

การใช้ฟาว์เดชั่นฟิลด์บัสแทนที่ระบบแอนะล็อกในกระบวนการผลิต
น้ำตาลทรายดิบ

REPLACEMENT OF ANALOG WITH FOUNDATION FIELDBUS
IN RAW CANE SUGAR PRODUCTION



วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอัตโนมัติ

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2556

KMITL-2013-EN-M-257-082

การใช้ฟาว์นเดชันฟิลด์บัสแทนที่ระบบแอนะล็อกในกระบวนการผลิต
น้ำตาลทรายดิบ

REPLACEMENT OF ANALOG WITH FOUNDATION FIELDBUS
IN RAW CANE SUGAR PRODUCTION



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอัตโนมัติ
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2556

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้เฉพาะของงานเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

KMITL-2013-EN-M-257-082

REPLACEMENT OF ANALOG WITH FOUNDATION FIELDBUS
IN RAW CANE SUGAR PRODUCTION



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

2013

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
KMUTL-2013-EN-M-257-082
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2013

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การใช้ฟาวน์เดชันฟิลต์บัสแทนที่ระบบแอนะล็อกในกระบวนการผลิตน้ำตาลทรายดิบ
นักศึกษา	นายชัยวัฒน์ เจตนาเชี่ยวชาญกิจ
รหัสนักศึกษา	54613403
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมอัตโนมัติ
พ.ศ.	2556
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	รศ.ดร.อัมพวัน จุลเสรีวงศ์

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์นี้มุ่งเน้นการใช้ดิจิทัลฟิลต์บัสแทนที่การสื่อสารข้อมูลแบบแอนะล็อกที่มีอยู่เดิมเพื่อเป็นโครงสร้างพื้นฐานของระบบอัตโนมัติ การวิเคราะห์ด้วยการเปรียบเทียบระหว่างระบบแอนะล็อกแบบเดิมและระบบฟาวน์เดชันฟิลต์บัสสำหรับการติดตั้งระบบวัดคุมใหม่ในกระบวนการผลิตน้ำตาลทรายดิบถูกอธิบายเพื่อเป็นตัวอย่างกรณีศึกษา การสร้างเซกเมนต์ทางกายภาพโดยใช้ฟาวน์เดชันฟิลต์บัสแบ่งเป็น 2 กรณี คือ การใช้วาล์วควบคุม 1 ตัวต่อเซกเมนต์ และการใช้วาล์วควบคุม 2 ตัวต่อเซกเมนต์ ผลการเปรียบเทียบแสดงให้เห็นว่า การใช้เทคโนโลยีฟาวน์เดชันฟิลต์บัสช่วยประหยัดค่าใช้จ่ายด้านการติดตั้งและการคอมมิชชันนิ่ง การเพิ่มจำนวนเซกเมนต์เป็นผลทำให้ค่าใช้จ่ายด้านวัสดุอุปกรณ์สูงขึ้น จึงมีการประหยัดค่าใช้จ่ายด้านวัสดุอุปกรณ์เฉพาะในกรณีที่สร้างฟิลต์บัสเซกเมนต์แต่ละเซกเมนต์ที่มีวาล์วควบคุม 1 ตัว ผลการศึกษาสามารถใช้เป็นข้อมูลที่มีประโยชน์ในการวางแผนและการตัดสินใจสำหรับโครงการทั้งขนาดเล็กหรือใหญ่ที่กำลังจะเกิดขึ้น

Thesis Title	Replacement of Analog With Foundation Fieldbus in Raw Cane Sugar Production
Student	Mr. Chaiwat Jetanacheawchankij
Student ID.	54613403
Degree	Master of Engineering
Program	Automation Engineering
Year	2013
Thesis Advisor	Assoc. Prof. Dr. Amphawan Julsereewong

ABSTRACT

This thesis focuses on a digital fieldbus replacement for existing analog communications to bring automation infrastructure. Comparative analysis between conventional analog and Foundation Fieldbus systems for new instrumentation installations in a raw cane sugar production is described as an illustrative case study. Implementing Foundation Fieldbus physical segments is divided into two cases: use of one control valve per segment and use of two control valves per segment. Comparison results show that using Foundation Fieldbus technology provides saving in installation and commissioning costs. Increasing number of segments results in higher cost of materials. Cost saving in materials used is thus occurred for only the case of implementing each Fieldbus segment with one control valve. The studied results can be useful data to support the planning and decision making for any small or large upcoming projects.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลงด้วยดี ด้วยความรู้ ความคิดริเริ่ม คำแนะนำและคำปรึกษาในการแก้ไขปัญหาต่าง ๆ อย่างทุ่มเทจาก รศ.ดร.อัมพวัน จุลเสรีวงศ์ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผู้เขียนรู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์จากท่านและขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง ขอกราบขอบพระคุณ รศ.ประสิทธิ์ จุลเสรีวงศ์ อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมการวัดและควบคุม ที่ได้ให้การสนับสนุน และให้กำลังใจ ตลอดจนให้คำปรึกษาในทุก ๆ ด้าน

ขอกราบขอบพระคุณ รศ.ดร.จิระศักดิ์ ชาญวุฒิชัยธรรม รองคณบดีฝ่ายส่งเสริมและพัฒนากิจการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ และ ผศ.ดร.กฤษณ์ อ่างแก้ว ผู้ช่วยคณบดีฝ่ายสารสนเทศ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ที่เป็นแรงผลักดันให้ผู้เขียนได้ศึกษาต่อในระดับปริญญาโท นี้

ขอกราบขอบพระคุณ อาจารย์ ดร.เชิดพงษ์ ตีเสิศไพบุลย์ หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมเครื่องมือวัดและอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ และอาจารย์ ดร.ไชยรินทร์ อัครวโรดม อาจารย์ทักษิณ แสงสุวรรณ อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมเครื่องมือวัดและอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ที่ได้ให้การสนับสนุน และให้กำลังใจ ตลอดจนให้คำปรึกษาในทุก ๆ ด้าน

สุดท้ายขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ที่รัก ห่วงใย และให้การสนับสนุนในการศึกษา ด้วยดีมาโดยตลอด รวมทั้งญาติ พี่ น้อง และเพื่อน ๆ ที่เป็นกำลังใจ พร้อมทั้งให้ความช่วยเหลือในด้านต่าง ๆ แก่ผู้เขียนมาโดยตลอด

ชัยวัฒน์ เจตนาเชี่ยวชาญกิจ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญรูป.....	IX
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	3
1.3 การนำเสนอหลักการใหม่ของวิทยานิพนธ์.....	3
1.4 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์.....	4
1.5 รายละเอียดของวิทยานิพนธ์.....	4
บทที่ 2 กระบวนการผลิตน้ำตาลทรายดิบ.....	5
2.1 กล่าวนำ.....	5
2.2 กระบวนการผลิตน้ำตาลทรายดิบ.....	5
2.3 การเตรียมอ้อยและการหีบสกัดอ้อย.....	6
2.3.1 การรับอ้อยเข้าโรงงาน.....	6
2.3.2 การเตรียมอ้อยก่อนเข้าหีบ.....	6
2.3.3 การหีบอ้อย.....	7
2.3.4 เครื่องมือวัดและการควบคุมในการเตรียมอ้อยและการหีบสกัดอ้อย.....	8
2.4 การทำใสน้ำอ้อย.....	14
2.4.1 ขั้นตอนการทำใสน้ำอ้อย.....	14
2.4.2 เครื่องมือวัดและการควบคุมในการทำใสน้ำอ้อย.....	16
2.5 การต้มระเหยน้ำอ้อย.....	18
2.5.1 ขั้นตอนการต้มระเหยน้ำอ้อย.....	18
2.5.2 เครื่องมือวัดและการควบคุมในการต้มระเหยน้ำอ้อย.....	20
2.6 การตกผลึก.....	23
2.6.1 ขั้นตอนการตกผลึก.....	23
2.6.2 ขั้นตอนการปั่นแยกผลึก.....	25

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.6.3 ขั้นตอนการอบแห้งน้ำตาล.....	26
2.6.4 ขั้นตอนการบรรจุภัณฑ์.....	27
2.6.5 เครื่องมือวัดและการควบคุมในการตกผลึก.....	27
2.7 ระบบวัดคุมแบบบนะลอก 4-20 mA	30
2.8 ค่าใช้จ่ายในการลงทุนสำหรับระบบวัดคุมแบบแอนะลอก 4-20 mA ในกรณีศึกษา.....	30
2.8.1 ค่าใช้จ่ายด้านวัสดุและอุปกรณ์.....	32
2.8.2 ค่าใช้จ่ายด้านการติดตั้ง.....	36
2.8.3 ค่าใช้จ่ายในการคอมมิชชั่นหนึ่ง	38
บทที่ 3 เทคโนโลยีฟาวน์เดชันฟิลด์บัส.....	39
3.1 กล่าวนำ.....	39
3.2 การเชื่อมต่ออุปกรณ์ฟาวน์เดชันฟิลด์บัส.....	39
3.3 อุปกรณ์ที่ใช้ใน H1 ฟิลด์บัสเซกเมนต์.....	41
3.3.1 สายสัญญาณ.....	41
3.3.2 เทอร์มินเตอร์.....	42
3.3.3 กล่องเชื่อมต่อสายสัญญาณ.....	44
3.3.4 แหล่งจ่ายไฟฟ้า.....	44
3.3.5 พาวเวอร์คอนดิชันเนอร์.....	46
3.4 การออกแบบ H1 ฟิลด์บัสเซกเมนต์.....	47
3.3.1 ระดับความเสี่ยงในการใช้งานฟิลด์บัสเซกเมนต์.....	47
3.3.2 ลักษณะโครงข่ายของฟิลด์บัสเซกเมนต์.....	47
3.3.3 การคำนวณแหล่งจ่ายไฟฟ้าฟาวน์เดชันฟิลด์บัส.....	50
บทที่ 4 การใช้เทคโนโลยีฟาวน์เดชันฟิลด์บัสในกรณีศึกษา.....	56
4.1 กล่าวนำ.....	56
4.2 อุปกรณ์ระดับฟิลด์ที่จำเป็นสำหรับการติดตั้งที่ใช้ในกรณีศึกษา.....	56
4.3 ค่าใช้จ่ายด้านวัสดุและอุปกรณ์.....	57
4.3.1 การประมาณค่าจำนวนฟิลด์บัสเซกเมนต์ของระบบควบคุมแบบ PID.....	57
4.3.2 การประมาณค่าจำนวนฟิลด์บัสเซกเมนต์ของดิจิตอลอินพุต.....	58

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.3.3 การประมาณค่าจำนวนฟิลต์บัสเซกเมนต์ของแอนะล็อกอินพุต.....	58
4.3.4 การประมาณค่าจำนวนการ์ดฟาวน์เดชันฟิลต์บัสอินพุต/เอาต์พุต.....	59
4.3.5 การประมาณค่าจำนวนการ์ดสื่อสารฟาวน์เดชันฟิลต์บัส H1 (NEST).....	60
4.3.6 การประมาณค่าจำนวนแหล่งจ่ายไฟฟ้าฟาวน์เดชันฟิลต์บัส.....	61
4.3.7 การประมาณค่าจำนวนกล่องเชื่อมต่อฟาวน์เดชันฟิลต์บัส.....	61
4.3.8 ตู้ควบคุม.....	62
4.3.9 สายสัญญาณ.....	62
4.4 ค่าใช้จ่ายด้านการติดตั้ง.....	64
4.4.1 การเชื่อมต่อสายสัญญาณ.....	64
4.4.2 การติดตั้งตู้ควบคุม.....	65
4.4.3 การลากสายสัญญาณ.....	65
4.4.4 การเดินรางเก็บสายไฟ.....	65
4.5 ค่าใช้จ่ายในการคอมมิชชันนิ่ง.....	66
บทที่ 5 ผลการเปรียบเทียบ บทสรุปและข้อเสนอแนะ.....	68
5.1 กล่าวนำ.....	68
5.2 ผลการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการใช้ระบบแอนะล็อกและระบบฟิลต์บัส.....	68
5.2.1 ผลการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายด้านวัสดุและอุปกรณ์.....	68
5.2.2 ผลการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการติดตั้ง.....	71
5.2.3 ผลการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการคอมมิชชันนิ่ง.....	72
5.2.3 สรุปผลการเปรียบเทียบ.....	73
5.3 บทสรุป.....	75
5.4 ข้อเสนอแนะ.....	75
เอกสารอ้างอิง.....	76
ภาคผนวก.....	79
ประวัติผู้เขียน.....	88

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 เครื่องมือวัดที่ติดตั้งใช้งานในการควบคุมสำหรับขั้นตอนการเตรียมอ้อย.....	10
2.2 เครื่องมือวัดที่ติดตั้งใช้งานในการควบคุมสำหรับขั้นตอนการหีบสกัดอ้อย.....	12
2.3 เครื่องมือวัดที่ติดตั้งใช้งานในการควบคุมสำหรับขั้นตอนการพรมน้ำอ้อย.....	13
2.4 พารามิเตอร์ที่จำเป็นในการใช้ตรวจสอบและการควบคุมในการเตรียมอ้อยและการหีบสกัดอ้อย.....	13
2.5 อุปกรณ์ระดับฟิลต์ที่จำเป็นสำหรับการติดตั้งในการเตรียมอ้อยและการหีบสกัดอ้อย.....	13
2.6 เครื่องมือวัดที่ติดตั้งใช้งานในการควบคุมสำหรับการพักใส่น้ำอ้อย.....	17
2.7 พารามิเตอร์ที่จำเป็นในการใช้ตรวจสอบและการควบคุมในการพักใส่น้ำอ้อย.....	18
2.8 อุปกรณ์ระดับฟิลต์ที่จำเป็นสำหรับการติดตั้งในการพักใส่น้ำอ้อย.....	18
2.9 เครื่องมือวัดที่ติดตั้งใช้งานในการควบคุมสำหรับการต้มระเหยน้ำอ้อย.....	21
2.10 พารามิเตอร์ที่จำเป็นในการใช้ตรวจสอบและการควบคุมการต้มระเหยน้ำอ้อย.....	23
2.11 อุปกรณ์ระดับฟิลต์ที่จำเป็นสำหรับการติดตั้งในการต้มระเหยน้ำอ้อย.....	23
2.12 เครื่องมือวัดที่ติดตั้งใช้งานในการควบคุมสำหรับขั้นตอนการเคี้ยวน้ำตาล.....	28
2.13 พารามิเตอร์ที่จำเป็นในการที่ใช้ตรวจสอบและการควบคุมการตกผลึกน้ำตาล.....	29
2.14 อุปกรณ์ระดับฟิลต์ที่จำเป็นสำหรับการติดตั้งการตกผลึกน้ำตาล.....	29
2.15 พารามิเตอร์ที่จำเป็นในการใช้ตรวจสอบและการควบคุม.....	31
2.16 อุปกรณ์ระดับฟิลต์ที่จำเป็นสำหรับการติดตั้ง.....	31
2.17 การสรุปค่าใช้จ่ายของวัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้สัญญาณ 4-20 mA.....	36
2.18 การสรุปค่าใช้จ่ายในการติดตั้งระบบควบคุมแบบสัญญาณ 4-20 mA.....	37
2.19 การสรุปค่าใช้จ่ายในการคอมมิชชันนิ่งแบบสัญญาณ 4-20 mA.....	38
3.1 มาตรฐานสายสัญญาณฟาวด์เชนฟิลต์บัสแต่ละประเภท.....	42
3.2 ประเภทของแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้า.....	45
3.3 ความยาวสูงสุดของสาย Spur ที่สามารถใช้งานได้.....	48
4.1 พารามิเตอร์จำเป็นในการที่ใช้ตรวจสอบและมีการควบคุมในกรณีที่ใช้ศึกษา.....	56
4.2 อุปกรณ์ระดับฟิลต์ที่จำเป็นสำหรับการติดตั้งในกรณีที่ใช้ศึกษา.....	57
4.3 การสรุปค่าใช้จ่ายของวัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้เทคโนโลยีฟาวด์เชนฟิลต์บัส ในกรณี 1 วัลวซึ่งมีวัลวควบคุม 2 ตัว/ฟิลต์บัสเซกเมนต์	63

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.4 การสรุปค่าใช้จ่ายของวัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้เทคโนโลยีฟาวน์เดชันฟิลด์บัส ในกรณีที่ 2 ซึ่งมีวาล์วควบคุม 1 ตัว/ฟิลด์บัสเซกเมนต์.....	64
4.5 การสรุปค่าใช้จ่ายในการติดตั้งเทคโนโลยีฟาวน์เดชันฟิลด์บัสในกรณีที่ 1 ซึ่งมีวาล์วควบคุม 2 ตัว/ฟิลด์บัสเซกเมนต์.....	66
4.6 การสรุปค่าใช้จ่ายในการติดตั้งเทคโนโลยีฟาวน์เดชันฟิลด์บัส ในกรณีที่ 2 ซึ่งมีวาล์วควบคุม 1 ตัว/ฟิลด์บัสเซกเมนต์.....	66
4.7 การสรุปค่าใช้จ่ายในการคอมมิชชันนิ่งเทคโนโลยีฟาวน์เดชันฟิลด์บัสในกรณีที่ 1 ซึ่งมีวาล์วควบคุม 2 ตัว/ฟิลด์บัสเซกเมนต์.....	66
4.8 การสรุปค่าใช้จ่ายในการคอมมิชชันนิ่งเทคโนโลยีฟาวน์เดชันฟิลด์บัส ในกรณีที่ 2 ซึ่งมีวาล์วควบคุม 1 ตัว/ฟิลด์บัสเซกเมนต์.....	67
5.1 ผลการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายด้านวัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ระบบแอนะล็อกและเทคโนโลยีฟาวน์เดชันฟิลด์บัส กรณีที่ 1 ซึ่งมีวาล์วควบคุม 2 ตัว/ฟิลด์บัสเซกเมนต์.....	68
5.2 ผลการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายด้านวัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ระบบแอนะล็อกและเทคโนโลยีฟาวน์เดชันฟิลด์บัส กรณีที่ 2 ซึ่งมีวาล์วควบคุม 1 ตัว/ฟิลด์บัสเซกเมนต์.....	69
5.3 ผลการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการติดตั้งที่ใช้ระบบแอนะล็อกและเทคโนโลยีฟาวน์เดชันฟิลด์บัส กรณีที่ 1 ซึ่งมีวาล์วควบคุม 2 ตัว/ฟิลด์บัสเซกเมนต์.....	71
5.4 ผลการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการติดตั้งที่ใช้ระบบแอนะล็อกและเทคโนโลยีฟาวน์เดชันฟิลด์บัส กรณีที่ 2 ซึ่งมีวาล์วควบคุม 1 ตัว/ฟิลด์บัสเซกเมนต์.....	71
5.5 ผลการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายการคอมมิชชันนิ่งที่ใช้ระบบแอนะล็อกและเทคโนโลยีฟาวน์เดชันฟิลด์บัส กรณีที่ 1 ซึ่งมีวาล์วควบคุม 2 ตัว/ฟิลด์บัสเซกเมนต์.....	73
5.6 ผลการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายการคอมมิชชันนิ่งที่ใช้ระบบแอนะล็อกและเทคโนโลยีฟาวน์เดชันฟิลด์บัส กรณีที่ 2 ซึ่งมีวาล์วควบคุม 1 ตัว/ฟิลด์บัสเซกเมนต์.....	73
5.7 ผลการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายทั้งหมดที่ใช้ระบบแอนะล็อกและเทคโนโลยีฟิลด์บัส.....	74

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1	ขั้นตอนของกระบวนการผลิตน้ำตาลทรายดิบ.....5
2.2	แผนภาพแสดงขั้นตอนการเตรียมอ้อยก่อนการเข้าหีบ.....6
2.3	ลักษณะการจัดวางลูกหีบ.....7
2.4	การพรมน้ำแบบผสม.....8
2.5	ระบบควบคุมสำหรับขั้นตอนการเตรียมอ้อย.....10
2.6	ระบบควบคุมสำหรับขั้นตอนการหีบสกัดอ้อย.....11
2.7	ระบบควบคุมสำหรับขั้นตอนการพรมน้ำอ้อย.....12
2.8	แผนผังกระบวนการทำใส่น้ำอ้อยในการผลิตน้ำตาลทราย.....14
2.9	ขั้นตอนการเติมปูนขาวทำใส่น้ำอ้อย.....15
2.10	ขั้นตอนการเติมก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ทำใส่น้ำอ้อย.....16
2.11	ระบบควบคุมกระบวนการพักใส่น้ำอ้อย.....17
2.12	หม้อต้มระเหยน้ำอ้อยแบบ Calandria Evaporator.....19
2.13	วิธีการต้มระเหยน้ำอ้อยแบบ Fifth Effect Evaporator.....20
2.14	ระบบควบคุมกระบวนการต้มระเหยน้ำอ้อย.....21
2.15	ลักษณะหม้อเคี้ยวน้ำตาลแบบ Calandria Pan.....24
2.16	วิธีการต้มเคี้ยวน้ำตาลแบบสามครั้ง.....25
2.17	หม้อปั่นแยกผลึกน้ำตาลแบบทำงานเป็นกะ.....25
2.18	ลักษณะของหม้อปั่นแบบต่อเนื่อง.....26
2.19	ระบบควบคุมสำหรับขั้นตอนการเคี้ยวน้ำตาล.....28
2.20	การเชื่อมต่อระบบวัดคุมแบบแอนะล็อก 4-20 mA.....30
2.21	การเดินสายสัญญาณ 4 - 20 mA.....35
3.1	โครงสร้างของฟาวน์เดชันฟิลด์บัส.....39
3.2	วงจรมูลของเทคโนโลยีฟาวน์เดชันฟิลด์บัส H1.....40
3.3	การติดต่อสื่อสารระหว่างฟาวน์เดชันฟิลด์บัสกับอุปกรณ์.....40
3.4	อุปกรณ์ที่จำเป็นต้องใช้ในระบบฟาวน์เดชันฟิลด์บัสในหนึ่งเซกเมนต์.....41
3.5	ลักษณะสายสัญญาณฟาวน์เดชันฟิลด์บัสแต่ละประเภท.....42
3.6	วงจรมูลเทอร์มิเนเตอร์.....43
3.7	ตัวอย่างเทอร์มิเนเตอร์ที่มีจำหน่าย.....43
3.8	ลักษณะการต่อใช้งานของเทอร์มิเนเตอร์.....43
3.9	ลักษณะการต่อใช้งานของกล่องเชื่อมต่อสายสัญญาณ.....44

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.10 ตัวอย่างกล่องเชื่อมต่อสายสัญญาณที่มีจำหน่าย.....	44
3.11 ตัวอย่างของแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าที่มีจำหน่าย.....	45
3.12 วงจรสมมูลของพาวเวอร์คอนดิชันเนอร์.....	46
3.13 ตัวอย่างของพาวเวอร์คอนดิชันเนอร์ที่มีจำหน่าย.....	46
3.14 โครงสร้างแบบจุดต่อจุด.....	47
3.15 โครงสร้างแบบต้นไม้.....	48
3.16 โครงสร้างแบบบัส.....	49
3.17 โครงสร้างแบบลูกโซ่.....	49
3.18 ตัวอย่างที่ 1 การคำนวณแหล่งจ่ายไฟฟ้าฟาวด์เดชั่นฟิลด์บัส.....	51
3.19 ตัวอย่างที่ 2 การคำนวณแหล่งจ่ายไฟฟ้าฟาวด์เดชั่นฟิลด์บัส.....	52
4.1 ลักษณะการเดินสายฟาวด์เดชั่นฟิลด์บัส.....	62
5.1 กราฟเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายทั้งหมดที่ใช้ระบบแอนะล็อกและระบบฟิลด์บัส.....	74



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในระบบควบคุมอัตโนมัติมีการเชื่อมต่อระหว่างเครื่องมือวัด (Instrument) ตัวควบคุม (Controller) อุปกรณ์ควบคุมสุดท้าย (Final Control Element) และอุปกรณ์อื่น ๆ เช่น ตัวบันทึกค่า (Recorder) โดยอุปกรณ์ต่าง ๆ เหล่านี้อาจมาจากบริษัทผู้ผลิตเดียวกันหรือต่างบริษัทผู้ผลิต เพื่อให้ อุปกรณ์ต่าง ๆ ภายในระบบควบคุมสามารถเชื่อมต่อและรับ-ส่งสัญญาณข้อมูลกันได้ จึงได้มีการกำหนด สัญญาณมาตรฐานในระบบการส่งสัญญาณ (Transmission System) ขึ้นมาเป็นข้อตกลงระหว่างกลุ่ม บริษัทผู้ผลิตและผู้ใช้ในอุตสาหกรรม [1] ในระยะเริ่มแรกของยุคอุตสาหกรรมในช่วงทศวรรษ 1940 ได้มีการกำหนดมาตรฐานการส่งสัญญาณแบบนิวแมติก (Pneumatic) หรือแบบระบบลม โดยใช้มาตรฐานที่ นิยมใช้กันมากคือ 3-15 psig (Pounds Per Square Inch Gage) หรือ 20-100 kPa (Kilo Pascals) และที่พบน้อยคือ 6-30 psig หรือ 40-200 kPa สำหรับฟังก์ชันการทำงานของตัวควบคุมในยุคนี้ยังไม่ สลับซับซ้อนมากนัก เน้นการควบคุมแบบลูปเดียว (Single Control Loop) เป็นหลัก ต่อมาในช่วง ทศวรรษ 1960 ได้มีการพัฒนาสัญญาณไฟฟ้ามาตรฐาน คือ 0-5 V และ 4-20 mA หรือสัญญาณ แอนะล็อกโดยฟังก์ชันการทำงานของตัวควบคุมสามารถทำงานได้มากขึ้นโดยรองรับกับฟังก์ชันทาง คณิตศาสตร์หรือลอจิกเกต (Logic Gate) และสามารถเชื่อมโยงได้หลาย ๆ ลูปควบคุม ต่อมาในช่วง ทศวรรษ 1980 ได้พัฒนาระบบควบคุมเป็นระบบไฟฟ้าในรูปแบบสัญญาณดิจิทัลเพื่อทำให้การควบคุมมี ความสะดวกมากยิ่งขึ้น โดยมีฟังก์ชันการทำงานที่หลากหลายซึ่งสามารถปรับค่าได้เป็นเชิงตัวเลข เช่น การปรับค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมพีไอดี (PID Controller) แต่ระบบส่งสัญญาณก็ยังเป็นระบบไฟฟ้า 4-20 mA นอกจากนี้ได้มีการเริ่มพัฒนาการสื่อสารข้อมูลแบบดิจิทัลฟิลด์บัส (Fieldbus) เพื่อลดการใช้ สายในการเชื่อมต่ออุปกรณ์ระดับฟิลด์และรองรับการควบคุมที่ยุ่งยากและซับซ้อนมากขึ้น [2],[3] เนื่องจากความพยายามในการพัฒนาการสื่อสารข้อมูลแบบดิจิทัลฟิลด์บัสของหลายกลุ่มผู้ผลิตเครื่องมือ วัดและตัวควบคุมทำให้ในปัจจุบันมีหลากหลายเทคโนโลยีมาก ทำให้ผู้ใช้งานเลือกใช้ตามความต้องการซึ่ง แตกต่างจากมาตรฐานการส่งสัญญาณไฟฟ้า 4-20 mA ที่มีรูปแบบเดียว แต่ได้มีความพยายามที่จะลด ปัญหาดังกล่าวนี้ โดยการรวมตัวกันของกลุ่มบริษัทผู้ผลิตเพื่อพัฒนาและกำหนดมาตรฐานในการสื่อสาร แบบดิจิทัลร่วมกันหลายองค์กรในช่วงทศวรรษ 1990 [4]-[15] โพรโตคอลหนึ่งที่ได้รับนิยมนในช่วง รอยต่อจากการส่งสัญญาณแบบแอนะล็อกเป็นดิจิทัล คือ โพรโตคอล HART (Highway Addressable Route Transducer) ซึ่งถูกพัฒนาโดยองค์การ HART Communication Foundation [16] เนื่องจา กเป็นการผสมผสานการสื่อสารแบบแอนะล็อกกับดิจิทัลเข้าด้วยกัน การส่งข้อมูลดิจิทัลทำได้บนสายส่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อมูลแบบเดิมที่ใช้กับการส่งสัญญาณ 4-20 mA ทำให้การลงทุนติดตั้งระบบไม่สูงมากนัก ในช่วงทศวรรษ 2000 ได้มีการเริ่มใช้งานระบบฟิลด์บัสอย่างเต็มรูปแบบเพื่อรองรับกับระบบอัตโนมัติทางอุตสาหกรรม [2],[17]-[22]

ในเครือข่ายทางอุตสาหกรรม (Industrial Network) อาจแบ่งได้ 3 ประเภท [23] คือ เครือข่ายเซนเซอร์ (Sensor Network) เครือข่ายฟิลด์บัส (Fieldbus Network) และเครือข่ายระดับการควบคุม (Control-Level Network) แต่เนื่องจากความพยายามของผู้ผลิตที่ต้องการสร้างจุดเด่นหรือเพิ่มความสามารถในการทำงานของระบบ จึงมีบางเทคโนโลยีที่ไม่อาจจะระบุได้ว่าเทคโนโลยีนั้นเป็นเครือข่ายประเภทใด เช่น DeviceNet ที่สามารถประยุกต์ใช้งานได้ทั้งเครือข่ายเซนเซอร์และเครือข่ายฟิลด์บัสทั้งนี้ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติ (Specification) ของอุปกรณ์ที่เชื่อมต่อ สำหรับเทคโนโลยีฟาวนด์ชันฟิลด์บัส (Foundation Fieldbus) [24] เป็นเทคโนโลยีหนึ่งตามมาตรฐาน IEC61158 (Fieldbus Standard) ที่พัฒนาขึ้นโดยองค์กร Foundation Fieldbus มีเทคโนโลยีย่อย 2 แบบ คือ H1 และ HSE โดยใช้ฟาวนด์ชันฟิลด์บัส H1 จัดเป็นเครือข่ายฟิลด์บัส และฟาวนด์ชันฟิลด์บัส HSE จัดเป็นเครือข่ายระดับการควบคุม เทคโนโลยีฟาวนด์ชันฟิลด์บัสเป็นหนึ่งในเทคโนโลยีที่นิยมใช้ในกระบวนการอัตโนมัติ (Process Automation) เช่น อุตสาหกรรมน้ำมันและแก๊ส อุตสาหกรรมปิโตรเคมี อุตสาหกรรมเยื่อกระดาษและกระดาษ อุตสาหกรรมอาหารและเครื่องดื่ม รวมไปถึงการผลิตไฟฟ้า ข้อดีสำหรับเทคโนโลยีฟาวนด์ชันฟิลด์บัสมีหลายประการ [25],[26] อาทิเช่น

- การใช้สาย ท่อร้อยสาย รางเก็บสายไฟ ตู้ Marshaling ลดลงอย่างมาก
- ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งลดลง เนื่องจาก สาย ท่อร้อยสาย รางเก็บสายไฟ ตู้ Marshaling ลดลง
- จำนวนอุปกรณ์ลดลงเนื่องจากเครื่องมือวัดมีการรวมตัวควบคุมตรรกะและฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์ไว้ด้วยกัน
- อุปกรณ์มีจำนวนน้อยทำให้ลดการเกิดสัญญาณรบกวนเนื่องมาจากสนามแม่เหล็กไฟฟ้า
- การทำงานมีประสิทธิภาพที่มากขึ้นเนื่องจากเครื่องมือวัดมีความถูกต้องมากขึ้น
- มีความง่ายในการรวบรวมโปรโตคอลเพื่อการจัดการเนื่องจากโปรโตคอลเป็นมาตรฐานเปิด
- มีการปรับปรุงวิธีการควบคุมที่ง่ายขึ้นเนื่องจากการตั้งค่าได้อย่างรวดเร็ว
- การเลือกใช้อุปกรณ์สามารถเลือกใช้จากผู้ผลิตที่แตกต่างกันได้
- การ Start-up ระบบใช้เวลาน้อย
- มีฟังก์ชันการควบคุมการทำงานแบบ PID บนอุปกรณ์ช่วยให้ลดภาระการประมวลผลของตัวควบคุมได้
- ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาลดลงเนื่องจากมีการวิเคราะห์ความผิดพลาดออนไลน์ มีการออนไลน์ลักษณะและสถานะของอุปกรณ์ และมีการปรับปรุงอัตโนมัติในการแก้ไขไฟล์อุปกรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในยุคที่เทคโนโลยีการสื่อสารข้อมูลในงานอุตสาหกรรมมีการเปลี่ยนแปลงจากระบบแอนะล็อกเป็นดิจิทัลผู้ใช้งานต้องมีการปรับตัวตาม แต่ปัญหาที่พบโดยส่วนใหญ่คือ วิศวกรหรือผู้ปฏิบัติงาน (Operator) ในภาคอุตสาหกรรมยังไม่คุ้นเคยกับเทคโนโลยีใหม่ ๆ การปรับตัวต้องใช้เวลาและสร้างทัศนคติในการยอมรับการเปลี่ยนแปลง นอกจากนี้ในมุมมองของผู้ลงทุน การใช้เทคโนโลยีใหม่ต้องช่วยประหยัดค่าใช้จ่ายในด้านต่าง ๆ

ในปัจจุบัน สำหรับประเทศไทยได้เริ่มมีการใช้เทคโนโลยีฟาว์เดชันฟิลด์บัสแล้วในอุตสาหกรรมน้ำมันและแก๊ส และอุตสาหกรรมปิโตรเคมี แต่ยังไม่มีการใช้เทคโนโลยีนี้ในภาคอุตสาหกรรมเกษตร เพื่อเป็นการเผยแพร่เทคโนโลยีนี้ในภาคอุตสาหกรรมเกษตร ในวิทยานิพนธ์นี้นำเสนอการใช้ฟาว์เดชันฟิลด์บัสแทนที่ระบบแอนะล็อก โดยมีกระบวนการผลิตน้ำตาลทรายดิบ (Raw Cane Sugar) เป็นกรณีศึกษา

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นการนำเสนอผลการวิเคราะห์การลงทุนด้านวัสดุและอุปกรณ์ ด้านการติดตั้ง และด้านการคอมมิชชั่นหนึ่งเพื่อเป็นตัวช่วยในการตัดสินใจในการเลือกระบบที่ใช้เทคโนโลยีฟาว์เดชันฟิลด์บัสและระบบแอนะล็อก 4-20 mA ให้กับผู้ลงทุน โดยมีกระบวนการผลิตน้ำตาลทรายดิบเป็นกรณีศึกษา

วัตถุประสงค์ของการทำวิจัย คือ การนำเทคโนโลยีฟาว์เดชันฟิลด์บัสมาแทนที่ระบบแอนะล็อก 4-20 mA เพื่อวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายในการลงทุนโดยเปรียบเทียบระหว่างระบบแอนะล็อก 4-20 mA และระบบฟาว์เดชันฟิลด์บัส โดยทำการวิเคราะห์เฉพาะค่าใช้จ่ายสำหรับโครงการ (Project) ที่มีการติดตั้งเครื่องมือวัดใหม่ในระบบวัดคุมของกระบวนการผลิตน้ำตาลทรายดิบ

1.3 การนำเสนอหลักการใหม่ของวิทยานิพนธ์

จากการศึกษาโรงงานที่ผลิตน้ำตาลทรายดิบ (Sugar Mill) ทั้งในประเทศไทยและต่างประเทศมีการใช้ระบบวัดคุมแบบแอนะล็อก 4-20 mA อยู่ทุกโรงงาน ประกอบกับความต้องการน้ำตาลทรายดิบทั้งในประเทศไทยและต่างประเทศมีจำนวนมากขึ้นทุกปี ทำให้มีการก่อสร้างโรงงานผลิตน้ำตาลทรายดิบเพิ่มมากขึ้น ผู้วิจัยเห็นว่าการใช้เทคโนโลยีดิจิทัลฟิลด์บัสซึ่งมีข้อดีหลายประการเมื่อเทียบกับระบบแอนะล็อก 4-20 mA น่าจะเป็นกลไกสำคัญในการพัฒนาอุตสาหกรรมการผลิตน้ำตาลทรายดิบในอนาคต

วิทยานิพนธ์นี้จึงได้นำเสนอการใช้เทคโนโลยีฟาว์เดชันฟิลด์บัสแทนที่ระบบแอนะล็อก โดยมีกระบวนการผลิตน้ำตาลทรายดิบเป็นกรณีศึกษา โดยทำการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการลงทุนกับระบบเดิมซึ่งเป็นแบบแอนะล็อกเพื่อใช้เป็นข้อมูลในการตัดสินใจของผู้ลงทุน

1.4 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบการลงทุนด้านวัสดุและอุปกรณ์ ด้านการติดตั้ง และด้านการคอมมิชชั่นหนึ่งในกระบวนการผลิตน้ำตาลทรายดิบระหว่างระบบแอนะล็อกที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน และระบบฟาวน์เดชันฟิลด์บัสที่ใช้การสื่อสารข้อมูลแบบดิจิทัล โดยมีการวิเคราะห์เปรียบเทียบอยู่ 2 กรณี คือ กรณีที่ 1 เป็นการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการลงทุนที่ใช้ระบบแอนะล็อกและเทคโนโลยีฟาวน์เดชันฟิลด์บัสในกรณีที่มีวาล์วควบคุม 2 ตัว/ฟิลด์บัสเซกเมนต์ และกรณีที่ 2 เป็นการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการลงทุนที่ใช้ระบบแอนะล็อกและระบบฟาวน์เดชันฟิลด์บัสในกรณีที่มีวาล์วควบคุม 1 ตัว/ฟิลด์บัสเซกเมนต์ การวิเคราะห์ทั้ง 2 กรณีนี้จะเป็นตัวเลือกในการใช้ระบบฟาวน์เดชันฟิลด์บัสที่มีการจัดการความเสี่ยง (Risk Management) ในการใช้งานฟิลด์บัสเซกเมนต์ที่ต่างกัน

1.5 รายละเอียดของวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้แบ่งเนื้อหาออกเป็น 5 บท ด้วยกันคือ

บทที่ 1 บทนำ เป็นการกล่าวถึง ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ การนำเสนอหลักการใหม่ของวิทยานิพนธ์ ขอบเขตของวิทยานิพนธ์ และรายละเอียดของวิทยานิพนธ์

บทที่ 2 เป็นการกล่าวถึง กระบวนการผลิตน้ำตาลทรายดิบและค่าใช้จ่ายในการลงทุนติดตั้งเครื่องมือวัดใหม่ในระบบวัดคุมของกระบวนการผลิตน้ำตาลทรายดิบด้วยระบบแอนะล็อก 4-20 mA

บทที่ 3 เทคโนโลยีฟาวน์เดชันฟิลด์บัสโดยจะกล่าวถึงการเชื่อมต่ออุปกรณ์ฟาวน์เดชันฟิลด์บัส อุปกรณ์ที่ใช้ใน H1 ฟิลด์บัสเซกเมนต์ และการออกแบบ H1 ฟิลด์บัสเซกเมนต์

บทที่ 4 เป็นการกล่าวถึง การใช้เทคโนโลยีฟาวน์เดชันฟิลด์บัสในกรณีศึกษา

บทที่ 5 เป็นบทสุดท้ายที่กล่าวถึง ผลการเปรียบเทียบ บทสรุปและข้อเสนอแนะ

ในส่วนสุดท้ายของวิทยานิพนธ์เป็นส่วนของภาคผนวกที่แสดงถึงบทความวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์

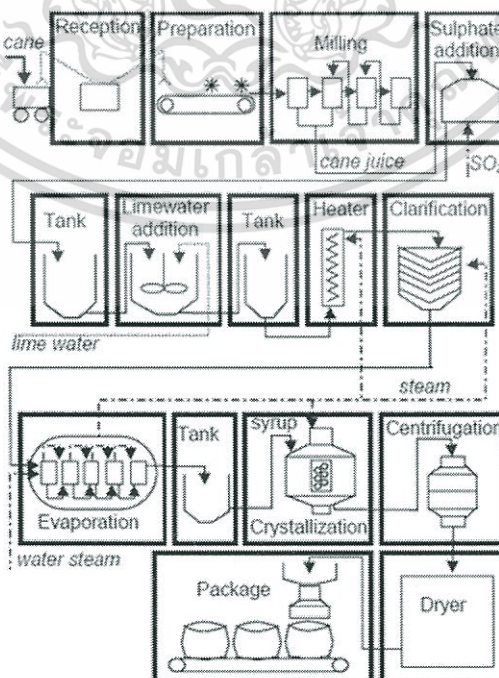
บทที่ 2 กระบวนการผลิตน้ำตาลทรายดิบ

2.1 กล่าวนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงขั้นตอนในการผลิตน้ำตาลทรายดิบ โดยมีขั้นตอนหลัก ๆ ตามลำดับดังนี้ การเตรียมอ้อยและการหีบสกัดอ้อย (Extraction) การทำใส่น้ำอ้อย (Clarification) การต้มระเหยน้ำอ้อย (Evaporation) และการตกผลึก (Crystallization) นอกจากนี้ยังกล่าวถึงระบบการวัดและควบคุมแบบแอนะล็อก 4-20 mA ซึ่งเป็นที่นิยมใช้ในโรงงานน้ำตาลในประเทศไทยในปัจจุบัน ซึ่งเนื้อหาในบทนี้จะนำไปเปรียบเทียบกับการใช้ระบบการวัดและควบคุมแบบดิจิทัลที่จะเข้ามาแทนที่ระบบแอนะล็อก 4-20 mA ในอนาคต

2.2 กระบวนการผลิตน้ำตาลทรายดิบ [27],[28]

ในรูปที่ 2.1 แสดงขั้นตอนของกระบวนการผลิตน้ำตาลทรายดิบซึ่งมีขั้นตอนต่าง ๆ ดังนี้ ขั้นตอนการรับอ้อยเข้าโรงงาน (Reception) ขั้นตอนการเตรียมอ้อย (Preparation) ขั้นตอนการหีบสกัดอ้อย (Milling) ขั้นตอนการเติมซัลเฟต (Sulphate Addition) ขั้นตอนการเติมน้ำปูนขาว (Limewater Addition) ขั้นตอนการทำใส่น้ำอ้อย (Clarification) ขั้นตอนการต้มระเหยน้ำอ้อย (Evaporation) ขั้นตอนการตกผลึก (Crystallization) ขั้นตอนการปั่นแยกผลึก (Centrifugation) ขั้นตอนการอบแห้ง (Dryer) และขั้นตอนบรรจุภัณฑ์ (Package)



รูปที่ 2.1 ขั้นตอนของกระบวนการผลิตน้ำตาลทรายดิบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในการขอการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยในบทนี้จะอธิบายขั้นตอนหลัก ๆ อยู่ 4 ขั้นตอนดังนี้คือ การเตรียมอ้อยและหีบสกัดอ้อย โดยรวมไปถึงการรับอ้อยเข้าโรงงาน การทำใส่น้ำอ้อยซึ่งมีขั้นตอนย่อยคือ การเติมซัลเฟส การเติมน้ำปูนขาว และการพักใส่น้ำอ้อย การต้มระเหยน้ำอ้อย และการตกผลึกซึ่งมีขั้นตอนย่อยคือการเคี้ยว การตกผลึก การปั่นแยกผลึก การอบแห้งและการบรรจุภัณฑ์ ส่วนรายละเอียดของขั้นตอนต่าง ๆ จะกล่าวในหัวข้อถัดไป

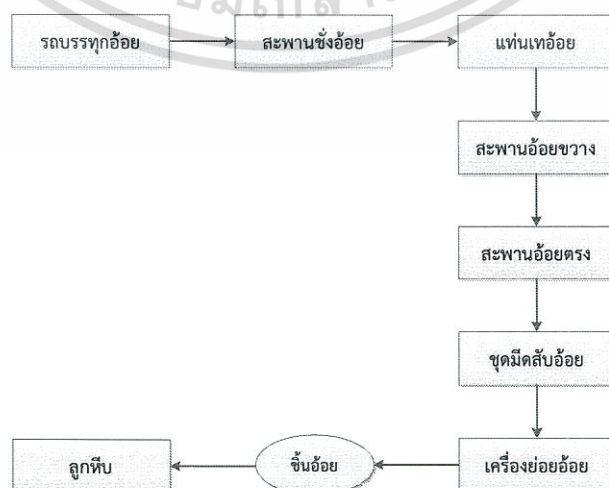
2.3 การเตรียมอ้อยและการหีบสกัดอ้อย

การหีบอ้อยเป็นกระบวนการขั้นแรกที่มีผลต่อประสิทธิภาพการผลิตน้ำตาล จุดประสงค์ต้องการสกัดน้ำตาลในอ้อยให้ออกมากับน้ำอ้อยมากที่สุด ในขณะที่เดียวกันต้องพยายามให้เหลือน้ำตาลติดไปกับกากอ้อยให้น้อยที่สุด การหีบอ้อยจึงเป็นขั้นตอนที่โรงงานน้ำตาลต้องมีการเตรียมความพร้อมมากที่สุด การหีบอ้อยของโรงงานน้ำตาลจะมีประสิทธิภาพหรือไม่ จะขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง โดยเฉพาะปริมาณอ้อยเข้าหีบต้องมีความสม่ำเสมอ

2.3.1 การรับอ้อยเข้าโรงงาน

การรับอ้อยเข้าโรงงานเป็นขั้นตอนแรกของการผลิตน้ำตาลทรายดิบที่จะต้องบริหารจัดการอ้อยให้มีอ้อยป้อนให้เครื่องจักรอย่างสม่ำเสมอไม่ให้อ้อยขาดราง โดยทางโรงงานจะทราบว่าจะใช้อ้อยจำนวนกี่ตันต่อการหีบอ้อยใน 1 วัน หากนำอ้อยเข้าโรงงานมาน้อยเกินไปจะทำให้อ้อยขาดรางได้ หากอ้อยมากเกินไปจะทำให้รถบรรทุกใช้ระยะเวลาในการรอเทอ้อยนานและยังทำให้อ้อยมีประสิทธิภาพลดลงด้วย เมื่อชาวไร่อ้อยนำอ้อยเข้าโรงงาน ขั้นแรกจะนำรถที่บรรทุกอ้อยเข้ามาซึ่งน้ำหนักรวมที่สะพานชั่งอ้อย หลังจากนั้นชาวไร่จะได้รับคิวในการนำรถบรรทุกเข้าเทอ้อย หลังจากเทอ้อยแล้วจะนำรถบรรทุกมาชั่งที่สะพานชั่งน้ำหนักอีกครั้งเพื่อหาน้ำหนักอ้อยที่บรรทุกมาจริง

2.3.2 การเตรียมอ้อยก่อนเข้าหีบ



รูปที่ 2.2 แผนภาพแสดงขั้นตอนการเตรียมอ้อยก่อนการเข้าหีบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เฉพาะในวงเพื่อตรวจสอบเท่านั้น ไม่สามารถที่จะนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การที่บัสกัตน้ำอ้อยจะมีประสิทธิภาพมากเพียงใด การเตรียมอ้อยก่อนการเข้าหีบนับเป็นปัจจัยที่สำคัญอย่างยิ่ง ถ้าสามารถย่อยอ้อยให้เป็นชิ้นเล็ก ๆ ได้อย่างสม่ำเสมอและมีการสูญเสียน้ำอ้อยน้อยที่สุดจะช่วยให้การทำงานของลูกหีบมีประสิทธิภาพมากขึ้นและทำงานได้สะดวกรวดเร็วขึ้น ขั้นตอนการเตรียมอ้อยก่อนการเข้าหีบแสดงในรูปที่ 2.2

1. ชุดใบมีดสับอ้อย

โดยส่วนใหญ่โรงงานผลิตน้ำตาลจะใช้มีดสับอ้อย 2-4 ชุด มีดจะหมุนตลอดเวลาด้วยความเร็วประมาณ 700-1000 รอบต่อนาที ชุดใบมีดจะมีชุดขับอยู่ 2 ชนิด คือ ชุดขับแบบมอเตอร์ และชุดขับแบบแรงดันไอน้ำ ความคมของมีดเป็นปัจจัยสำคัญ จึงต้องมีการตั้งระยะเวลาในการเปลี่ยนใบมีดเสมอเพื่อให้ได้น้ำอ้อยที่มีคุณภาพสูง

2. เครื่องย่อยอ้อย

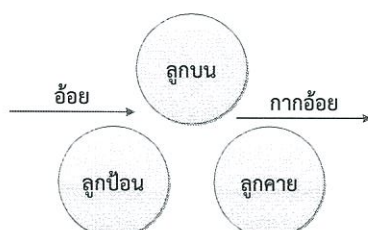
เครื่องย่อยอ้อยทำหน้าที่ฉีกอ้อยให้เป็นชิ้นเล็ก ๆ หลังจากอ้อยผ่านชุดใบมีดสับอ้อย หรือมีชื่อเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าค้อนทุบอ้อย ความเร็วของเครื่องย่อยอ้อยอยู่ระหว่าง 900-1,200 รอบต่อนาที เครื่องย่อยอ้อยจะมีชุดขับอยู่ 2 ชนิด คือ ชุดขับแบบมอเตอร์ และชุดขับแบบแรงดันไอน้ำ

2.3.3 การหีบอ้อย

การหีบอ้อยเป็นแผนกที่สำคัญเพราะเป็นขั้นตอนแรกที่จะสกัดน้ำอ้อยออกมาจากอ้อยเพื่อไปผลิตน้ำตาล เพราะฉะนั้นการผลิตน้ำตาลของโรงงานจะได้ผลผลิตมากหรือน้อยย่อมขึ้นกับประสิทธิภาพของกระบวนการหีบอ้อยว่าจะสกัดน้ำตาลออกมาจากอ้อยในรูปของน้ำอ้อยได้มากหรือน้อยเพียงใด กระบวนการหีบอ้อยมีองค์ประกอบที่สำคัญอยู่ 2 ชุดคือ ชุดลูกหีบ และชุดน้ำพรม

1. ชุดลูกหีบ

ลูกหีบประกอบไปด้วยลูกกลิ้งขนาดใหญ่ 3 ลูกวางเรียงกันในลักษณะสามเหลี่ยม เรียกว่าชุดลูกหีบดังแสดงในรูปที่ 2.3 ลูกที่อยู่ด้านบนมีหน้าที่กดทับชิ้นอ้อยให้น้ำอ้อยไหลออกมา สามารถปรับระดับได้ด้วยแรงไฮดรอลิกเรียกว่า “ลูกบน” ส่วนลูกที่อยู่ข้างล่างด้านหน้าเป็นทางที่น้ำอ้อยเข้าหีบ เรียกว่า “ลูกป้อนหรือลูกหน้า” ส่วนอีกลูกเป็นทางคายกากอ้อย โรงงานน้ำตาลโดยทั่วไปจะมีลูกหีบอยู่ 4-7 ชุด แต่ส่วนใหญ่จะใช้ลูกหีบ 5-6 ชุด ขนาดของลูกหีบจะขึ้นอยู่กับกำลังการหีบอ้อยของแต่ละโรงงาน ความเร็วในการหมุนอยู่ที่ 4-7 รอบต่อนาที

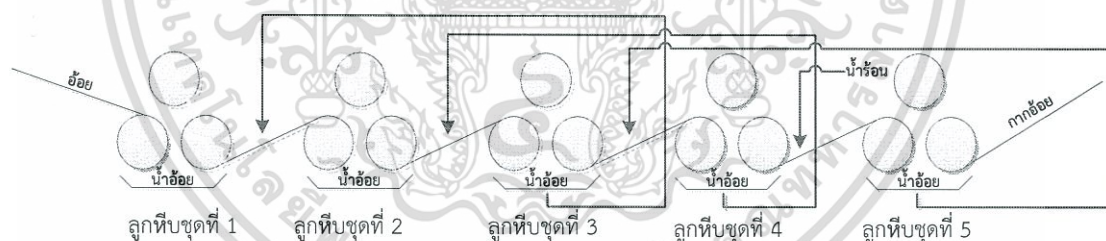


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ภายในเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 2.3 ลักษณะการจัดวางลูกหีบ
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชุดลูกทึบจะใช้เทคนิคการสกัดด้วยแรงกล ใช้ในการสกัดของเหลวออกจากวัตถุดิบที่เป็นของแข็ง โดยอาศัยแรงบีบอัดให้ของเหลวไหลทะลักออกมา วิธีนี้จะใช้กับวัตถุดิบที่มีความแข็ง มีแรงต้านต่อการบีบอัด ในการสกัดน้ำอ้อยนิยมใช้มากเพราะอ้อยมีความแข็งมีปริมาณเส้นใยสูง อย่างไรก็ตามการสกัดแบบนี้อย่างเดียวจะไม่สามารถสกัดน้ำตาลออกมาจากอ้อยออกมาได้หมด จะเหลือติดอยู่ที่กากอ้อยสูงมาก จึงต้องมีการพรมน้ำเพื่อให้น้ำตาลเหลือติดกากอ้อยให้น้อยที่สุดทั้งนี้ต้องควบคุมปริมาณและวิธีการพรมอย่างเคร่งครัด

2. การพรมน้ำอ้อย

การพรมน้ำอ้อย (Imbibition Process) หมายถึงการใช้น้ำพรมลงบนกากอ้อยเพื่อเพิ่มการสกัดน้ำอ้อยจากลูกทึบชุดต่อไป การพรมน้ำลงบนกากอ้อยจะเป็นการช่วยให้การสกัดดีขึ้น โดยทั่วไปจะใช้น้ำร้อนพรมกากอ้อยที่หน้าลูกทึบชุดสุดท้าย และน้ำอ้อยที่ได้จากลูกทึบชุดสุดท้ายก็จะนำไปพรมหน้าลูกทึบชุดถัดมา น้ำอ้อยที่ได้จากลูกทึบชุดถัดมาก็จะไปพรมลงกากอ้อยหน้าชุดถัดมาอีกเช่นกัน ตามลำดับ ยกเว้นหน้าลูกทึบชุดที่ 1 จะไม่มีการพรมน้ำทั้งนี้เพราะมีการสกัดที่ติดอยู่แล้ว และน้ำอ้อยที่สกัดจากชุดที่ 1 จะถูกนำไปวิเคราะห์หาค่า ซีซีเอส (Commercial Cane Sugar : C.C.S) การพรมน้ำแบบนี้เรียกว่า “การพรมน้ำแบบผสม” ดังแสดงในรูปที่ 2.4 อุณหภูมิของน้ำร้อนที่ใช้พรมกากอ้อยจะใช้ประมาณ 70 °C เพื่อให้ขึ้นอ้อยไม่ลื่นและเกิดการอุดตัน ถ้าอุณหภูมิมากเกินไปจะทำให้สิ่งสกปรกในอ้อยละลายออกมา ลูกทึบลื่นมากเกินไปทำให้ลำเลียงอ้อยได้ไม่สะดวก



รูปที่ 2.4 การพรมน้ำแบบผสม

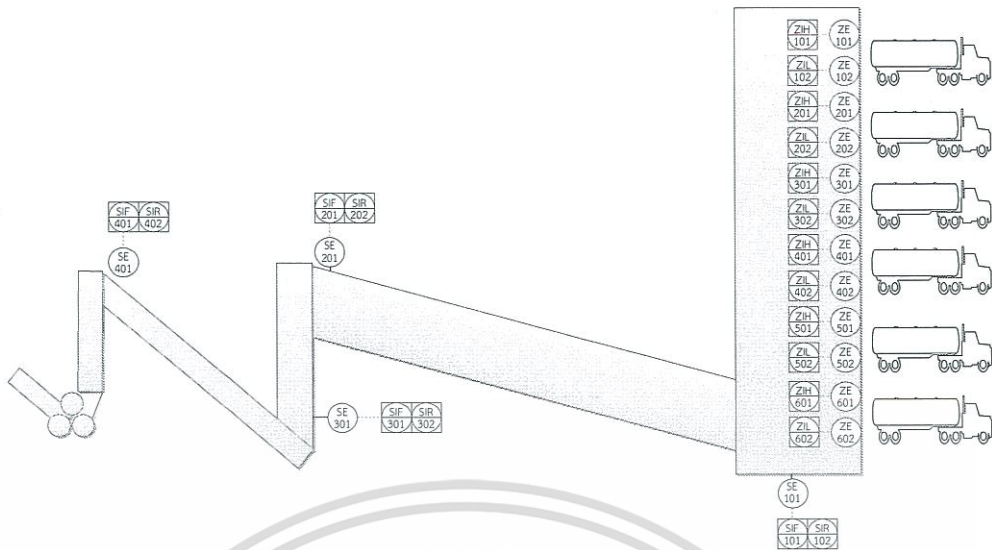
2.3.4 เครื่องมือวัดและการควบคุมในการเตรียมอ้อยและการทึบสกัดอ้อย

1. ระบบควบคุมขั้นตอนการเตรียมอ้อย

ขั้นตอนการเตรียมอ้อยเป็นขั้นตอนที่สำคัญเพื่อสกัดน้ำอ้อยให้ได้มากที่สุดโดยการควบคุมการเทอ้อยลงในรางให้สม่ำเสมอ การเทอ้อยลงในรางอย่างสม่ำเสมอจะขึ้นอยู่กับประสบการณ์ของคนควบคุมการเทอ้อยด้วย การควบคุมขั้นตอนการเทอ้อยแสดงในรูปที่ 2.5 และตารางที่ 2.1 สรุปเครื่องวัดที่ติดตั้งในระบบควบคุมขั้นตอนการเตรียมอ้อย ในการควบคุมการเตรียมอ้อยนี้จะเป็นการติดตามอ้อยมาคำนวณหาค่า ซีซีเอส ของอ้อยในรถบรรทุกแต่ละคัน ค่า ซีซีเอส เป็นการซื้อขายอ้อยระหว่าง

เอกสารโรงงานกับชาวไร่ โดยการติดตามจะเป็นไปตามขั้นตอนดังนี้ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. ในขั้นตอนนี้จะต้องมีการวัดค่าสัญญาณเอ็นโคดีเดอร์ (Encoder) ของแท่นเท้อยู่ทั้ง 6 แท่น เนื่องจากแท่นเท้อยู่แต่ละแท่นมีความยาวไม่เท่ากัน เพื่อนำมากำหนดจุดสิ้นสุดของสะพานขวาง ในการวัดค่าสัญญาณนี้จะทำเพียงครั้งเดียวเท่านั้นหลังจากนั้นจะบันทึกค่าเดิมใช้ตลอดไป เมื่อแท่นเท้อยู่ลำดับที่ 1 เท้อยู่ลงในราง เมื่อพรีอักษิมิตส์วิตช์ ZIH-101 ทำงานแล้วจะทำให้เอ็นโคดีเดอร์ SE-101 ทำการนับสัญญาณเดินหน้า และ SE-102 ทำการนับสัญญาณถอยหลัง โดยจะนับสัญญาณต่อเนื่องจนกระทั่งอ้อยจากสะพานขวางมาถึงสะพานตรงจะทำให้เอ็นโคดีเดอร์ SE-101 และ SE-102 หยุดทำงาน หลังจากเท้อยู่จากรถบรรทุกหมดแล้วจะค่อย ๆ นำแท่นลงจนกว่าพรีอักษิมิตส์วิตช์ ZIL-102 ทำงานแสดงให้เห็นว่าแท่นเท้อยู่ลงมาสุดแล้วสามารถนำรถบรรทุกอ้อยออกได้และเริ่มเท้อยู่แท่นอื่น ๆ ได้ไม่จำเป็นต้องเรียงลำดับกันแต่ห้ามเท้อยู่พร้อมกัน
2. วัดค่าสัญญาณเอ็นโคดีเดอร์จากหัวสะพานตรงถึงปลายสะพานตรง ในการวัดค่าสัญญาณนี้จะทำเพียงครั้งเดียวเท่านั้นหลังจากนั้นจะบันทึกค่าเดิมใช้ตลอดไป หลังจากนั้นเอ็นโคดีเดอร์ SE-201 ซึ่งเป็นตัวนับสัญญาณเดินหน้า และ SE-202 ซึ่งเป็นตัวนับสัญญาณถอยหลัง เริ่มทำงาน โดยจะนับสัญญาณต่อเนื่องจนกระทั่งอ้อยจากสะพานตรงมาถึงเครื่องย่อยอ้อย จะทำให้เอ็นโคดีเดอร์ SE-201 และ SE-202 หยุดทำงาน
3. วัดค่าสัญญาณเอ็นโคดีเดอร์จากหัวเครื่องย่อยอ้อยถึงปลายเครื่องย่อยอ้อย ในการวัดค่าสัญญาณนี้จะทำเพียงครั้งเดียวเท่านั้นหลังจากนั้นจะบันทึกค่าเดิมใช้ตลอดไป หลังจากนั้นเอ็นโคดีเดอร์ SE-301 ซึ่งเป็นตัวนับสัญญาณเดินหน้า และ SE-302 ซึ่งเป็นตัวนับสัญญาณถอยหลังเริ่มทำงาน โดยนับสัญญาณต่อเนื่องจนกระทั่งอ้อยจากเครื่องย่อยอ้อยมาถึงสะพานลำเลียงขึ้นอ้อยจะทำให้เอ็นโคดีเดอร์ SE-301 และ SE-302 หยุดทำงาน
4. วัดค่าสัญญาณเอ็นโคดีเดอร์จากหัวสะพานลำเลียงขึ้นอ้อยถึงปลายสะพานลำเลียงขึ้นอ้อย ในการวัดค่าสัญญาณนี้จะทำเพียงครั้งเดียวเท่านั้นหลังจากนั้นจะบันทึกค่าเดิมใช้ตลอดไป หลังจากนั้นเอ็นโคดีเดอร์ SE-401 ซึ่งเป็นตัวนับสัญญาณเดินหน้า และ SE-402 ซึ่งเป็นตัวนับสัญญาณถอยหลังเริ่มทำงาน โดยนับสัญญาณต่อเนื่องจนกระทั่งอ้อยจากสะพานลำเลียงขึ้นอ้อยมาถึงลูกหีบซุดที่ 1 จะทำให้เอ็นโคดีเดอร์ SE-401 และ SE-402 หยุดทำงาน
5. หลังจากนั้นจะหน่วงเวลาเพื่อรอน้ำอ้อยออกมาจากลูกหีบซุดที่หนึ่ง หลังจากนั้นจะเก็บตัวอย่างไปวิเคราะห์เพื่อนำไปหาค่า ซีซีเอส ต่อไป



รูปที่ 2.5 ระบบควบคุมสำหรับขั้นตอนการเตรียมอ้อย

ตารางที่ 2.1 เครื่องมือวัดที่ติดตั้งใช้งานในการควบคุมสำหรับขั้นตอนการเตรียมอ้อย

ชื่ออุปกรณ์	รายละเอียด
ZE-101	พรีอ็อกซิเมตีสวิตซ์ตัวที่ 1 ของแท่นเทอ้อยที่ 1
ZIH-101	ตัวตรวจสอบพรีอ็อกซิเมตีสวิตซ์สถานะสูงของแท่นเทอ้อยที่ 1
ZE-102	พรีอ็อกซิเมตีสวิตซ์ตัวที่ 2 ของแท่นเทอ้อยที่ 1
ZIL-102	ตัวตรวจสอบพรีอ็อกซิเมตีสวิตซ์สถานะต่ำของแท่นเทอ้อยที่ 1
ZE-201	พรีอ็อกซิเมตีสวิตซ์ตัวที่ 1 ของแท่นเทอ้อยที่ 2
ZIH-201	ตัวตรวจสอบพรีอ็อกซิเมตีสวิตซ์สถานะสูงของแท่นเทอ้อยที่ 2
ZE-202	พรีอ็อกซิเมตีสวิตซ์ตัวที่ 2 ของแท่นเทอ้อยที่ 2
ZIL-202	ตัวตรวจสอบพรีอ็อกซิเมตีสวิตซ์สถานะต่ำของแท่นเทอ้อยที่ 2
ZE-301	พรีอ็อกซิเมตีสวิตซ์ตัวที่ 1 ของแท่นเทอ้อยที่ 3
ZIH-301	ตัวตรวจสอบพรีอ็อกซิเมตีสวิตซ์สถานะสูงของแท่นเทอ้อยที่ 3
ZE-302	พรีอ็อกซิเมตีสวิตซ์ตัวที่ 2 ของแท่นเทอ้อยที่ 3
ZIL-302	ตัวตรวจสอบพรีอ็อกซิเมตีสวิตซ์สถานะต่ำของแท่นเทอ้อยที่ 3
ZE-401	พรีอ็อกซิเมตีสวิตซ์ตัวที่ 1 ของแท่นเทอ้อยที่ 4
ZIH-401	ตัวตรวจสอบพรีอ็อกซิเมตีสวิตซ์สถานะสูงของแท่นเทอ้อยที่ 4
ZE-402	พรีอ็อกซิเมตีสวิตซ์ตัวที่ 2 ของแท่นเทอ้อยที่ 4
ZIL-402	ตัวตรวจสอบพรีอ็อกซิเมตีสวิตซ์สถานะต่ำของแท่นเทอ้อยที่ 4
ZE-501	พรีอ็อกซิเมตีสวิตซ์ตัวที่ 1 ของแท่นเทอ้อยที่ 5
ZIH-501	ตัวตรวจสอบพรีอ็อกซิเมตีสวิตซ์สถานะสูงของแท่นเทอ้อยที่ 5
ZE-502	พรีอ็อกซิเมตีสวิตซ์ตัวที่ 2 ของแท่นเทอ้อยที่ 5
ZIL-502	ตัวตรวจสอบพรีอ็อกซิเมตีสวิตซ์สถานะต่ำของแท่นเทอ้อยที่ 5
ZE-601	พรีอ็อกซิเมตีสวิตซ์ตัวที่ 1 ของแท่นเทอ้อยที่ 6

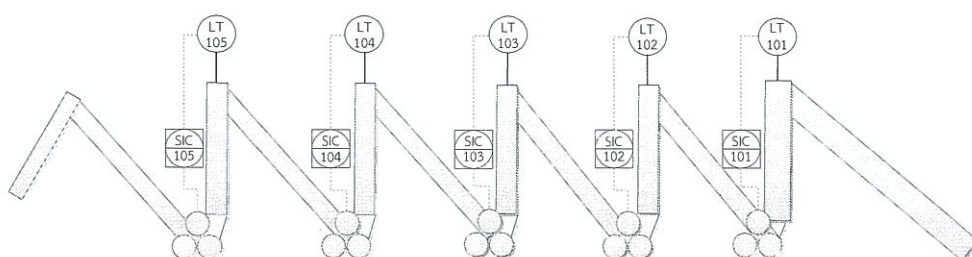
เอกสารนี้เป็นทรัพย์สินของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ภายใต้อาณัติของสำนักงานวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยี การศึกษา และส่งเสริมการวิจัย การบริการวิชาการแก่สังคม การทำนุบำรุงศิลปวัฒนธรรม และการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่ออุปกรณ์	รายละเอียด
ZIH-601	ตัวตรวจสอบพรีอักษิมีตี้สวิทช์สถานะสูงของแท่นเท้อยที่ 6
ZE-602	พรีอักษิมีตี้สวิทช์ตัวที่ 2 ของแท่นเท้อยที่ 6
ZIL-602	ตัวตรวจสอบพรีอักษิมีตี้สวิทช์สถานะต่ำของแท่นเท้อยที่ 6
SE-101	เอ็นโค้ดเดอร์ตัวที่ 1 ของสะพานขวาง
SIF-101	ตัวตรวจสอบเอ็นโค้ดเดอร์สถานะเดินหน้าของสะพานขวาง
SIR-102	ตัวตรวจสอบเอ็นโค้ดเดอร์สถานะถอยหลังของสะพานขวาง
SE-201	เอ็นโค้ดเดอร์ตัวที่ 1 ของสะพานตรง
SIF-201	ตัวตรวจสอบเอ็นโค้ดเดอร์สถานะเดินหน้าของสะพานตรง
SIR-202	ตัวตรวจสอบเอ็นโค้ดเดอร์สถานะถอยหลังของสะพานตรง
SE-301	เอ็นโค้ดเดอร์ตัวที่ 1 ของเครื่องย้อยอ้อย
SIF-301	ตัวตรวจสอบเอ็นโค้ดเดอร์สถานะเดินหน้าของเครื่องย้อยอ้อย
SIR-302	ตัวตรวจสอบเอ็นโค้ดเดอร์สถานะถอยหลังของเครื่องย้อยอ้อย
SE-401	เอ็นโค้ดเดอร์ตัวที่ 1 ของสะพานลำเลียงขึ้นอ้อย
SIF-401	ตัวตรวจสอบเอ็นโค้ดเดอร์สถานะเดินหน้าของสะพานลำเลียงขึ้นอ้อย
SIR-402	ตัวตรวจสอบเอ็นโค้ดเดอร์สถานะถอยหลังของสะพานลำเลียงขึ้นอ้อย

2. ระบบควบคุมขั้นตอนการหีบสกัดอ้อย

การหีบสกัดอ้อยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้ หลังจากทีสะพานลำเลียงขึ้นอ้อยเข้าสู่ลูกหีบชุดที่หนึ่ง จะวัดระดับกากอ้อยที่มีอยู่ในช่องอ้อยของลูกหีบชุดที่ 1 เพื่อกำหนดรอบที่คงที่ให้แก่ลูกหีบชุดที่หนึ่ง การกำหนดรอบของลูกหีบชุดที่หนึ่ง จะขึ้นอยู่กับปริมาณอ้อยที่ลำเลียงเข้ามาให้มีความเหมาะสม หากมากเกินไปจะทำให้ได้น้ำตาลในน้ำอ้อยลดลงและน้อยไปจะทำให้ น้ำขึ้นอ้อยกดลูกหีบมากขึ้นทำให้ลูกหีบติดขัดได้ หลังจากลูกหีบชุดที่หนึ่ง หีบน้ำอ้อยออกแล้วจึงนำกากอ้อยเข้าสู่ลูกหีบชุดที่สอง หลังจากนั้นโปรแกรมจะเป็นการควบคุมความเร็วรอบของลูกหีบตามค่าเป้าหมายของระดับที่ผู้ควบคุมต้องการ เช่น ถ้าระดับอ้อยในช่องมากเกินไปก็จะเร่งความเร็วของลูกหีบให้ไวขึ้น ถ้าระดับลดลงก็จะลดความเร็วของลูกหีบลง เพื่อให้ได้ระดับตามค่าเป้าหมาย ส่วนลูกหีบชุดที่สาม ชุดที่สี่ และชุดที่ห้า จะมีการควบคุมเหมือนกับลูกหีบชุดที่สอง ระบบควบคุมขั้นตอนการหีบสกัดอ้อยแสดงในรูปที่ 2.6 และตารางที่ 2.2 เครื่องมือวัดที่ติดตั้งใช้งานในการควบคุมสำหรับขั้นตอนการหีบสกัดอ้อย



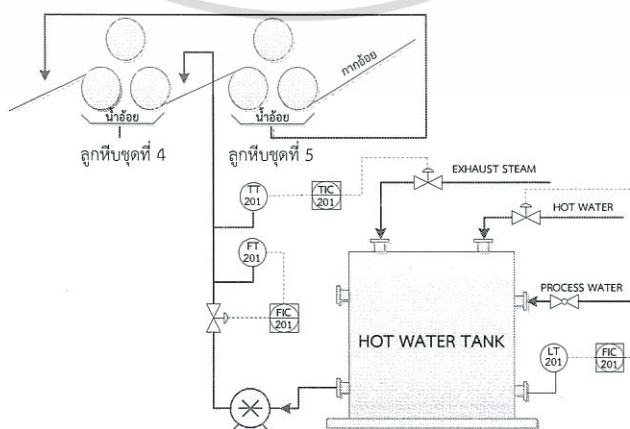
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในการวิจัยและการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 เครื่องมือวัดที่ติดตั้งใช้งานในการควบคุมสำหรับขั้นตอนการหีบสกัดอ้อย

ชื่ออุปกรณ์	รายละเอียด
LT-101	ทรานสมิตเตอร์ระดับของลูกหีบชุดที่ 1
SIC-101	ตัวควบคุมความเร็วของลูกหีบชุดที่ 1
LT-102	ทรานสมิตเตอร์ระดับของลูกหีบชุดที่ 2
SIC-102	ตัวควบคุมความเร็วของลูกหีบชุดที่ 2
LT-103	ทรานสมิตเตอร์ระดับของลูกหีบชุดที่ 3
SIC-103	ตัวควบคุมความเร็วของลูกหีบชุดที่ 3
LT-104	ทรานสมิตเตอร์ระดับของลูกหีบชุดที่ 4
SIC-104	ตัวควบคุมความเร็วของลูกหีบชุดที่ 4
LT-105	ทรานสมิตเตอร์ระดับของลูกหีบชุดที่ 5
SIC-105	ตัวควบคุมความเร็วของลูกหีบชุดที่ 5

3. ระบบควบคุมขั้นตอนการพรมน้ำอ้อย

การพรมน้ำอ้อยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้ การควบคุมอัตราการไหลของน้ำที่จะไปพรมกากอ้อยที่ลูกหีบชุดที่ 5 ต้องมีความเหมาะสมกับปริมาณที่น้ำอ้อยเข้าหีบในช่วงเวลานั้น หากพรมมากเกินไปจะมีน้ำติดไปกับน้ำอ้อยมากทำให้สิ้นเปลืองพลังงานในขั้นตอนการต้มระเหยน้ำอ้อย หากพรมน้อยเกินไปจะทำให้มีน้ำตาลติดไปกับกากอ้อย การควบคุมอุณหภูมิของน้ำ ควรให้มีอุณหภูมิที่เหมาะสมจะช่วยให้การสกัดเอาน้ำตาลออกจากกากอ้อยได้ดีขึ้น อุณหภูมิของน้ำร้อนที่ใช้พรมกากอ้อย จะใช้ประมาณ 70 °C เพื่อให้ชั้นอ้อยไม่ลื่นและเกิดการอุดตัน ถ้าอุณหภูมิมากเกินไปจะทำให้สิ่งสกปรกในอ้อยละลายออกมา ลูกหีบลื่นมากเกินไปทำให้ลำเลียงอ้อยได้ไม่สะดวก และการควบคุมระดับน้ำในถัง เป็นการควบคุมให้น้ำไปพรมกากอ้อยได้ตลอดเวลา และช่วยป้องกันน้ำที่จะล้นออกมาภายนอกทำให้เกิดอันตรายต่อเครื่องจักรและบุคคลากรได้ ระบบควบคุมขั้นตอนการพรมน้ำอ้อยแสดงในรูปที่ 2.7 และตารางที่ 2.3 ตารางเครื่องมือวัดที่ติดตั้งใช้งานในการควบคุมสำหรับขั้นตอนการพรมน้ำอ้อย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 2.7 ระบบควบคุมสำหรับขั้นตอนการพรมน้ำอ้อย
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.3 เครื่องมือวัดที่ติดตั้งใช้งานในการควบคุมสำหรับขั้นตอนการพรมน้ำอ้อย

ชื่ออุปกรณ์	รายละเอียด
FT-201	ทรานสมิตเตอร์วัดอัตราการไหลของน้ำร้อนที่จะไปพรมกากอ้อย
FIC-201	ตัวควบคุมอัตราการไหลของน้ำร้อนที่จะไปพรมกากอ้อย
TT-201	ทรานสมิตเตอร์วัดอุณหภูมิของน้ำร้อนที่จะไปพรมกากอ้อย
TIC-201	ตัวควบคุมอุณหภูมิของน้ำร้อนที่จะไปพรมกากอ้อย
LT-201	ทรานสมิตเตอร์วัดระดับในถังน้ำร้อน
LIC-201	ตัวควบคุมระดับในถังน้ำร้อน

ตารางที่ 2.4 พารามิเตอร์ที่จำเป็นในการใช้ตรวจสอบและการควบคุมในการเตรียมอ้อยและการหีบสกัดอ้อย

พารามิเตอร์	จำนวนพารามิเตอร์		รวม
	การตรวจสอบ(MON)	การควบคุม(CTRL)	
ระดับ	-	6	6
อัตราการไหล	-	1	1
อุณหภูมิ	-	1	1
การเคลื่อนที่ของสายพานลำเลียง	20	-	20
ความเร็วของมอเตอร์	4	-	4
รวมจำนวนพารามิเตอร์			32

ตารางที่ 2.5 อุปกรณ์ระดับฟิลด์ที่จำเป็นสำหรับการติดตั้งในการเตรียมอ้อยและการหีบสกัดอ้อย

อุปกรณ์ระดับฟิลด์	จำนวนอุปกรณ์
ทรานสมิตเตอร์ระดับ	6
ทรานสมิตเตอร์อัตราการไหล	1
ทรานสมิตเตอร์อุณหภูมิ	1
วาล์วควบคุม	2
ตัวควบคุมพีไอดี	8
ลิมิตสวิตช์	8
ฟรีกซิมิตส์วิตช์	12
เอ็นโค้ดเดอร์	4

จากตารางที่ 2.4 จะแสดงให้เห็นถึงพารามิเตอร์จำเป็นในการใช้ตรวจสอบติดตามการทำงาน (Monitoring : MON) และมีการควบคุม (Control : CTRL) ในการเตรียมอ้อยและการหีบสกัดอ้อย และตารางที่ 2.5 แสดงให้เห็นอุปกรณ์ระดับฟิลด์ที่จำเป็นสำหรับการติดตั้งในการเตรียมอ้อยและการหีบสกัดอ้อย ซึ่งจำนวนพารามิเตอร์และอุปกรณ์ระดับฟิลด์ของการเตรียมอ้อยและการหีบสกัดอ้อย เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่หรือนำไปใช้ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

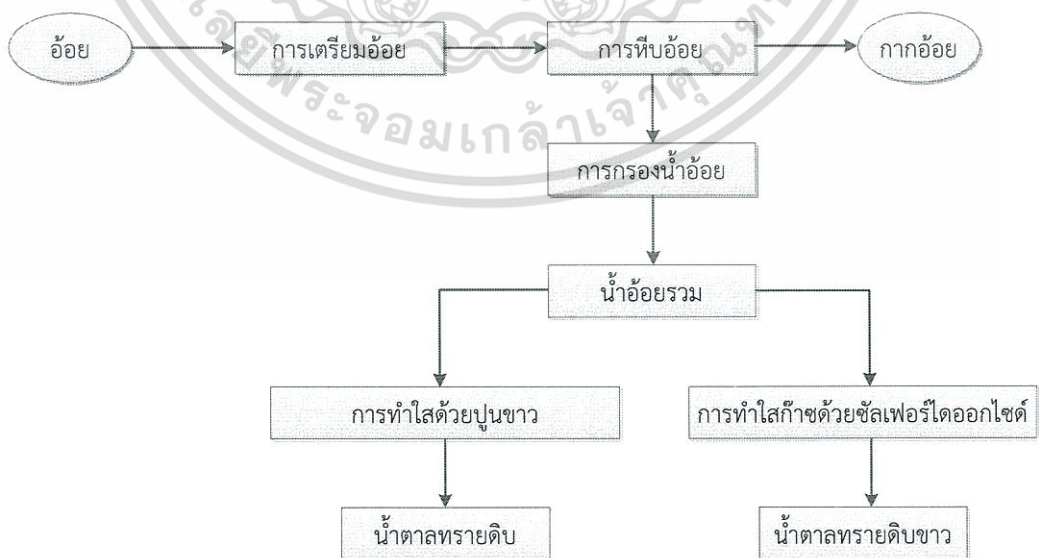
แต่ละโรงงานจะมีไม่เท่ากันขึ้นอยู่กับรูปแบบการควบคุม สภาพแวดล้อมและกำลังการผลิตของโรงงานนั้นด้วย

2.4 การทำใส่น้ำอ้อย

น้ำอ้อยที่ได้จากการการหีบชิ้นอ้อยด้วยลูกหีบเรียกว่า “น้ำอ้อยรวม” เป็นน้ำอ้อยที่ได้จากลูกหีบชุดที่หนึ่งและชุดที่สอง ซึ่งมีน้ำพรมรวมอยู่ด้วย น้ำอ้อยรวมจะมีอุณหภูมิประมาณ 30 °C มีความเป็นกรด ค่ากรด-ด่างประมาณ 5.5 มีสีคล้ำขุ่น มีสิ่งสกปรกเจือปนมากมายทั้งเศษดิน โคลน ทราย และเศษกากอ้อยละเอียดปะปนอยู่ โดยเฉพาะสภาพอ้อยไฟไหม้ที่เข้าหีบกันมากในปัจจุบัน จะพบเขม่าควันและเศษเนื้อเยื่อไฟไหม้จำนวนมาก น้ำอ้อยรวมมีสีค่อนข้างคล้ำจนถึงสีดำ รวมทั้งมีการปนเปื้อนจุลินทรีย์ซึ่งเป็นสาเหตุหลักทำให้สูญเสียน้ำตาลในขั้นตอนนี้มากขึ้นและทำให้น้ำอ้อยรวมมีสภาพเป็นกรดจึงต้องรีบนำเข้ากระบวนการทำใสโดยเร็วที่สุด การทำใสมีจุดประสงค์ที่สำคัญคือ กำจัดสิ่งเจือปนต่าง ๆ ที่มีอยู่ในน้ำอ้อยรวม ปรับสภาวะน้ำอ้อยให้เป็นกลาง กำจัดสารที่ก่อให้เกิดสีในน้ำอ้อยรวม การทำใส่น้ำอ้อยมีหลายวิธีเช่น การทำใสด้วยปูนขาว และการฟอกสีด้วยก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์

2.4.1 ขั้นตอนการทำใส่น้ำอ้อย

การทำใส่น้ำอ้อยเป็นขั้นตอนที่มีวัตถุประสงค์ทำน้ำอ้อยรวมให้ใสบริสุทธิ์สำหรับการนำไปผลิตน้ำตาลทรายดิบต่อ ความบริสุทธิ์ของน้ำอ้อยจะขึ้นอยู่กับวิธีการทำใส โดยหลักการของการทำใสน้ำอ้อยเพื่อผลิตน้ำตาลนั้นจะต้องผ่านกระบวนการเติมปูนขาวหรือกระบวนการฟอกสีด้วยก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ดังแสดงในรูปที่ 2.8

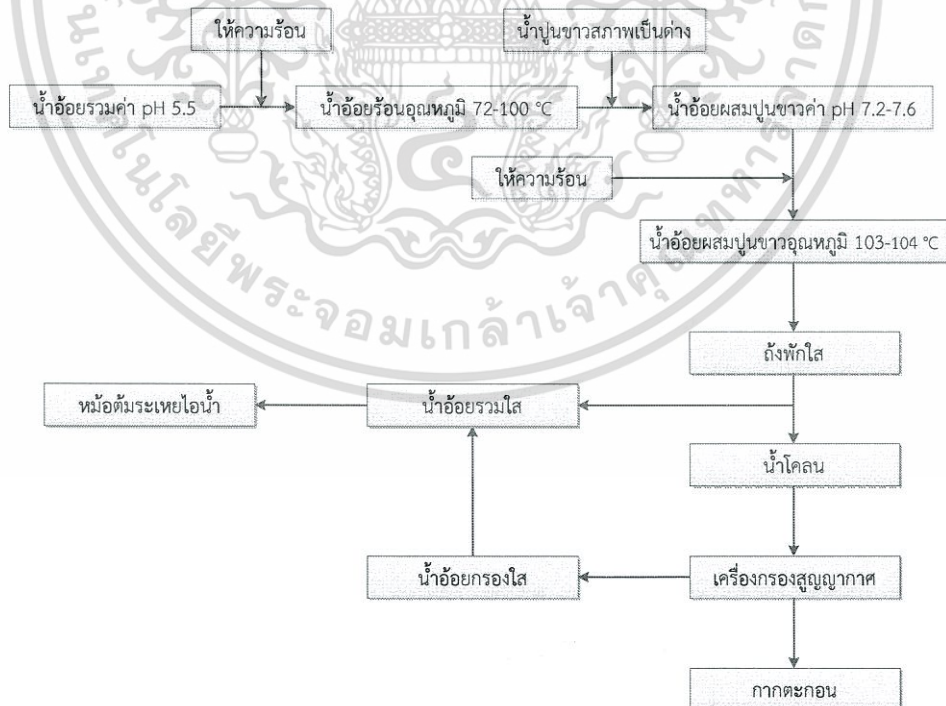


รูปที่ 2.8 แผนผังกระบวนการทำใส่น้ำอ้อยในการผลิตน้ำตาลทราย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. การทำใสด้วยการเติมปูนขาว

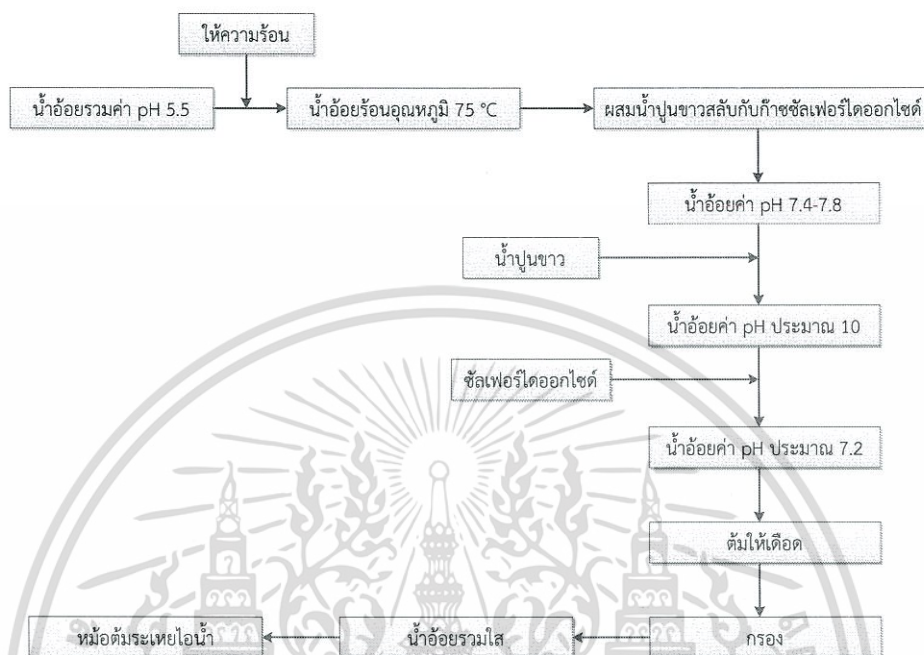
การทำใสน้ำอ้อยด้วยปูนขาวเป็นขั้นตอนที่ทำได้ง่าย และมีประสิทธิภาพเหมาะสมกับสภาพน้ำอ้อยรวมที่เป็นกรด ซึ่งต้องปรับสภาพให้เป็นกลางโดยเร็วเพื่อป้องกันการสูญเสียน้ำตาลซูโครสจากปฏิกิริยาการสลายตัว ประกอบกับความสกปรกของน้ำอ้อยที่มีสิ่งปนเปื้อนจำนวนมาก การปรับสภาพน้ำอ้อยให้เป็นกลางด้วยน้ำปูนขาวที่เป็นด่างพร้อมกับการต้มให้เดือดจะทำให้ตะกอนของสิ่งสกปรกต่าง ๆ ออกมา ทำให้น้ำอ้อยมีความบริสุทธิ์มากขึ้น อย่างไรก็ตามต้องมีวิธีการควบคุมไม่ให้สูญเสียน้ำตาลในขั้นตอนการทำใสนี้ โดยเฉพาะปัจจัยที่ทำให้เกิดการสลายตัวของน้ำตาลเช่น การควบคุมค่าค่ากรด-ด่างของน้ำอ้อยรวมให้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่ตั้งไว้และระดับของอุณหภูมิที่ใช้ในการต้มน้ำอ้อย การเติมปูนขาวในโรงงานน้ำตาลนิยมใช้วิธี Hot liming process เป็นกระบวนการที่ให้ความร้อนน้ำอ้อยรวมจนถึงอุณหภูมิ 72 – 100 °C ก่อนจากนั้นจึงเติมน้ำปูนขาวที่มีสภาพเป็นด่างให้น้ำอ้อยรวมมีค่ากรด-ด่างสูงขึ้นประมาณ 7.2 – 7.6 แล้วถ่ายไปให้ความร้อนจนถึงจุดเดือดอุณหภูมิประมาณ 103-104 °C หลังจากนั้นจะนำเข้าถึงพักใสเพื่อแยกน้ำอ้อยใสและน้ำโคลน ส่วนน้ำโคลนจะนำไปกรองอีกครั้งดังแสดงในรูปที่ 2.9 การให้ความร้อนน้ำอ้อยรวมก่อนที่จะเติมน้ำปูนขาวจะช่วยทำให้สารจำพวกโปรตีนจะตกตะกอนลงบางส่วน จึงทำให้ช่วยประหยัดปูนขาวลงในระดับหนึ่งดังแสดงในรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 ขั้นตอนการเติมปูนขาวทำใสน้ำอ้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การทำใสด้วยการเติมก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์



รูปที่ 2.10 ขั้นตอนการเติมก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ทำใสน้ำอ้อย

ในรูปที่ 2.10 แสดงขั้นตอนกระบวนการทำใสที่ใช้ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ช่วยฟอกสีน้ำอ้อยให้ใสขึ้นโดยใช้ร่วมกับปูนขาว น้ำอ้อยใสที่ได้นี้สามารถนำไปผลิตน้ำตาลทรายดิบขาว แต่ในปัจจุบันโรงงานน้ำตาลไม่นิยมฟอกสีน้ำอ้อยเพื่อนำไปผลิตน้ำตาลทรายดิบขาว จะผลิตน้ำตาลทรายดิบเท่านั้น การใช้ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ร่วมกับปูนขาวนั้น จะช่วยทำให้เกิดตะกอนของแคลเซียมซัลเฟตมากขึ้น และช่วยในการฟอกสีทำให้น้ำอ้อยรวมใสขึ้น การเติมก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในโรงงานน้ำตาลนิยมใช้วิธี Hot Sulphitation เป็นกระบวนการที่มีการอุ่นน้ำอ้อยรวมให้มีอุณหภูมิประมาณ 75 °C แล้วจึงนำมาผ่านการเติมก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์และน้ำปูนขาวสลับกันให้ได้ค่ากรด-ด่างประมาณ 7.4-7.8 จากนั้นจะเติมน้ำปูนขาวลงไปให้ได้ค่า pH ประมาณ 10 หลังจากนั้นจะเติมก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ลงไปเพื่อลดค่ากรด-ด่างเหลือประมาณ 7.2 หลังจากนั้นต้มน้ำอ้อยรวมให้เดือดแล้วนำไปกรองเพื่อให้ได้น้ำอ้อยใส

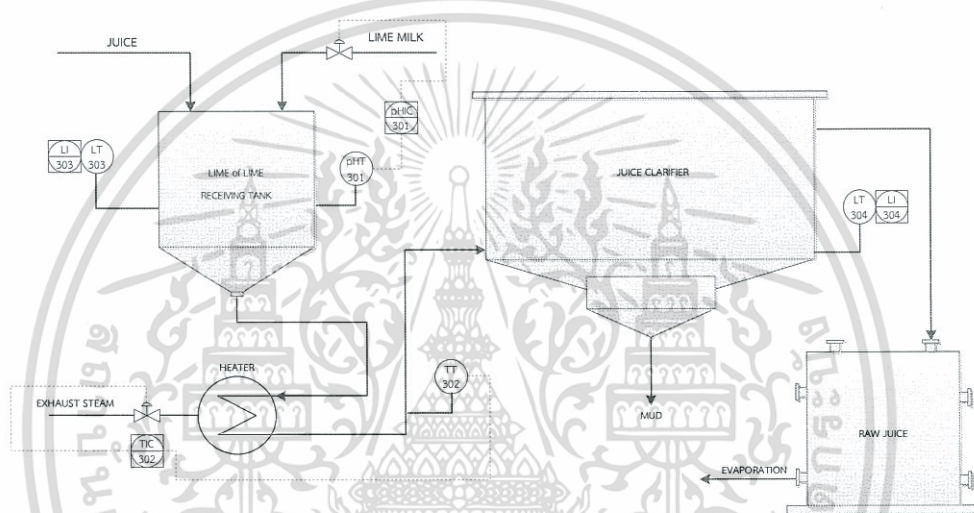
2.4.2 เครื่องมือวัดและการควบคุมในการทำใสน้ำอ้อย

การควบคุมการทำใสน้ำอ้อยให้มีประสิทธิภาพมีการควบคุมดังนี้ เมื่อน้ำอ้อยอุ่นเข้ามาในถังผสมทรานสมิตเตอร์วัดค่ากรด-ด่าง (pHT-301) จะทำการวัดค่าหลังจากนั้นระบบควบคุม (pHIC-301)

จะทำการประมวลผลโดยค่ากรด-ด่าง ที่ได้ต้องมีค่า 7.6 ถ้าทรานสมิตเตอร์อ่านค่าได้มากเกินไปว่าค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ดูแลเห็นไปใช้ประโยชน์ในการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ควบคุมจะลดการเติมน้ำปูนขาวลง ถ้าอ่านค่าได้น้อยเกินไปวาล์วควบคุมก็จะเปิดเพิ่มมากขึ้น เพื่อให้ได้ค่าเป้าหมายที่ต้องการคือ 7.6 หลังจากนั้นจะนำน้ำอ้อยรวมมาแลกเปลี่ยนความร้อนเพื่อเพิ่มอุณหภูมิให้เป็น 103-104 °C โดยใช้ทรานสมิตเตอร์วัดอุณหภูมิ (TT-302) ทำการวัดหลังจากนั้นระบบควบคุม (TIC-302) จะทำการประมวลผล โดยถ้าอุณหภูมิเกิน 104 °C วาล์วควบคุมจะลดปริมาณไอเสียที่เข้าแลกเปลี่ยนความร้อน ถ้าอุณหภูมिन้อยกว่า 103 °C วาล์วควบคุมจะเพิ่มปริมาณไอเสียที่เข้าแลกเปลี่ยนความร้อน ส่วนทรานสมิตเตอร์วัดระดับ LT-303 และ LT-304 มีไว้บอกระดับของน้ำอ้อยที่อยู่ในถัง แสดงในรูปที่ 2.11 และตารางที่ 2.6 สรุปเครื่องมือวัดที่ติดตั้งใช้งานในการควบคุมสำหรับการฟักใส่น้ำอ้อย



รูปที่ 2.11 ระบบควบคุมกระบวนการฟักใส่น้ำอ้อย

ตารางที่ 2.6 เครื่องมือวัดที่ติดตั้งใช้งานในการควบคุมสำหรับการฟักใส่น้ำอ้อย

ชื่ออุปกรณ์	รายละเอียด
pHT-301	ทรานสมิตเตอร์วัดกรด-ด่างของน้ำอ้อยรวม
pHC-301	ตัวควบคุมกรด-ด่างของน้ำอ้อยรวม
TT-302	ทรานสมิตเตอร์วัดอุณหภูมิของน้ำอ้อยรวมก่อนเข้าถังฟักใส
TIC-302	ตัวควบคุมอุณหภูมิของน้ำอ้อยรวมก่อนเข้าถังฟักใส
LT-303	ทรานสมิตเตอร์วัดระดับในถังผสมน้ำปูนขาว
LI-303	ตัวตรวจสอบระดับในถังผสมน้ำปูนขาว
LT-304	ทรานสมิตเตอร์วัดระดับในถังฟักใส
LI-304	ตัวตรวจสอบระดับในถังฟักใส

ตารางที่ 2.7 จะแสดงให้เห็นถึงพารามิเตอร์จำเป็นในการที่ใช้ตรวจสอบและมีการควบคุม

กระบวนการฟักใส่น้ำอ้อย และตารางที่ 2.8 แสดงให้เห็นถึงอุปกรณ์ระดับฟิลด์ที่จำเป็นสำหรับการ
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ติดตั้งในการฟักใส่น้ำอ้อย ซึ่งจำนวนพารามิเตอร์และอุปกรณ์ระดับฟิลด์ของการฟักใส่น้ำอ้อยแต่ละ
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โรงงานจะมีไม่เท่ากันขึ้นอยู่กับรูปแบบการควบคุม สภาพแวดล้อมและกำลังการผลิตของโรงงานนั้นด้วย

ตารางที่ 2.7 พารามิเตอร์ที่จำเป็นในการใช้ตรวจสอบและการควบคุมในการพอกใส่น้ำอ้อย

พารามิเตอร์	จำนวนพารามิเตอร์		รวม
	การตรวจสอบ (MON)	การควบคุม (CTRL)	
ระดับ	2	-	2
อุณหภูมิ	-	1	1
กรด-ด่าง	-	1	1
รวมจำนวนพารามิเตอร์			4

ตารางที่ 2.8 อุปกรณ์ระดับฟิลด์ที่จำเป็นสำหรับการติดตั้งในการพอกใส่น้ำอ้อย

อุปกรณ์ระดับฟิลด์	จำนวนอุปกรณ์
ทรานสมิตเตอร์ระดับ	2
ทรานสมิตเตอร์อุณหภูมิ	1
ทรานสมิตเตอร์กรด-ด่าง	1
วาล์วควบคุม	2
ตัวควบคุมพีไอดี	2

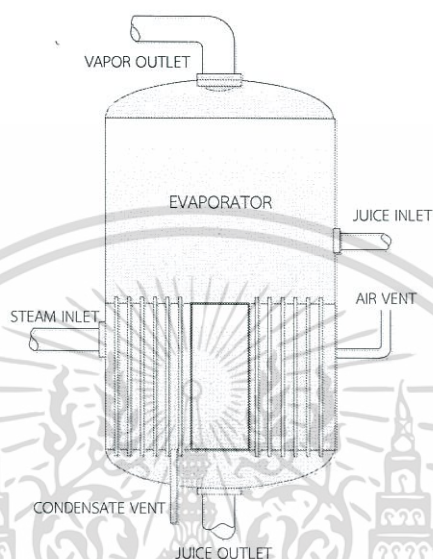
2.5 การต้มระเหยน้ำอ้อย

การต้มระเหยน้ำอ้อยเป็นขั้นตอนที่ต้องใช้พลังงานความร้อนมากที่สุดในกระบวนการผลิตน้ำตาล และนับเป็นขั้นตอนที่มีความสำคัญเป็นอย่างยิ่งที่ต้องมีการควบคุมการทำงานอย่างเข้มงวด ทั้งนี้เนื่องจากจะต้องต้มระเหยน้ำออกมาจากน้ำอ้อยที่มีค่าความเข้มข้นเริ่มต้น 12-14 บริกส์ (Brix) ให้น้ำเชื่อมที่มีความเข้มข้นถึงประมาณ 65 บริกส์ ดังนั้นการควบคุมระดับความร้อนหรืออุณหภูมิของการต้มระเหยน้ำจะต้องสัมพันธ์กันกับค่าความเข้มข้นของน้ำอ้อยที่เพิ่มขึ้นเพื่อควบคุมให้มีการสูญเสียน้ำตาลให้น้อยที่สุด นอกจากนั้นยังต้องคำนึงถึงกลไกการถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นรวมทั้งระบบการทำงานของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่ต้องมีการตรวจสอบอย่างสม่ำเสมอเพื่อให้เกิดการถ่ายเทความร้อนได้อย่างมีประสิทธิภาพ ในขั้นตอนนี้จะมีผลต่อต้นทุนพลังงานที่ใช้ในการผลิตน้ำตาลค่อนข้างมาก ปัจจุบันการต้มระเหยน้ำอ้อยที่นิยมใช้ในโรงน้ำตาลทั่วไปจะเป็นระบบการต้มระเหย 5 หม้อต่อเนื่องกันที่เรียกว่าระบบ “Fifth Effect Evaporator” แต่ละหม้อจะมีลักษณะเป็น Calandria Evaporator ซึ่งเป็นระบบต้มระเหยที่เหมาะสมกับน้ำอ้อยในการผลิตน้ำตาลทรายดิบ

2.5.1 ขั้นตอนการต้มระเหยน้ำอ้อย

หม้อต้มระเหยน้ำอ้อยที่ใช้ในการผลิตน้ำตาลจะใช้แบบ Calandria Evaporator จะมีท่อเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าส่งผ่านความร้อนสั้น ๆ ที่วางเรียงขนานกันในแนวดิ่ง ดังแสดงในรูปที่ 2.12 การทำงานจะเริ่มจากไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของเหลวเคลื่อนที่เข้ามาในแนวตั้งตามผิวของท่อส่งผ่านความร้อนในลักษณะแบบธรรมชาติและทำงานเป็นกะ นอกจากนี้ท่อส่งผ่านความร้อนจะวางในแนวนอนก็ได้ปัจจุบันนิยมนำมาประยุกต์ใช้กับการระเหยน้ำอ้อยแบบต่อเนื่อง โดยนำหม้อต้มหลายใบมาวางเรียงต่อกันในลักษณะ Multi Effect Evaporator

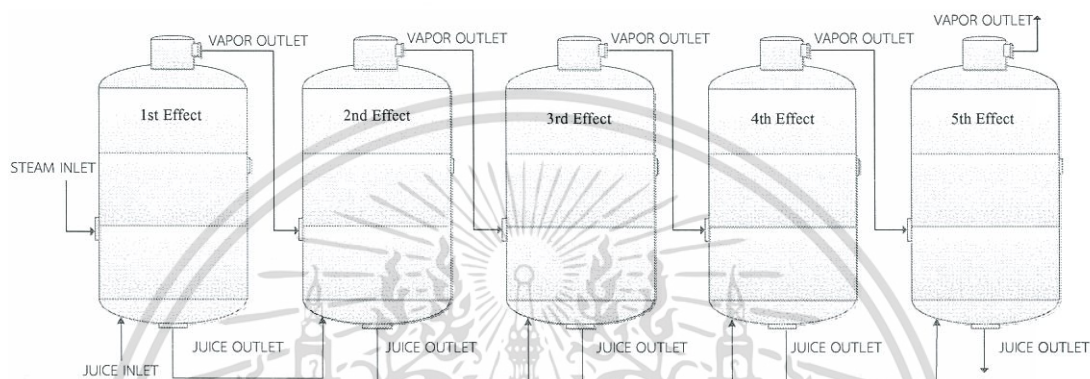


รูปที่ 2.12 หม้อต้มระเหยน้ำอ้อยแบบ Calandria Evaporator

วิธีการต้มระเหยน้ำอ้อยโดยใช้วิธี Multi Effect Evaporator มาจัดวางเรียงต่อกันเรียกว่า “Fifth Effect Evaporator” แสดงให้เห็นในรูปที่ 2.13 ระบบการต้มระเหยน้ำอ้อยแบบนี้นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายทุกโรงงานน้ำตาล เนื่องจากเป็นระบบที่เหมาะสมกับลักษณะและสมบัติของน้ำอ้อย มีความเหมาะสมกับขนาดและกำลังการผลิตโดยสามารถต้มระเหยน้ำอ้อยได้อย่างต่อเนื่อง มีระบบการใช้พลังงานความร้อนจากไอน้ำอ้อยอย่างเป็นลำดับขั้นตอน ระบบการทำงานสอดคล้องกับการควบคุมการสูญเสียน้ำตาลเนื่องจากความร้อน

ลักษณะการทำงานการต้มระเหยน้ำอ้อยแบบ Fifth Effect Evaporator จะใช้ไอน้ำใหม่เข้าไปในหม้อต้มระเหยใบแรกเท่านั้น ไอน้ำที่ระเหยจากน้ำอ้อยจากหม้อต้มระเหยใบแรกจะถูกนำไปใช้ให้ความร้อนแก่หม้อต้มระเหยใบที่สอง ไอน้ำที่ระเหยจากหม้อต้มระเหยใบที่สองจะนำไปใช้ในหม้อต้มระเหยใบที่สาม จากหม้อต้มระเหยใบที่สามจะนำไปใช้ในหม้อต้มระเหยใบที่สี่ จากหม้อต้มระเหยใบที่สี่จะนำไปใช้ในหม้อต้มระเหยใบที่ห้า ซึ่งค่าความร้อนของไอน้ำจากหม้อต้มระเหยใบที่หนึ่งจะลดลงตามลำดับ ลักษณะการทำงานของหม้อต้มระเหยน้ำอ้อยแบบนี้จะเป็นแบบความร้อนไหลไปในทิศทางเดียวกันกับน้ำอ้อยหรือที่เรียกว่าแบบความร้อนไหลขนาน โดยน้ำอ้อยรวมจะเข้าที่หม้อต้มระเหยใบที่หนึ่งที่ไอน้ำใหม่เข้าเช่นกัน น้ำอ้อยจะมีความเข้มข้นมากขึ้นตามลำดับจากความเข้มข้นของน้ำอ้อยรวมที่เข้าที่หม้อต้มระเหยใบที่หนึ่งประมาณ 12-14 บริกส์ จากนั้นจะทำการต้มระเหยให้ได้ค่าความ

เข้มข้นประมาณ 20-25 บริกส์ หลังจากนั้นจะถ่ายให้น้ำอ้อยไปยังหม้อต้มระเหยใบที่สองต้มระเหยต่อให้ได้ความเข้มข้น 32-37 บริกส์ หลังจากนั้นจะถ่ายให้น้ำอ้อยไปยังหม้อต้มระเหยใบที่สามต้มระเหยต่อให้ได้ความเข้มข้น 44-49 บริกส์ หลังจากนั้นจะถ่ายให้น้ำอ้อยไปยังหม้อต้มระเหยใบที่สี่ต้มระเหยต่อให้ได้ความเข้มข้น 55-60 บริกส์ หลังจากนั้นจะถ่ายให้น้ำอ้อยไปยังหม้อต้มระเหยใบที่ห้าต้มระเหยต่อให้ได้ความเข้มข้น 65-70 บริกส์ หลังจากนั้นจะนำน้ำอ้อยออกไปพักไว้ที่ถังพัก และจะเรียกน้ำอ้อยนี้ว่าน้ำเชื่อมแทนเนื่องจากมีความเข้มข้นสูงขึ้น



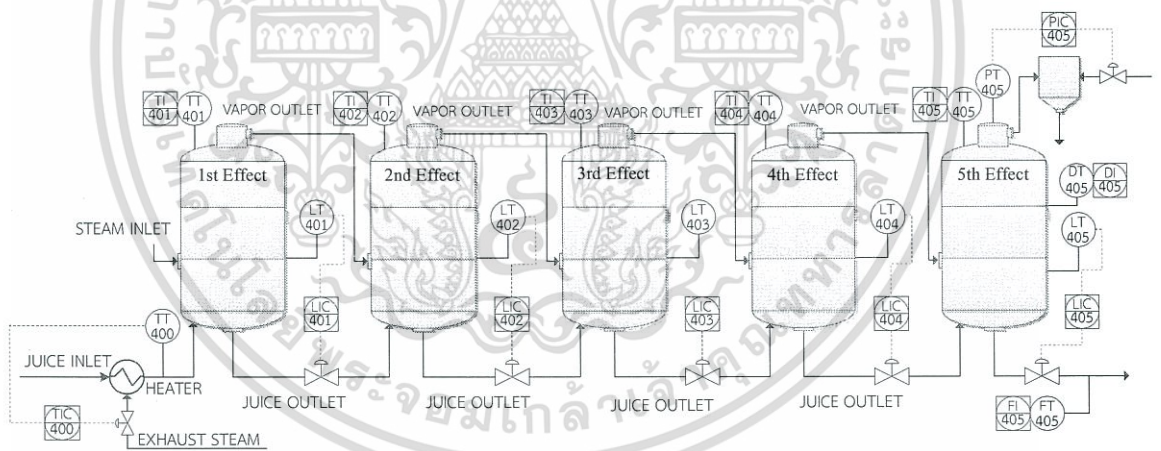
รูปที่ 2.13 วิธีการต้มระเหยน้ำอ้อยแบบ Fifth Effect Evaporator

2.5.2 เครื่องมือวัดและการควบคุมในการต้มระเหยน้ำอ้อย

ก่อนที่น้ำอ้อยจะเข้าหม้อต้มระเหยใบที่หนึ่งจะต้องอุ่นน้ำอ้อยให้มีอุณหภูมิประมาณ 100-103 °C โดยใช้ทรานสมิตเตอร์วัดอุณหภูมิ (TT-400) เป็นตัววัดและส่งค่าไปให้ระบบควบคุม (TIC-400) ทำการเปิดวาล์วควบคุมเพิ่มถ้าอุณหภูมิอ่อนเกินไปและทำการลดวาล์วควบคุมเมื่ออุณหภูมิมากเกินไปเกินกว่าค่าเป้าหมาย หลังจากนั้นน้ำอ้อยจะไหลเข้าสู่หม้อต้มระเหยใบที่หนึ่ง จะมีทรานสมิตเตอร์วัดอุณหภูมิ (TT-401) แสดงผลค่าอุณหภูมิที่ใช้ในการต้มระเหยน้ำอ้อยให้ผู้ควบคุมได้รับทราบ ทรานสมิตเตอร์วัดระดับ (LT-401) จะถูกวัดส่งค่าไปให้ระบบควบคุม (LIC-401) ทำการเปิดวาล์วควบคุมเพิ่มถ้าระดับสูงเกินไปและทำการลดวาล์วควบคุมเมื่อระดับน้อยเกินกว่าค่าเป้าหมาย เมื่อน้ำอ้อยไหลเข้าสู่หม้อต้มระเหยใบที่สองจะมีทรานสมิตเตอร์วัดอุณหภูมิ (TT-402) แสดงผลค่าอุณหภูมิที่ใช้ในการต้มระเหยน้ำอ้อยให้ผู้ควบคุมได้รับทราบ ทรานสมิตเตอร์วัดระดับ (LT-402) จะถูกวัดส่งค่าไปให้ระบบควบคุม (LIC-402) ทำการเปิดวาล์วควบคุมเพิ่มถ้าระดับสูงเกินไปและทำการลดวาล์วควบคุมเมื่อระดับน้อยเกินกว่าค่าเป้าหมาย เมื่อน้ำอ้อยไหลเข้าสู่หม้อต้มระเหยใบที่สามจะมีทรานสมิตเตอร์วัดอุณหภูมิ (TT-403) แสดงผลค่าอุณหภูมิที่ใช้ในการต้มระเหยน้ำอ้อยให้ผู้ควบคุมได้รับทราบ ทรานสมิตเตอร์วัดระดับ (LT-403) จะถูกวัดส่งค่าไปให้ระบบควบคุม (LIC-403) ทำการเปิดวาล์วควบคุมเพิ่มถ้าระดับสูงเกินไปและทำการลดวาล์วควบคุมเมื่อระดับน้อยเกินกว่าค่าเป้าหมาย เมื่อน้ำอ้อยไหลเข้าสู่หม้อต้มระเหยใบที่สี่จะมีทรานสมิตเตอร์วัดอุณหภูมิ (TT-404) แสดงผลค่าอุณหภูมิที่ใช้ในการต้มระเหยน้ำอ้อยให้ผู้ควบคุมได้รับทราบ ทรานสมิตเตอร์วัดระดับ (LT-404) จะถูกวัดส่งค่าไปให้ระบบควบคุม

(LIC-404) ทำการเปิดวาล์วควบคุมเพิ่มถ้าระดับสูงเกินไปและทำการลดวาล์วควบคุมเมื่อระดับน้อยเกินไปกว่าค่าเป้าหมาย เมื่อน้ำอ้อยไหลเข้าสู่หม้อต้มระเหยใบที่ห้าจะมีทรานสมิตเตอร์วัดอุณหภูมิ (TT-405) แสดงผลค่าอุณหภูมิที่ใช้ในการต้มระเหยน้ำอ้อยให้ผู้ควบคุมได้รับทราบ ทรานสมิตเตอร์วัดความดัน (PT-450) จะถูกวัดส่งค่าไปให้ระบบควบคุม (PIC-405) ทำการเปิดวาล์วควบคุมเพิ่มถ้าความดันไอน้ำน้อยเกินไปและทำการลดวาล์วควบคุมเมื่อความดันไอน้ำมากเกินกว่าค่าเป้าหมาย ทรานสมิตเตอร์วัดระดับ (LT-405) จะถูกวัดส่งค่าไปให้ระบบควบคุม (LIC-405) ทำการเปิดวาล์วควบคุมเพิ่มถ้าระดับสูงเกินไปและทำการลดวาล์วควบคุมเมื่อระดับน้อยเกินไปกว่าค่าเป้าหมาย ทรานสมิตเตอร์วัดค่าความเข้มข้น (DT-405) แสดงผลค่าความเข้มข้นที่ได้ในหม้อต้มระเหยน้ำอ้อยให้ผู้ควบคุมได้รับทราบ ทรานสมิตเตอร์วัดอัตราการไหล (FT-405) แสดงผลค่าอัตราการไหลของน้ำอ้อยที่หม้อต้มระเหยผลิตน้ำอ้อยได้ให้ผู้ควบคุมได้รับทราบ แสดงให้เห็นในรูปที่ 2.14 และตารางที่ 2.9 สรุปเครื่องมือวัดที่ติดตั้งใช้งานในการควบคุมสำหรับการต้มระเหยน้ำอ้อย

ซึ่งกระบวนการผลิตน้ำตาลทรายดิบที่ได้ศึกษานี้จะมีหม้อต้มระเหยน้ำอ้อยแบบ Fifth Effect Evaporator ทั้งหมดสามชุด ซึ่งโรงงานที่ผลิตน้ำตาลทรายดิบแต่ละโรงงานจะมีจำนวนไม่เท่ากัน ขึ้นอยู่กับกำลังการผลิตของโรงงานนั้นด้วย



รูปที่ 2.14 ระบบควบคุมกระบวนการต้มระเหยน้ำอ้อย

ตารางที่ 2.9 เครื่องมือวัดที่ติดตั้งใช้งานในการควบคุมสำหรับการต้มระเหยน้ำอ้อย

ชื่ออุปกรณ์	รายละเอียด
TT-400	ทรานสมิตเตอร์วัดอุณหภูมิน้ำอ้อยก่อนเข้าหม้อต้มระเหย
TIC-400	ตัวควบคุมอุณหภูมิน้ำอ้อยก่อนเข้าหม้อต้มระเหย
LT-401	ทรานสมิตเตอร์วัดระดับน้ำอ้อยในหม้อต้มระเหยใบที่ 1
LIC-401	ตัวควบคุมระดับน้ำอ้อยในหม้อต้มระเหยใบที่ 1
TT-401	ทรานสมิตเตอร์วัดอุณหภูมิในหม้อต้มระเหยใบที่ 1
TI-401	ตัวตรวจสอบอุณหภูมิในหม้อต้มระเหยใบที่ 1

ชื่ออุปกรณ์	รายละเอียด
LT-402	ทรานสมิตเตอร์วัดระดับน้ำอ้อยในหม้อต้มระเหยใบที่ 2
LIC-402	ตัวควบคุมระดับน้ำอ้อยในหม้อต้มระเหยใบที่ 2
TT-402	ทรานสมิตเตอร์วัดอุณหภูมิในหม้อต้มระเหยใบที่ 2
TI-402	ตัวตรวจสอบอุณหภูมิในหม้อต้มระเหยใบที่ 2
LT-403	ทรานสมิตเตอร์วัดระดับน้ำอ้อยในหม้อต้มระเหยใบที่ 3
LIC-403	ตัวควบคุมระดับน้ำอ้อยในหม้อต้มระเหยใบที่ 3
TT-403	ทรานสมิตเตอร์วัดอุณหภูมิในหม้อต้มระเหยใบที่ 3
TI-403	ตัวตรวจสอบอุณหภูมิในหม้อต้มระเหยใบที่ 3
LT-404	ทรานสมิตเตอร์วัดระดับน้ำอ้อยในหม้อต้มระเหยใบที่ 4
LIC-404	ตัวควบคุมระดับน้ำอ้อยในหม้อต้มระเหยใบที่ 4
TT-404	ทรานสมิตเตอร์วัดอุณหภูมิในหม้อต้มระเหยใบที่ 4
TI-404	ตัวตรวจสอบอุณหภูมิในหม้อต้มระเหยใบที่ 4
LT-405	ทรานสมิตเตอร์วัดระดับน้ำอ้อยในหม้อต้มระเหยใบที่ 5
LIC-405	ตัวควบคุมระดับน้ำอ้อยในหม้อต้มระเหยใบที่ 5
TT-405	ทรานสมิตเตอร์วัดอุณหภูมิในหม้อต้มระเหยใบที่ 5
TI-405	ตัวตรวจสอบอุณหภูมิในหม้อต้มระเหยใบที่ 5
PT-405	ทรานสมิตเตอร์วัดความดันในหม้อต้มระเหยใบที่ 5
PIC-405	ตัวควบคุมความดันในหม้อต้มระเหยใบที่ 5
DT-405	ทรานสมิตเตอร์วัดค่าความเข้มข้นในหม้อต้มระเหยใบที่ 5
DI-405	ตัวตรวจสอบค่าความเข้มข้นในหม้อต้มระเหยใบที่ 5
FT-405	ทรานสมิตเตอร์วัดอัตราการไหลของน้ำอ้อยที่ออกจากหม้อต้มระเหยใบที่ 5
FI-405	ตัวตรวจสอบค่าอัตราการไหลของน้ำอ้อยที่ออกจากหม้อต้มระเหยใบที่ 5

ตารางที่ 2.10 จะแสดงให้เห็นถึงพารามิเตอร์ที่จำเป็นในการใช้ตรวจสอบและการควบคุมการต้มระเหยน้ำอ้อยและตารางที่ 2.11 แสดงให้เห็นถึงตารางอุปกรณ์ระดับฟิลด์ที่จำเป็นสำหรับการติดตั้งในการต้มระเหยน้ำอ้อย ซึ่งจำนวนพารามิเตอร์และอุปกรณ์ระดับฟิลด์ของการต้มระเหยน้ำอ้อยแต่ละโรงงานจะมีไม่เท่ากัน ขึ้นอยู่กับรูปแบบการควบคุม สภาพแวดล้อมและกำลังการผลิตของโรงงานนั้นด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.10 พารามิเตอร์ที่จำเป็นในการใช้ตรวจสอบและการควบคุมการต้มระเหยน้ำอ้อย

พารามิเตอร์	จำนวนพารามิเตอร์		รวม
	การตรวจสอบ (MON)	การควบคุม (CTRL)	
ระดับ	-	15	15
อัตราการไหล	-	3	3
อุณหภูมิ	15	3	18
ความดัน	-	3	3
บริกส์	3	-	3
รวมจำนวนพารามิเตอร์			42

ตารางที่ 2.11 ตารางอุปกรณ์ระดับฟิลต์ที่จำเป็นสำหรับการติดตั้งในการต้มระเหยน้ำอ้อย

อุปกรณ์ระดับฟิลต์	จำนวนอุปกรณ์
ทรานสมิตเตอร์ระดับ	15
ทรานสมิตเตอร์อัตราการไหล	3
ทรานสมิตเตอร์อุณหภูมิ	18
ทรานสมิตเตอร์ความดัน	3
ทรานสมิตเตอร์บริกส์	3
วาล์วควบคุม	24
ตัวควบคุมพีไอดี	24

2.6 การตกผลึก

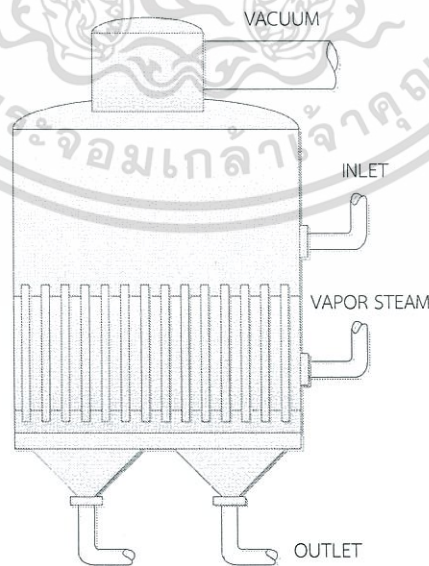
การตกผลึกเป็นขั้นตอนที่สำคัญที่นำน้ำเชื่อมมาเคี่ยวต่อเพื่อให้เกิดการอิ่มตัวยิ่งยวด (Supersaturated) และตกผลึกเป็นเมล็ดน้ำตาล ในกระบวนการตกผลึกนี้จะประกอบด้วยขั้นตอน ดังนี้ ขั้นตอนการตกผลึก ขั้นตอนการปั่นแยกน้ำตาล ขั้นตอนการอบแห้ง และขั้นตอนการบรรจุภัณฑ์

2.6.1 ขั้นตอนการตกผลึก

การต้มเคี่ยวน้ำเชื่อมและการตกผลึกน้ำตาลเป็นกระบวนการที่สำคัญที่อาจถือได้ว่าเป็นกระบวนการหลักที่จะเปลี่ยนสภาพของน้ำตาลซูโครสที่อยู่ในสภาพสารละลายน้ำเชื่อมให้เป็นผลึกน้ำตาลในสภาพของแข็ง ดังนั้นประสิทธิภาพของการผลิตน้ำตาลของโรงงานน้ำตาลจะขึ้นอยู่กับกระบวนการนี้ค่อนข้างมาก จึงต้องมีระบบการต้มเคี่ยวและระบบการตกผลึกน้ำตาลที่เหมาะสมที่จะสามารถควบคุมปริมาณน้ำตาลที่มีอยู่ในน้ำเชื่อมให้ตกผลึกแยกออกมาเป็นน้ำตาลทรายให้ได้มากที่สุด การต้มเคี่ยวน้ำตาลเป็นกระบวนการที่จำเป็นเพื่อให้ตกผลึก เนื่องจากน้ำตาลจะสามารถตกผลึกได้จะต้องมีระดับความเข้มข้นอิ่มตัวยิ่งยวดที่ค่อนข้างสูงมาก จึงไม่สามารถทำได้ในหม้อต้มระเหยน้ำอ้อย ลักษณะของหม้อเคี่ยวน้ำตาลนี้จะถูกออกแบบมาโดยเฉพาะ ที่ต้องทำงานภายในสภาพสุญญากาศที่เรียกว่า “Vacuum Pan” ที่ต้องมีระบบควบคุมความดันและการไหลวนของน้ำเชื่อมอย่างเหมาะสม เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นับญาติให้เอาไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

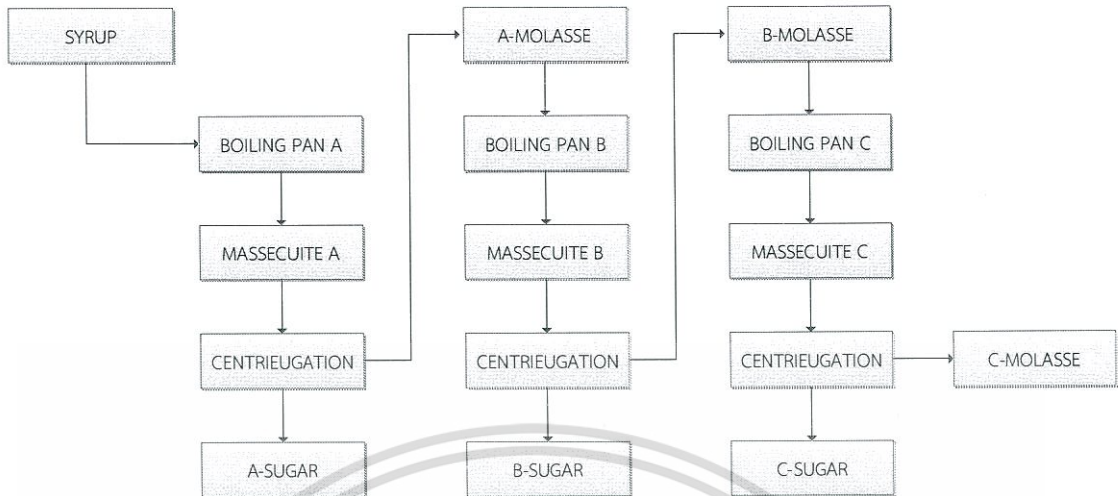
โรงงานน้ำตาลจะเรียกการต้มเคี้ยวน้ำตาลอีกอย่างหนึ่งว่า “Pan Boiling” หม้อเคี้ยวน้ำตาลมีหลายประเภทแต่ที่นิยมใช้กันทั่วไปในโรงงานน้ำตาลคือแบบ Calandria Pan แสดงในรูปที่ 2.15 นอกจากนั้นวิธีของการต้มเคี้ยวน้ำตาลสามารถดำเนินการได้หลายแบบ แต่ที่นิยมใช้ในโรงงานน้ำตาลอย่างแพร่หลายเป็นแบบการต้มเคี้ยว 3 ครั้ง (Three Boiling System)

วิธีการต้มเคี้ยวน้ำตาลแบบการต้มเคี้ยว 3 ครั้ง (Three Boiling System) เป็นกระบวนการต้มเคี้ยวน้ำเชื่อมที่มีการตกผลึกน้ำตาล 3 ครั้งจะได้น้ำตาลออกมา 3 ชนิด คือน้ำตาลเอ น้ำตาลบี น้ำตาลซี โดยจะดำเนินการต้มเคี้ยวน้ำเชื่อมและเติมผลึกล่อจนได้ปริมาณผลึกตามที่ค่าควบคุมแล้วเรียกว่าแมสควิทเอ (A-Massecuite) จะนำไปปั่นแยกเมล็ดครั้งแรก จะได้น้ำตาลออกมาเรียกว่าน้ำตาลเอ (A-Sugar) และกากน้ำตาลเอ (A-Molasse) ซึ่งกากน้ำตาลเอยังมีค่าความบริสุทธิ์สูงและยังมีค่าโพลหรือปริมาณน้ำตาลเหลืออยู่ค่อนข้างสูง จึงนำไปเคี้ยวต่ออีกครั้งในหม้อเคี้ยวน้ำตาลบี จนได้แมทควิทบี เมื่อนำไปปั่นแยกเมล็ดจะได้น้ำตาลบีและกากน้ำตาลบี ซึ่งกากน้ำตาลบียังมีค่าความบริสุทธิ์และยังมีค่าโพล หรือปริมาณน้ำตาลเหลืออยู่จึงนำไปเคี้ยวต่ออีกครั้งในหม้อเคี้ยวน้ำตาลซี จนได้แมทควิทซี เมื่อนำไปปั่นแยกเมล็ดจะได้น้ำตาลซีและกากน้ำตาลสุดท้ายหรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า Final Molasse แผนภาพแสดงการเคี้ยวแบบสามครั้งแสดงไว้ในรูปที่ 2.16 การจัดการวิธีการต้มเคี้ยวน้ำตาลแบบการต้มเคี้ยว 3 ครั้ง (Three Boiling System) บางโรงงานก็จะเรียกว่าแบบ “Two and Half Boiling System” หรือระบบ “A-B-C Boiling System” เหมือนกัน แต่จะมีการควบคุมค่าความบริสุทธิ์ของน้ำตาลโดยการกำหนดแผนการผลิตน้ำตาลทรายเอจะนำไปใช้ทำน้ำตาลทรายขาวและน้ำตาลทรายขาวบริสุทธิ์ ส่วนน้ำตาลบีที่ได้เป็นน้ำตาลทรายดิบสำหรับส่งออกต่างประเทศ และน้ำตาลซีนำไปเป็นผงเชื่อน้ำตาลหรือนำไปเข้ากระบวนการผลิตน้ำตาลทรายใหม่อีกครั้ง



รูปที่ 2.15 ลักษณะหม้อเคี้ยวน้ำตาลแบบ Calandria Pan

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

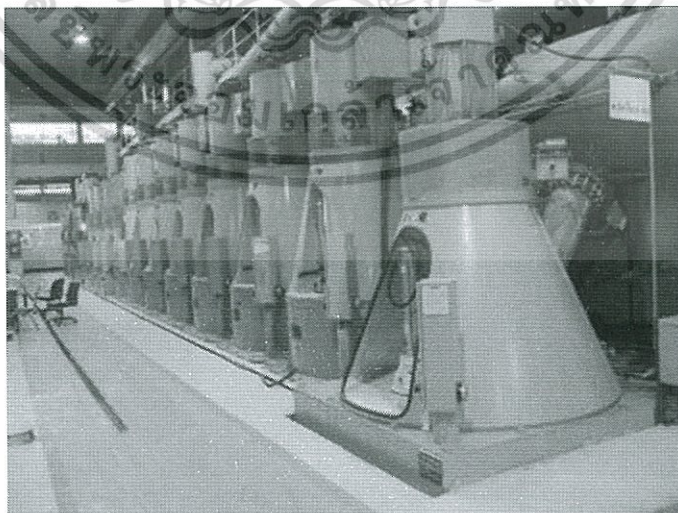


รูปที่ 2.16 วิธีการต้มเคี้ยวน้ำตาลแบบสามครั้ง

2.6.2 ขั้นตอนการปั่นแยกผลึก

การปั่นแยกผลึกน้ำตาลจากแมสคิวท์ที่มีความหนืดค่อนข้างสูง จะต้องอาศัยพลังงานจำนวนมากที่จะต้องปั่นแยกผลึกน้ำตาลออกมาจากน้ำเชื่อมเข้มข้นที่อยู่รอบ ๆ ผลึก โดยอาศัยหลักการของแรงเหวี่ยง (Centrifugal Force) ซึ่งเป็นแรงหนีศูนย์กลาง ด้วยเครื่องปั่นที่เรียกว่า “Centrifuge” หรือ “Centrifugal Machine” ส่วนใหญ่จะเป็นแบบ Basket Centrifuge มีทั้งทำงานเป็นกะและทำงานแบบต่อเนื่อง

1. เครื่องปั่นแยกผลึกน้ำตาลแบบทำงานเป็นกะ



รูปที่ 2.17 หม้อปั่นแยกผลึกน้ำตาลแบบทำงานเป็นกะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องปั่นแยกผลึกน้ำตาลประกอบไปด้วยถังหรือหม้อปั่นที่ผนังมีรูพรุนเหมือนตะแกรงซึ่งติดอยู่กับแกนหมุนผนังหม้อปั่นอาจมีตะแกรงชั้นเดียวที่มีขนาดตะแกรง 8 แมช หรือแบบ 2 ชั้นที่ประกอบไปด้วยขนาดตะแกรง 5 แมช และ 8 แมช การทำงานจะทำงานเป็นรอบเริ่มจากการป้อนแมชคิทเข้าหม้อปั่น จากนั้นหม้อปั่นจะหมุนด้วยความเร็วรอบประมาณ 1,000-2,000 รอบต่อนาที ซึ่งขึ้นกับขนาดและความสามารถของหม้อปั่นที่ใช้ เมื่อปั่นกากน้ำตาลหลุดออกมาจากภายนอกหม้อหมดแล้ว จะทำการล้างผลึกด้วยน้ำร้อนจากนั้นจะปั่นต่อจนเกือบแห้งหลังจากนั้นหม้อปั่นจะหยุดและปล่อยผลึกน้ำตาลออกมา จากนั้นจะเริ่มรอบการปั่นใหม่ ลักษณะของหม้อปั่นแบบเป็นกะแสดงในรูปที่ 2.17

2. เครื่องปั่นแยกผลึกน้ำตาลแบบทำงานต่อเนื่อง

ปัจจุบันเครื่องปั่นน้ำตาลแบบต่อเนื่องมีการทำงานที่ไม่ยุ่งยากมีค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาต่ำกว่าแบบทำงานเป็นกะใช้พลังงานน้อยกว่าและมีแรงต้านของการกรองน้อยกว่าลักษณะการทำงานจะทำงานคล้ายคลึงกับหม้อปั่นที่ทำงานเป็นกะ แต่แบบต่อเนื่องจะใช้แมชคิทเข้าและน้ำตาลออกตลอดเวลา ลักษณะของหม้อปั่นแบบต่อเนื่องแสดงในรูปที่ 2.18



รูปที่ 2.18 ลักษณะของหม้อปั่นแบบต่อเนื่อง

2.6.3 ขั้นตอนการอบแห้งน้ำตาล

ผลึกน้ำตาลที่ออกมาจากหม้อปั่นจะมีความชื้นหรือความเปียกอยู่ เพราะการทำงานของหม้อปั่นไม่สามารถไล่ น้ำ ออกจากผลึกน้ำตาลโดยเฉพาะความชื้นของกากน้ำตาลที่หุ้มอยู่รอบ ๆ ผลึกได้หมด ดังนั้นจึงต้องนำมาอบไล่ความชื้นเพื่อให้ได้ตามมาตรฐานที่กำหนดสำหรับน้ำตาลทรายดิบต้องมีความชื้นไม่เกิน 0.6% อย่างไรก็ตามการอบแห้งน้ำตาลทรายดิบยังต้องคำนึงถึงปัจจัยความปลอดภัยในการเก็บรักษาน้ำตาลด้วย เนื่องจากน้ำตาลเป็นผลึกที่มีอนุภาคขนาดเล็กมีน้ำหนักเบา จึงนิยมใช้การอบแห้งด้วยวิธีการอบแห้งแบบเบคลอยด์ซึ่งเป็นวิธีการอบแห้งที่มีประสิทธิภาพในการถ่ายเท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่ควรนำเอกสารนี้ไปใช้
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

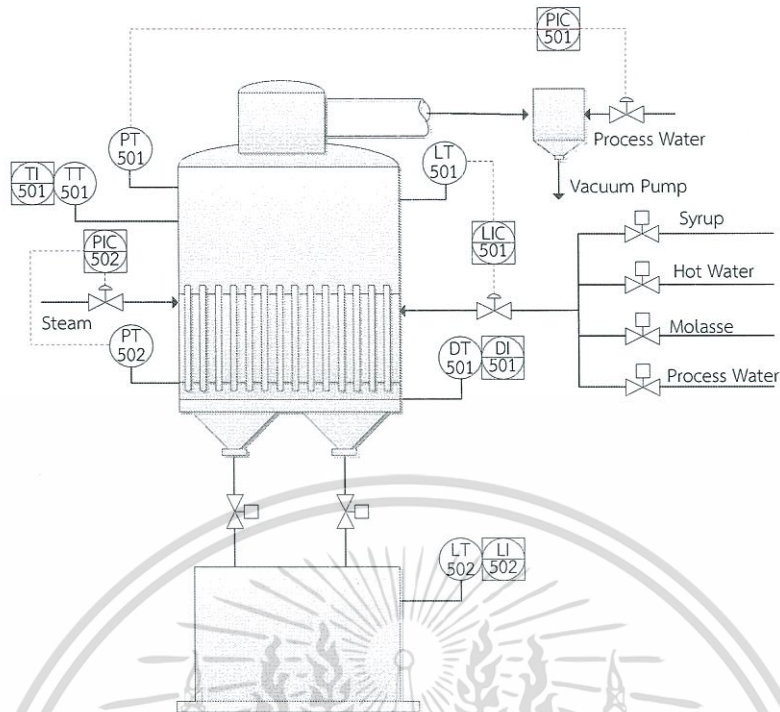
ความร้อนสูงมาก มีอัตราการอบแห้งสูงมาก เครื่องอบแห้งมีมากมายหลายชนิด แต่แบบที่นิยมใช้ในการอบน้ำตาลคือเครื่องอบแห้งแบบหมุน เครื่องอบแห้งแบบหมุนเป็นเครื่องอบแห้งที่มีอัตราการอบแห้งสูงเนื่องจากตัวมวลที่ทำการอบแห้งจะมีการเคลื่อนที่และมีการหมุนตามตัวถังอบแห้ง ทำให้มีการพลิกตัวของมวลตลอดเวลา ทำให้พื้นที่ผิวของมวลสัมผัสสัมผัสความร้อนมากขึ้นลักษณะการทำงานคล้ายกับถังผสมปูนซีเมนต์

2.6.4 ขั้นตอนการบรรจุภัณฑ์

โรงงานน้ำตาลจะมีห้องบรรจุน้ำตาลทรายที่มีระบบการบรรจุที่ทำงานแบบอัตโนมัติและแบบกึ่งอัตโนมัติ น้ำตาลจะส่งผ่านเครื่องชั่งอัตโนมัติที่สามารถตั้งน้ำหนักได้ตามต้องการ แล้วปล่อยน้ำตาลลงในถุงหรือกระสอบโพลีเอทิลีนขนาดบรรจุ 100 kg 500 kg และ 1,000 kg

2.6.5 เครื่องมือวัดและการควบคุมในการตกผลึก

ก่อนหน้าที่น้ำเชื่อมจะเข้าหม้อต้มเคี้ยวน้ำตาลจะต้องให้ภายในหม้อต้มเคี้ยวน้ำตาลมีความร้อนก่อนโดยใช้ทรานสมิตเตอร์ความดัน (PT-502) เป็นตัววัดและส่งค่าไปให้ระบบควบคุม (PIC-502) ทำการเปิดวาล์วควบคุมเพิ่มถ้าความดันน้อยเกินไปและทำการลดวาล์วควบคุมเมื่อความดันมากเกินไป ค่าเป้าหมาย จากนั้นจะทำให้ภายในหม้อเป็นสุญญากาศโดยใช้ทรานสมิตเตอร์ความดัน (PT-501) เป็นตัววัดและส่งค่าไปให้ระบบควบคุม (PIC-501) ทำการเปิดวาล์วควบคุมเพิ่มถ้าสุญญากาศน้อยเกินไปและทำการลดวาล์วควบคุมเมื่อสุญญากาศมากเกินไปค่าเป้าหมาย หลังจากนั้นจะนำน้ำเชื่อมหรือโมลลาสเข้าภายในหม้อเคี้ยวโดยใช้ทรานสมิตเตอร์ระดับ (LT-501) เป็นตัววัดและส่งค่าไปให้ระบบควบคุม (LIC-501) ทำการเปิดวาล์วควบคุมเพิ่มถ้าระดับต่ำเกินไปและทำการลดวาล์วควบคุมเมื่อระดับสูงเกินไปค่าเป้าหมาย หลังจากนั้นจะทำการต้มเคี้ยวน้ำตาลไปเรื่อย ๆ จนถึงจุดอิ่มตัว ยิงยวด จะทำการเติมเชื้อเพื่อเข้าไปหล่อให้น้ำตาลเป็นผลึก จะทำการเคี้ยวต่อไปเรื่อย ๆ เพื่อเพิ่มขนาดของผลึกน้ำตาล จนได้ขนาดผลึกน้ำตาลที่ต้องการแล้วจะทำการถายน้ำตาลออกจากหม้อต้มเคี้ยวน้ำตาล ก่อนที่จะถายน้ำตาลออกจากหม้อต้มเคี้ยวน้ำตาลให้สังเกตที่ทรานสมิตเตอร์ระดับความสูง (LT-502) ของถังพักแมทควิทก่อนเพื่อป้องกันการล้นของน้ำตาล หากยังลงไม่ได้จะต้องเคี้ยวแมทควิทต่อไปทำให้ผลึกน้ำตาลมีขนาดใหญ่ขึ้นผู้เคี้ยวน้ำตาลจะเติมน้ำร้อนเข้าไปเพื่อช่วยลดขนาดของผลึกน้ำตาล หากเติมน้ำร้อนมากเกินไปจะทำให้ขนาดผลึกน้ำตาลลดลงจะเติมน้ำเชื่อมหรือโมลลาสเข้าไปเพิ่มขนาดผลึก จนกว่าจะถายน้ำตาลออกได้ ที่หม้อต้มเคี้ยวน้ำตาลจะใช้ทรานสมิตเตอร์วัดอุณหภูมิ (TT-501) แสดงผลค่าอุณหภูมิที่ใช้ในหม้อต้มเคี้ยวน้ำตาลให้ผู้ควบคุมได้รับทราบและทรานสมิตเตอร์วัดค่าความเข้มข้น (DT-501) แสดงผลค่าความเข้มข้นที่ใช้ในหม้อต้มเคี้ยวน้ำตาลให้ผู้ควบคุมได้รับทราบ หลังจากนั้นจะเริ่มรอบการทำงานใหม่ แสดงในรูปที่ 2.19 และตารางที่ 2.12 สรุปเครื่องมือวัดที่ติดตั้งใช้งานในการควบคุมสำหรับขั้นตอนการเคี้ยวน้ำตาล



รูปที่ 2.19 ระบบควบคุมสำหรับขั้นตอนการเคี่ยวน้ำตาล

ตารางที่ 2.12 เครื่องมือวัดที่ติดตั้งใช้งานในการควบคุมสำหรับขั้นตอนการเคี่ยวน้ำตาล

ชื่ออุปกรณ์	รายละเอียด
PT-501	ทรานสมิตเตอร์วัดความดันสุญญากาศภายในหม้อเคี่ยวน้ำตาล
PIC-501	ตัวควบคุมความดันสุญญากาศภายในหม้อเคี่ยวน้ำตาล
PT-502	ทรานสมิตเตอร์วัดความดันไอน้ำภายในหม้อเคี่ยวน้ำตาล
PIC-502	ตัวควบคุมความดันไอน้ำภายในหม้อเคี่ยวน้ำตาล
LT-501	ทรานสมิตเตอร์วัดระดับน้ำเชื่อมภายในหม้อเคี่ยวน้ำตาล
LIC-501	ตัวควบคุมระดับน้ำเชื่อมภายในหม้อเคี่ยวน้ำตาล
TT-501	ทรานสมิตเตอร์วัดอุณหภูมิภายในหม้อเคี่ยวน้ำตาล
TI-501	ตัวตรวจสอบอุณหภูมิภายในหม้อเคี่ยวน้ำตาล
DT-501	ทรานสมิตเตอร์วัดค่าความเข้มข้นในหม้อเคี่ยวน้ำตาล
DI-501	ตัวตรวจสอบค่าความเข้มข้นในหม้อเคี่ยวน้ำตาล
LT-502	ทรานสมิตเตอร์วัดระดับแมสคิวทภายในถังพัก
LI-502	ตัวตรวจสอบระดับแมสคิวทภายในถังพัก

เนื่องจากกระบวนการตกผลึกน้ำตาลเป็นกระบวนการที่มีความซับซ้อน มีอุปกรณ์ที่ใช้ในการควบคุมและการตอบสนองมาก จึงไม่สามารถอธิบายได้หมด แต่อย่างไรก็ตามโรงงานผลิตน้ำตาลทรายดิบจะมีกระบวนการตกผลึก วิธีการควบคุม ทรานสมิตเตอร์และวาล์วควบคุม ที่แตกต่างกันจะขึ้นอยู่กับกำลังการผลิตน้ำตาลทรายดิบและสภาพแวดล้อมของโรงงานนั้นด้วย ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.13 จะแสดงให้เห็นถึงพารามิเตอร์ที่จำเป็นในการที่ใช้ตรวจสอบและการควบคุมการตกผลึกน้ำตาล และตารางที่ 2.14 แสดงให้เห็นถึงอุปกรณ์ระดับฟิลต์ที่จำเป็นสำหรับการติดตั้งในการตกผลึกน้ำตาล ซึ่งจำนวนพารามิเตอร์และอุปกรณ์ระดับฟิลต์ของกระบวนการตกผลึกน้ำตาล แต่ละโรงงานจะมีไม่เท่ากันขึ้นอยู่กับรูปแบบการควบคุม สภาพแวดล้อมและกำลังการผลิตของโรงงานนั้นด้วย

ตารางที่ 2.13 พารามิเตอร์ที่จำเป็นในการที่ใช้ตรวจสอบและการควบคุมการตกผลึกน้ำตาล

พารามิเตอร์	จำนวนพารามิเตอร์		รวม
	การตรวจสอบ (MON)	การควบคุม (CTRL)	
ระดับ	74	2	76
อัตราการไหล	-	5	5
อุณหภูมิ	2	22	24
ความดัน	-	12	12
บริกส์	6	9	15
		รวม	132

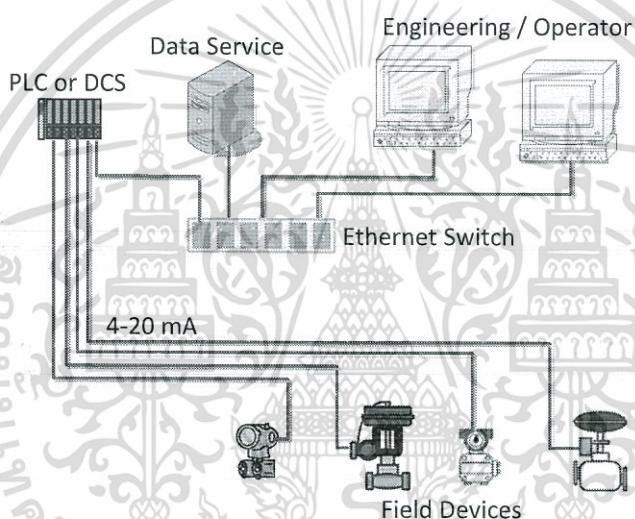
ตารางที่ 2.14 อุปกรณ์ระดับฟิลต์ที่จำเป็นสำหรับการติดตั้งในการตกผลึกน้ำตาล

อุปกรณ์ระดับฟิลต์	จำนวนอุปกรณ์
ทรานสมิตเตอร์ระดับ	76
ทรานสมิตเตอร์อัตราการไหล	5
ทรานสมิตเตอร์อุณหภูมิ	24
ทรานสมิตเตอร์ความดัน	12
ทรานสมิตเตอร์บริกส์	15
วาล์วควบคุม	50
ตัวควบคุมพีไอดี	50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7 ระบบวัดคุมแบบแอนะล็อก 4-20 mA

ในโรงงานผลิตน้ำตาลทรายดิบโดยทั่วไปในปัจจุบันจะใช้การประมวลผลของด้วยพีแอลซี (Programmable Logic Controller : PLC) หรือดีซีเอส (Distributed Control System : DCS) ในระบบควบคุมและตรวจสอบ โดยการรับสัญญาณ 4-20 mA จากเซนเซอร์ไปให้พีแอลซีหรือดีซีเอส ทำการประมวลผลระบบควบคุมหลังจากนั้นจะส่งสัญญาณ 4-20 mA ให้กับวาล์วควบคุมทำงานตามคำสั่งของพีแอลซีหรือดีซีเอส โดยที่เซนเซอร์และวาล์วควบคุมจะมีสายสัญญาณเป็นของตัวเองในการรับส่งสัญญาณ 4-20 mA กับพีแอลซีหรือดีซีเอส ถ้ามีจำนวนเซนเซอร์และวาล์วควบคุมมาก สายสัญญาณก็จะมากตามไปด้วย โดยผู้ใช้งานสามารถสังเกตและสั่งงานการทำงานของควบคุมและการตรวจสอบได้ที่เครื่อง Engineering/Operator ดังแสดงในรูปที่ 2.20



รูปที่ 2.20 การเชื่อมต่อระบบวัดคุมแบบแอนะล็อก 4-20 mA

2.8 ค่าใช้จ่ายในการลงทุนสำหรับระบบวัดคุมแบบแอนะล็อก 4-20 mA ในกรณีศึกษา

ในหัวนี้จะนำเสนอเกี่ยวกับการวิเคราะห์การลงทุนด้านวัสดุอุปกรณ์ ด้านการติดตั้งและด้านการคอมมิชชั่นนี้ ระบบวัดควบคุมแบบแอนะล็อก 4-20 mA ซึ่งเป็นระบบที่นิยมใช้กันในกระบวนการผลิตน้ำตาลทรายดิบ โดยจะศึกษากระบวนการผลิตน้ำตาลทรายดิบที่มีกำลังการผลิต 28,000 ตัน อ้อยต่อวัน

จากตารางที่ 2.4 ตารางที่ 2.7 ตารางที่ 2.10 และตารางที่ 2.13 สามารถนำมาสรุปเป็นพารามิเตอร์จำเป็นในการที่ใช้ตรวจสอบและการควบคุมในกระบวนการผลิตน้ำตาลทรายดิบ แสดงให้เห็นในตารางที่ 2.15 จากตารางที่ 2.5 ตารางที่ 2.8 ตารางที่ 2.11 และตารางที่ 2.14 สามารถนำมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปเป็นอุปกรณ์ระดับฟิลต์ที่จำเป็นสำหรับการติดตั้งกระบวนการผลิตน้ำตาลทรายดิบดังแสดงในตารางที่ 2.16

ตารางที่ 2.15 พารามิเตอร์จำเป็นในการที่ใช้ตรวจสอบและมีการควบคุม

พารามิเตอร์	จำนวนพารามิเตอร์								รวม
	การสกัดอ้อย		การทำใส		การต้มระเหย		การตกผลึก		
	MON	CTRL	MON	CTRL	MON	CTRL	MON	CTRL	
ระดับ	-	6	2	-	-	15	74	2	99
อัตราการไหล	-	1	-	-	-	3	-	5	9
อุณหภูมิ	-	1	-	1	15	3	2	22	44
ความดัน	-	-	-	-	-	3	-	12	15
กรด-ด่าง	-	-	-	1	-	-	-	-	1
บริกส์	-	-	-	-	3	-	6	9	18
การเคลื่อนที่ของสายพานลำเลียง	20	-	-	-	-	-	-	-	20
ความเร็วของมอเตอร์	4	-	-	-	-	-	-	-	4
รวมจำนวนพารามิเตอร์									210

ตารางที่ 2.16 อุปกรณ์ระดับฟิลต์ที่จำเป็นสำหรับการติดตั้ง

อุปกรณ์ระดับ	จำนวนอุปกรณ์				รวม
	การสกัดอ้อย	การทำใส	การต้มระเหย	การตกผลึก	
ทรานสมิตเตอร์ระดับ (LT)	6	2	15	76	99
ทรานสมิตเตอร์อัตราการไหล (FT)	1	-	3	5	9
ทรานสมิตเตอร์อุณหภูมิ (TT)	1	1	18	24	44
ทรานสมิตเตอร์ความดัน (PT)	-	-	3	12	15
ทรานสมิตเตอร์กรด-ด่าง (pHT)	-	1	-	-	1
ทรานสมิตเตอร์บริกส์ (DT)	-	-	3	15	18
วาล์วควบคุม (CV)	2	2	24	50	78
ตัวควบคุมพีไอดี	8	2	24	50	84
ลิมิตสวิตช์ (LS)	8	-	-	-	8
พรีอักษิมิตส์สวิตช์ (ZI)	12	-	-	-	12
เอ็นโค้ดเดอร์ (SE)	4	-	-	-	4
รวมจำนวนอุปกรณ์ระดับฟิลต์					372

2.8.1 ค่าใช้จ่ายด้านวัสดุและอุปกรณ์

1. การประมาณค่าจำนวนการ์ดอินพุต/เอาต์พุตของระบบควบคุมแบบ PID

การประมาณค่าจำนวนการ์ดอินพุต/เอาต์พุตของระบบควบคุมแบบ PID สามารถหาได้จาก ผลรวมอุปกรณ์ที่มีการควบคุม PID ทั้งหมดหารด้วยจำนวนอินพุต/เอาต์พุต ต่อหนึ่งการ์ดที่รับได้สูงสุด จากตารางที่ 2.15 นำค่าอุปกรณ์ในแต่ละส่วนที่มีการควบคุม (CTRL) มารวมกันทั้งหมดยกเว้นระดับ ในส่วนของการสเกด 6 ชุดที่ไม่นำมาคิดเนื่องจากใช้เป็นฟรีอักษิตี้สวิตซ์แล้วเปลี่ยนจากดิจิตอลเป็น แอนะลอกในโปรแกรมจะได้ดังนี้

- ทรานสมิตเตอร์ระดับ (LT)	17	อินพุต/เอาต์พุต
- ทรานสมิตเตอร์อัตราการไหล (FT)	9	อินพุต/เอาต์พุต
- ทรานสมิตเตอร์อุณหภูมิ (TT)	27	อินพุต/เอาต์พุต
- ทรานสมิตเตอร์ความดัน (PT)	15	อินพุต/เอาต์พุต
- ทรานสมิตเตอร์กรด-ด่าง (pHT)	1	อินพุต/เอาต์พุต
- ทรานสมิตเตอร์บริกส์ (DT)	9	อินพุต/เอาต์พุต

กำหนดให้จำนวนอินพุต/เอาต์พุต ต่อหนึ่งการ์ดที่รับได้สูงสุดเป็น 8 อินพุต/เอาต์พุต

$$\begin{aligned}
 \text{การ์ดอินพุต/เอาต์พุต} &= (\text{จำนวน LT} + \text{จำนวน FT} + \text{จำนวน TT} + \text{จำนวน PT} + \text{จำนวน pHT} + \text{จำนวน DT})/8 \\
 \text{ของระบบควบคุมแบบ PID} &= (17+9+27+15+1+9)/8 \\
 &= 11
 \end{aligned}
 \tag{2.1}$$

ดังนั้นใช้ การ์ดอินพุต/เอาต์พุต ของระบบควบคุมแบบ PID ทั้งหมด 11 การ์ด

2. การประมาณค่าจำนวนการ์ดอินพุตของดิจิตอลอินพุต

การประมาณค่าจำนวนการ์ดอินพุตของดิจิตอลอินพุตสามารถหาได้จาก ผลรวมอุปกรณ์ดิจิตอลอินพุตทั้งหมดหารด้วยจำนวนอินพุตต่อหนึ่งการ์ดที่รับได้สูงสุด จากตารางที่ 2.16 นำค่าอุปกรณ์ของ ฟรีอักษิตี้สวิตซ์รวมกับลิมิตสวิตซ์จะได้ดังนี้

- ลิมิตสวิตซ์ (LS)	8	อินพุต
- ฟรีอักษิตี้สวิตซ์ (ZI)	12	อินพุต

กำหนดให้จำนวนอินพุต ต่อหนึ่งการ์ดที่รับได้สูงสุดเป็น 16 อินพุต

$$\text{การ์ดอินพุตของดิจิตอลอินพุต} = (\text{จำนวน LS} + \text{จำนวน ZI})/16 \tag{2.2}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของ บริษัท ก้าวหน้า เทคโนโลยี จำกัด ห้ามมิให้คัดลอกหรือเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจากบริษัทฯ หากฝ่าฝืนจะดำเนินการตามกฎหมายที่เกี่ยวข้องต่อไป

$$= (12+8)/16$$

$$= 1.25$$

ดังนั้นใช้ การ์ดอินพุตของดิจิทัลอินพุต ทั้งหมด 2 การ์ด

3. การประมาณค่าจำนวนการ์ดอินพุตของแอนะล็อกอินพุต

การประมาณค่าจำนวนการ์ดอินพุตของแอนะล็อกอินพุตสามารถหาได้จาก ผลรวมอุปกรณ์แอนะล็อกอินพุตทั้งหมดหารด้วยจำนวนอินพุต ต่อหนึ่งการ์ดที่รับได้สูงสุด จากตารางที่ 2.15 นำค่าอุปกรณ์ในแต่ละส่วนที่มีการแสดงผล (MON) มารวมกันทั้งหมด จะได้ดังนี้

- ทรานสมิตเตอร์ระดับ (LT) 76 อินพุต

- ทรานสมิตเตอร์บริกส์ (DT) 9 อินพุต

- ทรานสมิตเตอร์อุณหภูมิ (TT) 17 อินพุต

กำหนดให้จำนวนอินพุต ต่อหนึ่งการ์ดที่รับได้สูงสุดเป็น 8 อินพุต

$$\text{การ์ดอินพุตของแอนะล็อกอินพุต} = (\text{จำนวน LT} + \text{จำนวน DT} + \text{จำนวน TT})/8 \quad (2.3)$$

$$= (76+9+17)/8$$

$$= 12.75$$

ดังนั้นใช้ การ์ดอินพุตของแอนะล็อกอินพุต ทั้งหมด 13 การ์ด

4. การประมาณค่าจำนวนการ์ดเอาต์พุตของแอนะล็อกเอาต์พุต

การประมาณค่าจำนวนการ์ดเอาต์พุตของแอนะล็อกเอาต์พุตสามารถหาได้จาก ผลรวมอุปกรณ์แอนะล็อกเอาต์พุตทั้งหมดหารด้วยจำนวนเอาต์พุต ต่อหนึ่งการ์ดที่รับได้สูงสุด จากตารางที่ 2.15 นำค่าอุปกรณ์ในแต่ละส่วนที่มีการแสดงผล (MON) มารวมกันทั้งหมด จะได้ดังนี้

- เอ็นโค้ดเดอร์ (SE) 4 เอาต์พุต

กำหนดให้จำนวนอินพุต ต่อหนึ่งการ์ดที่รับได้สูงสุดเป็น 8 อินพุต

$$\text{การ์ดเอาต์พุตของแอนะล็อกเอาต์พุต} = \text{จำนวนของเอ็นโค้ดเดอร์}/8 \quad (2.4)$$

$$= 4/8$$

$$= 0.5$$

ดังนั้นใช้ การ์ดเอาต์พุตของแอนะล็อกเอาต์พุต ทั้งหมด 1 การ์ด

5 การประมาณค่าจำนวนการ์ดสื่อสารแอนะล็อก (NEST)

การประมาณค่าจำนวนการ์ดสื่อสารแอนะล็อก (NEST) สามารถหาได้จากจำนวนการ์ด อินพุต/เอาต์พุต ทั้งหมดหารด้วยจำนวนการ์ดสื่อสารแอนะล็อก (NEST) ที่รับได้มากที่สุด จากการคำนวณหาการ์ดแอนะล็อก อินพุต/เอาต์พุต จะได้ดังนี้

- การ์ดอินพุต/เอาต์พุต ของระบบควบคุมแบบ PID 11 การ์ด
- การ์ดอินพุตของดิจิตอลอินพุต 2 การ์ด
- การ์ดอินพุตของแอนะล็อกอินพุต 13 การ์ด
- การ์ดเอาต์พุตของแอนะล็อกเอาต์พุต 1 การ์ด

กำหนดให้การ์ด อินพุต/เอาต์พุต 8 การ์ด ต่อ การ์ดสื่อสารแอนะล็อก (NEST) 1 การ์ด

$$\begin{aligned}
 \text{การ์ดสื่อสารแอนะล็อก (NEST)} &= (\text{จำนวนการ์ดอินพุต / เอาต์พุต ของระบบควบคุม} \\
 &\quad \text{แบบ PID} + \text{จำนวนการ์ดอินพุตของดิจิตอลอินพุต} + \\
 &\quad \text{จำนวนการ์ดอินพุตของแอนะล็อกอินพุต} + \text{จำนวน} \\
 &\quad \text{การ์ดเอาต์พุตของแอนะล็อกเอาต์พุต}) / 8 \quad (2.5) \\
 &= (11+2+13+1)/8 \\
 &= 3.375
 \end{aligned}$$

ดังนั้นใช้การ์ดสื่อสารแอนะล็อก (NEST) 4 การ์ด

6. การประมาณค่าจำนวนกล่องเชื่อมต่อสายสัญญาณ 4-20 mA

การประมาณค่าจำนวนกล่องเชื่อมต่อสายสัญญาณ 4-20 mA สามารถหาได้จาก จำนวนอุปกรณ์ทั้งหมดหารด้วยจำนวนอุปกรณ์ที่ต่อเข้ากับกล่องเชื่อมต่อ ต่อจำนวนอุปกรณ์ทั้งหมดคือ 372 อุปกรณ์

กำหนดให้กล่องเชื่อมต่อสายสัญญาณ 4-20 mA 1 กล่องต่อ 10 – 11 อุปกรณ์

$$\begin{aligned}
 \text{กล่องเชื่อมต่อสายสัญญาณ 4-20 mA} &= \text{จำนวนอุปกรณ์ทั้งหมด} / 10 \quad (2.6) \\
 &= 372 / 10 \\
 &= 37.2
 \end{aligned}$$

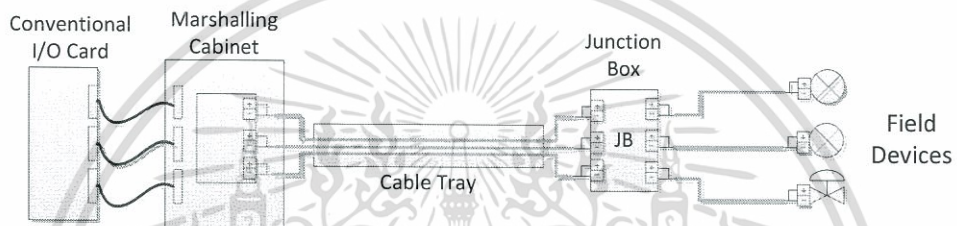
ดังนั้นใช้กล่องเชื่อมต่อสายสัญญาณ 4-20 mA 37 กล่อง

7. ตู้ควบคุม

ใช้ตู้ควบคุมขนาดความกว้าง 800 mm ความสูง 2,300 mm ความลึก 800 mm จำนวน 1 ตู้ ในการใช้ระบบควบคุมด้วย สัญญาณ 4-20 mA และจะใช้ตู้รวบรวมสัญญาณอินพุต/เอาต์พุต (Marshlling) จำนวน 4 ตู้ โดยหนึ่งตู้ Marshlling จะเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ประมาณ 95 อุปกรณ์

8. สายสัญญาณ

การคำนวณหาสายสัญญาณ สามารถหาได้จากผลรวมของระยะจากการ์ดอินพุต/เอาต์พุตถึงกล่องเชื่อมต่อสัญญาณกับระยะจากกล่องเชื่อมต่อไปยังอุปกรณ์ทุกอุปกรณ์ โดยคำนวณจากแบบที่ใช้ในการติดตั้งของอุปกรณ์ทุกตัว ลักษณะการเดินสายสัญญาณแสดงในรูปที่ 2.21



รูปที่ 2.21 การเดินสายสัญญาณ 4 – 20 mA

$$\text{ความยาวสายสัญญาณทั้งหมด} = \sum (\text{ระยะจากการ์ดถึงจุดเชื่อมต่อ} + \text{ระยะจุดเชื่อมต่อถึงอุปกรณ์}) \quad (2.7)$$

จากการคำนวณจากแบบติดตั้งอุปกรณ์ทั้งหมดความยาวสายทั้งหมดเป็น 51,100 m

9. รางเก็บสายสัญญาณ

การคำนวณหารางเก็บสายสัญญาณ (Cable Tray) สามารถหาได้จากผลรวมของระยะจากตู้ควบคุมถึงกล่องเชื่อมต่อสัญญาณทุกจุดเชื่อมต่อ โดยคำนวณจากแบบที่ใช้ในการติดตั้งของอุปกรณ์ทุกตัว ส่วนระยะจากกล่องเชื่อมต่อสัญญาณถึงอุปกรณ์นิยมเดินเป็นท่อเก็บสายไฟแทน

$$\text{ความยาวสายสัญญาณทั้งหมด} = \sum \text{ระยะจากตู้ควบคุมถึงกล่องเชื่อมต่อสัญญาณ} \quad (2.8)$$

จากการคำนวณจากแบบติดตั้งอุปกรณ์ทั้งหมดความยาวสายทั้งหมดเป็น 1,100 m

หลังจากที่ได้คำนวณหาจำนวนอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ต้องใช้แล้วจะนำค่าที่ได้มาตรวจสอบราคาสินค้าในแต่ละตัว ซึ่งราคาสินค้าแต่ละตัวจะขึ้นอยู่กับความสามารถแต่ละตัวที่ผู้ผลิตได้ผลิตไว้ และจำนวนมากหรือน้อยในการซื้อ จะสรุปไว้ในตารางที่ 2.17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.17 การสรุปค่าใช้จ่ายของวัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้สัญญาณ 4-20 mA

รายละเอียด	จำนวน	ราคาต่อหน่วย (บาท)	รวม (บาท)
AI card (8 channels)	14	240,000	3,360,000
AO card (8 channels)	1	240,000	240,000
DI card (16 channels)	2	200,000	400,000
PID card (8 channels)	11	400,000	4,400,000
AI/AO card nest	4	1,600,000	6,400,000
Marshalling cabinet	5	60,000	300,000
Junction box	37	9,000	333,000
Cable	51,100	60	3,066,000
Cable tray	1,100	3,500	3,850,000
รวมจำนวนเงิน			22,349,000

2.8.2 ค่าใช้จ่ายด้านการติดตั้ง

1. การเชื่อมต่อสายสัญญาณ

การเชื่อมต่อสายสัญญาณ (Termination) เป็นการเชื่อมต่อสายสัญญาณให้เป็นไปตามที่ผู้ใช้ได้ ออกแบบไว้ โดยสายสัญญาณที่เชื่อมต่อ ดังนี้จะใช้สายแพร์เชื่อมต่อการ์ดอินพุต/เอาต์พุตของแต่ละ การ์ด ไปยังตู้ Marshlling จากนั้นเชื่อมสาย 2 ครั้งเข้าที่อินพุต/เอาต์พุตของตู้ Marshlling และ ปลายสายอีกด้านหนึ่งจะเชื่อมต่อ 2 ครั้งเข้ากับกล่องเชื่อมต่อสายสัญญาณ ส่วนสายอีกเส้นหนึ่งจะ เชื่อมต่อจากกล่องเชื่อมต่อสายไปหาอุปกรณ์แต่ละตัว ผู้ที่ได้รับการว่าจ้างจะต้องคำนวณจุดเชื่อมต่อ สายสัญญาณทั้งหมดเพื่อประเมินราคาค่าใช้จ่าย การคำนวณหาจำนวนจุดการเชื่อมต่อสายสัญญาณ หาค่าได้จากสมการ

$$\text{จุดการเชื่อมต่อสายสัญญาณ} = \{(\text{จำนวนของอุปกรณ์} \times 4) + (\text{จำนวนของการ์ด} \times 4)\} \times 2 \quad (2.9)$$

จำนวนการ์ดอินพุต/เอาต์พุตทั้งหมด 28 การ์ด

ผลรวมอุปกรณ์ทั้งหมด 372 ตัว

แทนค่าลงในสมการที่ (2.9) จะได้

$$\begin{aligned} \text{จุดการเชื่อมต่อสายสัญญาณ} &= \{(372 \times 4) + (28 \times 2)\} \times 2 \\ &= 3,088 \end{aligned}$$

ดังนั้นจุดการเชื่อมต่อสายสัญญาณ ทั้งหมดที่นำไปประเมินราคาจำนวน 3,088 จุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การติดตั้งตู้ควบคุม

การติดตั้งตู้ควบคุม (Cabinet Installation) จะเป็นการประกอบตู้จากวัสดุที่ซื้อเข้ามาเข้าด้วยกันให้สามารถใช้งานได้ การประกอบตู้ผู้ประกอบต้องทำการออกแบบการวางอุปกรณ์ในตู้ก่อนแล้วนำไปเขียนแบบ การเขียนแบบจะต้องระบุถึงวัสดุหลักที่ต้องใช้เช่น หน่วยประมวลผลกลาง การ์ดสื่อสาร แอนะลอก การ์ดอินพุต/เอาต์พุตและแหล่งจ่ายไฟฟ้า นอกจากวัสดุอื่นๆ เพื่อที่จะให้ทำงานได้ตามระบบควบคุมที่ออกแบบไว้เช่น สวิตช์ตัดต่ออัตโนมัติ (Relay) ขั้วต่อสายไฟ (Terminal) รางเก็บสายไฟ หลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ นอต/สกรู ว่าจะใช้รุ่นไหน จำนวนกี่ตัว หลังจากนั้นผู้รับจ้างจะนำวัสดุต่างๆ นอกเหนือจากวัสดุหลักที่ผู้ว่าจ้างได้ซื้อไปแล้วและค่าแรงงานในการออกแบบเขียนแบบการติดตั้งตู้คิดเป็นค่าใช้จ่ายในการติดตั้งตู้

3. การลากสายสัญญาณ

การลากสายสัญญาณ (Cable Pulling) เป็นการเชื่อมต่อสัญญาณจากระบบควบคุมไปยังอุปกรณ์เครื่องมือวัด เพื่อให้ระบบควบคุมรับรู้ค่าพารามิเตอร์ของอุปกรณ์ได้ตลอดเวลาหรือทำให้อุปกรณ์ได้รับรู้ถึงความต้องการสั่งงานของหน่วยประมวลผลกลาง (CPU) การลากสายสัญญาณจึงเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับระบบควบคุม โดยผู้ที่ได้รับการว่าจ้างจะคำนวณค่าใช้จ่ายในการใช้แรงงานในการลากสายออกมาโดยคิดอัตราต่อเมตร

4. การเดินรางเก็บสายไฟ

การเดินรางเก็บสายไฟ (Main Cable Tray) เป็นการเดินรางเก็บสายสัญญาณขนาดใหญ่ที่มีสายสัญญาณจำนวนมากให้เป็นระบบ สวยงามและป้องกันฝุ่นละอองต่าง ๆ การเดินรางเก็บสายไฟจะเดินกับที่ที่มีสายจำนวนมาก ๆ เช่น จากตู้คอนโทรลถึงกล่องเชื่อมต่อสาย ส่วนจากจุดเชื่อมต่อสายไปยังอุปกรณ์นิยมเดินท่อร้อยสายไฟขนาดเล็ก โดยผู้ที่ได้รับการว่าจ้างจะคำนวณค่าใช้จ่ายในการใช้แรงงานในการเดินรางสายสัญญาณออกมาโดยคิดอัตราต่อเมตร

หลังจากคำนวณค่าใช้จ่ายในการติดตั้งในแต่ละส่วนออกมาแล้วนั้น ผู้ที่ได้รับการว่าจ้างจะรวมสรุปค่าใช้จ่ายในการติดตั้งทั้งหมดส่งผู้ว่าจ้าง แสดงให้เห็นในตารางที่ 2.18

ตารางที่ 2.18 การสรุปค่าใช้จ่ายในการติดตั้งระบบควบคุมแบบสัญญาณ 4-20 mA

รายละเอียด	จำนวน	ราคาต่อหน่วย (บาท)	รวม (บาท)
Termination	3,088	10	30,880
Cabinet installation	5	145,000	725,000
Cable pulling	51,100	50	2,555,000
Main cable tray	1, 100	500	550,000
รวมจำนวนเงิน			3,860,880

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ในสำนักงานเพื่อมิให้เผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต การนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตถือว่าผิดกฎหมาย และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

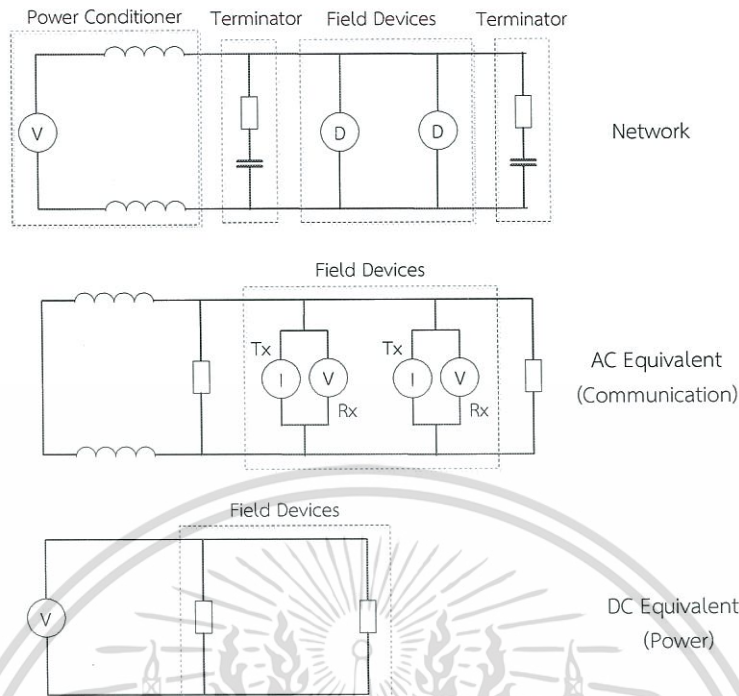
2.8.3 ค่าใช้จ่ายในการคอมมิชชันนิ่ง

การปรับแต่งระบบเป็นการทำเพื่อตรวจสอบความถูกต้องและปรับแต่งในการทำงานของอุปกรณ์เครื่องมือวัดและฟังก์ชันการทำงานของระบบควบคุมที่ละตัว เพื่อเพิ่มความแม่นยำในการทำงาน โดยบุคคลากรที่จะมาทำการปรับแต่งระบบต้องมีประสบการณ์ในการทำงานสูง เพื่อจะช่วยลดเวลาในการปรับแต่งระบบให้น้อยลง และทำให้ระบบควบคุมผลิตสินค้าได้อย่างมีคุณภาพ โดยค่าใช้จ่ายในการปรับแต่งระบบผู้ว่าจ้างจะคิดเป็นจำนวนบุคคลากรที่ไปปรับแต่งระบบต่อการทำงานใน 1 วัน (10 ชั่วโมง) และในหนึ่งวันจะสามารถคอมมิชชันนิ่งได้ทั้งหมด 15 ลูป

ตารางที่ 2.19 การสรุปค่าใช้จ่ายในการคอมมิชชันนิ่งแบบสัญญาณ 4-20 mA

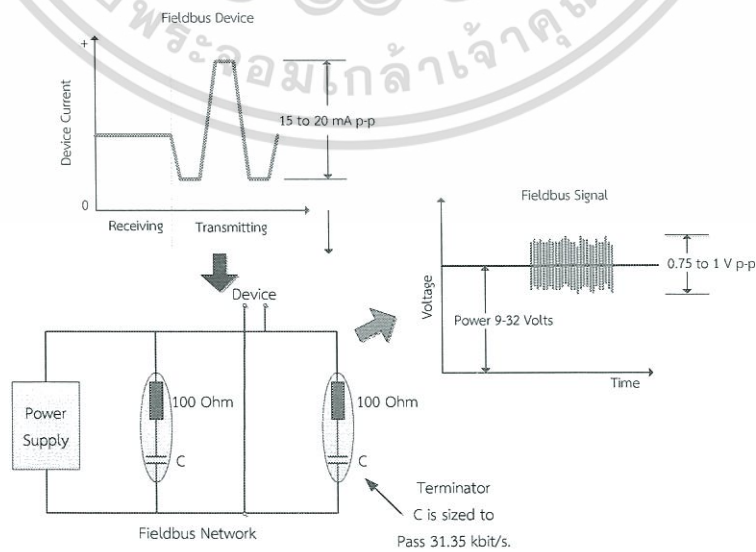
รายละเอียด	จำนวน วัน	ราคาต่อวัน (บาท)	รวม (บาท)
Loop checking and commissioning (3 Technicians @ 15 loops in 10 hrs)	14	30,000	420,000
รวมจำนวนเงิน			420,000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 วงจรสมมูลของเทคโนโลยีฟาว์เดชั่นฟิลด์บัส H1

รูปที่ 3.2 แสดงวงจรสมมูลของเทคโนโลยีฟาว์เดชั่นฟิลด์บัส H1 ประกอบไปด้วย ส่วนของเครือข่าย (Network) จะต้องมีแหล่งจ่ายไฟฟ้า พาวเวอร์คอนดิชันเนอร์ เทอร์มิเนเตอร์ และอุปกรณ์ระดับฟิลด์ต่อใช้งานอยู่ร่วมกัน ส่วนของการติดต่อสื่อสารจะมีการรับข้อมูลโดยใช้สัญญาณแรงดันและการส่งข้อมูลจะใช้สัญญาณกระแสเป็นตัวติดต่อสื่อสารกับอุปกรณ์ระดับฟิลด์ ส่วนของแหล่งจ่ายพลังงานให้กับอุปกรณ์จะใช้แรงดันไฟฟ้ากระแสตรง

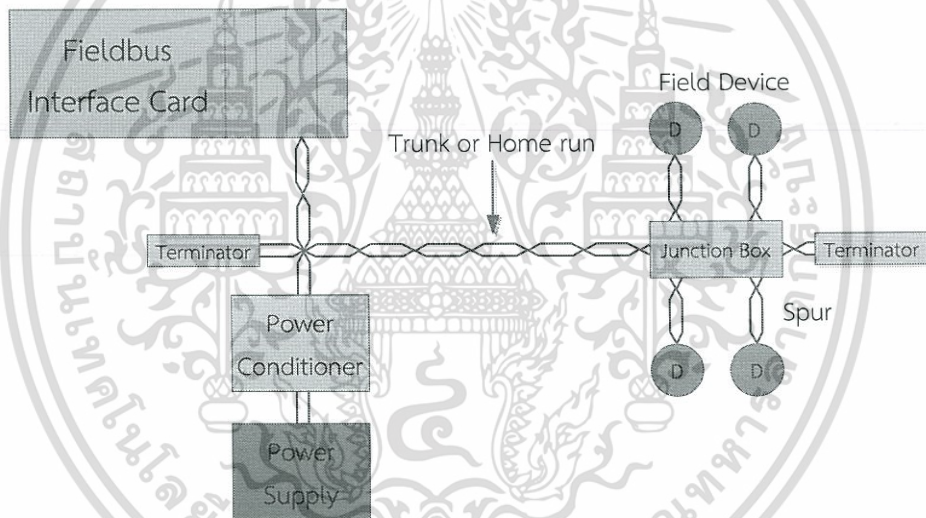


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวน **รูปที่ 3.3 การติดต่อสื่อสารที่ใช้เทคโนโลยีฟาว์เดชั่นฟิลด์บัส H1** ระเบียบข้อดำเนินการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 3.3 แสดงการติดต่อสื่อสารที่ใช้เทคโนโลยีฟาวนด์เชนฟิลด์บัส H1 โดยอุปกรณ์จะเชื่อมต่อระหว่างเทอร์มินเนเตอร์เพื่อรักษาความเร็วในรับส่งข้อมูลที่ระดับ 31.25 Kbit/s ให้คงที่ หลังจากนั้นอุปกรณ์จะรับสัญญาณขนาด 0.75-1 V_{p-p} จากตัวควบคุมเพื่อให้อุปกรณ์ทำงานตามคำสั่งของตัวควบคุม หลังจากนั้นจะส่งสัญญาณขนาด 15-20 mA_{p-p} ไปให้ตัวควบคุมเพื่อยืนยันการทำงานตามคำสั่งของตัวควบคุม ในการรับส่งข้อมูลการสื่อสารจะมีแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงขนาด 9-32 V ไปจ่ายเป็นพลังงานให้กับอุปกรณ์ระดับฟิลด์ด้วย

3.3 อุปกรณ์ที่ใช้ใน H1 ฟิลด์บัสเซกเมนต์ [31]

จากรูปที่ 3.4 อุปกรณ์ที่ใช้ใน H1 ฟิลด์บัสเซกเมนต์ซึ่งในหนึ่งเซกเมนต์ประกอบไปด้วยสายสัญญาณ เทอร์มินเนเตอร์ กล่องเชื่อมต่อสายสัญญาณ พาวเวอร์คอนดิชันเนอร์และแหล่งจ่ายไฟฟ้า อุปกรณ์เหล่านี้จะช่วยทำให้ฟาวนด์เชนฟิลด์บัสทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ



รูปที่ 3.4 อุปกรณ์ที่จำเป็นต้องใช้ในระบบฟาวนด์เชนฟิลด์บัสในหนึ่งเซกเมนต์

3.3.1 สายสัญญาณ

สายสัญญาณฟาวนด์เชนฟิลด์บัสทำหน้าที่รับและส่งข้อมูลระหว่างอุปกรณ์กับระบบและจ่ายพลังงานในรูปของแรงดันไฟฟ้าให้อุปกรณ์ด้วย สายสัญญาณฟาวนด์เชนฟิลด์บัสมีหลายประเภทที่สามารถเลือกใช้ได้ตามที่ระบุไว้ในตาราง 3.1 ชนิดของสายสัญญาณฟาวนด์เชนฟิลด์บัสระบุด้วยโดย IEC/ISA มาตรฐานชั้นกายภาพ (Physical Layer Standard) จะเรียกว่าสายประเภท A สายประเภท A นี้นิยมนำมาใช้ในการติดตั้งระบบใหม่ สามารถนำสายชนิดอื่น ๆ มาใช้เดินสายสัญญาณฟาวนด์เชนฟิลด์บัสได้แต่ต้องมีลักษณะสายป้องกันสัญญาณรบกวนหลายคู่บิดเรียกสายลักษณะนี้ว่าประเภท B สายประเภท B นี้นิยมนำมาใช้ในการติดตั้งระบบใหม่และการขยายหรือเพิ่มอุปกรณ์ลงไป

ในระบบใหม่ สายลักษณะหลายคู่บิดไม่มีสายป้องกันสัญญาณรบกวนเรียกสายลักษณะนี้ว่าประเภท C ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และสายหลายเส้นมีสายป้องกันสัญญาณรบกวนรวมเรียกสายลักษณะนี้ว่าประเภท D สายประเภท C และสายประเภท D นี้ก็นำมาใช้ในการขยายหรือเพิ่มอุปกรณ์ลงไปในระบบใหม่ ลักษณะสายสัญญาณฟาว์เดชันฟิลด์บัสแต่ละประเภทแสดงในรูปที่ 3.5

จากรูปที่ 3.4 จะเห็นว่าสายสัญญาณที่เชื่อมต่อระหว่างการ์ดอินพุต/เอาต์พุตและกล่องเชื่อมต่อสัญญาณจะถูกเรียกว่า Trunk หรือ Home Run ส่วนสายสัญญาณที่เชื่อมต่อระหว่างกล่องเชื่อมต่อสัญญาณและอุปกรณ์จะถูกเรียกว่า Spur

ตารางที่ 3.1 มาตรฐานสายสัญญาณฟาว์เดชันฟิลด์บัสแต่ละประเภท

ประเภทสายสัญญาณ	ประเภท A	ประเภท B	ประเภท C	ประเภท D
การออกแบบสายสัญญาณ	สายป้องกันสัญญาณรบกวนคู่บิด	สายป้องกันสัญญาณรบกวนหลายคู่บิด	สายหลายคู่บิด ไม่มีสายป้องกันสัญญาณรบกวน	สายหลายเส้น มีสายป้องกันสัญญาณรบกวนรวม
ขนาดสายสัญญาณ	0.8 mm ² (18 AWG)	0.32 mm ² (22 AWG)	0.13 mm ² (26 AWG)	1.25 mm ² (16 AWG)
ค่าความต้านทานภายในสายสัญญาณ	44 Ω/km	112 Ω/km	264 Ω/km	40 Ω/km
ความยาวของเซกเมนต์	1,900 m (6,232 ft.)	1,200 m (3,936 ft.)	400 m (1,312 ft.)	200 m (656 ft.)

Type A
Twisted Pair, Shielded

Type B
Multi Pair, Shielded

Type C
Multi Pair, Unshielded

Type D
(Coat Hanger, or extension cord)

รูปที่ 3.5 ลักษณะสายสัญญาณฟาว์เดชันฟิลด์บัสแต่ละประเภท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

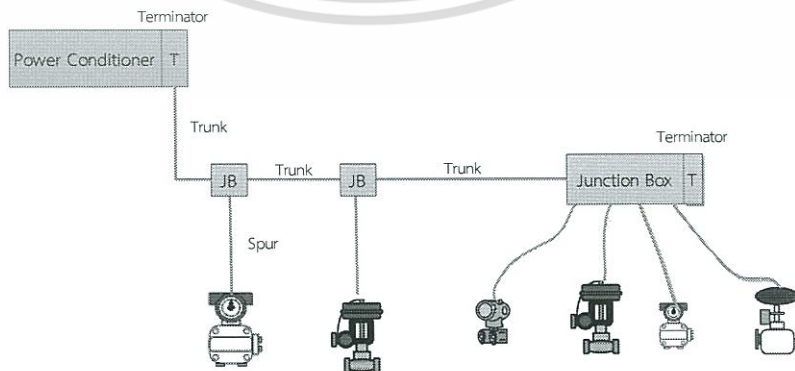
3.3.2 เทอร์มิเนเตอร์

เทอร์มิเนเตอร์เป็นอุปกรณ์เพื่อรักษาความเร็วในรับส่งข้อมูลที่ระดับ 31.25 kbit/s ภายในเทอร์มิเนเตอร์ประกอบด้วยตัวต้านทานและตัวเก็บประจุต่ออนุกรมกันดังแสดงในรูปที่ 3.6 จะถูกบรรจุอยู่ในวัสดุแบบปิดซึ่งผู้ใช้งานสามารถเลือกใช้ได้จากผู้ผลิตดังตัวอย่างแสดงในรูปที่ 3.7 ในแต่ละเซกเมนต์จะใช้เทอร์มิเนเตอร์สองตัวโดยตัวแรกมักจะถูกรวมเข้าไว้กับพาวเวอร์คอนดิชันเนอร์ส่วนตัวที่สองจะถูกรวมไว้กับกล่องเชื่อมต่อสายสัญญาณดังแสดงในรูปที่ 3.8 ปัจจุบันผู้ผลิตนิยมผลิตเทอร์มิเนเตอร์ร่วมกับแหล่งจ่ายไฟฟ้า ตัวปรับแรงดันไฟฟ้า และกล่องเชื่อมต่อสายสัญญาณเป็นอุปกรณ์เดียวกัน

รูปที่ 3.6 วงจรสมมูลเทอร์มิเนเตอร์



รูปที่ 3.7 ตัวอย่างเทอร์มิเนเตอร์ที่มีจำหน่าย

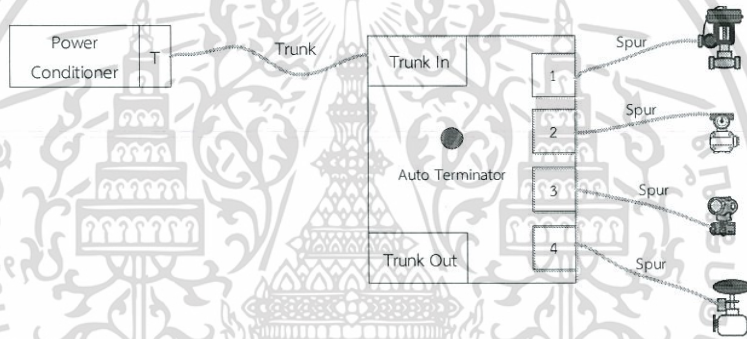


รูปที่ 3.8 ลักษณะการต่อใช้งานของเทอร์มิเนเตอร์

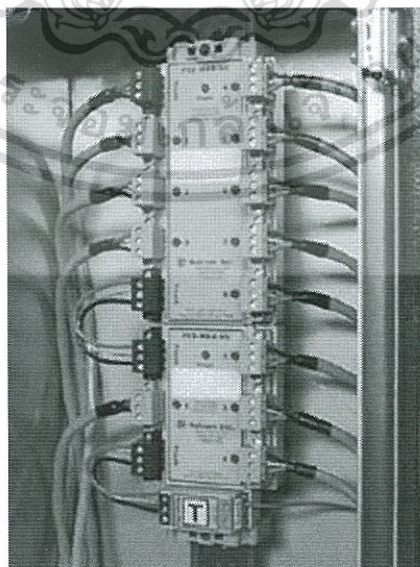
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.3 กล่องเชื่อมต่อสายสัญญาณ

กล่องเชื่อมต่อสายสัญญาณพาวเวอร์เดชันฟิลด์บัสจะทำหน้าที่รวบรวมสัญญาณจากอุปกรณ์ระดับฟิลด์ทุกตัวในฟิลด์บัสเซกเมนต์เพื่อนำไปประมวลผล โดยสาย Spur จากอุปกรณ์ระดับฟิลด์ทุกตัวในฟิลด์บัสเซกเมนต์นั้นจะมารวมกันที่กล่องเชื่อมต่อสายสัญญาณก่อนที่จะส่งผ่านทางสาย Trunk หรือ Home Run ไปเชื่อมต่อที่พาวเวอร์คอนดิชันเนอร์ให้เห็นในรูปที่ 3.9 ที่กล่องเชื่อมต่อสายสัญญาณจะมีจำนวนจุดต่อสาย Spur ที่แตกต่างกันเช่น 4 จุด 10 จุดและ 12 จุดขึ้นอยู่กับผู้เลือกใช้งานให้เหมาะสมกับที่ได้ออกแบบฟิลด์บัสเซกเมนต์ไว้ นอกจากนี้ผู้ใช้สามารถนำกล่องเชื่อมต่อสายสัญญาณมาเชื่อมต่อรวมกันได้โดยเชื่อมต่อสายที่จุดต่อ Trunk Out ของกล่องเชื่อมต่อสายสัญญาณตัวแรกไปเข้าที่จุดต่อ Trunk In ของกล่องเชื่อมต่อสายสัญญาณตัวสอง และกล่องเชื่อมต่อสายสัญญาณบางรุ่นจะมีเทอร์มิเนเตอร์รวมอยู่ในตัว บางรุ่นจะเป็นอโต้เทอร์มิเนเตอร์สามารถตรวจจับความเร็วในการสื่อสารได้เอง และในรูปที่ 3.10 แสดงลักษณะของกล่องเชื่อมต่อสายสัญญาณ



รูปที่ 3.9 ลักษณะการต่อใช้งานของกล่องเชื่อมต่อสายสัญญาณ



รูปที่ 3.10 ตัวอย่างกล่องเชื่อมต่อสายสัญญาณที่มีจำหน่าย

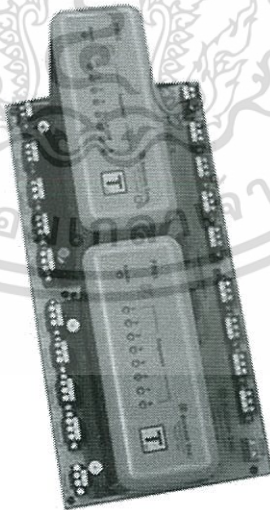
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.4 แหล่งจ่ายไฟฟ้า

แหล่งจ่ายไฟฟ้ามีหน้าที่จ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง 9-32 V ให้กับอุปกรณ์ทุกตัวในหนึ่งฟิลด์บัส เซกเมนต์ โดย Fieldbus Foundation ได้เสนอข้อกำหนดของแหล่งจ่ายไฟฟ้าออกเป็น 3 ประเภท ตามความเหมาะสมกับงานที่จะนำไปใช้แสดงในตารางที่ 3.2 แหล่งจ่ายไฟฟ้าควรติดตั้งเป็นคู่เพื่อเป็นการสำรองตามมาตรฐานระดับกายภาพ IEC/ISA ดังแสดงในรูปที่ 3.11

ตารางที่ 3.2 ประเภทของแหล่งจ่ายไฟฟ้าตามข้อกำหนดของ Fieldbus Foundation

ประเภท	รายละเอียด
ประเภท 131	<ul style="list-style-type: none"> - แหล่งจ่ายไม่มีการป้องกันในพื้นที่อันตราย - มีการป้องกันแรงดันและกระแสเกินกว่าอุปกรณ์ในพื้นที่อันตรายที่จะทนได้ - แรงดันเอาต์พุตขึ้นอยู่กับ การป้องกันความดันและกระแสเกินกว่า อุปกรณ์
ประเภท 132	<ul style="list-style-type: none"> - แหล่งจ่ายไม่มีการป้องกันในพื้นที่อันตราย - ไม่มีการป้องกันแรงดันและกระแสเกินกว่าอุปกรณ์ในพื้นที่อันตรายที่จะทนได้ - แรงดันเอาต์พุตสูงสุด 32 V
ประเภท 133	<ul style="list-style-type: none"> - แหล่งจ่ายมีการป้องกันในพื้นที่อันตราย - สอดคล้องกับพารามิเตอร์ในพื้นที่อันตราย



รูปที่ 3.11 ตัวอย่างแหล่งจ่ายไฟฟ้าที่มีจำหน่าย

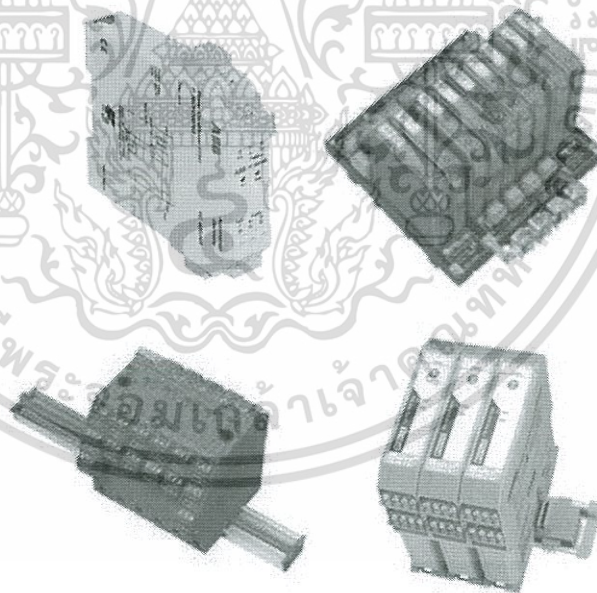
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.5 พาวเวอร์คอนดิชันเนอร์

พาวเวอร์คอนดิชันเนอร์มีหน้าที่ปรับค่าความต้านทานภายในระหว่างสัญญาณและแหล่งจ่ายแรงดันให้มีค่าที่คงที่และป้องกันการลัดวงจร ภายในตัวปรับแรงดันไฟฟ้าประกอบด้วยตัวต้านทานและตัวเหนี่ยวนำต่ออนุกรมกันแสดงในรูปที่ 3.12 จะถูกบรรจุอยู่ในวัสดุแบบปิดซึ่งผู้ใช้งานไม่จำเป็นต้องต่อตัวต้านทานและตัวเหนี่ยวนำ แสดงในรูปที่ 3.13



รูปที่ 3.12 วงจรสมมูลของพาวเวอร์คอนดิชันเนอร์



รูปที่ 3.13 ตัวอย่างพาวเวอร์คอนดิชันเนอร์ที่มีจำหน่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 การออกแบบ H1 ฟิลด์บัสเซกเมนต์

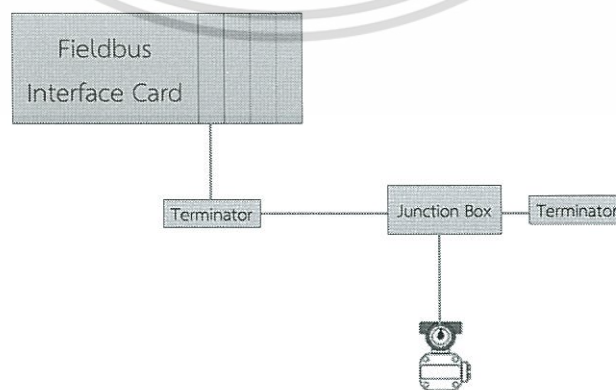
3.4.1 ระดับความเสี่ยงในการใช้งานฟิลด์บัสเซกเมนต์ [32]

การออกแบบฟิลด์บัสเซกเมนต์จะขึ้นอยู่กับการประเมินความเสี่ยงสำหรับแต่ละเซกเมนต์เป็นสิ่งจำเป็นที่ต้องคำนึงถึงลำดับแรก การออกแบบจะช่วยลดความล้มเหลวของวาล์วควบคุมลงได้เนื่องจากโหนดส่วนมากจะถูกนำมาใช้กับวาล์วควบคุมและช่วยลดความล้มเหลวการเกิดวิกฤตของเครื่องมือวัดที่เกี่ยวข้อง ฟิลด์บัสเซกเมนต์จะแบ่งการวิเคราะห์ออกเป็นสามส่วน การเลือกใช้งานจะขึ้นอยู่กับผลลัพธ์ของอุปกรณ์ระดับฟิลด์หรือความล้มเหลวในส่วนของการดำเนินงานของกระบวนการผลิต ดังนี้

1. ระดับที่ 1 เซกเมนต์และอุปกรณ์ของการควบคุมสุดท้าย จะให้มีการใช้วาล์วควบคุม 2 ตัว ใน 1 ฟิลด์บัสเซกเมนต์ เมื่อระบบล้มเหลว วาล์วควบคุมจะไม่ส่งผลให้เกิดความเสี่ยงในระยะสั้นของการหยุดกระบวนการ วาล์วควบคุมจะสามารถทำงานต่อได้แต่ต้องดำเนินการแก้ไขทันที
2. ระดับที่ 2 เซกเมนต์และอุปกรณ์ของการควบคุมสุดท้าย จะให้มีการใช้วาล์วควบคุม 1 ตัว ใน 1 ฟิลด์บัสเซกเมนต์ เมื่อระบบล้มเหลว วาล์วควบคุมจะส่งผลให้เกิดการหยุดกระบวนการทันที ทำให้เกิดความสูญเสียในการผลิต
3. ระดับที่ 3 เซกเมนต์ไม่มีการควบคุม จะให้มีการใช้อุปกรณ์ที่วัดค่า 12 ตัวใน 1 ฟิลด์บัสเซกเมนต์ อุปกรณ์ที่อยู่ในระดับนี้จะใช้วัดค่าอย่างเดียวจะไม่ใช้สำหรับการควบคุม

3.4.2 ลักษณะโครงข่ายของเซกเมนต์ [33]

การออกแบบโครงข่ายของเซกเมนต์มีอยู่หลายรูปแบบให้เลือกใช้การเลือกใช้จะขึ้นอยู่กับลักษณะของการติดตั้งอุปกรณ์ ในโครงข่ายของฟิลด์บัสเซกเมนต์จะประกอบไปด้วยสาย Trunk หรือ Home Run ทุกเซกเมนต์จะมีเส้นเดียวเหมือนกัน ส่วนสาย Spur ในหนึ่งฟิลด์บัสเซกเมนต์จะจำนวนสายอยู่มากทำให้มีโครงสร้างมีความแตกต่างกันดังนี้



รูปที่ 3.14 โครงข่ายแบบจุดต่อจุด

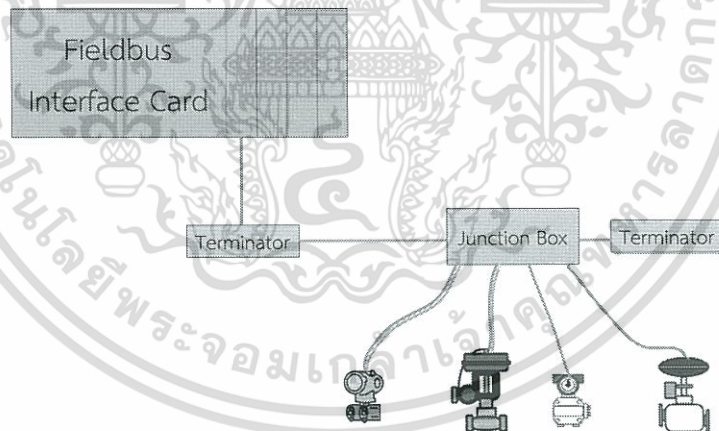
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. โครงข่ายแบบจุดต่อจุด (Point-to-Point Topology) โครงสร้างนี้สามารถมีอุปกรณ์ได้สูงสุดเพียงสองอุปกรณ์เท่านั้น การต่อใช้งานแสดงในรูปที่ 3.14 โครงสร้างนี้ไม่นิยมนำมาใช้งานเนื่องจากทำให้เกิดความสิ้นเปลืองในการลงทุน

2. โครงข่ายแบบต้นไม้ (Tree Topology) โครงข่ายนี้เป็นที่นิยมใช้อย่างกว้างขวางเนื่องจากถ้ามีการเพิ่มอุปกรณ์จะไม่จำเป็นต้องเดินสาย Trunk หรือ Home Run จะเดินเฉพาะสาย Spur ของอุปกรณ์ที่เพิ่มใหม่เท่านั้น แต่ในโครงข่ายนี้มีข้อจำกัดความยาวสาย Spur มากที่สุดได้ 120 เมตรต่อ 1-12 อุปกรณ์หากผู้ใช้งานต้องการต่ออุปกรณ์มากกว่านี้ใน 1 Spur ให้ดูข้อจำกัดที่ตารางที่ 3.3 ในรูปที่ 3.15 แสดงโครงข่ายแบบต้นไม้ (Tree Topology)

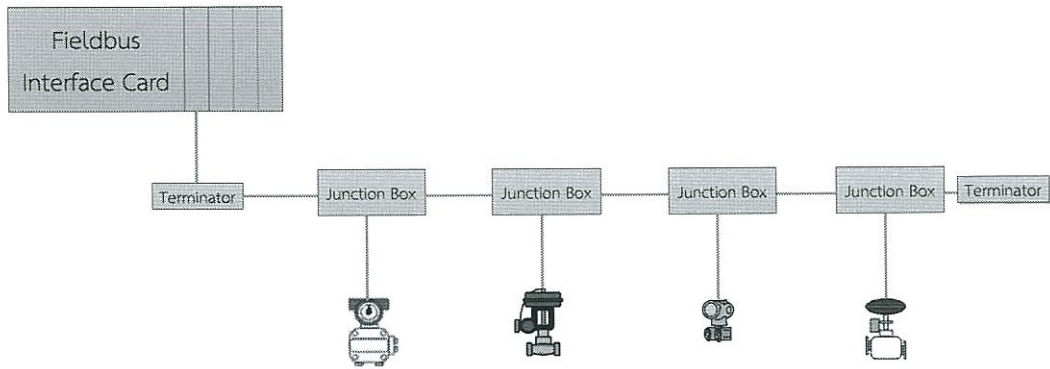
ตารางที่ 3.3 ความยาวสูงสุดของสาย Spur ที่สามารถใช้งานได้

รวมจำนวนอุปกรณ์	ความยาวต่อ Spur
25-32	1 m (3 ft.)
19-24	30 m (98 ft.)
15-18	60 m (197 ft.)
13-14	90 m (295 ft.)
1-12	120 m (394 ft.)



