

การประยุกต์ใช้การควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟร่วมกับคาลมานฟิลเตอร์
สำหรับเครื่องปฏิกรณ์แยกกัมมันตภาพรังสีแบบต่อเนื่อง

นาย สมบูรณ์ พัฒนาวิจิตร

ศูนย์วิทยพัทยากร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี


คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2545

ISBN 974-17-2262-1

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

APPLICATION OF MODEL PREDICTIVE CONTROL WITH KALMAN FILTER
FOR CONTINUOUS HYDRO-DESULPHURISATION PROCESS



Mr. Somboon Pattanawijit

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

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 2002

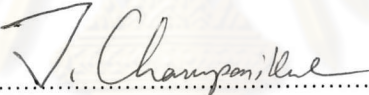
ISBN 974-17-2262-1

Thesis Title APPLICATION OF MODEL PREDICTIVE CONTROL WITH KALMAN
FILTER FOR CONTINUOUS HYDRO-DESULPHURISATION PROCESS
By Mr.Somboon Pattanwijit
Field of Study Chemical Engineering
Thesis Advisor Associate Professor Paisan Kittisupakorn, Ph.D.
Thesis Co-advisor Mr.Thodsapol Chadchavalpanichaya


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

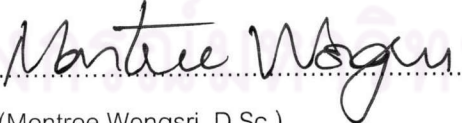

..... Dean of Faculty of Engineering
(Professor Somsak Panyakeow, D.Eng.)

THESIS COMMITTEE


..... Chairman
(Associate Professor Tawatchai Charinpanitkul, D.Eng.)


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


..... Thesis Co-advisor
(Mr.Thodsapol Chadchavalpanichaya)


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


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

สมบูรณ์ พัฒนาวิจิตร : การประยุกต์ใช้การควบคุมโมเดลพรีดิกทีฟร่วมกับคาลมาน
ฟิลเตอร์ สำหรับเครื่องปฏิกรณ์แยกกำมะถันแบบต่อเนื่อง.

(APPLICATION OF MODEL PREDICTIVE CONTROL WITH KALMAN FILTER FOR
CONTINUOUS HYDRO-DESULPHURISATION PROCESS) อ. ที่ปรึกษา :

รศ.ดร.ไพศาล กิตติศุภกร, อ.ที่ปรึกษาร่วม : นาย ทศพล ชัชวาลพาณิชย์ จำนวนหน้า 71
หน้า. ISBN 974-17-2262-1.

การปรับปรุงการควบคุม การกำจัดกำมะถันของ หน่วยไฮโดรดีซัลเฟอร์ไรส์เซชัน (Hydro-
desulphurisation) เป็นหนึ่งในกระบวนการที่สามารถลดต้นทุนการผลิตได้ หน่วยไฮโดร ดีซัลเฟอร์
ไรส์เซชันจัดเป็นหน่วยสำคัญหน่วยหนึ่ง สำหรับการกำจัดกำมะถันแบบต่อเนื่องโดยอาศัย ตัวเร่ง
ปฏิกิริยา (Catalyst) ออกจากน้ำมันผสม ซึ่งเป็นส่วนของน้ำมันดิบที่มีกำมะถันและจุดเดือดสูง
ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น เป็นปฏิกิริยาคายความร้อนที่มีความไม่เป็นเชิงเส้น เมื่อเทียบกับอุณหภูมิ
ปฏิบัติการ ซึ่งเป็นผลให้การควบคุมในผลิตภัณฑ์ให้ได้ตามข้อกำหนดที่ต้องการทำได้ยาก ในขณะที่
เดียวกันการกำจัดปริมาณกำมะถัน ให้น้อยที่สุดจะเป็นการประหยัดพลังงาน, ยืดอายุการใช้งาน
ของตัวเร่งปฏิกิริยา และที่สำคัญคือ ลดความเสี่ยงการเกิดความไม่เสถียรของอุณหภูมิอันเนื่อง มา
จาก ชีตจำกัดการถ่ายเทความร้อนออก ที่ผ่านมากการใช้เทคนิคการควบคุมแบบเชิงเส้นธรรมดา
เช่น เทคนิคการควบคุมแบบพีไอดีไม่เพียงพอ ที่จะบรรลุความต้องการข้างต้น โมเดลพรีดิกทีฟ เป็น
อีกแนวความคิดหนึ่งของการควบคุมขั้นสูง ที่ได้รับการพัฒนาขึ้นมา เพื่อแก้ปัญหาระบบการ
ผลิตที่ไม่เป็นเชิงเส้น

ในการสร้างตัวควบคุมโมเดลพรีดิกทีฟ ตัวประมาณค่าตัวกรองคาลมาน ได้ถูกนำมาใช้
ร่วมกับอัลกอริทึมโมเดลพรีดิกทีฟ เพื่อประมาณค่าสเตตและพารามิเตอร์ที่ไม่ทราบค่า จากผล
การจำลองพบว่าระบบควบคุมโมเดลพรีดิกทีฟทำงานได้ดีกว่าแบบเจนเนริกโมเดล ยิ่งไปกว่านั้น
ตัวประมาณค่ากำมะถัน ซึ่งถูกแก้ไขโดยผลจากห้องทดลองเป็นระยะๆ ก็ช่วยซึมซับ ค่าความ
ความผิดพลาดจากแบบจำลอง จากการที่ปริมาณกำมะถันในสายป้อนหรือ อัตราการเกิดปฏิกิริยา
เปลี่ยนแปลงไป

ภาควิชา วิศวกรรมเคมี
สาขาวิชา วิศวกรรมเคมี
ปีการศึกษา 2545

ลายมือชื่อนิสิตร.....
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

4371493821 : MAJOR CHEMICAL ENGINEERING

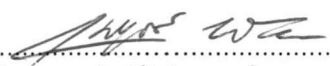
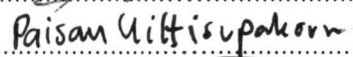

KEY WORD: MODEL PREDICTIVE CONTROL / HYDRODESULPHURISATION / HDS / MPC / KALMAN

SOMBOON PATTANAWIJIT : THESIS TITLE. APPLICATION OF MODEL PREDICTIVE CONTROL WITH KALMAN FILTER FOR CONTINUOUS HYDRODESULPHURISATION PROCESS. THESIS ADVISOR : ASSOCIATE PROFESSOR PAISAN KITTISUPAKORN, Ph.D., THESIS COADVISOR : MR.THODSAPOL CHADCHAVALPANICHAYA, 71 pp. ISBN 974-17-2262-1.

Improving sulphur treating of Hydro-desulphurisation process is one of processes, which could reduce the cost of production. Hydro-desulphurisation process is an important process for continuously removing sulphur content by catalyst from mixed oil, which is part of crude oil that contains high sulphur contents and has high boiling points. The reaction of interest is an exothermic reaction, which is nonlinear with respect to the operating temperature. This results to difficulty in sulphur content in product control at its required specification. Meanwhile, minimum sulphur treating would help in minimum energy use, extending catalyst live and the most important issue is to reduce the risk of unstable temperature from rate of heat removal constraint. In the past, normal linear control technique like PID is not good enough to meet the above requirement. To improve the control performance, model predictive control is an alternative idea of advanced process control, which has been developed to solve the nonlinear process.

Formulating model predictive controller, Kalman filter estimator is incorporated with model predictive algorithm for estimating unknown states and parameters. The result from simulation was found that a model predictive controller provided better control response than that of a generic model controller. In addition, estimates of sulphur content in product periodically updated by laboratory results could enhance the performance of Kalman filter in the presence of plant/model mismatches of sulphur in feed and reaction rate.

Department of Chemical Engineering
Field of study Chemical Engineering
Academic year 2002

Student's signature.....
Advisor's signature.....
Co-advisor's signature.....

Acknowledgement

This thesis could not be completed without special help in giving advices and encouraging from Associate Professor Dr.Paisan Kittisupakorn, advisor and Mr.Thodsapol Chadchavalpanichaya, co-advisor. I would like to give a special thanks here. In addition, I would like to thank Associate Professor Dr.Tawatchai Charinpanitkul, Dr.Montree Wongsri, and Master Dr.Suphot Phattanasri, thesis proposal and thesis defensive committee whom gave in valuable comments for this thesis.

I would like to thank all family members and colleagues at work for love, understanding and encouraging for the past 2 years. Finally, many thanks to members of process control research control lab for their kindness help.



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Table of Contents

	Page
Thai Abstractiv
English Abstractv
Acknowledgementvi
Table of Contentsvii
Table of Figuresix
Table of Tablesx
Chapters	
1. Introduction.....	.1
1.1. Importance and reasons for research.....	.1
1.2. Objective of research.....	.2
1.3. Research Boundaries.....	.2
1.4. Expected Results.....	.3
1.5. Research Methods.....	.3
1.6. Research Contents.....	.4
2. Literature Reviews6
2.1. Applications of model predictive control in chemical industry.....	.6
3. Model Predictive Control.....	10
3.1. Theory.....	10
3.2. Model predictive control structure.....	13
3.2.1. Process model.....	14
3.2.2. Manipulated variable and state variable constraints.....	15
3.2.3. Objective Function.....	16
3.2.4. Process optimization with constraints.....	17
3.2.5. Model Predictive Control Algorithm.....	19
3.3. Model Predictive Controller for Hydro-desulphurisation Process.....	20
4. Process Model.....	22
4.1. Sulphur Model.....	23
4.2. Reactor Heat Transfer Model.....	27

Table of Contents (Continued)

viii

Chapter	Page
4.3. Furnace Heat Transfer Model.....	27
5. Parameter and State Estimation.....	29
5.1. Parameter Estimation by Kalman Algorithm.....	29
5.1.1. Estimation Technique.....	30
5.1.2. Kalman Algorithm.....	32
5.2. Sulphur Content in Product Prediction with Lab Update.....	33
5.3. Kalman Filter for State Variable Estimation.....	35
6. Results and analysis.....	38
6.1. Hydrodesulphurization Process Simulations.....	38
6.1.1. Model Identification.....	38
6.1.2. Open loop simulation.....	40
6.2. State Variable Estimation.....	41
6.2.1. Sulphur Content Prediction.....	41
6.2.2. Process State Variable Estimation.....	44
6.3. MPC and GMC Kalman Filter Simulations.....	45
6.4. MPC with Mismatch Model Simulations.....	47
6.4.1. Heat of Reaction Mismatch Simulation.....	47
6.4.2. Rate of Reaction Mismatch Simulation.....	49
6.4.3. Sulphur Content in Feed Mismatch Simulation.....	50
6.4.4. Feed Flow Mismatch Simulation.....	52
7. Summary.....	54
7.1. Summary.....	54
7.2. Recommendations.....	55
References.....	56
Appendix.....	58
Appendix Generic Model Control, GMC.....	59
Biography.....	60

Table of Figures

ix

Figure		Page
Figure 3.1	Model predictive control system.....	11
Figure 3.2	Receding Horizon Strategy.....	12
Figure 4.1	The hydrodesulphurization process for this study.....	22
Figure 6.1A	The relation graph between the reactor inlet temperature setpoint and the response.....	39
Figure 6.1B	The relation graph between the real reactor outlet temperature and model reactor outlet temperature.....	39
Figure 6.2A	The relation graph between the reactor inlet temperature setpoint and the response of verification data set.....	39
Figure 6.2B	The relation graph between the real reactor outlet temperature and model reactor outlet temperature of verification data set.	39
Figure 6.3A	Relation between reactor inlet temperature setpoint and reactor inlet temperature measurement.....	41
Figure 6.3B	Step response of reactor inlet & outlet temperature and calculated WABT.....	41
Figure 6.3C	Step response of model reaction heat energy released.....	41
Figure 6.3D	Step response of effluent sulphur content from reactor.....	41
Figure 6.4A	WABT response from reactor inlet temperature setpoint changed.....	42
Figure 6.4B	Comparison between Sulphur content in product when the sulphur in feed changed 1.2, 0.9 and 0.8 times at time 900, 1900 and 2900, respectively and sulphur in product estimation without lab update mechanism.....	42
Figure 6.4C	Without lab update mechanism; WABT coefficient sulphur estimator is constant.....	42
Figure 6.4D	Without lab update mechanism; bias term of sulphur estimator is constant.....	42
Figure 6.5A	WABT response from reactor inlet temperature setpoint changed.....	43
Figure 6.5B	Comparison between Sulphur content in product when the sulphur in	

Table of Figures (Continued)

x

Figure		Page
	feed changed 1.2, 0.9 and 0.8 times at time 900, 1900 and 2900, respectively and sulphur in product estimation with lab update mechanism.....	43
Figure 6.5C	With lab update mechanism, WABT coefficient sulphur estimator is updating.....	43
Figure 6.5D	With lab update mechanism, bias term of sulphur estimator is updating.....	43
Figure 6.6	State variable estimation for reactor inlet&outlet temperature and sulphur content in product before Kalman filter tuning.....	44
Figure 6.7	State variable estimation for reactor inlet&outlet temperature and sulphur content in product after Kalman filter tuning.....	45
Figure 6.8	Comparison of GMC and MPC control results.....	46
Figure 6.9	GMC and MPC comparison when heat of reaction increased 20%.....	49
Figure 6.10	GMC and MPC comparison when rate of reaction increased 20%.....	50
Figure 6.11	GMC and MPC comparison when sulphur content in feed increased 20%.....	51
Figure 6.12	GMC and MPC comparison when feed flow increased 20%.....	53

ศูนย์วิทยทรัพยากร
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Table		Page
Table 6.1	ISE and RMSE between process model and plant data.....	38
Table 6.2	Sulphur content comparison for identification data set.....	40
Table 6.3	Sulphur content comparison for verification data set.....	40
Table 6.4	Kalman filter tuning parameters for sulphur prediction model.....	44
Table 6.5	Kalman filter parameters and error comparison.....	45
Table 6.6	Tuning parameters for controllers and state variable estimators.....	46
Table 6.7	Performance index when heat of reaction mismatch.....	48
Table 6.8	Performance index when rate of reaction mismatch.....	49
Table 6.9	Performance index when sulphur content in feed mismatch.....	51
Table 6.10	Performance index when feed flow mismatch.....	52
Table 7.1	Generic model and model predictive control algorithm comparison.....	54



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย