

เทคนิคทางภาคปฏิบัติเพื่อแก้ปัญหาเสียงรบกวนและการสั่นสะเทือน
ซึ่งเกิดจากควิเทิร์นในวาล์วควบคุม

A PRACTICAL TECHNIQUE FOR SOLVING NOISE AND VIBRATION
PROBLEMS CAUSED BY CONTROL VALVE CAVITATION



วิชาแผนและงานช่างของภาควิชาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอัตโนมัติ

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2560

KMITL-2017-EN-M-257-113

เทคนิคทางภาคปฏิบัติเพื่อแก้ปัญหาเสียงรบกวนและการสั่นสะเทือน
ซึ่งเกิดจากควาวิเทชันในวาล์วควบคุม

A PRACTICAL TECHNIQUE FOR SOLVING NOISE AND VIBRATION
PROBLEMS CAUSED BY CONTROL VALVE CAVITATION



T148764

พงษ์ศักดิ์ พิลำอูน
PONGSAK PILAOON

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 148764
วันเดือนปี 23 มี.ค. 2560

b. 00267104
j.

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอัตโนมัติ

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2560

A PRACTICAL TECHNIQUE FOR SOLVING NOISE AND VIBRATION
PROBLEMS CAUSED BY CONTROL VALVE CAVITATION

PONGSAK PILAOON



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

2017

KMITL-2017-EN-M-257-113

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2017

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หมายเลขวิทยานิพนธ์ KMITL-2017-EN-M-257-113

วันที่ 18 กรกฎาคม พ.ศ. 2560

หัวข้อวิทยานิพนธ์	เทคนิคทางภาคปฏิบัติเพื่อแก้ปัญหาเสียงรบกวนและการสั่นสะเทือน ซึ่งเกิดจากควิเทชั่นในวาล์วควบคุม
นักศึกษา	นายพงษ์ศักดิ์ พิลาอูน
รหัสประจำตัว	58601201
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมอัตโนมัติ
พ.ศ.	2560
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	รศ.ดร.อัมพวัน จุลเสรีวงศ์

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอเทคนิคทางภาคปฏิบัติเพื่อแก้ปัญหาเสียงรบกวนและการสั่นสะเทือนซึ่งเกิดจากควิเทชั่นในวาล์วควบคุมของมาตรวัดอัตราการไหลคอนเดนเสทเรซิดิวของโรงงานผลิตสารอะโรเมติกส์แห่งหนึ่ง โดยควิเทชั่นในวาล์วควบคุมที่เกิดขึ้นเป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงวัตถุประสงค์ของการใช้งานมาตรวัดอัตราการไหล จากการใช้มาตรวัดอัตราการไหลเพื่อซื้อ-ขาย เปลี่ยนเป็นการใช้มาตรวัดเพื่อแสดงผลและควบคุมอัตราการไหล ดังนั้น เพื่อหลีกเลี่ยงผลกระทบที่ก่อให้เกิดความเสียหายจากการเกิดควิเทชั่น จึงได้นำเสนอเทคนิคในการแก้ปัญหาโดยการติดตั้งระบบวัดคัมใหม่ที่ใช้ฟาวน์เดชันฟิลด์บัสด้วยแนวคิดการควบคุมระดับฟิลด์ นอกจากนี้ ยังได้มีการประเมินการเกิดควิเทชั่นในวาล์วควบคุมที่เลือกใช้ในการติดตั้งระบบวัดคัมใหม่โดยใช้ข้อเสนอแนะขององค์กร ISA ซึ่งผลการประเมินยืนยันได้ว่า ไม่มีการเกิดควิเทชั่นระยะเริ่มต้นในวาล์วควบคุมที่ใช้ในระบบวัดคัมอัตราการไหลใหม่ที่น่าเสนอภายใต้สภาวะการทำงานปกติ

Thesis	A Practical Technique for Solving Noise and Vibration Problems Caused by Control Valve Cavitation
Student	Mr. Pongsak Pilagoon
Student ID.	58601201
Degree	Master of Engineering
Program	Automation Engineering
Year	2017
Thesis Advisor	Assoc. Prof. Dr. Amphawan Julsereewong

ABSTRACT

This thesis presents a practical technique for solving noise and vibration problems caused by control valve cavitation in existing flow metering of condensate residue in an aromatics plant. A major cause of cavitation in the control valve is due to change in the purpose of flow metering system from use for custody transfer measurement to use for normal process monitoring and control. In order to avoid damaging effects of cavitation, the solving technique by installing a new monitoring and control system using Foundation Fieldbus with Control-in-the-Field concept is proposed. In addition, cavitation characteristics of the selected control valve used in the new system are evaluated by using the recommended practice of International Society of Automation (ISA). The evaluation results confirm that no incipient cavitation occurs in the selected control valve for new installation in the proposed technique under normal service conditions.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จได้ด้วยความกรุณาจากอาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.อัมพวัน จุลเสรีวงศ์ ที่ให้ความช่วยเหลือ ให้คำชี้แนะช่วยแก้ปัญหา ตลอดจนให้ความรู้และประสบการณ์ที่ดีแก่ข้าพเจ้า

ขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมการวัดและควบคุม (หลักสูตรวิศวกรรมอัตโนมัติ) คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกท่าน ในการถ่ายทอดความรู้และให้คำปรึกษาในด้านต่าง ๆ

ขอขอบคุณหัวหน้างานและเพื่อนร่วมงานทุกท่านสำหรับความร่วมมือสนับสนุนทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยดี

สำหรับคุณงามความดีอันใดที่เกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอมอบให้กับบิดามารดาซึ่งเป็นที่รักและเคารพยิ่ง ตลอดจนครูอาจารย์ที่เคารพทุกท่านที่ได้ถ่ายทอดวิชาความรู้และประสบการณ์ที่ดีให้แก่ข้าพเจ้า

พงษ์ศักดิ์ พิลานุ่น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VI
สารบัญรูป.....	VII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์.....	2
1.3 แนวคิดของวิทยานิพนธ์.....	3
1.4 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์.....	3
1.5 รายละเอียดของวิทยานิพนธ์.....	4
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	5
2.1 กล่าวนำ.....	5
2.2 การวัดและควบคุมอัตราการใช้.....	5
2.2.1 หลักการพื้นฐานของการไหลและการวัดอัตราการใช้.....	5
2.2.1.1 หลักการพื้นฐานของการไหล.....	5
2.2.1.2 เทคนิคการวัดการไหล.....	8
2.2.2 การควบคุมอัตราการใช้แบบอัตโนมัติ.....	11
2.3 การเลือกใช้อัลกอริทึม.....	17
2.3.1 การคำนวณหาขนาดตัวควบคุม.....	17
2.3.2 ข้อมูลสำคัญอื่นในการเลือกตัวควบคุมเพื่อประยุกต์ใช้งาน.....	20
2.4 คิวเทชั่นและการใช้คิวเทชั่นอินเดกซ์ประเมินตัวควบคุม.....	24
2.5 ระบบควบคุมบนพื้นฐานของเทคโนโลยีการสื่อสารแบบฟาว์เดชั่นฟิลด์บัส.....	29
2.5.1 ประโยชน์ของการนำเทคโนโลยีฟาว์เดชั่นฟิลด์บัสมาใช้งาน.....	30
2.5.2 สถาปัตยกรรมของเทคโนโลยีฟาว์เดชั่นฟิลด์บัส.....	31
2.5.3 ฟาว์เดชั่นฟิลด์บัสฟังก์ชันบล็อก.....	32
2.5.4 มาโครไซเคิลของฟิลด์บัสเซกเมนต์.....	37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 เทคนิคทางภาคปฏิบัติเพื่อแก้ปัญหาซึ่งเกิดจากควิเทชั่นในวาล์วควบคุมที่นำเสนอ.....	38
3.1 กล่าวนำ.....	38
3.2 มาตรฐานอัตราการไหลที่ศึกษา.....	39
3.2.1 การใช้มาตรฐานอัตราการไหลเพื่อการซื้อขายกับโรงกลั่นน้ำมัน.....	39
3.2.2 การใช้มาตรฐานอัตราการไหลหลังการรวบรวมกิจการกับโรงกลั่นน้ำมัน.....	41
3.3 การเลือกชนิดและขนาดของวาล์วควบคุมและการประเมินการเกิดควิเทชั่น.....	42
3.3.1 การเลือกชนิดและขนาดของวาล์วควบคุม.....	42
3.3.2 การประเมินการเกิดควิเทชั่นในวาล์วควบคุมที่เลือกใช้.....	44
3.4 ระบบวัดคุมอัตราการไหลโดยใช้ฟารน์เดชันฟิลด์บัส.....	47
3.4.1 ระบบวัดคุมอัตราการไหลที่สร้างขึ้นใหม่.....	48
3.4.2 การออกแบบฟิลด์บัสเซกเมนต์ H1.....	49
3.4.3 การสร้างรูปควบคุมด้วยฟังก์ชันบล็อกไดอะแกรม.....	51
3.4.4 การติดตั้งฟิลด์บัสเซกเมนต์และการปรับแต่งพารามิเตอร์ของบล็อกพีเอดี.....	57
3.5 ผลการทดสอบระบบวัดคุมอัตราการไหลที่สร้างขึ้นใหม่.....	59
3.5.1 ผลการวัดสัญญาณเสียงรบกวนและการสั่นสะเทือนของระบบแบบเดิม.....	59
3.5.2 ผลการวัดสัญญาณเสียงรบกวนและการสั่นสะเทือนของระบบที่สร้างขึ้นใหม่.....	60
บทที่ 4 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	62
4.1 สรุปผลการวิจัย.....	62
4.2 ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยต่อ.....	63
เอกสารอ้างอิง.....	64
ภาคผนวก.....	66
ประวัติผู้เขียน.....	77

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ข้อมูลคุณลักษณะของปั๊มที่ได้จากโรงงานผู้ผลิต.....	21
2.2 ข้อมูลอัตราการไหลกับความดันสูญเสียจากระบบท่อ.....	22
2.3 ข้อมูลจากผู้ผลิตวาล์วเปรียบเทียบกับเปอร์เซ็นต์การเปิดและ Rated Cv.....	22
2.4 ข้อมูลค่าอัตราการไหล Rated Cv ที่คำนวณได้และเปอร์เซ็นต์การเปิดวาล์วที่เลือก.....	23
2.5 ข้อเสนอแนะการเลือกใช้งานคุณลักษณะของวาล์วชนิดต่าง ๆ.....	23
3.1 รายการอุปกรณ์ระบบวัดคุมที่ติดตั้งในมาตรวัดอัตราการไหลเพื่อการซื้อขาย.....	40
3.2 สภาวะกระบวนการผลิตหลังการควบคุมกิจกรรมสำหรับการใช้ในการหาขนาดวาล์วควบคุม.....	42
3.3 ผลการคำนวณและผลการเปรียบเทียบเพื่อประเมินดัชนีควิเทชั่น σ_p ของวาล์วควบคุม ที่เลือกใช้.....	45
3.4 ผลการคำนวณและผลการเปรียบเทียบเพื่อประเมินดัชนีควิเทชั่น σ_p ของวาล์วควบคุม ที่เลือกใช้.....	46
3.5 รายการอุปกรณ์ที่ติดตั้งในระบบวัดคุมอัตราการไหลที่สร้างขึ้นใหม่.....	49
3.6 รายละเอียดของฟังก์ชันบล็อกภายในอุปกรณ์ระดับฟิลด์ที่เลือกใช้.....	53
3.7 กรณีที่เป็นไปได้สำหรับการเลือกกำหนดใช้งานฟังก์ชันบล็อก PID สำหรับรูปควบคุม ดังรูปที่ 3.10.....	54
3.8 การเลือกใช้งานฟังก์ชันบล็อกในอุปกรณ์ระดับฟิลด์สำหรับระบบวัดคุมอัตราการไหล ที่สร้างขึ้น.....	56
3.9 ผลการวัดสัญญาณเสียงรบกวนและการสั่นสะเทือนของระบบแบบเดิม.....	60
3.10 ผลการวัดสัญญาณเสียงรบกวนและการสั่นสะเทือนของระบบที่สร้างใหม่.....	61
4.1การเปรียบเทียบการเกิดเสียงรบกวนและการสั่นสะเทือนก่อนและหลังการแก้ปัญหา.....	62

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 การไหลในท่อที่มีพื้นที่สม่ำเสมอเท่ากัน.....	6
2.2 ชนิดของรูปแบบโครงร่างการไหล.....	8
2.3 แรงดันตกคร่อมแผ่นออริฟิส.....	9
2.4 อุปกรณ์วัดการไหลชนิดที่ทำให้เกิดกระแสหมุนวน.....	10
2.5 ท่อวัดการไหลคอรีโอลิส.....	11
2.6 บล็อกไดอะแกรมของระบบควบคุมแบบลูปปิด.....	12
2.7 โครงสร้างของระบบควบคุมด้วยการควบคุมแบบ PID.....	13
2.8 การเกิดออฟเซตในตัวควบคุมแบบสัดส่วน.....	13
2.9 สัญญาณเอาต์พุตของตัวควบคุมโหมดอินทรีกรัลโดยการหาพื้นที่ใต้กราฟค่าผิดพลาด.....	14
2.10 สัญญาณเอาต์พุตของตัวควบคุมโหมดเดริเวทีฟ.....	14
2.11 ผลตอบสนองของโหมดควบคุมที่มีต่ออินพุตแบบต่าง ๆ.....	15
2.12 ผลตอบสนองต่ออินพุตแบบหนึ่งหน่วยของตัวควบคุมแบบต่าง ๆ.....	16
2.13 ไดอะแกรมระบบวัดคุมอัตราการไหล.....	17
2.14 บล็อกไดอะแกรมรูปแบบมาตรฐานของตัวควบคุมแบบ PID.....	17
2.15 ตัวอย่างตารางความสัมพันธ์ C_v และเปอร์เซ็นต์การเปิดวาล์วของโรงงานผู้ผลิต.....	19
2.16 วาล์วควบคุมที่ระบุทิศทางไหลแบบ “Flow-to-Open”	20
2.17 คุณลักษณะของวาล์วควบคุมเปรียบเทียบระหว่างเปอร์เซ็นต์การเปิดและอัตราการไหล.....	21
2.18 ปรัชญาการคำนวณค่าเฉลี่ยเมื่อของเหลวไหลผ่านวาล์ว.....	25
2.19 กราฟอัตราการไหลอธิบายผลกระทบของการเกิดไจค์และวิธีการหา F_L และ K_c	26
2.20 กราฟความสัมพันธ์ระดับเสียงเดซิเบลและอัตราส่วนแรงดันแตกต่างกัน.....	26
2.21 กราฟระดับความรุนแรงของควิเทชัน.....	26
2.22 สถาปัตยกรรมของเทคโนโลยีการสื่อสารแบบฟาวน์เดชันฟิลด์บัส.....	30
2.23 หลักการใช้ฟังก์ชันบล็อกในอุปกรณ์ระดับฟิลด์ของเทคโนโลยีฟาวน์เดชันฟิลด์บัส.....	30
2.24 การติดต่อสื่อสารกันด้วยสายสัญญาณคู่เดียวของเทคโนโลยีฟาวน์เดชันฟิลด์บัส H1.....	31
2.25 เทคโนโลยีฟาวน์เดชันฟิลด์บัส H1 ที่มีส่วนประกอบเมื่อเทียบกับโมเดล OSI.....	31
2.26 ชนิดของบล็อกที่ใช้ใน User Application ของฟาวน์เดชันฟิลด์บัส.....	32
2.27 โครงสร้างฟังก์ชันบล็อกแอนะล็อกอินพุต.....	33
2.28 โครงสร้างฟังก์ชันบล็อกแอนะล็อกเอาต์พุต.....	34
2.29 โครงสร้างฟังก์ชันบล็อกพีไอดี.....	35

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.30 ตัวอย่างการติดตั้งระบบวัดคุมอัตราการไหลโดยใช้อุปกรณ์ฟิลด์บัส.....	36
2.31 รูปแบบการจัดวางฟังก์ชันบล็อกของอุปกรณ์การไหล.....	36
2.32 มาโครไซเคิลของฟิลด์บัสเซกเมนต์.....	37
3.1 แผนผังกระบวนการกลั่นแยกสารป้อนและมาตรวัดเพื่อซื้อขายคอนเดนเสทเรซีดีว.....	39
3.2 มาตรวัดที่ใช้ในการซื้อ-ขายคอนเดนเสทเรซีดีวที่ศึกษา.....	40
3.3 กราฟฟิค SCADA ของมาตรวัดอัตราการไหลเพื่อการซื้อขาย.....	41
3.4 แผนผังมาตรวัดอัตราการไหลที่มีการเปลี่ยนแปลงวัตถุประสงค์ในการทำงาน.....	41
3.5 ตัวอย่างการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ในการหาขนาดวาล์วควบคุม.....	44
3.6 แผนผังการติดตั้งระบบวัดคุมอัตราการไหลที่สร้างขึ้นใหม่.....	47
3.7 ไดอะแกรมของระบบวัดคุมอัตราการไหลที่สร้างขึ้นใหม่.....	48
3.8 รูปแบบการต่ออุปกรณ์ฟาว์เดชั่นฟิลด์บัสชนิด H1 แบบทรีโทโพลี.....	50
3.9 การออกแบบเซกเมนต์เพื่อต่ออุปกรณ์ระดับฟิลด์เพิ่มในเซกเมนต์ TK-SEG-20A ที่ติดตั้งใช้งานอยู่แล้ว	51
3.10 การสร้างอุปกรณ์ด้วยฟังก์ชันบล็อกไดอะแกรมใน DeltaV Control Studio	52
3.11 การพิจารณาภิรยาของเอาท์พุทควบคุมจากความสัมพันธ์ระหว่างค่า PV และ MV.....	53
3.12 ตารางเวลาและมาโครไซเคิลรวมของฟิลด์บัสเซกเมนต์ TK-SEG-20A.....	56
3.13 การติดตั้งอุปกรณ์ระดับฟิลด์ H1 ในหน้างานจริง.....	57
3.14 กราฟฟิคอินเตอร์เฟสกับผูปฏิบัติงานในห้องควบคุมส่วนกลาง.....	58
3.15 การปรับแต่งค่าพารามิเตอร์ของอุปกรณ์การไหลแบบพีไอดี.....	59
3.16 การวัดค่าสัญญาณรบกวนทางเสียงโดยอุปกรณ์วัด Sound Pressure Level (dBA).....	60
3.17 การวัดการสั่นสะเทือนของแนวท่อที่ติดตั้งวาล์วควบคุม.....	60

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

อุปกรณ์ควบคุมสุดท้าย (Final Control Element) ในการควบคุมกระบวนการแบบอัตโนมัติในกลุ่มอุตสาหกรรมปิโตรเคมีและไฮโดรคาร์บอนที่นิยมใช้กันส่วนใหญ่คือวาล์วควบคุม (Control Valve) [1-3] ซึ่งเป็นอุปกรณ์ควบคุมการไหลของของไหล (Fluid) ดังเช่น น้ำ แก๊ส ไขมัน หรือน้ำมัน สารประกอบทางเคมี ในกระบวนการตามคำสั่งของตัวควบคุม (Controller) เพื่อรักษาค่าตัวแปรกระบวนการ (Process Variable) ให้มีค่าใกล้เคียงกับค่าที่กำหนด (Set Point) โดยทั่วไปค่าตัวแปรกระบวนการที่ต้องการควบคุม ได้แก่ ค่าอัตราการไหล (Flow Rate) ค่าระดับในถัง (Tank Level) ค่าอุณหภูมิของของไหล (Fluid Temperature) ค่ากรด-ด่างของของไหล (Fluid pH) และค่าความดัน (Pressure)

ในการใช้งานวาล์วควบคุมจำเป็นต้องมีการเลือกชนิดของวาล์วควบคุม (Valve Type) และขนาดของวาล์ว (Valve Size) ให้เหมาะสมกับกระบวนการโดยชนิดของวาล์วควบคุมซึ่งแบ่งตามลักษณะการเคลื่อนที่ในการเปิด-ปิดเพื่อควบคุมการไหลของของไหล แบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ ชนิดการเคลื่อนที่ในการเปิด-ปิดแนวเส้นตรงตามแนวตั้ง (Linear Motion Type) เช่น โกลบวาล์ว (Globe Valve) และชนิดการเคลื่อนที่ในการเปิด-ปิดแนวเส้นรอบวง (Rotary Motion Type) เช่น บอลวาล์ว (Ball Valve) และวาล์วผีเสื้อหรือปีกผีเสื้อ (Butterfly Valve) เป็นต้น ถ้าเลือกใช้ชนิดของวาล์วควบคุมไม่เหมาะสมกับกระบวนการแล้ว อาจส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการควบคุมกระบวนการภายใต้สภาวะปกติ (Normal Process Condition) แต่อาจทำให้เกิดปรากฏการณ์ที่เรียกว่า “ควิเทชัน” (Cavitation) ในกรณีที่เป็นการควบคุมกระบวนการภายใต้อุณหภูมิและความดันสูงสำหรับการใช้วาล์วควบคุมกับของไหลที่เป็นของเหลว (Liquid) ในทำนองเดียวกัน ถ้าเลือกใช้ขนาดของวาล์วที่มีขนาดใหญ่เกินไป (Oversized Valve) หรือขนาดเล็กเกินไป (Undersized Valve) จะส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการควบคุมกระบวนการจนถึงขั้นที่ไม่สามารถควบคุมกระบวนการได้เลย (Out of Control) นอกจากนี้ การใช้งานวาล์วที่มีขนาดใหญ่เกินไปในการควบคุมการไหลของของไหลที่มีช่วงการเปิด-ปิดของวาล์วน้อยกว่า 20% ของตำแหน่งเปิดสุด จะทำให้เกิดควิเทชันในวาล์วควบคุมเช่นเดียวกัน

การเกิดควิเทชันในวาล์วควบคุมเป็นปรากฏการณ์ที่เกิดกับการไหลของของเหลวจะมีเสียงคล้ายกับก้อนกรวดวิ่งผ่านภายในตัววาล์ว โดยมีความดันภายในช่องการไหล (Port) ของวาล์วบางจุดตกลงต่ำกว่าค่าความดันไอ (Vapor Pressure) และก่อตัวเป็นฟองไอ (Bubble) ขึ้นมา โดยค่าความดันภายในวาล์วนั้นจะมีค่าเพิ่มมากขึ้น (มากกว่าค่าความดันไอ) ที่จุดขาออกของช่องการไหลของวาล์ว ทำให้ฟองไอที่เกิดขึ้นมีการคายพลังงานเพื่อเปลี่ยนสถานะจากไอเป็นของเหลวอีกครั้ง การคายเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สวลงไวสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พลังงานของฟองไอลจะมีผลกระทบกับปลั๊ก (Plug) และซีทริง (Seat Ring) ของวาล์ว ทำให้เกิดเสียงรบกวน (Noise) การสั่นสะเทือน (Vibration) และความเสียหายแก่วาล์วได้ [4-5]

ดังนั้นในขั้นตอนการออกแบบระบบวัดคุมก่อนการติดตั้งใช้งานจริงเพื่อเลือกชนิดและขนาดเครื่องมือวัด (Instrument) ชนิดตัวควบคุมรวมทั้งชนิดและขนาดของวาล์วควบคุมได้อย่างเหมาะสม จำเป็นต้องทราบเงื่อนไขของกระบวนการที่ถูกควบคุม (Process Condition) โดยทั่วไปมักเลือกขนาดของวาล์วให้มีช่วงการเปิด-ปิดในช่วง 20-80% ของตำแหน่งเปิดสุดในการควบคุมการไหลของไหลในกระบวนการที่ต้องการควบคุม [6] สำหรับระบบวัดคุมที่ติดตั้งใช้งานแล้วในกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงเงื่อนไขของกระบวนการที่ถูกควบคุมแตกต่างไปจากเดิมที่เคยใช้อ้างอิงในขั้นตอนการออกแบบ บางครั้งอาจเกิดผลกระทบต่อประสิทธิภาพของการควบคุมกระบวนการรวมทั้งอาจทำให้เกิดความเสียหายในวาล์วควบคุมที่ติดตั้งในระบบได้ การแก้ไขปัญหาที่เกิดจากปรากฏการณ์ความเสียหายในวาล์วควบคุมที่ติดตั้งใช้งานแล้ว สามารถทำได้โดยการดัดแปลงระบบท่อ (Pipeline Modification) โดยการติดตั้งท่อและวาล์วบายพาส (Bypass Valve) เพิ่มหรือการดัดแปลงส่วนประกอบภายในของวาล์วควบคุม (Valve Internal Constitution Reform) [7] วิธีการแบบแรกในการแก้ไขปัญหาที่เกิดจากความเสียหายอาจมีข้อจำกัดในด้านสถานที่ในการติดตั้งท่อและวาล์วบายพาสเพิ่มจากระบบเดิม รวมทั้งมีค่าใช้จ่ายในการติดตั้งส่วนดัดแปลง ส่วนวิธีการแบบหลังนี้เป็นวิธีที่ปรับเปลี่ยนไปตามส่วนประกอบต่าง ๆ ของวาล์วควบคุม ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับกระบวนการออกแบบของทางผู้ผลิต (Valve Manufacturer)

1.2 วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์นี้นำเสนอเทคนิคปฏิบัติเพื่อแก้ไขปัญหาที่เกิดจากปรากฏการณ์ความเสียหายในวาล์วควบคุมของมาตรวัดอัตราการไหล (Flow Metering Skid) ที่ติดตั้งใช้งานแล้วในโรงงานผลิตสารอะโรมาติกส์แห่งหนึ่ง (Aromatics Plant) ซึ่งเป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงเงื่อนไขกระบวนการและวัตถุประสงค์ของการใช้งานมาตรวัดอัตราการไหล วิธีการแก้ปัญหานี้ที่นำเสนอเป็นการติดตั้งระบบวัดคุมใหม่ที่มีแนวท่อนานกับแนวท่อของมาตรวัดอัตราการไหลเดิม โดยมาตรวัดอัตราการไหลยังคงติดตั้งเพื่อเป็นส่วนสำรองการใช้งานในอนาคต ระบบวัดคุมที่ทำการออกแบบและติดตั้งใหม่เพื่อควบคุมอัตราการไหลของของไหลในท่อเป็นระบบที่ใช้เทคโนโลยีฟาวนด์เชนฟิลด์บัสด้วยแนวคิด “Control in the Field” (CIF)

นอกจากนี้ในวิทยานิพนธ์ยังได้นำเสนอผลการประเมินการเกิดความเสียหายในวาล์วควบคุมที่ติดตั้งในระบบวัดคุมใหม่โดยใช้ข้อเสนอแนะขององค์กร ISA หรือ International Society of Automation [8-9] อีกด้วย เพื่อสร้างความมั่นใจว่า ระบบวัดคุมอัตราการไหลที่สร้างขึ้นและติดตั้งเพิ่มมีการเลือกใช้วาล์วควบคุมอย่างเหมาะสมเพื่อหลีกเลี่ยงการเกิดความเสียหายซ้ำอีก

1.3 แนวคิดของวิทยานิพนธ์

จากการศึกษาปัญหาการเกิดเสียงรบกวนและการสั่นสะเทือนที่วาล์วควบคุมซึ่งติดตั้งในมาตรวัดอัตราการไหลของคอนเดนเสทเรซิดิว (Condensate Residue) ในโรงงานผลิตสารอะโรเมติกส์แห่งหนึ่งพบว่า มีการเปลี่ยนแปลงวัตถุประสงค์ในการใช้งานมาตรวัดอัตราการไหลจากเดิมเป็นระบบมาตรวัดเพื่อการซื้อ-ขายคอนเดนเสทเรซิดิวจากโรงงานผลิตสารอะโรเมติกส์ไปยังโรงงานลูกค้านี้ซึ่งเป็นโรงกลั่น (Refining Plant) แต่หลังจากที่มีการรวบรวมกิจการของโรงงานผลิตสารอะโรเมติกส์และโรงกลั่นที่มีบริษัทแม่เป็นบริษัทเดียวกัน ทำให้มีการยกเลิกการซื้อ-ขายคอนเดนเสทเรซิดิว ดังนั้นวัตถุประสงค์ในการใช้งานมาตรวัดอัตราการไหลจึงเปลี่ยนเป็นระบบที่ใช้ในการแสดงผลและควบคุมอัตราการไหลของคอนเดนเสทเรซิดิวจากถังเก็บในโรงงานผลิตสารอะโรเมติกส์ไปยังถังเก็บในโรงกลั่น นอกจากนี้ ยังมีการเปลี่ยนแปลงอัตราการผลิตของโรงกลั่นที่ต้องการค่าอัตราการไหลของคอนเดนเสทเรซิดิวที่ลดลง ดังนั้นช่วงการทำงานของวาล์วควบคุมที่ติดตั้งในมาตรวัดอัตราการไหลจึงทำงานในตำแหน่งเกือบปิดสุดเพื่อควบคุมอัตราการไหลของคอนเดนเสทเรซิดิวตามค่าที่ต้องการ ส่งผลทำให้เกิดความเสียหายในวาล์วควบคุมขึ้น

ในการแก้ปัญหาเสียงรบกวนและการสั่นสะเทือนที่วาล์วรวมถึงการสึกกร่อนที่เกิดขึ้นภายในวาล์วควบคุมซึ่งมีสาเหตุมาจากการเกิดความเสียหายในวาล์วควบคุมที่นำเสนอในวิทยานิพนธ์นี้ มีการเลือกใช้วิธีการสร้างระบบการวัดคุมอัตราการไหลขึ้นมาใหม่เพื่อนำไปติดตั้งขนานกับแนวท่อของมาตรวัดอัตราการไหลเดิม เนื่องจากทางโรงงานผลิตสารอะโรเมติกส์ต้องการให้มาตรวัดอัตราการไหลเดิมเป็นระบบสำรองเพื่อนำไปใช้งานในอนาคต

แนวคิดในการสร้างและติดตั้งระบบวัดคุมอัตราการไหลระบบใหม่นี้ได้คำนึงถึงการผสมรวม (System Integration) เข้ากับระบบไฮสแตติซีเอส (Distributed Control System : DCS) ที่ใช้อยู่แล้วในโรงงานโดยไม่ส่งผลกระทบต่อภาระการทำงานในการควบคุมกระบวนการต่าง ๆ ของดีซีเอส จึงได้เลือกใช้เครื่องมือวัดและวาล์วควบคุมของเทคโนโลยีฟาว์เดชั่นฟิลด์บัส เนื่องจากเทคโนโลยีนี้รองรับการสร้างลูบควบคุมโดยใช้ฟังก์ชันการควบคุมที่อยู่ภายในอุปกรณ์ระดับฟิลด์ หรือที่เรียก “การควบคุมระดับฟิลด์” หรือ CIF

1.4 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์

ในการแก้ปัญหาเสียงรบกวนและการสั่นสะเทือนที่วาล์วควบคุมที่นำเสนอเป็นการสร้างและติดตั้งระบบวัดคุมอัตราการไหลใหม่โดยใช้เทคโนโลยีฟาว์เดชั่นฟิลด์บัสเพื่อนำไปใช้งานในเงื่อนไขกระบวนการที่เปลี่ยนไป ได้มีการกำหนดให้ระบบวัดคุมใหม่นี้มีความสามารถในการควบคุมค่าอัตราการไหลคอนเดนเสทเรซิดิวในช่วง $21-155 \text{ m}^3/\text{h}$ ตลอดจนมีการแสดงผลค่าอัตราการไหลแบบสะสม และมีการแสดงผลค่าความดันในท่อส่งที่ระบบไฮสแตติซีเอสของ DeltaV ในห้องควบคุม โดยมีการติดตั้งระบบวัดคุมอัตราการไหลใหม่ที่มีแนวท่อนานกับแนวท่อของมาตรวัดอัตราการไหลเดิม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในวิทยานิพนธ์นี้ได้มีการอธิบายขั้นตอนการสร้างลูปควบคุมด้วยฟังก์ชันบล็อกไดอะแกรมของ ฟาวน์เดชันฟิลด์บัสที่มีการเลือกใช้รูปแบบการควบคุมแบบพีไอดี (Proportional-Integral-Derivative: PID) เพื่อควบคุมอัตราการไหลของวาล์วควบคุม และขั้นตอนการหาวาล์วควบคุม ตลอดจนการประเมินการเกิดคavitation ในวาล์วควบคุมที่เลือกใช้ตามข้อเสนอแนะ ISA-RP75 ด้วยค่าดัชนีการเกิดคavitation (Cavitation Index) เพื่อยืนยันถึงการลดปัญหาที่เกิดจากคavitation ในวาล์วควบคุม

1.5 รายละเอียดของวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้แบ่งเนื้อหาออกเป็น 4 บทด้วยกันคือ

บทที่ 1 บทนำ เป็นการกล่าวถึง ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์ แนวคิดของวิทยานิพนธ์ ขอบเขตของวิทยานิพนธ์ และรายละเอียดของวิทยานิพนธ์

บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง เป็นการกล่าวถึง การวัดและควบคุมอัตราการไหล การเลือกใช้วาล์วควบคุม คavitation และการใช้คavitation อินเด็กประเมินวาล์วควบคุม ระบบวัดคavitation บนพื้นฐานของเทคโนโลยีการสื่อสารแบบฟาวน์เดชันฟิลด์บัส

บทที่ 3 เทคนิคทางภาคปฏิบัติเพื่อแก้ปัญหาซึ่งเกิดจากคavitation ในวาล์วควบคุมที่นำเสนอ เป็นการกล่าวถึง มาตรฐานอัตราการไหลที่ศึกษา การเลือกชนิดและขนาดของวาล์วควบคุมและการประเมินการเกิดคavitation ระบบวัดคavitation อัตราการไหลโดยใช้เทคโนโลยีการสื่อสารฟาวน์เดชันฟิลด์บัส และผลการทดสอบระบบวัดคavitation อัตราการไหลที่สร้างใหม่

บทที่ 4 เป็นบทสุดท้ายซึ่งจะกล่าวถึง สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะในการทำวิจัย

ในส่วนสุดท้ายของวิทยานิพนธ์เป็นส่วนของภาคผนวก ซึ่งประกอบไปด้วยบทความวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์ ดังนี้

ภาคผนวก บทความวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์ในวารสารวิชาการระดับนานาชาติ เรื่อง “Flow Metering Modification For Avoiding Control Valve Cavitation in Hydrocarbon Industry”, ICIC Express Letters, Part B: Applications, Vol.7, No. 11, pp. 2461 – 2467.

บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 กล่าวนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีที่เกี่ยวข้องที่นำมาใช้เป็นแนวทางในการออกแบบ การทดสอบ และอ้างอิงของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ซึ่งประกอบด้วย การวัดและควบคุมอัตราการไหล การเลือกใช้วาล์วควบคุม ปรากฏการณ์คาวิเทชัน รวมทั้งการประเมินการเกิดคาวิเทชันในวาล์วควบคุมที่ใช้ในอุตสาหกรรมการผลิต และระบบวัดคูลบนพื้นฐานของเทคโนโลยีการสื่อสารแบบฟาว์นเดชันฟิลด์บัส

2.2 การวัดและควบคุมอัตราการไหล

การวัดอัตราการไหลโดยใช้มิเตอร์มาตรวัดในระบบอุตสาหกรรมเป็นการวัดอัตราการไหลเพื่อควบคุมระบบ การเตือนภัย หรือเพื่อวัตถุประสงค์การแสดงผล ซึ่งจำเป็นต้องมีความเที่ยงตรงในการวัดเพื่อใช้ปรับปรุงสมรรถนะ คุณภาพ และความปลอดภัยของกระบวนการผลิต เนื่องจากการวัดการไหลเกี่ยวข้องกับเศรษฐศาสตร์เป็นข้อมูลเบื้องต้นที่สำคัญในการออกแบบคำสั่งซื้อขายเพื่อคิดค่าใช้จ่ายหรือเพื่อควบคุมระบบของกระบวนการผลิต กรณีการวัดค่าการไหลถูกนำไปใช้เพื่อจุดประสงค์ในการซื้อ-ขาย (Custody Transfer) ค่าที่วัดได้ต้องมีความเที่ยงตรงที่สุดเท่าที่จะทำได้ เพราะเกี่ยวข้องกับเศรษฐศาสตร์การซื้อขายสินค้าผ่านมิเตอร์มาตรวัด ในส่วนการวัดการไหลเพื่อควบคุมกระบวนการนั้น ความเที่ยงตรงที่ต้องการในการวัดจะขึ้นอยู่กับความสำคัญของกระบวนการผลิต และในเรื่องการซ่อมบำรุงของมิเตอร์วัดการไหลนั้นโดยทั่วไปมิเตอร์ที่ใช้วัดค่าเพื่อการควบคุมกระบวนการมีความต้องการในการดูแลรักษาที่น้อยกว่ามิเตอร์ที่ใช้วัดเพื่อการซื้อขาย

2.2.1 หลักการพื้นฐานของการไหลและการวัดอัตราการไหล [1]

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงหลักการพื้นฐานของการไหลและพิสูจน์สมการพื้นฐานเกี่ยวกับอัตราความเร็วการไหล ปริมาตรการไหล และกล่าวถึงอุปกรณ์วัดอัตราการไหลชนิดต่าง ๆ เช่น อุปกรณ์วัดการไหลชนิดวอร์เทก (Vortex Shedding Devices) อุปกรณ์วัดการไหลชนิดแผ่นออริฟิส (Orifice Plates) อุปกรณ์วัดการไหลแบบเชิงมวล (Coriolis Mass Flowmeters)

2.2.1.1 หลักการพื้นฐานของการไหล

การไหลของของไหลที่เป็นแบบอุดมคติ (Ideal Fluid) นั้นคือของเหลวที่บีบอัดไม่ได้ และไม่มี ความหนืด ซึ่งถ้ากล่าวถึงการไหลจะต้องเกี่ยวข้องกับพลังงานหลัก ๆ สองอย่าง นั่นคือ พลังศักย์ (Potential Energy: U) ซึ่งจะถูกกำหนดโดยแรง (F) กับระยะทาง (d)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ในการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$U = Fd$$

(2.1)

พลังงานศักย์โดยทั่วไปนำไปประยุกต์เป็นงาน (Work) ที่ต้องการทำให้มวลต้านทานกับแรงโน้มถ่วง ถ้าต้องการคำนวณหาค่างาน (Work: W) ที่ต้องใช้เร่งมวล (Mass, m) ที่อยู่ในรูปของความสูง (Height: h) จะแสดงได้ดังนี้

$$W = Fh = mgh \quad (2.2)$$

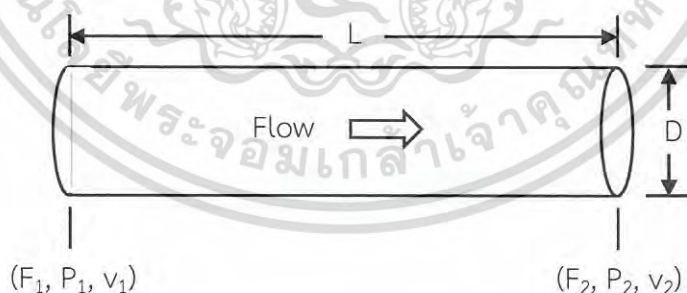
เมื่อ g คือ ความเร่งของวัตถุตามแรงโน้มถ่วง และ mgh เรียกว่า พลังงานศักย์ตามแรงโน้มถ่วง หรือ

$$U = mgh \quad (2.3)$$

และพลังงานจลน์ (Kinetic Energy: K) ซึ่งจะถูกกำหนดโดยครึ่งหนึ่งของมวล (m) กับกำลังสองของ ความเร็วการไหล (Velocity: v)

$$K = \frac{1}{2}mv^2 \quad (2.4)$$

สำหรับตัวอย่างความสัมพันธ์ของพลังงานและอัตราความเร็วการไหล นั้นคือการไหลของของเหลวในท่อกระบวนที่สม่ำเสมอเป็นแบบเดียวกัน มีพื้นที่หน้าตัด (A) ดังแสดงในรูปที่ 2.1 และ มีค่าความดันแตกต่างกันระหว่างขาเข้าและขาออกเนื่องจากการไหลในท่อ (ΔP) ถ้าต้องการหาอัตราความเร็วของไหล (v) ในเทอมของความดันขาเข้า (P_1) และความดันขาออก (P_2) สมมติว่าไม่มีการสูญเสียในท่อ และท่อมีความสม่ำเสมอของพื้นที่เท่ากันคือ A จะได้แรงที่กระทำของอินพุต คือ $F_1 = P_1A$ และแรงรวมที่กระทำเอาต์พุตคือ $F_2 = P_2A$



รูปที่ 2.1 การไหลในท่อที่มีพื้นที่สม่ำเสมอเท่ากัน

ค่าพลังงานที่ต้องการใช้ในการเคลื่อนย้ายของไหลผ่านท่อที่มีความยาว (L) นั่นคือ แรง (Force) คูณ ด้วยระยะทาง (Distance) จะได้

$$(F_1 - F_2)L = P_1AL - P_2AL \\ = (P_1 - P_2)AL \quad (2.5)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ AL คือปริมาตรความจุ (Volume) ทำให้สามารถเขียนในรูปของพลังงาน (Energy) ได้ดังนี้

$$Work = Energy = \Delta PV \quad (2.6)$$

ค่าพลังงานที่ต้องใช้เพื่อให้ของไหลเคลื่อนที่ด้วยอัตราความเร็ว (v) สามารถแทนค่าได้ด้วยพลังงานจลน์ (Kinetic Energy: K_E) โดยที่

$$K_E = \frac{mv^2}{2} \quad (2.7)$$

เนื่องจากพลังงานทั้งสองมีความหมายเป็นพลังงานจลน์ จะได้ว่า

$$\Delta PV = \frac{mv^2}{2} \quad (2.8)$$

เมื่อแทนค่า มวลปริมาณ เท่ากับ ปริมาตร (V) คูณด้วยความหนาแน่น (Density, ρ) จะได้

$$\Delta PV = \frac{V\rho v^2}{2} \quad (2.9)$$

$$v = \sqrt{\frac{2\Delta P}{\rho}}$$

ซึ่งค่าอัตราความเร็วจะแสดงในเทอมของความดันแตกต่างและความหนาแน่นของไหล

ปริมาตรการไหล (Volumetric Flow) คือ ปริมาตรของของไหลที่ผ่านจุดที่กำหนดในท่อต่อหนึ่งหน่วยเวลา แสดงได้ดังนี้

$$Q = Av \quad (2.10)$$

เมื่อ Q คือ ปริมาตรการไหล (Volumetric Flow), A คือ พื้นที่หน้าตัดที่ของไหลผ่านเช่นท่อ และ v คือ อัตราความเร็วการไหล

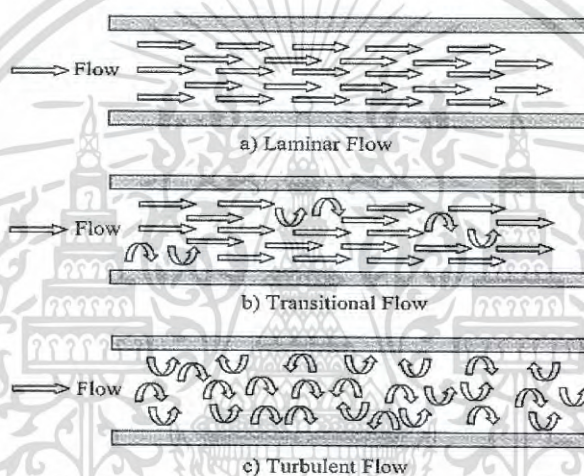
ตัวเลขเรย์โนลด์ (Reynolds Number) ใช้เป็นเกณฑ์สำหรับอธิบายปรากฏการณ์เพื่อจำแนกโปรไฟล์ของการไหลแบบต่าง ๆ ซึ่งตัวเลข R_e แสดงได้ดังนี้

$$R_e = \frac{vD\rho}{\mu} \quad (2.11)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่ v คืออัตราความเร็วของการไหล, D คือเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของท่อ, ρ คือค่าความหนาแน่นของไหล และ μ คือค่าความหนืดของของไหล

รูปที่ 2.2 แสดงชนิดของรูปแบบโครงสร้างการไหล 3 แบบ ในระบบท่อกระบวนการผลิตซึ่งประกอบด้วย: การไหลแบบราบเรียบ (Laminar) การไหลแบบมีการเปลี่ยนแปลง (Transitional) และการไหลแบบปั่นป่วน (Turbulent) โดยที่รูปแบบการไหลจะเป็นแบบราบเรียบเมื่อตัวเลขเรย์โนลด์มีค่าน้อยกว่า 2,000 ในขณะที่การไหลจะเป็นแบบปั่นป่วนถ้าตัวเลขเรย์โนลด์มีค่ามากกว่า 4,000 และการไหลแบบที่มีการเปลี่ยนแปลง (Transitional) จะเกิดขึ้นเมื่อมีค่าตัวเลขเรย์โนลด์อยู่ในช่วง 2,000 ถึง 4,000



รูปที่ 2.2 ชนิดของรูปแบบโครงสร้างการไหล

2.2.1.2 เทคนิคการวัดการไหล

ในส่วนนี้จะอธิบายเกี่ยวกับชนิดของอุปกรณ์ที่ใช้ตรวจจับการไหลในการควบคุมกระบวนการโดยเทคนิคที่ใช้ในการวัดอัตราการไหลจะแบ่งออกเป็น 4 หลักการ คือ ความดันแตกต่าง (Differential Pressure), อัตราความเร็ว (Velocity), ปริมาตร (Volumetric) และปริมาณ (Mass)

มิเตอร์วัดการไหลที่ใช้หลักการความดันแตกต่างเป็นการวัดอัตราการไหลจากการตกคร่อมของความดันที่แตกต่าง (ΔP) ในระบบท่อกระบวนการ ตัวอย่างของการวัดการไหลที่ใช้หลักการนี้คือ แผ่นออริฟิส (Orifice Plates), ท่อเวนทური (Venturi Tubes) เป็นต้น

ด้วยอุปกรณ์วัดอัตราความเร็วอัตราการไหลจะหาได้โดยการวัดอัตราความเร็วของการไหล (Velocity) จากนั้นคูณด้วยพื้นที่ที่ของไหลไหลผ่าน (A) ตัวอย่างอุปกรณ์ที่ใช้หลักการวัดนี้ เช่น มิเตอร์วัดการไหลชนิดกังหัน (Turbine), วอร์เทกมิเตอร์ (Vortex Shedding) และอุปกรณ์ชนิดใช้ความเหนี่ยวนำแม่เหล็ก (Magnetic) เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุปกรณ์วัดการไหลโดยการวัดปริมาตรโดยตรงหรือมิเตอร์วัดการไหลแบบ Positive-Displacement (PD) ใช้อุปกรณ์ที่เป็นชิ้นส่วนทางกลที่มีความแม่นยำสูงโดยการวัดของไหลที่ไหลผ่าน โดยการหมุนของชิ้นส่วนทางกลนั้น ตัวอย่างของหลักการนี้ เช่น มิเตอร์ชนิด Oval-Gear เป็นต้น

ส่วนมิเตอร์วัดการไหลที่ใช้การวัดปริมาณการไหลโดยตรง เช่น มิเตอร์วัดปริมาณการไหลชนิด คอริโอลิส (Coriolis Mass Flowmeter)

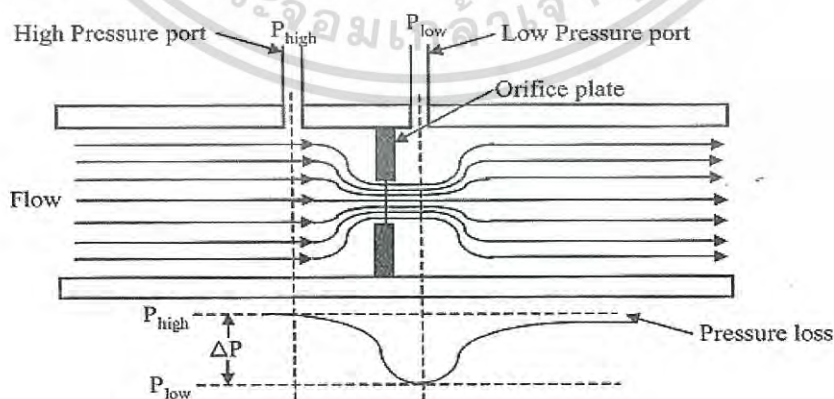
1 มิเตอร์วัดการไหลที่ใช้หลักการความดันแตกต่าง

วิธีการที่นิยมใช้โดยทั่วไปอีกแบบหนึ่งในการวัดการไหลของเหลวในท่อกระบวนการคือการลดขนาดท่อให้แคบลง (Restriction) และวัดผลของความแตกต่างความดัน (ΔP) ที่ตกคร่อมจุดที่แคบหรือลดลงนั้น การลดลงของท่อทำให้อัตราความเร็วการไหลเพิ่มขึ้นและเกิดความดันตกคร่อมเพิ่มขึ้นด้วยซึ่งความสัมพันธ์ระหว่างความดันที่ตกคร่อมและอัตราการไหลจะแสดงได้ในรูปสมการคือ

$$Q = K \sqrt{\Delta P} \quad (2.12)$$

เมื่อ Q คืออัตราการไหลเชิงปริมาตร, K คือค่าคงที่ซึ่งขึ้นอยู่กับท่อและชนิดของเหลว, ΔP คือความดันแตกต่างที่ตกคร่อมระหว่างส่วนที่แคบลง (Restriction)

จะกล่าวถึงตัวอย่างอุปกรณ์วัดการไหลที่ใช้หลักการการลดขนาดท่อลงเพื่อวัดความดันแตกต่าง (Restriction-Type Differential-Pressure) นั่นคือ การวัดการไหลโดยใช้แผ่นออริฟิส (Orifice Plate) ซึ่งการวัดอัตราการไหลโดยแผ่นออริฟิสนิยมใช้ทั่วไปในการประยุกต์กับการควบคุมกระบวนการ ซึ่งมีหลักการที่ไม่ยุ่งยาก โดยแผ่นออริฟิสจะติดตั้งในท่อและวัดความดันแตกต่าง ($\Delta P = P_{high} - P_{low}$) ซึ่งนำไปหาค่าอัตราการไหลต่อไป ดังแสดงในรูปที่ 2.3



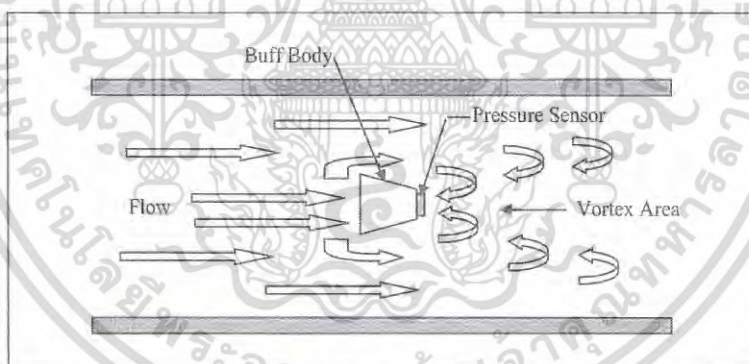
รูปที่ 2.3 ความดันตกคร่อมแผ่นออริฟิส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปแบบโครงสร้างของความดันที่ตกคร่อมแผ่นออริฟิสในรูปที่ 2.3 แสดงให้เห็นว่าความดันจะลดลงในขณะที่ยัตราความเร็วของการไหลเพิ่มขึ้นเนื่องจากการไหลผ่านจุดที่แคบลง ความดันจะต่ำที่สุดเมื่ออัตราความเร็วสูงสุดและที่ฝั่งขาออกของแผ่นออริฟิสอัตราความเร็วจะลดลงในขณะที่ความดันจะเพิ่มขึ้น ซึ่งความดันฝั่งขาออกนี้ไม่สามารถกลับมาเท่าความดันฝั่งขาเข้าเริ่มแรกได้เนื่องจากเกิดการสูญเสียพลังงาน

2 มิเตอร์วัดการไหลที่ใช้หลักการวัดอัตราความเร็ว

โดยในเนื้อหานี้จะกล่าวถึงมิเตอร์วัดการไหลชนิดวัดอัตราความเร็วซึ่งจะขอยกตัวอย่างมิเตอร์ที่ใช้หลักการทำงานลักษณะนี้นั่นคืออุปกรณ์วัดการไหลชนิดที่ทำให้เกิดกระแสหมุนวน (Vortex-Shedding Meter) ดังแสดงในรูปที่ 2.4 เป็นอุปกรณ์ที่มีหลักการทำงานไม่ยุ่งยาก โดยของไหลไหลผ่านตัวที่ทำให้ไหลหมุนวนที่อัตราเร็วต่ำรูปแบบการไหลยังคงเป็นแบบราบเรียบ อย่างไรก็ตามเมื่ออัตราความเร็วเพิ่มขึ้นของไหลจะแยกออกแต่ละด้านของตัวที่ทำให้เกิดการหมุนวน (Shedder) และเกิดการหมุนกลับมาที่ฝั่งขาออกของตัวที่ทำให้เกิดการหมุนวนวอร์เทก คือพื้นที่ของการหมุนเคลื่อนไหวด้วยอัตราความเร็วสูงและมีความดันที่ต่ำกว่าของไหลรอบด้าน จำนวนของวอร์เทกที่ถูกสร้างขึ้นจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับอัตราความเร็วของไหล ดังนั้นจะใช้สมการความสัมพันธ์ $Q = Av$ เพื่อคำนวณหาอัตราการไหล

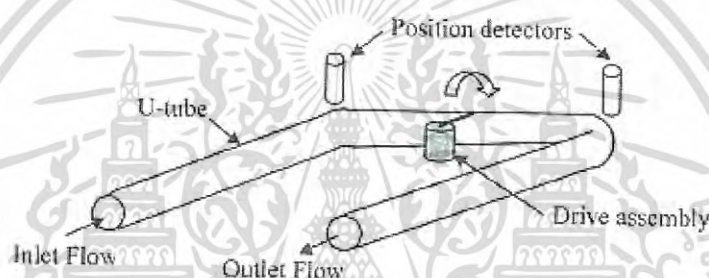


รูปที่ 2.4 อุปกรณ์วัดการไหลชนิดที่ทำให้เกิดกระแสหมุนวน

อุปกรณ์ตรวจจับความดันถูกติดตั้งบนฝั่งขาออกของตัวที่ทำให้เกิดการหมุน (Shedder) เพื่อตรวจจับความดันที่กระทำบนตัวทำให้เกิดการหมุนนี้ โดยเกิดจากการก่อตัวของการหมุนวน สัญญาณจากตัวตรวจจับความดันจะถูกเปลี่ยนเพื่อนำไปปรับแต่งสัญญาณอัตราการไหลโดยวงจรอิเล็กทรอนิกส์ในมิเตอร์วัดการไหล

3 มิเตอร์วัดการไหลที่ใช้หลักการวัดปริมาณการไหลโดยตรง

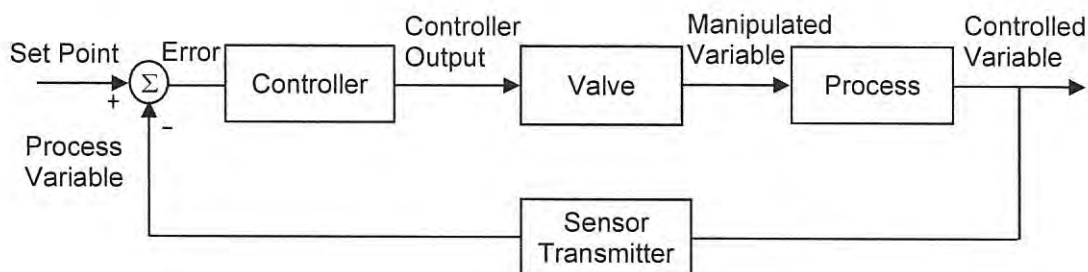
หลักการทำงานของมิเตอร์วัดปริมาณการไหลแบบคอริโอลิส (Coriolis Mass Flowmeter) อยู่บนพื้นฐานของแรงที่กระทำโดยการเพิ่มความเร็วกอริโอลิสของของไหล อุปกรณ์วัดการไหลประกอบด้วยท่อที่สั้นจากการเพิ่มความเร็วกอริโอลิส ดังแสดงในรูปที่ 2.5 ท่อวัดการไหลถูกออกแบบให้มีความสามารถในการทำนายคุณลักษณะการสั่นสะเทือน ตัวขับเคลื่อนต่ออยู่ตรงกลางของท่อวัดซึ่งจะเป็นตัวกระทำให้อบิตและสั่นสะเทือน ตัวตรวจจับตำแหน่ง (Position Sensing) ที่ติดตั้งอยู่แต่ละด้านของท่อวัดการไหลจะทำการตรวจจับการบิดเบี้ยวนี้ เนื่องจากความถี่ของการสั่นสะเทือนของท่อแปรผันตามความหนาแน่นของของไหลในท่อ หน่วยประมวลผลที่อยู่ในวงจรอิเล็กทรอนิกส์ของมิเตอร์วัดการไหลแบบคอริโอลิสจะคำนวณค่าความหนาแน่น โดยมีเตอร์แบบคอริโอลิสนี้นำไปใช้วัดการไหลได้ทั้งของเหลวและแก๊สที่มีปริมาณการไหลมากพอจะปฏิบัติการได้



รูปที่ 2.5 ท่อวัดการไหลคอริโอลิส

2.2.2 การควบคุมอัตราการไหลแบบอัตโนมัติ [2]

เพื่อที่จะอธิบายและวิเคราะห์เกี่ยวกับการควบคุมกระบวนการแบบอัตโนมัติ วิธีการที่เหมาะสมที่สุดคือการใช้บล็อกไดอะแกรมซึ่งจะแสดงเกี่ยวกับธรรมชาติของระบบควบคุมแบบลูปปิด โดยมุ่งเน้นไปที่การสื่อสารข้อมูลระหว่างแต่ละส่วนที่อยู่ในลูปควบคุมดังแสดงในรูปที่ 2.6 ส่วนที่สำคัญที่สุดในลูปควบคุมคือกระบวนการผลิตซึ่งกระบวนการดังกล่าวอาจจะเป็นอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน หอกั่นแยก เป็นต้น จุดประสงค์หลักของลูปควบคุมคือการควบคุมคุณลักษณะของกระบวนการที่เปลี่ยนแปลงซึ่งจะเรียกว่าค่าตัวแปรกระบวนการ (Process Variable) หรืออาจจะเรียกว่าค่าเอาต์พุตของกระบวนการโดยตัวควบคุมแบบอัตโนมัติจะเปรียบเทียบกับค่าเอาต์พุตของกระบวนการกับค่าอ้างอิง (Set Point) เพื่อหาค่าที่แตกต่างกันและสร้างสัญญาณควบคุมเพื่อลดค่าที่ต่างกันให้เท่ากับศูนย์หรือให้เหลือน้อยที่สุดรูปแบบที่อุปกรณ์ควบคุมอัตโนมัติสร้างสัญญาณควบคุมถูกเรียกว่าการควบคุม (Control Action) โดยบล็อกไดอะแกรมจะประกอบด้วย อุปกรณ์ควบคุมแบบอัตโนมัติ (Controller) อุปกรณ์ควบคุมสุดท้าย (Final Control Element) ซึ่งโดยส่วนมากเป็น วาล์วควบคุม หน่วยกระบวนการ (Process) และอุปกรณ์ตรวจวัด (Sensor Element)



รูปที่ 2.6 บล็อกไดอะแกรมของระบบควบคุมแบบลูปปิด

อุปกรณ์ตัวควบคุมที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมจะถูกแบ่งแยกตามกิริยาควบคุม เช่น ตัวควบคุมแบบเปิด-ปิด (On-Off) ตัวควบคุมแบบพีไอดี (Proportional Integral Derivative Controllers) ซึ่งในอุตสาหกรรมส่วนใหญ่ตัวควบคุมที่นิยมใช้เป็นกิริยาการควบคุมแบบพีไอดี (Proportional-Integral-Derivative) คือการรวมกิริยาควบคุมทั้งสามอย่าง คือ กิริยาการควบคุมแบบสัดส่วน (Proportional) กิริยาการควบคุมแบบอินทิกรัล (Integral) และกิริยาการควบคุมแบบเดริเวทีฟ (Derivative) เข้าด้วยกัน สมการคณิตศาสตร์ของตัวควบคุมแบบพีไอดีเพื่อหาค่าเอาต์พุตของตัวควบคุม $u(t)$ ที่แปรผันตามสัดส่วนของค่าความคลาดเคลื่อน $e(t)$ คือ

$$u(t) = K_c e(t) + \frac{K_c}{T_i} \int_0^t e(t) dt + K_c T_d \frac{de(t)}{dt} \quad (2.13)$$

หรือแสดงเป็นฟังก์ชันถ่ายโอน (Transfer Function) ในรูปของการแปลงลาปลาซ คือ

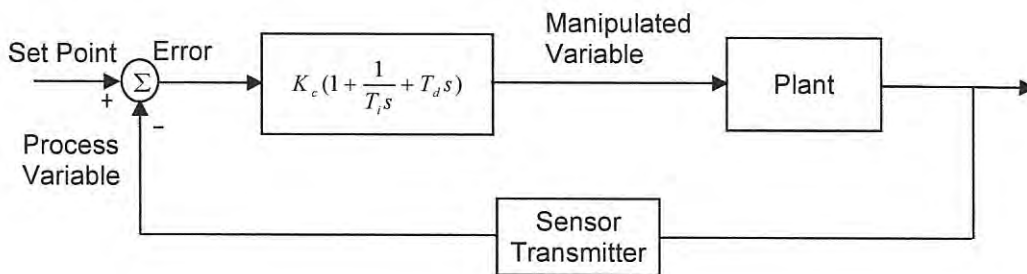
$$\frac{U(s)}{E(s)} = K_c \left(1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s \right) \quad (2.14)$$

โดยที่ K_c คือ อัตราขยาย (Gain) ของตัวควบคุม

T_i คือ เวลาอินทิกรัล หรือ รีเซต (Reset Time) มีหน่วยเป็นวินาที

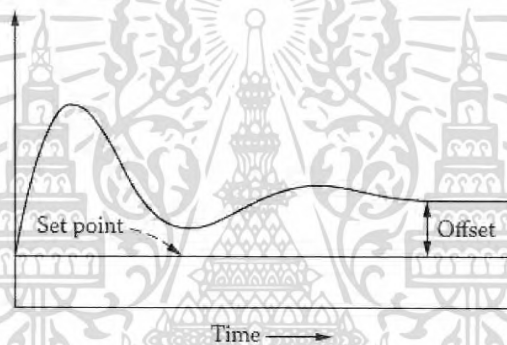
T_d คือ เวลาอนุพันธ์ หรือเวลาอัตรา (Rate Time) มีหน่วยเป็นวินาที

โดยโครงสร้างบล็อกไดอะแกรมของการควบคุมแบบ PID แสดงได้ดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 โครงสร้างของระบบควบคุมด้วยการควบคุมแบบ PID

การใช้ตัวควบคุมแบบสัดส่วน (Proportional) อย่างเดียวกับการควบคุมกระบวนการนั้นทำให้เกิด Offset ขึ้นได้คือเกิดค่าความแตกต่างระหว่างค่ากระบวนการจริงและที่ต้องการควบคุม (Set Point) ดังที่แสดงในรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 การเกิดออฟเซตในตัวควบคุมแบบสัดส่วน

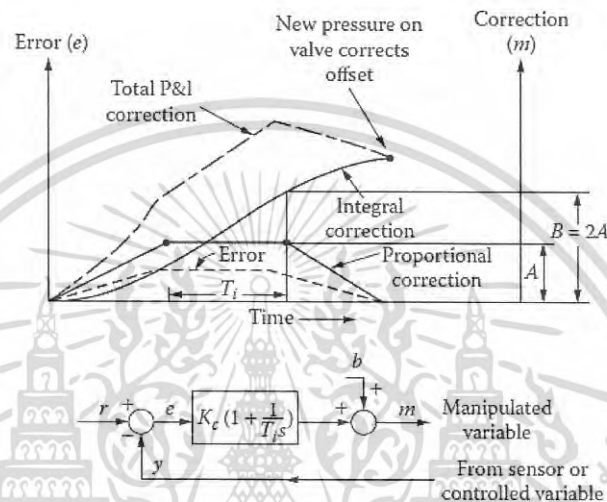
โหมดควบคุมแบบอินทิกรัลหรือบางครั้งเรียกว่าโหมดรีเซ็ตเนื่องจากเมื่อโหนดมีการเปลี่ยนแปลงตัวควบคุมแบบสัดส่วนรวมกับอินทิกรัลจะทำการปรับให้ค่ากระบวนการเข้าหาค่าที่ต้องการรวมทั้งกำจัดค่าออฟเซต (Offset) ที่ไม่ต้องการได้อีกด้วยซึ่งเป็นสิ่งที่ตัวควบคุมแบบสัดส่วนอย่างเดียวทำได้ยากแสดงเป็นสมการเชิงคณิตศาสตร์ของตัวควบคุมแบบสัดส่วนรวมกับอินทิกรัลคือ

$$m = K_c \left[e + \frac{1}{T_i} \int e dt \right] + b \quad (2.15)$$

เหตุผลที่ทำให้การควบคุมแบบสัดส่วนเกิดออฟเซตคือเนื่องจากตัวควบคุมจะไม่คำนึงถึงค่าความผิดพลาดที่ผ่านมาซึ่งด้วยกิริยาของตัวควบคุมเองจะคำนึงถึงเฉพาะปัจจุบันในขณะที่โหมดอินทิกรัลจะคำนวณค่าผิดพลาดที่ผ่านมาทั้งหมดอย่างต่อเนื่องโดยการรวมพื้นที่ใต้กราฟของค่าผิดพลาดและกำจัดออฟเซตดังที่แสดงในรูปที่ 2.9 เส้นปะแสดงผลรวมของการควบคุมแบบสัดส่วนรวมกับ

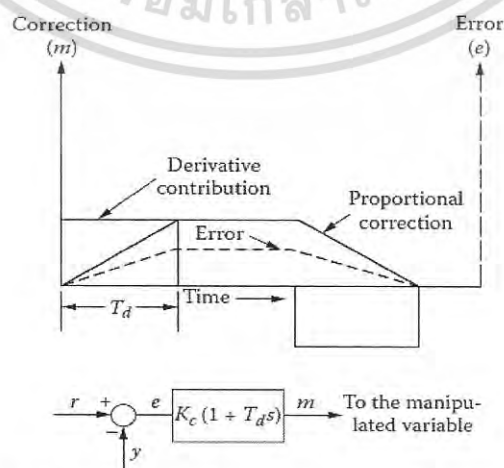
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อินทิกรัล (PI) โดยเมื่อความผิดพลาด (Error) เป็นค่าคงที่ค่าควบคุมแบบสัดส่วนจะเป็นค่าคงที่ด้วย ในขณะที่ค่าอินทิกรัลจะเพิ่มขึ้นด้วยอัตราที่คงที่เพราะพื้นที่ใต้กราฟค่าความผิดพลาดเพิ่มขึ้นเรื่อย แต่เมื่อค่าควบคุมแบบสัดส่วนและค่าความผิดพลาดลดลงนั้นค่าควบคุมแบบอินทิกรัลจะยังคงเพิ่มขึ้นเรื่อยไปเพราะพื้นที่ใต้กราฟรวมของค่าผิดพลาดยังมีการเพิ่มขึ้นอยู่นั่นเองเมื่อค่าความผิดพลาดเป็น ศูนย์ค่าอินทิกรัลมีค่าสูงสุดซึ่งจุดนี้คือระดับสัญญาณใหม่ที่จะส่งไปยังวาล์วควบคุมเพื่อกำจัดออฟเซต โดยโหมดการควบคุมแบบ PI นี้เป็นที่นิยมใช้งานอย่างกว้างขวางในอุตสาหกรรม



รูปที่ 2.9 สัญญาณเอาต์พุตของตัวควบคุมโหมดอินทิกรัลโดยการหาพื้นที่ใต้กราฟค่าผิดพลาด

ในขณะที่โหมดควบคุมแบบสัดส่วน (Proportional) พิจารณาสถานะปัจจุบันของค่าความผิดพลาดกระบวนการ (Error) โหมดอินทิกรัลพิจารณาสิ่งที่ผ่านมาของค่าความผิดพลาดส่วนโหมด เดริเวทีฟ (Derivative: D) จะทำนายสิ่งที่เกิดขึ้นในอนาคตของค่าความผิดพลาดกระบวนการและ กระทำสิ่งที่ถูกต้องก่อนจะเกิดขึ้นจริง



รูปที่ 2.10 สัญญาณเอาต์พุตของตัวควบคุมโหมดเดริเวทีฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

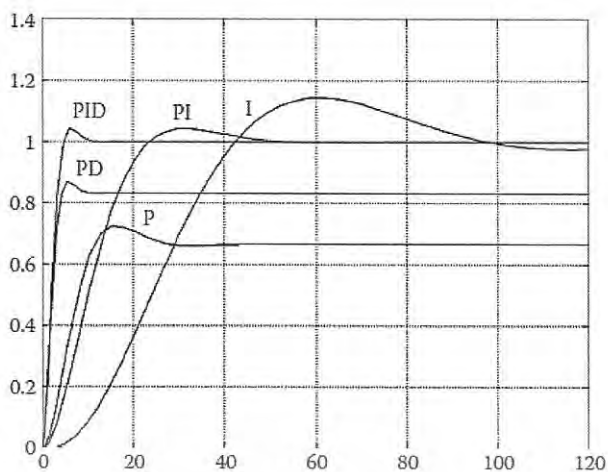
ดังแสดงในรูปที่ 2.10 เพื่ออธิบายผลตอบสนองของเดรีเวทีฟต่อกราฟค่าความผิดพลาด ในช่วงกลางของกราฟที่ซึ่งค่าความผิดพลาดมีค่าคงที่ตัวควบคุมแบบเดรีเวทีฟจะส่งสัญญาณเอาต์พุตไปที่ตัวควบคุมเท่ากับศูนย์เนื่องจากการทำงานของเดรีเวทีฟเป็นไปตามสมการซึ่งอยู่บนพื้นฐานของอัตราการเปลี่ยนแปลงค่าผิดพลาดและในช่วงกลางของกราฟนี้อัตราการเปลี่ยนแปลงเท่ากับศูนย์ทางด้านซ้ายของกราฟค่าความผิดพลาดเพิ่มขึ้นค่าเดรีเวทีฟมีค่าเป็นบวกซึ่งเป็นไปตามความชันขึ้นของกราฟค่าความผิดพลาดในขณะที่ฝั่งขวาของกราฟค่าความผิดพลาดยังเป็นบวกแต่เดรีเวทีฟจะเป็นลบตามกราฟที่มีความชันลดลงซึ่งก็เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดโอเวอร์ชูท (Overshoot) เกิดขึ้นโดยการควบคุมในโหมด PID นี้นิยมใช้กันอย่างกว้างขวางรวมทั้งการประยุกต์ใช้ในการควบคุมอุณหภูมิแบบลููปปิดแสดงเป็นสมการเชิงคณิตศาสตร์ของตัวควบคุมแบบสัดส่วนรวมกับเดรีเวทีฟคือ

$$m = K_e \left[e + T_d \frac{d}{dt} e \right] + b \quad (2.16)$$

รูปที่ 2.11 อธิบายผลตอบสนองของตัวควบคุมในโหมดต่าง ๆ ต่อค่าสัญญาณรบกวนอินพุต ลักษณะต่างกัน ส่วนรูปที่ 2.12 แสดงผลตอบสนองของกระบวนการที่ถูกควบคุมด้วยโหมดควบคุมต่าง ๆ กันที่ตอบสนองต่อค่าที่ต้องการ (Set Point) ที่เปลี่ยนแปลงหนึ่งหน่วย

Input Control modes	Step:	Pulse:	Ramp:	Sinusoid:
P				
I				
D				
PI				
PD				
PID				

รูปที่ 2.11 ผลตอบสนองของโหมดควบคุมที่มีต่ออินพุตแบบต่าง ๆ



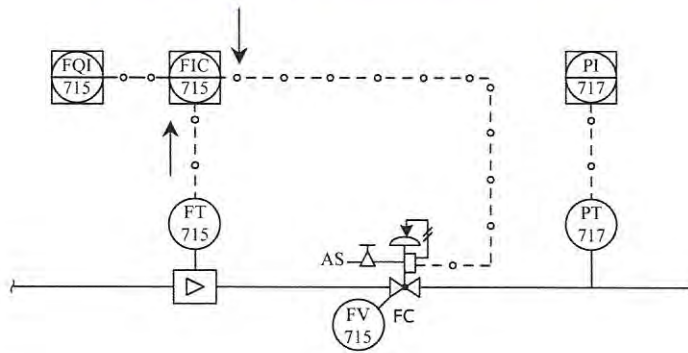
รูปที่ 2.12 ผลตอบสนองต่ออินพุตแบบหนึ่งหน่วยของตัวควบคุมแบบต่าง ๆ

การกำหนดตั้งค่ากิริยาของเอาต์พุตตัวควบคุม (Controller Output Action) เป็นสิ่งสำคัญที่ต้องคำนึงถึง ถ้าเลือกกิริยาไม่ถูกต้องจะทำให้ไม่สามารถควบคุมกระบวนการได้ อธิบายตัวอย่างการเลือกกิริยาของตัวควบคุมและความหมายในการทำงาน พิจารณากระบวนการควบคุมอัตราการไหล ดังที่แสดงในไดอะแกรมรูปที่ 2.13 กำหนดให้กระบวนการมีสถานะคงตัว (Steady State) และค่าเป้าหมาย (Set Point) คงที่ ถ้าสมมุติสัญญาณจากทรานสมิตเตอร์วัดการไหลเพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นการบ่งชี้ว่าอัตราการไหลในท่อสูงขึ้น เพื่อที่จะทำให้กลับไปยังค่าเป้าหมายได้นั้น ตัวควบคุมต้องปิดวาล์วลงเล็กน้อย และเนื่องจากวาล์วเป็นแบบปกติปิด (Fail-Close) หรือ Air-to-Open ดังนั้นตัวควบคุมต้องลดค่าสัญญาณเอาต์พุตที่ส่งไปยังวาล์ว (ดูทิศทางของลูกศรในรูปที่ 2.13) เมื่อตัวแปรกระบวนการเพิ่มขึ้นและต้องการลดเอาต์พุตตัวควบคุม อุปกรณ์ควบคุมต้องตั้งค่าเป็น Reverse Action หรือบ่อยครั้งเรียกว่า Increase/Decrease (สัญญาณอินพุตที่ส่งให้ตัวควบคุมเพิ่มขึ้น, สัญญาณเอาต์พุตจากตัวควบคุมต้องลดลง) และตัวควบคุมที่มีกิริยาแบบ Direct Action บ่อยครั้งถูกเรียกว่า Increase/Increase (สัญญาณอินพุตที่ส่งให้ตัวควบคุมเพิ่มขึ้น, สัญญาณเอาต์พุตจากตัวควบคุมต้องเพิ่มขึ้นเช่นกัน)

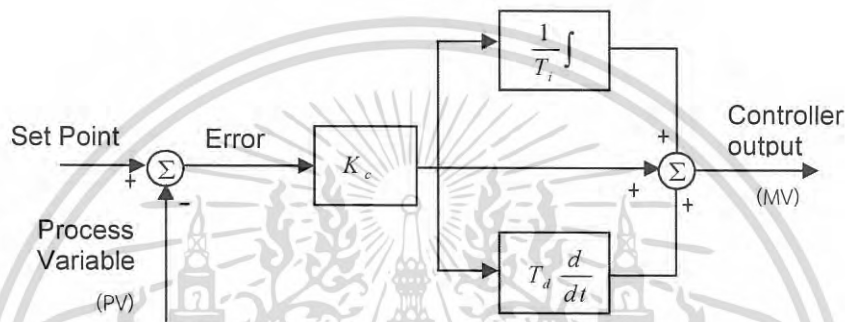
การเลือกใช้กิริยาของตัวควบคุมนั้น สิ่งที่ต้องทราบคือ

1. กระบวนการผลิตที่ต้องการควบคุม
2. Fail-Safe Action ของวาล์วควบคุมหรืออุปกรณ์ควบคุมสุดท้ายชนิดอื่น

รูปที่ 2.14 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรกระบวนการ (PV) และค่าเอาต์พุตตัวควบคุม (MV) ในรูปแบบบล็อกไดอะแกรมของตัวควบคุมแบบพีเอ็ด



รูปที่ 2.13 ไดอะแกรมระบบวัดคุมอัตราการไหล



รูปที่ 2.14 บล็อกไดอะแกรมรูปแบบมาตรฐานของตัวควบคุมแบบ PID

2.3 การเลือกใช้วาล์วควบคุม [3-4]

โดยส่วนมากแล้วอุปกรณ์ควบคุมสุดท้าย (Final Control Element) ในการประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมปิโตรเคมีและไฮโดรคาร์บอน คือ วาล์วควบคุมสำหรับการปรับอัตราการไหลของของไหล เช่น น้ำ แก๊ส ไขมัน หรือสารประกอบทางเคมีในกระบวนการผลิต การเลือกขนาดของวาล์วควบคุมที่เหมาะสมจะทำให้กระบวนการควบคุมการผลิตได้รับประโยชน์สูงสุด ในขณะที่การเลือกวาล์วที่ไม่ถูกต้องจะทำให้เกิดความผิดพลาดทั้งทางด้านเทคนิคและเศรษฐศาสตร์ วาล์วควบคุมที่มีขนาดเล็กกว่าจะทำให้อัตราการไหลไม่ได้ตามที่ต้องการ ในขณะที่วาล์วควบคุมที่มีขนาดสูงเกินไป (ซึ่งเป็นกรณีที่พบบ่อย) จะทำให้เสียค่าใช้จ่ายเกินความจำเป็นและได้รับความสามารถในการควบคุมที่ไม่ดีเท่าที่ควร และโดยทั่วไปวาล์วควบคุมที่ดีต้องออกแบบให้มีการเปิดเพื่อควบคุมกระบวนการอยู่ระหว่าง 20-80 เปอร์เซ็นต์

2.3.1 การคำนวณหาขนาดวาล์วควบคุม (Control Valve Sizing)

ในขั้นตอนนี้จะกล่าวถึงวิธีการเลือกขนาดวาล์วที่ถูกต้องเหมาะสมกับลักษณะการใช้งานโดยอ้างอิงตามมาตรฐาน ANSI/ISA-75.01.01 "Flow Equations for Sizing Control Valves" สมการคำนวณหา Flow Coefficient หรือ C_v แสดงได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$C_v = q / \sqrt{\Delta P / G_f} \quad (2.17)$$

$$q = C_v \sqrt{\frac{\Delta P}{G_f}} \quad (2.18)$$

โดยกำหนดให้ q คืออัตราการไหล มีหน่วยเป็นแกลลอนต่อนาที (gpm)

G_f คือความถ่วงจำเพาะของเหลวที่อุณหภูมินั้นๆ (น้ำอุณหภูมิ 60 องศาฟาเรนไฮต์ จะมีความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 1)

ΔP คือความดันตกคร่อมที่ตัววาล์วหรือความดันฝืนขาเข้าลบด้วยความดันฝืนขาออกมีหน่วยเป็น psi

กำหนดให้ 1 แกลลอนต่อนาที (gpm) เท่ากับ 3.785 ลิตรต่อนาที (lpm)

ดังนั้น จะสรุปได้ว่า ถ้าวาล์วมีค่า Flow Coefficient หรือ C_v เท่ากับ 1 มีความหมายคือ น้ำที่อุณหภูมิ 60 องศาฟาเรนไฮต์ไหลผ่านวาล์วที่มีความดันตกคร่อม 1 psi โดยมีอัตราการไหล 1 แกลลอนต่อนาที (gpm) และในทำนองเดียวกัน วาล์วตัวเดิมนี้อัตราการไหล 10 แกลลอนต่อนาทีที่ความดันตกคร่อมตัววาล์ว 100 psi เนื่องจากอัตราการไหลเป็นสัดส่วนกับรากที่สองของความดันตกคร่อม

ในกรณีที่ต้องการคำนวณหาอัตราการไหลเป็นหน่วยเมตริกหรือลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง จะใช้สมการในการคำนวณหาค่า Flow Coefficient ได้ดังต่อไปนี้

$$C_v = 1.17q \sqrt{\frac{G_f}{\Delta P}} \quad (2.19)$$

โดยกำหนดให้ q คืออัตราการไหลของเหลว มีหน่วยเป็นลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง (m^3/hr)

G_f คือความถ่วงจำเพาะของเหลวที่อุณหภูมินั้นๆ

ΔP คือความดันตกคร่อมที่ตัววาล์ว หรือความดันฝืนขาเข้าลบด้วยความดันฝืนขาออกมีหน่วยเป็น bar

เมื่อคำนวณหาค่า Flow Coefficient และเลือกขนาดของวาล์วควบคุมแล้วขั้นตอนต่อไปคือการตัดสินใจได้ว่ากระบวนการผลิตที่ต้องการใช้ Flow Coefficient ขั้นต่ำที่สุดเท่าไร เพื่อที่จะได้เลือกจากตาราง C_v ของโรงงานผู้ผลิต (โดยปกติจะแสดงอัตราการเปิดเพิ่มขึ้นครั้งละ 10 เปอร์เซ็นต์) ซึ่งโดยทั่วไปในการออกแบบจะคำนวณหาขนาด C_v ในรูปแบบอัตราการไหลที่ขั้นต่ำสุด ที่ใช้งานปกติ และอัตราการไหลสูงสุดที่จะใช้งานและควรเลือกวาล์วควบคุมที่มีเปอร์เซ็นต์การเปิดใช้งานที่

20 – 80 เปอร์เซนต์ของทราเวลของวาล์วควบคุมและสามารถครอบคลุมอัตราการไหลทั้งหมด ตัวอย่างตารางความสัมพันธ์ C_v และเปอร์เซ็นต์การเปิดวาล์วของโรงงานผู้ผลิต ได้ดังรูปที่ 2.15

Single-Stage Lo-dB/Anti-Cavitation
Models: 41335, 41435, 41535, 41635 and 41935

Flow Characteristic: EQUAL PERCENTAGE

Percent of Travel						10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
F _L						0.94	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94
Valve Size		ASME CLASS and equivalent PN	Office Diameter		Travel										
In.	mm		In.	mm	In.	mm	Rated C _v								
2	50	900-2500	1.84	46.7	0.8	20.3	0.2	0.3	0.6	1	1.6	3	5.2	7.9	11
							0.2	0.5	0.9	1.5	2.4	4.4	7.5	11.4	16
							0.3	0.7	1.3	2.1	3.4	6.3	11	16.5	23
							0.3	0.8	1.5	2.4	3.8	7.1	12.4	18.5	26
2	50	150-600	2.5	63.5	1.5	38.1	0.5	1.2	2.2	3.5	5.6	10.4	18.1	27.1	38
3x2 ²⁰ 4x2	80x50 100x50	150-1500					0.7	1.7	3.1	4.9	8	14.8	25.8	38.5	54
3	80	2500					0.6	1.3	2.7	4.4	7.1	12.8	22.5	33.6	41.6
4x3 6x3	100x80 150x80	150-1500					0.9	1.9	3.8	6.2	10.1	18.2	32.1	47.9	67
4	100	2500	3.5	88.9	2	50.8	1.2	2.7	5.5	8.9	14.4	26.1	46	68.6	96
6x4 8x4	150x100 200x100	150-1500					0.9	2.2	4	6.2	10.3	19	33.3	49.8	62.2
6	150	2500					1.3	3.1	5.8	8.9	14.7	27.2	47.6	71.2	88.9
8x6 10x6	200x150 250x150	150-1500					1.9	4.5	8.4	12.9	21.3	39.4	69.1	103.2	145
6	150	2500	5.12	130.0	2.5	63.5	3	6	12	18	27	41	61	82	99
8x6 10x6	200x150 250x150	150-1500					3.9	9.1	16.9	25.9	37.6	58.3	86.4	116	140.5
8	200	2500					5.7	13.2	24.5	37.7	54.7	84.8	125.4	168.3	203.8

รูปที่ 2.15 ตัวอย่างตารางความสัมพันธ์ C_v และเปอร์เซ็นต์การเปิดวาล์วของโรงงานผู้ผลิต

โดยทั่วไปแล้วการคำนวณหาขนาดวาล์วควบคุมจะใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ซึ่งโปรแกรมจะสามารถคำนวณค่า C_v ที่ต้องการของอัตราการไหลน้อยสุด อัตราการไหลของการทำงานปกติ และอัตราการไหลสูงสุด ซึ่งโปรแกรมจะสามารถบอกได้ว่าเกิดการ cavitation หรือ flashsing ขึ้นหรือไม่ รวมทั้งสามารถคำนวณหา Aerodynamic หรือ Hydrodynamic Noise ซึ่งค่าที่โปรแกรมคำนวณได้จะถูกต้องแม่นยำเพียงไรนั้นขึ้นอยู่กับค่าอินพุตที่ถูกต้อง นั่นคือค่าสภาวะการทำงานที่แท้จริงของกระบวนการผลิต (Process Condition) และเป็นเรื่องที่สำคัญอย่างยิ่งที่ควรคำนึงเบื้องต้น เพื่อเปรียบเทียบกับผลการคำนวณของโปรแกรมคอมพิวเตอร์อีกครั้ง

โดยโปรแกรมเหล่านี้ทางผู้ผลิตและจำหน่ายวาล์วควบคุมจะนำเสนอให้ใช้งานในการคำนวณและเลือกโมเดลวาล์วของผู้ผลิต แต่สิ่งที่ต้องคำนึงถึงในการใช้งานคือ

- การคำนวณหาขนาดวาล์วควบคุมต้องเป็นไปตามมาตรฐาน ANSI/ISA-75.01.01 หรือมาตรฐาน IEC ที่เกี่ยวข้อง
- สมการคำนวณหา Noise ควรจะเป็นไปตามมาตรฐาน IEC 60534.8.4 สำหรับของเหลว
- พิจารณาค่าเตือนของโปรแกรมเกี่ยวกับ “Cavitation” หรือ “Flashing”

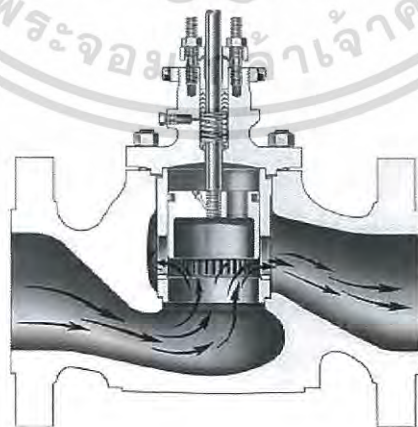
ตัวอย่างโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการคำนวณหาขนาดวาล์วควบคุมที่ผู้ผลิตและจำหน่ายวาล์วควบคุมนำเสนอให้ใช้งานเช่น Fisher Controls International และ Masoneilan Dresser เป็นต้น การใช้โปรแกรมในการคำนวณหาขนาดวาล์วควบคุมโดยการป้อนข้อมูลอินพุตของกระบวนการผลิตเช่น อัตราการไหล ความดันขาเข้า ความดันขาออก และจะได้ผลคำนวณของ Flow Coefficient หรือ C_v รวมทั้งเปอร์เซ็นต์การเปิดและระดับเสียงประมาณการ เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2 ข้อมูลสำคัญอื่นในการเลือกวาล์วควบคุมเพื่อประยุกต์ใช้งาน

ประโยชน์และข้อดีของวาล์วควบคุมแบบ Spring-Diaphragm-Actuated คือความสามารถในการทำงานแบบ “Fail-Safe” เช่นเปิดหรือปิดวาล์วเมื่อสัญญาณลมหรือสัญญาณไฟฟ้าที่ใช้ควบคุมทำงานผิดพลาดซึ่งทิศทางของ “Fail-Safe” จะเป็น Fail Close หรือ Fail Open นั้น โดยทั่วไปจะเกี่ยวข้องกับความปลอดภัยเช่น Fail-Close จะถูกนำมาใช้งานถ้าวาล์วนี้ใช้เพื่อควบคุมหรือตัดแยกของเหลวที่ติดไฟได้ง่ายอย่างแก๊สธรรมชาติหรือการใช้วาล์วควบคุมไอน้ำที่มีความดันและอุณหภูมิสูงเพื่อการควบคุมอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน (Heat Exchanger) เป็นต้น

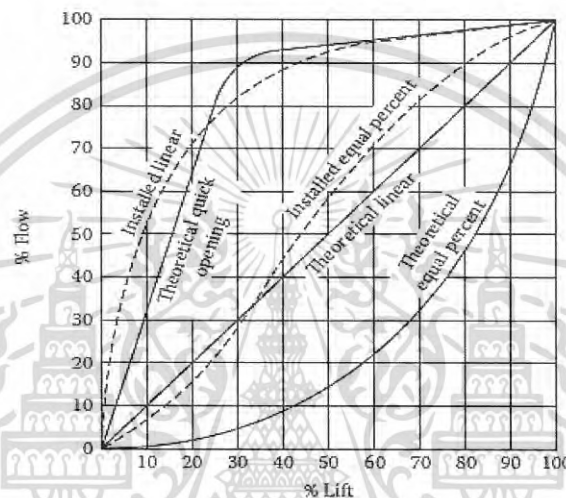
การกำหนดทิศทางการไหลของวาล์วควบคุมจะเกี่ยวข้องกับ Failure Action ความดันแตกต่างที่มีค่าสูง และควิเทชั่น ซึ่งทิศทางการไหลของวาล์วแบ่งเป็น 2 แบบคือ Flow to Open และ Flow to Close ความหมายของวาล์วที่มีทิศทางการไหลแบบ Flow to Open คือของไหลจะไหลผ่านและปะทะกับปลั๊กหรือเคจของวาล์วโดยตรงในขณะที่วาล์วที่มีทิศทางการไหลแบบ Flow to Close นั้นของไหลจะไหลผ่านด้านบนของปลั๊กหรือเคจของวาล์วและทิศทางการไหลของวาล์วจะสัมพันธ์กับ Failure Action ซึ่ง Failure ดังกล่าวนี้นหมายถึงการสูญเสียการควบคุมของ Actuator กรณีวาล์วเป็นแบบ Flow to Open เมื่อสูญเสียการควบคุมจาก Actuator ของไหลจะไหลผ่านวาล์วและกระทำให้ปลั๊กไปในทิศทางเปิดของวาล์ว แต่ถ้าเป็นแบบ Flow to Close เมื่อสูญเสียการควบคุมจาก Actuator ของไหลจะไหลผ่านวาล์วและกระทำให้ปลั๊กไปในทิศทางปิดของวาล์ว ในกรณีที่ประยุกต์ใช้งานกับระบบที่มีความดันแตกต่างสูงไม่ควรเลือกใช้วาล์วชนิด Flow to Close เนื่องจากอาจจะทำให้เกิดการเสียหายกับซีทของวาล์วได้ และโดยทั่วไปผู้ผลิตจะแนะนำให้ใช้วาล์วชนิด Flow to Close เพื่อประยุกต์ใช้ในการลดปัญหาการเกิดควิเทชั่นและปัญหาเรื่องสัญญาณรบกวนที่มีค่าสูงตัวอย่างวาล์วที่มีทิศทางการไหลแบบ Flow to Open แสดงได้ดังรูปที่ 2.16



รูปที่ 2.16 วาล์วควบคุมที่ระบุทิศทางการไหลแบบ “Flow-to-Open”

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คุณลักษณะการไหลของวาล์วควบคุม (Inherent Flow Characteristic) คือความสัมพันธ์ระหว่าง Flow Coefficient หรือ C_v และเปอร์เซ็นต์การเปิดของวาล์ว (Valve Travel) ถ้าเป็นแบบเชิงเส้น (Linear) ค่าของเปอร์เซ็นต์ C_v จะมีการเพิ่มขึ้นหรือลดลงเท่ากับเปอร์เซ็นต์การเปิดวาล์ว เช่น ถ้าวาล์วเปิด 30 เปอร์เซ็นต์จะทำให้ได้รับค่า C_v ที่ 30 เปอร์เซ็นต์เช่นกัน สำหรับวาล์วที่มีลักษณะการไหลแบบ Equal Percentage นั้นความสัมพันธ์ของเปอร์เซ็นต์ C_v และเปอร์เซ็นต์การเปิดวาล์วจะมีกราฟเป็นรูปแบบของเอกโพเนนเชียล ซึ่งเปอร์เซ็นต์การเปิดวาล์วเริ่มต้นจะทำให้ได้รับเปอร์เซ็นต์ C_v ที่ค่อนข้างน้อย คุณลักษณะการไหลของวาล์วแต่ละชนิดแสดงได้ดังรูปที่ 2.17



รูปที่ 2.17 คุณลักษณะของวาล์วควบคุมเปรียบเทียบระหว่างเปอร์เซ็นต์การเปิดและอัตราการไหล

ตัวอย่างการคำนวณและการพล็อตกราฟของคุณลักษณะอัตราการไหลของวาล์วและทำงานร่วมกับระบบท่อและอุปกรณ์อื่น เช่น ระบบอัตราการไหลของเหลวที่ประกอบด้วยถังเก็บของเหลว ป้อนส่งของเหลว (Centrifugal Pump) วาล์วควบคุม ระบบท่อขนาด 6 นิ้วที่มีความยาวมากกว่า 20 ฟุต ประกอบด้วยข้อต่อจำนวน 4 ข้อต่อ และอุปกรณ์ภาชนะรองรับที่อยู่ในกระบวนการผลิต (Process Vessel) ข้อมูลสำคัญอื่นที่ต้องการใช้ในการคำนวณดังต่อไปนี้

- อัตราการไหลสูงสุดและต่ำสุดที่ให้ไว้คือ 1250 และ 250 แกลลอนต่อนาทีตามลำดับ
- คุณลักษณะของปั๊ม (แปลงจากฟุตเป็นหน่วย psi) ที่ได้ข้อมูลจากโรงงานผู้ผลิตดังแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ข้อมูลคุณลักษณะของปั๊มที่ได้จากโรงงานผู้ผลิต

gpm:	1250	1050	850	650	450	250
psi head:	110	121	131	140	146	150

- ความดันที่สูญเสียเนื่องจากระบบท่อและข้อต่อที่อัตราการไหล 1250 แกลลอนต่อนาทีจากการคำนวณคือ 28 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ถ้าสมมติว่าไม่คิดเกี่ยวกับความหนืด (Viscosity) จะสมมติความดันสูญเสียจากระบบท่อ (Friction Loss) จะเป็นสัดส่วนกับอัตราการไหล เช่น $\Delta P_{\text{pipe}} = 28 \text{ psi} \times (\text{อัตราการไหล}/1250 \text{ gpm})^2$ ดังนั้นจะได้ข้อมูลอัตราการไหลกับความดันสูญเสียจากระบบท่อ (Friction Loss) ดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ข้อมูลอัตราการไหลกับความดันสูญเสียจากระบบท่อ

gpm:	1250	1050	850	650	450	250
ΔP_{pipe} (psi):	28	19.8	12.9	7.6	3.6	1.1

- ความดันตกคร่อมที่สูญเสียเนื่องจากระดับที่แตกต่างจากจุดต้นทางของปั๊มจนถึงจุดสิ้นสุด Process Vessel (แปลงจากหน่วยฟุตเป็นปอนด์ต่อตารางนิ้ว) มีค่าเท่ากับ 23 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว และมีค่าคงที่
- ความดันย้อนกลับที่มาจาก Process Vessel มีค่าคงที่เท่ากับ 52 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว

อันดับแรกต้องคำนวณค่าที่ถูกต้องของความดันตกคร่อมวาล์วควบคุมที่อัตราการไหลสูงสุด

$$\Delta P_{\text{valve}} = \text{pump head} - \Delta P_{\text{pipe}} - \text{static head} - \text{backpressure} = 110 - 28 - 23 - 52 = 7 \text{ ปอนด์ต่อตารางนิ้ว}$$

จากข้อมูลกระบวนการผลิตค่าความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 1.1 ทำให้สามารถคำนวณหาค่า Flow Coefficient หรือ C_v สูงสุดที่ต้องการได้โดยใช้สมการที่ (2.17) นั่นคือ

$$C_v = 1250 / \sqrt{(7/1.1)} = 496$$

ในกรณีที่ไม่ได้ให้ความสำคัญว่าต้องเป็นวาล์วชนิด Tight Shutoff และครอบคลุมการใช้งานทุกย่านของการไหลรวมทั้งอยู่ในงบประมาณที่ไม่สูงเกินไป ดังนั้นควรพิจารณาเลือกวาล์วชนิดปีกผีเสื้อ (Butterfly Valve) ขนาด 6 นิ้ว และมี Rated C_v เท่ากับ 825 ซึ่งพิจารณาจากแคตตาล็อกของโรงงานผู้ผลิตจะได้คุณลักษณะอัตราการไหล (Inherent Flow Characteristic) ตามตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 ข้อมูลจากผู้ผลิตวาล์วเปรียบเทียบกับเปอร์เซ็นต์การเปิดและ Rated C_v

% Travel:	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
C_v :	32	80	130	190	265	345	440	535	680	825

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากข้อมูลวาล์วจะเปิดประมาณ 75 เปอร์เซ็นต์ที่อัตราการไหลสูงสุด ($C_v = 496$) ดังนั้นถ้าพิจารณาที่ระดับอัตราการไหลอื่น ในลักษณะเดียวกัน เช่น อัตราการไหล 1050 แกลลอนต่อนาที จะคำนวณความดันตกคร่อมที่ตัววาล์วได้ในลักษณะเดียวกันกับที่กล่าวมา นั่นคือ

$$\Delta P \text{ valve} = \text{pump head} - \Delta P \text{ pipe} - \text{static head} - \text{backpressure} \\ = 121 - 19.8 - 23 - 52 = 26.2 \text{ ปอนด์ต่อตารางนิ้ว}$$

และคำนวณหาค่า Flow Coefficient หรือ C_v ได้เท่ากับ

$$C_v = 1050 / \sqrt{(26.2/1.1)} = 215$$

เมื่อพิจารณาจากตาราง C_v ของวาล์ว ได้ข้อมูลเปอร์เซ็นต์การเปิดคือ 43.3% และเมื่อทำตามกระบวนการเดิมกับอัตราการไหลอื่นทั้งหมดจะได้ข้อมูลดังตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 ข้อมูลค่าอัตราการไหล, Rated C_v ที่คำนวณได้และเปอร์เซ็นต์การเปิดวาล์วที่เลือก

Flow:	1250	1050	850	650	450	250
%Travel	75	43	31	22	15	9
Valve C_v :	496	215	136	90	57	29

การเลือกใช้วาล์วแบบ Butterfly เนื่องจากอัตราการไหลที่ใช้งานมีย่านการใช้ที่กว้างและอัตราส่วนของความดันตกคร่อมวาล์วระหว่างค่าอัตราการไหลต่ำสุดและอัตราการไหลสูงสุด คือ $74 / 7$ ปอนด์ต่อตารางนิ้ว = $10.5:1$ ซึ่งมีค่าที่สูง จึงไม่เหมาะที่จะใช้วาล์วชนิด Equal Percentage Globe Valve โดยแสดงข้อเสนอนี้และการเลือกคุณลักษณะวาล์วเพื่อประยุกต์ใช้งานตามตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 ข้อเสนอแนะการเลือกใช้งานคุณลักษณะของวาล์วชนิดต่าง ๆ

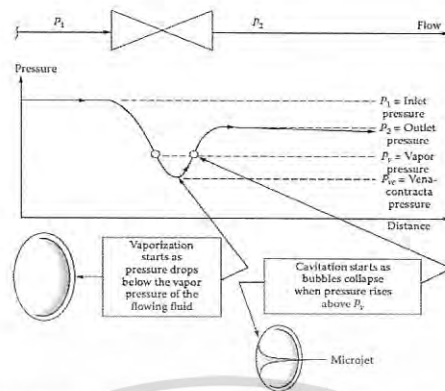
Service	Valve ($\Delta p_{\max} / \Delta p_{\min}$)	Valve ($\Delta p_{\max} / \Delta p_{\min}$)
	Under 2:1	Over 2:1 but Under 5:1
Orifice-type flow	Quick-opening	Linear
Flow	Linear	Equal %
Level	Linear	Equal %
Gas pressure	Linear	Equal %
Liquid pressure	Equal %	Equal %

2.4 คาวีเทชันและการใช้คาวีเทชันในเด็กประเมินวาล์วควบคุม [5-9]

สภาวะแวดล้อมและคุณสมบัติของของเหลวที่จะนำไปพิจารณาเลือกวาล์วควบคุมต้องมีการพิจารณาอย่างรอบคอบในช่วงที่มีการออกแบบ ในกรณีที่มีความแตกต่างกันมากระหว่างค่าที่ถูกออกแบบและค่าสภาวะที่มีการใช้งานจริงจะทำให้ประสิทธิภาพในการทำงานของวาล์วควบคุมคลาดเคลื่อนจากที่ออกแบบไว้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงที่มีปริมาณอัตราการไหลที่ต่ำและวาล์วที่ใช้งานมีเปอร์เซ็นต์การเปิดที่น้อยมากทำให้มีโอกาสความเป็นไปได้สูงที่จะเกิดคาวีเทชันในวาล์วและระบบวัดคุมในท่ออุตสาหกรรมซึ่งจะเกี่ยวข้องกับงานซ่อมบำรุงเพราะจะทำให้ค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงเพิ่มขึ้นและอาจจะเป็นเหตุให้ต้องหยุดการผลิตโดยที่ไม่ได้วางแผนไว้อีกด้วย การเกิดคาวีเทชันไม่เพียงแต่ลดความสามารถในการควบคุมการไหลของวาล์วอีกทั้งยังจะเป็นเหตุให้เกิดเสียงรบกวนและการสั่นสะเทือนที่เกินกำหนดและนำไปสู่ความเสียหายของวัสดุอุปกรณ์ สาเหตุของการเกิดคาวีเทชันมาจากหลายปัจจัย เช่น ชนิดของเหลว ปริมาณการไหล ระดับของความดันตกคร่อม และการออกแบบโครงสร้างภายในวาล์วควบคุมที่ไม่เหมาะสม มีวิธีการสองอย่างที่จะลดเสียงรบกวนและการสั่นสะเทือนที่เกินกว่าค่ากำหนดในระบบเดิมให้ลดลงได้คือการดัดแปลงระบบท่อและการแก้ไขโครงสร้างภายในของวาล์วควบคุม

เพื่อที่จะหลีกเลี่ยงอันตรายและปัญหาที่เกิดขึ้นกับวาล์วควบคุมในกระบวนการผลิตจำเป็นต้องมีผู้ใช้งานควรจะต้องเข้าใจเกี่ยวกับพื้นฐานการเกิดคาวีเทชันหรือแฟลชชิ่งในวาล์วควบคุม โดยในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะพิจารณาเกี่ยวกับการเกิดคาวีเทชันเป็นหลักสำคัญ และคาวีเทชันนั้นเป็นปรากฏการณ์แบบไดนามิกที่เกิดขึ้นได้เฉพาะกับของเหลวเท่านั้น โดยเมื่อของเหลวไหลผ่านวาล์วและผ่านจุดที่แคบที่สุด (Venacontracta) ถ้าความดันต่ำกว่าความดันไอ (Vapor Pressure: P_v) จะทำให้เกิดฟองไอน้ำขึ้น เมื่อความดันกลับมาสูงกว่าความดันไอน้ำอีกครั้ง สิ่งที่มาคือฟองอากาศเกิดการแตกตัว (Cavities) และทำให้เกิดไมโครเจ็ต (Microjet) เมื่อสัมผัสกระทบพื้นผิวโลหะภายในของปั๊ม วาล์ว หรือท่อจะทำให้เกิดการกัดกร่อนเสียหายอย่างรุนแรงและทำให้ลดความหนาของผิวโลหะแสดงเหตุการณ์การเกิดคาวีเทชันเมื่อของเหลวไหลผ่านวาล์วดังรูปที่ 2.18 บ่อยครั้งที่คาวีเทชันทำให้เกิดปัญหาเรื่องสัญญาณรบกวนทางเสียงและการสั่นสะเทือน (Noise and Vibration) เกินกำหนดการสั่นสะเทือนที่มากเกินไปอาจจะทำให้โครงสร้างรองรับระบบท่อเสียหาย รวมทั้งทำลายอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่อยู่ในกระบวนการผลิต ในขณะที่เสียงเกินกำหนดทำให้เกิดอันตรายต่อสภาวะแวดล้อมการทำงานของปฏิบัติงาน เนื่องจากวาล์วควบคุมมีลักษณะการทำงานเป็นแบบลดความดัน ทำให้มีความอ่อนไหวที่จะเกิดคาวีเทชัน อย่างไรก็ตาม ด้วยระบบการออกแบบที่ดี การเลือกและออกแบบวาล์วและการเลือกวัสดุใช้งานจะช่วยลดหรือกำจัดปัญหาผลกระทบจากคาวีเทชันได้เป็นอย่างดี ส่วนปรากฏการณ์แฟลชชิ่ง (Flashing) นั้นเกิดขึ้นเมื่อของเหลวผ่านจุดที่แคบที่สุดของวาล์ว (Venacontracta) ถ้าความดันต่ำกว่าความดันไอ (Vapor Pressure: P_v) ทำให้เกิดฟองอากาศและความดันไม่สามารถกลับขึ้นไปมากกว่าความดันไอน้ำได้ โดยยังทำงานอยู่ในสภาวะดังกล่าว การเกิด

แฟลชซึ่งไม่สามารถกำจัดได้แต่ป้องกันความเสียหายจากการกัดกร่อนโดยการเลือกวัสดุภายในของวาล์วให้เหมาะสม



รูปที่ 2.18 ปรากฏการณ์ควิเท็นเมื่อของเหลวไหลผ่านวาล์ว

กราฟที่แสดงดังรูปที่ 2.19 อธิบายเกี่ยวกับความสัมพันธ์ของอัตราการไหลของเหลว (gpm) สำหรับวาล์วควบคุมกับความดันตกคร่อมที่แปรผันซึ่งมีลักษณะเป็นเชิงเส้นตรงและความชันของกราฟคือ Flow Coefficient หรือ C_v เมื่อมีการเปิดวาล์วและกำหนดให้ค่าความดันฝั่งขาเข้าคงที่เมื่อมีการเพิ่มขึ้นของความดันตกคร่อมจนทำให้ค่าอัตราการไหลไม่สามารถเพิ่มขึ้นได้ซึ่งจุดนี้จะได้ค่าความดันตกคร่อมที่ทำให้เกิดการไคด์ (ΔP_{ch}) และจะนำไปหาค่า Liquid Pressure Recovery Factor (F_L) ต่อไปได้ ทั้งนี้กราฟจะยังเป็นเส้นตรงจนกระทั่งเริ่มเกิดควิเท็นซึ่งจะอธิบายโดยใช้พารามิเตอร์ K_c นอกจากนี้ มีพารามิเตอร์ที่สำคัญที่จะกล่าวถึงคือ X_{FZ} ซึ่งหมายถึงระดับที่เริ่มเกิดเสียงและสามารถตรวจจับได้รายละเอียดแสดงได้ดังรูปที่ 2.20 ในขณะที่ σ , คือค่าซิกมาที่แสดงการเริ่มต้นที่จะกลายเป็นไอ (Inception of Vaporization) โดยจะต้องใช้การตรวจวัดที่ระดับความถี่สูงและค่า X_{FZ} และ σ , จะมีค่าใกล้เคียงกันและเพื่อความสะดวกในการนำไปใช้งานจะระบุประมาณการให้มีค่าเท่ากันโดยที่กำหนดให้

$$X_{FZ} = \frac{\Delta P}{P_1 - P_v} \quad \text{หรือ} \quad \Delta P_{inc_cavitation} = X_{FZ} (P_1 - P_v) \quad (2.20)$$

โดยกำหนดให้ P_1 คือ Inlet Pressure (psia)

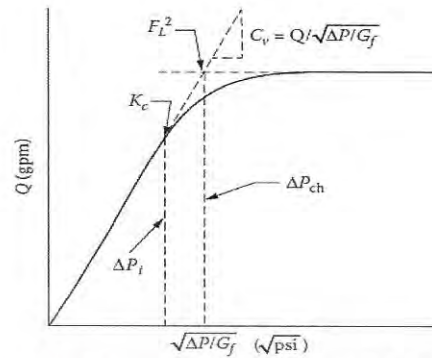
P_v คือ Vapor Pressure of Liquid (psia)

X_{FZ} คือ อัตราส่วนความดันแตกต่างระดับที่เริ่มเกิดเสียงและสามารถตรวจจับได้

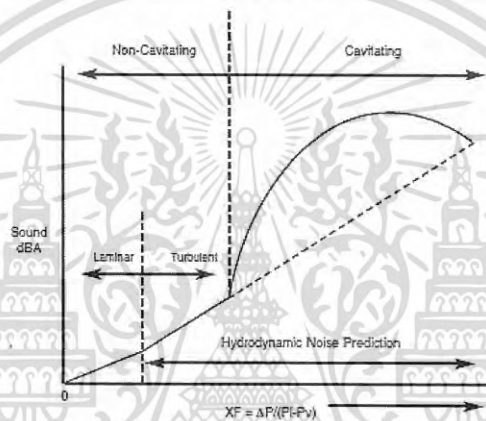
หมายเหตุ: ตามมาตรฐาน IEC 60534-8-4 กำหนดให้ Incipient Cavitation Index หรือเรียกว่า σ_i ,

ซึ่งจะมีค่าโดยประมาณคือ $\sigma_i = \frac{1}{X_{FZ}}$

โดยทั่วไปแล้ว ในการใช้งานจะไม่คำนึงถึงควาเฒันในระดับ Incipient เนื่องจากจะไม
ก่อให้เกิดเสียงที่เกินกำหนดและไม่ทำให้เกิดความเสียหายกับอุปกรณ์แต่อย่างใด

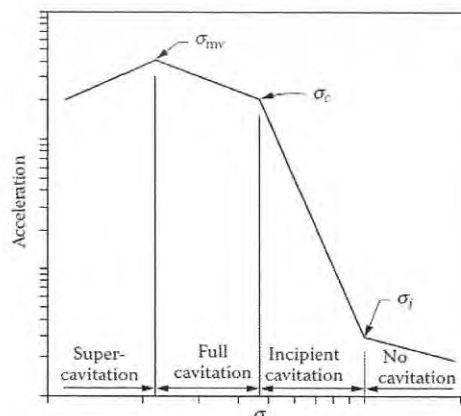


รูปที่ 2.19 กราฟอัตราการไหลอธิบายผลกระทบของการเกิดไค้และวิธีการหา F_L และ K_c



รูปที่ 2.20 กราฟความสัมพันธ์ระดับเสียงเดซิเบลและอัตราสวนความดันแตกต่าง

เนื่องจากระดับความรุนแรงของควาเฒันไม่สามารถหาได้จากการทดสอบหาอัตราการไหลที่ระดับไค้ค ดังนั้นจึงต้องใช้วิธีการอื่นที่จะหาและประเมินระดับความรุนแรงที่มีนัยสำคัญของควาเฒัน ซึ่งโดยทั่วไป ค่าที่วัดได้ของสัญญาณรบกวนทางเสียงและการสั่นสะเทือน เนื่องจากการเกิดควาเฒัน ในวาล์วควบคุมจะแบ่งได้เป็น 4 ระดับดังแสดงในรูปที่ 2.21 ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ของอัตราความเร็วที่วัดได้กับควาเฒันอันดับค้ของวาล์ว



รูปที่ 2.21 กราฟระดับความรุนแรงของควาเฒัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยระดับความรุนแรงของคavititation ดังแสดงในรูปที่ 2.21 อธิบายได้ดังนี้

1. ระดับที่ไม่มีคavititation เกิดขึ้น (No-Cavitation) โดยทั่วไปจะไม่พบสัญญาณรบกวนทางเสียงหรือการสั่นสะเทือนที่การไหลของเหลวที่ระดับนี้
2. ระดับเริ่มต้นของการเกิดคavititation (Incipient Cavitation) ที่ซึ่งคavititation ในวาล์วจะเริ่มก่อตัวขึ้นในระดับนี้และมีการแตกตัวของฟองไอน้ำเกิดขึ้นจนทำให้เกิดการไหลแบบปั่นป่วนและอาจจะได้ยินเสียงเล็กน้อยถ้าใช้เครื่องวัดเสียงความถี่สูงแต่โดยทั่วไปการเกิดคavititation ที่ระดับนี้จะไม่ก่อให้เกิดอันตรายกับอุปกรณ์
3. ระดับการเกิดคavititation สมบูรณ์ (Full Cavitation) ที่ระดับนี้จะมีการสั่นสะเทือนหรือความรุนแรงของสัญญาณรบกวนทางเสียงเพิ่มขึ้นและจะเริ่มเกิดความเสียหาย (Incipient Damage) ซึ่งจะพบเห็นได้บ่อยครั้งในระดับนี้
4. ระดับซูเปอร์คavititation (Supercavitation) การสั่นสะเทือนและการกัดกร่อนในระบบท่อและข้อต่อต่างๆ โดยทั่วไปจะพบความรุนแรงในระดับนี้และบ่อยครั้งจะเกิด choked flow (Choked Flow) ร่วมกับคavititation ในระดับนี้อีกด้วย

ในการประเมินการเกิดคavititation ในวาล์วควบคุมซึ่งอ้างอิงตามมาตรฐาน ISA 75.23 (Considerations for Evaluating Control Valve Cavitation) พารามิเตอร์ที่ใช้ในการอ้างอิงคือ ดัชนีชี้วัดการเกิดคavititation (Cavitation Index) ในสภาวะใช้งานจริง (Service Condition) คำนวณได้ดังนี้

$$\sigma(\text{service}) = \frac{P_1 - P_v}{P_1 - P_2} \quad (2.21)$$

โดยกำหนดให้ P_1 คือความดันสัมบูรณ์ขาเข้าวาล์ว,
 P_2 คือความดันสัมบูรณ์ขาออกของวาล์ว และ
 P_v คือความดันไอน้ำสัมบูรณ์ของเหลวที่อุณหภูมิฝั่งขาเข้า

ค่าดัชนีชี้วัดการเกิดคavititation ที่สภาวะทำงาน (Sigma Service) จะคำนวณได้ตามสมการที่ (2.21) หลังจากนั้นจะนำไปเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานซึ่งขึ้นอยู่กับระดับความรุนแรงของการเกิดคavititation และชนิดของวาล์ว เกณฑ์มาตรฐานดังกล่าวจะอ้างอิงตามระดับความรุนแรงของคavititation ตามรูปที่ 2.21 นั่นคือ Incipient cavitation (σ_i), constant cavitation (σ_c), Incipient damage (σ_{id}), maximum vibration cavitation (σ_{mv}) หรือ manufacturer's recommended (σ_{mr}) ซึ่งโดยทั่วไปจะเป็นค่าที่ผู้ผลิตให้ข้อมูลแก่ผู้ใช้งาน

ในการนำไปใช้งานจริงนั้นการเกิดคาวิเทชันจะเปลี่ยนแปลงตามความดันและขนาดวาล์วซึ่งการที่คาวิเทชันแปรผันตามความดันจะเรียกว่า “Pressure Scale Effect” (PSE) จะหาได้โดย

$$PSE = [(P_1 - P_v)/(P_1 - P_v)_R]^a \quad (2.22)$$

โดยตัวอักษร R ที่อยู่ต่ำกว่าเส้นบรรทัดคือความดันอ้างอิงโดยทั่วไป $(P_1 - P_v)_R$ จะมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 100 psi (690 kPa) ตัวอย่างเช่นด้วยเหตุผลของสมรรถภาพของระบบและเกี่ยวกับความปลอดภัยวาล์วแบบโรตารีจึงจะต้องทำการทดสอบที่ $(P_1 - P_v)_R$ เท่ากับ 40 psi เป็นต้น

เลขชี้กำลัง a คือค่าที่วัดได้จากความชันของกราฟระดับความรุนแรงของคาวิเทชันรูปที่ 2.21 ซึ่งจะขึ้นอยู่กับระดับความรุนแรงและสัมพันธ์กับชนิดของวาล์ว เช่น วาล์วชนิด single stage globe ที่ระดับคาวิเทชันเริ่มต้น (Incipient) จะมีค่าเลขชี้กำลัง a เท่ากับ 0.10 – 0.14 เป็นต้น

ในลักษณะเดียวกันระดับความรุนแรงของคาวิเทชันจะขึ้นอยู่กับขนาดของวาล์วซึ่งการแปรผันคาวิเทชันตามขนาดวาล์วจะเรียกว่า “Size Scale Effect” (SSE) คำนวณได้ดังนี้

$$SSE = (d/d_R)^b \quad (2.23)$$

$$b = 0.068 (C_v/N_1 d^2)^{1/4} \quad (2.24)$$

โดยกำหนดให้ d_R หมายถึงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของวาล์วอ้างอิงที่ทดสอบ และ N_1 คือ ค่าคงที่ของหน่วยการวัดที่ใช้ในสมการ ถ้าหน่วยวัดเป็นนิ้ว N_1 จะมีค่าเท่ากับ 1 แต่ถ้าหน่วยเป็นมิลลิเมตรจะมีค่าเท่ากับ 0.00155

ค่าดัชนีการเกิดคาวิเทชันที่แปรผันตามความดันและขนาดของวาล์วหรือเรียกว่า σ_v จะคำนวณได้ดังนี้

$$\sigma_v = (\sigma_R SSE - 1) PSE + 1 \quad (2.25)$$

โดยที่ σ_R คือเกณฑ์มาตรฐานที่จะใช้อ้างอิงตามระดับความรุนแรงของคาวิเทชัน เช่น incipient cavitation (σ_i) เป็นต้น

เมื่อคำนวณ σ_v จากนั้นจะนำไปเปรียบเทียบกับ $\sigma_{(service)}$ ที่ได้จากสมการที่ (2.21) และถ้า $\sigma_{(service)}$ มากกว่า σ_v จะสรุปว่าวาล์วทำงานที่ระดับคาวิเทชันที่มีความรุนแรงน้อยกว่าเกณฑ์มาตรฐานที่ใช้อ้างอิง หรือ σ_R

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แต่ถ้าว่าลวดติดตั้งอยู่บนท่อที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่กว่า σ_p จะถูกนำมาพิจารณา และจากนั้นจะนำไปเปรียบเทียบกับ $\sigma(\text{service})$ อีกครั้ง โดยค่าดังกล่าวหาได้ดังนี้

$$\sigma_p = F_p^2 [\sigma_v + (K_1 + K_{B1})C_v^2 / (N_2 d^4)] \quad (2.26)$$

$$F_p = [1 + (\sum K) C_v^2 / (N_2 d^4)]^{1/2} \quad (2.27)$$

$$K_{B1} = 1 - d^4 / D_1^4 \quad (2.28)$$

$$K_{B2} = 1 - d^4 / D_2^4 \quad (2.29)$$

$$K_1 = 0.5 (1 - d^2 / D_1^2)^2 \quad (2.30)$$

$$K_2 = 1.0 (1 - d^2 / D_2^2)^2 \quad (2.31)$$

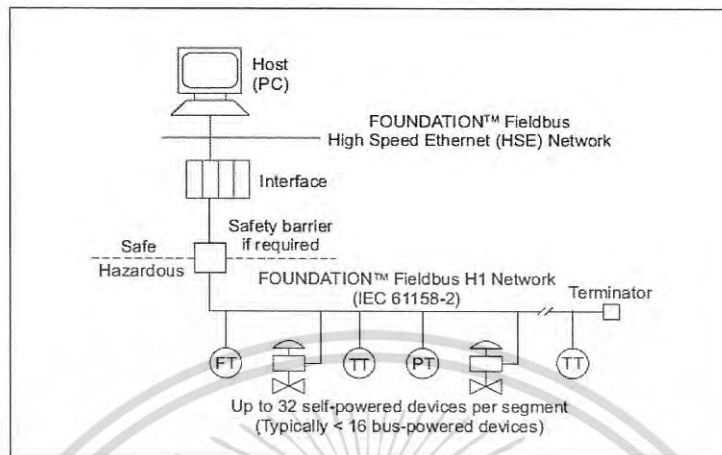
$$\sum K = K_{B1} - K_{B2} + K_1 + K_2 \quad (2.32)$$

โดยที่ d คือขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของวาล์ว
 D_1 คือขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของท่อฝั่งขาเข้า
 D_2 คือขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของท่อฝั่งขาออก และ
 N_2 คือค่าคงที่ของหน่วยการวัดที่ใช้ในสมการ ถ้าหน่วยวัดเป็นนิ้ว N_2 จะมีค่าเท่ากับ 890 แต่ถ้าหน่วยเป็นมิลลิเมตร จะมีค่าเท่ากับ 0.00214

2.5 ระบบวัดคุมบนพื้นฐานของเทคโนโลยีการสื่อสารแบบฟาวน์เดชันฟิลด์บัส [10]

ฟาวน์เดชันฟิลด์บัสเป็นเทคโนโลยีแบบเปิดและเป็นเทคโนโลยีแบบดิจิทัลในระบบการสื่อสาร เป็นแบบอนุกรมและส่งข้อมูลแบบสองทาง โครงข่ายระดับ H1 มีความเร็วในการรับส่งข้อมูล 31.25 กิโลบิตต่อวินาที (Kbit/s) ทำหน้าที่ต่ออุปกรณ์ระดับฟิลด์เข้าด้วยกัน เช่น เซนเซอร์ (Sensor) แอคทูเอเตอร์ (Actuator) ส่วนโครงข่ายแบบ HSE (High Speed Ethernet) มีความเร็วในการรับส่งข้อมูล 100 เมกะบิตต่อวินาที (Mbit/s) ใช้เพื่อการรวมเข้าด้วยกันของอุปกรณ์ควบคุมที่มีความเร็วสูง เช่น พีแอลซี ดีซีเอส และได้รับการรับรองตามมาตรฐาน IEC61158 ที่รองรับการทำงานแบบฟังก์ชันบล็อก ที่สามารถกระจายความสามารถในการควบคุมไปที่อุปกรณ์ระดับฟิลด์ได้ความหมายคือ อุปกรณ์ทรานสมิตเตอร์สามารถส่งสัญญาณไปที่ Positioner ของวาล์วควบคุมซึ่งประกอบด้วยบล็อกพีไอดีอัลกอริทึมและสื่อสารกันได้โดยอุปกรณ์ทั้งสองตัวสื่อสารกันผ่านโครงข่ายดิจิทัลเดียวกัน เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ในการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

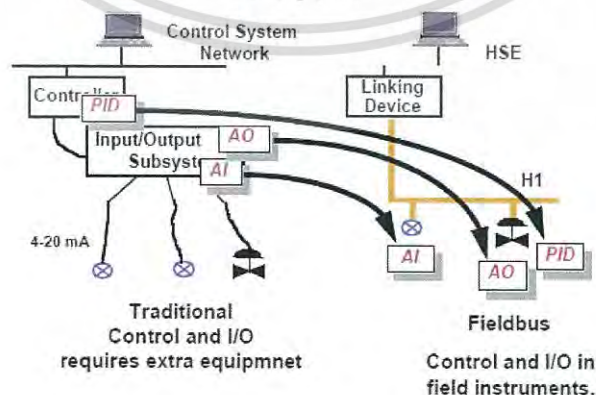
รวมทั้งส่งข้อมูลไปยังคอมพิวเตอร์โฮสต์ที่เป็นตัวกลางการสื่อสารกับผู้ใช้งานแสดงโครงข่ายของเทคโนโลยีการสื่อสารแบบฟาว์นเดชันฟิลด์บัสดังแสดงในรูปที่ 2.22



รูปที่ 2.22 สถาปัตยกรรมของเทคโนโลยีการสื่อสารแบบฟาว์นเดชันฟิลด์บัส

2.5.1 ประโยชน์ของการนำเทคโนโลยีฟาว์นเดชันฟิลด์บัสมาใช้งาน

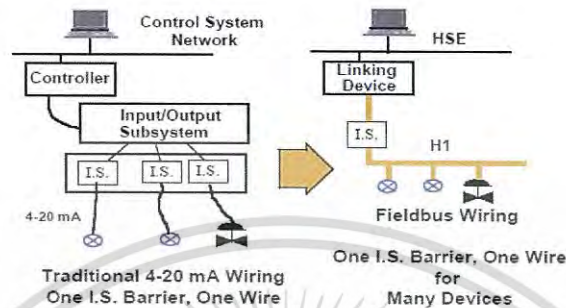
เนื่องจากเทคโนโลยีฟาว์นเดชันฟิลด์บัสใช้หลักการเขียนฟังก์ชันบล็อกซึ่งฟังก์ชันบล็อกเป็นมาตรฐานที่ใช้งานในระบบควบคุมอัตโนมัติที่มีหลายฟังก์ชันการควบคุมระบบ เช่น บล็อกแอนะล็อก อินพุต (AI) บล็อกแอนะล็อกเอาต์พุต (AO) หรือพีไอดีบล็อก (PID) ในบางครั้งจะทำการประมวลผลและควบคุมโดยตัวอุปกรณ์ระดับฟิลด์เอง โดยใช้หลักการของการจัดวางฟังก์ชันบล็อกที่ตัวอุปกรณ์นั้น ดังที่แสดงในรูปที่ 2.23 การใช้หลักการออกแบบให้ฟังก์ชันบล็อกอยู่ที่ตัวอุปกรณ์เองหรือเรียกว่าการควบคุมที่ฟิลด์ (Control in the Field: CIF) จะช่วยลดความเสี่ยงเรื่องการล้มเหลวของระบบและการกระจายการควบคุมไปที่อุปกรณ์ระดับฟิลด์จะทำให้ลดจำนวนของอินพุต เอาต์พุต และอุปกรณ์ควบคุมที่ต้องการใช้งานลงได้



รูปที่ 2.23 หลักการใช้ฟังก์ชันบล็อกในอุปกรณ์ระดับฟิลด์ของเทคโนโลยีฟาว์นเดชันฟิลด์บัส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

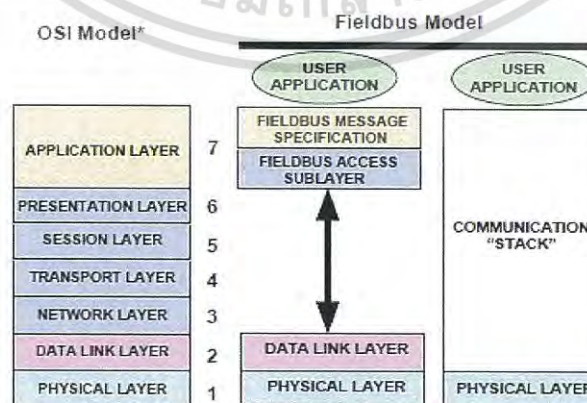
ประโยชน์ในด้านการประหยัดสายสัญญาณเนื่องจากฟาว์เดชั่นฟิลด์บัส H1 ออกแบบให้อุปกรณ์ทุกตัวต่อกันด้วยสายคู่เดียวด้วยเหตุนี้ทำให้ใช้สายสัญญาณน้อยลงรวมทั้งลดจำนวนการใช้อุปกรณ์ต่อรวมอื่นลงได้ด้วย เช่น ตู้ควบคุม (Cabinets) หรืออุปกรณ์ตัดแยกเพื่อความปลอดภัย (Intrinsic Safety Barriers) ซึ่งอธิบายได้ดังรูปที่ 2.24



รูปที่ 2.24 การติดต่อสื่อสารกันด้วยสายสัญญาณคู่เดียวของเทคโนโลยีฟาว์เดชั่นฟิลด์บัส H1

2.5.2 สถาปัตยกรรมของเทคโนโลยีฟาว์เดชั่นฟิลด์บัส

เทคโนโลยีฟาว์เดชั่นฟิลด์บัส H1 มีโครงสร้างสถาปัตยกรรมประกอบด้วย Physical Layer, Communication Stack และ User Application ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับโมเดล OSI (Open Systems Interconnect) ดังที่แสดงในรูปที่ 2.25 จะเห็นว่า Physical Layer คือ เลเยอร์ที่ 1, Data Link Layer คือ เลเยอร์ที่ 2, Fieldbus Access Sublayer (FAS) และ Fieldbus Message Specification (FMS) คือ เลเยอร์ที่ 7 ส่วน Communication Stack คือ การรวมเลเยอร์ที่ 2 และ 7 เข้าด้วยกัน เทคโนโลยีฟาว์เดชั่นฟิลด์บัสไม่มีการใช้เลเยอร์ที่ 3-6 ในโมเดล OSI ในส่วนของ User Application เป็นส่วนเพิ่มเติมที่เป็นเอกลักษณ์ของเทคโนโลยีนี้ ที่มีการกำหนดข้อมูลของอุปกรณ์ต่าง ๆ บนพื้นฐานของออบเจกต์ (Object) และบล็อก (Block)

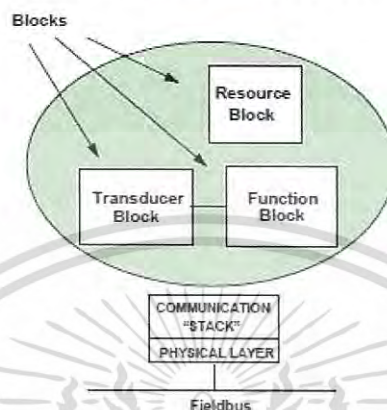


* The user application is not defined by the OSI Model

รูปที่ 2.25 เทคโนโลยีฟาว์เดชั่นฟิลด์บัส H1 ที่มีส่วนประกอบเมื่อเทียบกับโมเดล OSI
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.3 ฟาว์นเดชันฟิลด์บัสฟังก์ชันบล็อก

Fieldbus Foundation ได้มีการระบุมาตรฐานให้ User Application Layer ทำงานอยู่บนพื้นฐานของบล็อกและบล็อกนี้เป็นตัวแทนของฟังก์ชันการประยุกต์ใช้งานที่แตกต่างกัน โดยชนิดของบล็อกที่ใช้ใน User Application อธิบายได้ดังรูปที่ 2.26 ซึ่งประกอบด้วยรีซอร์สบล็อก (Resource Block) ทรานสดิวเซอร์บล็อก (Transducer Block) และฟังก์ชันบล็อก (Function Block)



รูปที่ 2.26 ชนิดของบล็อกที่ใช้ใน User Application ของฟาว์นเดชันฟิลด์บัส

รีซอร์สบล็อกใช้อธิบายคุณลักษณะของอุปกรณ์ฟิลด์บัส เช่น ชื่ออุปกรณ์ ผู้ผลิต ซึ่งรีซอร์สบล็อกนี้จะมีเพียงบล็อกเดียวเท่านั้นในอุปกรณ์แต่ละตัว

ทรานสดิวเซอร์บล็อกเป็นส่วนที่เก็บและประมวลผลข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับเซนเซอร์ในเครื่องมือวัดและแอคทูเอเตอร์ในวาล์วควบคุม โดยทรานสดิวเซอร์บล็อกทำหน้าที่ตัดแยกฟังก์ชันบล็อกออกจากลอจิกอินพุท/เอาต์พุท นอกจากนี้ ในทรานสดิวเซอร์บล็อกจะมีข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการปรับเทียบ (Calibration) ตัวอุปกรณ์อีกด้วย

ฟังก์ชันบล็อกเป็นส่วนที่สร้างพฤติกรรมการควบคุมระบบ พารามิเตอร์อินพุทและเอาต์พุทของฟังก์ชันบล็อกที่อยู่ต่างอุปกรณ์กันสามารถรับ-ส่งถึงกันผ่านเครือข่ายการสื่อสาร ซึ่งการทำงานของแต่ละฟังก์ชันบล็อกจะมีตารางเวลาที่แน่นอนขึ้นอยู่กับรูปแบบการควบคุม โดย Fieldbus Foundation ได้มีการกำหนดฟังก์ชันบล็อกมาตรฐานที่ใช้สำหรับการควบคุมพื้นฐาน เช่น Analog Input (AI), Analog Output (AO), Discrete Input (DI), Discrete Output (DO), Proportional/Integral/Derivative (PID) เป็นต้น

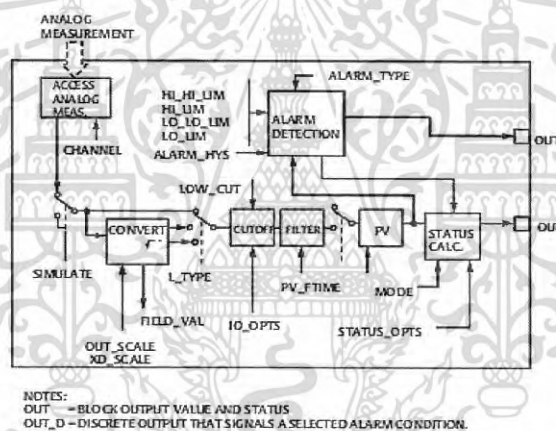
ฟังก์ชันบล็อกแอนะล็อกอินพุท (AI) มีโครงสร้างภายในดังรูปที่ 2.27 ค่าที่วัดได้จากเซนเซอร์ซึ่งถูกเก็บข้อมูลไว้ในทรานสดิวเซอร์บล็อก จะถูกส่งต่อมาที่ฟังก์ชันบล็อก AI ผ่านตัวแปร Channel ในกรณีที่เครื่องมือวัดมีเซนเซอร์ในการตรวจวัดค่าหลายตัว ผู้ใช้งานจำเป็นต้องมีการระบุหมายเลขของตัวแปร Channel ให้ตรงกับค่าที่ต้องการใช้งาน สำหรับเครื่องมือวัดที่มีเพียงเซนเซอร์เดียวในการตรวจวัดค่า ผู้ผลิตเครื่องมือวัดมักกำหนดให้ค่าตัวแปร Channel มีค่าเป็น 1 โดยค่าที่ได้จากการวัดของเครื่องมือวัดจะถูกนำมาประมวลผลด้วยการแปลงค่าสัญญาณ (Converting) การกรองสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Filtering) และการตรวจสอบฟังก์ชันการแจ้งเตือน (Alarm Detection) รวมทั้งการตรวจสอบสถานะของตัวแปรเอาต์พุต OUT

ฟังก์ชันบล็อก AI รองรับโหมดการดำเนินการทั้งหมด 3 โหมดด้วยกัน ซึ่งกำหนดโดยตัวแปร MODE_BLK ดังนี้

- 1) Manual (MAN) ค่า OUT จะถูกกำหนดค่าโดยผู้ใช้งาน
- 2) Automatic (AUTO) ค่า OUT เป็นผลมาจากค่าแอนะล็อกอินพุตที่ได้จากการวัดค่าหรือค่าที่ได้จากการจำลองเมื่ออยู่ในโหมด Simulation
- 3) Out of Service (O/S หรือ OOS) บล็อกจะไม่มีการดำเนินการ และค่า PV ไม่มีการอัปเดตและสถานะของ OUT ถูกกำหนดเป็น Bad : Out of Service เมื่อตัวแปร BLOCK_ERR แสดงสถานะ Out of Service ในโหมดนี้ผู้ใช้สามารถเปลี่ยนแปลงการกำหนดค่าต่าง ๆ ของตัวแปรทั้งหมดที่ถูกกำหนดไว้ก่อนหน้านี้ได้ โหมดเป้าหมายของบล็อก (Target Mode) อาจถูกจำกัดให้เลือกได้เพียงหนึ่งหรือมากกว่าภายในจำนวนโหมดที่รองรับ



รูปที่ 2.27 โครงสร้างฟังก์ชันบล็อกแอนะล็อกอินพุต

ฟังก์ชันบล็อกแอนะล็อกเอาต์พุต (AO) ดังแสดงในรูปที่ 2.28 เป็นบล็อกที่สำคัญของอุปกรณ์แอกทูเอเตอร์หรืออุปกรณ์ควบคุมสุดท้าย (Final Control Element) จำพวกวาล์วควบคุม เพื่อใช้ปรับแต่งกระบวนการให้เข้าใกล้ค่าเป้าหมาย SP โดยค่าเอาต์พุต OUT ของบล็อกจะถูกส่งไปยังทรานสดิวเซอร์ของอุปกรณ์ (ที่มีบล็อก AO อยู่ภายใน) ค่าตัวแปร Channel ซึ่งบริษัทผู้ผลิตอุปกรณ์โดยทั่วไปมักมีค่าเริ่มต้นของ Channel เท่ากับ 1

ฟังก์ชันบล็อก AO รองรับการทำงานของโหมดดังต่อไปนี้

- 1) Manual (Man) ผู้ใช้สามารถกำหนดค่าเอาต์พุต OUT ได้โดยตรงโดยไม่ขึ้นอยู่กับค่าอินพุตของบล็อกจากตัวแปร CAS_IN โดยโหมดนี้ใช้เป็นโหมดเริ่มต้นเมื่อมีการซ่อมบำรุงหรือแก้ไขปัญหาต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) Automatic (Auto) ค่า OUT เป็นผลมาจากเป้าหมายของการควบคุมกระบวนการซึ่งถูกกำหนดโดยคุณสมบัติของค่า SP

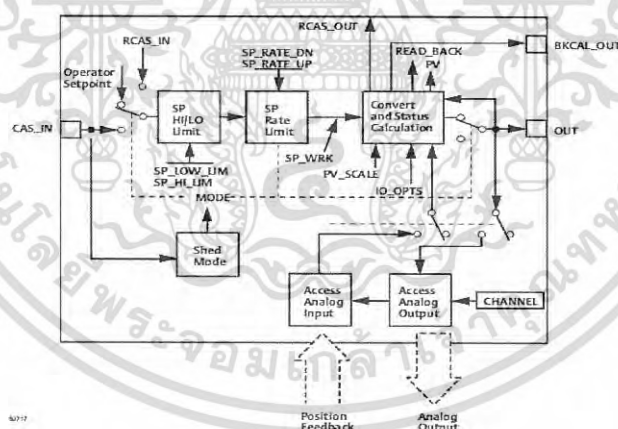
3) Cascade (Cas) คุณสมบัติของค่า SP ถูกกำหนดโดยฟังก์ชันบล็อกอื่นผ่านทางการเชื่อมต่อนำเข้าตัวแปร CAS_IN และค่า SP จะถูกใช้ในการกำหนดคุณสมบัติของ OUT โดยอัตโนมัติ

4) Remote Cascade (RCas) ค่า SP ของโหมตนี้จะกำหนดโดยเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ทำหน้าที่เป็นโฮสต์ โดยการเขียนข้อมูลไปยังตัวแปร RCAS_IN ค่า SP จะถูกใช้ในการกำหนดคุณสมบัติของ OUT โดยอัตโนมัติ

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

6) Initialization Manual (IMAN) ฟังก์ชันนี้จะถูกแสดงเมื่อเส้นทางเชื่อมต่อไปยังเอาต์พุตไม่สามารถใช้งานได้จะถูกคงไว้ที่ค่าตำแหน่งสุดท้าย

7) Local Override (LO) เอาต์พุตของบล็อกนี้จะไม่ตอบสนองต่อค่าเอาต์พุต OUT เนื่องจาก รีเซอร์สบล็อกอยู่ในโหมต LO หรือมีการกระทำที่ผิดไปจากสถานการณ์ใช้งานปกติโดยโหมต เป้าหมายของบล็อก AO อาจถูกจำกัดให้เลือกได้เพียงหนึ่งหรือมากกว่าจากตัวเลือกดังนี้ Man, Auto, Cas, RCas หรือ OOS



รูปที่ 2.28 โครงสร้างฟังก์ชันบล็อกแอนะล็อกเอาต์พุต

ฟังก์ชันบล็อกพีไอดี (PID) โครงสร้างของฟังก์ชันบล็อกแสดงได้ดังรูปที่ 2.29 เป็นฟังก์ชันบล็อกที่ใช้ในการดำเนินการควบคุมกระบวนการ ค่าเป้าหมาย (Setpoint) หรือ SP ของฟังก์ชันบล็อก PID จะถูกกำหนดโดยโหมต ผู้ใช้สามารถกำหนดค่าตัวแปร SP_HI_LIM และ SP_LO_LIM เพื่อกำหนดขอบเขตสูงสุดและต่ำสุดของค่าเป้าหมายในโหมตคาสเคด (Cas) หรือรีโมทคาสเคด (RCas) ตามลำดับ โดยที่ค่า SP จะถูกปรับโดยฟังก์ชันบล็อกอื่นหรือโดยโฮสต์ และค่าเอาต์พุตจะถูกคำนวณ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

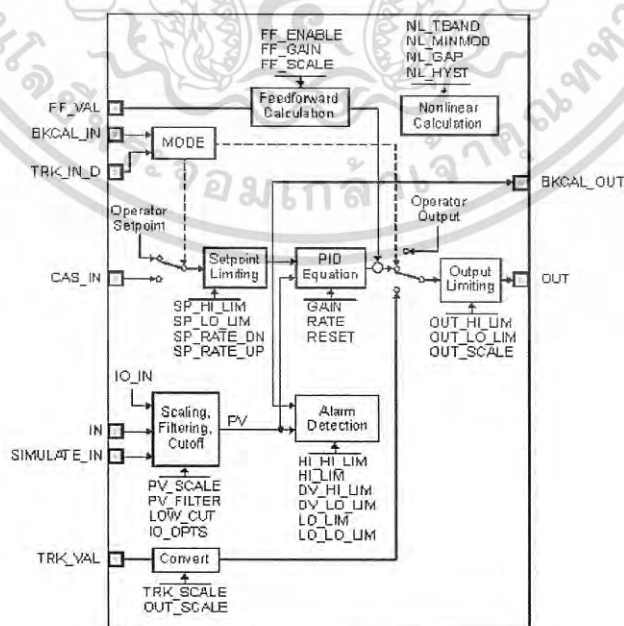
โดยขึ้นอยู่กับค่า SP ในโหมดอัตโนมัติ (Auto) ซึ่งค่า SP นี้ถูกกำหนดโดยผู้ใช้งานโดยตรงและค่าเอาต์พุตจะถูกคำนวณโดยขึ้นอยู่กับค่า SP เช่นเดียวกับในสองโหมดแรก ในโหมด Auto นี้ผู้ใช้งานสามารถปรับเปลี่ยนขอบเขตและอัตราการเปลี่ยนแปลงของค่า SP ด้วยตัวแปร SP_RATE_UP และ SP_RATE_DN ตามลำดับ ส่วนในโหมดการควบคุมด้วยมือ (MAN) ค่าเอาต์พุตจะถูกกำหนดโดยการป้อนค่าของผู้ใช้งานและเป็นอิสระจากค่า SP และในโหมดรีโมทเอาต์พุต (Rout) ค่าเอาต์พุตจะถูกป้อนมาจากโฮสต์และเป็นอิสระจากค่า SP เช่นเดียวกับในโหมด Manual

นอกจากนี้ ฟังก์ชันบล็อก PID ควรมีการเลือกกำหนดรูปแบบของ Bumpless Transfer และ Setpoint Tracking ซึ่งเป็นการกำหนดการตั้งค่าวิธีในการ Tracking หรือการติดตามค่าเป้าหมายโดยการกำหนดค่าตัวเลือกในการควบคุม (CONTROL_OPTS) ดังนี้

- 1) SP-PV Track in MAN ตัวเลือกนี้จะทำให้ค่าเป้าหมาย SP เปลี่ยนแปลงตามค่าตัวแปรกระบวนการ PV เมื่อโหมดเป้าหมาย (Target Mode) ของบล็อกถูกกำหนดเป็น Man
- 2) SP-PV Track in LO or IMAN ตัวเลือกนี้จะทำให้ค่าเป้าหมาย SP เปลี่ยนแปลงตามค่าตัวแปรกระบวนการ PV เมื่อโหมดของบล็อกในขณะนั้นคือ Local Override (LO) หรือ Initialization Manual (IMAN)

ฟังก์ชันบล็อก PID รองรับโหมดการทำงานคือ Manual (Man), Automatic (Auto), Cascade (Cas), Remote Cascade (RCas), Remote Output (Rout), Local Override (LO), Initialization Manual (IMAN) และ Out of Service (O/S หรือ OOS)

ผู้ใช้งานสามารถกำหนดโหมดการทำงานทั้งในโหมด Man, Auto, Cas และ OSS ให้เป็น Permitted Mode เพื่ออนุญาตให้ผู้ใช้งานเลือกกำหนดให้ฟังก์ชันบล็อกทำงานได้ [11]

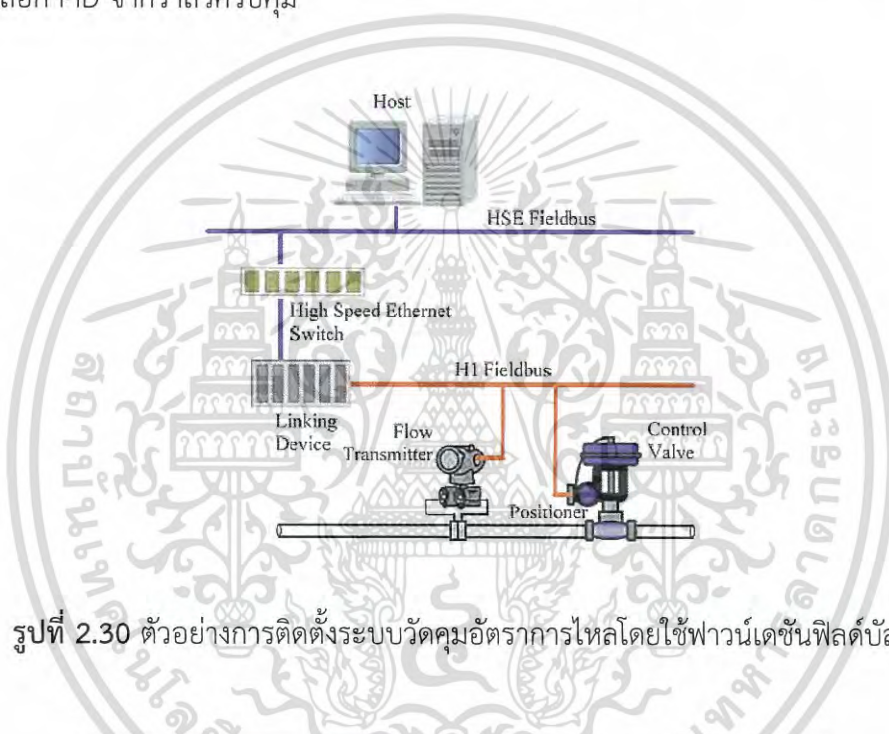


รูปที่ 2.29 โครงสร้างฟังก์ชันบล็อกพีเอ็ด

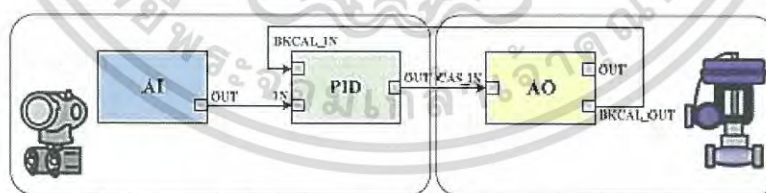
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.30 แสดงตัวอย่างการติดตั้งระบบวัดคุมอัตราการไหลโดยใช้ฟาว์นเดชันฟิลด์บัส โดยมี การติดตั้งอุปกรณ์วัดอัตราการไหล (Flow Transmitter) และวาล์วควบคุม (Control Valve) ใน เครือข่ายฟิลด์บัส H1 ส่วนระบบโฮสต์จะติดตั้งบนเครือข่ายฟิลด์บัส HSE โดยมีอุปกรณ์ที่เรียกว่า Linking Device เป็นตัวเชื่อมต่อระหว่างเครือข่ายฟิลด์บัส H1 และ HSE

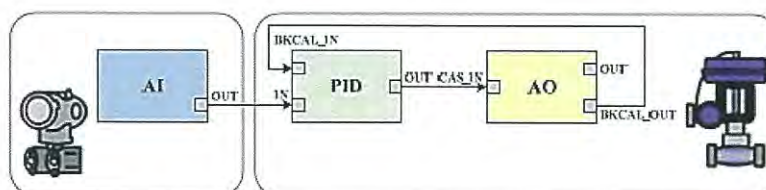
ในกรณีที่ต้องการสร้างรูปควบคุมสำหรับระบบวัดคุมอัตราการไหลดังรูปที่ 2.30 ด้วยรูปแบบ ของการควบคุมแบบพีไอดีและใช้แนวคิด CIF ฟังก์ชันบล็อกไดอะแกรมและการเลือกกำหนดการใช้ งานฟังก์ชันบล็อกจากอุปกรณ์ฟิลด์บัส H1 สำหรับรูปควบคุมพีไอดีแสดงได้ดังรูปที่ 2.31 จาก รูปที่ 2.31(ก) มีการเลือกใช้ฟังก์ชันบล็อก PID จากทรานสมิตเตอร์ ส่วนรูปที่ 2.31(ข) มีการเลือกใช้ ฟังก์ชันบล็อก PID จากวาล์วควบคุม



รูปที่ 2.30 ตัวอย่างการติดตั้งระบบวัดคุมอัตราการไหลโดยใช้ฟาว์นเดชันฟิลด์บัส



(ก) กำหนดให้บล็อก PID ถูกวางไว้ในทรานสมิตเตอร์



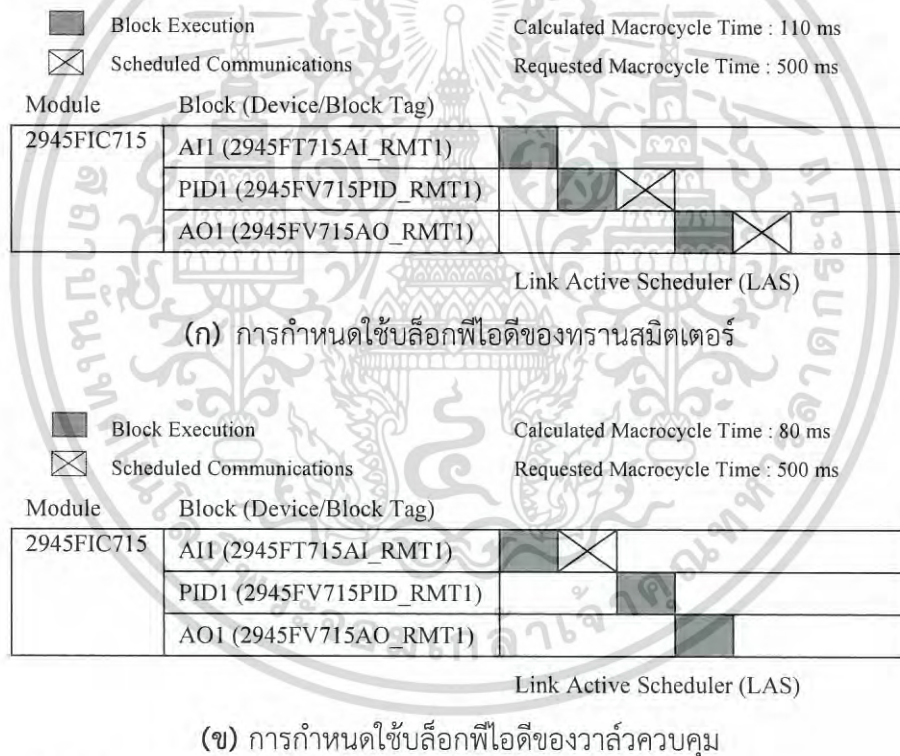
(ข) กำหนดให้บล็อก PID ถูกวางไว้ในวาล์วควบคุม

รูปที่ 2.31 รูปแบบการจัดวางฟังก์ชันบล็อกของรูปควบคุมการไหล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.4 มาโครไซเคิลของฟิลด์บัสเซกเมนต์

หลังจากการกำหนดตั้งค่าในการสร้างลูปควบคุมด้วยฟังก์ชันบล็อกไดอะแกรมแล้ว เครื่องมือที่ใช้ในการโปรแกรม (Configuration Tool) จะสร้างมาโครไซเคิล (Macrocycle) ของฟิลด์บัสเซกเมนต์ขึ้น โดยมีอุปกรณ์ที่เรียกว่า “LAS” (Link Active Scheduler) เป็นตัวควบคุมการสื่อสารระหว่างฟังก์ชันบล็อกที่อยู่ภายในอุปกรณ์ระดับฟิลด์ต่างอุปกรณ์กันหรือที่เรียกว่า “Scheduled Communications” รวมถึงการสื่อสารอื่น ๆ ที่เกิดขึ้นในเซกเมนต์ที่เรียกว่า “Unscheduled Communications” โดยรูปแบบและช่วงเวลาของมาโครไซเคิลจะขึ้นอยู่กับจำนวนของอุปกรณ์ ชนิดของอุปกรณ์ เวลาในการดำเนินการของฟังก์ชันบล็อก (Execution Time) และเวลาที่ต้องใช้ในการส่งผ่านข้อมูลระหว่างแต่ละบล็อก ตัวอย่างมาโครไซเคิลของลูปควบคุมการไหลแสดงในรูปที่ 2.32 โดยการจัดวางฟังก์ชันบล็อกพีไอดีในอุปกรณ์ทรานสมิตเตอร์และวาล์วควบคุมจะทำให้ได้รูปแบบตารางและเวลาที่ใช้แตกต่างกันไปด้วย [12]



รูปที่ 2.32 มาโครไซเคิลของฟิลด์บัสเซกเมนต์

เทคนิคทางภาคปฏิบัติเพื่อแก้ปัญหาซึ่งเกิดจากคาวีเทชันใน วาล์วควบคุมที่นำเสนอ

3.1 กล่าวนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงเทคนิคทางภาคปฏิบัติที่ใช้ในการแก้ปัญหาซึ่งเกิดจากคาวีเทชันในวาล์วควบคุมที่ติดตั้งในมาตรวัดอัตราการไหลที่ศึกษา โดยมาตรวัดอัตราการไหลดังกล่าวถูกใช้ในการวัดเพื่อการซื้อ-ขายวัตถุดิบคอนเดนเสทเรซิดิว (Condensate Residue) ในโรงงานผลิตสารอะโรเมติกส์แห่งหนึ่งและมีการเปลี่ยนแปลงวัตถุดิบประสงค์การใช้งานมาตรวัดอัตราการไหล จากเดิมเป็นมาตรวัดเพื่อการซื้อ-ขายคอนเดนเสทเรซิดิวจากโรงงานผลิตสารอะโรเมติกส์ไปยังโรงงานลูกค้านี้ซึ่งเป็นโรงกลั่น (Refining Plant) แต่หลังจากที่มีการควบรวมกิจการของโรงงานผลิตสารอะโรเมติกส์และโรงกลั่นที่มีบริษัทแม่เป็นบริษัทเดียวกัน ทำให้มีการยกเลิกการซื้อ-ขายคอนเดนเสทเรซิดิว ดังนั้นวัตถุดิบประสงค์ในการใช้งานมาตรวัดอัตราการไหลจึงเปลี่ยนเป็นระบบที่ใช้เพื่อแสดงผลและควบคุมอัตราการไหลของคอนเดนเสทเรซิดิวจากถังเก็บในโรงงานผลิตสารอะโรเมติกส์ไปยังถังเก็บในโรงกลั่น นอกจากนี้ ยังมีการเปลี่ยนแปลงอัตราการผลิตของโรงกลั่นที่ต้องการค่าอัตราการไหลของคอนเดนเสทเรซิดิวที่ลดลง ดังนั้นช่วงการทำงานของวาล์วควบคุมที่ติดตั้งในมาตรวัดอัตราการไหลจึงทำงานในตำแหน่งเกือบปิดสุดเพื่อควบคุมอัตราการไหลของคอนเดนเสทเรซิดิวตามค่าที่ต้องการส่งผลทำให้เกิดคาวีเทชันในวาล์วควบคุมขึ้น

ในการแก้ปัญหาเสียงรบกวนและการสั่นสะเทือนที่วาล์วซึ่งมีสาเหตุมาจากการเกิดคาวีเทชันในวาล์วควบคุมที่นำเสนอในวิทยานิพนธ์นี้ได้เลือกใช้วิธีการสร้างระบบการวัดคุมอัตราการไหลขึ้นใหม่เพื่อนำไปติดตั้งขนานกับแนวท่อของระบบมาตรวัดอัตราการไหลเดิม เนื่องจากทางโรงงานผลิตสารอะโรเมติกส์ต้องการให้ระบบมาตรวัดอัตราการไหลเดิมเป็นระบบสำรองเพื่อนำไปใช้งานในอนาคต

แนวคิดในการสร้างและติดตั้งระบบวัดคุมอัตราการไหลระบบใหม่นี้ได้คำนึงถึงการผสานระบบรวมเข้ากับระบบโฮสต์ดีซีเอสที่ใช้อยู่แล้วในโรงงานโดยไม่ส่งผลกระทบต่อภาระการทำงานในการควบคุมกระบวนการต่าง ๆ ของดีซีเอส จึงได้เลือกใช้เครื่องมือวัดและวาล์วควบคุมของเทคโนโลยีฟาว์นเดชันฟิลด์บัส เนื่องจากเทคโนโลยีนี้รองรับการสร้างอุปกรณ์ควบคุมโดยใช้ฟังก์ชันการควบคุมที่อยู่ภายในอุปกรณ์ระดับฟิลด์หรือที่เรียกการควบคุมระดับฟิลด์หรือ CIF

นอกจากนั้น ในวิทยานิพนธ์นี้ยังได้นำเสนอวิธีการประเมินการเกิดคาวีเทชันในวาล์วควบคุมที่เลือกใช้ใช้งานตามข้อแนะนำ ISA-RP75 ด้วยค่าดัชนีการเกิดคาวีเทชัน (Cavitation Index) เพื่อยืนยันถึงการลดปัญหาที่เกิดจากคาวีเทชันในวาล์วควบคุมตลอดจนมีการทดสอบระบบวัดคุมอัตราการไหลที่

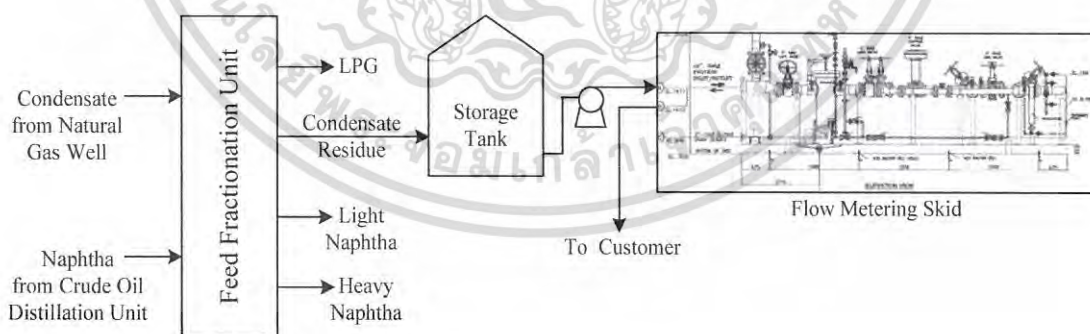
สร้างใหม่ เพื่อยืนยันฟังก์ชันการทำงานของระบบวัดคุมอัตราการไหลที่สร้างขึ้นใหม่ว่าสอดคล้องเป็นไปตามวัตถุประสงค์ในการสร้างระบบ

3.2 มาตรฐานวัดอัตราการไหลที่ศึกษา

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มุ่งเน้นในเทคนิคภาคปฏิบัติเพื่อแก้ปัญหาเสียงรบกวนและการสั่นสะเทือนซึ่งเกิดจากควิเทชันในวาล์วควบคุมที่ติดตั้งในมาตรวัดอัตราการไหล ซึ่งสาเหตุของการเกิดควิเทชันมาจากค่ากระบวนการผลิตที่เปลี่ยนแปลงหลังจากที่มีการรวบรวมกิจการของโรงงานผลิตสารอะโรเมติกส์และโรงกลั่นน้ำมัน ดังนั้นวัตถุประสงค์ในการใช้งานมาตรวัดอัตราการไหลจึงเปลี่ยนจากการซื้อขายเป็นระบบที่ใช้เพื่อแสดงผลและควบคุมอัตราการไหลของคอนเดนเสทเรซีดีว นอกจากนี้ยังมีการเปลี่ยนแปลงอัตราการผลิตของโรงกลั่นที่ต้องการค่าอัตราการไหลของคอนเดนเสทเรซีดีวที่ลดลง ดังนั้นช่วงการทำงานของวาล์วควบคุมที่ติดตั้งในมาตรวัดอัตราการไหลจึงทำงานในตำแหน่งเกือบปิดสุดเพื่อควบคุมอัตราการไหลของคอนเดนเสทเรซีดีวตามค่าที่ต้องการ ส่งผลทำให้เกิดควิเทชันในวาล์วควบคุม

3.2.1 การใช้มาตรวัดอัตราการไหลเพื่อการซื้อขายกับโรงกลั่นน้ำมัน

ในกระบวนการผลิตสารอะโรเมติกส์ดังแสดงในรูปที่ 3.1 หน่วยกลั่นแยกสารป้อน (Feed Fractionation Unit) ทำหน้าที่กลั่นแยกสารประกอบไฮโดรคาร์บอนสองส่วน คือ คอนเดนเสทที่ได้จากการขุดเจาะก๊าซธรรมชาติ และแนฟทาที่ได้มาจากการกลั่นน้ำมันดิบ เมื่อผ่านกระบวนการกลั่นแยกสารป้อนจะได้แนฟทาหนักและสารอื่น ๆ รวมทั้งคอนเดนเสทเรซีดีว ซึ่งจะถูกลูกส่งไปเก็บไว้ที่ถัง ก่อนจะส่งขายให้ลูกค้าผ่านทางมาตรวัดอัตราการไหลเพื่อการซื้อขาย (Flow Metering Skid)



รูปที่ 3.1 แผนผังกระบวนการกลั่นแยกสารป้อนและมาตรวัดเพื่อซื้อขายคอนเดนเสทเรซีดีว

ก่อนที่จะมีการรวบรวมกิจการนั้นมาตรวัดอัตราการไหลที่กล่าวถึงถูกใช้เพื่อวัดอัตราการไหลผ่านระบบท่อของคอนเดนเสทเรซีดีวจากหน่วยกลั่นแยกสารป้อนในแพลนท์อะโรเมติกส์ไปยังลูกค้า การจ่ายเงินตามข้อตกลงในสัญญาระหว่างผู้ซื้อและผู้ขายตามปริมาณการส่งคอนเดนเสทเรซีดีว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่วัดและอ่านค่าได้จากมิเตอร์วัดการไหลชนิดกังหัน (Turbine Flow Meter) มาตรวัดอัตราการไหลเพื่อการซื้อขาย ดังแสดงในรูปที่ 3.2 ซึ่งประกอบด้วย อุปกรณ์ระบบวัดคุมต่าง ๆ เช่น อุปกรณ์วัดอัตราการไหล อุปกรณ์วัดอุณหภูมิ อุปกรณ์วัดความดัน และวาล์วควบคุม เป็นต้น



รูปที่ 3.2 มาตรวัดที่ใช้ในการซื้อ-ขายคอนเดนเสทเรซิดิวที่ศึกษา

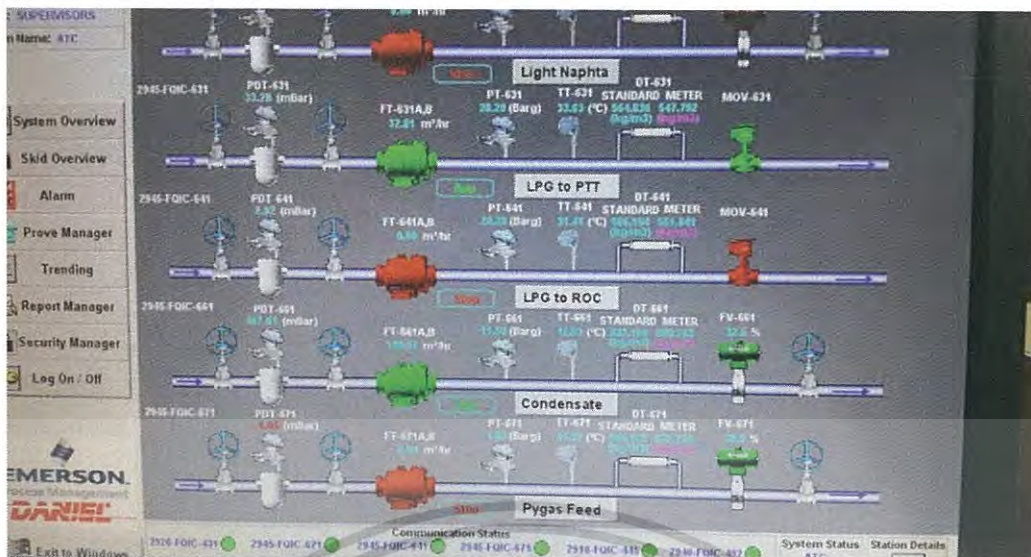
โดยระบบวัดคุมที่ใช้ในการแสดงผลและควบคุมอัตราการไหลของมาตรวัดเพื่อการซื้อขายคอนเดนเสทเรซิดิวดังรูปที่ 3.2 มีการใช้เทคโนโลยีการสื่อสารแบบ 4-20 mA และ HART และมีการควบคุมการทำงานด้วยระบบ Flow Computer ผ่านระบบ SCADA ดังแสดงในรูปที่ 3.3 พร้อมทั้งมีการส่งสัญญาณไปที่ระบบดีซีเอส ผ่านการสื่อสารแบบอนุกรม RS-485 เพื่อการอ่านค่าหรือปรับเปลี่ยนค่าตามที่ต้องการโดยผู้ปฏิบัติงาน (Operator) ที่ห้องควบคุมการผลิต ตารางที่ 3.1 สรุปรายละเอียดของอุปกรณ์ระดับฟิลด์ที่ติดตั้งในมาตรวัดอัตราการไหลเพื่อการซื้อ-ขายคอนเดนเสทเรซิดิวที่ศึกษา

ตารางที่ 3.1 รายการอุปกรณ์ระบบวัดคุมที่ติดตั้งในมาตรวัดอัตราการไหลเพื่อการซื้อขาย

Tag	Instrument Type	Communication Technology	Location	Range	Unit
FT-661	Turbine Flowmeter	4-20 mA, HART	Field	0-300	m ³ /h
FQIC-661	Flow Indicator and Control	System Internal	Flow Computer	0-300	m ³ /h
FV-661	Ball-Type Control Valve	4-20 mA, HART	Field	0-100	%
PT-661	Pressure Transmitter	4-20 mA, HART	Field	0-25	barg
TJ-661	Temp Transmitter	4-20 mA, HART	Field	0-200	°C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ไปใช้ประโยชน์ทางการค้า

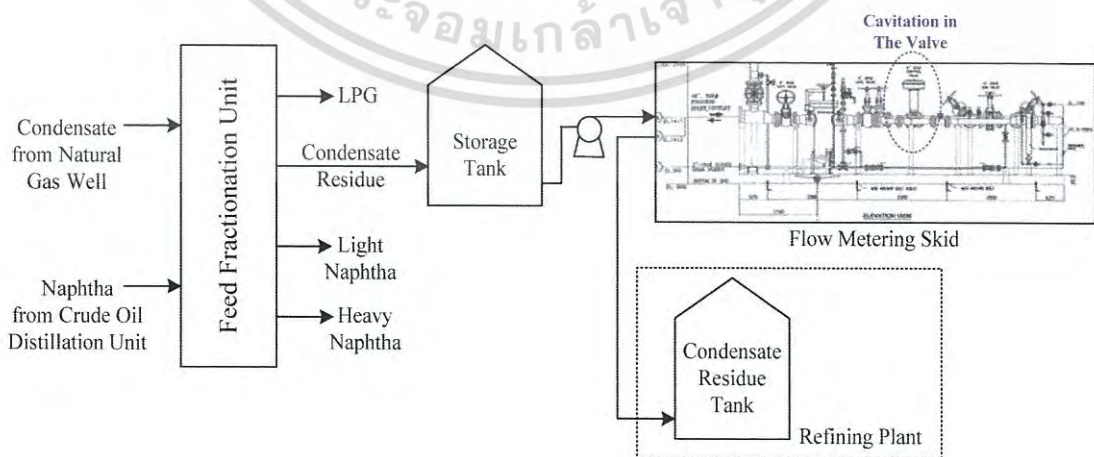
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 กราฟฟิค SCADA ของมาตรวัดอัตราการไหลเพื่อการซื้อขาย

3.2.2 การใช้มาตรวัดอัตราการไหลหลังการควบคุมกิจการกับโรงกลั่นน้ำมัน

หลังจากที่มีการควบคุมกิจการของโรงงานผลิตสารอะโรเมติกส์และโรงกลั่นน้ำมัน ทำให้มีการยกเลิกการซื้อขายคอนเดนเสทเรซิดิว ดังนั้นวัตถุประสงค์ในการใช้งานมาตรวัดอัตราการไหลจึงเปลี่ยนเป็นระบบที่ใช้ในการแสดงผลและควบคุมอัตราการไหลของคอนเดนเสทเรซิดิวจากถังเก็บในโรงงานผลิตสารอะโรเมติกส์ไปยังถังเก็บในโรงกลั่นดังแสดงในรูปที่ 3.4 นอกจากนี้ ยังมีการเปลี่ยนแปลงอัตราการผลิตของโรงกลั่นที่ต้องการค่าอัตราการไหลของคอนเดนเสทเรซิดิวที่ลดลง ดังนั้น ช่วงการทำงานของวาล์วควบคุมที่ติดตั้งในมาตรวัดอัตราการไหลจึงทำงานในตำแหน่งเกือบปิดสุดเพื่อควบคุมอัตราการไหลของคอนเดนเสทเรซิดิวตามค่าที่ต้องการ ส่งผลทำให้เกิดความเสียหายในวาล์วควบคุมและพบปัญหาสัญญาณรบกวนทางเสียงและการสั่นสะเทือนซึ่งเกินมาตรฐานที่กำหนด



รูปที่ 3.4 แผนผังมาตรวัดอัตราการไหลที่มีการเปลี่ยนแปลงวัตถุประสงค์ในการใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การเลือกชนิดและขนาดของวาล์วควบคุมและการประเมินการเกิดคาวิเทชัน

ภายหลังที่มีการรวบรวมกิจการของโรงงานผลิตสารอะโรเมติกส์และโรงกลั่นน้ำมัน ทำให้ปัจจัยแวดล้อมและสภาวะการทำงานของกระบวนการผลิตเปลี่ยนแปลงไป ตารางที่ 3.2 สรุปสภาวะกระบวนการผลิตในปัจจุบัน เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการเลือกชนิดและขนาดของวาล์วควบคุมตัวใหม่ที่จะติดตั้งในระบบวัดคุมอัตราการไหลที่สร้างขึ้น

ตารางที่ 3.2 สภาวะกระบวนการผลิตหลังการรวบรวมกิจการสำหรับใช้ในการหาขนาดวาล์วควบคุม

Fluid	Fluid State	Condensate Residue		Liquid	
Flow Rate @ Min./Normal/Max.		21.00	92.77	155.0	m ³ /h
Inlet Pressure/Valve Drop @ Min. Flow		14.63	barg	11.79	bar
Inlet Pressure/Valve Drop @ Normal Flow		14.07	barg	8.82	bar
Inlet Pressure/Valve Drop @ Max. Flow		12.56	barg	3.3	bar
Design Temperature	Operating Temp	63	°C	38	°C
Design Pressure	Mol. Weight	29.5	barg	-	
Viscosity	Upstream Density	2.04	cst	830	kg/m ³
Vapor Press @ Op Temp	True Critical Press	0.002	bara	21	bara
Specific Gravity @ Op Temp		0.83			

3.3.1 การเลือกชนิดและขนาดของวาล์วควบคุม

การเลือกขนาดวาล์วให้เหมาะสมกับลักษณะการใช้งานในที่นี้ใช้วิธีการตามมาตรฐาน ISA-75.01.01 [8] ที่มีการกำหนดสมการคำนวณหา Flow Coefficient หรือ C_v เพื่อใช้ควบคุมอัตราการไหลที่เป็นของเหลว ซึ่งการคำนวณหาอัตราการไหลในหน่วยเมตริกหรือลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมงนั้นสามารถใช้สมการในการคำนวณหาค่า Flow Coefficient ได้ตามสมการที่ (2.19) ดังนี้

$$C_v = 1.17q\sqrt{\frac{G_f}{\Delta P}}$$

เมื่อ q คือ อัตราการไหลของเหลว มีหน่วยเป็นลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง (m³/hr)

G_f คือ ความถ่วงจำเพาะของเหลวที่อุณหภูมินั้น ๆ (น้ำอุณหภูมิ 60 องศาฟาเรนไฮต์จะมีความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 1)

ΔP คือ ความดันตกคร่อมที่วาล์วควบคุมหรือผลต่างระหว่างความดันขาเข้าและขาออกของวาล์วควบคุม มีหน่วยเป็น bar

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากข้อมูลสภาวะกระบวนการผลิตดังแสดงในตารางที่ 3.2 เมื่อทำการแทนค่าตัวแปรต่าง ๆ ลงในสมการที่ (2.19) จะได้ค่า Flow Coefficient หรือ C_v ที่ระดับการไหลต่ำสุดดังนี้

$$C_v = 1.17 \times 21 \sqrt{\frac{0.83}{11.79}} = 6.519$$

ในทำนองเดียวกัน เมื่อแทนค่าตัวแปรสำหรับอัตราการไหลปกติและสูงสุดในสมการที่ (2.19) จะได้ค่า Flow Coefficient หรือ C_v สำหรับอัตราการไหลขึ้นปกติ และขึ้นสูงสุดเท่ากับ 33.296 และ 90.95 ตามลำดับ หลังจากขั้นตอนในการคำนวณหาค่า Flow Coefficient ของวาล์วแล้ว ขั้นตอนต่อไปจะนำค่า C_v ที่คำนวณได้ไปเลือกขนาดของวาล์วควบคุมที่เหมาะสมกับการใช้งาน โดยเลือกจากตาราง C_v ของโรงงานผู้ผลิต ซึ่งในที่นี้ได้ทำการพิจารณาเลือกวาล์วควบคุมของบริษัท Masoneilan โดยใช้ตารางความสัมพันธ์ C_v และเปอร์เซ็นต์การเปิดวาล์วดังแสดงในรูปที่ 2.15 ในหัวข้อที่ 2.3.1

เมื่อพิจารณาค่า Flow Coefficient ที่คำนวณได้และเทียบกับตาราง C_v ของโรงงานผู้ผลิต สามารถทำการเลือกวาล์วควบคุมที่นำมาใช้งาน โดยมีรายละเอียดดังนี้
บริษัทผู้ผลิต: Masoneilan รุ่น: 88-41335 ขนาดวาล์วควบคุม: 6 นิ้ว ANSI Class 300 ชนิด: Globe การออกแบบ: Anti-Cavitation, Single State คุณสมบัติของการไหล: Equal Percentage, C_v Range: 5.7 - 225, $F_L = 0.94$

นอกจากนี้ บริษัทผู้ผลิตวาล์วควบคุมได้พัฒนาโปรแกรมหรือซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการหาขนาดของวาล์วควบคุม เพื่อความสะดวก รวดเร็ว ดังแสดงตัวอย่างในรูปที่ 3.5 โดยการป้อนข้อมูลกระบวนการผลิตตามตารางที่ 3.2 และคำนวณค่าที่จำเป็นต่อการใช้งาน เช่น Required C_v , Sound Level และ Flowing Condition รวมทั้งกำหนดให้เลือกโมเดลวาล์วที่เหมาะสมกับการใช้งาน ในกระบวนการผลิต จากรูปที่ 3.5 เป็นการใส่ซอฟต์แวร์ของบริษัท Masoneilan ในการคำนวณและเลือกวาล์วควบคุม เมื่อป้อนข้อมูลอินพุต เช่น อัตราการไหลขั้นต่ำสุด ขึ้นปกติ และขึ้นสูงสุด รวมทั้งความดันฝั่งขาเข้า ความดันตกคร่อมวาล์ว และข้อมูลอื่น ๆ เมื่อกำหนดขนาดวาล์วควบคุม โมเดล ชนิดของทริม ซึ่งในที่นี้กำหนด Anti-Cavitation 1 Stage Trim และกำหนด Rated C_v เท่ากับ 225 ซอฟต์แวร์จะคำนวณค่าเอาต์พุต เช่น Required C_v ที่อัตราการไหลขั้นต่ำสุด ขึ้นปกติ และขึ้นสูงสุด ซึ่งเท่ากับ 6.4, 32.9 และ 89.87 ตามลำดับ รวมทั้งคำนวณเปอร์เซ็นต์การเปิดวาล์วที่กำหนด 10, 36 และ 61 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ นอกจากนั้น ยังมีข้อมูลอื่นที่ต้องให้ความสำคัญในการพิจารณา เช่น ค่าสัญญาณเสียงประมาณการ dBA (+5/-5) สภาวะการไหล (Flowing Condition) และการแจ้งเตือนการเกิดควิเทชันหรือแฟลชชิ่ง (Flashing) ในวาล์วที่กำหนดกับค่ากระบวนการผลิต

เมื่อ K_c คือ ค่าตัวประกอบการเริ่มเกิดควิเทชัน ซึ่งจะระบุโดยบริษัทผู้ผลิต จากข้อมูลทางด้านเทคนิคของวาล์วควบคุมที่เลือกใช้งานนั้น วาล์วที่เลือกใช้มีค่าตัวประกอบ K_c เท่ากับ 0.83 ดังนั้น จะได้ค่าดัชนีชี้วัดการเกิดควิเทชันระดับเริ่มต้น σ_i เท่ากับ 1.2 ซึ่งจะเป็นจุดเริ่มต้นการเกิดควิเทชันในวาล์วควบคุม จากนั้นทำการเปรียบเทียบระหว่าง $\sigma(\text{service})$ และ σ_i ถ้า $\sigma(\text{service})$ มากกว่า σ_i สามารถประเมินผลประมาณการได้ว่า จะไม่เกิดควิเทชันระยะเริ่มต้น (Incipient) ในวาล์วควบคุมที่เลือกใช้งานที่สภาวะการทำงานนั้น ๆ

ในทางปฏิบัติเมื่อนำมาประยุกต์ใช้งานจริง การเกิดควิเทชันจะเปลี่ยนแปลงตามความดันและขนาดวาล์ว ซึ่งการที่ควิเทชันแปรผันตามความดันจะเรียกว่า “Pressure Scale Effect” (PSE) โดยระดับความรุนแรงของควิเทชันจะขึ้นอยู่กับขนาดของวาล์ว ซึ่งการแปรผันของควิเทชันตามขนาดวาล์วจะเรียกว่า “Size Scale Effect” (SSE)

ค่าดัชนีชี้วัดการเกิดควิเทชันที่แปรผันตามความดันและขนาดของวาล์วหรือที่เรียกว่า σ_v สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2.25) โดยที่ σ_R คือ เกณฑ์มาตรฐานที่ใช้อ้างอิงตามระดับความรุนแรงของควิเทชันที่เกิดขึ้น ซึ่งในที่นี้จะใช้ σ_i เป็นดัชนีชี้วัดอ้างอิง ดังนี้

$$\sigma_v = (\sigma_R SSE - 1) PSE + 1$$

ค่าของ σ_v ที่คำนวณได้จะนำไปเปรียบเทียบกับ $\sigma(\text{service})$ ที่ได้จากสมการที่ (2.21) ถ้าค่า $\sigma(\text{service})$ มากกว่า σ_v สามารถสรุปได้ว่า การเกิดควิเทชันในวาล์วที่สภาวะการทำงานนั้นอยู่ในระดับที่มีความรุนแรงน้อยกว่าเกณฑ์มาตรฐานที่ใช้อ้างอิง ในที่นี้คือระดับ Incipient Cavitation

เมื่อทำการแทนค่าสภาวะกระบวนการผลิตในตารางที่ 3.2 และข้อมูลทางด้านเทคนิคของวาล์วควบคุม ลงในสมการที่ (2.21)-(2.25) จะได้ผลการคำนวณและผลการเปรียบเทียบเพื่อประเมินวาล์วควบคุม สรุปได้ดังตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 ผลการคำนวณและผลการเปรียบเทียบเพื่อประเมินดัชนีควิเทชัน σ_v ของวาล์วควบคุมที่เลือกใช้

Flow Rate (m ³ /h)	C_v	% Open	Predicted SPL (dBA)	σ_i (σ_R)	$\sigma(\text{service})$	σ_v	Comparison Results
21.00 (Min.)	6.52	20	78	1.2	1.25	1.258	$\sigma(\text{service}) > \sigma_i$ $\sigma(\text{service}) < \sigma_v$
92.77 (Normal)	33.3	45	75	1.2	1.61	1.28	$\sigma(\text{service}) > \sigma_i$ $\sigma(\text{service}) > \sigma_v$
155.0 (Max.)	90.7	76	60	1.2	3.85	1.29	$\sigma(\text{service}) > \sigma_i$ $\sigma(\text{service}) > \sigma_v$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ภายในเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้แก้ไขหรือใช้เพื่อการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจากนี้ ยังมีปัจจัยอื่นที่สำคัญซึ่งมีผลต่อการเกิดควิเทชันในวาล์วควบคุม คือ การติดตั้งวาล์วควบคุมกับขนาดท่อที่ใหญ่กว่า ทำให้ต้องทำการลดขนาดท่อลง (Reducer) ในฝั่งขาเข้าของวาล์ว และขยายขนาดท่อขึ้น (Expansion) ในฝั่งขาออกของวาล์ว ซึ่งเป็นสาเหตุให้เกิดการเปลี่ยนแปลงต่อระดับความรุนแรงของการเกิดควิเทชัน จากสมการที่ (2.26) สามารถนำมาใช้ในการคำนวณหาค่าดัชนีชี้วัดการเกิดควิเทชันสำหรับการติดตั้งวาล์วควบคุมกับขนาดท่อที่ใหญ่กว่าหรือเรียกว่า σ_p ดังนี้

$$\sigma_p = F_p^2 [\sigma_v + (K_1 + K_{B1})C_v^2 / (N_2 d^4)]$$

ในทำนองเดียวกัน จะทำการเปรียบเทียบระหว่างค่า σ_p ที่คำนวณได้กับ $\sigma(\text{service})$ ที่ได้จากสมการที่ (2.21) ถ้าค่า $\sigma(\text{service})$ มากกว่า σ_p สามารถสรุปได้ว่า การเกิดควิเทชันในวาล์วที่สภาวะการทำงานนั้นอยู่ในระดับที่มีความรุนแรงน้อยกว่าเกณฑ์มาตรฐานที่ใช้อ้างอิง ซึ่งในที่นี้คือระดับ Incipient Cavitation

เมื่อทำการแทนค่าลงในสมการที่ (2.26)–(2.32) จะได้ผลการคำนวณและผลการเปรียบเทียบดัชนีชี้วัดการเกิดควิเทชันสำหรับการติดตั้งวาล์วควบคุมกับขนาดท่อที่ใหญ่กว่า (σ_p) ดังสรุปในตารางที่ 3.4

จากผลสรุปในตารางที่ 3.3 และ 3.4 จะเห็นได้ว่า σ_v และ σ_p ที่คำนวณได้มีค่าใกล้เคียงกัน ทั้งนี้เพราะข้อกำหนดในกรณีที่ค่าความสัมพันธ์ความจุ $C_v/N_1 d^2$ มีค่าน้อยมาก จึงไม่นำผลกระทบจากการลดขนาดท่อมาคิดคำนวณ

ตารางที่ 3.4 ผลการคำนวณและผลการเปรียบเทียบเพื่อประเมินดัชนีควิเทชัน σ_p ของวาล์วควบคุมที่เลือกใช้

Flow Rate (m ³ /h)	C_v	Predicted SPL (dBA)	σ_i (σ_R)	$\sigma(\text{service})$	σ_v	σ_p	Comparison Results
21.00 (Min.)	6.52	78	1.2	1.25	1.258	1.258	$\sigma(\text{service}) > \sigma_i$ $\sigma(\text{service}) < \sigma_p$
92.77 (Normal)	33.3	75	1.2	1.61	1.28	1.28	$\sigma(\text{service}) > \sigma_i$ $\sigma(\text{service}) > \sigma_p$
155.0 (Max.)	90.7	60	1.2	3.85	1.29	1.29	$\sigma(\text{service}) > \sigma_i$ $\sigma(\text{service}) > \sigma_p$

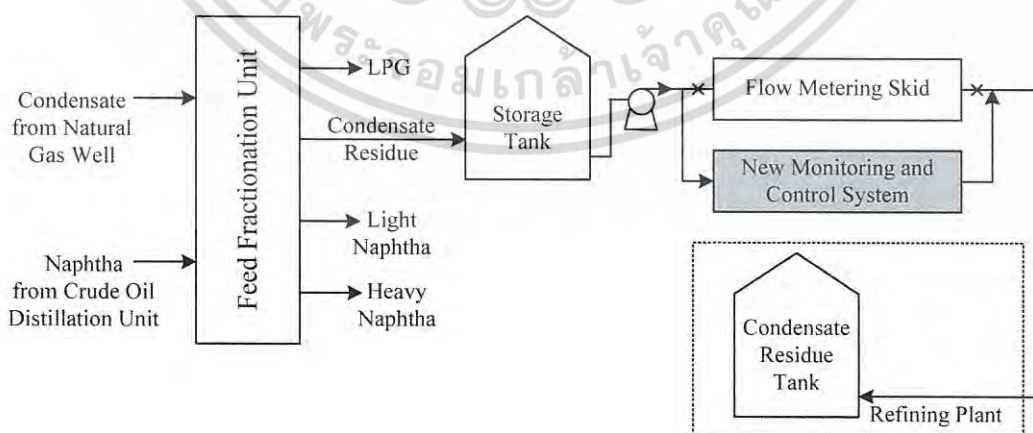
จากผลการเปรียบเทียบระหว่าง $\sigma(\text{service})$ และ σ_i พบว่า $\sigma(\text{service})$ มากกว่า σ_i ทั้งสามกรณีของอัตราการไหล ทำให้สามารถประเมินผลแบบประมาณการได้ว่า ไม่มีการเกิดควาวิเทชนในระยะเริ่มต้นกับวาล์วควบคุมที่เลือกใช้งานในสภาวะการทำงานดังกล่าว

จากผลการเปรียบเทียบระหว่าง $\sigma(\text{service})$ และ σ_p แสดงให้เห็นว่า $\sigma(\text{service})$ น้อยกว่า σ_p สำหรับสภาวะการทำงานที่อัตราการไหลขั้นต่ำสุดเท่านั้น ในขณะที่ผลการคำนวณและผลการเปรียบเทียบดัชนีชี้วัดการเกิดควาวิเทชนสำหรับการติดตั้งวาล์วควบคุมกับขนาดท่อที่ใหญ่กว่า หรือ σ_p ก็ได้ผลการคำนวณในลักษณะเดียวกันซึ่งสรุปผลการคำนวณและเปรียบเทียบตามตารางที่ 3.3 และ 3.4 ตามลำดับ

จากผลการเปรียบเทียบสามารถสรุปประเมินผลได้ว่า มีการเกิดควาวิเทชนระยะเริ่มต้น (Incipient) เมื่อความดันตกคร่อมที่วาล์วมีค่าสูงในกรณีที่อัตราการไหลต่ำมาก อย่างไรก็ตาม ระดับของการเกิดควาวิเทชนระยะเริ่มต้นโดยทั่วไป จะไม่ทำให้เกิดความเสียหายและไม่พบปัญหาสัญญาณรบกวนทางเสียง การสั่นสะเทือน หรือความเสียหายกับอุปกรณ์และวาล์วควบคุมเกิดขึ้นที่สภาวะอัตราการไหลปกติและสภาวะอัตราการไหลสูงสุด

3.4 ระบบวัดคุมอัตราการไหลโดยใช้ฟาว์นเดชันฟิลด์บัส

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ใช้วิธีการสร้างและติดตั้งระบบวัดคุมอัตราการไหลใหม่เพื่อแก้ปัญหาสัญญาณรบกวนทางเสียงและการสั่นสะเทือนที่เกินมาตรฐานกำหนดในระบบท่อส่งคอนเดนเสทเรซิดิวต์ที่ได้อธิบายในหัวข้อ 3.2 รูปที่ 3.6 แสดงแผนผังการติดตั้งระบบวัดคุมอัตราการไหลที่สร้างขึ้นใหม่ (New Monitoring and Control System) โดยมีการติดตั้งในแนวท่อนานกับแนวท่อของมาตรวัดอัตราการไหลเดิม ส่วนมาตรวัดอัตราการไหล (Flow Metering Skid) ยังคงติดตั้งเพื่อเป็นส่วนสำรองการใช้งานในอนาคต

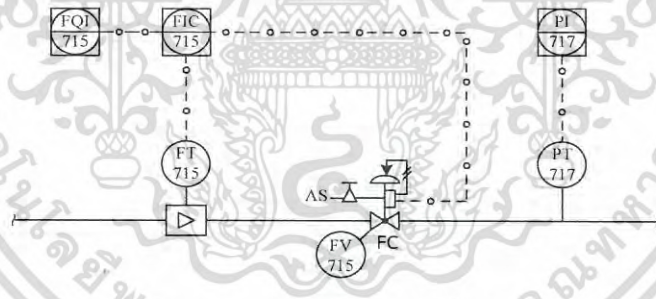


รูปที่ 3.6 แผนผังการติดตั้งระบบวัดคุมอัตราการไหลที่สร้างขึ้นใหม่

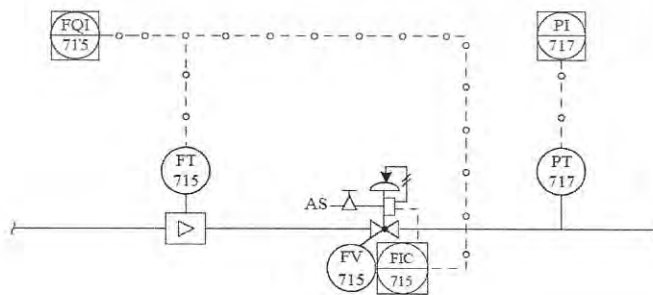
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.1 ระบบวัดคุมอัตราการไหลที่สร้างขึ้นใหม่

ตารางที่ 3.5 สรุปรายการอุปกรณ์ที่ติดตั้งในระบบวัดคุมอัตราการไหลที่สร้างขึ้นใหม่โดยแสดงรายละเอียดที่สำคัญ เช่น ชนิดของอุปกรณ์ เทคโนโลยีการสื่อสารข้อมูล และย่านของการวัด อุปกรณ์ระดับฟิลด์ที่เลือกนำมาใช้งานอยู่บนพื้นฐานของเทคโนโลยีการสื่อสารแบบฟาว์นเดชันฟิลด์บัส โดยใช้อุปกรณ์วัดอัตราการไหลแบบวอร์เท็กซ์ (FT-715) ตัวควบคุมแบบพีไอดี (FIC-715) และวาล์วควบคุมชนิดโกลบที่มีลักษณะการทำงานแบบปกติปิดหรือ Air-to-Open (FV-715) ในการควบคุมอัตรา การไหลของคอนเดนเสทเรซิดิวแบบอัตโนมัติ วัตถุประสงค์ของการควบคุมแบบป้อนกลับนี้เพื่อรักษาอัตราการไหลให้ได้ค่าตามที่ต้องการ อัตราการไหลรวม (FQI-715) เป็นการแสดงผลแบบเรียลไทม์ที่ดิสเพลย์ในห้องควบคุม ค่าความดันขาออกของวาล์วควบคุมจะถูกวัดโดยอุปกรณ์วัดความดัน (PT-717) ไดอะแกรมท่อและระบบวัดคุม (P&ID) ของระบบที่สร้างขึ้นใหม่แสดงได้ดังรูปที่ 3.7 ซึ่งในการควบคุมอัตราการไหลแบบอัตโนมัติโดยตัวควบคุม FIC-715 นั้นทำได้ทั้งการใช้ฟังก์ชันการควบคุมที่ระบบไฮสแตติสแสดงด้วยไดอะแกรมในรูป 3.7(ก) และใช้ฟังก์ชันการควบคุมที่อุปกรณ์ระดับฟิลด์แสดงด้วยไดอะแกรมในรูป 3.7(ข) และเมื่อพิจารณาข้อได้เปรียบเรื่องความน่าเชื่อถือ (Reliability) ของการควบคุมกระบวนการผลิตอย่างต่อเนื่องเมื่อระบบไฮสแตติสเกิดข้อผิดพลาดขึ้น ดังนั้นในการใช้งานจึงได้เลือกใช้ฟังก์ชันการควบคุมที่อุปกรณ์ระดับฟิลด์หรือ “Control in The Field” โดยการกำหนดใช้บล็อกพีไอดีของวาล์วควบคุม



(ก) กรณีใช้ฟังก์ชันการควบคุมที่ระบบไฮสแตติส



(ข) กรณีใช้ฟังก์ชันการควบคุมที่อุปกรณ์ระดับฟิลด์ (วาล์วควบคุม)

รูปที่ 3.7 ไดอะแกรมของระบบวัดคุมอัตราการไหลที่สร้างขึ้นใหม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.5 รายการอุปกรณ์ที่ติดตั้งในระบบวัดคุมอัตราการไหลที่สร้างขึ้นใหม่

Tag	Service	Instrument Type	Communication Technology	Location	Range	Unit
FT-715	Condensate Residue	Vortex Flowmeter	Foundation Fieldbus	Field	0-300	m ³ /h
FIC-715	Condensate Residue	Flow Indicator and Control	System Internal	DCS	0-300	m ³ /h
FQI-715	Condensate Residue	Flow Accumulation	System Internal	DCS	-	ton
FV-715	Condensate Residue	Globe-Style Control Valve	Foundation Fieldbus	Field	0-100	%
PT-717	Output Pressure	Pressure Transmitter	Foundation Fieldbus	Field	0-25	barg
PI-717	Output Pressure	Pressure Indicator	System Internal	DCS	0-25	barg

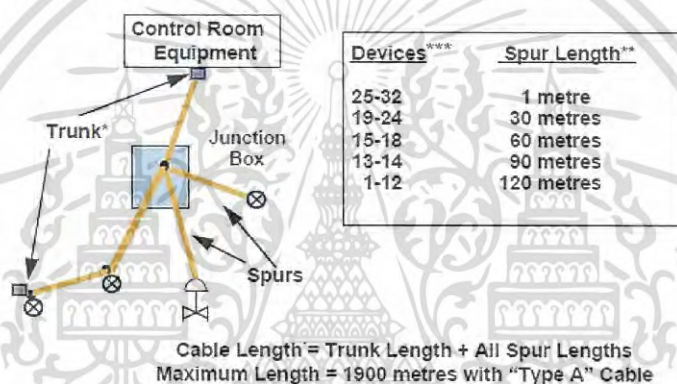
3.4.2 การออกแบบฟิลด์บัสเซกเมนต์ H1

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงการออกแบบฟิลด์บัสเซกเมนต์ H1 เพื่อติดตั้งใช้งานและการกำหนดตั้งค่า (Configuration) อุปกรณ์ระดับฟิลด์ที่อยู่บนพื้นฐานของเทคโนโลยีการสื่อสารแบบพาว์นเดชั่นฟิลด์บัสเพื่อใช้งานร่วมกับระบบการควบคุมแบบดีซีเอส (Distribute Control System: DCS) ของบริษัทอีเมอร์สัน (Emerson) โดยรายละเอียดของรายการอุปกรณ์แสดงในตารางที่ 3.5 ซึ่งอุปกรณ์ระบบวัดคุมที่นำมาต่อใช้งานในระบบวัดคุมอัตราการไหลที่สร้างขึ้นใหม่ประกอบด้วย อุปกรณ์วัดอัตราการไหล 2945-FT-715 (หรือ FT-715) วาล์วควบคุมอัตราการไหล 2945-FV-715 (หรือ FV-715) และอุปกรณ์วัดความดัน 2945-PT-717 (หรือ PT-717) โดยอุปกรณ์ทุกตัวจะต่อไปยังกล่องเชื่อมต่อสัญญาณ (Junction Box) ผ่านสายสัญญาณที่เรียกว่า สปอร์ (Spur) โดย Junction Box ที่เลือกใช้เป็นชนิดกันระเบิด (Explosion Proof) และต่อ Junction Box ผ่านสายสัญญาณหลักที่เรียกว่า “ทังก์” (Trunk) เพื่อต่อเข้ากับการ์ดอินพุท/เอาต์พุทของระบบโฮสต์ดีซีเอสในห้องควบคุมส่วนกลาง

โดยรูปแบบการต่อสายสัญญาณ ความยาวรวมของสายทั้งหมดที่ยอมให้ต่อใช้งานได้ และจำนวนสูงสุดของอุปกรณ์ที่สามารถต่อเข้ากับฟิลด์บัสเซกเมนต์เป็นไปตามมาตรฐานที่ Foundation Fieldbus (หรือ FieldComm Group ในปัจจุบัน) กำหนดดังแสดงในรูปที่ 3.8 ที่มีรูปแบบการต่อแบบทรีโทโลยี (Tree Topology) โดยสายสปอร์ที่ต่อจาก Junction Box ไปยังอุปกรณ์ระดับฟิลด์ และส่วนสายสัญญาณที่เป็นสายทังก์ต่อจากห้องควบคุมมายัง Junction Box

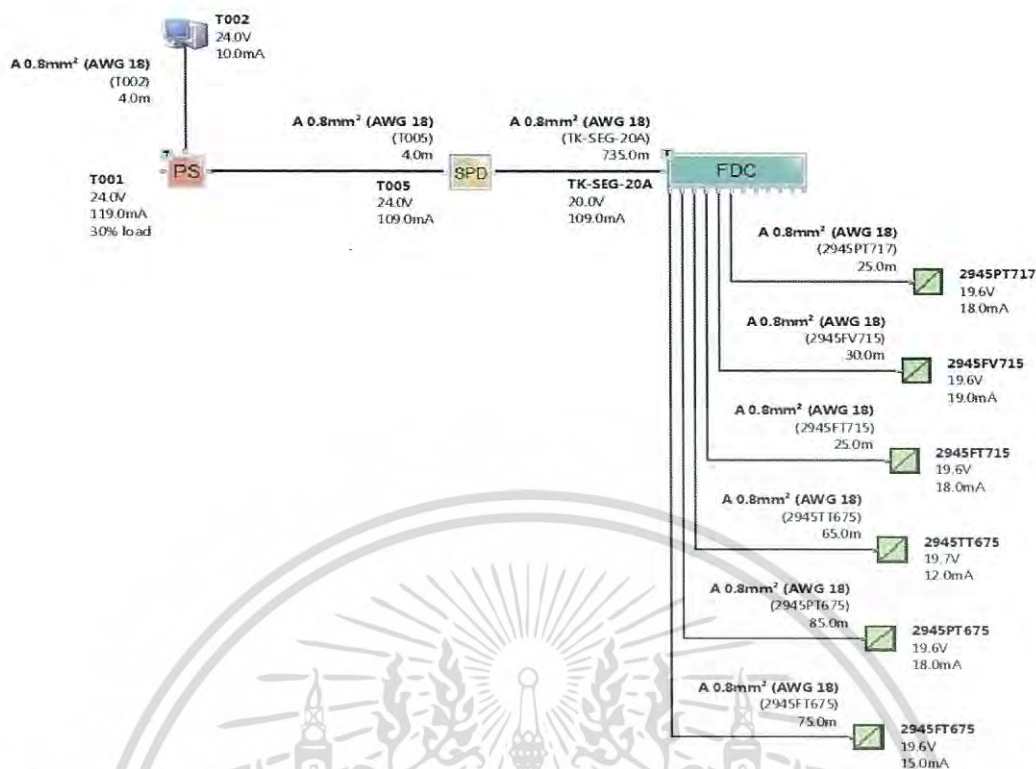
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานี้เท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะนำมาคำนวณหาความยาวของสายที่ใช้ทั้งหมดในเซกเมนต์ ถ้าเป็นสายสัญญาณชนิด “A” ความยาวสายทั้งหมดที่คำนวณจากความยาวของสายหรั้งคร้รวมกับความยาวของสายสเปอร์ที่ต่อไปยังอุปกรณ์ทั้งหมดจะต้องไม่เกิน 1900 เมตร และต้องมีการติดตั้งเทอร์มินเตอร์ที่จุดสิ้นสุดของสายหรั้งหลักทั้งสองด้าน และความยาวของสายสเปอร์จะถูกลดทอนลงครึ่งละ 30 เมตร เมื่อมีการต่ออุปกรณ์เพิ่มในเซกเมนต์นั้น เช่น ถ้าต่อใช้งานอุปกรณ์จำนวน 1-12 ตัว ในเซกเมนต์นั้น ค่าความยาวสูงสุดของสายสเปอร์ คือ 120 เมตร แต่ถ้าจำนวนอุปกรณ์เพิ่มขึ้นเป็น 13-14 ตัว จะทำให้ความยาวสายสูงสุดของสเปอร์ลดทอนลงเป็น 90 เมตรเป็นต้น โดยจำนวนของอุปกรณ์ระดับฟิลด์ที่สามารถต่อได้บนฟิลด์บัสเซกเมนต์นี้จะขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง เช่น อัตราการใช้พลังงาน (Power Consumption) ของแต่ละอุปกรณ์ ชนิดของสายที่ใช้ การใช้รีพีเตอร์ (Repeater) และอื่น ๆ ซึ่งรายละเอียดสามารถศึกษาเพิ่มเติมได้จากข้อมูลแนะนำของ Fieldbus Foundation [13-14]



รูปที่ 3.8 รูปแบบการต่ออุปกรณ์ฟาวด์เชนฟิลด์บัสชนิด H1 แบบทรีโทโพลยี

อุปกรณ์ฟิลด์บัส H1 จำนวน 3 ตัวที่นำมาใช้ในระบบการวัดคุมอัตราการไหลใหม่ที่สร้างขึ้นนี้ ถูกนำมาต่อเข้ากับเซกเมนต์ TK-SEG-20A ที่ติดตั้งใช้งานอยู่แล้วโดยมีการเชื่อมต่อสายสเปอร์ของอุปกรณ์ระดับฟิลด์ทั้ง 3 ตัวเข้ากับกล่องเชื่อมต่อสัญญาณ หรือ Junction Box ชนิดกันระเบิดก่อนที่จะถูกต่อโดยสายหรั้งหลักเพื่อเชื่อมโยงกับโมดูลฟิลด์บัสพาวเวอร์ซัพพลาย (Fieldbus Power Supply Module) เพื่อจ่ายไฟให้แก่อุปกรณ์ระดับฟิลด์และหลังจากนั้นสัญญาณจะถูกเชื่อมโยงต่อไปยังอินพุท-เอาต์พุทอินเตอร์เฟซการ์ดซึ่งเป็นชนิดรีดันแดนท์ (Redundant H1 Fieldbus I/O Interface) ก่อนที่จะส่งข้อมูลไปยังการควบคุมต่อไปซึ่งในที่นี้คือ IAR-MDPC-2B โดยแผนผังการออกแบบและต่ออุปกรณ์ระดับฟิลด์บนเซกเมนต์ (Segment Design) และโมดูลพาวเวอร์ซัพพลายเพื่อใช้งานจริงแสดงได้ดังรูปที่ 3.9 ซึ่งการออกแบบได้คำนึงถึงข้อกำหนดตามมาตรฐานของ Fieldbus Foundation [13-14]



รูปที่ 3.9 การออกแบบเชกเมนต์เพื่อต่ออุปกรณ์ระดับฟิลต์เพิ่มในเชกเมนต์ TK-SEG-20A ที่ติดตั้งใช้งานอยู่แล้ว

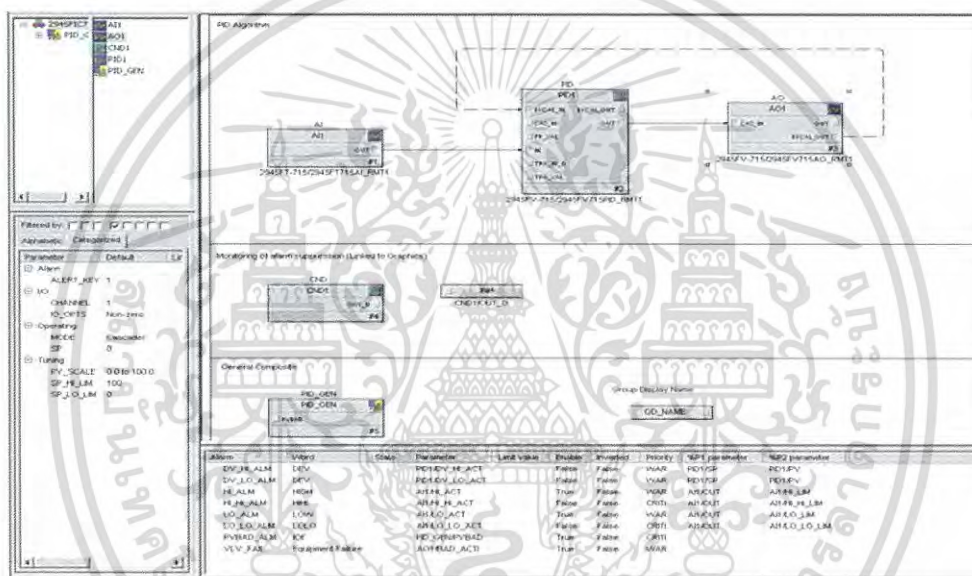
หมายเหตุ: จากรูปที่ 3.9 เพื่อเป็นการใช้ทรัพยากรอย่างคุ้มค่าและลดค่าใช้จ่ายในการติดตั้งอุปกรณ์เพิ่มเติม เช่น กล่องเชื่อมต่อสัญญาณชนิดกันระเบิด สายพ่วงหลัก ฟิลต์บัสพาวเวอร์ซัพพลายโมดูล และอื่นๆ จึงได้ออกแบบให้ต่ออุปกรณ์ฟิลต์บัส H1 ที่ใช้ในระบบวัดคุมอัตราการไหลที่สร้างขึ้นใหม่ ต่อเพิ่มเข้าไปในเชกเมนต์ TK-SEG-20A ที่ติดตั้งใช้งานอยู่แล้ว โดยทำการติดตั้งอุปกรณ์ระดับฟิลต์เพิ่มด้วยการต่อสายสเปร์เข้ากับกล่องเชื่อมต่อสัญญาณ (Junction Box) ที่มีการติดตั้งอยู่ในพลาเน็ตแล้วและอุปกรณ์ระดับฟิลต์มีการติดตั้งอยู่ในพื้นที่หน่วยการผลิตเดียวกัน โดยผลรวมของค่าอัตราการไหลของพลังงานของอุปกรณ์ระดับฟิลต์ทุกตัว (Segment Load) คิดเป็น 30% โดยประมาณของค่าพลังงานของโมดูลพาวเวอร์ซัพพลายที่ใช้

3.4.3 การสร้างรูปควบคุมด้วยฟังก์ชันบล็อกไดอะแกรม

ในขั้นตอนการสร้างรูปควบคุมสำหรับระบบวัดคุมอัตราการไหลที่สร้างขึ้นใหม่ สามารถทำได้โดยการสร้างฟังก์ชันบล็อกไดอะแกรม (Function Block Diagram) ด้วยโปรแกรม DeltaV Control Studio ของระบบโฮสต์ DeltaV ที่ทางโรงงานใช้อยู่ ดังแสดงในรูปที่ 3.10 โดยในระบบวัดคุมอัตราการไหลที่สร้างขึ้นนี้จะกำหนดตั้งค่าให้มีการควบคุมอัตราการไหลแบบอัตโนมัติเพื่อส่งคอนเดนเสทเรซิดิวในช่วง 21-155 m³/h และมีการแสดงผลค่าอัตราการไหลแบบสะสม รวมทั้งมีการแสดงผลค่าความดันในท่อส่งที่ระบบโฮสต์ดีซีเอสในห้องควบคุมด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

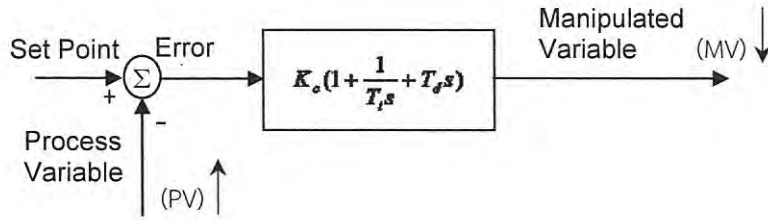
จากรูปที่ 3.10 ลูปควบคุมอัตราการไหลแบบพีไอดี (PID Algorithm) จะประกอบด้วย ฟังก์ชันบล็อกแอนะล็อกอินพุต (AI1) แอนะล็อกเอาต์พุต (AO1) และฟังก์ชันบล็อกพีไอดี (PID1) โดยค่าอัตราการไหลในท่อส่งที่วัดได้จะประมวลผลด้วยฟังก์ชันบล็อก AI1 และส่งค่าตัวแปรกระบวนการ (Process Variable) ให้กับฟังก์ชันบล็อก PID1 ซึ่งจะนำค่าดังกล่าวไปประมวลผลในสมการชุดคำสั่งที่สร้างไว้ (Algorithm) โดยเปรียบเทียบกับค่าอัตราการไหลที่ต้องการ (Set Point) และหลังจากประมวลผลแล้วจะส่งค่าเอาต์พุต (Manipulate Variable) ให้กับฟังก์ชันบล็อก AO1 เพื่อสั่งให้วาล์วควบคุมเปิดเพิ่มหรือลดเพื่อให้ได้ค่าตัวแปรกระบวนการตามที่ต้องการโดยอัตโนมัติ นอกจากนี้ ฟังก์ชันบล็อก AO1 จะส่งสัญญาณ BKCAL_OUT กลับมาที่ฟังก์ชันบล็อก PID1 อีกครั้งเพื่อป้องกันการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วเมื่อมีการเปลี่ยนโหมดการควบคุม (Bumpless Transfer)



รูปที่ 3.10 การสร้างลูปควบคุมด้วยฟังก์ชันบล็อกไดอะแกรมใน DeltaV Control Studio

สิ่งสำคัญอีกประการที่ต้องคำนึงถึงคือการกำหนดกิจรยาของเอาต์พุตตัวควบคุม (Controller Output Action) ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรกระบวนการ (PV) และค่าเอาต์พุตตัวควบคุม (MV) ดังรูปที่ 3.11 เมื่อพิจารณากระบวนการควบคุมอัตราการไหลตามไดอะแกรมรูปที่ 3.7 ถ้าสัญญาณจากทรานสมิตเตอร์วัดอัตราการไหลมีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นการบ่งชี้ว่าอัตราการไหลในท่อสูงขึ้น เพื่อที่จะทำให้กลับไปยังค่าเป้าหมายได้นั้น ตัวควบคุมต้องปิดวาล์วลงเล็กน้อย โดยระบบวัดคุมอัตราการไหลที่สร้างขึ้นใหม่นี้ได้เลือกใช้วาล์วควบคุมแบบ Fail-Close หรือ Air-to-Open ดังนั้นตัวควบคุมต้องลดค่าสัญญาณเอาต์พุตที่ส่งไปยังวาล์วควบคุม (ดูทิศทางของลูกศรในรูปที่ 3.11) เมื่อตัวแปรกระบวนการเพิ่มขึ้นและต้องการลดเอาต์พุตตัวควบคุม ดังนั้นกิจรยาของตัวควบคุมต้องตั้งค่าเป็น Reverse Action

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.11 การพิจารณากิริยาของเอาต์พุตตัวควบคุมจากความสัมพันธ์ระหว่างค่า PV และ MV

ตารางที่ 3.6 แสดงรายละเอียดของฟังก์ชันบล็อกภายในอุปกรณ์ระดับฟิลด์ที่เลือกใช้ในการสร้างระบบควบคุมอัตราการไหลทั้ง 3 ตัว ซึ่งประกอบด้วย รุ่น (Model) รีวิชัน (Revision) จำนวนฟังก์ชันบล็อก AI ภายในอุปกรณ์ (AI Count) ค่าเวลาในการประมวลผลของฟังก์ชันบล็อก AI (AI Time) จำนวนฟังก์ชันบล็อก AO ภายในอุปกรณ์ (AO Count) ค่าเวลาในการประมวลผลของฟังก์ชันบล็อก AO (AO Time) จำนวนฟังก์ชันบล็อก PID ภายในอุปกรณ์ (PID Count) และค่าเวลาในการประมวลผลฟังก์ชันบล็อก PID (PID Time) จากตารางที่ 3.6 จะเห็นได้ว่าอุปกรณ์ระดับฟิลด์ทุกตัวมีฟังก์ชันบล็อก PID ให้เลือกใช้ แนวทางหนึ่งในการพิจารณาเลือกกำหนดการใช้งานฟังก์ชันบล็อก PID ที่จะเลือกใช้จากอุปกรณ์ระดับฟิลด์ตัวใด คือการพิจารณาปริมาณการใช้แบนด์วิธของเครือข่ายสำหรับการรับส่งข้อมูลระหว่างฟังก์ชันบล็อกที่อยู่ต่างอุปกรณ์กัน หรือที่เรียกว่า Network Load หรือ Network Consumed โดยค่า Network Consumed นี้จะขึ้นอยู่กับจำนวนครั้งของการรับส่งข้อมูลระหว่างฟังก์ชันบล็อกที่อยู่ต่างอุปกรณ์กัน (Scheduled Communication) จากฟังก์ชันบล็อกไดอะแกรมของอุปกรณ์ควบคุมอัตราการไหลแบบพีไอดีดังรูปที่ 3.10 ถ้าเลือกกำหนดใช้งานฟังก์ชันบล็อกด้วยแนวคิด CIF จะมีกรณีที่เป็นไปได้ 3 กรณีด้วยกันสำหรับการเลือกกำหนดใช้งานฟังก์ชันบล็อก PID ดังสรุปในตารางที่ 3.7

ตารางที่ 3.6 รายละเอียดของฟังก์ชันบล็อกภายในอุปกรณ์ระดับฟิลด์ที่เลือกใช้

Tag no.	Model	Rev.	AI Count	AI Time	AO Count	AO Time	PID Count	PID Time
FT-715	8800D	5	2	15 ms	N/A	N/A	1	20 ms
FV-715	DVC6200F	3	N/A	N/A	2	15 ms	1	20 ms
PT-717	3051TG	8	2	20 ms	N/A	N/A	1	25 ms

ตารางที่ 3.7 กรณีที่เป็นไปได้สำหรับการเลือกกำหนดใช้งานฟังก์ชันบล็อก PID สำหรับควบคุม ดังรูปที่ 3.10

Case	Function Block	Field Device	Number of Scheduled Communication
1	AI1	FT-715	3
	PID1	PT-717	
	AO1	FV-715	
2	AI1	FT-715	2
	PID1	FT-715	
	AO1	FV-715	
3	AI1	FT-715	1
	PID1	FV-715	
	AO1	FV-715	

ในการสื่อสารระหว่างอุปกรณ์ระดับฟิลด์ในฟิลด์บัสเซกเมนต์ H1 จะมีอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ควบคุมการสื่อสารที่เรียกว่า Link Active Schedule (LAS) โดยทั่วไปการ์ดอินพุต/เอาต์พุตที่รองรับกับเทคโนโลยีฟาว์เดชันฟิลด์บัส (หรือที่เรียกว่า H1 Interface Card) จะทำหน้าที่ LAS โดยมีการสร้างเซกเมนต์มาโครไซเคิล (Segment Macrocycle) ซึ่งจะสัมพันธ์กับการเลือกกำหนดใช้งานฟังก์ชันบล็อกภายในอุปกรณ์สำหรับฟังก์ชันบล็อกใดอะแกรมของอุปกรณ์ ซึ่งค่าเวลาดำเนินการของแต่ละเซกเมนต์และ Network Consumed สามารถคำนวณได้จาก

$$\text{Calculated Macrocycle} = \sum \text{Execution Time of Function Block} + (\text{Scheduled Communication Time} * \text{Number of Scheduled Communication})$$

$$\text{Network consumed} = \frac{(\text{Scheduled Communication Time} * \text{Number of Scheduled Communication})}{\text{Calculated Macrocycle}}$$

ถ้ากำหนดให้ Scheduled Communication Time เท่ากับ 30 ms จากตารางที่ 3.7 สามารถวิเคราะห์ Calculated Macrocycle และ Network Consumed ได้ดังนี้

กรณีที่ 1 การเลือกใช้ฟังก์ชันบล็อก PID1 จากอุปกรณ์วัดความดัน PT-717

$$\begin{aligned}
 \text{Calculated Macrocycle} &= \text{AI Time_FT-715} + \text{PID Time_PT-717} \\
 &\quad + \text{AO Time_FV-715} + (30 \text{ ms} * 3) \\
 &= 15 \text{ ms} + 25 \text{ ms} + 15 \text{ ms} + (30 \text{ ms} * 3) \\
 &= 145 \text{ ms}
 \end{aligned}$$

$$\text{Network Consumed} = \frac{(30 \text{ ms} * 3)}{145 \text{ ms}} * 100\% = 62\%$$

กรณีที่ 2 การเลือกใช้ฟังก์ชันบล็อก PID1 จากอุปกรณ์วัดความดัน FT-715

$$\begin{aligned}
 \text{Calculated Macrocycle} &= \text{AI Time_FT-715} + \text{PID Time_FT-715} \\
 &\quad + \text{AO Time_FV-715} + (30 \text{ ms} * 2) \\
 &= 15 \text{ ms} + 20 \text{ ms} + 15 \text{ ms} + (30 \text{ ms} * 2) \\
 &= 110 \text{ ms}
 \end{aligned}$$

$$\text{Network Consumed} = \frac{(30 \text{ ms} * 2)}{110 \text{ ms}} * 100\% = 54.55\%$$

กรณีที่ 3 การเลือกใช้ฟังก์ชันบล็อก PID1 จากวาล์วควบคุม FV-715

$$\begin{aligned}
 \text{Calculated Macrocycle} &= \text{AI Time_FT-715} + \text{PID Time_FV-715} \\
 &\quad + \text{AO Time_FV-715} + (30 \text{ ms} * 1) \\
 &= 15 \text{ ms} + 20 \text{ ms} + 15 \text{ ms} + (30 \text{ ms} * 1) \\
 &= 80 \text{ ms}
 \end{aligned}$$

$$\text{Network Consumed} = \frac{(30 \text{ ms} * 1)}{80 \text{ ms}} * 100\% = 37.5\%$$

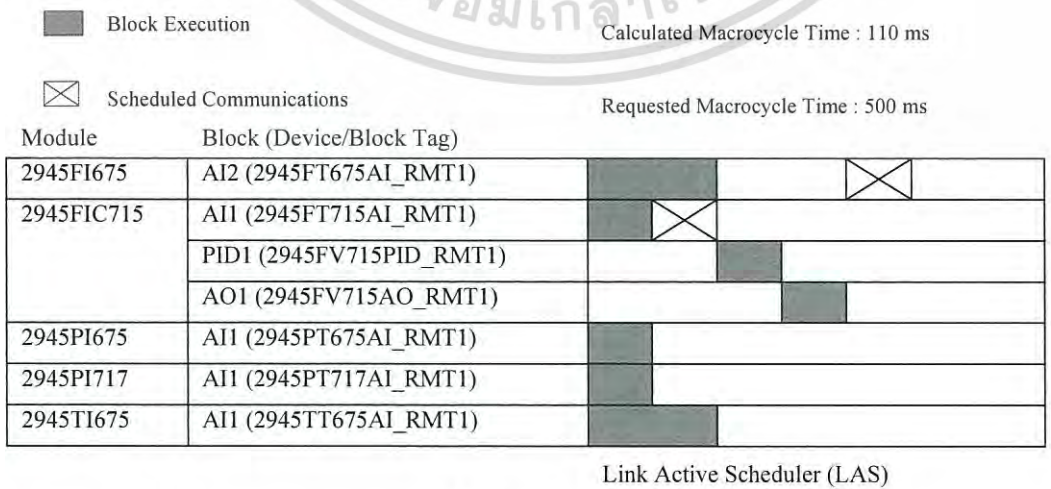
จากการวิเคราะห์ข้างต้นจะเห็นว่า การเลือกใช้ฟังก์ชันบล็อก PID1 จากวาล์วควบคุม FV-715 (กรณีที่ 3) จะมีค่า Network Consumed น้อยที่สุด จากฟังก์ชันบล็อกไดอะแกรมของลูบควบคุม อัตราการไหลแบบพีไอที่ตั้งรูปที่ 3.10 (เฉพาะในส่วน PID Algorithm) การเลือกกำหนดการใช้งาน ฟังก์ชันบล็อกจากตัวอุปกรณ์ระดับฟิลด์ (Function Block Assignment) สามารถสรุปได้ดังตาราง ที่ 3.8 โดยฟังก์ชันบล็อก AI1 เลือกกำหนดใช้งานจากอุปกรณ์วัดอัตราการไหล (FT-715) ฟังก์ชัน บล็อก AO1 และ PID1 เลือกใช้งานจากวาล์วควบคุม (FV-715) ด้วยรูปแบบการควบคุมในระดับฟิลด์ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่ภายนอกค่า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หรือ CIF ซึ่งเป็นการเลือกใช้ฟังก์ชันการควบคุมจากตัวอุปกรณ์ระดับฟิลด์เพื่อเพิ่มความน่าเชื่อถือของระบบในกรณีอุปกรณ์ระดับโฮสต์เกิดขัดข้อง แต่ระบบวัดคุมระดับฟิลด์จะยังควบคุมกระบวนการผลิตให้ได้ตามค่าที่ต้องการได้ นอกจากนี้ ในส่วนการวัดเพื่อแสดงผล (Monitoring) จะใช้ฟังก์ชันบล็อก AI เพียงอย่างเดียวสำหรับขั้นตอนการสร้างรูปแบบการควบคุมใน DeltaV Control Studio ดังนั้นจึงมีการกำหนดใช้งานฟังก์ชันบล็อก AI2 โดยเลือกจากอุปกรณ์วัดความดัน (PT-717) เพื่อทำการประมวลผลค่าความดันขาออกของวาล์วควบคุมสำหรับการแสดงผลการวัด

ตารางที่ 3.8 การเลือกใช้งานฟังก์ชันบล็อกในอุปกรณ์ระดับฟิลด์สำหรับระบบวัดคุมอัตราการไหลที่สร้างขึ้น

Function Block	Field Device	Tag no.
AI1	Flow Transmitter	FT-715
AO1	Control Valve	FV-715
PID1	Control Valve	FV-715
AI2	Pressure Transmitter	PT-717

จากข้อมูลสรุปเกี่ยวกับการออกแบบการต่ออุปกรณ์ระบบวัดคุมชนิดฟาว์นเดชันฟิลด์บัสเข้ากับเซกเมนต์ TK-SEG-20A ร่วมกับอุปกรณ์ที่มีการต่อใช้งานอยู่แล้วและอยู่ในพื้นที่และหน่วยการผลิตเดียวกันดังที่กล่าวมา สามารถสรุปตารางเวลาและมาโครไซเคิลของฟังก์ชันบล็อกทั้งหมดที่อยู่ในเซกเมนต์ TK-SEG-20A ดังแสดงในรูปที่ 3.12 ซึ่งในส่วนของระบบวัดคุมอัตราการไหลที่สร้างขึ้น จะเกี่ยวข้องกับลูปควบคุมอัตราการไหล 2945-FIC-715 และอุปกรณ์วัดค่าความดันในท่อส่ง 2945-PI-717 เท่านั้น ส่วนอุปกรณ์อื่น ๆ คือ 2945-FI-675, 2945-PI-675 และ 2945-TI-675 ถูกนำไปใช้ในงานอื่น แต่มีการต่อใช้งานในฟิลด์บัสเซกเมนต์เดียวกัน

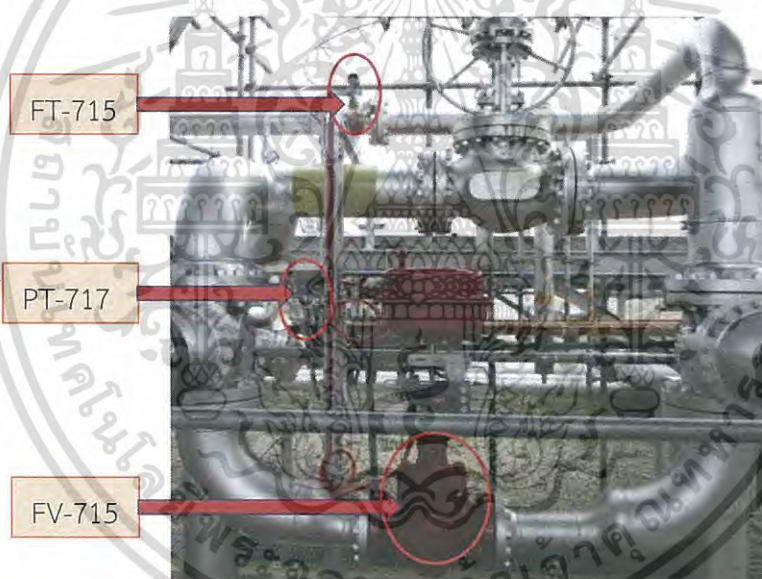


รูปที่ 3.12 ตารางเวลาและมาโครไซเคิลรวมของฟิลด์บัสเซกเมนต์ TK-SEG-20A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.4 การติดตั้งฟิลด์บัสเชกเมนต์และการปรับแต่งพารามิเตอร์ของบล็อกพีไอดี

หลังจากการเลือกอุปกรณ์ฟาว์เดชั่นฟิลด์บัส H1 และการออกแบบเชกเมนต์เพื่อต่อใช้งาน แล้วนั้น ขั้นตอนต่อไปจะเป็นการติดตั้งอุปกรณ์ฟิลด์บัส H1 เพื่อเชื่อมต่อกับระบบโฮสต์ดีซีเอสด้วย รูปแบบทรีโทโลยีที่ได้ทำการออกแบบไว้ โดยรายละเอียดต่าง ๆ ของรายการอุปกรณ์แสดงในตารางที่ 3.5 ซึ่งอุปกรณ์ระดับฟิลด์ที่นำมาติดตั้งใช้งานในระบบวัดคุมอัตราการไหลใหม่ที่สร้างขึ้น ประกอบด้วย อุปกรณ์วัดอัตราการไหลชนิดวอร์เท็กซ์ 2945-FT-715 ผลิตโดยบริษัท Rosemount โมเดล 8800D วาล์วควบคุมอัตราการไหล 2945-FV-715 ผลิตโดยบริษัท Masoneilan โมเดล 88-41335 และอุปกรณ์วัดความดัน 2945-PT-717 ผลิตโดยบริษัท Rosemount โมเดล 3051TG การติดตั้งระบบท่อส่งและอุปกรณ์ระดับฟิลด์ทั้ง 3 ตัวที่เลือกใช้ในงานจริงแสดงได้ดังรูปที่ 3.13 โดยอุปกรณ์ระดับฟิลด์ H1 แต่ละตัวจะถูกเชื่อมต่อโดยสายสเปอร์ไปยังกล่องเชื่อมต่อสัญญาณที่มีเชกเมนต์ TK-SEG-20A ติดตั้งอยู่ก่อนที่จะส่งข้อมูลผ่านสายพรีคัทหลักไปยังระบบโฮสต์ดีซีเอสในห้องควบคุมส่วนกลาง

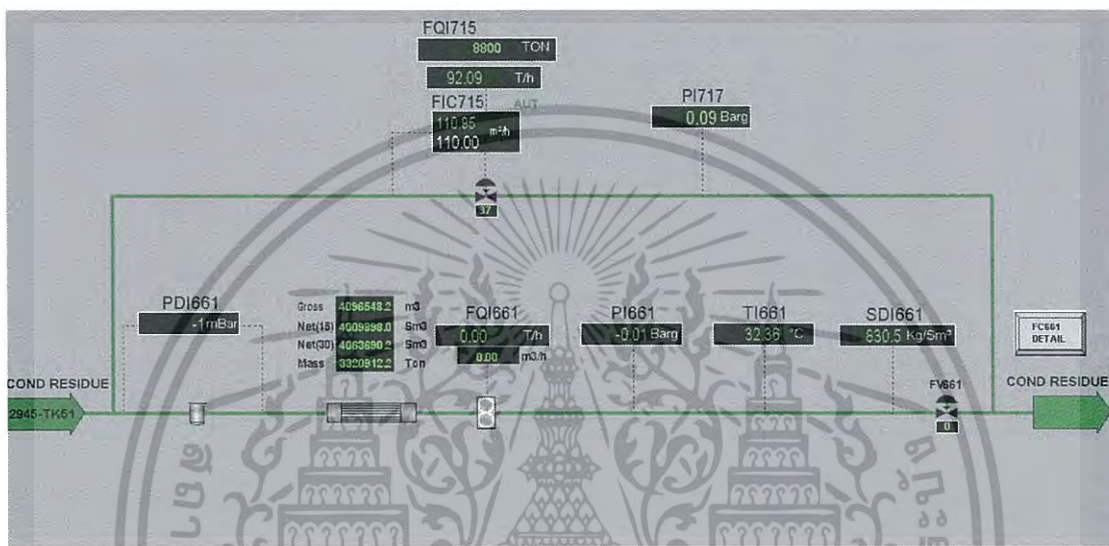


รูปที่ 3.13 การติดตั้งอุปกรณ์ระดับฟิลด์ H1 ในโรงงานจริง

หลังจากมีการติดตั้งอุปกรณ์ฟิลด์บัส H1 ในโรงงานจริงแล้วซึ่งจะถูกเชื่อมต่อมายัง อินพุท-เอาต์พุทอินเตอร์เฟซโมดูลรวมทั้งเชื่อมต่อสัญญาณมายังโมดูลอุปกรณ์ควบคุมหลัก IAR-MDPC-2B จะทำการกำหนดตั้งค่าพารามิเตอร์ในฟังก์ชันบล็อกใน DeltaV Control Studio เพื่อให้อุปกรณ์อ่านค่าและควบคุมกระบวนการได้ตามที่ต้องการ นอกจากนี้ เพื่อให้สะดวกแก่ผู้ใช้งานในห้องควบคุมส่วนกลางในการอ่านค่าแสดงผลที่วัดได้ หรือการปรับแต่งค่าอัตราการไหลที่ต้องการควบคุมรวมทั้งการปรับค่าพารามิเตอร์อื่น ๆ จึงได้ทำการสร้างกราฟฟิคอินเตอร์เฟซหรือ GUI (Graphic User Interface) กับผู้ปฏิบัติงานบน Operator Workstation ในห้องควบคุมส่วนกลาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการค้าเท่านั้น เมื่อผู้ผู้ใดเห็นใบนี้โดยไม่ขออนุญาตในการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยรูปแบบของกราฟฟิอินเตอร์เฟสที่สร้างขึ้นแสดงได้ดังรูปที่ 3.14 ซึ่งจะแสดงสถานะการทำงาน และแสดงค่าพารามิเตอร์ที่ผู้ปฏิบัติงานจำเป็นต้องเฝ้าสังเกตของระบบวัดคุมอัตราการไหลที่สร้างขึ้น โดยประกอบด้วยลูบควบคุมอัตราการไหลแบบอัตโนมัติ FIC715 ซึ่งจะแสดงค่าอัตราการไหลที่วัดได้ เปอร์เซ็นต์การเปิดของวาล์วควบคุม การไหลสะสมรวม FQI715 และค่าแรงดันในท่อส่งที่วัดได้ PI717 ซึ่งผู้ปฏิบัติงานสามารถปรับค่าอัตราการไหลที่ต้องการควบคุม (Set Point) เลือกโหมดการควบคุม และตั้งค่าการแจ้งเตือนอื่น ๆ ได้ผ่านทางกราฟฟิอินเตอร์เฟสที่สร้างขึ้น



รูปที่ 3.14 กราฟฟิอินเตอร์เฟสกับผู้ปฏิบัติงานในห้องควบคุมส่วนกลาง

ลูบควบคุมอัตราการไหลแบบอัตโนมัติ FIC-715 จะใช้หลักการควบคุมด้วยพีไอดีจึง จำเป็นต้องมีการปรับแต่งค่าพารามิเตอร์ของฟังก์ชันบล็อก PID ที่เลือกใช้ดังหลักการที่ได้อธิบายใน บทที่ 2 แล้วนั้น โดยแสดงในรูปแบบทางคณิตศาสตร์ เพื่อหาเอาท์พุทของตัวควบคุมกระบวนการได้ ดังสมการที่ (2.13) โดยกำหนดให้

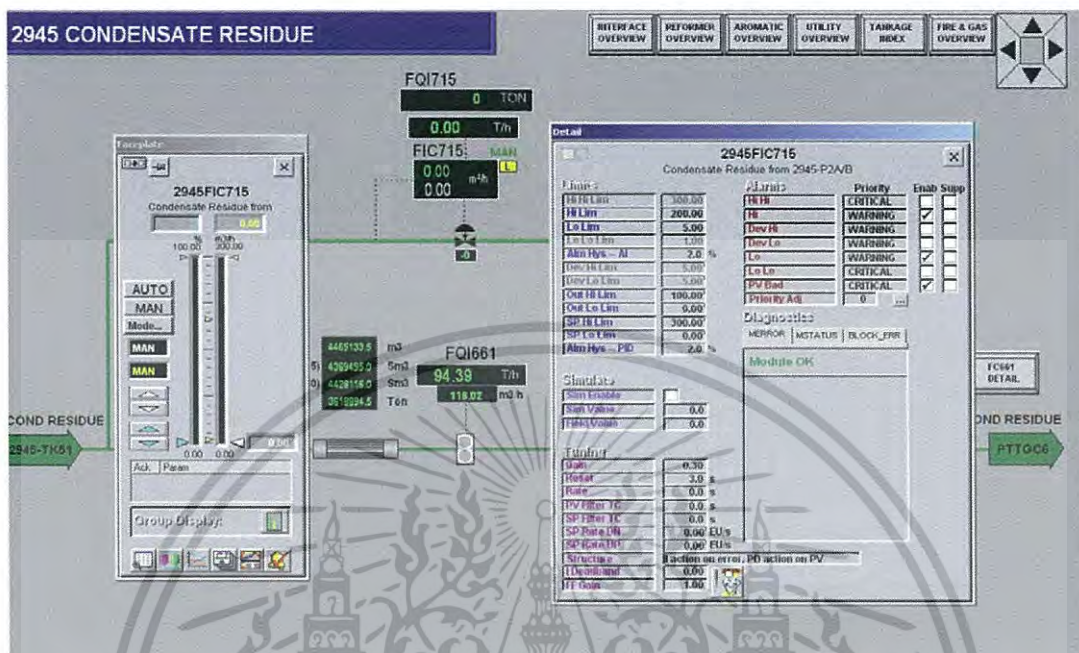
K_c คือ อัตราขยาย (Gain) ของตัวควบคุม

T_i คือ เวลาอินทิกรัล หรือ รีเซท (Reset Time) มีหน่วยเป็นวินาที (s)

T_d คือ เวลาอนุพันธ์ หรือเวลาอัตรา (Rate Time) มีหน่วยเป็นวินาที (s)

หลังจากการคอมมิชชันนิ่ง (Commissioning) ระบบไฮสแตติซีเอสจะสามารถรับ-ส่งข้อมูลกับ อุปกรณ์ระดับฟิลด์ H1 ทั้ง 3 ตัวที่ติดตั้งใช้งานและสามารถแสดงข้อมูลในส่วนกราฟฟิอินเตอร์เฟส จะมีการปรับแต่งค่าพารามิเตอร์ของลูบควบคุมอัตราการไหลเพื่อให้ทำงานอย่างดีที่สุดในการควบคุม การไหลให้ได้ตามค่าที่ต้องการ โดยรายละเอียดการปรับแต่งค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมแบบพีไอดี

ดังรูปที่ 3.15 ซึ่งได้ทำการตั้งค่าอัตราขยาย (Gain) หรือ K_c ไว้ที่ 0.3 และตั้งค่าเวลาอินทิกรัลหรือ รีเซทไทม์ (Reset Time: T_i) ไว้ที่ 3 วินาที เป็นต้น



รูปที่ 3.15 การปรับแต่งค่าพารามิเตอร์ของลูกควบคุมอัตราไหลแบบพีไอดี

3.5 ผลการทดสอบระบบวัดคมอัตราการไหลที่สร้างใหม่

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้มีการสร้างและติดตั้งระบบวัดคุมอัตราการไหลใหม่เพื่อลดสัญญาณรบกวนทางเสียงและการสั่นสะเทือน เนื่องจากการเกิดควิเทชันในวาล์วควบคุมของมาตรวัดอัตราการไหลที่เคยใช้งาน ผลการทดลองเพื่อเปรียบเทียบค่าที่วัดได้ของระบบแบบเดิมและระบบที่สร้างขึ้นใหม่อธิบายได้ดังนี้

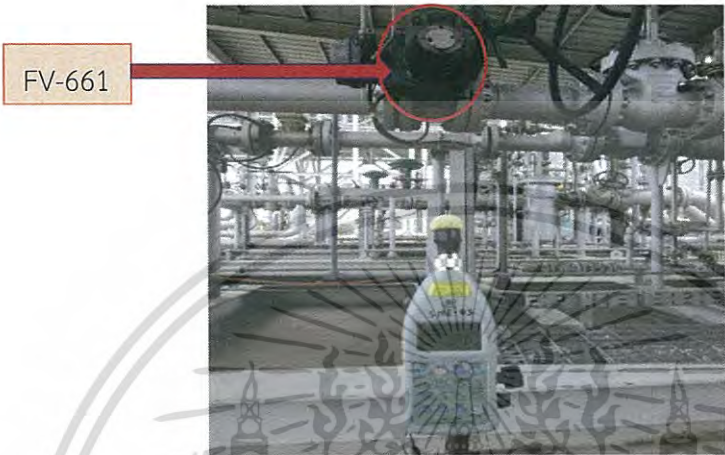
3.5.1 ผลการวัดสัญญาณเสียงรบกวนและการสั่นสะเทือนของระบบแบบเดิม

ปัญหาของระบบการส่งสารคอนเดนเสทเรซิดิวโดยใช้มาตรวัดอัตราการไหลเพื่อการซื้อขายแบบเดิม คือเรื่องของระดับเสียงและการสั่นสะเทือนของระบบท่อและวาล์วที่เกินกำหนด ซึ่งก่อให้เกิดมลภาวะรบกวนแก่ผู้ปฏิบัติงานและอาจจะเป็นเหตุให้เกิดความเสียหายแก่อุปกรณ์ในระยะยาวได้ ในการวัดค่าสัญญาณเสียงรบกวน (Sound Pressure Level: SPL) จะวัดค่าในหน่วยการวัดเป็น dBA และการวัดการสั่นสะเทือน (Vibration) มีหน่วยการวัดเป็น mm/s ดังตัวอย่างในรูปที่ 3.16 และ 3.17 ตามลำดับ

ตารางที่ 3.9 แสดงผลการวัดเสียงรบกวน และการสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นในมาตรวัดอัตรา
การไหลในระบบเดิมก่อนที่จะทำการแก้ไขปัญหาด้วยการติดตั้งระบบวัดคุมอัตราการไหลระบบใหม่
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.9 ผลการวัดสัญญาณเสียงรบกวนและการสั่นสะเทือนของระบบแบบเดิม

% FV661 opening	Flow (m ³ /hr)	SPL (dBA)	Vibration (mm/s)
30%	128.5	97	1.7
32%	135	96	1.5



รูปที่ 3.16 การวัดค่าสัญญาณรบกวนทางเสียงโดยอุปกรณ์วัด Sound Pressure Level (dBA)



รูปที่ 3.17 การวัดการสั่นสะเทือนของแนวท่อที่ติดตั้งวาล์วควบคุม

3.5.2 ผลการวัดสัญญาณเสียงรบกวนและการสั่นสะเทือนของระบบที่สร้างใหม่

หลังจากการติดตั้งและทดสอบระบบวัดคุมอัตราการไหลที่สร้างใหม่แล้วจากการออกแบบและเลือกอุปกรณ์ระบบวัดคุมที่เหมาะสมกับกระบวนการผลิตที่ใช้งานปัจจุบันตามที่กล่าวมาข้างต้นทำให้สัญญาณเสียงรบกวนและการสั่นสะเทือนของระบบที่สร้างใหม่ลดลงอย่างมีนัยสำคัญซึ่งแสดงผลการวัดได้ตามตารางที่ 3.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.10 ผลการวัดสัญญาณเสียงรบกวนและการสั่นสะเทือนของระบบที่สร้างใหม่

% FV715 opening	Flow (m ³ /hr)	SPL (dBA)	Vibration (mm/s)
30%	80	94	1
40%	150	90.5	0.5
58%	210	83	0

หมายเหตุ: ตามมาตรฐาน OSHA (Occupational Safety and Health Administration) กำหนดให้ในพื้นที่ที่มีเสียงรบกวนประมาณ 90 dBA ไม่ควรทำงานในบริเวณนั้นติดต่อกันเกิน 8 ชั่วโมงต่อวัน ดังนั้น โดยทั่วไป ผู้ผลิตวาล์วจะกำหนดให้ เมื่อวาล์วควบคุมถูกใช้งานจะต้องไม่มีเสียงรบกวนเกิน 85 dBA โดยกำหนดระยะของอุปกรณ์วัดห่างจากตัววาล์วหรือผิวของท่อประมาณ 1 เมตร และมาตรฐานการสั่นสะเทือนของระบบ อ้างอิงตาม ISO 10816-1: Mechanical Vibration - Evaluation of Machine Vibration by Measurements on Non-Rotating Parts ซึ่งเป็นมาตรฐานในการบอกระดับความรุนแรงด้านการสั่นสะเทือน โดยระบุการใช้งานในเครื่องจักรขนาดเล็ก ระดับความสั่นสะเทือนที่ยอมรับได้คือไม่เกิน 0.71 mm/s ดังนั้นจึงเลือกกำหนดให้ระดับความสั่นสะเทือนในระบบมาตรวัดอัตราการไหลที่สร้างใหม่ไม่ควรเกิน 0.80 mm/s

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

4.1 สรุปผลการวิจัย

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอเทคนิคปฏิบัติเพื่อแก้ไขปัญหาที่เกิดจากปรากฏการณ์ควิเทชันในวาล์วควบคุมของมาตรวัดอัตราการไหลที่ติดตั้งใช้งานในโรงงานแห่งหนึ่ง แต่เนื่องจากได้มีการปรับเปลี่ยนวัตถุประสงค์การใช้งานมาตรวัดอัตราการไหลจากการใช้งานเพื่อการซื้อ-ขายคอนเดนเสทเรซิดิวมาเป็นการใช้งานเพื่อควบคุมอัตราการไหล ทำให้เงื่อนไขของกระบวนการที่เกี่ยวข้องเปลี่ยนแปลงไป วิธีการแก้ปัญหาที่เลือกใช้คือการสร้างระบบวัดคุมอัตราการไหลใหม่โดยติดตั้งในแนวท่อนานกับแนวท่อที่ใช้ส่งคอนเดนเสทเรซิดิวของมาตรวัดอัตราการไหลเดิม โดยระบบวัดคุมอัตราการไหลที่สร้างขึ้นใหม่เป็นระบบที่ใช้เทคโนโลยีฟาว์เดชั่นฟิลด์บัสที่ง่ายต่อการผสานระบบใหม่เข้ากับระบบไฮสแตติส์เอสทีที่มีอยู่แล้วในโรงงาน ในการเลือกชนิดและขนาดของวาล์วควบคุมตัวใหม่ด้วยข้อมูลเงื่อนไขของกระบวนการในปัจจุบันได้อ้างอิงขั้นตอนการเลือกและหาขนาดตามมาตรฐาน ISA-75.01.01 พร้อมทั้งมีการประเมินการเกิดควิเทชันในวาล์วควบคุมที่เลือกใช้ตามมาตรฐาน ISA-RP75.23 เพื่อให้แน่ใจว่าระบบวัดคุมอัตราการไหลที่สร้างใหม่และติดตั้งใช้งานเพื่อควบคุมอัตราการไหลในท่อส่งคอนเดนเสทเรซิดิวแทนมาตรวัดอัตราการไหลเดิมจะไม่เกิดควิเทชันซ้ำอีก

ตารางที่ 4.1 แสดงผลการเปรียบเทียบเกิดเสียงรบกวนและการสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นก่อนและหลังการแก้ปัญหาซึ่งมีสาเหตุมาจากการเกิดควิเทชันในวาล์วควบคุม จะเห็นได้ว่าการใช้ระบบวัดคุมอัตราการไหลที่สร้างขึ้นใหม่สามารถลดการเกิดเสียงรบกวนและการสั่นสะเทือนให้น้อยลงได้

ตารางที่ 4.1 การเปรียบเทียบการเกิดเสียงรบกวนและการสั่นสะเทือนก่อนและหลังการแก้ปัญหา

Flow (m ³ /hr)		% Valve Opening		SPL (dBA)		Vibration (mm/s)	
Before	After	Before	After	Before	After	Before	After
128.5	80	30%	30%	97	94	1.7	1
135	150	32%	40%	96	90.5	1.5	0.5
	210		58%		83		0

4.2 ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยต่อ

จากการใช้งานระบบวัดคุมอัตราการไหลที่สร้างขึ้นใหม่พบว่า ในกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงเงื่อนไขของกระบวนการที่ต้องการควบคุม โดยเฉพาะในสภาวะอัตราการไหลที่มีค่าต่ำ ๆ ($< 80 \text{ m}^3/\text{hr}$) ซึ่งมีช่วงการเปิดของวาล์วควบคุมน้อย ($< 30 \%$) ยังเกิดคาวิเทชันในวาล์วควบคุมที่เลือกใช้ ส่งผลทำให้มีปัญหาสัญญานรบกวนและการสั่นสะเทือนเกินค่ามาตรฐาน ซึ่งเป็นการยืนยันได้ว่า การให้ข้อมูลเงื่อนไขของกระบวนการที่ต้องการควบคุมมีความสำคัญอย่างมากต่อการเลือกชนิดและขนาดของวาล์วควบคุมในขั้นตอนการออกแบบระบบวัดคุม แนวทางการแก้ไขปัญหาดังกล่าวอาจทำการเปลี่ยนโครงสร้างภายในของวาล์วควบคุม เช่น เลือกใช้แบบ Anti-Cavitation 2-Stage Trim Type เป็นต้น



เอกสารอ้างอิง

- [1] Thomas A. Hughes. **Measurement and Control Basics.** 3rd Ed. USA : ISA Press. 2002.
- [2] Harold L.Wade. **Basic and Advanced Regulatory Control: System Design and Application.** 2nd Ed. USA : ISA Press. 2004.
- [3] รศ. ประสิทธิ์ จุลเสวีวงศ์, ศรีนคร นนทนาคร. **วาล์วควบคุม.** พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2555.
- [4] Hans D. Baumann. **Control Valve Primer: A User's Guide.** 4th Ed. USA : ISA Press. 2009.
- [5] Bai J., Ruan J. and Ruan S. "Investigate of Cavitation Phenomena in The Valve Port of The High Frequency Electro-Hydraulic Digital Valve" **Proc. IEEE International Conference on Mechatronics and Automation, Xi'an, China, August, 2010.** pp.717-722.
- [6] Paul W. Murrill. **Fundamentals of Process Control Theory.** 3rd Ed. USA : ISA Press. 2000.
- [7] Haiyan S., Yuzhen M. and Xiuhua M. "The Denoise Design of Pressure Reducing Control Valve in Thermal Power Plant" **Proc. International Conference on Electronic and Mechanical Engineering and Information Technology, China, August, 2011.** pp.4322-4325.
- [8] ISA. **ISA-75.01.01 Control Valve Sizing Equations.** USA : ISA Press. 2007.
- [9] ISA. **ISA-RP75.23 Considerations for Evaluating Control Valve Cavitation.** USA : ISA Press. 1995.
- [10] Fieldbus Foundation. **Foundation Fieldbus Technical Overview.** USA. 2003.
- [11] จตุรงค์ กลิ่นหวล. **"การศึกษาตัวแปรระดับความสำคัญของสัญญาณแจ้งเตือนกระบวนการในฟังก์ชันบล็อกของฟาวน์เดชันฟิลด์บัส"** วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอัตโนมัติ บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2556.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- [12] Julsereewong A., Julsereewong P. and Dejsiriphand T. “Study on Field Control Locations for Foundation Fieldbus-Based Cascade Control Loop” **SICE Annual Conference, Akita, Japan, August, 2012.** pp.1706-1711.
- [13] Fieldbus Foundation. **System Engineering Guidelines.** USA. 2010.
- [14] Fieldbus Foundation. **31.25 kbit/s Intrinsically Safe Systems.** USA. 2004.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

บทความวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์

บทความวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์ในวารสารทางวิชาการระดับนานาชาติในวิทยานิพนธ์นี้มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

- [1] Pongsak Pilagoon, Sart Kummool, Prasit Julsereewong and Amphawan Julsereewong, “Flow Metering Modification For Avoiding Control Valve Cavitation in Hydrocarbon Industry”, ICIC Express Letters, Part B: Applications, Vol.7, No. 11, pp. 2461 – 2467.



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

ICIC EXPRESS LETTERS, Part B: Applications

Volume 7, Number 11, November 2016

CONTENTS (Continued)

Critical Node Measuring Method Improved Based on PageRank and Betweenness <i>Lei Wang, Jun Dong and Jiadong Ren</i>	2381
Application of Complete Complementary Sequence in MIMO System to Combat Multipath Interference <i>Libiao Jin, Yuchi Zhang and Shufeng Li</i>	2389
A Hybrid Collaborative Filtering Algorithm on Spark <i>Weiwei Xing, Wentao Zhou and Weidong Wang</i>	2397
Automatic and Efficient False Sharing Avoider for Multi-Threaded Programs <i>Dongying Zheng</i>	2405
An Improved Ant Colony Algorithm Used for Unscented Kalman Filter <i>Shoulin Yin, Jie Liu and Lin Teng</i>	2411
A Practical Approach for Financial Services Discovery Based on User Clustering <i>Lijun Duan and Hao Tian</i>	2419
Unconstrained Optimization Models for Computing Real Generalized Eigenpairs of Weakly Symmetric Positive Definition Tensors <i>Yonghui Tong, Guangming Zhou and Qian Zhao</i>	2425
Development and Experimental Study of a Novel Weak Coupling Parallel Three-Dimensional Force Sensor <i>Yanzhi Zhao, Leihao Jiao, Dacheng Weng, Yang Li and Xiaoxiao Liu</i>	2435
Design and Implementation of an Analog Circuit with Minimum Component Count for Double-Linear-Approximation MPPT <i>Chih-Lung Shen, You-Sheng Shen and Cheng-Tao Tsai</i>	2443
A Review of Diffusion for the Smart Devices Based on Technology Acceptance Model <i>Jeong Seon Hwang and Hong Joo Lee</i>	2451
Flow Metering Modification for Avoiding Control Valve Cavitation in Hydrocarbon Industry <i>Pongsak Pilagoon, Sart Kummoool, Prasit Julsereewong and Amphawan Julsereewong</i>	2461
Neurocomputing-Based Similarity Analysis of EEG in Perceiving and Mimicking Facial Expressions <i>Akinori Seo and Hideaki Kawano</i>	2469
Novel Mathematical Models for Two-Stage Assembly Flow Shop Scheduling Problem with Deterioration and Preventive Maintenance Activities <i>Sunwoong Jung and Byung Soo Kim</i>	2477

(Continued)

FLOW METERING MODIFICATION FOR AVOIDING CONTROL VALVE CAVITATION IN HYDROCARBON INDUSTRY

PONGSAK PILAON, SART KUMMOOL, PRASIT JULSEEREWONG
AND AMPHAWAN JULSEEREWONG

Faculty of Engineering
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Ladkrabang, Bangkok 10520, Thailand
ppilaon@gmail.com; { sart.ku; prasit.ju; amphawan.ju }@kmitl.ac.th

Received April 2016; accepted July 2016

ABSTRACT. *This paper presents a practical technique for solving noise and vibration problems caused by control valve cavitation in existing pipeline measurement system for condensate residue flow metering of an aromatics plant in hydrocarbon industry. A cause of cavitation in the control valve is due to change in the purpose of flow metering system from use for custody transfer measurement to use for normal process monitoring and control. In order to avoid damaging effects of cavitation, pipeline modification by installing a new monitoring and control system is proposed. Based on the recommended practice of International Society of Automation (ISA) for evaluating control valve cavitation, the evaluation results confirm that no incipient cavitation occurs in the selected control valve for new installation in the proposed modification under normal service conditions.*

Keywords: Control valve, Cavitation, Noise, Vibration, Evaluation, Pipeline modification, Hydrocarbon industry

1. Introduction. The most common final control element in process control applications in petrochemical and hydrocarbon industries is the control valve for adjusting the flow of fluid such as water, gas, steam, and chemical compounds in a process [1]. Selecting a properly sized control valve is essential to attain the highest degree of process control for the fluid, because the control valve exerts a direct influence on the process. Sizing a control valve incorrectly is a technical and economical mistake. An undersized control valve will not pass the required flow, while an oversized control valve (most often the case) will be unnecessarily expensive and have poor controllability to exactly adjust the required flow. Usually, control valves are sized to control between 20-80% opening of the valve. The nature and condition of the fluid in a given application are thus required to be considered in control valve selection during design phase [2]. This implies that a large difference between actual and design process conditions has a high impact on the performance of control valve installed in existing plant. Especially, during low liquid-flow demand, the large-sized control valve operates in nearly closed position, potentially resulting in cavitation. The valve cavitation in pipeline measurement system is a concern for plant maintenance personnel because of the high maintenance cost and unplanned downtime. The cavitation not only decreases flow capability through the control valve, but it may also cause excessive noise, excessive vibration, and material damage [3,4]. The extent of cavitation damage is a function of several factors such as fluid, quantity of flow, magnitude of pressure drop, time of exposure, materials of construction, and design of control valve trim. There are two methods for minimizing unacceptable levels of control valve noise and vibration in existing system: pipeline modification and valve internal constitution reform [5]. The latter varies from manufacturer to manufacturer of the control valve used.

The aim of this paper is to present a pipeline modification to avoid control valve cavitation, which occurred in the existing flow metering system in an aromatics plant of an integrated petrochemical and refining company in Thailand. This paper is organized in five sections including this introduction. The next section describes the flow metering for custody transfer, which was used before modification. Section 3 and Section 4 provide the proposed modification and the standard evaluation results, respectively. The last section gives the conclusions.

2. Flow Metering for Custody Transfer. Figure 1 shows a schematic diagram of the interested pipeline measurement system in the aromatics plant. Natural-gas condensate is a low-density mixture of hydrocarbon liquids that may contain liquid petroleum gas (LPG) and is typically high in both light naphtha and heavy naphtha. The feed fractionation unit is utilized to process the incoming full-ranged condensate from natural gas well and the full-ranged naphtha from crude oil distillation unit into the heavy naphtha and by-products such as LPG and condensate residue. In the past, the interested metering skid was used for custody transfer flow measurement to pass the condensate residue from the feed fractionation unit in the aromatics plant to a customer. Payment involving contractual agreements between buyer and seller was made as a function of the amount of condensate residue transferred. The flow metering skid as illustrated in Figure 2 is a frame device on which various assemblies such as flow transmitter, temperature transmitter, pressure transmitter, and control valve are installed.

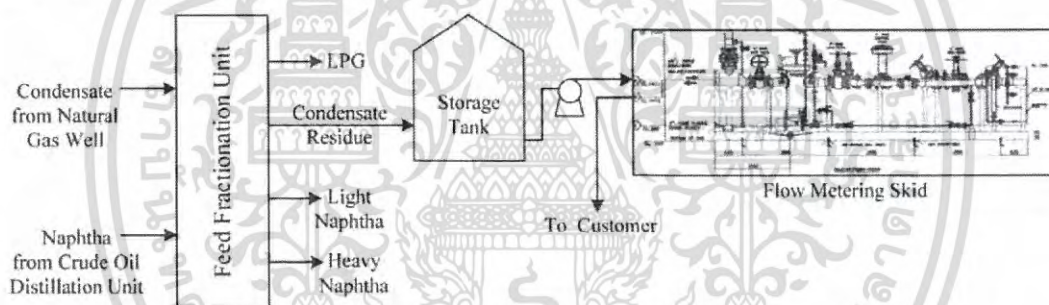


FIGURE 1. Schematic diagram of the pipeline measurement system for custody transfer



FIGURE 2. Flow metering skid for condensate residue custody transfer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

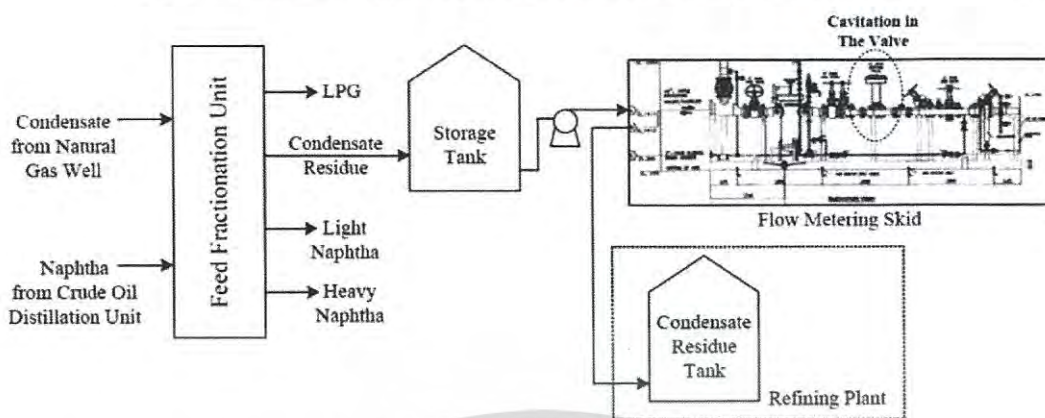


FIGURE 3. Schematic diagram of the pipeline measurement system for process control

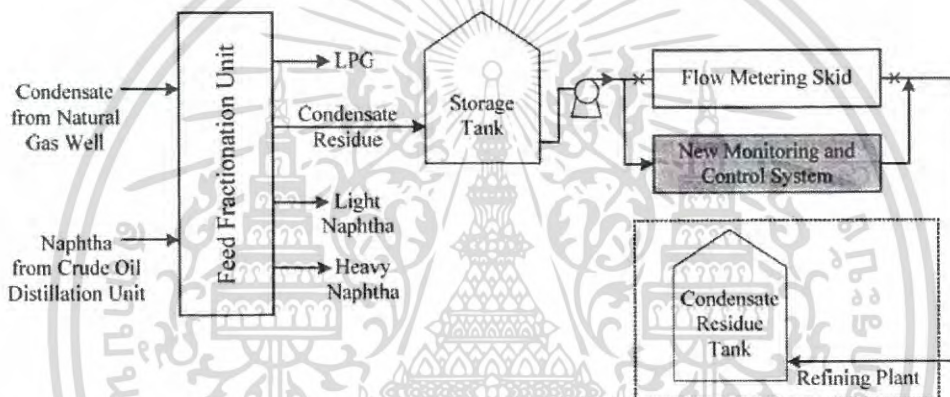


FIGURE 4. Proposed modification by installing a new monitoring and control system

The studied aromatics plant was recently merged with a refining plant owned by the same parent company for integrated operation through the exchange of raw materials. As a result of the merger, the custody transfer of condensate residue from the feed fractionation unit is cancelled. The condensate residue is transferred to use in the refining plant as shown in Figure 3, and thus the purpose of flow metering skid is changed from use for custody transfer flow measurement to use for process monitoring and control. Unfortunately, changing the use of flow metering skid has a negative impact on the control valve operation. In new application, the required flow rate for transferring condensate residue to the refining plant is largely reduced, and thus the control valve operates in nearly closed position to handle the desired process condition. This causes the control valve installed in the flow metering skid to be very sensitive to operating conditions. Unacceptable noise and vibration problems due to the fact that control valve cavitation occurred. The cavitation is a two-stage phenomenon. The first stage involves the formation of vapor bubbles, and the second stage is the collapse or implosion of the vapor bubbles.

3. Proposed Modification. Figure 4 shows the proposed modification by building a pipeline for installing a new monitoring and control system as depicted in Figure 5 to bypass the existing flow metering skid, which is preserved for future use.

Table 1 gives an instrument list and specific service conditions for implementing the new monitoring and control system. Three field devices are based on Foundation Fieldbus

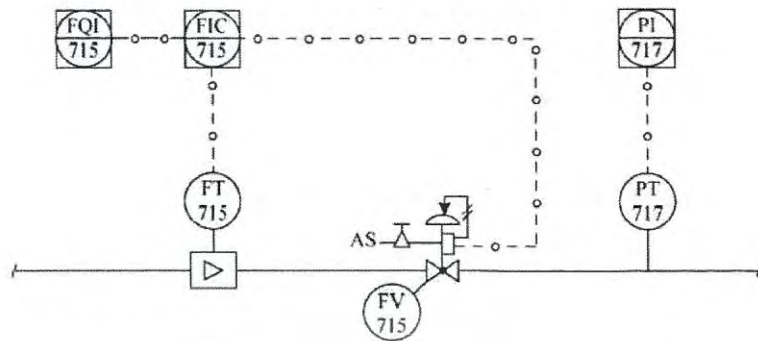


FIGURE 5. Schematic diagram of the new monitoring and control system

TABLE 1. Instrument list for new monitoring and control system

Tag	Service	Instrument Type	Communication Technology	Location	Range	Unit
FT-715	Condensate Residue	Vortex Flowmeter	Foundation Fieldbus	Field	0-300	m ³ /h
FIC-715	Condensate Residue	Flow Indicator and Control	System Internal	DCS	0-300	m ³ /h
FQI-715	Condensate Residue	Flow Accumulation	System Internal	DCS	—	ton
FV-715	Condensate Residue	Globe-Style Control Valve	Foundation Fieldbus	Field	0-100	%
PT-717	Output Pressure	Pressure Transmitter	Foundation Fieldbus	Field	0-25	barg
PI-717	Output Pressure	Pressure Indicator	System Internal	DCS	0-25	barg



FIGURE 6. Graphic user interface on the operator workstation in the central control room

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

technology. The vortex flowmeter (FT-715), DCS controller (FIC-715), and control valve (FV-715) are utilized to control the flow rate of condensate residue. The purpose of this feedback control loop is to maintain the flow rate at the desired setpoint. In addition, the flow accumulation of condensate residue transferred to the refining plant is also monitored in real-time. The pipeline output pressure is measured by the pressure transmitter (PT-717), and this measured value is sent to be monitored at the central control room (see Figure 6).

4. Evaluating Cavitation of the Selected Control Valve [6,7]. Process conditions that the control valve will encounter in service are summarized in Table 2 for selecting the type and size of control valve (FV-715) used in the proposed modification. To determine the valve sizing coefficient, C_v , for the valve used to control the flow of liquid, the liquid valve sizing equation (metric unit) can be given by

$$C_v = 1.17q\sqrt{G_f/\Delta P} \quad (1)$$

where q is the flow rate (m^3/h), G_f is the specific gravity of the liquid at operating temperature, and ΔP is the pressure drop across the valve, or inlet minus outlet pressure (bar). Substituting the process data from Table 2 into (1), the C_v values for the minimum flow rate, normal flow rate, and maximum flow rate are equal to 6.52, 33.3, and 90.7, respectively. From these results of valve sizing calculations, major details of the selected control valve are as follows.

Manufacturer: Masoneilan, **Model:** 88-41335, **Size:** 6 inch,

Type: ANSI Class 300 globe valve, **Design:** Anti-Cavitation, Single State

Flow Characteristic: Equal Percentage, **C_v Range:** 3.9-155

In order to evaluate the control valve cavitation, a cavitation index at service conditions, σ (service), can be stated as

$$\sigma(\text{service}) = \frac{P_1 - P_v}{P_1 - P_2} \quad (2)$$

where P_1 is the valve inlet static pressure, P_v is the absolute fluid vapor pressure of the liquid at the inlet temperature, and P_2 is the valve outlet static pressure.

TABLE 2. Process conditions from hydraulic calculation used for sizing control valve

Fluid	Fluid State	Condensate Residue		Liquid	
Flow Rate @ Min./Normal/Max.		21.00	92.77	155.0	m^3/h
Inlet Pressure/Valve Drop @ Min. Flow		14.63	barg	11.79	bar
Inlet Pressure/Valve Drop @ Normal Flow		14.07	barg	8.82	bar
Inlet Pressure/Valve Drop @ Max. Flow		12.56	barg	3.3	bar
Design Temperature	Operating Temp	63	$^{\circ}\text{C}$	38	$^{\circ}\text{C}$
Design Pressure	Mol. Weight	29.5	barg	—	
Viscosity	Upstream Density	2.04	cst	830	kg/m^3
Vapor Press @ Op Temp	True Critical Press	0.002	bara	21	bara
Specific Gravity @ Op Temp		0.83			

There are five cavitation levels for determining the degree to which cavitation is occurring, i.e., incipient, constant, incipient damage, choking, and maximum vibration. The cavitation at point of 'incipient cavitation' is not damaging, whereas the cavitation at point of 'maximum vibration cavitation' can subject valve and piping to severe damage. The 'incipient cavitation' level is utilized for evaluating the valve selected to use in the proposed modification. The point of 'incipient cavitation' at which the first bubbles are

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

formed can be predicted by using the coefficient of incipient cavitation, σ_i , which can be written as

$$\sigma_i = 1/K_C \quad (3)$$

where K_C is the incipient cavitation factor specified by the valve manufacturer.

From technical datasheet of the control valve selected, the factor K_C is equal to 0.83, and thus the coefficient σ_i is equal to 1.2 at the point where incipient cavitation begins to occur. Comparing between two coefficient values, σ (service) and σ_i , if the σ (service) is greater than σ_i , then it can be approximately evaluated that no incipient cavitation occurs in the selected valve at service conditions.

Practically, the cavitation behavior and cavitation coefficients are not constant with either different upstream pressure or valve size. The change in the value of a cavitation coefficient associated with change in pressure is defined as the pressure scale effect (*PSE*), which can be stated as

$$PSE = [(P_1 - P_v)/(P_1 - P_v)_R]^a \quad (4)$$

where the subscript R refers to reference pressure, and the exponent a is related to the selected valve type. The change in the value of a cavitation coefficient associated with valve size (d) is defined as the size scale effect (*SSE*), which can be given by

$$SSE = (d/d_R)^b \quad (5)$$

$$b = 0.068 (C_v/N_1 d^2)^{1/4} \quad (6)$$

where d_R and N_1 refer to the reference value and the numerical value of the cavitation coefficient, respectively. The cavitation coefficient of the selected control valve, σ_v , can be expressed by

$$\sigma_v = (\sigma_R SSE - 1) PSE + 1 \quad (7)$$

where σ_R is a reference coefficient, which can be chosen as the value of the coefficient of incipient cavitation σ_i . The calculated σ_v can be compared to σ (service) for evaluating the cavitation in the control valve. If σ (service) is greater than σ_v , then the selected valve will operate at a level of cavitation less severe than that for which the valve reference coefficient σ_R was determined by the manufacturer.

Using (2)-(7), process conditions in Table 2, and the technical datasheet of the selected control valve, the calculation and comparison results for evaluating the valve are summarized in Table 3. From comparison results between σ (service) and σ_i , it is seen that σ (service) is greater than σ_i for all three flow rate conditions, and thus it can be approximately evaluated that incipient cavitation cannot occur in the selected valve at specific service conditions. From comparison results between σ (service) and σ_v , it is shown that σ (service) is less than σ_v for minimum flow rate condition only; therefore, it can be evaluated definitely that incipient cavitation can occur when the pressure drop across the

TABLE 3. Calculation and comparison results for evaluating the selected control valve

Flow Rate (m ³ /h)	C_v	% Opening	Predicted SPL (dBA)	σ_i (σ_R)	σ (service)	σ_v	Comparison Results
21.00 (Min.)	6.52	20	78	1.2	1.25	1.258	σ (service) > σ_i σ (service) < σ_v
92.77 (Normal)	33.3	45	75	1.2	1.61	1.28	σ (service) > σ_i σ (service) > σ_v
155.0 (Max.)	90.7	76	60	1.2	3.85	1.29	σ (service) > σ_i σ (service) > σ_v

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

valve is relatively high in the case of extremely low flow rates. However, incipient cavitation usually does not cause damage. Additionally, no objectionable noise, vibration, or damage to valve equipment occurs at normal and maximum flow rate conditions.

5. **Conclusions.** A useful technique for modification of existing flow metering system in hydrocarbon plant has been proposed in this paper. The proposed modification has been required to avoid the damaging effects of control valve cavitation in the replaced flow metering skid. In addition, how to use cavitation coefficients to evaluate the selected control valve for installation in the new monitoring and control system in specific service conditions has been also described. Selecting and sizing the right control valve to prevent the damaging cavitation has been verified by evaluation results. In future work, cavitation phenomena in the proposed modification system will be experimentally investigated.

REFERENCES

- [1] T. A. Hughes, *Measurement and Control Basics*, ISA, USA, 2002.
- [2] P. W. Murrill, *Fundamentals of Process Control Theory*, ISA, USA, 2000.
- [3] H. D. Baumann, *Control Valve Primer: A User's Guide*, ISA, USA, 2009.
- [4] J. Bai, J. Ruan and S. Ruan, Investigate of cavitation phenomena in the valve port of the high frequency electro-hydraulic digital valve, *Proc. of the 2010 IEEE International Conference on Mechatronics and Automation*, pp.1-6, 2010.
- [5] H. Shao, Y. Ma and X. Men, The denoise design of pressure reducing control valve in thermal power plant, *Proc. of the International Conference on Electronic and Mechanical Engineering and Information Technology*, pp.4322-4325, 2011.
- [6] ISA-75.01.01-2007, *Control Valve Sizing Equations*, ISA, USA, 2007.
- [7] ISA-RP75.23-1995, *Considerations for Evaluating Control Valve Cavitation*, ISA, USA, 1995.

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล นายพงษ์ศักดิ์ พิลานุ่น
 วัน เดือน ปีเกิด 13 กุมภาพันธ์ 2522
 ที่อยู่ 62/40 หมู่บ้านพีเอ็มซี 1 หมู่ที่ 1 ต.หนองปรือ อ.บางละมุง
 จ.ชลบุรี 20150
 ประวัติการศึกษา 2545 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม
 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
 ประสบการณ์การทำงาน
 พ.ศ.2549 - 2560 ตำแหน่งวิศวกร บริษัท พีทีที โกลบอล เคมิคอล จำกัด (มหาชน)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้