


การสร้างแบบจำลองข่ายงานนิวรัลและการควบคุมสำหรับกระบวนการอิเธอร์รีฟิเคชันแบบไฮบริด



นายชวสันต์ ศิวรานนท์

ศูนย์วิทยทรัพยากร

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี


คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2548

ISBN 974-53-2864-2

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A NEURAL NETWORK MODELING AND CONTROL FOR ETHERIFICATION HYBRID PROCESS



Mr. Chawat Siwaranon

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Dissertation 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 974-53-2864-2

ชวีสน์ ศิวรานนท์ : การสร้างแบบจำลองข่ายงานนิวรัลและการควบคุมสำหรับกระบวนการอีเธอร์รีฟิเคชันแบบไฮบริด. (A NEURAL NETWORK MODELING AND CONTROL FOR ETHERIFICATION HYBRID PROCESS) อ. ที่ปรึกษา : รศ.ดร.ไพศาล กิตติสุขภกร, 87 หน้า. ISBN 974-53-2864-2.

ในปัจจุบันกระบวนการไฮบริดอีเธอร์รีฟิเคชันได้ถูกปรับปรุงโดยการผสมผสานระหว่างเครื่องปฏิกรณ์กับหน่วยปฏิบัติการแยก ซึ่งทำให้ได้ผลผลิตที่ดีขึ้น แต่ก็ทำให้กระบวนการมีพฤติกรรมที่ซับซ้อนขึ้นเช่นกัน ตัวควบคุมแบบพีไอดี (PID, Proportional Integral Derivative) ซึ่งเป็นตัวควบคุมแบบเชิงเส้นและถูกใช้อย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมกระบวนการเคมีนั้นสามารถควบคุมกระบวนการที่ไม่เป็นเชิงเส้นได้แต่ให้ผลตอบสนองที่ช้า ประสิทธิภาพที่ต่ำ ช่วงปฏิบัติการที่จำกัด และประสิทธิภาพที่ไม่สามารถรับประกันได้ในกรณีที่มีตัวรบกวนและแบบจำลองของกระบวนการมีความผิดพลาด ความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ในปัจจุบันทำให้เทคนิคการควบคุมที่อาศัยข่ายงานนิวรัลประสบความสำเร็จในการใช้ควบคุมระบบที่ซับซ้อนและมีความไม่เป็นเชิงเส้นสูง ในงานวิจัยนี้ข่ายงานนิวรัลได้ถูกใช้เป็นแบบจำลองกระบวนการและตัวควบคุมแบบพีไอ-เอ็นไอเอ็มซี คาสเคด (PI-NIMC Cascade Control, Proportional Integral-Nonlinear Internal Model Cascade Control) ผลการศึกษาระบบจำลองเกี่ยวข้องกับการใช้ตัวควบคุมแบบพีไอ-เอ็นไอเอ็มซีคาสเคดปรับตัวแปรควบคุมให้เข้าสู่ค่าที่ต้องการและการควบคุมกระบวนการที่ถูกรบกวนทั้งในกรณีปกติและกรณีแบบจำลองของกระบวนการมีความผิดพลาดเปรียบเทียบกับตัวควบคุมแบบพีไอดีคาสเคด ผลการศึกษาพบว่าตัวควบคุมแบบพีไอ-เอ็นไอเอ็มซี คาสเคดมีประสิทธิภาพดีกว่าตัวควบคุมแบบพีไอดีคาสเคดในทุกกรณี ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเทคนิคการควบคุมที่อาศัยข่ายงานนิวรัลมีความเหมาะสมในการใช้ควบคุมกระบวนการที่ซับซ้อนและมีความไม่เป็นเชิงเส้นสูงซึ่งควบคุมได้ยาก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา.....วิศวกรรมเคมี.....ลายมือชื่อนิสิต.....ชวีสน์ ศิวรานนท์
สาขาวิชา.....วิศวกรรมเคมี.....ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....ไพศาล กิตติสุขภกร
ปีการศึกษา.....2548

4570277621 : MAJOR CHEMICAL ENGINEERING

KEY WORDS: PROCESS CONTROL / NEURAL NETWORK / INTERNAL MODEL CONTROL/ HYBRID REACTOR

CHAWAT SIWARANON : A NEURAL NETWORK MODELING AND CONTROL FOR ETHERIFICATION HYBRID PROCESS. THESIS ADVISOR : ASSOC. PROF. PAISAN KITTISUPAKORN, 87 pp. ISBN 974-53-2864-2.

