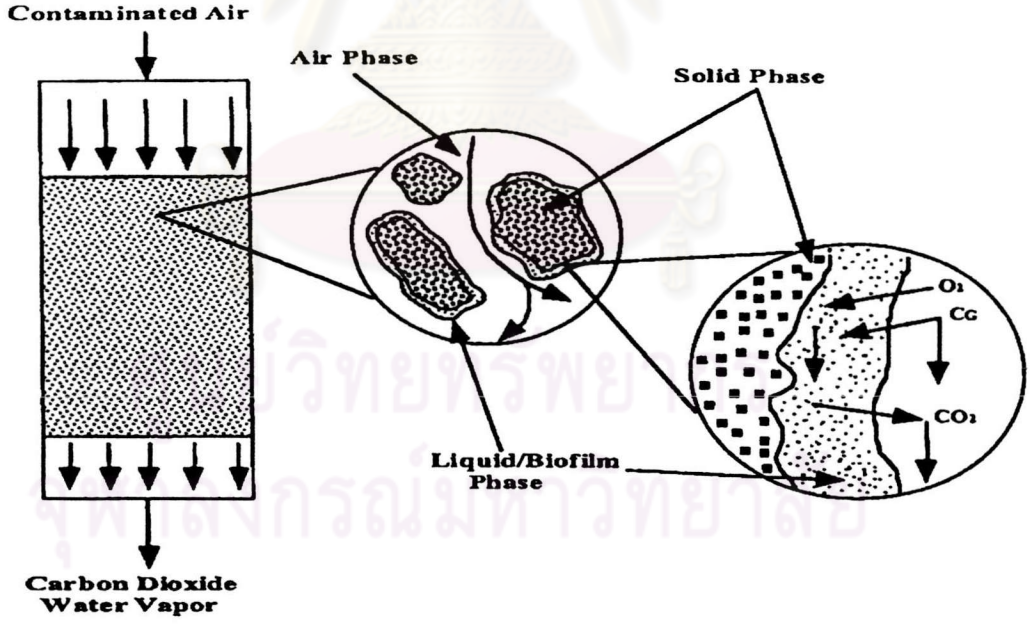
บทที่ 2

ทบทวนเอกสารและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย

2.1 หลักการทำงานของเครื่องกรองชีวภาพ (Biofilter)

เครื่องกรองชีวภาพ มีหลักการคือ นำอากาศเสียที่มีความชื้นผ่านชั้นตัวกลางที่ประกอบด้วย ความชื้น ความพรุน และจุลินทรีย์ โดยจุลินทรีย์จะนำอากาศเสียไปเป็นแหล่งอาหาร พลังงาน เปลี่ยนอากาศเสียเป็น น้ำ คาร์บอนไดออกไซด์ หรือสารประกอบ คลอไรด์ และ ซัลเฟต สำหรับอากาศเสียที่มีธาตุคลอไรด์ และ ซัลเฟอร์ เป็นองค์ประกอบ ตามลำดับโดยชั้นตัวกลางต้องเหมาะสมสำหรับจุลินทรีย์ที่จะเจริญเติบโต มีพื้นที่ผิวเพียงพอต่อการเกาะติดของจุลินทรีย์ และสามารถเติมสารอาหารให้แก่ระบบได้ โดยขณะที่อากาศเสียผ่านชั้นตัวกลางของเครื่องกรองชีวภาพ สาร มลพิษที่อยู่ในสถานะก๊าซจะถูกดูดซึมเข้าไปในชั้นฟิล์มจุลินทรีย์ (Biofilm) รวมทั้งบริเวณผิวสัมผัสของชั้นตัวกลางด้วย แล้วถูกย่อยสลายทาง ชีวภาพโดยจุลินทรีย์ที่อยู่ในระบบต่อไป



รูปที่ 2.1 กลไกการทำงานภายในเครื่องกรองชีวภาพ

ที่มา : Devinny และคณะ (1999)

รูปที่ 2.2 การดูดซึมและดูดติดภายในเครื่องกรองชีวภาพ

ที่มา : Devinny และคณะ (1999)

2.2 กลไกของเครื่องกรองชีวภาพ (Mechanisms of Biofiltration)

2.2.1 การเคลื่อนที่ของก๊าซ (Gas Transfer) ณ สภาวะสมดุลย์การแบ่งแยกระหว่างอากาศกับน้ำ อธิบายโดยสมการของ Henry 's Law

$$C_G = H.C_L$$

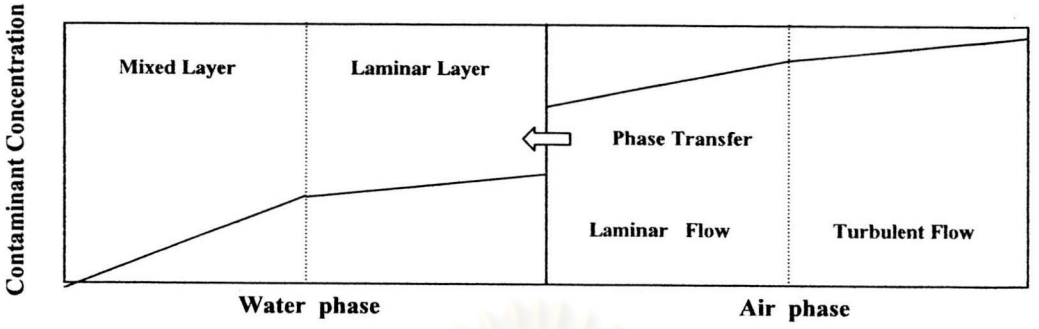
โดยที่ C_G = ความเข้มข้นของมลพิษในอากาศ (atm หรือ$g / L_{อากาศ}$)

C_L = ความเข้มข้น ณ สภาวะสมดุลย์ของมลพิษที่อยู่ในน้ำ (mol /$L_{น้ำ}$ หรือ $g / L_{น้ำ}$)

