การบำบัดน้ำเสียปนเปื้อนสารไตรคลอโรเอทีลีนโดยใช้สารเฟนตันรีเอเจนท์

นาย รณชัย ติยะรัตนาชัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาการจัดการสิ่งแวดล้อม สหสาขาวิชาการจัดการสิ่งแวดล้อม
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2545

ISBN 974-17-1793-8

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

TREATMENT OF TRICHLOROETHYLENE CONTAMINATED WASTEWATER USING FENTON'S REAGENT

Mr. Ronnachai Tiyarattanachai

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Science in Environmental Management

Inter-departmental Program in Environmental Management

Graduate School

Chulalongkorn University

Academic Year 2002

ISBN 974-17-1793-8

Copyright of Chulalongkorn University

I๑๐๙๑๗๐๙

Thesis Title	Treatment of Trichloroethylene Contaminated Wastewater Using Fenton's Reagent
By	Mr. Ronnachai Tiyarattanachai
Program in	Environmental Management
Thesis Advisor	Associate Professor Proespichaya Kanatharana, Ph.D.
Thesis Co-advisor	Professor Hsin-Neng Hsieh, Ph.D., P.E.

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

(Associate Professor Proespichaya Kanatharana, Ph.D.)

..... Thesis Co-advisor

(Professor Hsin-Neng Hsieh, Ph.D., P.E.)

....Member

(Manaskorn Rachakornkij, Ph.D.)

รณชัย ติยะรัตนาชัย: การบำบัดน้ำเสียปนเปื้อนสารไตรคลอโรเอทีลีนโดยใช้สารเฟนตันรีเอเจนท์ (TREATMENT OF TRICHLOROETHYLENE CONTAMINATED WASTEWATER USING FENTON'S REAGENT) อาจารย์ที่ปรึกษา: รศ.ดร.เพริศพิชญ์ คณาธารณา, อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม Prof. Hsin-Neng Hsieh, Ph.D., P.E., 58 หน้า. ISBN 974-17-1793-8

สารเฟนตันรีเอเจนท์เป็นสารออกซิไดซ์แบบประยุกต์ที่มีประสิทธิภาพสูงในการบำบัดสารปนเปื้อนอินทรีย์ตัวหนึ่ง ปัจจุบันสารดังกล่าวมีบทบาทสำคัญในการบำบัดน้ำใต้ดิน และน้ำเสียที่ปนเปื้อนสารอันตรายอินทรีย์ ประสิทธิภาพของการบำบัดขึ้นอยู่กับสภาวะที่เหมาะสม ฉะนั้นควรที่จะมีการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในห้องปฏิบัติการก่อนที่จะนำไปใช้ในงานจริง การใช้ไททาเนียมไดออกไซด์จะมีผลเสริมกับสารเฟนตันรีเอ,จนท์ในการบำบัดน้ำเสีย งานวิจัยนี้ได้ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมโดยการทดลองแปรผันปริมาณของสารตั้งต้นที่ต่างๆกันและสารไททาเนียมไดออกไซด์ ตลอดจนการนำตะกอนของสารเหล็กและไททาเนียมไดออกไซด์กลับมาใช้ใหม่ ข้อมูลที่ได้ในส่วนของประสิทธิภาพการบำบัดนำมาพิจารณาและประเมินในแง่เศรษฐศาสตร์ เพื่อเลือกเงื่อนไขและอัตราส่วนของสารตั้งต้นที่เหมาะสมที่สุด

จากผลการศึกษาพบว่าอัตราส่วนของสารตั้งต้นที่เหมาะสมที่สุดคือ H_2O_2:Fe^{2+}:TCE เท่ากับ 20:2:1 โดยโมล ผลการใช้ไททาเนียมไดออกไซด์ของการศึกษานี้ไม่มีนัยสำคัญในเชิงประสิทธิภาพของการบำบัด แต่พบว่าตะกอนสามารถที่จะนำกลับมาใช้ใหม่และให้ผลการบำบัดที่ดี

ภาควิชา.....การจัดการสิ่งแวดล้อม.....ลายมือชื่อนิสิต.....

สาขาวิชา...การจัดการสิ่งแวดล้อม.....ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....

ปีการศึกษา...2545.....ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

4489432720: MAJOR ENVIRONMENTAL MANAGEMENT
KEYWORD: FENTON, TCE, TiO_2, TREATMENT CONDITION, WASTEWATER
RONNACHAI TIYARATTANACHAI: TREATMENT OF TCE CONTAMINATED WASTEWATER USING FENTON'S REAGENT. THESIS ADVISOR: ASSOC. PROF. PROESPICHAYA KANATHARANA, Ph.D., THESIS CO-ADVISOR: PROF. HSIN-NENG HSIEH, Ph.D., P.E., 58 pp. ISBN 974-17-1793-8

Fenton's reagent is a powerful oxidizing agent. It shows highly efficient treatment of hazardous organic contaminants contaminated in groundwater and wastewater. The treatment efficiency is obtained by treatment at the optimum condition. The optimum condition is recommended to be studied through the laboratory experiments before being implemented to the real treatment plant.

The optimum condition was studied by varying the ratio of chemicals that form Fenton's reagent; H_2O_2 and Fe^{2+} and TCE. The study was also carried by adding the titanium dioxide (TiO_2) for increasing the rate of Fenton's reaction to treat the wastewater. In addition, recycling of iron and TiO_2 sludge for wastewater treatment was also studied. The economic was evaluated base on the treatment efficiency at the optimum conditions and ratio of initial substances. The results showed that at the optimum molar concentration ratio of H_2O_2:Fe^{2+}:TCE is 20:2:1. However, enhancement of the treatment by TiO_2 was insignificant. The results of recycling of the reagents showed satisfying result.

Inter-department .Environmental Management.. Student's signature.....
Field of study .... Environmental Management...Advisor's signature.....
Academic year...2002.....Co-advisor's signature.....

ACKNOWLEDGEMENTS

I would like to express my heartfelt gratitude to Dr. Proespichaya Kanatarana and Dr. Hsin-Neng Hsieh, my thesis advisor and co-advisor, for providing valuable support that made the completion of this thesis possible. They have been constant sources of encouragement for me. Special thanks are given to Dr. Daniel J. Watts for his valuable suggestions, Dr. Sutha Khaodhiar, and Dr. Manasakorn Rachakornkij for serving as my thesis committee.

This thesis would not have materialized without the help of my colleagues and friends. I would like to express my appreciation to Mr. Chandrakant Patel and Mr. Frank Johansson, Assistant Director of the Geo-Environmental Laboratory and Director of Material Laboratory at the New Jersey Institute of Technology for their assistance in setting up and running the experiments.

I also would like to express my appreciation to friends in Analytical and Environmental Chemistry/Trace Analysis Research Unit and Biophysics: Biocurrents and Biosensors Research Unit at Prince of Songkla University for their helping on established of research atmosphere.

I also would like to express my appreciation to the scholarship from National Research Center for Environmental and Hazardous Waste Management (NRC-EHWM). Without this scholarship, this research will not be achieved.

Finally, I wish to thank my family for their support and encouragement throughout my studies.

CONTENTS

	Pages
ABSTRACT IN THAI	iv
ABSTRACT IN ENGLISH	v
ACKNOWLEDGEMENTS	vi
CONTENTS	vii
LIST OF FIGURES	x
LIST OF TABLES	xii
LIST OF ABBREVIATIONS	xiii
CHAPTER 1 INTRODUCTION	1
CHAPTER 2 THEORETICAL BACKGROUND AND LITERATURE REVIEW	3
2.1 Trichloroethylene	3
2.1.1 Introduction	3
2.1.2 Chemical and Physical Properties	3
2.1.3 Hazard Identification	4
2.1.4 Toxicology Information	5
2.1.5 Regulations	7
2.1.6 TCE in Environment	7
2.2 Fenton's reagent	8
2.2.1 Introduction	8
2.2.2 Chemical Reactions	9
2.2.3 Reactions of Hydroxyl Radicals	12
2.2.4 Factors Affecting Fenton's Reagent	13
2.2.5 Procedures Required in Achieving Fenton's Reaction	18
2.3 Titanium dioxide	19
2.3.1 Introduction	19
2.3.2 Mechanism of the TiO_2-photocatalyzed Oxidative Degradation	19
2.3.3 Comparison Between TiO_2 and Fenton's Reagent	21
2.3.4 Synergic Effect between TiO_2 and Fenton's Reagent	21

CONTENTS (Continued)

Pages

CHAPTER 3 TREATMENT OF TRICHLOROETHYLENE CONTAMINATED WASTEWATER..... 24
3.1 Abstract..... 24
3.2 Introduction..... 25
3.2.1 Fenton's Reagent..... 25
3.2.2 Titanium dioxide..... 27
3.2.3 Synergic Effect between TiO_2 and Fenton's Reagent.. 28
3.3 Materials and Methods..... 29
3.3.1 Experimental Devices..... 29
3.3.2 Analytical Methods..... 30
3.3.3 Experimental Methodology..... 30
3.3.4 Economic Study..... 33
3.4 Results and discussions..... 33
3.4.1 Optimal Conditions of Using Fenton's Reagent to Treat TCE Contaminated Wastewater with the Present of Suspended TiO_2..... 34
3.4.2 Recycling of Reagent Sludge..... 38
3.4.3 Economic Study..... 39
3.5 Conclusions..... 42
CHAPTER 4 RECOMMENDATIONS FOR FUTURE RESEARCH..... 44
REFERENCES..... 45
APPENDIX..... 50
CURRICULUM VITAE..... 58

LIST OF TABLES

		Pages
1.1	Relative oxidation power of the reactive species.....	2
2.1	Chemical and physical properties of TCE.....	3
2.2	Acute toxicity for TCE from inhalation.....	5
3.1	GC column temperature program	30
3.2	Conditions setting in the study.....	32
3.3	Comparison of K_{TCE} and K_{H2O2} among different condition.....	37
3.4	Prices of chemicals.....	39
3.5	Comparison of treatment cost for 1L of 100 ppm TCE in wastewater using condition B and D; reaction time 15 min.	40
A1	Treatment of 100 ppm TCE contaminated wastewater using Fenton's reagent.....	51
A2	Treatment of 100 ppm contaminated wastewater using Fenton's reagent from recycled reagent.....	52

LIST OF FIGURES

		Pages
2.1	Structural formula of Trichloroethylene.....	4
2.2	Effect of pH on Fenton's reagent.....	16
2.3	Typical pH profile of Fenton's reactions.....	17
3.1	Diagram of experimental procedures.....	33
3.2	Comparison of TCE removal and H_2O_2 degradation on conditions A, B, C, and D.....	34
3.3	TCE removal and H_2O_2 degradation on conditions B and D. Condition B; R_1 = 10:1:1, Condition D; R_1 = 10:1:1, TiO_2 = 500 mg/L.....	35
3.4	TCE removal and H_2O_2 degradation on conditions B and D. Condition B; R_2 = 20:1:1, Condition D; R_2 = 20:1:1, TiO_2 = 500 mg/L.....	35
3.5	TCE removal and H_2O_2 degradation on conditions B and D. Condition B; R_3 = 20:2:1, Condition D; R_3 = 20:2:1, TiO_2 = 1,000 mg/L.....	36
3.6	TCE removal and H_2O_2 degradation on conditions B and D. Condition B; R_4 = 40:2:1, Condition D; R_4 = 40:2:1, TiO_2 = 250 mg/L.....	36
3.7	Comparison of %TCE removal at different R, reaction time = 5 min.....	37
3.8	Comparison of %TCE removal between recycled sludge and fresh reagent from R_2 and R_4 respectively.....	39
3.9	Root Cause Analysis.....	41
C1	Gas Chromatographer (GC) Hewlett Packard model 5890 with Electron Capture Detector (ECD).....	55
C2	Dynamic Headspace Concentrator Tekmar model 4000.....	55
C3	Junior Orbit Shaker from Lab-Line Instruments, Inc.....	56
C4	Centrifuger Sorwall RC 28S from Dupont.....	56
C5	Comparison of sample in condition B on the left and condition D on the right.....	57

LIST OF FIGURES (Continued)

		Pages
C6	Recycled sludge; left: pure iron sludge, right: sludge of mixed iron and TiO_2.....	57

LIST OF ABBREVIATIONS

AOPs	=	Advanced Oxidation Processes
AR	=	Analytical Reagent
CAA	=	Clean Air Act
CWA	=	Clean Water Act
DCA	=	Dichloroacetic acid
ECD	=	Electron Capture Detector
EPCRA	=	Emergency Planning and Community Right to Know
GAC	=	Granular Activated Carbon
TCE	=	Trichloroethylene
GC	=	Gas Chromatographer
HOC	=	Halogenated Organic Compound
IARC	=	International Agency for Research on Cancer (IARC)
MCL	=	Maximum Contaminant Level
NTP	=	National Toxicology Program (NTP)
OSHA	=	Occupational Safety & Health Administration
PEL	=	Permissible Exposure Limit
RCRA	=	Resource Conservation and Recovery Act
SARA	=	Superfund Amendment Reauthorization Act
TCA	=	Trichloroacetic acid
TRI	=	Toxic Chemical Release Inventory
TWA	=	Time-Weighted Average
UHP	=	Ultra High Purity
USEPA	=	U.S. Environmental Protection Agency
VOC	=	Volatile Organic Compound
WHO	=	World Health Organization