การวิเคราะห์สมรรถนะของการควบคุมระดับฟิลด์โดยใช้ฟาวน์เดชันฟิลด์บัส

PERFORMANCE ANALYSIS OF CONTROL IN THE FIELD USING FOUNDATION FIELDBUS

ทักษิณ แสงสุวรรณ

THAKSIN SANGSUWAN

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2560

KMITL-2017-EN-D-018-048

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การวิเคราะห์สมรรถนะของการควบคุมระดับฟิลด์โดยใช้ฟาวน์เดชันฟิลด์บัส

PERFORMANCE ANALYSIS OF CONTROL IN THE FIELD USING FOUNDATION FIELDBUS

T148811

ทักษิณ แสงสุวรรณ
THAKSIN SANGSUWAN

b. 00267464
i.

เลขหมู่
เลขทะเบียน 148811
วัน.เดือน.ปี 23 มิ.ย. 2560

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2560
KMITL-2017-EN-D-018-148

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PERFORMANCE ANALYSIS OF CONTROL IN THE FIELD USING FOUNDATION FIELDBUS

THAKSIN SANGSUWAN

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF
DOCTOR OF ENGINEERING IN ELECTRICAL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2017

KMITL-2017-EN-D-018-148

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

COPYRIGHT 2017

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การวิเคราะห์สมรรถนะของการควบคุมระดับฟิลด์โดยใช้ฟาวน์เดชันฟิลด์บัส
Thesis Title Performance Analysis of Control in the Field Using Foundation Fieldbus
นักศึกษา นายทักษิณ แสงสุวรรณ
รหัสประจำตัว 54610155
ปริญญา วิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต
สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รศ.ดร.อัมพวัน จุลเสรีวงศ์
หมายเลขวิทยานิพนธ์ KMITL-2017-EN-D-018-148

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		ลายมือชื่อ
รศ.ดร.จิระศักดิ์	ชาญวุฒิธรรม	
รศ.ดร.ไสว	พงศ์สวัสดิ์	
ผศ.ดร.ธีรวัฒน์	เทพมณี	
ดร.อภินัย	ฤกษ์รัตน์	
รศ.ดร.อัมพวัน	จุลเสรีวงศ์	

วัน / เดือน/ ปี ที่สอบ วันอังคารที่ 18 กรกฎาคม พ.ศ. 2560 เวลา 13.00-15.00 น.
สถานที่สอบ ณ อาคารเฉลิมพระเกียรติ ห้อง HM-303

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

คณะวิศวกรรมศาสตร์ รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์ ดร. คมสัน มาลีสี)

คณบดี คณะวิศวกรรมศาสตร์

วันที่ 18 กรกฎาคม พ.ศ. 2560

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การวิเคราะห์สมรรถนะของการควบคุมระดับฟิลด์โดยใช้ฟาวน์เดชันฟิลด์บัส
นักศึกษา	นายทักษิณ แสงสุวรรณ
รหัสประจำตัว	54610155
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
พ.ศ.	2560
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	รศ.ดร.อัมพวัน จุลเสรีวงศ์

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มุ่งเน้นที่การวิเคราะห์สมรรถนะการควบคุมระดับฟิลด์โดยใช้ฟาวน์เดชันฟิลด์บัส ในแง่ของผลกระทบของการกำหนดบล็อกควบคุมที่แตกต่างกันเพื่อกำหนดช่วงเวลาการสื่อสารที่เหมาะสม และผลกระทบของการกำหนดค่าพารามิเตอร์ฟังก์ชันบล็อคที่แตกต่างกันเพื่อความปลอดภัยและความพร้อมใช้สำหรับลูปควบคุมแบบ PID และ Cascade โดยใช้พลานต์โมเดลการควบคุมระดับน้ำ จำนวน 2 พลานต์ในการสร้างลูปควบคุม และใช้โฮสต์จำนวน 2 ระบบ (DeltaV และ Harmonas-DEO) ในการกำหนดค่าต่าง ๆ

การวิเคราะห์ที่นำเสนอในประเด็นแรก เป็นการวิเคราะห์เน็ตเวิร์คโหลดของเซกเมนต์มาโครไซเคิลที่ได้จากการเลือกกำหนดตำแหน่งบล็อกควบคุมที่แตกต่างกันสำหรับการสร้างลูปควบคุมที่สนใจ จากผลการวิเคราะห์ที่ได้ วิทยานิพนธ์นี้จึงนำเสนอเทคนิคในการปรับตารางการสื่อสารให้เหมาะสมสำหรับเอชวันเซกเมนต์ทั้งแบบ 1 และ 2 ลูปควบคุม เพื่อลดเวลาลาเทนซีของลูปควบคุมให้น้อยที่สุด และใช้ประโยชน์จากเน็ตเวิร์คแบนด์วิธมากที่สุด พร้อมทั้งได้แสดงผลการทดลองและผลการตรวจสอบความใช้ได้ของเทคนิคในการปรับตารางการสื่อสารที่นำเสนอ

การวิเคราะห์ที่นำเสนอในประเด็นที่สอง เป็นการวิเคราะห์พฤติกรรมของลูปควบคุมแบบ PID และ Cascade ในสองจุดประสงค์ที่ขัดแย้งกัน เพื่อศึกษาว่าการกำหนดตั้งค่าพารามิเตอร์ที่แตกต่างกันมีผลต่อการอินเตอร์ล็อคระหว่างฟังก์ชันบล็อกอย่างไร รวมถึงกลไกการเริ่มต้นทำงานของฟังก์ชันบล็อกและการสร้างความปลอดภัยแม้ล้มเหลวในสถานการณ์ที่การวัดค่าของเครื่องมือวัดนั้นใช้ไม่ได้ สำหรับจุดประสงค์ในด้านความปลอดภัย ลูปควบคุมจะถูกกำหนดตั้งค่าเพื่อให้กระบวนการอยู่ในสถานะปลอดภัยในสภาวะที่มีความล้มเหลวเกิดขึ้น ในทางตรงกันข้ามสำหรับจุดประสงค์ในด้านความพร้อมใช้งาน ลูปควบคุมจะถูกกำหนดตั้งค่าเพื่อให้กระบวนการยังคงสามารถดำเนินการได้แม้ในสภาวะที่มีความล้มเหลวเกิดขึ้น พร้อมทั้งได้นำเสนอการมีผลซึ่งกันและกันระหว่างการส่งต่อข้อมูลสถานะระหว่างฟังก์ชันบล็อกและการเปลี่ยนโหมดการทำงานของฟังก์ชันบล็อกที่ได้จากผลการทดลองด้วยเพทริเน็ตโมเดล จากผลการวิเคราะห์ที่ได้ วิทยานิพนธ์นี้จึงนำเสนอวิธีการกำหนดตั้งค่าพารามิเตอร์เพื่อความปลอดภัยและความพร้อมใช้งานของลูปควบคุม นอกจากนี้ วิทยานิพนธ์นี้ยัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ได้อธิบายถึงค่าพารามิเตอร์ที่มีผลต่อการเปลี่ยนโหมดของบล็อกควบคุมระหว่างโหมดควบคุมอัตโนมัติกับโหมดควบคุมด้วยมือโดยไม่ส่งผลต่อตำแหน่งของวาล์วควบคุม และการติดตามค่าเซตพอยท์ของบล็อกควบคุม อีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis	Performance Analysis of Control in the Field Using Foundation Fieldbus
Student	Mr.Thaksin Sangsuwan
Student ID.	54610155
Degree	Doctor of Engineering
Program	Electrical Engineering
Year	2017
Thesis Advisor	Assoc.Prof.Dr.Amphawan Julsereewong

Abstract

This thesis focuses on a performance analysis in the Control in the Field (CIF) using Foundation Fieldbus in terms of effects of different control block assignments to segment communication schedules and effects of different function block parameter configurations to safety and availability features for building proportional-integral-derivative (PID) and cascade control loops. Two water-tank-process plant models are utilized for control loop implementations, and two integrated hosts (DeltaV and Harmonas-DEO) are used as the configuration tools.

In the former case, the network loads of macrocycle schedules generated for different control block placements in interested control loops are analyzed. Based on the analysis results, this thesis presents a technique to optimize the communication schedules of the H1 segments with single and dual control loops for minimizing control loop latency and maximizing the availability of the network bandwidth. The experimental and validation results verifying the proposed schedule optimization technique are also included.

In the latter case, the logical behaviors of PID and cascade loops in two conflicting purposes for studying how different configuration options affect the interlocks between function blocks as well as the initialization and fail-safe mechanisms in response to invalid measurements are analyzed. For safety purpose, the interested control loops are configured to bring the process to a safe state in the presence of a failure. For availability purpose, the interested control loops are configured to keep the process running in the event of a failure. Interactions between the status propagation and mode shedding for demonstrating the studied control loop behaviors are examined experimentally in Petri net models. The proved configuration method for proper operations in

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

balancing the interests of safety and availability is proposed. In addition, the function block options for automatic/manual bumpless transfer and setpoint tracking are also described.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี ด้วยความรู้ ความคิดริเริ่ม คำแนะนำและคำปรึกษาในการแก้ไขปัญหาต่าง ๆ อย่างทุ่มเทจาก รศ.ดร.อัมพวัน จุลเสรีวงศ์ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผู้เขียนรู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์จากท่านและขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมการวัดและควบคุม (หลักสูตรวิชาวิศวกรรมอัตโนมัติ) คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกท่าน ที่ได้แนะนำและให้คำปรึกษาในด้านต่าง ๆ

ขอกราบขอบพระคุณ รศ.ดร.จิระศักดิ์ ชาญวุฒิธรรม หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมเครื่องมือวัดและอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ที่ได้ให้การสนับสนุน และให้กำลังใจ ตลอดจนให้คำปรึกษาในทุก ๆ ด้าน

ขอกราบขอบพระคุณ ผศ.ดร.นที ทองอุ่น รองหัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมเครื่องมือวัดและอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ สำหรับกำลังใจ ตลอดจนให้คำปรึกษาในทุก ๆ ด้าน

ขอกราบขอบพระคุณ บิดาและมารดา ที่เป็นกำลังใจ คอยดูแลห่วงใย และให้การสนับสนุนข้าพเจ้าทุกๆ เรื่องมาโดยตลอด และญาติพี่น้องทุกคนที่เป็นกำลังใจจนสำเร็จการศึกษาในครั้งนี้

สุดท้ายนี้ข้าพเจ้าหวังเป็นอย่างยิ่งว่า วิทยานิพนธ์นี้จะเป็นประโยชน์ให้กับผู้ที่สนใจและผู้ที่ได้ทำการศึกษาการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีฟาวน์เดชันฟิลด์บัสในระบบอุตสาหกรรมได้

ทักษิณ แสงสุวรรณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย....I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ....III
กิตติกรรมประกาศ....V
สารบัญ....VI
สารบัญตาราง....IX
สารบัญรูป....XI
บทที่ 1 บทนำ....1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา....1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์....2
1.3 แนวคิดของวิทยานิพนธ์....2
1.4 ขอบเขตวิทยานิพนธ์....2
1.5 รายละเอียดของวิทยานิพนธ์....3

บทที่ 2 ฟาวน์เดชันฟิลด์บัส....4
2.1 กล่าวนำ....4
2.2 เทคโนโลยีฟาวน์เดชันฟิลด์บัส....4
2.2.1 โมเดลการสื่อสารของฟาวน์เดชันฟิลด์บัส H1....7
2.2.2 ชั้นที่ 1 Physical Layer....7
2.2.3 ชั้นที่ 2 Communication Stack....9
2.2.4 ชั้นที่ 3 User Application....13
2.3 การสร้างลูปควบคุมโดยใช้เทคโนโลยีฟาวน์เดชันฟิลด์บัส....15
2.3.1 ฟังก์ชันบล็อกที่ใช้ในการสร้างลูปควบคุม....15
2.3.1.1 ฟังก์ชันบล็อก AI....15
2.3.1.2 ฟังก์ชันบล็อก PID....17
2.3.1.3 ฟังก์ชันบล็อก AO....18
2.3.2 การสร้างลูปควบคุมด้วยฟังก์ชันบล็อก....20
2.3.3 มาโครไซเคิลของลูปควบคุมด้วยแนวคิด CIF....22
2.4 ความปลอดภัยและความพร้อมใช้ของระบบควบคุมที่ใช้ฟาวน์เดชันฟิลด์บัส....24
2.4.1 การปรับปรุงความปลอดภัยของระบบควบคุมที่ใช้ฟาวน์เดชันฟิลด์บัส....24
2.4.2 การปรับปรุงความพร้อมใช้ของระบบควบคุมที่ใช้ฟาวน์เดชันฟิลด์บัส....24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.4.3 การสมดุลระหว่างความปลอดภัยและความพร้อมใช้ของระบบ....................25
2.4.4 การกำหนดค่าฟังก์ชันบล็อก....................26

บทที่ 3 การวิเคราะห์เน็ตเวิร์คโหลดของเซกเมนต์มาโครไซเคิล....................28
3.1 กล่าวนำ....................28
3.2 เน็ตเวิร์คโหลด....................28
3.2.1 กรณีศึกษาเน็ตเวิร์คโหลด....................28
3.2.2 ผลการทดลองกรณีศึกษาเน็ตเวิร์คโหลด....................32
3.3 เทคนิคการปรับเซกเมนต์มาโครไซเคิลที่นำเสนอ....................40
3.3.1 พลานต์โมเดลที่ใช้เป็นกรณีศึกษา....................40
3.3.2 กรณีศึกษาการปรับเซกเมน์มาโครไซเคิล....................42
3.3.3 ผลการทดลองและการประเมินผลการปรับเซกเมนต์มาโครไซเคิล....................48

บทที่ 4 การวิเคราะห์ความปลอดภัยและความพร้อมใช้ของลูปควบคุม....................60
4.1 กล่าวนำ....................60
4.2 พลานต์โมเดลควบคุมระดับน้ำที่ใช้เป็นกรณีศึกษา....................60
4.3 พื้นฐานการควบคุมกระบวนการโดยใช้ฟาวน์เดชันฟิลด์บัส....................61
4.3.1 โหมดและการทำงานของฟังก์ชันบล็อก....................61
4.3.2 ลูปควบคุมแบบPID และ Cascade ที่ใช้เป็นกรณีศึกษา....................63
4.4 การวิเคราะห์ผลการทดลองของกรณีศึกษา....................65
4.4.1 ตัวเลือกที่สนใจของฟังก์ชันบล็อก....................65
4.4.2 บัมพ์เลสทรานสเฟอร์และเซตพอยต์แทรกกิ้ง....................66
4.4.3 การปรับปรุงความปลอดภัยและความพร้อมใช้....................68
4.4.4 ผลการทดลองกากำหนดค่าพารามิเตอร์เพื่อความปลอดภัยและความพร้อมใช้ สำหรับการควบคุมแบบ PID....................72
4.4.4 ผลการทดลองกากำหนดค่าพารามิเตอร์เพื่อความปลอดภัยและความพร้อมใช้ สำหรับการควบคุมแบบ Cascade....................80

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ....94

5.1 สรุปผลการวิจัย....94

5.2 ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยต่อ....94

เอกสารอ้างอิง....95

ภาคผนวก....97

ประวัติผู้เขียน....135

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2.1 ความยาวของสายย่อย (Spur)......9
2.2 ชนิดของสายและความยาวสูงสุด......9
2.3 ตัวเลือกในการกำหนดค่าเพื่อความปลอดภัยของระบบหรือความพร้อมใช้ของระบบ......27
3.1 รายละเอียดของอุปกรณ์ฟิลด์บัส......28
3.2 มาโครไซเคิลซึ่งคำนวณโดยระบบโฮสต์ DCS ของ DeltaV......38
3.3 เน็ตเวิร์คโหลดที่วิเคราะห์ด้วยสมการที่ (3.1)......38
3.4 รายละเอียดของอุปกรณ์ฟิลด์บัสสำหรับการศึกษาในรูปที่ 3.21......40
3.5 รายละเอียดของอุปกรณ์ฟิลด์บัสสำหรับการศึกษาในรูปที่ 3.22......41
3.6 ฟังก์ชันบล็อกที่กำหนดในอุปกรณ์ระดับฟิลด์......42
3.7 ผลการทดลองมาโครไซเคิลของการวบคุมแบบ PID 2 ลูป ก่อนปรับ......51
3.8 ผลการทดลองมาโครไซเคิลของการวบคุมแบบ PID 2 ลูป หลังปรับ......51
3.9 ผลการทดลองมาโครไซเคิลของการวบคุมแบบ Cascade กรณีที่ 1 ก่อนปรับ......52
3.10 ผลการทดลองมาโครไซเคิลของการวบคุมแบบ Cascade กรณีที่ 1 หลังปรับ......52
3.11 ผลการทดลองมาโครไซเคิลของการวบคุมแบบ Cascade กรณีที่ 2 ก่อนปรับ......53
3.12 ผลการทดลองมาโครไซเคิลของการวบคุมแบบ Cascade กรณีที่ 2 หลังปรับ......53
3.13 ผลการทดลองมาโครไซเคิลของการวบคุมแบบ Cascade 2 ลูป กรณีที่ 1 ก่อนปรับ......54
3.14 ผลการทดลองมาโครไซเคิลของการวบคุมแบบ Cascade 2 ลูป กรณีที่ 1 หลังปรับ......55
3.15 ผลการทดลองมาโครไซเคิลของการวบคุมแบบ Cascade 2 ลูป กรณีที่ 2 ก่อนปรับ......56
3.16 ผลการทดลองมาโครไซเคิลของการวบคุมแบบ Cascade 2 ลูป กรณีที่ 2 หลังปรับ......57
3.17 ผลการปรับเซกเมนต์มาโครไซเคิลของลูปควบคุมที่สนใจ......58
4.1 รายละเอียดของอุปกรณ์ฟาวน์เดชันฟิลด์บัสที่ติดตั้งในรูปที่ 4.1......61
4.2 ผลของโหมดการทำงานของฟังก์ชันบล็อก......62
4.3 ฟังก์ชันบล็อกที่กำหนดในอุปกรณ์ระดับฟิลด์......64
4.4 การทำงานและโหมดปกติของฟังก์ชันบล็อกสำหรับการควบคุมแบบ PID......64
4.5 การทำงานและโหมดปกติของฟังก์ชันบล็อกสำหรับการควบคุมแบบ Cascade......64
4.6 ตัวเลือก STATUS_OPTS ที่สนใจในฟังก์ชันบล็อก AI......65
4.7 ตัวเลือก STATUS_OPTS ที่สนใจในฟังก์ชันบล็อก PID......65
4.8 ตัวเลือก CONTROL_OPTS ที่สนใจในฟังก์ชันบล็อก PID......66
4.9 ตัวเลือก IO_OPTS ที่สนใจในฟังก์ชันบล็อก AO......66

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า
4.10 การเปิดใช้งานตัวเลือกบัมพ์เลสทรานสเฟอร์และเซตพอยต์แทรกกิ้งสำหรับการควบคุมแบบ PID และ Cascade....67
4.11 พารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องสำหรับความปลอดภัยของการควบคุมแบบ PID....69
4.12 พารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องสำหรับความปลอดภัยของการควบคุมแบบ Cascade....69
4.13 พารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องสำหรับความพร้อมใช้ของการควบคุมแบบ Cascade....69
4.14 ค่าพารามิเตอร์พื้นฐานของฟังก์ชันบล็อก AI สำหรับการควบคุมแบบ PID....70
4.15 ค่าพารามิเตอร์พื้นฐานของฟังก์ชันบล็อก PID สำหรับการควบคุมแบบ PID....70
4.16 ค่าพารามิเตอร์พื้นฐานของฟังก์ชันบล็อก AO สำหรับการควบคุมแบบ PID....71
4.17 ค่าพารามิเตอร์พื้นฐานของฟังก์ชันบล็อก AI สำหรับการควบคุมแบบ Cascade....71
4.18 ค่าพารามิเตอร์พื้นฐานของฟังก์ชันบล็อก PID สำหรับการควบคุมแบบ Cascade....71
4.19 ค่าพารามิเตอร์พื้นฐานของฟังก์ชันบล็อก AO สำหรับการควบคุมแบบ Cascade....72
4.20 การกำหนดค่าพารามิเตอร์เพื่อความปลอดภัยและความพร้อมใช้สำหรับการควบคุมแบบ PID.72
4.21 เพทริเน็ตสำหรับการควบคุมแบบ PID เพื่อความปลอดภัย....78
4.22 เพทริเน็ตสำหรับการควบคุมแบบ PID เพื่อความพร้อมใช้....79
4.23 การกำหนดค่าพารามิเตอร์เพื่อความปลอดภัยและความพร้อมใช้สำหรับการควบคุมแบบ Cascade....80
4.24 เพทริเน็ตสำหรับการควบคุมแบบ Cascade เพื่อความพร้อมใช้....90
4.25 เพทริเน็ตสำหรับการควบคุมแบบ Cascade เพื่อความปลอดภัย....92
4.26 การกำหนดค่าพารามิเตอร์ของฟังก์ชันบล็อกเพื่อเพิ่มความปลอดภัยและความพร้อมใช้ของลูปควบคุมแบบ PID และ Cascade....93

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

2.1 โครงสร้างพื้นฐานของฟาวน์เดชันฟิลด์บัส....4
2.2 เปรียบเทียบระหว่างระบบเครื่องมือวัดแบบเดิมกับฟาวน์เดชันฟิลด์บัส....6
2.3 โครงสร้างของฟาวน์เดชันฟิลด์บัส H1 เทียบกับโมเดล OSI....7
2.4 สัญญาณไฟฟ้าที่ใช้ในการรับ-ส่งข้อมูลบนเซกเมนต์ H1....8
2.5 การเชื่อมต่ออุปกรณ์ระดับฟิลด์ต่าง ๆ บนบัส H1....8
2.6 ประเภทของอุปกรณ์ระดับฟิลด์ในเทคโนโลยีฟาวน์เดชันฟิลด์บัส H1....9
2.7 การรับ-ส่งข้อมูลแบบ Scheduled Communication....10
2.8 การรับ-ส่งข้อมูลแบบ Unscheduled Communication....11
2.9 ประเภทของ VCR ที่กำหนดใน FAS....12
2.10 ความสัมพันธ์ระหว่าง FMS และ Communication Services....13
2.11 โครงสร้างของ Object Dictionary....13
2.12 บล็อกที่ใช้ในชั้น User Application....14
2.13 โครงสร้างของอุปกรณ์ที่ใช้เป็นมาตรฐานสำหรับอุปกรณ์ฟาวน์เดชันฟิลด์บัส....14
2.14 แผนผังภายในฟังก์ชันบล็อก AI....15
2.15 แผนผังภายในฟังก์ชันบล็อก PID....17
2.16 แผนผังภายในฟังก์ชันบล็อก AO....18
2.17 ลูปควบคุมแบบ PID โดยใช้ฟาวน์เดชันฟิลด์บัส....20
2.18 ลูปควบคุมแบบ Cascade โดยใช้ฟาวน์เดชันฟิลด์บัส....21
2.19 การใช้ฟังก์ชันบล็อก PID ของอุปกรณ์ที่มีฟังก์ชันบล็อก AI....22
2.20 การใช้ฟังก์ชันบล็อก PID ของอุปกรณ์ที่มีฟังก์ชันบล็อก AO....23
3.1 การควบคุมแบบ PID 29
3.2 การควบคุมแบบ Cascade 29
3.3 การควบคุมแบบ PID 2 ลูป 30
3.4 การควบคุมแบบ Cascade 2 ลูป 31
3.5 ฟังก์ชันบล็อกในโปรแกรม Control Studio สำหรับการควบคุมแบบ PID กรณีที่ 1 32
3.6 มาโครไซเคิลของการควบคุมแบบ PID กรณีที่ 1 32
3.7 ฟังก์ชันบล็อกในโปรแกรม Control Studio สำหรับการควบคุมแบบ PID กรณีที่ 2 33
3.8 มาโครไซเคิลของการควบคุมแบบ PID กรณีที่ 2 33
3.9 ฟังก์ชันบล็อกในโปรแกรม Control Studio สำหรับการควบคุมแบบ Cascade กรณีที่ 1 33
3.10 มาโครไซเคิลของการควบคุมแบบ Cascade กรณีที่ 1 33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

3.11 ฟังก์ชันบล็อกในโปรแกรม Control Studio สำหรับการควบคุมแบบ Cascade กรณีที่ 2 34

3.12 มาโครไซเคิลของการควบคุมแบบ Cascade กรณีที่ 2 34

3.13 ฟังก์ชันบล็อกในโปรแกรม Control Studio สำหรับการควบคุมแบบ PID 2 ลูป กรณีที่ 1......35

3.14 มาโครไซเคิลของการควบคุมแบบ PID 2 ลูป กรณีที่ 1........35

3.15 ฟังก์ชันบล็อกในโปรแกรม Control Studio สำหรับการควบคุมแบบ PID 2 ลูป กรณีที่ 2......36

3.16 มาโครไซเคิลของการควบคุมแบบ PID 2 ลูป กรณีที่ 2 36

3.17 ฟังก์ชันบล็อกในโปรแกรม Control Studio สำหรับการควบคุมแบบ Cascade 2 ลูป กรณีที่ 1 37

3.18 มาโครไซเคิลของการควบคุมแบบ Cascade 2 ลูป กรณีที่ 1........37

3.19 ฟังก์ชันบล็อกในโปรแกรม Control Studio สำหรับการควบคุมแบบ Cascade 2 ลูป กรณีที่ 2 38

3.20 มาโครไซเคิลของการควบคุมแบบ Cascade 2 ลูป กรณีที่ 2........38

3.21 โครงสร้างระบบของกรณีศึกษาการควบคุมแบบ Cascade........40

3.22 โครงสร้างระบบของกรณีศึกษาการควบคุมแบบ PID 2 ลูป และ Cascade 2 ลูป........41

3.23 ฟังก์ชันบล็อกไดอะแกรมสำหรับการควบคุมแบบ PID 2 ลูป 42

3.24 มาโครไซเคิลของการควบคุมแบบ PID 2 ลูป ในรูปที่ 3.23 ก่อนปรับ 43

3.25 มาโครไซเคิลของการควบคุมแบบ PID 2 ลูป ในรูปที่ 3.23 หลังปรับ 43

3.26 ฟังก์ชันบล็อกไดอะแกรมสำหรับการควบคุมแบบ Cascade กรณีที่ 1........44

3.27 มาโครไซเคิลของการควบคุมแบบ Cascade กรณีที่ 1 ในรูปที่ 3.26 ก่อนปรับ........ 44

3.28 มาโครไซเคิลของการควบคุมแบบ Cascade กรณีที่ 1 ในรูปที่ 3.26 หลังปรับ........ 44

3.29 ฟังก์ชันบล็อกไดอะแกรมสำหรับการควบคุมแบบ Cascade กรณีที่ 2........45

3.30 มาโครไซเคิลของการควบคุมแบบ Cascade กรณีที่ 2 ในรูปที่ 3.29 ก่อนปรับ 45

3.31 มาโครไซเคิลของการควบคุมแบบ Cascade กรณีที่ 2 ในรูปที่ 3.29 หลังปรับ........45

3.32 ฟังก์ชันบล็อกไดอะแกรมสำหรับการควบคุมแบบ Cascade 2 ลูป กรณีที่ 1........46

3.33 มาโครไซเคิลของการควบคุมแบบ Cascade 2 ลูป กรณีที่ 1 ในรูปที่ 3.32 ก่อนปรับ 46

3.34 มาโครไซเคิลของการควบคุมแบบ Cascade 2 ลูป กรณีที่ 1 ในรูปที่ 3.32 หลังปรับ........46

3.35 ฟังก์ชันบล็อกไดอะแกรมสำหรับการควบคุมแบบ Cascade 2 ลูป กรณีที่ 2........47

3.36 มาโครไซเคิลของการควบคุมแบบ Cascade 2 ลูป กรณีที่ 2 ในรูปที่ 3.35 ก่อนปรับ........47

3.37 มาโครไซเคิลของการควบคุมแบบ Cascade 2 ลูป กรณีที่ 2 ในรูปที่ 3.35 หลังปรับ........47

3.38 โปรแกรม RTC Fieldbus Tool สำหรับการควบคุมแบบ Cascade กรณีที่ 2 48

3.39 มาโครไซเคิลของการควบคุมแบบ Cascade กรณีที่ 2 ก่อนปรับ 48

3.40 มาโครไซเคิลของการควบคุมแบบ Cascade กรณีที่ 2 หลังปรับ 48

3.41 โปรแกรม RTC Fieldbus Tool สำหรับการควบคุมแบบ Cascade 2 ลูป กรณีที่ 1 49

3.42 มาโครไซเคิลของการควบคุมแบบ Cascade 2 ลูป กรณีที่ 1 ก่อนปรับ 50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า
3.43 มาโครไซเคิลของการควบคุมแบบ Cascade 2 ลูป กรณีที่ 1 หลังปรับ 50
3.44 ผลตอบสนองการเปลี่ยนสเต็บของการควบคุมแบบ Cascade กรณีที่ 2 59
3.45 กราฟฟิกสำหรับควบคุมพลานต์โมเดลโดยใช้การควบคุมแบบ Cascade 2 ลูป กรณีที่ 1 59
4.1 แผนภาพของกระบวนการควบคุมระดับน้ำต่อกับระบบโฮสต์ DCS ของ DeltaV 60
4.2 ลำดับการปฏิบัติการของฟิลด์บัสฟังก์ชันบล็อก 62
4.3 ลูปควบคุมแบบ PID โดยใช้ฟังก์ชันบล็อกสำหรับการควบคุมในระดับฟิลด์ 63
4.4 ลูปควบคุมแบบ Cascade โดยใช้ฟังก์ชันบล็อกสำหรับการควบคุมในระดับฟิลด์ 63
4.5 ผลการทดลองเมื่อกำหนดค่าฟังก์ชันบล็อกเพื่อความพร้อมใช้ของระบบสำหรับการควบคุมแบบ PID กรณีสัญญาณการวัดระดับมีสถานะ Uncertain 73
4.6 ผลการทดลองเมื่อกำหนดค่าฟังก์ชันบล็อกเพื่อความพร้อมใช้ของระบบสำหรับการควบคุมแบบ PID กรณีสัญญาณการวัดระดับมีสถานะ Bad 74
4.7 ผลการทดลองเมื่อกำหนดค่าฟังก์ชันบล็อกเพื่อความปลอดภัยของระบบสำหรับการควบคุมแบบ PID กรณีสัญญาณการวัดระดับมีสถานะ Uncertain 75
4.8 ผลการทดลองเมื่อกำหนดค่าฟังก์ชันบล็อกเพื่อความปลอดภัยของระบบสำหรับการควบคุมแบบ PID กรณีสัญญาณการวัดระดับมีสถานะ Bad 76
4.9 แผนผังเพทริเน็ตสำหรับการควบคุมแบบ PID เพื่อความปลอดภัยของระบบ 77
4.10 แผนผังเพทริเน็ตสำหรับการควบคุมแบบ PID เพื่อความพร้อมใช้ของระบบ 79
4.11 ผลการทดลองเมื่อกำหนดค่าฟังก์ชันบล็อกเพื่อความพร้อมใช้ของระบบสำหรับการควบคุมแบบ Cascade กรณีสัญญาณการวัดระดับมีสถานะ Uncertain 81
4.12 ผลการทดลองเมื่อกำหนดค่าฟังก์ชันบล็อกเพื่อความพร้อมใช้ของระบบสำหรับการควบคุมแบบ Cascade กรณีสัญญาณการวัดอัตราการไหลมีสถานะ Uncertain 82
4.13 ผลการทดลองเมื่อกำหนดค่าฟังก์ชันบล็อกเพื่อความพร้อมใช้ของระบบสำหรับการควบคุมแบบ Cascade กรณีสัญญาณการวัดระดับมีสถานะ Bad 83
4.14 ผลการทดลองเมื่อกำหนดค่าฟังก์ชันบล็อกเพื่อความพร้อมใช้ของระบบสำหรับการควบคุมแบบ Cascade กรณีสัญญาณการวัดอัตราการไหลมีสถานะ Bad 84
4.15 ผลการทดลองเมื่อกำหนดค่าฟังก์ชันบล็อกเพื่อความปลอดภัยของระบบสำหรับการควบคุมแบบ Cascade กรณีสัญญาณการวัดระดับมีสถานะ Uncertain 85
4.16 ผลการทดลองเมื่อกำหนดค่าฟังก์ชันบล็อกเพื่อความปลอดภัยของระบบสำหรับการควบคุมแบบ Cascade กรณีสัญญาณการวัดอัตราการไหลมีสถานะ Uncertain 86
4.17 ผลการทดลองเมื่อกำหนดค่าฟังก์ชันบล็อกเพื่อความปลอดภัยของระบบสำหรับการควบคุมแบบ Cascade กรณีสัญญาณการวัดระดับมีสถานะ Bad 87
4.18 ผลการทดลองเมื่อกำหนดค่าฟังก์ชันบล็อกเพื่อความปลอดภัยของระบบสำหรับการควบคุมแบบ Cascade กรณีสัญญาณการวัดอัตราการไหลมีสถานะ Bad 88

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า
4.19 แผนผังเพทริเน็ตสำหรับการควบคุมแบบ Cascade เพื่อความพร้อมใช้ของระบบ....................89
4.20 แผนผังเพทริน็ตสำหรับการควบคุมแบบ Cascade เพื่อความปลอดภัยของระบบ...................91

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

อุตสาหกรรมได้มีพัฒนาอย่างต่อเนื่องสำหรับการพัฒนาล่าสุด เช่น อุตสาหกรรม 4.0 (Industry 4.0) การผลิตอัจฉริยะ (Smart Manufacturing) และอินเตอร์เน็ตสำหรับอุตสาหกรรม (Industrial Internet of Things: IIoT) มุ่งเน้นไปที่การแปลงระบบเครือข่ายแบบดิจิตอล ฟาวน์เดชันฟิลด์บัส (Foundation Fieldbus) ถูกออกแบบมาเป็นพิเศษสำหรับใช้ในงานควบคุมกระบวนการ เป็นหนึ่งในเครือข่ายการสื่อสารอุตสาหกรรมตามมาตรฐาน IEC 61158 ซึ่งสามารถเป็นพื้นฐานสำหรับการควบคุมกระบวนการในปัจจุบันได้อย่างมีประสิทธิภาพ เมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องมือวัดและการควบคุมแอนะลอกแบบเดิม ฟาวน์เดชันฟิลด์บัสไม่เพียงช่วยลดส่วนประกอบฮาร์ดแวร์ แต่ยังมีความสามารถใหม่ ๆ มากมาย ตัวอย่างของความสามารถเหล่านี้ ได้แก่ การสื่อสารแบบสองทิศทาง วัดได้หลายตัวแปร วินิฉัยความผิดปกติของตัวเองได้ และกระจายหน่วยควบคุมไปยัง ส่วนต่าง ๆ ที่อยู่ภายในเครือข่าย ผู้ใช้สามารถกำหนดให้ฟังก์ชันการควบคุมอยู่ที่ คอนโทรลเลอร์เรียกว่า “การควบคุมระดับโฮสต์ (Control in the Host: CIH)” หรือให้ฟังก์ชันการควบคุมอยู่ที่อุปกรณ์ระดับฟิลด์เรียกว่า “การควบคุมระดับฟิลด์ (Control in the Field: CIF)” [1-3] การออกแบบระบบควบคุมขึ้นอยู่กับขีดความสามารถและข้อจำกัดของเทคโนโลยีที่ใช้ ดังนั้น จึงเป็นเรื่องสำคัญที่วิศวกรระบบหรือผู้ใช้ควรเข้าใจความสามารถและข้อจำกัดของเทคโนโลยีที่ใช้

การสร้างลูปควบคุมระดับฟิลด์นอกจากลดเน็ตเวิร์คโหลด (Network load) สำหรับช่วงเวลาการสื่อสารระหว่างอุปกรณ์ฟาวน์เดชันฟิลด์บัส หรือ Scheduled Communication ยังเพิ่มเน็ตเวิร์คแบนด์วิธ (Network bandwidth) สำหรับช่วงเวลาที่ไม่ใช่การสื่อสารระหว่างอุปกรณ์ฟาวน์เดชันฟิลด์บัส หรือ Unscheduled Communication [4-6] อย่างไรก็ตามการควบคุมระดับฟิลด์ยังคงมีความต้องการในการเพิ่มประสิทธิภาพการสื่อสาร และการใช้ประโยชน์จากเน็ตเวิร์คให้ได้มากที่สุด โดยเฉพาะอย่างยิ่งกรณีที่มีลูปควบคุมเพิ่มมากขึ้น

ถ้าเครื่องมือวัด โมดูล หรือเครือข่ายล้มเหลว ความล้มเหลวจะเกิดขึ้น [7] การวิเคราะห์ความปลอดภัยตามมาตรฐาน IEC 61511 ผู้ใช้งานกระบวนการอุตสาหกรรม เช่น โรงกลั่น โรงปิโตรเคมีคอล จำเป็นต้องวิเคราะห์ความเสี่ยงและอัตรายที่อาจจะเกิดขึ้นบนพื้นฐานการป้องกันที่เป็นอิสระ [8] สำหรับพื้นที่อันตรายการป้องกันอาศัยระบบวัดคุมนิรภัย (Safety Instrumented System: SIS) ซึ่งเพิ่มขึ้นมาจากระบบควบคุมกระบวนการพื้นฐาน (Basic Process Control System: BPCS) ใช้สำหรับลูปควบคุมที่อันตรายเพื่อลดความเสี่ยงที่อาจเกิดขึ้นกับชีวิตและทรัพย์สิน [9] BPCS เป็นการทำงานในสภาวะปกติ ถ้า BPCS เกิดความล้มเหลวจะมีการแจ้งเตือนให้ผู้ปฏิบัติงานแก้ไข ถ้าผู้ปฏิบัติงานไม่สามารถแก้ไขได้ SIS จะทำงานเพื่อให้กระบวนการอยู่ในสภาวะที่ปลอดภัย เพื่อหลีกเลี่ยงความล้มเหลว BPCS และ SIS ต้องเป็นอิสระอย่างสมบูรณ์ [10] การออกแบบสองระบบนี้มีช่องว่างพอสมควร อย่างไรก็ตามด้วยจุดเด่นของเทคโนโลยีฟาวน์เดชันฟิลด์บัส สามารถปรับปรุงผลตอบสนองต่อความล้มเหลวของ BPCS [11-14] ฟาวน์เดชันฟิลด์บัสทำงานบนพื้นฐานของฟังก์ชันบล็อก (Function Block) [15] ซึ่งภายในบรรจุไปด้วยค่าตัวเลข ค่าสถานะ และค่าพารามิเตอร์ของอุปกรณ์ โดยทั่วไปค่าเบื้องต้นที่กำหนดจากโรงงานไม่สามารถตอบความต้องการได้ทั้งหมดในกรณีเมื่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เกิดความล้มเหลวที่เครื่องมือวัดและเครือข่ายการสื่อสาร จึงอาจทำให้เกิดอันตรายในบางกรณีที่ไม่สามารถควบคุมได้ เมื่อเกิดเหตุการณ์ความล้มเหลวที่เครื่องมือวัดและเครือข่ายการสื่อสาร การแจ้งเตือนในแต่ละระดับของความรุนแรงของเหตุการณ์ต้องถูกจัดการอย่างเป็นระบบด้วยเทคโนโลยีของฟาวน์เดชันฟิลด์บัส การจัดการดังกล่าวทำได้โดยใช้วิธีกำหนดค่าพารามิเตอร์ของฟังก์ชันบล็อก ผู้ใช้งานสามารถเลือกกำหนดค่าเพื่อความพร้อมใช้ (Availability) หรือความปลอดภัย (Safety) ของระบบเบื้องต้นได้โดยไม่ต้องติดตั้งอุปกรณ์ภายนอกเพิ่ม

เป้าหมายของความพร้อมใช้ คือเมื่อเกิดเหตุการณ์ความล้มเหลวที่เครื่องมือวัดและเครือข่ายการสื่อสารระบบพยายามให้กระบวนการทำงานอย่างต่อเนื่อง ส่วนเป้าหมายเพื่อความปลอดภัยเมื่อเกิดเหตุการณ์ความล้มเหลวที่เครื่องมือวัดและเครือข่ายการสื่อสารระบบจะทำให้กระบวนการอยู่ในตำแหน่งที่ปลอดภัย

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์

วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้มุ่งเน้นที่การวิเคราะห์สมถรรถนะของการควบคุมระดับฟิลด์โดยใช้ฟาวน์เดชันฟิลด์บัส โดยนำเสนอเทคนิคทางภาคปฏิบัติเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการสื่อสารสำหรับการควบคุมแบบ PID และ Cascade โดยการลดเวลาลาเทนซีของลูปควบคุม (Control Loop Latency) ให้น้อยที่สุด และใช้ประโยชน์จากเน็ตเวิร์คแบนด์วิธมากที่สุด นอกจากนี้ยังนำเสนอเทคนิคที่มีประโยชน์สำหรับการกำหนดค่าของฟังก์ชันบล็อกในอุปกรณ์ฟาวน์เดชันฟิลด์บัส H1 เพื่อสร้างการควบคุมแบบ PID และ Cascade ที่สามารถให้การตอบสนองพิเศษเมื่อเครื่องมือวัดและเครือข่ายการสื่อสารเกิดความล้มเหลวเพื่อความต้องการในด้านความปลอดภัยและความพร้อมใช้ของระบบ

1.3 แนวคิดของวิทยานิพนธ์

ในการสร้างลูปควบคุมแบบ PID และ Cascade ด้วยเทคโนโลยีฟาวน์เดชันฟิลด์บัสด้วยแนวคิด "Control in the Field" หรือ CIF สำหรับการควบคุมกระบวนการ สิ่งสำคัญที่ต้องคำนึงถึง คือ เน็ตเวิร์คโหลด และการกำหนดค่าพารามิเตอร์ของฟังก์ชันบล็อกเพื่อให้ผลตอบสนองเป็นไปตามที่ต้องการเมื่อเครื่องมือวัดและเครือข่ายการสื่อสารล้มเหลว จากการศึกษาเน็ตเวิร์คโหลดของฟาวน์เดชันฟิลด์บัส พบว่าเกิดจากระยะเวลาและจำนวนครั้งในการสื่อสารข้อมูลแบบ Scheduled Communication ภายในช่วงเวลาหนึ่งเซกเมนต์มาโครไซเคิล (Segment Macrocycle) ซึ่งสามารถลดเน็ตเวิร์คโหลดด้วยการเลือกตำแหน่งของฟังก์ชันบล็อก PID ให้เหมาะสม เมื่อได้ตำหน่งฟังก์ชันบล็อก PID ที่เหมาะสมแล้ว ทำอย่างไรให้สามารถเพิ่มประสิทธิในการสื่อสารได้ เนื่องจากฟาวน์เดชันฟิลด์บัสอาศัยเซกเมนต์มาโครไซเคิลในการควบคุมการสื่อสาร ดังนั้น การปรับเซกเมนต์มาโครไซเคิลให้เหมาะสม สามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการสื่อสารได้ อีกประเด็นหนึ่งที่น่าสนใจ คือ การกำหนดค่าพารามิเตอร์ของฟังก์ชันบล็อกอย่างไรเพื่อให้ผลตอบสนองเป็นไปตามที่ต้องการเมื่อเครื่องมือวัดและเครือข่ายการสื่อสารเกิดความล้มเหลวทั้งเพื่อความปลอดภัยและความพร้อมใช้ของระบบ

1.4 ขอบเขตวิทยานิพนธ์

การทดลองเพื่อให้บรรลุตามวัตถุประสงค์ที่กำหนดได้ใช้พลานต์โมเดลการควบคุมระดับน้ำ ของหลักสูตรวิศวกรรมอัตโนมัติ ภาควิชาวิศวกรรมการวัดและควบคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เป็นกรณีศึกษา สำหรับกรณีศึกษาเน็ตเวิร์คโหลด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของฟาวน์เดชันฟิลด์บัส H1 สำหรับการควบคุมแบบ PID 1 ลูป 2 ลูป และ Cascade 1 ลูป 2 ลูป ด้วยแนวคิด CIF ใช้พลานต์โมเดลการควบคุมระดับน้ำต่อร่วมกับระบบโฮสต์แบบ Distributed Control System หรือ DCS รุ่น DeltaV ของบริษัท Emerson Process Management ในการกำหนดตั้งค่าระบบ การกำหนดตั้งค่าอุปกรณ์ และการสร้างลูปควบคุมแบบ Offline เซกเมนต์มาโครไซเคิลที่ได้ถูกนำไปคำนวณหาค่าเน็ตเวิร์คโหลด กรณีศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพการสื่อสารของเครือข่ายฟาวน์เดชันฟิลด์บัส H1 ใช้พลานต์โมเดลการควบคุมระดับน้ำต่อร่วมกับระบบโฮสต์ DCS (Harmonas-DEO) ของบริษัท Azbil ในการกำหนดตั้งค่าระบบ การกำหนดตั้งค่าอุปกรณ์ และการสร้างลูปควบคุมจำนวน 5 กรณี ประกอบด้วย การควบคุมแบบ PID 2 ลูป การควบคุมแบบ Cascade กรณีที่ 1 การควบคุมแบบ Cascade กรณีที่ 2 การควบคุมแบบ Cascade 2 ลูป กรณีที่ 1 และการควบคุมแบบ Cascade 2 ลูป กรณีที่ 2 และอีกกรณีศึกษา คือวิธีการกำหนดค่าพารามิเตอร์ของฟังก์ชันบล็อกของเทคโนโลยีฟาวน์เดชันฟิลด์บัส เพื่อความปลอดภัยและความพร้อมใช้ของระบบเมื่อเครื่องมือวัดและเครือข่ายการสื่อสารล้มเหลว โดยใช้พลานต์โมเดลการควบคุมระดับน้ำต่อร่วมกับระบบโฮสต์ DCS (DeltaV) ของบริษัท Emerson Process Management ในการกำหนดตั้งค่าระบบ การกำหนดตั้งค่าอุปกรณ์ และการสร้างลูปควบคุมแบบ PID และ Cascade ด้วยแนวคิด CIF สำหรับการอธิบายเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นใช้เพทริเน็ตโมเดล

1.5 รายละเอียดของวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้แบ่งเนื้อหาออกเป็น 5 บทด้วยกัน โดยมีรายละเอียดดังนี้

บทที่ 1 บทนำ เป็นการกล่าวถึง ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา แนวคิดของวิทยานิพนธ์ ขอบเขตวิทยานิพนธ์ และรายละเอียดของวิทยานิพนธ์

บทที่ 2 เป็นการกล่าวถึง เทคโนโลยีฟาวน์เดชันฟิลด์บัส ฟังก์ชันบล็อกของเทคโนโลยีฟาวน์เดชันฟิลด์ โดยมีการอธิบายถึงโมเดลการสื่อสารของเทคโนโลยีฟาวน์เดชันฟิลด์บัส H1 ในการสร้างลูปควบคุมโดยใช้ฟังก์ชันบล็อกตามแนวคิด CIF ความปลอดภัยและความพร้อมใช้ของระบบ

บทที่ 3 เป็นการวิเคราะห์เน็ตเวิร์คโหลดสำหรับการควบคุมแบบ PID และ Cascade ทั้งแบบ 1 ลูป และ 2 ลูป พร้อมทั้งนำเสนอเทคนิคการปรับเซกเมนต์มาโครไซเคิลเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการสื่อสาร ผลการทดลองและการอภิปรายผล

บทที่ 4 เป็นการวิเคราะห์วิธีการกำหนดค่าพารามิเตอร์ของฟังก์ชันบล็อกของเทคโนโลยีฟาวน์เดชันฟิลด์บัส เพื่อปรับปรุงความปลอดภัยและความพร้อมใช้ของระบบ พร้อมทั้งแสดงผลการทดลองเมื่อเกิดความล้มเหลวที่เครื่องมือวัดและเครือข่ายการสื่อสาร และอธิบายเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นด้วยเพทริเน็ตโมเดล นอกจากนี้ยังได้นำเสนอวิธีการกำหนดค่าพารามิเตอร์ของฟังก์ชันบล็อกเพื่อเพิ่มความปลอดภัยหรือความพร้อมใช้ของลูปควบคุม

บทที่ 5 เป็นบทสุดท้ายโดยมีการกล่าวถึงสรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

ในส่วนสุดท้ายของวิทยานิพนธ์นี้เป็นภาคผนวกที่ประกอบด้วยบทความวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์ในวารสารวิชาการระดับนานาชาติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

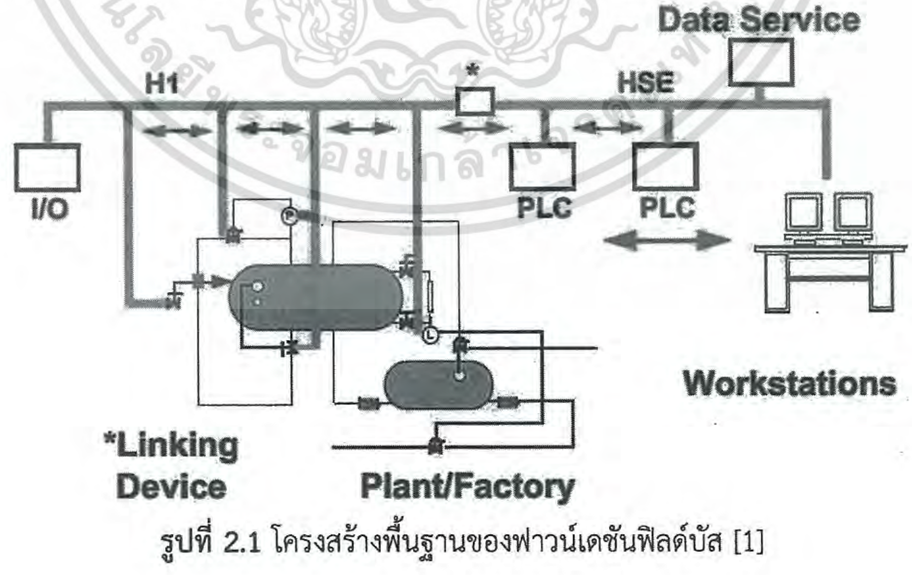
บทที่ 2
ฟาวน์เดชันฟิลด์บัส

2.1 กล่าวนำ

ในบทนี้เป็นการแนะนำเทคโนโลยีฟาวน์เดชันฟิลด์บัส โมเดลของฟาวน์เดชันฟิลด์บัส H1 ในแต่ละชั้นการสื่อสารที่อ้างอิงกับโมเดล OSI (Open System Interconnecting Reference Model) ขององค์กร ISO (International Organization for Standardization) การสร้างลูปควบคุมโดยใช้เทคโนโลยีของฟาวน์เดชันฟิลด์บัสด้วยแนวคิด CIF รวมทั้งแนวคิดในการปรับปรุงความปลอดภัยและความพร้อมใช้ของระบบ

2.2 เทคโนโลยีฟาวน์เดชันฟิลด์บัส [1-4]

ฟาวน์เดชันฟิลด์บัสเป็นเทคโนโลยีสำหรับระบบเครือข่ายทางอุตสาหกรรมออกแบบมาสำหรับกระบวนการอัตโนมัติ โดยเริ่มต้นการจัดตั้งองค์กรระดับชาติที่ใช้ชื่อว่า ISP (Interoperable Systems Project) โดยกลุ่มบริษัทผู้ผลิตในอเมริกา ในปี ค.ศ.1992 เพื่อสร้างข้อกำหนดให้เป็นมาตรฐานสำหรับระบบฟิลด์บัสที่ใช้ในพื้นที่อัตราย ในช่วงเวลาเดียวกันการรวมตัวของกลุ่มบริษัทผู้ผลิตและใช้งานของ FIP (Flux Information Process เดิมย่อมาจาก Factory Instrument Protocol) ประเทศฝรั่งเศส ได้จัดตั้งองค์กรใหม่ให้เป็นสากลโดยใช้ชื่อว่า WordFIP และในปี ค.ศ. 1994 ได้มีการรวมตัวกันระหว่าง ISP และ FIP North America ก่อตั้งเป็น Fieldbus Foundation ปัจจุบัน คือ FieldComm Group ที่มีจุดประสงค์ในการสร้างมาตรฐานสำหรับฟิลด์บัสในระบบอัตโนมัติทางอุตสาหกรรมที่ครอบคลุมในพื้นที่อันตราย รวมไปถึงการรับรองผลิตภัณฑ์ของกลุ่มบริษัทผู้ผลิต และการเผยแพร่เทคโนโลยีผ่านสถาบันการศึกษา



รูปที่ 2.1 โครงสร้างพื้นฐานของฟาวน์เดชันฟิลด์บัส [1]

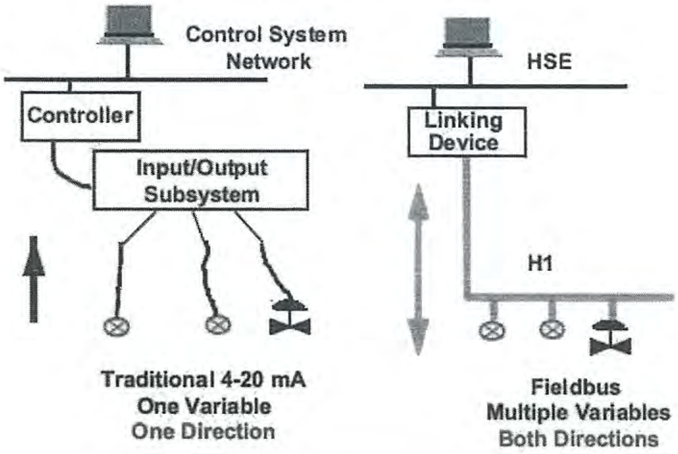
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.1 แสดงโครงสร้างพื้นฐานของการเชื่อมต่ออุปกรณ์บนเครือข่ายตามเทคโนโลยีฟาวน์เดชันฟิลด์บัสที่ใช้บัส 2 แบบในการเชื่อมต่อ คือ 1. ฟาวน์เดชันฟิลด์บัส H1 เป็นเครือข่ายการสื่อสารระดับฟิลด์ที่ใช้ในการเชื่อมต่ออุปกรณ์ระดับฟิลด์ เช่น ทรานสมิตเตอร์ และวาล์วควบคุม เข้าด้วยกัน ซึ่งมีส่วนย่อยของเครือข่ายเรียกว่า “เซกเมนต์ (Segment)” ความเร็วในการรับ-ส่งข้อมูลมีค่า 31.25 กิโลบิตต่อวินาที (kbps) โดยที่เครือข่าย H1 สามารถติดตั้งใช้งานในพื้นที่อันตรายที่มีความเสี่ยงในการเกิดระเบิดลุกไหม้ (Hazardous Area) ได้ ทั้งนี้อุปกรณ์ระดับฟิลด์ H1 ต้องมีเครื่องหมายรับรองอุปกรณ์ที่ใช้ในพื้นที่อันตราย นอกจากนี้ สัญญาณที่ใช้ในการสื่อสารมีส่วนที่เป็นสัญญาณแรงดันดีซีซึ่งใช้เป็นไฟเลี้ยงให้แก่อุปกรณ์ระดับฟิลด์ได้อีกด้วย 2. ฟาวน์เดชันฟิลด์บัส HSE (High Speed Ethernet) เป็นเครือข่ายการสื่อสารระดับการควบคุม (Control-Level Network) ที่ใช้ในการเชื่อมต่ออุปกรณ์ต่าง ๆ สำหรับการควบคุมและแสดงผลกระบวนการ เช่น ส่วนติดต่อกับผู้ปฏิบัติการ (Operator Workstation) ส่วนที่ใช้ในการกำหนดตั้งค่าระบบ (Engineering Workstation) และส่วนเก็บข้อมูลระบบ (Data Sever) เป็นต้น ซึ่งมีความเร็วในการรับ-ส่งข้อมูล 100 เมกะบิตต่อวินาที (Mbps) โดยเครือข่าย HSE มีโครงสร้างทางกายภาพที่พัฒนามาจากมาตรฐาน Ethernet (IEEE 802.3) การเชื่อมต่อระหว่าง H1 และ HSE เชื่อมต่อผ่านอุปกรณ์เชื่อมต่อ (Linking Device) ฟาวน์เดชันฟิลด์บัสเป็นเทคโนโลยีสำหรับการสื่อสารข้อมูลดิจิตอลที่มีการส่งข้อมูลแบบบิตอนุกรม โดยมีทิศทางการส่งแบบสองทิศทาง และมีการเชื่อมต่อแบบมัลติดรอป (Multidrop) ฟาวน์เดชันฟิลด์บัสเป็นระบบเปิดสำหรับเครือข่ายทางอุตสาหกรรมที่มีความสามารถในการเชื่อมต่ออุปกรณ์จากหลายแหล่งผู้ผลิตเข้าด้วยกัน คุณสมบัติที่สำคัญของเทคโนโลยีฟาวน์เดชันฟิลด์บัส H1 ได้แก่

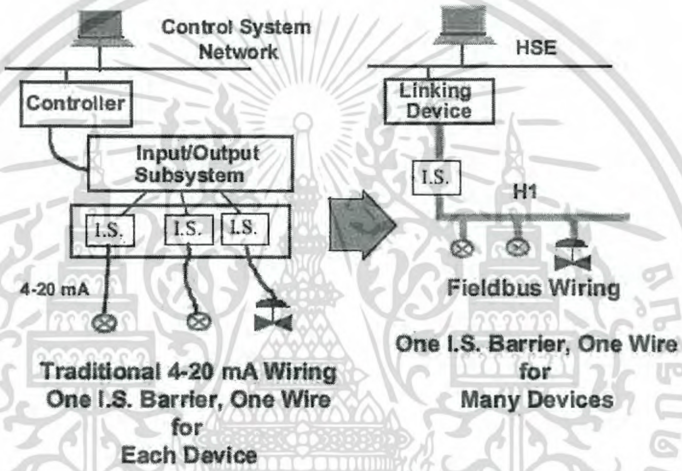
- มีการออกแบบให้ใช้งานในพื้นที่อัตรายได้ โดยมีการป้องกันแบบ Intrinsic Safety
- สามารถจ่ายไฟให้แก่อุปกรณ์ระดับฟิลด์ได้โดยผ่านบัสที่เชื่อมต่อ
- มีทอพอโลยีแบบบัส (Bus with Spur Topology) หรือ มัลติดรอป
- สามารถใช้อุปกรณ์ที่เป็นมาสเตอร์ (Master) ได้หลายตัว
- สามารถแสดงผลข้อมูลแบบไดนามิค (Dynamic) (เช่น กราฟ หรือ Trend chart) ได้
- มีบล็อกโมเดลที่เป็นมาตรฐานสำหรับการเชื่อมต่ออุปกรณ์ให้เป็นแบบเดียวกัน
- เป็นระบบเครือข่ายที่ยืดหยุ่นซึ่งมีทางเลือกที่หลากหลายทั้งนี้ขึ้นอยู่กับอุปกรณ์ที่นำมาต่อ

รูปที่ 2.2 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างระบบเครื่องมือวัดแบบเดิม (4-20 mA) กับเทคโนโลยีฟาวน์เดชันฟิลด์บัส ระบบเครื่องมือวัดแบบเดิมสามารถส่งข้อมูลได้ทิศทางเดียว ข้อมูลที่ส่งมีเฉพาะค่าตัวแปรกระบวนการ (Process Variable: PV) จำนวนสายหนึ่งคู่สำหรับอุปกรณ์เครื่องมือวัดหนึ่งตัว (เครื่องมือวัดชนิด 2 สาย) ฟาวน์เดชันฟิลด์บัสสื่อสารเป็นแบบสองทิศทาง ข้อมูลที่ส่งมีหลายตัวแปร จำนวนสายเส้นเดียว ดังแสดงในรูปที่ 2.2(ก) ระบบเครื่องมือวัดแบบเดิมจำนวนอุปกรณ์ป้องกัน (Intrinsic Safe Barrier: I.S) เท่ากับจำนวนเครื่องมือวัด ฟาวน์เดชันฟิลด์บัสจำนวนอุปกรณ์ป้องกันตัวเดียวต่อเครือข่ายดังแสดงในรูปที่ 2.2(ข) ฟังก์ชันการควบคุมระบบเครื่องมือวัดแบบเดิม ฟังก์ชันการควบคุมอยู่ที่ระดับโฮสต์เท่านั้นแต่ฟาวน์เดชันฟิลด์บัส สามารถกำหนดได้ทั้ง ระดับโฮสต์ และระดับฟิลด์ ดังแสดงในรูปที่ 2.2(ค)

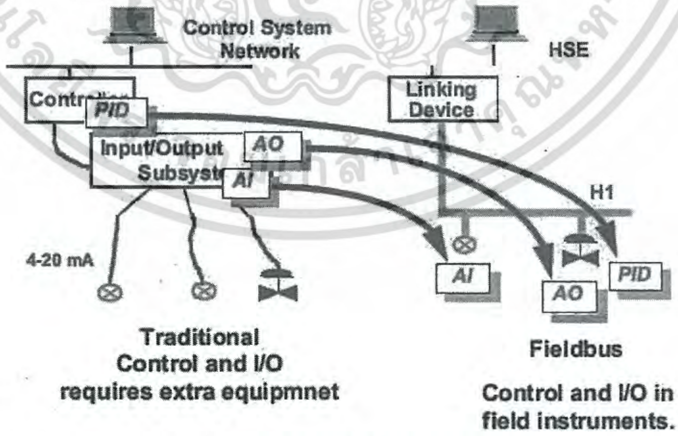
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) การส่งข้อมูลและจำนวนสาย



(ข) จำนวนอุปกรณ์ป้องกัน



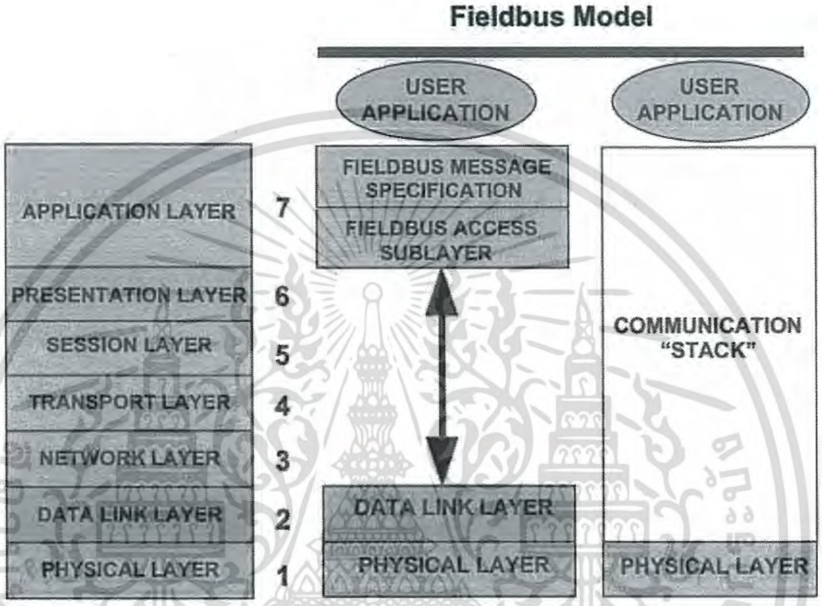
(ค) ตำแหน่งของฟังก์ชันการควบคุม

รูปที่ 2.2 การเปรียบเทียบระหว่างระบบเครื่องมือวัดแบบเดิมกับฟาวน์เดชันฟิลด์บัส [1]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.1 โมเดลการสื่อสารของฟาวน์เดชันฟิลด์บัส H1

รูปที่ 2.3 แสดงโครงสร้างของฟาวน์เดชันฟิลด์บัส H1 เทียบกับโมเดล OSI โดยที่เทคโนโลยีฟาวน์เดชันฟิลด์บัส H1 มีข้อกำหนดเฉพาะชั้นที่ 1 Physical Layer ชั้นที่ 2 Data Link Layer และชั้นที่ 7 Application Layer โดยชั้นที่ 2 ถึง ชั้นที่ 7 ถูกเรียกรวมกันว่า “Communication Stack” ส่วนชั้น User Application เป็นส่วนเพิ่มเติมของเทคโนโลยีฟาวน์เดชันฟิลด์บัสโดยเฉพาะ ใช้เป็นข้อกำหนดฟังก์ชันการทำงานของอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่มีการสื่อสารด้วยเทคโนโลยีนี้ รายละเอียดการทำงานของแต่ละชั้นการสื่อสารของเทคโนโลยีฟาวน์เดชันฟิลด์บัส H1 อธิบายโดยย่อได้ดังนี้



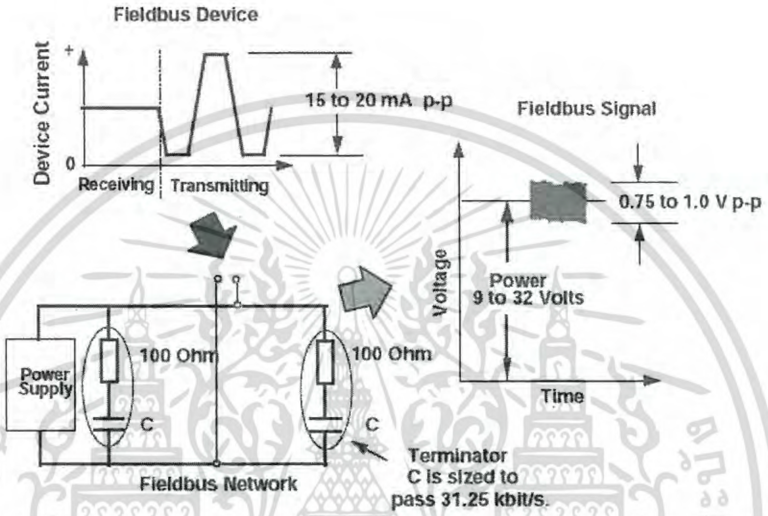
รูปที่ 2.3 โครงสร้างของฟาวน์เดชันฟิลด์บัส H1 เทียบกับโมเดล OSI [1]

2.2.2 ชั้นที่ 1 Physical Layer

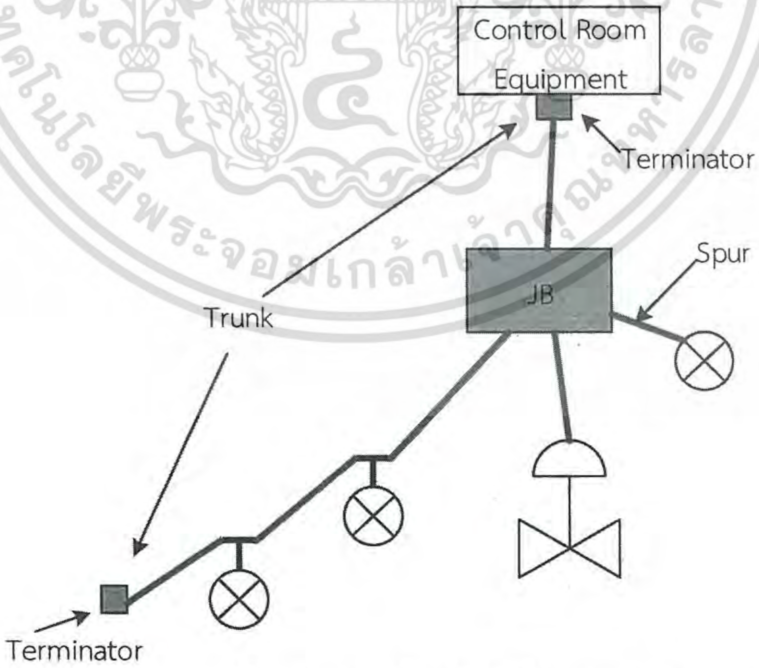
Physical Layer เป็นชั้นที่เกี่ยวข้องกับโครงสร้างทางกายภาพในการติดตั้ง การเดินสายของอุปกรณ์ในฟิลด์บัสเซกเมนต์ H1 รวมถึงรูปแบบของสัญญาณไฟฟ้าที่ใช้ในการรับ-ส่งข้อมูลระหว่างอุปกรณ์ โดยข้อกำหนดในชั้นนี้ของฟาวน์เดชันฟิลด์บัส H1 ถูกพัฒนาขึ้นตามมาตรฐาน ISA S50.02 และ IEC 61158-2 ที่มีสัญญาณไฟฟ้า 2 ส่วนดังแสดงในรูปที่ 2.4 คือ ส่วนที่เป็นสัญญาณแรงดันไฟฟ้าดีซีในช่วง 9-32 Vdc สำหรับเป็นไฟเลี้ยงให้แก่อุปกรณ์ระดับฟิลด์ที่เชื่อมต่อบนเซกเมนต์ H1 และส่วนที่เป็นสัญญาณแรงดัน/กระแสไฟฟ้าเอซีซึ่งมีการเข้ารหัสด้วยเทคนิค “Manchester Encoding” โดยมีค่าความถี่ 31.25 kbps ซึ่งเป็นส่วนข้อมูลที่รับ-ส่งบนเซกเมนต์ นอกจากนั้นบัส H1 ยังได้รับการออกแบบให้ใช้ในพื้นที่อันตรายได้ โดยมีการป้องกันแบบ Intrinsic Safety ในรูปที่ 2.5 แสดงการเชื่อมต่ออุปกรณ์ระดับฟิลด์ต่าง ๆ บนบัส H1 โดยทั่วไปรูปแบบการเชื่อมโยงเครือข่ายจะเป็นแบบบัสหรือไลน์ (Bus or Line Topology) ที่มีสายเส้นหนึ่งทำหน้าที่เป็นแกนหลักสำหรับการเชื่อมต่ออุปกรณ์ทั้งหมดหรือที่เรียกว่า “สายหลัก (Main Run หรือ Trunk)” และมีเทอมิเนเตอร์ (Terminator) 2 ตัว ต่อเข้าที่ปลายทั้งสองของสายหลักในแต่ละเซกเมนต์ โดยทั่วไปเทอมิเนเตอร์ตัวหนึ่งอยู่ที่ปลายสายในห้องควบคุม (Control Room) ส่วนอีกตัวอยู่ในกล่องต่อสาย (Junction Box) ในฟิลด์โดยกล่องต่อสายใช้สำหรับเชื่อมอุปกรณ์ในระดับฟิลด์ รูปแบบการเชื่อมโยงเครือข่ายแบบผสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คือมีส่วนที่เป็นแบบสตาร์ (Star Topology) และแบบทรี (Tree Topology) สายที่แยกออกจากกล่องต่อสายไปยังอุปกรณ์เรียกว่า "สายย่อย (Spur)" ในตารางที่ 2.1 แสดงความยาวของ Spur ที่สามารถใช้ได้ โดยขึ้นอยู่กับจำนวนอุปกรณ์ที่ต่อร่วมใน Junction Box เดียวกัน และตารางที่ 2.2 แสดงชนิดของสายและความยาวสูงสุด (ต่อเซกเมนต์ โดยไม่ใช้ตัวทวนสัญญาณ (Repeater)) โดยความยาวสูงสุดนี้นับรวมความยาวของ Spur ทั้งหมดด้วย ตัวอย่างเช่น สาย Type A ความยาวสูงสุดของบัส H1 ใน 1 เซกเมนต์ยาวได้ 1900 เมตร ใช้ Repeater จำนวน 4 ตัว ได้ความยาวสูงสุดของบัส H1 เป็น 5*1900 = 9500 เมตร



รูปที่ 2.4 สัญญาณไฟฟ้าที่ใช้ในการรับ-ส่งข้อมูลบนเซกเมนต์ H1 [1]



รูปที่ 2.5 การเชื่อมต่ออุปกรณ์ระดับฟิลด์ต่าง ๆ บนบัส H1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 ความยาวของสายย่อย (Spur)

Total Devices	1 Device/Spur	2 Devices/Spur	3 Devices/Spur	4 Devices/Spur
25-32	1 m	1 m	1 m	1 m
19-24	30 m	1 m	1 m	1 m
15-18	60 m	30 m	1 m	1 m
13-14	90 m	60 m	30 m	1 m
1-12	120 m	90 m	60 m	30 m

ตารางที่ 2.2 ชนิดของสายและความยาวสูงสุด

Type	Cable Description	Size	Max Length
Type A	Shielded, twisted pair	#18 AWG (0.8 mm^2)	1900 m
Type B	Muti-twisted-pair with shield	#22 AWG (0.32 mm^2)	1200 m
Type C	Muti-twisted pair without shield	#26 AWG (0.13 mm^2)	400 m
Type D	Muti-core, without twisted pairs and having an overall shield	#16 AWG (1.25 mm^2)	200 m

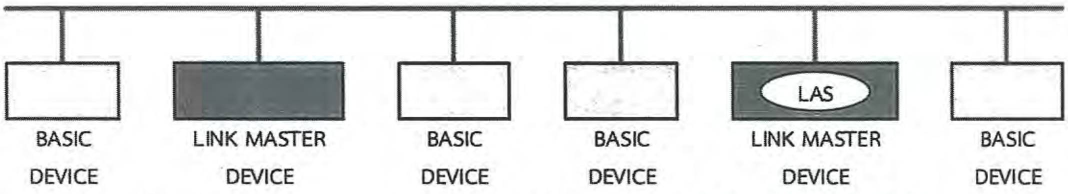
2.2.3 ชั้นที่ 2 Communication Stack

ในชั้นการสื่อสารของ Communication Stack เป็นส่วนที่ใช้ในการสื่อสารกันระหว่าง Physical Layer และ User Application ประกอบด้วย 3 ส่วนดังนี้

- Data Link Layer (DLL)
- Fieldbus Access Sublayer (FAS)
- Fieldbus Message Specification (FMS)

Data Link Layer เป็นชั้นที่ใช้ในการควบคุมการรับ-ส่งข้อมูลของฟาวน์เดชันฟิลด์บัส H1 โดยใช้อุปกรณ์ที่เรียกว่า "LAS (Link Active Scheduler)" เป็นตัวควบคุมการสื่อสารข้อมูล การสื่อสารของฟาวน์เดชันฟิลด์บัส H1 อาศัยตารางเวลามาโครไซเคิล (Macrocycle) ในการรับ-ส่งข้อมูล ซึ่งมีการแบ่งอุปกรณ์ระดับฟิลด์ออกเป็น 2 ประเภท (แสดงดังรูปที่ 2.6) คือ

- อุปกรณ์ประเภท Basic เป็นอุปกรณ์ระดับฟิลด์ H1 โดยทั่วไปที่ไม่สามารถทำหน้าที่ LAS ได้
- อุปกรณ์ประเภท Link Master เป็นอุปกรณ์ระดับฟิลด์ H1 ที่ถูกออกแบบมาเป็นพิเศษให้สามารถทำหน้าที่ LAS ได้

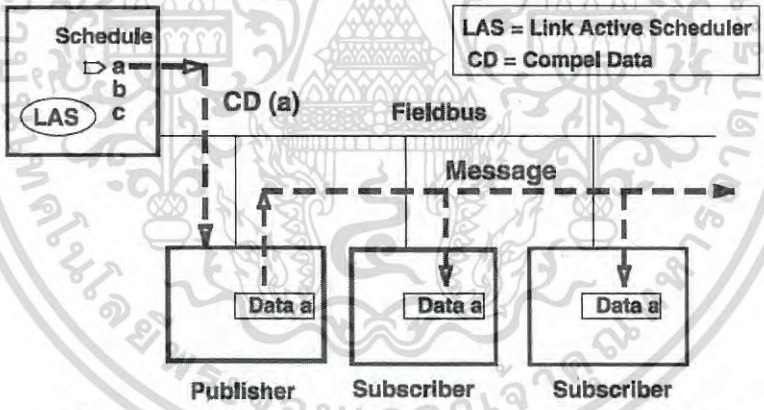


รูปที่ 2.6 ประเภทของอุปกรณ์ระดับฟิลด์ในเทคโนโลยีฟาวน์เดชันฟิลด์บัส H1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

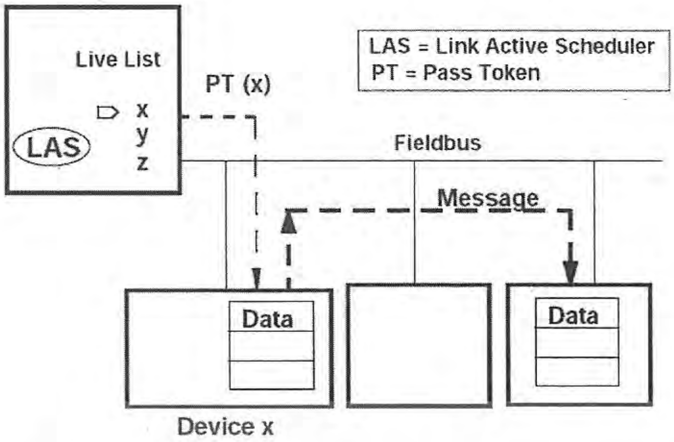
ถ้าพิจารณาในเรื่องกำหนดการตารางเวลาในการรับ-ส่งข้อมูล หรือมาโครไซเคิล สามารถแบ่งประเภทการสื่อสารข้อมูลบนเครือข่ายฟาวน์เดชันฟิลด์บัส H1 ได้ 2 ประเภท คือ Scheduled Communication และ Unscheduled Communication ดังแสดงในรูปที่ 2.7 และ 2.8 ตามลำดับ โดยที่

Scheduled Communication เป็นการสื่อสารข้อมูลที่ถูกกำหนดเวลาไว้แน่นอนว่าจะมีการรับ-ส่งข้อมูลเกิดขึ้นเมื่อใด โดยการสื่อสารประเภทนี้ใช้สำหรับการรับ-ส่งข้อมูลระหว่างฟังก์ชันบล็อกที่อยู่ต่างอุปกรณ์กัน เช่น ค่าตัวแปรกระบวนการ (Process Variable: PV) ที่ตรวจวัดได้โดยใช้ฟังก์ชันบล็อก Analog Input (AI) ที่อยู่ภายในทรานสมิตเตอร์ถูกส่งไปยังฟังก์ชันบล็อก PID ที่อยู่ภายในตัวควบคุมของระบบโฮสต์ (Host Controller) เป็นต้น ดังนั้นการที่ผู้ใช้งานดำเนินการสร้างลูปควบคุมโดยใช้ฟังก์ชันบล็อกของอุปกรณ์ฟิลด์บัส H1 จะเป็นการกำหนดตารางเวลาในการสื่อสารสำหรับ Scheduled Communication ด้วย นั่นหมายความว่า ตารางเวลาในการสื่อสาร (หรือที่เรียกว่า Macrocycle) จะมีความสัมพันธ์กับรูปแบบการควบคุมและการเลือกกำหนดใช้ฟังก์ชันบล็อกจากอุปกรณ์ฟิลด์บัส H1 จากรูปที่ 2.7 เมื่อถึงกำหนดเวลาที่อุปกรณ์ใดต้องมีการรับ-ส่งข้อมูลแบบ Scheduled Communication แล้ว LAS จะส่งข้อมูลคำสั่งที่เรียกว่า “Compel Data (CD)” ไปยังอุปกรณ์ตัวนั้น (เช่น อุปกรณ์ a) จากนั้นอุปกรณ์ที่ได้รับคำสั่ง CD ซึ่งถูกเรียกว่า “Publisher” จะส่งข้อมูลไปยังอุปกรณ์อื่น ๆ ที่ถูกกำหนดไว้ให้รับข้อมูลนี้ โดยอุปกรณ์ที่ได้รับข้อมูลนี้จะถูกเรียกว่า “Subscriber”



รูปที่ 2.7 การรับ-ส่งข้อมูลแบบ Scheduled Communication [1]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.8 การรับ-ส่งข้อมูลแบบ Unscheduled Communication [1]

Unscheduled Communication เป็นการสื่อสารข้อมูลที่ไม่ได้ถูกกำหนดเวลาในการรับ-ส่งข้อมูลที่แน่นอน โดยการสื่อสารประเภทนี้ขึ้นอยู่กับสถานการณ์ เช่น การส่งสัญญาณแจ้งเตือน (Alarm) จากตัวอุปกรณ์ไปยังระบบโฮสต์ หรือ การเปลี่ยนค่าเซตพอยต์ในการควบคุมโดยผู้ใช้งาน (Operator) เป็นต้น การรับ-ส่งข้อมูลแบบ Unscheduled Communication จะเกิดขึ้นในเวลาที่ไม่มีการรับ-ส่งข้อมูลแบบ Scheduled Communication โดยมี LAS เป็นผู้ควบคุมการสื่อสารซึ่งอุปกรณ์ฟิลด์บัส H1 ทุกตัวที่อยู่ใน Live List ผลัดเปลี่ยนหมุนเวียนกันในการส่งข้อมูล ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับ LAS โดยทั่วไป LAS จะเรียงลำดับอุปกรณ์ต่าง ๆ ใน Live List ตามค่าแอดเดรสที่กำหนดให้แก่อุปกรณ์นั้น ๆ ด้วยการเรียงจากน้อยไปหามาก (แสดงดังรูปที่ 2.8) เช่น LAS ส่งข้อมูลคำสั่งที่เรียกว่า “Pass Token (PT)” ให้แก่อุปกรณ์ x เมื่ออุปกรณ์ x ได้รับคำสั่ง PT จะทำการส่งข้อมูลไปยังอุปกรณ์อื่น ๆ ที่ต้องการให้รับข้อมูล (ซึ่งอาจเป็นแค่อุปกรณ์ตัวเดียวหรืออุปกรณ์หลายตัวก็ได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับข้อมูลที่ต้องการส่ง) หลังจากที่อุปกรณ์ x เสร็จสิ้นการส่งข้อมูลแล้วจะส่งข้อมูลคำสั่ง “Return Token (RT)” มายัง LAS หากยังไม่ถึงกำหนดเวลาการสื่อสารแบบ Scheduled Communication และเหลือเวลามากพอที่จะให้มีการสื่อสารแบบ Unscheduled Communication แล้ว LAS จะส่งคำสั่ง PT ไปยังอุปกรณ์ถัดไปใน Live List เช่น อุปกรณ์ y เป็นต้น

Fieldbus Access Sublayer (FAS) เป็นการกำหนดรายละเอียดของข้อความ (Message) โดยอาศัยคุณสมบัติของการรับส่งข้อมูลแบบ Scheduled Communication และ Unscheduled Communication เพื่อนำไปใช้ในชั้น Fieldbus Message Specification (FMS) รายละเอียดของข้อความกำหนดในรูปแบบของ VCR (Visual Communication Relationship) โดย VCR ที่กำหนดใน FAS นี้ถูกแบ่งออกเป็น 3 ประเภท โดยแต่ละประเภทใช้ในการรับ-ส่งข้อมูลที่ต่างกันดังแสดงในรูปที่ 2.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FIELDBUS ACCESS SUBLAYER SERVICES

Client/Server VCR Type	Report Distribution VCR Type	Publisher/Subscriber VCR Type
Used for Operator Messages Setpoint changes Mode changes Tuning changes Upload/Download Alarm Management Access display views Remote diagnostics	Used for Event Notification and Trend Reports Send process alarms to operator consoles. Send trend reports to data historians.	Used for Publishing Data Send transmitter PV to PID control block and operator console.

DATA LINK LAYER SERVICES

รูปที่ 2.9 ประเภทของ VCR ที่กำหนดใน FAS [1]

1. **Client/Server VCR** ใช้สำหรับการรับ-ส่งข้อมูลที่เกิดขึ้นจากการสั่งการของผู้ปฏิบัติการ (Operator Message) เช่น

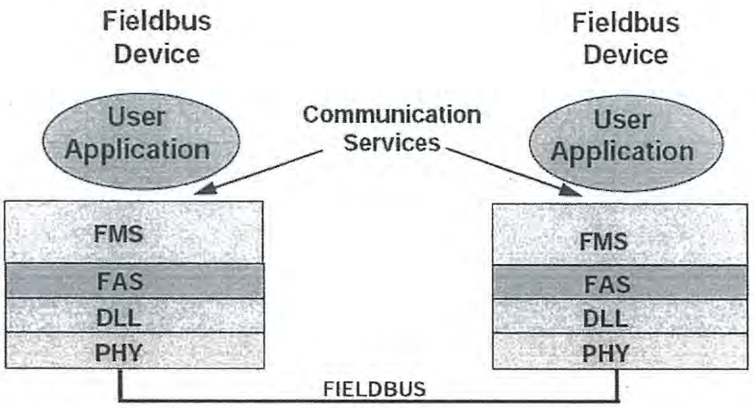
- การเปลี่ยนค่าเป้าหมาย (Setpoint Change)
- การเปลี่ยนโหมดการทำงานของบล็อก (Block Mode Change)
- การปรับแต่งค่าตัวในตัวควบคุม (Tuning Change)
- การอัพโหลด-ดาวน์โหลดข้อมูลระหว่างระบบโฮสต์กับอุปกรณ์ระดับฟิลด์ (Upload-Download)
- การจัดการสัญญาณแจ้งเตือน (Alarm Management)
- การแสดงข้อมูลวินิจฉัยการทำงานของอุปกรณ์ระดับฟิลด์มาที่ระบบโฮสต์ (Remote Diagnostics) เป็นต้น

2. **Report Distribution VCR** ใช้สำหรับการแจ้งเตือนเหตุการณ์ (Event Notification) และการรายงานข้อมูลแบบเทรนด์ (Trend Report) เช่น

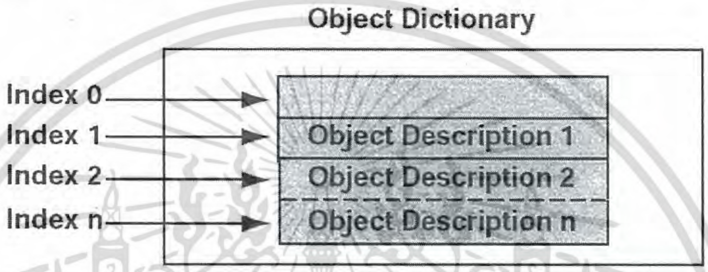
- การส่งสัญญาณแจ้งเตือนกระบวนการที่เกิดขึ้นในระดับฟิลด์ (Process Alarm) มายังส่วนติดต่อผู้ปฏิบัติการในห้องควบคุม (Operator Console)
- การส่งข้อมูลแบบเทรนด์มาจัดเก็บในฐานข้อมูล เพื่อเรียกดูย้อนหลังได้ (Data Historian)

3. **Publisher/Subscriber VCR** ใช้สำหรับการส่งข้อมูลระหว่างฟังก์ชันบล็อกที่อยู่ต่างอุปกรณ์กันเช่น การส่งค่าตัวแปรกระบวนการ (PV) ด้วยค่าตัวแปร OUT ของฟังก์ชันบล็อก AI ที่อยู่ภายในทรานสมิตเตอร์ที่ใช้ในการวัดค่าตัวแปรกระบวนการไปเป็นค่าตัวแปร IN ของฟังก์บล็อก PID ที่อยู่ในตัวควบคุมที่ระบบโฮสต์หรืออยู่ในอุปกรณ์แอคทูเอเตอร์ เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.10 ความสัมพันธ์ระหว่าง FMS และ Communication Services [1]



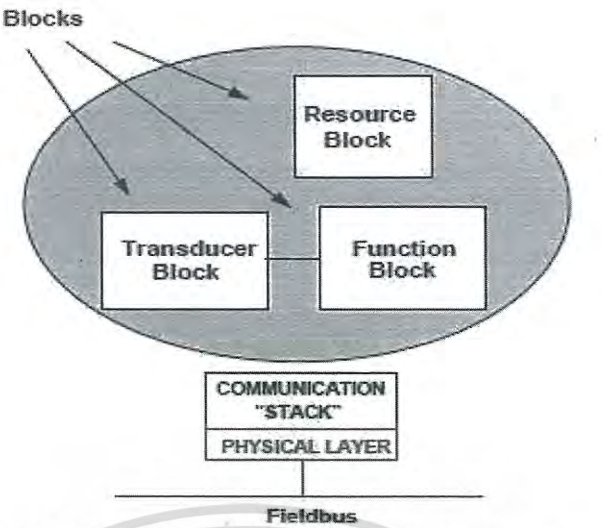
รูปที่ 2.11 โครงสร้างของ Object Dictionary [1]

Fieldbus Message Specification (FMS) เป็นการกำหนดรายละเอียดของการให้บริการสำหรับการแลกเปลี่ยนข้อมูล (Communication Service) รูปแบบของข้อความ (Message Format) และคุณสมบัติของโปรโตคอลที่ต้องการ เพื่อสร้างข้อความสำหรับ User Application แสดงดังรูปที่ 2.10 โดยวิธีการรับ-ส่งข้อมูลบนบัส H1 เป็นวิธีการของโปรโตคอลแบบออปเจค (Object Oriented Protocol) ข้อมูลต่าง ๆ ภายในอุปกรณ์ฟาวน์เดชันฟิลด์บัส H1 จะอยู่ในรูปแบบของออปเจค ที่เรียกว่า “Object Description” และมีการนำเอา “Object Description” หลาย ๆ ตัวมารวบรวมเก็บไว้ด้วยกันเรียกโครงสร้างนี้ว่า “OD (Object Dictionary)” ดังแสดงในรูปที่ 2.11

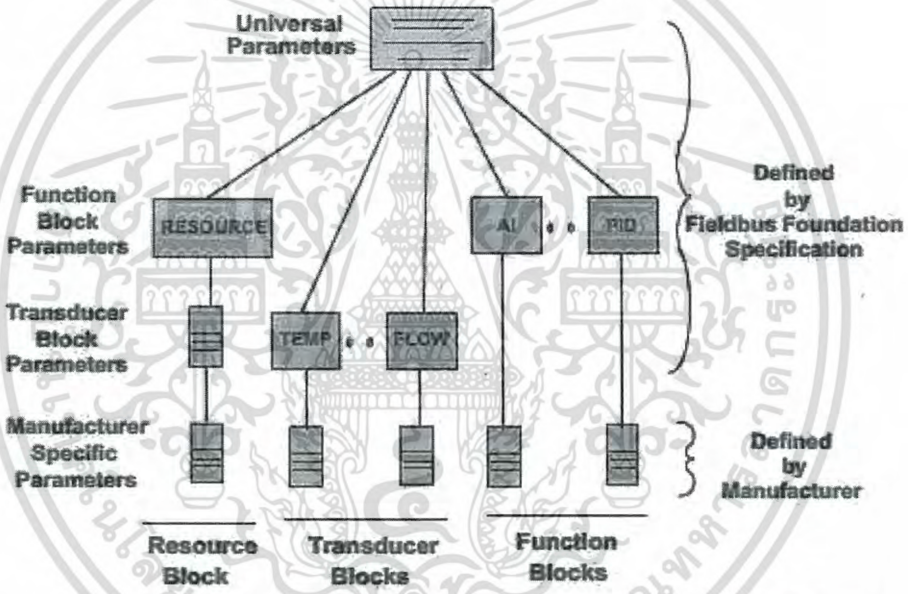
2.2.4 ชั้นที่ 3 User Application

การทำงานของชั้น User Application นั้นไม่ได้ถูกกำหนดใน OSI Model แต่ทางองค์กรของฟาวน์เดชันฟิลด์บัสได้มีข้อกำหนดมาตรฐานเกี่ยวกับโครงสร้าง ชื่อ และชนิดของพารามิเตอร์ รวมทั้งโหมดการทำงาน เพื่อให้แต่ละบริษัทผู้ผลิตใช้อ้างอิงในการผลิตอุปกรณ์ นอกจากนี้ทางองค์กรของฟาวน์เดชันฟิลด์บัสยังเปิดโอกาศให้บริษัทผู้ผลิตสามารถกำหนดพารามิเตอร์เพิ่มได้ เพื่อรองรับฟังก์ชันเฉพาะของแต่ละบริษัท ชั้น User Application และโครงสร้างของอุปกรณ์ที่ใช้เป็นมาตรฐานสำหรับอุปกรณ์ฟาวน์เดชันฟิลด์บัส แสดงดังรูปที่ 2.12 และรูปที่ 2.13 ตามลำดับ โดยชั้น User Application กำหนดในรูปของบล็อก เพื่อเป็นตัวแทนของแอพพลิเคชันแต่ละชนิดซึ่งมีหน้าที่แตกต่างกันออกไป แบ่งออกได้ 3 ประเภท ได้แก่ รีซอร์สบล็อก (Resource Block) ทรานสดิวเซอร์บล็อก (Transducer Block) และฟังก์ชันบล็อก (Function Block)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.12 บล็อกที่ใช้ในชั้น User Application [1]



รูปที่ 2.13 โครงสร้างของอุปกรณ์ที่ใช้เป็นมาตรฐานสำหรับอุปกรณ์ฟาวน์เดชันฟิลด์บัส [1]

รีซอร์สบล็อก (Resource Block) เป็นบล็อกที่แสดงคุณสมบัติต่าง ๆ ของอุปกรณ์ฟิลด์บัสแต่ละตัว เช่น ชื่ออุปกรณ์ บริษัทผู้ผลิต และหมายเลข (Serial Number) ของอุปกรณ์ระดับฟิลด์ โดยแต่ละอุปกรณ์จะมีรีซอร์สบล็อกเพียงแค่บล็อกเดียวเท่านั้น ทรานสดิวเซอร์บล็อก (Transducer Block) ทำหน้าที่ในติดต่อกับหน่วยอินพุตหรือเอาต์พุตภายในกระบวนการผ่านทางฟังก์ชันบล็อกโดยที่ทรานสดิวเซอร์บล็อกมีหน้าที่ในการอ่านค่าจากเซนเซอร์และเขียนคำสั่งการทำงานส่งกลับไปยังอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้อง ภายในทรานสดิวเซอร์บล็อกประกอบไปด้วยข้อมูลต่าง ๆ อาทิ เช่น ชนิดของเซนเซอร์ และวันที่ทำการสอบเทียบเครื่องมือวัด เป็นต้น ฟังก์ชันบล็อก (Function Block) ภายในอุปกรณ์ฟาวน์เดชันฟิลด์บัสประกอบไปด้วยฟังก์ชันต่าง ๆ ที่จำเป็นสำหรับการควบคุมกระบวนการ ตัวอย่างฟังก์ชันบล็อกที่ใช้ในการควบคุมกระบวนการ เช่น แอนะลอกอินพุต (AI) แอนะลอกเอาต์พุต (AO) และ พีไอดี (PID)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

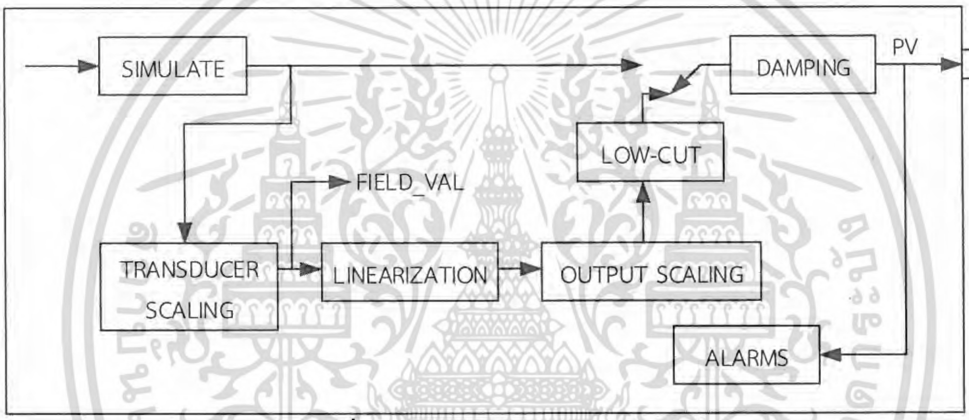
2.3 การสร้างลูปควบคุมโดยใช้เทคโนโลยีฟาวน์เดชันฟิลด์บัส

2.3.1 ฟังก์ชันบล็อกที่ใช้ในการสร้างลูปควบคุม [2]

ในการสร้างลูปควบคุมตามแนวทางของเทคโนโลยีฟาวน์เดชันฟิลด์บัส ประกอบด้วยการเชื่อมต่อของฟังก์ชันบล็อกเข้าด้วยกัน เช่น การควบคุมแบบ PID ประกอบไปด้วย ฟังก์ชันบล็อก AI ฟังก์ชันบล็อก PID และฟังก์ชันบล็อก AO การควบคุมแบบ Cascade ประกอบไปด้วย ฟังก์ชันบล็อก AI จำนวน 2 บล็อก ฟังก์ชันบล็อก PID จำนวน 2 บล็อก และฟังก์ชันบล็อก AO ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะขอกล่าวเฉพาะฟังก์ชันบล็อกที่ใช้ได้แก่ ฟังก์ชันบล็อก AI ฟังก์ชันบล็อก PID และฟังก์ชันบล็อก AO

2.3.1.1 ฟังก์ชันบล็อก AI

ฟังก์ชันบล็อก AI (Analog Input) รับค่าหลัก (PRIMARY_VALUE) จากทรานสดิวเซอร์บล็อก เช่น ค่าความดัน อุณหภูมิ หรืออัตราการไหล และส่งต่อไปยังฟังก์ชันบล็อกอื่น ๆ โดยทั่วไปฟังก์ชันบล็อก AI จะมีอยู่ในเครื่องมือวัดหรือทรานสมิตเตอร์



รูปที่ 2.14 แผนผังภายในฟังก์ชันบล็อก AI

รูปที่ 2.14 แสดงแผนผังภายในฟังก์ชันบล็อก AI ซึ่งประกอบไปด้วยฟังก์ชันต่าง ๆ เช่น การจำลองค่า (Simulate) ความเป็นเชิงเส้น (Linearization) และการแจ้งเตือน (Alarm) เป็นต้น ค่าที่วัดได้จากเซนเซอร์ซึ่งถูกเก็บข้อมูลไว้ในทรานสดิวเซอร์บล็อก จากนั้นถูกส่งต่อมาที่ฟังก์ชันบล็อก AI ผ่านตัวแปร CHANNEL ในกรณีที่เครื่องมือวัดมีเซนเซอร์ในการตรวจวัดค่าหลายตัว ผู้ใช้งานจำเป็นต้องมีการระบุหมายเลขของตัวแปร CHANNEL ให้ตรงกับค่าที่ต้องการใช้งาน สำหรับเครื่องมือวัดที่มีเพียงเซนเซอร์เดียวในการตรวจวัดค่า ผู้ผลิตเครื่องมือวัดมักกำหนดให้ค่าตัวแปร CHANNEL มีค่าเป็น 1 โดยค่าสเกลของทรานสดิวเซอร์ (XD_SCALE) ปกติกำหนดให้มีหน่วยเดียวกับทรานสดิวเซอร์บล็อก เพื่อป้องกันความไม่สอดคล้องกันและควาผิดพลาดภายหลัง การแจ้งเตือนตัวแปรกระบวนการ (PV) ของฟังก์ชันบล็อก AI แจ้งผ่านพารามิเตอร์เอาต์ (OUT) ดังนั้นฟังก์ชันบล็อก AI จำเป็นต้องทำงานในโหมดอัตโนมัติ (Auto)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฟังก์ชันบล็อก AI รองรับโหมดการดำเนินการทั้งหมด 3 โหมด ซึ่งกำหนดโดยตัวแปร MODE_BLK ดังนี้

1) Manual (Man) ค่า OUT จะถูกกำหนดค่าโดยผู้ใช้งาน

2) Automatic (Auto) ค่า OUT เป็นผลมาจากค่าแอนะลอกอินพุตที่ได้จากการวัดหรือค่าที่ได้จากการจำลองเมื่ออยู่ในโหมด Simulation

3) Out of Service (O/S หรือ OOS) บล็อกจะไม่มีการดำเนินการ ค่า PV ไม่มีการอัพเดต และสถานะของ OUT ถูกกำหนดเป็น Bad : Out of Service เมื่อตัวแปร BLOCK_ERR แสดงสถานะ Out of Service ในโหมดนี้ผู้ใช้สามารถเปลี่ยนแปลงการกำหนดค่าต่าง ๆ ของตัวแปรทั้งหมดที่ถูกกำหนดไว้ก่อนหน้าได้ โหมดเป้าหมายของบล็อกอาจถูกจำกัดให้เลือกได้เพียงหนึ่งหรือมากกว่าภายในจำนวนโหมดที่รองรับ

ในการใช้งานของฟังก์ชันบล็อก AI ผู้ใช้งานจำเป็นต้องกำหนดตั้งค่าตัวแปรของบล็อกที่สำคัญดังนี้

- CHANNEL เป็นค่าตัวแปรที่ใช้ในการกำหนดค่าที่ได้จากการตรวจวัดของเซนเซอร์ที่ถูกกำหนดไว้ในทรานสดิวเซอร์บล็อก ผู้ใช้งานควรเลือกกำหนดตั้งค่าตัวแปรนี้ก่อนทำการกำหนดตั้งค่าตัวแปร XD_SCALE

- XD_SCALE เป็นค่าตัวแปรที่ใช้กำหนดช่วงของค่าที่ได้จากการตรวจวัดของเซนเซอร์ซึ่งถูกส่งต่อมาจากทรานสดิวเซอร์บล็อก โดยผู้ใช้งานต้องกำหนดค่าที่ 0% (Minimum) และ 100% (Maximum) ตามความต้องการในการใช้งาน ดังนั้น XD_SCALE เป็นการกำหนดช่วงของการวัดที่ผู้ใช้งานต้องการ ซึ่งเปรียบเสมือนเป็นช่วงของสัญญาณอินพุตของบล็อก AI นั่นเอง

- OUT_SCALE เป็นค่าตัวแปรที่ใช้กำหนดช่วงของค่าเอาต์พุต OUT ของบล็อก AI โดยผู้ใช้งานต้องกำหนดค่าที่ 0% (Minimum) และ 100% (Maximum) ตามความต้องการในการใช้งาน

- L_TYPE (Linearization Type) เป็นค่าตัวแปรที่ใช้กำหนดความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยการวัด (Engineering Unit) ของ XD_SCALE และ OUT_SCALE โดยมีทางเลือกให้ผู้ใช้งาน 3 ทางเลือกดังนี้

* Direct หน่วยการวัดของ XD_SCALE และ OUT_SCALE เป็นหน่วยเดียวกัน **จะไม่มีการแปลงหน่วยเกิดขึ้น**

* Indirect หน่วยการวัดของ XD_SCALE และ OUT_SCALE **มีหน่วยที่แตกต่างกัน จะมีการแปลงหน่วยเกิดขึ้นเช่น** กำหนดหน่วยการวัดของ XD_SCALE เป็นองศาเซลเซียส แต่กำหนดให้ OUT_SCALE เป็นเปอร์เซ็นต์ (%) เป็นต้น

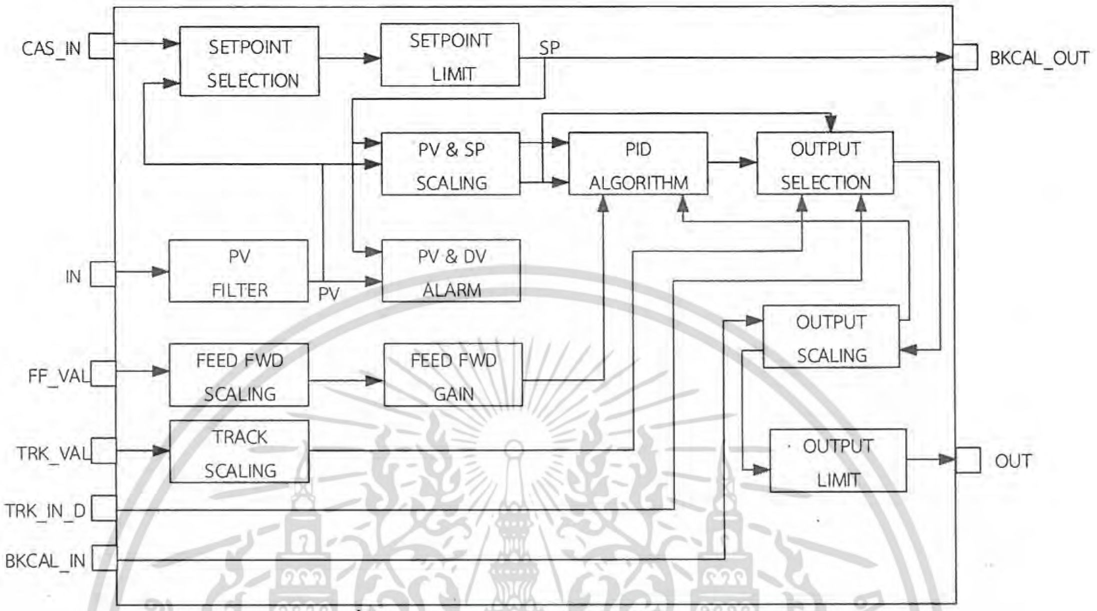
* Indirect Square Root หน่วยวัด XD_SCALE และ OUT_SCALE **มีหน่วยที่แตกต่างกันจะมีการแปลงหน่วยเกิดขึ้นโดยมีความสัมพันธ์ระหว่าง XD_SCALE และ OUT_SCALE ไม่เป็นเชิงเส้น เช่น การตรวจวัดอัตราการไหลของกระบวนการด้วยแผ่นออริฟิส (Orifice Plate) มีความสัมพันธ์แบบไม่เป็นเชิงเส้น (เป็นฟังก์ชันรากที่สอง) เป็นต้น**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

2.3.1.2 ฟังก์ชันบล็อก PID

ฟังก์ชันบล็อก PID (Proportional-Integral-Derivative) รับค่าตัวแปรที่ต้องการควบคุม (Controlled Variable) ผ่านพารามิเตอร์ (IN) โดยปกติรับมาจากเอาต์พุตของฟังก์ชันบล็อก AI ฟังก์ชันบล็อก PID ทำหน้าที่เหมือนตัวควบคุม (Controller)



รูปที่ 2.15 แผนผังภายในฟังก์ชันบล็อก PID

รูปที่ 2.15 แสดงแผนผังภายในฟังก์ชันบล็อก PID ประกอบไปด้วยฟังก์ชันต่าง ๆ เช่น การกรองค่าตัวแปรกระบวนการ (PV Filter) การเลือกค่าเป้าหมาย (Setpoint Selection) การสเกล PV และ SP (PV&SP Scaling) อัลกอริทึม PID (PID Algorithm) การสเกลป้อนล่วงหน้า (Feed FWD Scaling) การสเกลเอาต์พุต (Output Scaling) เป็นต้น ผู้ใช้สามารถสร้างลูปควบคุมโดยใช้ฟังชันบล็อก PID ร่วมกับฟังก์ชันบล็อกอื่น ๆ โหมดการทำงานของฟังก์ชันบล็อก PID มีดังต่อไปนี้

1) Manual (Man) ในโหมดนี้ค่า OUT จะถูกกำหนดโดยผู้ใช้งานเอง

2) Automatic (Auto) ในโหมดนี้ค่า SP จะถูกกำหนดโดยผู้ใช้งานและค่าเอาต์พุตจะได้มาจากการคำนวณตามสมการของบล็อก

3) Cascade (Cas) ในโหมดนี้ ค่า SP จะถูกคำนวณมาจากบล็อกอื่นและถูกส่งมายังฟังก์ชันบล็อก PID ผ่านทางการเชื่อมต่อไปยัง CAS_IN

4) Remote Cascade (RCas) ในโหมดนี้ค่า SP จะถูกกำหนดโดยโฮสต์ซึ่งเขียนคำสั่งไปยังตัวแปรที่ชื่อว่า RCAS_IN

5) Remote Output (Rout) ในโหมดนี้ค่าเอาต์พุตจะถูกกำหนดโดยโฮสต์ซึ่งจะเขียนคำสั่งไปยังพารามิเตอร์ที่ชื่อว่า ROUT_IN

6) Local Override (LO) ในโหมดนี้ฟังก์ชัน Tracking จะมีการทำงาน ค่าเอาต์พุตกำหนดโดยพารามิเตอร์ TRK_VAL และพารามิเตอร์ BLOCK_ERR จะแสดงข้อความ Local Override

7) Initialization Manual (IMan) โหมดนี้แสดงถึงความไม่สมบูรณ์ของการส่งต่อข้อมูลของพารามิเตอร์เอาต์พุต ในโหมดนี้ค่าเอาต์พุตเปลี่ยนแปลงตามพารามิเตอร์ BKCAL_IN

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

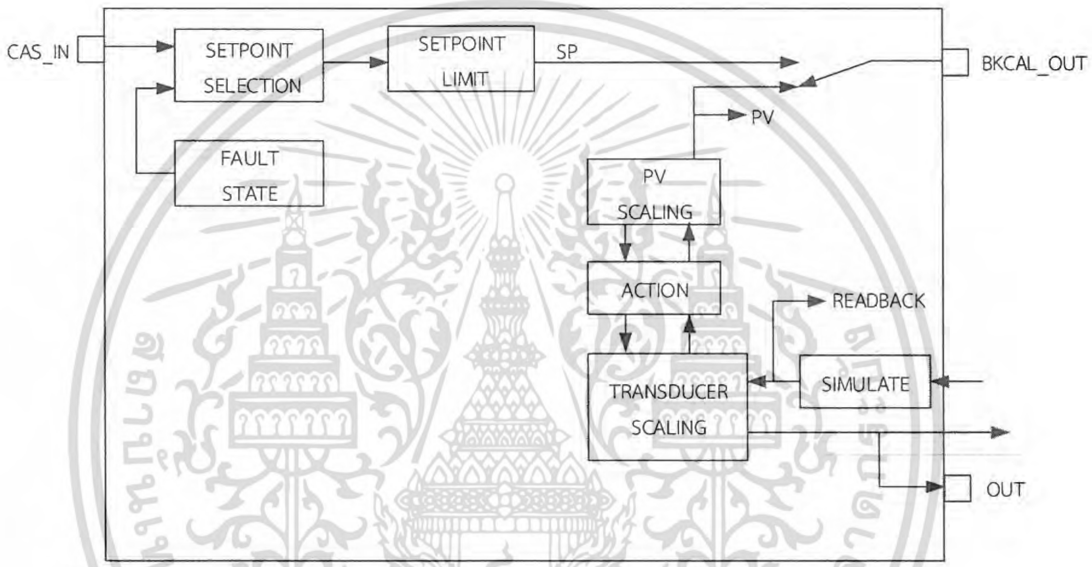
148811

8) Out of Service (O/S หรือ OOS) ในโหมดนี้บล็อกไม่มีการดำเนินการใด ๆ สถานะของเอาต์พุตถูกกำหนดให้เป็น Bad: Out of Service และพารามิเตอร์ BLOCK_ERR แสดงข้อความ Out of Service

ผู้ใช้สามารถกำหนดโหมดการทำงานทั้งในโหมด Man, Auto, Cas และ OOS ให้เป็น Permitted Mode เพื่ออนุญาตให้ผู้ใช้งานเลือกกำหนดให้ฟังก์ชันบล็อกทำงานได้

2.3.1.3 ฟังก์ชันบล็อก AO

ฟังก์ชันบล็อก AO (Analog Output) รับอินพุตจากฟังก์ชันบล็อกอื่นและประมวลผลก่อนส่งสัญญาณผ่านพารามิเตอร์ “Chanel” ที่ทรานสดิวเซอร์บล็อก โดยทั่วไปฟังก์ชันบล็อก AO อยู่ภายในอุปกรณ์ระดับฟิลด์จำพวกวาล์วควบคุม



รูปที่ 2.16 แผนผังภายในฟังก์ชันบล็อก AO

รูปที่ 2.16 แสดงแผนผังภายในฟังก์ชันบล็อก AO ประกอบไปด้วยฟังก์ชันต่าง ๆ เช่น การเลือกค่าเป้าหมาย (Setpoint Selection) การสเกล PV (PV Scaling) สถานะล้มเหลว (Fault State) การสเกลทราสดิวเซอร์ (Transducer Scaling) การจำลอง (Simulate) เป็นต้น พารามิเตอร์ CAS_IN เป็นตัวกำหนดค่าเป้าหมายสำหรับประมวลผลของฟังก์ชันบล็อก พารามิเตอร์เอาต์พุต (OUT) ของฟังก์ชันบล็อกมีหน้าที่ส่งค่าเอาต์พุตของบล็อกไปยังทรานสดิวเซอร์บล็อกของอุปกรณ์ผ่านค่าพารามิเตอร์ที่เรียกว่า “CHANNEL” ซึ่งบริษัทผู้ผลิตอุปกรณ์โดยทั่วไปมักมีค่าเริ่มต้นของ CHANNEL เท่ากับ 1 ส่วนพารามิเตอร์ BKCAL_OUT ใช้ส่งค่าไปยังพารามิเตอร์ BKCAL_IN ของฟังก์ชันบล็อก PID เพื่อบอกค่าและสถานะของวาล์วควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฟังก์ชันบล็อก AO รองรับการทำงานของโหมดดังต่อไปนี้

1) Manual (Man) ผู้ใช้สามารถกำหนดค่าเอาต์พุต OUT ได้โดยตรงโดยไม่ขึ้นอยู่กับค่าอินพุตของบล็อกจากพารามิเตอร์ CAS_IN โดยโหมดนี้ใช้เป็นโหมดเริ่มต้นเมื่อมีการซ่อมบำรุงหรือแก้ไขปัญหาต่าง ๆ

2) Automatic (Auto) ค่า OUT เป็นผลมาจากเป้าหมายของการควบคุมกระบวนการซึ่งถูกกำหนดโดยคุณสมบัติของค่า SP

3) Cascade (Cas) คุณสมบัติของค่า SP ถูกกำหนดโดยฟังก์ชันบล็อกอื่นผ่านทางการเชื่อมต่อมายังพารามิเตอร์ CAS_IN และค่า SP ถูกใช้ในการกำหนดคุณสมบัติของ OUT โดยอัตโนมัติ

4) Remote Cascade (RCas) ค่า SP ของโหมดนี้จะกำหนดโดยเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ทำหน้าที่เป็นโฮสต์ โดยการเขียนข้อมูลไปยังพารามิเตอร์ RCAS_IN ค่า SP จะถูกใช้ในการกำหนดคุณสมบัติของ OUT โดยอัตโนมัติ

5) Out of Service (OOS หรือ O/S) หมายถึงบล็อกไม่มีการดำเนินการ ค่าเอาต์พุต OUT จะคงค่าของการดำเนินการสุดท้ายเอาไว้ และสถานะของ OUT กำหนดให้เป็น Bad : Out of Service นอกจากนี้คุณสมบัติของ BLOCK_ERR มีการแสดงข้อความ Out of Service

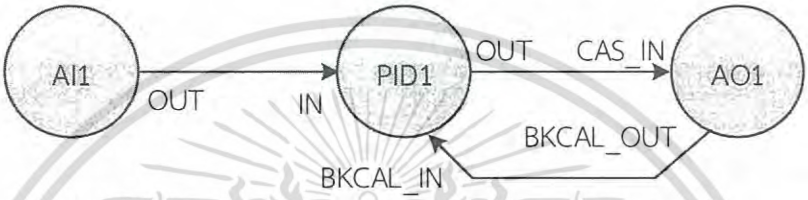
6) Initialization Manual (IMan) ฟังก์ชันนี้จะถูกแสดงเมื่อเส้นทางเชื่อมต่อไปยังเอาต์พุตไม่สามารถใช้งานได้จะถูกคงไว้ที่ค่าตำแหน่งสุดท้าย

7) Local Override (LO) เอาต์พุตของบล็อกนี้ไม่ตอบสนองต่อค่าเอาต์พุต OUT เนื่องจากรีซอร์สบล็อกอยู่ในโหมด LO หรือมีการกระทำที่ผิดไปจากสถานการณ์ใช้งานปกติโดยโหมดเป้าหมายของบล็อก AO อาจถูกจำกัดให้เลือกได้เพียงหนึ่งหรือมากกว่าจากตัวเลือกดังนี้ Man, Auto, Cas, RCas หรือ OOS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2 การสร้างลูปควบคุมด้วยฟังก์ชันบล็อก [2], [5]

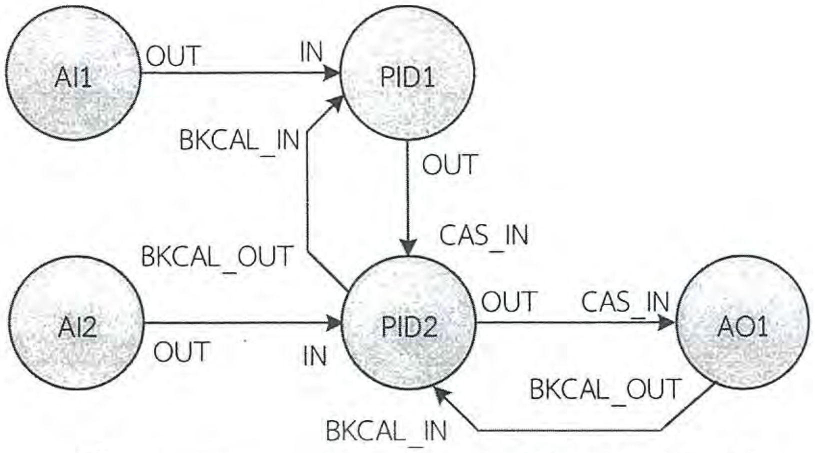
การสร้างลูปควบคุมด้วยฟังก์ชันบล็อกของเทคโนโลยีฟาวน์เดชันฟิลด์บัสนั้นเป็นการนำฟังก์ชันบล็อกต่าง ๆ มาเชื่อมต่อ (Link) เข้าด้วยกันโดยมีการเชื่อมต่อในลักษณะ Forward Path จากพารามิเตอร์เอาต์พุต เช่น OUT ของฟังก์ชันบล็อกด้านหน้าไปยังพารามิเตอร์อินพุต เช่น IN หรือ CAS_IN ของฟังก์ชันบล็อกที่อยู่ถัดไป หรืออาจมีการเชื่อมต่อในลักษณะ Backward Path จากพารามิเตอร์เอาต์พุตแบบย้อนกลับเช่น BKCAL_OUT ของบล็อกที่อยู่ด้านหลังไปยังพารามิเตอร์อินพุตที่สัมพันธ์กันเช่น BKCAL_IN ของฟังก์ชันบล็อกที่อยู่ด้านหน้า ในรูปที่ 2.17 แสดงการสร้างลูปควบคุมแบบ PID โดยใช้ฟาวน์เดชันฟิลด์บัส ด้วยฟังก์ชันบล็อกไดอะแกรม (Function Block Diagram) ซึ่งประกอบด้วยฟังก์ชันบล็อก AI ฟังก์ชันบล็อก PID และฟังก์ชันบล็อก AO



รูปที่ 2.17 ลูปควบคุมแบบ PID โดยใช้ฟาวน์เดชันฟิลด์บัส

ในกรณีปกติ (Normal Operation) ฟังก์ชันบล็อก AI และฟังก์ชันบล็อก PID ถูกกำหนดให้ทำงานในโหมด AUTO ส่วนฟังก์ชันบล็อก AO ถูกกำหนดให้ทำงานในโหมด CAS การดำเนินการฟังก์ชันบล็อกไดอะแกรมนี้เริ่มต้นจากการประมวลผลของฟังก์ชันบล็อก AI เพื่อประมวลผลหาค่าตัวแปรกระบวนการ (Process Variable) หรือ PV โดยที่ค่าเอาต์พุตของฟังก์ชันบล็อก AI สัมพันธ์กับค่า PV ของกระบวนการที่ต้องการควบคุม จากส่วนเชื่อมต่อหรือลิงค์ระหว่างฟังก์ชันบล็อก AI ไปยังฟังก์ชันอบล็อก PID ดังนั้นค่าอินพุตของฟังก์ชันบล็อก PID จะมีค่าเท่ากับค่าเอาต์พุตของฟังก์ชันบล็อก AI จากนั้นฟังก์ชันบล็อก PID จะทำการประมวลผลตามอัลกอริทึม โดยทำการเปรียบเทียบค่าพารามิเตอร์ IN กับค่าเป้าหมาย SP ที่กำหนดโดยผู้ใช้งาน เพื่อคำนวณหาค่าเอาต์พุตของฟังก์ชันบล็อก จากนั้นฟังก์ชันบล็อก PID จะส่งค่าเอาต์พุตไปเป็นค่าอินพุตของฟังก์ชันบล็อก AO ผ่านพารามิเตอร์ CAS_IN เมื่อฟังก์ชันบล็อก AO ได้รับค่าเอาต์พุตของฟังก์ชันบล็อก PID ฟังก์ชันบล็อก AO จะประมวลผลตามอัลกอรีทึมของบล็อก เพื่อคำนวณหาค่าเอาต์พุตของบล็อก ให้สัมพันธ์กับค่าที่ได้รับจากพารามิเตอร์ CAS_IN นอกจากนี้ยังมีการตรวจสอบการทำงานของฟังก์ชันบล็อก AO ว่าทำงานเป็นไปตามเอาต์พุตของฟังก์ชันบล็อก PID โดยมีการส่งค่าพารามิเตอร์ BKCAL_OUT ของฟังก์ชันบล็อก AO ไปยังพารามิเตอร์ BKCAL_IN ในลักษณะที่เรียกว่า “Hand Shaking” ในกรณีเกิดความล้มเหลวขึ้นที่ฟังก์ชันบล็อก AO แล้วฟังก์ชันบล็อก PID จะมีการเปลี่ยนโหมดการทำงานจากโหมดควบคุมอัตโนมัติ (Auto) เป็นโหมดเริ่มต้นควบคุมด้วยมือ (IMan) โดยอัตโนมัติด้วยแนวคิดการอินเตอร์ล็อคระหว่างฟังก์ชันบล็อก “Function Block Mode Interlock” เพื่อหยุดการประมวลผลของฟังก์ชันบล็อก PID ในโหมด Auto

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



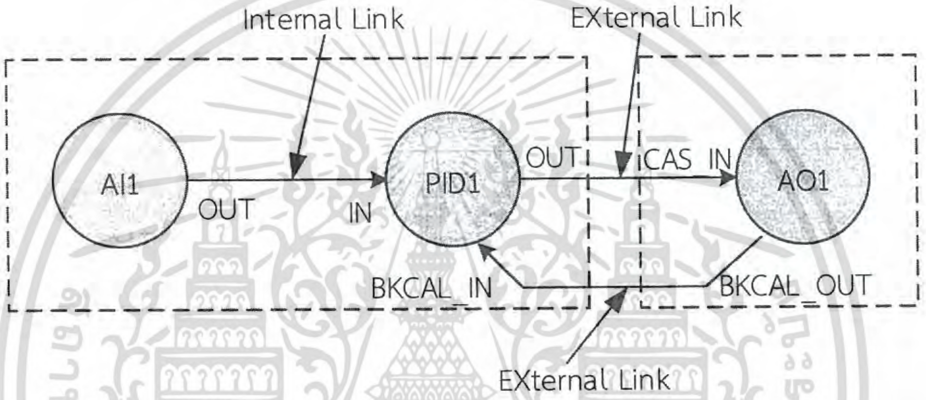
รูปที่ 2.18 ลูปควบคุมแบบ Cascade โดยใช้ฟาวน์เดชันฟิลด์บัส

ในทำนองเดียวกันสามารถสร้างลูปควบคุมแบบ Cascade ด้วยการเชื่อมตัวฟังก์ชันบล็อกต่าง ๆ เข้าด้วยกัน ดังแสดงในรูปที่ 2.18 ลูปควบคุมแบบ Cascade จะประกอบไปด้วยฟังก์ชันบล็อก AI จำนวน 2 บล็อก ฟังก์ชันบล็อก PID จำนวน 2 บล็อก และฟังก์ชันบล็อก AO จำนวน 1 บล็อกโดยฟังก์ชันบล็อก AI1 จะทำหน้าที่ในการวัดค่าตัวแปรกระบวนการของลูปมาสเตอร์ (Primary PV) ฟังก์ชันบล็อก AI2 จะทำหน้าที่ในการวัดค่าตัวแปรกระบวนการของลูปสเลฟ (Secondary PV) ฟังก์ชันบล็อก PID1 คือมาสเตอร์ ฟังก์ชันบล็อก PID2 คือสเลฟ ฟังก์ชันบล็อก AO1 ทำหน้าที่ส่งสัญญาณไปให้อุปกรณ์ควบคุมสุดท้ายเพื่อปรับตัวแปรปรับกระบวนการ (Manipulate Variable: MV) ในกรณีโดยทั่วไปฟังก์ชันบล็อก AI1 ฟังก์ชันบล็อก AI2 และฟังก์ชันบล็อก PID1 ถูกกำหนดให้ทำงานในโหมด AUTO ส่วนฟังก์ชันบล็อก PID2 และฟังก์ชันบล็อก AO1 ถูกกำหนดให้ทำงานในโหมด CAS การดำเนินการฟังก์ชันบล็อกไดอะแกรมนี้เริ่มต้นจากการประมวลผลของฟังก์ชันบล็อก AI1 เพื่อประมวลผลหาค่าตัวแปรกระบวนการ (Process Variable) หรือ PV โดยที่ค่าเอาต์พุตของฟังก์ชันบล็อก AI1 จะสัมพันธ์กับค่า PV ของกระบวนการที่ต้องการควบคุม จากส่วนเชื่อมต่อหรือลิงค์ระหว่างฟังก์ชันบล็อก AI1 ไปยังฟังก์ชันบล็อก PID1 ดังนั้นค่าอินพุตของฟังก์ชันบล็อก PID1 จะมีค่าเท่ากับค่าเอาต์พุตของฟังก์ชันบล็อก AI1 จากนั้นฟังก์ชันบล็อก PID1 จะทำการประมวลผล ตามอัลกอริทึม โดยทำการเปรียบเทียบค่าพารามิเตอร์ IN กับค่าเป้าหมาย SP ที่กำหนดโดยผู้ใช้งาน จากนั้นฟังก์ชันบล็อก PID1 จะส่งค่าเอาต์พุตไปเป็นค่าอินพุตของฟังก์ชันบล็อก PID2 ผ่านพารามิเตอร์ CAS_IN เมื่อฟังก์ชันบล็อก PID2 ได้รับค่าเอาต์พุตของฟังก์ชันบล็อก PID1 ฟังก์ชันบล็อก PID2 จะประมวลผลตามอัลกอริทึมโดย SP ของ PID2 คือค่าเอาต์พุตของฟังก์ชันบล็อก PID1 อินพุตของฟังก์ชันบล็อก PID2 คือค่าเอาต์ของฟังก์ชันบล็อก AI2 เมื่อ PID2 ประมวลผลเสร็จจะส่งค่าเอาต์พุจไปเป็นค่าอินพุตของฟังก์ชันบล็อก AO1 ผ่านพารามิเตอร์ CAS_IN.และมีการส่งค่า BKCAL_OUT ของฟังก์ชันบล็อก PID2 ไปยังพารามิเตอร์ BKCAL_IN ของฟังก์ชันบล็อก PID1 เมื่อฟังก์ชันบล็อก AO1 ได้รับค่าเอาต์พุตของฟังก์ชันบล็อก PID2 ฟังก์ชันบล็อก AO1 จะประมวลผลตามอัลกอรีทึมของบล็อก เพื่อคำนวณหาค่าเอาต์พุตของบล็อกให้สัมพันธ์กับค่าที่ได้รับจากพารามิเตอร์ CAS_IN นอกจากนี้ยังมีการตรวจสอบการทำงานของฟังก์ชันบล็อก AO1 ว่าทำงานเป็นไปตามเอาต์พุตของฟังก์ชันบล็อก PID2 โดยมีการส่งพารามิเตอร์ BKCAL_OUT ของฟังก์ชันบล็อก AO1 ไปยังพารามิเตอร์ BKCAL_IN

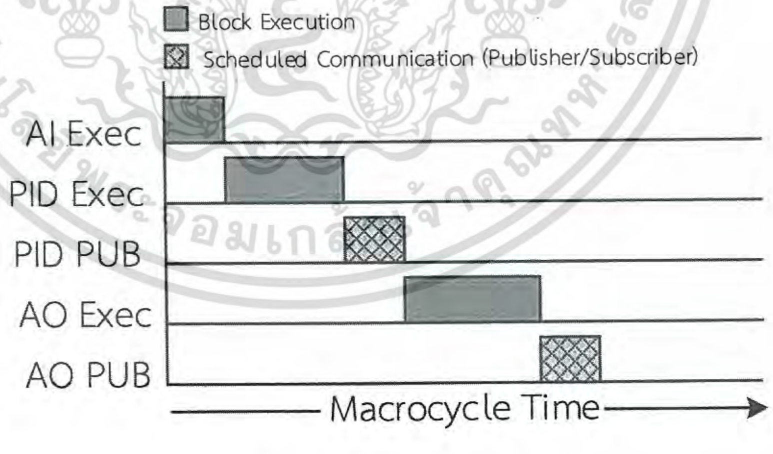
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.3 มาโครไซเคิลของลูปควบคุมด้วยแนวคิด CIF [5]

มาโครไซเคิล คือตารางเวลาการสื่อสารของฟาวน์เดชันฟิลด์บัสประกอบด้วย Scheduled Communication และ Unscheduled Communication การรับ-ส่งข้อมูลของฟังก์ชันบล็อกระหว่างอุปกรณ์ในระดับฟิลด์ (External Link) ใช้ช่วงเวลา Scheduled Communication การรับ-ส่งข้อมูลของฟังก์ชันบล็อกภายในอุปกรณ์ในระดับฟิลด์ (Internal Link) ใช้ช่วงเวลา Unscheduled Communication โดยทั่วไปฟังก์ชันบล็อก AI อยู่ภายในเครื่องมือวัดจำพวกทรานสมิตเตอร์ และฟังก์ชันบล็อก AO อยู่ภายในตัวอุปกรณ์ควบคุมตัวสุดท้ายจำพวกวาล์วควบคุม ส่วนฟังก์ชันบล็อก PID สำหรับลูปควบคุมแบบ PID ดังรูปที่ 2.17 สามารถกำหนดด้วยแนวคิด CIF ได้ 2 ทางเลือก คือ ฟังก์ชันบล็อก PID ภายในเครื่องมือวัดซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่มีฟังก์ชันบล็อก AI ดังรูปที่ 2.19 หรือฟังก์ชันบล็อก PID ภายในอุปกรณ์แอคทูเอเตอร์ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่มีฟังก์ชันบล็อก AO ดังแสดงในรูปที่ 2.20



(ก) การเลือกกำหนดฟังก์ชันบล็อก PID ภายในอุปกรณ์



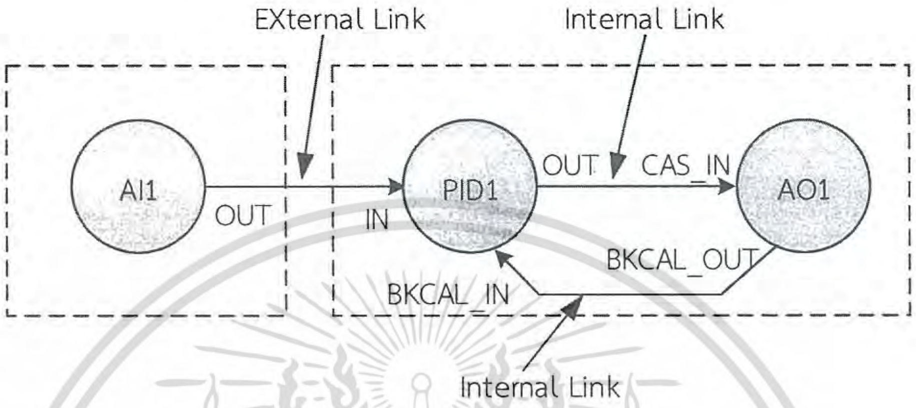
(ข) มาโครไซเคิล

รูปที่ 2.19 การใช้ฟังก์ชันบล็อก PID ของอุปกรณ์ที่มีฟังก์ชันบล็อก AI

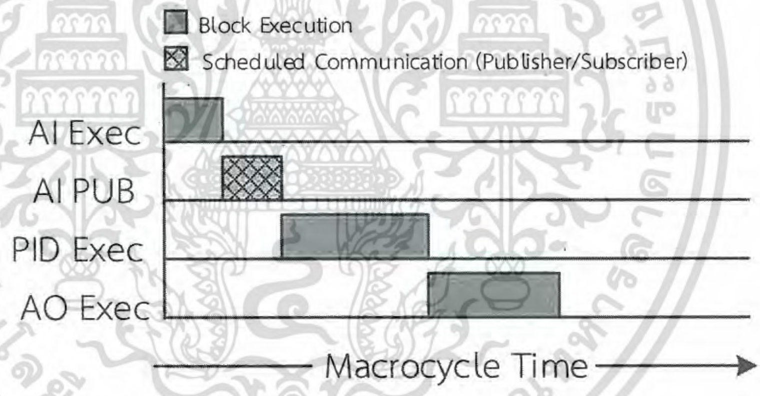
กรณีที่เลือกใช้ฟังก์ชันบล็อก PID ของอุปกรณ์ที่มีฟังก์ชันบล็อก AI ดังรูปที่ 2.19 การรับ-ส่งข้อมูลระหว่างฟังก์ชันบล็อก AI และฟังก์ชันบล็อก PID จัดเป็น "Internal Link" ไม่จำเป็นต้องใช้เครือข่ายในการสื่อสาร ส่วนการรับ-ส่งข้อมูลระหว่างฟังก์ชันบล็อก PID และฟังก์ชันบล็อก AO ทั้งใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนที่เป็น Forward Path และ Backward Path จัดเป็น "External Link" เนื่องจากฟังก์ชันบล็อก PID และฟังก์ชันบล็อก AO ถูกกำหนดให้ใช้จากอุปกรณ์ที่แตกต่างกัน ดังนั้นการรับ-ส่งข้อมูลจำเป็นต้องใช้เครือข่ายในการสื่อสาร โดยการรับ-ส่งข้อมูลระหว่างฟังก์ชันบล็อกที่อยู่ต่างอุปกรณ์กันผ่าน External Link เป็นการรับ-ส่งข้อมูลแบบ Scheduled Communication ส่วนช่วงเวลาอื่นที่เกิดขึ้นบนเครือข่ายจะเป็น Unscheduled Communication



(ก) การเลือกกำหนดฟังก์ชันบล็อก PID ภายในอุปกรณ์



(ข) มาโครไซเคิล

รูปที่ 2.20 การใช้ฟังก์ชันบล็อก PID ของอุปกรณ์ที่มีฟังก์ชันบล็อก AO

ในทางตรงกันข้ามสำหรับกรณีที่เลือกใช้ฟังก์ชันบล็อก PID ของอุปกรณ์ที่มีฟังก์ชันบล็อก AO ดังรูปที่ 2.20(ก) การรับ-ส่งข้อมูลระหว่างฟังก์ชันบล็อก AI และฟังก์ชันบล็อก PID จัดว่าเป็น External Link ส่วนการรับ-ส่งข้อมูลระหว่างฟังก์ชันบล็อก PID และ AO จัดเป็น Internal Link เมื่อเปรียบเทียบมาโครไซเคิลในรูปที่ 2.19(ข) และรูปที่ 2.20(ข) พบว่าการการรับ-ส่งข้อมูลแบบ Scheduled Communication จำนวน 1 ครั้ง และ 2 ครั้งภายในช่วงเวลา 1 มาโครไซเคิล ตามลำดับ (ซึ่งเท่ากับจำนวน External Link) กำหนดให้เน็ตเวิร์คโหลด คือค่าอัตราส่วนระยะเวลาที่ใช้สำหรับ Scheduled Communication ต่อช่วงเวลา 1 มาโครไซเคิล ดังนั้นในทางปฏิบัตินิยมเลือกใช้ฟังก์ชันบล็อก PID ภายในอุปกรณ์ที่มีฟังก์ชันบล็อก AO เนื่องด้วยค่าเน็ตเวิร์คโหลดน้อยกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 ความปลอดภัยและความพร้อมใช้ของระบบควบคุมที่ใช้ฟาวน์เดชันฟิลด์บัส [2]

2.4.1 การปรับปรุงความปลอดภัยของระบบควบคุมที่ใช้ฟาวน์เดชันฟิลด์บัส

เทคโนโลยีฟาวน์เดชันฟิลด์บัสสามารถเพิ่มความปลอดภัยของระบบการควบคุมกระบวนการ โดยคุณลักษณะที่สำคัญที่สุด คือการวินิจฉัย (Diagnostic) เครื่องมือวัดระดับฟิลด์ซึ่งสามารถใช้เป็นส่วนหนึ่งของการอินเตอร์ล็อค (Interlock) เพื่อความปลอดภัยโดยหยุดการทำงานของลูปควบคุมในกรณีที่เครื่องมือวัดและเครือข่ายการสื่อสารล้มเหลว โดยฟาวน์เดชันฟิลด์บัสสามาถตรวจสอบได้ถึงสาเหตุการหยุดการทำงานของระบบซึ่งทำให้มีความปลอดภัยมากกว่า เพราะว่าการหยุดการทำงานของระบบเมื่อเกิดความล้มเหลวของเครื่องมือวัดและเครือข่ายการสื่อสารไม่สามารถตรวจจับได้โดยวิธีดั้งเดิม

หยุดการทำงานเมื่อเครื่องมือวัดและเครือข่ายการสื่อสารล้มเหลว

การสร้างความปลอดภัยแม้ล้มเหลว (Fail Safe) ทำได้โดยอาศัยความสามารถในการวินิจฉัยตัวเองของฟาวน์เดชันฟิลด์บัส เมื่อเครื่องมือวัดอยู่ในสถานะการณ์ที่การวัดค่าของเครื่องมือวัดนั้นใช้ไม่ได้ (Invalid measurement) เครื่องมือวัดจะส่งต่อข้อมูลสถานะระหว่างฟังก์ชันบล็อก (Status Propagation) ให้ระบบรับรู้ เมื่อเครื่องมือวัดล้มเหลว จะส่งสถานะ “Bad” ในกรณีปัญหาร้ายแรง และส่งสถานะ “Uncertain” ในกรณีปัญหาไม่ร้ายแรง ซึ่งสถานะเหล่านี้ใช้ในการกำหนดค่าพารามิเตอร์ในการอินเตอร์ล็อคเพื่อความปลอดภัย

การสื่อสารระหว่างฟังก์ชันบล็อกที่ต่างอุปกรณ์กัน มีวงรอบในการสื่อสารที่แม่นยำตามเวลาที่กำหนด ถ้าตัวส่งหรือเครือข่ายเกิดความล้มเหลว ตัวรับสามารถรับรู้ได้ทันทีเนื่องจากไม่ได้รับค่าตามเวลาที่กำหนด สถานะอินพุตจะเปลี่ยนเป็นไม่มีการสื่อสาร “Bad – No Communication” การกำหนดค่าฟังก์ชันบล็อกของฟาวน์เดชันฟิลด์บัสสามารถเลือกตัวเลือกได้หลากหลายเพื่อทำให้ระบบมีการควบคุมด้วยมือ หรือให้ระบบหยุดการทำงาน

2.4.2 การปรับปรุงความพร้อมใช้ของระบบควบคุมที่ใช้ฟาวน์เดชันฟิลด์บัส

การที่ระบบยิ่งมีความพร้อมใช้สูงเท่าใด หมายความว่าค่าความยอมรับการผิดพลาดยิ่งสูงขึ้นเท่านั้น และลดการหยุดการทำงานเนื่องจากค่าความล้มเหลว ระบบที่มีความพร้อมใช้สูงสามารถทำได้หลายวิธี เช่น การกระจายการควบคุมจากศูนย์กลาง (Control Decentralization) การทำรีดันแดนซ์ฮาร์ดแวร์ (Hardware Redundancy) การวินิจฉัย เป็นต้น

ความพร้อมใช้ของระบบโดยการกระจายการควบคุมออกจากศูนย์กลาง

กรณีที่การควบคุมหลาย ๆ ฟังก์ชันการทำงานถูกนำมารวมไว้ที่เดียวทำให้ในกรณีที่เกิดความล้มเหลว ณ จุดใดจุดหนึ่งอาจนำมาซึ่งความเสียหายขนาดใหญ่ เช่น เมื่อการควบคุมกระบวนการหนึ่งอาจมีถึงสามสิบลูปควบคุม แต่เมื่อเกิดปัญหาที่จุดหนึ่งซึ่งอาจเป็นจุดสำคัญจะส่งผลกระทบต่อการควบคุมทั้งหมด การกระจายการควบคุมออกจากศูนย์กลางเป็นการแบ่งระบบควบคุมออกเป็นหลายระบบควบคุมย่อย ๆ ซึ่งเมื่อเกิดความล้มเหลว ณ จุดใดจุดหนึ่งจะส่งผลกระทบต่อระบบควบคุมย่อยนั้นเพียงระบบควบคุมเดียว เป็นผลให้ส่วนอื่น ๆ ของกระบวนการยังคงทำงานได้อย่างต่อเนื่อง หรืออีกนัยหนึ่ง การแยกระบบควบคุมเป็นลูปเล็ก ๆ จะทำให้ความล้มเหลวถูกจำกัดผลกระทบเพียงแค่ในลูปนั้น ดังนั้นหลักการนี้จึงมีแนวคิดที่ทำให้มีลูปควบคุมขนาดเล็กหลาย ๆ ลูปดีกว่าการใช้ลูปควบคุมใหญ่เพียงลูปเดียว เช่น การกระจายเน็ตเวิร์คออกจากศูนย์กลาง และการกระจายการควบคุมออกจากศูนย์กลาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความพร้อมใช้ของระบบโดยการทำรีดันแดนซ์

แนวทางที่ทำกันมาตั้งแต่อดีตเพื่อบรรลุเป้าหมายค่ายอมรับความผิดพลาดคือการใส่อุปกรณ์ลงไปเหมือน ๆ กันสองตัว เมื่อเกิดความล้มเหลวที่อุปกรณ์ตัวหลักจะทำให้อุปกรณ์ตัวที่สองทำงานแทนกันโดยทันที การประยุกต์ใช้การรีดันแดนซ์อุปกรณ์เชื่อมต่อ แหล่งจ่ายไฟ เครือข่ายในระดับชั้นควบคุม และคอมพิวเตอร์ สามารถทำให้เกิดความพร้อมใช้ของระบบที่สูงขึ้นได้

ความพร้อมใช้ของระบบโดยการวินิจฉัย

อุปกรณ์ที่อยู่บนพื้นฐานของเทคโนโลยีฟาวน์เดชันฟิลด์บัสมีความสามารถในการวินิจฉัยตนเอง เช่น เมื่อเกิดความล้มเหลว สามารถบอกระดับความแตกต่าง และยืนยันค่าที่ถูกต้อง ความสามารถในการวินิจฉัยตนเองนี้ทำให้เกิดความพร้อมใช้ เช่น การลดค่าเฉลี่ยเวลาต่อการซ่อม การลดการหยุดการทำงานผิดพลาด และการตรวจสอบการใช้งานของระบบสำรอง

ความพร้อมใช้ของระบบโดยการวัด

เทคโนโลยีฟาวน์เดชันฟิลด์บัสทำให้โรงงานสามารถปรับแต่งและเพิ่มค่ายอมรับความผิดพลาดได้ เช่น การลดการลัดวงจร การลดจำนวนจุดผิดพร่อง และการลดความผิดพลาดจากการทำเดินการ

2.4.3 การสมดุลระหว่างความปลอดภัยและความพร้อมใช้ของระบบ

ความพร้อมใช้ของระบบและความปลอดภัยของระบบเป็นเป้าหมายที่ขัดแย้งกันอย่างสิ้นเชิง ความปลอดภัยของระบบ หมายถึงระบบต้องหยุดการทำงานเองลง หยุดกระบวนการผลิต และลดความพร้อมใช้ลง การเลือกปรับสมดุลให้ถูกต้อง ผลผลิตของโรงงานและการบริหารความเสี่ยงจะเกิดประโยชน์สูงสุด ความสามารถในการตรวจจับความล้มเหลวของเครื่องมือวัดและเครือข่ายการสื่อสาร ตัวเลือกในการจัดการจะทำให้ผู้ใช้สามารถเลือกบริหารสมดุลระหว่างความปลอดภัยของระบบหรือความพร้อมใช้ของระบบในแต่ละลูปควบคุมได้ การตรวจสอบเป็นสิ่งสำคัญทั้งความปลอดภัยและความพร้อมใช้เพื่อการเดินระบบได้อย่างปลอดภัยและหยุดกระบวนการน้อยที่สุด

เทคโนโลยีฟาวน์เดชันฟิลด์บัสสามารถแยกระหว่างปัญหาร้ายแรงมากและปัญหาร้ายแรงน้อย โดยการให้สถานะ “Bad” และ “Uncertain” ตามลำดับ ทำให้ผู้ใช้สามารถแยกความสนใจในส่วนของความปลอดภัยของระบบหรือความพร้อมใช้ของระบบได้ ค่า “Uncertain” จะประกอบด้วยสถานะเมื่อการวัดได้เกินขอบเขตที่กำหนดหรือไม่แม่นยำในบางประการสำหรับอินพุต อาจรวมถึงการที่ส่วนเชื่อมต่อถูกเปลี่ยนหรือการที่ใส่ตัวเลขอินพุตแบบแมนนวล ค่า “Bad” ไม่สามารถใช้ในการควบคุมและจำเป็นต้องหยุดการทำงานของลูปควบคุมนั้นเสมอ แต่ค่า “Uncertain” อาจนำมาใช้ประโยชน์ได้บางกรณีที่ลูปควบคุมนั้นไม่ได้อยู่ในพื้นที่อันตราย ซึ่งการกำหนดค่าเหล่านี้สามารถทำได้ในฟังก์ชันบล็อกของฟาวน์เดชันฟิลด์บัส ในบล็อกสถานะที่เกี่ยวข้องกับพารามิเตอร์ตัวเลือกสถานะ (STATUS_OPTS) ซึ่งค่า “Uncertain” สามารถกำหนดค่าเบื้องต้นได้ว่าจะให้เป็น “Good” เพื่อความพร้อมใช้ของระบบ หรือ “Bad” เพื่อความปลอดภัยของระบบ โดยการกำหนดค่านี้สามารถกำหนดได้ทุกลูปควบคุมโดยอิสระจากกัน ทำให้สามารถเลือกการดำเนินการได้ว่าสองลูปควบคุมที่ใช้ค่าของระบบร่วมกันสามารถกำหนดวิธีการตอบสนองที่แตกต่างกันได้ โดยลูปควบคุมหนึ่งกำหนดให้มีความพร้อมใช้ของระบบโดยให้ลูปนั้นยังคงทำงานต่อไป และอีกลูปหนึ่งเพื่อความปลอดภัยของระบบโดยให้ลูปควบคุมนั้นหยุดการทำงานลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความสำคัญของสถานะ "Bad" และ "Uncertain"

สถานะ "Bad" มีความสำคัญมากกว่าสถานะ "Uncertain" ดังนั้นค่าตัวเลขสามารถเป็น "Uncertain" เมื่อเกิดเหตุการณ์ร้ายแรงน้อยและเปลี่ยนเป็น "Bad" เมื่อสถานะการณ์เริ่มร้ายแรงมากขึ้น โดยปัญหาเล็กน้อยจะทำให้ลูปควบคุมสามารถทำงานต่อไปได้ ในทางตรงข้ามเมื่อเกิดปัญหาใหญ่ขึ้นก็จะหยุดการทำงาน ความล้มเหลวทางการสื่อสารในลูปควบคุมจะทำให้ลูปควบคุมต้องหยุดการทำงานเนื่องจากไม่สามารถรู้ได้ว่าเกิดเหตุการณ์อะไรต่อไป ในฟังก์ชันบล็อกของฟาวน์เดชันฟิลด์บัสจึงกำหนดให้ความล้มเหลวทางการสื่อสารถือเป็น "Bad" การขาดการสื่อสารเป็นเวลานานหมายถึงการหยุดทำงานของระบบเนื่องจากว่าเป็นตัวเลือกในเรื่องของความปลอดภัย

2.4.4 การกำหนดค่าฟังก์ชันบล็อก

ภาษาฟังก์ชันบล็อกของฟาวน์เดชันฟิลด์บัสนั้นสามารถกำหนดค่าพารามิเตอร์เพื่อให้เป็นไปตามที่ออกแบบไว้ทั้งความพร้อมใช้ของระบบและความปลอดภัยของระบบเมื่อเครื่องมือวัดและเครือข่ายการสื่อสารเกิดความล้มเหลว

การสร้างความปลอดภัยแม้ล้มเหลว

พารามิเตอร์ตัวเลือกสถานะ (STATUS_OPTS) ในฟังก์ชันบล็อกของฟาวน์เดชันฟิลด์บัสมีตัวเลือกสำหรับเหตุการณ์เมื่อฟังก์ชันบล็อกก่อนหน้า (Upstream Block) เกิดความล้มเหลวจะส่งผลไปถึงฟังก์ชันบล็อกที่ตามมาด้วย (Downstream Block) โดยการเลือก "IFS if bad IN" สามารถเลือกได้ว่าเครื่องมือวัดที่ล้มเหลวจะทำให้ระบบหยุดการทำงานหรือจะให้มีการควบคุมกระบวนการโดยผู้ควบคุมแบบแมนนวลแล้วให้กระบวนการยังคงทำงานต่อ การเลือกตัวเลือกที่คล้ายที่กัน "IFS if bad CAS_IN" ทำให้สามารถเลือกได้ว่าบล็อก PID2 ในการควบคุมแบบ Cascade จะหยุดการทำงานหรือยังคงทำงานต่ออย่างอัตโนมัติเมื่อค่ารีโมทเซทพอยต์ล้มเหลว ในกรณีของการทำอัตโนมัติ PID จะทำงานโดยการคงค่าเซทพอยต์ไว้ตามรูปแบบการควบคุม PID แบบพื้นฐาน โดยการกำหนดค่านี้ตั้งอยู่บนพื้นฐานของความล้มเหลวในส่วนของลูปควบคุมชั้นต้นบนพื้นฐานของความล้มเหลวหนึ่งจุดและยังคงให้ลูปควบคุมที่สองสามารถทำงานต่อเนื่องได้อย่างปกติ

การกู้คืนความความล้มเหลว (Fault Recovery)

มีหลากหลายทางเลือกสำหรับการตัดสินใจว่าจะทำอย่างไรหลังการแก้ปัญหา เมื่อเครื่องมือวัดและเครือข่ายการสื่อสารล้มเหลว เพื่อให้ลูปควบคุมสามารถกลับมาทำงานได้ตามปกติเหมือนเดิมโดยทันทีเพื่อให้เกิดความพร้อมใช้หรือเพื่อการระวังภัย อุปกรณ์ยังคงสถานะ "Failed" จนกระทั่งผู้ใช้งานปลดล็อคสถานะ สำหรับพารามิเตอร์ตัวเลือกการจำกัด (SHED_OPTS) "No Return" จะเป็นตัวเลือกเพื่อความปลอดภัยมากกว่าตัวเลือก "Normal Return" ที่ใช้ในการทำให้เกิดความพร้อมใช้สำหรับพารามิเตอร์ตัวเลือกสถานะ (STATUS_OPTS) สามารถทำให้เกิดความปลอดภัยสูงขึ้นโดยการเลือก "Target to ..." แต่ถ้าไม่เลือกก็จะทำให้สามารถที่จะเปิดระบบเพื่อความพร้อมใช้สำหรับฟังก์ชันบล็อกที่เชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์ฟาวน์เดชันฟิลด์บัสได้

ค่าที่ได้จากการแมนนวลและค่าถูกจำกัด (Limit and Manual Values)

ในฟังก์ชันบล็อกของฟาวน์เดชันฟิลด์บัส ตัวเลือกสถานะจะแสดงค่าตัวเลขที่มีข้อจำกัดเป็น "Uncertain" หรือ "Bad" แทนที่สถานะ "Good" ด้วยเหตุผลที่คล้ายกันการป้อนค่าแบบแมนนวลจะแสดงค่า "Uncertain" ดังนั้นบล็อกที่ตามหลัง (Downstream Block) อาจใช้ตัวเลือกนี้ในการใช้เพื่อความปลอดภัยเมื่อเกิดสถานะการณ์ขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การกำหนดค่าพารามิเตอร์เพื่อความปลอดภัยและความพร้อมใช้ของระบบ

จากตัวเลือกหลาย ๆ ตัวเลือกในการกำหนดค่าเพื่อความปลอดภัยของระบบ หรือ เพื่อความพร้อมใช้ของระบบสามารถสรุปดังตารางที่ 2.3 โดยที่พารามิเตอร์ส่วนใหญ่มีค่าตั้งต้นสำหรับการกำหนดให้การควบคุมกระบวนการมีความพร้อมใช้ของระบบมากกว่าความปลอดภัยของระบบ

ตารางที่ 2.3 ตัวเลือกในการกำหนดค่าเพื่อความปลอดภัยของระบบหรือความพร้อมใช้ของระบบ

Feature	Safety	Availability
STATUS_OPTS	Don't	Use "Uncertain" as "Good"
STATUS_OPTS	Target to Manual if "Bad" IN	Don't
STATUS_OPTS	Initiate fault state if IN is "Bad"	Don't
STATUS_OPTS	Initiate fault state if CAS_IN is "Bad"	Don't
STATUS_OPTS	Set Target mode to manual if IN is "Bad"	Don't
STATUS_OPTS	Set Quality as "Uncertain" if limited	Don't
STATUS_OPTS	Set Quality as "Bad" if limited	Don't
STATUS_OPTS	Set Quality as "Uncertain" if block is manual mode	Don't
IO_OPTS	Fault State to value	Don't
IO_OPTS	Use fault state value on restart	Don't
Function Block link state count limit	Few	Many
SHED_OPTS	No return	Normal return
FSAFE_TIME	Short	Long
FEATURE_SEL	Fault State supported	Don't
Backup LAS function	Disabled	Enabled
SHED_RCAS	Short	Long
SHED_ROUT	Short	Long

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
การวิเคราะห์เน็ตเวิร์คโหลดของเซกเมนต์มาโครไซเคิล

3.1 กล่าวนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงเน็ตเวิร์คโหลดสำหรับการสื่อสารของการควบคุมในระดับฟิลด์โดยใช้ฟาวน์เดชันฟิลด์บัส สำหรับการควบคุมแบบ PID และ Cascade พร้อมนำเสนอเทคนิคการปรับเซกเมนต์มาโครไซเคิล เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการสื่อสารของการควบคุมในระดับฟิลด์โดยใช้ฟาวน์เดชันฟิลด์บัส รายละเอียดในการออกแบบการทดลอง ผลการทดลองและอภิปรายผล

3.2 เน็ตเวิร์คโหลด

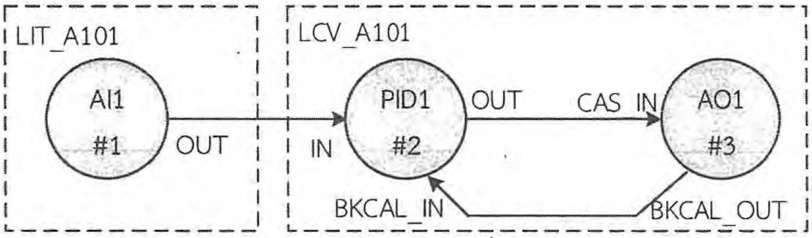
3.2.1 กรณีศึกษาเน็ตเวิร์คโหลด

สำหรับกรณีศึกษาเน็ตเวิร์คโหลดของฟาวน์เดชันฟิลด์บัส H1 ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ขอนำเสนอการควบคุมแบบ PID และ Cascade การทำงาน 1 ลูป และ 2 ลูป บนเซกเมนต์เดียวกัน การควบคุมแต่ละแบบแบ่งออกเป็น 2 กรณี โดยลำดับของฟังก์ชันบล็อกไม่เหมือนกัน สำหรับตำแหน่งของฟังก์ชันบล็อก PID อ้างอิงตาม [5-6] ลูปควบคุมสร้างโดยใช้ระบบโฮสต์ DCS ของบริษัท Emerson Process Management รุ่น DeltaV สำหรับการทดลองหาเน็ตเวิร์คโหลดทดลองในโหมด Offline รายละเอียดของอุปกรณ์ฟิลด์บัสที่ใช้ในกรณีศึกษาแสดงได้ดังตารางที่ 3.1 ซึ่งประกอบไปด้วยชื่อ (Tag) รุ่นของอุปกรณ์ (Model) รุ่นการปรับปรุง (device revision) จำนวนของฟังก์ชันบล็อก AI ภายในอุปกรณ์ (AI Count) จำนวนของฟังก์ชันบล็อก AO ภายในอุปกรณ์ (AO Count) จำนวนของฟังก์ชันบล็อก PID ภายในอุปกรณ์ (PID Count) ค่าเวลาที่ใช้ในการประมวลผลของฟังก์ชันบล็อก AI (AI time) ค่าเวลาที่ใช้ในการประมวลผลของฟังก์ชันบล็อก AO (AO time) ค่าเวลาที่ใช้ในการประมวลผลของฟังก์ชันบล็อก PID (PID time)

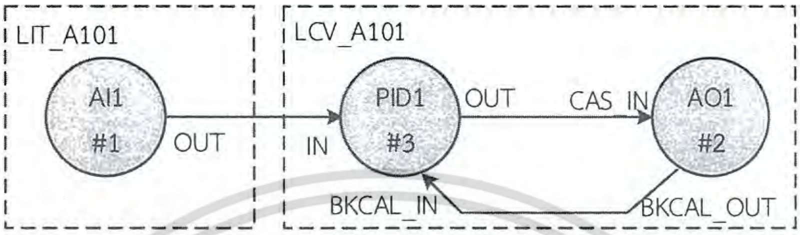
ตารางที่ 3.1 รายละเอียดของอุปกรณ์ฟิลด์บัส

Tag	Model	Rev	AI count	AI time	AO count	AO time	PID count	PID time
LCV_A101	AVP303	2	N/A	N/A	1	75 ms	2	125 ms
FIT_A101	8732EF	2	1	10 ms	N/A	N/A	1	10 ms
LIT_A101	EJX110A	3	3	30 ms	N/A	N/A	1	45 ms
LCV_A201	DVC6000F	1	1	25 ms	1	25 ms	1	30 ms
FIT_A201	AXF	1	1	30 ms	N/A	N/A	1	50 ms
LIT_A201	DSTJ	1	2	75 ms	N/A	N/A	1	125 ms

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



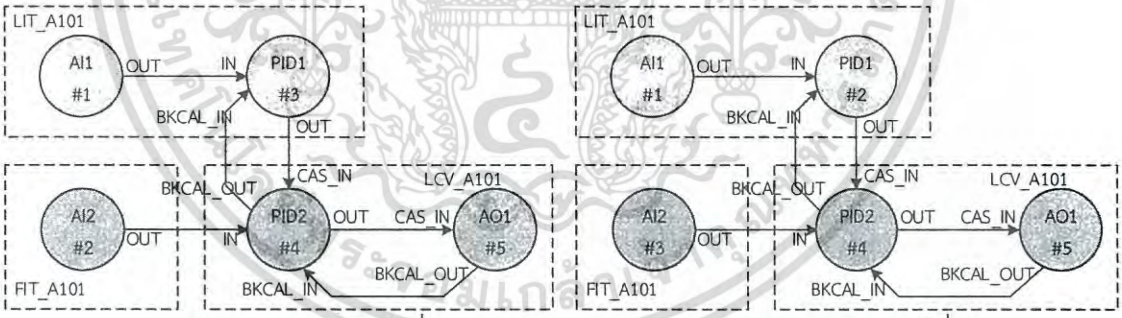
(ก) PID กรณีที่ 1



(ข) PID กรณีที่ 2

รูปที่ 3.1 การควบคุมแบบ PID

กรณีศึกษาการควบคุมแบบ PID แสดงดังรูปที่ 3.1(ก) และรูปที่ 3.1(ข) ความแตกต่างของการควบคุมแบบ PID กรณีที่ 1 และ PID กรณีที่ 2 คือ การเรียงลำดับของฟังก์ชันบล็อก การควบคุมแบบ PID กรณีที่ 1 (ลำดับของฟังก์ชันบล็อก AI1 PID1 AO1) การควบคุมแบบ PID กรณีที่ 2 (ลำดับของฟังก์ชันบล็อก AI1 AO1 PID1) โดยฟังก์ชันบล็อก AI1 อยู่ภายในอุปกรณ์ LIT_A101 ฟังก์ชันบล็อก PID1 และฟังก์ชันบล็อก AO1 อยู่ภายในอุปกรณ์ LCV_A101

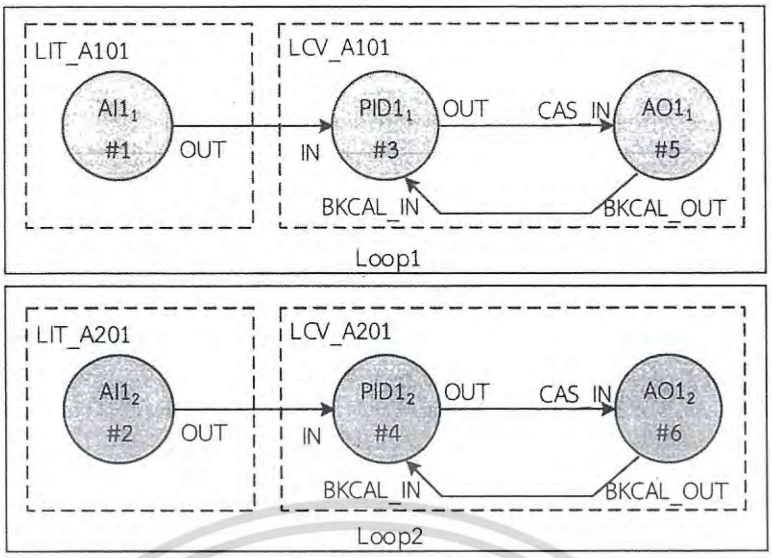


(ก) Cascade กรณีที่ 1 (ข) Cascade กรณีที่ 2

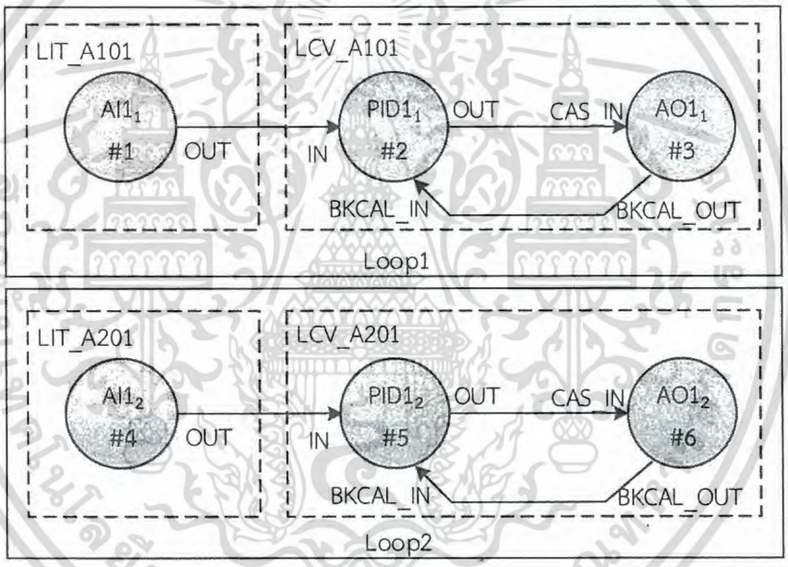
รูปที่ 3.2 การควบคุมแบบ Cascade

กรณีศึกษาการควบคุมแบบ Cascade แสดงดังรูปที่ 3.2(ก) และรูปที่ 3.2(ข) ความแตกต่างของการควบคุมแบบ Cascade กรณีที่ 1 และ Cascade กรณีที่ 2 คือ การเรียงลำดับของฟังก์ชันบล็อก การควบคุมแบบ Cascade กรณีที่ 1 (ลำดับของฟังก์ชันบล็อก AI1 AI2 PID1 PID2 AO1) การควบคุมแบบ Cascade กรณีที่ 2 (ลำดับของฟังก์ชันบล็อก AI1 PID1 AI2 PID2 AO1) โดยฟังก์ชันบล็อก AI1 และฟังก์ชันบล็อก PID1 อยู่ภายในอุปกรณ์ LIT_A101 ฟังก์ชันบล็อก AI2 อยู่ภายในอุปกรณ์ FIT_A101 ฟังก์ชันบล็อก PID2 และฟังก์ชันบล็อก AO1 อยู่ภายในอุปกรณ์ LCV_A101

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) PID กรณีที่ 1

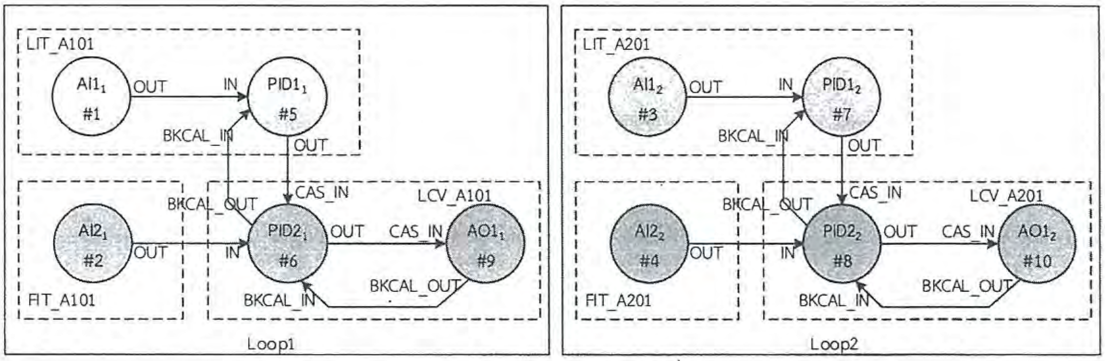


(ข) PID กรณีที่ 2

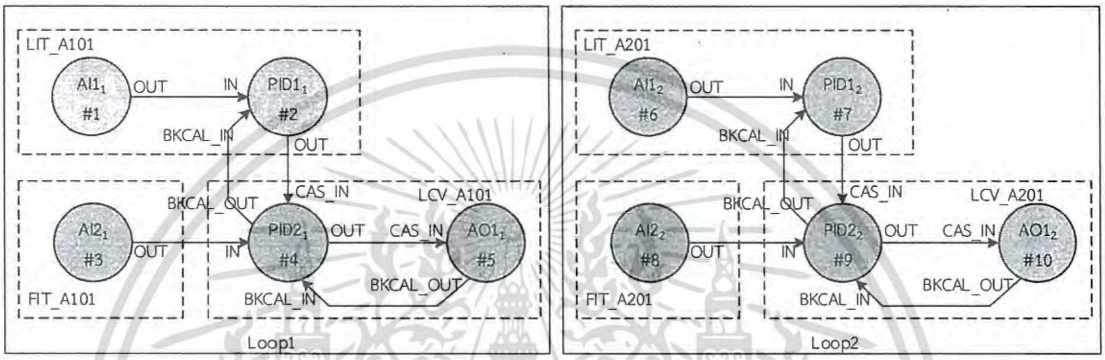
รูปที่ 3.3 การควบคุมแบบ PID 2 ลูป

กรณีศึกษาการควบคุมแบบ PID 2 ลูป แสดงดังรูปที่ 3.3(ก) และรูปที่ 3.3(ข) ความแตกต่างของการควบคุมแบบ PID กรณีที่ 1 และ PID กรณีที่ 2 คือ การเรียงลำดับของฟังก์ชันบล็อก การควบคุมแบบ PID 2 ลูป กรณีที่ 1 (ลำดับของฟังก์ชันบล็อก $AI1_1$ $AI1_2$ $PID1_1$ $PID1_2$ $AO1_1$ $AO1_2$) การควบคุมแบบ PID 2 ลูป กรณีที่ 2 (ลำดับของฟังก์ชันบล็อก $AI1_1$ $PID1_1$ $AO1_1$ $AI1_2$ $PID1_2$ $AO1_2$) ในลูปที่ 1 ฟังก์ชันบล็อก $AI1_1$ อยู่ภายในอุปกรณ์ LIT_A101 ฟังก์ชันบล็อก $PID1_1$ และฟังก์ชันบล็อก $AO1_1$ อยู่ภายในอุปกรณ์ LCV_A101 ในลูปที่ 2 ฟังก์ชันบล็อก $AI1_2$ อยู่ภายในอุปกรณ์ LIT_A201 ฟังก์ชันบล็อก $PID1_2$ และฟังก์ชันบล็อก $AO1_2$ อยู่ภายในอุปกรณ์ LCV_A201

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) Cascade กรณีที่ 1



(ข) Cascade กรณีที่ 2

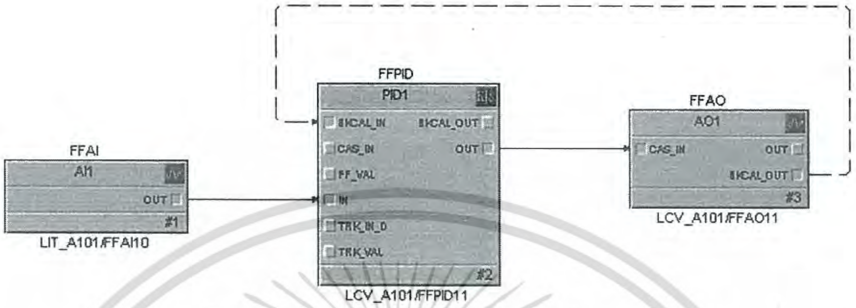
รูปที่ 3.4 การควบคุมแบบ Cascade 2 ลูป

กรณีศึกษาการควบคุมแบบ Cascade 2 ลูป แสดงดังรูปที่ 3.4(ก) และรูปที่ 3.4(ข) ความแตกต่างของการควบคุมแบบ Cascade กรณีที่ 1 และ Cascade กรณีที่ 2 คือ การเรียงลำดับของฟังก์ชันบล็อก การควบคุมแบบ Cascade 2 ลูป กรณีที่ 1 (ลำดับของฟังก์ชันบล็อก $AI1_1$ $AI2_1$ $AI1_2$ $AI2_2$ $PID1_1$ $PID2_1$ $PID1_2$ $PID2_2$ $AO1_1$ $AO1_2$) การควบคุมแบบ Cascade 2 ลูป กรณีที่ 2 (ลำดับของฟังก์ชันบล็อก $AI1_1$ $PID1_1$ $AI2_1$ $PID2_1$ $AO1_1$ $AI1_2$ $PID1_2$ $AI2_2$ $PID2_2$ $AO1_2$) ในลูปที่ 1 ฟังก์ชันบล็อก $AI1_1$ และฟังก์ชันบล็อก $PID1_1$ อยู่ภายในอุปกรณ์ LIT_A101 ฟังก์ชันบล็อก $AI2_1$ อยู่ภายในอุปกรณ์ FIT_A101 ฟังก์ชันบล็อก $AO1_1$ และฟังก์ชันบล็อก $PID2_1$ อยู่ภายในอุปกรณ์ LCV_A101 ในลูปที่ 2 ฟังก์ชันบล็อก $AI1_2$ และฟังก์ชันบล็อก $PID1_2$ อยู่ภายในอุปกรณ์ LIT_A201 ฟังก์ชันบล็อก $AI2_2$ อยู่ภายในอุปกรณ์ FIT_A201 ฟังก์ชันบล็อก $AO1_2$ และฟังก์ชันบล็อก $PID2_2$ อยู่ภายในอุปกรณ์ LCV_A201

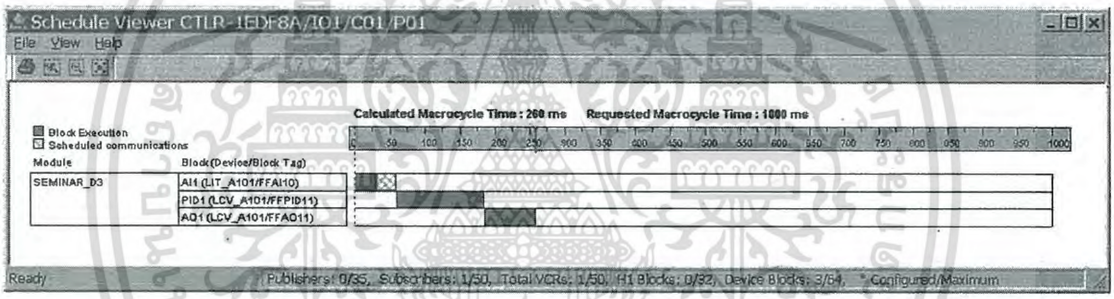
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.2 ผลการทดลองกรณีศึกษาเน็ตเวิร์คโหลด

กรณีศึกษาเน็ตเวิร์คโหลดของฟาวน์เดชันฟิลด์บัส H1 ที่นำเสนอในหัวข้อ 3.2.1 สามารถสร้างเป็นลูปควบคุมโดยใช้ ระบบโฮสต์ DCS ของ DeltaV ซึ่ง DeltaV ใช้โปรแกรม Control Studio ในการกำหนดค่าต่างๆ ค่าเซกเมนต์มาโครไซเคิลสำหรับแต่ละกรณีคำนวณโดยโปรแกรม Control Studio ดังแสดงในรูปที่ 3.5 ถึง รูปที่ 3.20

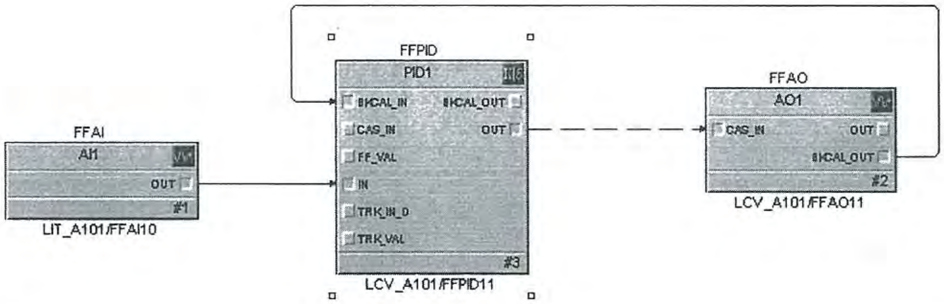


รูปที่ 3.5 ฟังก์ชันบล็อกในโปรแกรม Control Studio สำหรับการควบคุมแบบ PID กรณีที่ 1

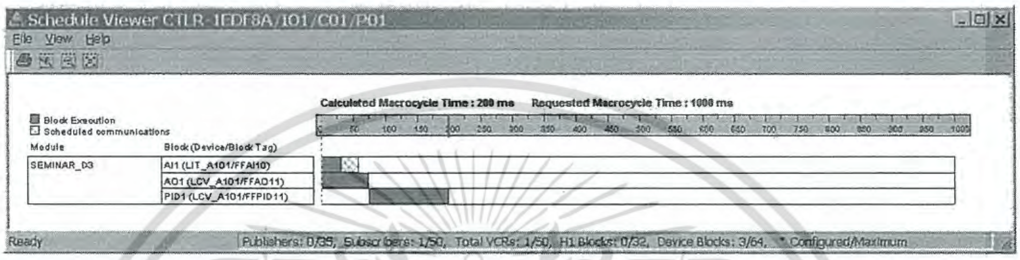


รูปที่ 3.6 มาโครไซเคิลของการควบคุมแบบ PID กรณีที่ 1

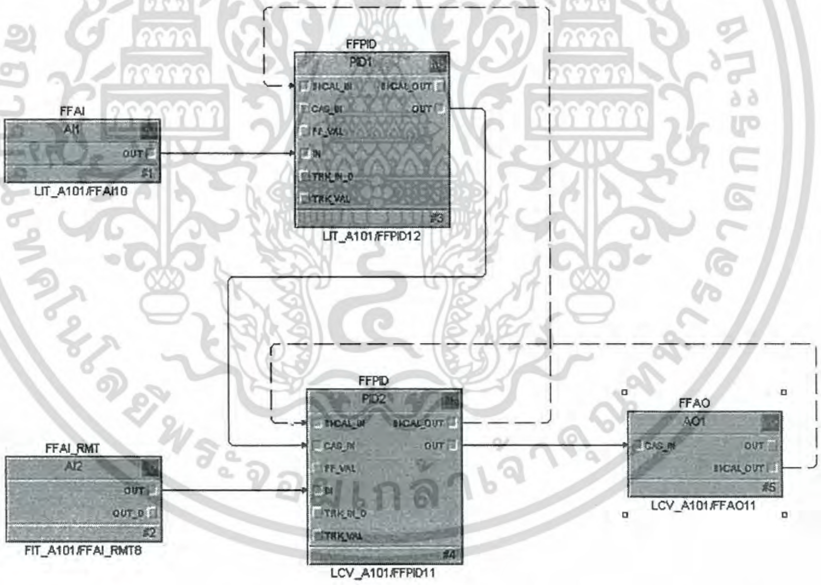
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



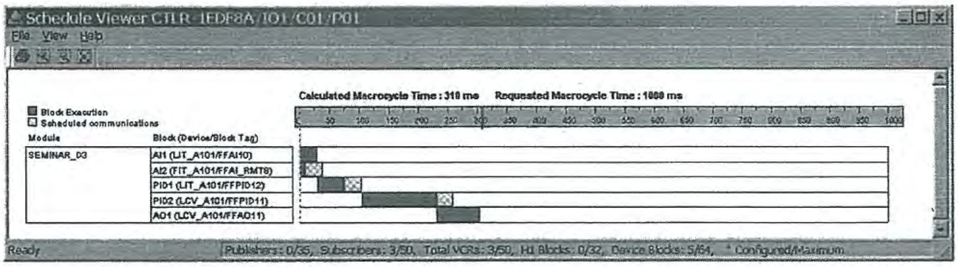
รูปที่ 3.7 ฟังก์ชันบล็อกในโปรแกรม Control Studio สำหรับการควบคุมแบบ PID กรณีที่ 2



รูปที่ 3.8 มาโครไซเคิลของการควบคุมแบบ PID กรณีที่ 2

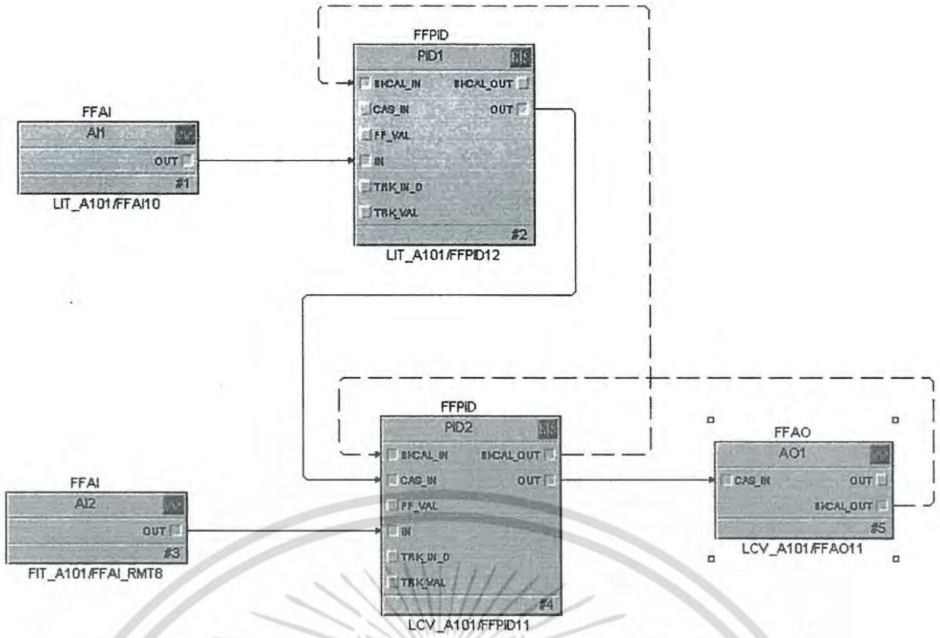


รูปที่ 3.9 ฟังก์ชันบล็อกในโปรแกรม Control Studio สำหรับการควบคุมแบบ Cascade กรณีที่ 1

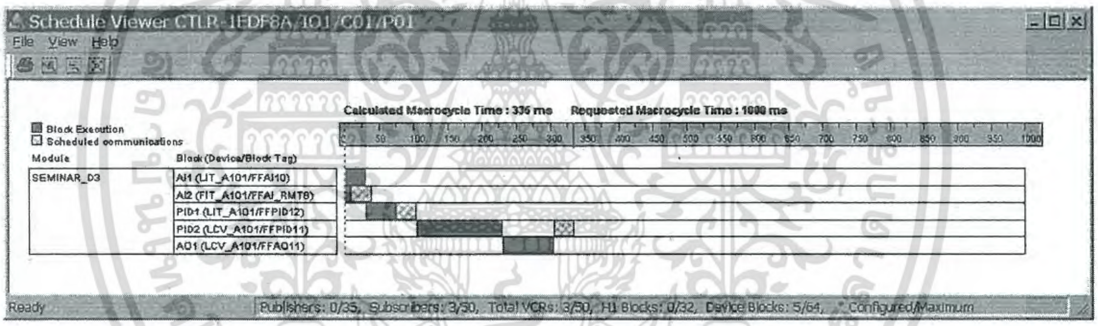


รูปที่ 3.10 มาโครไซเคิลของการควบคุมแบบ Cascade กรณีที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

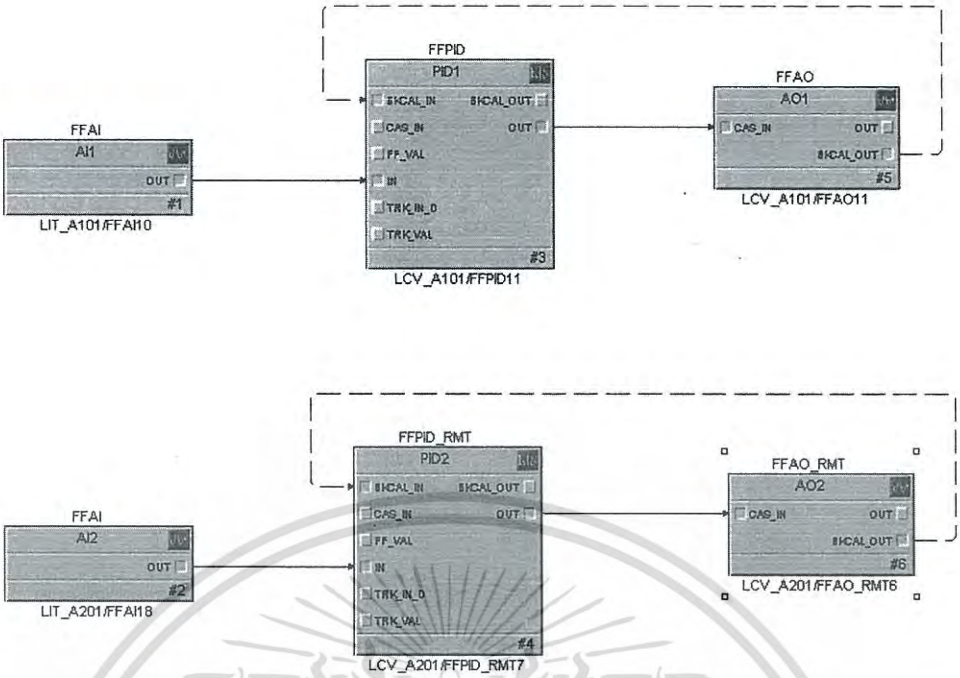


รูปที่ 3.11 ฟังก์ชันบล็อกในโปรแกรม Control Studio สำหรับการควบคุมแบบ Cascade กรณีที่ 2

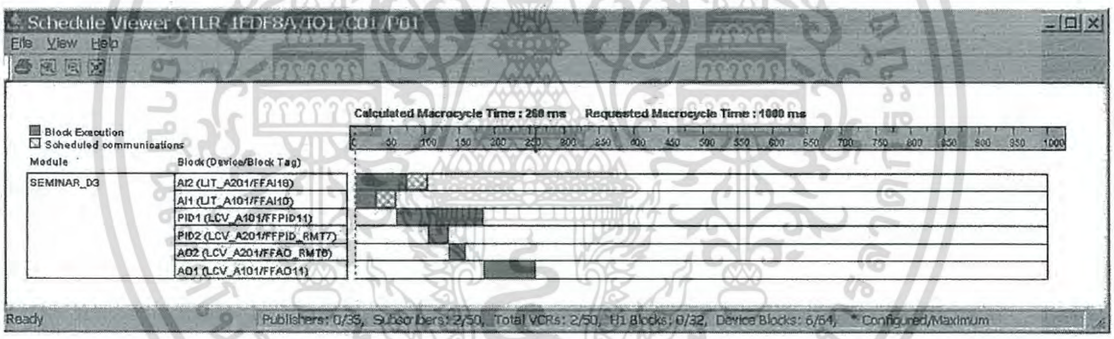


รูปที่ 3.12 มาโครไซเคิลของการควบคุมแบบ Cascade กรณีที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

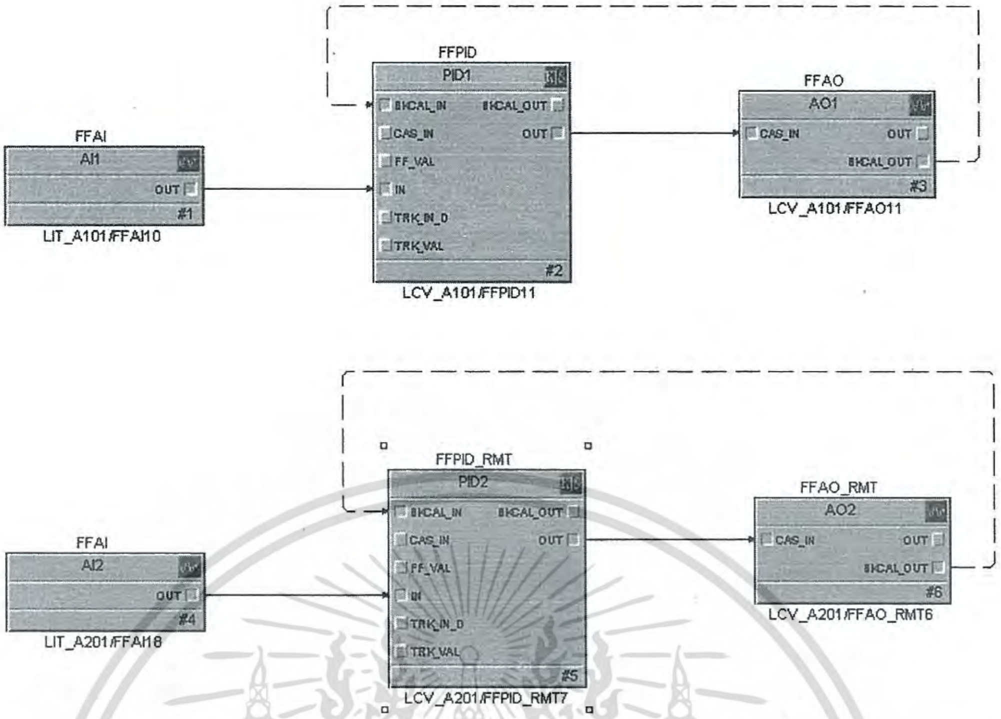


รูปที่ 3.13 ฟังก์ชันบล็อกในโปรแกรม Control Studio สำหรับการควบคุมแบบ PID 2 ลูป กรณีที่ 1

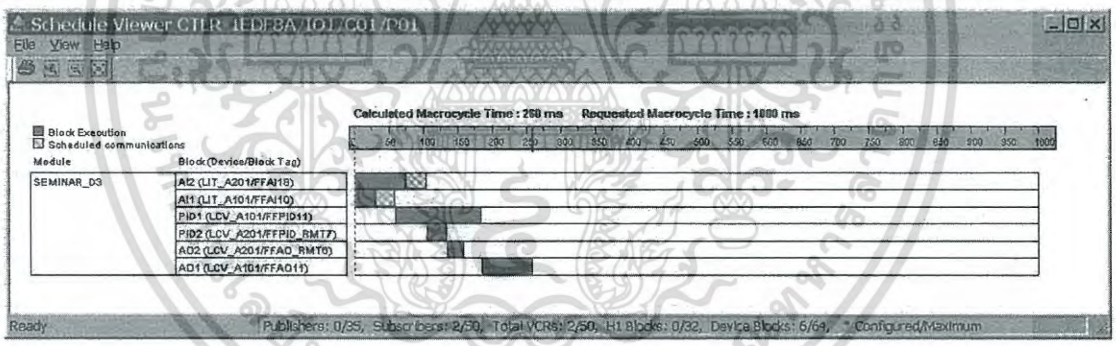


รูปที่ 3.14 มาโครไซเคิลของการควบคุมแบบ PID 2 ลูป กรณีที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

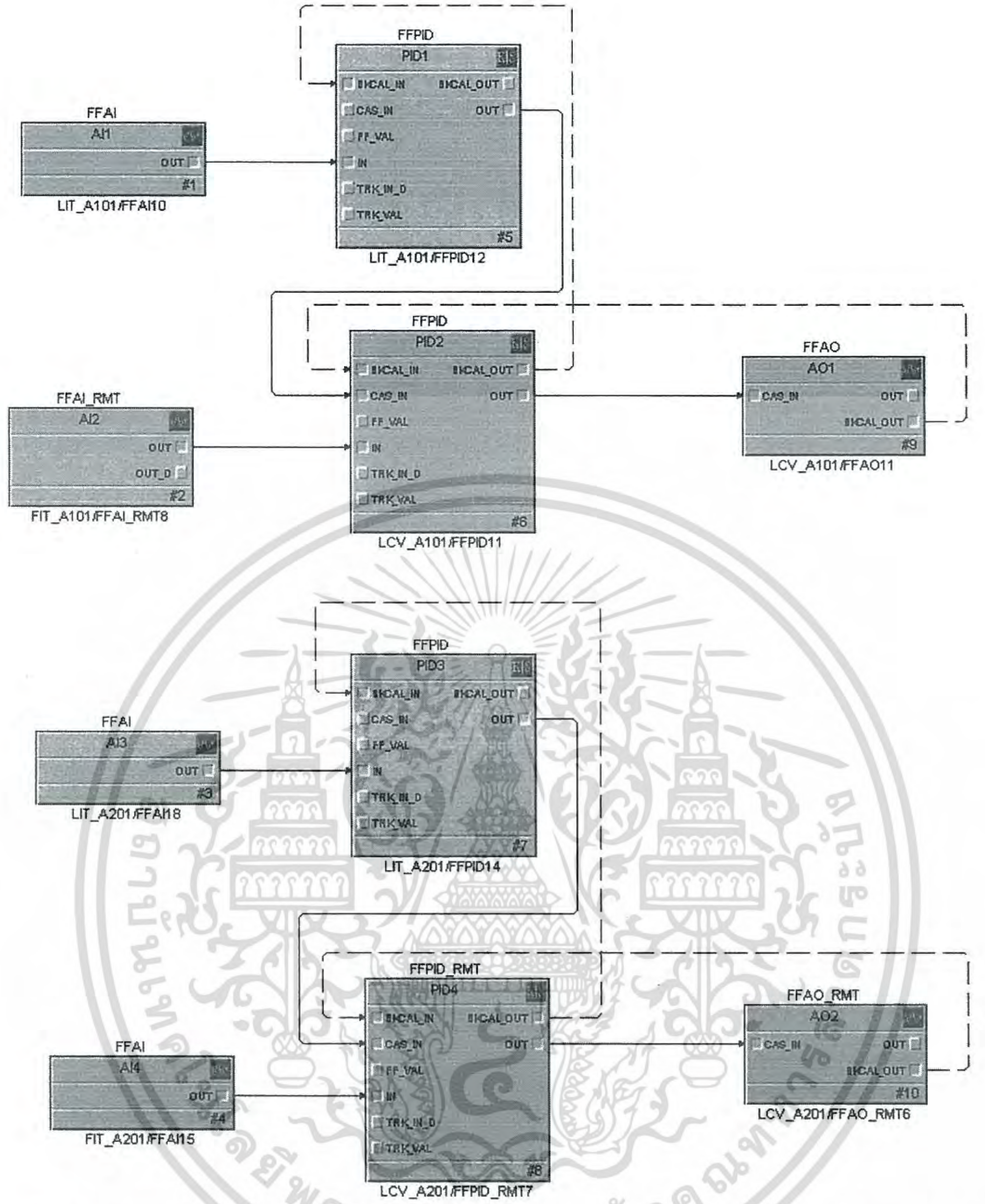


รูปที่ 3.15 ฟังก์ชันบล็อกในโปรแกรม Control Studio สำหรับการควบคุมแบบ PID 2 ลูป กรณีที่ 2

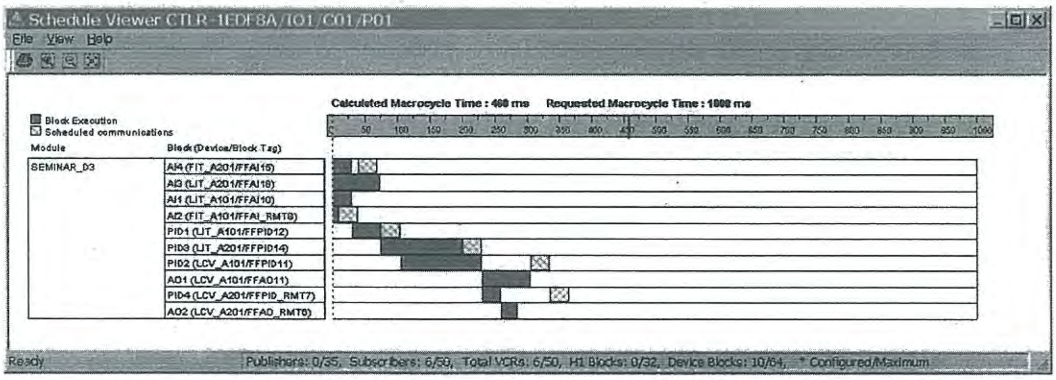


รูปที่ 3.16 มาโครไซเคิลของการควบคุมแบบ PID 2 ลูป กรณีที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

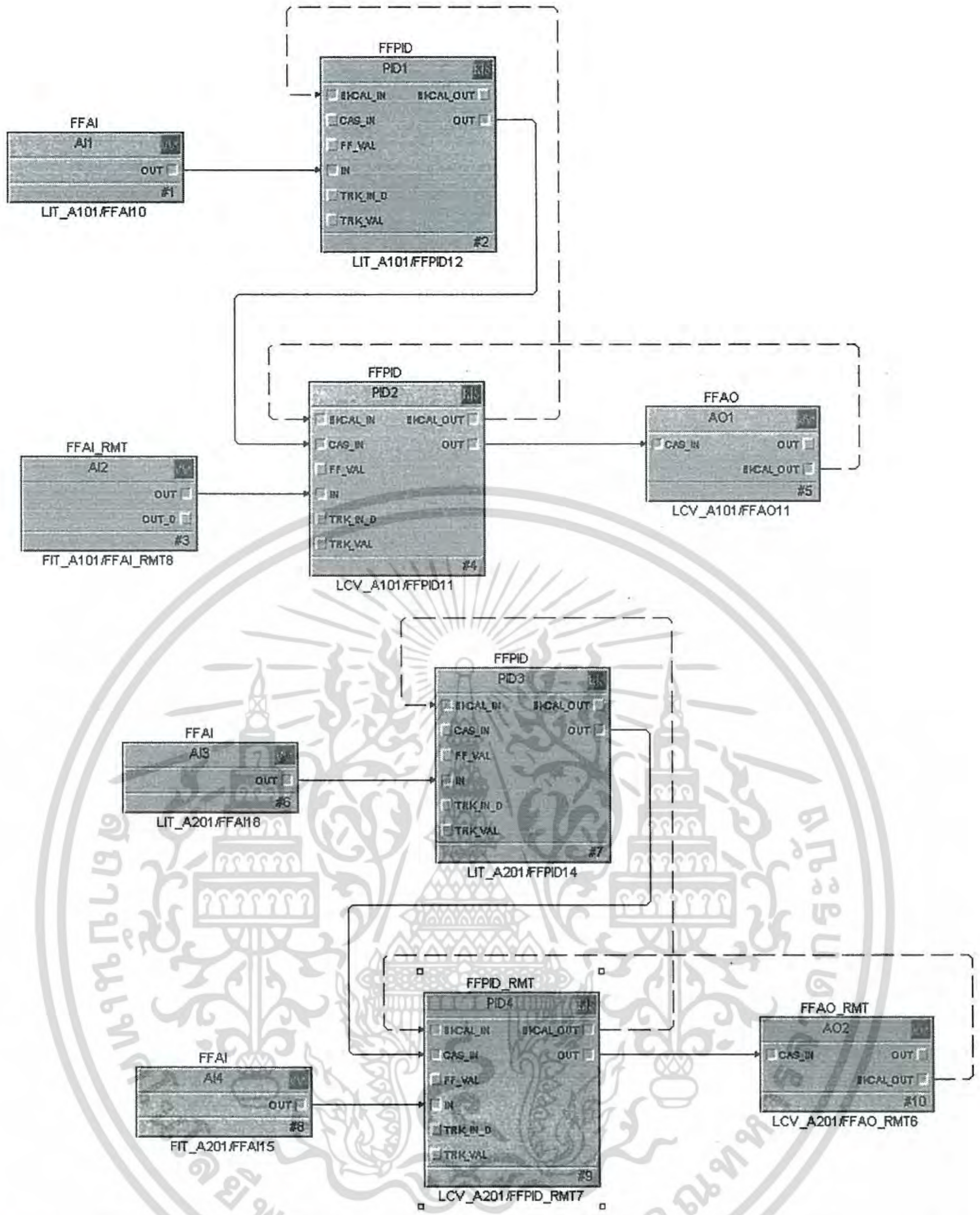


รูปที่ 3.17 ฟังก์ชันบล็อกในโปรแกรม Control Studio สำหรับการควบคุมแบบ Cascade 2 ลูป กรณีที่ 1

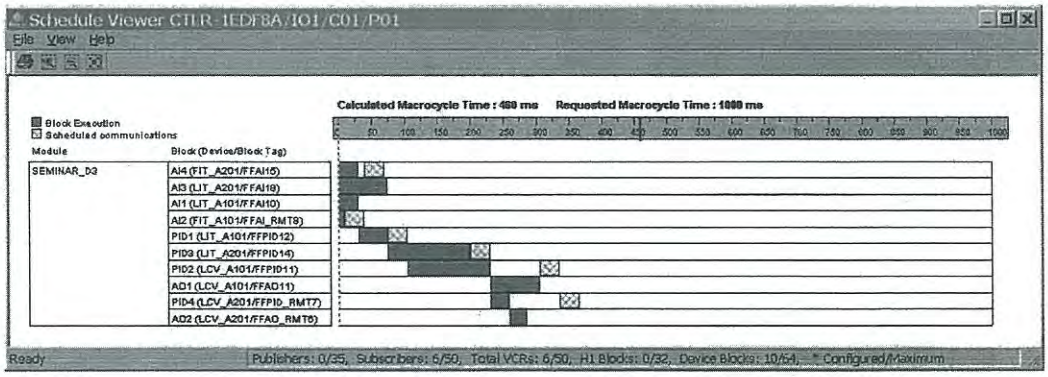


รูปที่ 3.18 มาโครไซเคิลของการควบคุมแบบ Cascade 2 ลูป กรณีที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่... โยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.19 ฟังก์ชันบล็อกในโปรแกรม Control Studio สำหรับการควบคุมแบบ Cascade 2 ลูป กรณีที่ 2



รูปที่ 3.20 มาโครไซเคิลของการควบคุมแบบ Cascade 2 ลูป กรณีที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ ... โยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.2 มาโครไซเคิลซึ่งคำนวณโดยระบบโฮสต์ DCS ของ DeltaV

รูปแบบการควบคุม	มาโครไซเคิล (ms)	
	การควบคุมในระดับฟิลด์ กรณีที่ 1	การควบคุมในระดับฟิลด์ กรณีที่ 2
PID 1 ลูป	260	200
PID 2 ลูป	260	260
Cascade 1 ลูป	310	355
Cascade 2 ลูป	460	460

มาโครไซเคิลสำหรับกรณีศึกษาที่นำเสนอในหัวข้อ 3.2.1 สามารถสรุปค่าที่ได้ดังตารางที่ 3.2 ซึ่งจากการศึกษาพบว่าการควบคุมแบบ PID 1 ลูป และการควบคุมแบบ Cascade 1 ลูป ลำดับของฟังก์ชันบล็อกส่งผลต่อมาโครไซเคิล ส่วนการควบคุมแบบ PID 2 ลูป และการควบคุมแบบ Cascade 2 ลูป มาโครไซเคิลที่ได้ไม่ต่างกัน และเมื่อจำนวนลูปควบคุมเพิ่มมากขึ้นค่ามาโครไซเคิลก็จะเพิ่มตาม ซึ่งค่ามาโครไซเคิลที่ได้ในตาราง 3.2 คำนวณหาค่าเน็ตเวิร์คโหลดได้ดังสมการ

$$Network_Load = (\frac{Scheduled_Communication}{Macrocycle}) \cdot 100\% \tag{3.1}$$

จากสมการที่ 3.1 ตัวอย่างการคำนวณ การควบคุมแบบ PID 1 ลูป กรณีที่ 1 มาโครไซเคิลเท่ากับ 260 ms และ Scheduled Communication เท่ากับ 30 ms จะได้เน็ตเวิร์คโหลด คือ (30/260) x 100% = 11.54% จากการคำนวณเน็ตเวิร์คโหลดสำหรับรูปแบบการควบคุมที่สนใจสรุปได้ดังตารางที่ *3.3*

ตารางที่ 3.3 เน็ตเวิร์คโหลดที่วิเคราะห์ด้วยสมการที่ (3.1)

รูปแบบการควบคุม	เน็ตเวิร์คโหลด (%)	
	การควบคุมในระดับฟิลด์ กรณีที่ 1	การควบคุมในระดับฟิลด์ กรณีที่ 2
PID 1 ลูป	11.54	15.00
PID 2 ลูป	23.03	23.03
Cascade 1 ลูป	29.03	26.87
Cascade 2 ลูป	39.13	39.13

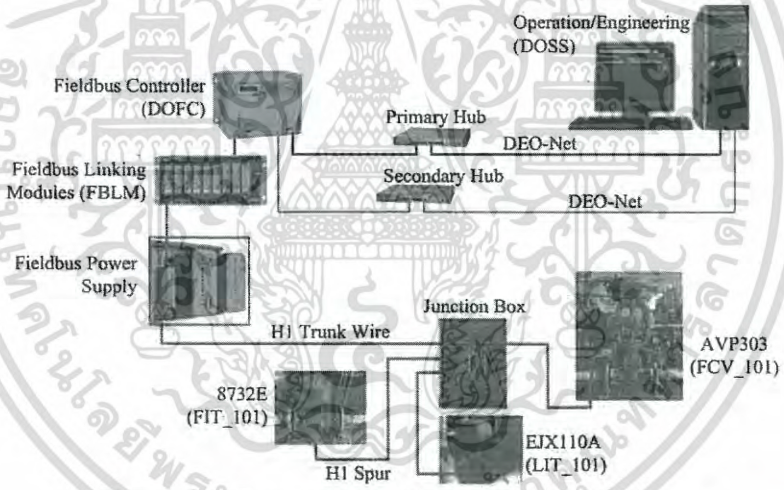
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 เทคนิคการปรับเซกเมนต์มาโครไซเคิลที่นำเสนอ

จากการศึกษาเน็ตเวิร์คโหลดในหัวข้อ 3.2 พบว่ามาโครไซเคิลมีผลต่อเน็ตเวิร์คโหลดโดยตรง ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอเทคนิคการปรับเซกเมนต์มาโครไซเคิล เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการในการสื่อสารซึ่งเทคนิคที่นำเสนอมีวัตถุประสงค์ 2 ประการ คือ 1. ทำให้เวลาลาเทนซีของลูปควบคุมน้อยที่สุด 2. สามารถใช้ประโยชน์จาก Unscheduled Communication มากที่สุด โดยใช้ระบบโฮสต์ DCS ของบริษัท Azbil รุ่น Harmonas-DEO สำหรับการศึกษามี 5 กรณี ประกอบด้วย การควบคุมแบบ PID 2 ลูป การควบคุมแบบ Cascade กรณีที่ 1 การควบคุมแบบ Cascade กรณีที่ 2 การควบคุมแบบ Cascade 2 ลูป กรณีที่ 1 และการควบคุมแบบ Cascade 2 ลูป กรณีที่ 2

3.3.1 พลานต์โมเดลที่ใช้เป็นกรณีศึกษา

โครงสร้างระบบของกรณีศึกษาการควบคุมแบบ Cascade แสดงได้ดังรูปที่ 3.21 โดยมีอุปกรณ์ฟิลด์บัส H1 ที่ถูกนำมาใช้ในลูปการควบคุมแบบ Cascade 3 ตัว คือ อุปกรณ์ส่งสัญญาณการวัดระดับแบบฟิลด์บัส โมเดล EJX110A จาก Yokogawa (LIT_101) อุปกรณ์ส่งสัญญาณการวัดอัตราการไหลแบบฟิลด์บัส โมเดล 8732E จาก EPM (FIT_101) และวาล์วโพซิชันเนอร์ โมเดล AVP303 จาก Azbil (FCV_101) ตารางที่ 3.4 แสดงข้อมูลรายละเอียดของอุปกรณ์ฟิลด์บัส H1 ที่ติดตั้งในพลานต์โมเดลในรูปที่ 3.21

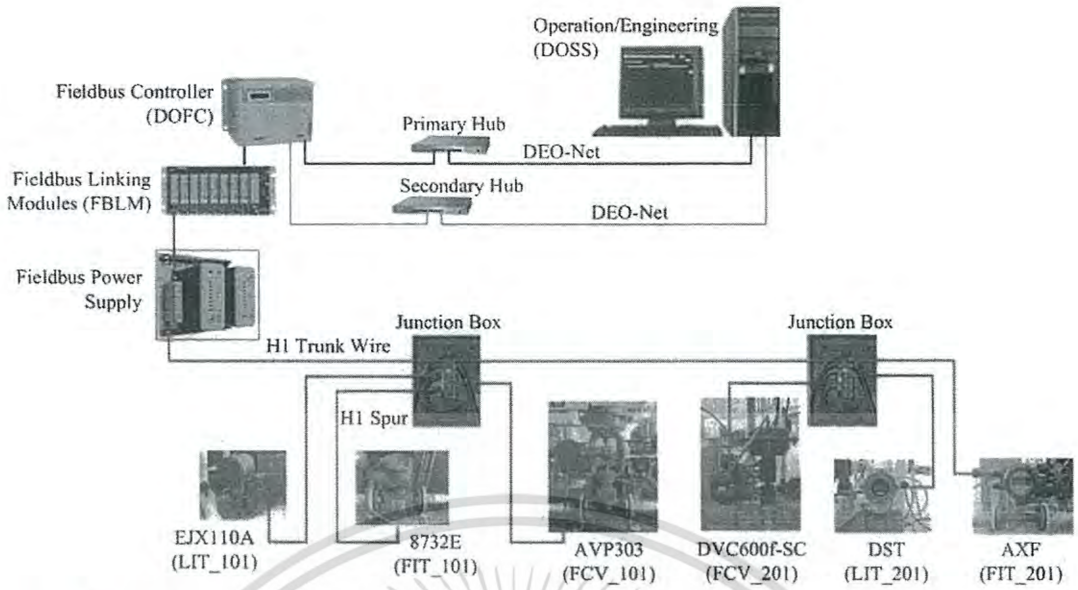


รูปที่ 3.21 โครงสร้างระบบของกรณีศึกษาการควบคุมแบบ Cascade

ตารางที่ 3.4 รายละเอียดของอุปกรณ์ฟิลด์บัสสำหรับการศึกษาในรูปที่ 3.21

Tag	Model	Rev	AI count	AI time	AO count	AO time	PID count	PID time
FCV_101	AVP303	2	N/A	N/A	1	80 ms	2	130 ms
FIT_101	8732EF	2	1	10 ms	N/A	N/A	1	15 ms
LIT_101	EJX110A	3	3	30 ms	N/A	N/A	1	50 ms

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.22 โครงสร้างระบบของกรณีศึกษาการควบคุมแบบ PID 2 ลูป และ Cascade 2 ลูป

สำหรับโครงสร้างระบบของกรณีศึกษาการควบคุมแบบ PID 2 ลูป และ Cascade 2 ลูป แสดงได้ดังรูปที่ 3.22 โดยมีอุปกรณ์ฟิลด์บัส H1 ที่ถูกนำมาใช้ในลูปที่ 1 จะเหมือนกับอุปกรณ์ฟิลด์บัส H1 ที่ถูกนำมาใช้ในลูปการควบคุมแบบ Cascade ในรูปที่ 3.21 โดยกรณีศึกษาการควบคุมแบบ PID 2 ลูป และ Cascade 2 ลูป จะเพิ่มอุปกรณ์ 3 ตัว สำหรับ ลูปที่ 2 คือ อุปกรณ์ส่งสัญญาณการวัดระดับแบบฟิลด์บัส โมเดล DSTJ จาก Yamatake (LIT_201) อุปกรณ์ส่งสัญญาณการวัดอัตราการไหลแบบฟิลด์บัสโมเดล AXF จาก Yogokawa (FIT_201) และวาล์วโพซิชันเนอร์ โมเดล DCV6000F จาก Fisher Controls (FCV_201) ตารางที่ 3.5 แสดงข้อมูลรายละเอียดของอุปกรณ์ฟิลด์บัส H1 ที่ติดตั้งในพลานต์โมเดลในรูปที่ 3.22

ตารางที่ 3.5 รายละเอียดของอุปกรณ์ฟิลด์บัสสำหรับการศึกษาในรูปที่ 3.22

Tag	Model	Rev	AI count	AI time	AO count	AO time	PID count	PID time
FCV_101	AVP303	2	N/A	N/A	1	80 ms	2	130 ms
FIT_101	8732EF	2	1	10 ms	N/A	N/A	1	15 ms
LIT_101	EJX110A	3	3	30 ms	N/A	N/A	1	50 ms
FCV_201	DVC6000F	1	1	25 ms	1	30 ms	1	30 ms
FIT_201	AXF	1	1	30 ms	N/A	N/A	1	50 ms
LIT_201	DST	1	2	80 ms	N/A	N/A	1	130 ms

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

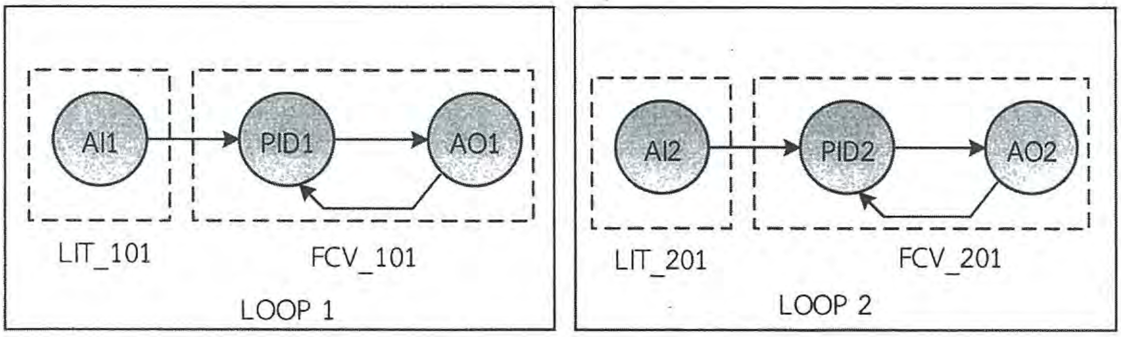
3.3.2 กรณีศึกษาการปรับเซกเมนต์มาโครไซเคิล [16-18]

ฟาวน์เดชันฟิลด์บัสอาศัยเซกเมนต์มาโครไซเคิลในการสื่อสาร โดยเซกเมนต์มาโครไซเคิลประกอบไปด้วย Scheduled Communication และ Unscheduled Communication โดยช่วงเวลาในการประมวลผลของฟังก์ชันบล็อก และการส่งข้อมูลภายในอุปกรณ์จะอาศัยช่วงเวลา Unscheduled Communication การสื่อสารช่วงเวลานี้ฟาวน์เดชันฟิลด์บัสอาศัยคำสั่ง PT (PT: Pass Token) การส่งข้อมูลระหว่างอุปกรณ์สื่อสารแบบ Scheduled Communication การสื่อสารช่วงเวลานี้ฟาวน์เดชันฟิลด์บัสอาศัยคำสั่ง CD (CD: Compel Data) เทคนิคที่นำเสนอในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ คือการปรับเซกเมนต์มาโครไซเคิล เพื่อให้เวลาลาเทนซีของลูปควบคุมน้อยที่สุด ทำได้โดยการขนานฟังก์ชันบล็อก และสามารถใช้ประโยชน์จาก Unscheduled Communication มากที่สุดทำได้โดยการจัดกลุ่ม Scheduled Communication เข้าด้วยกัน วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ขอนำเสนอกรณีศึกษาจำนวน 5 กรณี การกำหนดฟังก์ชันบล็อกในอุปกรณ์ระดับฟิลด์แสดงไว้ในตารางที่ 3.6

ตารางที่ 3.6 ฟังก์ชันบล็อกที่กำหนดในอุปกรณ์ระดับฟิลด์

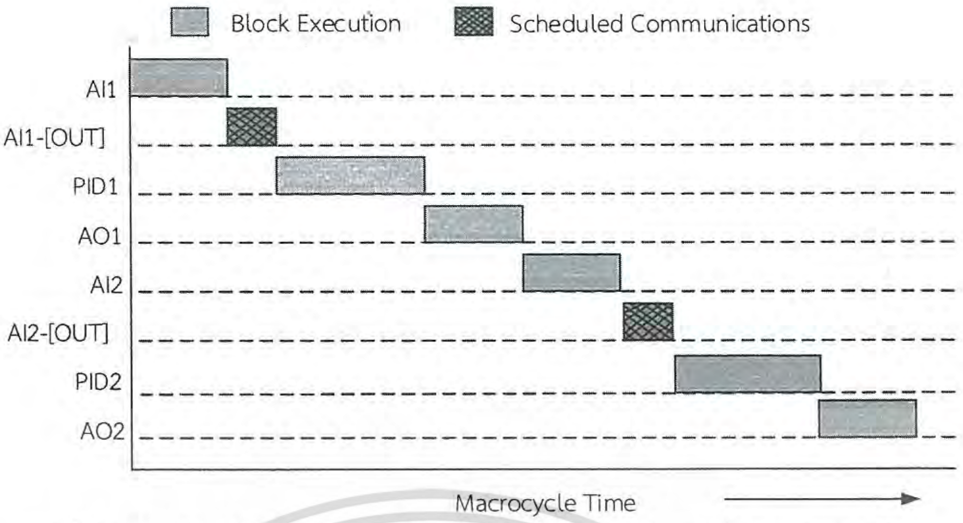
Case	$AI1_1$	$AI2_1$	$AI1_2$	$AI2_2$	$PID1_1$	$PID2_1$	$PID1_2$	$PID2_2$	$AO1_1$	$AO1_2$
1	LIT 101	-	LIT 201	-	FCV 101	-	FCV 201	-	FCV 101	FCV 201
2	LIT 101	FIT 101	-	-	LIT 101	FCV 101	-	-	FCV 101	-
3	LIT 101	FIT 101	-	-	FCV 101	FCV 101	-	-	FCV 101	-
4	LIT 101	FIT 101	LIT 201	FIT 201	LIT 101	FCV 101	LIT 201	FCV 201	FCV 101	FCV 201
5	LIT 101	FIT 101	LIT 201	FIT 201	FCV 101	FCV 101	LIT 201	FCV 201	FCV 101	FCV 201

กรณีที่ 1 การควบคุมแบบ PID 2 ลูป แสดงได้ดังรูปที่ 3.23 ลูปควบคุมแบบ PID ลูปที่ 1 ประกอบด้วย LIT_101 และ FCV_101 ลูปที่ 2 ประกอบด้วย LIT_201 และ FCV_201 โดยฟังก์ชันบล็อก AI1 อยู่ที่ตัว LIT_101 ฟังก์ชันบล็อก PID1 และฟังก์ชันบล็อก AO1 อยู่ที่ตัว FCV_101 ฟังก์ชันบล็อก AI2 อยู่ที่ตัว LIT_201 ฟังก์ชันบล็อก PID2 และฟังก์ชันบล็อก AO2 อยู่ที่ตัว FCV_201

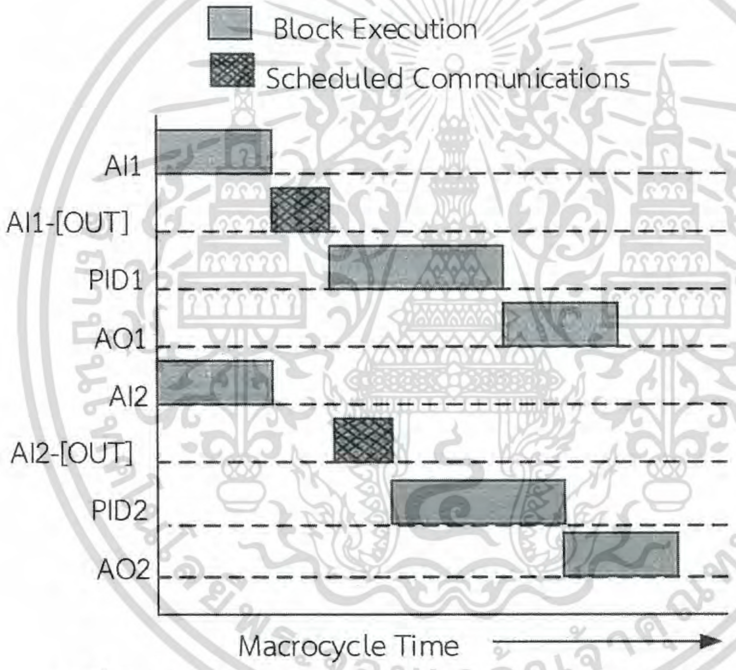


รูปที่ 3.23 ฟังก์ชันบล็อกไดอะแกรมสำหรับการควบคุมแบบ PID 2 ลูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.24 มาโครไซเคิลของการควบคุมแบบ PID 2 ลูป ในรูปที่ 3.23 ก่อนปรับ

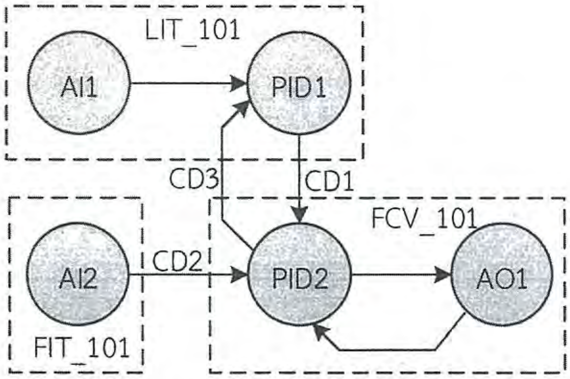


รูปที่ 3.25 มาโครไซเคิลของการควบคุมแบบ PID 2 ลูป ในรูปที่ 3.23 หลังปรับ

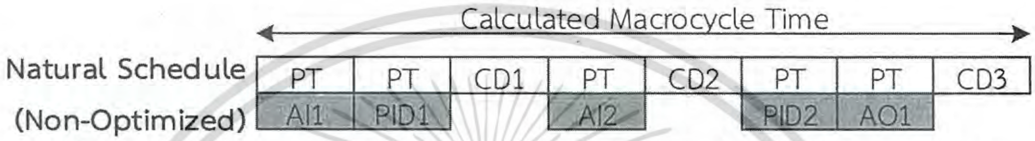
จากรูปที่ 3.24 มาโครไซเคิลของการควบคุมแบบ PID 2 ลูป ในรูปที่ 3.23 เริ่มจากการประมวลผลของบล็อก AI1 จากนั้นสัญญาณเอาต์พุตของ AI1 ถูกส่งไปยังบล็อก PID1 ด้วยการสื่อสารแบบ Scheduled Communication จากนั้นบล็อก PID1 ประมวลผลและส่งสัญญาณเอาต์พุตไปยังบล็อก AO1 ต่อมาบล็อก AI2 ประมวลผลจากนั้นสัญญาณเอาต์พุตของ AI2 ถูกส่งไปยังบล็อก PID2 ด้วยการสื่อสารแบบ Scheduled Communication จากนั้นบล็อก PID2 ประมวลผลและส่งสัญญาณเอาต์พุตไปยังบล็อก AO2

เทคนิคที่นำเสนอในการปรับเซกเมนต์มาโครไซเคิล คือการขนานฟังชันก์บล็อก AI1 และฟังก์ชันบล็อก AI2 เข้าด้วยกัน ขนานฟังชันก์บล็อก PID1 และฟังก์ชันบล็อก PID2 เข้าด้วยกัน ขนานฟังชันก์บล็อก AO1 และฟังก์ชันบล็อก AO2 เข้าด้วยกัน และจัดกลุ่ม Scheduled Communication เข้าด้วยกัน แสดงได้ดังรูปที่ 3.25

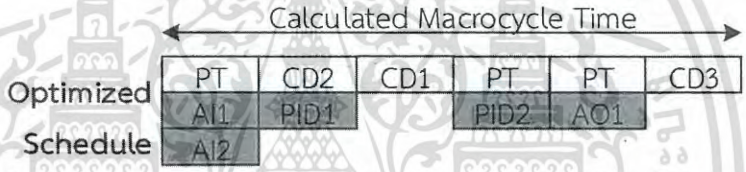
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่อนุญาตให้ใช้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.26 ฟังก์ชันบล็อกไดอะแกรมสำหรับการควบคุมแบบ Cascade กรณีที่ 1



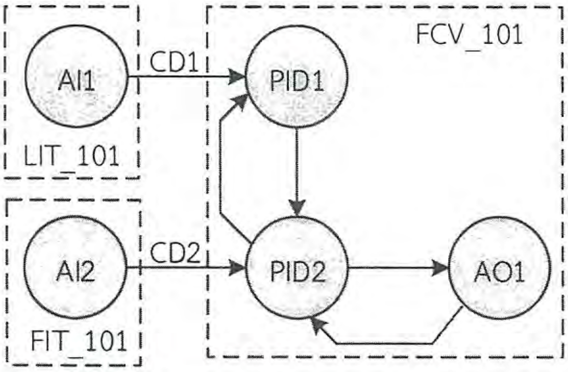
รูปที่ 3.27 มาโครไซเคิลของการควบคุมแบบ Cascade กรณีที่ 1 ในรูปที่ 3.26 ก่อนปรับ



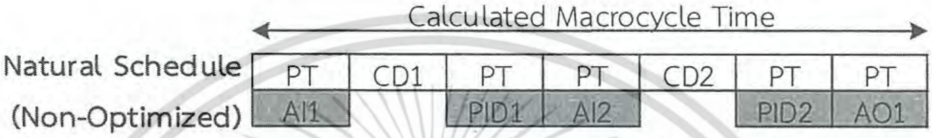
รูปที่ 3.28 มาโครไซเคิลของการควบคุมแบบ Cascade กรณีที่ 1 ในรูปที่ 3.26 หลังปรับ

กรณีที่ 2 การควบคุมแบบ Cascade กรณีที่ 1 แสดงได้ดังรูปที่ 3.26 โดยฟังก์ชันบล็อก AI1 และฟังก์ชันบล็อก PID1 อยู่ที่ตัว LIT_101 ฟังก์ชันบล็อก AI2 อยู่ที่ตัว FIT_101 ฟังก์ชันบล็อก PID2 และฟังก์ชันบล็อก AO1 อยู่ที่ตัว FCV_101 มาโครไซเคิลของการควบคุมแบบ Cascade กรณีที่ 1 ในรูปที่ 3.26 ก่อนปรับ แสดงดังรูปที่ 3.27 เริ่มจากการประมวลผลของบล็อก AI1 จากนั้นสัญญาณเอาต์พุตของ AI1 ถูกส่งไปยังบล็อก PID1 เมื่อบล็อก PID1 ประมวลผลเสร็จสัญญาณเอาต์พุตถูกส่งไปยังบล็อก PID2 ด้วยการสื่อสารแบบ Scheduled Communication จากนั้นบล็อก AI2 ประมวลผลและสัญญาณเอาต์พุตของ AI2 ถูกส่งไปยังบล็อก PID2 ด้วยการสื่อสารแบบ Scheduled Communication จากนั้นบล็อก PID2 ประมวลผลและส่งสัญญาณเอาต์พุตไปยังบล็อก AO1 เมื่อบล็อก AO1 ประมวลผลเสร็จจะส่งสัญญาณกลับไปยังบล็อก PID2 ด้วยการสื่อสารแบบ Scheduled Communication สำหรับการปรับมาโครไซเคิลของการควบคุมแบบ Cascade กรณีที่ 1 ในรูปที่ 3.26 ทำได้โดยการขนานฟังก์ชันบล็อก AI1 และฟังก์ชันบล็อก AI2 จัดกลุ่ม Scheduled Communication (CD2 และ CD1) เข้าด้วยกัน ดังแสดงในรูปที่ 3.28

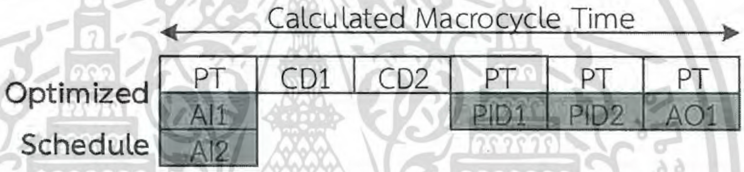
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.29 ฟังก์ชันบล็อกไดอะแกรมสำหรับการควบคุมแบบ Cascade กรณีที่ 2



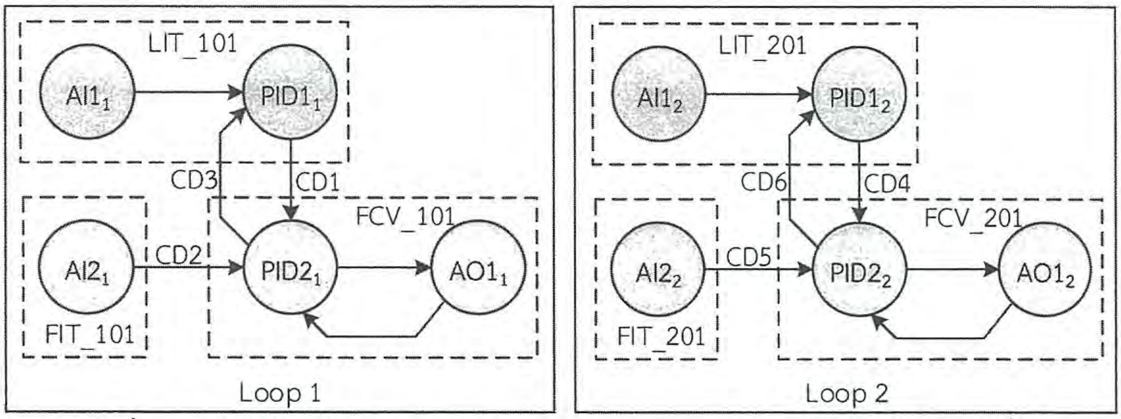
รูปที่ 3.30 มาโครไซเคิลของการควบคุมแบบ Cascade กรณีที่ 2 ในรูปที่ 3.29 ก่อนปรับ



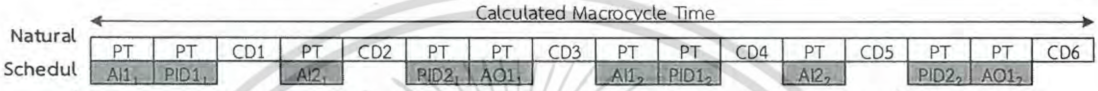
รูปที่ 3.31 มาโครไซเคิลของการควบคุมแบบ Cascade กรณีที่ 2 ในรูปที่ 3.29 หลังปรับ

กรณีที่ 3 การควบคุมแบบ Cascade กรณีที่ 2 แสดงได้ดังรูปที่ 3.29 โดยฟังก์ชันบล็อก AI1 อยู่ที่ตัว LIT_101 ฟังก์ชันบล็อก AI2 อยู่ที่ตัว FIT_101 ฟังก์ชันบล็อก PID1 ฟังก์ชันบล็อก PID2 และฟังก์ชันบล็อก AO1 อยู่ที่ตัว FCV_101 มาโครไซเคิลของการควบคุมแบบ Cascade กรณีที่ 2 ในรูปที่ 3.29 ก่อนปรับ แสดงดังรูปที่ 3.30 เริ่มจากการประมวลผลของบล็อก AI1 จากนั้นสัญญาณเอาต์พุตของ AI1 ถูกส่งไปยังบล็อก PID1 ด้วยการสื่อสารแบบ Scheduled Communication จากนั้นบล็อก AI2 ประมวลผลและสัญญาณเอาต์พุตของ AI2 ไปยังบล็อก PID2 ด้วยการสื่อสารแบบ Scheduled Communication จากนั้นบล็อก PID2 ประมวลผลและส่งสัญญาณเอาต์พุตไปยังบล็อก AO1 สำหรับการปรับมาโครไซเคิลของการควบคุมแบบ Cascade กรณีที่ 2 ในรูปที่ 3.29 ทำได้โดยการขนานฟังก์ชันบล็อก AI1 และฟังก์ชันบล็อก AI2 และจัดกลุ่ม Scheduled Communication (CD1 และ CD2) เข้าด้วยกัน ดังแสดงในรูปที่ 3.31

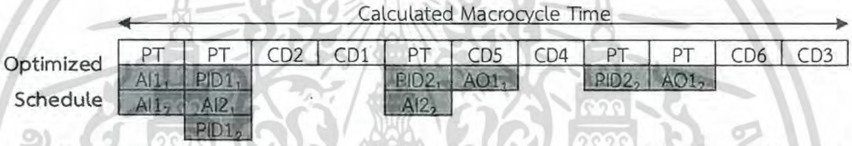
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.32 ฟังก์ชันบล็อกไดอะแกรมสำหรับการควบคุมแบบ Cascade 2 ลูป กรณีที่ 1



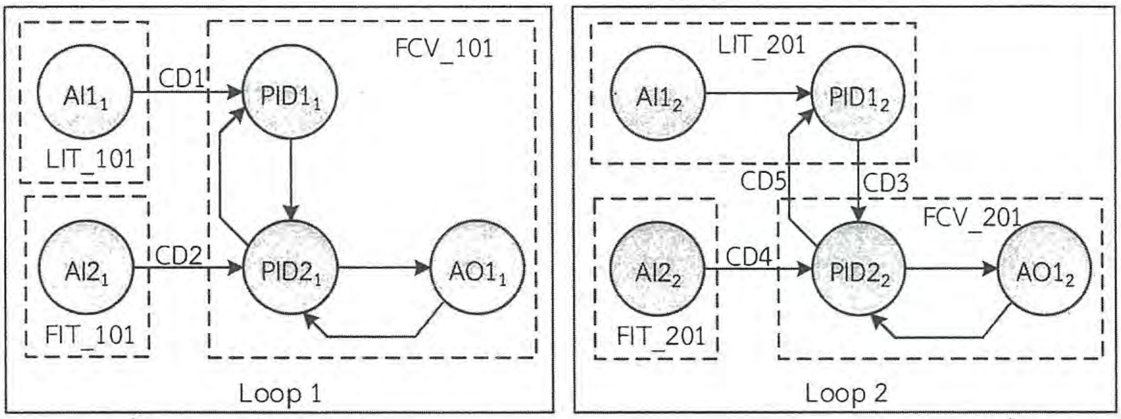
รูปที่ 3.33 มาโครไซเคิลของการควบคุมแบบ Cascade 2 ลูป กรณีที่ 1 ในรูปที่ 3.32 ก่อนปรับ



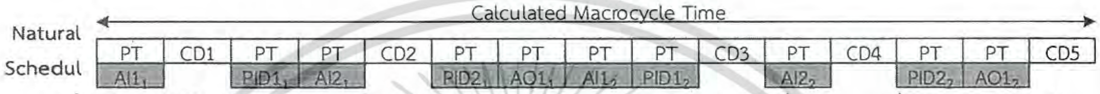
รูปที่ 3.34 มาโครไซเคิลของการควบคุมแบบ Cascade 2 ลูป กรณีที่ 1 ในรูปที่ 3.32 หลังปรับ

กรณีที่ 4 การควบคุมแบบ Cascade 2 ลูป กรณีที่ 1 แสดงได้ดังรูปที่ 3.32 โดยลูปที่ 1 ประกอบไปด้วย ฟังก์ชันบล็อก AI1 และฟังก์ชันบล็อก PID1 อยู่ที่ตัว LIT_101 ฟังก์ชันบล็อก AI2 อยู่ที่ตัว FIT_101 ฟังก์ชันบล็อก PID2 และฟังก์ชันบล็อก AO1 อยู่ที่ตัว FCV_101 ลูปที่ 2 ประกอบไปด้วยฟังก์ชันบล็อก AI1 และฟังก์ชันบล็อก PID1 อยู่ที่ตัว LIT_201 ฟังก์ชันบล็อก AI2 อยู่ที่ตัว FIT_201 ฟังก์ชันบล็อก PID2 และฟังก์ชันบล็อก AO1 อยู่ที่ตัว FCV_201 มาโครไซเคิลของการควบคุมแบบ Cascade 2 ลูป กรณีที่ 1 ในรูปที่ 3.32 ก่อนปรับ แสดงดังรูปที่ 3.33 การทำงานของมาโครไซเคิลเหมือนกับกรณีของการควบคุมแบบ Cascade กรณีที่ 1 โดยเริ่มประมวลผลจากลูป 1 ตามด้วยลูป 2 สำหรับการปรับมาโครไซเคิลของการควบคุมแบบ Cascade 2 ลูป กรณีที่ 1 ในรูปที่ 3.32 ทำได้โดยการขนานฟังก์บล็อก AI1 ของลูป 1 และลูป 2 ขนานฟังก์ชันบล็อก AI2 ของลูป 1 ฟังก์ชันบล็อก PID1 ของลูป 1 ฟังก์ชันบล็อก PID1 ของลูป 2 เข้าด้วกัน ขนานฟังก์ชันบล็อก AI2 ของลูป 2 ฟังก์ชันบล็อก PID2 ของลูป 1 จัดกลุ่ม Scheduled Communication (CD2 กับ CD1 และ CD5 กับ CD4) เข้าด้วยกัน ดังแสดงในรูปที่ 3.34

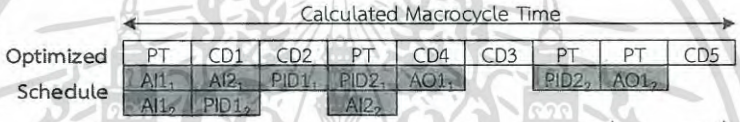
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.35 ฟังก์ชันบล็อกไดอะแกรมสำหรับการควบคุมแบบ Cascade 2 ลูป กรณีที่ 2



รูปที่ 3.36 มาโครไซเคิลของการควบคุมแบบ Cascade 2 ลูป กรณีที่ 2 ในรูปที่ 3.35 ก่อนปรับ



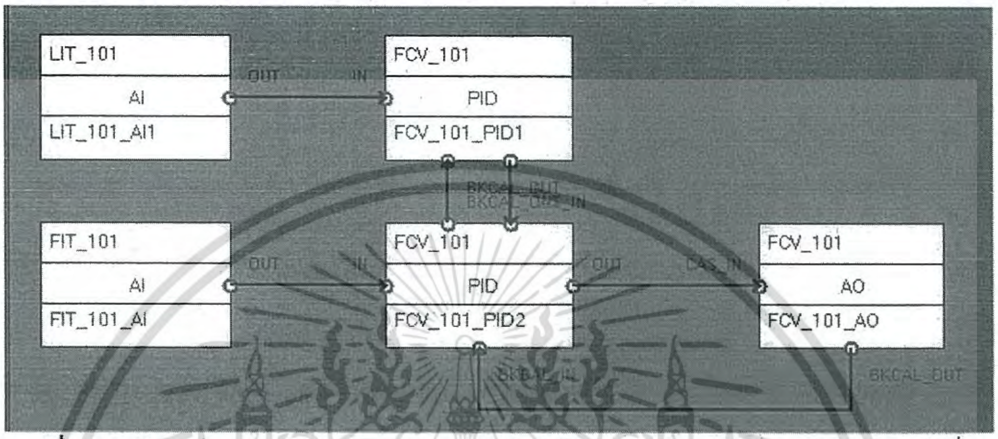
รูปที่ 3.37 มาโครไซเคิลของการควบคุมแบบ Cascade 2 ลูป กรณีที่ 2 ในรูปที่ 3.35 หลังปรับ

กรณีที่ 5 การควบคุมแบบ Cascade 2 ลูป กรณีที่ 2 แสดงได้ดังรูปที่ 3.35 โดยลูปที่ 1 ประกอบไปด้วยฟังก์ชันบล็อก AI1 อยู่ที่ตัว LIT_101 ฟังก์ชันบล็อก AI2 อยู่ที่ตัว FIT_101 ฟังก์ชันบล็อก PID1 ฟังก์ชันบล็อก PID2 และ AO1 อยู่ที่ตัว FCV_101 ลูปที่ 2 ประกอบไปด้วยฟังก์ชันบล็อก AI1 และฟังก์ชันบล็อก PID1 อยู่ที่ตัว LIT_201 ฟังก์ชันบล็อก AI2 อยู่ที่ตัว FIT_201 ฟังก์ชันบล็อก PID2 และ AO1 อยู่ที่ตัว FCV_201 มาโครไซเคิลของการควบคุมแบบ Cascade 2 ลูป กรณีที่ 2 ในรูปที่ 3.35 ก่อนปรับ แสดงดังรูปที่ 3.36 การทำงานของมาโครไซเคิลในลูปที่ 1 จะเหมือนกับกรณีของการควบคุมแบบ Cascade กรณีที่ 1 ลูปที่ 2 จะเหมือนกับกรณีของการควบคุมแบบ Cascade กรณีที่ 2 โดยเริ่มประมวลผลจากลูป 1 ตามด้วยลูป 2 สำหรับการปรับมาโครไซเคิลของการควบคุมแบบ Cascade 2 ลูป กรณีที่ 2 ในรูปที่ 3.35 ทำได้โดยการขนานฟังก์บล็อก AI1 ของลูป 1 และลูป 2 ขนานฟังก์ชันบล็อก AI2 ของลูป 1 กับฟังก์ชันบล็อก PID1 ของลูป 2 ขนานฟังก์ชันบล็อก AI2 ของลูป 2 กับฟังก์ชันบล็อก PID2 ของลูป 1 จัดกลุ่ม Scheduled Communication (CD1 กับ CD2 และ CD4 กับ CD3) เข้าด้วยกัน ดังแสดงในรูปที่ 3.37

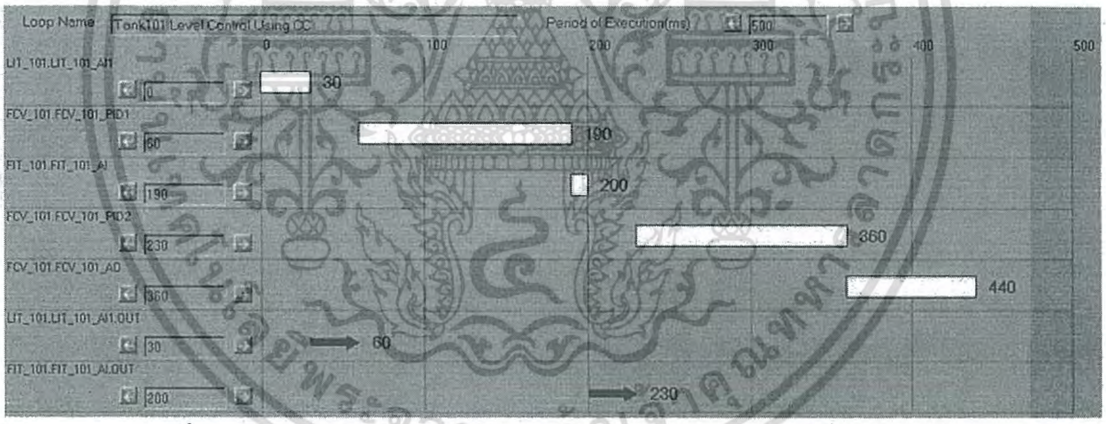
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.3 ผลการทดลองและการประเมินผลการปรับเซกเมนต์มาโครไซเคิล

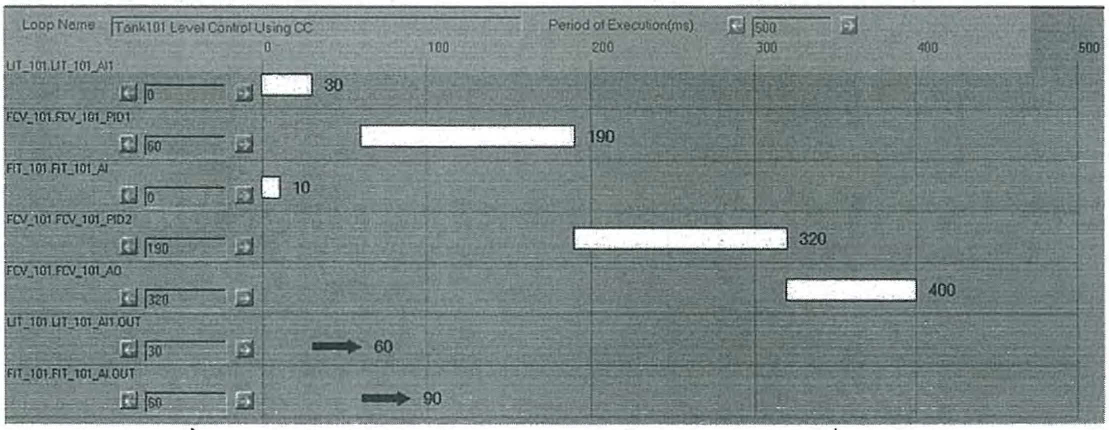
เทคนิคการปรับเซกเมนต์มาโครไซเคิลที่นำเสนอในหัวข้อที่ 3.3.2 สามารถสร้างลูปควบคุมโดยใช้ระบบโฮสต์ DCS ของบริษัท Azbil รุ่น Harmonas-DEO โดยใช้โปรแกรม RTC Editor และ RTC Fieldbus Tool (RTC_FB) ในการกำหนดค่าต่างๆ ในหัวข้อนี้ขอยกตัวอย่างการใช้โปรแกรม RTC Editor และ RTC Fieldbus Tool ในการสร้างลูปควบคุมสำหรับ การควบคุมแบบ Cascade กรณีที่ 2 และการควบคุมแบบ Cascade 2 ลูป กรณีที่ 1 ดังแสดงในรูปที่ 3.38 ถึงรูปที่ 3.43



รูปที่ 3.38 โปรแกรม RTC Fieldbus Tool สำหรับการควบคุมแบบ Cascade กรณีที่ 2

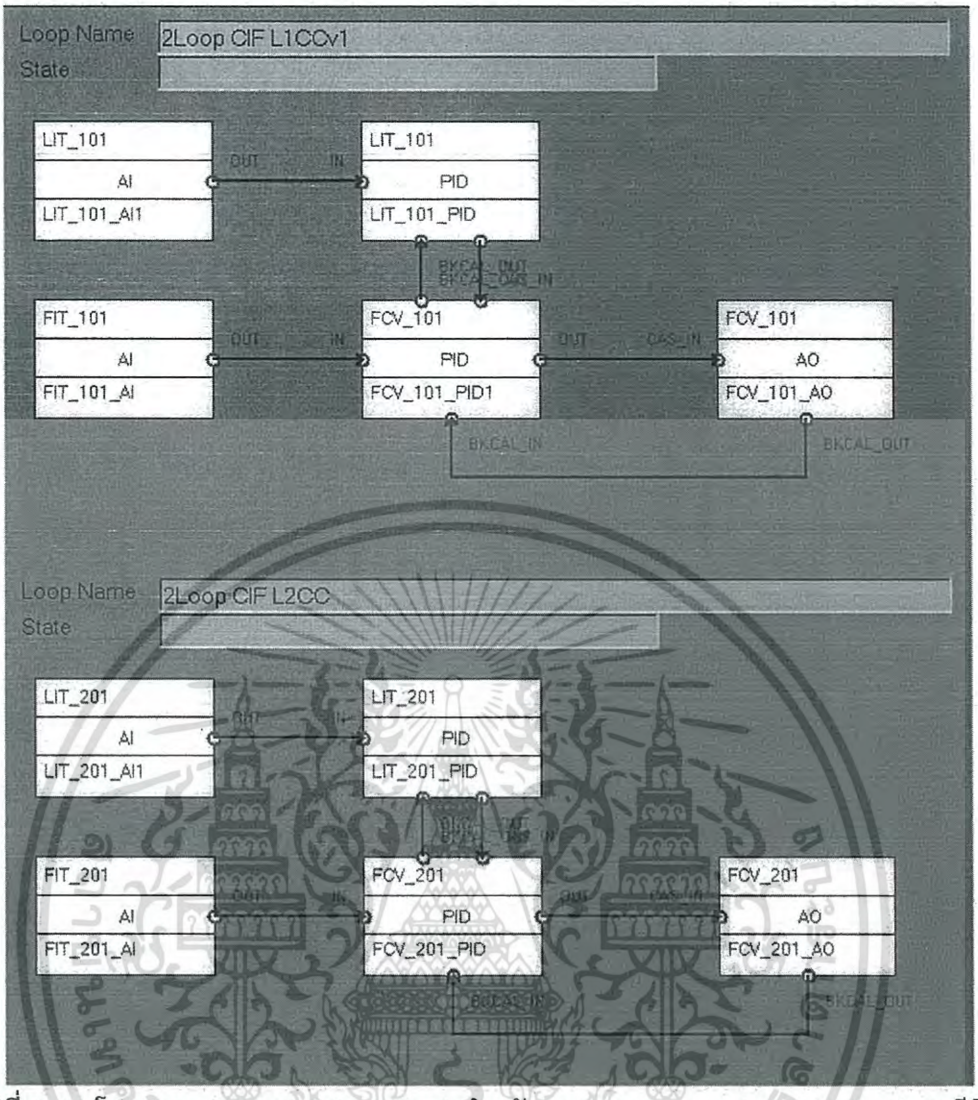


รูปที่ 3.39 มาโครไซเคิลของการควบคุมแบบ Cascade กรณีที่ 2 ก่อนปรับ



รูปที่ 3.40 มาโครไซเคิลของการควบคุมแบบ Cascade กรณีที่ 2 หลังปรับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

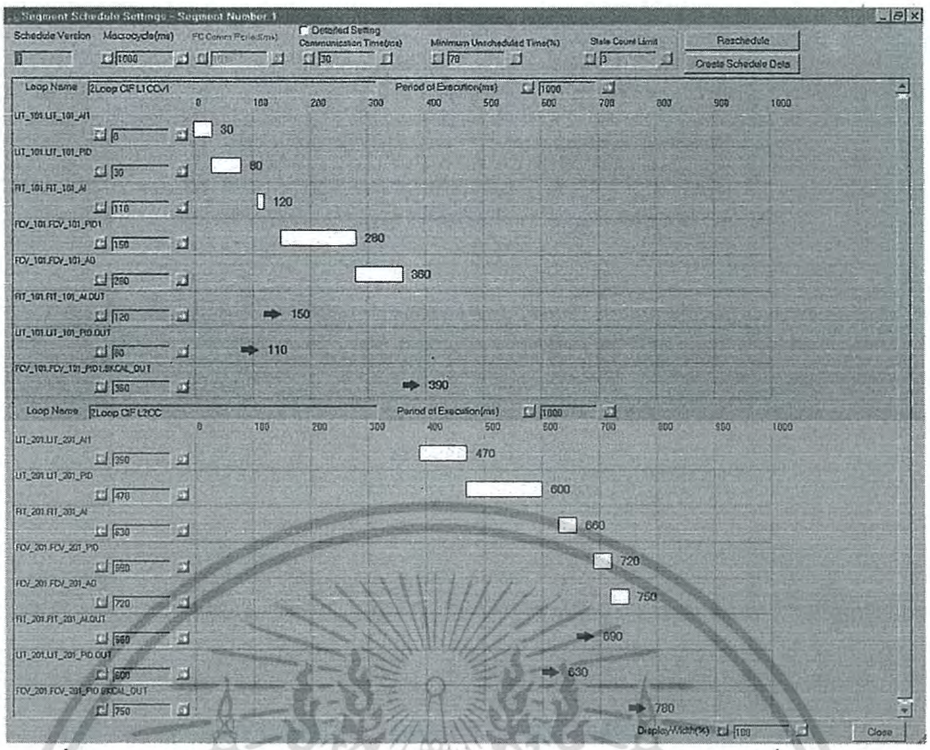


รูปที่ 3.41 โปรแกรม RTC Fieldbus Tool สำหรับการควบคุมแบบ Cascade 2 ลูป กรณีที่ 1

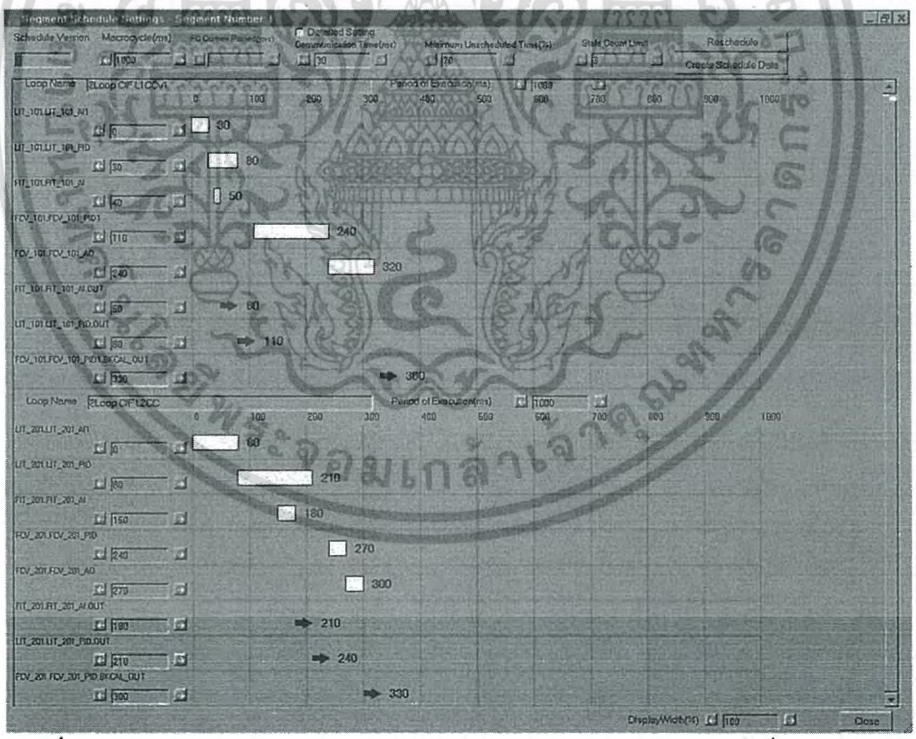
รูปที่ 3.38 แสดงโปรแกรม RTC Fieldbus Tool สำหรับการควบคุมแบบ Cascade กรณีที่ 2 โดยฟังก์ชันบล็อก AI1 อยู่ที่ตัว LIT_101 ฟังก์ชันบล็อก AI2 อยู่ที่ตัว FIT_101 ฟังก์ชันบล็อก PID1 ฟังก์ชันบล็อก PID2 และฟังก์ชันบล็อก AO1 อยู่ที่ตัว FCV_101 มาโครไซเคิลของการควบคุมแบบ Cascade กรณีที่ 2 โดย Harmonas-DEO ก่อนปรับ และหลังปรับ แสดงได้ดังรูปที่ 3.39 และรูปที่ 3.40 ตามลำดับ

รูปที่ 3.41 โปรแกรม RTC Fieldbus Tool สำหรับการควบคุมแบบ Cascade 2 ลูป กรณีที่ 1 โดยลูปที่ 1 ประกอบไปด้วย ฟังก์ชันบล็อก AI1 และฟังก์ชันบล็อก PID1 อยู่ที่ตัว LIT_101 ฟังก์ชันบล็อก AI2 อยู่ที่ตัว FIT_101 ฟังก์ชันบล็อก PID2 และฟังก์ชันบล็อก AO1 อยู่ที่ตัว FCV_101 ลูปที่ 2 ประกอบไปด้วยฟังก์ชันบล็อก AI1 และฟังก์ชันบล็อก PID1 อยู่ที่ตัว LIT_201 ฟังก์ชันบล็อก AI2 อยู่ที่ตัว FIT_201 ฟังก์ชันบล็อก PID2 และฟังก์ชันบล็อก AO1 อยู่ที่ตัว FCV_201 มาโครไซเคิลของการควบคุมแบบ Cascade 2 ลูป กรณีที่ 1 ก่อนปรับ และหลังปรับ แสดงได้ดังรูปที่ 3.42 และรูปที่ 3.43 ตามลำดับ สำหรับวิธีในการปรับเซกเมนต์มาโครไซเคิลปรับตามที่นำเสนอในหัวข้อ 3.3.2 วิธีการคือการขนานฟังก์ชันบล็อกเพื่อลดขนาดมาโครไซเคิล และจัดกลุ่มของ Scheduled Communication

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.42 มาโครไซเคิลของการควบคุมแบบ Cascade 2 ลูป กรณีที่ 1 ก่อนปรับ



รูปที่ 3.43 มาโครไซเคิลของการควบคุมแบบ Cascade 2 ลูป กรณีที่ 1 หลังปรับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.7 ผลการทดลองมาโครไซเคิลของการควบคุมแบบ PID 2 ลูป ก่อนปรับ

Function	Start	Length	End	Pub Gap	Usable Gap
$AI1_1$ Exec	0	30	30		
$AI1_1$ PUB	30	30	60	650	620
$PID1_1$ Exec	60	130	190		
$AO1_1$ Exec	190	80	270		
$AI1_2$ Exec	270	80	350		
$AI1_2$ PUB	350	30	380	290	260
$PID1_2$ Exec	380	30	410		
$AO1_2$ Exec	410	30	440		
	Total			940	880

* หน่วยของเวลา คือ ms

ตารางที่ 3.8 ผลการทดลองมาโครไซเคิลของการควบคุมแบบ PID 2 ลูป หลังปรับ

Function	Start	Length	End	Pub Gap	Usable Gap
$AI1_1$ Exec	20	30	50		
$AI1_1$ PUB	50	30	80	940	910
$PID1_1$ Exec	80	130	210		
$AO1_1$ Exec	210	80	290		
$AI1_2$ Exec	0	80	80		
$AI1_2$ PUB	80	30	110	0	0
$PID1_2$ Exec	110	30	140		
$AO1_2$ Exec	140	30	170		
	Total			940	910

* หน่วยของเวลา คือ ms

จากตาราง Exec คือเวลาในการประมวลผลของฟังก์ชันบล็อก PUB คือเวลาที่ฟังก์ชันบล็อกใช้ในการส่งข้อมูลระหว่างอุปกรณ์ (Scheduled Communication) ระบบโฮสต์ DCS ของ DeltaV มีค่า PUB เท่ากับ 30 ms Start คือเวลาเริ่มประมวลผลของฟังก์ชันบล็อก Length คือระยะเวลาประมวลผลของฟังก์ชันบล็อก End คือเวลาสิ้นสุดการประมวลผลของฟังก์ชันบล็อก Pub Gap ช่วงเวลาระหว่างสิ้นสุด PUB หนึ่งถึงจุดเริ่มต้น PUB ต่อไป Usable Gap ช่วงเวลาที่สามารถใช้ประโยชน์จากมาโครไซเคิลได้มีค่าเท่ากับ Pub Gap - PUB [17] ผลการทดลองมาโครไซเคิลของการควบคุมแบบ PID 2 ลูป สรุปได้ดังตารางที่ 3.7 และตารางที่ 3.8 พบว่ามาโครไซเคิลก่อนปรับมีค่าเท่ากับ 440 ms หลังปรับมีค่าลดลงเหลือ 290 ms Usable Gap ก่อนปรับมาโครไซเคิล 880 ms หลังปรับเพิ่มเป็น 910 ms

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.9 ผลการทดลองมาโครไซเคิลของการควบคุมแบบ Cascade กรณีที่ 1 ก่อนปรับ

Function	Start	Length	End	Pub Gap	Usable Gap
AI1 exec	0	30	30		
PID1 exec	30	50	80		
PID1 PUB	80	30	110	690	660
AI2 exec	110	10	120		
AI2 PUB	120	30	150	10	0
PID2 exec	150	30	280		
AO1 exec	280	80	360		
PID2 PUB	360	30	390	210	180
Total				**910**	**840**

* หน่วยของเวลา คือ ms

ตารางที่ 3.10 ผลการทดลองมาโครไซเคิลของการควบคุมแบบ Cascade กรณีที่ 1 หลังปรับ

Function	Start	Length	End	Pub Gap	Usable Gap
AI1 exec	0	30	30		
PID1 exec	30	50	80		
PID1 PUB	80	30	110	0	0
AI2 exec	40	10	50		
AI2 PUB	50	30	80	700	670
PID2 exec	110	130	240		
AO1 exec	240	80	320		
PID2 PUB	320	30	350	210	180
Total				**910**	**850**

* หน่วยของเวลา คือ ms

ผลการทดลองมาโครไซเคิลของการควบคุมแบบ Cascade กรณีที่ 1 สรุปได้ดังตารางที่ 3.9 และตารางที่ 3.10 พบว่ามาโครไซเคิลก่อนปรับมีค่าเท่ากับ 390 ms หลังปรับลดลงเหลือ 350 ms Usable Gap ก่อนปรับมาโครไซเคิลมีค่าเท่ากับ 840 ms หลังปรับเพิ่มเป็น 850 ms เวลาลาเทนซีของลูปควบคุมก่อนประมาโครไซเคิลมีค่าเท่ากับ 360 ms หลังปรับลดลงเหลือ 320 ms

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.11 ผลการทดลองมาโครไซเคิลของการควบคุมแบบ Cascade กรณีที่ 2 ก่อนปรับ

Function	Start	Length	End	Pub Gap	Usable Gap
AI1 exec	0	30	30		
AI1 PUB	30	30	60	800	770
PID1 exec	60	130	190		
AI2 exec	190	10	200		
AI2 PUB	200	30	230	140	110
PID2 exec	230	130	360		
AO1 exec	360	80	440		
Total				**940**	**880**

* หน่วยของเวลา คือ ms

ตารางที่ 3.12 ผลการทดลองมาโครไซเคิลของการควบคุมแบบ Cascade กรณีที่ 2 หลังปรับ

Function	Start	Length	End	Pub Gap	Usable Gap
AI1 exec	0	30	30		
AI1 PUB	30	30	60	940	910
PID1 exec	60	130	190		
AI2 exec	0	10	10		
AI2 PUB	60	30	90	0	0
PID2 exec	190	130	320		
AO1 exec	320	80	400		
Total				**940**	**910**

* หน่วยของเวลา คือ ms

ผลการทดลองมาโครไซเคิลของการควบคุมแบบ Cascade กรณีที่ 1 สรุปได้ดังตารางที่ 3.11 และตารางที่ 3.12 พบว่ามาโครไซเคิลก่อนปรับมีค่าเท่ากับ 440 ms หลังปรับลดลงเหลือ 400 ms Usable Gap ก่อนปรับมาโครไซเคิลมีค่าเท่ากับ 880 ms หลังปรับเพิ่มเป็น 910 ms เวลาลาเทนซีของลูปควบคุมก่อนประมาโครไซเคิลมีค่าเท่ากับ 440 ms หลังปรับลดลงเหลือ 400 ms

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.13 ผลการทดลองมาโครไซเคิลของการควบคุมแบบ Cascade 2 ลูป กรณีที่ 1 ก่อนปรับ

Function	Start	Length	End	Pub Gap	Usable Gap
$AI1_1$ Exec	0	30	30		
$PID1_1$ Exec	30	50	80		
$PID1_1$ PUB	80	30	110	300	270
$AI2_1$ Exec	110	10	120		
$AI2_1$ PUB	120	30	150	210	180
$PID2_1$ Exec	150	130	280		
$AO1_1$ Exec	280	80	360		
$PID2_1$ PUB	360	30	390	210	180
$AI1_2$ Exec	390	80	470		
$PID1_2$ Exec	470	130	600		
$PID1_2$ PUB	600	30	630	30	0
$AI2_2$ Exec	630	30	660		
$AI2_2$ PUB	660	30	690		
$PID2_2$ Exec	690	30	720		
$AO1_2$ Exec	720	30	750		
$PID2_2$ PUB	750	30	780	60	30
Total				**820**	**660**

* หน่วยของเวลา คือ ms

ผลการทดลองมาโครไซเคิลของการควบคุมแบบ Cascade 2 ลูป กรณีที่ 1 สรุปได้ดังตารางที่ 3.13 และตารางที่ 3.14 พบว่ามาโครไซเคิลก่อนปรับมีค่าเท่ากับ 780 ms หลังปรับมีค่าลดลงเหลือ 360 ms Usable Gap ก่อนปรับมาโครไซเคิลมีค่าเท่ากับ 660 ms หลังปรับเพิ่มเป็น 730 ms เวลาลาเทนซีของลูปควบคุมก่อนประมาโครไซเคิลมีค่าเท่ากับ 360 ms หลังปรับลดลงเหลือ 320 ms

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.14 ผลการทดลองมาโครไซเคิลของการควบคุมแบบ Cascade 2 ลูป กรณีที่ 1 หลังปรับ

Function	Start	Length	End	Pub Gap	Usable Gap
$AI1_1$ Exec	0	30	30		
$PID1_1$ Exec	30	50	80		
$PID1_1$ PUB	80	30	110	0	0
$AI2_1$ Exec	40	10	50		
$AI2_1$ PUB	50	30	80	690	660
$PID2_1$ Exec	110	130	240		
$AO1_1$ Exec	240	80	320		
$PID2_1$ PUB	330	30	360	0	0
$AI1_2$ Exec	0	80	80		
$PID1_2$ Exec	80	130	210		
$PID1_2$ PUB	210	30	240	0	0
$AI2_2$ Exec	150	30	180		
$AI2_2$ PUB	180	30	210	70	40
$PID2_2$ Exec	240	30	270		
$AO1_2$ Exec	270	30	300		
$PID2_2$ PUB	300	30	330	60	30
	Total			**820**	**730**

* หน่วยของเวลา คือ ms

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.15 ผลการทดลองมาโครไซเคิลของการควบคุมแบบ Cascade 2 ลูป กรณีที่ 2 ก่อนปรับ

Function	Start	Length	End	Pub Gap	Usable Gap
$AI1_1$ Exec	0	30	30		
$AI1_1$ PUB	30	30	60	200	170
$PID1_1$ Exe	60	130	190		
$AI2_1$ Exec	190	10	200		
$AI2_1$ PUB	200	30	230	140	110
$PID2_1$ Exec	230	130	360		
$AO1_1$ Exec	360	80	440		
$AI1_2$ Exec	440	80	520		
$PID1_2$ Exec	520	130	650		
$PID1_2$ PUB	650	30	680	420	390
$AI2_2$ Exec	680	30	710		
$AI2_2$ PUB	710	30	740	30	0
$PID2_2$ Exec	740	30	770		
$AO1_2$ Exec	770	30	800		
$PID2_2$ PUB	800	30	830	60	30
	Total			**850**	**700**

* หน่วยของเวลา คือ ms

ผลการทดลองมาโครไซเคิลของการควบคุมแบบ Cascade 2 ลูป กรณีที่ 2 สรุปได้ดังตารางที่ 3.15 และตารางที่ 3.16 พบว่ามาโครไซเคิลก่อนปรับมีค่าเท่ากับ 830 ms หลังปรับมีค่าลดลงเหลือ 400 ms Usable Gap ก่อนปรับมาโครไซเคิลมีค่าเท่ากับ 700 ms หลังปรับเพิ่มเป็น 760 ms เวลาลาเทนซีของลูปควบคุมก่อนประมาโครไซเคิลมีค่าเท่ากับ 440 ms หลังปรับลดลงเหลือ 400 ms

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.16 ผลการทดลองมาโครไซเคิลของการควบคุมแบบ Cascade 2 ลูป กรณีที่ 2 หลังปรับ

Function	Start	Length	End	Pub Gap	Usable Gap
$AI1_1$ Exec	0	30	30		
$AI1_1$ PUB	30	30	60	700	670
$PID1_1$ Exe	60	130	190		
$AI2_1$ Exec	50	10	60		
$AI2_1$ PUB	60	30	90	0	0
$PID2_1$ Exec	190	130	320		
$AO1_1$ Exec	320	80	400		
$AI1_2$ Exec	0	80	80		
$PID1_2$ Exec	80	130	210		
$PID1_2$ PUB	210	30	240	0	0
$AI2_2$ Exec	150	30	180		
$AI2_2$ PUB	180	30	210	90	60
$PID2_2$ Exec	240	30	270		
$AO1_2$ Exec	270	30	300		
$PID2_2$ PUB	300	30	330	60	30
Total				**850**	**760**

* หน่วยของเวลา คือ ms

เทคนิคการปรับมาโครไซเคิลที่นำเสนอสามารถประเมินผลได้จากค่าดังต่อไปนี้ [16], [17]

การปรับปรุงเวลาลาเทนซีของลูปควบคุม (Control Loop Latency Improvement: CLLI) – เวลาลาเทนซีของลูปควบคุม คือคาบเวลาตั้งแต่การอ่านค่าอินพุตฟังก์ชันบล็อกจนกระทั่งอุปกรณ์ควบคุมสุดท้าย (Final control element) ได้รับคำสั่งจากเอาต์พุตฟังก์ชันบล็อก CLLI แสดงดังสมการนี้

$$CLLI = (1 - (\frac{optimized_control_sequence_duration}{natural_control_sequence_duration})) \times 100\% \quad (3.2)$$

การปรับปรุงความพร้อมใช้ของช่วงการส่งข้อมูลระหว่างอุปกรณ์ (Publication Gap Availability Improvement: PGAI) – Publication Gap คือเวลาระหว่างจุดจบของช่วงการส่งข้อมูลระหว่างอุปกรณ์ (Scheduled publication) ถึง จุดเริ่มของช่วงการส่งข้อมูลระหว่างอุปกรณ์ (Publication) ต่อไป PGAI แสดงดังสมการนี้

$$PGAI = (1 - (\frac{\sum(length_natural_usable_gap)}{\sum(length_optimized_usable_gap)})) \times 100\% \quad (3.3)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การปรับปรุงการใช้มาโครไซเคิล (Macrocycle Utilization Improvement: MUI) – Macrocycle utilization คืออัตราส่วนของมาโครไซเคิลที่ปรับปรุง (Optimized macrocycle) ต่อมาโครไซเคิลธรรมชาติ (Natural macrocycle) MUI แสดงดังสมการนี้

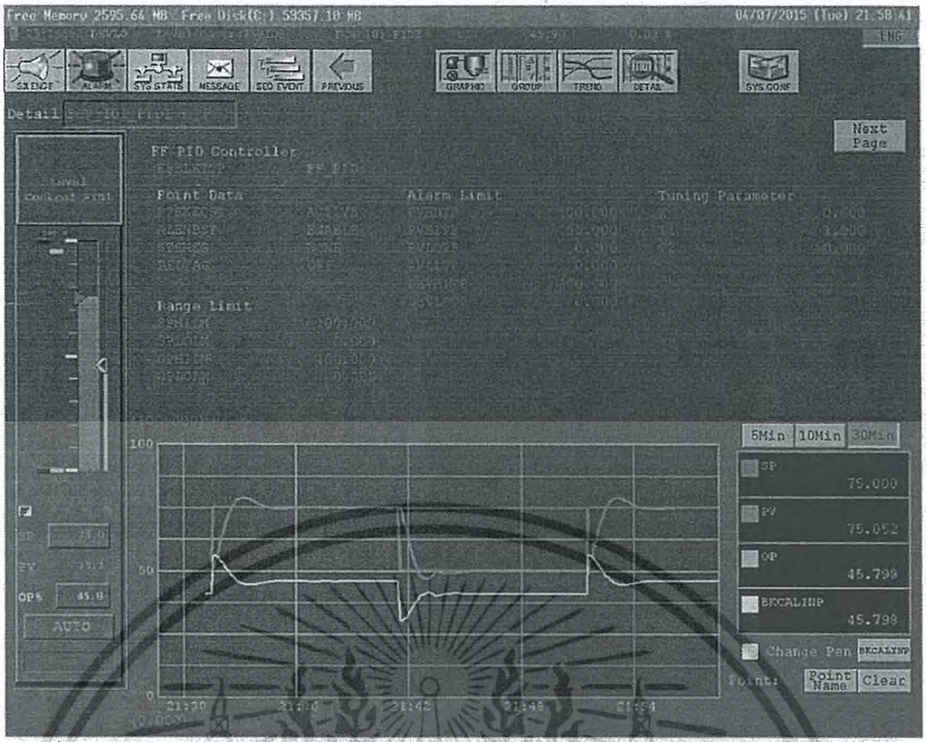
$$MUI = (1 - (\frac{\sum (optimized_macrocycle_time)}{\sum (natural_macrocycle_time)})) \times 100\% \qquad (3.4)$$

จากผลการทดลองกรณีศึกษาจำนวน 5 กรณีข้างต้นอันได้แก่ การควบคุมแบบ PID 2 ลูป การควบคุมแบบ Cascade กรณีที่ 1 การควบคุมแบบ Cascade กรณีที่ 2 การควบคุมแบบ Cascade 2 ลูป กรณีที่ 1 และการควบคุมแบบ Cascade 2 ลูป จากตารางที่ 3.7 ถึงตารางที่ 3.16 พบว่ามาโครไซเคิลหลังจากปรับปรุงจะมีขนาดลดลง ทำให้มีเวลาสำหรับ Unscheduled communication มากขึ้นเป็นผลให้ความพร้อมใช้ของช่วงการส่งข้อมูลระหว่างอุปกรณ์ (Usable GAP) มีค่าเพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย เวลาลาเทนซีของลูปควบคุมลดน้อยลง สำหรับการประเมินผลการปรับเซกเมนต์มาโครไซเคิลตามที่นำเสนอในหัวข้อที่ 3.3.3 สรุปผลได้ดังตารางที่ 3.17 ตัวอย่างการคำนวณกรณีการควบคุมแบบ Cascade 2 Loop กรณีที่ 1 CLLI เท่ากับ (1- (320/360))x100% = 11.111% PGAI เท่ากับ (1- (660/730))x100% = 9.589% MUI เท่ากับ (1- (360/780))x100% = 53.846%

ตารางที่ 3.17 ผลการปรับเซกเมนต์มาโครไซเคิลของลูปควบคุมที่สนใจ

Case	CLLI (%)	PGAI (%)	MUI (%)
1. PID 2 Loop	0.000	3.297	34.091
2. Cascade กรณีที่ 1	11.111	1.176	10.256
3. Cascade กรณีที่ 2	9.091	3.297	9.091
4. Cascade 2 Loop กรณีที่ 1	11.111	9.589	53.846
5. Cascade 2 Loop กรณีที่ 2	9.091	7.895	51.807

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.44 ผลตอบสนองการเปลี่ยนสเต็บของการควบคุมแบบ Cascade กรณีที่ 2

รูปที่ 3.45 กราฟฟิกสำหรับควบคุมพลานต์โมเดลโดยใช้การควบคุมแบบ Cascade 2 ลูป กรณีที่ 1

เทคนิคที่นำเสนอได้ทดสอบโดยการควบคุมพลานต์โมเดลตามรูปที่ 3.21 สำหรับการควบคุมแบบ Cascade และรูปที่ 3.22 สำหรับการควบคุมแบบ PID 2 ลูป และ Cascade 2 ลูป ตัวอย่างหน้ากราฟฟิกรูปที่ 3.44 แสดงผลตอบสนองการเปลี่ยนสเต็บของการควบคุมแบบ Cascade กรณีที่ 2 รูปที่ 3.45 กราฟฟิกสำหรับควบคุมพลานต์โมเดลโดยใช้การควบคุมแบบ Cascade 2 ลูป กรณีที่ 1 จากผลการทดลองยืนยันได้ว่าเทคนิคที่นำเสนอสามารถใช้งานได้จริง

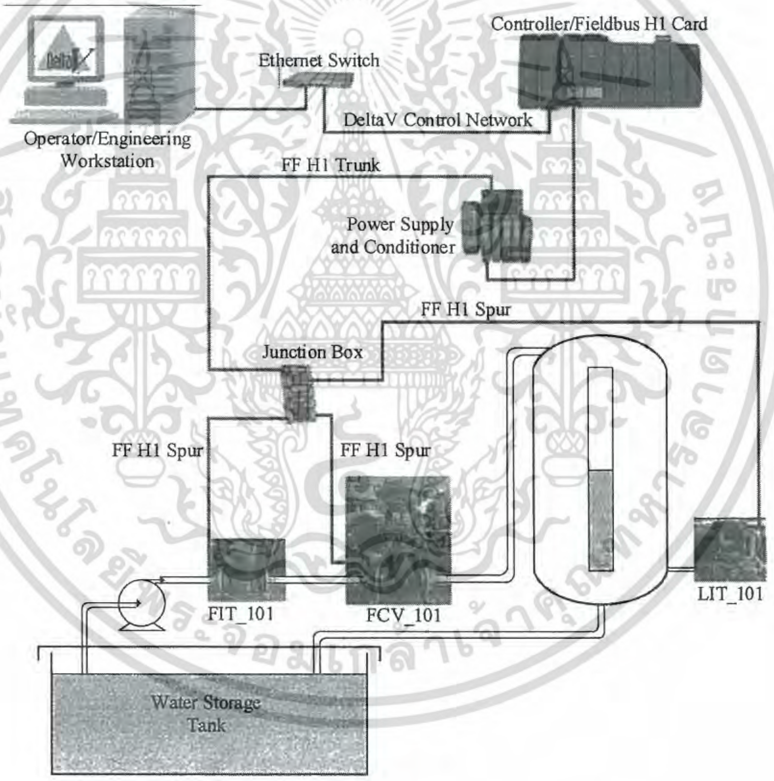
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
การวิเคราะห์ความปลอดภัยและความพร้อมใช้ของลูปควบคุม

4.1 กล่าวนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงการวิเคราะห์วิธีการกำหนดค่าพารามิเตอร์ของฟังก์ชันบล็อกของเทคโนโลยีฟาวน์เดชันฟิลด์บัส เพื่อปรับปรุงความปลอดภัยและความพร้อมใช้ของระบบ พร้อมทั้งแสดงผลการทดลองเมื่อเกิดความล้มเหลวที่เครื่องมือวัดและเครือข่ายการสื่อสาร และอธิบายเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นด้วยเพทริเน็ตโมเดล นอกจากนี้ยังได้นำเสนอวิธีการกำหนดค่าพารามิเตอร์ของฟังก์ชันบล็อกเพื่อเพิ่มความปลอดภัยหรือความพร้อมใช้ของลูปควบคุม

4.2 พลานต์โมเดลควบคุมระดับน้ำที่ใช้เป็นกรณีศึกษา



รูปที่ 4.1 แผนภาพของกระบวนการควบคุมระดับน้ำต่อกับระบบโฮสต์ DCS ของ DeltaV

รูปที่ 4.1 แสดงแผนภาพของกระบวนการควบคุมระดับน้ำต่อกับระบบโฮสต์ DCS ของ DeltaV เครือข่ายระดับโฮสต์ของฟาวน์เดชันฟิลด์บัส คือฟาวน์เดชันฟิลด์บัส HSE สื่อสารบนพื้นฐานของเทคโนโลยีแบบอีเทอร์เน็ต (Ethernet) ซึ่งประกอบไปด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์ที่มีระบบโฮสต์ DCS (DeltaV) ตัวควบคุม (Controller) และแผงเชื่อมต่อฟาวน์เดชันฟิลด์บัส H1 (Fieldbus H1 Card) โดยแผงเชื่อมต่อฟาวน์เดชันฟิลด์บัส H1 จะทำหน้าที่เป็นต่อเชื่อมต่อระหว่างเครื่องข่าย HSE และฟาวน์เดชันฟิลด์บัส H1 เข้าด้วยกัน นอกจากนี้ยังทำหน้าที่เป็นตัวกลางในการจัดการข้อมูลในด้าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความแตกต่างระหว่างความเร็วในการสื่อสารของอุปกรณ์ฟาวน์เดชันฟิลด์บัส HSE กับ ฟาวน์เดชันฟิลด์บัส H1 โดยเครื่องคอมพิวเตอร์ที่มีโปรแกรมของ DeltaV จะเข้าถึงข้อมูลผ่านอุปกรณ์เชื่อมต่อเครือข่ายระดับฟิลด์ใช้ฟาวน์เดชันฟิลด์บัส H1 สำหรับเชื่อมต่อกันระหว่างอุปกรณ์ระดับฟิลด์ที่ติดตั้งในพลานต์โมเดลการควบคุมระดับน้ำ โดยมีอุปกรณ์ฟิลด์บัส H1 ที่ถูกนำมาใช้ในลูปควบคุม 3 ตัว คือ เครื่องมือวัดระดับแบบฟิลด์บัส โมเดล EJX110A จาก Yokogawa (LIT_101) เครื่องมือวัดอัตราการไหลแบบฟิลด์บัส โมเดล 8732E จาก EPM (FIT_101) และวาล์วโพซิชันเนอร์ โมเดล AVP303 จาก Azbil (FCV_101) ตารางที่ 4.1 แสดงข้อมูลรายละเอียดของอุปกรณ์ฟิลด์บัส H1 ที่ติดตั้งในพลานต์โมเดล

ตารางที่ 4.1 รายละเอียดของอุปกรณ์ฟาวด์เดชันฟิลด์บัสที่ติดตั้งในรูปที่ 4.1

Device Tag	LIT_101	FIT_101	FCV_101
Vendor	Yokogawa	EMP	Azbil
Model	EJX110A	8732E	AVP303
Revision	3	2	2
AI count	3	1	-
AI time	30 ms	10 ms	-
PID count	1	1	2
PID time	45 ms	10 ms	125 ms
AO count	-	-	1
AO time	-	-	75 ms

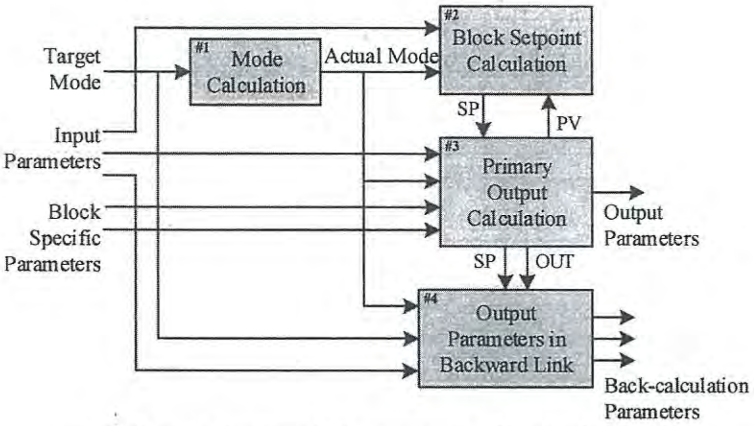
4.3 พื้นฐานการควบคุมกระบวนการโดยใช้ฟาวน์เดชันฟิลด์บัส

4.3.1 โหมดและการทำงานของฟังก์ชันบล็อก [19-20]

ฟังก์ชันบล็อกภายในอุปกรณ์ฟาวน์เดชันฟิลด์บัสมีฟังก์ชันที่หลากหลายสำหรับระบบควบคุมและมอนิเตอร์ริ่ง เช่น แอนะลอกอินพุต (AI) แอนะลอกเอาต์พุต (AO) ฟังก์ชัน PID เป็นต้น พื้นฐานการควบคุมด้วยเทคโนโลยีฟาวน์เดชันฟิลด์บัสสามารถทำได้ด้วยการ เลือกฟังก์ชันบล็อก การเชื่อมฟังก์ชันบล็อกเข้าด้วยกัน และการกำหนดค่าพารามิเตอร์ของฟังก์ชันบล็อก ฟิลด์บัสฟาวน์เดชัน (Fieldbus Foundation) ปัจจุบัน คือ ฟิลด์คอมกรุ๊ป (FieldComm Group) ได้กำหนดรายละเอียดของฟังก์ชันบล็อก เพื่อให้มีโครงสร้างที่ร่วมกันได้ เช่น อินพุต (Input) เอาต์พุต (Output) โหมด (Mode) การสเกล (Scale) และการส่งกลับค่าที่คำนวณ (Back calculation) โดยที่ฟิลด์บัสฟาวน์เดชันไม่ได้กำหนดว่าทำอย่างไรผู้ผลิตเป็นผู้คิดค้นเอง เพื่อให้เกิดความแตกต่างของผู้ผลิตจะเพิ่มจุดเด่นที่นอกเหนือจากที่ฟิลด์บัสฟาวน์เดชันกำหนดได้ เช่น เพิ่มการวินิจฉัยตัวอุปกรณ์ เป็นต้น

รูปที่ 4.2 แสดงลำดับการปฏิบัติการของฟิลด์บัสฟังก์ชันบล็อก ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็น 4 ขั้นดังนี้ 1. หาโหมดจริงของบล็อก 2. คำนวณค่าเป้าหมายของบล็อก 3. ปฏิบัติตามอัลกอริทึมเพื่อสร้างพารามิเตอร์เอาต์พุตในส่วนป้อนไปข้างหน้า 4. คำนวณพารามิเตอร์เอาต์พุตในส่วนของการป้อนกลับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 ลำดับการปฏิบัติการของฟิลด์บัสฟังก์ชันบล็อก

โหมดเป้าหมาย (Target mode) คือโหมดการทำงานที่ต้องการสำหรับบล็อก ในขณะที่โหมดจริง (Actual mode) สะท้อนถึงโหมดการทำงานที่บล็อกสามารถทำได้ การเปรียบเทียบโหมดจริงกับโหมดเป้าหมายบ่งชี้ว่ามีการใช้โหมดเป้าหมายหรือไม่ นอกจากนี้การเปลี่ยนโหมดการทำงานของฟังก์ชันบล็อก หรือ “โหมดชิลดิ้ง (mode shedding)” สามารถเกิดขึ้นได้เมื่อเกิดความล้มเหลว ผลของโหมดการทำงานของฟังก์ชันบล็อคสรุปได้ดังตารางที่ 4.2

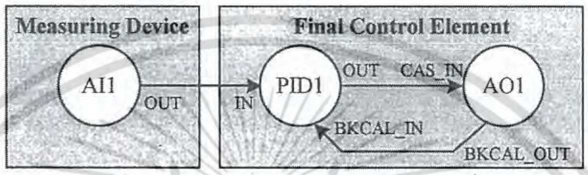
ตารางที่ 4.2 ผลของโหมดการทำงานของฟังก์ชันบล็อก

Mode	Description
Out of Service (O/S)	Block execution is disabled.
Initialization Manual (IMan)	Block output (OUT) parameter is being set in response to the status of the back-calculation input (BKCAL_IN) parameter.
Local Override (LO)	This mode applies to control and output class blocks that support a track value input (TRK_VAL) parameter. The OUT is set to track the value of the TRK_VAL.
Manual (Man)	The OUT is set by the operator through an interface device.
Automatic (Auto)	The block setpoint (SP) is set by the operator. The block itself calculates the value of the OUT.
Cascade (Cas)	The block SP is received from the upper function block through the cascade setpoint input (CAS_IN) parameter. The block itself calculates the value of the OUT.
Remote-Cascade (RCas)	The block SP is received from another application through the remote cascade setpoint input (RCAS_IN) parameter. The block itself calculates the value of the OUT.
Remote-Output (ROut)	The block OUT is received from another application through the remote output input (ROUT_IN) parameter.

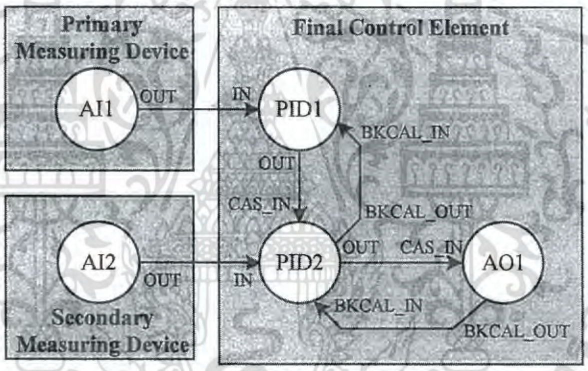
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.2 ลูปควบคุมแบบ PID และ Cascade ที่ใช้เป็นกรณีศึกษา

รูปที่ 4.3 แสดงลูปควบคุมแบบ PID โดยใช้ฟังก์ชันบล็อกสำหรับการควบคุมในระดับฟิลด์ ลูปควบคุมแบบ PID ประกอบด้วยฟังก์ชันบล็อก 3 บล็อก คือฟังก์ชันบล็อก AI ฟังก์ชันบล็อก PID และฟังก์ชันบล็อก AO รูปที่ 4.4 แสดงลูปควบคุมแบบ Cascade โดยใช้ฟังก์ชันบล็อกสำหรับการควบคุมในระดับฟิลด์ ลูปการควบคุมแบบ Cascade จะใช้ฟังก์ชันบล็อก 5 บล็อกประกอบไปด้วยฟังก์ชันบล็อก AI จำนวน 2 บล็อก ฟังก์ชันบล็อก PID จำนวน 2 บล็อก และฟังก์ชันบล็อก AO จำนวน 1 บล็อก โดยฟังก์ชันบล็อกเหล่านี้จะทำงานตามลำดับ ฟังก์ชันบล็อก AI จะอยู่ในเครื่องมือวัด ฟังก์ชันบล็อก AO จะอยู่ในอุปกรณ์ควบคุมสุดท้าย ส่วนฟังก์ชันบล็อก PID กำหนดให้อยู่ในอุปกรณ์ควบคุมสุดท้าย เนื่องจากเน็ตเวิร์คโหลดน้อยที่สุด



รูปที่ 4.3 ลูปควบคุมแบบ PID โดยใช้ฟังก์ชันบล็อกสำหรับการควบคุมในระดับฟิลด์



รูปที่ 4.4 ลูปควบคุมแบบ Cascade โดยใช้ฟังก์ชันบล็อกสำหรับการควบคุมในระดับฟิลด์

สำหรับการกำหนดฟังก์ชันบล็อกในอุปกรณ์ระดับฟิลด์แสดงไว้ในตารางที่ 4.3 การควบคุมแบบ PID กำหนดให้ฟังก์ชันบล็อก AI1 อยู่ที่ LIT_101 ฟังก์ชันบล็อก PID1 และฟังก์ชันบล็อก AO1 อยู่ที่ FCV_101 การควบคุมแบบ Cascade กำหนดให้ฟังก์ชันบล็อก AI1 อยู่ที่ LIT_101 ฟังก์ชันบล็อก AI2 อยู่ที่ FIT_101 ฟังก์ชันบล็อก PID1 ฟังก์ชันบล็อก PID2 และฟังก์ชันบล็อก AO1 อยู่ที่ FCV_101 การทำงานและโหมดปกติของฟังก์ชันบล็อกของการควบคุมแบบ PID สรุปไว้ในตารางที่ 4.4 และการทำงานและโหมดปกติของฟังก์ชันบล็อกของการควบคุมแบบ Cascade สรุปไว้ในตารางที่ 4.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 ฟังก์ชันบล็อกที่กำหนดในอุปกรณ์ระดับฟิลด์

Control Loop	Block	Instrument
PID	AI1	LIT_101
	PID1	FCV_101
	AO1	FCV_101
Cascade	AI1	LIT_101
	AI2	FIT_101
	PID1	FCV_101
	PID2	FCV_101
	AO1	FCV_101

ตารางที่ 4.4 การทำงานและโหมดปกติของฟังก์ชันบล็อกสำหรับการควบคุมแบบ PID

Block	Operation	Normal mode
AI1	Processing measurement data received from the transducer block to be available for the PID1.	Auto
PID1	Receiving the operator-entered setpoint and the AI1 output, and calculating the block output.	Auto
AO1	Processing the PID1 output, and passing to the transducer block for manipulating the process.	Cas

ตารางที่ 4.5 การทำงานและโหมดปกติของฟังก์ชันบล็อกสำหรับการควบคุมแบบ Cascade

Block	Operation	Normal mode
AI1	Processing measurement data received from the transducer block of the primary transmitter to be available for the PID1.	Auto
AI2	Processing measurement data received from the transducer block of the secondary transmitter to be available for the PID2.	Auto
PID1	Receiving the operator-entered setpoint and the AI1 output, and calculating the block output.	Auto
PID2	Receiving the block cascade setpoint and process variable from the PID1 and the AI2, respectively, and determining the block output.	Cas
AO1	Processing the PID2 output, and passing to the transducer block for manipulating the process.	Cas

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 การวิเคราะห์ผลการทดลองของกรณีศึกษา

4.4.1 ตัวเลือกที่สนใจของฟังก์ชันบล็อก

พารามิเตอร์อินพุต และพารามิเตอร์เอาต์พุต ของฟาวน์เดชันฟิลด์บัสฟังก์ชันบล็อก ประกอบไปด้วย ค่า และสถานะ สถานะของพารามิเตอร์จะมีข้อมูลเกี่ยวกับการบ่งบอกสถานะของฮาร์ดแวร์ การสื่อสาร การกำหนดค่า และข้อผิดพลาดอื่น ๆ คุณภาพของสถานะของพารามิเตอร์ คือ “Good” “Bad” หรือ “Uncertain” ตัวอย่าง ค่าที่ได้จากการวัดมีความพร้อมสำหรับการควบคุม สถานะของพารามิเตอร์ ที่ได้คือ “Good” เครื่องมือวัดความล้มเหลว เช่น เซนเซอร์เกิดความผิดพลาด สถานะของพารามิเตอร์ ที่ได้คือ ‘Bad’ สำหรับสถานะ ‘Uncertain’ เช่น เมื่อการวัดได้เกินขอบเขตที่กำหนดหรือไม่แม่นยำในบางประการ ดังที่ได้กล่าวใน [21-22] ได้แสดงวิธีการกำหนดค่าของฟังก์ชันบล็อกบนพื้นฐานฟาวน์เดชันฟิลด์บัสที่มีความปลอดภัยของระบบหรือความพร้อมใช้ของระบบ โดยตัวเลือกที่สนใจในฟังก์ชันบล็อก มีอยู่ด้วย 3 ตัว คือ ตัวเลือกสถานะ (STATUS_OPTS) ตัวเลือกควบคุม (CONTROL_OPTS) และตัวเลือกอินพุตเอาต์พุต (IO_OPTS) สำหรับค่าตัวเลือกที่สนใจที่ใช้ในกรณีศึกษาสรุปได้ทั้งตารางที่ 4.6 – 4.9

ตารางที่ 4.6 ตัวเลือก STATUS_OPTS ที่สนใจในฟังก์ชันบล็อก AI

Option	Description
Uncertain if Limited	Set the output status to ‘Uncertain’ if the measured value is higher or lower than the sensor limits.
Bad if Limited	Set the output status to ‘Bad’ if the measured value is higher or lower than the sensor limits.
Uncertain if Man mode	Set the output status to ‘Uncertain’ if the actual mode of the block in Man.

ตารางที่ 4.7 ตัวเลือก STATUS_OPTS ที่สนใจในฟังก์ชันบล็อก PID

Option	Description
IFS if BAD IN	Set ‘Initiate Fault State’ status in the OUT parameter if the status of the IN parameter is BAD.
IFS if BAD CAS_IN	Set ‘Initiate Fault State’ status in the OUT parameter if the status of the CAS_IN parameter is BAD.
Use Uncertain as Good	If the status of the IN parameter is Uncertain, consider it as Good. (0: status handled as Bad, 1: status handled as Good).
Target to Manual if BAD IN	Set the target mode to Man if the status of the IN parameter is BAD. This handles the block into Man mode if the IN ever goes BAD.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.8 ตัวเลือก CONTROL_OPTS ที่สนใจในฟังก์ชันบล็อก PID

Option	Description
Bypass Enable	Allow 'BYPASS' to be set. Some control applications cannot perform closed-loop control if bypassed.
SP-PV Track in Man	Permit the setpoint (SP) to track the process variable (PV) when the target mode of the block is Man.
SP-PV Track in LO or IMan	Permit the SP to track the PV when the actual mode of the block is LO or IMan.

ตารางที่ 4.9 ตัวเลือก IO_OPTS ที่สนใจในฟังก์ชันบล็อก AO

Option	Description
SP-PV Track in Man	Permit the SP to track the PV when the target mode of the block is Man.
SP-PV Track in LO	Permit the SP to track the PV when the actual mode of the block is LO.
Fault State to value	Determine the output operation to take when a fault occurs (0: freeze the last value, 1: go to preset value).
Use Fault State value on restart	Use the value of FSTATE_VAL parameter if the device is restarted. Otherwise use the final output value restored in non-volatile memory.
Use PV for BKCAL_OUT	The value of BKCAL_OUT parameter is normally the working SP. This option changes it to the PV.

4.4.2 บัมพ์เลสทรานสเฟอร์และเซตพอยต์แทรกกิ้ง

สำหรับลูปการควบคุมแบบป้อนกลับ (Feedback control) การเปลี่ยนโหมดการทำงานของตัวควบคุมจากอัตโนมัติ (Auto) ไปเป็นควบคุมด้วยมือ (Man) หรือจากการควบคุมด้วยมือไปเป็นอัตโนมัติ โดยที่ตำแหน่งของวาล์วควบคุมไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงแบบทันทีทันใด ซึ่งเรียกเหตุการณ์นี้ว่า "บัมพ์เลสทรานสเฟอร์ (bumpless transfer)" [23] วิธีการให้เกิดบัมพ์เลสทรานสเฟอร์ คือการเปิดใช้งานตัวเลือกการติดตามค่าเซตพอยต์ของบล็อกควบคุม (Setpoint tracking) ที่มีอยู่ในฟังก์ชันบล็อก PID และฟังก์ชันบล็อก AO เช่น 'SP-PV Track in MAN' แสดงดังตารางที่ 4.8 และ 4.9

ลูปควบคุมแบบ PID ในรูปที่ 4.3 ฟังก์ชันบล็อก PID1 ได้รับค่าเซตพอยต์จากผู้ปฏิบัติงาน พารามิเตอร์ IN ของฟังก์ชันบล็อก PID1 คือตัวแปรกระบวนการ (PV) ซึ่งต่ออยู่กับพารามิเตอร์ OUT ของฟังก์ชันบล็อก AI1 และพารามิเตอร์ OUT ของฟังก์ชันบล็อก PID1 ต่ออยู่กับพารามิเตอร์ CAS_IN ของฟังก์ชันบล็อก AO1 ซึ่งพารามิเตอร์ OUT ของฟังก์ชันบล็อก PID1 คือค่าเซตพอยต์ของฟังก์ชันบล็อก AO1 ซึ่งใช้สำหรับควบคุมตำแหน่งของวาล์วควบคุม พารามิเตอร์ BKCAL_OUT ของฟังก์ชันบล็อก AO1 จะส่งค่ากลับไปยังฟังก์ชันบล็อก PID1 ผ่านพารามิเตอร์ BKCAL_IN ซึ่งค่าที่ป้อนกลับนี้จะใช้เป็นค่าเริ่มต้นของเอาต์พุตตอนเปลี่ยนโหมดจากควบคุมด้วยมือ (Man) ไปเป็นอัตโนมัติ (Auto) เพื่อเกิดบัมพ์เลสทรานสเฟอร์ ถ้าวาล์วควบคุมทำงานด้วยมือโหมดที่เกิดขึ้นจะไม่ใช่โหมดคาสเคส

เอกสารนี้
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Cas) ซึ่งข้อมูลนี้จะส่งให้ฟังก์ชันบล็อก PID1 ผ่านการเชื่อมต่อของพารามิเตอร์ BKCAL_OUT-BKCAL_IN ถ้าตัวเลือก I/O OPTS ของบล็อก AO1 เปิดใช้งานตัวเลือก 'Use PV for BKCAL_OUT' ค่าตำแหน่งของก้านวาล์วจะถูกใช้เป็นค่าพารามิเตอร์ BKCAL_OUT สถานะของบล็อก AO1 จะป้อนกลับไปยังบล็อก PID1 ทำให้บล็อก PID1 เปลี่ยนไปเป็นโหมดการเริ่มต้นทำงานของฟังก์ชันบล็อกควบคุมด้วยมือ (Initialization Manual) นอกจากจะเกิดบัมพ์เลสทรานสเฟอร์แล้วยังช่วยไม่ให้ฟังก์ชันบล็อก PID1 รีเซ็ตค่าในกรณีที่เกิดเหตุการณ์ก้านวาล์วถูกจำกัดด้วยฮาร์ดแวร์หรือซอฟร์แวร์

ลูปควบคุมแบบ Cascade ในรูปที่ 4.4 สิ่งที่เพิ่มเติมขึ้นมาจากลูปควบคุมแบบ PID ก็คือฟังก์ชันบล็อกตัวควบคุมหลัก (Primary PID1) และฟังก์ชันบล็อกตัวควบคุมรอง (Secondary PID2) พารามิเตอร์ BKCAL_OUT จากบล็อก PID2 จะส่งค่าไปยังพารามิเตอร์ BKCAL_IN ของบล็อก PID1 ถ้าโหมดที่เกิดขึ้นของบล็อก PID2 ไม่ใช่โหมดคาสเคส (Cas) เช่น อยู่ในโหมด Auto ฟังก์ชันบล็อก PID1 จะเปลี่ยนไปเป็นโหมด IMAN และค่าเซตพอยต์จะถูกกำหนดโดยค่าตัวแปรกระบวนการ (PV) ในกรณีที่เปิดใช้งาน ตัวเลือก 'SP-PV Track in LO or IMAN' เมื่อบล็อก PID1 อยู่ในโหมด IMAN ค่าพารามิเตอร์ OUT ของฟังก์ชันบล็อกจะเท่ากับค่าของพารามิเตอร์ BKCAL_IN ซึ่งค่าเหมือนกันกับเซตพอยต์ของตัวควบคุมรอง (Secondary PID2) การที่ฟังก์ชันบล็อก PID1 ไม่ถูกรีเซ็ตค่าผลที่ตามมาก็คือพารามิเตอร์ CAS_IN ของบล็อก PID2 จะเป็นค่าเซตพอยต์ของตัวเอง ผลก็คือทุกครั้งที่บล็อก PID2 เปลี่ยนโหมดกลับมาเป็น Cas จะเกิดเหตุการณ์บัมพ์เลสเลสทรานสเฟอร์ การเปิดใช้งานตัวเลือกบัมพ์เลสทรานสเฟอร์และเซตพอยต์แทรกกิ้งสำหรับการควบคุมแบบ PID และ Cascade สรุปได้ดังตารางที่ 4.10

ตารางที่ 4.10 การเปิดใช้งานตัวเลือกบัมพ์เลสทรานสเฟอร์และเซตพอยต์แทรกกิ้งสำหรับการควบคุมแบบ PID และ Cascade

Loop	Block	Parameter	Option
PID	PID1	CONTROL_OPTS	SP-PV Track in Man
			SP-PV Track in LO or IMan
	AO1	IO_OPTS	SP-PV Track in Man
			SP-PV Track in LO
			Use PV for BKCAL_OUT
Cascade	PID1, PID2	CONTROL_OPTS	SP-PV Track in Man
			SP-PV Track in LO or IMan
	AO1	IO_OPTS	SP-PV Track in Man
			SP-PV Track in LO
			Use PV for BKCAL_OUT

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.3 การปรับปรุงความปลอดภัยและความพร้อมใช้

เป้าหมายของความปลอดภัยของระบบ คือ การควบคุมต้องหยุดกระบวนการเมื่อเครื่องมือวัดและเครือข่ายการสื่อสารล้มเหลว การเพิ่มความปลอดภัยให้กระบวนการต่อการตอบสนองกรณีเครื่องมือวัดและเครือข่ายการสื่อสารล้มเหลวทำได้โดยการกำหนดค่าพารามิเตอร์ในฟังก์ชันบล็อกพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องสำหรับความปลอดภัยของการควบคุมแบบ PID สรุปได้ดังตารางที่ 4.11 โดยความล้มเหลวของเครื่องมือวัดและเครือข่ายการสื่อสารที่เกิดจากการมี 2 กรณี คือ 1. เมื่อสถานะของเครื่องมือวัดระดับ (LIT_101) มีสถานะ 'Uncertain' จะทำให้ลูปควบคุม PID อยู่ในโหมดแมนนวล (Man) โดยค่าเอาต์พุตของอุปกรณ์ควบคุมสุดท้าย (FCV_101) จะคงค่าสุดท้ายไว้ หลังจากแก้ไขปัญหาเรียบร้อยแล้ว ลูปควบคุม PID ก็สามารถทำงานต่อไปได้ปกติ 2. เมื่อสถานะของอุปกรณ์วัดระดับ (LIT_101) มีสถานะ 'Bad' จะทำให้เอาต์พุตของอุปกรณ์ควบคุมสุดท้าย (FCV_101) อยู่ในตำแหน่งที่ปลอดภัยตามที่ตั้งเอาไว้ก่อนหน้านี้ หลังจากแก้ไขปัญหาเสร็จลูปควบคุม PID ก็ยังคงสถานะล้มเหลว (Failed) และอยู่ในโหมดแมนนวล (Man) จนกว่าผู้ปฏิบัติงานจะมาปรับบล็อก PID1 เป็นโหมดอัตโนมัติ (Auto mode)

เป้าหมายของความพร้อมใช้ คือ ลูปควบคุมสามารถทำงานได้แม้ในกรณีที่เกิดความล้มเหลว อย่างไรก็ตามการควบคุมกระบวนการนี้ไม่สามารถทำได้โดยอัตโนมัติหากข้อมูลจากเครื่องมือวัดมีสถานะเป็น 'Bad' การควบคุมต้องหยุดกระบวนการ แต่เป็นไปได้ที่จะรักษาระบบควบคุมอัตโนมัติโดยใช้สถานะ 'Uncertain' ซึ่งเป็นค่าวามผิดพลาดเล็กน้อย เช่น การอ่านค่าการวัดผิดพลาดเล็กน้อยนอกช่วงการวัด สำหรับการปรับปรุงความพร้อมใช้ของลูปควบคุมแบบ PID สามารถทำได้โดยการเปิดใช้งานพารามิเตอร์ 'Use Uncertain as Good' ในตัวเลือกสถานะ (STATUS_OPTS) ของบล็อก PID1 เมื่อคุณภาพสถานะของอุปกรณ์วัดระดับ (LIT_101) มีสถานะ 'Uncertain' เครื่องมือวัดจะมองเป็นสถานะ 'Good' ทำให้ลูปควบคุม PID ยังคงทำงานในโหมดอัตโนมัติ (Auto) ได้ตามปกติ เมื่อสถานะของอุปกรณ์วัดระดับ (LIT_101) มีสถานะ 'Bad' จะทำให้ลูปควบคุม PID อยู่ในโหมดแมนนวล (Man) โดยค่าเอาต์พุตของอุปกรณ์ควบคุมสุดท้ายจะคงค่าสุดท้ายไว้ หลังจากแก้ไขปัญหาเรียบร้อยแล้วลูปควบคุม PID ก็สามารถทำงานต่อไปได้ทันที

การปรับปรุงความปลอดภัยของการควบคุมแบบ Cascade ทำได้ด้วยการกำหนดพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องสรุปได้ดังตารางที่ 4.12 โดยความความล้มเหลวของเครื่องมือวัดและเครือข่ายที่เกิดขึ้นมี 4 กรณี คือ 1. เมื่อคุณภาพสถานะของเครื่องมือวัดระดับ (LIT_101) มีสถานะ 'Uncertain' จะทำให้บล็อกหลัก (Primary) PID1 อยู่ในโหมดแมนนวล (Man) โดยค่าเอาต์พุตจะคงค่าสุดท้ายไว้ ส่วนบล็อกรอง (Secondary) PID2 ยังคงสามารถทำงานได้ หลังจากแก้ไขปัญหาเรียบร้อยแล้ว บล็อกหลัก PID1 ก็สามารถทำงานต่อไปได้ปกติ 2. เมื่อคุณภาพสถานะของเครื่องมือวัดระดับ (LIT_101) มีสถานะ 'Bad' จะทำให้บล็อกหลัก PID1 อยู่ในโหมดแมนนวล (Man) โดยค่าเอาต์พุตจะคงค่าสุดท้ายไว้ หลังจากแก้ไขปัญหาเรียบร้อยแล้วบล็อกหลัก PID1 ยังคงอยู่ในโหมดแมนนวล (Man) โดยการกำหนดค่าเริ่มต้นของอุปกรณ์ควบคุมสุดท้ายใหม่ จนกระทั่งผู้ปฏิบัติงานจะมาปรับบล็อกหลัก PID1 เป็นโหมดอัตโนมัติ (Auto mode) ลูปควบคุมจึงจะกลับมาทำงานได้ปกติ 3. เมื่อคุณภาพสถานะของเครื่องมือวัดอัตราการไหล (FIT_101) มีสถานะ 'Uncertain' จะทำให้บล็อกรอง (Secondary) PID2 อยู่ในโหมดแมนนวล (Man) โดยค่าเอาต์พุตจะคงค่าสุดท้ายไว้ หลังจากแก้ไขปัญหาเรียบร้อยแล้วลูปควบคุมรองก็สามารถทำงานต่อไปได้ทันที 4. เมื่อคุณภาพสถานะของเครื่องมือวัดอัตราการไหล (FIT_101) มีสถานะ 'Bad' จะทำให้บล็อกรอง PID2 เปลี่ยนจากโหมด CAS เป็นโหมด Man และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำให้เอาต์พุตของอุปกรณ์ควบคุมสุดท้าย (FCV_101) อยู่ในตำแหน่งที่ปลอดภัยตามที่ตั้งเอาไว้ก่อนหน้านี้หลังจากแก้ไขปัญหาเรียบร้อยแล้วบล็อกรอง PID2 ยังคงอยู่ในโหมดแมนนวล (Man) โดยการกำหนดค่าเริ่มต้นของอุปกรณ์ควบคุมสุดท้ายใหม่ จนกระทั่งผู้ปฏิบัติงานจะมาปรับบล็อกรอง PID2 เป็นโหมดคาสเคส (CAS) ลูปควบคุม Cascade จึงจะกลับมาทำงานได้ปกติ

ตารางที่ 4.11 พารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องสำหรับความปลอดภัยของการควบคุมแบบ PID

Block	Parameter	Option
AI1	STATUS_OPTS	Uncertain if Limited
		Bad if Limited
		Uncertain if Man mode
PID1	STATUS_OPTS	IFS if BAD IN
		Target to Manual if BAD IN
AO1	IO_OPTS	Fault State to value
		Use Fault State value on restart

ตารางที่ 4.12 พารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องสำหรับความปลอดภัยของการควบคุมแบบ Cascade

Block	Parameter	Option
AI1, AI2	STATUS_OPTS	Uncertain if Limited
		Bad if Limited
		Uncertain if Man mode
PID1	STATUS_OPTS	Target to Manual if BAD IN
PID2	STATUS_OPTS	IFS if BAD IN
		IFS if BAD CAS_IN
		Target to Manual if BAD IN
AO1	IO_OPTS	Fault State to value
		Use Fault State value on restart

ตารางที่ 4.13 พารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องสำหรับความพร้อมใช้ของการควบคุมแบบ Cascade

Block	Parameter	Option
PID1	STATUS_OPTS	Use Uncertain as Good
PID2	STATUS_OPTS	Use Uncertain as Good
	CONTROL_OPTS	Bypass Enable

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องสำหรับความพร้อมใช้ของการควบคุมแบบ Cascade สรุปได้ดังตารางที่ 4.13 โดยเหตุการณ์ที่สนใจมี 3 กรณี 1.สถานะของ LIT_101 และ FIT_101 มีสถานะ 'Uncertain' แต่เครื่องมือวัดจะมองเป็น Good ลูปควบคุม Cascade ยังคงทำงานในโหมด Auto ได้ตามปกติ 2. สถานะของ LIT_101 มีสถานะ 'Bad' จะทำให้บล็อกหลัก PID1 อยู่ในโหมด Man โดยค่าเอาต์พุตจะคงค่าสุดท้ายไว้ หลังจากแก้ไขปัญหาเรียบร้อยแล้วบล็อกหลัก PID1 สามารถกลับมาโหมด Auto 3. สถานะของ FIT_101 มีสถานะ 'Bad' จะทำให้บล็อกรอง PID2 เปลี่ยนจากโหมด CAS เป็นโหมด Man โดยค่าเอาต์พุตจะคงค่าสุดท้ายไว้ หลังจากแก้ไขปัญหาเรียบร้อยแล้วบล็อกรอง PID2 สามารถกลับมาโหมด CAS ลูปควบคุมสามารถทำงานได้ต่อไป สำหรับค่าพารามิเตอร์พื้นฐานของแต่ละฟังก์ชันบล็อกที่ใช้ในการทดลองการควบคุมแบบ PID และ Cascade สรุปได้ดังตารางที่ 4.14 – 4.19

ตารางที่ 4.14 ค่าพารามิเตอร์พื้นฐานของฟังก์ชันบล็อก AI สำหรับการควบคุมแบบ PID

พารามิเตอร์		บล็อก LIT_101_AI1
I/O	Chanel	1
	Out_Scale	0-100%
	XD_Scale	135-536 mmH_2O
Operating Mode		
	Normal Mode	Auto
	Target Mode	Auto
Tuning		
	L_Type	Indirect

ตารางที่ 4.15 ค่าพารามิเตอร์พื้นฐานของฟังก์ชันบล็อก PID สำหรับการควบคุมแบบ PID

พารามิเตอร์		บล็อก FCV_101_PID1
I/O		
	Out_Scale	0-100%
Operating Mode		
	Normal Mode	Auto
	Target Mode	Auto
	SP	50%
Tuning		
	Gain	0.85
	Reset	20
	PV_Scale	0-100%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.16 ค่าพารามิเตอร์พื้นฐานของฟังก์ชันบล็อก AO สำหรับการควบคุมแบบ PID

พารามิเตอร์	บล็อก FCV_101_AO1
I/O	
Chanel	1
XD_Scale	0-100%
Operating	
Mode	
Normal Mode	Cascade
Target Mode	Cascade
Tuning	
PV_Scale	0-100%

ตารางที่ 4.17 ค่าพารามิเตอร์พื้นฐานของฟังก์ชันบล็อก AI สำหรับการควบคุมแบบ Cascade

พารามิเตอร์	บล็อก LIT_101_AI1	บล็อก FIT_101_AI2
I/O Chanel	1	1
Out_Scale	0-100%	0-100%
XD_Scale	135-536 mmH_2O	0-15 L/min
Operating		
Mode		
Normal Mode	Auto	Auto
Target Mode	Auto	Auto
Tuning		
L_Type	Indirect	Indirect

ตารางที่ 4.18 ค่าพารามิเตอร์พื้นฐานของฟังก์ชันบล็อก PID สำหรับการควบคุมแบบ Cascade

พารามิเตอร์	บล็อก FCV_101_PID1	บล็อก FCV_101_PID2
I/O		
Out_Scale	0-100%	0-100%
Operating		
Mode		
Normal Mode	Auto	Auto
Target Mode	Auto	Cascade
SP	50%	50%
Tuning		
Gain	0.50	0.50
Reset	20	20
PV_Scale	0-100%	0-100%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.19 ค่าพารามิเตอร์พื้นฐานของฟังก์ชันบล็อก AO สำหรับการควบคุมแบบ Cascade

พารามิเตอร์	บล็อก FCV_101_AO1
I/O	
Chanel	1
XD_Scale	0-100%
Operating	
Mode	
Normal Mode	Cascade
Target Mode	Cascade
Tuning	
PV_Scale	0-100%

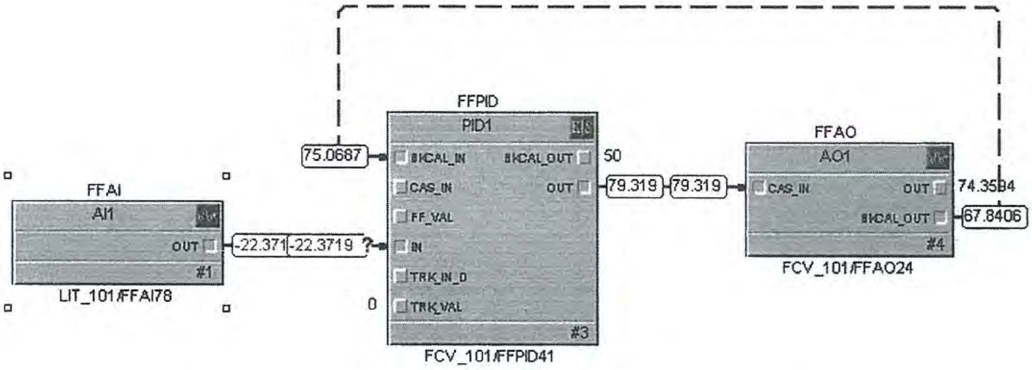
4.4.4 ผลการทดลองการกำหนดค่าพารามิเตอร์เพื่อความปลอดภัยและความพร้อมใช้ของระบบสำหรับการควบคุมแบบ PID

จากพลานต์โมเดลที่ใช้ในกรณีศึกษาดังรูปที่ 4.1 สร้างลูปควบคุมแบบ PID โดยใช้ฟังก์ชันบล็อกสำหรับการควบคุมในระดับฟิลด์ดังรูปที่ 4.3 ทำการทดสอบวิธีการกำหนดค่าพารามิเตอร์ของฟังก์ชันบล็อกสำหรับการควบคุมแบบ PID เพื่อความปลอดภัยและความพร้อมใช้ตามที่นำเสนอในหัวข้อที่ 4.4.3 ได้ทำการทดลองให้เกิดความล้มเหลวขึ้นที่เครื่องมือวัดระดับ LIT_101 กรณีสัญญาณการวัดระดับมีสถานะ Uncertain ทำการทดลองโดยการปลดท่อน้ำซึ่งใช้ในการรับสัญญาณเพื่อเปลี่ยนค่าความดันออกจากเครื่องมือวัดระดับ กรณีสัญญาณการวัดระดับมีสถานะ Bad ทำงานทดลองโดยการถอดสาย Spur ออกจากจุดต่อสาย การกำหนดค่าพารามิเตอร์เพื่อความปลอดภัยและความพร้อมใช้ของระบบสำหรับการควบคุมแบบ PID สรุปได้ดังตารางที่ 4.20

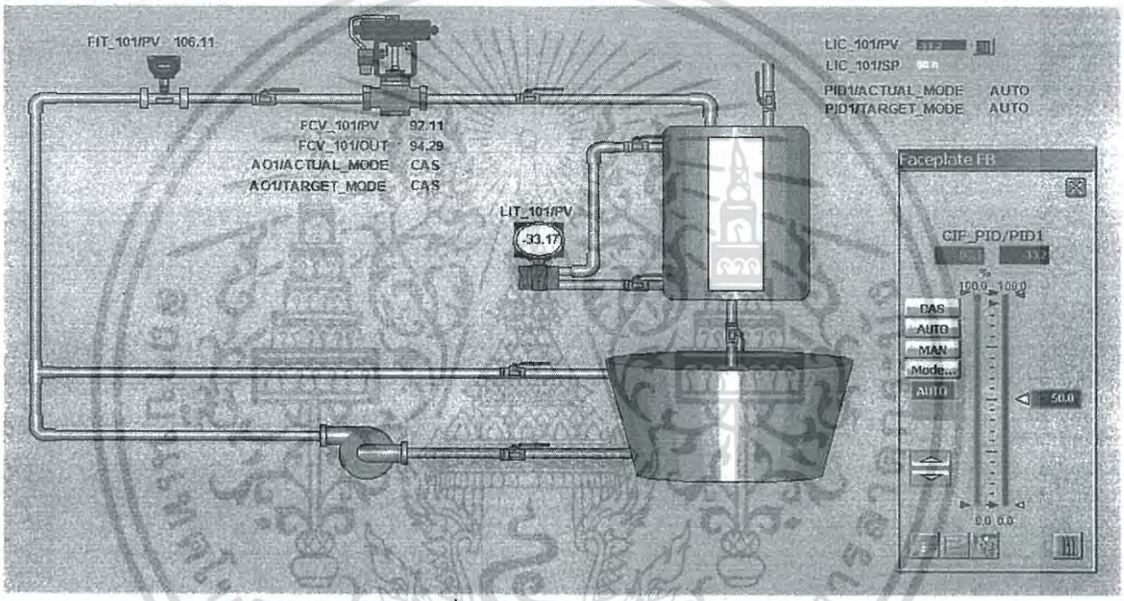
ตารางที่ 4.20 การกำหนดค่าพารามิเตอร์เพื่อความปลอดภัยและความพร้อมใช้สำหรับการควบคุมแบบ PID

Block	Parameter	Option	Safety	Availability
AI1	STATUS_OPTS	Uncertain if Limited	√	
		Bad if Limited	√	
		Uncertain if Man mode	√	
PID1	STATUS_OPTS	IFS if BAD IN	√	
		Target to Manual if BAD IN	√	
		Use Uncertain as Good		√
AO1	IO_OPTS	Fault State to value	√	
		Use Fault State value on restart	√	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) ภาพหน้าจอโปรแกรม DeltaV Control Studio ทำงานในโหมดออนไลน์

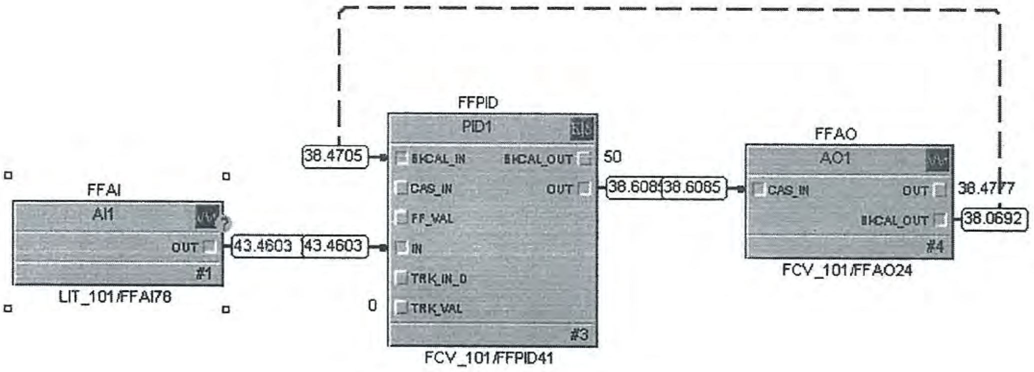


(ข) ภาพหน้าจอเมื่อโปรแกรม DeltaV Operate (RUN)

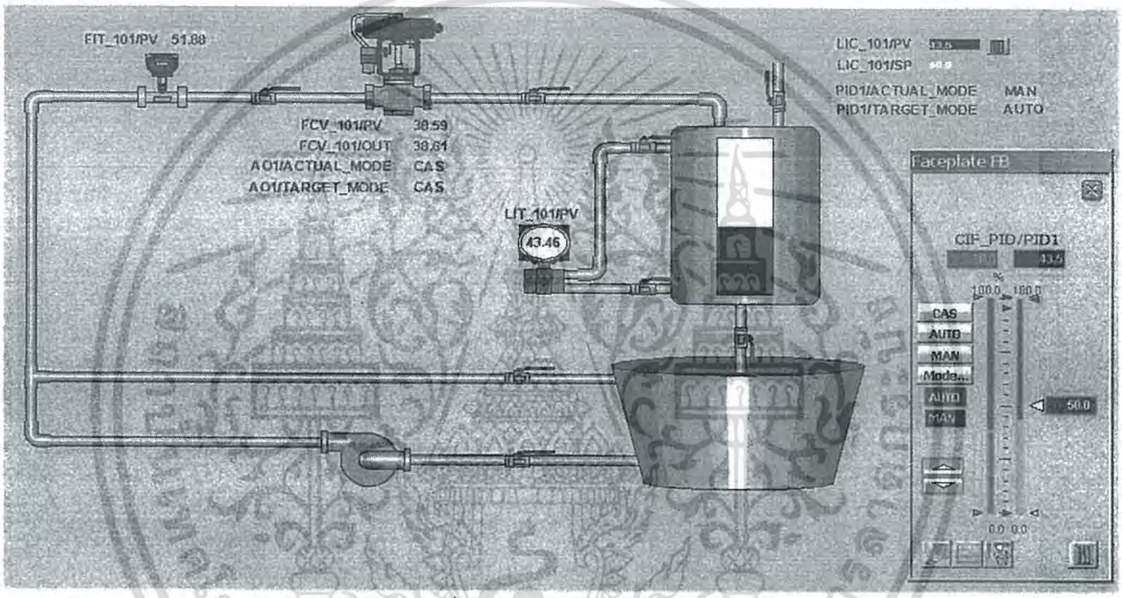
รูปที่ 4.5 ผลการทดลองเมื่อกำหนดค่าฟังก์ชันบล็อกเพื่อความพร้อมใช้ของระบบสำหรับการควบคุมแบบ PID กรณีสัญญาณการวัดระดับมีสถานะ Uncertain

รูปที่ 4.5 แสดงผลการทดลองเมื่อกำหนดค่าฟังก์ชันบล็อกเพื่อความพร้อมใช้ของระบบสำหรับการควบคุมแบบ PID กรณีสัญญาณการวัดระดับมีสถานะ Uncertain การปลดท่อน้ำของเครื่องมือวัดระดับ LIT_101 ออก ปรากฏว่ามีการแจ้งเตือนความผิดพลาดขึ้นบนหน้าจอในส่วนของค่าตัวแปรกระบวนการ (PV) ของฟังก์ชันบล็อก AI1 แต่ฟังก์ชันบล็อก PID1 มองสถานะ Uncertain เป็น Good โหมดของฟังก์ชันบล็อก PID1 จึงไม่มีการเปลี่ยนแปลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) ภาพหน้าจอโปรแกรม DeltaV Control Studio ทำงานในโหมดออนไลน์

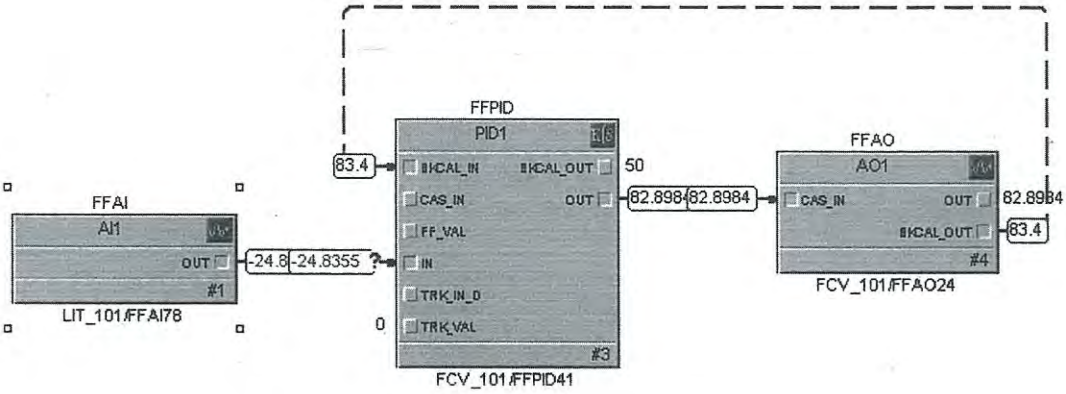


(ข) ภาพหน้าจอเมื่อโปรแกรม DeltaV Operate (RUN)

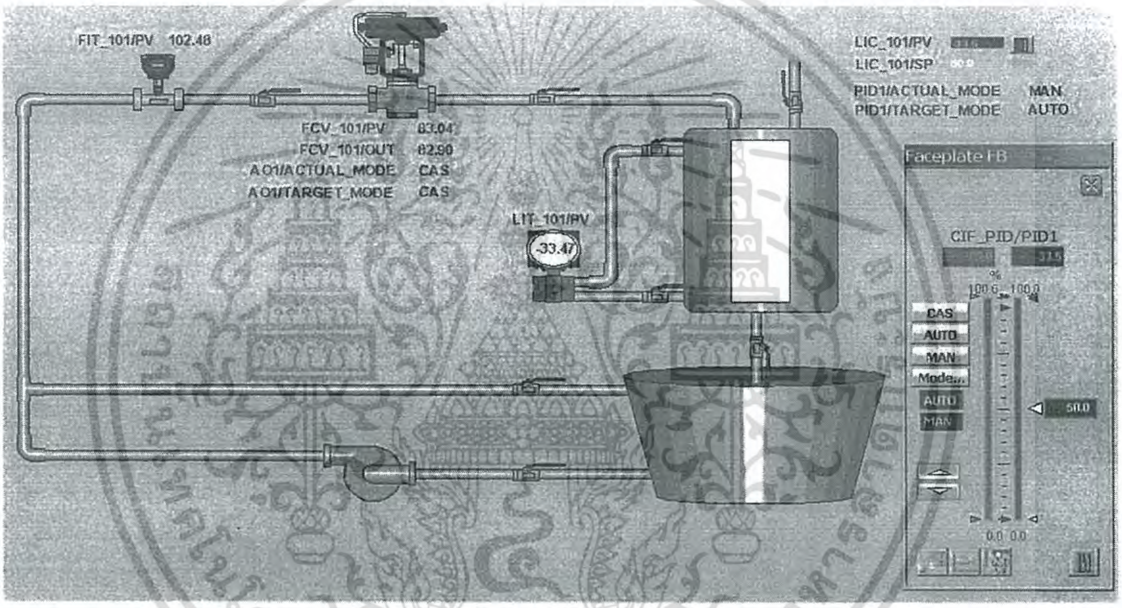
รูปที่ 4.6 ผลการทดลองเมื่อกำหนดค่าฟังก์ชันบล็อกเพื่อความพร้อมใช้ของระบบสำหรับการควบคุมแบบ PID กรณีสัญญาณการวัดระดับมีสถานะ Bad

รูปที่ 4.6 แสดงผลการทดลองเมื่อกำหนดค่าฟังก์ชันบล็อกเพื่อความพร้อมใช้ของระบบสำหรับการควบคุมแบบ PID กรณีสัญญาณการวัดระดับมีสถานะ Bad เมื่อปลดสาย Spur ของเครื่องมือวัดระดับ LIT_101 ออกจากจุดต่อสาย ปรากฏว่ามีการแจ้งเตือนความผิดพลาดขึ้นบนหน้าจอในส่วนของค่าตัวแปรกระบวนการ (PV) ของฟังก์ชันบล็อก AI1 Target mode ของฟังก์ชันบล็อก PID1 ไม่มีการเปลี่ยนแปลง แต่ Actual mode ของฟังก์ชันบล็อก PID1 จะเปลี่ยนจาก AUTO เป็น MAN เอาต์พุตของฟังก์ชันบล็อก PID1 จะคงค่าสุดท้ายไว้ เมื่อต่อสาย Spur ของ LIT_101 เข้าดังเดิมสถานะของสัญญาณการวัดระดับกลับมามีสถานะ Good Actual mode ของฟังก์ชันบล็อก PID1 จะเปลี่ยนจาก MAN กลับมาเป็น AUTO

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) ภาพหน้าจอโปรแกรม DeltaV Control Studio ทำงานในโหมดออนไลน์

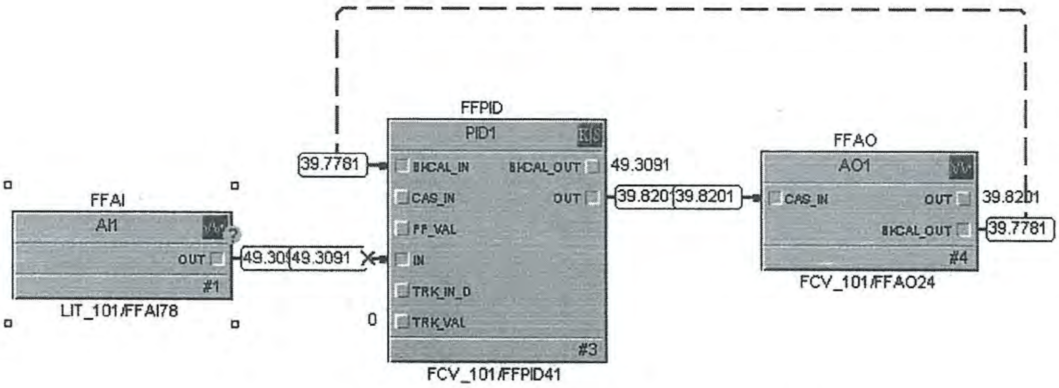


(ข) ภาพหน้าจอเมื่อโปรแกรม DeltaV Operate (RUN)

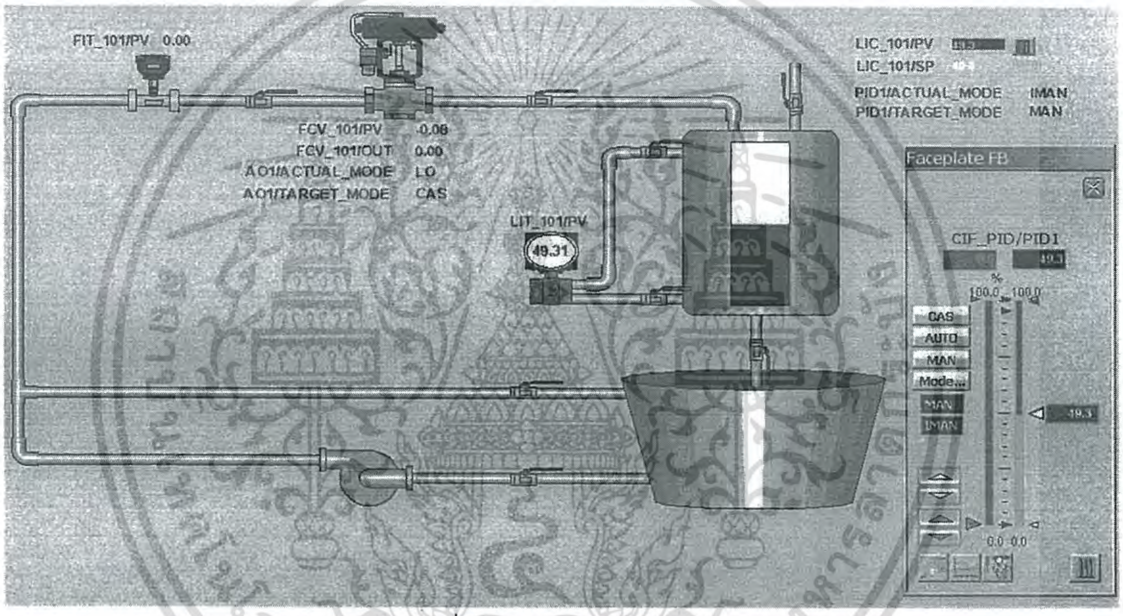
รูปที่ 4.7 ผลการทดลองเมื่อกำหนดค่าฟังก์ชันบล็อกเพื่อความปลอดภัยของระบบสำหรับการควบคุมแบบ PID กรณีสัญญาณการวัดระดับมีสถานะ Uncertain

รูปที่ 4.7 แสดงผลการทดลองเมื่อกำหนดค่าฟังก์ชันบล็อกเพื่อความปลอดภัยของระบบสำหรับการควบคุมแบบ PID กรณีสัญญาณการวัดระดับมีสถานะ Uncertain การปลดท่อน้ำของเครื่องมือวัดระดับ LIT_101 ออก ปรากฏว่ามีการแจ้งเตือนความผิดพลาดขึ้นบนหน้าจอในส่วนของค่าตัวแปรกระบวนการ (PV) ของฟังก์ชันบล็อก AI1 Target mode ของฟังก์ชันบล็อก PID1 ไม่มีการเปลี่ยนแปลง แต่ Actual mode ของฟังก์ชันบล็อก PID1 จะเปลี่ยนจาก AUTO เป็น MAN เอาต์พุตของฟังก์ชันบล็อก PID1 จะคงค่าสุดท้ายไว้ เมื่อสัญญาณการวัดระดับกลับมามีสถานะ Good Actual mode ของฟังก์ชันบล็อก PID1 จะเปลี่ยนจาก MAN กลับมาเป็น AUTO

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) ภาพหน้าจอโปรแกรม DeltaV Control Studio ทำงานในโหมดออนไลน์

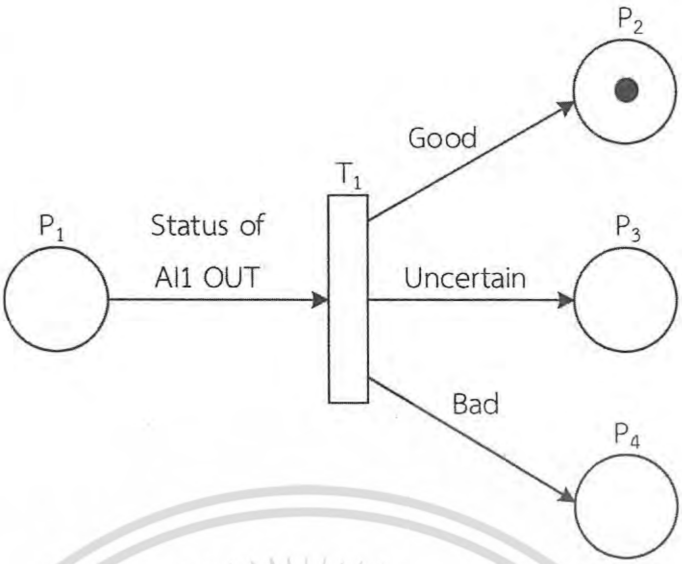


(ข) ภาพหน้าจอเมื่อโปรแกรม DeltaV Operate (RUN)

รูปที่ 4.8 ผลการทดลองเมื่อกำหนดค่าฟังก์ชันบล็อกเพื่อความปลอดภัยของระบบสำหรับการควบคุมแบบ PID กรณีสัญญาณการวัดระดับมีสถานะ Bad

รูปที่ 4.8 แสดงผลการทดลองเมื่อกำหนดค่าฟังก์ชันบล็อกเพื่อความปลอดภัยของระบบสำหรับการควบคุมแบบ PID กรณีสัญญาณการวัดระดับมีสถานะ Bad เมื่อปลดสาย Spur ของเครื่องมือวัดระดับ LIT_101 ออกจากจุดต่อสายปรากฏว่ามีการแจ้งเตือนความผิดพลาดขึ้นบนหน้าจอในส่วนของค่าตัวแปรกระบวนการ (PV) ของฟังก์ชันบล็อก AI1 Target mode ของฟังก์ชันบล็อก PID1 จะเปลี่ยนจาก AUTO เป็น MAN ส่วน Actual mode ของฟังก์ชันบล็อก PID1 จะเปลี่ยนจาก AUTO เป็น IMAN และวาล์วควบคุม FCV_101 จะเปลี่ยนจากโหมด CAS เป็น LO (Local Override) ตำแหน่งของวาล์วควบคุมเท่ากับที่ตั้งไว้ใน “Fault state to Value” ตัวอย่างเท่ากับ 0 เมื่อสัญญาณการวัดระดับ LIT_101 กลับมามีสถานะ Good Target mode และ Actual mode ของฟังก์ชันบล็อก PID1 จะอยู่ในโหมด MAN ผู้ใช้งานต้องปรับเป็น Auto เอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.9 แผนผังเพทริเน็ตสำหรับการควบคุมแบบ PID เพื่อความปลอดภัยของระบบ

พฤติกรรมของลูปควบคุมที่ศึกษาสำหรับการกำหนดค่าพารามิเตอร์เพื่อความปลอดภัยและความพร้อมใช้ของระบบ อธิบายเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นโดยใช้เพทริเน็ตโมเดล (Petri Net model) ซึ่งเพทริเน็ตโมเดล [24] คือโมเดลที่แทนเหตุการณ์ เงื่อนไข หรือสมการทางคณิตศาสตร์ โดยใช้รูปภาพ เช่น วงกลมใช้แทนเหตุการณ์ เรียกว่า “Place” สี่เหลี่ยมใช้แทนเงื่อนไขเรียกว่า “Transition” ลูกศรใช้ในการบอกทิศทาง จุดสีดำในวงกลม เรียกว่า “Token” หนึ่งจุดใช้แทนว่าเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นเกิดได้เหตุการณ์เดียว

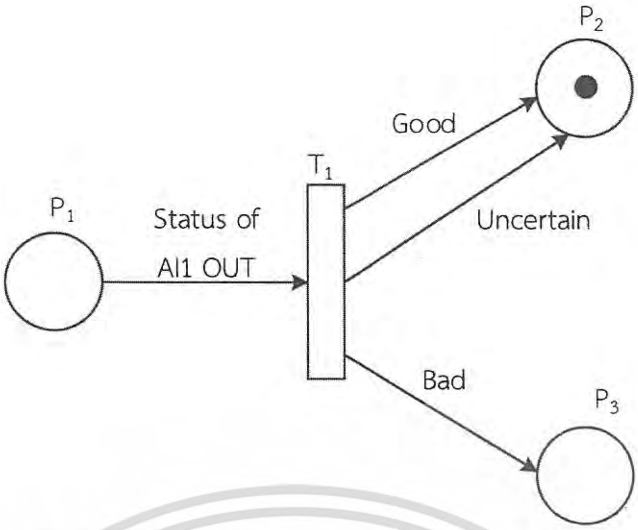
รูปที่ 4.9 แสดงแผนผังเพทริเน็ตสำหรับการควบคุมแบบ PID เพื่อความปลอดภัยของระบบ P1 แทนการกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องสำหรับความปลอดภัยของการควบคุมแบบ PID ตามที่ได้นำเสนอในหัวข้อที่ 4.4.3 เหตุการณ์ที่สนใจคือสถานะพารามิเตอร์ Out ของบล็อก AI1 ซึ่งมี 3 สถานะ คือ Good Uncertain และ Bad เมื่อผ่านเงื่อนไข (T1) ก็จะเกิดเหตุการณ์ P2 P3 หรือ P4 ขึ้นอยู่กับเงื่อนไข ถ้าสถานะของบล็อก AI1 เป็น Good ก็จะเกิดเหตุการณ์ P2 (โหมดของบล็อก PID1 คือ Auto) ถ้าสถานะของบล็อก AI1 เป็น Uncertain ก็จะเกิดเหตุการณ์ P3 (โหมดของบล็อก PID1 จะเปลี่ยนจาก Auto เป็น Man ค่าเอาต์พุตจะคงค่าสุดท้ายไว้) ถ้าสถานะของบล็อก AI1 เป็น Bad ก็จะเกิดเหตุการณ์ P4 (โหมดของบล็อก PID1 จะเป็น IMAN บล็อก AO จะเปลี่ยนจาก CAS เป็น LO โดยค่าเอาต์พุตจะมีค่าเท่ากับค่าที่กำหนดไว้ตอนแรก) จุดสีดำที่อยู่ใน P2 แสดงถึง P2 P3 และ P4 จะเกิดได้เหตุการณ์ใดเหตุการณ์นึงเท่านั้น เหตุการณ์และเงื่อนไขของการควบคุมแบบ PID เพื่อความปลอดภัยของระบบสรุปได้ดังตารางที่ 4.21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.21 เพทริเน็ตสำหรับการควบคุมแบบ PID เพื่อความปลอดภัย

Item	Description
P_1	Control loop is configured using function block options discussed in Sections 4.4.3
P_2	Target mode/Actual mode of PID1 is Auto/Auto. Target mode/Actual mode of AO1 is Cas/Cas.
P_3	Target mode/Actual mode of PID1 is Auto/Man. Target mode/Actual mode of AO1 is Cas/Cas. For fault recovery, the control loop can resume control immediately.
P_4	Target mode/Actual mode of PID1 is Man/IMan. Target mode/Actual mode of AO1 is Cas/LO. Fail-safe action is active to predefined safe value. For fault recovery, the process remains 'failed' state until the operator unlocks.
T_1	If the OUT status of AI1 is 'Good' then P_2. If the OUT status of AI1 is 'Uncertain' then P_3. If the OUT status of AI1 is 'Bad' then P_4.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.10 แผนผังเพทริเน็ตสำหรับการควบคุมแบบ PID เพื่อความพร้อมใช้ของระบบ

รูปที่ 4.10 แสดงแผนผังเพทริเน็ตสำหรับการควบคุมแบบ PID เพื่อความพร้อมใช้ของระบบ P1 แทนการกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องสำหรับความพร้อมใช้ของการควบคุมแบบ PID ตามที่ได้นำเสนอในหัวข้อที่ 4.4.3 เหตุการณ์ที่สนใจคือสถานะพารามิเตอร์ Out ของบล็อก AI1 ซึ่งมี 3 สถานะ คือ Good Uncertain และ Bad เมื่อผ่านเงื่อนไข (T1) ก็จะเกิดเหตุการณ์ P2 หรือ P3 ขึ้นอยู่กับเงื่อนไข ถ้าสถานะของบล็อก AI1 เป็น Good ก็จะเกิดเหตุการณ์ P2 คือบล็อก PID อยู่ในโหมด Auto ถ้าสถานะของบล็อก AI1 เป็น Uncertain เครื่องมือวัดจะมองเป็น Good ทำให้เกิดเหตุการณ์ P2 เหมือนกับสถานะของบล็อก AI1 เป็น Good ถ้าสถานะของบล็อก AI1 เป็น Bad ก็จะเกิดเหตุการณ์ P3 บล็อก PID เปลี่ยนมาอยู่โหมด MAN ค่าเอาต์พุตจะคงค่าสุดท้าย เมื่อแก้ไขปัญหาเรียบร้อยแล้ว บล็อก PID ก็จะเปลี่ยนกลับไปโหมด Auto จุดสีดำที่อยู่ใน P2 แสดงถึง P2 และ P3 จะเกิดได้เหตุการณ์ใดเหตุการณ์นึงเท่านั้น เหตุการณ์และเงื่อนไขของการควบคุมแบบ PID เพื่อความพร้อมใช้ของระบบสรุปได้ดังตารางที่ 4.22

ตารางที่ 4.22 เพทริเน็ตสำหรับการควบคุมแบบ PID เพื่อความพร้อมใช้

Item	Description
P_1	Control loop is configured using function block options discussed in Sections 4.4.3
P_2	Target mode/Actual mode of PID1 is Auto/Auto. Target mode/Actual mode of AO1 is Cas/Cas.
P_3	Target mode/Actual mode of PID1 is Auto/Man. Target mode/Actual mode of AO1 is Cas/Cas. For fault recovery, the control loop can resume control immediately.
T_1	If the OUT status of AI1 is 'Good' then P_2. If the OUT status of AI1 is 'Uncertain' then P_2. If the OUT status of AI1 is 'Bad' then P_3.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.5 ผลการทดลองการกำหนดค่าพารามิเตอร์เพื่อความปลอดภัยและความพร้อมใช้สำหรับการควบคุมแบบ Cascade

การกำหนดค่าพารามิเตอร์เพื่อความปลอดภัยและความพร้อมใช้ของระบบสำหรับการควบคุมแบบ Cascade สรุปได้ดังตารางที่ 4.23

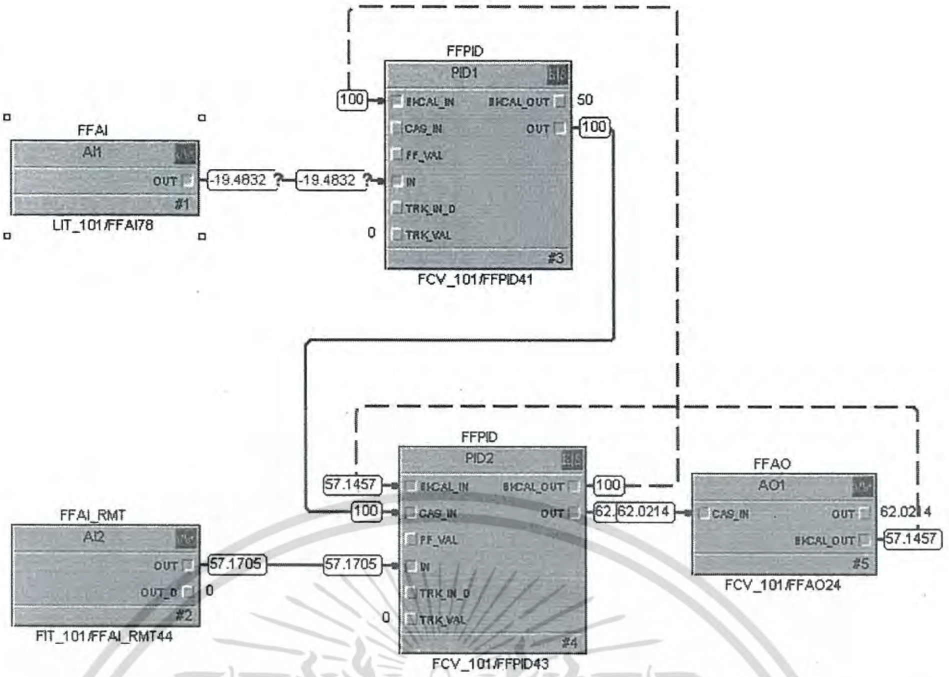
ตารางที่ 4.23 การกำหนดค่าพารามิเตอร์เพื่อความปลอดภัยและความพร้อมใช้สำหรับการควบคุมแบบ Cascade

Block	Parameter	Option	Safety	Availability
AI1, AI2	STATUS_OPTS	Uncertain if Limited	√	
		Bad if Limited	√	
		Uncertain if Man mode	√	
PID1	STATUS_OPTS	Target to Manual if BAD IN	√	
		Use Uncertain as Good		√
PID2	STATUS_OPTS	IFS if BAD IN	√	
		IFS if BAD CAS_IN	√	
		Target to Manual if BAD IN	√	
		Use Uncertain as Good		√
	CONTROL_OPTS	Bypass Enable		√
AO1	IO_OPTS	Fault State to value	√	
		Use Fault State value on restart	√	

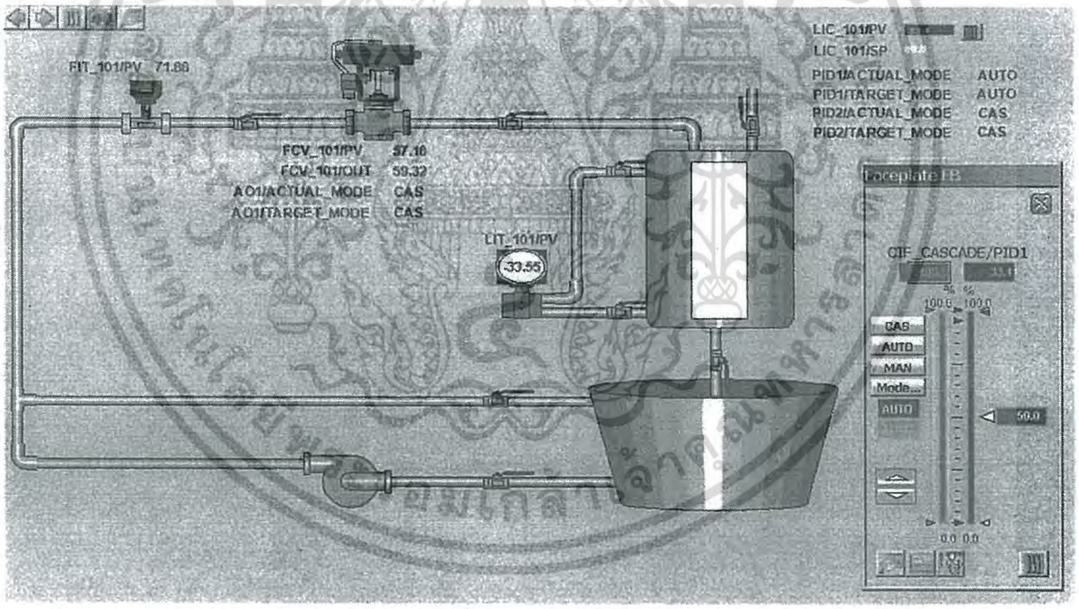
จากพลานต์โมเดลที่ใช้ในกรณีศึกษาดังรูปที่ 4.1 สร้างลูปควบคุมแบบ Cascade โดยใช้ฟังก์ชันบล็อกสำหรับการควบคุมในระดับฟิลด์ ดังรูปที่ 4.4 ทำการทดสอบวิธีการกำหนดค่าพารามิเตอร์ของฟังก์ชันบล็อกสำหรับการควบคุมแบบ Cascade เพื่อความปลอดภัยและความพร้อมใช้ตามที่นำเสนอในหัวข้อที่ 4.4.3 ได้ทำการทดลองให้เกิดความล้มเหลวขึ้นที่เครื่องมือวัด โดยที่

1. กรณีเครื่องมือวัดระดับ LIT_101 มีสถานะ Uncertain ทำการทดลองโดยการปลดท่อน้ำซึ่งใช้ในการรับสัญญาณเพื่อเปลี่ยนค่าความดันออกจากเครื่องมือวัดระดับ
2. กรณีเครื่องมือวัดระดับ LIT_101 มีสถานะ Bad ทำงานทดลองโดยการถอดสาย Spur ออกจากจุดต่อสาย
3. กรณีเครื่องมือวัดอัตราการไหล FIT_101 มีสถานะ Uncertain ทำการทดลองโดยการปิดปั๊ม
4. กรณีเครื่องมือวัดอัตราการไหล FIT_101 มีสถานะ Bad ทำงานทดลองโดยการถอดสาย Spur ออกจากจุดต่อสาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) ภาพหน้าจอโปรแกรม DeltaV Control Studio ทำงานในโหมดออนไลน์

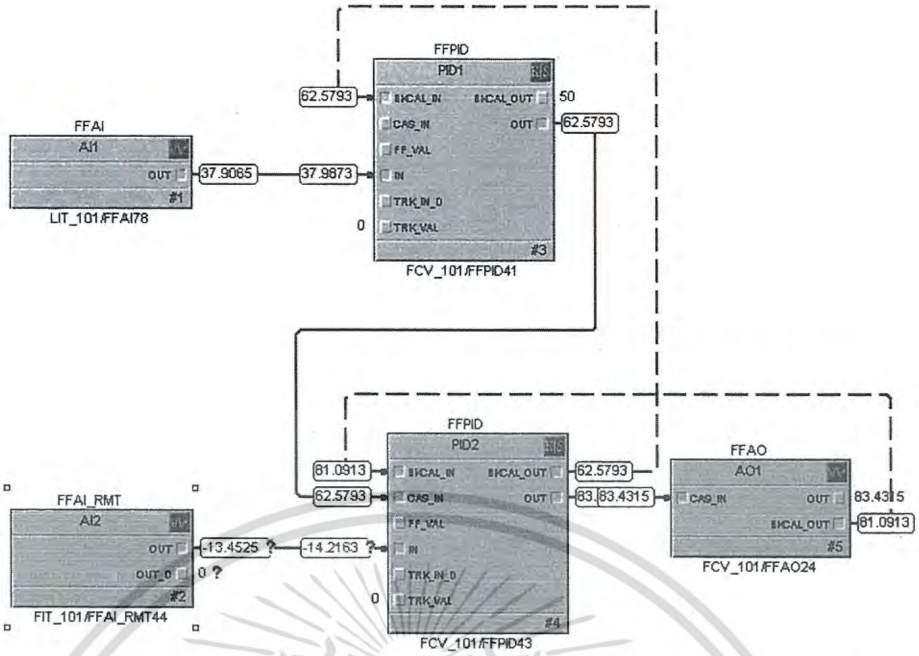


(ข) ภาพหน้าจอเมื่อโปรแกรม DeltaV Operate (RUN)

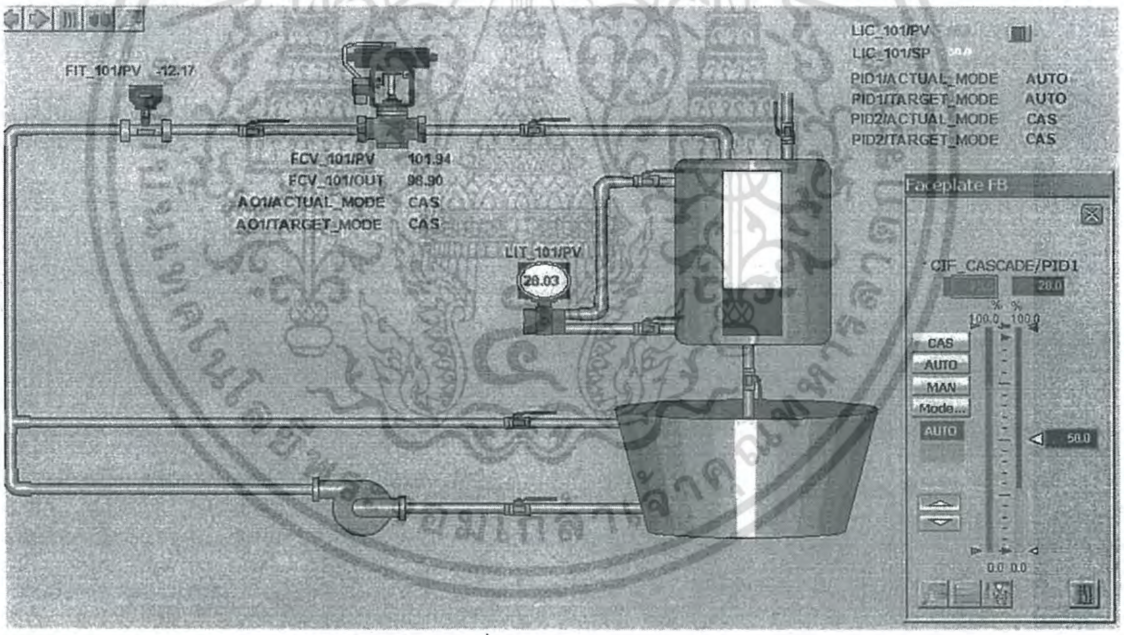
รูปที่ 4.11 ผลการทดลองเมื่อกำหนดค่าฟังก์ชันบล็อกเพื่อความพร้อมใช้ของระบบสำหรับการควบคุมแบบ Cascade กรณีสัญญาณการวัดระดับมีสถานะ Uncertain

รูปที่ 4.11 แสดงผลการทดลองเมื่อกำหนดค่าฟังก์ชันบล็อกเพื่อความพร้อมใช้ของระบบสำหรับการควบคุมแบบ Cascade กรณีสัญญาณการวัดระดับมีสถานะ Uncertain ปรากฏว่ามีการแจ้งเตือนความผิดพลาดขึ้นบนหน้าจอในส่วนของค่าตัวแปรกระบวนการ (PV) ของฟังก์ชันบล็อก AI1 แต่ฟังก์ชันบล็อก PID1 มองสถานะ Uncertain เป็น Good โหมดของฟังก์ชันบล็อก PID1 จึงไม่มีการเปลี่ยนแปลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) ภาพหน้าจอโปรแกรม DeltaV Control Studio ทำงานในโหมดออนไลน์

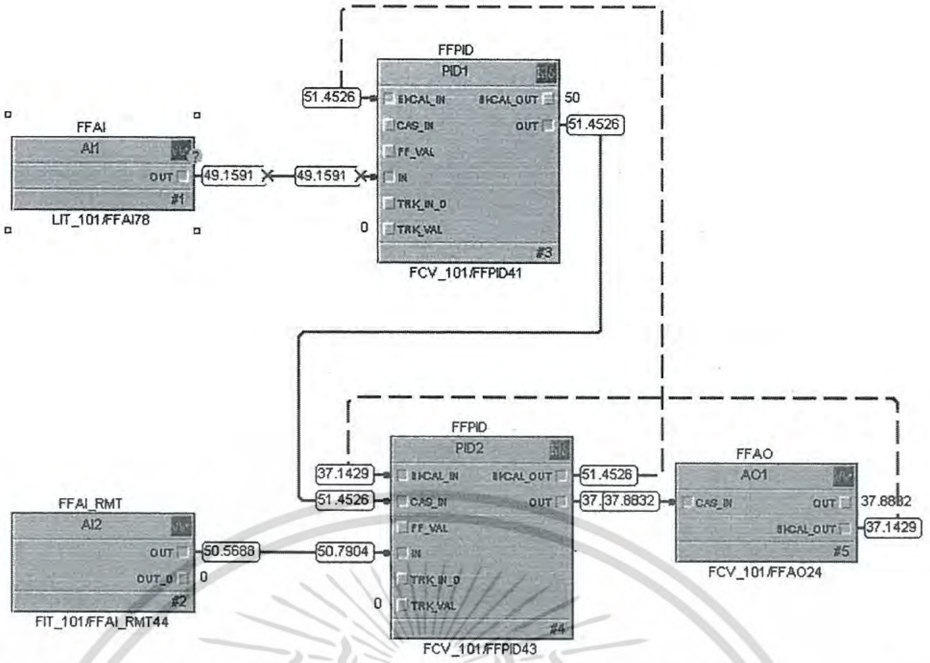


(ข) ภาพหน้าจอเมื่อโปรแกรม DeltaV Operate (RUN)

รูปที่ 4.12 ผลการทดลองเมื่อกำหนดค่าฟังก์ชันบล็อกเพื่อความพร้อมใช้ของระบบสำหรับการควบคุมแบบ Cascade กรณีสัญญาณการวัดอัตราการไหลมีสถานะ Uncertain

รูปที่ 4.12 แสดงผลการทดลองเมื่อกำหนดค่าฟังก์ชันบล็อกเพื่อความพร้อมใช้ของระบบสำหรับการควบคุมแบบ Cascade กรณีสัญญาณการวัดอัตราการไหลมีสถานะ Uncertain ปรากฏว่ามีการแจ้งเตือนความผิดพลาดขึ้นบนหน้าจอในส่วนของเอาต์พุตของฟังก์ชันบล็อก AI2 แต่ฟังก์ชันบล็อก PID2 มองสถานะ Uncertain เป็น Good โหมดของฟังก์ชันบล็อก PID2 จึงไม่มีการเปลี่ยนแปลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



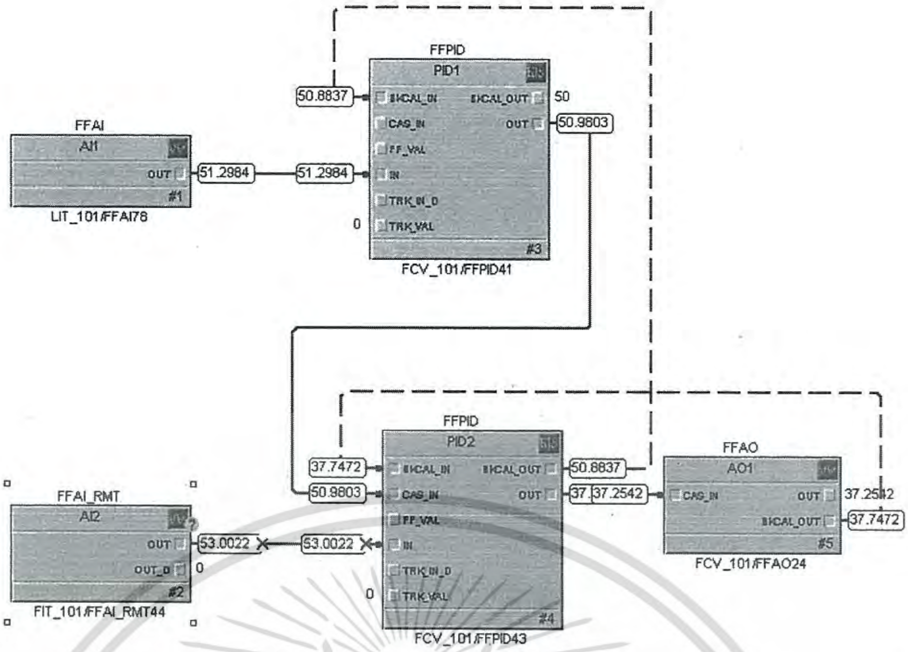
(ก) ภาพหน้าจอโปรแกรม DeltaV Control Studio ทำงานในโหมดออนไลน์

(ข) ภาพหน้าจอเมื่อโปรแกรม DeltaV Operate (RUN)

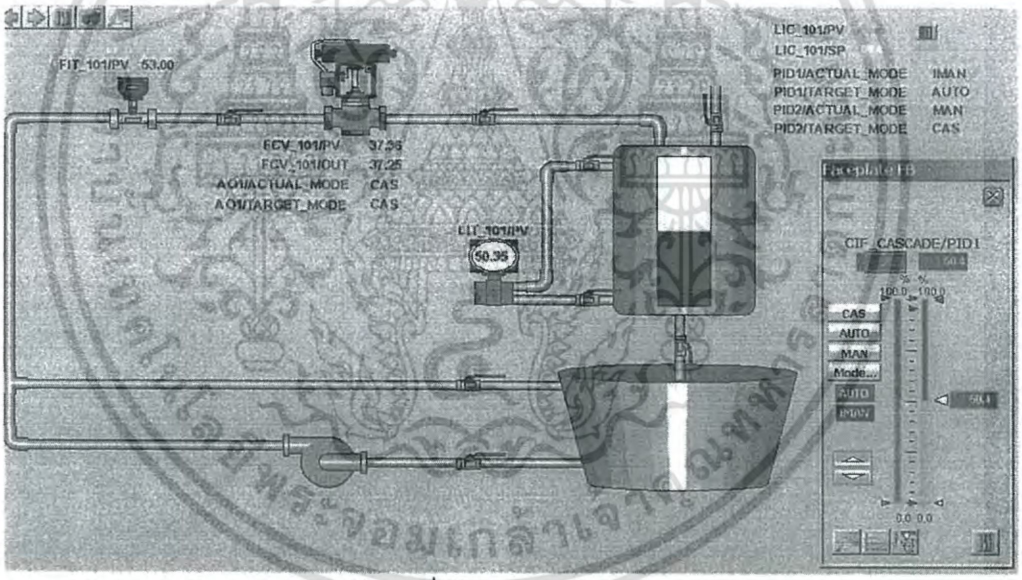
รูปที่ 4.13 ผลการทดลองเมื่อกำหนดค่าฟังก์ชันบล็อกเพื่อความพร้อมใช้ของระบบสำหรับการควบคุมแบบ Cascade กรณีสัญญาณการวัดระดับมีสถานะ Bad

รูปที่ 4.13 แสดงผลการทดลองเมื่อกำหนดค่าฟังก์ชันบล็อกเพื่อความพร้อมใช้ของระบบสำหรับการควบคุมแบบ Cascade กรณีสัญญาณการวัดระดับมีสถานะ Bad ปรากฏว่ามีการแจ้งเตือนความผิดพลาดขึ้นบนหน้าจอในส่วนของค่าตัวแปรกระบวนการ (PV) ของฟังก์ชันบล็อก AI1 Actual mode ของฟังก์ชันบล็อก PID1 เปลี่ยนจาก AUTO เป็น MAN เอาต์พุตคงค่าสุดท้ายเมื่อสัญญาณการวัดระดับกลับมามีสถานะ Good Actual mode ของฟังก์ชันบล็อก PID1 จะเปลี่ยนจาก MAN กลับมาเป็น AUTO

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) ภาพหน้าจอโปรแกรม DeltaV Control Studio ทำงานในโหมดออนไลน์

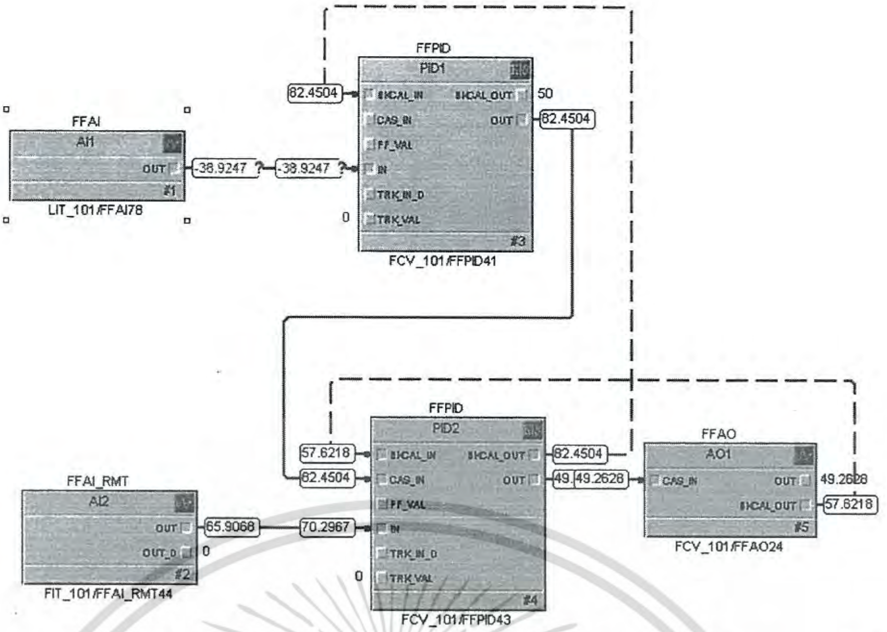


(ข) ภาพหน้าจอเมื่อโปรแกรม DeltaV Operate (RUN)

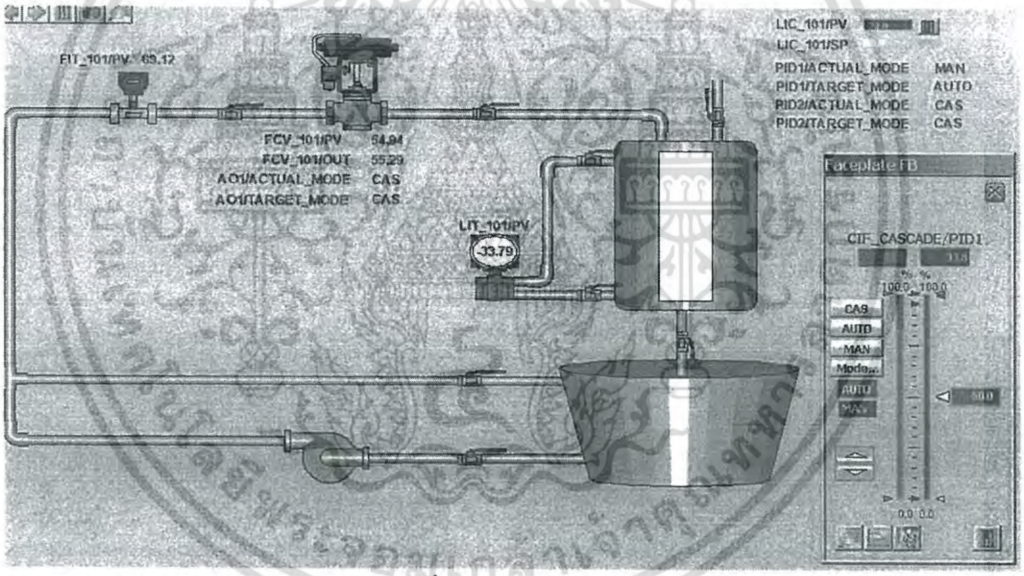
รูปที่ 4.14 ผลการทดลองเมื่อกำหนดค่าฟังก์ชันบล็อกเพื่อความพร้อมใช้ของระบบสำหรับการควบคุมแบบ Cascade กรณีสัญญาณการวัดอัตราการไหลมีสถานะ Bad

รูปที่ 4.14 แสดงผลการทดลองกรณีสัญญาณการวัดอัตราการไหลมีสถานะ Bad ปรากฏว่ามีการแจ้งเตือนความผิดพลาดขึ้นบนหน้าจอในส่วนของเอาต์พุตของฟังก์ชันบล็อก AI2 ส่งผลให้ Actual mode ของฟังก์ชันบล็อก PID1 เปลี่ยนจาก AUTO เป็น IMAN ฟังก์ชันบล็อก PID2 เปลี่ยนจาก CAS เป็น MAN เอาต์พุตคงค่าสุดท้ายเมื่อสัญญาณการวัดอัตราการไหลกลับมามีสถานะ Good Actual mode ของฟังก์ชันบล็อก PID1 เปลี่ยนจาก IMAN กลับมาเป็น AUTO ฟังก์ชันบล็อก PID2 เปลี่ยนจาก MAN กลับมาเป็น CAS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) ภาพหน้าจอโปรแกรม DeltaV Control Studio ทำงานในโหมดออนไลน์

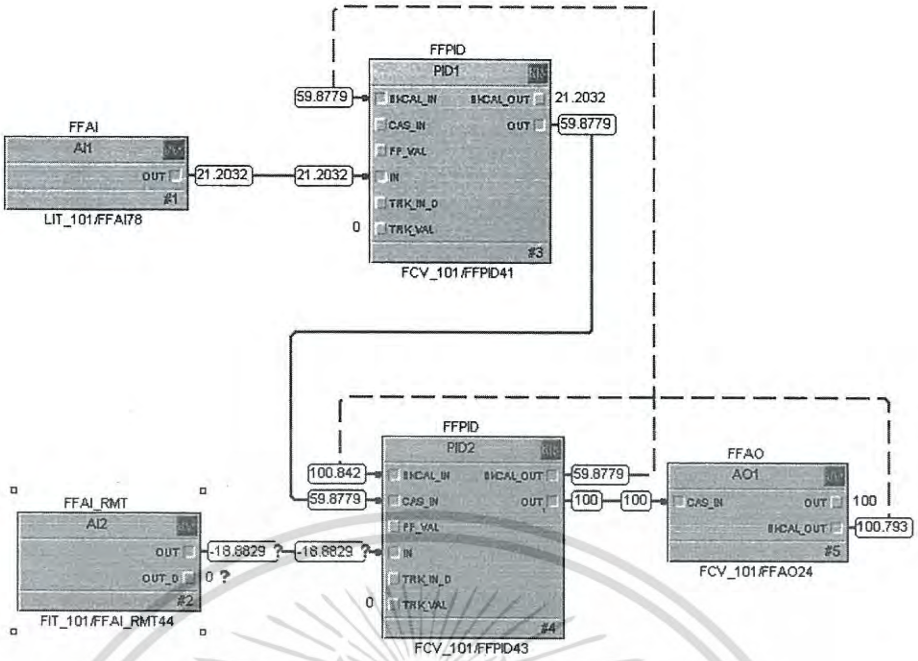


(ข) ภาพหน้าจอเมื่อโปรแกรม DeltaV Operate (RUN)

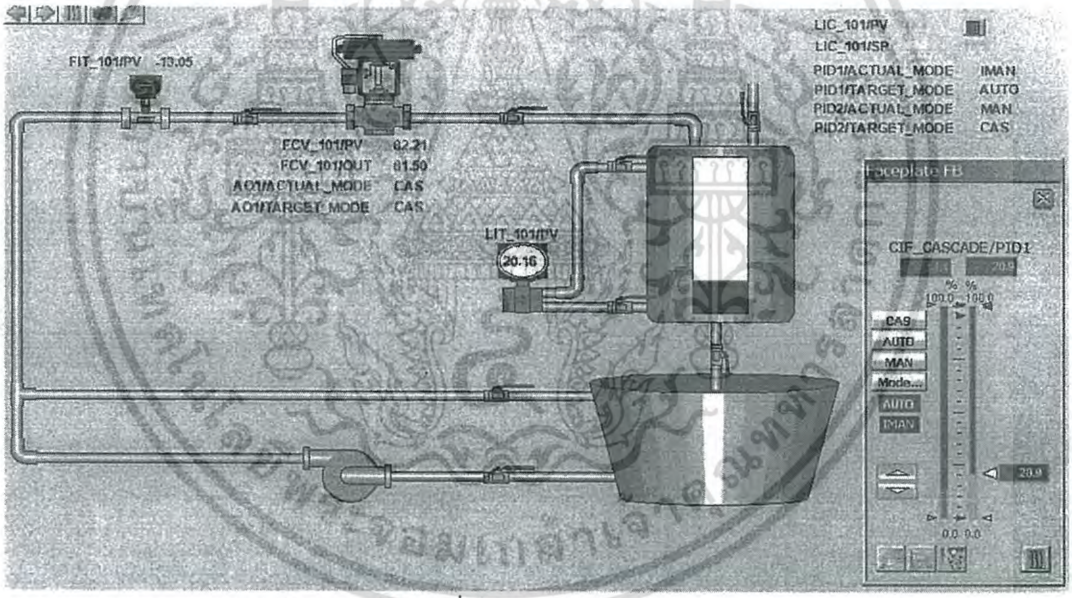
รูปที่ 4.15 ผลการทดลองเมื่อกำหนดค่าฟังก์ชันบล็อกเพื่อความปลอดภัยของระบบสำหรับการควบคุมแบบ Cascade กรณีสัญญาณการวัดระดับมีสถานะ Uncertain

รูปที่ 4.15 แสดงผลการทดลองเมื่อกำหนดค่าฟังก์ชันบล็อกเพื่อความปลอดภัยของระบบสำหรับการควบคุมแบบ Cascade กรณีสัญญาณการวัดระดับมีสถานะ Uncertain ปรากฏว่ามีการแจ้งเตือนความผิดพลาดขึ้นบนหน้าจอในส่วนของค่าตัวแปรกระบวนการ (PV) ของฟังก์ชันบล็อก AI1 Actual mode ของฟังก์ชันบล็อก PID1 เปลี่ยนจาก AUTO เป็น MAN เอาต์พุตคงค่าสุดท้ายเมื่อสัญญาณการวัดระดับกลับมามีสถานะ Good Actual mode ของฟังก์ชันบล็อก PID1 จะเปลี่ยนจาก MAN กลับมาเป็น AUTO

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) ภาพหน้าจอโปรแกรม DeltaV Control Studio ทำงานในโหมดออนไลน์

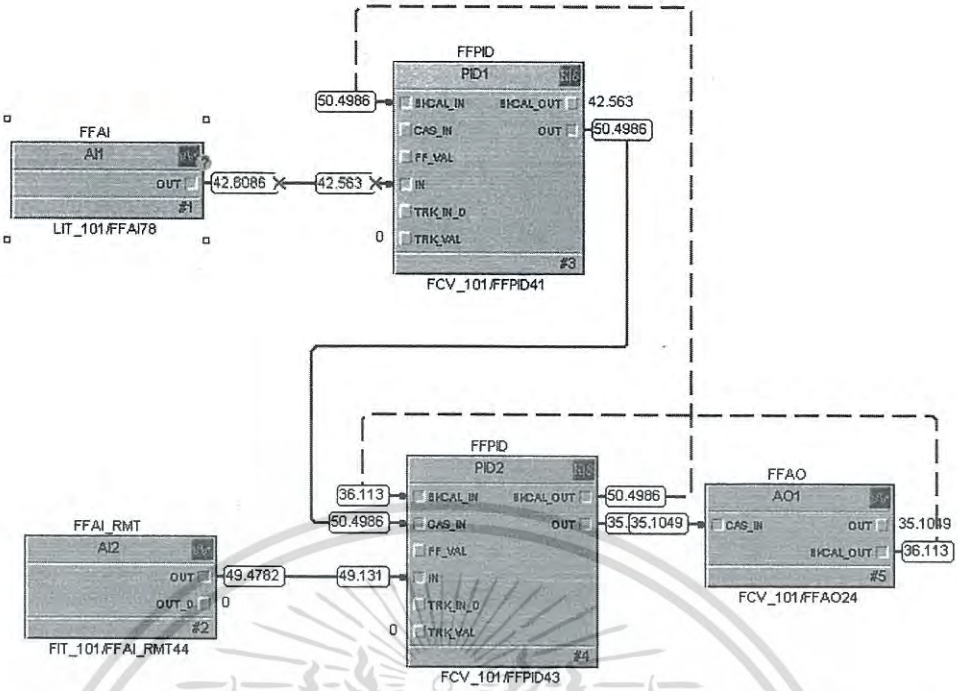


(ข) ภาพหน้าจอเมื่อโปรแกรม DeltaV Operate (RUN)

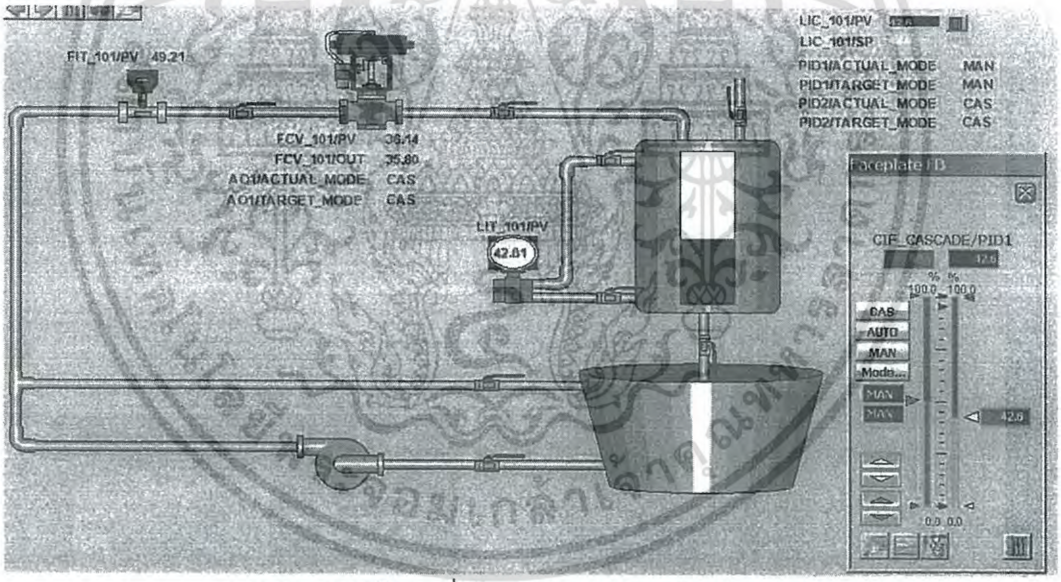
รูปที่ 4.16 ผลการทดลองเมื่อกำหนดค่าฟังก์ชันบล็อกเพื่อความปลอดภัยของระบบสำหรับการควบคุมแบบ Cascade กรณีสัญญาณการวัดอัตราการไหลมีสถานะ Uncertain

รูปที่ 4.16 แสดงผลการทดลอง กรณีสัญญาณการวัดอัตรการไหลมีสถานะ Uncertain ปรากฏว่ามีการแจ้งเตือนความผิดพลาดขึ้นบนหน้าจอในส่วนของเอาต์พุตของฟังก์ชันบล็อก AI2 Actual mode ของฟังก์ชันบล็อก PID1 เปลี่ยนจาก AUTO เป็น IMAN ฟังก์ชันบล็อก PID2 เปลี่ยนจาก CAS เป็น MAN เอาต์พุตคงค่าสุดท้ายเมื่อสัญญาณการวัดระดับกลับมามีสถานะ Good Actual mode ของฟังก์ชันบล็อก PID1 เปลี่ยนจาก IMAN กลับมาเป็น AUTO ฟังก์ชันบล็อก PID2 เปลี่ยนจาก MAN กลับมาเป็น CAS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) ภาพหน้าจอโปรแกรม DeltaV Control Studio ทำงานในโหมดออนไลน์

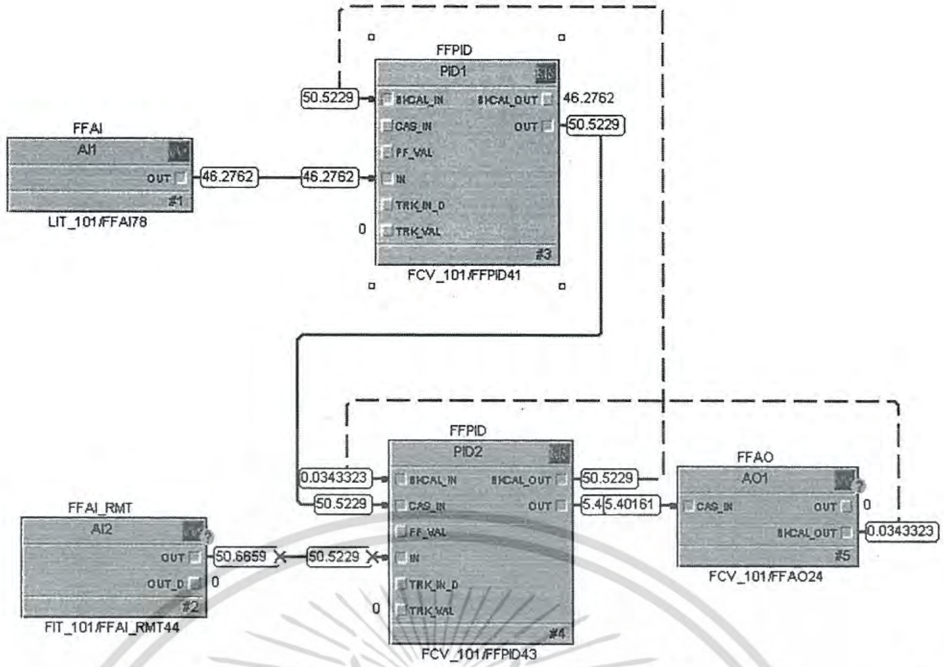


(ข) ภาพหน้าจอเมื่อโปรแกรม DeltaV Operate (RUN)

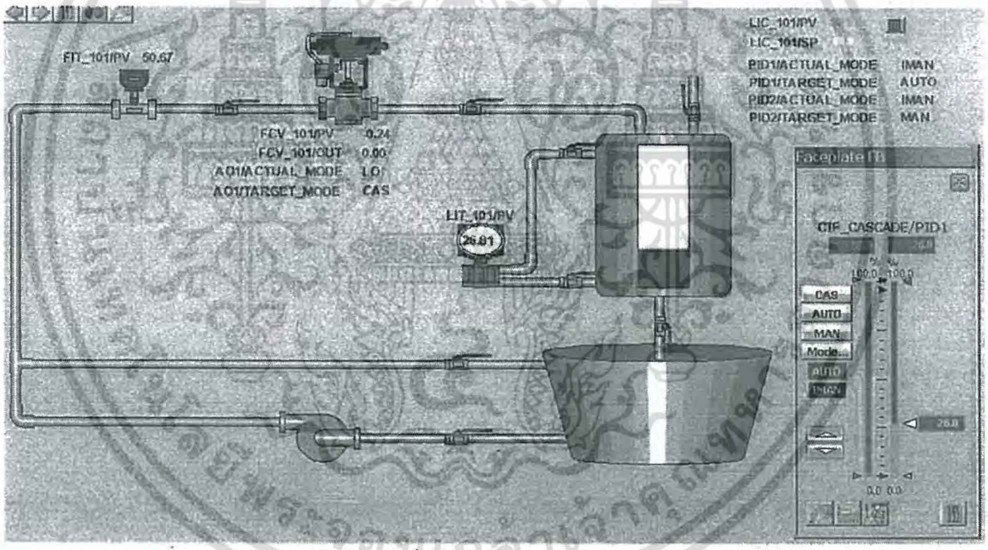
รูปที่ 4.17 ผลการทดลองเมื่อกำหนดค่าฟังก์ชันบล็อกเพื่อความปลอดภัยของระบบสำหรับการควบคุมแบบ Cascade กรณีสัญญาณการวัดระดับมีสถานะ Bad

รูปที่ 4.17 แสดงผลการทดลอง กรณีสัญญาณการวัดระดับมีสถานะ Bad ปรากฏว่ามีการแจ้งเตือนความผิดพลาดขึ้นบนหน้าจอในส่วนของค่าตัวแปรกระบวนการ (PV) ของฟังก์ชันบล็อก AI1 Target mode และ Actual mode ของฟังก์ชันบล็อก PID1 เปลี่ยนจาก CAS เป็น MAN เมื่อสัญญาณการวัดระดับกลับมามีสถานะ Good Target mode และ Actual mode ของฟังก์ชันบล็อก PID1 จะอยู่ในโหมด MAN ผู้ใช้งานต้องปรับเป็น Auto

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) ภาพหน้าจอโปรแกรม DeltaV Control Studio ทำงานในโหมดออนไลน์

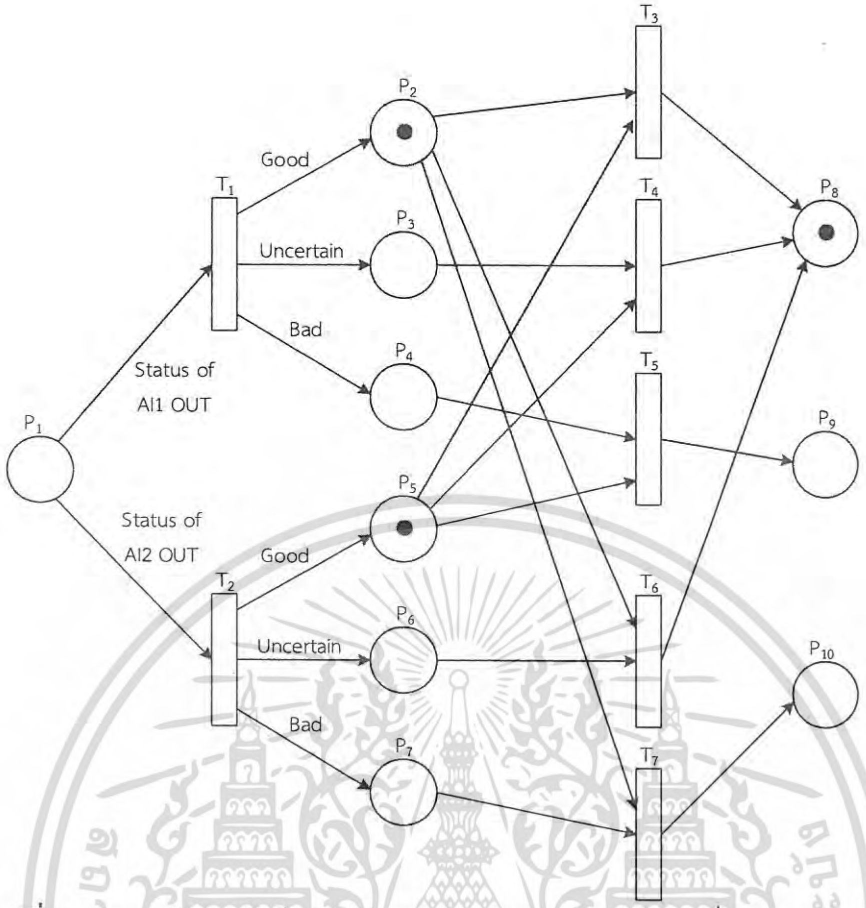


(ข) ภาพหน้าจอเมื่อโปรแกรม DeltaV Operate (RUN)

รูปที่ 4.18 ผลการทดลองเมื่อกำหนดค่าฟังก์ชันบล็อกเพื่อความปลอดภัยของระบบสำหรับการควบคุมแบบ Cascade กรณีสัญญาณการวัดอัตราการไหลมีสถานะ Bad

รูปที่ 4.18 แสดงผลการทดลองกรณีสัญญาณการวัดอัตราการไหลมีสถานะ Bad ปรากฏว่ามีการแจ้งเตือนความผิดพลาดขึ้นบนหน้าจอในส่วนของเอาต์พุตของฟังก์ชันบล็อก AI2 ส่งผลให้ Actual mode ของฟังก์ชันบล็อก PID1 เปลี่ยนจาก AUTO เป็น IMAN Target mode และ Actual mode ของฟังก์ชันบล็อก PID2 เปลี่ยนจาก CAS เป็น MAN ฟังก์ชันบล็อก AO1 เปลี่ยนจาก CAS เป็น LO เอาต์พุตเท่ากับเท่ากับที่ตั้งไว้ใน "Fault state to Value" ตัวอย่างเท่ากับ 0 เมื่อสัญญาณการวัดกลับมามีสถานะ Good Target mode และ Actual mode ของฟังก์ชันบล็อก PID2 จะอยู่ในโหมด MAN ผู้ใช้งานต้องปรับเป็น CAS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.19 แผนผังเพทริเน็ตสำหรับการควบคุมแบบ Cascade เพื่อความพร้อมใช้ของระบบ

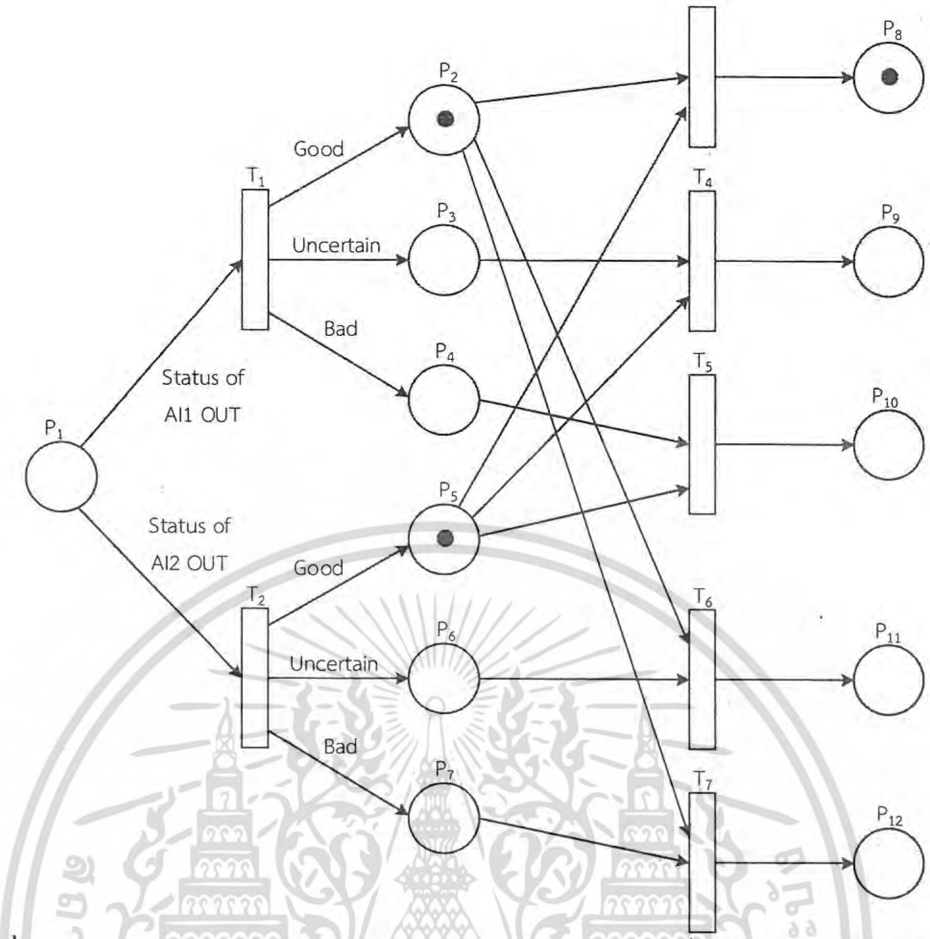
รูปที่ 4.19 แสดงแผนผังเพทริเน็ตสำหรับการควบคุมแบบ Cascade เพื่อความพร้อมใช้ของระบบ โดยที่ P1 คือการกำหนดค่าพารามิเตอร์สำหรับความพร้อมใช้ เหตุการณ์ที่สนใจ คือสถานะของบล็อก AI1 และบล็อก AI2 ซึ่งจะมี 3 สถานะ คือ Good Uncertain และ Bad โดยมี T1 และ T2 เป็นตัวตรวจสอบสถานะของบล็อก AI1 และบล็อก AI2 ตามลำดับ P2 คือเหตุการณ์ที่บล็อก AI1 มีสถานะ Good P3 คือเหตุการณ์ที่บล็อก AI1 มีสถานะ Uncertain P4 คือเหตุการณ์ที่บล็อก AI1 มีสถานะ Bad โดยเหตุการณ์ P2 P3 และ P4 จะเกิดขึ้นได้เหตุการณ์ใดเหตุการณ์หนึ่ง P5 คือเหตุการณ์ที่บล็อก AI2 มีสถานะ Good P6 คือเหตุการณ์ที่บล็อก AI2 มีสถานะ Uncertain P7 คือเหตุการณ์ที่บล็อก AI2 มีสถานะ Bad โดยเหตุการณ์ P5 P6 และ P7 จะเกิดขึ้นได้เหตุการณ์ใดเหตุการณ์หนึ่ง T3 ถึง T7 เป็นตัวตรวจสอบเงื่อนไขสถานะของ AI1 และ AI2 เมื่อเกิดเหตุเครื่องมือวัดล้มเหลว เช่น AI1 มีสถานะ Uncertain หรือ AI2 มีสถานะ Uncertain เครื่องมือวัดจะมองเป็นสถานะ Good ทำให้ลูปควบคุมยังคงทำงานปกติ ดูได้จากเหตุการณ์ P8 ในกรณีที่ AI1 มีสถานะ Bad เป็นผลให้บล็อก PID1 เปลี่ยนการทำงานจาก Auto เป็น Man แต่บล็อก PID2 ยังคงทำงานได้ปกติ เมื่อ AI1 ได้รับการแก้ไข บล็อก PID1 ก็จะกลับมาโหมด Auto ตามเดิม ในกรณีที่ AI2 มีสถานะ Bad เป็นผลให้บล็อก PID1 เปลี่ยนการทำงานจาก Auto เป็น IMan และบล็อก PID2 เปลี่ยนการทำงานจาก Auto เป็น Man เอาต์จะคงสุดท้ายไว้ ยังคงทำงานได้ปกติ เมื่อ AI2 ได้รับการแก้ไข บล็อก PID1 และ PID2 ก็จะกลับมาทำงานตามเดิม เหตุการณ์ที่เกิดขึ้นของการควบคุมแบบ Cascade เพื่อความพร้อมใช้ของระบบ สรุปได้ทั้งตารางที่ 4.24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.24 เพทริเน็ตสำหรับการควบคุมแบบ Cascade เพื่อความพร้อมใช้

Item	Description
P_1	Control loop is configured using function block options discussed in Sections 4.4.3
P_2	The OUT status of AI1 is 'Good'.
P_3	The OUT status of AI1 is 'Uncertain'.
P_4	The OUT status of AI1 is 'Bad'.
P_5	The OUT status of AI2 is 'Good'.
P_6	The OUT status of AI2 is 'Uncertain'.
P_7	The OUT status of AI2 is 'Bad'.
P_8	Target mode/Actual mode of PID1 is Auto/Auto. Target mode/Actual mode of PID2 is Cas/Cas. Target mode/Actual mode of AO1 is Cas/Cas.
P_9	Target mode/Actual mode of PID1 is Auto/Man. Target mode/Actual mode of PID2 is Cas/Cas. Target mode/Actual mode of AO1 is Cas/Cas. For fault recovery, the control loop can resume control immediately.
P_{10}	Target mode/Actual mode of PID1 is Auto/Man. Target mode/Actual mode of PID2 is Cas/Cas. Target mode/Actual mode of AO1 is Cas/Cas. For fault recovery, the control loop can resume control immediately.
T_1	If the OUT status of AI1 is 'Good' then P_2. If the OUT status of AI1 is 'Uncertain' then P_3. If the OUT status of AI1 is 'Bad' then P_4.
T_2	If the OUT status of AI2 is 'Good' then P_5. If the OUT status of AI2 is 'Uncertain' then P_6. If the OUT status of AI2 is 'Bad' then P_7.
T_3	If both P_2 and P_5 are true then P_8.
T_4	If both P_3 and P_5 are true then P_8.
T_5	If both P_4 and P_5 are true then P_9.
T_6	If both P_2 and P_6 are true then P_8.
T_7	If both P_2 and P_7 are true then P_{10}.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.20 แผนผังเพทริเน็ตสำหรับการควบคุมแบบ Cascade เพื่อความปลอดภัยของระบบ

รูปที่ 4.20 แสดงแผนผังเพทริเน็ตสำหรับการควบคุมแบบ Cascade เพื่อความลอดภัยของระบบ โดยที่ P1 คือการกำหนดค่าพารามิเตอร์สำหรับความปลอดภัย เหตุการณ์ที่สนใจ คือสถานะของบล็อก AI1 และบล็อก AI2 ซึ่งจะมี 3 สถานะ คือ Good Uncertain และ Bad โดยมี T1 และ T2 เป็นตัวตรวจสอบสถานะของบล็อก AI1 และบล็อก AI2 ตามลำดับ P2 คือเหตุการณ์ที่บล็อก AI1 มีสถานะ Good P3 คือเหตุการณ์ที่บล็อก AI1 มีสถานะ Uncertain P4 คือเหตุการณ์ที่บล็อก AI1 มีสถานะ Bad โดยเหตุการณ์ P2 P3 และ P4 จะเกิดขึ้นได้เหตุการณ์ใดเหตุการณ์หนึ่ง P5 คือเหตุการณ์ที่บล็อก AI2 มีสถานะ Good P6 คือเหตุการณ์ที่บล็อก AI2 มีสถานะ Uncertain P7 คือเหตุการณ์ที่บล็อก AI2 มีสถานะ Bad โดยเหตุการณ์ P5 P6 และ P7 จะเกิดขึ้นได้เหตุการณ์ใดเหตุการณ์หนึ่ง T3 ถึง T7 เป็นตัวตรวจสอบเงื่อนไขสถานะของ AI1 และ AI2 เมื่อเกิดความล้มเหลวของเครื่องมือวัด กรณี AI1 มีสถานะ Uncertain เป็นผลให้บล็อก PID1 เปลี่ยนการทำงานจาก Auto เป็น Man เอาต์พุตคงค่าสุดท้ายไว้ เมื่อ AI2 มีสถานะ Uncertain เป็นผลให้บล็อก PID1 เปลี่ยนการทำงานจาก Auto เป็น IMan และบล็อก PID2 เปลี่ยนการทำงานจาก Auto เป็น Man เอาต์จะคงค่าสุดท้ายไว้ กรณีที่ AI1 มีสถานะ Bad เป็นผลให้บล็อก PID1 เปลี่ยนโหมดการทำงานเป็น Man กรณีที่ AI2 มีสถานะ Bad เป็นผลให้บล็อก PID1 เปลี่ยนการทำงานเป็น IMan และบล็อก PID2 เปลี่ยนการทำงานเป็น IMan บล็อก AO1 จะเปลี่ยนมาเป็นโหมด LO เอาต์พุตมีค่าเท่ากับค่าที่กำหนดเริ่มต้น เหตุการณ์ที่เกิดขึ้นของการควบคุมแบบ Cascade เพื่อความปลอดภัยของระบบ สรุปได้ทั้งตารางที่ 4.25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.25 เพทริเน็ตสำหรับการควบคุมแบบ Cascade เพื่อความปลอดภัย

Item	Description
P_1	Control loop is configured using function block options discussed in Sections 4.4.3
P_2	The OUT status of AI1 is 'Good'.
P_3	The OUT status of AI1 is 'Uncertain'.
P_4	The OUT status of AI1 is 'Bad'.
P_5	The OUT status of AI2 is 'Good'.
P_6	The OUT status of AI2 is 'Uncertain'.
P_7	The OUT status of AI2 is 'Bad'.
P_8	Target mode/Actual mode of PID1 is Auto/Auto. Target mode/Actual mode of PID2 is Cas/Cas. Target mode/Actual mode of AO1 is Cas/Cas.
P_9	Target mode/Actual mode of PID1 is Auto/Man. Target mode/Actual mode of PID2 is Cas/Cas. Target mode/Actual mode of AO1 is Cas/Cas. For fault recovery, the control loop can resume control immediately.
P_{10}	Target mode/Actual mode of PID1 is Man/Man. Target mode/Actual mode of PID2 is Cas/Cas. Target mode/Actual mode of AO1 is Cas/Cas. For fault recovery, the process remains 'failed' state until the operator unlocks.
P_{11}	Target mode/Actual mode of PID1 is Auto/IMan. Target mode/Actual mode of PID2 is Cas/Man. Target mode/Actual mode of AO1 is Cas/Cas. For fault recovery, the control loop can resume control immediately.
P_{12}	Target mode/Actual mode of PID1 is Auto/IMan. Target mode/Actual mode of PID2 is Man/IMan. Target mode/Actual mode of AO1 is Cas/LO. Fail-safe action is active to predefined safe value. For fault recovery, the process remains 'failed' state until the operator unlocks.
T_1	If the OUT status of AI1 is 'Good' then P_2. If the OUT status of AI1 is 'Uncertain' then P_3. If the OUT status of AI1 is 'Bad' then P_4.
T_2	If the OUT status of AI2 is 'Good' then P_5. If the OUT status of AI2 is 'Uncertain' then P_6. If the OUT status of AI2 is 'Bad' then P_7.
T_3	If both P_2 and P_5 are true then P_8.
T_4	If both P_3 and P_5 are true then P_9.
T_5	If both P_4 and P_5 are true then P_{10}.
T_6	If both P_2 and P_6 are true then P_{11}.
T_7	If both P_2 and P_7 are true then P_{12}.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.26 การกำหนดค่าพารามิเตอร์ของฟังก์ชันบล็อกเพื่อเพิ่มความปลอดภัยและความพร้อมใช้ของลูปควบคุมแบบ PID และ Cascade

	Block	Parameter	Option	Safety	Availability
PID Control	AI1	STATUS_OPTS	Uncertain if Limited	√	
			Bad if Limited	√	
			Uncertain if Man mode	√	
	PID1	STATUS_OPTS	IFS if BAD IN	√	
			Target to Manual if BAD IN	√	
			Use Uncertain as Good		√
	AO1	IO_OPTS	Fault State to value	√	
			Use Fault State value on restart	√	
Cascade Control	AI1, AI2	STATUS_OPTS	Uncertain if Limited	√	
			Bad if Limited	√	
			Uncertain if Man mode	√	
	PID1	STATUS_OPTS	Target to Manual if BAD IN	√	
			Use Uncertain as Good		√
	PID2	STATUS_OPTS	IFS if BAD IN	√	
			IFS if BAD CAS_IN	√	
			Target to Manual if BAD IN	√	
			Use Uncertain as Good		√
		CONTROL_OPTS	Bypass Enable		√
	AO1	IO_OPTS	Fault State to value	√	
			Use Fault State value on restart	√	

จากผลการทดลองการกำหนดค่าพารามิเตอร์ของฟังก์ชันบล็อกสำหรับลูปควบคุมแบบ PID และ Cascade ที่ใช้เป็นกรณีศึกษาเพื่อปรับปรุงความปลอดภัยและความพร้อมใช้ของระบบด้วยเทคโนโลยีฟาวน์เดชันฟิลด์บัส สรุปได้ดังตารางที่ 4.26 ซึ่งการปรับปรุงความปลอดภัยและความพร้อมใช้ด้วยเทคโนโลยีฟาวน์เดชันฟิลด์บัสสำหรับลูปควบคุมทำได้อย่างง่ายดายด้วยการกำหนดค่าพารามิเตอร์ในฟังก์ชันบล็อกตามที่ได้นำเสนอในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

ความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับการปรับตารางการสื่อสารให้เหมาะสมสำหรับฟาวน์เดชันฟิลด์บัส รวมถึงการสมดุลระหว่างความปลอดภัยและความพร้อมใช้ของระบบสำหรับอุปกรณ์เครื่องมือวัดเป็นสิ่งสำคัญสำหรับการออกแบบและใช้งานควบคุมกระบวนการ บนพื้นฐานของฟาวน์เดชันฟิลด์บัสด้วยแนวคิดการควบคุมระดับฟิลด์ วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มุ่งเน้นไปที่การวิเคราะห์สมรรถนะในการควบคุมระดับฟิลด์โดยใช้ฟาวน์เดชันฟิลด์บัส ในแง่ของผลกระทบของการกำหนดบล็อกควบคุมที่แตกต่างกันเพื่อกำหนดช่วงเวลาการสื่อสารที่เหมาะสม ผลกระทบของการกำหนดค่าฟังก์ชันบล็อคที่แตกต่างกันเพื่อความปลอดภัย และความพร้อมใช้สำหรับลูปควบคุมแบบ PID และ Cascade โดยใช้พลานต์โมเดลการควบคุมระดับน้ำ จำนวน 2 พลานต์ในการสร้างแบบควบคุม และใช้โฮสต์ระบบ DCS จำนวน 2 ระบบ (DeltaV และ Harmonas-DEO) ในการกำหนดค่าต่าง ๆ งานวิจัยชิ้นนี้ประกอบด้วย

กรณีแรกการวิเคราะห์คือเน็ตเวิร์คโหลดของมาโครไซเคิลสำหรับการวางตำแหน่งบล็อกควบคุมที่แตกต่างกันในลูปควบคุมที่สนใจ จากวิจัยพบว่าลำดับของฟังก์ชันบล็อกมีผลกับเน็ตเวิร์คโหลด และจำนวนลูปควบคุมที่เพิ่มขึ้นทำให้เน็ตเวิร์คโหลดเพิ่มตามด้วย วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้นำเสนอเทคนิคในการปรับตารางการสื่อสารให้เหมาะสมสำหรับการควบคุมแบบ PID และ Cascade ทั้งแบบ 1 ลูป และ 2 ลูป เพื่อลดลูปลาเท็นซีให้น้อยที่สุด และใช้ประโยชน์จากเน็ตเวิร์คแบนด์วิธมากที่สุด วิธีการที่นำเสนอ คือการขนานฟังก์ชันบล็อก และจัดกลุ่มการสื่อสารช่วง Scheduled Communication เข้าด้วยกัน การประเมินผลเทคนิคที่นำเสนอประเมินได้จาก Control Loop Latency Improvement Publication Gap Availability Improvement และ Macrocycle Utilization Improvement

กรณีที่สองการวิเคราะห์พฤติกรรมของลูปควบคุมแบบ PID และ Cascade สำหรับกำหนดค่าพารามิเตอร์เพื่อความปลอดภัย และความพร้อมใช้ของระบบในการตอบสนองกรณีเครื่องมือวัดและเครือข่ายการสื่อสารล้มเหลว วัตถุประสงค์ของการกำหนดค่าเพื่อความปลอดภัย คือลูปควบคุมได้รับการกำหนดค่าเพื่อนำกระบวนการนี้ไปสู่สถานะที่ปลอดภัยในกรณีที่เกิดความล้มเหลว วัตถุประสงค์ของการกำหนดค่าเพื่อความพร้อมใช้ คือลูปควบคุมได้รับการกำหนดค่าเพื่อให้กระบวนการทำงานได้ หรือกลับมาได้อย่างรวดเร็วในกรณีที่เกิดความล้มเหลว พฤติกรรมของลูปควบคุมแบบ PID และ Cascade ที่ศึกษาอธิบายโดยใช้เพทริเน็ตโมเดล

5.2 ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยต่อ

การควบคุมกระบวนการโดยใช้เทคโนโลยีฟาวน์เดชันฟิลด์บัสสามารถเลือกฟังก์ชันการควบคุมได้ทั้งในระดับโฮสต์ และในระดับฟิลด์ ซึ่งวิทยานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอการวิเคราะห์สมรรถนะของการควบคุมแค่ในระดับฟิลด์ สำหรับงานวิจัยที่ศึกษาต่อจากนี้ คือการวิเคราะห์สมรรถนะของการควบคุมในระดับโฮสต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

[1] Fieldbus Foundation. **Foundation Fieldbus Technical Overview.** USA. 2003.

[2] J. Berge. **Fieldbuses for Process Control: Engineering, Operation and Maintenance.** USA. : ISA. 2004.

[3] Fieldbus Foundation. **AG-181: Foundation Fieldbus System Engineering Guidelines**. Rev. 3.2.1. USA. 2012.

[4] I. Verhappen and A. Perreira. **Foundation Fieldbus Technical Overview.** .USA. 2003.

[5] A. Julsereewong, P. Julsereewong and T. Dejsiriphant. "Study on field control locations for Foundation Fieldbus-based cascade control loop" **SICE Annual Conference.** 2012. pp.1706-1711.

[6] A. Julsereewong, P. Julsereewong and P. Harntujit. "Foundation Fieldbus Segment Scheduling for Fast Loop Controls" **ICIC Express Letters.** vol. 7 no. 4. 2013. pp. 1201-1207.

[7] W. M. Goble. **Control Systems Safety Evaluation and Reliability.** USA : ISA Press. 2010.

[8] IEC (International Electrotechnical Commission). **"IEC61511-1: Functional Safety – Safety Instrumented Systems for the Process Industry Sector – Part 1: Framework, Definition, System, Hardware and Software Requirements"** 2003. pp.32-37.

[9] T. Vollmer, K. Borcherding, G. Hellriegel, and R.-D. Penzhorn. "Process Control under Safety Aspects" **Fusion Engineering and Design.** Vol.48. No.1-2. 2000. pp.57-61.

[10] W. M. Goble and H. Cheddie. **Safety Instrumented System Verification Practical Probabilistic Calculations.** USA : ISA Press. 2005.

[11] A. Schimanski. "Application Experiences with Fieldbus Instruments" **ISA Transactions.** Vol.35. No.2.1996. pp.137-145.

[12] S. Cavalieri, O. Mirabella, and S. Monforte. "Enhancing Reliability in IEC/ISA Fieldbus" **Computer Standards & Interfaces.** Vol.21. No.3. 1999. pp.217-240.

[13] R. Dettmer. "Self Validation in Process Control" **IEE Review.** Vo.46. No.4. 2000. pp.29-32.

[14] B. G. Liptak. **Instrument Engineers' Handbook: Process Control and Optimization.** USA. : CRC Press in Cooperation with ISA Press. 2006.

[15] C. Diedrich, F. Russo, L. Winkel, and T. Blevins. "Function Block Applications in Control Systems Based on IEC61804" **ISA Transactions.** Vol.43. No.1. 2004. pp.123-131.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[16] W. R. Hodson. "Optimizing Fieldbus link schedules makes a difference!" **ISA EXPO.** 2005.

[17] W. R. Hodson. "Method for Optimizing a Link Schedule" **United State. Patent Application.** 2008.

[18] J. Song, A. Mok, D. Chen and M. Nixon. "Optimizing Distributed Foundation Fieldbus Process Control with MSP.RTL Tool" **5th IEEE International Conference on Industrial Informatics.** 2007. pp.867-872.

[19] Fieldbus Foundation. **FF-890-1.10: Foundation Specification-Function Block Application Process, Part 1.** USA. 2012.

[20] Fieldbus Foundation. **FF-891-1.10: Foundation Specification-Function Block Application Process, Part 2.** USA. 2012.

[21] J. Chen, Z. Wang, and Y. X. Sun. "How to Improve Control System Performance Using FF Function Blocks" **In: Proc. of the IEEE International Conference on Control Applications.** Scotland U.K. 2002. pp.1022-1026.

[22] P. Yimvuthipong, A. Rerkratn, T. Trisuwan-nawat, P. Julsereewong, and A. Julsereewong. "How to Fully Benefit from Function Blocks of Foundation Fieldbus for Digital Cascade Control with High System Safety" **In: Proc. of The International Conference on Industrial Application Engineering.** Kitakyushu. Japan. 2015. pp.124-131.

[23] H. L. Wade. **Basic and Advanced Regulatory Control: System Design and Application.** USA. : ISA Press. 2004.

[24] T. Murata. "Petri Nets: Properties, Analysis and Applications" **IEEE.** Vol. 77. No. 4. 1989. pp.541-580.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก
บทความวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์

บทความวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวิทยานิพนธ์และได้รับการตีพิมพ์ในวารสารวิชาการระดับนานาชาติ มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

Full Paper

[1] Thaksin Sangsuwan, Teerawat Thepmanee, and Amphawan Julsereewong. "Safety and Availability of Basic Process Control Using Foundation Fieldbus with Control in the Field – An Experimental Analysis" **International Journal of Intelligent Engineering & Systems**, Vol. 10, No. 4, Aug 2017. pp. 135-146.

Short Paper

[1] Thaksin Sangsuwan, Sawai Pongswatd, and Amphawan Julsereewong. "Communication Schedule Optimization for FONUDATION Fieldbus H1 Segment with Dual Cascade Control Loops" **ICIC Express Letters Part B: Application**, Vol. 7, No. 11, November 2016. pp. 2339-2346

[2] Thaksin Sangsuwan, Sawai Pongswatd, Amphawan Julsereewong, Yoshitsugu Morioka and Yoshiharu Amano, "Communication Schedule Optimization of Cascade Control Using FONUDATION Fieldbus " **ICIC Express Letters**, Vol. 10, No. 1, January 2016. pp. 197-204

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

International Journal of Intelligent Engineering and Systems

Bi-monthly eJournal's ISSN: 2185-3118

Volume 10 Issue 4 AUG 2017

(31 AUGUST, 2017)

Contents & Papers

Performance of MIMO MC-CDMA for STBC Communication System Using OKHA Based Optimal Channel Estimation
Sreesudha Pamapalli, Baroori Lakshmi Malleswari
——— 1

A Modified Droop Controller for Parallel Operation of Single-Phase Inverters in Islanded Microgrid
Usman Bashir Tayab, Muhammad Kashif
——— 11

Hybrid Firefly-Bat Optimized Fuzzy Artificial Neural Network Based Classifier for Diabetes Diagnosis
Gadekallu Thippa Reddy, Neelu Khare
——— 18

Adaptive Field-Oriented Control Using Supervisory Type-2 Fuzzy Control for Dual Star Induction Machine
Hilal Rahali, Samir Zeghlache, [illegible] Benalia
——— 28

Adaptive [illegible] Inductance Model
Hady E[illegible]
——— 41

Image Restoration [illegible] Images [illegible] and Adaptive Particle Swarm [illegible]
Narendra Kumar, [illegible]
——— 50

A Cost-[illegible] Approach [illegible] Search Algorithm
Shounak [illegible]
——— 60

Gait Identification [illegible] with Linear [illegible] Factor, Single Magnitude and One-vs-One Classifier Mapping
Abdul Rafiez Abdul Raziff, [illegible] Nasir Sulaiman, [illegible] Mustapha, [illegible] Perumal
——— 70

An Anomaly-Based Intrusion Detection System with Multi-Dimensional Trust Parameters for Mobile Ad Hoc Networks
Sharmasth Vali Yeruva, Tirumala Ramanujam Rangaswamy
——— 81

Recommendation of Diet to Jaundice Patient on the Basis of Nutrients Using AHP and Fuzzy AHP Technique
Shubhanshi Saini, Sanjay Kumar Dubey
——— 91

Recommendation of Diet to Anaemia Patient on the Basis of Nutrients Using AHP and Fuzzy TOPSIS Approach
Mahendra Pratap Singh, Sanjay Kumar Dubey
——— 100

An Effective Temperature Monitoring Scheme Using ANN-Based Fiber Bragg Grating Sensor
Nahvin Kannampilavil Mathew, Rahul George Joan Vatooran, Naveen Kumar Veggas
——— 109

A Novel Scheme for Orthogonal Frequency Division Multiplexing Radio over Fiber Based on Modulator and Dithering Technique: Impact of Self Phase Modulation and Group Velocity Dispersion
Fakhriy Hario, I Wayan Mustika, Adhi Susanto, Sholeh Hadi, Sevia M Idrus
——— 117

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Applying Reversible Data Hiding for Medical Images in Hybrid Domain Using Haar and Modified Histogram
Vanmathi Chandrasekaran, Prabu Sevugan
---126

Safety and Availability of Basic Process Control Using Foundation Fieldbus with Control in the Field – An Experimental Analysis
Thaksin Sangsuwan, Teerawat Thepmanee, Amphawan Julsereewong
---135

Suspicious Score Based Mechanism to Protect Web Servers against Application Layer Distributed Denial of Service Attacks
Renuka Devi Saravanan, Shyamala Loganathan, Saraswathi Shunmuganathan, Yogesh Palanichamy
---147

ECTTM - Energy Conserving Trustworthy Topology Management Mechanism for Wireless Sensor Networks
Theagarajan Senthil, Balasubramanian Kannapiran
---157

Experimental Investigation and Multi Response Optimization of WEDM Process of AA7075 Metal Matrix Composites Using Particle Swarm Optimization
Ramanan Gopalakrishnan, Edwin Raja Dhas John
---166

Energy Aware Resource [illegible] and Job Scheduling [illegible] Datacenter
Shyamala Loganathan, [illegible]
---175

An Efficient Ultrasonic Method to [illegible] Enzymatic [illegible] Milk
Firdaous Bakkali, [illegible]
---185

Improving Semantic Textual Similarity [illegible] Alignment
Vangapelli Sowmya, [illegible]
---195

Machine Learning [illegible]
Sushil Kumar [illegible]
---205

Contrast Enhancement [illegible] Using Fusion
Samarth Borkar, [illegible]
---217

Numerical [illegible] Discovery and Selection System
Samer Hasan [illegible]
---226

Path Load Balancing [illegible] Gateway Discovery [illegible] Internet Integration Using PSO
Jay Prakash [illegible]
---235

An Approach to Evaluate the [illegible] of System [illegible] Computing Using Fault Tree Technique
Deepa Mani, Anand [illegible]
---245

Performance Analysis of Cloud Computing in Healthcare System Using Tandem Queues
Santhi Kannan, Saravanan [illegible]
---256

Dynamic Power Efficient Resource Allocation for 802.16 WiMAX Networks
Gopalan Meyyappan, [illegible] Chikkannan
---265

Extending the Neural Model to Study the Impact of Effective Area of Optical Fiber on Laser Intensity
Kavita Bhatnagar, Subhash Chander Gupta
---274

Detecting Diabetic Retinopathy from Retinal Images Using CUDA Deep Neural Network
Ricky parmar, Ramanathan Lakshmanan
---284

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Received: December 1, 2016

International Journal of
Intelligent Engineering & Systems

http://www.inass.org/

Safety and Availability of Basic Process Control Using Foundation Fieldbus with Control in the Field – An Experimental Analysis

Thaksin Sangsuwan [1], Teerawat Thepmanee [1], Amphawan Julsereewong [1*]

[1] *Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok, 10520, Thailand*
* Corresponding author's Email: amphawan.ju@kmitl.ac.th

Abstract: Detailed knowledge of how to balance between safety and availability for instruments is essential to successful design and implementation in fieldbus-based process control systems. The configuration correctness is crucial to actually obtain the benefits of digital fieldbus technology used. In actuality, a number of device parameters must be set to provide the required functionalities. This paper focuses on improving safety and availability for the proportional-integral-derivative (PID) and cascade control strategies using Foundation Fieldbus (FF) with control in the field. The aim of this paper is to analyze the logical behaviors of PID and cascade loops in two conflicting purposes for studying how different configuration options affect the interlocks between function blocks located in instruments as well as the initialization and fail-safe mechanisms in response to invalid measurements. For safety purpose, the interested control loops are configured to bring the process to a safe state in the presence of a fault. For availability purpose, the interested control loops are configured to keep the process running in the event of a failure. A water tank process is utilized as a case study for control loop implementations. Interactions between the status propagation and mode shedding for demonstrating the studied control loop behaviors are examined experimentally in Petri net models. In addition, the function block options for bumpless transfer and setpoint tracking are also described. The proved configuration method for proper operations in balancing the interests of safety and availability is proposed.

Keywords: Foundation fieldbus, Safety, Availability, Process control, Function block, Control in the field.

1. Introduction

If a device, a module, a unit, or a system fails to execute its intended function, then a failure will occur [1]. As the analysis phase of the IEC 61511 safety life-cycle, end users in process industries such as refineries and chemical plants are required to perform hazard and risk analysis as well as consider the potential demands on the independent protection layers [2]. For hazardous process units, the safety protection is implemented by using an approved safety instrumented system (SIS) in addition to a basic process control system (BPCS) used for the control loops associated with the danger to reduce the risk of harming people, property, environment, and so on [3]. The BPCS is responsible to operate functions required for production within its normal operating range. If the BPCS fails to maintain control strategies, alarms will indicate a problem that the operator intervention is needed to reestablish control within specified limits. If the operator cannot make the specified corrections, the SIS must take actions to bring the process to safe conditions and mitigate the hazards. In order to avoid common cause faults and reduce systematic error, the BPCS and the SIS must be completely independent [4]. These two systems are designed and implemented to meet different risk reduction requirements, so there is a large gap between the high-level safety provided by the BPCS and that provided by the SIS. As the advances in technology continued, however, end users can employ digital fieldbus technologies to fill this void by improving the response of the BPCS to failures [5-8]. There are various failure modes applicable to the BPCS such as process variable indication erratic, control output frozen, and control output indication saturated low [4]. Because the process control loop

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Received: December 1, 2016

operates with signals that are relative dynamic, these failures can then be detectable by diagnostic and measurement validation methods. However, level of self-diagnostics and method of self-validation for field devices vary greatly by manufacturer. The capabilities of digital field instruments used within the process industry sector such as PROFIBUS PA and Foundation Fieldbus (FF) are based on function blocks for performing the monitoring and control applications [9]. The function blocks are logical grouping of variables, parameters, and their execution algorithms that are defined to meet specific functionality requirements. The major difference between PROFIBUS PA and FF is that no control function blocks are available in PROFIBUS PA field devices. Only the FF specification has the ability to perform control functionality distributed into the field instruments, which is called 'Control in the Field' (CIF). Because of its decentralized feature, the CIF provides various performance benefits such as improved control loop performances, increased reliability and availability, and reduced loading on the network and host system [10]. The CIF shall be utilized for building the basic proportional-integral-derivative (PID) and cascade control loops when installing all field devices associated the loop within the same segment [11].

Based on the ability to report the diagnostic and measurement validity data, the FF-based BPCS can perform its function that is targeted toward either high level of process safety or high degree of production availability in the event of instrument failures. The safety and availability are generally two conflicting purposes for the BPCS [12]. In order to enhance process safety, the affected control loops must be shut down in the presence of a fault for preventing hazards or equipment damages. On the other hand, the affected control loops must be able to execute even in case of failure for reducing losses of raw materials and finished products to increase production availability.

When embarking on a greenfield or brownfield project, the project stakeholders must understand the benefits of the fieldbus technology used and how it can be employed to transform the plant operations. Although standardized technology, FF is based on relatively complex concepts such as instrumentation, data communications, computerized automation controllers, and engineering software, thus it has a slow learning curve [13]. In shortening the time for the implementation phase of project work, a useful suggestion on using FF function blocks to enable failure-safe mechanism for safe loop action of the PID control is reported [14]. Nevertheless, there are no experimental results that confirm this proposed suggestion. A practical guideline for configuring FF function blocks to create the cascade control with high system safety is also introduced in an author's previous work [15], which proves that different configurations of three groups of function block options (including status options, control options, and input/output options) affect the cascade control loop actions in the event of device failure. However, the mode shedding and return upon fault recovery of the function blocks are not examined.

In this paper, the logical behaviors of PID and cascade control loops using FF with CIF are intensively investigated in detail in terms of safety and availability improvements during control strategy and device configuration in order to realize the configuration method for proper operations to provide the required safety and availability attributes. A case study for building the interested control strategies with different function block options is the level control of water tank process, which consists of three FF H1 field instruments. More specifically, not only the interactions between status propagation and operating mode shedding, but also the fault recovery of interested control loops in response to transmitter failures are represented using Petri net models.

This paper is organized into six sections. After this introduction, Section 2 briefly describes how to create the basic control loops using FF with CIF. Section 3 and Section 4 provide the details of water tank process used as a case study and the experimental analysis in case study, respectively. Section 5 gives the results and discussion. Finally, Section 6 summarizes the content and purpose of this article.

2. Basic process control using FF with CIF

2.1 FF function blocks

Function blocks within FF field devices perform various functions required in a process monitoring and control system such as analog input (AI) and analog output (AO) functions as well as PID function. The FF-based control strategies then can be created by selecting, linking, and parameterizing the function blocks. The Fieldbus Foundation (recently become FieldComm Group) has published specifications of function blocks to provide a common structure for defining block elements (such as inputs, outputs, modes, scaling information, and back calculation), whereby, the Foundation does not

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Received: December 1, 2016

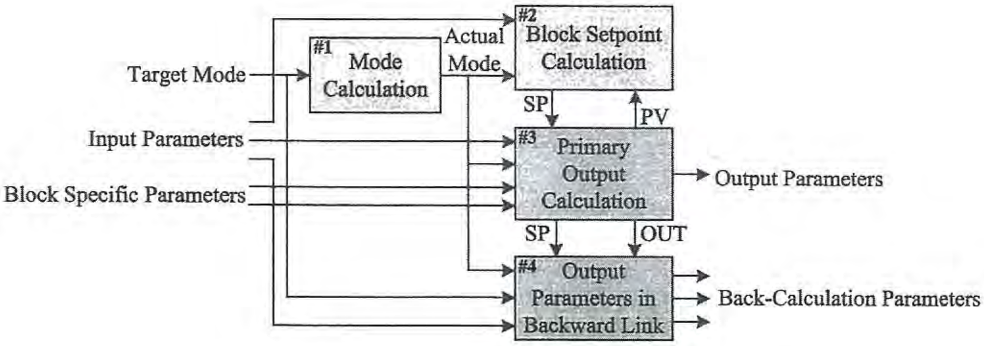


Figure.1 Basic processing sequence of function blocks

define how each device manufacturer is to realize the block execution algorithms to complete the functions [16-17]. This allows the manufacturers to differentiate their product for expanding competitive advantage such as increased device diagnostics.

Fig. 1 shows a basic processing sequence of FF function blocks, which can be divided into four steps as follows.

1) Determine the actual block mode.
2) Calculate the block setpoint (SP).
3) Execute the block algorithm to generate output parameters in the forward path.
4) Calculate the output parameters in the backward path.

The target mode indicates what mode of operation is desired for the block, while the actual mode reflects the mode of operation that the block is able to achieve. Comparison of the actual mode against the target mode indicates whether the target mode was obtained. In addition, the actual mode may change without operator intervention during the events of error conditions, which is called 'mode shedding' [12]. Table 1 summarizes the effect of mode on the operation of function blocks [16].

2.2 PID and cascade control loops

Fig. 2 shows the function block diagrams for implementing PID and cascade control strategies with CIF concept. The PID control loop is configured by using three function blocks; AI, PID, and AO. The cascade control loop is created by utilizing five function blocks; two AI blocks, two PID blocks, and one AO block. These function blocks are sequentially executed. The AI function blocks are assigned to the measuring devices, while the AO function block is located in the final control element. The PID blocks can be in the measuring devices or the final control element. However, their locations have implication on loading of the communications network. With the aim of reducing the number of scheduled communications between field devices, the PID function blocks are preferably placed in the final control element [18-19]. Table 2 and Table 3 illustrate the operation and normal mode of the function blocks used in the PID and cascade control loops as shown in Fig. 2(a) and Fig. 2(b), respectively. The normal mode is typically used by a human interface application to help guide the process engineer or plant operator in setting the desired target mode of the block during normal operation.

Table 1. Effect of mode on the block operation

Mode	Description
Out of Service (O/S)	Block execution is disabled.
Initialization Manual (IMan)	Block output (OUT) parameter is being set in response to the status of the back-calculation input (BKCAL_IN) parameter.
Local Override (LO)	This mode applies to control and output class blocks that support a track value input (TRK_VAL) parameter. The OUT is set to track the value of the TRK_VAL.
Manual (Man)	The OUT is set by the operator through an interface device.
Automatic (Auto)	The block setpoint (SP) is set by the operator. The block itself calculates the value of the OUT.
Cascade (Cas)	The block SP is received from the upper function block through the cascade setpoint input (CAS_IN) parameter. The block itself calculates the value of the OUT.
Remote-Cascade (RCas)	The block SP is received from another application through the remote cascade setpoint input (RCAS_IN) parameter. The block itself calculates the value of the OUT.
Remote-Output (ROut)	The block OUT is received from another application through the remote output input (ROUT_IN) parameter.

 DOI: 10.22266/ijies2017.0831.15

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

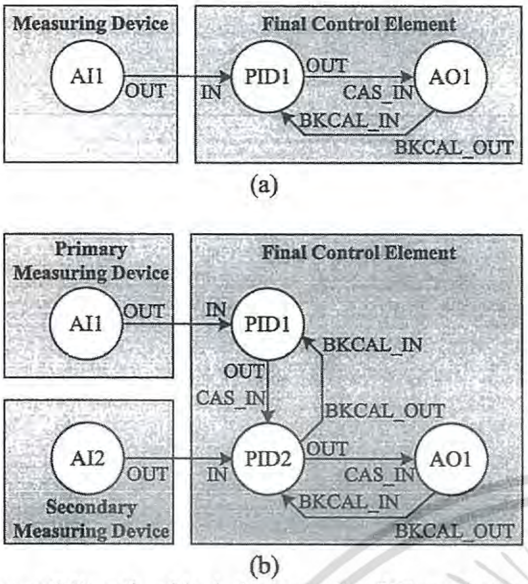


Figure.2 Function block diagrams for CIF applications: (a) PID control and (b) cascade control

Table 2. Operation and normal mode of the blocks used in PID control loop of Fig. 2(a)

Block	Operation	Normal mode
AI1	Processing measurement data received from the transducer block to be available for the PID1.	Auto
PID1	Receiving the operator-entered setpoint and the AI1 output, and calculating the block output.	Auto
AO1	Processing the PID1 output, and passing to the transducer block for manipulating the process.	Cas

Table 3. Operation and normal mode of the blocks used in cascade control loop of Fig. 2(b)

Block	Operation	Normal mode
AI1	Processing measurement data received from the transducer block of the primary transmitter to be available for the PID1.	Auto
AI2	Processing measurement data received from the transducer block of the secondary transmitter to be available for the PID2.	Auto
PID1	Receiving the operator-entered setpoint and the AI1 output, and calculating the block output.	Auto
PID2	Receiving the block cascade setpoint and process variable from the PID1 and the AI2, respectively, and determining the block output.	Cas
AO1	Processing the PID2 output, and passing to the transducer block for manipulating the process.	Cas

3. Case study on water tank process

Fig. 3 illustrates a schematic diagram of the FF-based water tank process connected with the DeltaV host system, which is used as a case study in this paper. There are three FF field devices installed in H1 segment with tree topology at the field-level network running at 31.25 kbps. The LIT_101 level transmitter is used to measure the water level in the tank, whereas the FIT_101 flow transmitter is employed to measure the volume flowrate of water through the inlet pipe. The FCV_101 control valve is used as the final control element to regulate the fluid flow. Table 4 shows the details of the FF H1 field instruments used including physical device tag, vendor, model, device revision, numbers of AI, PID, and AO function blocks resided in the device, and block execution time. The DetlaV host system connected on the control network running at 100 Mbps is utilized for device and control configuration, device commissioning, and segment operation.

Based on the function block diagrams for configuring the control loops of Fig. 2, Table 5 summarizes the function block assignments to the H1 field instruments used in the PID and cascade control loops. In order to control the water level in the tank by using PID control strategy, only the LIT_101 level transmitter and the FCV_101 control valve are configured in the control loop. In the case of level-to-flow cascade control strategy, the LIT_101 level transmitter and FIT_101 flow

Table 4. Details of H1 field devices used in Fig. 3

Device Tag	LIT_101	FIT_101	FCV_101
Vendor	Yokogawa	EMP	Azbil
Model	EJX110A	8732E	AVP303
Revision	3	2	2
AI count	3	1	-
AI time	30 ms	10 ms	-
PID count	1	1	2
PID time	45 ms	10 ms	125 ms
AO count	-	-	1
AO time	-	-	75 ms

Table 5. Function block assignments to the instruments

Control Loop	Block	Instrument
PID	AI1	LIT_101
	PID1	FCV_101
	AO1	FCV_101
Cascade	AI1	LIT_101
	AI2	FIT_101
	PID1	FCV_101
	PID2	FCV_101
	AO1	FCV_101

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Received: December 1, 2016

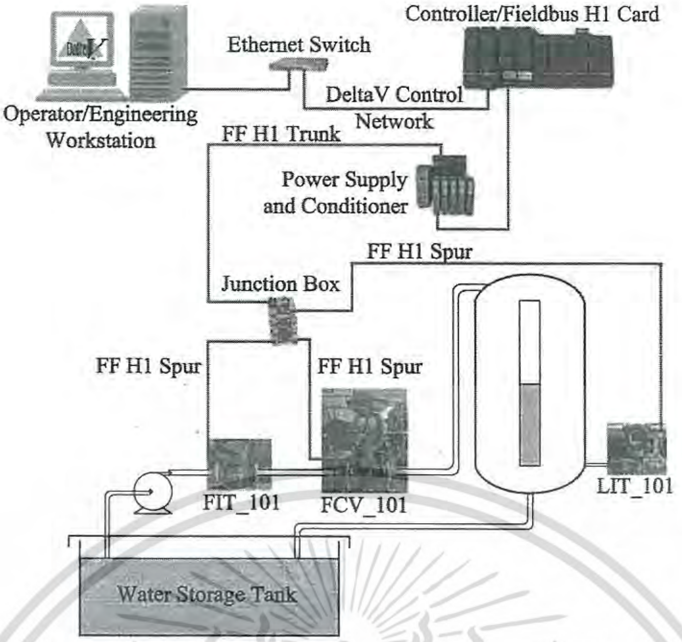


Figure.3 Schematic diagram of the water tank process connected with the DeltaV host system

transmitter are used as the primary and secondary measuring devices, respectively. Because of supporting two PID function blocks resident in the device, both primary and secondary PID blocks are located in the FCV_101 control valve.

4. Experimental analysis in case study

4.1 Interested function block options

Input and output parameters of FF function blocks consist of two elements; value and status. The parameter status contains additional validation information about the value for indicating hardware, communication, configuration, and other fault. The quality portion of the status element is 'Good', 'Bad', or 'Uncertain' to identify the general validity of the value. For example, the 'Good' quality means that the value may be used for control. The 'Bad' with substatus of 'Device failure' means that the associated output hardware has failed, and the 'Bad' with substatus of 'Sensor failure' means that the associated sensor has failed. The 'Uncertain' quality means the value is questionable, when the measured value is out of measurement range or inaccurate for some reason.

As observed in [15], there are three groups function block options that at detailed system design time allow the interests of safety and availability to be specified with respect to failures; status options, control options, and input/output options. The status options in the function blocks provide options for handling and processing the block output status, whereas the control options allow the behavior of the control class function blocks like PID block to be customized. The input/output options activate the options for processing the input and output values of

Table 6. Interested status options in AI block

Option	Description
Uncertain if Limited	Set the output status to 'Uncertain' if the measured value is higher or lower than the sensor limits.
Bad if Limited	Set the output status to 'Bad' if the measured value is higher or lower than the sensor limits.
Uncertain if Man mode	Set the output status to 'Uncertain' if the actual mode of the block in Man.

Table 7. Interested status options in PID block

Option	Description
IFS if BAD IN	Set 'Initiate Fault State' status in the OUT parameter if the status of the IN parameter is BAD.
IFS if BAD CAS_IN	Set 'Initiate Fault State' status in the OUT parameter if the status of the CAS_IN parameter is BAD.
Use Uncertain as Good	If the status of the IN parameter is Uncertain, consider it as Good. (0: status handled as Bad, 1: status handled as Good).
Target to Manual if BAD IN	Set the target mode to Man if the status of the IN parameter is BAD. This handles the block into Man mode if the IN ever goes BAD.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Received: December 1, 2016

Table 8. Interested control options in PID block

Option	Description
Bypass Enable	Allow 'BYPASS' to be set. Some control applications cannot perform closed-loop control if bypassed.
SP-PV Track in Man	Permit the setpoint (SP) to track the process variable (PV) when the target mode of the block is Man.
SP-PV Track in LO or IMan	Permit the SP to track the PV when the actual mode of the block is LO or IMan.

Table 9. Interested input/output options in AO block

Option	Description
SP-PV Track in Man	Permit the SP to track the PV when the target mode of the block is Man.
SP-PV Track in LO	Permit the SP to track the PV when the actual mode of the block is LO.
Fault State to value	Determine the output operation to take when a fault occurs (0: freeze the last value, 1: go to preset value).
Use Fault State value on restart	Use the value of FSTATE_VAL parameter if the device is restarted. Otherwise use the final output value restored in non-volatile memory.
Use PV for BKCAL_OUT	The value of BKCAL_OUT parameter is normally the working SP. This option changes it to the PV.

the function blocks. The interested options to be set in the AI, PID, and AO function blocks used for creating control loops in our experiments are summarized in Tables 6-9.

4.2 Bumpless transfer and setpoint tracking

For feedback control loops, a change in the controller operation mode from manual (Man) to automatic (Auto), or from Auto to Man, should be made without suddenly changing the position of the final control element, which is called 'bumpless transfer' [20]. One procedure that obtains bumpless transfer involves setpoint tracking. The built-in setpoint tracking options such as 'SP-PV Track in Man' are available in the PID and AO blocks as shown in Tables 8-9, respectively.

In the PID control loop (See Fig. 2a), the PID1 block obtains the operator-entered setpoint (SP). Its IN parameter, the process variable (PV), is linked to the OUT parameter of the AI1 block, while its OUT parameter is linked to the CAS_IN and becomes the AO1 block setpoint for subsequently controlling the control valve positioner. Similarly, the desired valve position is the SP, and the actual valve position is the PV. The BKCAL_OUT parameter of the AO1 block is backward linked to the BKCAL_IN parameter of the PID1 block. This backward link is used to initialize its output to prevent reset windup as well as to provide bumpless return from Man to Auto mode. If the control valve is hand-operated, the actual mode of the AO1 block is not its usual cascade (Cas) mode. This is informed to the PID1 block through the backward BKCAL_OUT-BKCAL_IN link. Additionally, if the input/output option 'Use PV for BKCAL_OUT' is set in the AO1 block, thus the actual stem position, the process variable, is used for the BKCAL_OUT parameter. The status of the AO1 block feedback link will force the actual mode of the PID1 block into initialization manual (IMan). This initialization mechanism not only assures the bumpless transfer, but also prevents the reset windup of the PID1 block in the event that the valve stem is limited with hardware or software.

In the cascade control loop (See Fig. 2b), this mechanism is extended to the secondary PID2 block to the primary PID1 block. The BKCAL_OUT from the PID2 block is sent to the BKCAL_IN of the PID1 block. If actual mode of the secondary PID2 block is not Cas mode (for example, in Auto). The BKCAL_OUT-BKCAL_IN feedback link will force the actual mode of the primary PID1 block into IMan, and its setpoint is then forced to follow the process variable, if the 'SP-PV Track in LO or IMan' is enabled. Moreover, when the PID1 actual mode is IMan, it also initializes its OUT parameter to the value of BKCAL_IN, which is the same value as the secondary PID2 setpoint. This prevents reset windup of the primary PID1 block. In consequent, the CAS_IN of the PID2 block will be identical to its own SP value. As a result, any time the PID2 block mode is switched back to Cas mode, there will be no bump. Therefore, the initialization mechanism can provide the procedure that obtains bumpless transfer during operation mode switches.

With the purpose of providing bumpless transfer and setpoint tracking, Table 10 summarizes the enabled function block options for configuring the PID and cascade loops with CIF in experiments.

4.3 PID control with CIF architecture

4.3.1 Improving Safety

For safety purpose, the PID control must be shut the process down in case of failure. In order to enhance process safety in response to invalid measurements, two safe actions by setting the function block options as given in Table 11 are defined as follows.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านอื่นๆ ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

 DOI: 10.22266/ijies2017.0831.15

Received: December 1, 2016

Table 10. Enabled options for bumpless transfer and setpoint tracking of PID and cascade controls with CIF

Loop	Block	Parameter	Option
PID	PID1	CONTROL _OPTS	SP-PV Track in Man
			SP-PV Track in LO or IMan
	AO1	IO_OPTS	SP-PV Track in Man
			SP-PV Track in LO
			Use PV for BKCAL_OUT
Cas-cade	PID1, PID2	CONTROL _OPTS	SP-PV Track in Man
			SP-PV Track in LO or IMan
	AO1	IO_OPTS	SP-PV Track in Man
			SP-PV Track in LO
			Use PV for BKCAL_ OUT

Table 11. Enabled block options for improving safety of the PID control with CIF

Block	Parameter	Option
AI1	STATUS_OPTS	Uncertain if Limited
		Bad if Limited
		Uncertain if Man mode
PID1	STATUS_OPTS	IFS if BAD IN
		Target to Manual if BAD IN
AO1	IO_OPTS	Fault State to value
		Use Fault State value on restart

1) The 'Uncertain' status quality of the LIT_101 transmitter is used to switch the PID control loop to Man mode of operation by freezing the FCV_101 control valve in the last position. After the problem has been fixed, the PID loop can continue its control function immediately.

2) The 'Bad' status quality of the LIT_101 transmitter is utilized to bring the FCV_101 control valve to its predetermined safe position. After the failure has been fixed, the PID loop remains the 'failed' state in Man mode of operation (by using the fault state value as the initial value for restarting the FCV_101 valve) until the operator unlocks by changing the PID1 block to operate in Auto mode.

4.3.2 Improving Availability

For availability goal, the PID control loop must be able to perform even in the presence of failure. However, it is not possible to automatically control the process if the information of measurement validity is 'Bad', and this 'Bad' information always shuts the control loop down. But, it is possible to maintain the automatic control by using the 'Uncertain' status quality such as measurement readings are slightly out of range for improving availability.

With the intention of increasing availability in response to invalid measurements, two actions by enabling 'Use Uncertain as Good' status option in the PID1 block only are specified as follows.

1) The 'Uncertain' status quality of the LIT_101 transmitter is treated as 'Good' status, and the PID1 block is operated in Auto mode. Thus the water level in the tank is still automatically controlled by the control loop.

2) The 'Bad' status quality of the LIT_101 level transmitter is used to switch the PID1 block from Auto mode to Man mode by freezing the FCV_101 valve in the last position. After the fault has been solved, the PID loop can resume control instantly.

4.4 Cascade control with CIF architecture

4.4.1 Improving Safety

For improving process safety in response to invalid primary and secondary measurements of the CIF-based cascade control, four actions by setting the function block options in Table 12 are specified as follows.

1) The 'Uncertain' status quality of the LIT_101 level transmitter is used to switch the primary PID1 block to Man mode by freezing its OUT parameter, driving the setpoint of the secondary PID2 block, in the last value, while the secondary flow control loop can be still performed. After the problem has been fixed, the primary PID1 block can return to operate in Auto mode instantly.

2) The 'Bad' status of the LIT_101 transmitter is employed to switch the primary PID1 block to Man mode by freezing its OUT parameter loop can be still operated. After the problem has been solved, the primary PID1 block remains its operation in Man mode by setting the fault state value as the initial

Table 12. Enabled block options for improving safety of the cascade control with CIF

Block	Parameter	Option
AI1, AI2	STATUS_OPTS	Uncertain if Limited
		Bad if Limited
		Uncertain if Man mode
PID1	STATUS_OPTS	Target to Manual if BAD IN
PID2	STATUS_OPTS	IFS if BAD IN
		IFS if BAD CAS_IN
		Target to Manual if BAD IN
AO1	IO_OPTS	Fault State to value
		Use Fault State value on restart

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านอื่น

 DOI: 10.22266/ijies2017.0831.15

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Received: December 1, 2016

Table 13. Enabled block options for enhancing availability of the cascade control with CIF

Block	Parameter	Option
PID1	STATUS_OPTS	Use Uncertain as Good
PID2	STATUS_OPTS	Use Uncertain as Good
	CONTROL_OPTS	Bypass Enable

position for restarting the FCV_101 control valve. Until the operator changes the target mode of the primary PID1 block to Auto mode, the cascade control loop is then returned to its normal operation.
3) The 'Uncertain' status quality of the FIT_101 flow transmitter is used to switch the secondary PID2 block to Man mode by freezing its OUT parameter, driving the setpoint of the AO1 block, in the last value. After the fault has been corrected, the secondary control loop can continue its operation immediately.
4) The 'Bad' status quality of the FIT_101 flow transmitter is utilized to switch the target mode of the secondary PID2 block from Cas mode to Man mode and to bring the FCV_101 control valve to its predetermined safe position. After the failure has been fixed, the PID2 block remains in Man mode of operation by using the fault state value as the initial position for restarting the FCV_101 control valve. Until the operator changes the PID2 block target mode to Cas mode, the cascade control loop is returned to its regular function.

4.4.2 Improving Availability

With the aim of enhancing process availability in response to invalid primary and secondary measurements from the measuring devices of the cascade control with CIF, three actions by enabling the function block options as summarized in Table 13 are defined as follows.
1) The 'Uncertain' status quality of the LIT_101 and FIT_101 transmitters is considered as 'Good' status, and the water level in the tank can be still automatically controlled by the cascade loop.
2) The 'Bad' status quality of the LIT_101 level transmitter is used to switch the primary PID1 block to Man mode by freezing its OUT parameter in the last value, while the secondary flow control loop can be still operated. After the problem has been solved, the primary PID1 block can return to operate in Auto mode immediately.
3) The 'Bad' status quality of the FIT_101 flow transmitter is utilized to switch the secondary PID2 block from CAS mode to Man mode by freezing the FCV_101 control valve in the last position. After the fault has been corrected, the secondary PID2 block returns back to CAS mode, thus the primary level control loop can continue its function instantly.

5 Results and discussion

In order to investigate the interlocks between function blocks as well as the initialization and fail-safe mechanisms in PID and cascade control loops using FF with CIF, many experiments were conducted in four different parameter configurations as discussed in Section 4 for controlling the water level in the tank of Fig. 3 in case study. In experiments, the air tube of the LIT_101 pressure sensor input and the power supply of the water pump were turned off to mimic the failures for 'Uncertain' status of the AI1 and AI2 function blocks, respectively. The FF H1 spur cables of the LIT_101 and FIT_101 transmitters were taken off from the junction box to mimic the failures for 'Bad' status of the AI1 and AI2 blocks, respectively. The experimental results were analyzed to examine how different configuration options affect the safety and availability improvements of the studied control loops.

Fig. 4 shows the simple Petri net models for representing the logical behaviors of the interested PID control loop of Fig. 2(a) in response to measurement validation information. Their place (P) and transition (T) descriptions are given in Table 14, where the input place 'P_1' is the initial state of the system, and the transition 'T_1' is enabled by the arc 'Status of AI1 OUT'. As depicted in Fig. 4(a), the model displays the status propagation and mode

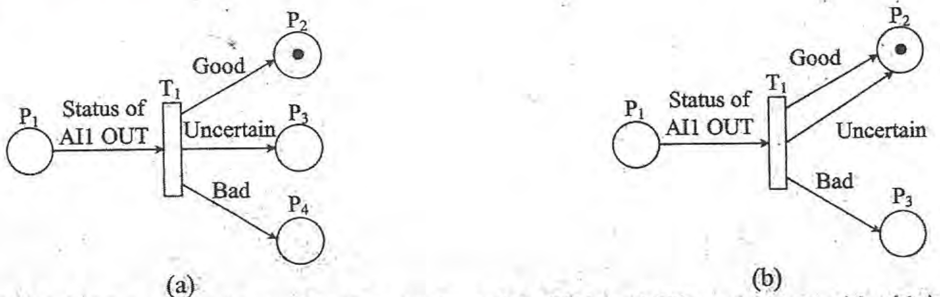


Figure.4 Simple Petri net models for representing behaviors of the FF-based PID control loop: (a) with increased safety and (b) with increased availability

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้นไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้าน
 DOI: 10.22266/ijies2017.0831.15
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Received: December 1, 2016

Table 14. Descriptions of the places and transitions of Figs. 4(a) and 4(b)

Fig.4(a) for PID control with increased safety		Fig. 4(b) for PID control with increased availability	
Item	**Description**	**Item**	**Description**
P_1	Control loop is configured using function block options discussed in Sections 4.2 and 4.3.1	P_1	Control loop is configured using function block options discussed in Sections 4.2 and 4.3.2
T_1	If the OUT status of AI1 is 'Good' then P_2. If the OUT status of AI1 is 'Uncertain' then P_3. If the OUT status of AI1 is 'Bad' then P_4.	T_1	If the OUT status of AI1 is 'Good' then P_2. If the OUT status of AI1 is 'Uncertain' then P_2. If the OUT status of AI1 is 'Bad' then P_3.
P_2	Target mode/Actual mode of PID1 is Auto/Auto. Target mode/Actual mode of AO1 is Cas/Cas.	P_2	Target mode/Actual mode of PID1 is Auto/Auto. Target mode/Actual mode of AO1 is Cas/Cas.
P_3	Target mode/Actual mode of PID1 is Auto/Man. Target mode/Actual mode of AO1 is Cas/Cas. For fault recovery, the control loop can resume control immediately.	P_3	Target mode/Actual mode of PID1 is Auto/Man. Target mode/Actual mode of AO1 is Cas/Cas. For fault recovery, the control loop can resume control immediately.
P_4	Target mode/Actual mode of PID1 is Man/IMan. Target mode/Actual mode of AO1 is Cas/LO. Fail-safe action is active to predefined safe value. For fault recovery, the process remains 'failed' state until the operator unlocks.		

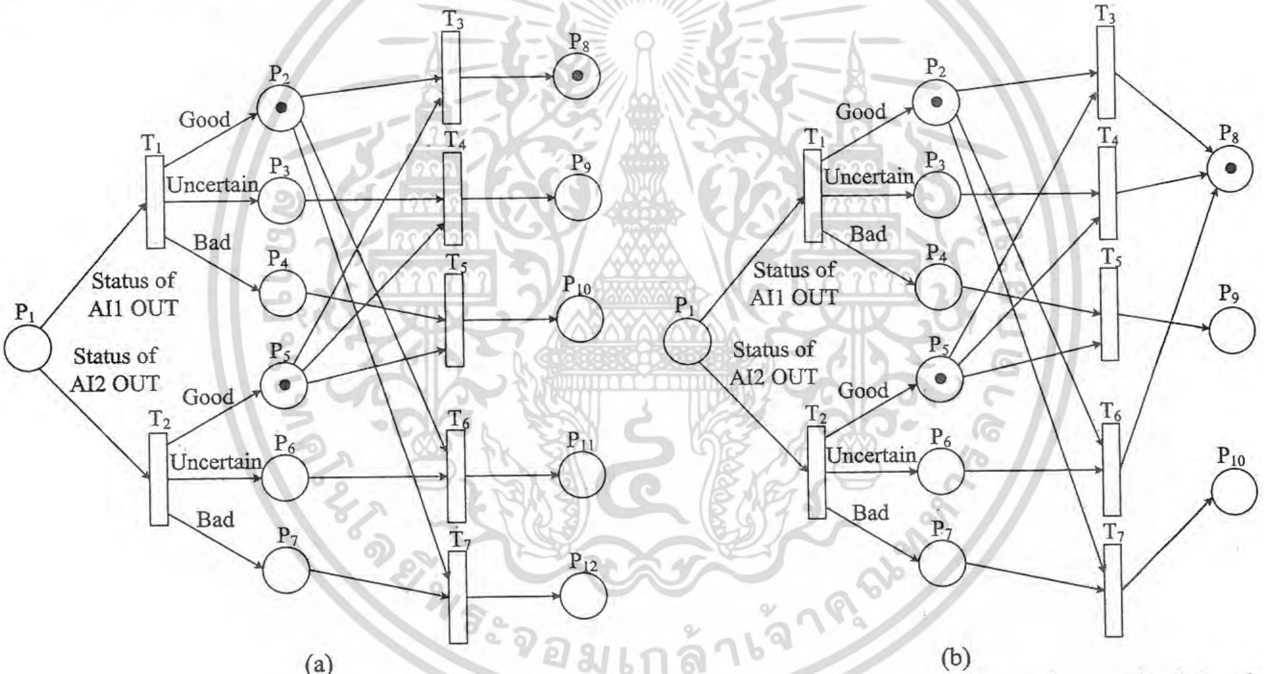


Figure.5 Simple Petri net models for representing behaviors of the FF-based cascade loop: (a) with increased safety and (b) with increased availability

shedding of the FF-based PID loop with increased safety. It is seen that the output places of the transition 'T_1' (P_2, P_3, and P_4) the do not occur simultaneously, which are agreed with the expected actions as defined in subsection 4.3.1 for responding to the status 'Good', 'Uncertain', and 'Bad' of the OUT parameter of the AI1 block. Similarly, the model of Fig. 4(b) shows the status propagation and mode shedding of the FF-based PID loop with increased availability, which are conformed to the requirements specified in subsection 4.3.2 for enabling 'Use Uncertain as Good' status option. If the status of the OUT of the AI1 block is 'Uncertain', the system will consider it as 'Good' status.

In the case of the interested cascade control loop of Fig. 2(b), its logical behaviors in response to measurement validation results are represented by the simple Petri net models as illustrated in Fig. 5. The descriptions of their places and transitions are summarized in Table 15, where the input place 'P_1' is the initial state of the loop, and the transitions 'T_1' and 'T_2' are let by the arcs 'Status of AI1 OUT' and 'Status of AI2 OUT', respectively. The output places of the transition 'T_1' (P_2, P_3, and P_4) as well as the

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านอื่นๆ
 DOI: 10.22266/ijies2017.0831.15
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Received: December 1, 2016

Table 15. Descriptions of the places and transitions of Figs. 5(a) and 5(b)

Fig. 5(a) for cascade control with increased safety		**Fig. 5(b) for cascade control with increased availability**	
Item	**Description**	**Item**	**Description**
P_1	Control loop is configured using function block options discussed in Sections 4.2 and 4.4.1	P_1	Control loop is configured using function block options discussed in Sections 4.2 and 4.4.2
T_1	If the OUT status of AI1 is 'Good' then P_2. If the OUT status of AI1 is 'Uncertain' then P_3. If the OUT status of AI1 is 'Bad' then P_4.	T_1	If the OUT status of AI1 is 'Good' then P_2. If the OUT status of AI1 is 'Uncertain' then P_3. If the OUT status of AI1 is 'Bad' then P_4.
T_2	If the OUT status of AI2 is 'Good' then P_5. If the OUT status of AI2 is 'Uncertain' then P_6. If the OUT status of AI2 is 'Bad' then P_7.	T_2	If the OUT status of AI2 is 'Good' then P_5. If the OUT status of AI2 is 'Uncertain' then P_6. If the OUT status of AI2 is 'Bad' then P_7.
P_2	The OUT status of AI1 is 'Good'.	P_2	The OUT status of AI1 is 'Good'.
P_3	The OUT status of AI1 is 'Uncertain'.	P_3	The OUT status of AI1 is 'Uncertain'.
P_4	The OUT status of AI1 is 'Bad'.	P_4	The OUT status of AI1 is 'Bad'.
P_5	The OUT status of AI2 is 'Good'.	P_5	The OUT status of AI2 is 'Good'.
P_6	The OUT status of AI2 is 'Uncertain'.	P_6	The OUT status of AI2 is 'Uncertain'.
P_7	The OUT status of AI2 is 'Bad'.	P_7	The OUT status of AI2 is 'Bad'.
T_3	If both P_2 and P_5 are true then P_8.	T_3	If both P_2 and P_5 are true then P_8.
T_4	If both P_3 and P_5 are true then P_9.	T_4	If both P_3 and P_5 are true then P_8.
T_5	If both P_4 and P_5 are true then P_{10}.	T_5	If both P_4 and P_5 are true then P_9.
T_6	If both P_2 and P_6 are true then P_{11}.	T_6	If both P_2 and P_6 are true then P_8.
T_7	If both P_2 and P_7 are true then P_{12}.	T_7	If both P_2 and P_7 are true then P_{10}.
P_8	Target mode/Actual mode of PID1 is Auto/Auto. Target mode/Actual mode of PID2 is Cas/Cas. Target mode/Actual mode of AO1 is Cas/Cas.	P_8	Target mode/Actual mode of PID1 is Auto/Auto. Target mode/Actual mode of PID2 is Cas/Cas. Target mode/Actual mode of AO1 is Cas/Cas.
P_9	Target mode/Actual mode of PID1 is Auto/Man. Target mode/Actual mode of PID2 is Cas/Cas. Target mode/Actual mode of AO1 is Cas/Cas. For fault recovery, the control loop can resume control immediately.	P_9	Target mode/Actual mode of PID1 is Auto/Man. Target mode/Actual mode of PID2 is Cas/Cas. Target mode/Actual mode of AO1 is Cas/Cas. For fault recovery, the control loop can resume control immediately.
P_{10}	Target mode/Actual mode of PID1 is Man/Man. Target mode/Actual mode of PID2 is Cas/Cas. Target mode/Actual mode of AO1 is Cas/Cas. For fault recovery, the process remains 'failed' state until the operator unlocks.	P_{10}	Target mode/Actual mode of PID1 is Auto/IMan. Target mode/Actual mode of PID2 is Cas/Man. Target mode/Actual mode of AO1 is Cas/Cas. For fault recovery, the control loop can resume control immediately.
P_{11}	Target mode/Actual mode of PID1 is Auto/IMan. Target mode/Actual mode of PID2 is Cas/Man. Target mode/Actual mode of AO1 is Cas/Cas. For fault recovery, the control loop can resume control immediately.		
P_{12}	Target mode/Actual mode of PID1 is Auto/IMan. Target mode/Actual mode of PID2 is Man/IMan. Target mode/Actual mode of AO1 is Cas/LO. Fail-safe action is active to predefined safe value. For fault recovery, the process remains 'failed' state until the operator unlocks.		

output places of the transition 'T_2' (P_5, P_6, and P_7) do not happen concurrently. The models in Figs. 5(a) and 5(b) depict the status propagation and modeshedding of the FF-based cascade loop with increased safety and the FF-based cascade control with increased availability, respectively, which are in good agreement of the expected actions for improving safety and availability as discussed in subsection 4.4.

Experimental results obtained from both control loops verify that the capacity for detecting device failures and the parameter options for handling measurement status provide the user the ability to improve the safety and availability. The FF H1 field devices with self-diagnostic and self-validation capabilities can distinguish between less serious problems and serious problems by notifying 'Uncertain' and 'Bad' status, respectively. The 'Uncertain' status can be configured to be treated either as 'Good' to continue the process for availability reason or as 'Bad' to shut down the process (or to bring the control to manual of

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Received: December 1, 2016

Table 16. Enabled parameter options for balancing the interests of safety versus availability

Loop	Block	Parameter	Option	Safety	Availability
PID	AI1	STATUS_OPTS	Uncertain if Limited	√	
			Bad if Limited	√	
			Uncertain if Man mode	√	
	PID1	STATUS_OPTS	IFS if BAD IN	√	
			Target to Manual if BAD IN	√	
			Use Uncertain as Good		√
	AO1	IO_OPTS	Fault State to value	√	
			Use Fault State value on restart	√	
Cascade	AI1, AI2	STATUS_OPTS	Uncertain if Limited	√	
			Bad if Limited	√	
			Uncertain if Man mode	√	
	PID1	STATUS_OPTS	Target to Manual if BAD IN	√	
			Use Uncertain as Good		√
	PID2	STATUS_OPTS	IFS if BAD IN	√	
			IFS if BAD CAS_IN	√	
			Target to Manual if BAD IN	√	
			Use Uncertain as Good		√
		CONTROL_OPTS	Bypass Enable		√
	AO1	IO_OPTS	Fault State to value	√	
			Use Fault State value on restart	√	

operation) for safety reason. This makes it possible to be selective when balancing process safety against production availability for each individual control loop. In addition, the fail-safe shutdown for the 'Bad' status can be obtained. The actual mode of the PID block becomes 'Man' mode to stop automatic control, and the control valve positioner becomes 'Initiate Fault State' status to bring it to its preset fail-safe position (or 'Fault State to value'). Moreover, there are options for deciding the fault recovery by using the 'Target to Manual if BAD IN'. By not enabling this option, the affected loop can resume control instantly after the fault has been fixed to achieve higher availability, whereas by enabling this option, the affected loop can remain the 'failed' state in 'Man' mode until the operator changes to 'Auto' mode to obtain higher safety.

Table 16 summarizes the function block options to strike the appropriate balance between safety and availability for the PID and cascade loops using FF with CIF. The safety and availability improvements of FF-based basic control strategies can be conveniently performed by configuring function block options to provide the desired actions.

6 Conclusion

To achieve the real benefits of FF technology based on powerful function blocks resided in field devices, improving the safety and availability of the PID and cascade control loops with CIF has been described in this paper. How different parameter option configurations affect the function block interlocks as well as the initialization and fail-safe mechanisms of the interested control loops has been analyzed. Based on experimental results, the interactions between status propagation and operating mode shedding and the fault recovery of two studied control loops have been represented by the Petri net models. The proved configuration method for achieving appropriate balance between process safety against production availability for the FF-based PID and cascade control with CIF has been proposed. The reliability of these process control strategies needs to be evaluated in a future work.

Acknowledgments

The authors wish to thank the FieldComm Group Thai for valuable supports of the experiments and up-to-date information.

References

[1] W. M. Goble, *Control Systems Safety Evaluation and Reliability*, ISA Press, USA, 2010.

[2] IEC (International Electrotechnical Commission), *IEC61511-1: Functional Safety – Safety Instrumented Systems for the Process Industry Sector – Part 1: Framework, Definition, System, Hardware and Software Requirements*, pp.32-37, 2003.

[3] T. Vollmer, K. Borcherding, G. Hellriegel, and R.-D. Penzhorn, "Process Control under Safety

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Aspects", *Fusion Engineering and Design*, Vol.48, No.1-2, pp.57-61, 2000.
[4] W. M. Goble and H. Cheddie, *Safety Instrumented System Verification: Practical Probabilistic Calculations*, ISA Press, USA, 2005.
[5] A. Schimanski, "Application Experiences with Fieldbus Instruments", *ISA Transactions*, Vol.35, No.2, pp.137-145, 1996.
[6] S. Cavalieri, O. Mirabella, and S. Monforte, "Enhancing Reliability in IEC/ISA Fieldbus", *Computer Standards & Interfaces*, Vol.21, No.3, pp.217-240, 1999.
[7] R. Dettmer, "Self Validation in Process Control", *IEE Review*, Vo.46, No.4, pp.29-32, 2000.
[8] B. G. Liptak, *Instrument Engineers' Handbook: Process Control and Optimization*, CRC Press in Cooperation with ISA Press, USA, 2006.
[9] C. Diedrich, F. Russo, L. Winkel, and T. Blevins, "Function Block Applications in Control Systems Based on IEC61804", *ISA Transactions*, Vol.43, No.1, pp.123-131, 2004.
[10] ARC Advisory Group, "The Business Value Proposition of Control in the Field", *ARC White Paper*, pp.1-20, 2009.
[11] Fieldbus Foundation, *AG-181: Foundation Fieldbus System Engineering Guidelines*, Rev. 3.2.1, USA, 2012.
[12] J. Berge, *Fieldbuses for Process Control: Engineering, Operation and Maintenance*, ISA Press, USA, 2004.
[13] E. A. Mossin, R. P. Pantoni, and D. Brandao, "A Fieldbus Simulator for Training Purposes", *ISA Transactions*, Vol.43, No.1, pp.132-141, 2009.
[14] J. Chen, Z. Wang, and Y. X. Sun, "How to Improve Control System Performance Using FF Function Blocks", In: *Proc. of the IEEE International Conference on Control Applications*, Scotland, U.K., pp.1022-1026, 2002.
[15] P. Yimvuthipong, A. Rerkratn, T. Trisuwannawat, P. Julsereewong, and A. Julsereewong, "How to Fully Benefit from Function Blocks of Foundation Fieldbus for Digital Cascade Control with High System Safety", In: *Proc. of The International Conference on Industrial Application Engineering*, Kitakyushu, Japan, pp.124-131, 2015.
[16] Fieldbus Foundation, *FF-890-1.10: Foundation Specification-Function Block Application Process*, Part 1, USA, 2012.
[17] Fieldbus Foundation, *FF-891-1.10: Foundation Specification-Function Block Application Process*, Part 2, USA, 2012.
[18] A. Julsereewong, P. Julsereewong, and P. Harntujit, "Foundation Fieldbus Segment Scheduling for Fast Loop Controls", *ICIC Express Letters*, Vol.7, No.4, pp.1201-1207, 2013.
[19] T. Sangsuwan, S. Pongswatd, A. Julsereewong, Y. Morioka, and Y. Amano, "Communication Schedule Optimization of Cascade Control using Foundation Fieldbus", *ICIC Express Letters*, Vol.10, No.1, pp.197-204, 2016.
[20] H. L. Wade, *Basic and Advanced Regulatory Control: System Design and Application*, ISA Press, USA, 2004.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Volume 7, Number 11, November 2016 ISSN 2185-2766

ICIC Express Letters, Part B: Applications

An International Journal of Research and Surveys

Editors-in-Chief
Yan Shi, Tokai University, Japan
Ramesh Agarwal, Washington University, USA

Indexed by *Ei Compendex (Elsevier)*
Scopus (Elsevier)
INSPEC (IET)

Published by ICIC International
http://www.ijicic.org/icicelb.htm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ICIC Express Letters, Part B: Applications

Editors-in-Chief

Yan Shi, Tokai University, Kumamoto, 862-8652, Japan

Ramesh Agarwal, Washington University, St. Louis, MO 63130-4899, USA

Advisory Board

Steve P. Banks, UK
Tom Heskes, Netherlands
Masaharu Mizumoto, Japan
Junzo Watada, Japan
Chin-Chen Chang, Taiwan
Lakhmi C. Jain, Australia
Witold Pedrycz, Canada
Takeshi Yamakawa, Japan
Peter Fleming, UK
Jerry M. Mendel, USA
Peng Shi, Australia
Lotfi A. Zadeh, USA

Associate Editors

Jamal Ameen, UK
Yasar Becerikli, Turkey
Kuniaki Fujimoto, Japan
Gerardo Iovane, Italy
Dongsoo Kim, Korea
Yao Liu, China
Tshilidzi Marwala, South Africa
Ngoc Thanh Nguyen, Poland
Arnulfo Luevanos Rojas, Mexico
Kok-lay Teo, Australia
Umi Kalsom Yusof, Malaysia
Rawshan Basha, UAE
Ozer Ciftcioglu, Netherlands
Chao-Hsing Hsu, Taiwan
Sawai Pongswatd, Thailand
Huey-Ming Lee, Taiwan
Magdi Mahmoud, Saudi Arabia
Subhas Misra, India
Nikos Nikolaidis, Greece
Takao Sato, Japan
Bay Vo, Vietnam
Thi Thi Zin, Japan
Michael V. Basin, Mexico
Vasile Dragan, Romania
Yunfu Huo, China
Hamid Reza Karimi, Norway
Feng-Tse Lin, Taiwan
Anatolii Martynyuk, Ukraine
Sing Kiong Nguang, New Zealand
Pavel Pakshin, Russia
Masanori Takahashi, Japan
Edwin Engin Yaz, USA
Argyrios C. Zolotas, UK

©2016 ICIC International ISSN 2185-2766 Printed in Japan

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ICIC EXPRESS LETTERS, Part B: Applications

Volume 7, Number 11, November 2016

CONTENTS

A Sample Weighted Sparse Representation Approach to Image Classification 2283
Yongxin Wang and Huaxiang Zhang

Research on Two-Wheeled Self-Balance Robot Based on IM-Q-ELM Algorithm 2291
Hongge Ren, Rui Yin, Tao Shi and Fujin Li

Fault Diagnosis Method Based on Precise Frequency Domain Integral and Vibration Severity 2301
Wanlu Jiang, Yong Zhu, Zhenwei Wang and Keyan Dong

AirSqueeze: An Air-Based Game Input Device 2309
Handityo Aulia Putra, Chaklam Silpasuwanchai and Xiangshi Ren

A Study of Using Contactless Gesture Recognition on Shadow Puppet Manipulation 2317
Tsun-Hung Tsai and Lai-Chung Lee

Statistical Verification of Process Model Fitness in Process Mining 2323
Sung-Hyun Sim, Yulim Choi and Hyerim Bae

Environmental Monitoring System in KAGRA 2331
Yukitsugu Sasaki (on behalf of the KAGRA Collaboration)

Communication Schedule Optimization for Foundation Fieldbus H1 Segment with Dual Cascade Control Loops 2339
Thaksin Sangsuwan, Sawai Pongswatd and Amphawan Julsereewong

Study on Recovering Trace Links among Software Artifacts 2347
Jinshui Wang, Chia-Jung Lee and Xingsi Xue

Regional Analysis of Fatality Risks Induced by Natural Disasters in Korea 2353
Jangwook Oh, Teajin Lim and Moonsoo Cho

Application of Correlation-Based Feature Selection and Decision Tree to Detect Earnings Management and Accounting Fraud Relationship 2361
Kuang-Hua Hu, Fu-Hsiang Chen and We-Jie Chang

Research on the Diagnosis and Treatment Process of Dermatosis Based on Data-Driven Approach 2367
Xingliang Qi, Chin Wei, Ting Yuan, Zhenguo Wang and Yang Zhou

Designing a Landslide Simulation Software 2373
Yung-Piao Chiu, Yan-Chyuan Shiau, Chao-Lung Wang and Ching-Jung Kuo

(Continued)

©2016 ICIC International **ISSN 2185-2766** **Printed in Japan**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ICIC Express Letters
Part B: Applications
Volume 7, Number 11, November 2016

ICIC International ©2016 ISSN 2185-2766
pp. 2339–2346

COMMUNICATION SCHEDULE OPTIMIZATION FOR FOUNDATION FIELDBUS H1 SEGMENT WITH DUAL CASCADE CONTROL LOOPS

Thaksin Sangsuwan, Sawai Pongswatd and Amphawan Julsereewong

Faculty of Engineering
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Ladkrabang, Bangkok 10520, Thailand
sangsuwan.iee@gmail.com; { sawai.po; amphawan.ju }@kmitl.ac.th

Received April 2016; accepted July 2016

Abstract. *This paper proposes a method for optimizing communication schedules of dual cascade control loops within the same Foundation Fieldbus (FF) H1 segment. Integrated Harmonas-DEO host system is utilized as a configuration tool for building control strategy and scheduling macrocycle of the studied H1 segment, which consists of two level-to-flow cascade control loops. Communication schedule optimization of two different cases of assigning control functions to run in the field devices is described. Method validation is based on the use of three metrics: latency improvement, publication gap improvement, and macrocycle utilization improvement. Comparison results between the natural macrocycle and optimized macrocycle show that the proposed method can improve not only the latency of control loop but also the availability of communication bandwidth.*
Keywords: Foundation Fieldbus (FF), H1 segment, Cascade control, Communication schedule, Macrocycle, Optimization

1. Introduction. Nowadays, digital communications play the vital role for controlling industrial processes. The Foundation Fieldbus (FF) H1 is a well-known digital fieldbus technology widely used as the field-level network standard in process industry [1]. A unique feature of FF system ensuring device interoperability is its use of a standard user layer based on blocks and device descriptions. Several types of standard function blocks are available to perform various functions required in process automation. In addition, FF provides an optional control scheme known as 'Control in the Field' (CIF) by placing the control function to run in an H1 field instrument [2]. Using CIF approach for creating simple proportional-integral-derivative (PID) control loop or cascade control loop can not only reduce the network load for scheduled communications but also increase the network bandwidth for unscheduled communications [3-5]. In addition, it is possible to execute more than one control loops in an H1 segment and still meets fast control response requirement by implementing CIF architecture. Two or three separate control loops can be configured to run on one H1 segment. However, the optimization of communication schedules is still required for improving system performance. Interesting methods to optimize communication schedules for an H1 segment with dual PID control loops [6] and an H1 segment with single cascade control loop [7] have been suggested. Nevertheless, none of them focuses on the optimization of macrocycles generated for operating two cascade control loops on the same H1 segment.

The aim of this paper is then to present an effective method to optimize the communication schedules during system engineering phase for H1 segment with dual cascade control loops. This paper consists of six sections including this introduction. Section 2 and Section 3 describe the studied H1 segment for running two independent cascade control loops and cascade control strategy using FF function blocks, respectively. Section 4 and Section 5 provide the proposed optimization method and the comparison results between

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

non-optimized and optimized communication schedules, respectively. Finally, Section 6 gives the conclusions.

2. **Studied H1 Segment.** Figure 1 shows a system architecture of the studied H1 segment with dual cascade control loops. The integrated Harmonas-DEO host system from Azbil is used for building control strategy as well as scheduling segment macrocycle. The FF H1 devices are installed in two plant models of level-to-flow cascade control. The first control loop consists of a level transmitter (LIT_101), flow transmitter (FIT_101), and control valve (FCV_101), while the second control loop consists of a level transmitter (LIT_201), flow transmitter (FIT_201), and control valve (FCV_201). Table 1 gives the number of analog input (AI) function block, PID function block, and analog output (AO) function block as well as their block execution time of each H1 field device used for building control strategy.

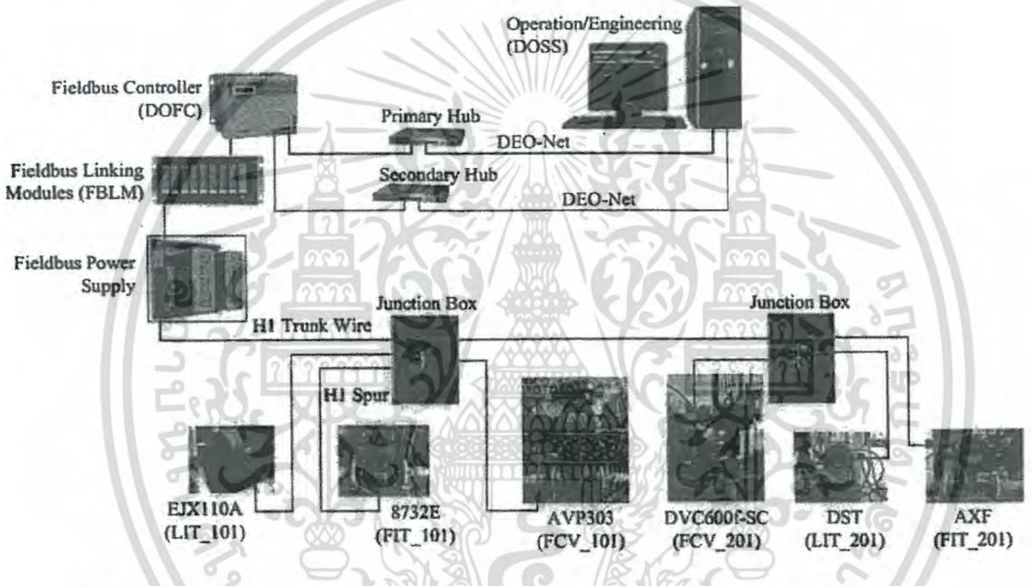


FIGURE 1. System architecture of the studied H1 segment with dual cascade control loops

TABLE 1. Number of function blocks and their execution time of H1 devices used

PD-Tag	AI Count	AI Time	PID Count	PID Time*	AO Count	AO Time*
LIT_101	3	30 ms	1	50 ms	N/A	N/A
FIT_101	1	10 ms	1	15 ms	N/A	N/A
FCV_101	N/A	N/A	2	130 ms	1	80 ms
LIT_201	2	80 ms	1	130 ms	N/A	N/A
FIT_201	1	30 ms	1	50 ms	N/A	N/A
FCV_201	1	25 ms	1	30 ms	1	30 ms

*Block execution time includes extra time required by the host system used of 5 ms.

3. **Cascade Control Strategy Using FF Function Blocks.** The CIF control strategy based on FF technology can be created by selecting, linking, and parameterizing function blocks located in the H1 field devices within the same segment. The cascade control loop is configured by using five function blocks: primary and secondary AI blocks (AI1 and AI2), primary and secondary PID blocks (PID1 and PID2), and one AO block (AO1), as

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

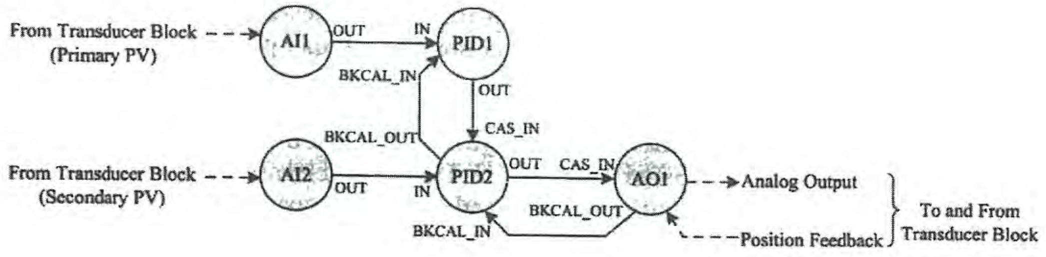
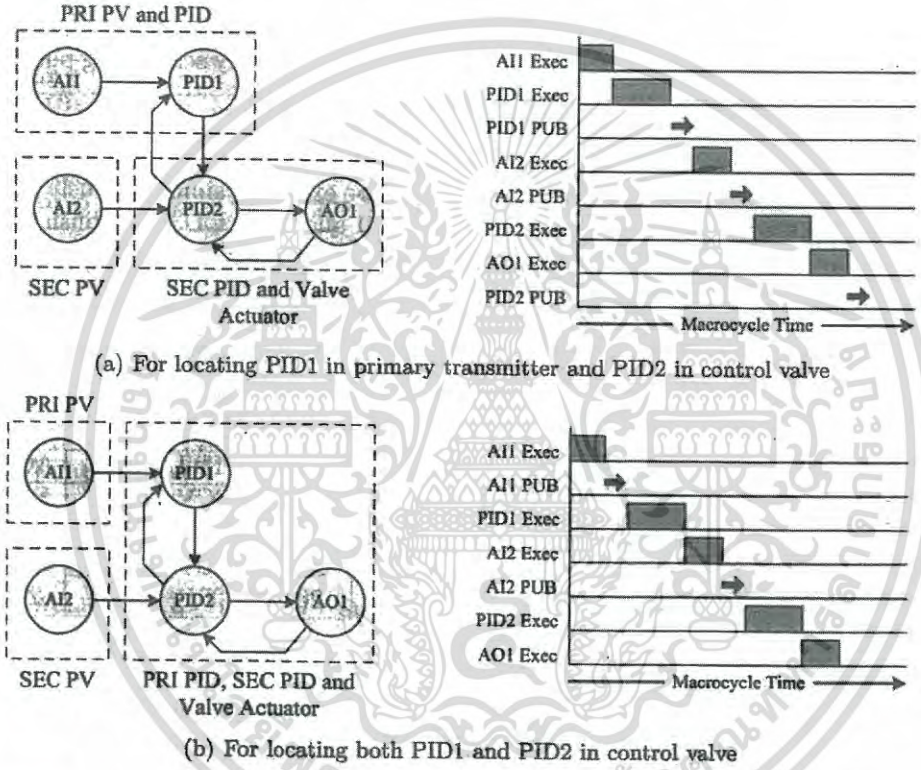


FIGURE 2. Cascade control loop blocks and links



(a) For locating PID1 in primary transmitter and PID2 in control valve

(b) For locating both PID1 and PID2 in control valve

FIGURE 3. Function block assignment and the natural communication schedules

depicted in Figure 2, and six links between blocks are required [1]. The function block receives inputs and executes its algorithm to generate an output, which is passed to the next block by the link. External links between function blocks in different devices are communicated over the network by using publisher-subscriber model, whereas internal links within the same device are not communicated over the network. This implies that the number of external links affects the network load [5]. Typically, the function blocks are executed according to the communication schedule (or segment macrocycle) created by the configuration tool. This schedule indicates the function block executions and external link publications. Two effective cases to assign the function blocks in the field devices for cascade control loop of Figure 2 with the CIF approach and the natural communication schedules are shown in Figure 3. The data transmissions occurred in the H1 segment are controlled by the link active scheduler (LAS). The LAS will issue a compel data (CD) message to the device requiring hard-periodical communication for external link to be communicated. During the function block execution, the LAS is transmitting the

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

pass token (PT) message to all devices in the live list, so they can send soft-periodical communication data such as displaying information as well as aperiodic communication data such as alarm notification and operator setpoint changes.

4. Proposed Optimization Method. From function block details of the field devices installed in the studied H1 segment as shown in Table 1, there are two interested cases, Case 1 and Case 2, for implementing dual cascade control loops by block assignment as summarized in Table 2, where the subscripts 1 and 2 refer to the block used in the first control loop and the second control loop, respectively. There are two opportunities for optimizing the natural communication schedules of the studied H1 segment as follows.

- Minimizing loop control latency via parallel execution of the function blocks located in different devices by prioritized scheduling whenever possible.
- Maximizing the macrocycle availability for data communications over the network using client-server and report distribution models by consecutively scheduling publications for external links whenever possible.

Figure 4 and Figure 5 show the optimization of communication schedules generated for Case 1 and Case 2, respectively. The natural schedule of Case 1 in Figure 4 is optimized by assigning blocks $AI1_1$, $AI1_2$ and $PID1_1$, $PID1_2$ to be executed simultaneously as well as by grouping the scheduled communications CD2, CD1 and CD6, CD3 to publish the block outputs consecutively. Similarly, the natural schedule of Case 2 in Figure 5 is optimized by scheduling $AI1_1$, $AI1_2$ to be executed in parallel and by grouping two publications of CD1, CD2 and CD4, CD3.

TABLE 2. Function block assignment for building dual cascade loops in the same segment

Case	$AI1_1$	$AI2_1$	$AI1_2$	$AI2_2$	$PID1_1$	$PID2_1$	$PID1_2$	$PID2_2$	$AO1_1$	$AO1_2$
1	LIT 101	FIT 101	LIT 201	FIT 201	LIT 101	FCV 101	LIT 201	FCV 201	FCV 101	FCV 201
2	LIT 101	FIT 101	LIT 201	FIT 201	FCV 101	FCV 101	LIT 201	FCV 201	FCV 101	FCV 201

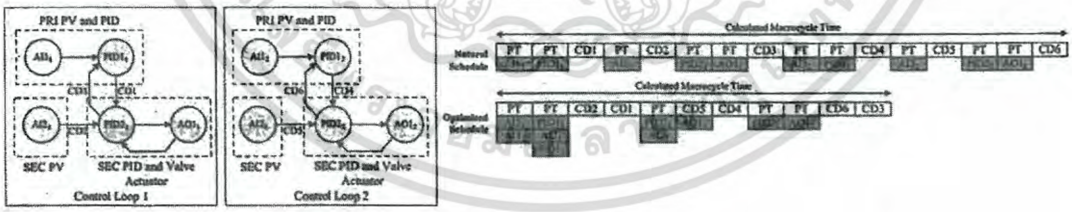


FIGURE 4. Optimizing the communication schedule generated for Case 1

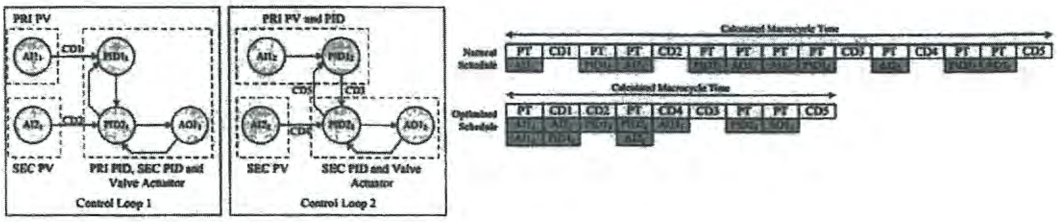


FIGURE 5. Optimizing the communication schedule generated for Case 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. **Results and Discussion.** Experimental results of the natural and optimized communication schedules of Case 1 and Case 2, which are obtained from using the Harmonas-DEO host as the configuration tool, are summarized in Table 3 and Table 4, respectively, where the time offsets are in milliseconds.

TABLE 3. Experimental results of the natural and optimized schedules of Case 1

	Natural Schedule					Optimized Schedule				
Function	Start	Length	End	Pub Gap	Usable Gap	Start	Length	End	Pub Gap	Usable Gap
$AI1_1$ Exec	0	30	30			0	30	30		
$PID1_1$ Exec	30	50	80			30	50	80		
$PID1_1$ PUB	80	30	110	300	270	80	30	110	0	0
$AI2_1$ Exec	110	10	120			40	10	50		
$AI2_1$ PUB	120	30	150	10	0	50	30	80	690	660
$PID2_1$ Exec	150	130	280			110	130	240		
$AO1_1$ Exec	280	80	360			240	80	320		
$PID2_1$ PUB	360	30	390	210	180	330	30	360	0	0
$AI1_2$ Exec	390	80	470			0	80	80		
$PID1_2$ Exec	470	130	600			80	130	210		
$PID1_2$ PUB	600	30	630	210	180	210	30	240	0	0
$AI2_2$ Exec	630	30	660			150	30	180		
$AI2_2$ PUB	660	30	690	30	0	180	30	210	70	40
$PID2_2$ Exec	690	30	720			240	30	270		
$AO1_2$ Exec	720	30	750			270	30	300		
$PID2_2$ PUB	750	30	780	60	30	300	30	330	60	30
				820	**660**				**820**	**730**

TABLE 4. Experimental results of the natural and optimized schedules of Case 2

	Natural Schedule					Optimized Schedule				
Function	Start	Length	End	Pub Gap	Usable Gap	Start	Length	End	Pub Gap	Usable Gap
$AI1_1$ Exec	0	30	30			0	30	30		
$AI1_1$ PUB	30	30	60	200	170	30	30	60	700	670
$PID1_1$ Exec	60	130	190			60	130	190		
$AI2_1$ Exec	190	10	200			50	10	60		
$AI2_1$ PUB	200	30	230	140	110	60	30	90	0	0
$PID2_1$ Exec	230	130	360			190	130	320		
$AO1_1$ Exec	360	80	440			320	80	400		
$AI1_2$Exec	440	80	520			0	80	80		
$PID1_2$ Exec	520	130	650			80	130	210		
$PID1_2$ PUB	650	30	680	420	390	210	30	240	0	0
$AI2_2$ Exec	680	30	710			150	30	180		
$AI2_2$ PUB	710	30	740	30	0	180	30	210	90	60
$PID2_2$ Exec	740	30	770			240	30	270		
$AO1_2$ Exec	770	30	800			270	30	300		
$PID2_2$ PUB	800	30	830	60	30	300	30	330	60	30
				850	**700**				**850**	**760**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

For evaluating the proposed method validation, three following metrics are applied [6,7].

Latency Improvement (LI) – Loop latency is the time that elapses between the process sampling of the input function block until the final control element is commanded to correct a setpoint deviation by the output function block. The LI metric can be given by

$$LI = \left(1 - \left(\frac{optimized_control_sequence_duration}{natural_control_sequence_duration}\right)\right) \times 100\% \quad (1)$$

Publication Gap Improvement (PGI) – Publication gap is the time between the end of scheduled publication to the start of the next publication. The PGI metric can be written as

$$PGI = \left(1 - \left(\frac{\sum(length_natural_usable_gap)}{\sum(length_optimized_usable_gap)}\right)\right) \times 100\% \quad (2)$$

Macrocycle Utilization Improvement (MUI) – Macrocycle utilization is ratio of the optimized macrocycle time to the natural or non-optimized macrocycle time, expressed as a percentage. The MUI metric can be stated as

$$MUI = \left(1 - \left(\frac{\sum(optimized_macrocycle_time)}{\sum(natural_macrocycle_time)}\right)\right) \times 100\% \quad (3)$$

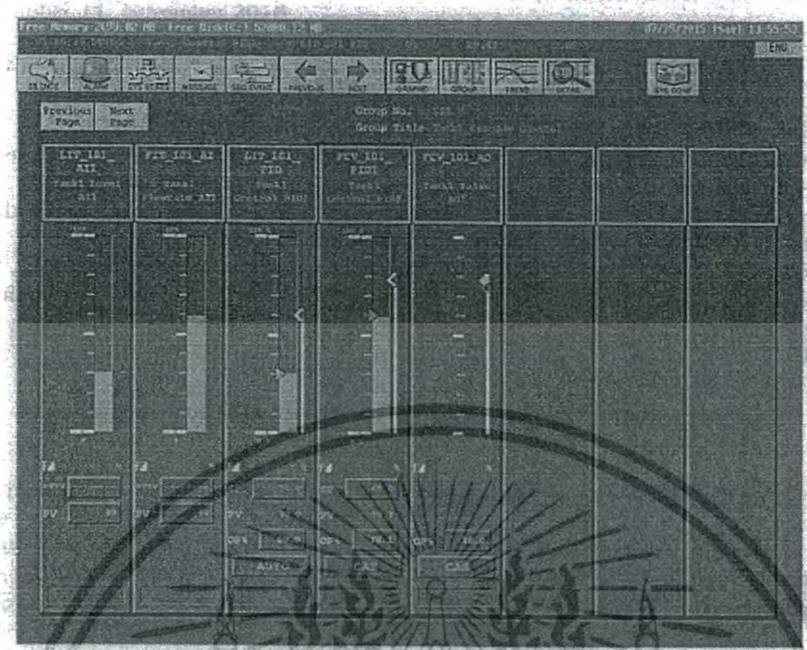
Based on the proposed method, Table 5 gives the improvement results from optimizing the communication schedules of Case 1 and Case 2. One of the goals for schedule optimization is to reduce the control loop latencies, and unneeded delays occurring between the input processing and the output processing of a control sequence. It is seen that the latency improvement can be obtained. Moreover, another goal is to locate the publication in communication schedule for increasing the gaps between publications so that larger gaps are available for soft-periodical and aperiodic communications to support other needs such as trend information, diagnostic information, and configuration downloads. It is evident that the publication gap improvement as well as the macrocycle utilization improvement can be achieved. Figure 6 shows the graphic user interface (GUI) from the host for operating the studied H1 segment with two cascade control loops by using the optimized schedule of Case 1. It is clearly seen that the preferred communication schedule can be used to maintain the process of both control loops within acceptable operating range.

TABLE 5. Improvement results from optimizing the schedules of two different cases

Item	Case 1	Case 2
Calculated Macrocycle of Natural Schedule	780 ms	830 ms
Calculated Macrocycle of Optimized Schedule	360 ms	400 ms
Usable Publication Gap of Natural Schedule	660 ms	700 ms
Usable Publication Gap of Optimized Schedule	730 ms	760 ms
Loop Latency Improvement	11.111%	9.091%
Publication Gap Improvement	9.589%	7.895%
Macrocycle Utilization Improvement	53.846%	51.807%

6. **Conclusions.** A method to improve the communication schedules of FF-based two separate cascade control loops within the same H1 segment has been introduced. Optimization method for two different cases of control function block allocation has been described. Experimental results verify that the communication schedules can be improved by scheduling parallel execution and grouping data transmission for external function block links whenever possible. Accordingly, advantages such as latency reduction, and

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(a) For the first control loop

(b) For the second control loop

FIGURE 6. GUI for operating control loops using optimized schedule of Case 1

improved communication schedule capacity have been gained. In addition, the communication schedule for a hybrid control strategy that incorporates function blocks running in both field devices and host controller will be focused in the future work.

Acknowledgment. This work is supported by FieldComm Group Thai and Azbil Cooperation. The authors also would like to thank the reviewers for helpful comments and suggestions.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

REFERENCES

[1] J. Berge, *Fieldbuses for Process Control: Engineering, Operation and Maintenance*, ISA, USA, 2004.
[2] Fieldbus Foundation, *System Engineering Guidelines*, USA, 2012.
[3] I. Verhappen and A. Pereira, *Foundation Fieldbus*, ISA, USA, 2009.
[4] A. Julsereewong, P. Julsereewong and T. Dejsiriphant, Study on field control locations for Foundation Fieldbus-based cascade control loop, *SICE Annual Conference*, pp.1706-1711, 2012.
[5] A. Julsereewong, P. Julsereewong and P. Harntujit, Foundation Fieldbus segment scheduling for fast loop controls, *ICIC Express Letters*, vol.7, no.4, pp.1201-1207, 2013.
[6] W. R. Hodson, Method for optimizing a link schedule, *U.S. Patent 2008/0229317 A1*, 2008.
[7] T. Sangsuwan, S. Pongswatd, A. Julsereewong, Y. Morioka and Y. Amano, Communication schedule optimization of cascade control using Foundation Fieldbus, *ICIC Express Letters*, vol.10, no.1, pp.197-204, 2016.

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Volume 10, Number 1, January 2016 ISSN 1881-803X

ICIC Express Letters

An International Journal of Research and Surveys

Editors-in-Chief
Yan Shi, Tokai University, Japan
Junzo Watada, Waseda University, Japan

Indexed by ***Ei Compendex (Elsevier)***
Scopus (Elsevier)
INSPEC (IET)

Published by ICIC International
http://www.ijicic.org/icicel.htm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ICIC Express Letters

Editors-in-Chief

Yan Shi, Tokai University, Kumamoto 862-8652, Japan

Junzo Watada, Waseda University, Kitakyushu 808-0135, Japan

Advisory Board

Ramesh Agarwal, USA
Steve P. Banks, UK
Tom Heskes, Netherlands
Lakhmi C. Jain, Australia
Jerry M. Mendel, USA
Masaharu Mizumoto, Japan
Takuo Nakashima, Japan
Jeng-Shyang Pan, Taiwan
Witold Pedrycz, Canada
Peng Shi, Australia
Takeshi Yamakawa, Japan
Lotfi A. Zadeh, USA

Associate Editors

Malek Adjouadi, USA
Jamal Ameen, UK
Hyerim Bae, Korea
Roberto Barchino, Spain
Rawshan Basha, UAE
Michael V. Basin, Mexico
Ozer Ciftcioglu, Netherlands
Vasile Dragan, Romania
Kei Eguchi, Japan
Chao-Hsing Hsu, Taiwan
Xiangpei Hu, China
Gerardo Iovane, Italy
Amphawan Julsereewong, Thailand
Hamid Reza Karimi, Norway
Dongsoo Kim, Korea
Minsoo Kim
Mahdi Khosravy, Macedonia
Magdi Mahmoud, Saudi Arabia
Anatolii Martynyuk, Ukraine
Subhas Misra, India
Tshilidzi Marwala, South Africa
Sing Kiong Nguang, New Zealand
Nikos Nikolaidis, Greece
Pavel Pakshin, Russia
Takashi Samatsu, Japan
Edwin Engin Yaz, USA
Jianqiang Yi, China
Jianping Yu, China
Zhong Zhang, Japan
Yuxin Zhao, China

©2016 ICIC International ISSN 1881-803X Printed in Japan

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ICIC EXPRESS LETTERS

Volume 10, Number 1, January 2016

CONTENTS (*Continued*)

A Hybrid Algorithm Based on Teaching-Learning-Based Optimization and Newton Method for Solving Nonlinear Equations 103
Xia Li, Peifeng Niu, Litong Zhao, Guoqiang Li and Jianping Liu

An Optimized Configuration Method of Networked Resource Based on Similarities 111
Jingzhi Fu, Xiaoning Shen and Ping Mei

A Multi-Person Decision-Making Method Based on Weighted Fuzzy Soft Set 117
Qiwen Zhang and Xueqin Wang

A Low-Complexity Detection Algorithm for Spatial Modulation Systems with Multiple Phase Shift Keying Modulation 123
Xiaoping Jin, Huizhen Feng, Ning Jin and Youming Li

Formation Reconfiguration Control of Multiple Unmanned Aerial Vehicles Based on Consensus Protocol 129
Yibo Li, Kun He and Haidong Meng

A Conditional Random Field Model for Real-Time Urban Air Quality Forecast 137
Yuan Huang, Guoyan Huang and Jiadong Ren

Bayesian Network Parameters Learning Method Based on Hybrid Swarm Intelligence Optimization Algorithm 145
Xiaoxin Du, Jianfei Zhang, Yuan Guo and Bo Wang

Detecting Discriminative Spatio-Temporal Parts Using Similarity-Constrained Latent Structural Support Vector Machine for Action Recognition 153
Shijian Huang, Junyong Ye, Tongqing Wang, Li Jiang and Yang Li

Minimizing Machining Airtime Motion with an Ant Colony Algorithm 161
Haslina Abdullah, Rizauddin Ramli, Dzuraidah Abd Wahab and Jaber Abu Qudeiri

Feature Analysis on Several Knowledge Change Rate-Based Attributes Importance Measure Methods 167
Fachao Li, Qihui Hu and Bokai (William) Zhao

A Novel Ultrasonic Method of Large-Diameter Piles Defect Type Detection Based on WPD and PNN 177
Lixin Zhang, Huijian Li, He Wang and Zhibin Song

Detecting Students' Online Entrepreneurial Activities by Fuzzy Statistics 185
Dian-Fu Chang, Wen-Ching Chou and Fong-Yee Nyeu

Blind Source Separation without Scaling Indeterminacy Using Amplitude Ratio of Observed Signals 191
Takaaki Ishibashi, Kohei Fujimori, Hirohito Shintani, Chiharu Okuma Kiyoteru Hayama and Hiromu Gotanda

Communication Schedule Optimization of Cascade Control Using Foundation Fieldbus 197
Thaksin Sangsuwan, Sawai Pongswatd, Amphawan Julsereewong Yoshitsugu Morioka and Yoshiharu Amano

(*Continued*)

©2016 ICIC International **ISSN 1881-803X** **Printed in Japan**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ICIC Express Letters
Volume 10, Number 1, January 2016

ICIC International ©2016 ISSN 1881-803X
pp. 197–204

COMMUNICATION SCHEDULE OPTIMIZATION OF CASCADE CONTROL USING FOUNDATION FIELDBUS

Thaksin Sangsuwan[1], Sawai Pongswatd[1], Amphawan Julsereewong[1]
Yoshitsugu Morioka[2] and Yoshiharu Amano[2]

[1]Faculty of Engineering
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Ladkrabang, Bangkok 10520, Thailand
sangsuwan.iee@gmail.com; { klsawai; kcamphaw }@kmitl.ac.th

[2]Industrial Open Network Laboratory
Research Institute for Science and Engineering
Waseda University
17 Kikui-cho, Shin-juku-ku, Tokyo 162-0044, Japan
y.morioka@kurenai.waseda.jp; yoshiha@waseda.jp

Received June 2015; accepted August 2015

Abstract. *This paper presents a technique to optimize the communication schedules generated for synchronization of Foundation Fieldbus H1 devices in cascade control loop. A level-to-flow cascade control operated by the Harmonas-DEO host system is examined as an illustrative case study. Major objectives of the optimization are not only to minimize the latency of the control loop but also to maximize the availability of the network bandwidth. The proposed technique can be applied for H1 segment macrocycle schedules performing the control functions in both of the host controller and the field devices. Three examples for optimizing communication schedules generated from different control block assignments are described. The validation of the optimization methods can be determined by using two metrics: control loop latency improvement and publication gap availability improvement. Experimental results confirm that the proposed technique works effectively to operate the studied H1 segment for cascade control without any problems.*

Keywords: Foundation Fieldbus, Cascade control, Communication schedule, Macrocycle, Control latency, Optimization

1. Introduction. A fieldbus is a method for digital communication in the shop floor or process plant in which there is distributed and programmable intelligence at each network node. Since the advent of digital communication technology, several fieldbuses have been developed to serve particular sectors of the automation industry. Fieldbuses for hydrocarbon processing plants dominated in continuous regulatory control were designed to connect smart field instruments to each other and to higher level control networks. A process control based upon constant sampling intervals does demand tight time synchronization between devices forming control loop. Time synchronization cannot be obtained without a synchronous network. Foundation Fieldbus (FF) is uniquely different from other fieldbuses available for use in process industry in that its standard includes the definition of software function blocks for making it possible to distribute control strategies into smart field instruments [1]. Scheduling of function block execution and communication is an effective method to coordinate the control strategies distributed in different devices connected on the network. There is one schedule, frequently called segment macrocycle, for each FF H1 network in the system. The schedule is automatically generated by a configuration tool and downloaded to the host and the devices as part of the control strategy. Nevertheless, the schedule optimization is still required for improving system performance [2]. In addition, scheduling of the segment macrocycle depends on several factors such

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

as number and type of field devices, scheme of control loops, and allocation of control function blocks. Among previously reported methods to achieve optimal communication schedules on FF H1 networks [3-5], none of them concentrates on practical technique for optimizing segment macrocycle for cascade control loop in which primary and secondary control function blocks can be assigned in either the host controller or field devices.

This paper aims to propose a technique to practically optimize the communication schedules during system engineering phase for cascade control strategy using FF technology. Optimization methods for three different cases of control block assignment by using the Harmonas-DEO as the configuration tool are described. The first studied case is the optimization of the schedule generated for running the control function blocks in the host controller, while the other two cases are the optimizations of the schedules generated for running the control function blocks in the field instruments. In order to evaluate the schedule improvements numerically, two metrics named control loop latency improvement and publication gap availability improvement are employed. Experimental results from the real H1 segment operation by using non-optimized schedule and optimized schedule in the case of assigning control function blocks with two external links are also included and compared.

The remainder of the paper is organized as follows. In Section 2, a brief description of cascade control using FF technology and communications on H1 network is given. A case study of level-to-flow cascade control is described in Section 3. The proposed technique is presented in Section 4. Some experimental results are given and discussed in Section 5, and then the conclusions are made in Section 6.

2. FF-Based Cascade Control Loop and Communications on H1 Network.

2.1. Cascade control using FF. The cascade control loop can be established by configuring a series of software function blocks as shown in Figure 1 [2]. This control scheme has two input class blocks (AI1 and AI2), two control class blocks (PID1 and PID2), and one output class block (AO1). Input class blocks and output class blocks are connected to sensor hardware and to actuator hardware, respectively, via transducer blocks over a channel specified by channel parameter. Control class blocks are used to perform closed-loop control, and they have back-calculation functionality to provide bumpless mode transfers and reset windup protection. A list of the blocks used with their function in normal operating mode and execution order is summarized in Table 1. The blocks are linked to each other from output parameters to input parameters and executed sequentially. Links between function blocks in different devices, referred to as 'external links', are communicated over the H1 network, whereas links between function blocks within the same device, referred to as 'internal links', do not have to be communicated on the network. Figure 2 shows three different cases of assigned control locations for function blocks for cascade control loop, where dashed line rectangles indicate function blocks within a single device. From

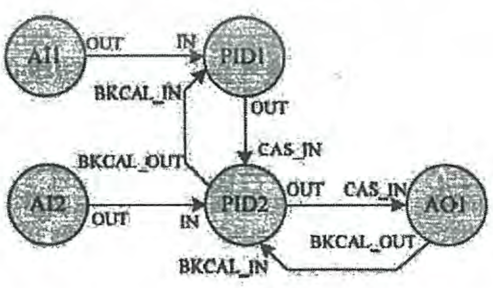
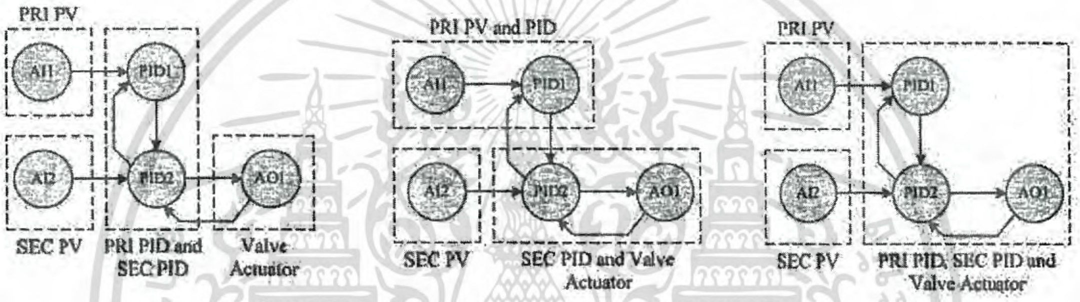


FIGURE 1. Cascade control strategy using FF function blocks

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TABLE 1. FF function blocks used for building cascade control strategy

Block	Normal mode	Function required in process control
Primary analog input block (AI1)	Automatic	Converting the primary measuring signal into a numerical value
Secondary analog input block (AI2)	Automatic	Converting the secondary measuring signal into a numerical value
Primary PID control block (PID1)	Automatic	Receiving the operator-entered setpoint as well as the measurement value from the primary AI1 output, and calculating the block output
Secondary PID control block (PID2)	Cascade	Receiving its cascade setpoint from the primary PID1 output as well as the measurement value from the secondary AI2 output, and calculating the block output
Analog output block (AO1)	Cascade	Fetching and scaling the secondary PID2 output, and passing to the transducer block for valve actuation



(a) Case 1 (b) Case 2 (c) Case 3

FIGURE 2. Alternative locations for control block assignment for cascade control loop

Figure 2(a), both of the PID1 and PID2 blocks are assigned in the host controller with the traditional distributed control system (DCS) approach. This configuration requires four external links, if the block output is to be transmitted on the H1 network. An alternative with three external links is for the PID1 block to be in its analog input transmitter and the PID2 and AO blocks to be in the valve positioner as shown in Figure 2(b). However, if the valve positioner supports two PID function blocks, a configuration with two external links is that both the PID1 and PID2 blocks are located in the valve positioner as shown in Figure 2(c).

2.2. Communications on FF H1 network [1,2]. There are three types of data transmission occurred on H1 network: hard periodical communication, soft periodical communication, and aperiodic communication [6]. The hard periodical communication is provided for scheduled process data transmission shown in Figure 2 on the network by using publisher-subscriber model. Based on client-server model or report distribution model, the soft periodical communication is used for unscheduled data transmission on a cyclic basis, whereas the aperiodic communication is offered for infrequent data transmission of unscheduled events. When building control loop strategy, the schedule or segment macrocycle for function block executions and external link communications is produced by the configuration tool. The data transmission on H1 network is controlled by the link active scheduler (LAS). The LAS maintains the communications based on the segment macrocycle and token-passing mechanism to ensure that only one device at a time is granted permission to access the network. When the block output is scheduled for transmission, the LAS issues a compel data (CD) message to the device. When receiving such message,

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

the device publishes the specified process data to all devices on the segment configured to receive the data. When the LAS detects a communication gap large enough to transfer unscheduled data, it sends the pass token (PT) message to the devices sequencially. Once the device receives the PT command, it can send the data until it is finished or until the maximum token hold time is expired, whichever is shorter. If the LAS determines that the time remaining between the return of the token and the next CD command is too short to allow for unscheduled transmission or link maintenance messages, the LAS holds the token and may issue idle messages if required to prevent too long silent time, and then sends the CD command.

3. **Case Study with Level-to-Flow Cascade Control.** Figure 3 shows the system architecture of the case study with level-to-flow cascade control using FF system. Three H1 field devices used in control loop are level transmitter modeled EJX110A from Yokogawa (LIT_101), flow transmitter modeled 8732E from EPM (FIT_101), and valve positioner modeled AVP303 from Azbil (FCV_101). The Harmonas-DEO system distributed by Azbil is the integrated host with capabilities to configure and operate the FF segments.

Table 2 gives major function block details, number of block, and block execution time of the field devices used for building cascade control loop by using the Harmonas-DEO system. The function block allocation in the H1 field instruments used for configuring the control loops of Figure 2 is summarized in Table 3.

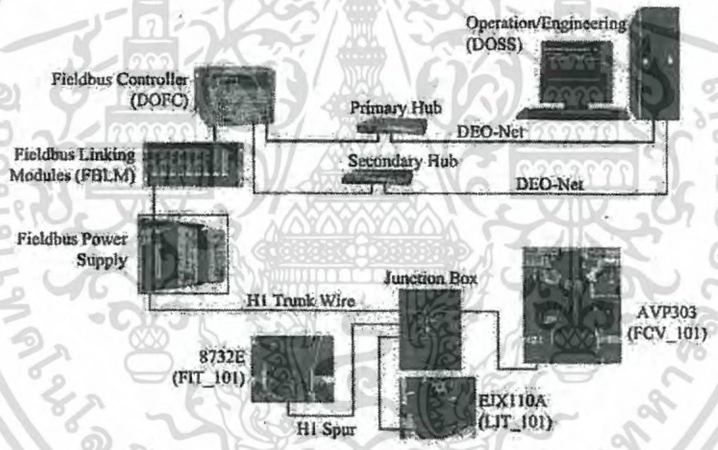


FIGURE 3. Case study with level-to-flow cascade control using FF system

TABLE 2. Function block details for building control loop by using the Harmonas-DEO

PD-Tag	AI Count	AI Time	PID Count	PID Time*	AO Count	AO Time*
LIT_101	3	30 ms	1	50 ms	N/A	N/A
FIT_101	1	10 ms	1	15 ms	N/A	N/A
FCV_101	N/A	N/A	2	130 ms	1	80 ms

*The block execution time includes extra time required by the host used of 5 ms.

TABLE 3. Function block allocation for configuring control loops of Figure 2

Case	AI1	AI2	PID1	PID2	AO1
1	LIT_101	FIT_101	Host Controller	Host Controller	FCV_101
2	LIT_101	FIT_101	LIT_101	FCV_101	FCV_101
3	LIT_101	FIT_101	FCV_101	FCV_101	FCV_101

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. **Proposed Technique.** Generally, the natural or non-optimized schedule is generated by specifying function blocks to be executed in order of input class block, control class block, and output class block as well as by positioning data transfers for external function block links to occur instantly after the upstream blocks completed their execution.

4.1. **Optimizing communication schedules from the case study.** In order to optimize the segment macrocycle, which is a significant component in control loop dynamics, for better performance of cascade control, there are two opportunities as follows.

- Minimizing control loop latency by scheduling the primary AI1 and secondary AI2 blocks to be executed in parallel. The AI1 and AI2 blocks are distributed into separated devices, LIT_101 and FIT_101, respectively, so these blocks are independent functions.
- Maximizing the availability of the segment macrocycle for unscheduled communication by grouping the data transfers for external function block links successively, whenever possible.

To minimize control loop latency, the natural schedule with 4 external links of Case 1 is optimized by assigning the AI1 and AI2 blocks to be executed in parallel as shown in Figure 4. It should be noted that these schedules exclude the execution times of the PID blocks located in the host controller. In addition, the execution of the host PID algorithm is not commonly synchronized with the execution of the segment macrocycle.

Similarly, the natural schedule with 3 external links of Case 2 is improved for latency reduction by scheduling the AI1 and AI2 blocks to be executed concurrently as illustrated in Figure 5.

The natural schedule with 2 external links of Case 3 is optimized by scheduling the AI1 and AI2 blocks to be executed simultaneously as well as by grouping two scheduled communications consecutively to publish the outputs of the AI1 and AI2 blocks as displayed in Figure 6.

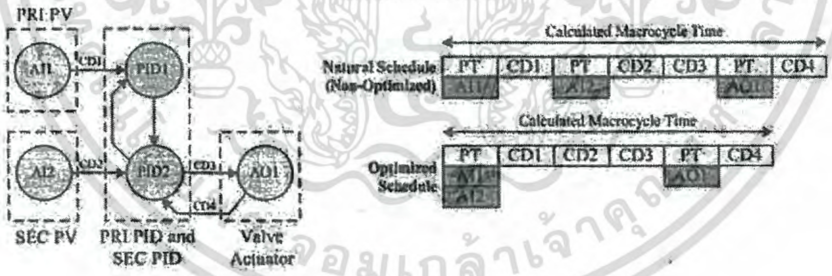


FIGURE 4. Optimizing the schedule for running the configured control loop of Case 1

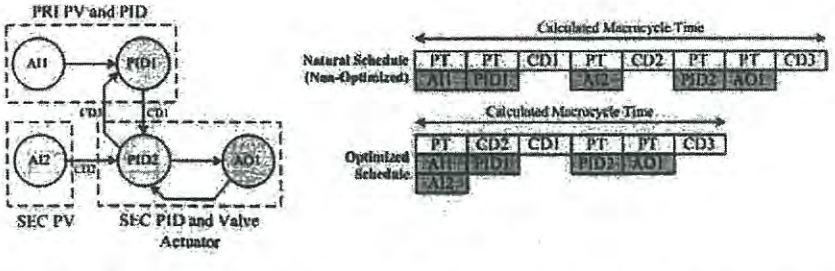


FIGURE 5. Optimizing the schedule for running the configured control loop of Case 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

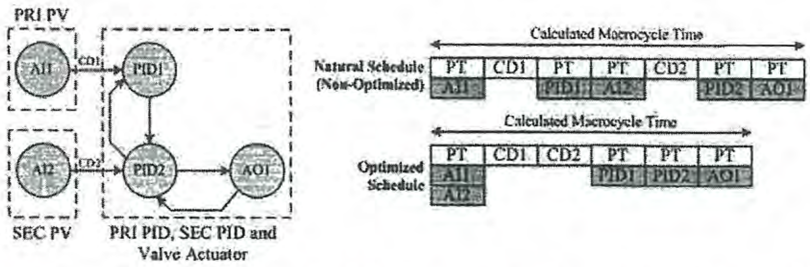


FIGURE 6. Optimizing the schedule for running the configured control loop of Case 3

4.2. Evaluation of the validation of the proposed technique. In order to evaluate the validation of the proposed technique for optimizing the communication schedules, two following metrics are applied [4].

Control Loop Latency Improvement (CLLI) – Control loop latency is a period of time between the input processing and the output processing of the control sequence. The control sequence duration can be determined by the time interval that the AI1 block is initiated to execute until the AO1 block completes its execution or the end of CD after the AO1 (if needed). This metric can be expressed as:

$$CLLI = \left(1 - \left(\frac{optimized_control_sequence_duration}{natural_control_sequence_duration}\right)\right) \times 100\% \qquad (1)$$

Publication Gap Availability Improvement (PGAI) – Publication gap is the time between the end of scheduled publication to the start of the next publication. The usable publication gap means the gap between scheduled data publications that is greater than the minimum time needed for any other communications. If the minimum time needed for any communications is 30 ms, then the publication gap will be available when it is greater than 30 ms. This metric can be stated as:

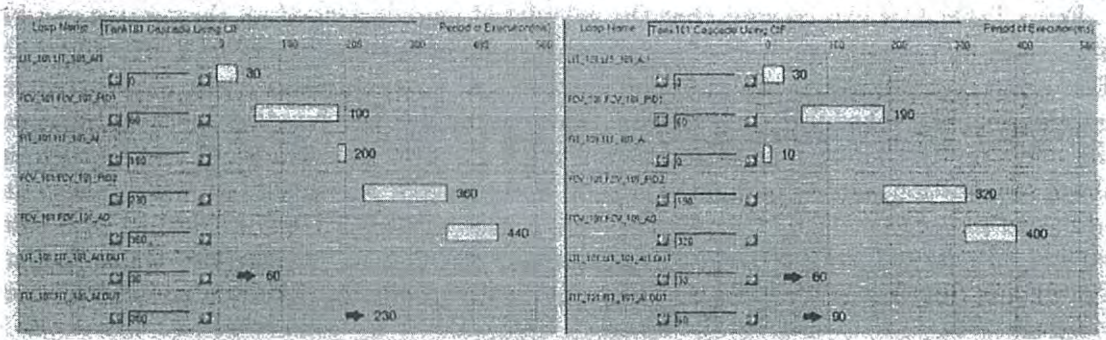
$$PGAI = \left(1 - \left(\frac{\sum (length_natural_usable_gap)}{\sum (length_optimized_usable_gap)}\right)\right) \times 100\% \qquad (2)$$

5. Results and Discussion. The Harmonas-DEO host system was utilized to configure the field devices and control loops as well as to operate the studied H1 segment. Experimental results from building the cascade control loops using the proposed technique to optimize the communication schedules are summarized in Table 4, where the default value for each scheduled data transmission used by the scheduling function in the host is 30 ms, and the requested macrocycle for operating the studied H1 segment is 1,000 ms. Figure 7 shows the macrocycles produced by the Harmonas-DEO for the control loop with the assignment of PID blocks of Case 3.

TABLE 4. Experimental results from optimizing the schedules of three different cases

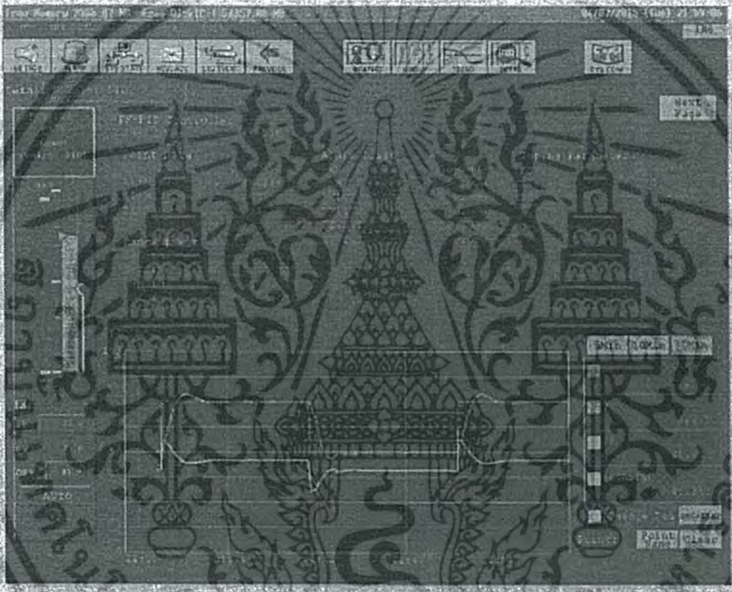
Item	Case 1	Case 2	Case 3
Calculated Macrocycle of Non-optimized Schedule	240 ms	390 ms	440 ms
Calculated Macrocycle of Optimized Schedule	230 ms	350 ms	400 ms
Scheduled Communication Load during Calculated Macrocycle of Optimized Schedule	52.174%	25.714%	15.000%
Control Loop Latency Improvement	4.167%	10.256%	9.091%
Publication Gap Availability Improvement	1.220%	1.176%	3.297%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

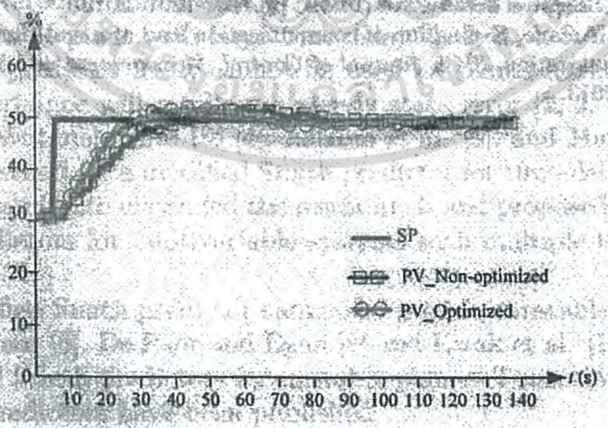


(a) Non-optimized macrocycle (b) Optimized macrocycle

FIGURE 7. Macrocycles produced by the Harmonas-DEO for the control loop of Case 3



(a) Case of Figure 7(b)



(b) Comparison of Figures 7(a) and 7(b)

FIGURE 8. Step-change responses of the control loop with the macrocycles of Figure 7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

From Table 4, it can be seen that the calculated macrocycles of all three cases can be minimized by taking advantage of parallel execution of the function blocks, AI1 and AI2. The network bandwidths available for unscheduled communications are also increased by grouping the scheduled data transmissions to publish the function block outputs on the network. If a lot of time is allocated for unscheduled data transfers, events such as alarm notification, device parameter access, and operator screen update will be fast. In addition, the placement of the primary PID and secondary PID function blocks in the valve positioner of Case 3 provides the minimum network load for scheduled transmission. Optimizing function block links is one of effective methods for optimum communication schedule.

Figure 8(a) shows the responses of the cascade control loop with the optimized macrocycle of Figure 7(b) to step changes of the setpoint. It is evident that the preferred communication schedule can be used to maintain the controlled process within the acceptable operating range. Figure 8(b) displays comparison of two step responses obtained from the control loops with non-optimized and optimized macrocycles of Figure 7. It is seen that the optimized macrocycle with shorter control loop latency offers faster step response.

6. Conclusions. A practical technique to optimize segment macrocycles of the FF-based cascade control for better communication and control capabilities has been introduced. The optimization methods for three different cases of control function block allocation are described. Experimental results show that the communication schedules can be improved by scheduling parallel execution of the AI blocks and grouping data transmission for external function block links. Moreover, the system performance can be also improved by reducing the number of external links.

REFERENCES

[1] Fieldbus Foundation, *Foundation Fieldbus Technical Overview*, USA, 2003.

[2] J. Berge, *Fieldbuses for Process Control: Engineering, Operation and Maintenance*, ISA, USA, 2004.

[3] J. Song, A. Mok, D. Chen and M. Nixon, Optimizing distributed Foundation Fieldbus process control with MSP.RTL tool, *The 5th IEEE International Conference on Industrial Informatics*, pp.867-872, 2007.

[4] W. R. Hodson, Method for Optimizing A Link Schedule, *U.S. Patent 2008/0229317 A1*, 2008.

[5] A. Julsereewong, P. Julsereewong and P. Harntujit, Foundation Fieldbus segment scheduling for fast loop controls, *ICIC Express Letters*, vol.7, no.4, pp.1201-1207, 2013.

[6] Y. Morioka and Y. Amano, Evaluation of communication load of a real-time fieldbus using concepts of periodical communication, *SICE Journal of Control, Measurement and System Integration*, vol.6, no.5, pp.316-321, 2013.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นายทักษิณ แสงสุวรรณ
วัน-เดือน-ปีเกิด	11 พฤษภาคม 2528 ที่สุราษฎร์ธานี
ที่อยู่	11 ม.6 ต.ดอนสัก อ.ดอนสัก จ.สุราษฎร์ธานี 84220 โทร. 086-5144-929
ประวัติการศึกษา	2553 ปริญญาโท หลักสูตรวิศวกรรมศาตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมการวัดคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง 2551 ปริญญาตรี หลักสูตรวิศวกรรมศาตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมระบบเครื่องมือวัด (เกียรตินิยม อันดับ2) คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ประวัติการทำงาน	
2554-ปัจจุบัน	อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมเครื่องมือวัดและอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้