

การประเมินความเสี่ยงในการเกิดมะเร็งจากการได้รับสารไตรฮาโลมีเทนจากน้ำประปาและสระว่ายน้ำในร่มที่ฆ่าเชื้อโรคด้วยคลอรีน

CANCER RISK ASSESSMENT OF TRIHALOMETHANES EXPOSURE FROM CHLORINATED TAP WATER AND INDOOR SWIMMING POOL

ผ่องศรี เผ่าภูรี

นักวิทยาศาสตร์ภาคชีววิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม
คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร
E-mail : pongsr@sru.ac.th

มัลลิกา ปัญญาคะโป

อาจารย์ประจำภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม
คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร
E-mail : mallika@sru.ac.th, mpanyakapo@yahoo.com

ศรศักดิ์ สุนทรชัย

อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพ
มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมมาธิราช
E-mail : hsasosar@hotmail.com

บทคัดย่อ

การเติมคลอรีนเป็นวิธีการที่นิยมใช้ในการฆ่าเชื้อโรคในน้ำประปาและสระว่ายน้ำ แต่สิ่งที่ต้องคำนึงถึงคือการเติมคลอรีนจะก่อให้เกิดสารตกค้างที่มีศักยภาพในการก่อมะเร็ง เช่น สารไตรฮาโลมีเทนซึ่งประกอบด้วยสาร 4 ชนิด ได้แก่ คลอโรฟอร์ม โบรโมไดคลอโรมีเทน ไดโบรโมคลอโรมีเทน และโบรโมฟอร์ม ดังนั้นจึงต้องทำการประเมินความเสี่ยงในการเกิดมะเร็งตามวิธีการของ U.S. Environmental Protection Agency (US-EPA)

งานวิจัยนี้เป็นการวิเคราะห์และประเมินความเสี่ยงในการเกิดมะเร็งจากการได้รับสารไตรฮาโลมีเทนในน้ำประปา น้ำสระว่ายน้ำ และอากาศ จากสระว่ายน้ำในร่มที่ฆ่าเชื้อโรคด้วยคลอรีนระหว่างเดือนพฤษภาคม 2550 ถึง เดือนกุมภาพันธ์ 2551 ใน 3 ฤดูกาล โดยประเมินสำหรับกลุ่มคนที่มีการสัมผัสสารในลักษณะแตกต่างกัน

ผลการศึกษาพบว่าความเสี่ยงในการเกิดมะเร็งของผู้ที่สัมผัสน้ำในสระว่ายน้ำ ได้แก่ ผู้ใหญ่ เด็ก ครูสอนว่ายน้ำ และเจ้าหน้าที่ดูแลสระเท่ากับ $2.68E-04$ $3.33E-04$ $6.06E-04$ และ $2.54E-03$ ตามลำดับซึ่งเป็นความเสี่ยงที่ไม่สามารถยอมรับได้ตามแนวทางของ US-EPA สำหรับผู้ใหญ่และเด็กซึ่งไม่ว่ายน้ำมีความเสี่ยงเท่ากับ $6.52E-05$ และ $8.82E-05$ ซึ่งเป็นความเสี่ยงที่ยอมรับได้ คนทุกกลุ่มมีความเสี่ยงของการได้รับคลอโรฟอร์มจากการหายใจเป็นเส้นทางหลัก รองลงมา ได้แก่ การผ่านทางเดินอาหาร สารที่ก่อให้เกิดความเสี่ยงในการเกิดมะเร็งสูงสุด ได้แก่ คลอโรฟอร์ม แนวทางแก้ไขเพื่อลดความเสี่ยงที่สำคัญ ได้แก่ การปรับปรุงระบบระบายอากาศภายในสระว่ายน้ำ ปรับปรุงวิธีการฆ่าเชื้อโรคจากการใช้คลอรีนเป็นการใช้โอโซนหรือใช้คลอรีนร่วมกับโอโซน

คำสำคัญ : น้ำประปา สระว่ายน้ำ การฆ่าเชื้อโรคด้วยคลอรีน สารไตรฮาโลมีเทน ความเสี่ยงในการเกิดมะเร็ง

ABSTRACT

Chlorination is a common disinfection method for tap water and swimming pool water.

However, various chlorine by-products which are potential carcinogens such as trihalomethanes, can be formed. Trihalomethanes (THMs) consist of chloroform (CHCl_3), bromodichloromethane (CHCl_2Br), dibromochloromethane (CHClBr_2) and bromoform (CHBr_3). These substances are carcinogen therefore cancer risk should be assessed by U.S. Environmental Protection Agency (US-EPA) method.

The objectives of this research were to analyze concentration of THMs in tap water, water and air from chlorinated indoor swimming pool and to assess the cancer risk causing by THMs. The samples were collected in three seasons during May 2008-February 2009.

The cancer risk of adult swimmers, young swimmers, swimming teachers and swimming pool staffs was $68\text{E}-04$, $3.33\text{E}-04$, $6.06\text{E}-04$ and $2.54\text{E}-03$, respectively which were classified as unacceptable risk and needed to be improved. Acceptable risk was found for adult and young non-swimmers. Chloroform exposure through inhalation was the main route while the second order was gastro-intestinal exposure. To reduce cancer risk, the important suggestions are 1) to improve the ventilation of indoor swimming pool so as to reduce THMs concentration in air, 2) to modify the disinfection method from chlorination to ozone or chlorine/ozone.

KEYWORDS : Tap water, Swimming pool, Chlorination, Trihalomethanes, Cancer risk assessment

บทนำ

การเติมคลอรีนเป็นวิธีการที่นิยมใช้ในการฆ่าเชื้อโรคในน้ำประปาและสระว่ายน้ำ เนื่องจากเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดรวมทั้งเป็นวิธีการที่มีราคาถูกเมื่อเทียบกับวิธีอื่น อย่างไรก็ตาม สิ่งที่ต้องคำนึงถึงคือการเติมคลอรีนจะก่อให้เกิดสารตกค้างประเภทต่างๆ ซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาระหว่างคลอรีนกับสารปนเปื้อนในน้ำ เช่น สารอินทรีย์ ไบโอมิตีออน สารกลุ่มที่มีความเข้มข้นสูงที่สุด และมีศักยภาพในการก่อให้เกิดอันตรายต่อมนุษย์มากที่สุด คือ สารกลุ่มไตรฮาโลมีเทน (Trihalomethanes, THMs) ซึ่งประกอบด้วยสารหลัก 4 ชนิด ได้แก่ คลอโรฟอร์ม (CHCl_3) ไบโอมิตีออน (CHCl_2Br) ไดโอบ्रोไมคัลโลโรมีเทน (CHClBr_2) และไบโอบ्रोไมฟอร์ม (CHBr_3) (WHO, 2000) US-EPA (1999) รายงานว่าคลอโรฟอร์ม ไบโอมิตีออน ไดโอบ्रोไมคัลโลโรมีเทน และไบโอบ्रोไมฟอร์มเป็นสารก่อมะเร็งระดับ B2 คือ สามารถก่อมะเร็งในมนุษย์ และไไดโอบ्रोไมคัลโลโรมีเทนเป็นสารก่อมะเร็งระดับ C คือ อาจก่อมะเร็งในมนุษย์ นอกจากนี้สารเหล่านี้ยังมีผลต่อความสามารถในการสืบพันธุ์

การคลอด ระบบไหลเวียนโลหิต และอาจส่งผลกระทบต่ออวัยวะภายใน เช่น ตับ ไต เป็นต้น

ดังที่กล่าวแล้วว่าสารอินทรีย์เป็นสารตั้งต้นที่ก่อให้เกิดสาร THMs สำหรับน้ำประปา สารอินทรีย์จะมาจากน้ำดิบเท่านั้น แต่กรณีน้ำสระว่ายน้ำจะมีสารอินทรีย์ที่มากับน้ำดิบรวมทั้งสารอินทรีย์ที่ติดมากับร่างกายของผู้ใช้บริการทั้งจากเหงื่อ ไขมัน และสารทวารหนักซึ่งประกอบด้วยสารประกอบอินทรีย์ไนโตรเจนรูปต่างๆ (WHO 2000, and Judd and Black, 2000)

สาร THMs เป็นสารที่สามารถระเหยจากน้ำสู่อากาศได้จากการทบทวนเอกสารพบว่าความเข้มข้นของสารประกอบไตรฮาโลมีเทนในอากาศเหนือสระว่ายน้ำในร่มมีค่าสูงกว่าสระว่ายน้ำกลางแจ้งอย่างมีนัยสำคัญ (Erdinger, et al., 2004, Fantuzzi, et al., 2001 and WHO, 2000) ดังนั้นผู้ว่ายน้ำและผู้ที่เกี่ยวข้องกับสระว่ายน้ำจึงได้รับสารทั้งทางเดินอาหาร การซึมผ่านทางผิวหนังและผ่านทางเดินหายใจด้วย Nieuwenhuijsen (2002)

พบว่าถ้าลงว่ายน้ำในสระน้ำน่านหนึ่งชั่วโมงอาจจะได้รับสาร THMs ในปริมาณมากถึง 141 เท่าเมื่อเทียบกับการอาบน้ำประปาจากฝักบัวเพียง 10 นาที

หน่วยงานต่างๆ ได้กำหนดความเข้มข้นสูงสุด (Maximum contaminant levels, MCLs) ของสาร THMs ตัวอย่างเช่น WHO และ EU กำหนดให้มีความเข้มข้นของสารประกอบไตรฮาโลมีเทนทั้งหมด (Total THM) ไม่เกิน 100 $\mu\text{g/L}$ US-EPA ได้กำหนด MCLs และ MCLG (Maximum contaminant levels goal) ไว้เท่ากับ 80 และ 40 $\mu\text{g/L}$ ตามลำดับ แต่สำหรับน้ำสระว่ายน้ำยังไม่มีหน่วยงานใดกำหนดความเข้มข้นสูงสุดของสารเหล่านี้ไว้ นอกจากการกำหนดความเข้มข้นสูงสุดแล้ว US-EPA (1989) ยังได้แนะนำให้ทำการประเมินความเสี่ยงของการเกิดมะเร็งตลอดชีวิต (Lifetime cancer risk) และผลอื่นนอกเหนือจากการเกิดมะเร็ง (Non carcinogenic risk) จากการได้รับสารเหล่านี้อีกด้วย ข้อมูลจากการประเมินความเสี่ยงสามารถนำไปใช้ในการจัดการและลดความเสี่ยงให้อยู่ในระดับที่ยอมรับได้

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์ ดังนี้ 1. วิเคราะห์ความเข้มข้นของสาร THMs 4 ชนิด ในน้ำประปา น้ำสระว่ายน้ำ และในอากาศภายในสระว่ายน้ำในร่ม และ 2. ทำการประเมินความเสี่ยงในการเกิดมะเร็งในการได้รับสาร THMs สำหรับผู้ที่เกี่ยวข้องกับกลุ่มต่างๆ ที่รับสารเข้าสู่ร่างกายทั้ง 3 เส้นทาง ได้แก่ ทางผิวหนัง ทางการหายใจ และทางเดินอาหาร

วิธีการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ทำการเก็บตัวอย่างระหว่างเดือนพฤษภาคม 2550 ถึง เดือนกุมภาพันธ์ 2551 โดยแบ่งช่วงเก็บตัวอย่างเป็น 3 ฤดูกาล ได้แก่ ฤดูร้อน ฤดูฝน และฤดูหนาว ตามเกณฑ์ของกรมอุตุนิยามวิทยา ฤดูกาลละ 1 ครั้ง วิธีการเก็บตัวอย่างและภาชนะที่ใช้บรรจุตัวอย่าง รวมถึงวิธีการเก็บรักษาตัวอย่างเป็นไปตาม Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater ของ APHA, AWWA และ WPCF (1995) รายละเอียดการเก็บตัวอย่างมีดังนี้

1. การเก็บตัวอย่าง

1.1 การเก็บตัวอย่างน้ำประปาและน้ำสระว่ายน้ำ

ทำการเก็บตัวอย่างน้ำจากสระว่ายน้ำในร่มที่เข้าเชื้อโรคด้วยคลอรีนในกรุงเทพมหานครจำนวน 1 สระ

โดยแบ่งจุดเก็บตัวอย่างเป็นฝั่งต้นและฝั่งลึก เก็บตัวอย่างที่จุดกึ่งกลางของแต่ละฝั่งที่ความลึก 20 ซม.จากระดับผิวน้ำ ซึ่งเป็นระดับความลึกที่ร่างกายสามารถสัมผัสน้ำได้ทุกส่วน ทำการเก็บตัวอย่างแบบ Composite โดยเก็บวันละ 3 ครั้งระหว่างเวลา 10.00-11.00 13.00-14.00 และ 16.00-18.00 น. แล้วนำตัวอย่างน้ำมารวมกัน

ทำการเก็บตัวอย่างน้ำประปาก็อกน้ำในพื้นที่โดยรอบสระว่ายน้ำจำนวน 3 จุด โดย โดยก่อนการเก็บตัวอย่างปล่อยให้ไหลทิ้งเป็นเวลา 5 นาทีเพื่อให้ได้เป็นตัวแทนของน้ำประปาจากท่อหลักของการประปานครหลวง

1.2 การเก็บตัวอย่างอากาศ

ทำการเก็บตัวอย่างอากาศบริเวณริมขอบสระว่ายน้ำที่จุดกึ่งกลางด้านยาวของสระว่ายน้ำทั้ง 2 ด้าน โดยใช้ปั๊มดูดอากาศผ่านหลอด Charcoal ด้วยอัตราการไหล 0.10 ลิตรต่อนาทีเป็นเวลา 2 ชั่วโมง ทำการเก็บตัวอย่างอากาศ 2 ระดับ ได้แก่ ระดับผิวน้ำและระดับความสูง 150 ซม. ทั้งนี้เนื่องจากที่ระดับผิวน้ำเป็นระดับการหายใจของคนว่ายน้ำ และที่ระดับความสูง 150 ซม. เป็นระดับหายใจของคนที่อยู่บริเวณสระว่ายน้ำ

2. การวิเคราะห์ตัวอย่าง

การวิเคราะห์สาร THMs ทั้ง 4 ชนิด ใช้วิธี Headspace Technique Gas Chromatograph-ECD detector ยี่ห้อ Perkin Elmer รุ่น Autosystem XL โดยใช้คอลัมน์ Supelco 241 35-U PTE™-5, Carrier gas N_2 และ He อัตราการไหล 2 มล./นาที Injection temperature 220 °C Oven temperature 55 °C 15 นาที Detector temperature 300 °C ค่า Detection limit ของคลอโรฟอร์ม โบรโมไดคลอโรมีเทน ไดโบรโมคลอโรมีเทน และโบรโมฟอร์มในน้ำ เท่ากับ 0.03 0.05 0.05 และ 0.07 $\mu\text{g/L}$ ตามลำดับ

3. การประเมินความเสี่ยงในการเกิดมะเร็ง

(Cancer Risk Assessment)

เมื่อรู้ความเข้มข้นของสาร THMs ในน้ำประปา น้ำสระว่ายน้ำ และในอากาศแล้ว นำมาประเมินความเสี่ยงในการเกิดมะเร็งตามวิธีของ US-EPA (1989) สำหรับผู้ที่เกี่ยวข้อง 6 กลุ่ม ได้แก่ 1. ผู้ใหญ่ว่ายน้ำ 2. ผู้ใหญ่ไม่ว่ายน้ำ 3. เด็กว่ายน้ำ

(6-12 ปี) 4. เด็กไม่ว่ายน้ำ (6-12 ปี) 5. ครูสอนว่ายน้ำ และ 6. เจ้าหน้าที่ดูแลสระ สาเหตุที่แบ่งผู้เกี่ยวข้องเป็น 6 กลุ่ม เนื่องจากแต่ละกลุ่มมีเส้นทางการได้รับสารเข้าสู่ร่างกายและเวลาสัมผัสสารแตกต่างกัน

งานวิจัยนี้ได้ทำการประเมินปริมาณสารที่เข้าสู่ร่างกายที่ได้รับจากน้ำประปาและสระว่ายน้ำผ่านทางเดินอาหารทางผิวหนัง และทางการหายใจ ตามสูตรที่กำหนดไว้ โดยใช้ข้อมูลที่เสนอแนะโดย US-EPA และข้อมูลสำหรับประชากรในประเทศไทย ตัวอย่างข้อมูลที่ US-EPA ได้เสนอแนะไว้ ได้แก่ น้ำหนักตัวเฉลี่ยของผู้ใหญ่เท่ากับ 70 กก. พื้นผิวของร่างกาย 1.69-1.94 ตร.ม. เป็นต้น ค่าเหล่านี้เป็นค่าคงที่สำหรับประชากรในประเทศไทยสหรัฐอเมริกา แต่สำหรับงานวิจัยนี้ได้ใช้ข้อมูลสำหรับประชากรในประเทศไทย เช่น น้ำหนักตัวเฉลี่ยของผู้ใหญ่เท่ากับ 55 กก. พื้นผิวของร่างกาย 1.72 ตร.ม. (กิตติ, 2548) นอกจากนี้งานวิจัยนี้ยังได้ทำแบบสอบถามบุคคลทั้ง 6 กลุ่มเพื่อนำข้อมูลที่เกี่ยวข้อง เช่น เวลาสัมผัสสาร มาใช้ในการคำนวณเพื่อให้ได้ผลการประเมินที่ใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากที่สุด

เมื่อได้ปริมาณสารที่เข้าสู่ร่างกายจากทั้ง 3 เส้นทางแล้วทำการคำนวณความเสี่ยงของสารแต่ละชนิดตามสูตรที่กำหนด สูตรการคำนวณความเสี่ยงที่ก่อให้เกิดมะเร็งแสดงดังสมการที่ (1) ค่า Slope factor ซึ่งเป็นค่าแสดงศักยภาพในการก่อมะเร็งของสาร THMs 4 ชนิดตามเส้นทางต่างๆ ของการรับสารเข้าสู่ร่างกายแสดงดังตารางที่ 1

$$\text{Cancer Risk} = I_c \times SF \quad (1)$$

เมื่อ I_c = ปริมาณของสารก่อมะเร็งที่ได้รับ (mg/(kg·day))
 SF = Slope Factor ของสารก่อมะเร็ง (mg/(kg·day)⁻¹)

ตารางที่ 1 ค่า Slope factor ของสารไตรฮาโลมีเทนทั้ง 4 ชนิดตามเส้นทางต่างๆ ของการรับสารเข้าสู่ร่างกาย

ชนิดของสาร	ทางเดินอาหาร	ทางการสัมผัส	ทางการหายใจ
CHCl ₃	0.0061	0.0305	0.0805
CHCl ₂ Br	0.0620	0.0633	0.0620
CHClBr ₂	0.0840	0.1400	0.0840
CHBr ₃	0.0079	0.0132	0.00385

ที่มา : US-EPA (2008)

US-EPA (1989) กำหนดเกณฑ์ความเสี่ยงในการเกิดมะเร็ง ที่ยอมรับได้คือความเสี่ยงในช่วง 1E-06-1E-04 ถ้ามีความเสี่ยงสูงกว่า 10E-04 (ซึ่งหมายถึงมีโอกาสเกิดมะเร็ง 1 คนจากจำนวนประชากร 10,000 คน) เป็นความเสี่ยงที่ยอมรับไม่ได้ต้องทำการแก้ไขต่อไป

ผลการศึกษาและอภิปรายผล

1. ความเข้มข้นของสาร THMs ในน้ำประปาน้ำสระว่ายน้ำ และในอากาศ

ความเข้มข้นของคลอโรฟอร์ม โบรโมไดคลอโรมีเทน ไดโบรโมคลอโรมีเทน โบรโมฟอร์ม และสารไตรฮาโลมีเทนทั้งหมด ในน้ำประปาและน้ำสระว่ายน้ำ แสดงดังตารางที่ 2 ซึ่งจะเห็นว่าชนิดของสาร THMs ที่มีความเข้มข้นสูงสุดทั้งในน้ำประปาและน้ำสระว่ายน้ำ ได้แก่ คลอโรฟอร์ม รองลงมาคือ โบรโมไดคลอโรมีเทน นอกจากนี้ยังเห็นได้ว่าความเข้มข้นรวมของ THMs ในน้ำประปาสูงกว่าน้ำสระว่ายน้ำ สาเหตุหนึ่งอาจเกิดจากการที่สาร THMs เป็นสารที่ระเหยจากน้ำสู่อากาศได้ สำหรับสระว่ายน้ำ สาร THMs ในน้ำสามารถระเหยผ่านผิวน้ำสู่อากาศบริเวณสระว่ายน้ำซึ่งความเข้มข้นในอากาศแสดงดังตารางที่ 3 ในขณะที่น้ำประปาถูกส่งผ่านท่อซึ่งเป็นระบบปิดทำให้ THMs ที่เกิดขึ้นทั้งหมดยังคงละลายอยู่ในน้ำ

ดังที่กล่าวข้างต้นว่าหน่วยงานต่างๆ ได้กำหนดความเข้มข้นสูงสุดของ THMs ในน้ำประปาไว้ แต่สำหรับน้ำสระว่ายน้ำยังไม่มีการกำหนดความเข้มข้นสูงสุดของสารเหล่านี้ไว้ ดังนั้นผู้วิจัยจึงใช้ค่ามาตรฐานความเข้มข้นสูงสุดของ THMs ในน้ำประปาซึ่งกำหนดโดย WHO ในการเปรียบเทียบทั้งกับความเข้มข้นที่วิเคราะห์ได้ในน้ำประปาและน้ำสระว่ายน้ำ

WHO กำหนดความเข้มข้นของสารประกอบไตรฮาโลมีเทนทั้งหมดในน้ำประปาไม่เกิน 100 µg/L จากตารางที่ 2 จะเห็นได้ว่าความเข้มข้นของ THMs ในน้ำสระว่ายน้ำทุกตัวอย่างมีค่าต่ำกว่าค่ามาตรฐาน และความเข้มข้นของ THMs ในน้ำประปาจำนวน 8 ตัวอย่างจาก 9 ตัวอย่าง มีค่าต่ำกว่าค่ามาตรฐานของ WHO อย่างไรก็ตามถึงแม้ความเข้มข้นของ THMs ส่วนใหญ่จะมีค่าต่ำกว่าค่ามาตรฐาน แต่สารกลุ่มนี้จัดเป็นสารก่อมะเร็ง ดังนั้นผู้ได้รับสารจึงมีโอกาสเกิดมะเร็งได้ ผู้วิจัยจึงได้นำค่าเหล่านี้ไปประเมินความเสี่ยงในการเกิดมะเร็งสำหรับบุคคลกลุ่มต่างๆ

ในหัวข้อต่อไป

ความเข้มข้นของคลอโรฟอร์ม โบรโมไดคลอโรมีเทน ไดโบรโมคลอโรมีเทน และโบรโมฟอร์ม ในอากาศที่ระดับผิวน้ำ และในอากาศที่ระดับ 150 ซม. แสดงดังตารางที่ 3 ซึ่งเห็นได้ว่าความเข้มข้นในอากาศระดับ 150 ซม. มีค่าสูงกว่าที่ระดับผิวน้ำ ชนิดของสาร THMs ที่มีความเข้มข้นสูงสุดทั้งที่ระดับผิวน้ำ และที่ระดับ 150 ซม. คือคลอโรฟอร์ม รองลงมาคือ ไดโบรโมคลอโรมีเทนดังตารางที่ 3 สำหรับค่ามาตรฐานความเข้มข้นของ THMs ในอากาศยังไม่มีหน่วยงานใดกำหนดไว้

2. การประเมินความเสี่ยงในการเกิดมะเร็งจากการได้รับสาร THMs

2.1 การรับสารจากน้ำประปาและสระว่ายน้ำ

ผลการประเมินความเสี่ยงในการเกิดมะเร็งของบุคคล 6 กลุ่มแสดงดังภาพที่ 1 และตารางที่ 4 ซึ่งเห็นได้ว่าผู้ที่เกี่ยวข้องกับสระว่ายน้ำมีความเสี่ยงสูงกว่าผู้ที่ไม่เกี่ยวข้องกับ

สระว่ายน้ำเนื่องจากคนกลุ่มนี้ได้รับสารทั้งจากน้ำประปาและสระว่ายน้ำ ในขณะที่คนที่ไม่ว่ายน้ำได้รับสารจากน้ำประปาเท่านั้น ความเสี่ยงของผู้ที่เกี่ยวข้องกับสระว่ายน้ำกลุ่มต่างๆ ได้แก่ ผู้ใหญ่ ว่ายน้ำ เด็กว่ายน้ำ ครูสอนว่ายน้ำ และเจ้าหน้าที่ดูแลสระ เท่ากับ 2.68E-04 3.33E-04 6.06E-04 และ 2.54E-03 ซึ่งเป็นความเสี่ยงที่ไม่สามารถยอมรับได้ตามเกณฑ์ของ US - EPA ในขณะที่ผู้ใหญ่ และเด็กไม่ว่ายน้ำมีความเสี่ยงเท่ากับ 6.52E-05 และ 8.82E-05 ซึ่งเป็นความเสี่ยงที่ยอมรับได้

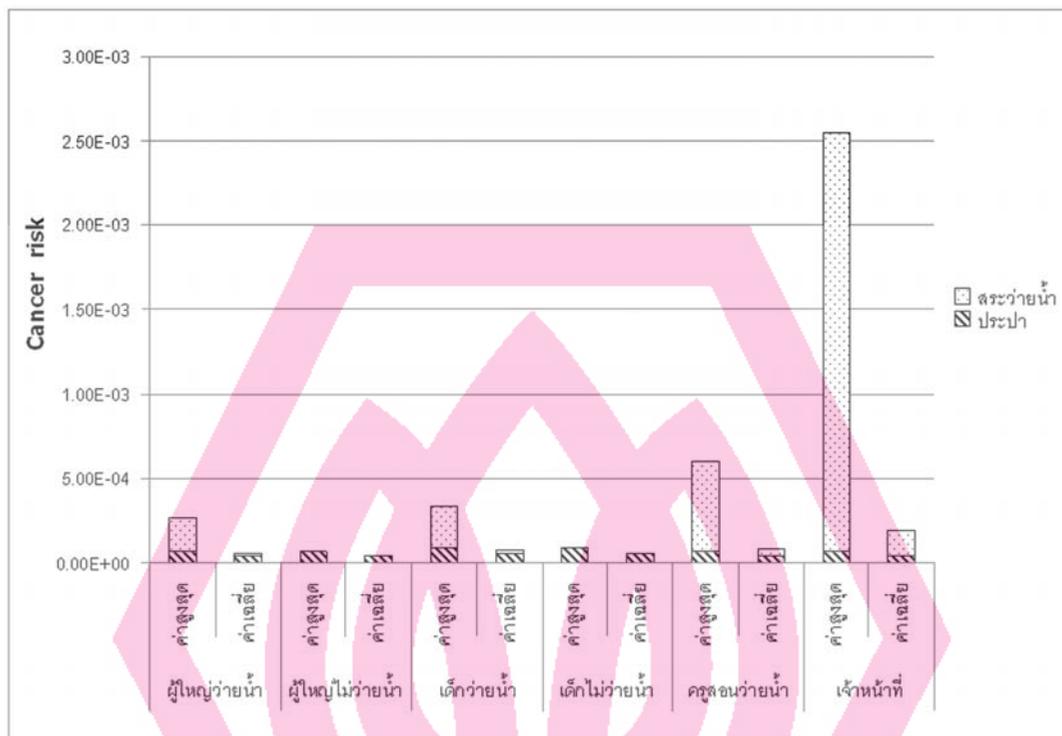
อย่างไรก็ตามแม้ว่าการใช้ความเข้มข้นสูงสุดเป็นวิธิตามมาตรฐานของ US-EPA แต่ตามความเห็นของผู้วิจัยแล้วการใช้ความเข้มข้นสูงสุดเป็นการมองที่สถานการณ์เลวร้ายเกินความเป็นจริง เนื่องจากคนทุกกลุ่มไม่ได้รับสารเข้าสู่ร่างกายที่ความเข้มข้นสูงสุดตลอดเวลา ดังนั้นจึงได้ทำการประเมินจากกรณีของความเข้มข้นเฉลี่ยเพื่อเป็นข้อมูลประกอบการพิจารณาด้วย (ดังตารางที่ 4) จากการประเมินพบว่าผู้ใหญ่ว่ายน้ำ เด็กว่ายน้ำ ครูสอนว่ายน้ำ และเจ้าหน้าที่ดูแลสระ มีความเสี่ยงรวมเท่ากับ

ตารางที่ 2 ความเข้มข้นของสารไตรฮาโลมีเทนในน้ำประปา และน้ำสระว่ายน้ำ

ชนิดสาร	น้ำประปา			น้ำสระว่ายน้ำ		
	ช่วง	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ช่วง	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
คลอโรฟอร์ม ($\mu\text{g/L}$)	26.32-89.73	49.20	10.65	9.24-29.06	17.81	8.07
โบรโมไดคลอโรมีเทน ($\mu\text{g/L}$)	10.02-20.82	14.06	2.49	2.44-13.66	6.85	2.50
ไดโบรโมคลอโรมีเทน ($\mu\text{g/L}$)	1.28-4.50	1.88	0.11	ND	ND	-
โบรโมฟอร์ม ($\mu\text{g/L}$)	ND-0.58	0.14	0.07	0.00-0.81	0.17	0.30
สารไตรฮาโลมีเทนทั้งหมด ($\mu\text{g/L}$)	38.62-110.56	65.28	12.32	11.69-38.00	24.83	10.41

ตารางที่ 3 ความเข้มข้นของสารไตรฮาโลมีเทนในอากาศ

ชนิดสาร	อากาศที่ระดับผิวน้ำ			อากาศที่ระดับ 150 ซม.		
	ช่วง	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ช่วง	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
คลอโรฟอร์ม ($\mu\text{g/L}$)	ND-0.4755	0.0371	0.0372	ND-0.8660	0.0523	0.0798
โบรโมไดคลอโรมีเทน ($\mu\text{g/L}$)	ND-0.0095	0.0007	0.0010	ND-0.0093	0.0015	0.0030
ไดโบรโมคลอโรมีเทน ($\mu\text{g/L}$)	ND-0.0100	0.0006	0.0009	ND-0.0360	0.0029	0.0030
โบรโมฟอร์ม ($\mu\text{g/L}$)	ND-0.0022	ND	-	ND-0.0093	ND	-



ภาพที่ 1 ความเสี่ยงในการเกิดมะเร็งจากน้ำประปาและสระว่ายน้ำของกลุ่มบุคคล 6 กลุ่ม

ตารางที่ 4 ความเสี่ยงของการเกิดมะเร็งจากน้ำประปาและน้ำสระว่ายน้ำของคนกลุ่มต่าง ๆ

กลุ่มบุคคล	ความเสี่ยงในการเกิดมะเร็ง		
	สระว่ายน้ำ	น้ำประปา	ความเสี่ยงทั้งหมด
กรณีประเมินจากความเข้มข้นสูงสุด			
ผู้ใหญ่ว่ายน้ำ	2.03E-04	6.52E-05	2.68E-04
ผู้ใหญ่ไม่ว่ายน้ำ	-	6.52E-05	6.52E-05
เด็กว่ายน้ำ	2.45E-04	8.82E-05	3.33E-04
เด็กไม่ว่ายน้ำ	-	8.82E-05	8.82E-05
ครูสอนว่ายน้ำ	5.41E-04	6.52E-05	6.06E-04
เจ้าหน้าที่ดูแลสระ	2.48E-03	6.52E-05	2.54E-03
กรณีประเมินจากความเข้มข้นเฉลี่ย			
ผู้ใหญ่ว่ายน้ำ	1.67E-05	4.27E-05	5.94E-05
ผู้ใหญ่ไม่ว่ายน้ำ	0.00E+00	4.27E-05	4.27E-05
เด็กว่ายน้ำ	2.13E-05	5.74E-05	7.87E-05
เด็กไม่ว่ายน้ำ	0.00E+00	5.74E-05	5.74E-05
ครูสอนว่ายน้ำ	4.42E-05	4.27E-05	8.69E-05
เจ้าหน้าที่ดูแลสระ	1.54E-04	4.27E-05	1.96E-04

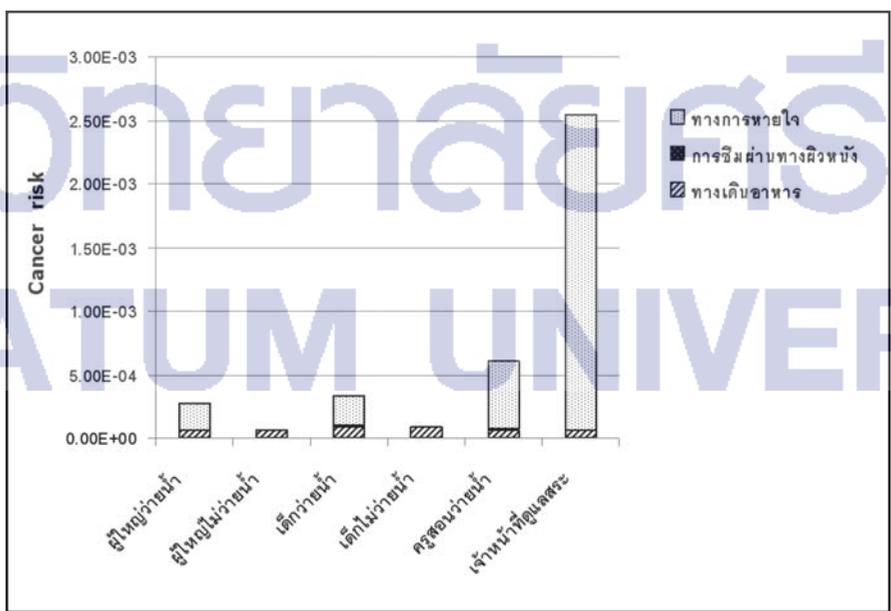
5.94E-05 7.87E-05 8.69E-05 และ 1.96E-04 ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่าทุกกลุ่มมีความเสี่ยงที่ยอมรับได้ ยกเว้นเจ้าหน้าที่ดูแลสระว่ายน้ำ ที่มีความเสี่ยงรวมของการเกิดมะเร็ง 1.96E-04 ซึ่งเป็นความเสี่ยงยอมรับไม่ได้ซึ่งต้องดำเนินการแก้ไขต่อไป นอกจากนี้จะเห็นได้ว่าการประเมินจากความเข้มข้นสูงสุดสัดส่วนความเสี่ยงของการเกิดมะเร็งจากการรับสารจากสระว่ายน้ำสูงกว่าน้ำประปาอย่างเห็นได้ชัดในทุกกลุ่ม

2.2 การได้รับสารเข้าสู่ร่างกายโดยเส้นทางต่างๆ

ความเสี่ยงจากการได้รับสารเข้าสู่ร่างกายโดยเส้นทางต่างๆ ของคนทั้ง 6 กลุ่มแสดงดังภาพที่ 2 ซึ่งพบว่าความเสี่ยงในการก่อมะเร็งจากแต่ละเส้นทางการรับสารเรียงลำดับจากมากไปน้อยดังนี้ ทางเดินหายใจ ทางเดินอาหาร และการซึมผ่านทางผิวหนัง ยกเว้นกรณีผู้ใหญ่และเด็กไม่ว่ายน้ำที่ได้รับสาร THMs ผ่านทางเดินอาหารสูงสุด ผลการวิจัยนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Wang et al. (2007) ซึ่งทำการประเมินการเกิดมะเร็งจากการได้รับสาร THMs ในน้ำประปา ในประเทศไต้หวัน และพบว่าความเสี่ยงสูงสุดมาจากการได้รับคลอโรฟอร์มทางการหายใจ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1.80E-6 ซึ่งมีค่าสูงกว่าเกณฑ์ที่ยอมรับได้ และพบว่าการสัมผัสทางผิวหนังไม่มีนัยสำคัญเมื่อเปรียบเทียบกับกรรับเข้าทางปากและทางการหายใจ

ผู้ที่เกี่ยวข้องกับสระว่ายน้ำมีลำดับความเสี่ยงในการเกิดมะเร็งจากมากไปน้อยดังนี้ เจ้าหน้าที่ดูแลสระว่ายน้ำ ครูสอนว่ายน้ำ เด็กว่ายน้ำ และผู้ใหญ่ว่ายน้ำ โดยมีความเสี่ยงจากเส้นทางการหายใจสูงสุดซึ่งมีค่าเท่ากับ 2.48E-03 5.37E-04 2.40E-04 และ 2.01E-04 ตามลำดับซึ่งคิดเป็นร้อยละ 97.64 88.61 72.07 75.00 จากความเสี่ยงทั้งหมดของคนกลุ่มนั้น เหตุที่เจ้าหน้าที่ดูแลสระว่ายน้ำได้รับความเสี่ยงรวมทางการหายใจสูงสุด เนื่องจากต้องปฏิบัติงานในบริเวณสระว่ายน้ำในร่มซึ่งมีลักษณะเป็นสระปิดทุกด้านทำให้มีการสะสมสาร THMs อยู่ภายในอากาศบริเวณสระว่ายน้ำ เจ้าหน้าที่หายใจรับไอระเหยของสาร THMs ตลอดเวลาปฏิบัติงาน จากตัวเลขจะเห็นได้ว่าทุกกลุ่มมีความเสี่ยงเฉพาะจากทางการหายใจ ในระดับที่ไม่สามารถยอมรับได้ต้องดำเนินการแก้ไขโดยเร็ว

ผลการวิจัยนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Erdinger, et al. (2004) และ Fantuzzi, et al. (2001) ซึ่งศึกษาปริมาณสาร THMs ในลมหายใจของผู้ใช้บริการสระว่ายน้ำในประเทศเยอรมนีและประเทศอิตาลี ตามลำดับ พบว่าเมื่อผู้ใช้บริการลงว่ายน้ำไป 60 นาที จะพบประมาณสารไตรฮาโลมีเทนในลมหายใจสูงกว่าก่อนลงว่ายน้ำอย่างมีนัยสำคัญ Fantuzzi, et al. (2001) พบว่าความเข้มข้นของสาร THMs ในลมหายใจของผู้ปฏิบัติงานสูงกว่าผู้ใช้บริการอย่างมีนัยสำคัญ



ภาพที่ 2 ความเสี่ยงรวมในการเกิดมะเร็งจากน้ำประปาและสระว่ายน้ำตามเส้นทางต่างๆ

2.3 การได้รับสาร THMs แต่ละชนิด

สำหรับกรณีผู้ใหญ่ว่ายน้ำความเสี่ยงในการเกิดมะเร็งเกิดจากการรับสารต่างๆ ตามลำดับมากไปน้อย ได้แก่ คลอโรฟอร์ม โบรโมไดคลอโรมีเทน ไดโบรโมคลอโรมีเทน และ โบรโมฟอร์ม (ภาพที่ 3) ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 79 15 6 และ 0 ตามลำดับ

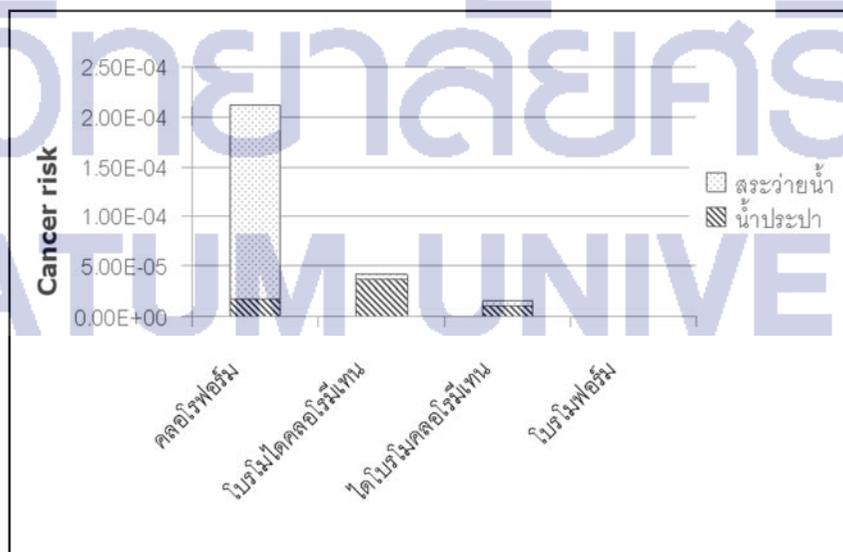
เป็นที่น่าสังเกตว่าสารที่มีความเข้มข้นสูงสุดในน้ำประปา คือคลอโรฟอร์ม แต่เมื่อทำการประเมินความเสี่ยงแล้ว พบว่า ความเสี่ยงสูงสุดเกิดจากโบรโมไดคลอโรมีเทน รองลงมาได้แก่ คลอโรฟอร์ม ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากเส้นทางหลักที่สาร THMs จากน้ำประปาเข้าสู่ร่างกายคือทางเดินอาหารและการดูดซึม ทางผิวหนัง และจากตารางที่ 1 ค่า Slope factor ของการรับ สารโบรโมไดคลอโรมีเทนทางทางเดินอาหารและทางผิวหนังสูงกว่า ค่า Slope factor ของคลอโรฟอร์มมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งทาง ทางเดินอาหารซึ่งมี Slope factor ของโบรโมไดคลอโรมีเทน สูงกว่าคลอโรฟอร์มถึง 10 เท่า เป็นผลให้ความเสี่ยงหลักจาก การใช้น้ำประปาเกิดจากการได้รับสารโบรโมไดคลอโรมีเทน ซึ่งพบ ในกรณีที่น้ำดิบมีโบรโมไดคลอโรมีเทนเป็นองค์ประกอบเป็นผลให้เกิด การแทนที่ของคลอรีนอะตอมในคลอโรฟอร์มเกิดเป็นสาร THMs ที่มีโบรมีนเป็นองค์ประกอบทำให้มีแนวโน้มในการเกิดมะเร็งสูง ขึ้นมาก (Uyak, 2006)

สำหรับน้ำสระว่ายน้ำในร่มสาร THMs เข้าสู่ร่างกายได้ทั้ง 3 เส้นทางและเส้นทางที่สำคัญที่สุดคือเส้นทางการหายใจดังที่ กล่าวแล้วในหัวข้อ 2.2 ดังนั้นความเสี่ยงสูงสุดจึงเกิดจาก คลอโรฟอร์ม เนื่องจากในอากาศมีความเข้มข้นของคลอโรฟอร์ม สูงกว่าสารอื่นอย่างมีนัยสำคัญ ยิ่งกว่านั้นค่า Slope factor ของ การรับคลอโรฟอร์มทางการหายใจยังสูงกว่าโบรโมไดคลอโรมีเทนด้วย

3. ความไม่แน่นอนของผลการประเมินความเสี่ยง

US-EPA (1989) ได้อธิบายถึงความไม่แน่นอนของ วิธีการประเมินความเสี่ยง ดังนี้

- การประเมินความเสี่ยงในการก่อมะเร็งเป็นการ ประเมินความเสี่ยงตลอดชีวิต (Lifetime cancer risk) ดังนั้น จึงมีความเป็นไปได้ที่ลักษณะการสัมผัสสารในแต่ละช่วงชีวิต เปลี่ยนแปลงไปจากเดิม
- การประเมินความเสี่ยงโดยวิธีการของ US-EPA (1989) เป็นการประเมินที่สถานการณ์เลวร้ายที่สุด ดังนั้นผล ที่ได้อาจสูงกว่าความเป็นจริง
- การประเมินความเสี่ยงวิธีนี้จะประเมินจากความ เป็นพิษของสารทีละชนิดแล้วจึงนำความเสี่ยงมารวมกันทั้งหมด แต่ในความเป็นจริงสารพิษแต่ละชนิดอาจเกิดความเป็นพิษแบบ เสริมกัน (Synergism) หรือหักล้างกัน (Antagonism) ก็ได้



ภาพที่ 3 ความเสี่ยงในการเกิดมะเร็งจากน้ำประปาและสระว่ายน้ำของสาร THMs ทั้ง 4 ชนิด สำหรับผู้ใหญ่ว่ายน้ำ

- กรณีนี้ทำการประเมินความเสี่ยงในการเกิดมะเร็งเฉพาะจากสาร THMs แต่ในความเป็นจริงความเสี่ยงในการเกิดมะเร็งทั้งหมด ต้องมีค่าสูงกว่านี้เนื่องจากในน้ำมีสารก่อมะเร็งกลุ่มอื่นปนเปื้อนอยู่ด้วย เช่น สารกลุ่มกรดฮาโลอะซิติก (Haloacetic acids) เป็นต้น

สรุปผลการศึกษา

ความเข้มข้นของคลอโรฟอร์ม ไบรโมไดคลอโรมีเทน ไตรโบรโมไดคลอโรมีเทน และไบรโมฟอร์ม ในน้ำประปามีค่าสูงกว่าน้ำสระว่ายน้ำ สำหรับความเข้มข้นของอากาศที่ระดับ 150 เซนติเมตรมีค่าสูงกว่าที่ระดับผิวน้ำ เนื่องจากสระว่ายน้ำในร่มมีลักษณะปิด ทำให้มีการสะสมของสาร THMs ภายในบริเวณสระว่ายน้ำ

การประเมินความเสี่ยงในการเกิดมะเร็งจากการได้รับสาร THMs พบว่าผู้ใหญ่ว่ายน้ำ เด็กว่ายน้ำ ครูสอนว่ายน้ำ และเจ้าหน้าที่ดูแลสระ มีความเสี่ยงในการเกิดมะเร็งรวมจากการได้รับสารทั้ง จากน้ำประปาและน้ำสระว่ายน้ำเท่ากับ $2.68E-04$ $3.33E-04$ $6.06E-04$ และ $2.54E-03$ ซึ่งเป็นความเสี่ยงที่ไม่สามารถยอมรับได้ตามแนวทางของ US-EPA สำหรับผู้ใหญ่และเด็ก ว่ายน้ำน้ำมีความเสี่ยงเท่ากับ $6.52E-05$ และ $8.82E-05$ ซึ่งเป็นความเสี่ยงที่ยอมรับได้ ความเสี่ยงของการเกิดมะเร็งจากการได้รับทางการหายใจเป็นเส้นทางหลักของการได้รับสารในทุกกลุ่ม โดยพบว่าความเสี่ยงของเจ้าหน้าที่ดูแลสระว่ายน้ำจากการรับสารทางการหายใจสูงสุด สำหรับกรณีผู้ใหญ่ว่ายน้ำความเสี่ยงในการเกิดมะเร็งเกิดจากการรับสารต่างๆ ตามลำดับมากไปน้อย ได้แก่ คลอโรฟอร์ม ไบรโมไดคลอโรมีเทน ไตรโบรโมไดคลอโรมีเทน และไบรโมฟอร์ม

ข้อเสนอแนะแนวทางแก้ไขความเสี่ยงด้วยวิธีต่างๆ ได้แก่

- ปรับปรุงระบบระบายอากาศภายในสระว่ายน้ำ
- ลดระยะเวลาการทำงานของเจ้าหน้าที่ซึ่งทำหน้าที่บริเวณสระว่ายน้ำโดยเปลี่ยนกะเจ้าหน้าที่
- ปรับปรุงวิธีการฆ่าเชื้อโรคจากคลอรีนเป็นไอโซนหรือวิธีคลอรีนร่วมกับไอโซน
- ควรลดชั้นให้ผู้ใช้บริการสระว่ายน้ำ อาบน้ำทำความสะอาดร่างกายอย่างดีก่อนลงสระ รวมทั้งดื่มน้ำดื่ม

ก่อนลงสระว่ายน้ำ เนื่องจากสารอินทรีย์จากร่างกายผู้ใช้บริการ และครีมหาผิวเป็นสารตั้งต้นที่จะก่อให้เกิดสารนี้

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากงบประมาณแผ่นดินปี 2551 จึงขอขอบพระคุณสถาบันวิจัย มหาวิทยาลัยศิลปากรในการจัดสรรทุนนี้ และขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่สระว่ายน้ำที่ใช้เป็นกรณีตัวอย่าง (ขอสงวนชื่อสระว่ายน้ำ) ที่กรุณาอนุญาตให้เก็บตัวอย่างและได้ให้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่งสำหรับงานวิจัยนี้

เอกสารอ้างอิง

- กิตติ อินทรานนท์. 2548. **การยศาสตร์**. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- APHA, AWWA and WPCF. 1995. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 19th ed. Edited by M.A.H. Franson. American Public Health Association, Washington, D.C.
- Erdinger L., Peter K., Kirsh F., Feldhues R., Frobel T., Nohynek B. and Gabrio T. 2004. "Pathways of trihalomethane uptake in swimming pools." **International journal of hygiene and environmental health**. 207: 571-575.
- Fantuzzi G., Righi E., Predieri G., Ceppelli G., Gobba F. and Aggazzotti G. 2001. "Occupational exposure to trihalomethane in indoor swimming pools." **The science of the total environment**. 264: 257-265.
- Judd S. and Black S. 2000. "Disinfection by-product formation in swimming pool waters: a simple mass balance." **Water Research**. 34: 1611-1619.
- Nieuwenhuisen, M.J., 2002. "Swimming pool Chlorine Risk to Pregnant Woman Available Source." Retrieved November 5, 2008 from <http://www.imperial.ac.th/P3296.htm>
- US-EPA. 1989. **Risk Assessment Guidance for Superfund Vol.1 Human Health Evaluation Manual**. EPA/

540/1-89/002. December 1989.

US-EPA. 1999. **EPA Guidance Manual, Alternative Disinfectants and Oxidants**. April 1999.

US-EPA. 2008. "IRIS Database for Risk Assessment."
Retrieved August 11, 2008 from
<http://www.epa.gov/iris>

UYak, V. 2006. "Multi-pathway Risk Assessment for Trihalomethanes Exposure in Istanbul Drinking Water." *Environmental International*. 32: 12-21.

Wang G.S., Deng Y.C. and Lin T.F. 2007. "Cancer risk assessment from trihalomethanes in drinking water." *Science of the total environment*. 387: 86-95.

WHO, 2000. **Guidelines for Safe Recreational-water Environments, Volume 2: Swimming Pools, Spas and Similar Recreational-water Environment**. August 2000.



>> ผ่องศรี เผ่าภูรี

จบการศึกษาหลักสูตร M.Sc. (Environmental technology and Management) สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย และหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

ปัจจุบันทำงานในตำแหน่ง นักวิทยาศาสตร์ชำนาญการ ระดับ 8 ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร ผลงานทางวิชาการ เช่น Cancer risk assessment from exposure to trihalomethanes in tap water and swimming pool water และการประเมินความเสี่ยงในการเกิดมะเร็งจากการได้รับสารไตรฮาโลมีเทนในน้ำประปา กรณีตัวอย่างของเทศบาลนครนครปฐม



>> มัลลิกา ปัญญาคะโป

จบการศึกษาหลักสูตร D.Tech.Sc. (Water and Wastewater Engineering) สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ และหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาเคมี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปัจจุบันทำงานในตำแหน่ง รองศาสตราจารย์ ระดับ 9 ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร ผลงานทางวิชาการ เช่น การเกิดสารไตรฮาโลมีเทนในสระว่ายน้ำที่ฆ่าเชื้อโรคด้วยคลอรีน และการประเมินความเสี่ยงในการเกิดมะเร็งจากการได้รับสารไตรฮาโลมีเทนในน้ำประปา กรณีตัวอย่างของเทศบาลนครนครปฐม



>> ศรีศักดิ์ สุนทรชัย

จบการศึกษาหลักสูตร D.Sc. (Nutritional Toxicology) Mahidol University with collaboration of Max von Pettenkoffer, Germany หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาชีววิทยา มหาวิทยาลัยมหิดล และหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาเทคนิคการแพทย์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

ปัจจุบันทำงานในตำแหน่ง รองศาสตราจารย์ ระดับ 9 สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช ผลงานทางวิชาการ เช่น Cancer risk assessment from exposure to trihalomethanes in tap water and swimming pool water