

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การนำการควบคุมเชิงสถิติมาใช้กับแบบจำลองกระบวนการผลิต  
STATISTICAL PROCESS CONTROL OF AN INDUSTRIAL MODEL



T104122



เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน 104122  
วัน,เดือน,ปี 30 ต.ค. 2552

b. 12102929  
i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม  
ภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2551

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# STATISTICAL PROCESS CONTROL OF AN INDUSTRIAL MODEL



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT  
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF  
BACHELOR OF ENGINEERING IN INSTRUMENTATION ENGINEERING  
DEPARTMENT OF INSTRUMENTATION ENGINEERING  
FACULTY OF ENGINEERING  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LARDKRABANG

2008

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุม  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ใบรับรองปริญญาโท  
.....

หัวข้อปริญญาโท การนำการควบคุมเชิงสถิติมาใช้กับแบบจำลองกระบวนการผลิต  
STATISTICAL PROCESS CONTROL OF AN INDUSTRIAL MODEL

นักศึกษาผู้จัดทำ นายณรงค์ศักดิ์ โกมลธง รหัสนักศึกษา 49015367  
นางสาวพรพัชรา คำคุณ รหัสนักศึกษา 48010583  
นางสาวพรพิมล วัฒนินาย รหัสนักศึกษา 48010584

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิชา วิศวกรรมการวัดคุม  
ปีการศึกษา 2551

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญาโท	ลายมือชื่อ
ผศ. เชื้อ นกอยู่ รศ. ดร. พุศศักดิ์ ชิวสุวิทย์	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญาานิพนธ์    การนำการควบคุมเชิงสถิติมาใช้กับแบบจำลองกระบวนการผลิต  
STATISTICAL PROCESS CONTROL OF AN INDUSTRIAL MODEL

นักศึกษาผู้จัดทำ    นายณรงค์ศักดิ์    โกมลธง    รหัสนักศึกษา 47010250  
                                  นางสาวพรพัชรา    คำคุณ    รหัสนักศึกษา 48010583  
                                  นางสาวพรพิมล    วิฒโนภาย    รหัสนักศึกษา 48010484

อาจารย์ที่ปรึกษา    ผศ.เชื้อ    นกอยู่  
                                  รศ.ดร.ฟูศักดิ์    ชีวะสุวิทย์

ปีการศึกษา    2551

### บทคัดย่อ

ในปัจจุบัน โรงงานอุตสาหกรรมที่เป็นแบบอัตโนมัติ อาจเกิดข้อผิดพลาดอันเนื่องมาจากการรบกวนจากปัจจัยภายนอก การทำงานของบุคคลหรือการชำรุดของเครื่องจักร ทำให้เกิดการสูญเสียซึ่งเป็นผลให้ผลผลิตที่ได้จากการผลิตลดประสิทธิภาพลง เราจึงนำกระบวนการควบคุมทางสถิติ (SPC) มาช่วยในการควบคุมกระบวนการทำงานของระบบ เพื่อช่วยในการเก็บรวบรวมข้อมูล ติดตามการทำงานของกระบวนการผลิต และมองหาตัวแปรที่มีผลต่อพฤติกรรมของระบบกำกับค่าตัวแปรของกระบวนการผลิต โดยการนำมาสร้างแผนภูมิควบคุม โดยเราจะใช้ซอฟต์แวร์สกาต้า (SCADA) มาช่วยแสดงการทำงานของระบบ เพื่อให้ทราบถึงกระบวนการทำงานต่าง ๆ ในระบบผ่านหน้าจอคอมพิวเตอร์

<b>Thesis Title</b>	Statistical Process Control of An Industrial Model	
<b>Authors</b>	Mr.Narongsak	Komontong
	Miss Pornpatchara	Khamkoon
	Miss Pornpimol	Wathanopas
<b>Thesis Advisor</b>	Asst.Prof. Chuae	Nokyoo
	Assoc.Prof. Dr.Fusak	Cheevasuvit
<b>Year</b>	2008	

### ABSTRACT

At the present the automatic industry may have some mistakes that cause of disturbing from external factors, incorrectness of humans or decomposition of machines. It makes a lot of bad results because of the lower efficiency of products. Thus, we will bring the Statistic Processing Control (SPC) to control the system for accumulating the information, following production system and finding variable; that effect on an action of the directing variable of production process by making a controlling chart. I will use the SCADA software to show the working system for displaying the whole system by computer.

## กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้เป็นอย่างดี เพราะผู้ศึกษาวิจัยได้รับคำแนะนำและ  
เจอบัณฑิตอาสาสมัครต่าง ๆ จากผู้ช่วยศาสตราจารย์ เชื้อ นกอยู่ อีกทั้งยังคอยช่วยเหลือเครื่องมืออุปกรณ์  
ในการทำโครงการชิ้นนี้ ผู้วิจัยจึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สาธิต อินทจักร์ และดร.ชานินทร์ ศรีสุวรรณณา  
(อาจารย์ภาควิชาสถิติศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์) ที่คอยให้ปรึกษาและคำแนะนำทางด้านสถิติศาสตร์  
ในการทำปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุมทุกท่าน ที่ได้ให้คำแนะนำ และสั่งสอน  
อบรมให้ความรู้อันเป็นประโยชน์ต่อผู้ทำวิจัย และสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการทำปริญญา  
นิพนธ์นี้

และขอขอบคุณ นายสามารถ รื่นพิทักษ์ นายธีรวัฒน์ ศรีสุข และนายลิขิต โอบอ้อม ที่ให้  
ความอนุเคราะห์ที่พลัดถิ่นจ้างต่องในการทำการทดลอง และคอยให้คำแนะนำในการเลือกใช้อุปกรณ์

และที่ลืมเสียมิได้ ขอกราบขอบพระคุณคุณพ่อ คุณแม่ และครอบครัวอันเป็นที่รักยิ่งที่  
สนับสนุนและเป็นกำลังใจตลอดมาในการทำปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้จนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

คุณค่า และประโยชน์อันพึงได้รับจากปริญญาานิพนธ์เล่มนี้ ผู้ศึกษาวิจัยจะมอบแด่ผู้มี  
พระคุณทุกท่าน

คณะผู้จัดทำ

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VIII
สารบัญภาพ.....	IX
<b>บทที่ 1 บทนำ.....</b>	<b>1</b>
1.1 ความเป็นมาและแรงจูงใจของการทำวิจัย.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญานิพนธ์.....	1
1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์.....	2
1.4 ขั้นตอนการศึกษา.....	2
<b>บทที่ 2 ทฤษฎี.....</b>	<b>3</b>
2.1 ความสามารถในการแยกความแตกต่าง.....	3
2.2 การควบคุมกระบวนการทางสถิติ (SPC : Statistical Process Control).....	6
2.2.1 สาเหตุโดยบังเอิญหรือสาเหตุที่ระบุไม่ได้.....	6
2.2.2 สาเหตุที่ระบุได้หรือสาเหตุที่กำจัดได้.....	6
2.3 แผนภูมิควบคุม (Control Chart).....	9
2.3.1 ประโยชน์ของแผนภูมิควบคุม.....	11
2.3.2 การวิเคราะห์แผนภูมิควบคุม.....	11
2.4 ซอฟต์แวร์ GENESIS 32.....	14
2.4.1 GraphWorX32.....	14
2.4.2 TrendWorX32.....	15
2.4.3 AlarmWorx32.....	15
2.5 การสื่อสารข้อมูลแบบอะซิงโครนัส.....	17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อ IV ศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.5.1 หน้าที่สำคัญของการสื่อสารแบบอะซิงโครนัส (Asynchronous).....	18
2.6 การสื่อสารข้อมูลแบบ Half-duplex.....	18
2.7 โพรโทคอล (Protocol).....	18
2.7.1 Modbus Protocol.....	19
2.8 มาตรฐานพอร์ตอนุกรมแบบ RS-232.....	20
2.9 ลักษณะการเชื่อมต่อตามมาตรฐาน RS-485.....	21
2.9.1 คุณสมบัติของมาตรฐาน RS-485.....	21
2.10 ตัวควบคุม (Controller).....	23
2.11 เครื่องควบคุมแบบโปรแกรมได้ (Programmable logic Controller : PLC).....	25
2.11.1 ความหมายของ PLC.....	25
2.11.2 เครื่องควบคุมแบบโปรแกรมได้.....	25
2.11.3 โครงสร้างของ PLC.....	26
2.11.4 ส่วนประกอบของ PLC.....	27
2.12 เครื่องป้อนโปรแกรม (Programming Device).....	29
2.13 Analog Input Module.....	32
2.14 โปรแกรม DirectSOFT32.....	36
2.14.1 การเชื่อมต่อพอร์ต Modbus.....	41
2.14.2 การอ่านและเขียนค่าจากอุปกรณ์ที่เชื่อมต่อ โดยใช้ MODBUS ผ่าน PLC42.....	42
2.14.3 การใช้คำสั่ง MODBUS อ่านค่าและเขียนค่า (MRX/WRX).....	43
2.15 OLE for Process Control (OPC Server).....	44
<b>บทที่ 3 หลักการและทฤษฎีที่ใช้ในการออกแบบ.....</b>	<b>50</b>
3.1 บทนำ.....	50
3.2 การวัดระดับ (Level Measurement).....	53
3.2.1 การวัดระดับโดยตรง (Direct Level Measurement).....	53
3.2.2 การวัดระดับแบบทางอ้อม (Indirect Level Measurement).....	57
3.3 การตรวจวัดอุณหภูมิ.....	60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อ V ารศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

