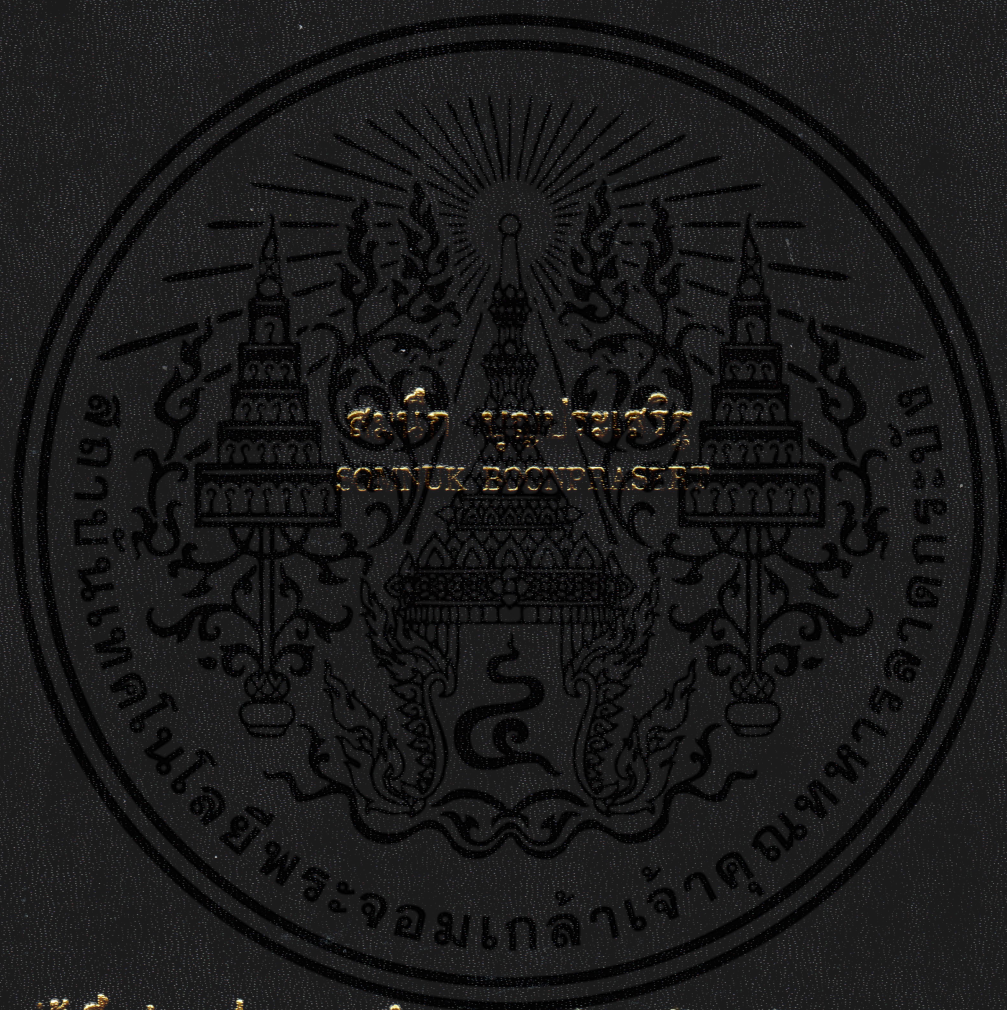


การออกแบบและสร้างเครื่องคำนวณปริมาณการไหลแบบเครือข่าย

DESIGN AND IMPLEMENTATION OF FLOW COMPUTER NETWORK



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของงานศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

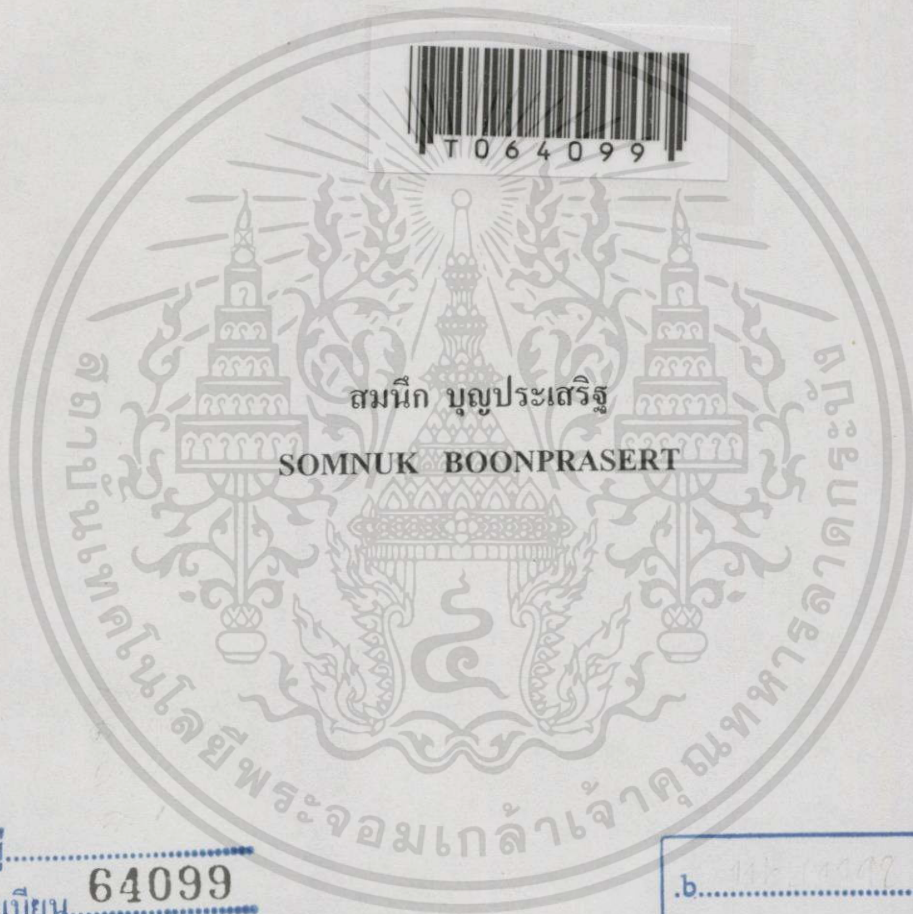
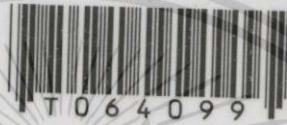
พ.ศ. 2545

ISBN 974-648-961-5

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การออกแบบและสร้างเครื่องคำนวณปริมาณการไหลแบบเครือข่าย

DESIGN AND IMPLEMENTATION OF FLOW COMPUTER
NETWORK



สมนึก บุญประเสริฐ

SOMNUK BOONPRASERT

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... 64099
วัน,เดือน,ปี..... ก.ย. 2549

b. 115.186099
i.

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2545

ISBN 974-648-961-5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**DESIGN AND IMPLEMENTATION OF FLOW COMPUTER
NETWORK**



**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING IN INSTRUMENTATION ENGINEERING
SCHOOL OF GRADUATE STUDIES
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

2002

ISBN 974-648-961-5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2002

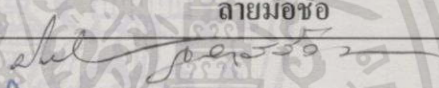
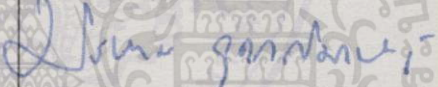
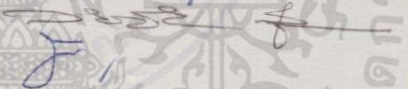
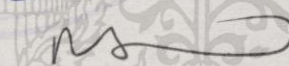
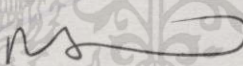
SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บัณฑิตวิทยาลัย
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

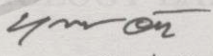
หัวข้อวิทยานิพนธ์ การออกแบบและสร้างเครื่องคำนวณปริมาณการไหลแบบเครือข่าย
DESIGN AND IMPLEMENTATION OF FLOW COMPUTER NETWORK
ชื่อนักศึกษา นายสมนึก บุญประเสริฐ
รหัสประจำตัว 43061427
ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา วิศวกรรมการวัดคุม
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ รศ.ดร.กิตติ ตีรเศรฐ
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ร่วม ผศ.ประภาส อุกกภิมาพันธุ์

| คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ | | ลายมือชื่อ |
|--------------------------|----------------|--|
| ผศ.ประสิทธิ์ | จุลเสวีวงศ์ |  |
| ผศ.ประภาส | อุกกภิมาพันธุ์ |  |
| รศ.ดร.วันชัย | วีรวุจา |  |
| ผศ.ดร.ธนิตย์ | ตรีสุวรรณวัฒน์ |  |
| รศ.ดร.กิตติ | ตีรเศรฐ |  |

วัน/เดือนปี ที่สอบ 15 พฤษภาคม 2545 เวลา 10.30-12.30 น.

สถานที่สอบ ณ อาคาร 12 ชั้น ชั้น 4 (ห้อง E12-404)

บัณฑิตวิทยาลัยรับรองแล้ว


(รศ.ดร.บุญวัฒน์ อัทธู)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่..... 20เดือน..... 50 พ.ศ..... 45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| | |
|---------------------------------|---|
| หัวข้อวิทยานิพนธ์ | การออกแบบและสร้างเครื่องคำนวณปริมาณการไหลแบบ เครือข่าย |
| นักศึกษา | นายสมนึก บุญประเสริฐ |
| รหัสประจำตัว | 43061427 |
| ปริญญา | วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต |
| สาขาวิชา | วิศวกรรมการวัดคุม |
| พ.ศ. | 2545 |
| อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ | รศ.ดร. กิตติ ตีระเศรษฐ |
| อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ร่วม | ผศ.ประภาส อุกคกิมพันธ์ |

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอการออกแบบและสร้างเครื่องคำนวณปริมาณการไหลแบบเครือข่าย โดยมีจุดเด่นคือมีความยืดหยุ่นและสะดวกในการใช้งาน ตลอดจนมีราคาถูกกว่าเครื่องคำนวณการไหลที่ใช้งานอยู่ปัจจุบัน โครงสร้างของเครือข่ายจะใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นตัวรับค่าตัวแปรอินพุตจากการวัดการไหลที่จุดต่างๆ ของกระบวนการผลิตในโรงงานอุตสาหกรรม แล้วทำการแปลงสัญญาณจากอนุลอกเป็นดิจิทัลก่อนส่งค่าตัวแปรในรูปของกลุ่มข้อมูลมาให้ไมโครคอมพิวเตอร์คำนวณปริมาณการไหลแต่ละจุด และแสดงค่าในรูปกราฟพีลบนจอมอนิเตอร์และพิมพ์รายงานผลการคำนวณ การสื่อสารในเครือข่ายเป็นแบบบัสอนุกรมตามมาตรฐาน RS-485 ทำให้การรับส่งข้อมูลได้ระยะไกลถึง 4000 ฟุตรวมทั้งสนับสนุนการเชื่อมต่อเครือข่ายระบบหลายจุด (Multi-point) จากการทดลองสอบเทียบเพื่อหาค่าความผิดพลาดของเครื่องคำนวณปริมาณการไหลแบบเครือข่ายที่สร้างขึ้น โดยใช้การป้อนสัญญาณการวัดจากเครื่องมือสอบเทียบมาตรฐานในห้องปฏิบัติการสอบเทียบ พบว่ามีค่าความผิดพลาดจากการวัดน้อยกว่า 0.015 %

คำสำคัญ : เครื่องคำนวณปริมาณการไหล

| | |
|--------------------------|--|
| Thesis Title | Design and Implementation of Flow Computer Network |
| Student | Mr. Somnuk Boonprasert |
| Student ID. | 43061427 |
| Degree | Master of Engineering |
| Programme | Instrumentation Engineering |
| Year | 2002 |
| Thesis Advisor | Assoc. Prof. Dr. Kitti Tirasesth |
| Thesis Co-Advisor | Asst. Prof. Prapart Ukakimaparn |

ABSTRACT

This research proposes the designed and implementation of flow computer network. The main advantage of this flow computer is flexible and easy to use, and provided a low cost system. The flow computer network use microcontroller for receiving the input parameter which measured from some point in the line production processes. The measured data will be converted from analog signal to digital signal before sending them as the system data to the microcomputer. These parameters will be used to compute the flow rate of each point. The result will be shown as graphic on the monitor and also printed out by the printer. The RS-485 is used for communication in the network, So the data can be travelled about 4,000 feet distance and also supporting the multi-point measurements as well. By using simulation signal from standard calibrator in the calibration laboratory. We found the measurement error less than 0.015 %

Keyword : Flow Computer

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีเพราะได้รับความเมตตาจาก รองศาสตราจารย์ ดร. กิตติ ตีระเศรษฐ และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ประภาส อุคคกิมพันธ์ ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้ควบคุม วิทยานิพนธ์ และอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ร่วม ที่ได้ให้แนวทางการวิจัย คำแนะนำในการแก้ไข ปรับปรุง ตลอดจนคอยสอบถามความก้าวหน้าของงานวิจัยเป็นระยะ ๆ อีกทั้งคอยแก้ปัญหาที่ติดขัด ต่าง ๆ ให้ลุล่วงไปได้ด้วยดี ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งและขอกราบขอบพระคุณท่านทั้งสองเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ อาจารย์พิทยา ปานนิก ที่ได้คอยช่วยประสานงานเกี่ยวกับการตีพิมพ์ บทความ อีกทั้งยังเป็นส่วนหนึ่งที่จะช่วยจุดประกายความคิดเกี่ยวกับหัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ และ คอยจัดหาอุปกรณ์สำหรับการจัดพิมพ์ให้

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุมทุกท่าน ที่ได้สอบถามและให้คำแนะนำอันเป็นประโยชน์ต่อการจัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ขอขอบคุณเพื่อน ๆ ทุกท่านสำหรับคำแนะนำ ความช่วยเหลือ และเป็นกำลังใจต่อผู้วิจัย ด้วยดีตลอดมา

ท้ายที่สุด ขอกราบขอบพระคุณบิดามารดา อันเป็นที่รักยิ่งที่สนับสนุน และเป็นแรงบันดาลใจในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอบแต่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

สมนึก บุญประเสริฐ

สารบัญ

| | หน้า |
|---|----------|
| บทคัดย่อภาษาไทย..... | I |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... | II |
| กิตติกรรมประกาศ..... | III |
| สารบัญ..... | IV |
| สารบัญตาราง..... | VIII |
| สารบัญรูป..... | IX |
| บทที่ 1 บทนำ..... | 1 |
| 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา..... | 1 |
| 1.2 วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์..... | 2 |
| 1.3 แนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย..... | 2 |
| 1.4 ขอบเขตของการวิจัย..... | 3 |
| 1.5 ขั้นตอนของการศึกษา..... | 4 |
| บทที่ 2 การวัดปริมาณการไหลและการสอบเทียบมาตรวัดการไหล..... | 5 |
| 2.1 กล่าวนำ..... | 5 |
| 2.2 อุปกรณ์การวัดปริมาณการไหล..... | 7 |
| 2.2.1 มาตรวัดการไหล..... | 7 |
| 2.2.2 เครื่องมือวัดอุณหภูมิ..... | 11 |
| 2.2.2.1 เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ..... | 12 |
| 2.2.2.2 หลักการทำงานของทรานสมิตเตอร์สำหรับวัดอุณหภูมิ..... | 14 |
| 2.2.3 เครื่องมือวัดความดัน..... | 15 |
| 2.2.3.1 เซ็นเซอร์วัดความดัน..... | 15 |
| 2.2.3.3 หลักการทำงานของทรานสมิตเตอร์สำหรับวัดความดัน..... | 17 |
| 2.2.4 เครื่องมือวัดความหนาแน่นของสาร..... | 19 |
| 2.2.5 เครื่องคำนวณปริมาณการไหล..... | 23 |
| 2.3 Compact Prover..... | 26 |
| 2.3.1 โครงสร้างพื้นฐานของ Compact Prover..... | 27 |

สารบัญ (ต่อ)

| | หน้า |
|---|-----------|
| 2.3.2 ขั้นตอนการทำงานของ Compact Prover | 28 |
| 2.4 การสอบเทียบมาตรวัดการไหลด้วย Compact Prover..... | 32 |
| 2.4.1 ขั้นตอนการทำงานสอบเทียบมาตรวัด..... | 32 |
| 2.4.2 การดำเนินการสอบเทียบมาตรวัด..... | 34 |
| บทที่ 3 หลักการคำนวณหาปริมาณการไหล..... | 37 |
| 3.1 คำจำกัดความและตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการคำนวณ..... | 37 |
| 3.1.1 Gross Flow Rate..... | 37 |
| 3.1.2 Net Flow Rate..... | 37 |
| 3.1.3 Mass Flow Rate..... | 37 |
| 3.1.4 ตัวคูณเชิงเส้น..... | 38 |
| 3.1.5 ตัวคูณมาตรวัด..... | 38 |
| 3.2 การคำนวณปริมาณการไหลในสถานะของเหลว..... | 39 |
| 3.3 การคำนวณปริมาณการไหลในสถานะไอ..... | 43 |
| บทที่ 4 หลักการทำงานของเครื่องคำนวณปริมาณการไหลแบบเครือข่าย..... | 46 |
| 4.1 การสื่อสารข้อมูลของเครือข่าย..... | 46 |
| 4.1.1 โครงข่ายของระบบเน็ตเวิร์ค..... | 47 |
| 4.1.2 หลักการของโปรแกรมควบคุมการสื่อสารข้อมูล..... | 48 |
| 4.1.3 โครงสร้างของกลุ่มข้อมูล..... | 49 |
| 4.2 การทำงานของหน่วยการวัดสัญญาณอินพุต..... | 50 |
| บทที่ 5 การออกแบบและสร้างเครื่องคำนวณปริมาณการไหลแบบเครือข่าย..... | 52 |
| 5.1 คำนำ..... | 52 |
| 5.2 การออกแบบวงจรและเลือกสรรให้เหมาะสม..... | 52 |
| 5.3 การออกแบบทางด้านฮาร์ดแวร์วงจรส่วนของแผงควบคุมหน่วยการวัดสัญญาณอินพุต..... | 53 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

| | หน้า |
|--|-----------|
| 5.3.1 การออกแบบวงจรอินพุตสัญญาณพัลส์..... | 59 |
| 5.3.2 การออกแบบวงจรอินพุตกระแสไฟฟ้า 4 – 20 mA dc..... | 62 |
| 5.3.3 การออกแบบวงจรแหล่งจ่ายไฟตรงคงที่..... | 65 |
| 5.3.4 การออกแบบเพื่อติดตั้งในพื้นที่อันตรายของโรงงาน..... | 66 |
| 5.4 ส่วนของตัวแปลงสัญญาณ RS-232/RS-485..... | 71 |
| 5.5 การออกแบบโปรแกรมควบคุมของแผงควบคุมหน่วยการวัดสัญญาณอินพุต..... | 72 |
| 5.5.1 โปรแกรมหลัก..... | 73 |
| 5.5.2 โปรแกรมจับรูทีน..... | 75 |
| 5.5.3 โปรแกรมบริการการอินเตอร์รัพต์..... | 78 |
| 5.6 การออกแบบโปรแกรมควบคุมการทำงานบนไมโครคอมพิวเตอร์..... | 80 |
| 5.7 จอกำหนดค่าควบคุมการทำงานและแสดงผลบนไมโครคอมพิวเตอร์..... | 81 |
| 5.7.1 จอแสดงกราฟฟิคกระบวนการผลิต..... | 81 |
| 5.7.2 จอแสดงรายละเอียดการวัด..... | 82 |
| บทที่ 6 การทดลองและผลการทดลอง..... | 84 |
| 6.1 กล่าวนำ..... | 84 |
| 6.2 ผลการทดลองอ่านค่า Gross Flowrate..... | 85 |
| 6.3 ผลการทดลองอ่านค่า Mass Flowrate..... | 87 |
| 6.4 การวัดเทียบกับเครื่องคำนวณปริมาณการไหลที่ใช้งานอยู่..... | 90 |
| บทที่ 7 บทสรุปและแนวทางในการพัฒนา..... | 92 |
| 7.1 บทสรุป..... | 92 |
| 7.2 แนวทางในการพัฒนา..... | 92 |
| เอกสารอ้างอิง..... | 94 |

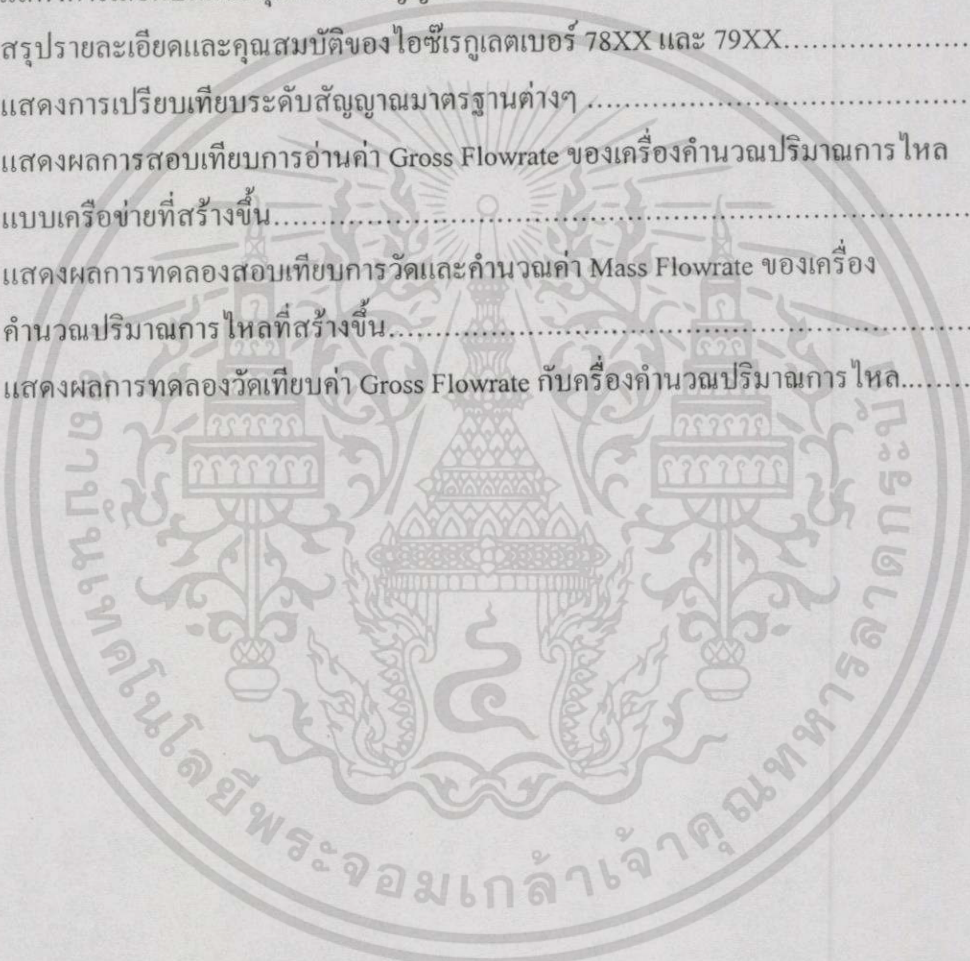
สารบัญ (ต่อ)

| | หน้า |
|--|------|
| ภาคผนวก..... | 96 |
| ภาคผนวก ก. ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวิทยานิพนธ์และได้รับการตีพิมพ์..... | 97 |
| ภาคผนวก ข. คุณสมบัติทางเทคนิคของเครื่องมือสอบเทียบมาตรฐาน..... | 105 |
| ภาคผนวก ค. โปรแกรมที่ใช้ในการวิจัย..... | 110 |
| ประวัติผู้เขียน..... | 123 |



สารบัญตาราง

| ตารางที่ | หน้า |
|---|------|
| 2.1 แสดงการกำหนดย่านกว้างของค่าความผิดพลาด (Error) ในแต่ละ Class ของอาร์ทีคิวแบบ แพลทินัม 100 Ω..... | 13 |
| 3.1 แสดงตัวอย่างการคำนวณความหนาแน่นของไฟร โพลีน โดยใช้คู่มือเอพีไอ..... | 42 |
| 5.1 แสดงการเลือกบิตควบคุมการรับสัญญาณ Clock..... | 60 |
| 5.2 สรุปรายละเอียดและคุณสมบัติของไอซีเรกูเลเตอร์ 78XX และ 79XX..... | 66 |
| 5.3 แสดงการเปรียบเทียบระดับสัญญาณมาตรฐานต่างๆ | 57 |
| 6.1 แสดงผลการสอบเทียบการอ่านค่า Gross Flowrate ของเครื่องคำนวณปริมาณการไหล แบบเครือข่ายที่สร้างขึ้น..... | 86 |
| 6.2 แสดงผลการทดลองสอบเทียบการวัดและคำนวณค่า Mass Flowrate ของเครื่อง คำนวณปริมาณการไหลที่สร้างขึ้น..... | 89 |
| 6.3 แสดงผลการทดลองวัดเทียบค่า Gross Flowrate กับเครื่องคำนวณปริมาณการไหล..... | 91 |



สารบัญรูป

| รูปที่ | หน้า |
|---|------|
| 1.1 แสดงโครงสร้างของเครื่องคำนวณปริมาณการไหลแบบเครือข่าย..... | 3 |
| 2.1 แสดง Process and Instrument Diagram การวัดการไหลในกระบวนการ | |
| (ก) การคำนวณการไหลที่มีการชดเชยการเปลี่ยนแปลงปริมาตรเนื่องจากอุณหภูมิ..... | 5 |
| (ข) การคำนวณการไหลที่ไม่มีการชดเชยการเปลี่ยนแปลงปริมาตรเนื่องจากอุณหภูมิ..... | 5 |
| 2.2 แสดง Process and Instrument Diagram ของการวัดการไหลในการซื้อขาย..... | 6 |
| 2.3 แสดงบล็อกไดอะแกรมของอุปกรณ์ที่ใช้วัดค่าปริมาณการไหลในการซื้อขาย..... | 7 |
| 2.4 แสดงรูปแบบของการวัดการไหลเชิงมวล..... | 8 |
| 2.5 แสดงมาตรวัดการไหลแบบเทอร์ไบน์ | |
| (ก) โครงสร้างการทำงาน..... | 9 |
| (ข) ส่วนประกอบ..... | 9 |
| 2.6 แสดงการกำเนิดสัญญาณพัลส์ของมาตรวัดการไหลแบบเทอร์ไบน์..... | 10 |
| 2.7 แสดงส่วนประกอบของปรีแอมพลิไฟเออร์..... | 11 |
| 2.8 แสดงโครงสร้างของอาร์ทีดี..... | 12 |
| 2.9 แสดงลักษณะของทรานสมิตเตอร์สำหรับวัดอุณหภูมิ..... | 14 |
| 2.10 แสดงบล็อกไดอะแกรมแสดงหลักการทำงานของทรานสมิตเตอร์วัดอุณหภูมิ..... | 14 |
| 2.11 แสดงโครงสร้างของเซ็นเซอร์วัดความดันแตกต่าง..... | 16 |
| 2.12 แสดงลักษณะของทรานสมิตเตอร์สำหรับวัดความดัน..... | 16 |
| 2.13 แสดงบล็อกไดอะแกรมแสดงหลักการทำงานของทรานสมิตเตอร์วัดความดันแตกต่าง..... | 16 |
| 2.14 แสดงลักษณะของทรานสดิวเซอร์วัดความหนาแน่นของของเหลว..... | 19 |
| 2.15 แสดงลักษณะของตัวแปลงสัญญาณ..... | 20 |
| 2.16 แสดงส่วนประกอบของทรานสดิวเซอร์วัดความหนาแน่นของของเหลว..... | 20 |
| 2.17 แสดงใบรับรองการสอบเทียบทรานสดิวเซอร์วัดความหนาแน่นของของเหลว..... | 23 |
| 2.18 แสดงลักษณะเครื่องคำนวณปริมาณการไหลที่ใช้งานในอุตสาหกรรมปิโตรเคมี..... | 24 |
| 2.19 แสดงรายละเอียดต่างๆ บนแผงปฏิบัติงาน..... | 25 |
| 2.20 แสดงโครงสร้างพื้นฐานของ Compact Prover..... | 27 |
| 2.21 แสดงการทำงานประกอบ Poppet Value กับลูกสูบควบคุมปริมาตร..... | 28 |
| 2.22 แสดงการทำงานของชุดเซ็นเซอร์แสง..... | 28 |
| 2.23 แสดงการทำงานของ Compact Prover ขณะอยู่ในโหมด Stand by..... | 29 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และตี IX อ่างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

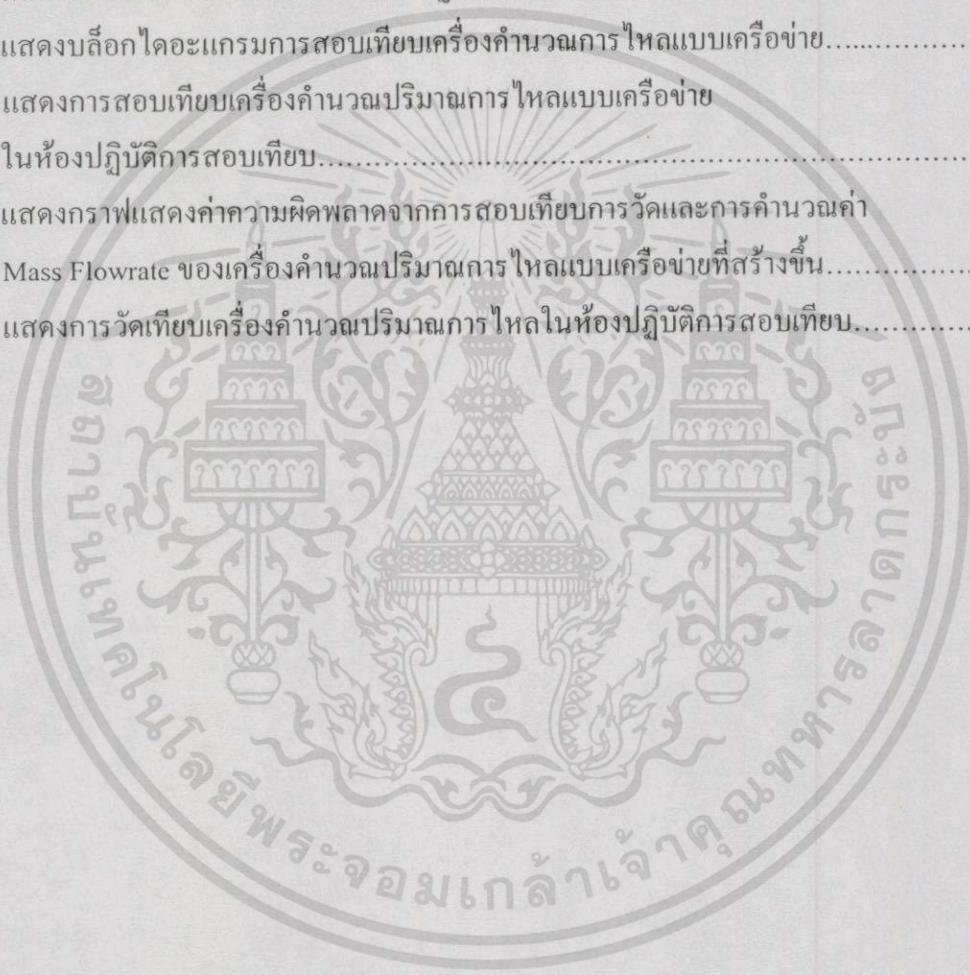
| รูปที่ | หน้า |
|---|------|
| 2.24 แสดงการทำงานของ Compact Prover ขณะเริ่มการ Prove | 29 |
| 2.25 แสดงการทำงานของ Compact Prover ขณะสิ้นสุดการ Prove | 30 |
| 2.26 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตร/เวลา/พัลส์ ของ Double Chronometry..... | 31 |
| 2.27 แสดงการติดตั้ง Compact Prover กับระบบท่อในระบบวนการของโรงงาน..... | 32 |
| 2.28 แสดงการต่อ Compact Prover ทาง Upstream และ Downstream ของมาตรวัดการไหล..... | 33 |
| 2.29 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าของ Meter Factor และอัตราการไหลบน Linear Curve ของเครื่องคำนวณปริมาณการไหล..... | 34 |
| 2.30 แสดงตัวอย่างรายงานการสอบเทียบ (Prover Report) มาตรวัดการไหล..... | 36 |
| 3.1 แสดงเส้นกราฟแสดงสมรรถนะของมาตรวัดตลอดช่วงการใช้งาน..... | 38 |
| 4.1 แสดงโครงสร้างของเครื่องคำนวณปริมาณการไหลแบบเครือข่าย..... | 46 |
| 4.2 แสดงโทโปโลยีแบบบัส..... | 47 |
| 4.3 แสดงการเชื่อมต่อเครือข่ายตามมาตรฐาน RS-485..... | 48 |
| 4.4 แสดงการควบคุมการสื่อสารข้อมูลบนเครือข่าย..... | 48 |
| 4.5 แสดงรูปแบบของกลุ่มข้อมูล (Data Package) ที่ใช้ในการติดต่อสื่อสารบนเครือข่าย..... | 49 |
| 4.6 แสดงรูปแบบกลุ่มข้อมูลของตัวแปรอินพุตที่ส่งค่าให้ไมโครคอนโทรลเลอร์..... | 49 |
| 4.7 แสดงบล็อกไดอะแกรมของหน่วยการวัดสัญญาณอินพุต..... | 50 |
| 5.1 แสดงบล็อกไดอะแกรมในการออกแบบและเลือกวงจร..... | 53 |
| 5.2 แสดงบอร์ดควบคุมรุ่น ET-AVR V2.0 ของบริษัทอีทีที จำกัด..... | 54 |
| 5.3 แสดงโครงสร้างภายในของไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ AT 90S8535..... | 56 |
| 5.4 แสดงวงจรแผงควบคุมหน่วยการวัดสัญญาณอินพุต..... | 57 |
| 5.5 แสดงโครงสร้างของ Timer/Counter1 ภายในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์..... | 59 |
| 5.6 แสดงโครงสร้างภายในของไอซี CMOS เบอร์ CD4050B..... | 61 |
| 5.7 แสดง Switching Time Waveform ของสัญญาณอินพุตและสัญญาณเอาต์พุต..... | 61 |
| 5.8 แสดงวงจรอินพุตสัญญาณพัลส์..... | 61 |
| 5.9 แสดงบล็อกไดอะแกรมวงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัลภายใน ตัวไมโครคอนโทรลเลอร์..... | 62 |
| 5.10 แสดงวงจรแปลงสัญญาณกระแสไฟฟ้าเป็นแรงดันแบบโวลตดลกราวด์..... | 63 |

สารบัญรูป (ต่อ)

| รูปที่ | หน้า |
|--|------|
| 5.11 แสดงโครงสร้างวงจรภายในของออปแอมป์เบอร์ LF353..... | 64 |
| 5.12 แสดงวงจรอินพุตกระแสไฟฟ้า 4 – 20 มิลลิแอมป์..... | 64 |
| 5.13 แสดงลักษณะการประกอบแผงควบคุมหน่วยการวัดสัญญาณอินพุต..... | 64 |
| 5.14 แสดงวงจรแหล่งจ่ายไฟตรงคงที่ของหน่วยการวัดสัญญาณอินพุต..... | 65 |
| 5.15 แสดงองค์ประกอบของการสุกใหม่..... | 66 |
| 5.16 แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานจุดประกายกับความเข้มข้นของเชื้อเพลิง สำหรับไฮโดรเจนและ โพรเพน..... | 67 |
| 5.17 การป้องกันโดยการปิดล้อม..... | 68 |
| 5.18 แสดงการป้องกันโดยการพันความดัน..... | 68 |
| 5.19 แสดงการป้องกันแบบความปลอดภัยแท้จริง..... | 69 |
| 5.20 แสดงการออกแบบหน่วยการวัดสัญญาณอินพุตเพื่อติดตั้งในพื้นที่อันตรายของโรงงาน..... | 69 |
| 5.21 แสดงโครงสร้างของ Isolator MTL4032..... | 70 |
| 5.22 แสดงโครงสร้างของ Isolator MTL4041B..... | 71 |
| 5.23 แสดงวงจรตัวแปลงสัญญาณ RS-232/RS-485..... | 72 |
| 5.24 แสดงหน้าจอโปรแกรม Text Editor ของ AVR Assembler for Windows เวอร์ชัน 1.30..... | 72 |
| 5.25 แสดงหน้าจอการกำหนด Option ก่อนการแปลงซอร์ส โปรแกรม..... | 73 |
| 5.26 แสดงไฟล์ซอร์สโปรแกรมหลักควบคุมการทำงานของหน่วยการวัดสัญญาณอินพุต..... | 74 |
| 5.27 แสดงการทำงานของโปรแกรมซันรูทีน CHK_COMM..... | 75 |
| 5.28 แสดงการทำงานของโปรแกรมซันรูทีน TX_DATA..... | 76 |
| 5.29 แสดงการทำงานของโปรแกรมซันรูทีน CRC_GEN..... | 77 |
| 5.30 แสดงการทำงานของโปรแกรมซันรูทีน ROT_WORD..... | 78 |
| 5.31 แสดงไฟล์ซอร์สการทำงานของโปรแกรมบริการอินเตอร์รัพต์เมื่อ Timer0 Overflow..... | 79 |
| 5.32 แสดงการทำงานของโปรแกรมควบคุมการทำงานบนไมโครคอมพิวเตอร์..... | 80 |
| 5.33 แสดงจอกราฟฟิคกระบวนการผลิต..... | 81 |
| 5.34 แสดงจอรายละเอียดการวัด..... | 82 |
| 5.35 แสดงรายงานผลการวัดที่พิมพ์ออกทางเครื่องพิมพ์อนุกรม..... | 83 |
| 6.1 แสดง Process & Instrument Diagram กระบวนการจำลองของการวัด ปริมาณการไหลในการซื้อขายที่ใช้ในการทดลอง..... | 84 |

สารบัญรูป (ต่อ)

| รูปที่ | หน้า |
|--|------|
| 6.2 แสดงลักษณะเครื่องมือสอบเทียบมาตรฐานทางด้านความถี่ที่ใช้ในการทดลอง..... | 85 |
| 6.3 แสดงกราฟค่าความผิดพลาดก่อนและหลังการปรับแก้..... | 87 |
| 6.4 แสดงลักษณะเครื่องมือสอบเทียบมาตรฐานทางด้านกระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการทดลอง..... | 88 |
| 6.5 แสดงบล็อกไดอะแกรมการสอบเทียบเครื่องคำนวณการไหลแบบเครือข่าย..... | 88 |
| 6.6 แสดงการสอบเทียบเครื่องคำนวณปริมาณการไหลแบบเครือข่าย ในห้องปฏิบัติการสอบเทียบ..... | 89 |
| 6.7 แสดงกราฟแสดงค่าความผิดพลาดจากการสอบเทียบการวัดและการคำนวณค่า Mass Flowrate ของเครื่องคำนวณปริมาณการไหลแบบเครือข่ายที่สร้างขึ้น..... | 90 |
| 6.8 แสดงการวัดเทียบเครื่องคำนวณปริมาณการไหลในห้องปฏิบัติการสอบเทียบ..... | 90 |



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การวัดปริมาณการไหลในการซื้อขายของวัตถุดิบและผลิตภัณฑ์ที่มีการรับ-ส่งระหว่างโรงงานอุตสาหกรรมปิโตรเคมี จำเป็นต้องมีระบบการวัดปริมาณการไหลที่มีความเที่ยงตรงแม่นยำ และมีความน่าเชื่อถือสูง เนื่องจากในการรับ-ส่งวัตถุดิบและผลิตภัณฑ์แต่ละชนิด ระหว่างบริษัทและโรงงานจะมีการติดตั้งระบบการวัดปริมาณการไหลทั้งของผู้จ่าย (Supplier) และของลูกค้า (Customer) แล้วนำค่าที่อ่านได้จากระบบการวัดทั้งสองมาเปรียบเทียบกัน หากเกิดค่าความผิดพลาดขึ้นมาระหว่างระบบการวัดทั้งสองข้อตกลงพื้นฐานที่นำมาพิจารณา ได้แก่

กรณีที่ 1 ถ้าค่าความผิดพลาดมากกว่าหรือเท่ากับ 0.5 % of Reading ให้ใช้ระบบการวัดของผู้จ่ายเป็นตัววัดปริมาณการไหลในการซื้อขายครั้งนั้น

กรณีที่ 2 ถ้าค่าความผิดพลาดมากกว่า 0.5 % of Reading ถึง 1 % of Reading ให้ใช้ค่าที่อ่านได้จากระบบการวัดทั้งสองบวกกันแล้วหารสอง

กรณีที่ 3 ถ้าค่าความผิดพลาดมากกว่า 1 % of Reading ให้แต่ละฝ่ายกลับไปตรวจสอบหาสาเหตุความผิดพลาดที่เกิดขึ้นในระบบการวัดของตัวเอง ยังระบุไม่ได้ว่าระบบการวัดของฝ่ายไหนมีค่าความผิดพลาดในการวัดเกิดขึ้น

จากข้อตกลงพื้นฐานตามที่กล่าวมา เมื่อเกิดค่าความผิดพลาดจากการเปรียบเทียบขึ้น ทำให้เกิดการโต้แย้งในเรื่องปริมาณที่แท้จริงของผลิตภัณฑ์ที่มีการรับ-ส่งอยู่เสมอ การแก้ปัญหาคือต้องมีเครื่องคำนวณปริมาณการไหล (Flow Computer) ที่มีความสามารถในการปรับแก้ (Correction) ค่าความผิดพลาดต่างๆ ที่เกิดจากการวัดของตัวแปรที่นำมาใช้คำนวณปริมาณการไหล ภายใต้สภาวะการใช้งานจริงในกระบวนการผลิต [1,2] อันจะส่งผลให้เกิดค่าความผิดพลาดจากการเปรียบเทียบผลการวัดระหว่างระบบการวัดทั้งสองน้อยที่สุด ทำให้โรงงานอุตสาหกรรมปิโตรเคมีในปัจจุบันมีการติดตั้งใช้งานเครื่องคำนวณปริมาณการไหลในกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับการซื้อขายวัตถุดิบและผลิตภัณฑ์ระหว่างโรงงานเป็นจำนวนมาก

จากการใช้งานเครื่องคำนวณปริมาณการไหลในปัจจุบันพบว่ามีข้อจำกัดหลายๆ ด้านกล่าวคือ ต้องมีการลากสายสัญญาณจำนวนมากจากอุปกรณ์การวัดในกระบวนการผลิตมายังเครื่องคำนวณปริมาณการไหลในห้องควบคุม ถ้าหากติดตั้งหลาย ๆ ตัวจะใช้พื้นที่ของแผงควบคุมในการติดตั้งมาก การแสดงผลในรูปแบบกราฟฟิคของกระบวนการผลิตไม่สามารถทำได้ การสร้างรายงานเกี่ยวกับการควบคุมวัตถุดิบและผลิตภัณฑ์ที่นำเข้า-ออกจากกระบวนการผลิตทำได้ยาก ไม่สามารถวัดปริมาณการไหลของผลิตภัณฑ์ในสภาพของก๊าซและของเหลวในเครื่องคำนวณปริมาณการไหลตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เดียวกันได้ อีกทั้งมีความยุ่งยากในการเปลี่ยนชนิดของของไหลที่จะวัดเพราะต้องเปลี่ยนหน่วยความจำชนิดอีพรอม (EPROM) ในตัวเครื่องคำนวณปริมาณการไหลด้วย รวมทั้งในเรื่องของราคาที่สูงมากและอะไหล่ในการซ่อมบำรุงต้องนำเข้าจากต่างประเทศ

1.2 วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์

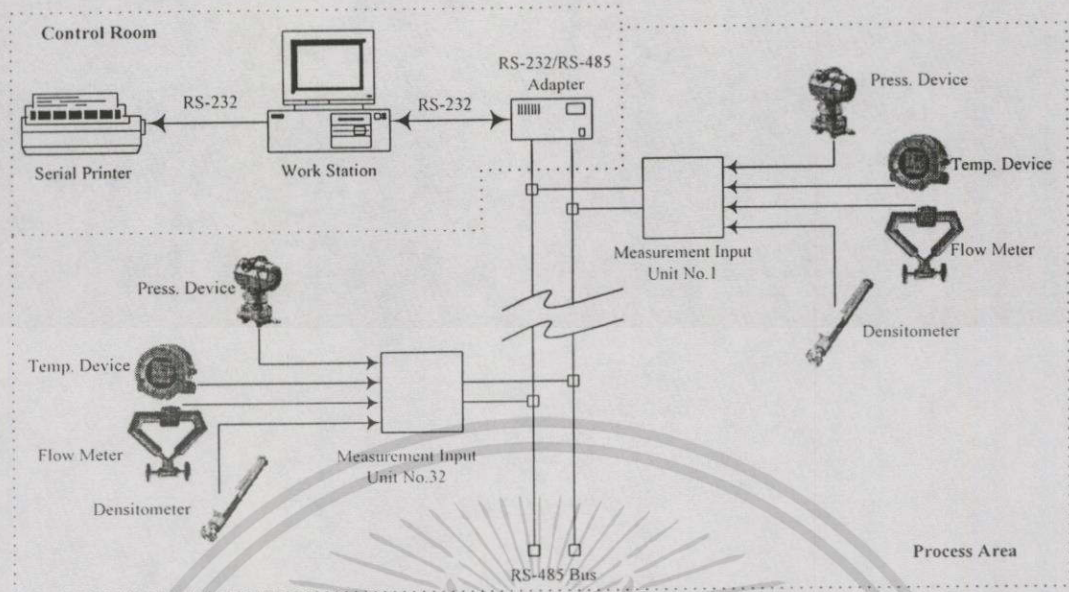
การวิจัยการออกแบบและสร้างเครื่องคำนวณปริมาณการไหลแบบเครือข่ายมีวัตถุประสงค์คือ

1. เพื่อศึกษาและทดสอบความเป็นไปได้ในการนำการสื่อสารข้อมูลดิจิทัลแบบเครือข่ายมาประยุกต์ใช้กับการส่งค่าตัวแปรการวัด จากกระบวนการผลิตมายังเครื่องคำนวณปริมาณการไหลที่ตั้งอยู่ภายในห้องควบคุม (Control Room)
2. เพื่อนำความสามารถของซอฟต์แวร์บนคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลมาเพิ่มความยืดหยุ่นทางด้านฮาร์ดแวร์ของเครื่องคำนวณปริมาณการไหล
3. เพื่อนำความสามารถของโปรแกรมประยุกต์ต่างๆ บนระบบปฏิบัติการวินโดวส์มาช่วยให้การใช้งานเครื่องคำนวณปริมาณการไหลง่ายขึ้น
4. เพื่อสร้างเครื่องคำนวณปริมาณการไหลโดยเลือกใช้วัสดุอุปกรณ์ในประเทศ ซึ่งมีราคาถูก ประสิทธิภาพดี และสามารถหาอะไหล่ได้ภายในประเทศ
5. เพื่อสร้างเครื่องคำนวณปริมาณการไหลที่มีความเที่ยงตรงแม่นยำ และมีความน่าเชื่อถือสูงในการใช้งาน

จากวัตถุประสงค์นี้จะช่วยพัฒนาเครื่องคำนวณปริมาณการไหลที่ใช้งานอยู่ในปัจจุบันให้สามารถแก้ไขข้อจำกัดหลายๆ ด้าน ดังที่กล่าวมาข้างต้น

1.3 แนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องคำนวณปริมาณการไหลแบบเครือข่าย ทำการออกแบบโดยสร้างหน่วยวัดสัญญาณอินพุตที่จะนำมาใช้ในการคำนวณหาปริมาณการไหลแบบต่างๆ ตั้งอยู่ในกระบวนการผลิตเพื่อรับค่าตัวแปรการวัดได้แก่ ความดัน อุณหภูมิ ความหนาแน่น และอัตราการไหล แล้วทำการแปลงสัญญาณดังกล่าวจากอนาลอกเป็นดิจิทัล เก็บไว้ในหน่วยความจำ รอการส่งข้อมูลให้แก่คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล เมื่อได้รับสัญญาณร้องขอ (Request) ที่ตรงกับตำแหน่ง (Address) ของตัวเองในเครือข่ายจะออกแบบให้มีหน่วยวัดสัญญาณอินพุตได้ 32 จุดวัด การเชื่อมต่อในการรับส่งข้อมูลระหว่างหน่วยวัดสัญญาณอินพุตกับคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลผ่านสายสัญญาณเพียงสองเส้น ด้วยบัสเครือข่าย RS-485 ตามรูปที่ 1.1



รูปที่ 1.1 แสดงโครงสร้างของเครื่องคำนวณปริมาณการไหลแบบเครือข่าย

1.4 ขอบเขตของการวิจัย

ขอบเขตของวิทยานิพนธ์นี้จะนำเสนอการออกแบบและสร้างเครื่องคำนวณปริมาณการไหลแบบเครือข่าย โดยใช้คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลทำหน้าที่เป็นสถานีปฏิบัติการ (Working Station) สำหรับแสดงค่าปริมาณการไหลที่วัดและคำนวณได้ ตั้งค่าควบคุมการทำงานของการวัดและคำนวณที่จุดวัดต่างๆ ของหน่วยวัดสัญญาณอินพุตควบคุมการพิมพ์รายงานการวัดต่างๆ

หน่วยวัดสัญญาณอินพุตจะสร้างโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ที่มีขีดความสามารถการทำงานสูง มีความละเอียดของบิตการแปลงสัญญาณจากอนาล็อกเป็นดิจิตอลขนาด 10 บิต มีการสนับสนุนการพัฒนาโปรแกรมที่ดี ต้องการอุปกรณ์ประกอบการทำงานน้อย กล่าวคือ ประกอบด้วยหน่วยความจำโปรแกรมแฟลช (Flash) สำหรับเก็บโปรแกรม หน่วยความจำแรม (RAM) สำหรับเก็บค่าตัวแปรและข้อมูลขณะประมวลผลโปรแกรม ตัวตั้งเวลา (Times) และตัวนับเวลา (Counter) และระบบตรวจสอบความผิดพลาดของซีพียู อยู่ในตัวของไมโครคอนโทรลเลอร์ที่เลือกใช้ โดยหน่วยวัดสัญญาณอินพุตจะทำหน้าที่รับและจัดสัญญาณอนาล็อก ที่รับค่าจากอุปกรณ์วัดต่างๆ ให้อยู่ในขนาดและรูปแบบที่เหมาะสมก่อนทำการแปลงสัญญาณเหล่านั้นให้เป็นดิจิตอลเก็บไว้ในหน่วยความจำ เพื่อส่งค่าให้แก่สถานีปฏิบัติการต่อไป

การเชื่อมต่อระหว่างสถานีปฏิบัติการ และหน่วยการวัดสัญญาณอินพุตจะเป็นแบบบัสอุตสาหกรรม (Industrial Bus Network) มาตรฐานการรับส่งข้อมูลใช้เครือข่ายกาสื่อสารอนุกรมแบบ RS-485 โดยมีการจัดรูปแบบโปรโตคอล (Protocol) ที่ใช้ในการรับส่งข้อมูลเอง

การประมวลผลการวัดและสูตรการคำนวณต่างๆ จะอ้างอิงจากเครื่องคำนวณปริมาณการไหลที่ใช้งานอยู่ปัจจุบัน และมาตรฐานของสถาบันปิโตรเลียมอเมริกา (American Petroleum Institute) โดยเน้นเรื่องความถูกต้องแม่นยำและความน่าเชื่อถือของระบบในการใช้งานจริงเป็นหลัก

การทดสอบเครื่องคำนวณปริมาณการไหลแบบเครือข่ายที่สร้างขึ้น จะใช้การสอบเทียบโดยเครื่องมือสอบเทียบสัญญาณมาตรฐาน (Standard Calibrator) ในห้องปฏิบัติการสอบเทียบและการวัดเทียบกับเครื่องคำนวณปริมาณการไหลที่ใช้งานอยู่ในปัจจุบัน

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ มุ่งเน้นจะนำเสนอการออกแบบและสร้างเครื่องคำนวณปริมาณการไหลที่ทำงานเป็นลักษณะเครือข่ายเพื่อแก้ปัญหาเกี่ยวกับข้อจำกัดหลายๆ ด้านที่พบในเครื่องคำนวณปริมาณการไหลปัจจุบัน โดยมีได้มุ่งเน้นในเรื่องการออกแบบระบบการสื่อสารหรือระบบการควบคุมเรื่องใดเรื่องหนึ่งลงไปโดยเฉพาะ

1.5 ขั้นตอนของการศึกษา

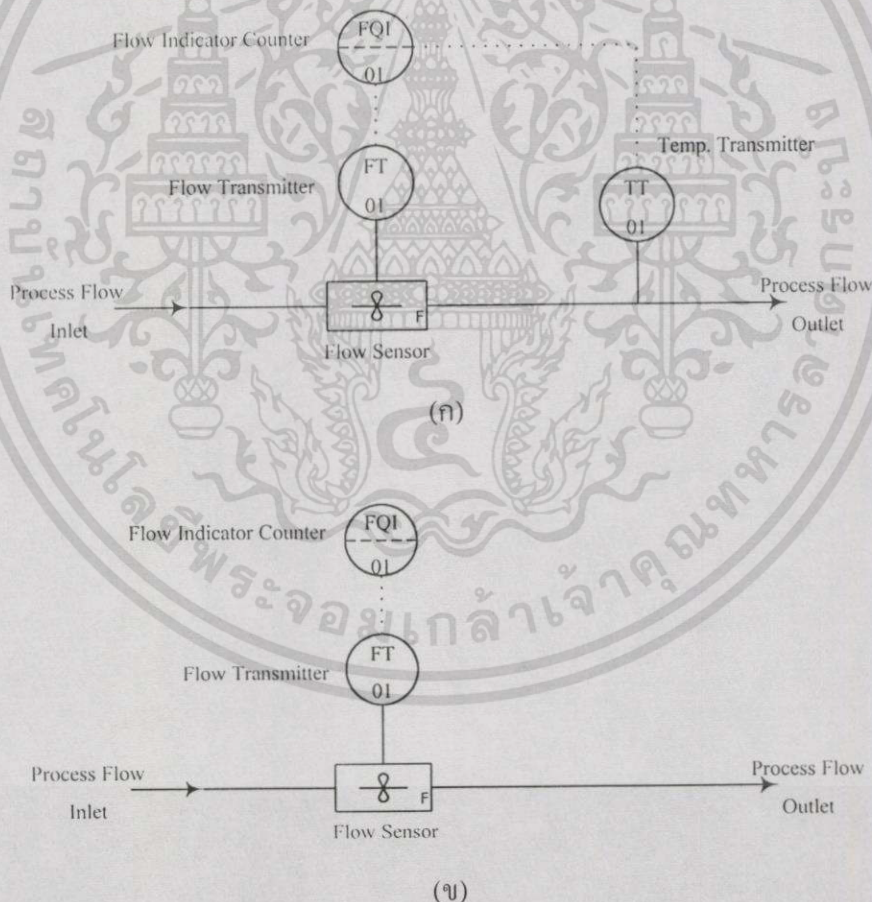
การศึกษาข้อมูลเริ่มต้นที่ศึกษาลักษณะการทำงาน การรับค่าตัวแปรอินพุต การประมวลผล การแสดงค่า และการพิมพ์รายงานการวัด ของเครื่องคำนวณปริมาณการไหลที่ใช้งานอยู่ปัจจุบันจากคู่มือทางเทคนิค (Technical Manual) จากนั้นจึงศึกษาการรับส่งข้อมูลดิจิทัลแบบอนุกรมที่ใช้งานอยู่ในโรงงานอุตสาหกรรมเพื่อนำมาประยุกต์ใช้สร้างเป็นระบบเครือข่ายการวัดของงานวิจัย แล้วจึงศึกษาเรื่องการออกแบบวงจร รวมทั้ง Data Sheet ของตัวอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่เลือกใช้ นอกจากนี้ยังศึกษาในเรื่องมาตรฐานอ้างอิงที่เกี่ยวข้องกับการใช้งานเครื่องคำนวณปริมาณการไหลในปัจจุบัน อุปกรณ์วัดปริมาณการไหล การสอบเทียบมาตรฐานการไหล เพื่อนำข้อมูลเหล่านี้มาอ้างอิงในการดำเนินการวิจัยของวิทยานิพนธ์ ตามจุดประสงค์ของวิทยานิพนธ์ที่ตั้งไว้

บทที่ 2

การวัดปริมาณการไหลและการสอบเทียบมาตรวัดการไหล

2.1 กล่าวนำ

ในโรงงานอุตสาหกรรมปิโตรเคมีที่มีกระบวนการขนถ่ายวัตถุดิบและผลิตภัณฑ์ที่อยู่ในรูปของก๊าซและของเหลวผ่านระบบท่อ การวัดการไหลเป็นสิ่งที่เกี่ยวข้องและมีความสำคัญมากสำหรับกระบวนการดังกล่าว การวัดการไหลแบ่งออกเป็น 2 ลักษณะตามวัตถุประสงค์ของการใช้งาน ได้แก่ การวัดการไหลในการซื้อขาย (Custody Transfer Measurement) และการวัดการไหลในกระบวนการ (Process Flow Measurement) ซึ่งผลการวัดทั้ง 2 ลักษณะดังกล่าวอาจจะแสดงเป็นปริมาตร (Volume) หรือมวล (Mass) ก็ได้



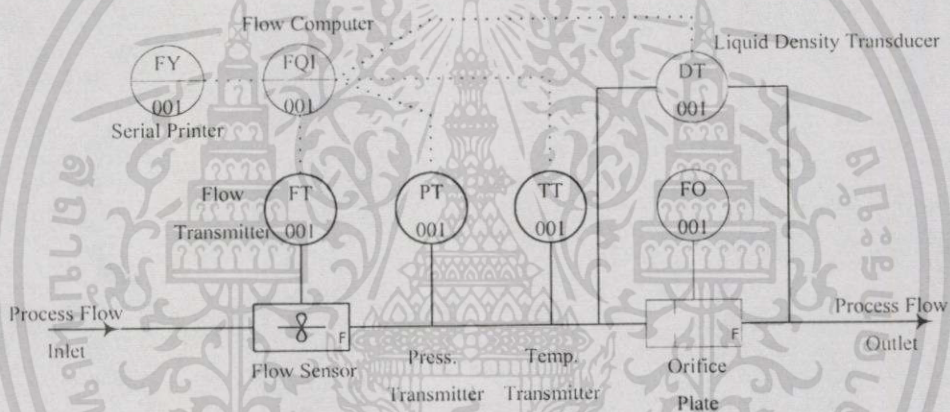
รูปที่ 2.1 แสดง Process and Instrument Diagram การวัดค่าการไหลในกระบวนการ

(ก) การวัดปริมาณการไหลที่มีการชดเชยการเปลี่ยนแปลงปริมาตรเนื่องจากอุณหภูมิ

(ข) การวัดปริมาณการไหลที่ไม่มีการชดเชยการเปลี่ยนแปลงปริมาตรเนื่องจากอุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวัดการไหลในกระบวนการจะมีตัวแปรที่นำมาใช้ในการคำนวณหาปริมาณการไหลน้อย การคำนวณไม่ยุ่งยากซับซ้อน สามารถทำการคำนวณการไหลโดยระบบควบคุมแบบกระจายส่วน (Distributed Control System) หรือ ที่เรียกกันโดยทั่วไปว่าดีซีเอส รูปแบบที่ใช้งานอยู่ในปัจจุบัน แสดงดังรูปที่ 2.1 สัญญาณที่ส่งมาจากทรานสมิตเตอร์ของมาตรวัดการไหล อาจจะเป็นกระแส มาตรฐาน 4 – 20 mA หรือ พัลส์ความถี่ 0 – 20 KHz แล้วกำหนดหน่วยทางวิศวกรรม (Engineering Unit) ในดีซีเอส เพื่อแสดงค่าการไหลในกระบวนการ การวัดการไหลอาจมีการชดเชยการเปลี่ยนแปลงปริมาณเนื่องจากอุณหภูมิโดยการติดตั้งทรานสมิตเตอร์สำหรับวัดอุณหภูมิเพิ่มเข้ามา ส่วนการชดเชยการเปลี่ยนแปลงปริมาณเนื่องจากความดันนั้นโดยทั่วไปการวัดการไหลของของเหลวจะไม่มี การติดตั้งทรานสมิตเตอร์สำหรับวัดความดันเพราะของเหลวจัดเป็นสารที่ไม่สามารถอัดตัวได้ (Uncompressibility)



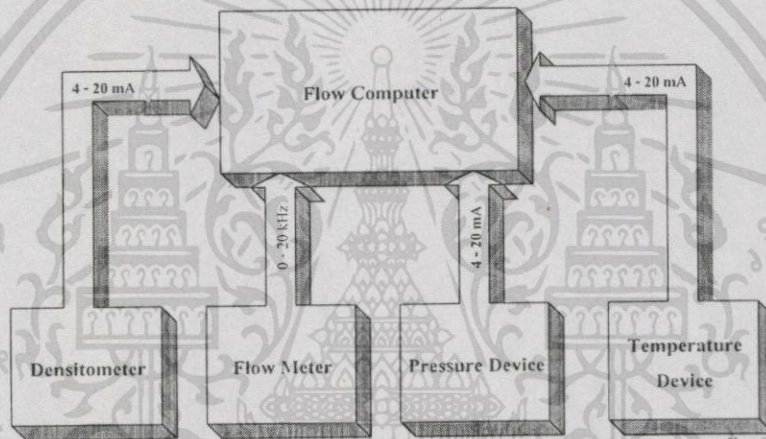
รูปที่ 2.2 แสดง Process and Instrument Diagram ของการวัดการไหลในการซื้อขาย

การวัดการไหลในการซื้อขายเป็นสิ่งสำคัญมาก ทั้งนี้เนื่องจากวัตถุดิบและผลิตภัณฑ์ของ โรงงานปิโตรเคมีจะมีการรับส่งระหว่างโรงงานต่างๆ ตลอดเวลา จึงจำเป็นต้องมีระบบการวัด ปริมาณการไหลที่มีความน่าเชื่อถือสูง เพื่อใช้คำนวณราคามูลค่าผลิตภัณฑ์และคำนวณภาษี สรรพสามิต หรือภาษีมูลค่าเพิ่ม อีกทั้งตรวจสอบการรั่วไหลของผลิตภัณฑ์ที่อาจเกิดขึ้นเพื่อสามารถ หารวธิแก้ไขและป้องกันได้ทันการณ์ ในเรื่องของความถูกต้องแม่นยำของอุปกรณ์ที่ใช้วัดปริมาณ การไหลมีความสำคัญอย่างยิ่ง เนื่องจากมักมีการโต้แย้งในเรื่องปริมาณที่แท้จริงของผลิตภัณฑ์ที่มี การรับส่งอยู่เสมอ [3] การวัดการไหลในการซื้อขายจะมีการคำนวณที่ยุ่งยากซับซ้อน ไม่สามารถทำ การคำนวณโดยดีซีเอสได้ ต้องมีการติดตั้งเครื่องคำนวณปริมาณการไหล (Flow Computer) แยก ออกมาต่างหาก แล้วทำการตั้งค่าการทำงาน (Configurations) ให้เครื่องคำนวณปริมาณการไหลส่ง สัญญาณกระแสไฟฟ้าทางเอาต์พุตขนาด 4 – 20 mA ไปแสดงผลการวัดบนดีซีเอส รูปแบบการวัด การไหลในการซื้อขายแสดง โดยใช้ Process and Instrument Diagram ดังรูปที่ 2.2 สัญญาณที่เครื่อง

คำนวณปริมาณการไหลต้องการจะประกอบด้วย สัญญาณแสดงค่าอัตราการไหลที่วัดได้จากทรานสมิตเตอร์ของมาตรวัดการไหล สัญญาณแสดงค่าความดัน อุณหภูมิ และความหนาแน่นจากทรานสมิตเตอร์ที่ติดตั้งอยู่ในกระบวนการ

2.2 อุปกรณ์วัดปริมาณการไหล

โดยทั่วไปอุปกรณ์ที่ใช้วัดค่าปริมาณการไหลในการซื้อขายจะประกอบด้วย มาตรวัดการไหล (Flow Meter) เครื่องมือวัดอุณหภูมิ (Temperature Device) เครื่องมือวัดความดัน (Pressure Device) เครื่องมือวัดความหนาแน่นของสาร (Densitometer) และเครื่องคำนวณปริมาณการไหล (Flow Computer) [1,2,3] ดังแสดงในรูปที่ 2.3 อุปกรณ์ที่ใช้วัดค่าปริมาณการไหลมีรายละเอียดดังนี้



รูปที่ 2.3 แสดงบล็อกไดอะแกรมของอุปกรณ์ที่ใช้วัดค่าปริมาณการไหลในการซื้อขาย

2.2.1 มาตรวัดการไหล (Flow Meter)

มาตรวัดการไหลที่ใช้งานในปัจจุบันมีหลายแบบหลายชนิดให้เลือกใช้ตามความเหมาะสม หากแยกตามรูปแบบการวัดจะแบ่งได้เป็น 5 กลุ่ม คือ

1. การวัดมวล (Mass) ได้แก่ มาตรวัดชนิด โครโมริส และชนิดความร้อน ผลที่ได้เป็นการวัดอัตราการไหลเชิงมวล
2. การวัดปริมาตร (Volume) ได้แก่ มาตรวัดชนิดการเคลื่อนที่ทางบวก ผลที่ได้เป็นการวัดอัตราการไหลเชิงปริมาตร
3. การวัดความเร็วที่นำมาใช้ในลักษณะเครื่องมือวัดการไหลเชิงปริมาตร โดยอาศัยสมการของความต่อเนื่อง ได้แก่ มาตรวัดการไหลฟลูอิดิก (Fluidic) ชนิดแม่เหล็ก (Magnetic) ชนิดเทอร์ไบน์ (Turbine) ชนิดอัลตราโซนิกดอปเปลอร์ (Ultrasonic Doppler) ชนิดอัลตราโซนิกไทม์ออฟไฟลด์ (Ultrasonic Time of Flight) และชนิดควอร์เท็กซ์เซดดิ้ง (Vertex Shedding)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. การวัดผลต่างของความดันจากผลของเฮด (Head) ตามหลักการของทฤษฎีของเบอร์นูลลี ได้แก่ มาตรวัดชนิดออริฟิซ (Orifice) ชนิดเวนจูรี (Ventury) ชนิดนอซเซิลการไหล (Flow Nozzle) ชนิดท่อการไหล (Flow Tube) ชนิดพิทอต (Pitot) และชนิดอื่นๆ ที่ใช้หลักการนี้ อย่างไรก็ตาม เครื่องมือวัดที่ใช้หลักการนี้ต้องทราบความหนาแน่นของของไหลที่จะนำไปวัดด้วย

5. การวัดการไหลเชิงมวลเชิงอ้างอิง (Inferential Mass Flow Measurement) เนื่องจากมาตรวัดการไหลเชิงมวลตามข้อ 1 มีอยู่เพียงไม่กี่ชนิด และไม่สามารถนำมาใช้กับการวัดการไหลได้ทุกชนิด ดังนั้นจึงมีการนำวิธีการวัดการไหลเชิงอ้างอิงมาช่วยในการวัดการไหลเชิงมวล ดังรูปแบบในรูปที่ 2.4 อย่างไรก็ตาม ตามรูปแบบอันกลางในรูป เป็นลักษณะการวัดด้วยการคูณปริมาตรกับความหนาแน่น ซึ่งมีข้อจำกัดในการใช้ แม้ว่าวิธีการนี้จะไม่ขึ้นอยู่กับของไหล และองค์ประกอบของของผสม ส่วนวิธีการที่ใช้งานกันทั่วไปมากที่สุดคือ วิธีการตามรูปแบบขวามือ ที่อ้างอิงอัตราการไหลเชิงมวลด้วยการคูณอัตราการไหลด้วยความหนาแน่นที่อ้างอิงมาจากการวัดความดัน และการวัดอุณหภูมิอีกต่อหนึ่ง แต่วิธีการนี้นำมาใช้กับของไหลเดี่ยวหรือของของผสมชนิดเดียวเท่านั้น เนื่องจากความสัมพันธ์ของความดัน อุณหภูมิ ความหนาแน่นใช้ได้กับองค์ประกอบหรือของผสมของไหลเดี่ยว [4]

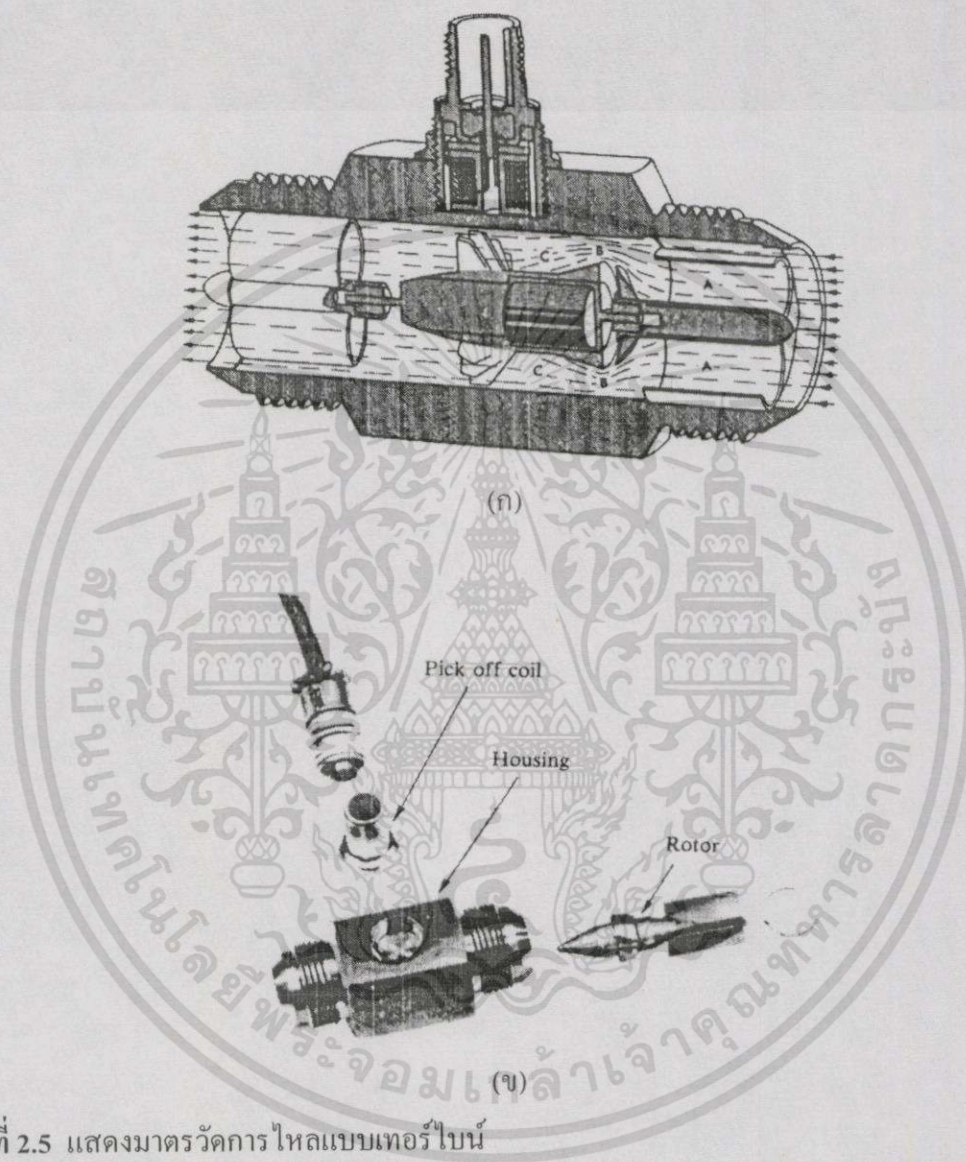


รูปที่ 2.4 แสดงรูปแบบของการวัดการไหลเชิงมวล

มาตรวัดการไหลในการซื้อขายที่นิยมใช้งานกันอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมปิโตรเคมี ปัจจุบันจะประกอบไปด้วยมาตรวัดการไหล 3 ชนิด มาตรวัดการไหลแบบเทอร์ไบน์ (Turbine Flowmeter) มาตรวัดการไหลแบบพอสซิทีฟ ดิสเพลสเม้นท์ (Positive Displacement Flowmeter) และ มาตรวัดการไหลแบบโคริโอลิส (Coriolis Flowmeter) [5] ในที่นี้จะกล่าวถึงเฉพาะรายละเอียดของมาตรวัดการไหลแบบเทอร์ไบน์ เนื่องจากใช้ศึกษาเกี่ยวกับหลักการวัดปริมาณการไหลได้ง่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงสร้างของมาตรวัดการไหลแบบเทอร์ไบน์ จะประกอบด้วยใบพัดทำมุมเฉียงกับทิศทาง การไหล ขณะที่ของไหลไหลผ่านจะทำให้ใบพัดหมุนไปตามอัตราการไหล ที่ตัว Housing มี Pick Off Coil เป็นตัวรับรู้ความเร็วรอบของเทอร์ไบน์ตามรูปที่ 2.5 (ก)



รูปที่ 2.5 แสดงมาตรวัดการไหลแบบเทอร์ไบน์

(ก) โครงสร้างการทำงาน

(ข) ส่วนประกอบ

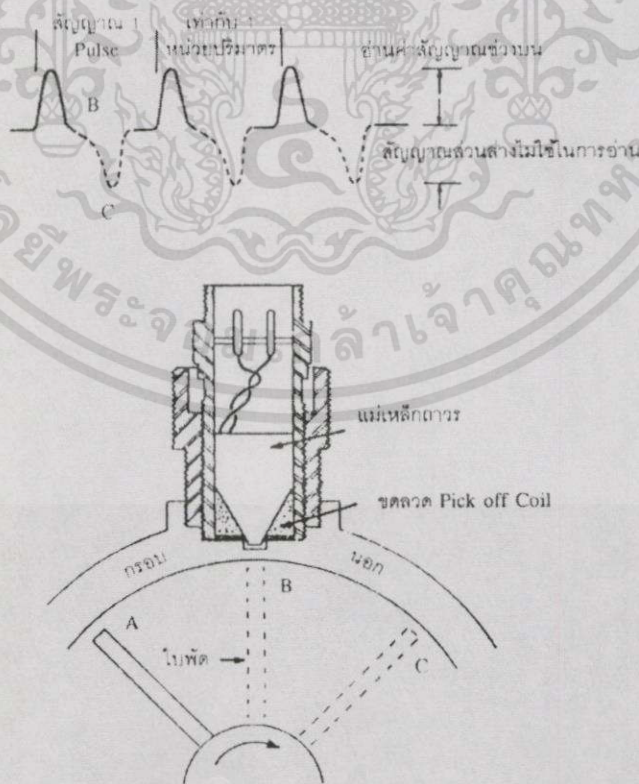
รูปที่ 2.5 (ข) แสดงส่วนประกอบที่สำคัญของมาตรวัดการไหลแบบเทอร์ไบน์ ซึ่งประกอบด้วย ส่วนที่สำคัญ 3 ส่วนคือ Housing, Rotor และ Pick Off Coil ตัวโรเตอร์จะถูกติดตั้งอยู่บนแกน (Shaft) โดยมีบอลเบริงทำหน้าที่ช่วยลดแรงเสียดทานให้กับโรเตอร์ การนับจำนวนรอบที่ เทอร์ไบน์หมุนไปใช้ Pick Off Coil ตามรูปที่ 2.6 เมื่อใบพัดเทอร์ไบน์หมุนผ่าน Pick Off Coil ที่พัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อยู่บนแท่งแม่เหล็กถาวร ตามจังหวะ A, B และ C จะเกิดสัญญาณพัลส์ขึ้นตามรูปด้านบนซึ่งจังหวะ A และ C จะให้สัญญาณทิศทางการกลับกัน จำนวนไซเคิลของพัลส์ที่เกิดขึ้นจะเป็นไปตามอัตราการไหลสามารถกำหนดเป็นจำนวนพัลส์ต่อปริมาตรได้ ซึ่งเป็นค่าสัมประสิทธิ์ประจำของมาตรวัดการไหลแบบเทอร์ไบน์ที่เรียกว่า K-Factor บางบริษัทอาจกำหนดค่าสัมประสิทธิ์ตัวนี้เป็น Meter Factor ซึ่งหน่วยที่ใช้งานกันทั่วไปคือ พัลส์ต่อลูกบาศก์เมตร ค่าของการไหลจากมาตรวัดการไหลแบบเทอร์ไบน์ปกติจะได้เป็นค่าปริมาตร (Volumetric Flow) แต่ถ้าต้องการเป็นค่ามวล (Mass Flow) สามารถทำได้โดยใช้สมการที่ (2.1)

$$\frac{Pulses}{Mass} = \frac{(Pulses / Volume)}{(K * Specific Gravity)} \tag{2.1}$$

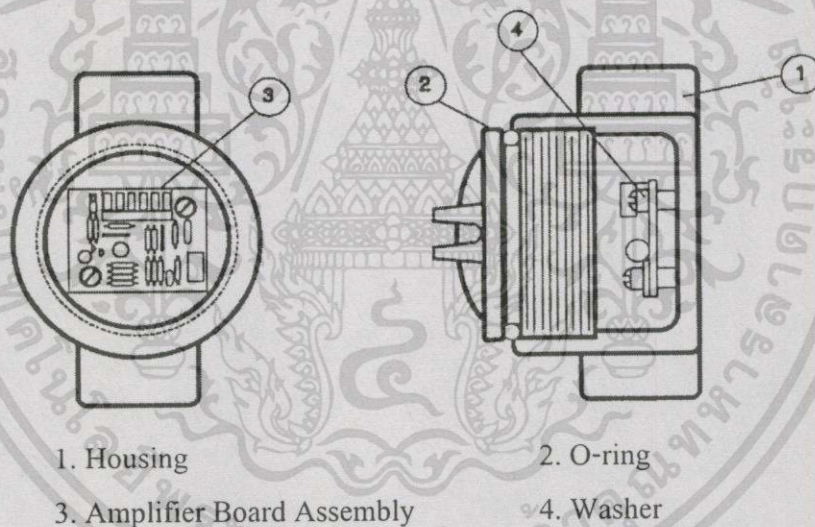
ค่าต่ำสุดของมาตรวัดแบบเทอร์ไบน์ ถูกกำหนดขึ้นจากค่าความเที่ยงตรง (Accuracy) ที่ระบุโดยทั่วไป ประมาณ 10% ของค่าสูงสุด ซึ่งหมายถึงมี Rangeability เท่ากับ 10 : 1 แบบพิเศษที่ใช้ในกิจการทหาร (Military Type) สามารถให้ Rangeability สูงถึง 100 : 1 ซึ่งหมายถึงความสามารถในการบอกค่าถูกต้องตั้งแต่ 1% ถึง 100% ของค่าสูงสุดที่มาตรวัดระบุ แต่โดยทั่วไปวงการอุตสาหกรรมประมาณ 10 : 1 ถึง 20 : 1 [6]



รูปที่ 2.6 แสดงการกำเนิดสัญญาณพัลส์ของมาตรวัดการไหลแบบเทอร์ไบน์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การกำเนิดคลื่นสัญญาณไฟฟ้ารูปไซน์จาก Pick Off Coil ของมาตรวัดการไหลแบบเทอร์ไบน์ นั้นเป็นสัญญาณที่มีระดับต่ำแอมพลิจูดอยู่ที่ประมาณ 40 mV_{p-p} หรือ 15 mV_{rms} ซึ่งไม่สามารถส่งไปให้เครื่องคำนวณปริมาณการไหลอ่านค่าได้ จึงต้องมีวงจรขยายสัญญาณให้มีระดับที่สูงขึ้นและจัดสัญญาณให้อยู่ในรูปแบบที่สามารถใช้งานได้ วงจรนี้เรียกว่าวงจรปริแอมพลิไฟเออร์ (Preamplifier) ทำหน้าที่รับสัญญาณรูปไซน์ที่มีระดับต่ำมาแปลงเป็นสัญญาณรูปสี่เหลี่ยม (Square Wave) ในระดับสัญญาณที่เข้ากันได้กับลอจิกของทีทีแอล [7] การออกแบบปริแอมป์เพื่อให้สามารถติดตั้งในพื้นที่อันตราย (Harzadous Area) ของโรงงาน ใช้วิธีการป้องกันการระเบิดอันเนื่องมาจากอุปกรณ์ไฟฟ้าแบบความปลอดภัยแท้จริง (Intrinsic Safety Protection Method : Ex “i”) และวิธีการป้องกันการระเบิดโดยการปิดล้อม (Explosion Proof Enclosure : Ex “d”) ขึ้นอยู่กับอุปชั่นการใช้งานที่ต้องการ [8] ในการติดตั้งปริแอมป์จะอาศัย Adapter เป็นตัวจับยึดเกลียว Housing ปริแอมป์ติดกับเกลียว Housing ของมาตรวัดเทอร์ไบน์โดยจะครอบตัว Pick Off Coil ไว้ใน Housing ด้วย ส่วนประกอบของปริแอมป์ดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 แสดงส่วนประกอบของปริแอมพลิไฟเออร์ (Preamplifier)

2.2.2 เครื่องมือวัดอุณหภูมิ (Temperature Device)

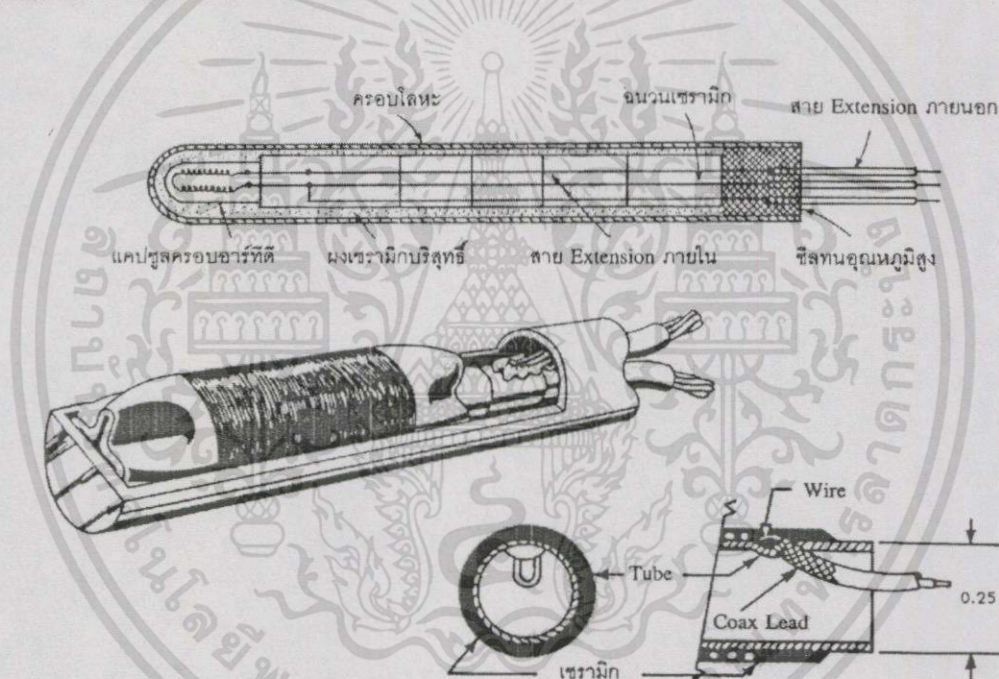
เครื่องมือวัดอุณหภูมิที่กล่าวถึงในที่นี้ คือทรานสมิตเตอร์สำหรับวัดอุณหภูมิ จะทำหน้าที่แปลงค่าอุณหภูมิของของไหลที่วัดได้ออกมาในรูปของกระแสไฟฟ้าดีซีขนาด $4 - 20\text{ mA}$ ที่เป็นสัดส่วนกับการเปลี่ยนแปลงของย่านอุณหภูมิที่วัด การออกแบบทรานสมิตเตอร์เพื่อใช้ติดตั้งในพื้นที่อันตราย (Hazardous Area) ของโรงงานจะออกแบบให้ทำงานโดยอาศัยสัญญาณที่มีระดับพลังงานต่ำ จนไม่สามารถทำให้เกิดประกายไฟที่จะนำไปสู่กระบวนการจุดระเบิด จึงสามารถจัดเป็นอุปกรณ์ประเภท Intrinsically Safe [8]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2.1 เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ (Temperature Sensor)

เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิจะทำงาน โดยอาศัยหลักการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางไฟฟ้าที่เป็นสัดส่วนกับอุณหภูมิที่วัดของตัวเซ็นเซอร์ ที่นิยมใช้งานกันแพร่หลายในอุตสาหกรรมปิโตรเคมีจะประกอบด้วยเทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple) และอาร์ทีดี (Resistance Temperature Detector) สำหรับการวัดอุณหภูมิเพื่อคำนวณปริมาณการไหลในการซื้อ-ขายจะเลือกให้อาร์ทีดีเป็นเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ เนื่องจากมีความเที่ยงตรง (Accuracy) และเสถียรภาพ (Stability) การใช้งานที่ดีที่สุด

โครงสร้างของอาร์ทีดี ทำด้วยลวดโลหะที่มีความยาวค่าหนึ่ง ซึ่งทำให้เกิดค่าความต้านทานที่ต้องการ ณ อุณหภูมิ 0°C ลวดโลหะนี้จะพันอยู่บนแกนที่เป็นฉนวนไฟฟ้าและมีคุณสมบัติทนต่อความร้อน แกนที่ใช้เป็นสารประเภทเซรามิกหรือแก้ว แกนที่พันจะมีสัมประสิทธิ์การขยายตัวสัมพันธ์กับการขยายตัวของขดลวด



รูปที่ 2.8 แสดงโครงสร้างของอาร์ทีดี

หลักการของอาร์ทีดี ความต้านทานไฟฟ้าในลวดโลหะจะเปลี่ยนค่าไปตามสมการ ดังนี้

$$R_t = R_0(1 + \alpha T) \text{ หรือ } dR_t/dT = \alpha R_0 \quad (2.2)$$

เมื่อ R_t คือ ค่าความต้านทานของลวดโลหะที่อุณหภูมิ $t^{\circ}\text{C}$

R_0 คือ ค่าความต้านทานของลวดโลหะที่อุณหภูมิ 0°C

α คือ สัมประสิทธิ์ของการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานไฟฟ้า ต่ออุณหภูมิ 1°C

$(\Omega/\Omega^{\circ}\text{C})$ (Temperature Coefficient of Resistance)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งค่า α มีค่าเปลี่ยนไปตามชนิดของโลหะ เช่น แพลทินัม $0.00392 \Omega/\Omega^\circ\text{C}$ จากย่านอุณหภูมิ 0°C ถึง 100°C นิกเกิล $0.0063 \Omega/\Omega^\circ\text{C}$ ทองแดง $0.00425 \Omega/\Omega^\circ\text{C}$

ในทางปฏิบัติค่า α ของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิแต่ละช่วงจะไม่แปรผันเป็นเส้นตรง (Non-Linearity) ในห้องปฏิบัติการมาตรฐานที่ต้องการค่าแน่นอน สามารถทำได้โดยการใช้สมการ ดังนี้

$$R_t = R_0(1 + \alpha T + \beta T^2 + \gamma T^4) \tag{2.3}$$

ค่า α , β และ γ ได้จากการทดลอง (Empirical Quantity) ซึ่งทางบริษัทผู้ผลิตเป็นผู้กำหนดมา เช่น แพลทินัม

$$\alpha = 3.985 \cdot 10^{-3}$$

$$\beta = -5.856 \cdot 10^{-7}$$

$$\gamma = 4.330 \cdot 10^{-10}$$

สูตรนี้สามารถใช้ได้ทั้งย่านการใช้งานที่ต้องการความเที่ยงตรงสูง แต่โดยทั่วไปการคำนวณจะใช้สูตร $R_t = R_0(1 + \alpha T)$ โดยเลือกใช้ค่า α ตามตาราง

ตารางที่ 2.1 แสดงการกำหนดย่านกว้างของค่าความผิดพลาด ในแต่ละ Class ของอาร์ทีคิเบป แพลทินัม 100 Ω

Table of Tolerance Values

| Temperature | Resistance Value | Tolerance DIN 43760 | | | | Industrial Tolerance | |
|---------------------|----------------------|---------------------------|---------------------------|--------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| | | Class A | | Class B | | Class C | |
| -200 ^(C) | 18.49 ^(m) | ± 0.55 ^(C) | ± 0.24 ^(m) | ± 1.3 ^(m) | ± 0.56 ^(m) | ± 2.27 ^(C) | ± 1.15 ^(m) |
| -100 | 60.25 | ± 0.35 | ± 0.14 | ± 0.8 | ± 0.32 | ± 1.77 | ± 0.71 |
| 0 | 100.00 | ± 0.15 | ± 0.06 | ± 0.3 | ± 0.12 | ± 1.27 | ± 0.50 |
| 100 | 138.50 | ± 0.35 | ± 0.13 | ± 0.8 | ± 0.30 | ± 1.77 | ± 0.67 |
| 200 | 175.84 | ± 0.55 | ± 0.20 | ± 1.3 | ± 0.48 | ± 2.27 | ± 0.83 |
| 300 | 212.02 | ± 0.75 | ± 0.27 | ± 1.8 | ± 0.64 | ± 2.77 | ± 0.98 |
| 400 | 247.04 | ± 0.95 | ± 0.33 | ± 2.3 | ± 0.79 | ± 3.27 | ± 1.10 |
| 500 | 280.90 | ± 1.15 | ± 0.38 | ± 2.8 | ± 0.93 | ± 3.77 | ± 1.22 |
| 600 | 313.59 | ± 1.35 | ± 0.43 | ± 3.3 | ± 1.06 | ± 4.27 | ± 1.32 |
| 650 | 329.51 | ± 1.45 | ± 0.46 | ± 3.6 | ± 1.13 | ± 4.52 | ± 1.36 |

Tolerance Class Definitions

DIN class A: $\pm (0.15 + 0.002 |t|^\circ\text{C})$ Where t is the actual
 DIN class B: $\pm (0.30 + 0.005 |t|^\circ\text{C})$ temperature, in degrees C,
 class C: $\pm (1.27 + 0.005 |t|^\circ\text{C})$ of the platinum elements.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อาร์ทีดีทีนิยมนำใช้งานแพร่หลายในอุตสาหกรรมทั่วไปจะเป็นแบบแพลทินัม 100 Ω ค่าความต้านทานจะเปลี่ยนโดยเฉลี่ย 0.385 Ω ต่อ 1°C เป็นอาร์ทีดีแบบสามสาย สายทั้งสามจากอาร์ทีดีที่ต่อเข้ากับบริดจ์จะต้องมีขนาด ความยาวเท่ากันและอยู่ในบรรยากาศที่มีอุณหภูมิเดียวกันเพื่อให้ค่าความต้านทานทั้งสามสายเปลี่ยนแปลงไปในขนาดและทิศทางเดียวกัน เป็นการชดเชยความผิดพลาดอันเกิดจากการลากสายตัวนำยาวในสภาวะงานที่หลีกเลี่ยงไม่ได้จากวงจรเมื่อบริดจ์อยู่ในภาวะสมดุล

2.2.2.2 หลักการทำงานของทรานสมิตเตอร์สำหรับวัดอุณหภูมิ

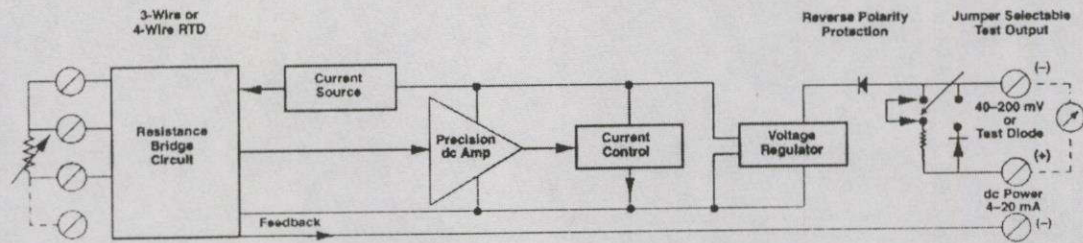
หลักการทำงานของทรานสมิตเตอร์วัดอุณหภูมิแสดงดังบล็อกไดอะแกรม ตามรูปที่ 2.10 จากรูป ทรานสมิตเตอร์ออกแบบสำหรับใช้กับตัวเซ็นเซอร์อุณหภูมิแบบ อาร์ทีดีแพลทินัม 100 Ω 3 สาย หรือ 4 สาย วงจรบริดจ์ความต้านทาน (Resistance Bridge Circuit) ทำหน้าที่แปลงค่าความต้านทานที่สัมพันธ์กับอุณหภูมิของอาร์ทีดี มาเป็นสัญญาณแรงดันไฟฟ้าในระดับมิลลิโวลต์ ตัวต้านทานปรับค่าได้ในเน็ตเวอร์คขาที่ติดกับอาร์ทีดี ใช้สำหรับปรับค่า Zero บริดจ์นี้จะขับโดยแหล่งจ่ายกระแส (Current Source) การปรับค่า Span ทำได้โดยปรับค่ากระแสที่ไหลผ่านอาร์ทีดี แหล่งจ่ายกระแสจะจ่ายสัญญาณที่มีความเป็นเชิงเส้นให้แก่วงจรบริดจ์ความต้านทาน ดังนั้นสัญญาณเอาต์พุตจะเป็นเชิงเส้นกับอุณหภูมิที่วัดเหมือนกัน



รูปที่ 2.9 แสดงลักษณะของทรานสมิตเตอร์สำหรับวัดอุณหภูมิ

ความแตกต่างของสัญญาณจากบริดจ์ จะถูกขยายโดยออปแอมป์ดีซีความเที่ยงตรงสูง (Precision DC Amplifier) ไปขับทรานซิสเตอร์ซึ่งควบคุมกระแส (Current Control) ให้เป็นสัดส่วนกับการวัดอุณหภูมิ สัญญาณกระแสที่ทรานซิสเตอร์ขับนี้จะเป็นผลรวมของกระแสที่ใช้จ่ายให้วงจรทำงาน และกระแสที่ไหลผ่านตัวต้านทานป้อนกลับในวงจรบริดจ์ด้วย (เป็นหลักการการทำงานของทรานสมิตเตอร์แบบ 2 สาย) ดังนั้นทรานซิสเตอร์จะขับกระแสทางเอาต์พุตอยู่ในช่วง 4 - 20 mA ขึ้นอยู่กับค่าอุณหภูมิตามย่านการวัดที่สอบเทียบ (Calibrate) ตัวต้านทานจำกัดกระแสใช้สำหรับควบคุมกระแสในวงจรไม่ให้เกินในสถานะ Over Scale หรือ Under Scale

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.10 แสดงบล็อกไดอะแกรมหลักการทำงานของทรานสมิตเตอร์วัดอุณหภูมิ

วงจรควบคุมแรงดันไฟฟ้า (Voltage Regulator) ทำหน้าที่จ่ายแรงดันไฟฟ้าที่ชิ่งที่ 9.1 V ทำให้แรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับวงจรไม่ขึ้นอยู่กับและการเปลี่ยนแปลงแรงดันของแหล่งจ่ายไฟและค่าความต้านทานโหลด การป้องกันความเสียหายของวงจรจากการจ่ายไฟผิดขั้วจะใช้ไดโอด [9]

การออกแบบทรานสมิตเตอร์สำหรับวัดอุณหภูมิเพื่อใช้ติดตั้งในพื้นที่อันตรายของโรงงาน (Hazardous Area) จะใช้วิธีการป้องกันการระเบิดอันเนื่องมาจากอุปกรณ์ไฟฟ้าแบบความปลอดภัยแท้จริง (Intrinsic Safety Protection Method : Ex "i") [8]

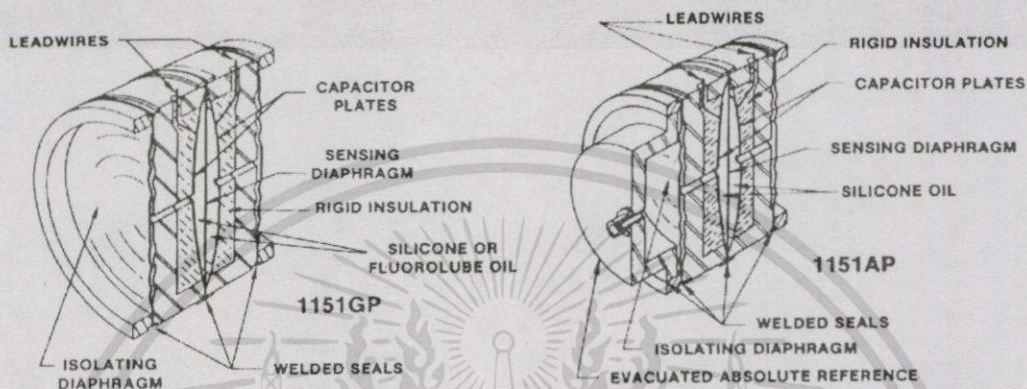
2.2.3 เครื่องมือวัดความดัน (Pressure Device)

เครื่องมือวัดความดันที่กล่าวถึงในที่นี้ คือทรานสมิตเตอร์สำหรับวัดความดัน จะทำหน้าที่แปลงค่าความดันของของไหลที่วัดได้ออกมาในรูปของกระแสไฟฟ้าที่ชิ่งขนาด 4 - 20 mA ที่เป็นสัดส่วนกับการเปลี่ยนแปลงของย่านความดันที่วัด การออกแบบทรานสมิตเตอร์เพื่อใช้ติดตั้งในพื้นที่อันตราย (Hazardous Area) ของโรงงานจะออกแบบให้ทำงานโดยอาศัยสัญญาณที่มีระดับพลังงานต่ำ จนไม่สามารถทำให้เกิดประกายไฟที่จะนำไปสู่กระบวนการจุดระเบิด จึงสามารถจัดเป็นอุปกรณ์ประเภท Intrinsically Safe [8]

2.2.3.1 เซ็นเซอร์วัดความดัน (Pressure Sensor)

เซ็นเซอร์วัดความดันมีหลายแบบให้เลือกใช้งาน การทำงานจะอาศัยหลักการหลายอย่าง เช่น แบบเปลี่ยนค่าความจุไฟฟ้า (Variable Capacitance) แบบลวดเรโซแนนซ์ (Resonance Wire) แบบอาศัยความสมดุลของแรงบนคาน (Force Balance) แบบสเตรนเกจ (Strain Gauge) เป็นต้น สำหรับในที่นี้จะกล่าวถึงเซ็นเซอร์วัดความดันแบบเปลี่ยนค่าความจุ คือจะเปลี่ยนค่า ΔP ไปเป็น ΔC และวัดค่า ΔC ขยายเป็นสัญญาณไฟฟ้า โครงสร้างของเซ็นเซอร์วัดความดันแบบเปลี่ยนค่าความจุแสดงดังรูปที่ 2.11 ความดันของกระบวนการที่วัดจะผ่านเข้าไปกดที่ Isolating Diaphragm ให้ขุบตัวดันน้ำมันจะให้ไหลเข้าสู่ Sensing Diaphragm ซึ่งอยู่ชั้นกลางของตัวเซ็นเซอร์ ความดันอ้างอิงจะเข้ามากอดอีกด้านของ Sensing Diaphragm ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของไดอะแฟรมไปสู่ตำแหน่งที่เป็นสัดส่วนกับความแตกต่างของความดัน ตำแหน่งของ Sensing Diaphragm จะสามารถตีเทคโดยแผ่นเพลตความจุไฟฟ้าทั้งสองด้านของไดอะแฟรม ค่าความจุไฟฟ้าระหว่าง Sensing Diaphragm และอิเล็กโทรดนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

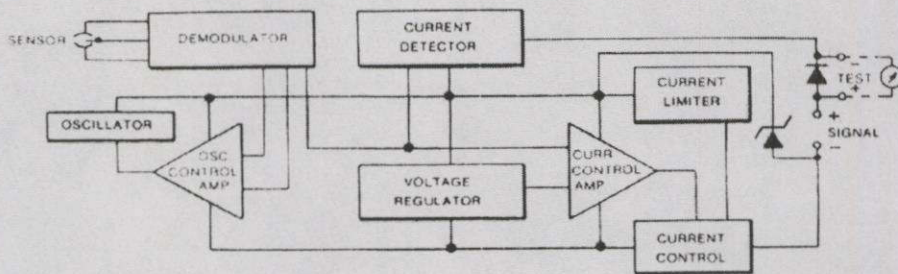
แผ่นเพลตตัวเก็บประจุแต่ละด้านประมาณ 150 pF เซ็นเซอร์จะถูกขับโดยวงจรออสซิลเลเตอร์ ความถี่ 32 KHz แรงดัน 30 V_{p-p} แล้วเรกติไฟร์โดยวงจรดีมอดคูเลเตอร์ ในการติดตั้งใช้งานเพื่อวัด ความดันของของไหลในกระบวนการที่ไม่ใช่ความดันแตกต่างจะเปิด Vent ในส่วนของจุดต่อ ความดันอ้างอิงออกสู่บรรยากาศ คือใช้ความดันบรรยากาศเป็นความดันอ้างอิง



รูปที่ 2.11 แสดงโครงสร้างของเซ็นเซอร์วัดความดัน



รูปที่ 2.12 แสดงลักษณะของทรานสมิตเตอร์สำหรับวัดความดัน



รูปที่ 2.13 แสดงบล็อกไดอะแกรมแสดงหลักการทำงานของทรานสมิตเตอร์วัดความดันแตกต่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.3.2 หลักการทำงานของทรานสมิตเตอร์สำหรับวัดความดัน (Pressure Transmitter)

หลักการทำงานของทรานสมิตเตอร์วัดความดันแสดงดังบล็อกไดอะแกรมรูปที่ 2.13 จากรูป ทรานสมิตเตอร์ออกแบบสำหรับใช้กับตัวเซ็นเซอร์ความดัน แบบเปลี่ยนค่าความจุไฟฟ้า (Variable Capacitance) ความแตกต่างของค่าความจุไฟฟ้าระหว่าง Sensing Diaphragm และแผ่นเพลตตัวเก็บประจุ จะถูกวงจรอิเล็กทรอนิกส์แปลงไปเป็นสัญญาณกระแสไฟฟ้าดีซีขนาด 4 – 20 mA การแปลง จากค่าความดันแตกต่างที่วัดได้ไปเป็นค่ากระแสไฟฟ้า 4 – 20 mA ทางเอาต์พุตของทรานสมิตเตอร์ แสดงดังสมการ (2.4) ถึง (2.8)

$$P = K_1 \frac{C_1 - C_2}{C_1 + C_2} \tag{2.4}$$

เมื่อ P คือ ความดันของกระบวนการที่วัด

K_1 คือ ค่าคงที่

C_1 คือ ค่าความจุไฟฟ้าระหว่างด้านความดันสูงและ Sensing Diaphragm

C_2 คือ ค่าความจุไฟฟ้าระหว่างด้านความดันต่ำและ Sensing Diaphragm

$$fV_{p-p} = \frac{I_{ref}}{C_1 - C_2} \tag{2.5}$$

เมื่อ I_{ref} คือ แหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้า

V_{p-p} คือ แรงดันไฟฟ้าจากยอดคลื่นถึงยอดคลื่น (Peak-to-Peak) ของการออกซซิลเลต

f คือ ความถี่ออกซซิลเลตอร์

$$I_{diff} = fV_{p-p} (C_1 - C_2) \tag{2.6}$$

เมื่อ I_{diff} คือ ความแตกต่างระหว่างกระแสไฟฟ้าระหว่าง C_1 และ C_2

$$I_{sig} = K_2 * I_{diff} \tag{2.7}$$

เมื่อ I_{sig} คือ สัญญาณกระแสไฟฟ้า

K_2 คือ ค่าคงที่

ดังนั้น

$$I_{sig} = K_2 I_{ref} \frac{C_1 - C_2}{C_1 + C_2} = Constant * P \quad (2.8)$$

วงจรมอดคูเลเตอร์ (Demodulator) จะประกอบด้วยบริดจ์ไดโอด สำหรับเรกติไฟร์สัญญาณไฟฟ้าเอซีจำนวน 2 ชุด กระแสไฟฟ้าดีซีจากวงจรเรกติไฟร์จะผ่านขดลวดหม้อแปลง 2 ชุด เพื่อทำการรวมและควบคุมให้คงที่โดยวงจรขยายควบคุมการออสซิลเลต (Oscillator Control Amplifier) กระแสไฟฟ้าดีซีที่ผ่านหม้อแปลง จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความดันตามสมการ (2.6) ไดโอดบริดจ์และเทอร์มิสเตอร์ชดเชยอุณหภูมิถูกรวมอยู่ภายในโมดูลเซ็นเซอร์

การปรับความเป็นเชิงเส้น (Linearity Adjustment) ทำโดยตัวต้านทานปรับค่าได้ในเน็ตเวอร์คของวงจร กระแสจากวงจรส่วนนี้จะรวมกับสัญญาณอินพุตของวงจรควบคุมการออสซิลเลต เพื่อทำการปรับแก้ระดับแรงดันไฟฟ้าของออสซิลเลเตอร์ ชดเชยความไม่เป็นเชิงเส้นแบบ First Order ของค่าความจุไฟฟ้าที่ฟังก์ชันของความดัน

ความถี่ที่ออสซิลเลตของวงจรออสซิลเลเตอร์ (Oscillator) หาได้โดยคำนวณจากค่าความจุไฟฟ้าของตัวเซ็นเซอร์และค่าความเหนี่ยวนำของขดลวดหม้อแปลง

วงจรควบคุมแรงดันไฟฟ้าคงที่ (Voltage Regulator) ทรานสมิตเตอร์จะใช้ซีเนอร์ไดโอด ทรานซิสเตอร์ และตัวต้านทานประกอบกันเป็นวงจรควบคุมแรงดันไฟดีซีให้คงที่ขนาด 6.4 V สำหรับเป็นแรงดันอ้างอิง และขนาด 7 V จ่ายให้วงจรออสซิลเลเตอร์

การปรับค่า Zero จะประกอบไปด้วยโพเทนทิโอมิเตอร์ (Potentiometer) และตัวต้านทานซึ่งใช้ในการปรับกระแสที่รวมกับกระแสเซ็นเซอร์จะแยกจากกัน โดยมีสวิตช์เป็นตัวเลือกการปรับ การปรับค่า Span จะทำโดยตัวต้านทานซึ่งใช้กำหนดค่าความไวของลูปกระแส และป้อนกลับไปยังวงจรส่วนกระแสควบคุมการขยาย (Current Control Amplifier)

การควบคุมกระแส (Current Control) จะทำงานโดยอาศัยแรงดันไฟตรงอ้างอิงขนาด 6.4 V วงจรขยายควบคุมด้วยกระแสไปขั้ววงจรควบคุมระดับกระแส การป้อนกลับของการรีเทคกระแส จะผ่านตัวต้านทานซึ่งเท่ากับผลรวมระหว่างกระแส Zero และการเปลี่ยนกระแสของเซ็นเซอร์

การจำกัดกระแส (Current Limit) จะใช้ทรานซิสเตอร์และตัวต้านทานป้องกันกระแสเอาต์พุตไม่ให้เกิน 30 mA ในกรณีเกิดความดันที่วัดเกินย่านการวัด

การป้องกันการสลับขั้วไฟฟ้า (Reverse Polarity Protection) จะใช้ไดโอดยกเว้นถ้าต่อมิเตอร์ข้ามจุดต่อ Test ในกรณีนี้จะใช้ไดโอดตัวอีกหนึ่งป้องกันแทน [10]

การออกแบบทรานสมิตเตอร์สำหรับวัดความดันเพื่อใช้ติดตั้งในพื้นที่อันตรายของโรงงาน (Hazardous Area) จะใช้วิธีการป้องกันการระเบิดอันเนื่องมาจากอุปกรณ์ไฟฟ้าแบบความปลอดภัยแท้จริง (Intrinsic Safety Protection Method : Ex "i") [8]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.4 เครื่องมือวัดความหนาแน่นของสาร (Densitometer)

เครื่องมือวัดความหนาแน่นของสารจะประกอบด้วย 2 ส่วนหลักคือ

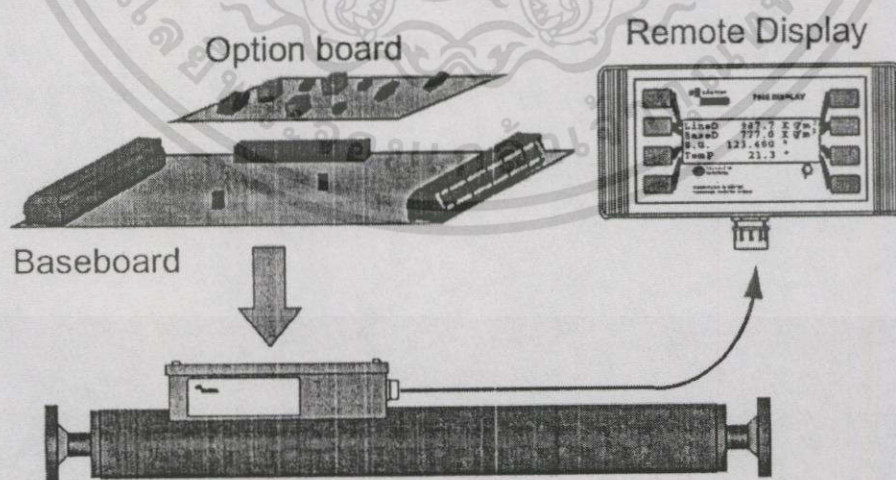
1. ทรานสดิวเซอร์วัดความหนาแน่นของของเหลว (Liquid Density Transducer) จะทำหน้าที่วัดความหนาแน่นของเหลวที่ไหลในกระบวนการ แล้วแปลงค่าเป็นความถี่ที่สัมพันธ์กับค่าการวัดทางเอาต์พุตของทรานสดิวเซอร์ ส่วนประกอบของทรานสดิวเซอร์แสดงดังรูปที่ 2.14

บอร์ดหลัก (Baseboard) อาจกล่าวได้ว่าเป็นหัวใจของระบบเลย ทรานสดิวเซอร์วัดความหนาแน่นของของเหลวจะประกอบด้วยระบบการวัดที่สมบูรณ์สำหรับการวัดความหนาแน่นของของเหลว บอร์ดหลักจะทำงานตามย่านการใช้งานที่ต้องการ โดยคำนวณค่าและส่งสัญญาณทางเอาต์พุตดังนี้

- กระแสไฟฟ้ายุติ 4 – 20 mA
 - สถานะการเตือน (Alarm) หรือความถี่จากการวัดความหนาแน่นของทรานสดิวเซอร์
 - การสื่อสารข้อมูลดิจิทัล RS485 เชื่อมโยงกับมอด็มสโพรโตคอลโดยใช้ RTU
- บอร์ดอปชัน (Optionboards) จะใช้สำหรับใส่กับบอร์ดหลัก มีให้เลือกใช้งานได้ 2 ออปชัน
- บอร์ดสวิทช์สำหรับการกำหนดค่าการสวิทช์ต่าง ๆ ตามต้องการ
 - บอร์ด HART จะใช้สำหรับการกำเนิดสัญญาณดีซี 4 – 20 mA และสามารถสื่อสารกับ

HART ได้อย่างสมบูรณ์

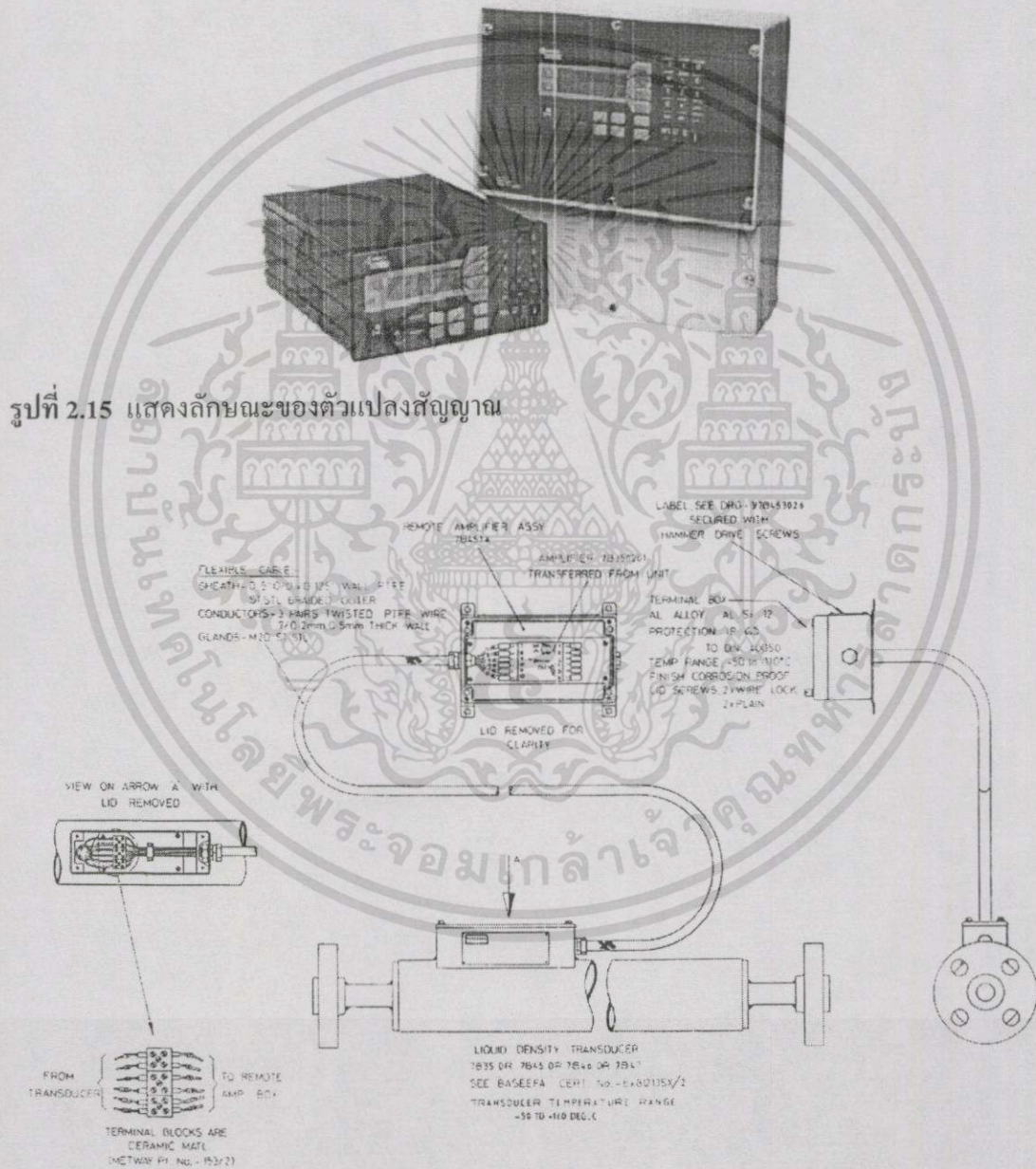
จอแสดงผลแบบรีโมต (Remote Display) ใช้สำหรับการคำนวณค่า และกำหนดค่าการทำงานของระบบหรือวิเคราะห์การเชื่อมต่อระบบ การติดต่อสื่อสารจะผ่าน RS485 ของบอร์ดหลัก จอแสดงผลแบบรีโมตหนึ่งตัวสามารถสื่อสารกับทรานสดิวเซอร์ที่ต่อบน RS485 ได้ทั้งหมด



