


การควบคุมความเข้มข้นของชีวมวลเพื่อเพิ่มอัตราผลผลิตของบิวทานอล

ในถังปฏิกรณ์ชีวมวลแบบต่อเนื่อง



นางสาวปาริชาติ จานทอง

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมเคมี


บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ. 2538

ISBN 974-633-902-8

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

CONTROL OF BIOMASS CONCENTRATION FOR ENHANCEMENT OF
BUTANOL PRODUCTIVITY IN A CONTINUOUS MEMBRANE BIOREACTOR



Miss Parichat Janthong

Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering

Department of Chemical Engineering

Graduate School

Chulalongkorn University

1995

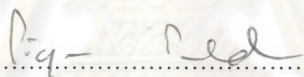
ISBN 974-633-902-8

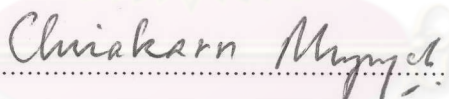
Thesis Title Control of Biomass Concentration for Enhancement of Butanol
Productivity in a Continuous Membrane Bioreactor
By Miss Parichart Janthong
Department Chemical Engineering
Thesis Advisor Associate Professor Chirakarn Muangnapoh, Dr. Ing.


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

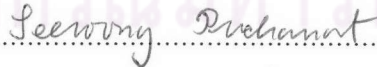

..... Dean of Graduate School
(Associate Professor Santi Thoongsuwan, Ph. D.)

Thesis Committee


..... Chairman
(Professor Piyasan Prasertdam, Dr. Ing)


..... Thesis Advisor
(Associate Professor Chirakarn Muangnapoh, Dr. Ing.)


..... Member
(Deacha Chatsiriwech, Ph. D.)


..... Member
(Seerong Prichanont, Ph. D.)

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสี่เหลี่ยมนี้เพียงแผ่นเดียว

นางสาวปาริชาติ จานทอง : การควบคุมความเข้มข้นของชีวมวลเพื่อเพิ่มอัตราผลิตของบิวทานอล
ในถังปฏิกรณ์ชีวมวลแบบต่อเนื่อง (CONTROL OF BIOMASS CONCENTRATION FOR ENHANCEMENT OF
BUTANOL PRODUCTIVITY IN A CONTINUOUS MEMBRANE BIOREACTOR) อ.ที่ปรึกษา :
รศ.ดร. จิรกานต์ เมืองนาโพธิ์ , 85 หน้า, ISBN 974-633-902-8

วิทยานิพนธ์นี้ศึกษาการนำกระบวนการควบคุมความเข้มข้นของชีวมวลในถังปฏิกรณ์ชีวมวล
แบบต่อเนื่อง และเทคนิคการกรองแบบไมโครฟิลเตรชัน มาประยุกต์ใช้เพื่อเพิ่มผลผลิตในกระบวนการ
หมักอะซิโตน-บิวทานอลของเซลล์จุลินทรีย์ Clostridium acetobutylicum ATCC 824 โดยใช้สารละลาย
น้ำตาลกลูโคสที่ความเข้มข้น 50 กรัมต่อลิตร ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) 4.8 และอุณหภูมิ 35 องศา
เซลเซียส จากผลการทดลองพบว่าที่อัตราการป้อนสารอาหารต่อปริมาตรรวมในถังหมัก 0.5 ต่อชั่วโมง
และความเข้มข้นเซลล์ 80 กรัมต่อลิตร เป็นภาวะที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการควบคุมความเข้มข้น
ของชีวมวล โดยให้ความเข้มข้นตัวทำละลายรวมสูงสุด และผลผลิตของตัวทำละลายรวมสูงสุดเป็น
11.79 กรัมต่อลิตร และ 5.89 กรัมต่อลิตร-ชั่วโมง ตามลำดับ จากการทดลองยังพบว่าค่าอัตราผล
ผลิตตัวทำละลายรวมเพิ่มขึ้นโดยมีความสัมพันธ์เป็นเส้นตรงกับอัตราการป้อนสารอาหารรวมต่อ
ปริมาตรถังหมัก และความเข้มข้นของเซลล์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชาวิศวกรรมเคมี.....
สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี.....
ปีการศึกษา ...2538.....

ลายมือชื่อนิสิต
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

C616880 : MAJOR CHEMICAL ENGINEERING DEPARTMENT

KEY WORD: BIOREACTOR/ SOLVENT PRODUCTIVITY/ ACETONE-BUTANOL FERMENTATION

PARICHAT JANTHONG : CONTROL OF BIOMASS CONCENTRATION FOR
ENHANCEMENT OF BUTANOL PRODUCTIVITY IN A CONTINUOUS MEMBRANE

BIOREACTOR. THESIS ADVISOR : ASSOC. PROF. CHIRAKARN MUANGNAPOH, Dr.Eng.
85 pp. ISBN 974-633-902-8

Control of biomass concentration in a continuous fermentation and microfiltration technique was applied to improve productivity in acetone-butanol fermentation of Clostridium acetobutylicum ATCC 824. In this system, the medium concentration, pH, and temperature were kept constant at 50 g/l glucose, 4.8, and 35°C, respectively. The experimental results showed that the optimum conditions for controlled biomass process were the dilution rate of 0.5 hr⁻¹ and biomass concentration of 80 g/l. The maximum solvent concentration and solvent productivity were 11.79 g/l and 5.89 g/l-hr, respectively. It was also found that the solvent productivity increased linearly with both the dilution rate and biomass concentration.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา.....วิศวกรรมเคมี.....

สาขาวิชา.....วิศวกรรมเคมี.....

ปีการศึกษา.....2538.....

ลายมือชื่อนิต.....*Parichat Jantong*.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....*Chirakarn Muangnapoh*.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

ACKNOWLEDGMENT

The author would like to express her gratitude and deep appreciation to her advisor, Associate Professor Dr. Chirakarn Muangnapoh and Miss Satida Krailas for her encouraging guidance, supervision and helpful suggestions throughout this study. In addition, she is also grateful to Professor Dr. Piyasarn Prasertdam, Dr. Deacha Chatsiriwech, and Dr. Seeroong Prichanont for serving as chairman and member of the thesis committee, respectively.

An indebtedness is also felt for the financial support for this research from the Graduate School and Department of Chemical Engineering Chulalongkorn University.

Furthermore, many thanks go to her friends and all those who encouraged her over the years of her study.

Finally, she wishes to convey her most sincere gratitude to her family who have always been the source of her inspiration.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

NOMENCLATURE

B	=	Bleed ratio (-)
C	=	Concentration (g/l)
C_b	=	Concentration of solute (g/l)
C_g	=	Gel concentration (g/l)
C_p	=	Concentration of solute in the filtrate (g/l)
C_w	=	Solute concentration at membrane surface (g/l)
d	=	Diameter of tube (m)
D	=	Dilution rate (hr^{-1})
D_e	=	Effective diffusivity of solute in liquid film (cm^2/s)
F	=	Feed flow rate (m^3/hr)
J	=	Flux ($\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{hr}$)
k	=	Mass transfer coefficient (m/s)
K	=	The product destruction rate (hr^{-1})
L	=	Filter length (m)
p_f	=	Filtrate pressure (kg/cm^2)
p_i	=	Inlet pressure (kg/cm^2)
p_o	=	Outlet pressure (kg/cm^2)
P	=	Product concentration (g/l)
P_o	=	The initial product concentration (g/l)
Q	=	Volumetric flow rate (m^3/hr)
S	=	Substrate concentration (g/l)
S_o	=	Initial substrate concentration (g/l)

Sc	=	Schmidt number (-)
Sh	=	Sherwood number (-)
R	=	Rejection coefficient (-)
Re	=	Reynolds number (-)
R_g	=	Gel resistance(m^{-1})
R_m	=	Membrane resistance(m^{-1})
V	=	Volume (m^3)
X	=	Biomass concentration (g/l)
X_0	=	Initial biomass concentration (g/l)
$Y_{P/S}$	=	Conversion yield of substrate to product (-)
$Y_{X/S}$	=	Conversion yield of substrate to biomass (-)
Δp	=	Pressure different (kg/cm^2)
Δp_m	=	Transmembrane pressure (kg/cm^2)
α	=	Recycle ratio (-)
β	=	Viscosity ($kg/m.s$)
δ	=	Film thickness (m)
γ	=	Specific death rate (hr^{-1})
μ	=	Specific growth rate (hr^{-1})
ν	=	Kinematic viscosity (m^2/s)
ρ	=	Density (Kg/m^3)
υ	=	Specific production rate (hr^{-1})
υ_s	=	Specific substrate consumption rate (hr^{-1})

CONTENTS

	PAGE
ABSTRACT (THAI)	iv
ABSTRACT (ENGLISH)	v
ACKNOWLEDGMENT	vi
NOMENCLATURE.....	vii
CONTENTS	ix
LIST OF TABLES	xii
LIST OF FIGURES	xiii
CHAPTER	
I. INTRODUCTION	1
II. LITERATURE REVIEW	5
- Acetone-Butanol Fermentation	5
- Microorganism	5
- Morphology	5
- The Fermentation Process	7
- Culture Methods	18
- Optimum Conditions for Fermentation	19
- Uses for Products and By-Products of Acetone-Butanol Fermentation	19
- The Petrochemical Process	21
- Development of Acetone-butanol Process	23
- Single-stage Continuous Fermentation	23

CONTENTS (continuous)

	PAGE
- Immobilization	23
- Microfiltration	24
- Control of Biomass Concentration in A Continuous Fermentation	26
III. THEORY	27
- Basic Equations	27
- Batch Fermentation	28
- Single-stage Continuous Fermentation	29
- Single-stage Continuous Fermentation with Cell Recycling	30
- Control of Biomass Concentration in A Continuous Fermentation	31
- Cross-flow Filtration	34
- Membrane Rejection	41
IV. EXPERIMENTS.....	42
- Strain	42
- Medium	42
- Experimental Equipments	43
- Fermentor	43
- Ceramic Filter	43
- The Cell Recycling System	44

CONTENTS (continuous)

	PAGE
- Experimental Procedure	46
- Sterilization and Cleaning.....	46
- Preparation of the <u>Clostridium acetobutylicum</u> ATCC 824...	
- Cultures.....	46
- Batch Operation in the Cell Recycling System.....	48
- Continuous Operation in the Cell Recycling System.....	48
- Study of Control of Biomass Concentration in A Continuous Fermentation	49
- Analysis	52
V. RESULTS AND DISCUSSION	54
- The Study of Control of Biomass Concentration in A Continuous Fermentation	54
- Effect of Dilution Rate on Biomass Concentration of 20 g/l	66
- Effect of Dilution Rate on Biomass Concentration of 40 /l	67
- Effect of Controlled Biomass Concentration on Fermentation Performance.....	67
VI. CONCLUSIONS AND RECOMMENDATIONS	76
REFERENCES	80
APPENDIX	83
VITA	85

LIST OF TABLES

TABLE	PAGE
1.1 Characteristics of chemically pure fuels	4
2.1 Morphology of <u>Cl. acetobutylicum</u> ATCC 824 during batch fermentation	6
2.2 Microorganisms which can produce butanol by fermentation	10
2.3 Raw material which can be used as carbon source in acetone-butanol fermentation	12
2.4 Mass balance of fermentation	13
2.5 Solvent ratio	13
5.1 The increasing of residual glucose rate at 20 g/l biomass concentration	66
6.1 Comparison of the results between control and uncontrol of biomass concentration in a continuous fermentation with cell recycling	78

ศูนย์วิทยาศาสตร์สุขภาพ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

LIST OF FIGURES

FIGURE	PAGE
2.1 Process for n-butanol production fermentation	14
2.2 Biochemical pathway for conversion of sugar into organic solvents by <i>Cl. acetobutylicum</i> ATCC 824	15
2.3 The scheme for the butanol fermentation	16
2.4 Glucose balance of acetone-butanol fermentation	17
2.5 Process of n-butanol production by hydroformulation of propylene	22
3.1 Schematic diagram of CSTR with cell recycling	33
3.2 Solute transfer in a MF membrane	35
3.3 Variation of flux with solute concentration	37
3.4 Schematic of cross-flow filtration	38
4.1 A ceramic filter (type 1M-1)	45
4.2 Culture tubes	47
4.3 An inoculum flask	47
4.4 Schematic diagram of control biomass concentration in a continuous fermentation	51
4.5 Control of biomass concentration in a continuous fermentation with cell recycling	53
5.1 Time variation of glucose concentration	58
5.2 Time variation of glucose concentration, biomass concentration	59

LIST OF FIGURES (continuous)

FIGURE	PAGE
5.3 Time variation of butanol, acetone, ethanol, acetic acid, and butyric acid.	60
5.4 Time variation of total solvent	61
5.5 Time variation of substrate consumption rate, solvent productivity, and Y_p/s	62
5.6 Time variation of specific consumption rate, specific solvent formation, and specific butanol formation....	63
5.7 Permeation flux as a function of biomass concentration.....	64
5.8 Permeation flux as a function of $\ln C_b$	65
5.9 Effect of dilution rate on solvent concentration, solvent productivity, and glucose concentration at 20 g/l biomass concentration	70
5.10 Effect of dilution rate on solvent concentration, solvent productivity, and glucose concentration at 40 g/l biomass concentration	71
5.11 Comparison of biomass concentration on substrate consumption rate, solvent concentration, solvent productivity, and biomass productivity	72

LIST OF FIGURES (continuous)

FIGURE	PAGE
5.12 Comparison of biomass concentration on specific consumption rate, specific growth, specific solvent formation and $Y_{p/s}$	73
5.13 Effect of biomass concentration on productivity of CO_2 and H_2	74
5.14 Composition of CO_2 and H_2 gas	75



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย