บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ชีววิทยาของหอยนางรม

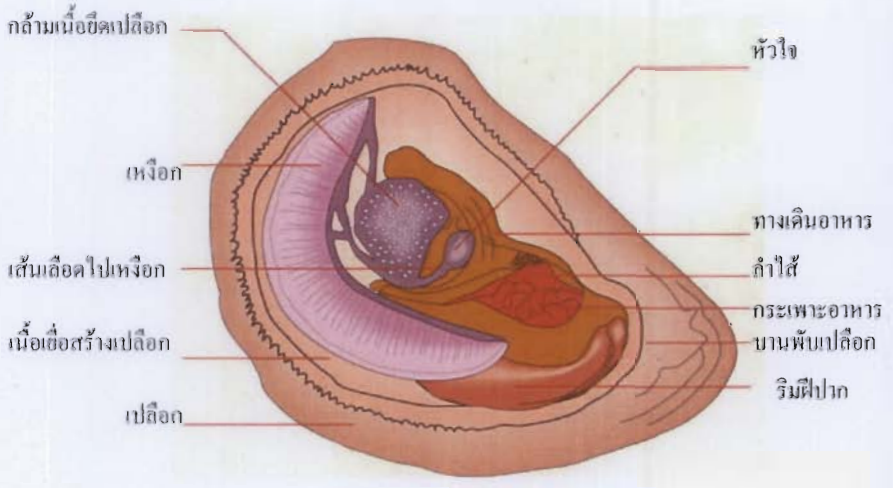
หอยนางรม (*Saccostrea cucullata*) มีชื่อสามัญว่า หอยนางรมปากจีบ จัดอยู่ใน Phylum Mollusca, Class Bivalvia, Family Ostreidae หอยนางรมปากจีบเป็นหอยสองฝา เปลือกมีลักษณะเป็นสองชิ้นประกบกัน และยึดติดกันโดยฟันเปลือก (Hinge teeth) ร่วมกับโครงสร้างคล้ายเอ็นหรือหนังเรียกว่าลิกาเมนท์ (Ligament) ที่อยู่ด้านบน (Dorsal) ของเปลือก มีกล้ามเนื้อยึดเปลือก (Adductor muscle) เพียงอันเดียวเท่านั้น ลำตัวมีตำแหน่งอยู่ระหว่างเปลือก ไม่มีส่วนหัวที่ชัดเจน ไม่มีแผงฟันและเท้า อาศัยเกาะอยู่บนวัตถุหรือพื้นใต้น้ำ โดยมีเปลือกด้านซ้ายติดอยู่กับวัสดุที่เป็นของแข็ง ดังนั้นหอยที่ลงเกาะแล้วจึงไม่มีการเคลื่อนที่อีกตลอดชีวิต (คเชนทร เฉลิมวัฒน์, 2544)

ในประเทศไทยมีพันธุ์หอยนางรมตามธรรมชาติอยู่หลายชนิด แต่ชนิดที่นิยมเพาะเลี้ยงเพื่อนำมาบริโภคเป็นอาหารนั้น พอจำแนกได้เป็น 2 พวกคือ หอยนางรมพันธุ์ใหญ่ที่เรียกว่าหอยตะโกรมมี 2 ชนิดคือ หอยตะโกรมดำ (*Crassostrea lugubris*) และหอยตะโกรมขาว (*Crassostrea belcheri*) ส่วนหอยนางรมพันธุ์เล็กเป็นชนิดที่มีการเพาะเลี้ยงในบริเวณชายฝั่งทะเลทางภาคตะวันออก มีชื่อสามัญว่าหอยนางรมปากจีบ (*Saccostrea cucullata*) (ภาพที่ 2-1) โดยมีลักษณะเฉพาะคือ เปลือกซ้ายยึดติดกับโขดหินอย่างแน่นหนา ขอบยกเป็นรูปถ้วย เปลือกขวาแบนรอยกล้ามเนื้อยึดเปลือกเป็นรูปรี ที่เปลือกซ้ายมีสีขาว และมีสีขาวหรือสีม่วงเข้มที่เปลือกขวา (วันทนา อยู่สุข, 2552)

ภาพที่ 2-1 หอยนางรมปากจีบ (*Saccostrea cucullata*) ที่มา: (วันทนา อยู่สุข, 2552)

2.1.1 ระบบทางเดินอาหารและการกินอาหาร

หอยนางรมกินอาหารโดยการกรอง (Filter feeder) ผ่านเหงือก อาหารของหอยนางรม ได้แก่ แพลงก์ตอนพืชหรือแพลงก์ตอนสัตว์ที่ล่องลอยอยู่ในน้ำ อนินทรีย์สารขนาดเล็ก รวมทั้ง ตะกอนที่ปะปนอยู่กับทรายและโคลน อาหารหรืออนุภาคต่าง ๆ ที่ถูกพัดพามากับน้ำ หรืออยู่ใน โคลนจะติดอยู่บนซี่เหงือกและเข้าสู่ระบบทางเดินอาหาร (ภาพที่ 2-2) ที่ประกอบด้วยช่องปาก หลอดอาหาร กระเพาะอาหารที่มีต่อมย่อยอาหาร (Style sac) ลำไส้เล็ก ลำไส้ตรงและช่องทวารหนัก หอยสองฝามีอวัยวะขับถ่ายคือไต (Kidney) จำนวน 1 คู่ เชื่อมต่อกับรอบหัวใจ โดยท่อ Nephrostome ทำหน้าที่ในการกำจัดของเสีย โดยไตแต่ละข้างจะมีท่อ Ureter ไปเปิดออกที่ด้านบน ของช่องแมนเทิล ภายในท่อทางเดินอาหารบุด้วยเซลล์ขน (Cilia) และเยื่อเมือกที่ช่วยพัดพาอาหาร เข้าสู่ต่อมย่อยอาหาร การย่อยอาหารและการดูดซึมอาหารเกิดขึ้นที่ต่อมย่อยอาหาร โดยย่อยแบบ ในเซลล์ (Intracellular digestion) โดยกากอาหารจะถูกลำเลียงออกไปยังลำไส้เล็ก ลำไส้ตรงและ ช่องทวารหนัก (นงนุช ตั้งเกริกโอฬาร, 2542)



ภาพที่ 2-2 โครงสร้างภายในของหอยนางรม ที่มา: (สุวรรณา ภาณุตระกูล และคณะ, 2550)

2.2 โลหะหนัก (Heavy Metal)

โลหะหนัก คือ ธาตุที่มีน้ำหนักมากกว่าน้ำ 5 เท่า เป็นธาตุในตารางธาตุที่มีเลขอะตอม ตั้งแต่ 23-34 และ 40-52 รวมทั้งธาตุในอนุกรมแลนทาไนและแอกติไน มีสถานะเป็นของแข็ง (ยกเว้นปรอทในสภาวะปกติ) โลหะหนักส่วนใหญ่มีคุณสมบัติทางกายภาพที่คล้ายกันแต่คุณสมบัติ ทางเคมีแตกต่างกัน โดยคุณสมบัติทางเคมีที่สำคัญคือ มีค่าเลขออกซิเดชั่นได้หลายค่า สามารถ รวมตัวกับสารประกอบอินทรีย์ ทำให้เกิดสารประกอบใหม่ที่เสถียรกว่าเดิม โลหะหนักสามารถ

เปลี่ยนรูปจากรูปที่ละลายน้ำได้ (Dissolved forms) ไปเป็นสารประกอบเชิงซ้อน (Complex Molecules) หรือเกิดเป็นอนุภาคคอลลอยด์ (Colloid) และตกตะกอนรวมอยู่กับตะกอนบนพื้นท้องน้ำ ซึ่งโลหะหนักที่มีความเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิตมักจะอยู่ในรูปสารละลาย (มนัส สถิรจินดา, 2538; สุวรรณา ภาณุตระกูล และคณะ, 2544) โลหะหนักที่อยู่ในรูปสารละลาย (Dissloved) จะถูกนำเข้าสู่ร่างกายของสัตว์น้ำโดยผ่านขบวนการหายใจและการดูดซึมเข้าทางผิวหนัง สำหรับโลหะหนักที่อยู่ในรูปของตะกอนดิน (Sediment) หรือสารแขวนลอย (Suspended) จะสามารถเข้าสู่ร่างกายของสัตว์น้ำทางปากโดยเฉพาะพวกที่มีพฤติกรรมการกินอาหารแบบกรองกิน และถ้าเกิดการกวนตะกอนให้ฟุ้งกลับเข้าสู่มวลน้ำ (Re-suspension) จากกิจกรรมของมนุษย์ ทำให้โลหะหนักที่จับตัวอยู่กับตะกอนสามารถถูกปลดปล่อยเข้าสู่แหล่งน้ำในรูปตะกอนได้อีก สิ่งมีชีวิตที่อยู่ในบริเวณนี้จึงมีโอกาสที่จะได้รับโลหะหนักเข้าสู่ร่างกายได้เช่นกัน (สุวรรณา ภาณุตระกูล และคณะ, 2544; กนกฝน ทศานนท์, 2536)

2.2.1 กลไกการเกิดพิษโดยรวมของสารโลหะหนัก

มีผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีของร่างกายอย่างกว้าง ๆ ดังนี้

2.2.1.1 ผลต่อเอนไซม์ ทำให้การทำงานของเอนไซม์ผิดปกติ เนื่องจากสารโลหะหนักจะรวมตัวกับหมู่ซัลไฮดิล (-SH) ในโครงสร้างโมเลกุลของเอนไซม์หรือโปรตีน ซึ่งเป็นกลไกของการเกิดพิษที่สำคัญที่มีผลต่อร่างกาย เพราะว่าเอนไซม์เป็นสารเร่งปฏิกิริยา ทำให้เกิดเมตาบอลิซึมในร่างกาย หากขาดเอนไซม์หรือการทำงานของเอนไซม์ถูกขัดขวางก็จะเกิดความผิดปกติได้