The Etherification Processes are recently improved by the hybrid mix of reaction unit and separation unit. The hybrid processes give a better production but also more complex behaviour. The conventional Proportional Integral Derivative (PID) controllers which are widely used in the industrial chemical processes, are the linear controllers, however, able to control the non-linear and complex processes, but give the slow responses, low performances, limited operating ranges and the performances are not guaranteed in cases of disturbance changes and plant-model mismatches. Recently, the Neural Network control techniques have been successfully applied to these highly non-linear and complex systems due to the recent availability of advanced computer technology. In this research, the neural networks are used as a plant model and controller in a Proportional Integral-Nonlinear Internal Model Control (PI-NIMC) cascade strategy. The simulation results involve the use of PI-NIMC cascade control for set point tracking and disturbances rejection in both nominal and plant-model mismatches conditions compared with the conventional PID cascade control. The PI-NIMC cascade control strategy was found to be better than the conventional PID cascade control in all cases. These results justify the use of Neural Network control technique in a highly non-linear and complex process which is difficult to control such as this.

Department.....Chemical Engineering...

Field of study...Chemical Engineering...

Academic year 2005.....

Student's Signature..... *CHAWAT SIWARANON*

Advisor's Signature..... *PAISAN KITTISUPAKORN*

ACKNOWLEDGEMENTS

First of all, I would like to sincerely thank Assoc. Prof. Paisan Kittisupakorn, my thesis advisor, for giving me invaluable guidance, direction and discussion throughout the course of my master degree study, including the research. Furthermore, I am also grateful to Prof. Piyasan Prasertdam, Dr. Montree Wongsri and Dr. Amornchai Apornwichanop for serving as chairman and members of the thesis committee respectively.

During these past years of academic study, special thanks goes to Chulalongkorn University, the Faculty of Engineering and Department of Chemical Engineering, the Founding Father, all members, lecturers, officers and friends for their part in these unforgettable times of my life.

Warmest thanks too to the Control and Systems Engineering Research Centre members, friends, and all those who have encouraged me during these past years of academic study.

My grateful thanks also to all previous researchers for their invaluable work and contributions to this field. Their prior work has allowed me to begin my research from a very advanced position, and indeed, my progress would have been impossible without them. I am just a little researcher sitting on the shoulders of those giants and this research is just a drop of water in the ocean.

Most of all, I would like to express the highest gratitude to my family for their love, inspiration and encouragement throughout this study.

Last but not least, special thanks also to Jennifer Anne Beer, Gaëlle Mathis, Christophe Mathis, Edward Newcome and Emma Haggbring. Their time and work allowed me to dedicate more time and effort to my thesis and spend less time running around! Thank you all very much (merci beaucoup, Tack så väldigt mycket).

CONTENTS

	PAGE
ABSTRACT (IN THAI).....	iv
ABSTRACT (IN ENGLISH).....	v
ACKNOWLEDGEMENTS.....	vi
CONTENTS.....	vii
LIST OF TABLES.....	x
LIST OF FIGURES.....	xi
NOMENCLATURES.....	xiii
CHAPTER	
I. INTRODUCTION.....	1
1.1 Importance and Reason of Research.....	1
1.2 Objectives of Research.....	2
1.3 Scopes of Research.....	2
1.4 Contributions of Research.....	2
1.5 Research Procedures.....	3
1.6 Structure of Thesis.....	4
II. LITERATURE REVIEW.....	5
2.1 Pervaporative Membrane Reactor.....	5
2.2 Neural Network Application in Control Systems.....	7
III. THEORY.....	9
3.1 The ETBE Hybrid Etherification Process.....	9
3.2 Neural Networks for Process Control.....	11
3.2.1 Neuron Model and Network Architectures.....	11
3.2.1.1 Single-Input Neuron.....	11
3.2.1.2 Transfer Functions.....	13
3.2.1.3 Multiple-Input Neuron.....	14
3.2.1.4 A Layer of Neurons.....	15

CHAPTER	PAGE
3.2.1.5 Multiple Layers of Neurons.....	17
3.2.2 Neural Networks Training	19
3.2.2.1 Neural Network Preparations.....	20
3.2.2.2 Backpropagation.....	21
3.2.2.3 Local and Global Minima.....	22
3.2.2.4 Learning with Momentum.....	22
3.2.2.5 The Adaptive Learning Rate.....	23
3.2.2.6 Levenberg-Marquardt Algorithm.....	24
3.2.2.7 Underfitting and Overfitting.....	25
3.2.2.8 Neural Network Performance Improvement.....	25
3.2.3 Neural Network Control Strategies.....	26
IV. THE APPLICATIONS.....	29
4.1 Introduction.....	29
4.2 Hybrid Etherification Process.....	29
4.2.1 White Box Mathematical Model.....	31
4.2.2 Nominal Operating Condition.....	34
4.2.3 Process Analysis.....	35
4.2.3.1 Controlled Variable Selection.....	35
4.2.3.2 Manipulated Variable Selection.....	36
4.3 Neural Network Modeling.....	42
4.3.1 Neural Network Forward Model.....	43
4.3.2 Neural Network Inverse Model.....	47
4.4 Neural Network Control.....	50
4.5 Closed Loop Simulation Result.....	52
4.5.1 Case 1: nominal case.....	52
4.5.2 Case 2: disturbance change, -20% C_{Bin}	54
4.5.3 Case 3: disturbance change, +20% C_{Bin}	57
4.5.4 Case 4: disturbance change, -20K T_F	59
4.5.5 Case 5: disturbance change, -20K T_F	60

	PAGE
CHAPTER	
4.5.6 Case 6: plant-model mismatch, -30% k_1	61
4.5.7 Case 7: plant-model mismatch, +30% k_1	62
4.5.8 Case 8: plant-model mismatch, -30% k_2	63
4.5.9 Case 9: plant-model mismatch, +30% k_2	64
V. DISCUSSION AND CONCLUSION.....	65
5.1 Conclusion.....	65
5.2 Recommendation.....	66
REFERENCES.....	67
APPENDICES	
APPENDIX A. PROPERTIES OF ETBE.....	77
APPENDIX B. FILTERS.....	79
APPENDIX C. BLACK BOX MODELING PERFORMANCE INDEX.....	81
APPENDIX D. CONTROL PERFORMANCE INDICES.....	82
APPENDIX E. UNIFAC METHOD.....	84
VITA.....	87

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

LIST OF TABLES

	PAGE
Table 4.1 Neural Network Forward Model Architectures Comparison.....	46
Table 4.2 Neural Network Inverse Model Architectures Comparison.....	48
Table 4.3 Comparison of using various τ_F in PI-NN.....	56
Table 5.1 IAE and ITAE Values	66
Table E.1 UNIFAC-VLE Subgroup Parameter for all studied components.....	85
Table E.2 UNIFAC-VLE Interaction Parameters, a_{mk} for all studied components, in kelvins.....	85



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

LIST OF FIGURES

	PAGE
Figure 3.1 Single-Input Neuron.....	12
Figure 3.2 Linear Transfer Function.....	13
Figure 3.3 Log-Sigmoid Transfer Function.....	13
Figure 3.4 Multiple-Input Neuron.....	14
Figure 3.5 A Single-Layer Network.....	16
Figure 3.6 Single-Layer Network, the Simpler Configuration.....	16
Figure 3.7 Multiple-Layer Network.....	18
Figure 3.8 The Training Algorithms Configuration.....	20
Figure 3.9 NIMC Topology.....	26
Figure 4.1 Process Schematic Diagram.....	30
Figure 4.2 Process Dynamics Response of C_{Ain} step change -10%.....	37
Figure 4.3 Process Dynamics Response of C_{Ain} step change +10%.....	37
Figure 4.4 Process Dynamics Response of C_{Bin} step change -10%.....	38
Figure 4.5 Process Dynamics Response of C_{Bin} step change +10%.....	38
Figure 4.6 Process Dynamics Response of T_I change -10%.....	39
Figure 4.7 Process Dynamics Response of T_I change +10%.....	39
Figure 4.8 Cascade Control Configuration for Etherification Hybrid Process.....	41
Figure 4.9 NN Forward Model Testing Result [5-5-5-1].....	44
Figure 4.10 NN Forward Model Testing Result [5-9-9-1].....	45
Figure 4.11 Neural Network Forward Model Architecture.....	47
Figure 4.12 Neural Network Inverse Model Architecture.....	49
Figure 4.13 Neural Network Inverse Model performance testing result.....	50
Figure 4.14 PI-NIMC Cascade Topology	50
Figure 4.15 PID Cascade Topology.....	52
Figure 4.16(a) Nominal Case.....	53
Figure 4.16(b) Nominal Case, retuned PID.....	54
Figure 4.17(a) Disturbance Change, -20% C_{Bin} , $\tau_F = 0$ (no filtering).....	55
Figure 4.17(b) Disturbance Change, -20% C_{Bin} , $\tau_F = 70$	55
Figure 4.17(c) Disturbance Change, -20% C_{Bin} , $\tau_F = 140$	56

	PAGE
Figure 4.18(a) Disturbance Change, +20% C_{Bin} , $\tau_F = 0$ (no filtering).....	57
Figure 4.18(b) Disturbance Change, +20% C_{Bin} , $\tau_F = 70$	58
Figure 4.18(c) Disturbance Change, +20% C_{Bin} , $\tau_F = 140$	58
Figure 4.19 Disturbance Change, -20K T_F	59
Figure 4.20 Disturbance Change, +20K T_F	60
Figure 4.21 Plant-Model Mismatch, -30% k_1	61
Figure 4.22 Plant-Model Mismatch, +30% k_1	62
Figure 4.23 Plant-Model Mismatch, -30% k_2	63
Figure 4.24 Plant-Model Mismatch, +30% k_2	64
Figure D.1 Definition of error integrals.....	77



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

NOMENCLATURES

The variables and parameters and their units used in this research are defined as follows:

Variables

C_A	concentration of A [mol/m ³]
C_B	concentration of B [mol/m ³]
C_P	concentration of P [mol/m ³]
C_W	concentration of W [mol/m ³]
F_{Ain}	feed flow rate of A [mol/s]
F_{Bin}	feed flow rate of B [mol/s]
q_j	jacket flow rate [m ³ /s]
t	time [s]
T_F	reactor feed temperature [K]
T_j	jacket temperature [K]
T_{jsp}	jacket temperature set point [K]
T_r	reactor temperature [K]

Parameters

A	membrane permeation area [m ²]
a_i	activity of species i [-]

C_{pi}	heat capacity of species i [m^3/s]
C_{pt}	total heat capacity [$\text{J}/(\text{mol K})$]
F_v	reactor flow rate [m^3/s]
k_i	rate constants of reaction i [$\text{mol}/(\text{kg s})$]
K_i	equilibrium constants of reaction i [-]
K_w	water inhibition parameter [-]
M_t	total mole number [mol]
P_i	permeability coefficient of species i [$\text{mol}(\text{m}^2/\text{s})$]
r_i	rate of reaction i [$\text{mol}/(\text{kg s})$]
UA	overall heat transfer coefficient [$\text{J}/(\text{s K})$]
V	reactor volume [m^3]
V_j	jacket volume [m^3]
W	catalyst weight [kg]
x_i	mole fraction of species i [-]
γ_i	activity coefficient of species i [-]

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย