

บทสรุปปริมาณคลอรีนที่ใช้เพื่อลดปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจนในน้ำดิบ

ปริมาณคลอรีนที่ทำปฏิกิริยาพอดีกับแอมโมเนียไนโตรเจนเป็น 7.6 เท่าของปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจน หากต้องการควบคุมให้ปฏิกิริยาระหว่างแอมโมเนียและคลอรีนเกิดเป็น Monochloramine และ Dichloramine จะต้องใช้ปริมาณคลอรีนเป็น 5.06 เท่าของปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจน แต่เนื่องจากคุณภาพน้ำดิบของโรงงานผลิตน้ำบางเขนมักตรวจพบอะบูมินอยด์ไนโตรเจนซึ่งทำปฏิกิริยากับคลอรีน เกิดเป็น Organo-monochloramine และ Organo-dichloramine พร้อมทั้งคลอรีนส่วนหนึ่งถูกใช้ไปในการทำปฏิกิริยากับ Reducing agent แล้ว ดังนั้นหากต้องการควบคุมปฏิกิริยาให้อยู่ในช่วงที่มี Combined residual เกิดขึ้น จะต้องใช้คลอรีน 7.6 เท่าของแอมโมเนียไนโตรเจน แล้วตรวจสอบโดยการวัด Combined-residual chlorine ต่อไป

การ Pre-chlorination ควรควบคุมให้อยู่ในเขตที่สองของ Breakpoint chlorination curve (รูปที่ 2) ปฏิกิริยาในช่วงนี้จะช่วยในการฆ่าเชื้อโรคในน้ำ ไม่ควรควบคุมให้อยู่ในเขตที่สี่ เพราะจะทำให้เกิดสารก่อมะเร็ง (สารไตรฮาโลมีเทน) ขึ้นได้

ปริมาณคลอรีนที่ใช้เพื่อกำจัดแอมโมเนียสามารถคำนวณได้ตามสูตรดังนี้

$$A = B \times 7.6$$

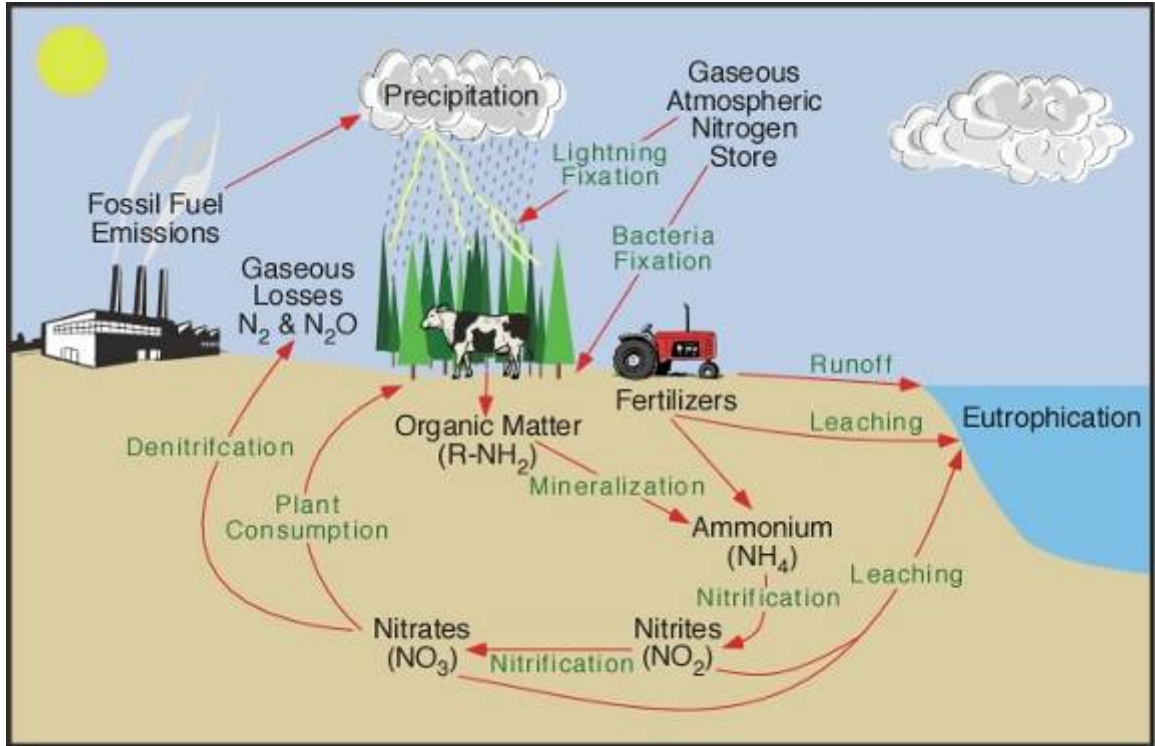
โดยที่ A = ปริมาณคลอรีนที่ใช้ในการใช้ (มิลลิกรัม)

B = ปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจนที่ตรวจวัดได้ (มิลลิกรัม)

ไนโตรเจน (Nitrogen)

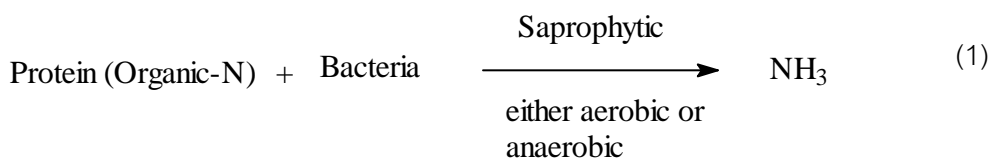
สารประกอบไนโตรเจนเข้ามาเกี่ยวข้องกับงานทางด้านน้ำเพราะความสำคัญของไนโตรเจนในวงจรชีวิตของพืชและสัตว์ เคมีของไนโตรเจนค่อนข้างจะยุ่งยากเนื่องจากไนโตรเจนมีวาเลนซ์ได้หลายค่า และการเปลี่ยนแปลงวาเลนซ์นี้ เกิดขึ้นในสิ่งมีชีวิต แบคทีเรียสามารถเปลี่ยนแปลงวาเลนซ์ของไนโตรเจนให้มากขึ้นหรือน้อยลง ขึ้นอยู่กับว่าเป็นสภาวะที่มีออกซิเจนหรือไม่มีออกซิเจน ในแง่ของอนินทรีย์เคมีของสารประกอบไนโตรเจนมีได้มากมายหลายรูปในวาเลนซ์ที่แตกต่างกันถึง 7 ค่า ($\text{NH}_3(-3)$, $\text{N}_2(0)$, $\text{N}_2\text{O}(+1)$, $\text{NO}(+2)$, $\text{N}_2\text{O}_3(+3)$, $\text{NO}_2(+4)$, $\text{N}_2\text{O}_5(+5)$) เท่าที่ทราบสารประกอบไนโตรเจนที่มีวาเลนซ์ +1, +2 และ +4 มีความสำคัญน้อยมากในขบวนการทางชีวะ สารประกอบไนโตรเจนที่เข้ามาเกี่ยวข้องกับเรื่องน้ำคั้นอาจแบ่งเป็น 2 ประเภท คือสารประกอบอนินทรีย์ไนโตรเจน เช่น NH_4^+ , NO_2^- , NO_3^- สารพวกนี้อาจอยู่ในรูปปุ๋ยหรือเกลือในปัสสาวะ ส่วนอีกชนิดคือ สารประกอบอินทรีย์ไนโตรเจน เช่น โปรตีน กรดอะมิโน กรดนิวคลีอิก สารพวกนี้เป็นส่วนประกอบของร่างกายพืชและสัตว์ ในอุจจาระ ในปุ๋ยคอก เป็นต้น สาเหตุที่สารเหล่านี้เข้ามาปนเปื้อนในน้ำ (ทั้งน้ำสะอาดและน้ำโสโครก) ก็เพราะการที่มันสามารถเปลี่ยนรูปสารอินทรีย์ไปเป็นสารอนินทรีย์ในขบวนการที่เรียกว่า Mineralization ซึ่งแบคทีเรียเป็นตัวสำคัญในการทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลง นอกจากนี้สารอนินทรีย์ในรูปต่างๆ ก็อาจเปลี่ยนกลับไปกลับมาได้โดยแบคทีเรียเช่นกัน ขบวนการในการเกิดมีชื่อเรียกต่าง ๆ กัน เช่น Ammonification, Nitrification และ Denitrification ความสำคัญของขบวนการ Mineralization คือการเปลี่ยนสารอินทรีย์ในรูปที่ไม่ละลายน้ำให้เป็นรูปที่ละลายน้ำ ซึ่งแบคทีเรียสามารถนำไปใช้ได้ ขบวนการดังกล่าวมีความสำคัญเกี่ยวกับวัฏจักรเคมีในน้ำจืดมาก เพราะทำให้มีสารอาหารซึ่งพวกพืชน้ำและสิ่งมีชีวิตเล็กๆ ในน้ำสามารถนำไปใช้ได้

ความสัมพันธ์ระหว่างสารประกอบไนโตรเจนรูปต่างๆ และการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในธรรมชาติแสดงให้เห็นในวัฏจักรของไนโตรเจน (Nitrogen cycle) ดังรูปที่ 1

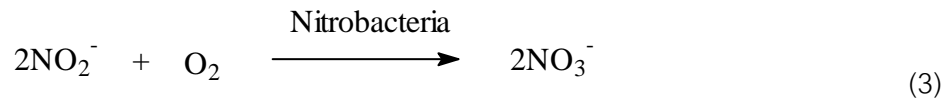
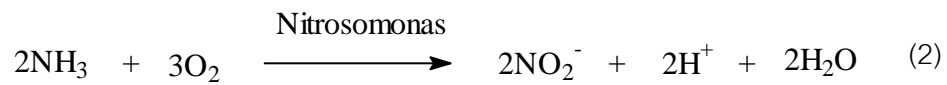


รูปที่ 1 วัฏจักรไนโตรเจน

จะเห็นได้ว่าพืชสีเขียวสามารถนำ NO_3^- และ NH_3 มาใช้เพื่อสร้างโปรตีน (เมื่อมีแสงแดด) นอกจากนี้แบคทีเรียและสาหร่ายบางชนิดยังสามารถนำไนโตรเจนในบรรยากาศมาสร้างโปรตีนได้เช่นกัน ในทางตรงข้าม คนและสัตว์ไม่สามารถที่จะใช้ไนโตรเจนจากอากาศหรือสารประกอบอนินทรีย์ตัวอื่นมาสร้างโปรตีน จึงต้องอาศัยโปรตีนจากพืชและสัตว์ชนิดอื่น ในระหว่างที่มีชีวิต สัตว์จะปล่อยของเสียซึ่งมีสารประกอบไนโตรเจนออกมา เมื่อตายโปรตีนในร่างกายพืชและสัตว์ จะถูกเปลี่ยนไปเป็นแอมโมเนียโดยกริยาของ saprophytic bacteria ทั้งภายใต้สภาวะที่มีออกซิเจนหรือไม่มีออกซิเจน ดังสมการ



พืชสามารถนำแอมโมเนียที่เกิดไปใช้ในการสร้างโปรตีนได้ ปริมาณที่เกินความต้องการจะถูกออกซิไดส์โดย Autotrophic nitrifying bacteria ไปเป็นไนไตรท์และไนเตรทตามลำดับ



ไนเตรทที่เกิดขึ้นจะเป็นปุ๋ยสำหรับพืชต่อไป ซึ่งมักจะเกิดในปริมาณที่มากเกินความต้องการของพืช และจะถูกน้ำที่ไหลผ่านดินชะไป (เพราะดินไม่มีความสามารถที่จะยึดไว้) เป็นเหตุให้น้ำใต้ดินส่วนมากมีไนเตรทสูง ภายใต้สภาวะที่ไม่มีออกซิเจนทั้งไนไตรท์และไนเตรทสามารถถูกรีดิวซ์ไปเป็นแอมโมเนียโดยขบวนการที่เรียกว่า Denitrification แต่ปฏิกิริยาส่วนมากจะดำเนินต่อไปจนถึงได้ก๊าซไนโตรเจนซึ่งจะหลุดออกไปสู่บรรยากาศ ทำให้เกิดการสูญเสียปุ๋ยในดิน การรีดิวซ์ไนเตรทจนได้ก๊าซไนโตรเจนนี้บางครั้งก่อให้เกิดปัญหาในการกำจัดน้ำโสโครกใน Activated sludge process เพราะการกักเก็บ Activated sludge ในถังตกตะกอนสุดท้ายนานจะทำให้เกิดก๊าซไนโตรเจนในปริมาณที่เพียงพอที่จะทำให้กากตะกอนลอยตัว (ถ้ามีไนเตรทมากพอ) เรียกว่า เกิดปัญหาการลอยตัวของกากตะกอน แต่ประโยชน์ของการ Denitrification ก็คือการกำจัดไนโตรเจนซึ่งพืชต้องการในการเจริญเติบโตจากน้ำเสียก่อนที่จะทิ้งลงสู่แหล่งน้ำ

การวิเคราะห์หาไนโตรเจนในน้ำใช้และน้ำโสโครกต่างๆ ในอดีตใช้บอกถึงคุณภาพของน้ำนั้นอย่างคร่าวๆ ว่าน้ำนั้นถูกปะปนด้วยอุจจาระหรือปัสสาวะหรือไม่ เช่น น้ำที่มีอินทรีย์ไนโตรเจนและแอมโมเนียไนโตรเจน แสดงว่าถูกทำให้สกปรกใหม่ๆ แต่ถ้าน้ำนั้นมีไนเตรทไนโตรเจนเป็นส่วนใหญ่ แสดงว่าน้ำนั้นถูกทำให้สกปรกเป็นเวลานานแล้ว ปัจจุบันนี้ใช้การตรวจแบคทีเรียแทน อาจสรุปปัญหาอันเกิดจากไนโตรเจนในน้ำได้ดังนี้

1. ปัญหาเกี่ยวกับสารอาหาร

ขบวนการกำจัดน้ำเสียทางชีวะทุกอย่างขึ้นอยู่กับปริมาณแบคทีเรีย ดังนั้น จึงต้องทราบว่า มีไนโตรเจน ซึ่งเป็นสารอาหารสำหรับแบคทีเรียในน้ำโสโครกพอเพียงหรือไม่ ในการนี้ต้องหาค่าแอมโมเนียไนโตรเจนและอินทรีย์ไนโตรเจน ไนโตรเจนจัดเป็นธาตุที่จำเป็นในการเจริญเติบโตของสาหร่าย ซึ่งถูกกระตุ้นโดยการทิ้งน้ำโสโครกซึ่งอาจมีไนโตรเจนและสารอาหารอื่นๆ อยู่ลงในแหล่งน้ำ จึงจำเป็นต้องวิเคราะห์หาไนโตรเจนในน้ำโสโครกก่อนทิ้ง

2. ปัญหาเกี่ยวกับการออกซิเดชันในแม่น้ำ

จากสมการที่ 2 และ 3 จะเห็นว่าการเปลี่ยนจากแอมโมเนียไนโตรเจนไปเป็นไนไตรท์และไนเตรทต้องการออกซิเจน ดังนั้น การปล่อยน้ำเสียซึ่งมีแอมโมเนียไนโตรเจนและตัวอื่นๆ ซึ่งเกิดจากการออกซิไดส์ของมันลงสู่แม่น้ำ ลำธาร จะก่อให้เกิดปัญหาการลดลงของระดับ DO ในแหล่งน้ำนั้น นอกจากนี้แบคทีเรียที่รับผิดชอบเกี่ยวกับขบวนการ Nitrification จะพบเป็นจำนวนมากในระบบการกำจัดน้ำเสียทางชีวะในสภาวะที่มีออกซิเจน การปล่อย Treated effluent ลงน้ำจึงทำให้เกิด Nitrification อย่างรวดเร็วขึ้น ดังนั้น การวิเคราะห์หาไนโตรเจนในรูปต่างๆ จึงจำเป็นมาก

3. การควบคุมการกำจัดน้ำโสโครกโดยวิธีทางชีวะ

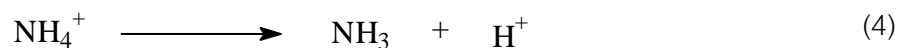
ข้อมูลเกี่ยวกับไนโตรเจนใช้เพื่อควบคุมองศาของการกำจัดน้ำโสโครกโดยวิธีทางชีวะ จากการศึกษาค่า BOD พบว่า การย่อยสลายสารอินทรีย์ที่ได้ผลไม่จำเป็นต้องทำให้จนถึงขั้น Nitrification เพื่อป้องกันการออกซิเดชันของไนโตรเจนที่จะเกิดในแหล่งน้ำทิ้ง

วิธีวิเคราะห์

เนื่องจากไนโตรเจนที่เข้ามาเกี่ยวข้องกับน้ำและน้ำโสโครกมีอยู่หลายรูปที่สำคัญคือ อินทรีย์ไนโตรเจน แอมโมเนีย ไนไตรท์ ไนเตรท และปริมาณของแต่ละรูปที่พบก็แตกต่างกันไปตามชนิดของน้ำและน้ำโสโครก การหาไนโตรเจนในรูปใดขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของการนำข้อมูลไปใช้ ควรเลือกวิธีวิเคราะห์ให้เหมาะสม ปกติแล้วการรายงานผลจะบอกในรูปของไนโตรเจนทั้งหมด เพื่อความสะดวกในการแปลผลจากตัวหนึ่งไปยังอีกตัวหนึ่งด้วย

แอมโมเนียไนโตรเจน

หมายถึง ไนโตรเจนทั้งหมดที่อยู่ในรูป NH_4^+ หรือในรูป NH_3 ซึ่งสมดุลกัน เรียกว่าแอมโมเนียไนโตรเจน เขียนแทนด้วยสมการดังนี้



ตามธรรมชาติจะพบแอมโมเนียในน้ำผิวดิน น้ำใต้ดิน และในน้ำโสโครก แอมโมเนียจำนวนมากเกิดจากขบวนการ Deamination ของสารประกอบที่มีอินทรีย์สารไนโตรเจนและจากการไฮโดรไลซิสของยูเรีย นอกจากนี้ยังอาจเกิดตามธรรมชาติโดยการรัดักชันของไนเตรทภายใต้สภาวะที่ไม่มีออกซิเจน ในโรงกำจัดน้ำเสียบางแห่ง แอมโมเนียจะถูกเติมลงไปเพื่อไปรวมกับคลอรีนตกค้างในน้ำ

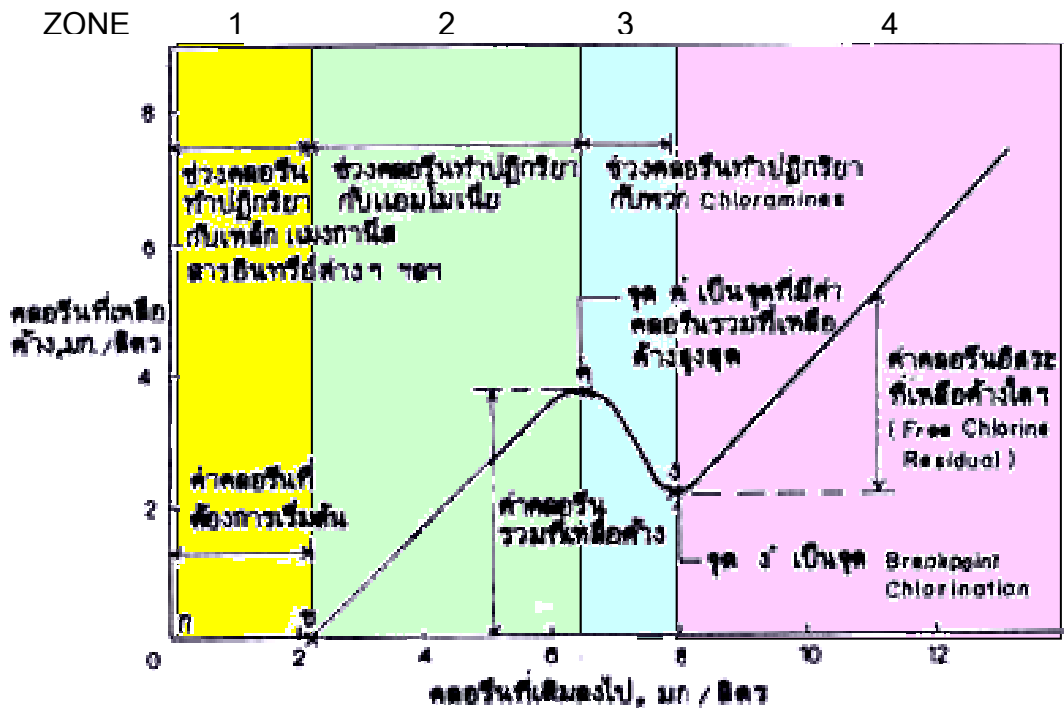
การเติมคลอรีนลงใน Wastewater effluent ที่มีแอมโมเนีย พบว่า Free residual chlorine จะไม่ปรากฏจนกว่าแอมโมเนียจะถูกออกซิไดส์หมด ความเข้มข้นของแอมโมเนียในน้ำและน้ำโสโครกจะแปรผันจาก $<10 \mu\text{gN/l}$ ในน้ำจนกระทั่งถึง $>60 \text{mgN/l}$ ในน้ำโสโครก

แฟกเตอร์ที่สำคัญที่มีอิทธิพลต่อการเลือกวิธีวิเคราะห์แอมโมเนีย คือ ความเข้มข้น และ ตัวขัดขวาง โดยทั่วไปแล้วการหาค่าแอมโมเนียในความเข้มข้นต่ำๆ โดยตรง มักใช้กับตัวอย่างน้ำ ดื่ม น้ำผิวดินที่สะอาด ตลอดจน Wastewater effluent ที่มีคุณภาพดี (แต่ถ้าต้องการ Precision สูง ให้ทำการกลั่นตัวอย่างก่อน) วิธีที่ใช้มักเป็น Colorimetric method ซึ่งมี 2 วิธี คือ วิธี Nesslerization กับวิธี Phenate สำหรับตัวอย่างที่มีค่าแอมโมเนียสูงมักใช้วิธีกลั่นแล้วไทเทรต

สำหรับวิธี Phenate ให้ความไวในการหาค่าแอมโมเนียถึง $10 \mu\text{gNH}_3\text{-N/l}$ และใช้ได้ดี ถึง $600 \mu\text{gNH}_3\text{-N/L}$ ถ้าตัวอย่างมีความขุ่น ควรทำการกลั่นตัวอย่างก่อน (Preliminary distillation) หรือกรอง (Filtration)

วิธีการกลั่นแล้วไทเทรตเหมาะสำหรับความเข้มข้นของแอมโมเนียในโตรเจนที่สูงเกิน 5 mg/l

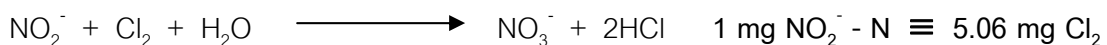
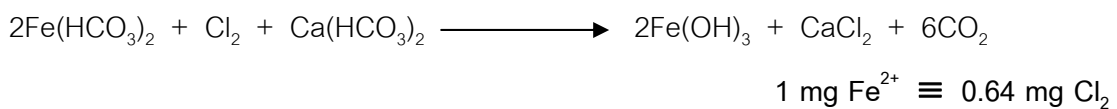
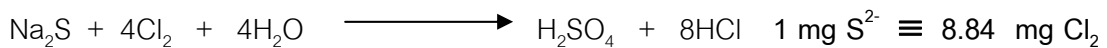
ในสภาวะคุณภาพน้ำดิบมีแอมโมเนียและอินทรีย์ในโตรเจนสูง กระบวนการ Pre-chlorination เป็นเรื่องสำคัญเพราะต้องระวังการเกิด Trihalomethane ซึ่งเป็นสารก่อมะเร็ง จากรูปที่ 2 แสดงปฏิกิริยาเคมีของคลอรีนในน้ำ



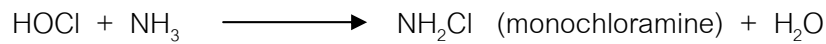
รูปที่ 2 Breakpoint Chlorination

ในรูปจะเห็นได้ว่า เส้นโค้งแบ่งออกเป็น 4 เขต (Zone) ซึ่งแต่ละเขตก็จะมีปริมาณคลอรีนที่เติมแตกต่างกัน

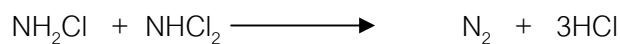
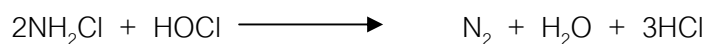
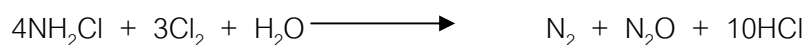
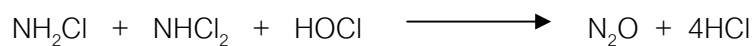
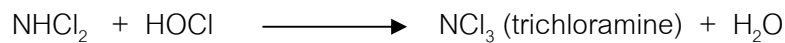
ในเขตที่หนึ่ง คลอรีนที่เติมจะทำปฏิกิริยากับสารประกอบรีดิวซ์ เช่น ซัลไฟด์ เฟอรัส ไนเตรต



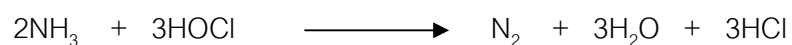
ในเขตที่สอง คลอรีนทำปฏิกิริยากับแอมโมเนียและ Simple amino acid ในน้ำเกิดเป็นคลอรามิน และสารประกอบ Chloro-organic



ในเขตที่สาม Breakpoint เขตนี้โมโนและไดคลอรามินจะทำปฏิกิริยากับคลอรีน เกิด Trichloramine, Nitrous oxide (N_2O)* , ไนโตรเจน (N_2)

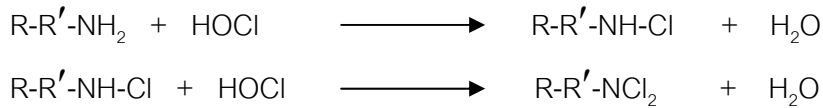


สรุปปฏิกิริยาระหว่าง NH_3 กับ Cl_2 แบบง่ายๆ ได้ดังนี้

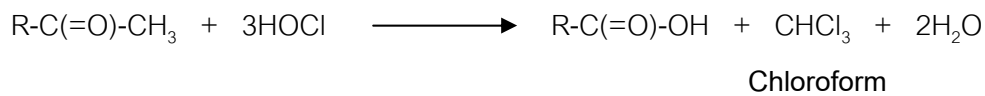


จากสมการดังกล่าว จะได้ว่า $1 \text{ mg NH}_3\text{-N} \equiv 1 \text{ mg Cl}_2$

ในเขตที่สี่ เขตนี้จะตรวจพบคลอรีนอิสระคงเหลือ (Free residual chlorine) ซึ่งจะค่อยๆ ทำปฏิกิริยากับ amino acid ที่โมเลกุลซับซ้อน โปรตีน Aquatic humic substances และสารอื่นๆ อีก ใช้เวลาเป็นชั่วโมงจนถึงหลายวัน



Carbonyl group และ Resorcinol ซึ่งเป็นองค์ประกอบบางส่วนใน Aquatic humic substances เมื่อทำปฏิกิริยากับคลอรีนทำให้เกิด Trihalomethanes (THMs) ดังแสดงในที่นี้คือ Chloroform



การ Pre-chlorination ควรควบคุมให้อยู่ในเขตที่สอง ปฏิกิริยาช่วงนี้ เกิดคลอรามินช่วยบำบัดเชื้อโรคในน้ำ และไม่ควรมีคลอรีนเหลือในเขตที่สี่ เพราะ Free residual chlorine เมื่อทำปฏิกิริยากับ Aquatic humic substance ทำให้เกิดสาร Trihalomethane ดังนั้น หากต้องการควบคุมปฏิกิริยาระหว่างคลอรีนและแอมโมเนียให้อยู่ในเขตที่สอง (รูปที่ 2) ต้องใช้ปริมาณคลอรีน 7.6 มิลลิกรัมต่อปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจน 1 มิลลิกรัม ดังนั้น ปริมาณคลอรีนที่ใช้เพื่อกำจัดแอมโมเนียสามารถคำนวณได้ตามสูตรดังนี้

$A = B \times 7.6$

โดยที่ A = ปริมาณคลอรีนที่ใช้ในการใช้ (มิลลิกรัม)

B = ปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจนที่ตรวจวัดได้ (มิลลิกรัม)

เอกสารอ้างอิง

1. กรรณิการ์ สิริสิงห, 2525 “เคมีของน้ำ น้ำโสโครกและการวิเคราะห์” พิมพ์ครั้งที่ 2 ประชุมวงศ์ บจก. กรุงเทพมหานคร
2. Tchobanoglous, G. and Burton, F. L. : *Wastewater Engineering : Treatment, Disposal and Reuse*, McGraw-Hill, New York, 1991.
3. APHA, AWWA and WPCF : *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater*. APHA, Inc., New York, 1998