โอกาสการก่อตัวของสารไตรฮาโลมีเทนในน้ำดื่มที่ได้จากการประปาขนาดเล็กในจังหวัดเชียงใหม่ และการลดโอกาสการก่อตัวด้วยการใช้โพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์เป็นสารโคเอกูเลชั่นในปริมาณที่เหมาะสม

นางสาวอรทัย เพิ่มสุข

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาการจัดการสิ่งแวดล้อม สหสาขาการจัดการสิ่งแวดล้อม
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2545
ISBN 974-17-2633-3
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

TRIHALOMETHANES FORMATION POTENTIAL IN POTABLE WATER FROM SMALL WATERWORKS IN CHINGMAI AND ITS REDUCTION USING OPTIMAL DOSAGE OF POLYALUMINUM CHLORIDE

Miss Orathai Permsuk

A Thesis submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science in Environmental Management
Inter-department Program in Environmental Management
Graduate School
Chulalongkorn Universtiy
Academic Year 2002

ISBN 974-17-2633-3

Copyright of Chulalongkorn University

Thesis Title	TRIHALOMETHANES FORMATION POTENTIAL IN POTABLE WATER FROM SMALL WATERWORKS IN CHIANG MAI AND ITS REDUCTION USING OPTIMAL DOSAGE OF POLYALUMINUM CHLORIDE
By	Miss Orathai Permsuk
Field of Study	Environmental Management
Thesis Advisor	Assistant Professor Suraphong Wattanachira, D.Eng.

Accepted by the Graduate School, Chulalongkorn University in Partial Fulfillment of the Requirements for the Master's Degree

.....Dean of Graduate School
(Professor Suchada Kiranandana, Ph.D.)

THESIS COMMITTEE

.....Chairman
(Assistant Professor Sutha Khaodhiar, Ph.D.)

.....Thesis Advisor
(Assistant Professor Suraphong Wattanachira, D.Eng.)

.....Member
(Assistant Professor Chavalit Ratanatamskul, Ph.D.)

.....Member
(Assistant Professor Prasert Pavasant, Ph.D.)

อรทัย เพิ่มสุข : โอกาสการก่อตัวของสารไตรฮาโลมีเทนในน้ำดื่มที่ได้จากการประปาขนาดเล็กในจังหวัดเชียงใหม่และการลดโอกาสการก่อตัวด้วยการใช้โพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์เป็นสารโคเอกูเลชั่นในปริมาณที่เหมาะสม. (TRIHALOMETHANES FORMATION POTENTIAL IN POTABLE WATER FROM SMALL WATERWORKS IN CHIANG MAI AND ITS REDUCTION USING OPTIMAL DOSAGE OF POLYALUMINUM CHLORIDE)
อ. ที่ปรึกษา : ผศ.ดร. สุรพงษ์ วัฒนะจีระ, 125 หน้า. ISBN 974-17-2633-3.

จุดประสงค์หลักของการศึกษานี้คือ การตรวจวัดเพื่อหาความเข้มข้นของสารไตรฮาโลมีเทน (THMs) และโอกาสการก่อตัวของสารไตรฮาโลมีเทน (THMFP) ในน้ำดิบและน้ำประปาจากโรงประปาขนาดเล็กอ่างแก้วและแม่เหียะ จากการศึกษาพบว่า ในน้ำดิบไม่สามารถตรวจพบ THMs แต่พบว่ามีค่า THMFP เฉลี่ยเท่ากับ 253.32 และ 251.52 ไมโครกรัม/ลิตร จากโรงประปาอ่างแก้วและแม่เหียะตามลำดับ นอกจากนี้ได้ทำการตรวจวัดหาคุณลักษณะของน้ำดิบ (ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ค่าความกระด้าง TOC DOC และ UV-254) พบว่า ความเข้มข้นเฉลี่ยของ TOC เท่ากับ 2.61 และ 2.05 มิลลิกรัม/ลิตร ความเข้มข้นของ DOC เท่ากับ 0.48 และ 0.41 มิลลิกรัม/ลิตร และUV-254 มีค่าเท่ากับ 0.1277 และ 0.1447 มิลลิกรัม/ลิตร สำหรับน้ำดิบจากโรงประปาอ่างแก้วและแม่เหียะตามลำดับ สำหรับการตรวจหา THMs ในน้ำประปาพบว่ามีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยเท่ากับ 60.0 และ 62.5 ไมโครกรัม/ลิตร และมีค่า THMFP เฉลี่ยเท่ากับ 40.2 และ 46.4 ไมโครกรัม/ลิตร สำหรับน้ำประปาจากโรงประปาอ่างแก้วและแม่เหียะตามลำดับ จากการศึกษาพบว่ามีค่าความเข้มข้นของ THMs ในน้ำประปาของน้ำตัวอย่างมีค่าน้อยกว่ามาตรฐานน้ำดื่ม (80 ไมโครกรัม/ลิตร เสนอโดย US.EPA) นอกจากนี้ยังได้ทำการตรวจวัดค่า TOC DOC และ UV-254 ในน้ำประปาแต่พบว่ามีค่าค่อนข้างต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับค่าที่ตรวจวัดในน้ำดิบ จุดประสงค์ข้อที่สองคือ การลดโอกาสการเกิดไตรฮาโลมีเทนโดยการใช้สารโพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์ (PACl) เป็นสารโคเอกูเลชั่น ในการทดลอง Jar-Test ซึ่งทำการทดลองภายใต้สภาวะในช่วงค่า pH 6 ถึง 10 และค่าความเข้มข้นของ PACl ในช่วง 0.5 ถึง 5 มิลลิกรัม/ลิตร จากการทดลองสามารถสรุปได้ว่าที่ pH เท่ากับ 7 เป็นสภาวะที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการลดค่า THMFP เมื่อใช้ PACl เป็นสารตกตะกอน โดยค่า THMFP ลดลงอย่างอย่างรวดเร็วเมื่อเติม PACl ที่ความเข้มข้น 0.5 มิลลิกรัม/ลิตร โดยคิดเป็นเปอร์เซ็นต์การลดได้เท่ากับ 70 และสามารถลดค่า THMFP ได้เป็น 95 เปอร์เซ็นต์เมื่อเติม PACl 5 มิลลิกรัม/ลิตร นอกจากนี้ยังพบว่า คลอโรฟอร์มและโบรโมไดคลอโรมีเทนเป็นสปีชีส์หลักของสาร THMs โดยคิดเป็นเปอร์เซ็นต์เท่ากับ 69.8 และ 3.2 ในน้ำตัวอย่างตามลำดับ THM ในน้ำตัวอย่างที่ทำการศึกษา และจากการหาความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีตัวแทนสารอินทรีย์ธรรมชาติ (THMFP TOC DOC และ UV-254) พบว่า THMFP และค่า TOC มีความสัมพันธ์กันที่สุด โดยมีค่า Pearson Correlation factor (R^2) เท่ากับ 0.9331 ส่วนความสัมพันธ์ระหว่าง THMFP กับค่า DOC และความสัมพันธ์ระหว่าง DOC กับ TOC มีความสัมพันธ์กันสูงเช่นเดียวกัน (R^2 เท่ากับ 0.9257 และ 0.9865 ตามลำดับ) และสำหรับความสัมพันธ์ระหว่าง UV-254 กับสารอินทรีย์ธรรมชาติอยู่ในระดับต่ำมากดังนั้น UV-254 ไม่เป็นพารามิเตอร์ที่ดีในการเป็นตัวแทนในการหาปริมาณของสารอินทรีย์ธรรมชาติ

สหสาขาวิชาการจัดการสิ่งแวดล้อม ลายมือชื่อนิสิต.....
สาขาวิชาการจัดการสิ่งแวดล้อม ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....
ปีการศึกษา 2545

4489447120 : MAJOR ENVIRONMENTAL MANAGEMENT
KEY WORD: TRIHALOMETHANES FORMATION POTENTIAL / TRIHALOMENTHANES / THMs / THMFP

ORATHAI PERMSUK: TRIHALOMETHANES FORMATION POTENTIAL IN POTABLE WATER FROM SMALL WATERWORKS IN CHIANG MAI AND ITS REDUCTION USING OPTIMAL DOSAGE OF POLYALUMINIUM CHLORIDE THESIS ADVISOR: ASSIST.PROF.SURAPONG WATTANACHIRA, D.Eng.
125 pp. ISBN 974-17-2633-3.

The main objective of this study was to investigate trihalomethane concentration (THMs) and trihalomethane formation potential (THMFP) in raw water and in water supply from two small waterworks in Aung-Keaw and Mae-Hia case study. THMs in raw water was not detected while THMFP of average 253.32 and 251.52 μg/L were detected in Aung-Keaw and Mae-Hia waterworks, respectively. The characteristics of raw water (pH, alkalinity, turbidity, TOC, DOC and UV-254) were also determined. The average value of TOC were 2.61 and 2.05 mg/L, whereas DOC were 0.48 and 0.41 mg/L and UV-254 were 0.1277 and 0.1447 for Aung-Keaw and Mae-Hia reservoirs, respectively. THMs in water supply of average at 60.0 and 62.5 μg/L while THMFP of 40.2 and 46.4 μg/L from Aung-Keaw and Mae-Hia waterworks, respectively, were obtained. The results showed that average THMs were lower than such THMs standard (80 μg/L) proposed by US.EPA. TOC, DOC and UV-254 were also determined in the water supply, the relatively low value of these parameters were obtained comparing to those obtained in raw water. The second objective was to determine THMFP reduction using PACl as coagulant in Jar-Test experiments. The experiments were carried out under the condition of pH ranged from 6 to 10 and at PACl dosages between 0.5 to 5 mg/L. The results were indicated that the best condition of PACl coagulation for THMFP reduction was at the pH values of 7 for both Aung-Keaw and Mae-Hia water sources. THMFP can be sharply removed within the short range of PACl adding from 0 to 0.5 mg/L. It was found that THMFP can be reduced of about 70% at PACl dosage of 0.5 mg/L and THMFP reduction can be increased to maximum of about 95% at PACl dosage of 5 mg/L for the both water sources. Furthermore, the main THMFP species in raw water were Chloroform ($CHCl_3$) and Bromodichloromethane ($CHCl_2Br$) of about 69.8% and 3.2%., respectively. In addition, the matrix correlations among surrogates for NOM (THMFP, DOC, TOC, and UV-254) were investigated. The results presented that THMFP and TOC was the good correlation ($R^2 = 0.9331$). The correlation between THMFP and DOC as well as DOC and TOC was good level with R^2 0.9257 and 0.9865, respectively. By contrast, UV-254 was not a proper parameter used to represent the quantity of NOM because very low of R^2 were obtained.

Inter-department Environmental Management
Field of study Environmental Management
Academic year 2002

Student's signature.....
Advisor's signature.....

ACKNOWLEDGEMENTS

Especially, I would like to express my deep sincere gratitude to my thesis advisor, Assistant Professor Dr. Surapong Wattanachira, for his valuable suggestions, assistance and strong encouragement through out the thesis work. Special respect and thanks are also extended to Associate Professor Dr. Taha F.Marhaba, for his valuable suggestions and guidance as co-advisor. I ma grateful to Assistant Professor Dr. Chavalit Ratanatamkul and Assistant Professor Dr. Prasert Pavasant for many valuable comments.

Special thanks are also for all of student and staff at Environmental Research Institute, Chulalongkorn University (ERIC) in the National Research Center for Environmental and Hazardous Waste Management (NRC-EHMW) program. Special gratitude to Chiang Mai University and all staff at Aung-Keaw and Mae-Hia waterwork for supporting samples and valuable information. Moreover, I would like to express gratitude to all staffs and friends at Department of Environmental Engineering, Faculty of Environmental Engineering, Chiang Mai University for their warm support and interval helps over the entire period of this research.

Most of all, gratitude thanks to my parents, my sister, my niece for their love and inspiration throughout my thesis.

CONTENTS

Pages

ABSTRACT (IN THAI).....iv

ABSTRACT (ENGLISH).....v

ACKNOWLEDGEMENTS.....vi

CONTENTS.....vii

LIST OF TABLES.....x

LIST OF FIGURES.....xii

ABBREVIATIONS.....xix

CHAPTER 1 Introduction

1.1 Motivations.....1

1.2 Objectives.....1

1.3 Scope of Work.....2

1.4 Benefits of this work.....2

CHAPTER 2 Background and Literature Reviews

2.1 Thihalomethanes (THMs).....3

2.1.1 Backgrounds and Regulatory History.....3

2.1.2 Chemistry of Trihalomethanes (THMs).....3

2.1.3 Possible Reaction Pathway of THMs in Water Treatment.....7

2.1.4 Trihalomethanes Formation Potentials (THMF).....8

2.1.5 Factors Influencing on THMs Formation.....11

2.1.6 Empirical Kinetic Model of THM formation.....13

2.1.7 Toxicity of THMs.....16

2.2 THM Precursors.....19

2.2.1 THM Precursors in Nature.....19

2.2.2 Surrogate Parameter for Monitoring THM precursors.....22

2.3 THM Precursors Removal.....24

2.3.1 Approach for THM Precursors Removal.....24

2.3.2 Removing of THM Precursors by Coagulation.....27

2.3.3 Process Variables.....28

CONTENTS (Cont.)

Pages

2.4 Coagulants.....32
2.4.1 Polyaluminium chloride (PACl).....32
2.4.2 Theory of the Action of PACl.....33
2.4.3 Advantages of PACl.....34

CHAPTER 3 Methodology

3.1 The selected raw water sources and waterworks.....37
3.2 The study in actual plant waterworks.....37
3.3 The study in Jar-Test experiments.....37
3.3.1 Samples and analytical parameters in Jar-Test experiments.....37
3.3.2 The Jar-Test Conditions.....42
3.3.3 Coagulant.....42
3.4 Analytical Methods and Instruments.....42
3.4.1 pH.....42
3.4.2 Turbidity.....43
3.4.3 Alkalinity.....43
3.4.4 UV 254.....43
3.4.5 TOC and DOC.....43
3.4.6 Trihalomethanes.....43

CHAPTER 4 Results and Discussion

4.1 Characteristics of raw water.....45
4.2 THMs and THMFP in water supply from actual plant waterworks.....48
4.3 Proper pH in PACl Coagulation forTHMFP reduction in Jar-Test experiments.....51
4.5 Correlation between surrogates for natural organic matter (NOM) coagulated water obtained from Jar-Test experiments.....62

CHAPTER 5 Conclusions.....67

CHAPTER 6 Recommendations for Future Work.....69

REFERENCES.....70

CONTENTS (Cont.)

Pages

APPENDIX A Calibration data and calibration curves.....76

APPENDIX B The characteristics of raw water and water supply in Aung-Kaew and Mae-Hia water source.....81

APPENDIX C Investgation Data.....85

Biography.....125

LIST OF TABLES

Pages

2.1 Basic chemical and physical data of chloroform.....4
2.2 Basic chemical and physical data of bromodichloromethane.....5
2.3 Basic chemical and physical data of dibromochloromethane.....6
2.4 Basic chemical and physical data of bromoform.....6
2.5 Human Uptake of Chloroform and Trihalomethanes from drinking after, food and air.....18
2.6 Acute Toxicity of Trihalomethanes.....19
2.7 Percentage TOC removal requirements for enhanced coagulation and softening.....23
3.1 The experimental Jar-Test conditions.....42
3.2 Analytical methods and instruments.....44
4.1 The characteristics of raw water in Aung-Keaw and Mae-Hia reservoirs between October 2002 and February 2003.....47
4.2 The THMs and THMFP including characteristics of water supply produced from actual plants of Aung-Keaw and Mae-Hia waterworks between October 2002 - February 2003.....50
4.3 THMFP species in raw water of Aung-Keaw and Mae-Hia reservoirs.....61
4.4 Conclusive results of regression and correlation coefficients between surrogates of NOM parameters.....66

LIST OF FIGURES

Pages

2.1 Haloform reaction pathway.....7
2.2 Basic steps of reaction of chloroform that may be produced during water treatment.....8
2.3 Definitions used in the formation potential test of a sample without free chlorine at the time of sampling.....9
2.4 Definitions used in the formation potential test of a sample that with contains free chlorine at the time of sampling.....10
2.5 Stoichiometric relationship between alum dosage and humic acid concentration.....29
2.6 Influence of pH on the removal of fulvic acid with acid alum and humic acid with ferric chloride.....30
3.1 Aung-Keaw Reservoir and waterwork in Chiang Mai University main campus (Houy-Keaw campus).....38
3.2 Mae-Hia Reservoir and waterwork in Chiang Mai University new campus (Mae-Hia campus).....39
3.3 Water sampling points and analytical parameters in the actual plant waterworks.....40
3.4 The Jar-Test procedure, types of water samples and analytical parameters in Jar-Test experiments.....41
4.1 THMFP in coagulated water versus pH at different PACl dosage for Aung-Keaw water.....52
4.2 Percent reduction of THMFP versus pH at different PACl dosage for Aung-Keaw water.....52
4.3 THMFP in coagulated water versus pH at different PACl dosage for Mae-Hia water.....53
4.4 Percent reduction of THMFP versus pH at different PACl dosage for Mae-Hia water.....53
4.5 Profiles of THMFP and percent reduction of THMFP in coagulated water as a function of PACl dosages at the controlled pH of 6 for Aung-Keaw water source.....56

LIST OF FIGURES (Cont.)

Pages

4.6 Profiles of THMFP and percent reduction of THMFP in coagulated water as a function of PACl dosages at the controlled pH of 7 for Aung-Keaw water source 56

4.7 Profiles of THMFP and percent reduction of THMFP in coagulated water as a function of PACl dosages at the controlled pH of 8 for Aung-Keaw water source.....57

4.8 Profiles of THMFP and percent reduction of THMFP in coagulated water as a function of PACl dosages at the controlled pH of 9 for Aung-Keaw water source.....57

4.9 Profiles of THMFP and percent reduction of THMFP in coagulated water as a function of PACl dosages at the controlled pH of 10 for Aung-Keaw water source.....58

4.10 Profiles of THMFP and percent reduction of THMFP in coagulated water as a function of PACl dosages at the controlled pH of 6 for Mae-Hia water source.....58

4.11 Profiles of THMFP and percent reduction of THMFP in coagulated water as a function of PACl dosages at the controlled pH of 7 for Mae-Hia water source.....59

4.12 Profiles of THMFP and percent reduction of THMFP in coagulated water as a function of PACl dosages at the controlled pH of 8 for Mae-Hia water source.....59

4.13 Profiles of THMFP and percent reduction of THMFP in coagulated water as a function of PACl dosages at the controlled pH of 9 for Mae-Hia water source.....60

4.14 Profiles of THMFP and percent reduction of THMFP in coagulated water as a function of PACl dosages at the controlled pH of 10 for Mae-Hia water source.....60

4.15 Regression and correlation coefficients between THMFP and TOC in coagulated water of both Aung-Kaew and Mae-Hia water source.....63

4.16 Regression and correlation coefficients between THMFP and DOC in coagulated water of both Aung-Kaew and Mae-Hia water sorce.....63

LIST OF FIGURES (Cont.)

Pages

4.17 Regression and correlation coefficients between THMFP and UV-254 in coagulated water of both Aung-Kaew and Mae-Hia water source.....64

4.18 Regression and correlation coefficients between DOC and TOC in coagulated water of both Aung-Kaew and Mae-Hia water source.....64

4.19 Regression and correlation coefficients between DOC and UV-254 in coagulated water of both Aung-Kaew and Mae-Hia water source.....65

4.20 Regression and correlation coefficients between TOC and UV-254 in coagulated water of both Aung-Kaew and Mae-Hia water source.....65

ABBREVATIONS

abs.	Absorbance
Al	Aluminium
$Al(OH)_3$	Aluminium hydroxide
Al_2O_3	Aluminium Oxide
Al_2SO_4	Aluminium Sulfate
$AlCl_3$	Aluminium Chloride
amu	apparent molecular unit
AMW	Apparent Molecular Weight
AWWA	American Water Works Association
$CaCO_3$	Calcium Carbonate
$CHBr_3$	Bromoform
$CHCl_2Br$	Bromodichloromethane
$CHCl_3$	Chloroform
$CHClBr_2$	Dibromochloromethane
Cl	Chlorine
cm	Centimeter
°C	Degree Celsius
DBP	Disinfection by Product
DBPFP	Disinfection by Product Formation Potential
DOC	Dissolved Organic Carbon
DOM	Dissolved Organic Matter
ECD	Electron Capture Detector
EPA	Environmental Protection Agency
FA	Fulvic Acid
$Fecl_3$	Ferric Chloride
GC	Gas Chromatograph
h	Hour
HA	Humic Acid
HAA	Haloacetic acid
HAAFP	Haloacetic acid Formation Potential
HANs	Haloacetonitrile

I	Iodine
L/mg-m	Liter/milligram-meter
m	Meter
M	Molar
MCL	Maximum Contaminant Level
MCLG	Maximum Contaminant Level Goal
mg/L	Milligram/Liter
NOM	Natural Organic Matter
NTU	Nepheo Turbidity Unit
ppm	Part per Million
SS	Suspended Solid
SUVA	Specific Ultraviolet Absorption
THM	Trihalomethane
THMFP	Trihalomethanes Formation Potential
TOC	Total Organic Carbon
TTHM	Total Trihalomethanes
µg/L	Microgram/liter
USEPA	United States Environmental Protection Agency
UV	Ultraviolet
UV254	Ultraviolet absorbtion at wave length 254 nanometer
UVA	Ultraviolet Absorbtion