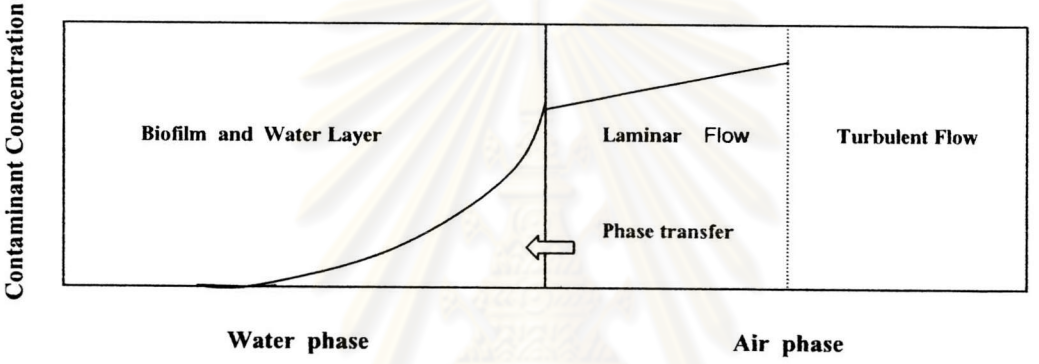
H = ค่าคงที่ของ Henry's Law (atm. $L_{น้ำ}$/ mol หรือ $(g / L_{อากาศ}) / (g / L_{น้ำ})$

ณ สมดุล การซึมผ่านของก๊าซไปสู่น้ำในเครื่องกรองชีวภาพนั้น สามารถอธิบายอัตราการเคลื่อนที่ได้ 4 ลำดับ ตามรูปที่ 2.3 เป็นการเปรียบเทียบระหว่างการเคลื่อนที่ของก๊าซ ทางระบบวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม กับการเคลื่อนที่ของก๊าซทางระบบเครื่องกรองชีวภาพ ดังรูปที่ 2.3

การเคลื่อนที่ของก๊าซตามระบบวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม



การเคลื่อนที่ของก๊าซตามระบบเครื่องกรองชีวภาพ



รูปที่ 2.3 อัตราการเคลื่อนที่ (Transfer Rates)

ที่มา : Devinny และคณะ (1999)

มลพิษจะเริ่มเคลื่อนที่จากความเข้มข้นสูงในสถานะก๊าซ ไปสู่ความเข้มข้นต่ำในสถานะน้ำ โดยการเคลื่อนที่ในสถานะของก๊าซจะเป็นแบบปั่นป่วน (Turbulent) และเมื่อเคลื่อนที่ไปสู่บริเวณผิวน้ำกับอากาศแล้วก๊าซจะเคลื่อนที่แบบราบเรียบ (Laminar) เป็นกลไกการแพร่ของโมเลกุล (Molecular Diffusion)

2.2.2 น้ำ (The Water Phase) น้ำที่อยู่ในระบบเครื่องกรองชีวภาพจะอยู่กับที่ ไม่เคลื่อนที่เหมือนกับระบบเครื่องกรองไหลริน หากเคลื่อนที่ก็จะเป็นการเคลื่อนที่แบบราบเรียบ มากกว่าการเคลื่อนที่แบบปั่นป่วน เมื่ออากาศควบแน่นเป็นหยดน้ำจะเกิดการเคลื่อนที่ลงสู่ชั้นล่างของชั้นตัวกลาง หรืออาจเกิดจากการเติมน้ำมากเกินไปเพื่อรักษาความชื้นของชั้นตัวกลาง ซึ่งในทางปฏิบัติควรเติมน้ำด้วยอัตราที่ต่ำและเติมช้าๆ เพื่อป้องกันการชะของน้ำที่จะไปทำให้ชั้นฟิล์มจุลินทรีย์หลุดออก

2.2.3 การดูดซับสารมลพิษ (Adsorbed Contaminant) เป็นปัจจัยพื้นฐานในการกำจัดมลพิษ เกิดจากการเคลื่อนที่ของสารมลพิษละลายลงสู่น้ำและเคลื่อนที่เข้าสู่ชั้นตัวกลางของเครื่องกรองชีวภาพ ทั้งนี้การดูดซับภายในเครื่องกรองชีวภาพ มีแบบจำลองที่ศึกษาอยู่ 2 ชนิด คือ

การดูดซับบนตัวกลาง อธิบายตาม Freundlich Model

$$C_{ads}=k_f.C_L^{1/n}$$

โดยที่ C_{ads} = ความเข้มข้นของมลพิษที่ถูกดูดซับ

C_L = ความเข้มข้นของมลพิษในน้ำ

n = ค่าคงที่

k_f = ค่าคงที่ของ Freundlich Adsorption

แบบจำลอง Freundlich Model มีสมมติฐานว่า การดูดติดผิวตัวกลางไม่จำกัดปริมาณและปริมาณในการดูดติดก็ขึ้นกับความเข้มข้นของมลพิษที่ละลายลงน้ำ และ ค่า n จะมีค่าเท่ากับ 1 หรือใกล้เคียง ซึ่งจะทำให้ความสัมพันธ์เป็นสมการเส้นตรง

การดูดซับบนตัวกลาง อธิบายตาม Langmuir Model

$$C_{ads}=\frac{C_{\max}C_L}{k_L+C_L}$$

โดยที่ k_L = ค่าคงที่ของการดูดซับของ Langmuir

C_{max} = ค่าความเข้มข้นสูงสุด

แบบจำลอง Langmuir Model มีสมมติฐานว่า สมดุลระหว่างค่าความเข้มข้นของมลพิษที่ละลายกับค่าความเข้มข้นที่ถูกดูดซับนั้น ถ้าความเข้มข้นในน้ำ (C_L) มีค่าน้อย การดูดซับ(C_{ads}) จะไม่เกิดขึ้น และ เมื่อความเข้มข้นในน้ำมีค่ามากก็จะมีค่าการดูดซับมาก

