

**OCCURRENCE AND FATE OF BISPHENOL A IN SOME  
MUNICIPAL WASTEWATER TREATMENT PLANTS IN  
BANGKOK, THAILAND**

**INTIRA POOKPOOSA**

**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT  
OF THE REQUIREMENTS FOR  
THE DEGREE OF MASTER OF ENGINEERING  
(ENVIRONMENTAL AND WATER RESOURCE ENGINEERING)  
FACULTY OF GRADUATE STUDIES  
MAHIDOL UNIVERSITY  
2014**

**COPYRIGHT OF MAHIDOL UNIVERSITY**

Thesis  
entitled  
**OCCURRENCE AND FATE OF BISPHENOL A IN SOME  
MUNICIPAL WASTEWATER TREATMENT PLANTS IN  
BANGKOK, THAILAND**

.....  
Miss Intira Pookpoosa  
Candidate

.....  
Asst. Prof. Ranjna Jindal,  
Ph.D.  
Major advisor

.....  
Mrs. Daisy Morknoy,  
Ph.D.  
Co-advisor

.....  
Assoc. Prof. Kraichat Tantrakarnapa,  
Ph.D.  
Co-advisor

.....  
Prof. Banchong Mahaisavariya,  
M.D., Dip. Thai Board of Orthopedics  
Dean  
Faculty of Graduate Studies  
Mahidol University

.....  
Asst. Prof. Ranjna Jindal, Ph.D.  
Program Director  
Master of Engineering Program in  
Environmental and Water Resource  
Engineering  
Faculty of Engineering  
Mahidol University

Thesis  
entitled  
**OCCURRENCE AND FATE OF BISPHENOL A IN SOME  
MUNICIPAL WASTEWATER TREATMENT PLANTS IN  
BANGKOK, THAILAND**

was submitted to the Faculty of Graduate Studies, Mahidol University  
for the degree of Master of Engineering  
(Environmental and Water Resource Engineering)  
on  
July 28, 2014

.....  
Miss Intira Pookpoosa  
Candidate

.....  
Mr. Madawala Liyanage Duminda  
Jayaranjan,  
D.Eng.  
Chair

.....  
Asst. Prof. Ranjna Jindal,  
Ph.D.  
Member

.....  
Mrs. Daisy Morknoy,  
Ph.D.  
Member

.....  
Assoc. Prof. Kraichat Tantrakarnapa,  
Ph.D.  
Member

.....  
Prof. Banchong Mahaisavariya,  
M.D., Dip. Thai Board of Orthopedics  
Dean  
Faculty of Graduate Studies  
Mahidol University

.....  
Lect. Worawit Israngkul, M.D.  
Dean  
Faculty of Engineering  
Mahidol University

## ACKNOWLEDGEMENTS

I am deeply indebted to my main advisor, Asst. Prof. Ranjna Jindal for successful completion of my master dissertation research and preparation of this thesis. Her patience and kindness, as well as the academic expertise and very useful advices have been invaluable to me. I am very grateful to my co-advisers, Mrs. Daisy Morknøy and Assoc. Prof. Kraichat Tantrakarnapa for their help. My thanks go out to Mr. Madawala Liyanage Duminda Jayaranjan for accepting to be the thesis defense committee chairman and for providing useful suggestions for improvement. I am also thankful to all my lecturers at Mahidol University for their support and assistance extended to me.

I express my thanks to Environmental Engineering Laboratory, Faculty of Engineering and Tropical Medicine Laboratory, Faculty of Tropical Medicine at Mahidol University, and Environmental Research and Training Centre (ERTC), Environmental Quality Promotion Department, Ministry of Natural Resources and Environment for providing the facilities for me to have the conventional parameters analyses and HPLC analyses of my samples.

I would also like to extend my thanks and appreciation to all my friends for their kind help. Finally, I am extremely grateful to my family, which has been a constant source of emotional, moral and, of course financial support during my study period. This study would certainly not have been possible without them. Special thanks to my parents who took best care of me.

I dedicate the usefulness of this thesis to my family and to all the teachers who have taught and inspired me since my childhood.

Intira Pookpoosa

**OCCURRENCE AND FATE OF BISPHENOL A IN SOME MUNICIPAL WASTEWATER TREATMENT PLANTS IN BANGKOK, THAILAND**

INTIRA POOKPOOSA 5537671 EGEW/M

M. Eng. (ENVIRONMENTAL AND WATER RESOURCE ENGINEERING)

THESIS ADVISORY COMMITTEE : RANJNA JINDAL, Ph.D. DAISY MORKNOY, Ph.D., KRAICHAT TANTRAKARNAPA, Ph.D.

**ABSTRACT**

Bisphenol A (BPA), implicated in endocrine disruption, is used in the primary production of polycarbonate plastics and epoxy resins, which are used in the plastics industry. Because of its large scale production and widespread usage, BPA is released into the environment through air, land, and water during manufacturing, processing, and leaching from end-of-life treatment. The concern over BPA has grown over the last few years; however, there is still much debate over the potential harmful effects of BPA. Because most of the current WWTPs are not designed to treat emerging contaminants such as BPA, they can escape into the aquatic environments. This study aimed at investigating the occurrence and fate of BPA in the selected municipal wastewater treatment plants (MWWTPs) in the Bangkok region.

Based on the results of three sampling events, The WWTPs influent and effluents BPA concentrations ranged between 128.5 ng/L and 606.0 ng/L; and 38.7 ng/L and 270.5 ng/L, respectively. Even though these WWTPs are not designed to remove BPA from wastewater, the effluent BPA concentrations of most of the five WWTPs in three sampling events were lower than the influent levels. TK had the highest removal efficiency in October 2013 (80.4%) and December 2013 (90.7%) and the second highest in February 2014 (69.2%). DD had the highest removal efficiency in February 2014. The treatment process employed at TK and DD were vertical loop reactor activated sludge process and activated sludge with nutrients removal, respectively. Thus, these processes seem to be good for BPA degradation. Many of the adverse effects that BPA has on human health were studied over the past several decades. Arguments exist regarding what concentrations of BPA are dangerous to humans or wildlife, but it is clear that BPA poses potential risks and several countries have considered regulating it. However, there is no environmental policy in Thailand to control the levels of BPA residues in aquatic environments at present. Currently, the only regulation is to control BPA content used in food packaging (the maximum allowed level of BPA, including phenol and p-t-butylphenol, is 500 mg/kg in polycarbonate plastic containers and 2.5 mg/dm<sup>3</sup> for the BPA leached from various types of polycarbonate food containers). Also, BPA has been banned in the production of cosmetics. Until now, there are no standards for endocrine disrupting compounds residues including BPA in WWTPs' effluents and surface water in Thailand. Hence, there is a critical need for regulations for emerging endocrine disrupting compounds residues in aquatic environments Thailand.

**KEY WORDS:** BISPHENOL A/ WASTEWATER/ WWTP/ BANGKOK/ HPLC

107 pages

การเกิดและการเปลี่ยนแปลงของสารบิสฟีนอล เอ ในโรงควบคุมคุณภาพน้ำในจังหวัดกรุงเทพมหานคร

# OCCURRENCE AND FATE OF BISPENOL A IN SOME MUNICIPAL WASTEWATER TREATMENT PLANTS IN BANGKOK, THAILAND

อินทิรา พุกภญา 5537671 EGEW/M

วศ.ม. (วิศวกรรมสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรน้ำ)

คณะกรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์: รันจนา จินดาล, Ph.D., เดซี่ หมอกลน้อย, Ph.D., ไกรชาติ ดันตระการอาภา, Ph.D.

## บทคัดย่อ

สารบิสฟีนอล เอ เป็นสารที่จัดอยู่ในกลุ่มสารรบกวนการทำงานของต่อมไร้ท่อ ถูกนำมาใช้เป็นสารตั้งต้นในการผลิตพลาสติกโพลีคาร์บอเนต และอีพ็อกซีเรซินที่ใช้ในอุตสาหกรรมพลาสติก เนื่องจากมีการผลิตและมีการใช้งานพลาสติกที่ผลิตจากสารนี้อย่างกว้างขวาง สารบิสฟีนอล เอ จึงถูกปลดปล่อยลงสู่สิ่งแวดล้อมและปนเปื้อนสู่ อากาศ ดิน และน้ำ ในระหว่างขั้นตอนการผลิต และจากการชะละลายจากการบำบัดในขั้นตอนสุดท้าย ในช่วงที่ผ่านมาพบว่าการเกิดความตระหนักถึงผลเสียของจากการได้รับบิสฟีนอล เอ จากผลิตภัณฑ์ที่มีสารชนิดนี้เป็นองค์ประกอบเพิ่มสูงขึ้น อย่างไรก็ตามยังคงมีการตั้งคำถามเกี่ยวกับความปลอดภัยสำหรับการใช้สารชนิดนี้ว่ามีผลร้ายแรงต่อมนุษย์หรือไม่ เนื่องจากในปัจจุบันโรงควบคุมคุณภาพน้ำยังไม่มีกระบวนการที่ใช้ในการกำจัดสารประเภทนี้ ทำให้บิสฟีนอล เอ สามารถหลุดรอดจากการกำจัดและปนเปื้อนลงแหล่งน้ำได้ งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์หลักเพื่อศึกษาการเกิดและการเปลี่ยนแปลงของสารบิสฟีนอล เอ ในโรงควบคุมคุณภาพน้ำในเขตกรุงเทพมหานคร

ผลจากการศึกษาตัวอย่างน้ำเสียจากโรงควบคุมคุณภาพน้ำกรุงเทพมหานคร ก่อนบำบัด และหลังบำบัด พบว่ามีบิสฟีนอล เอ ปนเปื้อนในน้ำอยู่ 128.5 - 606.0 นาโนกรัมต่อลิตร และ 38.7 - 270.5 นาโนกรัมต่อลิตร ตามลำดับ แม้ว่าโรงควบคุมคุณภาพน้ำที่ทำการศึกษายังไม่มีวิธีการกำจัดสารชนิดนี้ในการบำบัดน้ำเสีย จากข้อมูลการศึกษา พบว่าโรงควบคุมคุณภาพน้ำทุกระบบมีประสิทธิภาพในการกำจัดสารบิสฟีนอล เอ สูงที่สุดของการเก็บตัวอย่างในเดือนธันวาคม พ.ศ.2556 เท่ากับ 90.7% รองลงมาในเดือนตุลาคมเท่ากับ 80.4% และโรงควบคุมคุณภาพน้ำดินแดงมีประสิทธิภาพในการกำจัดสารบิสฟีนอล เอ สูงที่สุดของการเก็บตัวอย่างในเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ.2557 เท่ากับ 69.2% เมื่อศึกษาถึงระบบการบำบัดน้ำเสียของโรงควบคุมคุณภาพน้ำทุกระบบและดินแดง พบว่าเป็นระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่งชนิดแอสแตเรีย และระบบบำบัดแบบตะกอนเร่งที่สามารถกำจัดสารอาหารตามลำดับ ดังนั้น จึงสรุปได้ว่าระบบการบำบัดน้ำเสียทั้งสองระบบนี้อาจจะเป็นระบบที่มีความเหมาะสมในการกำจัดสารบิสฟีนอล เอ

ปัจจุบันประเทศไทยยังไม่มีกฎหมายหรือข้อกำหนดในการควบคุมปริมาณสารบิสฟีนอล เอ ในทรัพยากรน้ำ มีเพียงประกาศของกระทรวงสาธารณสุข เรื่องการกำหนดคุณภาพหรือมาตรฐานของภาชนะบรรจุที่ทำจากพลาสติก ว่าสามารถพบสารบิสฟีนอล เอ ในปริมาณที่ไม่เกิน 500 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และการแพร่กระจายไม่เกิน 2.5 มิลลิกรัมต่อ 1 ลูกบาศก์เดซิเมตรของสารละลายในพลาสติกโพลีคาร์บอเนต และมีการประกาศให้สารบิสฟีนอล เอ เป็นวัตถุที่ห้ามใช้เป็นส่วนผสมในการผลิตเครื่องสำอาง และเนื่องจากยังไม่มีมาตรฐานควบคุมคุณภาพน้ำเกี่ยวกับสารรบกวนการทำงานของต่อมไร้ท่อ ทำให้สารเหล่านี้สามารถปนเปื้อนในแหล่งน้ำและอาจก่อให้เกิดอันตรายต่อมนุษย์ได้ จึงเป็นเรื่องที่สำคัญที่ควรเร่งให้มีการกำหนดมาตรฐานเกี่ยวกับสารที่รบกวนการทำงานของต่อมไร้ท่อในมาตรฐานการควบคุมคุณภาพแหล่งน้ำในประเทศไทย

## CONTENTS

	<b>Page</b>
<b>ACKNOWLEDGEMENTS</b>	<b>iii</b>
<b>ABSTRACT (ENGLISH)</b>	<b>iv</b>
<b>ABSTRACT (THAI)</b>	<b>v</b>
<b>LIST OF TABLES</b>	<b>ix</b>
<b>LIST OF FIGURES</b>	<b>xi</b>
<b>LIST OF ABBREVIATIONS</b>	<b>xiv</b>
<b>CHAPTER I INTRODUCTION</b>	<b>1</b>
1.1 Statement of the Problem	1
1.2 Background Information	2
1.3 Objectives	4
1.4 Scope of the Study	4
1.5 Limitations of the Study	5
<b>CHAPTER II LITERATURE REVIEW</b>	<b>6</b>
2.1 What is the Bisphenol A (BPA)	6
2.2 Physicochemical Properties of Bisphenol A	6
2.3 Production and Application of BPA	7
2.4 Contamination of BPA in Environment	8
2.4.1 In aquatic environment	8
2.4.2 In atmosphere	10
2.4.3 In soil	11
2.5 Harmful Effects of BPA on Human Health	11
2.6 Environmental Fate of BPA	15
2.6.1 Wastewater Treatment: Laboratory and Pilot-Scale Investigations	15
2.6.2 Wastewater Treatment: Full-Scale Facilities	16
2.7 BPA Removal Methods	17

## **CONTENTS (cont.)**

	<b>Page</b>
2.8 Previous Studies	19
2.9 Policies for BPA Regulation Worldwide	28
2.9.1 US Chemical Policy	28
2.9.2 European Union Chemical Policy	29
2.9.3 Canada Regulation	30
2.9.4 Pollutant Release and Transfer Register	31
<b>CHAPTER III MATERIALS AND METHODS</b>	<b>33</b>
3.1 Site Selection and Sampling	33
3.2 Sampling plan	37
3.3 Experimental Analysis	37
3.3.1 Solid phase extraction (SPE)	38
3.3.2 High Performance Liquid Chromatography (HPLC)	39
3.3 BPA Removal Efficiency Calculation	42
3.4 BPA Analysis Method	43
3.5 Investigations on the Environmental Policy and Regulations For BPA in Aquatic Environments in Thailand	45
<b>CHAPTER IV RESULT AND DISCUSSIONS</b>	<b>47</b>
4.1 Sampling Events for Detection of Bisphenol A and Conventional Parameters Measurements	47
4.1.1 First Sampling Event in April 2013	47
4.1.2 Second Sampling Event in October 2013	56
4.1.3 Third Sampling Event in December 2013	64
4.1.4 Fourth Sampling Event in February 2014	70
4.2 Comparison of BPA Concentrations and Removal Efficiencies in WWTPs in Bangkok during the Three Sampling Events	77
4.3 ANOVA Analysis	80
4.4 Policy for BPA Regulation in Thailand	84



**CONTENTS (cont.)**

	<b>Page</b>
<b>CHAPTER V CONCLUSIONS AND RECOMMENDATIONS</b>	<b>90</b>
5.1 Conclusions	90
5.2 Recommendations	93
<b>REFERENCES</b>	<b>94</b>
<b>APPENDIX</b>	<b>103</b>
<b>BIOGRAPHY</b>	<b>107</b>

## LIST OF TABLES

<b>Table</b>	<b>Page</b>
2.1 Physio–chemical properties of BPA	7
2.2 Examples of consumer products containing BPA	9
2.3 An overview of some of the past studies on BPA	21
3.1 The basic information of seven wastewater treatment plants (WWTPs)	34
3.2 The wastewater quality parameters of seven treatment plants	35
3.3 Sampling Plan	38
3.4 Analytical operating conditions for HPLC	41
3.5 Study plan	46
4.1 Concentration of conventional parameters and BPA levels in seven WWTPs in Bangkok region in April 2013	50
4.2 Concentrations of the conventional parameters in five WWTPs in Bangkok in October 2013	57
4.3 Concentrations of the conventional parameters in five WWTPs in Bangkok in December 2013	65
4.4 Concentrations of the conventional parameters in five WWTPs in Bangkok in February 2014	71
4.5 BPA Concentrations in WWTPs in Bangkok during the Three Sampling Events	78
4.7 Correlation between effluent BPA concentrations and conventional parameters in October 2013	82
4.8 Correlation between effluent BPA concentrations and conventional parameters in December 2013	83
4.9 Correlation between effluent BPA concentrations and conventional parameters in February 2014	84

**LIST OF TABLES (cont.)**

<b>Table</b>	<b>Page</b>
4.10 History of the regulations established in Thailand during the past 35 years about the use of hazardous substances, such as BPA	88
A1 Influent BPA concentrations for ANOVA analysis	102
A2 Effluent BPA concentrations for ANOVA analysis	102
A3 ANOVA: two-factor with replication result for influent BPA concentrations	103
A4 ANOVA: two-factor with replication result for effluent BPA concentrations	104

## LIST OF FIGURES

Figures	Page
2.1 Chemical structure of Bisphenol A	6
2.2 Chemical structure of Bisphenol A and Estradiol	12
2.3 Structures of Bisphenol A (BPA), Diethylstilbestrol (DES) and Estrogen	14
2.4 The basic structure of the PRTR system	32
3.1 The seven selected wastewater treatment plants (WWTPs) Bangkok, Thailand	33
3.2 Schematic diagrams of all WWTPs and the sampling points	36
3.3 Samples Preparation for BPA analysis	39
3.4 High Performance Liquid Chromatography (HPLC) equipped with UV/Vis detector and fluorescence detector, Shimizu, Japan	41
3.5 Operation of HPLC system copyright by Waters Corporation 2010	42
3.6 The former steps of the whole process of BPA analysis	43
3.7 BPA Calibration Curve (HPLC/UV-VIS technique)	44
4.1 Sampling points in seven WWTPs, Bangkok, Thailand	48
4.2 Average DO concentrations in seven WWTPs in Bangkok in April 2013	51
4.3 Average TS concentrations in seven WWTPs in Bangkok in April 2013	51
4.4 Average TDS concentrations in seven WWTPs in Bangkok in April, 2013	51
4.5 Average TSS concentrations in seven WWTPs in Bangkok in April 2013	52
4.6 Average BOD <sub>5</sub> concentrations in seven WWTPs in Bangkok in April 2013	52
4.7 Average COD concentrations in seven WWTPs in Bangkok in April 2013	52
4.8 Removal Efficiencies of the seven WWTPs for TS, TDS, TSS in April 2013	53
4.9 Removal Efficiencies of the seven WWTPs for BOD <sub>5</sub> and COD in April 2013	54
4.10 BPA standard calibration curve by using HPLC/UV-VIS technique	55
4.11 Average DO concentrations in five WWTPs in Bangkok in October 2013	58
4.12 Average EC levels in five WWTPs in Bangkok in October 2013	58
4.13 Average TS concentrations in five WWTPs in Bangkok in October 2013	58
4.14 Average TSS concentrations in five WWTPs in Bangkok in October 2013	59

## LIST OF FIGURES (cont.)

Figures	Page
4.15 Average TDS concentrations in five WWTPs in Bangkok in October 2013	59
4.16 Average BOD <sub>5</sub> concentrations in five WWTPs in Bangkok in October 2013	59
4.17 Removal Efficiencies of the five WWTPs for the conventional parameters in October 2013	61
4.18 BPA standard calibration curve by using HPLC with fluorescence detector in October, 2013	62
4.19 Average BPA concentrations in five WWTPs in Bangkok in October 2013	63
4.20 Average DO concentrations in five WWTPs in Bangkok in December 2013	66
4.21 Average EC levels in five WWTPs in Bangkok in December 2013	66
4.22 Average TS concentrations in five WWTPs in Bangkok in December 2013	66
4.23 Average TSS concentrations in five WWTPs in Bangkok in December 2013	67
4.24 Average TDS concentrations in five WWTPs in Bangkok in December 2013	67
4.25 Average BOD <sub>5</sub> concentrations in five WWTPs in Bangkok in December 2013	67
4.26 Removal Efficiencies of the five WWTPs for the conventional parameters in December 2013	68
4.27 BPA standard calibration curve by using HPLC with fluorescence detector in December 2013	69
4.28 Average BPA concentrations in five WWTPs in Bangkok in December 2013	70
4.29 Average DO concentrations in five WWTPs in Bangkok in February 2014	72
4.30 Average EC levels in five WWTPs in Bangkok in February 2014	72
4.31 Average TS concentrations in five WWTPs in Bangkok in February 2014	72
4.32 Average TSS concentrations in five WWTPs in Bangkok in February 2014	73
4.33 Average TDS concentrations in five WWTPs in Bangkok in February 2014	73
4.34 Average BOD <sub>5</sub> concentrations in five WWTPs in Bangkok in February 2014	73
4.35 Removal Efficiencies of the five WWTPs for the conventional parameters in February 2014	75

**LIST OF FIGURES (cont.)**

<b>Figures</b>	<b>Page</b>
4.36 BPA standard calibration curve by using HPLC with fluorescence detector in February 2014	76
4.37 Average BPA concentrations in five WWTPs in Bangkok in February 2014	77
4.38 Average influent BPA concentrations in the five WWTPs during the three sampling events	79
4.39 Average effluent BPA concentrations in the five WWTPs during the three sampling events	79
4.40 BPA Removal Efficiency of the WWTPs during three sampling events	80

## LIST OF ABBREVIATIONS

### Abbreviations and symbols

%	Percent
°C	Degree (s) Celsius
µg	Microgram (s)
µg/L	Microgram (s) per Liter
µm	Micrometer (s)
<sup>14</sup> C	Carbon-14
ADHD	Attention deficit hyperactivity disorder
ANOVA	Analysis of variance
Apr	April
BADGE	Bisphenol A diglycidyl ether
B.E.	Buddhist Era
BFDGE	Bisphenol F diglycidyl ether
BMA	Bangkok Metropolitan Administration
BNR	Biological Nutrient Removal
BOD <sub>5</sub>	5 day Biochemical Oxygen Demand
BPA	Bisphenol A
BPF	Bisphenol F
CAS	Continuous Activated Sludge
CAS-No.	Chemical Abstract Service Number
CC	Chatu Chak WWTP
circa	around, about
CN	Chong Non Si WWTP
COD	Chemical Oxygen Demand
CWA	Clean Water Act
DBD	Dielectric Barrier Discharge
DD	Din Daeng WWTP

## LIST OF ABBREVIATIONS (cont.)

### Abbreviations and symbols

Dec	December
DES	Diethylstilbestrol
DI	Deionized Water
DO	Dissolved Oxygen
EC	Electrical Conductivity
EC50	Half Maximal Effective Concentration
EDCs	Endocrine Disrupting Chemicals
Eff.	Effluents
EFSA	European Food Safety Authority
EINECS-No	European Inventory Of Existing Commercial Chemical Substances Number
EPA	Environmental Protection Agency
ER	Estrogen Receptor
ERTC	Environmental Research and Training Center
et al.	Et alii, and others
EU	European Union
FDA	Food and Drug Administration
Feb	February
GAC	Granular Activated Carbon
GF/B	Glass Microfiber Filter with pore size 1.0 µm
g/mol	Gram (s) per mole
h	Hour (s)
HLB	lipophilic divinylbenzene with hydrophilic N-vinylpyrrolidone polymer
HPLC	High Performance Liquid Chromatography
Inf.	Influents
kg/m <sup>3</sup>	Kilogram (s) per cubic meter



## LIST OF ABBREVIATIONS (cont.)

### Abbreviations and symbols

km	Kilometer (s)
km <sup>2</sup>	Square kilometer (s)
kHz	Kilohertz (s)
kPa	Kilopascal (s)
kW/m <sup>2</sup>	Kilowatt (s) per square meter
L	Liter (s)
LC	Liquid Chromatography
LC50	Lethal Concentration 50
LC50/ EC50	Acute Effect Concentration
LDL	Lowest Detection Limit
LOD	Limit of Detection
Log K <sub>ow</sub>	Octanol-water partition coefficient
Log K <sub>aw</sub>	Air-water partition coefficient
Log K <sub>oa</sub>	Octanol–air partition coefficient
LOQ	Limit of Quantification
m <sup>2</sup>	Square meter (s)
m <sup>3</sup> /d	Cubic meter (s) per day
MBR	Membrane Bioreactor
MF	Microfiltration
mg	Milligram (s)
mg/dm <sup>3</sup>	Milligram (s) per cubic decimeter
mg/kg bw/day	Milligram (s) per kilogram of body weight
mg/L	Milligram (s) per Liter
min	minute (s)
mL	Milliliter (s)
ml/min	Milliliter (s) per minute
mm	Millimeter (s)

## LIST OF ABBREVIATIONS (cont.)

### Abbreviations and symbols

mM	Millimolar (s)
MWWTP	Municipal Wastewater Treatment Plant
NCI	National Cancer Institute
ND	Not Detected
ng/L	Nanogram (s) per Liter
ng/ml	Nanogram (s) per milliliter
NK	Nong Khaem WWTP
nm	Nanometer (s)
NOM	Natural Organic Matter
NP	Nonylphenol
NPI	National Pollutant Inventory
NTP	National Toxicology Program
Oct	October
OECD	Organization for Economic Co-operation and Development
PC	Polycarbonate
PCD	Pollution Control Department
pKa	Alkaline pH value
ppb	Part (s) per Billion
ppm	Part (s) per Million
PR	Progesterone Receptor
PRTR	Pollutant Release and Transfer Register
PVC	Polyvinyl chloride
RE	Removal Efficiency
REACH	Registration, Evaluation, Authorization and Restriction of Chemicals
RK	Rattanakosin WWTP
rpm	Round (s) per minute

## LIST OF ABBREVIATIONS (cont.)

### Abbreviations and symbols

RSDr	Relative Standard Deviation of Repeatability
Samp.point	Sampling Point
SCAS	Semi-continuous Activated Sludge
SDB-L	Styrene-Divinybenzene Polymer
S/N	Signal-to-Noise Ratio
SP	Si Phraya WWTP
SPE	Solid-phase extraction
SRT	Solids Residence Time
SVHC	Substance of Very High Concern
TDS	Total Dissolved Solids
Temp	Temperature
TK	Thungkru WWTP
TOC	Total Organic Carbon
TRI	Toxic Release Inventory
TS	Total Solids
TSCA	Toxic Substance Control Act
TSS	Total Suspended Solids
UNECE	United Nations Economic Commission for Europe
U.S.	United States
U.S. EPA	United States Environmental Protection Agency
UV/Vis	Ultraviolet–Visible
WWTP	Wastewater Treatment Plant