

ห้องสมุดงานวิจัย สำนักงานคณะกรรมการการวิจัยแห่งชาติ



E41064

**TREATMENT OF SEPTIC TANK EFFLUENT BY COMBINED
IN-LINE FLOCCULATION AND MEMBRANE BIOREACTOR**

PATTANA PANYACHEATBUK

**MASTER OF ENGINEERING
IN ENVIRONMENTAL ENGINEERING**

**THE GRADUATE SCHOOL
CHIANG MAI UNIVERSITY**

NOVEMBER 2010

b60255537

ห้องสมุดงานวิจัย สำนักงานคณะกรรมการการวิจัยแห่งชาติ



E41064

**TREATMENT OF SEPTIC TANK EFFLUENT BY COMBINED
IN-LINE FLOCCULATION AND MEMBRANE BIOREACTOR**



PATTANA PANYACHATRUK

**A THESIS SUMMITTED TO THE GRADUATE SCHOOL IN
PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENTS
FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING
IN ENVIRONMENTAL ENGINEERING**

**THE GRADUATE SCHOOL
CHIANG MAI UNIVERSITY
NOVEMBER 2010**


TREATMENT OF SEPTIC TANK EFFLUENT BY COMBINED IN-LINE
FLOCCULATION AND MEMBRANE BIOREACTOR

PATTANA PANYACHATRUK

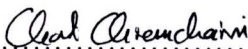
THIS THESIS HAS BEEN APPROVED
TO BE A PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENTS
FOR THE DEGREE OF MASTER OF ENGINEERING
IN ENVIRONMENTAL ENGINEERING

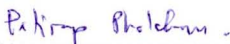
EXAMINING COMMITTEE

THESIS ADVISOR


.....CHAIRPERSON
Assoc. Prof. Dr. Suwasa Kantawanichkul


.....
Dr. Sirichai Koonaphapdeelert


.....MEMBER
Assoc. Prof. Dr. Chart Chiemchaisri


.....MEMBER
Asst. Prof. Dr. Patiroop Pholchan

ACKNOWLEDGEMENTS

I would like to express my gratitude to all those who gave me the possibility to complete this thesis. I would like to give special thanks to the Department of Environmental Engineering (Chiang Mai University, Thailand) and the Department of Environmental and Science (Chia Nan University of Pharmacy and Science, Taiwan) for giving me permission to commence this thesis in the first instance, and do the necessary research work.

I am deeply indebted to my supervisors Assoc. Prof. Chia-Yuan Chang at Chia Nan University of Pharmacy and Science, Taiwan and Dr. Sirichai Koonaphaddeert at Chiang Mai University, Thailand who give me helping, suggestions and encouragement all the time of research and for writing of this thesis.

I would like to thank my colleagues at the Department of Environmental Engineering and Science who assisted me in my research work for all their help, support, interest and valuable hints.

Especially, I would like to give my special thanks to my parents, Mr. Pipat Panyachatrak and Mrs. Pranee Panyachatrak who help me for everything and always give me greatest love, willpower and financial support until the completion of this study.

Pattana Panyachatrak

Thesis Title	Treatment of Septic Tank Effluent by Combined In-line Flocculation and Membrane Bioreactor
Author	Mr. Pattana Panyachatrak
Degree	Master of Engineering (Environmental Engineering)
Thesis Advisor	Dr. Sirichai Koonaphapdeelert

ABSTRACT

E41064

The membrane bioreactor (MBR) is becoming increasingly popular for wastewater treatment, mainly due to its capability of producing high quality effluent with a relatively small footprint. However, membrane fouling is a very serious problem faced by MBRs. Cake layer formation generates largest resistance for membrane filtrations. It was well known that adding flocculants could flocculate small particles and soluble EPS (Extracellular Polymeric Substances) into large flocs. Flocculated flocs can form a more porous cake, which would enable a higher permeate flux. The main objective of this study was to investigate the application of in-line flocculation on MBR system for septic tank effluent treatment. The combination of membrane system was feed by polymeric flocculant for improving membrane performance and reducing membrane fouling. The performance of the system was assessed based on its chemical oxygen demand (COD) removal efficiency, nitrogen removal efficiency and membrane fouling potential.

In order to determine the effect of flocculation on MBR performance, jar tests were performed by adding polyacrylamide (PAM) in wastewater which was a mixture of sludge from laboratory-scale MBR tank and raw septic tank effluent. Three different types of PAM having different degree of charges (cationic, anionic and nonionic charge) were investigated in the jar tests. The effectiveness of the polyacrylamides was measured based on the reduction of turbidity, the removal of total chemical oxygen demand (TCOD) and the soluble chemical oxygen demand (SCOD).

It was found that cationic polyacrylamide (C-PAM) gave the highest flocculation efficiency. In case of sludge in MBR tank, it can achieve turbidity reduction by 32% to 92%, TCOD removal by 15% to 76%, and SCOD removal by 22% to 84%. In case of raw septic effluent, the range of turbidity reduction was between 37% and 90%, TCOD removal between 29% and 78% and SCOD removal between 2% and 72 %. The fouling potential of the sludge in MBR tank was

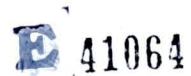
characterized by the standard modified fouling index (MFI). The results indicated that pretreatment by flocculation can effectively reduce the fouling propensity of the sludge.

From the data obtained in jar test experiments, C-PAM was chosen as a flocculant to be used in the in-line flocculation MBR system. Comparative assessment of C-PAM at different dosages (non-dosed, 0.1 mg/l and 2 mg/l) was conducted. The system was operated at HRT of 6 hours and SRT of 20 days. It was found that the combination of in-line flocculation with MBR system in this study was able to decrease the fouling of the membrane in the case of long term operations. In addition, it was also found to improve the system performance. The results showed that TCOD, SCOD, total nitrogen (TN) and total extracted polymer substance (EPS) removal efficiencies increased when the flocculant dosage increased.

Keyword: Fouling, Membrane bioreactor (MBR), Polyacrylamide (PAM), Septic tank effluent.

ชื่อเรื่องวิทยานิพนธ์	การบำบัดน้ำทิ้งจากบ่อเกรอะด้วยการรวมตะกอนในเส้นท่อ ร่วมกับถังปฏิกรณ์ชีวภาพเมมเบรน
ผู้เขียน	นายพัฒนา ปัญญาชาตรีรักษ์
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม)
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	ดร. สิริชัย คุณภาพดีเลิศ

บทคัดย่อ

 41064

ระบบบำบัดน้ำเสียแบบถังปฏิกรณ์ชีวภาพเมมเบรน (Membrane Bioreactor, MBR) ได้กลายมาเป็นระบบบำบัดน้ำเสียที่ได้รับความนิยมอย่างมากในปัจจุบัน เนื่องจากเป็นระบบที่มีประสิทธิภาพสูงในการบำบัดน้ำเสียเมื่อเทียบกับขนาดที่เล็กของระบบ อย่างไรก็ตาม ปัญหาการอุดตันบนผิวหน้าและภายในรูพรุนของเมมเบรน (Membrane Fouling) เนื่องจากการเกิด cake บนผิวของเมมเบรนส่งผลต่อการเกิดการต้านทานการกรอง ซึ่งเป็นที่รู้กันดีว่าการใช้สารรวมตะกอน (Flocculants) ร่วมกับระบบบำบัดน้ำเสียแบบถังปฏิกรณ์ชีวภาพเมมเบรน จะสามารถช่วยลดปัญหาการเกิดการอุดตันบนผิวหน้าของเมมเบรนได้ โดยสารรวมตะกอนจะช่วยให้อนุภาคขนาดเล็กภายในระบบรวมตัวกันมีขนาดใหญ่และ cake ที่เกิดขึ้นมีความพรุนสูง ส่งผลให้อัตราการกรองต่อพื้นที่ผิวของเมมเบรน (Permeate Flux) มีค่าสูง โดยจุดประสงค์ของงานวิจัยนี้เพื่อศึกษาการใช้ระบบร่วมระหว่างกระบวนการรวมตะกอนในเส้นท่อกับถังปฏิกรณ์ชีวภาพเมมเบรน (In-line Flocculation) ในการบำบัดน้ำทิ้งจากบ่อเกรอะ (Septic Tank) เพื่อที่จะปรับปรุงการทำงานของระบบรวมถึงการลดอัตราการเกิดการอุดตันบนผิวหน้าและภายในรูพรุนของเมมเบรน ซึ่งสารรวมตะกอนที่ใช้ในการศึกษานี้เป็นสารรวมตะกอนชนิดโพลีเมอร์ (Polymeric Flocculant)

เพื่อที่จะศึกษาประสิทธิภาพของสารรวมตะกอนที่มีผลต่อการทำงานของระบบถังปฏิกรณ์ชีวภาพเมมเบรน กระบวนการทดสอบการตกตะกอน (Jar Test) ได้ถูกนำมาใช้ในการทดสอบประสิทธิภาพของสารรวมตะกอนโพลีเมอร์ ชนิดโพลีอคริลาไมด์ (Polyacrylamide, PAM) ซึ่งจำแนกออกเป็นสามชนิดตาม ได้แก่ โพลีอคริลาไมด์ชนิดประจุบวก (cationic PAM) โพลีอคริลาไมด์

ชนิดประจุลบ (anionic PAM) และโพลีออลิลาไมด์ชนิดไร้ประจุ (nonionic PAM) โดยกระบวนการทดสอบการตกตะกอนได้ถูกนำมาทดสอบกับน้ำทิ้งจากบ่อเกรอะและสลัดจ์จากถังเดิมอากาศ ซึ่งประสิทธิภาพของสารรวมตะกอนชนิดต่างๆ จะถูกวัดจากประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่น การกำจัดซีดีไอดีทั้งหมด (TCOD) และการกำจัดซีไอดีละลาย (SCOD)

จากการทดสอบการตกตะกอนพบว่า สารรวมรวมตะกอนโพลีออลิลาไมด์ชนิดประจุบวกมีประสิทธิภาพสูงที่สุด โดยในกรณีของสลัดจ์จากถังเดิมอากาศประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นอยู่ระหว่าง 32% ถึง 92% การกำจัดซีไอดีทั้งหมด 15% ถึง 76% และการกำจัดซีไอดีละลาย 22% ถึง 84% ส่วนในกรณีของน้ำทิ้งจากบ่อเกรอะ ประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นอยู่ระหว่าง 37% ถึง 90% การกำจัดซีไอดีทั้งหมดอยู่ระหว่าง 29% ถึง 78% และการกำจัดซีไอดีละลายอยู่ระหว่าง 2% ถึง 72% ส่วนการทดสอบความอุดตันของเมมเบรนทดสอบโดย กระบวนการทดสอบการอุดตันมาตรฐาน (Standard Modified Fouling Index, MFI) จากการทดสอบพบว่ากระบวนการรวมตะกอนสามารถช่วยลดการเกิดปัญหาการอุดตันบนผิวหน้าของเมมเบรนเนื่องจากสลัดจ์ได้

จากผลการทดสอบการรวมตะกอน สารรวมตะกอนโพลีออลิลาไมด์ชนิดประจุบวกได้ถูกเลือกนำมาใช้เป็นสารรวมตะกอนของระบบร่วมระหว่างการกวนผสมในเส้นท่อและถังปฏิกรณ์ชีวภาพเมมเบรน โดยการทดลองได้ทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการกวนผสมในเส้นท่อที่ความเข้มข้นต่างๆ ของสารรวมตะกอน แบ่งออกเป็นสามสถานะความเข้มข้นประกอบด้วย สถานะที่หนึ่ง ไม่มีการเติมสารรวมตะกอน สถานะที่สอง ที่ความเข้มข้น 0.1 มก/ล. และสถานะที่สาม ที่ความเข้มข้น 2 มก/ล. โดยระบบร่วมทำงานที่เวลากักน้ำ (HRT) 6 ชั่วโมง และอายุสลัดจ์ที่ (SRT) 20 วัน จากผลการทดลองพบว่าระบบร่วมระหว่างการกวนผสมในเส้นท่อและถังปฏิกรณ์ชีวภาพเมมเบรนโดยใช้สารรวมตะกอนโพลีออลิลาไมด์ชนิดประจุบวก สามารถลดอัตราการเกิดการอุดตันบนผิวหน้าของเมมเบรนได้ และการกวนผสมในเส้นท่อสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของระบบ

คำสำคัญ: การอุดตันบนผิวหน้าของเมมเบรน, ถังปฏิกรณ์ชีวภาพเมมเบรน, โพลีออลิลาไมด์, น้ำทิ้งจากบ่อเกรอะ

TABLE OF CONTENTS

	Page
ACKNOWLEDGEMENT	iii
ENGLISH ABSTRACT	iv
THAI ABSTRACT	vi
TABLE OF CONTENTS	viii
LIST OF TABLES	x
LIST OF FIGURES	xii
ABBREVIATIONS AND SYMBOLS	xiv
 CHAPTER 1 INTRODUCTION	 1
1.1 Introduction	1
1.2 Objectives of study	3
1.3 Scope of this study	3
 CHAPTER 2 LITERATURE REVIEW	 4
2.1 An Overview of Biological Wastewater Treatment	4
2.2 Septic tank Wastewater	5
2.3 Fundamental of Membrane Filtration	6
2.4 The Operational Parameters in Membrane Process	7
2.5 Membrane Bioreactor	9
2.5.1 Definition of MBRs	9
2.5.2 Configuration of MBRs	10
2.5.3 Membrane Types	11
2.5.4 Advantages of MBRs	12
2.6 Membrane Fouling	14
2.6.1 Fouling	14
2.6.2 Foulants	16
2.7 Controlling of Membrane Fouling	20
2.7.1 Flocculants in MBR System	21
2.7.2 General Aspects of Flocculants	22
2.8 Polymeric Flocculants: Polyacrylamide	23
 CHAPTER 3 MATERIALS AND METHODS	 25
3.1 Materials and Equipment	25
3.1.1 Wastewater	25
3.1.2 Membrane bioreactor	26
3.1.3 Flocculants	27
3.2 Experimental Procedure	27
3.3 Jar Test Experimental	28

TABLE OF CONTENTS (Con.)

	Page
3.4 Fouling Index Measurement	29
3.5 Membrane Fouling Study	31
3.6 EPS Analysis	31
3.7 Membrane Cleaning	32
 CHAPTER 4 RESULTS AND DISCUSSIONS	 33
4.1 Preliminary Flocculation Test	33
4.1.1 Effects of PAMs on MBR mixing liquid	33
4.1.2 Effects of PAMs on Septic tank Effluent	36
4.1.3 The effect of C-PAM at Various Dosages on the MFI	38
4.2 Effect of Flocculant Dosage on System Performance	42
4.2.1 Effect of Flocculant Dosage on MLSS and MLVSS	42
4.2.2 Effect of Flocculant Dosage on COD Removal	44
4.2.3 Effect of Flocculant Dosage on Nitrogen Removal	46
4.3 Effect of Flocculant Dosage on Fouling potential	46
4.3.1 Effect of Dosage on total EPS of Sludge in MBR tank	46
4.3.2 Results of Transmembrane Pressure and Permeate Flux	47
4.3.3 SEM and EDX analysis	49
 CHAPTER 5 CONCLUSIONS	 54
5.1 Conclusions	54
5.1.1 Preliminary Study	54
5.1.2 Effect of Flocculant Dosage on System Performance	54
5.1.3 Effect of Flocculant Dosage on Fouling Potential	55
5.2 Suggestions for the future work	55
 REFERENCES	 57
APPENDICES	61
Appendix A Data of Preliminary Study	62
Appendix B Experimental Data of the in-line Flocculation MBR system	67
Appendix C Data of EPS	84
CURRICULUM VITAE	87

LIST OF TABLES

Table	Page
2.1 Average characteristics of domestic wastewater, black water and grey water from conventional flush toilets	5
2.2 Advantages and disadvantages of MBR configurations	11
2.3 Advantages of MBR	13
2.4 Contribution of MLSS fractions to total fouling	19
3.1 Raw wastewater characteristics (septic tank effluent)	25
3.2 Hollow fiber membrane module characteristics	34
3.3 Parameters and Analytical Methods	35
4.1 Average of COD removal efficiencies at different C-PAM Dosages	45
4.2 The removal efficiencies of NH ₄ -N, TKN and TN	46
A.1 Results of jar test experimental performed by C-PAM with septic tank effluent	63
A.2 Results of jar test experimental performed by A-PAM with septic tank effluent	63
A.3 Results of jar test experimental performed by Non-PAM with septic tank effluent	64
A.4 Results of jar test experimental performed by C-PAM with MLSS in MBR tank	64
A.5 Results of jar test experimental performed by A-PAM with MLSS in MBR tank	65
A.6 Results of jar test experimental performed by Non-PAM with MLSS in MBR tank	65
A.7 Results of particle size distribution of supernatant fraction at different dosage of C-PAM	66
B.1 Daily data of Temperature, pH, DO at the first stage (Non-dosed)	67
B.2 Daily data of Temperature, pH, DO at the second stage (0.1 mg/L of C-PAM)	70
B.3 Daily data of Temperature, pH, DO at the third stage (2 mg/L of C-PAM)	70
B.4 Daily data of Flux and TMP at the first stage (Non-dosed)	71
B.5 Daily data of Flux and TMP at the second stage (0.1 mg/L of C-PAM)	75
B.6 Daily data of Flux and TMP at the third stage (2 mg/L of C-PAM)	76
B.7 Raw data of MLSS, MLVSS, and COD at the first stage (Non-dosed)	78
B.8 Raw data of MLSS, MLVSS, and COD at the second stage (0.1 mg/L of C-PAM)	79

LIST OF TABLES (Con.)

Table	Page
B.9 Raw data of MLSS, MLVSS, and COD at the third stage (2 mg/L of C-PAM)	79
B.10 Data of Nitrogen compound at the first stage (Non-dosed)	80
B.11 Data of Nitrogen compound at the second stage (0.1 mg/L of C-PAM)	81
B.12 Data of Nitrogen compound at the third stage (2 mg/L of C-PAM)	81
B.13 Result of Nitrogen removal efficiency at the first stage (Non-dose)	82
B.14 Result of Nitrogen removal efficiency at the second stage (0.1 mg/L of C-PAM)	83
B.15 Result of Nitrogen removal efficiency at the third stage (2 mg/L of C-PAM)	83
C.1 Results of total EPS at the first stage (Non-dosed)	85
C.2 Results of total EPS at the second stage (0.1 mg/L of C-PAM)	86
C.3 Results of total EPS at the third stage (2 mg/L of C-PAM)	86

LIST OF FIGURES

Figure	Page
2.1 Schematic representation of (a) dead-end and (b) crossflow filtration	7
2.2 Relationship between transmembrane pressure and flux	9
2.3 MBR configurations (a) Side-stream MBR Submerged MBR (b) Submerged MBR	10
2.4 Mechanisms of membrane fouling (a) gel/cake formation (b) pore plugging and (c) pore narrowing	15
2.5 Factors influencing fouling of the membrane fouling in MBRs	16
2.6 Fouling phases and flux diagram for operation under constant pressure	17
3.1 Septic tank effluent collection point	25
3.2 Schematic diagram of MBR tank	26
3.3 Diagram of experimental procedure	28
3.4 Magnetic stirrer (Fargo MS-203 stirrer)	29
3.5 Cake filtration curve	30
3.6 MFI equipment	31
3.7 Procedure of EPS analysis	32
4.1 The effect of PAMs on turbidity reduction of MBR mixing liquid	34
4.2 The effect of PAMs on TCOD removal of MBR mixing liquid	35
4.3 The effect of PAMs on SCOD removal of MBR mixing liquid	35
4.4 The effect of PAMs on turbidity reduction of raw septic tank effluent	36
4.5 The effect of PAMs on TCOD removal of raw septic tank effluent	37
4.6 The effect of PAMs on SCOD removal of raw septic tank effluent	38
4.7 t/V vs. V of $MFI_{0.45}$ with different dosage of C-PAM	40
4.8 t/V vs. V of $MFI_{0.1}$ with different dosage of C-PAM	40
4.9 Effect of C-PAM with dosage on MFI value	41
4.10 Particle size distribution of supernatant fraction of flocculated sludge after settling	41
4.11 The mean of particle size retain in supernatant fraction of flocculated sludge after settling	42
4.12 The effect of dosages on MLSS and MLVSS in MBR tank	43
4.13 TCOD and SCOD of the feed wastewater	44
4.14 The effect of dosages on TCOD and SCOD removal efficiencies	45
4.15 Total EPS content of sludge in MBR tank at different dosage of C-PAM	47
4.16 TMP variation of in-line flocculation MBR system	48
4.17 Permeate flux of in-line flocculation MBR system	49
4.18 SEM photographs of membrane surface (New membrane)	50

LIST OF FIGURES (Con.)

Figure	Page
4.19 SEM photographs of membrane surface at stage 1(Non-dosed)	50
4.20 SEM photographs of membrane surface at stage 2 (0.1 mg/l of C-PAM)	51
4.21 SEM photographs of membrane surface at stage 3 (2 mg/l of C-PAM)	51
4.22 EDX of new membrane surface	52
4.23 EDX of membrane surface at the first stage (Non-dosed)	52
4.24 EDX of membrane surface at the second stage (0.1 mg/l of C-PAM)	53
4.25 EDX of membrane surface at the third stage (2 mg/l of C-PAM)	53

ABBREVIATIONS AND SYMBOLS

BOD	=	Biological Oxygen Demand
CAS	=	Conventional activated sludge
COD	=	Chemical Oxygen Demand
DADMAC	=	Diallyldimethyl ammonium chloride
DBP	=	Disinfection by-product
DOC	=	Dissolved Organic Matter
EDX	=	Dispersive X-ray analyzer
EPS	=	Extracellular polymeric substances
HRT	=	Hydraulic Retention Time
J	=	Permeate flux ($L/m^2.h$)
M	=	Viscosity of the permeate (Pa.s); when $Pa = N/m^2$
MBR	=	Membrane Bioreactor
MLSS	=	Mixed Liquor Suspended Solids
MLVSS	=	Mixed Liquor Volatile Suspended Solids
MWCO	=	Molecular weight cut-off
NH ₄ -N	=	Ammonium Nitrogen
NOM	=	Natural Organic Matter
NO ₂ -N	=	Nitrite Nitrogen
NO ₃ -N	=	Nitrate Nitrogen
OLR	=	Organic Loading Rate
ΔP	=	Transmembrane Pressure (kPa)
PAC	=	Polyaluminium chloride
PDCO	=	Pore diameter cut-off
PAM	=	Polyacrylamide
PFS	=	Polymerized ferrous sulfate
R _c	=	Cake resistance from by the cake layer (reversible fouling)
R _f	=	Fouling resistance caused by solute adsorption into the membrane pore
R _m	=	Intrinsic membrane resistance and gel formation (irreversible fouling)
R _t	=	Total resistance
SCOD	=	Soluble Chemical Oxygen Demand
SEM	=	Scanning electron microscope
SMP	=	Soluble microbial products
TCOD	=	Total Chemical Oxygen Demand
TKN	=	Total Kjeldahl Nitrogen
TMP	=	Transmembrane Pressure
TN	=	Total Nitrogen
TSS	=	Total Suspended Solid