การแพร่กระจายของสารไตรฮาโลมีเทนในสระว่ายน้ำที่ฆ่าเชื้อโรคด้วยคลอรีน

โดย

นางสาวธาราทิพย์ รอดวินิจ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม

ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

ปีการศึกษา 2552

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

การแพร่กระจายของสารไตรฮาโลมีเทนในสระว่ายน้ำที่ฆ่าเชื้อโรคด้วยคลอรีน

โดย

นางสาวธาราทิพย์ รอดวินิจ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม

ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

ปีการศึกษา 2552

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

DISTRIBUTION OF TRIHALOMETHANES IN CHLORINATED SWIMMING POOLS

By

Tharathip Rodwinij

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 “การแพร่กระจายของสารไตรฮาโลมีเทนในสระว่ายน้ำที่ฆ่าเชื้อโรคด้วยคลอรีน” เสนอโดย นางสาวธาราทิพย์ รอดวินิจ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม

……..
(รองศาสตราจารย์ ดร. ศิริชัย ชินะตังกูร)
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
วันที่.....เดือน..... พ.ศ.....

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. มัลลิกา ปัญญาคะโป

คณะกรรมการตรวจสอบวิทยานิพนธ์
..... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รัฐพล อ้นแจ่ง)
...../...../.....

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.ศริศักดิ์ สุนทรไชย)
...../...../.....

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มัลลิกา ปัญญาคะโป)
...../...../.....

51311306 : สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม
คำสำคัญ:สระว่ายน้ำ/การฆ่าเชื้อโรคด้วยคลอรีน/สารตกค้างจากการเติมคลอรีน/สารไตรฮาโลมีเทน

ธาราทิพย์ รอดวินิจ : การแพร่กระจายของสารไตรฮาโลมีเทนในสระว่ายน้ำที่ฆ่าเชื้อโรคด้วยคลอรีน. อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ : ผศ.ดร.มัลลิกา ปัญญาคะโป. 104 หน้า.

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาความเข้มข้นของสารไตรฮาโลมีเทนในน้ำและในอากาศของสระว่ายน้ำ 3 ประเภท ในกรุงเทพมหานคร ได้แก่ สระว่ายน้ำในร่ม สระว่ายน้ำกึ่งในร่ม และสระว่ายน้ำกลางแจ้ง ระหว่างเดือนพฤษภาคม 2550 - กุมภาพันธ์ 2551 โดยทำการเก็บตัวอย่างน้ำและอากาศในแต่ละฤดูกาลตามเกณฑ์ของกรมอุตุนิยมวิทยา

ผลการวิจัยพบว่าความเข้มข้นของสารไตรฮาโลมีเทนทั้งหมด (TTHM) ของทั้ง 3 สระอยู่ในช่วง 13.47-65.47 μg/L โดยความเข้มข้นสูงสุดพบในสระว่ายน้ำกึ่งในร่ม ความเข้มข้นของ TTHM ของทุกสระมีค่าไม่เกินมาตรฐานน้ำประปาขององค์การอนามัยโลก (WHO) สารอินทรีย์คาร์บอนละลายน้ำ (DOC) สูงสุดพบในสระว่ายน้ำในร่มซึ่งมีค่าเท่ากับ 10.72 mg/L ความเข้มข้นของ TTHM ในอากาศของทั้ง 3 สระอยู่ในช่วง ND-490.5 $\mu g/m^3$ โดยความเข้มข้นสูงสุดพบในสระว่ายน้ำในร่ม เมื่อเปรียบเทียบกับข้อมูลในประเทศต่าง ๆ พบว่ามีค่าอยู่ในช่วงเดียวกับของต่างประเทศ

ความเข้มข้นของ TTHM และ DOC ในสระทั้ง 3 ประเภทมีความแตกต่างกันทั้ง 3 ฤดูกาล ส่วนความเข้มข้นของ TTHM ในอากาศในสระว่ายน้ำทั้ง 3 เรียงจากความเข้มข้นมากไปน้อยได้แก่ สระในร่ม สระกึ่งในร่มและสระกลางแจ้ง

เมื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ต่าง ๆ ในน้ำพบว่าพารามิเตอร์ที่มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญ ได้แก่ DOC-TTHM และ SUVA-TTHM ซึ่งพบในสระว่ายน้ำในร่มและกลางแจ้ง DOC-UV-254 ในสระว่ายน้ำในร่มและกึ่งในร่ม คลอรีนตกค้าง-TTHM ในสระว่ายน้ำกลางแจ้ง ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าสารอินทรีย์และคลอรีนเป็นสาเหตุหลักของการเกิด THM ในสระว่ายน้ำ สำหรับในอากาศพบว่าความเข้มข้นของ TTHM ในอากาศที่ระดับผิวน้ำและที่ระดับความสูง 150 cm มีความสัมพันธ์กันในสระว่ายน้ำกลางแจ้งน้อยกว่าสระว่ายน้ำในร่ม ความเข้มข้นของ TTHM ในอากาศที่ระดับความสูง 150 cm กับอุณหภูมิพบความสัมพันธ์ในสระว่ายน้ำกลางแจ้งเท่านั้น

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

51311306 : MAJOR : ENVIRONMENTAL SCIENCE
KEY WORDS : SWIMMING POOL/CHLORINATION/CHLORINE BY-PRODUCT/
TRIHALOMETHANE
THARATHIP RODWINIJ : DISTRIBUTION OF TRIHALOMETHANES IN CHLORINATED SWIMMING POOLS. THESIS ADVISOR : ASST.PROF. MALLIKA PANYAKAPO, Ph.D. 104 pp.

The objective of this research was to investigate the concentrations of trihalomethanes in chlorinated swimming pools in Bangkok area from May 2007 to February 2008. Water and air samples from 3 types of swimming pools: an indoor, a semi-indoor and an outdoor, were collected during winter, summer, and rainy seasons, as according to Thai Meteorological Department's guideline.

The results showed that the concentrations of total trihalomethane (TTHM) in water at all swimming pools were in the range of 13.47-65.47 μg/L. The highest concentration was found at the semi-indoor swimming pool. The highest dissolved organic carbon (DOC) concentration in water found at the indoor swimming pool was 10.72 mg/L. TTHM concentrations in air from all swimming pools were in the range of ND-490.5 $\mu g/m^3$, which the highest concentration was found at the indoor swimming pool. Concentrations of TTHM in the water and air were in the same ranges of the swimming pool in other countries reported in many research papers. The water sampled at all swimming pools contained TTHM concentrations below the standards of the World Health Organization (WHO).

The results showed the difference of DOC and TTHM concentrations in water among 3 types of the swimming pools. Moreover, seasonal variations of DOC and TTHM concentrations were also found in all swimming pool types. The descend order of TTHM concentrations in air was indoor, semi-indoor and outdoor swimming pool, respectively.

Significant correlations among parameters in water were found, i.e., between DOC-TTHM and specific ultraviolet absorbent (SUVA)-TTHM in indoor and outdoor swimming pools, DOC-UV-254 in indoor and semi-indoor swimming pools, chlorine residue-TTHM in outdoor swimming pool. Therefore, it can be concluded that organic matter and chlorine residue are the main factors of THM formation. The correlation between TTHM concentration in air at water surface level and at 150 cm height above water surface of outdoor swimming pool was less than that of indoor swimming pool. Significant correlation between TTHM concentration in air at 150 cm height above water surface and temperature was only found at outdoor swimming pool.

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

กิตติกรรมประกาศ

ในการทำงานวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มัลลิกา ปัญญาคะโป อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่ได้ให้ความเมตตา กรุณา และให้ความช่วยเหลือต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็นคำแนะนำในการทำการทดลอง เป็นที่ปรึกษาและคอยช่วยเหลือในการเขียนรูปเล่ม ตลอดจนชี้แนะข้อบกพร่องต่าง ๆ เพื่อให้แก้ไขงานวิจัยนี้ให้สำเร็จลุล่วงได้ นอกจากนี้ในการเขียนวิทยานิพนธ์ยังได้รับคำแนะนำ และชี้แนะส่วนที่ต้องแก้ไข จากผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รัฐพล อ้นแฉ่ง รองศาสตราจารย์ ดร.ศริศักดิ์ สุนทรไชย และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กมลชนก พานิชการ ซึ่งทางผู้วิจัยก็ขอขอบพระคุณมาไว้ ณ ที่นี้ด้วย

ขอขอบพระคุณศูนย์กีฬาสโมสรทหารบก มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา และโรงเรียนเซนต์คาเบรียล ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ในการทำงานวิจัยครั้งนี้ และขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ของสระว่ายน้ำทุกแห่งที่ให้ความช่วยเหลืออนุเคราะห์ในด้านต่าง ๆ เป็นอย่างดี

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อมทุกท่าน คุณผ่องศรี เผ่าภูรี คุณนที ส่งบุญ และเจ้าหน้าที่ของภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อมทุกท่าน ซึ่งให้คำแนะนำต่าง ๆ มากมาย รวมทั้งคอยให้กำลังใจและความช่วยเหลือในการทำงานวิจัยนี้ด้วย

ขอกราบขอขอบพระคุณครอบครัวที่คอยเป็นกำลังใจ สนับสนุนและเป็นแรงผลักดันเสมอมา ขอขอบคุณเพื่อน ๆ พี่ ๆ น้อง ๆ ทุก ๆ คน ที่คอยช่วยเหลือทั้งด้านการเก็บตัวอย่างและให้คำแนะนำจึงทำให้งานวิจัยนี้ประสบความสำเร็จได้

สารบัญ

		หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย		ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ		จ
กิตติกรรมประกาศ		ฉ
สารบัญตาราง		ฎ
สารบัญภาพ		ฐ
บทที่		
1	บทนำ	1
	ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย	1
	ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2
	สมมติฐานของงานวิจัย	2
	ขอบเขตของงานวิจัย	3
	ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
2	เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
	การฆ่าเชื้อโรคด้วยคลอรีน	4
	ปฏิกิริยาของคลอรีนในน้ำ	4
	ปัจจัยที่มีผลในการฆ่าเชื้อโรคด้วยคลอรีนในน้ำ	7
	สารตกค้างจากการฆ่าเชื้อโรคด้วยคลอรีน	9
	การเกิดสารตกค้างจากการฆ่าเชื้อโรคด้วยคลอรีน	10
	ความเป็นอันตรายของสารตกค้าง	10
	สารไตรฮาโลมีเทน	13
	ความเป็นอันตรายของสารไตรฮาโลมีเทน	14
	ปัจจัยที่มีผลในการเกิดสารตกค้างจากการฆ่าเชื้อโรคด้วยคลอรีน	16
	ความเข้มข้นของสารกลุ่มไตรฮาโลมีเทนในสระว่ายน้ำ	22
	การแพร่กระจายของสารกลุ่มไตรฮาโลมีเทน	27
	มาตรฐานที่เกี่ยวข้อง	28
	สระว่ายน้ำ	30
	ลักษณะสระว่ายน้ำ	30
	การบำบัดน้ำสระว่ายน้ำ	30

บทที่ หน้า
มาตรฐานคุณภาพสระว่ายน้ำ 31
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 32
3 วิธีดำเนินงานวิจัย 35
สถานที่เก็บตัวอย่าง 35
สระว่ายน้ำสโมสรทหารบก 35
สระว่ายน้ำมหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา 36
สระว่ายน้ำโรงเรียนเซนต์คาเบรียล 36
ความถี่ที่เก็บตัวอย่าง 37
การเก็บตัวอย่างและวิเคราะห์น้ำ 37
จุดเก็บตัวอย่างน้ำ 37
วิธีการเก็บตัวอย่างน้ำ 38
วิธีการรักษาตัวอย่าง 38
สถานที่วิเคราะห์น้ำ 39
วิธีการวิเคราะห์น้ำ 39
การเก็บตัวอย่างและวิเคราะห์อากาศ 42
จุดเก็บตัวอย่างอากาศ 42
การเก็บตัวอย่างอากาศและการเก็บรักษาหลอด charcoal 43
สถานที่วิเคราะห์อากาศ 44
วิธีการวิเคราะห์อากาศ 44
การวัดความเร็วลม 44
จุดตรวจวัดความเร็วลม 44
วิธีการวัดความเร็วลม 45
การวิเคราะห์ทางสถิติ 45
ข้อจำกัดของงานวิจัย 46
4 ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย 47
การวิเคราะห์สมบัติของน้ำเบื้องต้น 47
สมบัติทั่วไปของน้ำในสระว่ายน้ำ 48
สมบัติทั่วไปของน้ำ 48

บทที่ หน้า

การเปรียบเทียบสมบัติของน้ำในแต่ละระดับความลึก
ของสระว่ายน้ำ 51
การเปรียบเทียบสมบัติของน้ำในแต่ละฤดูกาล 52
การเปรียบเทียบสมบัติของน้ำในแต่ละสระ 56
สมบัติของน้ำประปา 56
สมบัติทั่วไปของน้ำ 56
การเปรียบเทียบสมบัติทั่วไปของน้ำประปาในแต่ละฤดูกาล 57
ความเข้มข้นของ TTHM ในอากาศ 59
ความเข้มข้นของ TTHM ในอากาศที่ระดับต่าง ๆ 59
การเปรียบเทียบความเข้มข้นของ TTHM ในอากาศ
ในสระว่ายน้ำแต่ละประเภท 60
การเปรียบเทียบความเร็วลมในสระว่ายน้ำแต่ละประเภท 60
การเปรียบเทียบความเร็วลมในแต่ละฤดูกาล 62
การเปรียบเทียบความเข้มข้นของ TTHM ในอากาศ
ที่ตรวจวัดได้จริงกับความเข้มข้นของ TTHM ในอากาศ
ที่คำนวณจากสมการของ Henry 62
การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ต่าง ๆ ในน้ำ 65
ความสัมพันธ์ระหว่าง DOC ในสระว่ายน้ำและน้ำประปา 65
ความสัมพันธ์ระหว่าง UV-254 ในสระว่ายน้ำและน้ำประปา 69
ความสัมพันธ์ระหว่าง TTHM ในสระว่ายน้ำและน้ำประปา 69
ความสัมพันธ์ระหว่างสารอินทรีย์และ TTHM ในสระว่ายน้ำ 70
ความสัมพันธ์ระหว่างคลอรีนตกค้างและ TTHM 74
ความสัมพันธ์ระหว่างคลอรีนตกค้างและ pH 75
ความสัมพันธ์ระหว่าง Br^- และ Brominated THMs 76
การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ต่างๆในอากาศ 77
ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของ TTHM ในน้ำ
ที่ระดับความลึก 20 เซนติเมตร และความเข้มข้นของ TTHM
ในอากาศที่ระดับผิวน้ำ 77

บทที่ หน้า

ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของ TTHM ในอากาศ
ที่ระดับผิวน้ำและที่ระดับ 150 เซนติเมตร กับความเร็วลม 78
ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของ TTHM ในอากาศ
ที่ระดับผิวน้ำและที่ระดับ 150 เซนติเมตร กับอุณหภูมิ 80
การแพร่กระจายของสาร TTHM ในน้ำและในอากาศ 81
ในน้ำ 81
ในอากาศ 82
จากน้ำสู่อากาศ 82
5 สรุปผลการวิจัย 83
สมบัติทั่วไปของน้ำในสระว่ายน้ำ 83
การเปรียบเทียบสมบัติของน้ำในแต่ละระดับความลึก
ของสระว่ายน้ำ 83
การเปรียบเทียบสมบัติของน้ำในแต่ละฤดูกาล 83
การเปรียบเทียบสมบัติของน้ำในแต่ละสระ 84
สมบัติทั่วไปของน้ำประปา 84
ความเข้มข้นของ TTHM ในอากาศ 84
การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ต่าง ๆ ในน้ำ 85
การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ต่าง ๆ ในอากาศ 85
ข้อเสนอแนะ 85

บรรณานุกรม 87

ภาคผนวก 93

ประวัติผู้วิจัย 104

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ผลของสารปนเปื้อนในน้ำต่อการเติมคลอรีน	10
2	ศักยภาพของการก่อมะเร็งของสารตกค้างจากการฆ่าเชื้อโรคบางชนิด	11
3	ความเข้มข้นของสารประกอบ Chlorine by-products ในน้ำประปาของประเทศต่าง ๆ	13
4	สูตรโครงสร้างสารกลุ่มไตรฮาโลมีเทน	15
5	ความเข้มข้นของสารไตรฮาโลมีเทนในน้ำสระว่ายน้ำ	24
6	ความเข้มข้นของสารไตรฮาโลมีเทนในอากาศบริเวณเหนือสระว่ายน้ำ	26
7	ค่าคงที่ตามกฎของเฮนรี่ (Henry's Law Constant)	29
8	ความเข้มข้นสูงสุดของสารประกอบ chlorine by-products ในน้ำประปาซึ่งกำหนดในมาตรฐานของหน่วยงานต่าง ๆ	30
9	มาตรฐานคุณภาพสระว่ายน้ำ	32
10	วิธีการรักษาตัวอย่าง	40
11	สมบัติของน้ำในแต่ละช่วงเวลา	47
12	สมบัติของน้ำในสระว่ายน้ำทั้ง 3 ประเภทและน้ำประปา	50
13	สมบัติของน้ำในแต่ละระดับความลึกของสระว่ายน้ำ	54
14	สมบัติของน้ำในแต่ละฤดูกาล	55
15	สมบัติทั่วไปของน้ำประปาในแต่ละฤดูกาล	58
16	ความเข้มข้นของ TTHM ในอากาศระดับผิวน้ำและความเร็วลมบริเวณสระว่ายน้ำทั้ง 3 ประเภท	61
17	ความเข้มข้นของ TTHM ในอากาศที่ตรวจวัดได้จริงกับความเข้มข้นของ TTHM ในอากาศที่คำนวณจากค่า Henry's Law Constant	64
18	สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ต่าง ๆ	66
19	สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ต่าง ๆ เทียบกับงานวิจัยอื่น ๆ	67
20	ผลการทดสอบการแจกแจงแบบปกติของสมบัติต่าง ๆ ของน้ำในสระว่ายน้ำทั้ง 3 ประเภท	94
21	ผลการทดสอบหาความแตกต่างของสมบัติของน้ำในแต่ละระดับความลึกของสระว่ายน้ำทั้ง 3 ประเภท โดยใช้ Kruskal-Wallis H Test	95

ตารางที่ หน้า

22 ผลการทดสอบการแจกแจงแบบปกติของสมบัติของน้ำในแต่ละฤดูกาล ของสระว่ายน้ำทั้ง 3 ประเภท 96

23 ผลการทดสอบหาความแตกต่างของสมบัติของน้ำในแต่ละฤดูกาล ของสระว่ายน้ำในร่มโดยใช้ ANOVA 96

24 ผลการทดสอบหาความแตกต่างของสมบัติของน้ำในแต่ละฤดูกาล ของสระว่ายน้ำกึ่งในร่มโดยใช้ ANOVA 98

25 ผลการทดสอบหาความแตกต่างของสมบัติของน้ำในแต่ละฤดูกาล ของสระว่ายน้ำกลางแจ้ง โดยใช้ Kruskal-Wallis H Test 100

26 ผลการทดสอบการแจกแจงแบบปกติของสมบัติต่าง ๆ ของน้ำในแต่ละสระ 100

27 ผลการทดสอบหาความแตกต่างของสมบัติของน้ำในแต่ละสระ โดยใช้ Kruskal-Wallis H Test 100

28 ผลการทดสอบการแจกแจงแบบปกติของสมบัติของน้ำประปา ในแต่ละฤดูกาล 101

29 ผลการทดสอบหาความแตกต่างของสมบัติของน้ำประปาในแต่ละฤดูกาล โดยใช้ Kruskal-Wallis H Test 101

30 ผลการทดสอบการแจกแจงแบบปกติของ TTHM ในอากาศในสระว่ายน้ำ แต่ละประเภท 102

31 ผลการทดสอบหาความแตกต่างของ TTHM ในอากาศในสระว่ายน้ำ แต่ละประเภท โดยใช้ Kruskal-Wallis H Test 102

32 ผลการทดสอบการแจกแจงแบบปกติของความเร็วลมในสระว่ายน้ำ แต่ละประเภท 102

33 ผลการทดสอบหาความแตกต่างของความเร็วลมในสระว่ายน้ำแต่ละประเภท โดยใช้ Kruskal-Wallis H Test 103

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	การกระจาย HOCl และ OCl^- ในน้ำที่พีเอชต่าง ๆ	5
2	ผลของพีเอชและการเปลี่ยนแปลงชนิดของคลอรีนอิสระคงเหลือ	6
3	ความสำคัญของพีเอชและเวลาสัมผัสในการฆ่าเชื้อโรคของคลอรีนรูปต่าง ๆ	8
4	ตัวอย่างโครงสร้างกรดฮิวมิกและกรดฟัลวิก	17
5	โครงสร้างอย่างง่ายของสารประกอบฮิวมิก	18
6	ผลของ pH ต่อการเกิดของสารคลอโรฟอร์ม	21
7	ผลของอุณหภูมิและระยะเวลาสัมผัสที่ส่งผลต่อการเกิดสารไตรฮาโลมีเทน	22
8	สระว่ายน้ำสโมสรทหารบก	35
9	สระว่ายน้ำมหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา	36
10	สระว่ายน้ำโรงเรียนเซนต์คาเบรียล	37
11	จุดเก็บตัวอย่างน้ำ	38
12	เครื่อง UV – visible Spectrophotometer	40
13	เครื่อง Ion chromatograph	41
14	เครื่อง TOC analyzer	41
15	เครื่อง Head-space gas chromatograph	42
16	จุดเก็บตัวอย่างอากาศ	43
17	หลอด charcoal	43
18	การเก็บตัวอย่างอากาศ	44
19	จุดวัดความเร็วลมสระว่ายน้ำสโมสรทหารบกและสระว่ายน้ำโรงเรียนเซนต์คาเบรียล	45
20	จุดวัดความเร็วลมสระว่ายน้ำมหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา	45
21	ความเข้มข้นของสารไตรฮาโลมีเทนในน้ำสระว่ายน้ำทั้ง 3 ประเภท	49
22	ความเข้มข้นของ DOC UV-254 คลอรีนตกค้าง และ TTHMในสระว่ายน้ำทั้ง 3 ประเภท	56
23	ความเข้มข้นของ DOC UV-254 คลอรีนตกค้าง และ TTHMในแต่ละฤดูกาล	57
24	ความเข้มข้นของสารไตรฮาโลมีเทนในอากาศระดับผิวน้ำบริเวณสระว่ายน้ำทั้ง 3 ประเภท	60

ภาพที่ หน้า

25 ความเร็วลมในแต่ละฤดูกาลในสระว่ายน้ำทั้ง 3 ประเภท 61

26 ร้อยละความเข้มข้นที่วัดได้เทียบกับความเข้มข้นที่คำนวณได้
ของสาร THMs 63

27 ความเข้มข้นของ DOC ในสระว่ายน้ำและน้ำประปา 65

28 ค่า UV-254 ในสระว่ายน้ำและน้ำประปา 69

29 ความเข้มข้นของ TTHM ในสระว่ายน้ำและน้ำประปา 70

30 ความเข้มข้นของ DOC และ UV-254 71

31 ความเข้มข้นของ DOC และ TTHM 72

32 ความเข้มข้นของ UV – 254 และ TTHM 73

33 ความเข้มข้นของ SUVA และ TTHM 74

34 คลอรีนตกค้างและ TTHM 75

35 คลอรีนตกค้างและ pH 76

36 ความเข้มข้นของ Br^- และ Brominated THMs 77

37 ความเข้มข้นของ TTHM ในน้ำที่ระดับความลึก 20 เซนติเมตร
และความเข้มข้น TTHM ในอากาศที่ระดับผิวน้ำ 78

38 ความเข้มข้นของ TTHM ในอากาศที่ระดับผิวน้ำและที่ระดับ 150 เซนติเมตร 79

39 ความเร็วลมที่ระดับผิวน้ำและที่ระดับ 150 เซนติเมตร 80

40 ความเข้มข้นของ TTHM ในอากาศที่ระดับผิวน้ำและที่ระดับ 150 เซนติเมตร
กับอุณหภูมิ 81

41 ความเข้มข้นของ TTHM แต่ละระดับความลึกของสระว่ายน้ำทั้ง 3 ประเภท 82

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย

การว่ายน้ำเป็นกิจกรรมการออกกำลังกายที่ได้รับความนิยม จึงมีผู้มาใช้บริการสระว่ายน้ำเป็นจำนวนมาก ดังนั้นจึงต้องมีการบำบัดน้ำและการฆ่าเชื้อโรค เพื่อให้น้ำสะอาด ปราศจากเชื้อโรค ซึ่งจะนิยมใช้คลอรีนเป็นสารฆ่าเชื้อโรค เนื่องจากคลอรีนมีราคาถูกและมีฤทธิ์ตกค้างในการฆ่าเชื้อโรค อย่างไรก็ตามสิ่งที่ต้องคำนึงถึงเป็นอย่างมากคือการเติมคลอรีนจะก่อให้เกิดสารตกค้างประเภทสารกลุ่มไตรฮาโลมีเทน (Trihalomethanes; THMs) ซึ่งเป็นสารที่สามารถก่อให้เกิดมะเร็งในมนุษย์ได้ ทั้งยังมีผลต่อความสามารถในการสืบพันธุ์ การคลอด ระบบไหลเวียนโลหิต และอาจส่งผลต่ออวัยวะภายใน เช่น ตับ ไต เป็นต้น (WHO, 2000)

สระว่ายน้ำมีลักษณะที่แตกต่างกันไป ได้แก่ สระว่ายน้ำในร่ม สระว่ายน้ำกึ่งกลางแจ้ง และสระว่ายน้ำกลางแจ้ง ซึ่งลักษณะที่แตกต่างกันนี้เป็นปัจจัยหนึ่งที่ทำให้มีสารตกค้างกลุ่มไตรฮาโลมีเทนอยู่ในสระว่ายน้ำ และอากาศบริเวณสระว่ายน้ำในปริมาณที่แตกต่างกัน โดยสารตกค้างกลุ่มไตรฮาโลมีเทนเกิดจากการทำปฏิกิริยากันระหว่างสารอินทรีย์ธรรมชาติในน้ำกับคลอรีนที่เติมในกระบวน การฆ่าเชื้อโรค ซึ่งน้ำสระว่ายน้ำจะมีทั้งสารอินทรีย์ที่มากับน้ำดิบและสารอินทรีย์ที่ติดมากับร่างกายของผู้ใช้บริการทั้งจากเหงื่อไคล ปัสสาวะ และครีมทาผิว ซึ่งประกอบด้วยสารประกอบอินทรีย์รูปต่างๆ สารประกอบอินทรีย์เหล่านี้เป็นสารตั้งต้นในการเกิดสารไตรฮาโลมีเทนด้วย ปัจจัยหลักที่มีผลต่อการเกิดสารตกค้างของสารกลุ่มนี้ ได้แก่ สารอินทรีย์ธรรมชาติในน้ำดิบ ความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) อุณหภูมิของน้ำ ปริมาณคลอรีนที่เติมเพื่อฆ่าเชื้อโรค และโบรไมด์อิออนซึ่งมีผลต่อรูปแบบของสารไตรฮาโลมีเทน สารกลุ่มนี้จะประกอบด้วยสาร 4 ชนิดได้แก่ คลอโรฟอร์ม (Chloroform; $CHCl_3$) โบรโมไดคลอโรมีเทน (Bromodichloromethane; $CHCl_2Br$) ไดโบรโมคลอโรมีเทน (Dibromochloromethane; $CHClBr_2$) และโบรโมฟอร์ม (Bromoform; $CHBr_3$) สารทั้ง 4 ชนิดจะมีศักยภาพในการก่อมะเร็งในระดับที่ต่างกัน โดยที่คลอโรฟอร์ม โบรโมไดคลอโรมีเทน และ โบรโมฟอร์ม เป็นสารก่อมะเร็งระดับ B2 คือ สามารถก่อมะเร็งในมนุษย์ สำหรับไดโบรโมคลอโรมีเทนเป็นสารก่อมะเร็งระดับ C คืออาจจะก่อมะเร็งในมนุษย์ (US-EPA, 1999)

จากความเป็นพิษข้างต้น จึงมีความจำเป็นที่จะต้องศึกษาถึงปัจจัยต่าง ๆ ของการเกิดสารไตรฮาโลมีเทน ศึกษาการแพร่กระจายของสารเหล่านี้เพื่อหาแนวทางป้องกันไม่ให้เกิดผลกระทบต่อผู้ที่มาใช้บริการสระว่ายน้ำ

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1) เพื่อศึกษาสมบัติต่าง ๆ ของน้ำในสระว่ายน้ำที่มีผลต่อการเกิดสารตกค้างจากการฆ่าเชื้อโรคด้วยคลอรีน

2) เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติต่าง ๆ ของน้ำกับความเข้มข้นและรูปแบบของ THMs ในสระว่ายน้ำ

3) เพื่อศึกษาความเข้มข้นของสาร THMs ในน้ำที่ตำแหน่งต่าง ๆ ของสระว่ายน้ำ

4) เพื่อศึกษาความเข้มข้นของสาร THMs ในอากาศตามระดับความสูงจากผิวน้ำ

5) เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของ THMs ในน้ำและอากาศ

6) เพื่อเปรียบเทียบการแพร่กระจายของสาร THMs ในสระว่ายน้ำ 3 ลักษณะ คือ สระในร่ม สระกึ่งกลางแจ้ง และ สระกลางแจ้ง

7) เพื่อเปรียบเทียบความเข้มข้นของสาร THMs ในน้ำและอากาศของสระว่ายน้ำทั้ง 3 สระในแต่ละฤดูกาล

1.3 สมมติฐานของงานวิจัย

1) สมบัติของน้ำดิบและน้ำในสระว่ายน้ำมีความสัมพันธ์กับความเข้มข้นและรูปแบบของ THMs ในสระว่ายน้ำ

2) ที่ระดับความลึกมากกว่ามีความเข้มข้นของสาร THMs สูงกว่าที่ระดับตื้นเนื่องจากสาร THMs สามารถระเหยสู่อากาศได้

3) อุณหภูมิและความเร็วลมมีผลต่อการแพร่กระจายของสาร THMs จากน้ำสู่อากาศ

4) อากาศบริเวณผิวน้ำจะมีความเข้มข้นของสาร THMs มากกว่าอากาศบริเวณที่อยู่สูงขึ้นไปจากผิวน้ำ

5) การแพร่กระจายของสาร THMs ในสระว่ายน้ำ 3 สระมีความแตกต่างกัน

6) ความเข้มข้นของสาร THMs ในน้ำและอากาศของสะว่ายน้ำทั้ง 3 สระ มีความแตกต่างกันในแต่ละฤดูกาล

1.4 ขอบเขตของงานวิจัย

1) ทำการเก็บตัวอย่างน้ำและอากาศในสระว่ายน้ำ 3 ลักษณะอย่างละ 1 สระ ได้แก่ สระว่ายน้ำสโมสรทหารบกซึ่งเป็นสระว่ายน้ำในร่ม สระว่ายน้ำมหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทาซึ่งเป็นสระว่ายน้ำกึ่งกลางแจ้ง และสระว่ายน้ำโรงเรียนเซนต์คาเบรียลซึ่งเป็นสระว่ายน้ำกลางแจ้ง

2) ทำการเก็บตัวอย่างน้ำและอากาศสระว่ายน้ำในช่วงฤดูร้อน ฤดูฝน และฤดูหนาว ตามการแบ่งฤดูกาลของกรมอุตุนิยมวิทยา ทำการเก็บตัวอย่างฤดูละ 1 ครั้ง

3) สมบัติต่าง ๆ ของน้ำที่จะวิเคราะห์ได้แก่ พีเอช อุณหภูมิ ความขุ่น (Turbidity) สารอินทรีย์คาร์บอนละลายน้ำ (Dissolved organic carbon, DOC) ค่า UV-254 โบรไมด์อิออน (Bromide ion, Br^-) สารกลุ่มไตรฮาโลมีเทน 4 ชนิด ได้แก่ คลอโรฟอร์ม (Chloroform , $CHCl_3$) โบรโมไดคลอโรมีเทน (Bromodichloromethane , $CHCl_2Br$) ไดโบรโมคลอโรมีเทน (Dibromochloromethane , $CHClBr_2$) และโบรโมฟอร์ม (Bromoform , $CHBr_3$)

4) วิเคราะห์สารกลุ่มไตรฮาโลมีเทน 4 ชนิด ในอากาศได้แก่ คลอโรฟอร์ม (Chloroform , $CHCl_3$) โบรโมไดคลอโรมีเทน (Bromodichloromethane , $CHCl_2Br$) ไดโบรโมคลอโรมีเทน (Dibromochloromethane , $CHClBr_2$) และโบรโมฟอร์ม (Bromoform , $CHBr_3$)

5) ตรวจวัดความเร็วลม 3 ช่วงเวลาคือ ช่วงเช้า กลางวันและเย็น พร้อมกับการเก็บตัวอย่างน้ำและอากาศ

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1) สามารถนำมาใช้เป็นแนวทางในการตัดสินใจเลือกใช้บริการสระว่ายน้ำประเภทต่าง ๆ เพื่อให้เกิดความปลอดภัยและไม่ส่งผลกระทบต่อสุขภาพอนามัย

2) สามารถนำข้อมูลการศึกษาเหล่านี้ไปใช้ในการปรับปรุงสภาพสระว่ายน้ำ

3) สามารถนำข้อมูลการศึกษาเหล่านี้ไปใช้ในการประเมินความเสี่ยงของการได้รับสาร THMs เข้าสู่ร่างกายและหาแนวทางป้องกันแก้ไขไม่ให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพอนามัย

บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 การฆ่าเชื้อโรคด้วยคลอรีน

การฆ่าเชื้อโรคด้วยคลอรีนซึ่งเรียกว่า คลอริเนชัน (Chlorination) เป็นวิธีที่ได้รับความนิยมและใช้กันมานาน คลอรีนที่ใช้กันแพร่หลายในสระว่ายน้ำทั่วไป ได้แก่

- ก๊าซคลอรีน (Chlorine Gas)
- โซเดียมไฮโปคลอไรต์(Sodium Hypochlorite)
- แคลเซียมไฮโปคลอไรต์ (Calcium Hypochlorite) ทั้งชนิดเกล็ดหรือเม็ด
- ลิเทียมไฮโปคลอไรต์ (Lithium Hypochlorite)
- คลอริเนทเต็ทไอโซไซยานูเรท (Clorinated Isocyanurates)

2.1.1 ปฏิกิริยาของคลอรีนในน้ำ

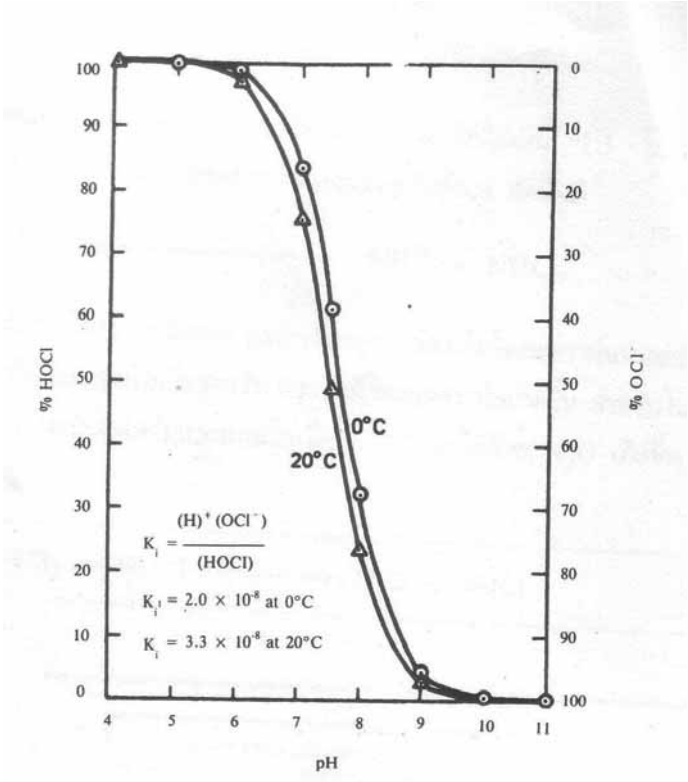
ในกรณีที่เป็นก๊าซคลอรีนที่สภาวะปกติจะมีสีเหลืองแกมเขียว หนักเป็น 2.5 เท่าของอากาศ ถ้าเป็นของเหลวจะมีสีเหลืองอำพัน และหนักเป็น 1.5 เท่าของน้ำ คลอรีนที่จำหน่ายในท้องตลาดจะอยู่ในรูปคลอรีนเหลวบรรจุในถังเหล็ก การนำก๊าซคลอรีนมาใช้ในกระบวนการฆ่าเชื้อโรคจะต้องนำก๊าซคลอรีนมาละลายน้ำก่อนนำมาใช้งาน โดยเมื่อเติมก๊าซคลอรีนลงไปในน้ำจะมีปฏิกิริยาไฮโดรไลซีสเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว ดังสมการที่ (1)

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

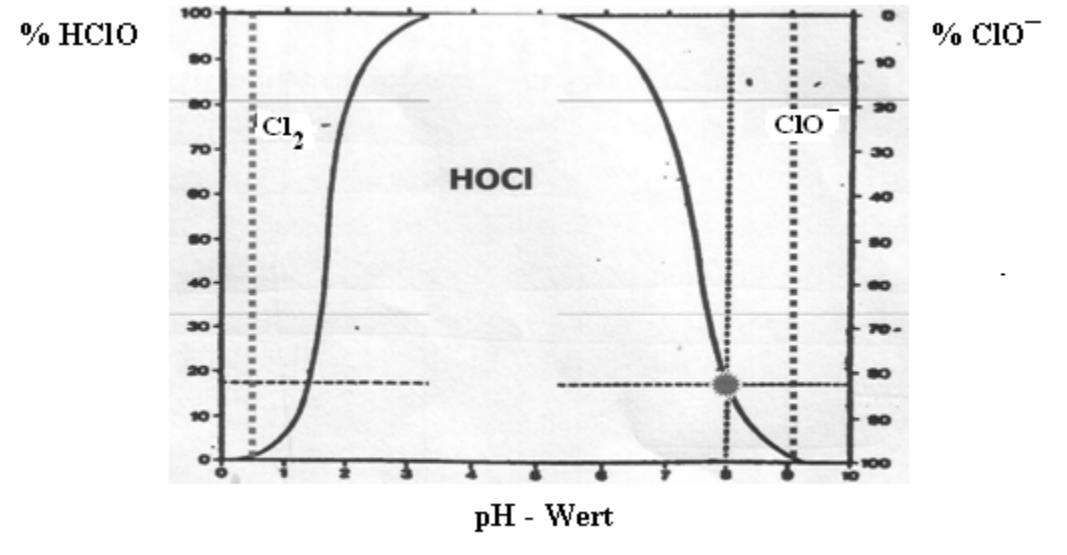
กรดเกลือ (HCl) สามารถแตกตัวได้อย่างสมบูรณ์กลายเป็น H^+ และ Cl^- แต่กรดไฮโปรคลอรัส (HOCl) เป็นกรดอ่อนจึงแตกตัวได้เพียงบางส่วน ดังสมการที่ (2)

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

ด้วยเหตุนี้ในน้ำจึงมีคลอรีนที่อยู่ในรูป HOCl OCl^- และมีก๊าซคลอรีนเหลืออยู่ในรูปอิสระบ้างเล็กน้อย กรดที่เกิดขึ้นส่งผลให้พีเอชมีค่าลดลง แต่ไม่ทำให้ประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อโรคลดลง ดังแสดงในภาพที่ 1 ซึ่งจะเห็นได้ว่าถ้าพีเอชต่ำน้ำจะมี HOCl มาก ในทางตรงกันข้ามถ้าน้ำมีพีเอชสูงจะมี OCl^- มาก (มั่นสิน, 2539) โดยที่พีเอชของน้ำต่ำกว่า 1 คลอรีนอิสระคงเหลือจะอยู่ในรูปของก๊าซ (Cl_2) ทั้งหมดและจะระเหยสู่บรรยากาศ ที่พีเอช 1-3.5 คลอรีนอิสระจะอยู่ในรูปของก๊าซ และ HOCl ที่พีเอชในช่วง 3.5-5.5 คลอรีนอิสระจะอยู่ในรูป HOCl ทั้งหมด ที่พีเอชในช่วง 5.5-9 จะอยู่ในรูปของ HOCl และ OCl^- และที่พีเอชตั้งแต่ 9 ขึ้นไป จะอยู่ในรูป OCl^- ดังภาพที่ 2



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



ภาพที่ 2 ผลของพีเอชและการเปลี่ยนแปลงชนิดของคลอรีนอิสระคงเหลือ
ที่มา : การประปานครหลวง (2550)

สารไฮโปรคลอไรต์ที่ใช้ในการฆ่าเชื้อโรคเพื่อปรับปรุงคุณภาพน้ำมี 2 ชนิดคือ โซเดียมไฮโปรคลอไรต์และแคลเซียมไฮโปรคลอไรต์ โดยที่โซเดียมไฮโปรคลอไรต์มักอยู่ในรูปสารละลายที่มีสีขาวอมเขียว และมีความเข้มข้นของคลอรีนประมาณร้อยละ 12-15 ซึ่งมีเสถียรภาพต่ำกว่าแคลเซียมไฮโปรคลอไรต์และเสื่อมสภาพได้อย่างรวดเร็ว ดังนั้นจึงควรเก็บไว้ในที่มืดและที่อุณหภูมิไม่เกิน 30 °ซ ส่วนแคลเซียมไฮโปรคลอไรต์มักอยู่ในรูปผงหรือเกล็ดสีขาวอมเหลืองและมีความเข้มข้นของคลอรีนประมาณร้อยละ 65 - 75 โดยก่อนนำมาใช้งานมักเตรียมให้อยู่ในรูปสารละลายก่อน โดยส่วนใหญ่มักเตรียมให้มีความเข้มข้นไม่เกินร้อยละ 3 มีสภาพเป็นด่างที่มีฤทธิ์กัดกร่อนจึงควรใช้วัสดุทนต่อสภาพดังกล่าว

สารประกอบคลอรีนที่อยู่ในรูปแคลเซียมไฮโปรคลอไรต์และโซเดียมไฮโปรคลอไรต์เมื่อละลายน้ำจะแตกตัวเป็นกรดไฮโปรคลอรัสและสารประกอบไฮดรอกไซด์ ดังสมการที่ (3) และ (4)

$$Ca(OCl)_2 + 2H_2O \longrightarrow 2HOCl + Ca(OH)_2 \quad (3)$$

$$NaOCl + H_2O \longrightarrow HOCl + Na^+ + OH^- \quad (4)$$

กรดไฮโปรคลอรัสที่เกิดขึ้นจะแตกตัวเป็นไอออนไฮโปรคลอไรต์ต่อไปดังสมการที่ (2) โดยปกติคลอรีนในรูปกรดไฮโปรคลอรัส (HOCl) และไอออนไฮโปรคลอไรต์ (OCl^-) เรียกว่า Free

Chlorine หรือ คลอรีนอิสระ ซึ่งมีความสามารถในการฆ่าเชื้อโรคในน้ำสูง โดยเฉพาะสารประกอบคลอรีนในรูปกรดไฮโปรคลอรัสมีความสามารถในการฆ่าเชื้อสูงที่สุด โดยจะสูงกว่าไอออนไฮโปรคลอไรต์ 40- 80 เท่า

เนื่องจาก HOCl มีอำนาจในการฆ่าเชื้อโรคสูงกว่า OCl^- หลายเท่า การทำคลอริเนชันที่พีเอชต่ำ จึงได้ผลมากกว่าที่พีเอชสูง (มั่นสิน, 2539) ดังนั้นเพื่อให้ประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อโรคสูงควรจะมีคลอรีนในรูปของ HOCl เหลืออยู่ในน้ำ ตามคำแนะนำขององค์การอนามัยโลก สำหรับการฆ่าเชื้อโรคในน้ำทั้งแบคทีเรียและไวรัสโดยทั่วไป ปริมาณคลอรีนอิสระที่เหลืออยู่ในน้ำเมื่อเวลาผ่านไป 30 นาที ต้องไม่ต่ำกว่า 0.5 mg/l โดยที่พีเอชของน้ำต้องไม่สูงกว่า 8 และความขุ่นต้องไม่เกิน 1 NTU

2.1.2 ปัจจัยที่มีผลในการฆ่าเชื้อโรคด้วยคลอรีนในน้ำ

1) รูปแบบของคลอรีน

คลอรีนที่สามารถฆ่าเชื้อโรคได้ มี 2 รูปแบบ ได้แก่ คลอรีนอิสระ (Free Chlorine) และ คลอรีนรวม (Combines Chlorine) โดยคลอรีนอิสระมีประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อโรคได้ดีกว่าคลอรีนรวมประมาณ 40-80 เท่า

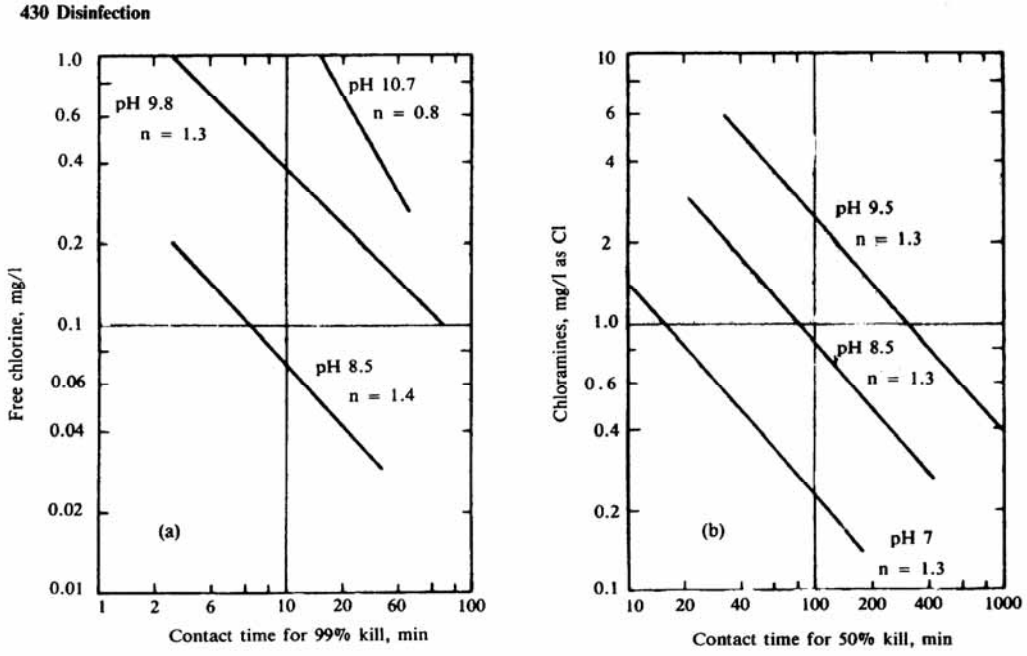
2) ความเข้มข้นของคลอรีน

ความเข้มข้นของคลอรีนสามารถวัดได้จากปริมาณของคลอรีนที่ตกค้างอยู่ในน้ำ (Chlorine Residual) เนื่องจากเมื่อเติมคลอรีนลงไปในน้ำ คลอรีนจะทำปฏิกิริยากับสารต่างๆได้อย่างรวดเร็ว ถ้าเติมคลอรีนน้อยเกินไปก็จะไม่มีคลอรีนเหลือตกค้าง แต่ถ้าเติมคลอรีนให้มากเกินพอ หลังจากทำปฏิกิริยากับสารต่างๆแล้ว ก็จะมีคลอรีนอิสระหรือคลอรีนรวมเหลือตกค้างอยู่ในน้ำ สามารถใช้ฆ่าเชื้อโรคในน้ำได้ ปริมาณของคลอรีนที่ใช้ในการทำปฏิกิริยากับสารในน้ำเรียกว่า “Chlorine Demand” หรือ “ความต้องการคลอรีน” ดังนั้นปริมาณคลอรีนที่เติมเพื่อฆ่าเชื้อโรคในน้ำจึงหมายถึง “ความต้องการคลอรีน” รวมกับ “ปริมาณคลอรีนที่ต้องการให้ตกค้างเพื่อสำรองไว้ฆ่าเชื้อโรค” ระดับคลอรีนตกค้างนั้นในน้ำประปาไม่ควรน้อยกว่า 0.5 มก./ล. แต่ถ้าหากคลอรีนตกค้างสูงเกินไปก็จะทำให้เกิดกลิ่นไม่พึงประสงค์ได้

3) พีเอช

HOCl มีอำนาจในการฆ่าเชื้อได้ดีกว่า OCl^- เป็นอย่างมาก ดังนั้นพีเอชต่ำจึงเป็นสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการฆ่าเชื้อโรคในน้ำ เนื่องจากคลอรีนจะอยู่ในรูปของ HOCl ที่พีเอชต่ำ

ทำให้ไม่สิ้นเปลืองคลอรีนในการใช้แต่ละครั้ง (มั่นสิน, 2539) ในทางกลับกัน ถ้าพีเอชสูง คลอรีนอิสระจะอยู่ในรูปของ OCl^- ซึ่งจะทำให้ประสิทธิภาพในการทำลายเชื้อโรคต่ำลงมาก ความสำคัญของ pH ความสำคัญของพีเอชอาจเห็นได้จากภาพที่ 3



ภาพที่ 3 ความสำคัญของพีเอชและเวลาสัมผัสในการฆ่าเชื้อโรคของคลอรีนรูปต่างๆ
ที่มา : มั่นสิน (2539)

4) เวลาสัมผัส

เวลาสัมผัสที่เหมาะสมจะทำให้การฆ่าเชื้อโรคมีประสิทธิภาพ เวลาสัมผัสขึ้นอยู่กับปริมาณและชนิดของคลอรีนที่ใช้เป็นสำคัญ ถ้าใช้คลอรีนมากเวลาสัมผัสอาจต่ำได้ แต่ถ้าใช้คลอรีนน้อยก็จำเป็นต้องมีเวลาสัมผัสนาน หากมีคลอรีนอิสระมากเวลาสัมผัสก็ไม่จำเป็นต้องสูง เนื่องจากคลอรีนอิสระมีอำนาจสูงและฆ่าเชื้อโรคได้รวดเร็ว แต่ถ้าใช้คลอรีนรวม (Combined Chlorine) ต้องให้มีเวลาสัมผัสนานกว่า ทั้งนี้เพื่อให้มีความมั่นใจว่าเกิดการฆ่าเชื้อโรคได้อย่างแน่นอน

5) ความขุ่นของน้ำ

อนุภาคความขุ่นอาจเป็นเกราะกำบังให้กับเชื้อโรคหรือจุลินทรีย์อื่นๆ ทำให้คลอรีนไม่สามารถเข้าไปสัมผัสได้ ดังนั้นการฆ่าเชื้อโรคจะให้ผลดีก็ต่อเมื่อน้ำมีความใสสูง เช่น

น้ำที่ผ่านเครื่องกรองแล้ว เป็นต้น (มั่นสิน, 2539) ตารางที่ 1 แสดงถึงผลของสารปนเปื้อนในน้ำต่อการเติมคลอรีน

ตารางที่ 1 ผลของสารปนเปื้อนในน้ำต่อการเติมคลอรีน

สารปนเปื้อน	ผลที่เกิดขึ้น
BOD COD TOC	ทำให้ chlorine demand สูงขึ้น เนื่องจากถูกออกซิไดซ์ด้วยคลอรีน
Humic material	ทำให้ประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อโรคต่ำลง เนื่องจากทำปฏิกิริยากับคลอรีนเกิดเป็น chlorinated organic compounds ซึ่งไม่สามารถฆ่าเชื้อโรคได้
FOG	ทำให้ chlorine demand สูงขึ้น
TSS	ทำให้ประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อโรคต่ำลง เนื่องจากลดโอกาสที่คลอรีนจะสัมผัสกับเชื้อโรค
Ammonia	ทำให้ประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อโรคต่ำลง เนื่องจากทำปฏิกิริยากับคลอรีนเกิดเป็น chloramines ซึ่งมีความสามารถในการฆ่าเชื้อโรคต่ำกว่าคลอรีนอิสระ
Nitrite	ทำให้ chlorine demand สูงขึ้น เนื่องจากถูกออกซิไดซ์ด้วยคลอรีน เกิดเป็นสารกลุ่ม nitrosamines
Nitrate	ทำปฏิกิริยาเกิดเป็นสารกลุ่ม nitrosamines
เหล็กและแมงกานีส	ทำให้ chlorine demand สูงขึ้น เนื่องจากถูกออกซิไดซ์ด้วยคลอรีน
pH	มีผลต่อรูปแบบของคลอรีน

ที่มา : มัลลิกา (2549)

2.2 สารตกค้างจากการฆ่าเชื้อโรคด้วยคลอรีน

สิ่งที่ควรคำนึงถึงเป็นอย่างมากจากการฆ่าเชื้อโรคด้วยคลอรีนคือการเกิดสารตกค้างประเภทต่างๆ ซึ่งสามารถแบ่งเป็น 3 กลุ่ม ได้แก่

1) สารตกค้างที่มีคุณสมบัติในการฆ่าเชื้อโรค (disinfectant residuals) ได้แก่ คลอรีนอิสระ (Free chlorine) คลอรามีน (chloramines)

2) สารตกค้างประเภทสารอนินทรีย์ (inorganic by-products) ตัวอย่างของสารกลุ่มนี้ได้แก่ คลอเรตอิออน คลอไรท์อิออน เป็นต้น

3) สารตกค้างประเภท halogenated organic by-products ตัวอย่างของสารกลุ่มนี้ ได้แก่ สารประกอบกลุ่ม trihalomethanes กลุ่ม haloacetic acids กลุ่ม haloacetonitriles กลุ่ม haloketones กลุ่ม chlorophenols เป็นต้น

2.2.1 การเกิดสารตกค้างจากการฆ่าเชื้อโรคด้วยคลอรีน

สารตกค้างที่เกิดจากการฆ่าเชื้อโรคเกิดจากการทำปฏิกิริยาระหว่างสารฆ่าเชื้อโรคกับสารอื่น ๆ ที่อยู่ในสระว่ายน้ำ สารตั้งต้นที่ทำให้เกิดสารตกค้างมีทั้งสารอนินทรีย์ โดยเฉพาะ Br^- และ สารอินทรีย์ธรรมชาติในน้ำ นอกจากนี้สารอินทรีย์ส่วนหนึ่งจะมาจากผู้ใช้บริการสระว่ายน้ำ ซึ่งจะมีการปล่อยปัสสาวะ เหงื่อ น้ำมัน เครื่องสำอางค์ และคราบสบู่ ซึ่งจะทำปฏิกิริยากับสารฆ่าเชื้อโรค สารตกค้างที่เกิดจากการรวมตัวกับสารฆ่าเชื้อโรคในสระว่ายน้ำจะมีปริมาณที่น้อยกว่าเมื่อเทียบกับการฆ่าเชื้อโรคในน้ำประปา แต่ในความเป็นจริงน้ำตั้งต้นที่เข้าสระว่ายน้ำส่วนใหญ่จะเป็นน้ำประปาที่ประกอบไปด้วยสารฆ่าเชื้อโรคและสารตกค้าง การนำน้ำในสระว่ายน้ำเวียนกลับมาบำบัดใหม่จะเป็นการเพิ่มปริมาณสารตั้งต้นและสารฆ่าเชื้อโรคซึ่งจะทำให้ปริมาณของสารตกค้างมีมากกว่าในน้ำประปา ในสระว่ายน้ำที่ใช้น้ำจืดจะพบ THMs ส่วนใหญ่ในรูปของคลอโรฟอร์ม (chloroform) ทั้งในน้ำและอากาศ ในสระว่ายน้ำที่ใช้น้ำทะเล จะพบ THMs ส่วนใหญ่ในรูปของโบรโมฟอร์ม (bromoform) (WHO, 2000)

2.2.2 ความเป็นอันตรายของสารตกค้าง

องค์การอนามัยโลก (WHO) (2000) รายงานว่าสารตกค้างประเภท halogenated organic by-products กลุ่มที่มีความเข้มข้นสูงสุดคือสารประกอบกลุ่มไตรฮาโลมีเทน US-EPA (1999) รายงานว่าสารตกค้างจากกระบวนการเติมคลอรีนบางชนิดเป็นสารก่อมะเร็ง (carcinogen) ในระดับต่างๆกัน ดังแสดงในตารางที่ 2

สารตกค้างประเภท halogenated organic by-products บางชนิดส่งผลต่อความสามารถในการสืบพันธุ์ การคลอด ระบบไหลเวียนโลหิต และอาจส่งผลต่ออวัยวะภายใน เช่น ตับ ไต เป็นต้น ตัวอย่างเช่น สารโบรโมไดคลอโรมีเทน (bromodichloromethane) มีผลต่อระบบสืบพันธุ์ สารไดโบรโมคลอโรมีเทน (dibromochloromethane) มีผลต่อระบบประสาท ตับ ไต และระบบสืบพันธุ์ สารไตรคลอโรอะซิติก แอซิด (trichloroacetic acid) มีศักยภาพในการก่อมะเร็งและมีผลต่อระบบสืบพันธุ์

ตารางที่ 2 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
1,1 - Dichloropropanone	-
1,1,1 - Trichloropropanone	-
Chloropicrin	-
Chloral Hydrate	C
Cyanogen Chloride	-

หมายเหตุ ศักยภาพของการก่อมะเร็งมีดังนี้

ระดับ A หมายถึง เป็นสารก่อมะเร็งในมนุษย์

ระดับ B หมายถึง สามารถก่อมะเร็งในมนุษย์ได้

ระดับ C หมายถึง อาจจะก่อมะเร็งในมนุษย์ได้

ระดับ D หมายถึง ไม่มีหลักฐานเพียงพอที่จะระบุว่าเป็นสารก่อมะเร็ง

ที่มา : US-EPA (1999)

ทั้งนี้ประเทศต่างๆได้มีการศึกษาถึงปริมาณความเข้มข้นสารประกอบ chlorine by-products ในน้ำประปา ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ความเข้มข้นของสารประกอบ Chlorine by products ในน้ำประปาของประเทศต่างๆ

จุดเก็บตัวอย่าง	ชนิดของ THMs	ความเข้มข้น (µg/L)	เอกสารอ้างอิง
Ankara , Turkey	Total THMs	25 - 110	Tokmak et al. (2004)
Hanoi , Vietnam	$CHCl_3$ $CHCl_2Br$ $CHClBr_2$ $CHBr_3$	< 0.3-11 0.5-7.3 0.3-22.3 1.2-18.5	Duong et al.(2003)
Malasia - Tampin district - Sabak Bernam district	 Total THMs Total THMs	 18.59-68.82 54.64-89.83	Abdullah et al. (2003)
Canada	Total THMs	14-141	Serodes et al. (2003)
เทศบาลนครนครปฐม	$CHCl_3$ $CHCl_2Br$ $CHClBr_2$ $CHBr_3$ Total THMs	6.72-29.19 1.12-11.75 0.63-3.35 0.08-3.40 12.70-41.74	มัลลิกาและผ่องศรี (2550)
China	CHCl3 CHCl2Br CHClBr2 CHBr3 Total THMs	ND-44.91 ND-32.61 ND-18.48 ND-4.54 ND-92.77	Ye et al. (2009)

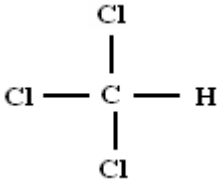
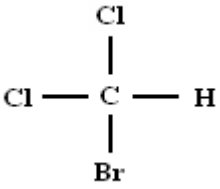
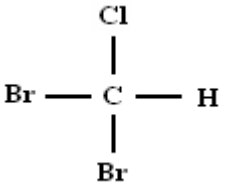
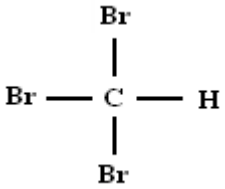
2.3 สารไตรฮาโลมีเทน

สารไตรฮาโลมีเทนเกิดจากการทำปฏิกิริยาทางเคมีระหว่างคลอรีนอิสระกับสารอินทรีย์ธรรมชาติในน้ำ เกิดเป็นสารประกอบฮาโลเจนที่มีคาร์บอน 1 ตัวเป็นองค์ประกอบ มีสูตรทั่วไป คือ CHX_3 โดยตำแหน่งของ X อาจมีการแทนที่ด้วย ฟลูออรีน (F) ไอโอดีน (I) คลอรีน (Cl) โบรมีน (Br) หรือธาตุเหล่านี้ทุกตัวรวมกัน สารกลุ่มที่พบมากในน้ำประปา มี 4 ชนิด ได้แก่ คลอโรฟอร์ม (Chloroform , $CHCl_3$) โบรโมไดคลอโรมีเทน (Bromodichloromethane , $CHCl_2Br$) ไดโบรโมคลอโรมีเทน (Dibromochloromethane , $CHClBr_2$) และโบรโมฟอร์ม (Bromoform , $CHBr_3$) ดังตารางที่ 4

สารไตรฮาโลมีเทนในน้ำประปาเกิดจากปฏิกิริยาระหว่างคลอรีนอิสระกับสารอินทรีย์ธรรมชาติในน้ำ เช่น กรดฮิวมิก และกรดฟัลวิก โดยปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นสามารถเขียนได้ดังสมการต่อไปนี้

$$\text{Organic} + \text{Free Chlorine} + (Br^- \text{ or } Cl^-) \longrightarrow \text{THMs} + \text{Other By Product}$$

ตารางที่ 4 สูตรโครงสร้างสารกลุ่มไตรฮาโลมีเทน

รูปแบบสารไตรฮาโลมีเทน	สูตรทางเคมี	โครงสร้างทางเคมี
คลอโรฟอร์ม (Chloroform)	$CHCl_3$	
โบรโมไดคลอโรมีเทน (Bromodichloromethane)	$CHCl_2Br$	
ไดโบรโมคลอโรฟอร์ม (Dibromochloroform)	$CHClBr_2$	
โบรโมฟอร์ม(Bromoform)	$CHBr_3$	

ที่มา : วสุรี (2546)

2.3.1 ความเป็นอันตรายของสารไตรฮาโลมีเทน

โดยปกติมนุษย์จะได้รับคลอโรฟอร์มได้จากอาหาร อากาศ และน้ำ โดยได้รับสารพิษชนิดนี้จาก บริเวณปากและช่องท้องซึ่งเป็นบริเวณที่สารสามารถถูกดูดซึมได้ดี ซึ่งจะส่งผลให้ประสาทส่วนกลางรับรู้ลดลง เกิดอาการมึน จนถึงขั้นอาจสลบได้ และมีผลต่อสุขภาพในระยะยาว คือ เป็นพิษต่อตับ ไต และทำให้เกิดมะเร็งได้ นอกจากจะทำลายอวัยวะทั้งสองนี้แล้ว คลอโรฟอร์มยังมีคุณสมบัติในการละลายได้ดีในไขมันทำให้สามารถแพร่ผ่านรกเข้าสู่ตัวอ่อน จึงอาจเป็นอันตรายต่อทารกในครรภ์ จากการทดลองในสัตว์ทดลองพบว่าคลอโรฟอร์มทำให้เกิดการเปลี่ยนโครงสร้างยีนส์ของไข่และเสปิร์มด้วย

Capece (1998) กล่าวว่า นอกจากการรับเอาสารไตรฮาโลมีเทนเข้าทางปาก และระบบหายใจแล้ว สารไตรฮาโลมีเทนยังสามารถเข้าสู่ร่างกายทางผิวหนังอีกด้วย ซึ่งจากการศึกษาใน

วอชิงตัน พบว่าคนที่อาบน้ำด้วยฝักบัวเป็นเวลา 10 นาที สามารถรับเอาสารไตรฮาโลมีเทนเข้าสู่ทางร่ายกายได้มากเท่ากับการดื่มน้ำที่มีไตรฮาโลมีเทนเข้าไป 5 แก้ว

Brodtmann et al. (1979) ได้กล่าวถึงรายงานการวิจัยของสถาบันมะเร็งแห่งชาติประเทศสหรัฐอเมริกา เมื่อทดลองกับสัตว์ทดลอง คือ หนู เมื่อได้รับคลอโรฟอร์มเข้าไปในปริมาณ 90 และ 180 mg/kg ของหนูตัวผู้เป็นเวลา 78 สัปดาห์ และในหนูตัวเมีย 125 และ 250 mg/kg ของหนูตัวเมียใน 22 สัปดาห์แรก แล้วจึงให้เท่ากับหนูตัวผู้จนครบ 111 สัปดาห์ ผลการทดลองพบว่าคลอโรฟอร์มทำให้หนูเป็นเนื้องอกที่ตับและสามารถทำให้เกิดมะเร็งในหนูที่ทดลอง ทั้งยังพบว่าสารประกอบโบรโมไฮโดรคาร์บอน (Bromo Hydrocarbon) เป็นอันตรายต่อยีน (Gene) ของหนูโดยเป็นตัวเหนี่ยวนำทำให้เกิดเนื้องอกที่ตับ และกระเพาะอาหารของหนู

ในการศึกษาการเกิดสารพิษของไดโบรโมคลอโรมีเทน (Dibromochloromethane) พบว่ามีปริมาณ LD_{50} ซึ่งได้จากการทดลองกับหนู (Swiss ICR Mice) มีค่าเท่ากับ 1200 mg/kg สำหรับหนูตัวเมีย และ 800 mg/kg สำหรับหนูตัวผู้ แต่ยังไม่เคยมีรายงานการเป็นพิษในคน เมื่อทำการชันสูตรศพหนูที่ตายจากการได้รับสารพาของไดโบรโมคลอโรมีเทน พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงของเนื้อเยื่อที่ตับและไต โดยมีการสะสมของไขมันในตับและมีเลือดออกในไต แต่ไม่พบการเปลี่ยนแปลงในเนื้อเยื่อชนิดอื่น

การเกิดพิษของโบรโมฟอร์ม (Bromoform) จะคล้ายกับคลอโรฟอร์ม โดยมีค่า LD_{50} ที่ 1,820 mg/kg ในการทดลองฉีดโบรโมฟอร์มใส่ช่องท้องของหนูตัวผู้ จำนวน 6 ครั้ง ในเวลา 2 สัปดาห์ หนูจะเริ่มมีอาการเมื่อ 10 mg/kg และการทดลองสภาวะเดียวกันแต่ใช้โบรโมไดคลอโร-มีเทน ปริมาณที่ทนได้สูงสุดก่อนแสดงอาการ คือ 100 mg/kg

สำนักงานคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ (2527) อ้างโดยอนรรฆมิยา (2546) ได้รวบรวมผลการศึกษาทางพิษวิทยาของสารกลุ่มไตรฮาโลมีเทน และนำเสนอในการสัมมนาเรื่อง Trihalomethane in Drinking Water in Bangkok tropolitan Area เมื่อเดือนกรกฎาคม 2527 ได้รายงานว่า อาการเฉียบพลันที่เกิดจากคลอโรฟอร์มจะเกิดขึ้นที่ระบบหายใจ ส่วนที่ตับจะเกิดการสะสมที่ไขมัน และเกิดเนื้อเยื่อตายด้าน ส่วนที่ไตจะมีการเสียหายของท่อลำเลียง (Convolated Tubules) และมีการเปลี่ยนแปลงเยื่อบุของไต

การศึกษาด้านระบาดวิทยา มีการศึกษาเกี่ยวกับการเกิดสารพิษ สรุปว่าคลอโรฟอร์มเป็นสาเหตุก่อมะเร็งในสัตว์กัดแทะหรือหนูที่ทดลองในระดับความเข้มข้นที่สูง เนื่องจากรูปแบบการ เมตาโบลีซึม (Metabolism Pattern) ในสัตว์มีคล้ายกับในคน ดังนั้นสามารถกล่าวได้ว่าคลอโรฟอร์มอาจเป็นสารก่อมะเร็งต่อคนได้เช่นกัน

Kuzma et al. (1977) อ้างโดย อนรรฆิยา (2546) ทำการศึกษาใน 88 เมืองของรัฐโอไฮโอ โดยเลือกกลุ่มตามประเภทของแม่น้ำที่ใช้ผลิตน้ำประปา และทำการวิเคราะห์แบบ Step Analysis พบว่าอัตราการตายจากมะเร็งกระเพาะอาหาร มะเร็งกระเพาะปัสสาวะ และมะเร็งทุกชนิด จะสูงขึ้นเล็กน้อยในชายผิวขาว เมื่อเทียบกับการใช้น้ำดื่มจากแหล่งน้ำแม่น้ำโอไฮโอ และพบว่าในหญิงผิวขาวที่บริโภคน้ำประปาซึ่งผลิตจากแหล่งน้ำผิวดิน มีอัตราการตายจากมะเร็งกระเพาะอาหารมากกว่าหญิงที่บริโภคน้ำประปาที่ผลิตจากแหล่งน้ำใต้ดินอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

นักวิทยาศาสตร์จากประเทศอังกฤษได้ศึกษาพบว่าในสระน้ำมีสารเคมีที่เรียกว่าไตรฮาโลมีเทน (Trihalomethane) สูงมากผิดปกติและสูงกว่าในน้ำประปา สารเคมีนี้เป็นผลพลอยได้ที่เกิดจากคลอรีนในน้ำได้สัมผัสกับฝุ่นละออง เหงื่อหรือผิวหนังของผู้ใช้บริการและเคยมีรายงานว่าสารไตรฮาโลมีเทนมีความสัมพันธ์กับการแท้งลูกหรือมีลูกที่พิการ นอกจากนี้นักวิจัยจากอิมพีเรียลคอลเลจในกรุงลอนดอน ประเทศอังกฤษ ได้ให้ข้อมูลว่าเคยมีผลการศึกษาวิจัยพบว่าหากลงว่ายน้ำในสระน้ำนานหนึ่งชั่วโมงอาจจะได้รับสารไตรฮาโลมีเทนในปริมาณมากถึง 141 เท่าเมื่อเทียบกับการอาบน้ำประปาจากฝักบัวเพียง 10 นาทีและผู้ที่ลงว่ายน้ำมีโอกาสดูดซับสารเคมีหลายชนิดผ่านทางผิวหนังหรือสูดดมกลิ่นไอระเหยหรืออาจจะรับจากการกลืนน้ำเข้าไป ดังนั้นเพื่อความปลอดภัยของผู้ใช้สระว่ายน้ำในอังกฤษจึงขอให้หน่วยงานต่าง ๆ ของรัฐได้มีการตรวจคุณภาพของสระว่ายน้ำให้ได้ตามมาตรฐานที่กำหนด (บัญญัติ, 2547)

2.3.2 ปัจจัยที่มีผลในการเกิดสารตกค้างจากการฆ่าเชื้อโรคด้วยคลอรีน

ปัจจัยที่มีผลในการเกิดสารประกอบ chlorine by-products ได้แก่ สารอินทรีย์ธรรมชาติในน้ำดิบ โบรไมด์อิออน พีเอช และอุณหภูมิของน้ำ ปริมาณคลอรีนที่เติม ซึ่งน้ำในสระว่ายน้ำจะใช้น้ำประปาเป็นน้ำตั้งต้นและมีการฆ่าเชื้อโรคด้วยคลอรีนเช่นเดียวกับระบบประปา ในที่นี้จะกล่าวถึงปัจจัยที่สำคัญดังนี้

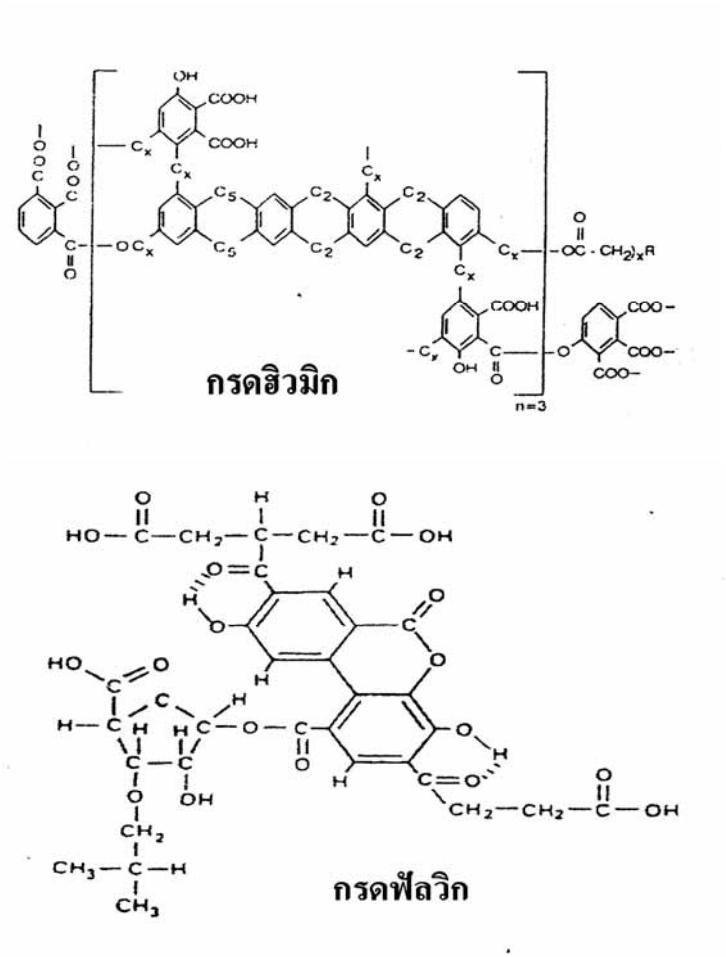
1) สารอินทรีย์ธรรมชาติ (Natural organic matter , NOM) ในน้ำดิบ

สารอินทรีย์ธรรมชาติเป็นปัจจัยหลักที่มีผลต่อการเกิดสารประกอบ chlorine by-products สารอินทรีย์ธรรมชาติในน้ำเป็นของผสมระหว่างสารประกอบฮิวมิก (humic substances) ซึ่งประกอบด้วยกรดฮิวมิกและกรดฟัลวิก และสารที่ไม่ใช่สารประกอบฮิวมิก (non-humic material) จากการตรวจเอกสารของปิยรัตน์ (2545) พบว่า สารฮิวมิกมีอยู่ทั่วไปในน้ำและแหล่งน้ำตามธรรมชาติ รวมถึงมีอยู่ทั่วไปในดิน ในตะกอนของคลอง หนอง บึง ทะเลสาบ และมหาสมุทร โดยในปัจจุบันเราพบว่าอินทรียวัตถุในดินมีฮิวมิกเป็นองค์ประกอบประมาณร้อยละ 60 สำหรับ

แหล่งน้ำในธรรมชาติทั้งในน้ำจืดและในมหาสมุทรมีสารฮิวมิกอยู่ประมาณร้อยละ 50 ซึ่งสารฮิวมิกนี้จะอยู่ในรูปของสารอินทรีย์ที่ละลายน้ำได้

Kim and Yu (2005) รายงานว่าโดยทั่วไปแล้วประมาณหนึ่งในสองหรือหนึ่งในสามของสารอินทรีย์ละลายน้ำเป็นสารประกอบฮิวมิกซึ่งเป็นสารไม่มีขั้ว (hydrophobic)

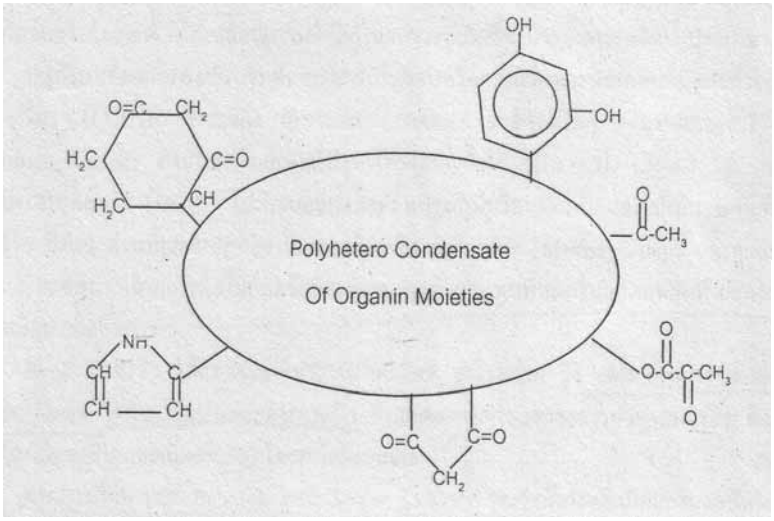
โครงสร้างกรดฮิวมิกและกรดฟัลวิกไม่เป็นที่ทราบแน่ชัด ส่วนมากมักเป็นโครงสร้างจากการทำนายหรือการตั้งสมมติฐานขึ้น อย่างไรก็ตามพอสรุปได้ว่ากรดฮิวมิกและกรดฟัลวิกเป็นโครงสร้างที่มีวงแหวนอะโรมาติกมากและมีหมู่ฟังชันนัลหลักเป็น –COOH และ –OH นอกจากนี้ยังอาจเป็นกลุ่มต่างๆ ได้แก่ –O- -$(CH2)_n$- -NH- -N- (Stevenson, 1994) ตัวอย่างโครงสร้างกรดฮิวมิกและกรดฟัลวิก แสดงดังภาพที่ 4



ภาพที่ 4 ตัวอย่างโครงสร้างกรดฮิวมิกและกรดฟัลวิก

ที่มา : Stevenson (1994)

Trussell and Umphres (1978) ได้เสนอรูปแบบโครงสร้างโมเลกุลของสารประกอบฮิวมิค ซึ่งประกอบด้วยกลุ่มของ Polyhetero Condensate มีโมเลกุลของสารอินทรีย์ที่ซับซ้อนโดยมีหมู่ฟังก์ชันต่างๆ ยื่นออกมาตามผิว ได้แก่ Carboxyl Phenolic Alcoholic Ketonic Quinonoid และ Methoxyl ดังแสดงในภาพที่ 5 หมู่ฟังก์ชันเหล่านี้มีผลต่อการละลายน้ำของสารประกอบฮิวมิก และเป็นส่วนที่คลอรีนอิสระจะมาทำปฏิกิริยาจนเกิดสาร THMs



