บทที่ 4

ขั้นตอนการทำความสะอาดน้ำดื่มเพื่อการบริโภค

น้ำบาดาลที่ทางบริษัทนำมาบำบัดและประกอบอุตสาหกรรมน้ำดื่มนั้น ได้มีการขุดเจาะบ่อบาดาล 2 บ่อที่มีความลึก 120 เมตร พบว่าเป็นแหล่งน้ำที่มีแร่ธาตุและสารอินทรีย์ที่มีประโยชน์ต่อร่างกาย เป็นแหล่งน้ำที่มีความใส ไม่มีสี กลิ่น หรือรสชาด ที่ไม่เหมาะสมต่อการบริโภค

แต่จากแหล่งน้ำนี้จะพบว่ามีเหล็กและแมงกานีส มีปริมาณที่สูงกว่าปกติ ซึ่งจะอยู่ในรูป combination คือ จะมีทั้งเหล็กและแมงกานีสที่ไม่ละลายน้ำ (Insolube Iron and Manganese) เหล็กและแมงกานีสที่เป็นสารละลาย (Soluble Iron and Manganese) และสารอินทรีย์เหล็กและแมงกานีส (Organic Iron and Managanese)

ปกติเหล็กในน้ำบาดาลจะอยู่ในสภาพของเกลือเฟอร์รัส (Fe^{+2}) หรือเป็นสารอินทรีย์เชิงซ้อน ที่พบในน้ำบาดาลอยู่ในรูปของไบคาร์บอเนต ถ้า pH ของน้ำบาดาลต่ำกว่า 3 เหล็กจะอยู่ในสภาพของเฟอร์ริก (Fe^{+3}) อิออน เหล็กในน้ำบาดาลส่วนมากจะมาจากหินอัคนี หินทราย (sandstone) หินดินดาน (shale) ปริมาณเฟอร์รัสอิออนในน้ำบาดาล จะถูกกำหนดด้วยการละลายของเฟอร์รัสคาร์บอเนต ถ้า pH อยู่ระหว่าง 6-8 และมีไบคาร์บอเนตอยู่ด้วย จะมีเฟอร์รัสอิออน 1-10 พีพีเอ็ม หรือหน่วยต่อล้าน นอกจากนี้เหล็กยังเกิดจากสนิมเหล็กในท่อและอุปกรณ์ต่างๆ ที่มีสนิมและเกิดจากการเจริญเติบโตของ iron bacteria หรือ crenothrix

สำหรับแมงกานีสนั้นไม่ค่อยพบมากเหมือนเหล็ก แต่ที่พบส่วนมากจะอยู่ในรูปของคาร์บอเนต แมงกานีสในน้ำบาดาลส่วนมากจะมาจากชั้นหินชั้นหรือหินแปร ซึ่งจะพบในรูปของแมงกานีสออกไซด์และไฮดรอกไซด์ เมื่อมีสภาพรีดิวส์เกิดขึ้น เหล็กและแมงกานีสในรูปที่ไม่ละลาย จะเปลี่ยนจากสภาพที่ไม่ละลายเป็นสภาพที่ละลายโดยมีวาเลนซี่เท่ากับสอง การเปลี่ยนแปลงนี้เกิดเองโดยธรรมชาติ เพราะสารอินทรีย์ต่างๆ ในดินเน่าสลายตัวจึงต้องการออกซิเจนและปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ ทำให้เกิดสภาพรีดิวส์ได้ เมื่อน้ำซึมผ่านดิน คาร์บอนไดออกไซด์จะละลายน้ำเป็นกรดคาร์บอกนิก ทำให้ pH ลดลง ซึ่งจะส่งเสริมสภาพรีดิวส์ยิ่งขึ้น ถ้าน้ำไม่มี

โอกาสสัมผัสกับอากาศ เหล็กและแมงกานีสจะอยู่ในสภาพเป็นสารละลาย เช่น ในน้ำบาดาล เมื่อดูดน้ำบาดาลขึ้นมาใช้ เหล็กจะอยู่ในสภาพเป็นตะกอนคอล์ลอยด์ ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของความขุ่น สารอินทรีย์เชิงซ้อนของเหล็กและแมงกานีสเกิดขึ้นจากการรวมตัวของอิออนเหล็กและแมงกานีสกับประจุลบของสารอินทรีย์ โดยที่เหล็กและแมงกานีสจะอยู่ตรงกลาง มีสารอินทรีย์ล้อมรอบอยู่ จึงทำให้ถูกออกซิไดส์ได้ยากกว่า เนื่องจากมีสารอินทรีย์เป็นเกราะป้องกัน

ดังนั้นลักษณะรูปแบบของขั้นตอนการทำความสะอาดน้ำดื่ม เช่น การเลือกใช้เครื่องกรองน้ำ, การใช้โอโซน และการใช้รังสีอุลตราไวโอเล็ต ของแต่ละบริษัทจึงมีความแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับแหล่งน้ำในแต่ละพื้นที่ที่พบซึ่งมีลักษณะองค์ประกอบที่แตกต่างกัน บริษัทจึงได้ออกแบบขบวนการการผลิตและทำความสะอาดน้ำดื่ม เพื่อให้มีประสิทธิภาพเหมาะสมตรงตามแหล่งน้ำที่พบ

1. การขจัดเหล็กและแมงกานีส

1.1) การเติมอากาศ (Aeration or Air OxidaTion)

กำจัดเหล็กโดยอาศัยออกซิเจนในอากาศ เนื่องจากในน้ำมีไบคาร์บอเนตละลายอยู่มาก เหล็กที่ละลายอยู่ในน้ำ จึงมักอยู่ในรูปของเหล็กไบคาร์บอเนต (ferrous bicarbonate) ซึ่งละลายได้ดีและไม่มีสี เมื่อออกซิเจนในอากาศไปออกซิไดซ์จะเปลี่ยนเป็นเหล็กไฮดรอกไซด์ ซึ่งจะตกตะกอนเพราะมีการละลายต่ำมาก (น้อยกว่า 1 พีพีเอ็ม) การออกซิไดซ์จะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วและเสร็จสิ้นเมื่อ pH = 7.0 หรือมากกว่าถ้าหาก pH ต่ำกว่านี้ปฏิกิริยาก็จะเกิดช้าลง

$$4Fe(HCO_3)_2 + O_2 + 2H_2O \longrightarrow 4Fe(OH)_3 + 8CO_2$$

ในทางทฤษฎี ออกซิเจน 0.4 พีพีเอ็ม จะออกซิไดส์เฟอร์รัสอิออน 1 พีพีเอ็ม

สำหรับแมงกานีสไบคาร์บอเนต ซึ่งไม่ค่อยพบในน้ำ ก็เกิดปฏิกิริยาคล้ายคลึงกัน แต่ pH ควรสูงกว่า 10 ความต้องการออกซิเจนในทางทฤษฎีก็ใกล้เคียงกัน แต่ระยะเวลาที่จะให้มีการออกซิไดส์ที่สมบูรณ์จะนานกว่า ถ้าหากมีเหล็กและแมงกานีสอยู่ด้วยกันจะต้องปรับ pH ให้มากกว่า 10 ที่ pH ต่ำกว่านี้เหล็กตกตะกอน แต่แมงกานีสยังอยู่ในรูปสารละลาย ปรับ pH

ได้โดยปูนขาว โซดาแผดเผาหรือโซดาไฟ ในบางครั้งเมื่อเหล็กถูกขจัดแล้ว อาจไม่ต้องเติมสารเคมีปรับความเป็นด่างอีก เพราะเมื่อก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ระเหยออกไป pH จะเพิ่มขึ้นทันที