รูปที่ 2.14 แสดงส่วนประกอบของทรานสดิวเซอร์วัดความหนาแน่นของเหลว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ตัวแปลงสัญญาณ (Signal Converter) จะทำหน้าที่รับค่าความถี่ทางเอาต์พุตของทรานสดิวเซอร์มาประมวลผลแล้วแสดงค่าความหนาแน่นของสารบนจอแอลซีดี นอกจากนี้ยังสามารถกำหนดเอาต์พุต(Assign Output)ให้สร้างเป็นสัญญาณกระแสไฟฟ้ามาตรฐาน 4-20 mA ที่สัมพันธ์กับย่านรับความหนาแน่นส่งให้เครื่องคำนวณปริมาตรการไหลต่อไป ลักษณะของตัวแปลงสัญญาณแสดงดังรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.16 แสดงการเชื่อมต่อสายสัญญาณของทรานสดิวเซอร์วัดความหนาแน่นของของเหลว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทรานสดิวเซอร์วัดความหนาแน่นของของเหลวจะออกแบบให้สามารถวัดความหนาแน่นของสารแบบออนไลน์ต่อเนื่อง และมีอาร์ทีดีแบบ Pt-100 สำหรับวัดอุณหภูมิของเหลวรวมอยู่ด้วย สัญญาณทางเอาต์พุตของทรานสดิวเซอร์จะเป็นสัญญาณความถี่ ซึ่งประมวลผลและสร้างสัญญาณโดยใช้เทคนิคล่าสุดของไมโครโปรเซสเซอร์สำหรับส่งให้เครื่องคำนวณปริมาณการไหล (Flow Computer) และตัวแปลงสัญญาณ (Signal Converter) การเชื่อมต่อสายสัญญาณของทรานสดิวเซอร์แสดงดังรูปที่ 2.16

หลักการการทำงานของทรานสดิวเซอร์ประกอบด้วย Center Tube เมื่อของไหลไหลผ่านจะเกิดการสั่นด้วยความถี่ธรรมชาติ (Natural Frequency) ความถี่นี้จะเปลี่ยนแปลงตามความหนาแน่นของของเหลวที่อยู่ภายใน Center Tube ซึ่งเป็นฟังก์ชันของน้ำหนักต่อปริมาตรของสารที่อยู่ใน Center Tube ความหนาแน่นของของเหลวที่อยู่ใน Tube สามารถคำนวณโดยใช้สมการทั่วไปของความหนาแน่นคือ

$$D = K_0 + K_1 T + K_2 T^2 \quad (2.9)$$

เมื่อ D คือ ความหนาแน่นของของเหลวก่อนการปรับแก้มีหน่วยเป็น Kg/m^3

T คือ ช่วงเวลาของการสั่นมีหน่วยเป็น μs

คือ $1/f$ เมื่อ f เป็นความถี่ของการสั่น

K_0, K_1, K_2 คือ ค่าคงที่จากใบรับรองการสอบเทียบ

ทรานสดิวเซอร์จะออกแบบเป็นให้เชื่อมชิ้นส่วนทางด้านเครื่องกลทั้งหมดเข้าด้วยกันเพื่อให้เกิดความน่าเชื่อถือสูงสุดภายใต้สภาวะแวดล้อมในการใช้งานที่แตกต่างกันส่วนของ Center Tube ทำจากวัสดุคือ NI-SPAN-C ซึ่งให้ค่าสัมประสิทธิ์การเปลี่ยนแปลงด้านอุณหภูมิต่ำมาก และมีเสถียรภาพการทำงานสูง ปริ๊อัมปีจะติดอยู่ในกล่องสี่เหลี่ยมบนตัวทรานสดิวเซอร์หรือติดตั้งแบบรีโมทตามรูปที่ 2.16

ใบรับรองการสอบเทียบ (Calibration Certificate) ของทรานสดิวเซอร์จะทำการสอบเทียบที่โรงงานผลิตและส่งใบรับรองให้ตัวแทนจำหน่ายเพื่อส่งให้ผู้ใช้งานพร้อมกับทรานสดิวเซอร์ ใบรับรองการสอบเทียบแสดงดังรูปที่ 2.17 ใบรับรองการสอบเทียบนี้จะระบุค่าคงที่ต่างๆ เพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถแปลงคาบเวลาของความถี่ทางเอาต์พุตของทรานสดิวเซอร์เป็นค่าความหนาแน่น ค่าคงที่ K_0, K_1 และ K_2 เป็นค่าคงที่พื้นฐานของทรานสดิวเซอร์ได้จากการสอบเทียบบนของไหล 3 ชนิด ที่อุณหภูมิ 20°C และความดัน 1Bar ถ้าสภาวะการใช้งานของทรานสดิวเซอร์ต่างจากสภาวะตอนสอบเทียบ การคำนวณค่าความหนาแน่นโดยใช้สมการทั่วไปจะต้องการการปรับแก้ด้วย

การปรับแก้อุณหภูมิ (Temperature Correction) ถ้าทรานสดิวเซอร์ทำงานที่อุณหภูมิอื่นนอก จาก 20°C จะต้องทำการปรับแก้ค่าความหนาแน่นที่คำนวณโดยใช้สมการ 2.9 โดยการใช้ข้อมูลค่า สัมประสิทธิ์ของอุณหภูมิที่ให้ไว้บนใบรับรองการสอบเทียบ สมการที่ใช้สำหรับการปรับแก้ อุณหภูมิคือ

$$D_t = D[1 + K_{18}(t - 20)] + K_{19}(t - 20) \quad (2.10)$$

เมื่อ D_t คือ ความหนาแน่นที่ปรับแก้อุณหภูมิแล้ว (kg/m³)

D คือ ความหนาแน่นที่คำนวณโดยสมการ (2.9)

T คือ อุณหภูมิ °C

K_{18} และ K_{19} คือ ค่าคงที่จากใบรับรองการสอบเทียบ

การปรับแก้ความดัน (Pressure Correction) ในระหว่างการสอบเทียบทรานสดิวเซอร์ โดยปรกติจะทำที่ความดัน 1 Bar ความดันที่มีอิทธิพลต่อการวัดจะถูกวัดด้วย ข้อมูลนี้จะแสดงในใบ รับรองการสอบเทียบด้วย สมการที่ใช้ในการปรับแก้ความดันคือ

$$D_p = D_t[1 + K_{20}(P - 1)] + K_{21}(P - 1) \quad (2.11)$$

เมื่อ D_p คือ ความหนาแน่นที่ปรับแก้อุณหภูมิและความดันแล้ว (Kg/m³)

D_t คือ ความหนาแน่นที่ปรับแก้อุณหภูมิแล้ว (Kg/m³)

P คือ ความดันสัมบูรณ์ (Bar Absolute)

K_{20} คือ $K_{20A} + K_{20B}(P - 1)$

K_{21} คือ $K_{21A} + K_{21B}(P - 1)$

หมายเหตุ 1. K_{20A} , K_{21A} และ K_{21B} สามารถใช้โดยตรงในการประมวลผลสัญญาณของเครื่องมือวัด

2. การปรับแก้การใช้งานทรานสดิวเซอร์ที่ความดันอื่นนอกจากคอนสอบเทียบ ในการ ทำงานที่มีความดันสูงกว่า 101 Bar จะใช้ค่าคงที่ 2 ชุด ระบุเป็น Low fit และ High fit ซึ่งแยกเป็น การทำงานที่ความดันถึง 101 Bar และทำงานที่ความดันสูงกว่า 101 Bar [11]



CALIBRATION CERTIFICATE

7835B LIQUID DENSITY TRANSDUCER

Serial No : 351637
Cal. Date : 07JAN94
Pressure Test : 150 BARS

DENSITY CALIBRATION AT 20 DEG. C AND AT 1 BAR

DENSITY PERIODIC TIME
[KG/M3] [uS]

| | |
|------|----------------------|
| 0 | 1093.840 |
| 1.2 | (1093.465) air check |
| 300 | 1209.712 |
| 500 | 1280.577 |
| 700 | 1347.374 |
| 800 | 1379.449 |
| 900 | 1410.731 |
| 1000 | 1441.275 |
| 1100 | 1471.131 |
| 1600 | 1611.504 |

DENSITY = K0 + K1.T + K2.T**2

K0 = -1.19136E+03 \ 300 - 1100 Kg/m3
K1 = -2.65568E-01 }
K2 = 1.23906E-03 /

K0 = -1.17966E+03 \ 0 - 3000 Kg/m3
K1 = -2.87466E-01 }
K2 = 1.24874E-03 /

TEMPERATURE COEFFICIENT DATA

Dt=D(1+K18(t-20))+K19(t-20)

K18 = -1.394E-05
K19 = 9.234E-03

PRESSURE COEFFICIENT DATA

DP=Dt(1+K20(P-1))+K21(P-1)

K20 = K20A + K20B(P-1)
K21 = K21A + K21B(P-1)

K20A = 4.466E-05
K20B = -1.213E-06
K21A = 6.046E-02
K21B = -1.641E-03

where D = Density (Uncorrected)
Dt = Density (Temp Corrected)
DP = Density (Pressure Corrected)
T = Periodic Time (uS)
t = Temperature (DEG.C)
P = Pressure Bar (Absolute)

FINAL TEST & INSPECTION

Ref No:- LD7835/V2.2

DATE : 10JAN94

รูปที่ 2.17 แสดงใบรับรองการสอบเทียบทรานสดิวเซอร์วัดความหนาแน่นของของเหลว

2.2.5 เครื่องคำนวณปริมาณการไหล (Flow Computer)

เครื่องคำนวณปริมาณการไหลจะทำหน้าที่รับเอาค่าสัญญาณอินพุตการวัดที่ส่งมาจากเครื่องมือวัดที่ติดตั้งอยู่ในกระบวนการ ได้แก่ ค่าอุณหภูมิ ค่าความดัน ค่าความหนาแน่น และค่าอัตราการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไหล มาคำนวณหาปริมาณการไหลในหน่วยปริมาตร และมวล แสดงค่าบนจอแอลซีดี และสามารถตั้งพิมพ์รายงานผลการวัดต่างๆ ทางเครื่องพิมพ์โดยผ่านพอร์ตอนุกรม RS-232C นอกจากนี้ยังสามารถกำหนดค่าต่างๆ ที่วัดและคำนวณได้ให้ส่งสัญญาณเป็นกระแสไฟฟ้าดีซี 4-20 mA ออกทางเอาต์พุตเพื่อไปแสดงค่ายังจอมอนิเตอร์ของดีซีเอสหรือเป็นสัญญาณอินพุตให้ระบบควบคุมต่างๆ ลักษณะตัวอย่างของเครื่องคำนวณปริมาณการไหลที่ใช้งานแพร่หลายในอุตสาหกรรมปิโตรเคมี แสดงดังรูปที่ 2.18

เครื่องคำนวณปริมาณการไหลจะมีแผงปฏิบัติงาน (Operator's Panel) ซึ่งใช้สำหรับแสดงต่างๆ ของการวัด การคำนวณ และรับค่าข้อมูลที่ป้อนทั้งหมด ข้อมูลทั้งหมดสามารถใช้ในการเข้าถึงและป้อนค่าโดยผ่านทางพอร์ตอนุกรมในการเชื่อมต่อกับไมโครคอมพิวเตอร์ บนแผงปฏิบัติงานจะประกอบไปด้วยส่วนต่างๆ ดังนี้

1. จอแสดงผลแอลซีดี (LCD Display) เป็นจอแสดงผลขนาด 4 บรรทัด 20 ตัวอักษร มีการ Scan Display เพื่ออัปเดตข้อความทุกๆ 200 ms จอแสดงผลแอลซีดีจะใช้แสดงข้อความ (Messages) ค่าการวัด การคำนวณ และหน่วยทางวิศวกรรม (Engineering unit) การแสดงผลจะเป็นภาษาอังกฤษ ความสว่างของแอลซีดีสามารถปรับได้โดยผ่านทาง Keypad



รูปที่ 2.18 แสดงลักษณะเครื่องคำนวณปริมาณการไหลที่ใช้งานในอุตสาหกรรมปิโตรเคมี

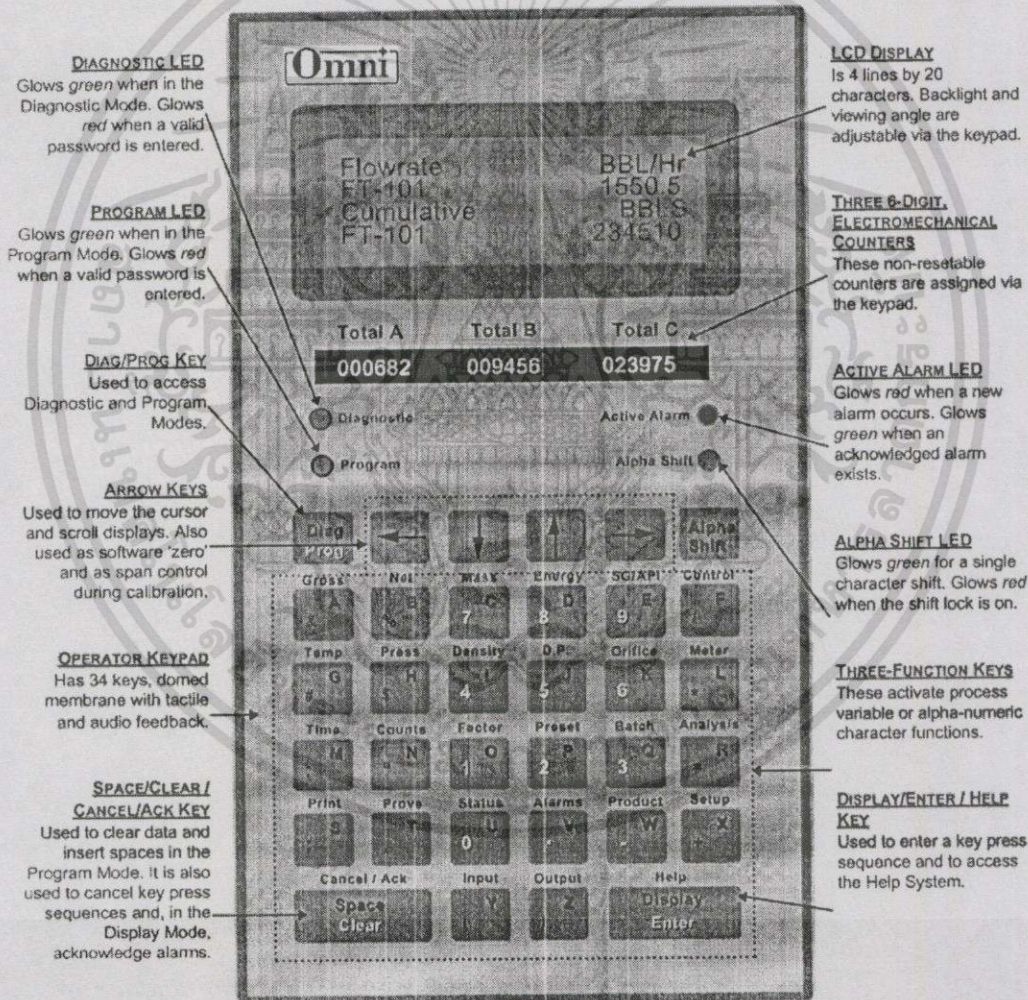
2. เฟืองตัวเลขค่าผลรวมทำงานด้วยไฟฟ้า (Electro Mechanical Totalizers) เป็นเฟืองตัวเลขอยู่บนหน้าปัทม์ขนาด 6 หลักจำนวน 3 ชุดคือ TotalA, TotalB และ TotalC ไม่สามารถทำการรีเซ็ตได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไม่ต้องการแรงดันไฟฟ้าสำรองในการคงค่าการแสดงผลเดิม สามารถโปรแกรมให้นับค่าต่างๆ เช่น ค่า Gross, Net และ Mass เป็นต้น ความเร็วการนับสูงถึง 10 Count ต่อวินาที

3. ปุ่มกดสำหรับปฏิบัติงาน (Operator Key Pad) มีจำนวน 34 ปุ่ม ลักษณะจะเป็นปุ่มกดนูน ลักษณะโดมขึ้นมาจากหน้าปัทม์มีแผ่นรองซึ่งเขียนการทำงานของปุ่มปิดทับอยู่ เมื่อกดจะมีเสียงดังตอบรับการกดใช้สำหรับ Configure ระบบ สอบเทียบอินพุตเอาต์พุต คูและตั้งพิมพ์ค่ากระบวนการ วัด ตลอดจนใช้ป้อนรหัสผ่านเพื่อเข้าไปเปลี่ยนแปลงค่าต่างๆ ในการใช้งาน

4. แอลอีดีจะแสดงผลการทำงานคือ แสดงการเข้าโหมด Program โหมด Diagnostic การเกิด Alarm ต่างๆ และแสดงการกดปุ่ม Shift ล็อคไว้



รูปที่ 2.19 แสดงรายละเอียดต่างๆ บนแผงปฏิบัติงาน (Operator's Panel)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 Compact Prover

มาตรวัดการไหลเมื่อติดตั้งใช้งาน จำเป็นต้องมีการสอบเทียบความถูกต้องแม่นยำอย่างสม่ำเสมอ โดยทั่วไปการสอบเทียบมาตรวัดการไหลควรกระทำทุก 6 เดือน สำหรับวิธีการและอุปกรณ์ที่ใช้ในการสอบเทียบจะมี 4 แบบคือ

- การสอบเทียบโดยใช้ถังตวง (Tank Prover)
- การสอบเทียบโดยใช้ท่อมาตรฐาน (Pipe Prover)
- การสอบเทียบโดยใช้มาตรวัดมาตรฐาน (Master Meter Prover)
- การสอบเทียบโดยใช้ท่อมาตรฐานขนาดเล็ก (Compact Prover)

การสอบเทียบมาตรวัดการไหลที่ใช้ในการคำนวณมูลค่าการซื้อขาย จะต้องได้รับการรับรองจากกองชั่งตวงวัดกรมสรรพสามิตทุกครั้ง เนื่องจากผลการสอบเทียบจะมีการกำหนดค่า Meter Factor ซึ่งมีผลต่อการคำนวณมูลค่าและปริมาณของผลิตภัณฑ์ที่จะต้องเสียภาษี [3,12]

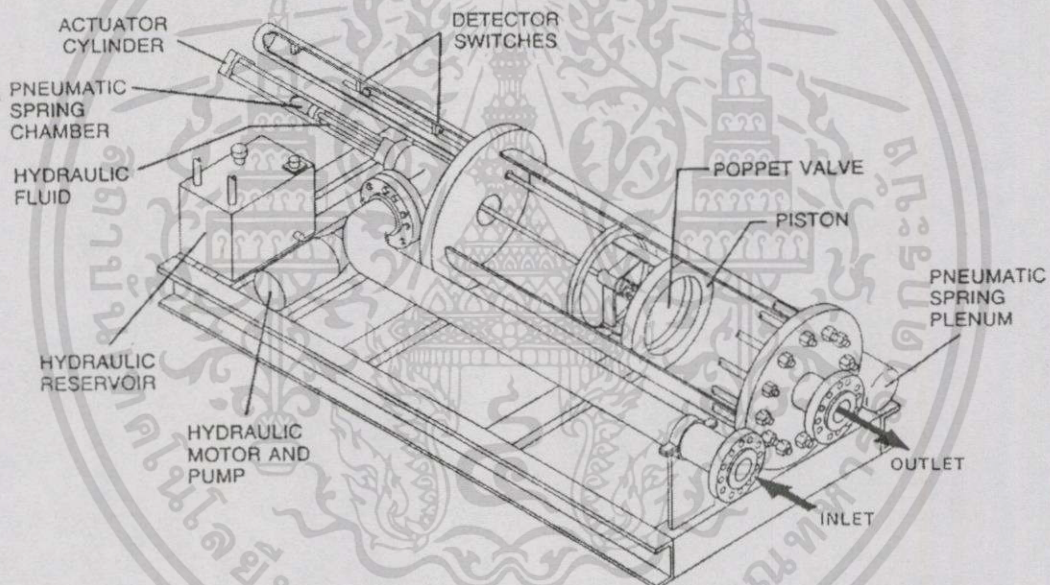
ในการทดสอบมาตรวัดการไหล อุปกรณ์สอบเทียบที่นิยมใช้กันโดยส่วนมากในอุตสาหกรรมปิโตรเคมี คือ Compact Prover เนื่องจากมีข้อดีเมื่อเทียบกับ Prover แบบอื่นๆ คือ

- มีขนาดเล็ก และน้ำหนักเบา
- สามารถทำงานตรวจสอบได้อย่างต่อเนื่อง โดยไม่มีการขัดจังหวะการไหล
- ให้ความแม่นยำ และเที่ยงตรงสูง
- สามารถตอบสนองอัตราการไหลได้สูง เมื่อเทียบกับขนาดกับ Prover ชนิดอื่นๆ
- สามารถทำการตรวจสอบในผลิตภัณฑ์ที่มีความดันสูงได้ เพราะเป็นระบบปิด
- ไม่มีผลเสียต่อสภาวะแวดล้อม เนื่องจากไอระเหยของผลิตภัณฑ์ออกสู่บรรยากาศ
- ง่ายต่อการใช้งาน เนื่องจากมีขนาดเล็ก สามารถเคลื่อนย้ายในการติดตั้งได้สะดวก
- ใช้จำนวนบุคลากร ในการปฏิบัติงานน้อย
- ง่ายต่อการทำ Water Draws Test เพื่อหาค่า Base Volume
- ประหยัดค่าใช้จ่าย ในการทำการสอบเทียบมาตรวัดการไหล
- สามารถนำไปใช้งานในพื้นที่อันตราย (Hazardous Area) ของโรงงานได้ [5]

Compact Prover คือ เครื่องมือมาตรฐานสำหรับสอบเทียบมาตรวัดการไหล ซึ่งทำงานโดยอัตโนมัติ อาศัยหลักการไหลของผลิตภัณฑ์ภายในท่อเป็นตัวพาลูกสูบ (Piston) จากทางด้าน Upstream สู่ Downstream และจากการเคลื่อนที่ของลูกสูบจาก Upstream สู่ Downstream นี้ก็จะนำพา Shaft ซึ่งมีแผ่นเพลตตัดผ่าน Switch Detector No.1 ไปสู่ Switch Detector No.2 เป็นระยะของปริมาตรอ้างอิง (Base Volume)

2.3.1 โครงสร้างพื้นฐานของ Compact Prover

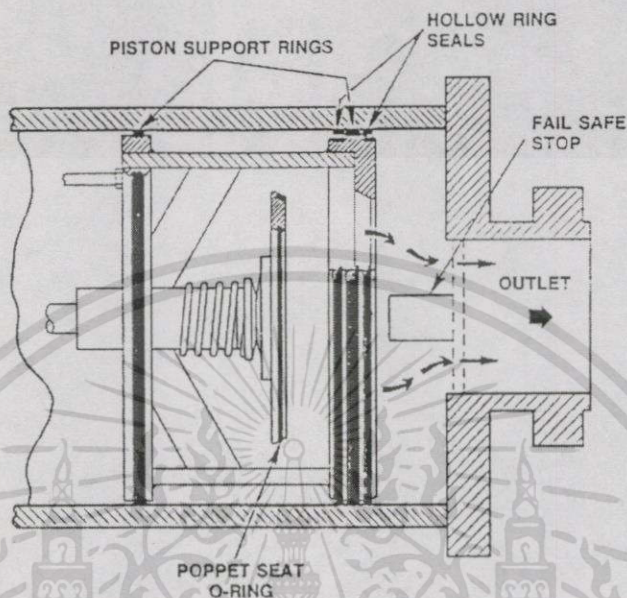
โครงสร้างพื้นฐานของ Compact Prover ประกอบด้วยชิ้นส่วนดังรูปที่ 2.20 จากรูปภายใน Flowtube จะติดตั้งลูกสูบที่เคลื่อนที่ได้อิสระกับวาล์ว Poppet โดยวาล์ว Poppet จะอยู่ภายในลูกสูบ ปริมาตร (Measurement Piston) ชิ้นส่วนทั้งสองจะต่อกันโดยใช้แกน Actuator ของกระบอก Actuator ลูกสูบ Flow tube ดังรูปที่ 2.21 ลูกสูบ Actuator จะทำงานโดยอาศัยความดันนิวเมติกสปริงพินั่ม (Pneumatic Spring Plenum) กับความดันระบบไฮดรอลิก โดยความดันนิวเมติกสปริงพินั่มจะช่วยให้วาล์ว Poppet ปิดสนิทขณะลูกสูบเคลื่อนที่ในไปทาง Downstream ในการทำ Proving Run ระบบไฮดรอลิก จะทำการดึงลูกสูบกลับทาง Upstream และคงสภาวะการเปิดของวาล์ว Poppet อยู่ทาง Upstream ปกติการไหลของของเหลวจะผ่านวาล์ว Poppet ที่เปิดทำให้การสอบเทียบมาตรวัดการไหลด้วย Prover ไม่ขัดจังหวะการไหลของผลิตภัณฑ์ภายในท่อ [13]



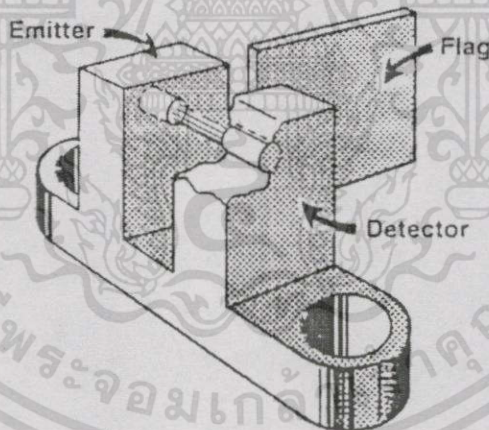
รูปที่ 2.20 แสดงโครงสร้างพื้นฐานของ Compact Prover

ตำแหน่งของลูกสูบในกระบอกขณะทำงานจะตรวจจับโดยชุดตัวเซ็นเซอร์แสง ในแต่ละตัว เซ็นเซอร์แสงจะมีแอลอีดีเป็นตัวกำเนิดแสง และโฟโตทรานซิสเซอร์เป็นตัวดีเทคเตอร์ ติดอยู่ตามรูปที่ 2.21 เมื่อลูกสูบเคลื่อนที่ขณะ Prover ทำงานจะทำให้แผ่นผั่ง (Flag) ที่ติดอยู่กับก้านลูกสูบเคลื่อนที่ในจังหวะเดียวกับลูกสูบ มาบังช่องชุดตัวเซ็นเซอร์แสง ทำให้แสงที่ตัวดีเทคเตอร์หายไป ชุดวงจรควบคุม Prover จึงสามารถตรวจจับตำแหน่งของลูกสูบในการควบคุมการทำงานของ Prover ได้ ตัวเซ็นเซอร์จะมีทั้งหมด 3 ตัว ใช้สำหรับตรวจจับตำแหน่งทางด้าน Upstream ของลูกสูบ 1 ตัว และใช้ 2 ตัวสำหรับตรวจจับตำแหน่งการเริ่มต้นและสิ้นสุดการแทนที่ปริมาตรในขณะที่ทำการ

Prove สัญญาณของตัวเซ็นเซอร์นี้จะใช้ตั้งเวลาและในการนำค่าจากตัวนับ (Counter) คำนวณหาปริมาณ และควบคุมให้ชุดลูกสูบปริมาตรอยู่ในตำแหน่งที่เหมาะสม [13]



รูปที่ 2.21 แสดงการประกอบ Poppet Valve กับลูกสูบควบคุมปริมาตร



รูปที่ 2.22 แสดงการทำงานของชุดเซ็นเซอร์แสง

2.3.2 ขั้นตอนการทำงานของ Compact Prover

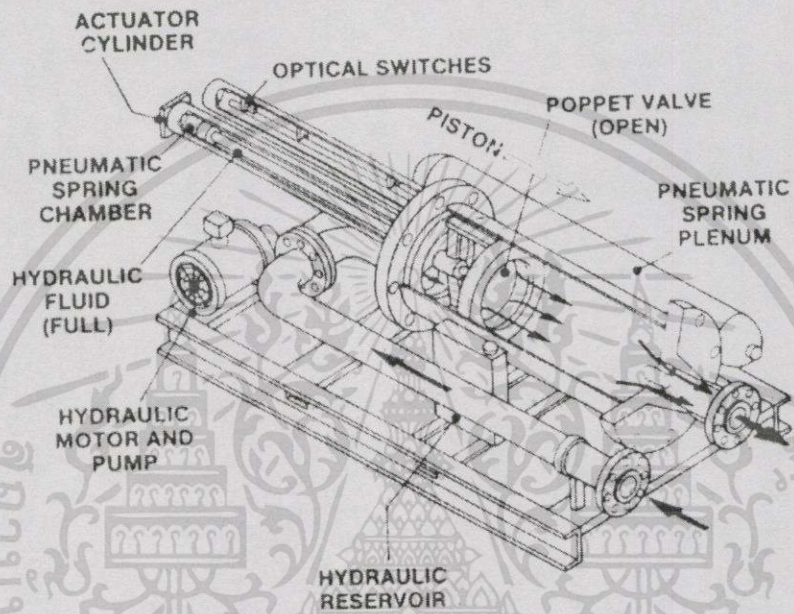
ลำดับขั้นตอนการทำงาน มีดังนี้

1. ลูกสูบปริมาตรโดยปกติจะอยู่ทางตำแหน่ง Upsteam และดึงไว้ด้วยความดันไฮดรอลิกจากมอเตอร์และปั๊มที่จ่ายเข้าด้าน Downsteam ของลูกสูบ Actuator
2. ไฮดรอลิกโซลินอยด์วาล์วเปิดทำให้น้ำมันไฮดรอลิกในกระบอกสูบ Actuator ไหลกลับถึงความดันไนโตรเจนจากสปริงพลิ้นจะดันลูกสูบของ Actuator (ด้าน Upsteam) ปิดวาล์ว Poppet

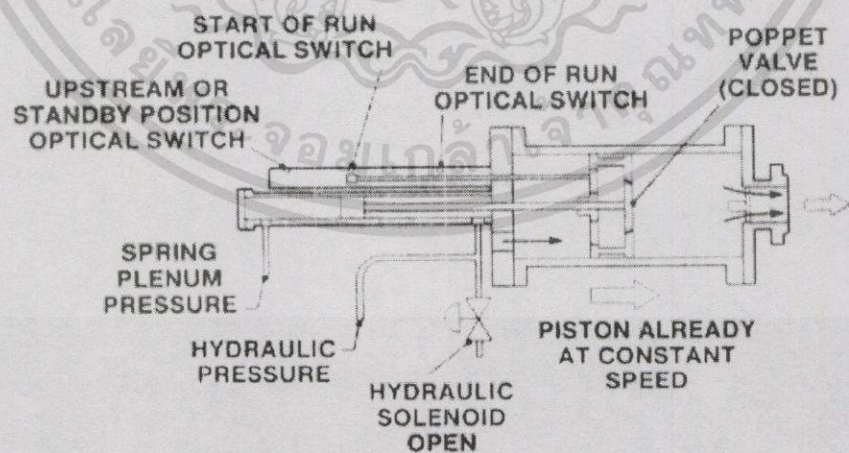
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และเคลื่อนลูกสูบไปทาง Downstream จังหวะเดียวกับการไหลของของไหลในท่อ การทำงานของลูกสูบจะให้ความดันทางด้าน Downstream เพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเท่านั้น (ปกติเพียง 2-3 นิ้วน้ำ)

3. ลูกสูบปริมาตรแทนที่ผลิตภัณท์ใน Flowtube ขณะที่มีมันเคลื่อนที่ไปทาง Downstream สวิตซ์แสงถูกกระตุ้นโดยแผ่นบัง (Flag) ที่ติดกับก้านของลูกสูบ ดิเทคปริมาตรสอบเทียบของการแทนที่ผลิตภัณท์

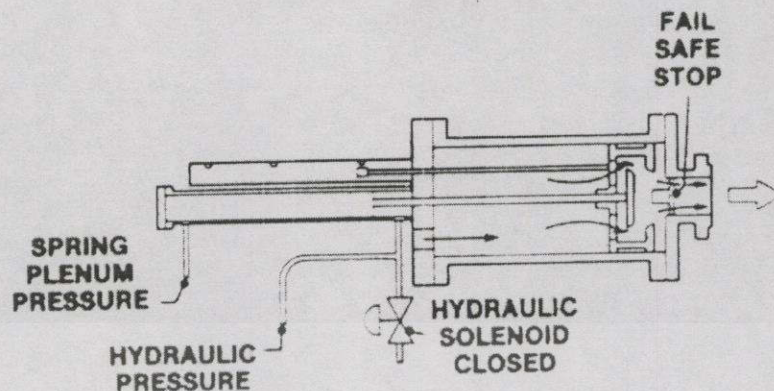


รูปที่ 2.23 แสดงการทำงานของ Compact Prover ขณะอยู่ในโหมด Standby



รูปที่ 2.24 แสดงการทำงานของ Compact Prover ขณะเริ่มการ Prove (Start Run)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.25 แสดงการทำงานของ Compact Prover ขณะสิ้นสุดการ Prove (End of Proving Run)

4. ขณะที่แผ่นบังผ่านสวิทช์แสงตัวสุดท้าย ไฮโดรลิกโซลินอยด์วาล์วจะปิดทำให้เกิดความดันไฮโดรลิกดันลูกสูบของ Actuator ทางด้าน Upsteam ขณะที่วาล์ว Poppet เปิด ของไหลในกระบวนการจะไหลผ่านลูกสูบได้

5. ความดันไฮโดรลิกเอาชนะความดันในโตรเจนทางด้าน Upsteam ของลูกสูบ Actuator และลูกสูบควบคุมปริมาตรเคลื่อนที่ไปทางด้าน Upsteam อยู่ในตำแหน่ง Standby เมื่อลูกสูบมาถึงตำแหน่ง Upsteam วาล์ว Relief จะเปิดปล่อยความดันที่เกินขณะที่ระบบไฮโดรลิกบีดลูกสูบปริมาตรไว้ทางด้าน Upsteam ขณะนี้ Prover พร้อมที่จะเริ่มต้นเคลื่อนต่อไป

6. การป้องกันขณะทำความผิดพลาดที่จัดเตรียมไว้ ตัว Fail Safe Stop จะติดตั้งร่วมกับ Flange ทางออก เพื่อป้องกันอุบัติเหตุจากการปิดกั้นการไหลของลูกสูบ

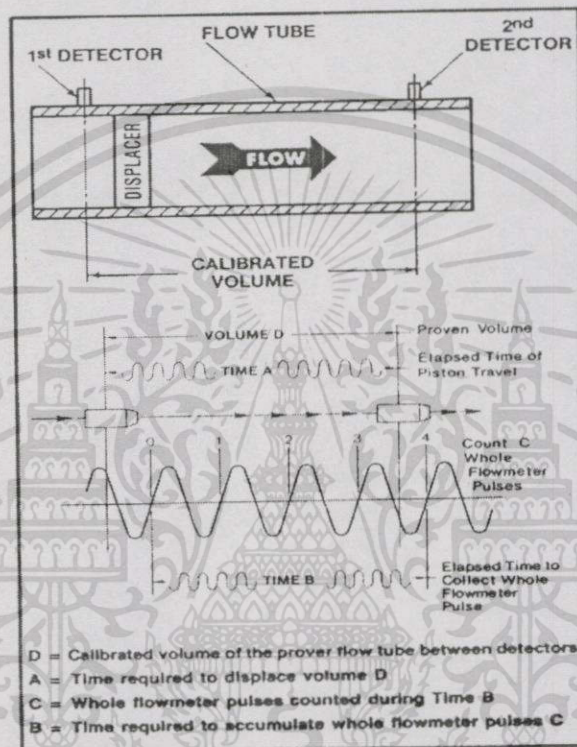
7. การประมวลค่าพัลส์ภายในช่วง : การประมวลค่าพัลส์ภายในช่วงความเที่ยงตรงสูง จะใช้ความถี่สูงจากตัวออสซิลเลเตอร์หลัก ซึ่งนับเวลาใน 0.000001 ส่วนของวินาที Master Oscillator ทำงานด้วยตัวนับ 2 ตัว อังอิงคือ Time A และ Time B ตัวนับเวลา A จะเริ่มต้นนับเมื่อแผ่นบังมาถึงสวิทช์ดีเทคเตอร์ตัวที่ 1 ตัวนับเวลา B จะเริ่มต้นนับด้วยของขาขึ้นของพัลส์แรกของมาตรวัดการไหลภายหลัง Time A เริ่มต้น Time A จะหยุดนับเมื่อแผ่นบังมาถึงสวิทช์ดีเทคเตอร์ตัวสุดท้าย Time B หยุดด้วยของขาขึ้นของพัลส์แรกภายหลัง Time A หยุด โดยการใช้อัตราส่วนของตัวนับเวลา Time A และตัวนับ Time B จะทำให้มีความเที่ยงตรงในการนับเป็นเศษส่วน 1 ส่วนใน 10,000 ของพัลส์ Flow meter แสดงดังรูปที่ 2.26 [13]

จากรูปใช้อัตราส่วนของตัวนับเวลา Time A และตัวนับเวลา Time B จะทำให้เกิดความเที่ยงตรงในการนับส่วนพัลส์มาตรวัดตั้งสมการ (2.12)

$$K = \frac{\text{Time "A"}}{D} * \frac{C}{\text{Time "B"}} \quad (2.12)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- เมื่อ K คือ K-Factor หรือพัลส์ต่อหน่วยปริมาตรของมาตรวัด
- A คือ เวลาสำหรับการแทนที่ปริมาตรสอบเทียบ
- B คือ เวลาสำหรับพัลส์ทั้งหมดของมาตรวัด
- C คือ จำนวนพัลส์ทั้งหมดของมาตรวัด
- D คือ ปริมาตรที่ใช้สอบเทียบ



รูปที่ 2.26 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตร/เวลา/พัลส์ ของ Double Chronometry

การคำนวณ K-Factor ของ Compact Prover 12 นี้วัดตามสมการ (2.13)

$$K = \frac{A(\text{Time})}{D(\text{Volume})} * \frac{C(\text{Pulses})}{B(\text{Time for Pulses})} \quad (2.13)$$

เมื่อกำหนดให้

- A คือ เวลาในการแทนที่ปริมาตรหน่วยเป็นวินาทีเท่ากับ 0.58377
- B คือ เวลาสำหรับพัลส์ทั้งหมดของมาตรวัดเท่ากับ 0.58329
- C คือ ผลรวมของพัลส์จากมาตรวัดเท่ากับ 364
- D คือ ปริมาตรสอบเทียบที่รู้ค่าจากใบรับรองของ Water Draw Test

แทนค่าในสมการ (2.13) ได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

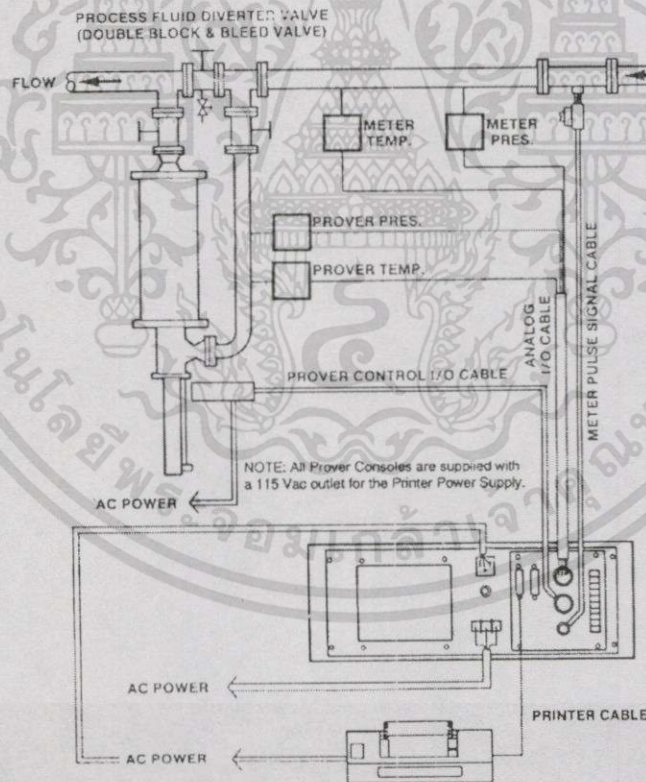
$$K = \frac{0.58377}{0.35714 \text{ bbl.}} * \frac{364}{0.58329}$$

$K = 1020.0468$ Pulses/bbl (หรือหน่วยของปริมาตร)

2.4 การสอบเทียบมาตรวัดการไหลด้วย Compact Prover

2.4.1 ขั้นตอนการทำงานสอบเทียบมาตรวัด

1. ต่อ Prover กับระบบท่อในกระบวนการผลิตของโรงงานตามรูปที่ 2.27 ตรวจสอบเช็ควาล์ว Drain และวาล์ว Vent ของ Compact Prover ให้อยู่ในตำแหน่งปิดทุกตัว พิจารณา Prover ว่าเป็น Upstream หรือ Downstream ของมาตรวัดการไหลตามรูปที่ 2.28 เพื่อจะได้เลือกใช้ค่าปริมาตรอ้างอิง (Base Volume) ที่ได้จากการสอบเทียบ Compact Prover โดยการ Water Draw Test ได้ถูกต้อง [5,13]

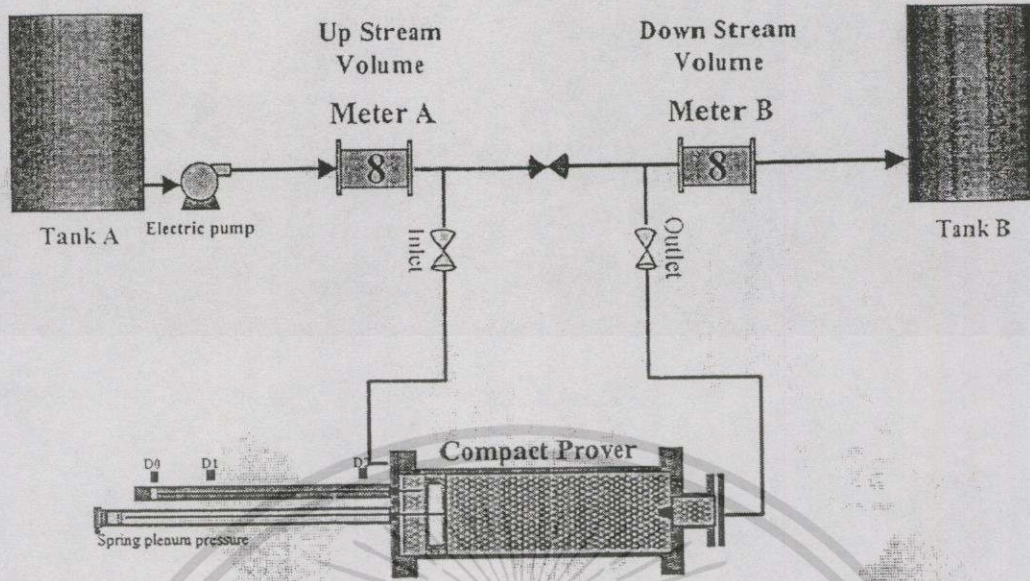


NOTE: ac power for the BCPE must be from a clean, regulated source separate from the ac power for the prover hydraulics.

NOTE: When installing transducers for a flowmeter sensitive to turbulent flow, the transducers must be located the recommended number of pipe diameters away from the flowmeter.

รูปที่ 2.27 แสดงการติดตั้ง Compact Prover กับระบบท่อในกระบวนการของโรงงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.28 แสดงการต่อ Compact Prover ทาง Upstream และ Downstream ของมาตรวัดการไหล

2. เปิดวาล์ว Shut Off ของสปริงพลิ้นัม (Spring Plenum)
3. เช็คความดันสปริงพลิ้นัม และทำการปรับให้ถูกต้อง ความดันพลิ้นัมสามารถคำนวณหาได้จากสมการ (2.14) ค่อยๆ เปิดวาล์วทางด้าน Inlet Compact Prover เพื่อนำสารที่จะ Prove เข้า Prover

$$\text{Plenum Pressure} = \frac{\text{Pipe Line Gauge Pressure (psig)}}{R} + 60 \text{psig} \quad (2.14)$$

โดย R เท่ากับ 3.2 ใน Compact Prover ขนาดมาตรฐาน 12 นิ้ว

4. ต่อไฟฟ้าเข้า Compact Prover และคอนโซลควบคุมการ Prove หลังจากนั้นต่อสายสัญญาณต่างๆ ได้แก่ สายสัญญาณควบคุม Prover สายสัญญาณอนาล็อก 4 – 20 mA ของการวัดอุณหภูมิและความดันจากตัวทรานสมิตเตอร์ และสายสัญญาณพัลส์จากตัวมาตรวัดเข้าสู่ Prover Console

5. เช็คน้ำมันไฮดรอลิกที่อยู่ในอ่างให้ Filled จนกระทั่งน้ำมันไฮดรอลิกอยู่ภายใน 2-3 นิ้วจากเหนือสุดของอ่างน้ำมัน

6. จ่ายไฟให้แก่ Compact Prover และ Prover Console ปิดสวิทช์จ่ายไฟฟ้าให้แก่ปั๊มไฮดรอลิก ความดันของไฮดรอลิกควรจะอยู่ที่ประมาณ 380-400 Psig ลูกสูบเลื่อนมายังตำแหน่ง Upstream อยู่ในตำแหน่ง Standby ดังรูปที่ 2.23

7. ค่อยๆ เปิดวาล์วทางด้าน Inlet Compact Prover เพื่อนำสารที่จะ Prove เข้า Prover

8. ใต้อากาศออกจากระบบโดยใช้ Hand Valves ที่ต่ออยู่ระหว่าง Inlet และ Outlet Flange ของ Flow Tube เปิดวาล์ว Outlet ของ Prover และค่อยๆ ปิดวาล์วที่อยู่ระหว่าง Inlet และ Outlet Flange ของ Prover เพื่อให้ Compact Prover ต่อกันกับ Metering Skid ที่ใช้วัดการไหล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9. อ้างอิงคู่มือการใช้งาน Prover Console และ Compact Prover สำหรับการใช่ Compact Prover สอบเทียบมาตรวัดการไหล

10. ภายหลังจากการสอบเทียบมาตรวัดการไหลเสร็จแล้วปิดสวิทช์มอเตอร์ไฮดรอลิกมาที่ตำแหน่ง OFF

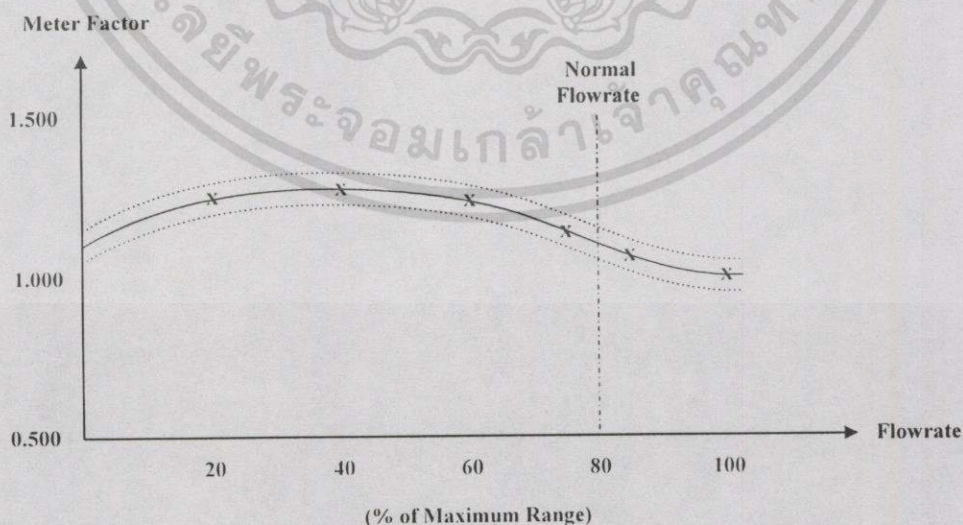
11. เปิดวาล์ว Diverter ให้ของไหลผ่านระบบท่อตามปกติและค่อยๆ ปิดวาล์ว Inlet และ Outlet ของกระบวนการที่เข้าสู่ Compact Prover

12. ทำการ Drain สารที่อยู่ใน Flow Tube ของ Compact Prover โดยใช้วาล์ว Drain และวาล์ว Vent ที่ติดตั้งอยู่กับ Inlet และ Outlet Flange [13]

2.4.2 การดำเนินการสอบเทียบมาตรวัดการไหล

การสอบเทียบมาตรวัดการไหลจะทำขณะที่มาตรวัดอยู่ในสภาวะการใช้งานในกระบวนการผลิต เพื่อหา Meter Factor จำนวน 6 ค่ามาใส่บน Linear Curve ของเครื่องคำนวณปริมาณการไหล (Flow Computer) ดังแสดงในรูปที่ 2.29 ซึ่งค่า Meter Factor นี้จะทำการ Prove หาที่อัตราการไหลต่างๆ ให้คลุมย่านการทำงานทั้งหมดของมาตรวัด เมื่อมีการใช้งานมาตรวัดที่อัตราการไหลปกติ (Normal Flowrate) อยู่ที่ 80% อาจกำหนดอัตราการไหลที่จะใช้ Prove หา Meter Factor เป็น 20 % 40% 60% 75% 85% และ 100% ของย่านสูงสุดการทำงานของมาตรวัด

หลังจากใส่ค่า Meter Factor ที่ได้จากการ Prove บน Linear Curve แล้วเครื่องคำนวณปริมาณการไหลจะอาศัยการประมาณค่าในช่วง (Interpolated) เลือกใช้ค่า Linear Factor ที่เหมาะสมกับจุดการทำงานของมาตรวัด ที่อัตราการไหลต่างๆ มาเป็นตัวคูณปรับแก้ค่าการวัดอัตราการไหลจากมาตรวัดให้ถูกต้องตลอดย่านการใช้งาน [1,5,14]



รูปที่ 2.29 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าของ Meter Factor และอัตราการไหลบน Linear Curve ของเครื่องคำนวณปริมาณการไหล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การสอบเทียบมาตรวัดการไหลโดยใช้ Compact Prover เราจะต้องทราบปริมาตรอ้างอิง (Base Volume) ก่อน โดยสามารถดูค่าได้จากรายงานการสอบเทียบ Compact Prover โดยการ Water Draws เพื่อนำค่าดังกล่าวมาป้อนเป็นปริมาตรสอบเทียบ (Prove Volume) แล้วกำหนดที่ Prover Console ให้ทำการคำนวณค่า Meter Factor การสอบเทียบมาตรวัดจากผลเฉลี่ยการ Run ของ Compact Prover 5 ครั้งในอัตราการไหลเดียวกัน ตัวอย่างรายงานผลการสอบเทียบ (Prover Report) มาตรวัดการไหลดังแสดงในรูปที่ 2.30 [5,14]

ในการสอบเทียบมาตรวัดเพื่อหาค่า Meter Factor ที่จะมาใส่ในแต่ละจุดบน Linear Curve ที่อัตราการไหลต่างๆ ต้องพิจารณาผลการทำงานซ้ำ (Repeatability) ของมาตรวัดด้วย โดยการสอบเทียบในแต่ละอัตราการไหล ต้องให้ได้ผลการคำนวณ Meter Factor ตามรายงานมี เปอร์เซ็นต์ผลการทำงานซ้ำ (%Repeatability) ไม่เกิน 0.05% จำนวน 3 ครั้งต่อเนื่องกัน พิจารณาโดยนำค่า Meter Factor ที่ Prover Console คำนวณได้ในแถว P ของรายงานผลการสอบเทียบ (Prover Report) แต่ละครั้งมาคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ผลการทำงานซ้ำ ตามสมการ (2.15) หรือสมการ (2.16) หากค่าเปอร์เซ็นต์ผลการทำงานซ้ำ เกินตามข้อกำหนดต้องทำการ Prove ต่อไปเรื่อยๆ จนได้ค่าเปอร์เซ็นต์ผลการทำงานซ้ำที่อยู่ในข้อกำหนด 3 รายงานต่อเนื่องกัน [5]

$$\% \text{Repeatability} = \left[\frac{\text{Max Meter Factor} - 1}{\text{Min Meter Factor}} \right] * 100 \quad (2.15)$$

หรือ

$$\% \text{Repeatability} = \left[\frac{\text{Max MF} - \text{Min MF}}{\text{Avg. MF}} \right] \quad (2.16)$$

เมื่อได้ค่า Meter Factor ของอัตราการไหลที่สอบเทียบตามข้อกำหนดการพิจารณาที่กล่าวมาแล้ว ทำการปรับระบบการควบคุมอัตราการไหลไปยังค่าถัดไปเพื่อทำการ Prove หา Meter Factor ค่าต่อไปจนครบ 6 ค่า หลังจากนั้นทำการใส่ค่า Meter Factor ทั้งหมดที่ได้เป็น Linear Curve ให้แก่เครื่องคำนวณปริมาณการไหลแล้วปรับระบบควบคุมอัตราการไหลไปยังอัตราการไหลปกติ (Normal Flowrate) แล้วทำการ Prove เพื่อหาค่า Meter Factor จำนวน 1 ค่ามาใส่เป็นตัวคูณมาตรวัด (Meter factor) เพื่อปรับ Linear Curve อีกครั้งหนึ่ง ถ้าคำนวณหาค่า Linear Factor จากการประมาณค่าในช่วง (Interpolated) ของเครื่องคำนวณปริมาณการไหลตาม Linear Curve ตรงกับสถานะการทำงานจริงของมาตรวัดค่าตัวคูณมาตรวัด (Meter factor) ที่ได้จะเท่ากับ 1.000 [5]

การนำค่า Meter Factor มาคำนวณหาค่าความแม่นยำ (Accuracy) ซึ่งเป็นค่าแสดงสมรรถภาพของอุปกรณ์เครื่องมือวัดที่สามารถบ่งบอกค่าประมาณการที่แท้จริงของจำนวนการวัด ดังสมการ (2.17) โดยปกติค่าเปอร์เซ็นต์ความแม่นยำจะกำหนดไว้ไม่เกิน 0.2% นอกจากนี้เรายังสามารถนำค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Meter Factor มาคำนวณหาค่าความเป็นเชิงเส้น (Linearity) ซึ่งเป็นการวัดความเบี่ยงเบนของเส้นกราฟสมรรถนะ (Performance Curve) ของมาตรวัดการไหล ที่เบี่ยงเบนไปจากเส้นตรง ในช่วงระหว่างอัตราการไหลสูงสุดและต่ำสุด ดังสมการ (2.18) [5]

$$\% \text{ Accuracy} = [\text{Meter Factor} - 1] * 100 \quad (2.17)$$

$$\% \text{ Linearity} = [\text{MF}(\text{Max Flow}) - \text{MF}(\text{Min Flow})] * 100 \quad (2.18)$$

APPLICATION M4034
PROVE REPORT
DATE: 02/19/93 TIME: 00:00:38 COMPUTER #: 1 BATCH #: 2
BATCH STARTED: 02/18/93 04:44:34 PRODUCT #: 1 AAA
PROVER DIAMETER : 30.0000 METER NO : 1
PROVER WALL THK : 5.0000 SERIAL NO: LOCATION :
ELASTICITY/STEEL: 30000000 MODEL NO : TOTALIZER: 124438
THERM COEF. INVA: .000022 API TABLE: 24A EQLIB BAR: 0.0000
THERM COEF. PV : .000186 AMBIENT : 15.0

*** PREVIOUS METER FACTOR DATA ***
TEMP.DEG.C : 0.0 FLOWRATE M3/HR : 0.00 DATE : 00/00/00
DENSITY@15C : 0.0 PRESS KG/CM2 : 0.0 METER FACTOR:0.0000

| RUN # | PASS #1 | TOTAL PULSES | INTERP. PULSES | TFMP SECONDS | TDVOL SECONDS | FLOWRATE GR. M3/HR | METER UNIT | | PROVER UNIT | | DENSITY @ 15 C |
|---------------|---------|--------------|----------------|--------------|---------------|--------------------|-------------|---------------|-------------|---------------|----------------|
| | | | | | | | TEMP. DEG.C | PRESS. KG/CM2 | TEMP. DEG.C | PRESS. KG/CM2 | |
| 1 | 4284 | 4284 | 535.658 | 2.85036 | 2.84854 | 5419.02 | 35.0 | 30.0 | 60.0 | 45.0 | 680.0 |
| 2 | 4140 | 4140 | 536.975 | 2.98923 | 2.99077 | 5418.97 | 35.0 | 30.0 | 60.0 | 45.0 | 680.0 |
| 3 | 4176 | 4176 | 546.984 | 2.79638 | 2.68765 | 5419.11 | 35.0 | 30.0 | 60.0 | 45.0 | 680.0 |
| 4 | 5337 | 5337 | 573.763 | 2.89572 | 2.73672 | 5418.70 | 35.0 | 30.0 | 60.0 | 45.0 | 680.0 |
| 5 | 3918 | 3918 | 584.967 | 2.69586 | 2.98764 | 5418.81 | 35.0 | 30.0 | 60.0 | 45.0 | 680.0 |
| ===AVERAGE=== | | 4371.0 | 554.693 | 2.74536 | 2.89573 | 5418.92 | 35.0 | 30.0 | 60.0 | 45.0 | 680.0 |

*** CALCULATION DATA FOR RUN AVERAGE ***

A. PROVER VOLUME AT 60 DEG.C AND 0 BAR. M3 ----- 5.00000
B. PROVER TEMP. CORRECTION FACTOR, (CTSP) ----- 1.000837
C. PROVER PRESSURE CORRECTION FACTOR, (CPSP) ----- 1.000009
D. CORRECTION FACTOR FOR TEMP. OF THE LIQUID IN THE PROVER, (CTLP) -- .939312
E. CORRECTION FACTOR FOR PRES. OF THE LIQUID IN THE PROVER, (CPLP) -- 1.010343
F. CORRECTED VOLUME OF THE LIQUID IN THE PROVER, (A*B*C*D*E) M3 ----- 4.74915
G. TOTAL AVERAGE METER PULSES COUNTED ----- 4371.0
H. K FACTOR PULSES/M3 ----- 500.000000
I. GROSS METER VOLUME (G/H), M3 ----- 8.74200
J. TEMP. CORRECTION FOR THE LIQUID IN THE METER, (CTLM) ----- .973244
K. PRESSURE CORRECTION FOR THE LIQUID IN THE METER, (CPLM) ----- 1.005435
L. CORRECTED METER VOLUME, (I*J*K), M3 ----- 8.55434
M. CALCULATED METER FACTOR, (F/L) ----- .5552
N. AVERAGE FLOWMETER FREQUENCY DURING PROVE ----- 752
O. INTERPOLATED LINEARIZING FACTOR ----- .8500
P. METER FACTOR, (M/O) ----- .6532
DEVIATION FROM PREVIOUS MF = 23.15%
AUTOMATIC METER FACTOR CHANGE IS IMPLEMENTED

ADDITIONAL COMMENTS:

WITNESSED BY -----

รูปที่ 2.30 แสดงตัวอย่างรายงานการสอบเทียบ (Prover Report) มาตรวัดการไหล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

หลักการคำนวณหาค่าปริมาณการไหล

การแสดงค่าปริมาณการไหลสามารถแบ่งออกเป็น 2 ลักษณะ คือ อัตราการไหล (Flowrate) เป็นการแสดงค่าปริมาณการไหลของของไหลต่อหนึ่งหน่วยเวลาที่กำหนด เช่น ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง เมตริกตันต่อชั่วโมง กิโลกรัมต่อนาที แกลลอนต่อนาที เป็นต้น และปริมาณการไหลรวมทั้งหมด (Flow Totalizer) เป็นการแสดงค่าปริมาณการไหลของของไหลทั้งหมด ที่ไหลผ่านมาตรวัดการไหล เช่น กิโลกรัม ลิตร เมตริกตัน ลูกบาศก์เมตร เป็นต้น จะเห็นว่าการวัดปริมาณการไหลอาจจะอยู่ในรูปของมวล (Mass) หรือ ปริมาตร (Volume) ก็ได้ ขึ้นอยู่กับชนิดของมาตรวัดการไหล สำหรับสมการที่ใช้คำนวณเพื่อแสดงค่าปริมาณการไหลจะมีทั้งของไหลที่อยู่ในสถานะไอ (Vapour) และของเหลว (Liquid) ซึ่งจะมีรูปแบบและวิธีการคำนวณที่แตกต่างกัน

3.1 คำจำกัดความและตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการคำนวณ

3.1.1 Gross Flowrate : Q_g

Gross Flowrate คือ อัตราการไหลซึ่งเป็นตัวบ่งบอกปริมาณแบบหยาบของการไหลต่อหน่วยเวลาที่กำหนด ได้จากการนำค่าสัญญาณความถี่จากมาตรวัดการไหล (Flow Meter) มาคูณด้วยหน่วยเวลาที่ต้องการแล้วหารด้วยตัวคูณคงที่ประจำตัวของมาตรวัด (Nominal K-Factor) จะได้เป็นปริมาตรการไหลต่อหน่วยเวลา ซึ่งยังไม่ชดเชยการเปลี่ยนแปลงทางด้านอุณหภูมิและความดันของของไหล [1,2]

3.1.2 Net Flowrate : Q_n

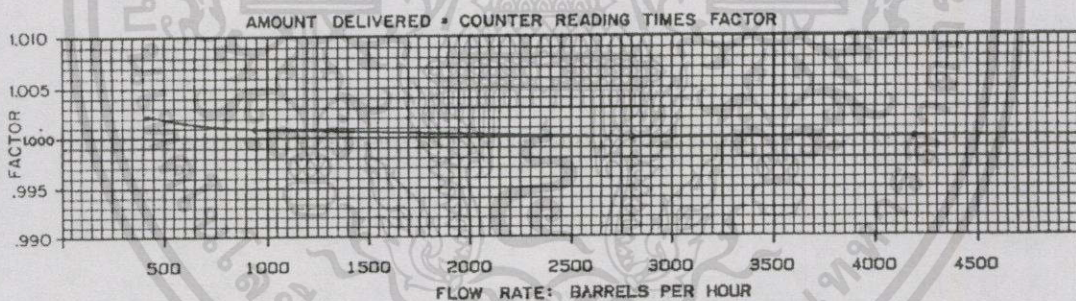
Net Flowrate คือ อัตราการไหลซึ่งเป็นตัวบ่งบอกค่าปริมาตรชดเชยของการไหลต่อหน่วยเวลาที่กำหนด ได้จากการนำค่า Gross Flowrate มาคำนวณชดเชยการเปลี่ยนแปลงปริมาตรอันเนื่องมาจากอุณหภูมิและความดันของของไหล แล้วคูณด้วยตัวคูณเชิงเส้นและตัวคูณมาตรวัด [1,2]

3.1.3 Mass Flowrate : Q_m

Mass Flowrate คือ อัตราการไหลซึ่งเป็นตัวบ่งบอกค่าของมวลการไหลต่อหน่วยเวลาที่กำหนด ได้จากการนำค่า Gross Flowrate มาคูณด้วยค่าความหนาแน่นของของไหลคูณด้วยตัวคูณเชิงเส้นและตัวคูณมาตรวัด [1,2]

3.1.4 ตัวคูณเชิงเส้น (Linear Factor) : L_F

ตัวคูณเชิงเส้น คือ ตัวแปรที่ใช้เป็นตัวคูณปรับแก้ค่าความผิดพลาดจากการวัดของมาตรวัดการไหล เพื่อใช้มาตรวัดการไหลมีการทำงานที่เป็นเชิงเส้นตลอดย่านการใช้งาน จากเส้นกราฟแสดงสมรรถนะของมาตรวัด (Meter Performance Curve) ในรูปที่ 3.1 จะเห็นว่ามาตรวัดมีเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดที่ไม่คงที่ตลอดย่านการทำงาน การเปลี่ยนแปลงขึ้นอยู่กับการใช้งานที่อัตราการไหลค่าต่างๆ ซึ่งเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดนี้เราสามารถหาได้โดยการสอบเทียบมาตรวัดด้วยตัวสอบเทียบ (Prover) แบบต่างๆ แล้วนำค่าที่ได้มาปรับแก้ค่าผิดพลาดบนเส้นกราฟตัวคูณความเป็นเชิงเส้น (Linear Curve) เพื่อให้มาตรวัดมีการทำงานที่เป็นเชิงเส้นตลอดย่านการใช้งาน เครื่องคำนวณปริมาณการไหลจะสามารถรับค่าตัวคูณเชิงเส้นได้หลายค่า แล้วเลือกใช้ค่าที่เหมาะสมกับอัตราการไหลโดยใช้วิธีการคำนวณประมาณค่า (Interpolated) จากตัวคูณเชิงเส้นแต่ละจุดที่เราใส่เข้าไป การหาค่าตัวคูณเชิงเส้นในแต่ละจุดบนกราฟจะใช้วิธีการเดียวกับการหาค่าตัวคูณมาตรวัด (Meter Factor) ที่จะกล่าวถึงต่อไป ตัวสอบเทียบที่นิยมใช้งานกันอย่างแพร่หลายในปัจจุบันจะเป็นแบบ Compact Prover เพราะการใช้งานสะดวกสามารถสอบเทียบแบบออนไลน์ได้ คือ สามารถทำการสอบเทียบมาตรวัดได้ทันทีโดยไม่ต้องหยุดระบบการผลิตในการเชื่อมต่อตัวสอบเทียบ และขณะทำการสอบเทียบไม่ส่งผลกระทบต่อกระบวนการควบคุมอัตราการไหลในระบบการผลิต [1,2]



รูปที่ 3.1 แสดงเส้นกราฟแสดงสมรรถนะของมาตรวัดตลอดช่วงการใช้งาน

3.1.5 ตัวคูณมาตรวัด (Meter Factor) : M_F

ตัวคูณมาตรวัดเป็นตัวแปรที่ใช้เป็นตัวคูณปรับแก้ค่าความผิดพลาดจากการคำนวณปริมาณการไหลหลังจากป้อนค่าตัวคูณเชิงเส้นที่ใช้ปรับแก้ค่าความผิดพลาดของมาตรวัดแล้ว โดยจะป้อนค่าได้เพียงค่าเดียว การใช้งานตัวคูณมาตรวัดจะเสมือนเป็นการยกเส้นกราฟของตัวคูณเชิงเส้นบนกราฟสมรรถนะของมาตรวัดที่บันทึกในเครื่องคำนวณปริมาณการไหล ตัวคูณมาตรวัดเป็นอัตราส่วนระหว่างปริมาณจริงที่อ่านได้จากตัวสอบเทียบมาตรวัด (Prover) กับปริมาณที่อ่านได้จากเครื่องคำนวณปริมาณการไหล ดังสมการ (3.1) [1,2]

$$\text{Meter Factor} = \frac{\text{Pr over Volume Reading}}{\text{Meter Volume Reading}} \quad (3.1)$$

3.2 การคำนวณปริมาณการไหลในสถานะของเหลว

การคำนวณปริมาณการไหลสำหรับของเหลวมีหลักการคำนวณตามสมการดังนี้ [1,2]

อัตราการไหลเชิงปริมาตรที่สถานะการไหล (Flowing Condition) : Q_V มีหน่วยเป็นลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง (m^3/Hr) หาได้จากสมการ (3.2)

$$Q_V = \frac{f_{Hz}}{K_F} * 3600 \quad (3.2)$$

โดยที่ f_{Hz} คือ สัญญาณความถี่จากมาตรวัดการไหล มีหน่วยเป็นเฮิรต (Hz)

K_F คือ ค่าตัวคูณประจำตัวของมาตรวัด (Nominal K-Factor) มีหน่วยเป็นพัลส์ต่อลูกบาศก์เมตร (Pulses/ m^3)

อัตราการไหลเชิงปริมาตรสุทธิที่สถานะฐาน (Base Conditions) : Q_b มีหน่วยเป็นลูกบาศก์เมตรสุทธิต่อชั่วโมง (Nm^3/Hr) หาได้จากสมการ (3.3) ยกเว้นการคำนวณของโพรไฟลิน

$$Q_b = Q_V * V_{CF} * C_{PL} * M_F * L_F \quad (3.3)$$

โดยที่ L_F คือ ตัวคูณเชิงเส้น (Linear Factor) ไม่มีหน่วย

M_F คือ ตัวคูณมาตรวัด (Meter Factor) ไม่มีหน่วย

V_{CF} คือ ตัวคูณชดเชยปริมาตร (Volume Correction Factor) อ้างอิงตาม ASTM D1250 หาได้จากสมการ (3.4) ไม่มีหน่วย

C_{PL} คือ การชดเชยความดันของของเหลว (Correction for Pressure on Liquid) หาได้จากสมการ (3.8) ไม่มีหน่วย

$$V_{CF} = e(-\alpha_{T_r} * \Delta T * (1 + 0.8 * \alpha_{T_r} * \Delta T)) \quad (3.4)$$

โดยที่ α_{T_r} คือ การชดเชยของการขยายตัวที่อุณหภูมิอ้างอิง (Correction of Expansion at Reference Temperature) หาได้จากสมการ (3.6)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ΔT คือ ความแตกต่างของอุณหภูมิจริงกับอุณหภูมิอ้างอิง หาได้จากสมการ (3.5) มีหน่วยเป็นองศาเซลเซียส ($^{\circ}\text{C}$)

$$\Delta T = T_a - T_r \quad (3.5)$$

เมื่อ T_a คือ อุณหภูมิจริง มีหน่วยเป็นองศาเซลเซียส ($^{\circ}\text{C}$)

T_r คือ อุณหภูมิอ้างอิง มีหน่วยเป็นองศาเซลเซียส ($^{\circ}\text{C}$)

$$\alpha T_r = \frac{K_0 + (K_1 * RHO_{Tr})}{(RHO_{Tr})^2} \quad (3.6)$$

โดยที่ RHO_{Tr} คือ ค่าความหนาแน่นของของเหลวที่อุณหภูมิอ้างอิง 15°C มีหน่วยเป็นกิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (Kg/m^3)

K_0 และ K_1 คือ ค่าคงที่ทางฟิสิกส์ ได้มาจากข้อมูลในทางคณิตศาสตร์ ในคู่มือเอพีไอเกี่ยวกับมาตรฐานการวัดในปิโตรเลียมกำหนดค่าไว้ดังนี้

ตาราง 54 A ชนิดผลิตภัณฑ์ : น้ำมันดิบ (Crude Oil)
ความหนาแน่น : 610.5 ถึง 1,075 Kg/m^3
 $K_0 = 613.9723$ $K_1 = 0.0$

ตาราง 54 B ชนิดผลิตภัณฑ์ : น้ำมันเชื้อเพลิง (Fuel oil)
ความหนาแน่น : 893 ถึง 1,075 Kg/m^3
 $K_0 = 186.9696$ $K_1 = 0.4862$

ตาราง 54 B ชนิดผลิตภัณฑ์ : กลุ่มเจ็ท (Jet Group)
ความหนาแน่น : 788 ถึง 838.5 Kg/m^3
 $K_0 = 594.5418$ $K_1 = 0.0$

ตาราง 54 B ชนิดผลิตภัณฑ์ : แก๊สโซลีน (Gasolines)
ความหนาแน่น : 653 ถึง 771 Kg/m^3
 $K_0 = 346.4228$ $K_1 = 0.4388$

ตาราง 54 B ชนิดผลิตภัณฑ์ : ระหว่างเจ็ทและแก๊สโซลีน
ความหนาแน่น : 770.5 ถึง 787.5 Kg/m^3
 $A = -0.00336312$ $B = 2680.3206$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีกรนำไปใช้

ถ้าผลิตภัณฑ์ (Product) มีความหนาแน่นอยู่ระหว่างกลุ่มเจ็ทและกลุ่มแก๊สโซลีนสมการ (3.6) จะกลายเป็นสมการ (3.7) คือ

$$\alpha T_r = \frac{A+B}{(RHO_{Tr})^2} \quad (3.7)$$

การชดเชยความดันของของเหลว (Correction for Pressure on Liquid) หาได้จากสมการดังนี้

$$C_{PL} = \frac{1}{1 - (P - P_v) * F} \quad (3.8)$$

โดยที่ P คือ ความดันการไหล มีหน่วยเป็นกิโลปาสกาลเกจ (Kpa_g)

P_v คือ ความดันสมดุลไอ (Equilibrium Vapour Pressure) ซึ่งเป็นการคำนวณจากความสัมพันธ์พัฒนาโดย Dr.R.W. Hankinson et al ของบริษัทปิโตรเลียมฟิลิปปินส์ สำหรับบริษัทที่เป็นสมาชิกของ GPA และตีพิมพ์เป็น GPA Technical Publication No.15 สำหรับย่านอุณหภูมิ : -46°C ถึง 60°C ย่านความหนาแน่น : 490 ถึง 676 kg/m³

F คือ ตัวคูณความสามารถอัดตัวได้ (Compressibility Factor) สำหรับไฮโดรคาร์บอน โดยใช้คู่มือเอพีไอ ตอนที่ 11.2.1M สำหรับน้ำมันดิบ (ความหนาแน่น 638 ถึง 1,075 Kg/m³ อุณหภูมิ -30°C ถึง 90°C) โดยใช้คู่มือเอพีไอ ตอนที่ 11.2.2M สำหรับผลิตภัณฑ์ไฮโดรคาร์บอน (ความหนาแน่น 350 ถึง 637 Kg/m³ อุณหภูมิ -46°C ถึง 60°C)

การคำนวณอัตราการไหลเชิงปริมาตรสุทธิที่สภาวะฐาน (Base Conditions) : Q_b ของโพรโพลีนมีหน่วยเป็นลูกบาศก์เมตรมาตรฐานต่อชั่วโมง (SCm/Hr) สามารถคำนวณได้จากสมการดังนี้

$$Q_b = Q_v * C_{CF} * M_F * L_F \quad (3.9)$$

โดยที่ C_{CF} คือตัวคูณผลรวมการชดเชย (Combine Correction Factor) เป็นอัตราส่วนระหว่างความหนาแน่นที่สภาวะการไหลกับความหนาแน่นที่อุณหภูมิ 15 °C และความดันอิมิตัว สามารถหาได้จากสมการ (3.10)

$$C_{CF} = \frac{\rho_f}{\rho_b} \quad (3.10)$$

เมื่อ ρ_f คือ ความหนาแน่นของไหลที่สภาวะการไหล (อุณหภูมิและความดันจริง) มีหน่วยเป็นกิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (Kg/m^3)

ρ_b คือ ความหนาแน่นของไหลที่สภาวะฐาน (อุณหภูมิและความดันอ้างอิง/มาตรฐาน) มีหน่วยเป็นกิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (Kg/m^3)

ความหนาแน่นของไหลที่สภาวะฐานเป็นความหนาแน่นในขณะที่ของไหลอยู่ที่อุณหภูมิ 15°C และความดันสมดุล (Equilibrium Pressure)

การคำนวณหาความหนาแน่นของไหลที่สภาวะการไหล (Flowing Density) จะคำนวณจากความดันและอุณหภูมิจริงของของไหลที่วัดได้ในขณะใช้งาน โดยใช้คู่มือเอพีไอตอนที่ 11.3.3.2 ตัวอย่างค่าความหนาแน่นที่คำนวณได้ดังตารางที่ 3.1 [15]

ตารางที่ 3.1 แสดงตัวอย่างการคำนวณความหนาแน่นของโพรโพลีนโดยใช้คู่มือเอพีไอ

| PRESSURE (Kg/cm^2) | TEMPERATURE ($^\circ\text{C}$) | | | | | | | | |
|----------------------------------|----------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | 32 | 33 |
| 25 | 511.0 | 509.2 | 507.5 | 505.7 | 503.9 | 502.1 | 500.3 | 498.4 | 496.5 |
| 26 | 511.3 | 509.6 | 507.8 | 506.0 | 504.2 | 502.4 | 500.6 | 498.8 | 496.9 |
| 27 | 511.6 | 509.9 | 508.1 | 506.4 | 504.6 | 502.8 | 501.0 | 499.1 | 497.3 |
| 28 | 511.9 | 510.2 | 508.4 | 506.7 | 504.9 | 503.1 | 501.3 | 499.5 | 497.6 |
| 29 | 512.2 | 510.5 | 508.8 | 507.0 | 505.2 | 503.5 | 501.7 | 499.8 | 498.0 |
| 30 | 512.5 | 510.8 | 509.1 | 507.3 | 505.6 | 503.8 | 502.0 | 500.2 | 498.4 |
| 31 | 512.8 | 511.1 | 509.4 | 507.7 | 505.9 | 504.1 | 502.3 | 500.5 | 498.7 |
| 32 | 513.1 | 511.4 | 509.7 | 508.0 | 506.2 | 504.5 | 502.7 | 500.9 | 499.1 |
| 33 | 513.4 | 511.7 | 510.0 | 508.3 | 506.5 | 504.8 | 503.0 | 501.2 | 499.4 |

อัตราการไหลเชิงมวลที่สภาวะการไหล (Flowing Condition) : Q_m ของโพรโพลีน มีหน่วยเป็นกิโลกรัมต่อชั่วโมง (Kg/Hr) หาได้จากสมการ (3.11)

$$Q_m = Q_v * \rho_f * L_F * M_F \quad (3.11)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัตราการไหลเชิงมวลที่สภาวะการไหล (Flowing Condition) : Q_m ของไหล มีหน่วยเป็นตันต่อชั่วโมง (ton/Hr) หาได้จากสมการ (3.12) ยกเว้นการคำนวณของโพไฟลีน

$$Q_m = Q_v * \frac{\rho_f}{1000} * M_F * L_F \tag{3.12}$$

ถ้าไม่มีการนำค่าความหนาแน่นที่วัดมาคำนวณสมการ (3.12) จะกลายเป็นสมการ (3.13)

$$Q_m = Q_b * \frac{\rho_b}{1000} \tag{3.13}$$

การคำนวณปริมาณการไหลรวมทั้งหมด (Flow Totalizer) ดังสมการ (3.14)

$$Q_t = Q_{(t-1)} + \frac{Q_x}{3600} \tag{3.14}$$

โดยที่ Q_t คือ ปริมาณการไหลรวมทั้งหมดของของไหลที่ผ่านมาตรวัดการไหล ซึ่งจะคำนวณแล้วแสดงค่าบนเครื่องคำนวณปริมาณการไหล มีหน่วยเป็น ลูกบาศก์เมตร หรือลูกบาศก์เมตรสุทธิ หรือตัน หรือกิโลกรัม ขึ้นอยู่กับหน่วยของ Q_x

$Q_{(t-1)}$ คือ ค่าสุดท้ายของปริมาณการไหลรวมทั้งหมดก่อนหน้าค่าล่าสุด 1 วินาที

Q_x คือ ค่าของอัตราการไหลในแต่ละรูปแบบที่นำมาคำนวณหาปริมาณการไหลรวมทั้งหมดประกอบด้วย อัตราการไหลเชิงปริมาตรแบบหยาบ (Gross Flowrate) อัตราการไหลเชิงปริมาตรสุทธิ (Net Flowrate) และอัตราการไหลเชิงมวล (Mass Flowrate) ซึ่งมีหน่วยเวลาที่ใช้คือ ชั่วโมง

3.3 การคำนวณปริมาณการไหลในสภาวะไอ

การคำนวณการไหลสำหรับของไหลในสภาวะไอมิหลักการคำนวณตามสมการดังนี้ [1,2]

อัตราการไหลเชิงปริมาตรที่สภาวะการไหล (Flowing Conditon) : Q_v มีหน่วยเป็นลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง (m^3/Hr) หาได้จากสมการ (3.15)

$$Q_v = \frac{f_{Hz}}{K_F} * 3600 \tag{3.15}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัตราการไหลเชิงมวลที่สภาวะการไหล (Flowing Condition) : Q_m มีหน่วยเป็นตันต่อชั่วโมง (ton/Hr) หาได้จากสมการ (3.16)

$$Q_m = \frac{Q_v * \rho_f * M_F * L_F}{1000} \quad (3.16)$$

อัตราการไหลเชิงปริมาตรสุทธิที่สภาวะฐาน (Base Condition) : Q_b มีหน่วยเป็นลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง (m^3 /Hr) หาได้จากสมการ (3.17)

$$Q_b = Q_v * \frac{\rho_f}{\rho_b} * M_F * L_F \quad (3.17)$$

อัตราการไหลเชิงพลังงานที่สภาวะฐาน (Base Condition) : Q_e มีหน่วยเป็นกิกะจูลน์ต่อชั่วโมง (GJ/Hr) หาได้จากสมการ (3.18)

$$Q_e = \frac{(Q_b * HV)}{1000} \quad (3.18)$$

การคำนวณปริมาณการไหลรวมทั้งหมด (Flow Totalizers) ดังสมการ (3.19)

$$Q_t = Q_{(i-1)} + \frac{Q_i}{3600} \quad (3.19)$$

คำนิยามของตัวแปรในสมการ (3.15) ถึงสมการ (3.19) มีดังนี้

Q_v คือ อัตราการไหลเชิงปริมาตรแบบหยวนที่สภาวะการไหล สำหรับมาตรวัดการไหลแก๊สแบบเทอร์ไบน์ มีหน่วยเป็นลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง (m^3 /Hr)

Q_m คือ อัตราการไหลเชิงมวลที่สภาวะการไหล สำหรับมาตรวัดการไหลแก๊สแบบเทอร์ไบน์ มีหน่วยเป็นตันต่อชั่วโมง (ton/Hr)

Q_b คือ อัตราการไหลเชิงปริมาตรสุทธิที่สภาวะฐาน สำหรับมาตรวัดการไหลแก๊สแบบเทอร์ไบน์ มีหน่วยเป็นลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง (m^3 /Hr)

Q_e คือ อัตราการไหลพลังงานที่สภาวะฐาน (มาตรฐาน/อ้างอิง) สำหรับมาตรวัดการไหลแก๊สแบบเทอร์ไบน์ มีหน่วยเป็นกิกะจูลน์ต่อชั่วโมง (GJ/Hr)

Q_t คือ ปริมาณการไหลรวมทั้งหมดของของไหลที่ผ่านมาตรวัดการไหล หน่วยของปริมาณจะเป็นหน่วยตามรูปแบบของอัตราการไหลที่นำมาคำนวณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$Q_{(i-1)}$ คือ ค่าสุดท้ายของปริมาณการไหลรวมทั้งหมดก่อนหน้าค่าล่าสุด 1 วินาที

Q_x คือ รูปแบบของอัตราการไหลที่ต้องการคำนวณหาปริมาณการไหลรวมทั้งหมด

f_{Hz} คือ สัญญาณความถี่จากมาตรวัดการไหล มีหน่วยเป็นเฮิร์ต (Hz)

ρ_l คือ ความหนาแน่นการไหลที่สภาวะการไหล (อุณหภูมิและความดันจริง) มีหน่วยเป็น กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (Kg/m^3)

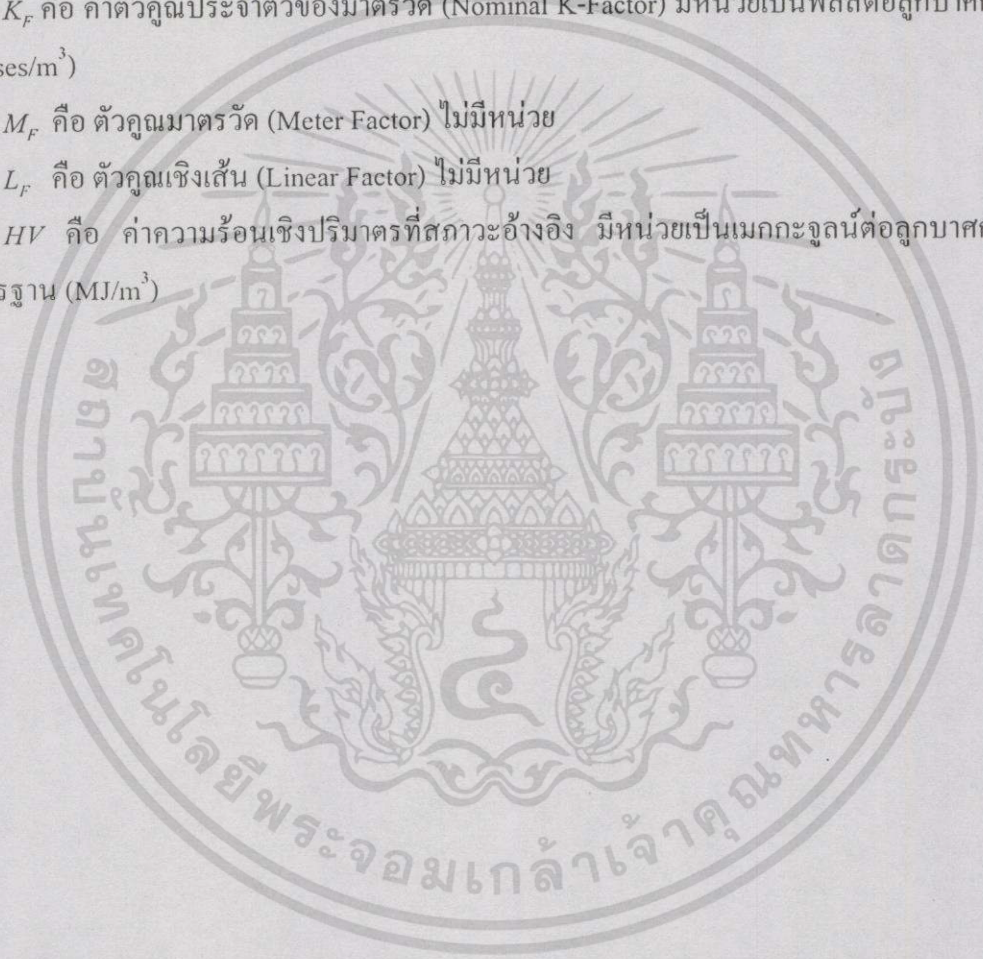
ρ_b คือ ความหนาแน่นการไหลที่สภาวะฐาน (อุณหภูมิและความดันมาตรฐาน/อ้างอิง) มีหน่วยเป็น กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (Kg/m^3)

K_F คือ ค่าตัวคูณประจำตัวของมาตรวัด (Nominal K-Factor) มีหน่วยเป็นพัลส์ต่อลูกบาศก์เมตร (Pulses/m^3)

M_F คือ ตัวคูณมาตรวัด (Meter Factor) ไม่มีหน่วย

L_F คือ ตัวคูณเชิงเส้น (Linear Factor) ไม่มีหน่วย

HV คือ ค่าความร้อนเชิงปริมาตรที่สภาวะอ้างอิง มีหน่วยเป็นเมกะจูลต่อลูกบาศก์เมตร มาตรฐาน (MJ/m^3)



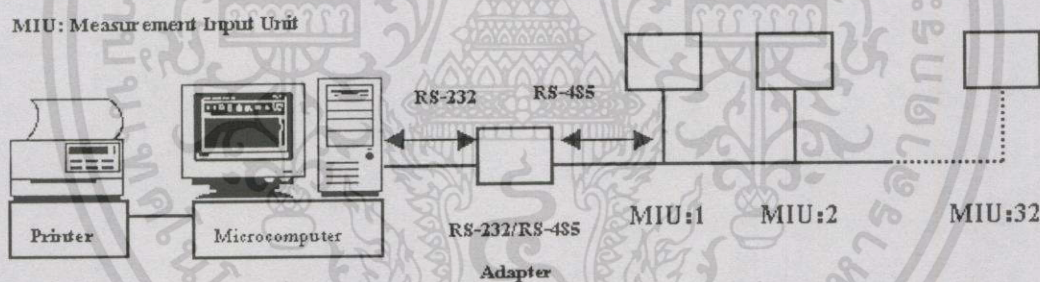
บทที่ 4

หลักการงานของเครื่องคำนวณปริมาณการไหลแบบเครือข่าย

โครงสร้างของเครื่องคำนวณปริมาณการไหลแบบเครือข่ายที่นำเสนอในงานวิจัยฉบับนี้จะประกอบด้วยส่วนหลัก 2 ส่วน ได้แก่ [16]

1. ไมโครคอมพิวเตอร์ (Microcomputer) จะทำหน้าที่คำนวณหาค่าปริมาณการไหลโดยรับค่าตัวแปรการวัดต่างๆ จากหน่วยการวัดสัญญาณอินพุตผ่านระบบเครือข่ายของบัสอนุกรมแล้วแสดงผลการวัดและคำนวณที่ได้ในรูปกราฟฟิคบนจอมอนิเตอร์ โดยสามารถพิมพ์เป็นรายงานการวัดออกทางเครื่องพิมพ์

2. หน่วยการวัดสัญญาณอินพุต (Measurement Input Unit) จะทำหน้าที่รับค่าสัญญาณการวัดต่างๆ จากทรานสมิตเตอร์ คือ อุณหภูมิ ความดัน ความหนาแน่น และอัตราการไหล ซึ่งเป็นสัญญาณอนาลอกมาทำการแปลงให้เป็นสัญญาณดิจิทัลในรูปของกลุ่มข้อมูล (Data Package) เพื่อส่งค่าให้แก่ไมโครคอมพิวเตอร์ผ่านระบบบัสอนุกรม



รูปที่ 4.1 แสดงโครงสร้างของเครื่องคำนวณปริมาณการไหลแบบเครือข่าย

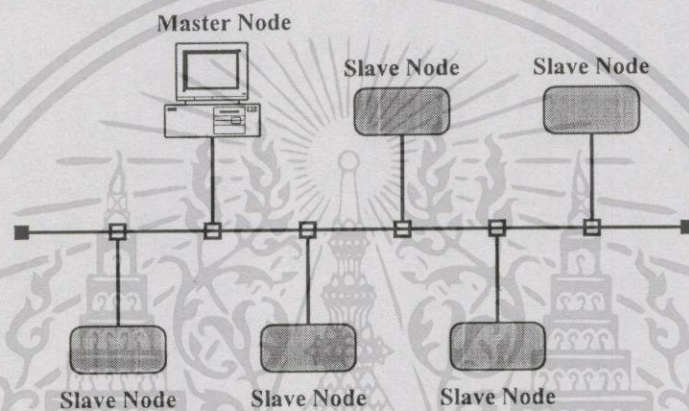
การเชื่อมต่อเครือข่ายของหน่วยวัดสัญญาณอินพุตที่ติดตั้งในกระบวนการผลิตของโรงงานจะเป็นแบบบัส ทำให้มีจุดวัดที่ส่งค่าตัวแปรการวัดมาคำนวณปริมาณการไหลได้สูงสุดถึง 32 จุดวัด ซึ่งเป็นข้อจำกัดที่ยอมรับได้ของ RS-485 ในคู่สายสัญญาณ 1 คู่

4.1 การสื่อสารข้อมูลของเครือข่าย

หลักการของเน็ตเวิร์คจะต้องประกอบด้วย โครงสร้างการเชื่อมต่อในส่วนของฮาร์ดแวร์ที่จะเชื่อมโยงเข้าเป็นเน็ตเวิร์ค และหลักการของซอฟต์แวร์ที่จะควบคุมในการสื่อสารข้อมูลได้อย่างถูกต้อง ทั้งทางด้านความรวดเร็วของการทำงานและความแม่นยำของการสื่อสารข้อมูล [17]

4.1.1 โครงข่ายของระบบเน็ตเวิร์ค

คำว่า โทโปโลยี (Topology) เป็นคำศัพท์ที่ใช้ในเรื่องระบบเน็ตเวิร์ค ซึ่งหมายถึง รูปร่างของเน็ตเวิร์ค ที่พิจารณาจากการลากเส้นมาต่อร่วมกันเป็นกิ่งก้านหรือรูปแบบของเน็ตเวิร์ค และหากเน้นด้วยคอมพิวเตอร์เน็ตเวิร์ค จะหมายถึง รูปโครงการเชื่อมต่อ โดยให้คอมพิวเตอร์เสมือนเป็นสถานีสายส่ง คือเส้นต่อของสถานี โดยในที่นี้จะกำหนดเป็นระบบเครือข่ายของการวัดการไหลในโรงงานอุตสาหกรรม โครงข่ายของระบบเน็ตเวิร์คที่นำเสนอในงานวิจัยนี้จะใช้โทโปโลยีแบบบัส (Bus Topology) ตามรูปที่ 4.2 [18]



รูปที่ 4.2 แสดงโทโปโลยีแบบบัส (Bus Topology)

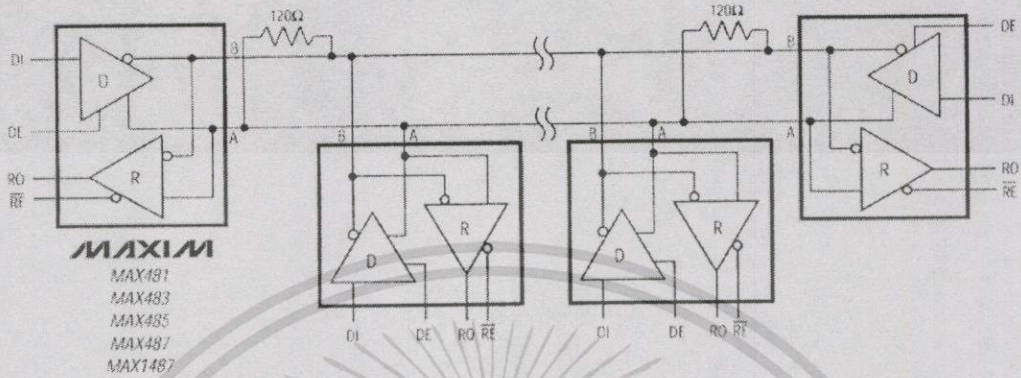
การสื่อสารในสายนำสัญญาณของเครือข่ายจะเป็นการสื่อสารข้อมูลแบบสองทิศทางคนละเวลา (Half duplex) โดยจะทำการส่งในลักษณะของการผลัดกันรับและส่ง โดยในขณะเวลาหนึ่งสัญญาณจะไปได้ในทิศทางเดียวกันเท่านั้น ดังนั้นอุปกรณ์แต่ละตัวที่จะเชื่อมต่อหรือสื่อสารข้อมูลในลักษณะนี้ จะต้องเป็นทั้งตัวรับและตัวส่ง ซึ่งมีชื่อเรียกว่า ทรานซีฟเวอร์ (Transceiver) และจะต้องมีวงจรเลือกว่า ณ เวลานั้นจะทำงานเป็นตัวรับหรือตัวส่ง

การสื่อสารข้อมูลบนบัสเครือข่ายจะเป็นการสื่อสารข้อมูลอนุกรมตามมาตรฐาน RS-485 วงจรของตัวขับสัญญาณเป็นแบบ 3 สถานะ (Tri state) ทำให้สามารถส่งข้อมูลได้สองทิศทางบนสายคู่เดียวและสามารถต่อเครือข่ายแบบมัลติดรอป (Multidrop)

การเลือกใช้มาตรฐาน RS-485 เนื่องจากการเชื่อมต่อตามมาตรฐาน RS-485 นั้นจะมีพื้นฐานอยู่บนการเชื่อมต่อเครือข่ายแบบบัส (Bus-type network) ซึ่งสามารถเชื่อมต่อได้หลายแบบ และสามารถที่จะเชื่อมต่อได้ถึง 32 จุด (จำกัดที่ยูนิตโหลดบนสายสัญญาณหนึ่งคู่) สามารถที่จะส่งข้อมูลได้สูงสุดถึง 10 Mbps และส่งข้อมูลได้ไกลที่สุดถึง 4,000 ฟุต (1,200 เมตร) สัญญาณรบกวนที่จะมีผลต่อการสื่อสารตามมาตรฐาน RS-485 มีน้อยมากถ้าเลือกอัตราเร็ว และระยะทางในการส่งข้อมูลให้เหมาะสม เนื่องจากตามมาตรฐาน RS-485 นั้น การสื่อสารจะเป็นแบบลูปกระแส (Current Loop)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

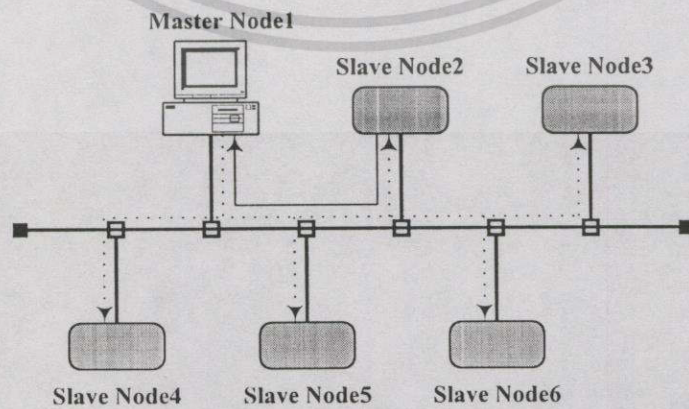
และใช้ความต่างศักย์ของคู่สายสัญญาณในการส่งข้อมูล ทำให้สามารถทนต่อสัญญาณรบกวนได้ดี โดยเฉพาะสัญญาณรบกวนในลักษณะของ Common-Mode Noise



รูปที่ 4.3 แสดงการเชื่อมต่อเครือข่ายตามมาตรฐาน RS-485

4.1.2 หลักการของโปรแกรมควบคุมการสื่อสารข้อมูล

วิธีการเข้าสู่ช่วงนำสัญญาณของโปรแกรมควบคุมการสื่อสารข้อมูลจะใช้การเข้าถึงแบบควบคุม (Controlled Access) หรือโพลลิ่งเทคนิค (Polling Technic) แบบ Centralized Polling เป็นการควบคุมการเข้าถึงช่องนำสัญญาณโดยโหนด (Node) ควบคุมศูนย์กลางในที่นี้คือ โหนดของไมโครคอมพิวเตอร์ ดังรูปที่ 4.4 โหนดแต่ละโหนดในเครือข่าย ต้องคอยรับสัญญาณอนุญาต จากโหนดศูนย์กลางแล้วส่งข้อมูลข่าวสารภายในเวลาที่อนุญาตแล้วคอยรับสัญญาณอนุญาตครั้งต่อไป โดยหลักการทำงานของโปรแกรมควบคุมการสื่อสารข้อมูลแสดงดังรูปที่ 4.5 จากรูปไมโครคอมพิวเตอร์จะส่งคำสั่งร้องขอ (Request Command) ให้หน่วยการวัดสัญญาณอินพุทที่ Slave Node 2 ส่งข้อมูลค่าการวัดที่เก็บไว้ในหน่วยความจำมายัง Master Node 1 จะเห็นว่า Slave Node 3-6 จะได้รับคำสั่งร้องขอเหมือนกันแต่ไม่ตรงกับตำแหน่ง (Address) บนบัสของตัวเองจึงไม่ส่งข้อมูลในหน่วยความจำให้ไมโครคอมพิวเตอร์



รูปที่ 4.4 แสดงการควบคุมการสื่อสารข้อมูลบนเครือข่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.3 โครงสร้างของกลุ่มข้อมูล (Data Package Structure)

โครงสร้างของกลุ่มข้อมูลที่ใช้ในการสื่อสารระหว่างไมโครคอมพิวเตอร์กับหน่วยการวัดสัญญาณอินพุต (Measurement Input Unit) เพื่อนำค่าตัวแปรอินพุตในกระบวนการผลิตของโรงงานอุตสาหกรรมที่วัดได้ส่งให้ไมโครคอมพิวเตอร์คำนวณหาค่าปริมาณการไหลที่จุดต่างๆ แสดงดังรูปที่ 4.5 [19]

| 1 Byte | 1 Byte | 1 Byte | 8 Byte | 2 Byte |
|----------------|---------------|---------------|--------------|----------|
| Source Address | Dest. Address | Function Code | Data Content | Checksum |

รูปที่ 4.5 แสดงรูปแบบของกลุ่มข้อมูล (Data Package) ที่ใช้ในการติดต่อสื่อสารบนเครือข่าย

ตำแหน่งต้นทาง (Source Address) คือ เป็นข้อมูลที่ระบุตำแหน่งต้นทางในเครือข่ายที่ส่งกลุ่มของข้อมูลออกมาประกอบด้วยข้อมูลจำนวน 1 ไบต์

ตำแหน่งปลายทาง (Source Address) คือ เป็นข้อมูลที่ระบุตำแหน่งปลายทางในเครือข่ายที่ต้องการติดต่อสื่อสารด้วยประกอบด้วยข้อมูลจำนวน 1 ไบต์

รหัสคำสั่ง (Function Code) คือ รหัสที่ใช้สั่งงานให้อุปกรณ์ในเครือข่ายที่ติดต่อด้วยทำงานตามต้องการประกอบด้วยข้อมูล 1 ไบต์

ข้อมูล (Data Content) คือ ข่าวสารข้อมูลที่ส่งไปให้อุปกรณ์ในเครือข่ายที่ต้องการติดต่อด้วยประกอบด้วยข้อมูลจำนวน 8 ไบต์ สำหรับการส่งค่าตัวแปรอินพุตที่วัดได้จากหน่วยการวัดสัญญาณอินพุตไปให้ไมโครคอมพิวเตอร์คำนวณปริมาณการไหลจะมีรูปแบบของกลุ่มข้อมูลดังนี้

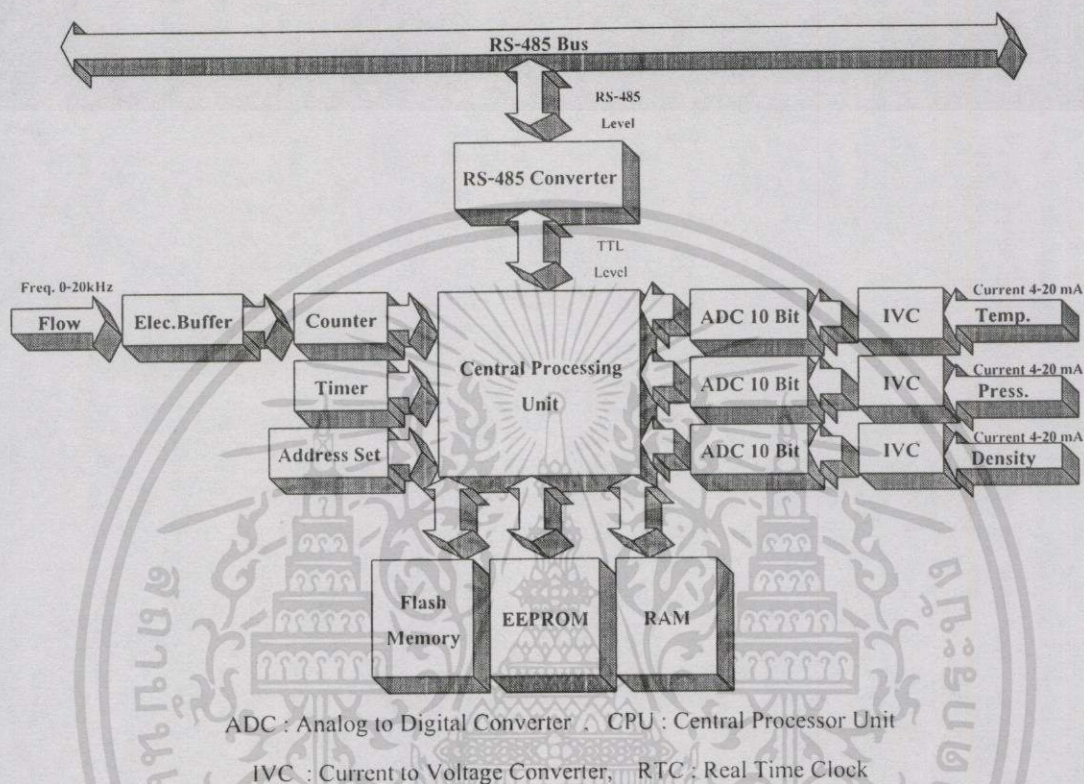
| 2 Byte | 2 Byte | 2 Byte | 2 Byte |
|----------------|-------------|----------------|---------------|
| Flowrate Value | Temp. Value | Pressure Value | Density Value |

รูปที่ 4.6 แสดงรูปแบบกลุ่มข้อมูลของตัวแปรอินพุตที่ส่งค่าให้ไมโครคอมพิวเตอร์

การตรวจสอบความผิดพลาด (Error Check) คือ การเข้ารหัสตรวจสอบความผิดพลาดของข้อมูลเพื่อเช็คความถูกต้องของข้อมูลที่ส่งไปยังปลายทางมีขนาด 2 ไบต์ ในงานวิจัยนี้จะใช้การเข้ารหัสตรวจสอบความผิดพลาดแบบ CRC (Cyclic Redundancy Check) Checksum

4.2 การทำงานของหน่วยการวัดสัญญาณอินพุต (Measurement Input Unit Principle)

โครงสร้างการทำงานของหน่วยการวัดสัญญาณอินพุตประกอบด้วยบล็อกไดอะแกรม แสดงดังรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 แสดงบล็อกไดอะแกรมของหน่วยการวัดสัญญาณอินพุต

การทำงานของหน่วยการวัดสัญญาณอินพุตจะใช้ตัวตั้งเวลา (Timer) เป็นตัวควบคุมการขัดจังหวะ (Interrupt) การทำงานในวงรอบปกติของหน่วยประมวลผลกลางให้ไปอ่านค่าอุณหภูมิ ความดัน ความหนาแน่น และความเร็วของการไหลที่ส่งมาจากทรานสมิตเตอร์ในทุกๆ 1 วินาที (ซึ่งเพียงพอกับมาตรฐานการวัดในโรงงานอุตสาหกรรม) ค่าของอุณหภูมิ ความดัน และความหนาแน่น ที่ส่งมาจากทรานสมิตเตอร์เป็นสัญญาณกระแสมาตรฐาน 4-20 mA จะผ่านวงจรแปลงกระแสเป็นแรงดัน (Current to Voltage Converter) ทำการแปลงกระแสที่รับมาจากอินพุต 4-20 mA เป็นแรงดันมาตรฐาน 1-5V ทางเอาต์พุตของวงจร หลังจากนั้นวงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัลขนาด 10 บิต จะแปลงค่าแรงดัน 1-5 V เป็นข้อมูลดิจิทัลขนาด 10 บิต เพื่อรอซีพียู อ่านค่าไปเก็บไว้ในหน่วยความจำ ส่วนค่าความเร็วการไหลที่ส่งมาจากทรานสมิตเตอร์จะอยู่ในรูปของพัลส์ที่ถี่ความถี่ 0-20 KHZ แรงดัน 12 Vp-pDC ป้อนผ่านวงจรอิเล็กทรอนิกส์บัฟเฟอร์ (Electronic Buffer) เพื่อปรับระดับแรงดันเป็นระดับที่ที่แอลขนาด 5 Vp-pDC ส่งให้ตัวนับพัลส์ (Counter) ขนาด 16 บิต นับจำนวนพัลส์ที่ส่งมาในช่วงเวลา 1 วินาที รอซีพียูอ่านค่าไปเก็บในหน่วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความจำต่อไป สวิตช์ตั้งตำแหน่งโหนด (Node) ใช้ตั้งตำแหน่งโหนดของหน่วยการวัดสัญญาณอินพุตที่อยู่ในเครือข่ายการวัดการไหล RS-485 คอนเวอร์เตอร์ (RS-485 Converter) ทำหน้าที่แปลงสัญญาณระหว่างระดับที่ที่แอลกับระดับ RS-485 เพื่อให้สามารถติดต่อสื่อสารกันในระบบเครือข่ายได้ หน่วยความจำประกอบด้วยหน่วยความจำแฟลชขนาด 8 Kbytes สำหรับเก็บโปรแกรมควบคุมการทำงาน หน่วยความจำแรม (RAM) ขนาด 512 ไบต์ สำหรับเก็บข้อมูลและตัวแปรการทำงาน หน่วยความจำอีอีพรอม (EEPROM) ขนาด 512 ไบต์ สำหรับเก็บข้อมูลและตัวแปรการทำงานบางตัว แบบไม่ต้องการไฟเลี้ยง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

การออกแบบและสร้างเครื่องคำนวณปริมาณการไหล แบบเครือข่าย

5.1 กล่าวนำ

เครื่องคำนวณปริมาณการไหลแบบเครือข่ายที่สร้างขึ้น ถูกออกแบบให้ทำงานด้วยการควบคุมหลักจากไมโครคอมพิวเตอร์ซึ่งต่อเป็นโหนดควบคุมหลัก (Master Node) อยู่บนเครือข่ายทำหน้าที่ควบคุมการทำงานในเครือข่ายการวัด หน่วยการวัดสัญญาณอินพุตต่อเป็นหน่วยควบคุมรอง (Slave Node) อยู่บนเครือข่ายทำหน้าที่รับค่าสัญญาณอินพุตจากการวัดจากอุปกรณ์เครื่องมือวัดแล้วส่งค่าให้ไมโครคอมพิวเตอร์ประมวลผล การออกแบบของหน่วยการวัดสัญญาณอินพุตจะใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นอุปกรณ์หลัก เนื่องจากไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นตัวประมวลผลที่มีอุปกรณ์สนับสนุนการทำงานหลายอย่างในตัวเอง ทำให้การใช้งานง่ายและไม่ต้องการเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ภายนอกเหมือนไมโครโปรเซสเซอร์ทั่วไป

ในการออกแบบฮาร์ดแวร์ได้กำหนดรายละเอียดทางเทคนิคของเครื่องคำนวณปริมาณการไหลแบบเครือข่าย ให้สอดคล้องกับเครื่องคำนวณปริมาณการไหลที่ใช้งานในกระบวนการวัดของโรงงานอุตสาหกรรม โดยกำหนดรายละเอียดทางเทคนิคไว้ดังนี้ [16]

- Input Frequency : 0 to 20 KHz ; Amplitude 12 Vdc. (Pulses from Flowmeter)
- Analog Input : 4 to 20 mAdc. ; for Temp. , Pressure , and Density Input Signal
- Analog to Digital Converter : 10 Bit Resolution
- Communication Baud Rate : 28.8 Kbps.

ส่วนการออกแบบและพัฒนาเกี่ยวกับโปรแกรมควบคุมการทำงานของระบบเครือข่ายและอุปกรณ์ในเครือข่ายจะแยกเป็น 2 ส่วนคือจะใช้การเขียนโปรแกรมภาษาเครื่อง (Assembly Language) สำหรับควบคุมการทำงานบนไมโครคอนโทรลเลอร์ของหน่วยวัดสัญญาณอินพุต และเขียนโปรแกรมโดยใช้ Visual Basic เวอร์ชัน 6 ซึ่งทำงานภายใต้ระบบปฏิบัติการวินโดวส์ 98 สำหรับแสดงผลการวัดและการคำนวณปริมาณการไหล บนจอมอนิเตอร์ของไมโครคอมพิวเตอร์

5.2 การออกแบบวงจรและเลือกสรรให้เหมาะสม

เมื่อได้แนวความคิดเกี่ยวกับการทำงานของระบบโดยรวมแล้วในส่วนของ การออกแบบทางด้านฮาร์ดแวร์ที่จะกล่าวถึงก็คือวงจรที่ทำหน้าที่ในแต่ละส่วนของระบบ ซึ่งมีหลักการพิจารณาเพื่อออกแบบเลือกสรรวงจรที่มีความเหมาะสมที่สุดในการใช้งานดังนี้คือ [20]

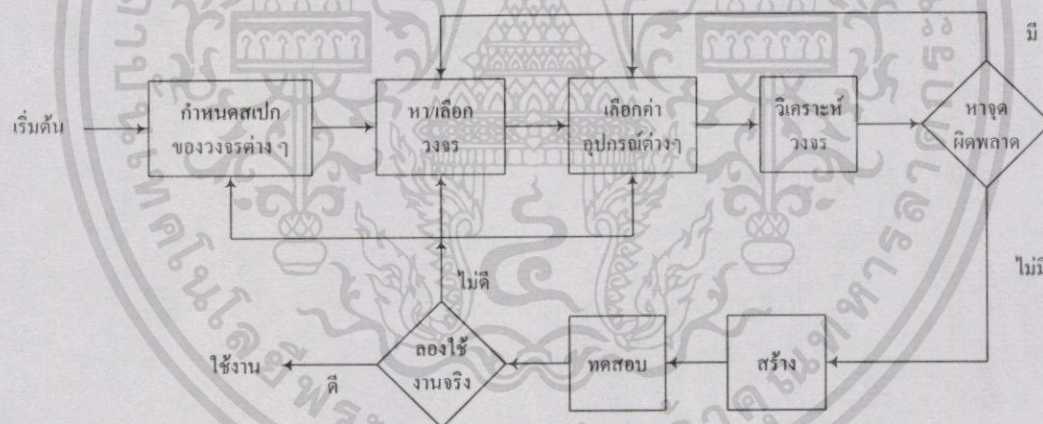
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. พิจารณาว่าวงจรที่ใช้ในแต่ละส่วนนั้น มีคุณสมบัติตรงตามความต้องการหรือไม่
2. เมื่อพบว่าในวงจรแต่ละส่วนทำงานได้ดี ต้องมาดูถึงการเชื่อมต่อ (Coupling) ระหว่างแต่ละวงจรว่าเมื่อเชื่อมต่อเข้าด้วยกันแล้ววงจรยังสามารถทำงานได้ตามปกติหรือไม่ อาจต้องมีการเพิ่มวงจรบัฟเฟอร์ (Buffer Circuit) หรือปรับเปลี่ยนวงจรหรือค่าของอุปกรณ์ จนสามารถใช้งานได้ ในขอบเขตที่ยอมรับได้

3. กรณีของวงจรสำเร็จที่นำมาใช้อาจมีสมการเพื่อคำนวณค่าอุปกรณ์บางตัวในวงจรในทางปฏิบัติคำตอบที่จะเลือกค่าอุปกรณ์นั้นควรมีเพียงค่าเดียวที่เหมาะสมที่สุด แต่ในทางคณิตศาสตร์สามารถมีได้หลายค่า เช่นวงจรขยายวงจรหนึ่ง ซึ่งมีอัตราขยายตามสมการนี้คือ $Gain = R_a / R_b$ หากต้องการอัตราขยายเท่ากับ 20 เท่าจะเลือกค่าความต้านทาน R_a และ R_b อย่างไรคำตอบก็มี เช่น $R_a = 200\text{ k}\Omega$ และ $R_b = 10\text{ k}\Omega$ หรือ $R_a = 40\text{ k}\Omega$ และ $R_b = 2\text{ k}\Omega$ หรืออีกหลายๆ คำตอบ แต่ในทางปฏิบัติจริงจะต้องเลือกเพียงค่าเดียวทำให้วงจรทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพและสมบูรณ์ที่สุด

ตามที่กล่าวมาเป็นวิธีการออกแบบและเลือกสรรวงจรที่เหมาะสมที่สุดออกมา สามารถเขียนเป็นบล็อกไดอะแกรม ซึ่งใช้เป็นแนวทางในการออกแบบและเลือกสรรวงจรที่เหมาะสมได้ดังรูปที่

5.1

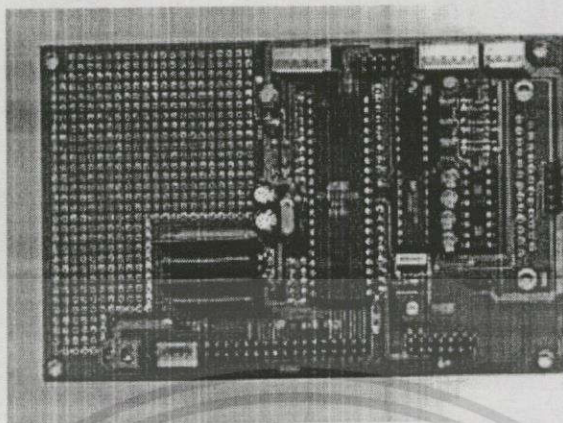


รูปที่ 5.1 แสดงบล็อกไดอะแกรมในการออกแบบและเลือกวงจร

5.3 การออกแบบวงจรส่วนของแผงควบคุมหน่วยการวัดสัญญาณอินพุต

ส่วนของแผงควบคุมหน่วยการวัดสัญญาณอินพุต จะทำหน้าที่รับค่าสัญญาณการวัดต่าง ๆ จากทรานสดิวเซอร์ คือ ความดัน อุณหภูมิ ความหนาแน่น และอัตราการไหล ซึ่งเป็นสัญญาณอนาล็อกผ่านวงจรจัดสัญญาณ (Signal Conditioner Circuit) ให้อยู่ในรูปแบบและขนาดที่เหมาะสมแล้วทำการแปลงสัญญาณเป็นดิจิตอล เก็บไว้ในรูปของกลุ่มข้อมูล ในหน่วยความจำแรม (RAM) เมื่อได้รับคำสั่งร้องขอให้ส่งข้อมูล (Request Command) จะส่งข้อมูลดังกล่าวส่งผ่านบัสอนุกรมให้แก่ไมโครคอมพิวเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.2 แสดงบอร์ดควบคุมรุ่น ET-AVR V2.0 ของบริษัท อีทีที จำกัด

การสร้างแผงควบคุมสัญญาณอินพุตของเครื่องคำนวณปริมาณการไหลแบบเครือข่ายตามวิทยานิพนธ์นี้จะใช้บอร์ดคอนโทรลเลอร์สำเร็จของบริษัท อีทีที จำกัด รุ่น ET-AVR V2.0 ที่มีไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ AT 90S8535 เป็นซีพียู บอร์ดควบคุมรุ่น ET-AVR V2.0 เป็นบอร์ดควบคุมที่ถูกออกแบบมาให้สามารถใช้งานได้กว้างเทียบกับบอร์ดควบคุมที่มีขนาดใหญ่ แต่มีอุปกรณ์ประกอบรวมน้อยกว่ามาก โดยสามารถแยกคุณสมบัติหลัก ๆ ได้ดังนี้คือ [21]

1. วงจรแปลงสัญญาณจากอนาล็อกเป็นดิจิทัลความละเอียดขนาด 10 บิต จำนวน 8 ช่อง (Channel) ด้วยอัตราการสุ่ม (Sampling Rate) สูงสุด 200 KHz และที่นอกเหนือจากที่บอร์ดควบคุมรุ่นอื่น ๆ ไม่มีก็คือ ความสามารถลดสัญญาณรบกวนที่เข้าสู่วงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัลที่เกิดจากแกน (Core) ของซีพียู ซึ่งในระบบของการทำงานหลักของวงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัลสามารถแยกการทำงานได้ 2 โหมดคือ

- การทำงานในลักษณะ Free Running Mode
- การทำงานในลักษณะ Single Conversion

2. วงจรพีดับบีวเอ็ม (Pulse With Modulation) เป็นวงจรกำเนิดสัญญาณความถี่ที่สามารถปรับค่าความถี่และค่า Duty Cycle ของความถี่ได้ซึ่งเป็นสิ่งที่บอร์ดควบคุมส่วนใหญ่แทบจะไม่มี โดยในบอร์ดควบคุมรุ่น ET-AVR V2.0 ได้จัดให้มีถึง 3 ช่อง (Channel) ซึ่งวงจรในส่วนนี้มีประโยชน์อย่างมากกับผู้ที่ต้องนำซีพียูไปประยุกต์ใช้ในงานควบคุมต่างๆ เช่นการควบคุมมอเตอร์ดีซี

3. ระบบการสื่อสารข้อมูลที่มีมากถึง 4 ระบบในบอร์ดควบคุมเพียงบอร์ดเดียว คือ ระบบการสื่อสารแบบซิงโครนัส ที่รู้จักกันในชื่อของ Serial Peripheral Interface ซึ่งถูกออกแบบให้ใช้งานในการติดต่อกับอุปกรณ์ร่วมเช่น EEPROM และ ADC เป็นต้น ระบบการสื่อสารอีก 3 ระบบที่ประกอบด้วยการสื่อสารอนุกรมตามมาตรฐาน RS-232 และระบบการสื่อสารแบบ Full Duplex ที่รู้จักกันในชื่อของ RS-422 ที่สามารถสื่อสารได้ระยะทางไกลถึง 1.2 Km. และสุดท้ายระบบการ

สื่อสารแบบ Half Duplex ที่ใช้สายสัญญาณเพียง 2 เส้นที่สามารถสื่อสารข้อมูลได้ไกลถึง 1.2 Km. เช่นกันที่รู้จักกันในชื่อของ RS-485

4. ระบบที่ใช้ในการทำงานของชิพมีความถูกต้องมากขึ้นด้วยระบบ Watch Dog Timer และระบบ Power On Reset ซึ่งให้เสถียรภาพของระบบมีความถูกต้อง

5. ในส่วนของผู้ใช้ที่ต้องการเก็บข้อมูลไว้แม้ไม่มีกระแสไฟฟ้าจ่ายให้บอร์ดควบคุม ก็สามารถทำได้ด้วยการที่ชิพมีการบรรจุ EEPROM ไว้พร้อมถึง 512 ไบต์

6. บอร์ดควบคุมนี้ยังมีความสามารถในการโปรแกรมตัวเองซึ่งทำให้ผู้ใช้งานไม่ต้องจัดหาเครื่องโปรแกรมราคาสูง ๆ หรือชุดพัฒนาอื่น ๆ ซึ่งความสามารถนี้เองที่ทำให้การพัฒนาแบบประหยัดค่าใช้จ่าย

นอกจากนี้บนบอร์ดควบคุมยังได้เตรียมพื้นที่ของแผ่นวงจรพิมพ์เอนกประสงค์แบบเพดทรูโฮลด์ เพื่อให้ผู้ใช้ต่อวงจรเพิ่มเติมบนบอร์ดควบคุมได้ตามต้องการ

ไมโครคอนโทรลเลอร์ขนาด 8 บิตของบริษัท ATMEL เบอร์ AT9058535 เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ที่มีโครงสร้างและคุณสมบัติหลายอย่างเหนือกว่าไมโครคอนโทรลเลอร์ขนาด 8 บิตด้วยกันหลายอย่าง ที่มีลักษณะเด่นที่เหมาะสมนำมาสร้างเครื่องมือวัดคือ [22]

- สถาปัตยกรรมแบบ RISC (Reduce Instruction set computer) ซึ่งทำให้การประมวลผลมีความเร็ว 1 คำสั่ง ต่อ 1 ลูกสัญญาณนาฬิกา หรือชิพสามารถประมวลคำสั่งได้ 1 MIPS/MHz

- หน่วยความจำแบบ Flash สำหรับบันทึกโปรแกรมขนาด 8 กิโลไบต์ โดยสามารถดาวน์โหลดโปรแกรมเข้าตัวชิพได้โดยผ่าน SPI Serial Interface และสามารถเขียนและลบโปรแกรมได้ 1,000 ครั้ง จึงทำให้ง่ายและสะดวกต่อการพัฒนาโปรแกรม

- หน่วยความจำแบบ EEPROM สำหรับบันทึกข้อมูลขนาด 512 ไบต์ โดยสามารถเขียนและลบได้ 100,000 ครั้ง

- ขนาดความจำแบบ RAM ขนาด 512 ไบต์

- ระบบการแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิตอลขนาด 10 บิต จำนวน 8 ช่อง

- ระบบการสื่อสารข้อมูลแบบอะซิงโครนัส (UART) 1 ช่อง

- ระบบการสื่อสารข้อมูลดิจิตอลแบบซิงโครนัส (SPI) 1 ช่อง

- ความถี่สัญญาณนาฬิกา 0 - 8MHz

- ระบบการรีเซ็ตแบบฮาร์ด โนมิตเมื่อเริ่มจ่ายกระแสไฟฟ้าเข้าไมโครคอนโทรลเลอร์ (Power On Reset)

- ระบบการกำเนิดความถี่สัญญาณแบบพีคดับบิวเอ็มจำนวน 3 ช่อง

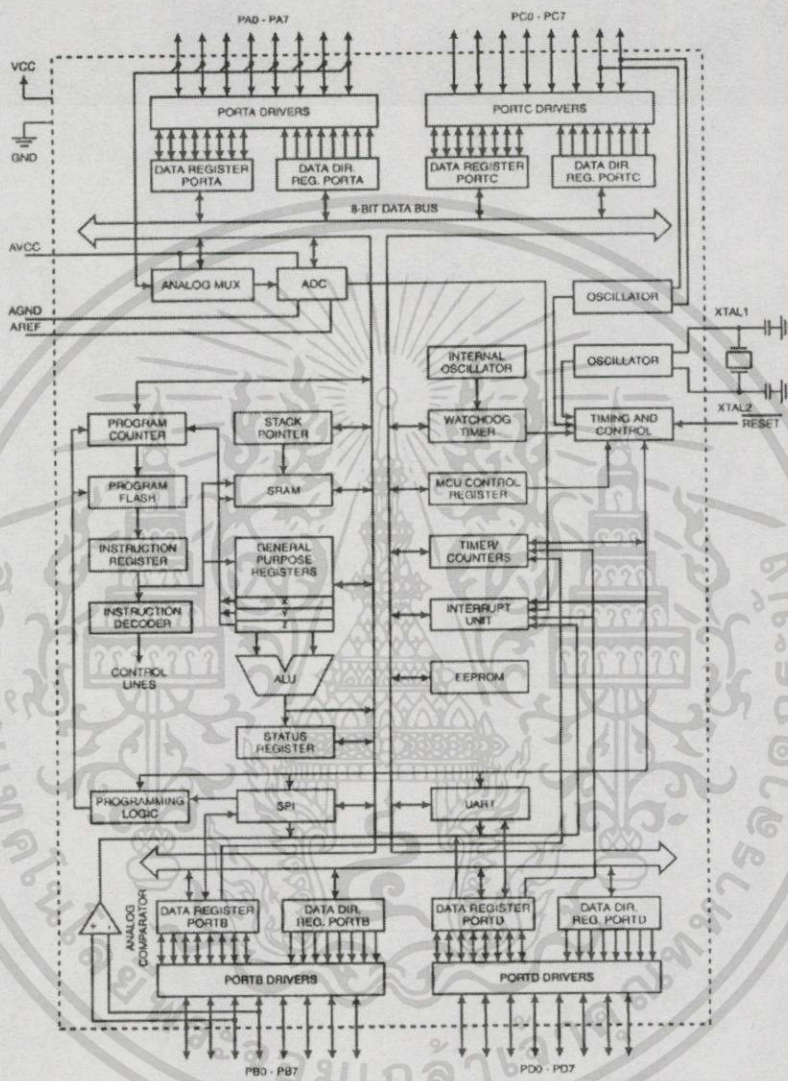
- ระบบการตรวจจับสัญญาณอนาล็อก (Analog Comparator)

- ระบบประหยัดพลังงาน 3 โหมด คือ Idel , Power Save และ Power Down

- ระบบป้องกันการคัดลอกข้อมูลภายในหน่วยความจำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ระบบตรวจจับความผิดพลาดของซีพียู (Watchdog Timer)
- ตัวตั้งเวลา (Timmer) ตัวนับเวลา (Counter) ขนาด 16 บิต 2 ช่อง และขนาด 8 บิต 1 ช่อง
- ระบบการอินเทอร์รัพต์จากภายนอกและภายใน



รูปที่ 5.3 แสดงโครงสร้างภายในของไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ AT 90S8535

จากคุณสมบัติของบอร์ดควบคุม ET-AVR V2.0 ที่เลือกใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ขนาด 8 บิตของบริษัท ATMEL เบอร์ AT90S8535 เป็นอุปกรณ์หลักบนบอร์ดตามที่กล่าวมา การสร้างเครื่องคำนวณการไหลแบบเครือข่ายของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ได้ทำการออกแบบและสร้างส่วนของแผงควบคุมหน่วยการวัดสัญญาณอินพุต โดยเพิ่มเติมวงจรในส่วนของการจัดสัญญาณการวัดที่รับมาทางอินพุตก่อนทำการแปลงสัญญาณดังกล่าวเป็นดิจิตอลวงจรที่ใช้ดังแสดงในรูปที่ 5.4

จากรูปที่ 5.4 วงจรแผงควบคุมหน่วยการวัดสัญญาณอินพุตประกอบด้วย

- ไมโครคอนโทรลเลอร์ของบริษัท ATMEL เบอร์ AT9058535 ทำหน้าที่เป็นตัวประมวลผลหลัก (Central Processing Unit) ของแผงควบคุมและยังใช้ความสามารถของอุปกรณ์ที่ต่อร่วมภายในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์เองอ่านค่าความถี่ และทำการแปลงสัญญาณอินพุตการวัด จากอนาลอกเป็นดิจิตอลเก็บไว้ในหน่วยความจำแรม (RAM) ภายในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์

- ไอซี U5A เบอร์ CD4050B เป็นไอซีชิมอสทำหน้าที่เป็นไอซีบัฟเฟอร์ที่สามารถรับสัญญาณอินพุตจากมาตรวัดการไหลที่มีแรงดันสูงกว่าระดับไฟเลี้ยงของตัวไอซีเองได้ การออกแบบอย่างละเอียดจะกล่าวถึงในส่วนต่อไป

- ไอซี U3 เบอร์ 7407 ซึ่งประกอบด้วย U3A , U3B , U3C , U3D และ U3F เป็นไอซีทีทีแอลทำหน้าที่เป็นไอซีบัฟเฟอร์ในการเชื่อมต่อการสื่อสารอนุกรมแบบซิงโครนัส (Serial Peripheral Interface) ระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์ของแผงควบคุมกับไมโครคอมพิวเตอร์

- ไอซี U2 เบอร์ 75176 เป็นไอซี Differential Bus Transceivers สองทิศทางทำหน้าที่แปลงสัญญาณให้เป็น RS-485 เพื่อเชื่อมต่อกับบัสของเครือข่ายโดยมีสัญญาณจากขา PC0 ของไมโครคอนโทรลเลอร์ทำหน้าที่ควบคุมทิศทางของการสื่อสาร

- ดิพสวิตช์ (Dip switch) S1 เป็นดิพสวิตช์แบบ DIP-6 ทำหน้าที่กำหนดตำแหน่ง (Address) ของแผงควบคุมหน่วยการวัดสัญญาณอินพุตในเครือข่ายการวัด

- ตัวต้านทานปรับค่าได้ (ทริมพอต) ชนิดการปรับละเอียดหมุนได้ 10 รอบ ความต้านทาน 500 Ω ปรับค่าไว้ที่ 250 Ω ทำหน้าที่แปลงกระแสทางอินพุตที่รับมาจากทรานสมิตเตอร์ขนาด 4 – 20 mA เป็นแรงดันขนาด 1-5 Vdc. เพื่อส่งให้วงจรบัฟเฟอร์แอมป์ที่มีอินพุตอิมพีแดนซ์สูง ซึ่งใช้ออปแอมป์เบอร์ LF353 เป็นอุปกรณ์หลักในการทำงาน ก่อนส่งสัญญาณต่อให้ ADC ขนาด 10 บิต อ่านค่าสัญญาณอินพุตที่ประกอบด้วยสัญญาณจากทรานสมิตเตอร์สำหรับวัดความดัน อุณหภูมิ และความหนาแน่น รายละเอียดการออกแบบจะกล่าวถึงในส่วนต่อไป

- แอลอีดี (Light Emitting Diode) แสดงสถานะโปรแกรม โดยจะติดกระพริบตามข้อมูลที่ดาวน์โหลดจากไมโครคอมพิวเตอร์ลงหน่วยความจำโปรแกรมแบบ Flash ของไมโครคอนโทรลเลอร์ในระหว่างการพัฒนาโปรแกรม

วงจรของแหล่งจ่ายไฟตรงคงที่ (Regulator Power Supply) ของแผงควบคุมแสดงในรูปที่ 5.4 จะมีไดโอดเบอร์ 1N4001 ทำหน้าที่ป้องกันการต่อไฟฟ้ากลับขั้ว แรงดันไฟฟ้าอินพุตที่จ่ายให้วงจรจะเป็นไฟฟ้า 9-12 Vdc. โดยจะมีตัวเก็บประจุค่า 220 μF ทำหน้าที่กรองไฟตรงให้เรียบยิ่งขึ้น และตัวเก็บประจุค่า 0.1 μF ทำหน้าที่กรองสัญญาณรบกวนลงกราวด์ (Ground) ในวงจรจะมีตัวต้านทานค่า 330 Ω สำหรับจำกัดแรงดันที่จ่ายให้แอลอีดีแสดงสถานะการจ่ายไฟให้กับแผงควบคุมหน่วยการวัดสัญญาณอินพุต

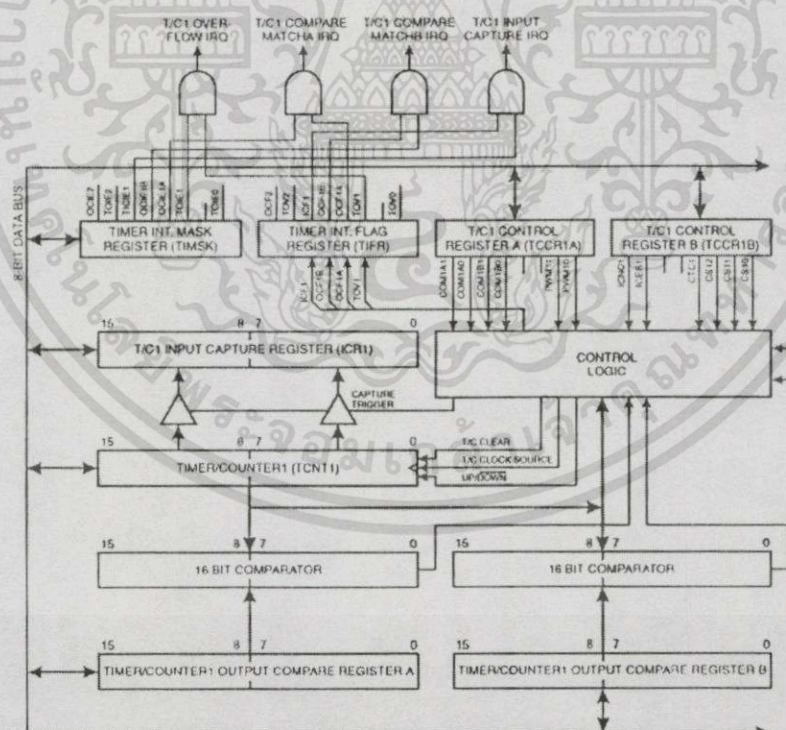
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3.1 การออกแบบวงจรอินพุตสัญญาณพัลส์

การทำงานของวงจรในส่วนนี้จะรับสัญญาณพัลส์รูปร่างสี่เหลี่ยมจากทรานสมิตเตอร์สำหรับวัดการไหลที่ติดตั้งอยู่ในกระบวนการผลิตมาที่วงจร Counter ซึ่งเป็นวงจรต่อรวมภายในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ทำการนับสัญญาณพัลส์ที่รับมาในช่วงเวลา 1 วินาที ซึ่งก็คือค่าความถี่ที่สัมพันธ์กับอัตราการไหลเพื่อให้ซีพียูอ่านค่าไปเก็บไว้ในหน่วยความจำแรม (RAM) ของไมโครคอนโทรลเลอร์

ก่อนการออกแบบเราต้องทราบคุณสมบัติทางเทคนิคไฟฟ้าวงจรปริแอมป์ของทรานสมิตเตอร์สำหรับวัดการไหลก่อน เพื่อนำค่าระดับและลักษณะสัญญาณไฟฟ้าทางเอาต์พุตของวงจรปริแอมป์มาออกแบบวงจรอินพุตสัญญาณพัลส์ของหน่วยการวัดสัญญาณอินพุต คุณสมบัติทางเทคนิคของปริแอมป์เป็นดังนี้คือ

- ระดับแรงดันอินพุตต่ำสุด +15 mV
- ย่านความถี่การทำงาน 4 - 10,000 Hz
- เอาต์พุตแรงดันไฟฟ้าคือ 5 V (ระดับแรงดันที่ทีแอล) หรือเท่ากับแรงดันไฟฟ้าแหล่งจ่ายลบด้วย 1.5 V (สามารถเลือกที่ Jumper) เป็นสัญญาณพัลส์รูปร่างสี่เหลี่ยม
- แรงดันไฟฟ้าแหล่งจ่าย 6-28 Vdc ที่กระแสไฟฟ้าต่ำสุด 20 mA



รูปที่ 5.5 แสดงโครงสร้างของ Timer/Counter1 ภายในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์

เมื่อพิจารณาถึงย่านความถี่สูงสุดที่จะใช้งานจะเห็นว่าอยู่ที่ 10,000 เฮิร์ต เพราะฉะนั้นจะต้องใช้วงจรนับขนาด 16 บิต ซึ่งนับค่าสัญญาณพัลส์ได้สูงสุด 65,535 เฮิร์ต เพื่อให้ครอบคลุมย่านการใช้งานเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในที่นี้เลือกใช้ Timer/Counter1 ซึ่งมีขนาด 16 บิต โครงสร้างแสดงดังรูปที่ 5.5 จากโครงสร้างจะเห็นว่าสามารถรับสัญญาณ Clock จากระบบหรือสัญญาณ Clock ของระบบที่ถูกหาร (Prescaling) หรือสัญญาณจากภายนอก โดยควบคุมจากรีจิสเตอร์ TCCR1B ผ่านบิต CS10, CS11 และ CS12 แสดงดังตารางที่ 5.1 ในการควบคุมจะเซตบิตทั้ง 3 เป็น 1 เพื่อให้รับค่าสัญญาณพัลส์ขอบขาขึ้นจากภายนอก

ตารางที่ 5.1 แสดงการเลือกบิตควบคุมการรับสัญญาณ Clock

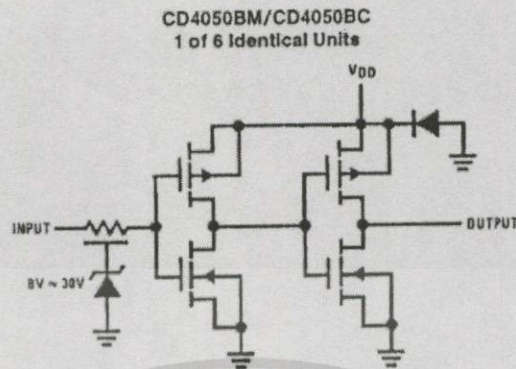
| CS12 | CS11 | CS10 | Description |
|------|------|------|--------------------------------------|
| 0 | 0 | 0 | Stop, the Timer/Counter1 is stopped. |
| 0 | 0 | 1 | CK |
| 0 | 1 | 0 | CK/8 |
| 0 | 1 | 1 | CK/64 |
| 1 | 0 | 0 | CK/256 |
| 1 | 0 | 1 | CK/1024 |
| 1 | 1 | 0 | External Pin T1, falling edge |
| 1 | 1 | 1 | External Pin T1, rising edge |

กำหนดแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้ปริมาตรเท่ากับ 15 Vdc แอมพลิจูดของสัญญาณพัลส์สูงสุดจะเท่ากับ $15 - 1.5 = 13.5$ V จึงต้องหาวจรบัฟเฟอร์มาต่อระหว่างอินพุตสัญญาณพัลส์กับวงจร Timer/Counter 1 ภายในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อจัดระดับแอมพลิจูดของสัญญาณที่เข้าสู่วงจรนับให้เหมาะสม ในที่นี้จะเลือกใช้ไอซีซีเอ็มอสเบอร์ CD4050B ซึ่งเป็น Hex Non-Inverting Buffer ด้วยเทคนิคที่ตรงตามความต้องการคือ

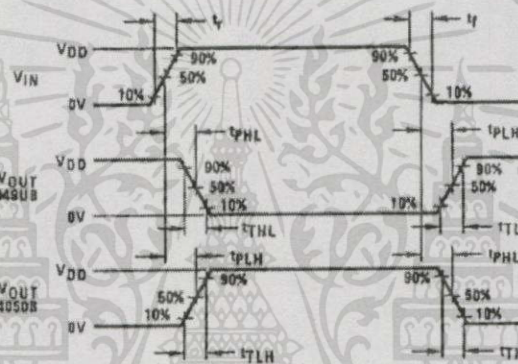
- แรงดันไฟฟ้าแหล่งจ่าย (V_{DD}) 3 - 15 V
- แรงดันไฟฟ้าอินพุต (V_{IN}) 0 - 15 V สามารถรับแรงดันไฟฟ้าทางด้านอินพุตสูงกว่าแรงดันไฟฟ้าแหล่งจ่าย (V_{DD}) ได้
- แรงดันไฟฟ้าที่ทุกๆ ขาเอาต์พุต (V_{OUT}) 0 - V_{DD}
- สามารถรับ (Sink) และจ่าย (Source) กระแสไฟฟ้าได้สูง

โครงสร้างของไอซี CMOS เบอร์ CD4050B จะประกอบด้วย N และ P แชนแนล Enhancement Transistors แสดงด้วยรูปที่ 5.6 การแปลงระดับลอจิกจะใช้แหล่งจ่ายไฟเดียว (V_{DD}) ระดับสัญญาณอินพุตสูง (V_{IH}) สามารถเกินแหล่งจ่ายแรงดัน V_{DD} เพื่อใช้ในการแปลงระดับลอจิก ในการใช้งานเป็น Hex Buffer ระหว่างไอซี CMOS และ TTL ที่ $V_{DD} = 5.0$ V สามารถต่อขับไอซี TTL ได้โดยตรง จำนวน 2 ตัว จากรูปที่ 5.7 Switching Time Waveform ระหว่างสัญญาณอินพุตและเอาต์พุตของไอซีเบอร์ CD4050B จะเห็นว่ามีความเร็วและรูปคลื่นที่ตรงกันจึงสามารถใช้งานได้โดยไม่เกิดค่าความผิดพลาดของความถี่ทางด้านอินพุต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

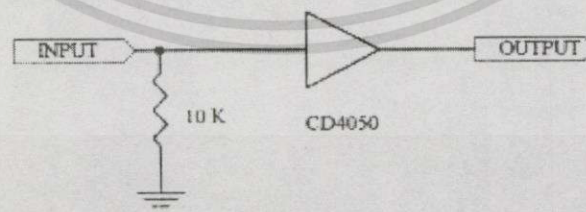


รูปที่ 5.6 แสดงโครงสร้างภายในของไอซี ซี CMOS เมอร์ CD4050B



รูปที่ 5.7 แสดง Switching Time Wave form ของสัญญาณอินพุตและเอาต์พุต

จากการพิจารณาอุปกรณ์ตามที่กล่าวมาการออกแบบวงจรอินพุตสัญญาณพัลส์จึงเป็นดังรูปที่ 5.8 สัญญาณอินพุตจากปริ๊อมป์ของไมครอเว็คการไหลจะผ่านเข้ามายังขาอินพุตของไอซีบีฟเฟอร์ที่สามารถรับสัญญาณอินพุตที่มีแอมพลิจูดสูงสุด 13.5V แทน 5V (ซึ่งเป็นไฟเลี้ยงของวงจร) เพื่อช่วยลดสัญญาณรบกวนของระบบลง



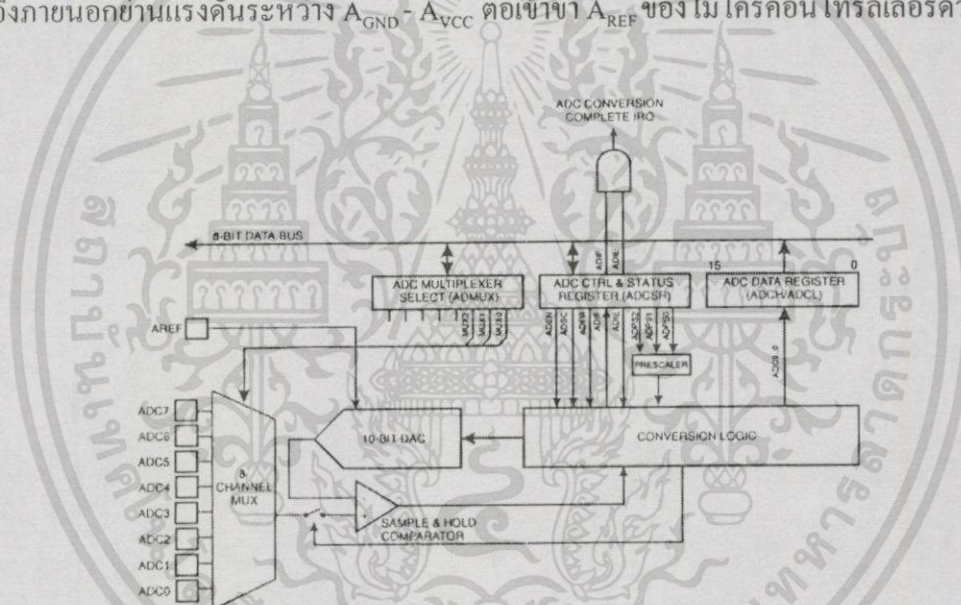
รูปที่ 5.8 แสดงวงจรอินพุตสัญญาณพัลส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3.2 การออกแบบวงจรอินพุตกระแสไฟฟ้า 4-20 mAdc

การทำงานของวงจรในส่วนนี้จะรับสัญญาณกระแสไฟฟ้ามาตรฐานขนาด 4-20 mAdc จากทรานสมิตเตอร์สำหรับวัดความดัน อุณหภูมิและความหนาแน่นของสารที่ติดตั้งอยู่ในกระบวนการผลิตซึ่งเป็นสัญญาณอนาลอกมาแปลงเป็นดิจิทัลที่สัมพันธ์กับค่าการวัด ให้ซีพียูอ่านค่าเก็บไว้ในหน่วยความจำแรม (RAM) ของไมโครคอนโทรลเลอร์

การแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิทัลจะทำโดยวงจรภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ซึ่งมีบล็อกไดอะแกรมแสดงดังรูปที่ 5.9 ซึ่งวงจรแปลงสัญญาณแบบ Successive Approximation ADC ความละเอียดขนาด 10 บิตต่อร่วมกับวงจรมัลติเพล็กซ์สัญญาณอนาลอกทางอินพุตแบบ 8 ช่อง การต่อสัญญาณอนาลอกแต่ละช่องเข้าสู่วงจรแปลงสัญญาณเป็นดิจิทัล จะต่อผ่านขาสัญญาณอนาลอกอินพุตที่พอร์ต A ของไมโครคอนโทรลเลอร์ พอร์ตการแปลงสัญญาณจะต้องอาศัยแรงดันไฟฟ้าอ้างอิงภายนอกย่านแรงดันระหว่าง A_{GND} - A_{VCC} ต่อเข้ากับ A_{REF} ของไมโครคอนโทรลเลอร์ด้วย



รูปที่ 5.9 แสดงบล็อกไดอะแกรมวงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิทัลภายในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์

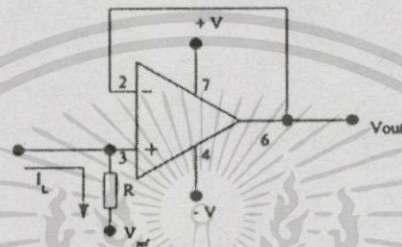
คุณสมบัติของวงจรแปลงสัญญาณจากอนาลอกเป็นดิจิทัลเป็นดังนี้คือ

- ความละเอียดของการแปลงสัญญาณขนาด 10 บิต
- ความเที่ยงตรง $\pm 1/2$ LSB
- เวลาการแปลงสัญญาณ 65 – 260 μ S
- วงจรมัลติเพล็กซ์สัญญาณอนาลอกอินพุตแบบ 8 ช่อง
- โหมดการแปลงสัญญาณแบบต่อเนื่องและแบบช่องสัญญาณเดียว
- อินเทอร์รัพต์จากการแปลงสัญญาณเสร็จ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- โหมด Sleep สำหรับกำจัดสัญญาณรบกวน

ในการแปลงสัญญาณอินพุตของวงจรกำหนดให้เป็นแรงดันไฟฟ้าขนาด 0 - 5 Vdc ขณะที่สัญญาณที่รับมาจากทรานสมิตเตอร์ของอินพุตทั้ง 3 ช่องเป็นกระแสไฟฟ้าขนาด 4 - 20 mAdc เพราะฉะนั้นจึงต้องมีวงจรแปลงสัญญาณกระแสไฟฟ้าเป็นแรงดันไฟฟ้าเพื่อจัดรูปแบบสัญญาณให้เหมาะสมกับการทำงานของวงจร การออกแบบในส่วนนี้จะใช้วงจรแปลงสัญญาณกระแสไฟฟ้าเป็นแรงดันแบบโพลดลงกราวด์ดังรูปที่ 5.10



รูปที่ 5.10 แสดงวงจรแปลงสัญญาณกระแสไฟฟ้าเป็นแรงดันแบบโพลดลงกราวด์

สมการของการแปลงสัญญาณกระแสไฟฟ้าเป็นแรงดันไฟฟ้าหาได้จากสมการ

$$V_o = R I_L + V_{ref} \quad (5.1)$$

ในกรณีที่เรต้องการให้แรงดันเอาต์พุต (V_o) เป็น 1-5 โวลต์โดยมีกระแสโพลด (I_L) เท่ากับ 4 ถึง 20 มิลลิแอมป์นั้นเราสามารถหาค่าความต้านทานและแรงดันอ้างอิงได้โดย

สมมติให้ที่ Zero ของการวัด $V_o = 1$ โวลต์ $I_L = 4$ มิลลิแอมป์จะได้

$$1 = 4 * 10^{-3} R + V_{ref}$$

สมมติให้ที่ Span ของการวัด $V_o = 5$ โวลต์ $I_L = 20$ มิลลิแอมป์จะได้

$$5 = 20 * 10^{-3} R + V_{ref}$$

รวมสมการทั้งสองเข้าด้วยกันเพื่อหาค่าความต้านทาน

$$4 = 16 * 10^{-3} R$$

$$R = 4 / 16 * 10^{-3}$$

$$= 250 \text{ โอห์ม}$$

นำค่า R ที่ได้ไปแทนในสมการเพื่อหาค่า V_{ref} จะได้

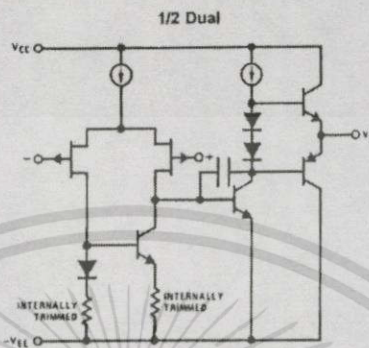
$$V_{ref} = 1 - (4 * 10^{-3} * 250)$$

$$= 0 \text{ โวลต์}$$

สำหรับออปแอมป์ที่จะนำมาใช้ในวงจรเลือกใช้ออปแอมป์เบอร์ LF 35N เนื่องจากเมื่อพิจารณาโครงสร้างของออปแอมป์ตามรูป 5.11 จะเห็นว่าอินพุตทั้งสองเป็น JFET ซึ่งสามารถให้ค่าอินพุต

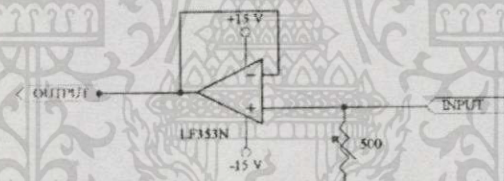
อิมพีแดนซ์สูงทำให้ใช้กระแสไบอัสทางอินพุตต่ำจึงเกิด Loading Effect ทางอินพุตต่ำนอกจากนี้ยังมีวงจรการปรับแรงดันออฟเซ็ททางอินพุตภายใน โดยใช้เทคโนโลยีของ BI-FET 11™ ด้วย

Simplified Schematic

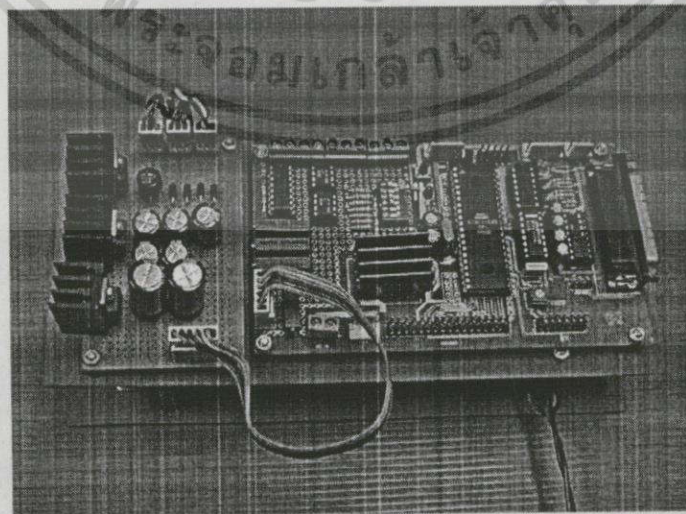


รูปที่ 5.11 แสดงโครงสร้างวงจรภายในของออปแอมป์เบอร์ LF 353

ตามการออกแบบวงจรและพิจารณาเลือกใช้อุปกรณ์ตามที่แสดงมา จึงสามารถเขียนวงจรอินพุตกระแสไฟฟ้า 4-20 มิลลิแอมป์ของหน่วยการวัดสัญญาณอินพุตได้ดังแสดงในรูปที่ 5.12



รูปที่ 5.12 แสดงวงจรอินพุตกระแสไฟฟ้า 4-20 มิลลิแอมป์



รูปที่ 5.13 แสดงลักษณะการประกอบแผงควบคุมหน่วยการวัดสัญญาณอินพุต

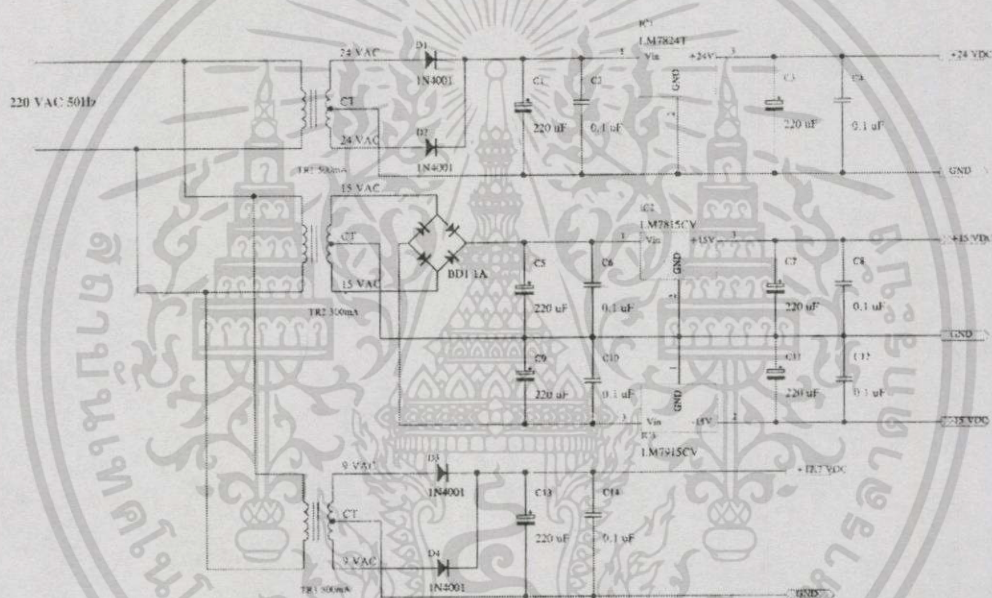
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3.3 การออกแบบวงจรแหล่งจ่ายไฟตรงคงที่

ก่อนการออกแบบต้องพิจารณาความต้องการระดับแรงดัน ไฟฟ้าของหน่วยการสัญญาณอินพุตทั้งหมดที่ระดับแรงดันต่างๆ ซึ่งสามารถแยกได้ดังนี้คือ

- ระดับแรงดัน +24 V สำหรับจ่ายให้ทรานสมิตเตอร์สำหรับวัดอุณหภูมิความดันและความหนาแน่นตลอดจนชุด Isolator และ Barrier ในการออกแบบเพื่อติดตั้งในพื้นที่อันตรายของโรงงาน
- ระดับแรงดัน ± 15 V สำหรับจ่ายให้ออปแอมป์เบอร์ LF353N ในการทำงาน
- ระดับแรงดัน +15 V สำหรับจ่ายให้ปริแอมป์ของมาตรวัดการไหล
- ระดับแรงดันประมาณ +12.7 V สำหรับจ่ายให้วงจรรักษาระดับแรงดันไฟตรงของบอร์ด

ควบคุมรุ่น ET-AVR V2.0



รูปที่ 5.14 แสดงวงจรแหล่งจ่ายไฟตรงคงที่ของหน่วยการวัดสัญญาณอินพุต

เมื่อพิจารณาความต้องการระดับแรงดันต่างๆ ของหน่วยการวัดสัญญาณอินพุตตามที่กล่าวมาแล้วจะออกแบบวงจรที่จ่ายไฟได้ตามรูปที่ 5.14 โดยในส่วนของหม้อแปลงที่ลดระดับแรงดันจากไฟเอชี่ 220 โวลต์ ให้ลดลงเท่าขนาดที่เรารู้ต้องการ ใช้แบบมีเซนเตอร์แท็ป (CT หรือ Center Tap) การแปลงสัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับเป็นสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงใช้วงจรเรกติไฟชนิดเต็มคลื่น (Full wave Redifier) สำหรับแหล่งจ่ายไฟเดี่ยว และวงจรเรกติไฟชนิดเต็มคลื่น (Full wave Bridge Redifier) สำหรับแหล่งจ่ายไฟคู่ การรักษาระดับแรงดันไฟตรงคงที่โดยใช้ไอซีเรกูเรเตอร์สามขาตระกูล 78XX สำหรับจ่ายแรงดันบวกคงที่ และ 79XX สำหรับจ่ายแรงดันลบคงที่ สำหรับการพิจารณาระดับแรงดันที่เหมาะสมสำหรับจ่ายให้ไอซี เรกูเรเตอร์ในการรักษาระดับแรงดันคงที่ที่จ่าย

ออกมาพิจารณาจากตารางที่ 5.2 ซึ่งจะสรุปรายละเอียดและคุณสมบัติของไอซีเรกูเลเตอร์แต่ละตัวที่ใช้งาน

ตารางที่ 5.2 สรุปรายละเอียดและคุณสมบัติของไอซีเรกูเลเตอร์ 78XX และ 79XX

| Device | Output Voltage (V) | Temp. | Line Regulation Max. (mV) | Load Regulation Max. (mV) | Ripple Rejection Min. (dB) | Quiescent Current (mA) | Input Voltage Range (V) | Dropout Voltage (V) |
|--------|--------------------|-------|---------------------------|---------------------------|----------------------------|------------------------|-------------------------|---------------------|
| 7805 | 5.0 | C | 100 | 100 | 62 | 8.0 | 7.5 to 35 | 2.5 |
| 7815 | 15 | C | 300 | 300 | 54 | 8.0 | 17.5 to 35 | 2.5 |
| 7824 | 24 | C | 480 | 480 | 50 | 8.0 | 26.5 to 40 | 2.5 |
| 7915 | -15 | C | 300 | 300 | 54 | 3.0 | -17.3 to -35 | 2.5 |

5.3.4 การออกแบบเพื่อติดตั้งในพื้นที่อันตรายของโรงงาน

โดยทั่วไปแล้วในบริเวณพื้นที่อันตรายนั้นจะเป็นบริเวณที่เกิดการรั่วไหลของก๊าซที่มีคุณสมบัติติดไฟได้ปรากฏอยู่ ไม่ว่าจะการรั่วไหลนี้จะเกิดขึ้นในสภาพที่การทำงานของกระบวนการนั้นเป็นไปตามปกติ หรือเกิดจากความผิดพลาดในการดำเนินการของกระบวนการหรือจากการเสื่อมสภาพของอุปกรณ์ที่ใช้ในกระบวนการนั้นๆ หรือจะสาเหตุใดก็ได้แล้วแต่ความมากน้อยของอันตรายที่จะเกิดขึ้นมานั้นขึ้นอยู่กับชนิดของการรั่วไหลนั้นๆว่าเป็นแบบต่อเนื่องหรือเป็นแบบครั้งคราวและถ้าเป็นแบบครั้งคราวแล้วเราก็ต้องพิจารณาลงไปอีกว่า มันมีความถี่ในการเกิดมากน้อยเพียงใด ซึ่งจะทำให้เราสามารถที่จะบ่งชี้ลงไปได้ว่าบริเวณนั้นจะถูกจัดอยู่ในประเภทใด

การลุกไหม้จะเกิดขึ้นได้นั้นจะต้องมีองค์ประกอบ 3 อย่างเกิดขึ้นพร้อมกันในสัดส่วนที่เหมาะสม คือ เชื้อเพลิง อากาศ และตัวจุดประกาย ดังแสดงในรูปที่ 5.15

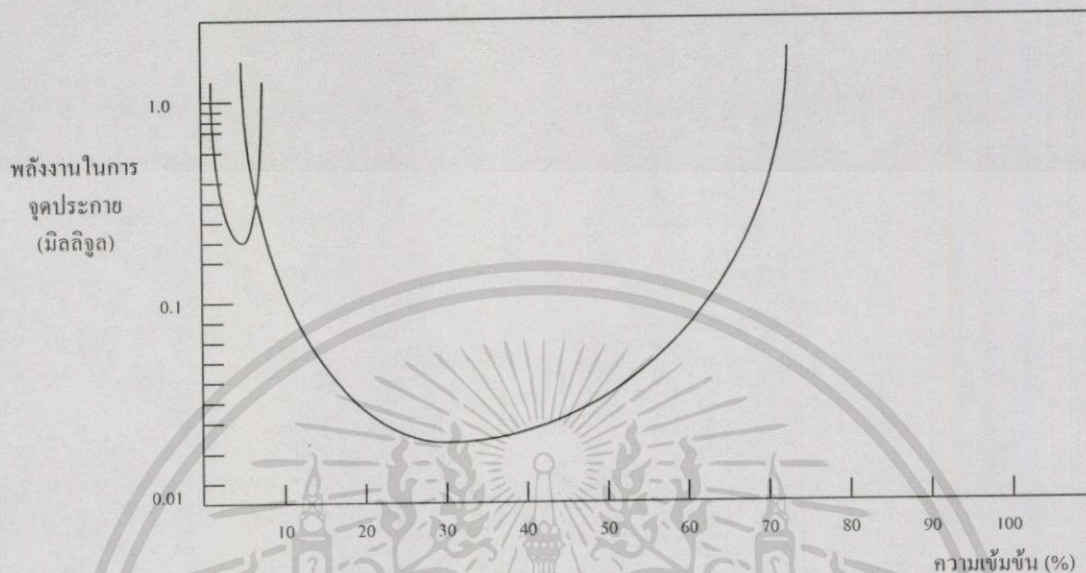


รูปที่ 5.15 แสดงองค์ประกอบของการลุกไหม้

จากรูปที่ 5.16 เป็นกราฟแสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานจุดประกายกับความเข้มข้นของเชื้อเพลิงสำหรับไฮโดรเจน (Hydrogen) และ โพรเพน (Propane) การลุกไหม้จะเกิดขึ้นได้นั้นจะต้องมีพลังงานเพียงพอต่อการจุดประกาย (Minimum Ignition Energy) และเชื้อเพลิงนั้นจะต้องอยู่ในช่วงความเข้มข้นที่เหมาะสมกับพลังงานจุดประกายนั้นๆ ด้วย เช่น ไฮโดรเจนลุกไหม้ที่พลังงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

20 ไมโครจูล และที่ความเข้มข้น 30% แต่ถ้าความเข้มข้นมากกว่าหรือน้อยกว่า 30% จะทำให้ต้องใช้พลังงานการจุดประกายเพิ่มขึ้น



รูปที่ 5.16 แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานจุดประกายกับความเข้มข้นของเชื้อเพลิงสำหรับไฮโดรเจนและโพรเพน

และถ้าความเข้มข้นเพิ่มมากเกินไปจนถึงจำกัดบน (Upper Explosive Limit) หรือลดลงเกินขีดจำกัดล่าง (Lower Explosive Limit) ก็จะไม่สามารถทำให้เกิดการลุกไหม้ได้ ตัวการที่จะก่อให้เกิดพลังงานในการจุดประกายนั้นมีอยู่หลายแหล่ง เช่น เปลวไฟ พื้นผิวที่ร้อน ประกายไฟที่เกิดจากการกระแทกกันของเครื่องจักร ประกายไฟจากอุปกรณ์ไฟฟ้า ปฏิกิริยาเคมี ไฟผ่า แต่ถ้านำมาเทียบเป็นสัดส่วนแล้ว สาเหตุที่เกิดขึ้นจากอุปกรณ์ไฟฟ้ามีส่วนที่มากที่สุด

การป้องกันระเบิดอันเนื่องมาจากอุปกรณ์ไฟฟ้า วิธีการป้องกัน (Protective Methods) จะแบ่งออกเป็น 2 หัวข้อหลักๆ คือ

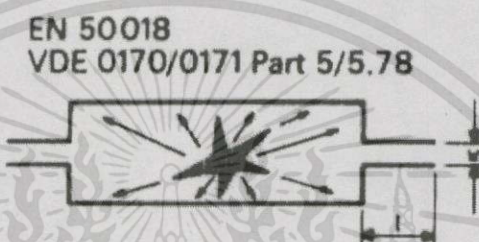
1. วิธีการป้องกันเพื่อไม่ให้เกิดบรรยากาศพร้อมลุกไหม้ (Explosive Atmosphere) ซึ่งเราเรียกว่าเป็นการป้องกันขั้นแรก (Primary Explosive Protection) แนวทางป้องกันมีอยู่หลายทาง เช่น

- ทำการระบายอากาศ
- จำกัดความเข้มข้นของสารไหม้ค่าน้อยที่สุด
- หลีกเลี่ยงสารที่ติดไฟได้
- ใช้อุปกรณ์ที่มีโครงสร้างที่แข็งแรง เพื่อหลีกเลี่ยงการร้าวไหล

2. วิธีการป้องกันเพื่อไม่ให้เกิดการจุดติดไฟของบรรยากาศที่พร้อมจะลุกไหม้ซึ่งเราเรียกว่าการป้องกันขั้นที่ 2 (Secondary Explosive Protection) ซึ่งจะถูกนำมาใช้เมื่อการป้องกันวิธีแรกไม่

เพียงพอ ซึ่งจะมีวิธีการป้องกันการติดไฟอยู่หลายวิธีการ แต่ในที่นี้จะอธิบายเฉพาะวิธีการที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้

การป้องกันโดยการปิดล้อม (Explosion Proof Enclosure : Ex “d”) การป้องกันวิธีนี้ อุปกรณ์ทั้งหมดจะถูกบรรจุอยู่ในเครื่องห่อหุ้มดังรูป 5.17 ของผสมระหว่างเชื้อเพลิงและอากาศสามารถที่จะเข้าไปสัมผัสกับอุปกรณ์ภายในได้ ดังนั้นการระเบิดภายในเครื่องห่อหุ้มจึงมีโอกาที่จะเกิดขึ้นได้ แต่มันจะถูกจำกัดการระเบิดนี้ให้อยู่แต่ภายในเครื่องห่อหุ้มเท่านั้นจึงทำให้เกิดไม่สามารถที่จะแพร่กระจายออกมาทำความเสียหายภายนอกได้



รูปที่ 5.17 การป้องกัน โดยการปิดล้อม

การป้องกันโดยการพ่นความดัน (Pressurization : Ex “p”) การป้องกันโดยวิธีนี้จะไม่ยอมให้ของผสมระหว่างเชื้อเพลิงและอากาศเข้าไปในเครื่องห่อหุ้มได้เลยดังรูปที่ 5.18 อุปกรณ์ที่อยู่ภายในสามารถที่จะเกิดประกายไฟได้ หรือมีอุณหภูมิสูงได้ การป้องกันก็คือจะต้องทำการป้อนอากาศหรือก๊าซเฉื่อยเข้าไปในเครื่องห่อหุ้มนั้นตลอดเวลา โดยความดันที่ป้อนเข้าไบนั้นจะต้องมากกว่าความดันภายนอกเครื่องห่อหุ้ม ซึ่งจะทำให้บรรยากาศที่อันตรายไม่สามารถที่จะเข้าไปสู่ภายในได้เลย



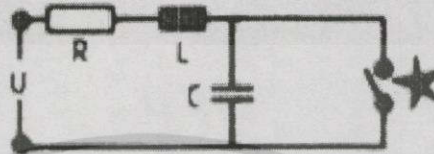
รูปที่ 5.18 แสดงการป้องกัน โดยการพ่นความดัน

การป้องกันแบบความปลอดภัยแท้จริง (Intrinsic Safety Protection Method : Ex “i”) การป้องกันวิธีนี้จะใช้หลักการของการจำกัดพลังงานที่สะสมอยู่ในวงจรไฟฟ้าดังรูปที่ 5.19 วงจรของความปลอดภัยแท้จริงนี้จะไม่ทำให้เกิดประกายไฟ หรือผลของอุณหภูมิที่จะทำให้เกิดการลุกไหม้ขึ้นได้

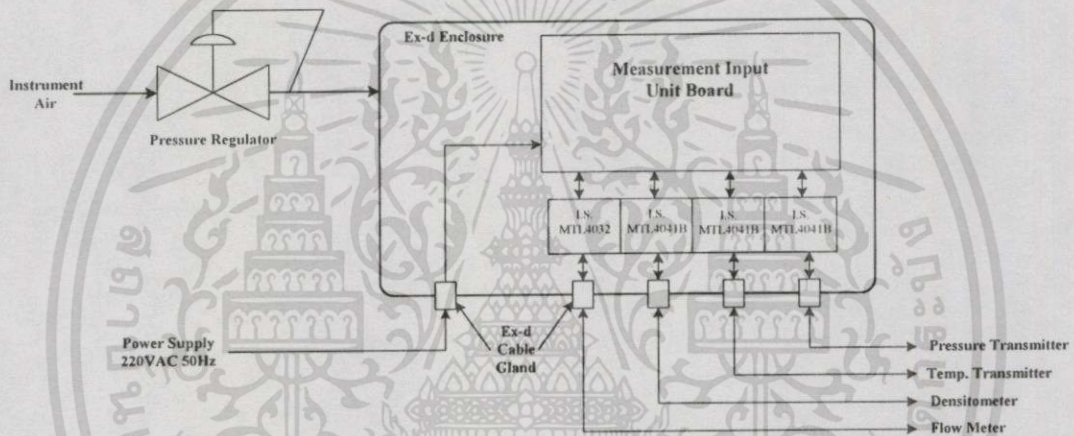
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไม่ว่าอุปกรณ์นั้นๆจะทำงานอยู่ในสภาวะที่ปกติ หรือมีความผิดปกติเกิดขึ้น(Fault)วิธีนี้เป็นวิธีที่นิยมมากที่สุดในการควบคุมกระบวนการ

EN 50020 VDE 0170/0171 Part 7/5.78



รูปที่ 5.19 แสดงการป้องกันแบบความปลอดภัยแท้จริง



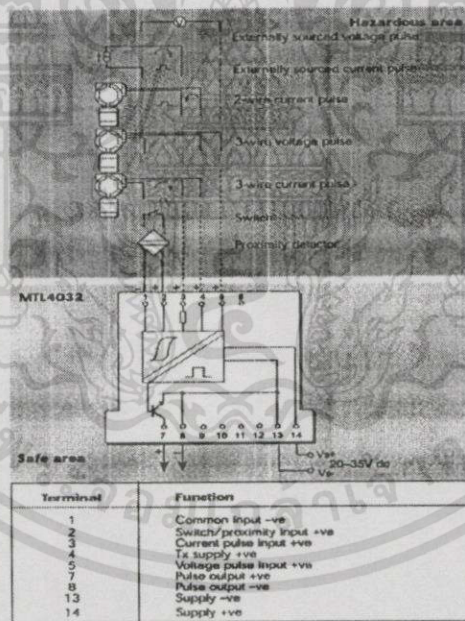
รูปที่ 5.20 แสดงการออกแบบหน่วยการวัดสัญญาณอินพุตเพื่อติดตั้งในพื้นที่อันตรายของโรงงาน

การออกแบบอุปกรณ์ประกอบด้วยหน่วยการวัดสัญญาณอินพุตเพื่อให้สามารถติดตั้งในพื้นที่อันตรายของโรงงานจะใช้ทั้ง 3 วิธีการตามที่กล่าวมาข้างต้นรวมกันดังรูปที่ 5.20 ในส่วนของเครื่องห่อหุ้มเลือกใช้เป็นแบบ Flameproof ซึ่งทำมาจากโลหะผสม (Alloy) เพื่อจำกัดการระเบิดที่อาจเกิดขึ้นให้อยู่ภายในเครื่องห่อหุ้ม (Housing) เป็นการป้องกันโดยการปิดล้อม (Explosion Proof Enclosure : "d") และสร้างความดันในตัวเครื่องห่อหุ้มให้สูงกว่าความดันภายนอกโดยใช้ Pressure Regulator ซึ่งต่อจากท่อ Instrument Air ทำการปรับความดันทางด้านออกไว้ที่ 200 มิลลิบาร์ เป็นการป้องกันโดยการพ่นความดัน (Pressurization : Ex "p") ทำให้การป้องกันการระเบิดที่เครื่องห่อหุ้ม (Housing) เป็นแบบสองวิธีการร่วมกัน (Double Protective Methods) ส่วนการต่อสายสัญญาณเพื่อรับค่าสัญญาณการวัดทางอินพุตจากทรานสมิตเตอร์วัดความดัน อุณหภูมิ ความหนาแน่น และมาตรวัดการไหลนั้น สายสัญญาณในจุดที่เข้าเครื่องห่อหุ้มจะใช้ Cable Gland แบบ Ex "d" การเชื่อมต่อเพื่อรับค่าการวัดกับอุปกรณ์เครื่องมือวัดภายนอกจะใช้หลักการจำกัดพลังงาน เป็นการป้องกันแบบความปลอดภัยแท้จริง (Intrinsic Safety Protection Method : Ex "i") โดยติดตั้งเครื่องส่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญญาณมาตรฐานแบบมีการตัดแยก (Signal Isolator) ในเครื่องห่อหุ้ม สำหรับสายสัญญาณที่ไปยัง อุปกรณ์เครื่องมือวัดภายนอกผ่าน Isolator ซึ่งอุปกรณ์เครื่องมือวัดภายนอกที่ติดตั้งวัดค่าจาก กระบวนการผลิตเป็นแบบ Intrinsically safe (I.S.) อยู่แล้วเพราะฉะนั้น Isolator จะทำหน้าที่จำกัด พลังงานไฟฟ้าที่จ่ายให้กับอุปกรณ์เครื่องมือวัดดังกล่าวลง จนไม่สามารถที่จะทำการจุดระเบิดภายใน ใต้บรรยากาศที่มีส่วนผสมของสารที่มีอันตรายปรากฏอยู่ (เช่น แก๊ส ไอฝุ่น ที่สามารถลุกไหม้ได้) ในสัดส่วนที่สามารถก่อให้เกิดการระเบิดได้ นอกจากนี้การตัดแยกระบบของ Isolator ยังแก้ปัญหา เรื่องกราวด์ลูป (Ground Loop) ที่เกิดขึ้นในการต่ออุปกรณ์เครื่องมือวัดได้

กราวด์ลูปนั้นจะเกิดขึ้นได้ เมื่อใดก็ตามที่อุปกรณ์เครื่องมือวัดที่ใช้ในการวัดหรือควบคุมแบบ ไม่ได้มีการตัดแยกระบบ (Non-Isolated) ที่ต่อเข้าด้วยกันนั้นถูกต่อลงกราวด์ตั้งแต่ 2 จุดขึ้นไป คำว่า “ไม่มีการตัดแยกระบบ (Non-Isolated)” ในข้อความนี้หมายความว่า อินพุตและเอาต์พุตของ เครื่องมือวัดเครื่องนั้นถูกต่อเข้าด้วยกันโดยผ่านทางความต้านทานทางไฟฟ้าซึ่งสามารถวัดค่าออกมาได้ จากสภาพนี้จะเหมือนกับว่าวงจรทางเอาต์พุตได้ถูกต่อกลับไปที่วงจรอินพุตอีกครั้งทำให้เกิดความ ผิดพลาดในการอ่านค่าจากเครื่องมือวัดนั้นอยู่บ่อยๆ



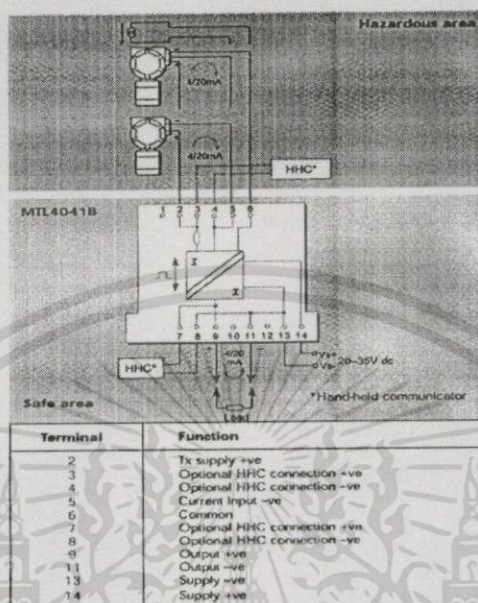
รูปที่ 5.21 แสดงโครงสร้างของ Isolator MTL4032

เครื่องส่งสัญญาณแบบมีการตัดแยก (Isolator) เลือกใช้ชื่อ “MTL” ประกอบด้วยอุปกรณ์ดังนี้คือ

- MTL 4032 Pulse Isolator สำหรับต่อกับปริมาตรของมาตรฐานวัดการไหลโครงสร้างของ Isolator ดังรูปที่ 5.21
- MTL 4041B Repeater Power Supply สำหรับทรานสมิตเตอร์สำหรับวัดความดัน อุณหภูมิ และความหนาแน่น โครงสร้างของ Isolator ดังรูปที่ 5.22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- MTL MPS08 8-Way Backplane Screw-Clamp Connector สำหรับเชื่อมต่อกับ MTL 4032 และ MTL 4041B ในการต่อสายสัญญาณในการใช้งาน



รูปที่ 5.22 แสดงโครงสร้างของ Isolator MTL 4041B

5.4 ส่วนของตัวแปลงสัญญาณ RS-232/RS-485 (RS-232/RS485 Adapter)

วงจรส่วนของตัวแปลงสัญญาณ RS-232/RS-485 จะทำหน้าที่แปลงสัญญาณ RS-232 ของไมโครคอมพิวเตอร์เป็นสัญญาณ RS-485 โดยใช้ไอซีเบอร์ MAX485 ประกอบวงจรลงแผ่นวงจรเอนกประสงค์บรรจุลงในกล่องพลาสติก มีแหล่งจ่ายไฟเป็นเรกติไฟแบบเต็มคลื่นโดยมีไอซีเรกูลเลเตอร์เบอร์ 7805 ทำหน้าที่รักษาระดับแรงดันไฟตรง 5 V ไอซี MAX485 ต้องการอินพุตเป็นสัญญาณลอจิกแบบทีทีแอล จึงสามารถแปลงสัญญาณ RS-232 ไปเป็น RS-485 โดยไม่ต้องแปลงเป็นสัญญาณลอจิกทีทีแอลก่อน

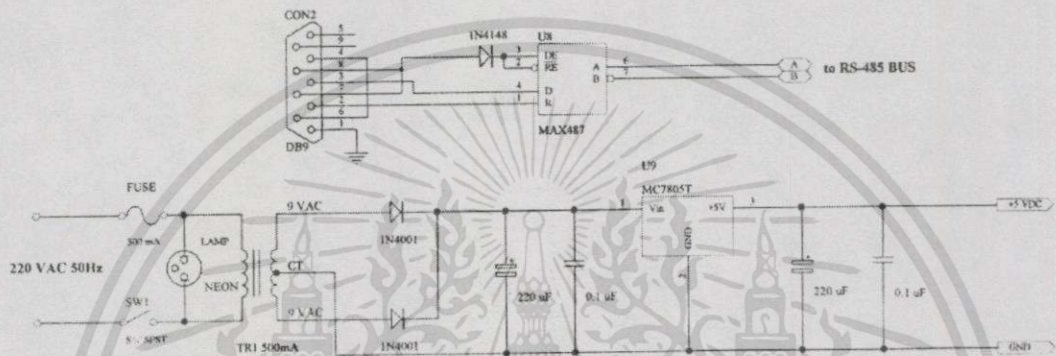
เนื่องจากสัญญาณที่เป็น RS-232 นั้นไม่เหมือนกับสัญญาณลอจิกทีทีแอล โดยสัญญาณที่พอร์ตอนุกรมจะมีสัญญาณดังตารางที่ 5.3

ตารางที่ 5.3 แสดงการเปรียบเทียบระดับสัญญาณมาตรฐานต่างๆ

| ลอจิก | สัญญาณทีทีแอล | สัญญาณ RS-232 | สัญญาณพอร์ตอนุกรมของไมโครคอมพิวเตอร์ |
|-------|---------------|---------------|--------------------------------------|
| 0 | 0 โวลต์ | +5~+15 โวลต์ | +12 โวลต์ |
| 1 | 5 โวลต์ | -15~-5 โวลต์ | -12 โวลต์ |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

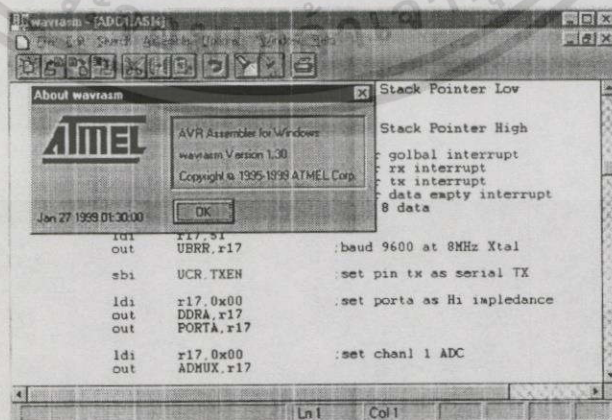
จากข้อมูลในตารางในการออกแบบและสร้างจึงต่อขาสัญญาณ TXD และ RXD จากคอนเน็คเตอร์ DB-9 เข้ากับ MAX485 โดยตรงจะทำให้การรับส่งข้อมูลเป็นแบบตรงกันข้าม คือไมโครคอมพิวเตอร์ต้องการส่งลอจิก “1” ทางปลายทางจะรับเป็นลอจิก “0” จึงต้องสลับขั้วสัญญาณ A และ B ที่ต่อไปยังบัสอนุกรม จะทำให้การรับส่งข้อมูลถูกต้องและใช้สัญญาณ RTS เป็นตัวเลือกว่า จะทำการรับหรือส่งข้อมูล โดยถ้า RTS ของคอนเน็คเตอร์ DB-9 เป็นลอจิก “1” จะเป็นการส่งข้อมูล และถ้าเป็นลอจิก “0” จะเป็นการรับข้อมูล



รูปที่ 5.23 แสดงวงจรตัวแปลงสัญญาณ RS-232/RS-485

5.5 การออกแบบโปรแกรมควบคุมของแผงควบคุมหน่วยการวัดสัญญาณอินพุต

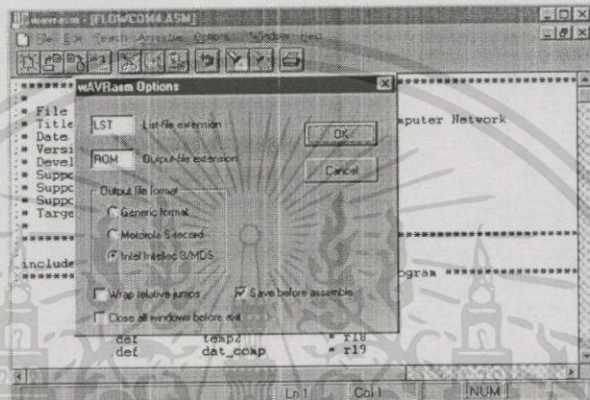
การเขียนโปรแกรมเลือกใช้ภาษาแอสเซมบลี (Assembly Language) เนื่องจากแอสเซมเบลอร์ในการพัฒนาโปรแกรมสามารถหาได้ง่ายและโปรแกรมหลังจากแปลเป็นภาษาเครื่องแล้วจะมีขนาดเล็ก โปรแกรม AVR Assembler ที่ใช้เป็นโปรแกรมที่ทำงานภายใต้ระบบปฏิบัติการ Windows 98 โดยมี Text Editor อยู่ในตัว หน้าจอของโปรแกรมแสดงดังรูปที่ 5.24



รูปที่ 5.24 แสดงหน้าจอโปรแกรม Text Editor ของ AVR Assembler For windows เวอร์ชัน 1.30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก่อนที่จะแปลงซอร์สโปรแกรมให้เป็นภาษาเครื่องของ AVR จะต้องกำหนดข้อมูลที่แปลงได้ ให้เป็นรูปแบบของ Intel Hex เนื่องมาจากการ โหลดข้อมูลลงในหน่วยความจำแบบ โปรแกรมแฟลช ของชิพที่จะเป็นการ โหลดด้วยรูปแบบ Intel Hex โดยการเข้าไปที่เมนู Editor แล้วเลือก Intel Intllec 8/MDS และในส่วนของ LST จะเป็นการกำหนดว่าหลังจากการแปลงซอร์สโปรแกรมแล้วให้มี Listing File ออกมาด้วย โดยส่วนของ Rom เป็นการกำหนดให้ไฟล์ที่ได้จากการแปลงซอร์ส โปรแกรม ในรูปของ Intel File format ให้มีนามสกุลเป็น .Rom



รูปที่ 5.25 แสดงหน้าจอการกำหนด Option ก่อนการแปลงซอร์ส โปรแกรม

การโปรแกรมข้อมูลลงในหน่วยความจำโปรแกรมแบบแฟลชของไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อ ส่ง RUN โปรแกรมที่เขียนขึ้น สามารถทำการ Download โปรแกรมผ่านสายที่ต่อระหว่างพอร์ต เครื่องพิมพ์ของไมโครคอมพิวเตอร์กับคอนเนคเตอร์ SPI Program ของบอร์ด ET-AVR V2.0 ได้ โดยตรงโดยไม่ต้องอาศัยออสซิลเลเตอร์หรือคิบัคเกอร์อิพรวม จึงทำให้สะดวกในการพัฒนาโปรแกรม

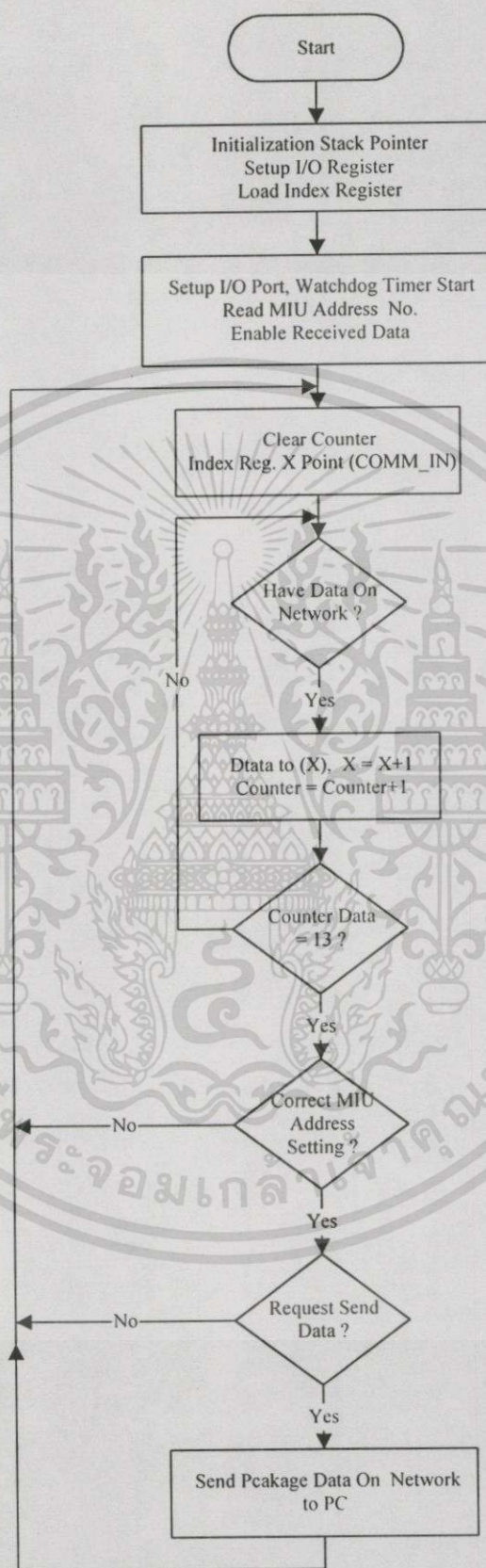
การออกแบบโปรแกรมที่ใช้ควบคุมการทำงานสามารถแบ่งตามการทำงานได้เป็น 3 หมวด คือ

1. โปรแกรมหลัก (Main Program)
2. โปรแกรมซับรูทีน (Sub Routine Program)
3. โปรแกรมบริการการอินเตอร์รัพท์ (Interrupt Service Routine Program)

5.5.1 โปรแกรมหลัก (Main Program)

การทำงานของโปรแกรมจะติดต่อกับเริ่มต้นของรีจิสเตอร์อินพุต/เอาต์พุต เคลียร์ค่าเริ่มต้นใน รีจิสเตอร์และหน่วยความจำ กำหนดการอินเตอร์รัพท์ ตั้งค่าการทำงานของพอร์ตอินพุต/เอาต์พุต อ่านค่าตำแหน่งของหน่วยการวัดสัญญาณอินพุตที่กำหนดโดยคิพสวิทช์แบบ 6 ช่อง รอรับคำสั่งร้อง ขอข้อมูลจากไมโครคอมพิวเตอร์แล้วเรียกใช้ซับรูทีนเพื่อตรวจสอบคำสั่งร้องขอข้อมูลที่รับมา และ ส่งข้อมูลให้แก่ไมโครคอมพิวเตอร์ถ้าคำสั่งร้องขอข้อมูลนั้นถูกต้องตรงตำแหน่งของตัวเอง การ ทำงานของโปรแกรมสามารถเขียนเป็นโฟลว์ชาร์ตดังแสดงในรูปที่ 5.26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



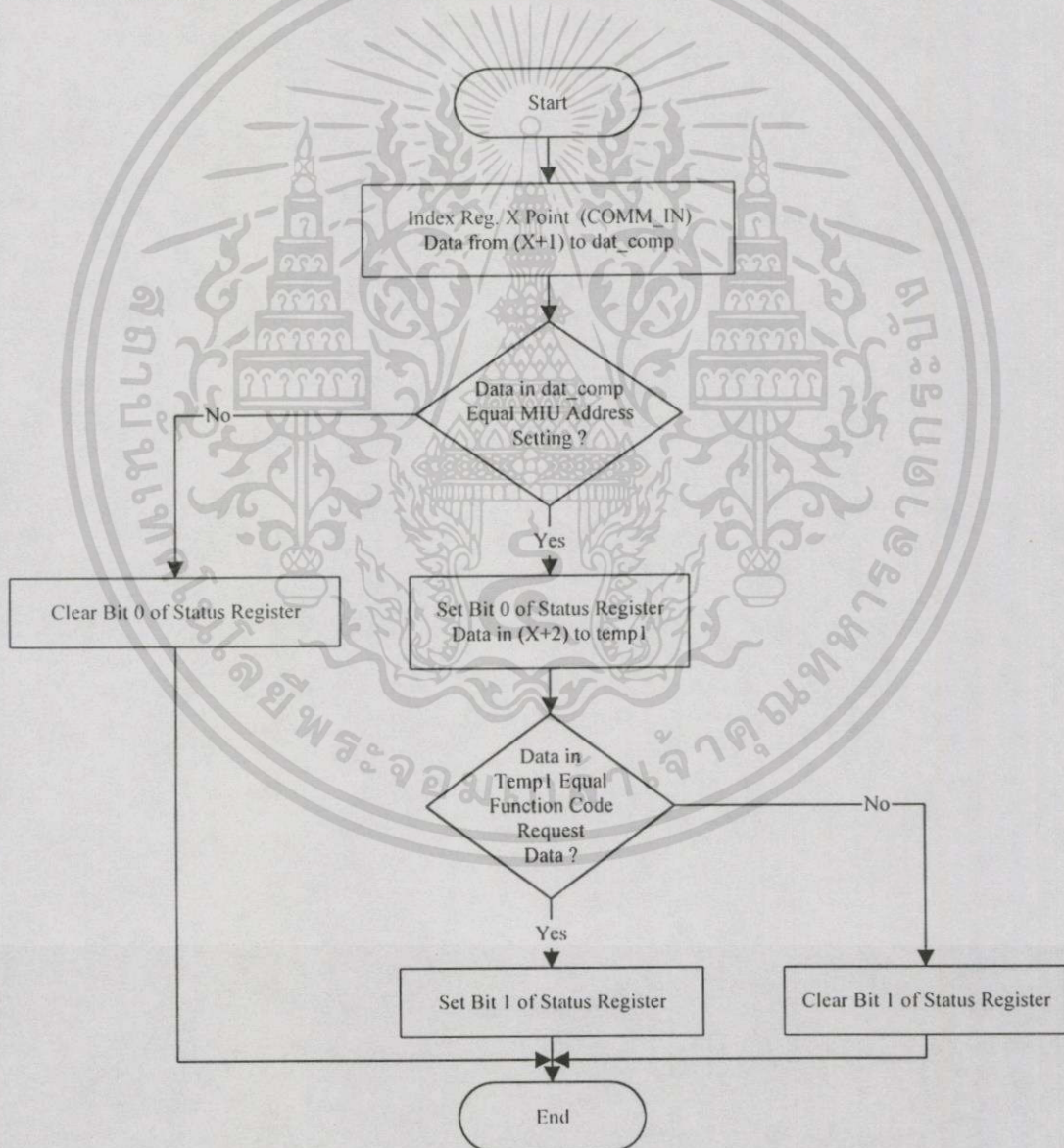
รูปที่ 5.26 แสดงโฟลว์ชาร์ตโปรแกรมหลักควบคุมการทำงานของหน่วยการวัดสัญญาณอินพุต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.5.2 โปรแกรมซับรูทีน (Sub Routine Program)

โปรแกรมซับรูทีนจะเป็นส่วนของโปรแกรมที่มีการทำงานซ้ำๆกันไม่จำเป็นต้องเขียนไว้หลายๆที่ในโปรแกรมหรือเป็นส่วนของโปรแกรมที่ต้องการแยกเขียนออกมาให้เป็นสัดส่วน โดยปกติจะมีจุดประสงค์การทำงานหลักในโปรแกรมเพียงอย่างเดียวอย่างหนึ่งเท่านั้น โปรแกรมซับรูทีนที่เขียนประกอบด้วยโปรแกรมต่างๆ ดังต่อไปนี้

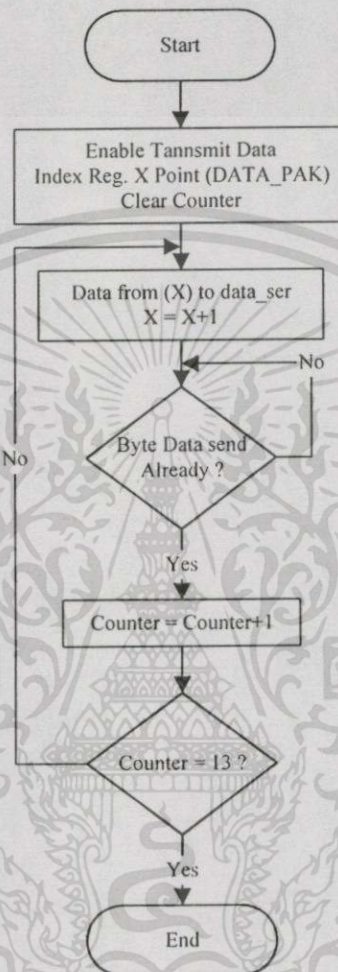
โปรแกรม CKK_COMM การทำงานของโปรแกรมจะตรวจสอบว่า Package ของคำสั่งที่รับเข้ามาต้องการติดต่อกับตัวเองหรือไม่ถ้าใช่จะ Set บิต 0 ของ Status เป็น 1 แล้วเช็คค่า Function Code ที่รับมาเป็นคำสั่งร้องขอให้ส่ง Package ข้อมูลหรือไม่ ถ้าใช่ให้ Set บิต 1 ของ Status เป็น "1" การทำงานของโปรแกรมสามารถเขียนเป็นโฟลว์ชาร์ตดังแสดงในรูปที่ 5.27



รูปที่ 5.27 แสดงการทำงานของโปรแกรมซับรูทีน CHK_COMM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรแกรม TX_DATA การทำงานของโปรแกรมจะส่งแพ็คเกจข้อมูลจำนวน 13 ไบต์ผ่านเน็ตเวิร์คให้แก่ไมโครคอมพิวเตอร์ การทำงานของโปรแกรมสามารถเขียนโฟลว์ชาร์ตดังแสดงในรูปที่ 5.28

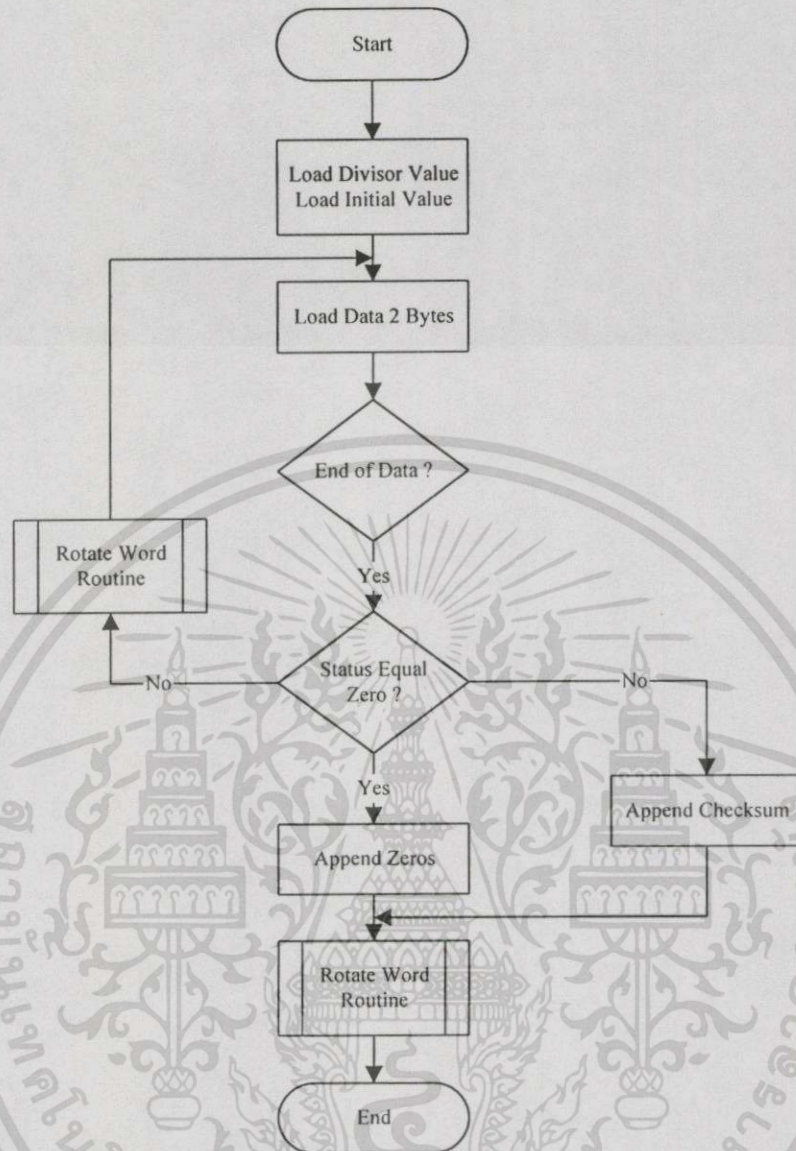


รูปที่ 5.28 แสดงการทำงานของโปรแกรมชั่วคราวที่ TX_DATA

โปรแกรม CRC_GEN การทำโปรแกรมจะกำหนดหรือตรวจเช็ค CRC Checksum ขึ้นอยู่กับค่าในรีจิสเตอร์ Status ถ้าค่าในรีจิสเตอร์ Status เท่ากับ $(00)_{16}$ แล้วเรียกใช้โปรแกรม CRC_GEN จะเป็นการกำหนดรหัส CRC Checksum ของข้อมูลที่จะส่งออกไปถ้าค่าในรีจิสเตอร์ Status เท่ากับ $(FF)_{16}$ แล้วเรียกให้โปรแกรม CRC_GEN จะเป็นการเช็คค่า CRC Checksum ของข้อมูลที่ได้รับเข้ามา

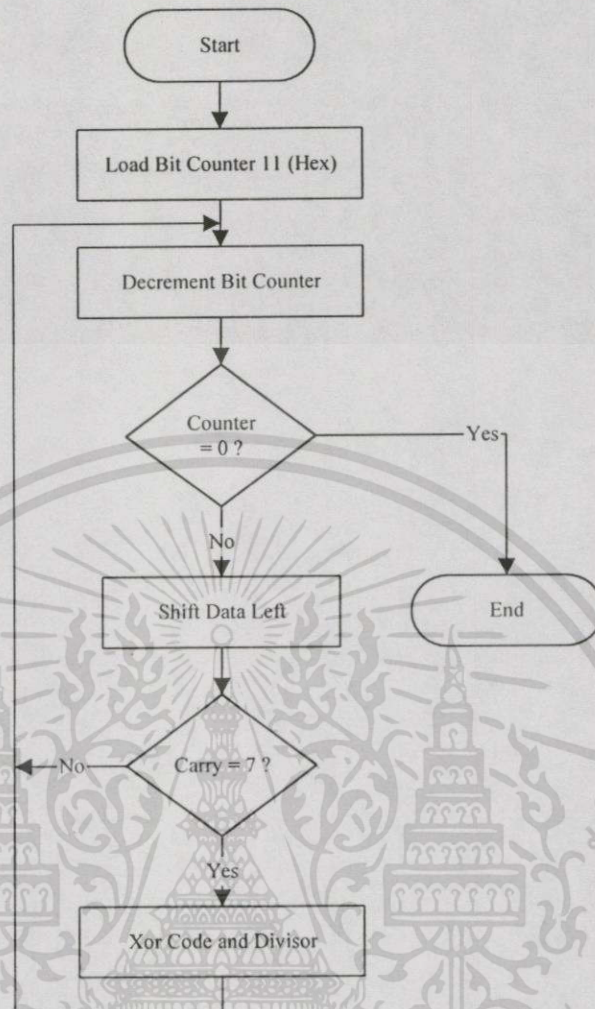
การกำหนด CRC Checksum การทำงานจะใช้หลักการพื้นฐานของการหมุนข้อมูลแบบบิตต่อบิต MSB จะเลื่อนลง Carry Flag ถ้า Carry Flag เป็น "1" ข้อมูล Word จะถูก Exclusive OR ด้วยตัวหาร MSB ของข้อมูลที่เลื่อนลง Carry Flag นั้นจะถูก Exclusive OR ด้วย MSB ของตัวหารดังกล่าว ค่าทั้งคู่เป็น "1" ผลลัพธ์จะเป็น "0" เสมอและจะไม่ทำการหาร ค่า Checksum เป็นผลรวมของการสิ้นสุดการทำงานของ Exclusive OR จะมีขนาดเป็น 16 บิตไปต่อท้ายของข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.29 แสดงการทำงานของโปรแกรมซับรูทีน CRC_GEN

การเช็ค CRC Checksum จะใช้หลักการเดียวกับการกำเนิด Checksum แต่การกำเนิด Checksum จะนำค่า Checksum ไปแทนค่าศูนย์ ผลลัพธ์ของการคำนวณจะรวมค่า Checksum ที่รับเข้ามาด้วย ผลลัพธ์จะให้ค่าศูนย์ถ้าไม่มีความผิดพลาดเกิดขึ้น นอกจากนี้ผลลัพธ์จะให้ค่าไม่เป็นศูนย์ รูทีนการทำงานของกรกำเนิด CRC และการเช็ค CRC จะเหมือนกัน การทำงานของโปรแกรม แสดงดังโพล์ชาร์ตในรูปที่ 5.29 และ 5.30



รูปที่ 5.30 แสดงการทำงานของโปรแกรมขั้วรูด ROT_WORD

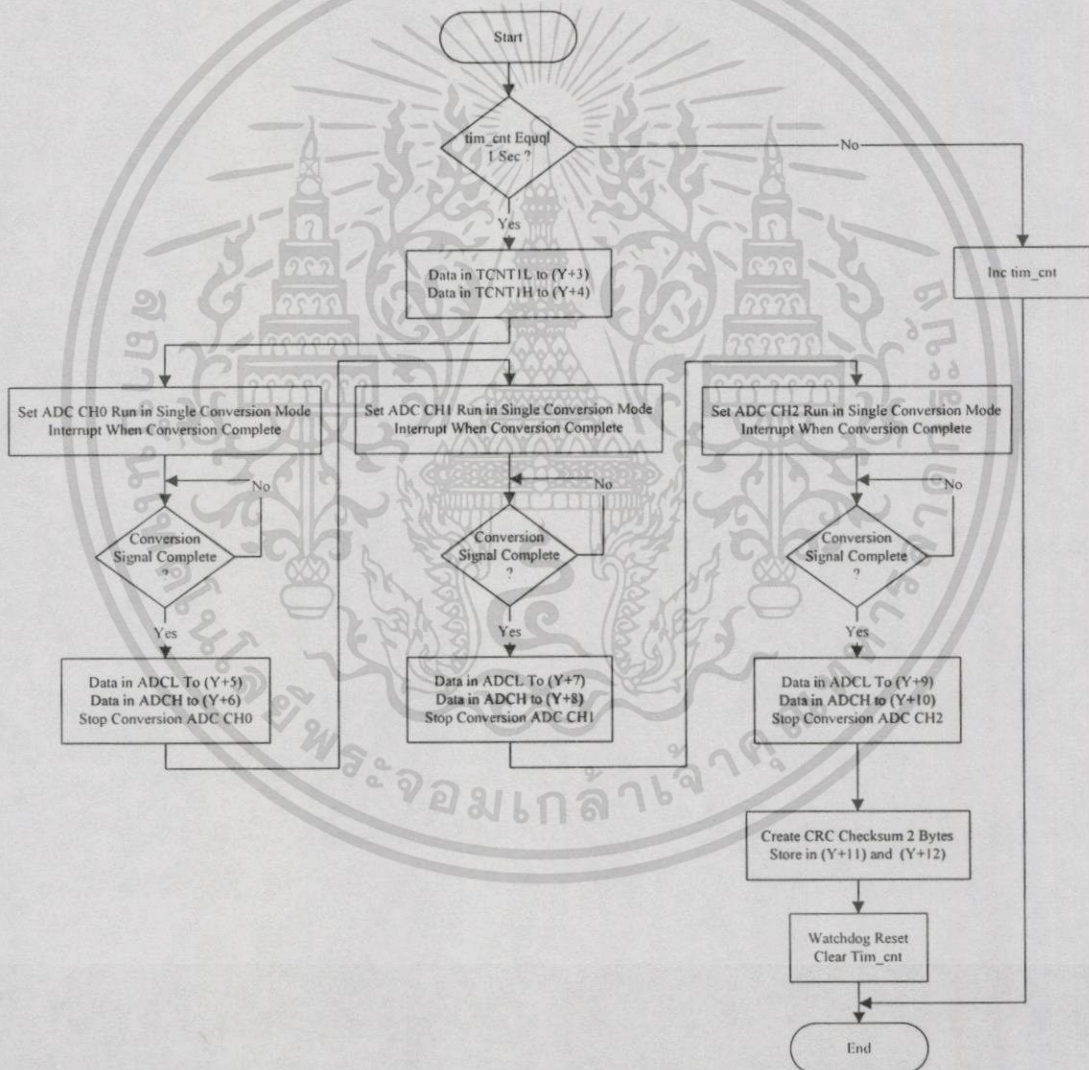
5.5.3 โปรแกรมบริการการอินเทอร์รัพต์

ในการอินเทอร์รัพต์ซีพียูให้ทำการแปลงค่าและอ่านค่าสัญญาณอินพุตตามช่วงเวลาที่ต้องการ คือ ทุก 1 วินาที แต่เนื่องจากการตั้งเวลาการอินเทอร์รัพต์ช่วงระยะเวลา 1 วินาทีที่ต้องการ Timer ขนาด 16 บิต ซึ่งไมโครคอนโทรลเลอร์ 90S5835 ที่ใช้จะมี Timer/Counter ขนาด 16 บิต ตัวเดียวซึ่งนำไปใช้อ่านค่าสัญญาณพัลส์ความถี่จากปรี่แอมป์ของมาตรวัดการไหลแล้ว เพราะฉะนั้นวิธีที่เป็นไปได้ก็คือนำเอา Timer/Counter0 มาใช้เป็นTimer ขนาด 8 บิต ตั้งค่าให้ Timer1 นับสัญญาณนาฬิกา โดยการเลือกค่า Prescale ที่ $CK/1024$ แล้วตั้งให้เกิดการอินเทอร์รัพต์ซีพียูเมื่อ Timer 0 Overflow มา นับช่วงเวลาโดย tim_cnt อีกทีหนึ่งก็จะได้เวลา 1 วินาทีตามต้องการ เมื่อได้ค่าช่วงเวลา 1 วินาทีแล้ว โปรแกรมบริการการอินเทอร์รัพต์จะต้องทำการอ่านค่าสัญญาณการวัดทางอินพุตประกอบด้วย

- อ่านค่าสัญญาณพัลส์ทั้งหมดจากปรี่แอมป์ของมาตรวัดการไหลใน 1 วินาทีซึ่งก็คือความถี่ที่เป็นสัดส่วนกับการวัดการไหลลงเก็บในหน่วยความจำแรม

- ทำการแปลงค่าสัญญาณและอ่านค่าจากสัญญาณแปลงอนาลอกเป็นดิจิตอลช่อง 0 ซึ่งก็คืออ่านค่าอุณหภูมิ จากทรานสมิตเตอร์สำหรับวัดอุณหภูมิ ลงเก็บในหน่วยความจำ
- ทำการแปลงค่าสัญญาณและอ่านค่าจากสัญญาณแปลงอนาลอกเป็นดิจิตอลช่อง 1 ซึ่งก็คือการอ่านค่าการวัดความดัน จากทรานสมิตเตอร์สำหรับวัดค่าความดันลงเก็บในหน่วยความจำ
- ทำการแปลงค่าสัญญาณและอ่านค่าจากวงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอลช่อง 2 ซึ่งก็คือการอ่านค่าการวัดความหนาแน่นของสาร จากทรานสมิตเตอร์สำหรับวัดความหนาแน่นลงเก็บในหน่วยความจำ

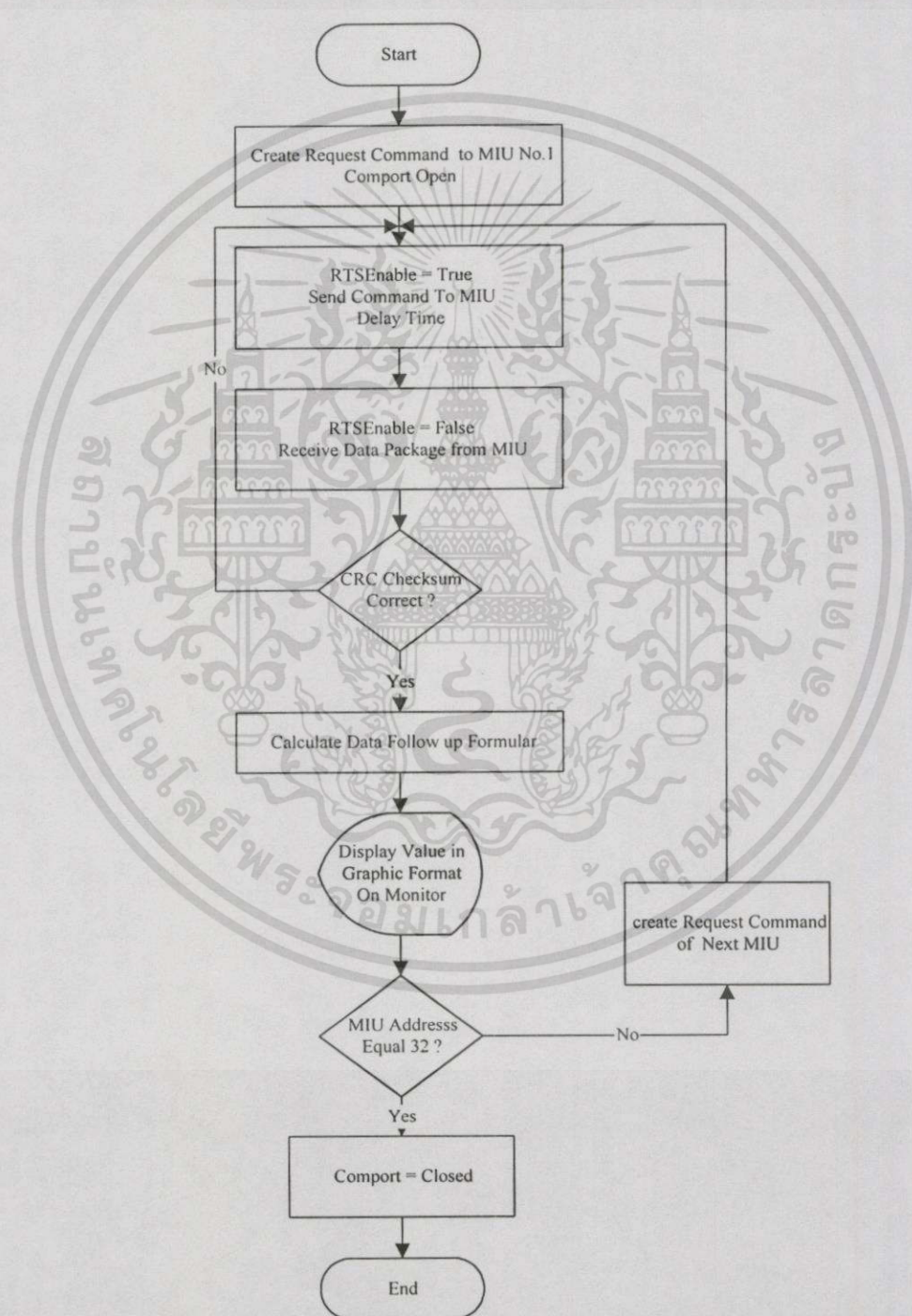
การทำงานของโปรแกรมสามารถเขียนเป็น โฟลว์ชาร์ตดังแสดงในรูปที่ 5.31



รูปที่ 5.31 แสดงโฟลว์ชาร์ตการทำงานของโปรแกรมบริการอินเตอร์รัพต์เมื่อ Timer0 Overflow

5.6 การออกแบบโปรแกรมควบคุมการทำงานบนไมโครคอมพิวเตอร์

การออกแบบโปรแกรมควบคุมการทำงานของเครื่องคำนวณปริมาณการไหลแบบเครือข่ายจะมีการควบคุมหลักอยู่บนไมโครคอมพิวเตอร์ซึ่งเป็นโหนดควบคุมหลัก (Master Node) ทำหน้าที่ควบคุมการสื่อสารทั้งหมดในเครือข่าย การเขียนและพัฒนาโปรแกรมใช้วิซวลเบสิกเวอร์ชัน 6 ซึ่งทำงานภายใต้ระบบปฏิบัติการวินโดวส์ 98



รูปที่ 5.32 แสดง การทำงานของโปรแกรมควบคุมการทำงานบนไมโครคอมพิวเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

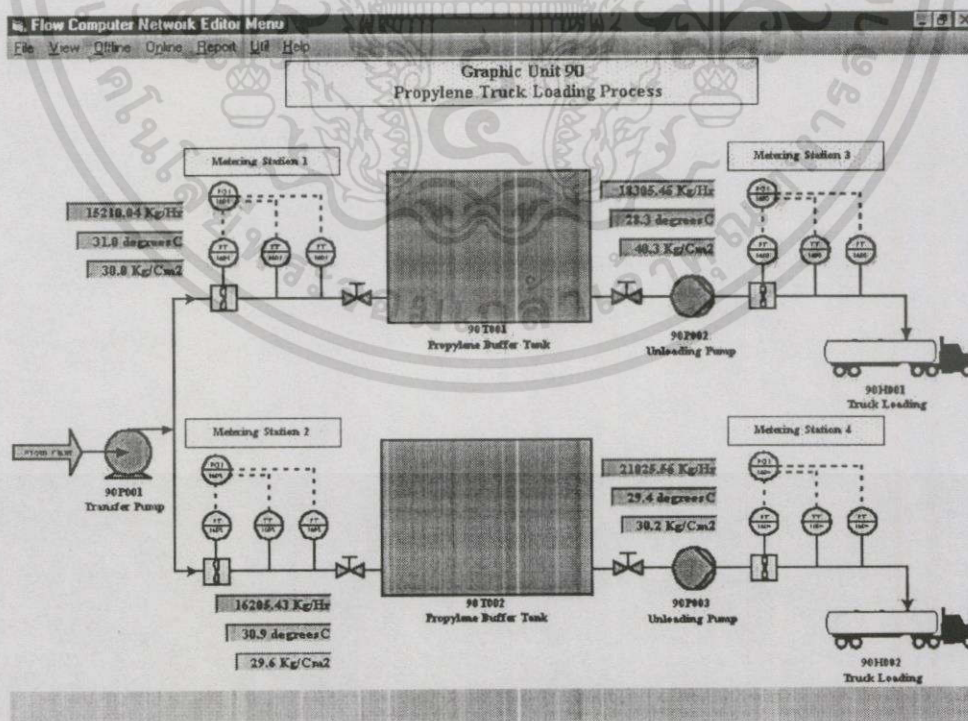
การทำงานของโปรแกรมจะใช้ Timer เป็นตัวตั้งเวลาให้ไมโครคอมพิวเตอร์ ส่งคำสั่งร้องขอให้ส่งแพ็คเกจข้อมูล (Send Data Package Request Command) ให้หน่วยการวัดสัญญาณอินพุตที่อยู่ในเครือข่ายส่งแพ็คเกจข้อมูลค่าการวัดมาให้ไมโครคอมพิวเตอร์เพื่อประมวลผลและแสดงผลการวัดในรูปกราฟฟิคบนจอมอนิเตอร์ของไมโครคอมพิวเตอร์และส่งพิมพ์รายงานการวัดออกทางเครื่องพิมพ์โปรแกรม การทำงานของโปรแกรมแสดงดังไฟล์ชาร์ตในรูปที่ 5.32

5.7 จอกำหนดค่าควบคุมการทำงานและการแสดงผลบนไมโครคอมพิวเตอร์

ในการทำงานของเครื่องคำนวณปริมาณการไหลแบบเครือข่ายการติดต่อระหว่างระบบกับผู้ใช้ จะทำโดยผ่านจอมอนิเตอร์ของไมโครคอมพิวเตอร์ เพื่อกำหนดการสื่อสารป้อนค่าข้อมูลของแต่ละหน่วยการวัดสัญญาณอินพุต เลือกรูปแบบการแสดงผล และส่งพิมพ์รายงานผลการวัดออกทางเครื่องพิมพ์ ซึ่งจะเป็นหน้าจอในรูปของวิซวลทำงานอยู่ภายใต้ระบบปฏิบัติการวินโดวส์ 98 โดยมีหน้าจอติดต่อรับค่าและแสดงผลกับผู้ใช้หลายแบบพอกกล่าวได้ดังนี้

5.7.1 จอแสดงกราฟฟิคกระบวนการผลิต (Process Graphic Display)

เป็นจอที่ใช้แสดงค่าการวัดและการคำนวณของหลายๆจุดวัดค่าปริมาณการไหลบนเครือข่าย การแสดงผลจะเป็นในรูปของ P&I Diagram ซึ่งใช้แทนกระบวนการผลิต ทำให้ผู้ใช้สามารถมองภาพรวมของการบวนการผลิตในการทำงานได้ง่ายยิ่งขึ้น

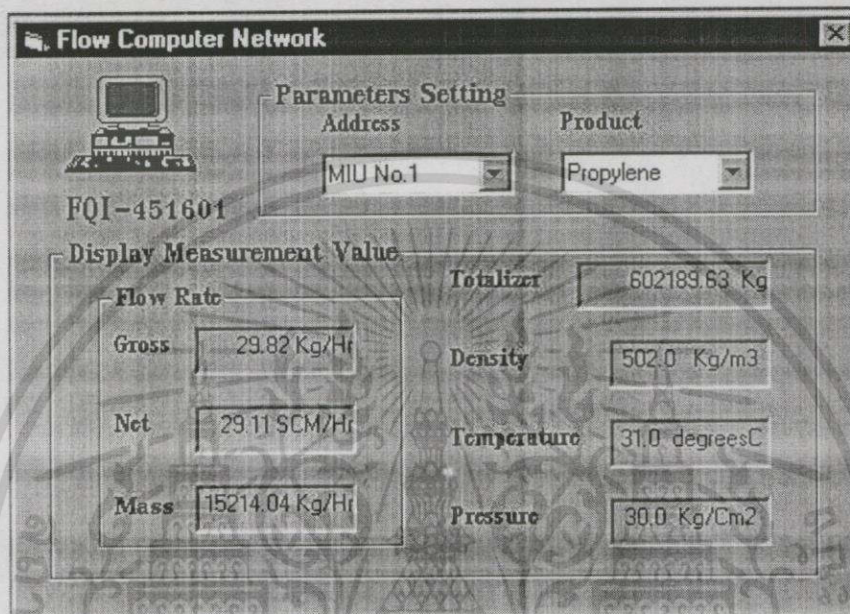


รูปที่ 5.33 แสดงจอแสดงกราฟฟิคกระบวนการผลิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.7.2 จอแสดงรายละเอียดการวัด (Measurement Detail Display)

เป็นจอแสดงรายละเอียดการวัดและการคำนวณทั้งหมดของแต่ละจุดวัด ได้แก่ผลิตภัณฑ์ที่วัด ตำแหน่งของ MIU บนเครือข่าย TAG NO.ของ MIU ค่าอุณหภูมิ ความดัน ความหนาแน่น ค่าปริมาณอัตราการไหลแบบต่างๆ และค่าผลรวมปริมาณการไหล



รูปที่ 5.34 แสดงจอแสดงรายละเอียดการวัด

5.8 การพิมพ์รายงานผลการวัด

การใช้งานเครื่องคำนวณปริมาณการไหล การพิมพ์รายงานผลการวัดเป็นสิ่งสำคัญและจำเป็นมาก เนื่องจากของเครื่องคำนวณปริมาณการไหลโดยทั่วไปจะติดตั้งใช้ในกระบวนการซื้อ-ขาย จึงจำเป็นต้องมีการเก็บหลักฐาน (Records) ของปริมาณวัตถุดิบและผลิตภัณฑ์ที่รับ-ส่งกันในแต่ละ Batch เพื่อนำมาใช้ในการคิดราคาของวัตถุดิบและผลิตภัณฑ์ที่ซื้อ-ขาย ตลอดจนคำนวณภาษี

สำหรับเครื่องคำนวณปริมาณการไหลแบบเครือข่ายที่สร้างขึ้นจะพิมพ์รายงานผลการวัดออกทางเครื่องพิมพ์แบบอนุกรม (Serial Printer) เพื่อให้มีความยืดหยุ่นในการติดตั้ง คือ สามารถเดินสายสัญญาณได้ไกลกว่าเครื่องพิมพ์แบบขนาน (Parallel Printer) ค่าใช้จ่ายในการเดินสายสัญญาณต่ำจะใช้สายสัญญาณเพียง 1 คู่จากเครื่องคำนวณปริมาณการไหลไปยังเครื่องพิมพ์อนุกรม

รายงานผลการวัดที่พิมพ์ออกทางเครื่องพิมพ์อนุกรมแสดงดังรูปที่ 5.34 ข้อมูลที่พิมพ์จะประกอบด้วย TAG No. ของเครื่องคำนวณปริมาณการไหลในแต่ละจุดวัด ชื่อของผลิตภัณฑ์หรือวัตถุดิบ วันเวลาที่สั่งพิมพ์รายงาน ค่าคงที่ในการคำนวณ (ตัวคูณมาตรวัด (Meter Factor) และค่าคงที่ประจำตัวมาตรวัด (K-Factor)) ตัวแปรที่ใช้ประกอบการคำนวณ (อุณหภูมิ ความดัน ความหนา

แน่น และตัวคูณเชิงเส้น (Linear Factor) และค่าปริมาณการไหลแบบต่างๆ ในลักษณะของอัตราการไหลและปริมาณการไหลรวมทั้งหมด

ในการออกแบบและสร้างรูปแบบรายงานผลการวัดของงานวิจัยนี้ ผู้ใช้งานสามารถสร้างได้ตามความต้องการ เนื่องจากค่าตัวแปรต่างๆ ที่วัดและคำนวณได้เก็บค่าไว้บนไมโครคอมพิวเตอร์ ผู้ใช้งานจึงสามารถนำค่าตัวแปรต่างๆ มาวางลงบนรายงานในรูปแบบที่ต้องการได้ เพราะฉะนั้นหากเกิดความผิดพลาดขึ้นในระบบการวัด ทางฝ่ายซ่อมบำรุงและฝ่ายผลิตจะสามารถใช้ความยืดหยุ่นส่วนนี้ตรวจสอบหาสาเหตุความผิดพลาด ของระบบการวัดและการคำนวณได้ตั้งแต่ขั้นตอนการรับค่ากลุ่มข้อมูลจากหน่วยการวัดสัญญาณอินพุตที่ติดตั้งในกระบวนการ จนถึงขั้นตอนการแสดงผลการคำนวณปริมาณการไหลบนหน้าจอไมโครคอมพิวเตอร์

| Measurement Report | |
|---------------------------------|-----------|
| FQI-451901 Product : Propylene | |
| Date : 1/6/2545 Time : 20:09:15 | |
| K-Factor (Pulses/m3) : | 47207.69 |
| Meter Factor : | 1.0000 |
| ===== | |
| Gross Flowrate (m3/Hr) : | 29.82 |
| Net Flowrate (SCM/Hr) : | 29.11 |
| Mass Flowrate (Kg/Hr) : | 15214.04 |
| ===== | |
| Gross Totalizer (m3) : | 270.98 |
| Net Totalizer (SCM) : | 267.92 |
| Mass Totalizer (Kg) : | 140016.06 |
| ===== | |
| Temp. (Deg.C) : | 32.4 |
| Press. (Kg/cm2) : | 31.2 |
| Density (Kg/m3) : | 499.8 |
| Ref. Density (Kg/m3): | 522.6 |
| Linear Factor : | 1.0208 |

รูปที่ 5.35 แสดงรายงานผลการวัดที่พิมพ์ออกทางเครื่องพิมพ์อนุกรม

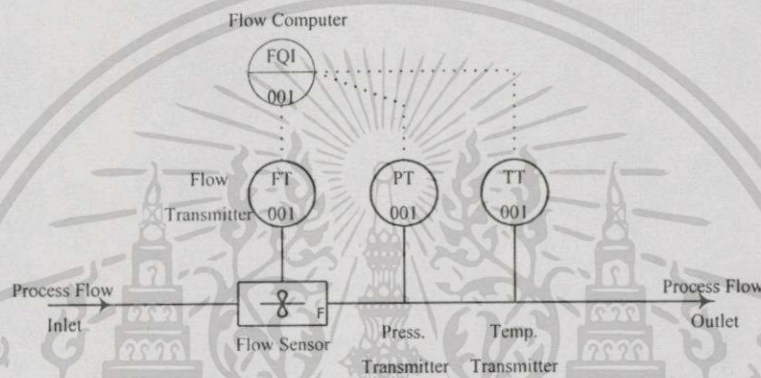
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

การทดลองและผลการทดลอง

6.1 กล่าวนำ

ในบทนี้จะเป็นการนำเครื่องคำนวณปริมาณการไหลแบบเครือข่ายไปใช้กับกระบวนการจำลอง คือ กระบวนการจำลองของการวัดปริมาณการไหลในการซื้อขายดังรูปที่ 6.1



รูปที่ 6.1 แสดง Process&Instrument Diagram กระบวนการจำลองของการวัดปริมาณการไหลในการซื้อขายที่ใช้ในการทดลอง

จากรูปที่ 6.1 จะเห็นว่าระบบการวัดปริมาณการไหลในการซื้อขายของกระบวนการจำลอง ไม่มีการติดตั้งใช้งานเครื่องมือวัดความหนาแน่นของสาร (Densitometer) ซึ่งเหมือนกับระบบการวัดปริมาณการไหลที่ใช้งานอยู่ในอุตสาหกรรม เนื่องจากในการวัดปริมาณการไหลในการซื้อขายระหว่างโรงงานผลิตภัณฑ์ (Product) จะซื้อขายกันต้องมีความบริสุทธิ์ (Purity) ซึ่งจะมีการตรวจวิเคราะห์โดยแผนกควบคุมคุณภาพ (Quality Control Section) ของทั้งโรงงานผู้จ่ายผลิตภัณฑ์และโรงงานผู้รับผลิตภัณฑ์ เมื่อผลิตภัณฑ์มีความบริสุทธิ์เพราะฉะนั้นค่าความหนาแน่นจะเป็นไปตามตารางที่คำนวณตามคู่มือเอพีไอ สำหรับผลิตภัณฑ์ที่เป็นโพรไพลีนจะคำนวณโดยใช้คู่มือเอพีไอ ตอนที่ 11.3.3.2 เพราะฉะนั้นจึงไม่มีความจำเป็นจะต้องติดตั้งเครื่องมือวัดความหนาแน่นของสาร (Densitometer) ซึ่งมีราคาสูงมาก แต่ทั้งนี้ทั้งนั้นต้องเป็นที่ยอมรับร่วมกันระหว่างโรงงานคู่ค้าทั้งสองด้วย

การทดลองที่ใช้ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะทำโดยสอบเทียบเครื่องมือคำนวณปริมาณการไหลแบบเครือข่ายที่สร้างขึ้น กับค่ามาตรฐานที่คำนวณจากการวัดปริมาณการไหลตามรูปที่ 6.1 วิธีการสอบเทียบนี้ จะเป็นวิธีที่ผู้ผลิตเครื่องมือวัดใช้ในการทดสอบเครื่องมือของตัวเองที่สร้างขึ้น เนื่องจากกระบวนการทดสอบจะใช้เครื่องมือสอบเทียบมาตรฐาน (Standard Calibrator) ในการ

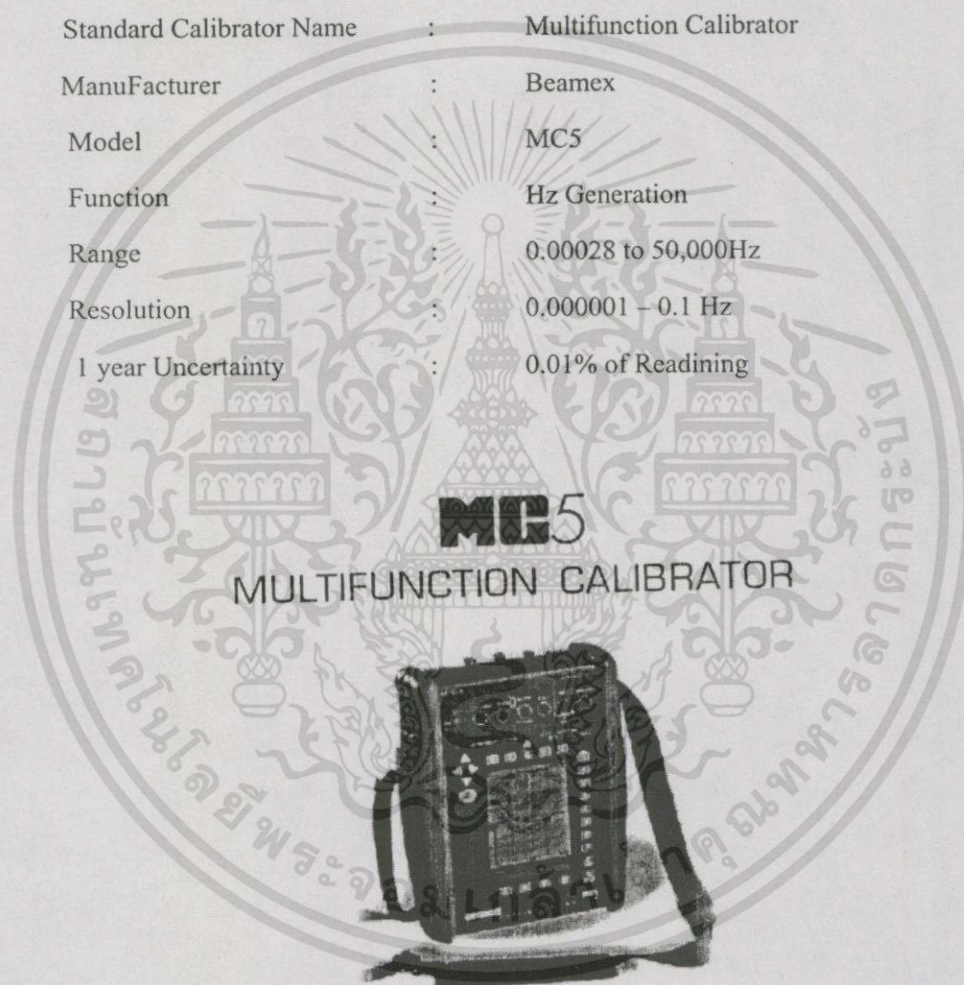
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จำลองค่าการวัดจากกระบวนการจริงทำให้ควบคุมค่าตัวแปรการวัดเพื่อหาค่าความผิดพลาดของเครื่องวัดในย่านต่างๆได้ตามต้องการ

6.2 ผลการทดลองอ่านค่า Gross Flowrate

ทำการทดลองอ่านค่า Gross Flowrate ของหน่วยวัดสัญญาณอินพุต โดยจำลองค่าสัญญาณพัลส์ ความถี่ 0 - 20 KHz ซึ่งเป็นค่าแสดงอัตราการไหลจากมาตรวัดที่ใช้งานในอุตสาหกรรมโดยใช้เครื่องมือสอบเทียบมาตรฐาน (Standard Calibrator) ซึ่งมีรายละเอียดทางเทคนิคดังนี้ [26]

| | | |
|--------------------------|---|--------------------------|
| Standard Calibrator Name | : | Multifunction Calibrator |
| ManuFacterer | : | Beamex |
| Model | : | MC5 |
| Function | : | Hz Generation |
| Range | : | 0.00028 to 50,000Hz |
| Resolution | : | 0.000001 – 0.1 Hz |
| 1 year Uncertainty | : | 0.01% of Reading |



รูปที่ 6.2 แสดงลักษณะเครื่องมือสอบเทียบมาตรฐานทางด้านความถี่ที่ใช้ในการทดลอง

ผลการทดลองสอบเทียบการอ่านค่า Gross Flowrate ของเครื่องคำนวณปริมาณการไหลแบบเครือข่ายแสดงดังตารางที่ 6.1 จากผลการทดลองจะเห็นว่า ค่าที่อ่านได้ก่อนการปรับแก้ (Uncorrected Value) จะมีค่าความผิดพลาดไปทางลบสูงสุด -0.1 % of Reading หลังจากนั้นนำเอาค่าความผิดพลาดที่พบจากการทดลองไปปรับแก้ในโปรแกรมประมวลผล การทดลองจะได้เป็นค่าหลังการปรับแก้ (Corrected Value) ค่าความผิดพลาดที่พบในการทดลองจะเกาะกลุ่มกันอยู่ที่

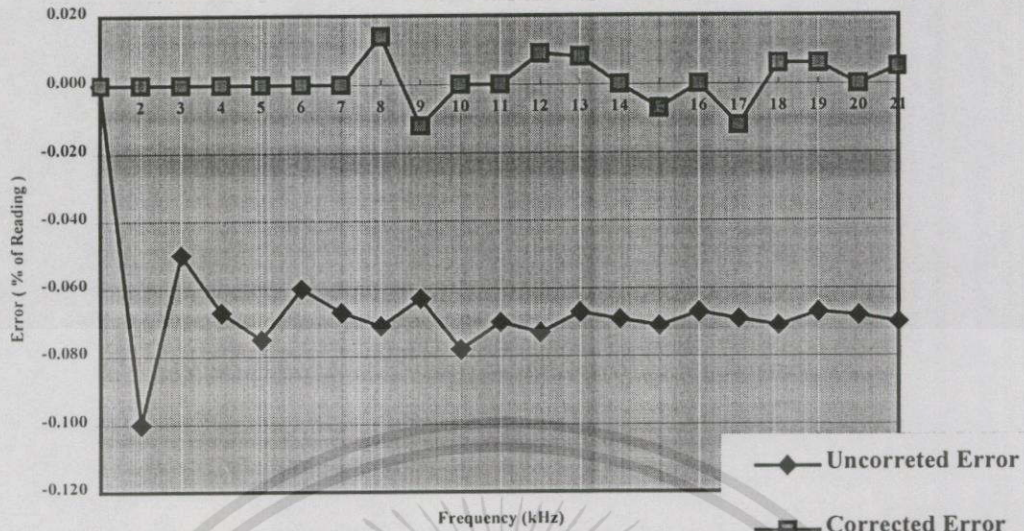
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$\pm 0.02\%$ of Reading จะเห็นว่าการสอบเทียบที่ย่านความถี่ 0 - 7 KHz ซึ่งเป็นย่านการใช้งานจริงของการวัดอัตราการไหลนั้นค่าความผิดพลาดเท่ากับ $\pm 0.00\%$ of Reading หรือไม่มีค่าความผิดพลาดเกิดขึ้นเลย แต่หลังจากการสอบเทียบที่ย่านความถี่ย่านตั้งแต่ 7 KHz ถึง 20 KHz แม้จะใช้การปรับแก้ย่านความผิดพลาดในโปรแกรมประมวลผลแล้วแต่ยังมีค่าความผิดพลาดเกิดขึ้นอันเนื่องมาจากข้อจำกัดของการอ่านค่าความถี่สูงตัวไมโครคอนโทรลเลอร์เอง

ตารางที่ 6.1 แสดงผลการสอบเทียบการอ่านค่า Gross Flowrate ของเครื่องคำนวณปริมาณการไหลแบบเครือข่ายที่สร้างขึ้น

| Step | tandard Value From Calibrat | | Before Corrected | | | After Corrected | | |
|------|-----------------------------|---------------------------------|--------------------|---------------------------------|-------------------------|--------------------|---------------------------------|-------------------------|
| | Frequency | Gross Flow Rate | Frequency | Gross Flow Rate | | Frequency | Gross Flow Rate | |
| | Reading (KHz) | Reading (m ³ /Hr) | Reading (KHz) | Reading (m ³ /Hr) | Error (% of Reading) | Reading (KHz) | Reading (m ³ /Hr) | Error (% of Reading) |
| 1 | 0.0000 | 0.00 | 0.000 | 0.00 | 0.000 | 0.000 | 0.00 | 0.000 |
| 2 | 1.0000 | 76.26 | 0.999 | 76.18 | -0.100 | 1.000 | 76.26 | 0.000 |
| 3 | 2.0000 | 152.52 | 1.999 | 152.44 | -0.050 | 2.000 | 152.52 | 0.000 |
| 4 | 3.0000 | 228.78 | 2.998 | 228.62 | -0.067 | 3.000 | 228.78 | 0.000 |
| 5 | 4.0000 | 305.04 | 3.997 | 304.81 | -0.075 | 4.000 | 305.04 | 0.000 |
| 6 | 5.0000 | 381.29 | 4.997 | 381.07 | -0.060 | 5.000 | 381.29 | 0.000 |
| 7 | 6.0000 | 457.55 | 5.996 | 457.25 | -0.067 | 6.000 | 457.55 | 0.000 |
| 8 | 7.0000 | 533.81 | 6.995 | 533.43 | -0.071 | 7.001 | 533.89 | 0.014 |
| 9 | 8.0000 | 610.07 | 7.995 | 609.69 | -0.063 | 7.999 | 609.99 | -0.012 |
| 10 | 9.0000 | 686.33 | 8.993 | 685.80 | -0.078 | 9.000 | 686.33 | 0.000 |
| 11 | 10.0000 | 762.59 | 9.993 | 762.05 | -0.070 | 10.000 | 762.59 | 0.000 |
| 12 | 11.0000 | 838.85 | 10.992 | 838.24 | -0.073 | 11.001 | 838.92 | 0.009 |
| 13 | 12.0000 | 915.11 | 11.992 | 914.50 | -0.067 | 12.001 | 915.18 | 0.008 |
| 14 | 13.0000 | 991.36 | 12.991 | 990.68 | -0.069 | 13.000 | 991.36 | 0.000 |
| 15 | 14.0000 | 1067.62 | 13.990 | 1066.86 | -0.071 | 13.999 | 1067.55 | -0.007 |
| 16 | 15.0000 | 1143.88 | 14.990 | 1143.12 | -0.067 | 15.000 | 1143.88 | 0.000 |
| 17 | 16.0000 | 1220.14 | 15.989 | 1219.30 | -0.069 | 15.998 | 1219.99 | -0.012 |
| 18 | 17.0000 | 1296.40 | 16.988 | 1295.48 | -0.071 | 17.001 | 1296.48 | 0.006 |
| 19 | 18.0000 | 1372.66 | 17.988 | 1371.74 | -0.067 | 18.001 | 1372.73 | 0.006 |
| 20 | 19.0000 | 1448.92 | 18.987 | 1447.93 | -0.068 | 19.000 | 1448.92 | 0.000 |
| 21 | 20.0000 | 1525.18 | 19.986 | 1524.11 | -0.070 | 20.001 | 1525.25 | 0.005 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



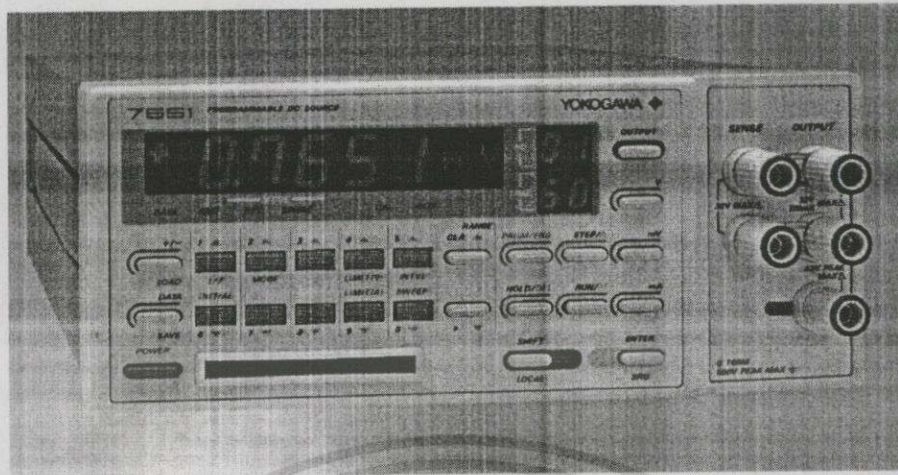
รูปที่ 6.3 แสดงกราฟค่าความผิดพลาดก่อนและหลังการปรับแก้

6.3 ผลการทดลองอ่านค่า Mass Flowrate

จากการทดลองอ่านค่า Gross Flowrate ซึ่งเป็นปริมาณการไหลซึ่งยังไม่ชดเชยการเปลี่ยนแปลง ปริมาตรอันเนื่องมาจากอุณหภูมิและความดันของการไหล จะใช้เครื่องมือสอบเทียบมาตรฐานคือ เครื่องมือจำลองค่าความถี่อัตราการไหลอย่างเดียว แต่เมื่อสอบเทียบเกี่ยวกับการอ่านค่า Mass Flowrate ต้องจำลองค่าสัญญาณการวัดอุณหภูมิและความดันของการไหล เพื่อไปเปิดตาราง (Look Up Table) ค่าความหนาแน่นที่คำนวณจากคู่มือเอพีไอด้วย โดยการสอบเทียบในข้อนี้ใช้เครื่องมือสอบเทียบมาตรฐานเพิ่มเติมคือ เครื่องมือจำลองค่ากระแสไฟฟ้า 4-20 mAdc. ซึ่งมีรายละเอียดทางเทคนิคดังนี้ [27]

| | | |
|--------------------------|---|---------------------------------------|
| Standard Calibrator Name | : | Programmable DC Source |
| ManuFacterer | : | Yokogawa |
| Model | : | 7651 |
| Rage | : | 100 mAdc. |
| Resolution | : | 1 μ A |
| Stability (24 Hrs) | : | $\pm(0.004\%$ of Setting + 3 μ A) |
| Accuracy(1 Year) | : | $\pm(0.03\%$ of Setting + 5 μ A) |
| Temp. Coefficient | : | $\pm(0.002\%$ of setting + 1 uA) |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

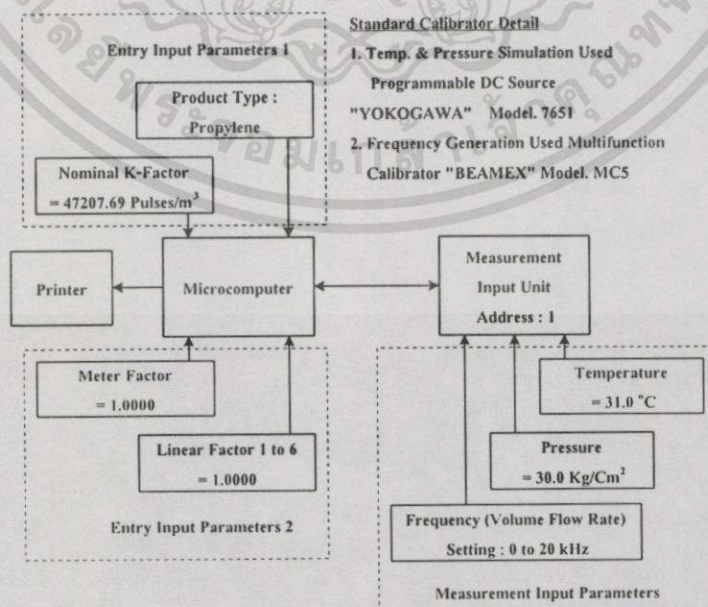


รูปที่ 6.4 แสดงลักษณะเครื่องมือสอบเทียบมาตรฐานทางด้านกระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการทดลอง

เงื่อนไขการสอบเทียบกำหนดดังนี้

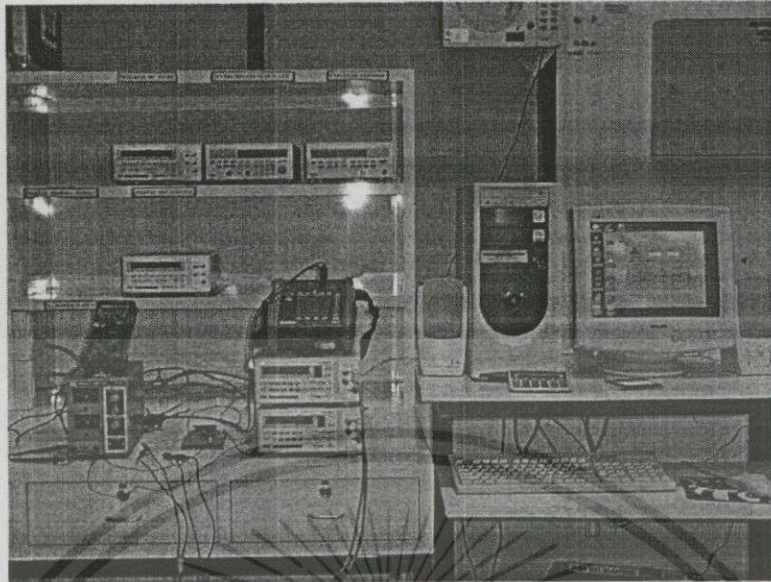
| | | |
|----------------------|---|--------------------------------|
| Nominal K-Factor | : | 47207.69 Pulses/m ³ |
| Product type | : | Propylene |
| Mater Factor | : | 1.0000 |
| Linear Factor 1 to 6 | : | 1.0000 |
| Temperature | : | 31.0 °C |
| Pressure | : | 30.0 Kg/cm ² |

ทำการสอบเทียบหาค่าความผิดพลาดจากการอ่านค่า Mass Flowrate ของเครื่องคำนวณปริมาณการไหลแบบเครือข่ายที่สร้างขึ้น ซึ่งมีบล็อกโคอะแกรมการสอบเทียบดังรูปที่ 6.5



รูปที่ 6.5 แสดงบล็อกโคอะแกรมการสอบเทียบเครื่องคำนวณปริมาณการไหลแบบเครือข่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

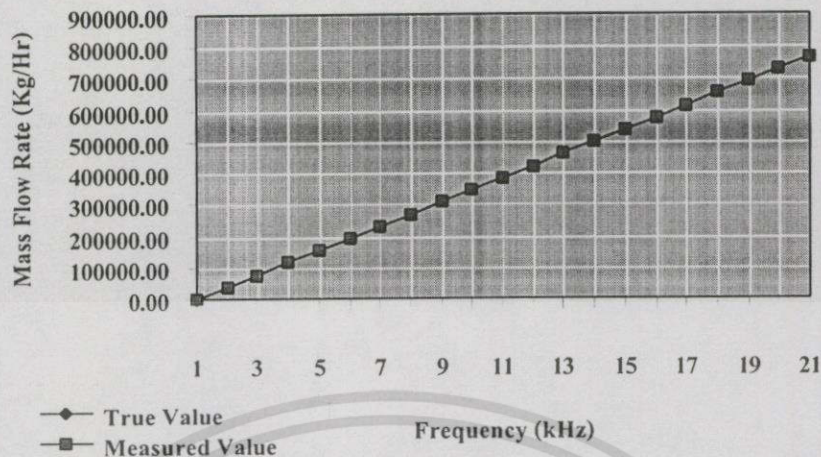


รูปที่ 6.6 แสดงการสอบเทียบเครื่องคำนวณปริมาณการไหลแบบเคลื่อนย้าย ในห้องปฏิบัติการสอบเทียบ

ตารางที่ 6.2 แสดงผลการทดลองสอบเทียบการวัดและคำนวณค่า Mass Flowrate ของเครื่องคำนวณปริมาณการไหลแบบเคลื่อนย้ายที่สร้างขึ้น

| Step | TRUE VALUE | | | | | MEASURED VALUE | | ERROR (% of RDG.) |
|------|---------------------------------|---------------------------------------|---------------------------|--|--|---------------------------------|-----------------------------------|----------------------|
| | Frequency Setting (KHz) | Gross Flow Rate Reading (m3/Hr) | Temp. Signal (°C) | Pressure Signal (Kg/Cm ²) | Mass Flow Rate Reading (Kg/Hr) | Frequency Reading (KHz) | Measurement Value (Kg/Hr) | |
| 1 | 0.0000 | 0.00 | 31.0 | 30.0 | 0.00 | 0.000 | 0.00 | 0.000 |
| 2 | 1.0000 | 76.26 | 31.0 | 30.0 | 38281.90 | 1.000 | 38281.90 | 0.000 |
| 3 | 2.0000 | 152.52 | 31.0 | 30.0 | 76563.80 | 2.000 | 76563.80 | 0.000 |
| 4 | 3.0000 | 228.78 | 31.0 | 30.0 | 114845.70 | 3.000 | 114845.70 | 0.000 |
| 5 | 4.0000 | 305.04 | 31.0 | 30.0 | 153127.59 | 4.000 | 153127.59 | 0.000 |
| 6 | 5.0000 | 381.29 | 31.0 | 30.0 | 191409.49 | 5.000 | 191409.49 | 0.000 |
| 7 | 6.0000 | 457.55 | 31.0 | 30.0 | 229691.39 | 6.000 | 229691.39 | 0.000 |
| 8 | 7.0000 | 533.81 | 31.0 | 30.0 | 267973.29 | 7.001 | 268011.57 | 0.014 |
| 9 | 8.0000 | 610.07 | 31.0 | 30.0 | 306255.19 | 7.999 | 306216.91 | -0.012 |
| 10 | 9.0000 | 686.33 | 31.0 | 30.0 | 344537.09 | 9.000 | 344537.09 | 0.000 |
| 11 | 10.0000 | 762.59 | 31.0 | 30.0 | 382818.99 | 10.000 | 382818.99 | 0.000 |
| 12 | 11.0000 | 838.85 | 31.0 | 30.0 | 421100.88 | 11.001 | 421139.17 | 0.009 |
| 13 | 12.0000 | 915.11 | 31.0 | 30.0 | 459382.78 | 12.001 | 459421.06 | 0.008 |
| 14 | 13.0000 | 991.36 | 31.0 | 30.0 | 497664.68 | 13.000 | 497664.68 | 0.000 |
| 15 | 14.0000 | 1067.62 | 31.0 | 30.0 | 535946.58 | 13.999 | 535908.30 | -0.007 |
| 16 | 15.0000 | 1143.88 | 31.0 | 30.0 | 574228.48 | 15.000 | 574228.48 | 0.000 |
| 17 | 16.0000 | 1220.14 | 31.0 | 30.0 | 612510.38 | 15.998 | 612433.81 | -0.012 |
| 18 | 17.0000 | 1296.40 | 31.0 | 30.0 | 650792.28 | 17.001 | 650830.56 | 0.006 |
| 19 | 18.0000 | 1372.66 | 31.0 | 30.0 | 689074.17 | 18.001 | 689112.46 | 0.006 |
| 20 | 19.0000 | 1448.92 | 31.0 | 30.0 | 727356.07 | 19.000 | 727356.07 | 0.000 |
| 21 | 20.0000 | 1525.18 | 31.0 | 30.0 | 765637.97 | 20.001 | 765676.25 | 0.005 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

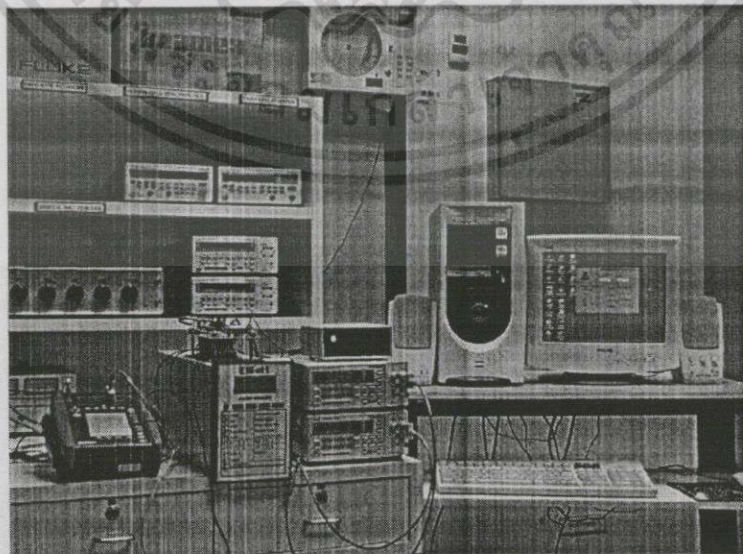


รูปที่ 6.7 แสดงกราฟแสดงค่าความผิดพลาดจากการสอบเทียบการวัดและคำนวณค่า Mass Flowrate ของเครื่องคำนวณปริมาณการไหลแบบเครือข่ายที่สร้างขึ้น

จากกราฟผลการสอบเทียบการอ่านค่า Mass Flowrate จะเห็นว่าการทำงานของเครื่องคำนวณปริมาณการไหลแบบเครือข่ายที่สร้างขึ้นมีความเป็นเชิงเส้น (Linearity) ดี มีค่าความผิดพลาดสูงสุดเพียง 0.014% of Reading

6.4 การวัดเทียบกับเครื่องคำนวณปริมาณการไหลที่ใช้งานอยู่

ทำการทดลองโดยวัดเทียบกับเครื่องคำนวณปริมาณการไหลยี่ห้อ "Elliott Flow Computer" Model: Micro 4000ZX โดยใช้การวัดค่า Gross Flow Rate ในห้องปฏิบัติการสอบเทียบตามรูปที่ 6.8 ผลการทดลองที่ได้ดังตารางที่ 6.3



รูปที่ 6.8 แสดงการวัดเทียบเครื่องคำนวณปริมาณการไหลในห้องปฏิบัติการสอบเทียบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6.3 แสดงผลการทดลองวัดเทียบค่า Gross Flowrate กับเครื่องคำนวณปริมาณการไหล

| Standard Simulate | | Compare Flowcomputer | | Flowcomputer Network | |
|--------------------|---------------------------|----------------------|------------------------|----------------------|------------------------|
| Frequency (KHz) | Gross Flowrate (m3/Hr) | Reading (m3/Hr) | Error (%of Reading) | Reading (m3/Hr) | Error (%of Reading) |
| 0.000 | 00.00 | 00.00 | 0.000 | 00.00 | 0.000 |
| 1.000 | 76.26 | 76.26 | 0.000 | 76.26 | 0.000 |
| 2.000 | 152.52 | 152.52 | 0.000 | 152.52 | 0.000 |
| 3.000 | 228.78 | 228.78 | 0.000 | 228.78 | 0.000 |
| 4.000 | 305.04 | 305.04 | 0.000 | 305.04 | 0.000 |
| 5.000 | 381.29 | 381.29 | 0.000 | 381.29 | 0.000 |
| 6.000 | 457.55 | 457.55 | 0.000 | 457.55 | 0.000 |
| 7.000 | 533.81 | 533.81 | 0.000 | 533.89 | 0.015 |
| 8.000 | 610.07 | 610.07 | 0.000 | 609.99 | -0.013 |
| 9.000 | 686.33 | 686.33 | 0.000 | 686.33 | 0.000 |
| 10.000 | 762.59 | 682.07 | -0.106 | 762.59 | 0.000 |

จากตารางผลการทดลองสรุปได้ว่าเครื่องคำนวณปริมาณการไหลที่นำมาวัดเทียบนั้นมีขีดจำกัดด้านความถี่สูงสุดต่ำกว่า 10 กิโลเฮิร์ต จึงทำให้การเปิด Gate Time ในวงจรดิจิทัลภายในไม่ทันกับความถี่จึงมีค่าความผิดพลาดจึงเกิดขึ้นสูงถึง -0.106% of Reading ส่วนเครื่องคำนวณปริมาณการไหลที่สร้างขึ้นนั้นมีการกระพริบของความถี่ขึ้นลง 1 เฮิร์ต จึงทำให้เกิดค่าความผิดพลาดทางด้านบวกเท่ากับ 0.015% of Reading และทางด้านลบ -0.013% of Reading อาจเกิดจากสัญญาณรบกวนทางความถี่ในความถี่ดังกล่าว ในการวัดเทียบจะวัดเทียบเฉพาะ Gross Flowrate เพราะว่าค่า Net Flowrate และ Mass Flowrate จะมาจากการคำนวณจากพื้นฐานของ Gross Flowrate โดยจะมีขีดจำกัดทางด้านฮาร์ดแวร์เข้ามาเกี่ยวข้องน้อย

บทที่ 7

บทสรุปและแนวทางในการพัฒนา

7.1 บทสรุป

เมื่อพิจารณาจากผลการทดลองสอบเทียบ (Calibrate) และการทดลองใช้งานเปรียบเทียบ (Comparison) กับเครื่องวัดปริมาณการไหลที่ใช้งานอยู่ในโรงงานอุตสาหกรรมตามการทดลองและผลการทดลองข้างต้น จะเห็นได้ว่าเครื่องคำนวณปริมาณการไหลแบบเครือข่ายนี้มีค่าความผิดพลาด (Error) น้อยมาก หรือกล่าวได้ว่าระดับความถูกต้อง (Accuracy) อยู่ในขั้นดี สามารถใช้วัดปริมาณการไหลในการซื้อขายของโรงงานอุตสาหกรรมได้ตามวัตถุประสงค์ของงานวิจัยที่ตั้งไว้

นอกจากนี้เครื่องคำนวณปริมาณการไหลแบบเครือข่าย ที่นำเสนอในงานวิจัยนี้จะสามารถแก้ปัญหาเกี่ยวกับข้อจำกัดของเครื่องคำนวณปริมาณการไหลที่ใช้งานอยู่ในปัจจุบันในหลายๆ ด้าน กล่าวคือ สามารถลดปริมาณของสายจำนวนมากที่ต้องลากจากระบบการผลิตมายังห้องควบคุม ส่วนการใช้พื้นที่ติดตั้งในห้องควบคุมใช้เพียงโต๊ะวางเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล และไม่ต้องเพิ่มขึ้นตามจำนวนของเครื่องคำนวณปริมาณการไหลที่เพิ่มขึ้น การแสดงผลการวัดเป็นแบบกราฟ พิกทำให้ผู้ปฏิบัติงาน (Operators) สามารถศึกษากระบวนการผลิตจริง การวัดปริมาณการไหลของผลิตภัณฑ์ในสภาพของแก๊สและของเหลวสามารถทำได้โดยการเปลี่ยนสูตรคำนวณบน โปรแกรมคอมพิวเตอร์ ซึ่งได้สร้างเป็นพารามิเตอร์ (Parameters) ให้เลือกใช้งานตามความต้องการ การเก็บข้อมูลใช้ฮาร์ดดิสก์ของเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลทำให้สามารถเก็บตารางค่าความหนาแน่นที่คำนวณจากอุณหภูมิและความดันได้หลายผลิตภัณฑ์ ส่วนเรื่องราคาโดยรวมของเครื่องคำนวณปริมาณการไหลแบบเครือข่ายที่สร้างขึ้นมีราคาไม่สูงและสามารถหาอะไหล่ในการซ่อมบำรุงได้ภายในประเทศ

7.2 แนวทางในการพัฒนา

การนำงานวิจัยไปพัฒนาต่อในอนาคตเพื่อนำไปสู่การใช้งานจริงในกระบวนการผลิตของโรงงานอุตสาหกรรมปิโตรเคมี มีแนวทางในการพัฒนาดังนี้

1. เปลี่ยนระดับแรงดันแหล่งจ่ายไฟที่กระแสดังตรงของหน่วยการวัดสัญญาณอินพุตจาก 220VAC เป็น 24 VDC เพื่อให้สามารถเข้ากันได้ (Compatible) ได้กับแหล่งจ่ายไฟเลี้ยงจากโรงงานอุตสาหกรรมในปัจจุบัน
2. เลือกใช้อุปกรณ์เกรดอุตสาหกรรม ซึ่งประกอบด้วยการเลือกใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่มีความทนทานต่อสภาพแวดล้อมและการใช้งานที่ต่อเนื่องยาวนาน อันจะส่งผลทำให้มีความน่าเชื่อถือในการใช้งานสูงขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. เลือกใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ผลิตขึ้นมาเพื่อรับรองรับการสร้างเครื่องมือวัดและความคุม โดยเฉพาะจะทำให้ได้ประโยชน์จากฟังก์ชันพิเศษที่บรรจุในตัวอุปกรณ์ตลอดจนประสิทธิภาพการทำงานของอุปกรณ์ที่ดีขึ้นมีความผิดพลาดในการทำงานน้อยลง

4. เพิ่มจำนวนหน่วยการวัดสัญญาณอินพุตที่เชื่อมต่อกับเครือข่ายให้มากกว่า 32 จุด วัดโดยต้องพัฒนาในเรื่อง Scantime ในการรับค่าจากหน่วยวัดสัญญาณอินพุตของเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล และความเร็วในการรับ-ส่งสัญญาณของเครือข่ายอนุกรม

5. ออกแบบหน่วยการวัดสัญญาณอินพุตให้สามารถติดตั้งในพื้นที่อันตราย (Harzardous Locations) ของโรงงานอุตสาหกรรมได้ โดยต้องมีการออกแบบเพื่อป้องกันการระเบิดอันเนื่องมาจากอุปกรณ์ไฟฟ้า อาจจะเป็นการป้องกันแบบความปลอดภัยแท้จริง (Intrinsic Safety Protection Method : Ex "i") การป้องกันโดยการพ่นความดัน (Pressurization : Ex "p") การป้องกันโดยการปิดล้อม (Explosion Proof Enclosure : Ex "d") โดยทำเป็นทางเลือก (Optional) ให้สามารถเลือกใช้ตามความเหมาะสมของการติดตั้งใช้งาน

6. ออกแบบการสื่อสารในระบบบัสอนุกรมของเครือข่ายให้สามารถเข้ากันได้กับระบบบัสอนุกรมของโรงงานอุตสาหกรรม (Industrial Bus) ที่ใช้งานอยู่ในปัจจุบัน อันได้แก่ มาตรฐานการสื่อสารข้อมูลดิจิทัลฟิลด์บัส (Field Bus) มอดบัส (Mod Bus) การสื่อสารข้อมูลอนุกรมความเร็วสูง (Data High way plus) เป็นต้น

7. ปรับปรุงเพิ่มเติมในส่วนของโปรแกรมควบคุมการทำงานบนคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลให้เกิดความสะดวกและยืดหยุ่นในการใช้งานสูง ในส่วนที่เกี่ยวกับการสร้างรูปแบบรายงานที่ต้องการพิมพ์ การสร้างกราฟฟิคกระบวนการผลิตการกำหนดฟังก์ชันการทำงานพิเศษของเครื่องคำนวณปริมาณการไหลแบบเครือข่าย

จากแนวทางการพัฒนาตามที่กล่าวมาจะเห็นได้ว่า การนำงานวิจัยนี้ไปพัฒนาเพื่อออกแบบและสร้างเครื่องคำนวณปริมาณการไหลแบบเครือข่ายเพื่อการติดตั้งใช้งานในโรงงานอุตสาหกรรมให้เกิดประสิทธิภาพการทำงาน ตลอดจนความน่าเชื่อถือสูงนั้น ต้องอาศัยการสนับสนุนในส่วนของงบประมาณ เวลา ข้อมูลทางเทคนิค และมาตรฐานที่เป็นลิขสิทธิ์ของบริษัทหรือองค์กร ประกอบด้วยซึ่งเกินขีดความสามารถที่ผู้วิจัยจะทำได้ จึงเสนอเป็นแนวทางไว้สำหรับผู้สนใจจะศึกษาและพัฒนางานวิจัยฉบับนี้ต่อไป

เอกสารอ้างอิง

- [1] A Galveston – Houston Co. “Micro-4000ZX Application # 4034 Installation and Operation Manual.” Texas, U.S.A, Pub No. 1- 0500-002A, August 1995.
- [2] Omni Flow Computers Inc. “Omni Operator’s Manual.” Texas, U.S.A, Issue Rev. 20/24, 1991.
- [3] ชัชพล ประสพโชค. “การวัดการไหลในอุตสาหกรรมปิโตรเคมี.” Industrial Technology Review, ปีที่ 1, ฉบับที่ 10, มิถุนายน 2538. หน้า 77-80.
- [4] ตระการ ก้าวสกริธรรม. “แนวทางการใช้งานเครื่องมือวัดการไหล (4) หลักการพื้นฐานของการวัด” เทคนิค, ฉบับที่ 187, สิงหาคม 2543. หน้า 77-82.
- [5] Redwood Division, SGS (Thailand) Limited. “Presentaion to Customers at Map ta Phut on Meter Maintenance and Calibration” Bangkok, Thailand.
- [6] สมศักดิ์ กิระวิสุทธิเศรษฐ์. หลักการและการใช้งานเครื่องมือวัดอุตสาหกรรม. พิมพ์ครั้งที่ 12. กรุงเทพมหานคร : บริษัท ส.เอเชียเพรส จำกัด. 2540.
- [7] Brooks Instrument., Rosemount Inc. “Parity™ Turbine Flowmeter.” Statesboro, Georgia, X-S2215 – 30, Issue3, March 1992.
- [8] สมชาย คงวงศ์ศิริพร. “ระบบความปลอดภัยในบริเวณพื้นที่อันตราย.” Industrial Technology Review, ปีที่ 2, ฉบับที่ 1, กุมภาพันธ์ 2539. หน้า 83-86.
- [9] Measurement Division., Rosemount Inc. “Model 444 Alphaline® Temperature Transmitter.” Chanhassen, U.S.A., MAN 4263A00, July 1994.
- [10] Measurement Division., Rosemount Inc. “Model 1151AP/GP Absolute and Gage Pressure Transmitters.” Chanhassen, U.S.A., May 1987.
- [11] Solartoon Transducers. “7835 & 7845 / 46 / 47 Liquid Density Transducers Technical Manual.” Texas, U.S.A, Part No.78355001, October 1994
- [12] American Petroleum Institute. “Manual of Petroleum Measurement Standards Chapter 4 – Proving Systems.” Washington, U.S.A., 1st Edition, May 1978.
- [13] Brooks Instrument Division., Emerson Electric Co. “Compact Prover.” Statesboro , Georgia, Pub. No. (S) 094, August 1984.
- [14] Redwood Division, SGS (Thailand) Limited. “Calibration Report for Compact Prover Report No. MI 1216/98.” Bangkok, Thailand, August 1998.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [15] สมนึก บุญประเสริฐ, กิตติ ตีรเศรษฐ. “การออกแบบและสร้างมิตอร์วัดความหนาแน่นของไฟโรโพลีนโดยใช้ทรานสมิตเตอร์สำหรับวัดความดันและอุณหภูมิ.” วิศวกรรมลาดกระบัง, ปีที่ 17, ฉบับที่ 1, มีนาคม 2543 . หน้า 85-90.
- [16] สมนึก บุญประเสริฐ, ประภาส อุกคกิมพันธ์, ประสิทธิ์ จุลเสวีวงศ์, กิตติ ตีรเศรษฐ. “การออกแบบและสร้างเครื่องคำนวณปริมาณการไหลแบบเครือข่าย.” วิศวกรรมลาดกระบัง, ปีที่ 18 , ฉบับที่ 4 , ธันวาคม 2544. หน้า 43-48.
- [17] ยืน ภู่วรรณ. การสื่อสารข้อมูลและไมโครคอมพิวเตอร์เน็ตเวิร์ค. กรุงเทพมหานคร : บริษัท ซีเอ็ดดูเคชั่น จำกัด. 2536.
- [18] อัครเสน สมุทรพอง, จักร พิชัยศรีทัต. ระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์ LAN. กรุงเทพมหานคร : บริษัท ซีเอ็ดดูเคชั่น จำกัด. 2535
- [19] Compressor Controls Co. “Series 3 Plus Modbus Reference.” Iowa, U.S.A, Pub. No. 1M 300/M (6.0.1), February 1999.
- [20] อุทัย จิงภักดี. “แนวทางการออกแบบเครื่องมือวัดทางอิเล็กทรอนิกส์ ตอนที่ 1 แนวความคิดพื้นฐาน.” เซมิคอนดักเตอร์อิเล็กทรอนิกส์, ฉบับที่ 137, มีนาคม 2537. หน้า 85-87.
- [21] ETT Co., Ltd. “ET - AVR V 1.0 ET - AVR V 2.0 AVR RISC Microcontroller Board Downloadable Flash.” Bangkok, Thailand, January 1999.
- [22] ETT Co., Ltd. “AVR Enhanced RISC Microcontroller Data Book.” Bangkok, Thailand, Rev. 1041A-05/98, May 1998.
- [23] โชติพันธุ์ หล่อเลิศสุนทร, จูฑะพันธุ์ หล่อเลิศสุนทร. สอนเขียน Visual Basic 6.0 ให้เป็นโปรเจก. กรุงเทพมหานคร : Soft Express & Publishing, 2543.
- [24] ชาริน สัทธีธรรมชารี, สุรสิทธิ์ คิวประสพศักดิ์. Advanced Visual Basic Version 6.0. กรุงเทพมหานคร : บริษัท ซัคเซสมี่เดีย จำกัด. 2544
- [25] กิตติ กักดีวัฒน์กุล, จำลอง กระจูตสาหะ. Visual Basic 6 ฉบับโปรแกรมเมอร์. พิมพ์ครั้งที่ 5. กรุงเทพมหานคร : หจก. ไทยเจริญการพิมพ์. 2542.
- [26] Beamex. “MC5 Multifuncion Calibrator User Guide.” Pietarsaari, Finland, 8822000 /UE MC5/012600, 2000.
- [27] Yokogawa Electric Co. “Model 7651 Programmable DC Source.” Tokyo, Japan, IM7651-01E , 2nd Editon , April 1995.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ISSN 0125-1724

วิศวกรรม

ลาดกระบัง

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

LADKRABANG ENGINEERING JOURNAL

ปีที่ 18 ฉบับที่ 4

ธันวาคม 2544

| | |
|---|----|
| 1. การออกแบบระบบคอมพิวเตอร์ภายในสถานีไฟฟ้าช้อย อิดิ เอี่ยมมงคล สุธี บรรจงจิตร นัทศน์ กฤษณจินดา | 1 |
| 2. การปรับปรุงการกระจายแรงดันไดโตนึงอินฟอสองขั้วแบบดีเอสไอเอชไอเอฟ สมบัติ จันทร์รอด ประภวน ไทสุวรรณภา | 7 |
| 3. หลักการออกแบบวงจรยกและขมิ้นเกอชเวอ์โดย อภิศาสตร์ ศรีวิเศษ ประภวน ไทสุวรรณภา | 13 |
| 4. วิเคราะห์ฮาร์โมนิกบนข้อโมในบางอุตสาหกรรม สมชาย สานวิสุทธิสาโรจน์ เข็ม นกขุ กอบชัย เตชะหาญ | 19 |
| 5. ผลกระทบของสารก่อมลพิษในระบบสายโทรศัทพ์เคลื่อนที่ สันติ มุ่งเขม่น เว็ นกขุ กอบชัย เตชะหาญ จีระศักดิ์ ชาญวุฒิธรรม | 25 |
| 6. Robust Smith Predictor Mongkol Janchookiat Prasi Jubsereewong Kitti Tiraseth | 31 |
| 7. การเพิ่มประสิทธิภาพของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 โดยใช้เทคนิคไปโไลม ปิฎกยศ ไชยภาน สมศักดิ์ นิตตะยา | 37 |
| 8. การออกแบบและสร้างเครื่องคำนวณปริมาณการไหลแบบเครื่องอ่าน สมบัติ บุญประเสริฐ ประภวน อุคคิมภพณี ประสิทธิ์ จุลเศรษฐ์ กิตติ ศรีเศรษฐ์ | 43 |
| 9. การจำลองแบบไมโครเวฟสำหรับวงจรที่มีการจัดการควบคุมการเลือกสัญญาณ ธีรวัฒน์ บุญผาชาติ มนูญ สุขเกษม | 49 |
| 10. การวิเคราะห์ระบบการสื่อสารวีดิทัศน์แบบดิจิตอลสำหรับระบบเครือข่ายแบบไร้สายในสภาวะแวดล้อมของ โรงงานอุตสาหกรรม อิชเส็ด เอหาทรณกุล สุพล สิกขีธรรมา เกียรติกร วงศ์โรจน์กรณ | 55 |
| 11. การนำเครือข่าย IP มาประยุกต์ใช้กับเครือข่าย SMA/SDLC และ X.25 กับระบบงาน ATM นพรัตน์ เจียมแจ่มจรัส กฤษณ เตชะหาญ ราสิน บรรจงจิตร | 61 |
| 12. การนำระบบโทรศัทพ์ ประชุมกลุ่ม ระบบเครือข่ายข้อมูลผ่านตัว กมล กมลศรีวัน กอบชัย เตชะหาญ ราสิน บรรจงจิตร | 67 |
| 13. วงจรควบคุมแบบ ไมโครส รมิโทรวิกเกอร์ ที่ศึกษาไปเลี้ยง I-โพล ศิริวัฒน์ อิมไพบุญย์ ณัฐศิลา จวีระจิตร คำทอง คงสมบูรณ์ กอบชัย เตชะหาญ | 73 |
| 14. วงจรไมโครสอินเวอเตอร์ชนิดอนคอมพลีเมนท์ารี่ความถี่สูงทำงานแบบเต็มขั้วโดยใช้ไอซีป้อนกลับ เอกจิต ไพศาสจเรวุฑฒ์ กอบชัย เตชะหาญ | 79 |
| 15. แบบจำลองทางคอมพิวเตอร์สำหรับกลุ่มของมอเตอร์พัดลม ไพสิฐ ภิรมย์ธรรม อานันท์วัฒน์ คุณากร | 85 |
| 16. การออกแบบเครื่องกำเนิดแปลงไฟฟ้าแม่ข่ายโหลดแบบกระแสไม่เป็นเชิงเส้น อรรฎาดี วงศ์ใหญ่ สุธี บรรจงจิตร อานันท์วัฒน์ คุณากร บุญเลิศ สีอเนช ปิฎกยา มาสิวิตร สิริวิห ทัดสวน | 91 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การออกแบบและสร้างเครื่องคำนวณปริมาณการไหล แบบเครือข่าย

Design and Implementation of Flow Computer Network

สมนึก บุญประเสริฐ ประภาส อุดกคิมพันธ์ุ ประสิทธิ์ จุลเสวีวงศ์ กิตติ ตีรเศรษฐ
ภาควิชาเทคโนโลยีการวัดคุมทางอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอการออกแบบและสร้างเครื่องคำนวณปริมาณการไหลแบบเครือข่าย โดยมีจุดเด่นคือมีความยืดหยุ่นและสะดวกในการใช้งาน ตลอดจนมีราคาถูกลงกว่าเครื่องคำนวณปริมาณการไหลที่ใช้งานอยู่ปัจจุบัน โครงสร้างของเครือข่ายจะใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นตัวรับค่าตัวแปรอินพุตจากการวัดการไหลที่จุดต่างๆ ของกระบวนการผลิตในโรงงานอุตสาหกรรม แล้วทำการแปลงสัญญาณจากอนาล็อกเป็นดิจิทัลก่อนส่งค่าตัวแปรในรูปแบบของกลุ่มข้อมูลมาให้ไมโครคอมพิวเตอร์คำนวณปริมาณการไหลแต่ละจุด และแสดงค่าในรูปกราฟฟิคบนจอมอนิเตอร์และพิมพ์รายงานผลการคำนวณการสื่อสารในเครือข่ายเป็นแบบบัสอนุกรมตามมาตรฐาน RS-485 ทำให้การรับส่งข้อมูลได้ระยะไกลถึง 4000 ฟุตรวมทั้งสนับสนุนการเชื่อมต่อเครือข่ายระบบหลายจุด (Multi-point) จากการทดลองสอบเทียบเพื่อหาค่าความผิดพลาดของเครื่องคำนวณปริมาณการไหลแบบเครือข่ายที่สร้างขึ้น โดยใช้การเปรียบเทียบการวัดจากเครื่องมือสอบเทียบมาตรฐานในห้องปฏิบัติการสอบเทียบ พบว่ามีค่าความผิดพลาดจากการวัดน้อยกว่า 0.015 %

คำสำคัญ : เครื่องคำนวณปริมาณการไหล

Abstract

This research proposes the designed and implementation of flow computer network. The main advantage of this flow computer is flexible and easy to use, and provided a low cost system. The flow computer network use microcontroller for receiving the input parameter which measured from some point in the line production processes. The measured data will be converted from analog signal to digital signal before sending them as the system data to the microcomputer. These parameters will be used to compute the flow rate of each point. The result will be shown as graphic on the monitor and also printed out by the printer. The RS-485 is used for communication in the network, So the data can be travelled about 4,000 feet distance and also supporting the multi-point measurements as well. By using simulation signal from standard calibrator in the calibration laboratory. We found the measurement error less than 0.015 %

Keyword : Flow Computer

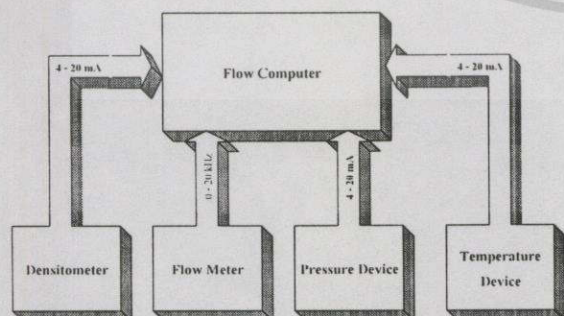
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. บทนำ

ในโรงงานอุตสาหกรรมปิโตรเคมีที่มีการขนถ่ายวัตถุดิบและผลิตภัณฑ์ในรูปของก๊าซและของเหลวผ่านระบบท่อ การวัดการไหลเป็นสิ่งหนึ่งที่เกี่ยวข้องและสำคัญมากสำหรับกระบวนการ การวัดการไหลสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ลักษณะตามวัตถุประสงค์การใช้งานคือ การวัดการไหลในการซื้อขาย (Custody Transfer Measurement) และการวัดการไหลในกระบวนการ (Process Flow Measurement) ผลการวัดทั้ง 2 ลักษณะอาจจะแสดงค่าเป็นปริมาตรหรือมวลก็ได้

การวัดการไหลเพื่อการซื้อขายเป็นสิ่งที่สำคัญมาก ทั้งนี้เนื่องจากวัตถุดิบและผลิตภัณฑ์ของโรงงานปิโตรเคมีมีการรับส่งระหว่างโรงงานต่างๆ ตลอดเวลา จึงจำเป็นต้องมีระบบการวัดปริมาณการไหลที่มีความน่าเชื่อถือสูงเพื่อใช้ในการคำนวณราคามูลค่าผลิตภัณฑ์ ใช้ในการคำนวณภาษีสรรพสามิต ภาษีมูลค่าเพิ่มและเพื่อตรวจสอบการรั่วไหลของผลิตภัณฑ์ที่อาจเกิดขึ้นเพื่อที่จะสามารถหาวิธีการแก้ไขและป้องกันได้ทันการ ความถูกต้องแม่นยำของอุปกรณ์ที่ใช้วัดปริมาณการไหลมีความสำคัญมากเนื่องจากมักเกิดการโต้แย้งในเรื่องปริมาณที่แท้จริงของผลิตภัณฑ์ที่มีการรับส่งอยู่เสมอ [5]

โดยทั่วไปอุปกรณ์ที่ใช้วัดค่าปริมาณการไหลในการซื้อขายจะประกอบด้วย มาตรวัดการไหล เครื่องมือวัดอุณหภูมิ เครื่องมือวัดความดัน เครื่องมือวัดความหนาแน่นของสาร (Densitometer) และเครื่องมือวัดการไหล (Flow Computer) ดังแสดงในรูปที่ 1 [5]



รูปที่ 1 บล็อกโคโอะแกรมของอุปกรณ์ที่ใช้วัดค่าปริมาณการไหลในการซื้อขาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 1 การหาค่าปริมาณการไหลในการซื้อขายที่คำนวณโดยเครื่องคำนวณปริมาณการไหล มันจะรับค่าตัวแปรจากการวัดเข้ามาเกี่ยวข้องกับการคำนวณหลายตัว และในการประมวลผลจะมีความซับซ้อนจึงต้องมีการติดตั้งเครื่องคำนวณปริมาณการไหลเป็นการเฉพาะ แต่จากการใช้งานพบว่า เครื่องคำนวณปริมาณการไหลที่มีอยู่ในปัจจุบันมีข้อจำกัดหลายๆ ด้านคือ ต้องลากสายสัญญาณจำนวนมากจากอุปกรณ์การวัดในกระบวนการผลิตมายังเครื่องคำนวณปริมาณการไหลในห้องควบคุมเมื่อติดตั้งหลายๆ ตัว ใช้พื้นที่ของแผงควบคุมในการติดตั้งมาก การแสดงผลในรูปแบบกราฟฟิกของกระบวนการผลิตทำไม่ได้ การสร้างรายงานเกี่ยวกับการควบคุมวัตถุดิบและผลิตภัณฑ์ที่นำเข้าออกจากกระบวนการผลิตทำได้ยาก ในการวัดปริมาณการไหลของผลิตภัณฑ์ในสภาพของก๊าซและของเหลวในเครื่องคำนวณปริมาณการไหลตัวเดียวกันทำไม่ได้ การเปลี่ยนชนิดของของไหลที่จะวัดต้องเปลี่ยนอีพรอม (EPROM) ในตัวเครื่องคำนวณปริมาณการไหลด้วยทำให้เกิดความยุ่งยาก มีราคาที่สูงมากและอะไหล่ในการซ่อมบำรุงต้องนำเข้าจากต่างประเทศ

สำหรับเครื่องคำนวณปริมาณการไหลแบบเครือข่าย ที่นำเสนอในงานวิจัยนี้จะสามารถแก้ปัญหาเกี่ยวกับข้อจำกัดของเครื่องคำนวณปริมาณการไหลที่ใช้งานอยู่ในปัจจุบันตามที่กล่าวมาข้างต้นได้เป็นอย่างดี

2. หลักการคำนวณหาค่าปริมาณการไหล

การคำนวณการไหลจะประกอบด้วย การแสดงค่าใน 2 ลักษณะคือ อัตราการไหล (Flow Rate) เป็นการแสดงค่าความเร็วของการไหลของของไหลต่อหนึ่งหน่วยเวลา และปริมาณการไหลรวมทั้งหมด (Flow Totalizer) เป็นการแสดงค่าปริมาณการไหลของของไหลทั้งหมดที่ไหลผ่านมาตรวัด สมการที่ใช้คำนวณการไหลจะมีทั้งของไหลที่อยู่ในสถานะไอและของเหลว ซึ่งมีรูปแบบและวิธีการคำนวณที่แตกต่างกันแต่ในที่นี้จะกล่าวถึงแต่สมการคำนวณการไหลของของเหลวเพราะมีการใช้งานเป็นส่วนใหญ่ รายละเอียดของสมการและตัวแปรที่นำมาใช้ประกอบการคำนวณมีดังนี้

2.1 Gross Flow Rate : GFR (m³/Hr)

Gross Flow Rate คือ อัตราการไหลที่เป็นตัวบ่งบอกค่าของปริมาตรการไหลต่อหน่วยเวลาซึ่งยังไม่ชดเชยทางด้านอุณหภูมิและความดัน ดังสมการ (1) [1,2]

$$\text{Gross Flow Rate (m}^3\text{/Hr)} = \frac{(\text{Total Pulse/Second}) * 3600}{\text{Nominal K- Factor (Pulses/m}^3\text{)}} \quad (1)$$

2.2 Net Flow Rate : NFR (Nm³/Hr)

Net Flow Rate คืออัตราการไหลที่เป็นตัวบ่งบอกค่าของปริมาตรการไหลต่อหน่วยเวลาหลังจากคำนวณการชดเชยด้วยค่าอุณหภูมิและความดันของของเหลว และคูณด้วยตัวคูณเชิงเส้นและตัวคูณมาตรวัดดังสมการ (2) ยกเว้นการคำนวณของโพรไฟลีน [1,2]

$$\text{NetFlowRate(Nm}^3\text{/Hr)} = \text{GFR} * \text{VCF} * \text{CPL} * \text{L.F.} * \text{M.F.} \quad (2)$$

โดยที่ L.F. คือตัวคูณความเป็นเชิงเส้น (Linear Factor) เพื่อปรับแก้การอ่านค่าจากมาตรวัดการไหลให้ถูกต้องตลอดย่านการใช้งาน

M.F. คือตัวคูณมาตรวัด (Meter Factor) เป็นตัวคูณในการปรับให้เครื่องคำนวณปริมาณการไหลอ่านค่าปริมาณการไหลได้ถูกต้องภายหลังจากการสอบเทียบ

ค่าของ L.F. และ M.F. เป็นค่าที่ได้จากการสอบเทียบมาตรวัดการไหลโดยใช้ Prover ตาม [3]

VCF คือตัวคูณชดเชยปริมาตร อ้างอิงตาม ASTM D1250 หาได้จากสมการ (3) [1,2]

$$\text{VCF} = \text{Exp}(-\alpha T * \Delta T * (1 + 0.8 * \alpha T * \Delta T)) \quad (3)$$

$$\Delta T = T_{\text{Actual}} - T_{\text{Reference}} \quad (4)$$

โดยที่ αT คือ การชดเชยของการขยายตัวที่อุณหภูมิอ้างอิง (Correction of Expansion at Reference Temperature) หาได้จากสมการ (5) [1,2]

$$\alpha T = \frac{K_0 + (K_1 * R_{\text{hot}})}{R_{\text{hot}}^2} \quad (5)$$

โดยที่ K_0 และ K_1 คือค่าคงที่ทางฟิสิกส์ได้มาจากข้อมูลที่ใช้คำนวณในคู่มือ API ของมาตรฐานการวัดในปิโตรเลียมตามตาราง 54A และ 54B

CPL คือค่าชดเชยความดันของของเหลว (Correction for Pressure on Liquid) ซึ่งหาได้จากสมการ (6) [1,2]

$$\text{CPL} = \frac{1}{1 - (P - P_0) * F} \quad (6)$$

โดยที่ P คือความดันการไหล (kPa g)

Pe คือความดันสมดุลไอ (kPa g)

F คือตัวคูณความสามารถอัดตัวของไฮโดรคาร์บอน

2.3 Mass Flow Rate : MFR (Kg/Hr)

Mass Flow Rate คืออัตราการไหลเป็นตัวบ่งบอกค่าของมวลการไหลต่อหน่วยเวลา ดังสมการ (7) [1,2]

$$\text{Mass Flow Rate (Kg/Hr)} = \text{GFR} * \text{FD} * \text{L.F.} * \text{M.F.} \quad (7)$$

FD : Flowing Density (Kg/m³)

2.4 สำหรับโพรไฟลีน

อัตราการไหลของโพรไฟลีนคำนวณได้จาก [1,2]

$$\text{Net Flow Rate (Nm}^3\text{/Hr)} = \text{GFR} * \text{CCF} * \text{L.F.} * \text{M.F.} \quad (8)$$

โดยที่ CCF คืออัตราส่วนของความหนาแน่นที่คำนวณกับความหนาแน่นที่ 15 °C และการอัดตัว

ความหนาแน่นของการไหล (Flowing Density) สามารถคำนวณจากค่าอุณหภูมิและความดันการไหลโดยใช้คู่มือ API ตอนที่ 11.3.3.2 การคำนวณหาค่าความหนาแน่นของโพรไฟลีนจากค่าความดันและอุณหภูมิที่วัดได้ โดยใช้หลักการของคู่มือ API แสดงตัวอย่างค่าที่ได้ดังตารางที่ 1 [6]

| PRESSURE (Kg/cm ²) | TEMPERATURE (°C) | | | | | | | | |
|------------------------------------|--------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | 32 | 33 |
| 25 | 511.0 | 509.2 | 507.5 | 505.7 | 503.9 | 502.1 | 500.3 | 498.4 | 496.5 |
| 26 | 511.3 | 509.6 | 507.8 | 506.0 | 504.2 | 502.4 | 500.6 | 498.8 | 496.9 |
| 27 | 511.6 | 509.9 | 508.1 | 506.4 | 504.6 | 502.8 | 501.0 | 499.1 | 497.3 |
| 28 | 511.9 | 510.2 | 508.4 | 506.7 | 504.9 | 503.1 | 501.3 | 499.5 | 497.6 |
| 29 | 512.2 | 510.5 | 508.8 | 507.0 | 505.2 | 503.5 | 501.7 | 499.8 | 498.0 |
| 30 | 512.5 | 510.8 | 509.1 | 507.3 | 505.6 | 503.8 | 502.0 | 500.2 | 498.4 |
| 31 | 512.8 | 511.1 | 509.4 | 507.7 | 505.9 | 504.1 | 502.3 | 500.5 | 498.7 |
| 32 | 513.1 | 511.4 | 509.7 | 508.0 | 506.2 | 504.5 | 502.7 | 500.9 | 499.1 |
| 33 | 513.4 | 511.7 | 510.0 | 508.3 | 506.5 | 504.8 | 503.0 | 501.2 | 499.4 |

ตารางที่ 1 ตัวอย่างการคำนวณความหนาแน่นของโพรไฟลีน โดยใช้คู่มือเอพีไอ

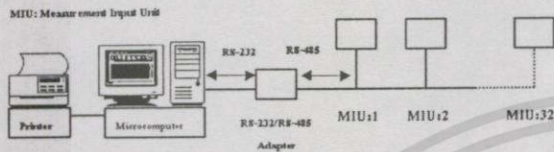
3. หลักการ

โครงสร้างของเครื่องคำนวณปริมาณการไหลแบบเครือข่ายที่นำเสนอในงานวิจัยจะประกอบด้วย 2 ส่วนหลักตามรูปที่ 3 คือ

1. ไมโครคอมพิวเตอร์ จะทำหน้าที่คำนวณหาปริมาณการไหลโดยรับค่าตัวแปรการวัดต่างๆ จากหน่วยวัดสัญญาณอินพุต แล้วแสดงผลการวัดและคำนวณที่ได้ในรูปกราฟฟิคบนจอมอนิเตอร์และพิมพ์เป็นรายงานการวัดออกทางเครื่องพิมพ์

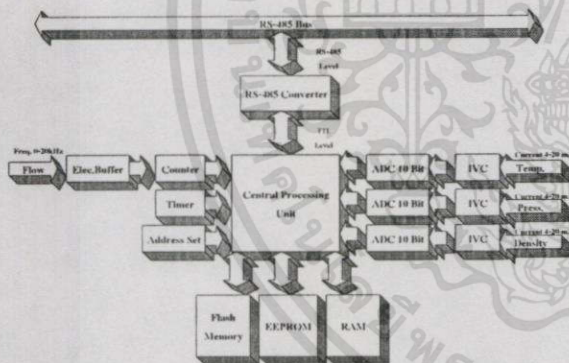
เอกสารนี้เป็นเอกสารตัวอย่างสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ด้านธุรกิจ
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. หน่วยการวัดสัญญาณอินพุต (Measurement Input Unit) จะทำหน้าที่รับค่าสัญญาณการวัดต่างๆ จากทรานสมิตเตอร์ คือ อุณหภูมิ ความดัน ความหนาแน่นและความเร็วการไหล ซึ่งเป็นสัญญาณอนาลอกมาทำการแปลงเป็นสัญญาณดิจิทัลในรูปแบบของกลุ่มข้อมูล เพื่อส่งค่าให้แก่ไมโครคอมพิวเตอร์ผ่านระบบบัสอนุกรม



รูปที่ 3 โครงสร้างของเครื่องคำนวณปริมาณการไหลแบบเครือข่าย

การเชื่อมต่อเครือข่ายของหน่วยวัดสัญญาณอินพุตที่ติดตั้งในกระบวนการผลิตของโรงงานจะเป็นแบบบัสจะทำให้มีจุดวัดที่ส่งค่าตัวแปรการวัดมาคำนวณปริมาณการไหลได้สูงสุดถึง 32 จุดวัดซึ่งเป็นข้อจำกัดของชนิดโหนดที่รองรับได้ของ RS-48 ในคู่สายสัญญาณ 1 คู่



ADC : Analog to Digital Converter , CPU : Central Processor Unit
IVC : Current to Voltage Converter, RTC : Real Time Clock

รูปที่ 4 บล็อกโคอะแกรมของส่วนการวัดสัญญาณอินพุต

โครงสร้างของการทำงานของส่วนการวัดสัญญาณอินพุต (Measurement Input Unit) แสดงดังรูปที่ 4 การทำงานของส่วนวัดสัญญาณอินพุตจะใช้ตัวตั้งเวลาเป็นตัวควบคุมให้ส่วนประมวลผลกลางอ่านค่าอุณหภูมิ ความดัน ความหนาแน่นและความเร็วการไหลที่ส่งมาจากทรานสมิตเตอร์ในเวลาทุกๆ 1 วินาทีซึ่งเพียงพอกับการวัด ค่าที่รับได้จะถูกแปลงเป็นสัญญาณดิจิทัล และมาจัดเก็บให้อยู่ในรูปแบบของกลุ่มข้อมูลที่กำหนดในหน่วยความจำแบฟเฟอร์ เมื่อได้รับคำสั่งร้องขอ (Request Command) ให้

ส่งค่าตัวแปรการวัดจากไมโครคอมพิวเตอร์ที่ตรงกับแอด्रेसของตัวเอง ก็จะทำการส่งกลุ่มข้อมูลการวัดดังกล่าวที่เก็บไว้ในหน่วยความจำแบฟเฟอร์แรม ให้แก่ไมโครคอมพิวเตอร์เพื่อทำการประมวลผลต่อไป

4. การออกแบบทางฮาร์ดแวร์

ในการออกแบบฮาร์ดแวร์ได้กำหนดรายละเอียดทางด้านเทคนิคที่สอดคล้องกับการใช้งาน ของเครื่องคำนวณปริมาณการไหลในกระบวนการผลิตของโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งกำหนดรายละเอียดทางด้านเทคนิคไว้ดังนี้

- Input Frequency : 0 to 20 kHz Amplitude 12 Vdc
 - Analog Input : 4 to 20 mAde
 - Analog to Digital Converter 10 Bit Resolution
 - Communication Baud Rate 28.8 Kbps
- การออกแบบฮาร์ดแวร์จะประกอบด้วย 2 ส่วนหลัก

4.1 ตัวแปลงสัญญาณ (RS-232/RS-485 Adapter)

วงจรของตัวแปลงสัญญาณจะทำหน้าที่แปลงสัญญาณ RS-232 จากไมโครคอมพิวเตอร์ให้สามารถเชื่อมต่อกับสัญญาณ RS-485 ของเครือข่ายได้ โดยจะเลือกใช้ไอซีเบอร์ MAX485 เป็นอุปกรณ์หลัก บรรจุไว้ในหัวต่อ DB-9 ของคอมพิวเตอร์

4.2 หน่วยวัดสัญญาณอินพุต (Measurement Input Unit)

การออกแบบวงจรในส่วนนี้เลือกใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ AT90S8535 ของบริษัท ATMEL เป็นอุปกรณ์หลักเนื่องจากมีคุณสมบัติที่สอดคล้องกับรายละเอียดทางเทคนิคที่กำหนดและมีข้อดีที่เหนือกว่าไมโครคอนโทรลเลอร์ทั่วไปคือ สถาปัตยกรรมภายในแบบ RISC ซึ่งจะส่งผลให้ไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถทำงานเร็วกว่าไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์อื่นๆ ที่ความถี่สัญญาณนาฬิกาเท่ากัน มีหน่วยความจำโปรแกรมแบบ FLASH ขนาด 8 Kbytes สามารถ Download โปรแกรมได้โดยตรง ทำให้ง่ายต่อการพัฒนาโปรแกรม มีหน่วยความจำแบบ EEPROM และ RAM สำหรับบันทึกข้อมูลอย่างละ 512 ไบต์ ซึ่งเพียงพอสำหรับการใช้งาน ทำให้ไม่ต้องเพิ่มอุปกรณ์ต่อพ่วงภายนอก และ วงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิทัลขนาด 10 บิตจำนวน 8 ช่อง ให้ความละเอียดของระดับสัญญาณสูง

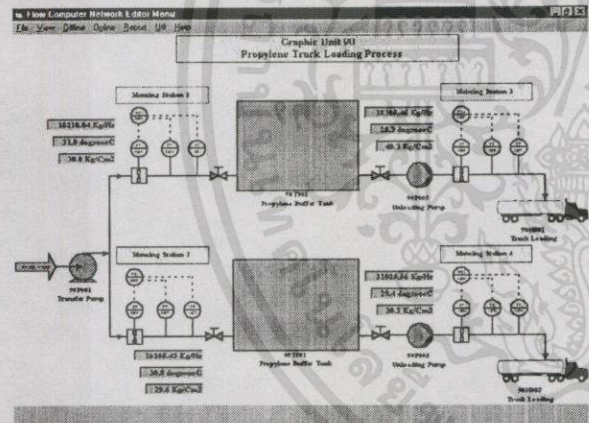
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. โปรแกรมการแสดงผลบนไมโครคอมพิวเตอร์

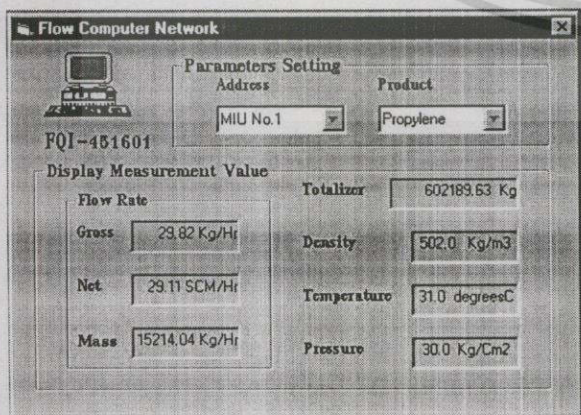
การแสดงผลการวัดและการคำนวณปริมาณการไหล ของเครื่องคำนวณปริมาณการไหลแบบเครือข่ายบนจอคอมพิวเตอร์ของไมโครคอมพิวเตอร์ จะเขียนโปรแกรมโดยใช้ Visual Basic 6 ซึ่งทำงานภายใต้ระบบปฏิบัติการวินโดวส์ 98 การแสดงผลจะอยู่ในรูปของกราฟฟิคซึ่งสะดวกต่อการอ่านค่าและใช้งาน การแสดงผลของหน้าจอหลักจะแยกกล่าวออกเป็นตัวอย่าง 2 ชนิดคือ

5.1 จอการแสดงผลกราฟฟิคของกระบวนการผลิต

เป็นหน้าจอกราฟฟิคแสดงผลการวัดของเครื่องคำนวณปริมาณการไหลแบบเครือข่ายที่ติดตั้งในกระบวนการผลิตที่หลายจุดวัด โดยแสดงผลในรูปแบบของ Process & Instrument Diagram ซึ่งจะให้ผู้ปฏิบัติงานมองภาพรวมของระบบการวัดและควบคุมปริมาณการไหลในกระบวนการผลิตได้ง่ายยิ่งขึ้น



รูปที่ 7 จอการแสดงผลกราฟฟิคของกระบวนการผลิต



รูปที่ 8 จอแสดงผลกราฟฟิครายละเอียดการวัด

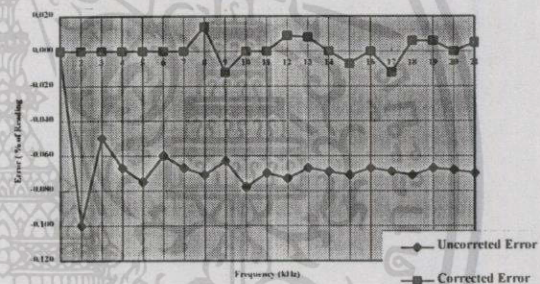
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 จอการแสดงผลกราฟฟิคของรายละเอียดการวัด

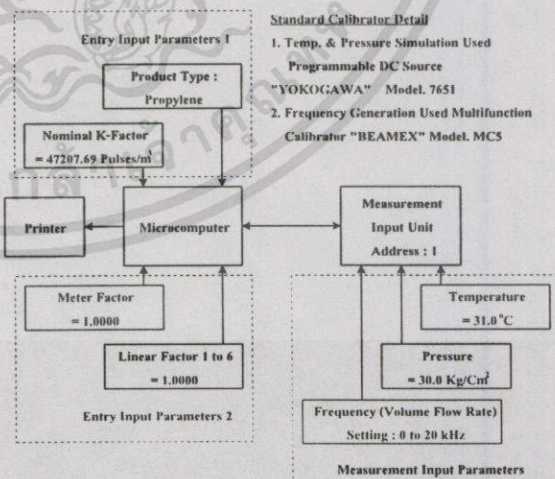
เป็นหน้าจอกราฟฟิคแสดงรายละเอียดค่าต่างๆ ที่วัดและคำนวณได้ พร้อมทั้งปริมาณการไหลแบบต่างๆ ของเครื่องคำนวณปริมาณการไหลแบบเครือข่ายที่ติดตั้งในกระบวนการผลิตที่ละจุดวัด

6. การทดลองและผลการทดลอง

1. ทำการทดลองสอบเทียบการอ่านค่าสัญญาณความถี่ที่นำมาใช้คำนวณค่า Gross Flow Rate ของหน่วยวัดสัญญาณอินพุต ผลการทดลองจะได้เป็นค่าก่อนการปรับแก้ (Uncorrected Value) และทำการทดลองอีกครั้งโดยนำค่าความผิดพลาดที่ได้ไปปรับแก้ในโปรแกรมประมวลผลผลการทดลองจะได้เป็นค่าหลังการปรับแก้ (Uncorrected Value) แสดงดังรูปที่ 9



รูปที่ 9 กราฟค่าความผิดพลาดก่อนและหลังการปรับแก้

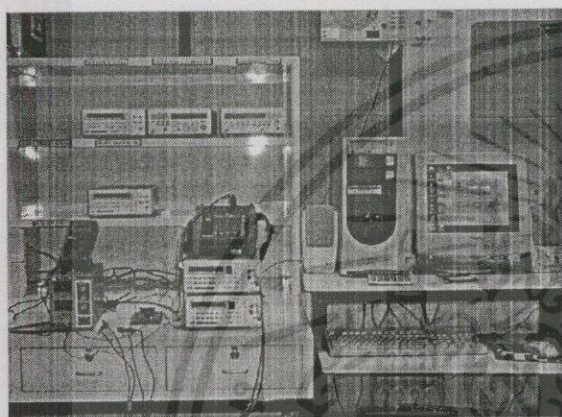


รูปที่ 10 บล็อกไดอะแกรมการสอบเทียบเครื่องคำนวณปริมาณการไหลแบบเครือข่าย

2. ทำการทดลองเพื่อหาค่าความผิดพลาดจากการ

อ่านค่าและคำนวณของเครื่องวัดปริมาณการไหลแบบเครือข่าย

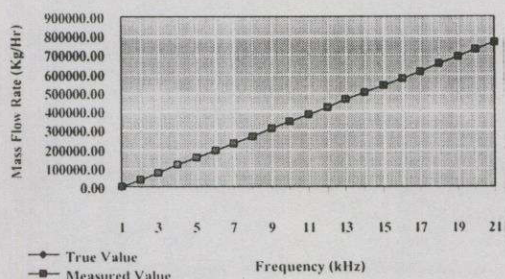
ขายที่สร้างขึ้น โดยสอบเทียบการคำนวณค่า Mass Flow Rate ซึ่งมีบล็อกโคโอะแกรมการสอบเทียบดังรูปที่ 10 ค่าตัวแปรจากการวัดจะได้จากการสร้างสัญญาณ (Simulate) ค่าการวัดต่างๆ ให้หน่วยการวัดสัญญาณอินพุตอ่านค่าแล้วส่งให้แก่ไมโครคอมพิวเตอร์ ส่วนค่าตัวแปรจากการป้อนค่าได้จากการกำหนดค่าตัวแปรที่เป็นองค์ประกอบของอุปกรณ์การวัด ป้อนให้แก่การโปรแกรมประมวลผลบนไมโครคอมพิวเตอร์ ผลการทดลองที่ได้ดังตารางที่ 2



รูปที่ 11 การสอบเทียบเครื่องคำนวณปริมาณการไหลแบบเครือข่ายในห้องปฏิบัติการสอบเทียบ

| Step | TRUE VALUE | | | | MEASURED VALUE | | ERROR (% of HDCA) |
|------|-------------------------------|---------------------------------------|-------------------------|-------------------------------|--------------------------------------|--|----------------------|
| | Frequency Setting (kHz) | Gross Flow Rate Reading (m3/Hr) | Temp. Signal (°C) | Pressure Signal (Kp/Cm) | Mass Flow Rate Reading (Kg/Hr) | Frequency Measurement Value (KHz) | |
| 1 | 0.0000 | 0.00 | 31.0 | 30.0 | 0.00 | 0.00 | 0.000 |
| 2 | 1.0000 | 76.26 | 31.0 | 30.0 | 38281.90 | 1.000 | 38281.90 |
| 3 | 2.0000 | 152.52 | 31.0 | 30.0 | 76563.80 | 2.000 | 76563.80 |
| 4 | 3.0000 | 228.78 | 31.0 | 30.0 | 114845.70 | 3.000 | 114845.70 |
| 5 | 4.0000 | 305.04 | 31.0 | 30.0 | 153127.59 | 4.000 | 153127.59 |
| 6 | 5.0000 | 381.29 | 31.0 | 30.0 | 191409.49 | 5.000 | 191409.49 |
| 7 | 6.0000 | 457.55 | 31.0 | 30.0 | 229691.39 | 6.000 | 229691.39 |
| 8 | 7.0000 | 533.81 | 31.0 | 30.0 | 267973.29 | 7.001 | 268011.57 |
| 9 | 8.0000 | 610.07 | 31.0 | 30.0 | 306255.19 | 7.999 | 306216.91 |
| 10 | 9.0000 | 686.33 | 31.0 | 30.0 | 344537.09 | 9.000 | 344537.09 |
| 11 | 10.0000 | 762.59 | 31.0 | 30.0 | 382818.99 | 10.000 | 382818.99 |
| 12 | 11.0000 | 838.85 | 31.0 | 30.0 | 421100.80 | 11.001 | 421139.17 |
| 13 | 12.0000 | 915.11 | 31.0 | 30.0 | 459382.70 | 12.001 | 459421.06 |
| 14 | 13.0000 | 991.36 | 31.0 | 30.0 | 497664.60 | 13.000 | 497664.60 |
| 15 | 14.0000 | 1067.62 | 31.0 | 30.0 | 535946.50 | 13.999 | 535908.30 |
| 16 | 15.0000 | 1143.88 | 31.0 | 30.0 | 574228.40 | 15.000 | 574228.40 |
| 17 | 16.0000 | 1220.14 | 31.0 | 30.0 | 612510.30 | 15.998 | 612433.81 |
| 18 | 17.0000 | 1296.40 | 31.0 | 30.0 | 650792.20 | 17.001 | 650830.56 |
| 19 | 18.0000 | 1372.66 | 31.0 | 30.0 | 689074.10 | 18.001 | 689112.46 |
| 20 | 19.0000 | 1448.92 | 31.0 | 30.0 | 727356.00 | 19.000 | 727356.00 |

ตารางที่ 1 ผลการสอบเทียบการวัดค่า Mass Flow Rate



รูปที่ 12 กราฟแสดงค่าความผิดพลาดจากการสอบเทียบ

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

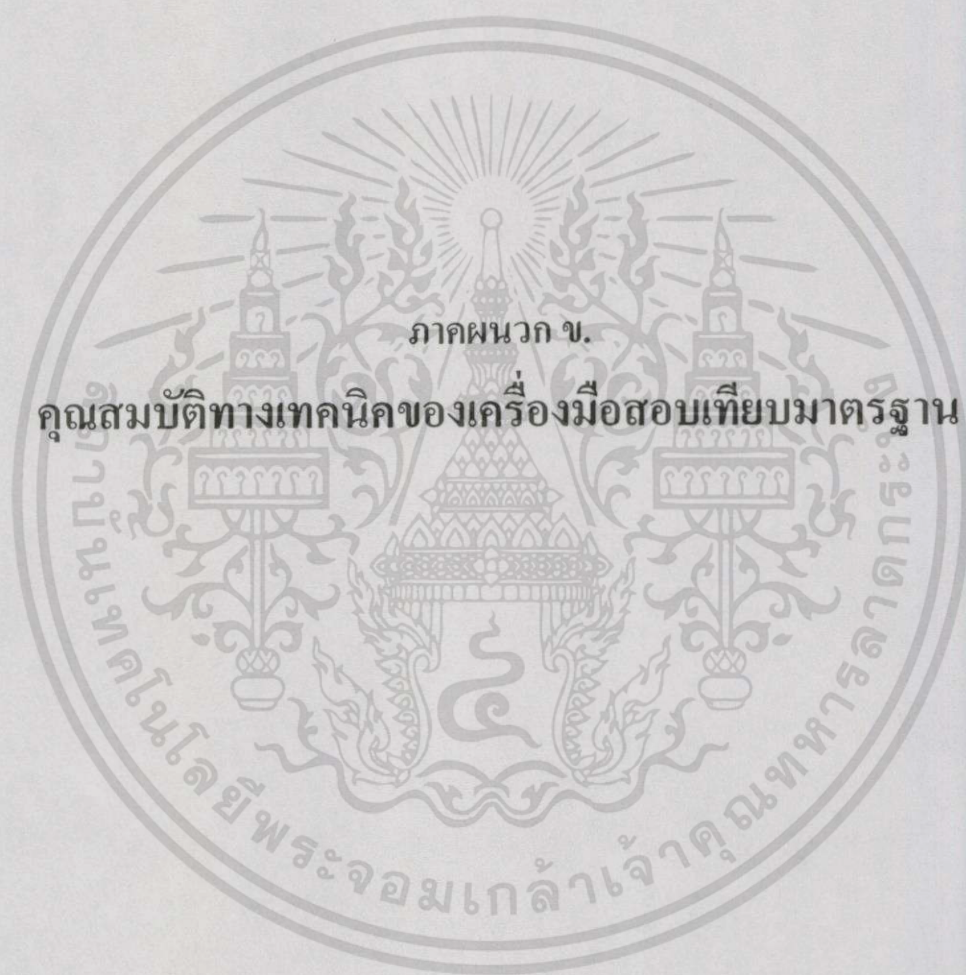
7. บทสรุป

จากผลการทดลองสอบเทียบ (Calibrate) ข้างต้น จะเห็นว่าเครื่องคำนวณปริมาณการไหลแบบเครือข่ายนี้มีค่าความผิดพลาด (Error) น้อยมาก หรือกล่าวได้ว่าความถูกต้อง (Accuracy) ดี สามารถใช้วัดปริมาณการไหลในกระบวนการผลิตของโรงงานอุตสาหกรรมได้จริงตามที่ตั้งวัตถุประสงค์ของงานวิจัยไว้

การนำงานวิจัย ไปพัฒนาต่อในอนาคตเพื่อนำไปสู่การใช้งานจริงในกระบวนการผลิตของโรงงานอุตสาหกรรมปิโตรเคมี มีแนวทางการพัฒนาคือ เพิ่มจำนวนหน่วยการวัดสัญญาณอินพุตที่เชื่อมต่อกับเครือข่ายให้มากกว่า 32 จุดวัด ออกแบบใหม่โดยใช้อุปกรณ์เกรดอุตสาหกรรมและให้สามารถติดตั้งในพื้นที่อันตราย (Hazardous Area) ของโรงงานได้

8. เอกสารอ้างอิง

- [1] OMNI Flow Computers Inc., "OMNI Operator's Manual," Stafford, Texas, U.S.A., Issue 20/24, 1991
- [2] A Galveston - Houston Company, "Micro-4000ZX Application #4034 Installation and Operation Manual," Texas, U.S.A., August 1995.
- [3] SGS (Thailand) Limited, "Presentation to Customers at Map Ta Phut on Meter Maintenance and Calibration," Bangkok, Thailand.
- [4] ETT Co., Ltd., "AVR Enhanced RISC Microcontroller Data Book," Rev. 1041A, May 1998.
- [5] ชัชพล ประสบโชค, "การวัดการไหลในอุตสาหกรรมปิโตรเคมี" INDUSTRIAL TECHNOLOGY REVIEW ปีที่ 7 ฉบับที่ 86 หน้า 77-80 กรกฎาคม 2544.
- [6] สมนึก บุญประเสริฐ และ กิตติ ศิริเศรษฐ, "การออกแบบและสร้างมิเตอร์วัดความหนาแน่นของโพรไพลีนโดยใช้ทรานสมิตเตอร์สำหรับวัดความดัน และอุณหภูมิ" วิศวกรรมสารลาดกระบัง ปีที่ 17 ฉบับที่ 1 หน้า 85-90 มีนาคม 2543.

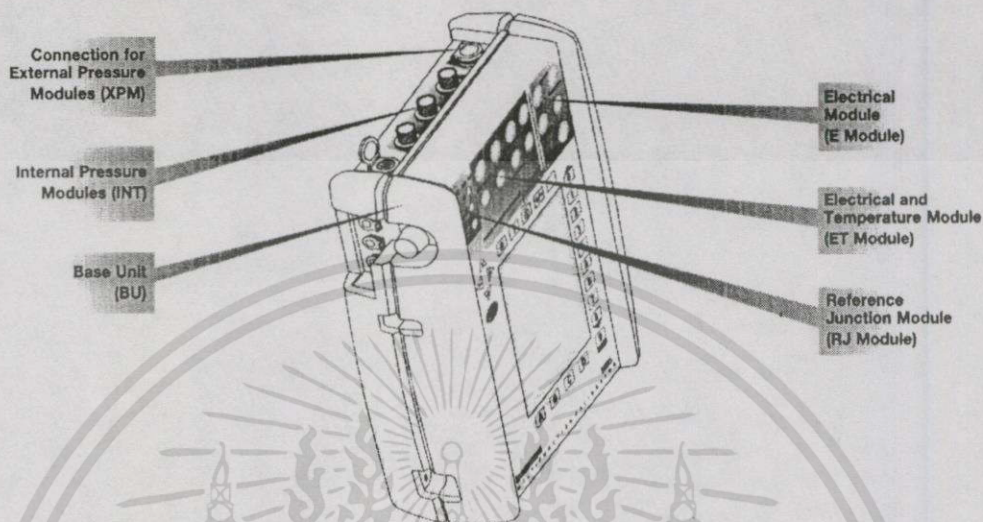


ภาคผนวก ข.

คุณสมบัติทางเทคนิคของเครื่องมือสอบเทียบมาตรฐาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MC5 Multifunction Calibrator



Electrical Module (E)

| Function | Range | Resolution | 1 Year Uncertainty ¹⁾ |
|------------------------------|-----------------------|-------------------|----------------------------------|
| mV measurement ²⁾ | ±1000 mV | 0.001 - 0.01 mV | 0.02 % RDG + 5 µV |
| V measurement ³⁾ | ±50 V | 0.00001 - 0.001 V | 0.02 % RDG + 0.25 mV |
| mA measurement ⁴⁾ | ±100 mA | 0.0001 - 0.001 mA | 0.02 % RDG + 1.5 µA |
| Hz measurement ⁵⁾ | 0.0028 to 50000 Hz | 0.000001 - 0.1 Hz | 0.01 % RDG |
| Pulse counting ⁶⁾ | 0 to 9 999 999 pulses | 1 pulse | N/A |
| mA generation ⁶⁾ | 0 to 25 mA | 0.0001 mA | 0.02 % RDG + 1.5 µA |

¹⁾ Uncertainty includes reference standard uncertainty, hysteresis, nonlinearity, repeatability and typical long term stability for mentioned period. (k=2)

²⁾ Bias current <10 nA

³⁾ Impedance > 1 Mohm

⁴⁾ Impedance < 7.5 ohm

⁵⁾ Impedance > 1 Mohm. Frequency measurement minimum amplitude 0.5 Vpp (< 5 kHz), 1 Vpp (5...50 kHz). Pulse counting minimum amplitude 0.5 Vpp (pulse length > 100 ms), 1 Vpp (pulse length 100 ms...10 ms).

Trigger level range -1...+15 V.

⁶⁾ Maximum load impedance 800 ohm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Temperature Electrical Module (ET)

| Function | Range | Resolution | 1 Year Uncertainty ¹⁾ |
|--------------------------------|------------------------|--------------------|-------------------------------------|
| mV generation ²⁾ | ± 500 mV | 0.001 - 0.01 mV | 0.02 % RDG + 4 µV |
| V generation ³⁾ | ± 12 V | 0.00001 - 0.0001 V | 0.02 % RDG + 0.1 mV |
| mA generation ⁴⁾ | ± 25 mA | 0.0001 mA | 0.02 % RDG + 1 µA |
| Hz generation ⁵⁾ | 0.00028 to 50000 Hz | 0.000001 - 0.1 Hz | 0.01 % RDG |
| Pulse generation ⁶⁾ | 0 to 9 999 999 pulssia | 1 pulssi | N/A |
| Ohm simulation ⁷⁾ | 1 to 4000 ohm | 0.01 - 0.1 ohm | 0.04 % RDG or 30 mohm ⁸⁾ |
| Ohm measurement ⁹⁾ | 0 to 4000 ohm | 0.001 - 0.1 ohm | 0.02 % RDG + 3.5 mohm |
| mV/measurement ¹⁰⁾ | ± 500 mV | 0.001 - 0.01 mV | 0.02 % RDG + 4 µV |

¹⁾ Uncertainty includes reference standard uncertainty, hysteresis, nonlinearity, repeatability and typical long term stability for mentioned period. (k=2)

²⁾ Load effect < 5 mV/mA. Maximum output current 5 mA.

³⁾ Load effect < 100 mV/mA. Maximum output current 10 mA (0 ... 10 V), 3 mA (10 ... 12 V).

⁴⁾ Maximum load impedance 400 ohm.

⁵⁾ Amplitude range 0 ... 12 Vpp. Amplitude setting accuracy up to 5 kHz ±(200 mV + 5% of set value). Waveforms: Square wave (positive / symmetric) and sinewave (above 40 Hz).

⁶⁾ Pulse generation frequency range 0.1 ... 1000 Hz. Amplitude setting 0 ... 12 Vpp.

⁷⁾ Valid with measurement current 0.2 ... 5 mA (1 ... 1000 ohm), 0.1 ... 1 mA (1 ... 4 kohm). Ohm/RTD simulation speed 1 ms.

⁸⁾ Whichever is greater.

⁹⁾ Specification valid with 4 wire connection. In 3 wire connection add 10 mohm.

¹⁰⁾ Bias current < 10 nA.

RTD Measurement and Simulation

| Function | Range (°C) | Range (°C) | Measurement 1 Year Uncertainty ¹⁾ (±) | Simulation 1 Year Uncertainty ¹⁾ (±) |
|------------|---------------|-------------|---|--|
| Pt-sensors | -200 to 850°C | -200 to 0°C | 0.06°C | 0.1°C |
| | | 0 to 850°C | 0.025% RDG + 0.06°C | 0.025% RDG + 0.1°C |

¹⁾ Uncertainty includes reference standard uncertainty, hysteresis, nonlinearity, repeatability and typical long term stability for mentioned period. (k=2)

RTD types available as standard:

- Pt50 (385)
- Pt500 (385)
- Pt100 (391)
- Ni100 (618)
- Pt100 (385)
- Pt1000 (385)
- Pt100 (3923)
- Ni120 (672)
- Pt200 (385)
- Pt100 (375)
- Pt100 (3926)
- Cu10 (427)
- Pt400 (385)
- Pt100 (389)

RTD/ohm simulation excitation current 0.2 ... 5 mA (1 ... 1000 ohm), 0.1 ... 1 mA (1 ... 4 kohm).

Also other RTD types available as option

YOKOGAWA

7651

Programmable DC Source

High accuracy...0.01% (voltage)/0.02% (current),
High resolution...100nV/10nA,
High-speed response...10ms/±0.1%,
Low noise of 15 μ Vp-p
Sink and source function (4-quadrant operation)
Bipolar output enables smooth polarity switching



SPECIFICATIONS

■DC Voltage (DC V)

| Range | Maximum Output | Resolution | Stability (24h) ±(% of setting + μ V) | Stability (90 days) ±(% of setting + μ V) | Accuracy (90 days) ±(% of setting + μ V) | Accuracy (1 year) ±(% of setting + μ V) | Temperature Coefficient ±(% of setting + μ V/°C) |
|-------|----------------|-------------|--|--|---|--|---|
| 10mV | ±12.0000mV | 100nV | 0.002+3 | 0.014+4 | 0.018+4 | 0.025+5 | 0.0018+0.7 |
| 100mV | ±120.000mV | 1 μ V | 0.003+3 | 0.014+5 | 0.018+10 | 0.025+10 | 0.0018+0.7 |
| 1V | ±1.20000V | 10 μ V | 0.001+10 | 0.008+50 | 0.01+100 | 0.016+120 | 0.0009+7 |
| 10V | ±12.0000V | 100 μ V | 0.001+20 | 0.008+100 | 0.01+200 | 0.016+240 | 0.0008+10 |
| 30V | ±32.000V | 1mV | 0.001+50 | 0.008+200 | 0.01+500 | 0.016+600 | 0.0008+30 |

The stability (24h) is the value at 23±1°C. The stability (90 days), accuracy (90 days) and the accuracy (1 year) are values at 23±5°C.
The temperature coefficient is the values at 5 to 18°C and 28 to 40°C.

| Range | Maximum Output current | Output Resistance | Output Noise | |
|-------|------------------------|-----------------------|----------------|-----------------------------|
| | | | DC to 10Hz | DC to 10kHz(Reference Data) |
| 10mV | | approx. 2 Ω | 3 μ Vp-p | 30 μ Vp-p |
| 100mV | | approx. 2 Ω | 5 μ Vp-p | 30 μ Vp-p |
| 1V | ±120mA | less than 2m Ω | 15 μ Vp-p | 60 μ Vp-p |
| 10V | ±120mA | less than 2m Ω | 50 μ Vp-p | 100 μ Vp-p |
| 30V | ±120mA | less than 2m Ω | 150 μ Vp-p | 200 μ Vp-p |

Common mode rejection: 120dB or more (DC/50/60Hz)

■DC Current (DC A)

| Range | Maximum Output | Resolution | Stability (24h) ±(% of setting + μ A) | Stability (90 days) ±(% of setting + μ A) | Accuracy (90 days) ±(% of setting + μ A) | Accuracy (1 year) ±(% of setting + μ A) | Temperature Coefficient ±(% of setting + μ A/°C) |
|-------|----------------|------------|--|--|---|--|---|
| 1mA | ±1.20000mA | 10nA | 0.0015+0.03 | 0.016+0.1 | 0.02+0.1 | 0.03+0.1 | 0.0015+0.01 |
| 10mA | ±12.0000mA | 100nA | 0.0015+0.3 | 0.016+0.5 | 0.02+0.5 | 0.03+0.5 | 0.0015+0.1 |
| 100mA | ±120.000mA | 1 μ A | 0.004+3 | 0.016+5 | 0.02+5 | 0.03+5 | 0.002+1 |

The stability (24h) is the value at 23±1°C. The stability (90 days), accuracy (90 days) and the accuracy (1 year) are values at 23±5°C.
The temperature coefficient is the values at 5 to 18°C and 28 to 40°C.

| Range | Maximum Output Voltage | Output Resistance | Output Noise | |
|-------|------------------------|-------------------------|-----------------|-----------------------------|
| | | | DC to 10Hz | DC to 10kHz(Reference Data) |
| 1mA | ±30V | more than 100M Ω | 0.02 μ Ap-p | 0.1 μ Ap-p |
| 10mA | ±30V | more than 100M Ω | 0.2 μ Ap-p | 0.3 μ Ap-p |
| 100mA | ±30V | more than 10M Ω | 2 μ Ap-p | 3 μ Ap-p |

Common mode rejection: 100nA/V or more (DC/50/60Hz).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- **Response time**
- **Delay time:** Approx. 10ms (For the fixed range).
- **Response time:** Less than 10ms to within $\pm 0.1\%$ of set value, at the max. output and max. load, without actuation of limiter, with resistive load.

● **Limiter**

| | Maximum | Resolution | Description |
|-----------------|------------|------------|-------------------|
| Current limiter | 5 to 120mA | 1mA | At voltage output |
| Voltage limiter | 1 to 30V | 1V | At current output |

After limiter actuation, automatic recovery from limit status is executed by removal of overload.

● **Data setting**

- Continuous variable mode (set by each digit by up/down keys)
- Data mode (set directly by ten-keys)

● **Interface function**

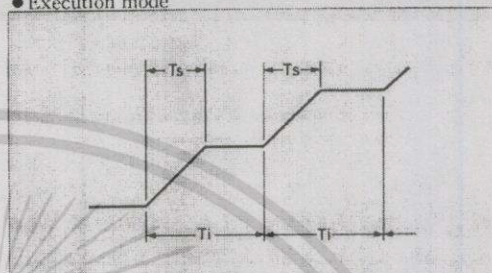
- GPIB or RS-232-C (standard)
 - GPIB interface
- Electrical and mechanical specifications: Conforms to IEEE Std 488-1978
 Interface function & identification: SH1, AH1, T6, L4, SR1, RL1, PP0, DC1, DT1, C0
 Address mode: Address setting, Header ON/OFF can be settable
- RS-232-C interface
- Transmission system: Start-stop synchronous mode
 Data transfer rate: 75, 150, 300, 600, 1200, 2400, 4800, 9600bps
 Hand shake mode, data transfer rate, data length etc. are programmable.

● **Programming function**

- Internal memories: Stores settings up to 50 steps
- Memory card: Stores 7 patterns of programs, each program can store settings up to 50 steps (Memory cards; 8K bytes, optional)
- Program actuation by external trigger
- Interval time/sweep time (by each pattern)

| | Setting range | Resolution |
|--------------------|---------------|------------|
| Interval time (Ti) | 100ms to 1h | 100ms |
| Sweep time (Ts) | 0 to 1h | 100ms |

● **Execution mode**



- Execution mode
- SINGLE...Executes programmed pattern only once
- REPEAT...Repeats the execution of programmed pattern

● **External trigger**

- Signal steps actuation of program can be executed by external trigger.
- Ready output: Suitable for system use.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้


```

;*****
;* File Name           : flowcomp.asm
;* Title              : Monitor Program Flow Computer Network
;* Date               : 30 April 2002
;* Version            : 1.0
;* Development By     : Mr.Somnuk Boonprasert
;* Support telephone  : (038) 611333 Ext.2196
;* Support fax        : (038) 612812-3
;* Support Email      : somnuk_b@hotmail.com
;* Target MCU         : AT90S8535/AT90LS8535
;*****
.include "8535def.inc"
;***** All Definitions of Monitor Program *****
.equ   DATSIZE      = 0x0c           ;Size of Data Memory (Bytes)
.equ   CR           = 0x8005        ;CRC Divisor Value
.def   byte0        = r0            ;Lower Byte of Lower Word
.def   byte1        = r1            ;Upper Byte of Lower Word
.def   byte2        = r2            ;Lower Byte of Upper Word
.def   byte3        = r3            ;Upper Byte of Upper Word
.def   crc          = r4            ;CRC Checksum Low Byte
.def   crch         = r5            ;CRC Checksum High Byte
.def   size1        = r17           ;Program Code Size Register
.def   sizeh        = r18
.def   crdivl       = r19           ;CRC Divisor Register
.def   crdivh       = r20
.def   count        = r21           ;Bit Counter
.def   status       = r22           ;Status Byte :Generate(0) or Check(1)
.def   adc_low      = r14
.def   adc_high     = r15
.def   tim_cnt      = r16
.def   temp1        = r17
.def   temp2        = r18

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
.def    dat_comp    = r19
.def    data_ser    = r20
.def    count1     = r21
.def    count2     = r22
.def    status1    = r23
.equ    DATA_PAK  = $060
.equ    COMM_IN    = $06c
```

```
;***** Setup for Reset and Interrupt Vector Address of MCU *****
```

```
.org    $000
rjmp   RESET      ;Reset Handler
rjmp   EXT_INT0   ;IRQ0 Handler
rjmp   EXT_INT1   ;IRQ1 Handler
rjmp   TIM2_COMP  ;Timer2 Compare Handler
rjmp   TIM2_OVF   ;Timer2 Overflow Handler
rjmp   TIM1_CAPT  ;Timer1 Capture Handler
rjmp   TIM1_COMPA ;Timer1 CompareA Handler
rjmp   TIM1_COMPB ;Timer1 CompareB Handler
rjmp   TIM1_OVF   ;Timer1 Overflow Handle
rjmp   TIM0_OVF   ;Timer0 Overflow Handler
rjmp   SPI_STC    ;SPI Transfer Complete Handler
rjmp   UART_RXC   ;UART RX Complete Handler
rjmp   UART_DRE   ;UDR Empty Handler
rjmp   UART_TXC   ;UART TX Complete Handler
rjmp   ADC        ;ADC Conversion Complete Interrupt Handler
rjmp   EE_RDY    ;EEPROM Ready Handler
rjmp   ANA_COMP   ;Analog Comparator Handler
```

```
;***** Setting Initial Value of System After Power On Reset *****
```

```
;Initial Stack Pointer & Index Register
```

```
RESET:  ldi  temp1,low(RAMEND) ;Initial Stack Pointer
```

```
out  SPL,temp1
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

ldi temp1,high(RAMEND)
out SPH,temp1
ldi XL,low(COMM_IN) ;Initial Index Register X Point Addr. Command Input
ldi XH,high(COMM_IN)
ldi YL,low(DATA_PAK) ;Initial Index Register Y Point Addr. Data Package
ldi YH,high(DATA_PAK)
ldi temp1,0x01
std Y+1,temp1
std Y+2,temp1

```

;Initial Variable & Input/Output Port

```

clr tim_cnt
clr status
clr count1
clr count2
ldi temp1,0x00 ;Set PortA as Hi Impedance Input
out DDRA,temp1
out PORTA,temp1
ldi temp1,0x01 ;Set PC0 Push-Pull Zero Output
out DDRC,temp1 ;Set PC1-7 Source Current Input
ldi temp1,0b1111110
out PORTC,temp1

```

;Read Setting Address of Measurement Input Unit

```

in temp1,PINC
ori temp1,0x80
com temp1
lsr temp1
std Y+0,temp1

```

;Setting Interrupt Control Register

```
sei ;Clear Golbal Interrupt
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

ldi temp1,0b00000001 ;Set Timer0 Interrupt
out TIMSK,temp1

;Setting Timer/Counter1 Control Register
ldi temp1,0x00
out TCNT1H,temp1 ;Initial Value of Timer/Counter1
out TCNT1L,temp1
ldi temp1,0b00000100 ;Set Prescale and Start Timer/Counter1
out TCCR1B,temp1

;Setting Timer/Counter0 Control Register
ldi temp1,0x00
out TCNT0,temp1 ;Initial Value of Timer/Counter0
ldi temp1,0b00000101 ;Set Prescale and Start Timer/Counter0
out TCCR0,temp1

;Setting Watchdog Timer 2.048 Sec
ldi temp1,0b00011111
out WDTCR,temp1

;Setting Serial Port Control Register
cbi UCR,RXCIE ;Clear RX Interrupt
cbi UCR,TXCIE ;Clear TX Interrupt
cbi UCR,UDRIE ;Clear Data Empty Interrupt
cbi UCR,CHR9 ;Set Send 8 Data

ldi temp1,16
out UBRR,temp1 ;Baud 28800 at 8MHz Xtal
sbi UCR,TXEN ;Set Pin TX as Serial TX
sbi UCR,RXEN ;Set Pin Rx as Serial RX
cbi PORTC,PC0

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
***** Main Program Control *****
```

```

MAIN:  clr  count2
        ldi  XL,low(COMM_IN)  ;Initial Index Register X Point Addr. Command Input
        ldi  XH,high(COMM_IN)

MAIN1:  sbis  USR,RXC          ;Wait Until Have Data in Buffer
        rjmp MAIN1
        in   data_ser,UDR      ;Read Data From Buffer
        st   X+,data_ser
        inc  count2
        cpi  count2,0x0c
        brne MAIN1

MAIN2:  rcall CHK_CMM
        cpi  status1,0x03
        breq MAIN3
        rjmp MAIN

MAIN3:  rcall TX_DATA
        nop
        rjmp MAIN

```

```
***** Subroutine of Monitor Program *****
```

```
;Check Command and MIU Address in Command Input
```

```

CHK_CMM: ldi  ZL,low(COMM_IN)  ;Initial Index Register X Point Addr. Command Input
        ldi  ZH,high(COMM_IN)
        ldd  temp1,Z+1
        ldd  dat_comp,Y+0
        cp   dat_comp,temp1
        breq CHK_CMM1
        andi status1,0b11111110 ;Clear if Address in Command Input EQ Address
        rjmp CHK_CMM2

CHK_CMM1: ori   status1,0b00000001 ;Set if Address in Command NotEQ MIU Address

CHK_CMM2: ldd  temp1,Z+2
        cpi  temp1,0x33

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

breq  CHK_CMM3
andi  status1,0b1111101  ;Clear if command is't Request Data
rjmp  END_CHK
CHK_CMM3: ori  status1,0b00000010  ;Set if Cammand is Request Data
END_CHK:  nop
        ret

```

;Send data package 12 Bytes on Net

```

TX_DATA:  clr  count1
          sbi  PORTC,PC0
          ldi  XH,high(DATA_PAK)
          ldi  XL,low(DATA_PAK)
TX_DATA1: ld  data_ser,X+
TX_232:   sbis  USR,UDRE  ;Wait Until UDRE = 1
          rjmp TX_232
          out  UDR,data_ser ;Send Data to Serial
          inc  count1
          cpi  count1,0x0C
          brne TX_DATA1
TX_DATA3: cbi  PORTC,PC0
          ret

```

;Generation and Checking of CRC Checksum

```

CRC_GEN:  ldi  sizel,low(DATSIZE)
          ldi  sizeh,high(DATSIZE)
          ldi  crdivh,high(CR)  ;Load Divisor Value
          ldi  crdivl,low(CR)
          ld   byte0,X+  ;Load First Memory Location
          mov  byte3,byte0 ;Move to Highest Byte
          ld   byte0,X  ;Load Second Memory Location
          mov  byte2,byte0
NEW_WORD: cp  zl,sizel  ;Loop Status Here

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

cpc zh,sizeh ;Check For End of Code
brge END ;Jump if End of Code
adiw xl,0x01
ld byte0,X ;Load High Byte
mov byte1,byte0 ;Move to Upper Byte
adiw xl,0x01 ;Increment X Pointer
ld byte0,X ;Load Program Memory Location
rcall ROT_WORD ;Call The Rotate Routine
rjmp NEW_WORD
END: ldi count,0x11
cpi status,0x00
brne CHECK
clr byte0 ;Append 16 Bits (0x0000) to
clr byte1 ;The End of The Code For CRC Generation
rjmp GEN
CHECK: mov byte0,crc ;Append The Original Checksum to
mov byte1,crch ;The End of The Code For CRC Checking
GEN: rcall ROT_WORD ;Call The Rotate Routine
mov crc,byte2
mov crch,byte3
ret

;Rotate Data Word
ROT_WORD: ldi count,0x11
ROT_LOOP: dec count ;Decrement Bit Counter
breq stop ;Break if Bit Counter = 0
lsl byte0 ;Shift Zero Into Lowest Bit
rol byte1 ;Shift in Carry From Previous Byte
rol byte2 ;Preceed Shift
rol byte3
brcc ROT_LOOP ;Loop if MSB = 0
eor byte2,crdivl

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

eor   byte3,crdivh           ;XOR High Word if MSB = 1
rjmp  ROT_LOOP

STOP:  ret

;***** Interrupt Service Routine of Monitor Program *****

;IRQ0 Interrupt Service Routine
EXT_INT0: nop
        reti

;IRQ1 Interrupt Service Routine
EXT_INT1: nop
        reti

;Timer2 Compare Interrupt Service Routine
TIM2_COMP: nop
        reti

;Timer2 Overflow Interrupt Service Routine
TIM2_OVF: nop
        reti

;Timer1 Capture Interrupt Service Routine
TIM1_CAPT: nop
        reti

;Timer1 CompareA Interrupt Service Routine
TIM1_COMPA: nop
        reti

;Timer1 CompareB Interrupt Service Routine
TIM1_COMPB: nop
        reti

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
;Timer1 Overflow Interrupt Service Routine
```

```
TIM1_OVF: nop
```

```
    reti
```

```
;Timer0 Overflow Interrupt Service Routine
```

```
TIM0_OVF: cpi    tim_cnt,0x20
```

```
    breq  READ_CNT
```

```
    jmp   NOT_EQU
```

```
READ_CNT: in    temp2,TCNT1L    ;Read Low Byte of Timer/Counter1
```

```
    std  Y+3,temp2
```

```
    in   temp2,TCNT1H    ;Read Low Byte of Timer/Counter1
```

```
    std  Y+4,temp2
```

```
    ldi  temp2,0x00
```

```
    out  TCNT1H,temp2    ;Clear Value in Timer/Counter1
```

```
    out  TCNT1L,temp2
```

```
ADC_CH0: ldi  temp2,0x00    ;Set Channel1 ADC
```

```
    out  ADMUX,temp2
```

```
    ldi  temp2,0b00001000    ;Set Sampling Rate
```

```
    out  ADCSR,temp2
```

```
    sbi  ADCSR,ADEN    ;Enable ADC
```

```
    sbi  ADCSR,ADSC    ;Start Conversion
```

```
ADC0_LP: sbis  ADCSR,ADIF    ;Skip Next Instruction if Bit ADIF in ADCSR Set
```

```
    rjmp ADC0_LP    ;Bit not Set
```

```
    nop
```

```
    in   adc_low,ADCL
```

```
    std  Y+5,adc_low
```

```
    in   adc_high,ADCH
```

```
    std  Y+6,adc_high
```

```
ADC_CH1: ldi  temp2,0x01    ;Set Channel2 ADC
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

out  ADMUX,temp2
ldi  temp2,0b00001000 ;Set Sampling Rate
out  ADCSR,temp2
sbi  ADCSR,ADEN      ;Enable ADC
sbi  ADCSR,ADSC      ;Start Conversion
ADC1_LP: sbis  ADCSR,ADIF ;Skip Next Instruction if Bit ADIF in ADCSR Set
rjmp ADC1_LP        ;Bit not Set
nop
in   adc_low,ADCL
std  Y+7,adc_low
in   adc_high,ADCH
std  Y+8,adc_high

ADC_CH2: ldi  temp2,0x02 ;Set Channel3 ADC
out  ADMUX,temp2
ldi  temp2,0b00001000 ;Set Sampling Rate
out  ADCSR,temp2
sbi  ADCSR,ADEN      ;Enable ADC
sbi  ADCSR,ADSC      ;Start Conversion
ADC2_LP: sbis  ADCSR,ADIF ;Skip Next Instruction if Bit ADIF in ADCSR Set
rjmp ADC2_LP        ;Bit not Set
nop
in   adc_low,ADCL
std  Y+9,adc_low
in   adc_high,ADCH
std  Y+10,adc_high

push temp1
push temp2
push dat_comp
push data_ser
push count1
push count2

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

clr    status
ldi   XL,low(DATA_PAK) ;X Point Addr. Data Package
ldi   XH,high(DATA_PAK)
rcall  CRC_GEN
std   Y+11,crc
std   Y+12,crch
pop   count2
pop   count1
pop   data_ser
pop   dat_comp
pop   temp2
pop   temp1
clr   tim_cnt
wdr   ;Reset Watchdog Timer
reti
NOT_EQU: inc tim_cnt
reti

;SPI Transfer Complete Interrupt Service Routine
SPI_STC: nop
reti

;UART RX Complete Interrupt Service Routine
UART_RXC: nop
reti

;UART UDR Empty Interrupt Service Routine
UART_DRE: nop
reti

;UART TX Complete Interrupt Service Routine
UART_TXC: nop

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
reti
```

```
;ADC Conversion Complete Interrupt Service Routine
```

```
ADC:    cbi  ADCSR,ADEN
```

```
        nop
```

```
        reti
```

```
;EEPROM Ready Interrupt Service Routine
```

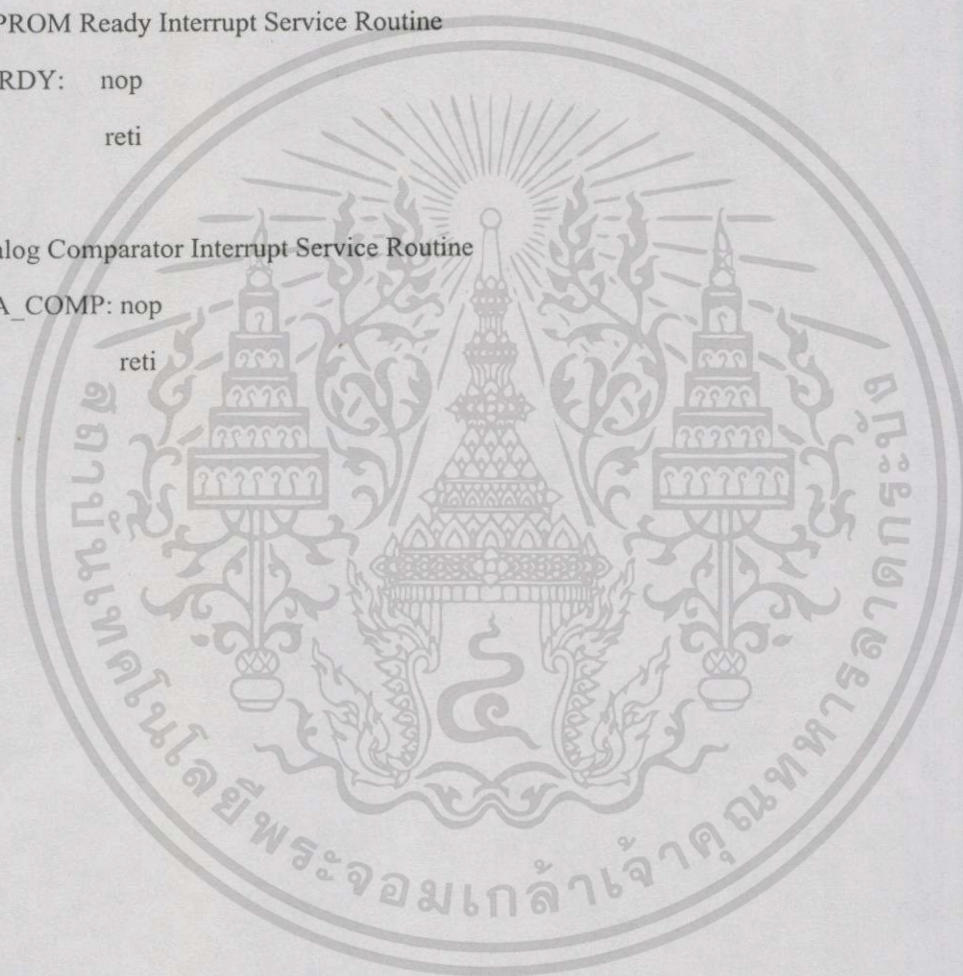
```
EE_RDY: nop
```

```
        reti
```

```
;Analog Comparator Interrupt Service Routine
```

```
ANA_COMP: nop
```

```
        reti
```

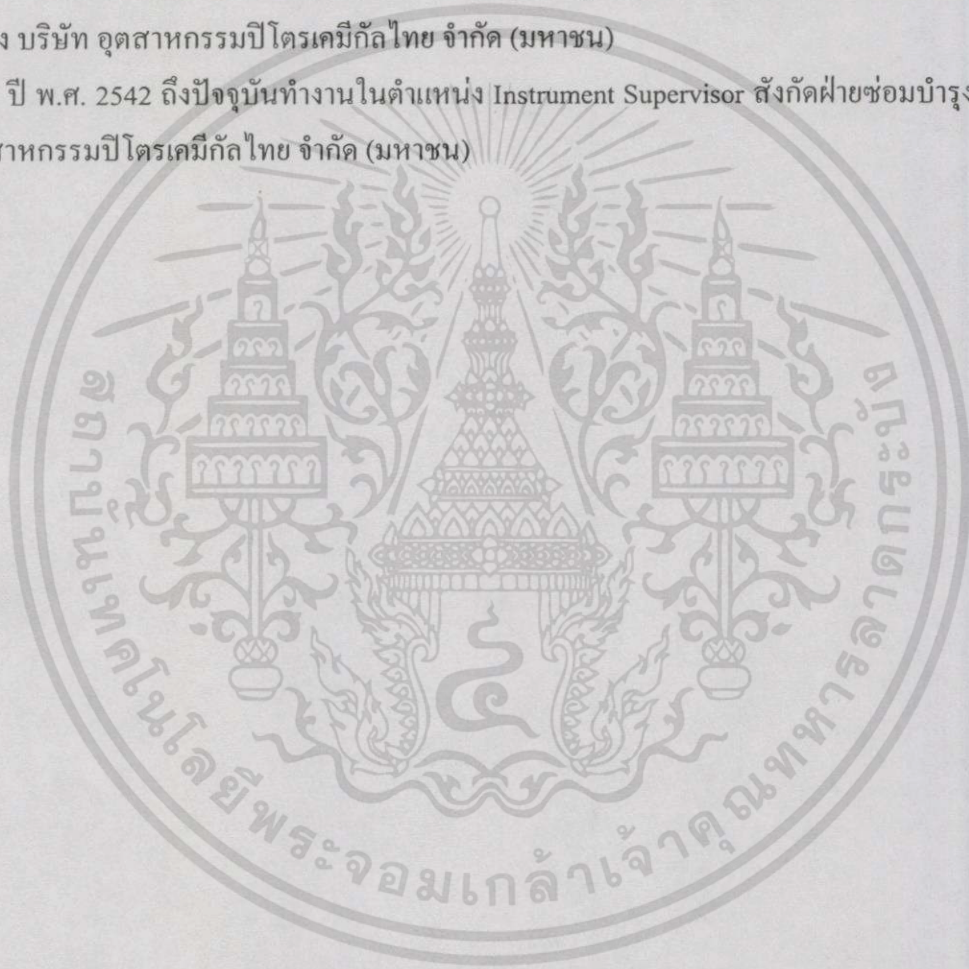


ประวัติผู้เขียน

นายสมนึก บุญประเสริฐ เกิดเมื่อวันที่ 23 ตุลาคม 2515 ที่จังหวัดฉะเชิงเทรา สำเร็จการศึกษา ครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต เกียรตินิยมอันดับหนึ่ง สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์ จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ปีการศึกษา 2537 และประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์ จากวิทยาลัยเทคนิคฉะเชิงเทรา ปีการศึกษา 2535

ปี พ.ศ. 2538 เข้าทำงานในตำแหน่งวิศวกรการวัดคุม (Instrument Engineer) สังกัดฝ่ายซ่อมบำรุง บริษัท อุตสาหกรรมปิโตรเคมีกัลไทย จำกัด (มหาชน)

ปี พ.ศ. 2542 ถึงปัจจุบันทำงานในตำแหน่ง Instrument Supervisor สังกัดฝ่ายซ่อมบำรุง บริษัท อุตสาหกรรมปิโตรเคมีกัลไทย จำกัด (มหาชน)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้