การประยุกต์ใช้การควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟร่วมกับคาลมานฟิลเตอร์ สำหรับเครื่องปฏิกรณ์แยกกำมะถันแบบต่อเนื่อง

นาย สมบูรณ์ พัฒนาวิจิตร

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2545

ISBN 974-17-2262-1

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

APPLICATION OF MODEL PREDICTIVECONTROL 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.)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สมบูรณ์ พัฒนาวิจิตร : การประยุกต์ใช้การควบคุมโมเดลพรีดิกทีฟร่วมกับคาลมานฟิลเตอร์ 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 หน่วยไฮโดรดีซัลเฟอไรส์เซชั่น (Hydro-desulphurisation) เป็นหนึ่งในกระบวนการที่สามารถลดต้นทุนการผลิตได้ หน่วยไฮโดร ดีซัลเฟอไรส์เซชั่นจัดเป็นหน่วยสำคัญหน่วยหนึ่ง สำหรับการกำจัดกำมะถันแบบต่อเนื่องโดยอาศัย ตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalyst) ออกจากน้ำมันผสม ซึ่งเป็นส่วนของน้ำมันดิบที่มีกำมะถันและจุดเดือดสูง ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น เป็นปฏิกิริยาคายความร้อนที่มีความไม่เป็นเชิงเส้น เมื่อเทียบกับอุณหภูมิปฏิบัติการ ซึ่งเป็นผลให้การควบคุมในผลิตภัณฑ์ให้ได้ตามข้อกำหนดที่ต้องการทำได้ยาก ในขณะเดียวกันการกำจัดปริมาณกำมะถัน ให้น้อยที่สุดจะเป็นการประหยัดพลังงาน, ยืดอายุการใช้งานของตัวเร่งปฏิกิริยา และที่สำคัญคือ ลดความเสี่ยงการเกิดความไม่เสถียรของอุณหภูมิอันเนื่อง มาจาก ขีดจำกัดการถ่ายเทความร้อนออก ที่ผ่านมาการใช้เทคนิคการควบคุมแบบเชิงเส้นธรรมดา เช่น เทคนิคการควบคุมแบบพีไอดีไม่ดีพอ ที่จะบรรลุความต้องการข้างต้น โมเดลพรีดิกทีฟ เป็นอีกแนวความคิดหนึ่งของการควบคุมขั้นสูง ที่ได้รับการพัฒนาขึ้นมา เพื่อแก้ปัญหากระบวนการผลิตที่ไม่เป็นเชิงเส้น

ในการสร้างตัวควบคุมโมเดลพรีดิกทีฟ ตัวประมาณค่าตัวกรองคาลมาน ได้ถูกนำมาใช้ร่วมกับอัลกอริธึมโมเดลพรีดิกทีฟ เพื่อประมาณค่าสเตทและพารามิเตอร์ที่ไม่ทราบค่า จากผลการจำลองพบว่าระบบควบคุมโมเดลพรีดีกทีฟทำงานได้ดีกว่าแบบเจนเนริกโมเดล ยิ่งไปกว่านั้น ตัวประมาณค่ากำมะถัน ซึ่งถูกแก้ไขโดยผลจากห้องทดลองเป็นระยะๆ ก็ช่วยซึมซับ ค่าความความผิดพลาดจากแบบจำลอง จากการที่ปริมาณกำมะถันในสายป้อนหรือ อัตราการเกิดปฏิกิริยาเปลี่ยนแปลงไป

ภาควิชา วิศวกรรมเคมี ลายมือชื่อนิสิต.....
สาขาวิชา วิศวกรรมเคมี ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....
ปีการศึกษา 2545 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 HYDRO-DESULPHURISATION 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 Student's signature.....

Field of study Chemical Engineering . Advisor's signature.....Paisan Kittisupakorn

Academic year 2002 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 Abstract iv

English Abstract v

Acknowledgement vi

Table of Contents vii

Table of Figures ix

Table of Tables x

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 Reviews 6
   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

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

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 respond 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	

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 of Tables

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