



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม)

ปริญญา

.....
วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม

.....
วิทยาลัยสิ่งแวดล้อม

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง ประสิทธิภาพการกำจัดแทนนินในน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตเบียร์และแหล่งน้ำธรรมชาติด้วย
ไคโตซานจากแกนหมึกกล้วยและไคโตซานเชิงพาณิชย์

The Removal Efficiency of Tannin from Beer Brewery Wastewater and
Natural Water by Adsorption using Chitosan from Pen of Splendid Squid
(*Loligo duvauceli*) and Commercial Chitosan

นามผู้วิจัย นางสาวนารีรัตน์ ศรีภักดิ์

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

.....
(รองศาสตราจารย์คณิดา ตั้งคนานุรักษ์, วท.ม.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

.....
(รองศาสตราจารย์นิพนธ์ ตั้งคนานุรักษ์, Ph.D.)

ประธานสาขาวิชา

.....
(ศาสตราจารย์เกษม จันทร์แก้ว, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

.....
(รองศาสตราจารย์กัญญา ธีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่.....เดือน พ.ศ.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

ประสิทธิภาพการกำจัดแทนนินในน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตเบียร์และแหล่งน้ำธรรมชาติด้วยไคโตซาน
จากแกนหมึกกล้วยและไคโตซานเชิงพาณิชย์

The Removal Efficiency of Tannin from Beer Brewery Wastewater and Natural Water by
Adsorption using Chitosan from Pen of Splendid Squid (*Loligo duvauceli*) and
Commercial Chitosan

โดย

นางสาวนารีรัตน์ ศรีภักดิ์

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตรสิ่งแวดล้อม)

พ.ศ. 2555

นารีรัตน์ ศรีภักดิ์ 2555: ประสิทธิภาพการกำจัดแทนนินในน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตเบียร์
และแหล่งน้ำธรรมชาติด้วยไคโตซานจากแกนหมึกกล้วยและไคโตซานเชิงพาณิชย์
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม) สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม
วิทยาลัยสิ่งแวดล้อม อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รองศาสตราจารย์
คณิดา ตั้งคณานุรักษ์, วท.ม. 69 หน้า

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของปัจจัยต่างๆที่มีต่อการดูดซับแทนนินในน้ำทิ้งจาก
โรงงานผลิตเบียร์และแหล่งน้ำธรรมชาติด้วยไคโตซานจากแกนหมึกกล้วยและไคโตซานเชิงพาณิชย์
ได้แก่ พีเอช (6-9) ความเร็วรอบการเขย่า (50-200 รอบ/นาที) ระยะเวลาเขย่า (10-120 นาที) ระยะเวลา
เข้าสู่ภาวะสมดุล (10-120 นาที) ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานแทนนิน (0-50 มิลลิกรัม/ลิตร)
และปริมาณของตัวดูดซับ (10-160 กรัม/ลิตร) ในสภาวะที่เหมาะสม ซึ่งคือ ที่พีเอช 6 ความเร็วรอบ
การเขย่า 50 รอบ/นาที ระยะเวลาเขย่า 10 นาที ระยะเวลาเข้าสู่ภาวะสมดุล 30 นาที และความเข้มข้น
ของสารละลายแทนนินมาตรฐาน 20 มิลลิกรัม/ลิตร ไคโตซานจากแกนหมึก ปริมาณ 1 กรัม และไค
โตซานเชิงพาณิชย์ ปริมาณ 1 กรัม สามารถดูดซับสารละลายแทนนินมาตรฐานได้ร้อยละ 91.27 และ
87.09 ตามลำดับ การประยุกต์ใช้งานจริง พบว่า ไคโตซานจากแกนหมึกกล้วยปริมาณ 400 กรัม น้ำ
ทิ้งจากการผลิตเบียร์ปริมาตร 20 ลิตร ปั่นกวนด้วยใบพัดนาน 10 นาที ระยะเวลาเข้าสู่ภาวะสมดุล
30 นาที แล้วปล่อยผ่านกระบอกคาร์ตริดจ์ที่บรรจุไว้แล้ว โดยใช้อัตราการไหล 120 มิลลิลิตร/นาที
พบว่า มีประสิทธิภาพการดูดซับ เท่ากับ 80.39 ส่วนไคโตซานเชิงพาณิชย์ ทดลองในสภาวะ
เช่นเดียวกัน พบว่า มีประสิทธิภาพการดูดซับ เท่ากับ 70.58 นอกจากนี้ยังพบว่าไคโตซานทั้งสอง
ชนิดสามารถบำบัดมลสารอื่นๆ ได้ ได้แก่ ของแข็งละลายน้ำ ของแข็งแขวนลอย ซีโอดี ความขุ่น
ไขมันและน้ำมัน เป็นต้น สำหรับผลการฟื้นฟูสภาพของไคโตซานทั้งสองชนิดหลังจากผ่านการใช้
งานแล้ว พบว่า การใช้งานซ้ำของไคโตซานจากแกนหมึกกล้วยและไคโตซานเชิงพาณิชย์ในการ
ดูดซับแทนนินใช้ได้ 9 และ 7 ครั้ง ตามลำดับ ประสิทธิภาพการดูดซับแทนนินลดลงครั้งหนึ่ง คือ
สามารถดูดซับแทนนินได้ร้อยละ 38.07 และ 34.48 ตามลำดับ

Nareerat Sripak 2012: The Removal Efficiency of Tannin from Beer Brewery Wastewater and Natural Water by Adsorption using Chitosan from Pen of Splendid Squid (*Loligo duvauceli*) and Commercial Chitosan. Master of Science (Environmental Science), Major Field: Environmental Science, College of Environment. Thesis Advisor: Associate Professor Kanita Tungkananuruk, M.Sc. 69 pages.

The aim of this research is to investigate factors affecting the adsorption of tannin from natural water and beer brewery wastewater by adsorption using chitosan from pen of splendid squid (*Loligo duvauceli*) and commercial chitosan. The studied factors were pH (6-9), shaking rate (50-200 rpm.), shaking time (10-120 min.), contact time (10-120 min.), concentration of tannin standard solution (0-50 mg/L) and amount of adsorbent (10-160 g/L). Under the optimal conditions, which were pH 6, 50 rpm. of shaking rate, 10 min. of shaking time, 30 min. of contact time, and 20 mg/L of tannin standard solution. The tannin were adsorbed by 1 g of splendid squid chitosan and 1 g of commercial chitosan at 91.27% and 87.09% respectively. Real work application is studied by using 400 g chitosan from splendid squid chitosan, 20 L of volume beer brewery wastewater, 10 min. of shaking time, 30 min. of contact time, and 120 ml/min. flow rate, found that about 80.39% is obtained. In the same manner; changing to use commercial chitosan, found that about 70.58% is obtained. In addition, the total dissolved solids, suspended solids, COD, turbidity, oil and grease can be removed by two types of chitosans. The used splendid squid chitosan and commercial chitosan was recovered and reused for 9 and 7 times respectively until their efficiency were dropped to half ie. 38.07% and 34.48% respectively.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

ขอกราบขอบพระคุณรองศาสตราจารย์คณิตา ตังคณานุรักษ์ ประธานกรรมการที่ปรึกษาที่ได้สละเวลาในการช่วยเหลือ ให้ความรู้ คำแนะนำ คำปรึกษา ตลอดจนช่วยแก้ไขในข้อบกพร่องต่างๆ ขอกราบขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร.นิพนธ์ ตังคณานุรักษ์ กรรมการร่วมที่ได้กรุณาให้คำแนะนำ และตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์จนสำเร็จลุล่วงด้วยดี

ขอขอบคุณ วิทยาลัยสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่อนุเคราะห์สถานที่ทำการศึกษาวิจัยทดลอง รวมทั้งอุปกรณ์ในการวิจัย ขอขอบคุณบริษัท ไทยเอเชีย แปซิฟิค บริวเวอรี่ จำกัด ที่ได้สนับสนุนทุนในการวิจัยในครั้งนี้ผ่านทางโครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อม แหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ และขอขอบคุณ คุณวัชรพงษ์ วาระรัมย์ เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการเคมีที่ช่วยอำนวยความสะดวกในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ขอขอบพระคุณ คุณพ่อทนงศักดิ์ และคุณแม่บุญสม ศรีภักดิ์ ที่ได้อบรมสั่งสอนและให้กำลังใจเสมอมา รวมถึงขอบคุณเพื่อนๆ ที่ให้ความช่วยเหลือทั้งกำลังใจและกำลังใจในการศึกษาวิจัย จนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

นารีรัตน์ ศรีภักดิ์
กุมภาพันธ์ 2555

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(5)
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	(8)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	21
อุปกรณ์	21
วิธีการ	22
ผลและวิจารณ์	33
สรุปและข้อเสนอแนะ	53
สรุป	53
ข้อเสนอแนะ	55
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	56
ภาคผนวก	58
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	69

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	อิทธิพลของพีเอชต่อร้อยละการดูดซับแทนนินของไคโตซานจากแกนหมักกล้วยและไคโตซานเชิงพาณิชย์	34
2	อิทธิพลของความเร็วยวรอบการเขย่าต่อร้อยละการดูดซับแทนนินของไคโตซานจากแกนหมักกล้วยและไคโตซานเชิงพาณิชย์ในสารละลายมาตรฐานแทนนิน	36
3	อิทธิพลของระยะเวลาเขย่าต่อร้อยละการดูดซับแทนนินของไคโตซานจากแกนหมักกล้วยและไคโตซานเชิงพาณิชย์ในสารละลายมาตรฐานแทนนิน	37
4	อิทธิพลของระยะเวลาเข้าสู่สภาวะสมดุลต่อร้อยละการดูดซับแทนนินของไคโตซานจากแกนหมักกล้วยและไคโตซานเชิงพาณิชย์ในสารละลายมาตรฐานแทนนิน	39
5	อิทธิพลของความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานแทนนินต่อร้อยละการดูดซับแทนนินของไคโตซานจากแกนหมักกล้วยและไคโตซานเชิงพาณิชย์ในสารละลายมาตรฐานแทนนิน	40
6	อิทธิพลของปริมาณตัวดูดซับต่อร้อยละการดูดซับแทนนินของไคโตซานจากแกนหมักกล้วยและไคโตซานเชิงพาณิชย์ในสารละลายมาตรฐานแทนนิน	42
7	ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำทิ้งจากบริษัท ไทยเอเชีย บริวเวอรี่ จำกัด หลังผ่านการดูดซับด้วยไคโตซานจากแกนหมักกล้วยและไคโตซานเชิงพาณิชย์	47
8	ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ หลังผ่านการดูดซับด้วยไคโตซานในน้ำจาก กู คลอง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (หน้าชมรมอิสลาม) หลังผ่านการดูดซับด้วยไคโตซานจากแกนหมักกล้วยและไคโตซานเชิงพาณิชย์	48
9	คุณภาพน้ำทิ้งจากบริษัท ไทยเอเชีย แปซิฟิค บริวเวอรี่ จำกัด หลังผ่านการประยุกต์ใช้งานจริง	49
10	ประสิทธิภาพการดูดซับแทนนินด้วยไคโตซานจากแกนหมักกล้วยและไคโตซานเชิงพาณิชย์หลังการใช้งาน	50
11	ประสิทธิภาพการดูดซับแทนนินด้วยไคโตซานจากแกนหมักกล้วยและไคโตซานเชิงพาณิชย์หลังการใช้งาน	51
12	เปรียบเทียบต้นทุนของไคโตซานจากแกนหมักกล้วยและไคโตซานเชิงพาณิชย์ที่ใช้ในการทดลอง	52

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่	หน้า
1 อิทธิพลของค่าการดูดกลืนแสง (Absorbance) กับความเข้มข้นสารละลาย มาตรฐานแทนนิน (มิลลิกรัมต่อลิตร) ที่ความยาวคลื่น 700 นาโนเมตร	60
2 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับแทนนินของปริมาณโคโคซานจาก แกนหมึกกล้วย	61
3 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับแทนนินของโคโคซานเชิงพาณิชย์	62
4 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับแทนนินของโคโคซานจากแกนหมึก กล้วยและค่าพีเอช	62
5 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับแทนนินของโคโคซานเชิงพาณิชย์และ ค่าพีเอช	62
6 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับแทนนินของโคโคซานจากแกนหมึก กล้วยและความเร็วรอบการเขย่า	63
7 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับแทนนินของโคโคซานเชิงพาณิชย์ และความเร็วรอบการเขย่า	63
8 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับแทนนินของโคโคซานจากแกนหมึก กล้วยและระยะเวลาเขย่า	64
9 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับแทนนินของโคโคซานเชิงพาณิชย์และ ระยะเวลาเขย่า	64
10 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับแทนนินของโคโคซานจากแกนหมึกกล้วยและ ระยะเวลาเข้าสู่สภาวะสมดุล	65
11 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับแทนนินของโคโคซานเชิงพาณิชย์และ ระยะเวลาเข้าสู่สภาวะสมดุล	65
12 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับแทนนินของโคโคซานจากแกนหมึก กล้วยและความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานแทนนิน	66
13 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับแทนนินของโคโคซานเชิงพาณิชย์ และความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานแทนนิน	67

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่		หน้า
14	ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับแทนนินของไคโตซานจากแกนหมักกล้วยและปริมาณไคโตซาน	67
15	ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับแทนนินของไคโตซานเชิงพาณิชย์และปริมาณไคโตซาน	67
16	ประสิทธิภาพการดูดซับแทนนินในน้ำทิ้งจากบริษัท ไทยเอเชียแปซิฟิก บรีวเวอรี่ จำกัด ด้วยไคโตซานจากแกนหมักกล้วยและไคโตซานเชิงพาณิชย์ ทำการทดลองแบบแบตช์	68

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	สูตรโครงสร้างของโมเลกุลแทนนิน	5
2	โครงสร้างของไคโตซาน	12
3	ขั้นตอนการเคลื่อนย้ายโมเลกุลของตัวถูกดูดซับไปยังตัวดูดซับ	18
4	การสกัดไคโตซาน(การกำจัดโปรตีน (Deproteinization))	24
5	การสกัดไคโตซาน(การกำจัดหมู่อะซิทิล (Deacetylation))	24
6	ไคโตซานเชิงพาณิชย์	25
7	ศึกษาอิทธิพลของความเร็วรอบในการเขย่า	27
8	ศึกษาอิทธิพลของระยะเวลาการเข้าสู่ภาวะสมดุล	28
9	น้ำทิ้งจากบริษัท ไทยเอเชีย แปซิฟิค บรีวเวอรี่ จำกัด	30
10	ศึกษาประสิทธิภาพการประยุกต์ใช้งานจริง	31
11	ไคโตซานจากแกนหมึกกล้วย	33
12	ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับแทนนินของไคโตซานจากแกนหมึกกล้วยและไคโตซานเชิงพาณิชย์กับค่าพีเอชในสารละลายมาตรฐานแทนนิน	35
13	ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับแทนนินของไคโตซานจากแกนหมึกกล้วยและไคโตซานเชิงพาณิชย์กับความเร็วรอบการเขย่า	36
14	ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับแทนนินของไคโตซานจากแกนหมึกกล้วยและไคโตซานเชิงพาณิชย์กับระยะเวลาเขย่า	38
15	ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับแทนนินของไคโตซานจากแกนหมึกกล้วยและไคโตซานเชิงพาณิชย์กับระยะเวลาเข้าสู่ภาวะสมดุล	39
16	ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับแทนนินของไคโตซานจากแกนหมึกกล้วยและไคโตซานเชิงพาณิชย์กับความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานแทนนิน	41
17	ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับแทนนินของไคโตซานจากแกนหมึกกล้วยและไคโตซานเชิงพาณิชย์กับปริมาณไคโตซาน	42
18	ไอโซเทอร์มการดูดซับแทนนินของฟรอนด์ด้วยไคโตซานจากแกนหมึกกล้วย	43
19	ไอโซเทอร์มการดูดซับแทนนินของแลงเมียร์ไคโตซานจากแกนหมึกกล้วย	44

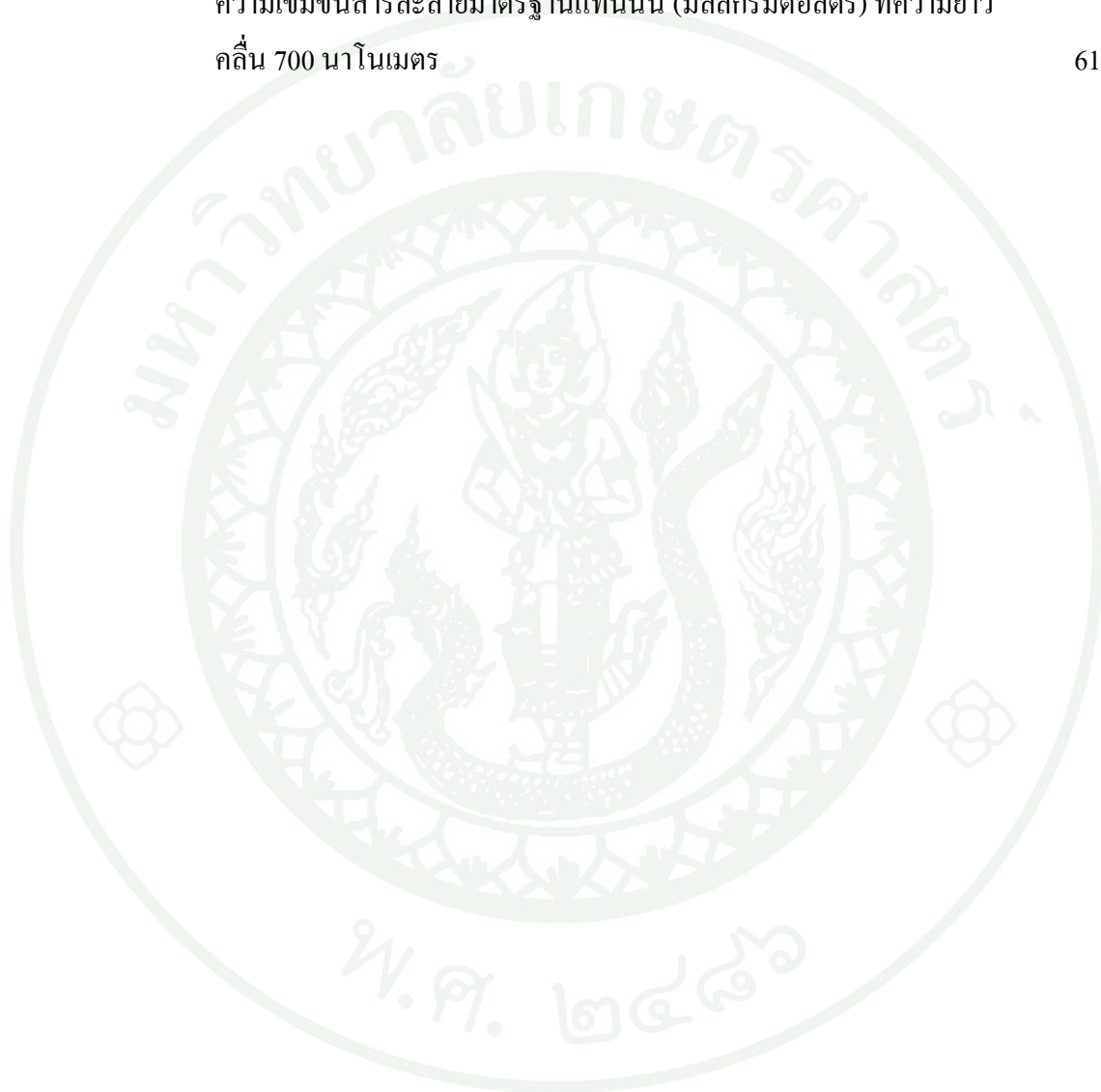
สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพผนวกที่

หน้า

- 1 กราฟมาตรฐานแสดงอิทธิพลของค่าการดูดกลืนแสง (Absorbance) กับ
ความเข้มข้นสารละลายมาตรฐานแทนนิน (มิลลิกรัมต่อลิตร) ที่ความยาว
คลื่น 700 นาโนเมตร

61



คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

DO	=	Dissolved oxygen
TDS	=	Total Dissolved Solution
TSS	=	Total Suspended Solids
COD	=	Chemical Oxygen Demand
BOD	=	Biochemical Oxygen Demand
EC	=	Electrical Conductivity

ประสิทธิภาพการกำจัดแทนนินในน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตเบียร์และแหล่งน้ำธรรมชาติ
ด้วยไคโตซานจากแกนหมึกกล้วยและไคโตซานเชิงพาณิชย์

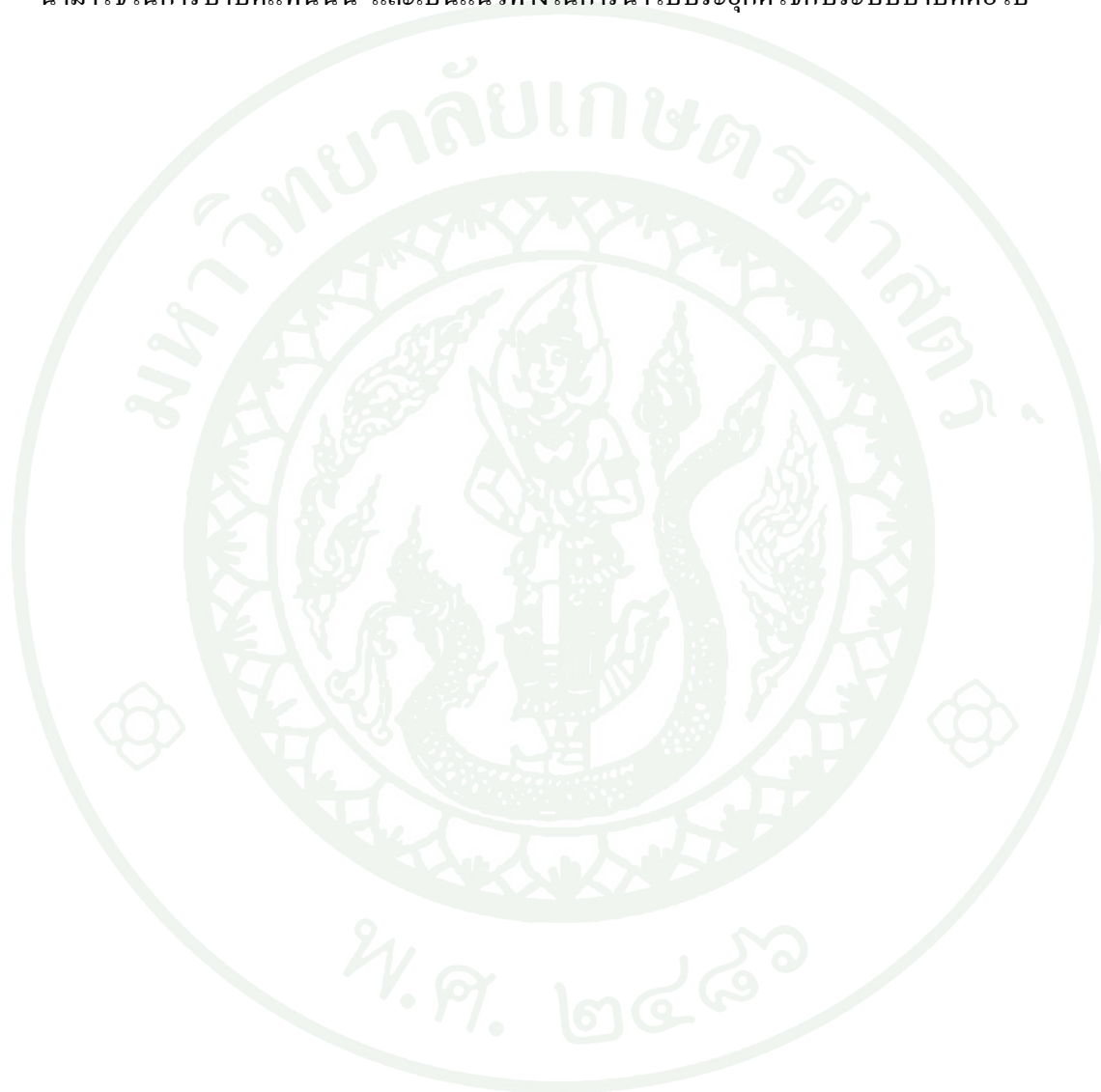
The Removal Efficiency of Tannin from Beer Brewery Wastewater and Natural
Water by Adsorption using Chitosan from Pen of Splendid Squid
(*Loligo duvauceli*) and Commercial Chitosan

คำนำ

แทนนิน เป็นสารประกอบเชิงซ้อนพวกฟีนอลิก (Phenolic compounds) ที่มีโมเลกุลใหญ่ น้ำหนักโมเลกุลสูง โครงสร้างซับซ้อนและย่อยสลายได้ยากทางชีวภาพ ทำให้น้ำมีสีเหลือง มีลักษณะทางกายภาพที่ไม่เหมาะสมจะนำมาใช้ประโยชน์ โทษของแทนนิน คือ แทนนินจะยับยั้งการเกิดเอนไซม์ที่ช่วยย่อยอาหารในกระเพาะสัตว์และมีผลยับยั้งต่อระบบการหายใจของปลา ในแหล่งน้ำที่มีแทนนินปนเปื้อนในระดับความเข้มข้นที่สูง หากสัตว์ที่กินอาหารที่มีแทนนินเข้าไปปริมาณมากพอที่จะเกิดพิษได้ จะทำให้เกิดอาการท้องอืด และมีคอเลสเทอรอล ในกระแสเลือดสูงขึ้น

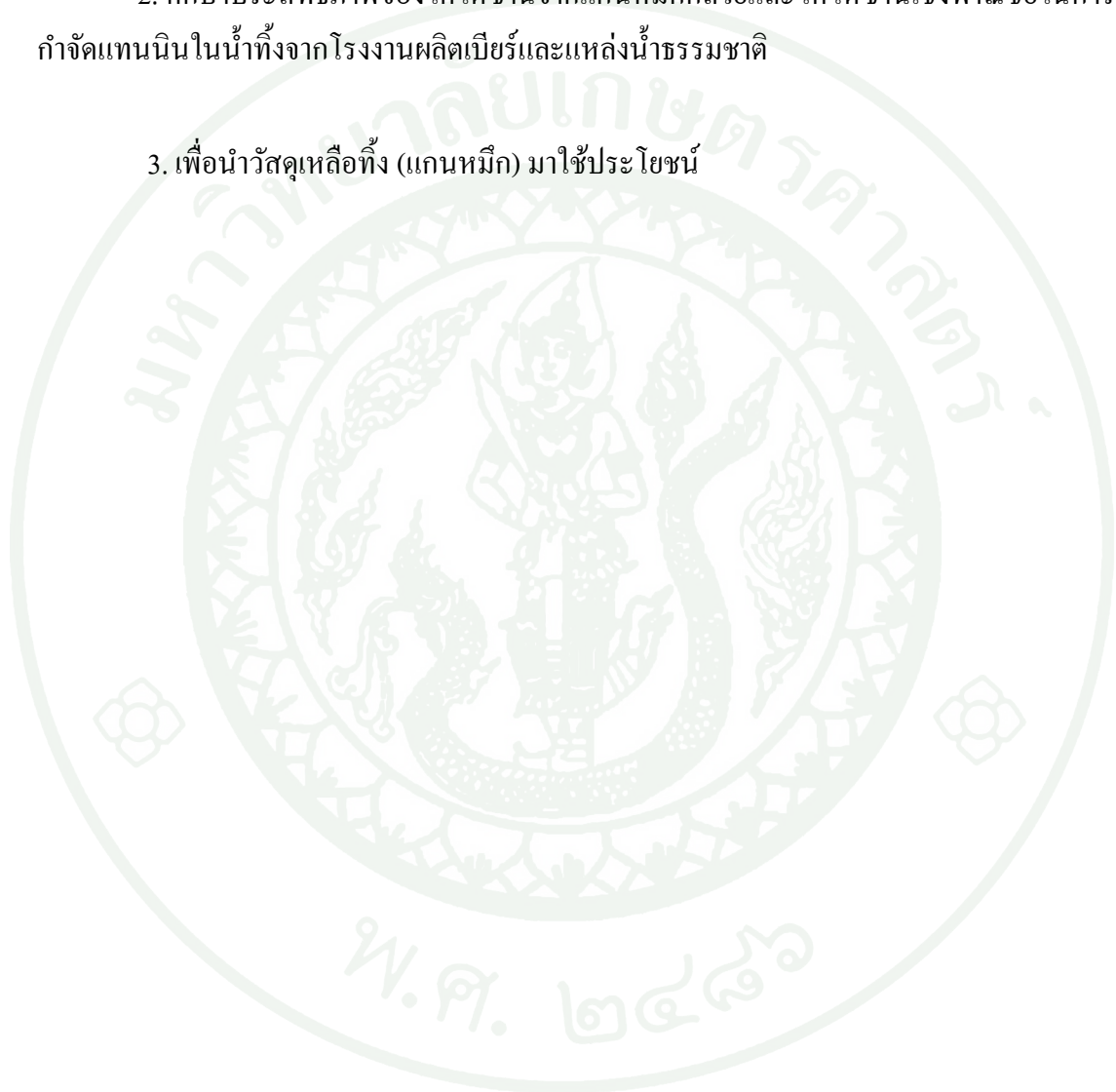
น้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมหลายชนิด เช่น โรงงานผลิตเบียร์ น้ำตาล และอุตสาหกรรมอาหาร เป็นต้น อุตสาหกรรมเหล่านี้มีการใช้พืชเป็นวัตถุดิบในกระบวนการผลิต ประกอบกับการพัฒนาอุตสาหกรรมที่มีการนำแทนนินมาใช้เพิ่มมากขึ้น โดยเฉพาะน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตเบียร์ที่มีการใช้ มอลท์ ฮอฟ เป็นวัตถุดิบ ซึ่งธัญพืชเหล่านี้ล้วนแต่มีแทนนินในไอออนปริมาณสูง และมีการเติมสารแทนนินเพื่อช่วยเพิ่มคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ เช่น ใช้ตกตะกอนโปรตีนและจับโลหะ เพื่อให้เบียร์ใส น้ำทิ้งจากโรงงานผลิตเบียร์จึงมีโอกาสสูงที่จะปนเปื้อน สารแทนนินออกมา นอกจากนี้แหล่งที่พบแทนนินที่สำคัญอีกแหล่งคือ แหล่งน้ำธรรมชาติ เกิดจากการเน่าเปื่อยของใบไม้และกิ่งไม้ที่ตกลงในแหล่งน้ำ โดยเฉพาะในส่วนของเนื้อไม้ เปลือกไม้ และเปลือกผล ของพืชใบเลี้ยงคู่ซึ่งมีแทนนินในปริมาณที่สูง จากโทษของแทนนินข้างต้นจำเป็นต้องมีการบำบัดแทนนินในน้ำเสีย ในงานวิจัยนี้มุ่งเน้นการบำบัดแทนนินด้วยกระบวนการดูดซับ เนื่องจากมีเทคโนโลยีไม่ยุ่งยากซับซ้อน ต้นทุนต่ำ ไม่มีปัญหาเรื่องสารเคมีตกค้าง โดยเฉพาะอย่างยิ่ง หากวัสดุดูดซับนั้นเป็นวัสดุทางธรรมชาติที่เหลือทิ้ง ก็จะช่วยลดต้นทุนการบำบัดได้มากยิ่งขึ้นและเป็นวัสดุดูดซับ

ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้ทำการเตรียมไคโตซานจากแกนหมึกกล้วยเพื่อนำไปใช้เป็นวัสดุดูดซับแทนนิน เนื่องจากไคโตซานเป็นสารพอลิชีวโมเลกุล และมีหมู่อะมิโนที่มีความสามารถในการดูดซับแทนนินได้ สามารถย่อยสลายทางชีวภาพและไม่เป็นพิษ สกัดไคโตซานได้จากแกนหมึกกล้วย ซึ่งมีราคาถูก และเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับแกนหมึกกล้วย ด้วยเหตุนี้จึงเลือกใช้ไคโตซานเพื่อนำมาใช้ในการบำบัดแทนนิน และเป็นแนวทางในการนำไปประยุกต์ใช้กับระบบบำบัดต่อไป



วัตถุประสงค์

1. ศึกษาสถานะที่เหมาะสมในการกำหนดนินด้วยกระบวนการดูซ้ำ
2. ศึกษาประสิทธิภาพของโคโตซานจากแกนหมึกกล้วยและโคโตซานเชิงพาณิชย์ในการกำหนดนินในน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตเบียร์และแหล่งน้ำธรรมชาติ
3. เพื่อนำวัสดุเหลือทิ้ง (แกนหมึก) มาใช้ประโยชน์



การตรวจเอกสาร

1. แแทนนิน

1.1 ประวัติความเป็นมาของสารแทนนิน

ในยุคก่อนประวัติศาสตร์ พบว่า มีการใช้แทนนินจากหนังสัตว์ห่อหุ้มร่างกาย และทำรองเท้า เพื่อใช้ในการป้องกันอากาศหนาวเหน็บในเขตหนาว หนังสัตว์ที่นำมาใช้แม้จะทำให้แห้งแล้วก็ตาม แต่มักเกิดการเน่าเปื่อยเมื่อเปียกน้ำและมีความแข็งแรงกระด้าง มนุษย์ในยุคนั้นจึงมีความพยายามในการแก้ปัญหาด้วยการนำหนังสัตว์มารมควัน หลังจากนั้นก็มีการใช้ น้ำมัน ไขมัน ไขสัตว์ และเกลือ ต่อมาค้นพบหลักฐานทางโบราณคดีว่ามีการใช้สารแทนนินฟอกหนังสัตว์ ในสมัยยุคโบราณทางตอนเหนือของเยอรมันและได้มีการพัฒนาใช้สารแทนนิน ในอุตสาหกรรมการผลิตหนังสัตว์จนถึงปัจจุบัน (พีรศักดิ์, 2544)

นักวิทยาศาสตร์หลายกลุ่มให้ความเห็นว่าสารแทนนิน อาจเป็นสารที่พืชใช้ในการป้องกันโรค และวัชพืช เนื่องจาก สารกลุ่มนี้มีรสฝาด และขม รวมทั้งยังป้องกันอันตรายจากเชื้อรา และแบคทีเรียในบริเวณที่ไม่มีชีวิตของพืช เช่น แก่น และเปลือกซึ่งอาจถูกทำลายได้ง่ายโดยจุลินทรีย์ อีกทั้งสารแทนนินยังมีฤทธิ์ในการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ในกระเพาะอาหาร พบว่าหากกินเข้าไปมาก จะเกิดอาการเป็นพิษ ทำให้ท้องอืด แต่สามารถลดอันตรายจากอาการเกิดพิษได้ โดยการทำให้สุกก่อนรับประทาน ตัวอย่างของพืชที่มีสารแทนนินเป็นองค์ประกอบ เช่น ถั่ว อุ่นงา ชา กาแฟ ข้าวโพด ข้าวฟ่าง เาะ มังคุด สับปะรด และมันสำปะหลัง เป็นต้น (เมธา, 2545)

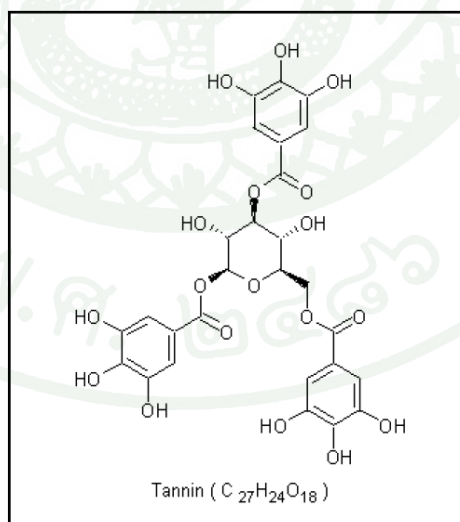
1.2 นิยามและความหมายของสารแทนนิน

แทนนิน มีรากศัพท์มาจากคำว่า “แทนนิง (tanning)” แปลว่า การรักษาไว้ และกันน้ำ แทนนิง คือ กรรมวิธีในการเปลี่ยนหนังสัตว์ที่ตายแล้ว ให้เป็นผลิตภัณฑ์จากหนังสัตว์ ที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ โดยการใช้สารสกัดจากพืช (พีรศักดิ์, 2544) แทนนิน (tannin) เป็นสารประกอบฟีนอลที่มีหมู่ไฮดรอกซิลจำนวนมากมีโมเลกุลขนาดใหญ่ ดังแสดงในภาพที่ 1 และมีโครงสร้างซับซ้อนน้ำหนักโมเลกุลอยู่ระหว่าง 500 – 3,000 (Hung *et.al.*, 2008) แทนนิน มีฤทธิ์เป็นกรดอ่อน มีรสฝาด จึงเป็นสารที่ให้ความฝาดในพืชพบได้ในส่วนต่างๆ ของพืชหลายชนิด สามารถ

แบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ กลุ่มคอนเดนส์แทนนิน (condensed tannins) หรือเรียกอีกอย่างว่า โปรแอนโทไซยานิน (proanthocyanin) พบในส่วนเปลือกต้น เนื้อไม้ และแก่นไม้เป็นส่วนใหญ่ และกลุ่มไฮโดรไลซ์แทนนิน (hydrolysable tannins) ซึ่งเป็นสารแทนนินที่สามารถแตกตัวได้เป็น โมเลกุลขนาดเล็ก พบมากในส่วนต่างๆ ของพืช ได้แก่ ใบ ผล เปลือก ผล และส่วนที่ปูดออกมาจาก ลำต้นปกติ เมื่อพืชได้รับอันตราย หรือทำให้เกิดรอยแผล (gall) เป็นต้น (พีรศักดิ์, 2544)

แทนนิน สามารถแสดงคุณสมบัติของการเกิดปฏิกิริยาที่เป็นคุณสมบัติเฉพาะเจาะจง ของสารฟีนอลได้ คือ สามารถตกตะกอนกับโปรตีนชนิดต่าง เช่น โมเลกุลของเจลาติน โปรตีน จากหนังสัตว์ ไกลโคไซด์ อัลคาลอยด์รวมทั้งโมเลกุลขนาดใหญ่ เช่น เซลลูโลส และเพกติน เป็นต้น จึงมีการใช้สารแทนนินในอุตสาหกรรมการฟอกหนังด้วย ในทางการแพทย์ พบว่า สารแทนนิน สามารถใช้เป็นยารักษาโรคท้องเสียได้ และ สารแทนนินบางประเภท มีฤทธิ์ในการยับยั้งการ เจริญเติบโตของแบคทีเรียบางชนิดได้ เช่น theogallin, กรดแกลลิก (gallic acid) และ ellagic acid เป็นต้น (พีรศักดิ์, 2544)

นอกจากนี้ สารละลายแทนนิน ยังมีความสามารถในการตกตะกอนโลหะหนักบาง ชนิด เช่น เหล็ก ตะกั่ว และสังกะสี ได้ (Amelot *et al.*, 2007)



ภาพที่ 1 สูตร โครงสร้างของโมเลกุลแทนนิน

ที่มา: Organic Chem (2550)

1.3 การจำแนกประเภทของสารประกอบแทนนิน

สารประกอบแทนนิน มีการกระจายทั่วไปในอาณาจักรพืช ซึ่งเป็นองค์ประกอบของพืชชั้นสูงโดยเฉพาะกลุ่มพืชใบเลี้ยงคู่ พบว่า เป็นวงศ์พืชที่มีปริมาณสารประกอบแทนนินค่อนข้างสูงเช่น combretaceae, fagaceae, hamamelidaceae, leguminosae, myrtaceae, polygonaceae, rosaceae, rubiaceae, guttiferae และ salicaceae แต่อาจพบในพืชใบเลี้ยงเดี่ยวได้บ้าง โดยเฉพาะตระกูลปาล์มซึ่งสารประกอบกลุ่มนี้พบมากในส่วนของเนื้อไม้ เปลือกไม้ เปลือกผล และส่วนที่เป็นโครงสร้างพิเศษ เช่น gall นอกจากนี้ยังอาจพบได้ในส่วนของใบ ผล และฝักซึ่งสารประกอบแทนนินสามารถแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ๆ คือ True tannins และ Pseudo tannins

1.3.1 True Tannins

เป็นกลุ่มที่สามารถทนต่อการสลายตัวต่อ ปฏิกริยาไฮโดรไลซิส แบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่มย่อย ได้แก่

1) Hydrolysable Tannins

เป็นสารประกอบที่ประกอบไปด้วยส่วนโครงสร้างสองส่วนใหญ่ๆ คือ ส่วนแรกเป็นส่วนของน้ำตาล โดยส่วนมากพบว่า เป็นน้ำตาลกลูโคส หรืออาจเป็นสารประกอบพอลิออล (polyols) อื่นๆ และส่วนที่สองเป็น กรดฟีนอลิก เช่น กรดแกลลิก (gallic acid) หรือ hexahydroxydiphenic acid (HHDP) หรือสารอนุพันธ์ของ HHDP มักอยู่ในรูปออกซิไดซ์ พบส่วนที่เป็น กรดฟีนอลิก (phenolic acid) มากกว่าส่วนของน้ำตาล หรือ พอลิออล (polyols) เชื่อมโยงกันด้วยพันธะเอสเทอร์ ที่เรียกว่า พันธะเปปไทด์ (depside linkage) ซึ่งพันธะเอสเทอร์นี้ สามารถเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสในสภาวะที่มีน้ำ และถูกเร่งปฏิกิริยาด้วยกรด เบส หรือ เอนไซม์แทนเนส (tannase) ให้กรดฟีนอลิก และน้ำตาล หรือ พอลิออล (polyols) เมื่อนำไปกลั่นแบบแห้ง สารประกอบกรดฟีนอลิกจะเปลี่ยนเป็นไพโรแกลลอล (pyrogallol) ดังนั้น hydrolysable tannins จึงเรียกอีกอย่างว่า ไพโรแกลลอล แทนนิน (pyrogallol tannins) มีหมู่ไฮดรอกซิลอิสระ 3 หมู่ เมื่อเกิดปฏิกิริยากับสารละลายเฟอร์ริกคลอไรด์ จะให้สีน้ำเงิน สารประกอบกลุ่ม hydrolysable tannins แบ่งออกเป็น 2 กลุ่มย่อย ดังนี้

1.1) Gallotannins เป็นสารประกอบที่ประกอบด้วย กรดแกลลิก (gallic acid) เชื่อมต่อกับน้ำตาลกลูโคสด้วยพันธะเอสเทอร์ เมื่อไฮโดรไลซ์ด้วยกรด เกิดการสลายตัวจะให้สาร 2 ชนิด คือ กรดแกลลิก (gallic acid) และน้ำตาลกลูโคส โดยตัวอย่างของ แกลโลแทนนิน (gallotannins) นั้นได้แก่ กรดแทนนิก (tannic acid) chinese gallotannin และ tara gallotannin ซึ่งพืชที่เป็นแหล่งของแกลโลแทนนิน (gallotannins) นั้นได้แก่ Turkish galls, hamamelis, Chinese galls, bearberry leaves, chesnut, maple โกศน้ำเต้า กานพลู และกลีบกุหลาบแดง เป็นต้น

1.2) Ellagitannins เป็นกลุ่มของสารประกอบพอลิฟีนอลที่ประกอบไปด้วย hexahydroxy diphenic acid หรือ modified form เช่น dehydrohexahydroxydiphenic acid และ chebulic acid เป็นต้น โดยอยู่ร่วมกับน้ำตาล ellagitannins เมื่อเกิดการสลายตัวแบบ ไฮโดรไลซ์ด้วย กรดส่วนของ hexahydroxydiphenic acid จะแยกตัวออก และเกิดปฏิกิริยา lactonization ให้ ellagic acid ตัวอย่างของ ellagitanins ได้แก่ pedunculagin และ chebulagic acid พืชที่นำไปใช้เป็นยาที่เป็น แหล่งของ ellagitannins ได้แก่ เปลือกผลทับทิม ผลสมอไทย เปลือกต้นโอ๊ค และใบยูคาลิปตัส

1.3.2 Condensed Tannins

หรือที่เรียกอีกอย่างว่า Proanthocyanidins เป็นกลุ่มของสารประกอบ polyphenols ที่มีความซับซ้อน และสลายตัวด้วยน้ำยากกว่ากลุ่ม hydrolysable tannins โครงสร้าง polyphenols ในกลุ่มนี้ เป็นอนุพันธ์ของสารประกอบในกลุ่ม flavonoids พืชที่เป็นแหล่งของ condensed tannins ได้แก่ เปลือกอบเชย เปลือกชินโคนา เปลือกหลิวัน เปลือกโอ๊ค เปลือกโกโก้ และ ใบของ hamamelis รากของ krameria รากของ male fern และใบชา สารประกอบกลุ่มนี้เมื่อนำมา ต้มกับกรด หรือทำปฏิกิริยากับเอนไซม์ จะได้สารประกอบโพลิเมอร์ รูปอสัณฐานสีแดง ไม่สามารถ ละลายน้ำ เรียกว่า phlobaphenes หรือ tannin red จึงเรียกละลายน้ำว่า phobatanins เมื่อนำ สารประกอบกลุ่มนี้มาทำการกลั่นแบบแห้ง จะได้สารประกอบที่เป็น catechol tannins สารประกอบ กลุ่มนี้จึงถูกเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า catechol tannins สารในกลุ่ม condensed tannins ประกอบไปด้วย หมู่ไฮดรอกซิลอิสระอยู่ 2 หมู่ เมื่อทำปฏิกิริยากับสารละลาย เฟอริกคลอไรด์ จะให้สีเขียว

1.3.3 Pseudotannins

เป็นสารประกอบที่มีขนาดเล็ก และมีน้ำหนักโมเลกุลต่ำกว่าสารประกอบ 2 กลุ่มแรกที่เป็น true tannins โดยมากมักเป็นสารประกอบเชิงเดี่ยว สารประกอบเหล่านี้สามารถตกตะกอนกับเจลาตินได้ แต่ไม่มีความเสถียร และไม่สามารถเกิดผลบวกกับ Goldbeater's skin test ตัวอย่างเช่น catechin, chlorogenic acid, gallic acid และ ipecacuanhic acid (ชวลิต, 2539)

1.4 คุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของสารแทนนิน

สารแทนนิน เป็นสารประกอบที่มีโครงสร้างซับซ้อน ไม่สามารถตกผลึกได้เอง ทำให้ไม่สามารถแยกและสกัดสารพอลิฟีนอลหลายชนิดที่รวมกัน ให้บริสุทธิ์ได้โดยการตกผลึก เมื่อเกิดการละลายน้ำจะได้เป็น สารละลายคอลลอยด์ อัตราการละลายน้ำขึ้นกับ ความสามารถในการเกิดพอลิเมอร์ หรือขนาดของพอลิเมอร์นั่นเอง (degree of polymerization) ละลายได้ในแอลกอฮอล์และอะซิโตน ความคงตัวในตัวทำละลายที่เป็นน้ำขึ้นอยู่กับโครงสร้างอย่างที่พบในระหว่างสกัดโดยวิธีการต้มหรือเคี้ยว

นอกจากนี้สารแทนนินจะสามารถรวมตัวกับโปรตีนอัลคาลอยด์ และช่วยในการตกตะกอนโปรตีน เช่น เจลาติน และอัลบูมิน รวมไปถึงการตกตะกอนกับสารที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ เช่น แป้ง แล้ว สารแทนนินยังมีความสามารถในการตกตะกอนโลหะหนัก เช่น lead acetate, zinc acetate, potassium dichromate และ ferric chloride ได้อีกด้วย (คณะเภสัชศาสตร์, 2550)

1.5 การตรวจวิเคราะห์สารแทนนิน

วิธีที่นิยมใช้ตรวจวิเคราะห์แทนนิน คือ วิธีตรวจวัดสี (Colorimetric method) โดยวิธีตรวจวัดสี (Colorimetric method) เป็นวิธีการวิเคราะห์หาปริมาณแทนนิน โดยอาศัยปฏิกิริยาการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนสีฟ้า - น้ำเงินจากสารแทนนินกับฟอลินฟีนอลรีเอเจนท์ (Folin Phenol Reagent) ซึ่งเป็นสารประกอบของทั้งสโทฟอสฟอริก (Tungstophosphoric) และกรดโมลิบโดฟอสฟอริก (Molybdophosphoric acid) สารประกอบเชิงซ้อนสีฟ้า - น้ำเงินที่เกิดขึ้นสามารถดูดกลืนแสงได้ดีที่ความยาวคลื่น 700 นาโนเมตร

1.6 ประโยชน์ของสารแทนนิน

1.6.1 ใช้ในการฟอกหนัง โดยสารแทนนิน จะทำปฏิกิริยากับโปรตีน ทำให้หนังที่ผ่านการฟอกแล้วมีสี และไม่เกิดการเน่าเสียหลังการฟอก นอกจากนี้ ยังใช้ในอุตสาหกรรมเครื่องสำอางชนิดด้วย เช่น การทำให้เบียร์ใส และทำให้มี รสขม ฝาด รวมทั้งกลั่นในเครื่องสำอางประเภท เช่น เบียร์ ไวน์ ชา และกาแฟ อีกด้วย (Lamela *et.al.*, 2007)

1.6.2 ใช้ในการย้อม แห อวน เชือก และเรือใบ ทำให้มีความทนทาน การใช้งานที่ต้องสัมผัสกับน้ำเค็ม ซึ่งอาศัยคุณสมบัติการตกตะกอนกับโมเลกุลขนาดใหญ่

1.6.3 ใช้ในกระบวนการผลิตกาวยา และสีย้อม โดยมีผลให้สีที่นำมาใช้ในการย้อมติดแน่นทนทาน เช่น โปรแอนโทโรไซยานิน นอกจากนี้ ยังสามารถนำมาใช้ในการผลิตไม้อัด ทดแทนการใช้สารฟีนอลสังเคราะห์ ที่ผลิตจากปิโตรเคมีได้

1.6.4 ใช้รับประทานแก้อาการท้องเสีย หรือท้องเดิน (antidiarrheals) โดยสารแทนนิน มีกลไกไปจับกับ fungal protein, bacteria protein, viral protein หรือ โมเลกุลขนาดใหญ่อื่นๆ ของเชื้อก่อโรค ทำให้เชื้ออ่อนแอ และไม่สามารถทำอันตรายกับร่างกายได้ นอกจากนี้ยังพบว่า อาหารสัตว์ที่มีสารแทนนินอยู่ในปริมาณที่เหมาะสม สามารถลดอัตราการเกิดพยาธิในสัตว์ที่กระเพาะได้เช่นกัน (Naczyk and Fereidoon, 2004)

1.6.5 ใช้เป็นยารักษาแผลภายนอก โดยสารแทนนิน จะทำปฏิกิริยา กับผิวหนังชั้นนอก และเนื้อเยื่อที่ผลิตเมือกคลุมผิว ทำให้สามารถป้องกันน้ำได้ และมีฤทธิ์ต่อเส้นเลือดบริเวณผิวหนัง ทำให้เส้นเลือดหดตัว (vasoconstrictor) ลดการสูญเสียจากบาดแผล ทำให้เนื้อเยื่อที่เป็นแผล หรือโดนแผลไฟไหม้ น้ำร้อนลวก สามารถซ่อมแซมตัวเองได้ดีขึ้น บาดแผลจึงแห้ง และหายได้เร็วขึ้น

1.6.6 ช่วยลดการเกิดอนุมูลอิสระในร่างกาย โดยสารแทนนินบางชนิด มีความสามารถในการทำลายอนุมูลอิสระ และยับยั้งการเกิด ซูเปอร์ออกไซด์ไอออน (superoxide ion) ซึ่งมีผลช่วยลดการเกิดมะเร็งต่างๆ ได้ นอกจากนี้ สารแทนนินยังมีคุณสมบัติที่เป็นประโยชน์อีกมาก เช่น ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์บางชนิด อาทิ lipoxigenase และ angiotensin converting enzyme อีกทั้งสาร

แทนนินบางประเภทมีโครงสร้างของสารกลุ่ม flavonoids อยู่จึงมีคุณสมบัติทำให้หลอดเลือดมีความยืดหยุ่นได้ดีไม่เกิดการเปราะหรือแตกได้ง่าย เมื่อได้รับการกระทบกระเทือน (สุวรรณค์, 2536)

1.7 ผลกระทบของสารแทนนินต่อสิ่งแวดล้อม

แทนนินทำให้น้ำมีสีเหลือง โดยระดับความเข้มข้นของสีขึ้นกับปริมาณแทนนินทำให้น้ำมีลักษณะทางกายภาพที่ไม่เหมาะสมจะนำมาใช้ประโยชน์ แทนนินเป็นสารที่มีโมเลกุลใหญ่ และโครงสร้างซับซ้อนน้ำหนักโมเลกุลอยู่ระหว่าง 500 – 3,000 มีสถานะเป็นกรดอ่อนรสฝาด ย่อยสลายได้ยากทางชีวภาพ ความเป็นพิษของแทนนิน คือ จะยับยั้งการเกิดเอนไซม์ที่ช่วยย่อยอาหารในกระเพาะสัตว์ และมีผลยับยั้งต่อระบบการหายใจของปลาในแหล่งน้ำที่มีแทนนินปนเปื้อนในระดับความเข้มข้นที่สูง สำหรับอาการของสัตว์ที่เกิดจากสารพิษแทนนิน สัตว์ที่กินอาหารที่มีแทนนินเข้าไปปริมาณมากพอที่จะเกิดพิษได้ จะแสดงอาการท้องอืด และมีคอเลสเตอรอล (Cholesterol) ในกระแสเลือดสูงขึ้นเพราะกรดแทนนินที่สะสมในร่างกายจะลดลง และมีพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้น้อยลงตัวอย่าง เช่น มีรายงานสาเหตุปลาตายในลำ น้ำพอง จ. ขอนแก่น เมื่อปี พ.ศ. 2540 ซึ่งมีผลมาจากคุณภาพน้ำบริเวณนั้นขาดออกซิเจน และพบค่าลิกนิน - แทนนิน สูงถึง 0.57 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยสารประกอบลิกนิน-แทนนิน นี้มีผลยับยั้งต่อระบบการหายใจของปลา

1.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

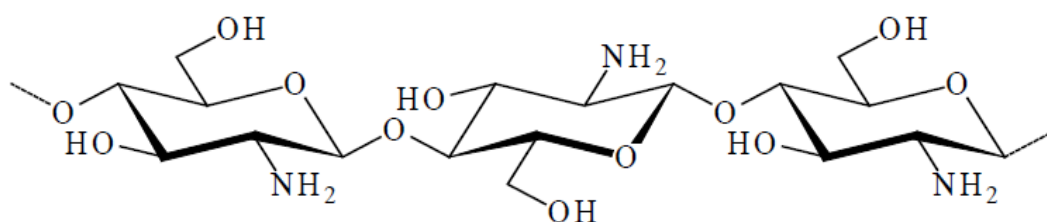
นาถ ภูวงศ์ผา (2543) ได้ทำการศึกษาวิจัย เรื่องการศึกษาพฤติกรรมการดูดซับของแทนนิน-ลิกนินด้วยวัสดุดูดซับถ้ำเกลบ โดยศึกษาไอโซเทอร์มการดูดซับของสารละลายมาตรฐานเมทธิลีนบลูพื้นผิวของวัสดุดูดซับเกลบดำและเกลบขาว พบว่าพื้นที่ผิวจำเพาะของวัสดุดูดซับเกลบดำและเกลบขาวมีค่า 18.06 และ 144.48 m^2/g ตามลำดับ รูปร่างไอโซเทอร์มแบบชนิดแลงเมียร์(แอล)ของวัสดุเกลบดำเป็นแบบระยะที่ 2 ส่วนวัสดุเกลบขาวระยะที่ 3 ตามลำดับจากการศึกษาพฤติกรรมการดูดซับแทนนิน-ลิกนิน ด้วยเกลบดำและเกลบขาวเป็นการดูดซับแบบกายภาพมีรูปร่างไอโซเทอร์มแบบชนิดแอลในวัสดุเกลบดำและเกลบขาว เป็นระยะ 3 ส่วนวัสดุเกลบขาวระยะที่ 2 ตามลำดับ เปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการดูดซับแบบไม่ต่อเนื่องและแบบต่อเนื่อง พบว่าการดูดซับแทนนิน-ลิกนินในวัสดุดูดซับทั้งสองมีค่าไม่แตกต่างกัน โดยมีค่าประมาณ 0.54 กรัมต่อ100กรัมวัสดุ

ประสาทร (2546) ได้ทำการศึกษาวิจัย เรื่อง ผลของกรดแทนนิกในระดับความเป็นพิษถึงเรื้อรังต่อเหงือก ลำไส้ ตับ และไต ของปลานิล *Oreochromis niloticus* (L.) โดยผลของกรดแทนนิกในระดับความเป็นพิษถึงเรื้อรังที่ความเข้มข้น 25.0 มิลลิกรัมต่อลิตรต่อปลานิล *Oreochromis niloticus* (L.) ขนาดความยาวลำตัว 2.5 - 3.5 เซนติเมตร และน้ำหนัก 0.3 - 0.4 กรัม เป็นเวลานาน 3 เดือน พบว่ามีผลต่อจุลพยาธิสภาพเหงือก คือ เซลล์เยื่อบุผิวของ gill filament เพิ่มขึ้นทำให้ gill lamellae บริเวณดังกล่าวเชื่อมติดกัน เซลล์เยื่อบุผิว gill lamellae บางบริเวณแยกตัวออกและหลุดลอก พบการคั่งของเซลล์เม็ดเลือดแดง มีช่องว่างแทรกระหว่าง pillar cells และบริเวณปลายสุดของ gill lamellae ม้วนตัว ผลต่อลำไส้ พบว่าในชั้น mucosa มีเซลล์เมือก จำนวนมาก และเซลล์เยื่อบุผิวหลุดลอกในชั้น submucosa และ muscularis พบหลอดเลือดขยายใหญ่ กล้ามเนื้อในชั้น muscularis เรียงตัวอย่างหลวมๆ ผลต่อตับ คือเซลล์ตับตายเป็นหย่อมๆ sinusoid ขยายขนาด พบ granuloma แทรกระหว่างเนื้อเยื่อตับมี vacuole รูปกลมขนาดใหญ่อยู่เกือบเต็มเซลล์ ตับมี hyaline droplet สะสมในไซโทพลาซึม พบเซลล์เม็ดเลือดขาวคั่งอยู่ในหลอดเลือด และระหว่างเนื้อเยื่อตับ เซลล์ตับบางบริเวณย้อมติดสี eosinophilic บางบริเวณย้อมติดสี basophilic บางบริเวณตายและสลายตัวทำให้สูญเสียโครงสร้างของเนื้อเยื่อตับ ส่วนผลต่อไตไม่พบการเปลี่ยนแปลงทางจุลพยาธิสภาพ สรุปได้ว่ากรดแทนนิก ในระดับความเป็นพิษถึงเรื้อรังมีผลทำให้จุลพยาธิสภาพของเหงือก ลำไส้ และตับของปลานิลเกิดการเปลี่ยนแปลง แต่ไม่มีผลต่อไต

2. ไคโตซาน

2.1 ไคโตซาน

ไคโตซาน คือ สารโพลีเมอร์ชีวภาพที่สกัดจากไคติน ซึ่งทำหน้าที่เป็นโครงสร้างที่สำคัญของสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังได้แก่ สัตว์ในกลุ่มอาร์โทพอด เช่น กุ้ง ปู หอย รวมทั้งในผนังเซลล์ของเชื้อจุลินทรีย์ เช่น เห็ด รา คือการนำเอาอนุพันธ์ของไคตินที่ตัดเอาหมู่ acetyl ของน้ำตาล N-acetyl-D-glucosamine ออกตั้งแต่ 50% ขึ้นไปและมีสมบัติละลายในกรดอ่อน มีชื่อทางเคมีว่า poly [β -(14)-2-amino-2-deoxy-D-glucopyranose] มีสูตรโครงสร้างดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 โครงสร้างของไคโตซาน

ที่มา: ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ
กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (2552)

2.2 คุณสมบัติของไคโตซาน

ไคโตซานมีคุณสมบัติเป็นของแข็งไม่ละลายน้ำ มีความเสถียรสูง มีสี grayish-white สามารถเสถียรได้ที่อุณหภูมิสูงถึง 260 °C จึงจะสลายตัว

2.2.1 Cationic properties

ไคโตซานมีคุณสมบัติเป็น Linear polyelectrolyte มีความหนาแน่นทางประจุสูง ใช้เป็น flocculant ที่มีประสิทธิภาพสูงได้เป็นอย่างดี สามารถยึดจับกับประจุลบที่ผิวได้ดีและยังสามารถจับโลหะเป็นพวก Chelates mutation ได้

2.2.2 Chemical properties

ไคโตซานเป็นพอลิเมอร์ที่มีมวลโมเลกุลสูงในช่วง 1×10^5 ถึง 1.2×10^6 และเป็นพอลิเมอร์สายตรงที่เป็นของแข็งที่มีรูปร่างไม่แน่นอน (amorphous solid) มีหมู่อะมิโนที่พร้อมจะละลายในกรดอินทรีย์ที่เป็นกรดอ่อน เช่น กรดมะนาว (citric acid) เป็นต้น การละลายของไคโตซานมีคุณสมบัติสำคัญหลายอย่าง เช่น อยู่ในรูป Free amine จะไม่ละลายน้ำที่ pH เป็นกลาง และที่ pH เป็นกรด Free amine group ($-NH_2$) จะถูก protonate ได้เป็น cationic amine group ($-NH_3^+$) เป็นต้น

2.2.3 Chitosan solution properties

สารละลายไคโตซานในกรดอินทรีย์เกิดเป็นสายตรงของ polyamine ที่อยู่ในรูปของ protonated form ซึ่งมีความเข้มข้นของประจุบวกสูงและมีคุณสมบัติที่พร้อมจะทำปฏิกิริยากับชีวโมเลกุลที่มีประจุลบได้เป็นอย่างดี ไคโตซานไม่สามารถละลายได้ที่ pH มากกว่า 6.5 ความสามารถในการละลายของไคโตซานจะถูกจำกัดใน H_3PO_4 ไคโตซานไม่สามารถละลายในสารละลายอินทรีย์หลายๆ ชนิดได้

2.3 คุณสมบัติของไคโตซานเพื่อนำมาใช้ประโยชน์ในด้านการบำบัดน้ำเสีย

ไคโตซานถูกพิจารณาในแง่ของสารที่เป็นเบสอ่อนที่มีคุณสมบัติเป็น cationic polyelectrolyte สามารถเกิดประจุบวกจับกับสารที่มีประจุลบได้ เนื่องจากมีคู่อิเล็กตรอนอิสระบนหมู่อะมิโน ทำให้สามารถทำปฏิกิริยากับสารต่างๆ ให้สารละลาย และอนุพันธ์ต่างๆ ที่มีคุณสมบัติหลากหลายสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้อย่างกว้างขวาง

ไคโตซานมีคุณสมบัติเป็น Linear polyelectrolyte มีความหนาแน่นทางประจุสูงจึงใช้ไคโตซานเป็นตัวสร้างตะกอน และตกตะกอน (floculate and coaculating agent) ที่ดี เนื่องจากการมีหมู่อะมิโนที่สามารถจับสารที่เป็นประจุลบได้ เช่น โปรตีน สีย้อม และโพลิเมอร์อื่นๆ นอกจากนี้ยังสามารถจับกับโลหะหนักพวก Chelate metation ได้ เช่น ทองแดง เหล็ก และสังกะสีได้ โดยในโตรเจนในหมู่อะมิโนของไคโตซานจะทำหน้าที่เป็นตัวให้อิเล็กตรอน ทำให้ไอออนโลหะสามารถสร้างพันธะเชิงซ้อน (coordinate) กับหมู่อะมิโน และมีงานวิจัยที่แสดงว่า ไอออนทองแดง (Cu^{2+}) สามารถสร้างพันธะเชิงซ้อนที่แข็งแรงที่สุด

จากการศึกษาพบว่าไคโตซานมีความโดดเด่นในคุณสมบัติในการจับโลหะหนัก ทำให้สามารถกำจัดสารอินทรีย์ และโลหะหนัก เช่น ตะกั่วปรอท และสังกะสี จึงมีประโยชน์ในการบำบัดน้ำเสียได้ดี การปรับสภาพน้ำดื่ม น้ำในสระ และน้ำทิ้งต่างๆ และยังมีประสิทธิภาพในการทำให้น้ำผลไม้ และเครื่องดื่มใสขึ้นในกระบวนการผลิตอีกด้วย และนอกจากนี้ยังพบว่าไคโตซานยังมีประสิทธิภาพในการดูดซับสีธรรมชาติที่เกิดจากการเน่าเปื่อยย่อยสลายของพืชในแหล่งน้ำได้ดีด้วย (สุภาวดี และคณะ, 2550)

ปรียวรรณ และ แวนแก้ว (2543) ได้ทำการศึกษาวิจัยเรื่อง ศึกษาและสกัดไคโตซานจากแกนหมึกเพื่อใช้ดูดซับโลหะหนัก Cu^{2+} , Fe^{2+} ไคโตซานเกิดจากการดึงอะซิทิลออกจากไคติน ซึ่งเกิดจากการทำปฏิกิริยากับ 50% w/v NaOH ที่อุณหภูมิ 95-100 องศาเซลเซียส เวลา 1 ชั่วโมงซึ่งผลิตจากแกนหมึกคิดเป็นร้อยละ 53.7 และตรวจสอบสมบัติทางกายภาพของสารดังกล่าวโดยเปรียบเทียบเทคนิคทางสเปกโทรสโกปีกับสารมาตรฐานพบว่า วิธียูวี-สเปกโทรสโกปี ให้ค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดเท่ากับ 207.43 nm อินฟราเรดทางสเปกโทรสโกปีให้พีค 1653.84 cm^{-1} ของหมู่ฟังก์ชัน N-H ส่วนการตรวจสอบเปอร์เซ็นต์การดูดซับไอออน Cu^{2+} และ Fe^{2+} มีค่าเท่ากับร้อยละ 74.320 และ 43.630 ตามลำดับ

3. โรงงานผลิตเบียร์

3.1 กระบวนการผลิตเบียร์

3.1.1 องค์ประกอบในการผลิตเบียร์

3.1.1.1 มอลท์ เป็นเมล็ดธัญพืชที่เพาะให้งอกที่อุณหภูมิ 16 – 21 องศาเซลเซียส นาน 5 – 7 วัน แล้วอบให้แห้ง แยกส่วนที่งอกออกไป ส่วนที่เหลือคือ มอลท์ โดยปกตินิยมใช้เมล็ดข้าวบาร์เลย์เนื่องจากมีปริมาณเอนไซม์อะไมเลส (Amylase Enzyme) ค่อนข้างสูง ทำให้กระบวนการแตกตัวของแป้งเปลี่ยนเป็นน้ำตาลเกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็ว นอกเหนือจากมอลท์ที่ได้มาจากข้าวบาร์เลย์แล้ว เมล็ดธัญพืชอื่นๆ เช่น ข้าวสาลี (Wheat) ข้าวเจ้า (Rice) ข้าวโพด (Maize) ข้าวโอ๊ต (Oat) และข้าวไรย์ (Rye) ก็ยังใช้เป็นส่วนผสมได้ด้วย

3.1.1.2 ฮอปส์ เป็นส่วนผสมซึ่งให้รสขมเพื่อความสมดุลกับรสหวานจากมอลท์ นอกจากนั้นยังมีผลเป็นยาปฏิชีวนะ สามารถต้านจุลินทรีย์อื่นๆ ที่ไม่ใช่ยีสต์ และส่งผลต่อกระบวนการหมักได้อีกด้วย

3.1.1.3 น้ำ เป็นองค์ประกอบหลักในการผลิตเบียร์ คุณสมบัติของน้ำ เช่นแร่ธาตุในน้ำความเป็นกรด – เบส จะมีผลต่อรสชาติของเบียร์

3.1.1.4 ยีสต์ ใช้ในกระบวนการหมักเพื่อย่อยสลายน้ำตาลจากเมล็ดธัญพืชให้เปลี่ยนเป็นแอลกอฮอล์และแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งโดยปกติแล้วปริมาณระดับแอลกอฮอล์ในเบียร์จะอยู่ที่ร้อยละ 4 – 6 โดยปริมาณแต่อย่างจะต่ำถึงร้อยละ 2 หรือสูงถึงร้อยละ 14 ก็ได้ ขึ้นอยู่กับกระบวนการหมักและองค์ประกอบของสิ่งที่ใช้ในการหมัก

3.2 กระบวนการผลิตเบียร์ในโรงงานผลิตเบียร์

เริ่มจากการนำมอลท์ที่โม่ให้ค่อนข้างละเอียดแล้วผสมกับน้ำ เปรวมกันในหม้อต้ม (Masher) การต้มจะใช้ความร้อนจากไอน้ำร้อน (Steam) ที่อุณหภูมิคงที่ 65 องศาเซลเซียส ใช้เวลาประมาณ 1 ชั่วโมงเพื่อเปลี่ยนแป้งในมอลท์ให้กลายเป็นน้ำตาล โดยเอนไซม์ในมอลท์เอง ภายในหม้อต้มจะมีใบพายกวนส่วนผสมให้เข้ากัน จากนั้นจึงค่อย ๆ เพิ่มอุณหภูมิเป็น 75 องศาเซลเซียส เพื่อหยุดการทำงานของเอนไซม์ แล้วจึงผ่านไปยังหม้อกรอง (Mash filter) ของเหลวที่กรองได้เรียกว่าเวิร์ท (Wort) ส่วนที่เป็นกากข้าวมอลท์ (Spent grain) หลังจากอบแห้งแล้วจะส่งไปจำหน่ายเป็นอาหารสัตว์ เวิร์ทจะถูกเคลื่อนที่ต่อที่อุณหภูมิประมาณ 100 องศาเซลเซียส โดยใช้เวลาประมาณ 1.5 - 2 ชั่วโมง ในขั้นตอนนี้จะมีการเติมฮอปส์ลงไปเพื่อให้ได้รสหวาน-ขมอันเป็นเอกลักษณ์ของเบียร์ จากนั้นน้ำหวานจากหม้อเคลื่อนจะถูกส่งไปยังถังพัก (Whirlpool) เพื่อแยกกากตะกอนและส่วนที่เหลือของฮอปส์ รวมทั้งโปรตีนที่ตกตะกอนออกจากน้ำหวาน แล้วจึงนำน้ำหวานไปทำให้เย็นที่อุณหภูมิประมาณ 8 - 10 องศาเซลเซียสในคูลเลอร์ (Wort cooler) จากนั้นจึงส่งไปยังถังกรองเวิร์ท (Wort filter) เพื่อกรองน้ำหวานใสก่อนจะเข้าสู่กระบวนการหมัก

ขั้นตอนการหมักขั้นต้นใช้เวลาประมาณ 10 วัน โดยการนำน้ำหวานที่กรองได้ผ่านไปยังถังหมัก (Main fermentation) เติมยีสต์ลงไปเพื่อเปลี่ยนน้ำตาลจากมอลท์ให้เป็นแอลกอฮอล์และแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ โดยในช่วง 24 - 28 ชั่วโมงจะมีฟองเกิดขึ้นมากมาย ชั้นฟองอาจหนาถึง 10-12 นิ้ว แต่เมื่อสิ้นสุดการหมักฟองจะยุบลง ยีสต์จะตกตะกอนนอนก้น เมื่อครบกำหนดเวลาจะได้เบียร์อ่อน (Young beer) ซึ่งยังมีน้ำตาลเหลืออยู่อีกเล็กน้อย จึงต้องมีการบ่มต่อเพื่อให้ได้เบียร์ที่มีรสชาติกลมกล่อมขึ้น ส่วนยีสต์ที่ตกตะกอนอยู่ก้นถังสามารถนำกลับมาใช้ได้อีก โดยผ่านการกรองเอากากข้าวและฮอปส์ออก นำกลับมาใช้ได้ 7-8 ครั้ง ในขั้นตอนการบ่มจะทำให้เบียร์อ่อนมีอุณหภูมิที่เย็นจัดประมาณ 2 องศาเซลเซียส แล้วอัดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ลงไป ยีสต์จะเปลี่ยนน้ำตาลที่เหลือให้เป็นแอลกอฮอล์อย่างช้า ๆ รสชาติของเบียร์จะกลมกล่อมขึ้น เนื่องจากมีสารพวกเอสเทอร์เกิดขึ้น ในตอนนี้สารแขวนลอยและโปรตีนจะจับตัวกันตกตะกอน ทำให้น้ำเบียร์ใสขึ้น

ระยะเวลาการบ่มนานประมาณ 2 เดือน แล้วจึงกรองเอาเยีสค์และโปรตีนที่ไม่ละลายออก น้ำเปียร์ที่กรองได้จะถูกบรรจุขวดด้วยเครื่องบรรจุและปิดฝาแบบอัตโนมัติ แล้วลำเลียงเข้าไปยังตู้พาสเจอไรซ์ (Pasteurizer) เพื่อนำมาเชื้อจุลินทรีย์ มีการตรวจสอบคุณภาพและขั้นตอนต่าง ๆ เป็นครั้งสุดท้าย แล้วจึงนำออกจำหน่าย

3.3 น้ำทิ้งจากโรงงานผลิตเปียร์

น้ำทิ้งจากโรงงานผลิตเปียร์ของบริษัท ไทยเอเชีย แปซิฟิค บริวเวอรี่ จำกัด มีประมาณวันละ 60 ลูกบาศก์เมตร น้ำทิ้งทั้งหมดมาจาก 3 กระบวนการหลัก ซึ่งมีสารปนเปื้อนส่วนใหญ่เป็นสารอินทรีย์ ได้แก่

- 1) น้ำทิ้งจากกระบวนการผลิตที่ประกอบด้วย เปียร์ น้ำตาล กากมอลต์
- 2) น้ำทิ้งจากการชะล้างขวดโดยใช้ กรด (HCl) และ เบส (NaOH)
- 3) น้ำทิ้งจากกระบวนการหล่อเย็น

4. กระบวนการดูดซับ

กระบวนการดูดซับเป็นปรากฏการณ์ที่สำคัญของกระบวนการทางกายภาพ ชีวภาพ และเคมี การดูดซับได้ถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายในการบำบัดน้ำเสีย การดูดซับเป็นความสามารถของสารในการดึงโมเลกุลหรือคอลลอยด์ที่อยู่ในก๊าซหรือของเหลวให้มาเกาะจับและติดบนผิว ซึ่งเป็นปรากฏการณ์เคลื่อนย้ายจากของเหลวหรือก๊าซมายังผิวของของแข็งที่เป็นส่วนสำคัญของกระบวนการนี้ โดยโมเลกุลหรือคอลลอยด์ที่เคลื่อนย้ายมาเรียกว่า ตัวถูกดูดซับ (adsorbate) ส่วนของแข็งที่มีผิวเป็นที่เกาะจับของตัวถูกดูดซับ เรียกว่า ตัวดูดซับ (adsorbent) คุณสมบัติที่สำคัญที่สุดของตัวดูดซับคือ ความพรุน เพื่อเพิ่มพื้นที่สัมผัสภายใน นอกจากนี้คุณสมบัติอื่น ๆ ของตัวดูดซับ เช่น โครงสร้าง การจัดเรียงตัว ขนาด และความสม่ำเสมอ ล้วนมีความสำคัญต่อประสิทธิภาพในการดูดซับ การเลือกตัวดูดซับที่เหมาะสม ทำให้สามารถแยกโมเลกุลที่เราต้องการออกมา โดยให้ตัวถูกดูดซับบนตัวดูดซับนั้นถูกดูดซับจนอิ่มตัวแล้ว จากนั้นนำมาใส่เอาโมเลกุลที่ถูกดูดซับไว้ ออกโดยการเปลี่ยนสภาพสมดุล เช่น การเปลี่ยนอุณหภูมิ หรือเปลี่ยนความดัน ทำให้ตัวดูดซับกลับสู่สภาพเดิม และสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้อีก

4.1 กลไกการดูดซับ

กลไกการดูดซับแบ่งเป็น 3 ขั้นตอน ดังนี้

4.1.1 การแพร่ภายนอก (external diffusion) การแพร่ภายนอกเป็นกลไกที่โมเลกุลของตัวถูกละลายเข้าถึงตัวดูดซับ ซึ่งพื้นที่ผิวของตัวดูดซับมีของเหลวห่อหุ้มโดยโมเลกุลแทรกผ่านชั้นของของเหลวเข้าถึงผิวหน้าของตัวดูดซับ

4.1.2 การแพร่ผ่านภายใน (internal diffusion) เป็นกลไกซึ่งโมเลกุลของตัวถูกละลายแทรกตัวเข้าสู่ช่องว่างตัวดูดซับ เพื่อให้เกิดการดูดซับ

4.1.3 ปฏิกิริยาพื้นผิว (surface reaction) ปฏิกิริยาพื้นผิวเป็นกลไกซึ่งโมเลกุลของตัวถูกละลายติดที่ผิวของตัวดูดซับซึ่งเป็นกระบวนการที่รวดเร็วมาก เมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการแพร่ ดังนั้นควรคำนึงถึงการต้านทานจากปฏิกิริยาพื้นผิวด้วย

4.2 อัตราการเคลื่อนย้ายโมเลกุล

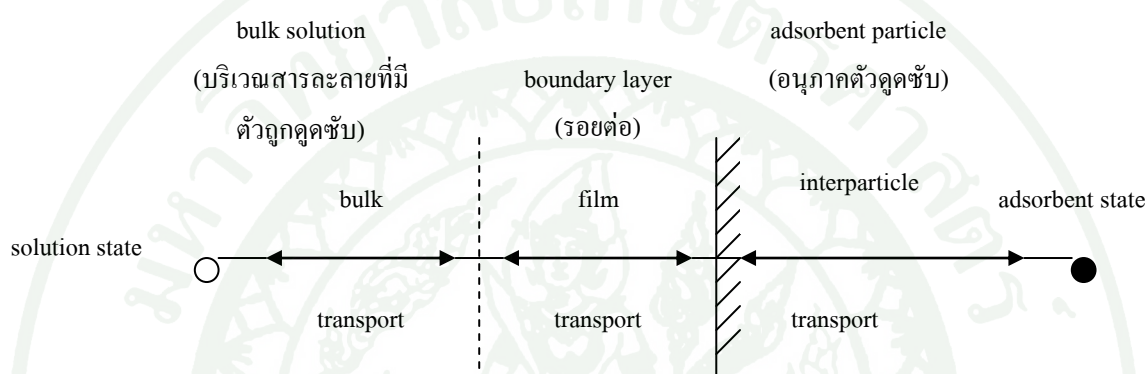
อัตราการดูดซับมีความสำคัญมาก อัตราการดูดซับที่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วจะทำให้ระบบเข้าสู่ภาวะสมดุลได้เร็ว อัตราการดูดซับจะถูกควบคุมโดยขั้นตอนที่มีการต้านทานมากที่สุดในการเคลื่อนย้ายโมเลกุลซึ่งขั้นตอนที่ช้าที่สุดจะเป็นขั้นตอนกำหนดอัตราการดูดซับ ขั้นตอนในการดูดซับแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอนย่อย ดังนี้

4.2.1 การขนส่งอนุภาค (bulk transport) เป็นขั้นตอนที่เกิดขึ้นเร็วที่สุด โมเลกุลของตัวถูกละลายในของเหลวจะถูกส่งไปที่ผิวหน้าของชั้นของของเหลวบางๆ หรือผิวสัมผัสน้ำที่ห่อหุ้มตัวดูดซับ

4.2.2 การขนส่งชั้นฟิล์ม (film transport) เป็นขั้นตอนที่โมเลกุลที่ผิวหน้าของชั้นของเหลวบางๆ แทรกตัวเข้าสู่ผิวหน้าของสารดูดซับ การขนส่งชั้นฟิล์มเป็นกระบวนการที่ตัวถูกละลายแพร่ผ่านฟิล์มน้ำไปยังผิวของตัวดูดซับ จัดเป็นขั้นตอนที่จำกัดอัตราการดูดซับขั้นตอนหนึ่ง

4.2.3 การขนส่งภายในอนุภาค (interparticle transport) เป็นการแพร่ของโมเลกุลตัวถูกละลายเข้าสู่โพรงหรือรูพรุนของสารดูดซับ (pore diffusion) และทำให้เกิดการดูดซับขึ้นภายในขั้นตอนนี้จัดเป็นขั้นตอนที่จำกัดอัตราการดูดซับเช่นเดียวกัน

การยึดติดของตัวดูดซับบนพื้นที่ผิวของตัวดูดซับจะมีแรงยึดเหนี่ยวเกิดขึ้น ซึ่งอาจเป็นแรงยึดเหนี่ยวทางกายภาพหรือทางเคมีหรือทั้งสองแบบ



ภาพที่ 3 ขั้นตอนการเคลื่อนย้ายโมเลกุลของตัวถูกละลายไปยังตัวดูดซับ

ที่มา: นิพนธ์และคณิตา (2550)

4.3 รูปแบบของการดูดซับ

4.3.1 การดูดซับทางกายภาพ (physisorption or physical adsorption or van der waals adsorption) เป็นผลมาจากปฏิกิริยาของแรงแวนเดอร์วาลส์ ซึ่งเกิดจากการรวมกันของแรง 2 ชนิด คือ แรงกระจาย (london dispersion force) และแรงไฟฟ้าสถิตย์ (electrostatic force) โมเลกุลของตัวถูกละลายจะถูกยึดติดแบบกายภาพกับโมเลกุลของตัวดูดซับ โดยที่โมเลกุลของตัวถูกละลายเกาะอยู่ บนผิวตัวดูดซับในลักษณะที่ซ้อนกันเป็นหลายชั้น (multilayered) โดยแต่ละชั้นของโมเลกุลของตัวถูกละลายจะถูกดูดซับบนชั้นโมเลกุลที่ถูกซบก่อนหน้านี้ และจำนวนชั้นของโมเลกุลตัวถูกละลายจะเพิ่มขึ้น เมื่อความเข้มข้นของตัวถูกละลายเพิ่มขึ้น แรงยึดเหนี่ยวระหว่างตัวถูกละลายกับตัวดูดซับ และระหว่างตัวถูกละลายกับตัวถูกละลายด้วยในระหว่างชั้น อาจเป็นแรงแวนเดอร์วาลส์อย่างใดอย่างหนึ่ง การดูดซับทางกายภาพโดยทั่วไปจะเกิดขึ้นที่อุณหภูมิต่ำ ทำให้พลังงานของระบบลดลงเป็นการทำให้ระบบมีความเสถียรมากขึ้น

4.3.2 การดูดซับทางเคมี (chemisorption) เกิดจากปฏิกิริยาระหว่างตัวดูดซับและตัวถูกดูดซับ เกิดเป็นสารประกอบเคมีซึ่งแตกต่างจากการดูดซับทางกายภาพ กระบวนการนี้จะมีความหนาของโมเลกุลเพียงชั้นเดียว (monolayer) และไม่สามารถเกิดปฏิกิริยาผันกลับเองได้ (irreversible) ส่วนการดูดซับทางกายภาพที่สามารถผันกลับเองได้ (reversible) เนื่องจากการจับตัวทางเคมีสร้างสารประกอบใหม่ที่ผิวของตัวดูดซับ การดูดซับทางเคมีจะเกิดขึ้นที่อุณหภูมิสูง เนื่องจากปฏิกิริยาทางเคมีจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วที่อุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิต่ำ ความแข็งแรงของแรงดึงดูดสามารถวัดได้จากผลต่างจากความร้อนที่เกิดขึ้นจากการดูดซับทางกายภาพจะให้พลังงานต่ำโดยทั่วไปประมาณ 2-10 กิโลแคลอรีต่อโมล ส่วนการดูดซับทางเคมีจะให้พลังงานสูงโดยประมาณ 15-50 กิโลแคลอรีต่อโมล และยังพบว่าค่าพลังงานก่อกัมมันต์ของกระบวนการดูดซับทางเคมีมีค่ามากกว่าทางกายภาพ ด้วยเหตุผลนี้กระบวนการดูดซับทางกายภาพจะเกิดขึ้นที่อุณหภูมิต่ำกว่าทางเคมี

4.4 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการดูดซับ

4.4.1 อัตราเร็ว อัตราเร็วในการดูดซับขึ้นอยู่กับการแพร่ของโมเลกุลของสารที่ถูกดูดซับเข้าไปหาสารดูดซับ ดังนั้นการแพร่ผ่านชั้นฟิล์มเป็นปัจจัยกำหนดอัตราเร็วของการดูดซับ ในทางตรงกันข้ามถ้าอัตราเร็วสูงจะเกิดฟิล์มบาง ทำให้โมเลกุลสามารถเคลื่อนที่ผ่านฟิล์มน้ำเข้าหาสารดูดซับได้รวดเร็วกว่าการเคลื่อนที่เข้าไปในรูพรุน ในการนี้การแพร่ผ่านรูพรุนจะเป็นตัวกำหนดอัตราเร็วในการดูดซับ

4.4.2 ขนาดและพื้นที่ผิวของสารดูดซับ ความสามารถในการดูดซับมีความสัมพันธ์โดยตรงกับพื้นที่ผิวจำเพาะ นั่นคือ สารดูดซับที่มีพื้นที่ผิวมากย่อมดูดโมเลกุลของสารที่ถูกดูดซับได้มากกว่าสารดูดซับที่มีพื้นที่ผิวน้อย และอัตราการดูดซับเป็นอัตราส่วนผกผันกับขนาดสารดูดซับ เช่น คาร์บอนผง (Powder Activated Carbon, PAC) มีอัตราเร็วในการดูดซับสูงกว่าคาร์บอนแบบเกร็ด (Granular Activated Carbon, GAC)

4.4.3 ขนาดและลักษณะของสารที่ถูกดูดซับ ขนาดของสารหรือโมเลกุลมีความสำคัญมากต่อการดูดซับ ซึ่งส่วนใหญ่เกิดขึ้นในโพรงของสารดูดซับ เช่น คาร์บอน การ

ดูดติดผิวจะเกิดขึ้นได้ดีที่สุดเมื่อสารมีขนาดเล็กกว่าช่องว่างภายในพอลิ (พอลิเข้าไปในช่องว่างได้) ทั้งนี้เพราะว่าแรงดึงดูดระหว่างสารถูกดูดติดผิวและสารดูดติดผิวจะมีค่ามากที่สุด โมเลกุลขนาดเล็กจะถูกดูดเข้าไปในช่องว่างภายในก่อน จากนั้นโมเลกุลขนาดใหญ่กว่าจึงถูกดูดเข้าไปบ้าง อาจกล่าวได้ว่าความสามารถในการดูดติดผิวจะแปรผกผันกับขนาดโมเลกุลของตัวถูกดูดติดผิว นั่นคือ เมื่อน้ำหนักโมเลกุลเพิ่มขึ้น ความสามารถในการดูดติดผิวจะลดลง

4.4.4 ความสามารถในการละลายน้ำของสารถูกดูดติดผิว ความสามารถในการละลายน้ำของตัวถูกละลายเป็นปัจจัยสำคัญในการดูดติดผิว การดูดติดผิวจะเพิ่มขึ้นเมื่อความสามารถในการละลายน้ำของตัวถูกละลายในตัวทำละลายลดลง เนื่องจากในการดูดติดผิวตัวถูกละลายจะต้องถูกแยกออกจากตัวทำละลาย ในที่นี้คือ น้ำ ดังนั้นสารที่ไม่ละลายน้ำ หรือละลายได้น้อยจะสามารถถูกดูดติดผิวได้ดี

4.4.5 pH มีอิทธิพลต่อการแตกตัวเป็นไอออนและการละลายน้ำของสารต่าง ๆ ดังนั้นจึงมีผลกระทบต่อการดูดติดผิวด้วย นอกจากนี้ไฮโดรเจนไอออนเองก็เป็นไอออนที่สามารถเกาะติดผิวของสารดูดติดผิวได้ดี

4.4.6 อุณหภูมิ มีอิทธิพลต่ออัตราเร็วและขีดความสามารถในการดูดติดผิว กล่าวคืออัตราเร็วเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มของอุณหภูมิและลดลงตามการลดของอุณหภูมิ แต่ขีดความสามารถในการดูดติดผิวจะลดลงที่อุณหภูมิสูงและจะมีค่าเพิ่มขึ้นที่อุณหภูมิต่ำ ทั้งนี้เพราะการดูดติดผิวเป็นปฏิกิริยาแบบ exothermic

4.4.7 เวลาสัมผัส เป็นพารามิเตอร์ที่มีผลต่อประสิทธิภาพของการดูดติดผิว และอายุการใช้งานของถังดูดติดผิว โดยที่เวลาสัมผัสมีความสัมพันธ์กับประสิทธิภาพการดูดติดผิวเพียงช่วงหนึ่งเท่านั้น ซึ่งถ้าเวลาสัมผัสเลยจากช่วงนี้แล้ว ก็จะไม่มีผลต่อประสิทธิภาพการดูดติดผิวเลย

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. วัสดุและอุปกรณ์

- 1) เครื่องยววิ-วิติเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ รุ่น SP-1105 ยี่ห้อ Spectrum
- 2) pH meter รุ่น model 410 บริษัท SCIENCE TECH Co., LTD.
- 3) เครื่องเขย่า (shaker) Model VRN-480 GEMMY Orbit Shaker
- 4) เครื่องชั่งน้ำหนักชนิดละเอียด อ่านค่าละเอียด 0.0001 g รุ่น AB 204-S
- 5) เครื่องบดละเอียด
- 6) ตู้อบ
- 7) เครื่องแก้ว
- 8) กระดาษกรอง GF/C ขนาด 0.45 ไมครอน ของ whatman

2. สารเคมี

- 1) กรดแทนนิก (Tannic acid, $C_{27}H_{24}O_{18}$)
- 2) Folin Phenol Reagent
- 3) โซเดียมคาร์บอเนต (Sodium carbonate, Na_2CO_3)

4) โซเดียมทาร์เทรต (Sodium tartrate)

5) สารละลายกรดไฮโดรคลอริก (Hydrochloric acid, HCl)

6) สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide, NaOH)

วิธีการ

1. การเตรียมสารละลาย

1.1 สารละลายมาตรฐานสต็อกแทนนินเข้มข้น 1,000.00 มิลลิกรัม/ลิตร

ชั่งกรดแทนนิก (Tannic acid) 0.1000 กรัม ละลายในน้ำกลั่น แล้วเจือจางด้วยน้ำกลั่นในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน

1.2 สารละลายมาตรฐานแทนนินเข้มข้น 100.00 มิลลิกรัม/ลิตร

ปิเปตสารละลายมาตรฐานสต็อกแทนนิน 10.00 มิลลิลิตรใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร เจือจางด้วยน้ำกลั่น เขย่าให้เข้ากัน

1.3 สารละลายมาตรฐานแทนนินเข้มข้น 0.5 - 20 มิลลิกรัม/ลิตร

ปิเปตสารละลายมาตรฐานแทนนินเข้มข้น 100.00 มิลลิกรัม/ลิตร มา 0.50, 1.00, 1.50, 2.00, 3.00, 4.00, 5.00, 6.00, 7.00, 8.00, 9.00, 10.00, 11.00, 12.00, 13.00, 14.00, 15.00, 16.00, 17.00, 18.00, 19.00 และ 20.00 มิลลิลิตรใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตรเจือจางด้วยน้ำกลั่น เขย่าให้เข้ากัน

1.4 สารละลายคาร์บอเนต - ทาร์เทรต รีเอเจนท์ (Carbonate-Tartrate reagent) 250 มิลลิลิตร

ซังโซเดียมคาร์บอเนต 50.00 กรัม และโซเดียมทาร์เทรต 3.00 กรัม ละลายด้วย น้ำกลั่นที่ต้มให้ร้อนจนเกือบเดือด 190 มิลลิลิตร จากนั้นตั้งทิ้งไว้ให้เย็นเจือจางด้วยน้ำกลั่น ในขวด วัดปริมาตรขนาด 250 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน

1.5 สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เข้มข้น 50% โดยน้ำหนักต่อปริมาตร

ซังโซเดียมไฮดรอกไซด์ 500.00 กรัม นำมาละลายด้วยน้ำกลั่น ปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร เขย่าให้เข้ากัน

1.6 สารละลายกรดไฮโดรคลอริก เข้มข้น 1 โมลาร์

ตวงสารละลายกรดไฮโดรคลอริกมา 85 มิลลิลิตร ใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 1 ลิตรที่มี น้ำกลั่น 500 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร เขย่าให้เข้ากัน

2. การเตรียมโคโคซาน

2.1 โคโคซานจากแกนหมึกกล้วย

2.1.1 การกำจัดแร่ธาตุ (Demineralization) จะใช้กรรมวิธีตาม ปรียวรรณ (2543) โดยการชั่งแกนหมึกที่บดแล้ว 125 กรัม ใส่ในกรดไฮโดรคลอริก ความเข้มข้น 1 โมลาร์ ปริมาตร 800 มิลลิลิตร (สัดส่วน 1:10 น้ำหนักต่อปริมาตร) ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 6 ชั่วโมง กรองและล้างด้วยน้ำ กลั่นจนเป็นกลาง ทดสอบด้วยกระดาษลิตมัส อบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง

2.1.2 การกำจัดโปรตีน (Deproteinization) โดยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 1 โมลาร์ ปริมาตร 750 มิลลิลิตร (สัดส่วน 10:6 น้ำหนักต่อปริมาตร) นำไปต้มที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง กรองและล้างด้วยน้ำกลั่นจนเป็นกลาง โดยทดสอบด้วยกระดาษลิตมัส อบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง ผลิตภัณฑ์ที่ได้คือ โคโคติน



ภาพที่ 4 การสกัดโคโคซาน(การกำจัดโปรตีน (Deproteinization))

2.1.3 การกำจัดหมู่อะซิทิล (Deacetylation) นำสารที่สกัดได้มาทำปฏิกิริยากับ สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้นร้อยละ 50 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ปริมาตร 800 มิลลิลิตร (สัดส่วน 1:10 น้ำหนักต่อปริมาตร) นำไปต้มที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง กรองและล้างด้วยน้ำกลั่นจนเป็นกลาง โดยทดสอบด้วยกระดาษลิตมัส อบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมงผลิตภัณฑ์ที่ได้คือ โคโคซาน นำมาเก็บในภาชนะเพื่อใช้ในการศึกษาวิจัยต่อไป



ภาพที่ 5 การสกัดโคโคซาน(การกำจัดหมู่อะซิทิล (Deacetylation))

2.2 ไคโตซานเชิงพาณิชย์

ในงานวิจัยนี้ใช้ไคโตซานเชิงพาณิชย์จากบริษัทเอ็นเอ็นซี. โปรดัคส์ จำกัด ดังภาพที่ 5 ปริมาณ 2 กิโลกรัม นำมาอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง นำมาทดลองต่อไป



ภาพที่ 6 ไคโตซานเชิงพาณิชย์

3. การเตรียมกราฟมาตรฐาน

ปีเปตสารละลายมาตรฐานแทนนินแต่ละความเข้มข้นที่เตรียมได้จากข้อ 1.3 มาความเข้มข้นละ 25.00 มิลลิลิตรใส่ในขวดรูปชมพู่ ขนาด 125 มิลลิลิตรแต่ละขวดจากนั้น เติมนิโกลิน ฟีนอลรีเอเจนท์ 0.5 มิลลิลิตรและคาร์บอนेट - ทาร์เทรต รีเอเจนท์ 5 มิลลิลิตร ลงในแต่ละขวดเขย่าให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ 30 นาที เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาหรือเกิดสีจนสมบูรณ์ สังเกตสีของสารละลายและทำการถ่ายภาพ พร้อมทั้งนำสารละลายทั้งหมดไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องยูวี – วิสibelสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ที่ความยาวคลื่น 700 นาโนเมตร พล็อตกราฟระหว่างค่าดูดกลืนแสงกับความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานแทนนิน ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง

4. การศึกษาอิทธิพลที่เหมาะสมต่อการดูดซับแทนนินในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยไคโตซานแกนหมึก และไคโตซานเชิงพาณิชย์ด้วยวิธีแบบเบตซ์

ปัจจัยที่ทำการศึกษาเพื่อให้ได้สภาวะที่เหมาะสมสำหรับการดูดซับแทนนินในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยไคโตซานแกนหมึก และไคโตซานเชิงพาณิชย์ สารละลายมาตรฐานแทนนินเข้มข้น 20 มิลลิกรัม/ลิตร มีดังนี้

4.1 ศึกษาอิทธิพลของปริมาณไคโตซานเริ่มต้น

ชั่งไคโตซานที่เตรียมไว้จากแกนหมึกกล้วยปริมาณ 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5 และ 3.0 กรัม ต่อน้ำเสียสังเคราะห์ปริมาตร 50 มิลลิลิตร นำไปเขย่าที่ความเร็วรอบ 100 รอบต่อนาที เป็นระยะเวลา 30 นาที ตั้งทิ้งไว้ 30 นาที กรองผ่านกระดาษกรองเมมเบรน ขนาด 0.45 ไมครอน และนำไปวิเคราะห์หาปริมาณแทนนินด้วยวิธียูวี – วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตเมทรีและคำนวณหาร้อยละการดูดซับ

นำไคโตซานเชิงพาณิชย์มาทำการทดลองเช่นเดียวกับไคโตซานที่เตรียมจากแกนหมึกกล้วยข้างต้น

4.2 ศึกษาอิทธิพลของพีเอชเริ่มต้น

ทำการทดลองโดยชั่งไคโตซาน ปริมาณ 1 กรัมซึ่งเป็นปริมาณที่ศึกษาได้จากข้อ 4.1 ต่อน้ำเสียสังเคราะห์แทนนิน ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ที่ปรับพีเอชให้มีค่า เท่ากับ 6, 7, 8 และ 9 ลงในขวดรูปชมพู่แต่ละขวด เขย่าด้วยเครื่องเขย่าที่ความเร็วรอบ 100 รอบต่อนาที เป็นระยะเวลา 30 นาที ตั้งทิ้งไว้ 30 นาที กรองผ่านกระดาษกรองเมมเบรน ขนาด 0.45 ไมครอน และนำไปวิเคราะห์หาปริมาณแทนนินด้วยวิธียูวี – วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตเมทรีและคำนวณหาร้อยละการดูดซับ

นำไคโตซานเชิงพาณิชย์มาทำการทดลองเช่นเดียวกับไคโตซานที่เตรียมจากแกนหมึกกล้วยข้างต้น

4.3 ศึกษาอิทธิพลของความถี่รอบในการเขย่า

ทำการทดลองโดยชั่งไคโตซาน ปริมาณ 1 กรัม ต่อน้ำเสียสังเคราะห์แทนนิน ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ที่ปรับพีเอชให้เท่ากับพีเอชที่ให้ประสิทธิภาพการดูดซับสูงสุดที่ได้จากการทดลองในข้อ 4.2 แล้วนำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่า ที่ความถี่รอบ 50, 100, 150 และ 200 รอบต่อนาที เป็นระยะเวลา 30 นาที ตั้งทิ้งไว้ 30 นาที กรองผ่านกระดาษกรองเมมเบรน ขนาด 0.45 ไมครอน และนำไปวิเคราะห์หาปริมาณแทนนินด้วยวิธียูวี – วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตเมทรีและคำนวณหาร้อยละการดูดซับ

นำไคโตซานเชิงพาณิชย์มาทำการทดลองเช่นเดียวกับไคโตซานที่เตรียมจากแกนหมึกกล้วยข้างต้น



ภาพที่ 7 ศึกษาอิทธิพลของความถี่รอบในการเขย่า

4.4 ศึกษาอิทธิพลของระยะเวลาเขย่า

ทำการทดลองโดยชั่งไคโตซาน ปริมาณ 1 กรัม ต่อน้ำเสียสังเคราะห์แทนนิน ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ที่ปรับพีเอชเท่ากับที่ให้ประสิทธิภาพการดูดซับสูงสุดที่ได้จากการทดลองในข้อ 4.2 แล้วนำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่าตามจำนวนรอบที่เหมาะสมจากการทดลองในข้อ 4.3 เป็นระยะเวลา 10, 30, 60, 90 และ 120 นาที ตั้งทิ้งไว้ 30 นาที กรองผ่านกระดาษกรองเมมเบรนขนาด 0.45 ไมครอน และนำไปวิเคราะห์หาปริมาณแทนนินด้วยวิธียูวี – วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตเมทรีและคำนวณหาร้อยละการดูดซับ

นำไคโตซานเชิงพาณิชย์มาทำการทดลองเช่นเดียวกับไคโตซานที่เตรียมจากแกนหมึกกล้วยข้างต้น

4.5 ศึกษาอิทธิพลของระยะเวลาการเข้าสู่สภาวะสมดุล

ทำการทดลองโดยชั่งไคโตซาน ปริมาณ 1 กรัม ค่อน้ำเสียสังเคราะห์แทนนิน ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ที่ปรับพีเอชจากระดับที่ให้ประสิทธิภาพการดูดซับสูงสุดที่ได้จากการทดลองในข้อ 4.2 ลงในขวดรูปชมพู่แต่ละใบ เขย่าด้วยเครื่องเขย่าตามจำนวนรอบที่เหมาะสมจากการทดลองในข้อ 4.3 ตามระยะเวลาในการทดลองที่ 4.4 ตั้งทิ้งไว้ที่ระยะเวลา 10, 30, 60, 90 และ 120 นาที กรองผ่านกระดาษกรองเมมเบรนขนาด 0.45 ไมครอน และนำไปวิเคราะห์หาปริมาณแทนนิน ด้วยวิธียูวี – วิสิเบิลสเปกโตรโฟโตเมตรีและคำนวณหาร้อยละการดูดซับ

นำไคโตซานเชิงพาณิชย์มาทำการทดลองเช่นเดียวกับไคโตซานที่เตรียมจากแกนหมึกกล้วยข้างต้น



ภาพที่ 8 ศึกษาอิทธิพลของระยะเวลาการเข้าสู่สภาวะสมดุล

4.6 ศึกษาอิทธิพลของความเข้มข้นแทนนิน

ทำการทดลองโดยชั่งไคโตซาน ปริมาณ 1 กรัมต่อน้ำเสียสังเคราะห์แทนนินที่มีความเข้มข้น 10, 20, 30, 40 และ 50 มิลลิกรัม/ลิตร ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ที่ปรับพีเอชจากระดับที่ให้ประสิทธิภาพการดูดซับสูงสุดที่ได้จากการทดลองในข้อ 4.2 ลงในขวดรูปชมพู่แต่ละใบ เขย่าด้วยเครื่องเขย่าตามจำนวนรอบที่เหมาะสมจากการทดลองในข้อ 4.3 ตามเวลาที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองในข้อ 4.4 ตั้งทิ้งไว้ตามเวลาที่ได้จากการทดลองในข้อ 4.5 กรองผ่านกระดาษกรองเมมเบรนขนาด 0.45 ไมครอน และนำไปวิเคราะห์หาปริมาณแทนนินด้วยวิธียูวี – วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตเมทรีและคำนวณหาร้อยละการดูดซับ

นำไคโตซานเชิงพาณิชย์มาทำการทดลองเช่นเดียวกับไคโตซานที่เตรียมจากแกนหมึกกล้วยข้างต้น

4.7 ศึกษาอิทธิพลของปริมาณไคโตซานที่เหมาะสม

ทำการทดลองโดยชั่งไคโตซาน ปริมาณ 0.5 , 1.0, 1.5, 2.0, 2.5 และ 3.0 กรัม ต่อน้ำเสียสังเคราะห์แทนนิน ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ที่ปรับพีเอชจากระดับที่ให้ประสิทธิภาพการดูดซับสูงสุดที่ได้จากการทดลองในข้อ 4.2 ลงในขวดรูปชมพู่แต่ละใบ เขย่าด้วยเครื่องเขย่าตามจำนวนรอบที่เหมาะสมจากการทดลองในข้อ 4.3 ตามเวลาที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองในข้อ 4.4 ตั้งทิ้งไว้ตามเวลาที่ได้จากการทดลองในข้อ 4.5 กรองผ่านกระดาษกรองเมมเบรนขนาด 0.45 ไมครอน และนำไปวิเคราะห์หาแทนนินด้วยวิธียูวี – วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตเมทรีและคำนวณหาร้อยละการดูดซับ

นำไคโตซานเชิงพาณิชย์มาทำการทดลองเช่นเดียวกับไคโตซานที่เตรียมจากแกนหมึกกล้วยข้างต้น

4.8 ศึกษาไอโซเทอร์มในการดูดซับแทนนินจากน้ำเสียสังเคราะห์

นำข้อมูลที่ได้จากข้อ 4.7 มาเขียนนำไอโซเทอร์มของแลงเมียร์และฟรุนดลิช

4.9 การเก็บตัวอย่างน้ำทิ้งจากบริษัท ไทยเอเชีย แปซิฟิค บริวเวอรี่ จำกัด

ทำการเก็บตัวอย่างน้ำทิ้งจากบริษัท ไทยเอเชีย แปซิฟิค บริวเวอรี่ จำกัด หลังผ่านการบำบัดด้วยระบบ UASB ก่อนปล่อยสู่แหล่งน้ำสาธารณะบริเวณปลายท่อ โดยทำความสะอาดภาชนะเก็บน้ำขนาด 20 ลิตร ด้วยตัวอย่างน้ำทิ้ง 1-2 ครั้ง ก่อนจะทำการเก็บตัวอย่างน้ำใส่ภาชนะเก็บน้ำ



ภาพที่ 9 น้ำทิ้งจากบริษัท ไทยเอเชีย แปซิฟิค บริวเวอรี่ จำกัด

4.10 วิเคราะห์คุณภาพน้ำที่ได้จากน้ำทิ้งหลังผ่านการบำบัดด้วยระบบ UASB ก่อนปล่อยสู่แหล่งน้ำสาธารณะจากบริษัท ไทยเอเชีย แปซิฟิค บริวเวอรี่ จำกัด

นำตัวอย่างน้ำมาวิเคราะห์หาปริมาณแทนนินด้วยวิธียูวี – วิลิเบลสเปกโตรโฟโตเมทรี และเทียบหาความเข้มข้นจากกราฟมาตรฐานที่เตรียมได้จากข้อที่ 1.3 และวิเคราะห์ดัชนีคุณภาพน้ำ ได้แก่ พีเอช, ของแข็งแขวนลอย, ของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำ, บีโอดี, ซีโอดี, สี, ความขุ่น, น้ำมัน และไขมัน

4.11 ศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับแทนนินในน้ำทิ้งจากบริษัท ไทยเอเชีย แปซิฟิค บริวเวอรี่ จำกัด และน้ำจากคู คลอง ในมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ด้วยไคโตซานแกนหมึก และไคโตซานเชิงพาณิชย์ โดยทำการทดลองแบบเบดซ์

ทำการทดลองที่สภาวะที่เหมาะสม โดยชั่งไคโตซานจากแกนหมึกในปริมาณเท่ากับที่ให้ร้อยละการดูดซับสูงสุดที่ได้จากการทดลองในข้อ 4.7 ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 4.7 ทำการ

ทดลอง 7 ชั่วโมง จากนั้นนำน้ำทิ้งที่ผ่านการดูดซับด้วยไคโตซานจากแกนหมึกมาวิเคราะห์หาค่าดัชนีคุณภาพน้ำ ได้แก่ พีเอช, ซี, ของแข็งแขวนลอย, ของแข็งละลายน้ำ, ซีไอดี, ความขุ่น, น้ำมันและไขมัน

4.12 ศึกษาประสิทธิภาพการประยุกต์ใช้งานจริงในการดูดซับแทนนินของไคโตซานแกนหมึก และไคโตซานเชิงพาณิชย์

ทำการทดลองโดยใช้น้ำทิ้งจากบริษัท ไทยเอเชีย แปซิฟิค บริวเวอรี่ จำกัด ปริมาตร 20 ลิตร ปรับพีเอชให้มีค่าเท่ากับพีเอชที่ให้ร้อยละการดูดซับดีที่สุดจากการทดลองข้อ 4.3 ไคโตซานจากแกนหมึก ปริมาณที่เหมาะสม จากนั้นปั่นกวนด้วยใบพัดที่ต่อเข้ากับมอเตอร์นานเท่ากับระยะเวลาเขย่าที่ให้ร้อยละการดูดซับที่ดีที่สุดจากการทดลองข้อ 4.4 ตั้งทิ้งไว้นานเท่ากับระยะเวลาเข้าสู่สภาวะสมดุลที่ให้ร้อยละการดูดซับดีที่สุดจากการทดลองข้อ 4.5 แล้วปล่อยให้ น้ำไหลผ่านชุดเครื่องกรองประดิษฐ์ ซึ่งประกอบด้วย ภาชนะรูปทรงกระบอก (คาร์ทริดจ์) เส้นผ่านศูนย์กลาง 2.5 นิ้ว ภายในบรรจุใยแก้วเต็มภาชนะรูปทรงกระบอก (คาร์ทริดจ์) อัตราการไหล 120 มิลลิลิตรต่อนาที โดยเก็บตัวอย่างน้ำทิ้งภายหลังการดูดซับทุกๆ 30 นาที เพื่อนำไปวิเคราะห์หาประสิทธิภาพในการดูดซับแทนนินและดัชนีคุณภาพน้ำหลังการบำบัด ได้แก่ พีเอช, ของแข็งแขวนลอย, ของแข็งละลายน้ำ, ซีไอดี, ความขุ่น, น้ำมัน และไขมัน



ภาพที่ 10 ศึกษาประสิทธิภาพการประยุกต์ใช้งานจริง

4.13 ศึกษาการฟื้นฟูสภาพของไคโตซานแกนหมึก และไคโตซานเชิงพาณิชย์ ที่ผ่านการใช้งานแล้ว

ทำการทดลองโดยนำโคโตซานจากแกนหมึกและโคโตซานเชิงพาณิชย์ที่ผ่านการใช้งานแล้วล้างด้วยน้ำกลั่น 10 รอบ เพื่อฟื้นฟูสภาพ หลังจากนั้น ตากให้แห้งแล้วนำไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 60-65 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง เพื่อไล่ความชื้น แล้วนำโคโตซานที่ผ่านการฟื้นฟูสภาพกลับไปทดลองเช่นเดียวกับข้อที่ 4.12

5. สถานที่ทำการทดลอง

ทำการทดลอง ณ ห้องปฏิบัติการวิเคราะห์คุณภาพน้ำและดิน วิทยาลัยสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

6. ระยะเวลาในการทดลอง

ระยะเวลาทำการทดลองทั้งสิ้น 10 เดือน ตั้งแต่เดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2552 ถึงเดือนเมษายน พ.ศ. 2553

ผลและวิจารณ์

การศึกษาการดูดซับแทนนินในน้ำทิ้งจากการผลิตเบียร์จากบริษัท ไทยเอเชีย แปซิฟิค บรีวเวอรี่ จำกัดและแหล่งน้ำธรรมชาติ ในการศึกษาครั้งนี้ใช้ไคโตซานจากแกนหมึกกล้วยและไคโตซานเชิงพาณิชย์ โดยทำการทดลองแบบเบตซ์ ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อสถานะการดูดซับ ได้แก่ ปริมาณตัวดูดซับ เริ่มต้น พีเอช (pH) ความเร็วรอบการเขย่า (rate shaking) ระยะเวลาเขย่า (shaking time) ระยะเวลาเข้าสู่สถานะสมดุล (contact time หรือ equilibrium time) ปริมาณตัวดูดซับที่เหมาะสม รวมทั้งศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับแทนนินในน้ำทิ้งจากการผลิตเบียร์ โดยทำการทดลองประยุกต์ใช้งานจริงและฟื้นฟูตัวดูดซับหลังผ่านการดูดซับ ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

1. ลักษณะของไคโตซานจากแกนหมึกกล้วยที่เตรียมได้

จากการทดลองเตรียมไคโตซานจากแกนหมึกกล้วยด้วยวิธีการสกัดไคโตซานทางเคมี พบว่า ไคโตซานจากแกนหมึกกล้วยที่เตรียมได้มีลักษณะเป็นเกล็ดสีเหลืองอมน้ำตาลเล็กน้อย ดังภาพที่ 11



ภาพที่ 11 ไคโตซานจากแกนหมึกกล้วย

2. ผลของพีเอช

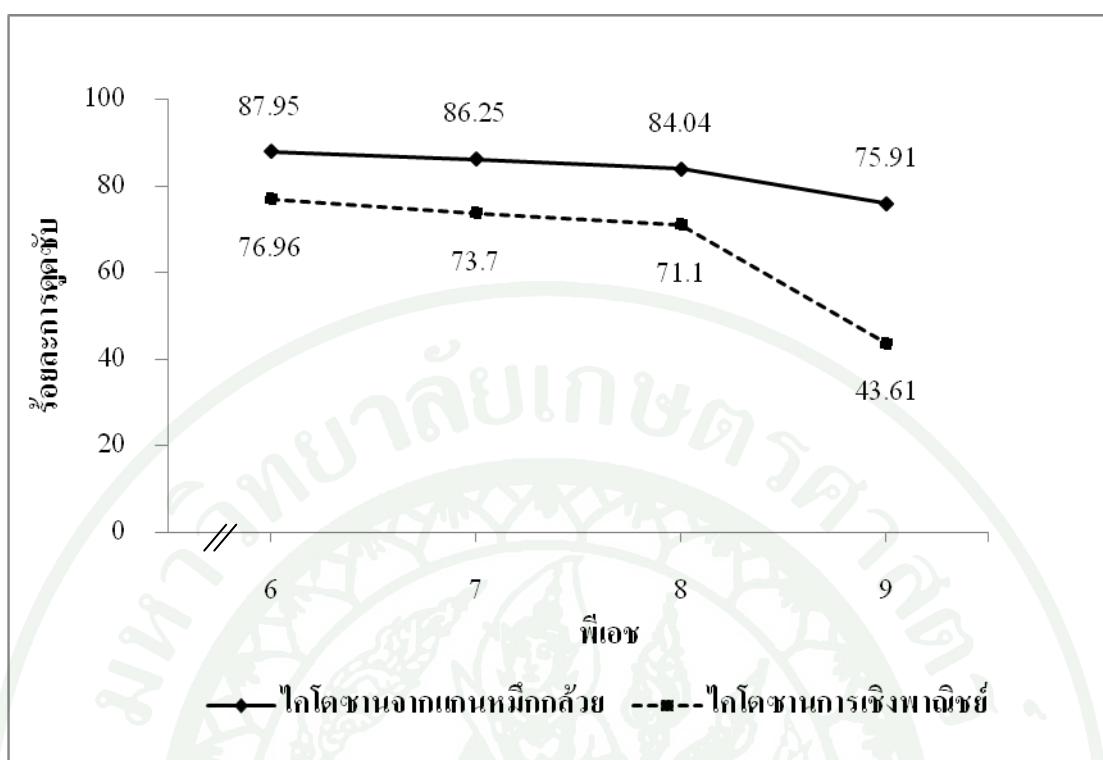
จากการทดลองในข้อที่ 4.1 ใช้ปริมาณไคโตซานจากแกนหมึกกล้วยหรือไคโตซานเชิงพาณิชย์ 1.0 กรัม ทำการแปรผันพีเอชในสารละลายมาตรฐานแทนนินให้เท่ากับ 6, 7, 8 และ 9 นำไปเขย่าที่ความเร็วรอบ 100 รอบต่อนาที เป็นเวลา 30 นาที และใช้ระยะเวลาเข้าสู่สภาวะสมดุล 30 นาที ได้ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 1

จากการทดลองพบว่า ไคโตซานจากแกนหมึกกล้วยและไคโตซานเชิงพาณิชย์ดูดซับแทนนินในสารละลายมาตรฐานแทนนินได้ดีที่พีเอชเท่ากับ 6 โดยมีร้อยละการดูดซับเท่ากับ 87.95 และ 76.96 ตามลำดับ เนื่องจากไคโตซานมีหมู่อะมิโนทำให้ละลายน้ำได้ในสภาวะที่เป็นกรด ดังนั้นในการทดลองจึงเริ่มทำการทดลองที่พีเอช 6 เป็นต้นไป ทั้งนี้การดูดซับขึ้นอยู่กับสภาพความเป็นขั้วของพื้นที่ผิวของตัวดูดซับ ที่พีเอชต่ำ ในสารละลายจะมีโปรตรอนเพิ่มขึ้น ทำให้พื้นที่ผิวของตัวดูดซับแสดงอำนาจไฟฟ้าบวก ทำให้เกิดแรงยึดเหนี่ยวกับแทนนิน ซึ่งเป็นโมเลกุลโคเวเลนต์ที่มีหมู่ไฮดรอกซิลได้ดีและเมื่อสารละลายมีพีเอชเพิ่มขึ้น มีผลทำให้มีไฮดรอกไซด์ไอออนในสารละลายเพิ่มขึ้น ซึ่งจะไปแย่งจับกับพื้นที่ผิวของตัวดูดซับทำให้พื้นที่ผิวของตัวดูดซับมีอำนาจไฟฟ้าเป็นประจุลบ ส่งผลให้เกิดแรงผลักขึ้นระหว่างแทนนินและตัวดูดซับ ทำให้การดูดซับลดลง

ตารางที่ 1 อิทธิพลของพีเอชต่อร้อยละการดูดซับแทนนินของไคโตซานจากแกนหมึกกล้วยและไคโตซานเชิงพาณิชย์

พีเอช	ร้อยละการดูดซับ	
	ไคโตซานจากแกนหมึกกล้วย	ไคโตซานเชิงพาณิชย์
6	87.95	76.96
7	86.25	73.70
8	84.04	71.10
9	75.91	43.61

ทดสอบประสิทธิภาพการดูดซับแทนนิน โดยใช้ปริมาณไคโตซานจากแกนหมึกกล้วยหรือไคโตซานเชิงพาณิชย์ 1.0 กรัมและสารละลายมาตรฐานแทนนินที่ปรับพีเอชให้เท่ากับ 6 ปริมาตร 50 มิลลิลิตรดังการทดลองที่ 4.1



ภาพที่ 12 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการรอดชีพแทนนินของโคโศซานจากแทนหมีกกล้วยและโคโศซานเชิงพาณิชย์กับพิเอชในสารละลายมาตรฐานแทนนิน

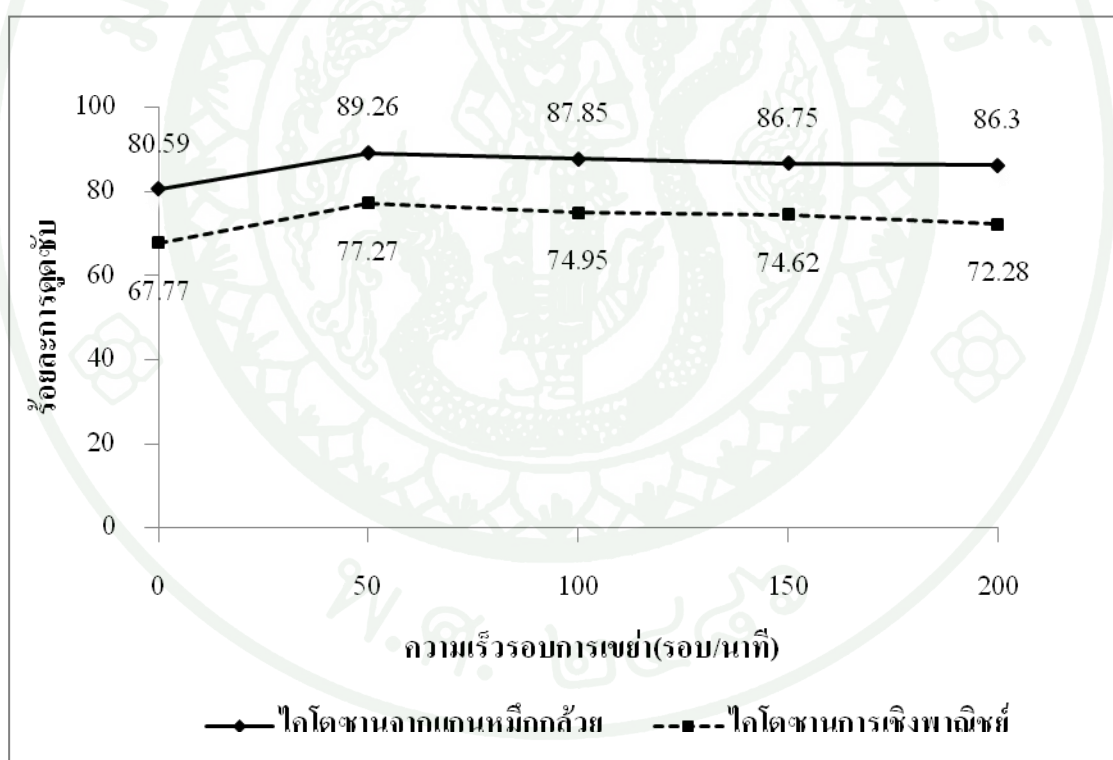
3. ผลของความเร็วรอบการเขย่า

ปรับพิเอชสารละลายมาตรฐานแทนนินให้เท่ากับ 6 ทำการแปรผันความเร็วรอบการเขย่าให้เท่ากับ 0, 50, 100, 150 และ 200 รอบต่อนาที เขย่าเป็นเวลา 30 นาที และใช้ระยะเวลาเข้าสู่ภาวะสมดุล 30 นาที ได้ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 3

จากการทดลองพบว่าโคโศซานจากแทนหมีกกล้วยและโคโศซานเชิงพาณิชย์รอดชีพแทนนินในสารละลายมาตรฐานแทนนินเพิ่มขึ้นเมื่อมีการเขย่า เนื่องจากการเขย่าทำให้ความหนาแน่นของชั้นฟิล์มน้ำที่ล้อมรอบตัวดูดซับบางลงและทำให้โมเลกุลของตัวดูดซับเคลื่อนที่ได้มากขึ้น จึงมีโอกาสถูกดูดซับได้มากขึ้น ตัวดูดซับทั้งสองชนิดมีประสิทธิภาพการดูดซับดีที่สุดที่ความเร็วรอบการเขย่าเท่ากับ 50 รอบต่อนาที โดยมีร้อยละการรอดชีพเท่ากับ 89.26 และ 77.27 ตามลำดับ และพบว่าที่ความเร็วรอบการเขย่าที่ 100, 150 และ 200 รอบต่อนาที ให้ร้อยละการรอดชีพที่ใกล้เคียงและคงที่ ดังแสดงในภาพที่ 13 เนื่องจากพื้นที่ผิวตัวดูดซับมีจำกัด

ตารางที่ 2 อิทธิพลของความเร็วยรอบการเข้ย่ต่อย่ละการคูดซ้บแทนนินของไคโดซานจากแทนหมีกกล้วยและไคโดซานเชิงพาณิชย์ในสารละลายมาตรฐานแทนนิน

ความเร็วยรอบการเข้ย่ (รอบต่อนาที)	ร่อยละการคูดซ้บ	
	ไคโดซานจากแทนหมีกกล้วย	ไคโดซานเชิงพาณิชย์
0	80.59	67.77
50	89.26	77.27
100	87.85	74.95
150	86.75	74.62
200	86.30	72.28



ภาพที่ 13 ความสัมพันธ์ระหว่างร่อยละการคูดซ้บแทนนินของไคโดซานจากแทนหมีกกล้วยและไคโดซานเชิงพาณิชย์กับความเร็วยรอบการเข้ย่ในสารละลายมาตรฐานแทนนิน

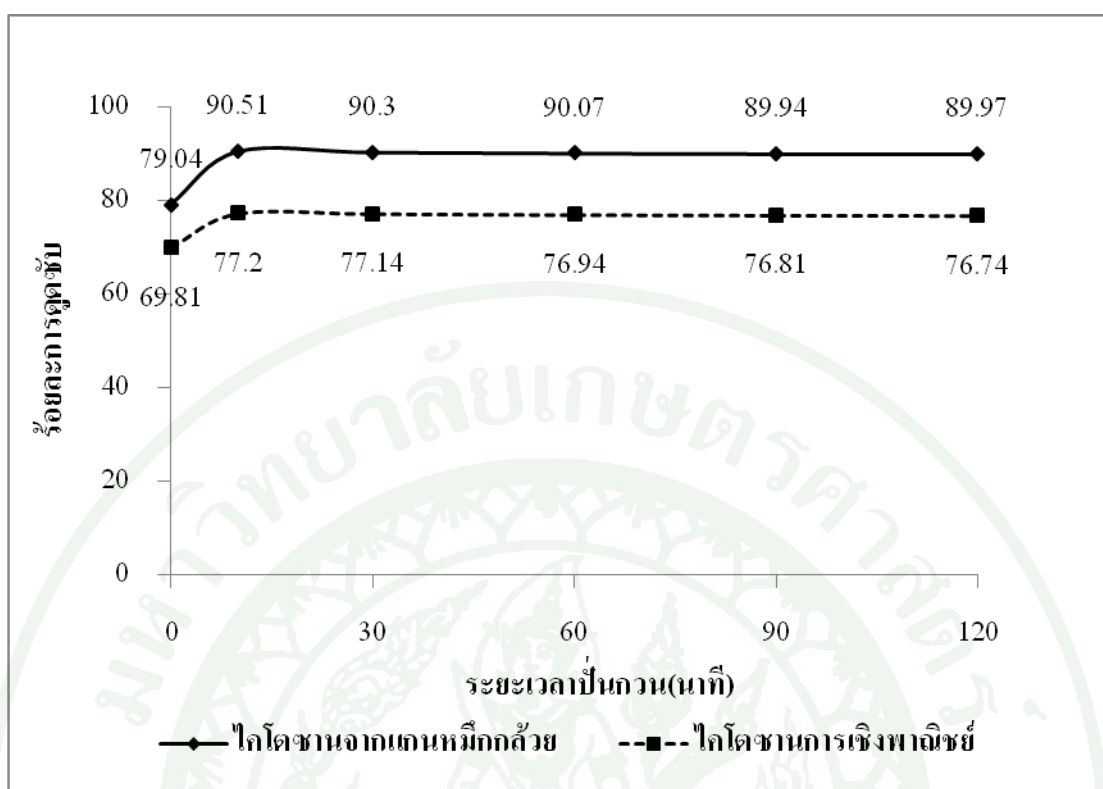
4. ผลของระยะเวลาแช่

ปรับพีเอชสารละลายมาตรฐานแทนนินให้เท่ากับ 6 ทำการแปรผันความเร็วรอบการแช่ให้เท่ากับ 50 รอบต่อนาที ทำการแปรผันระยะเวลาแช่ให้เท่ากับ 10, 30, 60, 90 และ 120 นาที ใช้ระยะเวลาเข้าสู่สภาวะสมดุล 30 นาที ได้ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4

ผลการทดลอง พบว่า ไคโตซานจากแกนหมึกกล้วยและไคโตซานเชิงพาณิชย์ดูดซับแทนนินในสารละลายมาตรฐานแทนนินได้ดีที่ระยะเวลาแช่เท่ากับ 10 นาที โดยมีร้อยละการดูดซับเท่ากับ 90.51 และ 77.14 ตามลำดับ เนื่องจากการดูดซับแทนนินนี้มีค่าไม่แตกต่างกันมากกับระยะเวลาปั่นกวนที่ 30, 60, 90 และ 120 นาที ดังภาพที่ 3 ทั้งนี้ในระยะเวลาเริ่มต้นพื้นผิวของไคโตซานมีพื้นที่มาก ทำให้อัตราการดูดซับมีมากขึ้น จนถึงระยะเวลานึ่งบริเวณพื้นผิวของไคโตซานดูดซับแทนนินเต็มพื้นผิวแล้วจะไม่สามารถดูดซับได้อีก ทำให้ร้อยละการดูดซับคงที่และลดลง เนื่องจากอาจเกิดการคาย (Desorption) ดังภาพที่ 14

ตารางที่ 3 อิทธิพลของระยะเวลาแช่ต่อร้อยละการดูดซับแทนนินของไคโตซานจากแกนหมึกกล้วยและไคโตซานเชิงพาณิชย์ในสารละลายมาตรฐานแทนนิน

ระยะเวลาแช่ (นาที)	ร้อยละการดูดซับ	
	ไคโตซานจากแกนหมึกกล้วย	ไคโตซานเชิงพาณิชย์
0	79.04	69.81
10	90.51	77.20
30	90.30	77.14
60	90.07	76.94
90	89.94	76.81
120	89.97	76.74



ภาพที่ 14 ความสัมพันธ์ระหว่างรอยละการดูดซับแทนนินของโคโตซานจากแกนหมักกล้วยและโคโตซานเชิงพาณิชย์กับระยะเวลาเข้ในสารละลายมาตรฐานแทนนิน

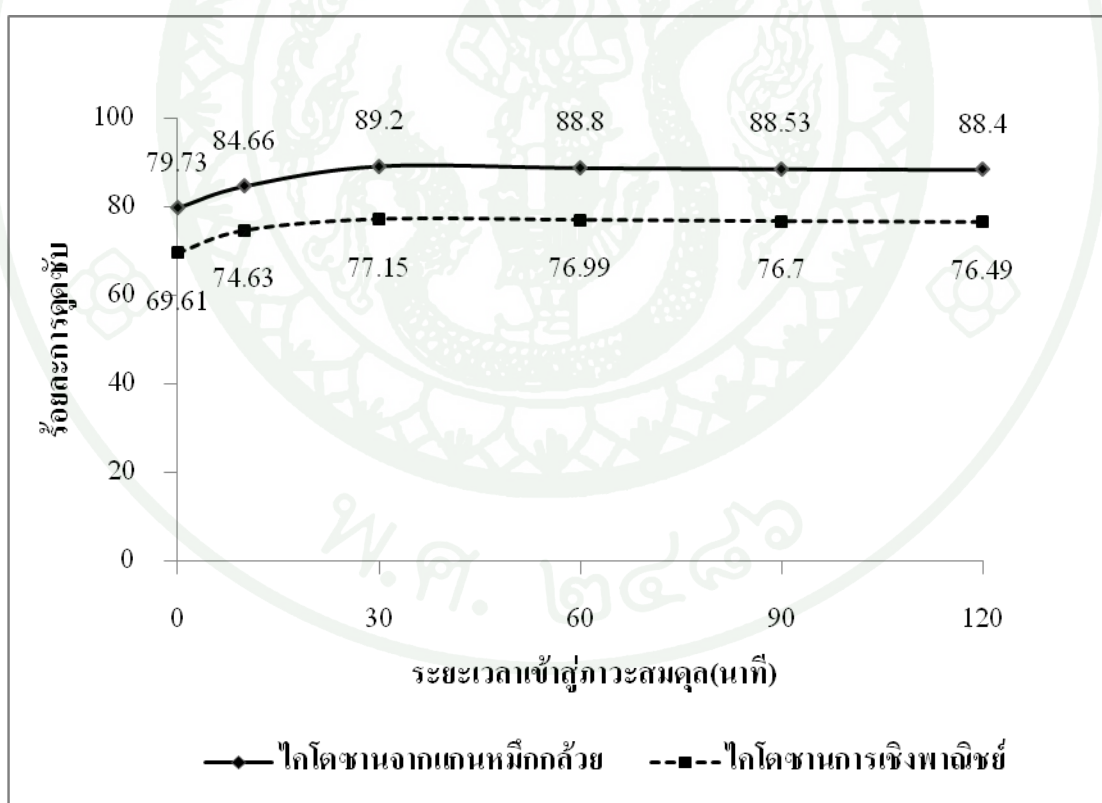
5. ผลของระยะเวลาเข้าสู่ภาวะสมดุล

ปรับพีเอชสารละลายมาตรฐานแทนนินให้เท่ากับ 6 ทำการแปรผันความเร็วรอบการเข้ให้เท่ากับ 50 รอบต่อนาที ระยะเวลาเข้ 10 นาทีทำการแปรผันระยะเวลาเข้าสู่ภาวะสมดุลให้เท่ากับ 10, 30, 60, 90 และ 120 นาที ได้ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 5

จากผลการทดลอง พบว่า โคโตซานจากแกนหมักกล้วยและโคโตซานเชิงพาณิชย์ดูดซับแทนนินในสารละลายมาตรฐานแทนนินได้ดีที่ระยะเวลาเข้าสู่ภาวะสมดุลเท่ากับ 30 นาที โดยมีรอยละการดูดซับเท่ากับ 89.20 และ 77.15 ตามลำดับ ทั้งนี้อธิบายได้ว่าในระยะเวลาเริ่มต้นพื้นผิวของโคโตซานมีพื้นที่มาก ทำให้อัตราการดูดซับมีมากขึ้น จนถึงระยะเวลานึ่งบริเวณพื้นผิวของโคโตซานดูดซับแทนนินจนเข้าสู่ภาวะสมดุลหรืออิ่มตัว ดังภาพที่ 15

ตารางที่ 4 อิทธิพลของระยะเวลาเข้าสู่ภาวะสมดุลต่อร้อยละการดูดซับแทนนินของไคโตซานจาก
แกนหมึกกล้วยและไคโตซานเชิงพาณิชย์ในสารละลายมาตรฐานแทนนิน

ระยะเวลาเข้าสู่ภาวะสมดุล (นาที)	ร้อยละการดูดซับ	
	ไคโตซานจากแกนหมึกกล้วย	ไคโตซานเชิงพาณิชย์
0	79.73	69.61
10	84.66	74.63
30	89.20	77.15
60	88.80	76.99
90	88.53	76.70
120	88.40	76.49



ภาพที่ 15 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับแทนนินของไคโตซานจากแกนหมึกกล้วยและไคโตซาน
เชิงพาณิชย์กับระยะเวลาเข้าสู่ภาวะสมดุลในสารละลายมาตรฐานแทนนิน

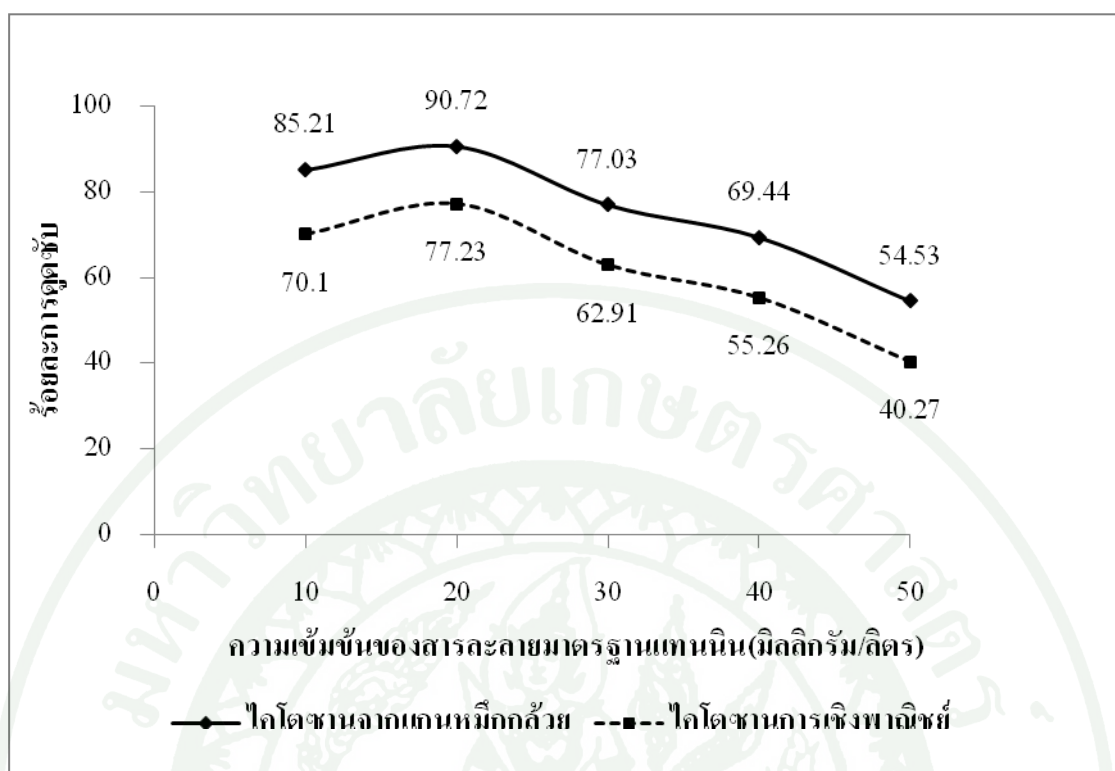
6. ผลของความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานแทนนิน

ปรับพีเอชสารละลายมาตรฐานแทนนินให้เท่ากับ 6 ทำการแปรผันความเร็วรอบการเขย่าให้เท่ากับ 50 รอบต่อนาที ระยะเวลาเขย่า 10 นาที ระยะเวลาเข้าสู่สภาวะสมดุล 30 นาที ทำการแปรผันความเข้มข้นสารละลายมาตรฐานแทนนินที่ความเข้มข้น 10, 20, 30, 40 และ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ได้ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 6

จากผลการทดลอง พบว่า ในการศึกษาจะศึกษาความเข้มข้นสารละลายมาตรฐานแทนนินที่ความเข้มข้น 10, 20, 30, 40 และ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่าทั้งไคโตซานจากแกนหมึกกล้วยและไคโตซานเชิงพาณิชย์สามารถดูดซับแทนนินในสารละลายมาตรฐานแทนนินได้ดีที่สุดที่ 20 มิลลิกรัมต่อลิตร ร้อยละการดูดซับเท่ากับ 90.72 และ 77.23 ตามลำดับ ที่เมื่อความเข้มข้นเพิ่มขึ้นมากกว่า 20 มิลลิกรัมต่อลิตร การดูดซับแทนนินลดลง ทั้งนี้หากพื้นผิวของไคโตซานจากแกนหมึกกล้วยและไคโตซานเชิงพาณิชย์ดูดซับแทนนินเต็มพื้นผิวแล้วจะไม่สามารถดูดซับได้อีก

ตารางที่ 5 อิทธิพลของความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานแทนนินต่อร้อยละการดูดซับแทนนินของไคโตซานจากแกนหมึกกล้วยและไคโตซานเชิงพาณิชย์ในสารละลายมาตรฐานแทนนิน

ความเข้มข้นของสารละลาย มาตรฐานแทนนิน (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ร้อยละการดูดซับ	
	ไคโตซานจากแกนหมึกกล้วย	ไคโตซานเชิงพาณิชย์
10	85.21	70.10
20	90.72	77.23
30	77.03	62.91
40	69.44	55.26
50	54.53	40.27



ภาพที่ 16 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับแทนนินของไคโตซานจากแกนหมักกล้วยและไคโตซานเชิงพาณิชย์กับความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานแทนนิน

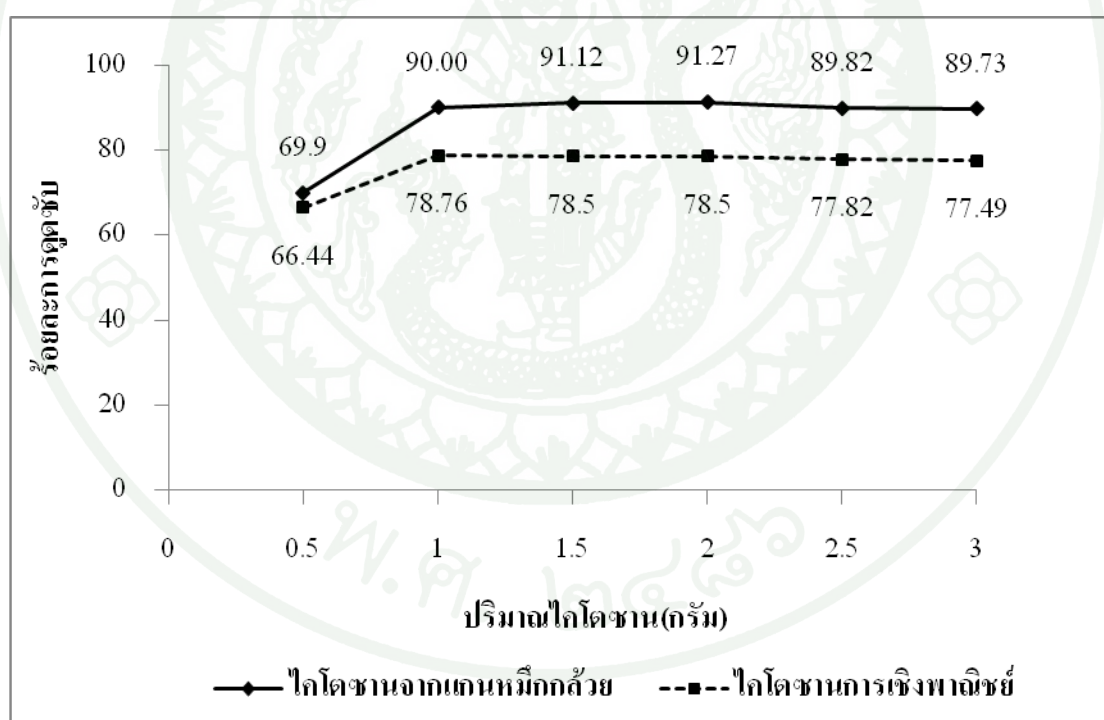
7. ผลของปริมาณตัวดูดซับต่อการดูดซับแทนนินในสารละลายมาตรฐานแทนนิน

จากการทดลองศึกษาปริมาณไคโตซานจากแกนหมักกล้วยและไคโตซานเชิงพาณิชย์ ที่ปริมาณ 0.5, 1, 1.5, 2, 2.5 และ 3 กรัม ได้ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 7

จากตารางที่ 7 พบว่า ประสิทธิภาพการดูดซับแทนนินในสารละลายมาตรฐานแทนนินลดลง เมื่อปริมาณไคโตซานจากแกนหมักกล้วยหรือไคโตซานเชิงพาณิชย์เพิ่มขึ้น เนื่องจากไคโตซานมีสมบัติในการพองตัวในน้ำสูง ดังนั้นเมื่อปริมาณไคโตซานมากขึ้นจึงส่งผลทำให้ตัวดูดซับสัมผัสกับตัวถูกดูดซับน้อยลง โดยพบว่า ทั้งไคโตซานจากแกนหมักกล้วยและไคโตซานเชิงพาณิชย์ปริมาณ 1.0 กรัม สามารถดูดซับแทนนินได้เหมาะสมที่สุด ซึ่งดูดซับแทนนินได้สูงสุดร้อยละ 91.27 และ 87.09 ตามลำดับ ดังภาพที่ 17 และคิดเป็น 0.9127 และ 0.8709 มิลลิกรัมต่อลิตรไคโตซานตามลำดับ

ตารางที่ 6 อิทธิพลของปริมาณตัวดูดซับต่อร้อยละการดูดซับแทนนินของไคโตซานจากแกนหมึกกล้วย และไคโตซานเชิงพาณิชย์ในสารละลายมาตรฐานแทนนิน

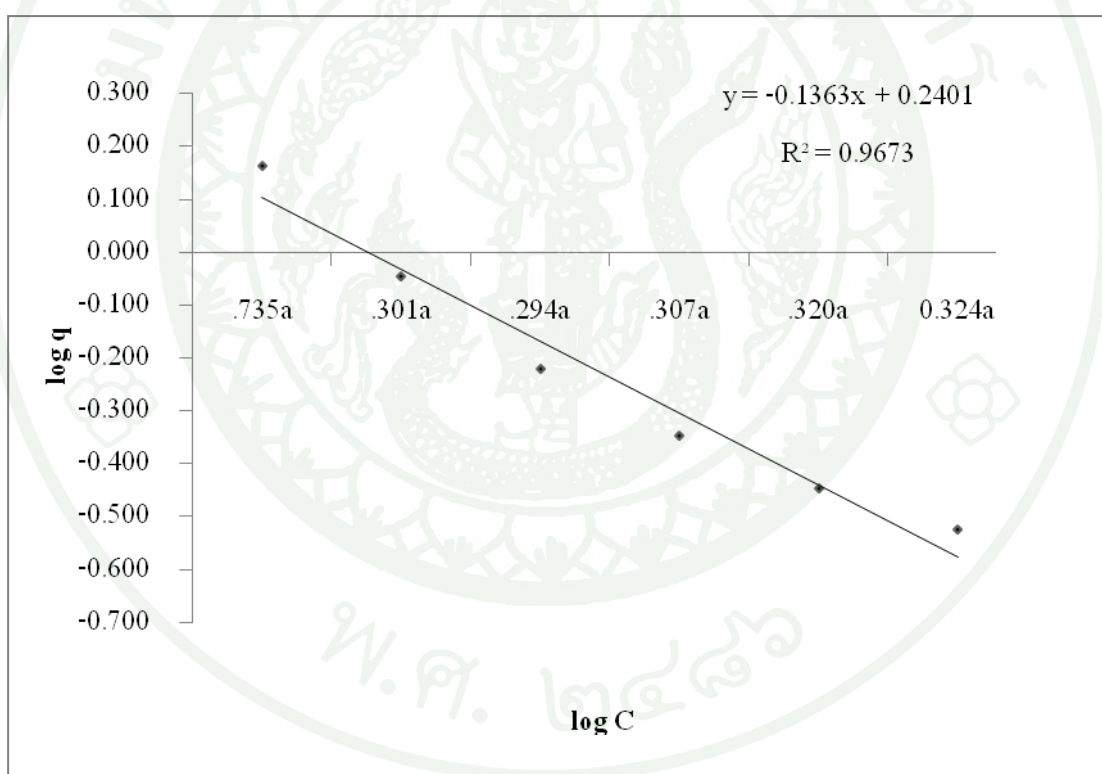
ปริมาณไคโตซาน (กรัม)	ร้อยละการดูดซับ	
	ไคโตซานจากแกนหมึกกล้วย	ไคโตซานเชิงพาณิชย์
0.5	69.90	66.44
1.0	90.00	78.76
1.5	91.12	78.50
2.0	91.27	78.50
2.5	89.82	77.82
3.0	89.73	77.49



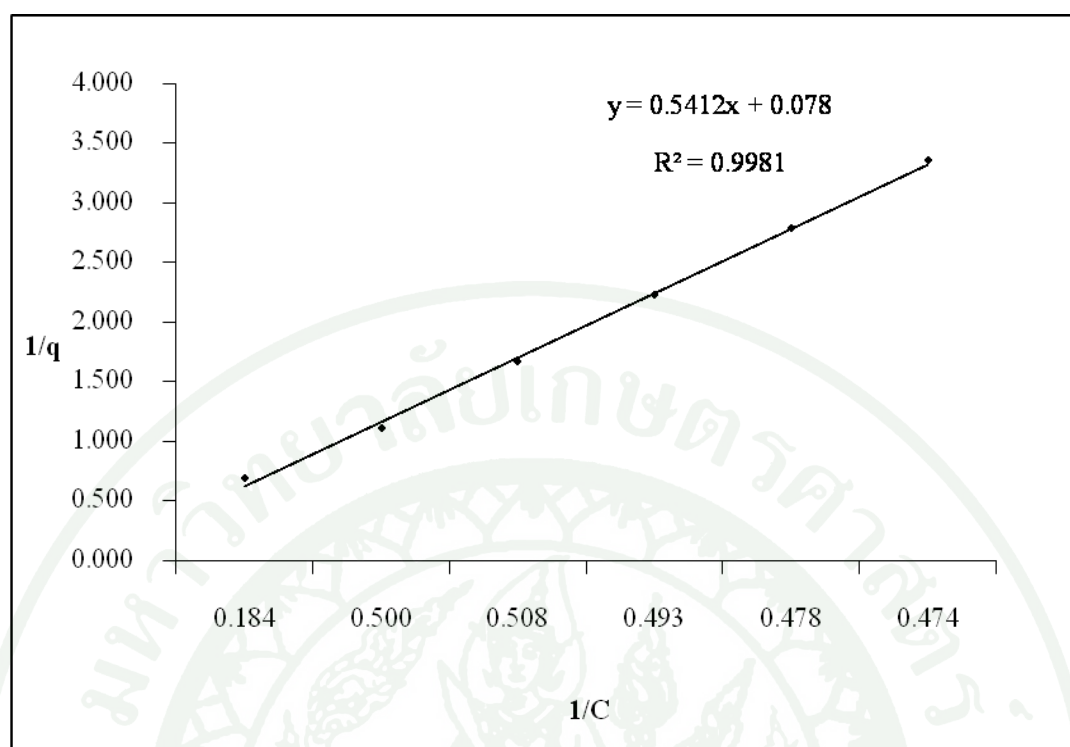
ภาพที่ 17 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับแทนนินของไคโตซานจากแกนหมึกกล้วยและไคโตซานเชิงพาณิชย์กับปริมาณไคโตซาน

8. ผลของการศึกษาไอโซเทอร์มการดูดซับแทนนิน โดยใช้สมการการดูดซับของแลงเมียร์และฟรุนดิช

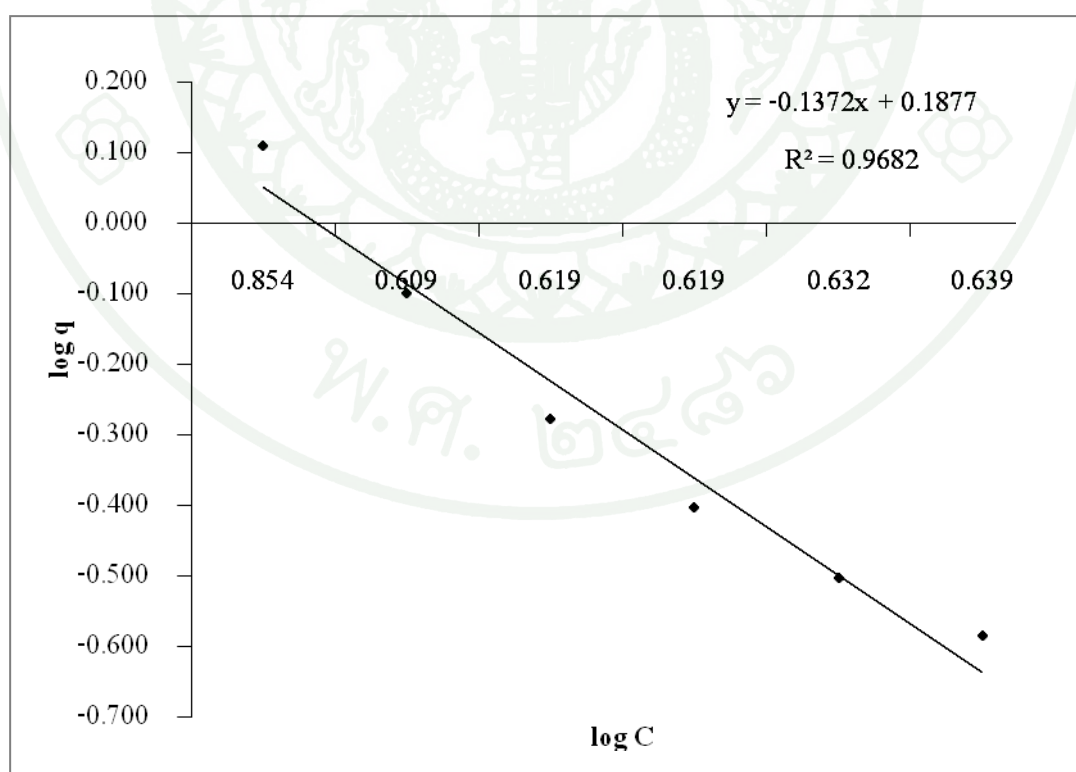
การศึกษาไอโซเทอร์มการดูดซับแทนนินของไคโตซานจากแกนหมึกกล้วยและไคโตซานเชิงพาณิชย์ เป็นการนำสภาวะที่เหมาะสมที่ได้จากการดูดซับ ได้แก่ ที่พีเอช 6 ความเร็วรอบการเขย่า 50 รอบต่อนาที ระยะเวลาระยะเวลาเขย่า 10 นาที และระยะเวลาเข้าสู่สภาวะสมดุล 30 นาที โดยใช้ไคโตซานจากแกนหมึกกล้วยและ ไคโตซานเชิงพาณิชย์ปริมาณ 1 กรัม และสารละลายมาตรฐานแทนนินเข้มข้น 20 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 50 มิลลิลิตร นำผลการศึกษาที่ได้เข้าสมการการดูดซับพบว่าทั้งไคโตซานจากแกนหมึกกล้วยและไคโตซานเชิงพาณิชย์มีกลไกการดูดซับของไคโตซานทั้ง 2 ชนิด เป็นไปตามสมการการดูดซับของแลงเมียร์และฟรุนดิช



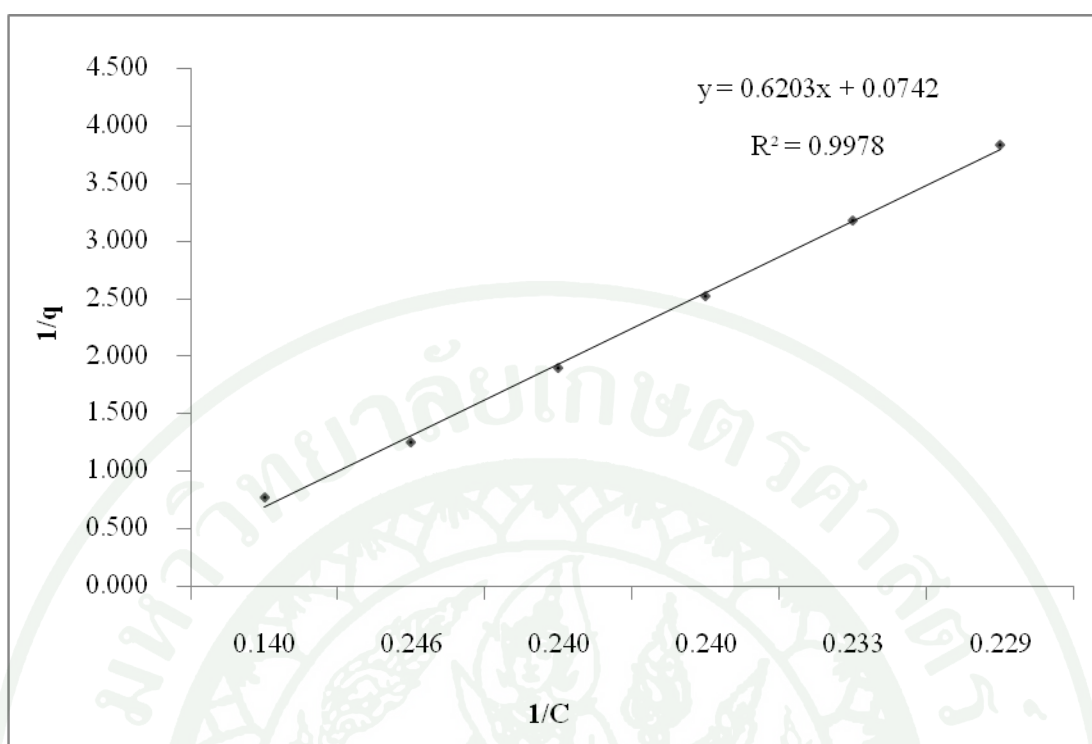
ภาพที่ 18 ไอโซเทอร์มการดูดซับแทนนินของฟรุนดิชด้วยไคโตซานจากแกนหมึกกล้วย



ภาพที่ 19 ไอโซเทอร์มของแลงเมียร์การดูดซับแทนนินด้วยไคโตซานจากแกนหมึกกล้วย



ภาพที่ 20 ไอโซเทอร์มของฟรันทซ์การดูดซับแทนนินด้วยไคโตซานเชิงพาณิชย์



ภาพที่ 21 ไอโซเทอร์มของแสงเมียร์การดูดซับแทนนินด้วยไคโตซานเชิงพาณิชย์

9. ผลการศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับแทนนินในน้ำทิ้งจากบริษัท ไทยเอเชีย แปซิฟิค บริวเวอรี่ จำกัด ทำการทดลองแบบเบตซ์

ทำการทดลองที่สภาวะที่เหมาะสม โดยชั่งไคโตซานจากแกนหมึกในปริมาณเท่ากับที่ให้ร้อยละการดูดซับสูงสุดที่ได้จากการทดลองในข้อ 4.7 ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 4.7 ทำการทดลอง 7 ชั่วโมง จากนั้นนำน้ำทิ้งที่ผ่านการดูดซับด้วยไคโตซานจากแกนหมึกมาวิเคราะห์ดัชนีคุณภาพน้ำ ได้แก่ พีเอช, สี, ของแข็งแขวนลอย, ของแข็งละลายน้ำ, ซีไอดี, ความขุ่น, ไขมันและน้ำมัน จากการทดลองพบว่า น้ำทิ้งจากบริษัท ไทยเอเชีย แปซิฟิค บริวเวอรี่ จำกัด มีความเข้มข้นแทนนินเริ่มต้น 8.33 มิลลิกรัม/ลิตร หลังผ่านการดูดซับด้วยไคโตซานจากแกนหมึกกล้วยและไคโตซานเชิงพาณิชย์ มีความเข้มข้นของแทนนินที่เหลือเฉลี่ย 2.18 ± 0.001 และ 3.13 ± 0.001 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ โดยมีประสิทธิภาพการดูดซับแทนนินเฉลี่ยร้อยละ 77.29 ± 0.22 และ 67.48 ± 0.21 (คิดเป็น 0.7729 และ 0.6748 มิลลิกรัมต่อกรัมไคโตซาน) ตามลำดับ

สำหรับผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำทิ้งจากบริษัท ไทยเอเชีย แปซิฟิค บริวเวอรี่ จำกัด หลังผ่านการดูดซับด้วยไคโตซานจากแกนหมักกล้วยและไคโตซานเชิงพาณิชย์ พบว่า ไคโตซานทั้งสองชนิดสามารถบำบัดมลสารอื่นๆได้ด้วย เช่น ของแข็งละลายน้ำ ของแข็งแขวนลอย ซีโอดี ความขุ่น ไขมันและน้ำมัน รายละเอียดดังตารางที่ 7

ตารางที่ 7 ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำทิ้งจากบริษัท ไทยเอเชีย แปซิฟิค บริวเวอรี่ จำกัด หลังผ่านการดูดซับด้วยไคโตซานจากแกนหมักกล้วยและไคโตซานเชิงพาณิชย์

ดัชนีคุณภาพน้ำ	ไคโตซานจากแกนหมักกล้วย			ไคโตซานเชิงพาณิชย์		
	ก่อน	หลัง	ร้อยละการบำบัด	ก่อน	หลัง	ร้อยละการบำบัด
pH	7.90	7.21	8.73	7.90	7.34	7.08
แทนนิน(มิลลิกรัม/ลิตร)	8.33	2.18	73.83	8.33	3.13	62.42
TDS (มิลลิกรัม/ลิตร)	1,532.00	1,284.00	16.19	1,532.00	1,294.00	15.54
TSS (มิลลิกรัม/ลิตร)	258.00	72.00	72.10	258.00	90.00	65.12
COD (มิลลิกรัม/ลิตร)	140.00	96.00	31.43	140.00	96.00	31.43
ไขมันและน้ำมัน (มิลลิกรัม/ลิตร)	3.47	1.64	52.74	3.47	1.64	52.74
Conductivity(mS/cm)	2.36	2.67	-	2.36	2.60	-
ความขุ่น(NTU)	88.50	21.20	76.05	88.50	28.20	68.14

10. ผลการศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับแทนนินในน้ำจาก ถู คลอง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ทำการทดลองแบบเบตซ์

ทำการทดลองที่สภาวะที่เหมาะสม โดยชั่งไคโตซานจากแกนหมึกกล้วยและไคโตซานเชิงพาณิชย์ ในปริมาณเท่ากับที่ให้ร้อยละการดูดซับสูงสุดที่ได้จากการทดลองในข้อ 4.7 ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 4.7 ทำการทดลอง 7 ซ้ำ จากนั้นนำน้ำทิ้งที่ผ่านการดูดซับด้วยไคโตซานจากแกนหมึกกล้วยและไคโตซานเชิงพาณิชย์ มาวิเคราะห์ดัชนีคุณภาพน้ำ ได้แก่ พีเอช, สี, ของแข็งแขวนลอย, ของแข็งละลายน้ำ, ซีไอดี, ความขุ่น, ไขมันและน้ำมัน จากการทดลอง พบว่าในน้ำจาก ถู คลอง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ มีความเข้มข้นแทนนินเริ่มต้น 2.68 มิลลิกรัม/ลิตร หลังผ่านการดูดซับด้วยไคโตซานจากแกนหมึกกล้วยและไคโตซานเชิงพาณิชย์ มีความเข้มข้นของแทนนินที่เหลือเฉลี่ย 1.41 ± 0.001 และ 1.82 ± 0.001 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ โดยมีประสิทธิภาพการดูดซับแทนนินเฉลี่ยร้อยละ 59.71 ± 0.32 และ 49.80 ± 0.30 (คิดเป็น 0.5971 และ 0.4980 มิลลิกรัมต่อกรัมไคโตซาน) ตามลำดับ ซึ่งน้อยกว่าการดูดซับในสารละลายมาตรฐานและน้ำทิ้งจากบริษัท ไทยเอเชียบริวเวอรี่ จำกัด เนื่องจากในน้ำจาก ถู คลอง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์อาจมีสารอินทรีย์อื่นปนเปื้อน นอกเหนือจากแทนนินทำให้สามารถสร้างแรงยึดเหนี่ยวระหว่างมอลสารชนิดอื่นทำให้ไคโตซานประสิทธิภาพลดลง แต่ในน้ำทิ้ง จากบริษัท ไทยเอเชีย บริวเวอรี่ จำกัด ในน้ำทิ้งส่วนใหญ่เป็นสารแทนนินจึงดูดซับได้ดี

สำหรับผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำทิ้งในน้ำจาก ถู คลอง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ หลังผ่านการดูดซับด้วยไคโตซานจากแกนหมึกกล้วยและไคโตซานเชิงพาณิชย์ พบว่า ไคโตซานทั้งสองชนิดสามารถบำบัดมลสารอื่นๆ ได้ด้วย เช่น ของแข็งละลายน้ำ ของแข็งแขวนลอย ซีไอดี ความขุ่น ไขมันและน้ำมัน รายละเอียดดังตารางที่ 8

ตารางที่ 8 ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ ในน้ำจาก คู คลอง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (หน้าชมรมอิสลาม) หลังผ่านการดูดซับด้วยไคโตซานจากแกนหมึกกล้วยและไคโตซานเชิงพาณิชย์

ดัชนีคุณภาพน้ำ	ไคโตซานจากแกนหมึกกล้วย			ไคโตซานเชิงพาณิชย์		
	ก่อน	หลัง	ร้อยละการบำบัด	ก่อน	หลัง	ร้อยละการบำบัด
pH	7.70	8.20	-	7.70	8.20	-
แทนนิน(มิลลิกรัม/ลิตร)	2.68	1.41	47.39	2.68	1.82	32.09
TDS (มิลลิกรัม/ลิตร)	260.00	208.00	20.00	260.00	210.00	19.23
TSS (มิลลิกรัม/ลิตร)	18.40	9.80	46.74	18.40	11.00	40.22
COD (มิลลิกรัม/ลิตร)	64.00	32.00	50.00	64.00	32.00	50.00
ไขมันและน้ำมัน (มิลลิกรัม/ลิตร)	2.64	0.25	90.53	2.64	0.25	90.53
BOD (มิลลิกรัม/ลิตร)	11.60	10.20	12.06	11.60	10.20	12.06
Conductivity(mS/cm)	3.87	3.95	-	3.87	3.90	-
ความขุ่น(NTU)	12.93	5.17	60.02	12.93	6.21	51.97

11. ผลการศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับแทนนินในน้ำทิ้งจากบริษัท ไทยเอเชีย แปซิฟิค บรีวเวอรี่ จำกัด ทำการทดลองประยุกต์ใช้งานจริง

ทำการทดลองโดยใช้น้ำทิ้งจากบริษัท ไทยเอเชีย แปซิฟิค บรีวเวอรี่ จำกัด ปริมาตร 20 ลิตร ปรับน้ำตัวอย่างให้เท่ากับปัจจัยที่ให้ร้อยละการดูดซับดีที่สุดทุกปัจจัยแล้วปล่อยให้ น้ำไหลผ่านชุดเครื่องกรองประดิษฐ์ อัตราการไหล 120 มิลลิลิตรต่อนาที โดยเก็บตัวอย่างน้ำทิ้งภายหลังการดูดซับทุกๆ 30 นาที เพื่อนำไปวิเคราะห์หาประสิทธิภาพในการดูดซับแทนนิน ดัชนีคุณภาพน้ำหลังการบำบัด จากการทดลอง พบว่า ร้อยละความเข้มข้นของแทนนินที่เหลือภายหลังการประยุกต์ใช้งานจริงด้วยไคโตซานจากแกนหมึกกล้วยและไคโตซานเชิงพาณิชย์ตลอดระยะเวลา 120 นาที มีค่าไม่แตกต่างกัน คือ มีค่าเท่ากับ 19.61 และ 29.42 ตามลำดับ โดยมีประสิทธิภาพการดูดซับแทนนินในน้ำทิ้งบริษัท ไทยเอเชีย แปซิฟิค บรีวเวอรี่ จำกัด ไม่แตกต่างกันตลอดระยะเวลา 120 นาที คือ ร้อย

ผลการดูดซับเท่ากับ 80.39 และ 70.58 (คิดเป็น 0.8039 และ 0.7058 มิลลิกรัมต่อกรัมไคโตซาน) ตามลำดับ

สำหรับผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำทิ้งจากบริษัท ไทยเอเชีย แปซิฟิค บรีวเวอรี่ จำกัด ภายหลังการประยุกต์ใช้งานจริงด้วยไคโตซานจากแกนหมักกล้วยและไคโตซานเชิงพาณิชย์ตลอดระยะเวลา 120 นาที พบว่า ไคโตซานทั้งสองชนิดสามารถบำบัดมลสารอื่นๆได้ เช่น ของแข็งละลายน้ำ ของแข็งแขวนลอย ซีโอดี ความขุ่น ไขมันและน้ำมัน โดยการประยุกต์ใช้งานจริงด้วยไคโตซานจากแกนหมักกล้วยสามารถบำบัดได้ร้อยละ 16.19, 72.09, 54.29, 76.05 และ 52.74 ตามลำดับ สำหรับการประยุกต์ใช้งานจริงด้วยไคโตซานเชิงพาณิชย์สามารถบำบัดได้ร้อยละ 15.54, 65.11, 54.29, 60.30 และ 52.74 ตามลำดับ ดังตารางที่ 9

ตารางที่ 9 คุณภาพน้ำทิ้งจากบริษัท ไทยเอเชีย แปซิฟิค บรีวเวอรี่ จำกัด หลังผ่านการประยุกต์ใช้งานจริง

ดัชนีคุณภาพน้ำ	ดูดซับด้วยไคโตซานจากแกนหมักกล้วย			ดูดซับด้วยไคโตซานเชิงพาณิชย์		
	ก่อน	หลัง	ร้อยละการบำบัด	ก่อน	หลัง	ร้อยละการบำบัด
pH	7.90	7.60	10.63	7.90	7.60	10.63
แอมโมเนีย(มิลลิกรัม/ลิตร)						
TDS	1,532.00	1,284.67	16.19	1,532.00	1,294.00	15.54
(มิลลิกรัม/ลิตร)						
TSS	258.00	72.00	72.09	258.00	90.00	65.11
(มิลลิกรัม/ลิตร)						
COD	140.00	64.00	54.29	140.00	64.00	54.29
(มิลลิกรัม/ลิตร)						
ไขมันและน้ำมัน	3.47	1.64	52.74	3.47	1.64	52.74
(มิลลิกรัม/ลิตร)						
ความขุ่น(NTU)	88.5	21.20	76.05	88.5	28.20	60.3

12. ศึกษาการฟื้นฟูสภาพของโคโตซานจากแกนหมึกกล้วยและโคโตซานเชิงพาณิชย์หลังผ่านการใช้งาน

จากการทดลองโคโตซานจากแกนหมึกกล้วยและโคโตซานเชิงพาณิชย์มีประสิทธิภาพการดูดซับแทนนินลดลงตามจำนวนครั้งของการฟื้นฟูสภาพเมื่อเทียบกับการใช้งานครั้งแรก โดยพบว่า การใช้งานครั้งแรก ประสิทธิภาพการดูดซับแทนนินจะมากที่สุด สามารถดูดซับแทนนินได้ร้อยละ 80.39 และ 70.58 (คิดเป็น 0.8039 และ 0.7058 มิลลิกรัมต่อกรัมโคโตซาน) ตามลำดับ เมื่อฟื้นฟูสภาพแล้วโคโตซานทั้งสองชนิดมีประสิทธิภาพการดูดซับแทนนินลดลงตามลำดับ ดังตารางที่ 10

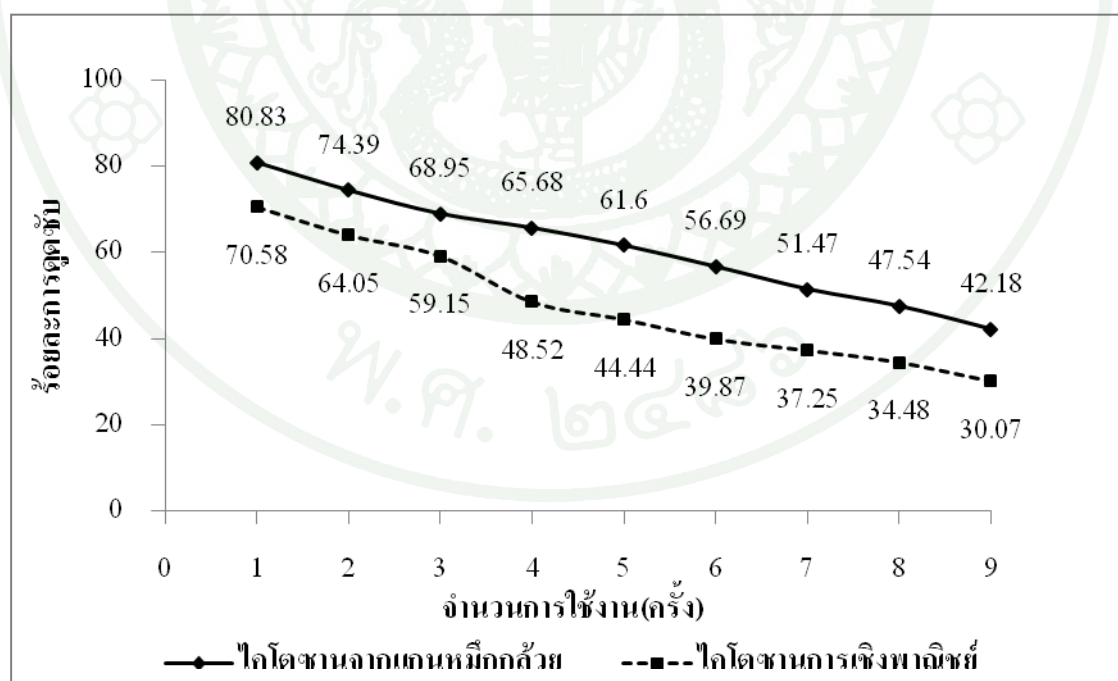
ตารางที่ 10 ประสิทธิภาพการดูดซับแทนนินด้วยโคโตซานจากแกนหมึกกล้วยและโคโตซานเชิงพาณิชย์หลังผ่านการใช้งาน

ชนิดของตัวดูดซับ	ร้อยละการดูดซับ		
	ใช้งานครั้งแรก	ฟื้นฟูครั้งที่ 1	ฟื้นฟูครั้งที่ 2
โคโตซานจากแกนหมึกกล้วย	80.39	74.39	68.95
โคโตซานเชิงพาณิชย์	70.58	64.05	59.15

สำหรับอายุการใช้งานของโคโตซานจากแกนหมึกกล้วยและโคโตซานเชิงพาณิชย์ เมื่อพิจารณาจากจำนวนครั้งที่ใช้ในการดูดซับแทนนินในน้ำทิ้งจากบริษัท ไทยเอเชีย แปซิฟิค บรีวเวอรี่ จำกัด จนกระทั่งประสิทธิภาพการดูดซับลดลงครึ่งหนึ่งจากประสิทธิภาพการดูดซับแทนนินครั้งแรก พบว่า ประสิทธิภาพของโคโตซานทั้งสองชนิดในการดูดซับแทนนินในน้ำทิ้ง มีประสิทธิภาพการดูดซับลดลง เมื่อจำนวนครั้งการใช้งานมากขึ้น โดยพบว่า การใช้งานโคโตซานจากแกนหมึกกล้วยและโคโตซานเชิงพาณิชย์ในการดูดซับแทนนิน 9 และ 7 ครั้ง ตามลำดับ จะมีประสิทธิภาพการดูดซับแทนนินลดลงครึ่งหนึ่งจากประสิทธิภาพการดูดซับแทนนินครั้งแรก คือ สามารถดูดซับแทนนินได้ร้อยละ 42.18 จากร้อยละ 80.39 และร้อยละ 34.48 จากร้อยละ 70.58 ดังตารางที่ 11 และภาพที่ 22

ตารางที่ 11 ประสิทธิภาพการดูดซับแทนนินด้วยไคโตซานจากแกนหมึกกล้วยและไคโตซานเชิงพาณิชย์หลังการใช้งาน

จำนวน ครั้งการ ใช้งาน	ร้อยละการดูดซับ		ร้อยละความเข้มข้นของแทนนินที่เหลือ	
	ไคโตซานจากแกน	ไคโตซานเชิง	ไคโตซานจากแกน	ไคโตซานเชิง
	หมึกกล้วย	พาณิชย์	หมึกกล้วย	พาณิชย์
1	80.83	70.58	19.17	29.42
2	74.39	64.05	25.61	25.61
3	68.95	59.15	30.05	31.05
4	65.68	48.52	34.32	34.32
5	61.60	44.44	38.40	38.40
6	56.69	39.87	43.31	43.31
7	51.47	37.25	48.53	48.53
8	47.54	34.48	52.46	52.46
9	42.18	30.07	57.82	57.82



ภาพที่ 22 ประสิทธิภาพการดูดซับแทนนินด้วยไคโตซานจากแกนหมึกกล้วยและไคโตซานเชิงพาณิชย์หลังการใช้งาน

13. ความคุ้มค่าของไคโตซานจากแกนหมึกกล้วยและไคโตซานเชิงพาณิชย์ในการบำบัดน้ำแข็ง เศรษฐกิจศาสตร์

จากกรรมวิธีการสกัดไคโตซานได้ปริมาณตัวคูณดังนี้ (ปริยวรรณ, 2543)

แกนหมึกกล้วยตากแห้ง (50 กิโลกรัม กิโลกรัมละ 18 บาท)



กระบวนการแยกแร่ธาตุ ด้วยสารละลายกรดเกลือเจือจาง



กระบวนการแยกโปรตีน ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เจือจาง



ไคติน (5 กิโลกรัม)



กระบวนการดึงหมู่อะซิติล ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น



ไคโตซาน (2.5 กิโลกรัม)

ตารางที่ 12 เปรียบเทียบต้นทุนของไคโตซานจากแกนหมึกกล้วยและไคโตซานเชิงพาณิชย์ที่ใช้ใน
การทดลอง

ไคโตซานแกน หมึกกล้วยที่ สกัดได้ (กรัม)	ไคโตซานแกน หมึกกล้วยที่ใช้ ในการทดลอง (กรัม)	ต้นทุนไคโตซาน แกนหมึกกล้วย ใช้ในการทดลอง (บาท)	ปริมาณไคโต ซานเชิงพาณิชย์ ที่ใช้ในการ ทดลอง(กรัม)	ราคาไคโตซาน เชิงพาณิชย์ที่ใช้ ในการทดลอง (บาท)
2,500	2,000	720	2,000	1,000

ที่มา: ราคาไคตินและไคโตซานจากศูนย์ชีวภาพไคติน-ไคโตซาน จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

จากการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับแทนนินในน้ำทิ้งจากการผลิตเบียร์และแหล่งน้ำธรรมชาติด้วยไคโตซานจากแกนหมึกกล้วยและไคโตซานเชิงพาณิชย์ โดยทำการทดลองแบบแบตช์ และการประยุกต์ใช้งานจริง สามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

1. จากการศึกษาผลของปัจจัยต่างๆที่มีต่อการดูดซับแทนนินในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยไคโตซานจากแกนหมึกกล้วยและไคโตซานเชิงพาณิชย์ พบว่า ในสภาวะที่เหมาะสม คือ พีเอช 6 ความเร็วรอบการเขย่า 50 รอบ/นาที ระยะเวลาเขย่า 10 นาที ระยะเวลาเข้าสู่ภาวะสมดุล 30 นาที ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานแทนนิน 20 มิลลิกรัมต่อลิตร ไคโตซานจากแกนหมึกกล้วยและไคโตซานเชิงพาณิชย์ ปริมาณ 1.0 กรัม สามารถดูดซับแทนนินได้ร้อยละ 91.27 และ 87.09 (คิดเป็น 0.9127 และ 0.8709 มิลลิกรัมต่อกรัมไคโตซาน) ตามลำดับ

2. ผลของการศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับแทนนินในน้ำทิ้งจากบริษัท ไทยเอเชีย แปซิฟิค บรีวเวอรี จำกัด โดยทำการทดลองแบบแบตช์ด้วยสภาวะที่ได้จากการศึกษา พบว่า ไคโตซานจากแกนหมึกกล้วยและไคโตซานเชิงพาณิชย์สามารถดูดซับแทนนินได้ร้อยละ 77.29 และ 67.48 (คิดเป็น 0.7729 และ 0.6748 มิลลิกรัมต่อกรัมไคโตซาน) ตามลำดับ

3. ผลของการศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับแทนนินในน้ำจากภู คลองมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ โดยทำการทดลองแบบแบตช์ด้วยสภาวะที่ได้จากการศึกษา พบว่า ไคโตซานจากแกนหมึกกล้วยและไคโตซานเชิงพาณิชย์สามารถดูดซับแทนนินได้ร้อยละ 59.71 และ 49.80 (คิดเป็น 0.5971 และ 0.4980 มิลลิกรัมต่อกรัมไคโตซาน) ตามลำดับ

4. ผลการศึกษาประสิทธิภาพการประยุกต์ใช้งานจริง พบว่า ไคโตซานจากแกนหมึกกล้วยและไคโตซานเชิงพาณิชย์สามารถดูดซับแทนนินในน้ำทิ้งจากบริษัท ไทยเอเชีย แปซิฟิค บรีวเวอรี จำกัด ได้ร้อยละ 80.39 และ 70.58 (คิดเป็น 0.8039 และ 0.7058 มิลลิกรัมต่อกรัมไคโตซาน) ตามลำดับ สำหรับผลของประสิทธิภาพการดูดซับมลสารต่างๆ สามารถดูดซับได้ ได้แก่ พีเอช บำบัดได้ร้อยละ 10.63 และ 10.63ตามลำดับ ของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำบำบัดได้ร้อยละ 16.19และ 15.54ตามลำดับ, ของแข็งแขวนลอยบำบัดได้ร้อยละ 72.09และ 65.11ตามลำดับ, ซีโอดีบำบัดได้ร้อยละ 87.95

และ 76.96 ตามลำดับ, ความชุ่มน้ำบับได้ร้อยละ 76.05 และ 60.3 ตามลำดับ, น้ำมันและไขมันบับได้ร้อยละ 52.74 และ 52.74 ตามลำดับ

5. ผลการศึกษาการฟื้นฟูสภาพไคโตซานทั้งสองชนิดหลังผ่านการใช้งาน พบว่าประสิทธิภาพการดูดซับแทนนินจะลดลงตามจำนวนครั้งของการฟื้นฟูสภาพ และอายุการใช้งานของไคโตซานในการดูดซับแทนนินจะมีประสิทธิภาพการดูดซับลดลง เมื่อจำนวนครั้งการใช้งานมากขึ้น โดยการใช้งานไคโตซานจากแกนหมึกกล้วยและไคโตซานเชิงพาณิชย์ มีประสิทธิภาพการดูดซับแทนนินลดลงครั้งหนึ่ง (42.18 และ 34.48 ตามลำดับ) จากประสิทธิภาพการดูดซับแทนนินครั้งแรก เมื่อใช้งานซ้ำ 9 และ 7 ครั้ง ตามลำดับ

6. ผลการศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับแทนนินด้วยไคโตซานจากแกนหมึกกล้วยและไคโตซานเชิงพาณิชย์พบว่าไคโตซานจากแกนหมึกกล้วยมีประสิทธิภาพการดูดซับดีกว่าเนื่องจากมีลักษณะทางกายภาพเป็นผงละเอียดมากกว่าทำให้มีพื้นที่ผิวสัมผัสมากกว่าจึงดูดซับได้มากกว่าไคโตซานเชิงพาณิชย์

7. ความคุ้มค่าของไคโตซานจากแกนหมึกกล้วยและไคโตซานเชิงพาณิชย์ในการบำบัดน้ำเชิงเศรษฐศาสตร์ พบว่า จากการทดลองใช้ไคโตซานจากแกนหมึกกล้วยและไคโตซานเชิงพาณิชย์ ชนิดละ 2,000 กรัม โดยไคโตซานจากแกนหมึกกล้วยที่สกัดเองมีต้นทุนในการสกัดกิโลกรัมละ 360 บาท และไคโตซานเชิงพาณิชย์ที่ซื้อจากโรงงานกิโลกรัมละ 500 บาท จะเห็นได้ว่าไคโตซานจากแกนหมึกกล้วยที่สกัดเองถูกกว่าไคโตซานเชิงพาณิชย์

ข้อเสนอแนะ

จากการทดลองในครั้งนี้ ทำให้ทราบข้อมูลบางอย่างเพื่อนำไปปรับปรุงงานทดลองครั้งต่อไป จึงเสนอแนะไว้ดังนี้เพื่อเป็นประโยชน์สำหรับผู้สนใจ ดังนี้

1. ควรมีการศึกษาความเป็นไปได้ในการนำวัสดุดูดซับชีวภาพชนิดอื่นมาทำการทดลองเพื่อให้ได้ประสิทธิภาพในการดูดซับแทนินที่ดีที่สุด เช่น เปลือกถั่ว กระจูดหมัก เปลือกกุ้ง ฯลฯ
2. ควรมีการศึกษาลักษณะทางเคมีและกายภาพของตัวดูดซับทั้ง 2 ชนิด ได้แก่ ไคโตซานจากแกนหมักกล้วยและไคโตซานเชิงพาณิชย์ ก่อนนำมาใช้งานและหลังจากผ่านการใช้งานแล้ว
3. ควรมีการศึกษาวิธีการฟื้นฟูตัวดูดซับที่ผ่านการใช้งานแล้วด้วยวิธีการอื่นๆ เพื่อนำมาเปรียบเทียบประสิทธิภาพการดูดซับที่ดีที่สุดต่อไป

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

ขวัญใจ สุชินพงศ์พันธ์. 2539. การศึกษาวิธีการสกัดไลโคโทแซน. ปัญหาพิเศษปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

คณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม. 2537. การควบคุมดูแลระบบบำบัดน้ำเสีย. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ

ชวลิต สิทธิสมบัติ. 2539. **Aromatic Compounds**. ภาควิชาเภสัชเวท คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร, กรุงเทพฯ

ชุดิมา คู่สมุทร และรัตน มหาชัย. 2534. แทนนินและลิกนินจากโรงงานผลิตเยื่อกระดาษฟีนิกซ์ จังหวัดขอนแก่น. รายงานผลการวิจัยในการประชุมทางวิชาการครั้งที่ 29 วันที่ 4 - 7 กุมภาพันธ์ 2534. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ประสาทร บริสุทธิ์เพชร. 2546. ผลของกรดแทนนิกในระดับความเป็นพิษกึ่งเรื้อรังต่อเหงือก ลำไส้ ตับ และไต ของปลานิล *Oreochromis niloticus* (L.). วารสารวิจัย มข. (ฉบับบัณฑิตศึกษา)

เบญจมาศ ไพบูลย์กิจกุล. 2550. เอกสารประกอบการเรียนการสอน เทคนิคการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ. คณะเทคโนโลยีทางทะเล มหาวิทยาลัยบูรพา, จันทบุรี.

ปรียวรรณ ใจคุ้มเก่าและ แวนแก้ว พันธุโพธิ์. 2543. ได้ทำการศึกษาวิจัยเรื่อง ศึกษาและสกัดไลโคซานจากแกนหมึกเพื่อใช้ดูดซับโลหะหนัก Cu^{2+} , Fe^{2+} . ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ สถาบันราชภัฏมหาสารคาม, มหาสารคาม.

นาถ ภูวงศ์ผา. 2543. การศึกษาพฤติกรรมการดูดซับของแทนนิน-ลิกนินด้วยวัสดุดูดซับถั่วแกลบ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ขอนแก่น.

นิพนธ์ ตั้งคณาภิรักษ์และคณิดา ตั้งคณาภิรักษ์. 2550. **นํ้าหลักการการตรวจวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี**. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

พัฒน์นํ้า วงศ์วิวัฒน์. 2545. **การสกัดไคติน-ไคโตซานจากเปลือกหอย**. ปัญหาพิเศษปริญญาตรี , มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ศิริณา ชลสรานนท์. 2544. **การสกัดไคโตซานจากเปลือกกุ้ง**. ปัญหาพิเศษปริญญาตรี, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สุวรงค์ วงษ์ศิริ. 2536. **การสกัดสารแทนนินจากเปลือกเงาะ**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

Anonymoys. **Hydrolyzed Tannins: Gallotannins. Structure**. Available at: <http://www.chm.bris.ac.uk>, April 20 2007.

Knorr, D. 1982. Functional properties of chitin and chitosan. **Journal Food Science**. 47 : 593-595.

_____. 1984. Use of chitinous polymers in food. **Food Technology**. 38 : 85-97.

Merck. 1996. **The Merck Index. An Encyclopedia of Chemicals, Drugs, and Biologicals**. 12th ed. Budavari S. editor. Merck Laboratories. Whitehouse Station, New Jersey.

Okuyama, K., K. Noguchi, M. Kanenari, T. Egawa, K. Osawa and K. Ogawa. 2000. Structural diversity of chitosan and its complexes. **Carbohydrate Polymers**. 41 : 237-247.

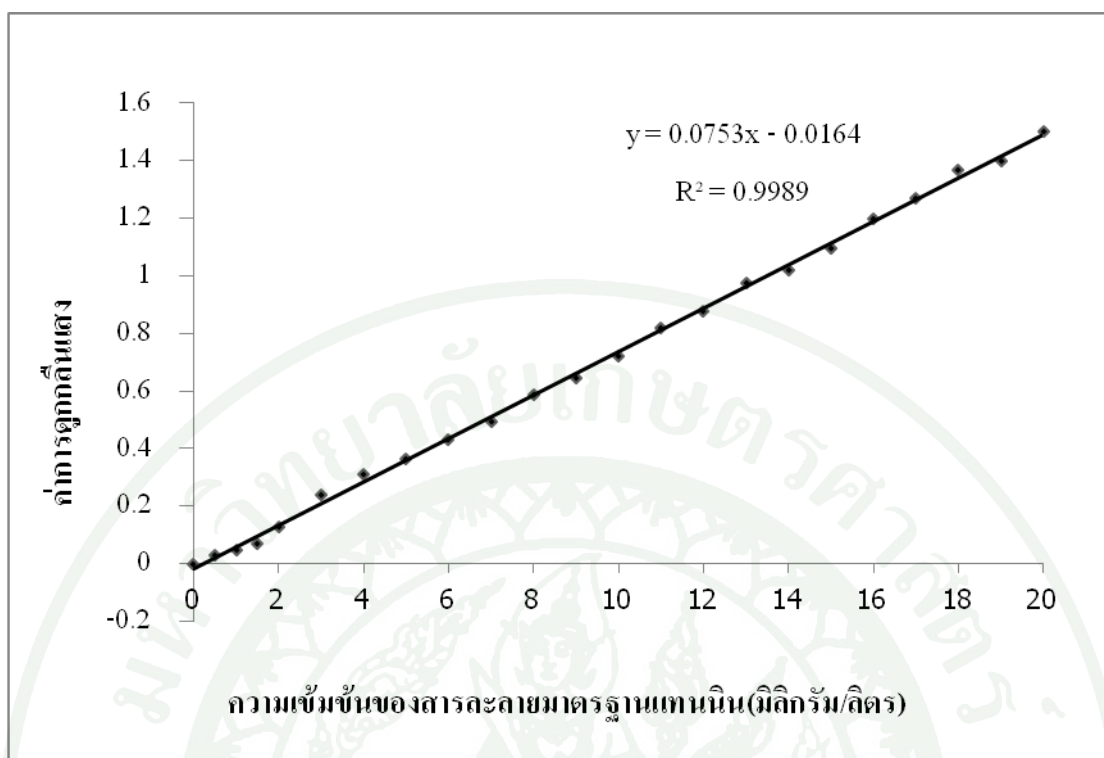




ผลการทดลอง

ตารางผนวกที่ 1 อิทธิพลของค่าการดูดกลืนแสง (Absorbance) กับความเข้มข้นสารละลาย
มาตรฐานแทนนิน (มิลลิกรัมต่อลิตร) ที่ความยาวคลื่น 700 นาโนเมตร

ความเข้มข้นสารละลายมาตรฐานแทนนิน (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ค่าดูดกลืนแสง (Absorbance)
0.5	0.029
1.0	0.049
1.5	0.070
2.0	0.127
3.0	0.241
4.0	0.310
5.0	0.362
6.0	0.431
7.0	0.494
8.0	0.588
9.0	0.646
10.0	0.720
11.0	0.820
12.0	0.875
13.0	0.975
14.0	1.022
15.0	1.094
16.0	1.199
17.0	1.270
18.0	1.366
19.0	1.400
20.0	1.502



ภาพผนวกที่ 1 กราฟมาตรฐานแสดงอิทธิพลของค่าการดูดกลืนแสง (Absorbance) กับความเข้มข้นสารละลายมาตรฐานแทนนิน (มิลลิกรัมต่อลิตร) ที่ความยาวคลื่น 700 นาโนเมตร

ตารางผนวกที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับแทนนินของปริมาณโคโคซานจากแกนหมึกกล้วย

ปริมาณโคโคซาน (กรัม)	ความเข้มข้นที่เหลือ (มิลลิกรัม/ลิตร)			ค่าเฉลี่ย	±S.D.	ร้อยละการดูดซับ
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3			
0.5	4.30	4.59	4.38	4.42	0.149778	77.91
1.0	2.96	2.90	3.02	2.96	0.06	85.22
1.5	2.75	2.80	2.86	2.80	0.06	85.94
2.0	2.50	2.61	2.61	2.57	0.06	87.09
2.5	3.00	2.96	2.93	2.96	0.04	85.22
3.0	3.01	3.17	3.08	3.087	0.08	84.58

ตารางผนวกที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับแทนนินของไคโตซานเชิงพาณิชย์

ปริมาณไคโต ซาน (กรัม)	ความเข้มข้นที่เหลือ (มิลลิกรัม/ลิตร)			ค่าเฉลี่ย	±S.D.	ร้อยละการ ดูดซับ
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3			
0.5	5.61	5.55	5.58	5.58	0.03	72.37
1.0	5.13	5.13	5.19	5.15	0.03	74.03
1.5	5.19	5.26	5.26	5.23	0.04	73.78
2.0	5.33	5.30	5.30	5.31	0.02	73.44
2.5	5.42	5.39	5.45	5.42	0.03	72.90
3.0	5.49	5.55	5.53	5.52	0.03	72.37

ตารางผนวกที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับแทนนินของไคโตซานจากแกนหมึกกล้วยและ
ค่าพีเอช

ค่าพีเอช	ความเข้มข้นที่เหลือ (มิลลิกรัม/ลิตร)			ค่าเฉลี่ย	±S.D.	ร้อยละการ ดูดซับ
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3			
6	2.37	2.37	2.41	2.38	0.02	87.95
7	2.88	2.73	2.66	2.76	0.11	86.25
8	3.19	3.13	3.27	3.20	0.07	84.04
9	4.75	4.84	4.88	4.82	0.07	75.91

ตารางผนวกที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับแทนนินของไคโตซานเชิงพาณิชย์และ
ค่าพีเอช

ค่าพีเอช	ความเข้มข้นที่เหลือ (มิลลิกรัม/ลิตร)			ค่าเฉลี่ย	±S.D.	ร้อยละการ ดูดซับ
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3			
6	4.63	4.58	4.61	4.60	0.03	76.96
7	5.37	5.19	5.26	5.27	0.09	73.70
8	5.8	5.75	5.79	5.78	0.03	71.10
9	11.32	11.25	11.29	11.29	0.04	43.61

ตารางผนวกที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับแทนนินของไคโตซานจากแกนหมึกกล้วย และความเร็วยรอบการเขย่า

ความเร็วยรอบ การเขย่า (รอบ/นาที)	ความเข้มข้นที่เหลือ (มิลลิกรัม/ลิตร)			ค่าเฉลี่ย	±S.D.	ร้อยละการ ดูดซับ
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3			
0	3.92	3.83	3.83	3.86	0.05	80.59
50	2.02	1.99	2.02	2.01	0.01	89.26
100	2.40	2.43	2.37	2.40	0.03	87.85
150	2.51	2.43	2.58	2.51	0.07	86.75
200	2.76	2.80	2.62	2.73	0.09	86.30

ตารางผนวกที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับแทนนินของไคโตซานเชิงพาณิชย์และความเร็วยรอบการเขย่า

ความเร็วยรอบ การเขย่า (รอบ/นาที)	ความเข้มข้นที่เหลือ (มิลลิกรัม/ลิตร)			ค่าเฉลี่ย	±S.D.	ร้อยละการ ดูดซับ
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3			
0	6.17	6.45	6.51	6.38	0.2	67.77
50	4.52	4.58	4.53	4.54	0.03	77.27
100	4.98	4.98	5.05	5.00	0.04	74.95
150	5.05	5.07	5.10	5.07	0.03	74.62
200	5.37	5.48	5.42	5.42	0.06	72.28

ตารางผนวกที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับแทนนินของไคโตซานจากแกนหมึกกล้วยและ
ระยะเวลาแช่

ระยะเวลาแช่ (นาทีก)	ความเข้มข้นที่เหลือ (มิลลิกรัม/ลิตร)			ค่าเฉลี่ย	±S.D.	ร้อยละการ ดูดซับ
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3			
0	4.14	4.2	4.2	4.18	0.03	79.04
10	1.88	1.91	1.91	1.90	0.02	90.51
30	1.95	1.92	1.92	1.93	0.02	90.30
60	1.98	1.98	1.96	1.97	0.02	90.07
90	2.01	2.01	2.01	2.01	0.00	89.94
120	2.04	1.92	2.08	2.01	0.08	89.97

ตารางผนวกที่ 9 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับแทนนินของไคโตซานเชิงพาณิชย์และ
ระยะเวลาแช่

ระยะเวลาแช่ (นาทีก)	ความเข้มข้นที่เหลือ (มิลลิกรัม/ลิตร)			ค่าเฉลี่ย	±S.D.	ร้อยละการ ดูดซับ
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3			
0	6.06	6	6	6.02	0.03	69.81
10	4.6	4.51	4.56	4.56	0.05	77.20
30	4.62	4.52	4.55	4.56	0.05	77.14
60	4.63	4.58	4.61	4.61	0.03	76.94
90	4.63	4.62	4.63	4.63	0.01	76.81
120	4.62	4.65	4.68	4.65	0.03	76.74

ตารางผนวกที่ 10 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับแทนนินของไคโตซานจากแกนหมึกกล้วยและระยะเวลาเข้าสู่สภาวะสมดุล

ระยะเวลาเข้าสู่สภาวะสมดุล (นาทีก)	ความเข้มข้นที่เหลือ (มิลลิกรัม/ลิตร)			ค่าเฉลี่ย	±S.D.	ร้อยละการดูดซับ
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3			
0	4.6	4.6	4.51	4.57	0.05	79.73
10	3.47	3.47	3.48	3.47	0.01	84.66
30	2.17	2.16	2.15	2.16	0.01	89.20
60	2.31	2.19	2.25	2.25	0.06	88.80
90	2.33	2.31	2.53	2.39	0.12	88.53
120	2.33	2.4	2.49	2.41	0.08	88.40

ตารางผนวกที่ 11 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับแทนนินของไคโตซานเชิงพาณิชย์และระยะเวลาเข้าสู่สภาวะสมดุล

ระยะเวลาเข้าสู่สภาวะสมดุล (นาทีก)	ความเข้มข้นที่เหลือ (มิลลิกรัม/ลิตร)			ค่าเฉลี่ย	±S.D.	ร้อยละการดูดซับ
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3			
0	6.03	6.03	6.18	6.08	0.09	69.61
10	4.99	5.05	4.97	5.00	0.04	74.63
30	4.52	4.6	4.6	4.57	0.05	77.15
60	4.6	4.52	4.6	4.57	0.05	76.99
90	4.52	4.39	4.37	4.43	0.08	76.70
120	4.52	4.6	4.6	4.57	0.05	76.49

ตารางผนวกที่ 12 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับแทนนินของไคโตซานจากแกนหมึกกล้วย และความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานแทนนิน

ความเข้มข้นของ สารละลาย มาตรฐานแทนนิน (มิลลิกรัม/ลิตร)	ความเข้มข้นที่เหลือ (มิลลิกรัม/ ลิตร)			ค่าเฉลี่ย	±S.D.	ร้อยละ การดูดซับ
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3			
10	2.97	2.97	2.94	2.96	0.02	85.22
20	1.75	1.75	1.81	1.77	0.03	90.72
30	4.59	4.59	4.64	4.61	0.03	77.03
40	6.11	6.13	6.11	6.12	0.01	69.44
50	9.09	9.09	9.09	9.09	0.00	54.53

ตารางผนวกที่ 13 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับแทนนินของไคโตซานเชิงพาณิชย์และความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานแทนนิน

ความเข้มข้นของ สารละลาย มาตรฐานแทนนิน (มิลลิกรัม/ลิตร)	ความเข้มข้นที่เหลือ (มิลลิกรัม/ ลิตร)			ค่าเฉลี่ย	±S.D.	ร้อยละ การดูดซับ
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3			
10	6	5.98	5.95	5.98	0.03	70.10
20	4.55	4.53	4.58	4.55	0.03	77.23
30	7.42	7.39	7.44	7.42	0.03	62.91
40	8.95	8.95	8.95	8.95	0.00	55.26
50	11.93	11.94	11.96	11.95	0.02	40.27

ตารางผนวกที่ 14 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับแทนนินของไคโตซานจากแกนหมึกกล้วยและปริมาณไคโตซาน

ปริมาณไคโตซาน (กรัม)	ความเข้มข้นที่เหลือ (มิลลิกรัม/ลิตร)			ค่าเฉลี่ย	±S.D.	ร้อยละการดูดซับ
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3			
0.5	6.02	6.02	6	6.01	0.01	69.90
1.0	1.94	1.91	1.98	1.94	0.04	90.00
1.5	1.45	1.3	1.37	1.37	0.08	91.12
2.0	1.41	1.42	1.41	1.41	0.01	91.27
2.5	2.01	2.05	2.04	2.03	0.02	89.82
3.0	2.07	2.07	2.04	2.06	0.02	89.73

ตารางผนวกที่ 15 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับแทนนินของไคโตซานเชิงพาณิชย์และปริมาณไคโตซาน

ปริมาณไคโตซาน (กรัม)	ความเข้มข้นที่เหลือ (มิลลิกรัม/ลิตร)			ค่าเฉลี่ย	±S.D.	ร้อยละการดูดซับ
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3			
0.5	6.59	6.8	6.7	6.69	0.11	66.44
1.0	4.26	4.26	4.19	4.24	0.04	78.76
1.5	4.35	4.27	4.26	4.29	0.05	78.50
2.0	4.22	4.41	4.26	4.30	0.10	78.50
2.5	4.05	3.86	4.13	4.01	0.14	77.82
3.0	4.19	4.26	4.34	4.26	0.08	77.49

ตารางผนวกที่ 16 ประสิทธิภาพการดูดซับแทนนินในน้ำทิ้งจากบริษัท ไทยเอเชีย แปซิฟิค บรีวเวอรี่ จำกัด ด้วยไคโตซานจากแกนหมึกกล้วยและไคโตซานเชิงพาณิชย์ ทำการทดลองแบบเบตซ์

ครั้งที่	ไคโตซานจากแกนหมึกกล้วย			ไคโตซานเชิงพาณิชย์		
	ก่อน	หลัง	ร้อยละการดูดซับ	ก่อน	หลัง	ร้อยละการดูดซับ
1	8.33	2.17	77.45	8.33	3.12	67.64
2	8.33	2.20	77.12	8.33	3.15	67.32
3	8.33	2.20	77.12	8.33	3.15	67.32
4	8.33	2.18	77.29	8.33	3.13	67.48
5	8.33	2.20	77.12	8.33	3.15	67.32
6	8.33	2.16	77.64	8.33	3.10	67.32
7	8.33	2.18	77.29	8.33	3.13	67.48
ค่าเฉลี่ย	8.33	2.18	77.29	8.33	3.13	67.48
±S.D.	0.00	0.001	0.22	0.00	0.001	0.21

ประวัติการศึกษาและการทำงาน

ชื่อ –นามสกุล	นริรัตน์ ศรีภักดี
วัน เดือน ปี ที่เกิด	วันที่ 30 พฤศจิกายน 2529
สถานที่เกิด	อำเภอท่าแซะ จังหวัดชุมพร
ประวัติการศึกษา	วิทยาศาสตรบัณฑิต (วิทยาศาสตรการประมง) สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	-
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	-
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	บริษัท ไทยเอเชีย แปซิฟิค บริวเวอรี่ จำกัด ผ่าน โครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อม ผักเป็ดอันเนื่องมาจากพระราชดำริ