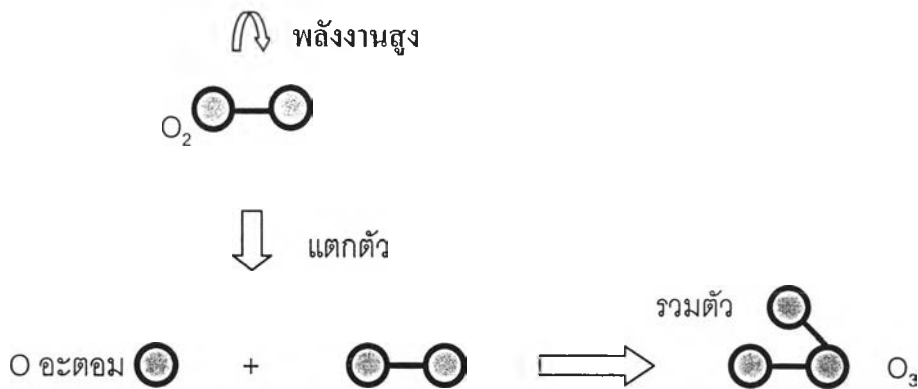


บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ก๊าซโอโซน (ozone or activated oxygen) ประกอบด้วยธาตุออกซิเจน 3 อะตอมรวมกัน มีสูตรโมเลกุล O_3 น้ำหนักโมเลกุล 48.00 มีความหนาแน่นมากกว่าออกซิเจน 1.5 เท่า และละลายน้ำได้ดีกว่าออกซิเจน 12.5 เท่า (Towles, 1998) ก๊าซโอโซนสามารถเกิดขึ้นเองได้ในธรรมชาติ จากการเกิดฟ้าแลบฟ้าคะนอง บนบรรยากาศชั้นสตราโทสเฟียร์ และบนพื้นผิวโลกเอง (Smith, 1999; อนันต์ตันสุตะพานิช, 2541) ทำให้ก๊าซออกซิเจนแตกตัว แล้วรวมกันใหม่เป็นก๊าซโอโซน (เอกชัย จิตต์รุ่งเรืองสุข, 2538; Towles, 1998) ก๊าซโอโซนที่เกิดตามธรรมชาตินี้ ทำหน้าที่กรองรังสีและแสงอาทิตย์ นอกจากนั้นมนุษย์ยังสามารถผลิตโอโซนได้ โดยเลียนแบบปฏิกิริยาการเกิดโอโซนจากธรรมชาติ (Yanco Industries, 1998) จากการให้พลังงานสูงแก่โมเลกุลออกซิเจน ทำให้โมเลกุลออกซิเจนนั้นแตกตัวออกเป็นอะตอมออกซิเจนอิสระ ซึ่งต่อมาจะรวมตัวกับโมเลกุลอื่นของออกซิเจนเกิดเป็นโอโซน (สุเมธ ชวเดช, 2541) การเกิดปฏิกิริยาสามารถแสดงดังภาพที่ 2.1



ภาพที่ 2.1 ปฏิกิริยาการเกิดโอโซน
(สุเมธ ชวเดช, 2541)

การผลิตโอโซนในปัจจุบันทำได้ 2 วิธี คือ (เอกชัย จิตต์รุ่งเรืองสุข, 2538; Roustan, 1997; สุเมธ ชวเดช, 2541 และบริษัท ไทยยูเนียน อควา โปรดักส์ (ประเทศไทย) จำกัด, ม.ป.ป.)

1. วิธี Photozone หลักการคือ การแตกตัวของก๊าซออกซิเจน จากพลังงานคลื่นอุลตราไวโอเลตที่มีความยาวคลื่นต่ำกว่า 200 นาโนเมตร แล้วรวมตัวกันใหม่ในรูปของก๊าซโอโซน หรือ Activated Oxygen ปริมาณก๊าซโอโซนที่ผลิตได้ ขึ้นกับแหล่งกำเนิดก๊าซออกซิเจน ที่ผ่านหลอดอุลตราไวโอเลต กล่าวคือ ถ้าแหล่งกำเนิดออกซิเจนคือ บีมลม (อากาศในธรรมชาติ) ก๊าซโอโซนที่ผลิตได้จะมีปริมาณ 66.7% ของปริมาณก๊าซทั้งหมด แต่ถ้าใช้ก๊าซออกซิเจนบริสุทธิ์ในการผลิต ออกซิเจนจะเปลี่ยนเป็นก๊าซโอโซน 100% วิธี Photozone เป็นวิธีที่ให้ความแรงของการออกซิไดซ์สูง อีกทั้งยังใช้พลังงานในการผลิตโอโซนน้อยกว่าวิธีอื่น

2. วิธี Corona Type คือ การถ่ายประจุไฟฟ้าแบบ Silent Spark (corona) ความต่างศักย์สูง (5,000-10,000 โวลท์) ผ่านก๊าซออกซิเจนหรืออากาศที่มีความชื้นต่ำ การผลิตโอโซนด้วยวิธีนี้จะให้ปริมาณโอโซนสูงถึง 96.4% ซึ่งมากกว่าวิธี Photozone อีกทั้งยังให้องค์ประกอบอื่นๆ เพียง 3.6% แต่อากาศที่ใช้ต้องปราศจากความชื้น เนื่องจากความชื้น อาจมีผลในการลดปริมาณโอโซนที่ควรผลิตได้ และเป็นสาเหตุให้เกิดไอน้ำเกาะอยู่ภายในเครื่อง ซึ่งก่อให้เกิดสนิมได้

คุณสมบัติของก๊าซโอโซน

โอโซนเป็นก๊าซสีฟ้า กลิ่นค่อนข้างฉุนคล้ายคาวปลา มีสภาพเป็นของเหลวที่อุณหภูมิ -112 องศาเซลเซียส และของแข็งที่ -193 องศาเซลเซียส มีความเสถียรต่ำ (Dore, 1997) ค่าครึ่งชีวิต (half life) ประมาณ 36 นาทีถึงสองชั่วโมงในสภาวะก๊าซ และประมาณ 18-20 นาทีเมื่อละลายในน้ำ (เอกชัย จิตต์รุ่งเรืองสุข, 2538) จะเห็นได้ว่าความไม่เสถียรของก๊าซโอโซน มีสาเหตุจากการสลายตัวอย่างรวดเร็วของโอโซน (Spotte, 1974 อ้างถึงใน Rosenthal, 1980 และ Hill and Rice, n.d.)

การสลายตัวของโอโซน

เมื่อโอโซนละลายน้ำ จะทำปฏิกิริยากับไฮดรอกไซด์ไอออนของน้ำ เกิดเป็นอนุมูลอิสระต่างๆ และสุดท้ายก๊าซโอโซนจะสลายตัวกลายเป็นก๊าซออกซิเจน (เอกชัย จิตต์รุ่งเรืองสุข, 2538) ดังแสดงในสมการ



อัตราการสลายตัวของโอโซนขึ้นอยู่กับสารประกอบตัวก่อ (initiator) และ/หรือตัวสนับสนุน (promotor) ที่เป็นทั้งสารอินทรีย์และอนินทรีย์ในน้ำ รวมทั้งสารยับยั้ง เช่น คาร์บอนต และไบคาร์บอนต (ดวงดาว สุขจิตต์ และจินตนา จันทร์ศิริวิไลกุล, 2539) ปัจจัยของการสลายตัวมี 2 ประการ คือ

1. การทำปฏิกิริยากับสารปนเปื้อนในน้ำ

โอโซนทำปฏิกิริยาทันทีที่สัมผัสกับสารแขวนลอยต่างๆ ในน้ำ อาทิเช่น สารอนินทรีย์และสารอินทรีย์ รวมถึงความหนาแน่นของเซลล์จุลินทรีย์ในน้ำ โอโซนจะสลายตัวอย่างรวดเร็ว และแตกตัวให้อนุมูลอิสระ ได้แก่ Hydroxyl radical ($^{\circ}\text{OH}$) และ HO_3 เป็นต้น (สุเมธ ขวเดช, 2541) ซึ่งมีความไวในการทำปฏิกิริยากับสารปนเปื้อนต่างๆ ในน้ำ ทั้งนี้ขึ้นกับความเข้มข้น ปริมาณ ชนิดของสารอินทรีย์ และสารอนินทรีย์ที่อยู่ในน้ำด้วย จากสาเหตุดังกล่าว ทำให้การสลายตัวของโอโซนในน้ำธรรมชาติ มีความซับซ้อนกว่าในน้ำบริสุทธิ์ (ดวงดาว สุขจิตต์ และจินตนา จันทร์ศิริวิไลกุล, 2539)



2. การกระจายตัวสู่บรรยากาศ

เนื่องจากไอโซนมีความเสถียรต่ำ สลายตัวได้ง่ายในสภาวะที่ละลายในน้ำ (สุเมธ ชวเดช, 2541) ดังนั้นก๊าซไอโซนที่ผลิตได้จะกระจายตัวขึ้นสู่บรรยากาศเหนือสารละลายในรูปก๊าซมากกว่า ทำให้การตรวจวัดค่าความเข้มข้นของไอโซนในน้ำไม่แน่นอน (Rosenthal, 1980) ก๊าซไอโซนที่ยังคงเหลือในรูปสารละลายจะมีค่าลดลงตามเวลา (Hill and Rice, n.d.)

ประสิทธิภาพในการละลายน้ำของไอโซน

ประสิทธิภาพในการละลายน้ำของไอโซน มีผลต่อความเข้มข้นของไอโซนที่ละลายในน้ำ (นิรชา วงษ์จินดา, 2534) ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อความสามารถในการละลายน้ำของไอโซน พอสรุปได้ดังนี้ คือ

1. อุณหภูมิ

เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นจะทำให้ปริมาณไอโซนละลายลดลง (Towles, 1998; นิรชา วงษ์จินดา, 2534) เนื่องจากไอโซนสลายตัวได้เร็วขึ้น (Rosenthal, 1980) ความคงตัวของไอโซนรวมทั้งความเข้มข้นเริ่มต้นของไอโซน ขึ้นกับอัตราการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิและความสัมพันธ์อื่น (Spotte, 1979 และ Kinman, 1975 อ้างถึงใน นันทริกา อิศรศักดิ์ ณ ออยุธยา และคณะ, 2532)

2. ค่าความเป็นกรด-ด่างของสารละลาย (pH)

pH มีความสำคัญในการทำปฏิกิริยาของไอโซนต่ออินทรีย์สารต่างๆ (Towles, 1998) ในสภาวะที่ pH น้อยกว่า 7 ไอโซนจะทำปฏิกิริยากับอินทรีย์สารต่างๆ ได้ช้า แต่ที่ pH มากกว่า 8 ปฏิกิริยาจะเกิดอย่างรวดเร็ว เนื่องจากไอโซนสลายตัวให้ไฮดรอกซีแรดดิคัล ($^{\circ}\text{OH}$) ที่เป็นตัวออกซิไดซ์ที่รุนแรง อย่างไรก็ตาม นิรชา วงษ์จินดา (2534) ไม่พบความแตกต่างของความสามารถในการละลายของไอโซนที่ pH ของน้ำเท่ากับ 5-9 เมื่อความเข้มข้นของไอโซนตกค้าง (ROC) อยู่ในช่วง 0.60-0.70 ส่วนในล้านส่วน ในน้ำที่ความเค็ม 31 ส่วนในพันส่วน

3. ความเค็มของน้ำ

เมื่อน้ำทะเลมีค่าความเค็มเพิ่มสูงขึ้น จะทำให้ไอโซนละลายลดน้อยลง (Blogoslawski et al, 1978; Yang and Chen, 1979 และ Liltved et al, 1995) ถ้าตัวแปรอื่นๆ ได้แก่ อุณหภูมิ และค่า pH ของน้ำทะเลคงที่ (นิรชา วงษ์จินดา, 2534)

4. คุณสมบัติของสารละลาย

ปริมาณของสารประกอบ และอนุภาคแขวนลอยต่างๆ ในน้ำมีความสัมพันธ์โดยตรงกับความสามารถในการละลายของก๊าซไอโซน กล่าวคือถ้ามีสารประกอบและอนุภาคต่างๆ ในปริมาณมาก จะทำให้ปริมาณไอโซนละลายลดลง (Rosenthal, 1980)

5. ขนาดของฟองก๊าซไอโซน

จำนวนและขนาดช่องของหัวทรายที่ใช้พ่นก๊าซไอโซนมีผลต่อขนาดของฟองก๊าซไอโซน ฟองก๊าซขนาดใหญ่ ทำให้การผสมผสานระหว่างก๊าซไอโซนกับน้ำไม่สมบูรณ์ ปริมาณไอโซนละลายจึงมีค่าน้อยเมื่อเทียบกับปริมาณไอโซนละลายที่ได้จากฟองก๊าซขนาดเล็ก นอกจากนี้ความดันอากาศในการผลิตก๊าซไอโซนยังมีผลต่อขนาดฟองก๊าซ เนื่องจากที่ความดันสูง จะทำให้ฟองก๊าซมีขนาดใหญ่ ทำให้ไอโซนละลายน้ำได้น้อย (Legeron, n.d.)

6. วิธีการที่ไอโซนสัมผัสกับสารละลาย

การเป่าพ่นก๊าซไอโซนและน้ำไปพร้อมๆ กัน ทำให้เกิดการแยกชั้นระหว่างก๊าซและของเหลวอย่างชัดเจน ปริมาณไอโซนละลายที่ได้จึงมีค่าน้อย แต่การเป่าพ่นไอโซนลงไปใต้น้ำที่ตั้งอยู่ในคอลัมน์ จะทำให้ไอโซนผสมกับของเหลวได้ดีกว่า ปริมาณไอโซนละลายที่ได้จึงมีปริมาณเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด (Legeron, n.d.)

การตรวจวัดปริมาณก๊าซโอโซนละลาย

ความเข้มข้นของก๊าซโอโซนเปลี่ยนแปลงไปตลอดเวลา นับตั้งแต่มีการผลิตจากเครื่องผลิต จึงมีความจำเป็นที่จะต้องมีการตรวจวัดความเข้มข้นที่แท้จริงของโอโซน นักวิจัยหลายกลุ่มเลือกใช้วิธีการแตกต่างกันออกไป ในการวิเคราะห์ความเข้มข้นของก๊าซโอโซน ซึ่งสามารถแจกแจงดังนี้

1. การวิเคราะห์ปริมาณโอโซนผลิตสุทธิ (Total Ozone Output, TOO)

เครื่องผลิตก๊าซโอโซนที่จำหน่ายในท้องตลาด ระบุความเข้มข้นของโอโซนที่ผลิตเป็นหน่วยน้ำหนักก๊าซต่อเวลา (นิรชา วงษ์จินดา, 2537) ก๊าซโอโซนที่ผลิตออกมาจากเครื่องแล้ว จะมีการสลายตัวเนื่องจากปัจจัยหลายประการของน้ำที่ทำละลาย เช่น ความเค็ม อุณหภูมิ ความกระด้าง ปริมาณและชนิดของสารอินทรีย์และอนินทรีย์ในน้ำ เป็นต้น (Rosenthal, 1980; Towles, 1998)

การวิเคราะห์ความเข้มข้นของโอโซนที่ผลิตจากเครื่องด้วยวิธี Iodometric titration (APHA, 1976) เป็นการวิเคราะห์ปริมาณก๊าซโอโซนที่เติมเข้าไปสู่ระบบต่อหน่วยเวลา โดยมีสารละลายโปแตสเซียมไอโอไดด์ เป็นตัวดูดจับก๊าซโอโซนในน้ำ ทำให้เกิดเป็นสารประกอบโปแตสเซียมไอโอเดต ซึ่งทำปฏิกิริยากับน้ำแข็งให้สีน้ำเงิน แม่วิธีการนี้จะไม่คำนึงถึงการระเหยออกจากระบบของโอโซนในภายหลัง แต่เป็นวิธีการที่นักวิจัยหลายกลุ่มเลือกใช้ เนื่องจากไม่มีวิธีใดที่สามารถวัดความเข้มข้นของโอโซนในน้ำได้อย่างถูกต้องแน่นอน (Yang and Chen, 1979; Liltved et al, 1995)

2. การวิเคราะห์ปริมาณโอโซนตกค้าง (Residual Ozone Concentration, ROC)

วิธี Indigo Colorimetric เป็นการวัดค่าโอโซนที่ยังหลงเหลืออยู่ในน้ำขณะทำการตรวจวัด วิธีนี้ได้รับการรับรองจาก Standard Methods Committee (APHA, 1976) มีหลักการคือ โอโซนทำปฏิกิริยากับ diethyl-p-phenylenediamine (DPD) โดยมี iodide ion เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ได้สารละลายสีแดงม่วง ซึ่งตรวจวัดค่าการดูดกลืนแสงได้ด้วยเครื่อง Spectrophotometer (Merck Ltd., 1998) อย่างไรก็ตามโบรมีนและคลอรีนในน้ำทะเล สามารถทำให้เกิดความผิดพลาดในการวิเคราะห์ตัวอย่างงานทดลองที่ใช้วิธีนี้วิเคราะห์ความเข้มข้นของโอโซน ได้แก่ นิรชา วงษ์จินดา (2537); Chau (1991) และ Liltved et al (1995)

3. การวิเคราะห์ความเข้มข้นของไอโชนจากค่า redox potential

ค่า Redox potential วัดได้ด้วยเครื่อง Potentiometer ซึ่งใช้ Calomel electrode และ Platinum electrode มีหน่วยวัดเป็นมิลลิโวลท์ Jacobsen et al (1989) ใช้วิธีนี้ในการวัดค่าไอโชนที่จำเป็นในการกำจัดแบคทีเรียที่เป็นสาเหตุของโรคปลา อย่างไรก็ตาม ยังไม่พบความสัมพันธ์ที่แน่ชัดระหว่างความเข้มข้นของไอโชน ค่ารีดอกซ์โพเทนเชียล และประสิทธิภาพการยับยั้งแบคทีเรีย (Liltved et al, 1995)

การใช้ประโยชน์จากไอโชน

ไอโชนเป็นสารออกซิไดซ์อย่างแรง (strong oxidizing agent) เนื่องจากมีค่าออกซิเดชันโพเทนเชียลสูงถึง 2.07 โวลท์ (Towles, 1998) เมื่อเปรียบเทียบกับค่ากำลังออกซิเดชันกับสารออกซิไดซ์อื่นๆ ได้แก่ คลอรีน 1.36 ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 1.77 โบรมีน 1.90 และไอโอดีน 0.54 (Lin and Yeh, 1993; เอกชัย จิตต์รุ่งเรืองสุข, 2538; ศิริรักษ์ เนตรรัตน์, 2539) ดังนั้นจึงทำให้ไอโชนถูกนำมาใช้ในงานด้านการบำบัดอินทรีย์สาร และอนินทรีย์สารต่างๆ อย่างแพร่หลาย (สุเมธ ชวเดช, 2541) ซึ่งพอจะนำมากล่าวได้ดังนี้

1. การใช้ไอโชนบำบัดน้ำดื่ม น้ำในสระว่ายน้ำ บ่อน้ำแร่ และน้ำในกระบวนการผลิตในโรงงานอุตสาหกรรม โดยฉีดพ่นก๊าซไอโชนโดยตรงเพื่อกำจัดโลหะหนัก สาหร่ายและเชื้อจุลินทรีย์ที่มีมาในน้ำดิบก่อนเข้าระบบกรอง (Majumdar and Sproul, 1974; Chau, 1991; Yanco Industries, 1998; ศิริรักษ์ เนตรรัตน์, 2539)

2. การนำไอโชนมาใช้ในกิจการแพทย์ เพื่อทำลายจุลินทรีย์ในน้ำ และในอากาศชนิดต่างๆ เช่น แบคทีเรียและไวรัสที่เป็นสาเหตุของโรคระบบทางเดินอาหาร โรคหวัด เป็นต้น (Yanco industries, 1998) การฉีดพ่นในห้องพยาบาลนาน 4 ชั่วโมง สามารถฆ่าเชื้อโรคอย่างได้ผล (ศิริรักษ์ เนตรรัตน์, 2539) หรือการใช้ ROC ความเข้มข้นน้อยกว่า 1 มก./ลิตร เพื่อออกซิไดซ์เชื้อโรคต่างๆ ที่อยู่ในเลือด เช่น เชื้อ HIV Cytomegalo Virus Coliform Bacteria และ *Staphylococcus* (Smith, 1999)

3. การใช้โอโซนบำบัดน้ำในฟาร์มเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ (Menasveta, 1980; Matsumura et al, 1998; อนันต์ ต้นสุตะพานิช, 2541) เพื่อกำจัดก๊าซแอมโมเนีย ไฮโดรเจนซัลไฟด์ และเชื้อโรค ทั้งยังเป็น การเพิ่มปริมาณออกซิเจนละลายให้กับแหล่งน้ำ (เอกชัย จิตต์รุ่งเรืองสุข, 2538; ศิริรักษ์ เนตร รัตน์, 2539; Strong et al, 1999)

การติดตั้งเครื่องผลิตโอโซน เป็นที่นิยมมากในฟาร์มเพาะเลี้ยงหอยนางรมในประเทศฝรั่งเศส เพื่อกำจัดเชื้อ *Vibrio vulnificus* จากการประยุกต์ใช้ข้อมูลการทดลองของ Yves Fauvel ในปี ค.ศ.1972 ที่ประสบความสำเร็จในการใช้โอโซนกำจัดเชื้อโคลิฟอร์มแบคทีเรียที่เป็นอันตรายต่อระบบ ทางเดินอาหารของผู้บริโภค ส่งผลให้ฝรั่งเศสผลิตหอยนางรมได้ถึง 1,400 กิโลกรัม/วัน (Forchtman et al, 1977)

ส่วนในประเทศเอกวาดอร์ การใช้โอโซนเป่าฟองลงในน้ำที่มีเชื้อไวรัส Taura Syndrome Virus (TSV) ที่เป็นสาเหตุให้ผลผลิตกุ้งทั่วประเทศลดลง 80% ทำให้อัตรารอดของกุ้งสูงขึ้นกว่า 60% (Strong et al, 1999)

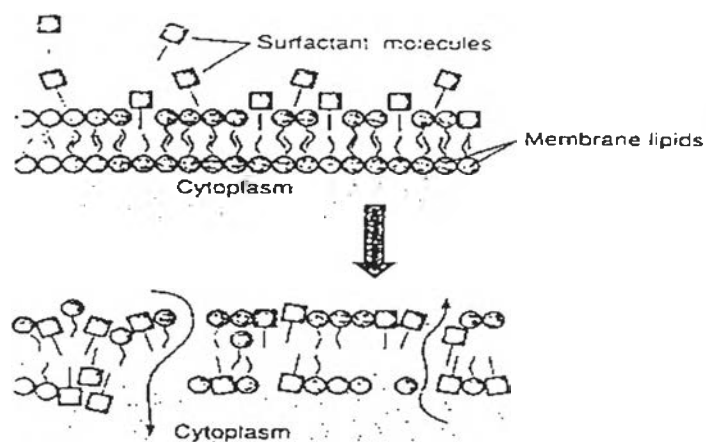
4. การใช้โอโซนกำจัดสาหร่ายใน Cooling Tower สำหรับเครื่องปรับอากาศขนาดใหญ่ เนื่องจากสาหร่ายเป็นสาเหตุสำคัญ ที่ทำให้ประสิทธิภาพในการระบายความร้อนต่ำลง (Yanco Industries, 1998; สุเมธ ชวเดช , 2541)

5. การใช้โอโซนกำจัดกลิ่น ก๊าซพิษ และโลหะหนัก ที่ได้จากน้ำเสียโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น โรงงานผลิตสุรา โรงงานผลิตอาหารกระป๋อง และโรงงานฟอกย้อม เป็นต้น (สุเมธ ชวเดช, 2541) มีวิธีการคือ ฉีดพ่นโอโซนลงไปในน้ำเสีย แล้วปล่อยให้ตกตะกอน (Matsumura et al, 1998; Towles, 1998) หรือการขจัดสีในน้ำเสีย ที่มาจากสารอินทรีย์ที่สะสมในน้ำและสารแขวนลอย (ดวงดาว สุข จิตต์ และจินตนา จันทร์ศิริวิไลกุล, 2539; อนันต์ ต้นสุตะพานิช, 2541)

ผลของไอโซนต่อเชื้อแบคทีเรีย

การเกิดโรคในสัตว์น้ำส่วนใหญ่ มีสาเหตุจากเชื้อแบคทีเรีย ที่พบมากได้แก่ แบคทีเรียแกรมลบสกุล *Vibrio* ได้แก่ *Vibrio anguillarum*, *Vibrio vulnificus*, *Vibrio harveyi* และ *Vibrio spp.* (โรคกุ้ง, 2536) รวมทั้ง *Pseudomonas spp.* และ *Aeromonas spp.* (สว่าง ไหวพริบ, 2532) การติดเชื้อแบคทีเรียในสัตว์น้ำมักเป็นแบบ Secondary Infection คือเมื่อสัตว์น้ำอ่อนแอจากบาดแผล หรือเกิดความเครียดจากสภาวะที่มีปัจจัยไม่เหมาะสม เช่น มีสารพิษในน้ำ ขาดธาตุอาหารบางชนิด หรือคุณสมบัติบางประการของน้ำในบ่อเลี้ยงไม่เหมาะสม (พัฒน์ จันทร์โรทัย, 2536) การเจริญเติบโตและการเพิ่มจำนวนของเชื้อแบคทีเรียส่งผลกระทบต่อระบบการทำงานของร่างกาย ทำให้สัตว์น้ำเป็นโรคและตายในที่สุด (สว่าง ไหวพริบ, 2532) โดยทั่วไปวิธีการแก้ปัญหาโรคและคุณภาพน้ำเสื่อมโทรมนี้ มักมุ่งไปที่การเติมสารเคมี เช่น คลอรีนหรือฟอร์มาลิน (Rosenthal, 1980) แต่สารเหล่านี้มีการสลายตัวช้าและตกค้างนานภายในบ่อ อีกทั้งยังต้องใช้ในความเข้มข้นสูง เพื่อการกำจัดสาเหตุของโรค (Rosenthal, 1980; สถาบันวิจัยทรัพยากรทางน้ำ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2534) เมื่อเปรียบเทียบกับไอโซนซึ่งมีประสิทธิภาพสูงในความเข้มข้นที่ต่ำกว่า อีกทั้งมีการสลายตัวรวดเร็วไม่เกิดการสะสมของสารพิษ

ปฏิกิริยาการเข้าทำลายเซลล์สิ่งมีชีวิตโดยไอโซน เริ่มจากที่ไอโซนจะออกซิไดซ์เยื่อหุ้มเซลล์ที่บริเวณพันธะคู่ของกรดไขมัน (นิรชา วงษ์จินดา, 2537; Smith, 1999; Arturo and Tapas, 1988) จนเสียหายและแยกจากกัน (Trukhacheva et al, 1993 อ้างถึงใน นิรชา วงษ์จินดา, 2537) จากนั้นไอโซนจะเข้าไปออกซิไดซ์สารชีวโมเลกุลอื่นๆ ภายในเซลล์ ทำให้การสร้างโปรตีนที่ทำหน้าที่เป็นเอนไซม์ และโครงสร้างของโมเลกุลหยุดชะงัก (Paulesu et al, 1991) เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของ DNA และ RNA หรือเกิดพันธะกับ RNA ทำให้กระบวนการสังเคราะห์ DNA และ RNA เกิดขึ้นได้อย่างไม่สมบูรณ์ (ศิริรักษ์ เนตรรัตน์, 2539) (ภาพที่ 2.2) เมื่อออกแกเนลส์ต่างๆ ในเซลล์ถูกทำลายจะทำให้เซลล์ตายในที่สุด (นันทริกา อิศรศักดิ์ ณ อยุรยา และคณะ, 2532) โดยลักษณะการตายของเชื้อจุลินทรีย์เป็นแบบ Logarithmic Order คือ จำนวนเชื้อมีการลดลงแบบ Exponential (ศิริรักษ์ เนตรรัตน์, 2539) อย่างไรก็ตาม ถ้าเยื่อหุ้มเซลล์ไม่ถูกทำลายจนแตกแยกออกจากกัน เซลล์จะสามารถฟื้นกลับมาใช้ชีวิตใหม่ได้ (Arturo and Tapas, 1988)



ภาพที่ 2.2 วิธีการทำลายสารชีวโมเลกุลของเชื้อจุลินทรีย์

ภาพด้านบน คือ บริเวณผนังเซลล์

ภาพด้านล่าง คือ เยื่อหุ้มเซลล์ (ศิริรักษ์ เนตรรัตน์, 2539)

ประสิทธิภาพของการทำลายเซลล์ขึ้นกับปริมาณของไอโซนทั้งหมด ปริมาณ ROC ในน้ำ และเวลาที่เชื้อสัมผัสกับไอโซน (Arturo and Tapas, 1988) เมื่อเปรียบเทียบกับคลอรีน พบว่าคลอรีนต้องใช้เวลานาน 30-60 นาทีในการทำลายผนังเซลล์ของแบคทีเรีย และถ้าความเข้มข้นของคลอรีน และเวลาในการให้คลอรีนสัมผัสกับเชื้อไม่เพียงพอ แบคทีเรียสามารถฟื้นกลับมามีชีวิตได้ใหม่ (Yanco Industries, 1998) แต่การสัมผัส ROC ที่ความเข้มข้นเพียง 1 และ 2.3 มก./ลิตร นาน 30 วินาที สามารถกำจัดเชื้อ *Vibrio harveyi* จำนวน 1.5 log units และ 4.0 log units ได้ตามลำดับ (Matsumura et al, 1998) และที่ปริมาณ ROC 0.10-0.2 มก./ลิตร จากการสัมผัสไอโซนนาน 3 นาที สามารถลดจำนวนเชื้อแบคทีเรีย ได้แก่ *Vibrio anguillarum* *Vibrio salmonicida* และ *Yersini ruckeri* ได้ทั้งหมด (Helge et al, 1993)

ในโรงเพาะเลี้ยงกุ้งกุลาดำวัยอ่อน ที่มีการหมุนเวียนน้ำทะเลผ่านเข้าเครื่องเติมโอโซน ปริมาณเชื้อแบคทีเรียเรืองแสง จะลดลงอย่างมีนัยสำคัญ จาก log 7.968 เป็น log 4.460 ภายใน 30 นาที ที่ปริมาณ ROC 0.37 มก./ลิตร (นันทริกา อิศรศักดิ์ ณ ออยุธยา และคณะ, 2532) นิรชา วงษ์จินดา (2537) ยังพบว่าที่ปริมาณ ROC สูงถึง 1.0 มก./ลิตร นาน 2 นาที สามารถกำจัดเชื้อ *Vibrio vulnificus* ที่ปนเปื้อนในหอยนางรมจำนวน 10^5 MPN cell/ 100 มล. ได้ทั้งหมด

Blogoslawski et al (1978) รายงานว่าก๊าซโอโซนละลาย ที่ปริมาณ ROC 0.53 มก./ลิตร สามารถกำจัดเชื้อแบคทีเรียที่เป็นโทษในฟาร์มเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำได้ ยกเว้นแบคทีเรียสกุล *Pseudomonas*

วิธีการให้โอโซนที่แตกต่างกัน มีผลต่อการกำจัดเชื้อแบคทีเรีย กล่าวคือในการทดลองเลี้ยงหอยนางรม Avault (1978) พบว่าน้ำที่บำบัดด้วยโอโซนมาก่อน มีประสิทธิภาพในการกำจัดแบคทีเรียสูงกว่าน้ำที่ผ่านโอโซนลงไปโดยตรง ซึ่งสอดคล้องกับ นิรชา วงษ์จินดา (2537) ที่ตรวจพบ *Vibrio vulnificus* ในน้ำที่ผ่านการให้โอโซนมาก่อน ในปริมาณที่น้อยกว่าการผ่านโอโซนโดยตรงแก่น้ำ การค้นพบดังกล่าวยังไม่สามารถสรุปได้แน่ชัด เนื่องจากในการทดลองของกลุ่มนักวิจัยอื่น พบว่าการให้เชื้อสัมผัสกับโอโซนโดยตรง ก็สามารถฆ่าเชื้อได้อย่างมีประสิทธิภาพ (ศิริรักษ์ เนตรรัตน์, 2539)

นอกจากแบคทีเรีย โอโซนยังสามารถกำจัดไวรัสได้ Wedemeyer and Nelson (1977) รายงานว่า Infectious Pancreatic Necrosis Virus (IPNV) มีจำนวนลดลง 99.99% เมื่อสัมผัสโอโซนเพียง 60 วินาที ที่ปริมาณ ROC 0.10-0.2 มก./ลิตร การค้นพบความสามารถในการยับยั้งการเจริญเติบโตของ Polio Virus กว่า 99.7-99.9% โดย ROC ที่ความเข้มข้น 4-5 มก./ลิตร ก็ถูกรายงานในงานทดลองของ Majumdar and Sproul (1974)

จากรายงานการวิจัยในอดีต ที่ศึกษาถึงผลของโอโซนต่อการกำจัดเชื้อแบคทีเรีย และไวรัส ชนิดต่างๆ สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 2.1

ในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำ นอกจากจะประกอบด้วยแบคทีเรียก่อโรค ยังมีแบคทีเรียที่มีประโยชน์ต่อสัตว์น้ำด้วย เช่น *Alteromonas haloplanktis* ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อหอยแครง (*Argopecten purpuratus*) ในการควบคุมจำนวน *V.anguillarum* และ *V.alginolyticus* (Riquelme et al, 1996) หรือการใช้ *Bacillus* S11 เพื่อเพิ่มอัตราการรอดของกุ้งกุลาดำ และควบคุมจำนวนเชื้อเรืองแสง (*V.harveyi*) (Rengpipat et al, 1998) รวมถึงแบคทีเรียที่สามารถยับยั้ง การเจริญเติบโตของแบคทีเรียให้โทษสกุล *V.anguillarum* (Riquelme et al, 1997) ปริมาณความเข้มข้นไอโซนที่สามารถทำลายเชื้อโรคต่างๆ อาจส่งผลทำลายจุลชีพที่เป็นประโยชน์ได้เช่นกัน (Rosenthal, 1980) ฉะนั้นการใช้ไอโซน ต้องคำนึงถึงผลที่จะเกิดกับจุลชีพที่เป็นประโยชน์ด้วย โดยเฉพาะในการเลี้ยงกุ้งกุลาดำในปัจจุบัน ที่นิยมเติมแบคทีเรียโพรไบโอติกทั้งในอาหาร เพื่อปรับปรุงการเจริญเติบโต และอัตราการรอดของกุ้ง และการเติมโพรไบโอติกลงน้ำโดยตรงเพื่อผลในการควบคุมคุณภาพน้ำ (สมพิศ อยู่สุข, 2542)

ตารางที่ 2.1 แสดงผลของไอโซนต่อเชื้อแบคทีเรีย

แบคทีเรีย	ROC (ppm)	เวลา	จำนวนที่ลด	อ้างอิง
<i>Aeromonas salmonicida</i> <i>V.anguillarum</i> <i>V.salmonicida</i> <i>Yersini ruckeri</i>	0.15-0.2	3 นาที	4 log units	Helge et al, 1993
<i>Archromobacter</i> <i>Flavobacter</i> <i>Pseudomonas</i> <i>Vibrio</i>	0.53	ระยะหมุ่น เวียนน้ำ 2 ชม.	ทั้งหมด	Blogoslowski et al, 1978
<i>V.harveyi</i>	2.3	30 วินาที	4 log units	Matsumura et al, 1998
<i>V.harveyi</i> Marine bacteria <i>V.vulnificus</i>	- 0.37 1.0 0.98 0.56	น้ำที่ผ่าน ไอโซน 24 ชม. 30 นาที 2 นาที มากกว่า 2 นาที	3 log units 3 log units 5 log units 5 log units 2-3 log units	นันทริกา อิศรศักดิ์ ณ อยุธยา และคณะ, 2532
<i>V.vulnificus</i>	ไอโซนละลาย ทั้งหมด 5.3	4 นาที	8 log units	Schneider et al, 1990
IPNV	0.01-0.02	60 นาที	ทั้งหมด	Wedemeyer and Nelson, 1977
จุลินทรีย์ต่าง ๆ	0.5-1.5	-	ทั้งหมด	Majumdar and Sproul, 1974
ไวรัส	0.7	4 นาที	ลดลงเหลือ 0.01%	

2.1.3 ผลของโอโซนต่อ Dinoflagellates

สาหร่าย และ Dinoflagellates บางชนิด สร้างสารพิษปนเปื้อนไปสู่สัตว์น้ำทำให้เป็นอันตรายต่อผู้บริโภคสัตว์น้ำนั้น (Blogoslawski et al, 1973) ตัวอย่างสาหร่ายพิษได้แก่ *Gonyaulax tamarensis* และ *Gonyaulax catenella* ซึ่งผลิตพิษอัมพาต Paralytic Shellfish Poison (PSP) สะสมในกุ้ง หอย และปู จากการทดลองของ Margaret et al (1976) พบว่า พิษของของเหลวที่ได้จากหอยกาบที่ปนเปื้อนพิษของสาหร่ายทั้ง 2 ชนิดจะสลายตัว เมื่อนำมาสัมผัสโอโซนในน้ำเลี้ยงที่มีค่า pH 7.8 นาน 5 นาที อย่างไรก็ตามถ้า pH ของน้ำลดลงเหลือ 3.8 พบว่าโอโซนไม่สามารถกำจัดพิษ *Gonyaulax catenella* จากสาหร่ายได้ แต่สามารถกำจัดพิษจากสาหร่าย *Gonyaulax tamarensis* ได้บางส่วนเท่านั้น

Blogoslawski and Steward (1977) รายงานว่า ที่ความเข้มข้น ROC 0.08 ถึง 1.00 มก./ลิตร นาน 8 วัน สามารถกำจัดสารพิษจำนวน 2,586 มก. ที่สะสมในกล้ามเนื้อหอยสองฝา (ค่าความปลอดภัยสำหรับการบริโภคที่ยอมรับได้ คือ 80 มก.) สรุปผลของโอโซนที่มีต่อ Dinoflagellates สกุลต่างๆ ได้ดังนี้ (ตารางที่ 2.2)

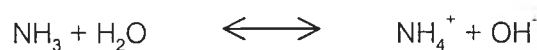
ตารางที่ 2.2 แสดงผลของโอโซนต่อ Dinoflagellates

สาหร่าย	สัตว์	ROC (ppm)	เวลา	อ้างอิง
- <i>Gonyaulax tamarensis</i> - <i>Gonyaulax catanella</i>	หอย	5 มล./นาที่	5 นาที่	Margaret et al, 1976
- <i>Gonyaulax tamarensis</i> - <i>Gonyaulax catanella</i>	หอย สองฝา	0.08-1 มก./ลิตร	8 วัน	Blogoslawski and Stewart, 1977
- <i>Gymnodinium breve</i>	ปลา และ สัตว์น้ำ	2 กรัม/ชม.	15 นาที่	Wilson and Ray, 1956 อ้างถึงใน Blogoslawski et al, 1973

2.4 ผลของไอโซนต่อคุณภาพน้ำ

น้ำในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำทั่วไป ประกอบด้วยอิออนของสารอนินทรีย์ต่างๆ และสารอินทรีย์จำพวก กรดอะมิโน โปรตีน น้ำตาล และกรดไขมัน นอกจากนี้ยังมีสารแขวนลอยพวกแบคทีเรีย แพลงค์ตอนพืช แพลงค์ตอนสัตว์ ซากจุลินทรีย์เน่าเปื่อย รวมทั้งก๊าซที่เกิดจากปฏิกิริยาเคมีในบ่อ เช่น ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ออกซิเจน ไนโตรเจน มีเทน ไฮโดรเจนซัลไฟด์ และแอมโมเนีย เป็นต้น (มันสิน ตันตุลเวศม์ และไพพรรณ พรประภา, 2539) การเลี้ยงกุ้งแบบพัฒนา ส่งเสริมให้มีการสะสมของสารประกอบเหล่านี้มากขึ้น ซึ่งเป็นสาเหตุของมลภาวะในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำ (คณิต ไชยาคำ และยงยุทธ ปรีดาลัมพะบุตร, 2537)

การย่อยสลายของสารประกอบไนเตรต ฟอสเฟต และซัลเฟต เป็นการเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ให้แก่บ่อ ทำให้เกิดการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วของแพลงค์ตอนพืชและสาหร่าย ส่งผลให้ก๊าซออกซิเจนในบ่อเลี้ยงมีระดับออกซิเจนละลายลดต่ำลง จนถึงระดับที่เป็นอันตรายต่อกุ้งได้ (ยงยุทธ ปรีดาลัมพะบุตร และคณะ, 2532) ปริมาณอินทรีย์สารและแบคทีเรียที่สะสมตัวและเจริญในบ่อ มีผลต่อค่าไนไตรต์-ไนโตรเจน แอมโมเนีย-ไนโตรเจน และไนเตรต-ไนโตรเจน ที่สัมพันธ์โดยตรงกับอัตราการรอดตายของสัตว์น้ำ กล่าวคือ ไนไตรต์-ไนโตรเจนจะทำปฏิกิริยากับฮีโมโกลบินในเลือดสัตว์น้ำ ได้เป็นเมทธิโมโกลบิน (methemoglobin) ทำให้เม็ดเลือดสูญเสียความสามารถในการขนถ่ายออกซิเจน (มันสิน ตันตุลเวศม์ และไพพรรณ พรประภา, 2539) ไนไตรต์จะถูกเปลี่ยนไปเป็นไนเตรตได้โดยแบคทีเรียและในสภาวะที่มีก๊าซออกซิเจนมากเกินพอ (Chen and Chin, 1987 อ้างถึงใน คณิต ไชยาคำ และยงยุทธ ปรีดาลัมพะบุตร, 2537) ส่วนไนเตรตไม่เป็นพิษต่อสัตว์น้ำโดยตรง แต่เป็นสารอาหารที่ช่วยเร่งการเจริญของแพลงค์ตอนพืชและสาหร่าย (ดุสิต ตันวิไลย และคณะ, 2536) แอมโมเนียก็มีความเป็นพิษต่อสัตว์น้ำ (มันสิน ตันตุลเวศม์ และไพพรรณ พรประภา, 2539; Matsumura et al, 1998) คณิต ไชยาคำ และยงยุทธ ปรีดาลัมพะบุตร (2537) รายงานว่า แอมโมเนียในน้ำมีอยู่ 2 รูป คือ ก๊าซแอมโมเนีย (NH_3) และแอมโมเนียมอิออน (NH_4^+) ดังสมการเคมี



ก๊าซแอมโมเนียเป็นรูปที่มีพิษต่อสัตว์น้ำ เมื่อมีความเข้มข้นมากกว่า 1 มก./ลิตร เกิดจากการแตกตัวของแอมโมเนียมไอออน เมื่อ pH มีค่าสูง (เปี่ยมศักดิ์ เมนะเศวต, 2539)

การกำจัดสารพิษต่างๆ เหล่านี้ สามารถทำได้โดยการตกตะกอนแยกออกจากน้ำ ด้วยสารประกอบพวก Oxidizing Agent เช่น คลอรีน คลอรีนไดออกไซด์ ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ โพแทสเซียมเปอร์มังกาเนต และฟอร์มาลิน ซึ่งเป็นตัวเพิ่มออกซิเจนในการทำปฏิกิริยากับไอออนต่างๆ (ดวงดาว สุขจิตต์ และจินตนา จันทศิริวิไลกุล, 2539)

โอโซนเป็นอีกวิธีการหนึ่งที่น่าสนใจใช้ออกซิไดซ์สารประกอบอินทรีย์ และอนินทรีย์ รวมทั้งโลหะหนักในน้ำเสีย (Otte et al, 1977) โดยโอโซนจะเข้าทำปฏิกิริยากับพันธะคู่ของสารประกอบอินทรีย์ (สุเมธ ชวเดช, 2541; ดวงดาว สุขจิตต์ และจินตนา จันทศิริวิไลกุล, 2539) เพื่อขัดขวางกระบวนการเกิดอัลดีไฮด์ หรือคีโตน กรด เอสเทอร์ และเพอร์เอสเทอร์ นอกจากนี้โอโซนยังมีความไวในการทำปฏิกิริยาที่อะตอมออกซิเจนของแอลกอฮอล์ และการทำปฏิกิริยากับฟีนอล และอนุพันธ์ที่หมู่ไฮดรอกซิล (Towles, 1998)

โอโซนสามารถขจัดสีได้ โดยทำลายพันธะคู่ของคาร์บอนและไนโตรเจน และวงอะโรมาติกส์ อย่างไรก็ตามการทำปฏิกิริยาต้องใช้เวลาอันจึงจะกำจัดสีให้หมดไป (สุเมธ ชวเดช, 2541) เช่น การกำจัดสี Azoic ปริมาณ 50-80% ต้องใช้เวลา 1-2 ชม. (Masten et al, 1994) โอโซนสามารถออกซิไดซ์สารอินทรีย์พวกเหล็กและแมงกานีสในน้ำ ทำให้สารดังกล่าวตกตะกอน และสามารถออกซิไดซ์ไซยาไนด์ให้เป็นไซยาเนต เกิดเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ไนโตรเจน และออกซิเจน (สุเมธ ชวเดช, 2541)

Colberg and Lingg (1978) รายงานว่าค่า ROC ที่ 1 มก./ลิตร นาน 30 นาทีสามารถกำจัดแอมโมเนียให้เหลือ 0.3 มก./ลิตร เมื่อน้ำทะเลมีค่า pH 9.3 ถ้า pH ของน้ำต่ำลงเป็น 8.2 โอโซนจะมีประสิทธิภาพสูงขึ้น โดยสามารถลดปริมาณแอมโมเนียจนเหลือเพียง 0.15 มก./ลิตร โอโซนสามารถลดปริมาณไนไตรต์โดยเร่งปฏิกิริยาไนตริฟิเคชัน (nitrification) ทำให้ไนไตรต์เปลี่ยนเป็นไนเตรตทั้งหมด เมื่อสัมผัสโอโซนนาน 2-3 นาที ที่ค่า ROC 2-3 มก./ลิตร (Millamena, 1992)

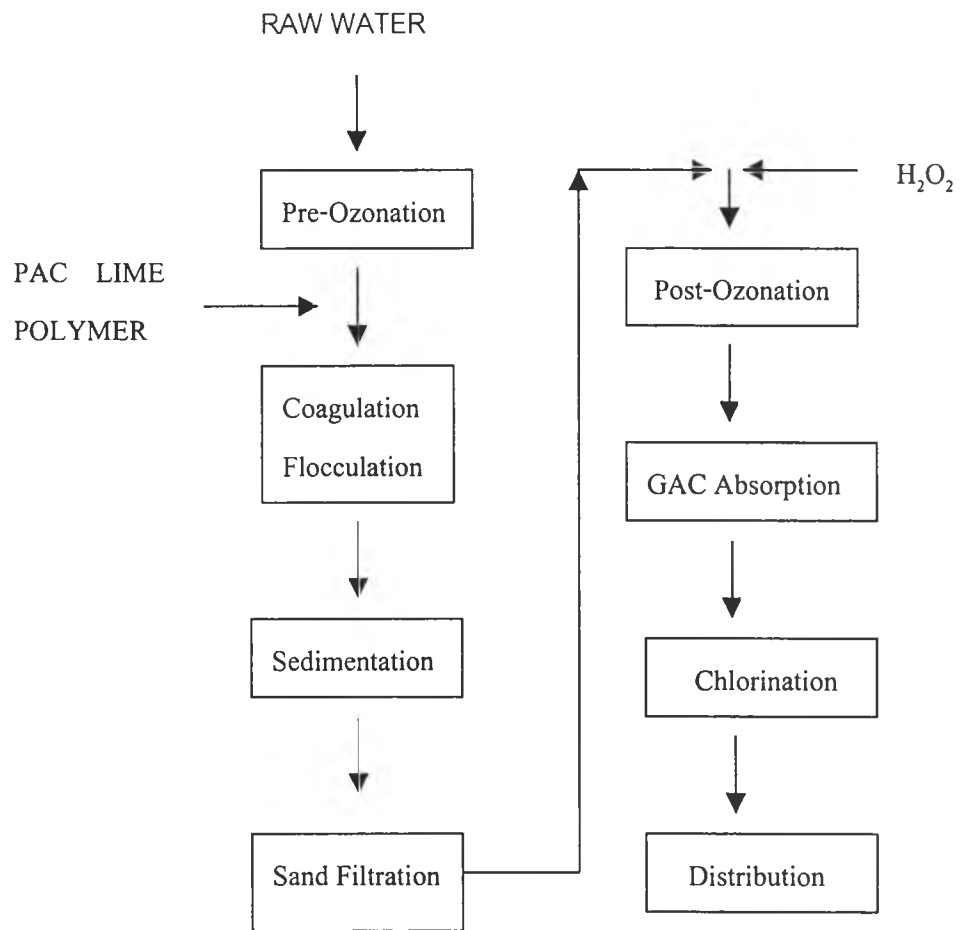
ความเป็นพิษของแอมโมเนียลดลงเมื่อทำปฏิกิริยากับไอโซน เนื่องจากการเกิดกรดไฮโปโบรมัส (HBrO) ในปฏิกิริยา เป็นตัวเร่งให้ก๊าซแอมโมเนียเปลี่ยนเป็นก๊าซไนโตรเจน และไนเตรตในที่สุด (Blogoslawski and Stewart, 1977)



จากการทดลองในระบบหมุนเวียนน้ำแบบปิด แม้ไอโซนจะไม่สามารถปรับปรุงค่าคุณภาพน้ำได้ แต่ก็ทำให้คุณภาพน้ำต่างๆ โดยเฉพาะแอมโมเนีย-ไนโตรเจน และไนไตรต์-ไนโตรเจนมีความคงที่ ไม่ก่อให้เกิดปัญหาตลอดการเลี้ยงที่ไม่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำนั้น (Menasveta, 1980) ทั้งยังเพิ่มอัตราการรอดของสัตว์น้ำเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม (วิชา เศรษฐศาสตร์ และคณะ, 2532)

ไอโซนถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลาย ในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม (Chau, 1991; Helge et al, 1993) ด้วยการใช้ควบคู่ไปกับระบบกรอง และตกตะกอนของเสียในน้ำ (ภาพที่ 2.3) ไอโซนสามารถลดค่า Chemical Oxygen Demand (COD) เมื่อมีเหล็กออกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาได้ถึง 63.35% และกำจัดสีได้ 88.55% เมื่อสัมผัสไอโซนที่มีอัตราการไหล 2.96-4.64 กรัม/ชม. นาน 17.52 นาที (สุเมธ ชวเดช, 2539) ไอโซนมีประสิทธิภาพสูงในการกำจัดสี การลดค่า COD Total Organic Carbon (TOC) ในน้ำเสียจากโรงงานย้อมผ้า และจากน้ำกากส่าในโรงงานผลิตสุรา (Adam et al, 1994) เมื่อใช้เครื่องขนาดกำลังผลิต 0.5 กรัม/ชม. สัมผัสกากน้ำส่าที่มีอัตราการไหล 50 มล./นาที นาน 8 นาที (ดวงดาว สุขจิตต์ และจินตนา จันทศิริวิไลกุล, 2539) Majumdar and

Sproul (1974) พบว่าสารแขวนลอยลดลงจาก 14 ถึง 55 มก./ลิตร เป็น 5 มก./ลิตร เมื่อน้ำสัมผัสกับ ROC 20 มก./ลิตร และสามารถลดปริมาณได้อีก 14 มก./ลิตร เมื่อเพิ่มปริมาณ ROC ถึง 40 มก./ลิตร การค้นพบนี้สอดคล้องกับการทดลองของ Rueter and Johnson (1995) ที่ใช้โอโซนกำจัดของแข็งแขวนลอยได้ถึง 55%



ภาพที่ 2.3 แสดงขบวนการกำจัดน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมโดยใช้โอโซน
 (Chau, 1991)

การให้โอโซนนาน 8 ชั่วโมงร่วมกับการกรองน้ำผ่าน GAC Absorption สามารถกำจัด Trihalo methanes มลสารขนาดเล็ก กลิ่น และสีของน้ำเสียได้ (Otte et al, 1977) สำหรับน้ำทิ้งจากโรงฆ่าสัตว์ที่มีปริมาณอินทรีย์สารสูง พบว่าให้โอโซนจากเครื่องกำลังผลิต 0.11 กรัม/ชม. นาน 1 ชั่วโมง สามารถลดค่า BOD ได้ 41.8% COD 57.5% และไนโตรเจนรวม 42.2% และปรับปรุงคุณภาพทางกายภาพของน้ำ อันได้แก่ ความขุ่นใสและกลิ่น (Millamena, 1992)

อย่างไรก็ตาม บางการศึกษาพบว่า จำเป็นต้องใช้โอโซนร่วมกับสารเคมีอื่น เพื่อเร่งปฏิกิริยาการย่อยสลายสาร เช่น การใช้โอโซนร่วมกับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เพื่อออกซิไดซ์น้ำเสียจากขยะมูลฝอย (Schutte et al, 1995)

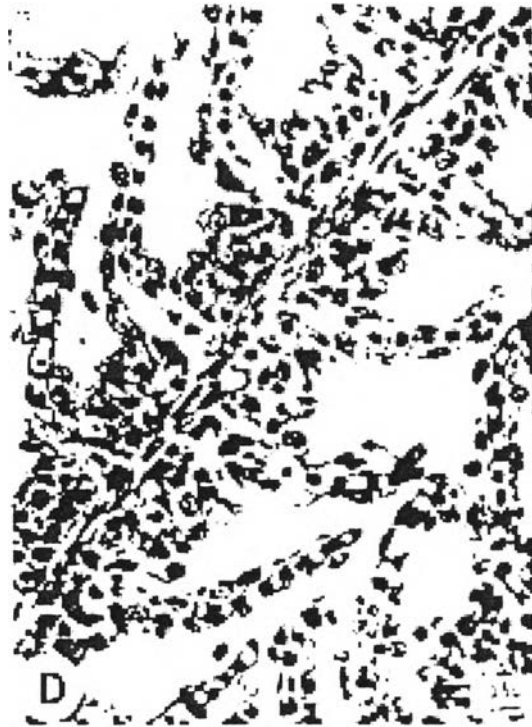
2.5 ผลของโอโซนต่อกุ้งกุลาดำ

โอโซนที่ความเข้มข้นระดับสูงๆ เป็นพิษต่อสัตว์น้ำ (Matsumura et al, 1998) เนื่องจากความเป็นสารออกซิไดซ์ที่รุนแรง และจากการดไฮโปโบมัส ที่เกิดจากการทำปฏิกิริยาของโอโซนกับโบรมีนในน้ำทะเล (Blogoslowski and Stewart, 1977; Blogoslowski et al, 1978)

Avault (1978) รายงานว่า ที่ปริมาณ ROC 0.5 มก./ลิตร เป็นพิษต่อตัวอ่อนหอยนางรม และในปี ค.ศ.1979 Wedemeyer et al ทดลองหาค่าความเป็นพิษแบบเฉียบพลัน (acute toxicity) ของปริมาณ ROC ที่ทำให้ปลา Rainbow Trout (*Salmon gairdneri*) ตายจำนวน 50% (LC_{50}) ใน 96 ชม. ($\alpha = 0.05$) พบว่าปริมาณ ROC 9.3 ไมโครกรัม/ลิตร ทำให้สัตว์ทดลองตายจำนวน 50% ภายใน 96 ชม. และที่ปริมาณ ROC 5 ไมโครกรัม/ลิตร นาน 12 สัปดาห์ มีผลในการลดพฤติกรรมการกินอาหารของปลา พบความผิดปกติของเหงือกปลาเมื่อนำมาตรวจดูลักษณะทางพยาธิสภาพ (ภาพที่ 2.4 ก, ข และ ค) ที่นิวเคลียสเกิดการหดตัวมีสีเข้มเป็นจุดชัดเจน ซึ่งเหงือกถูกทำลายและกระจายไม่ได้รูปทรง แต่ที่ปริมาณ ROC 2 ไมโครกรัม/ลิตร ไม่ทำให้เกิดความผิดปกติทั้งลักษณะภายนอก และลักษณะทางพยาธิสภาพของเหงือกปลา



ภาพที่ 2.4 ก แสดงลักษณะทางพยาธิสภาพของเหงือกปลากลุ่มควบคุมที่ไม่มีการให้ไอโซน
(Wedemeyer et al, 1979)



ภาพที่ 2.4 ข แสดงลักษณะทางพยาธิสภาพของเนื้อรกปลา ที่สัมผัส ROC 5 ไมโครกรัม/ลิตร เป็นเวลา 12 สัปดาห์ เนื้อเยื่อเนื้อรกถูกทำลายจนเสียรูปร่างของเซลล์ และมีอาการบวมน้ำ (Wedemeyer et al, 1979)



ภาพที่ 2.4 ค แสดงลักษณะทางพยาธิสภาพของหน้อกปลา ที่สัมผัส ROC 2 ไมโครกรัม/ลิตร เป็นเวลา 12 สัปดาห์ ไม่แสดงอาการผิดปกติของหน้อกปลา (Wedemeyer et al, 1979)

ความเป็นพิษของไอโซนขึ้นอยู่กับปริมาณความเข้มข้นของไอโซน ระยะเวลาที่สัตว์น้ำสัมผัส ไอโซน รวมทั้งชนิด และอายุของสัตว์น้ำที่สัมผัสไอโซนนั้น (Wedemeyer et al, 1979; ศิริรักษ์ เนตร รัตน์, 2539; Smith, 1999) ดังนั้นในการนำไอโซนมาใช้งานด้านต่างๆ จำเป็นต้องคำนึงถึงปริมาณที่เหมาะสม ตลอดจนผลต่อปัจจัยสิ่งแวดล้อมอื่นๆ ด้วย (เอกชัย จิตต์รุ่งเรืองสุข, 2538)

ปัจจุบันนี้ยังไม่มีการศึกษาใดๆ เกี่ยวกับความเป็นพิษโดยตรงของไอโซนต่อกุ้งกุลาดำ จากการทดลองของ Matsumura et al (1998) ที่ใช้ ROC ความเข้มข้น 0.22 มก./ชม./ลบ. เพื่อนำมาวัดคุณ ภาพน้ำ และทำลายเชื้อโรคในบ่อเลี้ยงที่มีกุ้งกุลาดำอยู่ด้วย รายงานว่าไม่พบความเสียหายต่อกุ้ง กุลาดำแต่อย่างใด ในทางตรงข้าม Menasveta (1980) กลับพบว่าไอโซนปรับปรุงการเลี้ยงกุ้งกุลาดำ ในระบบหมุนเวียนน้ำแบบปิดให้ดีขึ้น โดยในบ่อที่มีการใช้ไอโซนขนาดกำลังผลิต 50 มก./ชม. ให้กุ้ง สัมผัสไอโซนไม่เกิน 2 ชม./วัน กุ้งจะมีอัตราการรอดสูงกว่ากลุ่มควบคุม ผลนี้สอดคล้องกับ นันทริกา อิศรศักดิ์ ณ ออยุธยาและคณะ (2532) ที่ว่าการเติมก๊าซไอโซน 10 และ 15 นาที ในระบบหมุนเวียนน้ำ 120 ลิตร ตลอดการเลี้ยง 4 สัปดาห์ ทำให้กุ้งกุลาดำมีอัตราการรอดสูงกว่ากลุ่มควบคุมเฉลี่ย 28.7% และมีลักษณะภายนอกดีกว่ากุ้งกลุ่มควบคุม ซึ่งมีขนาดแคระแกรน และสีตัวไม่สม่ำเสมอ