การประเมินพลวัตและการควบคุมแบบแพลนท์ไวด์ของกระบวนการไฮโดรดิอัลคิเลชัน

นางสาว ภัทรา ตั้งสมบัติวิสิทธิ์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2546

ISBN 974-17-4309-2

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I21510A8X

# EVALUATING DYNAMICS AND PLANTWIDE CONTROL OF HYDRODEALKYLATION PROCESS

Miss Pattra Tangsombutvisit

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering in Chemical Engineering
Department of Chemical Engineering
Faculty of Engineering
Chulalongkorn University
Academic Year 2003

ISBN 974-17-4309-2

# ต้นฉบับ หน้าขาดหาย

ภัทรา ตั้งสมบัติวิสิทธิ์ : การประเมินพลวัตและการควบคุมแบบแพลนท์ไวด์ของกระบวนการไฮโดรดิอัลคิเลชัน.(EVALUATING DYNAMICS AND PLANTWIDE CONTROL OF HYDRODEALKYLATION PROCESS) อ.ที่ปรึกษา : อาจารย์ มนตรี วงศ์ศรี, จำนวนหน้า102 หน้า. ISBN 974-17-4309-2.

การออกแบบโครงสร้างและการควบคุมแบบแพลนท์ไวด์ในปัจจุบันเป็นที่สนใจอย่างมาก ดังนั้นจึงมีการพัฒนาแบบจำลองที่มีความแม่นยำและใกล้เคียงกระบวนการจริง เพื่อที่จะนำมาใช้ในการประเมินโครงสร้างการควบคุมแบบแพลนท์ไวด์ ในงานวิจัยนี้ได้มีการพัฒนาแบบจำลองของการบวนการไฮโดรดิอัลคิเลชั่นของทอลูอีนโดยใช้โปรแกรม HYSYS โดยคำนวณความสามารถในการควบคุม (Controllability) เพื่อใช้ในการประเมินโครงสร้างและเลือกโครงสร้างการควบคุมที่ดีที่สุดโดยวิธีการที่อาศัยการจำลองการะบวนการ ซึ่งจะคำนึงถึงการจำลองกระบวนการทั้งที่สภาวะคงตัว, การจำลองกระบวนการที่สภาวะพลวัต และค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในวิเคราะห์ความสามารถในการควบคุม โดยพิจารณาทั้งในสภาวะคงที่และในโดเมนของความถี่ ซึ่งสำหรับโครงสร้างการควบคุมกระบวนการไฮโดรดิอัลคิเลชั่นที่นำมาศึกษานี้ ได้ศึกษาโครงสร้างการควบคุมอ้างอิงจาก Luyben (1998) เปรียบเทียบกับโครงสร้างการควบคุมที่ได้จากการออกแบบของ Kietwarin (2002) โดยจากผลการศึกษาที่สภาวะคงตัวสนับสนุนโครงสร้างการควบคุมที่ 2 แต่สำหรับการวิเคราะห์ความสามารถในการควบคุมทำให้ทราบถึงปัญหาของอันตรกิริยาที่มีต่อตัวควบคุมลูปอื่นๆ สำหรับความสามารถในการควบคุมจะอธิบายในค่าของ PRGA และ CLDG ซึ่งโครงสร้างการควบคุมที่ 2 จะให้ค่า PRGA อยู่ในขอบเขตน่าพอใจ ซึ่งหมายความว่าเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของค่าเป้าหมาย ผลกระทบที่เกิดขึ้นต่อระบบจะมีค่าน้อยกว่าโครงสร้างการควบคุมอ้างอิงและโครงสร้างการควบคุมแบบแรก สำหรับการวิเคราะห์ค่า CLDG พบว่า โครงสร้างการควบคุมแบบที่ 1 จะสามารถปฏิเสธตัวรบกวนได้ดีกว่าโครงสร้างการควบคุมแบบที่ 2 โดยตัวรบกวนที่ใช้ทดสอบคือ อุณหภูมิของกระแสทอลูอีน และความดันของกระแสไฮโดรเจน

ภาควิชา.....วิศวกรรมเคมี..... ลายมือชื่อนิสิต.....ภัทรา ตั้งสมบัติวิสิทธิ์.....

สาขาวิชา.....วิศวกรรมเคมี..... ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....

ปีการศึกษา.....2546.....

## 4370438121 : MAJOR CHEMICAL ENGINEERING
KEY WORD : HDA / PLANTWIDE / RGA / CLDG / PRGA / CONTROLLABILITY / CONTROL

PATTRA TANGSOMBUTVISIT : EVALUATING DYNAMICS AND PLANTWIDE CONTROL OF HYDRODEALKYLATION PROCESS. THESIS ADVISOR : MONTREE WONGSRI, D. Sc., 102 pp. ISBN 974-17-4309-2.

With the increasing interest in and the need for plant-wide design and control, it is desirable to develop rigorous models for realistic with recycle streams, energy integration and non-ideal systems, and use them for evaluating plantwide control schemes. In this study, a rigorous model for the hydrodealkylation of toluene (HDA) process is developed using the commercial software, HYSYS.PLANT. A simulation-based methodology for evaluating these phenomena and finding the best control structure is reported from a controllability point of view. Staedy-state and dynamic simulations are combined with controllability analysis tools, both steady-state and in the frequency domain, which extracts more value from simulation than the usual sensitivity studies. The case of HDA process, The reference control structure designed by Luyben (1998) and the two control structures designed by Kietawarin (2002) are considered. The steady-state analysis is confirmed that the second control structure should be controlled. For using the controllability analysis it appeared that the problems mainly come from the interaction between the different units in the flowsheet. Controllability analysis described by PRGA and CLDG. For PRGA, the response of the control structure2 can give the result into satisfied bound. That means the effect of changing setpoint is less than the reference structure and the first one. However, for CLDG gives the result that the reference structure and the control structure1 can reject the disturbance better than the second one. The considered disturbances are the temperature of FFtoluene stream and pressure of FFH2 stream.

Department.....Chemical Engineering... Student's signature..Pattra Tangsombutvisit
Field of study... Chemical Engineering... Advisor's signature Montree Wongsri
Academic year.....2003.....

# ACKNOWLEDGEMENT

The author would like to thanks and express her gratitude to her advisor, Dr. Montree Wongsri, for his supervision, advice, discussion and helpful suggestions throughout the course of this Master Degree study. Furthermore, she is also grateful to Professor Piyasan Praserthdam, Associate Professor Paisan Kittisupakorn, and Dr. Supoj Patthanasri for serving as chairman and member of thesis committees, respectively.

Many thanks to process control laboratory members, friends, and all those who encouraged her over the years of her study.

Most of all, the author would like to express the highest gratitude to her parents, and all of family for their love, inspiration, encouragement and financial support throughout this study.

# CONTENTS

PAGE

ABSTRACT (IN THAI)....iv

ABSTRACT (IN ENGLISH)....v

ACKNOWLEDGEMENTS....vi

CONTENT....vii

LIST OF TABLES....x

LIST OF FIGURES....xi

NOMENCLATURE....xiii

CHAPTER

I. INTRODUCTION....1

1.1 Research Objectives....2

1.2 Scope of Research....2

1.3 Contribution of Research....3

1.4 Research Procedures....3

II. LITERATURE REVIEW....4

2.1 Plantwide Control....4

2.2 HDA Process....7

2.3. Process Controllability Analysis....9

III. THEORY....16

3.1 Plantwide Control....16

3.1.1 Introduction....16

3.1.2 General Reviewa and Books on Plantwide Control....18

3.1.3 Decomposition of The Problem....20

3.1.3.1 The Unit Based Approach....21

3.1.3.2 Hierarchical Decomposition Based on Process Structure....22

# CONTENTS (Continued)

PAGE

CHAPTER

3.1.3.3 Hierarchical Decomposition Based on Control objectives..... 23
3.1.3.4 Hierarchical Decomposition Based on Time Scales.....24
3.2 Interaction Analysis and Multiple Single Loop Designs.....25
3.2.1 Preliminary Considerations of Interaction Analysis and Loop Pairing.....25
3.2.1.1 A Measure of Control Loop Interactions.....25
3.2.1.2 Loop Pairing on The Basis of Interaction Analysis.....29
3.2.2 The Relative Gain Array (RGA).....30
3.2.2.1 Properties of The RGA.....31
3.2.2.2 Interpreting The RGA Elemants.....32
3.2.3 Singular Value Analysis.....34
3.2.4 Condition Number.....36
3.2.5 Scaling.....38
3.3. Decentralized Feedback Control.....39
3.3.1 RGA as Interaction measure for Decentralized Control.....41
3.3.2 Performance of Decantralized Control System.....43
3.3.3 Summary:Controllability Analysis for Decentralized Control.....45

IV. HYDRODEALKYLATION PROCESS.....48
4.1 Process Description.....48
4.1.1 Modeling HDA Process.....48
4.1.2 Steady-State Modeling.....50

# CONTENTS (Continued)

PAGE

CHAPTER

4.1.3 Dynamic Modeling .....52
4.2 Control Objective.....56
4.3 Steady-State Controllability Analysis.....60
4.3.1 Static Gains.....60
4.3.2 RGA Analysis.....61
4.4 Dynamic Simulation.....64
4.5 Dynamic Controllability Analysis.....74
4.5.1 RGA Number.....74
4.5.2 Diagonal Controller Performance.....80
4.5.2.1 Performance Relative Gain Array, PRGA.....80
4.5.2.2 Close Loop Disturbance Gain, CLDG.....82

V. CONCLUSIONS AND RECOMMENDATIONS .....86
5.1 Conclusion.....86
5.2 Recommendations.....88

REFERENCES.....89

APPENDICES.....93
Appendix A.....94
Appendix B.....98
Appendix C.....101

VITA.....102

# LIST OF TABLES

PAGE

**Table 4.1** Equipment data and specifications .....50

**Table 4.2** Column Specifications.....51

**Table 4.3** Manipulated and Process variables for reference control structure of HDA Process.....57

**Table 4.4** Manipulated and Process variables for control structure 1 of HDA Process.....58

**Table 4.5** Manipulated and Process variables for control structure 2 of HDA Process.....59

**Table 4.6** Static gain matrix for reference control structure .....60

**Table 4.7** Static gain matrix for alternative control structure 1.....61

**Table 4.8** Static gain matrix for alternative control structure 2.....61

**Table 4.9** Steady-state RGA for reference control structure .....62

**Table 4.10** Steady-state RGA for alternative control structure 1.....63

**Table 4.11** Steady-state RGA for alternative control structure 2.....63

# LIST OF FIGURES

PAGE

**Figure 3.1** Loop Interactions for A 2 x 2 System.....26

**Figure 3.2** Decentralized Diagonal Control of A 2 x 2 Plant.....39

**Figure 4.1** HDA process.....49

**Figure 4.2** Flowsheet of simulated HDA process by HYSYS.PLANT.....52

**Figure 4.3** Flowsheet of simulated HDA process at dynamics mode and adding controller.....54

**Figure 4.4** Responses of process variable to a step change in Reactor Inlet Temp. from 1150 to 1151 °F.....55

**Figure 4.5** Flowsheet of the HDA process with the 7x7 reference control structure.....57

**Figure 4.6** Flowsheet of the HDA process with the 7x7 control structure1.....58

**Figure 4.7** Flowsheet of the HDA process with the 7x7 control structure2.....59

**Figure 4.8 a)** Dynamic response of the controlled variables after a step change in flow of $FF_{H2}$. for reference control structure .....64

**Figure 4.8 b)** Dynamic response of the controlled variables after a step change in flow of $FF_{H2}$. for alternative control structure 1 .....65

**Figure 4.8 c)** Dynamic response of the controlled variables after a step change in flow of $FF_{H2}$. for alternative control structure 2 .....65

**Figure 4.9 a)** Dynamic response of the controlled variables after a step change in flow of $FF_{tol}$. for reference control structure .....66

**Figure 4.9 b)** Dynamic response of the controlled variables after a step change in flow of $FF_{tol}$. for alternative control structure 1 .....66

**Figure 4.9 c)** Dynamic response of the controlled variables after a step change in flow of $FF_{tol}$. for alternative control structure 2, .....67

**Figure 4.10 a)** Dynamic response of the controlled variables after a step change in flow of Fquench. for reference control structure .....68

**Figure 4.10 b)** Dynamic response of the controlled variables after a step change in flow of Fquench. for alternative control structure 1.....68

**Figure 4.10 c)** Dynamic response of the controlled variables after a step change in flow of Fquench. for alternative control structure 2.....69

# LIST OF FIGURES (Continue)

PAGE

**Figure 4.11 a)** Dynamic response of the controlled variables after a step change in duty of cooling1 for reference control structure ..... .....70

**Figure 4.11 b)** Dynamic response of the controlled variables after a step change in duty of cooling1 for alternative control structure 1... .....70

**Figure 4.11 c)** Dynamic response of the controlled variables after a step change in duty of cooling1 for alternative control structure 2, b). .....71

**Figure 4.12 a)** Dynamic response of the controlled variables after a step change in flow of purge stream for reference control structure .....72

**Figure 4.12 b)** Dynamic response of the controlled variables after a step change in flow of purge stream for alternative control structure 1... .....72

**Figure 4.12 c)** Dynamic response of the controlled variables after a step change in flow of purge stream for alternative control structure 2... .....73

**Figure 4.13** RGA number versus frequency for reference control structure.....75

**Figure 4.14** RGA number versus frequency for alternative control structure1.....75

**Figure 4.15** RGA number versus frequency for alternative control structure 2.....76

**Figure 4.16** RGA number of $FF_{H2}$-Sep.Press. loop of three control structures.....76

**Figure 4.17** RGA number of $F_{tot\text{-}tol}$-$F_{tot\text{-}tol}$ for reference control structures and $FF_{tol}$-$F_{tot\text{-}tol}$. loop of two alternative control structures ..... .....77

**Figure 4.18** RGA number of $Q_{fuel}$-$T_{reactor\text{-}inlet}$ loop of three control structures.....77

**Figure 4.19** RGA number of $F_{quench}$-$T_{hot\text{-}in}$. loop for reference control structures and alternative control structures1, $Q_{cooling2}$-$T_{hot\text{-}in}$ loop for alternative control structure2.....78

**Figure 4.20** RGA number of Qcooling-Sep.Temp. loop of three control structures...78

**Figure 4.21** RGA number of $F_{Hto\text{-}column}$-Sep.Level. loop of three control structures...79

**Figure 4.22** RGA number of Fpurge-Methane in recycle gas. loop of three control structures.....79

**Figure 4.23** Performance relative gain array elements for the effect of a reference change on the outputs for reference control structure. .....81

# LIST OF FIGURES (Continue)

PAGE

**Figure 4.24** Performance relative gain array elements for the effect of a reference change on the outputs for alternative control structure1. .....81

**Figure 4.25** Performance relative gain array elements for the effect of a reference change on the outputs for alternative control structure2. .....82

**Figure 4.26** Close-loop disturbance gains for the pressure disturbance $P_{FFH2}$ on output of reference control stucture. .....83

**Figure 4.27** Close-loop disturbance gains for the pressure disturbance $P_{FFH2}$ on output of alternative control stucture1. .....83

**Figure 4.28** Close-loop disturbance gains for the pressure disturbance $P_{FFH2}$ on output of alternative control stucture2. .....84

**Figure 4.29** Close-loop disturbance gains for the temperature disturbance $T_{FFtoluene}$ on output of reference control stucture. .....84

**Figure 4.30** Close-loop disturbance gains for the temperature disturbance $T_{FFtoluene}$ on output of alternative control stucture1. .....85

**Figure 4.31** Close-loop disturbance gains for the temperature disturbance $T_{FFtoluene}$ on output of alternative control stucture2. .....85