ซึ่งในการทำงานเกี่ยวกับเครื่องกรองชีวภาพนั้น ควรพิจารณาค่าความสามารถในการดูดซับ (Adsorption Capacity) ของตัวกลางที่ใช้เพื่อการออกแบบและเลือกใช้ชนิดของวัสดุตัวกลางที่เหมาะสม

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.2.4 การย่อยสลายทางชีวภาพของสารมลพิษ (Contaminant Biodegradation)

1) ชั้นฟิล์มจุลินทรีย์ (The Biofilm)

ชั้นฟิล์มจุลินทรีย์เป็นกลไกสำคัญในการทำลายมลพิษของเครื่องกรองชีวภาพ ซึ่งก็คือมวลของเซลที่เจริญเติบโตบนผิวหน้าของตัวกลางที่มีความแข็ง และสามารถเปลี่ยนรูปสารมลพิษมาเป็นสารที่อยู่ในรูปความเป็นพิษน้อยกว่า ถ้ามีอัตราการเปลี่ยนรูปที่มากขึ้นก็จะทำให้ขนาดของเครื่องกรองชีวภาพเล็กลงได้และมีราคาถูกลง โดยทั่วไปแล้วชั้นฟิล์มจุลินทรีย์จะทำงานได้ดีเมื่อมีความหนาประมาณ 5 มม. และมีความหนามากที่สุดประมาณ 2 ซม.

2) จลนศาสตร์ (Kinetics)

การย่อยสลายทางชีวภาพของสารมลพิษในเครื่องกรองชีวภาพ อธิบายได้โดยสมการของ Michaelis-Menten Equation

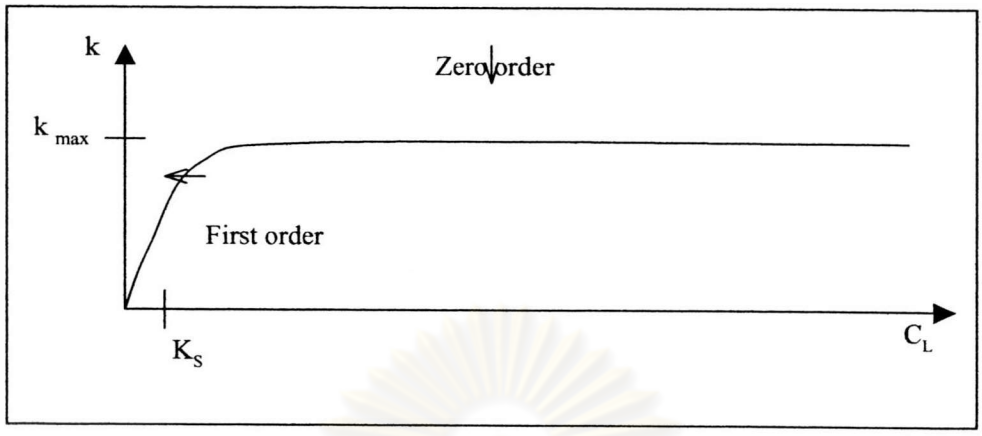
$$\frac{dC_L}{d_t} = \frac{k_{\max}.C_L}{K_S + C_L}$$

โดยที่ C_L = ความเข้มข้นของมลพิษในน้ำ (mol /L)

k_{max} = อัตราการย่อยสลายสูงสุด (mol / L.s)

K_S = Half-saturation Constant (mol / L)

เมื่อค่าความเข้มข้นของมลพิษในน้ำสูงกว่าค่า K_S อัตราการย่อยสลายทางชีวภาพจะมีค่าเท่ากับค่า k_{max} และไม่เปลี่ยนแปลงตามค่าของความเข้มข้นของมลพิษ การย่อยสลายเป็นปฏิกิริยาอันดับศูนย์ (Zero– order) และเมื่อค่าความเข้มข้นของมลพิษในน้ำต่ำกว่าค่า K_S อัตราการย่อยสลายทางชีวภาพจะมีค่าเปลี่ยนแปลงไปตามค่าของความเข้มข้นของมลพิษ การย่อยสลายเป็นปฏิกิริยาอันดับหนึ่ง (First–order) ซึ่งโดยส่วนใหญ่แล้วจลน์ศาสตร์จะเป็นแบบปฏิกิริยาอันดับศูนย์ บริเวณทางเข้าของเครื่องกรองชีวภาพซึ่งมีค่าความเข้มข้นของมลพิษสูงและจลน์ศาสตร์จะเป็นปฏิกิริยาอันดับหนึ่ง เมื่อมีค่าความเข้มข้นของมลพิษต่ำลง อธิบายได้ตามรูปที่ 2.4 เป็น ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของมลพิษ กับอัตราการย่อยสลายทางชีวภาพ



รูปที่ 2.4 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของมลพิษ กับ อัตราการย่อยสลายทางชีวภาพ

ที่มา : Devinny และคณะ (1999)

ความสัมพันธ์ของ Michaelis-Menten สำหรับเซลจุลินทรีย์ทั้งหมด โดยสมมติว่าจำนวนของจุลินทรีย์ไม่มีการเปลี่ยนแปลง นั้นคือ ค่าของ k_{max} และ K_S ไม่เปลี่ยนแปลง แต่อย่างไรก็ตามมวลจุลชีพก็จะมีการปรับตัวเมื่อสารมลพิษเข้ามาสู่เครื่องกรองชีวภาพ

การย่อยสลายของสารมลพิษเกิดจากเซลจุลินทรีย์ (Microbial Activity) นำไปใช้เป็นแหล่งอาหาร ดังนั้นจลน์ศาสตร์ของการย่อยสลายมลพิษกับจลน์ศาสตร์ของการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ ย่อมเหมือนกัน และการเติบโตก็เป็นสัดส่วนกับขนาดของจุลชีพ ดังสมการ

$$\frac{dx}{dt} = \mu.x$$

โดยที่ x = ความหนาแน่น หรือความเข้มข้นของมวลจุลินทรีย์ (mg / L)

μ = ค่าสัมประสิทธิ์ ความเหมาะสมของอัตราการเติบโตจำเพาะ (s^{-1})

ซึ่งค่าการเติบโตคงที่จะขึ้นอยู่กับค่าความเข้มข้นของสารมลพิษที่ถูกนำมาใช้โดยจุลชีพ ดังสมการ

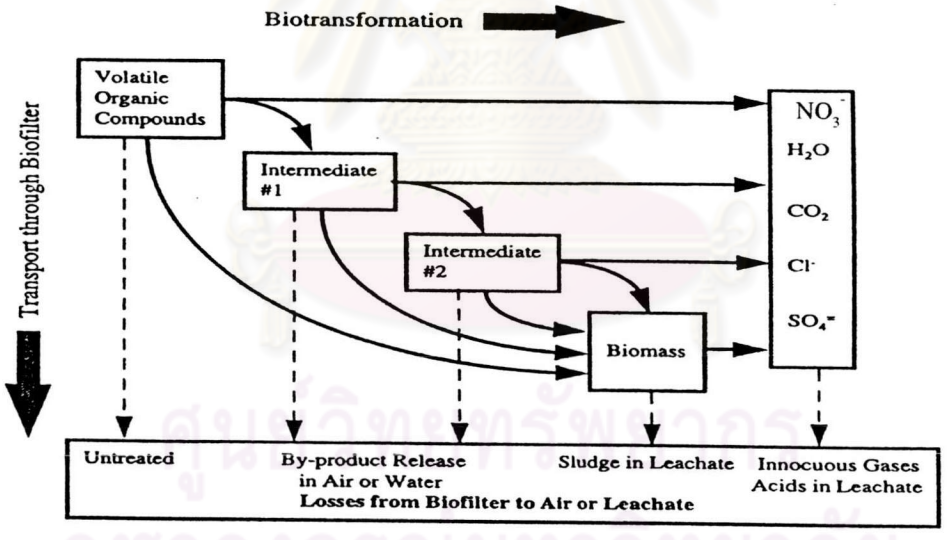
$$\mu = \frac{\mu_{max}.C_L}{K_m + C_L}$$

ความสัมพันธ์ของโมโนด (Monod) อธิบายการเติบโตของจุลชีพว่าขึ้นอยู่กับค่าความเข้มข้นของสารมลพิษ แต่สำหรับกรณีที่สารมลพิษมีค่าความเข้มข้นที่สูงมากก็จะถือว่าเป็นตัวยับยั้งการเจริญเติบโต สามารถอธิบายได้โดยสมการของ Haldane ดังนี้

$$\mu = \frac{\mu_{max}.C_L}{K_S + C_L + \frac{C_L^2}{K_i}}$$

โดยที่ K_i = Inhibition Constant

2.2.5 สารที่เกิดขึ้น (Product Generation) สารมลพิษที่เข้าสู่เครื่องกรองชีวภาพไม่ว่าจะเป็นสารประกอบอินทรีย์ที่ระเหยง่าย หรือ สารประกอบอนินทรีย์ เช่น ซัลไฟด์ หรือ แอมโมเนีย นั้นสารเหล่านี้สามารถเปลี่ยนรูปเป็น คาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ ซัลเฟต และ ไนเตรท โดยเซลจุลินทรีย์ ตามรูป



รูปที่ 2.5 การเปลี่ยนแปลงทางชีวภาพและกระบวนการเคลื่อนที่ของสารในเครื่องกรองชีวภาพ

ที่มา : Devinny และคณะ (1999)

สารประกอบสามารถเปลี่ยนรูปเป็นสารผลิตภัณฑ์ที่สอง (Second Product) และผ่านไปสู่เซลอื่นๆ เมื่อเครื่องกรองชีวภาพเข้าสู่สภาวะที่คงตัวแล้วจะมีการสะสมของผลิตภัณฑ์เกิดขึ้น หากต้องการหาสมดุลมวลของสารสามารถคิดได้จากจำนวนธาตุคาร์บอนที่เข้าสู่ระบบซึ่งจะเท่ากับผลบวกของ

จำนวนคาร์บอนที่สะสมบวกกับจำนวนคาร์บอนที่มีการปล่อยออกมา ก็จะทำให้ทราบถึงจำนวนคาร์บอนที่มีการนำไปสร้างเป็นเซลจุลชีพ ค่าความแตกต่างระหว่างจำนวนของคาร์บอนที่เข้าสู่ระบบและจำนวนคาร์บอนที่ออกจากระบบ คืออัตราการสะสมของมวลจุลชีพ

2.2.6 ปริมาณความร้อนที่เกิดขึ้น (Heat Generation) ในการสลายตัวของสารประกอบอินทรีย์ที่ระเหยง่าย ส่วนมากจะเกิดความร้อนขึ้นตามกฎพลังงาน จุลชีพสามารถเปลี่ยนพลังงานเคมีเป็นพลังงานความร้อนได้ ซึ่งในแต่ละสารประกอบอินทรีย์ที่ระเหยง่าย นั้นก็จะมีความแตกต่างกัน เช่น ในการย่อยสลาย 1 กรัมต่อลูกบาศก์เมตร ของเอธานอล จะเพิ่มอุณหภูมิจาก 20 องศาเซลเซียส ถึง 38 องศาเซลเซียส เป็นต้น

ปริมาณความร้อนของอากาศสามารถใช้คำนวณปริมาณพลังงานที่ใช้ทำให้อากาศมีความร้อน ซึ่งค่าความร้อนของการระเหยรวมกับค่าความร้อนที่ทำให้อากาศร้อนจะเท่ากับปริมาณความร้อนที่เกิดจากการย่อยสลายทางชีวภาพ ซึ่งในที่สุดแล้วค่าความร้อนที่เกิดขึ้นสามารถเปรียบเทียบกับค่าความร้อนสำหรับการย่อยสลายของสารประกอบอินทรีย์ที่ระเหยง่าย ในการที่จะหาจำนวนของสารประกอบอินทรีย์ที่ระเหยง่าย ที่ถูกกำจัด ดังนั้นการคำนวณค่าสมดุลความร้อน (Heat Balance) สามารถประมาณอัตราของมวลจุลชีพที่สะสมในเครื่องกรองชีวภาพ มีความสะดวกและถูกต้องมากกว่าการวัดมวลจุลชีพ

2.3 ชนิดของตัวกลางที่ใช้

คุณสมบัติของตัวกลางนับเป็นปัจจัยที่สำคัญที่มีอิทธิพลต่อการทำงานและประสิทธิภาพของเครื่องกรองชีวภาพ โดยคุณสมบัติที่สำคัญของตัวกลางประกอบด้วย ความพรุน ความสามารถในการอัดตัว (Degree of Compaction) ความสามารถในการกักเก็บน้ำ (Water Retention Capacity) และ ความสามารถในการเป็นที่ยึดเกาะของจุลินทรีย์ สามารถแบ่งชนิดของตัวกลางได้ดังต่อไปนี้

1) ตัวกลางดิน (Soil Bed)

ดินนับเป็นตัวกลางแบบแรกที่ถูกนำมาใช้ในเครื่องกรองชีวภาพ ดินที่มีความเหมาะสมที่สุดที่จะใช้ในระบบกำจัดกลิ่นหรือ สารประกอบอินทรีย์ที่ระเหยง่ายเป็นดินที่อุดมสมบูรณ์ (Loam) ส่วนดินเหนียวไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้ในเครื่องกรองชีวภาพ

2) ตัวกลางวัสดุมวลรวม (Compost Material)

ตัวกลางวัสดุมวลรวม เช่น ปุ๋ยหมักเป็นตัวกลางที่นิยมใช้ในเครื่องกรองชีวภาพเนื่องจากเป็นวัสดุราคาถูกและยังมีจุลินทรีย์เจริญเติบโตอยู่ในตัวแล้วและยังมีสารอาหาร (Nutrients) ที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์อยู่ในปริมาณมาก วัสดุมวลรวม ยังมีความสามารถในการดูดซับน้ำได้ดี และมีความพรุนทำให้อากาศถ่ายเทได้ดี แต่ข้อเสียสลายตัวได้ตามธรรมชาติ ทำให้ต้องมีการเปลี่ยนตัวกลางใหม่อยู่เสมอ

3) ตัวกลางสารอนินทรีย์และตัวกลางสังเคราะห์

สารอนินทรีย์ที่นิยมใช้เป็นตัวกลางในเครื่องกรองชีวภาพได้แก่ แอ็คติเว้ตเต็ดคาร์บอน ระบบที่ใช้ แอ็คติเว้ตเต็ดคาร์บอน จะมีข้อดีเหนือระบบที่ใช้ วัสดุมวลรวม ในด้านอายุการใช้งานของตัวกลาง และมีประสิทธิภาพในการดูดซับมากกว่าทำให้สามารถลดขนาดของระบบลงได้ แต่ข้อเสียคือราคาค่อนข้างแพง

2.4 พารามิเตอร์ที่มีผลต่อการทำงานของเครื่องกรองชีวภาพ

1) ความชื้น (Moisture Content)

น้ำเป็นปัจจัยสำคัญต่อประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องกรองชีวภาพ จะทำงานได้ดีก็ต่อเมื่อระบบมีความชื้นในระดับที่เหมาะสม การมีความชื้นมากหรือน้อยเกินไปจะทำให้ประสิทธิภาพของระบบลดลง โดยการมีความชื้นในปริมาณที่สูงเกินไปจะทำให้เกิดสภาวะการไหลเป็นช่อง (Channeling) ขึ้นภายในตัวกลาง นอกจากนี้ยังก่อให้เกิดสภาวะไร้อากาศขึ้นในระบบได้ ในขณะที่การมีความชื้นต่ำเกินไปจะทำให้การทำงานของจุลินทรีย์ลดลงและจะทำให้ตัวกลางเกิดการอัดตัวขึ้นได้ โดยธรรมชาติของตัวกลางแล้วตัวกลางจะมีความชื้นลดลงเรื่อยๆ ถ้าไม่มีการเพิ่มเติมความชื้นให้ตัวกลาง การควบคุมความชื้นในตัวกลางสามารถทำได้โดยการเพิ่มความชื้นในอากาศที่เข้าสู่ตัวกลางหรือการเติมน้ำลงไปในตัวกลางโดยตรง

2) พีเอช (pH)

ลักษณะของเครื่องกรองชีวภาพ ที่ต่างชนิดกันก็จะมีค่า พีเอช ที่แตกต่างกันไป ปริมาณของจุลินทรีย์จะขึ้นกับ พีเอช ของตัวกลางที่เลือกใช้ ดังนั้น พีเอช ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญประการหนึ่งที่มีผลต่อประสิทธิภาพการทำงาน เครื่องกรองชีวภาพ สามารถทำงานได้ในช่วงพีเอช ที่กว้าง สำหรับค่า พีเอช ที่เหมาะสมคือ 6-8

3) ความดันสูญเสียของตัวกลาง (Media Headloss)

ค่าใช้จ่ายหลักในการเดินเครื่องกรองชีวภาพ ก็คือค่าไฟฟ้าที่ใช้ในการเป่าอากาศเสียผ่านเข้าระบบ ค่าไฟฟ้าจะแปรผันตามค่าความต้านทานหรือความดันสูญเสียของตัวกลาง ค่าความต้านทานเป็นผลจาก ขนาดของตัวกลาง ความพรุนของตัวกลาง และการอุดตันของตัวกลางเนื่องจากการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ ตัวกลางที่มีขนาดใหญ่จะมีค่าความต้านทานต่ำ

4) ปริมาณธาตุสารอาหารในตัวกลาง (Nutrients Content)

ปริมาณสารอาหารในตัวกลางเป็นปัจจัยสำคัญต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในเครื่องกรองชีวภาพ ตัวกลางจะต้องมีสารอาหารที่จำเป็นต่อจุลินทรีย์ในปริมาณที่เพียงพอ ตัวกลางประเภทวัสดุมวลรวมจะมีปริมาณสารอาหารของจุลินทรีย์ค่อนข้างมากโดยไม่จำเป็นต้องมีการเติมสารอาหารเพิ่มเติมต่างกับกรณีของสารประเภทอนินทรีย์ ซึ่งต้องการเติมธาตุสารอาหารหลัก ในรูปของไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และ โพแทสเซียม ส่วนธาตุสารอาหารรอง ประกอบด้วย แมกเนเซียม แคลเซียม แมงกานีส ซัลเฟอร์ และ เหล็ก ซึ่งการขาดสารอาหารพวกนี้จะทำให้การย่อยสลายทางชีวภาพ หยุดการทำงานได้ รูปแบบการเติมนั้นทำได้โดยการละลายน้ำหรืออยู่ในรูปของแข็งแล้วค่อยๆละลายตัวทีละน้อยออกมาสู่ระบบก็ได้

2.5 จุลชีววิทยาในเครื่องกรองชีวภาพ

หลักการที่สำคัญของระบบเครื่องกรองชีวภาพ คือการทำงานของจุลินทรีย์ในระบบมีหน้าที่เปลี่ยนรูปของสารมลพิษที่อันตรายมากเป็นสารที่มีความเป็นพิษน้อยลง โดยต้องรักษาสภาพแวดล้อมของระบบให้อยู่ในสภาวะที่เหมาะสมมากที่สุด ซึ่งจะทำให้ระบบมีประสิทธิภาพดีตามที่ได้ออกแบบไว้ จุลชีพที่สำคัญในระบบก็คือ แบคทีเรีย และ เชื้อรา โดยแบคทีเรียจะสามารถกินอาหารและเจริญเติบโตได้เร็วกว่าเชื้อราในสภาพที่พีเอช ใกล้ๆกับความเป็นกลาง (6 ถึง 8) และมีค่าความชื้นของชั้นตัวกลางมาก แต่ถ้าพีเอชลดลงและชั้นตัวกลางเริ่มแห้ง เชื้อราก็จะมีการเจริญเติบโตได้ดีกว่า โดยทั่วไประบบจะใช้การกินอาหารของแบคทีเรียเพราะว่าแบคทีเรียมีการกินอาหารและมีค่าพื้นที่ผิวต่อปริมาตร (Surface to Volume Ratio) ที่มากกว่าเชื้อราที่มีลักษณะเป็นเส้นใย ซึ่งมีส่วนทำให้ระบบมีค่าความดันลดสูงขึ้น เพราะว่าเส้นใยจะไปกันอากาศและเป็นตัวทำให้อนุภาคของระบบเชื่อมติดกัน

จุลินทรีย์ที่มีส่วนในการกำจัดสารประกอบอินทรีย์ที่ระเหยง่าย เป็นจุลินทรีย์ประเภท จุลินทรีย์ที่สร้างสารอาหารเองไม่ได้ (Heterotrophic bacteria) ซึ่งใช้สารอินทรีย์เป็นแหล่งพลังงาน ตัวอย่าง เช่น ฟูลโดโมนัส แอทิโนมายซีสท์ (Pseudomonas Actinomycete) และ โนคารเดีย (Nocardia) จุลินทรีย์เหล่านี้มักจะมีอยู่แล้วในตัวกลางที่เป็นวัสดุธรรมชาติแต่ก็ควรมีการเติมเชื้อด้วยเช่นการเติมตะกอนจุลินทรีย์จากระบบบำบัดน้ำเสีย เป็นต้น

ชั้นฟิล์มจุลินทรีย์ที่เกิดขึ้นนั้นเกิดจากการขับถ่ายโพลีเซคคาไรด์เจลของจุลินทรีย์ออกมา แล้วเกาะติดตามผิวของของแข็ง โดยน้ำที่อยู่ในชั้นฟิล์มจะอยู่กับที่ เมื่อมลพิษเข้ามาในระบบก็จะเกิดการเคลื่อนที่แบบการแพร่โดยโมเลกุล ซึ่งก่อนจะให้ระบบทำงานตามที่ได้ออกแบบไว้

ลักษณะของเครื่องกรองชีวภาพเป็นแบบปลั๊กโฟร์ความเข้มข้นของมลพิษจะลดลงเมื่ออากาศผ่านระบบ ดังนั้นความเข้มข้นจึงมากบริเวณทางเข้าและจะค่อยลดลงไปเรื่อยตรงบริเวณทางออก ซึ่ง

ลักษณะของจุลชีพก็จะเป็นไปตามนี้เช่นกัน การเติบโตมากๆก็อาจเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดการอุดตันบริเวณทางอากาศเข้าได้

2.6 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

กรมควบคุมมลพิษ (2544) ได้ว่าจ้างบริษัท โปรเกรสเทคโนโลยีคอนซัลเท็นส์ จำกัด เพื่อปฏิบัติงานตามโครงการสำรวจวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อมที่เหมาะสมกับสภาพแวดล้อมและเศรษฐกิจของประเทศไทย ชื่อโครงการวิจัยเทคโนโลยีการจัดการและควบคุมมลพิษในอากาศ (ระบบเครื่องกรองชีวภาพ) เพื่อกำจัดกลิ่นจากโรงบำบัดน้ำเสียและโรงงานปลาป่น ผลการศึกษาพบว่า

โรงบำบัดน้ำเสีย : กลิ่นที่เป็นปัญหาสำคัญคือไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) และเมทธิลเมอร์แคปแทน (CH_3SH) วัสดุตัวกลางที่เหมาะสมประกอบด้วย ปุ๋ยคอก : กาบมะพร้าว : ตะกอนจากโรงบำบัดน้ำเสีย ที่อัตราส่วน 20 : 75 : 5 %โดยปริมาตร และมีการเติมปูนขาวเพื่อรักษาสภาพความเป็นกลางของ พีเอช ของระบบ ที่ 10 %โดยน้ำหนักรวมของส่วนประกอบตัวกลาง ระบบมีประสิทธิภาพการกำจัดที่ 99 % และเวลาในการกักเก็บที่เหมาะสมประมาณ 30-40 วินาที อัตราภาระบรรทุกที่เหมาะสมในการกำจัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ และ เมทธิลเมอร์แคปแทน มีค่าเท่ากับ 30 กรัมไฮโดรเจนซัลไฟด์ต่อลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง และ 64 กรัม เมทธิลเมอร์แคปแทน ต่อลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ตามลำดับ

โรงงานปลาป่น : กลิ่นที่เป็นปัญหาสำคัญคือ แอมโมเนีย (NH_3) วัสดุตัวกลางที่เหมาะสมประกอบด้วย ปุ๋ยคอก : กาบมะพร้าว :ตะกอนจากโรงบำบัดน้ำเสีย คือ 20:75:5 %โดยปริมาตร มี ประสิทธิภาพการกำจัดที่ 80% และเวลาในการกักเก็บที่เหมาะสม ประมาณ 50-60 วินาที อัตราภาระบรรทุกที่เหมาะสมในการกำจัดแอมโมเนีย มีค่าเท่ากับ10 กรัมแอมโมเนียต่อลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ตามลำดับ

เจตนา จิรวัชรเดช (2544) ศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_X) โดยระบบอี เอ พี เอส (EAPS)โดยใช้ตัวกลางดิน 3 ชนิด คือปุ๋ยคอก ปุ๋ยหมัก และ ดินสีดา ผลการศึกษาพบว่า ประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO_2) ของระบบ EAPS มีค่าเฉลี่ยสูงถึง 100 % ที่ค่าความเข้มข้น ไนโตรเจนไดออกไซด์ 1ถึง 1.5 ส่วนในล้านส่วน สำหรับประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซไนตริกออกไซด์ (NO) มีค่าเฉลี่ยประมาณ 20-40 % ค่าความดันลดของระบบจะเพิ่มขึ้นตามเวลาเนื่องจากการบดอัดของดินตัวกลาง พีเอช ของดินลดลงหลังผ่านการทดสอบ และเพิ่มขึ้นหลังจากหยุดการทดสอบ และขอบเขตของเวลายังไม่สามารถทำให้เกิดกระบวนการทางชีวภาพในระบบ

Carlson และ Leiser (1966) พบว่าปฏิกิริยาในการกำจัด ไฮโดรเจนซัลไฟด์ และแอมโมเนีย ที่เกิดขึ้นในเครื่องกรองชีวภาพนั้นจะทำให้ความเป็นกรดในตัวกลางเพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นผลจากการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่น

Jol และ Dragt (1988) ได้ทำการวิจัยผลของ พีเอช ที่มีต่อประสิทธิภาพการกำจัดสารประกอบอินทรีย์ที่ระเหยง่าย พบว่าในช่วง พีเอช ระหว่าง 6-8 จะเป็นช่วงที่ พีเอช ที่เหมาะสมที่สุดของเครื่องกรองชีวภาพ แต่ที่พีเอชต่ำมีแบคทีเรียบางกลุ่มเช่น ธิลโอบาซิรัส (Thiobacillus) ธิลโอออกซิแดน (Thiooxidans)ที่สามารถทำการกำจัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ได้โดยแบคทีเรียที่ชื่อธิลโอบาซิรัส (Thiobacillus) และ ไฮโปรไมโครเบียม (Hyphomicrobium) I55 ซึ่งสามารถกำจัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ และ ไดเมทธิลซัลไฟด์ ได้ สามารถทำงานได้ที่ พีเอชต่ำมาก เท่ากับ 1-1.5

Prokop และ Bohn (1989) พบว่าระดับความชื้นที่เหมาะสมจะขึ้นกับชนิดของตัวกลางและพบว่าเปอร์เซนต์ ความชื้นเทียบกับน้ำหนักต่างๆจะมีค่าตามตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ค่าความชื้นของตัวกลางที่เหมาะสม

ตัวกลาง	% ความชื้นโดยน้ำหนัก
มวลรวม(ปุ๋ยหมัก)	20 – 40
ถ่านหินเลน	40- 60
ดิน	10 –25

Van Lith และคณะ (1990) พบว่ายิ่งตัวกลางมีความพรุนมากจะทำให้ค่าความดันสูญเสียต่ำและมีพื้นที่ให้เกิดการย่อยสลายทางชีวภาพได้มากกว่า และพบว่าระบบตัวกลางดิน มีการกระจายอากาศที่ไม่ดี มีค่าความพรุนน้อย จึงทำให้มีการใช้งานไม่มากนัก การอุดตันของตัวกลางขึ้นอยู่กับปัจจัย 2 ประการ คือ ชนิดของจุลินทรีย์ในตัวกลาง และภาระบรรทุกของระบบ จุลินทรีย์จะเติบโตได้มากที่สุดบริเวณที่มีอากาศเข้าเนื่องจากมีความเข้มข้นของสารอาหารมากที่สุด ซึ่งอาจทำให้เกิดการอุดตันของตัวกลางและทำให้ความดันสูญเสียของระบบเพิ่มขึ้นได้

