การใช้คลอรีน

ในสระว่ายน้ำ

จรสพร สิทธิยานันท์

ท่านเคยคิดบ้างไหมว่าทุกครั้งที่ไปว่ายน้ำในสระว่ายน้ำที่เปิดบริการแก่คนทั่วไป ท่านได้นำอะไรติดตัวกลับบ้านบ้าง โดยที่สิ่งนั้นอาจจะก่อให้เกิดอันตรายต่อร่างกายของท่านได้ เช่น เชื้ออหิวาตกโรค ไทฟอยด์ บิด โรคผิวหนัง หรือโรคติดเชื้อทางตา หู และระบบทางเดินหายใจ สระว่ายน้ำตามสถานที่ต่าง ๆ ในปัจจุบันไม่ว่าจะเป็นสระกลางแจ้ง หรือสระในร่ม นอกจากความสวยงามดึงดูดใจ และความสะอาดของสระในด้านน้ำใส ไม่มีฝ้า คราบสกปรก และสารแขวนลอย รวมทั้งไม่มีตะไคร่น้ำแล้ว ผู้รับผิดชอบสระยังต้องคำนึงถึงความปลอดภัย และสุขภาพของผู้ลงเล่นน้ำด้วย น้ำเป็นตัวกลางที่นำพาการแพร่เชื้อโรคไปได้ การรักษาความสะอาดบริเวณสระและการรักษาน้ำในสระให้เป็นน้ำสะอาดอยู่ตลอดเวลา จึงเป็นเรื่องสำคัญที่ผู้ดูแลหรือเจ้าของสระต้องหาวิธีการที่เหมาะสมมากำจัดเชื้อโรคไม่ให้มีอยู่ในสระว่ายน้ำนั้น

การฆ่าเชื้อโรคในน้ำมีหลายวิธีด้วยกัน ได้แก่ การให้ความร้อน การใช้รังสีอัลตราไวโอเล็ต การใช้โลหะบางชนิดที่ให้อิออนที่มีฤทธิ์ในการฆ่าเชื้อโรคได้ เช่น ทองแดง เงิน การปรับค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) และการใช้สารเคมี เช่น คลอรีน โบรมีน ไอโอดีน โอโซน โพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตหรือด่างทับทิม คลอรีนไดออกไซด์ และสารประกอบอินทรีย์ที่มีฮาโลเจน จำพวกคลอรีน, โบรมีนอยู่ในโมเลกุล วิธีเหล่านี้บางวิธีเหมาะสำหรับใช้กับน้ำที่มีปริมาณน้อย แต่ในกรณีของสระว่ายน้ำนิยมใช้คลอรีน และสารประกอบคลอรีน ด้วยเหตุผลหลายประการกล่าวคือวิธีการใช้คลอรีน สามารถเลือกใช้ได้หลายลักษณะ เช่น ในรูปก๊าซ ของเหลวและคลอรีนผง คลอรีนละลายน้ำได้ง่าย มีวิธีป้องกันอันตรายที่อาจเกิดจากวิธีการใช้และกำจัดสารตกค้างได้ง่าย นอกจากนี้คลอรีนมีฤทธิ์ฆ่าเชื้อโรคได้สูง และมีราคาไม่แพงนัก

คลอรีนที่นิยมใช้เพื่อกำจัดจุลินทรีย์มี 3 ชนิด คือ

1. ก๊าซคลอรีน ซึ่งอยู่ในรูปคลอรีนเหลวบรรจุในท่อเหล็กกล้า เมื่อปล่อยสู่บรรยากาศจะกลายสภาพเป็นก๊าซอย่างรวดเร็ว และละลายน้ำได้เร็ว ดังสมการ

$$Cl_2 + H_2O \longrightarrow HOCl + HCl$$

คลอรีนเมื่อละลายน้ำแล้วได้กรดไฮโปคลอรัส (HOCl) และกรดไฮโดรคลอริก (HCl) ทำให้น้ำมีฤทธิ์เป็นกรด การใช้คลอรีนในรูปของก๊าซจะมีความเข้มข้นสูงที่สุด และประหยัดที่สุด แต่เนื่องจากเหตุผลด้านความปลอดภัย และราคาอุปกรณ์ในการติดตั้งสูง จึงไม่นิยมใช้ในสระขนาดเล็กจะใช้เฉพาะในสระขนาดใหญ่

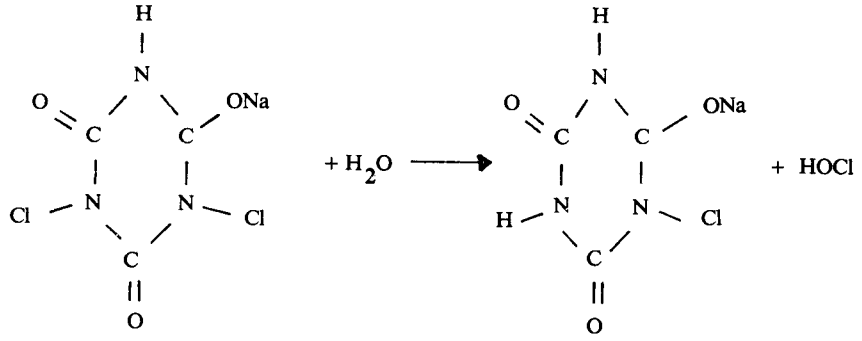
2. โซเดียมไฮโปคลอไรต์ (sodium hypochlorite) หรือคลอรีนน้ำ เป็นสารละลายสีเหลืองอมเขียว มีปริมาณอะเวละเบิลคลอรีนร้อยละ 10-15 ละลายน้ำได้ดี ทำให้น้ำมีฤทธิ์เป็นด่าง

$$NaOCl + H_2O \longrightarrow HOCl + NaOH$$

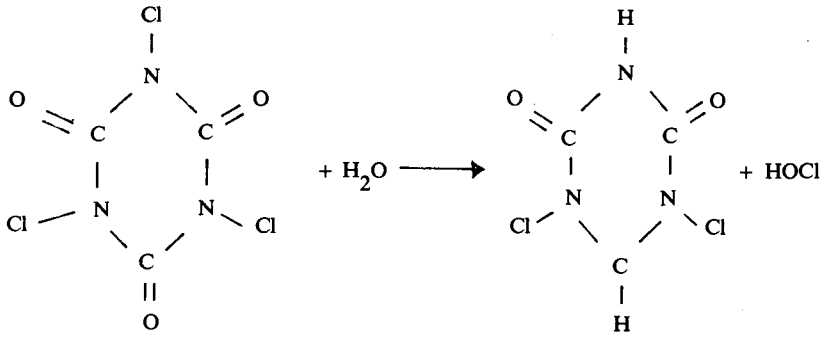
3. แคลเซียมไฮโปคลอไรต์ (calcium hypochlorite) เป็นผงสีขาว มีปริมาณอะเวละเบิลคลอรีนร้อยละ 70 ละลายน้ำได้บางส่วนให้กรดไฮโปคลอรัส และแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ทำให้น้ำมีฤทธิ์เป็นด่าง และมีตะกอนตกค้างอยู่

$$Ca(OCl_2) + H_2O \longrightarrow 2\,HOCl + Ca(OH)_2$$

4. สารประกอบคลอริเนเตดไอโซไซอะนูเรต (chlorinated isocyanurate) เป็นสารประกอบเชิงซ้อนของกรดไซอะนูริค (cyanuric acid) ที่ใช้กันมี 2 ชนิด คือ โซเดียมไดคลอโรไอโซไซอะนูเรต (sodium dichloroisocyanurate) มีปริมาณอะเวละเบิลคลอรีนร้อยละ 60 ละลายน้ำได้ดี ดังสมการ



และกรดไตรคลอโรไอโซไซอะนูริก (trichloroisocyanuric acid) มีปริมาณอะเวละเบิลคลอรีนร้อยละ 85 ละลายน้ำได้ดี ดังสมการ



สารประกอบพวกนี้ละลายน้ำได้ดี มีฤทธิ์เป็นกรดเพียงเล็กน้อย มีราคาแพงกว่าคลอรีนรูปอื่น แต่ถูกทำลายด้วยรังสีอัลตราไวโอเล็ตของแสงอาทิตย์ได้ช้ากว่า

