

## บทที่ 4

### ผลการทดลองและอภิปรายผล

#### 1. วิเคราะห์น้ำในพื้นที่

จากการลงพื้นที่ศึกษาบริเวณลุ่มน้ำแม่สะเรียง ที่มวิจัยได้แบ่งลุ่มน้ำแม่สะเรียงออกเป็น 6 จุดและเลือกหนึ่งชุมชนที่ใช้ประปาภูเขาและวัดปริมาณไอออนโลหะที่อาจจะมียู่ในแม่น้ำแม่สะเรียง ได้ค่าดังตาราง 4.1

ตาราง 4.1 ปริมาณไอออนโลหะในแม่น้ำแม่สะเรียง

โลหะ	ความเข้มข้น (mg/l)									
	จุด MR 1	จุด MR 2	จุด MR 3	จุด MR 4	จุด MR 5	จุด MR 6	บ้านแพะ ชุด 1	บ้านแพะ ชุด 3	บ้านแพะ ชุด 4	บ้านแพะ ชุด 5
Na <sup>+</sup>	8.577	5.949	6.769	6.663	6.684	7.109	8.283	8.446	8.317	8.257
K <sup>+</sup>	3.540	3.124	3.011	3.136	2.897	2.891	2.812	2.964	2.649	2.758
Fe <sup>2+</sup>	0.153	0.142	0.201	0.084	0.259	-0.022	-0.208	-0.292	-0.241	0.011
Mg <sup>2+</sup>	2.514	2.236	2.530	2.502	2.701	2.638	2.712	2.717	2.677	2.614
Zn <sup>2+</sup>	0.165	0.211	0.071	0.036	0.043	0.109	0.408	0.398	0.298	0.348
Cu <sup>2+</sup>	0.210	-0.082	-0.059	-0.069	-0.059	-0.051	-0.014	0.004	-0.018	0.003
Ca <sup>2+</sup>	8.888	5.993	7.376	8.287	8.944	12.475	2.007	1.838	2.796	1.809
Mn <sup>2+</sup>	-0.193	-0.254	-0.245	-0.329	-0.441	-0.500	-0.626	-0.661	-0.724	-0.776

หมายเหตุ

MR = แม่สะเรียง

MR 1 = ต้นน้ำแม่สะเรียง

MR 6 = ปลายน้ำแม่สะเรียง

จากค่าดังตารางพบว่าปริมาณไอออนโลหะที่อยู่ในแหล่งน้ำได้แก่ โซเดียม โพแทสเซียม แมกนีเซียม และแคลเซียม มีค่าสูงและมีโลหะหนักเล็กน้อย เช่น เหล็ก สังกะสี ซึ่งสามารถนำไปอุปโภคได้ เช่น ใช้ในการเกษตรกรรม แต่อาจจะทำให้มีการตกค้าง ถึงแม้ว่าธาตุเหล่านี้เป็นประโยชน์ต่อร่างกายแต่ต้องมีระดับที่เหมาะสม หากนำไปบริโภคโดยที่ไม่ผ่านการบำบัด จะทำให้เกิดการตกค้างในร่างกาย เกิดโรคร้ายได้ ทางผู้วิจัยจึงมีแนวทางในการลดปริมาณแร่ธาตุเหล่านั้น โดยการนำเซลล์ulos จากพืชที่มีในท้องถิ่นมาปรับปรุงให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น สามารถดูดซับแร่ธาตุเหล่านั้นได้ และจะจัดทำเป็นอุปกรณ์ต้นแบบอย่างง่าย แต่ในงานวิจัยนี้ จะมุ่งเน้นการลดปริมาณแคลเซียมและแมกนีเซียม ที่จะก่อให้เกิดปัญหาน้ำกระด้างและส่งผลกระทบต่อร่างกายได้ และโลหะหนักอื่นๆที่อาจจะปนเปื้อนมากับน้ำได้

## 2. คัดเลือกชนิดของพืชในท้องถิ่น

จากการลงพื้นที่ที่ศึกษาสภาพแวดล้อมของชุมชนลุ่มน้ำแม่สะเรียง มีพืชที่เหลืทิ้งหรือวัชพืชมามากมายที่ผู้วิจัยได้นำมาทดสอบได้แก่ หญ้าไทร ไมยราพยักษ์ กากั่วเหลือง ใบตื้นอ้อ สาหร่ายสไปโรไจรา และสาหร่ายโคลโคฟอรา โกลเมอรตา ดังแสดงในรูป 4.1 ซึ่งเหตุผลที่เลือกพืชเหล่านี้คือ

1. *หญ้าไทร (Leersia hexandra SW วงศ์ GRAMINEAE)* เนื่องจากหญ้าไทรขึ้นได้ในที่ลุ่มน้ำ มีมากตามขอบแม่น้ำและพื้นที่โล่งแจ้งทั่วไป เป็นวัชพืชที่เจริญเติบโตรวดเร็ว
2. *ไมยราพยักษ์ (Mimosa pigra L.)* เป็นพืชที่ขึ้นมากโดยทั่วไปและถือว่าเป็นวัชพืชที่โตเร็วและไม่ได้ใช้ประโยชน์จากชุมชน
3. *กากั่วเหลือง (Glycine max (L.) Merr.)* เป็นเศษวัสดุเหลือทิ้งจากการเกษตรกรรมที่เป็นพืชหลักที่ปลูกมากในแถบชุมชนลุ่มน้ำแม่สะเรียง
4. *ใบตื้นอ้อ (Arundo donax L.)* เป็นพืชที่มีมากที่เกิเกิดขึ้นในพื้นที่ลุ่มน้ำ โตเร็ว ซึ่งมีอยู่ทั่วไปในลุ่มน้ำแม่สะเรียง เป็นพืชที่ไม่ก่อให้เกิดประโยชน์ในเชิงเศรษฐกิจ
5. *สาหร่ายสไปโรไจรา (Spirogyra Spp.)* และสาหร่ายโคลโคฟอรา โกลเมอรตา (*Cladophora Glomerata*) ซึ่งเป็นสาหร่ายสองชนิดหลักที่มีมากในแหล่งน้ำแม่สะเรียงซึ่งอาจจะทำให้แหล่งน้ำตื้นเขินและทิศทางของน้ำเบี่ยงเบนไป



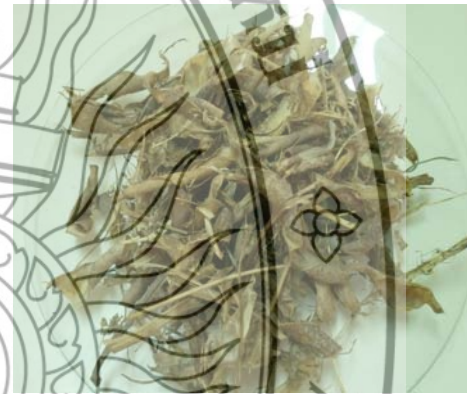
หญ้าไทร



ไมยราพยักษ์



ต้นอ้อ



กากถั่วเหลือง



สาหร่ายสไปโรไจรา และสาหร่ายโคลโดพอร่า โกลเมอรูลา

รูป 4.1 ชนิดของพืชในกลุ่มแม่น้ำแม่สะเรียง

### 3. สภาพที่เหมาะสมในการสกัดเซลลูโลส

เมื่อนำพืชแต่ละชนิดมาทำการแยกเซลลูโลสออกจากส่วนที่เป็นลิกนินและเฮมิเซลลูโลส โดยไฮโดรไลซ์ด้วยสารละลายต่าง NaOH โดยศึกษาถึงปัจจัยดังนี้คือ ความเข้มข้นของสารละลาย NaOH เวลาและอุณหภูมิที่ใช้ในการไฮโดรไลซ์ พบว่าปริมาณเซลลูโลสที่และสภาพเยื่อของพืชต่างๆเป็นดังตาราง 4.2

#### 3.1 สาหร่าย

ตาราง 4.2 การสกัดเซลลูโลสจากสาหร่าย

ลำดับ	Conc. NaOH (M)	Temp (°C)	Time (hr)	% cellulose
1	0.2	-	6.00	27.76
2		-	12.00	24.00
3		-	24.00	17.74
4	0.2	90	1.00	16.60
5		90	1.30	8.90
6		90	2.00	7.27
7	0.5	-	6.00	33.27
8		-	12.00	24.00
9		-	24.00	21.30
10	0.5	90	1.00	24.87
11		90	1.30	6.97
12		90	1.45	10.07
13	1.0	-	6.00	30.98
14		-	12.00	21.02
15		-	24.00	20.63
16	1.0	90	1.00	7.90
17		90	1.30	11.42
18		90	1.45	10.70

สภาพเยื่อที่ได้หากทำการแช่ในสารละลายต่าง โดยให้และไม่ให้ความร้อนยังคงมีเนื้อเยื่อที่หยาบเป็นสีเขียวปนสีน้ำตาลและเกาะกันเป็นก้อนแข็ง ไม่มีการพองตัวเมื่อนำมาแช่น้ำอีกครั้ง

### 3.2 หล้าไทร

ตาราง 4.3 การสกัดเซลลูโลสจากหล้าไทร

ลำดับ	Conc. NaOH (M)	Temp ( °C )	Time (hr)	% cellulose
1	0.2	-	6.00	62.98
2		-	12.00	59.32
3		-	24.00	54.12
4		90	0.50	33.1
5		90	1.00	34.54
6		90	1.10	26.90
7	0.5	-	6.00	53.98
8		-	12.00	52.98
9		-	24.00	48.78
10		90	0.50	24.42
11		90	1.00	23.24
12		90	1.10	18.32
13	1.0	-	6.00	56.76
14		-	12.00	41.96
15		-	24.00	41.66
16		90	0.50	24.58
17		90	1.00	17.96
18		90	1.10	23.86

สภาพเชื้อที่ได้จากการแช่ในสารละลายต่างโดยไม่ให้ความร้อนได้เชื้อที่หยาบเป็นกากจับตัวเป็นก้อนมีสีเขียวของคลอโรฟิลล์ปนอยู่ แต่เมื่อให้ความร้อนร่วมด้วยจะได้เชื้อที่มีลักษณะนุ่มมีสีขาวปนเขียว และฟองตัวได้เมื่อแช่น้ำ

### 3.3 ไมยราพยักษ์

ตาราง 4.4 การสกัดเซลลูโลสจากไมยราพยักษ์

ลำดับ	Conc. NaOH (M)	Temp ( C )	Time (hr)	% cellulose
1	0.2	-	6.00	50.00
2		-	12.00	47.00
3		-	24.00	53.00
4		100-110	1.00	29.28
5		100-110	2.00	27.93
6		100-110	3.00	25.83
7	0.5	-	6.00	46.60
8		-	12.00	54.00
9		-	24.00	52.00
10		100-110	1.00	28.34
11		100-110	2.00	24.08
12		100-110	3.00	29.50
13	1.0	-	6.00	44.00
14		-	12.00	42.60
15		-	24.00	41.60
16		100-110	1.00	25.89
17		100-110	2.00	20.76
18		100-110	3.00	21.72

สภาพเชื้อที่ได้หากทำการแช่ในสารละลายต่างโดยไม่ให้ความร้อนเนื้อหยาบมีกากเป็นสีน้ำตาล แต่สภาพเชื้อที่ได้เมื่อให้ความร้อนร่วมด้วยจะมีสีน้ำตาลอ่อนและเชื้อจะมีความนุ่มมากขึ้น

### 3.4 กากถั่วเหลือง

ตาราง 4.5 การสกัดเซลลูโลสจากกากถั่วเหลือง

ลำดับ	Conc. NaOH (M)	Temp (C)	Time (hr)	% cellulose
1	0.2	-	6.00	50.00
2		-	12.00	47.00
3		-	24.00	53.00
4		100-110	1.00	29.28
5		100-110	2.00	27.93
6		100-110	3.00	25.83
7	0.5	-	6.00	46.60
8		-	12.00	54.00
9		-	24.00	52.00
10		100-110	1.00	28.34
11		100-110	2.00	24.08
12		100-110	3.00	29.50
13	1.0	-	6.00	44.00
14		-	12.00	42.60
15		-	24.00	41.60
16		100-110	1.00	25.89
17		100-110	2.00	20.76
18		100-110	3.00	21.72

สภาพเยื่อที่ได้หากทำการแช่ในสารละลายต่าง โดยไม่ให้ความร้อนเนื้อเยื่อที่ได้มีลักษณะ  
หยาบเป็นสีน้ำตาลปนเขียว จับตัวเป็นก้อน แต่เมื่อให้ความร้อนร่วมด้วยเนื้อเยื่อที่ได้ก็จะมี  
ลักษณะสีน้ำตาลและเยื่อก็ยังคงจับตัวเป็นก้อนแข็ง

### 3.5 ต้นอ้อ

ตาราง 4.6 การสกัดเซลลูโลสจากต้นอ้อ

ลำดับ	Conc. NaOH (M)	Temp ( C )	Time (hr)	% cellulose
1	0.2	-	6.00	48.90
2		-	12.00	47.00
3		-	24.00	42.00
4		100-110	1.00	32.11
5		100-110	2.00	30.76
6		100-110	3.00	30.62
7	0.5	-	6.00	48.00
8		-	12.00	42.00
9		-	24.00	44.60
10		100-110	1.00	31.43
11		100-110	2.00	26.10
12		100-110	3.00	25.05
13	1.0	-	6.00	42.20
14		-	12.00	45.00
15		-	24.00	43.20
16		100-110	1.00	20.49
17		100-110	2.00	20.08
18		100-110	3.00	24.23

สภาพเยื่อที่ได้หากทำการแช่ในสารละลายต่าง โดยไม่ให้ความร้อนเนื้อหยาบมีกากเป็นสีน้ำตาลจับตัวเป็นก้อนแข็งแต่สภาพเยื่อที่ได้เมื่อให้ความร้อนร่วมด้วยจะมีสีน้ำตาลอ่อนและเยื่อจะมีความนุ่มมากขึ้นพองตัวได้เมื่อแช่น้ำ

จากการหาสภาวะในการสกัดเซลลูโลสที่เหมาะสมที่ให้ปริมาณเซลลูโลสและสภาพเยื่อที่เหมาะสมแก่การนำไปใช้ประโยชน์ คือ ใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.2 M ให้ความร้อนเป็นเวลา 2-3 ชั่วโมง ซึ่งจะให้ปริมาณเซลลูโลสโดยเฉลี่ยประมาณร้อยละ 30



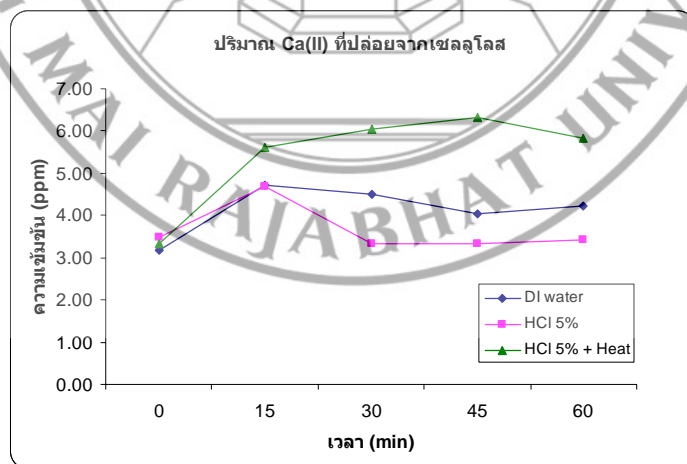
#### 4. ทดสอบประสิทธิภาพการดูดซับไอออนโลหะของเซลลูโลส

นำเซลลูโลสจากการสกัดด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์โดยมีการให้ความร้อนร่วมด้วยมาศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับไอออนโลหะโดยได้ทดสอบกับไอออนโลหะแคลเซียมและแมกนีเซียมซึ่งเป็นธาตุที่มีปริมาณมากในแหล่งน้ำในสองช่วงเวลาคือ 0 และ 15 นาที โดยมีการคนตลอดเวลา นำสารละลายที่ได้มากรองแล้ววัดปริมาณไอออนโลหะที่เหลือด้วย AAS ได้ผลการทดลองดังนี้ คือ เซลลูโลสที่สกัดได้จากไมยราพเท่านั้นที่สามารถดูดซับแมกนีเซียมได้เล็กน้อย ได้แต่ไม่มีเซลลูโลสจากพืชชนิดใดเลยที่สามารถดูดซับแคลเซียมได้ ดังตาราง ข.1 ในภาคผนวก

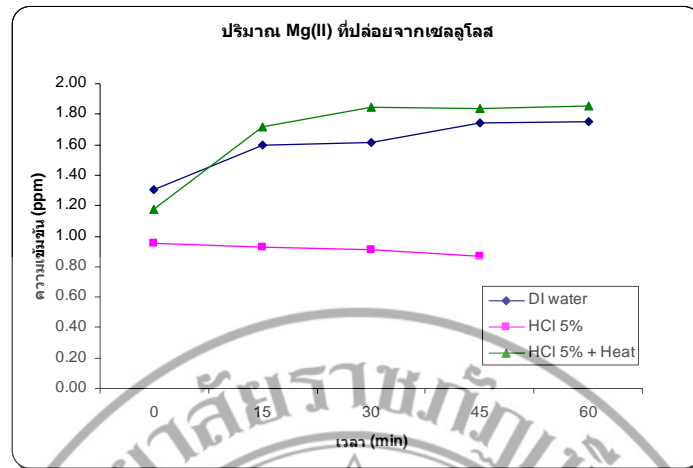
จากผลการทดลองที่ได้ ผู้วิจัยจึงทำการเลือกชนิดของพืชที่ให้เซลลูโลสที่มีสภาพเหมาะสมต่อการนำมาปรับปรุงและสามารถนำไปใช้ให้เกิดประโยชน์ได้ ในที่นี้ผู้ทำการวิจัยได้เลือกหญ้าไทรเนื่องจากเซลลูโลสที่ได้มีลักษณะอ่อนนุ่มไม่จับตัวเป็นก้อน พองตัวได้เมื่อแช่น้ำทำให้พื้นที่ผิวสัมผัสมากขึ้น

#### 5. การกำจัดไอออนโลหะจากเซลลูโลสที่สกัดได้

จากการทดสอบประสิทธิภาพการดูดซับเบื้องต้น พบว่ามีการปล่อยไอออนของแคลเซียมและแมกนีเซียมออกมาด้วยทำให้ประสิทธิภาพการดูดซับแคลเซียมและแมกนีเซียมค่อนข้างต่ำ จึงต้องมีการทำเซลลูโลสที่สกัดได้มีความบริสุทธิ์มากขึ้น โดยเปรียบเทียบการกำจัด 3 แบบ คือ การแช่เซลลูโลสในน้ำปราศจากไอออน การแช่ในสารละลายกรดไฮโดรคลอริก 5% v/v และการแช่ในสารละลายกรดไฮโดรคลอริก 5% v/v ร่วมกับการให้ความร้อน คนตลอดเป็นเวลา 1 ชั่วโมง โดยใช้อัตราส่วนเซลลูโลส 5 กรัม ต่อสารละลาย 1000 มิลลิลิตร พบว่าปริมาณแคลเซียมและแมกนีเซียมที่อยู่ในสารละลายเป็นดังรูป 4.2 และ 4.3 (ปริมาณของ Fe และ Zn ที่ปล่อยออกมาไม่สามารถวัดค่าได้)



รูป 4.2 ปริมาณ  $\text{Ca}^{2+}$  ที่ปล่อยออกจากเซลลูโลส



รูป 4.3 ปริมาณ  $Mg^{2+}$  ที่ปล่อยออกจากเซลล์โลส

จากกราฟจะเห็นได้ว่าการนำเซลล์โลสแช่ในสารละลายทั้งสามแบบสามารถกำจัดไอออนโลหะออกจากเซลล์โลสได้ โดยมีปริมาณของแคลเซียมและแมกนีเซียมปล่อยออกมาจากเซลล์โลสมากขึ้นเมื่อเวลาเพิ่มขึ้นแต่จะเริ่มคงที่เมื่อเวลาประมาณ 45 นาที ซึ่งปริมาณของแคลเซียมปล่อยออกมามากกว่าปริมาณของแมกนีเซียม และจากการทดลองจะเห็นว่าที่เวลาเดียวกันประสิทธิภาพของการกำจัดไอออนโลหะออกจากเซลล์โลสจะดีที่สุดเมื่อแช่เซลล์โลสในสารละลายกรดไฮโดรคลอริก 5% v/v โดยมีการให้ความร้อนร่วมด้วย อีกทั้งการนำเซลล์โลสแช่ในกรดไฮโดรคลอริกหลังจากไฮโดรไลซิสด้วยด่างยังเป็นการกำจัดเอมิเซลล์โลสได้มากขึ้นดังการทดลองของ ขวัญสุดา อนุอิน และ ดร.มัลลิกา บุญมี ที่ทำการกำจัดเอมิเซลล์โลสในชานอ้อย ด้วยกรดไฮโดรคลอริก 0.50% v/v ทำให้เซลล์โลสที่ได้มีความบริสุทธิ์มากขึ้นเหมาะสมต่อการนำไปประยุกต์ใช้ต่อไป

## 6. สภาพที่เหมาะสมในการปรับปรุงเซลล์โลส

### 6.1 การปรับปรุงเซลล์โลสแบบที่ 1 (MC1)

เมื่อนำเซลล์โลสที่สกัดได้จากหญ้าไทรมาปรับปรุงโครงสร้างโดยใช้ปฏิกิริยาฟอสโฟรีเลชัน (Phosphorylation) ศึกษาอัตราส่วนโดยมวลของเซลล์โลส กรดฟอสโฟรีกเข้มข้นและยูเรีย ดังตาราง 4.7 แล้วนำไปทดสอบประสิทธิภาพการดูดซับไอออนโลหะ แคลเซียม แมกนีเซียม ได้ผลดังนี้

ตาราง 4.7 ประสิทธิภาพการดูดซับไอออนโลหะของการปรับปรุงเซลลูโลสแบบที่ 1

สภาวะ	อัตราส่วนโดยมวล			ความเข้มข้นเริ่มต้น (ppm)		ความเข้มข้นที่วัดได้ (ppm)		ร้อยละการดูดซับ (%)	
	Cellulose	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	Urea	Ca	Mg	Ca	Mg	Ca	Mg
1	2	1	3	2.1800	0.9600	3.2500	0.9000	ไม่สามารถดูดซับได้	6.25
2	1	1	3	1.8469	0.8616	5.3644	1.5000	ไม่สามารถดูดซับได้	ไม่สามารถดูดซับได้
3	1	10	10	2.2785	0.9652	0.7220	0.7088	68.25	26.58

จากตาราง 4.7 เมื่อเพิ่มปริมาณของเซลลูโลสโดยใช้ปริมาณของกรดฟอสฟอริกเข้มข้นและยูเรียซึ่งไม่ได้เพิ่มประสิทธิภาพของการดูดซับทั้งไอออนโลหะแคลเซียมและแมกนีเซียม อีกทั้งยังคงมีปริมาณของไอออนโลหะทั้งสองปล่อยออกมาเพิ่มขึ้น แต่เมื่อทำการเพิ่มปริมาณกรดฟอสฟอริกและยูเรียให้มากขึ้นพอทำให้ประสิทธิภาพการดูดซับทั้งสองไอออนโลหะเพิ่มขึ้น ดังนั้นในการปรับปรุงเซลลูโลสแบบที่ 1 จะใช้อัตราส่วนโดยมวลของเซลลูโลส กรดฟอสฟอริกเข้มข้นและยูเรีย คือ 1 : 10 : 10 สามารถดูดซับแคลเซียมและแมกนีเซียมได้ร้อยละ 68.25 และ 26.58 ตามลำดับ

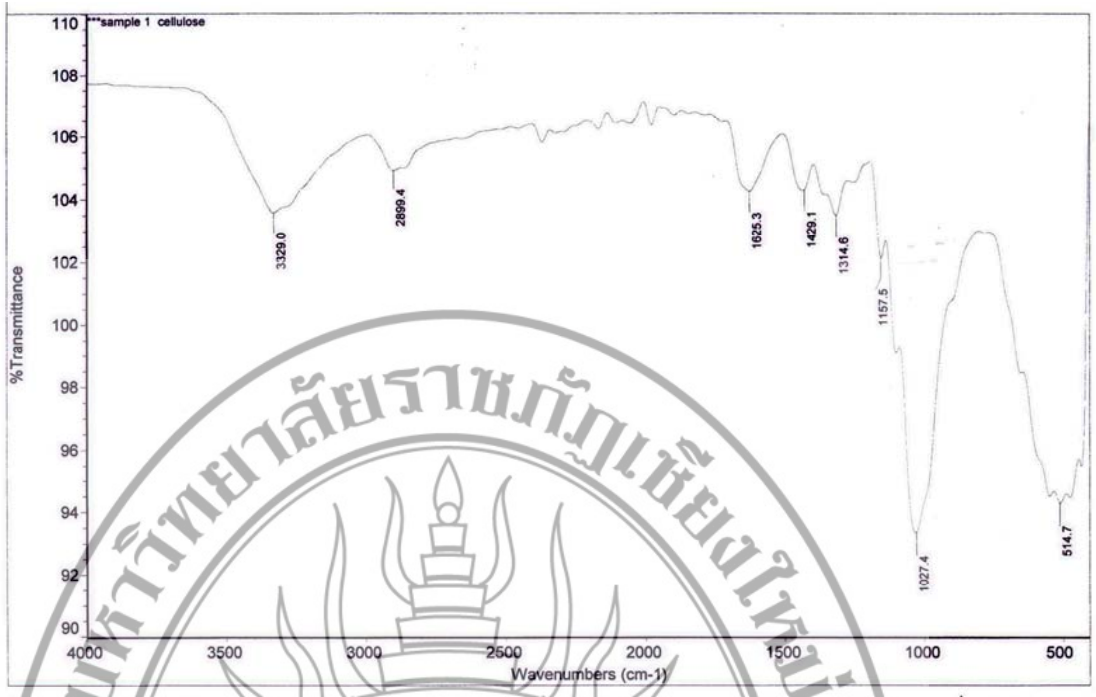
สภาพเซลลูโลสปรับปรุงที่ได้มีลักษณะเป็นเยื่อสีขาว อ่อนนุ่ม พองตัวได้เมื่ออยู่ในน้ำ ดังรูป 4.4



รูป 4.4 เซลลูโลสปรับปรุงแบบที่ 1

เซลลูโลสปรับปรุงที่ได้จะเกิดจากปฏิกิริยาฟอสฟอริเลชันโดยการแลกเปลี่ยนหมู่  $\text{OH}^-$  อีسترกับหมู่  $\text{PO}_4^{3-}$  ในสภาวะที่มียูเรีย ดังรูป 2.2 การดูดซับไอออนโลหะ จะอาศัยหลักของการแลกเปลี่ยนไอออนระหว่าง  $\text{NH}_4^+$  กับ ไอออนโลหะนั้น เมื่อนำเซลลูโลสปรับปรุงแบบที่ 1 ไปหาโครงสร้างโดยนำไปวิเคราะห์ด้วยเทคนิค FTIR พบว่าโครงสร้างของเซลลูโลสที่ปรับปรุงที่ได้ ได้ IR Spectrum ดังรูป 4.6 เมื่อเทียบกับรูป 4.5 ซึ่งเป็น IR Spectrum ของเซลลูโลส พบว่าตำแหน่ง 3400 – 3300 (O-H stretch) ของเซลลูโลสปรับปรุงจะกว้างขึ้นเนื่องจากอาจจะมี band ของ P=O stretch ร่วมด้วย อย่างไรก็ตาม IR spectrum ก็ยังแสดงถึงการแทนที่  $\text{OH}^-$  group ของเซลลูโลสด้วย  $\text{PO}_4^{3-}$  ได้ไม่ชัดเจน อาจจะทำให้การแทนที่ได้เห็นได้ชัดขึ้นจากการทดลองของ จิตตรา ดอกบัว และคณะ (2551) ซึ่งเป็นการหาปริมาณ  $\text{PO}_4^{3-}$  จากการทำปฏิกิริยาฟอสฟอริเลชันของฟางข้าว





รูป 4.5 IR Spectrum ของเซลลูโลส



รูป 4.6 IR Spectrum ของเซลลูโลสปรับปรุงแบบที่ 1

## 6.2 การปรับปรุงเซลลูโลสแบบที่ 2 (MC2)

เมื่อนำเซลลูโลสที่สกัดได้จากหญ้าไทรมาปรับปรุงโครงสร้างแบบที่ 2 แล้วทดสอบประสิทธิภาพการดูดซับ พบว่าสามารถดูดซับไอออนโลหะแคลเซียมและแมกนีเซียมได้เหมือนกับการทดลองของ Osvaldo Kranitz Junior และคณะ ที่นำขานอ้อยมาปรับปรุงโครงสร้างแบบเดียวกัน ซึ่ง การปรับปรุงเซลลูโลสแบบนี้เป็นการทำให้ EDTAD เกิดพันธะเอสเทอร์กับเซลลูโลส ดังรูปที่ 2.3

EDTA ซึ่งมีคุณสมบัติเป็น chelating agent จึงสามารถจับไอออนโลหะได้ ดังนั้นจึงเป็นการลดปริมาณไอออนโลหะในสารละลายได้ จากการทดลองเซลลูโลสปรับปรุงแบบที่ 2 สามารถดูดซับไอออนโลหะทั้งสองได้คือสามารถดูดซับแคลเซียมและแมกนีเซียมได้โดยเฉลี่ยร้อยละ 75.8 และ 93.9 ดังตาราง 4.8

ตาราง 4.8 การดูดซับไอออนโลหะของเซลลูโลสปรับปรุงแบบที่ 2

โลหะ	ร้อยละการดูดซับ (%)
Ca <sup>2+</sup>	75.8
Mg <sup>2+</sup>	93.9

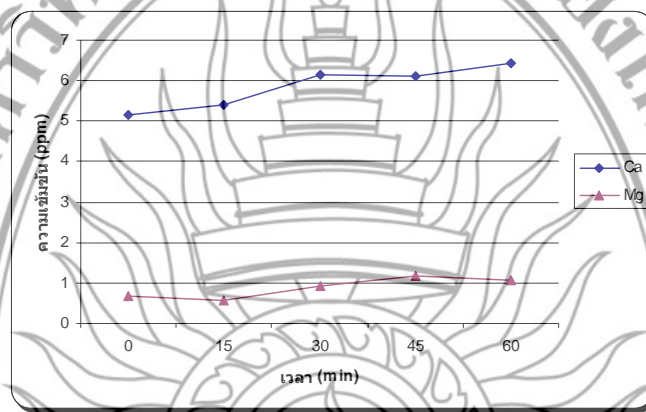
สภาพของเซลลูโลสปรับปรุงแบบที่ 2 มีลักษณะเป็นเยื่อสีน้ำตาล อ่อนนุ่ม พองตัวได้เมื่ออยู่ในน้ำ ดังรูป 4.7



รูป 4.7 เซลลูโลสปรับปรุงแบบที่ 2

## 7. เวลาสมดุลในการดูดซับ (Equilibrium time)

เพื่อให้การดูดซับมีประสิทธิภาพ เวลาที่ใช้ในการดูดซับของเซลลูโลสจำเป็นต้องทดสอบ อีกทั้งยังเป็นการทำให้ทราบความสามารถในการดูดซับ ในการทดสอบนี้ได้ใช้เซลลูโลสปรับปรุงแบบที่ 1 ทำการดูดซับแคลเซียมและแมกนีเซียมโดยใช้เวลาในการดูดซับ 0-60 นาที ดังรูป 4.8 พบว่าการดูดซับแคลเซียมจะเพิ่มขึ้นและจะเข้าสู่สมดุลเมื่อเวลาผ่านไปประมาณ 30 นาที สำหรับแมกนีเซียม การดูดซับจะค่อนข้างคงที่จนกระทั่งเวลามากกว่า 30 นาทีจะมีการดูดซับมากขึ้นและจะคงที่ ซึ่งจากกราฟจะเห็นว่าการดูดซับ โลหะของเซลลูโลสปรับปรุงสามารถดูดซับแคลเซียมได้ดีกว่าแมกนีเซียม

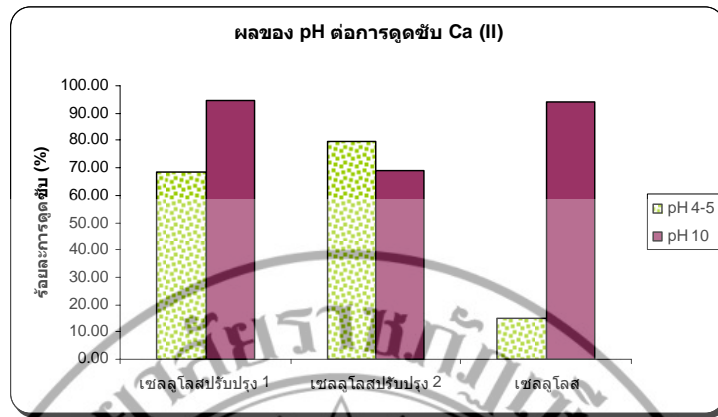


รูป 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับปริมาณไอออนโลหะที่ถูกดูดซับ

## 8. ผลของ pH ต่อประสิทธิภาพการดูดซับไอออนโลหะ

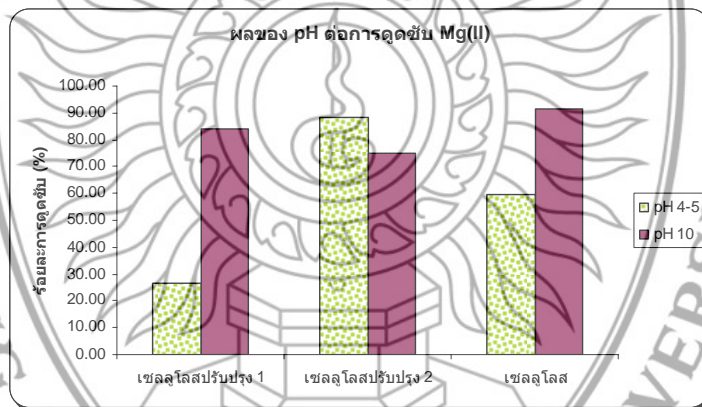
เมื่อศึกษาผลของ pH ของสารละลายในขณะที่ทำการดูดซับแคลเซียมและแมกนีเซียมซึ่งเป็นโลหะที่มีมากในแหล่งน้ำแม่สะเรียง (ทดสอบกับสารละลายมาตรฐานเดี่ยว : aqueous single solution) โดยทำการเปรียบเทียบการดูดซับในช่วงที่เป็นกรดอ่อน (pH 4-5 ซึ่งเป็นช่วง pH ของสารละลายมาตรฐานที่ไม่ได้มีการปรับ) และช่วงที่เป็นเบส (pH 9-10) ของทั้ง เซลลูโลส เซลลูโลสปรับปรุงแบบที่ 1 และ เซลลูโลสปรับปรุงแบบที่ 2 พบว่าทั้งสภาวะที่เป็นกรดอ่อนและสภาวะเบสสามารถดูดซับได้แต่การดูดซับแตกต่างกัน โดยที่เซลลูโลสและเซลลูโลสปรับปรุงแบบที่ 1 จะดูดซับทั้งแคลเซียมและแมกนีเซียมได้ดีในสารละลายที่เป็นเบส แต่เซลลูโลสปรับปรุงแบบที่ 2 ที่มีการดูดซับได้ดีทั้งสองช่วง pH แต่ pH ในช่วงกรดจะดูดซับได้ดีกว่าเล็กน้อย

ในสารละลายที่มี pH 4-5 เซลลูโลส เซลลูโลสปรับปรุงแบบที่ 1 และ เซลลูโลสปรับปรุงแบบที่ 2 สามารถดูดซับแคลเซียมได้ร้อยละ 14.74, 68.25 และ 79.89 ตามลำดับ ส่วนในสารละลายที่มี pH 9-10 เซลลูโลส เซลลูโลสปรับปรุงแบบที่ 1 และ เซลลูโลสปรับปรุงแบบที่ 2 สามารถดูดซับแคลเซียมได้ร้อยละ 94.13, 94.64 และ 69.06 ตามลำดับ ดังรูป 4.9



รูป 4.9 ผลของ pH ต่อการดูดซึม  $Ca^{2+}$

ในสารละลายที่มี pH 4-5 เซลลูโลส เซลลูโลสปรับปรุงแบบที่ 1 และ เซลลูโลสปรับปรุงแบบที่ 2 สามารถดูดซับแมกนีเซียมได้ร้อยละ 59.54, 26.58 และ 88.39 ตามลำดับ ส่วนในสารละลายที่มี pH 9-10 เซลลูโลส เซลลูโลสปรับปรุงแบบที่ 1 และ เซลลูโลสปรับปรุงแบบที่ 2 สามารถดูดซับแมกนีเซียมได้ร้อยละ 91.60, 84.13 และ 74.95 ตามลำดับ ดังรูป 4.10

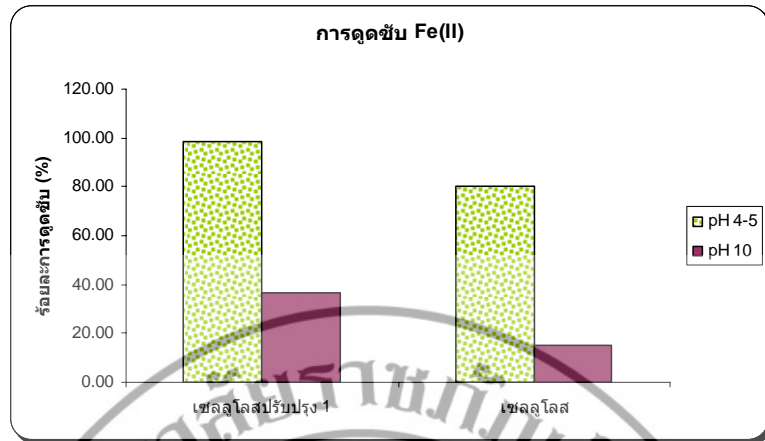


รูป 4.10 ผลของ pH ต่อการดูดซึม  $Mg^{2+}$

จะเห็นว่าข้อดีของเซลลูโลสแบบที่ 2 ให้ประสิทธิภาพการดูดซับดีทุกช่วง pH แต่จากการเตรียมเซลลูโลสแบบที่ 2 ปัญหาที่พบคือ การเตรียมใช้สารเคมีหลายชนิด และมีราคาแพง ใช้เวลานาน ผู้ทำวิจัยจึงเลือกเฉพาะเซลลูโลสปรับปรุงแบบที่ 1 ทดสอบการดูดซับไอออนโลหะชนิดอื่น

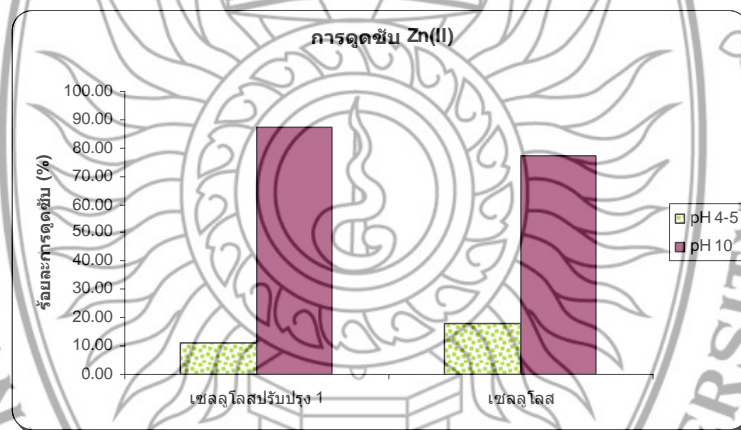
เมื่อนำเซลลูโลสและเซลลูโลสปรับปรุงแบบที่ 1 ทดสอบการดูดซับเหล็กกับสังกะสี พบว่าสังกะสีจะถูกดูดซับได้มากในช่วงที่เป็นด่างส่วนเหล็กจะถูกดูดซับได้ดีในช่วงกรด ดังรูป 4.11





รูป 4.11 การดูดซับ  $Fe^{2+}$  ของเซลล์โลสและเซลล์โลสปรับปรุงแบบที่ 1

ในสารละลายที่มี pH 4-5 เซลล์โลส และ เซลล์โลสปรับปรุงแบบที่ 1 สามารถดูดซับเหล็กได้ร้อยละ 80.07 และ 98.83 ตามลำดับ ส่วนในสารละลายที่มี pH 9-10 เซลล์โลส และเซลล์โลสปรับปรุงแบบที่ 1 สามารถดูดซับเหล็กได้ร้อยละ 15.03 และ 36.84 ตามลำดับ ดังรูป 4.12



รูป 4.12 การดูดซับ  $Zn^{2+}$  ของเซลล์โลสและเซลล์โลสปรับปรุงแบบที่ 1

ในสารละลายที่มี pH 4-5 เซลล์โลส และ เซลล์โลสปรับปรุงแบบที่ 1 สามารถดูดซับสังกะสีได้ร้อยละ 18.12 และ 10.96 ตามลำดับ ส่วนในสารละลายที่มี pH 9-10 เซลล์โลส และเซลล์โลสปรับปรุงแบบที่ 1 สามารถดูดซับสังกะสีได้ร้อยละ 87.28 และ 76.99 ตามลำดับ จะเห็นว่าเซลล์โลสและเซลล์โลสปรับปรุงแบบที่ 1 สามารถดูดซับ แคลเซียม แมกนีเซียม และสังกะสีได้ดีในสารละลายเบส แต่ดูดซับเหล็กได้ดีในสารละลายกรด ส่วนเซลล์โลสปรับปรุงแบบที่ 2 สามารถดูดซับแคลเซียมและแมกนีเซียมได้ดีทุกช่วง pH แต่เซลล์โลสปรับปรุงแบบที่ 2 มีข้อเสียซึ่งได้กล่าวมาแล้ว

## 9. ทดสอบประสิทธิภาพการดูดซับในน้ำตัวอย่างของไอออนโลหะผสม

จากการทดสอบที่ผ่านมาได้ทดสอบกับสารละลายมาตรฐานเดี่ยว ซึ่งให้ผลการดูดซับที่มีประสิทธิภาพ ในการทดลองนี้ได้นำเซลล์ูโลสที่ปรับปรุงได้มาทดสอบดูดซับไอออนโลหะในน้ำตัวอย่างของไอออนโลหะผสม (1 ppm) โดยใช้สภาวะที่เหมาะสมทั้งหมดที่ได้ทำการทดลอง ตั้งแต่การเตรียมเซลล์ูโลส การปรับปรุงเซลล์ูโลส และ pH ที่เหมาะสมในการดูดซับได้ผลการดูดซับ เปรียบเทียบผลการดูดซับกับเซลล์ูโลสที่ไม่มีการปรับปรุง ได้ผลการดูดซับดังตาราง 4.9

เซลล์ูโลส ที่ pH 4-5 สามารถดูดซับ แคลเซียม แมกนีเซียม เหล็กและสังกะสีได้ร้อยละ 61.00, 72.86, 81.21 และ 75.42 ตามลำดับ ที่ pH 9-10 สามารถดูดซับ แคลเซียม แมกนีเซียม เหล็ก และสังกะสีได้ร้อยละ 97.22, 94.57, 72.38 และ 78.27 ตามลำดับ

เซลล์ูโลสปรับปรุงแบบที่ 1 ที่ pH 4-5 สามารถดูดซับ แคลเซียม แมกนีเซียม เหล็ก และสังกะสีได้ร้อยละ 80.73, 88.74, 76.69 และ 80.29 ตามลำดับ ที่ pH 9-10 สามารถดูดซับ แคลเซียม แมกนีเซียม เหล็ก และสังกะสีได้ร้อยละ 87.52, 91.9, 77.51 และ 83.36

เซลล์ูโลสปรับปรุงแบบที่ 2 pH 4-5 สามารถดูดซับ แคลเซียม แมกนีเซียม ได้ร้อยละ 50.20 และ 92.17 ตามลำดับ ที่ pH 9-10 แคลเซียมและแมกนีเซียมได้ร้อยละ 87.52 และ 91.33 ตามลำดับ

ตาราง 4.9 การดูดซับในน้ำตัวอย่างของไอออนโลหะผสม

รายการ	Ca <sup>2+</sup>		Mg <sup>2+</sup>		Fe <sup>2+</sup>		Zn <sup>2+</sup>	
	pH	ร้อยละการดูดซับ (%)	pH	ร้อยละการดูดซับ (%)	pH	ร้อยละการดูดซับ (%)	pH	ร้อยละการดูดซับ (%)
เซลล์ูโลส	4-5	61.00	4-5	72.86	4-5	81.21	4-5	75.42
	9-10	97.22	9-10	94.57	9-10	72.38	9-10	78.27
เซลล์ูโลสปรับปรุงแบบที่ 1	4-5	80.73	4-5	88.46	4-5	78.69	4-5	80.29
	9-10	87.52	9-10	91.90	9-10	77.15	9-10	83.36
เซลล์ูโลสปรับปรุงแบบที่ 2	4-5	50.20	4-5	92.17				
	9-10	87.52	9-10	91.33				

จากโครงสร้างของเซลล์ูโลส ที่มีหมู่ hydroxyl ที่คาร์บอนตำแหน่ง 2, 3 และ 6 ซึ่งเป็นส่วนที่ทำให้เกิดปฏิกิริยามากที่สุด การปรับปรุงลักษณะโครงสร้างและหมู่ฟังก์ชันในเซลล์ูโลสจึงสามารถทำได้โดยใช้กระบวนการทางเคมี ซึ่งจะสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนไอออนของเซลล์ูโลสให้สูงขึ้น แต่จากงานวิจัยนี้ทำให้ทราบว่าเซลล์ูโลสก็มีประสิทธิภาพการดูดซับไอออนโลหะได้ดีเช่นเดียวกับเซลล์ูโลสปรับปรุงทั้งสองแบบ ทั้งนี้โครงสร้างของเซลล์ูโลสในธรรมชาติจะ

มีหมู่คาร์บอกซิลเป็นองค์ประกอบ ดังนั้นจึงทำให้เซลลูโลสมีคุณสมบัติในการแลกเปลี่ยนไอออนได้เช่นเดียวกัน

จากการทดลองเมื่อคิดเป็นค่าความสามารถในการดูดซับ (Adsorption capacity) พบว่าเป็นไปดังภาคผนวก ค

จากการวิจัยนี้ได้ทำการทดลองกับสารละลายมาตรฐาน ซึ่งจากการทดสอบไม่ตกตะกอนทั้งในสภาวะกรดอ่อนและเบส ที่ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน 50-150 ppm แต่โดยทั่วไปไอออนโลหะเหล่านี้ ส่วนมากจะตกตะกอนในสารละลายเบส (มี pH มากกว่า 7) ทำให้ไอออนโลหะตกตะกอนแทนที่จะอยู่ในรูปของไอออนโลหะอิสระและถูกดูดซับ ซึ่งเซลลูโลส และเซลลูโลสปรับปรุง ณ สภาวะที่ไม่ได้มีการปรับ pH (คือ pH 4-5) สามารถดูดซับไอออนโลหะได้ทุกชนิดจึงถือว่าเป็นข้อดีของเซลลูโลสที่ได้จากการวิจัยนี้ เพราะสะดวกต่อการนำไปใช้สามารถใช้กับน้ำที่ไหลมาจากท่ออย่างต่อเนื่องได้ และขั้นตอนการเตรียมง่าย สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ ซึ่งจะต้องมีการวิจัยต่อไป