ภาพที่ 5 โครงสร้างอย่างง่ายของสารประกอบฮิวมิก

ที่มา : Trussell and Umphres (1978)

Rook (1977) อ้างโดย อนรรฆิยา (2546) พบว่าเมทิลดรอกซีอะโรมาติกริง (Methyldroxy Aromatic Ring) หรือ m-dihydroxy ซึ่งเป็นกลุ่มบนสุดของภาพที่ 5 ซึ่งแสดงแบบจำลองของสารประกอบฮิวมิก คือกลุ่มที่มักจะทำปฏิกิริยากับคลอรีนและเกิดสารกลุ่มTHMs ขึ้น

จากการศึกษาของ Babcock และ Singer (1979) พบว่าทั้งกรดฮิวมิกและกรดฟัลวิกเป็นสารตั้งต้นของคลอโรฟอร์มในกระบวนการเติมคลอรีนซึ่งเป็นสารกลุ่ม THMs หากความเข้มข้นของกรดฮิวมิกและกรดฟัลวิกเท่ากัน กรดฮิวมิกจะทำให้เกิดคลอโรฟอร์มในปริมาณสูงกว่ากรด ฟัลวิก

Joyce et al. (1984) ศึกษามวลโมเลกุลของสารฮิวมิกมีผลต่อการเกิดคลอโรฟอร์ม พบว่าสารฮิวมิกที่มีมวลโมเลกุลต่ำจะทำให้เกิดคลอโรฟอร์มได้น้อยกว่าสารฮิวมิกที่มีมวลโมเลกุลสูง เนื่องจากจำนวนร้อยละของคาร์บอนเป็นองค์ประกอบน้อยกว่า จึงทำให้การกำจัดสารฮิวมิกที่มี

มวลโมเลกุลสูงออกไปได้ก่อน ทำให้ประสิทธิภาพในการลดปริมาณการเกิดคลอโรฟอร์มสูงขึ้นด้วย

Rook (1974) อ้างโดยอนรรฆมิยา (2546) ชี้ให้เห็นว่าสารกลุ่ม THMs จะเกิดขึ้นทันที ภายหลังการเติมคลอรีนในน้ำดิบที่มีสารอินทรีย์ธรรมชาติปนอยู่ และเขายังได้ยืนยันอีกว่าสารจำพวกฮิวเมต (Humate) ซึ่งพบในแหล่งน้ำผิวดินธรรมชาติ เป็นสารตั้งต้น (Precursors) ที่ทำปฏิกิริยากับคลอรีนในกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำเพื่อผลิตน้ำประปา และมีปริมาณที่พบได้เป็นหน่วย หนึ่งในล้านส่วน (ไมโครกรัมต่อลิตร)

สารอินทรีย์ธรรมชาติในน้ำ (NOM) สามารถวิเคราะห์ด้วยพารามิเตอร์ต่างๆ ได้แก่ สารอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมด (Total organic carbon, TOC) สารอินทรีย์คาร์บอนละลายน้ำ (Dissolved organic carbon, DOC) ค่า UV - 254 ซึ่งเป็นการวัดการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 253.7 nm ค่านี้แสดงลักษณะโครงสร้างของสารอินทรีย์ สารอินทรีย์ที่มีขนาดโมเลกุลใหญ่และมีส่วนประกอบของอะโรมาติกมากจะดูดกลืนแสง UV ที่ความถี่นี้ได้ดีกว่าสารอินทรีย์ที่มีขนาดโมเลกุลเล็กหรือสารอินทรีย์ที่มีโครงสร้างเป็นสายตรง นอกจากนั้นยังสามารถแสดงค่าความเป็นอะโรมาติก (aromaticity) ด้วยค่าการดูดกลืนแสงจำเพาะ (Specific ultraviolet absorbent, SUVA) ซึ่งคิดจาก (UV-254/DOC) x 100 ดังนั้นค่า UV-254 และ SUVA จึงเป็นค่าที่ใช้ในการบ่งบอกถึงปริมาณกรดฮิวมิกและกรดฟัลวิกในน้ำได้ (Rodriguez et al., 2004 และ Stevenson, 1994)

Reckhow et al. (1990) อ้างโดย WHO (2000) พบว่าสารประกอบฮิวมิกมีขนาดโมเลกุลใหญ่กว่าและประกอบ ด้วยโครงสร้างอะโรมาติกมากกว่าสารประกอบฟัลวิก และพบว่าสารประกอบที่มีขนาดโมเลกุลใหญ่และประกอบด้วยโครงสร้างอะโรมาติกมากจะทำปฏิกิริยากับคลอรีนเกิดสารตกค้างได้มาก ดังนั้นถ้าน้ำมีค่า UV-254 สูงจึงน่าจะมีศักยภาพในการเกิดสารตกค้างจากการฆ่าเชื้อโรคมาก ซึ่งตรงกับงานวิจัยของ Rodriguez , M.J., et al. (2004) ซึ่งพบว่าน้ำที่มีค่า SUVA สูงก็มีแนวโน้มที่น้ำจะมีสารประกอบฮิวมิกสูง ซึ่งสารนี้มีแนวโน้มที่จะเป็นสารตั้งต้นที่ก่อให้เกิดสาร THMs

Kim et al. (2002) ทำการทดลองในสระว่ายน้ำจำลอง พบว่าปริมาณสารอินทรีย์ที่สูงกว่าจะทำให้ปริมาณ disinfection by-product (DBPs) เพิ่มขึ้น โดยรูปแบบของ DBPs จากการทำปฏิกิริยา คือ chloroform ซึ่งเป็นสารประกอบหลักที่พบทั้งในน้ำใต้ดินและน้ำผิวดิน ในการทดลองครั้งนี้พบว่า สารอินทรีย์ที่เกิดจากผู้ใช้บริการสระว่ายน้ำ เช่น ผม โลชั่น น้ำลาย ผิวหนัง และปัสสาวะ ทำให้ระดับ DBPs ในสระว่ายน้ำเพิ่มขึ้น

2) โบรไมด์อิออน (Bromide Ion , Br^-)

โบรไมด์อิออนในน้ำดิบเป็นปัจจัยสำคัญที่จะก่อให้เกิดสารตกค้างกลุ่มนี้ เนื่องจากโบรไมด์อิออนจะถูกออกซิไดซ์เกิดเป็น โบรเมตอิออน โบรมีนอิสระ (free bromine) และกรด hypobromous ซึ่งสามารถทำปฏิกิริยากับสารอินทรีย์ในน้ำก่อให้เกิดสารตกค้างที่มีโบรมีนเป็นองค์ประกอบ เช่น bromoform, brominated acetic acid, bromopicrin เป็นต้น อัตราส่วนระหว่างโบรไมด์อิออนและปริมาณคลอรีนที่เติมในการฆ่าเชื้อโรค (chlorine dose) มีผลต่อการเกิดสารประกอบTHMs และการเกิดปฏิกิริยาแทนที่คลอรีนอะตอมในสารตกค้างโดยโบรมีนอะตอม เมื่ออัตราส่วนนี้สูงขึ้นจะทำให้เกิดสารตกค้างที่เกิดขึ้นมีองค์ประกอบของโบรมีนอะตอมมากขึ้น (Faust and Aly, 1997 และ US-EPA, 1999)

Ristoiu et al. (2009) พบว่าเมื่อความเข้มข้นของโบรไมด์เพิ่มขึ้นทำให้ความเข้มข้นของ THMs เพิ่มขึ้นและอยู่ในรูปของ brominated THMs มากขึ้น

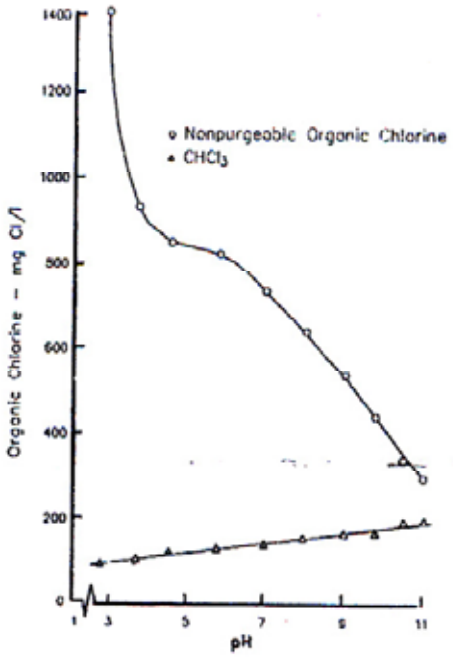
3) ปริมาณคลอรีนที่เติมเพื่อฆ่าเชื้อโรค (Chlorine Dosage) และเวลาสัมผัส (Chlorine Contact Time)

ปริมาณคลอรีนที่เติมจะมีผลต่อชนิดและความเข้มข้นของสารตกค้าง โดยเมื่อความเข้มข้นคลอรีนที่เติมเพิ่มขึ้นมีผลทำให้ความเข้มข้นของสารตกค้างสูงขึ้น

งานวิจัยหลายชิ้นพบว่าเมื่อระยะเวลาสัมผัสเพิ่มมากขึ้นก็จะเกิดสารไตรฮาโลมีเทนเพิ่มขึ้น Faust and Aly (1997) รายงานว่าหลังจากการเติมคลอรีนเพื่อฆ่าเชื้อโรคในน้ำ จะเกิดสารไตรฮาโลมีเทนอย่างรวดเร็วใน 4 ชั่วโมงแรก ปฏิกิริยาจะเกิดอย่างสมบูรณ์หลังจากเวลาผ่านไป 20 ชั่วโมง

4) พีเอชของน้ำ

สำหรับผลของพีเอชต่อการเกิดสารตกค้างนั้น งานวิจัยต่างๆยังมีผลที่ขัดแย้งกัน ตัวอย่างเช่น งานวิจัยของ Faust and Aly (1997) รายงานว่าโดยทั่วไปเมื่อพีเอชของน้ำเพิ่มขึ้นจะทำให้เกิดสารไตรฮาโลมีเทนมากขึ้น Rook (1976) อ้างโดยวสุรี (2546) ได้เสนอว่าการเกิดสารไตร-ฮาโลมีเทนจะเพิ่มขึ้นก็ต่อเมื่อ pH อยู่ในช่วงประมาณ 8-10 ในขณะที่ ช่วง pH 1-7 จะส่งผลกระทบต่อการเกิดสารไตรฮาโลมีเทนลดลง ดังนั้นเกิดสารไตรฮาโลมีเทนที่เพิ่มขึ้นจะขึ้นอยู่กับ pH ที่เพิ่มสูงขึ้นด้วย ดังแสดงในภาพที่ 6



ภาพที่ 6 ผลของ pH ต่อการเกิดของสารคลอโรฟอร์ม

ที่มา : Edward & George (1992) อ้างโดยกองสุขาภิบาลอาหารและน้ำ (2549)

5) อุณหภูมิและระยะเวลาสัมผัสของน้ำ

อุณหภูมิและระยะเวลาสัมผัสของน้ำจะส่งผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยา โดยอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นจะเป็นตัวเร่งให้เกิดปฏิกิริยาระหว่างคลอรีนกับสารอินทรีย์เร็วขึ้น ดังนั้นจึงส่งผลให้เกิดไตรฮาโลมีเทนเพิ่มขึ้นด้วย ดังแสดงในภาพที่ 7

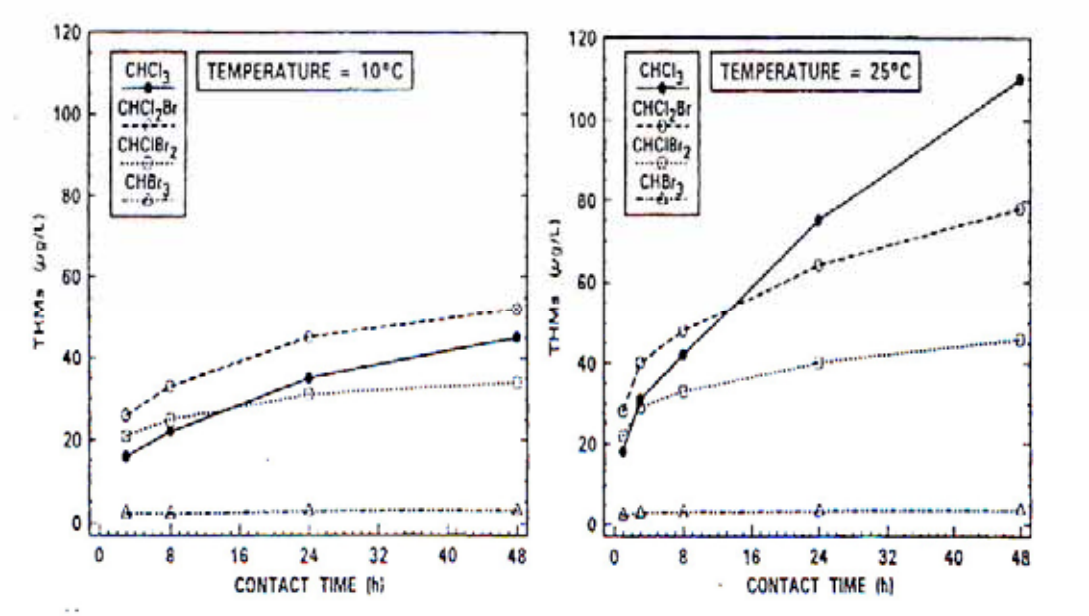
Abdullah et al. (2003) ได้ทำการเก็บตัวอย่างน้ำประปาจากเมือง Tampin และ Sabak bernam ประเทศมาเลเซีย ซึ่งทำการฆ่าเชื้อโรคด้วยการเติมคลอรีน เพื่อวิเคราะห์ปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อการเกิดสารประกอบกลุ่มไตรฮาโลมีเทน ผลการวิจัยสรุปว่าปัจจัยที่มีความสัมพันธ์อย่างเด่นชัดต่อการเกิด THMs ได้แก่ ปริมาณสารอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมด (TOC) และพีเอช ปัจจัยที่ไม่พบความสัมพันธ์ต่อการเกิด THMs ได้แก่ ความขุ่น อุณหภูมิ และปริมาณคลอรีนตกค้าง

ผลการวิจัยของ Rodriguez et al. (2004) ซึ่งเก็บตัวอย่างน้ำประปาจากประเทศแคนนาดา สรุปว่าปัจจัยหลักที่มีผลต่อความเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ THMs ได้แก่ ความเข้มข้นของสารอินทรีย์ในน้ำและอุณหภูมิ

Kim et al. (2002) ทำการทดลองในสระว่ายน้ำจำลอง เพื่อศึกษาปฏิกิริยา chlorination โดยใช้น้ำใต้ดินและน้ำผิวดินทำปฏิกิริยากับคลอรีน ที่อุณหภูมิ 30°C pH 7 เป็นเวลา

24 และ 72 ชั่วโมง ผลการทดลองพบว่าการเกิดปฏิกิริยาในระยะเวลายาวนานกว่า 72 ชั่วโมงจะทำให้ปริมาณ disinfection by-product (DBPs) เพิ่มขึ้น

Ristoiu et al. (2009) ทำการเก็บตัวอย่างน้ำประปาจากเมือง Cluj-Napoca, Dej, Jibou และ Beclean ประเทศโรมาเนีย เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดสารไตรฮาโลมีเทน ผลการวิจัยพบว่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นในช่วงฤดูร้อนทำให้เกิดปฏิกิริยาเร็วกว่าและความเข้มข้นของคลอรีนที่สูงกว่าจะทำให้เกิด THMs สูงกว่า โดยพบว่าความเข้มข้นของ THMs ในช่วงฤดูร้อนจะสูงกว่าช่วงฤดูหนาว



ภาพที่ 7 ผลของอุณหภูมิและระยะเวลาสัมผัสที่ส่งผลต่อการเกิดสารไตรฮาโลมีเทน
ที่มา : Krasner et al. (1996)

2.3.3 ความเข้มข้นของสารกลุ่มไตรฮาโลมีเทนในสระว่ายน้ำ

สระว่ายน้ำในแต่ละแห่งจะมีความเข้มข้นของสารไตรฮาโลมีเทนในน้ำและอากาศที่แตกต่างกัน โดยความเข้มข้นของ THMs ในสระว่ายน้ำในร่มมีความเข้มข้นสูงกว่าสระว่ายน้ำกลางแจ้ง ความเข้มข้นของ THMs ในอากาศบริเวณรอบสระว่ายน้ำจะลดลงเมื่อความสูงจากผิวน้ำเพิ่มขึ้นซึ่งสารไตรฮาโลมีเทนที่พบมากที่สุดทั้งในน้ำและในอากาศ คือคลอโรฟอร์ม ดังตารางที่ 5 และตารางที่ 6

ตารางที่ 5 ความเข้มข้นของสารไตรฮาโลมีเทนในน้ำสระว่ายน้ำ

ประเทศ	ความเข้มข้นของสารตกค้างจากการฆ่าเชื้อโรคในน้ำ (µg/L)								ลักษณะสระ	อ้างอิง*
	คลอโรฟอร์ม		โบรโมไดคลอโรมีเทน		ไดโบรโมคลอโรฟอร์ม		โบรโมฟอร์ม			
	เฉลี่ย	ช่วง	เฉลี่ย	ช่วง	เฉลี่ย	ช่วง	เฉลี่ย	ช่วง		
อิตาลี	-	19-94	-	2.3-14.7	-	0.2-0.8	-	-	ในร่ม	Aggazzotti et al., 1993
	93.7	9-179	-	-	-	-	-	-	ในร่ม	Aggazzotti et al., 1995
	33.7	25-43	2.3	1.8-2.8	0.8	0.5-10	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	14.6	2.4-29.8	-	-	-	-	-	-	ในร่ม	Eichelsdörfer et al., 1981
	43	14.6-111	-	-	-	-	-	-	กลางแจ้ง	Eichelsdörfer et al., 1981
	198	43-980	22.6	0.1-150	10.9	0.1-140	1.8	<0.1-88	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
	94.9	40.6-117.5	4.8	4.2-5.4	1.8	0.78-2.6	-	-	ในร่ม	Puchert et al., 1994

ที่มา : * อ้างโดย WHO (2000)

ตารางที่ 5 ความเข้มข้นของสารไตรฮาโลมีเทนในน้ำสระว่ายน้ำ (ต่อ)

ประเทศ	ความเข้มข้นของสารตกค้างจากการฆ่าเชื้อโรคในน้ำ (µg/L)								ลักษณะสระ	อ้างอิง**
	คลอโรฟอร์ม		โบรโมไดคลอโรมีเทน		ไดโบรโมคลอโรฟอร์ม		โบรโมฟอร์ม			
	เฉลี่ย	ช่วง	เฉลี่ย	ช่วง	เฉลี่ย	ช่วง	เฉลี่ย	ช่วง		
เกาหลี	40.7	0.2-101.7	3.0	ND-10.5	0.5	ND-5.6	ND	ND	ในร่ม	Lee et al., 2009
อิตาลี	33.2		4.2		1.9		0.4		ในร่ม	Fantuzzi et al., 2001
อังกฤษ	121.1	45-212	8.3	2.5-23	2.7	0.67-7	0.9	0.67-2	ในร่ม	Chu and Nieuwenhuijsen, 2002
สเปน		95-145		2-2.4					ในร่ม	Caro and Gallego, 2007

ที่มา : ** อ้างโดย Lee et al. (2009)

ตารางที่ 6 ความเข้มข้นของสารไตรฮาโลมีเทนในอากาศบริเวณเหนือสระว่ายน้ำ

ประเทศ	ความเข้มข้นของสารตกค้างจากการฆ่าเชื้อโรค ($\mu g/m^3$)								ลักษณะสระ [a]	อ้างอิง*
	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 [1)]	Aggazzotti et al.,1995
	140	49-280	17.4	2-58	13.3	4-30	0.2	-	ในร่ม [1)]	Aggazzotti et al.,1993
	169	35-195	20	16-24	11.4	9-14	0.2	-	ในร่ม [1)]	Aggazzotti et al.,1998
แคนาดา		597-1630							ในร่ม	Lévesque et al.,1994
เยอรมนี	65	-	9.2	-	3.8	-	-	-	ในร่ม [1)]	Jovanovic et al.,1995
	36	-	5.6	-	1.2	-	-	-	ในร่ม [2)]	
	5.6	-	0.21	-	-	-	-	-	กลางแจ้ง [1)]	
	2.3	-	-	-	-	-	-	-	กลางแจ้ง [2)]	
	3.3	0.33-9.7	0.4	0.08-2.0	0.1	0.02-0.5	<0.03	-	กลางแจ้ง [1)]	Stottmeister,1998,1999
	1.2	0.36-2.2	0.1	0.03-0.16	0.05	0.03-0.08	<0.03	-	กลางแจ้ง [2)]	
	39	5.6-206	4.9	0.85-16	0.9	0.05-3.2	0.1	<0.03-3.0	ในร่ม [1)]	
	30	1.7-136	4.1	0.23-13	0.8	0.05-2.9	0.08	<0.03-0.7	ในร่ม [2)]	

ตารางที่ 6 ความเข้มข้นของสารไตรฮาโลมีเทนในอากาศบริเวณเหนือสระว่ายน้ำ (ต่อ)

ประเทศ	ความเข้มข้นของสารตกค้างจากการฆ่าเชื้อโรค (ug/m^3)								ลักษณะสระ [a]	อ้างอิง*
	คลอโรฟอร์ม		โบรโมไดคลอโรมีเทน		ไดโบรโมคลอโรมีเทน		โบรโมฟอร์ม			
	เฉลี่ย	ช่วง	เฉลี่ย	ช่วง	เฉลี่ย	ช่วง	เฉลี่ย	ช่วง		
สหรัฐอเมริกา		<0.1-1		<0.1		<0.1		<0.1	กลางแจ้ง [3)]	Armstrong and Golden, 1986
		<0.1-260		<0.1-10		<0.1-5		<0.1-14	ในร่ม [3)]	
		<0.1-47		<0.1-10		<0.1-5		<0.1-14	สปา [3)]	

[a] 1= วัดที่ความสูงจากผิวน้ำ 20 cm ; 2 = วัดที่ความสูงจากผิวน้ำ 150 cm ; 3 = วัดที่ความสูงจากผิวน้ำ 200 cm

ที่มา : * อ้างโดย WHO (2000)

2.3.4 การแพร่กระจายของสารกลุ่มไตรฮาโลมีเทน

สารไตรฮาโลมีเทนเป็นสารที่ระเหยได้ดังนั้นจึงสามารถแพร่กระจายจากน้ำสู่อากาศ ซึ่งขึ้นกับปัจจัยดังต่อไปนี้

1) ความดันไอของสาร
2) ความเข้มข้นในน้ำ
3) ความสามารถในการละลายน้ำ
4) การแพร่จากน้ำสู่อากาศ
5) พื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างน้ำกับอากาศ
6) อุณหภูมิของน้ำ
7) การถ่ายเทของอากาศซึ่งจะมีผลกับการระเหย

ความดันไอและความเข้มข้นในน้ำที่สูงกว่าจะทำให้เกิดการระเหยสู่อากาศเหนือผิวน้ำมากกว่าปัจจัยอื่น ๆ ที่ส่งเสริม ให้เกิดการระเหยของ THMs สู่อากาศ คือ ความสามารถในการละลายต่ำ อุณหภูมิสูง และพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างน้ำในสระกับอากาศมีพื้นที่มาก การแพร่กระจายของ THMs จะสัมพันธ์กับ molar mass และความปั่นป่วนของน้ำที่เกิดจากคนว่ายน้ำ ซึ่งเราจะพบ THMs ที่ระเหยจากน้ำสู่อากาศได้ในสระว่ายน้ำในร่มแต่จะไม่พบในสระว่ายน้ำกลางแจ้งเนื่องจากมีการแพร่กระจายออกไปในอากาศ (WHO, 2000)

การแพร่กระจายจากน้ำสู่อากาศจะขึ้นกับค่าคงที่ตามกฎของเฮนรี่ (Henry's Law Constant) ซึ่งจะมีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงระหว่าง activity ของสารระเหยในเฟสที่เป็นของเหลวและเฟสที่เป็นก๊าซ โดยสารเคมีที่มีค่าคงที่ตามกฎของเฮนรี่สูงมีแนวโน้มที่จะเคลื่อนย้ายจากน้ำไปสู่อากาศ ส่วนสารเคมีที่มีค่าคงที่ตามกฎของเฮนรี่ต่ำมีแนวโน้มที่จะคงตัวอยู่ในตัวกลางที่เป็นน้ำหรือที่คล้ายน้ำ ดังตารางที่ 7 จะเห็นได้ว่า $CHCl_3$ มีค่าคงที่ตามกฎของเฮนรี่สูงที่สุดจึงระเหยได้ดีที่สุด โดยค่าเฮนรี่สามารถหาได้จากอัตราส่วนระหว่างความเข้มข้นของสารที่อยู่ในเฟสที่เป็นแก๊สกับความเข้มข้นของสารที่อยู่ในเฟสที่เป็นสารละลาย (Stumm and Morgan, 1996) ซึ่งสามารถเขียนได้ดังนี้ คือ

$$H = \frac{[A\,(g)]}{[A\,(aq)]}$$

เมื่อ H คือ ค่าคงที่ Henry’s Law

[A(g)] คือ ความเข้มข้นของสารในเฟสที่เป็นก๊าซ

[A(aq)] คือ ความเข้มข้นของสารในเฟสที่เป็นสารละลาย

ตารางที่ 7 ค่าคงที่ตามกฎของเฮนรี่ (Henry’s Law Constant)

THMs	Henry' law constant (unitless)
$CHCl_3$	0.1500 ที่ 25 °C
$CHCl_2Br$	0.0667 ที่ 20 °C
$CHClBr_2$	0.0321 ที่ 20 °C
$CHBr_3$	0.0219 ที่ 25 °C

ที่มา: US-EPA (2003)

2.3.5 มาตรฐานที่เกี่ยวข้อง

จากความเป็นอันตรายดังที่ได้กล่าวมาแล้ว หน่วยงานต่างๆจึงกำหนดความเข้มข้นสูงสุด(maximum contaminant levels, MCLs) ของสารประกอบ chlorine by-products ในน้ำประปาดังตารางที่ 8 ตัวอย่างเช่น WHO และ US-EPA กำหนดให้มีความเข้มข้นของสารประกอบไตรฮาโลมีเทนทั้งหมดไม่เกิน 100 และ 80 μg/L ตามลำดับ

ตารางที่ 8 ความเข้มข้นสูงสุดของสารประกอบ chlorine by-products ในน้ำประปา ซึ่งกำหนดในมาตรฐานของหน่วยงานต่างๆ

หน่วยงาน/ประเทศ	กลุ่มสาร	maximum contaminant levels,MCLs (µg/L)	ที่มา
WHO *	Total THMs	100	มัลลิกา และผ่องศรี (2550)
US-EPA**	Total THMs HAAs	80 60	
European Union (EU)	Total THMs	10	
Thailand ***	$CHCl_3$ $CHCl_2Br$ $CHClBr_2$ $CHBr_3$	200 60 100 100	การประปานครหลวง (2550)
Japan	$CHCl_3$ $CHCl_2Br$ $CHClBr_2$ $CHBr_3$	60 30 10 90	Wang et al. (2007)
Sweden	THMs	50	Roccaro et al. (2005)
Switzerland	THMs	25	
England	THMs	100	
Scotland	THMs	100	
Czech Republic	THMs	100	
Italy	THMs	30	
Germany	THMs	50	
Spain	THMs	100	
Austria	THMs	30	
Belgium	THMs	30	
Ireland	THMs	100	
Luxembourg	THMs	50	
Norway	THMs	100	

หมายเหตุ * อยู่ในระหว่างการกำหนดมาตรฐานสำหรับ THMs แต่ละชนิด

** ค่าเฉลี่ยตลอดทั้งปี

*** กำหนดค่ามาตรฐานตามคำแนะนำขององค์การอนามัยโลก (WHO) ปี 2006

2.4 สระว่ายน้ำ

2.4.1 ลักษณะสระว่ายน้ำ

สระว่ายน้ำมีลักษณะต่าง ๆ ดังนี้

1) สระว่ายน้ำในร่ม จะมีหลังคาและผนังล้อมรอบ

2) สระว่ายน้ำกึ่งกลางแจ้ง จะมีหลังคาแต่ไม่มีผนังด้านข้าง

3) สระว่ายน้ำกลางแจ้ง ไม่มีหลังคาเป็นพื้นที่เปิดโล่ง

นอกจากนี้สระว่ายน้ำสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ

1) Over Flow คือ การนำน้ำในสระไปบำบัดฆ่าเชื้อโรค โดยให้น้ำล้นออกมาขอบสระแล้วผ่านรางรอบ ๆ ของขอบสระไปรวมที่ Surge Tank แล้วใช้ปั๊มน้ำดูดเข้าผ่านเครื่องกรอง (Filter) กลับสู่สระอีกครั้ง

ข้อดี ทำให้แผ่นน้ำดูตึงขอบสระสวย ซึ่งนิยมใช้ในประเทศไทย

ข้อเสีย เศษสิ่งสกปรกเกิดการหมักหมมบริเวณรางน้ำของขอบสระ ซึ่งมักจะใช้ Granite Grill ปิดเอาไว้หรือใช้กรวดเป็นตัวปิดความสกปรกเมื่อคุ้ยกรวดออกจะเห็นเหมือนท่อระบายน้ำต้องมี Surge Tank เป็นการเพิ่มความยุ่งยากในการก่อสร้าง

2) Skimmer คือ การนำน้ำในสระไปบำบัด โดยผ่านช่องของ Skimmer Box เข้าปั๊มน้ำและ Filter โดยตรงและส่งกลับมายังสระว่ายน้ำอีกครั้ง

ข้อดี ทำให้น้ำไหลผ่านระบบด้วยระยะทางสั้นกว่า เพราะไม่ต้องผ่าน Surge Tank ทำให้ใช้น้ำปริมาตรที่น้อยกว่าระบบน้ำล้น ไม่เกิดการหมักหมมระหว่างทางเดินของน้ำ

ข้อเสีย ระดับน้ำจะต่ำกว่าขอบสระว่ายน้ำประมาณ 4 -10 ซม. จะไม่ดูแผ่นน้ำตึงปิดขอบสระเหมือนระบบน้ำล้น (Pool and Fresh, 2008)

2.4.2 การบำบัดน้ำสระว่ายน้ำ

การบำบัดน้ำสระว่ายน้ำเพื่อทำให้น้ำสะอาดปราศจากแบคทีเรีย ไวรัส สาหร่ายและสารอื่น ๆ ที่ก่อให้เกิดโรค และมีความเหมาะสมสำหรับคนว่ายน้ำ ขั้นตอนแรกของการบำบัดน้ำคือการส่งน้ำในสระว่ายน้ำไปยังระบบบำบัด มีการกรองเพื่อกำจัดสารมลพิษ เช่น เส้นผม ปูนฉาบผนัง และใบไม้ หลังจากนั้นจะมีการเติมสารช่วยสร้างตะกอนซึ่งจะทำให้คอลลอยด์ที่มีขนาดเล็กเกิดการรวมตัวกันเป็นกลุ่มก้อน สารที่มีลักษณะเป็นคอลลอยด์ที่พบได้ในสระว่ายน้ำ เช่น น้ำลาย คราบสบู่ ผลิตภัณฑ์เครื่องสำอาง และไขมันจากผิวหนัง เมื่อสารมลพิษเหล่านี้มีจำนวนมากจะทำให้เกิดความขุ่น ดังนั้นจึงต้องกำจัดสารเหล่านี้โดยการกรองทรายหรือการกรองผ้า (Lenntech, 2008)

ซึ่งสามารถกำจัดของแข็งแขวนลอยได้แต่ไม่สามารถกำจัดของแข็งละลายได้ เช่น สารไตรฮาโล-มีเทน ดังนั้นจึงเกิดการสะสมของสารไตรฮาโลมีเทนเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ

2.4.3 มาตรฐานคุณภาพสระว่ายน้ำ

การควบคุมดูแลสระว่ายน้ำให้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน เพื่อให้เกิดความปลอดภัยต่อผู้ใช้บริการสระว่ายน้ำ ดังนั้นหน่วยงานต่าง ๆ จึงกำหนดมาตรฐานคุณภาพสระว่ายน้ำดังตารางที่ 9 ซึ่งไม่มีมาตรฐานของสารตกค้างจากการเติมคลอรีน

ตารางที่ 9 มาตรฐานคุณภาพสระว่ายน้ำ

พารามิเตอร์	ค่ามาตรฐาน	
	National Spa and Pool Institute*	กรมอนามัย**
คลอรีนตกค้าง (ppm)	1.0 - 3.0	>1.0
pH	7.2 - 7.6	7.2-7.4
Total Alkalinity (ppm) (เมื่อใช้คลอรีนเหลว แคเซียมไฮโปคลอไรท์ และ ลิเทียม ไอโปคลอไรท์)	80 - 100	-
Total Alkalinity (ppm) (เมื่อใช้ก๊าซคลอรีน ไดคลอโร ไตรคลอโร และ สารประกอบโบรมีน)	100 - 120	-
Total Dissolved Solids (ppm) (ของแข็งที่ละลายในน้ำทั้งหมด)	1,000 - 2,000	-
Calcium Hardness (ppm) (ความกระด้าง)	200 - 400	-
Cyanuric Acid (ppm) (กรดไซยานูริค)	30 - 50	-

ที่มา : * กรมวิทยาศาสตร์ทหารเรือ (2548) และ ** กรมอนามัย (2549)

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Chu and Nicuwenhuijsen (2002) ศึกษาปริมาณสาร THMs ในสระว่ายน้ำในร่ม โดยเก็บตัวอย่างน้ำจากสระว่ายน้ำในร่มจำนวน 8 แห่ง ในเมืองลอนดอน แล้วนำมาวิเคราะห์สารอินทรีย์ทั้งหมด (TOC) และ THMs อุณหภูมิของน้ำและอากาศจะวัดพร้อมกับ pH ในระหว่างการเก็บตัวอย่างน้ำ ทำการประเมินระดับความปั่นป่วนของน้ำ และจำนวนคนในสระว่ายน้ำด้วย ผลการทดลองพบว่าค่าเฉลี่ยของ TOC ในสระว่ายน้ำเท่ากับ 5.8 mg/l THMs ทั้งหมดเท่ากับ 132.4 mg/l และคลอโรฟอร์มเท่ากับ 113.3 mg/l มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficient) ระหว่างจำนวนคนในสระว่ายน้ำ และความเข้มข้นของ THMs ทั้งหมดและคลอโรฟอร์ม r = 0.7 และความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ TOC และ THMs ทั้งหมด r = 0.5 และ อุณหภูมิของน้ำ และปริมาณ THMs ทั้งหมด r = 0.5 ซึ่งมีความแปรปรวนของTHMs ในสระมากกว่าระหว่างสระ

Fantuzzi et al. (2001) ได้ทำการประเมินการสัมผัสกับสาร THM ของผู้ที่ทำงานในสระว่ายน้ำในร่ม โดยทำการศึกษากลุ่มตัวอย่าง 32 คน เพื่อเป็นตัวแทนของจำนวนคนงานทั้งหมดในสระว่ายน้ำในร่มจำนวน 5 แห่ง ในเมือง Modena ประเทศอิตาลี การเก็บตัวอย่างน้ำจะเก็บที่ความลึก 20 ซ.ม.ในบริเวณริมขอบสระว่ายน้ำ การเก็บตัวอย่างอากาศจะเก็บในบริเวณพื้นที่ของพนักงานต้อนรับ ห้องควบคุม และริมขอบสระว่ายน้ำ เป็นเวลา 2 ชั่วโมง โดยทำการวิเคราะห์ตัวอย่างอากาศจากถุงลม (alveolar air) และอากาศระดับหายใจ (ambient air) ผลการทดลองพบว่าอากาศในระดับหายใจจะมีความเข้มข้นของสารไตรฮาโลมีเทนทั้งหมดสูงกว่าอากาศจากถุงลม อากาศในระดับหายใจ กับอากาศจากถุงลมมีความสัมพันธ์แบบแปรผันตามกัน โดยถ้าหากอากาศในระดับหายใจมีความเข้มข้นของสารไตรฮาโลมีเทนสูงจะส่งผลทำให้อากาศจากถุงลมมีความเข้มข้นของสารไตรฮาโลมีเทนสูงขึ้นด้วย โดยสารไตรฮาโลมีเทนในน้ำมีความเข้มข้นของคลอโรฟอร์มสูงที่สุด รองลงมาคือ โบรโมไดคลอโรมีเทน ไดโบรโมคลอโรมีเทน และโบรโมฟอร์ม ตามลำดับ แต่ในอากาศจะพบความเข้มข้นโบรโมฟอร์ม น้อยมาก หรือไม่พบเลย เนื่องจากโบรโมฟอร์มในน้ำมีปริมาณที่น้อยอยู่แล้ว ความเข้มข้นของสารไตรฮาโลมีเทนทั้งหมดในบริเวณรอบสระว่ายน้ำ จะมีความเข้มข้นที่สูงกว่าในบริเวณพนักงานต้อนรับ และห้องควบคุม ตามลำดับ บริเวณพนักงานต้อนรับ และห้องควบคุมมีความเข้มข้นของสารไตรฮาโลมีเทนทั้งหมดใกล้เคียงกัน เนื่องจากบริเวณรอบสระว่ายน้ำเป็นบริเวณที่อยู่ใกล้แหล่งกำเนิดของสารไตรฮาโลมีเทนจึงพบสารไตรฮาโล-มีเทนในความเข้มข้นสูง ส่วนในพื้นที่พนักงานต้อนรับ และห้องควบคุมอยู่ห่างออกมาแหล่งกำเนิดสารไตรฮาโลมีเทน จึงพบสารไตรฮาโลมีเทนในความเข้มข้นต่ำ

Erdinger et al. (2004) ศึกษาลักษณะการได้รับสารไตรฮาโลมีเทนจากสระว่ายน้ำในเมือง Heidelberg ประเทศเยอรมนี โดยแบ่งกลุ่มตัวอย่างออกเป็น 3 กลุ่ม ดังนี้ กลุ่มที่ 1 คือ ว่ายน้ำแต่ไม่ใช้อากาศจากถังอากาศ กลุ่มที่ 2 คือ ว่ายน้ำใช้อากาศจากถังอากาศ และกลุ่มที่ 3 คือ ไม่สัมผัสน้ำในสระว่ายน้ำแต่อยู่บริเวณรอบสระน้ำซึ่งกลุ่มตัวอย่างในกลุ่มที่ 1 และ2 จะอยู่ในสระว่ายน้ำเป็นเวลา 60 นาที ส่วนในกลุ่มที่ 3 จะเดินรอบบริเวณสระว่ายน้ำ โดยจะเก็บตัวอย่างอากาศบริเวณรอบสระว่ายน้ำในระดับหายใจ (ambient air) จะเก็บปริมาณ 10 ลิตร โดยใช้หลอดถ่าน-กัมมันต์ (Activated carbon tube) เป็นตัวดูดซับ ส่วนน้ำจะเก็บที่ความลึกประมาณ 10 เซนติเมตร การวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำ และเลือดจะใช้เทคนิค headspace technique gas chromatograph โดยจะวิเคราะห์ตัวอย่างเลือดของผู้ทดลองทั้งก่อน และหลังลงสระว่ายน้ำ จากการวิเคราะห์ความเข้มข้นของสารไตรฮาโลมีเทนในเลือดสูงที่สุด คือ กลุ่มที่ 1 มีความเข้มข้นเฉลี่ยเท่ากับ 1.02 μg/L รองลงมาคือกลุ่มที่ 2 มีความเข้มข้นเฉลี่ยเท่ากับ 0.03 μg/L และกลุ่มที่ 3 มีความเข้มข้นเฉลี่ยเท่ากับ 0.24 μg/L แต่กลุ่มที่ 2 และกลุ่มที่ 3 มีความเข้มข้นของสารไตรฮาโลมีเทนในเลือดใกล้เคียงกัน เนื่องจากการได้รับสารไตรฮาโลมีเทนมีด้วยกัน 3 ทาง คือ ทางเดินอาหาร ทางเดินหายใจ และซึมผ่านผิวหนัง โดยกลุ่มที่ 1 มีโอกาสได้รับสารไตรฮาโลมีเทนจากทั้ง 3 ทาง คือ ทางเดินอาหาร ทางเดินหายใจ และซึมผ่านผิวหนัง จึงมีความเข้มข้นของสารไตรฮาโลมีเทนสูงสุด ส่วนในกลุ่มที่ 2 มีโอกาสได้รับสารไตรฮาโลมีเทน 2 ทาง คือ การกลืนกิน และซึมผ่านผิวหนัง จึงมีความเข้มข้นของสารไตรฮาโลมีเทนปานกลาง และกลุ่มที่ 3 ซึ่งได้รับสารไตรฮาโลมีเทนเพียงทางเดียว คือ ทางลมหายใจ จึงมีความเข้มข้นของสารไตรฮาโลมีเทนต่ำสุด

Judd and Bullock (2003) ศึกษาการเกิดสารตกค้างจากการฆ่าเชื้อโรคในสระว่ายน้ำจำลองขนาด 2.2 ลบ.ม. โดยใช้สารสังเคราะห์ที่มีลักษณะเหมือนกับของเหลวในร่างกาย (BFA) ซึ่งประกอบด้วยสารประกอบอะมิโน และดินสังเคราะห์ ซึ่งเป็นตัวแทนของกรดฮิวมิก โดยจะทำการศึกษาอิทธิพลของปริมาณสารอินทรีย์ แหล่งของสารอินทรีย์ และรูปแบบของสารตกค้างจากการฆ่าเชื้อโรคด้วย Cl_2 คือสารกลุ่ม THMs และ คลอรามีนภายใต้สภาวะที่เป็นตัวแทนของสระว่ายน้ำขนาดจริง ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าสารอินทรีย์ คลอรามีน และ THMs จะเข้าสู่สภาวะคงตัวหลังจากการดำเนินการเป็นเวลา 200 – 500 ชั่วโมง โดยได้เติมสารอินทรีย์ลงไปในน้ำที่สภาวะคงตัวพบว่าความเข้มข้นของ TOC THMs และคลอรามีนสอดคล้องกับที่เคยรายงานไว้ในสระว่ายน้ำขนาดจริง โดยรูปแบบของ THMs จะมีผลมาจากดินสังเคราะห์ มากกว่า BFA ถึง 8 เท่า THMs จะเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งขึ้นอยู่กับ 2 ปัจจัย คือ การลดลงของ pH จาก 7.8 เป็น 7.2 และการลดลงของคลอรีนอิสระ จาก 1.8 เป็น 0.5 mg/l การวิเคราะห์สารตกค้างจะพบการสะสมของไนเตรทเท่านั้น ซึ่งจะมี 4 – 28 % ของปริมาณไนโตรเจนซึ่งตรงข้ามกับการยืนยัน

ก่อนหน้านี้ที่มีการประยุกต์ใช้ค่า Henry's Law ซึ่งปริมาณของสารตกค้างที่ระเหยไปในบรรยากาศไม่มีนัยสำคัญทางสถิต

Lee et al. (2009) ศึกษาความเข้มข้นของ TTHM ในสระว่ายน้ำในร่มซึ่งมีวิธีการฆ่าเชื้อโรคที่แตกต่างกัน 3 วิธี คือ การฆ่าเชื้อโรคโดยการใช้ Cl_2 O_3/Cl_2 และ Electrochemically Generated Mixed Oxidants (EGMO) และนำมาหาความสัมพันธ์ระหว่าง THMs และ TTHM กับปัจจัยอื่น ๆ ที่มีผลต่อการเกิด THMs โดยทำการประเมินความเสี่ยงของการเกิดมะเร็งตลอดชีวิตร่วมกับเส้นทางต่าง ๆ ของการสัมผัส THMs ในสระว่ายน้ำ โดยตัวอย่างน้ำจะถูกเก็บจากสระว่ายน้ำในร่มจำนวน 183 แห่งในเมืองโซล ประเทศเกาหลี และนำมาวิเคราะห์ความเข้มข้นของ THMs แต่ละตัว TOC และปริมาณ $KMnO_4$ รวมทั้งคลอรีนตกค้างและ pH ของน้ำด้วย เมื่อเปรียบเทียบความเข้มข้นของ TTHM ในสระว่ายน้ำที่มีการฆ่าเชื้อโรคด้วยคลอรีน โอโซน/คลอรีน และ EGMO พบว่ามีค่าอยู่ในช่วง 1.8-104.3 0.2-68.5 และ 12.6-135.2 μg/L ตามลำดับ ความเข้มข้นเฉลี่ยของ chloroform BDCM DBCM และ TTHM มีความแตกต่างกันระหว่างวิธีการบำบัดอย่างมีนัยสำคัญ ความสัมพันธ์ระหว่าง $KMnO_4$ และ chloroform และ TTHM มีค่า r = 0.49 และ 0.47 TOC และ pH มีความสัมพันธ์กันแบบแปรตามกันในระดับปานกลางกับ chloroform และ TTHM

Thacker and Nitnaware (2003) ทำการเก็บตัวอย่างสระว่ายน้ำในเมือง Nagpur ประเทศอินเดีย ระหว่างเดือน เม.ย.-พ.ค. 2001 ในช่วงฤดูร้อนซึ่งอุณหภูมิบริเวณสระว่ายน้ำมีค่าอยู่ในช่วง 102-117 °F จำนวนของคนว่ายน้ำจะเพิ่มขึ้นในช่วงฤดูร้อน ตัวอย่างน้ำจะเก็บจากสระว่ายน้ำก่อนการเติมคลอรีนและหลังจากเติมคลอรีนแล้ว 1 ชั่วโมง โดยเลือกสระว่ายน้ำ SP-1 สำหรับการตรวจติดตามอย่างสม่ำเสมอเนื่องจากมีการบำรุงรักษาที่ดีและนำมาเป็นสระว่ายน้ำจำลองสำหรับเปรียบเทียบ โดยเก็บตัวอย่างและวิเคราะห์ 3 ครั้ง/สัปดาห์ เป็นระยะเวลา 2 เดือน ผลการวิจัยพบว่าเมื่อเปรียบเทียบระดับของ THMs และคุณภาพน้ำทั่วไปของสระว่ายน้ำ SP-1 และสระอื่น ๆ พบว่าสระ SP-1 มีความเข้มข้นของ TTHM หลังจากเติมคลอรีนสูงสุดเท่ากับ 175.23 μg/L ในสัปดาห์ที่ 4 ของเดือน เม.ย. ส่วนสระอื่น ๆ พบความเข้มข้นของ TTHM สูงสุดเท่ากับ 354.82 μg/L ในสัปดาห์แรกของเดือน พ.ค. การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ TTHM คลอรีนตกค้างและ TOC ในสระ SP-1 จะพบต่ำที่สุด การทดลองในสระ SP-1 แสดงให้เห็นว่าหลังจากการเติมคลอรีนทำให้ THMs เพิ่มขึ้น ซึ่งสระอื่นๆ ก็มีลักษณะเช่นเดียวกัน ความเข้มข้นของ THMs หลังการเติมคลอรีนจะพบสูงกว่าตัวอย่างน้ำที่ไม่มีการเติมคลอรีน

บทที่ 3
วิธีดำเนินงานวิจัย

3.1 สถานที่เก็บตัวอย่าง

สระว่ายน้ำทั้ง 3 ประเภทที่ทำการศึกษาในครั้งนี้เป็นสระว่ายน้ำที่อยู่ในพื้นที่บริเวณเดียวกันและใช้น้ำประปาจากแหล่งเดียวกัน ซึ่งสระว่ายน้ำทั้ง 3 ประเภทมีลักษณะดังต่อไปนี้

3.1.1 สระว่ายน้ำสโมสรทหารบก

สระว่ายน้ำสโมสรทหารบก เป็นสระว่ายน้ำที่อยู่ในร่ม มีความกว้าง 12.5 เมตร ยาว 25 เมตร ลักษณะของสระจะมีความลาดชัน (slope) ไล่ระดับลงจากความลึก 0.8 เมตร ถึง 1.8 เมตร แหล่งน้ำดิบที่นำมาใช้ในสระว่ายน้ำเป็นน้ำประปา สารฆ่าเชื้อโรคที่ใช้คือ สาร Trichloroisocyanuric acid โดยเติมช่วงเวลาเย็นหลังสระว่ายน้ำปิดทำการ และทำการตรวจคุณภาพน้ำทุกวัน น้ำที่ล้นจากสระจะมีการหมุนเวียนมาบำบัดใหม่โดยผ่านเครื่องกรองทราย ผู้ใช้บริการมีทุกเพศ ทุกวัย โดยจะมีจำนวนมากในช่วงฤดูร้อน สระเปิดบริการในวันจันทร์-ศุกร์ เวลา 14.00-20.00 น. และวันเสาร์-อาทิตย์ เวลา 9.00 - 20.00น. ลักษณะสระว่ายน้ำสโมสรทหารบกแสดงดังภาพที่ 8

ภาพที่ 8 สระว่ายน้ำสโมสรทหารบก

3.1.2 สระว่ายน้ำมหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา

สระว่ายน้ำมหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทาเป็นสระว่ายน้ำกึ่งกลางแจ้ง (มีหลังคาแต่ไม่มีผนังด้านข้าง) มีความกว้าง 12.5 เมตร ยาว 25 เมตร ลักษณะของสระจะมีความลาดชัน (slope) ไล่ระดับลงจากความลึก 0.8 เมตร ถึง 2 เมตร แหล่งน้ำดิบที่นำมาใช้ในสระว่ายน้ำเป็นน้ำประปา สารฆ่าเชื้อโรคที่ใช้ คือ สาร Trichloroisocyanuric acid โดยจะเติมช่วงเวลาเย็นหลังสระว่ายน้ำปิดทำการ และทำการตรวจคุณภาพน้ำทุกวัน น้ำที่ล้นจากสระจะมีการหมุนเวียนมาบำบัดใหม่โดยผ่านเครื่องกรองทราย ผู้ใช้บริการมีทุกเพศ ทุกวัย โดยจะมีจำนวนมากในช่วงฤดูร้อน สระเปิดบริการทุกวัน เวลา 07.00 - 20.00 น. ลักษณะสระว่ายน้ำมหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทาแสดงดังภาพที่ 9

ภาพที่ 9 สระว่ายน้ำมหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา

3.1.3 สระว่ายน้ำโรงเรียนเซนต์คาเบรียล

สระว่ายน้ำโรงเรียนเซนต์คาเบรียลเป็นสระว่ายน้ำกลางแจ้ง มีความกว้าง 12.5 เมตร ยาว 25 เมตร ลักษณะของสระจะมีความลาดชัน (slope) ไล่ระดับลงจากความลึก 1 เมตร ถึง 3 เมตร แหล่งน้ำดิบที่นำมาใช้ในสระว่ายน้ำเป็นน้ำประปา สารฆ่าเชื้อโรคที่ใช้ คือ สาร Dinochlorine liquid โดยจะมีเครื่องเติมคลอรีนอัตโนมัติ และทำการตรวจคุณภาพน้ำทุกวัน น้ำที่ล้นจากสระจะมีการหมุนเวียนมาบำบัดใหม่โดยผ่านเครื่องกรองทราย ผู้ใช้บริการส่วนใหญ่จะเป็นเด็กนักเรียนระดับมัธยมศึกษาปีที่ 1 และมัธยมศึกษาปีที่ 2 เพราะเป็นสระที่ใช้ในการเรียนการสอนทุกวันจันทร์-พฤหัสบดี เวลา 9.00 – 16.00 น. และจะเปิดบริการให้คนภายนอกเข้ามาใช้บริการวัน

จันทร์- พฤหัสบดี เวลา 16.00 – 17.30 น. และวันศุกร์-เสาร์ 16.00 -18.30 น. ลักษณะสระว่ายน้ำโรงเรียนเซนต์คาเบรียลแสดงดังภาพที่ 10

ภาพที่ 10 สระว่ายน้ำโรงเรียนเซนต์คาเบรียล

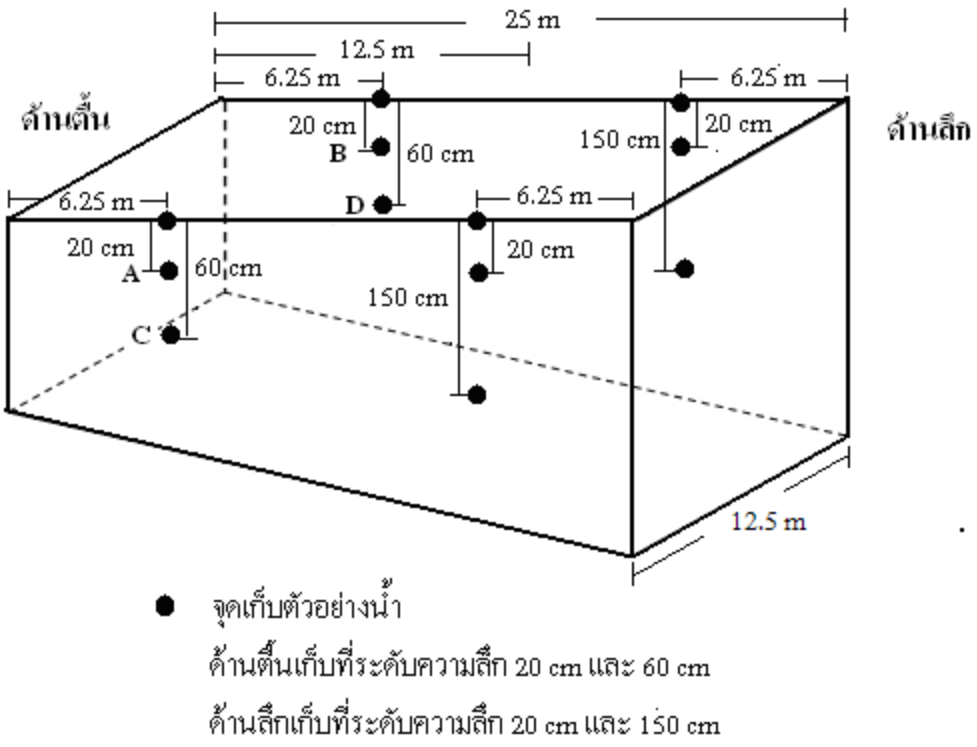
3.2 ความถี่ที่เก็บตัวอย่าง

ทำการเก็บตัวอย่างน้ำและอากาศ 3 ฤดู ตามเกณฑ์ของกรมอุตุนิยมวิทยา ได้แก่ ฤดูร้อนช่วงกลางเดือนกุมภาพันธ์ถึงกลางเดือนพฤษภาคม ฤดูฝนช่วงกลางเดือนพฤษภาคมถึงกลางเดือนตุลาคม ฤดูหนาวช่วงกลางเดือนตุลาคมถึงกลางเดือนกุมภาพันธ์ (กรมอุตุนิยมวิทยา, 2550) แต่ละฤดูทำการเก็บตัวอย่าง 1 ครั้ง ซึ่งในการทำวิจัยครั้งนี้ฤดูร้อนจะเก็บตัวอย่างเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2550 ฤดูฝนจะเก็บตัวอย่างเดือนสิงหาคม พ.ศ. 2550 และฤดูหนาวจะเก็บตัวอย่างเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551

3.3 การเก็บตัวอย่างและวิเคราะห์น้ำ

3.3.1 จุดเก็บตัวอย่างน้ำ

ทำการเก็บตัวอย่างน้ำในสระว่ายน้ำ 3 สระ คือ สระว่ายน้ำสโมสรทหารบก สระว่ายน้ำมหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา และสระว่ายน้ำโรงเรียนเซนต์คาเบรียล โดยมีจุดเก็บตัวอย่างดังภาพที่ 11



ภาพที่ 11 จุดเก็บตัวอย่างน้ำ

3.3.2 วิธีการเก็บตัวอย่างน้ำ

การเก็บตัวอย่างน้ำใช้วิธี grab samples และ composite samples โดยได้เก็บตัวอย่างน้ำที่จุด A และ B แล้วนำมาเทรวมกัน เก็บตัวอย่างน้ำจุด C และ D นำมาเทรวมกันเป็นตัวอย่างน้ำที่ระดับความลึกหนึ่งของแต่ละฝั่ง จากการวิเคราะห์น้ำเบื้องต้นพบว่าสมบัติของน้ำในแต่ละช่วงเวลาไม่แตกต่างกัน ดังนั้นในการเก็บตัวอย่างจริงจึงทำการเก็บตัวอย่างน้ำสระละ 3 ครั้ง คือ ช่วงเช้า กลางวัน และ เย็น แล้วนำน้ำมารวมกันเพื่อเป็นตัวแทนของน้ำทั้งวันซึ่งเป็นการเก็บตัวอย่างแบบ composite samples ของจุดนั้น นอกจากนี้ได้เก็บตัวอย่างน้ำประปาในช่วงเวลาเดียวกันกับการเก็บตัวอย่างน้ำในสระว่ายน้ำและนำไปวิเคราะห์สมบัติต่าง ๆ ของน้ำเช่นเดียวกับน้ำในสระว่ายน้ำ

3.3.3 วิธีการรักษาตัวอย่าง

วิธีการรักษาตัวอย่างสรุปไว้ในตารางที่ 10

ตารางที่ 10 วิธีการรักษาตัวอย่าง

พารามิเตอร์	การรักษาตัวอย่าง (preservation)
pH	วิเคราะห์ทันที
อุณหภูมิ	
คลอรีนตกค้าง	
UV-254	แช่เย็นที่ 4 °C เก็บได้ 48 ชม.
สารอินทรีย์ละลายน้ำ (Dissolved organic carbon)	เติมกรด H_2SO_4 เข้มข้นให้ pH < 2 แช่เย็นที่ 4 °C เก็บได้ 7 วัน
Trihalomethanes	เติม HCl 1+1 จน pH < 2 + 0.1 N $Na_2S_2O_3$ 3 ml แช่เย็นที่ 4 °C เก็บได้ 14 วัน
โบรไมด์ไอออน	แช่เย็นที่ 4 oC เก็บได้ 28 วัน

ที่มา : APHA, AWWA and WEF (1998)

3.3.4 สถานที่วิเคราะห์น้ำ

ตัวอย่างน้ำที่เก็บมาแล้วจะนำมาวิเคราะห์ที่ห้องปฏิบัติการภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร

3.3.5 วิธีการวิเคราะห์น้ำ

วิธีวิเคราะห์ตัวอย่างเป็นไปตาม Standard Methode ของ APHA, AWWA and WEF (1998) ซึ่งสรุปไว้ดังนี้

1) pH

เมื่อเก็บตัวอย่างน้ำแล้วทำการวัดค่า pH ของน้ำทันที ด้วยเครื่อง pH meter ยี่ห้อ Eutech รุ่น cyber scan 510 PC

2) ความขุ่น (Turbidity)

ทำการวัดความขุ่นของน้ำ ด้วยเครื่องวัดความขุ่น Hach 2100 P

3) ค่า UV-254

นำน้ำตัวอย่างมากรองด้วยกระดาษกรอง GF/C ขนาดรูพรุน 0.45 μm แล้วนำมาวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 253.7 nm โดยใช้เครื่อง UV – visible Spectrophotometer ยี่ห้อ Jasco รุ่น V-530 ดังภาพที่ 12

ภาพที่ 12 เครื่อง UV – visible Spectrophotometer

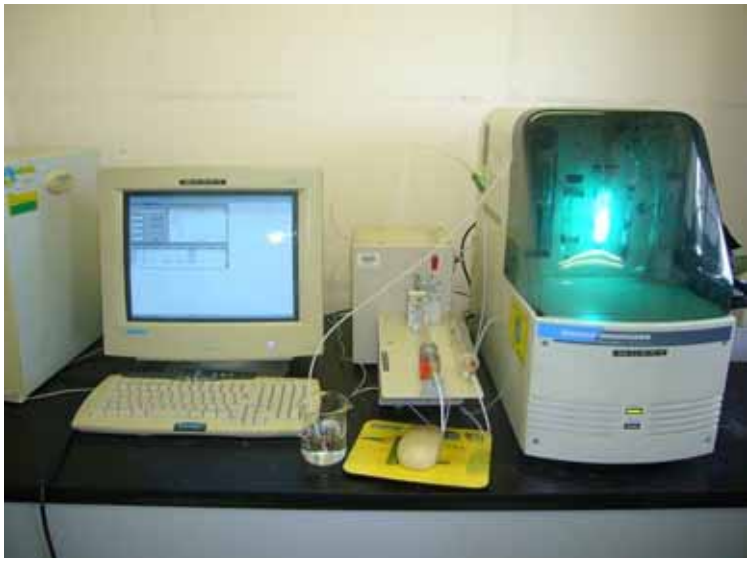
4) โบรไมด์ไอออน

นำน้ำตัวอย่างมากรองด้วยกระดาษกรอง GF/C ขนาดรูพรุน 0.45 μm แล้วนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Ion chromatograph ยี่ห้อ Metrohm รุ่น 761 Compact IC ดังภาพที่ 13

ภาพที่ 13 เครื่อง Ion chromatograph

5) สารอินทรีย์ละลายน้ำ (Dissolved organic carbon)

นำน้ำตัวอย่างมากรองผ่านกระดาษกรอง GF/C ขนาดรูพรุน 0.45 μm แล้วนำมาวิเคราะห์ DOC ด้วยเครื่อง TOC analyzer ยี่ห้อ Tekmar – Dohrman รุ่น Phoenix 8000 ดังภาพที่ 14



ภาพที่ 14 เครื่อง TOC analyzer

6) สารไตรฮาโลมีเทน (Trihalomethanes, THMs)

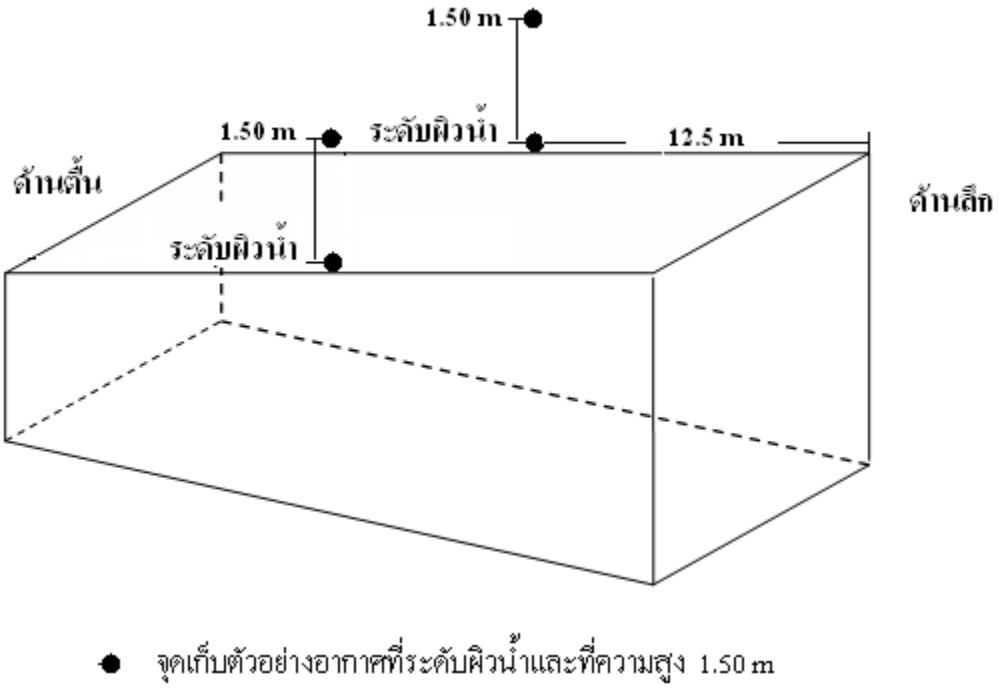
ทำการวิเคราะห์ความเข้มข้นของสาร THMs โดยปิเปตน้ำตัวอย่างมา 5 ml ใส่ขวด vial ที่มี 0.5 g โซเดียมซัลเฟต ปิดฝาแล้วนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Head-space gas chromatograph ECD detector ยี่ห้อ Perkin Elmer รุ่น HS 40 Autosystem XL ดังภาพที่ 15 โดยใช้คอลัมภ์ Supelco 241 35-U PTE^{tm}-5 , carrier gas N_2 และ He อัตราการไหล 2 มล./ นาที Injection temperature 220°C Oven temperature 55°C 15 นาที Detector temperature 300 °C

ภาพที่ 15 เครื่อง Head-space gas chromatograph

3.4 การเก็บตัวอย่างและวิเคราะห์อากาศ

3.4.1 จุดเก็บตัวอย่างอากาศ

เก็บตัวอย่างอากาศตรงจุดกึ่งกลางสระทั้ง 2 ฝั่ง ที่ระดับผิวน้ำและที่ความสูง 150 ซ.ม. ดังภาพที่ 16



ภาพที่ 16 จุดเก็บตัวอย่างอากาศ

3.4.2 การเก็บตัวอย่างอากาศและการเก็บรักษาหลอด charcoal

การเก็บตัวอย่างอากาศใช้วิธี active sampling โดยใช้หลอด charcoal (ดังภาพที่ 17) ต่อกับปั๊มดูดอากาศ (ดังภาพที่ 18) ซึ่งมีอัตราการดูดอากาศ 0.100 L/min เป็นเวลา 2 ชั่วโมง เมื่อทำการเก็บตัวอย่างอากาศเสร็จแล้ว ปิดปลายหลอด charcoal ทั้ง 2 ด้านด้วยจุกพลาสติกใส่ถุงพลาสติกแล้วนำไปแช่เย็น

ภาพที่ 17 หลอด charcoal

ภาพที่ 18 การเก็บตัวอย่างอากาศ

3.4.3 สถานที่วิเคราะห์อากาศ

ตัวอย่างอากาศจะส่งไปวิเคราะห์ที่สำนักโรคจากการประกอบอาชีพและสิ่งแวดล้อม กรมควบคุมโรค กระทรวงสาธารณสุข

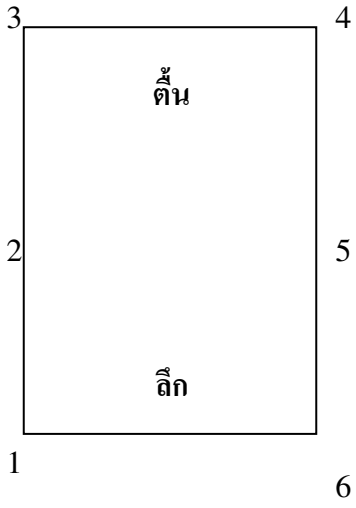
3.4.4 วิธีการวิเคราะห์อากาศ

นำ charcoal ใส่ในขวด vial 2 ml เติมคาร์บอนไดซัลไฟด์ลงไป 1 ml ปิดฝาแล้วเขย่าทิ้งไว้ประมาณ 30 นาที แล้วนำไปวิเคราะห์หา THMs ด้วยเครื่อง Head-space gas chromatograph ECD detector Injection temperature 300 $^{\circ}$C carrier gas คือ N_2

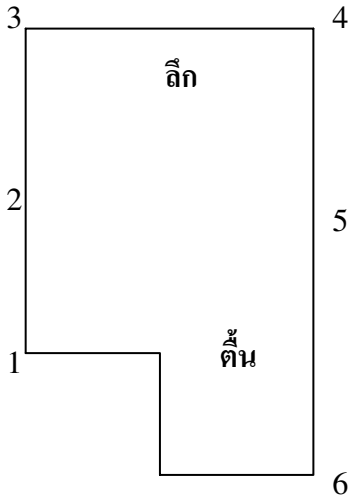
3.5 การวัดความเร็วลม

3.5.1 จุดตรวจวัดความเร็วลม

จุดตรวจวัดความเร็วลมในแต่ละสระแสดงดังภาพที่ 19 และ 20 ซึ่งแต่ละจุดจะวัดที่ระดับผิวน้ำและที่ความสูง 1.50 m



ภาพที่ 19 จุดวัดความเร็วลมสระว่ายน้ำสโมสรทหารบกและสระว่ายน้ำโรงเรียนเซนต์คาเบรียล



ภาพที่ 20 จุดวัดความเร็วลมสระว่ายน้ำมหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา

3.5.2 วิธีการวัดความเร็วลม

วัดความเร็วลมด้วยเครื่อง Compu Flow Thermo-Anemometer รุ่น 8585 โดยวัดความเร็วลมพร้อมกับการเก็บตัวอย่างน้ำและอากาศ

3.6 การวิเคราะห์ทางสถิติ

ในการทดสอบการแจกแจงแบบปกติของข้อมูลต่าง ๆ ทำการทดสอบโดยใช้ Kolmogorov-Smirnov การทดสอบเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ต่างๆ ใช้การทดสอบความสัมพันธ์แบบ Pearson Correlation และเปรียบเทียบความแตกต่างด้วย t-test การวิเคราะห์

ความแปรปรวน (ANOVA) และ Kruskal-Wallis H Test ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางสังคมศาสตร์

3.7 ข้อจำกัดของงานวิจัย

เนื่องจากเป็นการศึกษาตามสภาพความเป็นจริงของสระว่ายน้ำ ดังนั้นจึงมีบางปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมได้ เช่น จำนวนผู้ใช้บริการสระว่ายน้ำ ปริมาณคลอรีนที่เติมเพื่อฆ่าเชื้อโรค ความเร็วลม เป็นต้น ซึ่งผลที่วิเคราะห์ได้จึงเป็นผลตามสภาพของสระว่ายน้ำแต่ละสระในช่วงเวลาที่ทำการเก็บตัวอย่าง

บทที่ 4
ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

4.1 การวิเคราะห์สมบัติของน้ำเบื้องต้น

การวิเคราะห์สมบัติของน้ำเบื้องต้นเพื่อศึกษาสมบัติของน้ำในแต่ละช่วงเวลา และปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดสาร THMs โดยทำการวิเคราะห์หาความเข้มข้นของ TTHM และ DOC ผลการวิเคราะห์แสดงดังตารางที่ 11 ซึ่งจะเห็นได้ว่าสระว่ายน้ำในร่มมีความเข้มข้นของ TTHM ในช่วงเช้าและช่วงเย็นมีค่าอยู่ในช่วง 16.37-18.93 และ 16.88-17.67 µg/L ตามลำดับ DOC ในช่วงเช้าและช่วงเย็นมีค่าอยู่ในช่วง 7.41-7.94 และ 7.26-7.76 mg/L ตามลำดับ สระว่ายน้ำกึ่งในร่มมีความเข้มข้นของ TTHM ในช่วงเช้าและช่วงเย็นมีค่าอยู่ในช่วง 22.03-26.35 และ 21.49-25.51 µg/L ตามลำดับ และ DOC ในช่วงเช้าและช่วงเย็นมีค่าอยู่ในช่วง 1.14-1.38 และ 1.05-1.31 mg/L ตามลำดับ ส่วนสระว่ายน้ำกลางแจ้งมีความเข้มข้นของ TTHM ในช่วงเช้าและช่วงเย็นมีค่าอยู่ในช่วง 63.28-78.99 และ 62.78-68.72 µg/L ตามลำดับ และ DOC ในช่วงเช้าและช่วงเย็นมีค่าอยู่ในช่วง 1.06-1.53 และ 1.12-1.25 mg/L ตามลำดับ เมื่อนำผลการวิเคราะห์มาทดสอบทางสถิติโดยใช้ t-test แล้วพบว่าสมบัติต่าง ๆ ของน้ำที่เก็บตัวอย่างในช่วงเช้าและเย็นมีค่าไม่แตกต่างกัน ดังนั้นในการเก็บตัวอย่างจริงจึงทำการเก็บตัวอย่างแบบ composite โดยทำการเก็บตัวอย่างน้ำสระละ 3 ครั้งใน 1 วัน คือ ช่วงเช้า กลางวัน และ เย็น แล้วนำน้ำมารวมกันเพื่อเป็นตัวแทนของน้ำทั้งวัน

ตารางที่ 11 สมบัติของน้ำในแต่ละช่วงเวลา

ประเภทสระว่ายน้ำ	ช่วงเวลาที่เก็บตัวอย่าง	TTHM (µg/L)			DOC (mg/L)		
		ช่วง	เฉลี่ย	SD	ช่วง	เฉลี่ย	SD
สระว่ายน้ำในร่ม	เช้า	16.37-18.93	17.45	1.07	7.41-7.94	7.59	0.24
	เย็น	16.88-17.67	17.23	0.34	7.26-7.76	7.44	0.22
สระว่ายน้ำกึ่งในร่ม	เช้า	22.03-26.35	24.38	1.96	1.14-1.38	1.29	0.11
	เย็น	21.49-25.51	23.68	1.75	1.05-1.31	1.22	0.12
สระว่ายน้ำกลางแจ้ง	เช้า	63.28-78.99	71.60	6.44	1.06-1.53	1.25	0.20
	เย็น	62.78-68.72	66.08	2.73	1.12-1.25	1.20	0.06

4.2 สมบัติทั่วไปของน้ำในสระว่ายน้ำ

4.2.1 สมบัติทั่วไปของน้ำ

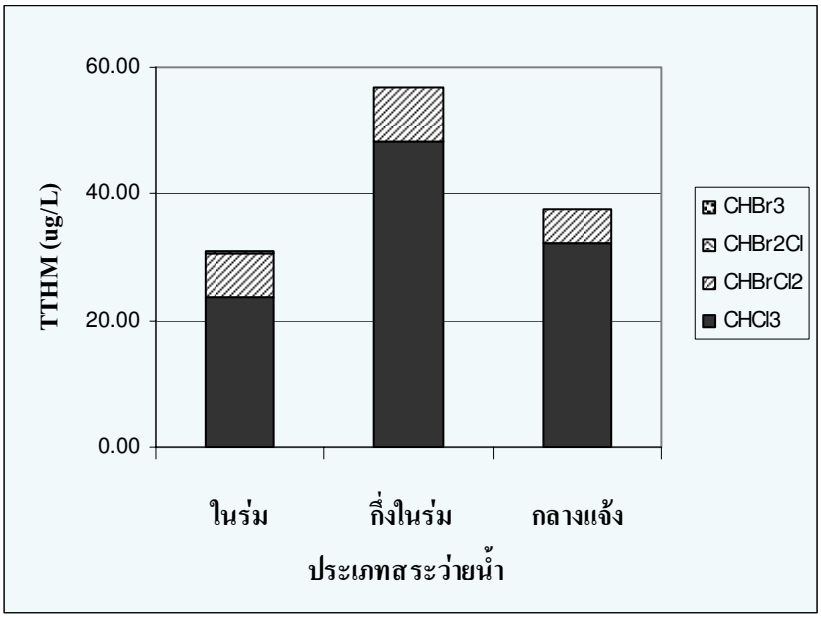
สมบัติของน้ำที่ทำการวิเคราะห์ ได้แก่ pH คลอรีนตกค้าง สารอินทรีย์ และ THMs เนื่องจากสมบัติต่าง ๆ เหล่านี้เป็นปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดสาร THMs โดยผลการวิเคราะห์สมบัติของน้ำในสระว่ายน้ำทั้ง 3 ประเภท แสดงดังตารางที่ 12 ซึ่งเป็นข้อมูลจากการเก็บตัวอย่าง 3 ฤดูกาล ในช่วง 1 ปีที่ทำการวิจัย จากข้อมูลพบว่า pH ในสระว่ายน้ำในร่ม สระว่ายน้ำกึ่งในร่ม และสระว่ายน้ำกลางแจ้งมีค่าอยู่ในช่วง 3.16-4.73 3.50-4.06 และ 5.42-8.38 ตามลำดับ คลอรีนตกค้างในสระว่ายน้ำทั้ง 3 สระมีความเข้มข้นอยู่ในช่วง 0.71-6.12 0.43-1.97 และ 0.27-1.09 mg/L ตามลำดับ ความเข้มข้นของ TTHM อยู่ในช่วง 13.47-38.15 46.99-65.47 และ 19.81-63.60 µg/L ตามลำดับ

เมื่อนำ pH คลอรีนตกค้างและ TTHM เทียบมาตรฐานน้ำสระว่ายน้ำของกรมอนามัยซึ่งมีการกำหนดให้ pH = 7.2-7.6 และคลอรีนตกค้าง > 1.0 mg/L พบว่า pH ในสระว่ายน้ำในร่มและสระว่ายน้ำกึ่งในร่มมีค่าต่ำกว่าค่ามาตรฐาน ส่วน pH ในสระว่ายน้ำกลางแจ้งมีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน ความเข้มข้นของคลอรีนตกค้างในสระว่ายน้ำทั้ง 3 ประเภทมีค่าอยู่ในช่วงเดียวกับมาตรฐาน ส่วนความเข้มข้นของ TTHM ไม่มีการกำหนดในมาตรฐานสระว่ายน้ำดังนั้นจึงนำไปเทียบกับมาตรฐานน้ำประปาของ WHO ซึ่งมีการกำหนดความเข้มข้นของ TTHM สูงสุดไม่เกิน 100 ug/L พบว่าความเข้มข้นของ TTHM ในสระว่ายน้ำทั้ง 3 ประเภทมีค่าไม่เกินมาตรฐาน

จากภาพที่ 21 ซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยจะเห็นได้ว่าน้ำในสระว่ายน้ำกึ่งในร่มมีความเข้มข้นของ TTHM สูงที่สุด รองลงมาคือ สระว่ายน้ำกลางแจ้ง และสระว่ายน้ำในร่ม ตามลำดับ โดยสาร THMs ที่พบมากที่สุดคือ $CHCl_3$ รองลงมาคือ $CHBrCl_2$ $CHBr_2Cl$ และ $CHBr_3$ ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากน้ำประปาที่นำมาใช้ในสระว่ายน้ำเป็นน้ำผิวดินซึ่งมี Br^- ต่ำ ทำให้ THMs ส่วนใหญ่อยู่ในรูปที่ไม่มี Br เป็นองค์ประกอบ ซึ่งจากการวิเคราะห์สมบัติของน้ำพบว่า Br^- มีค่าอยู่ในช่วง ND-77.21 mg/L ส่วนงานวิจัยของ มัลลิกาและผ่องศรี (2550) ซึ่งทำการวิเคราะห์หาความเข้มข้นของ Br^- ในสระว่ายน้ำซึ่งใช้น้ำดิบเป็นน้ำผสมระหว่างน้ำประปาและน้ำบาดาลในอัตราส่วน 1:3 พบว่ามีความเข้มข้นของ Br^- อยู่ในช่วง ND-3.90

เมื่อเปรียบเทียบความเข้มข้นของสารไตรฮาโลมีเทนในน้ำจากการวิจัยครั้งนี้กับงานวิจัยในต่างประเทศแล้วพบว่างานวิจัยนี้มีความเข้มข้นของสารไตรฮาโลมีเทนทั้ง 4 ชนิดในสระว่ายน้ำในร่มส่วนใหญ่มีค่าอยู่ในช่วงเดียวกับประเทศอิตาลี สหรัฐอเมริกา และเยอรมนี ดังตารางที่ 5 (WHO, 2000) ซึ่งมีค่าไม่เกินมาตรฐาน ยกเว้นสระว่ายน้ำในร่มบางสระของประเทศเยอรมันและสหรัฐอเมริกาซึ่งมีความเข้มข้นของ $CHCl_3$ สูงถึง 980 µg/Lและ 580 µg/L ตามลำดับ ซึ่งสูงกว่างานวิจัยนี้มากและมีค่าเกินมาตรฐานของ WHO ส่วนสระว่ายน้ำกลางแจ้งมีความเข้มข้นของสาร

ไตรฮาโลมีเทนทั้ง 4 ชนิดอยู่ในช่วงเดียวกับประเทศเยอรมันและมีค่าไม่เกินมาตรฐาน แต่ประเทศสหรัฐอเมริกามีความเข้มข้นของ $CHCl_3$ อยู่ในช่วงที่สูงถึง 402 µg/L ซึ่งมีค่าเกินมาตรฐานของ WHO (WHO, 2000)



ภาพที่ 21 ความเข้มข้นของสารไตรฮาโลมีเทนในน้ำสระว่ายน้ำทั้ง 3 ประเภท

ตารางที่ 12 สมบัติของน้ำในสระว่ายน้ำทั้ง 3 ประเภทและน้ำประปา

พารามิเตอร์	สระว่ายน้ำในร่ม			สระว่ายน้ำกึ่งในร่ม			สระว่ายน้ำกลางแจ้ง			น้ำประปา		
	ช่วง	เฉลี่ย	SD	ช่วง	เฉลี่ย	SD	ช่วง	เฉลี่ย	SD	ช่วง	เฉลี่ย	SD
pH	3.16-4.73	3.68	0.48	3.50-4.06	3.73	0.22	5.42-8.38	7.13	1.12	5.6-8.32	6.69	0.80
อุณหภูมิ (°C)	27.2-29.7	28.41	1.00	25.0-30.0	27.75	2.09	28.3-31.3	29.80	1.17	25.0-35.6	30.07	2.79
คลอรีนตกค้าง (mg/L)	0.71-6.12	3.23	2.28	0.43-1.97	1.18	0.54	0.27-1.09	0.48	0.26	0.00-0.40	0.08	0.14
ความขุ่น (NTU)	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND-0.99	0.17	0.33
Br^- (mg/L)	0.00-4.57	1.91	1.61	0.00-7.15	2.82	2.57	0.00-77.21	39.53	31.63	0.00-0.06	0.01	0.02
DOC (mg/L)	9.06-12.15	10.72	1.08	0.95-3.29	2.33	0.73	0.72-1.59	1.08	0.36	2.65-4.15	3.32	0.46
UV - 254 (cm^{-1})	0.05-0.07	0.06	0.01	0.02-0.03	0.03	0.01	0.02-0.03	0.02	0.00	0.06-0.07	0.07	0.00
SUVA(cm^{-1} L/mg)	0.42-0.60	0.54	0.06	0.84-2.21	1.35	0.43	1.16-2.95	1.97	0.60	1.63-2.36	2.05	0.24
$CHCl_3$ (µg/L)	9.70-46.24	23.73	15.30	39.73-56.54	48.46	5.00	15.88-61.18	32.24	19.62	28.74-80.85	52.79	20.37
$CHBrCl_2$ (µg/L)	3.60-10.85	7.06	2.39	1.21-17.13	8.27	4.17	0.03-14.08	5.34	6.19	10.61-19.95	14.63	3.54
$CHBr_2Cl$ (µg/L)	ND	ND	0.00	ND-0.23	0.07	0.11	ND-0.04	0.01	0.02	0.04-2.10	1.56	0.65
$CHBr_3$ (µg/L)	0.00-0.77	0.15	0.29	0.00-0.43	0.10	0.17	0.00-0.11	0.02	0.04	0.01-0.44	0.14	0.16
TTHM (µg/L)	13.47-38.15	25.07	9.21	46.99-65.47	56.90	6.34	19.81-63.60	37.61	17.61	41.95-100.06	69.12	22.46

4.2.2 การเปรียบเทียบสมบัติของน้ำในแต่ละระดับความลึกของสระว่ายน้ำ

เนื่องจากสาร THMs สามารถระเหยได้ ดังนั้นจึงได้ทำการศึกษาความเข้มข้นของ THMs ที่ระดับความลึกต่าง ๆ ดังตารางที่ 13 ซึ่งพบว่าสมบัติของน้ำแต่ละระดับความลึกของสระว่ายน้ำในร่มมีค่าใกล้เคียงกัน โดยพบว่าสมบัติของน้ำด้านตื้นที่ระดับความลึก 20 cm และ 60 cm คลอรีนตกค้างมีค่าอยู่ในช่วง 0.72-6.27 และ 0.77-6.16 mg/L ตามลำดับ DOC มีค่าอยู่ในช่วง 8.62-17.76 และ 8.36-12.03 mg/L ตามลำดับ UV-254 มีค่าอยู่ในช่วง 0.05-0.45 และ 0.05-0.07 cm^{-1} ตามลำดับ TTHM มีค่าอยู่ในช่วง 15.04-34.62 และ 14.29-39.74 µg/L ตามลำดับ สมบัติของน้ำด้านลึกที่ระดับความลึก 20 cm และ 150 cm คลอรีนตกค้างมีค่าอยู่ในช่วง 0.68-6.05 และ 0.65-6.14 mg/L ตามลำดับ DOC มีค่าอยู่ในช่วง 8.85-11.64 และ 8.76-12.24 mg/L ตามลำดับ UV-254 มีค่าอยู่ในช่วง 0.05-0.07 และ 0.05-0.07 cm^{-1} ตามลำดับ TTHM มีค่าอยู่ในช่วง 11.69-38.00 และ 11.03-36.30 µg/L ตามลำดับ

สมบัติของน้ำด้านตื้นที่ระดับความลึก 20 cm และ 60 cm ของสระว่ายน้ำกึ่งในร่ม มีค่าคลอรีนตกค้างอยู่ในช่วง 0.44-2.22 และ 0.50-1.79 mg/L ตามลำดับ DOC มีค่าอยู่ในช่วง 1.36-3.86 และ 1.08-2.87 mg/L ตามลำดับ UV-254 มีค่าอยู่ในช่วง 0.02-0.25 และ 0.02-0.04 cm^{-1} ตามลำดับ TTHM มีค่าอยู่ในช่วง 44.22-65.25 และ 50.35-65.52 µg/L ตามลำดับ สมบัติของน้ำด้านลึกที่ระดับความลึก 20 cm และ 150 cm พบคลอรีนตกค้างมีค่าอยู่ในช่วง 0.41-1.54 และ 0.50-1.65 mg/L ตามลำดับ DOC มีค่าอยู่ในช่วง 0.91-2.92 และ 1.00-2.45 mg/L ตามลำดับ UV-254 มีค่าอยู่ในช่วง 0.02-0.04 และ 0.02-0.04 cm^{-1} ตามลำดับ TTHM มีค่าอยู่ในช่วง 57.36-72.41 และ 40.20-70.64 µg/L ตามลำดับ

สมบัติของน้ำด้านตื้นที่ระดับความลึก 20 cm และ 60 cm ของสระว่ายน้ำกลางแจ้ง มีค่าคลอรีนตกค้างอยู่ในช่วง 0.27-0.80 และ 0.28-0.44 mg/L ตามลำดับ DOC มีค่าอยู่ในช่วง 0.84-1.88 และ 0.71-1.74 ตามลำดับ UV-254 มีค่าอยู่ในช่วง 0.02-0.02 และ 0.02-0.18 cm^{-1} ตามลำดับ TTHM มีค่าอยู่ในช่วง 18.48-59.38 และ 23.44-62.84 µg/L ตามลำดับ สมบัติของน้ำด้านลึกที่ระดับความลึก 20 cm และ 150 cm คลอรีนตกค้างมีค่าอยู่ในช่วง 0.09-0.32 และ 0.28-0.62 mg/L ตามลำดับ DOC มีค่าอยู่ในช่วง 0.71-1.73 และ 0.71-1.67 mg/L ตามลำดับ UV-254 มีค่าอยู่ในช่วง 0.02-0.02 และ 0.02-0.02 cm^{-1} ตามลำดับ TTHM มีค่าอยู่ในช่วง 19.70-59.64 และ 23.32-63.87µg/L ตามลำดับ

จากข้อมูลดังกล่าวนำมาทดสอบการแจกแจงแบบปกติของข้อมูลโดยใช้ Kolmogorov-Smirnov พบว่ามีการแจกแจงแบบไม่ปกติ ดังนั้นจึงทำการทดสอบโดยใช้ตัวสถิติ Kruskal-Wallis H Test แล้วพบว่าสมบัติต่าง ๆ ของน้ำในสระว่ายน้ำในร่มทั้ง 4 จุดเก็บตัวอย่าง ซึ่งเก็บในแต่ละ

ระดับความลึกและในแต่ละด้านไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งไม่เป็นไปตามสมมติฐานที่ตั้งไว้ กล่าวคือที่ระดับความลึกมากกว่ามีความเข้มข้นของสาร THMs สูงกว่าที่ระดับตื้น ทั้งนี้เนื่องจากน้ำที่หมุนเวียนเข้าสู่สระว่ายน้ำทำให้เกิดความปั่นป่วน น้ำในสระว่ายน้ำจึงผสมเข้ากันดีทำให้สมบัติต่างๆ ของน้ำในแต่ละระดับความลึกไม่มีความแตกต่างกัน สระว่ายน้ำกึ่งในร่มมีความเข้มข้นของ DOC UV-254 และคลอรีนตกค้างไม่มีความแตกต่างกันทั้ง 4 จุดเก็บตัวอย่าง แต่ความเข้มข้นของ TTHM มีความแตกต่างกันทั้ง 4 จุดเก็บตัวอย่าง ส่วนสระว่ายน้ำกลางแจ้งมีความเข้มข้นของ DOC UV-254 และ TTHM ไม่มีความแตกต่างกันทั้ง 4 จุดเก็บตัวอย่าง
แต่คลอรีนตกค้างมีความแตกต่างกันทั้ง 4 จุดเก็บตัวอย่าง

4.2.3 การเปรียบเทียบสมบัติของน้ำในแต่ละฤดูกาล

สมบัติของน้ำในแต่ละฤดูกาลน่าจะมีความแตกต่างกัน ดังนั้นจึงนำสมบัติต่าง ๆ ของน้ำในแต่ละฤดูกาลมาเปรียบเทียบกัน โดยผลการวิเคราะห์สมบัติต่าง ๆ ของน้ำในสระว่ายน้ำในร่ม สระว่ายน้ำกึ่งในร่มและสระว่ายน้ำกลางแจ้งในแต่ละฤดูกาลแสดงดังตารางที่ 14 ซึ่งจะเห็นได้ว่า สระว่ายน้ำในร่มในช่วงฤดูหนาว ฤดูร้อน และฤดูฝน มีความเข้มข้นของคลอรีนตกค้างอยู่ในช่วง 2.77-2.92 0.65-0.90 5.87-6.27 mg/L ตามลำดับ DOC มีค่าอยู่ในช่วง 8.36-10.45 10.02-11.76 11.51-17.76 mg/L ตามลำดับ UV-254 มีค่าอยู่ในช่วง 0.05-0.06 0.05-0.45 0.06-0.07 cm^{-1} ตามลำดับ TTHM มีค่าอยู่ในช่วง 11.03-16.83 33.59-39.74 และ 23.17-26.67 µg/L ตามลำดับ

สระว่ายน้ำกึ่งในร่มในช่วงฤดูหนาว ฤดูร้อน และฤดูฝน มีความเข้มข้นของคลอรีนตกค้างอยู่ในช่วง 1.25-2.22 1.27-1.53 0.41-0.56 mg/L ตามลำดับ DOC มีค่าอยู่ในช่วง 0.91-3.00 2.35-3.36 2.18-3.87 mg/L ตามลำดับ UV-254 มีค่าอยู่ในช่วง 0.02-0.25 0.03-0.03 0.03-0.04 cm^{-1} ตามลำดับ TTHM มีค่าอยู่ในช่วง 40.20 - 66.33 57.27 - 72.41 และ 49.26 - 60.73 µg/L ตามลำดับ

สระว่ายน้ำกลางแจ้งมีในช่วงฤดูหนาว ฤดูร้อน และฤดูฝน มีความเข้มข้นของคลอรีนตกค้างอยู่ในช่วง 0.23-0.62 0.28-0.41 0.24-0.46 mg/L ตามลำดับ DOC มีค่าอยู่ในช่วง 1.33-1.88 0.73-1.03 0.71-0.97 mg/L ตามลำดับ UV-254 มีค่าอยู่ในช่วง 0.02-0.02 0.02-0.03 0.02-0.18 cm^{-1} ตามลำดับ TTHM มีค่าอยู่ในช่วง 58.77 - 63.87 18.48 - 24.72 และ 28.21 - 32.00 µg/L ตามลำดับ

จากข้อมูลดังกล่าวจะเห็นได้ว่าสระว่ายน้ำในร่มและสระว่ายน้ำกึ่งในร่มมีความเข้มข้นของ TTHM ในช่วงฤดูร้อนสูงกว่าฤดูหนาว ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Ristoiu et al. (2009) ซึ่งพบว่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นในช่วงฤดูร้อนทำให้เกิดปฏิกิริยาเร็วกว่าทำให้ความเข้มข้นของ THMs ในช่วงฤดูร้อนสูงกว่าช่วงฤดูหนาว และงานวิจัยของ Rodriguez et al. (2004) พบว่าฤดูร้อนมีความ

เข้มข้นของ THMs สูงกว่าฤดูหนาวประมาณ 5 เท่า ส่วนสระว่ายน้ำกลางแจ้งมีความเข้มข้นของ TTHM ในช่วงฤดูหนาวสูงกว่าฤดูร้อน

ส่วนสระว่ายน้ำกึ่งในร่มและสระว่ายน้ำกลางแจ้งมีความเข้มข้นของ DOC และUV-254 ในฤดูร้อนและฤดูฝนมีค่าใกล้เคียงกัน แต่สระว่ายน้ำในร่มไม่สามารถสรุปได้

เมื่อนำผลการวิเคราะห์มาทดสอบทางสถิติโดยใช้ Kolmogorov-Smirnov แล้วพบว่าข้อมูลต่าง ๆ ของสระว่ายน้ำในร่มและสระว่ายน้ำกึ่งในร่มมีการแจกแจงแบบปกติ ดังนั้นจึงใช้สถิติการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ในการทดสอบสมมติฐานซึ่งพบว่า

- สระว่ายน้ำในร่มมีความเข้มข้นของ TTHM คลอรีนตกค้าง และ DOC แตกต่างกันในแต่ละฤดูกาล ส่วนค่า UV-254 ในฤดูฝนจะแตกต่างกับฤดูหนาวและฤดูร้อน สำหรับฤดูหนาวและฤดูร้อนมีค่าไม่แตกต่างกัน
- สระว่ายน้ำกึ่งในร่มมีความเข้มข้นของคลอรีนตกค้างในฤดูฝนแตกต่างจากฤดูหนาวกับฤดูร้อน แต่สำหรับฤดูหนาวกับฤดูร้อนมีค่าไม่แตกต่างกัน สำหรับค่า DOC และ UV-254 ฤดูหนาวมีค่าแตกต่างกับฤดูร้อนและฤดูฝน และฤดูร้อนและฤดูฝนมีค่าไม่แตกต่างกัน ส่วน TTHM ไม่มีความแตกต่างกันในแต่ละฤดูกาล
- สำหรับสระว่ายน้ำกลางแจ้งมีการแจกแจงแบบไม่ปกติ ดังนั้นจึงใช้ Kruskal-Wallis H Testในการทดสอบสมมติฐานซึ่งพบว่าความเข้มข้นของคลอรีนตกค้าง DOC และ TTHM มีความแตกต่างกันในแต่ละฤดูกาล แต่ค่า UV-254 ไม่มีความแตกต่างกันในแต่ละฤดูกาล

ตารางที่ 13 สมบัติของน้ำในแต่ละระดับความลึกของสระว่ายน้ำ

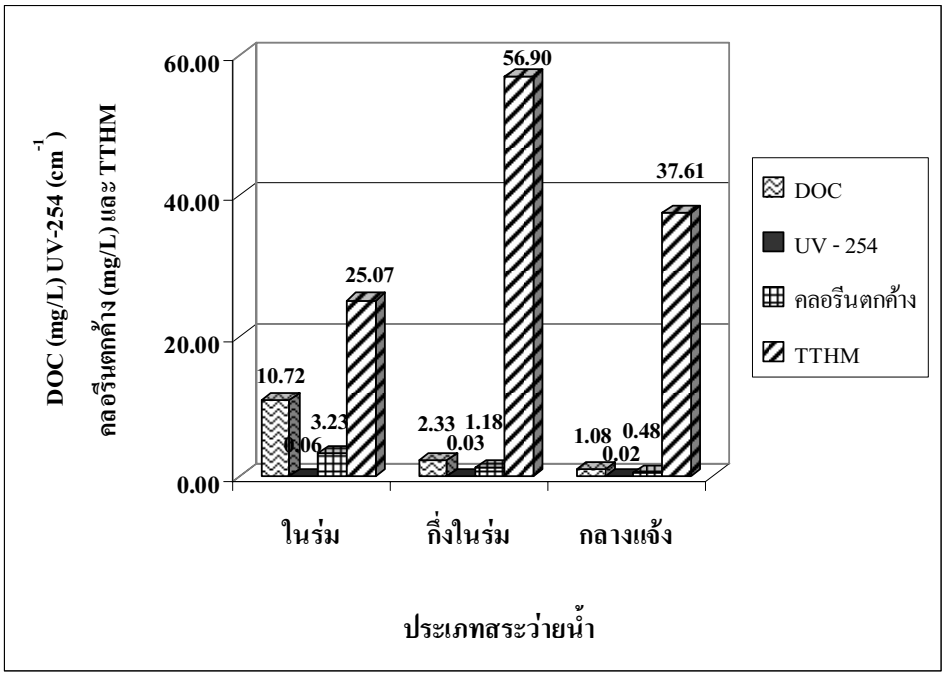
ประเภทสระว่ายน้ำ	จุดเก็บตัวอย่าง	คลอรีนตกค้าง			DOC			UV-254			TTHM		
		ช่วง	เฉลี่ย	SD	ช่วง	เฉลี่ย	SD	ช่วง	เฉลี่ย	SD	ช่วง	เฉลี่ย	SD
สระว่ายน้ำในร่ม	ด้านตื้นที่ระดับความลึก 20 cm	0.72-6.27	3.24	2.33	8.62-17.76	11.41	2.63	0.05-0.45	0.10	0.13	15.04-34.62	24.47	8.02
	ด้านตื้นที่ระดับความลึก 60 cm	0.77-6.16	3.25	2.28	8.36-12.03	10.65	1.38	0.05-0.07	0.06	0.01	14.29-39.74	26.57	10.04
	ด้านลึกที่ระดับความลึก 20 cm	0.68-6.05	3.21	2.29	8.85-11.64	10.72	0.96	0.05-0.07	0.06	0.01	11.69-38.00	25.20	10.13
	ด้านลึกที่ระดับความลึก 150 cm	0.65-6.14	3.23	2.33	8.76-12.24	10.78	1.24	0.05-0.07	0.06	0.01	11.03-36.30	23.80	9.11
สระว่ายน้ำกึ่งในร่ม	ด้านตื้นที่ระดับความลึก 20 cm	0.44-2.22	1.30	0.70	1.36-3.86	2.90	0.72	0.02-0.25	0.05	0.07	44.22-65.25	54.45	7.3
	ด้านตื้นที่ระดับความลึก 60 cm	0.50-1.79	1.23	0.55	1.08-2.87	2.44	0.55	0.02-0.04	0.03	0.01	50.35-65.52	58.04	6.11
	ด้านลึกที่ระดับความลึก 20 cm	0.41-1.54	1.08	0.49	0.91-2.92	2.07	0.85	0.02-0.04	0.03	0.01	57.36-72.41	63.71	4.98
	ด้านลึกที่ระดับความลึก 150 cm	0.50-1.65	1.13	0.46	1.00-2.45	1.91	0.67	0.02-0.04	0.03	0.01	40.20-70.64	55.04	9.18
สระว่ายน้ำกลางแจ้ง	ด้านตื้นที่ระดับความลึก 20 cm	0.27-0.80	0.42	0.16	0.84-1.88	1.13	0.37	0.02-0.02	0.02	0.00	18.48-59.38	35.91	17.75
	ด้านตื้นที่ระดับความลึก 60 cm	0.28-0.44	0.36	0.05	0.71-1.74	1.07	0.41	0.02-0.18	0.04	0.05	23.44-62.84	38.59	17.80
	ด้านลึกที่ระดับความลึก 20 cm	0.09-0.32	0.26	0.07	0.71-1.73	1.06	0.41	0.02-0.02	0.02	0.00	19.70-59.64	36.38	17.39
	ด้านลึกที่ระดับความลึก 150 cm	0.28-0.62	0.43	0.13	0.71-1.67	1.06	0.33	0.02-0.02	0.02	0.00	23.32-63.87	36.54	17.08

ตารางที่ 14 สมบัติของน้ำในแต่ละฤดูกาล

ประเภทสระว่ายน้ำ	ฤดู	คลอรีนตกค้าง (mg/L)			DOC (mg/L)			UV - 254 (cm^{-})			TTHM (µg/L)		
		ช่วง	เฉลี่ย	SD	ช่วง	เฉลี่ย	SD	ช่วง	เฉลี่ย	SD	ช่วง	เฉลี่ย	SD
สระว่ายน้ำในร่ม	ฤดูหนาว	2.77 - 2.92	2.86	0.05	8.36 -10.45	9.42	0.72	0.05 -0.06	0.05	0.00	11.03-16.83	14.50	1.72
	ฤดูร้อน	0.65 - 0.90	0.77	0.08	10.02- 11.76	10.86	0.5	0.05-0.45	0.09	0.12	33.59 - 39.74	35.86	2.1
	ฤดูฝน	5.87 - 6.27	6.06	0.1	11.51 - 17.76	12.39	1.71	0.06 -0.07	0.07	0.00	23.17 - 26.67	24.66	1.45
สระว่ายน้ำกึ่งในร่ม	ฤดูหนาว	1.25-2.22	1.65	0.3	0.91 - 3.00	1.54	0.76	0.02 - 0.25	0.04	0.07	40.20 - 66.33	53.48	7.98
	ฤดูร้อน	1.27 - 1.53	1.42	0.09	2.35 - 3.36	2.71	0.36	0.03 - 0.03	0.03	0.00	57.27 - 72.41	65.41	3.97
	ฤดูฝน	0.41 - 0.56	0.48	0.05	2.18 - 3.87	2.75	0.43	0.03 - 0.04	0.03	0.00	49.26 - 60.73	54.55	3.83
สระว่ายน้ำกลางแจ้ง	ฤดูหนาว	0.23 - 0.62	0.39	0.15	1.33 - 1.88	1.56	0.18	0.02 - 0.02	0.02	0.00	0.00 - 63.87	55.54	17.61
	ฤดูร้อน	0.28 - 0.41	0.33	0.04	0.73 - 1.03	0.87	0.09	0.02 - 0.03	0.02	0.00	18.48 - 24.72	21.87	2.21
	ฤดูฝน	0.24 - 0.46	0.37	0.15	0.71 - 0.97	0.82	0.10	0.02 - 0.18	0.03	0.05	28.21 - 32.00	30.10	1.16

4.2.4 การเปรียบเทียบสมบัติของน้ำในแต่ละสระ

ผลการวิเคราะห์สมบัติของน้ำในสระว่ายน้ำทั้ง 3 ประเภท แสดงดังตารางที่ 12 และภาพที่ 22 ซึ่งสามารถนำผลการวิเคราะห์มาทดสอบทางสถิติโดยใช้ Kolmogorov-Smirnov แล้วพบว่าข้อมูลมีการแจกแจงแบบไม่ปกติ ดังนั้นจึงทำการทดสอบโดยใช้ตัวสถิติ Kruskal-Wallis H Test แล้วพบว่าความเข้มข้นของ TTHM DOC UV-254 และคลอรีนตกค้าง มีความแตกต่างกันในแต่ละสระ โดยพบว่าสระว่ายน้ำในร่มมีความเข้มข้นของ DOC และ UV-254 สูงที่สุด รองลงมาคือสระว่ายน้ำกึ่งในร่ม และสระว่ายน้ำกลางแจ้งตามลำดับ ส่วนความเข้มข้นของ TTHM พบในสระว่ายน้ำกึ่งในร่มสูงที่สุด รองลงมาคือสระว่ายน้ำกลางแจ้ง และสระว่ายน้ำในร่ม ตามลำดับ ผลที่ได้จะนำมาวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของแต่ละพารามิเตอร์ต่อไปในหัวข้อ 4.5



ภาพที่ 22 ความเข้มข้นของ DOC UV-254 คลอรีนตกค้าง และ TTHMในสระว่ายน้ำทั้ง 3 ประเภท

4.3 สมบัติของน้ำประปา

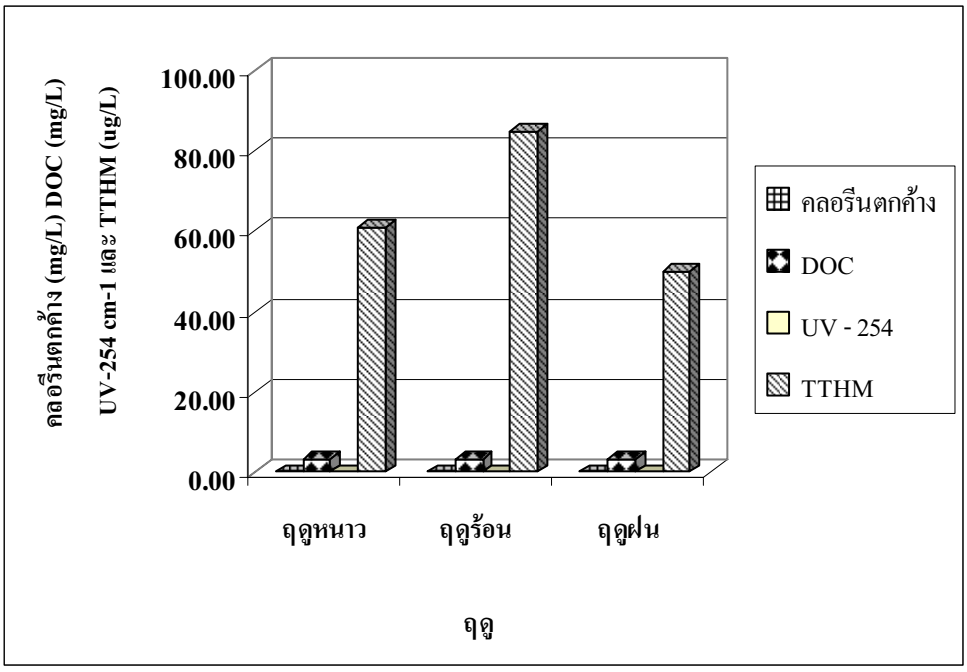
4.3.1 สมบัติทั่วไปของน้ำประปา

เนื่องจากน้ำที่นำมาใช้ในสระว่ายน้ำเป็นน้ำประปา ดังนั้นจึงต้องทำการวิเคราะห์สมบัติต่าง ๆ ของน้ำประปาด้วย โดยทำการเก็บตัวอย่างน้ำประปาในพื้นที่ที่ตั้งสระว่ายน้ำ ผลการวิเคราะห์แสดงดังตารางที่ 12 ซึ่งเป็นข้อมูลเฉลี่ยในช่วง 1 ปีที่ทำการวิจัย จากข้อมูลพบว่า pH คลอรีนตกค้าง DOC UV-254 และ TTHM มีค่าอยู่ในช่วง 5.6-8.32 ND-0.40 mg/L 2.65-4.15 mg/L

0.06-0.07 cm^{-1} และ 41.95-100.06 µg/L ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐานน้ำประปาของ WHO พบว่าสมบัติต่าง ๆ ของน้ำประปามีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน ยกเว้นคลอรีนตกค้างซึ่งมีค่าต่ำกว่ามาตรฐานขององค์การอนามัยโลก

4.3.2 การเปรียบเทียบสมบัติทั่วไปของน้ำประปาในแต่ละฤดูกาล

จากตารางที่ 15 พบว่าคลอรีนตกค้างในช่วงฤดูหนาว ฤดูร้อน ฤดูฝน มีค่าอยู่ในช่วง ND ND-0.32 และ ND-0.22 mg/L ตามลำดับ DOC ในน้ำประปาทั้ง 3 ฤดูมีค่าอยู่ในช่วง 2.97-4.20 2.62-4.33 และ 2.87-3.92 mg/L ตามลำดับ UV-254 ทั้ง 3 ฤดูมีค่าอยู่ในช่วง 0.06-0.07 cm^{-1} TTHM มีค่าอยู่ในช่วง 50.06-74.20 58.12-110.56 และ 38.62-68.73 µg/L ตามลำดับ จากภาพที่ 23 จะเห็นได้ว่าคลอรีนตกค้าง DOC และ UV-254 ในแต่ละฤดูกาลมีค่าใกล้เคียงกัน ส่วน TTHM มีความเข้มข้นสูงที่สุดในฤดูร้อน รองลงมาคือ ฤดูหนาวและฤดูฝน ตามลำดับ เมื่อนำผลการวิเคราะห์มาทดสอบทางสถิติโดยใช้ Kolmogorov-Smirnov แล้วพบว่าข้อมูลมีการแจกแจงแบบไม่ปกติ ดังนั้นจึงใช้ Kruskal-Wallis H Test ในการทดสอบสมมติฐานซึ่งพบว่าคลอรีนตกค้าง DOC และ UV-254 ไม่มีความแตกต่างกันในแต่ละฤดูกาล ส่วน TTHM ในช่วงฤดูหนาวและฤดูฝนไม่มีความแตกต่างกัน แต่ฤดูร้อนแตกต่างจากฤดูอื่น ๆ



ภาพที่ 23 ความเข้มข้นของ DOC UV-254 คลอรีนตกค้าง และ TTHMในแต่ละฤดูกาล

ตารางที่ 15 สมบัติทั่วไปของน้ำประปาในแต่ละฤดูกาล

พารามิเตอร์	ฤดูหนาว			ฤดูร้อน			ฤดูฝน		
	ช่วง	เฉลี่ย	SD	ช่วง	เฉลี่ย	SD	ช่วง	เฉลี่ย	SD
pH	6.16-8.54	7.01	1.00	5.50-7.85	6.57	0.89	6.05-7.14	6.50	0.47
อุณหภูมิ (°C)	25.00-29.00	27.53	1.90	28.30-33.30	30.01	1.38	31.10-35.90	32.69	2.21
คลอรีนตกค้าง (mg/L)	ND	ND	ND	ND-0.32	0.08	0.13	ND-0.22	0.09	0.09
DOC (mg/L)	2.97-4.20	3.25	0.37	2.62-4.33	3.33	0.66	2.87-3.92	3.38	0.42
UV – 254 (cm^{-})	0.06-0.07	0.07	0.00	0.06-0.07	0.07	0.00	0.06-0.07	0.07	0.00
TTHM (µg/L)	50.06-74.20	60.90	9.41	58.12-110.56	84.93	20.04	38.62-68.73	50.02	13.48

4.4 ความเข้มข้นของ TTHM ในอากาศ

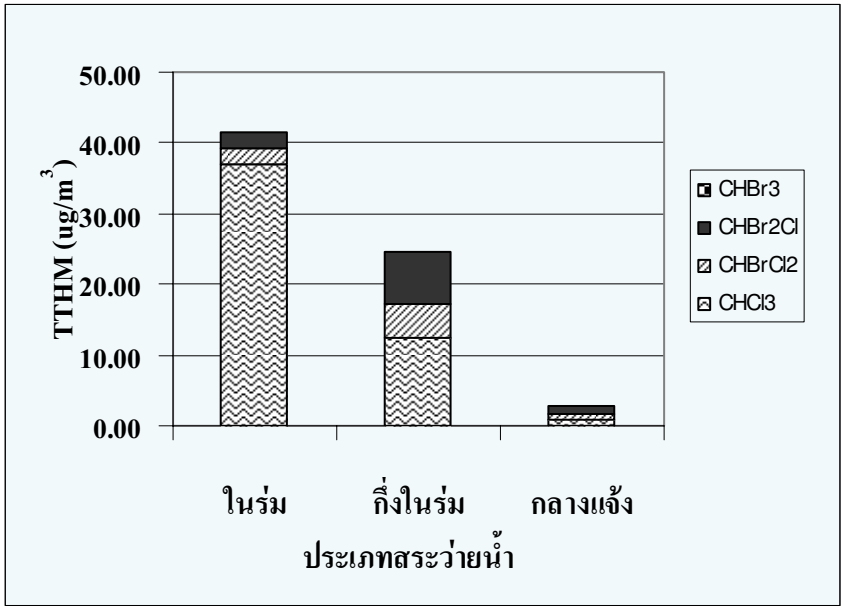
4.4.1 ความเข้มข้นของ TTHM ในอากาศที่ระดับต่าง ๆ

ผลการวิเคราะห์ความเข้มข้นของ TTHM ในอากาศที่ระดับต่าง ๆ ของสระว่ายน้ำทั้ง 3 ประเภท แสดงดังตารางที่ 16 ซึ่งเป็นข้อมูลจากการเก็บตัวอย่าง 3 ฤดูกาลในช่วง 1 ปีที่ทำการวิจัย จากการวิเคราะห์พบว่าความเข้มข้นของ TTHM ในอากาศที่ระดับผิวน้ำบริเวณสระว่ายน้ำในร่ม สระว่ายน้ำกึ่งในร่ม และสระว่ายน้ำกลางแจ้งมีค่าอยู่ในช่วง ND-490.5 ND-95.3 และ ND-18.5 $\mu g/m^3$ ตามลำดับ ความเร็วลมมีค่าอยู่ในช่วง 0.01-0.11 0.07-2.53 และ 0.08-0.93 m/s ตามลำดับ ความเข้มข้นของ TTHM ในอากาศที่ระดับ 150 cm บริเวณสระว่ายน้ำในร่ม สระว่ายน้ำกึ่งในร่ม และสระว่ายน้ำกลางแจ้งมีค่าอยู่ในช่วง ND-918.5 ND-138.2 และ ND-16.6 $\mu g/m^3$ ตามลำดับ ความเร็วลมมีค่าอยู่ในช่วง 0.01-0.26 0.14-2.90 และ 0.06-1.17 m/s ตามลำดับ

เมื่อนำผลการวิเคราะห์มาทดสอบทางสถิติโดยใช้ t-test แล้วพบว่าความเข้มข้นของ TTHM ในอากาศที่ระดับผิวน้ำและที่ระดับ 150 cm ในสระว่ายน้ำทั้ง 3 ประเภทไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ แสดงว่าเมื่อ TTHM ระเหยจากน้ำแล้วสามารถเกิดการกระจายได้อย่างรวดเร็วทำให้ไม่พบการสะสมที่ระดับความสูง 20 cm

ลักษณะของสระว่ายน้ำและความเร็วลมเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการระเหยของสารไตร-ฮาโลมีเทนจากน้ำสู่อากาศ จากภาพที่ 24 จะเห็นได้ว่าความเข้มข้นของ TTHM ในอากาศบริเวณสระว่ายน้ำในร่มสูงกว่าสระว่ายน้ำกึ่งในร่มและสระว่ายน้ำกลางแจ้งตามลำดับ เนื่องจากสระว่ายน้ำในร่มเป็นสระปิดทำให้มีความเร็วลมต่ำกว่าสระว่ายน้ำกึ่งในร่มและสระว่ายน้ำกลางแจ้ง ความเข้มข้นของ TTHM จึงไม่สามารถกระจายสู่ภายนอกได้ นอกจากนั้นยังมีผลของแสงแดดและอุณหภูมิด้วย สาร THMs ที่พบมากที่สุดคือ $CHCl_3$ รองลงมาคือ $CHBrCl_2$ $CHBr_2Cl$ และ $CHBr_3$ ตามลำดับ เช่นเดียวกับที่พบในน้ำเนื่องจากในน้ำมีความเข้มข้นของ $CHCl_3$ มากจึงเกิดการระเหยสู่อากาศได้มาก

เมื่อเปรียบเทียบความเข้มข้นของสารไตรฮาโลมีเทนในอากาศบริเวณสระว่ายน้ำในร่มจากการวิจัยครั้งนี้กับงานวิจัยในต่างประเทศแล้วพบว่าความเข้มข้นของสารไตรฮาโลมีเทนทั้ง 4 ชนิดมีค่าอยู่ในช่วงเดียวกับประเทศอิตาลีและเยอรมัน ซึ่งมีความเข้มข้นของ $CHCl_3$ เฉลี่ยเท่ากับ 169 และ 65 $\mu g/m^3$ ตามลำดับ ส่วนอากาศบริเวณสระว่ายน้ำกลางแจ้งพบว่ามีความเข้มข้นของสารไตรฮาโล-มีเทนทั้ง 4 ชนิดใกล้เคียงกัน โดยประเทศเยอรมันมีความเข้มข้นของ $CHCl_3$ เฉลี่ยเท่ากับ 3.3 $\mu g/m^3$ ดังตารางที่ 6 (WHO, 2000)



ภาพที่ 24 ความเข้มข้นของสารไตรฮาโลมีเทนในอากาศระดับผิวน้ำบริเวณสระว่ายน้ำทั้ง 3 ประเภท

4.4.2 การเปรียบเทียบความเข้มข้นของ TTHM ในอากาศในสระว่ายน้ำแต่ละประเภท

เมื่อนำผลการวิเคราะห์จากตารางที่ 16 มาทดสอบทางสถิติโดยใช้ Kolmogorov-Smirnov แล้วพบว่าข้อมูลมีการแจกแจงแบบไม่ปกติ ดังนั้นจึงทำการทดสอบโดยใช้ Kruskal-Wallis H Test แล้วพบว่าความเข้มข้นของ TTHM ในอากาศในสระว่ายน้ำทั้ง 3 ประเภทมีความแตกต่างกันทางสถิติ เนื่องจากลักษณะของสระว่ายน้ำที่แตกต่างกันทำให้มีความเร็วลม การระบายอากาศที่ต่างกัน (ดูการวิเคราะห์ในหัวข้อ 4.4.3) ส่งผลให้มีความเข้มข้นของ TTHM ในอากาศที่แตกต่างกัน

4.4.3 การเปรียบเทียบความเร็วลมในสระว่ายน้ำแต่ละประเภท

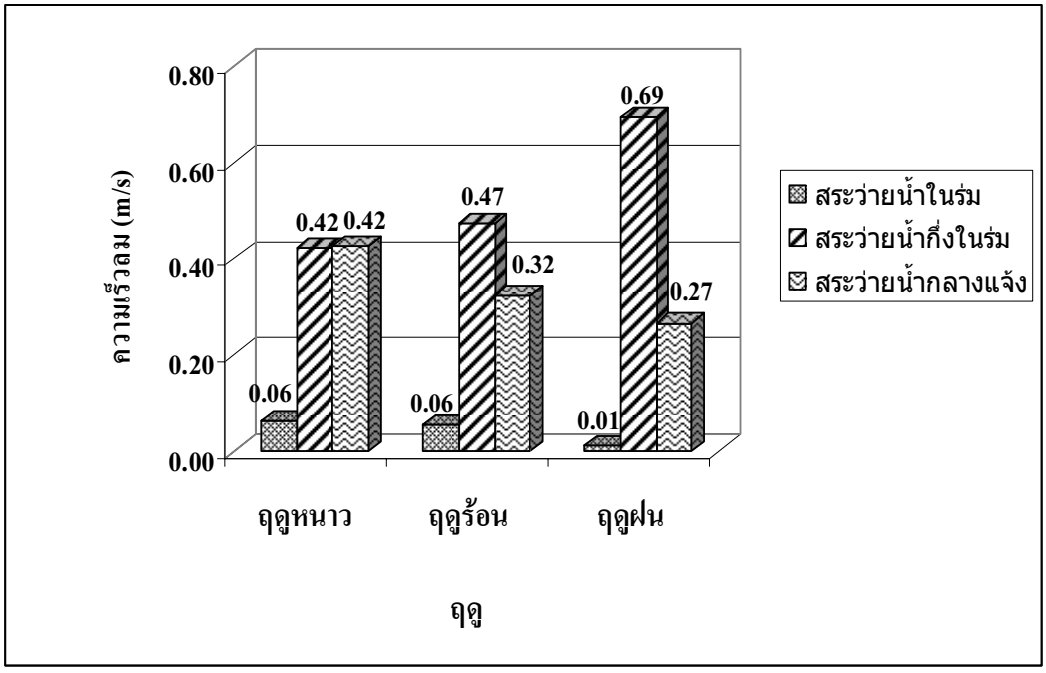
จากตารางที่ 16 จะเห็นได้ว่าความเร็วลมที่ระดับผิวน้ำและที่ระดับ 150 cm บริเวณสระว่ายน้ำกึ่งในร่มมีค่าสูงที่สุด รองลงมาคือสระว่ายน้ำกลางแจ้ง และสระว่ายน้ำในร่ม ตามลำดับ ซึ่งมีความเร็วลมที่ระดับผิวน้ำเท่ากับ 0.53 0.34 0.04 m/s ตามลำดับ ส่วนความเร็วลมที่ระดับ 150 cm มีค่าเท่ากับ 0.75 0.45 0.05 m/s ตามลำดับ เมื่อนำผลของความเร็วลม มาทดสอบทางสถิติโดยใช้ Kolmogorov-Smirnov แล้วพบว่าข้อมูลมีการแจกแจงแบบไม่ปกติ ดังนั้นจึงทำการทดสอบโดยใช้ Kruskal-Wallis H Test แล้วพบว่าความเร็วลมที่ระดับผิวน้ำและที่ระดับ 150 cm บริเวณ

สระว่ายน้ำทั้ง 3 ประเภทมีความแตกต่างกันทางสถิติ เนื่องจากลักษณะของสระว่ายน้ำที่แตกต่างกันทำให้มีความเร็วลมแตกต่างกัน

4.4.4 การเปรียบเทียบความเร็วลมในแต่ละฤดูกาล

จากภาพที่ 25 จะเห็นได้ว่าความเร็วลมบริเวณสระว่ายน้ำในร่มฤดูหนาวมีค่าใกล้เคียงกับฤดูร้อน ส่วนฤดูฝนมีความเร็วลมต่ำที่สุด สระว่ายน้ำกึ่งในร่มมีความเร็วลมในฤดูฝนสูงที่สุด รองลงมาคือ ฤดูร้อน และฤดูหนาว ตามลำดับ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.69 0.47 และ 0.41 m/s ตามลำดับ ส่วนสระว่ายน้ำกลางแจ้งมีความเร็วลมในฤดูหนาวสูงที่สุด รองลงมาคือ ฤดูร้อน และฤดูฝน ตามลำดับ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.42 0.32 และ 0.27 m/s ตามลำดับ

เมื่อนำผลของความเร็วลม มาทดสอบทางสถิติโดยใช้ Kolmogorov-Smirnov แล้วพบว่าข้อมูลมีการแจกแจงแบบไม่ปกติ ดังนั้นจึงทำการทดสอบโดยใช้ Kruskal-Wallis H Test แล้วพบว่าความเร็วลมบริเวณสระว่ายน้ำในร่มมีความแตกต่างกันในแต่ละฤดูกาล ส่วนความเร็วลมบริเวณสระว่ายน้ำกึ่งในร่มและสระว่ายน้ำกลางแจ้งไม่มีความแตกต่างกันในแต่ละฤดูกาล



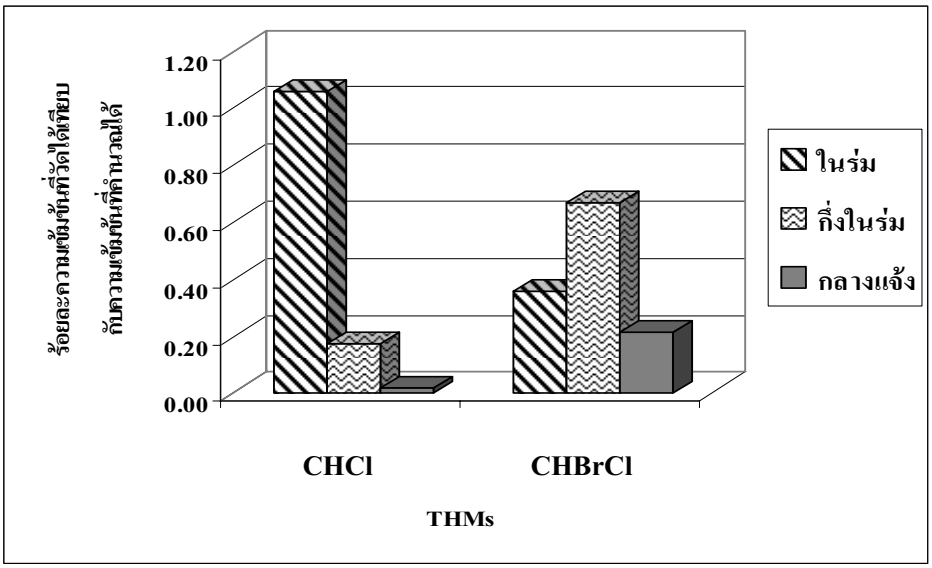
ภาพที่ 25 ความเร็วลมในแต่ละฤดูกาลในสระว่ายน้ำทั้ง 3 ประเภท

ตารางที่ 16 ความเข้มข้นของ TTHM ในอากาศระดับผิวน้ำและความเร็วลมบริเวณสระว่ายน้ำทั้ง 3 ประเภท

จุดเก็บตัวอย่าง	พารามิเตอร์	สระว่ายน้ำในร่ม			สระว่ายน้ำกึ่งในร่ม			สระว่ายน้ำกลางแจ้ง		
		ช่วง	เฉลี่ย	SD	ช่วง	เฉลี่ย	SD	ช่วง	เฉลี่ย	SD
อากาศที่ระดับผิวน้ำ	$CHCl_3$ ($\mu g/m^3$)	ND - 475.5	37.1	0.11	ND - 40.0	12.5	0.01	ND - 5.0	0.8	0.00
	$CHBrCl_2$ ($\mu g/m^3$)	ND - 11.0	2.1	0.00	ND - 12.0	4.7	0.00	ND - 7.8	1.0	0.00
	$CHBr_2Cl$ ($\mu g/m^3$)	ND - 10.0	2.2	0.00	ND - 73.0	7.5	0.02	ND - 8.2	1.0	0.00
	$CHBr_3$ ($\mu g/m^3$)	ND - 2.2	0.1	0.00	ND	ND	0.00	ND	ND	0.00
	TTHM ($\mu g/m^3$)	ND - 490.5	41.6	0.11	ND - 95.3	25.3	0.02	ND - 18.5	2.7	0.01
	ความเร็วลม (m/s)	0.01-0.11	0.04	0.03	0.07-2.53	0.53	0.47	0.08-0.93	0.34	0.23
อากาศที่ระดับความสูง 150 cm	$CHCl_3$ ($\mu g/m^3$)	ND -866.0	52.43	0.20	ND -134.0	14.1	0.04	ND - 3.4	0.2	0.00
	$CHBrCl_2$ ($\mu g/m^3$)	ND - 12.0	2.3	0.00	ND - 12.0	2.9	0.00	ND - 6.5	0.7	0.00
	$CHBr_2Cl$ ($\mu g/m^3$)	ND - 36.0	3.71	0.01	ND - 11.0	3.5	0.00	ND - 6.7	0.7	0.00
	$CHBr_3$ ($\mu g/m^3$)	ND - 9.3	0.52	0.00	ND	ND	0.00	ND	ND	0.00
	TTHM ($\mu g/m^3$)	ND - 918.5	58.98	0.21	ND - 138.2	20.5	0.04	ND - 16.6	1.6	0.00
	ความเร็วลม (m/s)	0.01-0.26	0.05	0.05	0.14-2.90	0.75	0.59	0.06-1.17	0.45	0.26

4.4.5 การเปรียบเทียบความเข้มข้นของ TTHM ในอากาศที่ตรวจวัดได้จริงกับความเข้มข้นของ TTHM ในอากาศที่คำนวณจากสมการของ Henry

การแพร่กระจายของสาร TTHM จากน้ำสู่อากาศจะขึ้นกับค่าคงที่ตามกฎของเฮนรี่ (Henry's Law) ดังนั้นถ้าทราบความเข้มข้นของ TTHM ในน้ำก็สามารถคำนวณหาความเข้มข้นของ TTHM ในอากาศได้ จากตารางที่ 17 จะเห็นได้ว่าความเข้มข้นของ TTHM ในอากาศที่คำนวณได้จะมีค่าสูงกว่าความเข้มข้นของ TTHM ในอากาศที่ตรวจวัดได้จริง เนื่องจากกรณีของ Henry's Law ทำในระบบปิดทำให้ความเข้มข้นที่คำนวณได้มีค่าสูง แต่สระว่ายน้ำจริงมีผลของความเร็วลมและการระบายอากาศเข้ามาเกี่ยวข้องทำให้ค่าที่ตรวจวัดได้จริงมีค่าต่ำกว่าค่าที่คำนวณมาก เช่น สระว่ายน้ำกลางแจ้งมีความเข้มข้นของ $CHCl_3$ ในอากาศที่คำนวณได้เท่ากับ 4768.76 $\mu g/m^3$ แต่ค่าที่ตรวจวัดได้จริงมีความเข้มข้นของ $CHCl_3$ ในอากาศเท่ากับ 0.76 $\mu g/m^3$ เนื่องจากมีความเร็วลมสูงทำให้ TTHM สามารถแพร่กระจายไปสู่อากาศภายนอกได้ เมื่อหาร้อยละความเข้มข้นที่วัดได้เทียบกับความเข้มข้นที่คำนวณได้ของสาร THMs ดังภาพที่ 26 ซึ่งจะเทียบความเข้มข้นของ $CHCl_3$ และ $CHBrCl_2$ เท่านั้นเนื่องจาก $CHBr_2Cl$ และ $CHBr_3$ มีค่าน้อยมากทำให้เกิด ข้อผิดพลาดได้ จากภาพที่ 26 จะเห็นได้ว่าร้อยละความเข้มข้นที่วัดได้เทียบกับความเข้มข้นที่คำนวณได้ของสาร $CHCl_3$ ในสระว่ายน้ำในร่มมีค่าร้อยละสูงที่สุด รองลงมาคือสระว่ายน้ำกึ่งในร่ม และสระว่ายน้ำกลางแจ้งตามลำดับ เนื่องจากสระว่ายน้ำในร่มเป็นสระปิดทำให้ค่าที่วัดได้มีค่าใกล้เคียงกับค่าที่คำนวณได้มากกว่าสระอื่น ๆ ส่วนร้อยละความเข้มข้นที่วัดได้เทียบกับความเข้มข้นที่คำนวณได้ของสาร $CHBrCl_2$ ในสระว่ายน้ำกึ่งในร่มสูงที่สุด รองลงมาคือสระว่ายน้ำในร่ม และสระว่ายน้ำกลางแจ้งตามลำดับ



ภาพที่ 26 ร้อยละความเข้มข้นที่วัดได้เทียบกับความเข้มข้นที่คำนวณได้ของสาร THMs

ตารางที่ 17 ความเข้มข้นของ TTHM ในอากาศที่ตรวจวัดได้จริงกับความเข้มข้นของ TTHM ในอากาศที่คำนวณจากค่า Henry's Law Constant

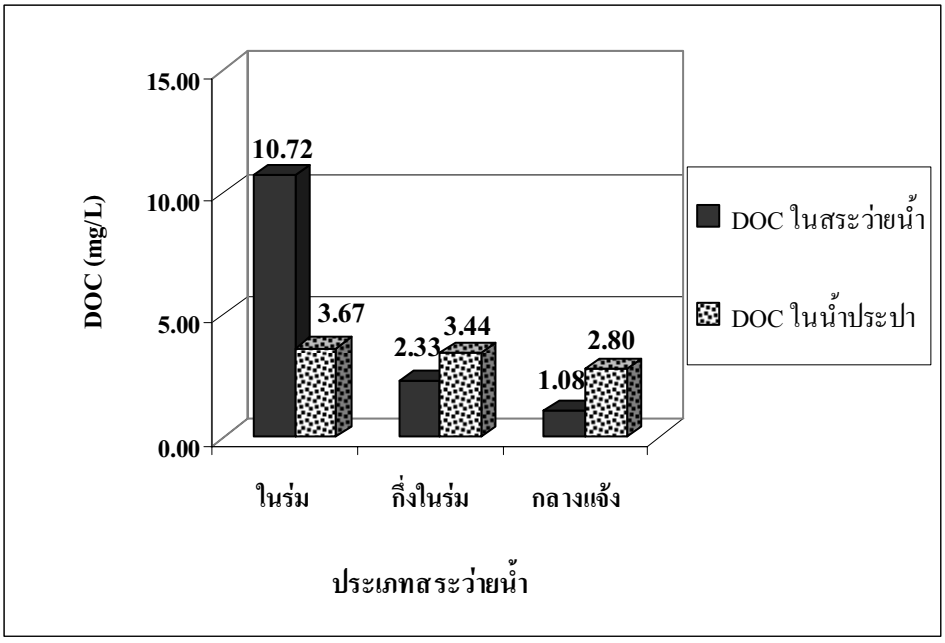
THMs	สระว่ายน้ำในร่ม			สระว่ายน้ำกึ่งในร่ม			สระว่ายน้ำกลางแจ้ง		
	อากาศที่คำนวณได้ ($\mu g/m^3$)	อากาศที่วัดได้ ($\mu g/m^3$)	ร้อยละความเข้มข้นที่วัดได้เทียบกับความเข้มข้นที่คำนวณได้	อากาศที่คำนวณได้ ($\mu g/m^3$)	อากาศที่วัดได้ ($\mu g/m^3$)	ร้อยละความเข้มข้นที่วัดได้เทียบกับความเข้มข้นที่คำนวณได้	อากาศที่คำนวณได้ ($\mu g/m^3$)	อากาศที่วัดได้ ($\mu g/m^3$)	ร้อยละความเข้มข้นที่วัดได้เทียบกับความเข้มข้นที่คำนวณได้
$CHCl_3$	3509.13	37.12	1.06	7166.75	12.49	0.17	4768.76	0.76	0.02
$CHBrCl_2$	603.12	2.14	0.35	706.56	4.70	0.66	455.90	0.96	0.21
$CHBr_2Cl$	0.00	2.19	0.00	2.33	7.47	320.95	0.23	1.00	427.80
$CHBr_3$	3.26	0.12	3.69	2.14	0.00	0.00	0.41	0.00	0.00

4.5 การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ต่าง ๆ ในน้ำ

การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ต่าง ๆ มีจุดประสงค์เพื่ออธิบายปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดสาร THMs ในสระว่ายน้ำ ซึ่งงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาตามสภาพความเป็นจริงของสระว่ายน้ำทำให้ไม่สามารถควบคุมบางปัจจัยได้ ดังนั้นจึงถือว่าค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) $\geq$ 0.50 สามารถใช้ในการอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ต่าง ๆ ได้ โดยสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แสดงความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ต่าง ๆ แสดงดังตารางที่ 18 ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

4.5.1 ความสัมพันธ์ระหว่าง DOC ในสระว่ายน้ำและน้ำประปา

เนื่องจากน้ำในสระว่ายน้ำใช้น้ำประปาเป็นน้ำตั้งต้น ดังนั้นน้ำในสระว่ายน้ำจึงมีทั้งสารอินทรีย์ธรรมชาติจากน้ำประปาและสารอินทรีย์ที่มาจากผู้ใช้บริการว่ายน้ำด้วย จากภาพที่ 27 พบว่าความเข้มข้นของ DOC ในน้ำประปาของสระว่ายน้ำแต่ละประเภทมีค่าใกล้เคียงกันแต่ความเข้มข้นของ DOC ในสระว่ายน้ำในร่มมีค่าสูงมาก เมื่อนำมาหาความสัมพันธ์กันโดยใช้ Pearson Correlation (ดังตารางที่ 18) พบว่า DOC ในสระว่ายน้ำและน้ำประปาในสระว่ายน้ำทั้ง 3 ประเภทมีความสัมพันธ์กันอย่างไม่มีนัยสำคัญที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 เนื่องจาก DOCในสระว่ายน้ำส่วนใหญ่น่าจะเป็นผลมาจากจำนวนผู้ใช้บริการว่ายน้ำ ทำให้ไม่มีความสัมพันธ์กับความเข้มข้นของ DOC ในน้ำประปา



ภาพที่ 27 ความเข้มข้นของ DOC ในสระว่ายน้ำและน้ำประปา

ตารางที่ 18 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ต่าง ๆ ($\alpha = 0.05$)

ความสัมพันธ์ระว่างพารามิเตอร์	สระว่ายน้ำในร่ม	สระว่ายน้ำกึ่งในร่ม	สระว่ายน้ำกลางแจ้ง
DOC ในสระว่ายน้ำและน้ำประปา	0.021	0.338	0.624
UV-254 ในสระว่ายน้ำและน้ำประปา	-0.945	-0.170	-0.081
TTHM ในสระว่ายน้ำและน้ำประปา	0.408	0.675	-0.197
DOC และ UV-254	-0.291	0.684	0.19
DOC และ TTHM	0.550	0.165	0.945
UV – 254 และ TTHM	-0.245	0.212	0.086
SUVA และTTHM	-0.851	-0.014	-0.83
คลอรีนตกค้างและ TTHM	-0.406	0.081	0.765
คลอรีนตกค้างและ pH	-0.480	0.765	0.544
Br^- และ Brominated THMs	0.957	-0.275	0.016
TTHM ในน้ำที่ระดับความลึก 20 cm และ TTHM ในอากาศที่ระดับผิวน้ำ	-0.397	0.422	-0.25
TTHM ในอากาศที่ระดับผิวน้ำและที่ระดับ 150 cm	0.993	-0.039	0.467
TTHM ในอากาศที่ระดับผิวน้ำและความเร็วลม	0.299	-0.129	-0.283
TTHM ในอากาศที่ระดับ 150 cm และความเร็วลม	-0.040	-0.05	-0.254
TTHM ในอากาศที่ระดับผิวน้ำและอุณหภูมิ	-0.167	-0.183	0.546
TTHM ในอากาศที่ระดับ 150 cm และอุณหภูมิ	-0.259	-0.143	0.66

ตารางที่ 19 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ต่าง ๆ เทียบกับงานวิจัยอื่น ๆ

ความสัมพันธ์ระว่างพารามิเตอร์	งานวิจัยนี้*	Lee et al. (2009)	Aggazzotti et al. (1995)	Chu and Nieuwenhuijsen (2002)	Toroz and Uyak (2005)	Ye et al. (2009)
DOC ในสระว่ายน้ำและน้ำประปา	0.021	-	-	-	-	-
UV-254 ในสระว่ายน้ำและน้ำประปา	-0.945	-	-	-	-	-
TTHM ในสระว่ายน้ำและน้ำประปา	0.408	-	-	-	-	-
DOC และ UV-254	-0.291	-	-	-	-	-
TOC และ UV-254	-	-	-	-	0.798	-
DOC และ TTHM	0.550	-	-	-	-	-
TOC และ TTHM	-	0.44	-	0.5	0.52	0.25
UV – 254 และ TTHM	-0.245	-	-	-	0.322	0.20
SUVA และTTHM	-0.851	-	-	-	-	-
คลอรีนตกค้างและ $CHCl_3$	-	-	0.2905	-	-	-
pH และ $CHCl_3$	-	-	0.2135	-	-	-
คลอรีนตกค้างและ TTHM	-0.406	0.27	-	-	-	0.26
คลอรีนตกค้างและ pH	-0.480	-	-	-	-0.309	-
pH และ TTHM	-	0.46	-	-0.1	-	-

หมายเหตุ * เป็นค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ต่าง ๆ ในสระว่ายน้ำในร่ม ($\alpha = 0.05$)

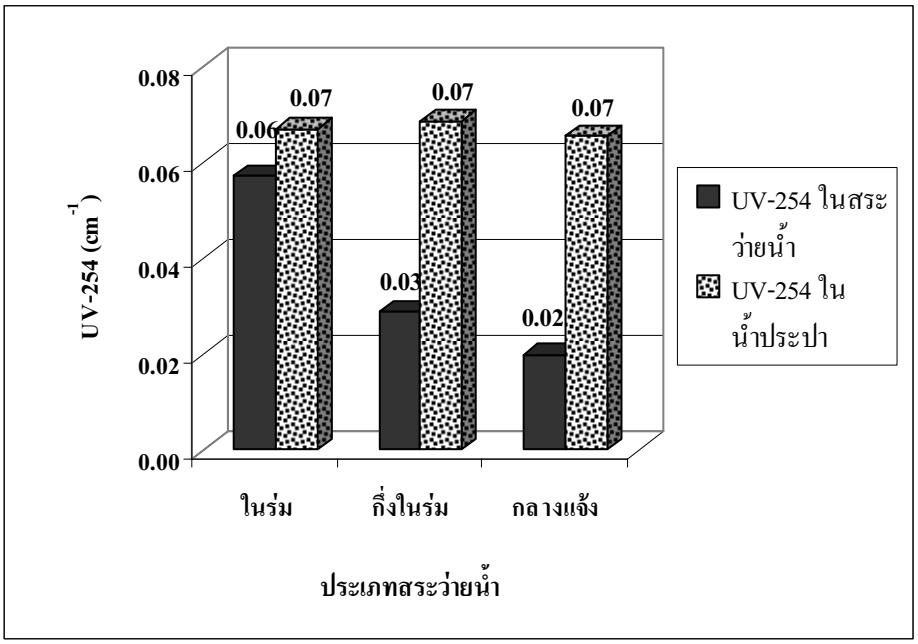
ตารางที่ 19 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ต่าง ๆ เทียบกับงานวิจัยอื่น ๆ (ต่อ)

ความสัมพันธ์ระว่างพารามิเตอร์	งานวิจัยนี้*	Lee et al. (2009)	Aggazzotti et al. (1995)	Chu and Nieuwenhuijsen (2002)	Toroz and Uyak (2005)	Ye et al. (2009)
TTHM และอุณหภูมิของน้ำ	-	-	-	0.5	-	-
Br^- และ Brominated THMs	0.957	-	-	-	-	-
TTHM ในน้ำที่ระดับความลึก 20 cm และ TTHM ในอากาศที่ระดับผิวน้ำ	-0.397	-	-	-	-	-
TTHM ในอากาศที่ระดับผิวน้ำและที่ระดับ 150 cm	0.993	-	-	-	-	-
TTHM ในอากาศที่ระดับผิวน้ำและความเร็วลม	0.299	-	-	-	-	-
TTHM ในอากาศที่ระดับ 150 cm และความเร็วลม	-0.040	-	-	-	-	-
TTHM ในอากาศที่ระดับผิวน้ำและอุณหภูมิ	-0.167	-	-	-	-	-
TTHM ในอากาศที่ระดับ 150 cm และอุณหภูมิ	-0.259	-	-	-	-	-
จำนวนคน และ $CHCl_3$ ในน้ำ	-	-	-0.3451	-	-	-
จำนวนคน และ $CHCl_3$ ในอากาศ	-	-	0.3555	-	-	-
จำนวนคน และ TTHM	-	-	-	0.7	-	-

หมายเหตุ * เป็นค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ต่าง ๆ ในสระว่ายน้ำในร่ม

4.5.2 ความสัมพันธ์ระหว่าง UV-254 ในสระว่ายน้ำและน้ำประปา

จากงานวิจัยของ Reckhow et al. (1990) พบว่าสารประกอบที่มีขนาดโมเลกุลใหญ่และประกอบด้วยโครงสร้างอะโรมาติกมากจะทำปฏิกิริยากับคลอรีนเกิดสารตกค้างได้มาก ดังนั้นถ้าน้ำมีค่า UV-254 สูงจึงน่าจะมีศักยภาพในการเกิดสารตกค้างจากการฆ่าเชื้อโรคมาก ซึ่งน้ำในสระว่ายน้ำใช้น้ำประปาเป็นน้ำตั้งต้น ดังนั้นค่า UV-254 ในสระว่ายน้ำจึงน่าจะมีความสัมพันธ์กับค่า UV-254 ในน้ำประปา จากภาพที่ 28 พบว่าค่า UV-254 ในน้ำประปาของสระว่ายน้ำแต่ละประเภทมีค่าใกล้เคียงกันเนื่องจากเป็นน้ำประปาจากแหล่งเดียวกัน แต่ค่า UV-254 ในสระว่ายน้ำในร่มมีค่าสูงที่สุด รองลงมาคือสระว่ายน้ำกึ่งในร่มและสระว่ายน้ำกลางแจ้ง ตามลำดับ ซึ่งมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกับค่า DOC ในสระว่ายน้ำแต่ละประเภท เมื่อหาความสัมพันธ์ระหว่าง UV-254 ในสระว่ายน้ำและน้ำประปา (ดังตารางที่ 17) พบว่าสระว่ายน้ำในร่มมีค่า r = -0.945 แสดงว่ามีความสัมพันธ์กันมากแบบผกผันกัน แต่สระว่ายน้ำกึ่งในร่มและสระว่ายน้ำกลางแจ้งไม่มีความสัมพันธ์ระหว่าง UV-254 ในสระว่ายน้ำและน้ำประปา

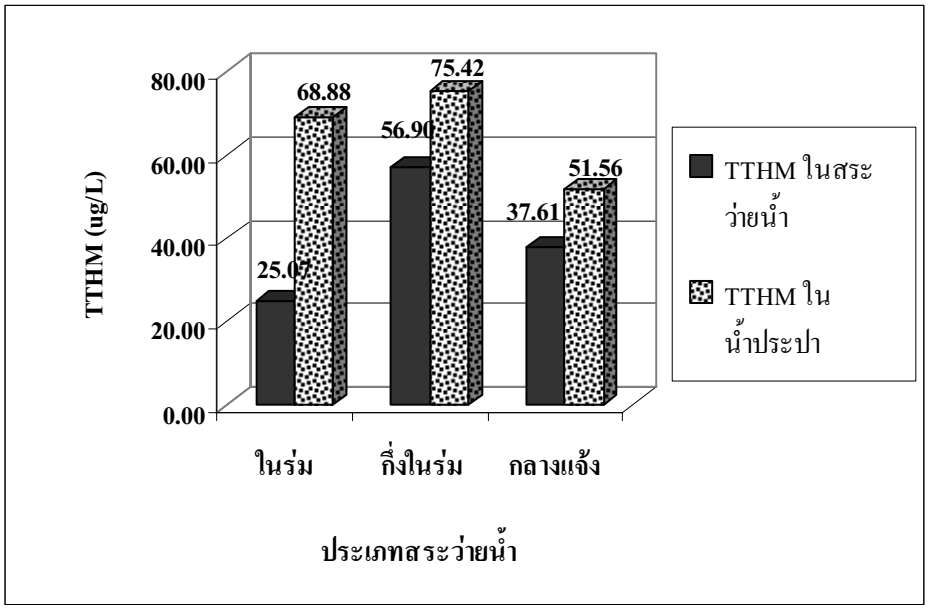


ภาพที่ 28 ค่า UV-254 ในสระว่ายน้ำและน้ำประปา

4.5.3 ความสัมพันธ์ระหว่าง TTHM ในสระว่ายน้ำและน้ำประปา

เนื่องจากสระว่ายน้ำใช้น้ำประปาเป็นน้ำตั้งต้น ดังนั้นความเข้มข้นของ TTHM ที่วิเคราะห์ได้จึงมีทั้งที่เกิดจากน้ำประปาและส่วนที่เกิดในสระว่ายน้ำ จากภาพที่ 29 จะเห็นได้ว่าความเข้มข้นของ TTHM ในน้ำประปาสูงกว่าในสระว่ายน้ำ ซึ่งน่าจะเป็นผลจากน้ำประปาอยู่ในท่อปิด

ทำให้ TTHM ในน้ำประปาไม่มีการระเหยแต่ TTHM ในสระว่ายน้ำมีการระเหยผ่านผิวน้ำมากกว่าการเกิดใหม่เนื่องจากประเทศไทยมีอุณหภูมิและความเร็วลมสูง โดยเฉพาะสระกลางแจ้งยังมีแสงแดดช่วยให้มีการระเหยดีขึ้น โดยจะพบความสัมพันธ์ระหว่าง TTHM ในสระว่ายน้ำและน้ำประปาในสระว่ายน้ำในร่ม และสระว่ายน้ำกึ่งในร่ม (ดังตารางที่ 18) ซึ่งมีค่า r = 0.408 และ 0.675 ตามลำดับ แต่สระว่ายน้ำกลางแจ้งไม่มีความสัมพันธ์ระหว่าง TTHM ในสระว่ายน้ำและน้ำประปา ผลการวิจัยนี้ขัดแย้งกับงานวิจัยของ Villanueva et al. (2006) ซึ่งเป็นงานวิจัยของประเทศฝรั่งเศส ผลการวิจัยพบว่าความเข้มข้นของ TTHM ในสระว่ายน้ำสูงกว่าน้ำประปา เนื่องจากอุณหภูมิต่ำ TTHM ในสระว่ายน้ำจึงเกิดการระเหยน้อย



ภาพที่ 29 ความเข้มข้นของ TTHM ในสระว่ายน้ำและน้ำประปา

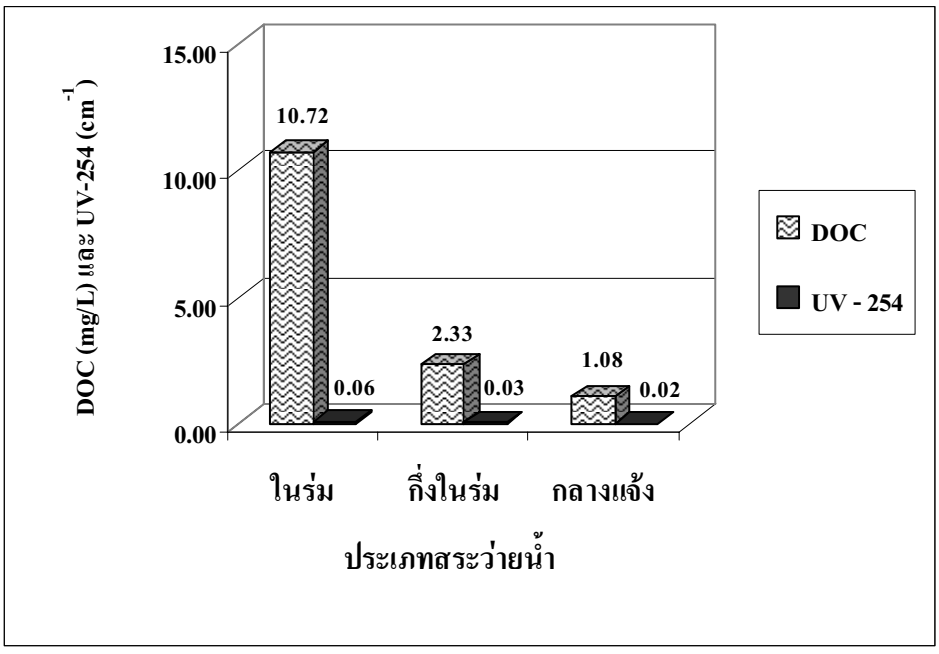
4.5.4 ความสัมพันธ์ระหว่างสารอินทรีย์และ TTHM ในสระว่ายน้ำ

สารอินทรีย์เป็นสารตั้งต้นที่จะเกิด TTHM ดังนั้นจึงทำการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างสารอินทรีย์ที่อยู่ในน้ำ และความสัมพันธ์ระหว่างสารอินทรีย์และ TTHM โดยสารอินทรีย์สามารถวิเคราะห์ด้วยพารามิเตอร์ต่างๆ ได้แก่ สารอินทรีย์คาร์บอนละลายน้ำ (Dissolved organic carbon, DOC) ค่า UV - 254 และค่า SUVA ซึ่งแสดงความเป็นอะโรมาติกของสารอินทรีย์ โดยทำการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ต่าง ๆ ดังนี้

4.5.4.1 ความสัมพันธ์ระหว่าง DOC และ UV-254

จากภาพที่ 30 พบว่าสระว่ายน้ำในร่มมีความเข้มข้นของ DOC และ UV-254 สูงที่สุด รองลงมาคือสระว่ายน้ำกึ่งในร่มและสระว่ายน้ำกลางแจ้งตามลำดับ เนื่องมาจากสระว่ายน้ำในร่มมีช่วงเวลาการเปิดบริการที่นานกว่า สามารถให้บริการได้ทุกเพศทุกวัยจึงส่งผลให้มีค่าสารอินทรีย์ในน้ำมากเมื่อเทียบกับสระว่ายน้ำแบบกลางแจ้ง โดยสระว่ายน้ำแบบกลางแจ้งจะเปิดให้บริการกับบุคคลทั่วไปหลังจากช่วงเวลาเลิกเรียนเท่านั้น นอกจากนี้การบำบัดน้ำในสระว่ายน้ำแต่ละประเภทอาจมีประสิทธิภาพแตกต่างกันทำให้มีผลต่อความเข้มข้นของสารอินทรีย์

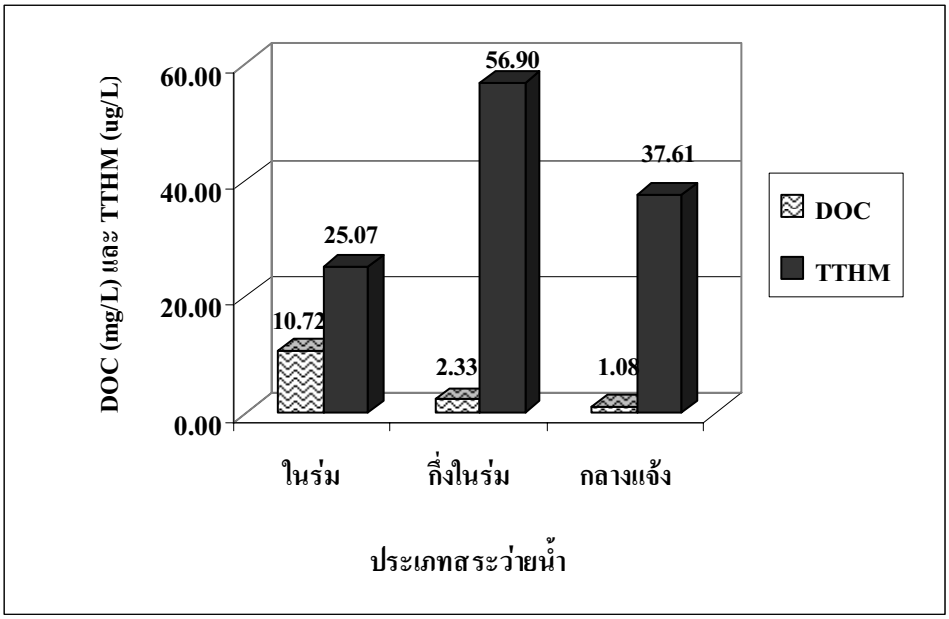
เมื่อนำความเข้มข้นของ DOC และ UV - 254 มาหาความสัมพันธ์กัน (ดังตารางที่ 18) พบว่าสระว่ายน้ำในร่มและสระว่ายน้ำกึ่งในร่ม มีค่า r = 0.600 และ 0.684ตามลำดับ แสดงว่ามีความสัมพันธ์กันแบบแปรผันตามกัน นั่นคือถ้าความเข้มข้นของ DOC ในสระว่ายน้ำมีค่าสูงจะส่งผลให้ค่า UV-254 ในสระว่ายน้ำมีค่าสูง ซึ่งหมายความว่าสารอินทรีย์ละลายน้ำมีสมบัติความเป็นอะโรมาติกคงที่สม่ำเสมอ นั่นคือไม่ว่าจะเก็บน้ำช่วงเวลาใดก็จะมีสัดส่วนความเข้มข้นของ DOC และ UV - 254 คงที่เสมอ ส่วนสระว่ายน้ำกลางแจ้งไม่มีความสัมพันธ์กัน ซึ่งขัดแย้งกับงานวิจัยของ Toroz and Uyak (2005) พบว่า TOC และ UV-254 มีความสัมพันธ์แบบแปรตามกัน โดยมีค่า r = 0.798 (ดังตารางที่ 19)



ภาพที่ 30 ความเข้มข้นของ DOC และ UV-254

4.5.4.2 ความสัมพันธ์ระหว่าง DOC และ TTHM

จากภาพที่ 31 จะเห็นได้ว่าสระว่ายน้ำกึ่งในร่มมีความเข้มข้นของ DOC น้อยกว่าสระว่ายน้ำในร่มแต่มีค่า TTHM มากกว่า แสดงว่า TTHM ที่วิเคราะห์ได้ไม่ได้ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของ DOC แต่เป็น TTHM ที่สะสมอยู่ในน้ำเนื่องจากสระว่ายน้ำมีการหมุนเวียนน้ำกลับมาใช้ใหม่ทำให้มีการสะสมของ TTHM เพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ประกอบกับสารอินทรีย์ในสระว่ายน้ำแต่ละประเภทมีลักษณะต่างกัน ทำให้ความสัมพันธ์ระหว่าง DOC และ TTHM แตกต่างกัน จากตารางที่ 18 พบว่าสระว่ายน้ำในร่มและสระว่ายน้ำ กลางแจ้งมีความสัมพันธ์กันระหว่าง DOC และ TTHM มีค่า r = 0.550 และ 0.945 ตามลำดับ แต่สระว่ายน้ำกึ่งในร่มไม่มีความสัมพันธ์กัน ซึ่งงานวิจัยของ Chu and Nieuwenhuijsen (2002), Toroz and Uyak (2005) และ Ye et al. (2009) (ดังตารางที่ 19) พบความสัมพันธ์ระหว่าง TOC และ TTHM ซึ่งมีค่า r = 0.50 0.52 และ 0.25 ตามลำดับ



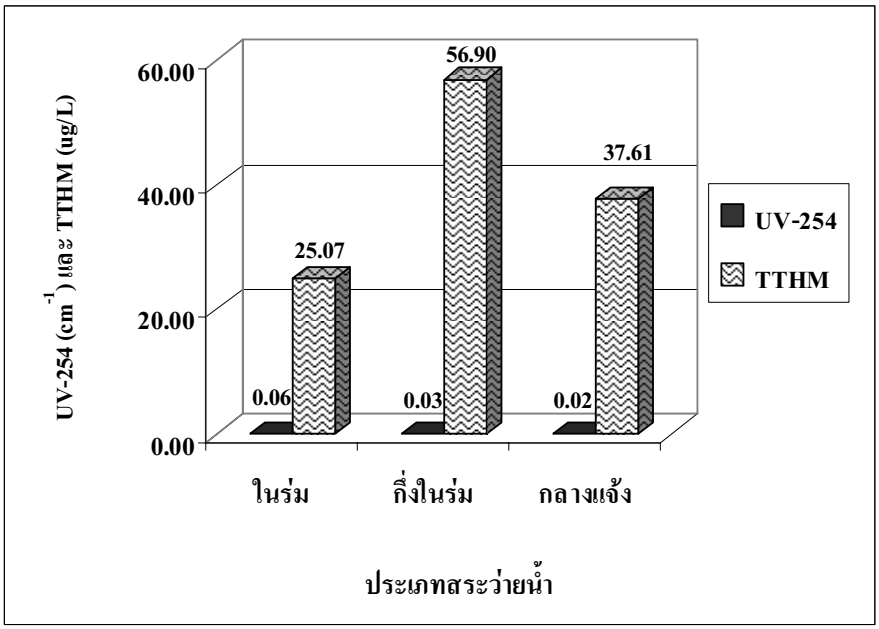
ภาพที่ 31 ความเข้มข้นของ DOC และ TTHM

4.5.4.3 ความสัมพันธ์ระหว่าง UV – 254 และ TTHM

จากภาพที่ 32 พบว่าค่า UV – 254 ในสระว่ายน้ำทั้ง 3 สระมีค่าน้อยแต่ความเข้มข้นของ TTHM มีค่ามาก เนื่องจากสารอินทรีย์ที่มีโครงสร้างอะโรมาติกที่วิเคราะห์ได้เป็นส่วนที่เหลือจากการทำปฏิกิริยากับคลอรีนตกค้างและเกิดเป็นTTHM ซึ่งมีค่ามาก เมื่อหาความสัมพันธ์ระหว่าง UV – 254 และ TTHM แล้วพบว่าสระว่ายน้ำทั้ง 3 สระไม่มีความสัมพันธ์ระหว่าง UV – 254 และ TTHM (ดังตารางที่ 18) ซึ่งงานวิจัยของ Toroz and Uyak (2005) และ Ye et al. (2009)

พบว่า UV – 254 และ TTHM มีความสัมพันธ์กันน้อยมาก ซึ่งมีค่า r = 0.322 และ 0.20 ตามลำดับ (ดังตารางที่ 19)

จากการศึกษาความสัมพันธ์ในหัวข้อ 4.5.4.1 4.5.4.2 และ 4.5.4.3 พบว่า TTHM มีความสัมพันธ์กับความเข้มข้นของ DOC มากกว่าค่า UV – 254 ซึ่งผลการวิจัยนี้สอดคล้องกับงานวิจัยทั้ง 3 เรื่อง แสดงว่าการเกิด TTHM จะมีผลมาจากความเข้มข้นของ DOC มากกว่าค่า UV–254



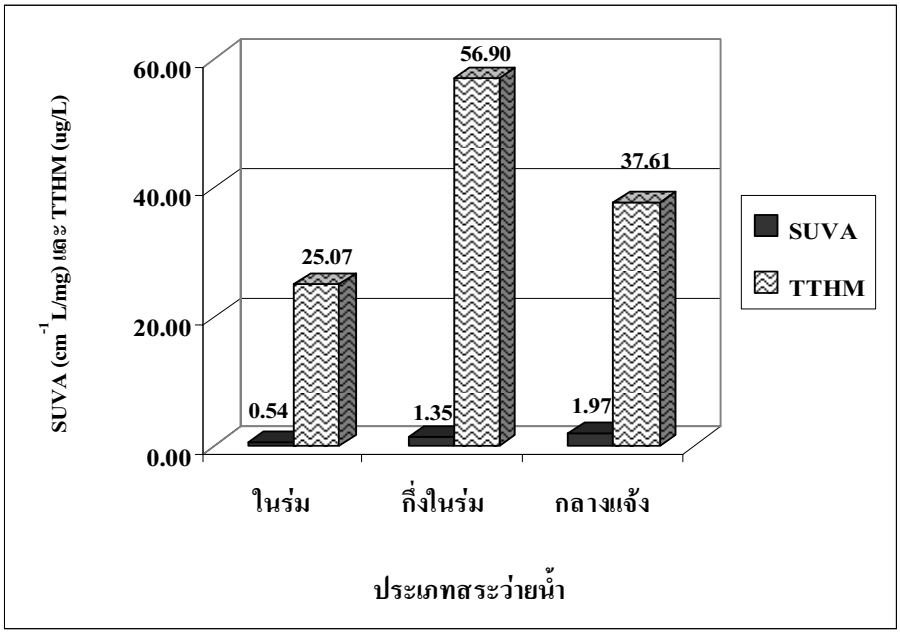
ภาพที่ 32 ความเข้มข้นของ UV – 254 และ TTHM

4.5.4.4 ความสัมพันธ์ระหว่าง SUVA และTTHM

เมื่อนำความเข้มข้นของ DOC และ ค่า UV-254 มาคำนวณหาค่า SUVA ซึ่งเป็นค่าที่แสดงถึงความเป็นอะโรมาติกของสารอินทรีย์ละลายน้ำ ดังภาพที่ 33 จะเห็นได้ว่าสระว่ายน้ำในร่มมีค่า SUVA ต่างจากสระอื่น ๆ แสดงว่าสระว่ายน้ำในร่มมีสารอินทรีย์ที่มีความเป็นอะโรมาติกน้อยกว่าสระอื่น ๆ จึงทำให้มี TTHM น้อยที่สุดด้วย แสดงว่า TTHM ที่เกิดขึ้นเป็นผลมาจากค่า SUVA ดังนั้นถ้าในสระว่ายน้ำมีค่า SUVA สูงก็ส่งผลให้ค่า TTHM สูงด้วย ซึ่งตรงกับงานวิจัยของ Rodriguez et al. (2004) ซึ่งพบว่าน้ำที่มีค่า SUVA สูงก็มีแนวโน้มที่น้ำจะมีสารประกอบ-ฮิวมิกสูง ซึ่งสารนี้มีแนวโน้มที่จะเป็นสารตั้งต้นที่ก่อให้เกิดสาร THMs และสอดคล้องกับงานวิจัยของ Reckhow et al. (1990) พบว่าสารประกอบที่มีขนาดโมเลกุลใหญ่และประกอบด้วยโครงสร้างอะโรมาติกมากจะทำปฏิกิริยากับคลอรีนเกิดสารตกค้างได้มาก แต่เป็นที่น่าสังเกตว่า

สระว่ายน้ำกลางแจ้งมีค่า SUVA สูงที่สุดแต่มีความเข้มข้นของ TTHM น้อยกว่าสระว่ายน้ำกึ่งในร่ม เนื่องจากสระว่ายน้ำกลางแจ้งมีความเข้มข้นของคลอรีนตกค้างน้อยกว่าสระว่ายน้ำกึ่งในร่มจึงทำให้สารอินทรีย์ที่มีโครงสร้างอะโรมาติกทำปฏิกิริยากับคลอรีนได้น้อยจึงเกิด TTHM ได้น้อยกว่า ประกอบกับสระว่ายน้ำกลางแจ้งมีแสงแดดส่องทั่วทั้งสระทำให้มีการระเหยดีขึ้น

เมื่อนำความเข้มข้นของ SUVA มาหาความสัมพันธ์กับความเข้มข้นของ TTHM (ดังตารางที่ 17) พบว่าสระว่ายน้ำในร่มและสระว่ายน้ำกลางแจ้งมีค่า r = -0.851 และ -0.830 ตามลำดับ แสดงว่ามีความสัมพันธ์กันมากแบบแปรผกผันกัน นั่นแสดงว่าการเกิด TTHM ขึ้นกับความเข้มข้นของ DOC มากกว่าค่า UV-254 ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาข้างต้นที่กล่าวมาแล้ว แต่สระว่ายน้ำกึ่งในร่มไม่มีความสัมพันธ์ระหว่าง SUVA และ TTHM

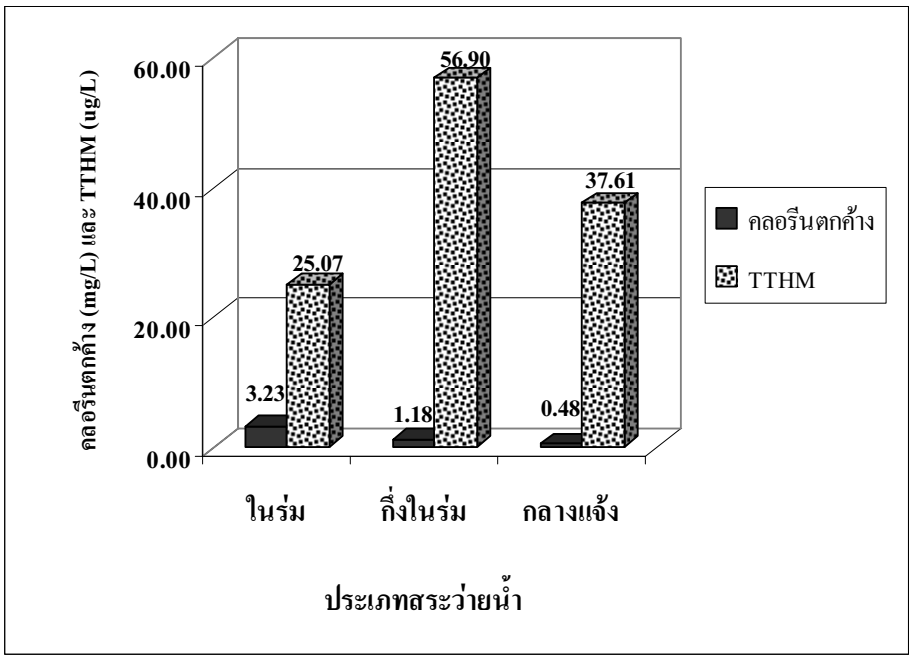


ภาพที่ 33 ความเข้มข้นของ SUVA และ TTHM

4.5.5 ความสัมพันธ์ระหว่างคลอรีนตกค้างและ TTHM

จากภาพที่ 34 พบว่าสระว่ายน้ำในร่มมีความเข้มข้นของคลอรีนตกค้างมากที่สุด รองลงมาคือสระว่ายน้ำกึ่งในร่มและสระว่ายน้ำกลางแจ้ง ตามลำดับ แต่ความเข้มข้นของ TTHM พบว่าสระว่ายน้ำกึ่งในร่มมีความเข้มข้นมากที่สุด รองลงมาคือสระว่ายน้ำกลางแจ้งและสระว่ายน้ำในร่มตามลำดับ เมื่อนำความเข้มข้นของคลอรีนตกค้างและความเข้มข้นของ TTHM มาหาความสัมพันธ์กัน (ดังตารางที่ 18) พบว่าสระว่ายน้ำกลางแจ้ง มีค่า r = 0.765 แสดงว่าคลอรีนตกค้างและ TTHM ในสระว่ายน้ำกลางแจ้งมีความสัมพันธ์กัน เนื่องจากมีเครื่องเติมคลอรีนอัตโนมัติทำให้

มีคลอรีนตกค้างในปริมาณที่สม่ำเสมอ โดยเครื่องเติมคลอรีนอัตโนมัติสามารถควบคุมปริมาณคลอรีนตกค้างให้อยู่ในช่วงที่มาตรฐานสระว่ายน้ำกำหนดได้ แต่สระว่ายน้ำในร่มและสระว่ายน้ำกึ่งในร่มไม่มีความสัมพันธ์กันระหว่างคลอรีนตกค้างและ TTHM เนื่องจากมีการเติมคลอรีนในปริมาณไม่แน่นอนทำให้ความเข้มข้นของคลอรีนตกค้างเปลี่ยนแปลงในช่วงกว้างซึ่งไม่สัมพันธ์กับค่า TTHM ส่วนงานวิจัยของ Lee et al. (2009) และ Ye et al. (2009) พบความสัมพันธ์ระหว่างคลอรีนอิสระตกค้าง (free chlorine residual) กับ TTHM มีค่า r = 0.27 และ 0.26 ตามลำดับ (ดังตารางที่ 19)

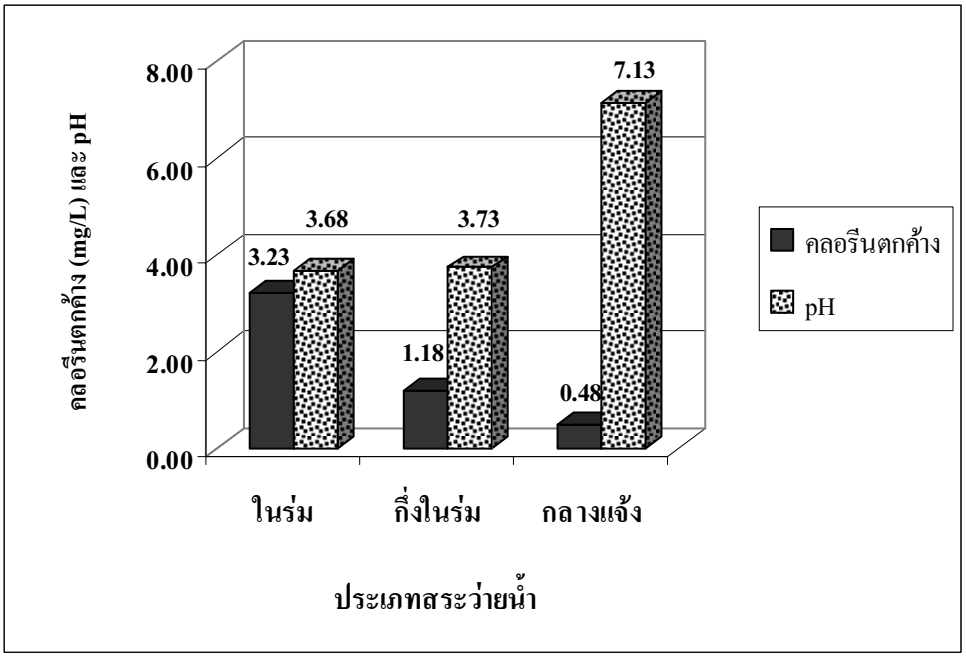


ภาพที่ 34 คลอรีนตกค้างและ TTHM

4.5.6 ความสัมพันธ์ระหว่างคลอรีนตกค้างและ pH

ความเข้มข้นของคลอรีนตกค้างและ pH แสดงดังภาพที่ 35 จะเห็นได้ว่าสระว่ายน้ำในร่มมีความเข้มข้นของคลอรีนตกค้างสูงสุด รองลงมาคือ สระว่ายน้ำกึ่งในร่มและสระว่ายน้ำกลางแจ้งตามลำดับ ส่วน pH ในสระว่ายน้ำกลางแจ้งมีค่ามากที่สุด แต่สระว่ายน้ำในร่มและสระว่ายน้ำกึ่งในร่มมีค่าใกล้เคียงกัน เมื่อนำมาหาความสัมพันธ์ระหว่างคลอรีนตกค้างและ pH (ดังตารางที่ 18) พบว่าสระว่ายน้ำในร่มมีค่า r = -0.480 แสดงว่าคลอรีนตกค้างและ pH มีความสัมพันธ์แบบแปรผกผันกัน นั่นคือ ถ้าในน้ำมีคลอรีนตกค้างมากจะส่งผลให้ pH ของน้ำมีค่าลดลง เนื่องจากเมื่อมีการเติมคลอรีนลงไปในน้ำจะเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซีสอย่างรวดเร็วซึ่งกรดที่เกิดขึ้นจะส่งผล

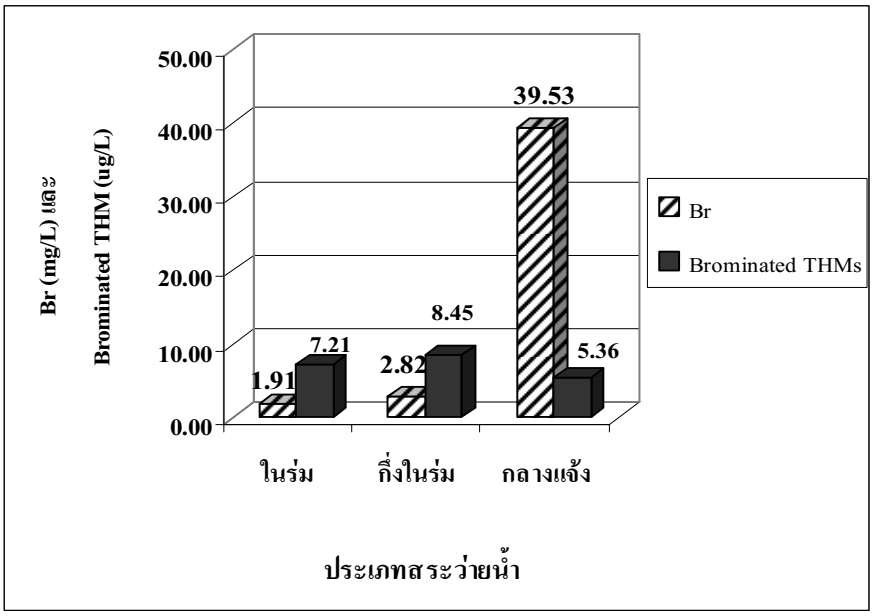
ให้ pH ของน้ำมีค่าลดลง (มั่นสิน, 2539) ส่วนสระว่ายน้ำกึ่งในร่มและสระว่ายน้ำกลางแจ้งมีความสัมพันธ์แบบแปรตามกันระหว่างคลอรีนตกค้างและ pH ซึ่งมีค่า r = 0.765 และ 0.544 ตามลำดับ ซึ่งงานวิจัยของ Toroz and Uyak (2005) (ดังตารางที่ 19) พบว่าคลอรีนและ pH มีความสัมพันธ์แบบแปรผกผันกัน โดยมีค่า r = -0.309



ภาพที่ 35 คลอรีนตกค้างและ pH

4.5.7 ความสัมพันธ์ระหว่าง Br^- และ Brominated THMs

จากภาพที่ 36 จะเห็นได้ว่าสระว่ายน้ำกลางแจ้งมีความเข้มข้นของ Br^- มากที่สุดแต่มี Brominated THMs น้อยที่สุด แสดงว่า Br^- ยังไม่ได้ทำปฏิกิริยาเกิดเป็น Brominated THMs ส่วนสระว่ายน้ำในร่มและสระว่ายน้ำกลางแจ้งมีความเข้มข้นของ Br^- น้อยแต่มี Brominated THMs มาก แสดงว่าความเข้มข้นของ Br^- ที่วิเคราะห์ได้เป็นส่วนที่เหลือจากการทำปฏิกิริยาเกิดเป็น Brominated THMs แล้ว เมื่อหาความสัมพันธ์ระหว่าง Br^- และ Brominated THMs (ดังตารางที่ 18) พบว่าสระว่ายน้ำในร่มมีค่า r = 0.957 แสดงว่า Br^- และ Brominated THMs มีความสัมพันธ์กันมาก แต่สระว่ายน้ำกึ่งในร่มและสระว่ายน้ำกลางแจ้งไม่มีความสัมพันธ์ระหว่าง Br^- และ Brominated THMs



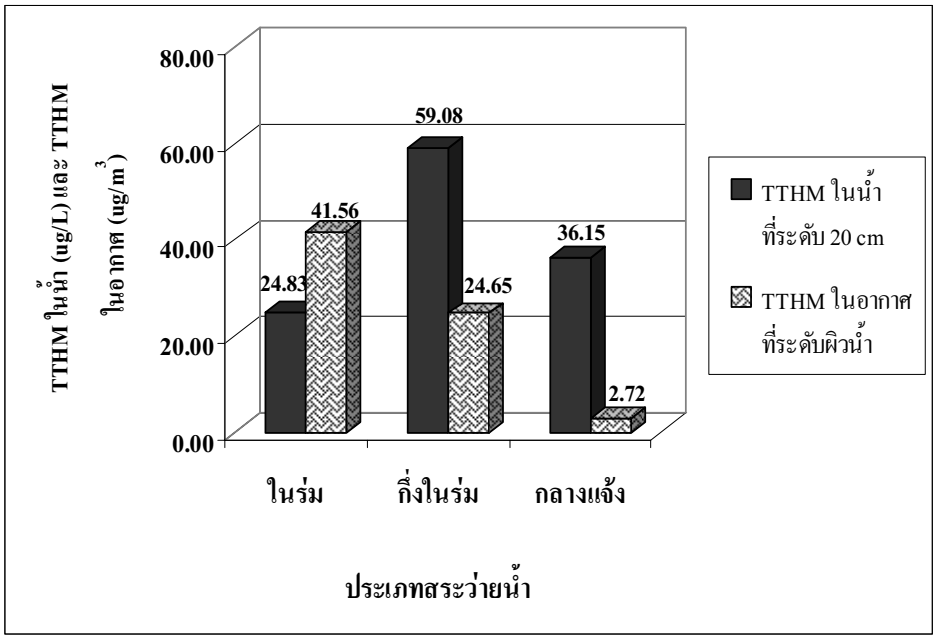
ภาพที่ 36 ความเข้มข้นของ Br^- และ Brominated THMs

4.6 การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ต่างๆในอากาศ

การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ต่าง ๆ ในอากาศมีจุดประสงค์เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการแพร่กระจายของสาร THMs จากน้ำสู่อากาศบริเวณสระว่ายน้ำแต่ละประเภท ดังนี้

4.6.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของ TTHM ในน้ำที่ระดับความลึก 20 cm และความเข้มข้นของ TTHM ในอากาศที่ระดับผิวน้ำ

สาร THMs สามารถระเหยจากน้ำสู่อากาศได้ ดังนั้นจึงได้ทำการศึกษาความเข้มข้นของ TTHM ในน้ำที่ระดับความลึก 20 cm และความเข้มข้นของ TTHM ในอากาศที่ระดับผิวน้ำเนื่องจากเป็นบริเวณที่เกิดการระเหยของสาร TTHM ผลการวิเคราะห์แสดงดังภาพที่ 37 ซึ่งจะเห็นได้ว่าสระว่ายน้ำในร่มมีความเข้มข้นของ TTHM ในน้ำน้อยที่สุดแต่มีความเข้มข้นของ TTHM ในอากาศมากที่สุด เนื่องจากสระว่ายน้ำในร่มเป็นสระปิดจึงไม่มีผลของความเร็วลมและแสงแดดเข้ามาเกี่ยวข้อง TTHM จึงไม่สามารถระเหยสู่อากาศภายนอกได้ และไม่พบความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของ TTHM ในน้ำที่ระดับความลึก 20 cm และความเข้มข้นของ TTHM ในอากาศที่ระดับผิวน้ำในสระว่ายน้ำทั้ง 3 สระ (ดังตารางที่ 18)

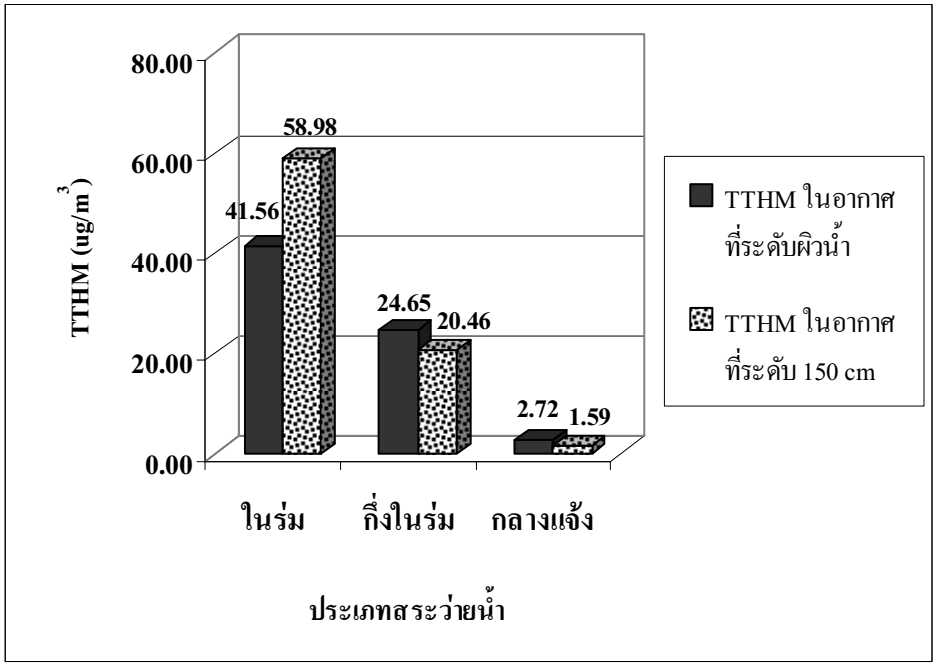


ภาพที่ 37 ความเข้มข้นของ TTHM ในน้ำที่ระดับความลึก 20 cm และความเข้มข้น TTHM ในอากาศที่ระดับผิวน้ำ

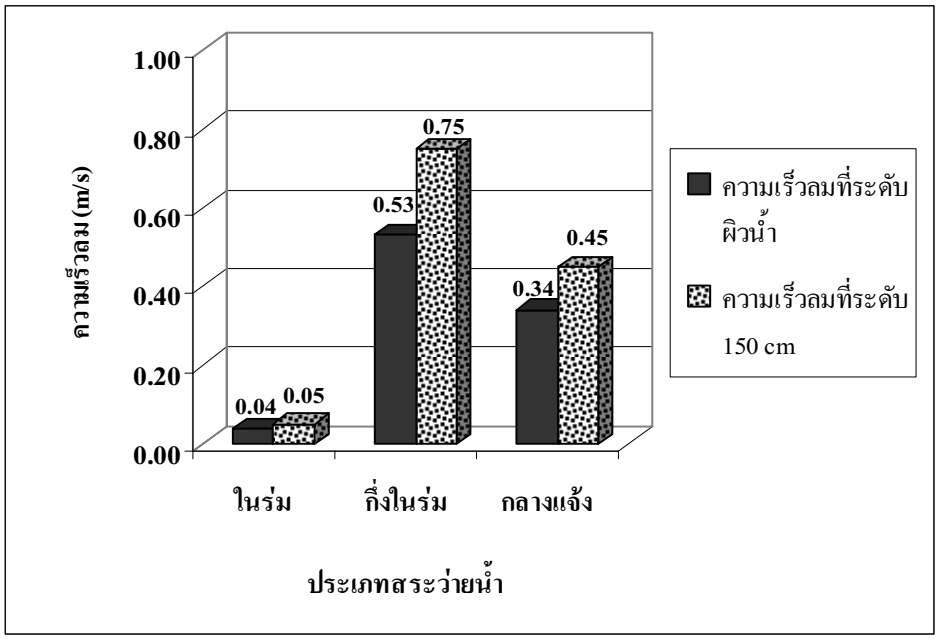
4.6.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของ TTHM ในอากาศที่ระดับผิวน้ำและที่ระดับ 150 cm กับความเร็วลม

ความเร็วลมมีผลต่อการแพร่กระจายของ TTHM ในอากาศที่ระดับผิวน้ำไปสู่อากาศบริเวณรอบ ๆ สระว่ายน้ำ ดังนั้นจึงได้ทำการศึกษาความเข้มข้นของ TTHM ในอากาศที่ระดับผิวน้ำเนื่องจากเป็นบริเวณที่คนว่ายน้ำหายใจ และที่ระดับ 150 cm ซึ่งเป็นระดับที่คนไม่ว่ายน้ำหายใจ ผลการวิเคราะห์แสดงดังภาพที่ 38 ความเร็วลมที่ระดับผิวน้ำและที่ระดับ 150 cm แสดงดังภาพที่ 39 พบว่าสระว่ายน้ำในร่มมีความเข้มข้นของ TTHM ในอากาศที่ระดับผิวน้ำสูงที่สุดประกอบกับมีความเร็วลมต่ำที่สุดจึงส่งผลให้ความเข้มข้นของ TTHM ในอากาศที่ระดับ 150 cm สูงที่สุดด้วย ส่วนสระว่ายน้ำกลางแจ้งมีความเร็วลมต่ำกว่าสระว่ายน้ำกึ่งในร่มแต่มีความเข้มข้นของ TTHM ในอากาศที่ระดับผิวน้ำต่ำกว่าประกอบกับมีปัจจัยอื่นๆ เช่น แสงแดดและอุณหภูมิ เข้ามาเกี่ยวข้อง ทำให้ TTHM ระเหยสู่อากาศภายนอกได้ดี ดังนั้นจึงตรวจพบความเข้มข้นของ TTHM ในอากาศที่ระดับ 150 เซนติเมตรน้อยกว่าสระอื่น ๆ เมื่อนำมาหาความสัมพันธ์กันระหว่างความเข้มข้นของ TTHM ในอากาศที่ระดับผิวน้ำและที่ระดับ 150 cm (ดังตารางที่ 18) พบว่าสระว่ายน้ำในร่มและสระว่ายน้ำกลางแจ้งมีค่า r = 0.993 และ 0.467 ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่าค่า r ของสระว่ายน้ำในร่มมีค่าสูงกว่าสระว่ายน้ำกลางแจ้ง ทั้งนี้เนื่องจากสระว่ายน้ำกลางแจ้งมีความเร็วลมสูงกว่าสระว่ายน้ำอีก 2 แห่งทำให้เกิดการแพร่กระจายของ TTHM ไปสู่อากาศภายนอกได้ดี จึงทำให้พบ

ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของ TTHM ในอากาศที่ระดับผิวน้ำและที่ระดับ 150 cm น้อยกว่าสระว่ายน้ำในร่มซึ่งเป็นสระปิดจึงมีผลของความเร็วลมเข้ามาเกี่ยวข้องเพียงเล็กน้อย แต่สระว่ายน้ำกึ่งในร่มไม่พบความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของ TTHM ในอากาศที่ระดับผิวน้ำและที่ระดับ 150 cm และไม่พบความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของ TTHM ในอากาศที่ระดับผิวน้ำกับความเร็วลม และความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของ TTHM ที่ระดับ 150 cm กับความเร็วลมในสระว่ายน้ำทั้ง 3 สระเนื่องจากความเร็วลมที่พัดมาในแต่ละช่วงเวลานั้นไม่มีความสม่ำเสมอ ซึ่งความเร็วลมเฉลี่ยมีค่าน้อยกว่า 1 m/s ถือว่าเป็นสภาวะลมสงบ ดังนั้นการแพร่กระจายของสาร TTHM น่าจะได้รับอิทธิพลจากปัจจัยอื่น ๆ ร่วมด้วย เช่น ลักษณะทางกายภาพของสระว่ายน้ำ อุณหภูมิ และรังสีดวงอาทิตย์ เป็นต้น



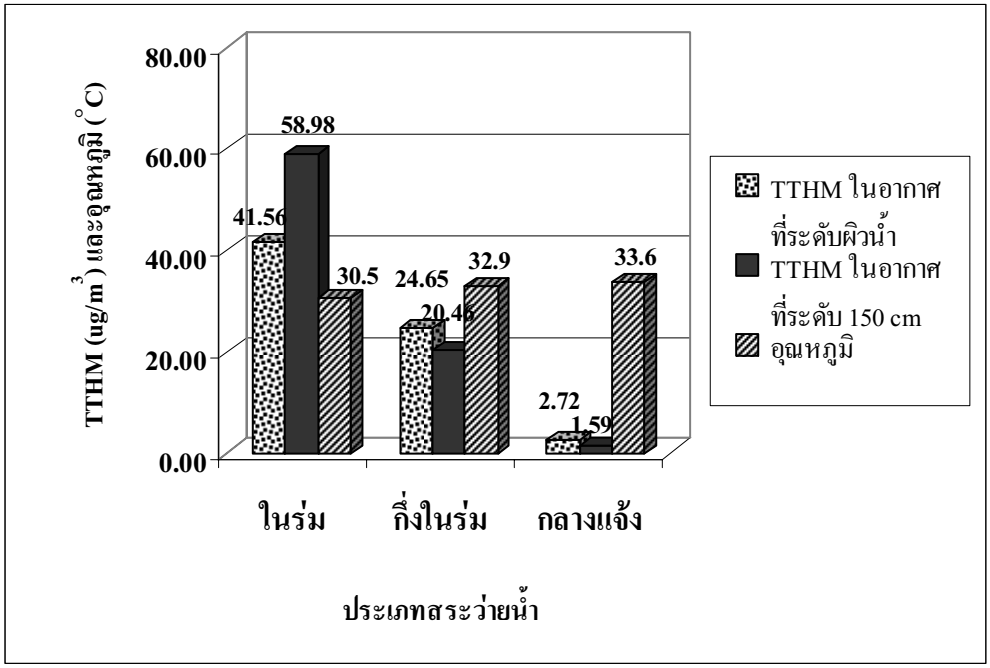
ภาพที่ 38 ความเข้มข้นของ TTHM ในอากาศที่ระดับผิวน้ำและที่ระดับ 150 cm



ภาพที่ 39 ความเร็วลมที่ระดับผิวน้ำและที่ระดับ 150 cm

4.6.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของ TTHM ในอากาศที่ระดับผิวน้ำและที่ระดับ 150 cm กับอุณหภูมิ

อุณหภูมิเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อการแพร่กระจายของ TTHM ทำให้ TTHM ระเหยจากอากาศที่ระดับผิวน้ำไปสู่อากาศที่ระดับสูงกว่า จากภาพที่ 40 พบว่าสระว่ายน้ำในร่มมีความเข้มข้นของ TTHM ในอากาศที่ระดับผิวน้ำและที่ระดับ 150 cm สูงที่สุด รองลงมาคือสระว่ายน้ำกึ่งในร่มและสระว่ายน้ำกลางแจ้งตามลำดับ ส่วนอุณหภูมิบริเวณสระว่ายน้ำทั้ง 3 สระมีค่าใกล้เคียงกันซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 29.3-37.6 ˚C ทำให้ความเข้มข้นของ TTHM ในอากาศที่ระดับผิวน้ำกับอุณหภูมิในสระว่ายน้ำในร่มและสระว่ายน้ำกึ่งในร่มไม่มีความสัมพันธ์กัน แต่สระว่ายน้ำกลางแจ้งมีความสัมพันธ์กันซึ่งมีค่า r = 0.546 ส่วนความเข้มข้นของ TTHM ในอากาศที่ระดับ150 cm กับอุณหภูมิในอากาศบริเวณสระว่ายน้ำกลางแจ้งมีความสัมพันธ์กันซึ่งมีค่า r = 0.660 แต่สระว่ายน้ำในร่มและสระว่ายน้ำกึ่งในร่มไม่มีความสัมพันธ์กันระหว่างความเข้มข้นของ TTHM ในอากาศที่ระดับ 150 cm กับอุณหภูมิ (ดังตารางที่ 18) เนื่องจากประเทศไทยมีอุณหภูมิในแต่ละฤดูกาลไม่แตกต่างกันมาก จึงไม่พบความแตกต่างเรื่องผลของอุณหภูมิดังที่พบในประเทศที่มีอากาศหนาว

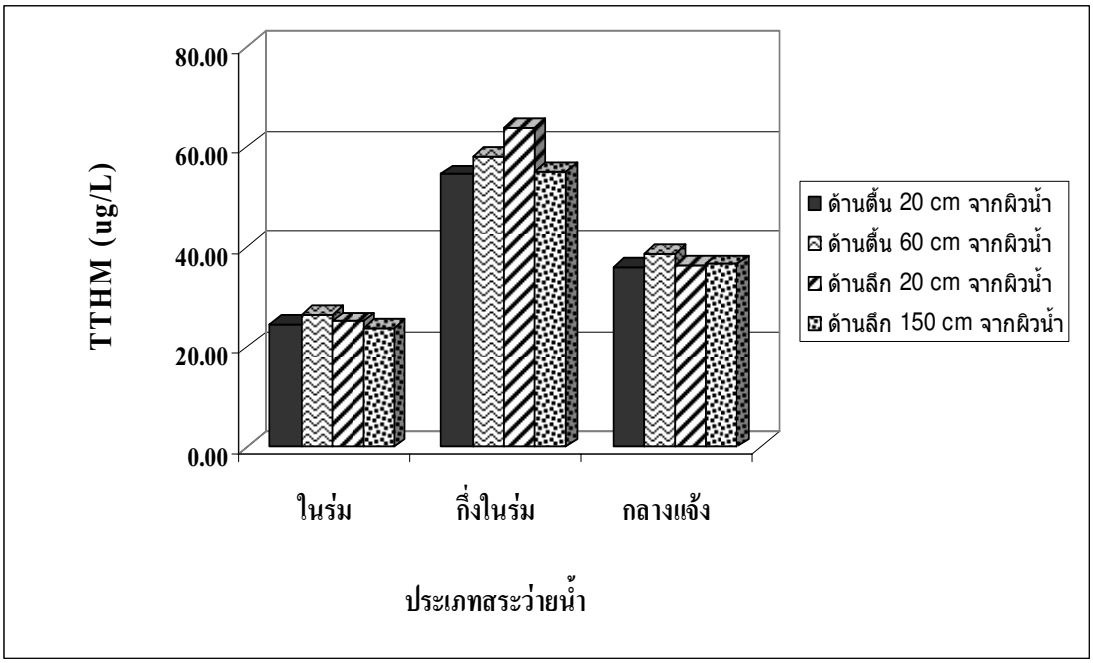


ภาพที่ 40 ความเข้มข้นของ TTHM ในอากาศที่ระดับผิวน้ำและที่ระดับ 150 cm กับอุณหภูมิ

4.7 การแพร่กระจายของสาร TTHM ในน้ำและในอากาศ

4.7.1 ในน้ำ

จากภาพที่ 41 จะเห็นได้ว่าสระว่ายน้ำทั้ง 3 ประเภทมีความเข้มข้นของ TTHM ในแต่ละระดับความลึกใกล้เคียงกัน แสดงว่าสาร TTHM สามารถแพร่กระจายไปได้อย่างทั่วถึงทั้งสระ ทั้งนี้เนื่องจากทุกสระมีการหมุนเวียนน้ำกลับเข้าสู่สระว่ายน้ำทางท่อซึ่งติดตั้งที่ตำแหน่งต่าง ๆ ทั่วสระว่ายน้ำทั้งที่ลึกและตื้นรวมทั้งการว่ายน้ำทำให้เกิดความปั่นป่วนของน้ำ ดังนั้นจึงทำให้เกิดการผสมของน้ำอย่างทั่วถึงตลอดทั้งสระ สาร TTHM จึงมีการกระจายอย่างสม่ำเสมอทุกตำแหน่งที่เก็บตัวอย่างน้ำ (ดังที่อธิบายรายละเอียดในหัวข้อ 4.2.2)



ภาพที่ 41 ความเข้มข้นของ TTHM แต่ละระดับความลึกของสระว่ายน้ำทั้ง 3 ประเภท

4.7.2 ในอากาศ

จากภาพที่ 38 จะเห็นได้ว่าสระว่ายน้ำในร่มมีความเข้มข้นของ TTHM ในอากาศที่ระดับผิวน้ำสูงที่สุดจึงส่งผลให้ความเข้มข้นของ TTHM ในอากาศที่ระดับ 150 cm สูงที่สุดด้วย ทั้งนี้เนื่องจากเป็นสระปิดทำให้สาร TTHM ไม่สามารถแพร่กระจายไปสู่อากาศภายนอกได้ ส่วนสระว่ายน้ำกึ่งในร่มและสระว่ายน้ำกลางแจ้งมีความเข้มข้นของ TTHM ในอากาศที่ระดับผิวน้ำสูงกว่าที่ระดับ150 cm เนื่องจากมีปัจจัยอื่น ๆ เช่น ความเร็วลม แสงแดดและอุณหภูมิ เข้ามาเกี่ยวข้องทำให้ TTHM แพร่กระจายไปสู่อากาศภายนอกได้ดี (ดังที่อธิบายรายละเอียดในหัวข้อ 4.4.1)

4.7.3 จากน้ำสู่อากาศ

จากภาพที่ 37 ซึ่งจะเห็นได้ว่าสระว่ายน้ำในร่มมีความเข้มข้นของ TTHM ในน้ำน้อยที่สุดแต่มีความเข้มข้นของ TTHM ในอากาศมากที่สุด เนื่องจากสระว่ายน้ำในร่มเป็นสระปิดจึงไม่มีผลของความเร็วลมและแสงแดดเข้ามาเกี่ยวข้อง TTHM จึงไม่สามารถระเหยสู่อากาศภายนอกได้ นอกจากนี้ยังมีผลของความปั่นป่วนของน้ำที่เกิดจากคนว่ายน้ำ และการหมุนเวียนน้ำเข้าสู่สระว่ายน้ำทำให้เกิดการแพร่กระจายของสาร TTHM จากน้ำสู่อากาศได้ดียิ่งขึ้น (ดังที่อธิบายรายละเอียดในหัวข้อ 4.6.1)

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัย

5.1 สมบัติทั่วไปของน้ำในสระว่ายน้ำ

จากผลการวิจัยสมบัติต่าง ๆ ของน้ำในสระว่ายน้ำทั้ง 3 ประเภทพบว่า ความเข้มข้นของ TTHM ในน้ำในสระว่ายน้ำกึ่งในร่มมีค่าสูงที่สุด รองลงมาคือ สระว่ายน้ำกลางแจ้ง และสระว่ายน้ำในร่ม ตามลำดับ ซึ่งมีความเข้มข้นของ TTHM เฉลี่ยเท่ากับ 56.90 37.61 และ 25.07 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบความเข้มข้นของสารไตรฮาโลมีเทนในน้ำจากการวิจัยครั้งนี้กับงานวิจัยในต่างประเทศแล้วพบว่างานวิจัยนี้มีความเข้มข้นของสารไตรฮาโลมีเทนทั้ง 4 ชนิดในสระว่ายน้ำในร่มและสระว่ายน้ำกลางแจ้งส่วนใหญ่มีค่าอยู่ในช่วงเดียวกับของต่างประเทศ และมีค่าไม่เกินมาตรฐานน้ำประปาขององค์การอนามัยโลก ส่วนสมบัติอื่น ๆ ของน้ำพบว่า pH ในสระว่ายน้ำในร่มและสระว่ายน้ำกึ่งในร่มมีค่าต่ำกว่าค่ามาตรฐาน ส่วน pH ในสระว่ายน้ำกลางแจ้ง และความเข้มข้นของคลอรีนตกค้างในสระว่ายน้ำทั้ง 3 ประเภทมีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานสระว่ายน้ำของกรมอนามัย

5.1.1 การเปรียบเทียบสมบัติของน้ำในแต่ละระดับความลึกของสระว่ายน้ำ

สมบัติต่าง ๆ ของน้ำในสระว่ายน้ำในร่มทั้ง 4 จุดเก็บตัวอย่าง ซึ่งเก็บในแต่ละระดับความลึกและในแต่ละด้านไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ สระว่ายน้ำกึ่งในร่มมีความเข้มข้นของ DOC UV-254 และคลอรีนตกค้างไม่มีความแตกต่างกันทั้ง 4 จุดเก็บตัวอย่าง แต่ความเข้มข้นของ TTHM มีความแตกต่างกันทั้ง 4 จุดเก็บตัวอย่าง ส่วนสระว่ายน้ำกลางแจ้งพบว่าความเข้มข้นของ DOC UV-254 และ TTHM ไม่มีความแตกต่างกันทั้ง 4 จุดเก็บตัวอย่าง แต่คลอรีนตกค้างมีความแตกต่างกันทั้ง 4 จุดเก็บตัวอย่าง

5.1.2 การเปรียบเทียบสมบัติของน้ำในแต่ละฤดูกาล

จากผลการวิเคราะห์สมบัติต่าง ๆ ของน้ำพบว่าความเข้มข้นของ DOC ในสระว่ายน้ำทั้ง 3 ประเภทมีความแตกต่างกันในแต่ละฤดูกาล UV-254 พบความแตกต่างในแต่ละฤดูกาลในสระว่ายน้ำในร่มและสระว่ายน้ำกึ่งในร่ม ส่วน TTHM พบความแตกต่างในแต่ละฤดูกาลในสระว่ายน้ำในร่มและสระว่ายน้ำกลางแจ้ง โดยสระว่ายน้ำในร่มและสระว่ายน้ำกึ่งในร่มพบความเข้มข้นของ

TTHM สูงที่สุดในฤดูร้อน รองลงมาคือฤดูฝน และฤดูหนาว ตามลำดับ ส่วนสระว่ายน้ำกลางแจ้งพบความเข้มข้นของTTHM สูงที่สุดในฤดูหนาว รองลงมาคือฤดูฝน และฤดูร้อน ตามลำดับ

5.1.3 การเปรียบเทียบสมบัติของน้ำในแต่ละสระ

ความเข้มข้นของ TTHM DOC UV-254 และคลอรีนตกค้าง มีความแตกต่างกันในแต่ละสระ โดยพบว่าสระว่ายน้ำในร่มมีความเข้มข้นของ DOC และ UV-254 สูงที่สุด รองลงมาคือสระว่ายน้ำกึ่งในร่ม และสระว่ายน้ำกลางแจ้งตามลำดับ แต่เป็นที่น่าสังเกตว่าสระว่ายน้ำในร่มมีค่า SUVA ต่ำกว่าสระอื่น ๆ แสดงว่าสระว่ายน้ำในร่มมีสารอินทรีย์ที่มีความเป็นอะโรมาติกน้อยกว่าสระอื่น ๆ ทำให้พบความเข้มข้นของ TTHM น้อยกว่าสระอื่น ๆ ด้วย

5.2 สมบัติทั่วไปของน้ำประปา

ผลการวิเคราะห์สมบัติทั่วไปของน้ำประปาพบว่า pH และคลอรีนตกค้าง มีค่าต่ำกว่ามาตรฐานน้ำประปา แต่ความเข้มข้นของ TTHM มีค่าไม่เกินมาตรฐานที่องค์การอนามัยโลกกำหนดไว้ เมื่อนำผลการวิเคราะห์มาทดสอบทางสถิติแล้วพบว่าคลอรีนตกค้าง DOC และ UV-254 ไม่มีความแตกต่างกันในแต่ละฤดูกาล ส่วน TTHM ในช่วงฤดูหนาวและฤดูฝนไม่มีความแตกต่างกัน แต่ฤดูร้อนแตกต่างจากฤดูอื่น ๆ

5.3 ความเข้มข้นของ TTHM ในอากาศ

ผลการวิเคราะห์ความเข้มข้นของ TTHM ในอากาศบริเวณสระว่ายน้ำพบว่าสระว่ายน้ำในร่มสูงมีความเข้มข้นของ TTHM ในอากาศสูงกว่าสระว่ายน้ำกึ่งในร่มและสระว่ายน้ำกลางแจ้งตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบความเข้มข้นของสารไตรฮาโลมีเทนในอากาศบริเวณสระว่ายน้ำในร่มและสระว่ายน้ำกลางแจ้งจากการวิจัยครั้งนี้กับงานวิจัยในต่างประเทศแล้วพบว่าความเข้มข้นของสารไตรฮาโลมีเทนทั้ง 4 ชนิดมีค่าอยู่ในช่วงเดียวกับของต่างประเทศ

เมื่อทำการศึกษาความเข้มข้นของ TTHM ในอากาศที่ระดับต่าง ๆ และเปรียบเทียบความเข้มข้นของ TTHM ในอากาศในสระว่ายน้ำแต่ละประเภทแล้วพบว่าความเข้มข้นของ TTHM ในอากาศที่ระดับผิวน้ำและที่ระดับ 150 เซนติเมตรในสระว่ายน้ำทั้ง 3 ประเภทไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ แต่ความเข้มข้นของ TTHM ในอากาศในสระว่ายน้ำทั้ง 3 ประเภทมีความแตกต่างกันทางสถิติ นอกจากนี้ยังสามารถคำนวณหาความเข้มข้นของ TTHM ในอากาศได้จากค่า Henry's Law Constant โดยผลการศึกษาพบว่าความเข้มข้นของ TTHM ในอากาศที่คำนวณได้จะมีค่าสูงกว่า

ความเข้มข้นของ TTHM ในอากาศที่ตรวจวัดได้จริง โดยสระว่ายน้ำในร่มมีความเข้มข้นของ TTHM ในอากาศที่ตรวจวัดได้จริงใกล้เคียงกับค่าที่คำนวณได้มากที่สุด

5.4 การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ต่าง ๆ ในน้ำ

จากผลการวิจัยพบว่าความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของ DOC กับ UV - 254 พบในสระว่ายน้ำในร่มและสระว่ายน้ำกึ่งในร่ม ความสัมพันธ์ระหว่าง DOC กับ TTHM และ SUVA กับ TTHM พบในสระว่ายน้ำในร่มและสระว่ายน้ำกลางแจ้ง ความเข้มข้นของคลอรีนตกค้างกับ TTHM มีความสัมพันธ์กันในสระว่ายน้ำกลางแจ้ง และไม่พบความสัมพันธ์ระหว่าง UV – 254 กับ TTHM ในสระว่ายน้ำทั้ง 3 ประเภท

5.5 การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ต่าง ๆ ในอากาศ

จากผลการวิจัยพบว่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ในอากาศที่มีความสัมพันธ์กัน ได้แก่ ความเข้มข้นของ TTHM ในอากาศที่ระดับผิวน้ำและที่ระดับ 150 เซนติเมตร ซึ่งพบความสัมพันธ์ในสระว่ายน้ำกลางแจ้งน้อยกว่าสระว่ายน้ำในร่ม แต่สระว่ายน้ำกึ่งในร่มไม่มีความสัมพันธ์กัน ส่วนความเข้มข้นของ TTHM ในอากาศที่ระดับ 150 เซนติเมตรกับอุณหภูมิในอากาศบริเวณสระว่ายน้ำพบว่ามีความสัมพันธ์กันเฉพาะสระว่ายน้ำกลางแจ้งเท่านั้น ส่วนความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์อื่น ๆ ในอากาศไม่พบความสัมพันธ์กันในสระว่ายน้ำทั้ง 3 ประเภท

5.6 ข้อเสนอแนะ

5.6.1 ข้อเสนอแนะสำหรับการปรับปรุงสภาพสระว่ายน้ำ

1) สระว่ายน้ำในร่มควรติดตั้งพัดลมดูดอากาศเพิ่มมากขึ้น เพื่อให้อากาศสามารถหมุนเวียนถ่ายเทได้ดี สาร THMs จึงสามารถระเหยออกไปภายนอกได้ ทำให้ลดการรับสาร THMs ผ่านทางทางเดินหายใจ

2) ควรมีการเติมคลอรีนในปริมาณที่เหมาะสม เพื่อให้มีปริมาณคลอรีนตกค้างอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานสระว่ายน้ำ

3) ควรกำหนดข้อปฏิบัติให้ผู้ใช้บริการชำระร่างกายก่อนลงว่ายน้ำเพื่อลดปริมาณสารอินทรีย์จากร่างกาย ซึ่งเป็นสารตั้งต้นของการเกิดสาร THMs

4) ปัจจุบันน้ำที่ไหลล้นออกจากสระจะนำไปกรองด้วยเครื่องกรองทรายหรือผ้ากรองเพื่อกำจัดของแข็งแขวนลอยก่อนหมุนเวียนกลับเข้าสระใหม่ ซึ่งวิธีการนี้ไม่สามารถกำจัดสารอินทรีย์ละลายน้ำซึ่งเป็นสารตั้งต้นของการเกิดสาร THMs ได้ ดังนั้นควรเพิ่มการบำบัด

สารอินทรีย์ละลายน้ำในน้ำหมุนเวียนด้วย ตัวอย่างกระบวนการบำบัดสารอินทรีย์ละลายน้ำ ได้แก่ การดูดซับด้วย activated carbon เป็นต้น

5)ใช้สารฆ่าเชื้อโรคชนิดอื่นที่ไม่ก่อให้เกิดสารตกค้างที่เป็นอันตรายต่อมนุษย์ เช่น โอโซน หรือโอโซนร่วมกับคลอรีน เป็นต้น

5.6.2 ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยในครั้งต่อไป

1) ควรทำการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดสาร THMs โดยทำการศึกษาในสระว่ายน้ำจำลองเนื่องจากสามารถควบคุมปัจจัยต่าง ๆ ได้

2) ควรทำการศึกษารูปแบบของสารอินทรีย์ที่เป็นสาเหตุหลักของการเกิดสาร THMs

บรรณานุกรม

กรมวิทยาศาสตร์ทหารเรือ. 2548. เคมีของสระว่ายน้ำ สิ่งที่ควรรู้. แหล่งที่มา: http://www.navy.mi.th/science/Information/Paper/InfoPaper_Pond.html, 11 ก.ค. 2551

กรมอนามัย. 2549. ประกาศกรมอนามัย เรื่อง ข้อปฏิบัติในการดูแลสระว่ายน้ำ เพื่อป้องกันการระบาดของโรคมือ เท้า ปาก. แหล่งที่มา: http://env.anamai.moph.go.th/download/announcedoh/ประกาศโรคมือเท้าปาก.pdf, 27 ต.ค. 2551

การประปานครหลวง. 2550. คลอรีน (Chlorine). แหล่งที่มา: http://www.mwa.co.th/download/etc01/chlorine.pdf, 5 ก.ค. 2551

กองสุขาภิบาลอาหารและน้ำ กรมอนามัย. 2549. ประโยชน์ของคลอรีนในน้ำประปา. แหล่งที่มา: http://foodsan.anamai.moph.go.th, 11 ก.ค. 2551

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

มัลลิกา ปัญญาคะโป. 2549. การฆ่าเชื้อโรค ในเอกสารประกอบการสอนรายวิชา 516450 การบำบัดน้ำและน้ำเสียด้วยวิธีทางกายภาพและวิธีทางเคมี. ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร. นครปฐม.

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

บัญญัติ สุขศรีงาม. 2547. อันตรายที่อาจเกิดจากสารเคมีในสระว่ายน้ำ. แหล่งที่มา: http://www.uniserv.buu.ac.th/forum2/topic.asp?TOPIC_ID=761, 15 มิ.ย. 2551.

ปิยรัตน์ สาระวงศ์. 2545. การกำจัดกรดฮิวมิคในน้ำดิบเพื่อการผลิตน้ำประปาโดยกระบวนการโคแอกกูเลชันด้วยไคโตแซนและเบนโทไนต์. วิทยานิพนธ์ปริญญาสาธารณสุขศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาอนามัยสิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

วสุรี เจียรศิริกุล. 2546. ความสัมพันธ์ระหว่างโอกาสการก่อตัวของสารไตรฮาโลมีเทนกับตัวแทนสารอินทรีย์ธรรมชาติในน้ำดิบและน้ำที่ผ่านกระบวนการสร้างและรวมตะกอนของบ่อน้ำตื้นใกล้พื้นที่ที่เทกองมูลฝอยที่ไม่ถูกหลักสุขาภิบาลที่ปิดดำเนินการแล้ว.วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการสิ่งแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

อนรรฆมิยา พรรณวงศ์. 2546. การกำจัดสารตั้งต้นของไตรฮาโลมีเทนในน้ำประปาโดยกระบวนการโคแอกกูเลชันด้วยสารส้มและเบนโทไนต์.วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมบัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

Abdullah, M. P., Yew, C.H. and Ramli, M. S., 2003. Formation, modeling and validation of trihalomethanes (THM) in Malaysian drinking water: a case study in the districts of Tampin, Negeri Sembilan and Sabak Bernam,Selangor, Malaysia. Water Research. 37: 4637–4644.

Aggazzotti, G.,Fantuzzt, G.,Righi, E. and Predieri, G. 1995. Environmental and biological monitoring of chloroform in indoor swimming pools. Journal of Chromatography. 710: 181-190.

APHA, AWWA and WEF. 1998. Standard Methods for Examination of water and wastewater, 20th ed. American Public Health Association, Washington, DC.

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

Brodtmann, N. V. and Russo P.L. 1979.The Use of Chloramine for Reductions of trihalomethanes and Disinfectant of Drinking Water.J AWWA. 71: 40-42.

Capece, J.1998.Trihalomethane and Our Water Supply. Available Source: http//www.southerndatastream.com/htm, July 15, 2008.

Chu, H. and Nieuwenhuijsen, M.J. 2002. Distribution and Determinanta of Trihalomethane Concentrations in indoor swimming pools.Occup Environ Med .59:243-247.

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. 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.

Joyce, W. S., Digiano,F. A. and Uden, P. C. 1984. THM Precursors in theEnvironment. J AWWA. 76(6):102-106.

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

Judd, S.J. and Bullock, G. 2003. The Fate of Chlorine and Organic Materials in Swimming Pool. Chemosphere. 51: 869-879.

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. p. 76. In Minear, R.A. and Amy, G.L.,eds. Disinfection By-Product in Water Treatment. CRC Press, Inc. New York.

Kim, H., Shim, J. and Lee, S. 2002. Formation of disinfection by-products in chlorinated swimming pool water.Chemosphere.46:123-130.

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.

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.Science of the Total Environment. 407:1990-1997.

Lenntech. 2008. Lenntech swimming pool water treatment.Available Source: http://www.lenntech.com/water-disinfection/swimming-pool-treatment.htm, October 27, 2008.

Pool and fresh. Pool Knowledge. Available Source: http://www.poolandfresh.com/knowlege.html, October 27, 2008.

Ristoiu, D., Gunten, U.V., Mocan, A., Chira, R., Siegfried, B., Kovacs, M.H. and Vancea, S. 2009. Trihalomethane formation during water disinfection in four water supplies in the Somes river basin in Romania. Environ Sci Pollut Res. 16:s55-s65.

Roccaro, P., Mancini, G., and 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.

Stevenson, F.J. 1994. Humus Chemistry. 2nd ed. John Wiley & Sons Incs., New York.

Stumm, W. and Morgan, J.J. 1996. Aquatic Chemistry. 3 rd ed. John Wiley & Sons Incs., New York.

Thacker, N.P. and Nitnaware V. 2003. Factor Influencing Formation of Trihalomethanes in Swimming Pool Water. Environmental Contamination and Toxicology.71:633-640.

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.

Trussell, R.R. and Umphres, M.D. 1978. The Formation of Trihalomethane. J AWWA. 70(11): 604-612.

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

US-EPA. 2003. User's Manual Swimmer Exposure Assessment Model (SWIMODEL) Version 3.0. Available Source: http://www.epa.gov/oppad001/swimodelusersguide.pdf, November 12, 2008.

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

WHO. 2000. Guidelines for safe recreational-water environments: Volume 2: Swimming pools, spas and similar recreational-water environments: Final draft for consultation. World Health Organization, Geneva.

Ye, B., Wang, W., Yang, L., Wei, J. and E, X. Factors influencing disinfection by-products formation in drinking water of six cities in China. J. Hazard. Mater.

ภาคผนวก

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ หาความแตกต่างของสมบัติของน้ำในแต่ละระดับความลึกของสระว่ายน้ำทั้ง 3 ประเภท

การทดสอบหาความแตกต่างของสมบัติของน้ำในแต่ละระดับความลึกต้องทำการทดสอบการแจกแจงแบบปกติของข้อมูลโดยใช้ตัวสถิติ Kolmogorov-Smirnov แสดงดังตารางที่ 20 ผลการทดสอบพบว่าข้อมูลมีการแจกแจงแบบไม่ปกติ ดังนั้นจึงใช้ Kruskal-Wallis H Test ในการทดสอบหาความแตกต่างของสมบัติของน้ำในแต่ละระดับความลึกผลการทดสอบแสดงดังตารางที่ 21 ซึ่งพบว่าสมบัติของน้ำในแต่ละระดับความลึกของสระว่ายน้ำทั้ง 3 ประเภทไม่มีความแตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ตารางที่ 20 ผลการทดสอบการแจกแจงแบบปกติของสมบัติต่าง ๆ ของน้ำในสระว่ายน้ำทั้ง 3 ประเภท

Tests of Normality

	Indoor swimming pool			Semi-indoor swimming pool			Outdoor swimming pool		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
TTHM	.151	36	.036	.109	36	.200(*)	.300	35	.000
DOC	.176	36	.006	.176	36	.006	.254	35	.000
UV-254	.467	36	.000	.413	36	.000	.514	35	.000
Residual Cl_2	.223	36	.000	.215	36	.000	.172	35	.010

* This is a lower bound of the true significance.
a Lilliefors Significance Correction

ตารางที่ 21 ผลการทดสอบหาความแตกต่างของสมบัติของน้ำในแต่ละระดับความลึกของสระว่ายน้ำทั้ง 3 ประเภท โดยใช้ Kruskal-Wallis H Test

Test Statistics(a,b)				
indoor swimming pool				
	TTHM	DOC	UV-254	Residual Cl_2
Chi-Square	1.202	.250	1.200	.273
df	3	3	3	3
Asymp. Sig.	.752	.969	.753	.965
Semi-indoor swimming pool				
	TTHM	DOC	UV-254	Residual Cl_2
Chi-Square	8.123	.250	.734	1.923
df	3	3	3	3
Asymp. Sig.	.044	.969	.865	.589
outdoor swimming pool				
	TTHM	DOC	UV-254	Residual Cl_2
Chi-Square	1.502	1.622	6.171	13.573
df	3	3	3	3
Asymp. Sig.	.682	.654	.104	.004

a Kruskal Wallis Test
b Grouping Variable: LEVEL

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ หาความแตกต่างของสมบัติของน้ำในแต่ละฤดูกาล

การทดสอบหาความแตกต่างของสมบัติของน้ำในแต่ละฤดูกาลต้องทำการทดสอบการแจกแจงแบบปกติของข้อมูลโดยใช้ตัวสถิติ Kolmogorov-Smirnov แสดงดังตารางที่ 22 ผลการทดสอบพบว่าข้อมูลของสระว่ายน้ำในร่มและสระว่ายน้ำกึ่งในร่มมีการแจกแจงแบบปกติ ดังนั้นจึงใช้ ANOVA ในการทดสอบหาความแตกต่างของสมบัติของน้ำในแต่ละฤดูกาลผลการทดสอบแสดงดังตารางที่ 23 และ 24 ซึ่งพบว่าสมบัติของน้ำในแต่ละฤดูกาลของสระว่ายน้ำทั้ง 3 ประเภทมีความแตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ส่วนข้อมูลของสระว่ายน้ำกลางแจ้งมีการแจกแจงแบบไม่ปกติ ดังนั้นจึงใช้ Kruskal-Wallis H Test ในการทดสอบหาความแตกต่างของสมบัติของน้ำในแต่ละฤดูกาล ผลการทดสอบแสดงดังตารางที่ 25 ซึ่งพบว่าสมบัติของน้ำในแต่ละฤดูกาลมีความแตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ตารางที่ 22 ผลการทดสอบการแจกแจงแบบปกติของสมบัติของน้ำในแต่ละฤดูกาลของสระว่ายน้ำทั้ง 3 ประเภท

Tests of Normality									
	indoor swimming pool			Semi-indoor swimming pool			outdoor swimming pool		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
TTHM	.174	12	.200(*)	.141	12	.200(*)	.306	12	.003
DOC	.174	12	.200(*)	.194	12	.200(*)	.342	12	.000
UV-254	.192	12	.200(*)	.195	12	.200(*)	.135	12	.200(*)
Residual Cl_2	.224	12	.099	.248	12	.041	.343	12	.000

* This is a lower bound of the true significance.
a Lilliefors Significance Correction

ตารางที่ 23 ผลการทดสอบหาความแตกต่างของสมบัติของน้ำในแต่ละฤดูกาลของสระว่ายน้ำในร่มโดยใช้ ANOVA

ANOVA						
		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
TTHM	Between Groups	912.165	2	456.082	193.830	.000
	Within Groups	21.177	9	2.353		
	Total	933.342	11			
DOC	Between Groups	12.332	2	6.166	138.098	.000
	Within Groups	.402	9	.045		
	Total	12.734	11			
UV-254	Between Groups	.001	2	.000	38.464	.000
	Within Groups	.000	9	.000		
	Total	.001	11			
Residual Cl_2	Between Groups	57.093	2	28.546	16522.008	.000
	Within Groups	.016	9	.002		
	Total	57.108	11			

ตารางที่ 23 ผลการทดสอบหาความแตกต่างของสมบัติของน้ำในแต่ละฤดูกาลของสระว่ายน้ำในร่ม โดยใช้ ANOVA (ต่อ)

Multiple Comparisons

Dependent Variable	(I) ฤดู	(J) ฤดู	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
						Lower Bound	Upper Bound
TTHM	1.00	2.00	-21.3525(*)	1.08467	.000	-24.3809	-18.3241
		3.00	-10.3375(*)	1.08467	.000	-13.3659	-7.3091
	2.00	1.00	21.3525(*)	1.08467	.000	18.3241	24.3809
		3.00	11.0150(*)	1.08467	.000	7.9866	14.0434
	3.00	1.00	10.3375(*)	1.08467	.000	7.3091	13.3659
		2.00	-11.0150(*)	1.08467	.000	-14.0434	-7.9866
DOC	1.00	2.00	-1.4441(*)	.14941	.000	-1.8613	-1.0270
		3.00	-2.4714(*)	.14941	.000	-2.8886	-2.0543
	2.00	1.00	1.4441(*)	.14941	.000	1.0270	1.8613
		3.00	-1.0273(*)	.14941	.000	-1.4445	-.6101
	3.00	1.00	2.4714(*)	.14941	.000	2.0543	2.8886
		2.00	1.0273(*)	.14941	.000	.6101	1.4445
UV-254	1.00	2.00	.0040	.00184	.128	-.0011	.0092
		3.00	-.0116(*)	.00184	.000	-.0167	-.0064
	2.00	1.00	-.0040	.00184	.128	-.0092	.0011
		3.00	-.0156(*)	.00184	.000	-.0207	-.0104
	3.00	1.00	.0116(*)	.00184	.000	.0064	.0167
		2.00	.0156(*)	.00184	.000	.0104	.0207
Residual Cl_2	1.00	2.00	2.1025(*)	.02939	.000	2.0204	2.1846
		3.00	-3.2025(*)	.02939	.000	-3.2846	-3.1204
	2.00	1.00	-2.1025(*)	.02939	.000	-2.1846	-2.0204
		3.00	-5.3050(*)	.02939	.000	-5.3871	-5.2229
	3.00	1.00	3.2025(*)	.02939	.000	3.1204	3.2846
		2.00	5.3050(*)	.02939	.000	5.2229	5.3871

* The mean difference is significant at the .05 level.

ตารางที่ 24 ผลการทดสอบหาความแตกต่างของสมบัติของน้ำในแต่ละฤดูกาลของสระว่ายน้ำกึ่งในร่ม โดยใช้ ANOVA

ANOVA

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
TTHM	Between Groups	203.366	2	101.683	3.843	.062
	Within Groups	238.145	9	26.461		
	Total	441.511	11			
DOC	Between Groups	3.750	2	1.875	7.916	.010
	Within Groups	2.132	9	.237		
	Total	5.882	11			
UV-254	Between Groups	.000	2	.000	40.805	.000
	Within Groups	.000	9	.000		
	Total	.000	11			
Residual Cl_2	Between Groups	2.949	2	1.475	53.869	.000
	Within Groups	.246	9	.027		
	Total	3.195	11			

ตารางที่ 24 ผลการทดสอบหาความแตกต่างของสมบัติของน้ำในแต่ละฤดูกาลของสระว่ายน้ำกึ่งในร่ม โดยใช้ ANOVA (ต่อ)

Multiple Comparisons

Dependent Variable	(I) ฤดู	(J) ฤดู	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
						Lower Bound	Upper Bound
TTHM	1.00	2.00	-9.2175	3.63735	.075	-19.3730	.9380
		3.00	-1.0675	3.63735	.954	-11.2230	9.0880
	2.00	1.00	9.2175	3.63735	.075	-.9380	19.3730
		3.00	8.1500	3.63735	.117	-2.0055	18.3055
	3.00	1.00	1.0675	3.63735	.954	-9.0880	11.2230
		2.00	-8.1500	3.63735	.117	-18.3055	2.0055
DOC	1.00	2.00	-1.1644(*)	.34415	.020	-2.1253	-.2035
		3.00	-1.2063(*)	.34415	.017	-2.1672	-.2454
	2.00	1.00	1.1644(*)	.34415	.020	.2035	2.1253
		3.00	-.0419	.34415	.992	-1.0028	.9190
	3.00	1.00	1.2063(*)	.34415	.017	.2454	2.1672
		2.00	.0419	.34415	.992	-.9190	1.0028
UV-254	1.00	2.00	-.0083(*)	.00128	.000	-.0119	-.0047
		3.00	-.0111(*)	.00128	.000	-.0147	-.0076
	2.00	1.00	.0083(*)	.00128	.000	.0047	.0119
		3.00	-.0028	.00128	.124	-.0064	.0008
	3.00	1.00	.0111(*)	.00128	.000	.0076	.0147
		2.00	.0028	.00128	.124	-.0008	.0064
Residual Cl_2	1.00	2.00	.2150	.11699	.212	-.1116	.5416
		3.00	1.1425(*)	.11699	.000	.8159	1.4691
	2.00	1.00	-.2150	.11699	.212	-.5416	.1116
		3.00	.9275(*)	.11699	.000	.6009	1.2541
	3.00	1.00	-1.1425(*)	.11699	.000	-1.4691	-.8159
		2.00	-.9275(*)	.11699	.000	-1.2541	-.6009

* The mean difference is significant at the .05 level.

ตารางที่ 25 ผลการทดสอบหาความแตกต่างของสมบัติของน้ำในแต่ละฤดูกาลของสระว่ายน้ำกลางแจ้ง โดยใช้ Kruskal-Wallis H Test

Test Statistics(a,b)				
	TTHM	DOC	UV-254	Residual Cl_2
Chi-Square	9.846	8.000	3.500	7.645
df	2	2	2	2
Asymp. Sig.	.007	.018	.174	.022

a Kruskal Wallis Test
b Grouping Variable: ฤดู

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ หาความแตกต่างของสมบัติของน้ำในแต่ละสระ

การทดสอบหาความแตกต่างของสมบัติของน้ำในแต่ละสระต้องทำการทดสอบการแจกแจงแบบปกติของข้อมูลโดยใช้ตัวสถิติ Kolmogorov-Smirnov ซึ่งแสดงดังตารางที่ 26 ผลการทดสอบพบว่าข้อมูลมีการแจกแจงแบบไม่ปกติ ดังนั้นจึงใช้ Kruskal-Wallis H Test ในการทดสอบ ผลการทดสอบแสดงดังตารางที่ 27 ซึ่งพบว่าสมบัติของน้ำในสระว่ายน้ำทั้ง 3 ประเภทมีความแตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ตารางที่ 26 ผลการทดสอบการแจกแจงแบบปกติของสมบัติต่าง ๆ ของน้ำในแต่ละสระ

Tests of Normality			
	Kolmogorov-Smirnov(a)		
	Statistic	df	Sig.
TTHM	.142	36	.063
DOC	.293	36	.000
UV-254	.178	36	.005
Residual Cl_2	.256	36	.000

a Lilliefors Significance Correction

ตารางที่ 27 ผลการทดสอบหาความแตกต่างของสมบัติของน้ำในแต่ละสระ โดยใช้ Kruskal-Wallis H Test

Test Statistics(a,b)				
	TTHM	DOC	UV-254	Residual Cl_2
Chi-Square	16.587	29.502	29.123	19.990
df	2	2	2	2
Asymp. Sig.	.000	.000	.000	.000

a Kruskal Wallis Test
b Grouping Variable: สระ

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ หาความแตกต่างของสมบัติของน้ำประปาในแต่ละฤดูกาล

การทดสอบหาความแตกต่างของสมบัติของน้ำประปาในแต่ละฤดูต้องทำการทดสอบการแจกแจงแบบปกติของข้อมูลโดยใช้ตัวสถิติ Kolmogorov-Smirnov ซึ่งแสดงดังตารางที่ 28 ผลการทดสอบพบว่าข้อมูลมีการแจกแจงแบบไม่ปกติ ดังนั้นจึงใช้ Kruskal-Wallis H Test ในการทดสอบ ผลการทดสอบแสดงดังตารางที่ 29 ซึ่งพบว่าสมบัติของน้ำประปาในแต่ละฤดูกาลไม่มีความแตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ตารางที่ 28 ผลการทดสอบการแจกแจงแบบปกติของสมบัติของน้ำประปาในแต่ละฤดูกาล

Tests of Normality			
	Kolmogorov-Smirnov(a)		
	Statistic	df	Sig.
TTHM	.132	27	.200(*)
DOC	.190	27	.014
UV-254	.442	27	.000
Residual Cl_2	.471	27	.000

* This is a lower bound of the true significance.
a Lilliefors Significance Correction

ตารางที่ 29 ผลการทดสอบหาความแตกต่างของสมบัติของน้ำประปาในแต่ละฤดูกาล โดยใช้ Kruskal-Wallis H Test

Test Statistics(a,b)				
	TTHM	DOC	UV-254	Residual Cl_2
Chi-Square	11.556	.297	2.395	3.646
df	2	2	2	2
Asymp. Sig.	.003	.862	.302	.162

a Kruskal Wallis Test
b Grouping Variable: ฤดู

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ หาความแตกต่างของ TTHM ในอากาศในสระว่ายน้ำแต่ละประเภท

การทดสอบหาความแตกต่างของ TTHM ในอากาศในสระว่ายน้ำแต่ละประเภท ต้องทำการทดสอบการแจกแจงแบบปกติของข้อมูลโดยใช้ตัวสถิติ Kolmogorov-Smirnov ซึ่งแสดงดังตารางที่ 30 ผลการทดสอบพบว่าข้อมูลมีการแจกแจงแบบไม่ปกติ ดังนั้นจึงใช้ Kruskal-Wallis H Test ในการทดสอบ ผลการทดสอบแสดงดังตารางที่ 31 ซึ่งพบว่า TTHM ในอากาศในสระว่ายน้ำแต่ละประเภทมีความแตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ตารางที่ 30 ผลการทดสอบการแจกแจงแบบปกติของ TTHM ในอากาศในสระว่ายน้ำแต่ละประเภท

Tests of Normality			
	Kolmogorov-Smirnov(a)		
	Statistic	df	Sig.
TTHM ในอากาศที่ผิวน้ำ	.371	54	.000
TTHM ในอากาศที่ระดับ 150 cm	.422	54	.000

a Lilliefors Significance Correction

ตารางที่ 31 ผลการทดสอบหาความแตกต่างของ TTHM ในอากาศในสระว่ายน้ำแต่ละประเภท โดยใช้ Kruskal-Wallis H Test

Test Statistics(a,b)		
	TTHM ในอากาศที่ผิวน้ำ	TTHM ในอากาศที่ระดับ 150 cm
Chi-Square	14.861	7.093
df	2	2
Asymp. Sig.	.001	.029

a Kruskal Wallis Test
b Grouping Variable: สระ

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ หาความแตกต่างของความเร็วลมในสระว่ายน้ำแต่ละประเภท

การทดสอบการแจกแจงแบบปกติของความเร็วลมในสระว่ายน้ำแต่ละประเภทโดยใช้ตัวสถิติ Kolmogorov-Smirnov แสดงดังตารางที่ 32 ผลการทดสอบพบว่าข้อมูลมีการแจกแจงแบบไม่ปกติ ดังนั้นจึงใช้ Kruskal-Wallis H Test ในการทดสอบหาความแตกต่างของความเร็วลมในสระว่ายน้ำแต่ละประเภท ผลการทดสอบแสดงดังตารางที่ 33 ซึ่งพบว่า TTHM ในอากาศในสระว่ายน้ำแต่ละประเภทมีความแตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ตารางที่ 32 ผลการทดสอบการแจกแจงแบบปกติของความเร็วลมในสระว่ายน้ำแต่ละประเภท

Tests of Normality			
	Kolmogorov-Smirnov(a)		
	Statistic	df	Sig.
ความเร็วลม	.200	54	.000

a Lilliefors Significance Correction

ตารางที่ 33 ผลการทดสอบหาความแตกต่างของความเร็วลมในสระว่ายน้ำแต่ละประเภท โดยใช้ Kruskal-Wallis H Test

Test Statistics(a,b)	
	ความเร็วลม
Chi-Square	35.538
df	2
Asymp. Sig.	.000

a Kruskal Wallis Test
b Grouping Variable: สระ

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ-สกุล	นางสาวธาราทิพย์ รอดวินิจ
ที่อยู่	911/32 หมู่ 9 ตำบลนครสวรรค์ตก อำเภอเมืองนครสวรรค์ จังหวัดนครสวรรค์ 60000
โทรศัพท์	085-9741351
E-mail address	cherry_mnn@hotmail.com

ประวัติการศึกษา

พ.ศ. 2550	สำเร็จการศึกษาปริญญาวิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร
พ.ศ. 2551	ศึกษาต่อระดับปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

ประวัติการฝึกงานและอบรม

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