2.2.1.2 ผลต่อระบบขนส่งออกซิเจนระหว่างเซลล์ ทำให้ประสิทธิภาพของเซลล์ลดลง เช่น สารตะกั่วไปรบกวนการทำงานของเอมไซม์ที่ช่วยสร้างฮีโมโกลบินในไขกระดูก ก่อให้เกิดโรคโลหิตจาง

2.2.1.3 ผลต่อกรดนิวคลีอิก เช่น ผลต่อ DNA ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของโครโมโซมภายในเซลล์หรือมีผลต่อ RNA ทำให้การสังเคราะห์โปรตีนผิดปกติไป ปฏิกิริยาดังกล่าวนี้ใช้อธิบายการเกิดเซลล์มะเร็งหรือการกลายพันธุ์ได้

2.2.2 ความเป็นพิษของโลหะหนัก

2.2.2.1 แคดเมียม (Cadmium; Cd)

แคดเมียมเป็นสาเหตุของการเกิดโรคอิไต-อิไต (itai-itai) พบในประเทศญี่ปุ่นหลังสงครามโลกครั้งที่ 2 มีอาการกรวยไตผิดปกติ ท่อไตไม่ทำงาน มีอาการปวดเหมือนคนกระดูกหัก มีอาการสายตาผิดปกติ คลื่นไส้อาเจียน ท้องร่วง ปวดศีรษะ ตับวายและตายในที่สุด หากมนุษย์ได้รับแคดเมียมปริมาณ 35 มิลลิกรัม เข้าสู่ร่างกายอาจทำให้เกิดพิษที่รุนแรงได้ แคดเมียมสามารถเข้าสู่ร่างกายได้ทั้งทางปากและการหายใจเอาควันและฝุ่นละอองเข้าไปทางจมูกได้

2.2.2.2 ทองแดง (Copper; Cu)

ทองแดงเป็นธาตุที่จำเป็นต่อสิ่งมีชีวิต เป็นองค์ประกอบของเอนไซม์หลายชนิด เป็นส่วนสำคัญใน Haemocyanin ในครัสเตเชียนและมอลลัส ทำหน้าที่เป็นตัวส่งผ่านออกซิเจน แต่ถ้าปริมาณทองแดงสูงกว่าระดับที่สิ่งมีชีวิตต้องการก็สามารถก่อให้เกิดพิษได้ ทองแดงประมาณ 1.0 ppm ก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อสัตว์ทะเล ส่วนมนุษย์หากได้รับทองแดงเข้าไปในร่างกายประมาณ 100 มิลลิกรัม จะทำให้เกิดความเป็นพิษได้ โดยทำให้เกิดอาการอ่อนเพลีย เบื่ออาหาร อาเจียน อาจสะสมในตับและถูกขับออกมาจากตับสู่กระแสเลือด ทำให้เม็ดเลือดแดงเกิดการแตกตัว ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ในตับทำให้ร่างกายไม่สามารถขับทองแดงออกมาจากตับได้ (ทัศวรรณ ขาวสีจาน, 2548)

2.2.2.3 ปรอท (Mercury; Hg)

ปรอทที่อยู่ในรูป methyl และ ethyl จะมีความเป็นพิษมากที่สุด รองลงมาได้แก่ ปรอทในรูปโลหะ (Metallic form) และรูปที่มีความเป็นพิษน้อยที่สุดคือสารประกอบปรอทอนินทรีย์สาร ปรอทที่อยู่ในรูปไอระเหยมีอันตรายต่อชีวิตมากที่สุด โดยทำให้เกิดอาการปวดท้องอย่างรุนแรง ท้องร่วง อาเจียน เหงือกและต่อมน้ำลายไหม้เกรียม และเกิดความผิดปกติต่อระบบประสาทเช่นที่เกิดกับประชาชนที่อ่าวมินามาตะ ประเทศญี่ปุ่น

2.2.2.4 ตะกั่ว (Lead; Pb)

ตะกั่วมีลักษณะคล้ายแคลเซียม เมื่อเข้าสู่ร่างกายของมนุษย์จะสะสมอยู่ในเส้นผมและกระดูก ในสภาวะปกติตะกั่วสามารถเข้าสู่ร่างกายได้ 2 ทางคือ ทางอาหารและทางลมหายใจ แต่การดูดซึมเข้าสู่ร่างกายทางลมหายใจสูงกว่าทางอาหารประมาณร้อยละ 40 และหากตรวจพบตะกั่วในเส้นผมมีปริมาณเกิน 30 µg/l จะเป็นอันตรายต่อสุขภาพได้ อาการเป็นพิษเนื่องจากตะกั่วแบบเฉียบพลันมีอยู่หลายแบบด้วยกัน เช่น อ่อนเพลีย คลื่นไส้ วิงเวียน การกระตุกของกล้ามเนื้อและอาการอื่น ๆ สำหรับพิษแบบเรื้อรังที่สำคัญ คือโรคโลหิตจาง (ทัศวรรณ ขาวสีจาน, 2548; เปี่ยมศักดิ์ เมนะเศวต, 2539)

2.2.2.5 สังกะสี (Zinc; Zn)

เป็นธาตุที่มีความจำเป็นต่อสิ่งมีชีวิต เป็นองค์ประกอบของเอนไซม์หลายตัว มีความสัมพันธ์กับพัฒนาการของเด็กที่เกี่ยวข้องกับพฤติกรรมและความสามารถในการเรียนรู้และการทำงานของระบบสืบพันธุ์ เมื่อสังกะสีเข้าสู่ร่างกายจะไปสะสมที่ตับและไต และถ้ามีปริมาณมากจะไปทำลายอวัยวะภายใน ทำให้เกิดโรคโลหิตจาง การทำงานของตับและไตล้มเหลว เกิดความผิดปกติของโครโมโซม หากได้รับเกิน 2 กรัม จะทำให้อาเจียน ท้องเสีย เป็นไข้ และทำให้ขาดธาตุทองแดง เนื่องจากการมีสังกะสีมาก ๆ เป็นการกระตุ้นให้เซลล์ลำไส้สร้าง Intestinal Binding Protein ซึ่งโปรตีนตัวนี้จะจับกับทองแดงได้ดีกว่าจับกับสังกะสี ทำให้ทองแดงอยู่ในรูปที่ไม่สามารถถูกดูดซึม ทำให้เกิดสภาวะการขาดทองแดงได้ (วรนันท์ ศุภพิพัฒน์, 2538)

2.2.2.6 เหล็ก (Iron; Fe)

ธาตุเหล็กจัดเป็นพวก Essential element ที่สิ่งมีชีวิตนำไปใช้ในขบวนการทางชีวเคมีต่าง ๆในร่างกาย เช่น ระบบย่อยอาหาร กระเพาะอาหารและลำไส้เล็ก การดูดซึมธาตุเหล็กขึ้นอยู่กับปริมาณของธาตุเหล็กที่ได้รับและที่มีสะสมอยู่ในร่างกาย เป็นส่วนประกอบของเม็ดเลือดแดงของมนุษย์และสัตว์ แต่หากร่างกายได้รับเหล็กในปริมาณที่สูงเกินความต้องการก็จะส่งผลต่อระบบทางเดินอาหาร หลอดเลือดขยายตัว ความดันเลือดต่ำลงและรบกวนการแข็งตัวของเลือด สามารถทำอันตรายต่อตับโดยเหล็กจะไปรบกวนการทำงานของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการออกซิเดชั่น ทำให้เกิดเมทาบอลิกแดซิโดซีส (ทัศวรรณ ขาวสีจาน, 2548)

2.3 แบคทีเรีย *V. cholerae* และ *V. parahaemolyticus*

2.3.1 การจำแนกเชื้อ *V. cholerae* และ *V. parahaemolyticus*

ในการจำแนกเชื้อ *V. cholerae* และ *V. parahaemolyticus* ใช้อาหารเลี้ยงเชื้อที่เป็น Selective media คือ Thiosulfate citrate bile salts sucrose agar (TCBS) เป็นอาหารที่สามารถใช้แยกเชื้อ *V. cholerae* และ *V. parahaemolyticus* และทำให้เชื้อแบคทีเรียมีความบริสุทธิ์ เมื่อทำการเพาะเลี้ยงเชื้อลงบนอาหาร TCBS เป็นเวลา 18-24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส *V. cholerae* เป็นแบคทีเรียกลุ่มสามารถหมักย่อยน้ำตาลซูโครสจะได้โคโลนีขนาดปานกลาง ขอบเรียบ สีเหลืองทึบแสงบนผิวหน้าอาหาร ส่วน *V. parahaemolyticus* เป็นแบคทีเรียกลุ่มที่ไม่สามารถหมักย่อยน้ำตาลซูโครสจะได้โคโลนีสีเขียวมะกอก (Olive-green) บนอาหาร (ตารางที่ 2-1) ซึ่งในอาหาร TCBS มีส่วนประกอบที่สำคัญคือ Bile salts เป็นสารที่มีฤทธิ์ยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียแกรมบวกคอคไคและแกรมลบบาซิลไล Sodium citrate เป็นตัวยับยั้งการเจริญของ

โคลิฟอร์มและแบคทีเรียแกรมบวกและ pH ของอาหารที่สูงถึง 8.6 ก็เป็นปัจจัยที่จะยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียกลุ่มอื่นได้ (นันทนา อรุณฤกษ์, 2537; Thompson, Austin, & Swings, 2006)

2.3.1.1 ***Vibrio cholerae***

เป็นสาเหตุของการเกิดโรคอหิวาตกโรค ซึ่งมีการระบาดใหญ่ทั่วโลกมาแล้ว 7 ครั้ง ร่างกายได้รับเชื้อจากการกินน้ำและอาหารที่มีการปนเปื้อน เชื้อจะแบ่งตัวเพิ่มจำนวนบริเวณลำไส้เล็กและสร้างสารพิษที่เรียกว่า คอเลราทอกซิน (Cholera toxin) หรือคอเลราเจน (Choleragen) ทำให้เกิดการขับเกลือแร่และน้ำออกจากเซลล์สู่โพรงลำไส้ (Intestinal lumen) เกิดการสูญเสียน้ำและเกลือแร่ต่าง ๆ เป็นจำนวนมาก โดยเชื้อจะไม่เข้าสู่เยื่อบุลำไส้ เนื้อเยื่อต่าง ๆ หรือกระแสเลือด ผู้ป่วยจะมีอาการคลื่นไส้ อาเจียน อุจจาระร่วงอย่างรุนแรงและมักมีอาการปวดท้องร่วมด้วย ในรายที่เป็นมากอาจมีการสูญเสียน้ำปริมาณ 10-15 ลิตรต่อวัน หากไม่ได้รับการรักษาอย่างรวดเร็วและทันท่วงที ผู้ป่วยอาจช็อกและเสียชีวิตได้ (อิสยา จันทร์วิทยานุชิต และวัชรินทร์ รังสีภาณุรัตน์, 2551)

2.3.1.2 ***Vibrio parahaemolyticus***

เชื้อชนิดนี้แบ่งได้ 2 กลุ่มคือ Kanagawa negative เป็นสายพันธุ์ที่ไม่ทำให้เม็ดเลือดแดงของคนในอาหารเลี้ยงเชื้อแตก จะพบได้ในสิ่งแวดล้อมทั่วไป และ Kanagawa positive เป็นสายพันธุ์ที่ทำให้เม็ดเลือดแดงของคนในอาหารเลี้ยงเชื้อแตกซึ่งเป็นกลุ่มที่ก่อให้เกิดโรคอุจจาระร่วงติดเชื้อในทางเดินอาหาร เช่น โรคอาหารทะเลเป็นพิษ หลังจากที่ผู้ป่วยได้รับเชื้อมักมีอาการปวดท้อง ท้องเดิน คลื่นไส้ อาเจียน บางรายถ่ายเป็นมูกเลือก นอกจากนี้ยังพบว่าเป็นสาเหตุของการติดเชื้อนอกระบบทางเดินอาหารได้ เช่น การติดเชื้อที่บริเวณบาดแผล (อิสยา จันทร์วิทยานุชิต และวัชรินทร์ รังสีภาณุรัตน์, 2551)

ตารางที่ 2-1 คุณสมบัติทางชีวเคมีที่ในการจำแนกเชื้อแบคทีเรียกลุ่มวิบริโอก่อโรคในคนที่พบในอาหารทะเล (ที่มา : Charles & Angelo, 2004)

	V. alginolyticus	*V. cholerae*	*V. fluvialis*	*V. furnissii*	*V. mimicus*	*V. parahaemolyticus*	*V. vulnificus*
TCBS agar	Y	Y	Y	Y	G	G	G
mCPC agar	NG	P	NG	NG	NG	NG	Y
CC agar	NG	P	NG	NG	NG	NG	Y
การเจริญที่อุณหภูมิ 42°C	+	+	V	-	+	+	+
การผลิตอาร์จินินดีไฮโดรเลส	-	-	+	+	-	-	-
การผลิตออร์นิทินดีคาร์บอกซิเลส	+	+	-	-	+	+	+
การผลิตไลซีนดีคาร์บอกซิเลส	+	+	-	-	+	+	+
D-Mannitol	+	+	+	+	+	+	V
ONPG	-	+	+	+	+	-	+
Voges-Proskauer	+	V	-	-	-	-	-
การเจริญในอาหาร							
0% NaCl	-	+	-	-	+	-	-
3% NaCl	+	+	+	+	+	+	+
6% NaCl	+	-	+	+	-	+	+
8% NaCl	+	-	V	+	-	+	-
10% NaCl	+	-	-	-	-	-	-
การหมักย่อยน้ำตาล							
Sucrose	+	+	+	+	-	-	-
D-Cellobiose	-	-	+	-	-	V	+
Lactose	-	-	-	-	-	-	+
Arabinose	-	-	+	+	-	+	-
D-Mannose	+	+	+	+	+	+	+

หมายเหตุ TCBS = thiosulfate-citrate-bile salts-sucrose; mCPC = modified cellobiose-polymyxin B-colistin

Y = สีเหลือง, G = สีเขียว, P = สีม่วง

+ = positive, (-) = negative, V = variable, NG = no or poor growth, nd = not done

2.4 การปนเปื้อนโลหะหนักและเชื้อแบคทีเรียในแหล่งน้ำ

ชายฝั่งทะเลเป็นบริเวณที่มักจะได้รับผลกระทบจากการขยายตัวอย่างรวดเร็วของกิจกรรมต่าง ๆ ของมนุษย์ เช่น แหล่งที่อยู่อาศัย ชุมชน โรงงานอุตสาหกรรม แหล่งท่องเที่ยวและแหล่งเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง ซึ่งกิจกรรมเหล่านี้ส่งผลต่อคุณภาพน้ำชายฝั่ง จากการรายงานสถานการณ์มลพิษของประเทศไทยปี 2549 ของกรมควบคุมมลพิษ พบว่าคุณภาพน้ำบริเวณปากแม่น้ำสายหลัก 4 สาย ได้แก่แม่น้ำเจ้าพระยา แม่น้ำท่าจีน แม่น้ำแม่กลองและแม่น้ำบางปะกง ยังคงมีสภาพเสื่อมโทรมกว่าพื้นที่อื่น เนื่องจากเป็นแหล่งรองรับของเสียจากในแม่น้ำ ซึ่งพารามิเตอร์ที่สูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานของคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 27 พ.ศ. 2549 ได้แก่แบคทีเรียในกลุ่ม total coliform มีปริมาณอยู่ในช่วง 49-3,300,000 เอ็มพีเอ็นต่อ 100 มิลลิลิตร ค่าสูงสุดอยู่ที่หน้าโรงฟอกย้อม กม. 35 จังหวัดสมุทรปราการ สังกะสีมีค่าอยู่ในช่วง < 5-127 ไมโครกรัมต่อลิตร ทองแดงมีค่าอยู่ในช่วง < 1-49 ไมโครกรัมต่อลิตร และสารหนูมีค่าอยู่ในช่วง < 2.4-129 ไมโครกรัมต่อลิตร โดยโลหะหนักทั้งสามพบว่ามีค่าสูงสุดที่ปากแม่น้ำเจ้าพระยา ส่วนแมงกานีสมีค่าอยู่ในช่วง 32.5-1,210 ไมโครกรัมต่อลิตร มีค่าสูงสุดที่ปากแม่น้ำท่าจีน (กรมควบคุมมลพิษ, 2549)

สำหรับคุณภาพน้ำทะเลบริเวณอ่าวไทยฝั่งตะวันออกตั้งแต่จังหวัดชลบุรีถึงจังหวัดตราด พบว่าคุณภาพน้ำโดยรวมลดลง ซึ่งพารามิเตอร์ที่มีค่าสูงกว่ามาตรฐานฯ ได้แก่ ปริมาณแบคทีเรียในกลุ่ม total coliform มีปริมาณอยู่ในช่วง < 2-330,00 เอ็มพีเอ็นต่อ 100 มิลลิลิตร โดยบริเวณที่มีค่าสูงสุดอยู่ที่แหลมฉบัง เหล็กมีค่าอยู่ในช่วง 15-11,900 ไมโครกรัมต่อลิตร และแมงกานีสมีค่าอยู่ในช่วง < 1.1-520 ไมโครกรัมต่อลิตร โดยค่าสูงสุดพบบริเวณปากคลองใหญ่ จังหวัดตราด ส่วนทองแดงมีค่าอยู่ในช่วง < 1-9.7 ไมโครกรัมต่อลิตร ค่าสูงสุดพบที่อ่าวชลบุรี (กรมควบคุมมลพิษ, 2549) และจากรายงานสถานการณ์คุณภาพน้ำทะเลชายฝั่งภาคตะวันออกในปี 2548 ของสถาบันวิทยาศาสตร์ทางทะเล มหาวิทยาลัยบูรพา พบว่าน้ำทะเลในเขตเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง บริเวณปากแม่น้ำบางปะกง-อ่างศิลามีคุณภาพเสื่อมโทรมกว่าเขตอื่นและมีแนวโน้มเสื่อมโทรมลงจาก 5 ปีที่ผ่านมา (ฉลวย มุสิกะ และคณะ, 2548)

และเนื่องจากบริเวณชายฝั่งทะเลส่วนใหญ่เป็นบริเวณที่มีการเพาะเลี้ยงหอยนางรมจึงทำให้หอยนางรมที่เพาะเลี้ยงในบริเวณเหล่านี้มีโอกาสสะสมสิ่งปนเปื้อนเหล่านี้ได้ ซึ่งจากการศึกษาของเกรียงศักดิ์ สายธนู เกรียงศักดิ์ พูนสุข และสงคราม เหลืองทองคำ (2524) พบว่าน้ำเสียที่ทิ้งลงสู่บริเวณปากแม่น้ำและการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำในบริเวณนั้นมีความสัมพันธ์กับปริมาณแบคทีเรียในกลุ่มวิบริโอ กล่าวคือบริเวณปากแม่น้ำที่มีการปล่อยน้ำเสียและมีการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำมาก จะพบการปนเปื้อนของเชื้อแบคทีเรียในกลุ่มวิบริโอสูงตามไปด้วย

2.5 การสะสมแบคทีเรียและโลหะหนักในหอยนางรม

หอยนางรมจะกรองกินเศษตะกอนที่อยู่ในน้ำเป็นอาหาร โดยใช้ขนที่อยู่ที่เหงือก (Gill cilia) ในการจับอาหารจากมวลน้ำที่ถูกกรองผ่านเหงือกแล้วส่งพวก Particles ไปยัง gill filament พวก filament เหล่านี้จะหลั่งเมือกออกมาจับจุลินทรีย์ ซากอินทรีย์และ inorganic particles ไว้และจะถูกส่งต่อไปยังส่วนที่เรียกว่า labial palps ซึ่งเป็นที่ที่พวกจุลินทรีย์ ซากอินทรีย์และ inorganic particles จะถูกแยกออก เมื่อจุลินทรีย์ ซากอินทรีย์และ inorganic particles ถูกแยกออกแล้วจะส่งต่อไปยังกระเพาะอาหาร ทำหน้าที่ในการย่อยด้วยเอนไซม์ พวกที่สามารถย่อยได้ก็จะลำเลียงไปยัง digestive diverticula และจะถูกดูดซึมที่นั้น ส่วนพวกที่ไม่สามารถย่อยได้จะผ่านมายังลำไส้เล็กและถูกขับออกทางทวารหนัก (Cabllo, Espejo, & Romero, 2005) ซึ่งลักษณะของการกินอาหารแบบที่กล่าวมานี้ ถ้าหอยนางรมอาศัยอยู่ในบริเวณที่มีการปนเปื้อนพวกเชื้อแบคทีเรียหรือโลหะหนัก ก็จะทำให้หอยนางรมเหล่านั้นเกิดการปนเปื้อนตามไปด้วย ซึ่งจากการศึกษาของ Shulkin, Presley, and Kavun (2003) พบว่าปริมาณของโลหะหนักในหอยนางรมมีความสัมพันธ์กับปริมาณโลหะหนักในสิ่งแวดล้อม โดยปริมาณของโลหะหนักในเนื้อเยื่อมักจะพบว่ามีปริมาณสูงกว่าปริมาณโลหะหนักในแหล่งน้ำ

จากการศึกษาของมณีย์ กรรณรงค์ และจินตนา โสภากุล (2543) พบว่าหอยตะโกรมกรามดำ หอยตะโกรมกรามขาวและหอยนางรมปากจีบที่ทำการเพาะเลี้ยงบริเวณอ่าวบ้านดอน จังหวัดสุราษฎ์ธานี มีปริมาณของ fecal coliform และ *V. parahaemolyticus* สูงเกินค่ามาตรฐานของกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ (2536) ที่กำหนดว่าต้องมีค่าไม่เกิน 100 และ 20 เอ็มพีเอ็นต่อกรัมตามลำดับ เช่นเดียวกับการศึกษาของกัลยาณี ทีปะปาล และฉัตรชัย พลายละหาร (2549) ที่พบว่าในหอยตะโกรมกรามขาวที่ทำการเพาะเลี้ยงบริเวณตำบลทับปุดและตำบลคลองสามวา จังหวัดพังงา มีปริมาณของ fecal coliform และ *V. parahaemolyticus* สูงเกินค่ามาตรฐานฯ ทัศวรรณ ขาวสีจาน (2548) พบว่าหอยนางรมปากจีบที่ทำการเพาะเลี้ยงในตำบลอ่างศิลา จังหวัดชลบุรีมีปริมาณของ *V. parahaemolyticus* สูงเกินค่ามาตรฐานของกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ (2536) เช่นกัน

สำหรับในต่างประเทศ Deepanjali et al. (2005) พบว่าหอยนางรมที่เพาะเลี้ยงบริเวณปากแม่น้ำ Mulki และ Sasthanในชายฝั่งทางตะวันตกเฉียงใต้ของประเทศอินเดีย มีปริมาณ *V. parahaemolyticus* สูงถึง $5.37x10^3$ และ $2.7x10^3$ โคโลนีต่อกรัมตามลำดับ (ตารางที่ 2-2) และจากการศึกษาของ Jaksic et al. (2002) พบว่าหอยนางรมมีการปนเปื้อนของเชื้อ *V. parahaemolyticus* สูงกว่าในอาหารทะเลชนิดอื่น

สำหรับในส่วนของโลหะหนักนั้นการศึกษาของ ศิริวรรณ ลาภทับทิมทอง (2544) พบว่าหอยนางรมจากแหล่งเพาะเลี้ยงที่อยู่บริเวณชายฝั่งตะวันออกของอ่าวไทยและบริเวณชายฝั่งทะเลอันดามัน มีการสะสมของโลหะหนักในปริมาณที่สูง โดยพบการสะสมของสังกะสีและทองแดงสูงเกินค่ามาตรฐานของกระทรวงสาธารณสุข (2529) ที่อนุญาตให้มีได้ไม่เกิน 100 และ 20 ไมโครกรัมต่อกรัมตามลำดับ นอกจากนี้หอยนางรมยังมีการสะสมของแคดเมียมและตะกั่ว แต่ยังมีปริมาณต่ำยกเว้นหอยนางรมจากบริเวณชลบุรี ปัตตานี และสตูลที่มีการสะสมของแคดเมียมและตะกั่วสูงเกินค่ามาตรฐานฯ ทัศวรรณ ขาวสีจาน (2548) พบว่าหอยนางรมที่ทำการเพาะเลี้ยงบริเวณอ่างศิลา จังหวัดชลบุรี มีปริมาณสังกะสีและทองแดงสูงเกินค่ามาตรฐาน ทิพย์วรรณ แซ่มา และวิษณุ นิยมไทย (2553) ได้ศึกษาการปนเปื้อนโลหะหนักในหอยสองฝาที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจบริเวณดอนหอยหลอด จังหวัดสมุทรสงคราม พบปริมาณตะกั่วในหอยแมลงภู่ หอยนางรมและหอยตลับสูงกว่าค่ามาตรฐานฯ และปริมาณสังกะสีในหอยนางรมก็มีค่ามากกว่ามาตรฐานของกระทรวงสาธารณสุข (2529) เช่นกัน

สำหรับในต่างประเทศ เช่น ในประเทศญี่ปุ่น Shulkin, Presley, and Kavun (2003) ได้ทำการศึกษาปริมาณโลหะหนักในหอยนางรมพบว่ามีปริมาณของสังกะสีและทองแดงสูงและจากการศึกษาของ Yap, Ismail, and Tan (2004) พบว่าหอยแมลงภู่ที่ทำการเพาะเลี้ยงทางด้านฝั่งตะวันตกของคาบสมุทรในประเทศมาเลเซียมีปริมาณของสังกะสีและทองแดงสูง (ตารางที่ 2-3) Fang, Cheung, and Wong (2003) พบว่าหอยนางรมที่เพาะเลี้ยงในบริเวณปากแม่น้ำ ซึ่งมีการปล่อยน้ำเสียจากแผ่นดินจะมีปริมาณโลหะหนักสูงกว่าหอยนางรมในบริเวณอื่น

ตารางที่ 2-2 การสะสมเชื้อแบคทีเรียในหอยทะเลจากแหล่งต่าง ๆ (โคโลนีต่อกรัม)

สถานที่ทำการศึกษา	Species	TBC	*V. paranaemolyticus*	Fecal coliform[1]	เอกสารอ้างอิง
อ่าวบ้านดอน	หอยตะโกรมกรามขาว	$7.1x10^5 \pm 1.7x10^5$	$5.0x10^2 \pm 2.0x10^2$	259.32±121.04	มณีย์ กรรณรงค์ และจินตนา โสภากุล (2543)
จังหวัดสุราษฎร์ธานี	*(Crassostrea belcheri)*				
	หอยตะโกรมกรามดำ	$4.0x10^5 \pm 1.3x10^5$	$5.4x10^3 \pm 2.6x10^3$	41.95±11.46	
	(Crassostrea lugubris)				
	หอยนางรมปากจีบ	$1.3x10^5 \pm 4.6x10^4$	$1.4x10^2 \pm 6.8x10$	61.40±20.74	
	(Sassostrea cucullata)				
ทับปุด	หอยตะโกรมกรามขาว	$2.1x10^6 \pm 3.7x10^5$	$6.0x10^3 \pm 5.5x10^3$	186.85±30.14	กัลยาณี ทีปะปาล และฉัตรชัย พลายละหาร (2549)
จังหวัดพังงา	*(Crassostrea belcheri)*				
คลองสามช่อง	หอยตะโกรมกรามขาว	$2.3x10^6 \pm 3.6x10^5$	$1.3x10^3 \pm 5.3x10^2$	237.14±31.99	
จังหวัดพังงา	*(Crassostrea belcheri)*				
อ่างศิลา	หอยนางรมปากจีบ	$0.06\text{-}1480x10^{4(2)}$	$0.02x10^4\text{-}764x10^4$	-	ทัศวรรณ ขาวสีจาน (2548)
จังหวัดชลบุรี	*(Sassostrea cucullata)*				
Mulki Southwest Coast India	หอยนางรม	-	$5.37x10^3$	-	Deepanjali et al. (2005)
Sasthan Southwest Coast India	(*Crassostrea commercialis*)		$2.7x10^3$		
Ionian Sea Italy	หอยแมลงภู่	$4.0x10^{4(2)}$	-	-	Cavallo and Stabili (2002)
	(*Mytilus galloprovincialis*)				
ค่ามาตรฐานอาหารทะเลสดพร้อมบริโภค		$1x10^6$	≤100	≤20	กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ (2536)

(1) MPN/g (2) Total Vibrio count

ตารางที่ 2-3 การสะสมโลหะหนักในหอยทะเลจากแหล่งต่าง ๆ (ไมโครกรัมต่อกรัม)

สถานที่ทำการศึกษา	Species	Cd	Pb	Cu	Zn	Hg	เอกสารอ้างอิง
บริเวณชายฝั่งตะวันออกของอ่าวไทย							
ชลบุรี	หอยนางรม (*Crassostrea commercialis*)	2.09	0.31	17.83	103.46	-	ศิริวรรณ ลาภทับทิมทอง (2544)
จันทบุรี		1.83	0.63	162.9	230.37	-	
ประจวบคีรีขันธ์		1.81	0.44	24.65	207.32	-	
สุราษฎร์ธานี		0.45	0.51	8.18	140.6	-	
ปัตตานี		2.45	10.06	100.36	231.56	-	
บริเวณชายฝั่งทะเลอันดามัน							
สตูล	หอยนางรม (*Crassostrea commercialis*)	0.33	2.28	91.32	136.35	-	
อ่างศิลา จังหวัดชลบุรี	หอยนางรมปากจีบ *(Sassostrea cucullata)*	0.18-0.25	0.06-0.13	23.7-43.4	89.2-280.4	0.0033-0.005	ทัศวรรณ ขาวสีจาน (2548)
Ussuriyskiy Japan	หอยแมลงภู่ (*Crenomytilus grayanus*)	7.00	70.00	13.20	110.00	-	Shulkin (2003)
	หอยนางรม (*Crassostrea gigas*)	11.80	11.00	2506.00	4904.00		
west coast of Peninsular Malaysia	หอยแมลงภู่ *(Perna viridis)*	0.68-1.25	2.51-8.76	7.76-20.1	75.1-129	-	Yap, Ismail, and Tan (2004)
มาตรฐานอาหารที่มีสารปนเปื้อน		-	<1.00	<20.00	<100.00	<0.50	กระทรวงสาธารณสุข (2529)*

2.6 ปัญหาจากการบริโภคหอยนางรมสด

เนื่องจากความนิยมในการบริโภคหอยนางรมมีสูงและส่วนมากนิยมบริโภคแบบดิบหรือกึ่งสุกกึ่งดิบ ทำให้ผู้บริโภคได้รับเชื้อแบคทีเรียและโลหะหนักที่สะสมอยู่ในตัวหอยนางรม ก่อให้เกิดอันตรายต่อผู้บริโภคได้ ซึ่งทางสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์สาธารณสุข กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ ได้ทำการเฝ้าระวังโรคติดต่อทางอาหารและน้ำที่เกิดจากเชื้อแบคทีเรียในกลุ่มวิบริโอในประเทศไทย พบว่ามีผู้ป่วยโรคกระเพาะอาหารและลำไส้อักเสบจากการติดเชื้อ *V. parahaemoliticus* สูงเป็นอันดับหนึ่ง พบได้ปีละประมาณ 1,000-2,000 คน สาเหตุเกิดมาจากการรับประทานอาหารทะเลสุก ๆ ดิบ ๆ ทำให้เกิดอาการอุจจาระร่วงและอาเจียน (กระทรวงสาธารณสุข, 2549) และจากการประเมินความเสี่ยงในการได้รับเชื้อกลุ่มวิบริโอจากการบริโภคหอยนางรมจากแหล่งเลี้ยงหอยนางรม ตำบลอ่างศิลา จังหวัดชลบุรีของทัศวรรณ ขาวสีจาน และคณะ (2550) พบว่า *V. parahaemolyticus* ในหอยนางรมมีค่าสูงกว่ามาตรฐาน สำหรับการบริโภคอาหารทะเลดิบของกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ (2536) เป็นจำนวน 53 ตัวอย่างจากทั้งหมด 54 ตัวอย่าง ชี้ให้เห็นว่าการบริโภคหอยนางรมจากแหล่งเลี้ยงตำบลอ่างศิลา จังหวัดชลบุรี มีความเสี่ยงสูงที่จะก่อให้เกิดโรคอาหารเป็นพิษ

สำหรับโลหะหนักบางชนิด เช่น ปรอท ตะกั่ว แคดเมียม เป็นธาตุที่ไม่มีความจำเป็นต่อร่างกาย ซึ่งการได้รับธาตุเหล่านี้เกินระดับที่ร่างกายจะรองรับได้ จะก่อให้เกิดความเป็นพิษขึ้นได้ และเมื่อสิ่งมีชีวิตได้รับโลหะหนักในปริมาณต่ำ ๆ สิ่งมีชีวิตก็มีแนวโน้มที่จะสะสมโลหะหนักไว้ในร่างกาย ซึ่งหากสิ่งมีชีวิตที่เรานำมาบริโภคมีการปนเปื้อนโลหะหนัก ก็จะทำให้ผู้บริโภคได้รับโลหะหนักเข้าสู่ร่างกายผ่านทางห่วงโซ่อาหารได้ เช่นกรณีการปนเปื้อนสารปรอทที่อ่าวมินามาตะ ประเทศญี่ปุ่น ที่มีการบริโภคปลาที่มีการปนเปื้อนของสารปรอท (เปี่ยมศักดิ์ เมนะเศวต, 2543; Walker et al., 2001) จากการศึกษาของ ทิพย์วรรณ แซ่มา และวิษณุ นิยมไทย (2553) ได้ประเมินความปลอดภัยจากโลหะแคดเมียม ปรอท ตะกั่วและสังกะสี ที่อาจได้รับจากการบริโภคหอยนางรมจากบริเวณพื้นที่ชุ่มน้ำดอนหอยหลอด จังหวัดสมุทรสงคราม พบว่าผู้บริโภคสามารถบริโภคหอยนางรมสูงสุดในแต่ละวันได้ไม่เกิน 26.56$\pm$11.95 กิโลกรัมต่อคนสำหรับแคดเมียม, 126$\pm$72.17 กิโลกรัมต่อคนสำหรับปรอท, 16.82$\pm$10.99 กิโลกรัมต่อคนสำหรับตะกั่ว และ 10.91$\pm$5.24 กิโลกรัมต่อคนสำหรับสังกะสี ซึ่งจากการสำรวจพฤติกรรมการบริโภค (Dietary Survey) พบว่าคนไทยบริโภคปลาและอาหารทะเลเฉลี่ยเพียงวันละ 34.8 กรัมต่อคนเท่านั้น แสดงว่าการบริโภคยังคงมีความปลอดภัย แต่ถ้ารับประทานเป็นประจำหรือบ่อย ๆ ก็อาจทำให้ความปลอดภัยในการบริโภคลดลงได้

2.7 Depuration

จากปัญหาที่เกิดจากการบริโภคหอยนางรมสดที่กล่าวมาข้างต้นนี้ จึงได้มีการนำเอาหอยนางรมมาผ่านกระบวนการลดสิ่งปนเปื้อนดังกล่าวให้ลดลงมาอยู่ในระดับที่ปลอดภัยต่อการบริโภค ซึ่งกระบวนการนั้นก็คือ การ Depuration เป็นกระบวนการที่นำหอยที่ไม่ได้มาตรฐานอนามัยมาทำความสะอาด ทำให้เกิดความปลอดภัยต่อผู้บริโภค โดยหอยที่ผ่านกระบวนการทำ Depuration จะยังคงสดและมีชีวิตอยู่ อย่างไรก็ตาม Depuration อาจหมายถึงการที่หอยทำความสะอาดตัวของมันเอง (Self-purification) โดยอาศัยกระบวนการทางชีวภาพก็ได้ (ชมพูนุช เงารัตนพันธิกุล, 2539)

กระบวนการ Depuration เป็นกระบวนการที่มีการใช้ทั่วไปในประเทศต่าง ๆ ดังแสดงในตารางที่ 2-4 โดยในต่างประเทศจะมีกฎหมายควบคุมไม่ให้มีการนำหอยที่มาจากแหล่งเลี้ยงที่มีการตรวจพบว่ามีการปนเปื้อนของแบคทีเรียออกขายจนกว่าจะทำการลดการปนเปื้อนเชื้อจุลินทรีย์ในตัวหอยนางรมก่อน (สุวรรณา ภาณุตระกูล และคณะ, 2550) ซึ่งระบบ Depuration สามารถใช้ได้กับหอยหลายชนิดด้วยกัน และรูปแบบของระบบ Depuration กับวิธีการที่ใช้ในการฆ่าเชื้อน้ำในระบบ Depuration ก็จะแตกต่างกันไป อาจจะมีการใช้คลอรีน โอโซนหรือคลื่นรังสีอัลตราไวโอเลตหรือยูวี (UV) ในการฆ่าเชื้อน้ำในระบบที่มีการปนเปื้อนเชื้อแบคทีเรียที่เกิดจากการคายของหอย แต่ว่าการใช้คลอรีนและโอโซนจะมีปัญหาเรื่องการเหลืออยู่ (Residual) ของคลอรีนและโอโซนซึ่งจะส่งผลต่อเนื้อเยื่อของหอยนางรม อาจทำให้หอยนางรมตายได้จึงนิยมฆ่าเชื้อน้ำในระบบที่มีการปนเปื้อนเชื้อแบคทีเรียโดยคลื่นรังสีอัลตราไวโอเลตหรือยูวี ซึ่งไม่มีการตกค้างของรังสีและให้พลังงานสูงพอที่จะทำลายเชื้อจุลินทรีย์ได้ (Barile et al., 2009)

2.7.1 รูปแบบของระบบ Depuration (สุเมธ สุพิชฌางกรู, 2541)

การลดการปนเปื้อนในหอยและการทำความสะอาดหอยสองฝาเพื่อให้มีคุณภาพมี 2 รูปแบบ ได้แก่

2.7.1.1 การพักหอยในน้ำทะเลที่สะอาด วิธีการนี้เรียกว่า Relaying คือการย้ายหอยจากแหล่งเลี้ยงที่อยู่ในสภาวะที่เกินมาตรฐานไปแช่พักไว้ในแหล่งน้ำตามธรรมชาติที่สะอาดปลอดภัยตามมาตรฐานกำหนดสำหรับการพักหอย ได้มีการนำวิธีการนี้มาใช้ในการลดการปนเปื้อนของโลหะหนัก ซึ่งจากการศึกษาของ Maria et al. (2005) ศึกษาการสะสมและการลดการปนเปื้อนโลหะหนัก Zn และ Cd ในหอยนางรม (*Crassostrea rhizophore*) บริเวณชายฝั่งป่าโกงกางเขตร้อนของประเทศบราซิล โดยย้ายหอยจากบริเวณที่มีการปนเปื้อนสูง (เกาะ Gato ในอ่าว Sepetiba) ไปยัง

บริเวณที่มีการปนเปื้อนต่ำ (อ่าว Sambaqui) พบว่าหอยนางรมมีระดับความเข้มข้นของ Zn และ Cd ในหอยนางรมลดลงจาก 6,727 และ1.25 ไมโครกรัมต่อกรัม เหลือ 2,404 และ 0.54 ไมโครกรัมต่อกรัมตามลำดับ Geffard et al. (2002) ศึกษาการลดการปนเปื้อนโลหะหนัก Cd, Cu และ Zn ในหอยนางรม (*Crassostrea gigas*) โดยย้ายหอยจากบริเวณ Le Chezin, ปากแม่น้ำ Gironde (บริเวณที่มีการปนเปื้อนสูง) ไปยังอ่าว Bourgneuf (บริเวณที่มีการปนเปื้อนต่ำ) ของประเทศฝรั่งเศส พบว่ามีการปนเปื้อนของโลหะหนัก Cd, Cu และ Zn ในหอยนางรมลดลงจาก 2.77, 42 และ 315 ไมโครกรัมต่อกรัม เหลือ 0.84, 10 และ 73 ไมโครกรัมต่อกรัมตามลำดับ และ Chan et al. (1999) ศึกษาการลดการปนเปื้อนโลหะหนัก Cd และ Pb ในหอยนางรม (*Crassostrea gigas*) จากทะเล Lau Fau Shan (บริเวณที่มีการปนเปื้อนสูง) ไปยังทะเล Yung Shue O และทะเล Kat O (บริเวณที่มีการปนเปื้อนต่ำ)ของประเทศฮ่องกง พบว่าการปนเปื้อนของ Cd และ Pb ของหอยนางรมที่ทะเล Yung Shue O ลดลงจาก 5.67 และ 2.43 ไมโครกรัมต่อกรัมเป็น 1.94 และ 0.91 ไมโครกรัมต่อกรัมตามลำดับ และเมื่อย้ายมาที่ทะเล Kat O ลดลงเหลือ 1.78 และ 0.88 ไมโครกรัมต่อกรัมตามลำดับ

2.7.1.2 การลดสิ่งปนเปื้อนของหอยในบ่อที่มีการบำบัดคุณภาพน้ำทะเล วิธีการนี้เรียกว่า Shellfish depuration or purification เป็นการทำความสะอาดและลดสิ่งปนเปื้อนในหอยมีชีวิต ภายใต้การควบคุมสภาวะต่าง ๆ ภายในบ่อหรืออ่าง โดยแบ่งออกเป็น 2 ระบบคือ

2.7.1.2.1 ระบบน้ำไหลผ่าน (Flow-through system)

เป็นระบบที่มีบ่อสร้างติดอยู่กับชายฝั่งทะเลและสามารถทำการล้างหอยได้ครั้งละมาก ๆ จะทำโดยการบำบัดน้ำให้ได้คุณภาพก่อนโดยการใช้สารเคมีหรือเครื่องมือที่สามารถฆ่าเชื้อจุลินทรีย์และผ่านการกรองน้ำทะเลให้ใส ระยะเวลาในการล้างด้วยระบบน้ำไหลผ่านนี้โดยทั่วไปกำหนดไว้ประมาณ 72 ชั่วโมง หรือนานกว่านั้นขึ้นอยู่กับสภาพของหอยและสภาพของน้ำที่ใช้ในแต่ละพื้นที่ ซึ่งจากการศึกษาของ Marino et al. (2005) ได้ทำการลดการปนเปื้อนของเชื้อ *E. coli, V. cholerae* non-O1 และ *Enterococcus durans* ในหอยแมลงภู่ (*Mytilus galloprovincialis*) ด้วยระบบ Depuration แบบน้ำไหลผ่านที่อัตราการไหลของน้ำเท่ากับ 180 ลิตรต่อชั่วโมง อุณหภูมิน้ำเท่ากับ 14 และ 21 องศาเซลเซียส พบว่าที่อุณหภูมิ 14 องศาเซลเซียส ไม่สามารถตรวจพบ *E. coli* และ *V. cholerae* non-O1 ในหอยแมลงภู่เมื่อเวลาผ่านไป 168 ชั่วโมงและที่อุณหภูมิ 21 องศาเซลเซียส ไม่สามารถตรวจพบ *E. coli* ได้เมื่อเวลาผ่านไป 72 ชั่วโมง แต่ยังคงตรวจพบ *V. cholerae* non-O1 ปริมาณ $1\log_{10}$ โคโลนีต่อกรัม แต่สำหรับเชื้อ *E. durans* พบว่ายังคงตรวจพบที่ 2.3-$2.0\log_{10}$ โคโลนีต่อกรัม ได้เมื่อเวลาผ่านไป 168 ชั่วโมง

2.7.1.2.2 ระบบน้ำไหลวน (Re-circulating or recycle system)

ระบบนี้ส่วนใหญ่มักติดตั้งอยู่ใกล้ชายฝั่ง แต่บางกรณีอาจทำบนบกหรือบริเวณอื่นก็ได้ แต่ต้องเป็นพื้นที่ที่ขนส่งน้ำทะเลเข้าถึง การทำระบบนี้มักใช้กับหอยในปริมาณไม่ค่อยมากนัก เพราะปริมาณน้ำที่ใช้ในการทำความสะอาดมีปริมาณจำกัด น้ำที่ใช้ในระบบจะมีการหมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่ โดยน้ำที่ไหลกลับเข้าสู่ระบบจะมีการบำบัดน้ำให้ได้คุณภาพก่อน ระยะเวลาในการล้างจะขึ้นกับปริมาณจุลินทรีย์ในตัวหอยและปัจจัยต่าง ๆ ที่มีอิทธิพลต่อการล้างหอย

ตารางที่ 2-4 แสดงประเทศที่มีการทำระบบ Depuration (Lee; Lovatelli, & Ababouch, 2008)

ประเทศ	จำนวนระบบ	ชนิดของหอยที่ใช้ Depurated	รูปแบบของระบบ	วิธีการฆ่าเชื้อน้ำทะเล
จีน	7	Clams and oysters	Re-circulating ; flow-through	UV; ozone
ฝรั่งเศส	1422	*Crassostrea gigas*; *Mytilus edulis*; *Mytilus galloprovincialis*; *Ostrea edulis; Cerastoderma edule;*	Static; Re-circulating; flow-through	UV; ozone; chlorine; aeration
อิตาลี	114	*Tapes philippinarum;* *Mytilus galloprovincialis;* *Chamelea gallina*	Re-circulating; flow-through	UV; ozone; chlorine
มาเลเซีย	2	*Crassostrea iredalei;* *Crassostrea belcheri*	Re-circulating	UV
ฟิลิปปินส์	1	*Crassostrea iredalei;* *Perna viridis*	Static; flow-through	UV; ozone; chlorine; PVPiodine
โปรตุเกส	22	*Ruditapes decussatus*; *Ostrea* spp. ; *Crassostrea angulata*; *Mytilus* spp.	Static; Re-circulating; Flow-through	UV; chlorine
อังกฤษ	82	*Mytilus* spp.; *Crassostrea gigas*; *Ostrea edulis*; *Tapes philippinarum*; *Ruditapes decussatus*; *Cerastoderma edule*	Recirculating; flow-through	UV
ญี่ปุ่น	>1000	Oysters and scallops	Static; recirculating; flowthrough	UV; ozone;chlorine; electrolysation

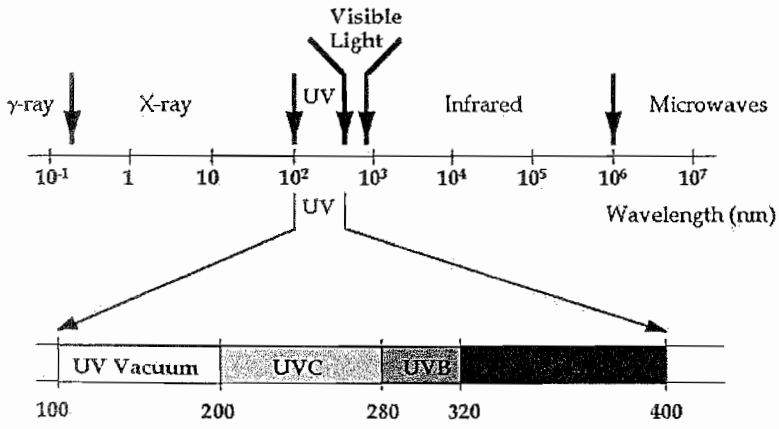
2.7.2 สิ่งสำคัญที่ต้องคำนึงถึงในการทำระบบ Depuration

2.7.2.1 น้ำที่ไหลกลับเข้ามาในระบบจะต้องมีคุณสมบัติของน้ำที่ไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก เช่น ความเค็มจะต้องมีค่าเปลี่ยนแปลงได้ไม่เกิน 20% จากบริเวณที่ทำการเพาะเลี้ยงหอย อุณหภูมิซึ่งจะไปเกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาภายในร่างกาย และออกซิเจนที่ละลายในน้ำ ระดับออกซิเจนที่ละลายในน้ำควรจะรักษาให้มีความเข้มข้นอย่างน้อย 5 mg/l

2.7.2.2 การปนเปื้อนกลับ (Recontamination) ของระบบ โดยลักษณะการไหลของน้ำจะต้องไหลไม่แรงจนเกินไป เพราะจะเป็นการทำให้ตะกอนที่เกิดจากการที่หอยคายออกมาฟุ้งกระจายกลับเข้ามาในระบบใหม่ (Lee; Lovatelli, & Ababouch, 2008)

2.8 คลื่นรังสีอัลตราไวโอเลต (Ultraviolet Radiation : UV)

ในกระบวนการ Depuration ได้มีการใช้คลื่นรังสีอัลตราไวโอเลตหรือรังสียูวีในการฆ่าเชื้อโรคที่ปนเปื้อนอยู่ในมวลน้ำ รังสียูวีเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าชนิดหนึ่ง เป็นรังสีชนิดที่ไม่ทำให้โมเลกุลของสารเกิดการแตกตัวหรือ non-ionizing radiation มีความยาวคลื่นระหว่าง 100-400 นาโนเมตร (10^{-9}) ซึ่งเป็นช่วงของความยาวคลื่นที่อยู่ระหว่างแสงที่ตามองเห็นได้ (Visible light) และรังสีเอ็กซ์ (X-ray) โดยคลื่นรังสีอัลตราไวโอเลตที่นำมาใช้ในกระบวนการฆ่าเชื้อโรคคือช่วงคลื่น UVC มีความยาวคลื่นระหว่าง 200-275 นาโนเมตร อาจเรียกว่า short wave UV หรือ Germicidal (อรรถโกวิท สงวนสัตย์ และคณะ, 2542) (ภาพที่ 2-3)



ภาพที่ 2-3 Electromagnetic spectrum

ที่มา http://www.bioscience.org/1997/v2/d/soehnge/fig1.jpg

2.8.1 ผลของรังสีต่อระดับโมเลกุลทางชีววิทยา (เนตรนภิส วัฒนสุชาติ, 2546)

ผลจากการได้รับคลื่นรังสีช่วงสั้นจะทำให้เกิดความเสียหายกับองค์ประกอบทางเคมีของสารโมเลกุลใหญ่ (Macro-molecules) ที่มีบทบาทสำคัญในกระบวนการ metabolism และมีผลต่อสารพันธุกรรมของร่างกาย ได้แก่ โปรตีน เอนไซม์ กรดนิวคลีอิก และพอลิแซกคาไรด์บางชนิด เช่น ไกลโคเจน แป้งและเซลลูโลส โดยความเสียหายอาจเกิดได้จากปฏิกิริยาทางตรงของรังสีหรือทางอ้อมจากอนุมูลอิสระ ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางกายภาพหรือเคมีเชิงฟิสิกส์

การทำลายเชื้อจุลินทรีย์ด้วยคลื่นรังสียูวีเกิดขึ้นโดยพลังงานจะทำลายโครงสร้างผนังเซลล์ภายนอกก่อน และเข้าสู่ DNA (Deoxyribonucleic acid) ของเซลล์ เกิดการดัดแปลงโครงสร้าง DNA เป็นผลทำให้เกิดการผิดพลาดในการแปรสัญญาณรหัสเป็นผลให้เซลล์ตายในที่สุด

จากการศึกษาของสุเมธ สุพิชญางกูร (2541) ในการพัฒนาเครื่องมือลดสิ่งปนเปื้อนในหอยแครงมีชีวิตด้วยแสงอัลตราไวโอเลต พบว่าที่ความหนาแน่นเท่ากับ 53.42 กิโลกรัมต่อตารางเมตร ความเค็ม 25 ppt และที่อัตราการไหลเท่ากับ 20 ลิตรต่อนาที สามารถลด Aerobic plate count จาก $2.07x10^5$ เหลือ $3.07x10^3$ โคโลนีต่อกรัม และไม่พบเชื้อ coliform, fecal coliform และ *E. coli* ด้วยการใช้เวลาในการล้างหอยแครง 12 ชั่วโมง และทัศวรรณ ขาวสีจาน และสุวรรณา ภาณุตระกูล (2551) ศึกษาการลดการปนเปื้อนของแบคทีเรียในหอยนางรมปากจีบ (*Saccostrea cucullata*) มีชีวิตด้วยแสงอัลตราไวโอเลตในระบบน้ำหมุนวนที่อัตราการไหลของน้ำ 6 และ 3 ลิตรต่อนาที พบว่าปริมาณแบคทีเรียรวมในกลุ่มวิบริโอ, *V. parahaemolyticus* และ *V. cholerae* ในหอยนางรมที่อัตราการไหลของน้ำทั้งสองการทดลอง มีค่าลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อผ่านการ Depuration ได้ 3 ชั่วโมง จากนั้นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นระหว่างชั่วโมงที่ 4-20 แล้วจึงเริ่มลดลงจนไม่สามารถตรวจวัดได้ในชั่วโมงที่ 96 ส่วนปริมาณ *E. coli* มีค่าเพิ่มขึ้นในชั่วโมงที่ 3 แล้วจึงลดลงจนไม่สามารถตรวจพบได้ในชั่วโมงที่ 96

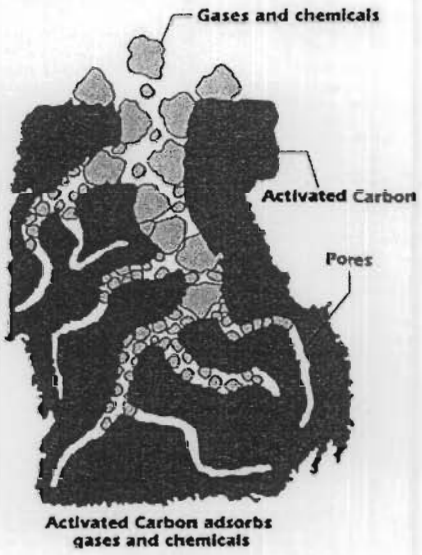
สำหรับการฆ่าเชื้อในกระบวนการ Depuration นอกจากใช้แสงอัลตราไวโอเลตแล้ว ยังสามารถใช้คลอรีนในการฆ่าเชื้อน้ำได้อย่างเช่นการศึกษาของมณีย์ กรรณรงค์ และคณะ (2543) ศึกษาการบำบัดสิ่งปนเปื้อนในหอยตะโกรม โดยนำหอยตะโกรมมาใส่ในน้ำทะเลสะอาดที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยคลอรีน เป็นเวลา 48 ชั่วโมง พบว่าหอยตะโกรมที่ผ่านการบำบัดสิ่งปนเปื้อนที่ระดับความเค็ม 20 ppt สามารถลดแบคทีเรียรวม, coliform, fecal coliform และ *E. coli* ให้อยู่ในระดับที่ยอมรับได้ หรือการใช้โอโซนในการฆ่าเชื้อน้ำในกระบวนการ Depuration อย่างเช่นการศึกษาของ Croci et al. (2002) ทำการศึกษาการลดการปนเปื้อนของเชื้อ *E. coli*, *V. cholerae* O1 และ *V. parahaemolyticus* ในหอยแมลงภู่ (*Mytilus galloprovincialis*) ที่อัตราการไหลของน้ำ 6 ลิตรต่อนาที พบว่าเมื่อเวลาผ่านไป 44 ชั่วโมง ปริมาณ *E. coli* ในเนื้อหอยแมลงภู่ลดลงจาก $1.1x10^5$

เอ็มพีเอ็นต่อกรัม เหลือ $2.4x10^2$ เอ็มพีเอ็นต่อกรัม และปริมาณของ *V. cholerae* O1 และ *V. parahaemolyticus* ลดลงจาก $9.3x10^3$ และ $7.4x10^3$ เอ็มพีเอ็นต่อกรัม เหลือ $9.3x10^2$ และ $1.1x10^3$ เอ็มพีเอ็นต่อกรัม ตามลำดับ

มีการศึกษาการเปรียบเทียบวิธีการในการฆ่าเชื้อน้ำในกระบวนการ Depuration โดย Abreu Correa et al. (2007) ศึกษาการลดการปนเปื้อนของเชื้อ *Salmonella enterica* serovar Typhimurium ในหอยนางรม (*Crassostrea gigas*) ด้วยกระบวนการ Depuration แบบน้ำวน โดยการทดลองแบ่งออกเป็น 3 ส่วนคือ ระบบ Depuration ที่ใช้คลอรีนความเข้มข้น 1 ppm, ระบบ Depuration ที่ใช้แสงยูวี (254 nm) และระบบ Depuration ที่ใช้ทั้งคลอรีนและแสงยูวีในการฆ่าเชื้อน้ำทะเล พบว่าทั้ง 3 ระบบสามารถลดการปนเปื้อนของเชื้อ *S.* Typhimurium ได้ แต่ระบบ Depuration ที่ใช้วิธีการฆ่าเชื้อน้ำทะเลด้วยคลอรีนหรือแสงยูวีอย่างใดอย่างหนึ่งไม่สามารถกำจัดเชื้อแบคทีเรียได้หมด เมื่อเทียบกับระบบ Depuration ที่ใช้ทั้งคลอรีนและแสงยูวีในฆ่าเชื้อน้ำทะเลที่สามารถกำจัดเชื้อแบคทีเรียได้หมดภายในเวลา 12 ชั่วโมง

2.9 การดูดซับโลหะหนักจากมวลน้ำ (Adsorption) ของตัวดูดซับ

ระบบ Depuration ที่ออกแบบให้สามารถดักจับโลหะหนักที่ถูกปลดปล่อยออกมาในมวลน้ำ จะใช้วัสดุดูดซับที่สามารถดูดซับโลหะหนักออกจากมวลน้ำได้ ซึ่งการดูดซับเป็นกระบวนการถ่ายเทมวลของตัวถูกดูดซับ (Adsorbate) จากสถานะที่เป็นของเหลวไปยังสถานะที่เป็นของแข็งคือตัวดูดซับ (Adsorbent) ทำให้เกิดการสะสมของตัวถูกดูดซับบนผิวของตัวดูดซับ (ศิโรรัตน์ ศรีเกษเพ็ชร์, 2543) เช่นการดูดซับสารอินทรีย์ของถ่านกัมมันต์ที่มีการดูดซับเข้าไปที่พื้นผิวหรือการ adsorption ที่ผ่านเข้าไปในรูพรุนเล็ก ๆ ที่มีอยู่มากในถ่านกัมมันต์ (ภาพที่ 2-4)



ภาพที่ 2-4 การดูดซับ (ใช้ถ่านกัมมันต์เป็นตัวดูดซับ)

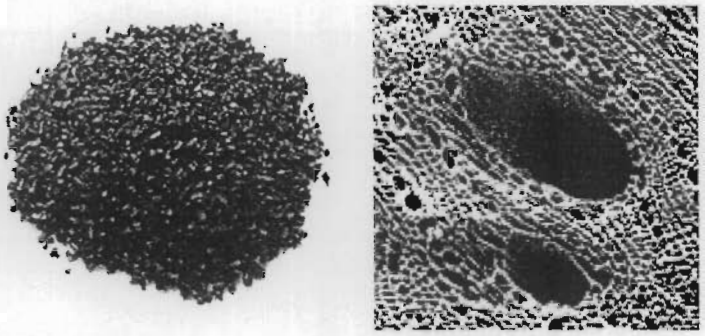
ที่มา : http://joejaworski.files.wordpress.com/2008/05/activatedcarbon1.jpg

2.10 วัสดุที่ใช้ในการดูดซับโลหะหนัก

2.10.1 ถ่านกัมมันต์

ถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon) เป็นธาตุคาร์บอนบริสุทธิ์ในโครงสร้างแบบอสัญญูรูป (Amorphous) คุณสมบัติหลัก ๆ ของถ่านกัมมันต์ คือมีรูพรุนสูงและมีคุณสมบัติในการดูดซับสารประกอบอินทรีย์ต่าง ๆ ที่มีอยู่ในของเหลวหรือก๊าซไว้ได้ในปริมาณสูง จึงนำมาใช้ประโยชน์อย่างมากมาย ในการผลิตถ่านกัมมันต์จะใช้วัตถุดิบ เช่น ถ่านไม้ เปลือกถั่วเมล็ดแข็ง กะลามะพร้าว หรือกระดูกสัตว์ เอามาเผาเป็นถ่านและทำการ activated ภายใต้ความร้อนสูงและไอน้ำในสภาวะปราศจากออกซิเจน เพื่อเป็นการกำจัดสารประกอบต่าง ๆ ที่ยังหลงเหลืออยู่ให้มีเพียงคาร์บอนบริสุทธิ์อย่างเดียว และเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวในการดูดซับให้มากที่สุด (ภาพที่ 2-5)

ถ่านกัมมันต์สามารถนำไปใช้ในการกรองสารอินทรีย์ต่าง ๆ ที่ไม่ต้องการ ออกจากของเหลวหรือก๊าซ เช่น ในการเตรียมน้ำดื่มบริสุทธิ์ อุตสาหกรรมต่าง ๆที่ต้องใช้น้ำบริสุทธิ์ การบำบัดน้ำเสีย ใช้ในการฟอกสีของเหลวต่าง ๆ การทดลองวิจัยในการแยกและเตรียมสารเคมีในทางการแพทย์นำไปใช้ในการกำจัดพิษ การฟอกเลือดและอื่น ๆ (ขจรศักดิ์ โสภาจารีย์ และวัชรพล มณีโชติ, 2546) รุ่งนภา สุขสว่าง (2550) พบว่าเปอร์เซ็นต์ในการดูดซับโลหะหนักของถ่านกัมมันต์สามารถดูดซับแคดเมียมได้ดีที่สุด รองลงมาคือสังกะสี ตะกั่วและทองแดง



ภาพที่ 2-5 รูปและลักษณะพื้นผิวของ Activated Carbon

ที่มา : http://www.afssociety.org/images/ActivatedCarbonStructureLR.jpg

2.10.1.1 การพิจารณาในการเลือกใช้ Activated Carbon

2.10.1.1.1 ขนาดของรูพรุน มีตั้งแต่ขนาดเล็กมากกว่า 1 นาโนเมตรไปจนถึงประมาณ 25 นาโนเมตร ยิ่งเล็กยิ่งมีพื้นที่สัมผัสมาก แต่ถ้าเล็กเกินไปจะดูดซับสารโมเลกุลใหญ่ได้ไม่ดี ดังนั้นในการเลือกใช้ต้องดูขนาดโมเลกุลของสารที่ต้องการดูดซับให้เหมาะสมกับขนาดของรูพรุน

2.10.1.1.2 ขนาดของ particle size มีตั้งแต่เป็นผงละเอียด เม็ดหยาบ ๆ ไปจนถึงเป็นแท่งขนาดใหญ่ ยิ่งมีขนาดเล็กประสิทธิภาพในการดูดซับสารอินทรีย์ก็จะรวดเร็วมากกว่าขนาดใหญ่

2.10.1.1.3 คุณสมบัติทางเคมีของ Activated Carbon เช่น ปริมาณออกซิเจนที่มีอยู่ซึ่งจะแตกต่างกันไปตามวัตถุดิบที่ใช้และขั้นตอนในการผลิต ซึ่งคุณสมบัติในการดูดซับสารต่าง ๆ จะแตกต่างกันไป ดูได้จากข้อมูลที่ผู้ผลิตให้มาว่าคุณสมบัติมีความเหมาะสมกับการใช้งานแบบไหน

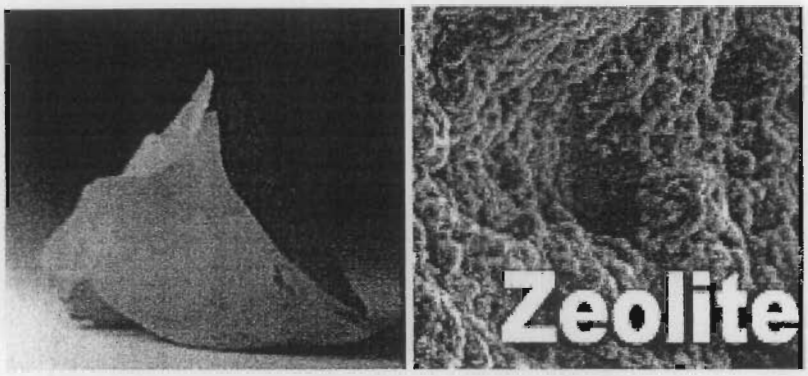
2.10.1.1.4 คุณสมบัติของสารที่ต้องการดูดซับ ยิ่งเป็นสารอินทรีย์โมเลกุลใหญ่จะถูกดูดซับได้ง่าย แต่สารโมเลกุลขนาดเล็กจะจับตัวแน่นในรูพรุนเล็ก ๆ ของถ่านกัมมันต์ได้ดีกว่า

2.10.1.1.5 อุณหภูมิและ pH สารอินทรีย์จะจับตัวได้ดีกับถ่านกัมมันต์ เมื่ออยู่ในสภาวะที่อุณหภูมิและ pH ต่ำ

2.10.1.1.6 ระยะเวลาในการสัมผัส ใช้เช่นเดียวกับหลักการกรองทั่วไป ยิ่งเพิ่มระยะเวลาสัมผัสระหว่างของเหลวหรือก๊าซกับถ่านกัมมันต์ ก็จะยิ่งเพิ่มอัตราการจับตัวกับสารอินทรีย์เพิ่มขึ้น

2.10.2 ซีโอไลต์ (zeolite)

ซีโอไลต์เป็นสารประกอบพวก aluminosilicates มีโครงสร้างที่ประกอบด้วยโพรงและช่องว่างขนาดต่าง ๆ กัน การจัดประเภทซีโอไลต์กำหนดจากลักษณะองค์ประกอบของโพรงและช่องว่างเหล่านั้น (ภาพที่ 2-6)



ภาพที่ 2-6 รูปและลักษณะพื้นผิวของ Zeolite
ที่มา : http://ecurriculum.mv.ac.th/library2/magazine/update/zeolite1.jpg

2.10.2.1 ประโยชน์ของซีโอไลต์

ลักษณะสำคัญของซีโอไลต์ คือ โครงสร้างที่เป็นรูพรุนอย่างเป็นระเบียบ ซึ่งอาจใช้เป็นตัวกรองสารที่ต้องการ โดยโมเลกุลที่เล็กกว่าขนาดของโพรงซีโอไลต์ก็จะสามารถผ่านไปได้ ในขณะที่โมเลกุลใหญ่จะไม่สามารถผ่านออกมาได้ และโมเลกุลที่ต้องการซึ่งมีขนาดพอดีกับโพรงซีโอไลต์ก็จะถูกกักไว้ภายในโพรง

และเนื่องจากประจุบวกของโลหะที่เกาะกับซีโอไลต์นั้น เกาะกันอย่างหลวมๆ มันจึงพร้อมที่จะแลกประจุกับโลหะอื่นเมื่ออยู่ในสารละลาย ด้วยหลักการนี้จึงสามารถนำมาประยุกต์ใช้กับการลดความกระด้างของน้ำ และมีการนำซีโอไลต์มาใช้ลดความกระด้างของน้ำแทนฟอสเฟตในผงซักฟอก เนื่องจากฟอสเฟตเป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม และด้วยหลักการแลกเปลี่ยนประจุนี้ ทำให้สามารถใช้ซีโอไลต์ในการกำจัดแอมโมเนียออกจากน้ำเสีย โดยการแลกเปลี่ยนประจุบวกของแอมโมเนียกับโลหะโซเดียมที่อยู่ในโพรงของซีโอไลต์ โดยระยะเวลาที่เหมาะสมในการดูดซับแอมโมเนียคือ 2 ชั่วโมง อัตราส่วนของซีโอไลต์คือ 2 กรัมต่อน้ำตัวอย่าง 100 มิลลิลิตร จะทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดแอมโมเนียออกจากน้ำเสียมีค่าดีที่สุดคือ 78.79 เปอร์เซ็นต์
(อุษา อ้นทอง, 2549)

ได้มีการนำเอาถ่านกัมมันต์และซีโอไลต์มาใช้ในระบบ Depuration เพื่อใช้ในการลดการปนเปื้อนของโลหะหนักที่อยู่ในมวลน้ำ จากการศึกษาของสุวรรณา ภาณุตระกูล และเอื้ออารีย์ คำดี (2551) ที่ทำการลดปริมาณโลหะหนัก Cd, Cu, Pb, Zn และ Hg ในหอยนางรมปากจีบ (*Saccostrea cucullata*) ด้วยระบบ Depuration ระบบน้ำวน ที่ออกแบบให้ถ่านกัมมันต์และซีโอไลต์เป็นตัวดูดซับโลหะหนัก พบว่าความเข้มข้นของ Cd, Cu, Pb, Zn และ Hg ในหอยนางรมก่อนผ่านระบบ Depuration มีค่าเท่ากับ 0.08, 26.85, 0.18, 198.35 ไมโครกรัมต่อกรัมและ 4.12 นาโนกรัมต่อกรัมน้ำหนักเปียกตามลำดับ และเมื่อผ่านระบบ Depuration เป็นเวลา 48 ชั่วโมงพบว่าความเข้มข้นของ Cd, Cu, Pb, Zn และ Hg ในหอยนางรมมีค่าลดลงเท่ากับ 0.03, 15.90, 0.14, 98.74 ไมโครกรัมต่อกรัมและ 2.51 นาโนกรัมต่อกรัมน้ำหนักเปียกตามลำดับ