การออกแบบโครงสร้างการควบคุมแบบแพลนท์ไวด์ของกระบวนการผลิตโมโนไอโซโพรพิลเอมีน

นางสาวชนิศา ชำนะ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2555
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

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 Lerdhirunwong, 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 : การออกแบบโครงสร้างการควบคุมแบบแพลนท์ไวด์ของกระบวนการผลิตโมโนไอโซโพรพิลเอมีน (PLANTWIDE CONTROL STRUCTURES DESIGN OF MONOISOPROPYLAMINE PROCESS) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผศ.ดร.มนตรี วงศ์ศรี,118 หน้า.

ในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาการออกแบบโครงสร้างการควบคุมแบบแพลนไวด์ตามขั้นตอนของวงศ์ศรี (2012) กระบวนการนี้จะประกอบด้วยเครื่องปฏิกรณ์แบบท่อและคอลัมน์3 คอลัมน์มีกระแสรีไซเคิล 2 สาย คือ กระแสรีไซเคิลสถานะของเหลวและไอ มีวัตถุดิบที่ใช้คือ ไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์และแอมโมเนีย ทำปฏิกิริยาเกิดเป็น โมโนไอโซโพรพิลเอมีน ไดไอโซโพรพิลเอมีนและน้ำผลพลอยได้ของไดไอโซโพรพิลเอมีนจะทำปฏิกิริยากับแอมโมเนีย ที่เหลือจากการทำปฏิกิริยาการเกิดโมโนไอโซโพรพิลและจะไหลย้อนกลับสู่กระบวนการ กระบวนการจะมีการออกแบบโครงสร้างที่เรียกว่า การกำหนดจุดตรึงของกระบวนการ ซึ่งวัตถุดิบที่ป้อนเข้าไปจะถูกตรึงและผลิตภัณฑ์จะถูกควบคุมที่จุดสะสมของสารนั้น อัตราการไหลของกระแสรีไซเคิลของไดไอโซโพรพิลเอมีนจะถูกปรับโดยจุดควบคุมของสารนี้ มีการออกแบบลูปการควบคุมอุณหภูมิเพื่อกำจัดการรบกวนจากความร้อนเข้าสู่กระบวนการ โดยคอลัมน์แรกมีการควบคุมโครงสร้างที่ใช้การควบคุมแบบอุณหภูมิจุดเดียว และอัตราส่วนระหว่างรีฟรักซ์กับอัตราการไหลของสายที่ป้อนเข้าสู่คอลัมน์ คอลัมน์ที่สองมีการควบคุมโครงสร้างที่ใช้การควบคุมแบบอุณหภูมิจุดเดียว และอัตราส่วนระหว่างรีฟรักซ์กับสายป้อนเข้าสู่คอลัมน์ หรือ อัตราส่วนระหว่างรีฟรักซ์กับอัตราการการกลั่นที่ด้านบนของคอลัมน์ คอลัมน์ที่สามมีสามโครงสร้างการควบคุมที่มีทางเลือกเช่นเดียวกับคอลัมน์ที่สองและมีการควบคุมอัตราส่วนคู่โครงสร้าง (หนึ่งอุณหภูมิและหนึ่งองค์ประกอบ)

ภาควิชา วิศวกรรมเคมี ลายมือชื่อนิสิต ชนิศา 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 alterative 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

PAGE

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 *Step 3* 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_2O	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