เมื่อละลายคลอรีนในน้ำที่ไม่มีสารอื่นเจือปนจะได้กรดไฮโปคลอรัสหรืออะเวละเบิลคลอรีนอิสระ (free available chlorine) ซึ่งเป็นตัวฆ่าเชื้อโรคที่ดีที่สุด สามารถซึมผ่านผนังเซลล์ของเชื้อโรคซึ่งเป็นโปรตีน เนื่องจากกรดไฮโปคลอรัสมีสูตรโครงสร้างและประจุเป็นกลางเหมือนน้ำ มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ เมื่อกรดนี้เข้าไปสัมผัสกับผนังเซลล์ จะทำปฏิกริยากับโปรตีนของผนังเซลล์เกิดเป็นสารประกอบคลอโรไนโตรเจน (N-chloro compound) ที่สามารถทำลายเอนไซม์ในเซลล์ของเชื้อโรค ทำให้เชื้อโรคตายได้ แต่น้ำในสระว่ายน้ำมักมีสารอินทรีย์ สารอนินทรีย์และอิออนของโลหะอื่นเจือปนอยู่ ดังนั้นหน้าที่ของคลอรีน นอกจากใช้ฆ่าเชื้อโรคแล้ว ยังใช้ทำปฏิกริยากับสารเหล่านี้ด้วย สารที่ควรกล่าวถึงคือสารประกอบไนโตรเจน เช่น แอมโมเนียไนโตรเจน (ammonia nitrogen) และอินทรีย์ไนโตรเจน (organic nitrogen) ซึ่งเกิดจากเหงื่อและปัสสาวะของนักว่ายน้ำ

คลอรีนเมื่อทำปฏิกริยากับแอมโมเนียไนโตรเจนได้สารประกอบพวกคลอรามีน (chloramine, NH_2Cl) ซึ่งสามารถฆ่าเชื้อโรคได้น้อยกว่าคลอรีนอิสระ ส่วนอินทรีย์ไนโตรเจนเมื่อทำปฏิกริยากับคลอรีน ได้สารประกอบคลอโรไนโตรเจนหรืออินทรีย์คลอรามีน (organic chloramine, RNHCl) ซึ่งเมื่อมีอยู่ในน้ำมากพอจะทำให้นักว่ายน้ำเกิดอาการระคายเคืองตา สารนี้สามารถฆ่าเชื้อโรคน้อยมาก นอกจากนี้สารประกอบที่มีไนโตรเจนในโมเลกุลทั้งหมดเป็นตัวการสำคัญที่ช่วยให้ตะไคร่น้ำเจริญเติบโต

ปริมาณคลอรีนที่เติมลงไปต้องมากพอที่จะทำปฏิกริยากับสารเจือปนในน้ำ โดยเฉพาะอย่างยิ่งสารประกอบไนโตรเจนจนหมด จนได้สารประกอบคลอรีนตกค้างในปริมาณคงที่ เราเรียกจุดนี้ว่า "เบรคพอยท์" (breakpoint) และเมื่อเติมคลอรีนมากเกินพอเล็กน้อยจะได้คลอรีนตกค้างอิสระ (free residual chlorine) ซึ่งมีฤทธิ์ฆ่าเชื้อโรคที่มาปนเปื้อนน้ำในสระใหม่ได้

ปริมาณคลอรีนตกค้างเป็นสิ่งสำคัญ ถ้าใช้กาซคลอรีนหรือไฮโปคลอไรต์ต้องควบคุมให้อยู่ในช่วง 0.6-1.0 ส่วนในล้านส่วน และถ้าใช้สารประกอบไอโซไซอะนูเรต ต้องควบคุมให้ปริมาณคลอรีนตกค้างอยู่ในช่วง 1.0-2.0 ส่วนในล้านส่วน

ถ้าน้ำมีปริมาณคลอรีนตกค้างต่ำกว่าที่กำหนด ความสามารถในการฆ่าเชื้อโรคจะน้อยมาก การเติมคลอรีนในปริมาณที่ไม่เพียงพอในน้ำจะมีแต่สารคลอรามีนซึ่งมีผลให้เกิดการระคายเคืองและมีกลิ่นเนื่องจากคลอรามีนนั้น ๆ ซึ่งเราสามารถทำลายคลอรามีนได้โดยเติมอากาศลงไป เนื่องจากคลอรีนมีความคงตัวน้อย จะกลายเป็นไนโตรเจนระเหยไปได้ และควรเพิ่มคลอรีนลงในน้ำเพื่อเพิ่มปริมาณคลอรีนอิสระ แต่ถ้ามีปริมาณคลอรีนมากเกินไป อาจทำให้เกิดการระคายเคืองได้เช่นกัน ข้อควรระวังหลังจากเติมคลอรีนในปริมาณสูงแล้วต้องห้ามไม่ให้คนลงว่ายน้ำทันที เวลาที่เหมาะจะเติมคลอรีนควรเป็นเวลากลางคืนเมื่อไม่มีผู้ลงเล่นน้ำแล้ว ขณะที่ใส่คลอรีนข้นข้นลงในน้ำใหม่ ๆ การทำปฏิกริยากับสารต่าง ๆ ในน้ำไม่หมด จะมีความเข้มข้นสูงซึ่งมีฤทธิ์ทำให้เกิดการระคายเคืองต่อผิวหนังตา ระบบทางเดินหายใจ และระบบทางเดินอาหาร ดังนั้น จึงควรมีระบบควบคุมตรวจสอบปริมาณคลอรีนตกค้างในน้ำทุกวัน และควบคุมให้มีปริมาณอยู่ในช่วงที่กำหนด หากคลอรีนอิสระในน้ำมีปริมาณต่ำกว่าที่กำหนด สามารถจะเติมคลอรีนปริมาณน้อยลงไปได้ โดยทั่วไปตามสระว่ายน้ำมักมีชุดเครื่องมือ และสารเคมีสำหรับตรวจสอบปริมาณคลอรีนในน้ำไว้ใช้ประจำ สารที่ใช้คือสารละลายออร์โธโทลิดีน (orthotoluidine) มีชื่อทางการค้าว่า "OTO" เมื่อหยดสารละลายลงในตัวอย่างน้ำ จะมีสีเหลือง เทียบสีที่เกิดขึ้นกับแถบสีมาตรฐาน จะทราบปริมาณของคลอรีนได้

คลอรีนในสระว่ายน้ำถูกทำลายได้ด้วยรังสีอัลตราไวโอเล็ต เป็นผลให้เกิดการสูญเสียคลอรีนประมาณ 2 ส่วนในล้านส่วน ในเวลา 4 ชั่วโมง ซึ่งสามารถแก้ไขได้โดยเติมสารป้องกันการสลายตัวของคลอรีนตกค้าง (chlorine residual stabilizer) ได้แก่ กรดไซอะนูริกลงในน้ำประมาณ 25-30 ส่วนในล้านส่วนก่อนเติมคลอรีน สารนี้เมื่อทำปฏิกริยากับคลอรีนทั้งในรูปกรดไฮโปคลอรัสและไฮโปคลอไรต์ จะได้สารประกอบคลอริเนเต็ดไซอะนูเรต ซึ่งมีความคงตัวสูง หรือถ้าใช้คลอรีนในรูปของสารประกอบคลอริเนเต็ดไอโซไซอะนูเรตโดยตรง แล้วเติมกรดไซอะนูริกลงไปด้วย จะทำให้มีความคงตัวมากขึ้น นอกจากนี้กรดไฮโปคลอรัสที่ได้จากสารประกอบคลอริเนเต็ดไอโซไซอะนูเรตยังมีความสามารถฆ่าเชื้อโรคได้ดีเท่ากับคลอรีนรูปอื่น

การควบคุมคุณภาพน้ำ นอกจากคำนึงถึงปริมาณคลอรีนอื่นที่มีอยู่ในน้ำแล้วยังต้องสนใจสภาพน้ำในแง่อื่นที่จะมีผลต่อผู้เล่นด้วย เช่น

สภาพความเป็นกรด-ด่าง ของน้ำมีผลต่อความสามารถในการฆ่าเชื้อโรคของกรดไฮโปคลอรัสมาก เพราะกรดไฮโปคลอรัสสามารถแตกตัวให้ไฮโปคลอไรต์อิออน ซึ่งไม่สามารถซึมผ่านผนังเซลล์ของเชื้อโรคได้

$$HOCl \rightleftharpoons H^+ + OCl^-$$

ในน้ำที่มีสภาพเป็นด่าง ความสามารถในการฆ่าเชื้อโรคจะลดลง แล้วยังมีผลให้เกิดตะกรันบริเวณตัวสระส่วนที่เป็นปูน และทำให้น้ำในสระขุ่น วิธีแก้ไขทำได้โดยเติมกรดไฮโดรคลอริกหรือโซเดียมไบซัลเฟต ($NaHSO_4$) หากน้ำมีสภาพเป็นกรด ความสามารถในการฆ่าเชื้อโรคจะเพิ่มมากขึ้น แต่มีผลให้นักว่ายน้ำเกิดการระคายเคืองตาและผิวหนัง รวมทั้งสามารถกัดกร่อนส่วนประกอบของเครื่องกรองน้ำ และเครื่องควบคุมระบบหมุนเวียนของน้ำที่เป็นโลหะด้วย และถ้าน้ำมีค่าความเป็นกรดมากเกินไป เช่น pH ลดต่ำลงมาถึง 3 คลอรีนจะสลายตัวได้เร็วขึ้น โดยทำปฏิกริยากับคลอรามีนได้ไนโตรเจนไตรคลอไรด์ ซึ่งเป็นสารที่ทำให้เกิดการระคายเคืองตาและเกิดกลิ่นที่น่ารังเกียจ วิธีแก้ไขควรเติมด่างลงไปเพื่อเพิ่มค่าความเป็นด่าง ด่างที่นิยมใช้คือโซดาแอช (Na_2CO_3) หรือโซเดียมไบคาร์บอเนต ($NaHCO_3$)

ตามข้อบังคับของกรุงเทพมหานคร กำหนดค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำในสระให้อยู่ในช่วง 7.2-8.4 แต่ถ้าใช้คลอรีนฆ่าเชื้อโรคควรมีค่าความเป็นกรด-ด่างอยู่ในช่วง 7.2-7.8 เพราะถ้าน้ำมีค่าความเป็นกรด-ด่าง 8.4 จะมีคลอรีนอิสระในรูปไฮโปคลอรัสน้อย ความสามารถฆ่าเชื้อโรคจะลดลงด้วย

การรักษาค่าความเป็นกรด-ด่างไม่ให้เปลี่ยนแปลงรวดเร็วเกินไป ควรควบคุมค่าความเป็นด่างทั้งหมด ซึ่งเกิดจากเกลือไบคาร์บอเนตและไฮดรอกไซด์ของโซเดียม โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียม เป็นต้น ค่าความเป็นด่างที่กำหนด คำนวณเป็นแคลเซียมคาร์บอเนตควรให้อยู่ในช่วง 80-100 ส่วนในล้านส่วน

ถ้าใช้แคลเซียมไฮโปคลอไรด์ฆ่าเชื้อโรค อาจทำให้น้ำมีความกระด้างมากเกินไป ซึ่งมีผลทำให้เกิดคราบหินปูนและตะกรันเกาะอยู่ตามผิวภายในท่อน้ำ และผนังสระ แก้ไขได้โดยเติมโซเดียมเฮกซาเมธาฟอสเฟต $(NaPO_3)_6$ และถ่ายเปลี่ยนน้ำในสระบ้างบางส่วน แต่ถ้าน้ำในสระเป็นน้ำอ่อน อาจทำให้เกิดการกัดกร่อน ควรเติมแคลเซียมคลอไรด์ เพื่อเพิ่มความกระด้างของน้ำ

นอกจากนี้ถ้าสังเกตว่าน้ำมีลักษณะเปลี่ยนไป เช่น น้ำเริ่มขุ่น แสดงว่ามีสารแขวนลอยขนาดเล็กเจือปนอยู่ ซึ่งบางครั้งเครื่องกรองไม่สามารถกรองได้ ควรเติมสารส้มลงไปในน้ำ เพื่อให้อนุภาคขนาดเล็กจับกลุ่มกัน ทำให้กรองง่ายขึ้น

ถ้าน้ำเริ่มเปลี่ยนสี แสดงว่าน้ำนั้นอาจมีโลหะละลายอยู่ เช่น น้ำมีสีแดง เนื่องจากมีเหล็กละลายอยู่มาก น้ำที่มีสีน้ำเงินแกมเขียวเกิดจากมีทองแดงละลายอยู่ ถ้าน้ำมีสีน้ำตาลดำ อาจเกิดจากมีแมงกานีส หรือกรดอินทรีย์เจือปนอยู่ จึงควรเติมสารส้มเพื่อตกตะกอนโลหะ แล้วดูดตะกอนออกจนหมด หลังจากนั้นทำความสะอาดพื้นสระ

ถ้าน้ำนั้นมีสาหร่ายมาก ทำให้น้ำมีสีเขียว ควรขัดบริเวณผนังพื้นสระ และเปิดเครื่องกรองให้น้ำหมุนเวียนถ่ายเทเพื่อกำจัดสาหร่าย รวมทั้งเติมจุนสี ($CuSO_4$) เพื่อป้องกันการเกิดของสาหร่ายใหม่

สาเหตุสำคัญที่ทำให้น้ำเริ่มเปลี่ยนสี เกิดจากน้ำมีค่าคลอรีนตกค้างต่ำ ดังนั้นนอกจากวิธีที่แนะนำแล้วยังต้องทำซูเปอร์คลอริเนชั่น (Super Chlorination) โดยการเติมคลอรีนในปริมาณสูงเป็นพิเศษ และเปิดเครื่องกรองตลอด 24 ชั่วโมง ซึ่งเป็นการฆ่าเชื้อโรค ควบคุมกลิ่น และกำจัดโลหะต่าง ๆ รวมทั้งตะไคร่น้ำได้อย่างดี

เป็นที่ทราบกันดีว่า คลอรีนมีความสามารถในการฆ่าเชื้อโรคได้ดี แต่ต้องใช้ในปริมาณที่พอเหมาะ ทั้งนี้ขึ้นกับคุณภาพน้ำในแต่ละแห่ง ผู้ใช้รู้จักการใช้ด้วยวิธีและปริมาณที่เหมาะสม ถ้าใช้คลอรีนในปริมาณที่มากเกินไป อาจทำให้เกิดอันตรายแก่นักว่ายน้ำได้ เช่น เกิดการระคายเคืองตา หู ระบบการหายใจ และผิวหนัง แต่การควบคุมปริมาณคลอรีนเพียงอย่างเดียวไม่เป็นการเพียงพอที่จะป้องกันอันตรายได้ เพราะอาจเกิดจากสารอื่นซึ่งได้จากเหงื่อ และปัสสาวะ ดังนั้น ก่อนลงว่ายน้ำในสระ ทุกท่านควรทำความสะอาดร่างกาย และปลดเปลื้องภาระต่าง ๆ ในตัวให้เรียบร้อยเสียก่อน อีกทั้งมีข้อควรระวังในขณะเติมคลอรีนลงในน้ำ ถ้าใช้คลอรีนเหลว ผู้เติมควรเป็นผู้รู้จักวิธีป้องกันอันตรายต่อตนเองและผู้อยู่ใกล้เคียง อีกทั้งต้องใช้ปริมาณที่พอเหมาะเท่านั้น แล้วทิ้งเวลาให้นานพอ จึงจะอนุญาตให้คนลงสระได้

เอกสารอ้างอิง

1. เรื่องการควบคุมคุณภาพน้ำในสระว่ายน้ำ โดยรองศาสตราจารย์สุรพล สายพานิช ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
2. ข้อบังคับกรุงเทพมหานคร ว่าด้วยหลักเกณฑ์การประกอบการค้าซึ่งเป็นที่รังเกียจหรืออาจเป็นอันตรายแก่สุขภาพ ประเภทการจัดตั้งสระว่ายน้ำ พ.ศ. 2530
3. เอกสารประกอบของ Shikoku Chemicals Corporation.
4. White, Geo. Clifford. Handbook of Chlorination. New York : Van Nostrand Reinhold, 1972
5. Faust, Samuel D. and Aly, Osman M. Chemistry of Water Treatment, Boston : Butterworths, 1983
6. Lawrence, Carl A. and Block, Seymour S. Disinfection, Sterilization, and Preservation. Philadelphia : Lea and Feabiger, 1968.