ในรูปที่ 2.1 จะเห็นว่าในระหว่างที่เกิดฝนฟ้าคะนองประจุไฟฟ้าในบรรยากาศจะทำให้ก๊าซไนโตรเจนถูกออกซิไดซ์ (oxidised) เกิดเป็นสารประกอบไนเตรตขึ้น เมื่อสารประกอบไนเตรตซึ่งละลายอยู่ในน้ำฝนตกลงสู่พื้นดิน ก็จะกลายเป็นอาหารของพืชสีเขียวในการสังเคราะห์แสงเพื่อสร้างโปรตีน (plant protien) นอกจากนี้ยังมีแบคทีเรียบางชนิดที่อาศัยอยู่ตามรากของพืช ซึ่งสามารถจับก๊าซไนโตรเจนในบรรยากาศได้และพืชก็สามารถนำไปใช้เป็นอาหารเพื่อการสร้างโปรตีนได้เช่นกัน ตัวอย่างของแบคทีเรียพวกนี้ได้แก่ Azotobacter agile, Azotobacter chrococcus, Clostridium เป็นต้น เมื่อคนและสัตว์รับประทานพืชเป็นอาหาร โปรตีนในพืชจะถูกนำไปใช้สร้างโปรตีนในคนและสัตว์ เมื่อสิ่งมีชีวิตเหล่านี้ขับถ่ายของเสียออกมา เช่น ปัสสาวะ อุจาระหรือตายไป ของเสียเหล่านี้จะเกิดเน่าเปื่อยและเปลี่ยนรูปเป็นแอมโมเนีย ซึ่งพืชก็จะนำไปใช้เป็นอาหารต่อไป ส่วนแอมโมเนียที่เหลือใช้จากพืช หากสภาวะแวดล้อมมีออกซิเจนมากพอ ก็จะถูกออกซิไดซ์โดยจุลชีพประเภทออโตโทรฟิคไนตริฟายอิงแบคทีเรีย (autotrophic nitrifying bacteria) เกิดเป็นสารประกอบไนไตรต์และสารประกอบไนเตรตต่อไปในที่สุด อนึ่งถ้าสภาวะแวดล้อมเกิดสภาพไร้ออกซิเจนขึ้น สารประกอบไนเตรตก็จะถูกเปลี่ยนกลับเป็นสารประกอบไนไตรต์ และก๊าซไนโตรเจน หรือแอมโมเนียได้ โดยจุลชีพแบคทีเรียบางชนิด เช่น E. Coli หรือ Thiobacillus denitrificans เป็นต้น

2.2 ชนิดของสารประกอบไนโตรเจนที่มีอยู่ในน้ำ

โดยทั่วไปสารประกอบไนโตรเจนที่มีอยู่ในน้ำมักพบอยู่ 4 ชนิดด้วยกันดังนี้

ก) สารประกอบอินทรีย์ไนโตรเจน (organic-nitrogen compounds) หมายถึง สารอินทรีย์ที่มีธาตุไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบ

ข) สารแอมโมเนียไนโตรเจน (ammonia-nitrogen compounds) หมายถึงไนโตรเจนทั้งหมดที่มีอยู่ในรูปแอมโมเนียหรือสารประกอบแอมโมเนีย

ค) สารประกอบไนไตรต์ (nitrite-nitrogen compounds) หมายถึงสารประกอบที่อยู่ในรูปของ NO_2^- ซึ่งเกิดจากการออกซิเดชั่นที่ยังไม่สมบูรณ์ของสารประกอบไนโตรเจนอื่น

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ง) สารประกอบไนเตรต (nitrate-nitrogen compounds) หมายถึงสารประกอบที่อยู่ในรูปของ NO_3^- ซึ่งเป็นผลจากการออกซิเดชั่นที่สมบูรณ์ของสารประกอบไนโตรเจนอื่น และหากสภาวะแวดล้อมมีออกซิเจนในปริมาณมากเกินพอแล้ว สารประกอบไนโตรตนี้จัดได้ว่าเป็นสารประกอบไนโตรเจนที่มีความเสถียรมากที่สุด

ในการควบคุมปริมาณสารประกอบไนโตรเจนที่มีอยู่ในน้ำเหล่านี้นั้น สามารถกระทำได้หลายวิธีด้วยกัน แต่ในที่นี้จะกล่าวถึงเฉพาะการควบคุมกำจัดไนเตรตด้วยกระบวนการออโตโทรฟิกดีไนตริฟิเคชั่นในถังกรองซัลเฟอร์-หินปูน

2.3 กระบวนการเมตาบอลิซึมของสารประกอบอนินทรีย์

แบคทีเรียซึ่งทำให้เกิดกระบวนการเมตาบอลิซึ่มของสารประกอบอนินทรีย์ ได้แก่ เค็มโมออแกโนโทรฟิคแบคทีเรีย (Chemo-Organotrophic bacteria) เค็มโมไลโธโทรฟิคแบคทีเรีย (Chemolithotrophic bacteria) และโฟโตโทรฟิคแบคทีเรีย(Phototrophic bacteria) บางแฟมมิลี่ (Family)

กระบวนการเมตาบอลิซึ่มของสารประกอบอนินทรีย์ที่เกิดขึ้นโดยแบคทีเรีย แบ่งออกได้เป็น 2 ชนิดคือ แอสซิมิเลชั่น (assimilation) กับดิสซิมิเลชั่น (dissimilation) แอสซิมิเลชั่นเป็นการนำสารประกอบอนินทรีย์ไปใช้ในการสังเคราะห์สารประกอบอินทรีย์ ซึ่งเป็นส่วนประกอบของเซลล์ ส่วนดิสซิมิเลชั่นเป็นการการเปลี่ยนแปลงของสารประกอบอนินทรีย์ซึ่งมีความสัมพันธ์กับปฏิกิริยาที่ให้พลังงานภายในเซลล์แบคทีเรีย เช่น เค็มโมออแกโนโทรฟิคแบคทีเรีย และเค็มโมไลโธโทรฟิคแบคทีเรียที่เจริญในสภาพไร้ออกซิเจนใช้สารประกอบอนินทรีย์ชนิดอื่นที่ไม่ใช่ออกซิเจน ทำหน้าที่เป็นตัวรับอิเลคตรอนที่ถูกส่งผ่านมาจากลูกโซ่ การขนส่งอิเลคตรอนเค็มโมไลโธโทรฟิคแบคทีเรียใช้สารประกอบอนินทรีย์ชนิดต่าง ๆ เป็นพลังงานสำหรับการเจริญโดยทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่นของสารประกอบอนินทรีย์ แล้วส่งอิเลคตรอนที่ได้จากปฏิกิริยาออกซิเดชั่นผ่านลูกโซ่การขนส่งอิเลคตรอนไปยังออกซิเจนหรือไปยังไนเตรตในสภาพไร้ออกซิเจน

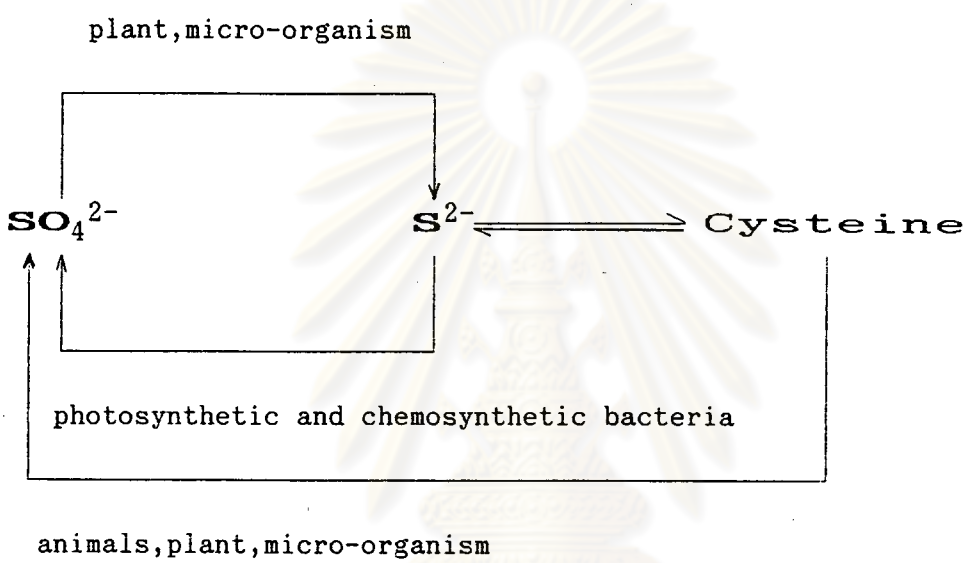
แบคทีเรียที่เจริญในสภาพไร้ออกซิเจน แบ่งออกได้เป็น 3 พวกโดยใช้ชนิดของสารประกอบอนินทรีย์ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวรับอิเลคตรอนที่ถูกส่งผ่านมาจากลูกโซ่การขนส่งอิเลคตรอนเป็นหลักคือ แบคทีเรียที่ใช้สารประกอบอนินทรีย์กำมะถันเป็นตัวรับอิเลคตรอนแบคทีเรียที่ใช้สารประกอบอนินทรีย์ไนโตรเจนเป็นตัวรับอิเลคตรอน และแบคทีเรียที่ใช้คาร์บอนไดออกไซด์เป็นตัวรับอิเลคตรอน สำหรับเค็มโมไลโธโทรฟิคแบคทีเรียแบ่งออกได้เป็น 5 พวกโดยใช้ชนิดของสารประกอบอนินทรีย์ซึ่งเป็นแหล่งพลังงานเป็นหลักคือ แบคทีเรียซึ่งออกซิไดส์กำมะถัน (Sulfur bacteria) แบคทีเรียซึ่งออกซิไดส์เหล็ก (Iron bacteria) แบคทีเรียซึ่งออกซิไดส์ไฮโดรเจน (Hydrogen bacteria) แบคทีเรียซึ่งออกซิไดส์คาร์บอนโมนอกไซด์ (Carboxydo bacteria) และแบคทีเรียซึ่งออกซิไดส์แอมโมเนียหรือไนไตรต์ (Nitrifying bacteria)

เค็มโมไลโธโทรฟิคแบคทีเรียนอกจากแบ่งออกได้เป็น 5 พวก ตามที่ได้กล่าวมาแล้วนั้นยังสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 พวกโดยใช้แหล่งพลังงาน และแหล่งคาร์บอนเป็นหลัก คือ พวกแรกเรียกว่า อ๊อฟลิเกตเค็มโมไลโธรโทรฟ (Obligate Chemolithotroph) หรือ อ๊อฟลิเกตเค็มโมออโตโทรฟ (Obligate Chemo-autotroph) เป็นแบคทีเรียที่ได้รับพลังงานสำหรับการเจริญเติบโตจากปฏิกิริยาออกซิเดชั่นของสารประกอบอนินทรีย์ และใช้คาร์บอนไดออกไซด์เป็นแหล่งคาร์บอนสำหรับการสังเคราะห์สาร ซึ่งเป็นส่วนประกอบของเซลล์ พวกที่ 2 เรียกว่า แฟคคัลเตตีบเค็มโมไลโธรโทรฟ (Facultative Chemolithotroph) หรือ แฟคคัลเตตีบเค็มโมออโตโทรฟ (Facultative Chemoautotroph) เป็นแบคทีเรียที่สามารถเจริญได้ทั้งแบบออโตโทรฟ (Autotroph) และเฮ็ทเทอโรโทรฟ (Heterotroph) เมื่อเจริญแบบเฮ็ทเทอโรโทรฟใช้สารประกอบอินทรีย์เป็นแหล่งคาร์บอน แหล่งพลังงาน และวัฏจักร TCA พวกที่ 3 เรียกว่า เค็มโมไลโธโทรฟิคเฮ็ทเทอโรโทรฟ เป็นแบคทีเรียที่ได้รับพลังงานสำหรับการเจริญจากปฏิกิริยาออกซิเดชั่นของสารประกอบอนินทรีย์ แต่ไม่สามารถเจริญแบบออโตโทรฟ

2.3.1 สารประกอบอนินทรีย์กำมะถัน

สารประกอบอนินทรีย์กำมะถันที่พบในดิน และน้ำตามธรรมชาติได้มาจากการที่ฝนตกแล้วทำให้สารประกอบอนินทรีย์กำมะถันในอากาศ ซึ่งอยู่ในรูปซัลเฟต ซัลเฟอร์ไดออกไซด์

และไฮโดรเจนซัลไฟด์ปนลงมากับน้ำฝน นอกจากนี้ยังเกิดจากแบคทีเรียพวกเฮ็ทเทอโรโทรฟ ทำให้สารประกอบอนินทรีย์ซึ่งมีกำมะถันเป็นองค์ประกอบสลายตัวในสภาพมีออกซิเจน และสภาพไร้ออกซิเจน แล้วได้สารประกอบพวกซัลเฟตและซัลไฟด์ตามลำดับ แบคทีเรียที่อยู่ในดินและน้ำ ทำให้สารประกอบอนินทรีย์กำมะถันที่มีอยู่นั้น เกิดการเปลี่ยนแปลงเป็นวัฏจักรโดยปฏิกิริยารีดักชั่นและออกซิเดชั่นดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 วัฏจักรกำมะถัน

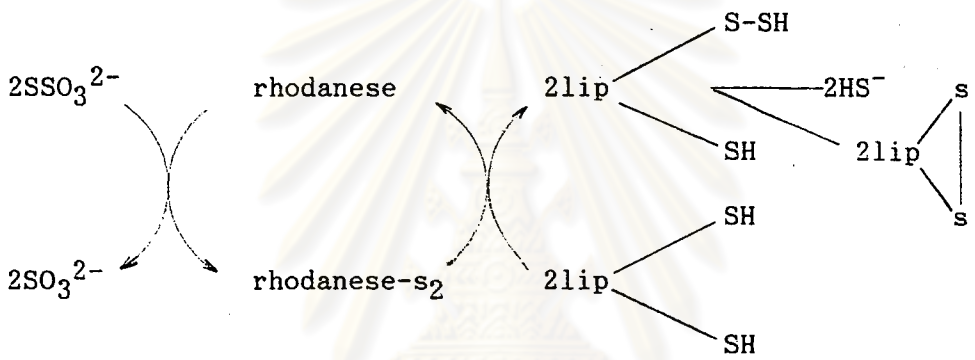
(พวงพร ไชติกไกร,2530)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.3.1.1 <u>รีดักชั่นของสารประกอบอนินทรีย์กำมะถัน</u>

สำหรับ <u>Thiobacillus denitrificans</u> ซึ่งเป็นพวกแฟคคัลเตตีบแอนแอโรบิค (Facultative anaerobic) ทำให้เกิดปฏิกิริยารีดักชั่นของไธโอซัลเฟตในสภาพไร้ออกซิเจนแตกต่างจากที่กล่าวมาแล้ว คือ แบคทีเรียชนิดนี้มีเอ็นไซม์โรดานีส (rhodanese) หรือไธโอซัลเฟตซัลเฟอร์ทรานสเฟอเรส (thiosulfate sulfur-transferase) เป็นตัวเร่งให้ไธโอซัลเฟตถูกรีดิวซ์ไปเป็นซัลไฟด์โดยมีกลไก (mechanism) ดังรูป 2.3 เอ็นไซม์โรดานีสทำหน้าที่ขนส่งกำมะถันจากไธโอซัลเฟตไปยังไดไฮโดรลิโพเอต

(dihydrolipoate) ทำให้ไดไฮโดรลิโพเอตกลายเป็นลิโพเอตเพอร์ซัลไฟด์ (lipoate persulfide) ซึ่งแตกตัวอย่างรวดเร็วแล้วได้ซัลไฟด์กับลิโพเอต สำหรับซัลไฟด์ที่เกิดขึ้นถูกรีดิวซ์ไปเป็นซัลไฟด์รีดักเตสเป็นตัวเร่งซึ่งเหมือนกับการรีดิวซ์ซัลไฟด์ที่ได้จากปฏิกิริยารีดักชั่นของซัลเฟต



รูปที่ 2.3 รีดักชั่นของไธโอซัลเฟตโดย Thiobacillus denitrificans ที่เจริญในสภาพไร้ออกซิเจน (พวงพร โชติกไกร, 2530)

เอ็นไซม์โรดานีสมีบทบาทสำคัญในการทำให้ Thiobacillus denitrificans นำกำมะถันจากไธโอซัลเฟตไปใช้สำหรับการสังเคราะห์สารประกอบอินทรีย์บางชนิด ซึ่งเป็นส่วนประกอบของเซลล์ เอ็นไซม์ชนิดนี้พบในสัตว์เลี้ยงลูกด้วยน้ำนม พืชและแบคทีเรียอีกหลายชนิด เช่น Bacillus subtilis และ Chromatium sp. สายพันธุ์ดี (D)

2.3.1.2 ออกซิเดชั่นของสารประกอบอินทรีย์กำมะถัน

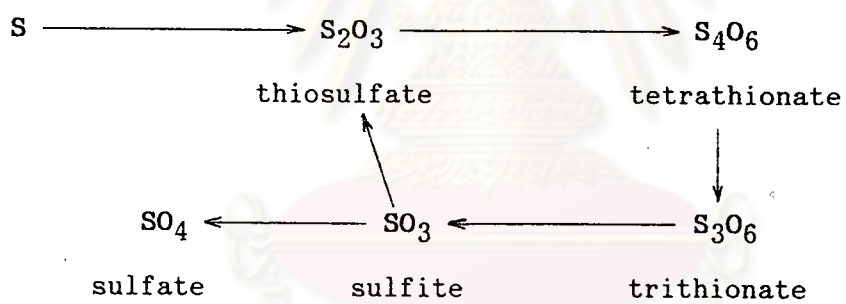
Thiobacillus sp. เป็นเค็มโมไลโธโทรฟิคแบคทีเรียเฟียงจีนัส (Genus) เดียวที่จัดอยู่ในพวกแบคทีเรียซึ่งออกซิไดส์กำมะถัน แบคทีเรียจีนัสนี้มีชื่อเรียกโดยทั่วไปว่า นันโฟโตซินธีติกซัลเฟอร์แบคทีเรีย (nonphotosynthetic sulfurbacteria) ซึ่งโดย

ส่วนใหญ่มีคุณสมบัติเป็นพวกแอโรบิคและออโตโทรฟ แต่มีบางสปีชี่(species)มีคุณสมบัติเป็นพวกแฟคคัลเตตีบแอนแอโรบิค เช่น Thiobacillus denitrificans ใช้ไนเตรตเป็นตัวรับอิเลคตรอนที่ถูกส่งผ่านมาจากลูกโซ่การขนส่งอิเลคตรอน เมื่อเจริญในสภาพไร้ออกซิเจนบางสปีชี่มีคุณสมบัติเป็นพวกเฮ็ทเทอโรโทรฟ ในขณะที่บางสปีชี่มีคุณสมบัติเป็นพวกแฟคคัลเตตีบออโตโทรฟ เช่น Thiobacillus neapolitanus, Thiobacillus pelophila, Thiobacillus denitrificans, Thiobacillus thioparus, และ Thiobacillus thiooxidans เป็นพวกอ๊อฟลิเกตเค็มโมออโตโทรฟ

ในกระบวนการเมตาบอลิซึ่ม Thiobacillus sp. ขนส่งสารประกอบอนินทรีย์กำมะถัน เช่น ธาตุกำมะถัน ซัลไฟด์ ซัลไฟต์และไธโอซัลเฟตจากสภาวะแวดล้อมเข้าสู่ภายในเซลล์แล้วทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่น เพื่อให้ได้พลังงานสำหรับการเจริญโดยส่งอิเลคตรอนที่ได้จากปฏิกิริยาออกซิเดชั่นผ่านลูกโซ่การขนส่งอิเลคตรอนไปยังออกซิเจนในสภาพมีออกซิเจนหรือไปยังไนเตรตในสภาพไร้ออกซิเจน ผลจากการส่งอิเลคตรอนนี้ได้พลังงานอิสระซึ่งถูกเก็บไว้ในรูป ATP ในขณะเดียวกันอิเลคตรอนบางส่วนที่ส่งผ่านลูกโซ่การขนส่งอิเลคตรอนถูกส่งย้อนกลับโดยใช้ ATP แล้วทำให้ได้ $NADH+H^+$ แบคทีเรียนำ ATP และ $NADH+H^+$ ที่เกิดขึ้นไปใช้สำหรับการสังเคราะห์สาร ซึ่งเป็นส่วนประกอบของเซลล์โดยใช้คาร์บอนไดออกไซด์เป็นแหล่งคาร์บอน สำหรับ Thiobacillus sp. ที่มีคุณสมบัติเป็นพวกแฟคคัลเตตีบออโตโทรฟ เมื่อเจริญในสภาพแวดล้อมที่มีทั้งคาร์บอนไดออกไซด์ สารประกอบอนินทรีย์กำมะถัน สารประกอบอินทรีย์ซึ่งเป็นทั้งแหล่งคาร์บอนและพลังงานเช่นกลูโคส (Glucose) กลีเซอรอล (Glycerol) ปฏิกิริยาออกซิเดชั่นของสารประกอบอนินทรีย์กำมะถันมีผลต่อการสังเคราะห์เอ็นไซม์ สำหรับกระบวนการเมตาบอลิซึมของสารประกอบอินทรีย์ คือ แบคทีเรียสังเคราะห์เอ็นไซม์ สำหรับกระบวนการเมตาบอลิซึมสารประกอบอินทรีย์ลดลง แต่เมื่อไม่มีสารประกอบอนินทรีย์กำมะถันแบคทีเรียสังเคราะห์เอ็นไซม์สำหรับกระบวนการเมตาบอลิซึ่มสารประกอบอินทรีย์เพิ่มขึ้น จากการศึกษาโดยใช้ Thiobacillus novellus และ Thiobacillus intermedius พบว่ากระบวนการคะตาบอลิซึ่ม (Catabolism) กลูโคสเกิดขึ้นตามวิถี ED วัฏจักร TCA และวัฏจักรไกลออกซิเลต แต่การนำคาร์บอนไดออกไซด์มาใช้สำหรับการสังเคราะห์สาร ซึ่งเป็นส่วนประกอบของเซลล์เกิดขึ้นตามวัฏจักรคลาวินและวัฏจักร TCA ที่มีปฏิกิริยาย้อนกลับ

ปัจจุบันยังไม่ทราบถึงรายละเอียดที่เกี่ยวกับปฏิกิริยาออกซิเดชั่นของสารประกอบอนินทรีย์กำมะถันโดย Thiobacillus sp. มากนัก แต่ทราบว่า Thiobacillus sp. ทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่นของสารประกอบอนินทรีย์กำมะถันได้อย่างสมบรูณ์และไม่สมบรูณ์ ในกรณีที่เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่นอย่างสมบรูณ์ สารประกอบอนินทรีย์กำมะถันถูกออกซิไดซ์ให้กลายไปเป็นซัลเฟต

กลไก (mechanism) ของการเพิ่มออกซิเจนแก่อนินทรีย์กำมะถันนั้น ในปัจจุบันยังไม่เป็นที่กระจ่างนัก จากการศึกษาโดยใช้ S^{35}-thiosulfate เป็นแหล่งพลังงานแก่จุลินทรีย์หลังจาก 10 วินาทีปรากฏว่ามี trithionate เกิดขึ้น สารประกอบกำมะถันที่อาจเกิดขึ้นเช่นเดียวกันก็มี tetrathionate และสารประกอบอื่นๆ pathway หรือ biochemistry ของการเพิ่มออกซิเจนแก่อนินทรีย์กำมะถันซึ่งเสนอโดย Vishniacและ Santer มีดังต่อไปนี้ (รูปที่ 2.4)



รูปที่ 2.4 Biochemistry of Chemoautotrophic Sulfur Oxidation
(Vishniac และ Santer,1957)

2.3.2 สารประกอบอนินทรีย์ไนโตรเจน

ไนเตรต แบคทีเรียที่ทำให้เกิดปฏิกิริยารีดักชั่นของไนเตรตโดยส่วนใหญ่เป็นเค็มโมออแกโนโทรฟิคแบคทีเรีย เช่น E.Coli , Micrococcus denitrificans , Pseudomonas aeroginosa , Aerobacter aerogenes และ Bacillus stearothermophilus สำหรับเค็มโมไลโธโทรฟิคแบคทีเรียบางชนิด เช่น Thiobacillus

denitrificans และ Hydrogenomonas sp. ทำให้เกิดปฏิกิริยาดังกล่าวได้โดยใช้สารประกอบอินทรีย์ หรือสารประกอบอนินทรีย์ทำหน้าที่เป็นตัวให้อิเลคตรอน แล้วส่งอิเลคตรอนผ่านลูกโซ่การขนส่งอิเลคตรอนไปยังไนเตรตเมื่อมีการหายใจในสภาพไร้ออกซิเจน ในการเจริญแบบออโตโทรฟ Thiobacillus denitrificans และ Hydrogenomonas sp. ใช้สารประกอบอนินทรีย์กำมะถัน และไฮโดรเจนเป็นตัวให้อิเลคตรอนตามลำดับ ผลของการรีดิวซ์ไนเตรตเมื่อมีการหายใจในสภาพไร้ออกซิเจนได้ไนโตรเจนดังรูปที่ 2.5 สารประกอบอนินทรีย์กำมะถันที่ Thiobacillus denitrificans นำมาใช้เป็นตัวให้อิเลคตรอน ได้แก่ ธาตุกำมะถัน และไธโอซัลเฟตซึ่งหลังจากให้อิเลคตรอนแล้วจะเปลี่ยนไปเป็นซัลเฟต ต่อมาแบคทีเรียนำซัลเฟตไปใช้สำหรับการสังเคราะห์สารซึ่งเป็นส่วนประกอบของเซลล์

$$5S + 6NO^-_3 + 2H_2O \longrightarrow 5SO^=_4 + 3N_2 + 4H^+ \qquad (ก)$$

$$5H_2 + 2NO^-_3 \longrightarrow N_2 + 4H_2O + 2OH^- \qquad (ข)$$

รูปที่ 2.5 ปฏิกิริยารีดักชั่นของไนเตรต

(ก) Thiobacillus denitrificans

(ข) Hydrogenomonas sp.

2.4 กระบวนการดีไนตริฟิเคชั่น (Denitrification Process)

กระบวนการดีไนตริฟิเคชั่น เป็นกระบวนการลดสารประกอบไนเตรตในน้ำ โดยการใช้สารไนเตรตเป็นตัวที่รับอิเลคตรอนแทนออกซิเจน ในการออกซิเดชั่นสารประกอบคาร์บอนโดยจุลชีพแบคทีเรียประเภทดีไนตริไฟเออร์แบคทีเรีย ดังนั้นปฏิกิริยาเหล่านี้จึงจัดว่าเป็นปฏิกิริยาของการหายใจแบบไร้ออกซิเจน (Anaerobic Respiration) และแบคทีเรียที่รับผิดชอบต่อการเกิดกระบวนการดังกล่าว อาจเป็นประเภทที่ใช้ออกซิเจน หรือไม่ใช้ก็ได้ ตัวอย่างเช่น Acinotobacter, Alcaligenes, Aerobacter bacillus, Psuedomonas, Chromo-

bacterium, Micrococcus, Proteus, Flavobacterium, (US.EPA, 1975 ; Knowler, 1982) Dinitrobacillus, Spirillum (Anderson and ibrahim, 1978) และ Thiobacillus สามารถแบ่งแบคทีเรียดังกล่าวได้เป็น 2 ชนิดใหญ่ ๆ คือ ที่เป็นออโตโทรฟิกแบคทีเรีย (Autotrophic Bacteria) และชนิดที่เป็นเฮ็ทเทอโรโทรฟิคแบคทีเรีย (Heterotrophic Bacteria)

Schroeder (1973) ได้กล่าวถึงการลดสารประกอบไนเตรต และไนไตรต์ไว้ว่ามีอยู่ 2 แบบ คือ

1. Assimilatory : NO_3^- และ NO_2^- จะถูกเปลี่ยนรูปเป็นแอมโมเนีย (NH_3) เพื่อใช้ในการสร้างเซลล์ใหม่

2. Dissimilatory : NO_3^- และ NO_2^- จะถูกเปลี่ยนรูปเป็นก๊าซไนโตรเจน (N_2) ซึ่งถือว่าเป็นปฏิกิริยาการหายใจของแบคทีเรียแบบหนึ่ง

ขั้นตอนในการลดสารประกอบไนเตรตสามารถแสดงให้เห็นได้ดังสมการเบื้องต้นดังนี้

$$NO_3\text{-}N \longrightarrow NO_2\text{-}N \longrightarrow NO \longrightarrow N_2O \longrightarrow N_2$$

จากปฏิกิริยา 3 ตัวสุดท้ายล้วนอยู่ในสภาวะก๊าซ สามารถหนีออกจากระบบได้ทั้งสิ้น แต่การเปลี่ยนสารประกอบไนเตรตให้เป็นก๊าซไนโตรเจนได้จะเป็นการดีที่สุด เพราะจะทำให้สิ่งแวดล้อมเสียหายน้อยที่สุด ซึ่งโดยทั่วไปแล้วผลของปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชั่นมักจะได้ก๊าซไนโตรเจนเป็นส่วนใหญ่ ดังนั้นในการออกแบบระบบจึงถือปฏิกิริยาของดีไนตริฟิเคชั่นคือ ก๊าซไนโตรเจนเพียงอย่างเดียวเท่านั้น

2.4.1 เฮ็ทเทอโรโธรฟิค ดีไนตริฟิเคชั่น (Heterotrophic Denitrification)

เป็นกระบวนการดีไนตริฟิเคชั่นที่เกิดโดยแบคทีเรียพวก เฮ็ทเทอโรโทรฟิค แบคทีเรีย เป็นแบคทีเรียที่ไม่สามารถสร้างอาหารเองได้ ต้องใช้สารอินทรีย์เป็นวัตถุดิบ ซึ่งสารอินทรีย์นี้ถือว่าสร้างโดยสิ่งมีชีวิต หรือซากของสิ่งมีชีวิตอื่น และแหล่งของคาร์บอนก็ได้มาจากสารอินทรีย์เหล่านี้ ดังนั้นในการเกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชั่นแบบนี้ เราจึงจำเป็นต้องมีการเติมสารอินทรีย์คาร์บอนให้แก่ระบบฯ สารอินทรีย์คาร์บอนที่ใช้เติมมีหลายชนิด เช่น น้ำตาล, เมทานอล, เอทานอล ฯลฯ บางครั้งการเติมสารอินทรีย์คาร์บอนเหล่านี้ยุ่งยาก และเป็นการเพิ่มค่าใช้จ่ายในการดำเนินการด้วย แบคทีเรียชนิดนี้อาจเทียบได้กับชนิด Photoorganotroph และ Chemoorganotroph ได้แก่ Pseudomonas, Micrococcus, Achromobacter และ Bacillus

สมการสตอยชิโอเมตริกของเฮ็ทเทอโรโธรฟิค ดีไนตริฟิเคชั่น

กระบวนการเฮ็ทเทอโรโทรฟิค ดีไนตริฟิเคชั่น จะใช้ไนเตรตเป็นตัวรับอิเลคตรอน โดยเปลี่ยนไนเตรตเป็นไนโตรเจน และใช้สารอินทรีย์เป็นแหล่งคาร์บอน เช่น เมทานอล จะมีปฏิริยาดังต่อไปนี้

$$6NO_3^- + 5CH_3OH \longrightarrow 5CO_2 + 3N_2 + 7H_2O + 6OH^-$$

2.4.2 ออโตโทรฟิก ดีไนตริฟิเคชั่น (Autotrophic Denitrification)

เป็นกระบวนการดีไนตริฟิเคชั่นที่เกิดโดยแบคทีเรียพวก ออโตโทรฟิก แบคทีเรีย เป็นแบคทีเรียที่สามารถสร้างอาหารได้เองโดยใช้สารอนินทรีย์เป็นวัตถุดิบการใช้สารอนินทรีย์ถือว่าเป็นการสร้างอาหารเองได้ เพราะไม่ต้องพึ่งสิ่งมีชีวิตอื่น แหล่งคาร์บอน คือ คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) แบคทีเรียพวกนี้จัดว่าเป็นแบคทีเรียที่มีความสามารถสูงในการสังเคราะห์อาหาร เพราะเพียงใช้พลังงานจากแสงอาทิตย์ หรือจากปฏิกิริยาออกซิเดชั่น

018474

(oxidation) ของสารอนินทรีย์ง่าย ๆ และคาร์บอนไดออกไซด์เท่านั้น ก็สามารถดำรงชีพและสร้างส่วนประกอบต่าง ๆ ของเซลล์ได้ครบ แบคทีเรียพวกนี้แบ่งได้เป็น 2 ชนิดย่อยตามลักษณะพลังงานที่ได้รับ

ก. โฟโตออโตโทรฟิกแบคทีเรีย (Photoautotrophic bacteria) หรือ โฟโตออโตโทรฟ (Photoautroph) เป็นแบคทีเรียที่ได้พลังงานจากแสงอาทิตย์

ข. เคมีโมออโตโทรฟิกแบคทีเรีย (Chemoautotrophic bacteria) หรือ เคมีโมออโตโทรฟ (Chemoautotroph) เป็นแบคทีเรียที่ได้รับพลังงานจากปฏิกิริยาออกซิเดชั่นของสารอนินทรีย์เช่น S, H_2S, NH_3, NO_2, H_2, หรือ CO_2 เปรียบเทียบได้กับแบคทีเรียพวกเคมีโมไลโธโทรฟ (Chemolithotroph) แบคทีเรียเหล่านี้ได้แก่ Thiobacillus-denitrificans, Hydrogenomonas Sp.

การกำจัดไนเตรตโดยวิธีดีไนตริฟิเคชั่นด้วยการกรองด้วยสารซัลเฟอร์ (Sulfur) และหินปูน (Limestone) เป็นตัวกลาง และใช้เป็นสารอาหารในการเลี้ยง Thiobacillus denitrificans ซึ่งจัดเป็นพวกออโตโทรฟิกแบคทีเรียชนิดหนึ่ง Thiobacillus denitrificans จัดเป็นแบคทีเรียพวก Obligate autotroph, motile, facultative anaerobe, gram-negative, non-sporeforming, rods แบคทีเรียพวกนี้สามารถออกซิไดซ์ซัลเฟอร์และสารประกอบซัลเฟอร์ได้ ขณะเดียวกันก็สามารถรีดิวซ์ไนเตรตให้กลายเป็นไนโตรเจนได้ ดังนั้นแบคทีเรียชนิดนี้จึงอาจมีประโยชน์ในการบำบัดน้ำเสียที่ต้องการกำจัดไนเตรต ถ้าสามารถจัดเตรียมแหล่งซัลเฟอร์ และสภาพแวดล้อมเป็นแบบไร้ออกซิเจน แบคทีเรียจะสามารถเจริญเติบโตได้ดีที่ pH 7 อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส (Vishniac and Santer, 1957) ข้อดีของแบคทีเรียชนิดนี้ก็คือ สามารถใช้พลังงานจากสารอนินทรีย์คาร์บอนได้

สมการสตอยชิโอเมตริกของออโตโทรฟิก ดีไนตริฟิเคชั่น

กระบวนการดีไนตริฟิเคชั่นบนสารซัลเฟอร์ของออโตโทรฟิก แบคทีเรียชนิด Thiobacillus denitrificans ที่ซึ่งสามารถเปลี่ยนไนเตรตให้กลายเป็นไนโตรเจน โดย

การใช้ซัลเฟอร์เป็นตัวให้อิเลคตรอน (Electron Donors) มีปฏิกิริยาดังนี้

$$1.114S + NO_3^- + 0.699\ H_2O + 0.337\ CO_2 + 0.0842\ HCO_3^- + 0.0842NH_4^+ \longrightarrow 1.114\ SO_4^= + 0.5N_2 + 0.0842\ C_5H_7O_2N + 1.228\ H^+$$

(Driscoll,C.T.และ Bisogni,J.J.,1978)

แบคทีเรียชนิดนี้ต้องการฟอสเฟต (Phosphate) ซึ่งเป็นสารอาหารที่จำเป็นสำหรับการเจริญเติบโต Phosphorus จะรวมตัวกันกับมวลชีวภาพ (Biomass) ตามสูตรโมเลกุลดังนี้ $C_5H_7O_2NP_{0.03}$

ผลของปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชั่นชนิดนี้จะทำให้เกิด Hydrogen Ion (H^+) ซึ่งจะทำให้พีเอชมีค่าต่ำ แต่สภาพพีเอชที่เหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโต และการทำงานของแบคทีเรียชนิดนี้ควรจะเป็น 6.4-6.8 (Kruithof, Bennekom etal.,1988)

หินปูน (Limestone) ที่ผสมกับสารกำมะถัน (Sulfur) ที่ใส่ลงไปเพื่อทำหน้าที่รักษาระดับที่เหมาะสมของพีเอช และใช้เป็นแหล่งของสารอนินทรีย์คาร์บอน (Inorganic Carbon) ที่จำเป็นสำหรับกระบวนการดีไนตริฟิเคชั่น

ข้อเสียของกระบวนการดีไนตริฟิเคชั่นบนสารซัลเฟอร์ชนิดนี้ คือจะทำให้เกิดสารซัลเฟต (Sulfate) ขึ้น ทำให้กระบวนการชนิดนี้ไม่สามารถใช้กับน้ำเสียที่มีปริมาณซัลเฟตสูงอยู่แล้ว มาตรฐานน้ำบาดาลที่จะใช้บริโภคได้ของกรมทรัพยากรธรณี กระทรวงอุตสาหกรรม กำหนดเกณฑ์ปริมาณที่เหมาะสมของสารซัลเฟตไว้ไม่เกิน 250 mg/l

2.5 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อ ออโตโทรฟิกดีไนตริฟิเคชั่น

2.5.1 แหล่งคาร์บอน

กระบวนการดีไนตริฟิเคชั่นทั่ว ๆ ไปที่เกิดจากแบคทีเรียพวกเฮ็ทเทอโร -

โทรฟิคนั้น จะต้องมีการเติมสารอินทรีย์คาร์บอน(Organic Carbon) เพื่อใช้ในการสร้างและเป็นส่วนประกอบของเซลล์ ซึ่งมีหลายชนิด เช่น น้ำตาล (Soures, Belkin and Abeliovich, 1988) เมทานอล (US.EPA, 1975) เอทานอล (Richard, Leprince etal.,1980) กรดอะซิติค (Dahab and Lee, 1988) และน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม (US.EPA,1975; Anderson and Ibrahim,1978; Montein, Bridle and Sulton, 1980) ซึ่งในการเติมสารอินทรีย์คาร์บอนเหล่านี้ยุ่งยาก และเป็นการเพิ่มค่าใช้จ่ายในการดำเนินการ นอกจากนี้ ยังต้องมาพิจารณาว่าสารอินทรีย์คาร์บอนที่ใช้เติมนั้นจะมีอันตรายหรือเปล่า แต่สำหรับกระบวนการดีไนตริฟิเคชั่นที่ใช้แบคทีเรียพวกออโตโทรฟิกนั้น สามารถใช้แหล่งคาร์บอนจากสารอนินทรีย์คาร์บอนได้ เช่น คาร์บอนไดออกไซด์, แคลเซียมคาร์บอเนต ฯลฯ ซึ่งมีความปลอดภัยในการใช้ และประหยัดค่าใช้จ่ายได้ดีกว่า (Kruithof, Bennekon etal., 1988)

2.5.2 พีเอช

ระดับพีเอชที่เหมาะสมสำหรับการเกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชั่น โดยทั่วไปจะอยู่ในช่วง 7.0-7.5 และหากระดับพีเอชของระบบมีค่าสูงกว่า 8.0 หรือต่ำกว่า 6.0 แล้ว อัตราการเกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชั่นจะมีค่าลดต่ำลงมาก (ทัศนีย์ แซ่เตีย, 2528 ; US.EPA, 1975) แต่ได้มีการพบว่าปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชั่นในน้ำเสียเกิดขึ้นได้แม้ที่พีเอช 11 (Knowler, 1982) แต่สำหรับกระบวนการดีไนตริฟิเคชั่นชนิดที่ใช้ ออโตโทรฟิกแบคทีเรีย (Autotrophic bacteria) ชนิด Thiobacillus denitrificans พบว่าจะเจริญเติบโต และทำงานได้ดีที่พีเอช 6.4-6.8 (Kruithof, Bennekon etal., 1988)

2.5.3 อุณหภูมิ

อุณหภูมิจัดได้ว่าเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลกระทบต่อการเกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชั่น จากการศึกษาพบว่า ที่อุณหภูมิต่ำ (ต่ำกว่า 15 องศา ซ) จะส่งผลกระทบต่อปฏิกิริยาได้มากกว่าที่อุณหภูมิสูง เช่น ในน้ำเสียที่มีอุณหภูมิ 5 องศา ซ จะเกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชั่นได้ประมาณ 20% ของดีไนตริฟิเคชั่นที่ 20 องศา ซ (Anderson and Ibrahim, 1978) ได้มีรายงานว่า

ประสิทธิภาพในการกำจัดจะลดลงมากที่อุณหภูมิต่ำกว่า 10 องศา ซ และที่ 0 องศา ซ จะไม่เกิดปฏิกิริยา (St.Amant and McCarty,1969) ปฏิกิริยาจะเกิดได้ดีที่อุณหภูมิสูงขึ้นในดินหรือในแอคติเวตเตดสลัดจ์ กระบวนการจะเกิดได้ดีที่สุดที่ 25 องศา ซ (สมศักดิ์ วังใน, 2528) อย่างไรก็ตามที่อุณหภูมิเพิ่มสูงถึง 60-65 องศา ซ ก็สามารถเกิดปฏิกิริยาได้ แต่ถ้าอุณหภูมิสูงกว่านี้อัตราการเกิดปฏิกิริยาจะลดลงอย่างรวดเร็ว (Knowler, 1982)

2.5.4 ออกซิเจนละลายน้ำ

ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำจะมีผลต่อปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชั่น เมื่อมีออกซิเจนละลายเพิ่มขึ้นจะทำให้ไนโตรเจนออกไซด์รีดักเตส (Nitrogen Oxide reductase) ทำงานได้น้อยลง (Knowler, 1982) ออกซิเจนจะทำให้การเกิดปฏิกิริยาไนติฟิเคชั่นเกิดได้ช้าลง เพราะออกซิเจนเป็นตัวแก่งแย่งในการรับอิเลคตรอน (Electron acceptor) ทั้งนี้เนื่องจากออกซิเจนสามารถรับอิเลคตรอนได้เช่นเดียวกับไนเตรตในระบบถ่ายทอดอิเลคตรอนนี้ และออกซิเจนยังเป็นตัวรับอิเลคตรอนได้ดีกว่าไนเตรตอีกด้วย (สมศักดิ์ วังใน, 2528) และได้มีรายงานว่า Thiobacillus denitrificans เจริญเติบโตได้ดีในสภาพที่มีออกซิเจนต่ำ Enzyme Nirate Reductase และ Nitrite reductase จะทำงานได้ดีในสภาวะไร้ออกซิเจน (Justin and Kelly, 1978)

2.6 หลักการทำงานของเครื่องกรองเอดี (Autotrophic Denitrification Filter)

ระบบเครื่องกรองเอดี เป็นระบบที่ง่าย และให้ประสิทธิภาพในการกำจัดไนเตรตได้ผลดี เครื่องกรองมีลักษณะเป็นถังรูปทรงกระบอกหรือถังเหลี่ยม ภายในบรรจุตัวกลาง (Filter media) คือสารซัลเฟอร์และหินปูน น้ำเสียจะถูกป้อนเข้าทางด้านล่างของถังกรองและไหลออกทางด้านบนโดยผ่านชั้นของตัวกลาง ลักษณะการไหลของน้ำจะทำให้น้ำเสียท่วมถังตลอดเวลา ทำให้น้ำเสียสามารถสัมผัสกับแบคทีเรียที่ยึดเกาะอยู่กับตัวกลาง และที่อยู่ในช่องว่างระหว่างตัวกลางได้อย่างทั่วถึง แบคทีเรียดีไนตริไฟเออร์จะใช้ออกซิเจนจากไนเตรตเพื่อใช้ในกระบวนการหายใจ และเกิดเป็นก๊าซไนโตรเจน (Richard, Leprince etal., 1980) นอกจากนั้นตัวกลางยังทำหน้าที่กระจายการไหลของน้ำผ่านถังกรองเป็นแบบไหลตามยาว (Plug

Flow) น้ำเสียจึงสามารถสัมผัสกับตะกอนแบคทีเรียอย่างทั่วถึง โดยไม่เกิดการไหลลัดวงจร (Requa and Schroeder, 1973 ; พิพัฒน์ ชื่นชมชาติ, 2529)

2.7 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการทำงานของเครื่องกรองเอดี

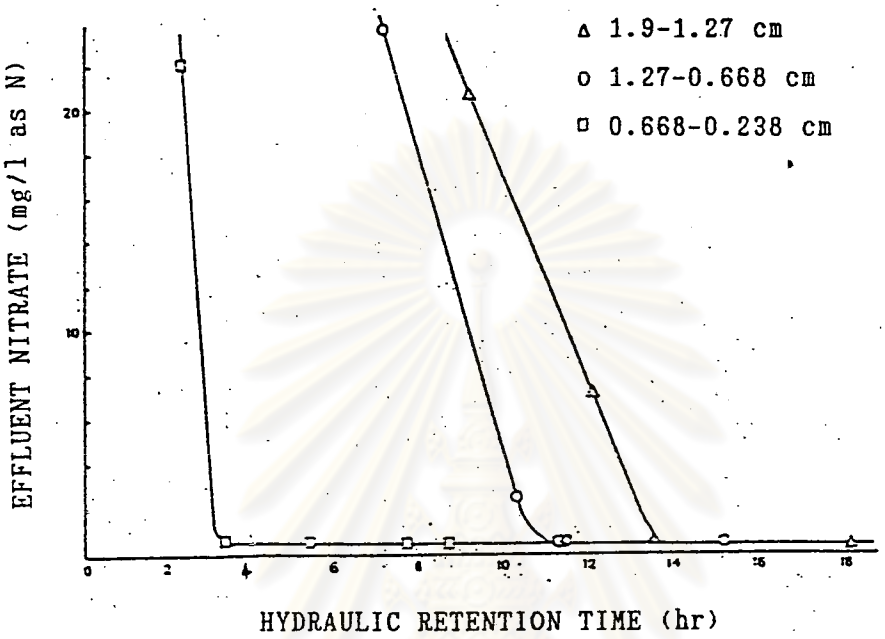
2.7.1 คุณสมบัติของตัวกลาง

ลักษณะ และขนาดของตัวกลางจะมีผลต่อประสิทธิภาพในการกำจัดของระบบ (Richard, Leprince etal., 1980 ; Young and Dahab, 1980) ทั้งนี้เพราะแบคทีเรียใช้ตัวกลางเป็นที่ยึดเกาะ และตัวกลางยังช่วยในการกักเก็บตะกอนแบคทีเรียทำให้แบคทีเรียอยู่ในระบบได้นาน (SRT สูง) ตัวกลางที่ดีจึงต้องมีพื้นที่ผิวมาก เพื่อให้แบคทีเรียมีพื้นที่เกาะยึดได้มาก และมีความพรุนสูงเพื่อลดปัญหาการอุดตัน สิ่งที่ควรคำนึงถึงอีกประการหนึ่ง คือ ลักษณะผิวของตัวกลาง ทั้งนี้เพราะผิวของตัวกลางมีอิทธิพลต่อการเกาะติดหรือการแขวนลอยในช่องว่างของตัวกลาง ซึ่งจะมีอิทธิพลต่อเวลากักเก็บตะกอนของแบคทีเรีย (SRT) ในระบบ Young และ Dahab (1980) ได้พบว่าความสามารถในการกักเก็บตะกอนของตัวกลางมีความสำคัญมากกว่าพื้นที่ผิวและความสามารถในการกักเก็บตะกอนขึ้นกับขนาดของช่องว่างของตัวกลาง ดังนั้น การออกแบบลักษณะของตัวกลางจึงเป็นสิ่งสำคัญ ซึ่งจะช่วยให้ประสิทธิภาพในการกำจัดได้ผลดี

2.7.2 ระยะเวลากักเก็บน้ำ (Hydraulic Retention Time)

ระยะเวลากักเก็บน้ำ เป็นตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพในการกำจัดไนเตรตของเครื่องกรองเอดี การใช้ระยะเวลากักเก็บน้ำมาก จะทำให้เวลาที่น้ำเสียสัมผัสกับแบคทีเรียมีมากทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดได้ผลดี แต่ถ้าลดเวลากักเก็บน้ำลง น้ำจะไหลผ่านเครื่องกรองเร็วขึ้น เวลาที่แบคทีเรียสัมผัสกับน้ำเสียลดน้อยลง และมีผลทำให้แบคทีเรียหลุดออกจากระบบได้มาก ทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดของเครื่องกรองลดลง Driscoll, C.T. และ Bisogni, J.J. (1978) ได้ทำการทดลองพบว่า ระยะเวลากักเก็บน้ำมีความสัมพันธ์กับขนาดของอนุภาคของสารซัลเฟอร์ ระยะเวลากักเก็บน้ำที่น้อยที่สุดที่ต้องการสำหรับการกำจัด

ไนเตรตได้อย่างสมบูรณ์จะลดลงเมื่อมีการลดอนุภาคของสารซัลเฟอร์ที่ใช้ลง ดังแสดงในรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลากักเก็บน้ำ (ชม.) กับปริมาณไนเตรตในน้ำออกจากระบบฯ (มก./ล.) ที่ขนาดอนุภาคของซัลเฟอร์ต่าง ๆ กัน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.8 การศึกษาที่ผ่านมา

ได้มีงานศึกษาวิจัยหลายฉบับที่แสดงว่า สามารถเกิดกระบวนการออโตโทรฟิกดีไนตริฟิเคชั่น (autotrophic denitrification) ที่เกิดจาก Thiobacillus denitrificans แต่งานวิจัยส่วนใหญ่เป็นงานศึกษาในเชิงวิทยาศาสตร์ทางด้านจุลชีววิทยา การศึกษาในเชิงวิศวกรรมยังพบน้อย งานศึกษาที่ผ่านมาที่เกี่ยวข้องมีดังนี้ คือ

M. Aminnddin และ D.J.D. Nicholas,1973 ได้ทำการศึกษาถึงความเกี่ยวพันของปฏิกิริยาออกซิเดชั่นของซัลไฟด์ (Sulphide) กับปฏิกิริยารีดักชั่นของไนเตรตและไนไตรต์ในการใช้ Thiobacillus denitrificans จุดมุ่งหมายของการศึกษาครั้งนี้คือ การศึกษาปฏิกิริยาออกซิเดชั่นของซัลไฟด์ ซึ่งผลจากการศึกษาสรุปได้ว่าเซลล์ Thiobacillus denitrificans จะรีดิวซ์ (Reduce) ไนเตรตเปลี่ยนเป็น NO, N_2O, N_2 เมื่อซัลไฟด์เป็นตัวให้อิเลคตรอน (Electron Donor) และซัลไฟด์จะถูกออกซิไดซ์เป็นซัลเฟต โดยมีการรีดิวซ์ (Reduction) ของไนเตรตเป็นไนไตรต์

Charles T. Driscoll และ James J. Bisogni,1978 ได้ทำการศึกษาถึงความสามารถของเชื้อ Thiobacillus denitrificans ในการกำจัดไนเตรตโดยใช้ระบบถังกรองที่มีตัวกลาง และมีการเติมสารซัลไฟด์ หรือ สารซัลเฟอร์ เพื่อเป็นแหล่งให้อิเลคตรอน (electron donors) ผลจากการศึกษาสามารถสรุปได้ว่า การกำจัดไนเตรตแบบออโตโทรฟิกที่ใช้เชื้อ Thiobacillus denitrificans สามารถเกิดขึ้นได้ในการทดลองดังกล่าว และพบว่าจะมีความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของเม็ดซัลเฟอร์ เพื่อให้เกิดกระบวนการดีไนตริฟิเคชั่นอย่างสมบูรณ์ ในการเกิดกระบวนการออโตโทรฟิกดีไนตริฟิเคชั่น จะมีการใช้สภาพความเป็นด่าง (Alkalinity Consumption) ซึ่งเป็นลักษณะประจำตัวและจะมีค่าอัตราการใช้ความเป็นด่างเท่ากับ 3.74 มก. ต่อปริมาณไนเตรตที่ลดลง 1 มก. นอกจากนั้นยังสามารถใช้หินปูนผสมกับสารซัลเฟอร์และบรรจุเป็นตัวกลางในถังดีไนตริฟิเคชั่น เพื่อจัดเตรียมเป็นแหล่งความเป็นด่าง ค่าความเป็นด่างที่เกิดจากหินปูนจะมีค่าทางนัยสำคัญมากที่สุดเมื่อในน้ำเสียเข้าระบบ มีค่าความเป็นด่างต่ำหรือเมื่อค่าการใช้ความเป็นด่างมีค่าสูงมาก

Bill Batchelor และ คณะ , 1978 ได้ศึกษาถึงสมการสตอยชิโอเมตริก (Stoichiometry) ของออโตโทรฟิกดีไนตริฟิเคชั่น โดยใช้สารซัลเฟอร์เป็นตัวให้อิเลคตรอน สามารถสรุปได้ดังนี้คือ สมการสตอยชิโอเมตรกของออโตโทรฟิกดีไนตริฟิเคชั่น ที่ใช้สารซัลเฟอร์เป็นตัวให้อิเลคตรอนจะคงตัวในช่วงระยะเวลากักเก็บตะกอนแบคทีเรีย (JRT) (7.6-30 วัน) ค่าของ S/x (45-194 มก. ซัลเฟต/มก. ไนโตรเจน) และอุณหภูมิ (12-30 องศา ซ) จะได้สมการสตอยชิโอเมตริกของกระบวนการนี้ คือ

$$1.0NO_3^- + 1.10S + 0.40CO_2 + 0.76H_2O + 0.080NH_4^+ \text{ ---------> } 0.080C_5H_7O_2N + 0.50N_2 + 1.1SO_4^{-2} + 1.28H^+$$

จากสมการสตอยชิโอเมตริก สามารถใช้คำนวณปริมาณมวลชีวภาพ (biomass) ที่เกิดขึ้นและซัลเฟตที่เกิดขึ้น จำนวนซัลเฟอร์ที่ถูกใช้ความเป็นด่างที่เติม และสารอนินทรีย์คาร์บอนที่ต้องการของกระบวนการ และโดยวิธีการทางทฤษฎีจากการประมาณค่าจากปฏิกิริยาสตอยชิโอ-เมตริก สามารถประยุกต์กับออโตโทรฟิกดีไนตริฟิเคชั่น และทำนายค่าของสัมประสิทธิการเจริญของมวลชีวภาพ (Biomass Yield Coefficient) เท่ากับ 0.084 มก. สารอินทรีย์-ไนโตรเจน/มก.ไนเตรต-ไนโตรเจน ซึ่งใกล้เคียงกับค่าที่วัดได้จากการเลี้ยงแบบทีละเท (Batch) (0.089 มก.สารอินทรีย์-ไนโตรเจน/มก.ไนเตรต-ไนโตรเจน) และแบบต่อเนื่อง (Continuous) (0.080 มก.สารอินทรีย์-ไนโตรเจน/มก.ไนเตรต-ไนโตรเจน)

J.C. Kruithof และคณะ,1987 ได้ทำการศึกษาการกำจัดไนเตรตจากแหล่งน้ำใต้ดินโดยการใช้เครื่องกรองซัลเฟอร์-หินปูน ซึ่งการศึกษาครั้งนี้ได้อาศัยหลักการของการกรองทรายช้า เพื่อหลีกเลี่ยงการล้างเครื่องกรอง โดยการศึกษาทดลองครั้งนี้ทำการศึกษาแบ่งเป็น 2 ส่วนคือ ทำการศึกษาด้วยเครื่องต้นแบบ (Pilot Plant) ก่อน และทำการศึกษาด้วยเครื่องสาธิต (Demonstration Plant) ผลจากการศึกษาพบว่าเชื้อแบคทีเรียพวก Thiobacillus denitrificans ต้องการฟอสเฟตเพื่อใช้ในการเจริญเติบโต ออกซิเจนและไนโตรเจนมีผลกระทบกระเทือนต่อการเกิดของกระบวนการดีไนตริฟิเคชั่น อย่างไรก็ตามในการศึกษาครั้งนี้ก๊าซเหล่านี้ถูกกำจัดโดย Vacuum Deaeration ก่อนเข้ากระบวนการดีไนตริฟิเคชั่นและน้ำที่ผ่านกระบวนการกำจัดไนเตรตแล้วจะถูกเติมอากาศและกำจัดแบคทีเรีย และสารประกอบที่เกิดจาก

การย่อยสลายทางชีววิทยา (Biodegradable) โดยผ่าน Artificial Recharged และด้วยข้อมูลจากการทดลองด้วยเครื่องต้นแบบได้มีการนำไปทดลองกับเครื่องมือสาธิตที่ติดตั้ง เพื่อบำบัดน้ำใต้ดินขนาด 35 m^3/h พบว่าในช่วง 4 เดือนแรกของการทำงานของเครื่องกรองการกำจัดไนเตรตเป็นไปได้อย่างสมบูรณ์ และน้ำที่ผ่านการกำจัดไนเตรตสามารถผ่าน Artificial Recharged ได้โดยปราศจากปัญหาใด ๆ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย