

ผลกระทบของเบ็ดเสร็จเชิงความร้อนต่อสมรรถนะการควบคุมของกระบวนการไฮโดรดีอัลکیلเลชั่น



นาย คมสวรรค์ จันตะยอด

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาดำเนินการตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2548

ISBN 974-14-2092-7

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

199218519

1 3 0.8. 2548

EFFECTS OF HEAT INTEGRATION ON CONTROL PERFORMANCE OF
HYDRODEALKYLATION PROCESS

Mr. Komsun Chantayoad

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

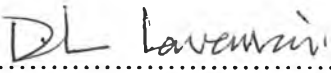
Chulalongkorn University

Academic Year 2005

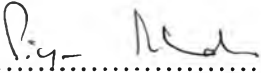
ISBN 974-14-2092-7

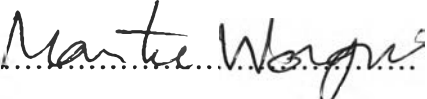
Thesis Title EFFECTS OF HEAT INTEGRATION ON CONTROL
PERFORMANCE OF HYDRODEALKYLATION PROCESS
By Mr. Komsun Chantayoad
Field of Study Chemical Engineering
Thesis Advisor Assistant Professor Montree Wongsri, D.Sc.


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

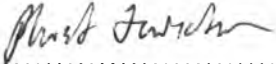

..... Dean of the Faculty of Engineering
(Professor Direk Lavansiri, Ph. D.)

THESIS COMMITTEE


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


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


..... Member
(Amornchai Arpornwichanop, D.Eng)


..... Member
(Phisit Jaisathaporn, Ph. D.)

คมสรรค จันดียะอด : ผลกระทบของเบ็ดเสร็จเชิงความร้อนต่อสมรรถนะการควบคุมของ
กระบวนการไฮโดรดีอัลคิลเลชัน (EFFECTS OF HEAT INTEGRATION ON
CONTROL PERFORMANCE OF HYDRODEALKYLATION PROCESS)
อ. ที่ปรึกษา: ผศ. ดร. มนตรี วงศ์ศรี, 142หน้า. ISBN 974-14-2092-7.

โรงงานไฮโดรดีอัลคิลเลชันที่มีแผนเบ็ดเสร็จเชิงพลังงานแตกต่างกันเป็นกระบวนการทาง
เคมีที่มีความซับซ้อน ด้วยเหตุที่ขบวนการเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนหกรูปแบบสามารถปรับปรุงโดย
นำสายป้อนกลับและเบ็ดเสร็จเชิงพลังงานสู่กระบวนการ แต่อย่างไรนำสายป้อนกลับและเบ็ดเสร็จเชิง
พลังงานสู่กระบวนการเป็นสาเหตุให้สมรรถนะการควบคุมต่ำลง ดังนั้นในงานนี้เสนอโครงสร้าง
การควบคุมแบบแบบแพลนไวด์สาม โครงสร้างสำหรับกระบวนการที่มีแผนเบ็ดเสร็จเชิงพลังงาน
แตกต่างกันสามรูปแบบ (รูปแบบที่ 1, 2 และ 5) ในการแสดงพฤติกรรมเชิงพลวัตของการออกแบบ
โครงสร้างควบคุมแบบแพลนไวด์ในโรงงานไฮโดรดีอัลคิลเลชัน โดยสร้างการรบกวนภาระทาง
ความร้อนของกระแสและเปลี่ยนอัตราการไหลของทอลูอินแปรใช้ใหม่ โดยมีโครงสร้างการ
ควบคุมสามโครงสร้างได้ถูกทดสอบและเปรียบเทียบ โครงสร้างการควบคุมที่ 1 ได้แก้ไขโครงสร้าง
การควบคุมของลูเบนโดยใช้การควบคุมโดยใช้ตำแหน่งของวาล์ว (Valve Position Control) ในการ
ควบคุมอุณหภูมิในคอลัมน์ โครงสร้างการควบคุมที่ 2 ได้แก้ไขโครงสร้างการควบคุมที่ 1 โดยใช้
หน่วยหล่อเย็น (Cooling Unit) ในการควบคุมอุณหภูมิขาออกจากถังปฏิกรณ์แทนการใช้กระแสภายใน
กระบวนการ ส่วนโครงสร้างการควบคุมที่ 3 นำโครงสร้างการควบคุมที่ 2 มาเพิ่มวงควบคุมแบบ
สัดส่วน โดยควบคุมสัดส่วนสารไฮโดรเจนต่อทอลูอินในกระบวนการให้มีค่าคงที่ ผลการศึกษาแสดง
ว่าโครงสร้างการควบคุมที่ 3 สามารถปฏิเสธรบกวนได้มากกว่าและเร็วกว่าโครงสร้างการควบคุม
อื่น แต่อย่างไรก็ตามโครงสร้างการควบคุมที่ 1 ใช้พลังงานน้อยกว่าโครงสร้างการควบคุมที่ 2 และ
โครงสร้างการควบคุมที่ 3 กระบวนการไฮโดรดีอัลคิลเลชันรูปแบบที่ 5 ให้การตอบสนองที่สุดเมื่อ
เปรียบเทียบกับรูปแบบอื่นโดยบังชี้จากค่าความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ ดังนั้นในงานวิจัยนี้สามารถสรุป
ได้ว่ารูปแบบพลังงานเบ็ดเสร็จที่ซับซ้อนทำให้สมรรถนะทางพลวัตแย่งลง

ภาควิชา.....วิศวกรรมเคมี.....ลายมือชื่อนิสิต.....*คุณรงค์ จันดียะอด*
สาขาวิชา.....วิศวกรรมเคมี.....ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....*Dr.*
ปีการศึกษา.....2548

4670238221 : MAJOR CHEMICAL ENGINEERING

KEY WORD: HDA / PLANTWIDE / CONTROL STRUCTURE DESIGN / HEAT INTEGRATED PROCESS / VALVE POSTION CONTROL

KOMSUN CHANTAYOAD: EFFECTS OF HEAT INTEGRATION ON CONTROL PERFORMANCE OF HYDRODEALKYLATION PROCESS
THESIS ADVISOR: ASST. PROF. MONTREE WONGSRI, D.Sc., 142 pp.
ISBN 974-14-2092-7.

Hydrodealkylation (HDA) plant with different energy integration schemes is a realistically complex chemical process, since six heat exchanger network alternative can be improved by introducing recycle streams and energy integration into the process. However, the recycle streams and energy integration introduce are the causes of a low level of control performance. Therefore, this work presents three plantwide control structures for three different energy integration schemes (alternative 1, 2, and 5). In order to illustrate the dynamic behaviors of the control structures in HDA plant change in the heat load disturbance of cold stream and change in the recycle toluene flowrates were made. Three control structures have been tested and compared, the first control structure is a modification of Luyben control structure using valve position control concept to control temperature of column. The second control structure was the modification of the first control structure by adding a cooling unit to control the outlet temperature from reactor, instead of using internal process flow. In the third control structure, a ratio control was added to the second control structure for controlling the ratio of hydrogen and toluene within the process. The result shows the third control structure gives a smaller settling time and can reject disturbances better than other control structures. However, the utility consumption of the first control structure is less than thoses of the second and the third control structures. HDA process alternative 5 give the slowest response compare with other alternatives indicated by the IAE values. It can be concluded from this research that the implementation of complex energy integration to the process deteriorates the dynamic performance of the process.

Department..... Chemical Engineering..... Student's signature..... KOMSUN CHANTA YOAD
Field of study..... Chemical Engineering..... Advisor's signature..... Montree Wongsri
Academic year 2005

ACKNOWLEDGEMENTS

The author would like to thank and express his sincere gratitude to Assistant Professor Montree Wongsri, thesis advisor, for his valuable suggestions, encouraging guidance and genius supervision throughout his master program. He is grateful to Professor Piyasan Praserttham, chairman of thesis committee, Dr. Amornchai Arpornwichanop and Dr. Phisit Jaisathapornand members of thesis committees for many valuable suggestions.

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

Most of all, he would like to express the highest gratitude to 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
CONTENTS.....	vii
LIST OF TABLES.....	xi
LIST OF FIGURES.....	xii
NOMENCLATURE.....	xv
 CHAPTER	
I INTRODUCTION.....	1
1.1 Importance and Reasons for Research.....	1
1.2 Research Objectives.....	2
1.3 Scope of Research.....	2
1.4 Procedure Plan.....	2
 II LITERATURE REVIEW.....	 5
2.1 A Hierarchical Approach to Conceptual Design.....	5
2.2 Heat Exchanger Network (HEN).....	7
2.3 Design and Control of Energy-Integrated Plants.....	10
 III PLANTWIDE CONTROL FUNDAMENTALS.....	 14
3.1 Incentives for Chemical Process Control.....	14
3.1.1 Suppressing the Influence of External Disturbances.....	14
3.1.2 Ensuring the Stability of a Chemical Process.....	15
3.1.3 Optimizing the Performance of a Chemical Process.....	15
3.2 Integrated Processes.....	15
3.2.1 Material recycles.....	16

CHAPTER	page
3.2.2 Energy integration	17
3.2.3 Chemical component inventories	17
3.3 Effects of Recycle	18
3.4 Basic Concepts of Plantwide Control.....	18
3.4.1 Buckley Basic	18
3.4.2 Douglas doctrines	19
3.4.3 Downs drill.....	19
3.4.4 Luyben laws.....	20
3.4.5 Richardson rule.....	21
3.4.6 Shinskey schemes.....	21
3.4.7 Tyreus tuning.....	21
3.5 Step of Plantwide Process Control Design Procedure.....	22
3.6 Plantwide Energy Management.....	25
3.6.1 Heat Exchanger Dynamics.....	26
3.6.2 Heat pathways.....	27
3.6.3 Heat recovery.....	28
3.7 Control of process-to-process exchanger.....	29
3.7.1 Use of auxiliary utility exchangers.....	29
3.7.2 Use of Bypass Control.....	30
3.8 Valve Position Control.....	31
 IV HYDRODEALKYLATION PROCESS.....	 34
4.1 Process Description.....	34
4.2 Hydrodealkylation Process Alternatives.....	36
4.3 Steady-State Modeling.....	39
4.3.1 Steady State Simulation of HDA Process Alternative 1	40
4.3.2 Steady State Simulation of HDA Process Alternative 2 and 5.....	41
4.4 Plantwide control design procedure.....	45
4.5 Design of plantwide control structure.....	51
4.5.1 Design of control structure (CS1).....	51

CHAPTER	page
4.5.2 Design of control structure 2 (CS2).....	51
4.5.3 Design of Design of control structure 3 (CS3).....	52
4.6 Dynamic simulation results.....	62
4.6.1 Change in the heat load disturbance of cold stream for HDA plant alternative 1.....	62
4.6.2 Change in the heat load disturbance of cold stream for HDA plant alternative 2 and 5.....	65
4.6.3 Change in the recycle toluene flowrates for HDA plant alternative 1.....	71
4.6.4 Change in the recycle toluene flowrates for HDA plant alternative 2 and 5.....	74
4.7 Evaluation of the dynamic performance.....	80
4.7.1 Evaluation of the dynamic performance for CS1 control structure case.....	81
4.7.2 Evaluation of the dynamic performance for CS2 control structure case.....	82
4.7.3 Evaluation of the dynamic performance for CS3 control structure case.....	83
4.8 Economic analysis for HDA process.....	86
V CONCLUSIONS AND RECOMMENDATIONS.....	90
5.1 Conclusion.....	90
5.1.1 Steady State Simulation Results of HDA process.....	90
5.1.2 Dynamic Simulation Results of HDA process.....	91
5.1.3 Evaluation of the dynamic performance.....	91
5.1.4 Economic analysis for HDA process.....	92
5.2 Recommendations.....	93
REFERENCES.....	94
APPENDICES.....	98
Appendix A.....	99
Appendix B.....	123

CHAPTER	page
Appendix C.....	130
Appendix D.....	133
VITA.....	142

LIST OF TABLES

		page
Table 4.1	Energy integration for HDA process.....	38
Table 4.2	Component Material Balance.....	50
Table 4.3a	The IAE results of the CS1 control structure to a change in the disturbance load of cold stream (reactor feed stream)...	81
Table 4.3b	The IAE results of the CS1 control structure to a change the total toluene feed flowrates.....	82
Table 4.4a	The IAE results of the CS2 control structure to a change in the disturbance load of cold stream (reactor feed stream)...	83
Table 4.4b	The IAE results of the CS2 control structure to a change the total toluene feed flowrates.....	83
Table 4.5a	The IAE results of the CS3 control structure to a change in the disturbance load of cold stream (reactor feed stream)...	84
Table 4.5b	The IAE results of the CS3 control structure to a change the total toluene feed flowrates.....	85
Table 4.6	Results of capital cost estimation for HDA process with different energy integration schemes.....	87
Table A.1.1	Process data of HDA plant alternative 1.....	99
Table A.1.2	Energy stream data of HDA plant alternative 1.....	104
Table A.2.1	Process data of HDA plant alternative 2.....	105
Table A.2.2	Energy stream data of HDA plant alternative 2.....	112
Table A.5.1	Process data of HDA plant alternative 5.....	113
Table A.6.1	Energy stream data of HDA plant alternative 5.....	122
Table B.1	Column specification HDA plant alternative 1.....	123
Table B.2	PFR specification HDA plant alternative 1.....	124
Table B.3	Heat exchanger specification HDA plant alternative 1.....	124
Table B.4	Separator specification HDA plant alternative 1.....	125
Table B.5	Furnace and Heater specification HDA plant alternative 1....	125
Table B.6	Cooler specification HDA plant alternative 1.....	125
Table B.7	Valve specification HDA plant alternative 1.....	126
Table B.8	Parameter tuning of HDA plant alternative 1.....	127

LIST OF FIGURES

		page
Figure 3.1	Heat pathways.....	28
Figure 3.2	Control of P/P heat exchangers.....	29
Figure 3.3	Bypass control of process-to-process heat exchangers.....	31
Figure 3.4	Use of VPC to minimize energy cost.....	33
Figure 4.1	Hydrodealkylation HDA of toluene process (alternative 1).....	35
Figure 4.2	HDA process -alternative 1.....	36
Figure 4.3	HDA process -alternative 2.....	36
Figure 4.4	HDA process -alternative 3.....	37
Figure 4.5	HDA process -alternative 4.....	37
Figure 4.6	HDA process -alternative 5.....	38
Figure 4.7	The simulated HDA process alternative 1 at steady-state by HYSYS.....	42
Figure 4.8	The simulated HDA process alternative 2 at steady-state by HYSYS.....	43
Figure 4.9	The simulated HDA process alternative 5 at steady-state by HYSYS.....	44
Figure 4.10	Application of control structure 1 to HDA plant alternative 1...	53
Figure 4.11	Application of control structure 1 to HDA plant alternative 2...	54
Figure 4.12	Application of control structure 1 to HDA plant alternative 5...	55
Figure 4.13	Application of control structure 2 to HDA plant alternative 1...	56
Figure 4.14	Application of control structure 2 to HDA plant alternative 2...	57
Figure 4.15	Application of control structure 2 to HDA plant alternative 5...	58
Figure 4.16	Application of control structure 3 to HDA plant alternative 1...	59
Figure 4.17	Application of control structure 3 to HDA plant alternative 2...	60
Figure 4.18	Application of control structure 3 to HDA plant alternative 5...	61
Figure 4.19	Dynamic responses of the HDA plant alternative 1 to a change in the heat load disturbance of cold stream (reactor feed stream),.....	63

	page
Figure 4.20 Dynamic responses of the HDA plant alternative 2 to a change in the heat load disturbance of cold stream (reactor feed stream),.....	67
Figure 4.21 Dynamic responses of the HDA plant alternative 5 to a change in the heat load disturbance of cold stream (reactor feed stream),.....	69
Figure 4.22 Dynamic responses of the HDA plant alternative 1 to a change in the recycle toluene flowrates.....	72
Figure 4.23 Dynamic responses of the HDA plant alternative 2 to a change in the recycle toluene flowrates.....	76
Figure 4.24 Dynamic responses of the HDA plant alternative 5 to a change in the recycle toluene flowrates.....	78
Figure 4.25 The IAE results of a change in the disturbance load of cold stream (reactor feed stream).....	85
Figure 4.26 The IAE results of a change the total toluene feed flowrates.	86
Figure 4.27 The utility consumptions (exclude cooler and quench duty) of HDA process when change in the disturbance load of cold stream (reactor feed stream).....	88
Figure 4.28 The utility consumptions of HDA process when change in the disturbance load of cold stream (reactor feed stream).....	88
Figure 4.29 The utility consumptions (exclude cooler and quench duty) of HDA process when change the total toluene feed flowrates.	89
Figure 4.30 The utility consumptions of HDA process when change the total toluene feed flowrates.....	89

NOMENCLATURES

- r_1 reaction rate of hydrodealkylation of toluene reaction
- r_2 reaction rate of side reaction of hydrodealkylation of toluene reaction
- p_T the partial pressure of toluene, psia
- p_H the partial pressure of hydrogen, psia
- p_B the partial pressure of benzene, psia
- p_D the partial pressure of diphenyl, psia
- V_R reactor volume
- T temperature
- P pressure
- CS1 design control structure I
- CS2 design control structure II
- CS3 design control structure III