ในทางปฏิบัติ

ออกซิเจน 0.24 พีพีเอ็ม จะตกตะกอนเหล็ก 1 พีพีเอ็ม

ออกซิเจน 0.29 พีพีเอ็ม จะตกตะกอนแมงกานีส 1 พีพีเอ็ม

ในการเติมอากาศเพื่อไล่เหล็ก นิยมใช้แบบ coke tray aerator แบบปล่อยให้น้ำไหลลงมาเองมากกว่าแบบใช้ลมเป่า (forced draft aerator) เพราะมีประสิทธิภาพการกำจัดเหล็กและแมงกานีสสูงกว่า แบบลมเป่านั้นเหมาะสำหรับเป็นการไล่ก๊าซ (degasifier) เพราะในแบบ coke tray aerator น้ำจะไหลผ่านชั้นตะแกรงจะมีถ่านโค้กอยู่ ซึ่งเหล็กและแมงกานีสที่ถูกออกซิไดซ์แล้วจะตกตะกอนเกาะติดกับถ่านโค้ก ซึ่งเป็นตัวช่วยเร่งปฏิกิริยาการออกซิไดซ์ให้ดียิ่งขึ้นอีก

การเติมอากาศจะได้ผลสองทาง คือ

1. ช่วยในการออกซิไดส์เหล็กและแมงกานีส
2. ลดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ละลายในน้ำ ซึ่งจะช่วยเพิ่ม pH

1.2) **ตกตะกอนด้วยด่างทับทิม**

โดยการเติมด่างทับทิม (โพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต) flash mex หรือ rapid mix ซึ่งกำจัดแมงกานีสในน้ำดิบที่มีปริมาณแมงกานีส 4 มิลลิกรัมต่อลิตร (พีพีเอ็ม) โดยการเติมด่างทับทิมในอัตราส่วน 1:1 ของปริมาณแมงกานีสลงในถังกวนเร็วและปล่อยให้มีการตกตะกอน วิธีนี้ใช้กำจัดทั้งเหล็กและแมงกานีส

2. การกรอง (Filtration)

การกรองเป็นขบวนการทางกายภาพและทางเคมี สำหรับขจัดหรือแยกสารแขวนลอยคอล์ลอยด์ที่มีสภาพเป็น suspended solid และพวกจุลชีพต่างๆ เช่น แอลจี แบคทีเรีย สาหร่าย ไวรัส สี แมงกานีส และเหล็กที่ถูกออกซิไดซ์ ซึ่งแขวนลอยอยู่ในน้ำ หรือเป็นตะกอนที่เกิดจากผลของขบวนการจับตัวและรวมตัวตกตะกอน น้ำที่เข้ากรองจะไหลผ่านช่องว่างของสารกรอง (filter media) ซึ่งจะดักจับสารต่างๆ ไว้

ตาราง 4.1 ขนาดของอนุภาคและวัตถุต่างๆ ที่กรองได้

	ขนาด มิลลิไมครอน
ตะกอนต่างๆ (silt)	50,000
แบคทีเรีย	5,000
ไวรัส	50
อนุภาคคอลล์ลอยด์	1-1,000

ในการกรองทุกแบบ น้ำจะต้องมีแรงดันมากพอที่จะไหลผ่านชั้นสารกรองได้ การกรองแบบ deep bed เกิดขึ้นเมื่อน้ำไหลผ่านชั้นสารกรอง (filter bed) ที่มีลักษณะพรุนเป็นช่องว่าง (void) ที่จะดักจับอนุภาคต่างๆ ไว้ภายในช่องว่างเหล่านี้ เมื่อจับอนุภาคต่างๆ ไว้มากจนเต็มช่องว่างแล้ว ก็จะเกิดเป็นชั้นตะกอน (cake) อยู่บนผิวหน้าของชั้นสารกรอง ซึ่งจะทำหน้าที่เป็นชั้นกรองไปด้วย แต่เนื่องจากชั้นตะกอนที่จับอยู่นั้นมีเนื้อแน่นมาก จึงทำให้น้ำไหลผ่านได้ยาก มีการสูญเสียความดัน (head loss) สูง ซึ่งเป็นภาวะที่ไม่เป็นที่พึงปรารถนาในการกรอง เมื่อการสูญเสียความดันเพิ่มสูงขึ้นจนถึงจุดหนึ่ง ประสิทธิภาพในการกรองจะลดลงมาก ต้องทำการล้างกลับ (back washing) เพื่อทำความสะอาดชั้นสารกรอง

ชั้นสารกรองทำหน้าที่ในการกรอง 4 ประการดังนี้

1. ดักอนุภาคและตะกอนต่างๆ ไว้ในช่องว่างระหว่างเม็ดสารกรองที่เรียงตัวอยู่เป็นชั้นกรอง

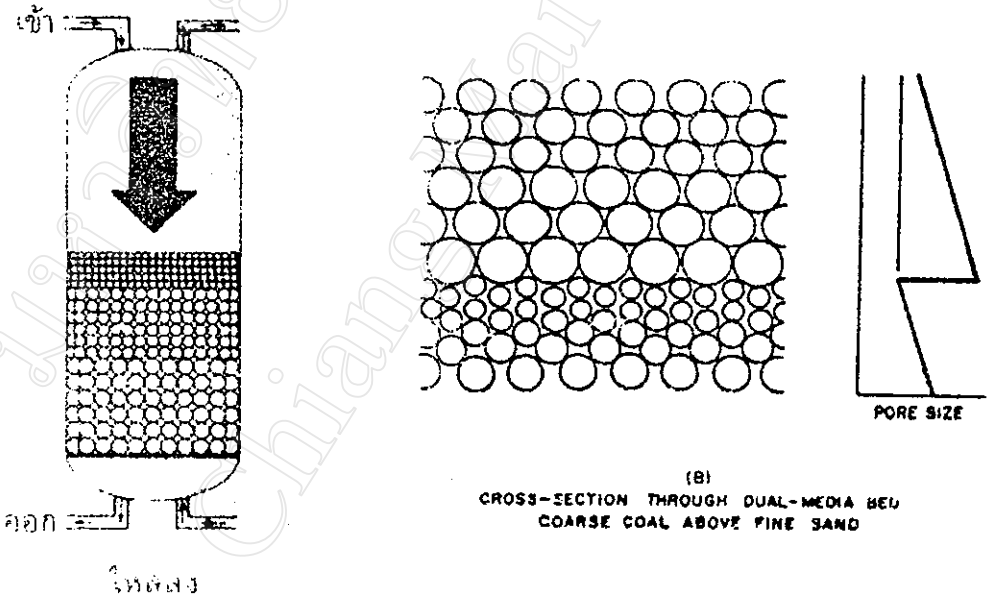
2. โดยการที่อนุภาคหรือตะกอนต่างๆ ไปตกค้างบนสารกรองหรือบนชั้นของตะกอนที่ถูกดักไว้แล้ว ในเมื่อปริมาณอนุภาคหรือตะกอนมีมากเกินกว่าที่ช่องว่างในชั้นกรองจะดักไว้

3. ดักอนุภาคคอลล์ลอยด์ต่างๆ ไว้โดยวิธีการดูดซับ (absorption) การใช้สารกรองช่วยกรอง (filter aid) จะเคลือบเม็ดสารกรองไว้ช่วยให้ดูดซับอนุภาคได้ดียิ่งขึ้น ซึ่งจะช่วยยืดเวลาการกรองให้นานขึ้นเพราะ ชั้นสารกรองจะอุดตันช้าลง ประสิทธิภาพในการดูดซับขึ้นกับขนาดของเม็ดสารกรอง ขนาดของอนุภาคและฟล็อก (floc) คุณลักษณะการยึดติด (adhesive) และความทนทานต่อแรงเฉือน (shearing strength) ของฟล้อก นอกจากนี้ยังขึ้นกับคุณสมบัติ

ของอนุภาคน้ำและสารกรองด้วย คุณสมบัติทางไฟฟ้าของน้ำที่สำคัญอีกอย่างหนึ่งคือ แรงแวนเดอวาวล์กับ electrochemical force

• เครื่องกรองน้ำ

1. ระบบการกรองน้ำ บริษัทเลือกใช้ระบบการกรองแบบสารกรองเดี่ยวไหลลง ระบบนี้ใช้ทรายละเอียดเป็นสารกรอง โดยมีกรวดซึ่งมีขนาดใหญ่ขึ้นตามลำดับรองรับอยู่ เพื่อป้องกันไม่ให้ทรายรั่วไหลออกจากเครื่องกรองในขณะที่กรองน้ำ เนื่องจากทรายมีขนาดเล็ก ช่องว่าง (void) ระหว่างเม็ดทรายมีน้อย จึงทำให้ดักจับตะกอนไว้ได้ไม่มาก ช่วงเวลากรองจะสั้น และอุดตันเร็ว เมื่อเริ่มอุดตันจะทำให้มี head loss สูง ถ้าน้ำมีความขุ่นมาก (high solid loading) ความขุ่นที่กรองไว้จะไปพอกตัวเป็นชั้นตะกอนอยู่บนผิวหน้าของชั้นสารกรอง ทำให้อุดตันได้ง่ายจึงต้องทำการล้างกลับ (Backwash)



รูป 4.1 เครื่องกรองน้ำในระบบการกรองสารแบบสารกรองเดี่ยวไหลลง และ การเรียงตัวของเม็ดสารกรอง

2. ลักษณะของเครื่องกรองน้ำ บริษัทเลือกใช้เครื่องกรองน้ำชนิดมีแรงดันแบบตั้ง ซึ่งมีทั้งหมด 6 เครื่องด้วยกันคือ

2.1) เครื่องกรองน้ำ FM_1

รูป 4.2 เครื่องกรองน้ำ FM_1

2.2) เครื่องกรองน้ำ FM_2

รูป 4.3 เครื่องกรองน้ำ FM_2

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ Chiang Mai University

2.3) เครื่องกรองน้ำ FM_3

รูป 4.4 เครื่องกรองน้ำ FM_3

เครื่องกรองน้ำ FM_1 , FM_2 และ FM_3 ประกอบไปด้วยสารกรองประเภท

กรวดและทราย สามารถกรองสารแขวนลอย ตะกอนต่างๆ สี กลิ่น ซึ่งกรวดและทรายที่ใช้สำหรับกรองจะต้องไม่มีหินปูน (Limestone)

ถ่านแอนทราไซท์ สามารถดักจับตะกอนและอนุภาคต่างๆ ได้มากกว่าทราย เพราะมีรูปร่างเกลี้ยงกลมกว่าและใช้น้ำล้างตอนล้างกลับ (Backwash) น้อยกว่า ทำให้ยืดอายุการใช้งานของเครื่องกรอง สามารถกรองน้ำได้ในอัตราการกรองที่สูงขึ้น

2.4) เครื่องกรองน้ำ FA_1

รูป 4.5 เครื่องกรองน้ำ FA_1

เครื่องกรองน้ำ FA_1 ประกอบไปด้วยสารกรองประเภท

ถ่าน activated carbon สามารถขจัดสารอินทรีย์ในน้ำได้โดยการดูดซึม (absorption) ได้ การดูดซึมเกิดจากพื้นที่ผิว (Surface area) ของถ่านซึ่งมีค่าประมาณ 500-1,400 ตารางเมตรต่อกรัม ถ่านนี้สามารถขจัดสารอินทรีย์ที่ก่อให้เกิดกลิ่น รส และสีในน้ำได้ดี เพราะบนพื้นที่ผิวจะมีรูพรุนอยู่มากมาย รูพรุนนี้มีขนาดเท่ากับโมเลกุลของสารเท่านั้น ฉะนั้น โมเลกุลของสารต่างๆ จะแพร่กระจายเข้าไปอยู่ในรูเล็กๆ เหล่านี้ได้

ถ่าน activated carbon ที่ใช้ควรมีคุณสมบัติ ดังนี้

Total surface area (m2/g)		850-1,500
Bulk density (Lb/ft3)		26
Particle density, wetted in water (g/cm3)		1.3-1.4
Effective size (mm)		0.8-0.9
Uniformity coefficient	Max.	1.9
Mean particle diameter (mm)		1.5-1.7

Iodine number	Min.	850
Abrasion number	Min.	70
Ash	Max.	8%
Moisture	Max.	2%

2.5) เครื่องกรองน้ำ FK_1

รูป 4.6 เครื่องกรองน้ำ FK_1

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ Chiang Mai University

2.6) เครื่องกรองน้ำ FK_2

รูป 4.7 เครื่องกรองน้ำ FK_2

เครื่องกรองน้ำ FK_1 และ FK_2 ประกอบไปด้วยสารกรองประเภท

– Microfilters เป็นเครื่องกรองน้ำที่ใช้ในการแยกตะกอนละเอียดมากๆ ออกจากของเหลว

FK_1 สามารถแยกตะกอนตั้งแต่ขนาด 100 ไมครอนลงไปจนถึง 3 ไมครอน

FK_2 สามารถแยกตะกอนตั้งแต่ขนาด 3 ไมครอนลงไปจนถึง 0.2 ไมครอน

Microfilters ที่ใช้เป็นชนิด Cartridge filters ซึ่งเป็นเครื่องกรองที่มีลักษณะเป็นทรงกระบอก ไส้กรองสามารถเปลี่ยนได้ ไส้กรองก็จะมีลักษณะเป็นท่อนกลมหรือทรงกระบอกเช่นกัน วัสดุที่ใช้ทำไส้กรอง ได้แก่ cotton, wool, rayon, cellulose, fiberglass, polypropylene, acrylics, mylon, asbestos, cellulose esters, fluorinated, hydrocarbon, polymers และ activated carbon การเลือก cartridge filters จะใช้หลักการทั่วๆ ไปคือ อายุการใช้งาน ซึ่งแผ่นกรองที่ใช้กลไกการกรองแบบ depth filtration ตัวอย่าง

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ Chiang Mai University

เช่น พวกใยม้วนต่างๆ มักจะมีอายุการใช้งานทนทาน และอีกประการหนึ่งคือมีพื้นที่กรองมาก โดยปกติจะคาดคะเนความต้องการใช้น้ำเป็นหลัก

3. การใช้โอโซน (Ozone)

ในการบำบัดน้ำดิบมักจะพบว่า มีสารที่ไม่พึงปรารถนา ที่จะต้องกำจัดออกไปก่อนที่จะนำน้ำนั้นมาบรรจุใส่ขวดในการบริโภค สารที่ไม่พึงปรารถนาเหล่านี้อาจมีจำนวนมาก เช่น เหล็ก มังกานีส รวมทั้งสารอินทรีย์ต่างๆ ซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้น้ำเป็นสีเหลืองไม่ชวนดื่ม

ในขวดที่บรรจุน้ำ มักจะพบบ่อยว่าเป็นสาเหตุของการนำเชื้อโรคเข้ามา ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีกรรมวิธีในการการป้องกันการเจือปนของเชื้อเพื่อไม่ให้คุณภาพน้ำเสียไป

เนื่องจากประสิทธิภาพในการออกซิเดชั่นยอดเยี่ยมของโอโซน โอโซนจึงเป็นที่นิยมของการบำบัดในน้ำดื่ม ระหว่างการทำปฏิกิริยาของโอโซนในน้ำ โอโซนในน้ำจะสลายตัวเป็นออกซิเจน ดังนั้นจึงไม่มีสารใดๆ ตกค้างอยู่ในน้ำที่ผ่านขบวนการโอโซนและเมื่อน้ำไหลเข้ามาในถังผสมทำปฏิกิริยา เกิดการผสมกับโอโซนจะช่วยให้โอโซนละลายตัวลงไปในน้ำได้มากที่สุด

โอโซน

โอโซน คือ ก๊าซซึ่งประกอบด้วยออกซิเจนสามอะตอมรวมกันเป็นหนึ่งโมเลกุล เป็นสารออกซิไดซ์ที่มีความรุนแรงเป็นที่สองรองจากฟลูออไรด์ มีความว่องไวในการทำปฏิกิริยากับสารอินทรีย์และใช้เป็นสารฆ่าแบคทีเรียและจุลินทรีย์อื่นๆ ได้ดี ก๊าซโอโซนมีจุดเดือดที่ $-115^{\circ}C$ และมีจุดหลอมเหลวที่ $-192^{\circ}C$ ในสถานะก๊าซจะมีสีฟ้า ในสถานะของเหลวจะมีสีน้ำเงินเข้ม และในสถานะของแข็งจะมีสีดำ

ในธรรมชาติก๊าซโอโซนเกิดขึ้นในขณะที่มีฟ้าผ่า โดยประกายไฟฟ้าจากฟ้าผ่าจะทำให้โมเลกุลของออกซิเจนในอากาศแตกตัวเป็นอะตอมและบางส่วนรวมตัวเป็นก๊าซโอโซน ซึ่งมีก๊าซออกซิเจนสามอะตอม นอกจากนี้รังสีอุลตร้าไวโอเล็ตในแสงแดดเมื่อส่องกระทบบรรยากาศโลกในระดับสูงๆ สามารถกระตุ้นให้ก๊าซออกซิเจนในอากาศบางส่วนกลายเป็นก๊าซโอโซนได้ ก๊าซโอโซนจะคงตัวอยู่ประมาณ 30 นาที แล้วสลายตัวกลับเป็นก๊าซออกซิเจนตามเดิม

คุณสมบัติพิเศษของโอโซนในน้ำดื่มบรรจุขวด มีดังนี้

1. สามารถฆ่าเชื้อโรคในน้ำได้ทุกชนิด จำพวกแบคทีเรีย แม้กระทั่งไวรัสที่ฆ่ายากที่สุด อาทิ โปรโตรซัว ไวรัส

2. ช่วยกำจัดสี กลิ่น และรสในน้ำให้หมดไป

3. ช่วยขจัดสารไนโตรเจน ไซยาไน ไฮโดรเยนซัลไฟร์ เหล็ก แมงกานีส และสารโลหะหนักบางชนิดออกจากน้ำ ทำให้น้ำสะอาดปลอดภัย

4. น้ำที่บำบัดด้วยโอโซนจะไม่มีสารเคมีตกค้าง เพราะโอโซนสลายตัวแล้วจะกลายเป็นออกซิเจน

5. ไม่ก่อให้เกิดการ TRIHALOMETHANES (สารก่อมะเร็ง) เช่น กรณีที่ใช้คลอรีน

6. ออกซิไดซ์สารอินทรีย์ เช่น ผงซักฟอก ยาฆ่าแมลง ยาปราบวัชพืช ฟีนอล กลิ่นและรสบางชนิด

7. น้ำที่ผ่านการบำบัดด้วยโอโซนจะใสและเป็นประกายชวนดื่ม

การนำโอโซนประยุกต์ไปใช้งาน

1. ใช้โอโซนในการบำบัดน้ำดื่ม

แต่เดิมนั้นการใช้โอโซนมีเป้าหมายต้องการฆ่าเชื้อโรคเป็นหลัก ต่อมาพบว่านอกจากใช้ฆ่าเชื้อโรคแล้วโอโซนยังสามารถฟอกน้ำเพื่อขจัดกลิ่น สี รส รวมทั้งช่วยปรับความสมดุลของน้ำทำให้น้ำมีคุณภาพสม่ำเสมอ

ดังนั้นจึงถือได้ว่า การใช้สารโอโซนเพียงชนิดเดียวก็พอเพียงสำหรับขบวนการบำบัดน้ำดื่ม ทั้งนี้มีเป้าหมายดังนี้คือ

1. ขจัดโลหะหนัก เช่น เหล็ก มังกานีส
2. ขจัดสารที่ก่อให้เกิดกลิ่น, สี, รส
3. ช่วยรวมสารแขวนลอยเล็กๆ ที่มีในน้ำให้มีขนาดใหญ่และสามารถกรองออกได้
4. ขจัดสารอินทรีย์ที่ละลายในน้ำด้วยขบวนการ oxidation

2. ปรับปรุงคุณภาพของน้ำในสระว่ายน้ำ

จุดมุ่งหมายการบำบัดน้ำในสระว่ายน้ำ มีดังนี้

1. ขจัดสารอินทรีย์และรวบรวมตะกอนเล็กๆ ที่มีอยู่ในน้ำ ซึ่งมาจากผู้ใช้บริการ

2. ขจัดและฟอกยูเรีย (มากับปัสสาวะ) ให้อยู่ในรูปสารธรรมดาและรวมตัวกับคลอรีนเป็นสารประกอบรวมกับคลอรีน
3. ลดปัญหาเรื่องกลิ่นของสระว่ายน้ำ ในกรณีเป็นสระว่ายน้ำในร่ม
4. ขจัดสาร morbific agent (ไวรัสชนิดหนึ่ง)
5. ทำให้น้ำในสระใสเป็นประกาย เนื่องจากการมี O_2 ในน้ำมากเพียงพอ
6. ให้ความสบายกับผิวหนัง ไม่ก่อเกิดการระคายเคืองอันสืบเนื่องมาจากมีเคมีปนเปื้อนน้อย

3. ระบบบำบัดน้ำเสีย

มีจุดประสงค์หลัก ดังนี้

1. ขจัดสี, กลิ่น และฆ่าเชื้อโรค
2. ขจัดและฟอกสารอินทรีย์
3. ฟอกสารไนไทรด์และซัลไฟด์
4. ขจัดสารที่เป็นพิษ เช่น ไซยาไนน์ เป็นต้น

4. ใช้ในขบวนการผลิตน้ำและโซดา

1. เปลี่ยนรูปของแร่ธาตุเหล็กและมังกานีสและกรองออกด้วยตัวกรองถ่าน (ถึงแม้ว่าจะมี CO_2 อยู่ด้วย)
2. ช่วยฆ่าเชื้อโรคและรักษาความปลอดเชื้อของขวด โดยไม่ต้องมีการเพิ่มเคมีอื่นๆ

5. การประมง

ฆ่าเชื้อโรค ขจัดสารอินทรีย์ เพิ่มออกซิเจนให้กับน้ำ ตัวอย่างเช่น บ่อเลี้ยงปลาโลมา ปลาคาร์ฟ เป็นต้น

การผลิตก๊าซโอโซนด้วยเครื่องกำเนิดก๊าซโอโซน CORONA DISCHARGE

เป็นวิธีซึ่งใช้กระแสไฟฟ้าที่มีความต่างศักย์สูงมาก ให้ไหลผ่านระหว่างอิเลคโตรด อากาศระหว่างอิเลคโตรดจะถูกกระตุ้นให้มีพลังงานสูงขึ้นเกิดเรืองแสง และทำให้ออกซิเจนในอากาศบางส่วนกลายเป็นก๊าซโอโซน

เครื่องกำเนิดก๊าซโอโซน ส่วนมากเลือกใช้วิธี Corona Discharge ในการผลิตก๊าซโอโซน เนื่องจากมีอายุการใช้งานยาวนานและมีประสิทธิภาพการผลิตก๊าซโอโซนที่มีความเข้มข้นกว่าวิธีใช้หลอดยูวีมาก

รูป 4.8 เครื่องกำเนิดโอโซนแบบ Corona Discharge

ส่วนประกอบของเครื่องกำเนิดก๊าซโอโซนสำหรับฆ่าเชื้อโรคในน้ำ

เครื่องกำเนิดก๊าซโอโซนจะประกอบด้วยส่วนต่างๆ ดังต่อไปนี้

1.อุปกรณ์ปรับปรุงคุณภาพของอากาศที่จะป้อนเข้าเครื่องผลิตก๊าซโอโซน

2.เครื่องผลิตก๊าซโอโซน

3.อุปกรณ์ผสมก๊าซโอโซนเข้ากับน้ำ

4.ถังพักเพื่อให้เวลาในการทำปฏิกิริยาของก๊าซโอโซน

หน้าที่และรายละเอียดการทำงานของเครื่องกำเนิดก๊าซโอโซน

1. อุปกรณ์ปรับปรุงคุณภาพของอากาศที่จะป้อนเข้าเครื่องผลิตก๊าซโอโซน (Air Preparation Unit) ทำหน้าที่ดังนี้

1.1) ดูดความชื้นออกจากอากาศซึ่งทำได้โดย

- ทำให้ไอน้ำแยกออกจากอากาศ โดยทำให้อากาศเย็นด้วยการลดความดันของอากาศ ทำให้อากาศขยายตัวและอุณหภูมิลดลง [2] หรือทำให้อากาศเย็น โดยใช้อุปกรณ์แลกเปลี่ยนถ่ายเทความร้อน
- ใช้สารดูดความชื้นสองชุดสลับกับดูดความชื้นออกจากอากาศและใช้ความร้อนไล่ความชื้นออกจากสารดูดความชื้น

1.2) เพิ่มความเข้มข้นของออกซิเจนในอากาศโดย

- ใช้ก๊าซออกซิเจนจากถังบรรจุก๊าซออกซิเจนโดยตรง
- ใช้อุปกรณ์แยกก๊าซไนโตรเจนออกจากอากาศทำให้อากาศที่เหลือมีออกซิเจนมากขึ้น

2.เครื่องผลิตโอโซน [3] ทำหน้าที่ผลิตก๊าซโอโซนจากอากาศที่ป้อนเข้ามาประกอบด้วยอุปกรณ์หลัก คือ

2.1) ขดลวดเพิ่มความต่างศักย์ไฟฟ้าทำหน้าที่เพิ่มความต่างศักย์จาก 220 โวลต์ เป็น 5,000-12,000 โวลต์ เพื่อให้มีความต่างศักย์สูงพอที่จะทำให้เกิด Corona หรือชั้นอากาศเรืองแสงขึ้นได้

2.2) หลอดผลิตก๊าซโอโซนเป็นหลอดแก้วทำหน้าที่เป็นอิเลคโตรดให้อิเลคตรอนวิ่งผ่านอากาศ โมเลกุลของอากาศจะถูกกระตุ้นจนเกิดการเรืองแสงขึ้น โมเลกุลของออกซิเจนในอากาศจะแตกตัวเป็นอะตอมของออกซิเจน ซึ่งบางส่วนจะรวมตัวกันกลายเป็นก๊าซโอโซน

---

[2] ก๊าซโอโซนสามารถละลายในน้ำที่มีอุณหภูมิต่ำได้ดีกว่าน้ำที่มีอุณหภูมิสูง

[3] เครื่องกำเนิดโอโซนที่ผลิตก๊าซโอโซนได้น้ำหนักเท่ากัน แต่ความเข้มข้นของก๊าซต่างกัน จะให้ผลการละลายของก๊าซโอโซนไม่เท่ากัน ก๊าซโอโซนที่มีความเข้มข้นสูงจะละลายน้ำได้ดีกว่าก๊าซโอโซนที่มีความเข้มข้นต่ำ

3. **อุปกรณ์ผสมก๊าซโอโซนเข้ากับน้ำ**

ใช้หัวเป่าที่มีรูพรุน เพื่ออัดก๊าซโอโซนและอากาศจากเครื่องกำเนิดก๊าซโอโซนออกไปผสมกับน้ำ ซึ่งจะต้องพยายามทำให้ได้รูพรุนขนาดเล็กที่สุดเพื่อจะได้เกิดฟองก๊าซขนาดเล็ก หัวเป่าชนิดนี้ต้องการความดันค่อนข้างสูง ต้องป้อนอากาศเข้าระบบฯ ด้วยแอร์คอมเพรสเซอร์หรือโบลเออร์

4. **ถังพักเพื่อให้เวลาในการทำปฏิกิริยาของก๊าซโอโซน** (Contact Tank) ถังจะมีความจุเพียงพอที่จะทำให้น้ำเก็บพักอยู่ประมาณ 5-8 นาที ก๊าซโอโซนจะฆ่าเชื้อโรคและทำปฏิกิริยากับสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ในน้ำ

สิ่งที่มีผลต่อการผลิตก๊าซโอโซน

ความเข้มข้นและปริมาณของก๊าซโอโซนที่ผลิต ได้ขึ้นอยู่กับสิ่งต่างๆ ดังต่อไปนี้

1. *ความแห้งของอากาศที่ป้อนเข้าเครื่อง* เครื่องผลิตก๊าซโอโซนจะผลิตก๊าซโอโซนจากอากาศแห้ง ได้มากกว่าอากาศชื้น

2. *ความเข้มข้นของก๊าซออกซิเจนในอากาศ* เครื่องผลิตก๊าซโอโซนจะผลิตก๊าซโอโซนจากอากาศที่มีก๊าซออกซิเจนมาก ได้มากกว่าอากาศที่มีออกซิเจนน้อย

3. *ปริมาณอากาศที่ไหลผ่านเครื่องผลิตก๊าซโอโซน* เครื่องผลิตก๊าซโอโซนจะผลิตก๊าซโอโซนได้มากขึ้น เมื่อมีปริมาณอากาศไหลผ่านเครื่องมากขึ้น แต่จะมีจุดเหมาะสมอยู่จุดหนึ่ง ซึ่งหากปริมาณอากาศไหลผ่านเครื่องมากกว่านี้ปริมาณก๊าซโอโซนที่ผลิตได้จะไม่เพิ่มขึ้นและกลับจะลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณการไหลของอากาศขึ้นไปอีก

4. *อุณหภูมิของหลอดผลิตก๊าซโอโซน* จะต้องไม่สูงจนเกินไป เนื่องจากเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ก๊าซโอโซนจะเกิดขึ้นน้อยลง ดังนั้นการออกแบบจะต้องหาวิธีระบายความร้อนจากหลอดหรือวิธีการอื่นๆ เพื่อไม่ให้หลอดร้อนเกินไป

ข้อดีข้อเสียของการใช้ก๊าซโอโซนเมื่อเทียบกับเครื่อง UV **(อุลตราไวโอเลต)**

ขณะนี้มีให้เห็นชัดๆ เพียงข้อเดียว คือ โอโซนมีฤทธิ์ฆ่าเชื้อโรคต่อเนื่องโดยโอโซนจะคงสภาพอยู่ประมาณ 30 นาที หลังจากที่ผลิตออกจากเครื่องระหว่างนั้นจะมีฤทธิ์ฆ่าเชื้อโรคได้ จากนั้นจะสลายตัวกลายเป็นก๊าซออกซิเจนซึ่งไม่มีอันตรายต่อสิ่งใด ในขณะที่รังสียูวีจะฆ่าเชื้อโรคได้เฉพาะในน้ำที่ไหลผ่านเครื่องเท่านั้น แม้ว่าน้ำที่ผ่านเครื่องยูวีออกไปจะปราศจาก

เชื้อโรค แต่ถ้าหากท่อหรือภาชนะบรรจุ ซึ่งอยู่หลังจากเครื่องยูวีไม่สะอาด น้ำก็กลับมีเชื้อโรคขึ้นใหม่ได้ น้ำที่ผ่านเครื่องยูวีไม่มีฤทธิ์ในการฆ่าเชื้อโรค แต่น้ำที่เติมโอโซนแล้วจะยังมีฤทธิ์ในการฆ่าเชื้อโรคอยู่ประมาณ 30 นาที ในกรณีน้ำบริโภคบรรจุขวด การเกิดตะไคร่ในขวดน้ำที่เติมโอโซนจะเกิดช้ากว่าขวดน้ำบริโภคที่ผ่านเครื่องยูวี

ส่วนเรื่องไฟฟ้า ระบบก๊าซโอโซนจะใช้ไฟฟ้ามากกว่าเพราะมีอุปกรณ์ที่ใช้ไฟฟ้ามากกว่า ได้แก่ เครื่องเพิ่มความเข้มข้นของออกซิเจนจากอากาศหรือเครื่องทำให้อากาศแห้งและเครื่องกำเนิดก๊าซโอโซน

ข้อดีและข้อเสียของการใช้ก๊าซโอโซนเมื่อเทียบกับคลอรีน

1. ไม่มีกลิ่นเหม็นเหมือนคลอรีน
2. เมื่อใช้กับสระว่ายน้ำ จะไม่ก่อให้เกิดการระคายเคืองต่อผิวหนังหรือนัยน์ตา เช่น คลอรีน
3. มีฤทธิ์ตกค้างอยู่นานพอก่อนจะสลายตัวไป จึงเหมาะสำหรับการผลิตน้ำดื่มบรรจุขวด เนื่องจากโอโซนบางส่วนจะค้างอยู่ในน้ำที่บรรจุขวด หลังจากปิดฝาแล้วช่วยให้อายุของน้ำดื่มยาวขึ้นไม่เกิดตะไคร่ได้ง่าย

4. การใช้รังสีอุลตราไวโอเลต (Ultraviolet sterilization)

โดยทั่วไปแล้วการแพร่เชื้อโรคหรือพิษของโรค ซึ่งอาจติดต่อจากผู้ป่วยหรือแหล่งของโรคไปยังบุคคลอื่นนั้น จะต้องอาศัยการนำพาไป น้ำเป็นพาหะที่มีโอกาศสูงมากที่จะเป็นตัวแพร่เชื้อโรค ทั้งนี้เพราะ เราต้องอาศัยน้ำในการอุปโภคบริโภคทุกวัน ถ้าน้ำนั้นมีเชื้อโรคอยู่โอกาสที่โรคจะแพร่มาถึงก็มีมาก

ขั้นตอนในการฆ่าเชื้อโรคด้วยรังสีอุลตราไวโอเลต จึงเป็นขั้นตอนที่สำคัญมากขั้นตอนหนึ่ง ซึ่งสามารถฆ่าจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรคและไม่สามารถแพร่กระจายต่อไปได้

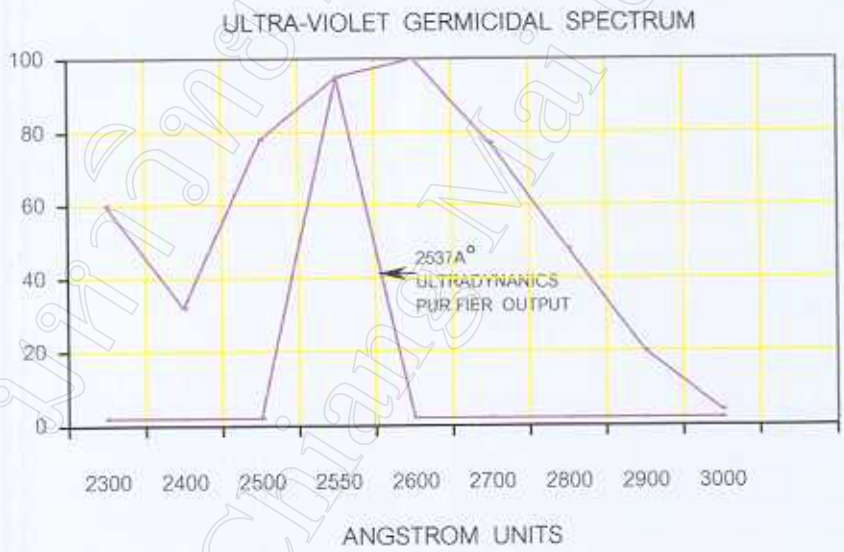
กระบวนการฆ่าเชื้อโรคในน้ำโดยการใช้แสงอุลตราไวโอเล็ต

คลื่นแสงอุลตราไวโอเล็ต เป็นคลื่นแสงซึ่งอยู่ในช่วงที่สายตาคนเรามองไม่เห็น คือ มีความยาวคลื่นตั้งแต่ 2,000-4,000 A° ซึ่งมีคุณสมบัติคือ ทำให้วัสดุสีขาวหรือสีอื่นบางสีมีความจ้าขึ้น การแบ่งช่วงคลื่นแสงอุลตราไวโอเล็ต แบ่งได้เป็น 3 ช่วงคือ

1. ช่วงคลื่นยาว (ตั้งแต่ 3,250-3,900 A°) แสงช่วงนี้มีอำนาจในการฆ่าเชื้อโรคต่ำ และสามารถพบได้ในแสงแดด

2. ช่วงคลื่นปานกลาง (ตั้งแต่ 2,950-3,250 A°) มีอำนาจฆ่าเชื้อโรคได้ ถ้ามีเวลาสัมผัสพอเพียง แสงช่วงนี้พบได้ในแสงแดดเช่นกัน และเป็นแสงสำหรับอาบแดดให้ผิวคล้ำ

3. ช่วงคลื่นสั้น (ตั้งแต่ 2,000-2,950 A°) แสงช่วงนี้เป็นช่วงที่สามารถฆ่าเชื้อโรคในน้ำได้ดีที่สุด ดังแสดงในรูป 4.9



รูป 4.9 ประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อโรคของแสงอุลตราไวโอเล็ตที่มีความยาวคลื่นต่างๆ กัน

แสงอุลตราไวโอเล็ตในช่วงคลื่นสั้นนี้ เป็นรังสีที่เกิดขึ้นจากการเผาไอปรอทที่มีความดันต่ำในหลอดแก้ว หลอดไฟอุลตราไวโอเล็ตที่ทำขายในท้องตลาดเพื่อใช้ฆ่าเชื้อโรคในน้ำนั้น มักมีความยาวคลื่นประมาณ 2,537 A° (3) และแก้วที่ใช้ทำหลอดต้องเป็นแก้วพิเศษที่

ยอมให้แสงอุลตราไวโอเล็ตส่องผ่านได้โดยตลอด ซึ่งก็คือแก้วควอตซ์หรืออาจใช้แก้วที่มีเนื้อซิลิกาสูงมากๆ ก็ได้

หลอดไฟอุลตราไวโอเล็ต เป็นหลอดรูปทรงกระบอกมีความยาว 12-48 นิ้ว มีอายุการใช้งานที่รับประกันโดยผู้ผลิตไม่น้อยกว่า 7,500 ชั่วโมง และ มีความสิ้นเปลืองไฟฟ้าดังแสดงในตาราง 4.2

ตาราง 4.2 พลังงานไฟฟ้าที่ต้องการใช้และพลังงานของแสงอุลตราไวโอเล็ตที่ผลิตได้จากหลอดไฟขนาดต่างๆ กัน

ความยาวของหลอดไฟ (นิ้ว)	พลังงานไฟฟ้าที่ต้องการ (วัตต์)	พลังงานของแสงอุลตราไวโอเล็ต ที่มีความยาวคลื่น 2,537 A°
12	8	1.3
16	12	4.3
18	16	5.8
36	39	14.6
48	110	51.5

รูป 4.10 เครื่องกำเนิดรังสีอุลตราไวโอเลต

หน่วยที่ใช้ในการวัดปริมาณ (Dosage) ของแสงอุลตราไวโอเล็ตที่ให้กับน้ำ

ปริมาณแสงอุลตราไวโอเล็ต (UV Dosage) จะวัดได้ด้วยหน่วยมิลลิวัตต์-วินาที/ตารางเซนติเมตรหรืออาจใช้หน่วย Ultrad ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1 ไมโครวัตต์-วินาที/ตารางเซนติเมตร ก็ได้ ซึ่งทั้งสองหน่วยนี้เกิดจากผลคูณระหว่างความเข้มข้นของแสงใน 1 หน่วยพื้นที่กับเวลาสัมผัสระหว่างแสงกับน้ำ ดังสมการ

$$\text{UV Dosage} = It$$

เมื่อ I คือ ความเข้มแสงต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ๆ ไมโครวัตต์/ตารางเซนติเมตร

t คือ เวลาสัมผัสระหว่างแสงกับน้ำ, วินาที

เนื่องจากเชื้อโรคต่างๆ มีความต้านทานต่อแสงอุลตราไวโอเล็ตได้ไม่เท่ากัน ดังนั้นปริมาณของแสงอุลตราไวโอเล็ตที่ใช้ในการฆ่าเชื้อโรคชนิดต่างๆ จึงแตกต่างกันไป ดังแสดงในตาราง 4.3 ซึ่งจะเห็นได้ว่าความต้องการแสงอุลตราไวโอเล็ตเพื่อฆ่าเชื้อโรคโดยทั่วไปจะอยู่ในช่วง 3,400-8,000 ไมโครวัตต์-วท./ตร.ซม. อย่างไรก็ตามเพื่อให้มีความแน่ใจในการฆ่าเชื้อโรคด้วยแสงอุลตราไวโอเล็ต จึงควรใช้ปริมาณแสงที่ไม่น้อยกว่า 20,000 ไมโครวัตต์-วท./ตร.ซม. สำหรับการฆ่าเชื้อโรคในน้ำดื่มควรให้ปริมาณแสงอุลตราไวโอเล็ตไม่ต่ำกว่า 30,000 ไมโครวัตต์-วท./ตร.ซม. ที่ความยาวคลื่น 2,537 A° ทั้งนี้เพราะมักมีการสูญเสียแสงอุลตราไวโอเล็ตบางส่วนเกิดขึ้นเสมอ

ตาราง 4.3 ปริมาณแสงยูวี (UV Dosage) ที่ใช้ในการฆ่าเชื้อโรคชนิดต่างๆ

Microorganisms	Type	Disease	Ultrads
Salmonella typhosa	Bacteria	Typhoid fever	4100
Salmonella paratyphi	Bacteria	Enteric fever	6100
Shigella desenteriea	Bacteria	Dysentery	4200
Shigella flexneri	Bacteria	Dysentery	3400
Vibro comma	Bacteria	Cholera	6500
Leptospira spp	Virus	Infectious jaundice	6000
Poliovius	Virus	Poliomyelitis	6000
Unidentified	Virus	Infectious hepatitis	8000

กลไกของการฆ่าเชื้อโรคโดยการใช้แสงอุลตราไวโอเล็ต

แสดงอุลตราไวโอเล็ต เป็นพลังงานแสงซึ่งอยู่ในรูปคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า มีอำนาจในการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ได้ ปกติในการฆ่าเชื้อโรคคลื่นแสงอุลตราไวโอเล็ต จะต้องกระทบกับตัวจุลินทรีย์โดยตรง แต่ในกระบวนการนี้มีแสงเพียงบางส่วนเท่านั้นที่จุลินทรีย์จะดูดซับไว้ ส่วนที่เหลือจะถูกดูดซับโดยตัวกลางที่อยู่ล้อมรอบเชื้อจุลินทรีย์นั้น ดังนั้นประสิทธิภาพในการทำลายเชื้อจุลินทรีย์ชนิดต่างๆในน้ำก็จะขึ้นอยู่กับความสามารถในการดูดซับพลังงานของเชื้อจุลินทรีย์เอง ซึ่งพอสรุปได้ว่า หากจุลินทรีย์ได้รับพลังงานแสงอุลตราไวโอเล็ตในปริมาณที่มากเพียงพอ ก็จะสามารถฆ่าเชื้อโรคในน้ำนั้นได้ในปริมาณที่ต้องการ กลไกของการฆ่าเชื้อโรคโดยใช้แสงอุลตราไวโอเล็ตนั้นเป็นดังนี้ ในตอนแรกเมื่อน้ำได้รับแสงอุลตราไวโอเล็ต พลังงานแสงจะทะลุผ่านผนังเซลล์ของเชื้อจุลินทรีย์ตามทฤษฎีของ Photochemical Reaction หลังจากนั้นพลังงานแสงจะถูกดูดซับไว้โดยส่วนประกอบต่างๆ ภายในโมเลกุลของตัวจุลินทรีย์ซึ่งมีหน้าที่สำคัญภายในเซลล์ พลังงานที่ถูกดูดซับเข้าไปจะทำให้เกิดการแตกแยกของ Unsaturated bonds โดยเฉพาะพวก purine, pyrimidine ซึ่งเป็นส่วนประกอบสำคัญของ Nucleoprotines ยังผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีภายในเซลล์ของตัวจุลินทรีย์ เมื่อได้รับแสงในปริมาณที่มากเพียงพอเชื้อจุลินทรีย์ก็จะไม่สามารถดำรงชีวิตอยู่ได้

คุณสมบัติที่เครื่องฆ่าเชื้อโรคในน้ำด้วยแสงอุลตราไวโอเล็ตควรมี

1. แสงอุลตราไวโอเล็ตควรมีความยาวคลื่น 2537 A° และมีความเข้มข้นไม่น้อยกว่า 16,000 ไมโครวัตต์-วท./ตร.ซม. ที่ตำแหน่งต่างๆ ภายในห้องฆ่าเชื้อ

2. น้ำที่จะให้แสงยูวีส่องผ่านเข้าไปฆ่าเชื้อควรฉาบหลอดยูวีเป็นฟิล์มบางๆจะให้ผลดีที่สุดหรือความลึกสูงสุดไม่เกิน 7.5 เซนติเมตร

3. ตัวหลอดไฟยูวีควรสร้างขึ้นจาก Quarta Sleeve หรือแก้วที่มีซิลิกาสูง ทั้งนี้เพื่อให้มีการดูดกลืนแสงยูวีเกิดขึ้นน้อยที่สุด นอกจากนี้อุณหภูมิทำงานของหลอดแสงยูวีควรสูงประมาณ 105 F° (34.4 $^{\circ}C$)

4. ก่อนใช้เครื่องยูวีควรอุ่นเครื่องก่อนประมาณ 2 นาที ดังนั้นจึงต้องมีอุปกรณ์หน่วงเวลามิให้น้ำไหลเข้าเครื่องในระหว่างเวลาที่กำลังอุ่นเครื่อง ทั้งนี้เพื่อมิให้มีการผลิตน้ำที่ยังมิได้ฆ่าเชื้อผ่านออกเครื่องยูวีในระหว่างที่เครื่องยังมิได้ทำงาน

5. ต้องมีอุปกรณ์ทำความสะอาดที่ผิวนอก (ด้านที่สัมผัสกับน้ำ) ของหลอดยูวี เพื่อทำความสะอาดอย่างสม่ำเสมอ ซึ่งเป็นการป้องกันมิให้มีสิ่งสกปรกมาเคลือบหลอดยูวี จนทำให้การฆ่าเชื้อไม่เกิดผล

6. ต้องมีอุปกรณ์ควบคุมอัตราการไหลของน้ำที่ผ่านเข้าเครื่อง มิให้สูงเกินกว่าอัตราที่เหมาะสม

7. ต้องมีมาตราบอกความเข้มข้นของแสงยูวี โดยวัดที่จุดไกลที่สุดในห้องฆ่าเชื้อ

8. ในกรณีที่มีเหตุขัดข้องไม่ว่าจะด้วยประการใด ทำให้เครื่องอุลตราไวโอเล็ตไม่ทำงานต้องมีวาล์วอัตโนมัติ สำหรับควบคุมมิให้น้ำที่ยังมิได้ฆ่าเชื้อไหลเข้าไปปนกับน้ำที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้ว

9. ควรมีระบบสัญญาณเตือนให้รู้ถึงความผิดปกติของเครื่องฆ่าเชื้อ

10. วัสดุที่ใช้สร้างเครื่องอุลตราไวโอเล็ต ต้องไม่ทำให้น้ำเป็นพิษทั้งโดยทางตรงหรือทางอ้อม

11. เครื่องอุลตราไวโอเล็ตต้องไม่ทำให้ผู้ใช้ได้รับอันตราย อันเนื่องมาจากสัมผัสกับแสงยูวีมากเกินไปหรือเนื่องจากไฟฟ้าช็อตหรืออื่นๆ

ข้อควรระวังในการใช้งานเครื่องฆ่าเชื้อโรคด้วยรังสีอุลตร้าไวโอเล็ต

1. ความดันของน้ำที่เข้าเครื่องควรมีค่าประมาณ 65 PSI (4.55 KSC) ความดันต่ำสุดไม่ควรน้อยกว่า 20 PSI (1.4 KSC) ซึ่งยังสามารถใช้งานได้อยู่ แต่อัตราการไหลของน้ำจะลดลงและหากความดันของน้ำสูงกว่า 75 PSI (5.25 KSC) จะต้องติดตั้งวาล์วลดความดันก่อนเข้าเครื่องฯ

2. อุณหภูมิของน้ำไม่ควรสูงเกิน 100F^{o} (37.8 C^{o}) เพราะชิ้นส่วนพลาสติกของเครื่องจะอ่อนตัว เสียรูป และสูญเสียความแข็งแรง

3. เปิดหลอดยูวีทิ้งไว้ตลอดเวลาแม้จะไม่ได้มีการใช้น้ำ หากเปิดปิดบ่อยๆ จะทำให้หลอดมีอายุสั้นลง นอกจากเป็นหลอดที่ออกแบบมาสำหรับได้ใช้แบบเปิดปิด

4. ปรับวาล์ว ให้ได้อัตราการไหลของน้ำไม่สูงกว่าขีดความสามารถของเครื่องแต่ละรุ่นที่ระบุไว้มิฉะนั้นการฆ่าเชื้อโรคจะไม่ได้ผล

5. หากแรงเคลื่อนไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายไม่คงที่ ค่าโวลต์ไม่สม่ำเสมอจะทำให้หลอดเสียเร็วและทำให้บัลลาสต์ไหม้ได้

การบำรุงรักษาเครื่องฆ่าเชื้อโรคด้วยรังสีอุลตราไวโอเล็ต ประกอบด้วย

1. *ไส้กรอง* ไส้กรองจะสะสมสารแขวนลอยไว้และค่อยๆอุดตันจึงควรเปลี่ยนทุกๆ 4-12 เดือน ระยะเวลาดังกล่าวอาจสั้นกว่านี้ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับคุณภาพของน้ำที่จะนำมาเข้าเครื่อง

2. *หลอดยูวี* ทันทีที่ใช้งานขั้วของหลอดจะเปลี่ยนเป็นสีดำ ซึ่งเป็นเรื่องปกติ อย่างไรก็ตามเมื่อใช้งานไปนานๆ แม้เมื่อมองดูด้วยตาเปล่ายังเห็นว่าหลอดเปล่งแสงเป็นสีฟ้าอมม่วงอยู่ แต่ปริมาณรังสีอุลตราไวโอเลตอาจไม่เพียงพอในการฆ่าเชื้อโรคแล้ว จึงควรเปลี่ยนหลอดยูวี ทุกๆ 12 เดือน

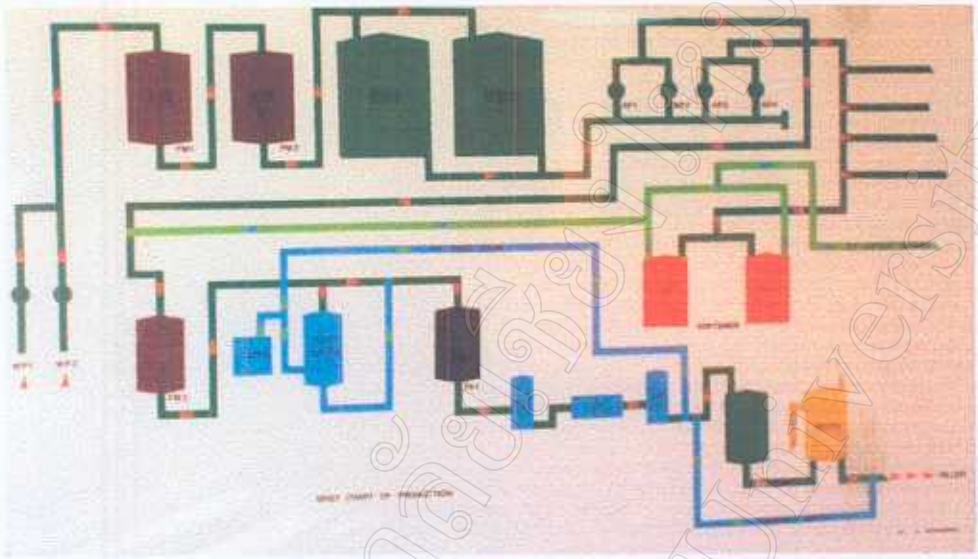
3. *Quartz Sleeve* ควรทำความสะอาดทุกๆ สามเดือน หรือทุกครั้งที่เปลี่ยนไส้กรองโดยใช้ผ้าสะอาดและนุ่มชุบน้ำสบู่เช็ด ในกรณีที่มีคราบของหินปูนเกาะที่ผิว ให้ใช้ผ้าชุบน้ำส้มสายชู เช็ดทำความสะอาดแล้วเช็ดด้วยผ้าชุบน้ำอีกหลายๆ ครั้ง

ขีดจำกัดและข้อดีของการใช้แสงยูวีในการฆ่าเชื้อโรคในน้ำดื่ม

แสงอุลตราไวโอเล็ตจะฆ่าเชื้อโรคในน้ำได้ก็ต่อเมื่อมันสัมผัสกับเชื้อโดยตรง ดังนั้นน้ำต้องปราศจากความขุ่นหรือสี ความขุ่นหรือสิ่งสกปรกสามารถเกาะจับอยู่กับหลอดแสงยูวีและทำให้แสงอุลตราไวโอเล็ตไม่สามารถส่องผ่านได้ตลอดความลึก สาเหตุอีกอย่างหนึ่งในอดีตที่ทำให้การฆ่าเชื้อโรคด้วยแสงอุลตราไวโอเล็ตไม่ได้รับความนิยม คือจำแนกไม่ได้ถึงสาเหตุของความล้มเหลวของการฆ่าเชื้อโรคด้วยแสงอุลตราไวโอเล็ต ว่าเกิดขึ้นเนื่องจากหลอดเสียหรือความสกปรกมากั้นการส่องผ่านของแสงยูวี แต่ในปัจจุบันสามารถทำการวัดระดับความเข้มของแสงได้ ทำให้สามารถทราบถึง สาเหตุของความผิดปกติของการฆ่าเชื้อโรคด้วยแสงอุลตราไวโอเล็ตและแก้ไขจุดบกพร่องดังกล่าวได้

ข้อดีของแสงอุลตราไวโอเล็ตที่มีเหนือคลอรีน คือ ไม่ทำให้เกิดรสและไม่สร้างสารตกค้างในน้ำ เพราะในการใช้แสงอุลตราไวโอเล็ตฆ่าเชื้อโรคในน้ำไม่ได้มีการเติมสารใดๆ ลงไปในน้ำนอกจากพลังงานแสง ซึ่งมีส่วนที่ทำให้น้ำเกิดความร้อนและมีการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิแต่ก็มีการเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเท่านั้นและไม่มีผลเสียต่อคุณภาพของน้ำดื่มแต่อย่างใด

กระบวนการทำความสะอาดน้ำดื่ม



รูป 4.11 กระบวนการทำความสะอาดน้ำดื่ม

รายละเอียดอุปกรณ์ในกระบวนการทำความสะอาดน้ำดื่ม

WP1	ปั๊มน้ำบาดาลตัวที่ 1
WP2	ปั๊มน้ำบาดาลตัวที่ 2
FM1	เครื่องกรองน้ำเครื่องที่ 1 (ประกอบด้วยหิน ทราย และกรวด)
FM2	เครื่องกรองน้ำเครื่องที่ 2 (ประกอบด้วยหิน ทราย และกรวด)
BB1	ถังเก็บน้ำถังที่ 1
BB2	ถังเก็บน้ำถังที่ 2
AP1 , AP2	ปั๊มน้ำตัวที่ 1 และ 2 ส่งไปยัง Filler เพื่อใช้ในการผลิตและบรรจุลงขวด
AP3 , AP4	ปั๊มน้ำตัวที่ 3 และ 4 ส่งไปใช้งานทั่วไปในโรงงาน
FM3	เครื่องกรองน้ำเครื่องที่ 3 (ประกอบด้วยหิน ทราย และกรวด)
OZONE	เครื่องกำเนิดโอโซน

OZONE TANK ถังโอโซน (ผสมน้ำกับโอโซน)

FA1 เครื่องกรองน้ำซนิด Activated Carbon

FK1 เครื่องกรองน้ำซนิด Micro Filter กรองความละเอียดตั้งแต่ 1,000 ไมครอน- 3 ไมครอน

FK2 เครื่องกรองน้ำซนิด Micro Filter กรองความละเอียดตั้งแต่ 3 ไมครอน- 0.02 ไมครอน

Filler เครื่องบรรจุขวด

หมายเหตุ เครื่อง Mixer เป็นเครื่องอัดแก๊ส Co2 สำหรับผลิตโซดา แต่เนื่องจากผลิตน้ำดื่มจึงไม่ผ่านขั้นตอนนี้

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ Chiang Mai University