Schroeder และคณะ (1992) ได้ทำการวิจัยเกี่ยวกับประสิทธิภาพการกำจัดสารประกอบอินทรีย์ที่ระเหยง่าย และกลิ่นจากโรงบำบัดน้ำเสีย พบว่าอากาศที่ดูดจากระบบบำบัดน้ำเสียมีความชื้นเพียงพอที่จะส่งเข้าบำบัดในเครื่องกรองชีวภาพได้โดยตรง โดยไม่จำเป็นต้องติดตั้งระบบเพิ่มความชื้น และความชื้นของตัวกลางชนิดมวลรวม จะมีค่าที่เหมาะสมอยู่ระหว่าง 55-65 % จากการทดลองดังกล่าวข้างต้นค่าความชื้นที่เหมาะสมสำหรับเครื่องกรองชีวภาพ ที่ใช้วัสดุธรรมชาติเช่น กาบมะพร้าว ขี้เลื่อยจะมีค่าประมาณ 60 %

Lang และ Ronald (1992) ได้ทดลองเติมหินปูน (Lime Stone) ลงในตัวกลางเพื่อปรับพีเอช โดยปริมาณที่เหมาะสมจากการทดลองจะอยู่ประมาณ 1 % ของน้ำหนักรวมของตัวกลาง

Liu และคณะ (1994) พบว่าการเติมตะกอนจุลินทรีย์จากระบบบำบัดน้ำเสีย ลงในตัวกลางจะทำให้เดินระบบได้ดีขึ้น

Dharmararam (1991) พบว่าสารประกอบที่มีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบ ที่มีมวลโมเลกุลน้อย และสามารถละลายน้ำได้ดีจะสามารถย่อยสลายด้วยวิธีทางชีวภาพได้ดี สาร Halogenated Hydrocarbon จะถูกย่อยสลายได้ยากกว่า

Leson และ Winer (1991) วิจัยเกี่ยวกับประสิทธิภาพการกำจัดสารต่างๆ ของเครื่องกรองชีวภาพ มีผลสรุปตามตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ความสามารถในการย่อยสลายด้วยวิธีทางชีวภาพของมลพิษในอากาศชนิดต่างๆ

Organic Compounds				
Aliphatic Hydrocarbons			**Nitrogen Containing Compounds**	
Methane		(+)	Amides	+
Pentane		(+)	Amines	++
Hexane		+	Trimethylamine	++
Acetylene		?	Nitrogen Containing	
Cyclohexane		(+)	Heterocyclic compounds	+
Aromatic Hydrocarbon			Pyridine	+
Benzene		+	Isocyana tes	?
Toluene		++	Nitro compounds	(+)
Xylene		++	Nitrile	+
Styrene		+	Acetonitrile	+
Oxygenated Compound			Isonitrile	+
-	Alcohol	++	**Chlorinated Hydrocarbons**	
	Methanol	++	Methylene Chloride	(+)
	Ethanol	++	Trichloroethylene	-
	Butanol	++	Perchloroethylene	-
-	Ethers	(+)	Chlorophenols	+
	Tetrhydrofuran	++	1 , 1 , 1 – Trichloroethane	-
	Diethyl ether	(+)		
	Dioxane	(+)	**Inorganic Compound**	
-	Aldehydes	++	Hydrogen Sulfide	+
	Formaldehyde	++	Ammoniia	+

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.2 ความสามารถในการย่อยสลายด้วยวิธีทางชีวภาพของมลพิษในอากาศชนิดต่างๆ (ต่อ)

	Acetaldehyde	++
	Ketone	+
	Acetone	+
-	Carboxylic acids	++
	Butyric acid	++
-	Carboxylic acid ester	+
	Ethyl acetate	+
-	Phenols	+

Sulfur Containing Compounds

-	Sulfides	+
	Dimethyl sulfides	+
-	Thiocyanates	+
-	Iso thiocyanates	?
-	Sulfur containing	
	heterocyclic compounds	+
	heterocyclic compounds	+
	Thiophene	+
-	Mercaptans	+
	Methyl mercaptan	+
-	Carbon disulfide	+

Legend :

++	Very high degradability
+	High degradability
(+)	Minimal degradability
-	No degradabilit
?	No results availble

ที่มา : Leson และ Winer (1991)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ผลการวิจัยเกี่ยวกับอัตราการกำจัดโทลูอีนของชั้นตัวกลางชนิดต่างๆที่มีการศึกษา มีรายละเอียดตามตารางที่ 2.3 โดยค่าอัตราการกำจัดมลพิษสูงสุดมีหน่วย กรัมของสารพิษ/ลบ.ม.ของตัวกลาง-ชั่วโมง

ตารางที่ 2.3 อัตราการกำจัดมลพิษของเครื่องกรองชีวภาพ

ผู้วิจัย	ตัวกลางที่ใช้	มลพิษที่กำจัด	อัตราการกำจัดมลพิษสูงสุด (กรัมต่อลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง)
Brenner และคณะ (1994)	สังเคราะห์	โทลูอีน	29
Don และ Feenstra (1984)	มวลรวม	โทลูอีน	100
Liu และคณะ (1994)	คาร์บอน	โทลูอีน	19
Ottengraf และคณะ (1983)	มวลรวม	โทลูอีน	20
Seed และ Corsi (1994)	มวลรวม	โทลูอีน	37

ที่มา : Devinny และคณะ (1999)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย