

การบันทึกน้ำเสียจากโรงงานเป็ยร์โดยกระบวนการ
ชั้นตะกอนจุลินทรีย์ไร้อากาศแบบไหลขึ้น



นางสาว อรุณี วนะวิชัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สหสาขาวิชา วิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย


พ.ศ. 2534

ISBN 974 - 579 - 613 - 1

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

017548 117226355

TREATMENT OF BREWERY WASTEWATER USING
UPFLOW ANAEROBIC SLUDGE BLANKET PROCESS



Miss Arunee Wajanavijai

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science
-Inter-Department of Environmental Science

Graduate School

Chulalongkorn University

1991

ISBN 974 - 579 - 613 - 1

Thesis Title Treatment of brewery wastewater using upflow
anaerobic sludge blanket process
BY Miss Arunee Wajanavijai
Inter-Department Environmental Science
Thesis Advisor Associate Professor Theera Karot, Ph.D.



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

Thavorn Vajrabhaya
..... Dean of Graduate School
(Professor Thavorn Vajrabhaya, Ph.D.)

Thesis Committee

T. Rochanaburnon
..... Chairman
(Associate Professor Thamnoon Rochanaburnon, Ph.D.)

Theera Karot
..... Thesis Advisor
(Associate Professor Theera Karot, Ph.D.)

Surapol Saipanich
..... Member
(Associate Professor Suraphol Saiphanich, Ph.D.)

Premchit Tansathit
..... Member
(Associate Professor Premchit Tansathit)

กรณี วิจารณ์ : การบำบัดน้ำเสียจากโรงงานเบียร์ โดยกระบวนการขึ้นตะกอนจุลินทรีย์
ไร้อากาศแบบไหลขึ้น (TREATMENT OF BREWERY WASTEWATER USING UPFLOW
ANAEROBIC SLUDGE BLANKET PROCESS) อ. ที่ปรึกษา : รศ.ดร.ธีระ เกษม, 140 หน้า.
ISBN 974-579-613-1

การศึกษานี้มีจุดมุ่งหมาย เพื่อประเมินความเป็นไปได้ในการใช้ กระบวนการขึ้นตะกอนจุลินทรีย์
ไร้อากาศแบบไหลขึ้น (ยูเอเอสบี) บำบัดน้ำเสียจากโรงงานเบียร์ที่มีค่าซีโอดีเฉลี่ย 2000 ก/ม³
การทดลองเป็นแบบต่อเนื่อง และมีอุณหภูมิอยู่ในช่วงเมโซฟิลิก แบบทดลองยูเอเอสบี มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง
ภายใน 0.3 ม. และสูง 4.7 ม.

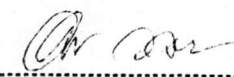
การทดลองเพาะเลี้ยงเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ทำโดยใช้น้ำเสียปรับให้มีค่าซีโอดีประมาณ 1000 ก/ม³
ตะกอนจุลินทรีย์สามารถรวมตัวกันเป็นเม็ดได้ภายในเวลา 2 สัปดาห์ในถังปฏิกรณ์ที่ควบคุมให้มีอัตรา
สารอินทรีย์อยู่ในช่วง 1-2 กก.ซีโอดี/ม³-วันและมีอัตราปรับน้ำเสียอยู่ในช่วง 0.1-0.3 ม³/ม-ชม. หลัง
จากที่ระบบเข้าสู่สภาวะคงตัวแล้ว สามารถรับสารอินทรีย์ได้ตั้งแต่ 2.2 ถึง 12.4 กก.ซีโอดี/ม³-วัน โดยมี
เวลากักน้ำแปรจาก 24 ถึง 4 ชม. ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี อยู่ในช่วง 90-94% และประสิทธิภาพใน
การกำจัดบีโอดี อยู่ในช่วง 94-97% ตลอดระยะเวลา 310 วันของการทดลอง ขึ้นตะกอนมีความเข้มข้น
เฉลี่ย (ตลอดปริมาตรถังปฏิกรณ์) 37 กก.SS/ม³ และ 20 กก.VSS/ม³ ที่เวลากัก 4-6 ชม. มีการ
หลุดออกของตะกอนน้อย ไม่ทำให้ระบบล้มเหลวแต่อย่างใด

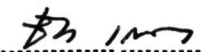
ก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นอยู่ในช่วง 188-316 ลิตร(STP)/กก.ซีโอดี ที่ถูกกำจัดและมีเปอร์เซ็นต์มีเทน
แปรจาก 74.0 ถึง 80.9% ของก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้น คุณภาพของน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วมีค่าซีโอดีอยู่ใน
ช่วง 95-180 ก/ม³ ผลการทดลองแสดงว่าระบบยูเอเอสบีเป็นการบำบัดขั้นต้นที่น่าจะนำมาใช้บำบัดน้ำเสีย
จากโรงงานเบียร์ เพราะมีประสิทธิภาพการบำบัดสูง และประหยัดพลังงาน

ศูนย์วิจัยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาควิชา สาขาวิชา
สาขาวิชา วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม
ปีการศึกษา 2534

ลายมือชื่อนิสิต 

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา 

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

ARUNEE WAJANAVIJAI : TREATMENT OF BREWERY WASTEWATER USING UPFLOW ANAEROBIC SLUDGE BLANKET PROCESS. THESIS ADVISOR : ASSOC. PROF. THEERA KAROT, Ph.D., 140 PP.

This study aimed at assessing the feasibility of using upflow anaerobic sludge blanket (UASB) process for treatment of brewery wastewater averaging 2000 g/m³ COD. The continuous experiments were carried out in a UASB pilot-plant with an inner diameter of 0.3 m and height of 4.7 m, at mesophilic temperature range.

The granular sludge was cultivated by using brewery wastewater adjusted to have approximately 1000 gCOD/m³. The granules were formed in about 2 weeks in the reactor which controlled organic loading was 1 - 2 KgCOD/m³-d and the hydraulic loading was 0.1-0.3 m³/m²-h. After reaching steady state operation, the reactor could handle the organic loading rates between 2.2 - 12.4 KgCOD/m³-d when the hydraulic retention time was decreased from 24 to 4 hours. The treatment efficiency of 90 - 94% COD removal and 94 - 97% BOD removal were obtained. During the 310 days of investigation, the average concentration of sludge blanket formed as high as 37 KgSS/m³ or 20 KgVSS/m³ was found to remain in the reactor. At 4 - 6 h HRT there was very few sludge loss and the process did not show any sign of failure.

Methane production was in the range of 188 - 316 l(STP)/KgCOD removed and its content varied between 74.0 to 80.9% of the biogas produced. The effluent COD ranged from 95 to 180g/m³. The experimental result indicated that the UASB process should be used for pre-treatment of the brewery wastewater, because of its high treat capability and energy saving.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา สหสาขา
สาขาวิชา วิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม
ปีการศึกษา 2534

ลายมือชื่อนิสิต *ARUNEE WAJANAVIJAI*
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา *THEERA KAROT*
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม



Acknowledgement

I wish to acknowledge my gratitude and appreciation to my advisor, Associate Professor Dr. Theera Karot, for his expert guidance, valuable advice and suggestion throughout the course of this study and for the time he spent in editing the manuscript. I wish to express my deepest thank to Khun Amorn Pariyaprasert, Chief of the Boon Rawd Brewery Wastewater Treatment Section, for his encouragement and kindness in providing all facilities to carry out this research. I would like to express my sincere gratitude to Associate Professor Dr. Suraphol Saiphanich for his kindness in providing the Orsat gas analyser and his beneficial suggestion. I am particularly grateful to Professor Dr. Mongkol Dejnakintra for his technical assistance in preparing and editing this manuscript. I am deeply indebted to my thesis committee, particularly to Associate Professor Dr. Tharmanoon Rojanaburanonth, for their valuable criticisms, suggestions, and comments. I would like to thank all collaborators here in Wastewater Treatment Section, particularly to Mr. Payao Hounsaikaew, for their helps in setting up the UASB pilot-plant and all of my field works. Thanks are also extended to many others, too numerous to name, who have helped me in various ways. Finally, I am indebted to the Boon Rawd Brewery Co. Ltd., and to the Graduate School, Chulalongkorn University, for their financial supports.



TABLE OF CONTENTS

PAGE

Title page.....	i
Thesis approval.....	iii
Abstract in Thai.....	iv
Abstract in English.....	v
Acknowledgement.....	vi
Table of contents.....	vii
List of Tables.....	xi
List of Figures.....	xiii
Chapter	
1. Introduction.....	1
1.1 General.....	1
1.2 Objectives.....	2
1.3 Scope.....	2
1.4 Benefit and Application.....	3
2. Theoretical Consideration.....	4
2.1 Biochemistry of Anaerobic Digestion Process.....	4
2.1.1 Degradation of Organic Matter.....	4
2.1.1.1 Hydrolysis.....	4
2.1.1.2 Acid Formation.....	6
2.1.1.3 Methane Production.....	6
2.1.2 Denitrification.....	11
2.1.3 Sulfate Reduction.....	11
2.1.4 Microbial Aspects.....	12
2.2 Methane Production.....	13
2.3 Digester Control Parameter.....	16

TABLE OF CONTENT (Cont'd)		PAGE
2.3.1	Temperature.....	16
2.3.2	CO ₂ Production.....	18
2.3.3	pH and Alkalinity.....	19
2.3.4	Volatile Fatty Acid (VFA).....	22
2.3.5	Nutrient Requirements.....	24
2.3.6	Toxic Materials.....	25
2.3.7	Organic Loading Rate.....	30
2.3.8	Hydraulic Retention Time (HRT).....	31
2.3.9	Solid Retention Time.....	31
2.4	The Upflow Anaerobic Sludge Blanket Concept.....	32
2.4.1	Granulation of Anaerobic Sludge in UASB Reactor.....	34
2.4.2	Microbiology of Granular Sludge.....	35
2.4.3	Requirements for Granulation.....	37
2.4.4	Characteristic Pattern of granulation.....	42
2.4.5	Design Criteria.....	45
3.	Literature Review.....	54
3.1	The Brewing Process and the Sources of Pollution.....	54
3.1.1	The Brewing Process.....	54
3.1.2	Sources of Pollution in a Brewery.....	56
3.1.2.1	Handling of spent grain and hop.....	56
3.1.2.2	Brewhouse.....	56
3.1.2.3	Handling of yeast.....	57
3.1.2.4	Cleaning, fermenting and lagering tanks.....	57

TABLE OF CONTENT (Cont'd)		PAGE
3.1.2.5	Beer filtration.....	57
3.1.2.6	Handling of kieselguh.....	58
3.1.2.7	Bottle washing machines.....	58
3.1.2.8	Bottling hall and pasteurization.....	59
3.2	General Properties of a Brewery Wastewater.....	59
3.3	Boon Rawd Brewery Wastewater.....	60
3.4	Literature Dealing with the UASB Process.....	61
3.4.1	UASB-Experiments with Industrial Wastes.....	61
3.4.2	UASB-Experiments with Raw Domestic Sewage.....	73
4.	Material and Methods.....	75
4.1	Experimental Equipment.....	75
4.2	Substrate.....	77
4.3	Seed Sludge.....	80
4.4	Sampling and Analyses.....	80
4.5	Experimental Procedure.....	85
4.5.1	The First Start-up.....	85
4.5.2	The Reactor Performance Test.....	85
5.	Results and Discussion.....	87
5.1	First Start-up.....	87
5.2	The Performance of the Reactor.....	87
5.2.1	COD Removal.....	87
5.2.2	BOD Removal.....	95
5.2.3	Gas Production.....	99
5.2.4	Gas Composition.....	104
5.2.5	Effect of CO ₂ Solubility.....	107
5.2.6	Solids Loss from the System.....	108

TABLE OF CONTENT (Cont'd)	PAGE
5.2.7 pH variation.....	112
5.2.8 Alkalinity.....	112
5.2.9 Volatile Fatty Acid (VFA).....	115
5.2.10 TKN and TP Removal.....	115
5.3 Sludge Development and Characteristic.....	118
5.4 Effect of Reactor Height.....	120
5.5 Effect of Feedless Condition.....	121
6. Conclusions.....	124
7. Recommendation.....	126
Reference.....	127
Appendix.....	136
VITA.....	140

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

LIST OF TABLES

TABLE	TITLE	PAGE
2.1	The non-methanogens that has been found in anaerobic digesters.....	14
2.2	A revised grouping of the methanogen classified by using the 16S ribosomal RNA sequences and substrates.....	14
2.3	Chemical and physical properties of gas production.....	15
2.4	The cation of inorganic salts which have influences on the anaerobic system	27
2.5	Tentative guidelines for the first start-up of an UASB-plant.....	42
2.6	Characteristics at different stages of granulation.....	46
2.7	Rough guidelines for the number of feed-inlet nozzles required in a UASB reactor.....	47
2.8	Tentative rough design-capacities for UASB-reactors in relation to the temperature 1983).....	52
2.9	Basic Design Future of the Anaerobic Treatment Plants in Operation in 1979.....	53
3.1	Polluting substances from different parts of a brewery.....	61
3.2	Result of some laboratory UASB experiments with various type of wastes.....	63
3.3	Results obtained in a 6 m ³ pilot-plant and 200 m ³ full-scale plant experiments.....	64
3.4	Treatment parameters - CSM Results.....	66

LIST OF TABLES (Cont'd)

TABLE	TITLE	PAGE
3.5	Results of denitrification experiments using the USB process.....	67
3.6	UASB - plants installed and commissioned by July 1985.....	70
3.7	Process parameters of UASB reactors containing thermophilic granular sludge.....	75
3.8	Main results obtained in a 6 m ³ UASB plant with raw domestic sewage as influent.....	75
4.1	The characteristic of Brewery Wastewater.....	80
4.2	Characteristic of raw (screened) wastewater.....	81
4.3	Comparative data of CH ₄ gas analysed by GC and Orsat absorption method.....	84
5.1	COD removal efficiency VS HRT's and organic loading.....	91
5.2	BOD removal efficiency vs HRT's.....	99
5.3	Biogas production and CH ₄ content vs HRT's and organic loadings.....	101
5.4	The average CH ₄ and CO ₂ content in the biogas.....	107
5.5	Solubility of CH ₄ & CO ₂ in Water.....	108
5.6	Solid loss at various HRT's and organic loading rates.....	111
5.7	Sludge concentration measurement made over the whole experimental time.....	120

LIST OF FIGURES

FIGURE	TITLE	PAGE
2.1	Scheme of anaerobic conversion.....	5
2.2	Anaerobic decomposition of organic matter in hydrolysis and acidogenesis.....	6
2.3	Regulation of metabolism in the anaerobic digestion process.....	9
2.4	The effect of temperature and retention time on the production of gas from urban refu.....	18
2.5	Effect of temperature on gas production.....	18
2.6	Relationship between pH, bicarbonate, and carbon dioxide concentration at 35°C.....	22
2.7	Pathways in methane fermentation of complex wastes such as domestic waste sludge.....	22
2.8	Effect of volatile acids production on digestion.....	25
2.9	General affect of salts or other materials on biological reactions.....	25
2.10	Schematic diagrams of a large scale UASB plant.....	33
2.11	The state of start-up.....	45
2.12	Development of the sludge concentration and organic space loading rate during the granulation-process in reactor.....	45
2.13	Schematic generalized picture of the cross section of settler used in the reactor.....	50

LIST OF FIGURES (Cont'd)

FIGURE	TITLE	PAGE
3.1	Flow diagram of a typical brewery operation.....	56
4.1	Schematic diagram of the pilot - scale UASB experiment.....	76
4.2	Gas meter.....	85
4.3	Orsat gas analysis apparatus.....	86
5.1	SEMs of the Filamentous granule and the Rod - type granule in the UASB reactor.....	88
5.2	Sludge profile during the start up period at day 1, 24, and 35.....	89
5.3	TSS and TVSS in UASB reactor.....	89
5.4	COD concentration and efficiency with time.....	90
5.5	% total COD removal vs HRT.....	92
5.6	% total COD removal efficiency vary with organic loading rate.....	92
5.7	%Total COD removal vs sludge retention time.....	94
5.8	%Total COD removal vs F/M ratio.....	94
5.9	UASB profile at HRT 24 hr.....	96
5.10	UASB profile at HRT 12 hr.....	96
5.11	UASB profile at HRT 8 hr.....	97
5.12	UASB profile at HRT 6 hr.....	97
5.13	UASB profile at HRT 4 hr.....	98
5.14	BOD concentration and efficiency during the experinmental period.....	98
5.15	Gas and CH ₄ production with time.....	100
5.16	Organic loading rate and % CH ₄	100

LIST OF FIGURES (Cont'd)

FIGURE	TITLE	PAGE
5.17	Biogas & CH ₄ production (l/KgCOD) vs HRT.....	102
5.18	Biogas and CH ₄ production (m ³ /m ³) vs HRT.....	102
5.19	Biogas yield and % CH ₄ vs organic loading rate.....	103
5.20	Gas and CH ₄ production (m ³ /m ³) vs organic loading rate.....	103
5.21	CH ₄ & CO ₂ content in biogas vs HRT.....	105
5.22	CH ₄ & CO ₂ content vs organic loading rate.....	105
5.23	Biogas & methane production vs F/M ratio.....	106
5.24	Biogas & CH ₄ production vs sludge retention time.....	106
5.25	Total solid concentration and efficiency	109
5.26	Suspended Solid (SS) concentration	110
5.27	Volatile Suspended Solid (VSS) concentration	110
5.28	pH of effluent	113
5.29	pH of influent	113
5.30	Total alkalinity of influent and effluent.....	114
5.31	Volatile Fatty Acid of influent and effluent.....	114
5.32	Total Phosphate of influent & effluent and efficiency.....	116
5.33	TKN of influent & effluent and efficiency	117
5.34	Some sludge profile in UASB pilot - plant at day 52, 99, 152, 215, 289, and 310.....	119
5.35	Gas production rate during restart up after operation shutdown.....	122