



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

ประสิทธิภาพของซีโอไลต์และผงถ่านกัมมันต์ร่วมกับไฮโดรเจลคอมโพสิต
ของอัลจินตเพื่อการกำจัดไนโตรเจนในน้ำในการขนส่งปลาสวยงาม
Efficiency of zeolite (Clinoptilolite) and activated carbon with
composite hydrogel of alginate for nitrogen removal in
ornamental fish transportation

ผู้วิจัย

ดร. ปิยะพร ณ หนองคาย

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. จริยวดี สุริยพันธุ์

โครงการวิจัยประเภทงบประมาณเงินรายได้

จากส่วนงาน (คณะวิทยาศาสตร์)

ประจำปี พ.ศ. ๒๕๖๒

มหาวิทยาลัยบูรพา

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

ประสิทธิภาพของซีโอไลต์และผงถ่านกัมมันต์ร่วมกับไฮโดรเจลคอมโพสิต
ของอัลจินตเพื่อการกำจัดไนโตรเจนในน้ำในการขนส่งปลาสวยงาม
Efficiency of zeolite (Clinoptilolite) and activated carbon with
composite hydrogel of alginate for nitrogen removal in
ornamental fish transportation

หัวหน้าโครงการ

ดร. ปิยะพร ณ หนองคาย

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

ผู้ร่วมวิจัย

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. จริยวดี สุริยพันธุ์

ภาควิชาวาริชศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากงบประมาณเงินรายได้จากส่วนงาน
(คณะวิทยาศาสตร์) ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. ๒๕๖๒ มหาวิทยาลัยบูรพา เลขที่สัญญา
SC ๐๙/๒๕๖๒

ผู้วิจัย

สิงหาคม ๒๕๖๓

บทคัดย่อ

การเปรียบเทียบการดูดซับของเสียไนโตรเจนของเม็ดอัลจินตไฮโดรเจลที่ขึ้นรูปร่วมกับ ถ่านกัมมันต์ และซีโอไลต์ในระดับความเข้มข้นต่างกัน อัลจินตไฮโดรเจลที่ขึ้นรูปร่วมกับถ่านกัมมันต์ และซีโอไลต์ ที่ระดับความเข้มข้น 0% 5% 10% 25% และ 50% โดยแต่ละการทดลองใช้เม็ด อัลจินต 2 กรัม / ลิตร และตรวจสอบการดูดซับไนโตรเจนที่เวลา 1, 1.30 และ 2 ชั่วโมง ผลการวิจัย พบว่าถ่านกัมมันต์ที่มีความเข้มข้น 50% มีประสิทธิภาพสูงสุดในการดูดซับแอมโมเนียรวม ไนโตรท์ และไนเตรทในน้ำ ในขณะที่ซีโอไลต์ 50% และ 25% ที่ขึ้นรูปร่วมกับอัลจินตไฮโดรเจล มี ประสิทธิภาพสูงสุดในการดูดซับแอมโมเนียรวม และไนโตรท์ ในขณะที่ 5% ของซีโอไลต์ดีที่สุดสำหรับการ ดูดซับไนเตรท จากนั้นทดลองใช้เม็ดอัลจินตไฮโดรเจลที่ขึ้นรูปด้วยผงถ่านกัมมันต์ และซีโอไลต์ ที่ ความเข้มข้น 25% ขนาด 2 กรัมในการขนส่งปลาหางนกยูง และปลาทอง ปลาจะบรรจุในถุงพลาสติก และขนส่งเป็นเวลา 2 ชั่วโมง ที่ความหนาแน่น 50 ตัว และ 3 ตัว ต่อ น้ำ 1 ลิตร ตามลำดับ หลังจาก การขนส่ง ปลาจะถูกปล่อยไว้ในแทงน้ำขนาด 50 ลิตร เป็นเวลา 7 วัน ปริมาณแอมโมเนีย ไนโตรท์ และไนเตรท ลดลงหลังจากใช้เม็ดอัลจินตไฮโดรเจลที่ขึ้นรูปด้วยผงถ่านกัมมันต์ และซีโอไลต์ อัตรา การรอดตายของปลาในกลุ่มควบคุมต่ำกว่าในกลุ่มทดลอง การศึกษาครั้งนี้สรุปได้ว่าเม็ดอัลจินตไฮโดร เจลที่ขึ้นรูปด้วยผงถ่านกัมมันต์ และซีโอไลต์สามารถใช้ในการขนส่งปลาสวยงามได้

คำสำคัญ : ซีโอไลต์, ผงถ่านกัมมันต์, ไฮโดรเจลคอมโพสิตของอัลจินต, การขนส่งปลาสวยงาม

Abstract

The comparison of nitrogen absorption of alginate hydrogel granules forming with activated carbon and zeolite in different concentration. The alginate were forming with activated carbon and zeolite in 0% 5% 10% 25% and 50%. Each experiment were used 2 grams/l and determine nitrogen absorption for 1, 1.30 and 2 hours. The result showed that 50% concentration of activated carbon was highest efficiency for absorb total ammonia nitrite and nitrate. While 50% and 25% of zeolite that forming with alginate hydrogel were highest efficiency for total ammonia and nitrite absorption. While 5% of zeolite was the best for nitrate absorption. The 2 grams of 25% of alginate were forming with activated carbon and zeolite were used for guppy (*Poecilia reticulata*) and goldfish (*Carassius auratus*) transportation. Fishes were packed in sealed plastic bags and transported for 2 hours at densities 50 and 3 inds/m³, respectively. After transportation, fishes from each density were kept in separate 50 L tanks for 7 days. The pH and temperature were not significantly difference after transportation. While, Amonia Nitrite and Nitrate concentration were decreased after use formed alginate with activated carbon and zeolite. The survival rate of control fishes was lower than treatment. Our results indicate that the formed alginate with activated carbon and zeolite can used for fish transportation.

Keywords: zeolite (Clinoptilolite), activated carbon, composite hydrogel of alginate, ornamental fish transportation

สารบัญ

	หน้า
หน้าปกใน	
กิตติกรรมประกาศ	ข
บทคัดย่อภาษาไทย	ค
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ง
สารบัญ	จ
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญภาพ	ณ
บทที่ 1 บทนำ	
- ความเป็นมาและความสำคัญของการวิจัย	1
- วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย	2
- ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
- ขอบเขตของโครงการวิจัย	2
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
บทที่ 3 วิธีการศึกษา	18
บทที่ 4 ผลการศึกษา	24
บทที่ 5 วิจัยรณผลการศึกษา และสรุปผลการศึกษา	44
บรรณานุกรม	47
ภาคผนวก	51

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2 - 1	การจำแนกชนิดของซีโอไลต์ตามขนาดของรูพรุน	8
2 - 2	การจำแนกชนิดของซีโอไลต์ตามปริมาณของซิลิกา	9
2 - 3	ระดับความเข้มข้นของแอมโมเนียอิสระที่ส่งผลกระทบต่อสัตว์น้ำ	14
3 - 1	ปริมาณสารที่ใช้ในการขึ้นรูปเม็ดอัลจินเตไฮโดรเจลร่วมกับผงถ่านกัมมันต์ที่ระดับ ความเข้มข้นต่าง ๆ	19
3 - 2	ปริมาณสารที่ใช้ในการขึ้นรูปเม็ดอัลจินเตอัลจินเตไฮโดรเจลร่วมกับซีโอไลต์ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ	20
3 - 3	ชุดการทดลองที่ 1 เม็ดอัลจินเตที่ขึ้นรูปร่วมกับผงถ่านกัมมันต์	22
3 - 4	ชุดการทดลองที่ 2 เม็ดอัลจินเตที่ขึ้นรูปร่วมกับซีโอไลต์	22
4 - 1	พีเอชในน้ำที่ใส่เม็ดอัลจินเตไฮโดรเจลที่ขึ้นรูปร่วมกับผงถ่านกัมมันต์ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ	24
4 - 2	อุณหภูมิของน้ำที่ใส่เม็ดอัลจินเตไฮโดรเจลที่ขึ้นรูปร่วมกับผงถ่านกัมมันต์ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ	25
4 - 3	ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำที่ใส่เม็ดอัลจินเตไฮโดรเจลที่ขึ้นรูปร่วมกับผงถ่านกัมมันต์ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ	26
4 - 4	การบวมตัวของเม็ดอัลจินเตไฮโดรเจลที่ขึ้นรูปร่วมกับผงถ่านกัมมันต์ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ	26
4 - 5	ประสิทธิภาพการดูดซับแอมโมเนียรวมในน้ำของเม็ดอัลจินเตไฮโดรเจลที่ขึ้นรูปร่วมกับผงถ่านกัมมันต์ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ	27
4 - 6	ประสิทธิภาพการดูดซับไนโตรเจนในน้ำของเม็ดอัลจินเตไฮโดรเจลที่ขึ้นรูปร่วมกับผงถ่านกัมมันต์ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ	28
4 - 7	ประสิทธิภาพการดูดซับไนเตรทในน้ำของเม็ดอัลจินเตไฮโดรเจลที่ขึ้นรูปร่วมกับผงถ่านกัมมันต์ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ	28
4 - 8	พีเอชในน้ำที่ใส่เม็ดอัลจินเตไฮโดรเจลที่ขึ้นรูปร่วมกับซีโอไลต์ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ	29

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
4 - 9	อุณหภูมิของน้ำที่ใส่เม็ดอัลจินเตไฮโดรเจลที่ขึ้นรูปร่วมกับซีโอไลต์ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ	30
4 - 10	ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำที่ใส่เม็ดอัลจินเตไฮโดรเจลที่ขึ้นรูปร่วมกับซีโอไลต์ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ	30
4 - 11	การบวมตัวของเม็ดอัลจินเตไฮโดรเจลที่ขึ้นรูปร่วมกับซีโอไลต์ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ	31
4 - 12	ประสิทธิภาพการดูดซับแอมโมเนียรวมในน้ำของเม็ดอัลจินเตไฮโดรเจลที่ขึ้นรูปร่วมกับซีโอไลต์ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ	32
4 - 13	ประสิทธิภาพการดูดซับไนโตรเจนในน้ำของเม็ดอัลจินเตไฮโดรเจลที่ขึ้นรูปร่วมกับซีโอไลต์ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ	32
4 - 14	ประสิทธิภาพการดูดซับไนเตรทในน้ำของเม็ดอัลจินเตไฮโดรเจลที่ขึ้นรูปร่วมกับซีโอไลต์ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ	33
4 - 15	ประสิทธิภาพการดูดซับแอมโมเนียรวม ไนโตรเจน และไนเตรทในน้ำของเม็ดอัลจินเตไฮโดรเจลที่ขึ้นรูปร่วมกับผงถ่านกัมมันต์ และเม็ดอัลจินเตไฮโดรเจลที่ขึ้นรูปร่วมกับซีโอไลต์ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ	34
4 - 16	คุณภาพน้ำในการขนส่งปลาหางนกยูง และน้ำหนักของเม็ดอัลจินเตไฮโดรเจลที่ขึ้นรูปร่วมกับผงถ่านกัมมันต์	36
4 - 17	ประสิทธิภาพการดูดซับของเม็ดอัลจินเตไฮโดรเจลที่ขึ้นรูปร่วมกับผงถ่านกัมมันต์ในการขนส่งปลาหางนกยูง	37
4 - 18	คุณภาพน้ำในการขนส่งปลาหางนกยูง และน้ำหนักของเม็ดอัลจินเตไฮโดรเจลที่ขึ้นรูปร่วมกับซีโอไลต์	38
4 - 19	ประสิทธิภาพการดูดซับของเม็ดอัลจินเตไฮโดรเจลที่ขึ้นรูปร่วมกับซีโอไลต์ในการขนส่งปลาหางนกยูง	38
4 - 20	คุณภาพน้ำในการขนส่งปลาทอง และน้ำหนักของเม็ดอัลจินเตไฮโดรเจลที่ขึ้นรูปร่วมกับผงถ่านกัมมันต์	40

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
4 - 21	ประสิทธิภาพการดูดซับของเม็ดอัลจิเนตไฮโดรเจลที่ขึ้นรูปร่วมกับผงถ่านกัมมันต์ในการขนส่งปลาทอง	40
4 - 22	คุณภาพน้ำในการขนส่งปลาทอง และน้ำหนักของเม็ดอัลจิเนตไฮโดรเจลที่ขึ้นรูปร่วมกับซีโอไลต์	42
4 - 23	ประสิทธิภาพการดูดซับของเม็ดอัลจิเนตไฮโดรเจลที่ขึ้นรูปร่วมกับซีโอไลต์ในการขนส่งปลาทอง	42
4 - 24	อัตราการรอดตายของปลาหางนกยูงและปลาทองหลังการขนส่ง 7 วัน	43
ตารางภาคผนวกที่		
2 - 1	ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานแอมโมเนีย	56
2 - 2	ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานไนไตรท์	58
2 - 3	ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานไนเตรท	60

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
2 - 1	การเปลี่ยนแปลงของสายโซ่พอลิเมอร์เมื่อเกิดการพองตัวโดยการแพร่ผ่านของโมเลกุลน้ำเข้าไปภายในโครงสร้างของไฮโดรเจล	3
2 - 2	โครงสร้างของอัลจินต (a) คือ 1,4- β -D-manuronic acid (M) และ 1,4- α -L-guluronic acid (G) (b) คือ homopolymeric regions ของ G และ M และ (c) คือ MG-blocks	4
2 - 3	กลไกการเกิดเจลของ calcium alginate (Egg-box model)	5
2 - 4	การเตรียม Fish Gelatin/Imogolite Nanofiber Composite Hydrogel	5
2 - 5	การเตรียม Graphene oxide-based composite hydrogels	6
2 - 6	Silver-based composite hydrogels สำหรับการกำจัดสีย้อม	6
2 - 7	ภาพถ่าย SEM และแบบจำลองโครงสร้างภายในของถ่านกัมมันต์	7
2 - 8	โครงสร้างทุติยภูมิของซีโอไลต์	8
3 - 1	วิธีการขึ้นรูปเม็ดอัลจินตร่วมกับผงถ่านกัมมันต์ : a คือ ชั่งอัลจินตและผงถ่าน; b คือ ให้ความร้อนพร้อมกวนสาร; c คือ เตรียมสารละลายแคลเซียมคลอไรด์และกรดอะซิติก; d คือ หยดเม็ดอัลจินต; e คือ ล้างเม็ดอัลจินต; f คือ วางเม็ดอัลจินตลงในจานเพาะเชื้อ	21
4 - 1	อัตราการรอดตายของปลาหางนกยูงหลังการขนส่ง 7 วัน	43
4 - 2	อัตราการรอดตายของปลาทองหลังการขนส่ง 7 วัน	43
ภาพภาคผนวกที่		
1 - 1	ลักษณะเม็ดอัลจินตไฮโดรเจลที่ขึ้นรูปพร้อมกับผงถ่านกัมมันต์ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ลักษณะเม็ดแห้งหลังอบ (dry) และลักษณะเม็ดหลังการบวมตัว (swollen)	52
1 - 2	ลักษณะของเม็ดอัลจินตไฮโดรเจลที่ขึ้นรูปพร้อมกับซีโอไลต์ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ลักษณะเม็ดแห้งหลังอบ (dry) และลักษณะเม็ดหลังการบวมตัว (swollen)	53
1 - 3	เม็ดอัลจินตไฮโดรเจลที่ขึ้นรูปพร้อมกับผงถ่านกัมมันต์และเม็ดอัลจินตไฮโดรเจลที่ขึ้นรูปพร้อมกับซีโอไลต์ ในการขนส่งปลาสวยงาม ลักษณะเม็ดแห้งหลังอบ (dry) และลักษณะเม็ดหลังการบวมตัว (swollen)	54

บทที่ 1

บทนำ

การเพาะเลี้ยงปลาสวยงามของประเทศไทยมีการขยายตัวอย่างต่อเนื่อง กระบวนการขนส่งปลานับเป็นขั้นตอนที่มีความสำคัญเนื่องจากเกี่ยวข้องกับทั้งในเรื่องต้นทุนในการขนส่งและการรักษาคุณภาพของปลาในระหว่างการขนส่งจากผู้ผลิตไปถึงมือลูกค้าปลายทางทั้งในประเทศและต่างประเทศ ระบบการขนส่งปลามีหลายรูปแบบหนึ่งในนั้นคือการขนส่งแบบบรรจุถุงซึ่งเป็นที่นิยมเนื่องจากเป็นวิธีการที่ง่ายและมีราคาถูก แต่ปัญหาส่วนใหญ่ที่เกิดขึ้นในการขนส่ง คือ อัตราการตายหรือการป่วยของปลาซึ่งมีสาเหตุหลักมาจากการเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำและสิ่งแวดล้อมในระหว่างการขนส่ง การเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำส่วนใหญ่เกิดจากการสะสมของเสียที่เกิดจากการขับถ่ายของปลาซึ่งจะมีปริมาณมากขึ้นเมื่อปลาอยู่ในสภาวะเครียดและในระบบการขนส่งด้วยภาชนะปิด ปริมาณแอมโมเนียที่เพิ่มสูงขึ้นนี้ส่งผลกระทบต่อปลาและเมื่อแอมโมเนียมีความเข้มข้นเกินกว่า 20 ppm จะทำให้ปลาตาย ดังนั้นในการขนส่งปลาจึงนิยมเติมสารเคมีลงในน้ำเพื่อลดอัตราการขับถ่าย หรือลดความเครียด เป็นต้น แต่อย่างไรก็ตามการใช้สารเคมีจะต้องมีการใช้อย่างระมัดระวังและมีกฎหมายควบคุมเพื่อป้องกันอันตรายที่อาจจะเกิดขึ้น

มีการศึกษาเกี่ยวกับการควบคุมคุณภาพน้ำในระหว่างการขนส่งปลาเพื่อเป็นการเพิ่มอัตราการรอดและการรักษาคุณภาพของปลาด้วยวิธีการต่าง ๆ เช่น การใช้สารละลายบัฟเฟอร์ (buffer) เพื่อควบคุมพีเอชของน้ำแต่วิธีการนี้ยังไม่มีการใช้กันแพร่หลายหรือการใช้วัสดุดูดซับ (adsorbent) ในการกำจัดแอมโมเนียที่เกิดขึ้นในน้ำ เช่น ซีโอไลต์ (zeolite) และถ่านกัมมันต์ (activated carbon) โดยอาศัยหลักการดูดซับ (adsorption) ซึ่งการเลือกวัสดุดูดซับที่จะนำมาใช้ต้องคำนึงถึงความปลอดภัยต่อปลา และต้องคำนึงถึงผลกระทบทางอ้อมจากน้ำทิ้งที่เกิดจากการขนส่งซึ่งมีปริมาณไนโตรเจน วัสดุดูดซับมีข้อดีคือ ไม่ทำให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเนื่องจากไม่ได้เป็นการเติมสารเคมีต่าง ๆ ลงในน้ำ นอกจากนี้ยังสามารถแยกวัสดุดูดซับออกจากน้ำและนำกลับมาใช้ใหม่ได้ซึ่งเป็นการช่วยลดต้นทุนในการบำบัดน้ำเสีย ตัวดูดซับทั้งถ่านกัมมันต์และซีโอไลต์มักจะใช้ในรูปแบบแผงแบบเกร็ด หรืออัดแท่งซึ่งยากต่อการแยกออก ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงสนใจศึกษาและพัฒนาการเตรียมวัสดุดูดซับแอมโมเนียจากอัลจินเตตซึ่งเป็นพอลิเมอร์ธรรมชาติร่วมกับการใช้ผงถ่านกัมมันต์และซีโอไลต์เพื่อประยุกต์ใช้ในการขนส่งปลาสวยงาม ทั้งยังสามารถรับประทานได้ ไม่เป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต (biocompatible) และสามารถย่อยสลายทางชีวภาพได้ (biodegradable) สามารถใช้ขึ้นรูปร่วมกับผงถ่านกัมมันต์และซีโอไลต์ เพื่อดูดซับแอมโมเนียซึ่งเป็นสารที่มีขี้ ซึ่งสามารถนำมาพัฒนาต่อยอดเป็นนวัตกรรมเพื่อใช้ในอุตสาหกรรมการเพาะเลี้ยงปลาสวยงามของประเทศไทยได้

วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพในการดูดซับไนโตรเจนในน้ำของซีโอไลต์ และผงถ่านกัมมันต์ที่ขึ้นรูปร่วมกับไฮโดรเจลคอมโพสิตของอัลจินตในห้องปฏิบัติการ
2. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพในการดูดซับไนโตรเจนในน้ำของซีโอไลต์ และผงถ่านกัมมันต์ที่ขึ้นรูปร่วมกับไฮโดรเจลคอมโพสิตของอัลจินตในการขนส่งปลาสวยงาม

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบถึงปริมาณและประสิทธิภาพในการดูดซับไนโตรเจนในน้ำที่เหมาะสมของซีโอไลต์ และผงถ่านกัมมันต์ร่วมกับไฮโดรเจลคอมโพสิตของอัลจินตในการขนส่งปลาสวยงาม
2. ลดความเครียดระหว่างการขนส่งปลาสวยงาม และเพิ่มอัตราการรอดตายหลังการขนส่ง

ขอบเขตของการวิจัย

ศึกษาประสิทธิภาพของเม็ดอัลจินตไฮโดรเจลที่ขึ้นรูปด้วยซีโอไลต์ ที่ระดับความเข้มข้น 0 5 10 25 และ 50 เปอร์เซ็นต์ และเม็ดอัลจินตไฮโดรเจลที่ขึ้นรูปด้วยผงถ่านกัมมันต์ที่ระดับความเข้มข้นเดียวกัน เพื่อหาระดับความเข้มข้นที่เหมาะสมที่สุดในการลดปริมาณแอมโมเนียรวม ไนโตรท์ และไนเตรทที่ละลายในน้ำ โดยแช่ลงในสารละลายตัวอย่างที่มีแอมโมเนียมคลอไรด์เข้มข้น 4.5 ไมโครโมลาร์ ปริมาตร 1 ลิตร จำนวน 3 ซ้ำ โดยใช้เวลา 1 1.30 และ 2 ชั่วโมง วิเคราะห์ปริมาณแอมโมเนียรวม ไนโตรท์ และไนเตรทที่ละลายในน้ำ รวมทั้งปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ ค่าพีเอช และอุณหภูมิ เพื่อวิเคราะห์หาความแตกต่างระหว่างชุดการทดลอง การทดลองที่ 2 เลือกรุ่นการทดลองที่ดีที่สุดเพื่อนำไปใช้ทดสอบการดูดซับในการขนส่งปลาสวยงามขนาดเล็กโดยแบ่งการทดลองออกเป็น 3 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มทดลองที่ไม่มีเม็ดอัลจินตไฮโดรเจล กลุ่มเม็ดอัลจินตไฮโดรเจลที่มีปริมาณผงถ่านกัมมันต์ และกลุ่มเม็ดอัลจินตไฮโดรเจลที่มีปริมาณซีโอไลต์ ใส่เม็ดอัลจินตอย่างละ 2 กรัม ทดลองกลุ่มละ 3 ซ้ำ ขนส่งโดยใช้เวลา 2 ชั่วโมง เก็บน้ำตัวอย่างก่อนขนส่งและหลังขนส่ง วิเคราะห์ปริมาณแอมโมเนีย ไนโตรท์ ไนเตรทในน้ำ รวมทั้งปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ ค่าพีเอช และอุณหภูมิ และประเมินอัตราการตายหลังการขนส่ง

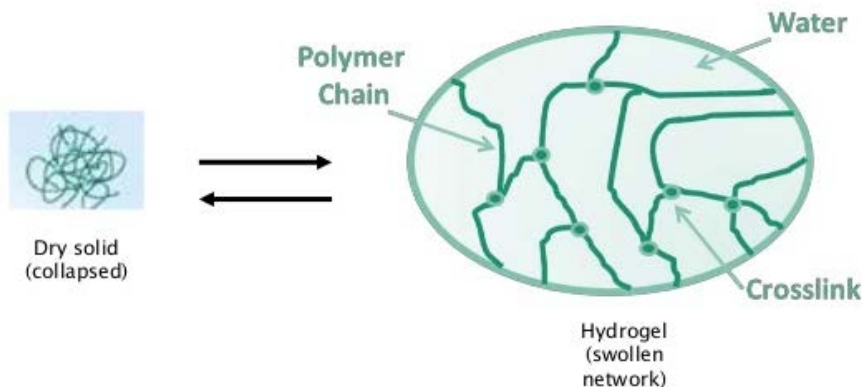
บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. อัลจินตไฮโดรเจล (Alginate hydrogel)

ไฮโดรเจลเกิดจากพอลิเมอร์ชนิดชอบน้ำ หรือไฮโดรฟิลิกพอลิเมอร์เกิดการเชื่อมโยงระหว่างโมเลกุล (crosslink) ด้วยพันธะโคเวเลนต์พันธะไอออนิกพันธะไฮโดรเจน หรืออันตรกิริยาระหว่างหมู่ต่าง ๆ ในสายโซ่เกิดเป็นลักษณะคล้ายโครงร่างตาข่ายสามมิติจึงทำให้ไม่เกิดการละลายน้ำแต่จะสามารถดูดซับน้ำไว้ได้ ความสามารถในการบวมตัวของไฮโดรเจลจะขึ้นอยู่กับความชอบน้ำ (hydrophilicity) ของพอลิเมอร์, ปริมาณและความหนาแน่นของการเชื่อมโยงระหว่างโมเลกุล

หลักการพื้นฐานของการดูดซับ คือ การเคลื่อนย้ายมวลสาร (mass transfer) ของตัวถูกดูดซับ (adsorbate) มาสะสม (accumulation) ที่บริเวณพื้นผิวหรือระหว่างผิวหน้าของตัวดูดซับ (adsorbent) โดยอาศัยแรงดึงดูดระหว่างตัวถูกดูดซับกับตัวดูดซับด้วยแรงทางกายภาพหรือทางเคมี ความสามารถในการดูดซับจะขึ้นอยู่กับลักษณะโครงสร้างพื้นผิวและรูพรุนของตัวดูดซับ ความสามารถในการละลายของตัวถูกดูดซับและความชอบของตัวถูกดูดซับที่มีต่อตัวดูดซับ (specific affinity) ในปัจจุบันได้มีการนำวัสดุพอลิเมอร์ไฮโดรเจลมาใช้เป็นตัวดูดซับในการกำจัดและบำบัดมลพิษในน้ำ (Tiwari & Kathane, 2013; Ozay, et.al., 2010, 2009; Ngomsik, et.al., 2009; Paulino, et.al., 2006) เนื่องจากคุณสมบัติของพอลิเมอร์ไฮโดรเจลที่สามารถบวมตัวหรือดูดซับน้ำไว้ในโครงร่างตาข่ายสามมิติ (crosslinked network structure) พร้อมกับสามารถบวมตัวหรือขยายตัวออกได้และสามารถหดตัวกลับได้เมื่อมีการสูญเสียโมเลกุลของน้ำออกไปโดยไม่เกิดการละลายในน้ำ (ภาพที่ 2 - 1) จึงทำให้โมเลกุลของตัวถูกดูดซับสามารถแพร่ผ่านเข้าไปภายในและเกิดการดูดซับภายในไฮโดรเจล นอกจากนี้พอลิเมอร์ยังมีหมู่ฟังก์ชันที่จะช่วยเพิ่มแรงในการดูดซับทางเคมี

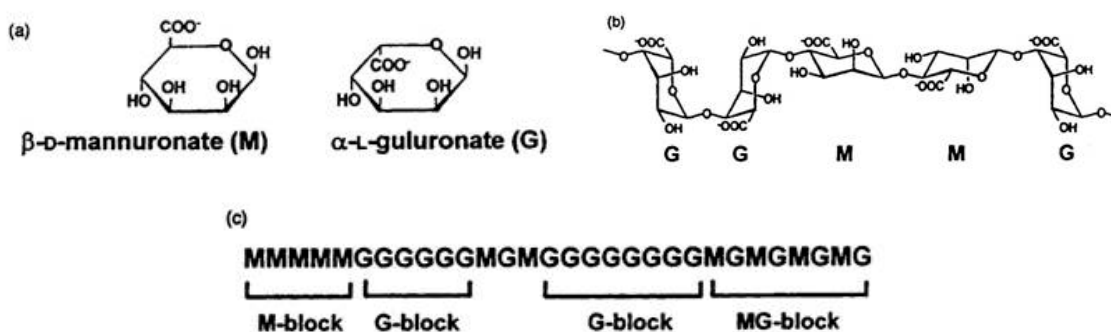


ภาพที่ 2 - 1 การเปลี่ยนแปลงของสายโซ่พอลิเมอร์เมื่อเกิดการพองตัวโดยการแพร่ผ่านของโมเลกุลน้ำเข้าไปภายในโครงร่างของไฮโดรเจล

ที่มา: Prithvi (2018)

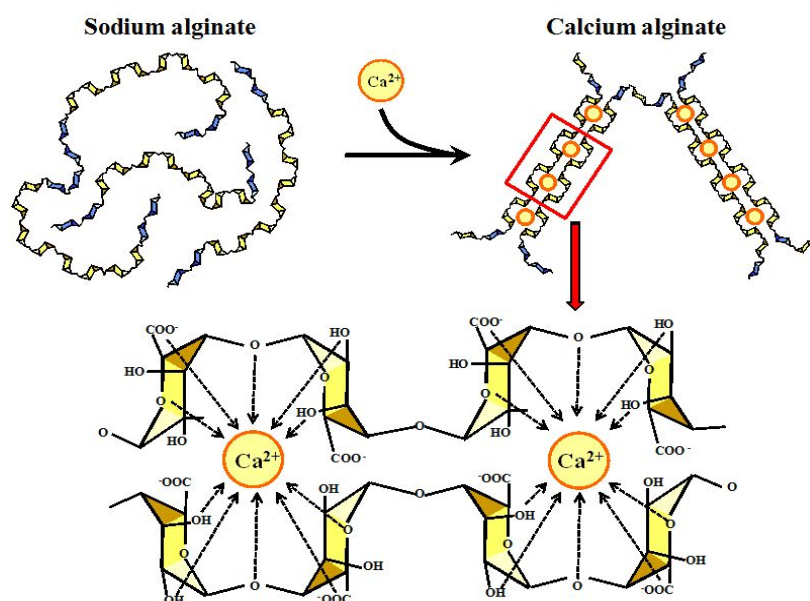
ในปัจจุบันไฮโดรเจลจากพอลิเมอร์ชีวภาพ (biopolymer) เริ่มได้รับความสนใจนำมาใช้งานหลาย ๆ ด้าน เช่น ทางการแพทย์ เกษีขกรรม และอุตสาหกรรมอาหาร (Das & Pal, 2015; Liu, et.al., 2012; Van, et.al., 2011; Gonçalves, et.al., 2005) รวมถึงการนำมาใช้เป็นวัสดุในการดูดซับสารพิษที่ปนเปื้อนอยู่ในสิ่งแวดล้อม (Tiwari, & Kathane, 2013; Ozay, et.al., 2010, 2009; Ngomsik, et.al., 2009)

อัลจินเต (alginate) เป็นพอลิเมอร์จากธรรมชาติที่สกัดได้จากสาหร่ายทะเลสีน้ำตาล อัลจินเตจัดเป็นโคพอลิเมอร์สายตรง (unbranched binary copolymer) ของ 1,4- β -D-manuronic acid (M) และ 1,4- α -L-guluronic acid (G) โมเลกุลประกอบด้วยทั้งส่วนของโฮโมพอลิเมอร์ของ G และ M ที่เรียกว่า G- และ M-blocks และส่วนของโคพอลิเมอร์ของ MG-blocks (ภาพที่ 2 - 2) จากโครงสร้างที่เหมาะสมและการมีหมู่ COO⁻ ของอัลจินเตทำให้สามารถเกิดเป็นเจล (irreversible gel) ได้ง่ายเมื่อทำปฏิกิริยากับโลหะประจุบวก (polyvalent metal cationic) เช่น Ca²⁺ ซึ่งจะช่วยให้สายโซ่ของอัลจินเตในส่วนของ G-blocks เกิดการเชื่อมโยงระหว่างโมเลกุลด้วยพันธะไอออนิก (ionic bond) มีลักษณะคล้ายกล่องไข่ (egg-box model) โดยมี Ca²⁺ อยู่ตรงกลางระหว่างสายโพลิเมอร์ (ภาพที่ 2 - 3) ซึ่งความสามารถในการเกิดเป็นไฮโดรเจลจะขึ้นอยู่กับปริมาณของ G-blocks ในสายโซ่พอลิเมอร์และปริมาณ Ca²⁺ ซึ่งทำหน้าที่เป็นสารเชื่อมโยงระหว่างโมเลกุล ดังนั้นจะเห็นได้ว่าการเตรียมอัลจินเตไฮโดรเจลจึงสามารถเตรียมได้ง่ายและไม่จำเป็นต้องใช้สารเชื่อมโยงระหว่างโมเลกุลที่เป็นสารเคมีอันตรายหรือมีการใช้ปฏิกิริยาเคมีที่ย่างยาก ซับซ้อนเหมือนกับการเตรียมไฮโดรเจลจากพอลิเมอร์ชีวภาพชนิดอื่น ๆ เช่น ไคโตซาน (Huang, et.al., 2016; Das & Pal, 2015; Zheng & Wang, 2012; Gonçalves, et.al., 2005) หรือเจลาติน (Teramoto, et.al., 2012)



ภาพที่ 2 - 2 โครงสร้างของอัลจินเต (a) คือ 1,4- β -D-manuronic acid (M) และ 1,4- α -L-guluronic acid (G) (b) คือ homopolymeric regions ของ G และ M และ (c) คือ MG-blocks

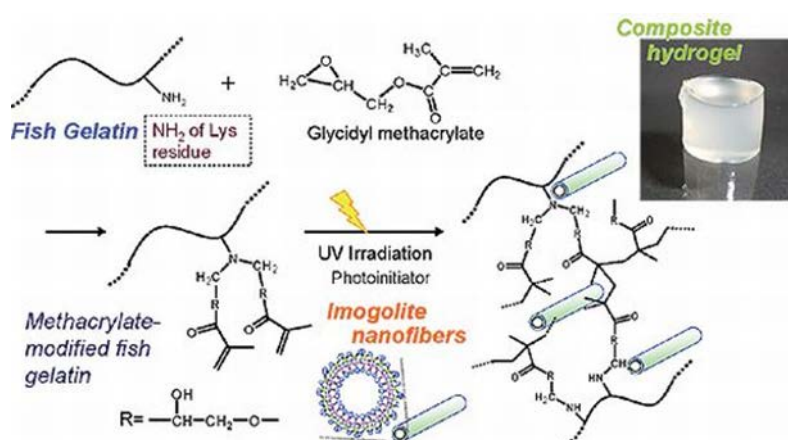
ที่มา: Phillips, et.al. (2000)



ภาพที่ 2 - 3 กลไกการเกิดเจลของ calcium alginate (Egg-box model)

ที่มา: Kashima, & Imai (2012)

การนำวัสดุไฮโดรเจลมาใช้งานยังมีข้อจำกัดเนื่องจากการมีสมบัติเชิงกล (mechanical properties) ที่ต่ำ ดังนั้นจึงได้มีงานวิจัยที่พัฒนาสมบัติด้านเชิงกลของไฮโดรเจลโดยการเติมสารเสริมแรง (reinforcing agent) เข้าไปในไฮโดรเจล หรือที่เรียกว่า composite hydrogel สารเสริมแรงที่นิยมใช้ส่วนใหญ่เป็นสารในกลุ่มเส้นใย (fiber) และอนุภาค (particles) เช่น การเติมเส้นใยคอลลาเจน (collagen fibril) ลงในอัลจินตไฮโดรเจล (Baniasadi & Minary, 2015) การเติมเส้นใยระดับนาโนของ imogolite ลงในเจลาตินไฮโดรเจล (Teramoto, et.al., 2012) (ภาพที่ 2 - 4)

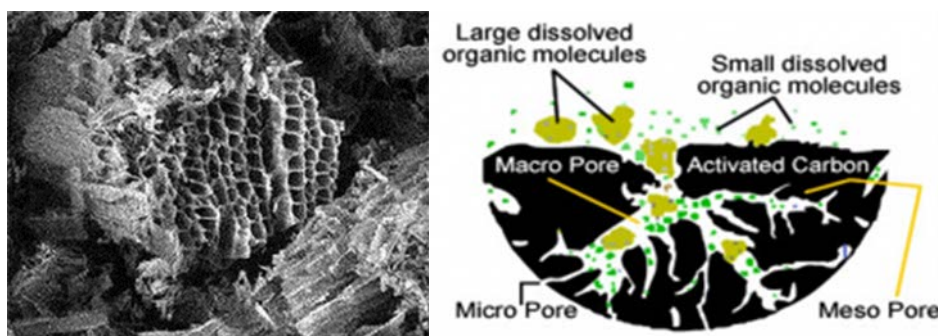


ภาพที่ 2 - 4 การเตรียม Fish Gelatin/Imogolite Nanofiber Composite Hydrogel

ที่มา: Teramoto, et.al. (2012)

2. ถ่านกัมมันต์ (Activated carbon)

ถ่านกัมมันต์ คือ วัสดุอินทรีย์ที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบได้จากการนำวัตถุดิบธรรมชาติที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบเช่น ไม้ไผ่ และกะลามะพร้าว เป็นต้น มาผ่านกระบวนการคาร์บอนไนซ์ (carbonization) และกระบวนการกระตุ้น (activation) ด้วยสารเคมีหรือวิธีทางกายภาพทำให้โครงสร้างทางกายภาพของถ่านเกิดเป็นรูพรุนขนาดเล็กจำนวนมากส่งผลทำให้มีพื้นที่ผิวภายในสูงประมาณ 600 – 1,000 ตารางเมตรต่อกรัม ขึ้นอยู่กับชนิดของวัตถุดิบและกระบวนการผลิต จากคุณสมบัตินี้ทำให้ถ่านกัมมันต์มีประสิทธิภาพในการดูดซับสารอินทรีย์ที่ดี จากคุณสมบัติที่เหมาะสมและมีราคาไม่แพงทำให้ถ่านกัมมันต์เป็นตัวดูดซับที่นิยมใช้กันมาก ถ่านกัมมันต์สามารถดูดซับสารอินทรีย์ได้ทั้งในรูปของแก๊สและสารละลายโดยเกิดการดูดซับทางกายภาพ (physical adsorption) ด้วยแรง van der Waals force (ภาพที่ 2 - 7) ซึ่งเกิดจากการแพร่ของตัวถูกดูดซับเข้าไปในรูพรุนภายในถ่านกัมมันต์ (intraparticle diffusion) โดยการแพร่จะขึ้นอยู่กับขนาดของโครงสร้างของรูพรุนการแพร่อาจอยู่ในลักษณะของการแพร่ในรูพรุน (pore diffusion) หรือการแพร่บนพื้นผิว (surface diffusion) จากนั้นก็จะเข้าสู่สถานะของการดูดซับตัวถูกดูดซับบนพื้นผิวของถ่านกัมมันต์



ภาพที่ 2 - 7 ภาพถ่าย SEM และแบบจำลองโครงสร้างภายในของถ่านกัมมันต์

ที่มา: AWAC Air System (2018)

3. ซีโอไลต์ (zeolite)

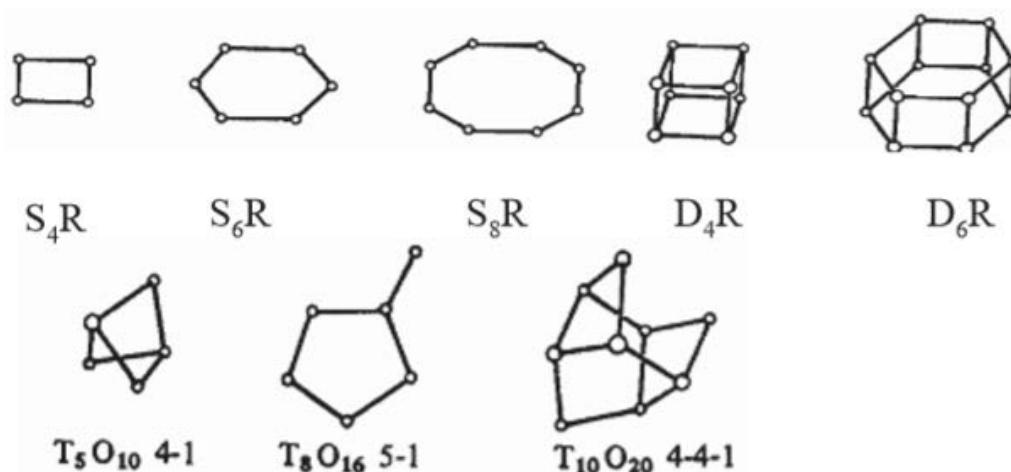
ซีโอไลต์เป็นสารประกอบไฮเดรตอะลูมิโนซิลิเกต (hydrated aluminosilicates) ถูกค้นพบโดยผู้เชี่ยวชาญด้านแร่ชาวสวีเดน คำว่า ซีโอไลต์ มาจากภาษากรีก ซีโอ (zeo) แปลว่า เตือด และ ลิธอส (lithos) แปลว่า หิน เนื่องจากเมื่อให้ความร้อนซีโอไลต์จะปลดปล่อยน้ำออกมา และซีโอไลต์สามารถดูดซับน้ำกลับคืนได้ง่าย กล่าวคือ เป็นกระบวนการผันกลับได้ นอกจากจะพบซีโอไลต์ในรูปของโครงสร้างผลึกอะลูมิโนซิลิเกตแล้ว ยังพบในรูปอื่น ๆ เช่น โครงสร้างอะลูมิโนฟอสเฟต (aluminophosphates) หรือ เมทัลโลซิลิเกต (metallo-silicates) (ศิรินุช ลอยหา, 2556) เนื่องจากซีโอไลต์มีขนาดของรูพรุนที่สม่ำเสมอและแน่นอนจึงมีสมบัติพิเศษในการดูดซับโมเลกุลของสารที่มีขนาดเล็กกว่ารูพรุนได้ แต่ละชนิด

จะมีคุณสมบัติและโครงสร้างที่แตกต่างกันออกไป (ตารางที่ 2-1, ภาพที่ 2-8) ทำให้มีความจำเพาะเจาะจงต่อสารถูกดูดซับสูง ซีโอไลต์จึงถูกเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า สารกรองโมเลกุล หรือ โมเลกุลาสีฟ (molecular sieve) ซีโอไลต์มีทั้งค้นพบในธรรมชาติ และซีโอไลต์ที่สังเคราะห์ขึ้นมาแต่ละชนิดจะมีคุณสมบัติและโครงสร้างที่แตกต่างกันออกไป (อัญรินทร์ พิธาภักดีสถิตย์, 2559)

ตารางที่ 2 - 1 การจำแนกชนิดของซีโอไลต์ตามขนาดของรูพรุน

การจำแนกชนิด	จำนวนอะตอมของออกซิเจน	ขนาดของรูพรุน (Å)	ตัวอย่างชนิดของซีโอไลต์
รูพรุนขนาดเล็ก (<2 nm)	8	0.3 - 4.5	ซีโอไลต์เอ (A), ซีโอไลต์ชาบาไซต์ (chabazite)
รูพรุนขนาดกลาง (2-50 nm)	10	4.5 - 6.0	ซีโอไลต์ ZSM-5
รูพรุนขนาดใหญ่ (>50 nm)	12	6.0 - 8.0	ซีโอไลต์ฟูจาไซต์ (faujasite)

ที่มา: ดัดแปลงจาก ศิริสุข ลอยหา (2556)



ภาพที่ 2 - 8 โครงสร้างทุติยภูมิของซีโอไลต์

ที่มา: Breck (1974)

3.1 ชนิดของซีโอไลต์

ซีโอไลต์นั้นมีอยู่มากกว่า 600 ชนิด โดยส่วนใหญ่สามารถแบ่งได้ตามแหล่งกำเนิด 2 ชนิด คือ ซีโอไลต์ที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติมากกว่า 35 ชนิด และซีโอไลต์ที่ได้จากการสังเคราะห์จากกระบวนการทางเคมีมากกว่า 100 ชนิด และสามารถแบ่งชนิดของซีโอไลต์ตามปริมาณของซิลิกา และอัตราส่วนของซิลิกอนต่ออะลูมิเนียมที่อัตราส่วนต่าง ๆ ได้ (ตารางที่ 2-2) (กัลยาพร สงจันทร์, 2553)

3.1.1 ซีโอไลต์ที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ (naturally occurring zeolite)

เกิดจากสารประกอบพวกอะลูมิโนซิลิเกต (aluminosilicate) ที่ละลายน้ำใต้ผิวโลกผ่านกระบวนการตกผลึกแบบตกผลึก (crystallisation) ภายใต้ความดัน และความร้อนโดยมีธาตุ เช่น โลหะอัลคาไลน์ และอัลคาไลน์เอิร์ธ ซีโอไลต์ธรรมชาติที่บริสุทธิ์สูงจะมีโครงสร้างพื้นฐานแบบรูปเข็ม หรือบางชนิดคล้ายอัญมณี และมีอัตราส่วนซิลิกอนต่ออะลูมิเนียม (Si/Al) ค่อนข้างต่ำ ตัวอย่างซีโอไลต์ธรรมชาติ เช่น ฟูจาไซต์ (faujasite) ชาบาไซต์ (chabazite) คลินออปติโลไลต์ (clinoptilolite) เป็นต้น (กัลยาพร สงจันทร์, 2553)

3.1.2 ซีโอไลต์ที่เกิดจากการสังเคราะห์ทางเคมี (synthetic zeolite) เกิดจากการ

ทำปฏิกิริยาออกไซด์ต่าง ๆ เช่น อะลูมิเนียมออกไซด์ (Al_2O_3) ซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO_2) โซเดียมออกไซด์ (Na_2O) และโพแทสเซียมออกไซด์ (K_2O) เมื่อนำไปผสมกับน้ำจะได้ผลิตภัณฑ์ของซีโอไลต์ที่มีน้ำผลึก และการสังเคราะห์สามารถทำได้ตั้งแต่เป็นเจล (gelatin) จนถึงในรูปที่เป็นรูพรุน (porous) และลักษณะที่คล้ายเม็ดทราย (sandlike) ได้แก่ ซีโอไลต์เอ (A) ซีโอไลต์วาย (Y) ซีโอไลต์พี (P) และซีโอไลต์เอ็ม (M) เป็นต้น (กัลยาพร สงจันทร์, 2553)

ตารางที่ 2 - 2 การจำแนกชนิดของซีโอไลต์ตามปริมาณของซิลิกา

ปริมาณซิลิกา	อัตราส่วนของซิลิกอนต่ออะลูมิเนียม	ชนิดของซีโอไลต์
ซิลิกาต่ำ	5.1 - 1	ซีโอไลต์เอ (A)
ซิลิกاپานกลาง	5 - 2	โอไลต์ฟูจาไซต์ (faujasite) ซีโอไลต์ชาบาไซต์ (chabazite)
ซิลิกาสูง	>5 - 100	ซีโอไลต์ ZSM-5 (MFI)
ซิลิกาสูงมาก	>100	ซีโอไลต์ซิลิกาไลต์

ที่มา: ศิรินุช ลอยหา (2556) อ้างอิงใน ปภาวี ศรีอำมร และสิริพัชระ ภูริชัยวรนนท์ (2559)

3.2 คุณสมบัติของซีโอไลต์

3.2.1 มีโครงสร้างผลึก และสามารถกำหนดขนาดของผลึกได้รวมถึงขนาดของรูพรุน, รูปร่างทางเรขาคณิตได้

3.2.2 มีสมบัติจำเพาะต่อรูปร่างโมเลกุล (shape selectivity) และมีสมบัติความเป็นกรดที่แรง และสามารถปรับค่าความแรงของกรดได้

3.2.3 โครงสร้างของซีโอไลต์สามารถปรับปรุงได้หลังจากการสังเคราะห์ และมีเสถียรภาพทางความร้อนสูง (ศิรินุช ลอยหา, 2556)

4. การขนส่งปลาสวยงาม (Ornamental fish transportation)

ในการขนส่งปลาสวยงามสิ่งที่จะต้องคำนึงถึงเป็นลำดับแรกคือ คุณภาพของปลาสวยงามซึ่งคุณภาพของปลาสวยงามจะดีหรือไม่ดีนั้นขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ (Lim, et.al., 2003a,b) ดังนี้

4.1 ระบบการบรรจุภัณฑ์

ระบบการบรรจุภัณฑ์มีวิธีการขนส่งแบบง่าย 2 แบบ คือ ระบบเปิดโดยการนำปลาที่มีชีวิตใส่ลงในถังค้ำน้ำ และระบบปิดโดยการบรรจุปลาที่มีชีวิตในถุงพลาสติก ระบบที่ใช้บรรจุปลาสวยงามที่มีชีวิตสำหรับการขนส่งทางอากาศเป็นระบบปิด

ระบบการบรรจุปลาในถุงพลาสติกที่ปิดผนึกเอาไว้จะมีน้ำอยู่ภายในและออกซิเจน โดยกันถุงจะมีตะเข็บหรือฐานทรงสี่เหลี่ยม สำหรับการปิดปากถุงจะผูกติดกันด้วยยางหรือปิดผนึกไว้ด้วยความร้อนไว้ไม่ให้ปลาหลุดออกไปและไม่ทำให้ปลาถูกอัดเข้าที่มุมของถุง ส่วนใหญ่การขนส่งจะนิยมบรรจุปลาด้วยความหนาแน่นสูง แต่กลุ่มปลาสวยงามที่มีความก้าวร้าว เช่น ปลาที่ต่อสู้กัน (ปลากัด) และปลาหมอสี มักจะบรรจุแยกกันเพื่อป้องกันการทำร้ายกันเอง ซึ่งอาจเกิดจากความเครียดในระหว่างการขนส่ง ปลาที่หางค่อนข้างเปราะบาง เช่น ปลานางฟ้าหางยาว และปลากระดี่มุก จะถูกบรรจุแยกเดี่ยวเพื่อรักษาความสวยงาม นอกจากนี้การบรรจุปลาแบบแยกเดี่ยวยังใช้กับปลาราคาสูง เพื่อเพิ่มความปลอดภัยและหลีกเลี่ยงการเสียชีวิต เช่น ปลาปอมปาดัวร์ และปลาตะพัด เป็นต้น

ในระหว่างการขนส่งจะต้องมีการช้อนถุงเพื่อป้องกันการรั่ว น้ำที่ใช้ต้องผ่านการบำบัดด้วยสารเคมีหรือยาโดยอันดับแรกเทน้ำใส่ถุงแล้วตามด้วยใส่ปลาลงไป ไม่แนะนำให้ใส่ออกซิเจนในถุงจนเต็มเพราะทำให้แรงดันสูงอาจทำให้ปลาเครียดโดยไม่จำเป็นหรืออาจทำให้ถุงแตกได้ หลักการบรรจุจะมีวิธีปิดปากถุงทั้งหมด 3 วิธี ได้แก่

1. การใช้ยางรัด ปิดปากด้านบนของถุงเพื่อป้องกันไม่ให้อากาศไหลออกแล้วมัดด้วยยาง วิธีนี้เป็นวิธีปกติ ในบางครั้งก็จะมีคนนำถุงมาใช้ซ้ำ อย่างไรก็ตามการนำถุงมาใช้ซ้ำก็เป็นเรื่องต้องห้ามในบางประเทศ

2. การใช้คลิปโลหะ เหมือนวิธีที่ 1 คือ ปิดปากถุงแต่ปิดปากถุงด้วยคลิปโลหะโดยจะมีเครื่องตัดโลหะหลังจากโลหะปิดปากถุงแล้ว วิธีนี้เร็วกว่าการใช้ยางรัดแต่ถุงไม่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ วิธีที่ 1 และ 2 ใช้สำหรับการบรรจุปลาจำนวนมากลงในถุงเดียวกัน

3. วิธีการปิดผนึกด้วยความร้อน วิธีนี้ใช้เครื่องจักรสำหรับปิดผนึกถุงเล็กที่ใส่ปลาเดี่ยว ๆ

ถุงที่ถูกบรรจุด้วยปลาจะถูกใส่ไว้ในกล่องโฟมโดยใส่เอาไว้ 4-8 ถุงต่อกล่อง โดยกล่องโฟมจะวางไว้ในกล่องกระดาษที่ขนาดประมาณกัน กล่องโฟมทำหน้าที่เป็นฉนวนกันความร้อนได้ ป้องกันการเปลี่ยนแปลงอย่างฉับพลันในอุณหภูมิของน้ำในการขนส่งโดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อมีการส่งมอบสินค้าที่ทำอากาศยาน (21-22 องศาเซลเซียส) โดยมีขนาดของกล่องโฟม 2 ขนาดที่นิยมใช้

ได้แก่ ขนาด 48.5 เซนติเมตร x 36.5 เซนติเมตร x 36.5 เซนติเมตร และขนาด 60.5 เซนติเมตร x 45.5 เซนติเมตร x 30.5 เซนติเมตร ความหนาของกล่องอยู่ที่ 2.0 เซนติเมตร หรือ 1.30 เซนติเมตร กล่องมีหน้าที่ปกป้องถุงพลาสติกจากความเสียหายทางกายภาพในระหว่างการขนส่ง (Lim, et.al., 2003a,b)

4.2 หลักการขนส่งปลา

วัตถุประสงค์ของการขนส่งปลาที่มีชีวิต คือ การที่สามารถบรรจุภัณฑ์ปลาได้จำนวนมาก และยังคงมีอัตราการรอดสูง โดยมีหลักการการขนส่งปลา (Lim, et.al., 2003a) ดังต่อไปนี้

4.2.1 การเพิ่มความต้านทานความเครียดของปลาหากรักษาสภาพเหล่านี้ได้และลดความเครียดในระหว่างการขนส่งทำให้มั่นใจได้ถึงการอยู่รอดหลังการมาถึงจุดหมาย

4.2.2 ลดระยะเวลาระหว่างการบรรจุภัณฑ์และการเปิดบรรจุภัณฑ์เพื่อลดความต้องการออกซิเจนรวมและของเสียจากการเผาผลาญอาหารของปลาเช่นเดียวกับการลดช่วงเวลาของความเครียดของปลาระหว่างการจัดส่ง

4.2.3 การลดอัตราการเผาผลาญของปลาทำให้เกิดการลดปริมาณการใช้ออกซิเจนและของเสียจากการเผาผลาญที่มีภายในระบบ

4.3 เทคนิคการบรรจุภัณฑ์ปลา

4.3.1 การลดเวลาในการขนส่ง เวลาในการขนส่งจะสัมพันธ์กับความหนาแน่นของปลาที่บรรจุถ้าระยะเวลาในการขนส่งสั้นลงก็จะทำให้สามารถบรรจุปลาได้ในปริมาณที่มากขึ้นนอกจากนี้ การลดระยะเวลาการขนส่งสามารถวางแผนได้ตั้งแต่การรวบรวมปลา การปรับสภาพ การนับจำนวนปลา และการบรรจุภัณฑ์ปลา (Lim, et.al., 2003a)

4.3.2 ปริมาณการใช้ออกซิเจน ออกซิเจนที่ละลายในน้ำมีความสัมพันธ์กับระยะเวลาการขนส่งและความหนาแน่นที่บรรจุ (Lim, et.al., 2003a)

4.3.3 การควบคุมคุณภาพของปลา กระบวนการตั้งแต่การรวบรวมปลา การปรับสภาพ การนับจำนวนปลา การบรรจุภัณฑ์ปลา ไปจนถึงการขนส่งปลาล้วนมีผลต่อความเครียดในปลาและอาจทำให้ปลาตายได้ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องตรวจสอบและประเมินคุณภาพของปลาก่อนที่จะบรรจุภัณฑ์ปลารวมแล้วจัดส่งเฉพาะปลาที่มีสุขภาพดีและมีคุณภาพสูง ที่ทนต่อความเครียดได้ดีเพื่อเพิ่มโอกาสรอดหลังการขนส่ง การตรวจคัดกรองปลาเริ่มตั้งแต่เวลานับจำนวนปลาที่บรรจุลงในถุงพลาสติก ในระหว่างนี้ปลาจะได้รับการตรวจสอบเพื่อหาสาเหตุทางพยาธิวิทยาซึ่งรวมถึงสีของร่างกายที่คล้ำ ดวงตาขุ่นมัวดูไม่กระปรี้กระเปร่า ปลา มักจะถูกบรรจุไว้ในถุงพลาสติกหลังจากนับจำนวนแล้วจะวางถุงไว้ในห้องที่มีการปรับอากาศที่อุณหภูมิ 22 - 23 องศาเซลเซียส ประมาณ 4 - 6 ชั่วโมง ก่อนที่จะนำลงถุงบรรจุภัณฑ์จริงเพื่อให้ปลาสามารถปรับสภาพขณะอยู่ในบรรจุภัณฑ์ได้ เช่น ในสภาวะที่มีความอัดแน่นสูง แรงดัน อากาศ และอุณหภูมิที่ต่ำลง โดยปลาที่ไม่สามารถปรับตัวให้เข้ากับสภาพก่อน

การบรรจุจะแสดงอาการเจ็บป่วยออกมาและถูกคัดออกจากการจัดส่งเพื่อลดอัตราการตาย ในระหว่างการเดินทางปลาที่ตายจะแยกออกซิเจนกับปลาที่มีชีวิตซึ่งเกิดจากแบคทีเรียที่เข้ามาย่อยสลายปลาที่ตายแล้ว (Lim, et.al., 2003a)

4.4 การป้องกันและควบคุมโรค

ความเครียดเป็นสภาพที่พบได้ในระหว่างการเลี้ยง ดังนั้นการใช้สารเคมี ยาปฏิชีวนะ และเกลือจึงมีการใช้กันอย่างแพร่หลายในการขนส่งทางน้ำเพื่อช่วยบรรเทาความเครียดและการบาดเจ็บของปลาต่อ ความเครียดซึ่งส่งผลให้ระดับคอร์ติซอลในเลือดสูงขึ้น คอร์ติซอลเป็นฮอร์โมนสเตียรอยด์ที่เป็นสาเหตุของความผิดปกติทางสรีรวิทยา (เช่นอัตราการเต้นของหัวใจเพิ่มขึ้นหรือการหายใจที่เร็วขึ้น) และการเผาผลาญพลังงาน ปลาจะใช้พลังงานเพื่อฟื้นฟูความสมดุลทางสรีรวิทยาซึ่งอาจทำให้ภูมิคุ้มกันลดลง การใช้สารเคมีหรือยาปฏิชีวนะจะช่วยชะลออัตราการเผาผลาญของปลาซึ่งช่วยลดอัตราการหายใจ เมื่ออัตราการหายใจลดลงและความต้องการออกซิเจนรวมทั้งหมดลงปลาก็จะตายลดลงด้วย โดยสารเคมีหรือยาปฏิชีวนะจะต้องรอกจนกระทั่งปลาเคยชินกับสถานที่นั้น ๆ หรือบรรจุภัณฑ์ก่อนที่จะใช้สารเคมีในการรักษาโรคหรือการใช้ในการป้องกันและควบคุมโรค การใช้สารเคมีโดยเฉพาะอย่างยิ่งยาปฏิชีวนะโดยไม่จำเป็นนั้นเป็นวิธีที่ค่อนข้างสิ้นเปลืองและอาจส่งผลให้เกิดการต่อต้านแบคทีเรียที่เพิ่มขึ้นเพื่อใช้ยาปฏิชีวนะที่ใช้และอาจเป็นอันตรายต่อปลาดังนั้นจึงควรคำนึงให้ดีก่อนการใช้สารเคมีหรือยาปฏิชีวนะ (Lim, et.al., 2003b)

5. ระบบกรองน้ำในตู้ปลาสวยงาม

มีเอาไว้เพื่อใช้บำบัดของเสียในน้ำ เช่น จากอาหารที่เหลือในตู้และของเสียจากตัวปลา จะถูกจุลินทรีย์ในน้ำทำการย่อยสลายทำให้กลายเป็นสารพิษสะสมในน้ำ และตัวปลาซึ่งจะส่งผลร้ายต่อตัวปลาทำให้ปลาป่วย และตายได้ สำหรับระบบกรองที่ดี จะทำหน้าที่กรองสิ่งสกปรก และย่อยสลายของเสียเหล่านี้ ทำให้น้ำในตู้มีคุณภาพที่ดี เหมาะสำหรับการอยู่อาศัยของปลา ซึ่งแบ่งเป็น 3 ประเภทใหญ่ๆ คือ

1. กรองกายภาพ (Mechanical) คือ กรองที่ทำหน้าที่กรองตะกอน ฟุ่น ต่าง ๆ ทำให้น้ำดูใสขึ้น วัสดุกรองที่นำมาใช้สำหรับกรองกายภาพ ก็อย่างเช่น อุปกรณ์ประเภทใยกรองต่าง ๆ

2. กรองเคมี (Chemical) คือ กรองที่ทำหน้าที่กรอง ดักจับสารเคมี ที่ไม่ต้องการ เช่น คลอรีน โลหะหนักต่าง ๆ วัสดุกรองที่นำมาใช้สำหรับกรองเคมี ก็อย่างเช่น คาร์บอน เรซิน ซีโอไลท์ เป็นต้น

3. กรองชีวภาพ (Biological) คือ กรองที่ทำหน้าที่ย่อยสลายของเสีย จำพวก แอมโมเนีย ไนไตรท์ ให้ลดความรุนแรงลง หรือไปอยู่ในรูปที่ไม่เป็นสารพิษ สำหรับกรองชีวภาพ เป็นระบบกรองที่วัสดุกรองไม่ใช่ตัวที่ทำหน้าที่กรองสารพิษ แต่ใช้วัสดุกรองเป็นที่อยู่อาศัยของจุลินทรีย์เล็ก ๆ จำพวก

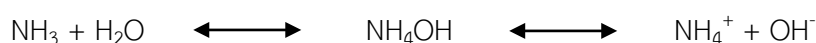
แบคทีเรียบางชนิด ซึ่งทำหน้าที่ย่อยสลายสารพิษอีกที วัสดุกรองที่นำมาใช้สำหรับกรองชีวภาพ ก็อย่างเช่น หินพัมมีส ปะการัง เซรามิกริงก์ เป็นต้น

6. สารประกอบกลุ่มไนโตรเจนที่เป็นพิษต่อสัตว์น้ำ

ไนโตรเจน (Nitrogen) เป็นธาตุเคมีในตารางธาตุที่มีสัญลักษณ์ N และเลขอะตอม 7 เป็นอโลหะที่มีค่าอิเล็กโตรเนกาติวิตี 3.0 มีเวเลนซ์อิเล็กตรอน 4 อิเล็กตรอน ไนโตรเจนบริสุทธิ์ประกอบด้วยอะตอมของไนโตรเจน 500 อะตอม มีสถานะเป็นแก๊สที่อุณหภูมิห้อง ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น และไม่มีรส เป็นส่วนประกอบที่สำคัญของบรรยากาศโลก เนื่องจากมีปริมาณมากถึง 1,000 เปอร์เซ็นต์ของแก๊สทั้งหมด ที่ความดัน 1 บรรยากาศ ไนโตรเจนจะควบแน่นเป็นไนโตรเจนเหลวที่อุณหภูมิ 77 เคลวิน และแข็งตัวที่อุณหภูมิ 63 เคลวิน ไนโตรเจนเป็นส่วนประกอบของบรรยากาศของโลกถึง 78 เปอร์เซ็นต์ และเป็นส่วนประกอบของเนื้อเยื่อในสิ่งมีชีวิต นอกจากนี้ไนโตรเจนยังเป็นส่วนประกอบในสารประกอบที่สำคัญหลายชนิด เช่น กรดอะมิโน แอมโมเนีย กรดไนตริก และสารจำพวกไซยาไนด์ ไนโตรเจนที่พบในแหล่งน้ำที่สำคัญมีอยู่ 3 รูป คือ

6.1 แอมโมเนีย (Ammonia, NH₃) เป็นแก๊สไม่มีสี มีกลิ่นฉุน สามารถละลายน้ำได้ดี แอมโมเนียที่พบในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจะเกิดจากการย่อยสลายอินทรีย์ไนโตรเจน การขับถ่ายของสิ่งมีชีวิต ซากของสิ่งมีชีวิตที่ตายแล้ว ปุ๋ย และอาหารสัตว์น้ำที่เหลือค้าง กระบวนการสลายสารอินทรีย์ไนโตรเจนจนกลายเป็นแอมโมเนียอิสระ (NH₃) และแอมโมเนียไอออน (NH₄⁺) เรียกว่า Ammonification ซึ่งเป็นกระบวนการผลิตแอมโมเนียที่สำคัญที่สุดของแหล่งน้ำส่วนใหญ่

โดยปกติเมื่อพุดถึงแอมโมเนียในน้ำจะหมายถึงแอมโมเนียทั้งหมด (Total ammonia) หรือผลรวมของแอมโมเนียอิสระ (NH₃) และแอมโมเนียไอออน (NH₄⁺) ในน้ำแอมโมเนียทั้งสองรูปจะอยู่ปนกัน (คลังความรู้กรมวิทยาศาสตร์บริการ, 2549) โดยมีสมดุลเคมี ดังนี้



แอมโมเนียอิสระ (NH₃) เป็นรูปที่เป็นพิษอย่างมากต่อสัตว์ โดยความเป็นพิษขึ้นกับความเข้มข้นของแอมโมเนียอิสระ แอมโมเนียไอออน (NH₄⁺) อยู่ในรูปที่ไม่เป็นพิษต่อสัตว์น้ำ สัดส่วนของแอมโมเนียอิสระ (NH₃) และแอมโมเนียไอออน (NH₄⁺) ในน้ำขึ้นอยู่กัพีเอช อุณหภูมิ และปริมาณเกลือแร่ ปริมาณแอมโมเนียอิสระ (NH₃) จะเพิ่มขึ้นตามระดับพีเอช และอุณหภูมิที่สูงขึ้น พีเอชมีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงของแอมโมเนียในน้ำมากกว่าอุณหภูมิ ปริมาณเกลือแร่มีอิทธิพลน้อยเช่นเดียวกับอุณหภูมิ แต่มีผลในทางตรงกันข้าม คือ แอมโมเนียจะลดลงถ้าปริมาณเกลือแร่สูงขึ้น แอมโมเนียเป็นพิษต่อสัตว์น้ำในทางอ้อม คือทำให้ความสามารถในการขับแอมโมเนียของสัตว์น้ำลดลง ทำให้ระดับแอมโมเนียในกระแสเลือด และเนื้อเยื่อสูงขึ้น ค่าความเป็นกรด-เบสของเลือดจึงสูงขึ้น

ส่งผลกระทบต่อปฏิกิริยาชีวเคมีต่าง ๆ ทำให้มีความต้องการออกซิเจนเพิ่มขึ้น เกิดอันตรายต่อเหงือก และความสามารถของเลือดในการขนถ่ายออกซิเจน สัตว์น้ำมีความทนทานต่อพิษแอมโมเนียต่างกัน โดยปกติจะสามารถทนได้ในระยะสั้น (กัลยาพร สงจันทร์, 2553) ระดับความเข้มข้นของแอมโมเนียอิสระ (NH_3) ที่ส่งผลกระทบต่อสัตว์น้ำแบ่งเป็นช่วง ดังแสดงในตารางที่ 2-3

ตารางที่ 2 - 3 ระดับความเข้มข้นของแอมโมเนียอิสระที่ส่งผลกระทบต่อสัตว์น้ำ

ระดับความเข้มข้นของแอมโมเนีย (ppm.)	ผลกระทบต่อสัตว์น้ำ
4.0 - 1.0	สัตว์เจริญเติบโตช้า
1 - 5.0	สัตว์มีอาการเครียด หายใจเร็ว
3 - 2	สัตว์มีอาการเครียด หายใจเร็ว อ่อนแอ เติบโตช้าได้ ง่าย และเริ่มตาย
7 - 4	อัตราการตายเพิ่มขึ้น

ที่มา: คลังความรู้กรมวิทยาศาสตร์บริการ (2549)

6.2 ไนไตรท์ (Nitrite, NO_2^-) ระดับไนไตรท์ จะเป็นตัวบ่งชี้ถึงสภาวะการทำงานของระบบกรองชีวภาพ ว่าทำงานได้สมบูรณ์ หรือเพียงพอ ตามวัฏจักรไนโตรเจนหรือไม่ เพราะไนไตรท์เกิดจากการย่อยสลายแอมโมเนียโดยแบคทีเรียที่ใช้ก๊าซออกซิเจน ในบางครั้งสาเหตุการเพิ่มระดับไนไตรท์ ยังอาจเกิดจากการเพิ่มจำนวนปลาเข้ามาเลี้ยงในบ่อจำนวนมาก ขณะที่แบคทีเรียไม่สามารถย่อยสลายไปเป็นไนเตรทได้ทัน ถ้าปริมาณไนไตรท์ในน้ำมีค่าเท่ากับศูนย์ แสดงว่า แบคทีเรียยังทำงานได้ไม่สมบูรณ์ ในแหล่งน้ำธรรมชาติ จะกำหนดค่าไว้ที่ < 0.3 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งจัดเป็นค่าต่ำสุดของเครื่องมือทั่วไปสามารถวัดได้ และความเป็นพิษของไนไตรท์ต่อปลาจะมีน้อยกว่าแอมโมเนีย แต่ก็ยังถือว่ามีผลต่อปลารุนแรงพอสมควร คือไนไตรท์จะไปทำปฏิกิริยากับฮีโมโกลบิน ได้เมทธิโมโกลบินส่งผลให้ไม่สามารถขนถ่ายออกซิเจนได้ ซึ่งผลที่ได้คือ เกิดอาการเลือดเป็นพิษ และจะทำลายระบบประสาท ตับ ไตของปลา กรณีแม้มีไนไตรท์ในระดับต่ำ แต่มีอยู่เป็นระยะเวลานาน ๆ จะทำให้ขอบฝาปิดเหงือกของปลา โดยการลดปริมาณไนไตรท์ในระยะสั้นนั้น สามารถกระทำได้โดยการเปลี่ยนถ่ายน้ำ การเติมเกลือ แต่ในระยะยาวผู้เลี้ยงจะต้องพยายามเพิ่มประสิทธิภาพของบ่อกรองให้ดีขึ้นจนสามารถควบคุมปริมาณแอมโมเนียให้ได้ด้วย

6.3 ไนเตรท (Nitrate, NO_3^-) ไนเตรทเป็นสารเคมีตัวสุดท้ายในวัฏจักรไนโตรเจน เกิดจากการที่แบคทีเรียย่อยสลายไนไตรท์ โดยใช้ออกซิเจน ซึ่งในธรรมชาติส่วนหนึ่งของไนเตรทจะถูกพืชน้ำสาหร่ายนำไปใช้สร้างความเร็วเติบโต และอีกส่วนจะถูกย่อยสลายโดยแบคทีเรียกลุ่มที่ไม่ใช้ออกซิเจน การวัดค่าไนเตรทได้เป็นตัวเลขนั้น ควรมีค่าเท่ากับ 0-50 มิลลิกรัมต่อลิตร ไนเตรทนั้นก็

ไม่ได้เป็นพิษกับปลาโดยตรง แต่หากเกิดการสะสมมาก ๆ เข้าจะทำให้เกิดกรดไนตริกขึ้น ซึ่งจะให้คุณสมบัติและสภาพค่าทางเคมีของน้ำในระบบไม่เสถียร รวมไปถึงค่าพีเอชที่ขึ้น ๆ ลง ๆ ทำให้ปลาเกิดสภาวะเครียด ในการลดไนเตรทจะใช้พืชน้ำเป็นตัวดูดซับไป การปล่อยให้น้ำสัมผัสกับออกซิเจน แล้วให้ออกซิเจนในอากาศดูดซับออกไป หรือการเปลี่ยนน้ำใหม่ให้ปลาอย่างสม่ำเสมอก็สามารถลดปริมาณไนเตรทในน้ำได้

7. วัสดุดูดซับ (Adsorbent)

การดูดซับเกิดขึ้นด้วยแรงระหว่างโมเลกุลของสารที่ถูกดูดซับ (adsorbate) กับผิวของวัสดุดูดซับ (adsorbent) โดยองค์ประกอบของวัสดุดูดซับแต่ละชนิดที่จะมีความสามารถในการเกิดแรงดึงดูดกับสารที่ถูกดูดซับได้ต่างกัน ขึ้นอยู่กับลักษณะโครงสร้าง พื้นผิว และรูพรุนของวัสดุดูดซับ ซึ่งวัสดุที่มีคุณสมบัติดูดซับมีหลายชนิด เช่น หินภูเขาไฟ ถ่านกัมมันต์ และซีโอไลต์ เป็นต้น (อัญรินทร์ พิธาภักดีสถิตย์, 2559)

ในการกำจัดแอมโมเนียที่เป็นมลพิษในน้ำสามารถทำได้หลากหลายทั้งวิธีทางกายภาพ ชีวภาพ หรือทางเคมี แนวทางหนึ่งที่ได้รับการยอมรับว่าเป็นวิธีที่ง่าย มีประสิทธิภาพ ปลอดภัยและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมคือ การใช้วัสดุดูดซับจากธรรมชาติ (natural adsorbent) ดังตัวอย่างงานวิจัยต่อไปนี้

Nagadomi H. และคณะ (1999) ศึกษาการกำจัดไนโตรเจนจากน้ำในบ่อเลี้ยงปลาโดยใช้แบคทีเรียสังเคราะห์แสง *Rhodobacter sphaeroides* โดยตรึงกับเม็ดพอลิเมอร์สังเคราะห์ คือ polyvinyl alcohol (PVA) และพอลิเมอร์ธรรมชาติ คือ alginate ทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการลดค่าซีโอดีและการกำจัดไนโตรเจนของแบคทีเรียที่ไม่ถูกตรึงและที่ถูกตรึงพบว่า แบคทีเรียที่ถูกตรึงมีประสิทธิภาพในการกำจัดไนโตรเจนและลดค่าซีโอดีได้ดีกว่า นอกจากนี้ยังพบว่าการตรึงแบคทีเรียด้วย alginate ให้ประสิทธิภาพในการลดค่าซีโอดีและปริมาณไนเตรทได้สูงกว่าการตรึงแบคทีเรียด้วย PVA

Demir A. และคณะ (2002) ศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดแอมโมเนียในน้ำด้วย Clinoptilolite ซึ่งเป็นซีโอไลต์ธรรมชาติใช้ในการดูดซับแอมโมเนียซึ่งมีลักษณะเป็นเกล็ดและมีโครงสร้างเป็นรูพรุนสม่ำเสมอเป็นจำนวนมากมีความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกสูงมากพบว่า Clinoptilolite ที่มีอนุภาคขนาดเล็ก (0.13-1.00 มิลลิเมตร) มีความสามารถในการกำจัดแอมโมเนียสูงกว่า Clinoptilolite ที่มีขนาดใหญ่โดยมีความสามารถในการกำจัดแอมโมเนียในน้ำเท่ากับ 0.57 มิลลิกรัมต่อกรัม

Sarioglu M. และคณะ (2005) ศึกษาการกำจัดแอมโมเนียในน้ำเสียชุมชนด้วยซีโอไลต์ธรรมชาติ จากการศึกษาผลของพีเอชและอัตราการไหลต่อประสิทธิภาพการกำจัดแอมโมเนียของ

ซีโอไลต์ พบว่าที่พีเอช 4 และอัตราการไหล 5 มิลลิลิตรต่อนาที ซีโอไลต์มีความสามารถกำจัด แอมโมเนียมเท่ากับ 23.70 มิลลิกรัมต่อกรัม

วัสดุดูดซับจากธรรมชาตินอกจากซีโอไลต์แล้วยังมีวัสดุดูดซับอีกชนิดหนึ่งที่ได้รับความสะดวกในการนำมาใช้ในการบำบัดน้ำเสีย คือ ถ่านกัมมันต์ เนื่องจากมีความสามารถในการดูดซับที่ดี ในปัจจุบันได้มีงานวิจัยที่ศึกษาการกำจัดแอมโมเนียในน้ำด้วยถ่านกัมมันต์ชนิดต่าง ๆ เช่นในงานของ

Long X -L. และคณะ (2008) ศึกษาการดูดซับแอมโมเนียในน้ำในระบบ batch ด้วยผงถ่านกัมมันต์พบว่าประสิทธิภาพในการดูดซับขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ ความเข้มข้นของแอมโมเนีย และประมาณผงถ่านกัมมันต์โดยมีค่าการดูดซับแอมโมเนียสูงสุด 17.19 มิลลิกรัมต่อกรัม

Boopathy R. และคณะ (2013) ศึกษาการดูดซับแอมโมเนียมไอออนในน้ำด้วยผงถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว (coconut shell-activated carbon, CSAC) ในระบบการทดลองที่มีการปั่นกววนตลอดเวลา พบว่าสถานะที่ให้ประสิทธิภาพในการดูดซับแอมโมเนียมไอออนสูงที่สุดคือ พีเอช 9.0 อุณหภูมิ 283 เคลวิน เวลาในการดูดซับ 120 นาที ให้ค่าการดูดซับสูงสุด 2.32 มิลลิกรัมต่อกรัม นอกจากนี้ยังพบว่าขนาดของอนุภาคผงถ่านกัมมันต์ยังส่งผลต่อประสิทธิภาพในการดูดซับโดยผงถ่านที่มีขนาดเล็กประมาณ 300 ไมโครเมตร จะมีประสิทธิภาพในการดูดซับสูงกว่าอนุภาคขนาด 600 ไมโครเมตร จากการศึกษาพฤติกรรมในการดูดซับ (isotherm) พบว่าเป็นไปตาม Freundlich isotherm ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการดูดซับแอมโมเนียมไอออนเป็นการดูดซับทางกายภาพแบบหลายชั้น (multilayer adsorption)

นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยที่ได้ทำการศึกษาการดัดแปรพื้นผิวถ่านกัมมันต์เพื่อเพิ่มความมีขั้วของพื้นผิว เช่น ในงานของ Halim A. A. และคณะ (2013) ศึกษาเปรียบเทียบการดูดซับแอมโมเนียในน้ำด้วยผงถ่านกัมมันต์ (AC) และผงถ่านกัมมันต์ที่ผ่านการดัดแปรพื้นผิวด้วยกรดอินทรีย์ (AC-RCOONa) ในระบบ batch และ fixed-bed column พบว่าสถานะที่เหมาะสมในการดูดซับคือ ช่วงพีเอช 8-9 เวลาที่ใช้ในการดูดซับ 30 นาที โดยผงถ่านกัมมันต์ AC-RCOONa ให้ประสิทธิภาพในการดูดซับเท่ากับ 19.34 มิลลิกรัมต่อกรัม สูงกว่าผงถ่านกัมมันต์ AC ที่ให้ค่าการดูดซับเท่ากับ 4.50 มิลลิกรัมต่อกรัม และพฤติกรรมในการดูดซับเป็นไปตาม isotherm ของการดูดซับแบบ Langmuir ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเป็นการดูดซับทางเคมี (chemisorptions process) ซึ่งคาดว่าเป็นผลเนื่องมาจากการการมีหมู่ carboxylic acid ที่มีขั้วบนพื้นผิวของถ่านกัมมันต์ทำให้เกิดแรงดึงดูดระหว่างหมู่ carboxylic acid และแอมโมเนีย ในขณะที่ AC ที่ไม่ได้ผ่านการดัดแปรบริเวณพื้นผิวจะไม่มีขั้ว ดังนั้นการดูดซับสารที่มีขั้วจึงเกิดได้น้อย แต่ถึงแม้ว่าจะมีงานวิจัยที่แสดงให้เห็นว่าการดัดแปรพื้นผิวถ่านกัมมันต์ให้มีขั้วจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการดูดซับแอมโมเนียก็ตามการที่จะนำมาประยุกต์ใช้เป็นวัสดุดูดซับในระบบขนส่งปลาอาจจะไม่เหมาะสมเนื่องจากอาจจะมีผลกระทบจากกรดที่หลุดจากการทำปฏิกิริยา

จากคุณสมบัติที่หลากหลายของอัลจินต เช่น มีความเข้ากันได้ทางชีวภาพ (biocompatibility) สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ (biodegradability) และไม่เป็นพิษ (non-toxic) ทำให้มีการนำอัลจินตมาเตรียมเป็นไฮโดรเจลเพื่อประยุกต์ใช้ในงานด้านต่าง ๆ รวมทั้งการใช้เป็นวัสดุดูดซับในการกำจัดมลพิษต่าง ๆ ในน้ำ ดังเช่นตัวอย่างงานวิจัยของ Nit ä และคณะ (2007) ได้ทำการศึกษาการเตรียมเม็ดอัลจินตไฮโดรเจลที่มีรูพรุนโดยการใช้ NaHCO_3 เป็นสารสร้างรูพรุนและใช้ Ca_2^+ เป็นสารเชื่อมโยงระหว่างโมเลกุลที่ทำให้เกิดเป็นไฮโดรเจลสำหรับใช้เป็นวัสดุดูดซับไอออนของโลหะหนักที่เป็นพิษ คือ Pb_2^+ และ Cd_2^+ จากน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรม จากการทดลองพบว่าเม็ดอัลจินตชนิดที่มีรูพรุนมีประสิทธิภาพในการดูดซับไอออนของโลหะที่ดี

นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยที่ทำการศึกษาการเพิ่มสมบัติและประสิทธิภาพในการดูดซับโดยการนำมาเตรียมเป็นอัลจินตไฮโดรเจลคอมโพสิต เช่น Bée และคณะ (2011) ได้ศึกษาการเตรียมอัลจินตไฮโดรเจลคอมโพสิตที่มีสมบัติทางแม่เหล็กโดยการผสมอนุภาคนาโนแม่เหล็ก ($\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$) สำหรับใช้เป็นวัสดุดูดซับในการดูดซับโลหะตะกั่วจากน้ำ จากการศึกษาการดูดซับพบว่า ประสิทธิภาพในการดูดซับโลหะตะกั่วสูงสุดที่พีเอชระหว่าง 2.3 ถึง 6.0 โดยความจุสูงสุดในการดูดซับอยู่ที่ 100 มิลลิกรัมต่อกรัม ระยะเวลาที่ในการดูดซับที่เหมาะสม 100 นาที นอกจากนี้ภายหลังจากดูดซับเม็ดอัลจินตยังมีสมบัติความเป็นแม่เหล็กจึงสะดวกต่อการแยกวัสดุดูดซับออกจากสารละลายได้ง่ายโดยอาศัยการดูดแยกด้วยแม่เหล็ก ซึ่งมีความเหมาะสมที่จะนำไปใช้ในกระบวนการบำบัดน้ำเสียจากโลหะหนัก

Hassan A.F. และคณะ (2014) ได้ศึกษาประสิทธิภาพในการดูดซับอาร์เซนิกของตัวดูดซับ 3 ชนิด คือ ถ่านกัมมันต์ (activated carbon; AC) เม็ดแคลเซียมแอลจินต (G) และเม็ดคอมโพสิตแคลเซียมแอลจินตผสมผงถ่านกัมมันต์ (G-AC) จากเมล็ดแอปเปิ้ลพบว่า มีปริมาณของรูพรุนและพื้นที่ผิวเรียงตามลำดับดังนี้ $\text{AC} > \text{G-AC} > \text{G}$ แต่ G จะมีปริมาณของหมู่ฟังก์ชัน acidic สูงกว่าวัสดุดูดซับชนิดอื่น จากการศึกษาการดูดซับพบว่า วัสดุดูดซับชนิดคอมโพสิต G-AC มีประสิทธิภาพในการดูดซับอาร์เซนิกสูงที่สุดให้ค่าการดูดซับเท่ากับ 66.7 มิลลิกรัมต่อกรัม

บทที่ 3

วิธีการศึกษา

1. วัสดุและอุปกรณ์

- 1.1 ปีกเกอร์ ขนาด 50 100 500 และ 1,000 มิลลิลิตร
- 1.2 แท่งแก้วคนสาร
- 1.3 ซ้อนตักสาร
- 1.4 จานแก้วเพาะเชื้อ
- 1.5 กล่องพลาสติกทนความร้อน
- 1.6 ขาดังเหล็ก และที่จับคอนเดนเซอร์
- 1.7 กระจกฉีดยา ขนาด 20 มิลลิลิตร
- 1.8 กระจกอน ขนาดตา 0.197 มิลลิเมตร
- 1.9 เครื่องชั่งหยาบ ทศนิยม 3 ตำแหน่ง (WTE, Binder, Germany)
- 1.10 เครื่องชั่งละเอียด ทศนิยม 4 ตำแหน่ง (AG 285, Mettler Toledo, Switzerland)
- 1.11 ตู้อบลมร้อน (Hot Air Oven) (WTE, Binder, Germany)
- 1.12 เครื่องกวนสารพร้อมให้ความร้อน และแท่งแม่เหล็กกวนสาร (Hotplate & Magnetic Stirrer) (C-MAG HS7, IKA, Germany)

2. สารเคมี

- 2.1 ผงอัลจีเนต (Alginate powder)
- 2.2 โซเดียมไบคาร์บอเนต (NaHCO_3)
- 2.3 ผงถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon)
- 2.4 ซีโอไลต์ (Zeolites)
- 2.5 แคลเซียมคลอไรด์ (CaCl_2)
- 2.6 กรดอะซิติก (CH_3COOH)
- 2.7 น้ำปราศจากไอออน (Deionized water: DI)
- 2.8 น้ำอาร์โอ (Reverse Osmosis water: RO)
- 2.9 แอมโมเนียมคลอไรด์ (NH_4Cl)
- 2.10 เอทิลแอลกอฮอล์ (Ethyl alcohol)
- 2.11 โซเดียมไนโตรพรัสไซด์ (Sodium nitroprusside: $\text{Na}_2[\text{Fe}(\text{CN})_5\text{NO}\cdot 2\text{H}_2\text{O}]$)
- 2.12 ไตรโซเดียมซิเตรทไตรไฮเดรต (Tri-Sodium citrate: $\text{Na}_3\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7$)
- 2.13 โซเดียมไฮโปคลอไรต์ (NaClO)

3. วิธีการทดลอง

การศึกษาแบ่งออกเป็น 2 ช่วงการทดลอง คือ

3.1 การทดลองช่วงที่ 1: การศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับของเม็ดอัลจินตไฮโดรเจลที่ขึ้นรูปร่วมกับผงถ่านกัมมันต์และเม็ดอัลจินตไฮโดรเจลที่ขึ้นรูปร่วมกับซีโอไลต์ ที่มีประสิทธิภาพสูงสุดในห้องปฏิบัติการ

1. วิธีการขึ้นรูปเม็ดอัลจินตไฮโดรเจลร่วมกับผงถ่านกัมมันต์

- 1) ชั่งอัลจินต ผงถ่านกัมมันต์ และโซเดียมไบคาร์บอเนต ตามตารางที่ 3-1 ละลายด้วยน้ำกลั่นปริมาตร 200 มิลลิลิตร แล้วนำไปให้ความร้อนประมาณ 50 องศาเซลเซียส พร้อมกวนจนสารเป็นเนื้อเดียวกัน (ภาพที่ 3 -1 a)
- 2) เตรียมสารละลายแคลเซียมคลอไรด์และกรดอะซิติก โดยตวงน้ำกลั่น 1 ลิตร แคลเซียมคลอไรด์ 2.775 กรัม และกรดอะซิติก 50 มิลลิลิตร แล้วเทลงในกล่องพลาสติก กล่องละ 200 มิลลิลิตร ใส่แม่เหล็กและวางบนเครื่องกวนสาร (ภาพที่ 3 -1 c)
- 3) ผสมสารละลายอัลจินตด้วยกระบอกลีด้า หยดลงในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์และกรดอะซิติก ที่กวนตลอดเวลา ทิ้งไว้ 1 ชั่วโมง (ภาพที่ 3 -1 d)
- 4) เทใส่กระชอน แล้วล้างเม็ดอัลจินตด้วยน้ำ จนสะอาดไม่มีกลิ่น (ภาพที่ 3 -1 e)
- 5) วางลงในจานเพาะเชื้อ แล้วนำเข้าตู้อบ ที่อุณหภูมิประมาณ 55 องศาเซลเซียส โดยต้องวอร์มตู้อบก่อนใส่ประมาณ 3 นาที ทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง (ภาพที่ 3 -1 f)

2. วิธีการขึ้นรูปเม็ดอัลจินตไฮโดรเจลร่วมกับซีโอไลต์ ใช้วิธีเช่นเดียวกับข้อ 3.1 โดยปริมาณสารที่ใช้ดังตารางที่ 3-2

ตารางที่ 3 - 1 ปริมาณสารที่ใช้ในการขึ้นรูปเม็ดอัลจินตไฮโดรเจลร่วมกับผงถ่านกัมมันต์ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ

เปอร์เซ็นต์ของผงถ่านกัมมันต์	ผงอัลจินต (กรัม)	ผงถ่านกัมมันต์ (กรัม)	โซเดียมไบคาร์บอเนต (กรัม)	อัตราส่วนของผงอัลจินตต่อผงถ่านกัมมันต์
0 เปอร์เซ็นต์	4	-	2	1: 0
5 เปอร์เซ็นต์	4	0.200	2	1: 0.05
10 เปอร์เซ็นต์	4	0.400	2	1: 0.10
25 เปอร์เซ็นต์	4	1.000	2	1: 0.25
50 เปอร์เซ็นต์	4	2.000	2	1: 0.50

ตารางที่ 3 - 2 ปริมาณสารที่ใช้ในการขึ้นรูปเม็ดอัลจินเตอัลจินเตไฮโดรเจลร่วมกับซีโอไลต์ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ

เปอร์เซ็นต์ของซีโอไลต์	ผงอัลจินเต (กรัม)	ซีโอไลต์ (กรัม)	โซเดียมไบคาร์บอเนต (กรัม)	อัตราส่วนของผงอัลจินเตต่อซีโอไลต์
0 เปอร์เซ็นต์	4	-	2	1: 0
5 เปอร์เซ็นต์	4	0.200	2	1: 0.05
10 เปอร์เซ็นต์	4	0.400	2	1: 0.10
25 เปอร์เซ็นต์	4	1.000	2	1: 0.25
50 เปอร์เซ็นต์	4	2.000	2	1: 0.50

3. การทดสอบการดูดซับแอมโมเนียรวมในน้ำ ในห้องปฏิบัติการ โดยศึกษาระดับความเข้มข้นของเม็ดอัลจินเตไฮโดรเจลที่ขึ้นรูปร่วมกับผงถ่านกัมมันต์และเม็ดอัลจินเตไฮโดรเจลที่ขึ้นรูปร่วมกับซีโอไลต์ ที่มีความสามารถในการดูดซับสูงที่สุด

1. การเตรียมน้ำแอมโมเนียมคลอไรด์

1) เตรียมน้ำแอมโมเนียมคลอไรด์ โดยเริ่มจากนำแอมโมเนียมคลอไรด์ไปอบที่อุณหภูมิ 105 - 110 องศาเซลเซียส นาน 1 - 2 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น

2) ชั่ง 0.1910 กรัม ละลายด้วยน้ำปราศจากไอออน และปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร ปิเปตออกมา 2 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร ด้วยขวดปรับปริมาตร ซึ่งจะมี ความเข้มข้นแอมโมเนียมคลอไรด์เท่ากับ 1.5 มิลลิกรัม-ไนโตรเจนต่อลิตร

3) จากนั้นปิเปตออกมา 15 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตร ด้วยขวดปรับปริมาตร ขนาด 100 มิลลิลิตร จะได้แอมโมเนียมคลอไรด์ที่มีความเข้มข้นเท่ากับ 4.5 ไมโครโมลาร์

2. ทดสอบการดูดซับแอมโมเนียในห้องปฏิบัติการ

1) แบ่งออกเป็น 2 ชุดการทดลอง ได้แก่

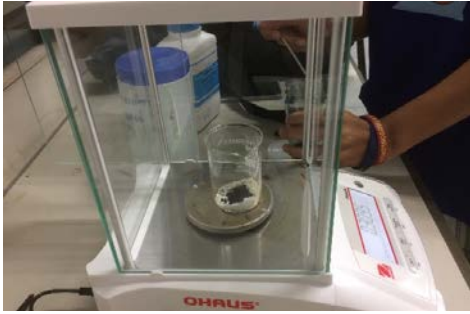
1.1 ชุดการทดลองที่ใช้เม็ดอัลจินเตที่ขึ้นรูปร่วมกับผงถ่านกัมมันต์

1.2. ชุดการทดลองที่ใช้เม็ดอัลจินเตที่ขึ้นรูปร่วมกับซีโอไลต์

2) ทดสอบการดูดซับแอมโมเนียรวม ไนโตรเจน และไนเตรท ของเม็ดอัลจินเตที่ขึ้นรูปร่วมกับผงถ่านกัมมันต์ และเม็ดอัลจินเตที่ขึ้นรูปร่วมกับซีโอไลต์ ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ดังตารางที่ 3-3 และ 3-4

3) แต่ละกลุ่มการทดลอง ชั่งเม็ดอัลจินเตไฮโดรเจล เท่ากับ 2 กรัม ตัวอย่างละ 3 ซ้ำ แสงลงในน้ำตัวอย่าง 1 ลิตร โดยใส่เกลือในอัตราส่วน เกลือ 1 กรัม ต่อน้ำตัวอย่าง 1 ลิตร

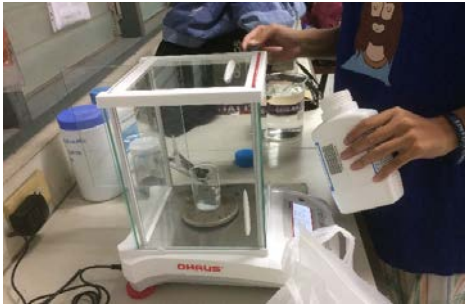
4) เก็บตัวอย่างน้ำมาวิเคราะห์ปริมาณแอมโมเนียรวมในน้ำ ไนโตรท์ และไนเตรท
ทุก ๆ 1 1.30 และ 2 ชั่วโมง ตามลำดับ



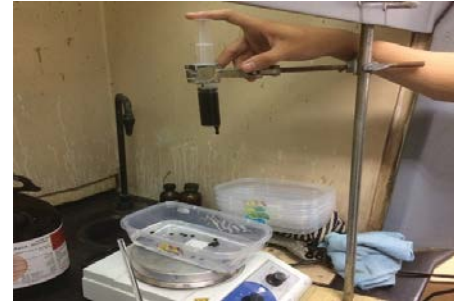
a



b



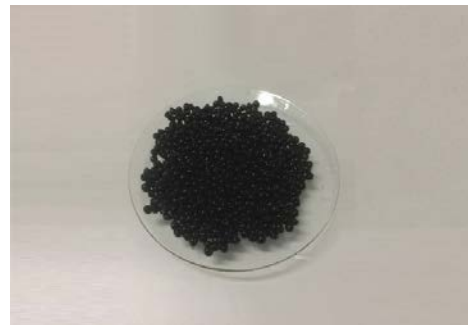
c



d



e



f

ภาพที่ 3-1 วิธีการขึ้นรูปเม็ดอัลจินตร่วมกับผงถ่านกัมมันต์ : a คือ ชั่งอัลจินต และผงถ่าน;
b คือ ให้ความร้อนพร้อมกวนสาร; c คือ เตรียมสารละลายแคลเซียมคลอไรด์และ
กรดอะซิติก; d คือ หยดเม็ดอัลจินต; e คือ ล้างเม็ดอัลจินต; f คือ วางเม็ดอัลจินต
ลงในจานเพาะเชื้อ

ตารางที่ 3 - 3 ชุดการทดลองที่ 1 เม็ดอัลจิเนตที่ขึ้นรูปร่วมกับผงถ่านกัมมันต์

กลุ่มทดลอง	ระดับความเข้มข้น (เปอร์เซ็นต์)
กลุ่มควบคุม	เม็ดอัลจิเนตที่ขึ้นรูปกับผงถ่านกัมมันต์ 0 เปอร์เซ็นต์
กลุ่มการทดลองที่ 1	เม็ดอัลจิเนตที่ขึ้นรูปกับผงถ่านกัมมันต์ 5 เปอร์เซ็นต์
กลุ่มการทดลองที่ 2	เม็ดอัลจิเนตที่ขึ้นรูปกับผงถ่านกัมมันต์ 10 เปอร์เซ็นต์
กลุ่มการทดลองที่ 3	เม็ดอัลจิเนตที่ขึ้นรูปกับผงถ่านกัมมันต์ 25 เปอร์เซ็นต์
กลุ่มการทดลองที่ 4	เม็ดอัลจิเนตที่ขึ้นรูปกับผงถ่านกัมมันต์ 50 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 3 - 4 ชุดการทดลองที่ 2 เม็ดอัลจิเนตที่ขึ้นรูปร่วมกับซีโอไลต์

กลุ่มทดลอง	ระดับความเข้มข้น (เปอร์เซ็นต์)
กลุ่มควบคุม	เม็ดอัลจิเนตที่ขึ้นรูปกับซีโอไลต์ 0 เปอร์เซ็นต์
กลุ่มการทดลองที่ 1	เม็ดอัลจิเนตที่ขึ้นรูปกับซีโอไลต์ 5 เปอร์เซ็นต์
กลุ่มการทดลองที่ 2	เม็ดอัลจิเนตที่ขึ้นรูปกับซีโอไลต์ 10 เปอร์เซ็นต์
กลุ่มการทดลองที่ 3	เม็ดอัลจิเนตที่ขึ้นรูปกับซีโอไลต์ 25 เปอร์เซ็นต์
กลุ่มการทดลองที่ 4	เม็ดอัลจิเนตที่ขึ้นรูปกับซีโอไลต์ 50 เปอร์เซ็นต์

3. การคำนวณปริมาณแอมโมเนีย ไนไตรท์ และไนเตรท ในน้ำที่ลดลง

$$A (\%) = \frac{(C_0 - C)}{C_0} \times 100$$

- โดยที่ A คือ ปริมาณแอมโมเนีย/ไนไตรท์/ไนเตรท ในน้ำที่ลดลง
 C_0 คือ ความเข้มข้นเริ่มต้น
 C คือ ความเข้มข้นที่เหลือหลังการใช้เม็ดอัลจิเนตไฮโดรเจล

4. การคำนวณความสามารถการบวมตัวของเม็ดอัลจิเนตไฮโดรเจล

$$\text{Swelling ratio } (\%) = \frac{(W_t - W_d)}{W_d} \times 100$$

- เมื่อ W_t คือ น้ำหนักเม็ดอัลจิเนตไฮโดรเจลหลังบวมตัว (กรัม)
 W_d คือ น้ำหนักเม็ดอัลจิเนตไฮโดรเจลแห้ง (กรัม)

3.2 การทดลองช่วงที่ 2: การศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับของเม็ดอัลจิเนตไฮโดรเจลที่ขึ้นรูปร่วมกับผงถ่านกัมมันต์และเม็ดอัลจิเนตไฮโดรเจลที่ขึ้นรูปร่วมกับซีโอไลต์ในการขนส่งปลาสวยงาม นำผลการทดลองในข้อที่ 3 ที่ให้ผลดีที่สุดในแต่ละชุดการทดลอง นำไปทดสอบในการขนส่งปลาหางนกยูงที่มีน้ำหนักขนาด 1 - 2 กรัม และปลาทองที่น้ำหนักเฉลี่ย 5 กรัม ปริมาณเม็ดอัลจิเนตในการทดลองที่ 3.3 จะคำนวณจากปริมาตรน้ำที่ใช้จริง เก็บตัวอย่างน้ำก่อนขนส่งเพื่อวิเคราะห์หาปริมาณแอมโมเนียรวม ไนโตรเจน และไนเตรท ตามวิธีของ Strickland and Parsons (1972) รวมทั้งวัดอุณหภูมิ น้ำ และพีเอชด้วยเครื่อง YSI DO 200-4M หลังจากนั้นบรรจุลงตัวอย่างปลาลงในถังโฟมที่ปิดฝาสนิท ขนส่งเป็นระยะเวลาเป็นเวลา 2 ชั่วโมง จนถึงห้องปฏิบัติการภาควิชาวาริชศาสตร์ เปิดดูตัวอย่าง รวมทั้งวัดอุณหภูมิ น้ำ และพีเอชด้วยเครื่อง YSI DO 200-4M แล้วเก็บตัวอย่างน้ำก่อนขนส่งเพื่อวิเคราะห์หาปริมาณแอมโมเนียรวม ไนโตรเจน และไนเตรท ตามวิธีของ Strickland and Parsons (1972) จากนั้นจะนำปลาที่ถูกขนส่งมาพักในถังน้ำที่พักปรับสภาพแล้วก่อนปล่อยลงเลี้ยง ติดตามอัตราการรอดหลังจากขนส่ง

การวิเคราะห์อัตราการรอดตาย (Survival rate; %) หลังทำการขนส่ง 7 วัน

$$\text{อัตราการรอดตาย (\%)} = \frac{\text{จำนวนปลาหลังสิ้นสุดการทดลอง}}{\text{จำนวนปลาเริ่มต้นการทดลอง}} \times 100$$

4. วิธีการประเมินผล / สังเคราะห์ข้อมูล

ความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของปริมาณแอมโมเนียของแต่ละกลุ่มการทดลองที่ถูกดูดซับด้วยเม็ดอัลจิเนตไฮโดรเจลที่ขึ้นกับผงถ่านกัมมันต์ และเม็ดอัลจิเนตไฮโดรเจลที่ขึ้นรูปกับซีโอไลต์ที่ระดับความเข้มข้นต่างกันที่ทดลองในห้องปฏิบัติการด้วย การเปลี่ยนแปลงปริมาณแอมโมเนียในแต่ละชั่วโมง และปริมาณแอมโมเนียในการขนส่งปลาสวยงามจะวิเคราะห์ด้วย ANOVA

บทที่ 4

ผลการศึกษา

1. การศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับของเม็ดอัลจิเนตไฮโดรเจลที่ขึ้นรูปร่วมกับผงถ่านกัมมันต์และเม็ดอัลจิเนตไฮโดรเจลที่ขึ้นรูปร่วมกับซีโอไลต์ ที่มีประสิทธิภาพสูงสุดในห้องปฏิบัติการ

จากการทดสอบการดูดซับของเม็ดอัลจิเนตไฮโดรเจลที่ขึ้นรูปร่วมกับผงถ่านกัมมันต์และเม็ดอัลจิเนตไฮโดรเจลที่ขึ้นรูปร่วมกับซีโอไลต์ที่ระดับความเข้มข้น 0 5 10 25 และ 50 เปอร์เซ็นต์ ที่เวลา 1 1.30 และ 2 ชั่วโมง พบว่า

1. เม็ดอัลจิเนตไฮโดรเจลที่ขึ้นรูปร่วมกับผงถ่านกัมมันต์ที่ความเข้มข้นแตกต่างกันในห้องปฏิบัติการ

1.1 พีเอชในน้ำ

พีเอชในน้ำตลอดการศึกษา มีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 1.07 ± 0.11 ถึง 2.76 ± 0.03 พีเอชในน้ำเฉลี่ยสูงสุดที่ระดับความเข้มข้น 50 เปอร์เซ็นต์ เท่ากับ 2.76 ± 0.03 รองลงมา คือ ระดับความเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์ และระดับความเข้มข้น 25 เปอร์เซ็นต์ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.49 ± 0.06 และ 2.39 ± 0.03 ตามลำดับ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p < 0.05$) (ตารางที่ 4-1)

พีเอชในน้ำที่ระยะเวลาทดลอง 1.30 และ 2 ชั่วโมง มีค่าเฉลี่ยสูงสุด เท่ากับ 2.26 ± 0.54 และ 2.26 ± 0.63 ตามลำดับ รองลงมา คือ ระยะเวลาทดลอง 1 ชั่วโมง เท่ากับ 2.23 ± 0.62 ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p > 0.05$) (ตารางที่ 4-1)

ตารางที่ 4-1 พีเอชในน้ำที่ใส่เม็ดอัลจิเนตไฮโดรเจลที่ขึ้นรูปร่วมกับผงถ่านกัมมันต์ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ

ระยะเวลาทดลอง	ชุดควบคุม	ระดับความเข้มข้นของผงถ่านกัมมันต์ (เปอร์เซ็นต์)					เฉลี่ย
		0	5	10	25	50	
1 ชั่วโมง	1.00 ± 0.44	2.43 ± 0.04	2.23 ± 0.55	2.54 ± 0.08	2.44 ± 0.02	2.73 ± 0.01	2.23 ± 0.62^a
1.30 ชั่วโมง	1.20 ± 0.24	2.46 ± 0.06	2.37 ± 0.19	2.43 ± 0.08	2.31 ± 0.07	2.76 ± 0.03	2.26 ± 0.54^a
2 ชั่วโมง	1.01 ± 0.29	2.55 ± 0.15	2.28 ± 0.07	2.50 ± 0.01	2.42 ± 0.36	2.78 ± 0.01	2.26 ± 0.63^a
เฉลี่ย	1.07 ± 0.11^1	2.48 ± 0.06^3	2.23 ± 0.20^2	2.49 ± 0.06^3	2.39 ± 0.07^3	2.76 ± 0.03^4	

หมายเหตุ ชุดควบคุม คือ ชุดการทดลองที่ไม่มีการใส่เม็ดอัลจิเนตไฮโดรเจล

^{a, b} ที่แสดงในคอลัมน์เดียวกัน แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p < 0.05$)

^{1,2} ที่แสดงในแถวเดียวกัน แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p < 0.05$)

1.2 อุณหภูมิของน้ำ

อุณหภูมิของน้ำตลอดการศึกษา มีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 0.06 ± 0.02 ถึง 0.23 ± 0.11 องศาเซลเซียส อุณหภูมิของน้ำเฉลี่ยสูงสุดที่ชุดควบคุม เท่ากับ 0.23 ± 0.11 องศาเซลเซียส รองลงมา คือ ระดับความเข้มข้น 50 เปอร์เซ็นต์ และระดับความเข้มข้น 0 เปอร์เซ็นต์ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.20 ± 0.06 และ 0.13 ± 0.01 องศาเซลเซียส ตามลำดับ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p < 0.05$) (ตารางที่ 4-2)

อุณหภูมิของน้ำที่ระยะเวลาทดลอง 2 ชั่วโมง มีค่าเฉลี่ยสูงสุด เท่ากับ 0.15 ± 0.10 องศาเซลเซียส รองลงมา คือ ระยะเวลาทดลอง 1.30 และ 1 ชั่วโมง เท่ากับ 0.13 ± 0.09 และ 0.08 ± 0.05 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p > 0.05$) (ตารางที่ 4-2)

ตารางที่ 4-2 อุณหภูมิของน้ำที่ใส่เม็ดอัลจินเตไฮโดรเจลที่ขึ้นรูปร่วมกับผงถ่านกัมมันต์ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ

ระยะเวลาทดลอง	ชุดควบคุม	ระดับความเข้มข้นของผงถ่านกัมมันต์ (เปอร์เซ็นต์)					
		0	5	10	25	50	เฉลี่ย
1 ชั่วโมง	0.10 ± 0.17	0.13 ± 0.03	0.07 ± 0.09	0.03 ± 0.05	0.03 ± 0.05	0.13 ± 0.05	0.08 ± 0.05^a
1.30 ชั่วโมง	0.26 ± 0.19	0.14 ± 0.08	0.03 ± 0.05	0.07 ± 0.05	0.07 ± 0.03	0.23 ± 0.09	0.13 ± 0.09^a
2 ชั่วโมง	0.32 ± 0.19	0.12 ± 0.00	0.07 ± 0.05	0.07 ± 0.05	0.10 ± 0.08	0.24 ± 0.02	0.15 ± 0.10^a
เฉลี่ย	0.23 ± 0.11^3	0.13 ± 0.01^2	0.06 ± 0.02^1	0.06 ± 0.02^1	0.07 ± 0.04^1	0.20 ± 0.06^3	

หมายเหตุ ชุดควบคุม คือ ชุดการทดลองที่ไม่มีการใส่เม็ดอัลจินเตไฮโดรเจล

^{a, b} ที่แสดงในคอลัมน์เดียวกัน แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p < 0.05$)

^{1,2} ที่แสดงในแถวเดียวกัน แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p < 0.05$)

1.3 ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ

ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำตลอดการศึกษา มีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 0.76 ± 0.10 ถึง 1.17 ± 0.37 มิลลิกรัม/ลิตร ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำเฉลี่ยสูงสุดที่ระดับความเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์ เท่ากับ 1.17 ± 0.37 มิลลิกรัม/ลิตร รองลงมา คือ ระดับความเข้มข้น 25 เปอร์เซ็นต์ และชุดควบคุม มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.14 ± 0.19 และ 0.86 ± 0.15 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p < 0.05$) (ตารางที่ 4-3)

ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำที่ระยะเวลาทดลอง 1.30 ชั่วโมง มีค่าเฉลี่ยสูงสุด เท่ากับ 1.02 ± 0.30 มิลลิกรัม/ลิตร รองลงมา คือ ระยะเวลาทดลอง 1 และ 2 ชั่วโมง เท่ากับ 0.89 ± 0.25 และ 0.86 ± 0.17 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p > 0.05$) (ตารางที่ 4-3)

ตารางที่ 4-3 ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำที่ใส่เม็ดอัลจิเนตไฮโดรเจลที่ขึ้นรูปร่วมกับผงถ่านกัมมันต์ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ

ระยะเวลาทดลอง	ชุดควบคุม	ระดับความเข้มข้นของผงถ่านกัมมันต์ (เปอร์เซ็นต์)					
		0	5	10	25	50	เฉลี่ย
1 ชั่วโมง	0.70±0.12	0.88±0.11	0.88±0.03	0.86±0.19	1.36±0.18	0.65±0.10	0.89±0.25 ^a
1.30 ชั่วโมง	0.99±0.42	0.83±0.09	0.71±0.06	1.58±0.02	1.01±0.52	0.97±0.24	1.02±0.30 ^a
2 ชั่วโมง	0.88±0.29	0.68±0.17	0.70±0.10	1.06±0.13	1.05 ±0.23	0.79±0.23	0.86±0.17 ^a
เฉลี่ย	0.86±0.15 ¹	0.80±0.10 ¹	0.76±0.10 ¹	1.17±0.37 ²	1.14±0.19 ²	0.80±0.16 ¹	

หมายเหตุ ชุดควบคุม คือ ชุดการทดลองที่ไม่มีการใส่เม็ดอัลจิเนตไฮโดรเจล

^{a, b} ที่แสดงในคอลัมน์เดียวกัน แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p < 0.05$)

^{1,2} ที่แสดงในแถวเดียวกัน แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p < 0.05$)

1.4 การบวมตัวของเม็ดอัลจิเนตไฮโดรเจล

การบวมตัวของเม็ดอัลจิเนตไฮโดรเจลตลอดการศึกษา มีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 538.30 ± 54.79 ถึง 847.57 ± 41.45 เปอร์เซ็นต์ การบวมตัวของเม็ดอัลจิเนตไฮโดรเจลเฉลี่ยสูงสุดที่ระดับความเข้มข้น 5 เปอร์เซ็นต์ เท่ากับ 847.57 ± 41.45 เปอร์เซ็นต์ รองลงมา คือ ระดับความเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์ และระดับความเข้มข้น 0 เปอร์เซ็นต์ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 743.45 ± 91.40 และ 652.25 ± 40.06 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p < 0.05$) (ตารางที่ 4-4)

การบวมตัวของเม็ดอัลจิเนตไฮโดรเจลที่ระยะเวลาทดลอง 2 ชั่วโมง มีค่าเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 807.39 ± 57.68 เปอร์เซ็นต์ รองลงมา คือ ระยะเวลาทดลอง 1.30 และ 1 ชั่วโมง เท่ากับ 692.63 ± 64.02 และ 583.19 ± 56.17 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p > 0.05$) (ตารางที่ 4-4)

ตารางที่ 4-4 การบวมตัวของเม็ดอัลจิเนตไฮโดรเจลที่ขึ้นรูปร่วมกับผงถ่านกัมมันต์ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ

ระยะเวลาทดลอง	ระดับความเข้มข้นของผงถ่านกัมมันต์ (เปอร์เซ็นต์)					
	0	5	10	25	50	เฉลี่ย
1 ชั่วโมง	520.50±3.33	718.71±7.15	647.35±2.01	596.68±2.34	432.71±3.71	583.19±56.17 ^a
1.30 ชั่วโมง	636.89±8.11	825.08±6.52	753.70±3.19	699.60±3.02	547.89±3.03	692.63±64.02 ^b
2 ชั่วโมง	799.36±3.10	998.92±8.49	829.29±2.04	775.07±4.59	634.29±2.05	807.39±57.68 ^c
เฉลี่ย	652.25±40.06 ²	847.57±41.45 ⁴	743.45±91.40 ³	690.45±89.55 ²	538.30±54.79 ¹	

หมายเหตุ ^{a, b} ที่แสดงในคอลัมน์เดียวกัน แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p < 0.05$)

^{1,2} ที่แสดงในแถวเดียวกัน แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p < 0.05$)

1.5 ประสิทธิภาพการดูดซับแอมโมเนียรวมในน้ำ

ประสิทธิภาพการดูดซับแอมโมเนียรวมในน้ำตลอดการศึกษา มีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 0.13 ± 0.01 ถึง 43.66 ± 2.29 เปอร์เซ็นต์ ประสิทธิภาพการดูดซับแอมโมเนียรวมในน้ำเฉลี่ยสูงสุดที่ระดับความเข้มข้น 50 เปอร์เซ็นต์ เท่ากับ 43.66 ± 2.29 เปอร์เซ็นต์ รองลงมา คือ ระดับความเข้มข้น 25 เปอร์เซ็นต์ และระดับความเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 28.03 ± 6.28 และ 24.77 ± 1.81 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p < 0.05$) (ตารางที่ 4-5)

ประสิทธิภาพการดูดซับแอมโมเนียรวมในน้ำที่ระยะเวลาทดลอง 1.30 ชั่วโมง มีค่าเฉลี่ยสูงสุด เท่ากับ 23.29 ± 14.58 เปอร์เซ็นต์ รองลงมา คือ ระยะเวลาทดลอง 1 และ 2 ชั่วโมง เท่ากับ 23.14 ± 15.81 และ 21.32 ± 13.04 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p > 0.05$) (ตารางที่ 4-5)

ตารางที่ 4-5 ประสิทธิภาพการดูดซับแอมโมเนียรวมในน้ำของเม็ดอัลจิเนตไฮโดรเจลที่ขึ้นรูปร่วมกับผงถ่านกัมมันต์ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ

ระยะเวลาทดลอง	ชุดควบคุม	ระดับความเข้มข้นของผงถ่านกัมมันต์ (เปอร์เซ็นต์)					เฉลี่ย
		0	5	10	25	50	
1 ชั่วโมง	0.14 ± 0.05	18.12 ± 2.62	14.62 ± 5.17	26.86 ± 3.94	33.58 ± 5.68	45.50 ± 1.62	23.14 ± 15.81^b
1.30 ชั่วโมง	0.12 ± 0.22	16.85 ± 1.66	25.23 ± 3.01	23.84 ± 3.93	29.29 ± 1.42	44.39 ± 0.57	23.29 ± 14.58^b
2 ชั่วโมง	0.14 ± 0.16	19.27 ± 2.42	22.61 ± 4.53	23.61 ± 2.21	21.22 ± 3.35	41.09 ± 2.47	21.32 ± 13.04^a
เฉลี่ย	0.13 ± 0.01^1	18.08 ± 1.21^2	20.82 ± 5.53^2	24.77 ± 1.81^3	28.03 ± 6.28^4	43.66 ± 2.29^5	

หมายเหตุ ชุดควบคุม คือ ชุดการทดลองที่ไม่มีการใส่เม็ดอัลจิเนตไฮโดรเจล

^{a, b} ที่แสดงในคอลัมน์เดียวกัน แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p < 0.05$)

^{1,2} ที่แสดงในแถวเดียวกัน แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p < 0.05$)

1.6 ประสิทธิภาพการดูดซับไนโตรเจนในน้ำ

ประสิทธิภาพการดูดซับไนโตรเจนในน้ำตลอดการศึกษา มีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 3.76 ± 4.30 ถึง 62.60 ± 2.71 เปอร์เซ็นต์ ประสิทธิภาพการดูดซับไนโตรเจนในน้ำเฉลี่ยสูงสุดที่ระดับความเข้มข้น 50 เปอร์เซ็นต์ เท่ากับ 62.60 ± 2.71 เปอร์เซ็นต์ รองลงมา คือ ระดับความเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์ และระดับความเข้มข้น 25 เปอร์เซ็นต์ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 51.64 ± 8.13 และ 25.04 ± 2.71 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p < 0.05$) (ตารางที่ 4-6)

ประสิทธิภาพการดูดซับไนโตรเจนในน้ำที่ระยะเวลาทดลอง 2 ชั่วโมง มีค่าเฉลี่ยสูงสุด เท่ากับ 31.40 ± 24.03 เปอร์เซ็นต์ รองลงมา คือ ระยะเวลาทดลอง 1.30 และ 1 ชั่วโมง เท่ากับ 28.85 ± 24.41 และ 26.46 ± 21.50 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p > 0.05$) (ตารางที่ 4-6)

ตารางที่ 4-6 ประสิทธิภาพการดูดซับไนโตรเจนในน้ำของเม็ดอัลจิเนตไฮโดรเจลที่ขึ้นรูปร่วมกับผงถ่านกัมมันต์ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ

ระยะเวลาทดลอง	ชุดควบคุม	ระดับความเข้มข้นของผงถ่านกัมมันต์ (เปอร์เซ็นต์)					
		0	5	10	25	50	เฉลี่ย
1 ชั่วโมง	2.82±20.89	11.64±7.57	17.56±7.57	42.25±0.00	23.47±17.57	61.03±13.28	26.46±21.50 ^a
1.30 ชั่วโมง	0.01±19.92	17.56±6.64	14.69±13.28	56.34±11.50	23.47±17.57	61.03±13.28	28.85±24.41 ^b
2 ชั่วโมง	8.45±7.71	15.64±5.64	14.08±0.03	56.34±11.50	28.17±11.50	65.73±13.28	31.40±24.03 ^c
เฉลี่ย	3.76±4.30 ¹	14.95±3.02 ²	15.44±1.86 ²	51.64±8.13 ⁴	25.04±2.71 ³	62.60±2.71 ⁵	

หมายเหตุ ชุดควบคุม คือ ชุดการทดลองที่ไม่มีการใส่เม็ดอัลจิเนตไฮโดรเจล

^{a, b} ที่แสดงในคอลัมน์เดียวกัน แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p < 0.05$)

^{1, 2} ที่แสดงในแถวเดียวกัน แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p < 0.05$)

1.7 ประสิทธิภาพการดูดซับไนเตรทในน้ำ

ประสิทธิภาพการดูดซับไนเตรทในน้ำตลอดการศึกษา มีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 0.25±0.14 ถึง 28.48±9.03 เปอร์เซ็นต์ ประสิทธิภาพการดูดซับไนเตรทในน้ำเฉลี่ยสูงสุดที่ระดับความเข้มข้น 50 เปอร์เซ็นต์ เท่ากับ 28.48±9.03 เปอร์เซ็นต์ รองลงมา คือ ระดับความเข้มข้น 25 เปอร์เซ็นต์ และระดับความเข้มข้น 5 เปอร์เซ็นต์ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 19.52±1.59 และ 13.41±6.52 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p < 0.05$) (ตารางที่ 4-7)

ประสิทธิภาพการดูดซับไนเตรทในน้ำที่ระยะเวลาทดลอง 1 ชั่วโมง มีค่าเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 15.45±9.88 เปอร์เซ็นต์ รองลงมา คือ ระยะเวลาทดลอง 2 และ 1.30 ชั่วโมง เท่ากับ 14.69±12.86 และ 10.35±7.89 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p > 0.05$) (ตารางที่ 4-7)

ตารางที่ 4-7 ประสิทธิภาพการดูดซับไนเตรทในน้ำของเม็ดอัลจิเนตไฮโดรเจลที่ขึ้นรูปร่วมกับผงถ่านกัมมันต์ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ

ระยะเวลาทดลอง	ชุดควบคุม	ระดับความเข้มข้นของผงถ่านกัมมันต์ (เปอร์เซ็นต์)					
		0	5	10	25	50	เฉลี่ย
1 ชั่วโมง	0.32±0.12	12.81±1.95	20.79±9.28	9.61±3.83	21.23±6.66	27.94±2.69	15.45±9.88 ^b
1.30 ชั่วโมง	0.34±0.12	7.23±5.30	11.03±2.03	4.54±1.10	19.22±0.48	19.74±10.12	10.35±7.89 ^a
2 ชั่วโมง	0.09±0.30	9.24±4.50	8.42±3.76	14.53±11.09	18.10±0.18	37.77±7.59	14.69±12.86 ^c
เฉลี่ย	0.25±0.14 ¹	9.76±2.83 ²	13.41±6.52 ³	9.56±5.00 ²	19.52±1.59 ⁴	28.48±9.03 ⁵	

หมายเหตุ ชุดควบคุม คือ ชุดการทดลองที่ไม่มีการใส่เม็ดอัลจิเนตไฮโดรเจล

^{a, b} ที่แสดงในคอลัมน์เดียวกัน แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p < 0.05$)

^{1, 2} ที่แสดงในแถวเดียวกัน แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p < 0.05$)

2. เม็ดอัลจินเตไฮโดรเจลที่ขึ้นรูปร่วมกับซีโอไลต์ที่ความเข้มข้นแตกต่างกันใน ห้องปฏิบัติการ

2.1 พีเอชในน้ำ

พีเอชในน้ำตลอดการศึกษา มีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 2.16 ± 0.38 ถึง 4.23 ± 0.03 พีเอช
ในน้ำเฉลี่ยสูงสุดที่ระดับความเข้มข้น 25 เปอร์เซ็นต์ เท่ากับ 4.23 ± 0.03 รองลงมา คือ ระดับความ
เข้มข้น 0 เปอร์เซ็นต์ และระดับความเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.19 ± 0.04 และ
 3.89 ± 0.35 ตามลำดับ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์
($p < 0.05$) (ตารางที่ 4-8)

พีเอชในน้ำที่ระยะเวลาทดลอง 2 ชั่วโมง มีค่าเฉลี่ยสูงสุด เท่ากับ 3.42 ± 0.99 รองลงมา
คือ ระยะเวลาทดลอง 1.30 และ 1 ชั่วโมง เท่ากับ 3.31 ± 0.91 และ 3.06 ± 1.07 ตามลำดับ ไม่มีความ
แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p > 0.05$) (ตารางที่ 4-8)

ตารางที่ 4-8 พีเอชในน้ำที่ใส่เม็ดอัลจินเตไฮโดรเจลที่ขึ้นรูปร่วมกับซีโอไลต์ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ

ระยะเวลาทดลอง	ชุดควบคุม	ระดับความเข้มข้นของซีโอไลต์ (เปอร์เซ็นต์)					
		0	5	10	25	50	เฉลี่ย
1 ชั่วโมง	2.36 ± 0.47	4.24 ± 0.13	1.67 ± 0.02	3.50 ± 0.03	4.19 ± 0.03	2.42 ± 0.11	3.06 ± 1.07^a
1.30 ชั่วโมง	2.64 ± 0.37	4.17 ± 0.06	2.48 ± 0.15	3.99 ± 0.07	4.25 ± 0.00	2.34 ± 0.16	3.31 ± 0.91^a
2 ชั่วโมง	2.98 ± 0.14	4.16 ± 0.02	3.23 ± 0.08	4.17 ± 0.02	4.24 ± 0.06	1.73 ± 0.11	3.42 ± 0.99^a
เฉลี่ย	2.66 ± 0.31^1	4.19 ± 0.04^3	2.46 ± 0.78^1	3.89 ± 0.35^2	4.23 ± 0.03^3	2.16 ± 0.38^1	

หมายเหตุ ชุดควบคุม คือ ชุดการทดลองที่ไม่มีการใส่เม็ดอัลจินเตไฮโดรเจล

^{a, b} ที่แสดงในคอลัมน์เดียวกัน แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p < 0.05$)

^{1,2} ที่แสดงในแถวเดียวกัน แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p < 0.05$)

2.2 อุณหภูมิของน้ำ

อุณหภูมิของน้ำตลอดการศึกษา มีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 0.32 ± 0.13 ถึง 0.59 ± 0.02
องศาเซลเซียส อุณหภูมิของน้ำเฉลี่ยสูงสุดที่ระดับความเข้มข้น 25 เปอร์เซ็นต์ เท่ากับ 0.59 ± 0.02
องศาเซลเซียส รองลงมา คือ ระดับความเข้มข้น 50 เปอร์เซ็นต์ และระดับความเข้มข้น 5 เปอร์เซ็นต์ มี
ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.52 ± 0.02 และ 0.43 ± 0.06 องศาเซลเซียส ตามลำดับ มีความแตกต่างกันอย่างมี
นัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p < 0.05$) (ตารางที่ 4-9)

อุณหภูมิของน้ำที่ระยะเวลาทดลอง 2 ชั่วโมง มีค่าเฉลี่ยสูงสุด เท่ากับ 0.50 ± 0.09 องศา
เซลเซียส รองลงมา คือ ระยะเวลาทดลอง 1.30 และ 1 ชั่วโมง เท่ากับ 0.46 ± 0.09 และ 0.39 ± 0.15
องศาเซลเซียส ตามลำดับ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95
เปอร์เซ็นต์ ($p > 0.05$) (ตารางที่ 4-9)

ตารางที่ 4-9 อุณหภูมิของน้ำที่ใส่เม็ดอัลจินเตไฮโดรเจลที่ขึ้นรูปร่วมกับซีโอโลต์ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ

ระยะเวลาทดลอง	ชุดควบคุม	ระดับความเข้มข้นของซีโอโลต์ (เปอร์เซ็นต์)					เฉลี่ย
		0	5	10	25	50	
1 ชั่วโมง	0.40±0.16	0.17±0.33	0.40±0.14	0.27±0.05	0.57±0.12	0.53±0.05	0.39±0.15 ^a
1.30 ชั่วโมง	0.46±0.18	0.40±0.08	0.40±0.08	0.37±0.05	0.60±0.00	0.50±0.08	0.46±0.09 ^b
2 ชั่วโมง	0.58±0.13	0.40±0.00	0.50±0.08	0.40±0.00	0.60±0.00	0.53±0.05	0.50±0.10 ^b
เฉลี่ย	0.48±0.09 ²	0.32±0.13 ¹	0.43±0.06 ²	0.35±0.07 ¹	0.59±0.02 ³	0.52±0.02 ³	

หมายเหตุ ชุดควบคุม คือ ชุดการทดลองที่ไม่มีการใส่เม็ดอัลจินเตไฮโดรเจล

^{a, b} ที่แสดงในคอลัมน์เดียวกัน แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p < 0.05$)

^{1,2} ที่แสดงในแถวเดียวกัน แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p < 0.05$)

2.3 ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ

ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำตลอดการศึกษา มีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 0.48 ± 0.04 ถึง 1.21 ± 0.14 มิลลิกรัม/ลิตร ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำเฉลี่ยสูงสุดที่ระดับความเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์ เท่ากับ 1.21 ± 0.14 มิลลิกรัม/ลิตร รองลงมา คือ ชุดควบคุม และระดับความเข้มข้น 5 เปอร์เซ็นต์ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.88 ± 0.09 และ 0.83 ± 0.13 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p < 0.05$) (ตารางที่ 4-10)

ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำที่ระยะเวลาทดลอง 1 ชั่วโมง มีค่าเฉลี่ยสูงสุด เท่ากับ 0.79 ± 0.30 มิลลิกรัม/ลิตร รองลงมา คือ ระยะเวลาทดลอง 1.30 และ 2 ชั่วโมง เท่ากับ 0.78 ± 0.30 และ 0.62 ± 0.38 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p > 0.05$) (ตารางที่ 4-10)

ตารางที่ 4-10 ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำที่ใส่เม็ดอัลจินเตไฮโดรเจลที่ขึ้นรูปร่วมกับซีโอโลต์ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ

ระยะเวลาทดลอง	ชุดควบคุม	ระดับความเข้มข้นของซีโอโลต์ (เปอร์เซ็นต์)					เฉลี่ย
		0	5	10	25	50	
1 ชั่วโมง	0.95±0.49	0.55±0.09	0.77±0.31	1.28±0.22	0.43±0.06	0.77±0.14	0.79±0.30 ^b
1.30 ชั่วโมง	0.91±0.57	0.54±0.06	0.74±0.08	1.31±0.24	0.50±0.08	0.69±0.20	0.78±0.30 ^b
2 ชั่วโมง	0.78±0.55	0.35±0.24	0.97±0.07	1.05±0.08	0.50±0.32	0.08±0.14	0.62±0.38 ^a
เฉลี่ย	0.88±0.09 ²	0.48±0.11 ¹	0.83±0.13 ²	1.21±0.14 ³	0.48±0.04 ¹	0.51±0.38 ¹	

หมายเหตุ ชุดควบคุม คือ ชุดการทดลองที่ไม่มีการใส่เม็ดอัลจินเตไฮโดรเจล

^{a, b} ที่แสดงในคอลัมน์เดียวกัน แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p < 0.05$)

^{1,2} ที่แสดงในแถวเดียวกัน แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p < 0.05$)

2.4 การบวมตัวของเมื่อดอัลจินเตไฮโดรเจล

การบวมตัวของเมื่อดอัลจินเตไฮโดรเจลตลอดการศึกษา มีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 631.58 ± 80.80 ถึง 829.03 ± 82.53 เปอร์เซ็นต์ การบวมตัวของเมื่อดอัลจินเตไฮโดรเจลเฉลี่ยสูงสุดที่ระดับความเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์ เท่ากับ 829.03 ± 82.53 เปอร์เซ็นต์ รองลงมา คือ ระดับความเข้มข้น 5 เปอร์เซ็นต์ และระดับความเข้มข้น 50 เปอร์เซ็นต์ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 805.11 ± 80.55 และ 663.30 ± 81.17 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p < 0.05$) (ตารางที่ 4-11)

การบวมตัวของเมื่อดอัลจินเตไฮโดรเจลที่ระยะเวลาทดลอง 2 ชั่วโมง มีค่าเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 747.63 ± 28.56 เปอร์เซ็นต์ รองลงมา คือ ระยะเวลาทดลอง 1.30 และ 1 ชั่วโมง เท่ากับ 718.56 ± 98.80 และ 686.20 ± 90.73 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p > 0.05$) (ตารางที่ 4-11)

ตารางที่ 4-11 การบวมตัวของเมื่อดอัลจินเตไฮโดรเจลที่ขึ้นรูปร่วมกับซีโอไลต์ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ

ระยะเวลาทดลอง	ระดับความเข้มข้นของสารซีโอไลต์ (เปอร์เซ็นต์)					เฉลี่ย
	0	5	10	25	50	
1 ชั่วโมง	537.56 ± 13.50	892.99 ± 11.36	893.09 ± 11.18	525.24 ± 40.10	582.11 ± 27.22	686.20 ± 90.00^a
1.30 ชั่วโมง	639.98 ± 11.33	787.57 ± 91.66	858.10 ± 61.58	643.78 ± 53.64	663.35 ± 17.36	718.56 ± 98.80^a
2 ชั่วโมง	797.33 ± 32.31	734.78 ± 34.51	735.89 ± 33.92	725.72 ± 52.04	744.44 ± 37.84	747.63 ± 28.56^a
เฉลี่ย	658.29 ± 45.85^1	805.11 ± 80.55^2	829.03 ± 82.53^2	631.58 ± 80.80^1	663.30 ± 81.17^1	

หมายเหตุ ^{a, b} ที่แสดงในคอลัมน์เดียวกัน แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p < 0.05$)

^{1, 2} ที่แสดงในแถวเดียวกัน แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p < 0.05$)

2.5 ประสิทธิภาพการดูดซับแอมโมเนียรวมในน้ำ

ประสิทธิภาพการดูดซับแอมโมเนียรวมในน้ำตลอดการศึกษา มีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 0.11 ± 0.05 ถึง 46.73 ± 6.14 เปอร์เซ็นต์ ประสิทธิภาพการดูดซับแอมโมเนียรวมในน้ำเฉลี่ยสูงสุดที่ระดับความเข้มข้น 50 เปอร์เซ็นต์ เท่ากับ 46.73 ± 6.14 เปอร์เซ็นต์ รองลงมา คือ ระดับความเข้มข้น 25 เปอร์เซ็นต์ ระดับความเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์ และระดับความเข้มข้น 5 เปอร์เซ็นต์ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 39.21 ± 3.08 33.92 ± 1.99 และ 33.92 ± 0.87 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p < 0.05$) (ตารางที่ 4-12)

ประสิทธิภาพการดูดซับแอมโมเนียรวมในน้ำที่ระยะเวลาทดลอง 1.30 ชั่วโมง มีค่าเฉลี่ยสูงสุด เท่ากับ 29.56 ± 18.44 เปอร์เซ็นต์ รองลงมา คือ ระยะเวลาทดลอง 2 และ 1 ชั่วโมง เท่ากับ 28.78 ± 16.52 และ 28.38 ± 15.59 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p > 0.05$) (ตารางที่ 4-12)

ตารางที่ 4-12 ประสิทธิภาพการดูดซับแอมโมเนียรวมในน้ำของเม็ดอัลจินตไฮโดรเจลที่ขึ้นรูปร่วมกับซีโอไลต์ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ

ระยะเวลาทดลอง	ชุดควบคุม	ระดับความเข้มข้นของซีโอไลต์ (เปอร์เซ็นต์)					
		0	5	10	25	50	เฉลี่ย
1 ชั่วโมง	0.14±0.05	18.77±1.56	34.05±2.11	34.52±3.10	42.45±3.46	42.77±2.68	28.78±16.52 ^a
1.30 ชั่วโมง	0.14±0.16	18.14±1.35	34.72±2.41	31.69±0.98	38.84±1.86	53.80±9.78	29.56±18.44 ^a
2 ชั่วโมง	0.05±0.22	21.72±3.98	32.99±0.63	35.54±0.43	36.33±0.63	43.63±3.30	28.38±15.59 ^a
เฉลี่ย	0.11±0.05 ¹	19.54±1.91 ²	33.92±0.87 ³	33.92±1.99 ³	39.21±3.08 ⁴	46.73±6.14 ⁵	

หมายเหตุ ชุดควบคุม คือ ชุดการทดลองที่ไม่มีการใส่เม็ดอัลจินตไฮโดรเจล

^{a, b} ที่แสดงในคอลัมน์เดียวกัน แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p < 0.05$)

^{1,2} ที่แสดงในแถวเดียวกัน แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p < 0.05$)

2.6 ประสิทธิภาพการดูดซับไนโตรเจน

ประสิทธิภาพการดูดซับไนโตรเจนในน้ำตลอดการศึกษา มีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง -8.23 ± 12.35 ถึง 75.45 ± 4.75 เปอร์เซ็นต์ ประสิทธิภาพการดูดซับไนโตรเจนในน้ำเฉลี่ยสูงสุดที่ระดับความเข้มข้น 25 เปอร์เซ็นต์ เท่ากับ 75.45 ± 4.75 เปอร์เซ็นต์ รองลงมา คือ ระดับความเข้มข้น 50 เปอร์เซ็นต์ และระดับความเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 71.33 ± 6.29 และ 57.61 ± 4.12 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p < 0.05$) (ตารางที่ 4-13)

ประสิทธิภาพการดูดซับไนโตรเจนในน้ำที่ระยะเวลาทดลอง 2 ชั่วโมง มีค่าเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 39.18 ± 33.19 เปอร์เซ็นต์ รองลงมา คือ ระยะเวลาทดลอง 1 และ 1.30 ชั่วโมง เท่ากับ 39.08 ± 42.13 และ 38.86 ± 33.90 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p > 0.05$) (ตารางที่ 4-13)

ตารางที่ 4-13 ประสิทธิภาพการดูดซับไนโตรเจนในน้ำของเม็ดอัลจินตไฮโดรเจลที่ขึ้นรูปร่วมกับซีโอไลต์ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ

ระยะเวลาทดลอง	ชุดควบคุม	ระดับความเข้มข้นของซีโอไลต์ (เปอร์เซ็นต์)					
		0	5	10	25	50	เฉลี่ย
1 ชั่วโมง	-4.20±33.53	45.27±15.40	-20.58±5.82	57.61±5.82	78.19±5.82	78.19±5.82	39.08±42.13 ^a
1.30 ชั่วโมง	2.72±38.44	41.15±11.64	-8.23±32.40	61.73±10.08	69.96±15.40	65.84±11.64	38.86±33.90 ^a
2 ชั่วโมง	0.50±43.66	28.81±15.40	4.12±15.40	53.50±20.98	78.19±5.82	69.96±11.64	39.18±33.19 ^a
เฉลี่ย	-0.33±3.53 ²	38.41±8.57 ³	-8.23±12.35 ¹	57.61±4.12 ⁴	75.45±4.75 ⁵	71.33±6.29 ⁵	

หมายเหตุ ชุดควบคุม คือ ชุดการทดลองที่ไม่มีการใส่เม็ดอัลจินตไฮโดรเจล

^{a, b} ที่แสดงในคอลัมน์เดียวกัน แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p < 0.05$)

^{1,2} ที่แสดงในแถวเดียวกัน แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p < 0.05$)

2.7 ประสิทธิภาพการดูดซับไนเตรทในน้ำ

ประสิทธิภาพการดูดซับไนเตรทในน้ำตลอดการศึกษา มีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 0.30 ± 0.04 ถึง 52.55 ± 14.37 เปอร์เซ็นต์ ประสิทธิภาพการดูดซับไนเตรทในน้ำเฉลี่ยสูงสุดที่ระดับความเข้มข้น 5 เปอร์เซ็นต์ เท่ากับ 52.55 ± 14.37 เปอร์เซ็นต์ รองลงมา คือ ระดับความเข้มข้น 25 เปอร์เซ็นต์ และระดับความเข้มข้น 50 เปอร์เซ็นต์ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 8.28 ± 4.46 และ 6.06 ± 4.02 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p < 0.05$) (ตารางที่ 4-14)

ประสิทธิภาพการดูดซับไนเตรทในน้ำที่ระยะเวลาทดลอง 2 ชั่วโมง มีค่าเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 16.11 ± 26.11 เปอร์เซ็นต์ รองลงมา คือ ระยะเวลาทดลอง 1 และ 1.30 ชั่วโมง เท่ากับ 12.02 ± 16.79 และ 11.21 ± 16.32 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p > 0.05$) (ตารางที่ 4-14)

ตารางที่ 4-14 ประสิทธิภาพการดูดซับไนเตรทในน้ำของเม็ดอัลจินเตไฮโดรเจลที่ขึ้นรูปร่วมกับซีโอไลต์ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ

ระยะเวลาทดลอง	ชุดควบคุม	ระดับความเข้มข้นของซีโอไลต์ (เปอร์เซ็นต์)					เฉลี่ย
		0	5	10	25	50	
1 ชั่วโมง	0.25 ± 0.09	2.64 ± 1.96	45.62 ± 14.86	9.03 ± 3.36	6.57 ± 3.63	8.00 ± 1.34	12.02 ± 16.79^a
1.30 ชั่วโมง	0.32 ± 0.34	7.73 ± 4.84	42.95 ± 16.66	1.50 ± 8.96	13.34 ± 9.33	1.44 ± 0.17	11.21 ± 16.32^a
2 ชั่วโมง	0.33 ± 0.12	5.67 ± 4.06	69.07 ± 3.42	7.93 ± 4.78	4.92 ± 0.17	8.75 ± 6.05	16.11 ± 26.11^b
เฉลี่ย	0.30 ± 0.04^1	5.35 ± 2.56^2	52.55 ± 14.37^4	6.15 ± 4.07^2	8.28 ± 4.46^3	6.06 ± 4.02^2	

หมายเหตุ ชุดควบคุม คือ ชุดการทดลองที่ไม่มีการใส่เม็ดอัลจินเตไฮโดรเจล

^{a, b} ที่แสดงในคอลัมน์เดียวกัน แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p < 0.05$)

^{1,2} ที่แสดงในแถวเดียวกัน แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p < 0.05$)

3. การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการดูดซับของเม็ดอัลจินตไฮโดรเจลที่ขึ้นรูปร่วมกับผงถ่านกัมมันต์และเม็ดอัลจินตไฮโดรเจลที่ขึ้นรูปร่วมกับซีโอไลต์ที่ความเข้มข้นแตกต่างกันในห้องปฏิบัติการ

ประสิทธิภาพการดูดซับของเม็ดอัลจินตไฮโดรเจลที่ขึ้นรูปร่วมกับผงถ่านกัมมันต์และเม็ดอัลจินตไฮโดรเจลที่ขึ้นรูปร่วมกับซีโอไลต์ สามารถดูดซับแอมโมเนีย และไนโตรท์ ได้ดีกว่าไนเตรท เนื่องจากในน้ำมีปริมาณแอมโมเนียและไนโตรท์มากกว่าไนเตรท โดยเม็ดอัลจินตไฮโดรเจลที่ขึ้นรูปร่วมกับซีโอไลต์ที่ระดับความเข้มข้น 25 และ 50 เปอร์เซ็นต์ มีประสิทธิภาพในการดูดซับแอมโมเนียและไนโตรท์ ได้มากกว่าเม็ดอัลจินตไฮโดรเจลที่ขึ้นรูปร่วมกับผงถ่านกัมมันต์ที่ระดับความเข้มข้นเดียวกัน แต่เม็ดอัลจินตไฮโดรเจลที่ขึ้นรูปร่วมกับผงถ่านกัมมันต์สามารถดูดซับไนเตรทได้ดีกว่าเม็ดอัลจินตไฮโดรเจลที่ขึ้นรูปร่วมกับซีโอไลต์ (ตารางที่ 4-15)

ดังนั้นเม็ดอัลจินตไฮโดรเจลที่ขึ้นรูปร่วมกับผงถ่านกัมมันต์และเม็ดอัลจินตไฮโดรเจลที่ขึ้นรูปร่วมกับซีโอไลต์ที่ระดับความเข้มข้น 25 เปอร์เซ็นต์ จึงเหมาะสมที่จะเป็นวัสดุในการดูดซับสำหรับการขนส่งปลาสวยงาม

ตารางที่ 4-15 ประสิทธิภาพการดูดซับแอมโมเนียรวม ไนโตรท์ และไนเตรทในน้ำของเม็ดอัลจินตไฮโดรเจลที่ขึ้นรูปร่วมกับผงถ่านกัมมันต์ และเม็ดอัลจินตไฮโดรเจลที่ขึ้นรูปร่วมกับซีโอไลต์ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ

ระดับความเข้มข้นของสารประกอบ (เปอร์เซ็นต์)	ประสิทธิภาพการดูดซับเม็ดอัลจินตไฮโดรเจลที่ขึ้นรูปรวม (เปอร์เซ็นต์)					
	แอมโมเนียรวม		ไนโตรท์		ไนเตรท	
	ผงถ่านกัมมันต์	ซีโอไลต์	ผงถ่านกัมมันต์	ซีโอไลต์	ผงถ่านกัมมันต์	ซีโอไลต์
0	18.08±1.21 ^{a,1}	19.54±1.91 ^{a,1}	14.95±3.02 ^{a,1}	38.41±8.57 ^{b,2}	9.76±2.83 ^{a,1}	5.35±2.56 ^{a,1}
5	20.82±5.53 ^{a,1}	33.92±0.87 ^{b,1}	15.44±1.86 ^{a,2}	-8.23±12.35 ^{a,1}	13.41±6.52 ^{b,1}	52.55±14.37 ^{c,2}
10	24.77±1.81 ^{b,1}	33.92±1.99 ^{b,1}	51.64±8.13 ^{c,1}	57.61±4.12 ^{c,1}	9.56±5.00 ^{a,1}	6.15±4.07 ^{a,1}
25	28.03±6.28 ^{c,1}	39.21±3.08 ^{b,1}	25.04±2.71 ^{b,1}	75.45±4.75 ^{d,2}	19.52±1.59 ^{c,1}	8.28±4.46 ^{b,1}
50	43.66±2.29 ^{d,1}	46.73±6.14 ^{c,1}	62.60±2.71 ^{c,1}	71.33±6.29 ^{d,1}	28.48±9.03 ^{d,2}	6.06±4.02 ^{a,1}

หมายเหตุ ^{a, b} ที่แสดงในคอลัมน์เดียวกัน แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p < 0.05$)

^{1,2} ที่แสดงในแถวเดียวกัน แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p < 0.05$)

2. การศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับไนโตรเจน และคุณภาพน้ำบางประการในการใช้ เม็ดอัลจิเนตไฮโดรเจลที่ขึ้นรูปร่วมกับผงถ่านกัมมันต์และเม็ดอัลจิเนตไฮโดรเจลที่ขึ้นรูปร่วมกับซีโอไลต์ในการขนส่งปลาสวยงาม

การทดสอบประสิทธิภาพการดูดซับไนโตรเจน และคุณภาพน้ำบางประการของเม็ดอัลจิเนตไฮโดรเจลที่ขึ้นรูปร่วมกับผงถ่านกัมมันต์และเม็ดอัลจิเนตไฮโดรเจลที่ขึ้นรูปร่วมกับซีโอไลต์ที่ระดับความเข้มข้น 25 เปอร์เซ็นต์ ในการขนส่งปลาหางนกยูง เป็นตัวแทนปลาสวยงามขนาดเล็ก และปลาทอง เป็นตัวแทนปลาสวยงามขนาดใหญ่ มีผลการทดลองรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. การขนส่งปลาหางนกยูง

การทดสอบประสิทธิภาพการดูดซับไนโตรเจน และคุณภาพน้ำบางประการของเม็ดอัลจิเนตไฮโดรเจลที่ขึ้นรูปร่วมกับผงถ่านกัมมันต์และเม็ดอัลจิเนตไฮโดรเจลที่ขึ้นรูปร่วมกับซีโอไลต์ที่ระดับความเข้มข้น 25 เปอร์เซ็นต์ ในการขนส่งปลาหางนกยูง ซึ่งเป็นปลาสวยงามขนาดเล็กเป็นกลุ่มทดลอง โดยใช้อัตราส่วนการขนส่งของเม็ดอัลจิเนต 2 กรัมต่อน้ำขนส่ง 1 ลิตร ความหนาแน่นของปลาหางนกยูงที่ใช้ทดสอบ 50 ตัวต่อน้ำ 1 ลิตร ใช้เวลาในการขนส่ง 2 ชั่วโมง มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1.1 คุณภาพน้ำในการขนส่งปลาหางนกยูง และการบวมตัวของเม็ดอัลจิเนตไฮโดรเจลที่ขึ้นรูปร่วมกับผงถ่านกัมมันต์

คุณภาพน้ำบางประการ และการดูดซับไนโตรเจนในน้ำ ในระหว่างการขนส่งปลาหางนกยูงโดยใช้เม็ดอัลจิเนตไฮโดรเจลที่ขึ้นรูปร่วมกับผงถ่านกัมมันต์ที่ความเข้มข้น 25 เปอร์เซ็นต์ มีค่าดังต่อไปนี้

ค่าพีเอชในน้ำก่อนการขนส่งมีค่าเท่ากับ 9.48 ± 0.57 หลังการขนส่งค่าพีเอชในน้ำชุดควบคุม มีค่า 7.55 ± 0.19 และชุดทดลอง มีค่า 8.14 ± 0.35 ตามลำดับ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p < 0.05$) (ตารางที่ 4-16)

อุณหภูมิในน้ำก่อนการขนส่งมีค่าเท่ากับ 32.25 ± 0.27 องศาเซลเซียส หลังการขนส่งอุณหภูมิในน้ำชุดควบคุม มีค่า 33.23 ± 0.25 องศาเซลเซียส และชุดทดลอง มีค่า 32.50 ± 0.10 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p < 0.05$) (ตารางที่ 4-16)

ปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำก่อนการขนส่ง 5.02 ± 0.36 มิลลิกรัม/ลิตร หลังการขนส่งปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำชุดควบคุม มีค่า 6.23 ± 3.61 มิลลิกรัม/ลิตร และชุดทดลอง มีค่า 11.50 ± 1.15 มิลลิกรัม/ลิตร และมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p < 0.05$) (ตารางที่ 4-16)

ปริมาณแอมโมเนียในน้ำก่อนการขนส่งมีค่าเท่ากับ 2.12 ± 0.05 มิลลิกรัม/ลิตร หลังการขนส่งปริมาณแอมโมเนียในน้ำในชุดควบคุม มีค่า 1.25 ± 0.00 มิลลิกรัม/ลิตร และชุดทดลอง มีค่า 1.26 ± 0.01 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p < 0.05$) (ตารางที่ 4-16)

ปริมาณไนโตรเจนในน้ำก่อนการขนส่งมีค่าเท่ากับ เท่ากับ 0.014 ± 0.000 มิลลิกรัม/ลิตร หลังการขนส่งปริมาณไนโตรเจนในน้ำในชุดควบคุม มีค่า 0.006 ± 0.001 และชุดทดลอง มีค่า 0.004 ± 0.004 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p < 0.05$) (ตารางที่ 4-16)

ปริมาณไนเตรทในน้ำก่อนการขนส่งมีค่าเท่ากับ 3.95 ± 0.28 มิลลิกรัม/ลิตร หลังการขนส่งปริมาณไนเตรทในน้ำในชุดควบคุม มีค่า 0.50 ± 0.04 มิลลิกรัม/ลิตร และชุดทดลอง มีค่า 0.44 ± 0.30 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p < 0.05$) (ตารางที่ 4-16)

น้ำหนักของเม็ดอัลจินเตไฮโดรเจลที่ขึ้นรูปพร้อมกับผงถ่านกัมมันต์หลังการขนส่งในชุดทดลอง มีค่าเพิ่มขึ้น เท่ากับ 47.83 ± 2.02 กรัม (ตารางที่ 4-16)

เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการดูดซับของเม็ดอัลจินเตไฮโดรเจลที่ขึ้นรูปพร้อมกับผงถ่านกัมมันต์ในการขนส่งปลาหางนกยูง พบว่าเม็ดอัลจินเตไฮโดรเจลที่ขึ้นรูปพร้อมกับผงถ่านกัมมันต์ในชุดทดลองสามารถดูดซับแอมโมเนีย 40.67 ± 1.41 เปอร์เซ็นต์ ไนโตรเจน 86.67 ± 3.15 เปอร์เซ็นต์ และไนเตรท 85.35 ± 7.29 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 4-17)

ตารางที่ 4-16 คุณภาพน้ำในการขนส่งปลาหางนกยูง และน้ำหนักของเม็ดอัลจินเตไฮโดรเจลที่ขึ้นรูปพร้อมกับผงถ่านกัมมันต์

พารามิเตอร์	ก่อนการขนส่ง	หลังการขนส่ง	
		ชุดควบคุม	ชุดทดลอง
พีเอชในน้ำ	9.48 ± 0.57^a	7.55 ± 0.19^a	8.14 ± 0.35^a
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	32.25 ± 0.27^a	33.23 ± 0.25^a	32.50 ± 0.10^a
ปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำ (มิลลิกรัม/ลิตร)	5.02 ± 0.36^a	6.23 ± 3.61^a	11.50 ± 1.15^b
แอมโมเนีย (มิลลิกรัม/ลิตร)	2.12 ± 0.05^a	1.25 ± 0.00^a	1.26 ± 0.01^a
ไนโตรเจน (มิลลิกรัม/ลิตร)	0.014 ± 0.000^a	0.006 ± 0.001^a	0.0004 ± 0.004^a
ไนเตรท (มิลลิกรัม/ลิตร)	3.95 ± 0.28^b	0.50 ± 0.04^a	0.44 ± 0.30^a
น้ำหนักของเม็ดอัลจินเต (กรัม)	2.00 ± 0.00	-	47.83 ± 2.02

หมายเหตุ ชุดควบคุม คือ ชุดการทดลองที่ไม่มีการใส่เม็ดอัลจินเตไฮโดรเจล

^{a, b} ที่แสดงในแถวเดียวกัน แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p < 0.05$)

ตารางที่ 4-17 ประสิทธิภาพการดูดซับของเม็ดอัลจินเตไฮโดรเจลที่ขึ้นรูปร่วมกับผงถ่านกัมมันต์ในการ
ขนส่งปลาหางนกยูง

พารามิเตอร์	ชุดควบคุม	ชุดทดลอง
แอมโมเนีย (เปอร์เซ็นต์)	29.38±1.87	40.67±1.41
ไนโตรท์ (เปอร์เซ็นต์)	24.48±18.16	86.67±3.15
ไนเตรท (เปอร์เซ็นต์)	86.86±1.24	85.35±7.29

หมายเหตุ ชุดควบคุม คือ ชุดการทดลองที่ไม่มีการใส่เม็ดอัลจินเตไฮโดรเจล

1.2 คุณภาพน้ำในการขนส่งปลาหางนกยูง และการบวมตัวของเม็ดอัลจินเตไฮโดร เจลที่ขึ้นรูปร่วมกับซีโอไลต์

ค่าพีเอชในน้ำก่อนการขนส่งมีค่าเท่ากับ 9.37 ± 0.50 หลังการขนส่งค่าพีเอชในน้ำชุดควบคุม มีค่า 7.55 ± 0.19 และชุดทดลอง มีค่า 8.44 ± 0.16 ตามลำดับ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p < 0.05$) (ตารางที่ 4-18)

อุณหภูมิในน้ำก่อนการขนส่งมีค่าเท่ากับ 32.27 ± 0.25 องศาเซลเซียส หลังการขนส่งอุณหภูมิในน้ำชุดควบคุม มีค่า 33.23 ± 0.25 องศาเซลเซียส และชุดทดลอง มีค่า 32.43 ± 0.12 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p < 0.05$) (ตารางที่ 4-18)

ปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำก่อนการขนส่ง 4.80 ± 0.32 มิลลิกรัม/ลิตร หลังการขนส่งปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำชุดควบคุม มีค่า 6.23 ± 3.61 มิลลิกรัม/ลิตร และชุดทดลอง มีค่า 11.09 ± 1.18 มิลลิกรัม/ลิตร และมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p < 0.05$) (ตารางที่ 4-18)

ปริมาณแอมโมเนียในน้ำก่อนการขนส่งมีค่าเท่ากับ 2.12 ± 0.05 มิลลิกรัม/ลิตร หลังการขนส่งปริมาณแอมโมเนียในน้ำในชุดควบคุม มีค่า 1.44 ± 0.03 มิลลิกรัม/ลิตร และชุดทดลอง มีค่า 1.52 ± 0.03 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p < 0.05$) (ตารางที่ 4-18)

ปริมาณไนโตรท์ในน้ำก่อนการขนส่งมีค่าเท่ากับ เท่ากับ 0.014 ± 0.000 มิลลิกรัม/ลิตร หลังการขนส่งปริมาณไนโตรท์ในน้ำในชุดควบคุม มีค่า 0.006 ± 0.001 และชุดทดลอง มีค่า 0.009 ± 0.001 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p < 0.05$) (ตารางที่ 4-18)

ปริมาณไนเตรทในน้ำก่อนการขนส่งมีค่าเท่ากับ 3.95 ± 0.28 มิลลิกรัม/ลิตร หลังการขนส่งปริมาณไนเตรทในน้ำในชุดควบคุม มีค่า 0.50 ± 0.04 มิลลิกรัม/ลิตร และชุดทดลอง มีค่า

0.72±0.63 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p < 0.05$) (ตารางที่ 4-18)

น้ำหนักของเม็ดอัลจินเตไฮโดรเจลที่ขึ้นรูปพร้อมกับซีโอไลต์หลังการขนส่งในชุดทดลอง มีค่าเพิ่มขึ้น เท่ากับ 43.58±1.57 กรัม (ตารางที่ 4-18)

เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการดูดซับของเม็ดอัลจินเตไฮโดรเจลที่ขึ้นรูปพร้อมกับซีโอไลต์ในการขนส่งปลาหางนกยูง พบว่าเม็ดอัลจินเตไฮโดรเจลที่ขึ้นรูปพร้อมกับซีโอไลต์ในชุดทดลองสามารถดูดซับแอมโมเนีย 28.41±1.50 เปอร์เซ็นต์ ไนโตรเจน 38.91±10.48 เปอร์เซ็นต์ และไนเตรท 74.38±18.44 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 4-19)

ตารางที่ 4-18 คุณภาพน้ำในการขนส่งปลาหางนกยูง และน้ำหนักของเม็ดอัลจินเตไฮโดรเจลที่ขึ้นรูปพร้อมกับซีโอไลต์

พารามิเตอร์	ก่อนการขนส่ง	หลังการขนส่ง	
		ชุดควบคุม	ชุดทดลอง
พีเอชในน้ำ	9.37±0.50 ^a	7.55±0.19 ^a	8.44±0.16 ^a
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	32.27±0.25 ^a	33.23±0.25 ^a	32.43±0.12 ^a
ปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำ (มิลลิกรัม/ลิตร)	4.80±0.32 ^a	6.23±3.61 ^a	11.09±1.18 ^b
แอมโมเนีย (มิลลิกรัม/ลิตร)	2.12±0.05 ^a	1.44±0.03 ^a	1.52±0.03 ^b
ไนโตรเจน (มิลลิกรัม/ลิตร)	0.014±0.000 ^a	0.006±0.001 ^a	0.009±0.001 ^a
ไนเตรท (มิลลิกรัม/ลิตร)	3.95±0.28 ^b	0.50±0.04 ^a	0.72±0.69 ^a
น้ำหนักของเม็ดอัลจินเต (กรัม)	2.00±0.00	-	43.58±1.57

หมายเหตุ ชุดควบคุม คือ ชุดการทดลองที่ไม่มีการใส่เม็ดอัลจินเตไฮโดรเจล

^{a, b} ที่แสดงในแถวเดียวกัน แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p < 0.05$)

ตารางที่ 4-19 ประสิทธิภาพการดูดซับของเม็ดอัลจินเตไฮโดรเจลที่ขึ้นรูปพร้อมกับซีโอไลต์ในการขนส่งปลาหางนกยูง

พารามิเตอร์	ชุดควบคุม	ชุดทดลอง
แอมโมเนีย (เปอร์เซ็นต์)	29.38±1.87	28.41±1.50
ไนโตรเจน (เปอร์เซ็นต์)	24.48±18.16	38.91±10.48
ไนเตรท (เปอร์เซ็นต์)	86.86±1.24	74.38±18.44

หมายเหตุ ชุดควบคุม คือ ชุดการทดลองที่ไม่มีการใส่เม็ดอัลจินเตไฮโดรเจล

2. การขนส่งปลาทอง

การทดสอบประสิทธิภาพการดูดซับไนโตรเจน และคุณภาพน้ำบางประการของเมื่อดอัลจินเนตไฮโดรเจลที่ขึ้นรูปพร้อมกับผงถ่านกัมมันต์และเมื่อดอัลจินเนตไฮโดรเจลที่ขึ้นรูปพร้อมกับซีโอไลต์ที่ระดับความเข้มข้น 25 เปอร์เซ็นต์ ในการขนส่งปลาทอง ซึ่งเป็นปลาสวยงามขนาดใหญ่เป็นกลุ่มทดลอง โดยใช้อัตราส่วนการขนส่งของเมื่อดอัลจินเนต 2 กรัมต่อน้ำขนส่ง 1 ลิตร ความหนาแน่นของปลาทองที่ใช้ทดสอบ 3 ตัวต่อน้ำ 1 ลิตร ใช้เวลาในการขนส่ง 2 ชั่วโมง มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.1 คุณภาพน้ำในการขนส่งปลาทอง และการบวมตัวของเมื่อดอัลจินเนตไฮโดรเจลที่ขึ้นรูปพร้อมกับผงถ่านกัมมันต์

คุณภาพน้ำบางประการ และการดูดซับไนโตรเจนในน้ำ ในระหว่างการขนส่งปลาทองโดยใช้เมื่อดอัลจินเนตไฮโดรเจลที่ขึ้นรูปพร้อมกับผงถ่านกัมมันต์ที่ความเข้มข้น 25 เปอร์เซ็นต์ มีค่าดังต่อไปนี้

ค่าพีเอชในน้ำก่อนการขนส่งมีค่าเท่ากับ 8.95 ± 0.54 หลังการขนส่งค่าพีเอชในน้ำชุดควบคุม มีค่า 7.55 ± 0.19 และชุดทดลอง มีค่า 7.24 ± 0.10 ตามลำดับ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p < 0.05$) (ตารางที่ 4-20)

อุณหภูมิในน้ำก่อนการขนส่งมีค่าเท่ากับ 32.05 ± 0.42 องศาเซลเซียส หลังการขนส่งอุณหภูมิในน้ำชุดควบคุม มีค่า 33.23 ± 0.25 องศาเซลเซียส และชุดทดลอง มีค่า 33.43 ± 0.15 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p < 0.05$) (ตารางที่ 4-20)

ปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำก่อนการขนส่ง 3.40 ± 1.62 มิลลิกรัม/ลิตร หลังการขนส่งปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำชุดควบคุม มีค่า 6.23 ± 3.61 มิลลิกรัม/ลิตร และชุดทดลอง มีค่า 1.31 ± 0.37 มิลลิกรัม/ลิตร และมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p < 0.05$) (ตารางที่ 4-20)

ปริมาณแอมโมเนียในน้ำก่อนการขนส่งมีค่าเท่ากับ 2.05 ± 0.06 มิลลิกรัม/ลิตร หลังการขนส่งปริมาณแอมโมเนียในน้ำในชุดควบคุม มีค่า 1.27 ± 0.01 มิลลิกรัม/ลิตร และชุดทดลอง มีค่า 1.26 ± 0.02 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p < 0.05$) (ตารางที่ 4-20)

ปริมาณไนโตรทรีในน้ำก่อนการขนส่งมีค่าเท่ากับ เท่ากับ 0.008 ± 0.001 มิลลิกรัม/ลิตร หลังการขนส่งปริมาณไนโตรทรีในน้ำในชุดควบคุม มีค่า 0.009 ± 0.000 และชุดทดลอง มีค่า 0.005 ± 0.001 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p < 0.05$) (ตารางที่ 4-20)

ปริมาณไนเตรทในน้ำก่อนการขนส่งมีค่าเท่ากับ 3.80 ± 0.09 มิลลิกรัม/ลิตร หลังการขนส่งปริมาณไนเตรทในน้ำในชุดควบคุม มีค่า 0.16 ± 0.00 มิลลิกรัม/ลิตร และชุดทดลอง มีค่า 0.30 ± 0.13 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p < 0.05$) (ตารางที่ 4-20)

น้ำหนักของเม็ดอัลจินเตไฮโดรเจลที่ขึ้นรูปพร้อมกับผงถ่านกัมมันต์หลังการขนส่งในชุดทดลอง มีค่าเพิ่มขึ้น เท่ากับ 43.59 ± 1.08 กรัม (ตารางที่ 4-20)

เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการดูดซับของเม็ดอัลจินเตไฮโดรเจลที่ขึ้นรูปพร้อมกับผงถ่านกัมมันต์ในการขนส่งปลาทอง พบว่าเม็ดอัลจินเตไฮโดรเจลที่ขึ้นรูปพร้อมกับผงถ่านกัมมันต์ในชุดทดลองสามารถดูดซับแอมโมเนีย 38.42 ± 2.30 เปอร์เซ็นต์ ไนโตรท์ 33.81 ± 15.90 เปอร์เซ็นต์ และไนเตรท 92.18 ± 3.54 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 4-21)

ตารางที่ 4-20 คุณภาพน้ำในการขนส่งปลาทอง และน้ำหนักของเม็ดอัลจินเตไฮโดรเจลที่ขึ้นรูปพร้อมกับผงถ่านกัมมันต์

พารามิเตอร์	ก่อนการขนส่ง	หลังการขนส่ง	
		ชุดควบคุม	ชุดทดลอง
พีเอชในน้ำ	8.95 ± 0.54^a	7.55 ± 0.19^a	7.24 ± 0.10^a
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	32.05 ± 0.42^a	33.23 ± 0.25^a	33.43 ± 0.15^a
ปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำ (มิลลิกรัม/ลิตร)	3.40 ± 1.62^b	6.23 ± 3.61^c	1.31 ± 0.37^a
แอมโมเนีย (มิลลิกรัม/ลิตร)	2.05 ± 0.06^a	1.27 ± 0.01^a	1.26 ± 0.02^a
ไนโตรท์ (มิลลิกรัม/ลิตร)	0.008 ± 0.001^a	0.009 ± 0.000^a	0.005 ± 0.001^a
ไนเตรท (มิลลิกรัม/ลิตร)	3.80 ± 0.09^b	0.16 ± 0.00^a	0.30 ± 0.13^a
น้ำหนักของเม็ดอัลจินเต (กรัม)	2.00 ± 0.00	-	43.59 ± 1.08

หมายเหตุ ชุดควบคุม คือ ชุดการทดลองที่ไม่มีการใส่เม็ดอัลจินเตไฮโดรเจล

^{a, b} ที่แสดงในแถวเดียวกัน แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p < 0.05$)

ตารางที่ 4-21 ประสิทธิภาพการดูดซับของเม็ดอัลจินเตไฮโดรเจลที่ขึ้นรูปพร้อมกับผงถ่านกัมมันต์ในการขนส่งปลาทอง

พารามิเตอร์	ชุดควบคุม	ชุดทดลอง
แอมโมเนีย (เปอร์เซ็นต์)	29.38 ± 1.87	38.42 ± 2.30
ไนโตรท์ (เปอร์เซ็นต์)	24.48 ± 18.16	33.81 ± 15.90
ไนเตรท (เปอร์เซ็นต์)	86.86 ± 1.24	92.18 ± 3.54

หมายเหตุ ชุดควบคุม คือ ชุดการทดลองที่ไม่มีการใส่เม็ดอัลจินเตไฮโดรเจล

2.2 คุณภาพน้ำในการขนส่งปลาทอง และการบวมตัวของเม็ดอัลจินตไฮโดรเจลที่ขึ้นรูปร่วมกับซีโอไลต์

ค่าพีเอชในน้ำก่อนการขนส่งมีค่าเท่ากับ 8.89 ± 0.50 หลังการขนส่งค่าพีเอชในน้ำชุดควบคุม มีค่า 7.55 ± 0.19 และชุดทดลอง มีค่า 7.16 ± 0.19 ตามลำดับ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p < 0.05$) (ตารางที่ 4-22)

อุณหภูมิในน้ำก่อนการขนส่งมีค่าเท่ากับ 32.54 ± 0.40 องศาเซลเซียส หลังการขนส่งอุณหภูมิในน้ำชุดควบคุม มีค่า 33.23 ± 0.25 องศาเซลเซียส และชุดทดลอง มีค่า 33.43 ± 0.06 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p < 0.05$) (ตารางที่ 4-22)

ปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำก่อนการขนส่ง 3.31 ± 1.70 มิลลิกรัม/ลิตร หลังการขนส่งปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำชุดควบคุม มีค่า 6.23 ± 3.61 มิลลิกรัม/ลิตร และชุดทดลอง มีค่า 1.44 ± 0.11 มิลลิกรัม/ลิตร และมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p < 0.05$) (ตารางที่ 4-22)

ปริมาณแอมโมเนียในน้ำก่อนการขนส่งมีค่าเท่ากับ 2.05 ± 0.06 มิลลิกรัม/ลิตร หลังการขนส่งปริมาณแอมโมเนียในน้ำในชุดควบคุม มีค่า 1.51 ± 0.03 มิลลิกรัม/ลิตร และชุดทดลอง มีค่า 1.36 ± 0.03 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p < 0.05$) (ตารางที่ 4-22)

ปริมาณไนโตรเจนในน้ำก่อนการขนส่งมีค่าเท่ากับ เท่ากับ 0.008 ± 0.001 มิลลิกรัม/ลิตร หลังการขนส่งปริมาณไนโตรเจนในน้ำในชุดควบคุม มีค่า 0.009 ± 0.000 และชุดทดลอง มีค่า 0.007 ± 0.001 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p < 0.05$) (ตารางที่ 4-22)

ปริมาณไนเตรทในน้ำก่อนการขนส่งมีค่าเท่ากับ 3.80 ± 0.09 มิลลิกรัม/ลิตร หลังการขนส่งปริมาณไนเตรทในน้ำในชุดควบคุม มีค่า 0.16 ± 0.00 มิลลิกรัม/ลิตร และชุดทดลอง มีค่า 1.40 ± 0.29 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p < 0.05$) (ตารางที่ 4-22)

น้ำหนักของเม็ดอัลจินตไฮโดรเจลที่ขึ้นรูปร่วมกับซีโอไลต์หลังการขนส่งในชุดทดลอง มีค่าเพิ่มขึ้น เท่ากับ 52.02 ± 2.99 กรัม (ตารางที่ 4-22)

เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการดูดซับของเม็ดอัลจินตไฮโดรเจลที่ขึ้นรูปร่วมกับซีโอไลต์ในการขนส่งปลาทอง พบว่าเม็ดอัลจินตไฮโดรเจลที่ขึ้นรูปร่วมกับซีโอไลต์ในชุดทดลองสามารถดูดซับแอมโมเนีย 33.39 ± 2.75 เปอร์เซ็นต์ ไนโตรเจน 17.93 ± 6.63 เปอร์เซ็นต์ และไนเตรท 63.07 ± 7.63 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 4-23)

ตารางที่ 4-22 คุณภาพน้ำในการขนส่งปลาทอง และน้ำหนักของเม็ดอัลจินเตไฮโดรเจลที่ขึ้นรูปร่วมกับซีโอโลต์

พารามิเตอร์	ก่อนการขนส่ง	หลังการขนส่ง	
		ชุดควบคุม	ชุดทดลอง
พีเอชในน้ำ	8.89±0.50 ^a	7.55±0.19 ^a	7.16±0.19 ^a
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	32.54±0.40 ^a	33.23±0.25 ^a	33.43±0.06 ^a
ปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำ (มิลลิกรัม/ลิตร)	3.31±1.70 ^b	6.23±3.61 ^c	1.44±0.11 ^a
แอมโมเนีย (มิลลิกรัม/ลิตร)	2.05±0.06 ^a	1.51±0.03 ^a	1.36±0.03 ^b
ไนไตรท์ (มิลลิกรัม/ลิตร)	0.008±0.001 ^a	0.009±0.000 ^a	0.007±0.001 ^a
ไนเตรท (มิลลิกรัม/ลิตร)	3.80±0.09 ^c	0.16±0.00 ^a	1.40±0.29 ^b
น้ำหนักของเม็ดอัลจินเต (กรัม)	2.00±0.00	-	52.02±2.99

หมายเหตุ ชุดควบคุม คือ ชุดการทดลองที่ไม่มีการใส่เม็ดอัลจินเตไฮโดรเจล

^{a, b} ที่แสดงในแถวเดียวกัน แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p < 0.05$)

ตารางที่ 4-23 ประสิทธิภาพการดูดซับของเม็ดอัลจินเตไฮโดรเจลที่ขึ้นรูปร่วมกับซีโอโลต์ในการขนส่งปลาทอง

พารามิเตอร์	ชุดควบคุม	ชุดทดลอง
แอมโมเนีย (เปอร์เซ็นต์)	29.38±1.87	33.39±2.75
ไนไตรท์ (เปอร์เซ็นต์)	24.48±18.16	17.93±6.63
ไนเตรท (เปอร์เซ็นต์)	86.86±1.24	63.07±7.63

หมายเหตุ ชุดควบคุม คือ ชุดการทดลองที่ไม่มีการใส่เม็ดอัลจินเตไฮโดรเจล

3 อัตราการรอดตายหลังการขนส่ง 7 วัน

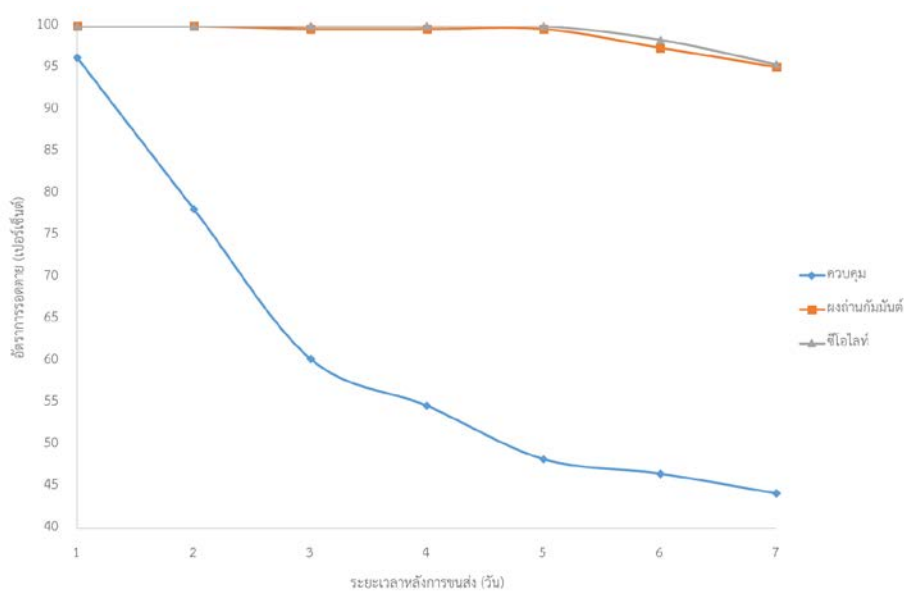
อัตราการรอดตายหลังการขนส่ง 7 วัน พบว่า ชุดปลาหางนกยูงที่ใส่เม็ดอัลจินเตไฮโดรเจลที่ขึ้นรูปร่วมกับผงถ่านกัมมันต์ เม็ดอัลจินเตไฮโดรเจลที่ขึ้นรูปร่วมกับซีโอโลต์ และชุดควบคุม มีอัตราการรอดตาย 95.17±2.13 95.42±1.13 และ 44.15±3.03 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p < 0.05$) (ตารางที่ 4-24, ภาพที่ 4-1) ส่วนชุดปลาทองที่ใส่เม็ดอัลจินเตไฮโดรเจลที่ขึ้นรูปร่วมกับผงถ่านกัมมันต์ เม็ดอัลจินเตไฮโดรเจลที่ขึ้นรูปร่วมกับซีโอโลต์ และชุดควบคุม มีอัตราการรอดตาย 99.85±1.42 98.74±1.37 และ 97.45±2.01 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p < 0.05$) (ตารางที่ 4-24, ภาพที่ 4-2)

ตารางที่ 4-24 อัตราการรอดตายของปลาหางนกยูงและปลาทองหลังการขนส่ง 7 วัน

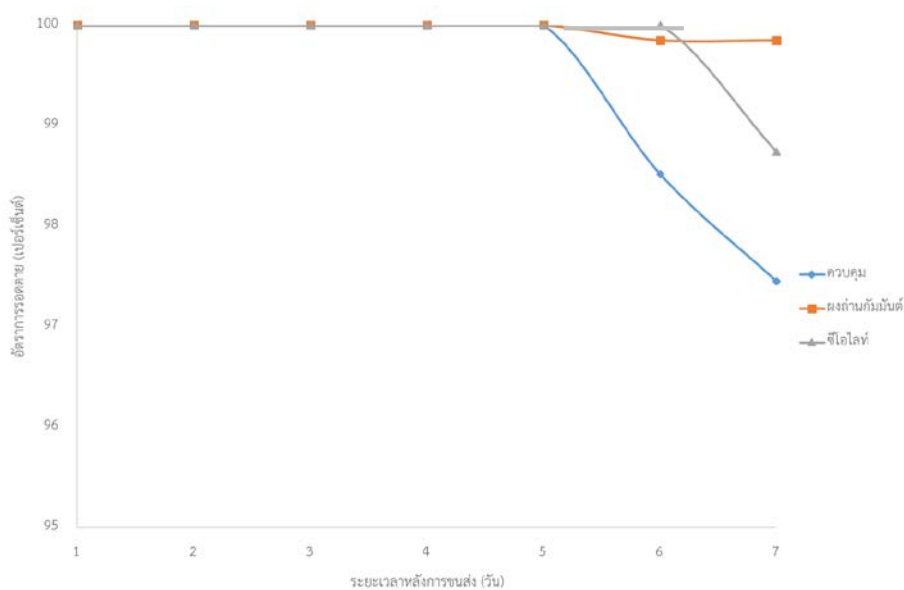
ชนิดปลา	ชุดควบคุม	เม็ดอัลจินเตไฮโดรเจลที่ขึ้นรูปร่วมกับ	
		ผงถ่านกัมมันต์	ซีโอโลต์
ปลาหางนกยูง	44.15±3.03 ^a	95.17±2.13 ^b	95.42±1.13 ^b
ปลาทอง	97.45±2.01 ^a	99.85±1.42 ^a	98.74±1.37 ^a

หมายเหตุ ชุดควบคุม คือ ชุดการทดลองที่ไม่มีการใส่เม็ดอัลจินเตไฮโดรเจล

a, b ที่แสดงในแถวเดียวกัน แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p < 0.05$)



ภาพที่ 4 – 1 อัตราการรอดตายของปลาหางนกยูงหลังการขนส่ง 7 วัน



ภาพที่ 4 – 2 อัตราการรอดตายของปลาทองหลังการขนส่ง 7 วัน

บทที่ 5

วิจารณ์ผลการศึกษา และสรุปผลการศึกษา

1. วิจารณ์ผลการศึกษา

การศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับของเม็ดอัลจินเตไฮโดรเจลที่ขึ้นรูปร่วมกับผงถ่านกัมมันต์ และเม็ดอัลจินเตไฮโดรเจลที่ขึ้นรูปร่วมกับซีโอไลต์ ที่มีประสิทธิภาพสูงสุดในห้องปฏิบัติการ ที่ระดับความเข้มข้น 0 5 10 25 และ 50 เปอร์เซ็นต์ พบว่า เม็ดอัลจินเตไฮโดรเจลที่ขึ้นรูปร่วมกับผงถ่านกัมมันต์ที่ระดับความเข้มข้น 50 เปอร์เซ็นต์ สามารถลดปริมาณแอมโมเนียรวม ไนโตรท์ และไนเตรทในน้ำได้ดีที่สุด โดยกลไกการดูดซับของผงถ่านกัมมันต์ คือ การดูดซับทางกายภาพจากการดูดติดผิวด้วยแรงแวนเดอร์วาล และโครงสร้างรูพรุนที่มีพื้นที่ผิวจำเพาะ ทำให้เกิดการแพร่ของตัวถูกดูดซับเข้าไปในถ่านกัมมันต์แล้วเกิดการดูดซับไว้ได้ (พรชชกร ใจประดับเพชร, 2549) ส่งผลให้ปริมาณแอมโมเนีย ไนโตรท์ และไนเตรทในน้ำลดลงได้ แต่ในกลุ่มการทดลองที่ไม่ได้ใส่ผงถ่านกัมมันต์ มีค่าปริมาณไนเตรทในน้ำเพิ่มขึ้น เนื่องจากรูพรุนภายในของอัลจินเตไฮโดรเจล ทำให้อัลจินเตไฮโดรเจลทำหน้าที่เป็นตัวกรองชีวภาพที่สามารถให้แบคทีเรียเข้ามาอาศัยอยู่ โดยแบคทีเรียจะใช้แอมโมเนีย ทำให้เกิดเป็นไนโตรท์ และเปลี่ยนไปเป็นไนเตรท รวมถึงการตาย และการย่อยสลายของแบคทีเรีย ซึ่งส่งผลให้เกิดการเพิ่มขึ้นของปริมาณไนเตรทในน้ำ

ส่วนเม็ดอัลจินเตไฮโดรเจลที่ขึ้นรูปร่วมกับซีโอไลต์ ที่ระดับความเข้มข้น 50 เปอร์เซ็นต์ สามารถลดปริมาณแอมโมเนียรวมในน้ำได้ดีที่สุด ที่ระดับความเข้มข้น 25 เปอร์เซ็นต์ สามารถลดปริมาณไนโตรท์ในน้ำได้ดีที่สุด และที่ระดับความเข้มข้น 5 เปอร์เซ็นต์ สามารถลดปริมาณไนเตรทในน้ำได้ดีที่สุด ซึ่งกลไกในการดูดซับของซีโอไลต์เป็นได้ทั้งกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออน และทางกายภาพ โดยกลไกหลักในการดูดซับแอมโมเนียของซีโอไลต์ คือ การแลกเปลี่ยนไอออน (อัญรินทร์ พิธาภักดีสถิตย์, 2559) ซีโอไลต์จึงสามารถลดปริมาณของแอมโมเนียในน้ำได้ เนื่องจากซีโอไลต์มีประจุเป็นลบจึงสามารถดูดซับแอมโมเนียที่เป็นประจุบวก และมีผลต่อการกำจัดไนโตรท์และไนเตรทได้ (Mukani et.al., 2015)

อัตราการรอดตายระหว่างการขนส่ง พบว่า ทุกชุดการทดลองมีอัตราการรอดตาย 100 เปอร์เซ็นต์ ส่วนอัตราการรอดตายหลังการขนส่ง 7 วัน พบว่า ชุดการทดลองปลาทางนกกุ้งที่ใส่เม็ดอัลจินเตไฮโดรเจลที่ขึ้นรูปร่วมกับผงถ่านกัมมันต์และเม็ดอัลจินเตไฮโดรเจลที่ขึ้นรูปร่วมกับซีโอไลต์ มีอัตราการรอดตาย 95.17 ± 2.13 และ 95.42 ± 1.13 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งเป็นอัตราการรอดตายในระดับที่น่าพอใจ ส่วนชุดการทดลองที่ไม่ได้ใส่เม็ดอัลจินเตไฮโดรเจลมีอัตราการรอดตาย 44.15 ± 3.03 เปอร์เซ็นต์ ส่วนชุดการทดลองปลาทองที่ใส่เม็ดอัลจินเตไฮโดรเจลที่ขึ้นรูปร่วมกับผงถ่านกัมมันต์และ

เม็ดอัลจินเตไฮโดรเจลที่ขึ้นรูปร่วมกับซีโอไลต์ มีอัตราการรอดตาย 99.85 ± 1.42 และ 98.74 ± 1.37 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ส่วนชุดการทดลองที่ไม่ได้ใส่เม็ดอัลจินเตไฮโดรเจลมีอัตราการรอดตาย 97.45 ± 2.01 เปอร์เซ็นต์

ในภาพรวมของการทดลองการขนส่งปลาสวยงาม ประสิทธิภาพการดูดซับของเม็ดอัลจินเตไฮโดรเจลที่ขึ้นรูปร่วมกับผงถ่านกัมมันต์และเม็ดอัลจินเตไฮโดรเจลที่ขึ้นรูปร่วมกับซีโอไลต์ที่ระดับความเข้มข้น 25 เปอร์เซ็นต์ ในการขนส่งปลาหางนกยูง พบว่า เม็ดอัลจินเตไฮโดรเจลที่ขึ้นรูปร่วมกับผงถ่านกัมมันต์สามารถดูดซับแอมโมเนีย ไนโตรท และไนเตรทได้ดีกว่าเม็ดอัลจินเตไฮโดรเจลที่ขึ้นรูปร่วมกับซีโอไลต์ ในการขนส่งปลาทอง พบว่าเม็ดอัลจินเตไฮโดรเจลที่ขึ้นรูปร่วมกับผงถ่านกัมมันต์สามารถดูดซับแอมโมเนีย ไนโตรท และไนเตรทได้ดีกว่าเม็ดอัลจินเตไฮโดรเจลที่ขึ้นรูปร่วมกับซีโอไลต์ อาจเป็นเพราะผงถ่านกัมมันต์มีโครงสร้างเป็นรูพรุน มีประจุเป็นบวก ทำให้การดูดซับไนโตรเจนที่เป็นสารเคมีประจุลบสามารถดูดซับได้ดีกว่า และด้วยโครงสร้างที่เป็นช่องว่างของแอลจินเตไฮโดรเจลจะมีบทบาทหลักต่อการแพร่ผ่านของสาร และกักเก็บสารไว้ โดย Ca^{2+} เป็นไอออนหลักที่ทำให้เกิดโครงสร้างของแอลจินเต ถ้ามีปริมาณ Ca^{2+} มากก็จะทำให้ช่องว่างในเนื้อแอลจินเตไฮโดรเจลลดลงไป และส่งผลต่อความเสถียรของ H^+ และ Na^+ รวมถึงการดูดซับไอออนที่เป็นประจุลบ ซึ่งการดูดซับไอออนจะมากถึง 30% (Golmohamadi & Wilkinson, 2003) จากการทดลองใช้เม็ดอัลจินเตไฮโดรเจลที่ขึ้นรูปร่วมกับผงถ่านกัมมันต์และเม็ดอัลจินเตไฮโดรเจลที่ขึ้นรูปร่วมกับซีโอไลต์ที่ระดับความเข้มข้น 25 เปอร์เซ็นต์ ในการขนส่งปลาหางนกยูง พบว่าค่าพีเอช อุณหภูมิในน้ำก่อนการขนส่ง และหลังการขนส่งในชุดควบคุม ไม่มีความแตกต่างกัน แต่ในการทดลองการขนส่งเม็ดอัลจินเตไฮโดรเจลที่ขึ้นรูปร่วมกับผงถ่านกัมมันต์ ปริมาณไนเตรทในน้ำมีค่าลดลงหลังจากการขนส่งอย่างชัดเจน ซึ่งเกิดจากปริมาณออกซิเจนที่มีเพียงพอในระหว่างขนส่งทำให้กระบวนการเปลี่ยนแปลงของเสียที่เกิดระหว่างการขนส่ง ได้แก่ แอมโมเนีย ไนโตรทในน้ำลดลง และทำให้ปริมาณไนเตรทในน้ำลดลงด้วย ซึ่งแตกต่างจากการทดลองการใช้เม็ดอัลจินเตไฮโดรเจลที่ขึ้นรูปร่วมกับซีโอไลต์ในการขนส่งที่พบว่า ปริมาณแอมโมเนีย ไนโตรท และไนเตรทในน้ำหลังการขนส่งเพิ่มขึ้นเมื่อขึ้นกับกลุ่มทดลอง ซึ่งอาจจะเกิดจากซีโอไลต์มีคุณสมบัติหลังจากที่ดูดซับประจุจนอิ่มตัวแล้วคายประจุออก ทำให้ปริมาณแอมโมเนีย ไนโตรท และไนเตรทในน้ำเพิ่มสูงขึ้นเล็กน้อย ในขณะที่การขนส่งปลาทอง ซึ่งเป็นปลาขนาดใหญ่ พบว่าค่าพีเอช อุณหภูมิในน้ำก่อนการขนส่ง และหลังการขนส่งในชุดควบคุม ไม่มีความแตกต่างกัน หลังจากขนส่งปลาสวยงามปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำในชุดการทดลองมีค่าต่ำกว่าชุดควบคุมในช่วงหลังการขนส่งทั้งการทดลองใช้เม็ดอัลจินเตไฮโดรเจลที่ขึ้นรูปร่วมกับผงถ่านกัมมันต์และเม็ดอัลจินเตไฮโดรเจลที่ขึ้นรูปร่วมกับซีโอไลต์ แต่อย่างไรก็ตามการลดลงของปริมาณออกซิเจนในระหว่างขนส่งอาจเกิดจากการกระบวนการหายใจและการย่อยสลายของเสียที่เกิดขึ้นระหว่างการขนส่ง แต่ในการทดลองที่มีการใช้เม็ดอัลจินเตไฮโดรเจลร่วมนั้น เมื่อ pH ในน้ำลดต่ำลงทำให้เกิดการละลายของกลุ่มคาร์บอกซิลิก ซึ่งทำให้เกิดการแตกตัวของ

ออกซิเจนภายในน้ำเพิ่มมากขึ้น จึงทำให้ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำลดลงมาก (Long Mi et. al., 2005)

2. สรุปผลการศึกษา

ประสิทธิภาพการดูดซับของเม็ดอัลจิเนตไฮโดรเจลที่ขึ้นรูปร่วมกับผงถ่านกัมมันต์และเม็ดอัลจิเนตไฮโดรเจลที่ขึ้นรูปร่วมกับซีโอไลต์ ที่มีประสิทธิภาพสูงสุดในห้องปฏิบัติการ พบว่า เม็ดอัลจิเนตไฮโดรเจลที่ขึ้นรูปร่วมกับซีโอไลต์ที่ระดับความเข้มข้น 25 และ 50 เปอร์เซ็นต์ มีประสิทธิภาพในการดูดซับแอมโมเนียและไนโตรท์ ได้มากกว่าเม็ดอัลจิเนตไฮโดรเจลที่ขึ้นรูปร่วมกับผงถ่านกัมมันต์ที่ระดับความเข้มข้นเดียวกัน แต่เม็ดอัลจิเนตไฮโดรเจลที่ขึ้นรูปร่วมกับผงถ่านกัมมันต์สามารถดูดซับไนเตรทได้ดีกว่าเม็ดอัลจิเนตไฮโดรเจลที่ขึ้นรูปร่วมกับซีโอไลต์ ดังนั้นเม็ดอัลจิเนตไฮโดรเจลที่ขึ้นรูปร่วมกับผงถ่านกัมมันต์และเม็ดอัลจิเนตไฮโดรเจลที่ขึ้นรูปร่วมกับซีโอไลต์ที่ระดับความเข้มข้น 25 เปอร์เซ็นต์ จึงเหมาะสมที่จะเป็นวัสดุในการดูดซับสำหรับการขนส่งปลาสวยงาม

ประสิทธิภาพการดูดซับของเม็ดอัลจิเนตไฮโดรเจลที่ขึ้นรูปร่วมกับผงถ่านกัมมันต์และเม็ดอัลจิเนตไฮโดรเจลที่ขึ้นรูปร่วมกับซีโอไลต์ที่ระดับความเข้มข้น 25 เปอร์เซ็นต์ ในการขนส่งปลาหางนกยูง พบว่า เม็ดอัลจิเนตไฮโดรเจลที่ขึ้นรูปร่วมกับผงถ่านกัมมันต์สามารถดูดซับแอมโมเนีย ไนโตรท์ และไนเตรทได้ดีกว่าเม็ดอัลจิเนตไฮโดรเจลที่ขึ้นรูปร่วมกับซีโอไลต์

ในการขนส่งปลาทอง พบว่าเม็ดอัลจิเนตไฮโดรเจลที่ขึ้นรูปร่วมกับผงถ่านกัมมันต์สามารถดูดซับแอมโมเนีย ไนโตรท์ และไนเตรทได้ดีกว่าเม็ดอัลจิเนตไฮโดรเจลที่ขึ้นรูปร่วมกับซีโอไลต์

อัตราการรอดตายหลังการขนส่ง 7 วัน พบว่า ชุดการทดลองที่ใส่เม็ดอัลจิเนตไฮโดรเจลที่ขึ้นรูปร่วมกับผงถ่านกัมมันต์และเม็ดอัลจิเนตไฮโดรเจลที่ขึ้นรูปร่วมกับซีโอไลต์มีอัตราการรอดตายสูงกว่าชุดการทดลองที่ไม่ได้ใส่เม็ดอัลจิเนตไฮโดรเจล ทั้งในปลาหางนกยูงและปลาทอง

บรรณานุกรม

- กัลยาพร สงจันทร์. (2553). ผลของการใช้วัสดุดูดซับบางชนิดต่อการรอดตายและความเครียดในระหว่างการทำเลียงขนส่งปลาสวยงาม. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาเทคโนโลยีประมง, สำนักบริหารและพัฒนาวิชาการ, มหาวิทยาลัยแม่โจ้.
- คลังความรู้ กรมวิทยาศาสตร์และบริการ. (2549). ผลกระทบของแอมโมเนียต่อสัตว์น้ำ. เข้าถึงได้จาก http://siweb.dss.go.th/dss_doc/show_discription_doc.asp?ID=49
- ปภาวี ศรีอำมร และสิริพัชระ ภูริชัยวรนนท์. (2559). การเตรียมและสังเคราะห์ซีโอไลต์พีจากซีเถ้า แกลบโดยวิธีไฮโดรเทอร์มอล, สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยบูรพา.
- ศิรินุช ลอยหา. (2556). ซีโอไลต์และเทคโนโลยีซีโอไลต์, วารสารวิทยาศาสตร์มหาวิทยาลัยขอนแก่น, 41(1): 56 - 66.
- อัญรินทร์ พิธากักตีสถิตย์. (2559). การดูดซับธาตุอาหารจากน้ำคลองด้วยซีโอไลต์ร่วมกับถ่านกัมมันต์ : กรณีศึกษาคลองซวดหมัน จังหวัดสมุทรปราการ. ดุษฎีนิพนธ์ดุษฎีบัณฑิต (การจัดการสิ่งแวดล้อม), คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.
- AWAC Air System. (2018). ภาพถ่าย SEM และแบบจำลองโครงสร้างภายในของถ่านกัมมันต์ เข้าถึงได้จาก <https://www.sod.co.th/activated-carbon/#page-content>
- Baniasadi, M. and Minary M. J. (2015) Alginate-Collagen Fibril Composite Hydrogel. *Materials.*, 8(2): 799-814.
- Bee, A., Talbot, D., Abramson, S. and Dupuis, V. (2011) Magnetic alginate beads for Pb(II) ions removal from wastewater. *J. Colloid Interface Sci.*, 362: 486-492.
- Breck, D.W. (1974). *Zeolite Molecular Sieve: Structure, Chemistry and Used*. New York, John Wiley and Sons, Inc.
- Boopathy, R., Karthikeyan, S., Mandal, A.B. and Sekaran, G. (2013) Adsorption of ammonium ion by coconut shell-activated carbon from aqueous solution: kinetic, isotherm and thermodynamic studies. *Environ Sci Pollut Res.*, 20: 533-542.

- Das, D. and Pal, S. (2015) Modified biopolymer-dextrin based crosslinked hydrogels: application in controlled drug delivery. *RSC Adv.*, 5: 25014-25050.
- Demir, A., Gunay, A. and Debik, E. (2002) Ammonium removal from aqueous solution by ion exchange using packed bed natural zeolite. *Water SA.*, 12: 329-335.
- Golmohamadi M. and Wilkinson K.J. (2013). Diffusion of ions in a calcium alginate hydrogel-structure is the primary factor controlling diffusion. *Carbohydrate Polymers*, 94(1): 82-87
- Gonçalves, V. L., Mauro C. M., Laranjeira, V. T. and Fávere, R. C. (2005). Effect of Crosslinking Agents on Chitosan Microspheres in Controlled Release of Diclofenac Sodium. *Polímeros.*, 15: 6-12.
- Halim, A.A., Latif, M.T. and Ithnin, A. (2013) Ammonia Removal from Aqueous Solution Using Organic Acid Modified Activated Carbon. *World Applied Sciences Journal.*, 24: 01-06.
- Hassan, A.F., Abdel-Mohsenb, A.M. and Elhadidy, H. (2014) Adsorption of arsenic by activated carbon, calcium alginate and their composite beads, *International Journal of Biological Macromolecules.*, 68: 125-130.
- Huang, Y., Zeng, M., Feng, Z., Yin, D., Xu, Q. and Fan, L. (2016) Graphene oxide-based composite hydrogels with self-assembled macroporous structures. *RSC Adv.*, 6: 3561-3570.
- Jiao, T., Zhao, H., Zhou, J., Zhang, Q., Luo, X., Hu, J., Peng, Q. and Yan, X. (2015) Self-Assembly Reduced Graphene Oxide Nanosheet Hydrogel Fabrication by Anchorage of Chitosan/Silver and Its Potential Efficient Application toward Dye Degradation for Waste water Treatments. *ACS Sustainable Chem. Eng.*, 3: 3130-3139.
- Kashima, K. and Imai, M. (2012) Advanced membrane material from marine biological polymer and sensitive molecular-size recognition for promising separation technology. *InTech*, 7

- Liu, L. S., Kost, J., Yan, F. and Spiro, R. C. (2012). Hydrogels from Biopolymer Hybrid for Biomedical Food and Functional Food Applications. *Polymers*, 4: 997-1011.
- Lim, L. C., Dhert, P. and Sorgeloos, P. (2003a). *Preparation for transport: Fish Packaging Technology* Retrieved January 6, 2019, from <http://www.vlizbe/imisdocs/publications/261193.pdf>.
- Lim, L. C., Dhert, P. and Sorgeloos, P. (2003b). Recent developments and improvements in ornamental fish packaging systems for air transport, *Aquaculture Research*, 34, 923 - 935.
- Long Mi. F., Liang, H.-Fa., Wu Y.-C., Lin Y.-S., Yang T.-F. and Sung H.-W. (2005). pH-sensitive behavior of two-component hydrogels composed of N,O-carboxymethyl chitosan and alginate. *Journal of Biomaterials Science, Polymer Edition*, 16(11): 1333-1345
- Long, X.-L., Cheng, H., Xin, Z.-L., Xiao, W.-D., Li, W. and Yuan, W.-K. (2008) Adsorption of Ammonia on Activated Carbon from Aqueous Solutions. *Environmental Progress.*, 27: 225-233.
- Nagadomi, H., Hiromitsu, T., Takeno, K., Watanabe, M. and Sasaki, K. (1999) Treatment of aquarium water by denitrifying photosynthetic bacteria using immobilized polyvinyl alcohol beads, *J. Biosci. Bioeng.*, 87: 189-193.
- Ngomsik, A.-J.F., Bee, A., Siaugue, J.-M., Talbot, D., Cabuil, V. and Cote, G. (2009). Co(II) removal by magnetic alginate beads containing Cyanex 272. *Journal of Hazardous Materials*, 166: 1043-1049.
- Ni ă, I., Iorgulescu, M., Spiroiu, M.F., Ghiurea, M., Petcu, C. and Cinteza, O. (2007) The adsorption of heavy metal ions on porous calcium alginate microparticles. *Chimie, Anul XVI (serienouă).*, 1: 59-67.
- Ozay, O., Ekici, S., Baran, Y., Aktas, N. and Sahiner, N. (2009). Remove of toxic metal ions with magnetic hydrogels. *Water research*, 43: 4403-4411.

- Ozay, O., Ekici, S., Baran, Y., Kubilay, S., Aktas, N. and Sahiner, N. (2010). Utilization of magnetic hydrogels in the separation of toxic metal ions from aqueous environments. *Desalination*, 260: 57-64.
- Paulino, A. T., Guilherme, M. P., Reis, A. V., Campese, G. M., Muniz, E. C. and Nozaki, J. (2006) Remove of methaylene blue dry from an aqueous media using superabsorbent hydrogel supported on modified polysaccharide. *Journal of Colloid and Interface Science*, 301: 55-62
- Phillips, G.O. and Williams P.A. (2000) *Handbook of hydrocolloids*. Wood head publishing in food science, technology and nutrition
- Prithvi, R. (2018). Effect of water. Retrieved July 20, 2018, from <https://qph.fs.quoracdn.net/main-qimg-6f11460567794f8140b0d7989366f0b5>
- Sarioglu, M. (2005) Removal of ammonium from municipal waste water using natural Turkish (Dogantepe) zeolite. *Separation and Purification Technology*, 41: 1-11.
- Teramoto, N., Hayashi, A., Yamanaka, K., Sakiyama, A., Nakano, A. and Shibata, M. (2012) Preparation and Mechanical Properties of Photo-Crosslinked Fish Gelatin/Imogolite Nanofiber Composite Hydrogel. *Materials*, 5(12): 2573-2585.
- Tiwari, A. and Kathane, P. (2013). Superparamagnetic PVA-alginate microspheres as absorbent for Cu²⁺ ions removal from aqueous systems. *international research journal of environmental sciences*, 2(7): 44-53.
- Van, S.V., Dubruel, P. and Schacht, E. (2011). Biopolymer-Based Hydrogels as Scaffolds for Tissue Engineering Applications: A Review. *Biomacromolecules*, 12: 1387-1408
- Zheng, Y. and Wang, A. (2012) Ag nanoparticle-entrapped hydrogel as promising material for catalytic reduction of organic dyes. *J. Mater. Chem.*, 22: 16552-16559.

ภาคผนวก

ภาคผนวกที่ 1

เม็ดอัลจินตไฮโดรเจลที่ขึ้นรูปพร้อมกับผงถ่านกัมมันต์และเม็ดอัลจินตไฮโดรเจลที่ขึ้นรูป
พร้อมกับซีโอไลต์ ในห้องปฏิบัติการ



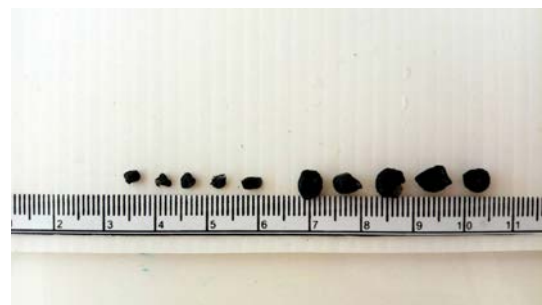
ที่ระดับความเข้มข้น 0 เปอร์เซ็นต์



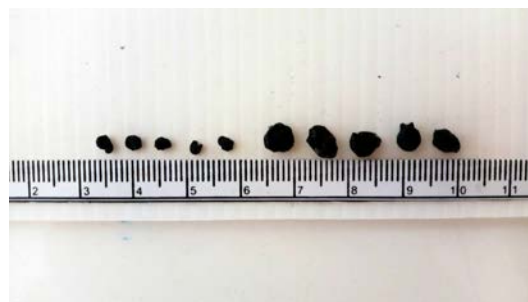
ที่ระดับความเข้มข้น 5 เปอร์เซ็นต์



ที่ระดับความเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์



ที่ระดับความเข้มข้น 25 เปอร์เซ็นต์



ที่ระดับความเข้มข้น 50 เปอร์เซ็นต์

ภาพภาคผนวกที่ 1-1 ลักษณะเม็ดอัลจินตไฮโดรเจลที่ขึ้นรูปพร้อมกับผงถ่านกัมมันต์ที่ระดับความ
เข้มข้นต่าง ๆ ลักษณะเม็ดแห้งหลังอบ (dry) และลักษณะเม็ดหลังการบวมตัว
(swollen)



ที่ระดับความเข้มข้น 0 เปอร์เซ็นต์



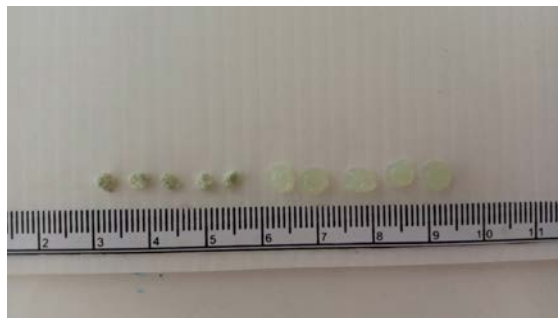
ที่ระดับความเข้มข้น 5 เปอร์เซ็นต์



ที่ระดับความเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์



ที่ระดับความเข้มข้น 25 เปอร์เซ็นต์



ที่ระดับความเข้มข้น 50 เปอร์เซ็นต์

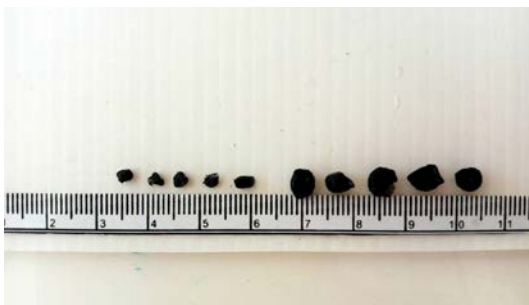
ภาพภาคผนวกที่ 1-2 ลักษณะของเม็ดอัลจินเตไฮโดรเจลที่ขึ้นรูปพร้อมกับซีไอโลดต์ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ลักษณะเม็ดแห้งหลังอบ (dry) และลักษณะเม็ดหลังการบวมตัว (swollen)



เม็ดอัลจิเนตไฮโดรเจลที่ขึ้นรูปร่วมกับผงถ่าน
กัมมันต์บรรจุในถุงตาข่าย



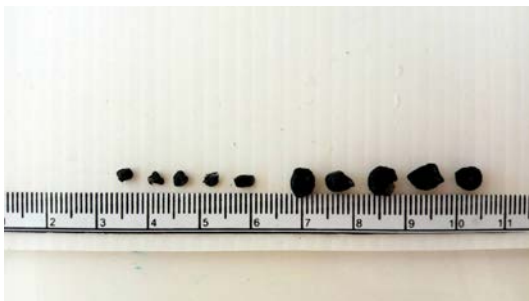
เม็ดอัลจิเนตไฮโดรเจลที่ขึ้นรูปร่วมกับซีโอไลท์
บรรจุในถุงตาข่าย



เม็ดอัลจิเนตไฮโดรเจลที่ขึ้นรูปร่วมกับผงถ่าน
กัมมันต์ในการขนส่งปลาหางนกยูง



เม็ดอัลจิเนตไฮโดรเจลที่ขึ้นรูปร่วมกับซีโอไลท์ใน
การขนส่งปลาหางนกยูง



เม็ดอัลจิเนตไฮโดรเจลที่ขึ้นรูปร่วมกับผงถ่าน
กัมมันต์ในการขนส่งปลาทอง



เม็ดอัลจิเนตไฮโดรเจลที่ขึ้นรูปร่วมกับซีโอไลท์ใน
การขนส่งปลาทอง

ภาพภาคผนวกที่ 1-3 เม็ดอัลจิเนตไฮโดรเจลที่ขึ้นรูปร่วมกับผงถ่านกัมมันต์และเม็ดอัลจิเนตไฮโดรเจลที่ขึ้นรูปร่วมกับซีโอไลท์ ในการขนส่งปลาสวยงาม ลักษณะเม็ดแห้งห่ออบ (dry) และลักษณะเม็ดหลังการบวมตัว (swollen)

ภาคผนวกที่ 2

การวิเคราะห์คุณภาพน้ำ

1. วิเคราะห์ปริมาณแอมโมเนียรวม (Total ammonia nitrogen: TAN) ใช้วิธี phenol - hypochloride

สารเคมี และวิธีเตรียม

1. น้ำกลั่น de-ionized น้ำกลั่น de-ionized ใช้สำหรับเตรียมสารละลาย, แบลงค์ และสารมาตรฐาน น้ำกลั่นที่ใช้ควรได้จากการกลั่นใหม่

2. สารละลายฟีนอล (C_2H_5OH) ละลายฟีนอล 20 กรัม ในเอซิลแอลกอฮอล์ 95% (V/V) 200 มิลลิลิตร

3. สารละลายโซเดียมไนโตรปริสไซด์ ละลายโซเดียมไนโตรปริสไซด์ ($Na_2Fe(CN)_5NO \cdot 2H_2O$) 1 กรัม ในน้ำ de-ionized 200 มิลลิลิตร เก็บรักษาสารละลายนี้ในขวดแก้วสีน้ำตาลสารละลายนี้มีอายุ 1 เดือน

4. สารละลายอัลคาไลน์ ละลายไตรโซเดียมซิเตรทไดไฮเดรต ($Na_3C_2H_5O_7 \cdot 2H_2O$) (analytical reagent grade) 100 กรัม และโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) (analytical reagent grade) 5 กรัม ในน้ำ de-ionized 500 มิลลิลิตร

5. สารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรท์ ใช้สารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรท์ ที่มีอยู่ในท้องตลาด (เช่น ไฮเตอร์) เพื่อให้ความเข้มข้นของคลอไรด์มากกว่า 1.5 นอร์มอล ควรซื้อที่ผลิตขึ้นมาใหม่ อย่างไรก็ตามจะต้องตรวจสอบความแรงของไฮเตอร์ก่อนใช้ ดังนี้

1) ละลายโซเดียมไธโอซัลเฟต ($Na_2S_2O_3 \cdot 5H_2O$) 12.5 กรัม ในน้ำ deionized 500 มิลลิลิตร สารละลายนี้มีความเข้มข้น 0.1 นอร์มอล

2) ละลายโปแทสเซียมไอโอไดด์ (KI) 2 กรัม ในน้ำ deionized 50 มิลลิลิตร ในฟลาสก์ แล้วเติมไฮเตอร์ลงไป ในอัตราส่วน 4:1

3) เติมกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น (12 นอร์มอล) ลงในสารละลายในข้อ 2

4) ไตเตรทด้วยสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟต 0.1 นอร์มอล จนกระทั่งสารละลายเปลี่ยนจากสีเหลืองเป็นไม่มีสี

5) ไฮเตอร์จะเสื่อมสภาพและนำมาวิเคราะห์หาแอมโมเนียไม่ได้ถ้าการไตเตรท ตามข้อ 4) ใช้สารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟตน้อยกว่า 12 มิลลิลิตร

6. สารละลายออกซิไดซิง ผสมสารละลายอัลคาไลน์และสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรท์ เข้าด้วยกันในอัตรา ส่วน 4 : 1 (อัลคาไลน์ 100 มิลลิลิตร และ สารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรท์ 25 มิลลิลิตร) สารละลายนี้ควรเตรียมใหม่ทุกวัน

7. น้ำทะเลเทียม ละลายโซเดียมคลอไรด์ (analytical reagent quality) เป็นกรัมตามความเค็มที่ต้องการในน้ำกลั่น 1 ลิตร

8. สารละลายมาตรฐานของแอมโมเนีย

8.1) ละลายแอมโมเนียมคลอไรด์(NH_4Cl) (analytical reagent grade) ที่อบแห้ง 105 - 110 องศาเซลเซียส นาน 2 - 3 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นในโถดวงความชื้น แล้วชั่ง 0.1910 กรัม ด้วยน้ำกลั่น de - ionized แล้วปรับปริมาตรให้ได้ 1 ลิตร ด้วยขวดวัดปริมาตร สารละลายนี้มีความเข้มข้น 50 mg-N/L และเรียกสารละลายนี้ว่า stock standard solution เก็บสารละลายนี้ไว้ในขวดสีชา สารละลายนี้มีอายุการใช้งาน 6 เดือนถึง 1 ปี

นำสารละลายมาตรฐานมา 2 มิลลิลิตร และเจือจางให้เป็น 100 มิลลิลิตร ใน Volumetric Flask ด้วยน้ำกลั่น (2 ppm)

ตารางภาคผนวกที่ 2 - 1 ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานแอมโมเนีย

ความเข้มข้น (ppm)	น้ำกลั่นปราศจากไอออน (มล.)	สารละลายมาตรฐาน 2 ppm (มล.)
0	20	0
0.2	18	2
0.4	16	4
0.6	14	6
0.8	12	8
1.0	10	10

ขั้นตอนวิเคราะห์

1. การเตรียมกราฟมาตรฐาน (Calibration curve)

- 1) ตวงสารละลายมาตรฐาน 25 มิลลิลิตร ใส่ขวดรูปชมพู่หรือหลอดทดลอง
- 2) เติมสารละลายฟีนอล 1 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน
- 3) เติมสารละลายโซเดียมไนโตรปริสไซด์ 1 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน
- 4) เติมสารละลายออกซิไดซิง 2.5 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน ปิดฝาด้วยกระดาษฟลอยด์เพื่อป้องกันการปนเปื้อนแอมโมเนียในอากาศ
- 5) ทิ้งไว้อย่างน้อย 1 ชั่วโมง แต่ไม่เกิน 24 ชั่วโมง นำไปวัดค่าการตวงกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 640 นาโนเมตร จดบันทึกค่าการตวงกลืนแสงที่ได้
- 6) วัดค่าการตวงกลืนแสงของรีเจนแบลнк (Reagen blank) โดยนำน้ำปราศจากไอออนมาเติมรีเอเจนท์ตามข้อ 1 - 5 แล้วนำไปวัดค่าการตวงกลืนแสงโดยใช้ cuvet ที่มี cell path 1 เซนติเมตร ค่าการตวงกลืนแสงของรีเอเจนแบลнкไม่ควรมีค่าเกิน 0.007

7) นำข้อมูลที่ได้มาทำกราฟมาตรฐานและหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าการตรวจกลืนแสงและความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน

2.การวิเคราะห์ตัวอย่าง

- 1) ตวงน้ำตัวอย่าง 25 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดพลาสติกที่มีฝาปิดเป็นเกลียวเพื่อป้องกันการระเหยของแอมโมเนีย
- 2) เติมสารละลายฟีนอล 1 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน จากนั้นเติมสารละลายโซเดียมไนโตรปริสไซด์ และสารละลายออกซิไดซิง 1 มิลลิลิตร และ 2.5 มิลลิลิตร ตามลำดับ หลังจากเติมน้ำยาเคมีแต่ละชนิดเขย่าให้เข้ากัน ทิ้งไว้ประมาณ 1 ชั่วโมง แต่ไม่เกิน 24 ชั่วโมง
- 3) นำไปวัดค่าการตรวจกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 640 นาโนเมตร
- 4) จดบันทึกค่าความเข้มข้นที่วัดได้ หรือนำค่าการตรวจกลืนแสงที่ได้ไปคำนวณหาความเข้มข้นของแอมโมเนียในตัวอย่างจากกราฟมาตรฐานที่ได้เตรียมไว้

2. ปริมาณไนไตรท์ (nitrite - nitrogen) ใช้วิธี Colorimetric Method

สารเคมีและวิธีเตรียม

1. สารละลายซัลฟานิลลาไมด์ ละลายซัลฟานิลลาไมด์ ($C_6H_8N_2O_2S$) 5 กรัม ในของผสมของกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 50 มิลลิลิตร กับน้ำกลั่นประมาณ 300 มิลลิลิตร จากนั้นเจือจางสารละลายที่ได้ให้มีปริมาตร 500 มิลลิลิตร
2. สารละลายแนฟทิลเอธิลีนไดอะมีนไดไฮโดรคลอไรด์ (NED) ละลายแนฟทิลเอธิลีนไดอะมีนไดไฮโดรคลอไรด์ ($C_{10}H_7NHCH_2CH_2NH_2 \cdot 2HCl \cdot CH_3OH$) 0.50 กรัม ในน้ำกลั่น แล้วปรับปริมาตรให้ได้ 500 มิลลิลิตร สารละลายตัวนี้เก็บในที่มืดที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส แต่ควรเปลี่ยนทุก ๆ 1 เดือน หรือเปลี่ยนทันทีที่เห็นสารละลายเป็นสีน้ำตาล
3. สารละลายมาตรฐานของไนไตรท์ ละลายโซเดียมไนไตรท์ ($NaNO_2$) ที่อบแห้ง 105 - 110 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง (อบนาน 24 ชั่วโมงก็ได้) แล้วชั่งมา 0.345 กรัม ในน้ำกลั่น แล้วปรับปริมาตรให้ได้ 1,000 มิลลิลิตร สารละลายนี้มีความเข้มข้น 70 mg-N/L หรือ 5 mg-at N/L (5 mM) สารละลายนี้เรียกว่า stock standard solution เก็บสารละลายนี้ไว้ในขวดสีชาแล้วแช่เย็นไว้ สารละลายมีอายุการใช้งานประมาณ 1-2 เดือน จากนั้นนำสารละลาย NO_2^- -N ที่ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร มา 1.25 มิลลิลิตร เจือจางให้เป็น 250 มิลลิลิตร ใน volumetric flask ด้วยน้ำกลั่น สารละลายนี้จะมีเข้มข้นของ NO_2^- -N เป็น 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร

ตารางภาคผนวกที่ 2 - 2 ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานไนไตรท์

ความเข้มข้น (ppm)	น้ำกลั่นปราศจากไอออน (มล.)	สารละลายมาตรฐาน 0.5 ppm (มล.)
0	50	0
0.05	45	5
0.10	40	10
0.15	35	15
0.20	30	20
0.30	20	30

ขั้นตอนวิเคราะห์

1. การเตรียมกราฟมาตรฐาน

- 1) ตวงสารละลายมาตรฐาน 25 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดทดลอง ความเข้มข้นละ 3 ซ้ำ
- 2) เติมสารละลายซิลโฟดีนิลาไมด์ 1 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ 2 - 8 นาที เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาสมบูรณ์
- 3) เติมสารละลาย NED 1 มิลลิลิตร เขย่าตัวอย่างทันที ตั้งทิ้งไว้ 5 นาที ถึง 2 ชั่วโมง น้ำตัวอย่างที่มีไนไตรท์จะเป็นสีชมพู สีที่เกิดขึ้นจะคงตัวอยู่ประมาณ 2 ชั่วโมง
- 4) นำไปวัดค่าการตวงกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 543 นาโนเมตร
- 5) แบลงค์ใช้น้ำปราศจากไอออนและเติมรีเอเจนต์ตามข้อ 1 - 5
- 6) นำข้อมูลมาทำกราฟมาตรฐานและหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าการตวงกลืนแสงกับความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานไนไตรท์

2. การวิเคราะห์ตัวอย่าง

- 1) ตวงน้ำตัวอย่าง 25 มิลลิลิตร ด้วยกระบอกตวงใส่พลาสติกรูปชมพู่ขนาด 50 มิลลิลิตร หากกรองแล้วน้ำตัวอย่างยังขุ่นให้ตวงน้ำตัวอย่างใส่พลาสติกเพิ่มอีกหนึ่งพลาสติก พลาสติกนี้ไม่ต้องเติมน้ำยาเคมี น้ำตัวอย่างในพลาสติกนี้เรียกว่า turbidity blank
- 2) เติมสารละลายซิลโฟดีนิลาไมด์ 1 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ 2 - 8 นาที เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาสมบูรณ์
- 3) เติมสารละลาย NED 1 มิลลิลิตร เขย่าตัวอย่างทันที แล้วตั้งทิ้งไว้ 10 นาที ถึง 2 ชั่วโมง จากนั้นนำน้ำตัวอย่างทั้งที่เติมน้ำยาเคมีและไม่ได้เติมน้ำยาเคมีไปวัดค่าการตวงกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 543 นาโนเมตร
- 4) สำหรับแบลงค์ใช้น้ำกลั่น แล้วทำเช่นเดียวกับน้ำตัวอย่าง

5) จดบันทึกค่าความเข้มข้นที่วัดได้ หรือนำค่าการตรวจกลั่นแอสที่ได้ไปคำนวณหาความเข้มข้นของไนโตรเจนในตัวอย่างจากกราฟมาตรฐานที่ได้เตรียมไว้

3. ปริมาณไนเตรท (nitrate - nitrogen) ใช้วิธี Cadmium Reduction

สารเคมี และวิธีเตรียม

1. สารละลายแอมโมเนียมคลอไรด์เข้มข้น ละลายแอมโมเนียมคลอไรด์ (NH_4Cl) 125 กรัม ในน้ำกลั่น 500 มิลลิลิตร เก็บสารละลายที่ได้ในขวดแก้วหรือขวดพลาสติก

2. สารละลายแอมโมเนียมคลอไรด์เจือจาง ตวงสารละลายในข้อ 1 มา 50 มิลลิลิตร แล้วเจือจางด้วยน้ำกลั่นให้ได้ 2,000 มิลลิลิตร เก็บสารละลายที่ได้ในขวดแก้วหรือขวดพลาสติก

3. สารละลายซัลฟานิลาไมด์ ใช้สารละลายเดียวกับไนโตรท

4. สารละลายเนฟทิลเอธิลีนไดอะมีนไดไฮโดรคลอไรด์ (NED) ใช้สารละลายเดียวกับไนโตรท

5. น้ำทะเลเทียม เตรียมเช่นเดียวกับการวิเคราะห์หาแอมโมเนีย

6. Cadmium – copper

1) นำเม็ดแคดเมียม ขนาด 0.5 - 2 มิลลิเมตร จำนวน 25 กรัม ล้างด้วย 6 N HCl (500 มิลลิลิตร เจือจางให้เป็น 1,000 มิลลิลิตร) แล้วทำการล้างด้วยน้ำกลั่น 5 ครั้ง

2) เติมสารละลายคอปเปอร์ซัลเฟต 2 % (v/w; 20 กรัม ละลายในน้ำกลั่น และทำให้เป็น 1,000 มิลลิลิตร) ให้ท่วมเม็ดแคดเมียมใช้แท่งแก้วคนจนกระทั่งสีน้ำเงินหายไป เติมน้ำกลั่นออกแล้วเติมเข้าไปใหม่ใช้แท่งแก้วคนจนเกิดตะกอนแขวนลอยของคอปเปอร์

3) จากนั้นล้างแคดเมียมที่เคลือบด้วยทองแดงแล้ว (Cu - Cd) ด้วยน้ำกลั่น อย่างน้อย 10 ครั้ง เพื่อล้างตะกอนทองแดงออกให้หมด

7. สารละลาย CuSO_4 2 % (W/V) ละลาย $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 10 กรัม ในน้ำกลั่น 500 มิลลิลิตร

8. กรด HCl 5 % (v/v)

9. สารละลายมาตรฐานไนเตรท ละลายโปแทสเซียมไนเตรท (KNO_3) ที่อบแห้ง 105 - 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง 0.3611 กรัม ด้วยน้ำกลั่น และปรับปริมาตรเป็น 250 มิลลิลิตร ใน volumetric flask (200 ppm) นำ standard nitrate solution มา 5 มิลลิลิตร และเจือจางให้มีปริมาตร 100 มิลลิลิตร ใน volumetric flask จะมีความเข้มข้น 10 ppm สารละลายที่ได้เรียกว่า stock standard solution เก็บสารละลายนี้ไว้ในขวดสีชาแล้วแช่เย็นไว้ สารละลายนี้เสถียรตลอดไป

ตารางภาคผนวกที่ 2 - 3 ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานไนเตรท

ความเข้มข้น (ppm)	น้ำกลั่นปราศจากไอออน (มล.)	สารละลายมาตรฐาน 10 ppm (มล.)
0	50	0
0.2	49	1
0.4	48	2
0.6	47	3
0.8	46	4
1.0	45	5

การเตรียมคอลัมน์

1. ใส่ใยแก้วที่ด้านล่างของคอลัมน์ จากนั้นเติมน้ำ แล้วค่อยๆเติมแคดเมียมที่เตรียมไว้แล้ว (Cd - Cu) โดยให้มีความยาวประมาณ 18.5 เซนติเมตร โดยให้ระดับน้ำอยู่เหนือเม็ดแคดเมียมตลอดเวลา
2. ทำการล้างคอลัมน์ ด้วยสารละลายแอมโมเนียมคลอไรด์เจือจาง
3. กระตุ้น reduction column โดยเทสารละลายซึ่งประกอบด้วยสารละลายมาตรฐานไนเตรต 1.0 มก./ล. ปริมาตร 25 มิลลิลิตร ผสมกับแอมโมเนียมคลอไรด์เข้มข้น ปริมาตร 75 มิลลิลิตร ให้ไหลผ่าน reduction column ในอัตรา 7 - 10 มิลลิลิตรต่อนาที

การหาประสิทธิภาพคอลัมน์

1. เตรียมสารละลายมาตรฐานของไนโตรท์และไนเตรทที่มีความเข้มข้นเดียวกันสำหรับคอลัมน์แต่ละคอลัมน์ (0.070 mg - N/L) (แปลงค่าใช้จากแปลงค์ของตัวอย่าง)
2. นำสารละลายของไนเตรทไปผ่านคอลัมน์โดยดำเนินการเช่นเดียวกับตัวอย่างทุกขั้นตอนสำหรับสารละลายมาตรฐานของไนโตรท์เติม sulfanilamide และ NED โดยไม่ต้องผ่านคอลัมน์
3. นำไปวัดค่าการทวงกลืนแสง คำนวณหาประสิทธิภาพของคอลัมน์ดังนี้ ประสิทธิภาพของคอลัมน์

$$= \frac{\text{Abs (0.070 mg-N/L NO}_3^-) - \text{Abs (Blank mg - N/L NO}_3^-)}{\text{Abs (0.070 mg - N/L NO}_2^-) - \text{Abs (Blank mg - N/L NO}_2^-)} \times 100$$

4. ประสิทธิภาพของคอลัมน์ควรอยู่ระหว่าง 90 - 110 เปอร์เซ็นต์ หากประสิทธิภาพของคอลัมน์มีค่า ต่ำกว่า 90 เปอร์เซ็นต์ และมากกว่า 110 เปอร์เซ็นต์ ควรทำดังนี้
 - ล้างด้วยสารละลายแอมโมเนียมคลอไรด์เจือจาง 100 มิลลิลิตร 3 - 4 ครั้ง
 - ผ่านตัวอย่างตามปกติ หากประสิทธิภาพของคอลัมน์ยังต่ำกว่า 90 เปอร์เซ็นต์ ควรเตรียมคอลัมน์ใหม่

- ผงแคะเมียมที่ใช้ไปนาน ๆ อาจแตกละเอียดทำให้สารละลายไหลช้า ควรกรองผงแคะเมียมด้วยตะแกรงร่อนที่มี mesh size 0.5 - 1 มิลลิเมตร เพื่อแยกผงที่ละเอียดออกไป

การเตรียมคอลัมน์ใหม่

นำเม็ดแคะเมียมใส่ในบีกเกอร์ และเติม 5 เปอร์เซ็นต์ ของกรดไฮโดรคลอริก (v/v) ปริมาตร 30 มิลลิลิตร ทำการคนด้วยแท่งแก้วคนสาร จากนั้นทำการล้างด้วยน้ำกลั่นปริมาตร 200 - 300 มิลลิลิตร จนกระทั่งมีค่า pH สูงกว่า 5 รินน้ำล้างทิ้งไป

นำเม็ดแคะเมียมมาแช่ในสารละลายคอปเปอร์ซัลเฟต (ตั้งขั้นตอนการเตรียมเม็ดแคะเมียม)

เติมสารละลายมาตรฐานของไนเตรท 1.4 mg-N/L 100 มิลลิลิตร (เติมสารละลายแอมโมเนียคลอไรด์เข้มข้น 2 มิลลิลิตร แล้ว) ปลอ่ยให้ไหลผ่านคอลัมน์ด้วยอัตราการไหล 8 - 12 มิลลิลิตร/นาที่ เพื่อ activated คอลัมน์ จากนั้นล้างคอลัมน์ด้วยสารละลายแอมโมเนียคลอไรด์เจือจางอีก 3 - 4 ครั้ง

ขั้นตอนวิเคราะห์

1. การเตรียมกราฟมาตรฐาน

1) ตวง Working Standard Nitrate solution ที่แต่ละความเข้มข้นลงในขวดรูปชมพู่ ขวดละ 50 มิลลิลิตร ความเข้มข้นละ 3 ซ้ำ เติม 1 มิลลิลิตร ของสารละลาย Ammonium Chloride เข้มข้นลงในแต่ละขวดเขย่าให้เข้ากัน

2) นำ working standard solution และแบลนด์ ไปผ่านคอลัมน์ โดยปรับให้สารละลายในคอลัมน์ไหลด้วยอัตรา 8 - 12 มิลลิลิตร/นาที่ จากนั้นเติมสารละลายที่ได้ประมาณ 5 - 10 มิลลิลิตร ปลอ่ยสารละลายในคอลัมน์ทิ้งจนเหลือระดับเดิม แล้วเติมสารละลายที่เหลือลงในคอลัมน์ ปลอ่ยสารละลายทิ้งประมาณ 25 มิลลิลิตร เก็บสารละลายที่เปิดออกในช่วงหลังให้ได้ ปริมาตร 25 มิลลิลิตร ส่วนสารละลายที่เหลือปลอ่ยทิ้งไป

3) เติมสารละลายซัลฟานิลาไมด์ 1 มิลลิลิตร ทันทันที เขย่าให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ 2 - 8 นาที เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาสมบูรณ์ จากนั้นเติมสารละลาย NED 1 มิลลิลิตร เขย่าตัวอย่างทันที ตั้งทิ้งไว้ 10 นาที ถึง 1 ชั่วโมง นำไปวัดค่าการตวงกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 543 นาโนเมตร

2. การวิเคราะห์ตัวอย่าง

- 1) ตวงน้ำตัวอย่าง 50 มิลลิลิตร ใส่พลาสติกรูปชมพู่ 125 มิลลิลิตร
- 2) เติมสารละลายแอมโมเนียมคลอไรด์เข้มข้น 1 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน
- 3) เติมสารละลายในข้อ 2) ประมาณ 5 - 10 มิลลิลิตร ลงในคอลัมน์ที่มีอัตราการไหล 8 - 12 นาที ต่อ 100 มิลลิลิตร ปล่อยสารละลายในคอลัมน์ทิ้งจนเหลือระดับเดิม
- 4) เติมสารละลายในข้อ 2) ที่เหลือลงในคอลัมน์ ปล่อยสารละลายทิ้งประมาณ 25 มิลลิลิตร แล้วเก็บสารละลายที่เปิดออกในช่วงหลังให้ได้ปริมาตร 25 มิลลิลิตร
- 5) เติมสารละลายซัลฟานิลาไมด์ 1 มิลลิลิตร ทันทันที เขย่าให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ 2 - 8 นาที เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาสมบูรณ์
- 6) เติมสารละลาย NED 1 มิลลิลิตร เขย่าตัวอย่างทันที ตั้งทิ้งไว้ 10 นาที ถึง 1 ชั่วโมง จากนั้นนำไปวัดค่าการตวงกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร คำนวณหาความเข้มข้นของไนเตรทจากกราฟมาตรฐานที่เตรียมไว้
- 7) ความเข้มข้นของไนเตรท = ความเข้มข้นจากตัวอย่างที่ผ่านคอลัมน์ - ค่าไนเตรทของตัวอย่างนั้น

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ - นามสกุล (ภาษาไทย) นางปิยะพร ณ นองคาย

ชื่อ - นามสกุล (ภาษาอังกฤษ) Mrs. Piyaporn Na nongkhai

ตำแหน่งปัจจุบัน อาจารย์

เวลาที่ใช้ทำวิจัย (ชั่วโมง : สัปดาห์) -

หน่วยงานและสถานที่อยู่ที่ติดต่อได้สะดวก พร้อมหมายเลขโทรศัพท์ โทรสาร และไปรษณีย์

อิเล็กทรอนิกส์ (e-mail)

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

169 ถ. ลาดยาวบางแสน ต.แสนสุข อ.เมืองฯ จ.ชลบุรี 20131

E - mail: piyapornn@buu.ac.th

ประวัติการศึกษา

ปีที่จบการศึกษา	ระดับปริญญา	ชื่อเต็มและอักษรย่อปริญญา	สาขาวิชา	สถาบันการศึกษา
2545	ตรี	วิทยาศาสตร์บัณฑิต (วท.บ.)	เคมี	มหาวิทยาลัยบูรพา
2548	โท	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วท.ม.)	ปิโตรเคมีและวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
2555	เอก	วิทยาศาสตรดุษฎีบัณฑิต (วท.ด.)	ปิโตรเคมี	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ (แตกต่างจากวุฒิการศึกษา) ระบุสาขาวิชาการ

Living radical polymerization Biopolymers modification and application

Polymer/nanoparticles hybrid materials: Synthesis and application

ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัยทั้งภายในและภายนอกประเทศ โดยระบุสถานภาพในการทำการวิจัยว่าเป็นผู้อำนวยการแผนงานวิจัย หัวหน้าโครงการวิจัย หรือผู้ร่วมวิจัยในแต่ละผลงานวิจัย

หัวหน้าโครงการวิจัย : ชื่อโครงการวิจัย

1. ไฮโดรเจลคอมโพสิตของอัลจินตและผงถ่านกัมมันต์สำหรับประยุกต์ใช้เป็นวัสดุกำจัดแอมโมเนียในการขนส่งปลาสวยงาม (งบประมาณแผ่นดิน ประจำปีงบประมาณ พ.ศ.2561)
2. อนุภาคนาโนแม่เหล็กเคลือบด้วยพอลิเมอร์สำหรับการประยุกต์เป็นอุปกรณ์ตรวจวัดทางชีวภาพ (งบประมาณแผ่นดิน ประจำปีงบประมาณ พ.ศ.2559)
3. อนุภาคนาโนแม่เหล็กเคลือบด้วยพอลิเมอร์สำหรับการประยุกต์เป็นอุปกรณ์ตรวจวัดทางชีวภาพ (งบประมาณแผ่นดิน ประจำปีงบประมาณ พ.ศ.2558)
4. การพัฒนาอนุภาคนาโนเหล็กออกไซด์ที่ถูกเคลือบด้วยโคพอลิเมอร์ของพอลิเมทาคริลิกแอซิดและพอลิ (2-เมทาคริลอิลออกซีเอทิลฟอสโฟริลโครีน) (ทุนอุดหนุนการวิจัยเงินรายได้ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา ประจำปีงบประมาณ 2556)

งานวิจัยที่เป็นผู้ร่วมวิจัย : ชื่อโครงการวิจัย

1. การสังเคราะห์เม็ดพอลิ (VBC/ST/DVB) ที่มีหมู่ฟังก์ชันนำบนผิวหน้าโดยปฏิกิริยาคลิกสำหรับใช้กำจัดสีย้อมในน้ำ
2. อนุภาคพอลิเมอร์ผสมแบบ IPNs ที่เตรียมจากพอลิ (อะคริลาไมด์) สำหรับควบคุมการปลดปล่อยยาต้านไวรัส
3. พอลิเมอร์ชีวภาพโคโตซาน/เจลาติน ที่มีสมบัติแม่เหล็กสำหรับเป็นเรซินแลกเปลี่ยนไอออนและกำจัดโลหะหนักในน้ำทิ้ง
4. การกำจัดโลหะอันตรายในน้ำทิ้งจากห้องปฏิบัติการด้วยอนุภาคแม่เหล็กนาโน (Fe_3O_4) เคลือบด้วยพอลิเมอร์

งานวิจัยที่ทำเสร็จแล้ว : ชื่อผลงานวิจัย ปีที่พิมพ์ การเผยแพร่ และแหล่งทุน

Phumithat, N., Na Nongkhai, P., & Trakulsujaritchok, T., (2017). Sodium carboxymethyl cellulose/polyacrylamide interpenetrating polymer networks for controlled delivery: preparation and characterization. KMUTNB International Journal of Applied Science and Technology, 10(X), accepted: in press. (วารสารทางวิชาการในฐานข้อมูลระดับนานาชาติ ASEAN Citation Index: ACI (<http://www.asean-cites.org/>))

- Noisri, N., **Na Nongkhai, P.**, & Trakulsujaritchok, T., (2017). Kappa-Carrageenan/Sodium Alginate Based Core-Shell Hydrogels for pH Sensitive Drug Delivery Systems.วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา ฉบับพิเศษ การประชุมวิชาการ ระดับชาติ วิทยาศาสตร์วิจัย ครั้งที่ 9, 22, 269-278. (วารสารทางวิชาการในฐานข้อมูลระดับชาติ Thai Journal Citation Index (TCI) กลุ่มที่ 1)
- Phumithat, N., **Na Nongkhai, P.**, & Trakulsujaritchok, T., (2017). Preparation and characterization of pH-responsive carboxymethyl cellulose/ polyacrylamide interpenetrating polymer network hydrogels. บทความวิจัย ฉบับเต็มในการประชุมวิชาการระดับชาติ “วิทยาศาสตร์วิจัย ครั้งที่ 9”. 25-26 พฤษภาคม พ.ศ. 2560. คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา. CH33-42.
- Boonjamnian, S., Trakulsujaritchok, T., & **Na Nongkhai, P.**, (2016). Preparation and characterization of PMAMPC-functionalized MNPs by one-pot reaction. บทความวิจัยฉบับเต็มในการประชุมวิชาการระดับนานาชาติ “International polymer conference of Thailand ครั้งที่ 6”. 30 มิถุนายน-1 กรกฎาคม พ.ศ. 2559. สมาคมพอลิเมอร์แห่งประเทศไทย ณ โรงแรมปทุมวัน ปริ๊นเซส กรุงเทพฯ, 425-429.
- Lapwanit, S., Trakulsujaritchok, T., & **Na Nongkhai, P.**, (2016). Chelating magnetic copolymer composite modified by click reaction for removal of heavy metal ions from aqueous solution. Chemical Engineering Journal, 289, 286-295. (วารสารทางวิชาการในฐานข้อมูลระดับนานาชาติ Scopus (<http://www.info.scopus.com>))
- Lapwanit, S., Trakulsujaritchok, T., & **Na Nongkhai, P.**, (2015). Surface modification of crosslinked poly(styrene-co-divinylbenzene-co-vinylchloride) by click chemistry: preparation, characterization and adsorption properties. บทความวิจัยฉบับเต็มในการประชุมวิชาการระดับนานาชาติ “Pure and Applied Chemistry International Conference 2015”. 21-23 มกราคม พ.ศ. 2558. ณ โรงแรมอมารี วอเตอร์เกท กรุงเทพฯ, 355-358.

Singkaew, H., Trakulsujaritchok, H., & Na Nongkhai, P., (2014). Removal of dyes from aqueous solutions by chelating poly(glycidyl methacrylate-co- 2-hydroxyethyl methacrylate-co-divinylbenzene). บทความวิจัยฉบับเต็มในการประชุมวิชาการระดับนานาชาติ “MACRO 2014”. 6-11 กรกฎาคม 2557. International Union of Pure and Applied Chemistry. ณ ศูนย์การประชุมและแสดงสินค้านานาชาติ เชียงใหม่, 287-290.

Sameenoi, Y.; Na Nongkhai, P.; Nouanthavong, S.; Henryb, C. H.; Nacaprichac, D. One-step polymer screen-printing for microfluidic paper-based analytical device (mPAD) fabrication, *Analyst*, 2014, 139, 6580-1588. (วารสารทางวิชาการในฐานข้อมูลระดับนานาชาติ Scopus (<http://www.info.scopus.com>))

บุญนุช บุญไสย, อรวรรณ สุขสมบัติ และ ปิยะพร ณ หนองคาย. (2557). การสังเคราะห์และวิเคราะห์อนุภาคนาโนแม่เหล็กเคลือบด้วยพีเอ็มเอเอ็มพีซีโคพอลิเมอร์. วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา ฉบับพิเศษ การประชุมวิชาการระดับชาติ วิทยาศาสตร์วิจัย ครั้งที่ 6, 19, 414-421. (วารสารทางวิชาการในฐานข้อมูลระดับชาติ Thai Journal Citation Index (TCI) กลุ่มที่ 1)

Kapasob, N., Trakulsujaritchok, H., & Na Nongkhai, P., (2013). Preparation and characterization of sodium carboxymethyl cellulose/polyacrylamide hydrogel for controlled drug release. บทความวิจัยฉบับเต็มในการประชุมวิชาการระดับชาติ “การประชุมวิชาการระดับชาติวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วทท) ครั้งที่ 39”. 21-23 ตุลาคม 2556. สมาคมวิทยาศาสตร์แห่งประเทศไทย. Bangkok International Trade & Exhibition Centre (BITEC) กรุงเทพฯ, 462-469.

Chokdeemeeboon, C.; Ammarinthukrowh, P.; Tongkobpetch, S.; Srichomtong, C.; Deekajorndech, T.; Rianthavorn, P.; Kingwattanakul, P.; Avihingsanon, Y.; Wright, H. L.; Hoven, V. P.; Akkhat, P.; Mekboonsonglarp, W.; Edwards, S. W.; Hirankarn, N.; Suphapeetiporn, K.; Shotelersuk, V., DcR3 mutations in systemic Lupus Erythematosus patients leads to enhanced lymphocyte proliferation, *The Journal of Rheumatology* 2013, 40, 1316-1326. (วารสารทางวิชาการในฐานข้อมูลระดับนานาชาติ Scopus (<http://www.info.scopus.com>))

Akkahat, P.; Kiatkamjornwong, S.; Yusa, S.; Iwasaki, Y.; Hoven, V. P. Development of a Novel Antifouling Platform for Biosensing Probe Immobilization from Methacryloyloxyethyl Phosphorylcholine-Containing Copolymer Brushes. *Langmuir*, 2012, 28, 5872–5881. (วารสารทางวิชาการในฐานข้อมูลระดับนานาชาติ Scopus (<http://www.info.scopus.com>))

Akkahat, P.; Mekboonsonglarp, W.; Kiatkamjornwong, S.; Hoven, V. P. Surface-Grafted Poly(acrylic acid) Brushes as a Precursor Layer for Biosensing Applications: Effect of Graft Density and Swellability on the Detection Efficiency. *Langmuir*, 2012, 28, 5302–5311. (วารสารทางวิชาการในฐานข้อมูลระดับนานาชาติ Scopus (<http://www.info.scopus.com>))

Akkahat, P.; Hoven, V. P. Introducing Surface-tethered Poly(acrylic acid) Brushes as 3D Functional Thin Film for Biosensing Application Colloids and 26 Surface B: *Biointerface*, 2011, 86, 198-205. (วารสารทางวิชาการในฐานข้อมูลระดับนานาชาติ Scopus (<http://www.info.scopus.com>))

ชื่อ - นามสกุล (ภาษาไทย) นางสาวจริยาวดี สุริยพันธุ์

ชื่อ - นามสกุล (ภาษาอังกฤษ) Miss Jariyavadee Suriyaphan

ตำแหน่งปัจจุบัน ผู้ช่วยศาสตราจารย์

เวลาที่ใช้ทำวิจัย (ชั่วโมง : สัปดาห์) 24 ชั่วโมง : สัปดาห์

หน่วยงานและสถานที่อยู่ที่ติดต่อได้สะดวก พร้อมหมายเลขโทรศัพท์ โทรสาร และไปรษณีย์

อิเล็กทรอนิกส์ (e-mail)

ภาควิชาวาริชศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

169 ถ. ลาดยาวบางแสน ต. แสนสุข อ. เมืองฯ จ. ชลบุรี 20131

E - mail: jariyavadee@buu.ac.th

ประวัติการศึกษา

ปีที่จบการศึกษา	ระดับปริญญา	ชื่อเต็มและอักษรย่อปริญญา	สาขาวิชา	สถาบันการศึกษา
2547	ตรี	วิทยาศาสตร์บัณฑิต (วท.บ.)	ประมง	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
2550	โท	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วท.ม.)	วิทยาศาสตรการประมง	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
2554	เอก	วิทยาศาสตรดุษฎีบัณฑิต (ปร.ด.)	วิทยาศาสตรการประมง	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ (แตกต่างจากวุฒิการศึกษา) ระบุสาขาวิชาการ

แพลงก์ตอนพืช แพลงก์ตอนสัตว์ โรคกุ้ง โรคสัตว์น้ำ หญ้าทะเล ระบบนิเวศทางทะเล และระบบนิเวศในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำ

ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัยทั้งภายในและภายนอกประเทศ โดยระบุสถานภาพในการทำการวิจัยว่าเป็นผู้อำนวยการแผนงานวิจัย หัวหน้าโครงการวิจัย หรือผู้ร่วมวิจัยในแต่ละผลงานวิจัย

หัวหน้าโครงการวิจัย : ชื่อโครงการวิจัย

1. องค์ประกอบชนิดและมวลชีวภาพของหญ้าทะเล บริเวณหน้าโรงพยาบาลอาภากรณ์ จังหวัดชลบุรี ทุนอุดหนุนการวิจัย ประเภทเงินรายได้คณะวิทยาศาสตร์ ประจำปีงบประมาณ 2555 ดำเนินการไปแล้ว 100 เปอร์เซ็นต์

2. Accumulation of Geosmin และ MIB in intensive Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) culture ponds ทุนอุดหนุนจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ประจำปีงบประมาณ 2557 ดำเนินการไปแล้ว 100 เปอร์เซ็นต์

3. การประเมินมูลค่าทางเศรษฐกิจของระบบนิเวศชายฝั่งต่อการท่องเที่ยวหมู่เกาะเสม็ด กรณีศึกษาคราบน้ำมันรั่วไหล ทุนอุดหนุนจากบริษัทโกลบอลเคมีคอล จำกัด มหาชน ประจำปีงบประมาณ 2557 ดำเนินการไปแล้ว 100 เปอร์เซ็นต์

4. สันฐานวิทยา และการเปลี่ยนแปลงมวลชีวภาพของหญ้าทะเล ชนิด *Halodule pinifolia* และ *Halodule uninervis*, สัตหีบ จังหวัดชลบุรี ประเภทเงินรายได้คณะวิทยาศาสตร์ ประจำปีงบประมาณ 2558 ดำเนินการไปแล้ว 100 เปอร์เซ็นต์

5. การศึกษาคุณภาพน้ำ คุณภาพดิน และการไหลเวียนของกระแส น้ำ ต่อการแพร่กระจายของแนวหญ้าทะเลตามแนวชายฝั่งอำเภอเมืองสัตหีบ จังหวัดชลบุรี โครงการวิจัยร่วมสนองพระราชดำริ ฯ ภายใต้โครงการอนุรักษ์พันธุกรรมพืชอันเนื่องมาจากพระราชดำริ ฯ สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดา ฯ สยามบรมราชกุมารี (อพ.สธ.) งบประมาณเงินรายได้ (เงินอุดหนุนจากรัฐบาล) มหาวิทยาลัยบูรพา ประจำปีงบประมาณ 2558 ดำเนินการไปแล้ว 100 เปอร์เซ็นต์

งานวิจัยที่กำลังทำ : ชื่อข้อเสนอการวิจัย แหล่งทุน และสถานภาพในการทำวิจัยว่าได้ทำการวิจัยลุล่วงแล้วประมาณร้อยละเท่าใด

1. การตอบสนองการสังเคราะห์แสงของหญ้าทะเลต่อความเข้มแสง โดยใช้เครื่องวัดการเรืองแสงของคลอโรฟิลล์ เอ ทุนอุดหนุนการวิจัย ประเภทเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2560 คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา ดำเนินการไปแล้ว 100 เปอร์เซ็นต์

2. ผลกระทบจากการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำต่อมวลชีวภาพของหญ้าทะเลบริเวณอ่าวคุ้งกระเบน จังหวัดจันทบุรี (Aquaculture impact on seagrasses biomass at Kungkaben bay, Chantaburi Province)โครงการวิจัยร่วมสนองพระราชดำริ ฯ ภายใต้โครงการอนุรักษ์พันธุกรรมพืช

อันเนื่องมาจากพระราชดำริ ฯ สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดา ฯ สยามบรมราชกุมารี (อพ.สธ.) งบประมาณเงินรายได้ (เงินอุดหนุนจากรัฐบาล) มหาวิทยาลัยบูรพา ประจำปีงบประมาณ 2559 ดำเนินการไปแล้ว 100 เปอร์เซ็นต์

3. ชีวมวลของแพลงก์ตอนพืชขนาดต่าง ๆ และการวิเคราะห์รงควัตถุที่รวบรวมจาก บ่อเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไม (*Litopenaeus vannamei*) งบประมาณเงินรายได้ (เงินอุดหนุนจากรัฐบาล) มหาวิทยาลัยบูรพา ประจำปีงบประมาณ 2560 ดำเนินการไปแล้ว 100 เปอร์เซ็นต์

4. ปัจจัยของธาตุอาหาร ซัลไฟด์ และกระแสไฟฟ้าต่อมวลชีวภาพและการแพร่กระจายของ หญ้าทะเลตามแนวชายฝั่ง อำเภอสัตหีบ จังหวัดชลบุรี (สนองพระราชดำรินโยบายโครงการอนุรักษ์พันธุกรรมพืชอันเนื่องมาจากพระราชดำริสมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี) งบประมาณเงินรายได้ (เงินอุดหนุนจากรัฐบาล) มหาวิทยาลัยบูรพา ประจำปีงบประมาณ 2560 ดำเนินการไปแล้ว 100 เปอร์เซ็นต์

งานวิจัยที่ทำเสร็จแล้ว : ชื่อผลงานวิจัย ปีที่พิมพ์ การเผยแพร่ และแหล่งทุน

สุชาดา โห้ไซ้ และจรรย์าวดี สุริยพันธ์ (2557) ประชาคมสิ่งมีชีวิตเกาะติดขนาดเล็กบนใบหญ้าทะเล

Halodule uninervis (Forsskål) Ascherson บริเวณอ่าวสัตหีบ จังหวัดชลบุรี. ใน การประชุมวิชาการวิทยาศาสตร์ทางทะเล ครั้งที่ 4 ประจำปี พ.ศ. 2557 (หน้า 190-197). กรุงเทพฯ: สถาบันวิจัยและพัฒนาทรัพยากรทางทะเล ชายฝั่งทะเล และป่าชายเลน กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง

อมรรัตน์ สายเสียง และจรรย์าวดี สุริยพันธ์ (2557) การศึกษาชนิดและปริมาณของสัตว์ทะเลหน้าดิน

ขนาดใหญ่ ในแนวหญ้าทะเล บริเวณหน้าโรงพยาบาลอภากรเกียรติวงศ์ ตำบลสัตหีบ อำเภอสัตหีบ จังหวัดชลบุรี. ใน การประชุมวิชาการวิทยาศาสตร์ทางทะเล ครั้งที่ 4 ประจำปี พ.ศ. 2557 (หน้า 124-132). กรุงเทพฯ: สถาบันวิจัยและพัฒนาทรัพยากรทางทะเล ชายฝั่งทะเล และป่าชายเลน กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง

จรรย์าวดี สุริยพันธ์ และทศพร แสงวิไล. (2559). ชนิดและปริมาณของหอยทะเลในแหล่งหญ้าทะเล บริเวณอ่าวสัตหีบ อำเภอสัตหีบ จังหวัดชลบุรี. *วารสารแก่นเกษตร (ฉบับพิเศษ)*, 44(1): 752-759.

Suriyaphan, J., Phanomapornchai, C., Muangthong, A., Jaritkhun, S. and Ketma, C. (2016). The comparison of sediment texture and nutrient characteristics between inside and outside seagrass beds, Sattahip bay, Chon Buri Province. In *Proceeding of The 5th Burapha University International Conference 2016* (pp.277-282). Chon Buri: Burapha University.

จริยาวดี สุริยพันธ์ และชนิดดา เกตุมา. (2559). ความสัมพันธ์ระหว่างมวลชีวภาพส่วนที่ไหลลงพื้นดิน ด้วยสายตา และส่วนใต้ดินของหญ้าทะเล ชนิด *Halodule pinifolia* ร่วมกับการ ประเมินมวลชีวภาพด้วยสายตา. ใน *การประชุมวิชาการระดับชาติ “วิทยาศาสตร์วิจัย” ครั้งที่ 8 ประจำปี พ.ศ. 2559* (หน้า 330-335). พะเยา: มหาวิทยาลัยพะเยา

ณัชปพนสรณ์ พรหมสีดา และจริยาวดี สุริยพันธ์. (2559). การปนเปื้อนของเชื้อไวรัสโอในหอยแครง (*Anadara granosa* Lamarck) จากจังหวัดชลบุรี. ใน *การประชุมวิชาการระดับชาติ “วิทยาศาสตร์วิจัย” ครั้งที่ 8 ประจำปี พ.ศ. 2559* (หน้า 461-467). พะเยา: มหาวิทยาลัยพะเยา

C. Rattanajakamol & S. Jariyavadee (2017). The Study of Cadmium Concentration in Red Blood Cockle (*Anadara granosa*), Chon Buri Province. *Khon Kaen Agriculture Journal*, 45(1): 884 - 889

S. Jariyavadee & C. Ketma. (2017). Phytoplankton, water quality and geosmin concentration in intensive Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) culture ponds at different salinity level. *Khon Kaen Agriculture Journal*, 45(1): 949 - 955

จริยาวดี สุริยพันธ์ และชนิดดา เกตุมา. (2560). มวลชีวภาพของหญ้าทะเลบริเวณ อ่าวคุ้งกระเบน จังหวัดจันทบุรี. ใน *การประชุมวิชาการชมรมคณะปฏิบัติงานวิทยาการ อพ.สช. ครั้งที่ 8 “ทรัพยากรไทย: ศักยภาพมากล้นมีให้เห็น”* (หน้า 761-766). สระบุรี: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

อนุกุล บุรณประทีปรัตน์, จริยาวดี สุริยพันธ์ และศิราพร ทองอุดม. (2560). การไหลเวียน กระแสน้ำบริเวณแหล่งหญ้าทะเล อำเภอสัตหีบ จังหวัดชลบุรี ในปี พ.ศ. 2558. ใน *การประชุมวิชาการชมรมคณะปฏิบัติงานวิทยาการ อพ.สช. ครั้งที่ 8 “ทรัพยากรไทย : ศักยภาพมากล้นมีให้เห็น”* (หน้า 761-766). สระบุรี: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปริญธิดา จันลา, ชนิดดา เกตุมา, วิชญา กันบัว และจริยาวดี สุริยพันธุ์. (2561). องค์ประกอบและ
ความชุกชุมของสัตว์ทะเลหน้าดินบริเวณหาดทรายแก้ว และอ่าวพร้าว อุทยาน
แห่งชาติเขาแหลมหญ้า-หมู่เกาะเสม็ด จังหวัดระยอง. *วารสารแก่นเกษตร (ฉบับ
พิเศษ)*, 46(1): 1067-1073.

อานนท์ สุริรักษ์ และจริยาวดี สุริยพันธุ์. (2562). การแพร่กระจายของหอยทะเลฝาเดียวในแนว
หญ้าทะเล อ่าวสัตหีบ อ่าวสัตหีบ จังหวัดชลบุรี. *วารสารแก่นเกษตร (ฉบับพิเศษ)*:
47 (1), 1147-1154

กัลยรัตน์ จันทร์สิงขร โสภาวดี เมืองฮาม และจริยาวดี สุริยพันธุ์. (2563). ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์
ในแนวหญ้าทะเล อ่าวสัตหีบ อ่าวสัตหีบ จังหวัดชลบุรี. *วารสารแก่นเกษตร (ฉบับ
พิเศษ)*: 48 (1), 893 -898

รายงานสรุปการเงิน

เลขที่โครงการระบบบริหารงานวิจัย (NRMS ๑๓ หลัก)..... สัญญาเลขที่.....

โครงการวิจัยประเภทงบประมาณเงินรายได้จากเงินอุดหนุนรัฐบาล (งบประมาณแผ่นดิน)

ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. ๒๕๖๒ มหาวิทยาลัยบูรพา

ชื่อโครงการ ประสิทธิภาพของซีโอไลต์ และผงถ่านกัมมันต์ร่วมกับ ไฮโดรเจลคอมโพสิตของอัลจิเนตเพื่อการกำจัด
ไนโตรเจนในน้ำในการขนส่งปลาสวยงาม

ชื่อหัวหน้าโครงการวิจัยผู้รับทุน (อ./ดร./ผศ./รศ./ศ.) ปิยะพร ณ หนองคาย

รายงานในช่วงตั้งแต่วันที่ (วัน/เดือน/ปี) ๓๐ สิงหาคม พ.ศ. ๒๕๖๒ ถึงวันที่ (วัน/เดือน/ปี) ๒๒ กรกฎาคม ๒๕๖๓

ระยะเวลาดำเนินการ ๑ ปี... เดือน ตั้งแต่วันที่ (วัน/เดือน/ปี) ๓๐ สิงหาคม พ.ศ. ๒๕๖๒-๓๑ กรกฎาคม พ.ศ. ๒๕๖๓

รายรับ

จำนวนเงินที่ได้รับ

งวดที่ ๑ (๕๐%) ๕๐,๐๐๐ บาท เมื่อวันที่ เดือน ปี.....

งวดที่ ๒ (๕๐%) ๕๐,๐๐๐ บาท เมื่อวันที่ เดือน ปี.....

งวดที่ ๓ (๑๐%) ๑๐,๐๐๐ บาท เมื่อวันที่ เดือน ปี.....

รวม ๑๐๐,๐๐๐ บาท

รายจ่าย

รายการ	งบประมาณที่ตั้งไว้	งบประมาณที่ใช้จริง	จำนวนเงินคงเหลือ/เกิน
๑. ค่าตอบแทน			
๒. ค่าจ้าง	๐	๐	๐
๓. ค่าวัสดุ	๕๒,๐๐๐	๕๘,๐๐๐	-๖,๐๐๐
๔. ค่าใช้สอย	๕๓,๒๐๐	๕๕,๒๐๐	- ๒,๐๐๐
๕. ค่าครุภัณฑ์	๐	๐	๐
๖. ค่าใช้จ่ายอื่น ๆ - วัสดุเพื่อการขนส่ง	๔,๒๐๐	๕,๐๐๐	-๑,๒๐๐
รวม	๑๐๐,๐๐๐	๑๐๐,๐๐๐	๐

(.....)

ลงนามหัวหน้าโครงการวิจัยผู้รับทุน