

ความเสี่ยงทางสุขภาพจากการได้รับสัมผัสสารไตรฮาโลมีเทนในสระว่ายน้ำ

มารีนี โค, วท.ม.

คณะกรรมการสิ่งแวดล้อม

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
ชีระวิทย์ รัตนพันธ์, พร.ค.

สถาบันพัฒนาสุขภาพอาเซียน

มหาวิทยาลัยมหิดล

ฉันทิ สุขสาโรจน์, วท.ค.

คณะกรรมการสิ่งแวดล้อม

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

บทคัดย่อ

มารีนี โค, ชีระวิทย์ รัตนพันธ์, ฉันทิ สุขสาโรจน์. ความเสี่ยงทางสุขภาพจากการได้รับสัมผัสสารไตรฮาโลมีเทนในสระว่ายน้ำ. ว.สาธารณสุขและการพัฒนา, 2554; 9(2): 208-22.

กระบวนการฆ่าเชื้อโรคในสระว่ายน้ำเป็นกระบวนการที่ป้องกันการติดต่อจากจุลินทรีย์ก่อโรคกับผู้ใช้สระว่ายน้ำ แต่การดำเนินการดังกล่าวก่อให้เกิดสารตกค้างที่ส่งผลกระทบต่อสุขภาพของผู้ใช้สระว่ายน้ำอีกด้วย โดยเฉพาะอย่างยิ่งสารก่อมะเร็งในคนของกลุ่มสารไตรฮาโลมีเทนซึ่งเป็นสารที่เกิดจากปฏิกิริยาระหว่างสารอินทรีย์ในน้ำกับการเติมสารคลอรีน ดังนั้นบทความฉบับนี้จึงทบทวนวรรณกรรมถึงความเสี่ยงทางสุขภาพที่เกิดขึ้นจากการได้รับสัมผัสสารกลุ่มไตรฮาโลมีเทนในสระว่ายน้ำ โดยจากการรายงานของ US Environmental Protection Agency (USEPA) พบว่า สารในกลุ่มไตรฮาโลมีเทนทั้ง 4 ชนิด ได้แก่ คลอโรฟอร์ม โบรโมไดคลอโรมีเทน คลอโรไดโบรโมมีเทน และ ไพรโมฟอร์ม นั้นเป็นสารที่สามารถก่อมะเร็งในคนได้และยังก่อให้เกิดอันตรายกับลูกในครรภ์ของหญิงตั้งครรภ์ ทั้งนี้เมื่อเปรียบเทียบปริมาณของสารกลุ่มไตรฮาโลมีเทนที่ตรวจพบในสระว่ายน้ำกับค่ามาตรฐานแล้วพบว่าค่าที่ใกล้เคียงหรือสูงกว่ามาตรฐานเล็กน้อย โดยเมื่อประเมินความเสี่ยงทางสุขภาพจากการได้รับสัมผัสสารไตรฮาโลมีเทนในสระว่ายน้ำแล้วพบว่า การได้รับสัมผัสสารไตรฮาโลมีเทนจากสระว่ายน้ำในเกือบทุกการศึกษา นั้นจะมีค่าความเสี่ยงในการเกิดมะเร็งสูงกว่าค่าความเสี่ยงมาตรฐานที่กำหนดโดย USEPA และการได้รับสารกลุ่มไตรฮาโลมีเทนในสระว่ายน้ำนั้นได้จากการสัมผัสทางผิวหนังขณะว่ายน้ำและจากคิมน้ำนั้นอีกด้วย โดยแนวทางในการลดความเสี่ยงจากการได้รับสารไตรฮาโลมีเทนในสระว่ายน้ำ ได้แก่ การเปลี่ยนการใช้สารฆ่าเชื้อโรค การติดตั้งเทคโนโลยีในการลดการเกิดสารไตรฮาโลมีเทน การลดปริมาณสารตั้งต้นในสระว่ายน้ำ และการปรับเปลี่ยนพฤติกรรมของผู้ใช้สระว่ายน้ำ

ติดต่อเกี่ยวกับบทความ

ชีระวิทย์ รัตนพันธ์, พร.ค.

สถาบันพัฒนาสุขภาพอาเซียน

มหาวิทยาลัยมหิดล

E-mail: adcheerawit@mahidol.ac.th,

cheerawit@hotmail.com

รับต้นฉบับวันที่ 10 กุมภาพันธ์ 2554

รับลงตีพิมพ์วันที่ 3 มิถุนายน 2554

คำสำคัญ สระว่ายน้ำ สารไตรฮาโลมีเทน ความเสี่ยงทางสุขภาพ

Health risk from exposure to Trihalomethanes in swimming pools

ABSTRACT

Do M, Ratanapan C, Suksaroj T. Health risk from exposure to Trihalomethanes in swimming pools. J. Pub. Health. Dev. 2011; 9(2): 208-22.

Disinfecting swimming pool water is a process to protect swimmers against infection by microbiological pathogens and generate the various chlorine by-products that affect the health of swimmers. Especially, trihalomethanes (THMs), carcinogenic substance, generated from chemical reaction between organic matter in water and added chlorine. Therefore, this article was to review the health risk arising from exposure to THMs in the swimming pool. The report from the US Environmental Protection Agency (USEPA) showed that the four compounds of the THMs, consisted of chloroform, bromodichloromethane, dibromochloromethane and bromoform, are human carcinogen and caused harm to fetus of pregnant women. However, comparing the THMs concentrations detected in the swimming pool with the standard values were similar or slightly higher than the standard. The assessment of health risk from exposure to THMs in the swimming pool found that risk of having cancer from exposure to THMs in the swimming pool was higher than the risk standards set by USEPA. THMs can be exposure through skin and swelling during swimming. Therefore, the approach of risk reduction from exposure to THMs in swimming pool was the change of the disinfectant, installation technology for reducing the THMs generation, reduction of precursor substances in swimming pool and the change of swimmer behavior.

Keywords Swimming pool Trihalomethanes Health risk

ความสำคัญและที่มาของการทบทวนวรรณกรรม

กระบวนการฆ่าเชื้อโรคในสระว่ายน้ำเป็นกระบวนการที่มีความสำคัญเป็นอย่างยิ่งในการป้องกันโรคติดต่อจากจุลินทรีย์กับผู้ใช้สระว่ายน้ำ¹ ซึ่งเป็นที่มาของอาการเจ็บป่วยต่าง ๆ โดยกระบวนการฆ่าเชื้อโรคในปัจจุบันนั้นมีหลายวิธี อาทิ การให้ออกาส การตกตะกอน การกรอง และการเติมสารเคมี² แต่วิธีการที่ได้รับความนิยมมากที่สุด คือ การเติมสารเคมี โดยเฉพาะอย่างยิ่งการเติมคลอรีน^{1,3-4} เนื่องมาจากเป็นวิธีการฆ่าเชื้อที่มีประสิทธิภาพสูงและมีต้นทุนต่ำเมื่อเทียบกับวิธีอื่น^{2,3} แต่ทั้งนี้การเติมคลอรีนเพื่อฆ่าเชื้อในสระว่ายน้ำนั้นจะเป็นอันตรายต่อสุขภาพ โดยเมื่อคลอรีนทำปฏิกิริยากับสารอินทรีย์ในน้ำ เช่น ปัสสาวะ และ เหงื่อ เป็นต้น⁵ จะเกิดสารตกค้างทำปฏิกิริยาเกิดขึ้นโดยเรียกรวมสารกลุ่มดังกล่าวว่า Disinfection by-products (DBPs)^{6,7} โดยสารตกค้างกลุ่มนี้ยังประกอบด้วยสารอีกหลายกลุ่ม ได้แก่ สารไตรฮาโลมีเทน (trihalomethanes, THMs) สารกลุ่มฮาโลอะเซติก (haloacetic acids, HAAs) สารกลุ่มฮาโลอะซิโตนไนไตรท์ (haloacetonitriles, HANs) สารกลุ่มฮาโลคีโตน (haloketones, HKs) เป็นต้น^{8,9-10} แต่เมื่อพิจารณาถึงปริมาณการปนเปื้อนของสารตกค้างดังกล่าว พบว่า สารกลุ่มไตรฮาโลมีเทนเป็นสารกลุ่มหลักที่สามารถพบได้ในน้ำได้สูงสุด และสารกลุ่มดังกล่าวนี้ยังเป็นสารกลุ่มที่อาจก่อให้เกิดมะเร็งในคนได้ หรือที่เรียกว่า สารอินทรีย์ฮาโลเจน (Halogenated organic by product)¹¹

ทั้งนี้สารกลุ่มไตรฮาโลมีเทนนั้นจะประกอบด้วยสารทั้งหมด 4 ชนิด ได้แก่ คลอโรฟอร์ม (Chloroform) โบโรไดคลอโรมีเทน (Bromodichloromethane, BDCM) คลอโรไดโบโรมีเทน (Chlorodibromomethane, CDBM) และ โบโรฟอร์ม (Bromoform) โดยสารกลุ่มไตรฮาโลมีเทนได้ถูกกำหนดความเข้มข้น

ขั้นสูงสุดของสารตกค้างในน้ำเอาไว้ (The maximum contaminant level, MCL) เท่ากับ 80 µg/L¹² เพื่อเป็นการป้องกันปัญหาทางสุขภาพของมนุษย์ที่อาจเกิดจากการได้รับสัมผัสสารตกค้างกลุ่มดังกล่าวนี้ นอกจากนี้จากการศึกษาของ Nieuwenhuijzen¹³ พบว่า ความเข้มข้นของสารไตรฮาโลมีเทนในสระว่ายน้ำจะมีปริมาณสูงกว่าในน้ำประปา โดยนักว่ายน้ำจะสามารถได้รับสารกลุ่มไตรฮาโลมีเทนได้มากกว่า 141 เท่าของการอาบน้ำจากฝักบัวด้วยน้ำประปานาน 10 นาที อีกทั้งจากรายงานขององค์การอนามัยโลก ยังพบอีกว่า ความเข้มข้นของสารคลอโรฟอร์มในน้ำของสระว่ายน้ำในประเทศสหรัฐอเมริกาและประเทศเยอรมนีมีค่าเท่ากับ 4-450 และ 0.69-112 µg/L ตามลำดับ ซึ่งอาจเป็นความเข้มข้นที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพได้¹⁴

จากความเป็นพิษของสารกลุ่มไตรฮาโลมีเทนที่กล่าวมาแล้วนั้นหากเมื่อผู้ใช้สระว่ายน้ำได้รับสัมผัสสารดังกล่าว จึงเป็นความเสี่ยงทางสุขภาพที่จะเกิดขึ้นได้ ดังนั้นทางผู้เขียนจึงสนใจที่จะทบทวนเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องถึงการเกิดและลักษณะของสารกลุ่มไตรฮาโลมีเทนในสระว่ายน้ำ ความเป็นพิษของสารกลุ่มไตรฮาโลมีเทน ปริมาณของสารไตรฮาโลมีเทนในสระว่ายน้ำ การประเมินความเสี่ยงทางสุขภาพ และท้ายสุดเป็นการทบทวนถึงความเสี่ยงทางสุขภาพที่จะได้รับจากการสัมผัสสารไตรฮาโลมีเทนในสระว่ายน้ำ

การเกิดและลักษณะของสารกลุ่มไตรฮาโลมีเทนในสระว่ายน้ำ

คลอรีนเป็นสารเคมีที่นิยมใช้ในกระบวนการฆ่าเชื้อในสระว่ายน้ำโดยสารตกค้างที่เกิดขึ้นจากการฆ่าเชื้อด้วยคลอรีน (DBPs) นั้นจะเกิดจากปฏิกิริยาของคลอรีนกับสารอินทรีย์ในน้ำ¹⁵ โดยปฏิกิริยาของสารอินทรีย์กับคลอรีนแสดงดังสมการที่ 1¹⁶



นอกจากนี้ในสระว่ายน้ำยังประกอบด้วยน้ำและสารที่มีจากร่างกายของผู้ใช้สระว่ายน้ำ เช่น เหงื่อ ปัสสาวะ และสารประกอบต่าง ๆ ที่มาจากผิว ซึ่งสารดังกล่าวนี้เป็นสารที่เป็นองค์ประกอบของสารอินทรีย์ในไตรเจน เช่น ยูเรีย แอมโมเนีย และกรดอะมิโน โดยน้ำที่นำมาใช้ในสระว่ายน้ำเป็นผิวดินหรือน้ำใต้ดิน ทำให้สารอินทรีย์และโบรโมไฮดรอกซิดีนที่อยู่ในน้ำมีผลทำให้สามารถเปลี่ยนเป็นสารกลุ่มสารไตรฮาโลมีเทนได้อีกด้วย³ ดังนั้น การเกิดสารไตรฮาโลมีเทนในน้ำขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ ได้แก่ 1) ปริมาณของอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมด (Total organic carbon: TOC) โดยปริมาณไตรฮาโลมีเทนที่เกิดขึ้นจะมากขึ้นตามปริมาณสารอินทรีย์ที่อยู่ในน้ำ 2) ปริมาณคลอรีน เนื่องจากสารกลุ่มไตรฮาโลมีเทนเกิดจากการะบวนการฆ่าเชื้อโรคด้วยคลอรีน ดังนั้น ปริมาณความเข้มข้นของคลอรีนจึงมีผลต่ออัตราการเกิด

ไตรฮาโลมีเทน 3) อุณหภูมิของน้ำ เมื่ออุณหภูมิของน้ำสูงขึ้นจะทำให้ปฏิกิริยาในการเกิดไตรฮาโลมีเทนเร็วขึ้นตามไปด้วย 4) ความเป็นกรด-ด่างของน้ำ หากน้ำมีค่าความเป็นกรด-ด่างสูง จะทำให้ปฏิกิริยาการเกิดไตรฮาโลมีเทนเร็วขึ้น 5) ระยะเวลาในการสัมผัสคลอรีน โดยปริมาณไตรฮาโลมีเทนนั้นขึ้นอยู่กับระยะเวลาในการสัมผัสคลอรีนในกระบวนการฆ่าเชื้อโรค และ 6) ปริมาณสารโบรมีนที่เกิดขึ้นในสระว่ายน้ำ¹²

ทั้งนี้สารกลุ่มไตรฮาโลมีเทน เป็นสารประกอบฮาโลเจน ที่ประกอบด้วยคาร์บอน 1 ตัว เป็นองค์ประกอบ โดยมีสูตรเคมีทั่วไปคือ CHX_3 ซึ่งในตำแหน่งของ X อาจแทนที่ด้วยคลอรีน (Cl) โบรมีน (Br) หรือไอโอดีน (I) โดยมีลักษณะสมบัติทางเคมี-ฟิสิกส์ ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงลักษณะสมบัติทางฟิสิกส์-เคมีของสารไตรฮาโลมีเทน

สาร	มวลโมเลกุล (กรัม/โมล)	สถานะ	จุดเดือด (°C)	จุดหลอมเหลว (°C)	ความสามารถในการละลายน้ำที่ 25 °C (mg/L)
Chloroform (CHCl ₃)	119.36	ของเหลว	61	-63	7.22x10 ³
Bromodichloromethane (CHCl ₂ Br)	163.83	ของเหลว	90	57.1	4.5x10 ³
Dibromochloromethane (CHClBr ₂)	208.28	ของเหลว	120	-63	2.77x10 ³
Bromoform (CHBr ₃)	252.73	ของเหลว	150	8.3	73.10x10 ³

ที่มา: Agency for Toxic Substances and Disease Registry¹⁷

ความเป็นพิษของสารกลุ่มไตรฮาโลมีเทน

จากรายงานฉบับแรกในปี 1974 ที่พบว่า สารในกลุ่มไตรฮาโลมีเทนเป็นสารตกค้างในน้ำดื่มที่เกิดขึ้นจากกระบวนการฆ่าเชื้อด้วยคลอรีน ต่อมาจึงทำให้ได้มีความพยายามของนักวิจัยจำนวนมากที่อธิบายถึงการเกิดขึ้นของสารกลุ่มนี้ในน้ำดื่มและผลกระทบทางสุขภาพที่เกิดขึ้นจากสารกลุ่มนี้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการก่อให้เกิดโรคมะเร็งและผลข้างเคียงที่เกิดขึ้นกับการเจริญพันธุ์¹⁸ จึงได้มีการศึกษาที่พบถึงความเป็น

พิษของสารกลุ่มดังกล่าว อาทิ สารประกอบไตรฮาโลมีเทนชนิดโบรโมไคคลอโรมีเทนและไดโบรโมคลอโรมีเทน มีรายงานว่า เป็นสารก่อมะเร็ง โดยจะทำให้หนูทดลองเกิดเนื้องอกในอวัยวะหลายส่วน เช่น ลำไส้และไต¹⁹ เป็นต้น จึงทำให้หน่วยงานต่าง ๆ ในระดับนานาชาติ ให้ความสนใจกันอย่างจริงจังในการศึกษาความเป็นพิษของสารไตรฮาโลมีเทน โดยในปี ค.ศ. 1999 USEPA ได้ศึกษาถึงความเป็นพิษของสารกลุ่มนี้ดังรายละเอียดในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ความเป็นพิษของสารกลุ่มไตรฮาโลมีเทน

ชนิดของสารตกค้าง	ผลต่อสุขภาพ
Chloroform	มีผลต่อระบบประสาทส่วนกลาง ผลต่อการเกิดเนื้องอกและมะเร็งตับ ไต ลำไส้ใหญ่
Bromodichloromethane	มีผลต่อการเกิดเป็นเนื้องอก มะเร็งในตับและไต
Dibromochloromethane	มีผลต่อระบบประสาทส่วนกลาง มีผลต่อการเกิดเนื้องอกในตับและไต
Bromoform	มีผลต่อระบบประสาทส่วนกลาง การเกิดมะเร็งตับ ไต ลำไส้ใหญ่

ที่มา: USEPA¹²

นอกจากนี้ USEPA¹⁸ ได้รายงานถึงศักยภาพที่จะก่อให้เกิดมะเร็งในมนุษย์ ของสารไตรฮาโลมีเทนทั้ง 4 ชนิด (ดังแสดงในตารางที่ 3) โดยพบว่า คลอโรฟอร์ม โบรโมไคคลอโรมีเทน และ โปรมอฟอร์ม เป็นสารก่อมะเร็งระดับ B2 และในส่วนของ โบรโมไคคลอโรมีเทน เป็นสารก่อมะเร็งในระดับ C คือ อาจก่อมะเร็ง

ในมนุษย์ และจากการศึกษายังพบอีกว่า สารกลุ่มนี้ยังก่อให้เกิดอันตรายต่าง ๆ ได้ในหญิงตั้งครรภ์ซึ่งอาจส่งผลให้เกิดการแท้งลูกหรือมีลูกพิการหรือเด็กอาจเกิดอาการหอบหืดถ้าได้รับไอระเหยของสารไตรฮาโลมีเทนทางการหายใจ^{23,24}

ตารางที่ 3 ระดับศักยภาพการก่อมะเร็ง (Weight of Evidence Characteristic) ของสารไตรฮาโลมีเทน

ชนิดของสารตกค้าง	ระดับศักยภาพในการเกิดมะเร็ง
Chloroform	B2
Bromodichloromethane	B2
Dibromochloromethane	C
Bromoform	B2

หมายเหตุ ระดับของการก่อมะเร็งมีดังนี้

ระดับ A	เป็นสารก่อมะเร็งในคน (Human Carcinogen)
ระดับ B	เป็นไปได้ที่ก่อให้เกิดมะเร็งในคน (Probable Human Carcinogen) แบ่งย่อยได้เป็น
ระดับ B1	มีหลักฐานเพียงพอในการเกิดมะเร็งในสัตว์ แต่มีหลักฐานจำกัดในการเกิดมะเร็งในคน
ระดับ B2	มีหลักฐานเพียงพอในการเกิดมะเร็งในสัตว์ แต่มีหลักฐานน้อยหรือไม่มีข้อมูลเพียงพอในการเกิดมะเร็งในมนุษย์
ระดับ C	อาจจะก่อมะเร็งในมนุษย์ (Possible Human Carcinogen)
ระดับ D	หลักฐานไม่เพียงพอที่จะระบุว่าเป็นสารก่อมะเร็ง (Not Classifiable)
ระดับ E	ไม่ปรากฏว่าเป็นสารก่อมะเร็งในมนุษย์ (No Evidence of Carcinogenicity for Humans)

ที่มา: USEPA²²

จากความเป็นพิษดังกล่าวของสารกลุ่มไตรฮาโลมีเทนจึงทำให้องค์การระหว่างประเทศทั้ง WHO และ EU ได้กำหนดให้ความเข้มข้นของสารไตรฮาโลมีเทนทั้งหมดในน้ำประปา (Total trihalomethane) ไว้ไม่เกิน 100 ไมโครกรัมต่อลิตร นอกจากนี้แล้ว USEPA²² ได้กำหนดมาตรฐานค่าความเข้มข้นสูงสุด (Maximum contaminant levels; MCLs) ของสารไตรฮาโลมีเทนในระยะที่ 1 ไว้ไม่เกิน 80 ไมโครกรัมต่อลิตรและระยะที่ 2 ได้กำหนดค่า MCLG (Maximum contaminant levels

goal) เท่ากับ 40 ไมโครกรัมต่อลิตร นอกจากนั้น WHO²³ เองก็ได้เพิ่มการกำหนดค่ามาตรฐานของสารในกลุ่มไตรฮาโลมีเทน (Guideline value; GV) เพิ่มเติมดังนี้ คือ คลอโรฟอร์มไม่เกิน 300 ไมโครกรัมต่อลิตร โบรโมไดคลอโรมีเทน ไม่เกิน 60 ไมโครกรัมต่อลิตร ไดโบรโมคลอโรมีเทน ไม่เกิน 100 ไมโครกรัมต่อลิตร และโบรโมฟอร์ม ไม่เกิน 100 ไมโครกรัมต่อลิตร และกำหนดให้ค่าผลรวมอัตราส่วนความเข้มข้นของสารไตรฮาโลมีเทนทั้ง 4 กลุ่ม ไม่เกิน 1²⁴ ดังแสดงในสมการที่ 2

$$\frac{C_{\text{bromoform}}}{GV_{\text{Bromoform}}} + \frac{C_{\text{DBCM}}}{GV_{\text{DBCM}}} + \frac{C_{\text{BDCM}}}{GV_{\text{BDCM}}} + \frac{C_{\text{chloroform}}}{GV_{\text{chloroform}}} \leq 1 \quad (2)$$

เมื่อ C = Concentration
GV = Guideline value

ทั้งนี้สำหรับน้ำในสระว่ายน้ำเองยังไม่มีหน่วยงานใดกำหนดความเข้มข้นสูงสุดของสารไตรฮาโลมีเทนไว้ จึงใช้ค่ามาตรฐานเช่นเดียวกันกับน้ำประปา

ปริมาณของสารไตรฮาโลมีเทนในสระว่ายน้ำ

จากการศึกษาปริมาณของสารไตรฮาโลมีเทนในสระว่ายน้ำนั้นสามารถแสดงได้ตามตารางที่ 4 โดย Fantuzzi และคณะ⁷ พบว่า ความเข้มข้น Total THMs มีค่าระหว่าง 17.8-70.8 µg/l นอกจากนี้ยังมีการศึกษา Total Organic Carbon และ Total THMs โดย Chu & Nieuwenhuijsen²⁵ ซึ่งได้ทำการเก็บตัวอย่างน้ำในสระว่ายน้ำ พบว่า ความเข้มข้นเฉลี่ยของ TOC เท่ากับ 5.8 µg/l Total THMs เท่ากับ 125.2 µg/l และ คลอโรฟอร์ม เท่ากับ 113.3 µg/l โดยมีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงระหว่างจำนวนผู้ใช้สระว่ายน้ำกับความเข้มข้นของ THMs และ พบว่า ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ TOC และสารไตรฮาโลมีเทน กับ อุณหภูมิของน้ำและความเข้มข้นของสารไตรฮาโลมีเทนมีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญ นอกจากนี้จากผลการศึกษา ยังสะท้อนให้เห็นว่าสารกลุ่มคลอโรฟอร์มเป็นสารชนิดที่สามารถพบได้มากที่สุดในกลุ่มของสารไตรฮาโลมีเทน โดยสามารถพบได้สูงสุดถึง 212 µg/l ในสระว่ายน้ำวายน้ำในร่ม²⁵ ทั้งนี้เมื่อเปรียบเทียบปริมาณของสารกลุ่มไตรฮาโลมีเทนที่ตรวจพบกับค่ามาตรฐานต่าง ๆ พบว่า

มีค่าที่ใกล้เคียงหรือมากกว่ามาตรฐานเล็กน้อย ซึ่งเป็นสัญญาณอันตรายที่จำเป็นต้องมีการควบคุมปริมาณสารกลุ่มไตรฮาโลมีเทนให้มีค่าน้อยกว่าค่ามาตรฐาน

นอกจากนี้ความเข้มข้นของสารไตรฮาโลมีเทนบริเวณเหนือผิวน้ำที่แตกต่างกันจะขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ ได้แก่ขนาดโครงสร้างของสระ และระบบระบายอากาศ สอดคล้องกับการศึกษาของ Strable และ Sikorska²⁶ ที่ได้ศึกษาความเข้มข้น THMs ในเลือดของนักว่ายน้ำ เปรียบเทียบกับความเข้มข้น THMs ในน้ำและบริเวณเหนือผิวน้ำของสระว่ายน้ำแบบเปิดโล่ง (Outdoor pool) และสระว่ายน้ำภายในอาคาร (Indoor pool) พบว่า ความเข้มข้น THMs ในน้ำสระว่ายน้ำแบบเปิดโล่ง (Outdoor pool) สูงกว่าสระว่ายน้ำภายในอาคาร (Indoor pool) แต่บริเวณเหนือผิวน้ำและในเลือดนักว่ายน้ำมีค่าความเข้มข้น THMs ในสระว่ายน้ำภายในอาคาร (Indoor pool) สูงกว่าสระว่ายน้ำแบบเปิดโล่ง (Outdoor pool) แสดงให้เห็นว่าการมีระบบระบายอากาศที่ดีจะช่วยลดการสัมผัส THMs เช่นเดียวกับการศึกษาของ Aggozzotti et al.²⁷ พบว่า การสัมผัสน้ำและอากาศบริเวณเหนือผิวน้ำในสระว่ายน้ำภายในอาคาร (Indoor pool) ที่มีการฆ่าเชื้อโรคด้วยคลอรีน ทำให้เลือดและถุงลมปอดมีความเข้มข้น THMs สูง แต่ความเข้มข้น THMs ในถุงลมปอดลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อออกจากบริเวณสระว่ายน้ำ

ตารางที่ 4 ความเข้มข้นสารไตรฮาโลมีเทนในน้ำของสระว่ายน้ำ

Disinfection by-product concentration (µg/l)								Pool type	Reference
Chloroform		BDCM		DBCM		Bromoform			
Mean	Range	Mean	Range	Mean	Range	Mean	Range		
-	35.9-99.7	-	2.3-14.7	-	0.2-0.8	-	0.2-203.2	indoor	WHO ¹⁴
33.7	25-43	2.3	1.8-2.8	0.8	0.5-10	0.1	0.1	indoor	Aggazzotti et al. ²⁷
-	4-402	-	1-72	-	< 0.1-8	-	< 0.1-1	outdoor	WHO ¹⁴
74.9	-	11.0	-	3.0	-	0.23	-	outdoor	WHO ¹⁴
33.2	-	4.2	-	1.9	-	0.4	-	outdoor	Fantuzzi et al. ⁷
20.32	26.15-65.09	13.21	9.5-36.97	10.22	5.19-22.78	2.98	N.D.-6.56	outdoor	Mallika et al. ³
32.9	0.2–101.7	2.9	N.D.-10.5	N.D.	N.D.	2.3	0.25-70.6	indoort+ outdoor	Lee et al ¹
113.3	45-212	6.9	2.5-23.0	2.0	0.67-7.0	0.8	0.67-2.0	indoor	Chu and Nieuwenhuijen ⁶

การประเมินความเสี่ยงทางสุขภาพจากการได้รับสัมผัสสารไตรฮาโลมีเทนในสระว่ายน้ำ

การประเมินความเสี่ยง (Risk assessment) เป็นกระบวนการศึกษาเพื่อประเมินผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์จากผลิตภัณฑ์ สารเคมี กิจกรรม เทคโนโลยี หรือปัจจัยเสี่ยงอย่างใดอย่างหนึ่ง โดยจะนำเอาข้อมูลทางวิทยาศาสตร์ที่เป็นการศึกษาผลข้างเคียงต่อสุขภาพของผลิตภัณฑ์ดังกล่าว ทั้งในสัตว์ทดลองและมนุษย์ มาพิจารณาพร้อมกับข้อมูลเกี่ยวกับการได้รับสัมผัสปัจจัยที่ก่อให้เกิดความเสี่ยงนั้น เพื่อประเมินความน่าจะเป็นของผลกระทบที่จะเกิดขึ้นต่อสุขภาพมนุษย์ ซึ่งผลของกระบวนการประเมินความเสี่ยงนี้ จะถูกใช้เป็นข้อมูลเพื่อช่วยในการตัดสินใจของผู้บริหารในการดำเนินการป้องกันหรือลดความเสี่ยงอันตรายของผลิตภัณฑ์ต่อสุขภาพของประชากร โดยใช้มาตรการต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็นการกำหนดมาตรฐาน กลวิธีในการกำกับดูแล รวมไปถึงคำแนะนำต่าง ๆ ให้แก่ผู้ประกอบการและผู้บริโภค

กระบวนการประเมินความเสี่ยง ประกอบด้วย ขั้นตอนหลัก 5 ขั้นตอน²⁸ คือ การเก็บรวบรวมข้อมูล (Data collection) การประเมินความเป็นพิษ (Toxicity assessment) การประเมินการรับสารเข้าสู่ร่างกาย (Exposure assessment) การประเมินลักษณะความเสี่ยง (Risk characterization) และการจัดการความเสี่ยง (Risk management) ซึ่งการประเมินความเสี่ยงด้วยวิธีการนี้สามารถใช้ได้ทั้งกรณีที่เป็นสารก่อมะเร็งและไม่เป็นสารก่อมะเร็ง โดยการประเมินการรับสารทั้งทางปากเข้าสู่ทางเดินอาหาร การสัมผัสทางผิวหนัง และทางการหายใจ ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

1. การรวบรวมข้อมูลเพื่อใช้ในการประเมินความเสี่ยง (Data and Evaluation) เป็นการรวบรวมข้อมูลพื้นฐานต่าง ๆ รวมทั้งวางขอบเขตในการประเมินความเสี่ยง เช่น

- ชนิดของสารต่าง ๆ ที่มีศักยภาพที่จะปนเปื้อนในบริเวณที่สนใจหรืออาจเลือกเฉพาะสารปนเปื้อนชนิดที่สนใจก็ได้

- ความเข้มข้นของสารปนเปื้อนชนิดที่สนใจในตัวกลางต่าง ๆ เช่น น้ำ อากาศ ดิน รวมทั้งลักษณะเฉพาะของตัวกลางต่าง ๆ เหล่านั้น

- ลักษณะเฉพาะในการแพร่กระจายและความคงทนในสิ่งแวดล้อมของสารปนเปื้อนนั้น

2. การประเมินความเป็นพิษ (Toxicity assessment) การประเมินความเป็นพิษเป็นกระบวนการที่หาความสัมพันธ์ระหว่างการสัมผัสสารปนเปื้อนและความรุนแรงของการเกิดอันตรายเนื่องจากสารพิษนั้น ในการประเมินความเป็นพิษจำเป็นต้องรู้ปริมาณสารเคมีที่สัตว์ทดลองหรือคนได้รับสัมผัสซึ่งเรียกว่า ความเข้มข้น (Dose) ในหน่วยมิลลิกรัมของสารต่อกิโลกรัมของน้ำหนักตัวต่อวัน ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{day}^{-1}$)

USEPA ได้คัดเลือกแบบจำลองคณิตศาสตร์ที่ใช้ในการประเมินความเป็นพิษที่เรียกว่า “Linearized multistage model” โดยมีสมมติฐานว่าจากการคาดการณ์ (Extrapolate) จากความเข้มข้นสูงมาที่ความเข้มข้นต่ำแล้วพบว่าที่ความเข้มข้นต่ำกราฟระหว่างความเข้มข้น (Dose) และการตอบสนอง (Response) จะมีความชันที่เรียกว่า ค่า Oral Slope factor (OSF) ซึ่งเป็นหน่วยของความเสียหายต่อความเข้มข้นในหน่วย $\text{mg} \cdot \text{day} \cdot \text{mg}^{-1}$ ค่าเหล่านี้ได้รวบรวมไว้ในฐานข้อมูลความเป็นพิษของ USEPA เรียกว่า IRIS (The Integrated Risk Information System) ค่า Slope factor (SF) ของสารไตรฮาโลมีเทนทั้ง 4 ชนิด ได้แก่ คลอโรฟอร์ม โบโรโมคลอโรมีเทน ไดโบโรโมคลอโรมีเทน และ โบโรโมฟอร์ม เท่ากับ 0.0061 0.062 0.084 และ 0.0079 มิลลิกรัมของน้ำหนักตัวต่อวันต่อมิลลิกรัมของสาร ($\text{mg} \cdot \text{day} \cdot \text{mg}^{-1}$) ตามลำดับ²²

3. การประเมินการสัมผัสสารพิษ (Exposure Assessment) การประมาณการได้รับสัมผัสสารพิษ ซึ่งขึ้นอยู่กับวิถีทาง (Pathway) ที่ร่างกายสัมผัสสารพิษและปริมาณที่ร่างกายได้รับสาร วิถีทางที่ร่างกายสัมผัสสารพิษจากตัวกลางต่าง ๆ โดยในการประเมินความเสี่ยงถ้าประเมินการสัมผัสสารพิษจากทุกตัวกลางและทุกวิถี เรียกว่า การประเมินการสัมผัสทั้งหมด (Total

exposure assessment) อย่างไรก็ตามการประเมินจากทุกตัวกลางและทุกวิถีทางอาจเกินความจำเป็น โดยอาจตัดบางตัวกลางหรือบางวิถีทางออกไปได้เนื่องจากเป็นสารที่ร่างกายได้รับปริมาณน้อยมาก

สำหรับการประเมินการรับสัมผัสสารไตรฮาโลมีเทนนั้นสามารถประเมินได้จากทั้ง 3 วิถีทาง คือ การดื่ม ทางผิวหนัง และการสูดดม โดยจากทางผิวหนังนั้นมาจากการได้สัมผัสโดยตรงจากน้ำที่มาจากน้ำในสระว่ายน้ำ จากทั้งการอาบน้ำก่อนลงสระและการว่ายน้ำ จากการศึกษา USEPA พบว่า บริเวณผิวหนังนั้นจะสามารถดูดซับสารเคมีได้ทั้งในเพศชายและเพศหญิง²⁹⁻³⁰

ในส่วนของการได้รับสัมผัสสารไตรฮาโลมีเทนจากการสูดดมนั้นเกิดขึ้นเมื่อได้หายใจรับสารไตรฮาโลมีเทนที่ระเหยในระหว่างการใช้น้ำ จากทั้งการอาบน้ำก่อนลงสระและระหว่างการว่ายน้ำ โดยจากการศึกษาของ Lee et al.³⁰ พบว่า การอาบน้ำนั้นเป็นกิจกรรมที่มีการปนเปื้อนสารที่ระเหยง่ายได้ดีที่สุด เป็นผลทำให้ในการประเมินความเสี่ยงทางสุขภาพได้ผนวกรวมการสูดดมเข้าไปด้วย

4. ลักษณะความเสี่ยง (Risk characterization) ในขั้นตอนนี้เป็น การนำข้อมูลทั้งหมดและการประเมินความเป็นพิษมาคำนวณความเสี่ยงซึ่งเป็นผลรวมจากสารปนเปื้อนหลายชนิดในทุกวิถีทาง ทั้งนี้สารในกลุ่มไตรฮาโลมีเทนนั้นสามารถประเมินความเสี่ยงได้ทั้งแบบความเสี่ยงในการเกิดมะเร็งและความเสี่ยงจากความเป็นพิษ (สารไม่ก่อมะเร็ง)³¹ โดยวิธีการประเมินความเสี่ยงทางสุขภาพจากการได้รับสัมผัสสารไตรฮาโลมีเทนมีดังต่อไปนี้

4.1 การประเมินความเสี่ยงจากความเป็นพิษ

จากแนวทางในการประเมินความเสี่ยงของ USEPA พบว่าการประเมินความเสี่ยงจากความเป็นพิษนั้นประเมินจาก hazard quotient (HQ) ซึ่งคำนวณการเปรียบเทียบการได้รับสัมผัสสารเคมีจริงกับค่าอ้างอิง (reference dose; RfD) ดังสมการที่ (4)

$$HQ = [\text{total amount ingested/body weight} \times \text{exposure time} \times \text{reference dose}] \quad (4)$$

ทั้งนี้ค่า RfD นั้นมาจากการคาดการณ์ความเป็นพิษวิทยาโดยจะแสดงในหน่วย mg/kg/day โดยสามารถสืบค้นได้ที่ฐานข้อมูล Integrated Risk Information System (IRIS) ซึ่งจัดทำโดย USEPA³² นอกจากนี้ปริมาณสารเคมีทั้งหมดที่ได้รับสัมผัสนั้นจะมาจากปัจจัยต่าง ๆ ที่หลากหลาย ของพฤติกรรมในมนุษย์ เช่น ความเข้มข้นของสารเคมีในน้ำของท้องถิ่น อัตราการใช้น้ำ ความถี่ของการได้รับสัมผัสสารเคมี และช่วงเวลาของการได้รับสัมผัสสารนั้น ๆ เป็นต้น³¹ อีกทั้งน้ำหนักตัวของมนุษย์และระยะเวลาในการสัมผัสสารเคมีก็เป็นอีกสองปัจจัยที่ต้องนำไปใช้ในการคำนวณเพื่อหาค่า HQ อีกด้วย

4.2 การประเมินความเสี่ยงในการเกิดมะเร็ง

สำหรับสารก่อมะเร็งนั้นมีความแตกต่างจากการประเมินความเสี่ยงจากความเป็นพิษ เนื่องจากไม่มีข้อจำกัดของความเสี่ยงที่เกิดขึ้น ดังนั้นการประเมินความเสี่ยงสำหรับสารก่อมะเร็งจึงเป็นไปตามหลักฐาน เช่น ค่าความเข้มข้นตลอดชีวิตทั้งหมด (Total lifetime dose) และค่า exposure metric ซึ่งจะใช้ในการประเมินความเสี่ยงในการเกิดมะเร็งในรูปของ Lifetime Average Daily Dose (LADD) ซึ่งจะใช้ค่านี้นี้ร่วมกับค่า Slope Factor ที่ได้กล่าวไปแล้วในข้างต้น โดยสำหรับความเสี่ยงจากการเกิดมะเร็ง USEPA ได้กำหนดแนวทางว่าถ้าความเสี่ยงอยู่ในช่วง $10^{-7} - 10^{-4}$ เป็นความเสี่ยงในระดับที่ยอมรับได้ โดยรายละเอียดในการคำนวณมีดังต่อไปนี้

- การประเมินความเสี่ยงสำหรับสารประกอบชนิดเดียววิธีเดียวคำนวณจากสมการ

$$\text{Risk} = (\text{LADD})(\text{slope factor}) \quad (5)$$

- การคำนวณสำหรับสารตั้งต้นหลายชนิดในวิธีหนึ่ง ๆ²⁹ รวมความเสี่ยงจากแต่ละส่วนดังสมการ

$$\text{Risk}_T = \sum \text{Risk}_i \quad (6)$$

สำหรับหลายวิธีทางดังสมการ

$$\text{Total exposure risk} = \sum \text{Risk}_{ij} \quad (7)$$

เมื่อ I = สารประกอบ j = วิธีทาง T = ความเสี่ยงทั้งหมด

5. การจัดการความเสี่ยง การตัดสินใจระดับความเสี่ยงที่สามารถยอมรับได้ในสถานการณ์เฉพาะโดยคำนึงถึงค่าใช้จ่ายในด้านต่าง ๆ ประกอบกัน เช่น ค่าใช้จ่ายในการลดความเสี่ยง ผลประโยชน์ที่ได้จากการลดความเสี่ยง ระดับความเสี่ยงที่ยอมรับได้ กรณีที่ต้องการลดระดับความเสี่ยงทางเลือกต่าง ๆ ในการลดความเสี่ยงได้แก่ การเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อม เช่น การลดความเข้มข้นของสารในตัวกลางต่าง ๆ การปรับปรุงลักษณะการสัมผัสสาร เช่น ลดความถี่และระยะเวลาการสัมผัสสาร³⁴

ความเสี่ยงทางสุขภาพจากการได้รับสัมผัสสารไตรฮาโลมีเทนในสระว่ายน้ำผ่านทางเส้นทางการรับสัมผัสต่าง ๆ

จากการทบทวนเอกสารในการประเมินความเสี่ยงทางสุขภาพจากการได้รับสัมผัสสารไตรฮาโลมีเทนในสระว่ายน้ำนั้น พบว่า ยังมีผู้ศึกษาในประเด็นดังกล่าวนี้ไม่มากนัก โดยจากการทบทวนเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ชี้ให้เห็นถึงความเสี่ยงต่อการเกิดโรคมะเร็งจากการได้รับสาร THMs ในสระว่ายน้ำแบบเปิดโล่งนั้นมาจากทางผิวหนังโดยการว่ายน้ำ เท่ากับ 94.18% จากความเสี่ยงทั้งหมด³ แต่เมื่อพิจารณาจากความเสี่ยงที่เกิดขึ้นนั้นพบว่า มีค่าความเสี่ยงที่สูงกว่ามาตรฐานของ USEPA ที่จะทำให้เกิดโรคมะเร็งได้จึงจำเป็นต้องหาแนวทางในการลดความเสี่ยงที่อาจเกิดขึ้น อีกทั้งเมื่อพิจารณาถึงปัจจัยด้านเพศกับความเสี่ยงในการเกิดมะเร็งจากการว่ายน้ำนั้น พบว่า ไม่มีความแตกต่างกันมากนักระหว่างเพศชายกับเพศหญิงในการเกิดมะเร็ง¹ โดย

ปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นนี้เนื่องมาจากความเสี่ยงในการได้รับสัมผัสสารกลุ่มไตรฮาโลมีเทนนั้นเกิดขึ้นจากการว่ายน้ำสูงถึง 93.9–94.2% จากความเสี่ยงทั้งหมด จากผลการศึกษาดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า การได้รับสัมผัสสารกลุ่มไตรฮาโลมีเทนในสระว่ายน้ำที่มีผลต่อการเกิดโรคมะเร็งนั้นได้แก่การได้รับจากทางผิวหนังจากการว่ายน้ำ³ นอกจากนี้จากการทบทวนเอกสารยังพบอีกว่าการได้รับสารไตรฮาโลมีเทนทางการดื่มมีความเสี่ยงโดยค่าระดับความเสี่ยงทางสุขภาพจะมีค่ามากกว่า 10^{-6} ของค่าที่กำหนดโดย USEPA³⁵ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Lee et al.¹ พบว่า การได้รับสารไตรฮาโลมีเทนทางการดื่มในขณะว่ายน้ำมีความเสี่ยงสูงสุดในการเกิดมะเร็ง ดังนั้นในขณะว่ายน้ำในสระว่ายน้ำนั้นทำให้ผู้ว่ายน้ำได้รับสัมผัสสารกลุ่มไตรฮาโลมีเทนได้จากการสัมผัสทางผิวหนังและจากดื่มน้ำนั้นอีกด้วย นอกจากนี้เมื่อพิจารณาถึงความเสี่ยงทางสุขภาพที่เกิดขึ้นจากสารกลุ่มไตรฮาโลมีเทนแต่ละชนิดแล้ว พบว่า โบรโมไดคลอโรมีเทน เป็นสารชนิดทำให้เกิดความเสี่ยงสูงสุด คือ 59% และรองลงมา คือ คลอโรฟอร์ม เท่ากับ 24% จากความเสี่ยงทั้งหมด^{3,30} จากผลการศึกษาทั้งหมดชี้ให้เห็นว่าการได้รับสัมผัสสารไตรฮาโลมีเทนจากสระว่ายน้ำมีความเสี่ยงต่อสุขภาพสูงเนื่องจากค่าความเสี่ยงในการเกิดมะเร็งจากทุกการศึกษามีค่ามากกว่าค่าความเสี่ยงมาตรฐานที่กำหนดโดย USEPA¹

แนวทางในการลดความเสี่ยงจากการได้รับสัมผัสสารไตรฮาโลมีเทนในสระว่ายน้ำ

จากการทบทวนเอกสารที่เกี่ยวข้องกับความเสี่ยงทางสุขภาพจากการได้รับสัมผัสสารไตรฮาโลมีเทนในสระว่ายน้ำชี้ให้เห็นถึงความเสี่ยงสูงต่อสุขภาพที่อาจเกิดขึ้นได้ ดังนั้นเพื่อเป็นการป้องกันผลกระทบที่จะเกิดขึ้นต่อสุขภาพ ผู้เขียนจึงทบทวนวรรณกรรมเพื่อเสนอแนวทางในการลดความเสี่ยงที่เกิดจากการได้รับสัมผัสสารไตรฮาโลมีเทนจากสระว่ายน้ำดังนี้

1. ใช้สารฆ่าเชื้อโรค (Disinfectant) ที่ไม่ทำให้เกิดสารไตรฮาโลมีเทนการใช้วิธีการฆ่าเชื้อด้วยวิธีการอื่นที่ไม่ก่อให้เกิดสารตกค้างจากกระบวนการฆ่าเชื้อ เช่น การใช้แสง UV (Ultraviolet) หรือโอโซนจะสามารถลดปริมาณของสารไตรฮาโลมีเทนได้มาก และการควบคุมการเติมคลอรีนอย่างใกล้ชิดช่วยป้องกันการเกิดสารไตรฮาโลมีเทน เช่น การใช้คลอรีนให้คลอรีนคงเหลือในรูปที่ไม่ทำปฏิกิริยารุนแรง เช่น คลอรามิน (คลอรีนกับแอมโมเนีย) จะสามารถลดปริมาณสารไตรฮาโลมีเทนลงได้¹²

2. ติดตั้งเทคโนโลยีที่ช่วยลดการเกิดสารกลุ่มไตรฮาโลมีเทนโดยตรงในระหว่างกระบวนการเติมคลอรีน และควบคุมความเข้มข้นของปริมาณของสารคลอรีนในอากาศเนื่องจากการเติมคลอรีนนั่นเป็นกระบวนการสำคัญที่ใช้ในการบำบัดน้ำประปาเพื่อนำมาใช้ในการสระว่ายน้ำและเป็นส่วนสำคัญที่ทำให้เกิดความเสี่ยงทางสุขภาพ²⁷ โดยส่วนใหญ่จะใช้เทคโนโลยี ได้แก่ การกรองและการ oxidation³⁶

3. การลดสารตั้งต้นในสระว่ายน้ำที่ทำให้เกิดสารไตรฮาโลมีเทน อาทิ สารอินทรีย์ในน้ำดิบ และสารที่เกิดจากการชำระล้างตัวของผู้ว่ายน้ำบริเวณริมสระว่ายน้ำ เป็นต้น³⁶

4. การปรับเปลี่ยนพฤติกรรมของผู้ใช้สระว่ายน้ำ ทั้งก่อนและหลังลงสระว่ายน้ำ อาทิ การอาบน้ำชำระร่างกายในห้องน้ำ การใช้ครีมกันแดด เด็กควรใช้ผ้าอ้อมเนื้อแน่นเพื่อลดการปนเปื้อนลงในสระว่ายน้ำและลดอัตราการดื่มกินและระยะเวลาที่สัมผัสน้ำในระหว่างว่ายน้ำ เป็นต้น³⁶

สรุป

กระบวนการฆ่าเชื้อโรคในสระว่ายน้ำแม้ว่าจะเป็นกระบวนการที่มีความสำคัญเป็นอย่างยิ่งในการป้องกันการติดต่อจากจุลินทรีย์ก่อโรคชนิดต่าง ๆ กับผู้ใช้สระว่ายน้ำ แต่ก็ส่งผลกระทบต่อสุขภาพของผู้ใช้สระว่ายน้ำ

ด้วยเช่นกัน อันเนื่องจากการเติมสารคลอรีนซึ่งเป็นสารเคมีกลุ่มที่ได้รับความนิยมทั้งด้านราคาและประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อในสระว่ายน้ำนั้นจะทำให้เกิดสารตกค้างเกิดขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งสารกลุ่มไตรฮาโลมีเทน ซึ่งสารกลุ่มที่ทำให้ก่อมะเร็งในคนได้

สารกลุ่มไตรฮาโลมีเทนนั้นจะเกิดจากปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นของคลอรีนกับสารอินทรีย์ในน้ำ จะประกอบด้วยสารทั้งหมด 4 ชนิด ได้แก่ คลอโรฟอร์ม โบรโมไดคลอโรมีเทน คลอโรไดโบรโมมีเทน และโบรโมฟอร์ม โดยปริมาณของสารไตรฮาโลมีเทนที่เกิดขึ้นนั้นจะมากหรือน้อยจะขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ อาทิ ปริมาณสารอินทรีย์คาร์บอนในน้ำ ปริมาณคลอรีน อุณหภูมิของน้ำ ความเป็นกรด - ด่างของน้ำ ระยะเวลาในการสัมผัสคลอรีน และปริมาณสารโบรมีนที่เกิดขึ้นในสระว่ายน้ำ

จากการรายงานของ USEPA พบว่า สารกลุ่มไตรฮาโลมีเทนทั้ง 4 ชนิดนั้นเป็นสารที่สามารถก่อมะเร็งในคน และสารกลุ่มนี้ยังก่อให้เกิดอันตรายต่าง ๆ ได้ในหญิงตั้งครรภ์โดยอาจส่งผลให้เกิดการแท้งลูกหรือมีลูกที่พิการได้ ทั้งนี้เมื่อเปรียบเทียบปริมาณของสารกลุ่มไตรฮาโลมีเทนที่ตรวจพบในสระว่ายน้ำจากการศึกษาของประเทศต่าง ๆ กับค่ามาตรฐานแล้ว พบว่ามีค่าที่ใกล้เคียงหรือมากกว่ามาตรฐานเล็กน้อย ซึ่งเป็นสัญญาณอันตรายที่จำเป็นต้องมีการควบคุมปริมาณสารกลุ่มไตรฮาโลมีเทนให้น้อยกว่าค่ามาตรฐาน

กระบวนการประเมินความเสี่ยงทางสุขภาพนั้นประกอบด้วย 5 ขั้นตอนหลัก คือ การเก็บรวบรวมข้อมูลการประเมินความเป็นพิษ การประเมินการรับสารเข้าสู่ร่างกาย การประเมินลักษณะความเสี่ยง และการจัดการความเสี่ยง ซึ่งการประเมินความเสี่ยงด้วยวิธีการนี้สามารถใช้ได้ทั้งกรณีที่เป็นสารก่อมะเร็งและไม่เป็นสารก่อมะเร็ง โดยการประเมินการรับสารทั้งทางการดื่มเข้าสู่ทางเดินอาหาร การสัมผัสทางผิวหนัง และทางการหายใจ โดยจากการประเมินความเสี่ยงทางสุขภาพจากการได้รับสัมผัสสารไตรฮาโลมีเทนในสระว่ายน้ำ พบว่า ความเสี่ยงในการได้รับสัมผัสสารกลุ่มไตรฮาโลมีเทนนั้นเกิดขึ้นจากการว่ายน้ำสูงถึง 93.9–94.2% จากความเสี่ยงทั้งหมด อีกทั้งการได้รับสารไตรฮาโลมีเทนจากการดื่มกินในขณะที่ว่ายน้ำมีความเสี่ยงสูงสุดในการเกิดมะเร็ง โดยแนวทางในการลดความเสี่ยงจากการได้รับสารไตรฮาโลมีเทนในสระว่ายน้ำได้แก่ การเปลี่ยนการใช้สารฆ่าเชื้อโรค การติดตั้งเทคโนโลยีในการลดการเกิดสารไตรฮาโลมีเทน การลดปริมาณสารตั้งต้นในสระว่ายน้ำที่ก่อให้เกิดสารไตรฮาโลมีเทน และการปรับเปลี่ยนพฤติกรรมของผู้ใช้สระว่ายน้ำ

กิตติกรรมประกาศ

บทความนี้เป็นส่วนหนึ่งของโครงการวิจัยที่ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยประเภทบัณฑิตศึกษา ประจำปี 2554 ของสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.)

เอกสารอ้างอิง

1. Lee J, Ha KT, Zoh, KD. Characteristics of trihalomethane (THMs) production and associated health risk assessment in swimming pool waters treated with different disinfection methods. *Science of The Total Environmental*. 2009; 407: 1990–1997.
2. Thacker NP, Nitnaware V. Factors influencing formation of trihalomethanes in swimming pool water. *Bullet Environmental Contamination and Toxicology*. 2003; 71: 633–40.
3. Mallika P, Sarisak S, Pongsri S. 2008. Cancer risk assessment from exposure to trihalomethanes in tap water and swimming pool water. *Journal of Environmental science*. 2008; 40: 372–8.
4. Judd S J, Black SH, Disinfection by product formation in swimming pool waters: a simple mass balance. *Water Research*. 2000; 5: 1611–1619.
5. Schoefer Y, Zutavern A, Brockow I, Schafer T, Kramere U, Schaaff B, Herbarthg O, Bergi AV, Wichmanna HE, Heinrich J. Health risks of early swimming pool attendance. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*. 2008; 211: 367–73.
6. Chu H, Nieuwenhuijsen MJ. Distribution and determinants of trihalomethane concentrations in indoor swimming pools. *Occupational and Environmental Medicine*. 2002; 59: 243–7.
7. Fantuzzi G, Righi E, Predieri G, Ceppelli G, Gobba F, Aggazzotti G. 2001. Occupational exposure to trihalomethanes in indoor swimming pools. *Science of the Total Environmental*. 2001; 17: 257-265.
8. Health Canada. Guidelines for Canadian Drinking Water Quality. Prepared by the Federal-Provincial-Territorial Committee on Health and the Environment; 2007.
9. USEPA. National primary drinking water regulations: stage 2 disinfectants and disinfection byproducts rule: final rule. *Fed Regist* 2006; 71(2).
10. Richardson SD, Thruston Jr AD, Caughram TV, Chen PH, Collette TW, Floyd TL. Identification of new ozone disinfection byproducts in drinking water. *Environmental Science and Technology*. 1999; 33: 3368–77.
11. Marhaba TF, Washington MB. Drinking Water Disinfection By-products: History and Current Practice. *Advances in Environmental Research*. 1998; 2 (1): 103-15.
12. USEPA. Enhanced coagulation and enhanced precipitate softening guidance manual (online). Available from: <http://www.epa.gov/safewater/mdbp/coaguide.pdf>. (20 September 2010), 1999.
13. Nieuwenhuijsen MJ. Swimming pool chlorine risk to pregnant woman. [Serial on the Internet] cited from: <http://www.imperial.ac.uk/P3296.htm>. (15 October 2010), 2010.
14. WHO. Guidelines for safe recreational water environments volume 2 swimming pools and similar environments: World Health Organization, 2006.
15. Font-Ribera L, Kogevinas M, Nieuwenhuijsen MJ, Grimalt JO, Villanueva CM. Patterns of water use and exposure to trihalomethanes among children in Spain. *Environmental Research*, 2010; 110: 571–579.

16. ทศนา เกื้อแสง. การลดปริมาณสารอินทรีย์ละลายน้ำในน้ำดิบประปาจากอ่างเก็บน้ำศรีตรัง ด้วยกระบวนการโคแอกกูเลชันและกระบวนการโอโซนชัน.วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการสิ่งแวดล้อม คณะการจัดการสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, 2553.
17. Agency for Toxic Substances and Disease Registry. Toxicological profile for THMs (Online). Available from: <http://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp.asp?id=53&tid=16> (11 October 2010), 1997.
18. USEPA, IRIS Database for Risk Assessment (Online). Available from: <http://www.epa.gov/iris>. (14 November 2010), 2007.
19. Rook JJ. Chlorination reactions of fulvic acids in natural waters. Environmental Engineering Science. 1997; 11(5): 478-82.
20. WHO. Disinfectant and disinfectant by-product. Environmental Health Criteria 216, Geneva, 2000.
21. WHO. Swimming pools, spas and similar recreational water environment. Guidelines for Safe Recreational-water Environments. Vol 2. World Health Organization, Geneva., 2000.
22. USEPA. List of substance (Online). Available from : <http://cfpub.epa.gov/ncea/iris/index.cfm?fuseaction=iris.showSubstanceList> (14 November 2010), 2010.
23. WHO. Chemical safety of drinking water: Assessing priorities for risk management: World Health Organization, 2007.
24. WHO. Summary Statement of Trihalomethane. (Online) Available from: www.who.int/water.../trihalomethanes_summary_statement.pdf (11 October 2010), 2010.
25. Chu H, Nieuwenhuijsen MJ. Distribution and determinants of trihalomethane concentrations in indoor swimming pools. Occupational and Environmental Medicine. 2002; 59: 243–47.
26. Swietlik J, Sikorska E. Application of fluorescence spectroscopy in the studies of natural organic matter fractions reactivity with chlorine dioxide and ozone. Water Research. 2004; 38: 3791-99.
27. Aggazzotti G, Fantuzzi G, Righi E, Predieri G. Blood and breath analyses as biological indicator of exposure to trihalomethane in indoor swimming pools. Science of the total environmental. 1998; 217: 155-63.
28. USEPA. Exposure Factors Handbook (online). Available from: <http://cfpub.epa.gov/ncea/cfm/recordisplay.cfm?deid=209866> (20 September 2010), 2009.
29. Miles AM, Singer PC, Ashley DL, Lynberg MC, Mendola P, Langlois PH, Nuckols JR. Comparison of trihalomethanes in tap water and blood. Environmental Science & Technology. 2002; 36: 1692-1698.
30. Lee SC, Guo H, Lam SMJ, Lau SLA. Multipathway risk assessment on disinfection by-products of drinking water in Hong Kong. Environmental Research. 2002; 94: 47–56.
31. Semerjian L, Dennis J. Multipathway risk assessment of trihalomethane exposure in drinking water of Lebanon. Journal of Water and Health. 2007; 511-22.
32. USEPA. Integrated Risk Information System (Electronic database) (Online). Available from: <http://www.epa.gov/iris> (8 April 2011), 2011.

33. USEPA. Integrated Risk Information System. (IRIS) (Online). Available from: <http://www.epa.gov/iris/> (15 September 2010), 2010.
34. Kofi A. Public Health Risk Assessment for Human Exposure to Chemicals. Kluwer Academic Publishers, 2002.
35. Uyak V. Multi-pathway risk assessment of trihalomethanes exposure in Istanbul drinking water supplies. *Environment International*. 2006; 32:12–21.
36. Zwiener C, Richardson SD, Marini DM, GRummt T, Glauner T, Frimmel FH, Drowning in disinfection Byproducts ? assessing swimming pool water. *Environmental Science & Technology*. 2007; 41: 363-72.