การประเมินความเสี่ยงของการได้รับสารไตรฮาโลมีเทนจากสระว่ายน้ำที่ฆ่าเชื้อโรคด้วยคลอรีน

โดย

นางสาวจรรยา บริวิชยาวิสุทธิ์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม

ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

ปีการศึกษา 2552

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

การประเมินความเสี่ยงของการได้รับสารไตรฮาโลมีเทนจากสระว่ายน้ำที่ฆ่าเชื้อโรคด้วยคลอรีน

โดย
นางสาวจรรยา บริวิชยาวิสุทธิ์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม
ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร
ปีการศึกษา 2552
ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

RISK ASSESSMENT OF TRIHALOMETHANES EXPOSURE FROM CHLORINATED SWIMMING POOLS

By

Chanya Briwichayawisut

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree

MASTER OF SCIENCE

Department of Environmental Science

Graduate School

SILPAKORN UNIVERSITY

2009

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร อนุมัติให้วิทยานิพนธ์เรื่อง “ การประเมินความเสี่ยงของการได้รับสารไตรฮาโลมีเทนจากสระว่ายน้ำที่ฆ่าเชื้อโรคด้วยคลอรีน ” เสนอโดย นางสาวจรรยา บริวิชยาวิสุทธิ์ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม

……..

(รองศาสตราจารย์ ดร.ศิริชัย ชินะตังกูร)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่.....เดือน..... พ.ศ.....

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

รองศาสตราจารย์ ดร.มัลลิกา ปัญญาคะโป

คณะกรรมการตรวจสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รัฐพล อ้นแจ่ง)

...../...../.....

..... กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.ศริศักดิ์ สุนทรไชย)

...../...../.....

..... กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.มัลลิกา ปัญญาคะโป)

...../...../.....

51311302 : สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม
คำสำคัญ : น้ำประปา/ สระว่ายน้ำ/ การฆ่าเชื้อโรคด้วยคลอรีน/ สารไตรฮาโลมีเทน/ การประเมินความเสี่ยง

จรรยา บริวิชยาวิสุทธิ์ : การประเมินความเสี่ยงของการได้รับสารไตรฮาโลมีเทนจากสระว่ายน้ำที่ฆ่าเชื้อโรคด้วยคลอรีน. อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ : รศ.ดร.มัลลิกา ปัญญาคะโป. 144 หน้า.

สารตกค้างจากการฆ่าเชื้อโรคด้วยคลอรีนกลุ่มที่มีความเป็นอันตรายและก่อให้เกิดมะเร็งสูงสุด คือสารไตรฮาโลมีเทน (THMs) จากความเป็นอันตรายของสาร THMs ต้องทำการประเมินความเสี่ยงในการเกิดมะเร็งตามวิธีการของ US-EPA (1989) งานวิจัยนี้เป็นการเก็บตัวอย่างและประเมินความเสี่ยงจากการได้รับสาร THMs ในน้ำประปา น้ำสระว่ายน้ำ และอากาศจากสระว่ายน้ำในร่ม กึ่งในร่ม และกลางแจ้งในเขตกรุงเทพมหานคร ระหว่างเดือนพฤษภาคม 2550 ถึงกุมภาพันธ์ 2551 แล้วนำข้อมูลมาประเมินความเสี่ยงสำหรับกลุ่มคนที่มีการสัมผัสสารแตกต่างกัน 6 กลุ่ม ได้แก่ ผู้ใหญ่ว่ายน้ำ ผู้ใหญ่ไม่ว่ายน้ำ เด็กว่ายน้ำ เด็กไม่ว่ายน้ำ ครูสอนว่ายน้ำ และเจ้าหน้าที่ดูแลสระว่ายน้ำ

การประเมินความเสี่ยงในการเกิดมะเร็งจากการได้รับสาร THMs จากน้ำประปาและสระว่ายน้ำทั้ง 3 สระ พบว่าความเสี่ยงรวมสำหรับบุคคลทุกกลุ่มมีค่าอยู่ในช่วง 8.32E-04 ถึง 8.37E-03 ซึ่งเป็นความเสี่ยงที่ไม่สามารถยอมรับได้ตามคำแนะนำของ US-EPA โดยสระว่ายน้ำในร่มมีความเสี่ยงสูงสุดจากการได้รับสารผ่านทางเดินหายใจ สำหรับสระว่ายน้ำกึ่งในร่มและกลางแจ้งได้รับสารผ่านทางเดินอาหารเป็นเส้นทางหลัก และความเสี่ยงที่ก่อให้เกิดอันตรายอื่นนอกจากมะเร็งพบว่าความเสี่ยงรวมสำหรับบุคคลทุกกลุ่มจากทั้ง 3 สระมีค่าอยู่ในช่วง 0.59-0.69 ซึ่งถือเป็นความเสี่ยงที่สามารถยอมรับได้ตามคำแนะนำของ US-EPA โดยบุคคลทุกกลุ่มมีความเสี่ยงจากการได้รับคลอโรฟอร์มผ่านทางเดินอาหารเป็นเส้นทางหลัก

ผลการประเมินทำให้สามารถนำมาดำเนินการลดความเสี่ยงได้โดยปรับปรุงการระบายอากาศภายในสระว่ายน้ำในร่มเพื่อลดความเข้มข้นของ THMs ในอากาศ ลดสารอินทรีย์จากร่างกายผู้ใช้บริการที่ลงสู่สระว่ายน้ำ สำหรับน้ำประปาควรทำการบำบัดก่อนการบริโภค เพื่อลดปริมาณสาร THMs ที่จะเข้าสู่ร่างกายผ่านทางเดินอาหาร

ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร ปีการศึกษา 2552
ลายมือชื่อนักศึกษา.....
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์.....

51311302 : MAJOR : ENVIRONMENTAL SCIENCE
KEY WORDS : DRINKING WATER / SWIMMING POOL / CHLORINATION / TRIHALOMATHANES / RISK ASSESSMENT
CHANYA BRIWICHAYAWISUT : RISK ASSESSMENT OF TRIHALOMETHANES EXPOSURE FROM CHLORINATED SWIMMING POOLS. THESIS ADVISOR : ASSOC.PROF.MALLIKA PANYAKAPO, Ph.D. 144 pp.

Trihalomethanes (THMs) are the most harmful chlorination by-products which cause cancer. The objectives of this research were to analyze the THM concentrations in tap water, swimming pool water and air and to assess lifetime cancer and non cancer risks from THMs exposure by using US-EPA (1989) method for 6 different exposure groups: adult swimmer, adult non swimmer, child swimmer, child non swimmer, swimming teacher and swimming pool staff. Water and air samples were collected from indoor, semi–indoor and outdoor swimming pools located in Bangkok during May 2007 to February 2008 and then analyzed concentrations of chloroform, bromodichloromethane, dibromochloromethane and bromoform.

For all swimming pools, total cancer risks of each group caused by 4 types of THMs were in the range of 8.32E-04 to 8.37 E-03, classified as unacceptable range as recommended by the US-EPA. The highest cancer risk came from inhalation exposure at indoor swimming pool which was found in the swimming pool staffs via their inhalation intakes. While the main routes for semi-indoor swimming pool and outdoor swimming pool was ingestion intake which was found in all groups. Total non cancer risk from THMs for every group in 3 types of swimming pools was ranged from 0.59 to 0.69, which was an acceptable risk according to US-EPA. It was also found that chloroform intake via ingestion was the main route for all groups.

Risk management could be done by these following suggestions: air ventilation of indoor swimming pool should be improved to reduce inhalation intake, organic matter from swimmer’s body and skin should be minimized and consumption of water should be treated prior in order to reduce ingestion intake.

Department of Environmental Science Graduate School, Silpakorn University Academic Year 2009
Student's signature .....
Thesis Advisor's signature .....

กิตติกรรมประกาศ

ในการทำงานวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยขอขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร.มัลลิกา ปัญญาคะโป อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่ได้ให้ความเมตตา กรุณา และให้ความช่วยเหลือต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็นคำแนะนำในการทำการทดลอง เป็นที่ปรึกษาและคอยช่วยเหลือในการเขียนรูปเล่มเพื่อแก้ไขงานวิจัยนี้ให้สำเร็จลุล่วงได้ นอกจากนี้ในการเขียนวิทยานิพนธ์ยังได้รับคำแนะนำจากผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รัฐพล อ้นแจ่ง และรองศาสตราจารย์ ดร.ศริศักดิ์ สุนทรไชย ทางผู้วิจัยขอขอบพระคุณมาไว้ ณ ที่นี้ด้วย

ขอขอบพระคุณสระว่ายน้ำศูนย์กีฬาสโมสรทหารบก สระว่ายน้ำมหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา และสระว่ายน้ำโรงเรียนเซนต์คาเบรียล กรุงเทพมหานคร ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ในการดำเนินการทดลอง และขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ของสระว่ายน้ำทุกแห่งที่ให้ความช่วยเหลืออนุเคราะห์ในด้านต่าง ๆ เป็นอย่างดี

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อมทุกท่าน คุณผ่องศรี เผ่าภูรี คุณนที ส่งบุญ และเจ้าหน้าที่ของภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อมทุกท่านที่ให้คำแนะนำต่าง ๆ และความช่วยเหลือการทำงานวิจัยในครั้งนี้ด้วย

ขอกราบขอบพระคุณคุณพ่อวิชัย คุณแม่เครือวัล บริวิชยาวิสุทธิ์ ที่คอยเป็นกำลังใจสนับสนุนและเป็นแรงผลักดันเสมอมา ขอขอบคุณเพื่อน ๆ พี่ ๆ น้อง ๆ ทุก ๆ คน ที่คอยช่วยเหลือจึงทำให้งานวิจัยนี้ประสบความสำเร็จได้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญตาราง ..... ฎ

สารบัญภาพ ..... ฒ

บทที่

1 บทนำ 1

ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย 1

ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของงานวิจัย 2

สมมติฐานของงานวิจัย 2

ขอบเขตของงานวิจัย 2

ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย 4

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 4

2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 5

การฆ่าเชื้อโรคด้วยคลอรีน 5

ปฏิกิริยาของคลอรีนในน้ำ 5

ปัจจัยที่มีผลในการฆ่าเชื้อโรคด้วยคลอรีนในน้ำ 6

สารตกค้างจากการฆ่าเชื้อโรคด้วยคลอรีน 8

สารไตรฮาโลมีเทน (Trihalomethanes, THMs) 10

การเกิดสาร THMs 10

ปัจจัยที่มีผลในการเกิดสาร THMs 11

ความเป็นอันตรายของสาร THMs ที่ก่อให้เกิดมะเร็ง 13

ความเป็นอันตรายของสาร THMs ที่ก่อให้เกิดอันตรายอื่นนอกจาก มะเร็ง 17

มาตรฐานคุณภาพน้ำที่เกี่ยวข้องกับสาร THMs 20

สาร THMs จากการฆ่าเชื้อโรคด้วยคลอรีน 21

สระว่ายน้ำ 26

บทที่ หน้า

รูปแบบของสระว่ายน้ำ 26
การบำรุงและดูแลรักษาสระว่ายน้ำ 26
มาตรฐานคุณภาพน้ำสระว่ายน้ำ 26
การประเมินความเสี่ยง (Risk Assessment) 27
การประเมินสิ่งคุกคาม (Hazard Identification) 27
การประเมินการสัมผัส (Exposure Assessment) 28
การประเมินความเป็นพิษ (Toxicity Assessment) 33
การอธิบายลักษณะของความเสี่ยง (Risk Characterization) 34
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 35
3 วิธีดำเนินงานวิจัย 39
ความถี่ในการเก็บตัวอย่าง 40
สถานที่เก็บตัวอย่าง 40
สระว่ายน้ำศูนย์กีฬาสโมสรทหารบก 40
สระว่ายน้ำมหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา 41
สระว่ายน้ำโรงเรียนเซนต์คาเบรียล 42
การเก็บตัวอย่างและการวิเคราะห์น้ำ 43
การเก็บตัวอย่างน้ำสระว่ายน้ำ 43
การเก็บตัวอย่างน้ำประปา 44
วิธีการเก็บรักษาตัวอย่างน้ำเพื่อการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่าง ๆ 44
สถานที่วิเคราะห์ตัวอย่างน้ำ 46
วิธีวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำ 46
ตัวอย่างอากาศ 47
การเก็บตัวอย่างอากาศ 47
การเก็บรักษาหลอดเก็บตัวอย่าง 49
สถานที่วิเคราะห์ตัวอย่างอากาศ 49
วิธีวิเคราะห์ตัวอย่างอากาศ 49
การทำแบบสอบถาม 50

บทที่ หน้า

วิธีการประเมินความเสี่ยง 50
การประเมินสิ่งคุกคาม (Hazard Identification) 51
การประเมินการสัมผัส (Exposure Assessment) 51
การประเมินความเป็นพิษ (Toxicity Assessment) 54
การประเมินลักษณะความเสี่ยง (Risk Characterization)..... 54
4 ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย..... 55
ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำและอากาศ..... 55
สมบัติต่าง ๆ และความเข้มข้นของสาร THMs ในน้ำประปา..... 55
สมบัติต่าง ๆ และความเข้มข้นของสาร THMs ในน้ำสระว่ายน้ำ..... 56
ความเข้มข้นของสาร THMs ในอากาศบริเวณสระว่ายน้ำ 59
ผลการประเมินความเสี่ยงในการเกิดมะเร็ง (Cancer risk) 61
ความเสี่ยงในการเกิดมะเร็งของสระว่ายน้ำในร่ม..... 64
ความเสี่ยงในการเกิดมะเร็งของสระว่ายน้ำกึ่งในร่ม 73
ความเสี่ยงในการเกิดมะเร็งของสระว่ายน้ำกลางแจ้ง..... 80
การเปรียบเทียบความเสี่ยงในการเกิดมะเร็ง..... 87
ผลการประเมินความเสี่ยงจากความเป็นอันตรายอื่นนอกจากมะเร็ง
(Non-Cancer Risk) 94
ความเสี่ยงในการเกิดอันตรายอื่นนอกจากมะเร็งของสระว่ายน้ำในร่ม
สระว่ายน้ำกึ่งในร่ม และสระว่ายน้ำกลางแจ้ง..... 97
การเปรียบเทียบความเสี่ยงในการเกิดอันตรายอื่นนอกจากมะเร็ง..... 106
การเปรียบเทียบการประเมินความเสี่ยงการเกิดมะเร็ง (Cancer Risk) และความ
เสี่ยงจากความเป็นอันตรายอื่นนอกจากมะเร็ง (Non-Cancer Risk) 108
ความเสี่ยงสัมพัทธ์ (Relative Risk) 110
การเปรียบเทียบความเสี่ยงสัมพัทธ์ในการเกิดมะเร็ง
(Relative Cancer Risk) 110
การเปรียบเทียบความเสี่ยงสัมพัทธ์ในการเกิดอันตรายอื่นนอกจากมะเร็ง
(Relative Non-Cancer Risk)..... 111
การจัดการความเสี่ยง..... 113

บทที่ หน้า

5 สรุปผลการศึกษา..... 115
ผลความเข้มข้นของของสาร THMs ในน้ำประปา น้ำสระว่ายน้ำ และอากาศ..... 115
ผลการประเมินความเสี่ยงในการเกิดมะเร็ง (Cancer risk) 115
ผลการประเมินความเสี่ยงในการเกิดอันตรายอื่นนอกจากมะเร็ง(Non-Cancer Risk) 116
ผลการประเมินความเสี่ยงในการเกิดมะเร็งและความเสี่ยงของการเป็นอันตรายอื่นนอกจากมะเร็งของบุคคลกลุ่มต่าง ๆ..... 116
แนวทางการจัดการความเสี่ยง..... 117

บรรณานุกรม..... 118

ภาคผนวก 123
ภาคผนวก ก แบบสอบถามบุคคลกลุ่มต่าง ๆ..... 124
ภาคผนวก ข ตัวอย่างการคำนวณความเสี่ยงในการเกิดมะเร็งและความเสี่ยงในการเกิดอันตรายอื่นนอกจากมะเร็ง (ยกตัวอย่างกรณีสระว่ายน้ำในร่ม 129

ประวัติผู้วิจัย..... 144

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ศักยภาพของการก่อมะเร็งของสารตกค้างจากการฆ่าเชื้อโรคบางชนิด	9
2	โครงสร้างทางเคมีของสารกลุ่ม THMs	10
3	ความเข้มข้นสูงสุดของสารประกอบ chlorine by-products ในน้ำประปา ซึ่งกำหนดในมาตรฐานของหน่วยงานต่าง ๆ	20
4	ความเข้มข้นของสารประกอบ Chlorine by - products ในน้ำประปา	22
5	ความเข้มข้นของสาร THMs ในน้ำสระว่ายน้ำ	23
6	ความเข้มข้นของสาร THMs ในอากาศเหนือบริเวณสระว่ายน้ำ	24
7	มาตรฐานคุณภาพน้ำสระว่ายน้ำ	27
8	ค่าคงที่ของ Henry's law	30
9	สูตรการคำนวณการได้รับสารเข้าสู่ร่างกายโดยผ่านเส้นทางต่าง ๆ	31
10	ค่าคงที่สำหรับประเมินความเสี่ยง	32
11	ค่า Slope Factor ของสาร THMs ทั้ง 4 ชนิด ตามเส้นทางต่าง ๆ ของการได้รับสารเข้าสู่ร่างกาย	33
12	ค่า Reference Concentration ของสาร THMs ทั้ง 4 ชนิด ตามเส้นทางต่าง ๆ ของการได้รับสารเข้าสู่ร่างกาย	33
13	วิธีการเก็บรักษาตัวอย่างน้ำ	45
14	บุคคลกลุ่มต่าง ๆ และเส้นทางการสัมผัสในการประเมินความเสี่ยง	52
15	ค่าคงที่สำหรับการประเมินความเสี่ยง	53
16	ความเข้มข้นของสาร THMs และพารามิเตอร์อื่น ๆ ในน้ำประปา	56
17	ความเข้มข้นของสาร THMs และพารามิเตอร์ต่าง ๆ ในน้ำสระว่ายน้ำในร่ม สระว่ายน้ำกึ่งในร่ม และสระว่ายน้ำกลางแจ้ง	58
18	ความเข้มข้นของสาร THMs ในอากาศบริเวณสระว่ายน้ำในร่ม สระว่ายน้ำกึ่งในร่ม และสระว่ายน้ำกลางแจ้ง	60
19	ตัวอย่างการคำนวณความเสี่ยงในการเกิดมะเร็งของสารที่ได้รับผ่านทางเดินอาหารจากการดื่มน้ำในชีวิตประจำวันของผู้ใหญ่ว่ายน้ำ	62

ตารางที่		หน้า
20	ตัวอย่างการคำนวณความเสี่ยงในการเกิดมะเร็งของสารที่ได้รับผ่านทางเดินอาหารระหว่างว่ายน้ำของผู้ใหญ่ว่ายน้ำ	63
21	ความเสี่ยงในการเกิดมะเร็งจากน้ำประปาและสระว่ายน้ำในร่มตามแต่ละเส้นทางของบุคคล 6 กลุ่ม	67
22	ความเสี่ยงในการเกิดมะเร็งจากน้ำประปาและสระว่ายน้ำในร่มของสาร THMs ทั้ง 4 ชนิด	67
23	ความเสี่ยงในการเกิดมะเร็งจากน้ำประปาและสระว่ายน้ำกึ่งในร่มตามแต่ละเส้นทางของบุคคล 6 กลุ่ม	76
24	ความเสี่ยงในการเกิดมะเร็งจากน้ำประปาและสระว่ายน้ำกึ่งในร่มของสาร THMs ทั้ง 4 ชนิด	76
25	ความเสี่ยงในการเกิดมะเร็งจากน้ำประปาและสระว่ายน้ำกลางแจ้งตามแต่ละเส้นทางของบุคคล 6 กลุ่ม	83
26	ความเสี่ยงในการเกิดมะเร็งจากน้ำประปาและสระว่ายน้ำกลางแจ้งของสาร THMs ทั้ง 4 ชนิด	83
27	การเปรียบเทียบความเสี่ยงในการเกิดมะเร็งกับงานวิจัยอื่น ๆ	93
28	ตัวอย่างการคำนวณความเสี่ยงในการเกิดอันตรายอื่นนอกจากมะเร็งของสารที่ได้รับผ่านทางเดินอาหารจากการดื่มน้ำในชีวิตประจำวันของผู้ใหญ่ว่ายน้ำ	95
29	ตัวอย่างการคำนวณความเสี่ยงในการเกิดอันตรายอื่นนอกจากมะเร็งของสารที่ได้รับผ่านทางเดินอาหารระหว่างว่ายน้ำของผู้ใหญ่ว่ายน้ำ	96
30	ความเสี่ยงในการเกิดอันตรายอื่นนอกจากมะเร็งจากน้ำประปาและสระว่ายน้ำในร่มตามแต่ละเส้นทางของบุคคล 6 กลุ่ม	100
31	ความเสี่ยงในการเกิดอันตรายอื่นนอกจากมะเร็งจากน้ำประปาและสระว่ายน้ำในร่มของสาร THMs ทั้ง 4 ชนิด	100
32	ความเสี่ยงในการเกิดอันตรายอื่นนอกจากมะเร็งจากน้ำประปาและสระว่ายน้ำสระว่ายน้ำกึ่งในร่มตามแต่ละเส้นทางของบุคคล 6 กลุ่ม	101
33	ความเสี่ยงในการเกิดมะเร็งจากน้ำประปาและสระว่ายน้ำกึ่งในร่มของสาร THMs ทั้ง 4 ชนิด	101

ตารางที่ หน้า

34 ความเสี่ยงในการเกิดอันตรายอื่นนอกจากมะเร็งจากน้ำประปาและสระว่ายน้ำกลางแจ้งตามแต่ละเส้นทางของบุคคล 6 กลุ่ม 102

35 ความเสี่ยงในการเกิดอันตรายอื่นนอกจากมะเร็งจากน้ำประปาและสระว่ายน้ำกลางแจ้งของสาร THMs ทั้ง 4 ชนิด 102

36 การเปรียบเทียบความเสี่ยงในการเกิดอันตรายอื่นนอกจากมะเร็งกับงานวิจัยอื่น ๆ 106

37 ความเสี่ยงสัมพัทธ์ในการเกิดมะเร็งของบุคคลกลุ่มต่าง ๆ จากสระว่ายน้ำทั้ง 3 สระ 110

38 ความเสี่ยงสัมพัทธ์ในการเกิดอันตรายอื่นนอกจากมะเร็งของบุคคลกลุ่มต่าง ๆ จากสระว่ายน้ำทั้ง 3 สระ 112

39 ตัวอย่างการคำนวณความเสี่ยงในการเกิดมะเร็งของสารที่ได้รับผ่านทางเดินอาหารจากการดื่มน้ำในชีวิตประจำวันของผู้ใหญ่ ครูสอนว่ายน้ำ และครูสอนว่ายน้ำ และเจ้าหน้าที่ดูแลสระว่ายน้ำ 130

40 ตัวอย่างการคำนวณความเสี่ยงในการเกิดมะเร็งของสารที่ได้รับผ่านทางเดินอาหารจากการดื่มน้ำในชีวิตประจำวันของเด็ก 131

41 ตัวอย่างการคำนวณความเสี่ยงในการเกิดมะเร็งของสารที่ได้รับจากการซึมผ่านทางผิวหนังจากน้ำประปาของผู้ใหญ่ ครูสอนว่ายน้ำ และเจ้าหน้าที่ดูแลสระว่ายน้ำ 132

42 ตัวอย่างการคำนวณความเสี่ยงในการเกิดมะเร็งของสารที่ได้รับจากการซึมผ่านทางผิวหนังจากน้ำประปาของเด็ก 133

43 ตัวอย่างการคำนวณความเสี่ยงในการเกิดมะเร็งของสารที่ได้รับผ่านทางเดินอาหารระหว่างว่ายน้ำของผู้ใหญ่จากสระว่ายน้ำในร่ม 134

44 ตัวอย่างการคำนวณความเสี่ยงในการเกิดมะเร็งของสารที่ได้รับผ่านทางเดินอาหารระหว่างว่ายน้ำของเด็กจากสระว่ายน้ำในร่ม 135

45 ตัวอย่างการคำนวณความเสี่ยงในการเกิดมะเร็งของสารที่ได้รับจากการซึมผ่านทางผิวหนังของผู้ใหญ่จากสระว่ายน้ำในร่ม 136

46 ตัวอย่างการคำนวณความเสี่ยงในการเกิดมะเร็งของสารที่ได้รับจากการซึมผ่านทางผิวหนังของเด็กจากสระว่ายน้ำในร่ม 137

ตารางที่ หน้า

47 ตัวอย่างการคำนวณความเสี่ยงในการเกิดมะเร็งของสารที่ได้รับจากการซึมผ่านทางผิวหนังของครูสอนว่ายน้ำจากสระว่ายน้ำในร่ม..... 138

48 ตัวอย่างการคำนวณความเสี่ยงในการเกิดมะเร็งของสารที่ได้รับทางการหายใจของผู้ใหญ่จากสระว่ายน้ำในร่ม..... 139

49 ตัวอย่างการคำนวณความเสี่ยงในการเกิดมะเร็งของสารที่ได้รับทางการหายใจของเด็กจากสระว่ายน้ำในร่ม 140

50 ตัวอย่างการคำนวณความเสี่ยงในการเกิดมะเร็งของสารที่ได้รับทางการหายใจของครูสอนว่ายน้ำจากสระว่ายน้ำในร่ม 141

51 ตัวอย่างการคำนวณความเสี่ยงในการเกิดมะเร็งของสารที่ได้รับทางการหายใจของครูสอนว่ายน้ำจากสระว่ายน้ำในร่ม..... 142

52 ตัวอย่างการคำนวณความเสี่ยงในการเกิดมะเร็งของสารที่ได้รับทางการหายใจของครูสอนว่ายน้ำจากสระว่ายน้ำในร่ม..... 143

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	การกระจาย HOCl และ OCl^- ในน้ำที่พีเอชต่าง ๆ	6
2	ความสำคัญของพีเอชและเวลาสัมผัสในการฆ่าเชื้อโรคของคลอรีนรูปต่าง ๆ	7
3	ตัวอย่างโครงสร้างกรดฮิวมิกและกรดฟัลวิก	11
4	อุณหภูมิและระยะเวลาสัมผัสที่ส่งผลต่อการเกิดสาร THMs	13
5	เส้นทางการสัมผัส	29
6	แผนผังการดำเนินงานวิจัย	39
7	สระว่ายน้ำศูนย์กีฬาสโมสรทหารบก	41
8	สระว่ายน้ำมหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา	42
9	สระว่ายน้ำโรงเรียนเซนต์คาเบรียล	43
10	จุดเก็บตัวอย่างน้ำ	44
11	จุดเก็บตัวอย่างอากาศ	48
12	เครื่องเก็บตัวอย่างอากาศ	48
13	ทิศทางการดูดอากาศเข้า Charcoal Tube	49
14	(ก) ความเสี่ยงรวมในการเกิดมะเร็งจากน้ำประปาและสระว่ายน้ำในร่มตามแต่ละเส้นทางของบุคคล 6 กลุ่ม	68
	(ข) ความเสี่ยงรวมในการเกิดมะเร็งจากน้ำประปาและสระว่ายน้ำในร่มตามแต่ละเส้นทางของบุคคล 5 กลุ่ม (ยกเว้นเจ้าหน้าที่ดูแลสระว่ายน้ำ)	68
15	ร้อยละความเสี่ยงในการเกิดมะเร็งจากน้ำประปาและสระว่ายน้ำในร่มตามแต่ละเส้นทาง	69
16	ความเสี่ยงรวมในการเกิดมะเร็งจากน้ำประปาและสระว่ายน้ำในร่ม	70
17	ร้อยละความเสี่ยงในการเกิดมะเร็งจากน้ำประปาและสระว่ายน้ำในร่ม	70
18	(ก) ความเสี่ยงรวมในการเกิดมะเร็งจากน้ำประปาและสระว่ายน้ำในร่มของสาร THMs ทั้ง 4 ชนิดของบุคคล 6 กลุ่ม	71
	(ข) ความเสี่ยงรวมในการเกิดมะเร็งจากน้ำประปาและสระว่ายน้ำในร่มของสาร THMs ทั้ง 4 ชนิดของบุคคล 5 กลุ่ม (ยกเว้นเจ้าหน้าที่ดูแลสระว่ายน้ำ)	71

ภาพที่ หน้า

19 ร้อยละความเสี่ยงในการเกิดมะเร็งจากน้ำประปาและสระว่ายน้ำในร่มของสาร THMs ทั้ง 4 ชนิด 72
20 ความเสี่ยงรวมในการเกิดมะเร็งจากน้ำประปาและสระว่ายน้ำกึ่งในร่มตามแต่ละเส้นทางของบุคคลทุกกลุ่ม 77
21 ร้อยละความเสี่ยงในการเกิดมะเร็งจากน้ำประปาและสระว่ายน้ำกึ่งในร่มตามแต่ละเส้นทาง 77
22 ความเสี่ยงรวมในการเกิดมะเร็งจากน้ำประปาและสระว่ายน้ำกึ่งในร่มของบุคคล 6 กลุ่ม 78
23 ร้อยละความเสี่ยงในการเกิดมะเร็งจากน้ำประปาและสระว่ายน้ำกึ่งในร่ม..... 78
24 ความเสี่ยงรวมในการเกิดมะเร็งจากน้ำประปาและสระว่ายน้ำกึ่งในร่มของสาร THMs ทั้ง 4 ชนิดของบุคคล 6 กลุ่ม 79
25 ร้อยละความเสี่ยงในการเกิดมะเร็งจากน้ำประปาและสระว่ายน้ำกึ่งในร่มของสาร THMs ทั้ง 4 ชนิด 79
26 ความเสี่ยงรวมในการเกิดมะเร็งจากน้ำประปาและสระว่ายน้ำกลางแจ้งตามแต่ละเส้นทางของบุคคล 6 กลุ่ม 84
27 ร้อยละความเสี่ยงในการเกิดมะเร็งจากน้ำประปาและสระว่ายน้ำกลางแจ้งตามแต่ละเส้นทาง 84
28 ความเสี่ยงในการเกิดมะเร็งจากน้ำประปาและสระว่ายน้ำกลางแจ้งของบุคคลทั้ง 6 กลุ่ม..... 85
29 ร้อยละความเสี่ยงในการเกิดมะเร็งจากน้ำประปาและสระว่ายน้ำกลางแจ้ง..... 85
30 ความเสี่ยงรวมในการเกิดมะเร็งจากน้ำประปาและสระว่ายน้ำกลางแจ้งของสาร THMs ทั้ง 4 ชนิดของบุคคล 6 กลุ่ม..... 86
31 ร้อยละความเสี่ยงในการเกิดมะเร็งจากน้ำประปาและสระว่ายน้ำกลางแจ้งของสาร THMs ทั้ง 4 ชนิด 86
32 การเปรียบเทียบความเสี่ยงในการเกิดมะเร็งของบุคคลกลุ่มต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับสระว่ายน้ำทั้ง 3 สระตามแต่ละเส้นทาง..... 88
33 การเปรียบเทียบความเสี่ยงในการเกิดมะเร็งของบุคคลกลุ่มต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับสระว่ายน้ำทั้ง 3 สระตามแต่ละสาร (ยกเว้นเจ้าหน้าที่ดูแลสระว่ายน้ำ) 88

ภาพที่ หน้า

34 การเปรียบเทียบความเสี่ยงในการเกิดมะเร็งของบุคคลกลุ่มต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับสระว่ายน้ำทั้ง 3 สระ จากการได้รับสาร THMs ทั้ง 4 ชนิด..... 89

35 การเปรียบเทียบความเสี่ยงในการเกิดมะเร็งของบุคคลกลุ่มต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับสระว่ายน้ำทั้ง 3 สระจากการได้รับสาร THMs ทั้ง 4 ชนิด (ยกเว้นเจ้าหน้าที่ดูแลสระว่ายน้ำ)..... 89

36 การเปรียบเทียบความเสี่ยงในการเกิดมะเร็งกรณีประเมินโดยใช้ความเข้มข้นสูงสุดและความเข้มข้นเฉลี่ยของบุคคลกลุ่มต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับสระว่ายน้ำทั้ง 3 สระ..... 91

37 การเปรียบเทียบความเสี่ยงในการเกิดมะเร็งกรณีประเมินโดยใช้ความเข้มข้นสูงสุดและความเข้มข้นเฉลี่ยของบุคคลกลุ่มต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับสระว่ายน้ำทั้ง 3 สระ (ยกเว้นเจ้าหน้าที่ดูแลสระว่ายน้ำ)..... 91

38 การเปรียบเทียบความเสี่ยงในการเกิดมะเร็งจากน้ำประปากับงานวิจัยอื่น ๆ..... 94

39 ความเสี่ยงรวมในการเกิดอันตรายอื่นนอกจากมะเร็งตามแต่ละเส้นทางจากสระว่ายน้ำ 3 สระของบุคคลทั้ง 6 กลุ่ม..... 103

40 ร้อยละความเสี่ยงในการเกิดอันตรายอื่นนอกจากมะเร็งตามแต่ละเส้นทางจากสระว่ายน้ำ 3 สระของบุคคลทั้ง 6 กลุ่ม..... 103

41 ความเสี่ยงรวมในการเกิดอันตรายอื่นนอกจากมะเร็งจากน้ำประปาและสระว่ายน้ำ 3 สระของบุคคลทั้ง 6 กลุ่ม 104

42 ร้อยละความเสี่ยงในการเกิดอันตรายอื่นนอกจากมะเร็งจากน้ำประปาและสระว่ายน้ำ 3 สระของบุคคลทั้ง 6 กลุ่ม..... 104

43 ความเสี่ยงรวมในการเกิดอันตรายอื่นนอกจากมะเร็งของสาร THMs ทั้ง 4 ชนิดจากสระว่ายน้ำ 3 สระของบุคคลทั้ง 6 กลุ่ม 105

44 ร้อยละความเสี่ยงในการเกิดอันตรายอื่นนอกจากมะเร็งของสาร THMs ทั้ง 4 ชนิดจากสระว่ายน้ำ 3 สระของบุคคลทั้ง 6 กลุ่ม..... 105

45 การเปรียบเทียบความเสี่ยงในการเกิดมะเร็งอันตรายอื่นนอกมะเร็งกับงานวิจัยอื่น ๆ..... 107

46 การเปรียบเทียบความเสี่ยงในการเกิดมะเร็งและความเป็นอันตรายอื่นนอกจากมะเร็งระหว่างสระว่ายน้ำทั้ง 3 สระ ของบุคคล 6 กลุ่ม กรณีประเมินโดยใช้ความเข้มข้นสูงสุด..... 109

ภาพที่ หน้า
47 ความเสี่ยงสัมพัทธ์ในการเกิดมะเร็งของบุคคลกลุ่มต่าง ๆ 111
48 ความเสี่ยงสัมพัทธ์ในการเกิดอันตรายอื่นนอกจากมะเร็งของบุคคลกลุ่มต่าง ๆ. 112

บทที่ 1
บทนำ

1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย

การว่ายน้ำจะเป็นกิจกรรมยามว่างอย่างหนึ่งที่คนทั่วไปนิยม เพราะนอกจากจะเป็นกีฬาแล้วยังถือเป็นการพักผ่อนด้วย แต่ทั้งนี้การว่ายน้ำก็มีโอกาสเสี่ยงต่อการเกิดโรคต่างๆตามมา แต่น้อยคนนักที่จะทราบว่าการว่ายน้ำสามารถก่อให้เกิดความเสี่ยงในการเกิดมะเร็ง (Cancer risk) และความเป็นอันตรายอื่นนอกจากมะเร็ง (Non-cancer risk) เช่น โรคหอบหืด เป็นต้น ซึ่งมาจากการได้รับสารตกค้างจากการเติมคลอรีน เช่น สารกลุ่มไตรฮาโลมีเทน (Trihalomethanes, THMs) สารกลุ่มกรดฮาโลอะซิติก (Haloacetic acids, HAAs) เป็นต้น โดยสารกลุ่มนี้สามารถพบได้ในน้ำที่มีการฆ่าเชื้อโรคโดยการเติมคลอรีน ตัวอย่างเช่น น้ำประปาและน้ำสระว่ายน้ำ

WHO (2000) รายงานว่าสารกลุ่มอินทรีย์ฮาโลเจนนี้มีความเป็นพิษมากและกลุ่มที่สามารถก่อให้เกิดมะเร็งสูงสุด คือ สารไตรฮาโลมีเทน ซึ่งประกอบด้วยสาร 4 ชนิด ได้แก่ คลอโรฟอร์ม โบรโมไดคลอโรมีเทน ไดโบรโมคลอโรมีเทน และโบรโมฟอร์ม

จากความเป็นอันตรายของสารทั้ง 4 ชนิดนี้ หน่วยงานต่างๆจึงมีการกำหนดความเข้มข้นสูงสุด (Maximum Contaminant level, MCLs) ของสารตกค้างในน้ำประปา ยกตัวอย่างเช่น องค์การอนามัยโลก (World Health Organization, WHO) และสหภาพยุโรป (European Union, EU) ได้กำหนดความเข้มข้นของสารไตรฮาโลมีเทนทั้งหมด (Total Trihalomethanes, TTHM) ไว้ไม่เกิน 100 μg/L (Nissinen et al. 2002) โดยทั้งนี้ค่าที่ได้จากน้ำประปาจากแหล่งต่างๆถึงแม้จะต่ำกว่าที่มาตรฐานกำหนดก็ไม่ได้หมายความว่าจะปลอดภัย เพราะนอกจากการได้รับสารไตรฮาโลมีเทนจากน้ำประปา และน้ำสระว่ายน้ำแล้ว ยังอาจได้รับจากไอระเหยของสารไตรฮาโลมีเทนที่บริเวณสระว่ายน้ำได้อีกเช่นกัน ดังนั้นจึงต้องทำการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพจากการได้รับสารไตรฮาโลมีเทนทั้งความเสี่ยงในการเกิดมะเร็งและความเสี่ยงในการเกิดอันตรายอื่นที่มิใช่มะเร็ง แล้วนำค่าความเสี่ยงไปเปรียบเทียบกับค่าที่ US-EPA กำหนดว่าอยู่ในช่วงที่สามารถยอมรับได้หรือไม่ หากเกินกว่าค่ามาตรฐานจะได้มีการป้องกันและแก้ไขต่อไป

งานวิจัยนี้จึงทำการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพจากการได้รับสารไตรฮาโลมีเทนจากสระว่ายน้ำลักษณะต่าง ๆ ได้แก่ สระว่ายน้ำในร่ม สระว่ายน้ำกึ่งในร่ม และสระว่ายน้ำกลางแจ้ง

สำหรับบุคคลทั้งที่เกี่ยวข้องและไม่เกี่ยวข้องกับสระว่ายน้ำที่มีการสัมผัสกับสารกลุ่มนี้ในลักษณะต่าง ๆ ได้แก่ ผู้ใหญ่ว่ายน้ำ ผู้ใหญ่ไม่ว่ายน้ำ เด็กว่ายน้ำ เด็กไม่ว่ายน้ำ ครูสอนว่ายน้ำ และเจ้าหน้าที่สระว่ายน้ำ เป็นต้น เพื่อนำไปเป็นแนวทางในการดำเนินการแก้ไขต่อไป

2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของงานวิจัย

2.1 เพื่อวิเคราะห์ความเข้มข้นของสาร THMs ในน้ำและอากาศบริเวณสระว่ายน้ำในร่ม สระว่ายน้ำกึ่งในร่ม และสระว่ายน้ำกลางแจ้ง

2.2 เพื่อประเมินความเสี่ยงในการเกิดมะเร็งและความเป็นอันตรายอื่นนอกจากมะเร็งของการได้รับสาร THMs จากสระว่ายน้ำในร่ม สระว่ายน้ำกึ่งในร่ม และสระว่ายน้ำกลางแจ้ง

2.3 เพื่อประเมินความเสี่ยงของการได้รับสาร THMs ของบุคคลกลุ่มที่เกี่ยวข้องและไม่เกี่ยวข้องกับสระว่ายน้ำที่มีการสัมผัสกับสารกลุ่มนี้ในลักษณะต่าง ๆ กัน

2.4 เพื่อประเมินความเสี่ยงของการได้รับสาร THMs จากเส้นทางต่าง ๆ ที่เข้าสู่ร่างกายมนุษย์

3 สมมติฐานของงานวิจัย

3.1 ความเข้มข้นของสาร THMs ในน้ำและอากาศบริเวณสระว่ายน้ำมีความแตกต่างกันในสระแต่ละลักษณะ

3.2 ลักษณะของสระว่ายน้ำมีความสัมพันธ์กับความเป็นอันตรายของการได้รับสาร THMs ทั้งที่ก่อให้เกิดมะเร็งและความเป็นอันตรายอื่นนอกจากมะเร็ง

3.3 ความเสี่ยงจากการได้รับสาร THMs ของบุคคลกลุ่มต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับสระว่ายน้ำมีความแตกต่างกัน

3.4 ความเสี่ยงจากการได้รับสาร THMs มีความแตกต่างกันในแต่ละเส้นทางที่เข้าสู่ร่างกายมนุษย์

4 ขอบเขตของงานวิจัย

4.1 การเก็บตัวอย่างน้ำสระว่ายน้ำและตัวอย่างอากาศจากสระว่ายน้ำ 3 สระที่มีลักษณะแตกต่างกัน ได้แก่ สระว่ายน้ำในร่ม สระว่ายน้ำกึ่งในร่ม และสระว่ายน้ำกลางแจ้ง ทั้งนี้สระว่ายน้ำทั้ง 3 แห่งมีการฆ่าเชื้อโรคในสระว่ายน้ำโดยการเติมคลอรีน และมีการใช้น้ำประปาจากแหล่งผลิตน้ำแห่งเดียวกันมาเป็นน้ำดิบในสระว่ายน้ำ

4.2 การเก็บตัวอย่างน้ำและตัวอย่างอากาศเป็นระยะเวลา 1 ปี จำนวน 3 ครั้งตามฤดูกาล โดยแบ่งฤดูกาลตามเกณฑ์ของกรมอุตุนิยมวิทยา (กรมอุตุนิยมวิทยา, 2537)

4.3 การเก็บตัวอย่างน้ำแต่ละสระว่ายน้ำทำแบบผสมรวม (Composite Sample) โดยเก็บตัวอย่างน้ำในช่วงเช้า กลางวัน และเย็น แล้วจึงนำตัวอย่างทั้งหมดมารวมกันเป็น 1 ตัวอย่าง สำหรับแต่ละจุดของฝั่งตื้น และฝั่งลึกของสระว่ายน้ำ

4.4 การเก็บตัวอย่างอากาศแต่ละสระว่ายน้ำทำการเก็บตัวอย่างแบบ Grab sampling โดยใช้อุปกรณ์แบบ Active sampling ทั้งนี้จะเก็บตามฤดูกาลเช่นเดียวกับการเก็บตัวอย่างน้ำ

4.5 การเก็บตัวอย่างน้ำและอากาศบริเวณที่มนุษย์สัมผัสน้ำและอากาศเพื่อรับสาร THMs ได้จึงเก็บตัวอย่างดังนี้ ตัวอย่างน้ำเก็บทั้งฝั่งตื้นและฝั่งลึกของสระว่ายน้ำ ที่ระดับความลึก 20 เซนติเมตรจากระดับผิวน้ำ เนื่องจากเป็นระดับความลึกที่ร่างกายสามารถสัมผัสน้ำได้ทุกส่วน สำหรับตัวอย่างอากาศเก็บบริเวณริมสระว่ายน้ำที่ระดับผิวน้ำ และที่ระดับความสูง 150 เซนติเมตร เนื่องจากเป็นระดับความสูงเฉลี่ยของคนทั่วไปที่ใช้ในการหายใจ

4.6 พารามิเตอร์ที่ทำการวิเคราะห์สมบัติของน้ำ ได้แก่ ความเป็นกรดด่าง (pH) อุณหภูมิ ความขุ่น ปริมาณคลอรีนตกค้าง สารอินทรีย์คาร์บอนละลายน้ำ (Dissolved Organic Carbon, DOC) ค่า UV-254 โบรไมด์อิออน (Bromideion, Br^-) สารไตรฮาโลมีเทน (Trihalomethanes, THMs) 4 ชนิด ได้แก่ คลอโรฟอร์ม (Chloroform, $CHCl_3$) โบรโมไดคลอโรมีเทน (Bromodichloromethane, $CHCl_2Br$) ไดโบรโมคลอโรมีเทน (Dibromochloromethane, $CHClBr_2$) และโบรโมฟอร์ม (Bromoform, $CHBr_3$)

4.7 พารามิเตอร์ที่ทำการวิเคราะห์ตัวอย่างอากาศ คือ สาร THMs 4 ชนิด ได้แก่ คลอโรฟอร์ม โบรโมไดคลอโรมีเทน ไดโบรโมคลอโรมีเทน และโบรโมฟอร์ม

4.8 การเก็บข้อมูลพื้นฐานของแต่ละสระ เพื่อให้ทราบพารามิเตอร์ต่าง ๆ ดังนี้ ความถี่ของการว่ายน้ำ ระยะเวลาการว่ายน้ำ ระยะเวลาการอาบน้ำ ระยะเวลาการทำงานในบริเวณสระว่ายน้ำเพื่อนำมาเป็นข้อมูลในการประเมินความเสี่ยง

4.9 ประเมินความเสี่ยงในการเกิดมะเร็ง (Cancer risk) และความเสี่ยงในการเกิดอันตรายอื่นนอกจากมะเร็ง (Non-carcinogenic risk) ด้วยวิธีการของ US-EPA ปี 1989 โดยทำการประเมินความเสี่ยงจากเส้นทางการได้รับสารเข้าสู่ร่างกาย 3 ทาง ได้แก่ การผ่านทางเดินอาหาร ทางการหายใจ และการซึมผ่านทางผิวหนัง

4.10 ประเมินความเสี่ยงสำหรับคน 6 กลุ่ม ได้แก่

กลุ่มที่ 1 กลุ่มผู้ใหญ่ว่ายน้ำ

กลุ่มที่ 2 กลุ่มผู้ใหญ่ไม่ว่ายน้ำ (รับสาร THMs จากน้ำประปาเท่านั้น)

กลุ่มที่ 3 กลุ่มเด็กว่ายน้ำ

กลุ่มที่ 4 กลุ่มเด็กไม่ว่ายน้ำ (รับสาร THMs จากน้ำประปาเท่านั้น)

กลุ่มที่ 5 ครูสอนว่ายน้ำ

กลุ่มที่ 6 เจ้าหน้าที่ดูแลสระว่ายน้ำ

5 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

5.1 ค้นหาและเก็บรวบรวมข้อมูลจากเอกสารที่เกี่ยวข้อง

5.2 วางแผนการเก็บตัวอย่างและเตรียมวัสดุอุปกรณ์ สารเคมี

5.3 เก็บตัวอย่างน้ำประปา น้ำสระว่ายน้ำ และตัวอย่างอากาศจากสระว่ายน้ำในร่ม สระว่ายน้ำกึ่งในร่ม และสระว่ายน้ำกลางแจ้ง

5.4 เก็บตัวอย่างแบบสอบถาม

5.5 นำตัวอย่างที่เก็บมาทำการวิเคราะห์สมบัติของน้ำ และวิเคราะห์ความเข้มข้นของสาร THMs ในน้ำประปา น้ำสระว่ายน้ำ และอากาศ

5.6 นำข้อมูลจากผลการวิเคราะห์ความเข้มข้นที่ได้มาประเมินความเสี่ยงในการเกิดมะเร็งและความเป็นอันตรายอื่นนอกจากมะเร็ง

5.7 รวบรวมข้อมูล สรุป และวิเคราะห์ผลการทดลอง

6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

6.1 สามารถนำผลที่ได้จากการพิสูจน์สมมติฐานมาปรับปรุงลักษณะสระว่ายน้ำเพื่อให้มีความปลอดภัยจากสระว่ายน้ำแต่ละประเภท

6.2 บุคคลทุกกลุ่มสามารถหลีกเลี่ยงและจัดการความเสี่ยงที่ได้รับสาร THMs ทั้งจากน้ำประปาและสระว่ายน้ำได้

บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1 การฆ่าเชื้อโรคด้วยคลอรีน (Chlorination)

การฆ่าเชื้อโรคด้วยการเติมคลอรีนหรือเรียกว่าคลอริเนชัน (Chlorination) เป็นวิธีการที่ได้รับความนิยมเป็นอย่างมาก เนื่องจากเป็นวิธีการที่มีราคาถูกและมีประสิทธิภาพสูงเมื่อเทียบกับวิธีอื่น ๆ สารที่ใช้ในการฆ่าเชื้อโรค ได้แก่ แคลเซียมไฮโปคลอไรต์ ($Ca(OCl)_2$) โซเดียมไฮโปคลอไรต์ (NaOCl) คลอรีนไดออกไซด์ (ClO_2) และคลอริเนทเต็ท ไอโซไซยานูเรท (Chlorinated isocyanurates) (เวิล์ด เคมีคอล กรุ๊ป, 2549)

1.1 ปฏิกิริยาของคลอรีนในน้ำ

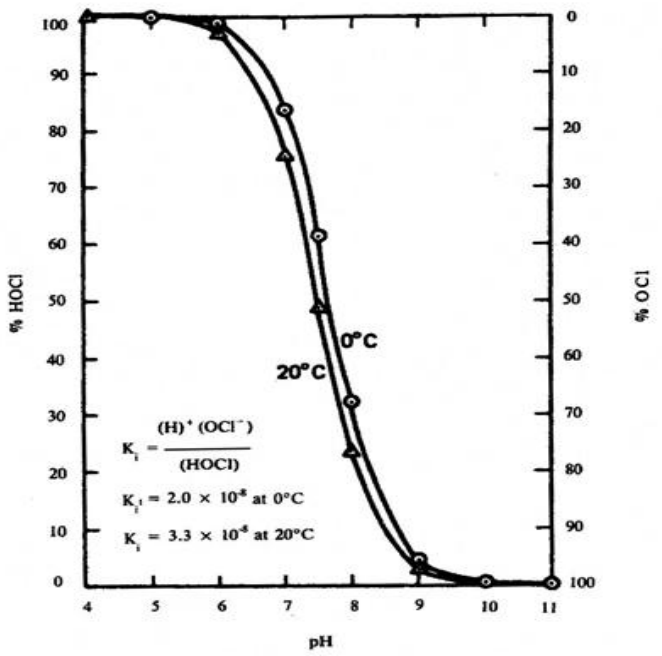
เมื่อเติมก๊าซคลอรีนลงไปในน้ำ จะมีปฏิกิริยาไฮโดรไลซีสเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว ดังสมการที่ (1) ดังนี้

$$Cl_2 + H_2O \leftrightarrow H^+ + Cl^- + HOCl \qquad (1)$$

กรดเกลือ (HCl) สามารถแตกตัวได้อย่างสมบูรณ์กลายเป็น H^+ และ Cl^- แต่กรดไฮโปรคลอรัส (HOCl) เป็นกรดอ่อนจึงแตกตัวได้เพียงบางส่วน ดังสมการที่ (2)

$$HOCl \leftrightarrow H^+ + OCl^- \qquad (2)$$

กรดอ่อนที่เกิดขึ้นมีผลทำให้ค่าพีเอชลดลง ดังแสดงในภาพที่ 1 จะเห็นได้ว่าถ้าพีเอชต่ำน้ำจะมี HOCl มาก ในทางตรงกันข้ามถ้าน้ำมีพีเอชสูงจะมี OCl^- มาก (มั่นสิน, 2539) ดังนั้นเพื่อให้การฆ่าเชื้อโรคมีประสิทธิภาพสูงจึงควรมีคลอรีนในรูปของ HOCl เหลืออยู่ในน้ำสำหรับการฆ่าเชื้อโรคทั้งแบคทีเรียและไวรัส คือให้มีปริมาณคลอรีนอิสระที่เหลืออยู่ในน้ำต้องไม่ต่ำกว่า 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยที่พีเอชของน้ำต้องไม่สูงกว่า 8 และความขุ่นไม่เกิน 1 NTU



ภาพที่ 1 การกระจาย HOCl และ OCl^- ในน้ำที่พีเอชต่าง ๆ
ที่มา : มั่นสิน (2539)

1.2 ปัจจัยที่มีผลในการฆ่าเชื้อโรคด้วยคลอรีนในน้ำ

1.2.1 รูปแบบของคลอรีน

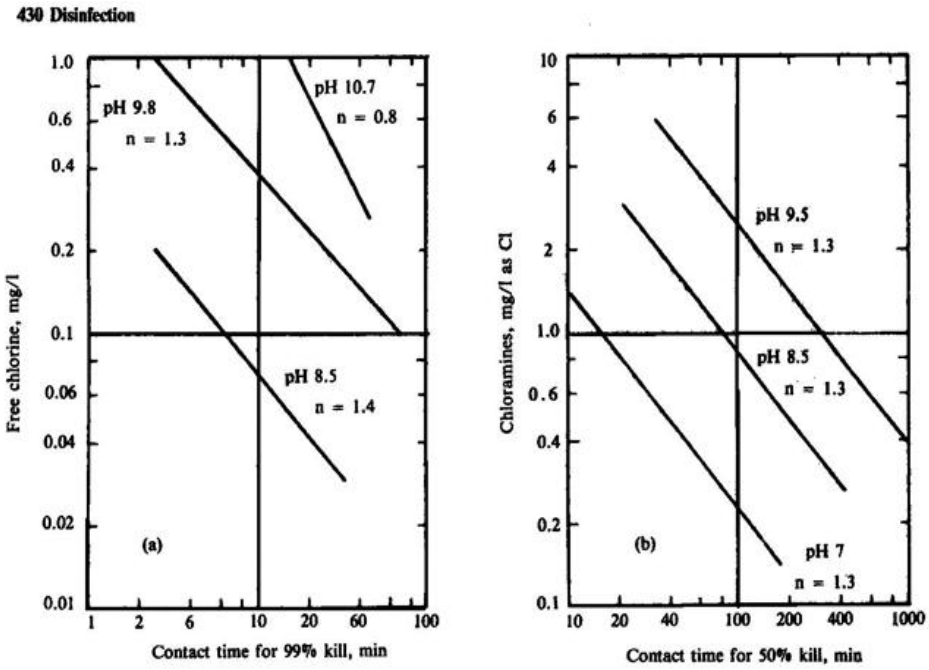
คลอรีนที่มีประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อโรคได้มี 2 รูปแบบ ได้แก่ คลอรีนอิสระ (Free chlorine) และคลอรีนรวม (Combined chlorine) ซึ่งคลอรีนอิสระมีประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อโรคได้ดีกว่าคลอรีนรวมประมาณ 40-80 เท่า

1.2.2 ความเข้มข้นของคลอรีน

ความเข้มข้นของคลอรีนสามารถวัดได้จากปริมาณของคลอรีนที่ตกค้างอยู่ในน้ำ (Chlorine residual) โดยเมื่อเติมคลอรีนให้มากเกินพอ หลังจากทำปฏิกิริยากับสารต่างๆแล้ว ก็จะมีคลอรีนอิสระหรือคลอรีนรวมเหลือตกค้างอยู่ในน้ำที่สามารถใช้ฆ่าเชื้อโรคในน้ำได้ โดยคลอรีนตกค้างที่เหลือในน้ำประปาควรมีไม่น้อยกว่า 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร แต่ถ้าหากคลอรีนตกค้างสูงเกินไปก็จะทำให้เกิดกลิ่นได้

1.2.3 พีเอช

HOCl มีอำนาจในการฆ่าเชื้อได้ดีกว่า OCl^- เป็นอย่างมาก ประกอบกับถ้าในน้ำมีพีเอชต่ำจะเป็นสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการฆ่าเชื้อโรคในน้ำ ดังนั้นคลอรีนควรอยู่ในรูปของ HOCl ที่พีเอชต่ำ (มั่นสิน,2539) ในทางกลับกันถ้าพีเอชสูงคลอรีนอิสระจะอยู่ในรูปของ OCl^- ซึ่งจะทำให้ประสิทธิภาพในการทำลายเชื้อโรคต่ำลงมาก ดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 ความสำคัญของพีเอชและเวลาสัมผัสในการฆ่าเชื้อโรคของคลอรีนรูปต่าง ๆ
ที่มา : มั่นสิน (2539)

1.2.4 เวลาสัมผัส

การฆ่าเชื้อโรคให้มีประสิทธิภาพ จำเป็นต้องมีเวลาสัมผัสอย่างเหมาะสมจึงจะได้ผล หากใช้คลอรีนในปริมาณมาก อาจใช้เวลาในการสัมผัสน้อย แต่หากใช้ปริมาณคลอรีนน้อยก็จำเป็นต้องใช้เวลาในการสัมผัสนาน

1.2.5 สารปนเปื้อนในน้ำ

สารปนเปื้อนต่าง ๆ ในน้ำมีผลต่อประสิทธิภาพการฆ่าเชื้อโรค เช่น ของแข็งแขวนลอยในน้ำอาจเป็นเกราะกำบังให้กับเชื้อโรคหรือจุลินทรีย์อื่น ๆ ทำให้คลอรีนไม่สามารถเข้าไปสัมผัสกับสารปนเปื้อนเหล่านั้นได้

2 สารตกค้างจากการฆ่าเชื้อโรคด้วยคลอรีน

การเติมคลอรีนเพื่อฆ่าเชื้อโรคในน้ำนอกจากเป็นการกำจัดเชื้อโรคที่อยู่ในน้ำแล้วยังสามารถก่อให้เกิดสารตกค้างที่เป็นอันตรายได้ ซึ่งสารตกค้างบางชนิดก่อให้เกิดมะเร็งหรืออาจก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางพันธุกรรมได้ โดยสามารถแบ่งออกได้เป็นกลุ่มต่าง ๆ ดังนี้

(ก) สารตกค้างที่มีคุณสมบัติในการฆ่าเชื้อโรค (Disinfectant residuals) ได้แก่ คลอรีนอิสระ (Free chlorine) คลอรามีน (Chloramines) และคลอรีนไดออกไซด์ (Chlorine dioxide)

(ข) สารตกค้างประเภทสารอนินทรีย์ (Inorganic by-products) ตัวอย่างของสารกลุ่มนี้ ได้แก่ คลอเรตอิออน (Chlorate Ion) คลอไรท์อิออน (Chlorite Ion) เป็นต้น

(ค) สารตกค้างประเภท Inorganic oxidation by-products ตัวอย่างของสารกลุ่มนี้ ได้แก่ อัลดีไฮท์ (Aldehydes) กรดคาร์บอกซิลิก (Carboxylic acids) เป็นต้น

(ง) สารตกค้างประเภท Halogenated organic by-products ตัวอย่างของสารกลุ่มนี้ ได้แก่ สารกลุ่มไตรฮาโลมีเทน (Trihalomethanes, THMs) กลุ่มกรดฮาโลอะซิติก (Haloacetic acids, HAAs) กลุ่มฮาโลอะซิโตไนไตร์ (Haloacetonitriles, HANs) เป็นต้น (มัลลิกา, 2548)

สารตกค้างกลุ่มที่น่าสนใจและมีความสำคัญคือสารตกค้างประเภท Halogenated organic by-products เนื่องจากสารตกค้างกลุ่มนี้มีศักยภาพในการก่อมะเร็งดังตารางที่ 1 และ WHO (2000) รายงานว่าสาร THMs เป็นสารตกค้างกลุ่มที่มีความเป็นพิษสูงสุดและสามารถก่อให้เกิดมะเร็งในมนุษย์ได้ นอกจากนี้แล้ว US-EPA (1999) รายงานว่าสาร THMs มีศักยภาพในการก่อให้เกิดมะเร็งที่ระดับต่าง ๆ กัน

ตารางที่ 1 ศักยภาพของการก่อมะเร็งของสารตกค้างจากการฆ่าเชื้อโรคบางชนิด

สารตกค้าง	ศักยภาพของการก่อมะเร็ง
Chloroform	B
Bromodichloromethane	B
Dibromochloromethane	C
Bromoform	B
Monochloroacetic acid	-
Dichloroacetic acid	B
Trichloroacetic acid	C
Dibromoacetonitrile	C
Trichloroacetronitrile	-
2- Chlorophenol	D
2,4- Dichlorophenol	D
2,4,6- Trichlorophenol	B
Chlorate	-
Chlorite	D
Bromate	B
Chlorine Dioxide	D
Hypochlorouse Acid	-
Hopochlorite Ion	-
Monochhloramine	-
Ammonia	D
Formaldehyde	B

ที่มา: US-EPA (1999)

หมายเหตุ : ศักยภาพของการก่อมะเร็งมีดังนี้

ระดับ A หมายถึง เป็นสารก่อมะเร็งในมนุษย์

ระดับ B หมายถึง สามารถก่อมะเร็งในมนุษย์ได้

ระดับ C หมายถึง อาจจะก่อมะเร็งในมนุษย์ได้

ระดับ D หมายถึง ไม่มีหลักฐานเพียงพอที่จะระบุว่าเป็นสารก่อมะเร็ง

3 สารไตรฮาโลมีเทน (Trihalomethanes, THMs)

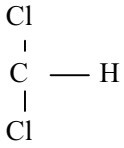
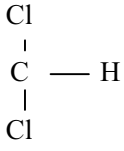
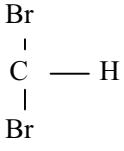
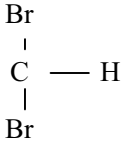
3.1 การเกิดสาร THMs

การเกิดสารไตรฮาโลมีเทนในน้ำเกิดจากการทำปฏิกิริยาทางเคมีระหว่างคลอรีนอิสระกับสารอินทรีย์ธรรมชาติในน้ำ เกิดเป็นสารประกอบฮาโลเจนที่มีคาร์บอน 1 ตัวเป็นองค์ประกอบ สูตรทั่วไป คือ CHX_3 ตำแหน่งของ X อาจมีการแทนที่ด้วยฟลูออรีน (F) ไอโอดีน (I) คลอรีน (Cl) โบรมีน (Br) หรือธาตุเหล่านี้ทุกชนิดรวมกัน สมการการเกิดปฏิกิริยาคือ

$$\text{สารอินทรีย์} + \text{คลอรีนอิสระ} + (Br^- \text{ or } Cl^-) \longrightarrow \text{THMs} + \text{สารตกค้างอื่น ๆ}$$

สารกลุ่มที่พบมากสุดในน้ำคือสาร THMs ประกอบด้วยสาร 4 ชนิด ได้แก่ คลอโรฟอร์ม (Chloroform, $CHCl_3$) โบรโมไดคลอโรมีเทน(Bromodichloromethane, $CHCl_2Br$) ไดโบรโมคลอโรมีเทน (Dibromochloromethane, $CHClBr_2$) และโบรโมฟอร์ม (Bromoform, $CHBr_3$) โครงสร้างทางเคมีของสารทั้ง 4 ชนิดแสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 โครงสร้างทางเคมีของสารกลุ่ม THMs

ชื่อสาร	สูตรทางเคมี	โครงสร้างทางเคมี
Chloroform	$CHCl_3$	
Bromodichloromethane	$CHCl_2Br$	
Dibromochloromethane	$CHClBr_2$	
Bromoform	$CHBr_3$	

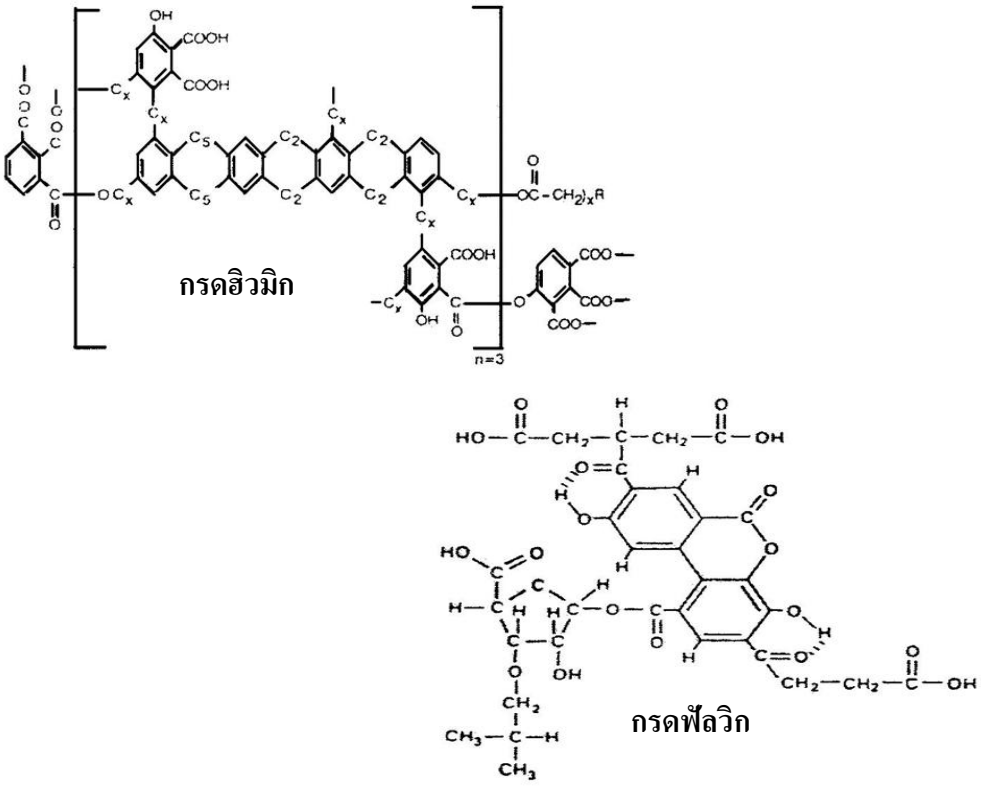
ที่มา: วสุรี (2546)

3.2 ปัจจัยที่มีผลในการเกิดสาร THMs

สาร THMs ที่เกิดขึ้นจากการทำปฏิกิริยากันระหว่างสารอินทรีย์ธรรมชาติกับคลอรีน ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ ได้แก่ สารอินทรีย์ธรรมชาติในน้ำดิบ โบรไมด์อิออน พีเอช และอุณหภูมิของน้ำ ปริมาณคลอรีนที่เติม ในที่นี้จะกล่าวถึงปัจจัยที่สำคัญดังนี้

3.2.1 สารอินทรีย์ธรรมชาติในน้ำดิบ (Natural organic matter, NOM)

สารอินทรีย์ธรรมชาติเป็นปัจจัยหลักที่มีผลต่อการเกิดสารตกค้างจากการฆ่าเชื้อโรคด้วยคลอรีน โดยสารอินทรีย์ธรรมชาติในน้ำเป็นของผสมระหว่างสารประกอบฮิวมิก (Humic substances) โดยกรดฮิวมิกจะเป็นส่วนที่พบได้มากสุดของสารอินทรีย์ในธรรมชาติ และเป็นสาเหตุทำให้น้ำในธรรมชาติเป็นสีเหลืองหรือสีชา Stevenson (1994) อ้างโดยอนรรฆมิยา (2546) ได้ทำการศึกษาพบว่าโครงสร้างของกรดฮิวมิกมีโครงสร้างที่เป็นวงแหวนอะโรมาติกมากและมีหมู่ฟังชันนัลต่างๆ ได้แก่ หมู่คาร์บอกซิล หมู่ไฮดรอกซิล หมู่เอไมด์ และฟีนอลลิค ที่ยื่นออกมาจากโครงสร้างซึ่งเป็นส่วนที่คลอรีนสามารถเข้ามาทำปฏิกิริยาจนเกิดเป็นสาร THMs ได้ ตัวอย่างโครงสร้างกรดฮิวมิกและกรดฟัลวิก แสดงดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 ตัวอย่างโครงสร้างกรดฮิวมิกและกรดฟัลวิก

ที่มา : Stevenson (1994) อ้างโดยอนรรฆมิยา (2546)

3.2.2 โบรไมด์อิออน (Bromide Iron, Br^-)

โบรไมด์อิออนในน้ำตามธรรมชาติสามารถทำปฏิกิริยากับสารอินทรีย์ ก่อให้เกิดสารตกค้างที่มีโบรมีนเป็นองค์ประกอบได้ เช่น โบรโมฟอร์ม เป็นต้น เนื่องจากโบรมีนสามารถเกิดปฏิกิริยาแทนที่ในโมเลกุลของสารอินทรีย์ได้ดีกว่าสารชนิดอื่น เช่น สามารถเกิดปฏิกิริยาแทนที่ได้ดีกว่าคลอรีนถึง 17 เท่า ดังนั้นเมื่อปริมาณของโบรไมด์อิออนกับปริมาณของคลอรีนที่เติมมีเพิ่มสูงขึ้น จะทำให้เกิดสารตกค้างที่มีองค์ประกอบของโบรมีนอะตอมเพิ่มสูงขึ้นด้วย (Faust and Aly, 1997 และ US-EPA, 1999)

3.2.3 ปริมาณคลอรีนที่เติมและเวลาสัมผัส (Chlorine dosage and chlorine contact time)

ปริมาณคลอรีนที่เติมจะมีผลต่อชนิดและความเข้มข้นของสารตกค้าง โดยเมื่อเพิ่มความเข้มข้นคลอรีนที่เติมมีผลทำให้ความเข้มข้นของสารตกค้างเพิ่มสูงขึ้น รวมถึงระยะเวลาสัมผัสที่เพิ่มมากขึ้นก็จะส่งผลให้เกิดสารTHMs เพิ่มขึ้นด้วย โดยจากการศึกษาของ Faust and Aly (1997) พบว่าเมื่อมีการเติมคลอรีนเพื่อฆ่าเชื้อโรคในน้ำแล้ว ส่งผลทำให้เกิดสาร THMs อย่างรวดเร็วใน 4 ชั่วโมงแรก และปฏิกิริยาจะเกิดได้อย่างสมบูรณ์เมื่อเวลาผ่านไป 20 ชั่วโมง

3.2.4 พีเอชของน้ำ

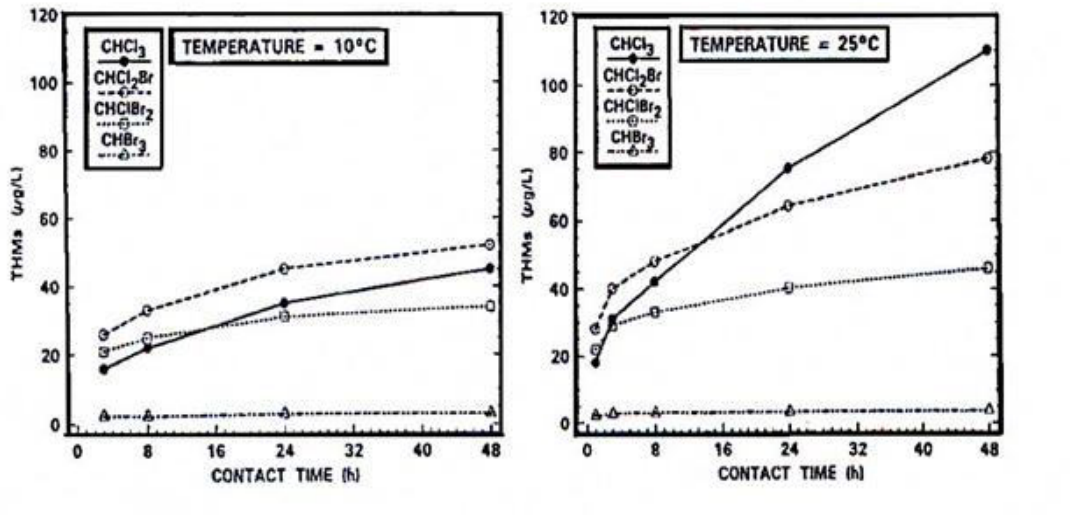
จากการศึกษาของ Faust and Aly (1997) พบว่าเมื่อพีเอชของน้ำเพิ่มขึ้นจะทำให้เกิดสารไตรฮาโลมีเทนมากขึ้น

3.2.5 อุณหภูมิและระยะเวลาสัมผัสของน้ำ

อุณหภูมิและระยะเวลาสัมผัสของน้ำจะส่งผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยา โดยอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นจะเป็นตัวเร่งให้เกิดปฏิกิริยาระหว่างคลอรีนกับสารอินทรีย์เร็วขึ้น ดังนั้นจึงส่งผลให้เกิดสาร THMs เพิ่มขึ้นด้วย ดังแสดงในภาพที่ 4

Abdullah (2003) ได้ทำการเก็บตัวอย่างน้ำประปาที่มีการฆ่าเชื้อโรคด้วยคลอรีนจากเมือง Tampin และ Sabak bernam ประเทศมาเลเซีย พบว่าปริมาณสารอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมด Total organic carbon, TOC) และพีเอช มีผลต่อการเกิดสาร THMs สำหรับความขุ่น อุณหภูมิและปริมาณคลอรีนตกค้างไม่มีผลต่อการเกิดสารTHMs

ผลการวิจัยของ Rodriguez el al. (2004) ทำการเก็บตัวอย่างน้ำประปาจากประเทศแคนาดา พบว่าอุณหภูมิและความเข้มข้นของสารอินทรีย์ในน้ำมีผลต่อความเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นสาร THMs



ภาพที่ 4 อุณหภูมิและระยะเวลาสัมผัสที่ส่งผลต่อการเกิดสาร THMs
ที่มา: Krasner et al. (1996)

3.3 ความเป็นอันตรายของสาร THMs ที่ก่อให้เกิดมะเร็ง

ความเป็นอันตรายที่ก่อให้เกิดมะเร็งของสาร THMs ทั้ง 4 ชนิดมีความเป็นอันตรายจากการได้รับสารตามแต่ละเส้นทางต่าง ๆ กันดังนี้

3.3.1 คลอโรฟอร์ม

3.3.1.1 การได้รับผ่านทางเดินอาหาร

คลอโรฟอร์มเป็นสารก่อมะเร็งที่พบมากที่สุด มนุษย์สามารถรับสารนี้โดยผ่านทางเดินอาหารซึ่งเป็นบริเวณที่สามารถดูดซึมสารได้ดี มีผลทำให้เป็นพิษต่อตับ ไต ซึ่งสามารถก่อให้เกิดมะเร็งได้ นอกจากนี้คลอโรฟอร์มยังละลายได้ดีในไขมัน ทำให้สามารถแพร่ผ่านรกเข้าสู่ตัวอ่อนได้จึงเป็นอันตรายต่อทารกที่อยู่ในครรภ์มารดา

จากการศึกษาของกรมอนามัยของแคลิฟอร์เนีย พบว่าหญิงตั้งครรภ์ในช่วง 3 เดือนแรกที่ดื่มน้ำประปาที่มีสาร THMs 75 ไมโครกรัมต่อลิตร โดยดื่มประมาณ 5 แก้วต่อวันขึ้นไป มีโอกาสเสี่ยงต่อการแท้งลูกมากกว่าหญิงตั้งครรภ์ที่ได้รับสาร THMs น้อยกว่า 75 ไมโครกรัมต่อลิตร (The Associated Press, 1998)

อุดร (2541) โดยทดลองให้หนูกินน้ำประปาที่มีคลอโรฟอร์ม พบว่าในน้ำดื่มที่มีสารคลอโรฟอร์มในปริมาณมากสามารถก่อให้เกิดมะเร็งที่ตับและไตได้ ซึ่งตรงกับการศึกษาด้านระบาดวิทยา พบว่าสาเหตุหลักของการเกิดมะเร็งในหนูทดลองมาจากการได้รับคลอโรฟอร์มในปริมาณที่มาก ทั้งนี้เกิดจากรูปแบบของเมตาโบลิซึมในหนูทดลองมีลักษณะคล้ายกับในมนุษย์ ดังนั้นทำให้สามารถคาดเดาได้ว่าหากมนุษย์ได้รับน้ำดื่มที่มีสารคลอโรฟอร์ม จะสามารถก่อให้เกิดมะเร็งในมนุษย์ได้เช่นเดียวกัน

Nieuwenhuijsen (2002) พบว่าหญิงตั้งครรภ์หากได้รับสาร THMs อาจทำให้เกิดการแท้งลูกหรือลูกที่ออกมามีลักษณะพิการได้ สำหรับเด็กหากได้รับไอระเหยของสารนี้ทางการสูดดมจะมีอาการหอบหืด นอกจากนี้ยังพบว่าน้ำในสระว่ายน้ำมีความเข้มข้นของสาร THMs มากกว่าในน้ำประปา ซึ่งหากลงว่ายน้ำในสระมากกว่าหนึ่งชั่วโมงจะได้รับสาร THMs ในปริมาณที่มากถึง 141 เท่าเมื่อเทียบกับการอาบน้ำประปาด้วยฝักบัวเพียง 10 นาที เช่นเดียวกับการศึกษาหนึ่งในวอชิงตันที่ Capece (1998) พบว่าการอาบน้ำจากฝักบัวนาน 10 นาที สามารถรับเอาสาร THMs ได้มากเท่ากับการดื่มน้ำที่มีสาร THMs เข้าไป 5 แก้ว

Brodtmann et al. (1979) อ้างถึงรายงานการวิจัยของสถาบันมะเร็งแห่งชาติประเทศสหรัฐอเมริกา พบว่าเมื่อให้หนูทดลองเพศผู้ได้รับคลอโรฟอร์มเข้าไป 90 และ 180 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมต่อน้ำหนักตัวของหนูเป็นเวลา 78 สัปดาห์ และในหนูเพศเมีย 125 และ 250 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมต่อน้ำหนักตัวของหนูเป็นเวลา 22 สัปดาห์แรก จากนั้นจึงให้เท่ากับหนูเพศผู้จนครบ 111 สัปดาห์ จากการทดลองพบว่าคลอโรฟอร์มเป็นสาเหตุทำให้หนูเกิดเนื้องอกที่ตับ นอกจากนี้แล้วสารประกอบโบรโมไฮโดรคาร์บอน (Bromo Hydrocarbon) เป็นตัวเหนี่ยวนำทำให้เกิดเนื้องอกที่ตับและกระเพาะอาหารของหนูทดลองด้วย

3.3.1.2 การได้รับผ่านทางเดินหายใจ

ความเป็นพิษที่ก่อให้เกิดมะเร็งของโบรโมฟอร์มไม่มีค่าที่รายงานไว้ (RAIS, 2009)

3.3.1.3 การได้รับผ่านเส้นทางอื่น ๆ

จากรายงานของ US-EPA ในปี 1992 ที่ตรวจวินิจฉัยหนู 2 สายพันธุ์ พบว่าคลอโรฟอร์มทำให้เกิดมะเร็งในปอด (RAIS, 2009)

3.3.2 โบรโมไดคลอโรมีเทน

ในการศึกษาความเป็นพิษของโบรโมไดคลอโรมีเทนพบว่าการเกิดมะเร็งในมนุษย์แต่ยังมีข้อมูลที่จำกัดในการแสดงอาการของโรค และไม่สามารถจำแนกอาการของโรคได้อย่างชัดเจน สำหรับการศึกษาการเกิดพิษในสัตว์พบว่าโบรโมไดคลอโรมีเทนเป็นสาเหตุการเกิดเนื้องอกเพิ่มขึ้นในไตของหนูตัวผู้ การเกิดเนื้องอกเพิ่มขึ้นในตับของหนูตัวเมีย และการเกิดเนื้องอกที่ไตและลำไส้ใหญ่ทั้งในหนูตัวผู้และตัวเมีย (US-EPA, 2009)

นอกจากนี้แล้วผลของโบรโมไดคลอโรมีเทนขึ้นกับว่าได้รับเข้าไปในร่างกายเท่าไร ผลกระทบหลักในสัตว์ทดลองคือการได้รับสารโดยการกินอาหารหรือดื่มที่มีปริมาณของโบรโมไดคลอโรมีเทนในปริมาณมากทำให้เกิดความเสียหายต่อตับและไต ผลอันนี้สามารถเกิดขึ้นได้ในช่วงระยะเวลาอันสั้นหลังจากได้รับการสัมผัส ระดับความเข้มข้นที่สูงสามารถเกิดผลกระทบต่อสมองเช่นกัน มีบางหลักฐานที่ชี้ว่าโบรโมไดคลอโรมีเทนมีความเป็นพิษต่อพัฒนาการของตัวอ่อนในครรภ์ แต่ยังไม่ได้มีการศึกษา รวมทั้งการศึกษาในสัตว์ทดลองพบว่าการได้รับโบรโมไดคลอโรมีเทนเป็นระยะเวลานานหลายปีจากในอาหารหรือน้ำเป็นตัวชักนำให้เกิดมะเร็งในตับ ไต และลำไส้ ถึงแม้ว่าผลของโบรโมไดคลอโรมีเทนจะไม่มีรายงานในมนุษย์ แต่ผลกระทบก็อาจจะเกิดขึ้นได้ถ้าได้รับโบรโมไดคลอโรมีเทนเข้าสู่ร่างกายในปริมาณที่มากพอ (ATSDR, 1989)

3.3.3 ไดโบรโมคลอโรมีเทน

ในการศึกษาความเป็นพิษของไดโบรโมคลอโรมีเทนในมนุษย์เป็นเช่นเดียวกับการศึกษาในโบรโมไดคลอโรมีเทน สำหรับการศึกษาการเกิดพิษของไดโบรโมคลอโรมีเทนในสัตว์ เมื่อให้หนูทดลอง 2 กลุ่ม คือ กลุ่ม F344/N และกลุ่ม B6C3F1 ได้รับสารผ่านทางหลอดอาหารในน้ำมันข้าวโพด โดยในหนูกลุ่มแรกให้ได้รับสารในปริมาณ 0 40 และ 80 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม 5 วันต่อสัปดาห์ เป็นระยะเวลา 104 สัปดาห์ หนูกลุ่มที่ 2 ได้รับในปริมาณ 0 50 และ 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม 5 วันต่อสัปดาห์ เป็นเวลา 105 สัปดาห์ พบว่าอัตราการรอดชีวิตของทุกกลุ่มสามารถเปรียบเทียบได้จากค่าเฉลี่ยของน้ำหนักตัว และปริมาณที่ได้รับในแต่ละเพศ นอกจากนี้แล้วจากการศึกษาในหนูเพศเมีย พบการเกิดเนื้องอกที่ตับและมะเร็งเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญในกลุ่ม high – dose และภายใต้สภาวะนี้พบว่ามีหลักฐานที่ยังคลุมเครือในเรื่องของการเกิดมะเร็งของไดโบรโมคลอโรมีเทนทั้งในหนูเพศผู้และหนูเพศเมีย (US-EPA, 2009)

3.3.4 โบรโมฟอร์ม

3.3.4.1 การได้รับผ่านทางเดินอาหาร

โบรโมฟอร์มเป็นสารที่สามารถดูดซับได้อย่างรวดเร็วโดยเฉพาะบริเวณกระเพาะอาหารและลำไส้ ความเป็นพิษของโบรโมฟอร์มในสัตว์ พบว่าตับ ไต และระบบประสาทส่วนกลางเป็นอวัยวะส่วนแรก ๆ ที่ได้รับพิษจากโบรโมฟอร์ม สาเหตุของการตายที่เกิดจากการได้รับโดยตรงทางเดินอาหารคือการทำงานของระบบประสาทส่วนกลางลดลง เพราะการทดลองในหนูพบว่าหากได้รับโบรโมฟอร์มผ่านทางเดินอาหารเพียง 1 กรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักตัว ทำให้ภาวะการทำงานของกล้ามเนื้อลดลงและมีอาการชาภายใน 30 นาที และหากได้รับสาร 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักตัวโดยการให้สารทางหลอดอาหารใน 13 สัปดาห์หรือ 2 ปี จะเป็นสาเหตุทำให้หนูทดลองเกิดอาการเฉื่อยชา

การได้รับโบรโมฟอร์ม 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักตัวโดยการให้สารทางสายยางใน 13 สัปดาห์หรือ 2 ปี เป็นสาเหตุทำให้หนูทดลองเกิดอาการเฉื่อยชา และหากได้รับโบรโมฟอร์มทางเดินอาหาร 50-200 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมต่อวัน โดยก่อให้เกิดพิษแบบกึ่งเรื้อรังเมื่อได้รับสาร 14-90 วัน และเกิดพิษแบบเรื้อรังหากได้รับเป็นเวลา 2 ปี ซึ่งทำให้เกิดการสะสมในไขมัน การเปลี่ยนแปลเอนไซม์ในตับ และน้ำหนักของตับที่เพิ่มมากขึ้น นอกจากนี้แล้วหนูที่ได้รับโบรโมฟอร์มโดยให้อาหารทางหลอดอาหารในปริมาณที่มากกว่า 145 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมต่อวันเป็นเวลา 14 วัน พบว่าจะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของเยื่อบุผิวและเส้นเลือดฝอย รวมถึงการเปลี่ยนแปลงระดับเอนไซม์ นอกจากนี้แล้วผลกระทบที่เกิดจากโบรโมฟอร์มรวมถึงการลดลงของภูมิคุ้มกันในหนูที่ได้รับโบรโมฟอร์ม 250 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมต่อวันเป็นเวลา 14 วันและผลกระทบต่อตัวอ่อนในหนูที่ให้สาร 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมต่อวันในระหว่างการตั้งครรภ์

ในช่วงต้นทศวรรษ 1900 โบรโมฟอร์มถูกควบคุมการนำมาใช้เป็นยาระงับความกระวนกระวายของเด็กที่ได้รับความทรมานจากไอกรน และการตายต่าง ๆ เป็นผลมาจากการได้รับสารในปริมาณที่มากเกินกว่าที่คิดไว้ โดยสาเหตุสำคัญในทางการแพทย์ถึงสาเหตุการตายคือระบบประสาทส่วนกลางทำหน้าที่ลดลง เพราะไม่รู้สึกตัวและสูญเสียการตอบสนอง โดยทั่วไปการเสียชีวิตเนื่องมาจากการหายใจล้มเหลว แม้ว่าจะจะไม่แสดงปริมาณ แต่มันก็จะมีประมาณ 250-500 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ที่มีผลต่อเด็กที่มีน้ำหนัก 10-20 กิโลกรัมที่ทำให้เสียชีวิตได้ (RAIS, 2005)

3.3.4.2 การได้รับผ่านทางเดินหายใจ

การเกิดอาการเฉียบพลันจากการได้รับสารผ่านทางเดินหายใจมีผลต่อการทำงานของระบบประสาทส่วนกลางลดลง โดยการได้รับโบรโมฟอร์มมากกว่า 7000 พีพีเอ็ม เป็นสาเหตุทำให้สุนัขไร้ความรู้สึกต่อการเจ็บปวดหลังจาก 8 นาที และตายในที่สุดหลังจากนั้น 1 ชั่วโมง นอกจากนี้แล้วหลักฐานทางระบาดวิทยาพบว่าหนูเพศเมียเมื่อได้รับโบรโมฟอร์มในปริมาณ 200 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมต่อวัน เป็นระยะเวลา 2 ปี พบว่ามีการเพิ่มขึ้นของเนื้องอกในลำไส้เล็ก (RAIS, 2005)

3.3.4.3 การได้รับผ่านเส้นทางอื่น ๆ

ความเป็นพิษที่ก่อให้เกิดมะเร็งของโบรโมฟอร์มไม่มีค่าที่รายงานไว้ (RAIS, 2009)

3.4 ความเป็นอันตรายของสาร THMs ที่ก่อให้เกิดอันตรายอื่นนอกจากมะเร็ง

ความเป็นอันตรายที่ก่อให้เกิดอันตรายอื่นนอกจากมะเร็งของสาร THMs ทั้ง 4 ชนิดมีความเป็นอันตรายจากการได้รับสารตามแต่ละเส้นทางต่าง ๆ กันดังนี้

3.4.1 คลอโรฟอร์ม

3.4.1.1 การได้รับผ่านทางเดินอาหาร

คลอโรฟอร์มมีความเป็นพิษเฉียบพลันต่อตับ โดยจะแสดงอาการออกมาเมื่อได้รับไปแล้ว 12-48 ชั่วโมง (ATSDR, 1989) จากการศึกษาของ Schroeder (1965) อ้างโดย RAIS (2009) พบว่าอันตรายที่เกิดจากการได้รับคลอโรฟอร์มในปริมาณเพียง 10 มิลลิลิตร หรือคิดเป็น 14.8 กรัม มีผลทำให้เกิดการเสียชีวิตเนื่องจากกล้ามเนื้อหัวใจและระบบหายใจล้มเหลว ซึ่งต่างจากการศึกษาของ Gosselin et al. (1984) ที่ได้ประมาณว่าเมื่อได้รับคลอโรฟอร์มประมาณ 44 กรัม สามารถทำให้มนุษย์เสียชีวิตได้

ความเป็นพิษแบบเรื้อรังของคลอโรฟอร์มมีรายงานไว้ว่าผู้ป่วยที่ได้รับยาแก้ไอที่มีส่วนผสมของคลอโรฟอร์มในปริมาณ 1.6-2.6 กรัมต่อวัน เป็นระยะเวลานานมากกว่า 10 ปี จะทำให้ตับอักเสบและเป็นโรคไตวาย ถึงแม้ว่าอาการจากการได้รับคลอโรฟอร์มจะบรรเทาลงเมื่อได้รับแอลกอฮอล์ทุกวันในปริมาณไม่มาก โดยดูจากความเป็นพิษต่อตับจนกระทั่งเวลาผ่านไป 1 ปี

3.4.1.2 การได้รับผ่านทางเดินหายใจ

คลอโรฟอร์มเป็นสารระงับประสาทส่วนกลาง ที่ความเข้มข้น 20,000-40,000 พีพีเอ็ม ถูกใช้ทั่วไปในการรักษาอาการชาให้ยังคงอยู่ ซึ่งผลที่สังเกตได้หลังจากใช้ยาชา คือ การง่วงเหงาหาวนอน กระสับกระส่าย อาเจียน เป็นไข้ อัตราการเต้นของชีพจรสูงขึ้น ทำให้เป็นโรคดีซ่าน ตับขยายขนาดขึ้น ตับและไตทำหน้าที่ผิดปกติ มีอาการเพ้อคลั่งและโคม่าในที่สุด โดยคลอโรฟอร์มอาจจะไวต่อการเพิ่มอัตราการเต้นของหัวใจซึ่งทำให้หัวใจเต้นผิดปกติ

การทดลองการสัมผัสไอระเหยของคลอโรฟอร์มในมนุษย์ พบว่าความเข้มข้นที่ประมาณ 14,000-16,000 ทำให้เกิดอาการมึนเมา และหากได้รับสารในปริมาณ 1,000 พีพีเอ็ม เป็นเวลา 7 นาที จะทำให้เกิดอาการวิงเวียนศีรษะ เกิดความดันภายในกระโหลกศีรษะ และคลื่นไส้

3.4.1.3 การได้รับผ่านเส้นทางอื่น ๆ

คลอโรฟอร์มเมื่อเข้าตาทำให้เกิดเยื่อบุตาอับเสบและเกิดอาการรุนแรงได้ (RAIS, 2009)

3.4.2 โบรโมไดคลอโรมีเทน

โบรโมไดคลอโรมีเทนสามารถก่อให้เกิดผลกระทบต่อร่างกายได้โดยขึ้นอยู่กับว่าได้รับสารนั้นเข้าไปมากน้อยเพียงใด ในสัตว์สามารถรับเข้าสู่ร่างกายโดยการกินหรือการดื่มเข้าไปในปริมาณมาก ๆ จนทำให้เป็นอันตรายต่อตับและไต อาการจะแสดงให้เห็นเมื่อได้รับเข้าไปภายในระยะเวลาไม่นาน หากได้รับไปในปริมาณมากๆสามารถส่งผลกระทบไปถึงสมอง โดยทำให้ส่วนสำคัญในสมองทำงานไม่ประสานกันและทำให้มีปัญหาในการหลับ ในบางกรณีสารโบรโมไดคลอโรมีเทนสามารถเป็นอันตรายต่อตัวอ่อนที่กำลังเจริญเติบโต แต่ในการทำการศึกษายังไม่ปรากฏผลที่แน่ชัด และแม้ว่าจะยังไม่มีรายงานเกี่ยวกับผลกระทบที่เกิดกับมนุษย์ แต่ผลกระทบนั้นสามารถเกิดขึ้นได้หากรับสารโบรโมไดคลอโรมีเทนเข้าสู่ร่างกายในปริมาณที่มากพอ แต่ผลที่เกิดในสัตว์คือตับและไตจะถูกทำลายเมื่อได้รับสารเข้าไปในปริมาณ 190 พีพีเอ็ม ผ่านทางเดินอาหารและได้รับเป็นระยะเวลานาน สำหรับในหนูนั้นเมื่อได้รับเข้าไปในปริมาณ 1,000 พีพีเอ็ม จะส่งผลต่อการเจริญเติบโตของตัวอ่อน (ATSDR, 1989)

3.4.3 ไดโบรโมคลอโรมีเทน

ผลของไดโบรโมคลอโรมีเทนที่มีต่อสุขภาพจะขึ้นกับปริมาณที่รับเข้าไปในร่างกายและระยะเวลาในการสัมผัส โดยทั่วไปแล้วเมื่อได้รับเข้าไปผลกระทบหลัก ๆ ของการกลืนน้ำลายหรือการหายใจ เมื่อได้รับสารนี้เข้าไปมาก ๆ จะทำให้การทำงานของสมองช้าลงซึ่งทำให้เกิดอาการง่วงนอนได้ (ATSDR, 2005)

3.4.4 โบรโมฟอร์ม

3.4.4.1 การได้รับผ่านทางเดินอาหาร

Von Oettingen (1955) อ้างโดย IRIS (2009) รายงานว่าในช่วงต้นปี ค.ศ. 1900 โบรโมฟอร์มถูกนำมาใช้ในการรักษาอาการไอกรนในเด็ก และทำให้เด็กเสียชีวิตเนื่องจากการใช้ในปริมาณที่มากเกินไป โดยลักษณะอาการที่บ่งบอกถึงอันตรายเนื่องจากจะไปกดระบบประสาทส่วนกลางซึ่งจะทำให้เกิดอาการโคม่าและสูญเสียการตอบสนอง ส่วนสาเหตุที่ทำให้เกิดการตายเนื่องมาจากระบบทางเดินหายใจผิดปกติ แต่ทั้งนี้ปริมาณในการที่จะทำให้เกิดอันตรายไม่ได้ระบุไว้อย่างชัดเจน แต่มีการประมาณว่า 250-500 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม จะทำให้เกิดอันตรายต่อเด็กที่หนัก 10-20 กิโลกรัม และหากได้รับในปริมาณน้อย ๆ จะทำให้เกิดอาการเซื่องซึม ปวดหัว และหน้ามืดวิงเวียนศีรษะ

3.4.4.2 การได้รับผ่านทางเดินหายใจ

โบรโมฟอร์มสามารถกระจายตัวไปตามเนื่อเยื่อต่าง ๆ ได้ ทั้งนี้ความเป็นพิษของโบรโมฟอร์มทำให้มนุษย์เกิดอาการปวดศีรษะ วิงเวียนศีรษะ และหากได้รับในปริมาณสูงจะทำให้มีผลต่อการทำงานของระบบประสาทส่วนกลางลดลง เกิดอาการโคม่าและเสียชีวิตในที่สุด การได้รับไอระเหยของโบรโมฟอร์มเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดอาการระคายเคืองบริเวณทางเดินหายใจ คอหอย และกล่องเสียง

3.4.4.3 การได้รับผ่านเส้นทางอื่น ๆ

ความเป็นพิษที่ก่อให้เกิดมะเร็งและความเป็นอันตรายอื่นนอกจากมะเร็งไม่ค่าที่รายงานไว้ (RAIS, 2009)

3.5 มาตรฐานคุณภาพน้ำที่เกี่ยวข้องกับสาร THMs

จากความเป็นอันตรายดังที่ได้กล่าวมาแล้ว หน่วยงานและประเทศต่าง ๆ จึงกำหนดความเข้มข้นสูงสุด (maximum contaminant levels, MCLs) ของสารประกอบ chlorine by-products ในน้ำประปาดังตารางที่ 3 ตัวอย่างเช่น WHO และ US-EPA กำหนดให้มีความเข้มข้นของสาร THMs ทั้งหมดไม่เกิน 100 และ 80 µg/L ตามลำดับ สำหรับในบางประเทศ ยกตัวอย่างเช่น ประเทศ Italy ประเทศ Germany และประเทศ Switzerland กำหนดให้มีความเข้มข้นของสาร THMs ไม่เกิน 30 50 และ 25 µg/L ตามลำดับ

ตารางที่ 3 ความเข้มข้นสูงสุดของสารประกอบ chlorine by-products ในน้ำประปาซึ่งกำหนดในมาตรฐานของหน่วยงานต่าง ๆ

หน่วยงาน/ประเทศ	กลุ่มสาร	maximum contaminant levels, MCLs (µg/L)	ที่มา
WHO *	Total THMs	100	มัลลิกา และผ่องศรี (2550)
US-EPA**	Total THMs	80	
	HAAs	60	
European Union (EU)	Total THMs	10	
Thailand ***	$CHCl_3$	200	การประปานครหลวง (2548)
	$CHCl_2Br$	60	
	$CHClBr_2$	100	
	$CHBr_3$	100	
Japan	$CHCl_3$	60	Wang et al. (2007)
	$CHCl_2Br$	30	
	$CHClBr_2$	10	
	$CHBr_3$	90	
Italy	THMs	30	Roccaro et al (2005)
Germany	THMs	50	
Spain	THMs	100	
Austria	THMs	30	
Belgium	THMs	30	

ตารางที่ 3 (ต่อ)

หน่วยงาน/ประเทศ	กลุ่มสาร	maximum contaminant levels, MCLs (µg/L)	ที่มา
Sweden	THMs	50	Roccaro et al (2005)
Switzerland	THMs	25	
England	THMs	100	
Scotland	THMs	100	
Czech Republic	THMs	100	

หมายเหตุ: * อยู่ในระหว่างการกำหนดมาตรฐานสำหรับ THMs แต่ละชนิด

** ค่าเฉลี่ยตลอดทั้งปี

*** กำหนดค่ามาตรฐานตามคำแนะนำขององค์การอนามัยโลก (WHO) ปี 2536

3.6 สาร THMs จากการฆ่าเชื้อโรคด้วยคลอรีน

3.6.1 สาร THMs ในน้ำประปา

ในประเทศต่าง ๆ เช่น ตุรกี เวียดนาม และมาเลเซีย เป็นต้น ได้มีการศึกษาถึงปริมาณความเข้มข้นสารไตรฮาโลมีเทนทั้งหมด (Total Trihalomethanes, TTHM) ในน้ำประปา ดังแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ความเข้มข้นของสารประกอบ Chlorine by - products ในน้ำประปา

จุดเก็บตัวอย่าง	ชนิดของ THMs	ความเข้มข้น (µg/L)	ที่มา
Ankara , ตุรกี - Summer - Spring - Winter	Total THMs	 25-110 28-73 25-74	Tokmak et al. (2004)
Hanoi , เวียดนาม	$CHCl_3$ $CHCl_2Br$ $CHClBr_2$ $CHBr_3$	< 0.3-11 0.5-7.3 0.3-22.3 1.2-18.5	Duong et al. (2003)
มาเลเซีย - Tampin district - Sabak Bernam district	 $CHCl_3$ Total THMs $CHCl_3$ Total THMs	 14.84-55.62 18.59-68.82 42.92-81.00 54.64-89.83	Abdullah et al. (2003)

3.6.2 สาร THMs ในสระว่ายน้ำ

สาร THMs ที่เกิดจากการฆ่าเชื้อโรคด้วยคลอรีนนอกจากจะก่อให้ เกิดสารตกค้างในน้ำสระว่ายน้ำแล้วไอระเหยของสารไตรฮาโลมีเทนยังสามารถแพร่กระจายไปในอากาศบริเวณสระว่ายน้ำได้อีกทางหนึ่งด้วย ดังนั้นในหลายประเทศ เช่น โปรแลนด์ สหรัฐอเมริกา เยอรมนี เป็นต้น มีการศึกษาถึงความเข้มข้นของสาร THMs ในสระว่ายน้ำลักษณะต่าง ๆ กัน แสดงดังตารางที่ 5 และสำหรับบางประเทศ เช่น อิตาลี แคนาดา เยอรมนี และสหรัฐอเมริกา ได้มีการศึกษาความเข้มข้นของสาร THMs ที่แพร่กระจายไปในอากาศของสระว่ายน้ำที่มีลักษณะต่าง ๆ กัน ดังแสดงในตารางที่ 6

ตารางที่ 5 ความเข้มข้นของสาร THMs ในน้ำสระว่ายน้ำ

ประเทศ	ความเข้มข้นของสารตกค้างจากการฆ่าเชื้อโรคในน้ำ (µg/L)								ลักษณะสระว่ายน้ำ	ที่มา
	คลอโรฟอร์ม		โบรโมไดคลอโมีเทน		ไดโบรโคลอโรฟอร์ม		โบรโมฟอร์ม			
	ช่วง	เฉลี่ย	ช่วง	เฉลี่ย	ช่วง	เฉลี่ย	ช่วง	เฉลี่ย		
อิตาลี	19-94	-	2.3-14.7	-	0.2-0.8	-	-	-	ในร่ม	Aggazzotti et al., 1993
	9-179	93.7	-	-	-	-	-	-	ในร่ม	Aggazzotti et al., 1995
	25-43	33.7	1.8-2.8	2.3	0.5-10	0.8	0.1	0.1	ในร่ม	Aggazzotti et al., 1998
สหรัฐอเมริกา	-	37.9	-	-	-	-	-		ในร่ม	Copaken, 1990
	4-402	-	1-72	-	<0.1-8	-	<0.1-1		กลางแจ้ง	Armstrong & Golden, 1986
	3-580	-	1-90	-	0.3-30	-	<0.1-60		ในร่ม	Armstrong & Golden, 1986
	<0.1-530	-	<0.1-105	-	<0.1-48	-	<0.1-183		สปา	Armstrong & Golden, 1986
เยอรมนี	2.4-29.8	14.6	-	-	-	-	-	-	ในร่ม	Eichelsdörfer et al., 1981
	14.6-111	43	-	-	-	-	-	-	กลางแจ้ง	Eichelsdörfer et al., 1981
	43-980	198	0.1-150	22.6	0.1-140	10.9	<0.1-88	1.8	ในร่ม	Lahl et al., 1981
	0.5-23.6	-	1.9-16.5	-	<1.9-16.5	-	<0.1-3.3	-	ในร่ม	Ewers et al., 1987
	3.6-82.1	-	1.6-17.3	-	<0.1-15.1	-	<0.1-4.0	-	กลางแจ้ง	Ewers et al., 1987
	40.6-117.5	94.9	4.2-5.4	4.8	0.78-2.6	1.8	-	-	ในร่ม	Puchert et al., 1994

ที่มา : ข้อมูลในตารางอ้างโดย WHO (2000)

ตารางที่ 6 ความเข้มข้นของสาร THMs ในอากาศเหนือบริเวณสระว่ายน้ำ

ประเทศ	ความเข้มข้นของสารตกค้างจากการฆ่าเชื้อโรค ($\mu g/m^3$)								ลักษณะสระ	ที่มา
	คลอโรฟอร์ม		โบรโมไดคลอโรมีเทน		ไดโบรโมคลอโรมีเทน		โบรโมฟอร์ม			
	เฉลี่ย	ช่วง	เฉลี่ย	ช่วง	เฉลี่ย	ช่วง	เฉลี่ย	ช่วง		
อิตาลี	214	66-650	19.5	5-100	6.6	0.1-14	0.2	-	ในร่ม*	Aggazzotti et al.,1995
	140	49-280	17.4	2-58	13.3	4-30	0.2	-	ในร่ม*	Aggazzotti et al.,1993
	169	35-195	20	16-24	11.4	9-14	0.2	-	ในร่ม*	Aggazzotti et al.,1998
แคนาดา	-	597-1630	-	-	-	-	-	-	ในร่ม	Lévesque et al.,1994
เยอรมนี	65	-	9.2	-	3.8	-	-	-	ในร่ม*	Jovanovic et al.,1995
	36	-	5.6	-	1.2	-	-	-	ในร่ม**	
	5.6	-	0.21	-	-	-	-	-	กลางแจ้ง*	
	2.3	-	-	-	-	-	-	-	กลางแจ้ง**	
	3.3	0.33-9.7	0.4	0.08-2.0	0.1	0.02-0.5	<0.03	-	กลางแจ้ง*	Stottmeister,1998,1999
	1.2	0.36-2.2	0.1	0.03-0.16	0.05	0.03-0.08	<0.03	-	กลางแจ้ง**	
	39	5.6-206	4.9	0.85-16	0.9	0.05-3.2	0.1	<0.03-3.0	ในร่ม*	
	30	1.7-136	4.1	0.23-13	0.8	0.05-2.9	0.08	<0.03-0.7	ในร่ม**	

ตารางที่ 6 (ต่อ)

ประเทศ	ความเข้มข้นของสารตกค้างจากการฆ่าเชื้อโรค ($\mu g/m^3$)								ลักษณะสระ	ที่มา
	คลอโรฟอร์ม		โบรโมไดคลอโรมีเทน		ไดโบรโมคลอโรมีเทน		โบรโมฟอร์ม			
	เฉลี่ย	ช่วง	เฉลี่ย	ช่วง	เฉลี่ย	ช่วง	เฉลี่ย	ช่วง		
สหรัฐอเมริกา	-	<0.1-1	-	<0.1	-	<0.1	-	<0.1	กลางแจ้ง ***	Armstrong&Golden,1986
	-	<0.1-260	-	<0.1-10	-	<0.1-5	-	<0.1-14	ในร่ม ***	
	-	<0.1-47	-	<0.1-10	-	<0.1-5	-	<0.1-14	สปา***	

หมายเหตุ * หมายถึง วัดที่ระดับความสูงจากผิวน้ำ 20 ซม.

** หมายถึง วัดที่ระดับความสูงจากผิวน้ำ 150 ซม.

*** หมายถึง วัดที่ระดับความสูงจากผิวน้ำ 200 ซม.

ที่มา : ข้อมูลในตารางอ้างโดย WHO (2000)

4 สระว่ายน้ำ

4.1 รูปแบบของสระว่ายน้ำ

สระว่ายน้ำที่ใช้กันโดยทั่วไปมี 2 รูปแบบ ได้แก่ รูปแบบที่มีการไหลเวียนน้ำเป็นแบบระบบ Overflow และรูปแบบที่มีการไหลเวียนน้ำเป็นแบบระบบ Skimmer ทั้งสองระบบมีรายละเอียด ดังนี้

- ระบบ Overflow น้ำจะไหลจากในสระออกมานอกสระมาลงที่บริเวณรางน้ำที่อยู่โดยรอบสระ จากนั้นจะไหลลงสู่บ่อพักน้ำผ่านเข้าถังกรอง แล้วจึงมีการไหลเวียนน้ำกลับเข้าสระอย่างเดิม โดยสระว่ายน้ำรูปแบบนี้จะมีความสวยงามมากว่าระบบ Skimmer

- ระบบ Skimmer น้ำจะไหลจากในสระผ่านช่องสี่เหลี่ยมตรงผนังสระเข้ามาผ่านถังกรอง แล้วจึงมีการไหลเวียนน้ำกลับเข้าสระแบบเดิม ข้อดีของระบบนี้คือราคาในการก่อสร้างระบบถูกกว่าระบบ Overflow (บริษัทท๊อป แอท พูล, 2551)

4.2 การบำรุงและดูแลรักษาสระว่ายน้ำ

การบำรุงดูแลรักษาสระว่ายน้ำเป็นเรื่องที่มีความสำคัญมาก สระว่ายน้ำที่ดีจะต้องมีความสะอาดและปลอดภัย โดยสิ่งที่ต้องดูแลสระว่ายน้ำมี 2 ประการ ประการแรกคือการเติมสารเคมีโดยสารเคมีที่เติมลงในสระจะเป็นสารคลอรีน (Trichloroisocyanulic acid) กับกรดเกลือ (Hydrochol acid) หรือโซดาแอช (Sodium carbonate) ก่อนเติมสารเคมีเหล่านี้ลงในสระต้องมีการตรวจเช็คคุณภาพน้ำก่อน โดยการตรวจเช็คปริมาณคลอรีนคงเหลือ และค่า pH ด้วยชุดตรวจสอบคุณภาพน้ำ (Test Kit) โดยทั่วไปจะเติมประมาณ 3 ครั้งต่อสัปดาห์ (กรมวิทยาศาสตร์ทหารเรือ, 2548) ประการที่สองคือการทำความสะอาดสระว่ายน้ำและการล้างถังกรอง การทำความสะอาดสระว่ายน้ำโดยการขัดกระเบื้องจะทำประมาณสัปดาห์ละครั้ง สำหรับถังกรองจะล้างทำความสะอาดเดือนละครั้ง ส่วนการเปลี่ยนถ่ายน้ำภายในสระว่ายน้ำนั้นจะเปลี่ยนทุก ๆ 2-3 ปี

4.3 มาตรฐานคุณภาพน้ำสระว่ายน้ำ

สระว่ายน้ำแต่ละสระมีความแตกต่างกัน ซึ่งสระว่ายน้ำแต่ละแหล่งจะกำหนดแนวทางที่เป็นมาตรฐานของแนวทางที่กำหนดเป็นมาตรฐานทางเคมีระว่ายน้ำแตกต่างกัน โดยทั้งนี้การกำหนดมาตรฐานจะขึ้นกับมาตรฐานของสาธารณสุขในแต่ละประเทศ สำหรับกรมอนามัยกระทรวงสาธารณสุขในประเทศไทย กำหนดมาตรฐานคุณภาพน้ำสระว่ายน้ำดังตารางที่ 7

ตารางที่ 7 มาตรฐานคุณภาพน้ำสระว่ายน้ำ

มาตรฐานกำหนด	ค่าที่ยอมรับได้
ปริมาณคลอรีนคงเหลือในสระว่ายน้ำขณะที่เปิดใช้บริการ	ไม่น้อยกว่า 1.0 mg/L
กรณีที่มีการใช้โอโซนร่วมกับสารประกอบคลอรีน ต้องมีปริมาณคลอรีนคงเหลือในสระว่ายน้ำขณะที่เปิดใช้บริการ	ไม่น้อยกว่า 0.5 mg/L
ความเป็นกรด-ด่าง (pH) ในสระว่ายน้ำขณะเปิดใช้บริการ	7.2 - 7.4
แบคทีเรียชนิดโคลิฟอร์ม	น้อยกว่า 10 : น้ำ 100 ml.
ไม่พบแบคทีเรียชนิด อี. โคไล	-
ไม่มีจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรค	-

ที่มา: สำนักอนามัยสิ่งแวดล้อม (2546)

5 การประเมินความเสี่ยง (Risk Assessment)

การประเมินความเสี่ยง หมายถึง การศึกษาถึงกระบวนการการกระทำหรือเหตุการณ์ใด ๆ อย่างเป็นระบบเพื่อวัดความเสี่ยงที่มีความสัมพันธ์กับสิ่งคุกคามที่อาจเป็นอันตรายต่อมนุษย์ (พงศ์เทพ, 2547)

การประเมินความเสี่ยง (Risk assessment) ประกอบด้วย 4 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนการประเมินสิ่งคุกคาม (Hazard identification) ขั้นตอนการประเมินการสัมผัส (Exposure assessment) ขั้นตอนการประเมินความเป็นพิษ (Toxicity assessment) และขั้นตอนการอธิบายลักษณะของความเสี่ยง (Risk characteriztion) มีรายละเอียดดังนี้

5.1 การประเมินสิ่งคุกคาม (Hazard Identification)

การประเมินสิ่งคุกคามเป็นการระบุถึงความเป็นอันตรายของสาร หรือระบุว่าสารตัวใดมีความเป็นอันตรายมากน้อยเพียงใด ซึ่งหมายถึงเป็นสารที่ก่อให้เกิดความเป็นอันตรายหลัก การประเมินสิ่งคุกคามหรือการศึกษาความเป็นพิษของสาร ต้องทราบข้อมูลที่มีความชัดเจนเกี่ยวกับสารเคมีหรือสิ่งคุกคาม โดยต้องทราบว่ามีสารใดบ้างในบริเวณที่ต้องการศึกษา รวมทั้งต้องทราบความเข้มข้นและการกระจายตัวของสารว่าสามารถเคลื่อนย้ายไปยังตัวผู้รับได้อย่างไร โดยขั้นตอนการเลือกสารเคมีหรือสิ่งคุกคามต้องทราบคุณสมบัติของสารเคมีที่เกี่ยวข้อง ซึ่งมี 3 ประเด็นหลักที่นำมาทำการประเมิน ได้แก่

1) สารเคมีหรือสิ่งคุกคามมีความเป็นพิษสูงสุด
2) สารเคมีหรือสิ่งคุกคามมีความคงทนสูง มีความเข้มข้นและการกระจายตัวสูง
3) สารเคมีหรือสิ่งคุกคามมีความสามารถในการเคลื่อนที่ได้สูง เช่น สารที่สามารถระเหย ได้ง่าย การละลายน้ำเกิดได้ดี เป็นสารที่มีความเกี่ยวข้องกับคนโดย สารเคมีหรือสิ่งคุกคามที่เลือกมาทำการประเมินจะต้องมีความเสี่ยงประมาณ 99% ของความเสี่ยงทั้งหมด

การรายงานสารเคมีหรือสารคุกคามต้องประกอบด้วยความเสี่ยงของสารที่ก่อให้เกิดมะเร็ง (Cancer risk) และความเสี่ยงในการเกิดอันตรายอื่นนอกจากมะเร็ง (Non-cancer risk) ด้วย

5.2 การประเมินการสัมผัส (Exposure Assessment)

การประเมินการสัมผัสเป็นวิธีการประมาณหรือวัดปริมาณความเข้มข้นของสารที่คุกคามหรือสารที่แต่ละคนได้รับ โดยประกอบด้วยขั้นตอนต่าง ๆ ดังนี้

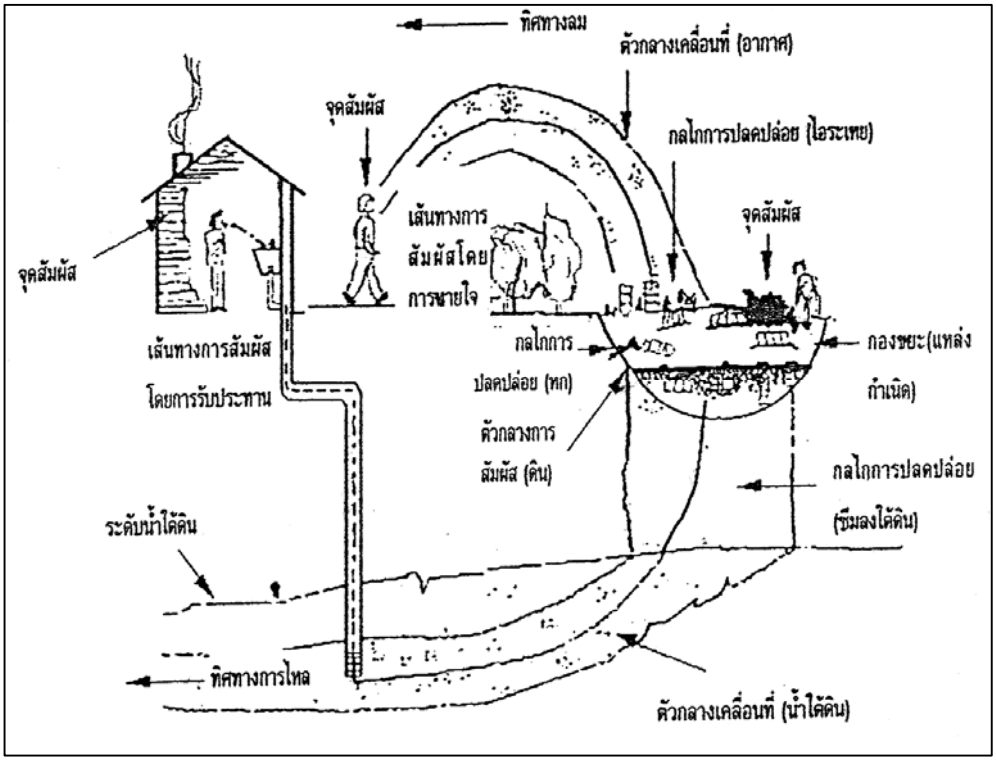
ขั้นที่ 1 การกำหนดลักษณะของการสัมผัส (Characterizing Exposure)

การกำหนดลักษณะของการสัมผัส จะต้องมีการเก็บรวมรวมข้อมูลเกี่ยวกับลักษณะของสิ่งแวดล้อมทางกายภาพ เช่น สภาพอากาศ ตัวสภาพทางอุตินิยมวิทยา สภาพทางภูมิศาสตร์ สภาพดิน สภาพน้ำใต้ดิน สภาพน้ำผิว ส่วน การกำหนดลักษณะกลุ่มประชากรที่กลุ่มเสี่ยง รวมทั้งจะต้องศึกษาถึงลักษณะของประชากรที่อาศัยอยู่ในบริเวณใกล้กับแหล่งกำเนิดของสารพิษโดยต้องมีการรวบรวมข้อมูลในด้านต่าง ๆ ได้แก่

1) ตำแหน่งที่อยู่อาศัย เนื่องจากกลุ่มประชากรที่อยู่ใกล้กับแหล่งกำเนิดสารพิษย่อมมีโอกาสเสี่ยงต่อการได้รับสารคุกคามมากกว่ากลุ่มที่อยู่ห่างออกไป แต่ทั้งนี้กลุ่มที่อยู่ห่างออกไปก็มีโอกาสที่ได้รับสารคุกคามเช่นเดียวกัน
2) ลักษณะการใช้ที่ดินและลักษณะของกิจกรรมที่ทำ ลักษณะการใช้ที่ดิน เช่น การใช้ในการเกษตรหรืออุตสาหกรรม จะเป็นตัวบอกถึงสารคุกคามที่มีโอกาสได้สัมผัส และ กิจกรรมที่ทำมีผลต่อการได้สัมผัสกับสาร
3) กลุ่มประชากรที่ความไวต่อสาร เช่น ผู้ป่วยจากโรงพยาบาล ผู้สูงอายุ เด็ก หญิงมีครรภ์ เป็นต้น

ขั้นที่ 2 การค้นหาเส้นทางการสัมผัส (Identifying Exposure Pathways)

เส้นทางการสัมผัสเป็นการแสดงถึงว่าสารเคมีหรือสารคุกคามจะสามารถเข้าสู่คนแต่ละคนได้อย่างไร ดังนั้นในการวิเคราะห์เส้นทางการสัมผัสต้องทราบแหล่งกำเนิดของสารคุกคาม ตำแหน่งของสารในการปลดปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อม ตำแหน่งของประชากร และกิจกรรมต่าง ๆ ที่ปฏิบัติ เพื่อนำมาพิจารณาเส้นทางที่สำคัญที่จะได้รับสารคุกคาม โดยเส้นทางที่สัมผัสประกอบด้วย 4 ส่วน คือ แหล่งกำเนิดและกลไกการปลดปล่อยสู่สิ่งแวดล้อม ตัวกลางที่ใช้ในการเคลื่อนย้ายของสาร จุดที่ประชากรที่มีโอกาสเสี่ยงกับการสัมผัสตัวกลางที่ถูกปนเปื้อน ดังแสดงในภาพที่ 5



ภาพที่ 5 เส้นทางการสัมผัส

ที่มา : พงศ์เทพ (2547)

มนุษย์สามารถรับสาร THMs ที่มีอยู่ในน้ำประปา และน้ำสระว่ายน้ำได้จากการรับสารผ่านทางเดินอาหาร (Ingestion) และการซึมผ่านทางผิวหนัง (Dermal Contact) นอกจากนี้แล้วไอระเหยของสารTHMs สามารถแพร่กระจายไปในอากาศได้ จึงต้องทำการประเมินเส้นทางการหายใจ (Inhalation) ด้วย โดยพิจารณาจากค่าคงที่ของ Henry's law ซึ่งสาร THMs มีค่าสูงมากกว่าสารกลุ่ม อื่น ๆ ดังจะเห็นได้จากตารางที่ 8

ตารางที่ 8 ค่าคงที่ของ Henry's law

ชนิดของสาร		ค่าคงที่ Henry's law
THMs	$CHCl_3$	0.175
	$CHCl_2Br$	0.101
	$CHClBr_2$	0.047
	$CHBr_3$	0.023
คลอรีนอิสระ/คลอรีนรวม	HOCl	$3.22x10^{-5}$
	NH_2Cl	$3.37x10^{-4}$
	$NHCl_2$	$1.137x10^{-3}$
	NCl_3	0.32538

ที่มา : Judd and Black (2000)

ขั้นที่ 3 การวัดการสัมผัส (Quantifying Exposure)

การวัดการสัมผัส คือการประเมินการรับสารเข้าสู่ร่างกาย โดยสามารถแบ่งได้ดังนี้ คือ การคำนวณปริมาณสารที่ได้รับจากการดื่มน้ำ การคำนวณปริมาณสารที่ได้รับจากการกินน้ำในระหว่างการว่ายน้ำ การคำนวณปริมาณสารที่ได้รับจากการหายใจในระหว่างการอาบน้ำ การคำนวณปริมาณสารที่ได้รับจากการสัมผัสทางผิวหนัง ซึ่งเกิดขึ้นในระหว่างการว่ายน้ำหรือการอาบน้ำ โดยสามารถคำนวณได้จากสูตรต่าง ๆ ดังตารางที่ 9

ตารางที่ 9 สูตรการคำนวณการได้รับสารเข้าสู่ร่างกายโดยผ่านเส้นทางต่าง ๆ

การรับสารโดยผ่านเส้นทางต่าง ๆ	สูตรคำนวณ
การได้รับสารผ่านทางเดินอาหารจากการดื่มน้ำ	$I = \frac{CW \times IR \times EF \times ED}{BW \times AT}$
การได้รับสารผ่านทางเดินอาหาร ในระหว่างว่ายน้ำ	$I = \frac{CW \times IR \times ET \times EF \times ED}{BW \times AT}$
การได้รับสารผ่านเส้นทางการหายใจ ในระหว่างการอาบน้ำหรือการว่ายน้ำ	$I = \frac{CA \times IR \times ET \times EF \times ED}{BW \times AT}$
การได้รับสารโดยการซึมผ่านทางผิวหนัง ในระหว่างการอาบน้ำหรือการว่ายน้ำ	$I = \frac{CW \times SA \times PC \times ET \times EF \times ED \times CF}{BW \times AT}$

ที่มา : LaGrega et al (2001)

หมายเหตุ: เมื่อ I = ปริมาณสารที่ได้รับ (มก./กก.ของน้ำหนักร่างกาย/วัน)

CW/CA = ความเข้มข้นของสารในน้ำหรือในอากาศ (มก./ลิตร)

IR = อัตราการดื่มน้ำ หรืออัตราการรับประทานน้ำระหว่างการว่ายน้ำ (ลิตร/วัน) หรืออัตราการหายใจระหว่างอาบน้ำ (ลบ.ม./ชั่วโมง)

EF = ความถี่ของการสัมผัส (วัน/ปี หรือ ชั่วโมง/ครั้ง)

ED = ระยะเวลาที่สัมผัส (ปี)

ET = เวลาในการสัมผัส (ชั่วโมง/วัน หรือ ชั่วโมง/ครั้ง)

BW = น้ำหนักร่างกาย (กิโลกรัม)

AT = ระยะเวลาเฉลี่ย (วัน)

SA = พื้นที่ผิวที่สัมผัส (ตร.ซม.)

PC = ค่าคงที่จำเพาะต่อสารเคมีที่ซึมผ่านทางผิวหนัง (เซนติเมตร/ชั่วโมง)

CF = ค่าที่ใช้สำหรับการแปลงค่าปริมาตรน้ำ (1 ลิตร/1000 ลบ.ซม.)

นอกจากนี้แล้ว US-EPAได้เสนอแนะค่าคงที่สำหรับพารามิเตอร์ต่าง ๆ แสดงดังตารางที่ 10

ตารางที่ 10 ค่าคงที่สำหรับประเมินความเสี่ยง

พารามิเตอร์	ตัวแปร	ค่าคงที่
น้ำหนักเฉลี่ยของร่างกายผู้ใหญ่	BW	70 กก.
น้ำหนักเฉลี่ยของร่างกายเด็ก		
0 – 1.5 ปี		10 กก.
1.5 – 5 ปี		14 กก.
5 – 12 ปี		26 กก.
ปริมาณน้ำที่ผู้ใหญ่ได้รับในแต่ละวัน	IR	2 ล.
ปริมาณน้ำที่เด็กได้รับในแต่ละวัน		1 ล.
ปริมาณอากาศที่ผู้ใหญ่หายใจในแต่ละวัน		20 ลบ.ม.
ปริมาณอากาศที่เด็กหายใจในแต่ละวัน		5 ลบ.ม.
อัตราการสัมผัสขณะว่ายน้ำ		50 มล./ชม.
พื้นที่ผิวสัมผัสของผู้ใหญ่เพศชาย	SA	1.94 ตร.ม.
พื้นที่ผิวสัมผัสของผู้ใหญ่เพศหญิง		1.69 ตร.ม.
พื้นที่ผิวสัมผัสของเด็ก	SA	
3-6 ปี *		0.720 ตร.ม.
6-9 ปี *		0.925 ตร.ม.
9-12 ปี *		1.16 ตร.ม.
12-15 ปี *		1.49 ตร.ม.
ช่วงเวลาการสัมผัสตลอดชีวิต	ED	70 ปี
ระยะเวลาเฉลี่ย	AT	ED x 365 วัน/ปี
ความถี่ของการสัมผัส - การว่ายน้ำ	EF	6 วัน/ปี
ระยะเวลาการสัมผัส	ET	
- การอาบน้ำฝักบัว เปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 90		12 นาที
- การว่ายน้ำ		2.6 ชม./วัน

ที่มา: US-EPA (1989)

หมายเหตุ : * ค่าเฉลี่ยของทั้งเพศชายและเพศหญิง

5.3 การประเมินความเป็นพิษ (Toxicity Assessment)

การประเมินความเป็นพิษ มี 2 รูปแบบ ได้แก่ ความเป็นพิษที่ก่อให้เกิดมะเร็ง และความเป็นพิษที่เป็นอันตรายอื่นนอกจากมะเร็ง โดยค่า Slope Factor (SF) เป็นค่าความเป็นพิษที่ใช้ในการประเมินความเป็นพิษของสารก่อมะเร็ง ดังตารางที่ 11 สำหรับความเป็นพิษที่เป็นอันตรายอื่นนอกจากมะเร็งแสดงด้วยค่า Reference Concentration (R_fC) ซึ่งเป็นค่าความเป็นพิษที่ใช้ในการประเมินความเป็นพิษของสารที่ไม่ก่อให้เกิดมะเร็งดังตารางที่ 12 โดยทั้งค่า SF และค่า R_fC สามารถค้นคว้าได้จาก http://www.epa.gov/iris

ตารางที่ 11 ค่า Slope Factor ของสาร THMs ทั้ง 4 ชนิด ตามเส้นทางต่าง ๆ ของการได้รับสารเข้าสู่ร่างกาย

ชนิดของสาร	เส้นทางการได้รับสาร		
	ทางเดินอาหาร [(kg·day)/mg]	การซึมผ่านทางผิวหนัง [(kg·day)/mg]	ทางการหายใจ [(kg·day)/mg]
คลอโรฟอร์ม	0.0061	0.0305	0.0805
โบรโมไดคลอโรมีเทน	0.0620	0.0633	0.0620
ไดโบรโมคลอโรมีเทน	0.0840	0.1400	0.0840
โบรโมฟอร์ม	0.0079	0.0132	0.00385

ที่มา: US-EPA (2008)

ตารางที่ 12 ค่า Reference Concentration ของสาร THMs ทั้ง 4 ชนิด ตามเส้นทางต่าง ๆ ของการได้รับสารเข้าสู่ร่างกาย

ชนิดของสาร	เส้นทางการได้รับสาร		
	ทางเดินอาหาร [mg/(kg·day)]	การซึมผ่านทางผิวหนัง [mg/(kg·day)]	ทางการหายใจ [mg/(kg·day)]
คลอโรฟอร์ม	0.01	0.002	ไม่มีค่ารายงาน
โบรโมไดคลอโรมีเทน	0.02	ไม่มีค่ารายงาน	ไม่มีค่ารายงาน
ไดโบรโมคลอโรมีเทน	0.02	ไม่มีค่ารายงาน	ไม่มีค่ารายงาน
โบรโมฟอร์ม	0.02	0.012	ไม่มีค่ารายงาน

ที่มา : US-EPA (2008)

5.4 การอธิบายลักษณะของความเสี่ยง (Risk Characterization)

การอธิบายลักษณะของความเสี่ยง คือการรวบรวมลักษณะต่างๆที่ได้จากการประเมินใน 3 ขั้นตอนแรก นำมาประเมินภาพรวมของความเสี่ยง โดยสามารถอธิบายความเสี่ยงที่ได้ในลักษณะของขนาดและความรุนแรงซึ่งได้จากการคำนวณความเสี่ยงที่ก่อให้เกิดมะเร็งและความเสี่ยงที่ไม่ก่อให้เกิดมะเร็ง

สมการของการคำนวณความเสี่ยงที่ก่อให้เกิดมะเร็งเป็นการคำนวณความเสี่ยงตลอดชีวิต (Life time cancer risk) ดังสมการ (5) และค่า SF ของสาร THMs ทั้ง 4 ชนิด โดยแบ่งตามเส้นทางต่าง ๆ ของการได้รับสารเข้าสู่ร่างกาย แสดงดังตารางที่ 11

$$\text{Lifetime Cancer Risk} = Ic \times SF \qquad (5)$$

เมื่อ I_c = ปริมาณของสารก่อมะเร็งที่ได้รับ [mg/(kg·day)]

SF = Slope Factor ของสารก่อมะเร็ง [(kg·day)/mg]

สมการความเสี่ยงที่ไม่ก่อให้เกิดมะเร็งแสดงดังสมการ (6) และค่า Reference Concentration ของสาร THMs ทั้ง 4 ชนิด โดยแบ่งตามเส้นทางต่างๆของการได้รับสารเข้าสู่ร่างกาย ดังตารางที่ 12

$$HI = I_N / R_f C \qquad (6)$$

เมื่อ HI = ดรรชนีความเสี่ยง (Hazard Index)

I_N = ปริมาณของสารไม่ก่อมะเร็งที่ได้รับ [mg/(kg·day)]

R_fC = Reference Concentration [mg/(kg·day)]

ความเสี่ยงทั้งหมด = ผลรวมของแต่ละสารที่ก่อให้เกิดมะเร็งหรือแต่ละสารที่ไม่ก่อให้เกิดมะเร็งจากเส้นทางการสัมผัสต่าง ๆ

จากการเสนอแนะของ US-EPA ได้เสนอแนะว่า Lifetime cancer risk ควรมีค่าอยู่ในช่วง 1E-06 ถึง 1E-04 ซึ่งถือเป็นความเสี่ยงที่ยอมรับได้ หากมีค่ามากกว่า 1E-04 ถือว่าเป็นความเสี่ยงที่ไม่สามารถยอมรับได้ต้องทำการแก้ไขต่อไป

สำหรับความเสี่ยงที่ไม่ก่อให้เกิดมะเร็ง US-EPA ได้เสนอแนะว่าควรมีค่า HI น้อยกว่า 1.0 จึงถือเป็นความเสี่ยงที่ยอมรับได้

6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Panyakapo et al. (2007) ทำการประเมินความเสี่ยงของการเกิดมะเร็งจากการได้รับสาร THMs ในน้ำประปาและสระว่ายน้ำที่ใช้น้ำดิบจากน้ำประปาผสมกับน้ำบาดาล โดยเก็บตัวอย่างน้ำประปาและน้ำในสระว่ายน้ำในช่วงเดือนเมษายน 2548 ถึงเดือนมีนาคม 2549 พบว่าการประเมินความเสี่ยงการเกิดมะเร็งสำหรับผู้ที่ไม่ว่ายน้ำจากสาร THMs ทั้ง 4 ชนิด ซึ่งประเมินจากความเข้มข้นสูงสุดและจากความเข้มข้นเฉลี่ย มีค่าเท่ากับ 4.43E-05 และ 2.19E-05 ตามลำดับ ซึ่งอยู่ในช่วงความเสี่ยงที่ยอมรับได้ตามค่าที่เสนอแนะโดย US-EPA นอกจากนี้พบว่าความเสี่ยงในการก่อมะเร็งของสารที่มีมากที่สุด คือ โบรโมไดคลอโรมีเทน รองลงมา ได้แก่ ไดโบรโมคลอโรมีเทน คลอโรฟอร์ม และโบรโมฟอร์ม โดยความเสี่ยงของการก่อมะเร็งที่ได้รับผ่านทางเดินอาหารสูงถึงร้อยละ 99.73 ของความเสี่ยงทั้งหมด

สำหรับผู้ที่ว่ายน้ำ พบว่าความเสี่ยงในการเกิดมะเร็งจากการได้รับสาร THMs ที่ความเข้มข้นสูงสุดและความเข้มข้นเฉลี่ยเท่ากับ 1.47E-03 และ 7.99E-04 ตามลำดับ ซึ่งมีค่าความเสี่ยงอยู่ในช่วงที่ไม่สามารถยอมรับได้จึงต้องมีการดำเนินการแก้ไขต่อไป นอกจากนี้ยังพบว่าความเสี่ยงในการก่อมะเร็งของสารที่มีมากที่สุด คือ ไดโบรโมคลอโรมีเทน รองลงมาได้แก่ โบรโมไดคลอโรมีเทน คลอโรฟอร์ม และโบรโมฟอร์ม ความเสี่ยงจากการับสารจากการว่ายน้ำคิดเป็นร้อยละ 93.9-94.2 จากความเสี่ยงทั้งหมด

Wang et al. (2007) ทำการประเมินการเกิดมะเร็งจากการได้รับสาร THMs ในน้ำประปาจาก 4 เมือง ได้แก่ Taipei Taichung Kaohsiung และ Kinmen ในประเทศไต้หวัน พบว่าสาร THMs ทั้ง 4 ชนิด มีคุณสมบัติในการเข้าสู่ร่างกายได้ทั้งหมด 3 ทาง คือ การได้รับสารผ่านทางเดินอาหาร การซึมผ่านทางผิวหนัง และทางการหายใจ ซึ่งความเสี่ยงสูงสุดมาจากการได้รับคลอโรฟอร์มผ่านทางการหายใจ มีค่าเท่ากับ 1.80E-06 ถือว่าเป็นเส้นทางที่สำคัญที่สุดในการเกิดความเสี่ยงการเกิดมะเร็งจากสาร THMs สำหรับไดคลอโรโบรโมมีเทนและคลอโรไดโบรโมมีเทนรับเข้าสู่ทางการหายใจมีความเสี่ยงเท่ากับ 8.87E-07 และ 7.69E-07 ตามลำดับ การได้รับสารผ่านทางเดินอาหารของสารทั้งสองชนิดมีค่าความเสี่ยงเท่ากับ 1.64E-07 และ 2.22E-07 ตามลำดับ สำหรับโบรโมฟอร์มมีความเสี่ยงในการเกิดมะเร็งน้อยที่สุด ซึ่งเป็นค่าความเสี่ยงที่ได้รับผ่านทางเดินอาหารและทางการหายใจมีค่าเท่ากับ 2.09E-08 และ 2.60E-08 ตามลำดับ

สำหรับการได้รับสาร THMs ทั้ง 4 ชนิด เข้าสู่ร่างกายโดยการซึมผ่านทางผิวหนังถือว่าไม่มีนัยสำคัญเมื่อเปรียบเทียบกับการได้รับผ่านทางเดินอาหารและทางการหายใจ โดยทั้งนี้การคำนวณความเสี่ยงทั้งหมดของสาร THMs ส่วนใหญ่เกิดจากการหายใจ ซึ่งเป็นตัวบ่งชี้ได้ว่าการระเหยของสาร THMs ในน้ำดื่มเป็นส่วนสำคัญต่อความเสี่ยงในการเกิดมะเร็ง

Erdinger et al. (2004) ทำการศึกษาเกี่ยวกับการได้รับสาร THMs จากสระว่ายน้ำในเมือง Heidelberg ประเทศเยอรมันนี โดยแบ่งกลุ่มตัวอย่างออกเป็น 3 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มที่ 1 คือ กลุ่มที่ว่ายน้ำแต่ไม่ใช้อากาศจากถังอากาศ กลุ่มที่ 2 คือ กลุ่มที่ว่ายน้ำใช้อากาศจากถังอากาศ และกลุ่มที่ 3 คือ กลุ่มที่ไม่สัมผัสน้ำในสระว่ายน้ำแต่อยู่บริเวณรอบสระน้ำ ทั้งนี้มีการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำและวิเคราะห์เลือดของกลุ่มผู้ถูกทดลองก่อนทั้งก่อนและหลังลงสระว่ายน้ำ ผลการวิเคราะห์ความเข้มข้นของคลอโรฟอร์มในเลือดของทั้ง 3 กลุ่ม มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.02 0.03 และ 0.24 µg/L ตามลำดับ และผลการวิเคราะห์สาร THMs ในแต่ละกลุ่มผู้ถูกทดลอง พบว่ากลุ่มคนที่ว่ายน้ำแต่ไม่ใช้อากาศจากถังอากาศมีความเข้มข้นของสาร THMs ในเลือดสูงที่สุด โดยมีโอกาสเสี่ยงจากการได้รับสาร THMs ผ่านทางเดินอาหาร การซึมผ่านทางผิวหนัง และทางการหายใจ รองลงมาคือกลุ่มคนที่ว่ายน้ำใช้อากาศจากถังอากาศ มีโอกาสเสี่ยงในการได้รับสาร THMs ผ่านทางเดินอาหารและการซึมผ่านทางผิวหนัง และกลุ่มที่มีโอกาสเสี่ยงน้อยที่สุดจากการได้รับสาร THMs คือกลุ่มคนที่ไม่สัมผัสน้ำในสระว่ายน้ำแต่อยู่บริเวณรอบสระน้ำ โดยสามารถได้รับสารจากเส้นทางการหายใจเนื่องจากมีสาร THMs ในอากาศอยู่ในระดับต่ำสุด

Fantuzzi et al. (2000) ศึกษาการประเมินสาร THMs บริเวณจากสระว่ายน้ำในร่มที่มีผลต่ออาชีวอนามัยของคนทำงานบริเวณสระว่ายน้ำ โดยทำการศึกษาจากสระว่ายน้ำ 5 แห่งในเมือง Modena ประเทศอิตาลี โดยทำการศึกษากับกลุ่มตัวอย่าง 32 คน ซึ่งมีลักษณะของข้อมูลได้แก่ เพศ อายุ (< 30 , 30-39 , >40 ปี) อายุการทำงาน (1-5 , 6-10 , >10 ปี) สถานที่เก็บตัวอย่าง (บริเวณพื้นที่พนักงานต้อนรับ บริเวณริมสระว่ายน้ำ ห้องควบคุม) และความถี่การว่ายน้ำ (ไม่ว่ายน้ำ ว่ายน้ำเป็นครั้งคราว ว่ายน้ำทุกวัน) พบว่าทั้งในน้ำและอากาศมีสาร THMs อยู่ด้วยกัน 4 ชนิด ได้แก่ คลอโรฟอร์ม โบรโมไดคลอโรมีเทน ไดโบรโมคลอโรมีเทน และโบรโมฟอร์ม โดยตัวอย่างน้ำมีความเข้มข้นเฉลี่ยของคลอโรฟอร์ม โบรโมไดคลอโรมีเทน ไดโบรโมคลอโรมีเทน และโบรโมฟอร์ม เท่ากับ 33.2 4.2 1.9 และ 0.4 ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าคลอโรฟอร์มเป็นชนิดที่มีความเข้มข้นสูงสุด รองลงมาคือโบรโมไดคลอโรมีเทน ไดโบรโมคลอโรมีเทน และโบรโมฟอร์ม ตามลำดับ สำหรับตัวอย่างอากาศในระดับหายใจ และอากาศจากถุงลมในปอดที่เก็บในแต่ละพื้นที่ คือริมสระว่ายน้ำ พื้นที่พนักงานต้อนรับ และห้องควบคุม มีความความเข้มข้นเฉลี่ยของสาร THMs ทั้ง 4 ชนิดเป็นไปในทำนองเดียวกันกับตัวอย่างน้ำ นอกจากนี้ยังพบอีกว่าหากอากาศที่อยู่ในระดับหายใจ

มีความเข้มข้นของสาร THMs สูง จะส่งผลทำให้อากาศจากถุงลมในปอดมีความเข้มข้นของสาร THMs สูงขึ้นด้วย

Hsu et al. (2001) ทำการประเมินความเสี่ยงในการเกิดมะเร็งจากสาร THMs ในน้ำประปาของทั้ง 3 แห่งในประเทศไต้หวัน ได้แก่ North Taiwan Central Taiwan และ South Taiwan พบว่าสาร THMs ทั้ง 4 ชนิด ได้แก่ คลอโรฟอร์ม โบรโมไดคลอโรมีเทน ไดโบรโมคลอโรมีเทน และโบรโมฟอร์ม มีความเข้มข้นเท่ากับ 14.2-27.6 3.24-6.35 0.63-4.19 และ 0.08-0.68 μg/L ตามลำดับ โดยจะเห็นได้ว่าคลอโรฟอร์มมีความเข้มข้นสูงที่สุดในน้ำประปาของ South Taiwan นอกจากนี้ยังพบว่าความเสี่ยงของการเกิดมะเร็งขึ้นกับความแตกต่างของปัจจัยต่าง ๆ ได้แก่ แหล่งน้ำ พื้นที่ของการประปา และอัตราการดื่มน้ำ เช่น การดื่มน้ำวันละ 1-3 ลิตร พบว่าความเสี่ยงของสาร THMs ทั้ง 4 ชนิดจากทั้ง 3 แห่งในไต้หวันมีค่าสูงกว่า 1E-06 โดยเฉพาะ ใน South Taiwan มีความเสี่ยงรวมสูงที่สุดคือเท่ากับ 1.94E-04 และการดื่มน้ำวันละ 3 ลิตรใน South Taiwan พบว่าคลอโรฟอร์มมีความเสี่ยงของการเกิดมะเร็งสูงสุดคือมีค่าเท่ากับ 1.80E-04 และการดื่มน้ำวันละ 2 ลิตร จากน้ำประปาและน้ำใต้ดินใน 4 แห่งที่มีความแตกต่างกันของการประปา พบว่าความเสี่ยงของการเกิดมะเร็งของสาร THMs มีค่าเกินกว่าค่าของ US-EPA ที่สามารถยอมรับได้ โดยคลอโรฟอร์มจากทั้ง 3 แห่งมีความเสี่ยงของการเกิดมะเร็งสูงที่สุด คือคิดเป็นร้อยละ 87.5-92.5 ของความเสี่ยงรวมทั้งหมด

Weisel et al. (1996) ทำการศึกษาเกี่ยวกับการสัมผัสคลอโรฟอร์มและไตรคลอโรเอทธิลีน โดยได้รับผ่านทางเดินอาหาร ทางการหายใจ และการซึมผ่านทางผิวหนังจากน้ำประปาที่มีการฆ่าเชื้อโรคด้วยการเติมคลอรีน ทั้งนี้การได้รับสารผ่านทางเดินอาหารจะพิจารณาในกรณีของการดื่มน้ำ การหายใจพิจารณาในระหว่างการอาบน้ำ และการซึมผ่านทางผิวหนังพิจารณาในขณะอาบน้ำฝักบัวหรือการอาบน้ำด้วยอ่างอาบน้ำ การทดลองนี้ใช้ผู้ร่วมการทดลอง 11 คน เป็นชาย 6 คน และหญิง 5 คน ที่มีอายุระหว่าง 20-50 ปี โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 25 การทดลอง ดังนี้ ผู้ร่วมทดลองที่ได้รับสาร Volatile Organic Carbon (VOCs) จากการดูดซับทางผิวหนังมีทั้งสิ้น 12 การทดลอง แบ่งได้เป็น 8 การทดลอง ให้ผู้ร่วมทดลองอาบน้ำฝักบัวเป็นเวลา 10 นาที และอีก 4 การทดลองให้ผู้ร่วมทดลองอาบน้ำด้วยอ่างอาบน้ำเป็นเวลา 60 นาที นอกจากนี้อีก 9 การทดลองเป็นการทดลองเกี่ยวกับการได้รับสาร VOCs จากการหายใจ โดยให้ผู้ร่วมทดลองอาบน้ำฝักบัวเป็นเวลา 10 นาที และสำหรับ 4 การทดลองสุดท้ายเป็นการทดลองเกี่ยวกับการได้รับสาร VOCs จากการกลืนกิน โดยให้ผู้ร่วมทดลองดื่มน้ำปริมาณ 0.5 ลิตร จากการทดลองดังกล่าวพบว่าความเข้มข้นของคลอโรฟอร์มและไตรคลอโรเอทธิลีน ในการหายใจออกมีค่าสูงขึ้นในผู้ร่วมการทดลองแต่ละคนหลังจากที่มีการสัมผัสทั้งจากการหายใจและการซึมผ่านทางผิวหนังในขณะอาบน้ำฝักบัว

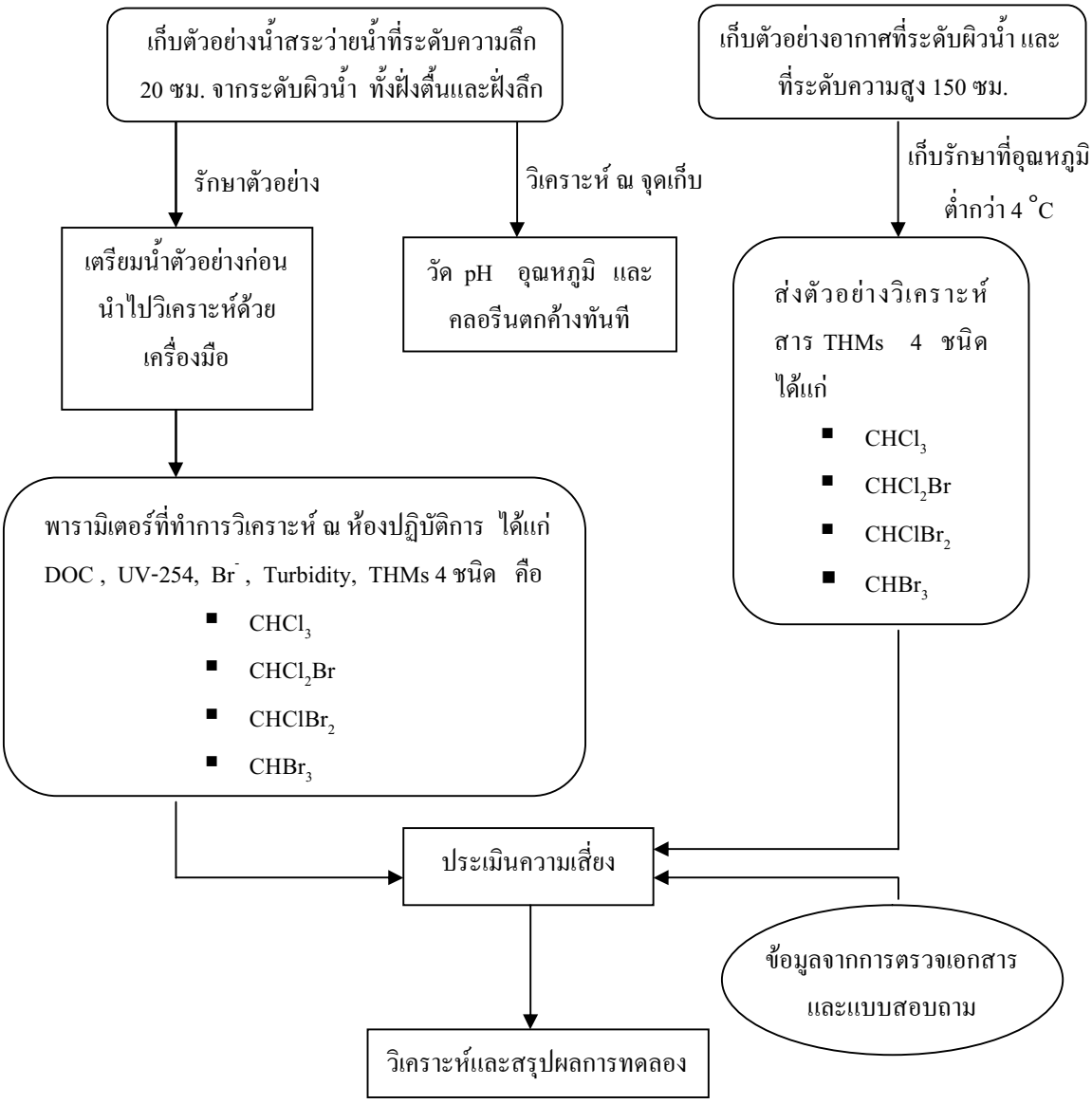
และความเข้มข้นจากการหายใจก็มีค่าสูงขึ้นหลังจากการซึมผ่านทางผิวหนังโดยการอาบน้ำด้วยอ่างอาบน้ำ เส้นทางการสัมผัสทั้ง 3 เส้นทางจะขึ้นอยู่กับระยะเวลาของการได้รับการสัมผัสสาร นอกจากนี้ยังขึ้นกับเมทาบอลิซึมภายในของร่างกายและความเป็นพิษของสารประกอบ

Villanueva et al. (2006) ทำการประเมินสาร THMs ที่มีผลต่อหญิงตั้งครรภ์ในเมือง Brittany ประเทศฝรั่งเศส โดยทำการประเมินจาก 4 รูปแบบ คือ 1) ความเป็นไปได้ของการเปลี่ยนระดับสาร THMs ภายในที่อยู่อาศัย โดยมีการออกแบบสอบถามและสัมภาษณ์ข้อมูลส่วนบุคคล เช่น การดื่มน้ำ ความถี่ในการอาบน้ำ เป็นต้น 2) การเปลี่ยนแปลงของสาร THMs 3) ระดับสาร THMs ในสระว่ายน้ำ และ 4) การได้รับสาร THMs ทั้งนี้การประเมินสาร THMs จากลักษณะที่อยู่อาศัยและสระว่ายน้ำทำการเก็บตัวอย่างในเดือนตุลาคม – ธันวาคม 2004 และทำการเก็บตัวอย่างในเดือนเมษายน – พฤษภาคม 2005 พบว่าค่าเฉลี่ยของสาร THMs ในเดือนตุลาคม พฤศจิกายน – ธันวาคม และเมษายน – พฤษภาคม เท่ากับ 61.3 45.1 และ 54.3 μg/L ตามลำดับ โดยสาร THMs ที่พบในทุกเดือน คือ คลอโรฟอร์ม โบรโมไดคลอโรมีเทน และไดโบรโมคลอโรมีเทน นอกจากนี้ยังพบว่าลักษณะของที่อยู่อาศัยไม่มีผลต่อความเข้มข้นของสาร THMs ซึ่งปริมาณของสาร THMs ในสระว่ายน้ำมีค่าสูงกว่าน้ำประปาภายในที่อยู่อาศัย เนื่องจากในสระว่ายน้ำมีการเติมคลอรีนอย่างต่อเนื่อง และสำหรับฤดูกาลมีผลต่อการเกิดสาร THMs โดยพบว่าปริมาณสูงสุดของการเกิดสาร THMs อยู่ในช่วงปลายฤดูร้อนจนถึงต้นฤดูหนาวหรือในช่วงเดือนมิถุนายนถึงเดือนสิงหาคม

Lee et al. (2009) ศึกษาคุณลักษณะของสาร THMs และประเมินความเสี่ยงจากสระว่ายน้ำที่มีการฆ่าเชื้อโรคด้วยคลอรีน โอโซนรวมกับคลอรีน และการใช้วิธี Electrochemically generate mixed oxidants (EGMOs) จากสระว่ายน้ำในร่ม 183 แห่งในกรุงโซล ประเทศเกาหลี โดยวิเคราะห์หาความเข้มข้นของสาร THMs ในสระว่ายน้ำและประเมินความเสี่ยงของการเกิดมะเร็งและความเป็นอันตรายอื่นนอกจากมะเร็งจากทั้ง 3 เส้นทาง คือ การได้รับสารผ่านทางเดินอาหาร การซึมผ่านทางผิวหนัง และทางการหายใจ พบว่าความเสี่ยงในการเกิดมะเร็งของนักว่ายน้ำมาจากการได้รับสารผ่านทางการหายใจเป็นเส้นทางหลัก คือมีค่าอยู่ในช่วง 7.77E-04 ถึง 1.36E-03 ซึ่งเป็นความเสี่ยงที่มีค่าเกินกว่าค่าที่ยอมรับได้ของ US-EPA นอกจากนี้แล้วพบว่าการได้รับสารผ่านทางผิวหนังสูงสุดมาจากตัวอย่างที่ผ่านกระบวนการฆ่าเชื้อโรคด้วยวิธี EGMOs โดยเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับการฆ่าเชื้อโรคด้วยคลอรีน และการฆ่าเชื้อโรคด้วยโอโซนรวมกับคลอรีน พบว่าสระว่ายน้ำที่ฆ่าเชื้อโรคด้วย EGMOs มีความเข้มข้นของโบรโมไดคลอโรมีเทนและไดโบรโมคลอโรมีเทนสูงสุด สำหรับความเสี่ยงของการเกิดอันตรายอื่นนอกจากมะเร็งมาจากการได้รับสารผ่านทางเดินอาหารและการซึมผ่านทางผิวหนัง คือมีค่าอยู่ในช่วง 1E-03 และ 1E-04 ซึ่งเป็นค่าที่อยู่ในช่วงที่สามารถยอมรับได้

บทที่ 3
วิธีดำเนินงานวิจัย

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินความเสี่ยงในการเกิดมะเร็งและความเป็นอันตรายอื่นนอกจากมะเร็งของบุคคลกลุ่มต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับน้ำประปา และสระว่ายน้ำ ซึ่งมีวิธีดำเนินงานวิจัยแสดงดังแผนผังการดำเนินงานวิจัยในภาพที่ 6



ภาพที่ 6 แผนผังการดำเนินงานวิจัย

1 ความถี่ในการเก็บตัวอย่าง

การดำเนินการวิจัยครั้งนี้ได้ทำการเก็บตัวอย่างน้ำและอากาศเป็นระยะเวลา 1 ปี จำนวน 3 ครั้งตามฤดูกาล โดยแบ่งฤดูกาลตามเกณฑ์ของกรมอุตุนิยมวิทยา (กรมอุตุนิยมวิทยา, 2537) ดังนี้

ฤดูร้อน	ตั้งแต่กลางเดือนกุมภาพันธ์ – กลางเดือนพฤษภาคม (ทำการเก็บตัวอย่างในเดือนพฤษถาคม)
ฤดูฝน	ตั้งแต่กลางเดือนพฤษภาคม – กลางเดือนตุลาคม (ทำการเก็บตัวอย่างในเดือนสิงหาคม)
ฤดูหนาว	ตั้งแต่กลางเดือนตุลาคม – กลางเดือนกุมภาพันธ์ (ทำการเก็บตัวอย่างในเดือนกุมภาพันธ์)

2 สถานที่เก็บตัวอย่าง

2.1 สระว่ายน้ำศูนย์กีฬาสโมสรทหารบก

สระว่ายน้ำศูนย์กีฬาสโมสรทหารบก มีลักษณะเป็นสระว่ายน้ำในร่ม ดังภาพที่ 7 ความยาวของสระเท่ากับ 25 เมตร ความกว้าง 12.5 เมตร ความลึกของสระมีลักษณะเป็นระดับไล่ลงจากความลึก 0.8 เมตร จนถึงระดับลึกสุดที่ 1.8 เมตร มีการใช้น้ำดิบเป็นน้ำประปา และมีการใช้คลอรีนชนิดเกล็ดเป็นสารไตรคลอโรไอโสไซยานูริคที่ฆ่าเชื้อโรคในสระ รวมทั้งมีการตรวจสอบคุณภาพน้ำทุกวันหลังจากสระว่ายน้ำปิดให้บริการ โดยตรวจวัดปริมาณคลอรีนตกค้างและค่า pH โดยใช้ชุดทดสอบ น้ำที่ล้นจากสระมีการนำมาหมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่โดยผ่านเครื่องกรองทราย สระว่ายน้ำเปิดให้บริการกับบุคคลทั่วไป ซึ่งมีทุกเพศทุกวัย นอกจากนี้มีการเปิดสอนว่ายน้ำให้กับผู้ที่สนใจ โดยสระเปิดให้บริการวันจันทร์ถึงวันศุกร์ เวลา 14.00 – 20.00 นาฬิกา และช่วงวันเสาร์อาทิตย์ เวลา 9.00-20.00 นาฬิกา ยกเว้นวันหยุดนักขัตฤกษ์และวันหยุดชดเชย

ภาพที่ 7 สระว่ายน้ำศูนย์กีฬาสโมสรทหารบก

2.2 สระว่ายน้ำมหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา

สระว่ายน้ำมหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา มีลักษณะเป็นสระว่ายน้ำกึ่งในร่ม คือมีลักษณะเปิดด้านข้างและด้านบนครึ่งหนึ่งของสระว่ายน้ำ ดังภาพที่ 8 ความยาวของสระเท่ากับ 25 เมตร ความกว้าง 12.5 เมตร ความลึกของสระมีลักษณะเป็นระดับไล่ลงจากความลึก 0.8 เมตร จนถึงลึกสุด 2 เมตร มีการใช้น้ำประปาจากการประปานครหลวงเป็นน้ำดิบ และมีการใช้คลอรีนชนิดผงเป็นกรดไตรคลอโรไอโซไซยานูริค 90 % ฆ่าเชื้อโรคในสระว่ายน้ำ โดยจะเติมช่วงเวลาเย็นหลังสระว่ายน้ำปิดทำการ นอกจากนี้แล้วยังมีการตรวจวัดคุณภาพน้ำในช่วงเช้า กลางวัน และเย็น โดยตรวจวัดปริมาณคลอรีนตกค้างและค่า pH โดยใช้ชุดทดสอบ น้ำที่ล้นจากสระมีการนำมาหมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่โดยผ่านเครื่องกรองทราย สระว่ายน้ำมีการเปิดให้บริการทุกวัน เวลา 7.00 – 20.00 นาฬิกา ผู้มาใช้บริการส่วนใหญ่เป็นบุคคลทั่วไป ทุกวัยทั้งชายและหญิงและมีการเปิดสอนว่ายน้ำให้กับผู้ที่สนใจด้วย

ภาพที่ 8 สระว่ายน้ำมหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา

2.3 สระว่ายน้ำโรงเรียนเซนต์คาเบรียล

สระว่ายน้ำโรงเรียนเซนต์คาเบรียล มีลักษณะเป็นสระว่ายน้ำกลางแจ้ง ดังภาพที่ 9 ความยาวของสระเท่ากับ 25 เมตร ความกว้าง 12.5 เมตร ความลึกของสระมีลักษณะเป็นระดับไล่ลงจากความลึก 1 เมตร จนถึงลึกสุด 3 เมตร มีการใช้น้ำดิบเป็นน้ำประปา และมีการใช้คลอรีนชนิดน้ำ 10% ป้อนเข้าสู่ระบบเพื่อเป็นสารฆ่าเชื้อโรคในสระ ซึ่งมีชื่อทางการค้าว่า Dinochlorine liquid โดยจะเป็นการป้อนคลอรีนน้ำอัตโนมัติเมื่อน้ำในสระมีปริมาณคลอรีนต่ำกว่า 0.7 น้ำที่ล้นจากสระมีการนำมาหมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่โดยผ่านเครื่องกรองทราย และตรวจวัดคุณภาพน้ำทุกวัน สระว่ายน้ำใช้สำหรับการเรียนการสอนว่ายน้ำให้กับนักเรียนระดับมัธยมศึกษาของโรงเรียนในวันจันทร์ถึงวันพฤหัสบดี เวลา 9.00 – 16.00 นาฬิกา รวมถึงมีการเปิดให้บริการสระว่ายน้ำกับบุคคลทั่วไปในวันจันทร์ถึงวันพฤหัสบดี เวลา 16.00 – 17.30 นาฬิกา และในวันศุกร์ เสาร์ ซึ่งเปิดให้บริการเวลา 16.00 - 18.30 นาฬิกา

ภาพที่ 9 สระว่ายน้ำโรงเรียนเซนต์คาเบรียล

3 การเก็บตัวอย่างและการวิเคราะห์น้ำ

3.1 การเก็บตัวอย่างน้ำสระว่ายน้ำ

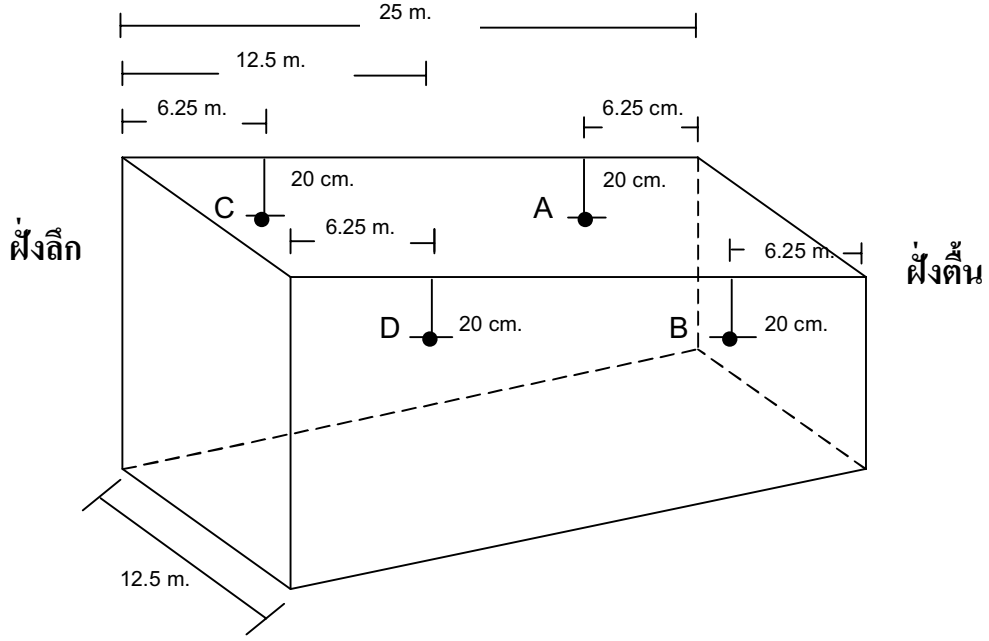
การเก็บตัวอย่างน้ำสระว่ายน้ำทำการเก็บแบบผสมรวม (Composite Sample) โดยกำหนดจุดเก็บตัวอย่างน้ำเป็นสองฝั่งคือฝั่งตื้นและฝั่งลึก ฝั่งละ 2 จุด (ภาพที่ 10) โดยฝั่งตื้นเก็บตัวอย่างที่จุด A และ B นำมารวมกัน สำหรับฝั่งลึกเก็บตัวอย่างที่จุด C และ D มารวมกัน โดยเก็บตัวอย่างน้ำในช่วงเช้า กลางวัน และเย็น ช่วงเช้า ดังนี้

ช่วงเช้า เวลา 10.30 – 11.30 นาฬิกา

ช่วงกลางวัน เวลา 12.30 – 13.30 นาฬิกา

ช่วงเย็น เวลา 14.30 – 15.30 นาฬิกา

จากนั้นนำตัวอย่างทั้งหมดมารวมกันเป็น 1 ตัวอย่าง การกำหนดจุดเก็บตัวอย่างน้ำดังกล่าวเนื่องจากไม่สามารถลงไปเก็บตัวอย่างที่ระดับกึ่งกลางของสระว่ายน้ำได้เพราะมีการเรียนการสอนให้กับนักเรียน และมีประชาชนทั่วไปมาว่ายน้ำตลอดเวลา การเก็บตัวอย่างดังกล่าวถือเป็นตัวแทนของน้ำในสระว่ายน้ำทั้งหมด โดยทำการเก็บตัวอย่างน้ำที่ระดับความลึก 20 เซนติเมตรจากระดับผิวน้ำ เนื่องจากเป็นระดับความลึกที่ร่างกายสามารถสัมผัสน้ำได้ทุกส่วน



● จุดเก็บตัวอย่างน้ำฝั่งตื้นและฝั่งลึกที่ระดับ 20 เซนติเมตร

ภาพที่ 10 จุดเก็บตัวอย่างน้ำ

3.2 การเก็บตัวอย่างน้ำประปา

การเก็บตัวอย่างน้ำประปา ทำการเก็บจากบริเวณสระว่ายน้ำเพื่อเป็นตัวอย่างน้ำดิบและเป็นตัวแทนของน้ำประปาในบริเวณนั้น โดยก่อนการเก็บตัวอย่างมีการเปิดให้น้ำไหลทิ้งเป็นเวลา 5 นาที เพื่อให้แน่ใจว่าน้ำประปาที่เก็บเป็นน้ำจากท่อหลักของการประปา ไม่ใช่น้ำที่มีการตกค้างอยู่ตามท่อประปา

3.3 วิธีการเก็บรักษาตัวอย่างน้ำเพื่อการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่าง ๆ

เมื่อทำการเก็บตัวอย่างน้ำแล้วต้องมีการรักษาตัวอย่างเพื่อให้สมบัติของตัวอย่างน้ำใกล้เคียงที่สุดกับน้ำทั้งหมดที่ต้องการวิเคราะห์ โดยวิธีการรักษาตัวอย่างและการวิเคราะห์เป็นไปตาม Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater ของ APHA AWWA WPCF (2005) ดังตารางที่ 13 พารามิเตอร์บางพารามิเตอร์ต้องทำการวัด ณ จุดเก็บตัวอย่าง เนื่องจากไม่สามารถเก็บรักษาตัวอย่างได้ ได้แก่ pH อุณหภูมิ และปริมาณคลอรีนตกค้าง

พารามิเตอร์ที่ต้องมีการรักษาตัวอย่างเพื่อนำไปวิเคราะห์ ได้แก่ สารไตรฮาโลมีเทน (Trihalomethanes, THMs) สารอินทรีย์คาร์บอนละลายน้ำ (Dissolved Organic Carbon, DOC)

สารอินทรีย์ที่มีโครงสร้างเป็นอะโรมาติก (Ultraviolet 254, UV-254) โบรไมด์อิออน (Bromide Ion, Br^-) และความขุ่น (Turbidity)

ตารางที่ 13 วิธีการเก็บรักษาตัวอย่างน้ำ

พารามิเตอร์	วิธีการเก็บรักษาตัวอย่าง	ระยะเวลาที่เก็บไว้ได้ก่อนการวิเคราะห์	วิธีการวิเคราะห์ หรือเครื่องมือวิเคราะห์
pH	วัด ณ จุดเก็บตัวอย่าง	-	pH meter
Temperature	วัด ณ จุดเก็บตัวอย่าง	-	pH meter
Chlorine - Residual	วัด ณ จุดเก็บตัวอย่าง	-	Iodometric titration
DOC	เติม Conc.H_2SO_4 ปรับ pH ให้น้อยกว่า 2 เก็บแช่เย็นที่ 4 °C วิเคราะห์ภายใน 7 วัน	7 วัน	TOC analysis
UV-254	ปรับ pH ให้น้อยกว่า 2 เก็บแช่เย็นที่ 4 °C วิเคราะห์ภายใน 2 วัน	2 วัน	UV Spectrophotometer
Turbidity	เก็บแช่เย็นที่ 4 °C	-	Turbidity meter
Br-	เก็บแช่เย็นที่ 4 °C วิเคราะห์ภายใน 28 วัน	28 วัน	Ion Chromatograph
THMs	เติม HCl 1+1 และ 0.1 N $Na_2S_2O_3$ ปรับ pH ให้น้อยกว่า 2 เก็บแช่เย็น	7 วัน	Gas Liquid – Chromatograph – ECD Detector (GC - ECD)

ที่มา: APHA AWWA WPCF (2005)

3.4 สถานที่วิเคราะห์ตัวอย่างน้ำ

ตัวอย่างน้ำที่ทำการเก็บจะแบ่งเป็นการวิเคราะห์พารามิเตอร์ ณ จุดเก็บตัวอย่าง และวิเคราะห์พารามิเตอร์ ณ ห้องปฏิบัติการภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม

3.5 วิธีวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำ

พารามิเตอร์และวิธีวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำ มีดังนี้

3.5.1 พีเอช (pH)

การวิเคราะห์ pH ทำ ณ จุดเก็บตัวอย่าง ด้วยเครื่อง pH meter ยี่ห้อ HORIBA รุ่น Model D – 21

3.5.2 อุณหภูมิ (Temperature)

การวิเคราะห์อุณหภูมิ ทำ ณ จุดเก็บตัวอย่าง ด้วยเครื่อง pH meter ยี่ห้อ HORIBA รุ่น Model D – 21

3.5.3 คลอรีนตกค้างทั้งหมด (Chlorine residual)

คลอรีนตกค้างวิเคราะห์ด้วยวิธี Iodometric titration เป็นไปตาม Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater ของ APHA AWWA WPCF (2005)

3.5.4 สารไตรฮาโลมีเทน (Trihalomethanes, THMs)

การวิเคราะห์สาร THMs ทั้ง 4 ชนิด ทำการเตรียมตัวอย่างก่อนด้วยการ ปิเปตน้ำตัวอย่าง 5 มิลลิลิตร เติมลงในขวด vial ขนาด 20 มิลลิลิตร ที่มี Sodium Sulfate 0.5 กรัม ปิดฝาขวดด้วยฝาแคปให้สนิท จากนั้นนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Head-Space Gas Liquid Chromatograph ECD detector ยี่ห้อPerkin Elmer รุ่นAutosystem XL โดยใช้คอลัมภ์ Supelco 241 35-U PTE^{tm}-5, Carrier gas N_2 และ He อัตราการไหล 2 มล./นาที Injection temperature 220 $^{\circ}$C Oven temperature 55°C 15 นาที Detector temperature 300 $^{\circ}$C

3.5.5 สารอินทรีย์คาร์บอนละลายน้ำ (Dissolved Organic Carbon, DOC)

การวิเคราะห์สารอินทรีย์ละลายน้ำ ตัวอย่างน้ำต้องผ่านการกรองก่อนด้วยกระดาษกรอง GF/C ขนาดรูพรุน 0.45 ไมโครเมตร จากนั้นนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง TOC Analyzer ยี่ห้อ Tekmar – Dohrman รุ่น Phoenix 8000

3.5.6 ค่า Ultraviolet 254 (UV-254)

การวิเคราะห์ค่า UV-254 ซึ่งถือว่าเป็นตัวแทนของสารอินทรีย์ที่มีโครงสร้างเป็นอะโรมาติกในน้ำ มีหน่วยเป็นเซนติเมตร$^{-1}$ (cm.$^{-1}$) โดยตัวอย่างน้ำต้องผ่านการกรองก่อนด้วยกระดาษกรอง GF/C ขนาดรูพรุน 0.45 ไมโครเมตร จากนั้นนำน้ำตัวอย่างมาวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 253.7 นาโนเมตร โดยใช้เครื่อง UV-visible Spectophotometer ยี่ห้อ Jasco รุ่น V-530

3.5.7 โบรไมด์อิออน (Bromide Ion, Br^-)

การวิเคราะห์โบรไมด์อิออน ตัวอย่างน้ำต้องผ่านการกรองก่อนด้วยกระดาษกรอง GF/C ขนาดรูพรุน 0.45 ไมโครเมตร จากนั้นนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Ion Chromatograph ยี่ห้อ Metrohm รุ่น 761 Compact IC ใช้คอลัมภ์ Metrosep Anion dual 2 , Conductivity

3.5.8 ความขุ่น (Turbidity)

ความขุ่น (Turbidity) วิเคราะห์ด้วยเครื่อง Turbidity meter ยี่ห้อ Hach รุ่น 2100 P

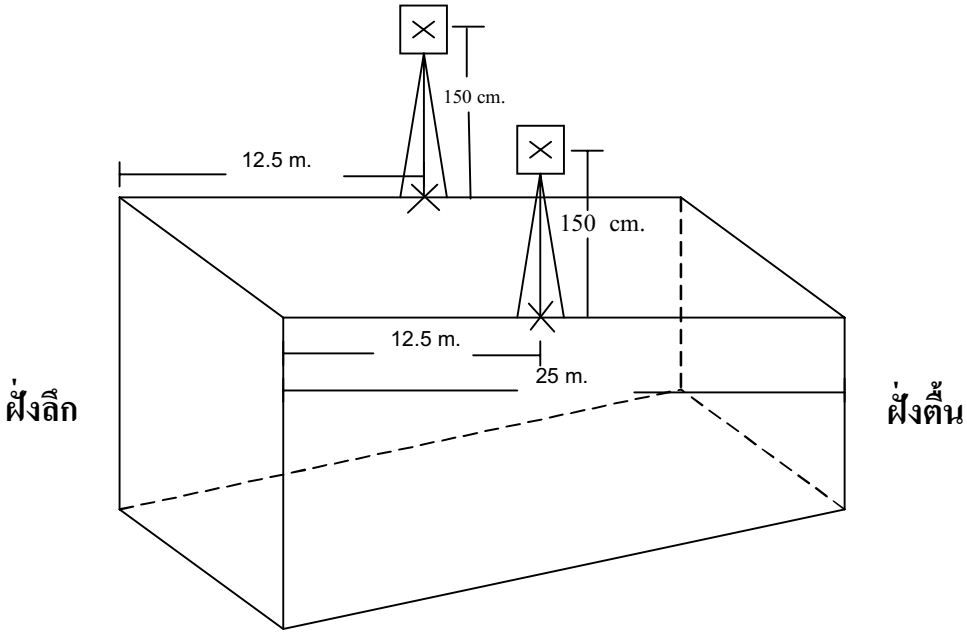
4 ตัวอย่างอากาศ

4.1 การเก็บตัวอย่างอากาศ

ตัวอย่างอากาศทำการเก็บบริเวณขอบสระว่ายน้ำ ตรงตำแหน่งกึ่งกลางของขอบสระว่ายน้ำแต่ละด้าน โดยแบ่งออกเป็น 2 จุด แสดงดังภาพที่ 11

การเก็บตัวอย่างอากาศทำการเก็บด้วยเครื่องดูดอากาศที่ต่อกับหลอด Charcoal ดังภาพที่ 12 และมีทิศทางการดูดอากาศเข้าดังลูกศร (ภาพที่ 13) อัตราการดูดอากาศเท่ากับ 0.100 ลิตรต่อนาที เป็นเวลา 2 ชั่วโมง จากการที่ต้องนำตัวอย่างอากาศไปประเมินความเสี่ยงของคนที่ว่ายน้ำและทำงานในบริเวณนั้น เพราะฉะนั้นจึงเก็บตัวอย่างที่ระดับผิวน้ำ เนื่องจากที่ระดับผิวน้ำเป็นระดับที่ขณะคนลงว่ายน้ำสามารถรับเอาสารระเหยเข้าไปได้ และที่ระดับความสูง 150 เซนติเมตร

เนื่องจากเป็นบริเวณที่คนเดินอยู่บริเวณรอบสระว่ายน้ำจะได้รับสารระเหยได้ รวมทั้งเป็นระดับความสูงเฉลี่ยของคนทั่วไปที่ใช้ในการหายใจ



× จุดเก็บตัวอย่างอากาศที่ระดับผิวน้ำ และที่ระดับ 150 เซนติเมตร

ภาพที่ 11 จุดเก็บตัวอย่างอากาศ

ภาพที่ 12 เครื่องเก็บตัวอย่างอากาศ

ภาพที่ 13 ทิศทางการดูดอากาศเข้า Charcoal Tube

4.2 การเก็บรักษาหลอดเก็บตัวอย่าง

หลังการเก็บอากาศแล้วสวมฝาปิดที่บริเวณหัวและท้ายหลอดเพื่อป้องกันการระเหยของสารจากนั้นนำใส่ถุงพลาสติกและแช่เย็นก่อนนำตัวอย่างไปวิเคราะห์

4.3 สถานที่วิเคราะห์ตัวอย่างอากาศ

ทำการส่งหลอดตัวอย่างอากาศไปวิเคราะห์ที่ศูนย์อ้างอิงทางห้องปฏิบัติการและพิษวิทยา สำนักโรคจากการประกอบอาชีพและสิ่งแวดล้อม กรมควบคุมโรค กระทรวงสาธารณสุข

4.4 วิธีวิเคราะห์ตัวอย่างอากาศ

การวิเคราะห์สารไตรฮาโลมีเทนทั้ง 4 ชนิด ทำการเตรียมตัวอย่างก่อนด้วยการนำผงคาร์บอนจากหลอด Charcoal Tube ใส่ลงใน vial 2 มิลลิลิตร จากนั้นใส่คาร์บอนไดซัลไฟด์ลงไป 1 มิลลิลิตร ปิดฝาแล้วเขย่าให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ 30 นาที จากนั้นนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Head-Space Gas Liquid Chromatograph ECD detector โดยใช้ Capillary Column Agilent 19091F-115, Carrier gas N_2 และ He อัตราการไหล 1.9 มิลลิลิตร/นาที Injection temperature 250°C Oven temperature 50°C 16 นาที Detector temperature 300°C

5 การทำแบบสอบถาม

ด้านการสำรวจข้อมูลดำเนินการโดยใช้แบบสอบถาม ตัวอย่างแบบสอบถามดังภาคผนวก ก เพื่อให้ทราบถึงข้อมูลจริงที่บุคคลแต่ละกลุ่มได้ทำเป็นกิจวัตรประจำวัน หรือกิจกรรมต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับสระว่ายน้ำในแต่ละแห่ง ข้อมูลจากแบบสอบถามเป็นส่วนหนึ่งของการนำมาใช้ในการประเมินความเสี่ยง ซึ่งประกอบด้วยประเด็นด้านการใช้บริการสระว่ายน้ำ พฤติกรรมและสุขภาพของผู้มาใช้บริการสระว่ายน้ำ โดยแบบสอบถามแบ่งออกเป็น 3 ส่วน ได้แก่

ส่วนที่ 1 แบบสอบถามข้อมูลทั่วไป

(สำหรับสอบถามผู้ใช้บริการทั่วไป ครูสอนว่ายน้ำและเจ้าหน้าที่ดูแลสระว่ายน้ำ)

ส่วนที่ 2 ข้อมูลการใช้บริการสระว่ายน้ำ

(สำหรับสอบถามผู้ใช้บริการทั่วไป ครูสอนว่ายน้ำและเจ้าหน้าที่ดูแลสระว่ายน้ำ)

ส่วนที่ 3 ข้อมูลด้านพฤติกรรมและสุขภาพของผู้มาใช้บริการสระว่ายน้ำ

(สำหรับสอบถามผู้ใช้บริการทั่วไป)

- ข้อมูลด้านพฤติกรรมและสุขภาพของครูสอนว่ายน้ำ

(สำหรับสอบถามครูสอนว่ายน้ำ)

- ข้อมูลส่วนบุคคล

(สำหรับสอบถามเจ้าหน้าที่ดูแลสระว่ายน้ำ)

ข้อมูลแบบสอบถามเพื่อนำมาประเมินความเสี่ยงสำหรับผู้ใหญ่ว่ายน้ำและเด็กว่ายน้ำ คือ ความถี่ในการใช้บริการสระว่ายน้ำ ระยะเวลาแต่ละครั้งที่ว่ายน้ำ แบบสอบถามสำหรับครูสอนว่ายน้ำ คือ ความถี่ในการลงสอนว่ายน้ำในสระว่ายน้ำ จำนวนชั่วโมงต่อวันที่ลงสอนว่ายน้ำในสระว่ายน้ำ และแบบสอบถามสำหรับเจ้าหน้าที่ดูแลสระว่ายน้ำ คือ ความถี่ของการมาทำงานที่สระว่ายน้ำ ระยะเวลาการทำงานในแต่ละวันในสระว่ายน้ำ โดยผลการวิเคราะห์แสดงดังตารางที่ 15

6 วิธีการประเมินความเสี่ยง

วิธีการประเมินความเสี่ยงเป็นไปตามวิธีการของ US-EPA ปี 1989 โดยวิธีการประเมินความเสี่ยงจากการได้รับสาร THMs ประกอบด้วย 4 ขั้นตอน ดังนี้

6.1 การประเมินสิ่งอุกคาม (Hazard Identification)

จากการตรวจเอกสารพบว่า สารตกค้างกลุ่มที่มีความเป็นพิษสูงสุดคือ สาร THMs 4 ชนิด ได้แก่ คลอโรฟอร์ม โบรโมไดคลอโรมีเทน ไดโบรโมคลอโรมีเทน และโบรโมฟอร์ม เนื่องจากมีค่าสูงสุดทั้งที่ก่อให้เกิดมะเร็งและไม่ก่อให้เกิดมะเร็ง (ตารางที่ 1)

6.2 การประเมินการสัมผัส (Exposure Assessment)

ในการประเมินความเสี่ยงนั้นพิจารณาเลือกบุคคลกลุ่มต่าง ๆ และเส้นทางการสัมผัสเหล่านี้ เนื่องจากเป็นกิจวัตรประจำวันที่ต้องปฏิบัติทั้งที่เกี่ยวข้องและไม่เกี่ยวข้องกับสระว่ายน้ำ ไม่ว่าจะเป็นกิจกรรมยามว่าง เช่น การว่ายน้ำหรือการทำงานในสระว่ายน้ำ เพื่อนำมาประเมินความเสี่ยงที่ก่อให้เกิดมะเร็งและความเป็นอันตรายอื่นที่ไม่ก่อให้เกิดมะเร็ง ดังตารางที่ 14 โดยแบ่งบุคคลออกเป็น 6 กลุ่ม ได้แก่

กลุ่มที่ 1 ผู้ใหญ่ที่ว่ายน้ำ
กลุ่มที่ 2 ผู้ใหญ่ที่ไม่ว่ายน้ำ (รับสาร THMs จากน้ำประปาเท่านั้น)
กลุ่มที่ 3 เด็กที่ว่ายน้ำ
กลุ่มที่ 4 เด็กที่ไม่ว่ายน้ำ (รับสาร THMs จากน้ำประปาเท่านั้น)
กลุ่มที่ 5 ครูสอนว่ายน้ำ
กลุ่มที่ 6 เจ้าหน้าที่ดูแลสระว่ายน้ำ

เส้นทางการสัมผัสแบ่งออกเป็น 3 เส้นทาง ได้แก่ การรับสารผ่านทางเดินอาหาร (Ingestion) การซึมผ่านทางผิวหนัง (Dermal Contact) และทางการหายใจ (Inhalation) โดยแต่ละกลุ่มมีเส้นทางการสัมผัสที่แตกต่างกัน ยกตัวอย่างเช่น กลุ่มแรกคือกลุ่มผู้ใหญ่ที่ว่ายน้ำจะประเมินจากการรับสารผ่านทางเดินอาหาร (Ingestion) การซึมผ่านทางผิวหนัง(Dermal Contact) และทางการหายใจ (Inhalation) ซึ่งประเมินจากที่ระดับผิวน้ำ สำหรับกลุ่มที่ 2 คือกลุ่มผู้ใหญ่ที่ไม่ว่ายน้ำประเมินเช่นเดียวกับกลุ่มแรก แต่เส้นทางการหายใจจะประเมินที่ระดับ 150 เซนติเมตร เป็นต้น

จากวิธีการของ US-EPA ได้ทำการประเมินการรับสารเข้าสู่ร่างกายโดยผ่านเส้นทางต่าง ๆ คำนวณได้จากสูตรในตารางที่ โดยค่าตัวแปรต่าง ๆ ใช้ตามค่าที่ US-EPA ได้เสนอแนะไว้ตามตารางที่ 15 ซึ่งค่าต่างๆเหล่านี้เป็นค่าคงที่ของประชากรในประเทศสหรัฐอเมริกา แต่สำหรับงานวิจัยนี้ได้ใช้ข้อมูลสำหรับประชากรในประเทศไทยบางค่า เช่น น้ำหนักร่างกายเฉลี่ยของผู้ใหญ่เท่ากับ 55 กิโลกรัม อายุเฉลี่ยของผู้ใหญ่เท่ากับ 64 ปี พื้นที่ผิวสัมผัสร่างกายของผู้ใหญ่เท่ากับ 1.72 ตารางเมตร (กิตติ, 2548)

ตารางที่ 14 บุคคลกลุ่มต่าง ๆ และเส้นทางการสัมผัสในการประเมินความเสี่ยง

กลุ่มที่	กลุ่มบุคคล	เส้นทางการสัมผัส						
		ทางเดินอาหาร (Ingestion)		การหายใจ (Inhalation)			การซึมผ่านทางผิวหนัง (Dermal Contact)	
		น้ำประปา	น้ำสระว่ายน้ำ	น้ำประปา*	น้ำสระว่ายน้ำ		น้ำประปา	น้ำสระว่ายน้ำ
					ระดับผิวน้ำ	150 ซม. จากระดับผิวน้ำ		
1	ผู้ใหญ่ที่ว่ายน้ำ	●	●	×	●	×	●	●
2	ผู้ใหญ่ที่ไม่ว่ายน้ำ	●	×	×	×	×	●	×
3	เด็กที่ว่ายน้ำ	●	●	×	●	×	●	●
4	เด็กที่ไม่ว่ายน้ำ	●	×	×	×	×	●	×
5	ครูสอนว่ายน้ำ	●	●	×	●	×	●	●
6	เจ้าหน้าที่ดูแลสระว่ายน้ำ	●	×	×	×	●	●	×

หมายเหตุ : ● พิจารณาเส้นทางการสัมผัส

× ไม่พิจารณาเส้นทางการสัมผัส

* ไม่พิจารณาเส้นทางการหายใจจากน้ำประปา เนื่องจากประเมินว่าบ้านเรือนของประเทศไทยมีการถ่ายเทอากาศได้ดี ไอระเหยของสาร THMs จึงระเหยออกไปได้

ตารางที่ 15 ค่าคงที่สำหรับการประเมินความเสี่ยง

ค่าคงที่	หน่วย	ตัวแปร	ผู้ใหญ่	เด็ก	ครูสอนว่ายน้ำ	เจ้าหน้าที่ดูแลสระว่ายน้ำ	แหล่งที่มา
ช่วงอายุเฉลี่ยที่สัมผัสสาร	ปี	EP	30	6	-	-	US-EPA (1989)
น้ำหนักเฉลี่ย	กิโลกรัม	BW	55*	26	-	-	US-EPA (1989)
พื้นที่ผิวสัมผัส	ตารางเซนติเมตร	SA	18,150	10,425	-	-	US-EPA (1989)
อัตราการดื่มน้ำ	ลิตร/วัน	IR	3	1.5**	-	-	Stuart M.E., et al (2001)
อัตราการหายใจ	ลบ.ม/ชั่วโมง	IR	0.83	0.208	-	-	US-EPA (1989)
อัตราการได้รับสารทางปากระหว่างว่ายน้ำ	ลิตร/วัน	IR	1.2	0.6*	-	-	US-EPA (1989)
ความถี่ในการว่ายน้ำ / ความถี่ในการทำงานในสระว่ายน้ำ	วัน/ปี	EF	101	154	238	302	แบบสอบถาม
ระยะเวลาในการอาบน้ำ	ชั่วโมง/วัน	ET	0.2	0.2	-	-	US-EPA (1989)
ระยะเวลาในการว่ายน้ำ / ระยะเวลาในการทำงานในสระว่ายน้ำ	ชั่วโมง/วัน	ET	1.1	1.3	1.8	9	แบบสอบถาม

หมายเหตุ : * ข้อมูลจาก Stuart M.E., et al (2001)

** คำนวณจากครึ่งหนึ่งของผู้ใหญ่

- ใช้ข้อมูลเช่นเดียวกับผู้ใหญ่

6.3 การประเมินความเป็นพิษ (Toxicity Assessment)

การประเมินความเป็นพิษของสาร THMs จะพิจารณาจากทั้งกรณีที่ก่อให้เกิดมะเร็ง และไม่ก่อให้เกิดมะเร็ง ข้อมูลที่สำคัญสำหรับเป็นดรรชนีบ่งชี้การมีศักยภาพที่ก่อให้เกิดมะเร็งและไม่ก่อให้เกิดมะเร็ง คือ ค่า Slope Factor (SF) และค่า Reference Concentration (R_fC) ตามลำดับ โดยความเป็นพิษที่ก่อให้เกิดมะเร็งของสาร THMs จะแสดงด้วยค่า SF และความเป็นพิษที่ไม่ก่อให้เกิดมะเร็งของสาร THMs แสดงด้วยค่า R_fC ดังแสดงในตารางที่ 11 และตารางที่ 12 ตามลำดับ โดยจะเห็นว่าค่า SF ของสาร THMs ที่มีโบรมีนเป็นองค์ประกอบจะมีค่าสูงกว่าคลอโรฟอร์มอย่างเห็นได้ชัด ซึ่งเป็นการแสดงให้เห็นว่าหากมีโบรไมด์อิออนในน้ำดิบมากจะทำให้ความเสี่ยงในการเกิดมะเร็งสูงขึ้น

6.4 การประเมินลักษณะความเสี่ยง (Risk Characterization)

จากการประเมินสาร THMs ใน 3 ขั้นตอนแรกแล้ว จากนั้นนำมาประเมินภาพรวมของความเสี่ยงที่เกิดขึ้นจากสาร THMs โดยความเสี่ยงจากการก่อให้เกิดมะเร็งของสาร THMs ทั้ง 4 ชนิด ซึ่งแบ่งตามเส้นทางต่าง ๆ ของการได้รับสารเข้าสู่ร่างกาย คำนวณได้จากสมการที่ 5 สำหรับความเสี่ยงที่ไม่ก่อให้เกิดมะเร็งของสาร THMs ทั้ง 4 ชนิด คำนวณได้จากสมการที่ 6 ดังนั้นความเสี่ยงรวมทั้งหมดจึงหาได้จากการนำปริมาณสารที่ได้รับจากทางเดินอาหาร ปริมาณสารที่ได้รับผ่านทางการหายใจ และปริมาณสารที่ซึมผ่านทางผิวหนังมารวมกันเป็นความเสี่ยงรวมทั้งหมดของสาร THMs แต่ละชนิด

บทที่ 4
ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

1 ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำและอากาศ

ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำประปา น้ำสระว่ายน้ำ และอากาศบริเวณสระว่ายน้ำในร่ม สระว่ายน้ำกึ่งในร่ม และสระว่ายน้ำกลางแจ้ง ซึ่งเก็บตัวอย่างระหว่างเดือนพฤษภาคม พ.ศ.2550 ถึง เดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ.2551 มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1.1 สมบัติต่าง ๆ และความเข้มข้นของสาร THMs ในน้ำประปา

ผลการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่าง ๆ และความเข้มข้นของสาร THMs ในน้ำประปา แสดงดังตารางที่ 16 พบว่า pH กับอุณหภูมิของน้ำมีค่าค่อนข้างคงที่ตลอดทั้งปี จึงไม่พบผลของ pH และอุณหภูมิต่อการเกิดสาร THMs

สำหรับความเข้มข้นของสารไตรฮาโลมีเทนทั้งหมด (Total trihalomethanes, TTHM) คลอโรฟอร์ม โบรโมไดคลอโรมีเทน ไดโบรโมคลอโรมีเทน และโบรโมฟอร์ม ในน้ำประปามีค่าอยู่ในช่วง 38.62-110.56 26.32-89.73 10.02-20.82 1.28-4.50 และ ND-0.58 µg/L ตามลำดับ โดยชนิดของสาร THMs ที่มีความเข้มข้นสูงสุด ได้แก่ คลอโรฟอร์ม รองลงมาได้แก่ โบรโมไดคลอโรมีเทน ไดโบรโมคลอโรมีเทน และโบรโมฟอร์ม ตามลำดับ

เมื่อพิจารณาจากความเข้มข้นของสาร TTHM ในน้ำประปาที่มีค่าอยู่ในช่วง 38.62-110.56 µg/L แล้ว พบว่าจากตัวอย่างทั้งหมด 27 ตัวอย่างมีเพียง 2 ตัวอย่าง ที่มีค่าสูงกว่ามาตรฐาน MCLs ของ WHO และ EU ซึ่งกำหนดให้มีความเข้มข้นของสาร TTHM ไม่เกิน 100 µg/L แสดงว่าน้ำประปาจากแหล่งที่เก็บตัวอย่างยังคงมีความปลอดภัยที่จะใช้ในการอุปโภคบริโภคในแง่ของการได้รับสาร THMs เข้าสู่ร่างกาย

ตารางที่ 16 ความเข้มข้นของสาร THMs และพารามิเตอร์อื่น ๆ ในน้ำประปา

พารามิเตอร์	ช่วง	ค่าสูงสุด	ค่าเฉลี่ย	± SD
pH	5.50-8.54	8.54	6.58	0.89
อุณหภูมิ (°C)	25.00-35.90	35.90	30.08	0.19
คลอรีนตกค้าง(mg/L)	ND-0.32	0.32	0.03	0.04
DOC (mg/L)	2.62-4.33	4.33	3.32	0.42
UV-254 (cm^{-1})	0.06-0.07	0.07	0.07	0.00
Br^- (mg/L)	ND-0.43	0.43	0.01	0.01
$CHCl_3$ (µg/L)	26.32-89.73	89.73	49.20	10.65
$CHBrCl_2$ (µg/L)	10.02-20.82	20.82	14.06	2.49
$CHBr_2Cl$ (µg/L)	1.28-4.50	4.50	1.88	0.11
$CHBr_3$ (µg/L)	ND-0.58	0.58	0.14	0.07
TTHM (µg/L)	38.62-110.56	110.56	65.28	12.33

หมายเหตุ : Detection limit ของการวิเคราะห์ $CHCl_3$ $CHBrCl_2$ $CHBr_2Cl$ และ $CHBr_3$ ในน้ำเท่ากับ 0.03 0.05 0.05 และ 0.05 µg/L ตามลำดับ

1.2 สมบัติต่าง ๆ และความเข้มข้นของสาร THMs ในน้ำสระว่ายน้ำ

ผลการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆและความเข้มข้นของสาร THMs ในน้ำสระว่ายน้ำแสดงดังตารางที่ 17 พบว่า pH กับอุณหภูมิของน้ำมีค่าค่อนข้างคงที่ตลอดทั้งปี จึงไม่พบผลของ pH และอุณหภูมิต่อการเกิดสาร THMs และพบโบรไมด์อิออนที่จะเกิดปฏิกิริยาแทนที่คลอรีนอะตอม ทำให้เกิดสารตกค้างที่มีองค์ประกอบของโบรมีนอะตอมเพิ่มมากขึ้น นอกจากนี้แล้วค่า UV-254 ยังมีค่าสูง แสดงว่าน้ำสระว่ายน้ำมีแนวโน้มที่จะมีสารอินทรีย์ที่มีโครงสร้างอะโรมาติกสะสมอยู่มาก

สำหรับความเข้มข้นของสาร TTHM คลอโรฟอร์ม โบรโมไดคลอโรมีเทน ไดโบรโมคลอโรมีเทน และโบรโมฟอร์ม ในน้ำสระว่ายน้ำในร่มมีค่าอยู่ในช่วง 11.69-38.00 9.24-29.06 2.44-13.66 ND และ ND-0.81 µg/L ตามลำดับ สระว่ายน้ำกึ่งในร่มมีค่าอยู่ในช่วง 44.22-72.41 37.67-59.10 4.00-18.40 ND-0.25 และ ND-0.46 µg/L ตามลำดับ และสระว่ายน้ำกลางแจ้งมี

ค่าอยู่ในช่วง 18.48-59.64 15.46-57.44 ND-13.66 ND-0.05 ND-0.15 µg/L ตามลำดับ โดยชนิดของสาร THMs ที่มีความเข้มข้นสูงสุดจากทั้ง 3 สระ ได้แก่ คลอโรฟอร์ม รองลงมาคือ โบรโมไดคลอโรมีเทน

เมื่อพิจารณาจากความเข้มข้นของสาร TTHM ในน้ำสระว่ายน้ำในงานวิจัยนี้ ซึ่งจำเป็นที่จะต้องนำไปเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานของน้ำประปาแทน เนื่องจากไม่มีหน่วยงานใดที่ได้มีการกำหนดค่ามาตรฐานของสาร THMs ในสระว่ายน้ำเอาไว้ โดยความเข้มข้นของสาร TTHM ในน้ำสระว่ายน้ำในร่ม สระว่ายน้ำกึ่งในร่ม และสระว่ายน้ำกลางแจ้ง ที่มีค่าอยู่ในช่วง 11.69-38.00 44.22-72.41 และ 18.48-59.64 µg/L ตามลำดับ จะเห็นได้ว่ามีค่าต่ำกว่ามาตรฐาน MCLs ของ WHO และ EU ซึ่งกำหนดให้มีความเข้มข้นของสาร TTHM ไม่เกิน 100 µg/L รวมถึงมีค่าต่ำกว่ามาตรฐานของ US-EPA ระยะที่ 1 ที่กำหนดค่า MLCs ไว้ไม่เกิน 80 µg/L

ถึงแม้ว่าความเข้มข้นของสาร TTHM จากทั้ง 3 สระ จะมีค่าต่ำกว่ามาตรฐานต่าง ๆ แต่สารกลุ่มนี้สามารถที่จะก่อให้เกิดอันตรายต่าง ๆ ทั้งที่ก่อให้เกิมะเร็งและอันตรายอื่น ๆ ในมนุษย์ได้ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้ทำการประเมินความเสี่ยง (Risk assessment) ทั้งที่ก่อให้เกิดมะเร็งและความเป็นอันตรายอื่นนอกจากมะเร็ง เพื่อเป็นข้อมูลบ่งชี้ถึงความอันตรายของสารกลุ่มนี้ไว้ด้วย

ตารางที่ 17 ความเข้มข้นของสาร THMs และพารามิเตอร์ต่าง ๆ ในน้ำสระว่ายน้ำในร่ม สระว่ายน้ำกึ่งในร่ม และสระว่ายน้ำกลางแจ้ง

พารามิเตอร์	สระว่ายน้ำในร่ม (Indoor)				สระว่ายน้ำกึ่งในร่ม (Semi-indoor)				สระว่ายน้ำกลางแจ้ง (Outdoor)			
	ช่วง	ค่าสูงสุด	ค่าเฉลี่ย	± SD	ช่วง	ค่าสูงสุด	ค่าเฉลี่ย	± SD	ช่วง	ค่าสูงสุด	ค่าเฉลี่ย	± SD
pH	3.15-5.66	5.66	3.98	0.590	3.48-4.11	4.11	3.75	0.25	5.16-8.59	8.59	7.20	1.26
อุณหภูมิ (°C)	27.10-29.70	29.70	28.43	1.17	25.00-30.50	30.50	27.81	2.50	28.30-31.70	31.70	29.83	1.31
คลอรีนตกค้าง(mg/L)	0.68-6.27	6.27	3.72	2.05	0.41-2.22	2.22	1.45	0.90	0.09-0.80	0.80	0.34	0.03
DOC (mg/L)	8.61-17.76	17.76	11.06	1.58	0.91-3.86	3.86	2.49	0.78	0.71-1.88	1.88	1.10	0.43
UV-254 (cm^{-1})	0.00-0.07	0.07	0.06	0.01	0.02-0.04	0.04	0.04	0.02	0.01-0.02	0.02	0.0185	0.00
Br^- (mg/L)	ND-4.57	4.57	1.91	1.77	ND-10.96	10.96	3.00	3.23	ND-82.91	82.91	44.41	38.80
$CHCl_3$ (µg/L)	9.24-29.06	29.06	17.81	8.07	37.67-59.10	59.10	48.68	5.31	15.46-57.44	57.44	30.94	22.33
$CHBrCl_2$ (µg/L)	2.44-13.66	13.66	6.85	2.50	4.00-18.40	18.40	10.21	3.19	0.01-13.66	13.66	5.17	7.08
$CHBr_2Cl$ (µg/L)	ND	ND	ND	-	ND-0.25	0.25	0.07	0.12	ND-0.05	0.05	0.01	0.01
$CHBr_3$ (µg/L)	ND-0.81	0.81	0.17	0.30	ND-0.46	0.46	0.12	0.21	ND-0.15	0.15	0.03	0.05
TTHM (µg/L)	11.69-38.00	38.00	24.83	10.41	44.22-72.41	72.41	59.08	5.60	18.48-59.64	59.64	36.15	20.27

หมายเหตุ : ค่า Detection limit ของการวิเคราะห์ $CHCl_3$ $CHBrCl_2$ $CHBr_2Cl$ และ $CHBr_3$ ในน้ำเท่ากับ 0.03 0.05 0.05 และ 0.05 µg/L ตามลำดับ

1.3 ความเข้มข้นของสาร THMs ในอากาศบริเวณสระว่ายน้ำ

ผลการวิเคราะห์ความเข้มข้นของสาร THMs รูปแบบต่าง ๆ ในอากาศบริเวณสระว่ายน้ำ แสดงดังตารางที่ 18 พบว่าความเข้มข้นของสาร TTHM คลอโรฟอร์ม โบรโมไดคลอโรมีเทน ไดโบรโมคลอโรมีเทน และโบรโมฟอร์ม ภายในน้ำสระว่ายน้ำในร่มที่ระดับผิวน้ำมีค่าอยู่ในช่วง ND-490.5 ND-475.5 ND-9.5 ND-10.0 และ ND-2.17 $\mu g/m^3$ ตามลำดับ และที่ระดับความสูง 150 เซนติเมตร มีค่าอยู่ในช่วง ND-918.5 ND-866.0 ND-9.3 ND-36.0 และ ND-9.3 $\mu g/m^3$ ตามลำดับ

ความเข้มข้นของสาร TTHM คลอโรฟอร์ม โบรโมไดคลอโรมีเทน ไดโบรโมคลอโรมีเทน และโบรโมฟอร์ม ภายในน้ำสระว่ายน้ำกึ่งในร่มที่ระดับผิวน้ำมีค่าอยู่ในช่วง ND-95.3 2.4-40.0 ND-12.0 ND-73.0 และ ND $\mu g/m^3$ ตามลำดับ และที่ระดับความสูง 150 เซนติเมตร มีค่าอยู่ในช่วง ND-138.2 ND-134.0 ND-12.0 ND-9.7 และ ND $\mu g/m^3$ ตามลำดับ

ความเข้มข้นของสาร TTHM คลอโรฟอร์ม โบรโมไดคลอโรมีเทน ไดโบรโมคลอโรมีเทน และโบรโมฟอร์ม ภายในน้ำสระว่ายน้ำกลางแจ้งที่ระดับผิวน้ำมีค่าอยู่ในช่วง ND-18.5 ND-3.9 ND-1.5 ND-1.1 และ ND $\mu g/m^3$ ตามลำดับ และที่ระดับความสูง 150 เซนติเมตร มีค่าอยู่ในช่วง ND-16.6 ND-3.4 ND-1.7 ND-1.9 และ ND $\mu g/m^3$ ตามลำดับ

จากความเข้มข้นของสาร THMs ดังกล่าว จะเห็นได้ว่าสระว่ายน้ำในร่ม สระว่ายน้ำกึ่งในร่ม และสระว่ายน้ำกลางแจ้งมีความเข้มข้นของคลอโรฟอร์มสูงสุดเช่นเดียวกันทั้ง 3 สระ แต่ภายในบริเวณสระว่ายน้ำในร่มมีความเข้มข้นของคลอโรฟอร์มสูงสุด รองลงมาได้แก่ สระว่ายน้ำกึ่งในร่ม และสระว่ายน้ำกลางแจ้ง ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากคลอโรฟอร์มเป็นสารระเหยได้ง่ายจึงแพร่กระจายและปนเปื้อนอยู่ในอากาศได้มากกว่าสารชนิดอื่น รวมทั้งสระว่ายน้ำในร่มเป็นสระที่มีลักษณะปิดทำให้การถ่ายเทอากาศเกิดได้ไม่ดี ดังนั้นจึงมีการสะสมของสาร THMs ในอากาศได้มากกว่าสระว่ายน้ำกึ่งในร่มและสระว่ายน้ำกลางแจ้ง

ตารางที่ 18 ความเข้มข้นของสาร THMs ในอากาศบริเวณสระว่ายน้ำในร่ม สระว่ายน้ำกึ่งในร่ม และสระว่ายน้ำกลางแจ้ง

พารามิเตอร์	ระดับความลึก	สระว่ายน้ำในร่ม (Indoor)				สระว่ายน้ำกึ่งในร่ม (Semi-indoor)				สระว่ายน้ำกลางแจ้ง (Outdoor)			
		ช่วง	ค่าสูงสุด	ค่าเฉลี่ย	± SD	ช่วง	ค่าสูงสุด	ค่าเฉลี่ย	± SD	ช่วง	ค่าสูงสุด	ค่าเฉลี่ย	± SD
$CHCl_3$ ($\mu g/m^3$)	ผิวน้ำ	ND-475.5	475.5	37.1	0.0	2.4-40.0	40.0	14.0	0.0	ND-3.9	4.0	0.0	0.0
	150 ซม.	ND-866.0	866	52.3	0.1	ND-134.0	134.0	6.0	0.0	ND-3.4	3.0	0.0	0.0
$CHBrCl_2$ ($\mu g/m^3$)	ผิวน้ำ	ND-9.5	9.5	0.7	0.0	ND-12.0	12.0	3.0	0.0	ND-1.5	1.0	0.0	0.0
	150 ซม.	ND-9.33	9.3	1.5	0.0	ND-12.0	0.0	2.0	0.0	ND-1.7	2.0	0.0	0.0
$CHBr_2Cl$ ($\mu g/m^3$)	ผิวน้ำ	ND-10.0	10.0	0.6	0.0	ND-73.0	73.0	7.0	0.0	ND-1.1	1.0	0.0	0.0
	150 ซม.	ND-36.0	36.0	2.9	0.0	ND-9.7	10.0	2.0	0.0	ND-1.9	2.0	0.0	0.0
$CHBr_3$ ($\mu g/m^3$)	ผิวน้ำ	ND-2.167	2.2	0.0	0.0	ND	-	-	-	ND	-	-	-
	150 ซม.	ND-9.33	9.3	0.0	0.0	ND	-	-	-	ND	-	-	-
TTHM ($\mu g/m^3$)	ผิวน้ำ	ND-490.5	490.5	41.6	0.1	ND-95.3	95.3	25.3	0.0	ND-18.5	18.5	2.7	0.0
	150 ซม.	ND-918.5	918.5	59.0	0.2	ND-138.2	138.2	20.5	0.0	ND-16.6	16.6	1.6	0.0

2 ผลการประเมินความเสี่ยงในการเกิดมะเร็ง (Cancer risk)

การประเมินความเสี่ยงในการเกิดมะเร็ง ประเมินจากการได้รับสารเข้าสู่ร่างกายใน 3 เส้นทาง ได้แก่ การได้รับสารผ่านทางเดินอาหารจากการใช้น้ำประปาและน้ำสระว่ายน้ำ การได้รับสารโดยการซึมผ่านทางผิวหนังจากน้ำประปาและน้ำสระว่ายน้ำ และการได้รับสารผ่านทางเดินหายใจในขณะว่ายน้ำ โดยทั้งนี้จะไม่ได้มีการประเมินการได้รับสารผ่านทางเดินหายใจในขณะใช้น้ำประปา เนื่องจากบ้านเรือนในประเทศไทยมีลักษณะโครงสร้างเป็นแบบเปิดโล่ง อากาศถ่ายเทได้สะดวก ทำให้ไอระเหยของสาร THMs ระเหยออกไปได้

การประเมินความเสี่ยงที่ก่อให้เกิดมะเร็งและความเป็นอันตรายอื่นนอกจากมะเร็ง ได้ทำการประเมินจากบุคคล 6 กลุ่ม ได้แก่ ผู้ใหญ่ว่ายน้ำ ผู้ใหญ่ไม่ว่ายน้ำ เด็กว่ายน้ำ เด็กไม่ว่ายน้ำ ครูสอนว่ายน้ำ และเจ้าหน้าที่ดูแลสระว่ายน้ำ ซึ่งบุคคลแต่ละกลุ่มมีเส้นทางการได้รับสารที่แตกต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 15

จากผลการวิเคราะห์ความเข้มข้นของสาร THMs ทั้งในน้ำประปา น้ำสระว่ายน้ำ และในอากาศ ได้นำมาเป็นข้อมูลในการประเมินความเสี่ยง ตารางที่ 19 และตารางที่ 20 เป็นตัวอย่างการคำนวณการประเมินความเสี่ยงการได้รับสารจากน้ำประปาและสระว่ายน้ำในร่มจากการดื่มน้ำในชีวิตประจำวันและจากการรับสารผ่านทางเดินอาหารระหว่างว่ายน้ำของกลุ่มผู้ใหญ่ที่ว่ายน้ำตามลำดับ ทั้งกรณีประเมินโดยใช้ความเข้มข้นสูงสุดและกรณีประเมินโดยใช้ความเข้มข้นเฉลี่ย สำหรับการคำนวณในกลุ่มบุคคลและเส้นทางอื่น ๆ ก็จะมีลักษณะเช่นเดียวกัน ซึ่งแสดงตารางไว้ในภาคผนวก ข

ตารางที่ 19 การคำนวณความเสี่ยงในการเกิดมะเร็งของสารที่ได้รับผ่านทางเดินอาหารจากการดื่มน้ำในชีวิตประจำวันของผู้ใหญ่ว่ายน้ำ

สาร	CW (mg/L)	IR (L/day)	EF (day/year)	EP (year)	BW (kg)	AT (day)	I (mg/kg-day)	SF (kg-day/mg)	Cancer risk
กรณีประเมินโดยการใช้ความเข้มข้นสูงสุด									
คลอโรฟอร์ม	0.08973	3	365	40	55	14,600	0.00489	0.0061	2.99E-05
โบรโมไดคลอโรมีเทน	0.02082	3	365	40	55	14,600	0.00114	0.0620	7.04E-05
ไดโบรโมคลอโรมีเทน	0.00450	3	365	40	55	14,600	0.00025	0.0840	2.06E-05
โบรโมฟอร์ม	0.00058	3	365	40	55	14,600	0.00003	0.0079	2.50E-07
กรณีประเมินโดยการใช้ความเข้มข้นเฉลี่ย									
คลอโรฟอร์ม	0.05476	3	365	40	55	14,600	0.00299	0.0061	1.82E-05
โบรโมไดคลอโรมีเทน	0.01534	3	365	40	55	14,600	0.00084	0.0620	5.19E-05
ไดโบรโมคลอโรมีเทน	0.00192	3	365	40	55	14,600	0.00010	0.0840	8.81E-06
โบรโมฟอร์ม	0.00012	3	365	40	55	14,600	0.00001	0.0079	5.19E-08

ตารางที่ 20 การคำนวณความเสี่ยงในการเกิดมะเร็งของสารที่ได้รับผ่านทางเดินอาหารระหว่างว่ายน้ำของผู้ใหญ่ว่ายน้ำ

สาร	CW (mg/L)	IR (L/day)	ET (hr/ครั้ง)	EF (ครั้ง/year)	EP (year)	0.0416 (day/hr)	BW (kg)	AT (day)	I (mg/kg-day)	SF (kg-day/mg)	Cancer risk
กรณีประเมินโดยการใช้ความเข้มข้นสูงสุด											
คลอโรฟอร์ม	0.08973	1.2	1.1	101	40	0.0416	55	14,600	8.03E-06	0.0061	4.90E-08
โบรโมไดคลอโรมีเทน	0.02082	1.2	1.1	101	40	0.0416	55	14,600	3.77E-06	0.062	2.34E-07
ไดโบรโมคลอโรมีเทน	0.00450	1.2	1.1	101	40	0.0416	55	14,600	0.00E+00	0.084	0.00E+00
โบรโมฟอร์ม	0.00058	1.2	1.1	101	40	0.0416	55	14,600	2.24E-07	0.0079	1.77E-09
กรณีประเมินโดยการใช้ความเข้มข้นเฉลี่ย											
คลอโรฟอร์ม	0.05476	1.2	1.1	101	40	0.0416	55	14,600	4.92E-06	0.0061	3.00E-08
โบรโมไดคลอโรมีเทน	0.01534	1.2	1.1	101	40	0.0416	55	14,600	1.89E-06	0.062	1.17E-07
ไดโบรโมคลอโรมีเทน	0.00192	1.2	1.1	101	40	0.0416	55	14,600	0.00E+00	0.084	0.00E+00
โบรโมฟอร์ม	0.00012	1.2	1.1	101	40	0.0416	55	14,600	4.74E-08	0.0079	3.74E-10

2.1 ความเสี่ยงในการเกิดมะเร็งของสระว่ายน้ำในร่ม

(1) การเปรียบเทียบเส้นทางการได้รับสาร

การประเมินความเสี่ยงในการเกิดมะเร็งของบุคคล 6 กลุ่มตามแต่ละเส้นทางการได้รับสารจากน้ำประปาและสระว่ายน้ำ แสดงดังตารางที่ 21 จากการประเมินพบว่าความเสี่ยงรวมจากน้ำประปาและสระว่ายน้ำของการได้รับสารผ่านทางเดินอาหาร การซึมผ่านทางผิวหนัง และทางการหายใจ ของผู้ใหญ่ว่ายน้ำ เด็กว่ายน้ำ ครูสอนว่ายน้ำ และเจ้าหน้าที่ดูแลสระว่ายน้ำ โดยใช้ความเข้มข้นสูงสุดตามวิธีการของ US-EPA (1989) พบว่ามีความเสี่ยงเท่ากับ 3.07E-04 3.09E-04 8.32E-04 และ 8.37E-03 ตามลำดับ สำหรับกรณีผู้ใหญ่ไม่ว่ายน้ำและเด็กไม่ว่ายน้ำที่ได้รับสาร THMs ผ่านทางเดินอาหารและการซึมผ่านทางผิวหนังเฉพาะจากน้ำประปา มีความเสี่ยงเท่ากับ 1.23E-04 และ 1.31E-04 ตามลำดับ โดยจะเห็นว่าทุกกลุ่มมีความเสี่ยงเกินกว่าค่าที่ยอมรับได้ตามคำแนะนำของ US-EPA คือมีค่าเกินกว่าช่วง 1E-06 ถึง 1E-04 ดังนั้นจึงถือว่าเป็นความเสี่ยงที่ไม่สามารถยอมรับได้ จะต้องมีการดำเนินการแก้ไขต่อไป

เมื่อพิจารณาตามแต่ละเส้นทางจากการได้รับสารของบุคคลทุกกลุ่ม ดังภาพที่ 14 (ก) และภาพที่ 14 (ข) พบว่าความเสี่ยงในการเกิดมะเร็งเรียงลำดับจากมากไปน้อยได้ดังนี้ การได้รับสารผ่านทางการหายใจ ทางเดินอาหาร และการซึมผ่านทางผิวหนัง ตามลำดับ โดยเจ้าหน้าที่ดูแลสระว่ายน้ำได้รับความเสี่ยงรวมจากเส้นทางการหายใจสูงสุด คือมีค่าเท่ากับ 8.24E-03 รองลงมาได้แก่ ครูสอนว่ายน้ำ ผู้ใหญ่ว่ายน้ำ และเด็กว่ายน้ำ มีค่าความเสี่ยงจากการได้รับสารทางการหายใจเท่ากับ 7.03E-04 1.82E-04 และ 1.74E-04 ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าทุกกลุ่มมีความเสี่ยงที่ไม่สามารถยอมรับได้ตามคำแนะนำของ US-EPA เหตุที่เจ้าหน้าที่ดูแลสระว่ายน้ำได้รับความเสี่ยงรวมผ่านเส้นทางการหายใจสูงสุด เนื่องจากทำงานอยู่ในบริเวณสระว่ายน้ำแบบในร่มที่มีลักษณะเป็นสระปิด ทำให้การระบายของสาร THMs เกิดได้ไม่ดีและมีการสะสมอยู่ภายในอากาศบริเวณสระว่ายน้ำ ทำให้สามารถรับเอาไอระเหยของสาร THMs ได้มากกว่ากลุ่มอื่น ๆ

จากร้อยละความเสี่ยงในการเกิดมะเร็งตามแต่ละเส้นทางของบุคคลทั้ง 6 กลุ่ม พบว่าผู้ใหญ่ว่ายน้ำ เด็กว่ายน้ำ ครูสอนว่ายน้ำ และเจ้าหน้าที่ดูแลสระว่ายน้ำ จะได้รับสารผ่านทางเดินหายใจเป็นเส้นทางหลัก เท่ากับร้อยละ 59 56 85 และ 99 ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Lee et al. (2009) ที่ทำการศึกษาคุณลักษณะของสาร THMs และประเมินความเสี่ยงในสระว่ายน้ำ พบว่าการได้รับสารผ่านทางการหายใจเป็นเส้นทางหลักในการสัมผัสสาร THMs สำหรับนักว่ายน้ำ สำหรับผู้ใหญ่และเด็กที่ไม่ว่ายน้ำได้รับสารผ่านทางเดินอาหารเป็นเส้นทางหลักเท่ากับร้อยละ 98

ในขณะที่การได้รับสารผ่านทางผิวหนังเท่ากับร้อยละ 2 ดังภาพที่ 15 ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากการอาบน้ำมีช่วงเวลาที่ได้สัมผัสกับน้ำเป็นระยะเวลาอันสั้น

(2) การเปรียบเทียบการได้รับสารจากน้ำประปาและสระว่ายน้ำ

จากตารางที่ 21 และภาพที่ 16 แสดงความเสี่ยงในการเกิดมะเร็งจากน้ำประปาและสระว่ายน้ำในร่มของบุคคล 6 กลุ่ม จากการประเมินพบว่าผู้ใหญ่ว่ายน้ำ เด็กว่ายน้ำ ครูสอนว่ายน้ำ และเจ้าหน้าที่ดูแลสระว่ายน้ำ มีความเสี่ยงในการเกิดมะเร็งของการได้รับสารจากสระว่ายน้ำสูงกว่าในน้ำประปา โดยจะเห็นว่าเจ้าหน้าที่ดูแลสระว่ายน้ำมีความเสี่ยงจากสระว่ายน้ำสูงสุด เหตุที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากประเมินเส้นทางการได้รับสารทั้งจาก 3 เส้นทาง สำหรับน้ำประปาได้มีการประเมินเพียงจาก 2 เส้นทาง คือการได้รับสารผ่านทางเดินอาหารและการซึมผ่านทางผิวหนัง ยกเว้นกรณีของผู้ใหญ่ไม่ว่ายน้ำและเด็กไม่ว่ายน้ำที่ได้รับความเสี่ยงจากน้ำประปาเท่านั้น

และเมื่อพิจารณาค่าร้อยละ ดังภาพที่ 17 พบว่าผู้ใหญ่ว่ายน้ำ เด็กว่ายน้ำ ครูสอนว่ายน้ำ และเจ้าหน้าที่ดูแลสระว่ายน้ำ มีความเสี่ยงในการเกิดมะเร็งจากสระว่ายน้ำเท่ากับร้อยละ 60 58 85 และ 99 ตามลำดับ สำหรับความเสี่ยงในการเกิดมะเร็งจากน้ำประปาของผู้ใหญ่ว่ายน้ำ ผู้ใหญ่ไม่ว่ายน้ำ เด็กว่ายน้ำ เด็กไม่ว่ายน้ำ ครูสอนว่ายน้ำ และเจ้าหน้าที่ดูแลสระว่ายน้ำเท่ากับร้อยละ 40 100 42 100 15 และ 1 ตามลำดับ

(3) การเปรียบเทียบการได้รับสาร THMs ทั้ง 4 ชนิด

ผลการประเมินความเสี่ยงรวมจากน้ำประปาและสระว่ายน้ำของสาร THMs ทั้ง 4 ชนิด แสดงดังตารางที่ 22 และภาพที่ 18 (ก) และภาพที่ 18 (ข) พบว่าเจ้าหน้าที่ดูแลสระว่ายน้ำมีความเสี่ยงรวมจากการได้รับสารทั้ง 4 ชนิดสูงสุด รองลงมาได้แก่ ครูสอนว่ายน้ำ เด็กว่ายน้ำ และผู้ใหญ่ว่ายน้ำ ตามลำดับ โดยชนิดของสารที่มีความเสี่ยงสูงสุดคือ คลอโรฟอร์ม ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Hsu et al. (2001) ซึ่งทำการประเมินความเสี่ยงของสาร THMs จากน้ำดื่มในประเทศไต้หวัน พบว่าคลอโรฟอร์มเป็นสาเหตุของความเสี่ยงในการเกิดมะเร็งสูงสุดคือมีค่าเท่ากับ 1.80E-04 นอกจากนี้แล้วการศึกษาของ Wang et al. (2007) พบว่าความเสี่ยงสูงสุดมาจากการได้รับคลอโรฟอร์มผ่านทางเดินหายใจเช่นเดียวกัน โดยมีความเสี่ยงเท่ากับ 1.80E-06

เมื่อพิจารณาจากภาพที่ 19 พบว่าผู้ใหญ่ว่ายน้ำ เด็กว่ายน้ำ ครูสอนว่ายน้ำ และเจ้าหน้าที่ดูแลสระว่ายน้ำ มีความเสี่ยงจากการได้รับคลอโรฟอร์มสูงสุด คิดเป็นร้อยละ 68 66 86 และ

94 ตามลำดับ โดยจะเห็นว่าเจ้าหน้าที่ดูแลสระว่ายน้ำมีความเสี่ยงจากการได้รับคลอโรฟอร์มสูงสุด เหตุที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากเมื่อความเข้มข้นของคลอโรฟอร์มในอากาศมีค่ามาก ประกอบกับนำมาประเมินความเสี่ยงด้วยค่า slope factor ทางการหายใจที่มีค่าเท่ากับ 0.0805 ซึ่งมีค่าสูงมากกว่า slope factor ในเส้นทางอื่น จึงทำให้ความเสี่ยงในการเกิดมะเร็งมีค่าสูงขึ้นด้วย สำหรับผู้ใหญ่และเด็กที่ไม่ว่ายน้ำมีความเสี่ยงจากการได้รับโบรโมไดคลอโรมีเทนสูงสุด คิดเป็นร้อยละ 57

นอกจากนี้แล้วจะเห็นได้ว่ากลุ่มคนที่ว่ายน้ำ ได้แก่ ผู้ใหญ่ว่ายน้ำ และเด็กว่ายน้ำ มีความเสี่ยงของการได้รับคลอโรฟอร์มสูงสุด ในขณะที่กลุ่มคนที่ไม่ว่ายน้ำ คือ ผู้ใหญ่และเด็กที่ไม่ว่ายน้ำ มีความเสี่ยงสูงสุดมาจากการได้รับโบรโมไดคลอโรมีเทน เหตุที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากกลุ่มคนว่ายน้ำมีการพิจารณาการได้รับสารทั้งจาก 3 เส้นทาง โดยค่า slope factor ของคลอโรฟอร์มผ่านทางเดินอาหาร การซึมผ่านทางผิวหนัง และทางการหายใจมีค่าสูงกว่าสารชนิดอื่น ๆ คือมีค่าเท่ากับ 0.0061 0.0305 และ 0.0805 ตามลำดับ ดังนั้นบุคคลในกลุ่มนี้จึงได้รับคลอโรฟอร์มมากกว่าสารชนิดอื่น ๆ สำหรับกลุ่มคนที่ไม่ว่ายน้ำมีการพิจารณาการได้รับสารเฉพาะจากน้ำประปา โดยจะได้รับสารผ่านทางเดินอาหารสูงสุด ทั้งนี้เมื่อพิจารณาจากความเข้มข้นของสาร THMs ในน้ำประปา พบว่าคลอโรฟอร์มเป็นสารที่มีความเข้มข้นสูงสุดในน้ำประปา แต่เมื่อนำมาประเมินความเสี่ยงในการเกิดมะเร็งกลับพบว่าความเสี่ยงที่ก่อให้เกิดมะร็งสูงสุดคือ โบรโมไดคลอโรมีเทน และคลอโรฟอร์มตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากโบรโมไดคลอโรมีเทนมีค่า slope factor ผ่านทางเดินอาหาร เท่ากับ 0.0602 ในขณะที่คลอโรฟอร์มมีค่าเพียง 0.0061 ตามลำดับ

ตารางที่ 21 ความเสี่ยงในการเกิดมะเร็งจากน้ำประปาและสระว่ายน้ำในร่มตามแต่ละเส้นทางของบุคคล 6 กลุ่ม

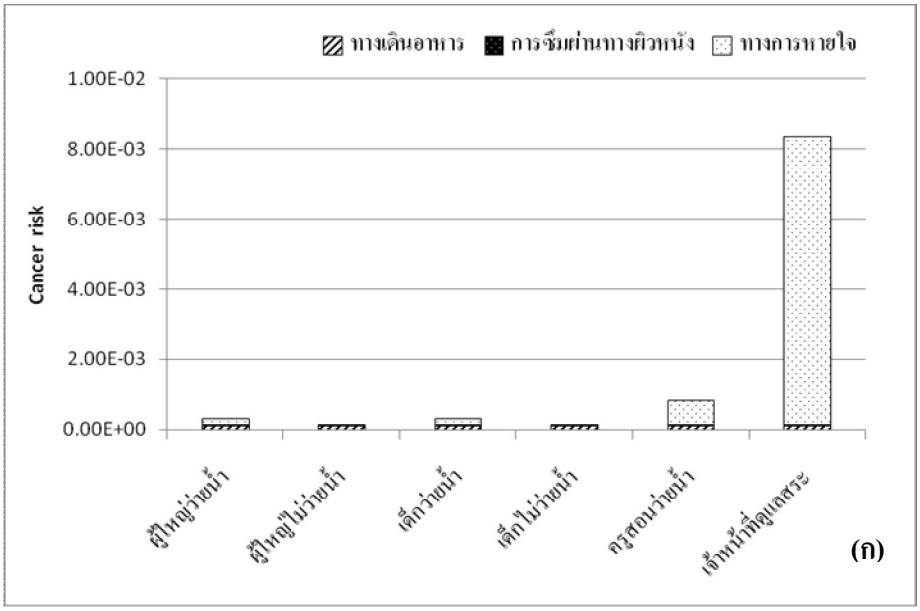
กลุ่มบุคคล	เส้นทางการได้รับสาร				ความเสี่ยงในการเกิดมะเร็ง		
	ทางเดินอาหาร	การซึมผ่านทางผิวหนัง	ทางการหายใจ	ความเสี่ยงรวมทั้งหมด	น้ำประปา	สระว่ายน้ำ	ความเสี่ยงรวมทั้งหมด
ผู้ใหญ่ว่ายน้ำ	1.21E-04	3.57E-06	1.82E-04	3.07E-04	1.23E-04	1.84E-04	3.07E-04
ผู้ใหญ่ไม่ว่ายน้ำ	1.21E-04	2.28E-06	-	1.23E-04	1.23E-04	-	1.23E-04
เด็กว่ายน้ำ	1.29E-04	5.61E-06	1.74E-04	3.09E-04	1.31E-04	1.78E-04	3.09E-04
เด็กไม่ว่ายน้ำ	1.28E-04	2.76E-06	-	1.31E-04	1.31E-04	-	1.31E-04
ครูสอนว่ายน้ำ	1.21E-04	7.28E-06	7.03E-04	8.32E-04	1.23E-04	7.08E-04	8.32E-04
เจ้าหน้าที่ดูแลสระว่ายน้ำ	1.21E-04	2.28E-06	8.24E-03	8.37E-03	1.23E-04	8.24E-03	8.37E-03

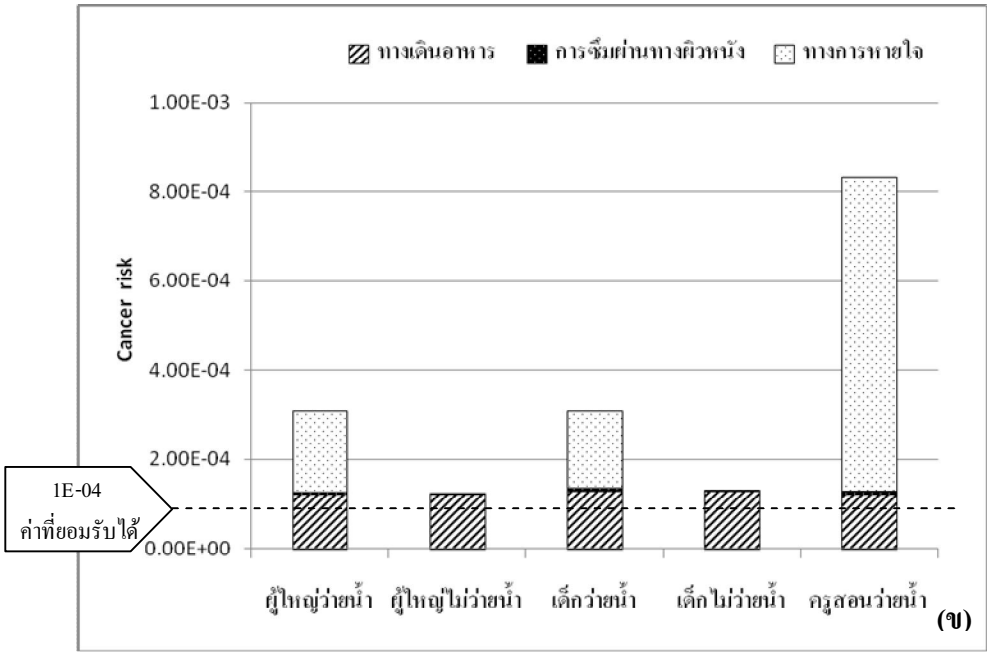
หมายเหตุ : ไม่ได้ประเมินความเสี่ยงจากการได้รับสารทางการหายใจในชีวิตประจำวัน

ตารางที่ 22 ความเสี่ยงในการเกิดมะเร็งจากน้ำประปาและสระว่ายน้ำในร่มของสาร THMs ทั้ง 4 ชนิด

กลุ่มบุคคล	ชนิดสาร				ความเสี่ยงรวมทั้งหมด
	คลอโรฟอร์ม	โบรโมไดคลอโรมีเทน	ไดโบรโมคลอโรมีเทน	โบรโมฟอร์ม	
ผู้ใหญ่ว่ายน้ำ	2.08E-04	7.44E-05	2.46E-05	2.94E-07	3.07E-04
ผู้ใหญ่ไม่ว่ายน้ำ	3.15E-05	7.09E-05	2.08E-05	2.51E-07	1.23E-04
เด็กว่ายน้ำ	2.03E-04	7.92E-05	2.57E-05	3.12E-07	3.09E-04
เด็กไม่ว่ายน้ำ	3.35E-05	7.51E-05	2.20E-05	2.66E-07	1.31E-04
ครูสอนว่ายน้ำ	7.13E-04	8.33E-05	3.57E-05	4.10E-07	8.32E-04
เจ้าหน้าที่ดูแลสระว่ายน้ำ	7.87E-03	1.34E-04	3.61E-04	4.29E-06	8.37E-03

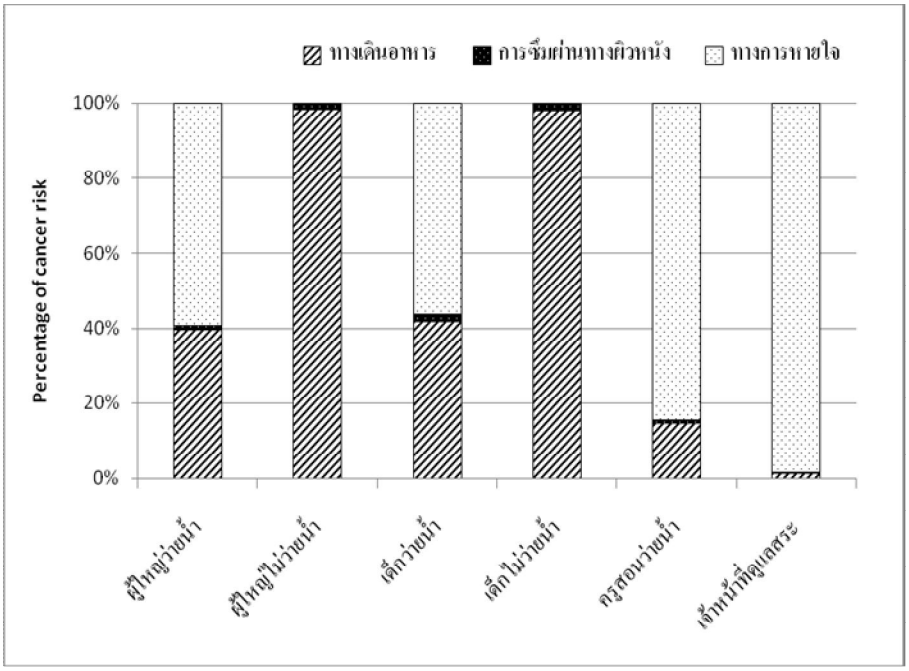
หมายเหตุ : ไม่ได้ประเมินความเสี่ยงจากการได้รับสารทางการหายใจในชีวิตประจำวัน



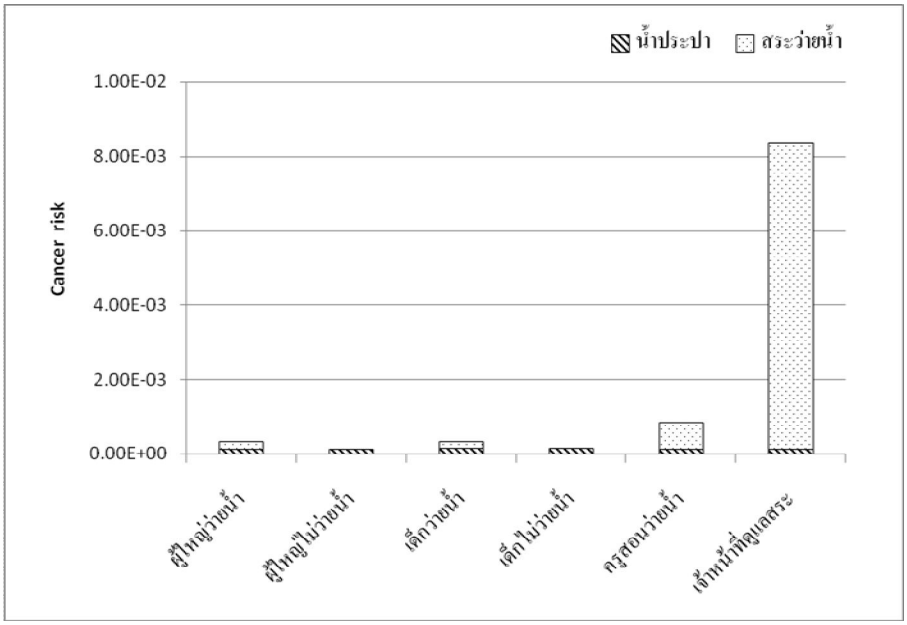


ภาพที่ 14 (ก) ความเสี่ยงรวมในการเกิดมะเร็งจากน้ำประปาและสระว่ายน้ำในร่มตามแต่ละเส้นทางของบุคคล 6 กลุ่ม

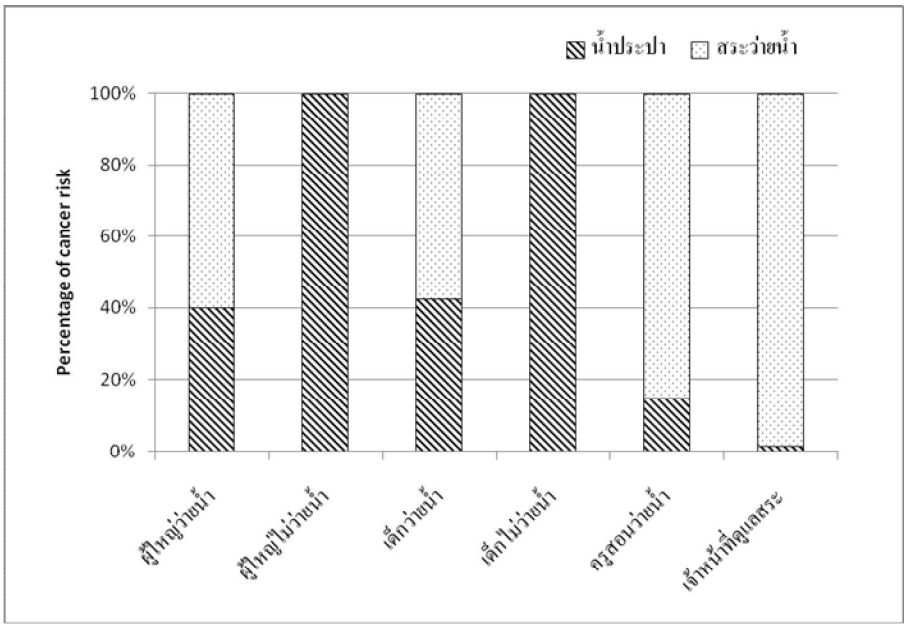
(ข) ความเสี่ยงรวมในการเกิดมะเร็งจากน้ำประปาและสระว่ายน้ำในร่มตามแต่ละเส้นทางของบุคคล 5 กลุ่ม (ยกเว้นเจ้าหน้าที่ดูแลสระว่ายน้ำ)



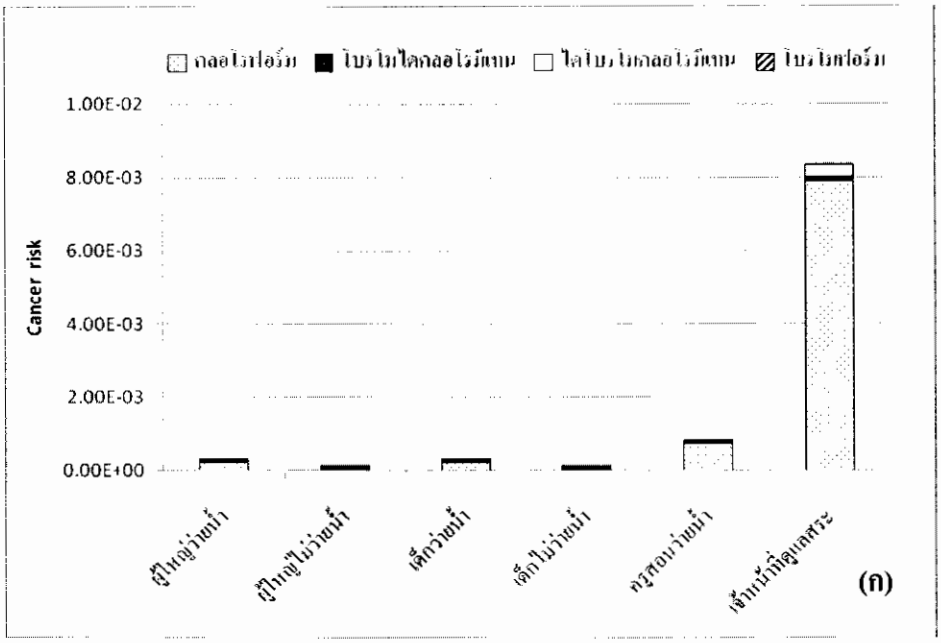
ภาพที่ 15 ร้อยละความเสี่ยงในการเกิดมะเร็งจากน้ำประปาและสระว่ายน้ำในร่มตามแต่ละเส้นทาง

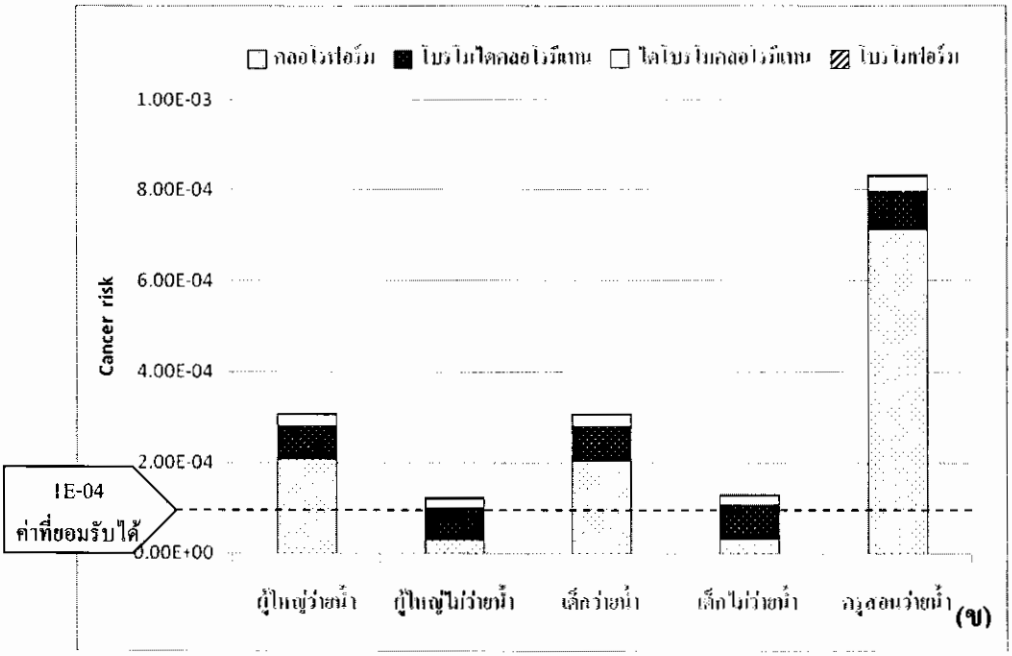


ภาพที่ 16 ความเสี่ยงรวมในการเกิดมะเร็งจากน้ำประปาและสระว่ายน้ำในร่ม



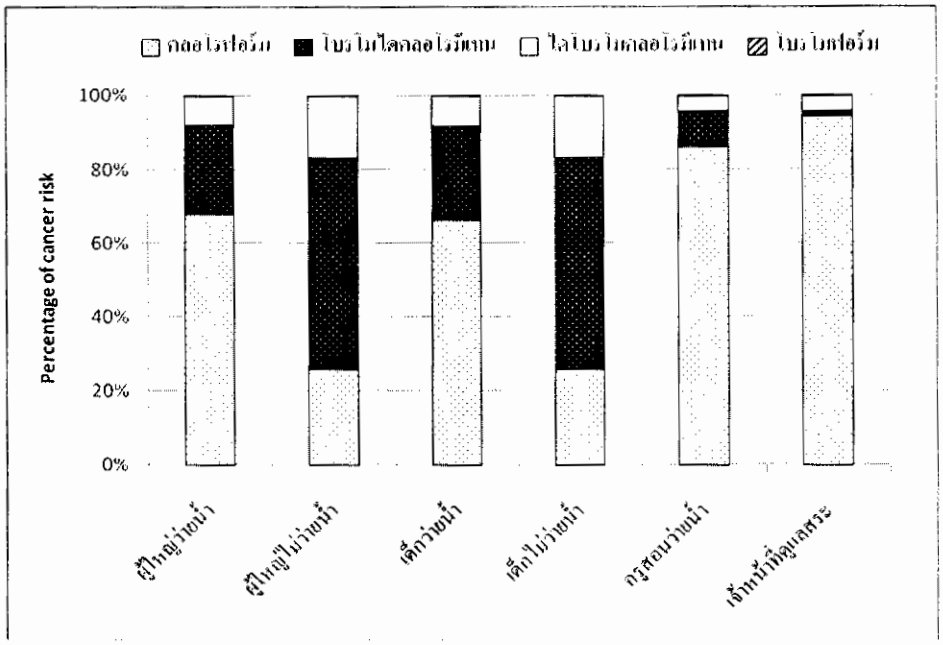
ภาพที่ 17 ร้อยละความเสี่ยงในการเกิดมะเร็งจากน้ำประปาและสระว่ายน้ำในร่ม





ภาพที่ 18 (ก) ความเสี่ยงรวมในการเกิดมะเร็งจากน้ำประปาและสระว่ายน้ำในร่มของสาร THMs ทั้ง 4 ชนิดของบุคคล 6 กลุ่ม

(ข) ความเสี่ยงรวมในการเกิดมะเร็งจากน้ำประปาและสระว่ายน้ำในร่มของสาร THMs ทั้ง 4 ชนิดของบุคคล 5 กลุ่ม (ยกเว้นเจ้าหน้าที่ดูแลสระว่ายน้ำ)



ภาพที่ 19 ร้อยละความเสี่ยงในการเกิดมะเร็งจากน้ำประปาและสระว่ายน้ำในร่มของสาร THMs ทั้ง 4 ชนิด

2.2 ความเสี่ยงในการเกิดมะเร็งของสระว่ายน้ำกึ่งในร่ม

(1) การเปรียบเทียบเส้นทางการได้รับสาร

การประเมินความเสี่ยงในการเกิดมะเร็งของบุคคล 6 กลุ่มตามแต่ละเส้นทางการได้รับสารจากน้ำประปาและสระว่ายน้ำ แสดงดังตารางที่ 23 จากการประเมินพบว่าความเสี่ยงรวมจากน้ำประปาและสระว่ายน้ำของการได้รับสารผ่านทางเดินอาหาร การซึมผ่านทางผิวหนัง และทางการหายใจ ของผู้ใหญ่ว่ายน้ำ เด็กว่ายน้ำ ครูสอนว่ายน้ำ และเจ้าหน้าที่ดูแลสระว่ายน้ำ โดยใช้ความเข้มข้นสูงสุดตามวิธีการของ US-EPA (1989) พบว่ามีความเสี่ยงเท่ากับ 1.73E-04 1.81E-04 3.11E-04 และ 1.51E-03 ตามลำดับ สำหรับกรณีผู้ใหญ่ไม่ว่ายน้ำและเด็กไม่ว่ายน้ำที่ได้รับสาร THMs ผ่านทางเดินอาหารและการซึมผ่านทางผิวหนังจากน้ำประปา มีความเสี่ยงเท่ากับ 1.23E-04 และ 1.31E-04 ตามลำดับ โดยจะเห็นว่าทุกกลุ่มมีความเสี่ยงเกินกว่าค่าที่ยอมรับได้ตามคำแนะนำของ US-EPA คือมีค่าเกินกว่าช่วง 1E-06 ถึง 1E-04 ดังนั้นจึงถือว่าเป็นความเสี่ยงที่ไม่สามารถยอมรับได้จะต้องมีการดำเนินการแก้ไขต่อไป เช่นเดียวกับการศึกษาของ Uyak (2006) ซึ่งเก็บตัวอย่างจากน้ำประปาใน 15 แหล่งของเมืองอิสตันบูล ประเทศตุรกี พบว่าความเสี่ยงของการเกิดมะเร็งจากคลอโรฟอร์ม โบรโมไดคลอโรมีเทน และไดโบรโมคลอโรมีเทนที่ได้รับผ่านทางเดินอาหารมีค่าเกินกว่า 1E-06

เมื่อพิจารณาตามแต่ละเส้นทางของการได้รับสารดังภาพที่ 20 พบว่าความเสี่ยงรวมในการเกิดมะเร็งของเจ้าหน้าที่ดูแลสระว่ายน้ำมีค่าสูงสุด นอกจากนี้แล้วยังเป็นกลุ่มที่มีความเสี่ยงสูงสุดจากการได้รับสารผ่านทางเดินหายใจ คือมีความเสี่ยงเท่ากับ 1.39E-03 รองลงมาได้แก่ การได้รับสารผ่านทางเดินอาหาร และการซึมผ่านทางผิวหนัง ตามลำดับ เช่นเดียวกับความเสี่ยงในการเกิดมะเร็งของครูสอนว่ายน้ำ สำหรับผู้ใหญ่ว่ายน้ำ ผู้ใหญ่ไม่ว่ายน้ำ เด็กว่ายน้ำ และเด็กไม่ว่ายน้ำ ได้รับความเสี่ยงผ่านทางเดินอาหารเป็นเส้นทางหลัก รองลงมาได้แก่ ทางการหายใจ และการซึมผ่านทางผิวหนังตามลำดับ โดยจะเห็นว่าเด็กว่ายน้ำมีความเสี่ยงจากการได้รับสารผ่านทางเดินอาหารสูงสุด คือมีความเสี่ยงเท่ากับ 1.29E-04 สำหรับกรณีของผู้ใหญ่และเด็กที่ไม่ว่ายน้ำจะที่ได้รับความเสี่ยงจากทางเดินอาหารและการซึมผ่านทางผิวหนังเท่านั้น

จากร้อยละความเสี่ยงในการเกิดมะเร็งตามแต่ละเส้นทางของบุคคลทั้ง 6 กลุ่ม พบว่าผู้ใหญ่ว่ายน้ำ เด็กว่ายน้ำ ครูสอนว่ายน้ำ และเจ้าหน้าที่ดูแลสระว่ายน้ำจะได้รับสารผ่านทางเดินหายใจเท่ากับร้อยละ 27 24 57 และ 92 ตามลำดับ สำหรับการได้รับสารผ่านทางเดินอาหารของผู้ใหญ่ว่ายน้ำ ผู้ใหญ่ไม่ว่ายน้ำ เด็กว่ายน้ำ เด็กไม่ว่ายน้ำ ครูสอนว่ายน้ำ และเจ้าหน้าที่ดูแลสระว่ายน้ำ คิดเป็นร้อยละ 70 98 71 98 39 และ 8 ตามลำดับ ดังภาพที่ 21

(2) การเปรียบเทียบการได้รับสารจากน้ำประปาและสระว่ายน้ำ

จากตารางที่ 23 และภาพที่ 22 แสดงความเสี่ยงในการเกิดมะเร็งจากน้ำประปาและสระว่ายน้ำกึ่งในร่มของบุคคล 6 กลุ่ม จากการประเมินพบว่าผู้ใหญ่ว่ายน้ำ และเด็กว่ายน้ำ มีความเสี่ยงในการรับสารจากน้ำประปาสูงกว่าในสระว่ายน้ำ ในขณะที่ครูสอนว่ายน้ำและเจ้าหน้าที่ดูแลสระว่ายน้ำได้รับความเสี่ยงจากสระว่ายน้ำสูงกว่าในน้ำประปา เนื่องจากบุคคลทั้ง 2 กลุ่มนี้มีกิจกรรมที่ต้องทำงานอยู่ในสระว่ายน้ำเป็นเวลานานหลายชั่วโมงมากกว่ากลุ่มบุคคลอื่น ๆ ยกเว้นกรณีของผู้ใหญ่ไม่ว่ายน้ำและเด็กไม่ว่ายน้ำที่ได้รับความเสี่ยงจากน้ำประปาเท่านั้น

เมื่อพิจารณาค่าร้อยละดังภาพที่ 23 พบว่าผู้ใหญ่ว่ายน้ำ เด็กว่ายน้ำ ครูสอนว่ายน้ำและเจ้าหน้าที่ดูแลสระว่ายน้ำ มีความเสี่ยงในการเกิดมะเร็งจากสระว่ายน้ำคิดเป็นร้อยละ 28 28 60 และ 92 ตามลำดับ สำหรับความเสี่ยงในการเกิดมะเร็งจากน้ำประปาของผู้ใหญ่ว่ายน้ำ ผู้ใหญ่ไม่ว่ายน้ำ เด็กว่ายน้ำ เด็กไม่ว่ายน้ำ ครูสอนว่ายน้ำ และเจ้าหน้าที่ดูแลสระว่ายน้ำเท่ากับร้อยละ 72 100 72 100 40 และ 8 ตามลำดับ

(3) การเปรียบเทียบการได้รับสาร THMs ทั้ง 4 ชนิด

ผลการประเมินความเสี่ยงรวมจากน้ำประปาและสระว่ายน้ำของสาร THMs ทั้ง 4 ชนิด แสดงดังตารางที่ 24 และภาพที่ 24 พบว่าเจ้าหน้าที่ดูแลสระว่ายน้ำมีความเสี่ยงรวมจากการได้รับสารทั้ง 4 ชนิดสูงสุด รองลงมาได้แก่ ครูสอนว่ายน้ำ เด็กว่ายน้ำ ผู้ใหญ่ว่ายน้ำ เด็กไม่ว่ายน้ำ และผู้ใหญ่ไม่ว่ายน้ำ ตามลำดับ โดยชนิดของสารที่มีความเสี่ยงสูงสุดของกลุ่มผู้ใหญ่ว่ายน้ำ ผู้ใหญ่ไม่ว่ายน้ำ เด็กว่ายน้ำ และเด็กไม่ว่ายน้ำ คือ โบรโมไดคลอโรมีเทน ซึ่งจะเห็นได้ว่าเด็กว่ายน้ำมีความเสี่ยงจากการได้รับโบรโมไดคลอโรมีเทนสูงสุด คือมีความเสี่ยงเท่ากับ 8.04E-05 สำหรับครูสอนว่ายน้ำและเจ้าหน้าที่ดูแลสระว่ายน้ำมีความเสี่ยงสูงสุดจากการได้รับไดโบรโมคลอโรมีเทนและคลอโรฟอร์ม โดยมีความเสี่ยงเท่ากับ 1.29E-04 และ 1.24E-03 ตามลำดับ

เมื่อพิจารณาจากภาพที่ 25 พบว่าผู้ใหญ่ว่ายน้ำ ผู้ใหญ่ไม่ว่ายน้ำ เด็กว่ายน้ำ และเด็กไม่ว่ายน้ำ มีความเสี่ยงจากการได้รับโบรโมไดคลอโรมีเทนสูงสุด คิดเป็นร้อยละ 44 57 44 และ 57 ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Lee et al. (2004) ที่ทำการประเมินความเสี่ยงจากเส้นทางการได้รับสารไตรฮาโลมีเทนจากน้ำดื่มในฮ่องกง พบว่าผู้ที่พักอาศัยในฮ่องกงมีความเสี่ยงสูงสุดในการเกิดมะเร็งมาจากการได้รับโบรโมไดคลอโรมีเทนผ่านการซึมผ่านทางผิวหนังมากกว่าการได้รับสารผ่าน

เส้นทางอื่น ๆ สำหรับครูสอนว่ายน้ำและเจ้าหน้าที่ดูแลสระว่ายน้ำมีความเสี่ยงจากการได้รับไดโบรโมคลอโรมีเทนและคลอโรฟอร์มสูงสุดคิดเป็นร้อยละ 42 และ 82 ตามลำดับ

ตารางที่ 23 ความเสี่ยงในการเกิดมะเร็งจากน้ำประปาและสระว่ายน้ำกึ่งในร่มตามแต่ละเส้นทางของบุคคล 6 กลุ่ม

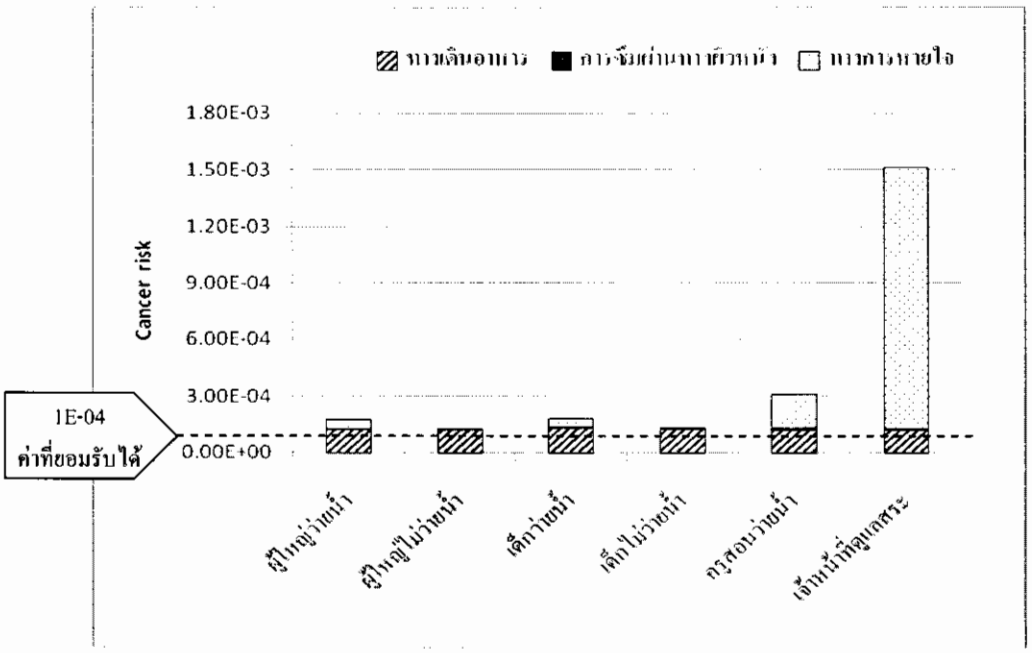
กลุ่มบุคคล	เส้นทางการได้รับสาร				ความเสี่ยงในการเกิดมะเร็ง		
	ทางเดินอาหาร	การซึมผ่านทางผิวหนัง	ทางการหายใจ	ความเสี่ยงรวมทั้งหมด	น้ำประปา	สระว่ายน้ำ	ความเสี่ยงรวมทั้งหมด
ผู้ใหญ่ว่ายน้ำ	1.22E-04	4.58E-06	4.64E-05	1.73E-04	1.23E-04	4.91E-05	1.73E-04
ผู้ใหญ่ไม่ว่ายน้ำ	1.21E-04	2.28E-06	-	1.23E-04	1.23E-04	-	1.23E-04
เด็กว่ายน้ำ	1.29E-04	7.81E-06	4.43E-05	1.81E-04	1.31E-04	5.02E-05	1.81E-04
เด็กไม่ว่ายน้ำ	1.28E-04	2.76E-06	-	1.31E-04	1.31E-04	-	1.31E-04
ครูสอนว่ายน้ำ	1.21E-04	1.12E-05	1.79E-04	3.11E-04	1.23E-04	1.88E-04	3.11E-04
เจ้าหน้าที่ดูแลสระว่ายน้ำ	1.21E-04	2.28E-06	1.39E-03	1.51E-03	1.23E-04	1.39E-03	1.51E-03

หมายเหตุ: ไม่ได้ประเมินความเสี่ยงจากการได้รับสารทางการหายใจในชีวิตประจำวัน

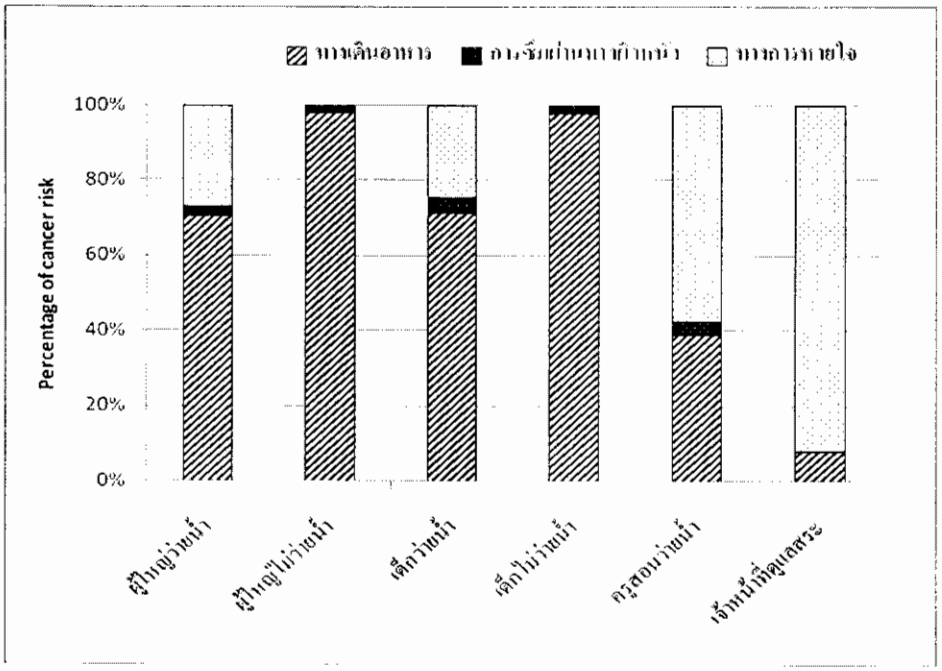
ตารางที่ 24 ความเสี่ยงในการเกิดมะเร็งจากน้ำประปาและสระว่ายน้ำกึ่งในร่มของสาร THMs ทั้ง 4 ชนิด

กลุ่มบุคคล	ชนิดสาร				ความเสี่ยงรวมทั้งหมด
	คลอโรฟอร์ม	โบรโมไดคลอโรมีเทน	ไดโบรโมคลอโรมีเทน	โบรโมฟอร์ม	
ผู้ใหญ่ว่ายน้ำ	4.80E-05	7.53E-05	4.90E-05	2.54E-07	1.73E-04
ผู้ใหญ่ไม่ว่ายน้ำ	3.15E-05	7.09E-05	2.08E-05	2.51E-07	1.23E-04
เด็กว่ายน้ำ	5.14E-05	8.04E-05	4.90E-05	2.71E-07	1.81E-04
เด็กไม่ว่ายน้ำ	3.35E-05	7.51E-05	2.20E-05	2.66E-07	1.31E-04
ครูสอนว่ายน้ำ	9.47E-05	8.67E-05	1.29E-04	2.57E-07	3.11E-04
เจ้าหน้าที่ดูแลสระว่ายน้ำ	1.24E-03	1.55E-04	1.12E-04	2.51E-07	1.51E-03

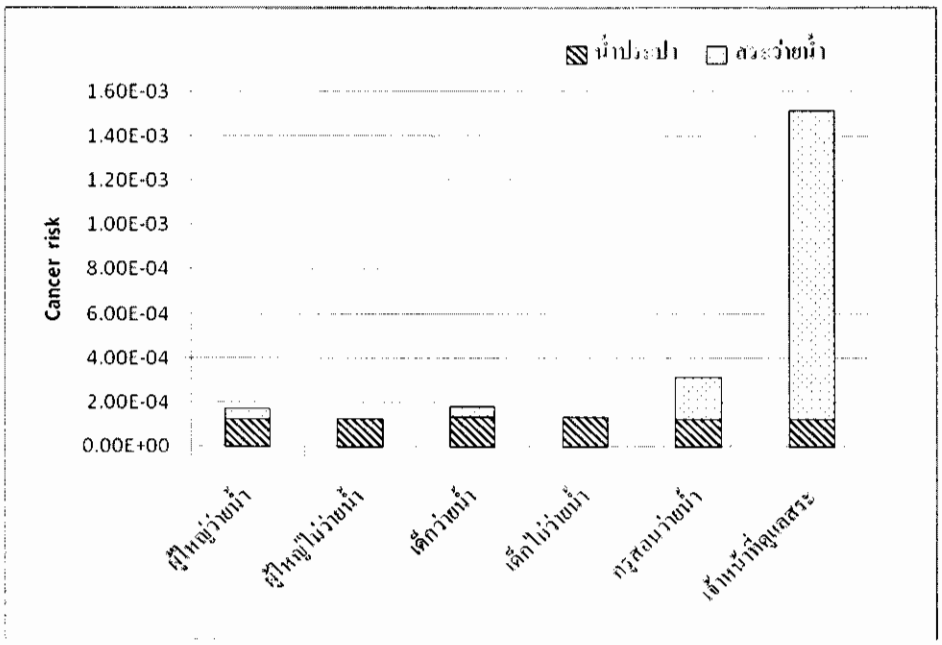
หมายเหตุ: ไม่ได้ประเมินความเสี่ยงจากการได้รับสารทางการหายใจในชีวิตประจำวัน



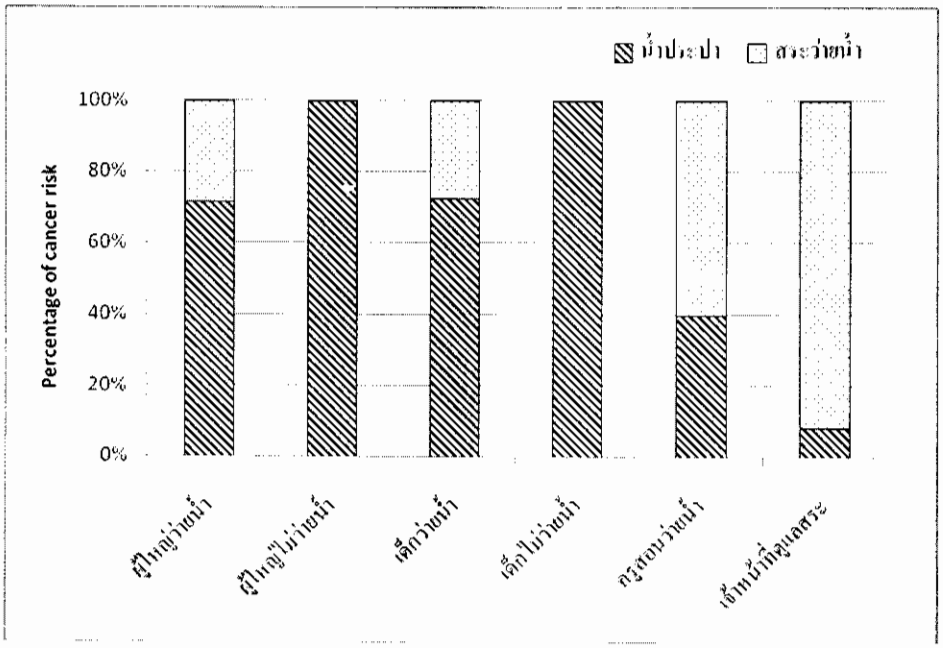
ภาพที่ 20 ความเสี่ยงรวมในการเกิดมะเร็งจากน้ำประปาและสระว่ายน้ำกึ่งในร่มตามแต่ละเส้นทางของบุคคล 6 กลุ่ม



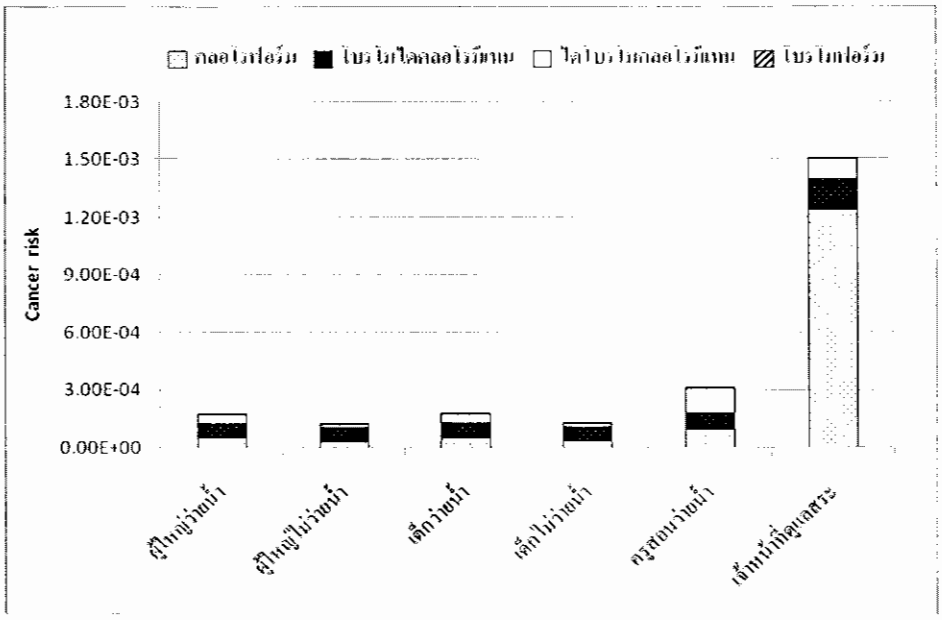
ภาพที่ 21 ร้อยละความเสี่ยงในการเกิดมะเร็งจากน้ำประปาและสระว่ายน้ำกึ่งในร่มตามแต่ละเส้นทาง



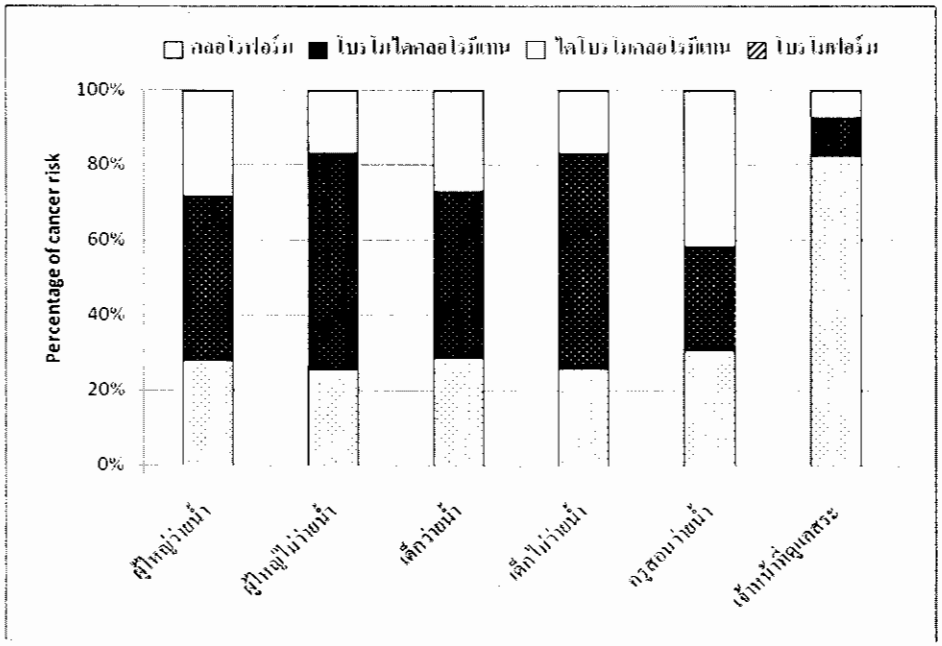
ภาพที่ 22 ความเสี่ยงรวมในการเกิดมะเร็งจากน้ำประปาและสระว่ายน้ำกึ่งในร่มของบุคคล 6 กลุ่ม



ภาพที่ 23 ร้อยละความเสี่ยงในการเกิดมะเร็งจากน้ำประปาและสระว่ายน้ำกึ่งในร่ม



ภาพที่ 24 ความเสี่ยงรวมในการเกิดมะเร็งจากน้ำประปาและสระว่ายน้ำกึ่งในร่มของสาร THMs ทั้ง 4 ชนิดของบุคคล 6 กลุ่ม



ภาพที่ 25 ร้อยละความเสี่ยงในการเกิดมะเร็งจากน้ำประปาและสระว่ายน้ำกึ่งในร่มของสาร THMs ทั้ง 4 ชนิด

2.3 ความเสี่ยงในการเกิดมะเร็งของสระว่ายน้ำกลางแจ้ง

(1) การเปรียบเทียบเส้นทางการได้รับสาร

การประเมินความเสี่ยงในการเกิดมะเร็งของบุคคล 6 กลุ่มตามแต่ละเส้นทางการได้รับสารจากน้ำประปาและสระว่ายน้ำ แสดงดังตารางที่ 25 จากการประเมินพบว่าความเสี่ยงรวมจากน้ำประปาและสระว่ายน้ำของการได้รับสารผ่านทางเดินอาหาร การซึมผ่านทางผิวหนัง และทางการหายใจ ของผู้ใหญ่ว่ายน้ำ เด็กว่ายน้ำ ครูสอนว่ายน้ำ และเจ้าหน้าที่ดูแลสระว่ายน้ำ มีความเสี่ยงเท่ากับ 1.28E-04 1.38E-04 1.40E-04 และ 1.83E-04 ตามลำดับ สำหรับกรณีผู้ใหญ่ไม่ว่ายน้ำและเด็กไม่ว่ายน้ำที่ได้รับสาร THMs ผ่านทางเดินอาหารและการซึมผ่านทางผิวหนังจากน้ำประปา มีความเสี่ยงเท่ากับ 1.23E-04 และ 1.31E-04 ตามลำดับ โดยจะเห็นว่าทุกกลุ่มมีความเสี่ยงเกินกว่าค่าที่ยอมรับได้ตามคำแนะนำของ US-EPA คือมีค่าเกินกว่าช่วง 1E-06 ถึง 1E-04 ดังนั้นจึงถือว่าเป็นความเสี่ยงที่ไม่สามารถยอมรับได้ จะต้องมีการดำเนินการแก้ไขต่อไป

เมื่อพิจารณาตามแต่ละเส้นทางของการได้รับสารดังภาพที่ 26 พบว่าบุคคลทุกกลุ่มมีความเสี่ยงสูงสุดมาจากการได้รับสารผ่านทางเดินอาหารเป็นเส้นทางหลัก โดยจะเห็นว่าเด็กว่ายน้ำมีความเสี่ยงจากการได้รับสารผ่านทางเดินอาหารสูงสุด คือมีความเสี่ยงเท่ากับ 1.29E-04 ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Uyak (2006) ที่ทำการประเมินความเสี่ยงจากเส้นทางของการได้รับสาร THMs จากน้ำดื่มในเมืองอิสตันบูล ประเทศตุรกี พบว่าผู้ที่อาศัยอยู่ในเมืองอิสตันบูลมีความเสี่ยงในการเกิดมะเร็งสูงสุดมาจากการได้รับคลอโรฟอร์มผ่านทางเดินอาหาร คือมีความเสี่ยงเท่ากับ 5.26E-06 รวมถึงการศึกษาของ Lee et al. (2004) ที่ทำการประเมินความเสี่ยงจากเส้นทางการได้รับสารไตรฮาโลมีเทนจากน้ำดื่มในฮ่องกงซึ่งได้ผลการศึกษาเช่นเดียวกัน นอกจากนี้การศึกษาของ Wang et al. (2007) ที่ทำการประเมินความเสี่ยงสารตกค้างในน้ำดื่มที่มีความแตกต่างกันของแหล่งน้ำและกระบวนการฆ่าเชื้อโรคในปักกิ่งและแคนาดา พบว่าผู้ที่อาศัยอยู่ในทั้งสองแห่งนี้มีความเสี่ยงสูงสุดจากการได้รับสารผ่านทางเดินอาหารมากกว่าการได้รับความเสี่ยงจากเส้นทางอื่น โดยเพศชายและเพศหญิงมีความเสี่ยงของการได้รับสารจากปักกิ่งเท่ากับ 2.76E-05 และ 3.05E-05 ตามลำดับ สำหรับความเสี่ยงของการได้รับสารในแคนาดาจากบุคคลในเพศชายและเพศหญิงมีค่าเท่ากับ 4.33E-05 และ 4.78E-05 ตามลำดับ ซึ่งความเสี่ยงของการเกิดสาร THMs ในน้ำดื่มจากการใช้แหล่งน้ำผิวดินมีความเสี่ยงสูงกว่าการใช้น้ำจากแหล่งน้ำผสมและแหล่งน้ำใต้ดิน สำหรับกลุ่มบุคคลที่ได้รับสารผ่านทางผิวหนัง และทางการหายใจสูงสุด คือครูสอนว่ายน้ำและเจ้าหน้าที่ดูแลสระว่ายน้ำ โดยมีความเสี่ยงเท่ากับ 1.03E-05 และ 6.00E-

05 ตามลำดับ นอกจากนี้แล้วสระว่ายน้ำนี้ยังมีลักษณะเปิดโล่งทั้งด้านบนและด้านข้างโดยรอบ จึงทำให้การได้รับสารผ่านทางการหายใจมีความเสี่ยงต่ำกว่าสระว่ายน้ำในร่ม และสระว่ายน้ำกึ่งในร่ม

จากร้อยละความเสี่ยงในการเกิดมะเร็งตามแต่ละเส้นทางของบุคคลทั้ง 6 กลุ่ม พบว่าผู้ใหญ่ว่ายน้ำ ผู้ใหญ่ไม่ว่ายน้ำ เด็กว่ายน้ำ เด็กไม่ว่ายน้ำ ครูสอนว่ายน้ำ และเจ้าหน้าที่ดูแลสระว่ายน้ำ มีความเสี่ยงจากการได้รับสารผ่านทางเดินอาหารเท่ากับร้อยละ 95 98 93 98 87 และ 66 ตามลำดับ ดังภาพที่ 27

(2) การเปรียบเทียบการได้รับสารจากน้ำประปาและสระว่ายน้ำ

จากตารางที่ 25 และภาพที่ 28 แสดงความเสี่ยงในการเกิดมะเร็งจากน้ำประปาและสระว่ายน้ำในร่มของบุคคล 6 กลุ่ม จากการประเมินพบว่าผู้ใหญ่ว่ายน้ำ เด็กว่ายน้ำ ครูสอนว่ายน้ำ และเจ้าหน้าที่ดูแลสระว่ายน้ำ มีความเสี่ยงในการเกิดมะเร็งของการได้รับสารจากน้ำประปาสูงกว่าในสระว่ายน้ำ ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากเส้นทางหลักของการได้รับสารคือการได้รับผ่านทางเดินอาหารที่เกิดจากการดื่มน้ำประปาเป็นประจำอยู่แล้ว แต่ไม่ได้เกิดจากการดื่มน้ำสระว่ายน้ำเป็นประจำหรือในปริมาณมากเท่ากับการดื่มจากน้ำประปา โดยจะเห็นว่าเด็กว่ายน้ำมีความเสี่ยงจากน้ำประปาสูงสุด คือมีความเสี่ยงเท่ากับ 1.31E-04 ยกเว้นกรณีของผู้ใหญ่และเด็กที่ไม่ว่ายน้ำที่ได้รับความเสี่ยงจากน้ำประปาเท่านั้น

เมื่อพิจารณาค่าร้อยละ ดังภาพที่ 29 พบว่าผู้ใหญ่ว่ายน้ำ ผู้ใหญ่ไม่ว่ายน้ำ เด็กว่ายน้ำ เด็กไม่ว่ายน้ำ ครูสอนว่ายน้ำ และเจ้าหน้าที่ดูแลสระว่ายน้ำ มีความเสี่ยงในการเกิดมะเร็งจากการได้รับสารจากน้ำประปาเท่ากับร้อยละ 96 100 95 100 88 และ 67 ตามลำดับ สำหรับความเสี่ยงในการเกิดมะเร็งจากสระว่ายน้ำของผู้ใหญ่ว่ายน้ำ เด็กว่ายน้ำ ครูสอนว่ายน้ำ และเจ้าหน้าที่ดูแลสระว่ายน้ำเท่ากับร้อยละ 4 5 12 และ 33 ตามลำดับ

(3) การเปรียบเทียบการได้รับสารไตรฮาโลมีเทนทั้ง 4 ชนิด

ผลการประเมินความเสี่ยงรวมจากน้ำประปาและสระว่ายน้ำของสาร THMs ทั้ง 4 ชนิด แสดงดังตารางที่ 26 และภาพที่ 30 พบว่าเจ้าหน้าที่ดูแลสระว่ายน้ำมีความเสี่ยงรวมจากการได้รับสารทั้ง 4 ชนิดสูงสุด รองลงมาได้แก่ ครูสอนว่ายน้ำ เด็กว่ายน้ำ เด็กไม่ว่ายน้ำ ผู้ใหญ่ว่ายน้ำ และผู้ใหญ่ไม่ว่ายน้ำ ตามลำดับ โดยชนิดของสารที่มีความเสี่ยงสูงสุดในบุคคลทุกกลุ่มคือ โบรโมไดคลอโรมีเทน รองลงมาได้แก่ คลอโรฟอร์ม ไดโบรโมคลอโรมีเทน และโบรโมฟอร์ม ตามลำดับ ซึ่งจะเห็น

ได้ว่าเจ้าหน้าที่ดูแลสระว่ายน้ำมีความเสี่ยงจากการได้รับโบรโมไดคลอโรมีเทนสูงสุด คือมีค่าความเสี่ยงเท่ากับ 8.48E-05 ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Aslan and Turkman (2007) ที่ทำการประเมินความเสี่ยงของน้ำดื่มจากระบบผลิตน้ำประปา Tahtali และ Balcova ใน Izmir ประเทศตุรกี พบว่าความเสี่ยงสูงสุดเกิดจากการได้รับโบรโมไดคลอโรมีเทน โดยระบบผลิตน้ำประปา Tahtali และ Balcova ในเพศชายมีค่าความเสี่ยง จากโบรโมไดคลอโรมีเทนเท่ากับ 4.3E-05 และ 5.2E-05 ตามลำดับ สำหรับในเพศหญิงมีความเสี่ยงจากระบบผลิตน้ำประปา Tahtali และ Balcova มีค่าเท่ากับ 5.8E-05 และ 4.76E-05 ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าความเสี่ยงที่ได้มีค่าเกินกว่าค่าที่ยอมรับได้ตามคำแนะนำของ US-EPA

เมื่อพิจารณาจากภาพที่ 31 พบว่าผู้ใหญ่ว่ายน้ำ ผู้ใหญ่ไม่ว่ายน้ำ เด็กว่ายน้ำ เด็กไม่ว่าย ครูสอนว่ายน้ำ และเจ้าหน้าที่ดูแลสระว่ายน้ำ มีความเสี่ยงจากการได้รับโบรโมไดคลอโรมีเทนคิดเป็นร้อยละ 56 57 56 57 53 และ 46 ตามลำดับ

ตารางที่ 25 ความเสี่ยงในการเกิดมะเร็งจากน้ำประปาและสระว่ายน้ำกลางแจ้งตามแต่ละเส้นทางของบุคคล 6 กลุ่ม

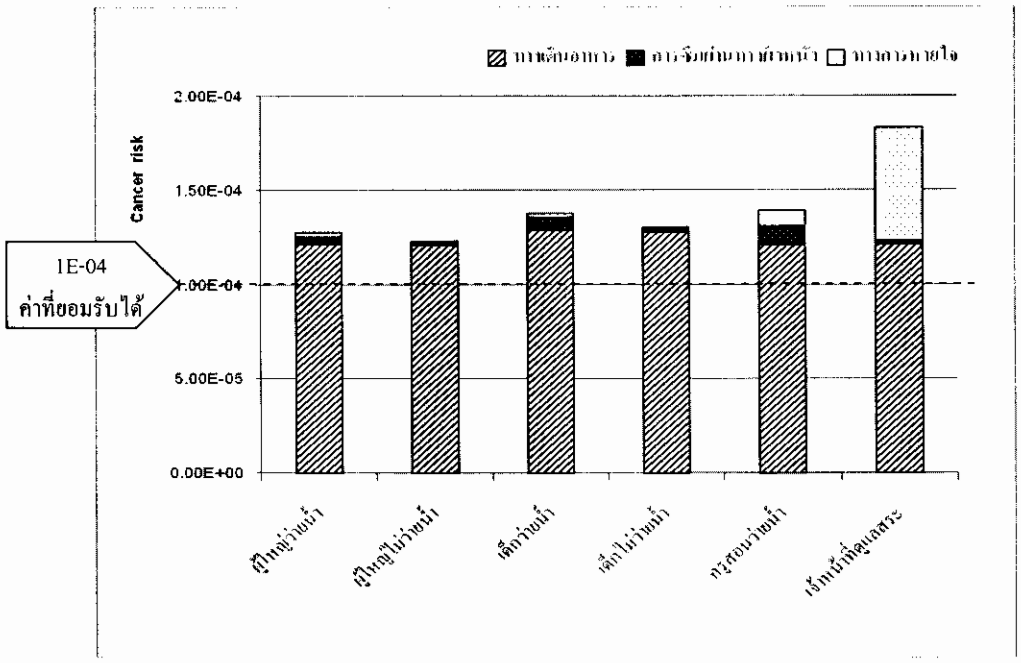
กลุ่มบุคคล	เส้นทางการได้รับสาร				ความเสี่ยงในการเกิดมะเร็ง		
	ทางเดินอาหาร	การซึมผ่านทางผิวหนัง	ทางการหายใจ	ความเสี่ยงรวมทั้งหมด	น้ำประปา	สระว่ายน้ำ	ความเสี่ยงรวมทั้งหมด
ผู้ใหญ่ว่ายน้ำ	1.21E-04	4.35E-06	2.15E-06	1.28E-04	1.23E-04	4.56E-06	1.28E-04
ผู้ใหญ่ไม่ว่ายน้ำ	1.21E-04	2.28E-06	-	1.23E-04	1.23E-04	-	1.23E-04
เด็กว่ายน้ำ	1.29E-04	7.30E-06	2.05E-06	1.38E-04	1.31E-04	7.23E-06	1.38E-04
เด็กไม่ว่ายน้ำ	1.28E-04	2.76E-06	-	1.31E-04	1.31E-04	-	1.31E-04
ครูสอนว่ายน้ำ	1.21E-04	1.03E-05	8.29E-06	1.40E-04	1.23E-04	1.63E-05	1.40E-04
เจ้าหน้าที่ดูแลสระว่ายน้ำ	1.21E-04	2.28E-06	6.00E-05	1.83E-04	1.23E-04	6.00E-05	1.83E-04

หมายเหตุ: ไม่ได้ประเมินความเสี่ยงจากการได้รับสารทางการหายใจในชีวิตประจำวัน

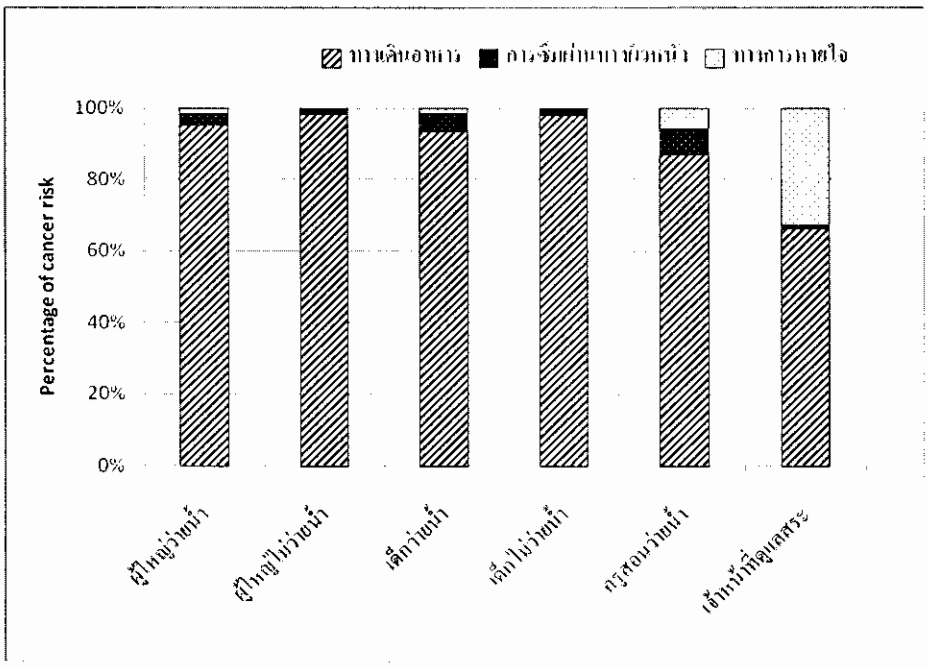
ตารางที่ 26 ความเสี่ยงในการเกิดมะเร็งจากน้ำประปาและสระว่ายน้ำกลางแจ้งของสาร THMs ทั้ง 4 ชนิด

กลุ่มบุคคล	ชนิดสาร				ความเสี่ยงรวมทั้งหมด
	คลอโรฟอร์ม	โบรโมไดคลอโรมีเทน	ไดโบรโมคลอโรมีเทน	โบรโมฟอร์ม	
ผู้ใหญ่ว่ายน้ำ	3.46E-05	7.19E-05	2.12E-05	2.52E-07	1.28E-04
ผู้ใหญ่ไม่ว่ายน้ำ	3.15E-05	7.09E-05	2.08E-05	2.51E-07	1.23E-04
เด็กว่ายน้ำ	3.86E-05	7.69E-05	2.24E-05	2.68E-07	1.38E-04
เด็กไม่ว่ายน้ำ	3.35E-05	7.51E-05	2.20E-05	2.66E-07	1.31E-04
ครูสอนว่ายน้ำ	4.32E-05	7.40E-05	2.23E-05	2.53E-07	1.40E-04
เจ้าหน้าที่ดูแลสระว่ายน้ำ	5.86E-05	8.48E-05	3.97E-05	2.51E-07	1.83E-04

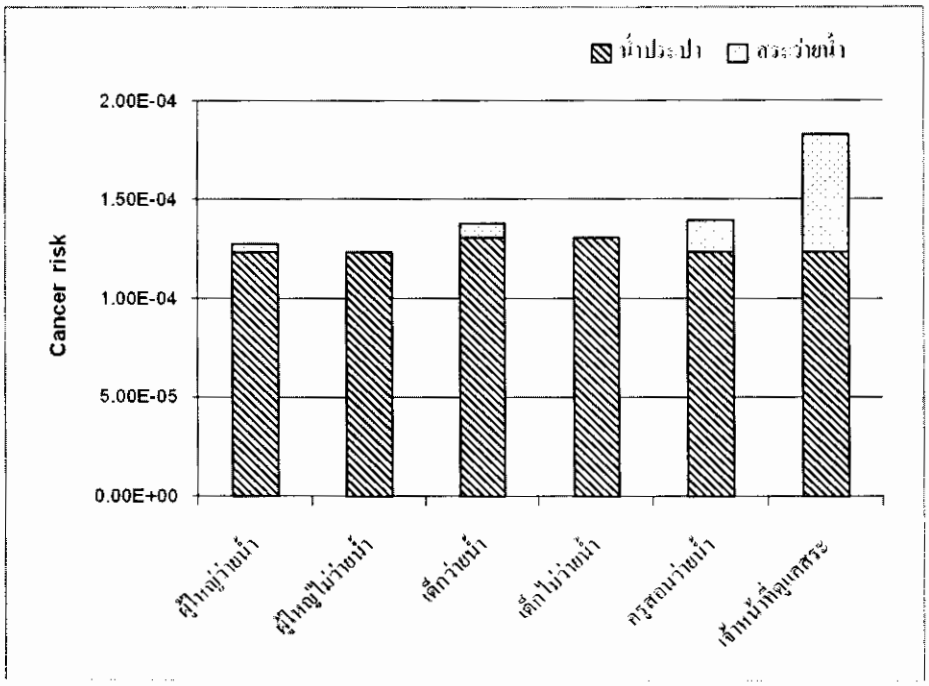
หมายเหตุ: ไม่ได้ประเมินความเสี่ยงจากการได้รับสารทางการหายใจในชีวิตประจำวัน



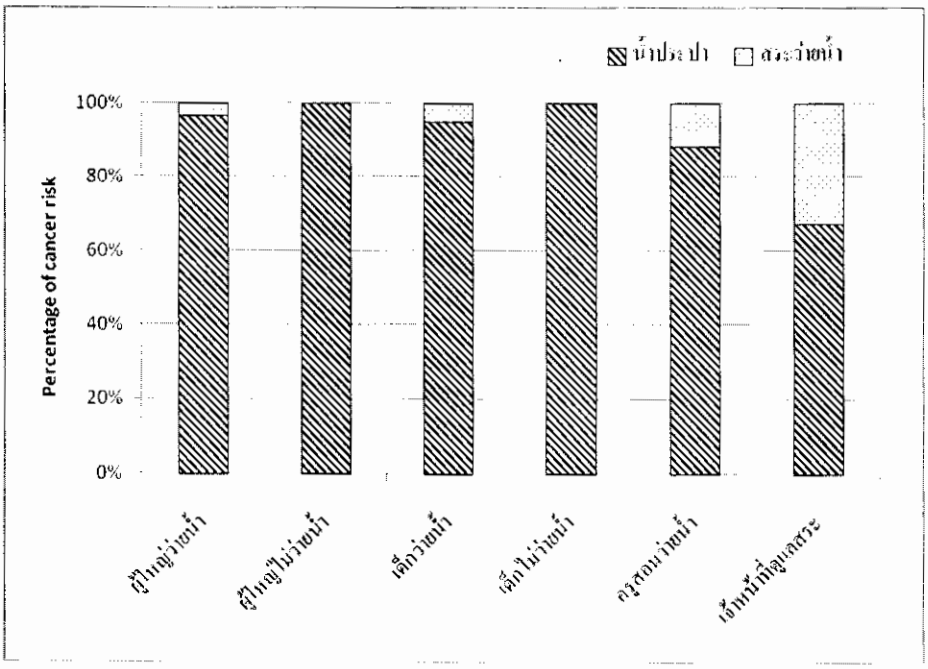
ภาพที่ 26 ความเสี่ยงรวมในการเกิดมะเร็งจากน้ำประปาและสระว่ายน้ำกลางแจ้งตามแต่ละเส้นทางของบุคคล 6 กลุ่ม



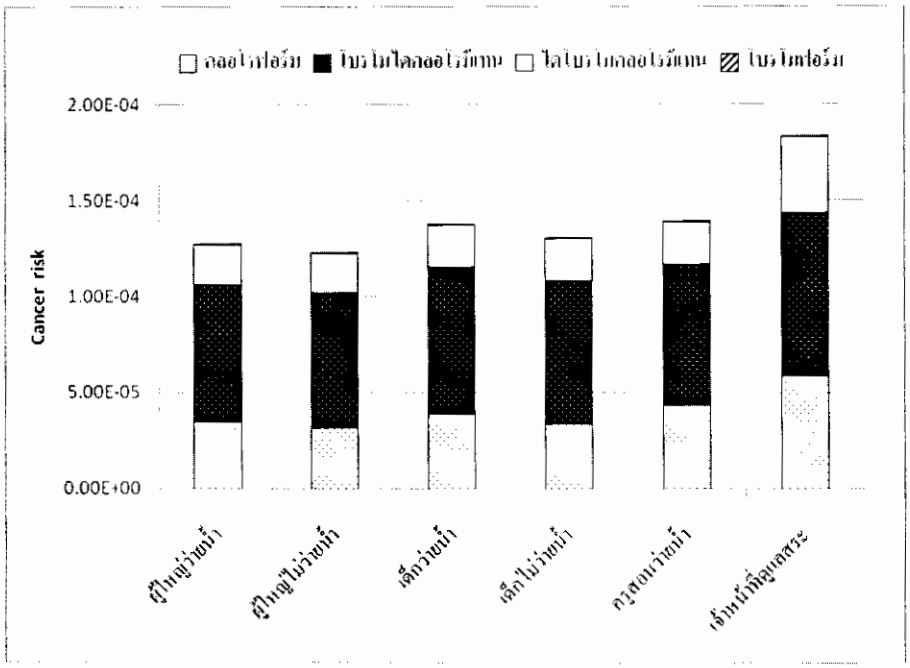
ภาพที่ 27 ร้อยละความเสี่ยงในการเกิดมะเร็งจากน้ำประปาและสระว่ายน้ำกลางแจ้งตามแต่ละเส้นทาง



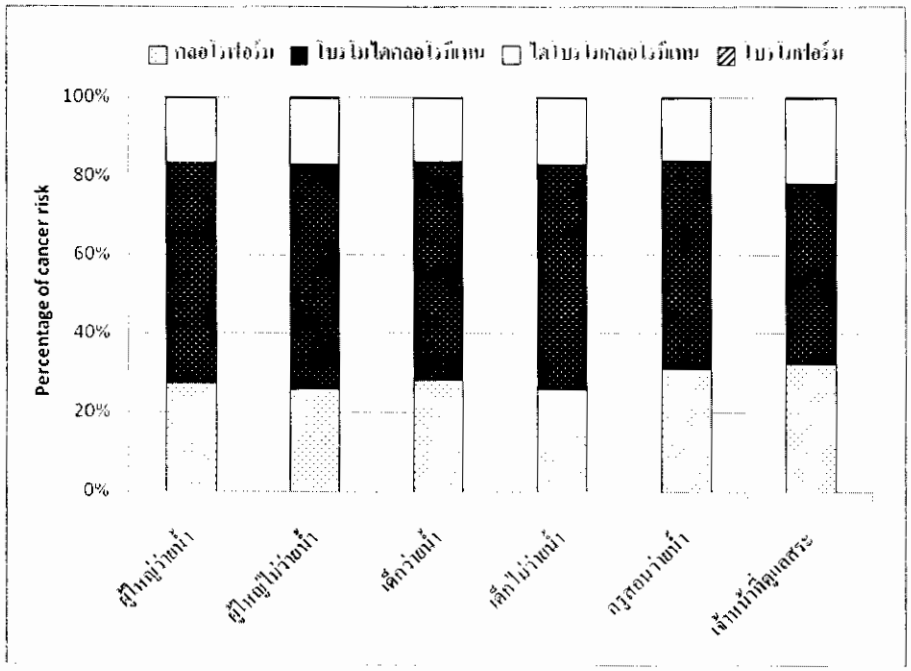
ภาพที่ 28 ความเสี่ยงในการเกิดมะเร็งจากน้ำประปาและสระว่ายน้ำกลางแจ้งของบุคคล 6 กลุ่ม



ภาพที่ 29 ร้อยละความเสี่ยงในการเกิดมะเร็งจากน้ำประปาและสระว่ายน้ำกลางแจ้ง



ภาพที่ 30 ความเสี่ยงรวมในการเกิดมะเร็งจากน้ำประปาและสระว่ายน้ำกลางแจ้งของสาร THMs ทั้ง 4 ชนิดของบุคคล 6 กลุ่ม



ภาพที่ 31 ร้อยละความเสี่ยงในการเกิดมะเร็งจากน้ำประปาและสระว่ายน้ำกลางแจ้งของสาร THMs ทั้ง 4 ชนิด

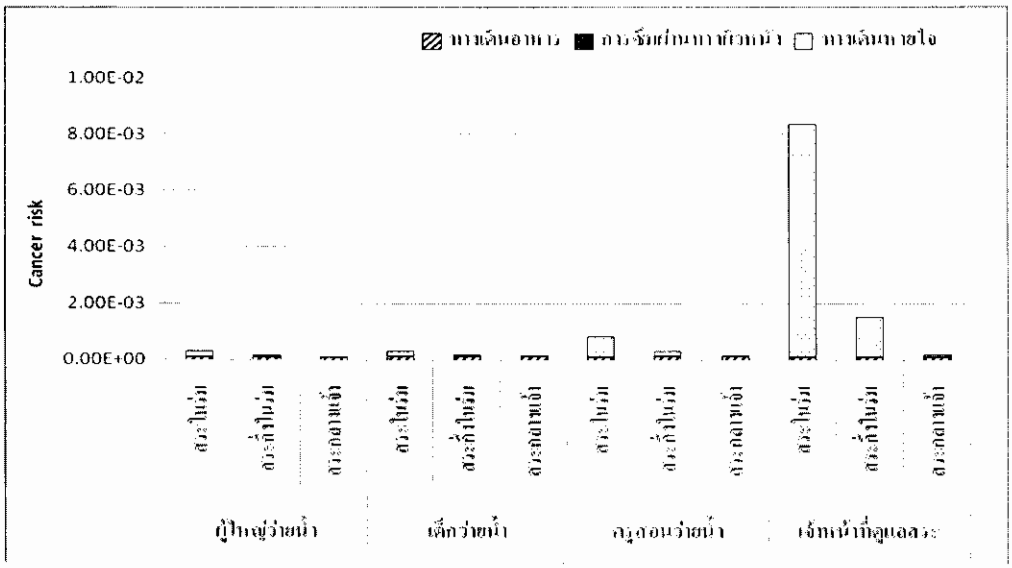
2.4 การเปรียบเทียบความเสี่ยงในการเกิดมะเร็ง

(1) การเปรียบเทียบความเสี่ยงในการเกิดมะเร็งทั้ง 3 สระ

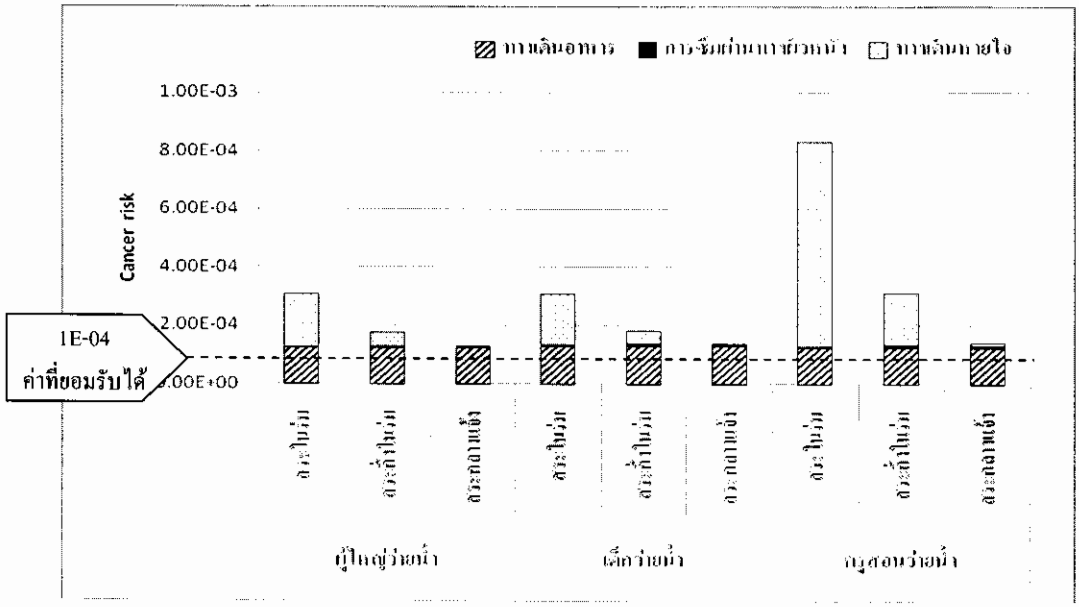
การเปรียบเทียบความเสี่ยงในการเกิดมะเร็งของบุคคลกลุ่มต่าง ๆ ได้แก่ ผู้ใหญ่ว่ายน้ำ เด็กว่ายน้ำ ครูสอนว่ายน้ำ และเจ้าหน้าที่ดูแลสระว่ายน้ำ ซึ่งมีเส้นทางการได้รับสารที่เหมือนกันคือ การได้รับสารผ่านทางเดินอาหาร การซึมผ่านทางผิวหนัง และทางการหายใจ ระหว่างสระว่ายน้ำในร่ม สระว่ายน้ำกึ่งในร่ม และสระว่ายน้ำกลางแจ้ง กรณีใช้ความเข้มข้นสูงสุดแสดงดังภาพที่ 32 และภาพที่ 33 โดยจะพบว่าสระว่ายน้ำในร่มมีเส้นทางการได้รับเข้าสู่ร่างกายโดยผ่านทางเดินหายใจเป็นเส้นทางหลัก สำหรับสระว่ายน้ำกึ่งในร่มและสระว่ายน้ำกลางแจ้งจะได้รับสาร THMs เข้าสู่ร่างกายโดยผ่านทางเดินอาหารเป็นเส้นทางหลัก นอกจากนี้จะเห็นได้ว่าในบุคคลทุกกลุ่มจะมีความเสี่ยงรวมจากสระว่ายน้ำเรียงลำดับจากมากไปน้อยได้ดังนี้ สระว่ายน้ำในร่ม สระว่ายน้ำกึ่งในร่ม และสระว่ายน้ำกลางแจ้ง ตามลำดับ เหตุที่สระว่ายน้ำในร่มมีความเสี่ยงจากการได้รับสารแตกต่างไปจากสระว่ายน้ำกึ่งในร่มและสระว่ายน้ำกลางแจ้ง เนื่องจากสระว่ายน้ำในร่มมีลักษณะเป็นสระปิด ไม่มีช่องระบายอากาศตามผนังด้านข้าง รวมถึงการติดตั้งเครื่องระบายอากาศบริเวณหลังคาด้านบนก็มีอยู่เป็นจำนวนน้อย ทำให้อากาศที่ถูกปนเปื้อนด้วยสารไตรฮาโลมีเทนไม่สามารถระเหยออกสู่ภายนอกของสระว่ายน้ำได้ เป็นเหตุให้สาร THMs แพร่กระจายและปนเปื้อนอยู่ภายในอากาศบริเวณสระว่ายน้ำในร่มมากกว่าสระว่ายน้ำกึ่งในร่มและสระว่ายน้ำกลางแจ้ง

จากภาพที่ 34 และภาพที่ 35 แสดงการเปรียบเทียบความเสี่ยงในการเกิดมะเร็งของบุคคลกลุ่มต่าง ๆ ได้แก่ ผู้ใหญ่ว่ายน้ำ เด็กว่ายน้ำ ครูสอนว่ายน้ำ และเจ้าหน้าที่ดูแลสระว่ายน้ำ ซึ่งมีเส้นทางการได้รับสารทั้งจากน้ำประปาและสระว่ายน้ำเช่นเดียวกัน ระหว่างสระว่ายน้ำในร่ม สระว่ายน้ำกึ่งในร่ม และสระว่ายน้ำกลางแจ้ง กรณีใช้ความเข้มข้นสูงสุด จากการเปรียบเทียบพบว่าสระว่ายน้ำในร่มและสระว่ายน้ำกึ่งในร่มมีความเสี่ยงสูงสุดมาจากการได้รับคลอโรฟอร์ม และสระว่ายน้ำกลางแจ้งมีความเสี่ยงสูงสุดมาจากการได้รับโบรโมไดคลอโรมีเทน โดยจะเห็นว่าสระว่ายน้ำในร่มมีความเสี่ยงในการเกิดมะเร็งจากคลอโรฟอร์มสูงกว่าสระว่ายน้ำกึ่งในร่ม และสระว่ายน้ำกลางแจ้งเนื่องจากคลอโรฟอร์มเป็นสารที่ระเหยได้ง่าย ซึ่งสามารถดูได้จากค่าคงที่ของเฮนรี่ (Henry 's law) แสดงดังตารางที่ 2-10 ซึ่งเป็นค่าที่บ่งบอกถึงความสามารถในการระเหยของสารต่าง ๆ รวมถึงสระว่ายน้ำในร่มมีลักษณะเป็นสระปิดทุกด้าน โดยทำการระบายอากาศด้วยพัดลมดูดอากาศติดผนังเท่านั้น จึงทำให้มีอัตราการระบายอากาศจากภายในสู่ภายนอกต่ำมาก ดังนั้นบริเวณภายในจึงมีความเข้มข้นสูงกว่าสระว่ายน้ำกึ่งในร่มที่มีลักษณะเป็นช่องเปิดโล่งบริเวณด้านข้างทั้ง 4 ด้าน และหลังคาที่มีลักษณะ

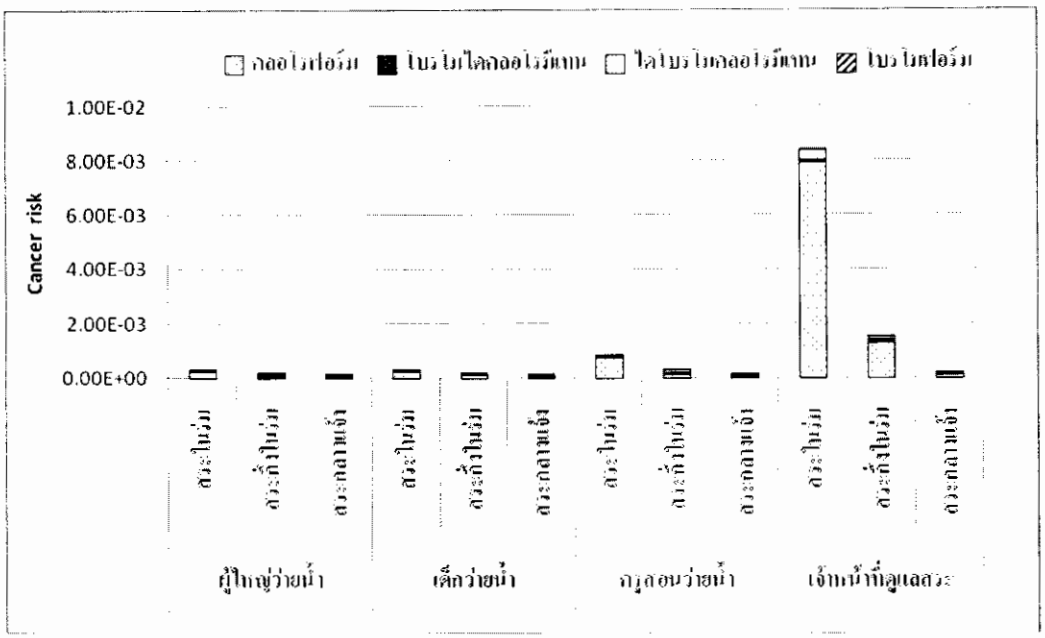
เปิดครึ่งหนึ่ง ทำให้คลอโรฟอร์มสามารถระเหยออกสู่อากาศภายนอกได้ดีกว่าและไม่มีการสะสมอยู่ภายในบริเวณของสระว่ายน้ำ สำหรับสระว่ายน้ำกลางแจ้งก็เช่นเดียวกันคือมีลักษณะของสระเป็นแบบเปิดโล่งจึงทำให้คลอโรฟอร์มระเหยไปได้ดี



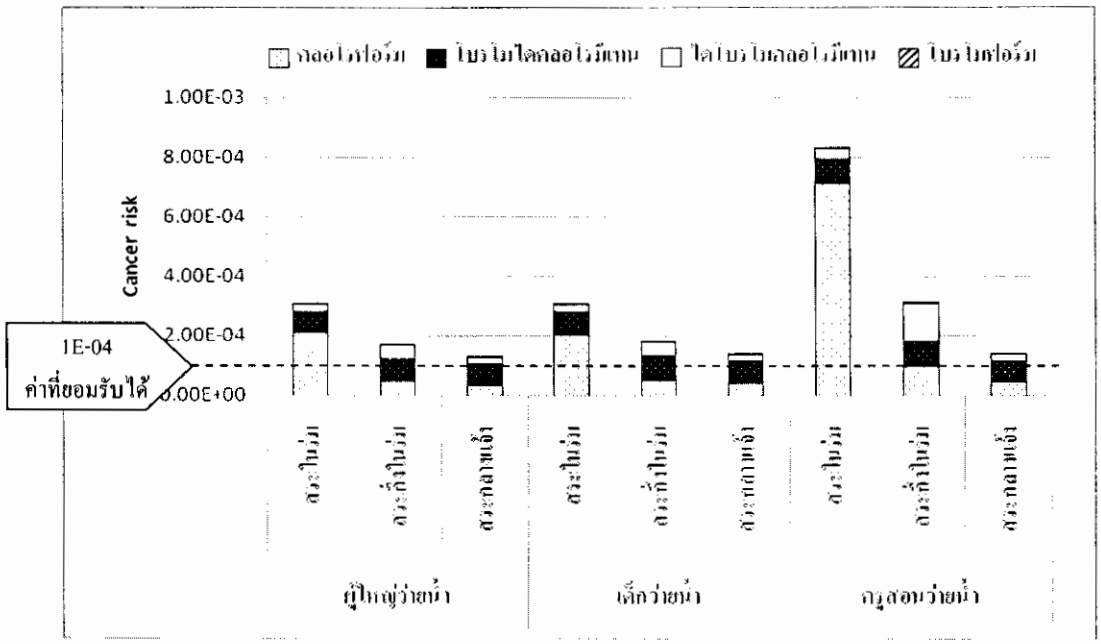
ภาพที่ 32 การเปรียบเทียบความเสี่ยงในการเกิดมะเร็งของบุคคลกลุ่มต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับสระว่ายน้ำทั้ง 3 สระ ตามแต่ละเส้นทาง



ภาพที่ 33 การเปรียบเทียบความเสี่ยงในการเกิดมะเร็งของบุคคลกลุ่มต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับสระว่ายน้ำทั้ง 3 สระตามแต่ละสาร (ยกเว้นเจ้าหน้าที่ดูแลสระว่ายน้ำ)



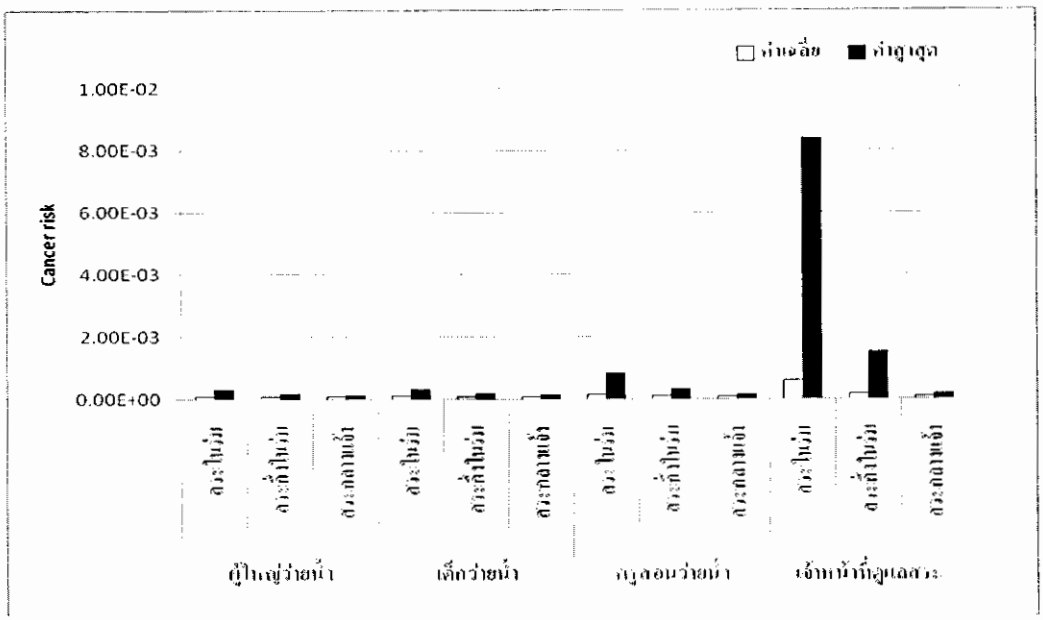
ภาพที่ 34 การเปรียบเทียบความเสี่ยงในการเกิดมะเร็งของบุคคลกลุ่มต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับสระว่ายน้ำทั้ง 3 สระ จากการได้รับสาร THMs ทั้ง 4 ชนิด



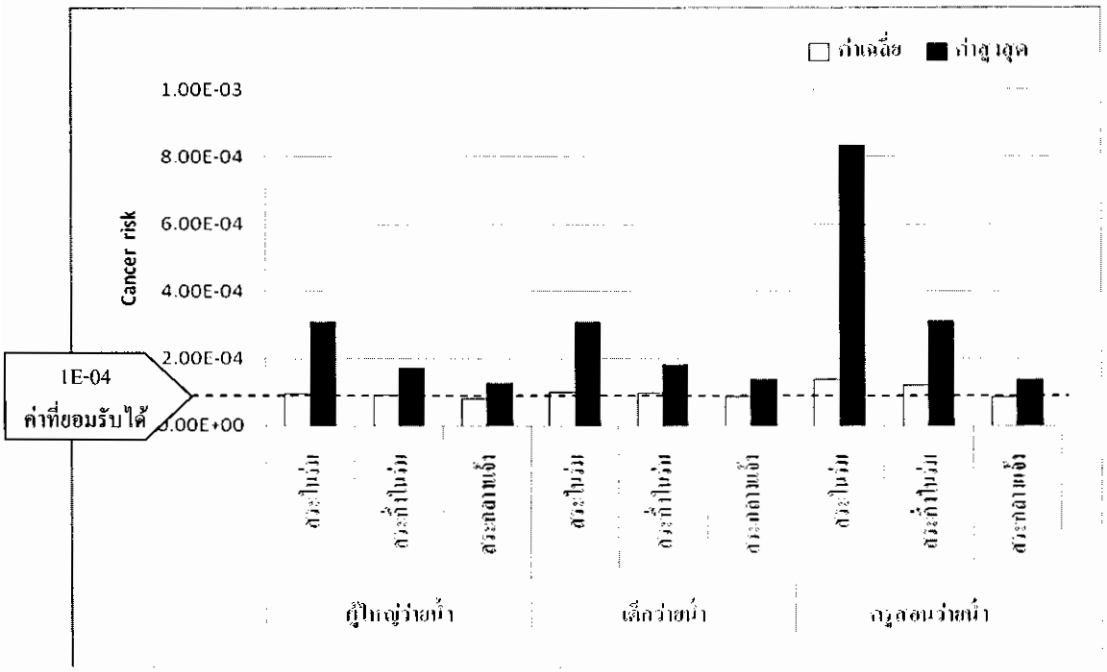
ภาพที่ 35 การเปรียบเทียบความเสี่ยงในการเกิดมะเร็งของบุคคลกลุ่มต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับสระว่ายน้ำทั้ง 3 สระจากการได้รับสาร THMs ทั้ง 4 ชนิด (ยกเว้นเจ้าหน้าที่ดูแลสระว่ายน้ำ)

(2) การเปรียบเทียบความเสี่ยงในการเกิดมะเร็งระหว่างกรณีประเมินความเสี่ยงโดยใช้ความเข้มข้นสูงสุดกับความเข้มข้นเฉลี่ย

การเปรียบเทียบความเสี่ยงในการเกิดมะเร็งกรณีประเมินความเสี่ยงโดยใช้ความเข้มข้นสูงสุดกับความเข้มข้นเฉลี่ยของบุคคลกลุ่มต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับสระว่ายน้ำทั้ง 3 สระ ได้แก่ ผู้ใหญ่ว่ายน้ำ เด็กว่ายน้ำ ครูสอนว่ายน้ำ และเจ้าหน้าที่ดูแลสระว่ายน้ำ ซึ่งมีเส้นทางการได้รับสารทั้งจากการได้รับสารผ่านทางเดินอาหาร การซึมผ่านทางผิวหนัง และทางการหายใจเช่นเดียวกัน แสดงดังภาพที่ 36 และภาพที่ 37 พบว่าความเสี่ยงรวมในการเกิดมะเร็งกรณีประเมินโดยใช้ความเข้มข้นสูงสุดมีค่าสูงกว่าความเสี่ยงที่ได้จากการประเมินโดยใช้ความเข้มข้นเฉลี่ยอย่างเห็นได้ชัดในทุกกลุ่มตัวอย่าง อย่างไรก็ตามแม้ว่าการใช้ความเข้มข้นสูงสุดเป็นวิธีมาตรฐานของ US-EPA แต่ตามความเห็นของผู้วิจัยแล้วการใช้ความเข้มข้นสูงสุดเป็นการมองที่สถานการณ์เลวร้ายเกินความเป็นจริง เนื่องจากคนทุกกลุ่มไม่ได้รับสารเข้าสู่ร่างกายที่ความเข้มข้นสูงสุดตลอดเวลา ดังนั้นจึงได้ทำการประเมินจากกรณีของความเข้มข้นเฉลี่ยเพื่อเป็นข้อมูลประกอบการพิจารณาด้วย จากการประเมินโดยใช้ความเข้มข้นเฉลี่ยจะเห็นได้ว่าทุกกลุ่มนี้มีความเสี่ยงที่ถือว่าสามารถยอมรับได้ คือมีค่าอยู่ในช่วง 1E-06 ถึง 1E-04 ยกเว้นครูสอนว่ายน้ำและเจ้าหน้าที่ดูแลสระว่ายน้ำของสระว่ายน้ำในร่มและสระว่ายน้ำกึ่งในร่มที่มีความเสี่ยงรวมของการเกิดมะเร็งเกินกว่าค่าที่จะยอมรับได้ โดยความเสี่ยงกรณีประเมินจากความเข้มข้นสูงสุดของสระว่ายน้ำในร่มและกึ่งในร่มคิดเป็น 2.57 – 14.14 เท่าของความเสี่ยงกรณีประเมินจากความเข้มข้นเฉลี่ย ซึ่งจะเห็นได้ว่ามีค่ามากกว่าหลายเท่า ดังนั้นจึงต้องมีการดำเนินการแก้ไขต่อไป



ภาพที่ 36 การเปรียบเทียบความเสี่ยงรวมในการเกิดมะเร็งกรณีประเมินโดยใช้ความเข้มข้นสูงสุดและความเข้มข้นเฉลี่ยของบุคคลกลุ่มต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับสระว่ายน้ำทั้ง 3 สระ



ภาพที่ 37 การเปรียบเทียบความเสี่ยงรวมในการเกิดมะเร็งกรณีประเมินโดยใช้ความเข้มข้นสูงสุดและความเข้มข้นเฉลี่ยของบุคคลกลุ่มต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับสระว่ายน้ำทั้ง 3 สระ (ยกเว้นเจ้าหน้าที่ดูแลสระว่ายน้ำ)

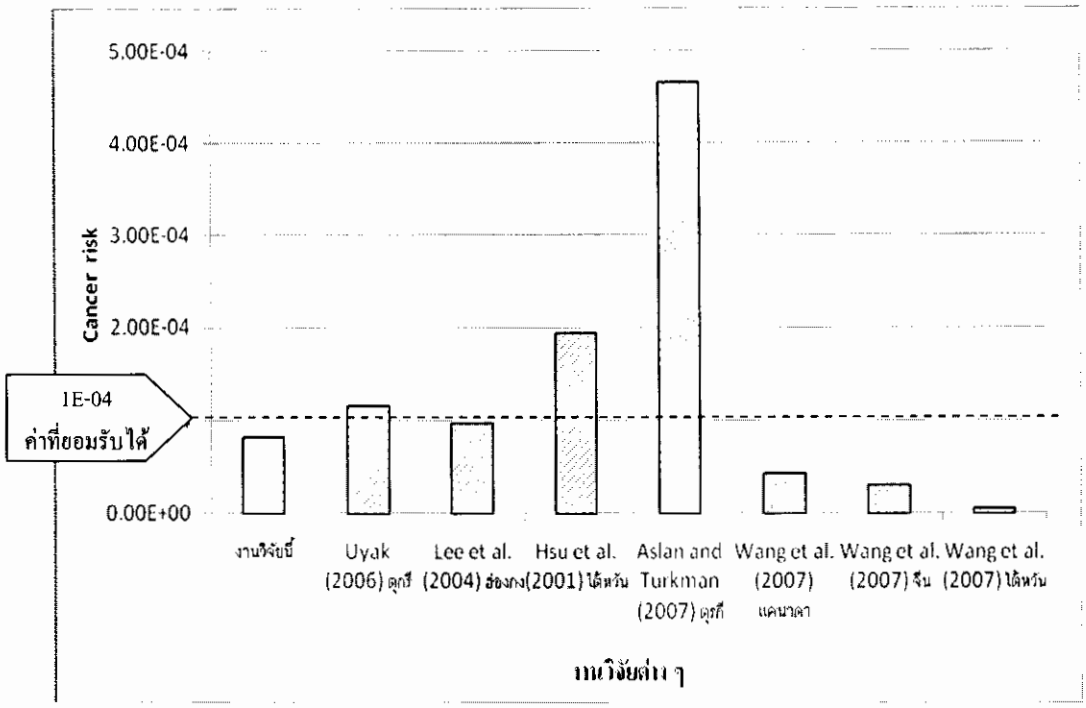
(3) การเปรียบเทียบความเสี่ยงในการเกิดมะเร็งกับงานวิจัยอื่น ๆ

ความเสี่ยงในการเกิดมะเร็งสามารถศึกษาได้จากการเปรียบเทียบกับงานวิจัยอื่น ๆ ได้ดังตารางที่ 27 จะเห็นได้ว่าความเสี่ยงรวมของการศึกษาในหลายประเทศมีค่าเกินกว่าค่าที่สามารถยอมรับตามคำแนะนำของ US-EPA คือมีค่าเกินกว่า 1E-04 เช่น ตุรกี ไต้หวัน เกาหลีใต้ รวมถึงประเทศไทยด้วย และจะเห็นได้ว่าการศึกษาในงานวิจัยนี้เมื่อนำความเสี่ยงจากน้ำประปาไปเปรียบเทียบกับความเสี่ยงในประเทศต่าง ๆ ดังภาพที่ 38 พบว่ามีค่าสูงกว่าความเสี่ยงของประเทศตุรกี ฮ่องกง จีน และไต้หวัน ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากแหล่งตัวอย่างของการเก็บน้ำประปาที่มีความแตกต่างกันในแต่ละประเทศ ยกตัวอย่างเช่นจากงานวิจัยของ Aslan and Turkman (2007) ที่มีความเสี่ยงสูงกว่างานวิจัยนี้อย่างมาก เนื่องจากความเข้มข้นของสาร TTHM ที่มีความแตกต่างจากงานวิจัยนี้ นอกจากนี้แล้วตัวอย่างน้ำที่เก็บจะเป็นทั้งน้ำก่อนและหลังเข้าระบบบำบัดที่นำมาวิเคราะห์ในช่วงฤดูร้อน ซึ่งอุณหภูมิมีผลต่อการเกิดสาร THMs ที่เพิ่มสูงขึ้น แต่จากงานวิจัยนี้เป็นการประเมินความเสี่ยงตลอดทั้งปี

สำหรับความเสี่ยงในการเกิดมะเร็งที่มีค่าน้อยกว่างานวิจัยนี้ เช่น ประเทศแคนาดา จีน และไต้หวัน เหตุที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากความเข้มข้นของสารไตรฮาโลมีเทนทั้งหมด (Total trihalomethanes, TTHM) ที่มีค่าน้อย ยกตัวอย่างเช่นการศึกษาของ Wang et al. (2007) ที่ทำการศึกษาใน 4 เมือง คือ Taipei Taichung Kaohsiung และ Kinmen ของประเทศไต้หวัน พบว่าความเข้มข้นของสาร TTHM มีค่าเท่ากับ 11.2 19.4 42.4 และ 62.5 μg/L ตามลำดับ ในขณะที่งานวิจัยนี้มีความเข้มข้นของ TTHM เท่ากับ 110.56 μg/L ซึ่งจะเห็นได้ว่ามีความแตกต่างกันอย่างชัดเจน

ตารางที่ 27 การเปรียบเทียบความเสี่ยงในการเกิดมะเร็งกับงานวิจัยอื่น ๆ

งานวิจัย	ประเภทของตัวอย่างน้ำ	ที่มาของตัวอย่าง (ประเทศ)	ความเสี่ยงรวมทั้งหมด
งานวิจัยนี้ (เทียบกับกลุ่มผู้ใหญ่ว่ายน้ำ)	น้ำประปา	ไทย	1.23E-04
	สระว่ายน้ำในร่ม		3.07E-04
	สระว่ายน้ำกึ่งในร่ม		1.73E-04
	สระว่ายน้ำกลางแจ้ง		1.28E-04
Uyak (2006)	น้ำประปา	ตุรกี	1.15E-04
Lee et al. (2004)	น้ำประปา	ฮ่องกง	9.68E-05
Hsu et al. (2001)	น้ำประปา	ไต้หวัน	1.94E-04
Aslan and Turkman (2007)	น้ำประปา	ตุรกี	4.65E-04
Wang et al. (2007)	น้ำประปา	แคนาดา	4.22E-05
Wang et al. (2007)	น้ำประปา	จีน	2.91E-05
Wang et al. (2007)	น้ำประปา	ไต้หวัน	3.94E-06
Lee et al. (2009)	สระว่ายน้ำในร่ม	เกาหลีใต้	1.26E-03



ภาพที่ 38 การเปรียบเทียบความเสี่ยงในการเกิดมะเร็งจากน้ำประปากับงานวิจัยอื่น ๆ
หมายเหตุ: เปรียบเทียบกับกลุ่มผู้ใหญ่ว่ายน้ำของงานวิจัยนี้

3 ผลการประเมินความเสี่ยงจากความเป็นอันตรายอื่นนอกจากมะเร็ง (Non-Cancer Risk)

การประเมินความเสี่ยงจากความเป็นอันตรายอื่นนอกจากมะเร็ง ประเมินจากการได้รับสารเข้าสู่ร่างกายใน 3 เส้นทาง รวมถึงการประเมินความเสี่ยงจากบุคคลทั้ง 6 กลุ่มที่มีเส้นทางการได้รับสารที่แตกต่างกันทางเช่นเดียวกับการประเมินความเสี่ยงในการเกิดมะเร็ง

จากผลการวิเคราะห์ความเข้มข้นของสาร THMs ทั้งในน้ำประปา น้ำสระว่ายน้ำ และในอากาศ ได้นำมาเป็นข้อมูลในการประเมินความเสี่ยง แสดงดังตารางที่ 28 และตารางที่ 29 เป็นตัวอย่างการคำนวณการประเมินความเสี่ยงการได้รับสารจากน้ำประปาและสระว่ายน้ำในร่มจากการดื่มน้ำในชีวิตประจำวันและจากรับสารทางปากระหว่างว่ายน้ำของกลุ่มผู้ใหญ่ที่ว่ายน้ำ ทั้งกรณีประเมินโดยใช้ความเข้มข้นสูงสุดและกรณีประเมินโดยใช้ความเข้มข้นเฉลี่ย สำหรับการคำนวณในกลุ่มบุคคลและเส้นทางอื่น ๆ ก็จะมีลักษณะเช่นเดียวกัน ซึ่งแสดงตารางไว้ในภาคผนวก ข

ตารางที่ 28 ตัวอย่างการคำนวณความเสี่ยงในการเกิดอันตรายอื่นนอกจากมะเร็งของสารที่ได้รับผ่านทางเดินอาหารจากการดื่มน้ำในชีวิตประจำวันของผู้ใหญ่ว่ายน้ำ

สาร	CW (mg/L)	IR (L/day)	EF (day/ycar)	EP (year)	BW (kg)	AT (day)	I (mg/kg-day)	R_fc (mg/kg-day)	Non-cancer risk
กรณีประเมินโดยการใช้ความเข้มข้นสูงสุด									
คลอโรฟอร์ม	0.08973	3	365	40	55	14,600	4.89E-03	0.010	0.489
โบรโมไดคลอโรมีเทน	0.02082	3	365	40	55	14,600	1.14E-03	0.020	0.057
ไดโบรโมคลอโรมีเทน	0.00450	3	365	40	55	14,600	2.45E-04	0.020	0.012
โบรโมฟอร์ม	0.00058	3	365	40	55	14,600	3.16E-05	0.020	0.002
กรณีประเมินโดยการใช้ความเข้มข้นเฉลี่ย									
คลอโรฟอร์ม	0.05476	3	365	40	55	14,600	2.99E-03	0.010	0.299
โบรโมไดคลอโรมีเทน	0.01534	3	365	40	55	14,600	8.37E-04	0.020	0.042
ไดโบรโมคลอโรมีเทน	0.00192	3	365	40	55	14,600	1.05E-04	0.020	0.005
โบรโมฟอร์ม	0.00012	3	365	40	55	14,600	6.57E-06	0.020	0.000

ตารางที่ 29 ตัวอย่างการคำนวณความเสี่ยงในการเกิดอันตรายอื่นนอกจากมะเร็งของสารที่ได้รับผ่านทางเดินอาหารระหว่างว่ายน้ำของผู้ใหญ่ว่ายน้ำ

สาร	CW (mg/L)	IR (L/day)	ET (hr/ครั้ง)	EF (ครั้ง/year)	EP (year)	0.0416 (day/hr)	BW (kg)	AT (day)	I (mg/kg-day)	R_fc (mg/kg-day)	Non-cancer risk
กรณีประเมินโดยการใช้ความเข้มข้นสูงสุด											
คลอโรฟอร์ม	0.02906	1.2	1.1	101	40	0.0416	55	14,600	8.03E-06	0.010	0.001
โบรโมไดคลอโรมีเทน	0.01366	1.2	1.1	101	40	0.0416	55	14,600	3.77E-06	0.020	0.000
ไดโบรโมคลอโรมีเทน	0.00000	1.2	1.1	101	40	0.0416	55	14,600	0.00E+00	0.020	0.000
โบรโมฟอร์ม	0.00081	1.2	1.1	101	40	0.0416	55	14,600	2.24E-07	0.020	0.000
กรณีประเมินโดยการใช้ความเข้มข้นเฉลี่ย											
คลอโรฟอร์ม	0.01781	1.2	1.1	101	40	0.0416	55	14,600	4.92E-06	0.010	0.000
โบรโมไดคลอโรมีเทน	0.00685	1.2	1.1	101	40	0.0416	55	14,600	1.89E-06	0.020	0.000
ไดโบรโมคลอโรมีเทน	0.00000	1.2	1.1	101	40	0.0416	55	14,600	0.00E+00	0.020	0.000
โบรโมฟอร์ม	0.00017	1.2	1.1	101	40	0.0416	55	14,600	4.74E-08	0.020	0.000

3.1 ความเสี่ยงจากความเป็นอันตรายอื่นนอกจากมะเร็งของสระว่ายน้ำในร่ม สระว่ายน้ำกึ่งในร่ม และสระว่ายน้ำกลางแจ้ง

การประเมินความเสี่ยงจากความเป็นอันตรายอื่นนอกจากมะเร็งของสระว่ายน้ำทั้ง 3 สระพบว่าไม่มีความแตกต่างกันมากนัก ทั้งในส่วนของเส้นทางการได้รับสารและชนิดของสารที่ได้รับเข้าสู่ร่างกายของบุคคลแต่ละกลุ่ม โดยผลการประเมินความเสี่ยงเป็นดังนี้

(1) การเปรียบเทียบเส้นทางการได้รับสารจากสระว่ายน้ำทั้ง 3 สระ

การประเมินความเสี่ยงในการเกิดอันตรายอื่นนอกจากมะเร็งของบุคคล 6 กลุ่มตามแต่ละเส้นทางการได้รับสารจากน้ำประปาและสระว่ายน้ำ แสดงดังตารางที่ 30 ตารางที่ 32 และตารางที่ 34 จากการประเมินพบว่าความเสี่ยงรวมจากน้ำประปาและสระว่ายน้ำในร่มของการได้รับสารผ่านทางเดินอาหาร การซึมผ่านทางผิวหนัง และทางการหายใจ ของผู้ใหญ่ว่ายน้ำ เด็กว่ายน้ำ ครูสอนว่ายน้ำ และเจ้าหน้าที่ดูแลสระว่ายน้ำ มีความเสี่ยงเท่ากับ 0.60 0.65 0.64 และ 0.59 ตามลำดับ สำหรับความเสี่ยงจากสระว่ายน้ำในร่มของบุคคลทั้ง 4 กลุ่ม มีค่าเท่ากับ 0.61 0.69 0.69 และ 0.59 ตามลำดับ และความเสี่ยงจากสระว่ายน้ำกลางแจ้งของบุคคลทั้ง 4 กลุ่ม มีค่าเท่ากับ 0.61 0.68 0.69 และ 0.59 ตามลำดับ สำหรับกรณีผู้ใหญ่ไม่ว่ายน้ำและเด็กไม่ว่ายน้ำที่ได้รับสาร THMs ผ่านทางเดินอาหารและการซึมผ่านทางผิวหนังจากน้ำประปาเท่านั้น มีความเสี่ยงกับ 0.59 และ 0.62 ตามลำดับ โดยจะเห็นว่าทุกกลุ่มมีความเสี่ยงไม่เกิน 1 จึงถือว่าเป็นความเสี่ยงที่สามารถยอมรับได้ตามแนวทางของ US-EPA ดังนั้นจึงถือว่าเป็นความเสี่ยงที่อยู่ในระดับที่สามารถยอมรับได้

เมื่อพิจารณาตามแต่ละเส้นทางจากการได้รับสารของบุคคลทุกกลุ่ม ดังภาพที่ 39 พบว่าทุกสระมีความเสี่ยงในการเกิดอันตรายอื่นนอกจากมะเร็งเรียงลำดับจากมากไปน้อยได้ดังนี้ การได้รับสารผ่านทางเดินอาหาร การซึมผ่านทางผิวหนัง และทางเดินหายใจ ตามลำดับ โดยเด็กว่ายน้ำและครูสอนว่ายน้ำมีความเสี่ยงรวมจากการได้รับสารผ่านทางเดินอาหารและการซึมผ่านทางผิวหนังสูงสุดจากสระว่ายน้ำในร่ม คือมีความเสี่ยงเท่ากับ 0.59 และ 0.08 ตามลำดับ สำหรับเด็กว่ายน้ำและครูสอนว่ายน้ำจากสระว่ายน้ำกึ่งในร่มและสระว่ายน้ำกลางแจ้งมีความเสี่ยงเท่ากัน คือมีความเสี่ยงเท่ากับ 0.60 และ 0.13 ตามลำดับ นอกจากนี้จะพบว่าไม่มีบุคคลกลุ่มใดที่ได้รับสารผ่านทางเดินหายใจ โดยจะเห็นได้ว่าบุคคลทุกกลุ่มมีความเสี่ยงของการได้รับสารผ่านทางเดินอาหารสูงกว่าความเสี่ยงที่ได้รับสารผ่านทางผิวหนังและทางการหายใจ ทั้งนี้เนื่องจากค่า Reference concentration (R_fC) ผ่านทางเดินอาหารของคลอโรฟอร์มและโบรโมฟอร์มผ่านทางเดินอาหารมีค่าเท่ากับ 0.01 และ 0.02 ตามลำดับ ซึ่ง

มีค่าสูงกว่า R_fC ที่ซึมผ่านทางผิวหนังของคลอโรฟอร์มและโบรโมฟอร์มที่มีค่าเท่ากับ 0.002 และ 0.012 ตามลำดับ

จากร้อยละความเสี่ยงในการเกิดอันตรายอื่นนอกจากมะเร็งตามแต่ละเส้นทางของบุคคลทั้ง 6 กลุ่ม พบว่าผู้ใหญ่ว่ายน้ำ ผู้ใหญ่ไม่ว่ายน้ำ เด็กว่ายน้ำ เด็กไม่ว่ายน้ำ ครูสอนว่ายน้ำ และเจ้าหน้าที่ดูแลสระว่ายน้ำ ทุกกลุ่มมีเส้นทางหลักคือการได้รับสารผ่านทางเดินอาหาร ในช่วงร้อยละ 81 – 96 และเส้นทางรองคือการได้รับสารผ่านทางผิวหนัง ซึ่งมีร้อยละความเสี่ยงอยู่ในช่วง 4 – 12 ดังภาพที่ 40

(2) การเปรียบเทียบการได้รับสารจากน้ำประปาและสระว่ายน้ำทั้ง 3 สระ

จากตารางที่ 30 ตารางที่ 32 ตารางที่ 34 และภาพที่ 41 แสดงความเสี่ยงในการเกิดอันตรายอื่นนอกจากมะเร็งจากน้ำประปาและสระว่ายน้ำทั้ง 3 สระของบุคคล 6 กลุ่ม จากการประเมินพบว่าผู้ใหญ่ว่ายน้ำ ผู้ใหญ่ไม่ว่ายน้ำ เด็กว่ายน้ำ เด็กไม่ว่ายน้ำ ครูสอนว่ายน้ำ และเจ้าหน้าที่ดูแลสระว่ายน้ำของทุกสระว่ายน้ำ มีความเสี่ยงในการเกิดมะเร็งของการได้รับสารจากน้ำประปาสูงกว่าในสระว่ายน้ำ ทั้งนี้เนื่องจากเส้นทางหลักของการได้รับสารคือการได้รับผ่านทางเดินอาหารที่เกิดจากการดื่มน้ำประปาเป็นประจำอยู่แล้ว แต่ไม่ได้เกิดจากการดื่มน้ำสระว่ายน้ำเป็นประจำหรือในปริมาณมากเท่ากับการดื่มจากน้ำประปา โดยจะเห็นว่าเด็กว่ายน้ำมีความเสี่ยงจากน้ำประปาสูงสุดยกเว้นกรณีของผู้ใหญ่ไม่ว่ายน้ำและเด็กไม่ว่ายน้ำที่ได้รับความเสี่ยงจากน้ำประปาเท่านั้น

เมื่อพิจารณาค่าร้อยละพบว่าผู้ใหญ่ว่ายน้ำ ผู้ใหญ่ไม่ว่ายน้ำ เด็กว่ายน้ำ เด็กไม่ว่ายน้ำ ครูสอนว่ายน้ำ และเจ้าหน้าที่ดูแลสระว่ายน้ำ มีความเสี่ยงในการเกิดอันตรายอื่นนอกจากมะเร็งจากน้ำประปามีร้อยละความเสี่ยงอยู่ในช่วง 85 – 100 สำหรับความเสี่ยงจากสระว่ายน้ำทั้ง 3 สระของผู้ใหญ่ว่ายน้ำ เด็กว่ายน้ำ ครูสอนว่ายน้ำ และเจ้าหน้าที่ดูแลสระว่ายน้ำมีความเสี่ยงอยู่ในช่วงร้อยละ 2-15 ดังภาพที่ 42

(3) การเปรียบเทียบการได้รับสารไตรฮาโลมีเทนทั้ง 4 ชนิดของสระว่ายน้ำทั้ง 3 สระ

ผลการประเมินความเสี่ยงรวมจากน้ำประปาและสระว่ายน้ำของสาร THMs ทั้ง 4 ชนิด แสดงดังตารางที่ 31 ตารางที่ 33 ตารางที่ 35 และภาพที่ 43 จากการประเมินพบว่าเด็กว่ายน้ำมีความเสี่ยงรวมจากการได้รับสารทั้ง 4 ชนิดสูงสุดจากสระว่ายน้ำในร่ม สำหรับสระว่ายน้ำกึ่งในร่มและสระว่ายน้ำกลางแจ้งพบว่าครูสอนว่ายน้ำมีความเสี่ยงรวมจากการได้รับสาร THMs ทั้ง 4 ชนิดสูงสุด โดย

ชนิดของสารที่มีความเสี่ยงสูงสุดในทั้ง 3 สระคือ คลอโรฟอร์ม รองลงมาได้แก่ โบรโมไดคลอโรมีเทน เหตุที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากค่า R_fC จากการได้รับสารผ่านทางเดินอาหารของคลอโรฟอร์มและโบรโมไดคลอโรมีเทนมีค่าเท่ากับ 0.01 และ 0.02 ตามลำดับ และเมื่อนำค่านี้ไปร่วมกับการประเมินความเสี่ยงจึงทำให้ความเสี่ยงของสารที่ได้รับจากคลอโรฟอร์มมีค่าสูงกว่าโบรโมไดคลอโรมีเทน และเมื่อพิจารณาจากภาพที่ 44 พบว่าผู้ใหญ่ว่ายน้ำ ผู้ใหญ่ไม่ว่ายน้ำ เด็กว่ายน้ำ เด็กไม่ว่ายน้ำ ครูสอนว่ายน้ำ และเจ้าหน้าที่ดูแลสระว่ายน้ำจากสระว่ายน้ำทั้ง 3 สระ มีความเสี่ยงจากการได้รับคลอโรฟอร์มสูงสุดอยู่ในช่วงร้อยละ 88 – 90

จากการศึกษาของ Lee et al. (2004) พบว่าเมือง Tai Po ประเทศฮ่องกง มีความเสี่ยงสูงสุดจากการได้รับคลอโรฟอร์มผ่านทางเดินอาหารและการซึมผ่านทางผิวหนัง โดยมีความเสี่ยงเท่ากับ 0.519 และ 0.0000103 ตามลำดับ เช่นเดียวกับการศึกษาของ Uyak (2006) ที่พบว่าเมือง Sariyer ในอิสตัสบูล ประเทศตุรกี มีความเสี่ยงของการเกิดอันตรายอื่นนอกจากมะเร็งมาจากการได้รับคลอโรฟอร์มผ่านทางเดินอาหารและการซึมผ่านทางผิวหนัง โดยมีความเสี่ยงเท่ากับ 0.120 และ 0.046 ตามลำดับ

ตารางที่ 30 ความเสี่ยงในการเกิดอันตรายอื่นนอกจากมะเร็งจากน้ำประปาและสระว่ายน้ำในร่มตามแต่ละเส้นทางของบุคคล 6 กลุ่ม

กลุ่มบุคคล	เส้นทางการได้รับสาร				ความเสี่ยงในการเกิดอันตรายอื่นนอกจากมะเร็ง		
	ทางเดินอาหาร	การซึมผ่านทางผิวหนัง	ทางการหายใจ	ความเสี่ยงรวมทั้งหมด	น้ำประปา	สระว่ายน้ำ	ความเสี่ยงรวมทั้งหมด
ผู้ใหญ่ว่ายน้ำ	0.56	0.04	0.00	0.60	0.59	0.01	0.60
ผู้ใหญ่ไม่ว่ายน้ำ	0.56	0.03	0.00	0.59	0.59	-	0.59
เด็กว่ายน้ำ	0.59	0.06	0.00	0.65	0.62	0.03	0.65
เด็กไม่ว่ายน้ำ	0.59	0.03	0.00	0.62	0.62	-	0.62
ครูสอนว่ายน้ำ	0.56	0.08	0.00	0.64	0.59	0.05	0.64
เจ้าหน้าที่ดูแลสระว่ายน้ำ	0.56	0.03	0.00	0.59	0.59	0.00	0.59

หมายเหตุ: ไม่ได้ประเมินความเสี่ยงจากการได้รับสารทางการหายใจในชีวิตประจำวัน

ตารางที่ 31 ความเสี่ยงในการเกิดอันตรายอื่นนอกจากมะเร็งจากน้ำประปาและสระว่ายน้ำในร่มของสาร THMs ทั้ง 4 ชนิด

กลุ่มบุคคล	ชนิดสาร				ความเสี่ยงรวมทั้งหมด
	คลอโรฟอร์ม	โบรโมไดคลอโรมีเทน	ไดโบรโมคลอโรมีเทน	โบรโมฟอร์ม	
ผู้ใหญ่ว่ายน้ำ	0.53	0.06	0.01	0.00	0.60
ผู้ใหญ่ไม่ว่ายน้ำ	0.52	0.06	0.01	0.01	0.60
เด็กว่ายน้ำ	0.58	0.06	0.01	0.00	0.65
เด็กไม่ว่ายน้ำ	0.55	0.06	0.01	0.00	0.62
ครูสอนว่ายน้ำ	0.57	0.06	0.01	0.00	0.64
เจ้าหน้าที่ดูแลสระ	0.52	0.06	0.01	0.00	0.59

หมายเหตุ: ไม่ได้ประเมินความเสี่ยงจากการได้รับสารทางการหายใจในชีวิตประจำวัน

ตารางที่ 32 ความเสี่ยงในการเกิดอันตรายอื่นนอกจากมะเร็งจากน้ำประปาและสระว่ายน้ำกึ่งในร่มตามแต่ละเส้นทางของบุคคล 6 กลุ่ม

กลุ่มบุคคล	เส้นทางการได้รับสาร				ความเสี่ยงในการเกิดอันตรายอื่นนอกจากมะเร็ง		
	ทางเดินอาหาร	การซึมผ่านทางผิวหนัง	ทางการหายใจ	ความเสี่ยงรวมทั้งหมด	น้ำประปา	สระว่ายน้ำ	ความเสี่ยงรวมทั้งหมด
ผู้ใหญ่ว่ายน้ำ	0.56	0.05	0.00	0.61	0.59	0.03	0.61
ผู้ใหญ่ไม่ว่ายน้ำ	0.56	0.03	0.00	0.59	0.59	-	0.59
เด็กว่ายน้ำ	0.60	0.09	0.00	0.69	0.62	0.06	0.69
เด็กไม่ว่ายน้ำ	0.59	0.03	0.00	0.62	0.62	-	0.62
ครูสอนว่ายน้ำ	0.56	0.13	0.00	0.69	0.59	0.10	0.69
เจ้าหน้าที่ดูแลสระว่ายน้ำ	0.56	0.03	0.00	0.59	0.59	0.00	0.59

หมายเหตุ: ไม่ได้ประเมินความเสี่ยงจากการได้รับสารทางการหายใจในชีวิตประจำวัน

ตารางที่ 33 ความเสี่ยงในการเกิดมะเร็งจากน้ำประปาและสระว่ายน้ำกึ่งในร่มของสาร THMs ทั้ง 4 ชนิด

กลุ่มบุคคล	ชนิดสาร				ความเสี่ยงรวมทั้งหมด
	คลอโรฟอร์ม	โบรโมไดคลอโรมีเทน	ไดโบรโมคลอโรมีเทน	โบรโมฟอร์ม	
ผู้ใหญ่ว่ายน้ำ	0.54	0.06	0.01	0.00	0.61
ผู้ใหญ่ไม่ว่ายน้ำ	0.52	0.06	0.01	0.00	0.59
เด็กว่ายน้ำ	0.61	0.06	0.01	0.00	0.69
เด็กไม่ว่ายน้ำ	0.55	0.06	0.01	0.00	0.62
ครูสอนว่ายน้ำ	0.62	0.06	0.01	0.00	0.69
เจ้าหน้าที่ดูแลสระว่ายน้ำ	0.52	0.06	0.01	0.00	0.59

หมายเหตุ: ไม่ได้ประเมินความเสี่ยงจากการได้รับสารทางการหายใจในชีวิตประจำวัน

ตารางที่ 34 ความเสี่ยงในการเกิดอันตรายอื่นนอกจากมะเร็งจากน้ำประปาและสระว่ายน้ำกลางแจ้งตามแต่ละเส้นทางของบุคคล 6 กลุ่ม

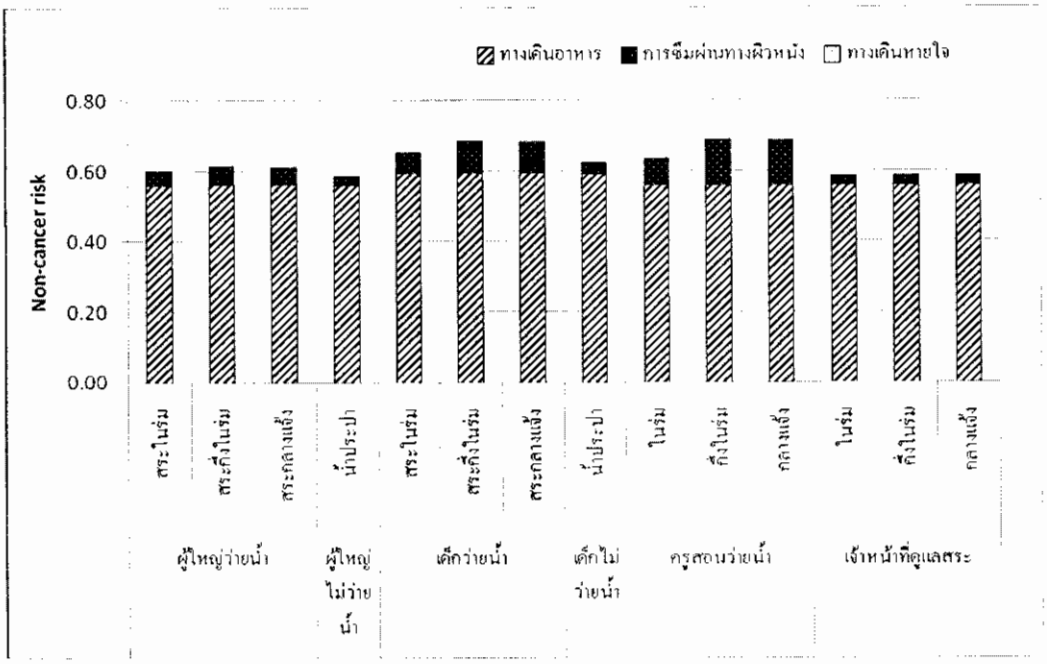
กลุ่มบุคคล	เส้นทางการได้รับสาร				ความเสี่ยงในการเกิดอันตรายอื่นนอกจากมะเร็ง		
	ทางเดินอาหาร	การซึมผ่านทางผิวหนัง	ทางการหายใจ	ความเสี่ยงรวมทั้งหมด	น้ำประปา	สระว่ายน้ำ	ความเสี่ยงรวมทั้งหมด
ผู้ใหญ่ว่ายน้ำ	0.56	0.05	0.00	0.61	0.59	0.03	0.61
ผู้ใหญ่ไม่ว่ายน้ำ	0.56	0.03	0.00	0.59	0.59	-	0.59
เด็กว่ายน้ำ	0.60	0.09	0.00	0.68	0.62	0.06	0.68
เด็กไม่ว่ายน้ำ	0.59	0.03	0.00	0.62	0.62	-	0.62
ครูสอนว่ายน้ำ	0.56	0.13	0.00	0.69	0.59	0.10	0.69
เจ้าหน้าที่ดูแลสระว่ายน้ำ	0.56	0.03	0.00	0.59	0.59	0.00	0.59

หมายเหตุ: ไม่ได้ประเมินความเสี่ยงจากการได้รับสารทางการหายใจในชีวิตประจำวัน

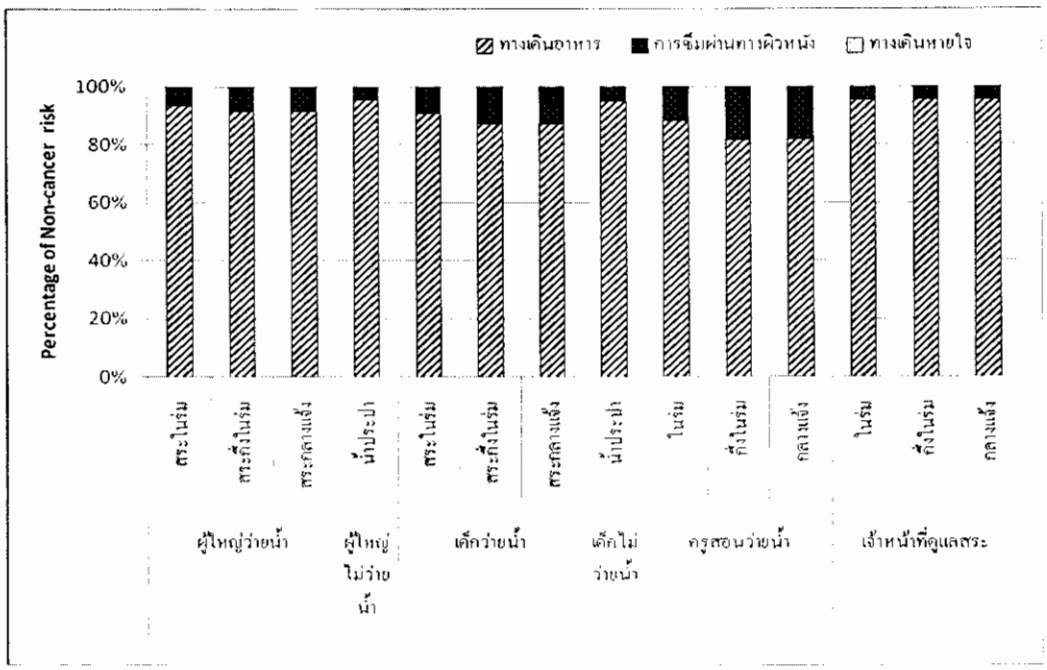
ตารางที่ 35 ความเสี่ยงในการเกิดอันตรายอื่นนอกจากมะเร็งจากน้ำประปาและสระว่ายน้ำกลางแจ้งของสาร THMs ทั้ง 4 ชนิด

กลุ่มบุคคล	ชนิดสาร				ความเสี่ยงรวมทั้งหมด
	คลอโรฟอร์ม	โบรโมไดคลอโรมีเทน	ไดโบรโมคลอโรมีเทน	โบรโมฟอร์ม	
ผู้ใหญ่ว่ายน้ำ	0.54	0.06	0.01	0.00	0.61
ผู้ใหญ่ไม่ว่ายน้ำ	0.52	0.06	0.01	0.00	0.59
เด็กว่ายน้ำ	0.61	0.06	0.01	0.00	0.68
เด็กไม่ว่ายน้ำ	0.55	0.06	0.01	0.00	0.62
ครูสอนว่ายน้ำ	0.61	0.06	0.01	0.00	0.69
เจ้าหน้าที่ดูแลสระว่ายน้ำ	0.52	0.06	0.01	0.00	0.59

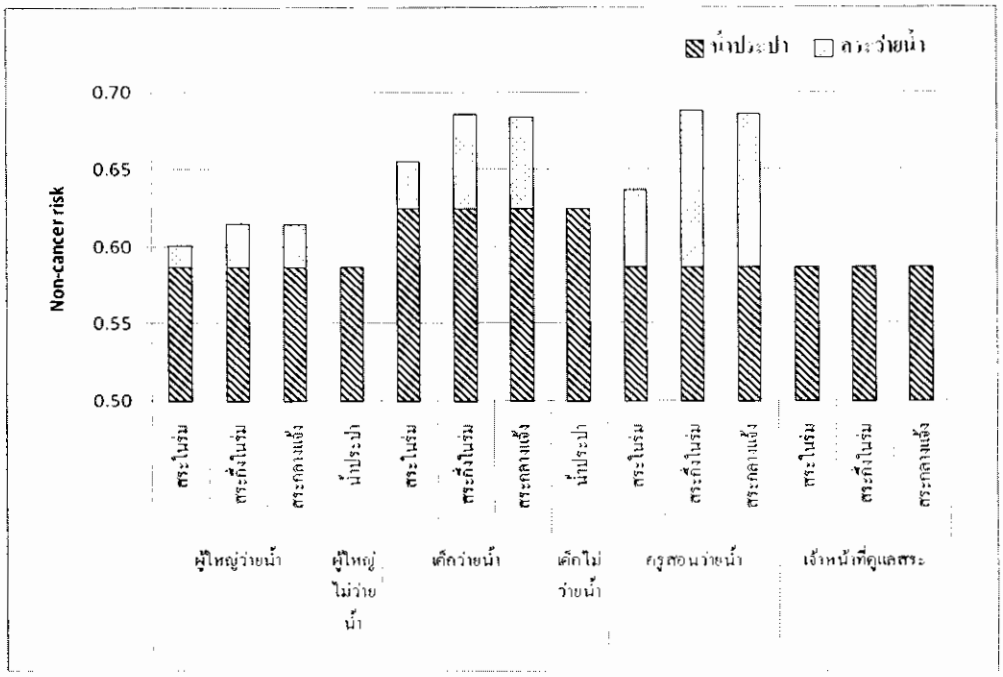
หมายเหตุ: ไม่ได้ประเมินความเสี่ยงจากการได้รับสารทางการหายใจในชีวิตประจำวัน



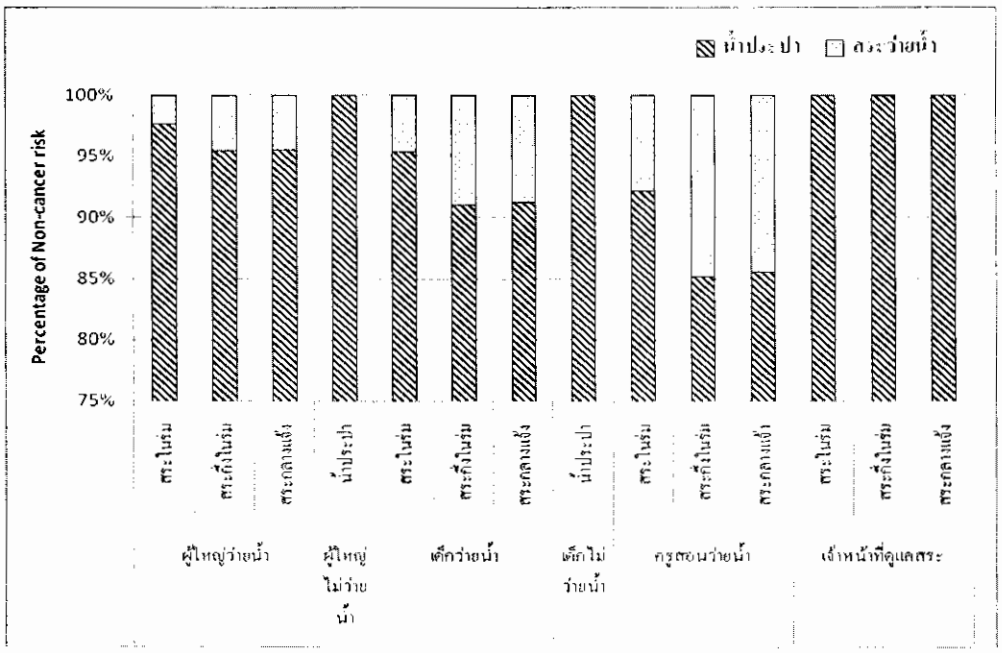
ภาพที่ 39 ความเสี่ยงรวมในการเกิดอันตรายอื่นนอกจากมะเร็งตามแต่ละเส้นทางจากสระว่ายน้ำ 3 สระของบุคคลทั้ง 6 กลุ่ม



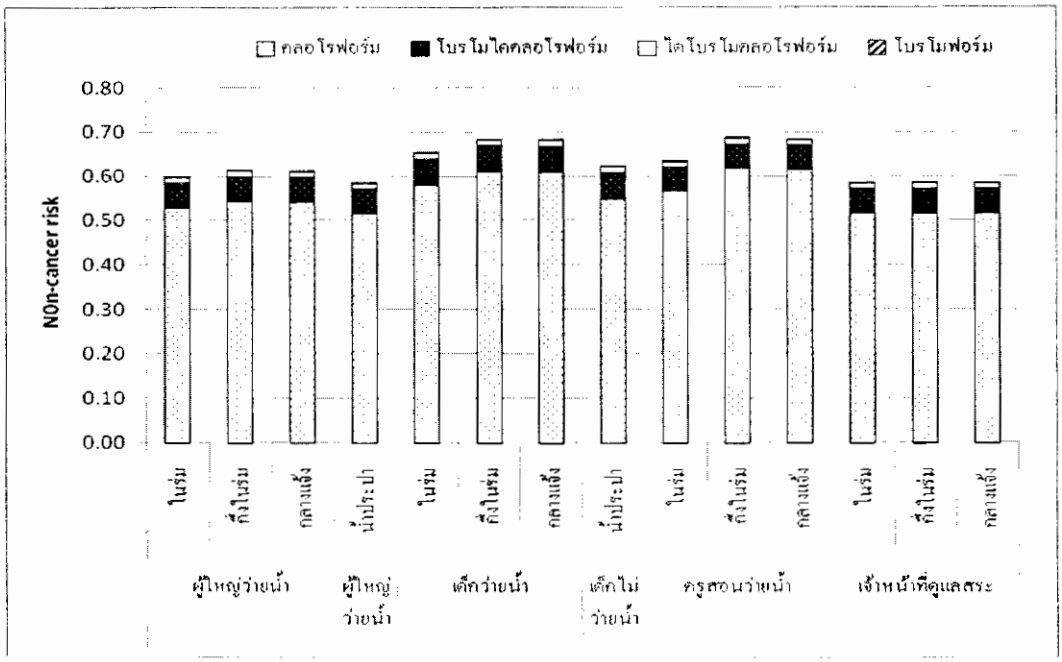
ภาพที่ 40 ร้อยละความเสี่ยงในการเกิดอันตรายอื่นนอกจากมะเร็งตามแต่ละเส้นทางจากสระว่ายน้ำ 3 สระของบุคคลทั้ง 6 กลุ่ม



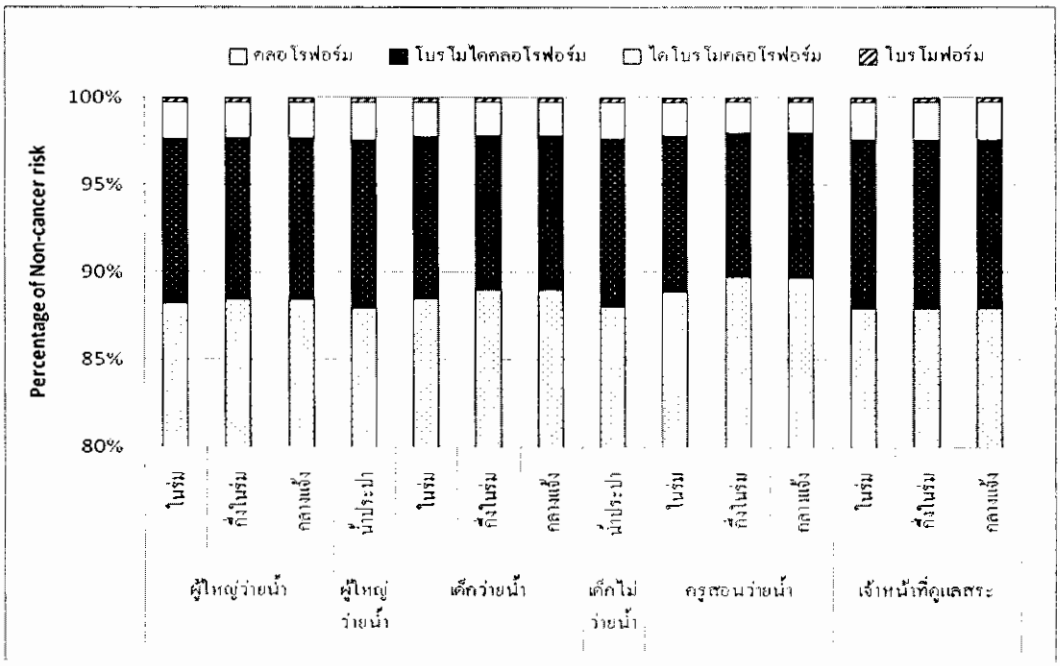
ภาพที่ 41 ความเสี่ยงรวมในการเกิดอันตรายอื่นนอกจากมะเร็งจากน้ำประปาและสระว่ายน้ำ 3 สระ ของบุคคลทั้ง 6 กลุ่ม



ภาพที่ 42 ร้อยละความเสี่ยงในการเกิดอันตรายอื่นนอกจากมะเร็งจากน้ำประปาและสระว่ายน้ำ 3 สระ ของบุคคลทั้ง 6 กลุ่ม



ภาพที่ 43 ความเสี่ยงรวมในการเกิดอันตรายอื่นนอกจากมะเร็งของสาร THMs ทั้ง 4 ชนิดจากสระว่ายน้ำ 3 สระของบุคคลทั้ง 6 กลุ่ม



ภาพที่ 44 ร้อยละความเสี่ยงในการเกิดอันตรายอื่นนอกจากมะเร็งของสาร THMs ทั้ง 4 ชนิดจากสระว่ายน้ำ 3 สระของบุคคลทั้ง 6 กลุ่ม

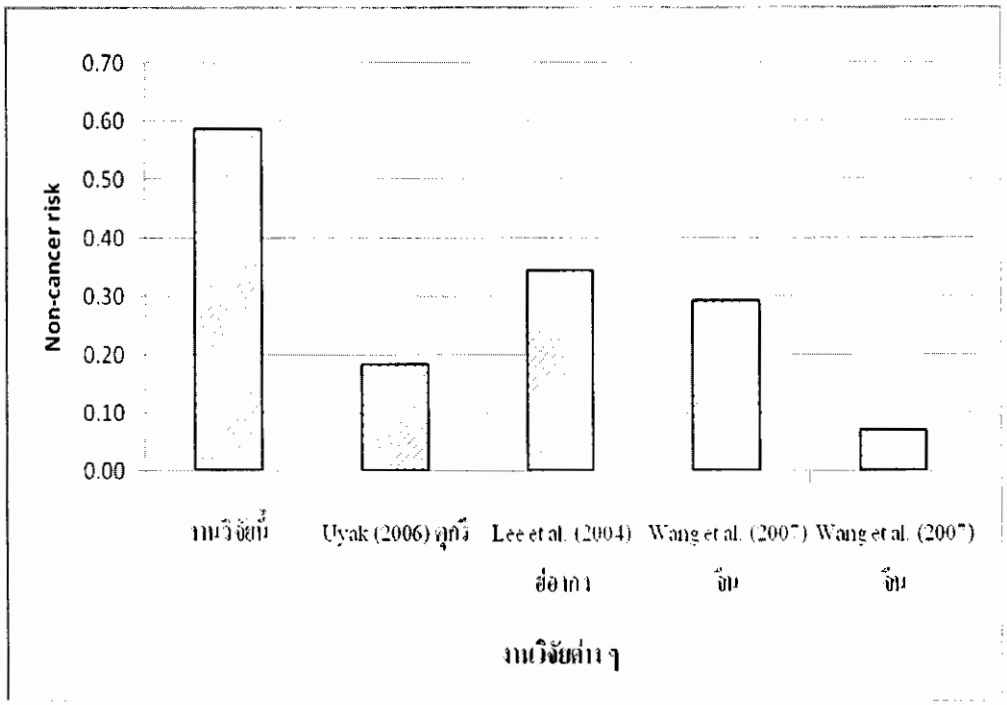
3.2 การเปรียบเทียบความเสี่ยงในการเกิดอันตรายอื่นนอกจากมะเร็ง

(1) การเปรียบเทียบความเสี่ยงในการเกิดอันตรายอื่นนอกจากมะเร็งกับงานวิจัยอื่น ๆ

ความเสี่ยงในการเกิดอันตรายอื่นนอกจากมะเร็งสามารถศึกษาได้จากการเปรียบเทียบกับงานวิจัยอื่น ๆ ได้ดังตารางที่ 36 จะเห็นได้ว่าความเสี่ยงรวมของการศึกษาในทุกประเทศมีค่าไม่เกิน 1 ซึ่งเป็นค่าที่สามารถยอมรับได้ตามคำแนะนำของ US-EPA และจะเห็นได้ว่าเมื่อนำความเสี่ยงจากน้ำประปาของการศึกษาในงานวิจัยนี้ไปเปรียบเทียบกับความเสี่ยงกับในหลาย ๆ ประเทศ ดังภาพที่ 45 พบว่าความเสี่ยงจากงานวิจัยนี้มีค่าเท่ากับ 0.586 ซึ่งมีค่าสูงกว่าของประเทศตุรกี ฮ่องกง แคนาดา และจีน ที่มีความเสี่ยงเท่ากับ 0.184 0.345 0.294 และ 0.071 ตามลำดับ เหตุที่งานวิจัยต่าง ๆ ที่นำมาเปรียบเทียบกันนี้มีค่าความเสี่ยงน้อยกว่า เนื่องจากความเข้มข้นของสาร TTHM ที่ค่าน้อยกว่างานวิจัยนี้มาก ยกตัวอย่างเช่นการศึกษาของ Wang et al. (2007) ที่ทำการประเมินความเสี่ยงในประเทศแคนาดา และจีนพบว่ามีความเข้มข้นของ TTHM เท่ากับ 36.73 และ 10.51 ตามลำดับ ในขณะที่งานวิจัยนี้มีความเข้มข้นของ TTHM เท่ากับ 110.56 µg/L

ตารางที่ 36 การเปรียบเทียบความเสี่ยงในการเกิดอันตรายอื่นนอกจากมะเร็งกับงานวิจัยอื่น ๆ

งานวิจัย	ประเภทของตัวอย่างน้ำ	ที่มาของตัวอย่าง (ประเทศ)	ความเสี่ยงรวมทั้งหมด
งานวิจัยนี้ (เทียบกับกลุ่มผู้ใหญ่ว่ายน้ำ)	น้ำประปา	ไทย	0.586
	สระว่ายน้ำในร่ม		0.600
	สระว่ายน้ำกึ่งในร่ม		0.615
	สระว่ายน้ำกลางแจ้ง		0.614
Uyak (2006)	น้ำประปา	ตุรกี	0.184
Lee et al. (2004)	น้ำประปา	ฮ่องกง	0.345
Wang et al. (2007)	น้ำประปา	แคนาดา	0.294
Wang et al. (2007)	น้ำประปา	จีน	0.071
Lee et al. (2009)	สระว่ายน้ำในร่ม	เกาหลีใต้	0.002



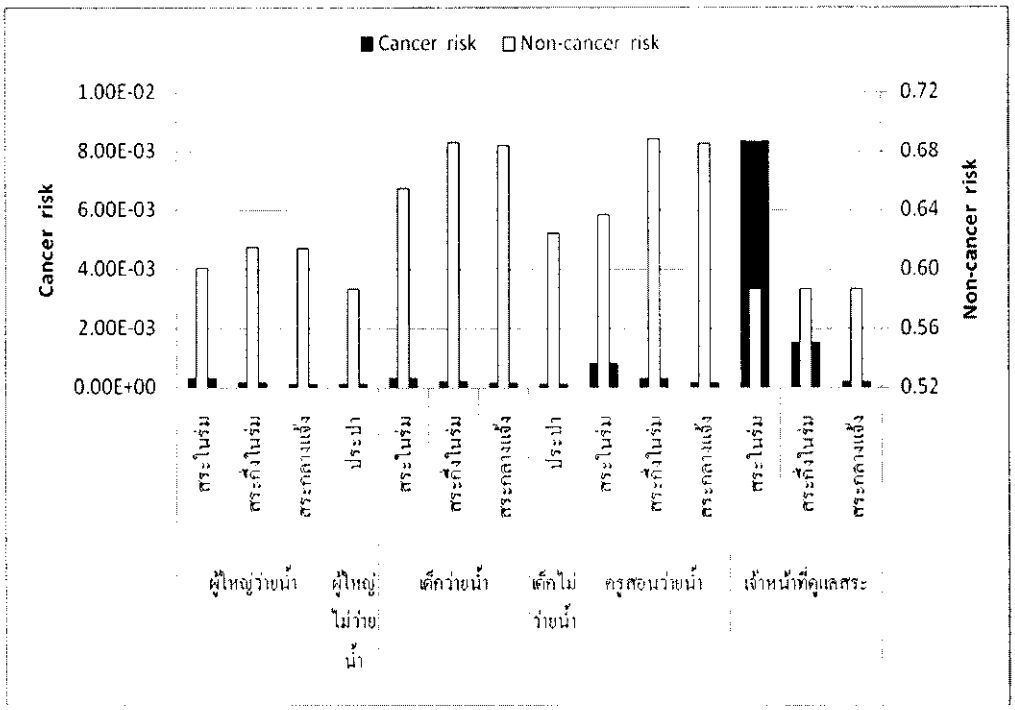
ภาพที่ 45 การเปรียบเทียบความเสี่ยงในการเกิดมะเร็งอันตรายอื่นนอกมะเร็งกับงานวิจัยอื่น ๆ
หมายเหตุ: เปรียบเทียบกับกลุ่มผู้ใหญ่ว่ายน้ำของงานวิจัยนี้

4 การเปรียบเทียบการประเมินความเสี่ยงการเกิดมะเร็ง (Cancer Risk) และความเสี่ยงจากความเป็นอันตรายอื่นนอกจากมะเร็ง (Non-Cancer Risk)

การเปรียบเทียบความเสี่ยงในการเกิดมะเร็งและความเป็นอันตรายอื่นนอกจากมะเร็งของบุคคลทั้ง 6 กลุ่มระหว่างสระว่ายน้ำในร่ม สระว่ายน้ำกึ่งในร่ม และสระว่ายน้ำกลางแจ้ง กรณีประเมินโดยใช้ความเข้มข้นสูงสุด ดังภาพที่ 46 พบว่าบุคคลแต่ละกลุ่มมีเส้นทางการได้รับสารที่แตกต่างกัน จึงทำให้มีความเสี่ยงในการเกิดมะเร็งและความเป็นอันตรายอื่นนอกจากมะเร็งแตกต่างกัน ซึ่งความเสี่ยงในการเกิดมะเร็งพบว่าเจ้าหน้าที่ดูแลสระว่ายน้ำเป็นกลุ่มที่มีความเสี่ยงสูงสุดจากการได้รับสารผ่านทางเดินหายใจเป็นเส้นทางหลัก โดยทั้งนี้จะเป็นการได้รับสารจากสระว่ายน้ำทางอากาศมากกว่าการได้รับจากน้ำประปา ประกอบกับเป็นกลุ่มที่ต้องมีการปฏิบัติงานอยู่กับสระว่ายน้ำเป็นเวลานานหลายชั่วโมง รวมถึงสระว่ายน้ำในร่มมีลักษณะเป็นสระปิด ทำให้การระบายของสาร THMs เกิดได้ไม่ดีและมีการสะสมอยู่ภายในอากาศบริเวณสระว่ายน้ำ จึงเป็นเหตุให้ได้รับสารผ่านทางการหายใจมากกว่ากลุ่มอื่น ๆ สำหรับสระว่ายน้ำกลางแจ้งบุคคลกลุ่มต่าง ๆ จะมีเส้นทางการได้รับสารจากน้ำประปามากกว่าสระว่ายน้ำ ซึ่งเส้นทางหลักเป็นการได้รับสารผ่านทางเดินอาหารจากน้ำประปาอยู่แล้ว

ความเสี่ยงจากความเป็นอันตรายอื่นนอกจากมะเร็งพบว่าบุคคลทุกกลุ่มมีความเสี่ยงรวมจากการได้รับคลอโรฟอร์มผ่านทางเดินอาหารเป็นเส้นทางหลัก รองลงมาคือการได้รับสารโดยการซึมผ่านทางผิวหนัง โดยเมื่อพิจารณาเฉพาะเส้นทางนี้จะเห็นว่าครูสอนว่ายน้ำมีความเสี่ยงของการได้รับสารผ่านเส้นทางนี้สูงสุด เนื่องจากต้องมีกิจกรรมการเรียนการสอนว่ายน้ำในสระที่ทำให้ต้องลงไปอยู่ในน้ำนานมากกว่าบุคคลกลุ่มอื่น ๆ

เมื่อพิจารณากลุ่มผู้ใหญ่และเด็กที่ไม่ว่ายน้ำ พบว่ามีความเสี่ยงในการเกิดมะเร็งและความเป็นอันตรายอื่นนอกจากมะเร็งเฉพาะจากน้ำประปาเท่านั้น โดยความเสี่ยงทั้งที่ก่อให้เกิดมะเร็งและความเป็นอันตรายอื่นนอกจากมะเร็งมาจากการได้รับสารผ่านทางเดินอาหารเป็นเส้นทางหลักมากกว่าการได้รับสารโดยการซึมผ่านทางผิวหนัง ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากคนทุกคนต้องมีการดื่มน้ำตลอดช่วงชีวิตประกอบกับการได้รับสารผ่านทางผิวหนังเฉพาะช่วงเวลาของการอาบน้ำ ซึ่งเป็นการได้สัมผัสกับน้ำเป็นช่วงระยะเวลาอันสั้นเท่านั้น



ภาพที่ 46 การเปรียบเทียบความเสี่ยงในการเกิดมะเร็งและความเป็นอันตรายอื่นนอกจากมะเร็งระหว่างสระว่ายน้ำทั้ง 3 สระ ของบุคคล 6 กลุ่ม กรณีประเมินโดยใช้ความเข้มข้นสูงสุด

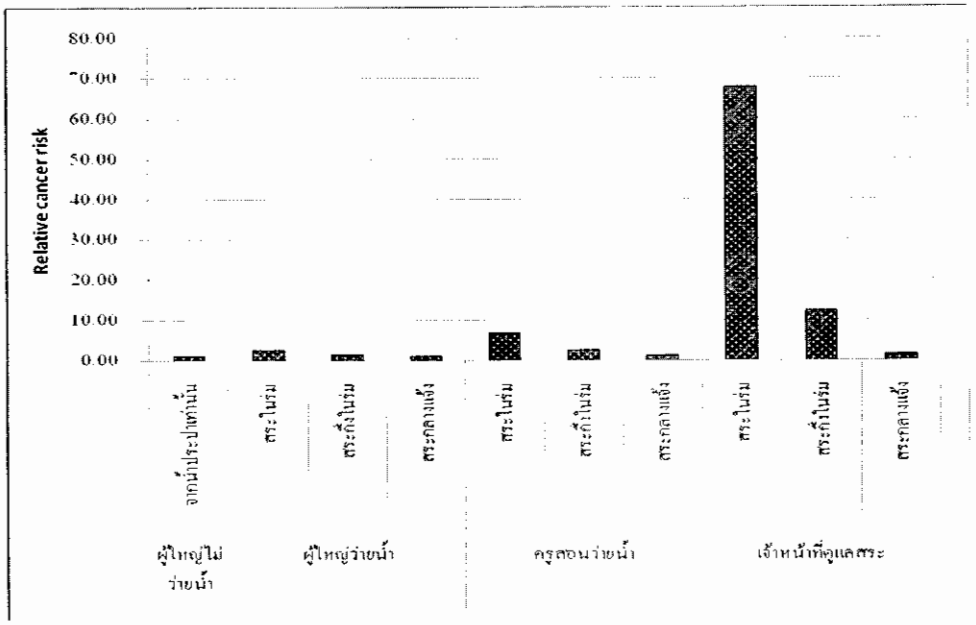
5 ความเสี่ยงสัมพัทธ์ (Relative Risk)

5.1 การเปรียบเทียบความเสี่ยงสัมพัทธ์ในการเกิดมะเร็ง (Relative Cancer Risk)

การเปรียบเทียบความเสี่ยงสัมพัทธ์ของความเสี่ยงในการเกิดมะเร็ง กรณีประเมินความเสี่ยงโดยใช้ความเข้มข้นสูงสุดของบุคคลกลุ่มต่าง ๆ ที่เป็นกลุ่มของผู้ใหญ่ทั้งหมดจากทั้ง 3 สระ ได้แก่ ผู้ใหญ่ว่ายน้ำ ผู้ใหญ่ไม่ว่ายน้ำ ครูสอนว่ายน้ำ และเจ้าหน้าที่ดูแลสระว่ายน้ำ โดยนำความเสี่ยงในการเกิดมะเร็งของคนกลุ่มต่าง ๆ ไปเปรียบเทียบกับความเสี่ยงของผู้ใหญ่ไม่ว่ายน้ำซึ่งได้รับสาร THMs จากน้ำประปาเท่านั้น ดังนั้นความเสี่ยงสัมพัทธ์ของกลุ่มผู้ใหญ่ไม่ว่ายน้ำจะมีค่าเท่ากับ 1.00 จากตารางที่ 37 และภาพที่ 47 พบว่าบุคคลแต่ละกลุ่มมีความเสี่ยงสัมพันท์แตกต่างกันอย่างชัดเจน โดยผู้ใหญ่ว่ายน้ำมีความเสี่ยงสัมพัทธ์ของสระว่ายน้ำในร่ม สระกึ่งในร่ม และสระกลางแจ้ง คิดเป็น 2.49 1.40 และ 1.04 เท่าของผู้ใหญ่ไม่ว่ายน้ำ ตามลำดับ สำหรับครูสอนว่ายน้ำมีความเสี่ยงสัมพัทธ์ของสระว่ายน้ำในร่ม สระกึ่งในร่ม และสระกลางแจ้ง คิดเป็น 6.74 2.52 และ 1.13 เท่าของผู้ใหญ่ไม่ว่ายน้ำ ตามลำดับ และเจ้าหน้าที่ดูแลสระว่ายน้ำมีความเสี่ยงสัมพัทธ์ของสระว่ายน้ำในร่ม สระกึ่งในร่ม และสระกลางแจ้ง คิดเป็น 67.79 12.24 และ 1.49 เท่าของผู้ใหญ่ไม่ว่ายน้ำ ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นว่าเจ้าหน้าที่ดูแลสระว่ายน้ำในร่มมีความเสี่ยงสัมพัทธ์สูงที่สุดคือมีค่าเท่ากับ 67.79 นอกจากนี้จะเห็นได้ว่าความเสี่ยงสัมพัทธ์ที่มีค่าสูงสุดในบุคคลทุกกลุ่มคือ สระว่ายน้ำในร่ม รองลงมาได้แก่ สระว่ายน้ำกึ่งในร่ม และสระว่ายน้ำกลางแจ้ง ตามลำดับ

ตารางที่ 37 ความเสี่ยงสัมพัทธ์ในการเกิดมะเร็งของบุคคลกลุ่มต่าง ๆ จากสระว่ายน้ำทั้ง 3 สระ

บุคคล	สระว่ายน้ำในร่ม		สระว่ายน้ำกึ่งในร่ม		สระว่ายน้ำกลางแจ้ง	
	Risk	Ralative risk	Risk	Ralative risk	Risk	Ralative risk
ผู้ใหญ่ไม่ว่ายน้ำ	1.23E-04	1.00	1.23E-04	1.00	1.23E-04	1.00
ผู้ใหญ่ว่ายน้ำ	3.07E-04	2.49	1.73E-04	1.40	1.28E-04	1.04
ครูสอนว่ายน้ำ	8.32E-04	6.74	3.11E-04	2.52	1.40E-04	1.13
เจ้าหน้าที่ดูแลสระ	8.37E-03	67.79	1.51E-03	12.24	1.83E-04	1.49



ภาพที่ 47 ความเสี่ยงสัมพัทธ์ในการเกิดมะเร็งของบุคคลกลุ่มต่าง ๆ
หมายเหตุ: เปรียบเทียบกับความเสี่ยงของผู้ใหญ่ไม่ว่ายน้ำที่ได้รับสาร THMs จากน้ำประปาเท่านั้น

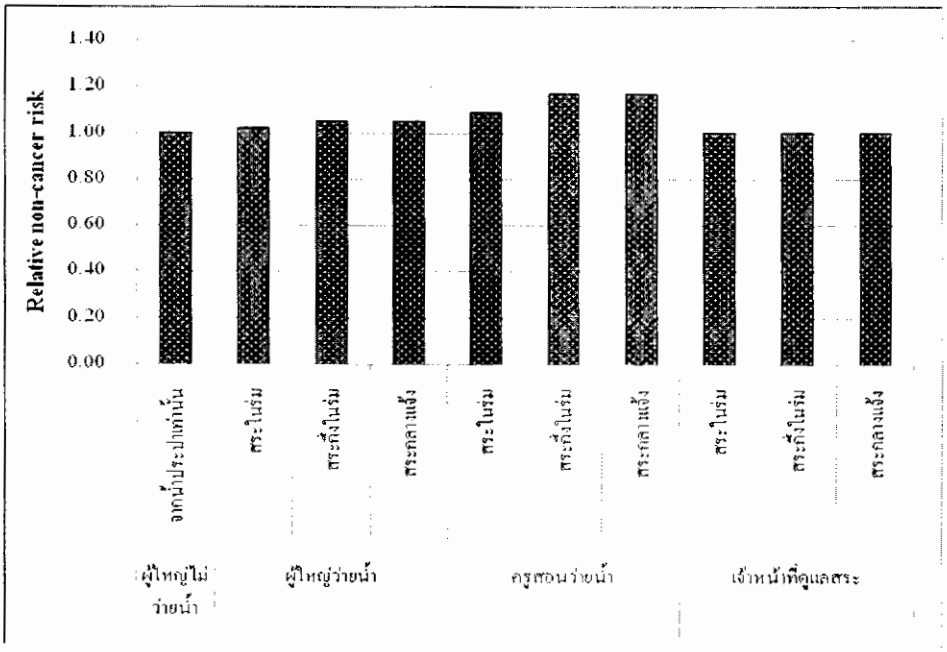
5.2 การเปรียบเทียบความเสี่ยงสัมพัทธ์ ในการเกิดอันตรายอื่นนอกจากมะเร็ง (Relative Non-Cancer Risk)

การเปรียบเทียบความเสี่ยงสัมพัทธ์ของความเสี่ยงในการเกิดอันตรายอื่นนอกจากมะเร็ง กรณีประเมินความเสี่ยงโดยใช้ความเข้มข้นสูงสุดของบุคคลกลุ่มต่าง ๆ ที่เป็นกลุ่มของผู้ใหญ่ทั้งหมดจากทั้ง 3 สระ ได้แก่ ผู้ใหญ่ว่ายน้ำ ผู้ใหญ่ไม่ว่ายน้ำ ครูสอนว่ายน้ำ และเจ้าหน้าที่ดูแลสระว่ายน้ำ โดยนำความเสี่ยงในการเกิดมะเร็งของคนกลุ่มต่าง ๆ ไปเปรียบเทียบกับความเสี่ยงของผู้ใหญ่ไม่ว่ายน้ำซึ่งได้รับสาร THMs จากน้ำประปาเท่านั้น ดังนั้นความเสี่ยงสัมพัทธ์ของกลุ่มผู้ใหญ่ไม่ว่ายน้ำจะมีค่าเท่ากับ 1.00 จากตารางที่ 38 และภาพที่ 48 พบว่าบุคคลแต่ละกลุ่มมีความเสี่ยงสัมพัทธ์ไม่แตกต่างกันอย่างชัดเจนเหมือนอย่างกับความเสี่ยงสัมพัทธ์ในการเกิดมะเร็ง โดยผู้ใหญ่ว่ายน้ำและครูสอนว่ายน้ำของทั้ง 3 สระมีความเสี่ยงสัมพัทธ์อยู่ในช่วง 1.02 – 1.05 และ 1.09 – 1.17 สำหรับเจ้าหน้าที่ดูแลสระว่ายน้ำของทั้ง 3 สระมีค่าความเสี่ยงสัมพัทธ์เท่ากับ 1.00 จะเห็นได้ว่าเจ้าหน้าที่ดูแลสระมีความเสี่ยงสัมพัทธ์เท่ากับผู้ใหญ่ไม่ว่ายน้ำ เนื่องจากเส้นทางหลักคือได้รับสารผ่านทางเดินอาหาร รวมถึงบุคคลทั้ง 2 กลุ่มนี้ไม่ได้มีการลงสัมผัสในน้ำเหมือนอย่างเช่นบุคคลในกลุ่มอื่น ๆ จะเห็นได้ว่าครูสอนว่ายน้ำ

ของสระว่ายน้ำกึ่งในร่มและกลางแจ้งมีความเสี่ยงสัมพัทธ์สูงที่สุดคือมีค่าเท่ากับ 1.17 เมื่อเทียบกับความเสี่ยงสัมพัทธ์ของผู้ใหญ่ว่ายน้ำที่กำหนดให้มีค่าเท่ากับ 1.00

ตารางที่ 38 ความเสี่ยงสัมพัทธ์ของการเกิดอันตรายอื่นนอกจากมะเร็งของบุคคลกลุ่มต่าง ๆ จากสระว่ายน้ำทั้ง 3 สระ

บุคคล	สระในร่ม		สระกึ่งในร่ม		สระกลางแจ้ง	
	Risk	Relative Risk	Risk	Relative Risk	Risk	Relative Risk
ผู้ใหญ่ไม่ว่ายน้ำ	0.59	1.00	0.59	1.00	0.59	1.00
ผู้ใหญ่ว่ายน้ำ	0.60	1.02	0.61	1.05	0.61	1.05
ครูสอนว่ายน้ำ	0.64	1.09	0.69	1.17	0.69	1.17
เจ้าหน้าที่ดูแลสระ	0.59	1.00	0.59	1.00	0.59	1.00



ภาพที่ 48 ความเสี่ยงสัมพัทธ์ในการเกิดอันตรายอื่นนอกจากมะเร็งของบุคลกลุ่มต่าง ๆ

หมายเหตุ: เปรียบเทียบกับความเสี่ยงของผู้ใหญ่ไม่ว่ายน้ำซึ่งได้รับสาร THMs จากน้ำประปาเท่านั้น

6 การจัดการความเสี่ยง

จากการประเมินความเสี่ยงที่ก่อให้เกิดมะเร็งพบว่าสำหรับกลุ่มคนที่เกี่ยวข้องกับสระว่ายน้ำมีความเสี่ยงของการได้รับสารมาจากสระว่ายน้ำมากกว่าน้ำประปา โดยเส้นทางหลักของการได้รับสารในบุคคลกลุ่มต่าง ๆ คือการได้รับผ่านทางเดินหายใจ ซึ่งเจ้าหน้าที่ดูแลสระว่ายน้ำเป็นกลุ่มที่มีความเสี่ยงสูงสุดของการได้รับสารในเส้นทางนี้ โดยมีความเสี่ยงเท่ากับ 8.24E-03 ซึ่งเป็นความเสี่ยงที่ยอมรับไม่ได้ต้องดำเนินการแก้ไข

การประเมินความเสี่ยงคำนวณจากผลคูณระหว่างปริมาณสารที่ได้รับกับค่า SF ซึ่งเป็นค่าคงที่ของสารแต่ละชนิด การลดความเสี่ยงทำได้โดยการลดปริมาณสารที่รับเข้าสู่ร่างกายทางเส้นทางต่าง ๆ ดังสูตรการคำนวณในตารางที่ 9 ตัวอย่างเช่นหากต้องการให้ความเสี่ยงของการได้รับสารผ่านทางเดินหายใจลดลง สามารถทำได้ด้วยแนวทางต่าง ๆ ตามการสัมผัสของคนแต่ละกลุ่ม ตัวอย่างเช่น

- สำหรับผู้ใช้บริการสระว่ายน้ำควรลดจากความถี่และช่วงเวลาการสัมผัสน้ำในสระว่ายน้ำ แต่หากหลีกเลี่ยงไม่ได้ควรลดความถี่ของการว่ายน้ำในสระในร่ม และเลือกใช้บริการสระแบบกลางแจ้งแทน เพื่อลดการรับสารผ่านทางเดินหายใจ
- สำหรับครูสอนว่ายน้ำและเจ้าหน้าที่ดูแลสระว่ายน้ำก็ไม่ควรเข้าไปอยู่ในบริเวณสระว่ายน้ำติดต่อกันเป็นระยะเวลานาน หรือลดความเสี่ยงของการได้รับสารด้วยการจัดเปลี่ยนระยะเวลาของการปฏิบัติงานเป็นช่วง ๆ ในขณะที่ต้องมีการปฏิบัติหน้าที่ที่เกี่ยวข้องกับสระว่ายน้ำเป็นเวลานาน ๆ
- สำหรับสระว่ายน้ำควรปรับปรุงโดยการติดตั้งเครื่องระบายอากาศภายในสระว่ายน้ำเพื่อให้มีอัตราการระบายอากาศเพิ่มมากขึ้น

สำหรับความเสี่ยงในการเกิดอันตรายอื่นนอกจากมะเร็งพบว่าความเสี่ยงของการได้รับสารจากน้ำประปาสูงกว่าสระว่ายน้ำ โดยเส้นทางหลักของการได้สารในบุคคลทุกกลุ่มคือการได้รับสารผ่านทางเดินอาหาร รองลงมาคือการได้รับสารโดยการซึมผ่านทางผิวหนัง การลดความเสี่ยงทำได้โดยลดปริมาณสารที่ได้รับผ่านทางเดินอาหาร ซึ่งมีแนวทางต่าง ๆ ดังนี้

- สำหรับประชาชนทั่วไปลดปริมาณการได้รับสารผ่านทางเดินอาหาร โดยน้ำประปาที่นำมาบริโภคต้องมีการบำบัดก่อน เช่น การต้ม การกรอง เป็นต้น อย่างไรก็ตามในขณะต้มน้ำไม่ควรอยู่ใกล้บริเวณภาชนะต้มน้ำ เนื่องจากอาจจะได้รับไอระเหยของสาร THMs เข้าไปด้วยได้

- การได้รับสารโดยการซึมผ่านทางผิวหนังเป็นอีกหนึ่งเส้นทางที่บุคคลกลุ่มต่าง ๆ ได้รับรองลงมา โดยเฉพาะครูสอนว่ายน้ำที่มีความเสี่ยงจากการได้รับสารผ่านเส้นทางนี้สูงสุด เมื่อพิจารณาจากสูตรคำนวณปริมาณสารที่ได้รับจากเส้นทางต่าง ๆ ดังตารางที่กล่าวแล้วข้างต้น พบว่าหากต้องการให้ความเสี่ยงของการได้รับสารจากเส้นทางนี้ลดลง สามารถทำโดยลดความถี่และช่วงเวลาการสัมผัส โดยบุคคลทุกกลุ่มไม่ควรอาบน้ำด้วยการลงแช่ในอ่างอาบน้ำเป็นเวลานาน ๆ และสำหรับครูสอนว่ายน้ำซึ่งเป็นกลุ่มที่มีความเสี่ยงจากการซึมผ่านทางผิวหนังจากสระว่ายน้ำสูงกว่าบุคคลกลุ่มอื่น ๆ ควรหลีกเลี่ยงการลงไปอยู่ในสระว่ายน้ำเป็นเวลานาน ๆ เช่นเดียวกัน โดยการปรับเปลี่ยนระยะเวลาการสอนในสระว่ายน้ำไม่ให้มีติดต่อกันนานจนเกินไป
- สำหรับสระว่ายน้ำซึ่งมีการนำน้ำล้นออกจากสระไปผ่านระบบกรองแล้วหมุนเวียนกลับเข้าสระนั้น ควรปรับปรุงระบบบำบัดน้ำให้มีประสิทธิภาพดี เพื่อให้บำบัดสารอินทรีย์ในน้ำซึ่งมาจากสารอินทรีย์ธรรมชาติและสารอินทรีย์จากตัวผู้ใช้บริการได้อย่างมีประสิทธิภาพ
- ควรรณรงค์ให้ผู้ใช้บริการทำความสะอาดร่างกายอย่างดีก่อนใช้บริการสระว่ายน้ำ รวมทั้งลดการใช้สารป้องกันแดดและบำรุงผิวก่อนลงสระ เพื่อลดปริมาณสารอินทรีย์จากร่างกายที่จะละลายลงในน้ำสระว่ายน้ำ

บทที่ 5
สรุปผลการศึกษา

1 ผลความเข้มข้นของสาร THMs ในน้ำประปา น้ำสระว่ายน้ำ และอากาศ

จากการวิเคราะห์พบว่าความเข้มข้นของสาร TTHM ในน้ำประปามีค่าอยู่ในช่วง 38.62-110.56 µg/L พบว่ามีเพียง 2 ตัวอย่างจากทั้งหมด 27 ตัวอย่าง ที่มีค่าสูงกว่ามาตรฐาน MCLs ของ WHO และ EU ซึ่งกำหนดให้มีความเข้มข้นของสาร TTHM ไม่เกิน 100 µg/L

สำหรับความเข้มข้นของสาร TTHM ในน้ำสระว่ายน้ำในร่ม สระว่ายน้ำกึ่งในร่ม และสระว่ายน้ำกลางแจ้ง มีค่าอยู่ในช่วง 11.69-38.00 44.22-72.41 และ 18.48-59.64 ตามลำดับ โดยชนิดของสาร THMs ที่มีความเข้มข้นสูงสุดจากทั้ง 3 สระ ได้แก่ คลอโรฟอร์ม รองลงมาคือ โบรโมไดคลอโรมีเทน ซึ่งจำเป็นที่จะต้องนำไปเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานของน้ำประปา จะเห็นได้ว่ามีค่าต่ำกว่ามาตรฐาน MCLs ของ WHO และ EU ซึ่งกำหนดให้มีความเข้มข้นของสาร TTHM ไม่เกิน 100 µg/L รวมถึงมีค่าต่ำกว่ามาตรฐานของ US-EPA ระยะที่ 1 ที่กำหนดค่า MLCs ไว้ไม่เกิน 80 µg/L

ความเข้มข้นของสาร TTHM ภายในน้ำสระว่ายน้ำในร่ม สระว่ายน้ำกึ่งในร่ม และสระว่ายน้ำกลางแจ้ง ที่ระดับผิวน้ำมีค่าอยู่ในช่วง ND-490.5 ND-95.3 และ ND-18.5 µg/m^3 ตามลำดับ และที่ระดับความสูงของสระว่ายน้ำทั้ง 3 สระ ที่ระดับ 150 เซนติเมตร มีค่าอยู่ในช่วง ND-918.5 ND-138.2 และ ND-16.6 µg/m^3 ตามลำดับ โดยสระว่ายน้ำทั้ง 3 มีความเข้มข้นของคลอโรฟอร์มสูงที่สุด

2 ผลการประเมินความเสี่ยงในการเกิดมะเร็ง (Cancer Risk)

จากการประเมินความเสี่ยงในการเกิดมะเร็งของบุคคลทั้ง 6 กลุ่ม กรณีประเมินจากความเข้มข้นสูงสุด พบว่าผู้ใหญ่ว่ายน้ำ ผู้ใหญ่ไม่ว่ายน้ำ เด็กว่ายน้ำ เด็กไม่ว่ายน้ำ ครูสอนว่ายน้ำ และเจ้าหน้าที่ดูแลสระว่ายน้ำ มีความเสี่ยงรวมทั้งจากน้ำประปาและสระว่ายน้ำในร่ม สระว่ายน้ำกึ่งในร่ม และสระว่ายน้ำกลางแจ้งมีค่าอยู่ในช่วง 8.32E-04 ถึง 8.37E-03 3.11E-04 ถึง 1.51E-03 และ 1.40E-04 ถึง 1.83E-04 ตามลำดับ ความเสี่ยงที่ได้มีค่าเกินกว่าช่วง 1E-06 ถึง 1E-04 ตามคำแนะนำของ US-EPA

ดังนั้นจึงถือเป็นความเสี่ยงที่ไม่สามารถยอมรับได้จะต้องมีการดำเนินการแก้ไขต่อไป ทั้งนี้ความเสี่ยงที่ก่อให้เกิดมะเร็งของสระว่ายน้ำในร่มและสระว่ายน้ำกึ่งในร่มมาจากการได้รับผ่านทางเดินหายใจเป็นเส้นทางหลัก โดยเจ้าหน้าที่ดูแลสระว่ายน้ำมีความเสี่ยงของการได้รับสารผ่านทางเดินหายใจสูงสุด สำหรับสระว่ายน้ำกลางแจ้งมีเส้นทางหลักมาจากการได้รับสารผ่านทางเดินอาหาร โดยเด็กว่ายน้ำมีความเสี่ยงสูงสุดจากการได้รับสารผ่านเส้นทางนี้ และชนิดของสารที่ก่อให้เกิดความเสี่ยงสูงสุดจากสระว่ายน้ำในร่มคือ คลอโรฟอร์ม สำหรับชนิดของสารที่ก่อให้เกิดความเสี่ยงสูงสุดจากสระว่ายน้ำกึ่งในร่มและสระว่ายน้ำกลางแจ้งคือ โบรโมไดคลอโรมีเทน

3 ผลการประเมินความเสี่ยงในการเกิดอันตรายอื่นนอกจากมะเร็ง (Non-Cancer Risk)

จากการประเมินความเสี่ยงในการเกิดอันตรายอื่นนอกจากมะเร็งของบุคคลทั้ง 6 กลุ่ม กรณีประเมินจากความเข้มข้นสูงสุด พบว่าผู้ใหญ่ว่ายน้ำ ผู้ใหญ่ไม่ว่ายน้ำ เด็กว่ายน้ำ เด็กไม่ว่ายน้ำ ครูสอนว่ายน้ำ และเจ้าหน้าที่ดูแลสระว่ายน้ำ มีความเสี่ยงรวมทั้งจากน้ำประปาและสระว่ายน้ำในร่ม สระว่ายน้ำกึ่งในร่ม และสระว่ายน้ำกลางแจ้งมีค่าอยู่ในช่วง 0.59 – 0.60 0.59 – 0.65 และ 0.59-0.69 ซึ่งมีความเสี่ยงไม่เกิน 1 จึงถือว่าเป็นความเสี่ยงที่สามารถยอมรับได้ตามแนวทางของ US-EPA โดยความเสี่ยงที่ก่อให้เกิดอันตรายอื่นนอกจากมะเร็งของทุกสระในบุคคลทุกกลุ่มมีความเสี่ยงมาจากการได้รับผ่านทางเดินอาหารเป็นเส้นทางหลัก รองลงมาคือการได้รับสารโดยการซึมผ่านทางผิวหนัง และทางการหายใจ ตามลำดับ สำหรับชนิดของสารที่ก่อให้เกิดความเสี่ยงสูงสุดจากสระว่ายน้ำทั้ง 3 สระ คือ คลอโรฟอร์ม

4 ผลการประเมินความเสี่ยงในการเกิดมะเร็งและความเสี่ยงของการเกิดอันตรายอื่นนอกจากมะเร็งของบุคคลกลุ่มต่าง ๆ

จากการประเมินความเสี่ยงที่ก่อให้เกิดมะเร็งของบุคคลกลุ่มต่าง ๆ พบว่าเจ้าหน้าที่ดูแลสระว่ายน้ำมีความเสี่ยงสูงสุดจากการได้รับสารผ่านทางเดินหายใจจากสระว่ายน้ำในร่ม เนื่องจากเจ้าหน้าที่ดูแลสระว่ายน้ำเป็นกลุ่มที่ต้องมีการปฏิบัติงานอยู่กับสระว่ายน้ำเป็นเวลานานหลายชั่วโมง รวมถึงสระว่ายน้ำในร่มมีลักษณะเป็นสระปิด ทำให้การระบายของสาร THMs เกิดได้ไม่ดีและมีการสะสมอยู่ภายในอากาศบริเวณสระว่ายน้ำ จึงเป็นเหตุให้ได้รับสารผ่านทางการหายใจมากกว่ากลุ่มอื่น ๆ

สำหรับความเสี่ยงในการเกิดอันตรายอื่นนอกจากมะเร็งพบว่าบุคคลทุกกลุ่มมีความเสี่ยงจากการได้รับคลอโรฟอร์มผ่านทางเดินอาหารเป็นเส้นทางหลัก ซึ่งเป็นการได้รับสารจากน้ำประปา

มากกว่าการได้รับจากสระว่ายน้ำ ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากคนทุกคนต้องมีการดื่มน้ำตลอดช่วงชีวิต ประกอบกับการได้รับสารผ่านทางผิวหนังเฉพาะช่วงเวลาของการอาบน้ำ ซึ่งเป็นการได้สัมผัสกับน้ำเป็นช่วงระยะเวลาอันสั้นเท่านั้น นอกจากนี้แล้วพบว่าครูสอนว่ายน้ำมีความเสี่ยงสูงสุดจากการได้รับคลอโรฟอร์มโดยการซึมผ่านทางผิวหนัง เนื่องจากครูสอนว่ายน้ำมีกิจกรรมการเรียนการสอนว่ายน้ำในสระที่ทำให้ต้องลงไปอยู่ในน้ำนานมากกว่าบุคคลกลุ่มอื่น ๆ

5 แนวทางการจัดการความเสี่ยง

จากการประเมินความเสี่ยงในการเกิดมะเร็งพบว่าเจ้าหน้าที่ดูแลสระว่ายน้ำมีความเสี่ยงสูงสุดมาจากการได้รับสารผ่านทางเดินหายใจจากสระว่ายน้ำในร่ม ที่มีลักษณะเป็นสระปิด มีการระบายอากาศได้น้อย ดังนั้นสระว่ายน้ำลักษณะนี้จึงควรมีการปรับปรุงโดยการติดตั้งให้มีอัตราการระบายอากาศเพิ่มมากขึ้น สำหรับผู้ที่ต้องการไปว่ายน้ำควรหลีกเลี่ยงด้วยการไปใช้บริการสระว่ายน้ำกลางแจ้งแทนสระว่ายน้ำในร่ม เนื่องจากสาร THMs จะสามารถระเหยออกไปได้ ไม่มีการสะสมอยู่ภายในสระว่ายน้ำ รวมถึงผู้ปกครองหรือเจ้าหน้าที่ดูแลสระว่ายน้ำควรหลีกเลี่ยงด้วยการไม่อยู่ในบริเวณสระว่ายน้ำติดต่อกันเป็นระยะเวลานาน ๆ ควรรอด้านนอกของสระว่ายน้ำ หรือสำหรับเจ้าหน้าที่ดูแลสระว่ายน้ำอาจหลีกเลี่ยงการได้รับไอระเหยของสาร THMs ด้วยการจัดเปลี่ยนระยะเวลาของการปฏิบัติงานเป็นช่วง ๆ ในขณะที่ต้องมีการปฏิบัติหน้าที่ที่เกี่ยวข้องกับสระว่ายน้ำเป็นเวลานาน ๆ นอกจากนั้นสระว่ายน้ำควรมีระบบบำบัดสารอินทรีย์ในน้ำก่อนหมุนเวียนกลับเข้าสระว่ายน้ำ ทั้งยังควรรณรงค์ให้ผู้ใช้บริการทำความสะอาดร่างกายอย่างดีก่อนการใช้บริการสระ รวมทั้งงดใช้สารบำรุงผิวประเภท ต่าง ๆ ด้วย

สำหรับความเป็นอันตรายอื่นนอกจากมะเร็งพบว่าความเสี่ยงสูงสุดมาจากการได้รับสารจากน้ำประปาโดยได้รับผ่านทางเดินอาหารเป็นเส้นทางหลัก ดังนั้นน้ำประปาก่อนนำมาบริโภคต้องมีการบำบัดก่อน เช่น การต้ม การกรอง เป็นต้น เพื่อลดความเป็นอันตรายของสาร THMs ลง แต่ทั้งนี้ทั้งนั้นขณะต้มน้ำไม่ควรอยู่ใกล้บริเวณภาชนะต้มน้ำ เนื่องจากอาจจะได้รับไอระเหยของสาร THMs เข้าไปด้วยได้ สำหรับกรณีสระว่ายน้ำควรมีระบบบำบัดสารอินทรีย์ในน้ำก่อนหมุนเวียนกลับเข้าสระว่ายน้ำ ทั้งยังควรรณรงค์ให้ผู้ใช้บริการทำความสะอาดร่างกายอย่างดีก่อนการใช้บริการสระ รวมทั้งงดใช้สารบำรุงผิวประเภทต่าง ๆ ด้วย

บรรณานุกรม

กรมวิทยาศาสตร์ทหารเรือ. 2548. เคมีของสระว่ายน้ำสิ่งที่ควรรู้. แหล่งที่มา: http://www.navy.mi.th/science/Information/Paper/InfoPaper_Pond.html, 4 พฤศจิกายน พ.ศ. 2551

กรมอุตุนิยมวิทยา. 2537. ความรู้อุตุนิยมวิทยา. แหล่งที่มา: http://www.weather.go.th/info/info.php?FileID=22 , 20 ตุลาคม พ.ศ. 2551

การประปานครหลวง. 2548. มาตรฐานคุณภาพน้ำประปา การประปานครหลวง (ตามข้อแนะนำขององค์การอนามัยโลก ปี 2536). แหล่งที่มา: http://www.mwa.co.th/standard.html0, 21 ตุลาคม พ.ศ. 2551

การประปานครหลวง. 2550. คลอรีน (Chlorine). แหล่งที่มา : http://www.mwa.co.th/download/etc01/chlorine.pdf , 25 กรกฎาคม พ.ศ. 2551

กิตติ อินทรานนท์. 2548. การยศาสตร์. กรุงเทพมหานคร. สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

พงศ์เทพ วิวรรธนะเดช. 2547. การประเมินความเสี่ยงด้านสุขภาพ (Health Risk Assessment). ภาควิชาเวชศาสตร์ชุมชน คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. เชียงใหม่.

บริษัทท๊อป แอท พูล.2551.Swimming Pools & Spas รูปแบบสระว่ายน้ำ. แหล่งที่มา: http://www.topatpool.com/index.php?lay=show&ac=article&Id=512564, 15 กันยายน พ.ศ. 2551

มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์. 2539. วิศวกรรมการประปา เล่ม 2. โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร.

มัลลิกา ปัญญาคะโป และผ่องศรี เผ่าภูรี. 2548. รายงานการวิจัยการเกิดสารไตรฮาโลมีเทนในสระว่ายน้ำที่ฆ่าเชื้อโรคด้วยคลอรีน. ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร. นครปฐม.

มัลลิกา ปัญญาคะโป 2551. การจัดการของเสียอันตราย. ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร. โรงพิมพ์จรัลสนิทวงศ์การพิมพ์. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร.

มัลลิกา ปัญญาคะโป และผ่องศรี เผ่าภูรี. 2550. การประเมินความเสี่ยงในการเกิดมะเร็งจากการได้รับสารไตรฮาโลมีเทนในน้ำประปา กรณีตัวอย่างน้ำประปาของเทศบาลนครปฐม. วารสารความปลอดภัยและสุขภาพ 1(1): 7-16.

วสุรี เจียรศิริกุล. 2546. ความสัมพันธ์ระหว่างโอกาสการก่อตัวของสารไตรฮาโลมีเทนกับตัวแทนสารอินทรีย์ธรรมชาติในน้ำดิบและน้ำที่ผ่านกระบวนการสร้างและรวมตะกอนของบ่อน้ำตื้นใกล้พื้นที่เทกองมูลฝอยที่ไม่ถูกหลักสุขาภิบาลที่ปิดดำเนินการแล้ว. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

เวิล์ด เคมีคอล กรุ๊ป.2549. สระว่ายน้ำใส ๆ ไม่ใช่เรื่องยาก. แหล่งที่มา: http://www.worldchemical.co.th, 20 ตุลาคม พ.ศ. 2551

สำนักอนามัยสิ่งแวดล้อม. 2546. ประกาศกรมอนามัยด้านอนามัยสิ่งแวดล้อม. กรมอนามัย. Available Source: http://env.anamai.moph.go.th/AnnounceDoH.html, 1 พฤศจิกายน พ.ศ. 2551

อนรรฆมิยา พรรณวงศ์. 2546. การกำจัดสารตั้งต้นของไตรฮาโลมีเทนในน้ำประปา โดยกระบวนการโคแอกกูเลชันด้วยสารส้มและเบนโทไนต์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

อุดร จารุรัตน์. 2541. ไตรฮาโลมีเทนสารก่อมะเร็งในน้ำประปา. Thai Environmental Engineering Journal 12(14): 18-21.

Abdullah, M. P., Yew, C.H. and Ramli, M. S., 2003. Water Research. Foramation, Modelling and Validation of Trihalomethanes (THM) in Malaysian Drinking Water : a Case Study in the District of Tampin, Negeri Sembilan and Sabak Bernam, Selangor, Malaysia. Water Research. 37: 4637-4644.

APHA., AWWA., WPCF. 2005. Collection and preservation of samples. In Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater , 19th ed. Edited by M.A.H. Franson. American Public Health Association, Washington, D.C.

Aslan S. and Turkman A. 2007. Cancer risk assessment in drinking water of Izmir, Tukey. Multiple Stressors: A challenge for the Future. 381-389.

ATSDR. 1989. Public Health Statement for Bromodichloromethane, http://www.atsdr.cdc.gov/. October 10, 2009.

ATSDR. 2005. Public Health Statement Bromoform and Dibromochloromethane, http://www.atsdr.cdc.gov/. October 10, 2009.

Babcock, D.B. and Singer P.O. 1979. Chlorination and Coagulation of Humic and Fulvic Acid.J AWWA. 73(3): 149-152.

Duong H.A., Berg M., Pha H.V., Gallard H., Giger W. and Gunten U. 2003. Trihalomethanes formation by chlorination of ammonium and bromide-containing groundwater in water supplies of Hanoi, Vietnam. Water Research. 37: 3242-3252.

Erdinger L., Peter Kühn K., Kirsh F., Feldhues R., Fröbel T., Nohynek B.and Gabrio T. 2004. Pathways of trihalomethane uptake in swimming pools. International journal of hygiene and environmental heath. 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.

Faust, S. D. and Aly. O. M., 1997. Chemistry of Water Treatment. Ann Arbor Press, 2nd edition, Chelsea.

Hsu C.H., Jeng W.L., Chang R.M., Chien L.C. and Han B.C., 2001. Estimation of potential lifetime cancer risk for trihalomethanes from consuming chlorinated drinking water in Taiwan. Environmental Research. 85: 77-82.

Judd S. and Black S. 2000. Disinfection by-product formation in swimming pool waters: a simple mass balance. Water Research. 34: 1611-1619.

Kim H. and Yu M. 2005 . Characterization of Natural Organic Matter in Conventional Water Treatment Processes for Selection of Treatment Processes Focused on DBPs Control. Water Research. 39: 4779-4789.

Krasner S.W.,Sclimenti M.J.,Chinn R.,Chowdhury Z.K. and Owen D.W. 1996. The Impact of TOC and Bromide on Chlorination By-Product Formation. p76. In Roger A.Minear and Gary L.Amy,eds.Disinfection By-Products in Water Treatment.CRC Press, Inc.New York.

LaGrega M.D., Buckingham P.L. and Evans J.C. 2001. Hazardous Waste Management.2nd Ed. Washington,D.C. McGraw-Hill.

Lee J., Ha K T. and Zoh K D., 2009. Characteristics of trihalomethane (THM) production and associated health risk assessment in swimming pool waters treated with different disinfection methods. 407: 1990-1997.

Lee S.C., Guo H., Lam S.M.J. and Lau S.L.A. 2004. Multipathway risk assessment on disinfection by-products of drinking water in Hong Kong. Environmental Research. 94: 47-56.

Musikavong, C., Wattanachira, S., Marhaba, T.F. and Pavasant, P. 2005. Reduction of Organic Matter and Trihalomethane Formation Potential in Reclaimed Water Form Treated Industrial Estate Wastawater by Coagulation. Journal of Hazardous Material B. 127: 58-67.

Nieuwenhuijsen, M.J.,2002.Swimming pool Chlorine Risk to Pregnant Woman. Available Source: http://www.imperial.ac.th/P3296.htm, November 5 ,2008

Nissinen, T.K., Miettinen, I.T., Martikainen, P.J. and Vartiainen,T. 2002. Disinfection by-products in Finish Drinking Water. Chemosphere. 48: 9-20.

Panyakapo M., Soonyornchai S., Paopuree P. 2007. Cancer risk assessment from exposure to trihlaomethanes in tap and swimming pool water. Journal of Environmental science. 20: 372-378.

RAIS. 2005. Risk Assessment Guidance, Toxicity Profiles. http://www.rais.ornl.gov/tox/rap_toxp.shtml. May 25, 2009.

RAIS. 2009. Risk Assessment Guidance, Toxicity Summary for Bromoform. http://rais.ornl.gov/tox/profiles/bromoform.doc. October 19, 2009.

Rizzo, L., Belgiorno, V., Gallo, M. and Merric, S. 2005. Removal of THM Precursors form a High-alkaline Surface Water by Enhanced Coagulation and Behavior of THMFP toxicity on D. magma. Desalination. 176: 177-188.

Roccaro, P., Mancini, G., Vagliasindi F., 2005. Water intended for human consumption-Part I : Compliance with European water quality standards.Desalination. 176: 1-11.

Rodriguez, M. J., Serodes, J. and Levallois, P. 2004. Behavior of Trihalomethanes and Haloacetic Acids in a Drinking Water Distribution System. Water Research. 38: 4367-4382.

The Associated Press.1998.The Water Inspectorate. Available Source: http://www.junkscience.com/new/tapwatms.htm, September 30,2008.

Tokmak B., Capar G., Dilek F.B. and Yetis U. 2003. Trihalomethanes and associated potential cancer risks in the water supply in Ankara, Turkey. Environmental Research. 96: 345-352.

US-EPA. 1997. Exposure factor handbook General Factors.volumn I. Washington, D.C.

US-EPA. 1989. Risk Asessment Guidance for Superfund Volumn I:Human Health Evaluation Manual (Part A).EPA/540/1-89/002.

US-EPA. 1999. EPA Guidance Manual, Alternative Disinfectants and Oxidants, U.S. Environmental Protection Agency, Washington, D.C.

US-EPA. 1999. Guidelines for Carcinogen Risk Assessment. Risk Assessment Forum, U.S. Environmental Protection Agency, Washington, D.C.

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

US-EPA. 2009. IRIS Guidance documents. http://www.epa.gov/iris, May 25, 2009.

Uyak V. 2006. Multi-pathway risk assessment of trihalomethanes exposure in Istanbul drinking water supplies. Environment International. 32: 12-21.

Villanueva C., Gagniere B., Monfort C., Nieuwenhuijsen M. and Cordier S. 2006. Sources of variability in levels and exposure to trihalomethanes. Environmental Research. 103: 211-220.

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.

Wang W., Ye B., Yang L., Li Y. and Wang Y., 2007. Risk assessment on disinfection by-products of drinking water of different water sources and disinfection processes. Environment International. 33: 219-225.

Weisel, C. and JO, W. 1996. Ingestion Inhalation and Dermal Exposures to Chloroform and Trichloroethene from Tap Water. Environmental Health Perspectives. 104: 48-51.

WHO. 2000. Guidelines for Safe Recreational-water Environmentals,Volume 2:Swimming Pools, Spas and Similar Recreational-water Environmentals. World Health Organization, Geneva.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

แบบสอบถามบุคคลกลุ่มต่าง ๆ

แบบสอบถามสำหรับผู้ใช้บริการสระว่ายน้ำ

ส่วนที่ 1 ข้อมูลทั่วไป

1. เพศ

☐ ชาย ☐ หญิง

2. อายุ

☐ ต่ำกว่า 12 ปี
☐ 12 - 30 ปี
☐ 30 - 60 ปี
☐ มากกว่า 60 ปี

3. ระดับการศึกษา

☐ มัธยมศึกษา
☐ ปริญญาตรี
☐ อื่น ๆ โปรดระบุ……

4. อาชีพ

☐ นักเรียน นักศึกษา
☐ เจ้าของกิจการ ธุรกิจส่วนตัว
☐ ข้าราชการหรือพนักงานรัฐวิสาหกิจ
☐ พนักงานบริษัท
☐ อื่น ๆ โปรดระบุ.....

5. รายได้เฉลี่ยต่อเดือน

☐ ไม่มีรายได้เป็นของตนเอง
☐ ต่ำกว่า 5,000 บาท
☐ 5,000 - 10,000 บาท
☐ มากกว่า 10,000 - 20,000 บาท
☐ มากกว่า 20,000

ส่วนที่ 2 ข้อมูลการใช้บริการสระว่ายน้ำ

1 . ความถี่ในการใช้บริการสระว่ายน้ำ

☐ ทุกวัน
☐ สัปดาห์ละ ..... วัน
☐ เดือนละ..... วัน

2. ระยะเวลาในการใช้บริการสระว่ายน้ำแต่ละครั้งที่มาว่ายน้ำ

☐ 30 นาที – 45 นาที
☐ 45 นาที – 60 นาที
☐ 1 – 2 ชั่วโมง
☐ มากกว่า 2 ชั่วโมง โปรดระบุ……

3. ช่วงเวลาในการใช้บริการสระว่ายน้ำแต่ละครั้งที่มาว่ายน้ำ

☐ เช้า เวลา 10.00 – 12.00 น.
☐ กลางวัน เวลา 12.00 – 14.00 น.
☐ เย็น เวลา 14.00 – 16.00 น.

4. ฤดูกาลใดที่ท่านมาใช้บริการสระว่ายน้ำบ่อยที่สุด

☐ ฤดูร้อน
☐ ฤดูฝน
☐ ฤดูหนาว

5. ส่วนใหญ่ท่านว่ายน้ำบริเวณใดของสระว่ายน้ำ

☐ ฝั่งตื้น
☐ ฝั่งลึก
☐ ทั่วทั้งบริเวณสระว่ายน้ำ

<u>ส่วนที่ 3 ข้อมูลด้านพฤติกรรมและสุขภาพของผู้มาใช้บริการสระว่ายน้ำ</u>

1. มีการทำความสะอาดร่างกายก่อนลงสระว่ายน้ำหรือไม่
   ☐ มี ☐ ไม่มี
2. มีการทำความสะอาดร่างกายหลังจากการว่ายน้ำหรือไม่
   ☐ มี ☐ ไม่มี
3. มีการใช้ผลิตภัณฑ์บำรุงผิวทาร่างกายก่อนลงสระว่ายน้ำหรือไม่
   ☐ มี ระบุ ..... ☐ ไม่มี
4. ท่านเคยเกิดอาการไม่พึงประสงค์หลังจากการว่ายน้ำแล้วหรือไม่
   ☐ เคย ระบุ ..... ☐ ไม่มี
5. ท่านมีโรคประจำตัวหรือไม่
   ☐ มี ระบุ ..... ☐ ไม่มี
6. ท่านตัดสินใจขึ้นจากสระว่ายน้ำเมื่อใด
   ☐ เมื่อว่ายน้ำจนรู้สึกสบายตัว
   ☐ เมื่อว่ายน้ำจนเหนื่อย
   ☐ เมื่อว่ายน้ำจนรู้สึกเหงื่อออก
   ☐ เมื่อว่ายน้ำจนครบตามเวลาที่กำหนด

ข้อคิดเห็นและข้อเสนอแนะอื่น ๆในการปรับปรุงสระว่ายน้ำ .....

.....

.....

.....

.....

.....

แบบสอบถามสำหรับเจ้าหน้าที่ดูแลสระว่ายน้ำ

ส่วนที่ 1 ข้อมูลทั่วไป

1. เพศ

☐ ชาย ☐ หญิง

2. อายุ

☐ ต่ำกว่า 12 ปี

☐ 12 - 30 ปี

☐ 30 - 60 ปี

☐ มากกว่า 60 ปี

3.ระดับการศึกษา

☐ มัธยมศึกษา

☐ ปริญญาตรี

☐ อื่น ๆ โปรดระบุ……

<u>ส่วนที่ 2 ข้อมูลการใช้บริการสระว่ายน้ำ</u>

1.ระยะเวลาการทำงานในแต่ละวันในสระว่ายน้ำ

☐ น้อยกว่า 4 ชั่วโมง โปรดระบุ.....

☐ 4 ชั่วโมง

☐ มากกว่า 4 ชั่วโมง โปรดระบุ.....

2. ความถี่ของการมาทำงานที่สระว่ายน้ำ

☐ ทุกวันตลอดปี

☐ ทุกวัน ยกเว้นวันหยุดราชการ และวันหยุดนักขัตฤกษ์

☐ อื่น ๆ โปรดระบุ……

<u>ส่วนที่ 3 ข้อมูลส่วนบุคคล</u>

1. ท่านเคยเกิดอาการไม่พึงประสงค์จากการทำงานในบริเวณสระว่ายน้ำหรือไม่

☐ เคย ระบุ.....…… ☐ ไม่มี

2. ท่านมีโรคประจำตัวหรือไม่

☐ มี ระบุ.....…… ☐ ไม่มี

ข้อคิดเห็นและข้อเสนอแนะอื่น ๆในการปรับปรุงสระว่ายน้ำ.....

.....

.....

.....

.....

แบบสอบถามสำหรับครูสอนว่ายน้ำ

ส่วนที่ 1 ข้อมูลทั่วไป

1. เพศ

☐ ชาย ☐ หญิง

2. อายุ

☐ ต่ำกว่า 12 ปี
☐ 12 - 30 ปี
☐ 30 - 60 ปี
☐ มากกว่า 60 ปี

3.ระดับการศึกษา

☐ มัธยมศึกษา
☐ ปริญญาตรี
☐ อื่น ๆ โปรดระบุ……

<u>ส่วนที่ 2 ข้อมูลการใช้บริการสระว่ายน้ำ</u>

1 . ความถี่ในการลงสอนว่ายน้ำในสระ

☐ ทุกวัน
☐ สัปดาห์ละ ..... วัน
☐ เดือนละ..... วัน

2. ท่านลงสอนว่ายน้ำในสระวันละกี่ชั่วโมง

☐ 30 นาที – 45 นาที
☐ 45 นาที – 60 นาที
☐ 1 – 2 ชั่วโมง
☐ มากกว่า 2 ชั่วโมง โปรดระบุ.....

ส่วนที่ 3 ข้อมูลด้านพฤติกรรมและสุขภาพ

1. มีการทำความสะอาดร่างกายก่อนลงสระว่ายน้ำหรือไม่

☐ มี ☐ ไม่มี

2. มีการทำความสะอาดร่างกายหลังจากการว่ายน้ำหรือไม่

☐ มี ☐ ไม่มี

3. มีการใช้ผลิตภัณฑ์บำรุงผิวทาร่างกายก่อนลงสระว่ายน้ำหรือไม่

☐ มี ระบุ..... ☐ ไม่มี

4. ท่านเคยเกิดอาการไม่พึงประสงค์หลังจากการว่ายน้ำแล้วหรือไม่

☐ เคย ระบุ..... ☐ ไม่มี

5. ท่านมีโรคประจำตัวหรือไม่

☐ มี ระบุ..... ☐ ไม่มี

6. ท่านตัดสินใจขึ้นจากสระว่ายน้ำเมื่อใด

☐ เมื่อว่ายน้ำจนรู้สึกสบายตัว
☐ เมื่อว่ายน้ำจนเหนื่อย
☐ เมื่อว่ายน้ำจนรู้สึกเหงื่อออก
☐ เมื่อว่ายน้ำจนครบตามเวลาที่กำหนด
☐ เมื่อสอนจนครบตามเวลาที่กำหนด
☐ อื่นๆ โปรดระบุ.....

ข้อคิดเห็นและข้อเสนอแนะอื่น ๆในการปรับปรุงสระว่ายน้ำ.....
.....
.....
.....
.....

ภาคผนวก ข

ตัวอย่างการคำนวณความเสี่ยงในการเกิดมะเร็ง

และความเสี่ยงในการเกิดอันตรายอื่นนอกจากมะเร็ง

(ยกตัวอย่างกรณีสระว่ายน้ำในร่ม)

ตารางที่ 39 ตัวอย่างการคำนวณความเสี่ยงในการเกิดมะเร็งของสารที่ได้รับผ่านทางเดินอาหารจากการดื่มน้ำในชีวิตประจำวันของผู้ใหญ่ ครูสอนว่ายน้ำ และเจ้าหน้าที่ดูแลสระว่ายน้ำ

สาร	CW $\left(\frac{mg}{L}\right)$	IR $\left(\frac{L}{day}\right)$	EF $\left(\frac{day}{year}\right)$	EP (year)	BW (kg)	AT (day)	I $\left(\frac{mg}{kg-day}\right)$	SF $\left(\frac{kg-day}{mg}\right)$	Cancer risk	R_fC $\left(\frac{mg}{kg-day}\right)$	Non-cancer risk
กรณีประเมินโดยการใช้ความเข้มข้นสูงสุด											
คลอโรฟอร์ม	0.08973	3	365	40	55	14,600	4.89E-03	0.0061	2.99E-05	0.01	0.48944
โบรโมไดคลอโรมีเทน	0.02082	3	365	40	55	14,600	1.14E-03	0.0620	7.04E-05	0.02	0.05678
ไดโบรโมคลอโรมีเทน	0.00450	3	365	40	55	14,600	2.45E-04	0.0840	2.06E-05	0.02	0.01227
โบรโมฟอร์ม	0.00058	3	365	40	55	14,600	3.16E-05	0.0079	2.50E-07	0.02	0.00158
กรณีประเมินโดยการใช้ความเข้มข้นเฉลี่ย											
คลอโรฟอร์ม	0.05476	3	365	40	55	14,600	2.99E-03	0.0061	1.82E-05	0.01	0.29868
โบรโมไดคลอโรมีเทน	0.01534	3	365	40	55	14,600	8.37E-04	0.0620	5.19E-05	0.02	0.04185
ไดโบรโมคลอโรมีเทน	0.00192	3	365	40	55	14,600	1.05E-04	0.0840	8.81E-06	0.02	0.00524
โบรโมฟอร์ม	0.00012	3	365	40	55	14,600	6.57E-06	0.0079	5.19E-08	0.02	0.00033

ตารางที่ 40 ตัวอย่างการคำนวณความเสี่ยงในการเกิดมะเร็งของสารที่ได้รับผ่านทางเดินอาหารจากการดื่มน้ำในชีวิตประจำวันของเด็ก

สาร	CW $\left(\frac{mg}{L}\right)$	IR $\left(\frac{L}{day}\right)$	EF $\left(\frac{day}{year}\right)$	EP (year)	BW (kg)	AT (day)	I $\left(\frac{mg}{kg-day}\right)$	SF $\left(\frac{kg-day}{mg}\right)$	Cancer risk	R_fC $\left(\frac{mg}{kg-day}\right)$	Non-cancer risk
กรณีประเมินโดยการใช้ความเข้มข้นสูงสุด											
คลอโรฟอร์ม	0.08973	1.5	365	6	26	2,190	5.18E-03	0.0061	3.16E-05	0.01	0.51767
โบรโมไดคลอโรมีเทน	0.02082	1.5	365	6	26	2,190	1.20E-03	0.0620	7.45E-05	0.02	0.06006
ไดโบรโมคลอโรมีเทน	0.00450	1.5	365	6	26	2,190	2.60E-04	0.0840	2.18E-05	0.02	0.01298
โบรโมฟอร์ม	0.00058	1.5	365	6	26	2,190	3.35E-05	0.0079	2.64E-07	0.02	0.00167
กรณีประเมินโดยการใช้ความเข้มข้นเฉลี่ย											
คลอโรฟอร์ม	0.05476	1.5	365	6	26	2,190	3.16E-03	0.0061	1.93E-05	0.01	0.31591
โบรโมไดคลอโรมีเทน	0.01534	1.5	365	6	26	2,190	8.85E-04	0.0620	5.49E-05	0.02	0.04426
ไดโบรโมคลอโรมีเทน	0.00192	1.5	365	6	26	2,190	1.11E-04	0.0840	9.32E-06	0.02	0.00555
โบรโมฟอร์ม	0.00012	1.5	365	6	26	2,190	6.95E-06	0.0079	5.49E-08	0.02	0.00035

ตารางที่ 41 ตัวอย่างการคำนวณความเสี่ยงในการเกิดมะเร็งของสารที่ได้รับจากการซึมผ่านทางผิวหนังจากน้ำประปาของผู้ใหญ่ ครูสอนว่ายน้ำ และเจ้าหน้าที่ดูแลสระว่ายน้ำ

สาร	CW $\left(\frac{mg}{L}\right)$	SA (cm^2)	PC $\left(\frac{cm}{hr}\right)$	ET $\left(\frac{hr}{day}\right)$	EF $\left(\frac{day}{year}\right)$	EP (year)	CF $\left(\frac{L}{cm^2}\right)$	BW (kg)	AT (day)	I $\left(\frac{mg}{kg-day}\right)$	SF $\left(\frac{kg-day}{mg}\right)$	Cancer risk	RfC $\left(\frac{mg}{kg-day}\right)$	Non-cancer risk
กรณีประเมินโดยการใช้ความเข้มข้นสูงสุด														
คลอโรฟอร์ม	0.08973	18,150	0.0089	0.2	365	40	0.001	55	14,600	5.27E-05	0.0305	1.61E-06	0.002	0.02635
โบรโมไดคลอโรมีเทน	0.02082	18,150	0.0058	0.2	365	40	0.001	55	14,600	7.97E-06	0.0633	5.04E-07	ไม่มีค่ารายงาน	-
ไดโบรโมคลอโรมีเทน	0.00450	18,150	0.0039	0.2	365	40	0.001	55	14,600	1.16E-06	0.1400	1.62E-07	ไม่มีค่ารายงาน	-
โบรโมฟอร์ม	0.00058	18,150	0.0026	0.2	365	40	0.001	55	14,600	9.95E-08	0.0132	1.31E-09	0.012	0.00001
กรณีประเมินโดยการใช้ความเข้มข้นเฉลี่ย														
คลอโรฟอร์ม	0.05476	18,150	0.0089	0.2	365	40	0.001	55	14,600	3.22E-05	0.0305	9.81E-07	0.002	0.01608
โบรโมไดคลอโรมีเทน	0.01534	18,150	0.0089	0.2	365	40	0.001	55	14,600	9.01E-06	0.0633	5.71E-07	ไม่มีค่ารายงาน	-
ไดโบรโมคลอโรมีเทน	0.00192	18,150	0.0089	0.2	365	40	0.001	55	14,600	1.13E-06	0.1400	1.58E-07	ไม่มีค่ารายงาน	-
โบรโมฟอร์ม	0.00012	18,150	0.0089	0.2	365	40	0.001	55	14,600	7.07E-08	0.0132	9.34E-10	0.012	0.00001

ตารางที่ 42 ตัวอย่างการคำนวณความเสี่ยงในการเกิดมะเร็งของสารที่ได้รับจากการซึมผ่านทางผิวหนังจากน้ำประปาของเด็ก

สาร	CW $\left(\frac{mg}{L}\right)$	SA (cm^2)	PC $\left(\frac{cm}{hr}\right)$	ET $\left(\frac{hr}{day}\right)$	EF $\left(\frac{day}{year}\right)$	EP (year)	CF $\left(\frac{L}{cm^3}\right)$	BW (kg)	AT (day)	I $\left(\frac{mg}{kg-day}\right)$	SF $\left(\frac{kg-day}{mg}\right)$	Cancer risk	R_fC $\left(\frac{mg}{kg-day}\right)$	Non-cancer risk
กรณีประเมินโดยการใช้ความเข้มข้นสูงสุด														
คลอโรฟอร์ม	0.08973	10,425	0.0089	0.2	365	6	0.001	26	2,190	6.40E-05	0.0305	1.95E-06	0.002	0.03202
โบรโมไดคลอโรมีเทน	0.02082	10,425	0.0058	0.2	365	6	0.001	26	2,190	9.68E-06	0.0633	6.13E-07	ไม่มีค่ารายงาน	-
ไดโบรโมคลอโรมีเทน	0.00450	10,425	0.0039	0.2	365	6	0.001	26	2,190	1.41E-06	0.1400	1.97E-07	ไม่มีค่ารายงาน	-
โบรโมฟอร์ม	0.00058	10,425	0.0026	0.2	365	6	0.001	26	2,190	1.21E-07	0.0132	1.60E-09	0.012	0.00001
กรณีประเมินโดยการใช้ความเข้มข้นเฉลี่ย														
คลอโรฟอร์ม	0.05476	10,425	0.0089	0.2	365	6	0.001	26	2,190	3.91E-05	0.0305	1.19E-06	0.002	0.01954
โบรโมไดคลอโรมีเทน	0.01534	10,425	0.0058	0.2	365	6	0.001	26	2,190	7.14E-06	0.0633	4.52E-07	ไม่มีค่ารายงาน	-
ไดโบรโมคลอโรมีเทน	0.00192	10,425	0.0039	0.2	365	6	0.001	26	2,190	6.01E-07	0.1400	8.42E-08	ไม่มีค่ารายงาน	-
โบรโมฟอร์ม	0.00012	10,425	0.0026	0.2	365	6	0.001	26	2,190	2.51E-08	0.0132	3.31E-10	0.012	0.00000

หมายเหตุ : การคำนวณเหมือนกันทั้งสระว่ายน้ำในร่ม สระว่ายน้ำกึ่งในร่ม และสระว่ายน้ำกลางแจ้ง

ตารางที่ 43 ตัวอย่างการคำนวณความเสี่ยงในการเกิดมะเร็งของสารที่ได้รับผ่านทางเดินอาหารระหว่างว่ายน้ำของผู้ใหญ่จากสระว่ายน้ำในร่ม

สาร	CW $\left(\frac{mg}{L}\right)$	IR $\left(\frac{L}{day}\right)$	ET $\left(\frac{hr}{day}\right)$	EF $\left(\frac{day}{year}\right)$	EP (year)	0.0416 (day/hr)	BW (kg)	AT (day)	I $\left(\frac{mg}{kg-day}\right)$	SF $\left(\frac{kg-day}{mg}\right)$	Cancer risk	RfC $\left(\frac{mg}{kg-day}\right)$	Non-cancer risk
กรณีประเมินโดยการใช้ความเข้มข้นสูงสุด													
คลอโรฟอร์ม	0.02906	1.2	1.1	101	40	0.0416	55	14,600	8.03E-06	0.0061	4.90E-08	0.01	0.00080
โบรโมไดคลอโรมีเทน	0.01366	1.2	1.1	101	40	0.0416	55	14,600	3.77E-06	0.0620	2.34E-07	0.02	0.00019
ไดโบรโมคลอโรมีเทน	0.00000	1.2	1.1	101	40	0.0416	55	14,600	0.00E+00	0.0840	0.00E+00	0.02	0.00000
โบรโมฟอร์ม	0.00081	1.2	1.1	101	40	0.0416	55	14,600	2.24E-07	0.0079	1.77E-09	0.02	0.00001
กรณีประเมินโดยการใช้ความเข้มข้นเฉลี่ย													
คลอโรฟอร์ม	0.01781	1.2	1.1	101	40	0.0416	55	14,600	4.92E-06	0.0061	3.00E-08	0.01	0.00049
โบรโมไดคลอโรมีเทน	0.00685	1.2	1.1	101	40	0.0416	55	14,600	1.89E-06	0.0620	1.17E-07	0.02	0.00009
ไดโบรโมคลอโรมีเทน	0.00000	1.2	1.1	101	40	0.0416	55	14,600	0.00E+00	0.0840	0.00E+00	0.02	0.00000
โบรโมฟอร์ม	0.00017	1.2	1.1	101	40	0.0416	55	14,600	4.74E-08	0.0079	3.74E-10	0.02	0.00000

หมายเหตุ : การคำนวณเหมือนกันทั้งสระว่ายน้ำในร่ม สระว่ายน้ำกึ่งในร่ม และสระว่ายน้ำกลางแจ้ง

ตารางที่ 44 ตัวอย่างการคำนวณความเสี่ยงในการเกิดมะเร็งของสารที่ได้รับผ่านทางเดินอาหารระหว่างว่ายน้ำของเด็กจากสระว่ายน้ำในร่ม

สาร	CW $\left(\frac{mg}{L}\right)$	IR $\left(\frac{L}{day}\right)$	ET $\left(\frac{hr}{day}\right)$	EF $\left(\frac{day}{year}\right)$	EP (year)	0.0416 (day/hr)	BW (kg)	AT (day)	I $\left(\frac{mg}{kg-day}\right)$	SF $\left(\frac{kg-day}{mg}\right)$	Cancer risk	R_fC $\left(\frac{mg}{kg-day}\right)$	Non-cancer risk
กรณีประเมินโดยการใช้ความเข้มข้นสูงสุด													
คลอโรฟอร์ม	0.02906	0.6	1.3	154	6	0.0416	26	2,190	1.53E-05	0.0061	9.33E-08	0.01	0.00153
โบรโมไดคลอโรมีเทน	0.01366	0.6	1.3	154	6	0.0416	26	2,190	7.19E-06	0.0620	4.46E-07	0.02	0.00036
ไดโบรโมคลอโรมีเทน	0.00000	0.6	1.3	154	6	0.0416	26	2,190	0.00E+00	0.0840	0.00E+00	0.02	0.00000
โบรโมฟอร์ม	0.00081	0.6	1.3	154	6	0.0416	26	2,190	4.27E-07	0.0079	3.37E-09	0.02	0.00002
กรณีประเมินโดยการใช้ความเข้มข้นเฉลี่ย													
คลอโรฟอร์ม	0.01781	0.6	1.3	154	6	0.0416	26	2,190	9.38E-06	0.0061	5.72E-08	0.01	0.00094
โบรโมไดคลอโรมีเทน	0.00685	0.6	1.3	154	6	0.0416	26	2,190	3.61E-06	0.0620	2.24E-07	0.02	0.00018
ไดโบรโมคลอโรมีเทน	0.00000	0.6	1.3	154	6	0.0416	26	2,190	0.00E+00	0.0840	0.00E+00	0.02	0.00000
โบรโมฟอร์ม	0.00017	0.6	1.3	154	6	0.0416	26	2,190	9.03E-08	0.0079	7.14E-10	0.02	0.00000

หมายเหตุ : การคำนวณเหมือนกันทั้งสระว่ายน้ำในร่ม สระว่ายน้ำกึ่งในร่ม และสระว่ายน้ำกลางแจ้ง

ตารางที่ 45 ตัวอย่างการคำนวณความเสี่ยงในการเกิดมะเร็งของสารที่ได้รับจากการซึมผ่านทางผิวหนังของผู้ใหญ่จากสระว่ายน้ำในร่ม

สาร	CW $\left(\frac{mg}{L}\right)$	SA (cm^2)	PC $\left(\frac{cm}{hr}\right)$	ET $\left(\frac{hr}{day}\right)$	EF $\left(\frac{day}{year}\right)$	EP (year)	CF $\left(\frac{L}{cm^2}\right)$	BW (kg)	AT (day)	I $\left(\frac{mg}{kg-day}\right)$	SF $\left(\frac{kg-day}{mg}\right)$	Cancer risk	R_fC $\left(\frac{mg}{kg-day}\right)$	Non-cancer risk
กรณีประเมินโดยการใช้ความเข้มข้นสูงสุด														
คลอโรฟอร์ม	0.02906	18,150	0.0089	1.1	101	40	0.001	55	14,600	2.60E-05	0.0305	7.92E-07	0.002	0.01299
โบรโมไดคลอโรมีเทน	0.01366	18,150	0.0058	1.1	101	40	0.001	55	14,600	7.96E-06	0.0633	5.04E-07	ไม่มีค่ารายงาน	-
ไดโบรโมคลอโรมีเทน	0.00000	18,150	0.0039	1.1	101	40	0.001	55	14,600	0.00E+00	0.1400	0.00E+00	ไม่มีค่ารายงาน	-
โบรโมฟอร์ม	0.00081	18,150	0.0026	1.1	101	40	0.001	55	14,600	2.12E-07	0.0132	2.79E-09	0.012	0.00002
กรณีประเมินโดยการใช้ความเข้มข้นเฉลี่ย														
คลอโรฟอร์ม	0.01781	18,150	0.0089	1.1	101	40	0.001	55	14,600	1.59E-05	0.0305	4.86E-07	0.002	0.00796
โบรโมไดคลอโรมีเทน	0.00685	18,150	0.0089	1.1	101	40	0.001	55	14,600	6.13E-06	0.0633	3.88E-07	ไม่มีค่ารายงาน	-
ไดโบรโมคลอโรมีเทน	0.00000	18,150	0.0089	1.1	101	40	0.001	55	14,600	0.00E+00	0.1400	0.00E+00	ไม่มีค่ารายงาน	-
โบรโมฟอร์ม	0.00017	18,150	0.0089	1.1	101	40	0.001	55	14,600	1.53E-07	0.0132	2.02E-09	0.012	0.00001

หมายเหตุ : การคำนวณเหมือนกันทั้งสระว่ายน้ำในร่ม สระว่ายน้ำกึ่งในร่ม และสระว่ายน้ำกลางแจ้ง

ตารางที่ 46 ตัวอย่างการคำนวณความเสี่ยงในการเกิดมะเร็งของสารที่ได้รับจากการซึมผ่านทางผิวหนังของเด็กจากสระว่ายน้ำในร่ม

สาร	CW $\left(\frac{mg}{L}\right)$	SA (cm^2)	PC $\left(\frac{cm}{hr}\right)$	ET $\left(\frac{hr}{day}\right)$	EF $\left(\frac{day}{year}\right)$	EP (year)	CF $\left(\frac{L}{cm^3}\right)$	BW (kg)	AT (day)	I $\left(\frac{mg}{kg-day}\right)$	SF $\left(\frac{kg-day}{mg}\right)$	Cancer risk	R_fC $\left(\frac{mg}{kg-day}\right)$	Non-cancer risk
กรณีประเมินโดยการใช้ความเข้มข้นสูงสุด														
คลอโรฟอร์ม	0.02906	10,425	0.0089	1.3	154	6	0.001	26	2,190	5.69E-05	0.0305	1.73E-06	0.002	0.02844
โบรโมไดคลอโรมีเทน	0.01366	10,425	0.0058	1.3	154	6	0.001	26	2,190	1.74E-05	0.0633	1.10E-06	ไม่มีค่ารายงาน	-
ไดโบรโมคลอโรมีเทน	0.00000	10,425	0.0039	1.3	154	6	0.001	26	2,190	0.00E+00	0.1400	0.00E+00	ไม่มีค่ารายงาน	-
โบรโมฟอร์ม	0.00081	10,425	0.0026	1.3	154	6	0.001	26	2,190	4.63E-07	0.0132	6.11E-09	0.012	0.00004
กรณีประเมินโดยการใช้ความเข้มข้นเฉลี่ย														
คลอโรฟอร์ม	0.01781	10,425	0.0089	1.3	154	6	0.001	26	2,190	3.49E-05	0.0305	1.06E-06	0.002	0.01743
โบรโมไดคลอโรมีเทน	0.00685	10,425	0.0058	1.3	154	6	0.001	26	2,190	8.74E-06	0.0633	5.53E-07	ไม่มีค่ารายงาน	-
ไดโบรโมคลอโรมีเทน	0.00000	10,425	0.0039	1.3	154	6	0.001	26	2,190	0.00E+00	0.1400	0.00E+00	ไม่มีค่ารายงาน	-
โบรโมฟอร์ม	0.00017	10,425	0.0026	1.3	154	6	0.001	26	2,190	9.81E-08	0.0132	1.29E-09	0.012	0.00001

หมายเหตุ : การคำนวณเหมือนกันทั้งสระว่ายน้ำในร่ม สระว่ายน้ำกึ่งในร่ม และสระว่ายน้ำกลางแจ้ง

ตารางที่ 47 ตัวอย่างการคำนวณความเสี่ยงในการเกิดมะเร็งของสารที่ได้รับจากการซึมผ่านทางผิวหนังของครูสอนว่ายน้ำจากสระว่ายน้ำในร่ม

สาร	CW $\left(\frac{mg}{L}\right)$	SA (cm^2)	PC $\left(\frac{cm}{hr}\right)$	ET $\left(\frac{hr}{day}\right)$	EF $\left(\frac{day}{year}\right)$	EP (year)	CF $\left(\frac{L}{cm^2}\right)$	BW (kg)	AT (day)	I $\left(\frac{mg}{kg-day}\right)$	SF $\left(\frac{kg-day}{mg}\right)$	Cancer risk	R_fC $\left(\frac{mg}{kg-day}\right)$	Non-cancer risk
กรณีประเมินโดยการใช้ความเข้มข้นสูงสุด														
คลอโรฟอร์ม	0.02906	18,150	0.0089	1.8	238	40	0.001	55	14,600	1.00E-04	0.0305	3.06E-06	0.002	0.05009
โบรโมไดคลอโรมีเทน	0.01366	18,150	0.0058	1.8	238	40	0.001	55	14,600	3.07E-05	0.0633	1.94E-06	ไม่มีค่ารายงาน	-
ไดโบรโมคลอโรมีเทน	0.00000	18,150	0.0039	1.8	238	40	0.001	55	14,600	0.00E+00	0.1400	0.00E+00	ไม่มีค่ารายงาน	-
โบรโมฟอร์ม	0.00081	18,150	0.0026	1.8	238	40	0.001	55	14,600	8.16E-07	0.0132	1.08E-08	0.012	0.00007
กรณีประเมินโดยการใช้ความเข้มข้นฉลี่ย														
คลอโรฟอร์ม	0.01781	18,150	0.0089	1.8	238	40	0.001	55	14,600	6.14E-05	0.0305	1.87E-06	0.002	0.03070
โบรโมไดคลอโรมีเทน	0.00685	18,150	0.0089	1.8	238	40	0.001	55	14,600	2.36E-05	0.0633	1.50E-06	ไม่มีค่ารายงาน	-
ไดโบรโมคลอโรมีเทน	0.00000	18,150	0.0089	1.8	238	40	0.001	55	14,600	0.00E+00	0.1400	0.00E+00	ไม่มีค่ารายงาน	-
โบรโมฟอร์ม	0.00017	18,150	0.0089	1.8	238	40	0.001	55	14,600	5.91E-07	0.0132	7.81E-09	0.012	0.00005

หมายเหตุ : การคำนวณเหมือนกันทั้งสระว่ายน้ำในร่ม สระว่ายน้ำกึ่งในร่ม และสระว่ายน้ำกลางแจ้ง

ตารางที่ 48 ตัวอย่างการคำนวณความเสี่ยงในการเกิดมะเร็งของสารที่ได้รับทางการหายใจของผู้ใหญ่จากสระว่ายน้ำในร่ม

สาร	CW $\left(\frac{mg}{m^3}\right)$	IR $\left(\frac{m^3}{hr}\right)$	ET $\left(\frac{hr}{day}\right)$	EF $\left(\frac{day}{year}\right)$	EP (year)	BW (kg)	AT (day)	I $\left(\frac{mg}{kg-day}\right)$	SF $\left(\frac{kg-day}{mg}\right)$	Cancer risk	R_fC $\left(\frac{mg}{kg-day}\right)$	Non-cancer risk
กรณีประเมินโดยการใช้ความเข้มข้นสูงสุด												
คลอโรฟอร์ม	0.4755	0.83	1.1	101	40	55	14,600	2.18E-03	0.0805	1.76E-04	ไม่มีค่ารายงาน	-
โบรโมไดคลอโรมีเทน	0.0095	0.83	1.1	101	40	55	14,600	4.36E-05	0.0620	2.71E-06	ไม่มีค่ารายงาน	-
ไดโบรโมคลอโรมีเทน	0.0100	0.83	1.1	101	40	55	14,600	4.59E-05	0.0840	3.86E-06	ไม่มีค่ารายงาน	-
โบรโมฟอร์ม	0.0022	0.83	1.1	101	40	55	14,600	9.95E-06	0.0039	3.83E-08	ไม่มีค่ารายงาน	-
กรณีประเมินโดยการใช้ความเข้มข้นเฉลี่ย												
คลอโรฟอร์ม	0.0371	0.83	1.1	101	40	55	14,600	1.71E-04	0.0805	1.37E-05	ไม่มีค่ารายงาน	-
โบรโมไดคลอโรมีเทน	0.0007	0.83	1.1	101	40	55	14,600	3.37E-06	0.0620	2.09E-07	ไม่มีค่ารายงาน	-
ไดโบรโมคลอโรมีเทน	0.0006	0.83	1.1	101	40	55	14,600	2.55E-06	0.0840	2.14E-07	ไม่มีค่ารายงาน	-
โบรโมฟอร์ม	0.0000	0.83	1.1	101	40	55	14,600	0.00E+00	0.0039	0.00E+00	ไม่มีค่ารายงาน	-

หมายเหตุ : การคำนวณเหมือนกันทั้งสระว่ายน้ำในร่ม สระว่ายน้ำกึ่งในร่ม และสระว่ายน้ำกลางแจ้ง

ตารางที่ 49 ตัวอย่างการคำนวณความเสี่ยงในการเกิดมะเร็งของสารที่ได้รับทางการหายใจของเด็กจากสระว่ายน้ำในร่ม

สาร	CW $\left(\frac{mg}{m^3}\right)$	IR $\left(\frac{m^3}{hr}\right)$	ET $\left(\frac{hr}{day}\right)$	EF $\left(\frac{day}{year}\right)$	EP (year)	BW (kg)	AT (day)	I $\left(\frac{mg}{kg-day}\right)$	SF $\left(\frac{kg-day}{mg}\right)$	Cancer risk	RfC $\left(\frac{mg}{kg-day}\right)$	Non-cancer risk
กรณีประเมินโดยการใช้ความเข้มข้นสูงสุด												
คลอโรฟอร์ม	0.4755	0.208	1.3	154	6	26	2,190	2.09E-03	0.0805	1.68E-04	ไม่มีค่ารายงาน	-
โบรโมไดคลอโรมีเทน	0.0095	0.208	1.3	154	6	26	2,190	4.17E-05	0.0620	2.58E-06	ไม่มีค่ารายงาน	-
ไดโบรโมคลอโรมีเทน	0.0100	0.208	1.3	154	6	26	2,190	4.39E-05	0.0840	3.69E-06	ไม่มีค่ารายงาน	-
โบรโมฟอร์ม	0.0022	0.208	1.3	154	6	26	2,190	9.51E-06	0.0039	3.66E-08	ไม่มีค่ารายงาน	-
กรณีประเมินโดยการใช้ความเข้มข้นเฉลี่ย												
คลอโรฟอร์ม	0.0371	0.208	1.3	154	6	26	2,190	1.63E-04	0.0805	1.31E-05	ไม่มีค่ารายงาน	-
โบรโมไดคลอโรมีเทน	0.0007	0.208	1.3	154	6	26	2,190	3.22E-06	0.0620	2.00E-07	ไม่มีค่ารายงาน	-
ไดโบรโมคลอโรมีเทน	0.0006	0.208	1.3	154	6	26	2,190	2.44E-06	0.0840	2.05E-07	ไม่มีค่ารายงาน	-
โบรโมฟอร์ม	0.0000	0.208	1.3	154	6	26	2,190	0.00E+00	0.0039	0.00E+00	ไม่มีค่ารายงาน	-

หมายเหตุ : การคำนวณเหมือนกันทั้งสระว่ายน้ำในร่ม สระว่ายน้ำกึ่งในร่ม และสระว่ายน้ำกลางแจ้ง

ตารางที่ 50 ตัวอย่างการคำนวณความเสี่ยงในการเกิดมะเร็งของสารที่ได้รับทางการหายใจของครูสอนว่ายน้ำจากสระว่ายน้ำในร่ม

สาร	CW $\left(\frac{mg}{m^3}\right)$	IR $\left(\frac{m^3}{hr}\right)$	ET $\left(\frac{hr}{day}\right)$	EF $\left(\frac{day}{year}\right)$	EP (year)	BW (kg)	AT (day)	I $\left(\frac{mg}{kg-day}\right)$	SF $\left(\frac{kg-day}{mg}\right)$	Cancer risk	R_fC $\left(\frac{mg}{kg-day}\right)$	Non-cancer risk
กรณีประเมินโดยการใช้ความเข้มข้นสูงสุด												
คลอโรฟอร์ม	0.4755	0.83	1.8	238	40	55	14,600	8.42E-03	0.0805	6.78E-04	ไม่มีค่ารายงาน	-
โบรโมไดคลอโรมีเทน	0.0095	0.83	1.8	238	40	55	14,600	1.68E-04	0.0620	1.04E-05	ไม่มีค่ารายงาน	-
ไดโบรโมคลอโรมีเทน	0.0100	0.83	1.8	238	40	55	14,600	1.77E-04	0.0840	1.49E-05	ไม่มีค่ารายงาน	-
โบรโมฟอร์ม	0.0022	0.83	1.8	238	40	55	14,600	3.84E-05	0.0039	1.48E-07	ไม่มีค่ารายงาน	-
กรณีประเมินโดยการใช้ความเข้มข้นเฉลี่ย												
คลอโรฟอร์ม	0.0371	0.83	1.8	238	40	55	14,600	6.57E-04	0.0805	5.29E-05	ไม่มีค่ารายงาน	-
โบรโมไดคลอโรมีเทน	0.0007	0.83	1.8	238	40	55	14,600	1.30E-05	0.0620	8.05E-07	ไม่มีค่ารายงาน	-
ไดโบรโมคลอโรมีเทน	0.0006	0.83	1.8	238	40	55	14,600	9.84E-06	0.0840	8.27E-07	ไม่มีค่ารายงาน	-
โบรโมฟอร์ม	0.0000	0.83	1.8	238	40	55	14,600	0.00E+00	0.0039	0.00E+00	ไม่มีค่ารายงาน	-

หมายเหตุ : การคำนวณเหมือนกันทั้งสระว่ายน้ำในร่ม สระว่ายน้ำกึ่งในร่ม และสระว่ายน้ำกลางแจ้ง

ตารางที่ 51 ตัวอย่างการคำนวณความเสี่ยงในการเกิดมะเร็งของสารที่ได้รับทางการหายใจของครูสอนว่ายน้ำจากสระว่ายน้ำในร่ม

สาร	CW $\left(\frac{mg}{m^3}\right)$	IR $\left(\frac{m^3}{hr}\right)$	ET $\left(\frac{hr}{day}\right)$	EF $\left(\frac{day}{year}\right)$	EP (year)	BW (kg)	AT (day)	I $\left(\frac{mg}{kg-day}\right)$	SF $\left(\frac{kg-day}{mg}\right)$	Cancer risk	R_fC $\left(\frac{mg}{kg-day}\right)$	Non-cancer risk
กรณีประเมินโดยการใช้ความเข้มข้นสูงสุด												
คลอโรฟอร์ม	0.8660	0.83	9	302	40	55	14,600	9.73E-02	0.0805	7.83E-03	ไม่มีค่ารายงาน	-
โบรโมไดคลอโรมีเทน	0.0093	0.83	9	302	40	55	14,600	1.05E-03	0.0620	6.50E-05	ไม่มีค่ารายงาน	-
ไดโบรโมคลอโรมีเทน	0.0360	0.83	9	302	40	55	14,600	4.05E-03	0.0840	3.40E-04	ไม่มีค่ารายงาน	-
โบรโมฟอร์ม	0.0093	0.83	9	302	40	55	14,600	1.05E-03	0.0039	4.04E-06	ไม่มีค่ารายงาน	-
กรณีประเมินโดยการใช้ความเข้มข้นเฉลี่ย												
คลอโรฟอร์ม	0.0523	0.83	9	302	40	55	14,600	5.87E-03	0.0805	4.73E-04	ไม่มีค่ารายงาน	-
โบรโมไดคลอโรมีเทน	0.0015	0.83	9	302	40	55	14,600	1.72E-04	0.0620	1.07E-05	ไม่มีค่ารายงาน	-
ไดโบรโมคลอโรมีเทน	0.0029	0.83	9	302	40	55	14,600	3.28E-04	0.0840	2.75E-05	ไม่มีค่ารายงาน	-
โบรโมฟอร์ม	0.0000	0.83	9	302	40	55	14,600	0.00E+00	0.0039	0.00E+00	ไม่มีค่ารายงาน	-

หมายเหตุ : การคำนวณเหมือนกันทั้งสระว่ายน้ำในร่ม สระว่ายน้ำกึ่งในร่ม และสระว่ายน้ำกลางแจ้ง

ตารางที่ 52 ตัวอย่างการคำนวณความเสี่ยงในการเกิดมะเร็งของสารที่ได้รับทางการหายใจของครูสอนว่ายน้ำจากสระว่ายน้ำในร่ม

สาร	CW $\left(\frac{mg}{m^3}\right)$	IR $\left(\frac{m^3}{hr}\right)$	ET $\left(\frac{hr}{day}\right)$	EF $\left(\frac{day}{year}\right)$	EP (year)	BW (kg)	AT (day)	I $\left(\frac{mg}{kg-day}\right)$	SF $\left(\frac{kg-day}{mg}\right)$	Cancer risk	R_fC $\left(\frac{mg}{kg-day}\right)$	Non-cancer risk
กรณีประเมินโดยการใช้ความเข้มข้นสูงสุด												
คลอโรฟอร์ม	0.8660	0.83	9	302	40	55	14,600	9.73E-02	0.0805	7.83E-03	ไม่มีค่ารายงาน	-
โบรโมไดคลอโรมีเทน	0.0093	0.83	9	302	40	55	14,600	1.05E-03	0.0620	6.50E-05	ไม่มีค่ารายงาน	-
ไดโบรโมคลอโรมีเทน	0.0360	0.83	9	302	40	55	14,600	4.05E-03	0.0840	3.40E-04	ไม่มีค่ารายงาน	-
โบรโมฟอร์ม	0.0093	0.83	9	302	40	55	14,600	1.05E-03	0.0039	4.04E-06	ไม่มีค่ารายงาน	-
กรณีประเมินโดยการใช้ความเข้มข้นเฉลี่ย												
คลอโรฟอร์ม	0.0523	0.83	9	302	40	55	14,600	5.87E-03	0.0805	4.73E-04	ไม่มีค่ารายงาน	-
โบรโมไดคลอโรมีเทน	0.0015	0.83	9	302	40	55	14,600	1.72E-04	0.0620	1.07E-05	ไม่มีค่ารายงาน	-
ไดโบรโมคลอโรมีเทน	0.0029	0.83	9	302	40	55	14,600	3.28E-04	0.0840	2.75E-05	ไม่มีค่ารายงาน	-
โบรโมฟอร์ม	0.0000	0.83	9	302	40	55	14,600	0.00E+00	0.0039	0.00E+00	ไม่มีค่ารายงาน	-

หมายเหตุ : การคำนวณเหมือนกันทั้งสระว่ายน้ำในร่ม สระว่ายน้ำกึ่งในร่ม และสระว่ายน้ำกลางแจ้ง

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ-นามสกุล	นางสาวจรรยา บริวิชยาวิสุทธิ์
ที่อยู่	341/1 ถนนพิพิธประสาท ตำบลพระปฐมเจดีย์ อำเภอเมืองนครปฐม จังหวัดนครปฐม 73000
โทรศัพท์	087-9189717
E-mail address	chanya_brs@hotmail.com

ประวัติการศึกษา

พ.ศ. 2550	สำเร็จการศึกษาปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร
พ.ศ. 2551	ศึกษาต่อระดับปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

ประวัติการฝึกงานและอบรม

พ.ศ. 2550	ฝึกงานในฝ่ายห้องปฏิบัติการและฝ่ายเทคนิคของบริษัทอีสเทิร์นไทยคอนซัลติ้ง 1992 จำกัด
พ.ศ. 2550	ผ่านการอบรมระบบการจัดการสิ่งแวดล้อม (Environmental Management System) ตามมาตรฐาน ISO 14001:2004 จัดโดยภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร