

การออกแบบโครงสร้างการควบคุมแบบเฟลนที่โวด์ของกระบวนการผลิตโมโนไอโซโพรพิลเอมีน



นางสาวชนิศา ชำนะ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2555

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



5 3 7 0 4 1 5 0 2 1

PLANTWIDE CONTROL STRUCTURES DESIGN
OF MONOISOPROPYLAMINE PROCESS


Miss Chanisa Chumna

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering Program in Chemical Engineering
Department of Chemical Engineering
Faculty of Engineering
Chulalongkorn University
Academic Year 2012
Copyright of Chulalongkorn University

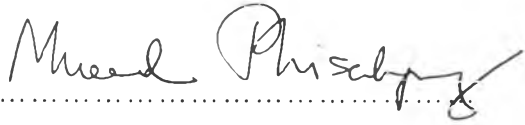
551728

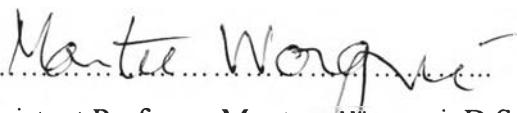
Thesis Title PLANTWIDE CONTROL STRUCTURES DESIGN OF
MONOISOPROPYLAMINE PROCESS
By Miss Chanisa Chumna
Field of Study Chemical Engineering
Thesis Advisor Assistant Professor Montree Wongsri, D.Sc.

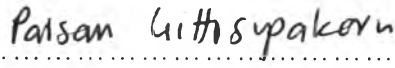
Accepted by the Faculty of Engineering, Chulalongkorn University in Partial
Fulfillment of the Requirements for the Master's Degree

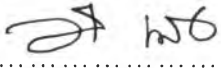

..... Dean of the Faculty of Engineering
(Associate Professor Boonsom Lerthirunwong, Dr.Ing.)

THESIS COMMITTEE


..... Chairman
(Associate Professor Muenduen Phisalaphong, Ph.D.)


..... Thesis Advisor
(Assistant Professor Montree Wongsri, D.Sc.)

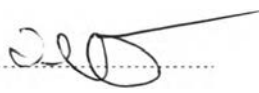

..... Examiner
(Professor Paisan Kittisupakorn, Ph.D.)


..... External Examiner
(Veerayut Lersbamrungsuk, D.Eng.)

ชนิศา ชำนะ : การออกแบบโครงสร้างการควบคุมแบบแพลนไวด์ของกระบวนการผลิต
 โมโนไอโซโพรพิลเอมีน (PLANTWIDE CONTROL STRUCTURES DESIGN OF
 MONOISOPROPYLAMINE PROCESS) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก:
 ผศ.ดร.มนตรี วงศ์ศรี, 118 หน้า.

ในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาการออกแบบโครงสร้างการควบคุมแบบแพลนไวด์ตามขั้นตอนของ
 วงศ์ศรี (2012) กระบวนการนี้จะประกอบด้วยเครื่องปฏิกรณ์แบบท่อและคอลัมน์ 3 คอลัมน์มี
 กระแสรีไซเคิล 2 สาย คือ กระแสรีไซเคิลสถานะของเหลวและไอ มีวัตถุดิบที่ใช้คือ ไอโซโพรพิล
 แอลกอฮอล์และแอมโมเนีย ทำปฏิกิริยาเกิดเป็น โมโนไอโซโพรพิลเอมีน ไดไอโซโพรพิลเอมีนและ
 น้ำผลพลอยได้ของไดไอโซโพรพิลเอมีนจะทำปฏิกิริยากับแอมโมเนีย ที่เหลือจากการทำปฏิกิริยา
 การเกิดโมโนไอโซโพรพิลเอมีนและจะไหลย้อนกลับสู่กระบวนการ กระบวนการจะมีการออกแบบ
 โครงสร้างที่เรียกว่า การกำหนดจุดตรึงของกระบวนการ ซึ่งวัตถุดิบที่ป้อนเข้าไปจะถูกตรึงและ
 ผลิตภัณฑ์จะถูกควบคุมที่จุดสะสมของสารนั้น อัตราการไหลของกระแสรีไซเคิลของไดไอโซโพรพิล
 เอมีนจะถูกปรับโดยจุดควบคุมของสารนี้ มีการออกแบบรูปการควบคุมอุณหภูมิเพื่อจัดการ
 รบกวนจากความร้อนเข้าสู่กระบวนการ โดยคอลัมน์แรกมีการควบคุมโครงสร้างที่ใช้การควบคุม
 แบบอุณหภูมิจุดเดียว และอัตราส่วนระหว่างรีฟลักซ์กับอัตราการไหลของสายที่ป้อนเข้าสู่คอลัมน์
 คอลัมน์ที่สองมีการควบคุมโครงสร้างที่ใช้การควบคุมแบบอุณหภูมิจุดเดียว และอัตราส่วนระหว่าง
 รีฟลักซ์กับสายป้อนเข้าสู่คอลัมน์ หรือ อัตราส่วนระหว่างรีฟลักซ์กับอัตราการการกลั่นที่ด้านบนของ
 คอลัมน์ คอลัมน์ที่สามมีสามโครงสร้างการควบคุมที่มีทางเลือกเช่นเดียวกับคอลัมน์ที่สองและมี
 การควบคุมอัตราส่วนคู่โครงสร้าง (หนึ่งอุณหภูมิและหนึ่งองค์ประกอบ)

ภาควิชา วิศวกรรมเคมี ลายมือชื่อ นิสิต น.วิชา ช.ศ. ชำนะ

สาขาวิชา วิศวกรรมเคมี ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก 

ปีการศึกษา 2555

5370415021: MAJOR CHEMICAL ENGINEERING

KEYWORDS: PLANTWIDE PROCESS CONTROL / CONTROL STRUCTURE DESIGN / MONOISOPROPYLAMINE / FIXTURE PLANT / DISTURBANCE REACTION.

CHANISA CHUMNA: PLANTWIDE CONTROL STRUCTURES DESIGN OF MONOISOPROPYLAMINE PROCESS. ADVISOR: ASST. PROF. MONTREE WONGSRI, Ph.D., 118 pp.

In this work, plantwide control structure design procedure of Wongsri (2012) is presented and applied to the monoisopropylamine process. The plant consists of a tubular reactor and three distillation columns. There are two recycle streams: gas and liquid. The raw materials are isopropyl alcohol and ammonia which are converted to MIPA, DIPA, and water. The by-product DIPA is recycled to react with ammonia to form MIPA. An excess of ammonia in the reactor inhibits the DIPA reaction, so ammonia is also recycled. The plant with control structure designed called the fixture plant. The raw materials entered the process is fixed and the products are regulated according to their accumulation. The recycle flowrate of DIPA is adjusted by its quantifier. The temperature loops are designed to reject the thermal disturbance. The first distillation column is controlled using a single temperature and a reflux-to-feed ratio control structure. The second distillation column is controlled using a single temperature and either a reflux-to-feed ratio or reflux ratio control structure. The third column has three alternative control structures which are the same as the second column and dual control structure ratio (one temperature and one composition).

Department : Chemical Engineering Student's Signature Chanisa Chumna

Field of Study : Chemical Engineering Advisor's Signature Montree Wongsri

Academic Year : 2012

ACKNOWLEDGEMENTS

It is a contentedness to thank those who made this research possible, my advisor, Assistant Proffesor Dr. Montree Wongsri for his available support and decision making on the whole research time and also thank the committee members; Assistant Professor Muenduen Phisalaphong, Assistant Professor PaisanKittisupakron, and Dr. Veerayuth Lersbamrungsuk for their constructive suggestions and comments.

Thank you very much, my parent is given their full support all along time, and thanks to colleagues who have been encouraging, bracing and whole heartedly accomplished our goals together. Deepest regards to those who have read and make use of the thesis hence after.

CONTENTS

	PAGE
ABSTRACT IN THAI.....	iv
ABSTRACT IN ENGLISH.....	v
ACKNOWLEDGEMENTS.....	vi
CONTENTS.....	vii
LIST OF FIGURES.....	xii
LIST OF TABLES.....	xiv
LIST OF ABBREVIATIONS.....	xvi
CHAPTER	
I INTRODUCTION.....	1
1.1 Importance and reasons for research.....	1
1.2 Research Objectives.....	2
1.3 Scopes of Research.....	3
1.4 Contributions of Research.....	3
1.5 Research Procedures.....	3
1.6 Research Framework.....	4
II LITERATURE REVIEWS.....	5
2.1 Plantwide Control Structure Design.....	5
2.2 Heat Exchanger Network Design.....	10

III THEORY	11
3.1 Basic Concepts of Plantwide Control	11
3.1.1 Buckley Basis	11
3.1.2 Douglas doctrines	12
3.1.3 Drowns drill	12
3.1.4 Luyben laws	12
3.1.5 Richardson rule	13
3.1.6 Shinkey schemes	13
3.1.7 Tyreus tuning	14
3.2 Integrated Processes	14
3.2.1 Material recycles	14
3.2.2 Energy integration	15
3.2.3 Chemical component inventories	16
3.3 The Plantwide Control Problem	16
3.3.1 Units in Series Problem	16
3.3.2 Effect of Recycles	17
3.3.3 Snowball effect	18
3.3.4 Reaction and Separation Section Interaction	18
3.3.5 Single Composition Control on Distillation Control	19
3.4 Step of Plantwide Process Control Design Procedure	22
3.5 Plantwide Energy Management	28

	PAGE
3.5.1 Heat Exchanger Dynamic	28
3.5.2 Heat Pathway	28
3.5.3 Heat recovery	29
3.5.4 Heat Exchanger Network.....	30
3.5.5 Control of Utility Exchangers.....	31
3.6 Plantwide Process Control.....	32
3.6.1 New Plantwide Control Structure Design Procedure	35
IV MONOISOPROPYLAMINE PROCESS.....	40
4.1 Introduction.....	40
4.2 Reaction Kinetics.....	40
4.3 Process Description.....	41
4.4Phase Equilibrium	42
4.5Flow Sheet Process	42
4.6Reactor and Column	42
4.7 Steady state Simulation	45
V CONTROL STRUCTURES DESIGN.....	50
5.1 New Plantwide Control Strategies.....	50
5.2 Design of Plantwide control structures.....	66

	PAGE
5.2.1 Design of control structure CS0	70
5.2.2 Design of control structure CS1	72
5.2.3 Design of control structure CS2	74
5.2.3 Design of control structure CS3	76
5.2.3 Design of control structure CS4	78
5.3 Dynamic simulation results	80
5.3.1 Changes in material disturbances of the isopropyl alcohol (IPA)flowrate for all control structures (base case (CS0), designed Control structure (CS1-CS4)	80
5.3.2 Changes in material disturbances of composition isopropyl alcohol (IPA) and ammonia (NH ₃) for all control structures (basecase (CS0), designed control structure (CS1-CS4)	81
5.3.3 Changes in material disturbances of the temperature isopropyl alcohol (IPA) feed flow for all control structures (base case (CS0), designed control structure (CS1-CS4)	82
5.4 Evaluation of the Dynamic Performance	95
VI CONCLUSION AND RECOMMENDATIONS	99
6.1 Conclusion	99
6.2 Recommendation	99
REFERENCES	100

PAGE

APPENDICES.....	103
Appendix A.....	104
Appendix B.....	109
VITA.....	118

LIST OF FIGURES

FIGURE	PAGE
3.1 Units in series: Level control in direction of flow	17
3.2 Single composition control using L to control the purity of the overhead product. The symbol for a control valve represents a flow control loop	20
3.3 Single composition control using V to control the purity of the bottom product the symbol for a control valve represents a flow control loop	21
3.4 Heat Pathway	29
3.5 Bypass control of process heat exchanger	32
4.1 Flowsheet for monoisopropylamine process (base case)	44
5.1 Control loops to balance in the <i>Step 3</i> establishes fixture plant	56
5.2 The heat disturbances pathways from ammonia feed flow	57
5.3 The heat disturbances pathways from IPA feed flow	58
5.4 Flowsheet of control method of heat disturbance that does not directly effect on product qualities (By passing hot streams)	59
5.5 Flowsheet of control method of heat disturbance that directly effect on product qualities (By passing)	60
5.6 The material pathway of IPA	61
5.7 The material pathway of NH ₃	62
5.8 The material pathway of MIPA	62
5.9 The material pathway of DIPA	63

FIGURE	PAGE
5.10 The material pathway of water	63
5.11 The thermal data of mono-isopropylamine process for pinch analysis	65
5.12 Temperature profile of column1	67
5.13 The control loops for the remaining control variables.....	68
5.14 The control structure of base case	69
5.15 The control structure of CS1	71
5.16 The control structure of CS2	73
5.17 The control structure of CS3	75
5.18 The control structure of CS4	77

LIST OF TABLE

TABLE	PAGE
3.1 Degree of freedom for simple units	36
4.1 Reaction Kinetics (Luyben, 2009).....	41
4.2 Degree of freedom for simple units	46
5.1 Constraints for control	50
5.2 The control degree of freedom for monoisopropylamine process.....	51
5.3 Guideline pairing of manipulated and controlled variables.....	52
5.4 Thermal data of monoisopropylamine process for pinch analysis.....	64
5.5 Control structure lists of base case.....	70
5.6 Control structure lists of CS1	72
5.7 Control structure lists of CS2.....	74
5.8 Control structure lists of CS3.....	76
5.9 Control structure lists of CS3.....	78
5.10 Dynamic responses with fresh IPA feed changed.....	83
5.11 Dynamic response with fresh IPA feed temperature changed	87
5.12 Dynamic response with total feed composition changed	91
5.13 IAE of safety control loop with total feed change.....	95
5.14 IAE of safety control loop with temperature feed change.....	96
5.15 IAE of safety control loop with composition feed change.....	96

TABLE	PAGE
5.16 Utilities cost with fresh feed changed	97
5.17 Utilities cost with feed IPA composition changed	97
5.18 Utilities cost with feed temperature changed	98

LIST OF ABBREVIATIONS

SYMBOL

DIPA	Diisopropylamine
E_i	Activation energy (Btu.lb.mol ⁻¹)
FEHE	Heat exchanger
H ₂	Hydrogen
HX1	Heater
HX2	Cooler
H ₂ O	Water
IAE _i	Integral absolute error of a controller in controller group
IPA	Isopropyl alcohol
K_c	Controller gain
k_i	Rate constant (kmol.s ⁻¹ .m ⁻³)
MIPA	Monoisopropylamine
NH ₃	Ammonia
T_{in}	Inlet temperature
τ_d	Derivation time
τ_i	Integral time