

การควบคุมเชิงทำนายแบบจำลองพร้อมตัวควบคุมแบบปรับตัวชนิดหลายแบบจำลอง  
สำหรับกระบวนการควบคุมระดับของเหลวผ่านทางระบบควบคุมแบบกระจายตัว

นายศิริพงษ์ เพิ่มพรศรี

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า  
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
ปีการศึกษา 2550  
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

MODEL PREDICTIVE CONTROL WITH MULTIPLE MODEL ADAPTIVE CONTROLLER  
FOR LIQUID LEVEL CONTROL PROCESS VIA DISTRIBUTED CONTROL SYSTEM

Mr. Siripong Permpornsri

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of Master of Engineering Program in Electrical Engineering  
Department of Electrical Engineering  
Faculty of Engineering  
Chulalongkorn University  
Academic Year 2007  
Copyright of Chulalongkorn University

501849

หัวข้อวิทยานิพนธ์      การควบคุมเชิงทำนายแบบจำลองพร้อมตัวควบคุมแบบปรับตัวชนิดหลายแบบ  
จำลอง สำหรับกระบวนการควบคุมระดับของเหลวผ่านทางระบบควบคุมแบบ  
กระจายตัว

โดย                              นายศิริพงษ์ เพิ่มพรศรี

สาขาวิชา                      วิศวกรรมไฟฟ้า

อาจารย์ที่ปรึกษา              ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มานพ วงศ์สายสุวรรณ

---

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วน  
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโท

..... ดร.บุญสม เลิศหิรัญวงศ์      คณบดี คณะวิศวกรรมศาสตร์  
(รองศาสตราจารย์ ดร.บุญสม เลิศหิรัญวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ดร.เดวิด บรรณเจตพงศ์ชัย      ประธานกรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ดร.เดวิด บรรณเจตพงศ์ชัย)

..... ดร.มานพ วงศ์สายสุวรรณ      อาจารย์ที่ปรึกษา  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มานพ วงศ์สายสุวรรณ)

..... ดร.พีระยศ แสนโกชณ์      กรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พีระยศ แสนโกชณ์)

ศิริพงษ์ เพิ่มพรศรี: การควบคุมเชิงทำนายแบบจำลองพร้อมตัวควบคุมแบบปรับตัวชนิดหลายแบบจำลอง สำหรับกระบวนการควบคุมระดับของเหลวผ่านทางระบบควบคุมแบบกระจายตัว (MODEL PREDICTIVE CONTROL WITH MULTIPLE MODEL ADAPTIVE CONTROLLER FOR LIQUID LEVEL CONTROL PROCESS VIA DISTRIBUTED CONTROL SYSTEM), อ. ที่ปรึกษา: ผศ.ดร. มานพ วงศ์สายสุวรรณ, 75 หน้า.

ระบบการควบคุมแบบกระจายตัวนับได้ว่ามีบทบาทอย่างมากต่อภาคอุตสาหกรรมที่สำคัญในปัจจุบัน เช่น โรงกลั่นน้ำมัน อุตสาหกรรมปิโตรเคมีต่างๆ รวมทั้งโรงไฟฟ้า วิทยานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอการประยุกต์ใช้ตัวควบคุมเชิงทำนายแบบจำลองพร้อมตัวควบคุมแบบปรับตัวชนิดหลายแบบจำลอง และเปรียบเทียบกับ การควบคุมเชิงทำนายแบบจำลองผ่านทางระบบการควบคุมแบบกระจายตัว เพื่อควบคุมกระบวนการควบคุมระดับของเหลว เราได้ศึกษาพฤติกรรมของกระบวนการควบคุมระดับของเหลว ซึ่งกระบวนการมีการกระทำระหว่างคู่ผลตอบ และความไม่เป็นเชิงเส้นเมื่อเปลี่ยนแปลงจุดทำงาน ขณะเดียวกันเราสังเคราะห์แบบจำลองเพื่อใช้ในการออกแบบตัวควบคุม ส่วนการออกแบบตัวควบคุมเราอธิบายถึงการควบคุมเชิงทำนายแบบจำลอง การควบคุมเชิงทำนายแบบจำลองพร้อมกับตัวควบคุมแบบปรับตัวชนิดหลายแบบจำลอง และทฤษฎีการปรับตั้งค่าพารามิเตอร์ สำหรับการควบคุมเชิงทำนายแบบจำลอง จุดประสงค์เพื่อขยายขอบเขตการทำงานของตัวควบคุม การทดสอบแบ่งออกเป็น การจำลองกระบวนการบนคอมพิวเตอร์ และการควบคุมกระบวนการจริงผ่านทางระบบควบคุมแบบกระจายตัว ผลลัพธ์ทั้งสองสอดคล้องกัน ซึ่งแสดงให้เห็นว่า การควบคุมเชิงทำนายแบบจำลองพร้อมตัวควบคุมแบบปรับตัวชนิดหลายแบบจำลอง สามารถรองรับขอบเขตการทำงานได้กว้างกว่า และให้ผลตอบที่ดีกว่าในแง่ของการติดตามสัญญาณอ้างอิง และค่าฟุงเกิน เมื่อเปรียบเทียบกับ การควบคุมเชิงทำนายแบบจำลองตัวเดิม

ภาควิชา ..... วิศวกรรมไฟฟ้า  
สาขาวิชา ..... วิศวกรรมไฟฟ้า  
ปีการศึกษา ..... 2550

ลายมือชื่อนิสิต ..... ศิริพงษ์ เพิ่มพรศรี  
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา ..... ผศ.ดร. มานพ วงศ์สายสุวรรณ

##4970601621: MAJOR ELECTRICAL ENGINEERING

KEY WORD: DISTRIBUTED CONTROL SYSTEM / MODEL PREDICTIVE CONTROL / MODEL PREDICTIVE CONTROL WITH MULTIPLE MODEL ADAPTIVE CONTROLLER / INTERACTION EFFECT / MULTI-INPUTS MULTI-OUTPUTS

SIRIPONG PERMPORNSRI: MODEL PREDICTIVE CONTROL WITH MULTIPLE MODEL ADAPTIVE CONTROLLER FOR LIQUID LEVEL CONTROL PROCESS VIA DISTRIBUTED CONTROL SYSTEM, THESIS ADVISOR: MANOP WONGSAISUWAN, Ph.D., 75 pp.

Distributed control system (DCS) have featured in the interested industry such as oil refinery, petrochemical industry and power plant. This thesis presents the applications of model predictive control (MPC) with multiple model adaptive control (MMAC). Then, we compare the results with the original model predictive control technique via distributed control system. To control the level control process, we consider the behavior of the liquid level control process then we found the interaction problem and the systems have nonlinearity when the setpoint changed. we analysis the models of the liquid level control process, so we use the model to design both of controllers. In the designing parts, we explain model predictive controller, model predictive control with multiple model adaptive controller and parameters tuning theory for model predictive control. Our objective are the extensive range of operating point. For experiments, we consider two cases. Therefore, the first case is the simulations by MATLAB programming and the second is the controlling for actual plant process via distributed control system. The results from both controllers are the same and illustrate the model predictive control with multiple model adaptive controller gives better performance, such as command tracking and overshoot, than the model predictive controller.

Department ..Electrical Engineering.  
Field of study ..Electrical Engineering.  
Academic year ..... 2007 .....

Student's signature ... Siripong Permpornsri.  
Advisor's signature ... มานพ วongsaisuwan .....

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ ด้วยความช่วยเหลือของผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. มานพ วงศ์สายสุวรรณ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งได้สละเวลาให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆ ที่ทำให้นิสิตมีแนวความคิด การแก้ปัญหาต่างๆ สำหรับการทำวิทยานิพนธ์ ตลอดจนการให้คำแนะนำในเรื่องอื่นๆ ผู้วิจัยจึงใคร่ขอกราบขอบพระคุณไว้ ณ ที่นี้

ขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เดวิด บรรรเจตพงศ์ชัย ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พีระยศ แสนโกชณ์ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ได้สละเวลาตรวจสอบและให้คำแนะนำเพื่อให้งานวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น และขอขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่านในสาขาระบบควบคุม ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ที่ได้ประสิทธิประสาทความรู้พื้นฐานในวิชาทางระบบควบคุม อันเป็นพื้นฐานในการศึกษาและทำวิทยานิพนธ์นี้

ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณ บิดา-มารดา ที่ให้กำเนิด สั่งสอนอบรมเลี้ยงดู ให้ความรัก ความห่วงใย และกำลังใจอันมีค่ายิ่งแก่ผู้วิจัยเสมอมา

ขอขอบคุณนายธำปนา (พี่เอ็ด), นายวฑูญญ (พี่ชัน) สำหรับคำแนะนำและการช่วยเหลือเกี่ยวกับการใช้งาน MATLAB

ขอขอบคุณนายวรพล (พี่เอ็ด), นายปรเมช (บอล) สำหรับคำปรึกษาและพูดคุยเกี่ยวกับปัญหาการควบคุมบนระบบควบคุมแบบกระจายตัว

ขอขอบคุณนายจิตติชัย (จีป) สำหรับการเป็นที่ปรึกษาและคำแนะนำเกี่ยวกับทฤษฎีทางคณิตศาสตร์

ขอขอบคุณนายวฤต (พี่เต้), นายวุฒินันท์ (พี่โบ๊ต), นายศิริชัย (พี่เอ็ม), นายธนาคมย์ (หยง), นางสาวกรกนก (ออย), นายธีรพงษ์ (พี่หาญ) และเพื่อนๆ ในห้องปฏิบัติการวิจัยระบบควบคุม ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ที่ได้ให้กำลังใจและคำปรึกษา จนผู้วิจัยได้ทำวิทยานิพนธ์นี้ได้สำเร็จสมบูรณ์

สุดท้ายนี้ ขอขอบคุณห้องปฏิบัติการวิจัยระบบควบคุม ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย สำหรับทรัพยากรต่างๆ ในการศึกษา ค้นคว้าและวิจัย

## สารบัญ

|   | หน้า |
|---|------|
| บทคัดย่อภาษาไทย.....  | ง    |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....   | จ    |
| กิตติกรรมประกาศ.....  | ฉ    |
| สารบัญ.....   | ช    |
| สารบัญตาราง.....  | ฅ    |
| สารบัญภาพ.....  | ญ    |
| บทที่   |      |
| 1 บทนำ.....   | 1    |
| 1.1 ความเป็นมา.....   | 1    |
| 1.2 งานวิจัยที่ผ่านมา.....  | 2    |
| 1.3 วัตถุประสงค์.....   | 3    |
| 1.4 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์.....   | 4    |
| 1.5 ขั้นตอนในการดำเนินงาน.....  | 4    |
| 1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....  | 4    |
| 1.7 โครงสร้างของวิทยานิพนธ์.....  | 5    |
| 2 การระบุเอกลักษณ์ของกระบวนการควบคุมระดับของเหลว.....                       | 6    |
| 2.1 การวิเคราะห์ผลตอบสนองสถานะชั่วครู่.....                                 | 8    |
| 2.2 แบบจำลองพลวัตของกระบวนการควบคุมระดับของเหลว.....                        | 10   |
| 2.3 สรุป.....   | 15   |
| 3 การควบคุมเชิงทำนายแบบจำลอง.....   | 19   |
| 3.1 การควบคุมเชิงทำนายแบบจำลอง.....   | 19   |
| 3.2 การควบคุมเชิงทำนายแบบจำลองพร้อมตัวควบคุมแบบปรับตัวชนิดหลายแบบจำลอง..... | 27   |
| 3.3 กลยุทธ์การปรับตั้งพารามิเตอร์สำหรับตัวควบคุมเชิงทำนายแบบจำลอง.....      | 31   |
| 3.4 สรุป.....   | 33   |
| 4 การควบคุมกระบวนการควบคุมระดับของเหลว.....                                 | 34   |
| 4.1 การจำลองกระบวนการควบคุมระดับของเหลวผ่านทางคอมพิวเตอร์.....              | 34   |
| 4.2 การควบคุมกระบวนการควบคุมระดับของเหลวผ่านทางระบบควบคุมแบบกระจายตัว.....  | 40   |
| 4.3 สรุป.....   | 41   |

| บทที่   | หน้า |
|---|------|
| 5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ.....  | 51   |
| 5.1 บทสรุป.....   | 51   |
| 5.2 ข้อเสนอแนะในงานวิจัยนี้.....                                    | 52   |
| รายการอ้างอิง.....  | 53   |
| ภาคผนวก.....  | 55   |
| ภาคผนวก ก การควบคุมแบบกระจายตัว.....                                | 56   |
| ก.1 ส่วนประกอบของการควบคุมแบบกระจายตัว.....                         | 57   |
| ก.1.1 สถานีควบคุมเขตข้อมูล.....                                     | 57   |
| ก.1.2 สถานีเชื่อมต่อส่วนบุคคล.....                                  | 57   |
| ก.1.3 Ethernet.....   | 59   |
| ก.1.4 V-net.....  | 59   |
| ก.2 อุปกรณ์ fieldbus.....   | 60   |
| ภาคผนวก ข การปรับตั้งค่าพารามิเตอร์บนระบบควบคุมแบบกระจายตัว.....    | 62   |
| ภาคผนวก ค การปรับตั้งค่าความแม่นยำสำหรับระบบควบคุมแบบกระจายตัว..... | 64   |
| ภาคผนวก ง การทดลองตัวควบคุมผ่านทางารควบคุมแบบกระจายตัว.....         | 70   |
| ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....                                     | 75   |



## สารบัญญัตราง

|  | หน้า |
|--|------|
| 1.1 ผลิตภัณฑ์จากบริษัทต่างๆ ภายใต้เทคนิคการควบคุมเชิงทำนายแบบจำลองชนิดเชิงเส้น ...   | 2    |
| 1.2 ผลิตภัณฑ์จากบริษัทต่างๆ ภายใต้เทคนิคการควบคุมเชิงทำนายแบบจำลองชนิดไม่เชิงเส้น  | 3    |
| 2.1 ค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลองอันดับหนึ่งรวมการประวิงเวลาเมื่อแปรผันตำแหน่งควบคุมวาล์วตัวที่หนึ่ง .....                           | 10   |
| 2.2 ค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลองอันดับหนึ่งรวมการประวิงเวลาเมื่อแปรผันตำแหน่งควบคุมวาล์วตัวที่สอง .....                             | 11   |
| 2.3 จุดทำงานของแบบจำลองกระบวนการควบคุมระดับของเหลว .....   | 15   |
| 3.1 ค่าพารามิเตอร์ที่คำนวณได้จากกลยุทธ์การปรับตั้งสำหรับการควบคุมเชิงทำนายแบบจำลอง   | 31   |
| 3.2 ค่าพารามิเตอร์ที่คำนวณได้จากกลยุทธ์การปรับตั้งสำหรับการควบคุมเชิงทำนายแบบจำลองพร้อมการควบคุมแบบปรับตัวชนิดหลายแบบจำลอง ..... | 32   |
| 4.1 ค่าพารามิเตอร์แสดงสมรรถนะการควบคุมสำหรับการจำลองระบบควบคุมบนคอมพิวเตอร์ .  | 39   |
| 4.2 ค่าพารามิเตอร์สำหรับการควบคุมเชิงทำนายแบบจำลองพร้อมการควบคุมแบบปรับตัวชนิดหลายแบบจำลองผ่านทางระบบควบคุมแบบกระจายตัว .....    | 41   |
| 4.3 ค่าพารามิเตอร์แสดงสมรรถนะการควบคุมเมื่อสัญญาณอ้างอิงของระดับในถังที่หนึ่งเปลี่ยนแปลงผ่านทางระบบควบคุมแบบกระจายตัว .....      | 50   |
| 4.4 ค่าพารามิเตอร์แสดงสมรรถนะการควบคุมเมื่อสัญญาณอ้างอิงของระดับในถังที่สองเปลี่ยนแปลงผ่านทางระบบควบคุมแบบกระจายตัว .....        | 50   |
| ข.1 ค่าพารามิเตอร์ $T_{r,s}$ ที่ใช้ในการคำนวณแบบจำลองจากระบบเวลาต่อเนื่องไปยังระบบกัทนะ  | 62   |

## สารบัญญภาพ

|      | หน้า  |    |
|------|---|----|
| 2.1  | กายภาพของกระบวนการควบคุมระดับของเหลวของห้องปฏิบัติการวิจัยระบบควบคุม . . . . .  | 6  |
| 2.2  | โครงสร้างของกระบวนการควบคุมระดับของเหลวสองสัญญาณเข้า สองสัญญาณออก . . . . .   | 7  |
| 2.3  | โครงสร้างระบบควบคุมแบบกระจายตัว . . . . .   | 8  |
| 2.4  | ผลตอบสนองขั้นบันไดของแบบจำลองอันดับหนึ่งที่มีการประวิงเวลา . . . . .  | 9  |
| 2.5  | เปรียบเทียบผลตอบจริง และผลตอบที่ได้จากแบบจำลองเมื่อปรับสัญญาณตำแหน่งวาล์วควบคุมตัวที่หนึ่งตามกรณี จุดทำงานที่ระดับต่ำ . . . . .   | 16 |
| 2.6  | เปรียบเทียบผลตอบจริง และผลตอบที่ได้จากแบบจำลองเมื่อปรับสัญญาณตำแหน่งวาล์วควบคุมตัวที่สองตามกรณี จุดทำงานที่ระดับต่ำ . . . . .   | 16 |
| 2.7  | เปรียบเทียบผลตอบจริง และผลตอบที่ได้จากแบบจำลองเมื่อปรับสัญญาณตำแหน่งวาล์วควบคุมตัวที่หนึ่งตามกรณี จุดทำงานที่ระดับกลาง . . . . .  | 17 |
| 2.8  | เปรียบเทียบผลตอบจริง และผลตอบที่ได้จากแบบจำลองเมื่อปรับสัญญาณตำแหน่งวาล์วควบคุมตัวที่สองตามกรณี จุดทำงานที่ระดับกลาง . . . . .  | 17 |
| 2.9  | เปรียบเทียบผลตอบจริง และผลตอบที่ได้จากแบบจำลองเมื่อปรับสัญญาณตำแหน่งวาล์วควบคุมตัวที่หนึ่งตามกรณี จุดทำงานที่ระดับสูง . . . . .   | 18 |
| 2.10 | เปรียบเทียบผลตอบจริง และผลตอบที่ได้จากแบบจำลองเมื่อปรับสัญญาณตำแหน่งวาล์วควบคุมตัวที่สองตามกรณี จุดทำงานที่ระดับสูง . . . . .   | 18 |
| 3.1  | กลยุทธ์การควบคุมเชิงทำนายแบบจำลอง . . . . .   | 19 |
| 3.2  | การหาค่าสัมประสิทธิ์ $g(i)$ จากผลตอบสนองขั้นบันไดหนึ่งหน่วย . . . . .   | 20 |
| 3.3  | แผนภาพการทำงานของตัวควบคุมเชิงทำนายแบบจำลอง . . . . .   | 26 |
| 3.4  | กลยุทธ์การควบคุมเชิงทำนายแบบจำลองพร้อมตัวควบคุมแบบปรับตัวชนิดหลายแบบจำลอง . . . . .   | 28 |
| 3.5  | ความสัมพันธ์ระหว่างจุดทำงานในย่านต่างๆ และค่าปรับจูนล่วงหน้า . . . . .  | 28 |
| 3.6  | แผนภาพการทำงานของตัวควบคุมเชิงทำนายแบบจำลองพร้อมตัวควบคุมแบบปรับตัวชนิดหลายแบบจำลอง . . . . .   | 30 |
| 4.1  | ผลตอบสนองกระบวนการควบคุมของเหลวในถังที่หนึ่ง เมื่อสัญญาณอ้างอิงของระดับในถังที่หนึ่งเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้น . . . . .  | 35 |
| 4.2  | ผลตอบสนองกระบวนการควบคุมของเหลวในถังที่สอง เมื่อสัญญาณอ้างอิงของระดับในถังที่หนึ่งเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้น . . . . .  | 35 |
| 4.3  | สัญญาณควบคุมจากระบวนการควบคุมระดับของเหลวกรณีการควบคุมเชิงทำนายแบบจำลองพร้อมตัวควบคุมแบบปรับตัวชนิดหลายแบบจำลอง เมื่อสัญญาณอ้างอิงของระดับในถังที่หนึ่งเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้น . . . . . | 36 |



|      |  |    |
|------|--|----|
| 4.19 | ผลตอบสนองกระบวนการควบคุมของเหลว เมื่อสัญญาณอ้างอิงของระดับในถังที่สองเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้น.....   | 47 |
| 4.20 | สัญญาณควบคุมของกระบวนการควบคุมของเหลวในถังที่สอง เมื่อสัญญาณอ้างอิงของระดับในถังที่สองเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้น.....  | 47 |
| 4.21 | ผลตอบสนองกระบวนการควบคุมของเหลว เมื่อสัญญาณอ้างอิงของระดับในถังที่สองเปลี่ยนแปลงลดลง.....  | 48 |
| 4.22 | สัญญาณควบคุมของกระบวนการควบคุมของเหลวในถังที่สอง เมื่อสัญญาณอ้างอิงของระดับในถังที่สองเปลี่ยนแปลงลดลง.....   | 48 |
| 4.23 | ผลตอบสนองกระบวนการควบคุมของเหลว เมื่อสัญญาณอ้างอิงของระดับในถังที่สองเปลี่ยนแปลงลดลง.....  | 49 |
| 4.24 | สัญญาณควบคุมของกระบวนการควบคุมของเหลวในถังที่สอง เมื่อสัญญาณอ้างอิงของระดับในถังที่สองเปลี่ยนแปลงลดลง.....   | 49 |
| ก.1  | การควบคุมแบบกระจายตัว.....   | 56 |
| ก.2  | สถานีควบคุมเขตข้อมูลของห้องปฏิบัติการวิจัยระบบควบคุม.....  | 57 |
| ก.3  | สถานีเชื่อมต่อส่วนบุคคลทั้งสองของห้องปฏิบัติการวิจัยระบบควบคุม.....  | 58 |
| ก.4  | สถานีเชื่อมต่อส่วนบุคคลของห้องปฏิบัติการวิจัยระบบควบคุม.....   | 58 |
| ก.5  | สายเชื่อมต่อข้อมูล V-net.....  | 59 |
| ก.6  | อุปกรณ์ fieldbus ชนิดต่างๆ (ก), (ข), (ค) และ(ง) คือ อุปกรณ์ตัวควบคุมวาล์ว, อุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิ, อุปกรณ์ตรวจวัดความดัน และอุปกรณ์ตรวจวัดอัตราการไหลตามลำดับ..... | 61 |
| ก.7  | อุปกรณ์ fieldbus ของกระบวนการรวม.....  | 61 |
| ค.1  | หน้าต่างหลักของโปรแกรม PRM.....  | 64 |
| ค.2  | หน้าต่างการ update ค่าพารามิเตอร์ของโปรแกรม PRM.....   | 65 |
| ค.3  | หน้าต่างการหยุดการทำงานของอุปกรณ์ของโปรแกรม PRM.....   | 66 |
| ค.4  | หน้าต่างการปรับตั้งค่าที่ระดับ 0 ซม.ของโปรแกรม PRM.....  | 67 |
| ค.5  | หน้าต่างการปรับตั้งค่าพารามิเตอร์ที่ระดับ 100 ซม.ของโปรแกรม PRM.....   | 68 |
| ง.1  | หน้าต่างการเลือก User name.....  | 70 |
| ง.2  | หน้าต่างหลักการควบคุมกระบวนการด้วยตัวควบคุมเชิงทำนายแบบจำลอง.....  | 71 |
| ง.3  | หน้าต่างเริ่มการทำงานของตัวควบคุมกระบวนการ.....  | 72 |
| ง.4  | หน้าต่างแสดงผลตอบสนองกระบวนการ.....  | 73 |
| ง.5  | หน้าต่างการเลือกดูกราฟผลตอบสนอง.....   | 74 |