รูปที่ 3.15 โครงข่ายแบบต้นไม้

3. โครงข่ายแบบบัส (Bus Topology) โครงข่ายนี้ประกอบด้วยอุปกรณ์ระดับฟิลด์บัสที่เชื่อมต่อกับบัสหลักติดรอป (Multi-Drop) ตลอดความยาวของสายจะเรียกว่า Spur โครงสร้างนี้เป็นที่ยอมรับในทางเทคนิค แต่โดยทั่วไปไม่ได้เป็นตัวเลือกที่นำมาใช้งานเนื่องจากไม่เหมาะกับระบบที่มีอุปกรณ์จำนวนมาก ในรูปที่ 3.16 แสดงโครงข่ายแบบบัส



รูปที่ 3.16 โครงข่ายแบบบัส

4. โครงข่ายแบบลูกโซ่ (Daisy Chain Topology) โครงข่ายนี้จะมีการเชื่อมต่ออุปกรณ์ตัวหนึ่งไปยังอุปกรณ์อีกตัวหนึ่ง แสดงในรูปที่ 3.17 โครงสร้างนี้ไม่เป็นที่ยอมรับเนื่องจากมีปัญหาในการบำรุงรักษาจะไม่สามารถทำได้ในทันทีทันใดจะต้องหยุดการผลิตก่อนจึงจะทำได้และถ้ามีอุปกรณ์เสียหายก็จะทำให้การผลิตหยุดทันที



รูปที่ 3.17 โครงข่ายแบบลูกโซ่

จากที่กล่าวมาแล้วใน 4 โครงข่ายทาง Fieldbus Foundation ได้แนะนำให้ใช้โครงข่ายแบบขาไก่หรือโครงข่ายแบบต้นไม้ (Tree Topology) ซึ่งในข้อกำหนดนี้ต้องจำกัดความยาวรวมของสาย Trunk หรือ Home Run และสาย Spur ของสายแต่ละประเภทไม่เกินค่าความยาวสายในตารางที่ 3.1 ต่อหนึ่งเซกเมนต์ การหาความยาวรวมของสายสัญญาณสามารถทำได้ตามสมการที่ 3.1

$$\text{ความยาวรวมของสาย} = \text{ความยาว Trunk หรือ Home Run} + \text{ผลรวมความยาวสาย Spur} \quad (3.1)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.3 การคำนวณแหล่งจ่ายไฟฟ้าฟาว์เดชันฟิลต์บัล [33]

อุปกรณ์ระดับฟิลต์ที่ใช้เทคโนโลยีฟาว์เดชันฟิลต์บัลจะมีการใช้พลังงานทั้งจากภายในบัส และภายนอกบัส โดยการคำนวณแหล่งจ่ายไฟฟ้าฟาว์เดชันฟิลต์บัล จะคำนวณจากอุปกรณ์ที่ใช้พลังงานจากภายในบัสเท่านั้น อุปกรณ์แต่ละตัวจะใช้กระแสประมาณ 10-30 mA ที่แรงดันระหว่าง 9-32 V ทุกฟิลต์บัลเซกเมนต์ควรออกแบบให้แรงดันสูงกว่าแรงดันจริงที่อุปกรณ์ระดับฟิลต์บัลรับประมาณ 2 V ขึ้นตอนในการคำนวณแหล่งจ่ายไฟฟ้าฟาว์เดชันฟิลต์บัลมีขั้นตอนดังนี้

1. หาผลรวมของกระแสจากอุปกรณ์ทุกตัวในเซกเมนต์นั้น
2. เพิ่มกระแสการลัดวงจรประมาณ 50 mA
3. เพิ่มกระแสอีก 15%-25% ให้รองรับการเพิ่มอุปกรณ์ในอนาคต

จากนั้นจะได้ค่ากระแสรวมที่นำไปเลือกใช้แหล่งจ่ายไฟฟ้า โดยการเลือกจะต้องเลือกแหล่งจ่ายไฟฟ้าที่มีขนาดห้ามต่ำกว่าค่ากระแสรวมที่หาค่าได้ หลังจากนั้นจะต้องคำนวณหาแรงดันไฟฟ้าที่อุปกรณ์ทุกตัว โดยในตัวอย่างนี้ได้หาค่าแรงดันที่อุปกรณ์ไว้เป็น 11 V สูตรที่ใช้ในการหาแรงดันไฟฟ้าที่ตกรวมอุปกรณ์ทุกตัวเขียนได้ดังนี้

$$V_d = V_{JB} - \{(\sum I_d + I_{sc}) \times R_c \times X_m\} \quad (3.2)$$

เมื่อค่า V_d คือ แรงดันที่อุปกรณ์

V_{JB} คือ แรงดันที่กล่องเชื่อมต่อสายสัญญาณ

I_d คือ กระแสของอุปกรณ์แต่ละตัว

I_{sc} คือ กระแสลัดวงจร

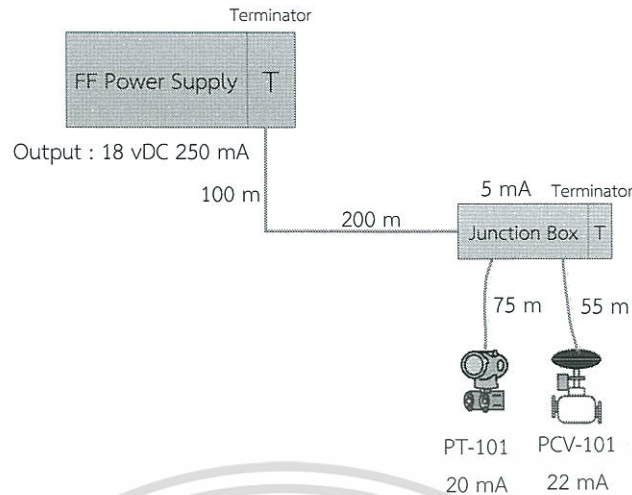
R_c คือ ค่าความต้านทานภายในของสายสัญญาณ สามารถหาค่าได้จากตารางที่ 3.1

X_m คือ ความยาวของสายสัญญาณ

จากรูปที่ 3.18 แสดงตัวอย่างที่ 1 การคำนวณแหล่งจ่ายไฟฟ้าฟาว์เดชันฟิลต์บัล โดยจากสมการที่ (3.1) หาค่าความยาวรวมของสายสัญญาณ

$$\begin{aligned} \text{ความยาวรวมของสายสัญญาณ} &= (100+200)+(75+55) \\ &= 430 \text{ m} \end{aligned}$$

ดังนั้นความยาวรวมของสายสัญญาณเป็น 430 m



รูปที่ 3.18 ตัวอย่างที่ 1 การคำนวณแหล่งจ่ายไฟฟ้าฟาว์นเดชันฟิลด์บัส

หาผลรวมของกระแสในเซกเมนต์จากรูปที่ 3.18

$$\begin{aligned} \text{ผลรวมของกระแสจากอุปกรณ์} &= 5 \text{ mA} + 20 \text{ mA} + 22 \text{ mA} \\ &= 47 \text{ mA} \end{aligned}$$

เพิ่มกระแสการลัดวงจรประมาณ 50 mA

$$\begin{aligned} \text{ผลรวมของกระแสจากอุปกรณ์} &= 47 \text{ mA} + 50 \text{ mA} \\ \text{และค่ากระแสลัดวงจร} & \\ &= 97 \text{ mA} \end{aligned}$$

เพิ่มกระแสอีก 20% ให้รองรับการเพิ่มอุปกรณ์ในอนาคต

$$\begin{aligned} \text{ผลรวมของกระแสในเซกเมนต์} &= 97 \text{ mA} \times 1.2 \\ &= 116.4 \text{ mA} \end{aligned}$$

ดังนั้นผลรวมของกระแสในเซกเมนต์เป็น 116.4 mA

จากรูปที่ 3.18 เลือกใช้แหล่งจ่ายไฟฟ้าขนาด 250 mA ซึ่งมีค่ามากกว่าผลรวมของกระแสจากอุปกรณ์ที่คำนวณได้ จึงสามารถเลือกใช้แหล่งจ่ายไฟฟ้าขนาด 250 mA ได้

หาค่าแรงดันที่สูญเสียไปในสายสัญญาณ (V_L) ผลรวมของกระแสจากอุปกรณ์เป็น 97 mA ความยาวสาย Trunk 0.3 km ใช้สายสัญญาณประเภท A ค่าความต้านทานภายในเป็น 44 Ω /km

$$\begin{aligned} \text{ค่าแรงดันที่สูญเสียไปในสาย} &= \Sigma I_d \times R_c \times x_m \\ &= 97 \text{ mA} \times 44 \text{ } \Omega/\text{km} \times 0.3 \text{ km} \\ &= 1.28 \text{ V} \end{aligned}$$

ดังนั้นค่าแรงดันที่สูญเสียไปในสายเป็น 1.28 V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หาค่าแรงดันที่กล่องเชื่อมต่อสัญญาณ (V_{JB}) จากรูปที่ 3.18 เลือกใช้แหล่งจ่ายไฟฟ้า 18 V ค่าแรงดันที่สูญเสียไปในสายเป็น 1.54 V

$$\begin{aligned}\text{ค่าแรงดันที่กล่องเชื่อมต่อสัญญาณ} &= V_p - V_L \\ &= 18 \text{ V} - 1.28 \text{ V} \\ &= 16.72 \text{ V}\end{aligned}$$

ดังนั้นค่าแรงดันที่กล่องเชื่อมต่อสัญญาณเป็น 16.72 V

หาค่าแรงดันที่อุปกรณ์ PT-101 จากสมการที่ 3.2 จะได้

$$\begin{aligned}V_{d(PT-101)} &= 16.72 - \{(20+50)\text{mA} \times 44 \times 0.075\} \\ &= 16.49 \text{ V}\end{aligned}$$

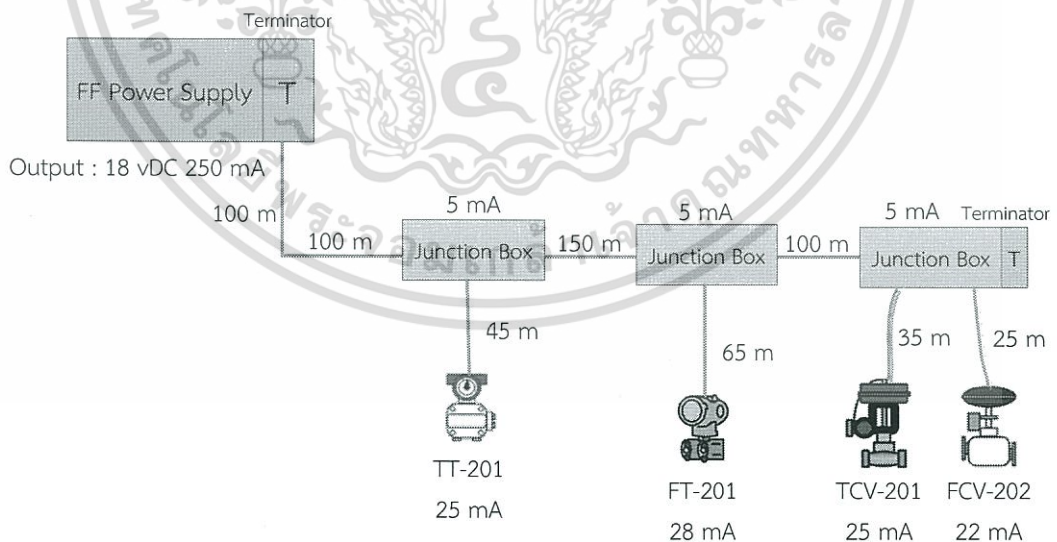
ดังนั้นค่าแรงดันที่อุปกรณ์ PT-101 เป็น 16.49 V

หาค่าแรงดันที่อุปกรณ์ PCV-101 จากสมการที่ 3.2 จะได้

$$\begin{aligned}V_{d(PCV-101)} &= 16.72 \text{ V} - \{(22+50)\text{mA} \times 44 \times 0.055\} \\ &= 16.55 \text{ V}\end{aligned}$$

ดังนั้นค่าแรงดันที่อุปกรณ์ PCV-101 เป็น 16.55 V

จะได้ค่าแรงดันที่อุปกรณ์ PT-101 เป็น 16.49 V และค่าแรงดันที่อุปกรณ์ PCV-101 เป็น 16.55 V ซึ่งมีค่ามากกว่า 11 V ตามข้อกำหนด จึงสามารถใช้งานแหล่งจ่ายไฟฟ้า 18 V 250 mA ได้



รูปที่ 3.19 ตัวอย่างที่ 2 การคำนวณแหล่งจ่ายไฟฟ้าฟาว์เดชั่นฟิลด์บัส

จากรูปที่ 3.19 แสดงตัวอย่างที่ 2 การคำนวณแหล่งจ่ายไฟฟ้าฟาว์เดชั่นฟิลด์บัส โดยจากสมการที่ (3.1) หาค่าความยาวรวมของสายสัญญาณ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned} \text{ความยาวรวมของสายสัญญาณ} &= (100+100+150+100)+(45+65+35+25) \\ &= 620 \text{ m} \end{aligned}$$

ดังนั้นความยาวรวมของสายสัญญาณเป็น 620 m

หาผลรวมของกระแสในเซกเมนต์จากรูปที่ 3.19

$$\begin{aligned} \text{ผลรวมของกระแสจากอุปกรณ์} &= (5+25+5+28+5+25+22)\text{mA} \\ &= 115 \text{ mA} \end{aligned}$$

เพิ่มกระแสการลัดวงจรประมาณ 50 mA

$$\text{ผลรวมของกระแสจากอุปกรณ์} = 115 \text{ mA} + 50 \text{ mA}$$

และค่ากระแสลัดวงจร

$$= 165 \text{ mA}$$

เพิ่มกระแสอีก 20% ให้รองรับการเพิ่มอุปกรณ์ในอนาคต

$$\begin{aligned} \text{ผลรวมของกระแสในเซกเมนต์} &= 165 \text{ mA} \times 1.2 \\ &= 198 \text{ mA} \end{aligned}$$

ดังนั้นผลรวมของกระแสในเซกเมนต์เป็น 198 mA

จากรูปที่ 3.19 เลือกใช้แหล่งจ่ายไฟฟ้าขนาด 250 mA ซึ่งมีความมากกว่าผลรวมของกระแสจากอุปกรณ์ที่คำนวณได้ จึงสามารถเลือกใช้แหล่งจ่ายไฟฟ้าขนาด 250 mA ได้

หาค่าแรงดันที่สูญเสียไปในสายสัญญาณก่อนกล่องเชื่อมต่อสายสัญญาณตัวที่หนึ่ง (V_{L1}) ผลรวมของกระแสจากอุปกรณ์เป็น 115 mA ความยาวสาย Trunk 0.2 km ใช้สายสัญญาณประเภท A ค่าความต้านทานภายในเป็น 44 Ω/km

$$\begin{aligned} \text{ค่าแรงดันที่สูญเสียไปในสาย} &= \Sigma I_d \times R_c \times X_m \\ &= 115 \text{ mA} \times 44 \Omega/\text{km} \times 0.2 \text{ km} \\ &= 1.01 \text{ V} \end{aligned}$$

ดังนั้นค่าแรงดันที่สูญเสียไปในสายเป็น 1.101 V

หาค่าแรงดันที่กล่องเชื่อมต่อสัญญาณตัวที่หนึ่ง (V_{JB1}) จากรูปที่ 3.19 เลือกใช้แหล่งจ่ายไฟฟ้า 18 V ค่าแรงดันที่สูญเสียไปในสายเป็น 1.01 V

$$\begin{aligned} \text{ค่าแรงดันที่กล่องเชื่อมต่อสัญญาณ} &= V_p - V_L \\ &= 18 \text{ v} - 1.01 \text{ V} \\ &= 16.99 \text{ V} \end{aligned}$$

ดังนั้นค่าแรงดันที่กล่องเชื่อมต่อสัญญาณตัวที่หนึ่งเป็น 16.99 V

หาค่าแรงดันที่อุปกรณ์ TT-201 จากสมการที่ 3.2 จะได้

$$\begin{aligned} V_{d(TT-201)} &= 16.99 \text{ V} - \{(25+50)\text{mA} \times 44 \times 0.045\} \\ &= 16.84 \text{ V} \end{aligned}$$

ดังนั้นค่าแรงดันที่อุปกรณ์ TT-201 เป็น 16.84 V

หาค่าแรงดันที่สูญเสียไปในสายสัญญาณก่อนกล่องเชื่อมต่อสายสัญญาณตัวที่สอง (V_{L2}) ผลรวมของกระแสจากอุปกรณ์เป็น 85 mA ความยาวสาย Trunk 0.15 km ใช้สายสัญญาณประเภท A ค่าความต้านทานภายในเป็น 44 Ω/km

$$\begin{aligned} \text{ค่าแรงดันที่สูญเสียไปในสาย} &= \Sigma I_d \times R_c \times x_m \\ &= 85 \text{ mA} \times 44 \text{ } \Omega/\text{km} \times 0.15 \text{ km} \\ &= 0.56 \text{ V} \end{aligned}$$

ดังนั้นค่าแรงดันที่สูญเสียไปในสายเป็น 0.56 V

หาค่าแรงดันที่กล่องเชื่อมต่อสัญญาณตัวที่สอง (V_{JB2}) ค่าแรงดันที่กล่องเชื่อมต่อสัญญาณตัวที่หนึ่งเป็น 16.99V ค่าแรงดันที่สูญเสียไปในสายสัญญาณก่อนกล่องเชื่อมต่อสายสัญญาณตัวที่สองเป็น 0.56 V

$$\begin{aligned} \text{ค่าแรงดันที่กล่องเชื่อมต่อสัญญาณ} &= V_{JB1} - V_{L2} \\ &= 16.99 \text{ V} - 0.56 \text{ V} \\ &= 16.43 \text{ V} \end{aligned}$$

หาค่าแรงดันที่อุปกรณ์ FT-201 จากสมการที่ 3.2 จะได้

$$\begin{aligned} V_{d(FT-201)} &= 16.43 \text{ V} - \{(28+50)\text{mA} \times 44 \times 0.065\} \\ &= 16.21 \text{ V} \end{aligned}$$

ดังนั้นค่าแรงดันที่อุปกรณ์ FT-201 เป็น 16.21 V

หาค่าแรงดันที่สูญเสียไปในสายสัญญาณก่อนกล่องเชื่อมต่อสายสัญญาณตัวที่สาม (V_{L3}) ผลรวมของกระแสจากอุปกรณ์เป็น 52 mA ความยาวสาย Trunk 0.1 km ใช้สายสัญญาณประเภท A ค่าความต้านทานภายในเป็น 44 Ω/km

$$\begin{aligned} \text{ค่าแรงดันที่สูญเสียไปในสาย} &= \Sigma I_d \times R_c \times x_m \\ &= 52 \text{ mA} \times 44 \text{ } \Omega/\text{km} \times 0.1 \text{ km} \\ &= 0.23 \text{ V} \end{aligned}$$

ดังนั้นค่าแรงดันที่สูญเสียไปในสายเป็น 0.23 V

หาค่าแรงดันที่กล่องเชื่อมต่อสัญญาณตัวที่สาม (V_{JB3}) ค่าแรงดันที่กล่องเชื่อมต่อสัญญาณตัวที่สองเป็น 16.43 V ค่าแรงดันที่สูญเสียไปในสายสัญญาณก่อนกล่องเชื่อมต่อสายสัญญาณตัวที่สามเป็น 0.23 V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned}
 \text{ค่าแรงดันที่กล่องเชื่อมต่อสัญญาณ} &= V_{JB2} - V_{L3} \\
 &= 16.43 \text{ V} - 0.23 \text{ V} \\
 &= 16.20 \text{ V}
 \end{aligned}$$

หาค่าแรงดันที่อุปกรณ์ TCV-201 จากสมการที่ 3.2 จะได้

$$\begin{aligned}
 V_{d(TCV-201)} &= 16.20 \text{ V} - \{(25+50)\text{mA} \times 44 \times 0.035\} \\
 &= 16.08 \text{ V}
 \end{aligned}$$

ดังนั้นค่าแรงดันที่อุปกรณ์ TCV-201 เป็น 16.08 V

หาค่าแรงดันที่อุปกรณ์ FCV-201 จากสมการที่ 3.2 จะได้

$$\begin{aligned}
 V_{d(FCV-201)} &= 16.20 \text{ V} - \{(22+50)\text{mA} \times 44 \times 0.025\} \\
 &= 16.12 \text{ V}
 \end{aligned}$$

ดังนั้นค่าแรงดันที่อุปกรณ์ FCV-201 เป็น 16.12 V

จะได้ค่าแรงดันที่อุปกรณ์ TT-201 เป็น 16.84 V ค่าแรงดันที่อุปกรณ์ FT-201 เป็น 16.21 V ค่าแรงดันที่อุปกรณ์ TCV-201 เป็น 16.08 V และค่าแรงดันที่อุปกรณ์ FCV-201 เป็น 16.12 V ซึ่งมีค่ามากกว่า 11 V ตามข้อกำหนด จึงสามารถใช้งานแหล่งจ่ายไฟฟ้า 18 V 250 mA ได้

บทที่ 4

การใช้เทคโนโลยีฟาว์นเดชันฟิลด์บัสในกรณีศึกษา

4.1 กล่าวนำ

ในปัจจุบันกระบวนการผลิตน้ำตาลทรายดิบได้ผลิตเพื่อจำหน่ายทั้งในประเทศและต่างประเทศ โดยแต่ละปีจะมีความต้องการของผู้บริโภคจากในประเทศและต่างประเทศสูงขึ้น ทำให้มีการสร้างโรงงานผลิตน้ำตาลทรายดิบมากขึ้น การลงทุนเป็นสิ่งจำเป็นลำดับแรกของผู้ลงทุนคำถึง ดังนั้นในบทนี้จะนำเสนอเกี่ยวกับการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายด้านวัสดุและอุปกรณ์ ค่าใช้จ่ายด้านการติดตั้ง และค่าใช้จ่ายในการคอมมิชชันนิ่งโดยใช้เทคโนโลยีฟาว์นเดชันฟิลด์บัส ในกระบวนการผลิตน้ำตาลทรายดิบที่มีกำลังการผลิต 28,000 ตันอ้อยต่อวัน

4.2 อุปกรณ์ระดับฟิลด์ที่จำเป็นสำหรับการติดตั้งที่ใช้ในกรณีศึกษา

ในการบวนการผลิตน้ำตาลทรายดิบจะมีขั้นตอนหลัก ๆ ในการผลิตทั้งหมด 4 ขั้นตอนตามลำดับดังนี้ การสกัดน้ำอ้อย (Extraction) การพักใส่น้ำอ้อย (Clarification) การต้มระเหยน้ำอ้อย (Evaporation) การตกผลึก (Crystallization) ขั้นตอนการทำงานของกระบวนการทั้ง 4 ได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 2 ขั้นตอนต่าง ๆ จำเป็นต้องใช้อุปกรณ์ระดับฟิลด์เพื่อใช้วัดค่าตัวแปรต่าง ๆ ให้กับระบบควบคุมเพื่อทำการประมวลผลเพื่อควบคุมระบบให้เป็นไปตามที่ต้องการ ซึ่งอุปกรณ์ระดับฟิลด์เพื่อใช้วัดค่าตัวแปรต่าง ๆ จะมีจำนวนเท่ากับบทที่ 2 แสดงดังตารางที่ 4.1 และตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.1 พารามิเตอร์จำเป็นในการที่ใช้ตรวจสอบและมีการควบคุมในกรณีที่ใช้ศึกษา

พารามิเตอร์	จำนวนพารามิเตอร์								รวม
	การสกัดอ้อย		การทำใส		การต้มระเหย		การตกผลึก		
	MON	CTRL	MON	CTRL	MON	CTRL	MON	CTRL	
ระดับ	-	6	2	-	-	15	74	2	99
อัตราการไหล	-	1	-	-	-	3	-	5	9
อุณหภูมิ	-	1	-	1	15	3	2	22	44
ความดัน	-	-	-	-	-	3	-	12	15
กรด-ด่าง	-	-	-	1	-	-	-	-	1
บริกส์	-	-	-	-	3	-	6	9	18
การเคลื่อนที่ของสายพานลำเลียง	20	-	-	-	-	-	-	-	20
ความเร็วของมอเตอร์	4	-	-	-	-	-	-	-	4
รวมจำนวนพารามิเตอร์									210

ตารางที่ 4.2 อุปกรณ์ระดับฟิลต์ที่จำเป็นสำหรับการติดตั้งในกรณีที่ใช้ศึกษา

อุปกรณ์ระดับฟิลต์	จำนวนอุปกรณ์				รวม
	การสกัดอ้อย	การทำไส้	การต้มระเหย	การตกผลึก	
ทรานสมิตเตอร์ระดับ (LT)	6	2	15	76	99
ทรานสมิตเตอร์อัตราการไหล (FT)	1	-	3	5	9
ทรานสมิตเตอร์อุณหภูมิ (TT)	1	1	18	24	44
ทรานสมิตเตอร์ความดัน (PT)	-	-	3	12	15
ทรานสมิตเตอร์กรด-ด่าง (pHT)	-	1	-	-	1
ทรานสมิตเตอร์บริกส์ (DT)	-	-	3	15	18
วาล์วควบคุม (CV)	2	2	24	50	78
ตัวควบคุมพีไอดี	8	2	24	50	84
ลิมิตสวิตช์ (LS)	8	-	-	-	8
พรีอักษิมิตส์วิตช์ (ZI)	12	-	-	-	12
เอ็นโค้ดเดอร์ (SE)	4	-	-	-	4
รวมจำนวนอุปกรณ์ระดับฟิลต์					372

4.3 ค่าใช้จ่ายด้านวัสดุและอุปกรณ์

4.3.1 การประมาณค่าจำนวนฟิลต์บัสเชกเมนต์ของการควบคุมแบบ PID

การประมาณค่าจำนวนฟิลต์บัสเชกเมนต์ของการควบคุมแบบ PID สามารถหาได้จากผลรวมอุปกรณ์ที่มีการควบคุม PID ทั้งหมดหารด้วยจำนวนอินพุต/เอาต์พุต ต่อหนึ่งการ์ดที่รับได้สูงสุด จากตารางที่ 4.1 นำค่าอุปกรณ์ในแต่ละส่วนที่มีการควบคุม (CTRL) มารวมกันทั้งหมดยกเว้นระดับในส่วนของการสกัดอ้อย 6 ชุด ที่ไม่นำมาคิดเนื่องจากใช้เป็นพรีอักษิมิตส์วิตช์แล้วเปลี่ยนจากดิจิทัลเป็นแอนะล็อกในโปรแกรมจะได้ดังนี้

- การควบคุมทรานสมิตเตอร์ระดับ (LT)	17	อินพุต/เอาต์พุต
- การควบคุมทรานสมิตเตอร์อัตราการไหล (FT)	9	อินพุต/เอาต์พุต
- การควบคุมทรานสมิตเตอร์อุณหภูมิ (TT)	27	อินพุต/เอาต์พุต
- การควบคุมทรานสมิตเตอร์ความดัน (PT)	15	อินพุต/เอาต์พุต
- การควบคุมทรานสมิตเตอร์กรด-ด่าง (pHT)	1	อินพุต/เอาต์พุต
- การควบคุมทรานสมิตเตอร์บริกส์ (DT)	9	อินพุต/เอาต์พุต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{ฟิลต์บัสเชกเมนต์ของการควบคุมแบบ PID} = (\text{จำนวน LT} + \text{จำนวน FT} + \text{จำนวน TT} + \text{จำนวน PT} + \text{จำนวน pHT} + \text{จำนวน DT}) / \text{จำนวนลูบควบคุมที่ใช้ในหนึ่งเชกเมนต์} \quad (4.1)$$

กรณีที่ 1 กำหนดให้มีวาล์วควบคุม 2 ตัว/ฟิลต์บัสเชกเมนต์ แทนค่าลงในสมการที่ 4.1 จะได้

$$\begin{aligned} \text{ฟิลต์บัสเชกเมนต์ของการควบคุมแบบ PID} &= (17+9+27+15+1+9)/2 \\ &= 39 \end{aligned}$$

ดังนั้นใช้ฟิลต์บัสเชกเมนต์ของระบบควบคุมแบบ PID ทั้งหมด 39 ฟิลต์บัสเชกเมนต์

กรณีที่ 2 กำหนดให้มีวาล์วควบคุม 1 ตัว/ฟิลต์บัสเชกเมนต์ แทนค่าลงในสมการที่ 4.1 จะได้

$$\begin{aligned} \text{ฟิลต์บัสเชกเมนต์ของการควบคุมแบบ PID} &= (17+9+27+15+1+9)/1 \\ &= 78 \end{aligned}$$

ดังนั้นใช้ฟิลต์บัสเชกเมนต์ของระบบควบคุมแบบ PID ทั้งหมด 78 ฟิลต์บัสเชกเมนต์

4.3.2 การประมาณค่าจำนวนฟิลต์บัสเชกเมนต์ของดิจิตอลอินพุต

การประมาณค่าจำนวนฟิลต์บัสเชกเมนต์ของดิจิตอลอินพุตสามารถหาได้จากผลรวมอุปกรณ์ดิจิตอลอินพุตทั้งหมดหารด้วยจำนวนอุปกรณ์ที่ใช้ใน 1 ฟิลต์บัสเชกเมนต์ จากตารางที่ 4.2 นำค่าอุปกรณ์ของฟรีอกซิมิตส์วิตซ์ (2 จุด/1อุปกรณ์) รวมกับลิมิตสวิตซ์จะได้ดังนี้

- ฟรีอกซิมิตส์วิตซ์ (ZI) 6 ตัว
- เอ็นโค้ดเดอร์ (SE) 4 ตัว

กำหนดให้จำนวนอุปกรณ์ที่ใช้ใน 1 ฟิลต์บัสเชกเมนต์ เป็น 10 อุปกรณ์/ ฟิลต์บัสเชกเมนต์

$$\begin{aligned} \text{ฟิลต์บัสเชกเมนต์ของดิจิตอลอินพุต} &= (\text{จำนวน ZI} + \text{จำนวน SE})/10 \\ &= (6+4)/10 \\ &= 1 \end{aligned} \quad (4.2)$$

ดังนั้นใช้ฟิลต์บัสเชกเมนต์ของดิจิตอลอินพุต ทั้งหมด 1 ฟิลต์บัสเชกเมนต์

4.3.3 การประมาณค่าจำนวนฟิลต์บัสเชกเมนต์ของแอนะล็อกอินพุต

การประมาณค่าจำนวนฟิลต์บัสเชกเมนต์ของแอนะล็อกอินพุตสามารถหาได้จากผลรวมอุปกรณ์แอนะล็อกอินพุตทั้งหมดหารด้วยจำนวนอุปกรณ์ที่ใช้ใน 1 ฟิลต์บัสเชกเมนต์ จากตารางที่ 4.1 นำค่าอุปกรณ์ในแต่ละส่วนที่มีการแสดงผล (MON) มารวมกันทั้งหมด จะได้ดังนี้

- ทรานสมิตเตอร์ระดับ (LT) 76 ตัว
- ทรานสมิตเตอร์บริกส์ (DT) 9 ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารของงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ทรานสมิตเตอร์อุณหภูมิ (TT) 17 ตัว

กำหนดให้จำนวนอุปกรณ์ที่ใช้ใน 1 ฟิลด์บัสเซกเมนต์ เป็น 12 ตัว / ฟิลด์บัสเซกเมนต์

$$\begin{aligned} \text{ฟิลด์บัสเซกเมนต์ของแอนะล็อกอินพุต} &= (\text{จำนวน LT} + \text{จำนวน DT} + \text{จำนวน TT})/12 \\ &= (76+9+17)/12 \\ &= 8.5 \end{aligned} \quad (4.3)$$

ดังนั้นใช้ฟิลด์บัสเซกเมนต์ของแอนะล็อกอินพุต ทั้งหมด 9 ฟิลด์บัสเซกเมนต์

4.3.4 การประมาณค่าจำนวนการ์ดฟาว์นเดชันฟิลด์บัสอินพุต/เอาต์พุต

การประมาณค่าจำนวนการ์ดฟาว์นเดชันฟิลด์บัสอินพุต/เอาต์พุตสามารถหาได้จาก ผลรวมจำนวนฟิลด์บัสเซกเมนต์ทั้งหมดหารด้วยจำนวนฟิลด์บัสเซกเมนต์ต่อการ์ดที่เชื่อมต่อได้สูงสุด จากการประมาณค่าจำนวนฟิลด์บัสเซกเมนต์ของระบบควบคุมแบบ PID การประมาณค่าจำนวนฟิลด์บัสเซกเมนต์ของดิจิตอลอินพุต และการประมาณค่าจำนวนฟิลด์บัสเซกเมนต์ของแอนะล็อกอินพุต ก่อนหน้านั้นจะได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{การ์ดฟาว์นเดชันฟิลด์บัส อินพุต/เอาต์พุต} &= (\text{จำนวนฟิลด์บัสเซกเมนต์ของระบบควบคุมแบบ PID} + \text{จำนวนฟิลด์บัสเซกเมนต์ของดิจิตอลอินพุต} + \text{จำนวนฟิลด์บัสเซกเมนต์ของแอนะล็อกอินพุต}) / \text{จำนวนเซกเมนต์ต่อการ์ดที่เชื่อมต่อได้สูงสุด} \end{aligned} \quad (4.4)$$

กำหนดให้ใช้ 2 ฟิลด์บัสเซกเมนต์ ต่อ 1 การ์ด แทนค่าลงในสมการที่ 4.4 จะได้

กรณีที่ 1 กำหนดให้มีวาล์วควบคุม 2 ตัว/ฟิลด์บัสเซกเมนต์ แทนค่าลงในสมการที่ 4.4 จะได้

- | | | |
|--|----|------------------|
| - ฟิลด์บัสเซกเมนต์ของระบบควบคุมแบบ PID | 39 | ฟิลด์บัสเซกเมนต์ |
| - ฟิลด์บัสเซกเมนต์ของดิจิตอลอินพุต | 1 | ฟิลด์บัสเซกเมนต์ |
| - ฟิลด์บัสเซกเมนต์ของแอนะล็อกอินพุต | 9 | ฟิลด์บัสเซกเมนต์ |

$$\begin{aligned} \text{การ์ดฟาว์นเดชันฟิลด์บัสอินพุต/เอาต์พุต} &= (39 + 1 + 9) / 2 \\ &= 24.5 \end{aligned}$$

ดังนั้นใช้การ์ดฟาว์นเดชันฟิลด์บัสอินพุต/เอาต์พุต 25 การ์ด

กรณีที่ 2 กำหนดให้มีวาล์วควบคุม 1 ตัว/ฟิลต์บัสเซกเมนต์ แทนค่าลงในสมการที่ 4.4 จะได้

- ฟิลต์บัสเซกเมนต์ของระบบควบคุมแบบ PID 78 ฟิลต์บัสเซกเมนต์
- ฟิลต์บัสเซกเมนต์ของดิจิตอลอินพุต 1 ฟิลต์บัสเซกเมนต์
- ฟิลต์บัสเซกเมนต์ของแอนะล็อกอินพุต 9 ฟิลต์บัสเซกเมนต์

$$\begin{aligned} \text{การ์ดฟาวน์เดชันฟิลต์บัสอินพุต/เอาต์พุต} &= (78 + 1 + 9) / 2 \\ &= 44 \end{aligned}$$

ดังนั้นใช้การ์ดฟาวน์เดชันฟิลต์บัสอินพุต/เอาต์พุต 44 การ์ด

4.3.5 การประมาณค่าจำนวนการ์ดสื่อสารฟาวน์เดชันฟิลต์บัส H1 (NEST)

การประมาณค่าจำนวนการ์ดสื่อสารฟาวน์เดชันฟิลต์บัส H1 (NEST) สามารถหาได้จากจำนวนการ์ดฟาวน์เดชันฟิลต์บัส อินพุต/เอาต์พุต หารด้วยจำนวนการ์ดสื่อสารฟาวน์เดชันฟิลต์บัส H1 (NEST) ที่รับได้มากที่สุด จากการคำนวณหาการ์ดฟาวน์เดชันฟิลต์บัสอินพุต/เอาต์พุต จะได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{การ์ดสื่อสารฟาวน์เดชันฟิลต์บัส H1 (NEST)} &= \frac{\text{จำนวนการ์ดฟาวน์เดชันฟิลต์บัสอินพุต} \\ &\quad \text{เอาต์พุต}}{\text{จำนวนการ์ดสื่อสารฟาวน์} \\ &\quad \text{เดชันฟิลต์บัส H1 (NEST) ที่รับได้มากที่สุด}} \end{aligned} \quad (4.5)$$

กำหนดให้การ์ดฟาวน์เดชันฟิลต์บัส อินพุต/เอาต์พุต 8 การ์ด ต่อ การ์ดสื่อสารฟาวน์เดชันฟิลต์บัส H1 (NEST) 1 การ์ด

กรณีที่ 1 กำหนดให้มีวาล์วควบคุม 2 ตัว/ฟิลต์บัสเซกเมนต์ แทนค่าลงในสมการที่ 4.5

- การ์ดฟาวน์เดชันฟิลต์บัส อินพุต/เอาต์พุต 25 การ์ด
- $$\begin{aligned} \text{การ์ดสื่อสารฟาวน์เดชันฟิลต์บัส H1 (NEST)} &= 25/8 \\ &= 3.125 \end{aligned}$$

ดังนั้นใช้การ์ดสื่อสารฟาวน์เดชันฟิลต์บัส H1 (NEST) 4 การ์ด

กรณีที่ 2 กำหนดให้มีวาล์วควบคุม 1 ตัว/ฟิลต์บัสเซกเมนต์ แทนค่าลงในสมการที่ (4.5)

- การ์ดฟาวน์เดชันฟิลต์บัส อินพุต/เอาต์พุต 44 การ์ด
- $$\begin{aligned} \text{การ์ดสื่อสารฟาวน์เดชันฟิลต์บัส H1 (NEST)} &= 44/8 \\ &= 5.5 \end{aligned}$$

ดังนั้นใช้การ์ดสื่อสารฟาวน์เดชันฟิลต์บัส H1 (NEST) 6 การ์ด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้กับกรมส่งเสริมการค้าระหว่างประเทศ กระทรวงพาณิชย์ เพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.6 การประมาณค่าจำนวนแหล่งจ่ายไฟฟ้าฟาวน์เดชันฟิลด์บัส

การประมาณค่าจำนวนแหล่งจ่ายไฟฟ้าฟาวน์เดชันฟิลด์บัสสามารถหาได้จากผลรวมของฟิลด์บัส เซกเมนต์ทั้งหมดหารด้วยจำนวนแหล่งจ่ายไฟฟ้าฟาวน์เดชันฟิลด์บัสที่ใช้ต่อเซกเมนต์จากการคำนวณ ฟิลด์บัสเซกเมนต์ทั้งหมดจากหัวข้อ การคำนวณหาการ์ดฟาวน์เดชันฟิลด์บัสอินพุต/เอาต์พุตจะได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{แหล่งจ่ายไฟฟ้าฟาวน์เดชันฟิลด์บัส} &= \text{จำนวนฟิลด์บัสเซกเมนต์ทั้งหมด/จำนวนแหล่ง} \\ &\text{จ่ายไฟฟ้าฟาวน์เดชันฟิลด์บัสที่ใช้ต่อฟิลด์บัส} \\ &\text{เซกเมนต์} \end{aligned} \quad (4.6)$$

กำหนดให้แหล่งจ่ายไฟฟ้าฟาวน์เดชันฟิลด์บัส 1 บอร์ด ต่อ 2 ฟิลด์บัสเซกเมนต์

กรณีที่ 1 กำหนดให้มีวาล์วควบคุม 2 ตัว/ฟิลด์บัสเซกเมนต์ แทนค่าลงในสมการที่ (4.6) จะได้

$$\begin{aligned} - \text{จำนวนฟิลด์บัสเซกเมนต์ทั้งหมด} &= 49 \text{ ฟิลด์บัสเซกเมนต์} \\ \text{แหล่งจ่ายไฟฟ้าฟาวน์เดชันฟิลด์บัส} &= 49/2 \\ &= 24.5 \end{aligned}$$

ดังนั้นใช้แหล่งจ่ายไฟฟ้าฟาวน์เดชันฟิลด์บัส 25 บอร์ด

กรณีที่ 2 กำหนดให้มีวาล์วควบคุม 1 ตัว/ฟิลด์บัสเซกเมนต์ แทนค่าลงในสมการที่ (4.6) จะได้

$$\begin{aligned} - \text{จำนวนฟิลด์บัสเซกเมนต์ทั้งหมด} &= 88 \text{ ฟิลด์บัสเซกเมนต์} \\ \text{แหล่งจ่ายไฟฟ้าฟาวน์เดชันฟิลด์บัส} &= 88/2 \\ &= 44 \end{aligned}$$

ดังนั้นใช้แหล่งจ่ายไฟฟ้าฟาวน์เดชันฟิลด์บัส 44 บอร์ด

4.3.7 การประมาณค่าจำนวนกล่องเชื่อมต่อสายสัญญาณ

การประมาณค่าจำนวนกล่องเชื่อมต่อสายสัญญาณสามารถหาได้จาก จำนวนอุปกรณ์ทั้งหมดหรือ จำนวนลูบควบคุมหารด้วยจำนวนอุปกรณ์ที่ต่อเข้ากับกล่องเชื่อมต่อ ต่อจำนวนอุปกรณ์หรือ ลูบควบคุม สามารถหาค่าได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{กล่องเชื่อมต่อสายสัญญาณ} &= \text{จำนวนอุปกรณ์ทั้งหมดหรือจำนวนลูบควบคุม} \\ &\text{ทั้งหมด/จำนวนอุปกรณ์ที่ต่อเข้ากับกล่องเชื่อม} \\ &\text{ต่อต่อจำนวนอุปกรณ์หรือลูบควบคุม} \end{aligned} \quad (4.7)$$

ลูบของระบบควบคุมแบบ PID ทั้งหมด 78 ลูบควบคุม

กำหนดให้ใช้กล่องเชื่อมต่อสายสัญญาณ 1 กล่อง ต่อ 1 ลูบควบคุม

แทนค่าลงในสมการที่ (4.7) จะได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned}\text{กล่องเชื่อมต่อสายสัญญาณ} &= 78/1 \\ &= 78\end{aligned}$$

ดังนั้นใช้กล่องเชื่อมต่อสายสัญญาณสำหรับลูปของระบบควบคุมแบบ PID 39 กล่อง

อุปกรณ์ของดิจิตอลอินพุต ทั้งหมด 10 ตัว
กำหนดให้ใช้กล่องเชื่อมต่อสายสัญญาณ 1 กล่อง ต่อ 5 อุปกรณ์ดิจิตอลอินพุต
แทนค่าลงในสมการที่ (4.7) จะได้

$$\begin{aligned}\text{กล่องเชื่อมต่อสายสัญญาณ} &= 10/5 \\ &= 2\end{aligned}$$

ดังนั้นใช้กล่องเชื่อมต่อสายสัญญาณสำหรับอุปกรณ์ของดิจิตอลอินพุต 2 กล่อง

อุปกรณ์ของแอนะล็อกอินพุต ทั้งหมด 102 ตัว
กำหนดให้ใช้กล่องเชื่อมต่อสายสัญญาณ 1 กล่อง ต่อ 6 อุปกรณ์แอนะล็อกอินพุต
แทนค่าลงในสมการที่ (4.7) จะได้

$$\begin{aligned}\text{กล่องเชื่อมต่อสายสัญญาณ} &= 102/6 \\ &= 18\end{aligned}$$

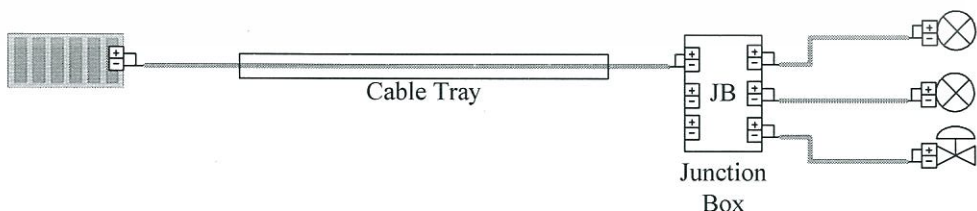
ดังนั้นใช้กล่องเชื่อมต่อสายสัญญาณสำหรับอุปกรณ์ของแอนะล็อกอินพุต 18 กล่อง

ดังนั้นใช้กล่องเชื่อมต่อสายสัญญาณทั้งหมดจำนวน 98 กล่อง

4.3.8 ตู้ควบคุม

ใช้ตู้ควบคุมขนาดความกว้าง 800 มิลลิเมตร ความสูง 2,100 มิลลิเมตร ความลึก 800 มิลลิเมตร จำนวน 1 ตู้ ในการใช้เทคโนโลยีฟาว์เดชั่นฟิลด์บัสจะไม่ใช้ตู้รวบรวมสัญญาณอินพุต/เอาต์พุต (Marshlling)

4.3.9 สายสัญญาณ



รูปที่ 4.1 ลักษณะการเดินสายฟาว์เดชั่นฟิลด์บัส

การประมาณจำนวนความยาวสายสัญญาณ สามารถหาได้จากผลรวมของระยะจากการ์ดถึงกล่องเชื่อมต่อสัญญาณกับระยะจากกล่องเชื่อมต่อไปยังอุปกรณ์ทุกอุปกรณ์ โดยคำนวณจากแบบที่ใช้ในการเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า ติดตั้งของอุปกรณ์ทุกตัว ลักษณะการเดินสายฟาว์เดชั่นฟิลด์บัส แสดงในรูปที่ 4.1 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{ความยาวสายสัญญาณ} = \sum (\text{ระยะจากการ์ดถึงจุดเชื่อมต่อ} + \text{ระยะจุดเชื่อมต่อถึงอุปกรณ์}) \quad (4.8)$$

จากการประมาณจากแบบติดตั้งอุปกรณ์ทั้งหมดความยาวของสายสัญญาณในกรณีที่ 1 เป็น 28,000 เมตร ส่วนในกรณีที่ 2 เป็น 30,000 เมตร

4.3.10 รางเก็บสายสัญญาณ (Cable tray)

การคำนวณหารางเก็บสายสัญญาณ สามารถหาได้จากผลรวมของระยะจากตู้ควบคุมถึงกล่องเชื่อมต่อสัญญาณทุกจุดเชื่อมต่อ โดยคำนวณจากแบบที่ใช้ในการติดตั้งของอุปกรณ์ทุกตัว

$$\text{ความยาวรางเก็บสัญญาณ} = \sum \text{ระยะจากตู้ควบคุมถึงกล่องเชื่อมต่อสัญญาณ} \quad (4.9)$$

จากการคำนวณจากแบบติดตั้งอุปกรณ์ทั้งหมดความยาวสายทั้งหมดเป็น 1,100 เมตร

หลังจากที่ได้คำนวณหาจำนวนอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ต้องใช้แล้วจะนำค่าที่ได้มาตรวจสอบราคาสินค้าในแต่ละตัว ซึ่งราคาสินค้าแต่ละตัวจะขึ้นอยู่กับความสามารถแต่ละตัวที่ผู้ผลิตได้ผลิตไว้ และจำนวนมากหรือน้อยในการซื้อ โดยค่าใช้จ่ายด้านวัสดุและอุปกรณ์ระหว่างระบบแอนะล็อก 4-20 mA และเทคโนโลยีฟาวนด์เชนฟิลด์บัสมาจากผู้ผลิตรายเดียวกัน ได้สรุปไว้ในตารางที่ 4.3 ในกรณีที่ 1 และตารางที่ 4.3 ในกรณีที่ 2

ตารางที่ 4.3 การสรุปค่าใช้จ่ายของวัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้เทคโนโลยีฟาวนด์เชนฟิลด์บัส ในกรณีที่ 1 ซึ่งมีวาล์วควบคุม 2 ตัว/ฟิลด์บัสเซกเมนต์

รายละเอียด	จำนวน	ราคาต่อหน่วย (บาท)	รวม (บาท)
H1 card (2 segments)	25	200,000	5,000,000
H1 card nest	4	1,200,000	4,800,000
Power supply	25	20,000	500,000
System cabinet	1	80,000	80,000
Field device (FF addition cost)	274	10,000	2,740,000
Junction box	98	9,000	882,000
Cable	28,000	110	3,080,000
Cable tray	1, 100	2,800	3,080,000
รวมค่าใช้จ่ายวัสดุและอุปกรณ์			20,162,000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 การสรุปค่าใช้จ่ายของวัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้เทคโนโลยีฟาวด์เชนฟิลด์บัส ในกรณี
2 ซึ่งมีวาล์วควบคุม 1 ตัว/ฟิลด์บัสเซกเมนต์

รายละเอียด	จำนวน	ราคาต่อ หน่วย (บาท)	รวม (บาท)
H1 card (2 segments)	44	200,000	8,800,000
H1 card nest	6	1,200,000	7,200,000
Power supply	44	20,000	880,000
System cabinet	1	80,000	80,000
Field device (FF addition cost)	274	10,000	2,740,000
Junction box	98	9,000	882,000
Cable	30,000	110	3,300,000
Cable tray	1,100	2,800	3,080,000
รวมค่าใช้จ่ายวัสดุและอุปกรณ์			26,962,000

4.4 ค่าใช้จ่ายด้านการติดตั้ง

4.4.1 การเชื่อมต่อสายสัญญาณ

การเชื่อมต่อสายสัญญาณ (Termination) เป็นการเชื่อมต่อสายสัญญาณให้เป็นไปตามที่ผู้ใช้ได้
ออกแบบไว้ โดยสายสัญญาณที่เชื่อมต่อจะมีการเชื่อมต่อสายทั้งหมด 4 ครั้งต่อสาย 1 เส้น ครั้งแรกจะ
เชื่อมสาย 2 ครั้งเข้าที่การ์ดอินพุต/เอาต์พุตและปลายสายอีกด้านหนึ่งจะเชื่อมต่อ 2 ครั้งเข้ากับกล่อง
เชื่อมต่อสายสัญญาณส่วนสายอีกเส้นหนึ่งจะเชื่อมต่อจากกล่องเชื่อมต่อสายไปหาอุปกรณ์แต่ละตัว ผู้
ที่ได้รับการว่าจ้างจะต้องคำนวณจุดเชื่อมต่อสายสัญญาณทั้งหมดเพื่อประเมินราคาค่าใช้จ่าย การ
คำนวณหาจำนวนจุดการเชื่อมต่อสายสัญญาณหาค่าได้จากสมการ

$$\text{จุดการเชื่อมต่อสายสัญญาณ} = (\text{จำนวนของกล่องเชื่อมต่อสาย} \times 4) + (\text{จำนวนของอุปกรณ์} \times 4) \quad (4.9)$$

- จำนวนกล่องเชื่อมต่อสายทั้งหมด 98 กล่อง
- ผลรวมอุปกรณ์ทั้งหมด 274 ตัว

แทนค่าลงในสมการที่ (4.9) จะได้

$$\begin{aligned} \text{จุดการเชื่อมต่อสายสัญญาณ} &= (98 \times 4) + (274 \times 4) \\ &= 1,488 \end{aligned}$$

ดังนั้นจุดการเชื่อมต่อสายสัญญาณ ทั้งหมดที่นำไปประเมินราคาจำนวน 1,488 จุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.2 การติดตั้งตู้ควบคุม

การติดตั้งตู้ควบคุม (Cabinet Installation) จะเป็นการประกอบตู้จากวัสดุที่ซื้อเข้ามาเข้าด้วยกันให้สามารถใช้งานได้ การประกอบตู้ผู้ประกอบต้องทำการออกแบบการวางอุปกรณ์ในตู้ก่อนแล้วนำไปเขียนแบบ การเขียนแบบจะต้องระบุถึงวัสดุหลักที่ต้องใช้เช่น หน่วยประมวลผลกลาง การ์ดสื่อสาร พาวเวอร์เดชันฟิลต์บัส H1 การ์ดอินพุต/เอาต์พุตและแหล่งจ่ายไฟฟ้า นอกจากวัสดุอื่นๆ เพื่อที่จะให้ทำงานได้ตามระบบควบคุมที่ออกแบบไว้เช่น สวิตช์ตัดต่ออัตโนมัติ (Relay) ขั้วต่อสายไฟ (Terminal) รางเก็บสายไฟ หลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ นอต/สกรู ว่าจะใช้รุ่นไหน จำนวนกี่ตัว หลังจากนั้นผู้รับจ้างจะนำวัสดุต่าง ๆ นอกเหนือจากวัสดุหลักที่ผู้ว่าจ้างได้ซื้อไปแล้วและค่าแรงงานในการออกแบบเขียนแบบ การติดตั้ง คิดเป็นค่าใช้จ่ายในการติดตั้งตู้ (Cabinet installation)

4.4.3 การลากสายสัญญาณ

การลากสายสัญญาณ (Cable Pulling) เป็นการเชื่อมต่อสัญญาณจากระบบควบคุมไปยังอุปกรณ์เครื่องมือวัด เพื่อให้ระบบควบคุมรับรู้ค่าพารามิเตอร์ของอุปกรณ์ได้ตลอดเวลาหรือทำให้อุปกรณ์ได้รับรู้ถึงความต้องการสั่งงานของหน่วยประมวลผลกลาง (CPU) การลากสายสัญญาณจึงเป็นสิ่งที่จำเป็นสำหรับระบบควบคุม โดยผู้ที่ได้รับการว่าจ้างจะคำนวณค่าใช้จ่ายในการใช้แรงงานในการลากสายออกมาโดยคิดอัตราต่อเมตร

4.4.4 การเดินรางเก็บสายไฟ

การเดินรางเก็บสายไฟ (Main Cable Tray) เป็นการเดินรางเก็บสายสัญญาณขนาดใหญ่ที่มีสายสัญญาณจำนวนมากให้เป็นระบบ สวยงามและป้องกันฝุ่นละอองต่าง ๆ การเดินรางเก็บสายไฟจะเดินกับที่ที่มีสายจำนวนมาก ๆ เช่น จากตู้คอนโทรลถึงกล่องเชื่อมต่อสาย ส่วนจากจุดเชื่อมต่อสายไปยังอุปกรณ์นิยมเดินท่อร้อยสายไฟขนาดเล็ก โดยผู้ที่ได้รับการว่าจ้างจะคำนวณค่าใช้จ่ายในการใช้แรงงานในการเดินรางสายสัญญาณออกมาโดยคิดอัตราต่อเมตร

หลังจากคำนวณค่าใช้จ่ายในการติดตั้งในแต่ละส่วนออกมาแล้วนั้น ผู้ที่ได้รับการว่าจ้างจะรวมสรุปค่าใช้จ่ายในการติดตั้งทั้งหมดส่งผู้ว่าจ้าง จะสรุปไว้ในตารางที่ 4.5 ในกรณีที่ 1 และตารางที่ 4.6 ในกรณีที่ 2

ตารางที่ 4.5 การสรุปค่าใช้จ่ายในการติดตั้งเทคโนโลยีฟาว์นเดชันฟิลด์บัสในกรณีที่ 1 ซึ่งมีวาล์วควบคุม 2 ตัว/ฟิลด์บัสเซกเมนต์

รายละเอียด	จำนวน	ราคาต่อหน่วย (บาท)	รวม (บาท)
Termination	1,488	10	14,880
Cabinet installation	1	100,000	100,000
Cable pulling	28,000	50	1,400,000
Main cable tray	1, 100	500	550,000
รวมค่าใช้จ่ายในการติดตั้ง			2,064,880

ตารางที่ 4.6 การสรุปค่าใช้จ่ายในการติดตั้งเทคโนโลยีฟาว์นเดชันฟิลด์บัส ในกรณีที่ 2 ซึ่งมีวาล์วควบคุม 1 ตัว/ฟิลด์บัสเซกเมนต์

รายละเอียด	จำนวน	ราคาต่อหน่วย (บาท)	รวม (บาท)
Termination	1,488	10	14,880
Cabinet installation	1	100,000	100,000
Cable pulling	30,000	50	1,500,000
Main cable tray	1, 100	500	550,000
รวมค่าใช้จ่ายในการติดตั้ง			2,164,880

4.5 ค่าใช้จ่ายในการคอมมิชชันนิ่ง

การคอมมิชชันนิ่งเป็นการทำเพื่อตรวจสอบความถูกต้องและปรับแต่งในการทำงานของอุปกรณ์เครื่องมือวัดและฟังก์ชันการทำงานของระบบควบคุมที่ละตัว เพื่อเพิ่มความแม่นยำในการทำงาน โดยบุคคลากรที่จะมาทำการปรับแต่งระบบต้องมีประสบการณ์ในการทำงานสูง เพื่อจะช่วยลดเวลาในการปรับแต่งระบบให้น้อยลง และทำให้ระบบควบคุมผลิตสินค้าได้อย่างมีคุณภาพ โดยค่าใช้จ่ายในการปรับแต่งระบบผู้ว่าจ้างจะคิดเป็นจำนวนบุคคลากรที่ไปปรับแต่งระบบต่อการทำงานใน 1 วัน (10 ชั่วโมง) ซึ่งใน 1 วันจะสามารถคอมมิชชันนิ่งฟาว์นเดชันฟิลด์บัส ได้ 10 ฟิลด์บัสเซกเมนต์

ตารางที่ 4.7 การสรุปค่าใช้จ่ายในการคอมมิชชันนิ่งเทคโนโลยีฟาว์นเดชันฟิลด์บัสในกรณีที่ 1 ซึ่งมีวาล์วควบคุม 2 ตัว/ฟิลด์บัสเซกเมนต์

รายละเอียด	จำนวน	ราคาต่อหน่วย (บาท)	รวม (บาท)
FF Loop checking and commissioning (1Technician + 1 Engineer @ 10 segments in 10 hrs)	5	30,000	150,000
รวมค่าใช้จ่ายในการคอมมิชชันนิ่ง			150,000

ตารางที่ 4.8 การสรุปค่าใช้จ่ายในการคอมมิชชั่นหนึ่งเทคโนโลยีฟาวนด์ชันฟิลด์บัส ในกรณีที่ 2 ซึ่งมี
 วัล์วควบคุม 1 ตัว/ฟิลด์บัสเซกเมนต์

รายละเอียด	จำนวน	ราคาต่อ หน่วย (บาท)	รวม (บาท)
FF Loop checking and commissioning (1Technician + 1 Engineer @ 10 segments in 10 hrs)	9	30,000	270,000
รวมค่าใช้จ่ายในการคอมมิชชั่นหนึ่ง			270,000



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

ผลการเปรียบเทียบ บทสรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 กล่าวนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงผลการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายด้านวัสดุและอุปกรณ์ ผลการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการติดตั้ง และผลการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการคอมมิชชันนิ่ง ยังกล่าวถึงบทสรุปและข้อเสนอแนะเพื่อเป็นข้อมูล ตัวเลือก แนวทาง ให้ผู้ลงทุนใช้วิเคราะห์และตัดสินใจในการลงทุนเพื่อให้ระบบควบคุมมีประสิทธิภาพสูงสุด โดยค่าใช้จ่ายด้านวัสดุและอุปกรณ์ระหว่างระบบแอนะล็อก 4-20 mA และเทคโนโลยีฟาวน์เดชันฟิลด์บัสมาจากผู้ผลิตรายเดียวกัน

5.2 ผลการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการใช้ระบบแอนะล็อกและเทคโนโลยีฟิลด์บัส

5.2.1 ผลการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายด้านวัสดุและอุปกรณ์

ตารางที่ 5.1 ผลการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายด้านวัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ระบบแอนะล็อกและเทคโนโลยีฟาวน์เดชันฟิลด์บัส กรณีที่ 1 ซึ่งมีวาล์วควบคุม 2 ตัว/ฟิลด์บัสเซกเมนต์

รายละเอียด	จำนวน	ราคาต่อหน่วย (บาท)	ระบบแอนะล็อก (บาท)	เทคโนโลยี ฟิลด์บัส (บาท)
4-20 mA AI card (8 channels)	14	240,000	3,360,000	-
4-20 mA AO card (8 channels)	1	240,000	240,000	-
4-20 mA DI card (16 channels)	2	200,000	400,000	-
4-20 mA PID card (8 channels)	11	400,000	4,400,000	-
4-20 mA AI/AO card nest	4	1,600,000	6,400,000	-
FF H1 card (2 segments)	25	200,000	-	5,000,000
FF H1 card nest	4	1,200,000	-	4,800,000
FF Power supply	25	20,000	-	500,000
4-20 mA Marshalling cabinet	5	60,000	300,000	-
FF System cabinet	1	80,000	-	80,000
Field device (FF addition cost)	274	10,000	-	2,740,000
4-20 mA Junction box	37	9,000	333,000	-
FF Junction box	98	9,000	-	882,000
4-20 mA Cable	51,100	60	3,066,000	-
FF Cable	28,000	110	-	3,080,000
4-20 mA Cable tray	1, 100	3,500	3,850,000	-
FF Cable tray	1, 100	2,800	-	3,080,000
รวมค่าใช้จ่ายสำหรับค่าวัสดุและอุปกรณ์			22,349,000	20,162,000
เทคโนโลยีฟาวน์เดชันฟิลด์บัสลงทุนน้อยกว่า			9.79%	

ตารางที่ 5.2 ผลการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายด้านวัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ระบบแอนะล็อกและเทคโนโลยีฟาว์นเดชันฟิลด์บัส กรณีที่ 2 ซึ่งมีวาล์วควบคุม 1 ตัว/ฟิลด์บัสเซกเมนต์

รายละเอียด	จำนวน	ราคาต่อหน่วย (บาท)	ระบบแอนะล็อก (บาท)	เทคโนโลยีฟิลด์บัส (บาท)
4-20 mA AI card (8 channels)	14	240,000	3,360,000	-
4-20 mA AO card (8 channels)	1	240,000	240,000	-
4-20 mA DI card (16 channels)	2	200,000	400,000	-
4-20 mA PID card (8 channels)	11	400,000	4,400,000	-
4-20 mA AI/AO card nest	4	1,600,000	6,400,000	-
FF H1 card (2 segments)	44	200,000	-	8,800,000
FF H1 card nest	6	1,200,000	-	7,200,000
FF Power supply	44	20,000	-	880,000
4-20 mA Marshalling cabinet	5	60,000	300,000	-
FF System cabinet	1	80,000	-	80,000
Field device (FF addition cost)	274	10,000	-	2,740,000
4-20 mA Junction box	37	9,000	333,000	-
FF Junction box	98	9,000	-	882,000
4-20 mA Cable	51,100	60	3,066,000	-
FF Cable	30,000	110	-	3,300,000
4-20 mA Cable tray	1,100	3,500	3,850,000	-
FF Cable tray	1,100	2,800	-	3,080,000
รวมค่าใช้จ่ายสำหรับค่าวัสดุและอุปกรณ์			22,349,000	26,962,000
เทคโนโลยีฟาว์นเดชันฟิลด์บัสลงทุนมากกว่า				17.11%

1. ผลการเปรียบเทียบการ์ดสัญญาณ 4 – 20 mA และการ์ด Fieldbus H1

จากตารางที่ 5.1 และ ตารางที่ 5.2 จะเห็นได้ว่าการ์ดสัญญาณระบบแอนะล็อก มีจำนวนชนิดของการ์ดที่จำเป็นต้องเลือกใช้ให้ถูกต้องตามลักษณะของสัญญาณ แต่เทคโนโลยีฟาว์นเดชันฟิลด์บัสไม่จำเป็นต้องเลือกชนิดของการ์ดว่าเป็นแอนะล็อกอินพุต (AI) แอนะล็อกเอาต์พุต (AO) หรือดิจิตอลอินพุต (DI) เนื่องจากอุปกรณ์ในฟิลด์สามารถต่อเข้ากับสายสัญญาณเส้นเดียวในลักษณะ Multidroped จึงสามารถนำสายสัญญาณนั้นต่อเข้ากับการ์ด Fieldbus H1 ได้เลย

2. ผลการเปรียบเทียบการ์ดติดต่อสื่อสาร (NEST)

จากตารางที่ 5.1 และ ตารางที่ 5.2 จะเห็นได้ว่าการ์ดติดต่อสื่อสารสัญญาณ (NEST) จะมีลักษณะคล้ายคลึงกันแต่จะแตกต่างกันระหว่างเทคโนโลยีการสื่อสารที่ใช้ติดต่อระหว่างการ์ดสัญญาณระบบแอนะล็อก 4-20 mA และการ์ดเทคโนโลยีฟาว์นเดชันฟิลด์บัส

3. ผลการเปรียบเทียบตู้ควบคุม

จากตารางที่ 5.1 และ ตารางที่ 5.2 จะเห็นได้ว่าตู้ควบคุมสัญญาณระบบแอนะล็อก จะใช้ตู้ควบคุมจำนวนมากเนื่องจากต้องมีตู้ Marshalling ที่ใช้ในการรวบรวมสัญญาณก่อนที่จะนำสัญญาณเข้าการ์ด แต่ตู้ควบคุมเทคโนโลยีฟาว์นเดชันฟิลด์บัสไม่จำเป็นต้องมีตู้ Marshalling เนื่องจากสามารถนำสายสัญญาณไปเชื่อมต่อโดยตรงได้ที่การ์ดฟาว์นเดชันฟิลด์บัส H1

4. ผลการเปรียบเทียบกล่องเชื่อมต่อสายสัญญาณ

จากตารางที่ 5.1 และ ตารางที่ 5.2 จะเห็นได้ว่ากล่องเชื่อมต่อสายสัญญาณระบบแอนะล็อก จะใช้จำนวนน้อยกว่าเนื่องจากแต่ละจุดที่มีการเชื่อมต่อสายสัญญาณจะใช้พื้นที่น้อย ส่วนการเชื่อมต่อสายสัญญาณเทคโนโลยีฟาว์นเดชันฟิลด์บัส จะใช้พื้นที่ในการเชื่อมต่อสายที่มากกว่าโดยส่วนมากนิยมใช้หนึ่งกล่องต่อหนึ่งเซกเมนต์

5. ผลการเปรียบเทียบสายสัญญาณ

จากตารางที่ 5.1 และ ตารางที่ 5.2 จะเห็นได้ว่าสายสัญญาณระบบแอนะล็อกจะใช้จำนวนมากเนื่องจากการควบคุมและการตรวจสอบของอุปกรณ์แต่ละตัวต้องใช้สายสัญญาณคู่ของตนเองเท่านั้น ไม่สามารถใช้ร่วมกันได้ แต่เทคโนโลยีฟาว์นเดชันฟิลด์บัส สามารถใช้สายสัญญาณเส้นเดียวกันต่ออุปกรณ์ร่วมกันในหนึ่งฟิลด์บัสเซกเมนต์

6. ผลการเปรียบเทียบรางเก็บสายสัญญาณ

จากตารางที่ 5.1 และ ตารางที่ 5.2 จะเห็นได้ว่ารางเก็บสายสัญญาณระบบแอนะล็อกจะใช้จำนวนเท่ากับเทคโนโลยีฟาว์นเดชันฟิลด์บัส แต่ขนาดของรางเก็บสายสัญญาณระบบแอนะล็อกจะมีขนาดใหญ่กว่าเนื่องจากมีจำนวนคู่สายเท่ากับจำนวนของอุปกรณ์ที่ใช้งาน ส่วนเทคโนโลยีฟาว์นเดชันฟิลด์บัสจะมีจำนวนคู่สายเท่ากับจำนวนฟิลด์บัสเซกเมนต์

จากตารางที่ 5.1 และ ตารางที่ 5.2 จะเห็นได้ว่า ถ้าเลือกการใช้งานเทคโนโลยีฟาว์นเดชันฟิลด์บัสจะมีอุปกรณ์ที่จำเป็นต้องใช้เพิ่มเติมคือ แหล่งจ่ายไฟฟ้าฟาว์นเดชันฟิลด์บัสเพื่อจ่ายพลังงานให้กับอุปกรณ์ทุกตัว และอุปกรณ์ทุกตัวจะมีค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้น 30% เมื่อเทียบกับอุปกรณ์ที่ใช้สัญญาณแอนะล็อก 4-20 mA

จากตารางที่ 5.1 จะแสดงให้เห็นถึงการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายด้านวัสดุอุปกรณ์ของระบบแอนะล็อกกับเทคโนโลยีฟาว์นเดชันฟิลด์บัส กรณีที่ 1 ซึ่งมีวาล์วควบคุม 2 ตัว/ฟิลด์บัสเซกเมนต์ และจากตารางที่ 5.2 จะแสดงให้เห็นถึงการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายด้านวัสดุอุปกรณ์ของระบบแอนะล็อกกับเทคโนโลยีฟาว์นเดชันฟิลด์บัส กรณีที่ 2 ซึ่งมีวาล์วควบคุม 1 ตัว/ฟิลด์บัสเซกเมนต์ จะเห็นได้ว่าการใช้เทคโนโลยีฟาว์นเดชันฟิลด์บัส กรณีที่ 1 ซึ่งมีวาล์วควบคุม 2 ตัว/ฟิลด์บัสเซกเมนต์ จะประหยัด

ต้นทุนมากกว่าระบบแอนะล็อก และระบบแอนะล็อกจะประหยัดต้นทุนมากกว่าเทคโนโลยีฟาว์นเดชัน

ชั้นฟิลต์บัส กรณีที่ 2 ซึ่งมีมีวาล์วควบคุม 1 ตัว/ฟิลต์บัสเซกเมนต์ ซึ่งเป็นงบประมาณของค่าวัสดุ อุปกรณ์ให้ผู้ลงทุนได้ตัดสินใจในการเลือกใช้งานระบบ

5.2.2 ผลการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการติดตั้ง

ตารางที่ 5.3 ผลการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการติดตั้งระบบแอนะล็อกและเทคโนโลยีฟาว์นเดชัน ฟิลต์บัส กรณีที่ 1 ซึ่งมีวาล์วควบคุม 2 ตัว/ฟิลต์บัสเซกเมนต์

รายละเอียด	จำนวน	ราคาต่อ หน่วย (บาท)	ระบบแอนะล็อก (บาท)	เทคโนโลยี ฟิลต์บัส (บาท)
4-20 mA Termination	3,088	10	30,880	-
FF Termination	1,488	10	-	14,880
4-20 mA Cabinet installation	5	145,000	725,000	-
FF Cabinet installation	1	100,000	-	100,000
4-20 mA Cable pulling	51,100	50	2,555,000	-
FF Cable pulling	28,000	50	-	1,400,000
4-20 mA Main cable tray	1, 100	500	550,000	-
FF Main cable tray	1, 100	500	-	550,000
รวมค่าใช้จ่ายในการติดตั้ง			3,860,880	2,064,880
เทคโนโลยีฟาว์นเดชันฟิลต์บัสลงทุนน้อยกว่า			46.52%	

ตารางที่ 5.4 ผลการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการติดตั้งระบบแอนะล็อกและเทคโนโลยีฟาว์นเดชัน ฟิลต์บัส กรณีที่ 2 ซึ่งมีวาล์วควบคุม 1 ตัว/ฟิลต์บัสเซกเมนต์

รายละเอียด	จำนวน	ราคาต่อ หน่วย (บาท)	ระบบแอนะล็อก (บาท)	เทคโนโลยี ฟิลต์บัส (บาท)
4-20 mA Termination	3,088	10	30,880	-
FF Termination	1,488	10	-	14,880
4-20 mA Cabinet installation	5	145,000	725,000	-
FF Cabinet installation	1	100,000	-	100,000
4-20 mA Cable pulling	51,100	50	2,555,000	-
FF Cable pulling	30,000	50	-	1,500,000
4-20 mA Main cable tray	1, 100	500	550,000	-
FF Main cable tray	1, 100	500	-	550,000
รวมค่าใช้จ่ายในการติดตั้ง			3,860,880	2,164,880
เทคโนโลยีฟาว์นเดชันฟิลต์บัสลงทุนน้อยกว่า			43.93%	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์การดำเนินงานที่ดำเนินการโดย บริษัท อุตสาหกรรมปิโตรเลียมไทย จำกัด (มหาชน) ไม่สามารถนำข้อมูลไปใช้ในการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. ผลการเปรียบเทียบการเชื่อมต่อสายสัญญาณ

จากตารางที่ 5.3 และ ตารางที่ 5.4 จะเห็นได้ว่าการเชื่อมต่อสายสัญญาณระบบแอนะล็อกจะมีการเชื่อมต่อที่มากกว่าเนื่องจากมีจำนวนคู่สายอุปกรณ์ของสายสัญญาณที่มากกว่า ส่วนเทคโนโลยีฟาว์นเดชันฟิลด์บัสมีจำนวนคู่สายน้อยกว่าเนื่องจากในหนึ่งเซกเมนต์สามารถใช้กับอุปกรณ์ได้หลายตัว ทำให้มีค่าใช้จ่ายที่ถูกลง ช่วยลดระยะเวลาในการติดตั้งและเมื่อเกิดปัญหาขึ้นที่สายสัญญาณสามารถแก้ไขได้อย่างรวดเร็ว

2. ผลการเปรียบเทียบการติดตั้งตู้ควบคุม

จากตารางที่ 5.3 และ ตารางที่ 5.4 จะเห็นได้ว่าการติดตั้งตู้ควบคุมระบบแอนะล็อก จะมีการใช้เวลาในการติดตั้งที่นานเนื่องจากต้องติดตั้งตู้ Marshalling ที่ใช้ในการรวบรวมสัญญาณด้วย โดยต้องติดตั้งจุดเชื่อมต่อสัญญาณทุกจุดเท่ากับจำนวนอุปกรณ์ที่ใช้ ส่วนเทคโนโลยีฟาว์นเดชันฟิลด์บัสไม่จำเป็นต้องมีตู้ Marshalling สามารถเชื่อมต่อที่การ์ดฟาว์นเดชันฟิลด์บัส H1 ได้เลย จึงทำให้ใช้น้อยกว่า การออกแบบและจัดวางง่ายขึ้น การทำแบบใช้เวลาน้อยลงและจำนวนหน้าของแบบน้อยลง ทำให้ค่าใช้จ่ายลดลง

3. ผลการเปรียบเทียบการติดตั้งสายสัญญาณ

จากตารางที่ 5.3 และ ตารางที่ 5.4 จะเห็นได้ว่าการติดตั้งสายสัญญาณระบบแอนะล็อกมีค่าใช้จ่ายที่สูงกว่าเนื่องจากต้องลากคู่สายสัญญาณให้เท่ากับอุปกรณ์ทุกตัวทำให้ความยาวสายมีจำนวนมาก ส่วนเทคโนโลยีฟาว์นเดชันฟิลด์บัสจะลากสายสัญญาณเพียงหนึ่งคู่สายต่อหนึ่งฟิลด์บัส เซกเมนต์ทำให้ค่าใช้จ่ายถูกลงและใช้แรงงานในการลากสายสัญญาณน้อยลง

ส่วนรางเก็บสายสัญญาณจะใช้จำนวนเท่ากันราคาเท่ากัน จึงไม่มีความแตกต่างกัน จากตารางที่ 5.3 จะแสดงให้เห็นถึงการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายด้านการติดตั้งระบบแอนะล็อกกับเทคโนโลยีฟาว์นเดชันฟิลด์บัส กรณีที่ 1 ซึ่งมีวาล์วควบคุม 2 ตัว/ฟิลด์บัสเซกเมนต์ และ จากตารางที่ 5.4 แสดงให้เห็นถึงการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายด้านการติดตั้งระบบแอนะล็อกกับเทคโนโลยีฟาว์นเดชันฟิลด์บัส กรณีที่ 2 ซึ่งมีวาล์วควบคุม 1 ตัว/ฟิลด์บัสเซกเมนต์ จะเห็นได้ว่าการใช้เทคโนโลยีฟาว์นเดชันฟิลด์บัส กรณีที่ 1 ซึ่งมีวาล์วควบคุม 2 ตัว/ฟิลด์บัสเซกเมนต์ จะประหยัดต้นทุนมากกว่าระบบแอนะล็อก และเทคโนโลยีฟาว์นเดชันฟิลด์บัส กรณีที่ 2 ซึ่งมีวาล์วควบคุม 1 ตัว/ฟิลด์บัสเซกเมนต์ จะประหยัดต้นทุนมากกว่าระบบแอนะล็อก ซึ่งเป็นงบประมาณของค่าวัสดุอุปกรณ์ให้ผู้ลงทุนได้ตัดสินใจในการเลือกใช้งานระบบ

5.2.3 ผลการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการคอมมิชชันนิง

จากตารางที่ 5.3 และ ตารางที่ 5.4 จะเห็นได้ว่าราคาที่ใช้ในการคอมมิชชันนิงต่อวันมีราคาเท่ากัน แต่มีความแตกต่างกันที่จำนวนวันที่ใช้ในการคอมมิชชันนิง เนื่องจากระบบแอนะล็อกสามารถทำได้เพียงครั้งละ 1 อุปกรณ์เท่านั้นส่วนเทคโนโลยีฟาว์นเดชันฟิลด์บัสสามารถทำได้ครั้งละ 1 ฟิลด์บัส

เชกเมนต์ ทำให้การคอมมิชชันนิงระบบฟาวนด์ชันฟิลด์บัสสามารถลดจำนวนวันลงได้ และค่าใช้จ่ายถูกลงทำให้กระบวนการผลิตสามารถผลิตได้ไวขึ้น

ตารางที่ 5.5 ผลการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายการคอมมิชชันนิงที่ใช้ระบบแอนะล็อกและเทคโนโลยีฟาวนด์ชันฟิลด์บัส กรณีที่ 1 ซึ่งมีวาล์วควบคุม 2 ตัว/ฟิลด์บัสเชกเมนต์

รายละเอียด	จำนวน วัน	ราคาต่อ วัน (บาท)	ระบบ แอนะล็อก (บาท)	เทคโนโลยี ฟิลด์บัส (บาท)
4-20 mA Loop checking and commissioning (3 Technicians @ 15 loops in 10 hrs)	14	30,000	420,000	-
FF Loop checking and commissioning (1Technician + 1 Engineer @ 10 segments in 10 hrs)	5	30,000	-	150,000
รวมค่าใช้จ่ายในการคอมมิชชันนิง			420,000	150,000
เทคโนโลยีฟาวนด์ชันฟิลด์บัสลงทุนน้อยกว่า			64.29%	

ตารางที่ 5.6 ผลการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายการคอมมิชชันนิงที่ใช้ระบบแอนะล็อกและเทคโนโลยีฟาวนด์ชันฟิลด์บัส กรณีที่ 2 ซึ่งมีวาล์วควบคุม 1 ตัว/ฟิลด์บัสเชกเมนต์

รายละเอียด	จำนวน วัน	ราคาต่อ วัน (บาท)	ระบบ แอนะล็อก (บาท)	เทคโนโลยี ฟิลด์บัส (บาท)
4-20 mA Loop checking and commissioning (3 Technicians @ 15 loops in 10 hrs)	14	30,000	420,000	-
FF Loop checking and commissioning (1Technician + 1 Engineer @ 10 segments in 10 hrs)	9	30,000	-	270,000
รวมค่าใช้จ่ายในการคอมมิชชันนิง			420,000	270,000
เทคโนโลยีฟาวนด์ชันฟิลด์บัสลงทุนน้อยกว่า			35.71%	

5.2.4 สรุปผลการเปรียบเทียบ

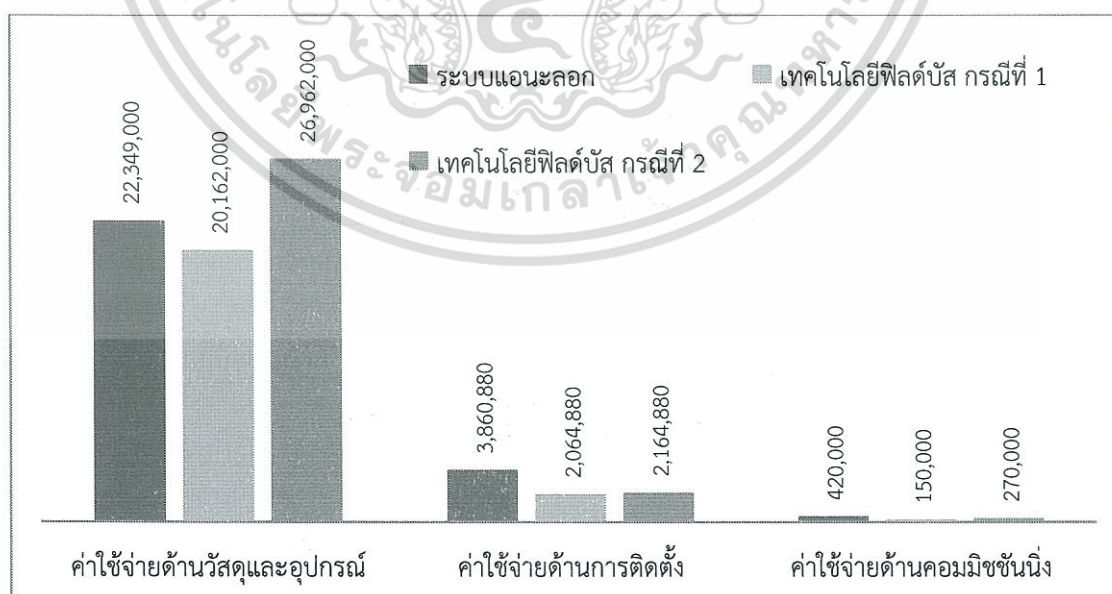
จากที่ได้กล่าวมาทั้งหมดสามารถสรุปเป็นค่าใช้จ่ายในการลงทุนได้ในตารางที่ 5.7 และรูปที่ 5.1 กราฟเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายทั้งหมดที่ใช้ระบบแอนะล็อกและเทคโนโลยีฟิลด์บัส จะเห็นได้ว่ามีการ

วิเคราะห์การลงทุนอยู่ 3 รูปแบบได้แก่ การลงทุนในการติดตั้งระบบแอนะล็อก การลงทุนในการติดตั้งเทคโนโลยีฟาวนด์ชันฟิลด์บัส กรณีที่ 1 ซึ่งมีวาล์วควบคุม 2 ตัว/ฟิลด์บัสเชกเมนต์ และการลงทุนใน

การติดตั้งเทคโนโลยีฟาว์นเดชันฟิลด์บัส กรณีที่ 2 ซึ่งมีมูลค่าควบคุม 1 ตัว/ฟิลด์บัสเซกเมนต์ เมื่อนำมาวิเคราะห์เปรียบเทียบกับระหว่างติดตั้งระบบแอนะล็อก และการติดตั้งเทคโนโลยีฟาว์นเดชันฟิลด์บัส กรณีที่ 1 ซึ่งมีมูลค่าควบคุม 2 ตัว/ฟิลด์บัสเซกเมนต์ เห็นได้ว่าการติดตั้งเทคโนโลยีฟาว์นเดชันฟิลด์บัส กรณีที่ 1 ซึ่งมีมูลค่าควบคุม 2 ตัว/ฟิลด์บัสเซกเมนต์ สามารถประหยัดงบประมาณในการลงทุน 15.97% เมื่อวิเคราะห์เปรียบเทียบกับระหว่างติดตั้งระบบแอนะล็อกและการติดตั้งเทคโนโลยีฟาว์นเดชันฟิลด์บัส กรณีที่ 2 ซึ่งมีมูลค่าควบคุม 1 ตัว/ฟิลด์บัสเซกเมนต์ เห็นได้ว่าการติดตั้งเทคโนโลยีฟาว์นเดชันฟิลด์บัส กรณีที่ 2 ซึ่งมีมูลค่าควบคุม 1 ตัว/ฟิลด์บัสเซกเมนต์ จะเพิ่มงบประมาณในการลงทุน 9.41% และวิเคราะห์เปรียบเทียบกับระหว่างติดตั้งเทคโนโลยีฟาว์นเดชันฟิลด์บัส กรณีที่ 1 ซึ่งมีมูลค่าควบคุม 2 ตัว/ฟิลด์บัสเซกเมนต์ และการติดตั้งเทคโนโลยีฟาว์นเดชันฟิลด์บัส กรณีที่ 2 ซึ่งมีมูลค่าควบคุม 1 ตัว/ฟิลด์บัสเซกเมนต์ เห็นได้ว่าการติดตั้งเทคโนโลยีฟาว์นเดชันฟิลด์บัส กรณีที่ 1 มีมูลค่าควบคุม 2 ตัว/ฟิลด์บัสเซกเมนต์ สามารถประหยัดงบประมาณในการลงทุน 23.88%

ตารางที่ 5.7 ผลการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายทั้งหมดที่ใช้ระบบแอนะล็อกและเทคโนโลยีฟิลด์บัส

รายละเอียด	ระบบแอนะล็อก (บาท)	เทคโนโลยีฟิลด์บัส กรณีที่ 1 (บาท)	เทคโนโลยีฟิลด์บัส กรณีที่ 2 (บาท)
ค่าใช้จ่ายด้านวัสดุและอุปกรณ์	22,349,000	20,162,000	26,962,000
ค่าใช้จ่ายด้านการติดตั้ง	3,860,880	2,064,880	2,164,880
ค่าใช้จ่ายด้านคอมมิชชันนิง	420,000	150,000	270,000
รวม	26,629,880	22,376,880	29,396,880



รูปที่ 5.1 กราฟเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายทั้งหมดที่ใช้ระบบแอนะล็อกและเทคโนโลยีฟิลด์บัส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3 บทสรุป

วิทยานิพนธ์นี้นำเสนอการใช้เทคโนโลยีฟาวน์เดชันฟิลด์บัสแทนที่ระบบแอนะล็อกในกระบวนการผลิตน้ำตาลทรายดิบ โดยวิธีการวิเคราะห์การลงทุนซึ่งเป็นปัจจัยลำดับแรกของผู้ลงทุนมาถึง โดยแบ่งการวิเคราะห์ออกเป็นค่าใช้จ่ายด้านวัสดุและอุปกรณ์ ค่าใช้จ่ายด้านการติดตั้ง และค่าใช้จ่ายด้านคอมมิชชันนิง ระบบแอนะล็อกและเทคโนโลยีฟาวน์เดชันฟิลด์บัสในกระบวนการผลิตน้ำตาลทรายดิบที่มีกำลังการผลิต 28,000 ตันต่อวัน จากการวิเคราะห์จะเห็นได้ว่าค่าใช้จ่ายด้านวัสดุและอุปกรณ์เทคโนโลยีฟาวน์เดชันฟิลด์บัสซึ่งมีวาล์วควบคุม 2 ตัว/ฟิลด์บัสเซกเมนต์ จะมีค่าใช้จ่ายน้อยกว่าระบบแอนะล็อก ถ้าใช้เทคโนโลยีฟาวน์เดชันฟิลด์บัสซึ่งมีวาล์วควบคุม 1 ตัว/ฟิลด์บัสเซกเมนต์ จะมีค่าใช้จ่ายมากกว่าระบบแอนะล็อก ส่วนค่าใช้จ่ายด้านการติดตั้งเทคโนโลยีฟาวน์เดชันฟิลด์บัสซึ่งมีวาล์วควบคุม 2 ตัว/ฟิลด์บัสเซกเมนต์ และที่มีวาล์วควบคุม 1 ตัว/ฟิลด์บัสเซกเมนต์จะมีค่าใช้จ่ายน้อยกว่าระบบแอนะล็อก ส่วนค่าใช้จ่ายด้านการคอมมิชชันนิงเทคโนโลยีฟาวน์เดชันฟิลด์บัสซึ่งมีวาล์วควบคุม 2 ตัว/ฟิลด์บัสเซกเมนต์ และที่มีวาล์วควบคุม 1 ตัว/ฟิลด์บัสเซกเมนต์ จะมีค่าใช้จ่ายน้อยกว่าระบบแอนะล็อก

5.4 ข้อเสนอแนะ

การใช้เทคโนโลยีฟาวน์เดชันฟิลด์บัสแทนที่ระบบแอนะล็อกในกระบวนการผลิตน้ำตาลทรายดิบที่นำเสนอในวิทยานิพนธ์เรื่องนี้ยังไม่ได้คิดค่าใช้จ่ายของตัวควบคุมระบบ (Controller) ผู้ลงทุนสามารถเลือกใช้ตัวควบคุมระบบที่เป็นพีแอลซี (PLC) หรือดีซีเอส (DCS) ก็ได้ขึ้นอยู่กับจำนวนอินพุต/เอาต์พุต การออกแบบระบบ และงบประมาณของผู้ลงทุน หากผู้ลงทุนเลือกใช้เทคโนโลยีฟาวน์เดชันฟิลด์บัสจะมีการให้ข้อมูลสำหรับการวิเคราะห์ที่เกิดจากความผิดพลาดของระบบ (Diagnosis) ได้ดีกว่าระบบแอนะล็อก

เอกสารอ้างอิง

- [1] ประสิทธิ์ จุลเสวีวงศ์. ระบบอัตโนมัติทางอุตสาหกรรม. กรุงเทพมหานคร : คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2553.
- [2] French Standards NF C46601 to C46607 : FIP Bus for Exchange of Information Between Transmitters. Actuator and Programmable Controllers. 1989-1982
- [3] B. Armitage., G. Dunlop., D. Hutchinson., and S. Yu., “**Fieldbus : an Emerging Communications Standard,**” Microprocess., vol.12., no.10., 1988. pp. 555-562
- [4] The Club INTERBUS. “**INTERBUS.**” [Online]. Available : <http://www.interbus.com>. 2013.
- [5] The Modbus Organization. “**Modbus.**” [Online]. Available : <http://www.modbus.org>. 2013.
- [6] PROFIBUS and PROFINET International (PI). “**PROFIBUS.**” [Online]. Available : <http://www.profibus.com>. 2013.
- [7] CC-Link Partner Association. “**CC-Link.**” [Online]. Available : <http://www.cc-link.org>. 2013.
- [8] Ethernet POWERLINK Standardization Group. “**Ethernet POWERLINK.**” [Online]. Available : <http://www.ethernet-powerlink.org>. 2013.
- [9] International P-NET User Organization. “**P-NET.**” [Online]. Available : <http://www.p-net.org>. 2013.
- [10] The EtherCAT Technology Group (ETG). “**EtherCAT.**” [Online]. Available : <http://www.ethercat.org>. 2013.
- [11] WorldFIP technology. “**WorldFIP.**” [Online]. Available : <http://www.worldfip.org>. 2013.
- [12] CAN in Automation (CiA).. “**CANBUS.**” [Online]. Available : <http://www.can-cia.org>. 2013.
- [13] The ControlNET Technology Group (ETG). “**ControlNET.**” [Online]. Available : <http://www.controlnet.org>. 2013.
- [14] SERCOS International. “**SERCOS.**” [Online]. Available : <http://www.sercos.org>. 2013.
- [15] The ABCnet Technology Group. “**ABCnet.**” [Online]. Available : <http://www.bacnet.org>. 2013.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [16] HART Communication Foundation. "HART Protocol." [Online]. Available : <http://www.hartcomm.org>. 2013.
- [17] J.-P. Thomesse., "Fieldbus Technology in Industrial Automation ," Proceedings of the IEEE., vol.93., 2005 pp. 1073-1101
- [18] H. Kleines., K. Zvoll., M. Drochner., and J.Sarkadi., "Integration of Industrial Automation Equipment in Experiment Control Systems via PROFIBUS - Developments and Experiences at Forschungszentrum Jilich," IEEE Transactions On Nuclear Science, Vol.47., no.2., 2000. pp. 229-235
- [19] S. Kolla., D. Border., E. Mayer., "Fieldbus networks for control system implementations," Electrical Insulation Conference and Electrical Manufacturing & Coil Winding Technology Conference., 2003. pp. 493-498
- [20] C. Hui., T.Jianping., and G. Jinli., "A Digital Method for Detecting Hydraulic Press Column Stress Based on Profibus-dp Fieldbus," Measuring Technology and Mechatronics Automation., ICMTMA '09 International Conference., 2009. pp. 155 – 158
- [21] L. Hui., Z. Hao., and P. Daogang., "Research and Application on INTERBUS Operator Terminal" Computer Science and Information Technology ICCSIT 2009., 2009. pp. 309-312
- [22] M. Stoess., F. Doherr., and L.Urba., "Automated Network Layout for the Industrial Communication Engineering System NetGen:X," Factory Communication Systems (WFCS) 9th IEEE International Workshop., 2012. pp. 281 – 290
- [23] D. Caro. Automation Network Selection. ISA. 2004.
- [24] Fieldbus Foundation. "Foundation Fieldbus." [Online]. Available : <http://www.fieldbus.org>. 2013.
- [25] T. Ozkul., "Instrumentation network lowers distributed control to field level," Industrial Automation and Control IAS Conference., 1995 pp. 556-561
- [26] Y. Sato., "Engineering experience in Foundation Fieldbus technology," ICROS SICE International Joint Conference., 2009. pp.2087-2090
- [27] P. Rein. Cane Sugar Engineering. Velag Dr. Albert Bartens KG. 2007.
- [28] รองศาสตราจารย์ สมบัติ ขอทวีวัฒนา. เทคโนโลยีน้ำตาล. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 2546.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [29] Fieldbus Foundation. **Technical Overview Foundation Fieldbus.** Fieldbus Foundation. 2003.
- [30] J. Berge. **Fieldbus for Process Control: Engineering, Operation, and Maintenance.** ISA. 2002.
- [31] Fieldbus Foundation. **Wiring and Installation 31.25 kbit/s, Voltage Mode, Wire Medium Application Guide.** Fieldbus Foundation. 1996.
- [32] P. Eastwood., “**Specification and Implementation of a Fieldbus Project,**” Foundation Fieldbus End Users Council Australia Inc., Australia.
- [33] Fieldbus Foundation. **System Engineering Guidelines.** Fieldbus Foundation, 2010.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

บทความวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์

บทความวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์ในวารสารทางวิชาการระดับนานาชาติในวิทยานิพนธ์นี้มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

- [1] Teerawat Thepmanee, Amphawan Julsereewong, Prasit Julsereewong, Chaiwat Jetanacheawchankij, “Replacement of Existing Analog with Digital Fieldbus : A Case Study of Raw Cane Sugar Production”, *ICIC Express Letters*, vol.7, no.4 pp.1157-1162



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Volume 7, Number 3(B), March 2013

ISSN 1881-803X



ICIC Express Letters

An International Journal of Research and Surveys

Editors-in-Chief

Yan Shi, Tokai University, Japan

Junzo Watada, Waseda University, Japan



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

Published by ICIC International

<http://www.ijicic.org/icicel.htm>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

REPLACEMENT OF EXISTING ANALOG WITH DIGITAL FIELDBUS: A CASE STUDY OF RAW CANE SUGAR PRODUCTION

TEERAWAT THEPMANEE, AMPHAWAN JULSEREEWONG, PRASIT JULSEREEWONG
AND CHAIWAT JETANACHEAWCHANKIJ

Faculty of Engineering
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Ladkrabang, Bangkok 10520, Thailand
{ ktteeraw; kcamphaw; kjprasit }@kmitl.ac.th; chaiwat.inse@hotmail.com

Received June 2012; accepted August 2012

ABSTRACT. This article focuses on a digital fieldbus replacement for existing analog communications to bring automation infrastructure for operational excellence. Economic analysis between conventional and Foundation Fieldbus systems for new instrumentation and control installations in a raw cane sugar production is described as an illustrative case study. Surpassing the traditional analog system during project implementation, the digital fieldbus provides saving in material, installation, and commissioning costs. The studied case can be applied as a useful tool that can support planning and decision making for any small or large upcoming projects.

Keywords: Fieldbus, Foundation Fieldbus, Analog, Digital, Installation, Cost saving, Cane sugar production

1. Introduction. The first recognized instrumentation standard signal was a 3-15 psig pneumatic loop. For parameters that needed monitoring, air pipes were run from instruments to the control room and values displayed on gauges. In 1960s, the pneumatic loops were replaced by newer technology, the isolated 4-20 mA loops. The analog current loops are now being replaced by newer all-digital communication architectures. Similarly, many networks such as television and telephone are primarily analog, but the clear trend is definitely toward digital technology to improve quality, reduce costs, and enhance efficiency. Industrial automation networks can be divided by class into sensor networks, fieldbus networks, and control networks [1]. Sensor networks connect the limit switch, proximity sensor, solenoid valve, or photocell to the I/O interface. Fieldbus networks connect intelligent field devices to controllers. Control networks connect controllers to each other and business systems. However, some open network architectures overlap these classifications due to network developers' attempts to move technology into as many niche applications as possible. Based on the IEC 61158 fieldbus standard, Foundation Fieldbus proposed by the Fieldbus Foundation is one of the most advanced full digital communications technologies for plant or factory automation environment [2-4]. It is designed to deliver the performance and reliability needed for mission-critical process control applications. In addition, Foundation Fieldbus is well suited for modernization and migration projects in various industries such as refining, petrochemical, oil&gas, metals&mining, pulp&paper, food&beverage, power generation, and others [5,6].

This paper aims to present significant benefits users have when they use Foundation Fieldbus technology to replace the traditional 4-20 mA standard for their projects. Economic analysis between analog 4-20 mA and Foundation Fieldbus systems for new instrumentation and control installations in a raw cane sugar production is examined as a case study. Compared results show that implementing Foundation Fieldbus in project provides capital investment savings.

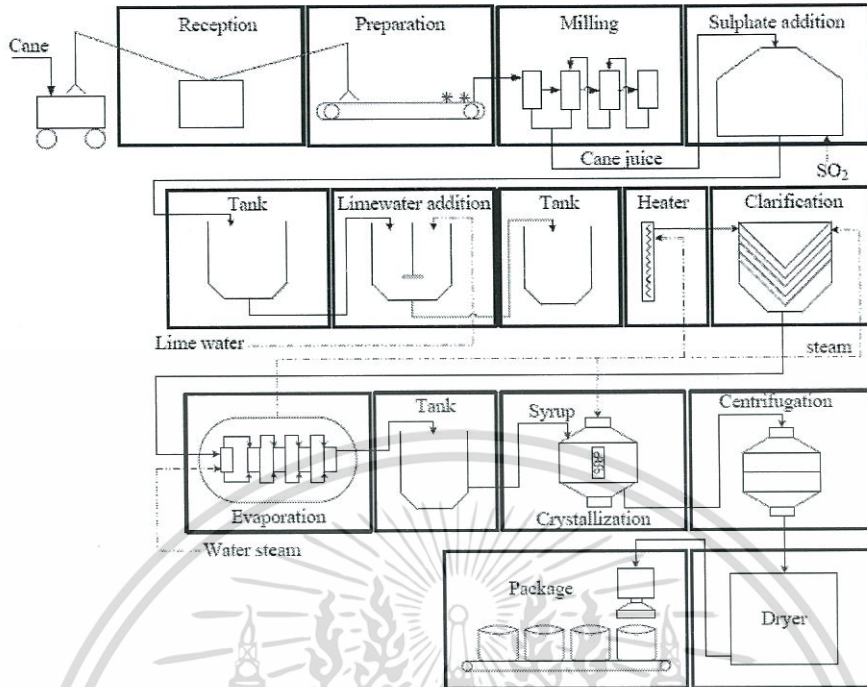


FIGURE 1. Simplified process flow diagram of raw cane sugar production

2. Raw Cane Sugar Production. A raw cane sugar production consists of a series of mechanical and chemical processes grouped in stages. The main stages are juice extraction, defecation and clarification, evaporation, crystallization, and centrifugation. A simplified process flow diagram of typical raw cane sugar production is shown in Figure 1 [7]. Prior juice extraction by mills, the cane is prepared by reducing the size of pieces of cane to a size suitable for handling in the extraction process. The cane juice from the mills is strained to remove large particles and then clarified. Clarified juice is sent to evaporators to produce cane syrup. The flow of syrup is then stored in a tank before crystallization in vacuum pans. In vacuum pans, the sugar syrup concentration is further increased, resulting in sugar dough subsequently routed to the centrifuges, dried, and packaged. Additionally, cane sugar is refined either at some location where it was produced as part of an integrated facility or at separate raw sugar refineries.

3. Foundation Fieldbus Overview. Two related implementations of Foundation Fieldbus have been introduced: H1 and HSE (High Speed Ethernet). These two implementations use different physical media and communication speeds. H1 works at 31.25 kbit/s and interconnects field equipments such as transmitters, control valve positioners, and I/O modules. HSE works at 100 Mbit/s and provides integration of H1 subsystems (via a linking device), high speed controllers such as PLCs, data servers, workstations, and other devices using standard Ethernet cabling such as gateways. Figure 2 shows its open and nonproprietary system architecture that serves as a factory/plant network.

4. Project Case Study. A project to implement instrumentation and control system for cane sugar production capacity of 28,000 tons of cane per day is examined in our study. Process parameters needed to be continuously monitored (MON) and controlled (CTRL) are summarized in Table 1. Table 2 gives quantity of the field devices required for installation.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

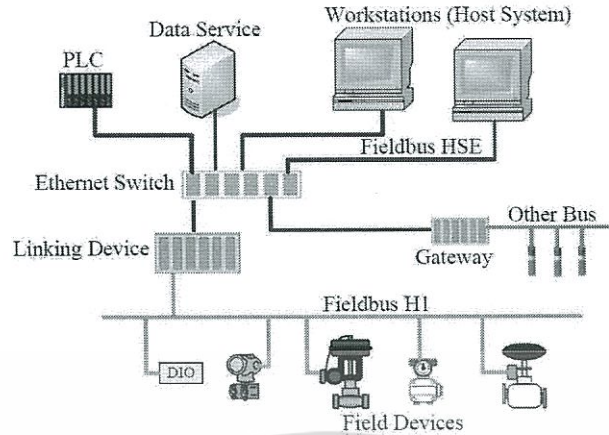


FIGURE 2. Foundation Fieldbus system architecture

TABLE 1. Parameters needed to be continuously monitored and controlled in studied project

Parameter	Quantity of Measuring Point								Total	
	Extraction		Clarification		Evaporation		Crystallization			
	MON	CTRL	MON	CTRL	MON	CTRL	MON	CTRL		
Level	-	6	2	-	-	15	74	2	99	
Flow	-	1	-	-	-	3	-	5	9	
Temperature	-	1	-	1	15	3	2	22	44	
Pressure	-	-	-	-	-	3	-	12	15	
pH	-	-	-	1	-	-	-	-	1	
Brix	-	-	-	-	3	-	6	9	18	
Conveyor Motion	20	-	-	-	-	-	-	-	20	
Motor Speed	4	-	-	-	-	-	-	-	4	
									Total	210

TABLE 2. Field devices required for installation in studied project

Field Device	Quantity of Field Device				Total	
	Extraction	Clarification	Evaporation	Crystallization		
Level Transmitter	6	2	15	76	99	
Flow Transmitter	1	-	3	5	9	
Temp. Transmitter	1	1	18	24	44	
Pressure Transmitter	-	-	3	12	15	
pH Transmitter	-	1	-	-	1	
Brix Transmitter	-	-	3	15	18	
Control Valve	2	2	24	50	78	
PID Controller	8	2	24	50	84	
Limit Switch	8	-	-	-	8	
Proximity Switch	12	-	-	-	12	
Encoder	4	-	-	-	4	
					Total	372

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. Installation and Startup Benefits Observed. Figure 3 shows wiring differences between conventional 4-20 mA and Foundation Fieldbus systems. The Fieldbus H1 allows many devices to connect to a single pair and reduce the requirement for marshalling panels between field wiring and control system cabinets. This results in less wire and fewer system cabinets. In addition, Fieldbus H1 enables use of pre-wired and pre-fabricated field junction boxes that will eliminate manual errors in field wiring and increase ease of installation. There is also a difference in the cable length for the two types of installations.

Table 3 shows comparison of material cost of 4-20 mA and Foundation Fieldbus (FF) H1 technology. Comparisons of installation cost and commissioning cost of analog 4-20 mA and digital Fieldbus H1 are summarized in Table 4 and Table 5, respectively. From

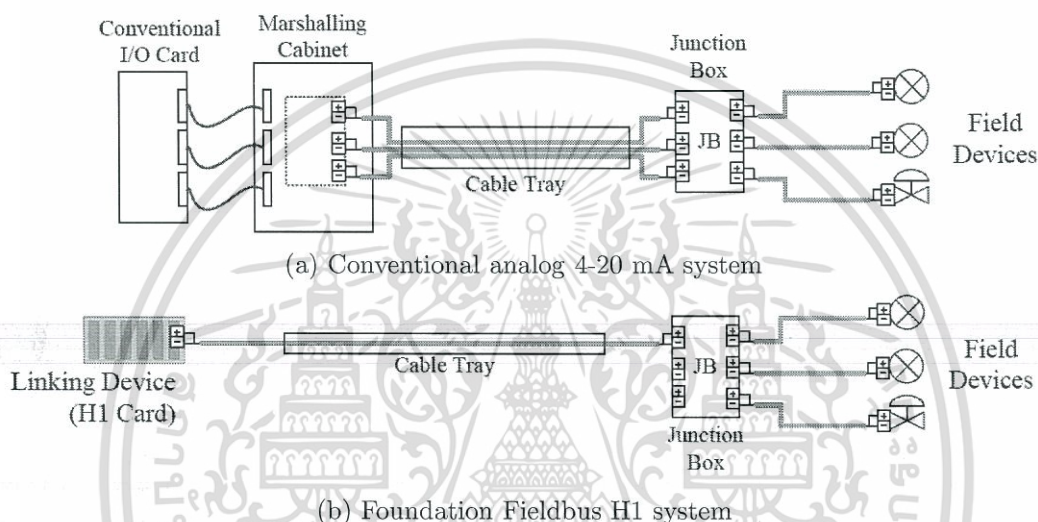


FIGURE 3. Wiring systems for conventional analog 4-20 mA and the digital Fieldbus H1

TABLE 3. Comparison of material cost of 4-20 mA and foundation Fieldbus H1

Description	Qty	Unit Rate (Bt)	4-20 mA (Bt)	Fieldbus (Bt)
4-20 mA AI card (8 channels)	14	240,000	3,360,000	
4-20 mA AO card (8 channels)	1	240,000	240,000	
4-20 mA DI card (16 channels)	2	200,000	400,000	
4-20 mA PID card (8 channels)	11	400,000	4,400,000	
4-20 mA AI/AO card nest	4	1,600,000	6,400,000	
FF H1 card (2 segments)	25	200,000		5,000,000
FF H1 card nest	4	1,200,000		4,800,000
FF Power supply board	25	20,000		500,000
4-20 mA Marshalling cabinet	5	60,000	300,000	
FF System cabinet	1	80,000		80,000
Field device (FF addition cost)	274	10,000		2,740,000
4-20 mA Junction box	37	9,000	333,000	
FF Junction box	98	9,000		882,000
4-20 mA Cable	51,100 m	60	3,066,000	
FF H1 Cable	28,000 m	110		3,080,000
4-20 mA Cable tray	1,100 m	3,500	3,850,000	
FF H1 Cable tray	1,100 m	2,800		3,080,000
		Total	22,349,000	20,162,000
Saving with FF			+ 9.79%	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TABLE 4. Comparison of installation cost of 4-20 mA and foundation Fieldbus H1

Description	Qty	Unit Rate (Bt)	4-20 mA (Bt)	Fieldbus (Bt)
4-20 mA Termination	3,088	10	30,880	
FF Termination	1,488	10		14,880
4-20 mA Cabinet installation	5	145,000	725,000	
FF Cabinet installation	1	100,000		100,000
4-20 mA Cable pulling	51,100 m	50	2,555,000	
FF Cable pulling	28,000 m	50		1,400,000
4-20 mA Main cable tray	1,100 m	500	550,000	
FF Main cable tray	1,100 m	500		550,000
		Total	3,860,880	2,064,880
Saving with FF			+ 46.52%	

TABLE 5. Comparison of commissioning cost of 4-20 mA and foundation Fieldbus H1

Description	Days	Per Day Rate (Bt)	4-20 mA (Bt)	Fieldbus (Bt)
4-20 mA Loop checking and commissioning (3 Technicians @ 15 loops in 10 hrs)	14	30,000	420,000	
FF Segment checking and commissioning (1 Technician + 1 Engineer @ 10 segments in 10 hrs)	5	30,000		150,000
		Total	420,000	150,000
Saving with FF			+ 64.29%	

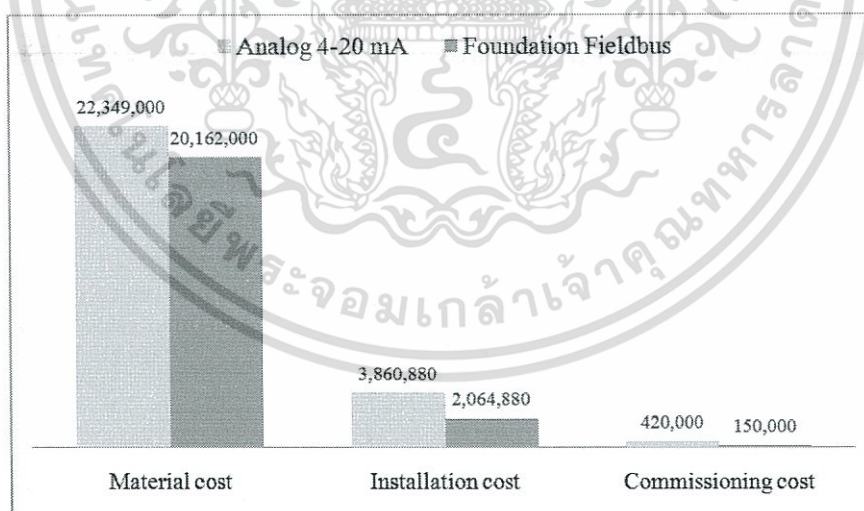


FIGURE 4. Comparison results

Table 3, Table 4 and Table 5, Figure 4 illustrates the comparison results. It is evident that Foundation Fieldbus helps lower total project engineering costs and shorten commissioning time for field instruments and host systems. Fieldbus H1 will definitely have savings in wiring but the percentage of saving will vary from project to project. Fieldbus Foundation recommends Type A cable for wiring. This may have a slightly higher price than standard instrument cable. For installation cost, it is significant saving in field labor cost

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

to install a device using Foundation Fieldbus technology. Additionally, engineering cost savings can come from drawing and document savings. During commissioning, Fieldbus H1 system management provides auto-detection and addressing that eliminates the need for DIP switches or manual offline addressing, and one person can perform the checkout by using the test tool connected to the Fieldbus H1 segment. When one Fieldbus device communicates on the segment, it will confirm the wiring integrity check for entire segment. With conventional 4-20 mA wiring, two people would have been required to check out each wire and confirm operation of each field device.

The operational cost benefits for using Foundation Fieldbus technology can be also obtained. Due to reduced commission time, Fieldbus can have a factory/plant available to make product sooner than using conventional system in any project. The operator's view of the operation is considerable expanded with Fieldbus, from field devices to enterprise planning systems. Each data transmission by a Fieldbus device will have status associated with the data value. This will help in making the knowledge base process decision and improve product quality. Thus, efficient information flow from field devices ensures that the operator can make effective decisions. Moreover, digital Fieldbus features a consistent flow of diagnostic data. This allows devices with on-line diagnostics to provide focused maintenance planning, rapid root cause troubleshooting, and reduction in shutdown spares usage.

6. Conclusion. The project implementation of cane sugar production has been discussed in this paper. The primary focus is to compare capital expense of using digital technology such as Foundation Fieldbus with conventional analog 4-20 mA standard. Comparison results verify that Fieldbus H1 provides material, installation, and commissioning cost savings. In addition, Foundation Fieldbus with full digital communications offers long-term benefits based on increased production efficiency.

REFERENCES

- [1] D. Caro, *Automation Network Selection*, ISA, United States of America, 2004.
- [2] H. Sasajima, Intelligent field devices and fieldbus solutions in PA industries, *SICE Annual Conference*, pp.1473-1478, 2004.
- [3] I. Verhappen and A. Pereira, *Foundation Fieldbus*, ISA, United States of America, 2009.
- [4] T. Thepmanee, S. Pongswatd, A. Julserewong and P. Julserewong, Design and implementation of the laboratory for foundation Fieldbus-based industrial automation, *ICIC Express Letters*, vol.6, no.5, pp.1353-1358, 2012.
- [5] H. Sato, The recent movement of Foundation Fieldbus engineering, *SICE Annual Conference*, pp.1-4, 2003.
- [6] Y. Sato, Engineering experience in Foundation Fieldbus technology, *ICROS-SICE International Joint Conference*, pp.2087-2090, 2009.
- [7] P. Rein, *Cane Sugar Engineering*, Velag Dr. Albert Bartens KG, Berlin, 2007.

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นายชัยวัฒน์ เจตนาเชี่ยวชาญกิจ
วัน-เดือน-ปีเกิด	วันที่ 24 ตุลาคม 2531
ที่อยู่	142 ม.6 ต.เหนือเมือง อ.เมืองร้อยเอ็ด จ.ร้อยเอ็ด 45000 โทร. 082-5851-991
ประวัติการศึกษา	สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมระบบเครื่องมือวัด จากคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ปีการศึกษา 2553 และในปีการศึกษา 2554 ได้เข้าศึกษาต่อระดับปริญญาโท หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอัตโนมัติ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้