

การใช้ช่างงานนิรวัลในการควบคุมเครื่องปฏิกรณ์เพอร์เวเพอเรทีฟเมมเบรน



นางสาวปิยนุช จิตติยสุข

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2547

ISBN 974-17-6022-1

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5 ต.ค. 2548

1 21652582

USE OF NEURAL NETWORKS FOR THE CONTROL OF PERVAPORATIVE MEMBRANE REACTOR

Miss Piyanuch Thitiyasook

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 2004

ISBN 974-17-6022-1

Thesis Title USE OF NEURAL NETWORKS FOR THE CONTROL OF
PERVAPORATIVE MEMBRANE REACTOR

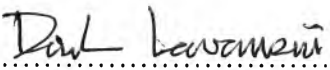
By Miss Piyanuch Thitiyasook

Field of study Chemical Engineering

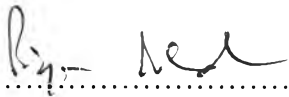
Thesis Advisor Associate Professor Paisan Kittisupakorn, Ph.D.

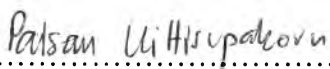
Thesis Co-advisor Mr. Soontorn Tippayaratsoontorn

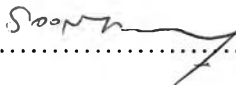
Accepted by the Faculty of Engineering, Chulalongkorn University in
Partial Fulfillment of the Requirements for the Master's Degree

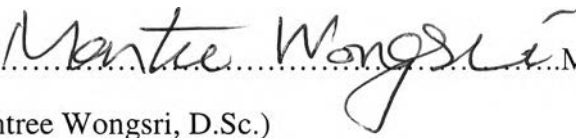
.....Dean of the Faculty of Engineering
(Professor Direk Lavansiri, Ph.D.)


THESIS COMMITTEE

.....Chairman
(Professor Piyasan Praserttham, Ph.D.)

.....Thesis Advisor
(Associate Professor Paisan Kittisupakorn, Ph.D.)

.....Thesis Co-advisor
(Soontorn Tippayaratsoontorn)

.....Member
(Montree Wongsri, D.Sc.)

.....Member
(Suphot Phatanasri, D.Eng.)

ปัญหา จิตติสุข : การใช้ข่ายงานนิวรัลในการควบคุมเครื่องปฏิกรณ์เพอร์เวเพอเรทีฟเมมเบรน
(USE OF NEURAL NETWORKS FOR THE CONTROL OF PERVAPORATIVE MEMBRANE
REACTOR)

อ. ที่ปรึกษา : รศ. ดร. ไพศาล กิตติศุภกร, อ. ที่ปรึกษาร่วม : นายสุนทร ทิพยรัตน์สุนทร,
จำนวนหน้า 146 หน้า ISBN 974-17-6022-1.

เครื่องปฏิกรณ์ที่ประกอบส่วนกระบวนการแยกได้มีการนำเสนอและศึกษาอย่างกว้างขวาง
ทั้งนี้เพื่อช่วยในเพิ่มผลผลิตของสารเคมีที่มีมูลค่าเพิ่มสูง ตัวอย่างหนึ่งของกระบวนการที่กล่าวข้างต้นคือ
เครื่องปฏิกรณ์เพอร์เวเพอเรทีฟเมมเบรน ซึ่งเป็นกระบวนการที่ประกอบส่วนระหว่างเครื่องปฏิกรณ์ และ
ส่วนเพอร์เวเพอเรชัน ในการเพิ่มเติมส่วนเพอร์เวเพอเรชันเพื่อปรับเลื่อนสมดุลทางเคมีของปฏิกิริยาเอส
เทอร์ริฟิเคชัน โดยทำให้ปฏิกิริยาเกิดไปข้างหน้าได้มากขึ้น อันเนื่องมาจากการแยกน้ำออกจากของผสม
ในปฏิกิริยา ดังนั้นผลิตภัณฑ์ที่ต้องการจึงมากขึ้นด้วย นอกจากนี้อุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์ยังเป็นอีก
ปัจจัยหนึ่งในการกำหนดอัตราการเกิดปฏิกิริยา ในงานวิจัยนี้ ได้มีการออกแบบข่ายงานนิวรัลเพื่อใช้ใน
การควบคุมอุณหภูมิของปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชัน รวมถึงการออกแบบข่ายงานนิวรัล
เป็นตัวประมาณค่าเพื่อใช้ในการประมาณค่าความร้อนที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชัน โดยที่
สมรรถนะของตัวควบคุมที่ออกแบบได้นั้นจะประเมินทั้งกรณีภาวะปกติ และภาวะที่มีความผิดพลาด
ของแบบจำลอง / ค่าพารามิเตอร์ของกระบวนการ อีกทั้งสมรรถนะของตัวควบคุมข่ายงานนิวรัลที่ได้ยัง
นำไปเปรียบเทียบกับตัวควบคุมแบบเจเนอริก โมเดลที่มีตัวกรองกาลมาน ซึ่งพบว่าตัวควบคุมแบบข่าย
งานนิวรัลสามารถควบคุมอุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์ ได้ทั้งในกรณีภาวะปกติ และ กรณีที่มีความผิด
พลาดของแบบจำลอง / ค่าพารามิเตอร์ของกระบวนการ และมีสมรรถนะเทียบเท่ากับตัวควบคุมแบบเจ
เนอริก โมเดลที่มีตัวกรองกาลมาน ดังนั้นตัวควบคุมแบบข่ายงานนิวรัลที่มีตัวประมาณค่าซึ่งพัฒนาจาก
ข่ายงานนิวรัลจะสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการควบคุมเครื่องปฏิกรณ์เพอร์เวเพอเรชัน ได้โดยไม่ต้อง
อาศัยแบบจำลองของกระบวนการ ซึ่งเป็นข้อได้เปรียบของตัวควบคุมแบบข่ายงานนิวรัลที่มีตัวประมาณ
ค่าซึ่งพัฒนาจากข่ายงานนิวรัลที่เหนือกว่าการควบคุมแบบเจเนอริก โมเดลที่มีตัวกรองกาลมาน

ภาควิชา	..วิศวกรรมเคมี	ลายมือชื่อนิสิต	
สาขาวิชา	วิศวกรรมเคมี	...	ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา	.2547	..	ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

4471431021 : MAJOR CHEMICAL ENGINEERING

KEY WORD : MEMBRANE REACTOR / PERVAPORATION / INVERSE MODELS / NEURAL NETWORKS / CONTROL

PIYANUCH THITIYASOOK : THESIS TITLE. (USE OF NEURAL NETWORKS FOR THE CONTROL OF PERVAPORATIVE MEMBRANE REACTOR) THESIS ADVISOR : ASSOC. PROF. PAISAN KITTISUPAKORN, THESIS COADVISOR : SOONTORN TIPPAYARATSOONTORN, 146 pp. ISBN 974-17-6022-1.

A reactor integrated with separation process has been widely proposed and studied to enhance the production of high value added chemicals. An example of such a process is a pervaporative membrane reactor which is the combination of a reactor and a pervaporation part. The inclusive of a pervaporation can shift the chemical equilibrium of esterification by passing water out of reaction mixture and therefore increase the yield of a desired product. In addition, the temperature of the reactor is one of key factors to define the rate of reactions involved. In this work, a neural network inverse models based control (NIMC) has been designed to control an optimal temperature of a pervaporation membrane reactor. Furthermore, a neural network estimator (NNE) has been incorporated to the strategy as an estimator to estimate the amount of heat released of an esterification reaction. The performance of the designed controller has been evaluated in both nominal and plant/model mismatch cases, and compared with GMC coupled with the Kalman Filter. Simulation study has shown that the NIMC with the NNE can successfully control the reactor temperature at a desired set point in nominal cases and plant/model mismatches. The performance of the NIMC with the NNE is equivalent to that of the GMC coupled with the Kalman Filter. As a result, the NIMC with the NNE is applicable to control the pervaporative membrane reactor without first principle models of the reactor is available. This shows the advantage of the NIMC with NNE over the GMC with the Kalman filter.

Department .Chemical Engineering	Student's signature
Field of Chemical Engineering	Advisor's signature ..
Academic year 2004	Co-advisor's signature ..

ACKNOWLEDGEMENTS

I would like to sincerely thank Assoc. Prof. Paisan Kittisupakorn, my thesis advisor, for giving me the valuable guidance, direction and discussion throughout the course of Master degree study including this research. Furthermore, I am also grateful to Prof. Piyasan Praserttham, Dr. Montree Wongsri, Dr. Suphot Phatanasri and my thesis co-advisor, Mr. Soontorn Tipayaratsontorn for serving as chairman and member of thesis committees, respectively.

Many thanks to process control laboratory members, friends, and all those who encouraged me over the year of studying.

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

CONTENT

	PAGE
Abstract in Thai	iv
Abstract in English	v
Acknowledgements	vi
List of Tables	ix
List of Figures	x
Chapter I Introduction	1
1.1 Research Objective	2
1.2 Scope of Research	2
1.3 Contribution of Research	3
1.4 Activity plan	4
Chapter II Literature Review	6
2.1 Pervaporative membrane reactor	6
2.2 Neural networks	12
Chapter III Pervaporation Separation Process	28
3.1 Pervaporation for Separation	30
3.2 Membrane	35
3.3 Pervaporative Membrane Reactor	39
Chapter IV Neural Network Fundamentals	44
4.1 Biological neural networks	44
4.2 Basic artificial neural network	47
4.3 Neural network design	73

CONTENT (continued)

	PAGE
4.4 Application of artificial neural network	78
Chapter V Pervaporative membrane reactor	88
5.1 Mathematical model	89
5.2 Neural networks in state estimation	94
5.3 Neural network based control	96
5.4 Control and estimation implementation result	101
Chapter VI Conclusion and Recommendation	121
References	124
Appendices	
Appendix A Neural Network Toolbox	130
Appendix B Backpropagation Algorithm	141
Vita	146

LIST OF TABLE

	PAGE
Table 5.1 Process parameter values and initial condition	93
Table 5.2 SSE of neural network based estimator for heat release of reaction	95
Table 5.3 SSE of neural network inverse model	98
Table 5.4 The IAE and ISE comparison of Neural network based controller, GMC with Kalman filter	105

LIST OF FIGURES

		PAGE
Figure 3.1	Schematic diagram of the pervaporation process.....	29
Figure 3.2	Schematic representation of the pervaporation transport mechanism: solution-diffusion model.	35
Figure 3.3	Schematic of a typical pervaporative membrane reactor	40
Figure 3.4	Configuration of a pervaporation reactor with an internal pervaporation unit	41
Figure 4.1	Components of neural	45
Figure 4.2	Architecture of a McCulloch-Pitts neuron y	46
Figure 4.3	Nonlinear model of artificial neuron	48
Figure 4.4	Sample transfer functions	52
Figure 4.5	General structure of feedforward network with one hidden layer	56
Figure 4.6	Basic structure of neural network weighted connection	57
Figure 4.7	Learning method; unsupervised and supervised learning	59
Figure 4.8	a) Supervised learning b) Unsupervised learning	61

LIST OF FIGURES (continued)

		PAGE
Figure 4.9	Delta learning rule	64
Figure 4.10	Multilayer feedforward network	67
Figure 4.11	Forward flow of information or data (arrows) and backward flow of error (dash line) in a backpropagation type of neural network	71
Figure 4.12	Basic step-neural network design	77
Figure 4.13	General model of the system identification process	78
Figure 4.14	Identification	80
Figure 4.15	System for inverse identification	83
Figure 4.16	Supervised control	84
Figure 4.17	Direct inverse control	85
Figure 4.18	Structure for model reference	86
Figure 4.19	Structure for internal model control	87
Figure 5.1	Pervaporative membrane reactor	88
Figure 5.2	Neural network based estimator	97
Figure 5.3	Neural network based controller for esterification	100

LIST OF FIGURES (continued)

		PAGE
Figure 5.4	Neural network inverse-model-based control strategy	100
Figure 5.5	Open-loop of pervaporative membrane reactor	102
Figure 5.6	Concentration profile	103
Figure 5.7	Estimates of heat released for nominal case.	107
Figure 5.8	Estimates of heat released in plant/model mismatch , + 30 % k_1	107
Figure 5.9	Estimates of heat released in plant/model mismatch , - 30 % k_2	108
Figure 5.10	Estimates of heat released in plant/model mismatch , - 30 % k_1	108
Figure 5.11	Estimates of heat released in plant/model mismatch , + 30 % k_2	109
Figure 5.12	Estimates of heat released in plant/model mismatch , + 30 % k_1 , +30 % k_2	109
Figure 5.13	Estimates of heat released in plant/model mismatch , + 30% ΔH	110

LIST OF FIGURES (continued)

		PAGE
Figure 5.14	Estimates of heat released in plant/model mismatch , + 30% U	110
Figure 5.15	Estimates of heat released in plant/model mismatch , - 30% U	111
Figure 5.16	Estimates of heat released in plant/model mismatch , -30% k_1, k_2 , +30% , - 30% U	111
Figure 5.17	Response of pervaporative membrane reactor for nominal case..... (NN)	112
Figure 5.18	Response of pervaporative membrane reactor for nominal case... (GMC)	112
Figure 5.19	Response of pervaporative membrane reactor in plant/model mismatch , +30% k_1 (NN)	113
Figure 5.20	Response of pervaporative membrane reactor in plant/model..... mismatch , +30% k_1 (GMC)	113
Figure 5.21	Response of pervaporative membrane reactor in plant/model mismatch , -30% k_2 (NN)	114
Figure 5.22	Response of pervaporative membrane reactor in plant/model mismatch , -30% k_2 (GMC)	114

LIST OF FIGURES (continued)

		PAGE
Figure 5.23	Response of pervaporative membrane reactor in plant/model mismatch , -30% k_1 (NN)	115
Figure 5.24	Response of pervaporative membrane reactor in plant/model mismatch, , +30% k_2 (NN)	115
Figure 5.25	Response of pervaporative membrane reactor in plant/model..... mismatch , +30% k_1 , +30% k_2 (NN)	116
Figure 5.26	Response of pervaporative membrane reactor in plant/model..... mismatch , +30% k_1 , +30% k_2 (GMC)	116
Figure 5.27	Response of pervaporative membrane reactor in plant/model mismatch , +30% ΔH (NN)	117
Figure 5.28	Response of pervaporative membrane reactor in plant/model..... mismatch , +30% ΔH (GMC)	117
Figure 5.29	Response of pervaporative membrane reactor in plant/model..... mismatch , +30% U (NN)	118
Figure 5.30	Response of pervaporative membrane reactor in plant/model mismatch , +30% U (GMC)	118

LIST OF FIGURES (continued)

	PAGE
Figure 5.31 Response of pervaporative membrane reactor in plant/model mismatch , -30% U (NN)	119
Figure 5.32 Response of pervaporative membrane reactor in plant/model mismatch , -30% U (GMC)	119
Figure 5.33 Response of pervaporative membrane reactor in plant/model..... mismatch , -30% k_1, k_2 and +30% $\Delta H, U$ (NN)	120
Figure 5.34 Response of pervaporative membrane reactor in plant/model..... mismatch , -30% k_1, k_2 and +30% $\Delta H, U$ (GMC)	120