บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ระบบบำบัดน้ำเสียโรงพยาบาล

2.1.1 ลักษณะน้ำเสียโรงพยาบาลทั่วไป

ลักษณะน้ำเสียโรงพยาบาลโดยทั่วไปมีสมบัติคล้ายคลึงกันดังแสดงในตารางที่ 2.1 (ธงชัย พรรณสวัสดิ์ และคณะ, 2530) ซึ่งลักษณะดังกล่าวอาจแตกต่างกันออกไปตามแต่ลักษณะการพยาบาล ลักษณะและปริมาณของสารเคมีที่ใช้ภายในโรงพยาบาล ตลอดจนขนาดโรงพยาบาล

ตารางที่ 2.1 ลักษณะน้ำเสียโรงพยาบาลทั่วไป

ดัชนีคุณภาพน้ำ	หน่วย	ลักษณะน้ำเสีย
1. ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)	-	6.84
2. ค่าซีโอดี (Chemical Oxygen Demand; COD)	mg/L	350
3. ค่าบีโอดี (Biochemical Oxygen Demand; BOD)	mg/L	238
4. ค่าทีเคเอ็น (Total Kjeldahl Nitrogen; TKN)	mg/L	15.2
5. สารแขวนลอย (Suspended Solids; SS)	mg/L	87.06
6. น้ำมันและไขมัน (Fat, Oil, And Grease)	mg/L	631
7. ฟอสเฟต (phosphate)	mg/L	3.29

ที่มา : ธงชัย พรรณสวัสดิ์ และคณะ (2530)

2.1.2 มาตรฐานการบำบัดน้ำเสียของโรงพยาบาล

การแบ่งประเภทของอาคาร แบ่งประเภทของอาคารออกเป็น 5 ประเภท (คัดลอกจากประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม, 2537)

1) อาคารประเภท ก. หมายความถึง อาคารดังต่อไปนี้

อาคารชุดที่มีจำนวนห้องสำหรับใช้เป็นที่อยู่อาศัยรวมกันทุกชั้นของอาคารหรือกลุ่มของอาคารตั้งแต่ 500 ห้องนอนขึ้นไป โรงแรมที่มีจำนวนห้องสำหรับใช้เป็นห้องพักรวมกันทุกชั้นของอาคารหรือกลุ่มของอาคารตั้งแต่ 200 ห้องขึ้นไป โรงพยาบาลของทางราชการหรือสถานพยาบาลตามกฎหมายว่าด้วยสถานพยาบาล ที่มีเตียงสำหรับรับผู้ป่วยไว้ค้างคืนรวมกันทุกชั้นของอาคารหรือกลุ่มของอาคารตั้งแต่ 30 เตียงขึ้นไป อาคารโรงเรียนราษฎร์ โรงเรียนของทางราชการ สถาบันอุดมศึกษาของเอกชน หรือสถาบันอุดมศึกษาของทางราชการที่มีพื้นที่ใช้สอยรวมกันทุกชั้น

ของอาคารหรือกลุ่มของอาคารตั้งแต่ 25,000 ตารางเมตรขึ้นไป อาคารที่ทำการของทางราชการ รัฐวิสาหกิจ องค์การระหว่างประเทศหรือของเอกชนที่มีพื้นที่ใช้สอยรวมกันทุกชั้นของอาคาร หรือกลุ่มของอาคารตั้งแต่ 55,000 ตารางเมตรขึ้นไป อาคารของศูนย์การค้าหรือห้างสรรพสินค้าที่มีพื้นที่ใช้สอยรวมกันทุกชั้นของอาคาร หรือกลุ่มของอาคารตั้งแต่ 25,000 ตารางเมตรขึ้นไป ตลาดที่มีพื้นที่ใช้สอยรวมกันทุกชั้นของอาคารหรือกลุ่มของอาคารตั้งแต่ 2,500 ตารางเมตรขึ้นไป ภัตตาคารหรือร้านอาหารที่มีพื้นที่ให้บริการรวมกันทุกชั้นของอาคารหรือกลุ่มของอาคารตั้งแต่ 2,500 ตารางเมตรขึ้นไป

2) อาคารประเภท ข. หมายความถึงอาคารดังต่อไปนี้

อาคารชุดที่มีจำนวนห้องสำหรับใช้เป็นที่อยู่อาศัยรวมกันทุกชั้นของอาคารหรือกลุ่มของอาคารตั้งแต่ 100 ห้องนอน แต่ ไม่ถึง 500 ห้องนอน โรงแรมที่มีจำนวนห้องสำหรับใช้เป็นห้องพักอาศัยรวมกันทุกชั้นของอาคารหรือกลุ่มของอาคารตั้งแต่ 60 ห้อง แต่ไม่ถึง 200 ห้อง หอพักที่มีจำนวนห้องสำหรับใช้เป็นที่อยู่อาศัยรวมกันทุกชั้นของอาคารหรือกลุ่มของอาคารตั้งแต่ 250 ห้องขึ้นไป สถานบริการที่มีพื้นที่ใช้สอยรวมกันทุกชั้นของอาคารหรือกลุ่มของอาคารตั้งแต่ 5,000 ตารางเมตรขึ้นไป โรงพยาบาลของทางราชการหรือสถานพยาบาลตามกฎหมายว่าด้วยสถานพยาบาลที่มีเตียงสำหรับผู้ป่วยไว้ค้างคืนรวม กันทุกชั้นของอาคารหรือกลุ่มของอาคารตั้งแต่ 10 เตียง แต่ไม่ถึง 30 เตียง อาคารโรงเรียนราษฎร์ โรงเรียนของทางราชการ สถาบันอุดมศึกษาเอกชนหรือสถาบันอุดมศึกษาของทางราชการ ที่มีพื้นที่ ใช้สอยรวมกันทุกชั้นของอาคารหรือกลุ่มของอาคารตั้งแต่ 5,000 ตารางเมตร แต่ไม่ถึง 25,000 ตารางเมตร อาคารที่ทำการของทางราชการ รัฐวิสาหกิจองค์การระหว่างประเทศหรือของเอกชนที่มีพื้นที่ใช้สอยรวมกันทุกชั้นของ อาคารหรือกลุ่มของอาคารตั้งแต่ 10,000 ตารางเมตร แต่ไม่ถึง 55,000 ตารางเมตร อาคารของศูนย์การค้าหรือห้างสรรพสินค้าที่มีพื้นที่สอยรวมกันทุกชั้นของอาคารหรือกลุ่มของอาคารตั้งแต่ 5,000 ตารางเมตร แต่ไม่ถึง 25,000 ตารางเมตร ตลาดที่มีพื้นที่ที่ใช้สอยรวมกันทุกชั้นของอาคารหรือกลุ่มของอาคารตั้งแต่ 1,500 ตารางเมตร แต่ไม่ถึง 2,500 ตารางเมตร ภัตตาคารหรือร้านอาหารที่มีพื้นที่ให้บริการรวมกันทุกชั้นของอาคารหรือกลุ่มของอาคารตั้งแต่ 500 ตารางเมตร แต่ไม่ถึง 2,500 ตารางเมตร

3) อาคารประเภท ค. หมายความถึงอาคารดังต่อไปนี้

อาคารชุดที่มีจำนวนห้องสำหรับใช้เป็นที่อยู่อาศัยรวมกันทุกชั้นของอาคารหรือกลุ่มของอาคาร ไม่ถึง 100 ห้องนอน โรงแรมที่มีจำนวนห้องสำหรับใช้เป็นห้องพักรวมกันทุกชั้นของอาคารหรือกลุ่มอาคาร ไม่ถึง 60 ห้อง หอพักที่มีจำนวนห้องสำหรับใช้เป็นที่อยู่อาศัยรวมกันทุกชั้นของอาคารหรือกลุ่มของอาคารตั้งแต่ 50 ห้อง แต่ไม่ถึง 250 ห้อง สถานบริการที่มีพื้นที่ใช้สอยรวมกันทุกชั้นของอาคารหรือกลุ่มของอาคารตั้งแต่ 1,000 ตารางเมตร แต่ไม่ถึง 5,000 ตารางเมตร อาคารที่ทำการของทางราชการ รัฐวิสาหกิจ องค์การระหว่างประเทศหรือของเอกชนที่มีพื้นทีใช้สอยรวมกันทุกชั้นของอาคาร หรือกลุ่มของอาคารตั้งแต่ 5,000 ตารางเมตร แต่ไม่ถึง 10,000 ตาราง

เมตร ตลาดที่มีพื้นที่ใช้สอยรวมกันทุกชั้นของอาคารหรือกลุ่มของอาคารตั้งแต่ 1,000 ตารางเมตร แต่ไม่ถึง 1,500 ตารางเมตร ภัตตาคารหรือร้านอาคารที่มีพื้นทีให้บริการรวมกันทุกชั้นของอาคารหรือกลุ่มของอาคารตั้งแต่ 250 ตารางเมตร แต่ไม่ถึง 500 ตารางเมตร

4) อาคารประเภท ง. หมายความถึงอาคารดังต่อไปนี้

หอพักที่มีจำนวนห้องสำหรับใช้เป็นที่อยู่อาศัยรวมกันทุกชั้นของอาคารหรือกลุ่มของอาคารตั้งแต่ 10 ห้อง แต่ไม่ถึง 50 ห้อง ตลาดที่มีพื้นที่ใช้สอยรวมกันทุกชั้นของอาคารหรือกลุ่มของอาคารตั้งแต่ 500 ตารางเมตร แต่ไม่ถึง 1,000 ตารางเมตร ภัตตาคารหรือร้านอาหารที่มีพื้นที่ให้บริการรวมกันทุกชั้นของอาคารหรือกลุ่มของอาคารตั้งแต่ 100 ตารางเมตร แต่ไม่ถึง 250 ตารางเมตร

5) อาคารประเภท จ.

อาคารประเภท จ. หมายความถึงภัตตาคารหรือร้านอาหารที่มีพื้นที่ให้บริการรวมกันทุกชั้นไม่ถึง 100 ตารางเมตร

ลักษณะน้ำเสียโดยทั่วไปของอาคารแต่ละประเภทนั้นก็จะมีความแตกต่างกันออกไป โดยจะมีค่ามาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งดังแสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ค่ามาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากอาคารบางประเภทและบางขนาด

ดัชนีคุณภาพน้ำ	**เกณฑ์กำหนดสูงสุดตามประเภทมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้ง ประเภทอาคาร**					**วิธีวิเคราะห์**
	ก	**ข**	**ค**	**ง**	**จ**	
1. ค่าพีเอช	5-9	5-9	5-9	5-9	5-9	ใช้เครื่องวัดความเป็นกรดและด่างของน้ำ (pH meter)
2. ค่าบีโอดี (mg/L)	≤ 20	≤ 30	≤ 40	≤ 50	≤ 200	ใช้วิธีการ azide modification ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 5 วัน ติดต่อกัน หรือวิธีการอื่นที่คณะกรรมการควบคุมมลพิษให้ความเห็นชอบ
3. ปริมาณของแข็ง						
- สารแขวนลอย (mg/L)	≤ 30	≤ 40	≤ 50	≤ 50	≤ 60	กรองผ่านกระดาษกรองใยแก้ว (glass fiber filter disc)
- ค่าตะกอนหนัก (settleable solids) (mL/L)	≤ 0.5	≤ 0.5	≤ 0.5	≤ 0.5	-	วิธีการกรวยอิมฮอฟ์ (imhoff cone) ขนาดบรรจุ 1,000 ลบ.ซม ในเวลา 1 ชั่วโมง
- สารที่ละลายได้ทั้งหมด (total dissolved solids) (mg/L)	≤ 500	≤ 500	≤ 500	≤ 500	-	ระเหยแห้งที่อุณหภูมิ 103 ถึง 105 องศาเซลเซียส ในเวลา 1 ชั่วโมง
4. ค่าซัลไฟด์ (sulfide) (mg/L)	≤1.0	≤1.0	≤3.0	≤4.0	-	วิธีการไตเตรท (Titrate)
5. ค่าทีเคเอ็น (mg/L)	≤ 35	≤ 35	≤ 40	≤ 40	-	วิธีการเจลดาห์ล (kjeldahl)
6. ค่าน้ำมันและไขมัน (mg/L)	≤ 20	≤ 20	≤ 20	≤ 20	≤ 100	วิธีการสกัดด้วยตัวทำละลาย แล้วแยกหาน้ำหนักของน้ำมันและไขมัน

หมายเหตุ วิธีการตรวจสอบลักษณะน้ำทิ้งจากอาคารเป็นไปตามวิธีการมาตรฐานสำหรับการวิเคราะห์น้ำและน้ำเสียใน Standard Methods for Examination of Water and Wastewater ซึ่ง APHA : American Public Health Association, AWWA : American Water Works Association และ WPCF : Water Pollution Control Federation ร่วมกันกำหนดไว้

ที่มา ประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม เรื่อง กำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากอาคารบางประเภท และบางขนาด ตีพิมพ์ในราชกิจจานุเบกษา ฉบับประกาศทั่วไป เล่ม 111 ตอนพิเศษ 9ง ลงวันที่ 4 กุมภาพันธ์ 2537

2.1.3 หลักการทำงานระบบบำบัดน้ำเสียแบบอยู่กับที่

เทคโนโลยีการบำบัดน้ำเสียแบบอยู่กับที่ (on-site treatment) ที่ใช้ทั่วไปในโรงพยาบาลเป็นกระบวนการทางชีวภาพ กระบวนการดังกล่าวสามารถแบ่งออกได้ 2 แบบ คือ กระบวนการแบบใช้อากาศและแบบไม่ใช้อากาศ กระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบใช้อากาศจุลินทรีย์จะใช้ออกซิเจนเป็นตัวรับอิเล็คตรอน (electron acceptor) และใช้สารอินทรีย์เป็นแหล่งคาร์บอนเพื่อสารเซลล์ใหม่ ในหลายกรณีแอมโมเนีย (NH_3) ที่เกิดจากการย่อยสลายของสารอินทรีย์ถูกออกซิไดซ์ต่อไปเป็นไนเตรท (NO_3^-) ซึ่งเรียกกระบวนการนี้ว่า ไนตริฟิเคชัน (nitrification) ส่วนกระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศหรือที่เรียกว่า การหมักแบบไร้อากาศ (anaerobic fermentation) ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์เป็นก๊าซมีเทน (CH_4) และ CO_2

ระบบบำบัดน้ำเสียโรงพยาบาลเป็นระบบแบบใช้อากาศตามหลักการตะกอนเร่ง (activated sludge) ส่วนใหญ่อาศัยจุลินทรีย์ ซึ่งได้แก่ แบคทีเรีย ในการกิน ทำลาย ย่อยสลาย ดูดซับ หรือการเปลี่ยนแปลงรูปของสิ่งสกปรกที่อยู่ในรูปสารอินทรีย์ต่าง ๆ ในน้ำเสียให้น้อยลงด้วยปฏิกิริยาทางชีวเคมี กล่าวคือ จุลินทรีย์จะปล่อยเอนไซม์ออกมาย่อยภายนอกเซลล์ เพื่อย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียให้อยู่ในรูปของโมเลกุลที่เล็กพอที่จะซึมผ่านไปในเซลล์เพื่อใช้เป็นสารอาหารได้ ซึ่งสารอินทรีย์แต่ละชนิดต้องใช้เอนไซม์เฉพาะอย่างในการย่อยสลาย ดังนั้นจุลินทรีย์จึงต้องปรับตัว และผลิตเอนไซม์ออกมาใช้ให้เหมาะสมกับชนิดของน้ำเสีย รวมทั้งต้องให้เวลาแก่จุลินทรีย์ในการปรับตัว (acclimatization) หลังจากนั้นจุลินทรีย์จะเปลี่ยนรูปสารอินทรีย์โดยการสังเคราะห์ (synthesis) เซลล์ใหม่ ด้วยพลังงานจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน (oxidation) ซึ่งเป็นปฏิกิริยาการเติมออกซิเจน ที่ทำให้เกิดเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) น้ำและพลังงาน นอกจากนี้จุลินทรีย์ต้องใช้ออกซิเจนในการย่อยสลายจุลินทรีย์ที่ตายแล้ว โดยจุลินทรีย์ที่ตายแล้วจะถูกใช้เป็นอาหารของจุลินทรีย์ตัวอื่น ๆ ที่ยังมีชีวิตอยู่ หลักการข้างต้นสามารถอธิบายดังสมการเคมี (สมการที่ 2.1 ถึง 2.3) (Metcalf & Eddy, 1991)

oxidation

CHONS (สารอินทรีย์) + O_2 + bacteria $\rightarrow$ CO_2 + NH_3 + other end product + energy สมการที่ 2.1

synthesis

CHONS +O_2 + bacteria + energy $\rightarrow$ $C_5H_7NO_2$ (new cells) สมการที่ 2.2

endogeneous Respiration

$C_5H_7NO_2 + 5O_2 \rightarrow 5O_2 + NH_3 + 2H_2O$ + energy สมการที่ 2.3

2.1.4 ปัจจัยที่มีผลต่อการทำงานของระบบบำบัดน้ำเสียโรงพยาบาล

สุรพล สายพานิช (2538) กล่าวถึงปัจจัยที่มีผลต่อการทำงานของระบบไว้ดังนี้

1) ความเข้มข้นของสารอินทรีย์ที่เข้าระบบบำบัด เนื่องจากสารอินทรีย์ที่เข้าระบบเป็นอาหารของจุลินทรีย์ ดังนั้นหากความเข้มข้นของสารอินทรีย์เปลี่ยนแปลงมากจะมีผลต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ อาจทำให้อัตราส่วนระหว่างอาหารต่อจุลินทรีย์ (Food-Mass Ratio; F/M) สูง ซึ่งเป็นเหตุให้จุลินทรีย์เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว และเจริญเติบโตในลักษณะกระจายอยู่ทั่วไป (dispersed growth) ไม่รวมตัวเป็นกลุ่มก้อน และทำให้ตกตะกอนได้ไม่ดี น้ำที่ออกจากระบบจะขุ่น และมีค่าบีโอดีเหลืออยู่ในระบบสูง ส่วนกรณีที่อัตราส่วนระหว่างอาหารต่อจุลินทรีย์ (Food-Mass Ratio; F/M) ต่ำ การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในระบบจะลดลง ซึ่งตะกอนจุลินทรีย์จะตกตะกอนได้เร็ว แต่ในขณะเดียวกันตะกอนบางส่วนจะมีขนาดเล็ก และตกตะกอนได้ไม่ดีเช่นกัน
2) อาหารเสริม จุลินทรีย์ต้องการอาหารเสริม (nutrient) นอกเหนือจากสารอินทรีย์ที่นำมาใช้เป็นพลังงานปกติ โดยอาหารเสริมที่สำคัญในระบบเอสบีอาร์ ได้แก่ ไนโตรเจน (N) ฟอสฟอรัส (P) และเหล็ก (Fe) อัตราส่วนระหว่าง บีโอดี : ไนโตรเจน : ฟอสฟอรัส : เหล็ก ที่เหมาะสมเท่ากับ 100 : 5 : 1 : 0.5 การขาดอาหารเสริมเหล่านี้จะทำให้จุลินทรีย์ที่จับกันเป็นก้อน เจริญเติบโตไม่ดี และขณะเดียวกันจุลินทรีย์ชนิดที่เป็นเส้นใยสามารถเจริญเติบโตได้ดี
3) ออกซิเจนละลายน้ำ ค่าออกซิเจนละลาย (Dissolve Oxygen; DO) ต้องมีค่าอยู่ระหว่าง 1 ถึง 2 mg/L ซึ่งปริมาณของออกซิเจนที่ใช้ เพื่อรักษาความเข้มข้นของออกซิเจนละลายขึ้นกับอุณหภูมิ เมื่ออุณหภูมิสูงจุลินทรีย์สามารถทำงานได้ดีรวมทั้งค่าการละลายน้ำอิ่มตัวของออกซิเจนต่ำลง เป็นเหตุให้ความต้องการออกซิเจนมากขึ้นด้วย
4) ระยะเวลาในการบำบัด ระยะเวลาที่ใช้ในการบำบัดต้องมากพอ สำหรับจุลินทรีย์จะใช้ในการย่อยสลายสารต่าง ๆ หากระยะเวลาน้อยเกินไปสารที่ย่อยยากอาจจะถูกย่อยไม่ถึงขั้นสุดท้าย ทำให้มีค่าบีโอดีเหลืออยู่ในน้ำเสียมาก
5) ค่าพีเอช ในระบบเอสบีอาร์แบคทีเรียเจริญเติบโตได้ดีที่พีเอช ระหว่าง 6.5 – 8.5 ถ้าพีเอชต่ำกว่า 6.5 รา (fungi) จะเจริญเติบโตได้ดีกว่าแบคทีเรีย ทำให้ประสิทธิภาพในการทำงานของระบบลดลง ส่วนที่พีเอชสูงฟอสฟอรัสจะแยกตัวออกจากน้ำ ทำให้จุลินทรีย์ไม่สามารถใช้ประโยชน์ได้ ซึ่งทำให้ระบบมีประสิทธิภาพลดลงเช่นกัน

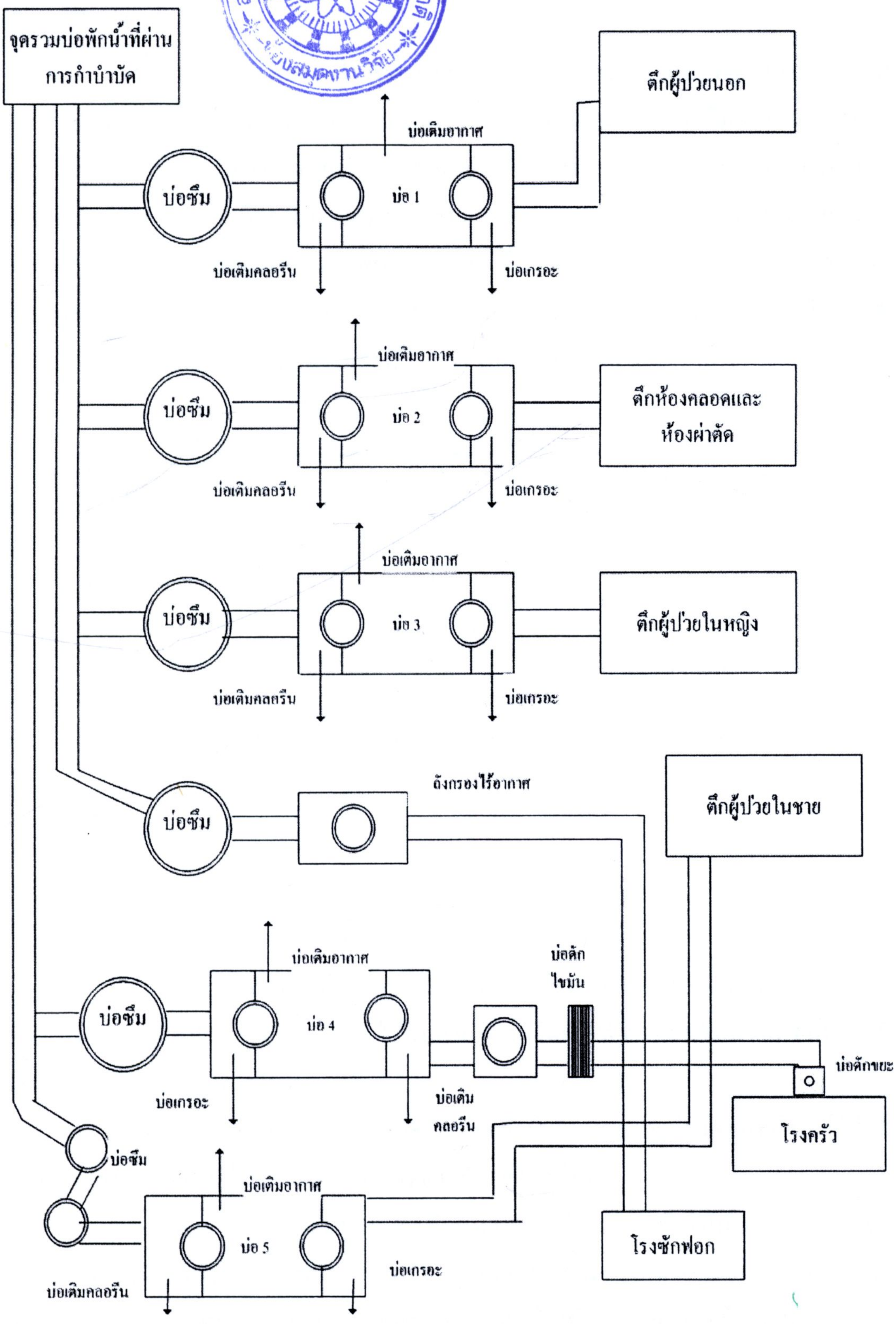
6) สารพิษ สารพิษในระบบนี้สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 จำพวก ได้แก่ แบบพิษเฉียบพลัน (acute toxicity) และแบบออกฤทธิ์ช้า (chronic toxicity) ซึ่งทั้งสองแบบมีผลต่อระบบ คือ แบบพิษเฉียบพลันจุลินทรีย์จะตายหมดในระยะสั้นเพียงไม่กี่ชั่วโมง สารพิษจำพวกนี้ ได้แก่ ไซยาไนด์ อาร์เซนิค เป็นต้น ส่วนจำพวกออกฤทธิ์ช้า จุลินทรีย์จะสะสมไว้ภายในเซลล์ จนเกิดเป็นพิษและตายลงในที่สุด สารพิษจำพวกนี้ เช่น โลหะหนัก เป็นต้น
7) อุณหภูมิ อุณหภูมิเป็นปัจจัยที่สำคัญของการทำงาน และการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในระบบมาก โดยทั่วไปการเพิ่มอุณหภูมิขึ้นทุก 10 องศาเซลเซียส จะทำให้จุลินทรีย์เจริญเติบโตเพิ่มขึ้นเป็นสองเท่า
8) การกวน ระบบนี้ต้องมีการกวนอย่างทั่วถึง เพื่อป้องกันมิให้จุลินทรีย์ตกตะกอน รวมทั้งช่วยให้จุลินทรีย์จับตัวเป็นกลุ่มก้อนได้ดียิ่งขึ้น การกวนที่ถูกต้องจะต้องป้องกันมิให้น้ำเสียไหลลัดวงจร

2.1.5 ระบบบำบัดน้ำเสียของโรงพยาบาลตัวอย่าง

ระบบบำบัดน้ำเสียของโรงพยาบาลตัวอย่างเป็นถังที่ทำจากไฟเบอร์กลาส ถังมีความหนา 10 mm ฐานรองรับทำจากถังไฟเบอร์กลาส และใช้ตัวกลางพลาสติก (plastic media) ช่วยในการยึดเกาะของจุลินทรีย์ภายในส่วนเติมอากาศ ซึ่งโรงพยาบาลมีระบบบำบัดน้ำเสียทั้งหมด 6 ชุด ดังรูปที่ 2.1

ชุดบำบัดน้ำเสียของโรงพยาบาลมีดังนี้

1) ชุดบำบัดน้ำเสียที่ 1 (บ่อเกาะ เติมอากาศ ฆ่าเชื้อโรค) บ่อนี้จะรองรับน้ำเสียจากอาคารผู้ป่วยนอก โดยมีขนาดความจุถัง 10 m^3
2) ชุดบำบัดน้ำเสียที่ 2 (บ่อเกาะ เติมอากาศ ฆ่าเชื้อโรค) บ่อนี้จะรองรับน้ำเสียจากตึกคลอดผ่าตัด โดยมีขนาดความจุถัง 10 m^3
3) ชุดบำบัดน้ำเสียที่ 3 (บ่อเกาะ เติมอากาศ ฆ่าเชื้อโรค) บ่อนี้จะรองรับน้ำเสียจากตึกผู้ป่วยในหญิง โดยมีขนาดความจุถัง 10 m^3
4) ชุดบำบัดน้ำเสียที่ 4 (ดักขยะ ดักไขมัน บ่อเกาะ เติมอากาศ ฆ่าเชื้อโรค) บ่อนี้จะรองรับน้ำเสียจากโรงครัว ห้องประชุม โดยมีขนาดความจุถัง 8 m^3
5) ชุดบำบัดน้ำเสียที่ 5 (บ่อเกาะ เติมอากาศ ฆ่าเชื้อโรค) บ่อนี้จะรองรับน้ำเสียจากตึกผู้ป่วยในชาย โดยมีขนาดความจุถัง 10 m^3
6) ชุดบำบัดน้ำเสียที่ 6 (ระบบถังกรองไร้อากาศ) บ่อนี้จะรองรับน้ำเสียจากอาคารซักฟอก โดยมีขนาดความจุถัง 7 m^3

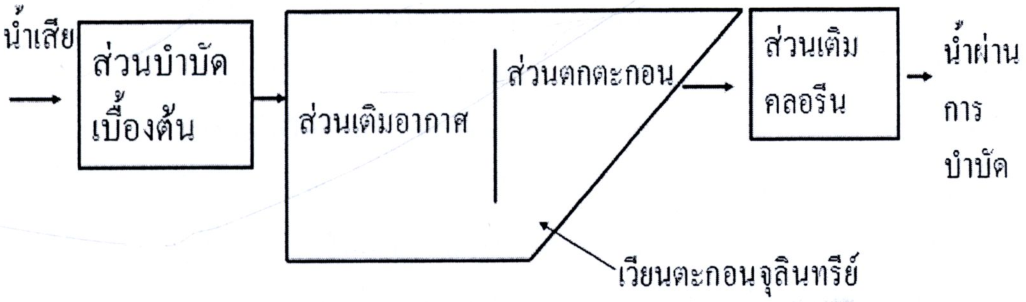

จุดรวมบ่อพักน้ำที่ผ่านการกำบำบัด
ตึกผู้ป่วยนอก
บ่อเติมอากาศ
บ่อซึม
บ่อ 1
บ่อเติมคลอรีน
บ่อเกรอะ
บ่อเติมอากาศ
บ่อซึม
บ่อ 2
ตึกห้องคลอดและห้องผ่าตัด
บ่อเติมคลอรีน
บ่อเกรอะ
บ่อเติมอากาศ
บ่อซึม
บ่อ 3
ตึกผู้ป่วยในหญิง
บ่อเติมคลอรีน
บ่อเกรอะ
ถังกรองไร้อากาศ
บ่อซึม
ตึกผู้ป่วยในชาย
บ่อดักไขมัน
บ่อเติมอากาศ
บ่อซึม
บ่อ 4
บ่อดักขยะ
บ่อเกรอะ
บ่อเติมคลอรีน
โรงครัว
บ่อซึม
บ่อเติมอากาศ
บ่อ 5
โรงซักฟอก
บ่อเติมคลอรีน
บ่อเกรอะ

รูปที่ 2.1 ชุดบำบัดน้ำเสียของโรงพยาบาลตัวอย่าง

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
ห้องสมุดงานวิจัย
วันที่ 7 S.A. 2555
เลขทะเบียน 190933
เลขเรียกหนังสือ

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
ห้องสมุดงานวิจัย

ระบบบำบัดน้ำเสียของโรงพยาบาลเป็นระบบบำบัดน้ำเสียแบบอยู่กับที่ประกอบไปด้วย ส่วนกำจัดน้ำเสียเบื้องต้น ส่วนการเติมอากาศ ส่วนตกตะกอนและส่วนเติมอากาศดังรูปที่ 2.2 โดยน้ำเสียจากส่วนต่างๆ ของโรงพยาบาลไหลเข้าส่วนบำบัดเบื้องต้น เพื่อกำจัดขยะและตะกอนก่อนจะเข้าสู่ระบบบำบัด ซึ่งภายในบ่อบำบัดจะแยกออกเป็นสองส่วน โดยส่วนแรกเป็นการเติมอากาศให้แก่ระบบนอกจากนั้นยังเพิ่มตัวกลาง เพื่อช่วยให้จุลินทรีย์ยึดเกาะเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพให้แก่ระบบ ส่วนของการตกตะกอนจะมีการเวียนตะกอนจุลินทรีย์มาใช้ใหม่อีกครั้ง และเติมคลอรีนก่อนที่จะปล่อยน้ำเสียที่ทำการบำบัดลงสู่แหล่งน้ำอื่น



รูปที่ 2.2 ผังการทำงานของระบบบำบัดน้ำเสียโรงพยาบาล

2.2 สารฆ่าเชื้อ

2.2.1 ความหมายของสารฆ่าเชื้อ

สารฆ่าเชื้อ คือ สารเคมีที่มีฤทธิ์ในการฆ่า ทำลาย หรือระงับเชื้อ ซึ่งมีฤทธิ์ที่แตกต่างกันออกไปตามแต่องค์ประกอบซึ่งจะระบุไว้ที่ฉลากของผลิตภัณฑ์ สารฆ่าเชื้อมีชื่อเรียกที่ต่างกันออกไปตามลักษณะของการใช้งาน

antiseptics หมายถึง สารเคมีที่ใช้ทำลายหรือยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ ใช้กับภายนอกของร่างกายสิ่งมีชีวิตโดยไม่ทำอันตรายต่อเนื้อเยื่อเหล่านั้น

disinfectant หมายถึง สารเคมีที่ใช้ทำลายจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรคและใช้กับสิ่งไม่มีชีวิต เช่น เครื่องมือและสถานที่ เป็นต้น สารเคมีเหล่านี้จะทำให้เกิดอันตรายต่อผิวหนังและเยื่อเมือกของร่างกายโดยตรง โดยมีฤทธิ์ยับยั้งการเจริญเติบโตหรือทำลายจุลินทรีย์ชนิดต่าง ๆ

germicide หรือ micromicide ความหมายใกล้เคียงกับสารฆ่าเชื้อ ถ้าเจาะจงเฉพาะเชื้อจุลินทรีย์ต่าง ๆ ระบุเป็นสารเคมีที่ใช้ฆ่าเชื้อโรค เช่นสารเคมีที่ใช้ฆ่าเชื้อแบคทีเรีย (bactericide) สารเคมีที่ใช้ฆ่าเชื้อรา (fungicide) สารเคมีที่ใช้ฆ่าไวรัส (virucide) สารเคมีที่ใช้ทำลายอับสปอร์ (sporicide) เป็นต้น

2.2.2 ประสิทธิภาพของสารฆ่าเชื้อ

การแบ่งประเภทของสารฆ่าเชื้อสามารถแบ่งได้หลายแบบ เช่น การแบ่งตามลักษณะของความสามารถทำลายเชื้อ และแบ่งตามคุณสมบัติทางเคมี การแบ่งตามลักษณะของความสามารถทำลายเชื้อสามารถแบ่งได้ 3 ระดับ ได้แก่

1) สารฆ่าเชื้อที่มีประสิทธิภาพสูง (high-level disinfectant) หมายถึง สารเคมีที่สามารถทำลายสปอร์ของแบคทีเรียและจุลินทรีย์อื่น ๆ ทุกชนิด จึงเหมาะสมที่จะใช้เป็นสารที่ทำให้ปลอดเชื้อ (sterilant) ในวัสดุหรือเครื่องมือที่ต้องการปลอดเชื้ออย่างยิ่ง (critical items) ตัวอย่างสารเคมีกลุ่มนี้ ได้แก่ กลูตาราลดีไฮด์ร้อยละ 2.0 ถึง 3.2 หรือ ก๊าซเอทิลีนอ๊อกไซด์ เป็นต้น
2) สารฆ่าเชื้อที่มีประสิทธิภาพปานกลาง (intermediate-level disinfectants) คือ สารเคมีที่ไม่สามารถทำลายสปอร์ของแบคทีเรีย แต่สามารถทำลายเชื้อจุลินทรีย์ที่มีความสำคัญ เช่น เชื้อวัณโรค และไวรัสได้ โดยฤทธิ์ในการทำลายเชื้อไวรัสเปลี่ยนแปลงไปตามความเข้มข้นของน้ำยา ใช้สารเคมีเหล่านี้ในกลุ่มเครื่องมือที่ต้องการปลอดเชื้อปานกลาง (semi-critical items) ตัวอย่างสารเคมีกลุ่มนี้ ได้แก่ แอลกอฮอล์ (alcohols) ฟอร์มาลดีไฮด์ (formadehyde) ไอโอโดฟอร์ (iodopor) สารประกอบคลอรีน (chlorinated compounds)
3) สารฆ่าเชื้อที่มีประสิทธิภาพต่ำ (low-level disinfectants) คือ สารเคมีที่ไม่สามารถทำลายสปอร์ของแบคทีเรียและไม่สามารถทำลายเชื้อวัณโรคและเชื้อไวรัสได้ สารเคมีเหล่านี้เมื่อความเข้มข้นสูงเพิ่มสูงขึ้นอาจเปลี่ยนจากน้ำยาฆ่าเชื้อที่มีประสิทธิภาพต่ำเป็นน้ำยาฆ่าเชื้อที่มีประสิทธิภาพปานกลางได้ เช่น โพวิโดนไอโอดีน (povidone iodine) แต่พบว่าสารเคมีบางชนิดแม้ความเข้มข้นเพิ่มขึ้นก็มีประสิทธิภาพต่ำเช่นเดิม เช่น เบนซอลโคเนียม คลอไรด์ (benzalkonium chloride : ชื่อการค้า Zephirol และ Zephiran) สารเคมีกลุ่มนี้เหมาะสำหรับวัสดุหรือเครื่องมือที่ไม่จำเป็นต้องปลอดเชื้อมากนัก (non-critical Item)

2.2.3 ชนิดของสารฆ่าเชื้อ

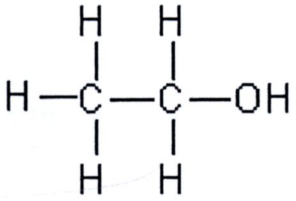
การแบ่งประเภทของสารฆ่าเชื้อตามคุณสมบัติทางเคมีสามารถแบ่งได้ 7 กลุ่ม ได้แก่

1) กลุ่มแอลกอฮอล์ (alcohols)

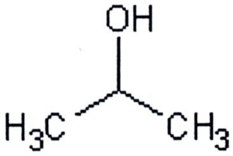
แอลกอฮอล์ที่ใช้แพร่หลาย คือ เอทธิลแอลกอฮอล์ (ethyl alcohol) (รูปที่ 2.3) และไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์ (isopropyl alcohol) (รูปที่ 2.4) ซึ่งเป็นสารระงับเชื้อและฆ่าเชื้ออย่าง

แพร่หลายมานานแล้ว แอลกอฮอล์ออกฤทธิ์โดยการตกตะกอนโปรตีนและละลายไขมันที่เยื่อหุ้มเซลล์ การใช้ประโยชน์โดยทั่วไปเอทธิลแอลกอฮอล์สามารถฆ่าเชื้อวัณโรคและไวรัสที่ก่อให้เกิดโรคเริม โรคอีสุกอีสใส และโรคพิษสุนัขบ้าได้ แต่พวกไวรัสตับอักเสบและเอดส์ยังไม่มีหลักฐานแน่ชัด

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
ห้องสมุดงานวิจัย



รูปที่ 2.3 เอทธิลแอลกอฮอล์



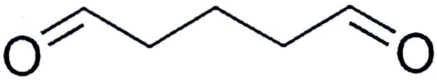
รูปที่ 2.4 ไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์

ระยะเวลาในการฆ่าเชื้อของแอลกอฮอลล์ประมาณ 1 ถึง 2 นาที โดยสามารถฆ่าเชื้อแบคทีเรียได้ทั้งแกรมบวก (gram-positive) และแกรมลบ (gram-negative) นอกจากนี้ยังพบว่าไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์มีฤทธิ์ในการฆ่าเชื้อโรคได้สูงกว่าเอทธิลแอลกอฮอล์ แต่ระเหยช้ากว่าทำให้ผิวแห้งและระคายเคืองผิวมากกว่า ความเข้มข้นของแอลกอฮอลล์ที่เหมาะสมที่สุด คือ ร้อยละ 70 เพราะมีปริมาณแอลกอฮอล์เพียงพอต่อการกำจัดเชื้อจุลินทรีย์และมีปริมาณน้ำที่พอเหมาะทำให้ผิวหนังเปียกได้ดี ช่วยให้แอลกอฮอล์แทรกซึมกระจายตัวได้ดีและระเหยช้า ๆ ไม่เป็นอันตรายต่อผิวหนังมาก โดยที่ความเข้มข้นร้อยละ 70 แอลกอฮอล์ทั้งสองชนิดนี้ใช้ได้ทั้งเป็นสารยับยั้งเชื้อ (antiseptic) และสารฆ่าเชื้อ

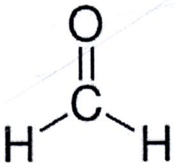
2) แอลดีไฮด์ (aldehyde)

แอลดีไฮด์ที่ใช้ในการฆ่าเชื้อมีหลายชนิด ซึ่งได้แก่ กลูตาร์แอลดีไฮด์ (รูปที่ 2.5) ฟอร์มาลดีไฮด์ (รูปที่ 2.6) เป็นต้น กลูตาร์แอลดีไฮด์ ที่ความเข้มข้นมากกว่าหรือเท่ากับร้อยละ 2 จัดเป็นน้ำยาฆ่าเชื้อที่มีประสิทธิภาพสูง กลูตาร์แอลดีไฮด์มีฤทธิ์ฆ่าสปอร์มากกว่าฟอร์มาลดิไฮด์ 2 ถึง 8 เท่า โดยทั่วไปกลูตาร์แอลดีไฮด์ไม่ได้ใช้เป็นสารยับยั้งเชื้อเพราะมีฤทธิ์ระคายเคืองต่อ

เนื้อเยื่อ กลูตาร์แอลดีไฮด์มีฤทธิ์กัดกร่อนโลหะต่ำ จึงเหมาะที่จะนำมาใช้ปลอดเชื้อวัตถุที่ไม่สามารถทนความร้อนได้



รูปที่ 2.5 กลูตาร์แอลดีไฮด์

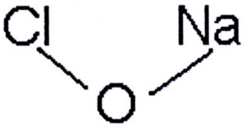


รูปที่ 2.6 ฟอร์มาลดีไฮด์

3) สารประกอบคลอรีน (chlorine-containing compounds)

สารคลอรีน (chlorine) มีสถานะเป็นก๊าซจึงไม่สะดวกที่จะนำมาใช้งานทั่ว ๆ ไป การใช้งานสารคลอรีนอยู่ในรูปแบบสารประกอบ โดยสารที่ที่ใช้กันแพร่หลายในการฆ่าเชื้อโรค คือโซเดียมไฮโปคลอไรด์ (sodium hypochloride: NaOCl) (รูปที่ 2.7) ซึ่งมีคุณสมบัติต่าง ๆ เหมือนกับคลอรีนแต่ใช้ง่ายกว่า การออกฤทธิ์ในการฆ่าเชื้อ คือ ภายหลังจากการละลายน้ำแล้วก่อให้เกิดกรดไฮโปคลอรัส (hypochlorus acid : HOCL) เข้าทำปฏิกิริยากับโปรตีนภายในเซลล์ของเชื้อจุลินทรีย์หรืออาจเกิดการออกซิเดชัน (oxidizidation) ของเอนไซม์

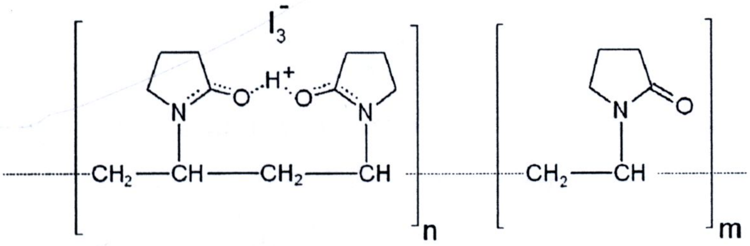
สารคลอรีนสามารถฆ่าเชื้อได้ดีขึ้นกับความเข้มข้น สารคลอรีนสามารถใช้เป็นได้ทั้งสารยับยั้งเชื้อและสารฆ่าเชื้อ โดยโซเดียมไฮโปคลอไรด์ที่ความเข้มข้น 0.10 ถึง 0.25 ส่วนในล้านส่วน สามารถฆ่าเชื้อแบคทีเรียส่วนใหญ่ได้ในเวลา 15 ถึง 30 วินาที ข้อเสียของสารประกอบคลอรีน คือเป็นสารเคมีที่ไม่คงตัว ระคายเคืองเนื้อเยื่อและผิวหนัง มีกลิ่นฉุน และกัดกร่อนโลหะ



รูปที่ 2.7 โซเดียมไฮโปคลอไรด์

4) ไอโอโดฟอร์ (iodophors)

สารละลายไอโอดีนหรือทิงเจอร์ใช้เป็นสารยับยั้งเชื้อที่ผิวหนังหรือเนื้อเยื่อมาเป็นระยะเวลานาน ไอโอโดฟอร์ที่นิยมใช้เป็นสารประกอบของไอโอดีนกับตัวทำละลายซึ่งคุ้นเคยในชื่อโพวีโดนไอโอดีน (povidone iodine) (รูปที่ 2.8) โพวีโดนไอโอดีนออกฤทธิ์ในการทำลายจุลินทรีย์ โดยไอโอดีนอิสระ (free iodine: I_2) ซึมผ่านผนังเซลล์ไปทำลายโปรตีน และทำลายขบวนการสร้างกรดนิวคลีอิก (nucleic acid) ของเชื้อจุลินทรีย์อย่างรวดเร็ว ประสิทธิภาพของการฆ่าเชื้อขึ้นอยู่กับปริมาณไอโอดีนอิสระ สารโพวีโดนไอโอดีนใช้ทั้งเป็นสารยับยั้งเชื้อและยาฆ่าเชื้อระดับต่ำถึงระดับปานกลาง สารสามารถฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ได้หลายชนิดรวมทั้งเชื้อวัณโรคกรณีสัมผัสนาน 5 ถึง 10 นาที ข้อเสียของโพวีโดนไอโอดีน คือ กัดกร่อนพื้นผิวโลหะและติดสีตกค้างกรณีใช้ไปนาน ๆ และสารอินทรีย์อาจทำให้ประสิทธิภาพการฆ่าเชื้อลดลง



รูปที่ 2.8 โพวีโดนไอโอดีน

5) กลุ่มฟีนอล (phenolic compounds)

สารเคมีในกลุ่มฟีนอลเป็นยาฆ่าเชื้อชนิดแรกที่ใช้อย่างแพร่หลายในโรงพยาบาลจากคุณสมบัติที่มีพิษต่อเซลล์ของสิ่งมีชีวิต มีกลิ่นฉุนระคายเคืองทางเดินหายใจ ปัจจุบันได้มีการพัฒนาสารฆ่าเชื้อในกลุ่มฟีนอลใหม่โดยมีเกลือฟีนอลเป็นองค์ประกอบ เช่น ครีซอล (cresol) แนฟธอล (naphthol) เป็นต้น สารประกอบฟีนอลสามารถฆ่าเชื้อโรคได้หลายชนิดรวมทั้งเชื้อวัณโรค แต่ไม่สามารถฆ่าสปอร์ได้ สารฟีนอลเป็นสารเคมีในกลุ่มลดแรงตึงผิว ช่วยให้ทำความสะอาดง่ายขึ้น รวมทั้งไม่กัดกร่อนและไม่ให้สารตกค้าง ข้อเสียของสารกลุ่มนี้ คือ ระคายเคืองผิวหนังต้องระมัดระวังไม่ให้สัมผัสผิว

6) สารประกอบควอเทอนารีแอมโมเนียม (quaternary ammonium compounds)

สารประกอบควอเทอนารีแอมโมเนียมเป็นสารช่วยลดแรงตึงผิว ช่วยในการทำความสะอาด สารมีอันตรายต่อผู้ใช้น้อย ไม่ระคายเคืองผิวหนังและไม่กัดกร่อนพื้นผิว สารประกอบควอเทอนารีแอมโมเนียมสามารถฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ได้หลายชนิด แต่ไม่สามารถฆ่าสปอร์ เชื้อวัณโรค และไวรัสตับอักเสบได้ จึงจัดเป็นน้ำยาฆ่าเชื้อที่มีประสิทธิภาพต่ำ ไม่สามารถนำมาใช้ฆ่าเชื้อเครื่องมือได้ สามารถใช้ทำความสะอาพื้นผิวภายนอกเท่านั้น การฆ่าเชื้อใช้เวลาในการสัมผัสพื้นผิวประมาณ 10 นาที ข้อเสียของสารประกอบควอเทอนารีแอมโมเนียม คือ การทำให้เกิดสารตกค้างซึ่งไม่ย่อยสลายโดยธรรมชาติ และมีประสิทธิภาพลดลงเมื่อสัมผัสสารอินทรีย์

7) สารประกอบควอเทอนารีแอมโมเนียมผสมแอลกอฮอล์ หรือ ควอทแอลกอฮอล์ (quat-Alcohol)

ควอทแอลกอฮอล์ เป็นยาฆ่าเชื้อชนิดใหม่ซึ่งนำข้อดีของยาในกลุ่มแอลกอฮอล์มาลดข้อด้อยของยาในกลุ่มควอทจึงเป็นการผสมผสานกันได้ยาฆ่าเชื้อใหม่ที่มีประสิทธิภาพปานกลาง ควอทแอลกอฮอล์ใช้เวลาในการสัมผัสพื้นผิวในการทำลายเชื้อลดลงครึ่งหนึ่ง (จากเดิม 10 นาที) รวมทั้งสารดังกล่าวไม่ตกค้างที่พื้นผิว ไม่กัดกร่อน ไม่ระคายเคืองผิวหนังหรือเนื้อเยื่อ และประสิทธิภาพไม่ลดลงเมื่อสัมผัสกับสารอินทรีย์

2.2.4 กลไกการออกฤทธิ์ของสารฆ่าเชื้อ

สารฆ่าเชื้อที่ดีมีสมบัติสามารถฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ได้หลายชนิดแม้ความเข้มข้นต่ำ รวมทั้งมีสามารถออกฤทธิ์ได้เร็ว และสามารถแทรกซึมเข้าสู่เนื้อของวัตถุได้เร็วและคงฤทธิ์นาน (รุ่งทิพย์ ชวนชื่น, 2552) โดยทั่วไปสารฆ่าเชื้อมีทั้งที่ออกฤทธิ์แบบไม่จำเพาะและจำเพาะ สำหรับการออกฤทธิ์ของสารฆ่าเชื้อเริ่มต้นจากการสัมผัสจุลินทรีย์ ซึ่งสารอาจส่งผลทำลายผนังเซลล์หรือซึมผ่านเข้าทำลายส่วนประกอบภายในเซลล์ การออกฤทธิ์จำแนกออกได้เป็น 3 ชนิด ตามบริเวณที่เซลล์ถูกทำลาย นาน (รุ่งทิพย์ ชวนชื่น, 2552) ดังนี้

1) การออกฤทธิ์ที่ผนังเซลล์ชั้นนอก (outer membrane) กลไกการทำลายเชื้อลักษณะนี้เป็นการทำลายผนังเซลล์ชั้นนอกซึ่งส่วนใหญ่เป็นการเปลี่ยนแปลงความสามารถในการไม่ละลายน้ำ (hydrophobicity) ของผนังเซลล์ ส่งผลให้เกิดช่องว่างทำให้สารฆ่าเชื้อสามารถแพร่เข้าภายในเซลล์ได้ สารฆ่าเชื้อที่ออกฤทธิ์ลักษณะนี้ เช่น แอลดีไฮด์ (aldehyde) ฟีนอล (phenol) และ คลอร์เฮกซีดีน (chlorhexidine) เป็นต้น
2) การออกฤทธิ์ที่ผนังเซลล์ชั้นใน (cytoplasmic membrane) กลไกการทำลายเชื้อลักษณะนี้คล้ายกับการออกฤทธิ์ที่ผนังเซลล์ชั้นนอก กล่าวคือ เป็นการทำลายผนัง

เซลล์ส่งผลให้เกิดช่องว่างทำให้สารต่าง ๆ ภายในเซลล์รั่วไหลออกมา นอกจากนี้ยังพบว่าสารฆ่าเชื้อบางชนิดขัดขวางกระบวนการผลิตพลังงานภายในเซลล์ รวมทั้งยับยั้งการทำงานของเอนไซม์บางชนิด สารฆ่าเชื้อที่ออกฤทธิ์ลักษณะนี้ เช่น แอลกอฮอลล์ (alcohol) แอลดีไฮด์ (aldehyde) ฟีนอล (phenol) เป็นต้น

3) การออกฤทธิ์ส่วนประกอบภายในเซลล์ กลไกการทำลายเชื้อลักษณะนี้เป็นการทำลายดีเอ็นเอ อาร์เอ็นเอ หรือโปรตีนต่าง ๆ ที่เป็นส่วนประกอบของเซลล์ ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น ได้แก่ แอลคิลเลอิง (alkylaing) การเชื่อมแบบไขว่ (cross-linking) การเชื่อมกับกรดนิวคลีอิค (nucleic acid binding) การเชื่อมกับไรโบโซม (ribosome binding) สารฆ่าเชื้อที่ออกฤทธิ์ลักษณะนี้ เช่น ไอโอดีน (iodine) ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (hydrogen peroxide) แอลกอฮอลล์ (alcohol) แอลดีไฮด์ (aldehyde) ฟีนอล (phenol) เป็นต้น

2.2.5 ปัจจัยที่มีผลต่อการออกฤทธิ์ของสารฆ่าเชื้อ

ปัจจัยที่มีผลต่อการออกฤทธิ์ของสารฆ่าเชื้อที่สำคัญ (รุ่งทิพย์ ชวนชื่น, 2552) ได้แก่

1) ระยะเวลาในการสัมผัสสาร
2) ความเข้มข้นของสาร
3) จำนวน ชนิด และตำแหน่งของจุลินทรีย์
4) ค่าพีเอช
5) อุณหภูมิ
6) ความชื้น
7) สิ่งเจือปนอื่น ๆ

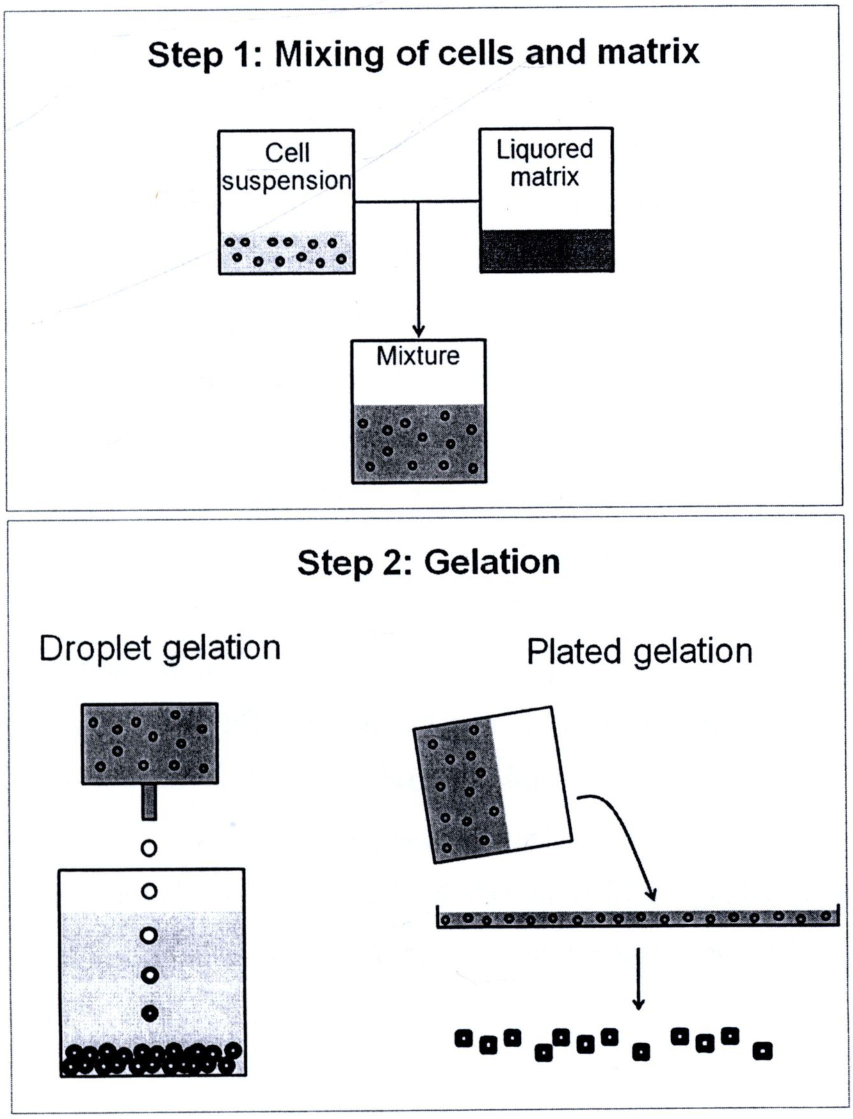
2.3 เซลล์ดักติด

2.3.1 ความหมายและหลักการของเซลล์ดักติด

การดักติดเซลล์ (cell entrapment) คือ การดักติดจุลินทรีย์ด้วยวัสดุตรึงรูป ประเภทสารพอลิเมอร์หรือแผ่นเมมเบรน เป็นการตรึงเซลล์ที่เกิดจากการที่จุลินทรีย์ถูกดักติดอยู่ภายในโดยที่ไม่ได้ทำปฏิกิริยาโดยตรงกับวัสดุตรึงผิว วิธีการนี้จึงสามารถประยุกต์ใช้ได้ในงานหลายประเภท วัสดุที่นิยมใช้งาน ได้แก่ สารประกอบแอลจิเนต (alginate) คาราจีแนน (carageenan) พอลีไวนิลแอลกอฮอล์ (polyvinyl alcohol) เป็นต้น (Jen et al., 1996; Kok and Hasirci, 2000; Park, 2000)

การดักติดเซลล์โดยทั่วไปแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน ได้แก่ 1) การผสมเซลล์จุลินทรีย์และวัสดุดักติด และ 2) การก่อให้เกิดเจล (gelation) (Dulieu et al., 1999) ซึ่งมีลักษณะดังรูปที่ 2.9

การผสมเซลล์จุลินทรีย์มีวัตถุประสงค์เพื่อกระจายเซลล์ให้ทั่ววัสดุดักติด ซึ่งวิธีการผสมเซลล์สามารถกระทำได้โดยการกวนด้วยใบพัดหรือเครื่องกวนแม่เหล็ก (magnetic stirrer) ส่วนวิธีการก่อให้เกิดเจลสามารถจำแนกได้เป็น 2 วิธี คือ การหยดเป็นเจล (droplet gelation) และการเทเป็นเจล (plated gelation) การหยดเป็นเจลเป็นการหยดส่วนผสมระหว่างวัสดุดักติดและเซลล์ลงในสารละลายทำแข็งเจล (gel formation solution) โดยใช้เข็มฉีดยาหรือปั๊ม เซลล์ดักติดด้วยวิธีการนี้มีลักษณะเป็นทรงกลม ส่วนการเทเป็นเจลเป็นการเทส่วนผสมลงในสารละลายทำแข็งเจล จากนั้นตัดจึงตัดเจลเป็นชิ้น เซลล์ดักติดด้วยวิธีการนี้มีลักษณะเป็นทรงสี่เหลี่ยม


Step 1: Mixing of cells and matrix
Cell suspension
Liquored matrix
Mixture
Step 2: Gelation
Droplet gelation
Plated gelation

รูปที่ 2.9 ขั้นตอนการดักติดเซลล์ (Siripattanakul and Khan, 2010)

การก่อให้เกิดเจลอาจเกิดได้จากหลายกระบวนการ (Fraser and Bickerstaff, 1997) ซึ่งได้แก่

1) การเกิดเจลด้วยประจุ (ionictropic gelation) เป็นการเกิดปฏิกิริยาเชื่อมไขว้ (cross-linking) ระหว่างวัสดุดักติดและสารละลายประจุบวก (cation) ตัวอย่างการดักติดประเภทนี้ คือ การดักติดด้วยแคลเซียมแอลจิเนต
2) การเกิดเจลด้วยการเหนี่ยวนำทางอุณหภูมิ (temperature-induced gelation) เป็นการแยกเฟสด้วยอุณหภูมิ กล่าวคือ เมื่ออุณหภูมิลดลงสารละลายวัสดุดักติดเปลี่ยนเป็นเจล ตัวอย่างการดักติดประเภทนี้ คือ การดักติดด้วยอากาโรส (agarose) และเจลเลติน (gelatin)
3) กระบวนการพอลิเมอไรเซชันอินทรีย์ (organic polymerization) เป็นปฏิกิริยาระหว่างมอนอเมอร์อินทรีย์ ตัวอย่างการดักติดประเภทนี้ คือ การดักติดด้วยพอลีอาครีลาไมด์ (polyacrylamide) และพอลีไวนิลแอลกอฮอล์ (polyvinyl alcohol) เป็นต้น กระบวนการเกิดเจลของวัสดุดักติดประเภทนี้อาจมีการเติมสารเชื่อมไขว้ (cross-linking agent) เพื่อส่งเสริมให้การเกิดเจลดีขึ้น
4) การแยกเฟส (phase separation) เป็นการสกัดเซลล์จุลินทรีย์ด้วยตัวทำละลายที่สามารถก่อเจลได้ วิธีการนี้ไม่ค่อยนิยมใช้เนื่องจากตัวทำละลายอาจมีผลกระทบต่อจุลินทรีย์ได้

2.3.2 วัสดุดักติดที่นิยมใช้

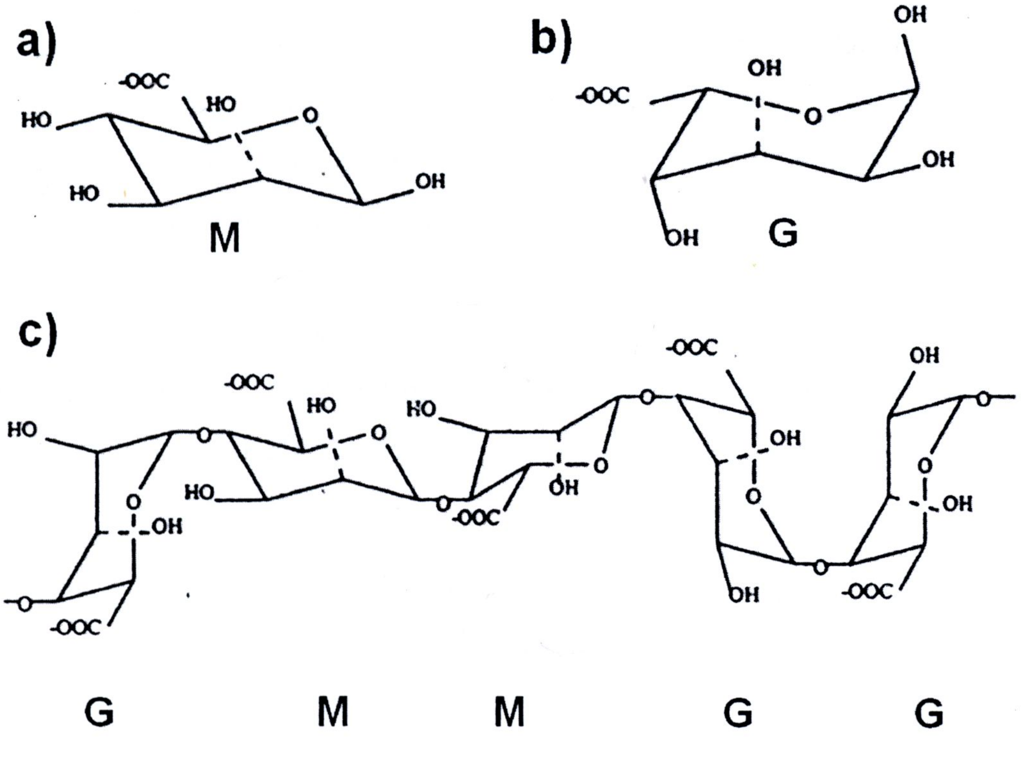
วัสดุดักติดที่นิยมใช้ในงานทางด้านสิ่งแวดล้อมสามารถจำแนกออกได้เป็น 2 กลุ่ม คือ วัสดุธรรมชาติและวัสดุสังเคราะห์ วัสดุดักติดธรรมชาติเป็นสารพอลีแซคคาไรด์ (polysaccharide) ที่ได้จากสาหร่าย (algae) หรือสาหร่ายทะเล (seaweed) ตัวอย่างเช่น แคลเซียมแอลจิเนต คาราจีแนน อากาโรส และ เจลเลติน เป็นต้น ส่วนวัสดุดักติดสังเคราะห์เป็นสารพอลีเมอร์ เช่น พอลีอาครีลาไมด์ และพอลีไวนิลแอลกอฮอล์ เป็นต้น แนวทางในการเลือกวัสดุดักติดแสดงไว้ในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 แนวทางในการเลือกวัสดุดักติด

สมบัติ	**แนวทาง**	**อ้างอิง**
พื้นที่ผิว (surface area)	วัสดุดักติดที่มีพื้นที่ผิวมาก	Kourkotus et al. (2004)
วิธีดำเนินการ (handling) และการฟื้นสภาพ (regeneration)	วิธีการดักติดและการฟื้นสภาพวัสดุดักติดกระทำได้ง่าย	Kourkotus et al. (2004)
การกักเซลล์ (cell retention)	วัสดุดักติดกักเซลล์ได้มาก	Kourkotus et al. (2004)
การมีชีวิตของจุลินทรีย์ (cell viability)	วัสดุดักติดกักเซลล์แล้วส่งผลต่อการมีชีวิตของจุลินทรีย์น้อย	Kourkotus et al. (2004)
กิจกรรมทางชีวภาพ (biological activity)	วัสดุดักติดกักเซลล์แล้วส่งเสริมกิจกรรมทางชีวภาพ	Jen et al. (1996) Kourkotus et al. (2004)
ความพรุน (porosity) และความสามารถในการแพร่ (diffusivity)	วัสดุดักติดมีความพรุนและความสามารถในการแพร่สูง (จุลินทรีย์สามารถดักติดได้ดีและสารอาหารแพร่เข้าสู่ภายในได้ดี)	Jen et al. (1996) Leenen et al. (1996) Kourkotus et al. (2004)
เสถียรภาพทางกลและทางเคมี (mechanical and chemical stability)	วัสดุดักติดมีเสถียรภาพทางกลและทางเคมีสูง	Leenen et al. (1996) Kourkotus et al. (2004)
ขั้นตอนการเตรียมเซลล์ดักติด (preparation procedure)	ขั้นตอนการเตรียมเซลล์ดักติดกระทำได้ง่าย	Leenen et al. (1996) Kourkotus et al. (2004)
ความสามารถในการละลาย (solubility)	วัสดุดักติดมีความสามารถในการละลายต่ำ (วัสดุมีเสถียรภาพสูง)	Leenen et al. (1996)
ความสามารถในการย่อยสลายทางชีวภาพ (biodegradability)	วัสดุดักติดความสามารถในการย่อยสลายทางชีวภาพต่ำ (วัสดุมีเสถียรภาพสูง)	Leenen et al. (1996)
การเจริญเติบโตของเซลล์ (cell growth)	เซลล์สามารถเจริญเติบโตได้ดี	Leenen et al. (1996)
ค่าใช้จ่าย (cost)	ค่าใช้จ่ายต่ำ	Leenen et al. (1996)

2.3.3 การดักติดเซลล์ด้วยแคลเซียมแอลจิเนต

การดักติดเซลล์ด้วยแคลเซียมแอลจิเนตเป็นวิธีที่เลือกใช้ในงานศึกษานี้ แอลจิเนต (alginate) เป็นสารที่สกัดจากสาหร่ายทะเลสีน้ำตาล เช่น *Macrocystis pyrifera* เป็นต้น มีลักษณะโครงสร้างทางเคมีเป็นพอลิเมอร์ร่วมของ β-D-manuronate (M) และ α-L-guluronate (G) ดังรูปที่ 2.10 แอลจีเนตที่โครงสร้างมี G เป็นองค์ประกอบมาก โดยเฉพาะในกรณีที่มีโครงสร้าง GG ยาว ส่งผลให้เจลมีความแข็งแรงมากและมีโอกาสหดน้อยตัว (Smidsrod and Skjak-Braek, 1990; Fraser and Bickerstaff, 1997; Yang and Wright, 1999) เมื่ออยู่ในสารละลายที่มีไอออนของโลหะประจุบวกสองหรือสาม เช่น อะลูมิเนียมไอออน (Al^{3+}) แคลเซียมไอออน (Ca^{2+}) และแบเรียมไอออน (Ba^{2+}) เป็นต้น ทำให้เกิดเป็นเจล โครงสร้าง 3 มิติ ที่เรียกนี้ว่าการเกิดเจลด้วยประจุ (ionotropic gelation) โดยที่โครงสร้างแบบ 3 มิตินี้มีเสถียรภาพและไม่ส่งผลกระทบกระเทือนต่อการเจริญเติบโตของเซลล์



รูปที่ 2.10 โครงสร้างทางเคมีของแอลจิเนต (Siripattanakul and Khan, 2010)

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
ห้องสมุดงานวิจัย

สำหรับวิธีการดักติดเซลล์ด้วยแคลเซียมแอลจีเนต คือ การนำเซลล์จุลินทรีย์มาผสมกับสารละลายโซเดียมแอลจีเนต (sodium alginate) ในอัตราส่วนที่เหมาะสมจากนั้นนำไปหยดในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ ($CaCl_2$) และทำให้เกิดการเชื่อมแบบไขว้ระหว่างสารละลายโซเดียมแอลจีเนตกับสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ดังสมการที่ 2.4 หลังจากเกิดกระบวนการดักติดเสร็จสิ้นแคลเซียมแอลจีเนตมีสภาพเป็นเจลทรงกลม มีสีขาวขุ่น ส่วนเซลล์ของจุลินทรีย์ถูกยึดติดภายในเม็ดแคลเซียมแอลจีเนต

$$2\ \text{Na-Alginate} + Ca^{2+} \rightarrow \text{Ca-Alginate}_2 + 2Na^{+} \qquad \text{สมการที่ 2.4}$$

การใช้สารแคลเซียมแอลจิเนตในการดักติดเซลล์มีข้อดีหลายประการ คือ สามารถทำได้ง่ายภาวะปกติ สะดวก และรวดเร็ว ดังนั้นจึงนิยมใช้ในการดักติดเซลล์ที่มีชีวิต การดักติดเซลล์ด้วยแคลเซียมแอลจิเนตเป็นวิธีที่ปลอดภัย เนื่องจากเซลล์ที่ถูกดักติดด้วยแคลเซียมแอลจิเนตสามารถแบ่งเซลล์และเจริญเติบโตได้ภายในเจล ทำให้เซลล์คงความสามารถและกิจกรรมทางชีวภาพได้ดี (Smidsrod and Skjak-Braek, 1990; Fraser and Bickerstaff, 1997; Yang and Wright, 1999; Siripattanakul and Khan, 2010) การใช้แอลจิเนตเป็นวัสดุดักติดมีข้อเสียเช่นกัน ประการแรก คือ สารประกอบนี้สามารถเสื่อมสลายได้เมื่อสัมผัสโดยตรงกับสารออกซิไดซ์ เช่น ธาตุแฮโลเจน เป็นต้น ประการที่สองคือ แอลจิเนตจะสูญเสียเสถียรภาพเชิงกลเมื่อสัมผัสกับโปแทสเซียมไอออน (K^{+}) แมกนีเซียมไอออน (Mg^{+}) สารฟอสเฟต หรือ สารคีเลติง (chelating agent) ที่มีความเข้มข้นสูง (Smidsrod and Skjak-Braek, 1990)

ปัจจุบันการดักติดเซลล์ด้วยแคลเซียมแอลจีเนตถูกประยุกต์ใช้ในงานหลายชนิด เช่น การบำบัดน้ำเสียที่มีสารอาหารหรือพิษปนเปื้อน (Gentry et al., 2004; Siripattanakul and Khan, 2010) ดังตัวอย่างในตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 ตัวอย่างการประยุกต์ใช้เซลล์ตักติดด้วยแคลเซียมแอลจิเนตในงานสิ่งแวดล้อม

จุลินทรีย์	**สารปนเปื้อน**	**หน่วยสิ่งแวดล้อม**	**อ้างอิง**
Enriched mixed cultures	Phenol and cresol	Wastewater	Guiot et al. (2000)
Enriched mixed cultures	Phenol and cresol	Wastewater	Hajji et al. (2000)
Rhodobacter shaeroide S *Rhodobacter shaeroide* NR-3	Cooking oil	Synthetic wastewater	Takeno et al. (2005)
Rhodococcus erythropolis NI86/21	Atrazine	Water and soil	Vancov et al. (2005)
Mixed culture	Ammonia	Synthetic wastewater	Hill and Khan (2008)
Mixed culture	Organic matter	Municipal wastewater	Pramanik and Khan (2008)
Mixed culture	Nitrate	Synthetic agricultural infiltrate	Siripattanakul et al. (2010)
Sphingomonas chlorophenolica PCP-1	Pentachlorophenol	Groundwater	Yang and Lee (2008)
Recombinant *Escherichia coli*	Coumaphos, chlorferon, and diethylthiophosphate	Waste cattle dip solution	Ha et al. (2009)