

การบำบัดน้ำเสียจากโรงงานแป้งมันสำปะหลัง

โดยขบวนการคอนแทคเตปิโลเซชัน

นายมงคล คำรงค์ศรี



ศูนย์วิทยทรัพยากร

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

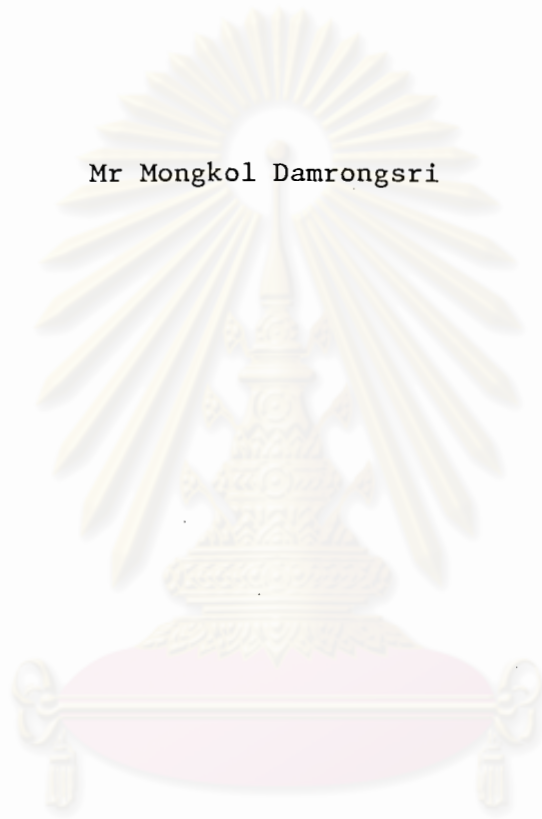
ภาควิชาวิศวกรรมสุขาภิบาล

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ. ๒๕๒๓

TAPIOCA WASTEWATER TREATMENT BY CONTACT
STABILIZATION PROCESS

Mr Mongkol Damrongsri



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering
Department of Sanitary Engineering

Graduate School
Chulalongkorn University

1980

Thesis Title Tapioca Wastewater Treatment by
 Contact Stabilization Process.
By Mr. Mongkol Damrongsri
Department Sanitary Engineering
Thesis Advisor Prof. Surin Setamanit, Ph.D.
Thesis Co-Advisor Assist. Prof. Suraphon Saiphanich, Ph.D.

Accepted by the Graduate School, Chulalongkorn University in partial fulfillment of the requirement for the Master's degree.

S. Bunnag

..... Dean of Graduate School
(Associate Professor Dr. Supradit Bunnag)

Thesis Committee:

Aroon Sorathesn

..... Chairman
(Professor Dr. Aroon Sorathesn)

Surin Setamanit

..... Member (Thesis Advisor)
(Professor Dr. Surin Setamanit)

Sawasdi Dharmikarak

..... Member
(Associate Professor Sawasdi Dharmikarak)

Weerawan Pattamapirat

..... Member
(Associate Professor Weerawan Pattamapirat)

Suraphon Saiphanich

..... Member (Thesis Co-Advisor)
(Assistant Professor Dr. Suraphon Saiphanich)

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การบำบัดน้ำเสียจากโรงงานแป้งมันสำปะหลัง โดยขบวนการคอนแทคสเดปิลเซชัน
ชื่อนิพนธ์	นายมงคล คำรงค์ศรี
อาจารย์ที่ปรึกษา	ศาสตราจารย์ ดร.สุรินทร์ เศรษฐมานิต
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุพล สายพานิช
ภาควิชา	วิศวกรรมสุขาภิบาล
ปีการศึกษา	พ.ศ. ๒๕๒๓

บทคัดย่อ



งานวิจัยนี้ได้ศึกษาการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานแป้งมันสำปะหลัง โดยขบวนการคอนแทคสเดปิลเซชัน ภายใต้โครงการร่วมมือระหว่างสถาบัน INSA TOULOUSE ประเทศฝรั่งเศส ภาควิชาวิศวกรรมสุขาภิบาล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และกรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม โดยทำการศึกษาจากเครื่องมือขนาดใหญ่ในห้องทดลองของขบวนการคอนแทคสเดปิลเซชัน ซึ่งได้รับจาก INSA TOULOUSE และติดตั้งที่ภาควิชาวิศวกรรมสุขาภิบาล เป็นเวลาดำเนินการรวมทั้งสิ้น ๔๐๐ วัน

การศึกษาได้ดำเนินการศึกษาทั้งน้ำเสียจากโรงงานแป้งมันสำปะหลัง (raw-waste water) โดยตรง และน้ำเสียจากโรงงานแป้งมันสำปะหลังที่ผ่านการบำบัดไปบางส่วนแล้วจากระบบบ่อหมัก (waste stabilization ponds)

ผลการศึกษาการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานแป้งมันสำปะหลังโดยตรง (raw-waste water) เป็นเวลา ๖๔ วัน พบว่า ระบบนี้มีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียมากกว่า ๔๔ % ในสภาวะควบคุมอาหาร (nutrient controlled condition) แต่มีปัญหาในการควบคุมการทำงานของขบวนการเนื่องจากเกิดปัญหาการลอยตัวของตะกอน (sludge bulking) จาก filamentous bacteria

การศึกษาการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานแป้งมันสำปะหลังที่ผ่านการบำบัดไปบางส่วนแล้ว จากขบวนการบ่อหมัก (waste stabilization ponds) ได้ศึกษาทั้งในภาวะควบคุมอาหาร (nutrient controlled condition) และภาวะควบคุมอาหารพร้อมทั้งอาหารเสริม (nutrient and trace element controlled condition) โดยใช้อายุของตะกอน (sludge age) เป็นตัวแปรสำคัญในการควบคุมการทำงานของขบวนการซึ่งแบ่งการทดลองออกเป็น ๔ ช่วง คือ ๒๐, ๑๐, ๕ และ ๒ วัน ตามลำดับ ผลการศึกษาพบว่าขบวนการคอนแทคเตบิไลเซชัน มีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียสูงสุดถึง ๘๗% ที่ค่าอายุตะกอน ๒๐ วัน การทำงานของขบวนการในภาวะควบคุมอาหาร (COD: N: P มากกว่า ๑๕๐: ๕ : ๑) ที่ค่าอายุตะกอนสูงถึง ๑๐ และ ๒๐ วัน ยังคงมีปัญหากลอยตัวของตะกอน (sludge bulking) พบว่าอาหารเสริม (trace elements) คือ $MgSO_4$, $CaCl_2$, $FeCl_3$ และ KH_2PO_4 ในภาวะสารละลายมีผลต่อการจำกัดประชากร filamentous bacteria ซึ่งสามารถแก้ปัญหากลอยตัวของตะกอน (sludge bulking) ได้ การทำงานของขบวนการที่อยู่ในช่วงที่อายุตะกอนมีค่าระหว่าง ๕-๒๐ วัน ภายใต้ภาวะควบคุมอาหารและอาหารเสริม โดยมีค่าเท่ากับอัตราการใช้ของเสียจำเพาะ (specific substrate utilization rate) ระหว่าง ๐.๔ - ๐.๒ kg-COD/kg-MLVSS - day การศึกษาพบว่า ค่าSVI ลดลง เมื่อค่าอายุตะกอนเพิ่มขึ้นและอัตราส่วนของ VSS/SS ลดลงเมื่อค่าอายุตะกอนเพิ่มขึ้นโดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ ๐.๔ ประสิทธิภาพของขบวนการลดลงเล็กน้อยเมื่อเวลาพักน้ำในถังสัมผัส (contact tank) ลดลง อย่างไรก็ตามขบวนการยังมีความสามารถในการขจัดสูงถึง ๖๒ % ที่ค่าอายุตะกอน ๑๐ วัน เมื่อเวลาพักน้ำในถังสัมผัส (contact time) มีค่าเข้าใกล้ศูนย์

ในการดำเนินการวิจัยได้หาค่าสัมประสิทธิ์และตัวแปรต่าง ๆ ที่มีความจำเป็นหาในการออกแบบขบวนการบำบัดน้ำเสียชนิดคอนแทคเตบิไลเซชัน รวมทั้งได้เสนอแนะวิธีการออกแบบโดยใช้โมเดลทางคณิตศาสตร์ (mathematical models) ไว้อีกด้วย

Thesis Title Tapioca Wastewater Treatment by Contact Stabilization Process.

Name Mr. Mongkol Damrongsri.

Thesis Advisor Prof. Surin Setamanit, Ph.D.

Thesis Co-Advisor Assist. Prof. Suraphon Saiphanich, Ph.D.

Department Sanitary Engineering

Academic Year 1980

ABSTRACT

This research work was studied on tapioca wastewater treatment by contact stabilization process under technical cooperation project: INSA Toulouse France, Department of Sanitary Engineering Chulalongkorn University and Department of Industrial Works Ministry of Industry. A laboratory scale contact stabilization unit, received from INSA Toulouse which established at Department of Sanitary Engineering was operated at a period of 400 consecutive days.

The study was concerned both of the raw wastewater and partial degradable wastewater from waste stabilization pond.

During the treating raw wastewater period, the process efficiency was normally more than 85%, under the nutrients controlled condition, but the problem of sludge bulking due to filamentous bacteria was observed and encountered in this period.

The partial degradable wastewater from waste stabilization ponds was investigated in two conditions, nutrient controlled condition and both of nutrient and trace element controlled condition. Sludge age was used

as the controlled parameter of the system. The system was operated at sludge age 20, 10, 5 and 2 days respectively. Then, the results showed that the contact stabilization process had maximum process efficiency of 97%, at sludge age 20 days. The operation of the system under nutrient controlled condition (COD:N:P greater than 150:5:1) at sludge age values 10 and 20 days, the problem of sludge bulking due to filamentous bacteria was encountered through out these periods. It was found that the trace elements as: $MgSO_4$, $CaCl_2$, $FeCl_3$ and KH_2PO_4 in solution has affected to restrict the population of filamentous bacteria which it could be get rid of sludge bulking problem. The recommended sludge age value is between 5-20 days under the nutrient and trace element controlled condition which equivalent to the specific substrate utilization ranging from 0.8-0.2 kg-COD/kg-MLVSS-day. Moreover, the SVI value of the process decreased exponentially as the sludge age increased. The ratio of VSS/SS decreased directly as the sludge age increased. The process efficiency still has capability for wastewater treatment with the efficiency of 62% at sludge age 10 days when the contact time approached zero.

The essential kinetic coefficients determination and design procedure for contact stabilization process has been proposed and recommend in this research work.



ACKNOWLEDGEMENTS

The writer is indebted to the French Government, Department of Sanitary Engineering, Chulalongkorn University and Department of Industrial Works, Ministry of Industry for their technique co-operation in this research work.

The writer wishes to express his gratitude to Prof. Dr. Surin Setamanit, his thesis advisor, Mr. Simon Yue and Assist. Prof. Dr. Suraphon Saiphanich his thesis co-advisor, for their guidance and valuable advices during the research until finished. He is also grateful to Assoc. Prof. Sutchai Champa, Assist. Prof. Tawee Chitmaitree who gave him many helps, Assoc. Prof. Weerawan Patamapirat for her suggestions in laboratory analysis, Mr. Faure Jean and Mr. Sombat Cattapan who installed all of the equipments according to the process received from the National Institute of Applied Science at Toulouse, France.

He is also indebted to Mr. Pornchai Taranatham who introduced him to the research co-operation, Mr. Paisarl Ariyawattana, Direct Chief of the writer who permitted him to do this work, Miss. Laeid Pengsopar who gave him many helps in laboratory analysis, Mr. Damri Sappanyoovith and Mr. Trong-art Vongvathanyoo who helped him to repair some equipments, Mr. Banchong Kanawattanakul the owner of Khow Chang Eah Tapioca Starch Factory, Mrs. R. Siengsukon for her typing, all of the lecturers of Department of Sanitary Engineering, Mrs. Sinee, Juthamat, Miss Kasemsri, Mr. Pinyo, Sak, Sinat and everyone who encouraged him to complete this research work.



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

To my parent and

my brothers

TABLE OF CONTENTS

TITLE	PAGE
Title Page	i
Thesis Approval	iii
Abstract in Thai	iv
Abstract in English	vi
Acknowledgements	viii
Table of Contents	x
List of Tables	xiii
List of Figures	xv
Notations	xviii
Abbreviations	xx
Subscriptions	xxi
CHAPTER I INTRODUCTION	1
1.1 General Background	2
1.2 Purposes of Research	3
1.3 Scope of Investigation	4
CHAPTER II LITERATURE REVIEW ON TAPIOCA WASTEWATER AND TREATMENT	5
2.1 Location and Manufacturing Process of Tapioca Starch Factories	5
2.1.1 First Grade Tapioca Starch Manufacturing Process	5
2.1.2 Second Grade Tapioca Starch Manufacturing Process	9
2.2 Characteristics of the Wastewater	9
2.3 Treatment of Tapioca Wastewater	13
CHAPTER III LITERATURE REVIEW	17
3.1 General Background	17
3.2 Description of Contact Stabilization Process	18
3.3 Development and Application of the Process	19
3.4 Substrate Removal Mechanism	23



TABLE OF CONTENTS (CONT'D)

TITLE	PAGE	
3.5	Parameters Affecting Contact Stabilization Process	28
3.6	Nutrient and Trace Element Requirements	28
3.7	The Remedy of Sludge Rising and Sludge Bulking	31
3.8	Advantages and Disadvantages of the Process	32
	3.8.1 Advantages of the Process	32
	3.8.1 Disadvantages of the Process	33
3.9	Mathematical Models of Contact Stabilization Process	35
	3.9.1 Mass Balance Equations	36
	3.9.2 Mathematical Models	39
CHAPTER IV	EXPERIMENTAL INVESTIGATION	46
4.1	Experimental Apparatus	46
4.2	Experimental Schedule	47
4.3	Wastewater Used in the Study	54
4.4	Laboratory Analytical Techniques	60
CHAPTER V	EXPERIMENTAL RESULTS AND DISCUSSIONS	63
5.1	Introduction	63
5.2	Process Performance	63
	5.2.1 Variation of pH	63
	5.2.2 Biomass Concentration	69
	5.2.3 Distribution of Biomass	70
	5.2.4 Variation of VSS/SS Ratio	79
	5.2.5 Influent and Effluent Suspended Solids	81
	5.2.6 Substrate Concentration and Process Efficiency	81
	5.2.7 Effect of Trace Elements on Sludge Volume Index (SVI)	94
	5.2.8 Efficiency of the Process (η_{TT})	101
	5.2.9 Process Organic Loading (C_{TT})	101

TABLE OF CONTENTS (CONT'D)

<u>TITLE</u>	<u>PAGE</u>
5.3 Kinetic Coefficient Determination	106
5.3.1 Growth Yield (α) and Microorganism Decay Coefficient (k_2) Determination of the System	106
5.3.2 The a_C and $(k_2)_C$ Determination	109
5.3.3 Determination of $(K_O)_{TT}$ and γ_{TT}	114
5.3.4 Determination of $(K_O)_{CT}$ and γ_{CT}	116
5.3.5 Determination of $(K_S)_{CT}$	118
5.4 Determination of U_S	124
5.5 Summarized of the Obtained Parameters and Kinetic Coefficients	126
CHAPTER VI RECOMMENDED DESIGN PROCEDURE FOR CONTACT STABILIZATION PROCESS	127
6.1 Introduction	127
6.2 Design Procedure	128
CHAPTER VII CONCLUSIONS	132
RECOMMENDED FOR FURTHER STUDY	134
REFERENCES	135
APPENDICES	143
APPENDIX A EXPERIMENTAL RESULT DATA	144
APPENDIX B EFFLUENT STANDARD REGULATED BY MINISTRY OF INDUSTRY	163
VITA	165

LIST OF TABLES

<u>TABLE</u>	<u>TITLE</u>	<u>PAGE</u>
2.1	The Number of Tapioca Starch Factories in Thailand	6
2.2	First Grade Tapioca Combined Wastewater Characteristics	11
2.3	Second Grade Tapioca Wastewater Characteristics	12
2.4	The Comparisons of First Grade and Second Grade Tapioca Starch Factory	14
3.1	Recommended Parameters for Contact Stabilization Process	29
3.2	Inorganic Ions Necessary for Most Organisms	30
3.3	The Remedy of Sludge Rising and Sludge Bulking	31
4.1	Experimental Schedule at Sludge Age 20 Days	51
4.2	Experimental Schedule at Sludge Age 10 Days	52
4.3	Experimental Schedule at Sludge Age 5 Days	53
4.4	Experimental Schedule at Sludge Age 2 Days	53
4.5	First Grade Tapioca Wastewater Characteristics	55
4.6	Second Grade Tapioca Wastewater Characteristics	56
4.7	Characteristics of Wastewater in Waste Stabilization Ponds of Khow Chang Eah Tapioca Starch Factory	58
4.8	Trace Elements Employed in the System	60
5.1	VSS/SS Ratio at Various Sludge Ages	79
5.2	Substrate Concentration and Efficiency at Sludge Age 20 Days	87
5.3	Substrate Concentration and Efficiency at Sludge Age 10 Days	88
5.4	Substrate Concentration and Efficiency at Sludge Age 5 Days	89
5.5	Substrate Concentration and Efficiency at Sludge Age 2 Days	89
5.6	Microscopic Observation	97
5.7	Specific Substrate Utilization Rate (based on MLSS) at Various Sludge Ages	106
5.8	Specific Substrate Utilization Rate (based on MLVSS) at Various Sludge Ages	108
5.9	Values of a_c and $(k_2)_c$ at Various Sludge Ages	114
5.10	The Comparison of $(K_o)_{TT}$ and γ_{TT} between the Obtained Values and SAIPHANICH (1978)	116

LIST OF TABLES (CONT'D)

<u>TABLE</u>	<u>TITLE</u>	<u>PAGE</u>
5.11	The Comparison of $(K_o)_{CT}$ and γ_{CT} between the Obtained Values and SAIPHANICH (1978)	118
5.12	Obtained Parameters and Kinetic Coefficients	126
6.1	Recommended Design Parameters of Contact Stabilization Process	128



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

LIST OF FIGURES

<u>FIGURE</u>	<u>TITLE</u>	<u>PAGE</u>
2.1	First Grade Tapioca Starch Flow Diagram	7
2.2	Second Grade Tapioca Starch Flow Diagram	10
3.1	Flow Diagram of Contact Stabilization Process	18
3.2	Wastewater Treatment Process Flow Diagram Patented by MALLORY	19
3.3	Variation of BOD ₅ of Raw Wastewater - Activated Sludge Mixture with Aeration Period	25
3.4	Schematic Diagram of Substrate Removal in Contact Stabi- lization Process	25
3.5	Mass Balance of Microorganisms in Contact Tank	36
4.1	Schematic Diagram of the Laboratory-Scale Contact Stabili- zation Unit	48
4.2	General Point of View of the Laboratory-Scale Contact Sta- bilization Unit	49
4.3	Waste Stabilization Ponds of Khow Chang Eah Tapioca Starch Factory	57
4.4	BOD ₅ and SS Removal in Waste Stabilization Ponds of Khow Chang Eah Tapioca Starch Factory	59
5.1	Average pH at Various Sludge Ages	64
5.2	Variation of pH at Sludge Age 30 Days	65
5.3	Variation of pH at Sludge Age 10 Days	66
5.4	Variation of pH at Sludge Age 5 Days	67
5.5	Variation of pH at Sludge Age 2 Days	68
5.6	MLSS and MLVSS Concentration at Sludge Age 20 Days	71
5.7	MLSS and MLVSS Concentration at Sludge Age 10 Days	72
5.8	MLSS and MLVSS Concentration at Sludge Age 5 Days	73
5.9	MLSS and MLVSS Concentration at Sludge Age 2 Days	74
5.10	Distribution of MLVSS (%) at Sludge Age 20 Days	75
5.11	Distribution of MLVSS (%) at Sludge Age 10 Days	76
5.12	Distribution of MLVSS (%) at Sludge Age 5 Days	77
5.13	Distribution of MLVSS (%) at Sludge Age 2 Days	78

LIST OF FIGURES (CONT'D)

<u>FIGURE</u>	<u>TITLE</u>	<u>PAGE</u>
5.14	Ratio of VSS/SS at Various Sludge Ages	80
5.15	Influent and Effluent SS at Sludge Age 20 Days	82
5.16	Influent and Effluent SS at Sludge Age 10 Days	83
5.17	Influent and Effluent SS at Sludge Age 5 Days	84
5.18	Influent and Effluent SS at Sludge Age 2 Days	85
5.19	Average Influent COD Concentration at Various Sludge Ages	90
5.20	Soluble COD in Contact Tank at Sludge Age 20 and 10 Days	91
5.21	Soluble COD in Contact Tank at Sludge Age 5 and 2 Days	92
5.22	Average Soluble COD in Contact Tank at Various Sludge Ages	93
5.23	Variation of SVI in Contact Tank	95
5.24	Variation of SVI at Various Sludge Ages	96
5.25	Average of Process Efficiency at Various Sludge Ages	102
5.26	Process Efficiency at Sludge Age 20 and 10 Days	103
5.27	Process Efficiency at Sludge Age 5 and 2 Days	104
5.28	Process Organic Loading at Various Sludge Ages	105
5.29	Growth Yield and Microorganisms Decay Coefficient Determination	107
5.30	Process Specific Substrate Utilization Rate at Various Sludge Ages	110
5.31	Growth Yield and Microorganisms Decay Coefficient Determination of Contact Tank at Sludge Age 20 Days	111
5.32	Growth Yield and Microorganisms Decay Coefficient Determination of Contact Tank at Sludge Age 10 Days	112
5.33	Growth Yield and Microorganisms Decay Coefficient Determination of Contact Tank at Sludge Age 5 Days	113
5.34	Determination of $(K_o)_{TT}$ and γ_{TT}	115
5.35	Correlation between Process Specific Substrate Utilization Rate and Process Organic Loading	117
5.36	Determination of $(K_o)_{CT}$ and γ_{CT}	119
5.37	Correlation between Specific Substrate Utilization Rate and Organic Loading of Contact Tank	120

LIST OF FIGURES (CONT'D)

<u>FIGURE</u>	<u>TITLE</u>	<u>PAGE</u>
5.38	Correlation between $1/C_{CT}$ and Fraction of Biomass at Various Sludge Ages	122
5.39	Correlation between $(a_i)_C$ and Sludge Ages	123
5.40	Specific Substrate Utilization Rate of Stabilization Tank at Various Sludge Ages	125



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

NOTATIONS

a	: growth yield coefficient	non
a_i	: constant (i, 1, 2, 3, ... n)	
b_i	: constant (i, 1, 2, 3, ... n)	
C	: organic loading	T^{-1}
D	: dilution rate	T^{-1}
k	: net specific growth rate of microorganisms	T^{-1}
k_2	: microorganism decay coefficient	T^{-1}
K_O	: maximum rate of substrate utilization	T^{-1}
K_S	: half velocity coefficient	ML^{-3}
M	: mass of microorganisms	M
Q	: flow rate	L^3T^{-1}
Q_W	: waste sludge flow rate	L^3T^{-1}
r	: coefficient of correlation	
R	: recycle ratio	% or non
t_C	: contact time (based on influent flow rate)	T
t_{CR}	: real contact time (based on influent plus recycle)	T
t_S	: stabilization time (based on influent flow rate)	T
t_{SR}	: stabilization time (based on recycle flow rate)	T
U	: specific substrate utilization rate	T^{-1}
V	: reactor volume	L^3
x	: substrate concentration	ML^{-3}
X	: microorganisms concentration	ML^{-3}
α	: fraction of microorganisms in contact tank	% or non
β	: fraction of microorganisms in stabilization tank	% or non
ϕ	: fraction of microorganisms in sedimentation tank	% or non

NOTATIONS (Cont'd) γ : constant η : substrate removal efficiency

% or non

 θ_c : sludge age

T



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ABBREVIATIONS

BOD ₅	: biochemical oxygen demand
C	: contact tank
COD	: chemical oxygen demand
COND.	: operating condition of the system
DO	: dissolved oxygen
EFF _T	: effluent sample in term of total
EFF _S	: effluent sample in term of soluble
INF _T	: influent sample in term of total
INF _S	: influent sample in term of soluble
MGD	: million gallons per day
MLSS	: mixed liquor suspended solids
MLVSS	: mixed liquor volatile suspended solids
N	: nutrient controlled condition of the system
N+T	: nutrient and trace elements controlled condition
NH ₃ -N	: ammonia nitrogen
ORG-N	: organic nitrogen
S	: stabilization tank
ST	: sedimentation tank
SVI	: sludge volume index
TKN	: total Kjeldahl nitrogen

SUBSCRIPTIONS

C	: contact tank
CS	: contact tank and soluble substrate
CT	: contact tank and total substrate
e	: effluent
i	: influent
r	: recycle
S	: stabilization tank
ST	: Sedimentation tank
T	: total system
TS	: total system and soluble substrate
TT	: total system and total substrate
v	: interm of volatile suspended solid
W	: wastage from system.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย