถผลิตได้ในปริมาณมากและได้อย่างต่อเนื่องโดยตลอด ซึ่งวิธีการนี้มีการค้นพบตั้งแต่ปี ค.ศ.1898 แต่มีการนำมาใช้งานจริงในระดับอุตสาหกรรมเมื่อปี ค.ศ. 1923 โดย Uttermark ที่ได้อธิบายวิธีการปรับปรุงเครื่องแยกครีมเพื่อให้สามารถผลิตน้ำยางที่มีความเข้มข้นของเนื้อยางได้สูงถึง 60% โดยน้ำหนัก โดยไม่ต้องเติมสารเคมีใดๆ นอกจากแอมโมเนียที่ใช้ในการรักษาสภาพน้ำยางเป็นปริมาณ 0.75% โดยน้ำหนัก ต่อมาได้มีการพัฒนาและปรับปรุงประสิทธิภาพของกระบวนการนี้ ส่วนใหญ่เป็นผลมาจากการพัฒนาและออกแบบเครื่องปั่นแยก



รูปที่ 2.5 ขั้นตอนการผลิตน้ำยางชั้น

ขั้นตอนการผลิตน้ำยางชั้นโดยเครื่องปั่นแยกดังแสดงในรูปที่ 2.5 ซึ่งน้ำยางสดจะถูกเก็บรวบรวมและพักไว้ในบ่อพักก่อนการป้อนเข้าสู่เครื่องปั่นแยก เพื่อแยกอิมulsion ของโลหะแมกนีเซียมให้มีปริมาณเหลือน้อยที่สุด เพราะน้ำยางที่มีปริมาณแมกนีเซียมอิมulsion ตกค้างอยู่สูง จะมีความเสถียรทางกล (mechanical stability) ของน้ำยางต่ำ มีความหนืดสูง และ pH ของการเกิดเป็นเจลสูงเช่นกัน น้ำยางสดก่อนที่จะนำไปปั่นจึงต้องผ่านการลดปริมาณแมกนีเซียมอิมulsion โดยการเติมสารเคมี Diammonium Hydrogen Phosphate (DAHP) หรือ Diammonium Phosphate (DAP) และพักน้ำยางสดไว้เป็นระยะเวลา 10-12 ชั่วโมง เพื่อให้สารเคมีที่เติมเกิดปฏิกิริยาและทำให้แมกนีเซียมที่เจือปนอยู่ในน้ำยางสดเกิดการตกตะกอนอยู่ในรูปของของแข็งที่เรียกกันโดยทั่วไปว่า “ขี้แป้ง” (sludge) ดังปฏิกิริยาต่อไปนี้



น้ำยางสดที่เหมาะสมต่อการนำไปปั่นควรมีปริมาณแมกนีเซียมอิมulsion น้อยกว่า 100 ppm และน้ำยางชั้นหลังการปั่นควรมีปริมาณแมกนีเซียมอิมulsion ไม่เกิน 50 ppm ตามมาตรฐานอุตสาหกรรมของน้ำยางชั้น ปริมาณการเติม DAP หรือ DAHP สามารถคำนวณได้จากปริมาณแมกนีเซียมอิมulsion ที่มีอยู่ในน้ำยางสดที่หาได้ โดยอาศัยปฏิกิริยาข้างต้น คือ 1 กรัมของแมกนีเซียมอิมulsion ทำปฏิกิริยาพอดีกับ 5.4 กรัม ของ DAHP ในทางปฏิบัติการคำนวณหาปริมาณ DAHP ที่ต้องใช้จะต้องเป็นปริมาณที่สามารถลดปริมาณแมกนีเซียมอิมulsion ในน้ำยางสดได้เพียงประมาณ 70-80% ของที่มีอยู่เดิม เพราะถ้าหากใช้มากเกินไปจนความจำเป็น จะเกิดผลเสียกับคุณภาพน้ำยาง คือจะเกิดอนุผลของ phosphate ตกค้าง และอาจเกิดปฏิกิริยากับสารบางตัวที่ใช้ในกระบวนการทำผลิตภัณฑ์จากน้ำยางชั้น ช่วงระยะเวลาการพักน้ำยางจึงจำเป็นต้องเติมสารเคมีที่รักษาสภาพน้ำยางสด โดยทั่วไปนิยมใช้แอมโมเนียที่อยู่ในรูปก๊าซเพื่อป้องกันไม่ให้น้ำยางเกิดการบูดเน่าก่อนที่จะนำไปปั่นแยก และต้องไม่มีผลต่อปริมาณเนื้อยางในน้ำยาง

การปั่นแยกน้ำยางสดด้วยเครื่องปั่น น้ำยางจะถูกปล่อยให้ไหลเข้าส่วนบนสุดของตัวเครื่องผ่านสกรูปรับ (regulating screw) ไปยังจุดศูนย์กลางของหัวปั่น แรงปั่นของเครื่องจะปั่นให้น้ำยางไหลขึ้นไปตามรูของชุดจานแยก ทำให้น้ำยางถูกแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือส่วนน้ำยางชั้นที่มีปริมาณเนื้อยางแห้งสูงกว่า 60% กับส่วนหางน้ำยาง (skim latex) ที่มี DRC ~ 3-7% กำลังการผลิตของเครื่องปั่นแยกในระดับอุตสาหกรรมอยู่ระหว่าง 400-600 ลิตรของน้ำยางสดต่อชั่วโมง ขึ้นอยู่กับสมรรถนะของเครื่องปั่นในแต่ละรุ่น โดยปกติการเดินเครื่องปั่นจะสามารถเดินติดต่อกันได้อย่างมากครั้งละไม่เกิน 3 ชั่วโมง เพราะจำเป็นต้องหยุดเครื่องเพื่อทำความสะอาดกำจัดสิ่งอุดตันภายในหัวปั่นเช่น ยางหัวโบว์ และกากขี้แป้ง เนื่องจากน้ำยางสด

มีส่วนประกอบอื่นๆ ที่เป็นของแข็งที่ไม่ใช่ยางอยู่ด้วยดังที่กล่าวในตอนต้น ของแข็งเหล่านี้จะถูกเหวี่ยงเข้าไปเกาะทางด้านข้างของห้องเครื่องและถูกสะสมอยู่บริเวณนั้น ในขณะที่เดียวกัน จะสะสมอยู่ระหว่างชั้นของจานอีกด้วย



รูปที่ 2.6 การล้างหัวปั่นแยกเพื่อกำจัดสิ่งสกปรก

2.2 ปัจจัยและที่มาของปริมาณแมกนีเซียมในน้ำยางธรรมชาติ

ในการปลูกยางพาราเพื่อให้ได้ผลผลิตน้ำยางที่มีคุณภาพนั้น มีความจำเป็นต้องมีการใส่ปุ๋ยแมกนีเซียม หากต้นยางขาดแมกนีเซียมจะทำให้การเจริญเติบโตหยุดชะงัก ทำให้ได้ปริมาณน้ำยางน้อยลง แต่ถ้าหากน้ำยางธรรมชาติมีปริมาณแมกนีเซียมมากเกินไปจะส่งผลกระทบต่อกระบวนการผลิตเป็นน้ำยางชั้น โดยแมกนีเซียมที่พบในน้ำยางมีสาเหตุมาจากปัจจัยต่างๆ สรุปได้ดังต่อไปนี้

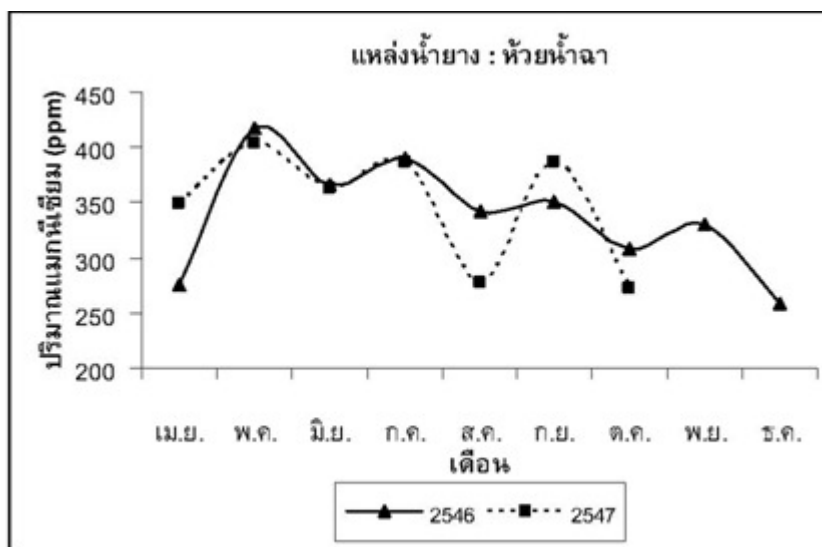
- ปัจจัยทางกายภาพ ได้แก่สภาพพื้นที่ปลูก และฤดูกาล ตัวอย่างเช่น การศึกษาของ สุเมธ ไชยประพัทธ์ และคณะ (2552) พบว่าช่วงเดือนเมษายน – พฤษภาคม หลังจากการเปิดกรีดใหม่ๆ น้ำยางสดจะมีปริมาณแมกนีเซียมค่อนข้างสูง เพราะมีการเติมปุ๋ยเร่งใบในช่วงปิดกรีด ระหว่างปลายเดือนกุมภาพันธ์ถึงต้นเดือนเมษายน นอกจากนี้ปริมาณแมกนีเซียมในน้ำยางสดยังขึ้นอยู่กับลักษณะทางภูมิศาสตร์ของพื้นที่ปลูกยาง ดังแสดงในรูปที่ 2.7 และ 2.8 ตามการตกค้างหรือสะสมของแร่ธาตุ และความยากง่ายของการชะแร่ธาตุ

ตารางที่ 2.1 คุณภาพของน้ำยางที่ได้จากอำเภอต่าง ๆ ในจังหวัดตรัง

พื้นที่เก็บตัวอย่าง	คุณภาพน้ำยาง	
	ปริมาณเนื้อยางแห้ง (%โดยน้ำหนัก)	ปริมาณแมกนีเซียม (ppm)
เขตอำเภอกันตัง	33.71	176.05
เขตอำเภอปะเหลียน	29.35	392.97
เขตอำเภอย่านตาขาว	29.47	430.58
เขตอำเภอวังวิเศษ	30.15	386.24
เขตอำเภอสิเกา	31.50	146.81
เขตอำเภอนาโยง	33.05	385.99



รูปที่ 2.7 แผนที่จังหวัดตรัง



รูปที่ 2.8 ปริมาณแอมโมเนียมในน้ำยางสดที่กรีตได้ในแต่ละช่วงเดือนตั้งแต่ปี พ.ศ. 2546 – 2547 จากแหล่งน้ำยางห้วยน้ำฉา อ.นาบอน จ.นครศรีธรรมราช (ที่มา: สุเมธ ไชยประพัทธ์ และคณะ, 2552)

- ปัจจัยทางเคมี ได้แก่ การใช้ฮอร์โมนเร่งน้ำยาง และการใส่ปุ๋ย โดยเฉพาะปุ๋ยที่มีแอมโมเนียมเป็นองค์ประกอบ ซึ่งแอมโมเนียมเป็นธาตุอาหารรองที่มีผลต่อการเติบโตของต้นยางพาราและการเพิ่มผลผลิตน้ำยาง เนื่องจากแอมโมเนียมเป็นองค์ประกอบหนึ่งในคลอโรฟิลล์ของใบที่ช่วยกระตุ้นให้เอนไซม์ทำงาน และมีหน้าที่สำคัญในกระบวนการใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ดังนั้นต้นยางที่ขาดแอมโมเนียมจะทำให้เป็นโรคใบเหลือง การเจริญเติบโตหยุดชะงัก และให้ผลผลิตน้ำยางน้อยลง สำหรับการใส่ฮอร์โมนเร่งน้ำยาง เช่น ก๊าซเอธิลีน พบว่าอนุภาคเม็ดยางในน้ำยางจะจับตัวกันช้าลง เนื่องจากก๊าซเอธิลีนจะชะลอการแตกตัวของลูทอยด์ เป็นผลให้น้ำยางที่ได้มาจากระบบการกรีตแบบใช้ฮอร์โมนมีปริมาณแอมโมเนียมน้อยกว่าน้ำยางที่ได้มาจากระบบการกรีตแบบปกติ เนื่องจากแอมโมเนียมในลูทอยด์ออกมาได้น้อยลง

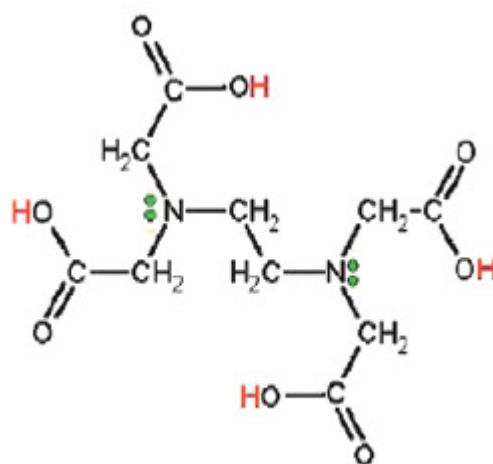
- ปัจจัยทางชีวภาพ ได้แก่ พันธุ์ยาง โดยพิจารณาจากความเข้มข้นของธาตุอาหารในใบยางทำให้สามารถแบ่งพันธุ์ยางได้ตามปริมาณธาตุอาหารในใบยางซึ่งพันธุ์ยางที่ให้ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม และแอมโมเนียมในใบสูง ได้แก่ พันธุ์ยางชั้น 1 เช่น RRIM 600 และ RRIT251 พันธุ์ยางชั้น 2 เช่น RRIT209 และ RRIT 214 เป็นต้น (อิสริยาภรณ์ ดารงรักษ์ และคณะ, 2553)

การวิเคราะห์ปริมาณแมกนีเซียมในน้ำอย่างธรรมชาติ

การวิเคราะห์หาปริมาณแมกนีเซียม มีความจำเป็นสำหรับตัวอย่างหลากหลายชนิด เช่น ยา อาหาร น้ำ ปุ๋ย ซึ่งสามารถวิเคราะห์ได้หลายวิธี เช่น Ion Chromatography, Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectrometry, Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry, Flame Atomic Absorption Spectrometry, Atomic Absorption Spectrometry, Ion Selective Electrode และ UV-Vis Spectrophotometry

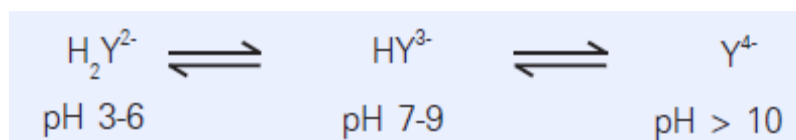
การวิเคราะห์สมบัติของน้ำอย่างธรรมชาติ ค่าปริมาณแมกนีเซียมถือว่าเป็นค่าที่สำคัญค่าหนึ่งที่บ่งบอกถึงสมบัติของยางธรรมชาติและจำเป็นต้องวิเคราะห์ทั้งในน้ำยางสด และน้ำยางข้น เนื่องจากปริมาณแมกนีเซียมที่มากเกินไปในน้ำยางข้น จะส่งผลต่อความเสถียรของน้ำยางและความสามารถในการขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ วิธีวิเคราะห์ที่นิยมใช้ในปัจจุบัน คือ การไทเทรตแบบสารเชิงซ้อน (complexometric titration) เนื่องจากเป็นวิธีที่ง่าย รวดเร็ว และไม่ต้องใช้เครื่องมือที่มีราคาแพงในการวิเคราะห์

เนื่องจากแมกนีเซียม เป็นโลหะที่ไม่มีการแตกตัวให้ H^+ หรือ OH^- ดังนั้น การไทเทรตหาปริมาณแมกนีเซียม จึงแตกต่างจากการหาปริมาณแอมโมเนีย จำนวนกรดไขมันระเหย (VFA Number) หรือจำนวนโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH Number) นั่นคือ ไม่ใช่การไทเทรตแบบกรด-เบส แต่จะเป็นการไทเทรตแบบสารเชิงซ้อน โดยแมกนีเซียมจะทำปฏิกิริยากับ Chelating Agent คือ Ethylene Diamine Tetraacetic Acid (EDTA) ซึ่งมีโครงสร้างดังแสดงในรูปที่ 2.9 เกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนของแมกนีเซียมกับ EDTA ที่มีความเสถียร

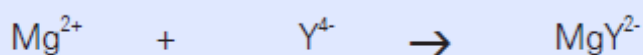


รูปที่ 2.9 โครงสร้างทางเคมีของ Ethylene Diamine Tetraacetic Acid (EDTA)

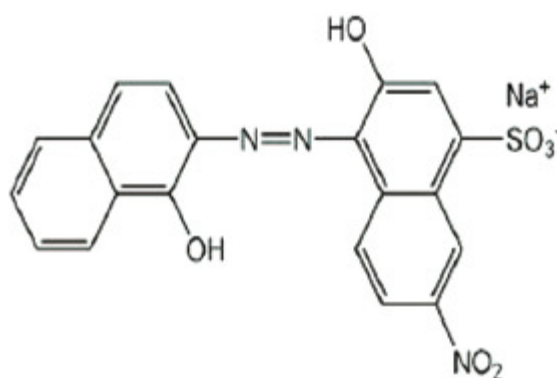
โดยทั่วไปสารละลายมาตรฐานของ EDTA จะเตรียมจาก Disodium Salt ของ EDTA ($\text{Na}_2\text{H}_2\text{Y} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) โดยที่เมื่ออยู่ในน้ำ EDTA จะแตกตัวได้ ซึ่งการแตกตัวจะขึ้นอยู่กับค่า pH ของสารละลายด้วยหากแทน EDTA ด้วย H_4Y การแตกตัวของ EDTA ที่ pH ต่างๆ จะเป็นดังนี้



ในระบบการไทเทรตเพื่อหาแมกนีเซียมในน้ำยาก จะต้องควบคุม pH ให้เท่ากับ 10 หรือมากกว่า ฉะนั้นจึงสามารถเขียนปฏิกิริยาระหว่าง EDTA กับแมกนีเซียมได้ดังนี้



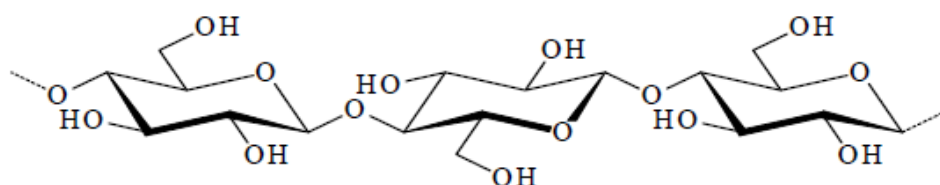
สารประกอบเชิงซ้อนของแมกนีเซียมกับ EDTA (MgY^{2-}) นั้น ไม่มีสี ดังนั้น เพื่อให้เห็นจุดยุติของการไทเทรต เราจึงต้องเติมอินดิเคเตอร์ (Indicator) ลงไปด้วย โดยอินดิเคเตอร์ที่นิยมใช้ในการไทเทรต คือ Eriochrome Black T (อาจพบในชื่อ Solochrome Black) ซึ่งแสดงโครงสร้างทางเคมีได้ดังรูปที่ 2.10



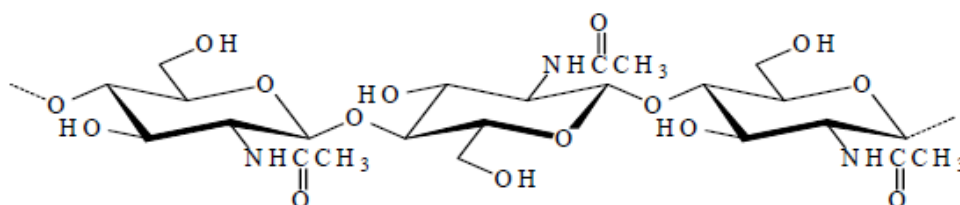
รูปที่ 2.10 โครงสร้างทางเคมีของ Eriochrome Black T Indicator

2.3 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับไคโตซาน

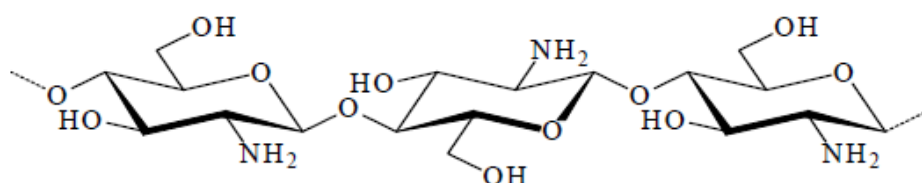
ไคโตซานเป็นพอลิเมอร์ที่มีอยู่ในธรรมชาติ มีชื่อทางเคมีคือ poly[β -(1-4)-2-amino-2-deoxy-D-glucopyranoses] ดังแสดงในรูปที่ 2.11 ซึ่งเตรียมได้จากการกำจัดหมู่อะซิทิล (deacetylation) ของไคตินซึ่งมีปริมาณเป็นอันดับสองรองจากเซลลูโลส โดยพบมากในเปลือกกุ้ง เปลือกปู และกระดองปลาหมึก ด้วยต่างเข้มข้น ทำให้โครงสร้างทางเคมีของไคตินเปลี่ยนแปลงไปโดยหมู่อะซิทิลเปลี่ยนแปลงไปเป็นหมู่อะมิโน (NHCOCH_3) และเปลี่ยนเป็นหมู่อะมิโน ($-\text{NH}_2$)



(ก) โครงสร้างของเซลลูโลส



(ข) โครงสร้างของไคติน



(ค) โครงสร้างของไคโตซาน

รูปที่ 2.11 โครงสร้างทางเคมีของเซลลูโลส (ก), ไคติน (ข), ไคโตซาน (ค)

(ศูนย์ชีวภาพไคติน-ไคโตซาน จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2555)

2.3.1 การผลิตไคโตซาน (ศูนย์ชีวภาพไคติน-ไคโตซาน จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2555)

การผลิตไคโตซานจากไคตินสามารถทำได้ 2 วิธีคือ การผลิตจากกระบวนการทางเคมีและจากกระบวนการทางชีวภาพ โดยวิธีทางชีวภาพนั้นเป็นการใช้เอ็นไซม์ในการดึงหมู่อะซิทิลออกจากไคตินซึ่งยังอยู่ในระดับห้องปฏิบัติการ ส่วนวิธีทางเคมีเป็นวิธีที่ใช้กันอย่างกว้างขวางในปัจจุบัน แต่มีข้อเสียในเรื่องของคุณภาพในการผลิตที่ควบคุมยาก เครื่องมือที่ใช้ถูกกักต้อนอันเนื่องมาจากสารเคมีที่เข้มข้น และที่สำคัญคือเรื่องปัญหาต่อสิ่งแวดล้อม

การสกัดไคโตซานจากไคตินด้วยวิธีทางเคมีสามารถทำได้ดังนี้

1. กระบวนการแยกโปรตีน โดยการแช่เปลือกกุ้ง 150 กรัมใน 4% NaOH ปริมาตร 270 ลิตร ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง
2. กระบวนการแยกแร่ธาตุ หลังจากที่ผ่านมากระบวนการแยกโปรตีนแล้ว จะเข้าสู่กระบวนการแยกแร่ธาตุโดยการแช่ใน 4% HCl ปริมาตร 270 ลิตร ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 18 ชั่วโมง จากนั้นล้างน้ำจนได้ pH เป็นกลาง ซึ่งอาจจะนำไปกำจัดด้วย KMnO_4
3. กระบวนการกำจัดหมู่อะซิทิล ในโครงสร้างของไคตินโดยการแช่ไคตินในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ หรือโปตัสเซียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น (40-50%) ที่อุณหภูมิ 100°C หรือสูงกว่า ทำให้หมู่อะซิทิลบางส่วนหรือทั้งหมดจะถูกดึงออกจากพอลิเมอร์

2.3.2 สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของไคโตซาน

1. การละลาย (solubility) ไคโตซานไม่ละลายในน้ำ ต่ำ และตัวทำละลายอินทรีย์ แต่สามารถละลายได้ในกรดอินทรีย์เกือบทุกชนิดที่มี pH น้อยกว่า 6 ซึ่งกรดอะซิติกและกรดฟอร์มิกเป็นที่นิยมในการนำมาละลายไคโตซาน สารละลายไคโตซานจะมีลักษณะใสและหนืด มีพฤติกรรมแบบนอนนิวโตเนียน ในสารละลายหมู่อะมิโนของไคโตซานจะแตกตัวโดยมีค่าสัมประสิทธิ์การแตกตัว (pKa) ขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของประจุของพอลิเมอร์โดยค่า pKa ของไคโตซานมีค่าอยู่ในช่วง 6.2-6.8

2. ค่าระดับการกำจัดหมู่อะซิทิล (Degree of deacetylation) เป็นตัวบ่งชี้ความเป็นไคตินและไคโตซาน เนื่องจากไคตินและไคโตซานเป็นโคพอลิเมอร์ระหว่างสองมอนอเมอร์ของ N-acetyl-D-glucosamine และ D-glycosamine ถ้าสัดส่วนที่อยู่ร่วมกันของมอนอเมอร์ N-acetyl-D-glucosamine มากกว่าจะมีค่าการกำจัดหมู่อะซิทิลต่ำ จะแสดงสมบัติเด่นของไคติน แต่ถ้าสัดส่วนของมอนอเมอร์ D-glycosamine มากกว่าจะมีระดับการกำจัดหมู่อะซิทิลสูง จะแสดงสมบัติเด่นของไคโตซาน

3. ความหนืด (Viscosity) ความหนืดของสารละลายไคโตซานขึ้นอยู่กับ ค่าการกำจัดหมู่อะซิทิล น้ำหนักโมเลกุล ความเป็นกรด-เบสของตัวทำละลาย อุณหภูมิ ซึ่งโดยทั่วไปหากอุณหภูมิสูงขึ้นความหนืดของสารละลายไคโตซานก็จะลดลง และหากความ

เข้มข้นของกรดที่ใช้เป็นตัวทำละลายมากขึ้นจะทำให้ความหนืดของไคโตซานสูงขึ้นด้วย แต่ในกรณีของการใช้กรดไฮโดรคลอริก (HCl) หากกรดมีความเข้มข้นมากขึ้นจะทำให้ความหนืดลดลงเนื่องจากกรดจะตัดสายโซ่โมเลกุลของไคโตซานให้ขาด ทำให้น้ำหนักโมเลกุลลดลง ความหนืดจึงลดลง

4. ความสามารถในการตกตะกอน (Coagulation ability) การที่ไคโตซานมีหมู่อะมิโนในสายโซ่โมเลกุลจำนวนมากจึงเกิดการแตกตัวกลายเป็นประจุบวกซึ่งจะจับสารที่มีประจุลบเช่นโปรตีน สีย้อม และพอลิเมอร์อื่นๆได้ดี ไคโตซานจึงเป็นตัวสร้างและตัวตกตะกอน (Flocculent and Coagulating agent) ที่ดี นอกจากนี้พบว่าหมู่อะมิโนในไคโตซานมีประสิทธิภาพในการจับกับไอออนของโลหะได้ดีกว่าหมู่อะซิทิลในไคติน ดังนั้นไคโตซานที่มีค่าระดับการกำจัดหมู่อะซิทิลสูงจะมีอัตราการดูดซับหรือความสามารถในการจับกับไอออนของโลหะสูง

5. โครงสร้างโมเลกุล (Molecule conformation) ไคโตซานเป็นพอลิอิเล็กโทรไลต์ประเภทบวก (Cationic polyelectrolyte) เนื่องจากในสารละลายไคโตซานที่ละลายในกรดหมู่อะมิโนจะรับโปรตอนอยู่ในรูป $-NH_3^+$ โครงสร้างของไคโตซานนั้นโมเลกุลที่แตกต่างกันในสารละลายขึ้นอยู่กับความแรงของไอออน ค่า pH อุณหภูมิ น้ำหนักโมเลกุล และค่าระดับการกำจัดหมู่อะซิทิล

6. การเสื่อมสลาย (Degradation) ไคโตซานมีการสลายตัวเหมือนกับพอลิเมอร์หรือพอลิแซคคาไรด์อื่นๆ ทั่วไปคือ เมื่อเกิดการเสื่อมสลายจะทำให้สายโซ่โมเลกุลขาดและสั้นลงกลายเป็นโอลิโกเมอร์ หรือโอลิโกแซคคาไรด์ (Oligosaccharides) และเป็นหน่วยย่อยที่เล็กที่สุดที่เรียกว่ามอนอเมอร์ หรือมอนอแซคคาไรด์ของไคโตซานคือ D-glucosamine

2.3.3 การประยุกต์ใช้ของไคโตซาน

1. ด้านการแพทย์และเภสัชกรรม เนื่องจากไคโตซานสามารถย่อยสลายได้ภายในร่างกายมนุษย์ และใช้เป็นระบบนำส่งยา วัสดุปิดแผล วัสดุทดแทนกระดูก

2. ด้านเครื่องสำอาง ไคโตซานเป็น non-toxic polyelectrolyte ที่มีประจุบวกซึ่งสามารถจับกับโปรตีนและไขมันในผิวหนังและเส้นผมได้ดี จึงได้มีการนำมาผสมในเครื่องสำอางเพื่อรักษาความชุ่มชื้นให้กับผิวและเส้นผมได้เป็นอย่างดี ทั้งนี้ไคโตซานยังมีคุณสมบัติในการยับยั้งแบคทีเรียและเชื้อราได้อีกด้วย

3. ด้านการเกษตร ไคโตซานช่วยลดความเสี่ยงของผู้บริโภคและเกษตรกรต่อการได้รับสารพิษจากปุ๋ยและยาปราบศัตรูพืช อีกทั้งยังสามารถเพิ่มผลผลิตได้และยืดอายุการเก็บเกี่ยวผลผลิตทางการเกษตรได้อีกด้วย

4. การบำบัดน้ำเสีย การนำโคโตะซานมาใช้ในการบำบัดน้ำเสียโดยใช้เป็นสารตกตะกอนชีวภาพในการบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมอาหาร และยังสามารถจับไอออนของโลหะเช่น ไอออนของปรอท ทองแดง แคดเมียม และตะกั่ว

5. ด้านพลังงาน ได้มีการนำโคโตะซานมาผลิตเป็นเมมเบรนแยกก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกจากมีเทนซึ่งเป็นก๊าซที่ใช้เป็นเชื้อเพลิง และปัจจุบันยังมีการวิจัยเมมเบรนโคโตะซานเพื่อผลิตเป็นเมมเบรนเซลล์เชื้อเพลิง เพราะโคโตะซานเป็นเมมเบรนแลกเปลี่ยนโปรตอน โดยยอมให้โปรตอนเคลื่อนที่ผ่านได้แต่ไม่ยอมให้อิเล็กตรอนผ่าน ซึ่งอิเล็กตรอนจะเคลื่อนที่ผ่านวงจรภายนอกเกิดเป็นกระแสไฟฟ้าขึ้น

2.4 การดูดซับ (Adsorption) (ชฎาภา ษยามนนท์, 2547)

การดูดซับ หมายถึง การเพิ่มความเข้มข้นของสารที่พื้นผิวของสารดูดซับ (adsorbent) หรือในทางกลับกันเป็นการลดความเข้มข้นของสารที่ถูกดูดซับ (adsorbate) การดูดซับจึงเป็นกระบวนการแยกองค์ประกอบของสารที่ต้องการออกจากของไหล ซึ่งของไหลนี้อาจอยู่ในสถานะของเหลวหรือก๊าซ โดยตัวดูดซับต้องประกอบด้วยรูพรุนจำนวนมาก โมเลกุลของของไหลจะแพร่เข้าไปภายในรูพรุนและจะถูกดูดซับไว้ภายใน ซึ่งกระบวนการเกิดการดูดซับมีทั้งหมด 3 ขั้นตอนคือ การแพร่ไปยังผิวของสารดูดซับ (Diffusion to Adsorbent Surface) โมเลกุลของตัวถูกดูดซับแพร่ผ่านไปยังผิวด้านนอกของตัวดูดซับ, การผ่านเข้ารูพรุนของสารดูดซับ (Migration into Pores of Adsorbent) โมเลกุลของตัวถูกดูดซับจะเคลื่อนที่ผ่านบริเวณพื้นที่ผิวด้านนอก ไปยังรูพรุนภายในที่มีพื้นที่ผิวมากกว่า ซึ่งการดูดซับเกือบทั้งหมดเกิดขึ้นในขั้นตอนนี้ และเกิดการดูดซับแบบชั้นเดียวของสารดูดซับอย่างรวดเร็ว (Monolayer Build up of Adsorption) โมเลกุลของตัวถูกดูดซับจะยึดติดอยู่ที่ผิวภายในรูพรุน

ประเภทของการดูดซับ การดูดซับสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทคือ

1. การดูดซับทางกายภาพ (Physical Adsorption)

เป็นการดูดซับที่เกิดจากการสัมผัสกัน ทำให้เกิดแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลอย่างเบาบางคือ แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุล และแรงไฟฟ้าสถิตย์ จึงไม่มีการถ่ายเท หรือใช้อิเล็กตรอนร่วมกัน โครงสร้างผิวของสารดูดซับจึงไม่มีการเปลี่ยนแปลง นอกจากนี้ยังเป็นการดูดซับที่ไม่มีบริเวณจำเพาะคือ โมเลกุลของสารสามารถถูกดูดซับบนตำแหน่งใด ๆ ของผิวดูดซับได้ จึงเป็นการดูดซับแบบหลายชั้น (Multilayered) โดยตัวดูดซับสามารถดึงดูดให้โมเลกุลของก๊าซเข้ายึดเกาะและเกิดเป็นชั้นอยู่บนโมเลกุลที่ถูกดูดซับก่อนหน้านี้ได้ ความสามารถในการดูดซับทางกายภาพจะมีเพิ่มมากขึ้นเมื่ออุณหภูมิลดลง ส่วนการเพิ่มอุณหภูมิหรือลดความ

ต้นจะทำให้เกิดการคายสารดูดซับ (Desorption) เนื่องจากการดูดซับทางกายภาพเป็นการยึดเหนี่ยวด้วยแรงอย่างอ่อน

2. การดูดซับทางเคมี (Chemical Adsorption)

เกิดจากการสร้างพันธะระหว่างสารที่ถูกดูดซับกับตัวดูดซับ โดยอาศัยพลังงานกระตุ้นให้ปฏิกิริยาเคมีทำลายแรงยึดเหนี่ยวระหว่างอะตอม แล้วสร้างหรือจัดเรียงอะตอมขึ้นใหม่ พันธะที่เกิดขึ้นจึงมีความแข็งแรง เกิดอย่างจำเพาะเจาะจง เนื่องจากต้องแลกเปลี่ยนอิเล็กตรอนร่วมกัน การดูดซับจึงเป็นแบบชั้นเดียว (Monolayer) โดยการดูดซับทางเคมีจะหยุดลงเมื่อ reactive site ที่ผิวของตัวดูดซับหมดลง การดูดซับทางเคมีไม่สามารถผันกลับได้ (Irreversible) หรือผันกลับได้แต่น้อยมาก และอาจมีการเปลี่ยนรูปไป การดูดซับทางเคมีต้องอาศัยพลังงานกระตุ้น ดังนั้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นความสามารถในการดูดซับยิ่งมาก

ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับ

1. ขนาดและพื้นที่ผิวของสารดูดซับ โดยอัตราการดูดซับเป็นสัดส่วนผกผันกับขนาดหรือเส้นผ่านศูนย์กลางของสารดูดซับเมื่อสารดูดซับนั้นไม่มีรูพรุน แต่ถ้าสารดูดซับนั้นมีรูพรุน อัตราการดูดซับจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับขนาดของสารดูดซับ สารดูดซับที่มีพื้นที่ผิวมากจะมีความสามารถในการดูดซับมากกว่าสารที่มีพื้นที่ผิวในการดูดซับน้อย
2. ความปั่นป่วนที่เกิดจากการกวนน้ำหรือสารละลาย โดยอัตราเร็วในการดูดซับขึ้นอยู่กับความปั่นป่วนของระบบ ถ้าระบบปั่นป่วนต่ำจะส่งผลให้ชั้นฟิล์มซึ่งล้อมรอบสารดูดซับมีความหนา เนื่องจากไม่ถูกรบกวน เป็นอุปสรรคต่อการเคลื่อนที่ของโมเลกุลเข้าไปหาสารดูดซับ
3. ค่า pH มีผลต่อการแตกตัวของไอออนของสารประกอบที่เป็นกรดหรือเบสในการดูดซับ ซึ่งสารละลายที่มีค่า pH ต่ำจะทำให้ความสามารถในการดูดซับมีแนวโน้มลดลง ซึ่งตรงข้ามกับสารดูดซับที่มี pH สูงจะให้การดูดซับมากขึ้น
4. อุณหภูมิ เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นการดูดซับทางเคมีจะมีความสามารถในการดูดซับเพิ่มขึ้น เนื่องจากอิทธิพลของความร้อน ที่ช่วยเร่งสร้างพันธะเคมีให้เกิดเร็วขึ้น แต่ความสามารถในการดูดซับทางกายภาพจะมีค่าลดลง
5. ระยะเวลาที่ของไหลสัมผัสกับตัวดูดซับ การดูดซับจะมีค่าเพิ่มมากขึ้นตามเวลา จนกระทั่งระบบเข้าสู่จุดสมดุล ซึ่งเป็นเวลาที่อัตราการดูดซับเท่ากับอัตราการคาย ความสามารถในการดูดซับจะมีค่ามากที่สุด และมีค่าคงที่เมื่อเวลามากขึ้น

ประโยชน์ของสารดูดซับ

การดูดซับสามารถกำจัดสิ่งเจือปนในน้ำเสีย และก๊าซพิษได้โดยอาศัยกลไกทางเคมี และ กายภาพ ซึ่งสิ่งเจือปนเหล่านี้ได้แก่ สี กลิ่น โลหะหนัก ยาฆ่าแมลง และสารพิษต่างๆ เป็นต้น การดูดซับเป็นกระบวนการที่ควบคุมง่าย มีประสิทธิภาพที่ดี และมีความทนทานต่อสารพิษ นอกจากนี้การดูดซับต้องการพื้นที่น้อย ไม่มีกลิ่นที่รบกวน ไม่มีผลกระทบเมื่อมีการเปลี่ยนแปลง pH อุณหภูมิ หรือปริมาณสารอินทรีย์ที่ไม่คงที่ เงินลงทุนต่ำ และระบบมีความยืดหยุ่นสูง สามารถเพิ่มหรือลดขนาดของระบบได้ง่าย

2.5 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.5.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับคุณสมบัติของไคโตซานกับการพัฒนาเป็นสารดูดซับ

สถาบันวิจัยโลหะและวัสดุ (2548) ศึกษาการควบคุมขนาดของช่องว่างในไคโตซาน เนื่องจากไคโตซานมีประจุบวกและมีความหนาแน่นของประจุสูง สามารถใช้เป็นสารกระตุ้นให้เกิดการตกตะกอนได้ดี การดูดซับของไคโตซานจึงขึ้นอยู่กับขนาดของช่องว่างในโครงสร้าง ซึ่งจากการศึกษาพบว่าสามารถควบคุมขนาดของช่องว่างนี้ได้จากขั้นตอนการขึ้นรูปของไคโตซาน เช่น การใส่สารเพิ่มความพรุนตัว หรือการควบคุมความพรุนตัวด้วยวิธี freeze dry เป็นต้น

สุธา ขาวเขียร และคณะ (2544) ได้ทดลองเตรียมไคโตซานบีดเพื่อนำมากำจัดสารหนูในรูปอาร์ซีเนต พบว่าไคโตซานบีดที่เตรียมได้สามารถละลายในกรดอะซิติก กรดไนตริก กรดไฮโดรคลอริก และสารละลายที่มี pH ต่ำกว่า 6 ได้ แต่จะไม่ละลายในกรดซัลฟูริก ต่าง เอทานอล อะซิโตน และคลอโรฟอร์ม และเมื่อส่องเม็ดบีดที่ผ่านการดูดซับแล้วด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดพบว่า พื้นที่ผิวมีความพรุนตัวลดลง ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการดูดซับของเม็ดบีดเกิดขึ้นที่พื้นผิวภายนอกและภายในรูพรุนของเม็ดบีด

Twu และคณะ (2003) ได้ศึกษาการดูดซับของเม็ดบีดที่มีส่วนผสมของไคโตซานและเซลลูโลส ซึ่งพบว่าเม็ดบีดที่เตรียมได้สามารถดูดซับโลหะหนัก เช่น คอปเปอร์ เหล็ก และนิกเกิลได้ นอกจากนี้ยังพบว่าเม็ดบีดไคโตซานและเซลลูโลสนี้สามารถดูดซับก๊าซ trimethylamine (TMA) ได้ โดยเม็ดบีดที่มีส่วนผสมของไคโตซานมีความสามารถในการดูดซับดีกว่าเม็ดบีดที่เป็นเซลลูโลสเพียงอย่างเดียว และมีประสิทธิภาพในการดูดซับดีกว่าถ่านกัมมันต์อีกด้วย

วีระ รัตนะศรีโสภณ (2546) ได้ศึกษาประสิทธิภาพในการดูดซับสี และกลิ่นด้วย ถ่านกัมมันต์ชนิดเกล็ดเคลือบด้วยไคโตซาน เปรียบเทียบกับถ่านกัมมันต์ธรรมดา พบว่า ภายใต้อุณหภูมิห้อง จุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ลักษณะทางกายภาพของถ่านกัมมันต์ที่ นำมาเคลือบไคโตซานมีรูพรุนลดต่ำลง หรือมีพื้นผิวที่เรียบมากขึ้น แต่กลับมีความสามารถในการดูดซับสีและกลิ่นดีกว่าถ่านกัมมันต์ที่ไม่ได้เคลือบไคโตซาน และยังใช้ในปริมาณที่น้อยกว่า แสดงให้เห็นว่าการดูดซับไม่ได้ขึ้นอยู่กับขนาดของรูพรุนเพียงอย่างเดียว แต่ยังขึ้นอยู่กับ ประจุบนพื้นผิวด้วย

มณฑิชา ภัทรภาณุศักดิ์ และคณะ (2543) ได้ศึกษาความเป็นไปได้ในการกำจัด ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์โดยการดูดซับด้วยไคโตซานพบว่า ไคโตซานบีดและสารละลายไคโต ซานสามารถดูดซับก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ได้ 70 – 95% และ 50 – 90% ตามลำดับ และไค โตซานบีดที่มีขนาดเล็กจะมีความสามารถในการดูดซับใกล้เคียงกับไคโตซานบีดที่มีขนาด ใหญ่

นรินทร์ สัพพวิญญ (2545) ศึกษาลักษณะของเม็ดบีดไคโตซาน ซึ่งพบว่าไคโตซาน แบบเม็ดบีดมีความเหมาะสมต่อการนำไปใช้เป็นสารดูดซับได้ดีกว่าไคโตซานผง หรือเกล็ด เนื่องจากทั้ง 2 แบบนี้ไม่มีความพรุนตัว ละลายได้ง่ายในสารละลายที่เป็นกรด ซึ่งการไม่มีรู พรุนทำให้มีพื้นที่ผิวในการดูดซับน้อยลง

ปิยะบุตร วานิชพงษ์พันธุ์ และคณะ (2547) ได้ทดลองกำจัดทองแดงด้วยไคโตซาน แบบผง และไคโตซานบีดพบว่า ไคโตซานบีดสามารถกำจัดทองแดงได้สูงกว่าไคโตซานแบบ ผงโดยมีค่า 94% และ 67% ตามลำดับ ส่วนไคโตซานบีดแบบเปียกให้ค่าการดูดซับดีกว่าแบบ แห้ง ซึ่งได้ทดสอบดูดซับโลหะจากสารละลายโดยใช้ไคโตซานบีดทั้งชนิดเปียกและแห้งพบว่า ไคโตซานบีดชนิดเปียก และไคโตซานบีดชนิดแห้งให้ค่าการดูดซับ 57.25% และ 53.19% ตามลำดับ

ฐิติมา มณีกุล (2545) นำไคโตซานมาพัฒนาเป็นเม็ดบีดเพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวให้กับไคโต ซาน ได้มีการทดลองที่หลากหลายวิธีได้แก่ ได้เตรียมไคโตซานบีดจากสารละลายไคโตซาน 4% ที่ละลายในกรดอะซิติก 2% โดยได้ไคโตซานบีดที่มีลักษณะเป็นเม็ดค่อนข้างกลม มีสีขาว ขุ่น มีความแข็งแรงคงทนต่อการเขย่า และเมื่อนำไปตรวจสอบสมบัติทางเคมีด้วย XRD (X-Ray Diffractometer) พบว่าไคโตซานบีดมีหมู่ functional group ใกล้เคียงกับผงไคโตซาน

ฐิติมา มณีกุล (2545) ได้ศึกษาการเตรียมไคโตซานบีดเพื่อใช้เป็นตัวดูดซับสีข้อม พบว่า เม็ดบีดขนาดเล็กให้การดูดซับสีข้อมได้ดีกว่าเม็ดบีดขนาดใหญ่ การเติมไกลซินลงใน สารละลายไคโตซานที่อัตราส่วน 1 : 5 จะช่วยเพิ่มความสามารถในการดูดซับให้ดียิ่งขึ้น นอกจากนี้บีดไคโตซานที่ทำปฏิกิริยาเชื่อมขวางด้วย 2.5% (v/v) glutaraldehyde มีความสามารถในการดูดซับดีกว่าบีดที่ไม่ได้ผ่านการทำปฏิกิริยาเชื่อมขวาง

สถาบันวิจัยโลหะและวัสดุ (2548) ศึกษาสารเพิ่มความพรุนตัวของไคโตซานบีด ซึ่งได้เตรียมไคโตซานบีดโดยใช้ซิลิกาเป็นสารเพิ่มความพรุนตัว พบว่า เมื่อเติมซิลิกาความเข้มข้นต่างๆ ลงไปในสารละลายไคโตซาน เม็ดบีดที่ได้มีความพรุนตัวมากขึ้น และหากเพิ่มปริมาณซิลิกาจะทำให้ปริมาตร และขนาดของรูพรุนเพิ่มขึ้นเช่นกัน

Muniyappan และคณะ (2011) ได้ศึกษาการดูดซับคอปเปอร์ในของเหลวจากการดัดแปลงไคโตซานบีด ซึ่งมีการดัดแปลงไคโตซานบีดทางเคมี โดยมีการดัดแปลงเป็นโปรโตเนตไคโตซานบีด คาร์บอกซิลเลตไคโตซานบีด และมีการกราฟต์ไคโตซานบีด ซึ่งพบว่าการกราฟต์ไคโตซานบีดสามารถดูดซับคอปเปอร์ได้มากที่สุด และ pH ของตัวกลางมีผลต่อการดูดซับ ซึ่ง pH 6 เป็นสภาวะที่เหมาะสมที่สุดที่ทำให้ไคโตซานบีดดูดซับได้ดีที่สุด

Chih และคณะ (2007) ได้ศึกษาการแยก phthalate esters ด้วย α -cyclodextrin-linked ไคโตซานบีด ซึ่งพบว่าผลของ pH และอุณหภูมิมีผลต่อการแยก phthalate esters ด้วย α -cyclodextrin-linked ไคโตซานบีด โดยการดูดซับเกิดขึ้นได้ดีในช่วงอุณหภูมิต่ำ ซึ่งการแยก phthalate esters ด้วยการใช้น้ำ α -cyclodextrin-linked ไคโตซานบีดสามารถแยกได้ดีแม้ว่าจะมีสภาพแวดล้อมที่หลากหลาย จึงสามารถนำไปใช้ได้กับระบบบำบัดน้ำเสียในแหล่งต่างๆ

2.5.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเม็ดบีดที่เคลือบด้วยไคโตซาน

Srinivasa และคณะ (2009) ได้ศึกษาการใช้ไคโตซานเคลือบบนพื้นผิวของเม็ด PVC ซึ่งใช้เป็นตัวดูดซับโลหะคอปเปอร์ และนิกเกิล ซึ่งเป็นการพัฒนาตัวดูดซับตัวใหม่ทางชีวภาพ โดยมีการตรวจสอบลักษณะของเม็ดดูดซับด้วยเทคนิค FTIR และมีการตรวจวัดพื้นผิวและความเป็นรูพรุนของเม็ดดูดซับ ซึ่งพบว่าการเคลือบไคโตซานบนผิวของเม็ด PVC จะช่วยให้การดูดซับโลหะคอปเปอร์และนิกเกิลได้ดียิ่งขึ้น โดยค่าสูงสุดที่เม็ด PVC ที่เคลือบด้วยไคโตซานดูดซับคอปเปอร์ได้คือ 87.9 mg/g และนิกเกิลคือ 120.5 mg/g

Chun Shen และคณะ (2013) ได้ศึกษาการเคลือบไคโตซานบนเม็ดบีดแก้ว ซึ่งเป็นเม็ดดูดซับโลหะหนักที่สามารถนำกลับมาใช้งานซ้ำได้ โดยมีการเคลือบเม็ดบีดแก้วด้วยไคโตซาน ซึ่งใช้ไคโตซานที่มีน้ำหนักโมเลกุล 50,000 g/mol และมีการเติมสาร glutaraldehyde ซึ่งเป็นสารที่ทำให้เกิด crosslinking ซึ่งจากการตรวจสอบพบว่าพื้นผิวของเม็ดบีดแก้วมีชั้นของไคโตซานปกคลุมอย่างสม่ำเสมอซึ่งถูกยืนยันโดยเทคนิค SEM และปริมาณของไคโตซานที่ใช้เคลือบบนเม็ดบีดแก้วถูกตรวจสอบด้วยเทคนิค TGA ซึ่งได้แก่ 12.07 wt.%, 6.74 wt.%, 5.54 wt.% และ 5.22 wt.% และจากเทคนิค FTIR พบว่าที่พีค 1636 cm^{-1} แสดงถึงหมู่ NH_2 จากไคโตซาน และที่ 1046 cm^{-1} แสดงถึง Si-O-Si group ที่อยู่ใน glass network และจากการตรวจสอบความสามารถในการดูดซับโลหะหนักจากเม็ดบีดแก้วที่เคลือบด้วยไคโตซานพบว่า

การใช้ไคโตซานในปริมาณ 12.07 wt% สามารถดูดซับโลหะหนักในสารละลายได้ถึง 90% ในเวลา 90 นาที

Q.-H. Shi และคณะ (2003) ได้ศึกษาการเคลือบไคโตซานบนเม็ดปิดซิลิกาที่ใช้ดูดซับโลหะหนักและโปรตีน ซึ่งมีการเคลือบไคโตซานบนพื้นผิวของเม็ดปิดซิลิกาที่มีรูพรุน และมีการ cross-linking โดยการเติมสาร glutaraldehyde ซึ่งมีการตรวจสอบสมบัติของเม็ดปิดซิลิกาที่เคลือบด้วยไคโตซานด้วยเครื่อง BET ซึ่งพบว่าพื้นที่ผิวและรูพรุนของเม็ดปิดซิลิกาที่เคลือบด้วยไคโตซานค่อนข้างมีขนาดเล็กกว่าเม็ดปิดซิลิกาธรรมดา และพบว่าการใช้เม็ดปิดซิลิกาที่เคลือบด้วยไคโตซานดูดซับโลหะ Cu^{2+} และ BSA ได้ดีที่สุดของเหลวที่มี pH = 5 ซึ่งสามารถดูดซับได้ถึง 0.91 mmol/l และดูดซับโปรตีนได้ดีในของเหลวที่มี pH = 8

Sawaminee Nualkaekul และคณะ (2012) ได้ศึกษาเม็ดปิดอัลจินตที่เคลือบด้วยไคโตซาน ซึ่งใช้ไคโตซานที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ (103 kDa) จากการตรวจสอบขนาดของเม็ดปิดด้วยเครื่อง micrometer พบว่าเม็ดปิดอัลจินตที่เคลือบด้วยไคโตซานมีขนาดประมาณ 0.1-0.2 cm ซึ่งการเคลือบเม็ดปิดอัลจินตด้วยไคโตซานได้มีการนำไปประยุกต์ใช้ป้องกัน probiotic cells ในระบบอาหารที่เป็นกรดสูง เช่น pomegranate juice

Muniyappan Rajiv Gandhi และคณะ (2011) ได้ศึกษาการดัดแปลงเม็ดปิดไคโตซานเพื่อใช้ดูดซับโลหะ copper โดยใช้สารละลายไคโตซานที่ความหนืด 700 (mPa/s) ซึ่งวัดด้วยเครื่อง Brookfield Dial Reading Viscometer และจากการตรวจสอบด้วยเทคนิค FTIR พบว่าที่ wavenumber 3440 cm^{-1} คือ -OH และ $-\text{NH}_2$ จากเม็ดปิดไคโตซาน และจากการศึกษาผลของ pH ต่อการแยกโลหะ copper พบว่าการแยกโลหะ copper จากสารละลายโดยใช้เม็ดปิดไคโตซานจะเกิดการแยกได้ดีที่สุดที่ pH = 6

G.C. Steenkamp และคณะ (2001) ได้ศึกษาการเคลือบไคโตซานภายในท่อเซรามิก โดยเตรียมสารละลายไคโตซานในกรดอะซิติกและผสมกับซิลิกา จากนั้นเผาท่อเซรามิกที่อุณหภูมิ 1050°C แล้วเติมสารละลายไคโตซานลงในท่อเซรามิกเกิดเป็นชั้นของไคโตซานในท่อเซรามิก และนำไปแช่ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ และล้างด้วยน้ำแล้วนำไปทำให้แห้งและเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง จากการตรวจสอบด้วยเทคนิค SEM พบว่าพื้นผิวของท่อเซรามิกมีลักษณะเรียบ และจากการศึกษาการแยก Cu^{2+} ด้วยท่อเซรามิกที่เคลือบด้วยไคโตซานพบว่าสามารถแยกได้ $0.1 \text{ g Cu}^{2+} / \text{g}$ ไคโตซาน

บทที่ 3

วิธีการวิจัย

3.1 วัสดุและสารเคมี

สารเคมีที่ใช้ในการทดลองประกอบด้วย

1. น้ำยางสด (Fresh Latex, FL) มีลักษณะเป็นของเหลวสีขาวคล้ายน้ำนมมีปริมาณเนื้อยางแห้งประมาณ 30-35% โดยน้ำหนัก ได้จากบริษัทถาวรอุตสาหกรรมยางพารา จำกัด
2. น้ำยางข้น ชนิดแอมโมเนียสูงซึ่งมีปริมาณเนื้อยางแห้ง 60 % ผลิตโดยบริษัทถาวรอุตสาหกรรมยางพารา จำกัด
3. ไคโตซานน้ำหนักโมเลกุล 80,000 - 120,000 กรัมต่อโมล มีระดับดีอะซิทิลเลชัน 85% ผลิตโดยบริษัท seafresh industry public company limited
4. แมกนีเซียมคลอไรด์
5. กรดไฮโดรคลอริก (HCl) เข้มข้นร้อยละ 94
6. กรดอะซิติก (Acetic acid, CH_3COOH) น้ำหนักโมเลกุล 60.05 กรัม/โมล เตรียมให้อยู่ในรูปของสารละลายความเข้มข้น 2% เพื่อใช้ในการจับตัวน้ำยางในการทดสอบหาปริมาณเนื้อยางแห้ง ผลิตโดยบริษัท J.T.Baker Ltd. ประเทศสหรัฐอเมริกา
7. แมกนีเซียมซัลเฟต
8. กลูตารอลดีไฮด์
9. โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) บริสุทธิ์ร้อยละ 99
10. แอมโมเนียมซัลเฟต (Ammonium sulphate, $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$) มีลักษณะเป็นของแข็งสีขาว น้ำหนักโมเลกุล 132.4 กรัม/โมล เตรียมให้อยู่ในรูปของสารละลายความเข้มข้น 35% เพื่อใช้ในการจับตัวน้ำยางในการทดสอบหาค่ากรดไขมันที่ระเหยได้ (Volatile Fatty Acid, VFA) ผลิตโดยบริษัท VWR International Ltd.
11. แบเรียมไฮดรอกไซด์ (Barium hydroxide-8-hydrate, $(\text{Ba}(\text{OH})_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O})$) มีลักษณะเป็นของแข็งสีขาว น้ำหนักโมเลกุล 315.47 กรัม/โมล เตรียมให้อยู่ในรูปของสารละลายความเข้มข้น 0.01 นอร์มอล เพื่อใช้เป็นสารละลายมาตรฐานในการทดสอบหาค่ากรดไขมันที่ระเหยได้ (Volatile Fatty Acid, VFA) ผลิตโดยบริษัท Ajax Finechem Ltd.
12. กรดซัลฟิวริก (Sulphuric acid, H_2SO_4) มีลักษณะเป็นของเหลวใส น้ำหนักโมเลกุล 98.08 กรัม/โมล ความถ่วงจำเพาะ 1.84 เตรียมให้อยู่ในรูปของสารละลาย 2 ส่วน ต่อ

น้ำกลั่น 5 ส่วนโดยปริมาตร เพื่อใช้ในการทำปฏิกิริยากับเกลือแอมโมเนียมของกรดไขมันระเหยได้ ผลิตโดยบริษัท Labscan Asia Co.,Ltd. ประเทศฝรั่งเศส

13. ฟีนอล์ฟทาลีน (Phenolphthalein, $C_{20}H_{14}O_4$) มีลักษณะเป็นผงสีขาว น้ำหนักโมเลกุล 318.33 กรัม/โมล มีค่า pH ช่วง 8.2-9.8 เตรียมให้อยู่ในรูปของสารละลายความเข้มข้น 0.5% เพื่อใช้เป็นอินดิเคเตอร์ในการทดสอบหาค่ากรดไขมันที่ระเหยได้ (Volatile Fatty Acid, VFA) ผลิตโดยบริษัท J.T.Baker Ltd. ประเทศสหรัฐอเมริกา

14. โพแทสเซียมไฮโดรเจนพทาเลต (Potassium Hydrogen Phthalate, $COOHC_6H_4COOK$) มีลักษณะเป็นผงสีขาว น้ำหนักโมเลกุล 204.23 กรัม/โมล เพื่อใช้เป็นสารละลายมาตรฐานในการทดสอบหาความเข้มข้นที่แน่นอนของแบเรียมไฮดรอกไซด์ ผลิตโดยบริษัท Fluka Chemika ประเทศสวิตเซอร์แลนด์

15. แอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ (Ammonium Hydroxide, NH_4OH) มีลักษณะเป็นของเหลวใส ความถ่วงจำเพาะ 0.91 อยู่ในรูปของสารละลายความเข้มข้น 28-30% โดยน้ำหนัก เพื่อใช้ในการเก็บรักษาสภาพน้ำยาง ผลิตโดยบริษัท J.T.Baker Ltd. ประเทศสหรัฐอเมริกา

16. เม็ดเซรามิก ขนาด 3 มิลลิเมตร



รูปที่ 3.1 เม็ดเซรามิก

3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

1. บีกเกอร์ขนาด 250, 500 และ 1000 มิลลิลิตร
2. เครื่องชั่งสารเป็นเครื่องชั่งระบบดิจิทัล มี 2 แบบ คือทศนิยม 2 ตำแหน่ง และ 4 ตำแหน่ง ผลิตโดยบริษัท Mettler Toledo จำกัด
3. ชุดกวนผสมรุ่น RW20 ผลิตโดยบริษัท IKA Labortechnik
4. ตู้อบความร้อนอินฟราเรด ขนาด 200 ลิตร



รูปที่ 3.2 ตู้อบอินฟราเรดขนาด 200 ลิตร

5. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope, SEM)
Quanta 400, FEI, Czech Republic



รูปที่ 3.3 เครื่อง SEM

6. เครื่องวัด Conductivity



รูปที่ 3.4 เครื่องวัด Conductivity

7. เครื่อง Fourier Transform Infrared Spectrometer (FTIR) EQUINOX 55, Bruker, Germany



รูปที่ 3.5 เครื่อง FTIR

8. เครื่องเคลือบ หรือหม้อเคลือบ (อรรถลักษณะ แพร์ตทกุล, 2552)

หม้อเคลือบชนิดธรรมดา (Conventional coating pan)

หม้อเคลือบชนิดนี้เป็นหม้อเคลือบแบบดั้งเดิมที่พัฒนามาจากหม้อเคลือบน้ำตาล ซึ่งใช้เคลือบชั้นสเตรตของแข็งทั้งที่เป็นยาและอาหารประเภทขนมหวาน ในอดีตหม้อเคลือบประเภทนี้ได้รับความนิยมอย่างมากเนื่องจากส่วนประกอบไม่ซับซ้อนและใช้งานง่าย โดยทั่วไปมีลักษณะเป็นภาชนะทรงกลมปากกว้างทำด้วยโลหะ แกนกลางเอียงทำมุมกับพื้นราบเพื่อให้ผู้เคลือบมองเห็นภายในหม้อได้สะดวก ขณะใช้เคลือบหม้อจะหมุนตามแนวรอบ โดยรอบ ทำให้กองชั้นสเตรตเคลื่อนไหลลดหลั่นเหมือนน้ำตก (cascading fashion) โดยพบว่าชั้นสเตรตที่อยู่กลางหม้อจะเคลื่อนไหลได้ดีที่สุด แต่ส่วนที่อยู่บริเวณด้านหน้าหรือด้านหลังมักล้นได้้น้อยกว่าจึงมักเกิดเป็นจุดบอด (blind spot) หม้อเคลือบมีขนาดต่างกันไปตามปริมาณการผลิต เส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 6 ถึง 90 นิ้ว ส่วนใหญ่มีรูปร่างทรงกลม (spherical) ทรงกลมแบนคล้ายลูกแพร์ (pear-shaped) หรือทรงเหลี่ยม เช่น หกเหลี่ยม (hexagonal) หรือ แปดเหลี่ยม (octagonal) ภายในอาจมีแผ่นกั้น (baffle) ตามแนวขวางหรือไม่ก็ได้ การติดตั้งท่อลมมักทำผ่านทางปากหม้อ เพื่อเป่าลมโดยตรงลงบนกองชั้นสเตรต โดยท่อลมเข้านี้จะมียุบกรณ์ควบคุมอุณหภูมิเพื่อปรับให้เป็นลมร้อนหรือเย็นก็ได้ และมีท่อลม

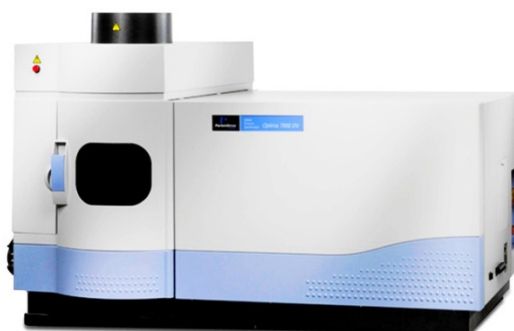
อีกท่อหนึ่งสำหรับดูดออกผ่านทางปากหม้อเช่นกัน เพื่อดูดความชื้นจากตัวทำละลายในสารเคลือบ รวมทั้งฝุ่นผงต่างๆออกจากกองชั้นสเตรต ในระยะหลังมีการพัฒนาระบบถ่ายเทอากาศให้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น โดยให้ลมเป่าผ่านเข้าทางด้านหลังของตัวหม้อ และติดตั้งท่อลมเพียงท่อเดียวสำหรับดูดออกทางปากหม้อ จึงช่วยให้ลมเข้ากระจายผ่านกองชั้นสเตรตได้ดีขึ้น

ในส่วนของคุณภาพการทำให้แห้งนั้น แม่หม้อเคลือบประเภทนี้จะสามารถใช้งานได้ดีในกรณีของการเคลือบน้ำตาล แต่มีข้อจำกัดสำหรับใช้ในการเคลือบฟิล์มซึ่งต้องการระบบถ่ายเทอากาศที่มีประสิทธิภาพสูงกว่ามาก โดยเฉพาะการเคลือบระบบน้ำซึ่งมีความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอค่อนข้างสูง ส่วนประสิทธิภาพของการผสมของชั้นสเตรตในกองชั้นสเตรตนั้นสามารถปรับปรุงให้ดีขึ้นได้โดยการติดตั้งแผ่นกัน เพราะผู้เคลือบมักใช้มือกวาดกองชั้นสเตรตโดยตรง



รูปที่ 3.6 หม้อเคลือบที่มีทอลมร้อนเป่า

9. การทดสอบหาปริมาณแร่ธาตุด้วยเทคนิค ICP-OES



รูปที่ 3.7 เครื่องทดสอบหาปริมาณแร่ธาตุ

3.3 วิธีการดำเนินการทดลอง

3.3.1 เตรียมสารละลายโคโตซานและเคลือบโคโตซานบนเม็ดเซรามิก

1. เตรียมสารละลายโคโตซานความเข้มข้น 1, 3, และ 5% ในกรดอะซิติก ความเข้มข้น 10% โดยกวนทิ้งไว้ 1 คืนแล้วนำมากรองแยกส่วนที่ไม่ละลายออก
2. ปรับผิวของเม็ดเซรามิกขนาด 3 mm ด้วยการแช่เม็ดเซรามิก 300 g ในกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 10% เป็นเวลา 12 ชั่วโมง และนำเม็ดเซรามิกไปปรับผิวด้วยการต้มในน้ำเป็นเวลา 2 ชั่วโมง จากนั้นล้างเม็ดเซรามิกด้วยน้ำกลั่น และนำเม็ดเซรามิกอบที่อุณหภูมิ 60 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง
3. นำเม็ดเซรามิกใส่ในหม้อเคลือบยาขนาดเล็กรั้งละ 300 กรัม
4. เติมสารละลายโคโตซานในหม้อเคลือบยาขนาดเล็กรั้งละ 5 มิลลิลิตร จนครบ 65 มิลลิลิตร
5. แช่เม็ดเซรามิกเคลือบโคโตซานลงในสารเชื่อมขวาง (cross-link) คือ glutaraldehyde 1 wt% เป็นระยะเวลา 2 ชั่วโมง
6. นำเม็ดเซรามิกเคลือบด้วยโคโตซานหลังจากแช่สารเชื่อมขวางไปอบที่อุณหภูมิ 40-50 °C เป็นเวลา 30 นาที
7. ล้างเม็ดเซรามิกเคลือบโคโตซานที่ได้ด้วยน้ำกลั่นให้สะอาด และนำไปอบอีกครั้งที่อุณหภูมิ 40-50 °C เป็นเวลา 30 นาที

8. เก็บเม็ดเซรามิกที่เคลือบด้วยโคโตซานไว้ในเตาเซ็คเตอร์ ก่อนที่จะนำไปทดสอบคุณลักษณะต่าง ๆ และนำไปศึกษาการประยุกต์ใช้ต่อไป



ก.



ข.



ค.

รูปที่ 3.8 เม็ดเซรามิกเคลือบโคโตซานความเข้มข้นต่างๆ (ก.) โคโตซานความเข้มข้น 1% (ข.) โคโตซานความเข้มข้น 3% และ(ค.) โคโตซานความเข้มข้น 5%

3.3.2 ศึกษาการใช้เม็ดเซรามิกเคลือบโคโตซานแยกโลหะแมกนีเซียม

ศึกษาการแยกแมกนีเซียมในสารละลายต่าง ๆ

1. นำเม็ดเซรามิกเคลือบโคโตซานแช่ในสารละลายแมกนีเซียมซัลเฟต และสารละลายแมกนีเซียมคลอไรด์ โดยศึกษาเวลาการแช่ที่ 2 ชั่วโมง
2. กรองเม็ดเซรามิกเคลือบโคโตซานออก และนำสารละลายไปตรวจวัดปริมาณแมกนีเซียมไอออนที่เหลือ โดยการวัดค่า Conductivity และตรวจด้วยเทคนิค ICP-OES

ศึกษาการแยกแมกนีเซียมในน้ำยางธรรมชาติแบบการแช่

1. วิเคราะห์และทดสอบสมบัติของตัวอย่างน้ำยางสด ดังต่อไปนี้คือ TSC DRC ปริมาณกรดไขมันที่ระเหยได้ (VFA) ปริมาณแมกนีเซียม และความเป็นกรดต่าง
2. รักษาสภาพน้ำยางสดโดยการเติมสารละลายแอมโมเนียคิดเป็นปริมาณ 0.4% โดยน้ำหนัก
3. ชั่งน้ำยางสด 20 กรัมใส่ขวดทดลอง และเติมเม็ดเซรามิกเคลือบโคโตซานในปริมาณความเข้มข้นต่าง ๆ คือ 1%, 3% และ 5% จำนวน 5 กรัม โดยเม็ดเซรามิกจะจมสู่ก้นขวด และศึกษาเวลาการแช่ที่เวลา 2 ชั่วโมง
4. กรองเม็ดเซรามิกเคลือบโคโตซานออก และนำน้ำยางธรรมชาติไปตรวจวัดปริมาณแมกนีเซียมไอออนที่เหลือ โดยการไตเตรตหาปริมาณแมกนีเซียมที่เหลือด้วยสารละลาย EDTA
5. เลือกสัดส่วนการแช่ระหว่างเม็ดเซรามิกต่อน้ำยางที่เหมาะสม
6. วิเคราะห์เปรียบเทียบการแยกแมกนีเซียมไอออนในน้ำยางธรรมชาติด้วยเม็ดเซรามิกเคลือบด้วยโคโตซานที่มีความเข้มข้นที่แตกต่างกัน คือ 1, 3, และ 5 wt%

ศึกษาการแยกแมกนีเซียมในน้ำยางธรรมชาติแบบการไหลผ่าน

1. วิเคราะห์และทดสอบสมบัติของตัวอย่างน้ำยางสด ดังต่อไปนี้คือ TSC DRC ปริมาณกรดไขมันที่ระเหยได้ (VFA) ปริมาณแมกนีเซียม และความเป็นกรดต่าง
2. รักษาสภาพน้ำยางสดโดยการเติมสารละลายแอมโมเนียคิดเป็นปริมาณ 0.4% โดยน้ำหนัก

3. ชั่งน้ำยางสด 50 กรัม แล้วเทให้ไหลผ่านในท่อที่บรรจุเม็ดเซรามิกเคลือบไคโตซานในปริมาณความเข้มข้นต่าง ๆ
4. กรอง และนำน้ำยางธรรมชาติไปตรวจวัดปริมาณแมกนีเซียมไอออนที่เหลือ โดยการไตเตรตหาปริมาณแมกนีเซียมที่เหลือด้วยสารละลาย EDTA
5. เลือกสัดส่วนการไหลผ่านของน้ำยางต่อเม็ดเซรามิกที่เหมาะสม
6. วิเคราะห์เปรียบเทียบการแยกแมกนีเซียมไอออนในน้ำยางธรรมชาติด้วยเม็ดเซรามิกเคลือบด้วยไคโตซานที่มีความเข้มข้นที่แตกต่างกัน คือ 1, 3, และ 5 wt%



รูปที่ 3.9 เม็ดเซรามิกเคลือบไคโตซานบรรจุในท่อ



รูปที่ 3.10 การปล่อยน้ำยางไหลผ่านเม็ดเซรามิกเคลือบโคโตซาน



รูปที่ 3.11 ลักษณะเม็ดเซรามิกเคลือบโคโตซานหลังจากแช่น้ำยางธรรมชาติ

3.3.3 การหาปริมาณแมกนีเซียม

ชั่งน้ำหนักน้ำยาง 10 กรัม แล้วเติมน้ำกลั่นลงไป 10 ลบ.ซม. จากนั้นเติมกรดซัลฟูริกเข้มข้น 10% v/v ลงไป 5 ลบ.ซม. เพื่อให้น้ำยางจับตัว แล้วดูดเซรุ่มมา 10 ลบ.ซม. จากนั้นเติมสารละลายบัฟเฟอร์ (pH = 10) ลงไป 5 ลบ.ซม. และเติมสารละลาย KCN เข้มข้น 15% 4 ลบ.ซม. แล้วเติม Erichrome Black T ลงไป 2-3 หยด จากนั้นไตเตรตด้วยสารละลายมาตรฐาน EDTA เข้มข้น 0.01 โมล จนถึงจุดยุติ แล้วคำนวณหาปริมาณแมกนีเซียม

การคำนวณ

$$\text{Mg content (1000 Kg Latex)} = M \times V \times 100 \left[W \times \left(\frac{100 - TSC}{100} \right) \right] + \frac{15}{W} \text{ mol}$$

- เมื่อ TSC คือ ปริมาณของแข็งทั้งหมดของตัวอย่างทดสอบ (ร้อยละ)
 W คือ น้ำหนักของยางที่ใช้ (กรัม)
 M คือ ความเข้มข้นของ EDTA (โมลต่อลูกบาศก์เดซิเมตร)
 V คือ ปริมาณของ EDTA ที่ใช้ไตเตรต (มิลลิลิตร)



รูปที่ 3.12 เครื่องมือที่ใช้ในการไตเตรตหาปริมาณแมกนีเซียม

3.3.4 การหาปริมาณของแข็งทั้งหมด (Total Solid Content; TSC)

การทดสอบอ้างอิงตามมาตรฐาน ASTM D1076-02 โดยเริ่มจากการชั่งงานแก้วให้ละเอียดถูกต้องถึง 0.1 มิลลิกรัมแล้วเทน้ำยางตัวอย่างลงไปประมาณ 2.5 ± 0.5 กรัม (รู้น้ำหนักแน่นอน) เอียงงานไปมาเพื่อให้น้ำยางกระจายทั่วงาน จากนั้นนำไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 100 ± 2 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง (หรือจนเห็นยางใส ไม่มีสีขาวขุ่น) จากนั้นวางทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง และชั่งน้ำหนักยางแห้งที่ได้

การคำนวณ

$$\text{TSC (\%)} = \left[\frac{(C-A)}{(B-A)} \right] \times 100$$

เมื่อ	A	คือ น้ำหนักงานแก้ว (กรัม)
	B	คือ น้ำหนักงานแก้วและน้ำยาง (กรัม)
	C	คือ น้ำหนักงานแก้วและยางที่แห้งแล้ว (กรัม)

3.3.5 การหาปริมาณเนื้อยางแห้ง (Dry Rubber Content; DRC)

การทดสอบอ้างอิงตามมาตรฐาน ISO 126 : 1995 โดยเริ่มจากการเจือจางน้ำยางให้มีปริมาณของแข็งทั้งหมดประมาณร้อยละ 20 ชั่งน้ำหนักประมาณ 10 กรัม (ให้ถูกต้องแน่นอน 5 มิลลิกรัม) ใส่ในถ้วยกระเบื้อง จากนั้นเติมกรดอะซิติกความเข้มข้น 20 กรัม/ลูกบาศก์เดซิเมตร ปริมาตร 75 ลูกบาศก์เดซิเมตร ± 5 ลูกบาศก์เซนติเมตร ลงไปอย่างช้าๆ ภายในเวลา 5 นาที นำน้ำยางที่ใส่กรดแล้วไปวางบนอ่างน้ำร้อนโดยไม่ไปรบกวนเป็นเวลา 15-30 นาที ควรจะได้สารละลายใส แต่ถ้าได้สารละลายขุ่น แสดงว่าใส่กรดเร็วเกินไปหรือใส่กรดไม่มากพอ ดังนั้นจะต้องทำใหม่จนได้สารละลายใสตามต้องการ แล้วให้รวบรวมเศษยางเล็กๆ ไว้กับก้อนยางใหญ่ แล้วล้างยางที่จับตัวแล้วด้วยน้ำที่ก่ำล้างไหล จากนั้นนำยางที่ได้ไปรีดให้มีความหนาไม่เกิน 2 มิลลิเมตร แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 70 ± 2 °C ในเตาอบที่มีอากาศถ่ายเทได้เป็นเวลา 24 ชั่วโมง หรือจนเห็นว่ายางใสไม่มีไตสีขาวอยู่ แล้วทำให้เย็นจนถึงอุณหภูมิห้องจากนั้นนำไปชั่งน้ำหนัก

การคำนวณ

$$\text{DRC (\%)} = \left(\frac{B}{A} \right) \times 100$$

เมื่อ	A	คือ น้ำหนักน้ำยาง (กรัม)
-------	---	--------------------------

B คือ น้ำหนักยางที่แห้งแล้ว (กรัม)

3.3.6 การหาปริมาณความเป็นด่างหรือปริมาณแอมโมเนีย (%Alkalinity)

การทดสอบอ้างอิงตามมาตรฐาน ASTM D1076-02 โดยเริ่มจากชั่งน้ำยางประมาณ 5 กรัม ลงในขวดรูปชมพู่ เติมน้ำกลั่นลงไป 300 มิลลิลิตร หยดสารละลาย methyl red 6 หยด แล้วทำการไตเตรตสารละลายที่ได้ด้วยกรดไฮโดรคลอริก มาตรฐานจนสารละลายเปลี่ยนเป็นสีชมพู

การคำนวณ

$$\text{ปริมาณความเป็นด่าง (\% NH}_3\text{)} = \left(\frac{1.7 \times M \times n}{W} \right)$$

เมื่อ M คือ ความเข้มข้นของกรดมาตรฐาน (โมลต่อลูกบาศก์เดซิเมตร)

n คือ ปริมาณของกรดมาตรฐานที่ใช้ (มิลลิลิตร)

W คือ น้ำหนักของน้ำยางที่ใช้ (กรัม)

3.3.7 การหาปริมาณกรดไขมันที่ระเหยได้ (Volatile Fatty Acid: VFA Number)

การทดสอบอ้างอิงตามมาตรฐาน ISO 506 : 1992 โดยเริ่มจากชั่งน้ำยางประมาณ 50 กรัม ทำให้อย่างจับตัวโดยใช้สารละลายแอมโมเนียมซัลเฟต 50 ลูกบาศก์เซนติเมตร จากนั้นกรองเซรุ่ม และเติมสารละลายกรดกำมะถัน ก่อนนำไปกลั่นให้ได้ของเหลวประมาณ 100 ลูกบาศก์เซนติเมตร แล้วกำจัดคาร์บอนไดออกไซด์ในของเหลวที่กลั่นได้ หยดสารละลายฟีนอล์ฟธาไลน์ และทำการไตเตรตกับสารละลายมาตรฐานแบเรียมไฮดรอกไซด์จนสารละลายเปลี่ยนจากไม่มีสีเป็นสีชมพูอ่อน

การคำนวณ

$$\text{VFA Number} = \left[\frac{134.64 \text{ cV}}{m \text{ TSC}} \right] \times \left[50 + \frac{m(100 - \text{DRC})}{100\rho} \right]$$

เมื่อ c คือความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายแบเรียมไฮดรอกไซด์ (โมลต่อลูกบาศก์เดซิเมตร)

V คือปริมาณของสารละลายแบเรียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ (มิลลิลิตร)

m คือน้ำหนักของน้ำยางที่ใช้ (กรัม)

DRC คือปริมาณเนื้อยางแห้งของตัวอย่างทดสอบ (ร้อยละ)

TSC คือปริมาณของแข็งทั้งหมดของตัวอย่างทดสอบ (ร้อยละ)

ρ คือความหนาแน่นของเซราม (ประมาณ 1.02 กรัมต่อมิลลิลิตร)

3.4 การทดสอบคุณลักษณะของเม็ดเซรามิกเคลือบด้วยโคโตซาน

3.4.1 การทดสอบสมบัติทางเคมี

การทดสอบสมบัติทางเคมีของเม็ดเซรามิกเคลือบโคโตซานในงานวิจัยนี้ ได้ทำการทดสอบตัวอย่างด้วยเครื่อง Fourier Transform Infrared Spectrometer (FTIR) EQUINOX 55, Bruker, Germany โดยใช้เทคนิค attenuate total reflectance (ATR) ทำการวิเคราะห์ในช่วงเลขคลื่น : 4000-400 cm^{-1}

3.4.2 การทดสอบสมบัติด้านสัณฐานวิทยา

ในการทดสอบเป็นการดูพื้นผิวของตัวอย่าง โดยนำเม็ดตัวอย่างทำการฉาบด้วยทองคำ โดยใช้เครื่อง sputter coater จำนวน 1 ครั้ง เป็นเวลา 120 วินาที แล้วนำไปส่องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด Scanning Electron Microscope, Quanta 400, FEI, Czech Republic ซึ่งใช้ Mode : High vacuum, Detector : Everhart Thornley Detector (ETD), High Voltage : 10.00 และ 20.00 kV



รูปที่ 3.13 ลักษณะเม็ดเซรามิกตัวอย่างที่เคลือบด้วยทองคำ

บทที่ 4

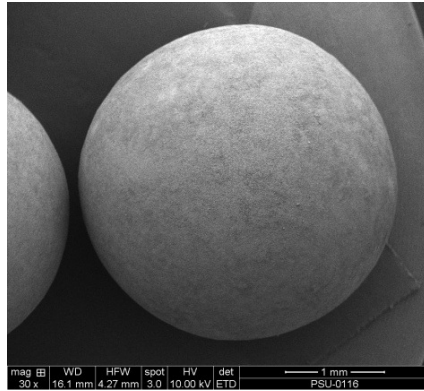
ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

การศึกษาการเตรียมเม็ดเซรามิกเคลือบโคโตซาน โดยมีการปรับสภาพผิวของเม็ดเซรามิกด้วยกรดไฮโดรคลอริกก่อนนำไปเคลือบ และในการเคลือบใช้หม้อเคลือบที่มีลมร้อนเป่าช่วยให้การเคลือบโคโตซานบนเม็ดเซรามิกแห้งเร็วและการเคลือบมีประสิทธิภาพมากขึ้น จากนั้นทำการ Cross-link เม็ดเซรามิกเคลือบด้วยโคโตซานด้วยสารกลูตาโรลดีไฮด์ แล้วศึกษาสมบัติทางเคมีและกายภาพ สมบัติเชิงฟิสิกส์ รวมทั้งศึกษานำเม็ดเซรามิกเคลือบโคโตซานไปประยุกต์ใช้ในการแยกโลหะแมกนีเซียมออกจากน้ำยางธรรมชาติ และสารละลายต่าง ๆ

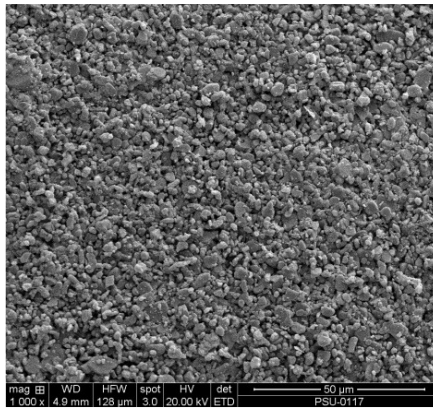
4.1 การเตรียมเม็ดเซรามิกเคลือบโคโตซาน ก่อนการนำไปประยุกต์ใช้แยกแมกนีเซียมออกจากน้ำยางธรรมชาติ

4.1.1 การปรับสภาพผิวของเม็ดเซรามิกก่อนการนำไปเคลือบ

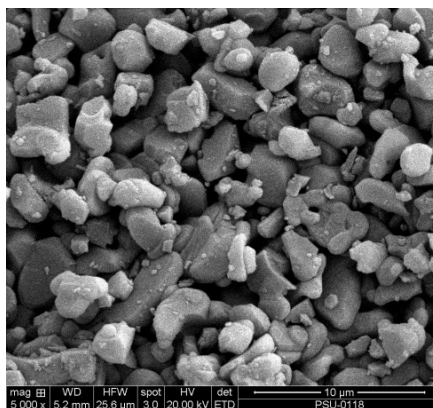
จากรูปที่ 4.2 แสดงให้เห็นถึงลักษณะโครงสร้างทางสัณฐานวิทยาของเม็ดเซรามิกที่มีการปรับสภาพผิวด้วยกรดและการต้มในน้ำเดือดก่อนการนำไปเคลือบ ซึ่งพบว่าผิวของเม็ดเซรามิกที่มีการปรับผิวมีช่องว่างเพิ่มมากขึ้น มีลักษณะความเป็นขรุขระเพิ่มมากขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับรูปที่ 4.1 ซึ่งการปรับสภาพผิวของเม็ดเซรามิกช่วยส่งผลให้การเคลือบด้วยโคโตซานสามารถยึดเกาะได้ดีขึ้น



(ก.)

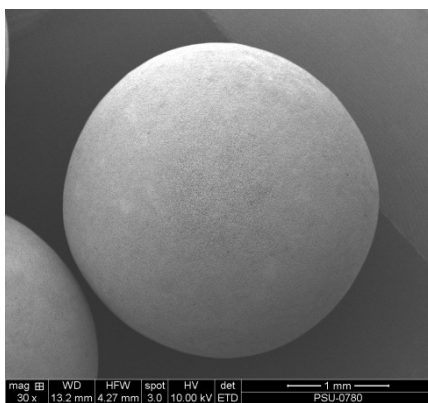


(ข.)

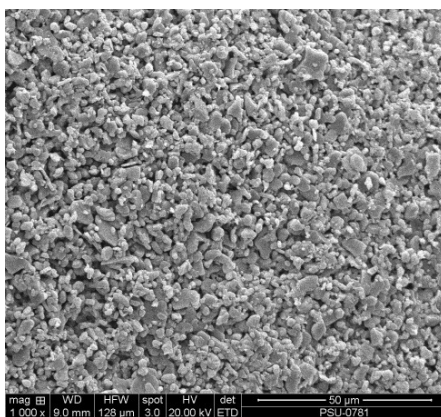


(ค.)

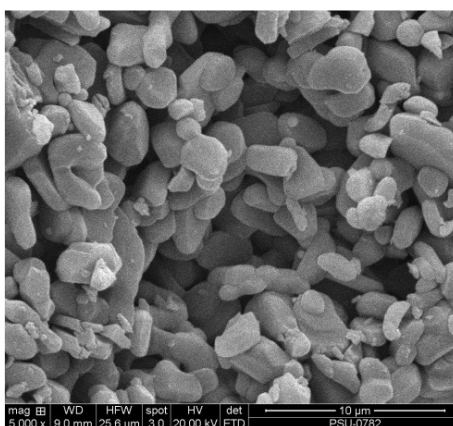
รูปที่ 4.1 ลักษณะของเม็ดเซรามิกปกติ (ก.) กำลังขยาย 30 เท่า
(ข.) กำลังขยาย 1000 เท่า และ (ค.) กำลังขยาย 5000 เท่า



(ก.)



(ข.)



(ค.)

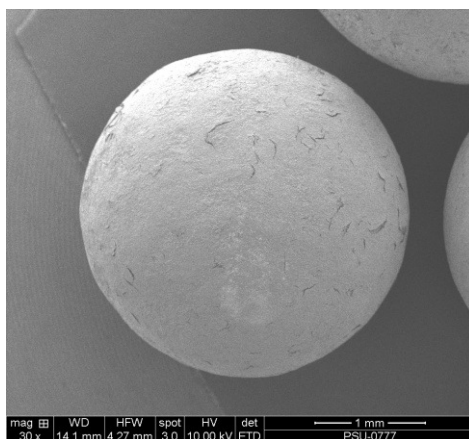
รูปที่ 4.2 ลักษณะของเม็ดเซรามิกหลังการปรับสภาพผิวแล้ว (ก.) กำลังขยาย 30 เท่า
(ข.) กำลังขยาย 1000 เท่า และ (ค.) กำลังขยาย 5000 เท่า

4.1.2 การเคลือบเม็ดเซรามิกด้วยไคโตซาน

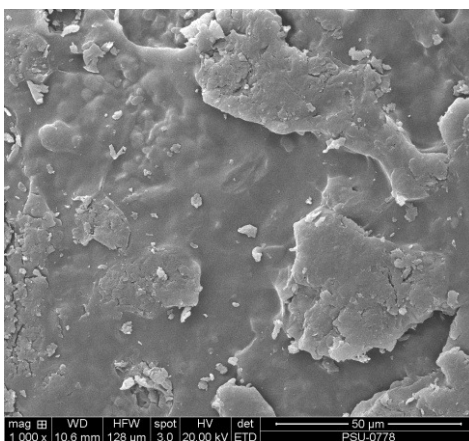
การเคลือบเม็ดเซรามิกด้วยไคโตซาน โดยใช้หม้อเคลือบที่มีลมร้อนเป่าให้แห้งได้เร็วขึ้น การเคลือบไคโตซานใช้ไคโตซานที่มีความเข้มข้นแตกต่างกัน คือ 1, 3 และ 5% โดยน้ำหนัก ซึ่งจากรูปที่ 4.3 แสดงให้เห็นถึงลักษณะโครงสร้างสัณฐานวิทยาของเม็ดเซรามิกเคลือบไคโตซาน พบว่าไคโตซานสามารถยึดเกาะผิวของเม็ดเซรามิกได้ดี และปกคลุมบริเวณผิวของเม็ดเซรามิกได้ดี และพบว่าน้ำหนักของเม็ดเซรามิกเพิ่มมากขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับระหว่างเม็ดเซรามิกก่อนเคลือบและหลังการเคลือบดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 น้ำหนักของเม็ดเซรามิกก่อนเคลือบและหลังการเคลือบ

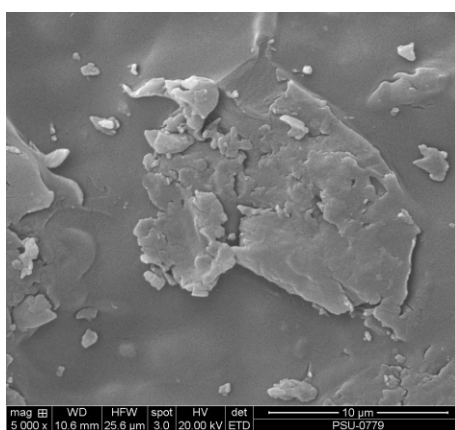
ความเข้มข้นของไคโตซาน (โดยน้ำหนัก)	น้ำหนักเม็ดเซรามิก	
	น้ำหนักก่อนเคลือบ (กรัม)	น้ำหนักหลังเคลือบ (กรัม)
1%	302.04	302.42
3%	301.92	303.11
5%	301.45	304.05



(ก.)



(ข.)

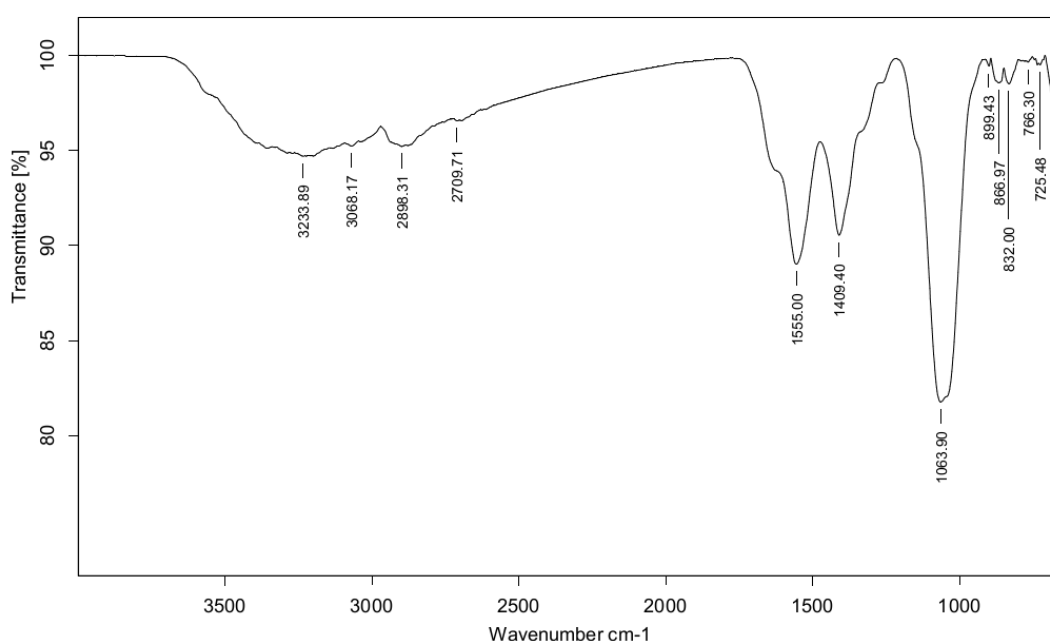


(ค.)

รูปที่ 4.3 ลักษณะของเม็ดเซรามิกเคลือบด้วยโคโตซานเข้มข้น 3% (ก.) กำลังขยาย 30 เท่า
(ข.) กำลังขยาย 1000 เท่า และ (ค.) กำลังขยาย 5000 เท่า

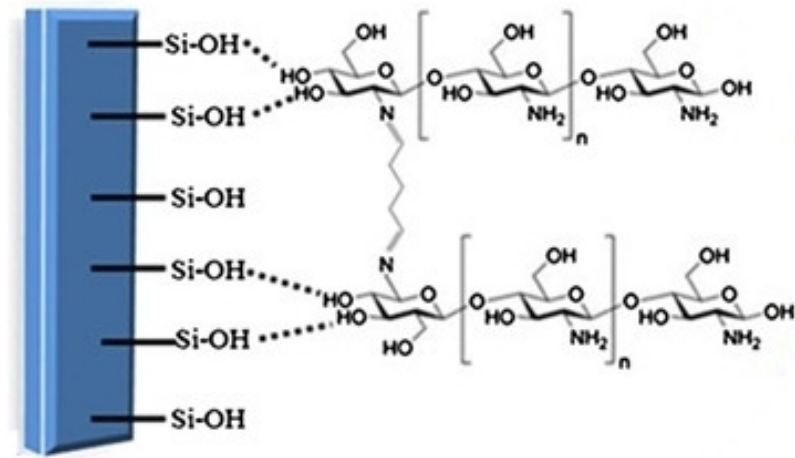
4.1.3 การ Cross-link เม็ดเซรามิกเคลือบไคโตซาน

จากรูปที่ 4.4 แสดงสเปกตรัมของไคโตซานพืคปรากฏขึ้นที่ช่วง wave number ประมาณ $1560 - 1640 \text{ cm}^{-1}$ แสดงหมู่เอมีน (NH_2) พืคช่วง wave number ประมาณ $1640 - 1680 \text{ cm}^{-1}$ แสดงหมู่ฟังก์ชันของ $\text{C}=\text{O}$ ใน $-\text{CNHR}$ พืคช่วง wave number ประมาณ $3100 - 3500 \text{ cm}^{-1}$ แสดงถึงหมู่ไฮดรอกซิล (OH) และพืคช่วง wave number ประมาณ $1000 - 1200 \text{ cm}^{-1}$ แสดงถึงหมู่อีเทอร์ ($-\text{O}-$) ซึ่งหมู่ฟังก์ชันทั้งหมดมีอยู่ในโครงสร้างของไคโตซาน

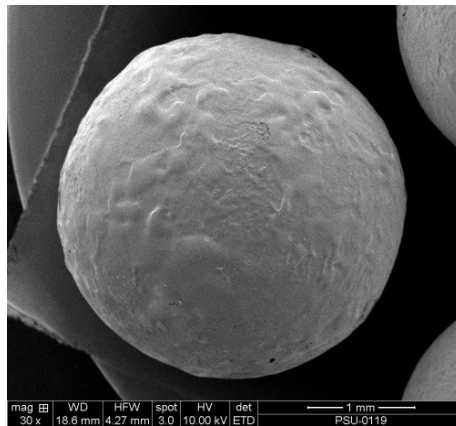


รูปที่ 4.4 ATR-FTIR สเปกตรัมของเม็ดเซรามิกเคลือบไคโตซาน

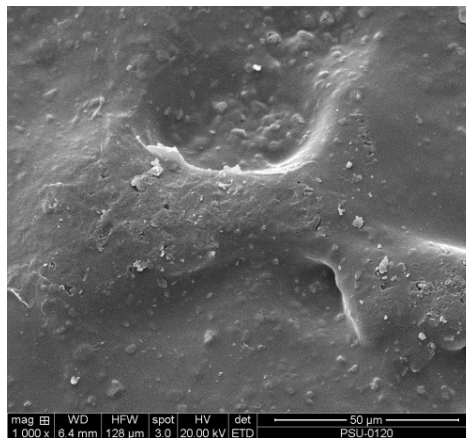
จากรูปที่ 4.6 แสดงให้เห็นถึงลักษณะโครงสร้างทางสัณฐานวิทยาของเม็ดเซรามิกเคลือบไคโตซานที่ทำการ Cross-link ด้วยสารกลูตาโรลดีไฮด์ พบว่าลักษณะพื้นผิวของไคโตซานมีลักษณะแน่นขึ้นและเรียบมากขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับรูป 4.3 ทั้งนี้อาจเกิดจากการที่เกิดการเชื่อมขวางของไคโตซานด้วยกลูตาโรลดีไฮด์ซึ่งแสดงดังรูป 4.5 ทำให้สายโซ่โมเลกุลเกิดการเชื่อมโยงมากขึ้น ซึ่งแสดงได้ว่าการ Cross-link ด้วยสารกลูตาโรลดีไฮด์ ส่งผลให้ไคโตซานยึดเกาะกันได้ดียิ่งขึ้นและแน่นมากขึ้น



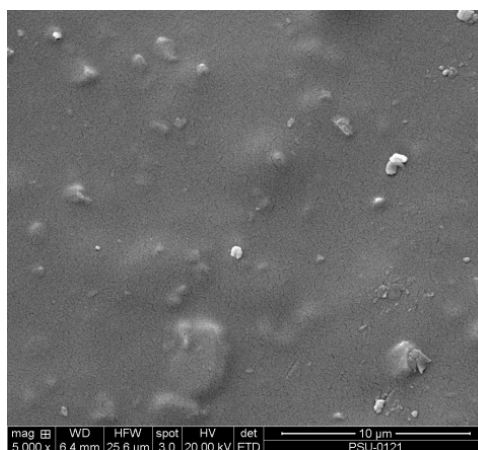
รูปที่ 4.5 การเกิดการเชื่อมขวางของโมเลกุลไคโตซานด้วยกลุ่มไฮดรอกซิล
(Chun Shen, 2013)



(ก.)



(ข.)



(ค.)

รูปที่ 4.6 ลักษณะของเม็ดเซรามิกเคลือบด้วยโคโตซานที่มีการ Cross-link
 (ก.) กำลังขยาย 30 เท่า (ข.) กำลังขยาย 1000 เท่า และ (ค.) กำลังขยาย 5000 เท่า

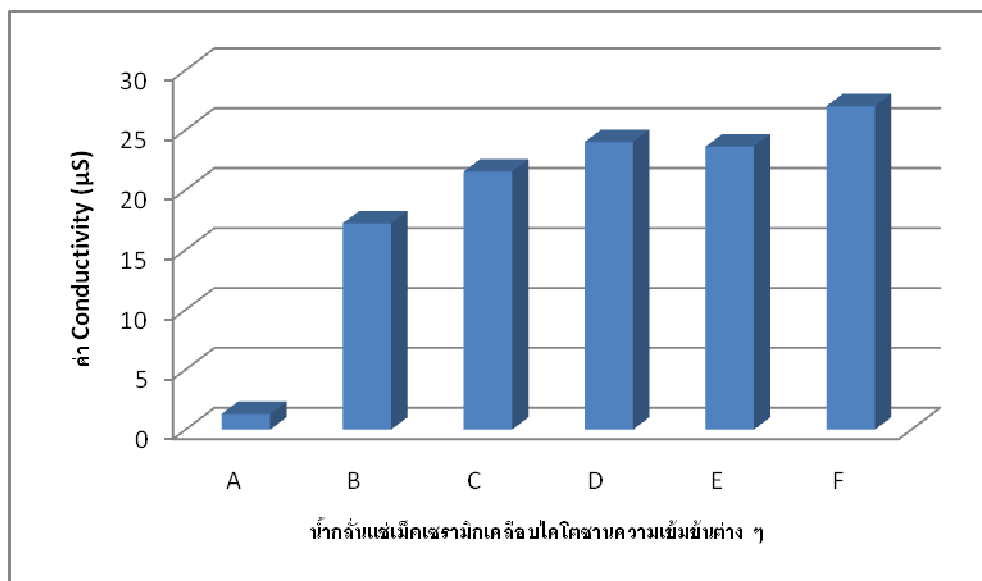
4.2 ศึกษาอิทธิพลต่าง ๆ ที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการนำไปประยุกต์ใช้แยกแมกนีเซียมออกจากน้ำยางธรรมชาติ

4.2.1 อิทธิพลปริมาณความเข้มข้นของไคโตซานในน้ำกลั่นต่อค่า Conductivity

จากตาราง 4.2 และ 4.3 เป็นผลจากการวัดค่า Conductivity ของน้ำกลั่นที่แช่เม็ดเซรามิกเคลือบไคโตซานที่ความเข้มข้นต่าง ๆ คือ 1 %, 3%, 3 % Cross-link และ 5% โดยน้ำหนัก ซึ่งผลการทดลองพบว่าเมื่อความเข้มข้นของไคโตซานที่เคลือบบนเม็ดเซรามิกเพิ่มขึ้น ค่า Conductivity เพิ่มขึ้นด้วย ซึ่งอาจจะเป็นผลมาจากที่กรดอะซิติกที่ใช้ละลายไคโตซานแพร่กระจายออกมาในน้ำกลั่น และอาจจะเป็นผลมาจากไคโตซานที่เคลือบอยู่บนเม็ดเซรามิกหลุดออกมากระจายอยู่ในน้ำกลั่น ส่งผลให้ค่า Conductivity เพิ่มขึ้นด้วย ซึ่งต้องแก้ไขด้วยการทำการเชื่อมขวางไคโตซานที่เคลือบอยู่บนเม็ดเซรามิก โดยการแช่เม็ดเซรามิกเคลือบไคโตซานในสารกลูตารอลดีไฮด์ ซึ่งเป็นสารเชื่อมขวาง เพื่อเพิ่มความแข็งแรงและลดการหลุดออกของไคโตซานเมื่อแช่ในสารละลายต่าง ๆ

ตารางที่ 4.2 ค่า Conductivity ของน้ำกลั่นแช่เม็ดเซรามิกเคลือบไคโตซาน 2 ชั่วโมง

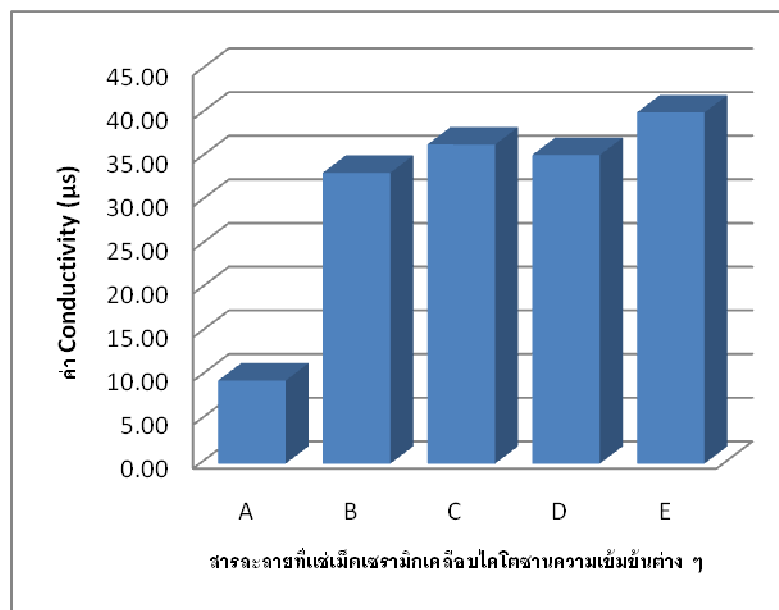
สัญลักษณ์ที่ใช้	สภาวะการทดลอง	ค่า conductivity (μS)
A	น้ำกลั่น	1.32
B	น้ำกลั่นแช่เม็ดเซรามิก ไม่เคลือบไคโตซาน	17.22
C	น้ำกลั่นแช่เม็ดเซรามิกเคลือบไคโตซานเข้มข้น 1%	21.54
D	น้ำกลั่นแช่เม็ดเซรามิกเคลือบไคโตซานเข้มข้น 3%	24.00
E	น้ำกลั่นแช่เม็ดเซรามิกเคลือบไคโตซานเข้มข้น 3% Cross-link	23.62
F	น้ำกลั่นแช่เม็ดเซรามิกเคลือบไคโตซานเข้มข้น 5%	27.00



รูปที่ 4.7 ค่า Conductivity ของน้ำกลั่นแช่เม็ดเซรามิกเคลือบไคโตซาน 2 ชั่วโมง

ตารางที่ 4.3 ค่า Conductivity ของน้ำกลั่นแช่เม็ดเซรามิกเคลือบไคโตซาน 6 ชั่วโมง

สัญลักษณ์	สารละลาย	ค่า conductivity (µs)			
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย
A	น้ำกลั่นปกติ	9.55	9.46	9.53	9.51
B	beads coat 1%	33.40	33.10	33.40	33.30
C	beads coat 3%	36.90	36.20	36.50	36.53
D	beads coat 3% Cross-link	35.40	35.20	35.40	35.33
E	beads coat 5%	39.20	40.70	40.70	40.20



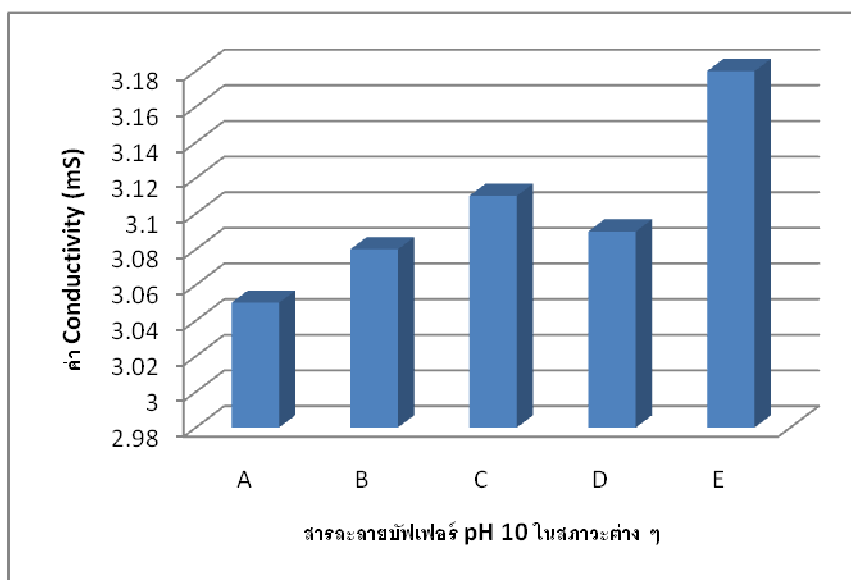
รูปที่ 4.8 ค่า Conductivity ของน้ำกลั่นแช่เมมเบรนเซรามิกเคลือบไคโตซาน 6 ชั่วโมง

4.2.2 อิทธิพลปริมาณความเข้มข้นของไคโตซานในบัฟเฟอร์ pH 10 ต่อค่า Conductivity

จากตาราง 4.4 เป็นผลจากการวัดค่า Conductivity ของบัฟเฟอร์ pH 10 ที่แช่เมมเบรนเซรามิกเคลือบไคโตซานที่ความเข้มข้นต่าง ๆ คือ 1 %, 3%, 3% Cross-link และ 5% โดยน้ำหนัก ซึ่งผลการทดลองพบว่าเมื่อความเข้มข้นของไคโตซานเพิ่มสูงขึ้น ค่า Conductivity เพิ่มขึ้นด้วย และพบว่าเมมเบรนเซรามิกเคลือบไคโตซานที่ความเข้มข้น 3% Cross-link ซึ่งมีการเชื่อมขวางไคโตซานด้วยสารกลูตาโรลดีไฮด์ ทำให้มีความแข็งแรงและมีการหลุดออกของไคโตซานน้อยกว่าเมมเบรนเซรามิกเคลือบไคโตซานความเข้มข้นอื่น ๆ ที่ไม่มีการเชื่อมขวาง สารละลายบัฟเฟอร์ที่แช่เมมเบรนเซรามิกเคลือบไคโตซานที่ความเข้มข้น 3% Cross-link จึงมีค่า Conductivity ที่ต่ำกว่าเมมเบรนเซรามิกเคลือบไคโตซานความเข้มข้นอื่น ๆ ที่ไม่มีการเชื่อมขวาง

ตารางที่ 4.4 ค่า Conductivity ของสารละลายบัฟเฟอร์ pH 10 แซ่เม็ดเซรามิกเคลือบโคโตซานความเข้มข้นต่างๆ ในระยะเวลา 2 ชั่วโมง

สัญลักษณ์ที่ใช้	สภาวะการทดลอง	ค่า conductivity (mS)
A	สารละลายบัฟเฟอร์ pH 10	3.05
B	สารละลายบัฟเฟอร์ pH 10 แซ่เม็ดเซรามิกเคลือบโคโตซานเข้มข้น 1%	3.08
C	สารละลายบัฟเฟอร์ pH 10 แซ่เม็ดเซรามิกเคลือบโคโตซานเข้มข้น 3%	3.11
D	สารละลายบัฟเฟอร์ pH 10 แซ่เม็ดเซรามิกเคลือบโคโตซานเข้มข้น 3% Cross-link	3.09
E	สารละลายบัฟเฟอร์ pH 10 แซ่เม็ดเซรามิกเคลือบโคโตซานเข้มข้น 5%	3.18



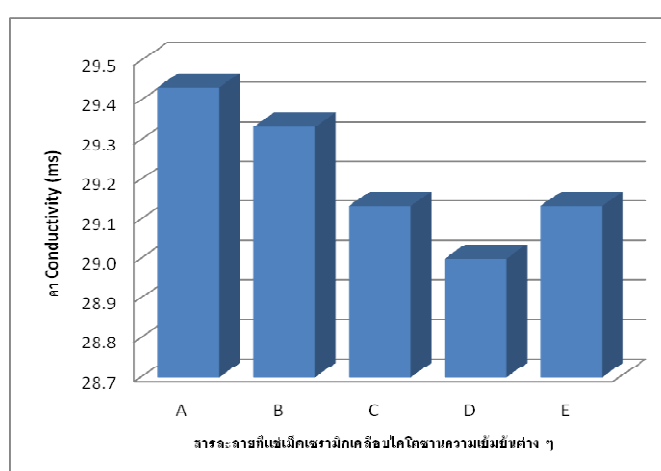
รูปที่ 4.9 ค่า Conductivity ของสารละลายบัฟเฟอร์ pH 10 แซ่เม็ดเซรามิกเคลือบโคโตซานความเข้มข้นต่างๆ ในระยะเวลา 2 ชั่วโมง

4.2.3 อิทธิพลปริมาณความเข้มข้นของโคโตซานในสารละลายแมกนีเซียมซัลเฟตต่อค่า Conductivity

จากตาราง 4.5 เป็นผลจากการวัดค่า Conductivity ของสารละลายแมกนีเซียมซัลเฟตที่แช่เม็ดเซรามิกเคลือบโคโตซานที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ในระยะเวลา 2 ชั่วโมง ซึ่งผลการทดลองพบว่าค่า Conductivity ของสารละลายแมกนีเซียมซัลเฟตลดลง หลังแช่เม็ดเซรามิกเคลือบโคโตซาน เนื่องจากเม็ดเซรามิกเคลือบโคโตซานสามารถดูดซับแมกนีเซียมบางส่วนได้ ส่งผลให้แมกนีเซียมเหลืออยู่ในสารละลายน้อยลง ทำให้ค่า Conductivity ที่วัดได้จึงน้อยลง

ตารางที่ 4.5 ค่า Conductivity ของสารละลายแมกนีเซียมซัลเฟตที่แช่เม็ดเซรามิกเคลือบโคโตซานที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ในระยะเวลา 2 ชั่วโมง

สัญลักษณ์	สารละลาย	ค่า conductivity (ms)			
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย
A	MgSO ₄	29.4	29.5	29.4	29.4
B	beads coat 1%	29.3	29.4	29.3	29.3
C	beads coat 3%	29.2	29.0	29.2	29.1
D	beads coat 3% cross-link	29.0	29.0	29.0	29.0
E	beads coat 5%	29.1	29.2	29.1	29.1



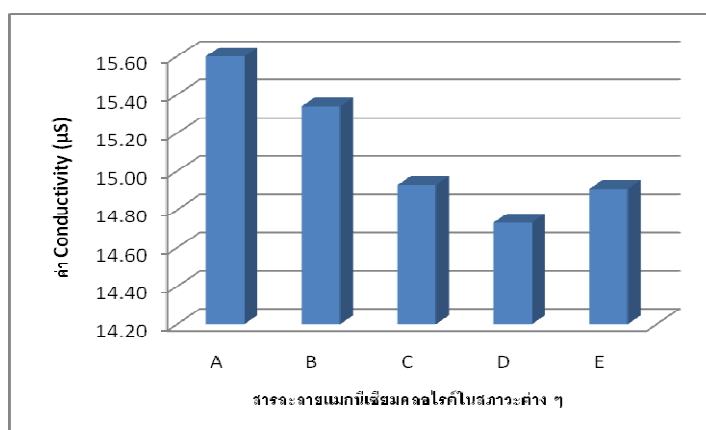
รูปที่ 4.10 ค่า Conductivity ของสารละลายแมกนีเซียมซัลเฟตที่แช่เม็ดเซรามิกเคลือบโคโตซานที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ในระยะเวลา 2 ชั่วโมง

4.2.4 อิทธิพลปริมาณความเข้มข้นของไคโตซานในสารละลายแมกนีเซียมคลอไรด์ต่อค่า Conductivity

จากตาราง 4.6 เป็นผลจากการวัดค่า Conductivity ของสารละลายแมกนีเซียมคลอไรด์ที่แช่เม็ดเซรามิกเคลือบไคโตซานที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ในระยะเวลา 2 ชั่วโมง ซึ่งผลการทดลองพบว่าเมื่อความเข้มข้นของไคโตซานที่เคลือบบนเม็ดเซรามิกเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่า Conductivity ของสารละลายแมกนีเซียมคลอไรด์ลดลง และพบว่าเม็ดเซรามิกเคลือบไคโตซานความเข้มข้น 3 % Cross-link ค่า Conductivity ที่วัดได้ต่ำสุด เนื่องจากเม็ดเซรามิกเคลือบไคโตซานความเข้มข้น 3 % Cross-link สามารถดูดซับแมกนีเซียมบางส่วนได้ดี ส่งผลให้แมกนีเซียมเหลืออยู่ในสารละลายน้อยลง และจากการ Cross-link ส่งผลให้มีการหลุดออกของไคโตซานน้อยกว่าเม็ดเซรามิกเคลือบไคโตซานที่ความเข้มข้นอื่น ๆ

ตารางที่ 4.6 ค่า Conductivity ของสารละลายแมกนีเซียมคลอไรด์ที่แช่เม็ดเซรามิกเคลือบไคโตซานที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ในระยะเวลา 2 ชั่วโมง

สัญลักษณ์ที่ใช้	สภาวะการทดลอง	ค่า conductivity (μS)
A	สารละลายแมกนีเซียมคลอไรด์	15.60
B	สารละลายแมกนีเซียมคลอไรด์แช่เม็ดเซรามิกเคลือบไคโตซานเข้มข้น 1%	15.34
C	สารละลายแมกนีเซียมคลอไรด์แช่เม็ดเซรามิกเคลือบไคโตซานเข้มข้น 3%	14.93
D	สารละลายแมกนีเซียมคลอไรด์แช่เม็ดเซรามิกเคลือบไคโตซานเข้มข้น 3% Cross-link	14.73
E	สารละลายแมกนีเซียมคลอไรด์แช่เม็ดเซรามิกเคลือบไคโตซานเข้มข้น 5%	14.91



รูปที่ 4.11 ค่า Conductivity ของสารละลายแมกนีเซียมคลอไรด์ที่แช่เม็ดเซรามิกเคลือบไคโตซานที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ในระยะเวลา 2 ชั่วโมง

4.2.5 อิทธิพลความเข้มข้นของโคโตซานในน้ำยางธรรมชาติต่อค่า Conductivity

จากตาราง 4.8 และ 4.10 เป็นผลจากการวัดค่า Conductivity ของน้ำยางสดและน้ำยางชั้นหลังจากการแช่เม็ดเซรามิกเคลือบโคโตซานความเข้มข้นต่าง ๆ ซึ่งผลการทดลองพบว่าค่า Conductivity ของน้ำยางสดและน้ำยางชั้นลดลง เมื่อความเข้มข้นของโคโตซานที่เคลือบบนเม็ดเซรามิกสูงขึ้น เนื่องจากเม็ดเซรามิกเคลือบโคโตซานสามารถดูดซับแมกนีเซียมบางส่วนไว้ ทำให้แมกนีเซียมในน้ำยางสดเหลือน้อยลง ส่งผลให้ค่า Conductivity ของน้ำยางสดและน้ำยางชั้นหลังแช่เม็ดเซรามิกเคลือบโคโตซานมีค่าลดลง

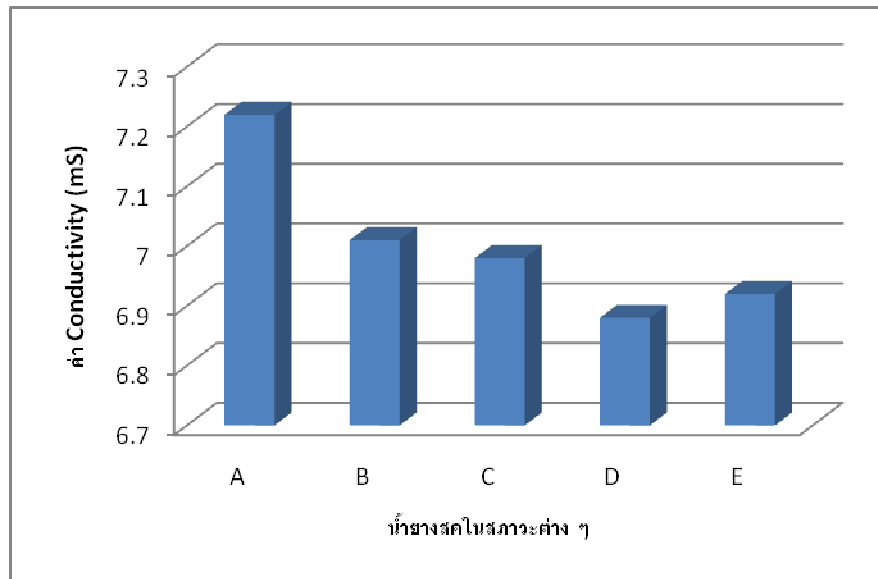
ในงานวิจัยนี้ได้ทำการทดลองในน้ำยางสดที่มีสมบัติดังแสดงในตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 สมบัติน้ำยางสด

สมบัติ	ค่าที่ได้
ปริมาณของแข็งทั้งหมด, %TSC	36.1
ปริมาณเนื้อยางแห้ง, %DRC	33.1
ปริมาณกรดที่ระเหยได้ในน้ำยางสด, VFA Number	0.13
ปริมาณแมกนีเซียม (ppm)	288

ตารางที่ 4.8 ค่า Conductivity ของน้ำยางสดที่แช่เม็ดเซรามิกเคลือบโคโตซานที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ในระยะเวลา 6 ชั่วโมง

สัญลักษณ์ที่ใช้	สภาวะการทดลอง	ค่า conductivity (mS)
A	น้ำยางสด	7.22
B	น้ำยางสดแช่เม็ดเซรามิกเคลือบโคโตซานเข้มข้น 1%	7.01
C	น้ำยางสดแช่เม็ดเซรามิกเคลือบโคโตซานเข้มข้น 3%	6.98
D	น้ำยางสดแช่เม็ดเซรามิกเคลือบโคโตซานเข้มข้น 3% Cross-link	6.88
E	น้ำยางสดแช่เม็ดเซรามิกเคลือบโคโตซานเข้มข้น 5%	6.92



รูปที่ 4.12 ค่า Conductivity ของน้ำยางสดที่แช่เม็ดเซรามิกเคลือบโคโตซานที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ในระยะเวลา 6 ชั่วโมง

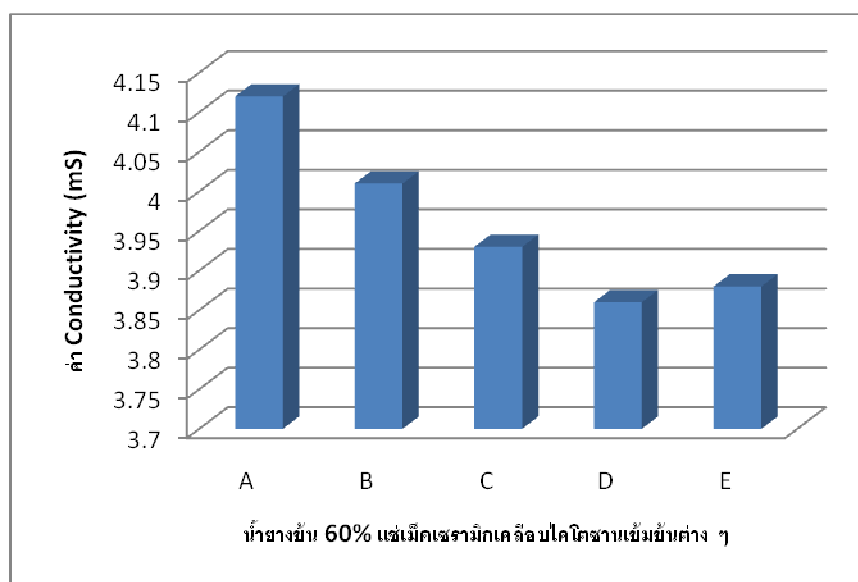
ในงานวิจัยนี้ได้ทำการทดลองในน้ำยางชั้นที่มีสมบัติดังแสดงในตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 สมบัติน้ำยางชั้น

สมบัติ	ค่าที่ได้
ปริมาณของแข็งทั้งหมด, %TSC	60.1
ปริมาณเนื้อยางแห้ง, %DRC	60
ปริมาณกรดที่ระเหยได้ในน้ำยางสด, VFA Number	0.03
ปริมาณแมกนีเซียม (ppm)	55

ตารางที่ 4.10 ค่า Conductivity ของน้ำยางชั้นที่แช่เม็ดเซรามิกเคลือบโคโตซานที่
ความเข้มข้นต่าง ๆ ในระยะเวลา 6 ชั่วโมง

สัญลักษณ์ที่ใช้	สภาวะการทดลอง	ค่า conductivity (mS)
A	น้ำยางเข้มข้น 60%	4.12
B	น้ำยางเข้มข้น 60% แช่เม็ดเซรามิกเคลือบโคโตซานเข้มข้น 1%	4.01
C	น้ำยางเข้มข้น 60% แช่เม็ดเซรามิกเคลือบโคโตซานเข้มข้น 3%	3.93
D	น้ำยางเข้มข้น 60% แช่เม็ดเซรามิกเคลือบโคโตซานเข้มข้น 3% Cross-link	3.86
E	น้ำยางเข้มข้น 60% แช่เม็ดเซรามิกเคลือบโคโตซานเข้มข้น 5%	3.88



รูปที่ 4.13 ค่า Conductivity ของน้ำยางชั้นที่แช่เม็ดเซรามิกเคลือบโคโตซานที่
ความเข้มข้นต่าง ๆ ในระยะเวลา 6 ชั่วโมง

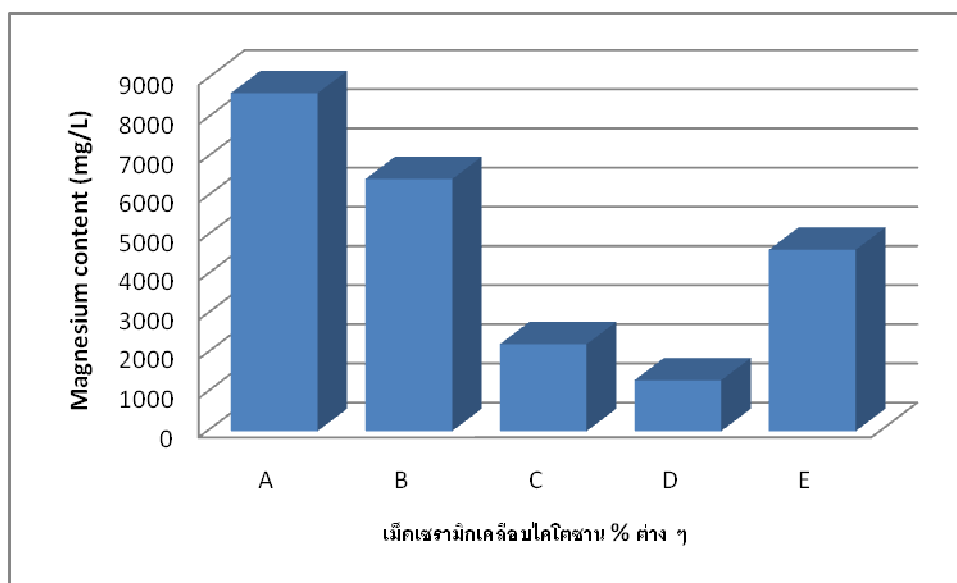
4.3 การทดสอบประสิทธิภาพในการแยกโลหะแมกนีเซียมด้วยเม็ดเซรามิกเคลือบไคโตซาน

4.3.1 การแยกโลหะแมกนีเซียมออกจากสารละลายแมกนีเซียมซัลเฟต ด้วยเม็ดเซรามิกเคลือบไคโตซาน

จากรูปที่ 4.14 เป็นผลจากการทดสอบหาปริมาณแมกนีเซียมในสารละลายแมกนีเซียมซัลเฟตหลังจากการแช่เม็ดเซรามิกเคลือบไคโตซานด้วยเทคนิค ICP-OES โดยนำสารละลายหลังจากการแช่เม็ดเซรามิกเคลือบไคโตซานความเข้มข้นต่าง ๆ ไปหาธาตุแมกนีเซียม ซึ่งผลการทดสอบพบว่าปริมาณของแมกนีเซียมที่เหลือในสารละลายแมกนีเซียมซัลเฟตลดลง จึงสามารถยืนยันได้ว่าเม็ดเซรามิกเคลือบไคโตซานสามารถดูดซับแมกนีเซียมในสารละลายแมกนีเซียมซัลเฟตได้

ตารางที่ 4.11 ปริมาณแมกนีเซียมในสารละลายแมกนีเซียมซัลเฟตหลังจากการแช่เม็ดเซรามิกเคลือบไคโตซานที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ในระยะเวลา 2 ชั่วโมง

สัญลักษณ์	ชื่อตัวอย่าง	Magnesium content (mg/L)
A	MgSO ₄	8632
B	beads 1%	6437
C	beads 3%	2221
D	beads 3% Crosslink	1300
E	beads 5%	4634



รูปที่ 4.14 ปริมาณแมกนีเซียมที่เหลืออยู่หลังการแช่เม็ทเซรามิกเคลือบโคโตซานที่ความเข้มข้นต่าง ๆ

4.3.2 การแยกโลหะแมกนีเซียมออกจากน้ำยาล้างด้วยเม็ทเซรามิกเคลือบโคโตซาน

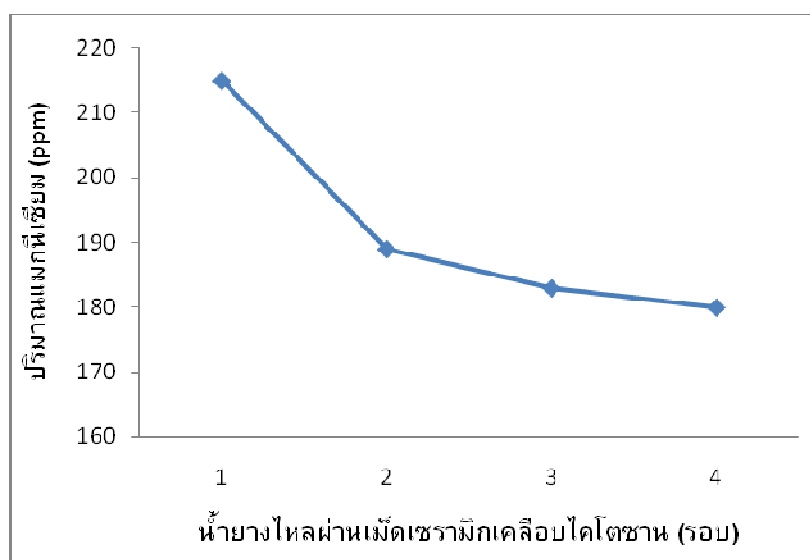
จากการทดลองนำน้ำยาล้างให้ไหลผ่านเม็ทเซรามิกที่บรรจุอยู่ในท่อ ผลการทดลองพบว่าปริมาณแมกนีเซียมในน้ำยาล้างมีค่าลดลง หลังน้ำยาล้างถูกเทให้ไหลผ่านเม็ทเซรามิกเคลือบโคโตซานที่บรรจุอยู่ในท่อ เนื่องจากแมกนีเซียมในน้ำยาล้างบางส่วนถูกดูดซับอยู่ที่ผิวของเม็ทเซรามิกเคลือบโคโตซาน และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างเม็ทเซรามิกเคลือบโคโตซานที่มีการเชื่อมขวางกับเม็ทเซรามิกเคลือบโคโตซานที่ไม่มีการเชื่อมขวาง พบว่าเม็ทเซรามิกเคลือบโคโตซานที่มีการเชื่อมขวางสามารถดูดซับแมกนีเซียมในน้ำยาล้างได้มากกว่าเม็ทเซรามิกเคลือบโคโตซานที่ไม่มีการเชื่อมขวาง เนื่องจากโคโตซานที่เคลือบอยู่บนเม็ทเซรามิกสามารถยึดเกาะอยู่บนผิวของเม็ทเซรามิกได้ดี และดูดซับแมกนีเซียมจากน้ำยาล้างไว้ที่ผิวได้สูง ดังแสดงในรูปที่ 4.16 ส่วนเม็ทโคโตซานที่ไม่มีการเชื่อมขวาง จะมีบางส่วนของโคโตซานที่ผิวนอกหลุดออก ส่งผลให้การดูดซับแมกนีเซียมได้น้อยกว่า ดังแสดงในรูปที่ 4.15

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการทดลองในน้ำยางสดที่มีสมบัติดังแสดงในตารางที่ 4.12
 ตารางที่ 4.12 สมบัติน้ำยางสด

สมบัติ	ค่าที่ได้
ปริมาณของแข็งทั้งหมด, %TSC	36
ปริมาณเนื้อยางแห้ง, %DRC	33.1
ปริมาณกรดที่ระเหยได้ในน้ำยางสด, VFA Number	0.12
ปริมาณแมกนีเซียม (ppm)	215

ตารางที่ 4.13 ปริมาณแมกนีเซียมในน้ำยาง หลังจากนำน้ำยางไหลผ่านเม็ดเซรามิกเคลือบ
 ไคโตซานเข้มข้น 3%

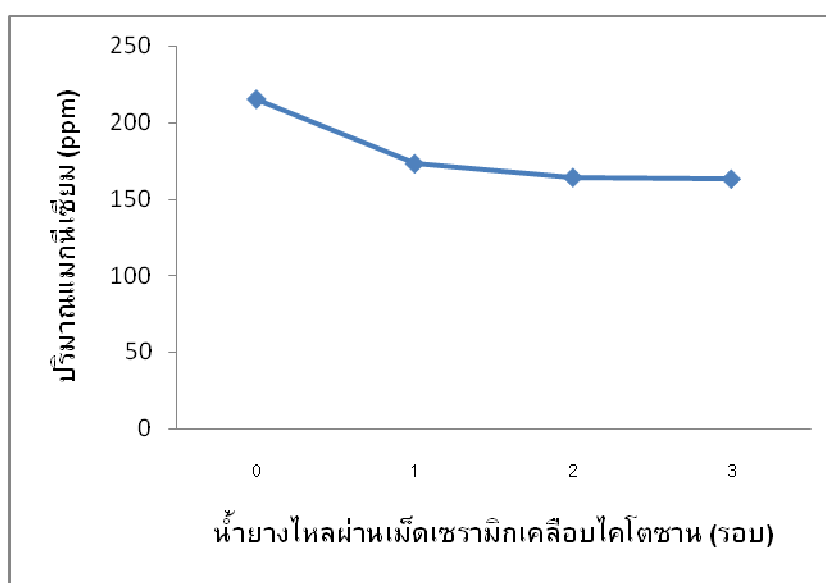
ตัวอย่าง	ปริมาณแมกนีเซียม (ppm) ในน้ำยางหลังจากไหลผ่านเม็ดเซรามิกเคลือบไคโตซาน (รอบ)			
	0	1	2	3
ปริมาณเม็ดเซรามิกเคลือบไคโตซานเข้มข้น 3% (กรัม)				
20	215	189	183	180



รูปที่ 4.15 ปริมาณแมกนีเซียมในน้ำยาง หลังจากการนำน้ำยางไหลผ่านเม็ดเซรามิกเคลือบ
 ไคโตซานเข้มข้น 3%

ตารางที่ 4.14 ปริมาณแมงกานีสในน้ำยาง หลังจากนำน้ำยางไหลผ่านเม็ดเซรามิกเคลือบไคโตซาน 3% Cross-link

ตัวอย่าง	ปริมาณแมงกานีส (ppm) ในน้ำยางหลังจากไหลผ่านเม็ดเซรามิกเคลือบไคโตซาน (รอบ)			
	0	1	2	3
ปริมาณเม็ดเซรามิกเคลือบไคโตซานเข้มข้น 3% Cross-link (กรัม)				
20	215	173	164	163

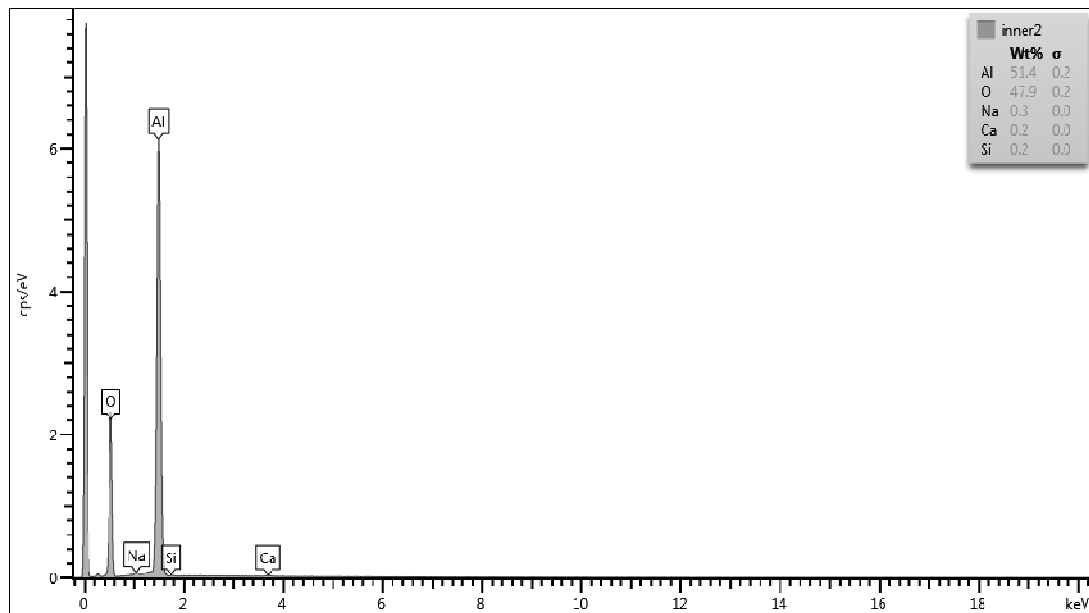


รูปที่ 4.16 ปริมาณแมงกานีสในน้ำยาง หลังจากการนำน้ำยางไหลผ่านเม็ดเซรามิกเคลือบไคโตซานเข้มข้น 3% Cross-link

4.4 การศึกษาผิวหน้าและภายในของเม็ดเซรามิกเคลือบไคโตซานหลังจากการนำไปใช้แยกแมงกานีส

4.4.1 การศึกษาภายในของเม็ดเซรามิกเคลือบไคโตซานหลังจากการทดสอบแยกแมงกานีส

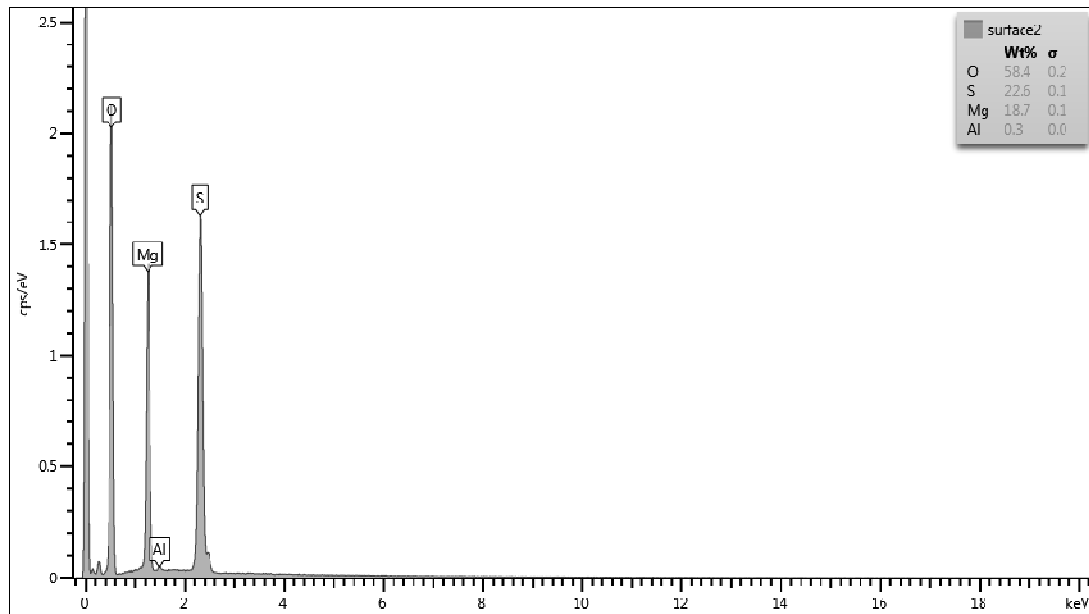
จากรูปที่ 4.17 เป็นผลจากการตรวจสอบภายในของเม็ดเซรามิกเคลือบไคโตซาน หลังการทดสอบการแยกโลหะแมงกานีสจากสารละลายแมงกานีสซัลเฟตด้วยเทคนิค SEM-EDX โดยพบว่ามี Al ปริมาณ 51.4 wt%, O ปริมาณ 47.9 wt%, Na ปริมาณ 0.3 wt%, Ca ปริมาณ 0.2 wt% และมี Si ปริมาณ 0.2 wt% ตามลำดับ ซึ่งพบว่าธาตุต่าง ๆ เหล่านี้เป็นส่วนประกอบหลักของเม็ดเซรามิกที่ใช้ในงานวิจัยนี้



รูปที่ 4.17 ธาตุต่างๆที่ตรวจพบภายในเม็ดเซรามิกเคลือบโคโตซาน หลังการทดสอบการแยกโลหะแมงกานีสี่เหลี่ยม

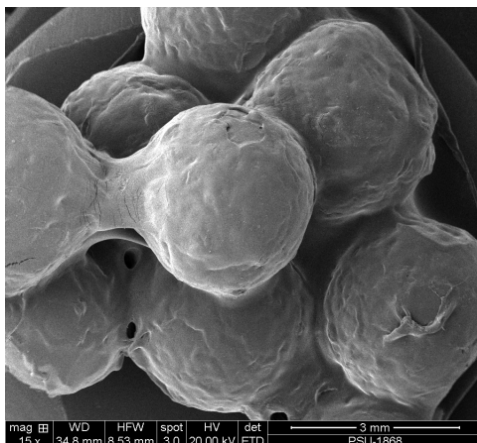
4.4.2 การศึกษาผิวหน้าของเม็ดเซรามิกเคลือบโคโตซานหลังจากการทดสอบแยกแมงกานีสี่เหลี่ยม

จากรูปที่ 4.18 เป็นผลจากการตรวจสอบผิวหน้าของเม็ดเซรามิกเคลือบโคโตซาน หลังจากการนำไปทดลองการแยกโลหะแมงกานีสี่เหลี่ยมออกจากสารละลายแมงกานีสี่เหลี่ยมซัลเฟต ด้วยเทคนิค SEM-EDX โดยพบว่ามีธาตุ O ปริมาณ 58.4 wt%, S ปริมาณ 22.6 wt%, Mg ปริมาณ 18.7 wt% และ Al ปริมาณ 0.3 wt% ตามลำดับ ซึ่งสามารถยืนยันได้ว่าเม็ดเซรามิกเคลือบโคโตซานสามารถดูดซับแมงกานีสี่เหลี่ยมไว้ที่ผิวได้

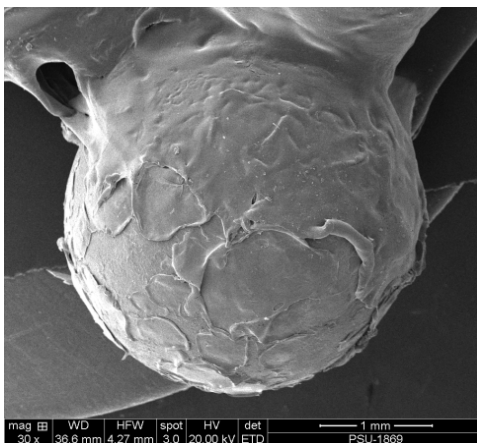


รูปที่ 4.18 ธาตุต่างๆที่ตรวจพบบนผิวของเม็ดเซรามิกเคลือบโคโตซาน หลังการทดสอบการแยกโลหะแมกนีเซียม

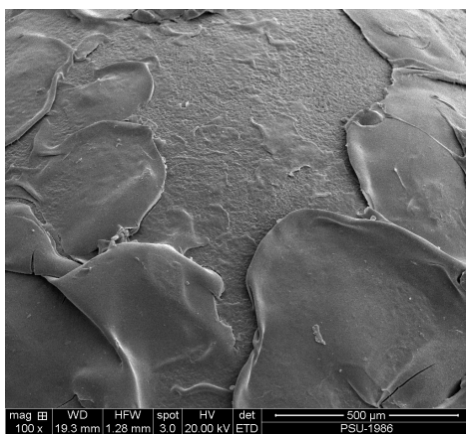
เม็ดเซรามิกเคลือบโคโตซานหลังจากแช่น้ำยาง เมื่อตั้งทิ้งไว้ให้แห้งพบว่าเม็ดเซรามิกเคลือบโคโตซานจะถูกห่อหุ้มด้วยยางดังแสดงในรูป 4.19 เป็นผลให้ประสิทธิภาพของเม็ดเซรามิกลดน้อยลง ผู้วิจัยจึงได้นำเม็ดเซรามิกเคลือบโคโตซานหลังแช่น้ำยางมาล้างด้วยน้ำสะอาด และแช่ในกรดไฮโดรคลอริก แล้วล้างผ่านน้ำสะอาดจนกว่าจะไม่มีสารปนเปื้อนของยางดังแสดงในรูปที่ 4.20



(ก.)

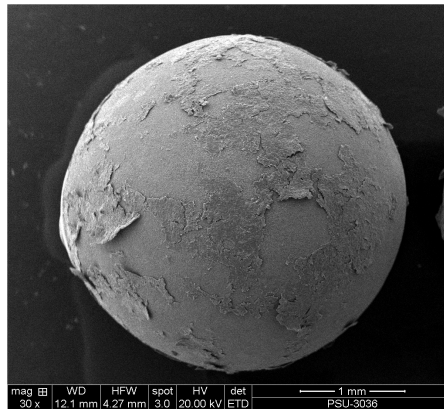


(ข.)

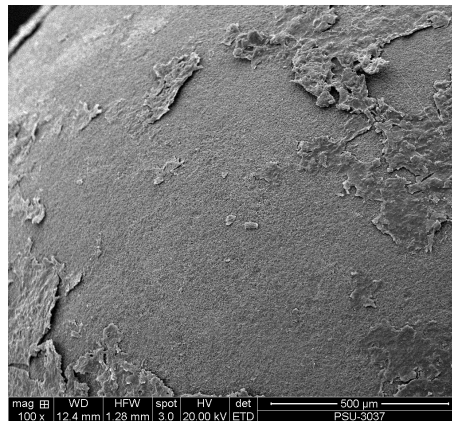


(ค.)

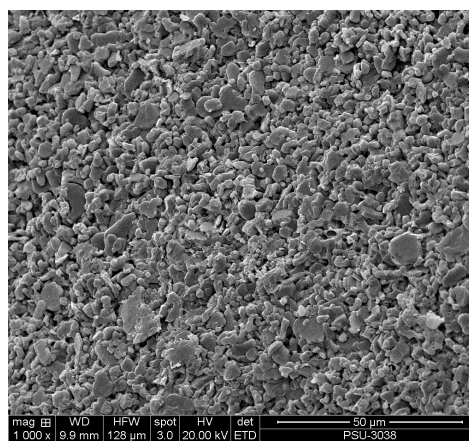
รูปที่ 4.19 เม็ดเซรามิกเคลือบไคโตซานหลังแช่น้ำยาง
 (ก.) กำลังขยาย 15 เท่า (ข.) กำลังขยาย 30 เท่า และ (ค.) กำลังขยาย 100 เท่า



(ก.)



(ข.)



(ค.)

รูปที่ 4.20 เม็ดเซรามิกหลังการแช่ด้วยกรดและล้างน้ำสะอาด (ก.) กำลังขยาย 30 เท่า
(ข.) กำลังขยาย 100 เท่า และ (ค.) กำลังขยาย 1000 เท่า

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลองที่ได้ สามารถสรุปได้ว่า

1. จากการเตรียมเม็ดเซรามิกก่อนการนำไปเคลือบ โดยมีการปรับสภาพพื้นผิวของเม็ดเซรามิกโดยการแช่เม็ดเซรามิกในกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 10% เป็นเวลา 12 ชั่วโมง และนำเม็ดเซรามิกไปแช่ในน้ำเดือดเป็นเวลา 2 ชั่วโมง พบว่าสภาพพื้นผิวของเม็ดเซรามิกหลังมีการปรับสภาพ มีลักษณะขรุขระมากขึ้น มีโพรงอากาศ หรือช่องว่างในเม็ดเซรามิกมากขึ้น เนื่องจากเกร็ดเล็ก ๆ หรือเศษเล็ก ๆ บนผิวของเม็ดเซรามิกหลุดออกหลังจากการปรับสภาพผิวด้วยกรดไฮโดรคลอริก และหลังจากแช่ในน้ำเดือด ส่งผลให้การเคลือบด้วยโคโตซานบนผิวเม็ดเซรามิกมีประสิทธิภาพมากขึ้น โคโตซานสามารถยึดเกาะบนผิวของเม็ดเซรามิกได้ดีขึ้น

2. การเคลือบโคโตซานบนเม็ดเซรามิก โดยใช้หม้อเคลือบที่มีท่อลมร้อน และลมเย็นเป่าเข้าไปภายในหม้อเคลือบซึ่งช่วยให้สารละลายโคโตซานที่เคลือบอยู่บนเม็ดเซรามิกแห้งเร็วขึ้น ทำให้การเคลือบมีประสิทธิภาพดีขึ้น

3. การแช่เม็ดเซรามิกเคลือบโคโตซานในสารกลูตารอลดีไฮด์เข้มข้น 1% โดยน้ำหนักเป็นระยะเวลา 2 ชั่วโมง จะทำให้เกิดการเชื่อมขวางขึ้นของโคโตซาน ซึ่งจะทำให้โคโตซานยึดเกาะอยู่บนผิวของเม็ดเซรามิกได้แข็งแรงมากขึ้น และช่วยทำให้โคโตซานไม่หลุดออกจากผิวของเม็ดเซรามิกเมื่อมีการนำเม็ดเซรามิกเคลือบโคโตซานนี้ไปประยุกต์ใช้ในการแช่ในสารละลายต่าง ๆ

4. สำหรับการศึกษานำเม็ดเซรามิกเคลือบโคโตซานไปประยุกต์ใช้งานด้านการแยกแมกนีเซียมออกจากสารละลายต่าง ๆ ซึ่งได้ศึกษาดังนี้ 1) นำเม็ดเซรามิกเคลือบโคโตซานที่เตรียมได้นั้นศึกษาการแยกแมกนีเซียมออกจากสารละลายแมกนีเซียมคลอไรด์และสารละลายแมกนีเซียมซัลเฟต พบว่า เมื่อเม็ดเซรามิกที่มีการเคลือบโคโตซานปริมาณความเข้มข้นสูงขึ้น ประสิทธิภาพการแยกแมกนีเซียมเพิ่มขึ้น 2) นำเม็ดเซรามิกเคลือบโคโตซานที่

เตรียมได้นั้นศึกษาการแยกแมงกนีเซียมออกจากน้ำยางธรรมชาติ พบว่า เม็ดเซรามิกเคลือบโคโตซานสามารถแยกแมงกนีเซียมออกจากน้ำยางธรรมชาติได้ และเม็ดเซรามิกเคลือบโคโตซานที่มีปริมาณโคโตซานที่มีความเข้มข้นสูงและมีการเชื่อมขวาง สามารถแยกแมงกนีเซียมออกจากน้ำยางธรรมชาติได้ดีกว่าเม็ดเซรามิกเคลือบโคโตซานที่ไม่มีการเชื่อมขวาง

5.2 จุดเด่นของงานวิจัยนี้

งานวิจัยนี้ประสบความสำเร็จในการเตรียมเม็ดเซรามิกเคลือบโคโตซาน โดยผู้วิจัยได้ใช้เทคนิคและหม้อเคลือบที่เป็นแนวทางใหม่ที่ทำให้การเคลือบมีประสิทธิภาพมากขึ้น และมีการเพิ่มสมบัติของเม็ดเซรามิกเคลือบโคโตซานด้วยการเชื่อมขวาง โดยส่งผลให้โคโตซานสามารถยึดเกาะบนเม็ดเซรามิกได้ดีขึ้น และงานวิจัยนี้ได้นำเม็ดเซรามิกเคลือบโคโตซานที่เตรียมได้ไปศึกษาประยุกต์ใช้งานด้านการแยกแมงกนีเซียมออกจากน้ำยางธรรมชาติ ซึ่งเป็นแนวทางใหม่ในการช่วยลดแมงกนีเซียมออกจากน้ำยางธรรมชาติ โดยไม่ใช้สารเคมีแบบที่อุตสาหกรรมน้ำยางชั้นไออยู่ในปัจจุบัน

5.3 ข้อเสนอแนะ

1. ใช้สารกลูตาโรลดีไฮด์ที่ความเข้มข้นต่ำกว่า 1% โดยน้ำหนัก เพื่อหลีกเลี่ยงการเกิดการเชื่อมขวางของโคโตซานที่สูงเกินไป
2. การพัฒนาการดูดซับแมงกนีเซียมโดยใช้เม็ดเซรามิกเคลือบโคโตซาน

บรรณานุกรม

เกศสุชา พูลคำ. 2537. การกำจัดโลหะหนักโดยการใช้เรซินแลกเปลี่ยนไอออนที่ทำจากชานอ้อยและผักตบชวา. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

ไคตินไคโตซาน เข้าถึงได้จาก: <http://www.material.chula.ac.th/CCB/Home.htm>
(วันที่สืบค้น 10 ตุลาคม 2556)

ชฎาภา ทรายมนนท์. 2547. การผลิตและศึกษาสารดูดซับจากโซลเจลสำหรับการดูดซับสารระเหยอินทรีย์ (VOCs). วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

ฐิติมา มณีกุล. 2545. ศึกษาการเตรียมบีดไคโตซานเพื่อใช้เป็นตัวดูดซับ. โครงการการเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

นิรันดร์ สัพพะวิญญู. 2545. การกำจัดความกระด้างด้วยไคโตซานพอร์สปีด. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

นุชนาถ กังพิสดาร. 2547. การจัดการสวนยางพาราอย่างยั่งยืน : ดิน น้ำ และธาตุอาหารพืช. กรมวิชาการเกษตร. สถาบันวิจัยยาง.

บุญธรรม นิธิอุทัย และคณะ. ม.ป.ป. การเร่งความเสถียรเชิงกลของน้ำยางธรรมชาติ. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

ปิยะบุตร วานิชพงษ์พันธุ์, รัชต์ เพ็ชรนิยม และ นิรันดร์ สัพพะวิญญู. 2547. การกำจัดทองแดงด้วยไคโตซานพอร์สปีด, หน้า 242. การประชุมวิชาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทยครั้งที่ 30. กรุงเทพฯ.

มานะชัย สังข์วาทิน. 2551. การทำสวนยางพารา. พิมพ์ครั้งที่ 5. กรุงเทพมหานคร : เกษตรสยามบุ๊คส์.

- มณฑิชา ภัทราภานุศักดิ์, ยุทธศักดิ์ ทองใหญ่ และ ลลนา วิวิสิฐการ. 2543. การศึกษาความเป็นไปได้ในการกำจัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์โดยการดูดซับด้วยไคโตซาน. คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- รศ.ดร.ภญ.อรลักษณ์ แพรัตกุล. 2552. เทคโนโลยีการเคลือบทางเภสัชกรรม. สาขาเทคโนโลยีเภสัชกรรม คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.
- วราภรณ์ ขจรไชยกูล. 2549. ยางธรรมชาติ : การผลิตและการใช้งาน. สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย.
- วราศรี เอกประสิทธิ์. 2543. การนำกากซีเมนต์จากอุตสาหกรรมน้ำยางข้นมาใช้ประโยชน์เพื่อการทำเป็นวัสดุบำรุงดิน. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- วันชัย แก้วยอด. 2540. การตรวจสอบการจัดการโรงงานยาง : กรณีศึกษาในจังหวัดสงขลา. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- วีระ รัตนศิริโสภณ. 2546. การใช้ถ่านกัมมันต์ชนิดเกล็ดเคลือบด้วยไคโตซานในการกำจัดสีและกลิ่นในน้ำธรรมชาติ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- สถาบันวิจัยโลหะและวัสดุ. 2548. การศึกษาการเตรียมพอร์สไคโตซานปิดโดยใช้ซิลิกาเป็นสารเพิ่มความพรุนตัว. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- สุธา ชาวเชียร, เจตศักดิ์ ไซยคณา และ รามนรี เนตรวิเชียร. 2544. การกำจัดสารหนูในรูปอาร์ซีเนตในน้ำเสียสังเคราะห์โดยใช้ไคโตซานแบบเม็ด. สถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 23 (1) : 1-11.
- สมทิพย์ ด่านธีรวณิชย์. 2545. การตรวจสอบการจัดการของเสียของโรงงานน้ำยางข้น. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- อิสริยาภรณ์ ดารงรักษ์ และคณะ. 2553. อิทธิพลของการปลูกยางพาราต่อความอุดมสมบูรณ์ของดินและการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจก. มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา.

- Chih-Yu Chen, Chiing-Chang Chen, Ying-Chien Chung. 2007. Removal of phthalate esters by α -cyclodextrin-linked chitosan bead. *Bioresource Technology* 98 : 2578–2583.
- Chun Shen, Yujun Wang, Jianhong Xu, Guangsheng. 2013. Chitosan supported on porous glass beads as a new green adsorbent for heavy metal recovery. *Chemical Engineering Journal* 229 : 217-224.
- G.C. Steenkamp, H.W.J.P. Neomagus, H.M. Krieg, K. Keizer. 2001. Centrifugal casting of ceramic membrane tubes and the coating with chitosan. *Separation and Purification Technology* 25 : 407-413.
- Muniyappan Rajiv Gandhi, G.N. Kousalya, Natrayasamy Viswanathan, S. Meenakshi. 2011. Sorption behaviour of copper on chemically modified chitosan beads from aqueous solution. *Carbohydrate Polymers* 83 : 1082–1087.
- Q.-H. Shi, Y. Tian, X.-Y. Dong, S. Bai, Y. Sun. 2003. Chitosan-coated silica beads as immobilized metal affinity support for protein adsorption. *Biochemical Engineering Journal* 16 : 317-322.
- Sawaminee Nualkaekul, Dominique Lenton, Michael T. Cook, Vitaliy V. Khutoryanskiy, Dimitris Charalampopoulos. 2012. Chitosan coated alginate beads for the survival of microencapsulated *Lactobacillus plantarum* in pomegranate juice. *Carbohydrate Polymers* 90 : 1281-1287.
- Srinivasa R. Popuri, Y. Vijaya, 2009. Adsorptive removal of copper and nickel ions from water using chitosan coated PVC beads. *Bioresource Technology* 100 : 194-199.
- Twu, Y.K., H.I. Huang, S.Y. Chang and S.L. Wang. 2003. Preparation and sorption activity of chitosan/cellulose blend beads. Available Source: <http://www.sciencedirect.com>, September 21, 2006.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

รูปชี้้ขั้นตอนการหาปริมาณ DRC



(ก.)



(ข.)

ภาพประกอบที่ 1 (ก.) และ (ข.) แสดงน้ำยางสดก่อนการนำไปอบ



ภาพประกอบที่ 2 แสดงเครื่องรีดยาง



ภาพประกอบที่ 4 แสดงยางหลังการถูกรีด

ภาคผนวก ข

รูปแสดงขั้นตอนการหาปริมาณกรดที่ระเหยได้



ภาพประกอบที่ 5 แสดงการกรองเซรุ่มที่เกิดหลังจากการจับตัวของยาง



ภาพประกอบที่ 6 แสดงเซรุ่มที่กรองได้



ภาพประกอบที่ 7 แสดงการกลั่นเซรุ่ม

ภาคผนวก ค
เอกสารการตีพิมพ์เผยแพร่ผลงาน

1. การประชุมวิชาการนานาชาติ The 1th International Symposium on Sustainable Agriculture and Agro - Industry

**Preparation of chitosan coated ceramic balls for magnesium removal from
natural rubber latex application**

Sattaya Hattiya^a, Wirach Taweepreda^{a*}, Wiwat Pichayakorn^b

^a*Department of Materials Science and Technology, Faculty of Science, Prince of Songkla University,
Hat Yai, Songkla 90112 Thailand*

^b*Department of Pharmaceutical Technology, Faculty of Pharmaceutical Science, Prince of Songkla
University,*

Hat Yai, Songkla 90112, Thailand

*wirach.t@psu.ac.th

Abstract

Mg²⁺ contents of fresh field natural rubber latex (FF-NRL) affect on the stability of latex which can be reduced by precipitation with diammonium hydrogen orthophosphate (DAP) before centrifugation. The reaction time between DAP and Mg²⁺ in NRL is very slow for more than 12 hours and waste latex sludge is toxic. In this research, the chitosan was coated on ceramic balls before using as ion exchange resin to remove Mg²⁺ from the FF-NRL. There were two main step to get the chitosan coating supported on ceramic balls. First step, 300 g of the ceramic balls was put into conventional coating pan then 65 g of the aqueous solution containing chitosan and acetic acid were added. The concentration of acetic acid was kept as 1 wt.% with varying chitosan concentration from 1 wt.% to 5 wt.%. Second step, the coated ceramic balls were mixed with 20 g of glutaraldehyde solution with a concentration of 1 wt.%. Adsorption results were performed by complexometric titration and Inductively Couple Plasma – Optical Emission Spectrometer (ICP-OES). The morphology and characteristic of chitosan coated ceramic balls were investigated using scanning electron microscope (SEM), and infrared spectroscopy, respectively. It was found that the highest adsorbing of Mg²⁺ was 3 wt.% of chitosan.

Keywords

Chitosan, Ceramic ball, Natural rubber latex

Funding agency

Center of Excellence in nanotechnology for energy (CENE)

2. การประชุมวิชาการระดับชาติเพื่อนำเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษา ครั้งที่ 6

การเตรียมเม็ดเซรามิกเคลือบไคโตซานเพื่อแยกแมกนีเซียมออกจากน้ำยางธรรมชาติ

Preparation of Chitosan Coated Ceramic Balls for Magnesium Removal from Natural Rubber Latex

นายสัตยา หัตถิยา

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิรัช ทวีปรีดา

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีพอลิเมอร์

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ทำการเตรียมและศึกษาสมบัติของเม็ดเซรามิกเคลือบด้วยไคโตซาน เพื่อนำไปแยกแมกนีเซียมออกจากน้ำยางธรรมชาติ ซึ่งการเคลือบจะใช้หม้อเคลือบที่มีลมร้อนเป่าช่วยให้การเคลือบมีประสิทธิภาพมากขึ้น และก่อนการเคลือบจะนำเม็ดเซรามิกปรับผิวด้วยการแช่ในกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 10% เป็นเวลา 12 ชั่วโมง และนำเม็ดเซรามิกปรับผิวด้วยการแช่ในน้ำเดือดเป็นเวลา 2 ชั่วโมง เพื่อให้การเคลือบไคโตซานบนผิวเม็ดเซรามิกมีประสิทธิภาพมากขึ้น ส่งผลให้ไคโตซานสามารถยึดเกาะบนผิวของเม็ดเซรามิกได้ดี สอดคล้องกับผลการทดลองที่ได้จากการศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์ อิเล็กตรอนแบบส่องกราด และมีการเพิ่มการเชื่อมขวางของไคโตซานบนเม็ดเซรามิกโดยการแช่เม็ดเซรามิกเคลือบไคโตซานในสารกลูตาโรลดีไฮด์เข้มข้น 1% โดยน้ำหนัก เป็นระยะเวลา 2 ชั่วโมง ซึ่งจะทำให้ไคโตซานยึดเกาะอยู่บนผิวของเม็ดเซรามิกได้แข็งแรงมากขึ้น จากนั้นศึกษาการนำเม็ดเซรามิกเคลือบไคโตซานที่ได้ไปใช้แยกแมกนีเซียมออกจากน้ำยางธรรมชาติ พบว่า เม็ดเซรามิกเคลือบไคโตซานสามารถแยกแมกนีเซียมออกจากน้ำยางธรรมชาติได้ และปริมาณของไคโตซานที่เคลือบบนเม็ดเซรามิกที่มีความเข้มข้นสูงสามารถแยกแมกนีเซียมออกจากน้ำยางธรรมชาติได้ดีกว่าปริมาณของไคโตซานที่มีความเข้มข้นต่ำ ซึ่งสอดคล้องกับผล การทดลองที่ได้จากการวัดค่าการนำไฟฟ้า และสอดคล้องกับการทดลองที่ได้จากการไทเทรตหาปริมาณแมกนีเซียมในน้ำยางธรรมชาติ

ภาคผนวก ง
การจดอนุสิทธิบัตร

1. การจดอนุสิทธิบัตร

ผู้ประดิษฐ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิรัช ทวีปรีดา, นายสัตยา หัตถิยา และ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิวัฒน์ พิชญากร

ชื่อที่แสดงถึงการประดิษฐ์เรื่อง เม็ดเซรามิกเคลือบไคโตซาน และกรรมวิธีการผลิต

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ สกุล	นายสัตยา หัตถิยา	
รหัสประจำตัวนักศึกษา	5510220111	
วุฒิการศึกษา		
วุฒิ	ชื่อสถาบัน	ปีที่สำเร็จการศึกษา
วิทยาศาสตร์บัณฑิต (วิทยาศาสตร์พอลิเมอร์)	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์	2555

ทุนการศึกษา

ทุนสถานวิจัยความเป็นเลิศด้านนาโนเทคโนโลยีเพื่อการพลังงาน
ทุนอุดหนุนการวิจัยเพื่อวิทยานิพนธ์ พ.ศ. 2556

การตีพิมพ์เผยแพร่ผลงาน

Sattaya Hattiya, Wirach Taweepreda and Wiwat Pichayakorn., 2014. "Preparation of chitosan coated ceramic balls for magnesium removal from natural rubber latex application". The 1st International Symposium on Sustainable Agriculture and Agro-Industry, Thailand.

สัตยา หัตถิยา และวิรัช ทวีปรีดา. 2557. การเตรียมเม็ดเซรามิกเคลือบไคโตซานเพื่อแยกแมกนีเซียมออกจากน้ำยางธรรมชาติ. การประชุมวิชาการเพื่อนำเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิต ครั้งที่ 6. มหาวิทยาลัยรามคำแหง หัวหมาก จังหวัดกรุงเทพมหานคร.

การจดอนุสิทธิบัตร

วิรัช ทวีปรีดา, สัตยา หัตถิยา และวิวัฒน์ พิษณุกร. จดอนุสิทธิบัตรเรื่องเม็ดเซรามิกเคลือบไคโตซานและกรรมวิธีการผลิต. หมายเลขคำขอ ๑๔๐๓๐๐๐๘๑๙ วันที่ยื่นคำขอ ๑๖ กรกฎาคม ๒๕๕๗.