

# การใช้คลอรีน

## ในสระว่ายน้ำ

### อภิสพร สัทธยานันท์

ท่านเคยคิดบ้างไหมว่าทุกครั้งที่ไปว่ายน้ำในสระว่ายน้ำที่เปิดบริการแก่คนทั่วไป ท่านได้นำอะไรติดตัวกลับบ้านบ้าง โดยที่สิ่งนั้นอาจจะก่อให้เกิดอันตรายต่อร่างกายของท่านได้ เช่น เชื้อโรคติดต่อทางโรค โทฟธอด บิด โรคผิวหนัง หรือโรคติดต่อทางตา หู และระบบทางเดินหายใจ สระว่ายน้ำตามสถานที่ต่างๆ ในปัจจุบัน ไม่ว่าจะเป็นสระกลางแจ้ง หรือสระในร่ม นอกจากความสวยงามดึงดูดใจ และความสะอาดของสระในด้านน้ำใส ไม่มีโคลา คราบสกปรก และสารแขวนลอย รวมทั้งไม่มีตะไคร่น้ำแล้ว ผู้รับผิดชอบสระยังต้องคำนึงถึงความปลอดภัย และสุขภาพของผู้ลงเล่นน้ำด้วย น้ำเป็นตัวกลางที่นำพาการแพร่เชื้อโรคไปได้ การรักษาความสะอาดบริเวณสระและการรักษาน้ำในสระให้เป็นน้ำสะอาดอยู่ตลอดเวลา จึงเป็นเรื่องสำคัญที่ผู้ดูแลหรือเจ้าของสระต้องหาวิธีการที่เหมาะสมมากำจัดเชื้อโรคไม่ให้มีอยู่ในสระว่ายน้ำนั้น

การฆ่าเชื้อโรคในน้ำมีหลายวิธีด้วยกัน ได้แก่ การให้ความร้อน การใช้รังสีอัลตราไวโอเล็ต การใช้โลหะบางชนิดที่มีฤทธิ์ในการฆ่าเชื้อโรคได้ เช่น ทองแดง เงิน การปรับค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) และการใช้สารเคมี เช่น คลอรีน ไบรอนีน ไฮโอซีน ไฮโซน โพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตหรือค่างทับทิม คลอรีนไดออกไซด์ และสารประกอบอินทรีย์ที่มีฮาโลเจนจำพวกคลอรีน ไบรอนีนอยู่ในโมเลกุล วิธีเหล่านี้บางวิธีเหมาะสำหรับใช้กับน้ำที่มีปริมาณน้อย แต่ในกรณีของสระว่ายน้ำนิยมใช้คลอรีน และสารประกอบคลอรีน ด้วยเหตุผลหลายประการ กล่าวคือวิธีการใช้คลอรีน สามารถเลือกใช้ได้

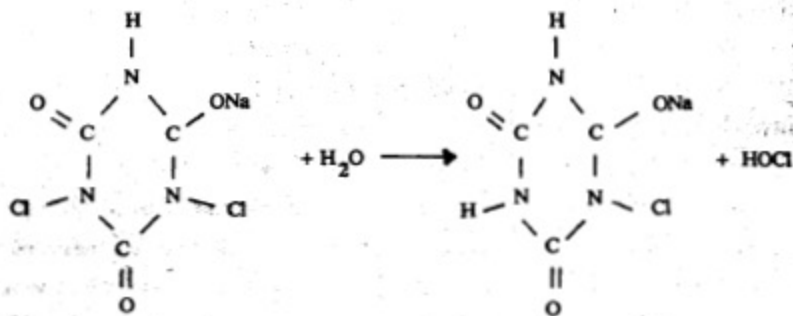
หลายลักษณะ เช่น ในรูปก๊าซ ของเหลวและคลอรีนผง คลอรีนละลายน้ำได้ง่าย มีวิธีป้องกันอันตรายที่อาจเกิดจากวิธีการใช้และกำจัดสารตกค้างได้ง่าย นอกจากนี้คลอรีนเม็ดยุทธจักร้าเชื้อโรคได้สูง และมีราคาไม่แพงนัก

คลอรีนที่นิยมใช้เพื่อกำจัดจุลินทรีย์มี 3 ชนิด คือ

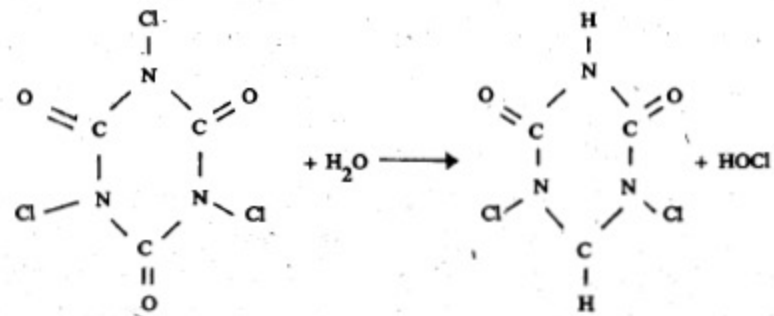
1. ก๊าซคลอรีน ซึ่งอยู่ในรูปคลอรีนเหลวบรรจุในท่อเหล็กกล้า เมื่อปล่อยสู่บรรยากาศจะกลายเป็นก๊าซอย่างรวดเร็ว และละลายน้ำได้เร็ว ดังสมการ



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



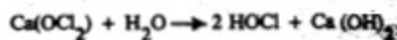
และกรดไตรคลอโรไฮโซไซยานูริก (trichloroisocyanuric acid) มีปริมาณอะตอมเปิดคลอรีนร้อยละ 85 ละลายน้ำได้ดี ดังสมการ



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



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



4. สารประกอบคลอรีนแคเลอไซโซไซยานูเรต (chlorinated isocyanurate) เป็นสารประกอบเชิงซ้อนของกรดไซโซไซยานูริก (cyanuric acid) ที่ใช้กันมี 2 ชนิด คือ โซเดียมไดคลอโรไฮโซไซโซไซยานูเรต (sodium dichloroisocyanurate) มีปริมาณอะตอมเปิดคลอรีนร้อยละ 60 ละลายน้ำได้ดี ดังสมการ

สารประกอบพวกนี้จะละลายได้ดี มีฤทธิ์ เป็นกรดเพียงเล็กน้อย มีราคาแพงกว่าคลอรีน รูปอื่น แต่ถูกทำลายด้วยรังสีอัลตราไวโอเล็ต ของแสงอาทิตย์ได้ยาก

เมื่อละลายคลอรีนในน้ำที่ไม่มีสารอินทรีย์ จะพบจะได้กรดไฮโปคลอรัสหรืออะวอเคลอ คลอรีนอิสระ (free available chlorine) ซึ่งเป็น ตัวฆ่าเชื้อโรคที่ดีที่สุด สามารถซึมผ่านผนังเซลล์ ของเชื้อโรคซึ่งเป็นโปรตีน เนื่องจากกรดไฮโปคลอรัสมีสูตรโครงสร้างและประจุเป็นกลาง เหมือนน้ำ มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ เมื่อกรณินเข้าไปสัมผัสกับผนังเซลล์ จะทำปฏิกิริยากับโปรตีน ของผนังเซลล์เกิดเป็นสารประกอบคลอโรไนโตรเจน (N-chloro compound) ที่สามารถทำลายเยื่อหุ้ม ในเซลล์ของเชื้อโรค ทำให้เชื้อโรคตายได้ แต่ น้ำในสระว่ายน้ำมักมีสารอินทรีย์ สารอินทรีย์ และอินอนของโลหะอื่นเจือปนอยู่ ดังนั้นหน้าที่ ของคลอรีน นอกจากใช้ฆ่าเชื้อโรคแล้ว ยังใช้ ทำปฏิกิริยากับสารเหล่านี้ด้วย สารที่ควรกล่าวถึง คือสารประกอบไนโตรเจน เช่น แอมโมเนียไนโตรเจน (ammonia nitrogen) และอินทรีย์ ไนโตรเจน (organic nitrogen) ซึ่งเกิดจากเหงื่อ และปัสสาวะของนักว่ายน้ำ

คลอรีนเมื่อทำปฏิกิริยากับแอมโมเนีย ไนโตรเจนได้สารประกอบพวกคลอรามิน (chloramine,  $NH_2Cl$ ) ซึ่งสามารถฆ่าเชื้อโรคได้น้อย กว่าคลอรีนอิสระ ส่วนอินทรีย์ไนโตรเจนเมื่อทำ ปฏิกิริยากับคลอรีน ได้สารประกอบคลอโรไนโตรเจน หรืออินทรีย์คลอรามิน (organic chloramine,  $RNHCl$ ) ซึ่งเมื่อมีอยู่ในน้ำมากพอจะทำให้ นักว่ายน้ำเกิดอาการระคายเคืองตา สารนี้สามารถ ฆ่าเชื้อโรคน้อยมาก นอกจากนี้สารประกอบที่มี ไนโตรเจนในโมเลกุลทั้งหมดเป็นส่วนการสำคัญ ที่ช่วยให้ตะไคร่น้ำเจริญเติบโต

ปริมาณคลอรีนที่เติมลงไปต้องมากพอ ที่จะทำปฏิกิริยากับสารเจือปนในน้ำ โดยเฉพาะอย่างยิ่งสารประกอบไนโตรเจนทั้งหมด จนได้ สารประกอบคลอรีนตกค้างในปริมาณคงที่ เรา เรียกจุดนี้ว่า "เบรคพอยท์" (breakpoint) และ เมื่อเติมคลอรีนมากขึ้นพอเล็กน้อยจะได้คลอรีน ตกค้างอิสระ (free residual chlorine) ซึ่งมีฤทธิ์ ฆ่าเชื้อโรคที่มากเป็นน่าน้ำในสระใหม่ได้

ปริมาณคลอรีนตกค้างเป็นสิ่งสำคัญ ถ้า ใช้ก๊าซคลอรีนหรือไฮโปคลอไรต์ต้องควบคุม ให้อยู่ในช่วง 0.6-1.0 ส่วนในล้านส่วน และถ้า ใช้สารประกอบไฮโปคลอไรต์ ต้องควบคุม ให้อัตราคลอรีนตกค้างอยู่ในช่วง 1.0-2.0 ส่วน ในล้านส่วน

ถ้ามีปริมาณคลอรีนตกค้างต่ำกว่าที่ กำหนด ความสามารถในการฆ่าเชื้อโรคจะน้อย มาก การเติมคลอรีนในปริมาณที่ไม่เพียงพอ ในน้ำจะมีแค่สารคลอรามินซึ่งมีผลให้เกิดการ ระคายเคืองและมีกลิ่นเนื่องจากคลอรามินนั้น ๆ ซึ่งเราสามารถทำลายคลอรามินได้โดยเติมอากาศ ลงไป เนื่องจากคลอรีนมีความคงตัวน้อย จะ กลายเป็นไนโตรเจนระเหยไปได้ และควรเพิ่ม คลอรีนลงในน้ำเพื่อเพิ่มปริมาณคลอรีนอิสระ แต่ต้องมีปริมาณคลอรีนมากเกินไป อาจทำให้เกิด การระคายเคืองได้เช่นกัน ข้อควรระวังหลังจาก เติมคลอรีนในปริมาณสูงแล้วต้องห้ามไม่ให้คน ลงว่ายน้ำทันที เวลาที่เหมาะสมจะเติมคลอรีนควร เป็นเวลากลางคืนเมื่อไม่มีผู้ลงว่ายน้ำแล้ว ขณะที่ ใส่คลอรีนชั้นหลังลงในน้ำใหม่ ๆ การทำปฏิกิริยากับ สารต่าง ๆ ในน้ำไม่หมด จะมีความเข้มข้นสูง ซึ่งมีฤทธิ์ทำให้เกิดการระคายเคืองต่อผิวหนัง ตา ระบบทางเดินหายใจ และระบบทางเดินอาหาร ดังนั้น จึงควรมีระบบควบคุมตรวจสอบปริมาณ คลอรีนตกค้างในน้ำทุกวัน และควบคุมให้มีปริมาณ อยู่ในช่วงที่กำหนด หากคลอรีนอิสระในน้ำมี ปริมาณต่ำกว่าที่กำหนด สามารถจะเติมคลอรีน ปริมาณน้อยลงไปได้ โดยทั่วไปตามสระว่ายน้ำ มักมีชุดเครื่องมือ และสารเคมีสำหรับตรวจสอบ ปริมาณคลอรีนในน้ำไว้ใช้ประจำ สารที่ใช้คือ สารละลายออร์โทโทลไวดีน (orthotoluidine) มีชื่อทางการค้าว่า "OTO" เมื่อหยดสารละลาย ลงในตัวอย่างน้ำ จะมีสีเหลือง เทียบสีที่เกิดขึ้น กับแถบสีมาตรฐาน จะทราบปริมาณของคลอรีนได้ คลอรีนในสระว่ายน้ำถูกทำลายได้ด้วย รังสีอัลตราไวโอเล็ต เป็นผลให้เกิดการสูญเสีย คลอรีนประมาณ 2 ส่วนในล้านส่วน ในเวลา 4 ชั่วโมง ซึ่งสามารถแก้ไขได้โดยเติมสารป้องกันการ สลายตัวของคลอรีนตกค้าง (chlorine residual stabilizer) ได้แก่ กรดไฮโปคลอไรต์ในน้ำ ประมาณ 25-30 ส่วนในล้านส่วนก่อนเติมคลอรีน สารนี้เมื่อทำปฏิกิริยากับคลอรีนทั้งในรูปก๊าซ

และไฮโปคลอไรต์ จะได้สารประกอบคลอริเนตต์ไฮโปคลอไรต์ ซึ่งมีความคงตัวสูง หรือถ้า ใช้คลอรีนในรูปของสารประกอบคลอรีเนตต์ ไฮโปคลอไรต์โดยตรง แล้วเติมกรดไฮโปคลอไรต์ลงไปด้วย จะทำให้ความคงตัวมากขึ้น นอกจากนี้ กรดไฮโปคลอไรต์ที่ได้จากสารประกอบคลอริเนตต์ไฮโปคลอไรต์ยังมีความสามารถฆ่าเชื้อโรคได้ดีเท่ากับคลอรีนรูปอื่น

การควบคุมคุณภาพน้ำ นอกจากคำนึงถึง ปริมาณคลอรีนอื่นที่มีอยู่ในน้ำแล้วยังต้องสนใจ สภาพน้ำในแง่อื่นที่จะมีผลต่อผู้เล่นด้วย เช่น สภาพความเป็นกรด-ด่าง ของน้ำมีผลต่อ ความสามารถในการฆ่าเชื้อโรคของกรดไฮโปคลอไรต์มาก เพราะกรดไฮโปคลอไรต์สามารถ แยกตัวให้ไฮโปคลอไรต์อิสระ ซึ่งไม่สามารถ ซึมผ่านผนังเซลล์ของเชื้อโรคได้



ในน้ำที่มีสภาพเป็นด่าง ความสามารถในการ ฆ่าเชื้อโรคจะลดลง และยังมีผลให้เกิด ตะกอนบริเวณผิวสระส่วนที่เป็นปูน และทำให้น้ำ ในสระขุ่น วิธีแก้ไขทำได้โดยเติมกรดไฮโปคลอไรต์หรือโซเดียมไบซัลเฟต ( $NaHSO_4$ ) หาก น้ำมีสภาพเป็นกรด ความสามารถในการฆ่าเชื้อโรค จะเพิ่มมากขึ้น แต่มีผลให้นักว่ายน้ำเกิดอาการ ระคายเคืองตาและผิวหนัง รวมทั้งสามารถกัดกร่อน ส่วนประกอบของเครื่องกรองน้ำ และเครื่อง ควบคุมระบบหมุนเวียนของน้ำที่เป็นโลหะด้วย และถ้ามีค่าความเป็นกรดมากเกินไป เช่น pH ลดต่ำลงมาถึง 3 คลอรีนจะสลายตัวได้เร็ว ขึ้น โดยทำปฏิกิริยากับคลอรามินได้ในไนโตรเจน- ไตรคลอไรด์ ซึ่งเป็นสารที่ทำให้เกิดการระคายเคือง ตาและเกิดกลิ่นที่รุนแรงยิ่งขึ้นแก้ไขควรเติม ด่างลงไปเพื่อเพิ่มค่าความเป็นด่าง ด่างที่นิยม ใช้คือโซดาแอช ( $Na_2CO_3$ ) หรือโซเดียมไบคาร์บอเนต ( $NaHCO_3$ )

ตามข้อกำหนดของกรุงเทพมหานคร กำหนด ค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำในสระให้อยู่ในช่วง 7.2-8.4 แต่ถ้าใช้คลอรีนฆ่าเชื้อโรคควรมีค่าความเป็น กรด-ด่างอยู่ในช่วง 7.2-7.8 เพราะถ้ามี ค่าความเป็นกรด-ด่าง 8.4 จะมีคลอรีนอิสระ ในรูปไฮโปคลอไรต์น้อย ความสามารถฆ่าเชื้อโรค จะลดลงด้วย

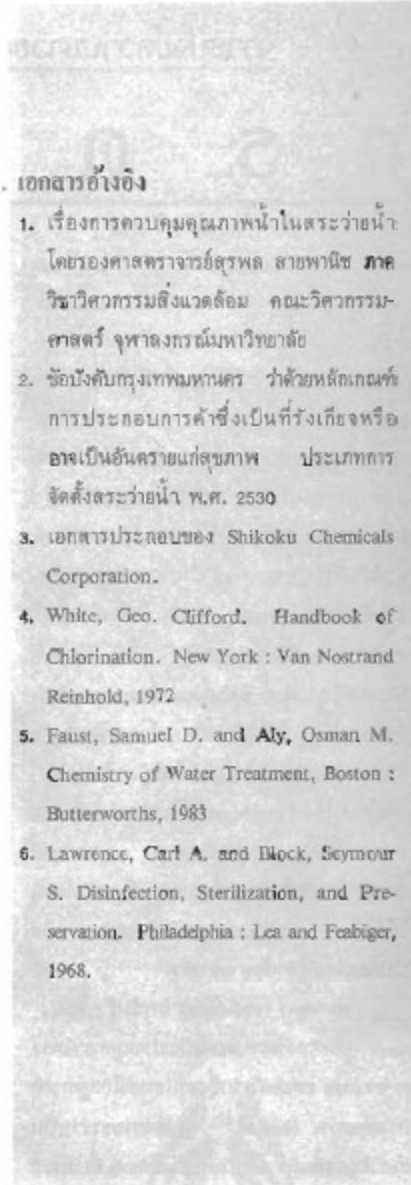
การรักษาค่าความเป็นกรด-ด่างไม่ให้เปลี่ยนแปลงรวดเร็วเกินไป การควบคุมค่าความเป็นด่างทั้งหมด ซึ่งเกิดจากเกลือไบคาร์บอเนตและไฮดรอกไซด์ของโซเดียม โปแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียม เป็นต้น ค่าความเป็นด่างที่จำกัด ค่าแอมป์เป็นแคลเซียมคาร์บอเนตควรให้อยู่ในช่วง 80-100 ส่วนในล้านส่วน

ถ้าใช้แคลเซียมไฮโปคลอไรต์ฆ่าเชื้อโรค อาจทำให้น้ำมีความกระด้างมากขึ้น ซึ่งมีผลทำให้เกิดคราบหินปูนและตะกอนเกาะอยู่ตามผิวภายในท่อน้ำ และผนังสระ แก้ไขได้โดยเติมโซเดียมเฮกซะเมธาฟอสเฟต ( $\text{NaPO}_3$ )<sub>6</sub> และถ่ายเปลี่ยนน้ำในสระบางส่วน แต่ถ้าน้ำในสระเป็นน้ำอ่อน อาจทำให้เกิดการกัดกร่อนความเค็มแคลเซียมคลอไรด์ เพื่อเพิ่มความกระด้างของน้ำ

นอกจากนี้ถ้าสังเกตว่าน้ำมีลักษณะเปลี่ยนไป เช่น น้ำเริ่มขุ่น แสดงว่ามีสารแขวนลอยขนาดเล็กเจือปนอยู่ ซึ่งบางครั้งเครื่องกรองไม่สามารถกรองได้ ควรเติมสารส้มลงในน้ำ เพื่อให้อนุภาคขนาดเล็กจับกลุ่มกัน ทำให้กรองง่ายขึ้น  
ถ้าน้ำเริ่มเปลี่ยนสี แสดงว่าน้ำนั้นอาจมีโลหะละลายอยู่ เช่น น้ำมีสีแดง เนื่องจากมีเหล็กละลายอยู่มาก น้ำที่มีสีน้ำเงินแกมเขียวเกิดจากมีทองแดงละลายอยู่ ถ้ามีสีน้ำเงินดำ อาจเกิดจากมีแมงกานีส หรือกรดอินทรีย์เจือปนอยู่ จึงควรเติมสารส้มเพื่อตกตะกอนโลหะ แล้วดูดตะกอนออกจนหมด หลังจากนั้นทำความสะอาดพื้นสระ

ถ้าน้ำนั้นมีสาหร่ายมาก ทำให้น้ำมีสีเขียว ควรจัดบริเวณผนังพื้นสระ และเปิดเครื่องกรองให้น้ำหมุนเวียนถ่ายเทเพื่อกำจัดสาหร่าย รวมทั้งเติมจุนสี ( $\text{CuSO}_4$ ) เพื่อป้องกันการเกิดของสาหร่ายใหม่

สาเหตุสำคัญที่ทำให้น้ำเริ่มเปลี่ยนสีเกิดจากน้ำมีค่าคลอรีนตกค้างต่ำ ดังนั้นนอกจากวิธีที่แนะนำแล้วยังต้องทำซูเปอร์คลอรีเนชัน (Super Chlorination) โดยการเติมคลอรีนในปริมาณสูงเป็นพิเศษ และเปิดเครื่องกรองตลอด 24 ชั่วโมง ซึ่งเป็นการฆ่าเชื้อโรค ควบคุมกลิ่น และกำจัดโลหะต่าง ๆ รวมทั้งตะไคร่น้ำได้อย่างดีเป็นที่ทราบกันดีว่า คลอรีนมีความสามารถในการฆ่าเชื้อโรคได้ดี แต่ต้องใช้ในปริมาณที่เหมาะสม ทั้งนี้ขึ้นกับคุณภาพน้ำในแต่ละแห่ง ผู้ใช้รู้จักการใช้ด้วยวิธีและปริมาณที่เหมาะสม ถ้าใช้คลอรีนในปริมาณที่มากเกินไป อาจทำให้เกิดอันตรายแก่นักว่ายน้ำได้ เช่น เกิดการระคายเคืองตา หู ระบบการหายใจ และผิวหนัง แต่การควบคุมปริมาณคลอรีนเพียงอย่างเดียวไม่เป็นการเพียงพอที่จะป้องกันอันตรายได้ เพราะอาจเกิดจากสารอื่นซึ่งได้จากแห้ว และบิสฟวาสดังนั้น ก่อนลงว่ายน้ำในสระ ทุกท่านควรทำความสะอาดร่างกาย และปลดเปลื้องการแต่งตัวต่าง ๆ ในส่วให้เรียบร้อยเสียก่อน อีกทั้งมีข้อควรระวังในขณะเติมคลอรีนลงในน้ำ ถ้าใช้คลอรีนเหลวผู้เติมควรเป็นผู้รู้จักวิธีป้องกันอันตรายต่อตนเองและผู้ที่อยู่ใกล้เคียง อีกทั้งต้องใช้ปริมาณที่เหมาะสมเท่านั้น แล้วทิ้งเวลาให้นานพอ จึงจะอนุญาตให้คนลงสระได้



### เอกสารอ้างอิง

1. เรื่องการควบคุมคุณภาพน้ำในสระว่ายน้ำ โดยรองศาสตราจารย์สุรพล สาขพานิช 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 Febiger, 1968.