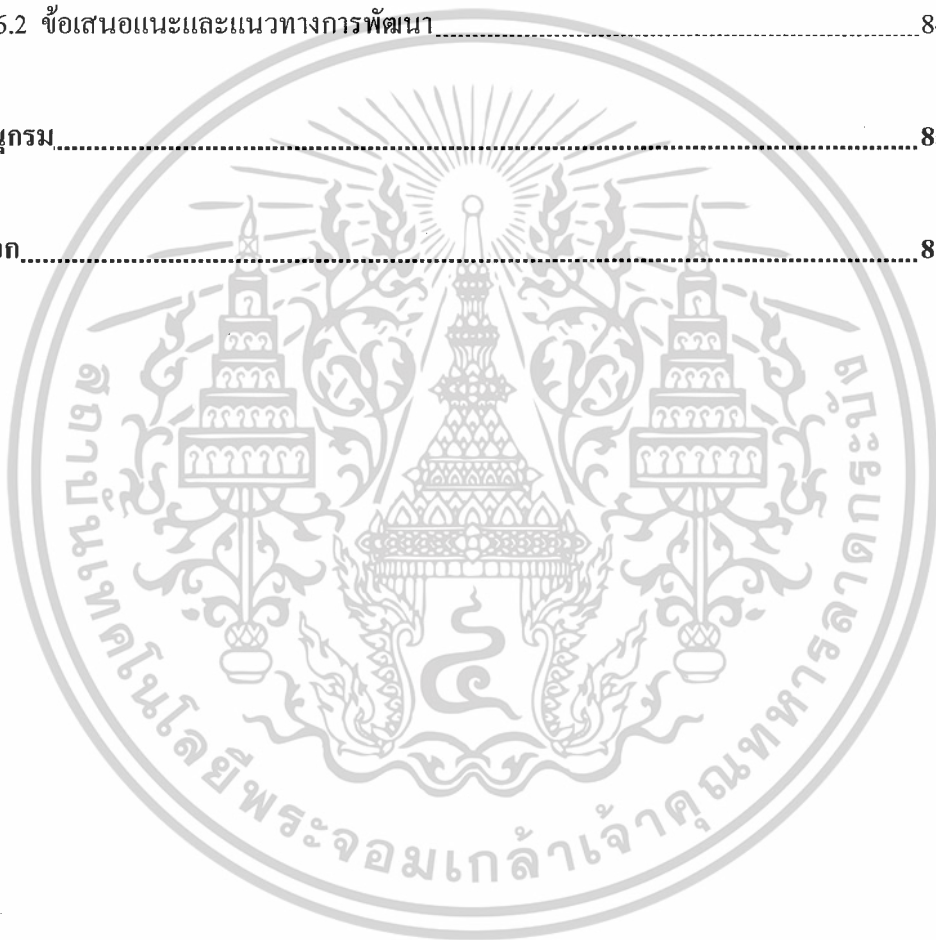
# สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.3.1 อาร์ทีดี (Resistance Temperature Detector).....	60
<b>บทที่ 4 รายละเอียดในการสร้างและประกอบปริญญานิพนธ์.....</b>	<b>63</b>
4.1 ส่วนของฮาร์ดแวร์ (Hardware).....	64
4.1.1 Pressure Sensor (Differential Pressure Transmitter).....	64
4.1.2 วงจรขยายสัญญาณในการวัดทางอุตสาหกรรม (Instrument Amplifier).....	65
4.1.3 วงจรแปลงสัญญาณแรงดันไฟฟ้าเป็นกระแสไฟฟ้า.....	67
4.1.4 วงจรควบคุมมอเตอร์ 12 โวลต์.....	68
4.1.5 แพล้นจำลองกระบวนการผลิต (Plant Process).....	69
4.1.6 วงจรไฟฟ้า.....	70
4.2 ส่วนของซอฟต์แวร์ (Software).....	71
4.2.1 โปรแกรมของ PLC.....	71
4.2.2 โปรแกรมหน้าจอ Genesis32.....	72
4.2.3 โปรแกรม Microsoft Excel แสดงตารางการคำนวณและแผนภูมิควบคุม.....	74
<b>บทที่ 5 ผลการทดลองการควบคุมเชิงสถิติ.....</b>	<b>79</b>
5.1 จุดประสงค์ในการทดลอง.....	79
5.2 การทดลองและสอบเทียบ Differential Pressure Transmitter.....	79
5.3 การทดลองการควบคุมเชิงสถิติมาใช้กับแบบจำลองกระบวนการผลิต.....	84
5.4 บันทึกผลการทดลอง.....	87
5.4.1 กรณีที่กระบวนการทำงานตามปกติ.....	87
5.4.2 กรณีที่เติมน้ำอุณหภูมิ 29 °C ปริมาณ 1 ลิตร.....	95
5.4.3 กรณีที่เติมน้ำอุณหภูมิ 29 °C ปริมาณ 0.5 ลิตร ทุก ๆ 1 นาที เป็นเวลา 5 นาที.....	103
5.4.4 กรณีที่เติมน้ำอุณหภูมิ 44 °C ปริมาณ 0.5 ลิตร ทุก ๆ 1 นาที เป็นเวลา 5 นาที.....	111
5.4.5 กรณีที่ขดลวดทำความร้อนหยุดการทำงานไปช่วงหนึ่ง.....	120

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อวัตถุประสงค์ศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

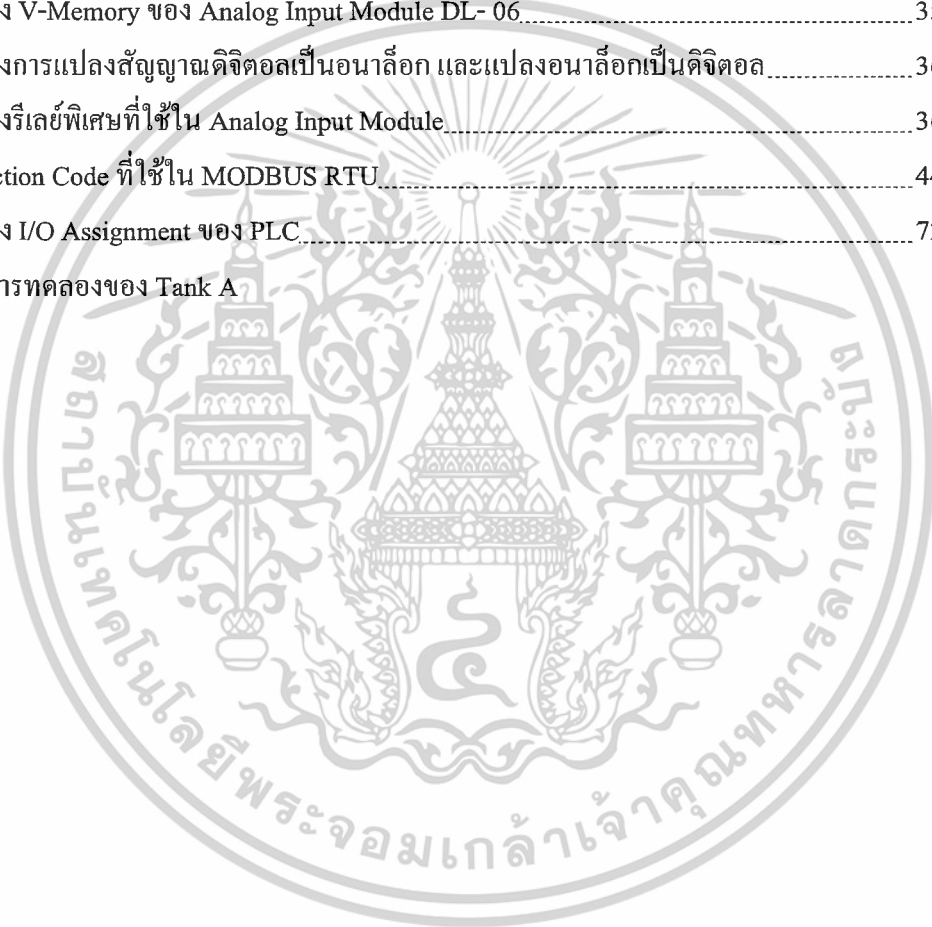
	หน้า
5.5 สรุปผลการทดลอง.....	127
<b>บทที่ 6 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....</b>	<b>84</b>
6.1 สรุปผลงาน.....	84
6.2 ข้อเสนอแนะและแนวทางการพัฒนา.....	84
บรรณานุกรม.....	85
ภาคผนวก.....	86



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อ VII ศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 แสดงค่าปริมาณการบรรจุน้ำผลไม้เทียบกับปริมาณมาตรฐาน.....	6
2.2 แสดงการเปรียบเทียบข้อแตกต่าง Modbus ASCII กับ Modbus RTU.....	20
2.3 แสดงรหัสฟังก์ชัน.....	21
2.4 แสดงผลของไฟแสดงผลของ PLC.....	32
2.5 แสดง V-Memory ของ Analog Input Module DL- 06.....	35
2.6 แสดงการแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นอนาล็อก และแปลงอนาล็อกเป็นดิจิทัล.....	36
2.7 แสดงรีเลย์พิเศษที่ใช้ใน Analog Input Module.....	36
2.8 Function Code ที่ใช้ใน MODBUS RTU.....	44
4.1 แสดง I/O Assignment ของ PLC.....	72
5.1 ผลการทดลองของ Tank A.....	



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานที่ VIII ศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 แสดงผลกระทบจากคุณสมบัติด้านความสามารถในการแยกความแตกต่างของข้อมูลที่มีผลต่อการควบคุม.....	4
2.2 กราฟแสดงแผนภูมิ X-bar.....	7
2.3 กราฟแสดงแผนภูมิ S.....	7
2.4 กราฟแสดงแผนภูมิ x-bar และ S ของปริมาณการบรรจุน้ำผลไม้.....	8
2.5 ค่าความน่าจะเป็นที่จะเกิดเหตุการณ์ที่ตัวสถิติจะตกอยู่นอกเส้นควบคุม.....	8
2.6 ตัวอย่างแผนภูมิควบคุม.....	9
2.7 แสดงขั้นตอนการทำงานของแผนภูมิควบคุม.....	11
2.8 แสดงรูปแบบการที่กระบวนการอยู่นอกเหนือการควบคุมตามกฎข้อที่ 1.....	13
2.9 แสดงรูปแบบการที่กระบวนการอยู่นอกเหนือการควบคุมตามกฎข้อที่ 2.....	14
2.10 แสดงรูปแบบการที่กระบวนการอยู่นอกเหนือการควบคุมตามกฎข้อที่ 3.....	14
2.11 แสดงรูปแบบการที่กระบวนการอยู่นอกเหนือการควบคุมตามกฎข้อที่ 4.....	15
2.12 แสดงรูปแบบการที่กระบวนการอยู่นอกเหนือการควบคุมตามกฎข้อที่ 5.....	15
2.13 แสดงหน้าจอการทำงานของ GraphWorX32.....	16
2.14 แสดงการทำงานของ Trend.....	17
2.15 แสดง Alarm Container.....	17
2.16 แสดงหน้าจอการกำหนดค่าสัญญาณเตือน.....	18
2.17 การกำหนด Alarm Logger.....	18
2.18 รูปแบบของข้อมูลที่ใช้ในการรับส่งแบบอะซิงโครนัส.....	19
2.19 แสดงระบบการสื่อสารแบบ Half duplex.....	20
2.20 การส่งข้อมูลผ่านมาตรฐาน RS-232.....	22
2.21 คอนเน็กเตอร์ แบบ DB-9.....	22
2.22 การต่ออุปกรณ์ภายนอกแบบ RS-232 โดยใช้สายสัญญาณเพียงสามเส้น.....	23
2.23 แสดงการเชื่อมต่อเครือข่ายตามมาตรฐาน RS-485.....	23
2.24 การต่อสาย RS- 485.....	24
2.25 แสดงการเชื่อมต่อระหว่าง PC กับ PLC และ PLC กับตัวควบคุม.....	25
2.26 แสดงจุดเชื่อมต่อของตัวควบคุม DB 5010 .....	26
2.27 แสดงโครงสร้างของหน้าจอควบคุม DB5010.....	26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
2.28 โครงสร้างของพีแอลซี.....	28
2.29 ส่วนประกอบของ CPU .....	29
2.30 แสดงพีแอลซีของ KOYO รุ่น DL 06.....	30
2.31 แสดงส่วนประกอบของพีแอลซีของ KOYO รุ่น DL 06.....	31
2.32 แสดงการต่อแหล่งจ่ายไฟ.....	31
2.33 แสดงการเชื่อมต่อ PLC กับ PC .....	32
2.34 แสดงผลไฟสถานะ CPU ของ PLC .....	33
2.35 แสดง Analog Input Module 4 Channel.....	33
2.36 แสดงตัวเครื่อง PLC ยี่ห้อ KOYO รุ่น DL 06.....	34
2.37 แสดงโครงสร้างภายในของ Analog Input Module 4 Channel.....	34
2.38 แสดงสูตรที่ใช้ในการทำ Scale ของ Analog Input Module รุ่น F0-04AD-1.....	35
2.39 แสดงการเปิด New Project เพื่อทำการเขียน Ladder Program.....	37
2.40 แสดงการเลือกชนิด PLC และรุ่นของ PLC หรือชนิดของ CPU แล้วคลิก OK.....	38
2.41 แสดงการเชื่อมต่อ PLC กับคอมพิวเตอร์ และทำการ Link กับโปรแกรมDirectSOFT32.....	38
2.42 แสดงหน้าจอการรอเขียนโปรแกรมให้กับ PLC.....	39
2.43 แสดงการเลือกใช้ข้อมูลบน PLC แบบใด.....	39
2.44 แสดงการเลือก Use Disk เพื่อทำการเขียน โปรแกรม PLC ใหม่.....	40
2.45 แสดงบล็อกลักษณะการเขียน Ladder.....	40
2.46 แสดงการใช้งาน Mode ใน PLC .....	41
2.47 แสดงการเลือกโหมดการทำงาน.....	41
2.48 แสดงการทำงานโปรแกรมในโหมด RUN.....	42
2.49 แสดงการเชื่อมต่อพอร์ตที่ 2 ของ PLC.....	42
2.50 การกำหนดการเชื่อมต่อของพอร์ตที่ 2.....	43
2.51 แสดงการเชื่อมต่อระหว่าง PLC และอุปกรณ์โดยใช้ MODBUS RTU.....	43
2.52 แสดงการใช้คำสั่ง MRX.....	44
2.53 แสดงการใช้คำสั่ง MWX.....	45
2.54 แสดงการเชื่อมโยงข้อมูลโดยใช้ OPC.....	45
2.55 แสดงหน้าจอโปรแกรม Kepware.....	46

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
2.56 ทำการเลือก Channel.....	46
2.57 เลือก Device driver.....	47
2.58 กำหนดคอมพอร์ต.....	47
2.59 คลิกเพื่อเพิ่ม device.....	48
2.60 แสดงหน้าต่างให้ตั้งชื่อ Device.....	48
2.61 แสดงหน้าต่างให้เลือกกรุป Device ที่ตรงกับที่เราใช้.....	49
2.62 ทำการกำหนดค่าคุณสมบัติต่าง ๆ ให้กับ Tag.....	49
2.63 แสดงหน้าต่างแสดงคำแนะนำอ้างอิง Address ของ PLC.....	50
2.64 แสดงหน้าต่างเมื่อกำหนดค่า Tag เสร็จแล้ว และสามารถสร้างเพิ่มได้.....	50
3.1 แสดงการควบคุมระดับน้ำในถังแบบ Manual Control.....	51
3.2 แสดงบล็อกไดอะแกรมของการควบคุมระดับน้ำในถังแบบ Manual Control.....	51
3.3 แสดงการควบคุมระดับน้ำในถังจากภาพที่ 3.1 ด้วยการควบคุมแบบอัตโนมัติ.....	52
3.4 แสดงบล็อกไดอะแกรมของระบบควบคุมแบบป้อนกลับโดยทั่วไป.....	53
3.5 แสดง Sight Glass แบบต่าง ๆ.....	55
3.6 เครื่องอ่านค่าระดับแบบใช้ลูกลอย.....	56
3.7 สัญลักษณ์การใช้งาน Float Type.....	57
3.8 แสดงการใช้แม่เหล็กช่วยในการอ่านที่เป็นแบบดิจิทัล.....	57
3.9 แสดงสัญลักษณ์ในการใช้งาน Dip Stick.....	58
3.10 เครื่องวัดระดับแบบอาศัยหลักการความดันแตกต่าง.....	59
3.11 การวัดระดับแบบถังเปิด (Open Tank).....	59
3.12 การวัดระดับในแบบถังปิด (Close Tank) แบบ Dry Leg.....	60
3.13 การวัดระดับในแบบถังปิด (Close Tank) แบบ Wet Leg.....	60
3.14 แสดงการติดตั้ง Level Transmitter ที่ถัง.....	61
3.15 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่าของอาร์ทีทีที่ทำจากโลหะชนิดต่าง ๆ.....	63
4.1 แสดงแบบจำลองกระบวนการที่ใช้จริง.....	64
4.2 แสดงตัวอุปกรณ์วงจรภายในและตำแหน่งขาของ Pressure Sensor.....	65
4.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างเอาต์พุตและความดันแตกต่าง.....	65
4.4 แสดงสถาปัตยกรรมภายในของไอซีเบอร์ INA121P.....	66

## สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4.5 แสดงการต่อวงจรและค่าอัตราการขยาย.....	67
4.6 แสดงความจำเป็นของการแปลงสัญญาณแรงดันไฟฟ้าเป็นกระแสไฟฟ้า.....	68
4.7 แสดงการต่อใช้งานจริง.....	69
4.8 ออกแบบแบบจำลองกระบวนการเบื้องต้น.....	70
4.9 แสดงการติดตั้งใช้งานจริง.....	71
4.10 รีเลย์.....	72
4.11 แสดงการออกแบบหน้าจอของกระบวนการ.....	74
4.12 แสดงการออกแบบ Real – Time monitoring.....	74
4.13 แสดงสัญญาณเตือนเมื่อระดับสัญญาณเกินค่าที่กำหนด.....	75
4.14 แสดงหน้าต่างในการเลือก OPC Tag.....	75
4.15 แสดงตารางที่ใช้เก็บข้อมูลอัตโนมัติ.....	76
4.16 หน้าต่างโปรแกรม Excel ของ Trendlogger.....	76
4.17 แสดงหน้าต่างในการสร้างข้อมูลที่ Trendlogger.....	76
4.18 แสดงหน้าต่างในการเลือกสัญญาณ OPC Server.....	77
4.19 แสดงหน้าต่างในการสร้างไฟล์ฐานข้อมูล.....	77
4.20 แสดงหน้าต่างของ MSDE Database Manager.....	77
4.21 แสดงหน้าต่างโปรแกรม Excel.....	78
4.22 แสดงหน้าต่างตารางการคำนวณใน โปรแกรม Excel.....	78
5.1 แบบจำลองกระบวนการผลิต.....	79
5.2 กราฟแสดงกระแสเอาต์พุตเทียบกับระดับของเหลว Tank A.....	81
5.3 กราฟแสดงกระแสเอาต์พุตเทียบกับระดับของเหลว Tank B.....	82
5.4 กราฟแสดงกระแสเอาต์พุตเทียบกับระดับของเหลว Tank C.....	83
5.5 แพลตฟอร์มที่ใช้ในการทดลอง.....	84
5.6 แสดงบล็อกไดอะแกรมของการทำงานได้ดังนี้.....	85
5.7 กระบวนการควบคุม.....	85
5.8 OC Curve ของแผนภูมิควบคุม.....	90
5.9 (ก) แสดงกราฟ X bar แสดงค่าที่ได้จากการคำนวณค่าสุ่มการวัดอุณหภูมิในถัง เมื่อระบบอยู่ในสภาวะคงตัว ( $n = 5$ ).....	90

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อ XII ศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
5.9 (ข) แสดงกราฟ S แสดงค่าที่ได้จากการคำนวณค่าส่วนการวัดอุณหภูมิน้ำในถัง เมื่อระบบอยู่ในสภาวะคงตัว ( $n = 5$ ).....	90
5.9 (ค) OC Curve ของแผนภูมิควบคุม.....	93
5.10 (ก) แสดงกราฟ $\bar{X}$ แสดงค่าที่ได้จากการคำนวณค่าส่วนการวัดอุณหภูมิน้ำในถัง เมื่อระบบอยู่ในสภาวะคงตัว ( $n = 7$ ).....	94
5.10 (ข) แสดงกราฟ S แสดงค่าที่ได้จากการคำนวณค่าส่วนการวัดอุณหภูมิน้ำในถัง เมื่อระบบอยู่ในสภาวะคงตัว ( $n = 7$ ).....	94
5.11 (ก) แสดงกราฟ $\bar{X}$ แสดงค่าที่ได้จากการคำนวณค่าส่วนการวัดอุณหภูมิน้ำในถัง เมื่อระบบถูกรบกวนจากสาเหตุที่ผิดปกติ (เมื่อ $n = 5$ ).....	98
5.11 (ข) แสดงกราฟ S แสดงค่าที่ได้จากการคำนวณค่าส่วนการวัดอุณหภูมิน้ำในถัง เมื่อระบบถูกรบกวนจากสาเหตุที่ผิดปกติ (เมื่อ $n = 5$ ).....	99
5.12 (ก) แสดงกราฟ $\bar{X}$ แสดงค่าที่ได้จากการคำนวณค่าส่วนการวัดอุณหภูมิน้ำในถัง เมื่อระบบถูกรบกวนจากสาเหตุที่ผิดปกติ (เมื่อ $n = 7$ ).....	102
5.12 (ข) แสดงกราฟ S แสดงค่าที่ได้จากการคำนวณค่าส่วนการวัดอุณหภูมิน้ำในถัง เมื่อระบบถูกรบกวนจากสาเหตุที่ผิดปกติ (เมื่อ $n = 7$ ).....	103
5.13 (ก) แสดงกราฟ $\bar{X}$ แสดงค่าที่ได้จากการคำนวณค่าส่วนการวัดอุณหภูมิน้ำในถัง เมื่อระบบถูกรบกวนจากสาเหตุที่ผิดปกติ (เมื่อ $n = 5$ ).....	106
5.13 (ข) แสดงกราฟ S แสดงค่าที่ได้จากการคำนวณค่าส่วนการวัดอุณหภูมิน้ำในถัง เมื่อระบบถูกรบกวนจากสาเหตุที่ผิดปกติ ( $n = 5$ ).....	107
5.14 (ก) แสดงกราฟ $\bar{X}$ แสดงค่าที่ได้จากการคำนวณค่าส่วนการวัดอุณหภูมิน้ำในถัง เมื่อระบบถูกรบกวนจากสาเหตุที่ผิดปกติ ( $n = 7$ ).....	110
5.14 (ข) แสดงกราฟ S แสดงค่าที่ได้จากการคำนวณค่าส่วนการวัดอุณหภูมิน้ำในถัง เมื่อระบบถูกรบกวนจากสาเหตุที่ผิดปกติ ( $n = 7$ ).....	111
5.15 (ก) แสดงกราฟ $\bar{X}$ แสดงค่าที่ได้จากการคำนวณค่าส่วนการวัดอุณหภูมิน้ำในถัง เมื่อระบบถูกรบกวนจากสาเหตุที่ผิดปกติ ( $n = 5$ ).....	114
5.15 (ข) แสดงกราฟ S แสดงค่าที่ได้จากการคำนวณค่าส่วนการวัดอุณหภูมิน้ำในถัง เมื่อระบบถูกรบกวนจากสาเหตุที่ผิดปกติ ( $n = 5$ ).....	115

## สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
5.16 (ก) แสดงกราฟ $\bar{X}$ แสดงค่าที่ได้จากการคำนวณค่าสุ่มการวัดอุณหภูมิน้ำในถัง เมื่อระบบถูกรบกวนจากสาเหตุที่ผิดปกติ ( $n = 7$ ).....	118
5.16 (ข) แสดงกราฟ $\bar{X}$ แสดงค่าที่ได้จากการคำนวณค่าสุ่มการวัดอุณหภูมิน้ำในถัง เมื่อระบบถูกรบกวนจากสาเหตุที่ผิดปกติ ( $n = 7$ ).....	119
5.17 (ก) แสดงกราฟ $\bar{X}$ แสดงค่าที่ได้จากการคำนวณค่าสุ่มการวัดอุณหภูมิน้ำในถัง เมื่อระบบถูกรบกวนจากสาเหตุที่ผิดปกติ ( $n = 5$ ).....	122
5.17 (ข) แสดงกราฟ $\bar{X}$ แสดงค่าที่ได้จากการคำนวณค่าสุ่มการวัดอุณหภูมิน้ำในถัง เมื่อระบบถูกรบกวนจากสาเหตุที่ผิดปกติ ( $n = 5$ ).....	123
5.18 (ก) แสดงกราฟ $\bar{X}$ แสดงค่าที่ได้จากการคำนวณค่าสุ่มการวัดอุณหภูมิน้ำในถัง เมื่อระบบถูกรบกวนจากสาเหตุที่ผิดปกติ ( $n=7$ ).....	126
5.18 (ข) แสดงกราฟ S แสดงค่าที่ได้จากการคำนวณค่าสุ่มการวัดอุณหภูมิน้ำในถัง เมื่อระบบถูกรบกวนจากสาเหตุที่ผิดปกติ ( $n = 7$ ).....	127

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมา และแรงจูงใจของการทำวิจัย

ในปัจจุบันนี้ในวงการอุตสาหกรรมได้มีการแข่งขันทางด้านการผลิตอย่างสูง ในระบบการผลิตนั้น กระบวนการต่าง ๆ ที่จะต้องควบคุมมีความยุ่งยากซับซ้อน จึงได้มีการคิดค้นระบบควบคุมที่สะดวก และสามารถควบคุมได้ระยะไกล และระบบสกาต้าคือหนึ่งในระบบนั้น ระบบสกาต้าจำเป็นต้องมีซอฟต์แวร์รองรับ ซึ่งซอฟต์แวร์ในระบบสกาต้ามีหลายอย่างที่ใช้เขียนได้ เช่น Visual basic, CX, GE, ICONICS และ Woodenware

อีกทั้งในกระบวนการผลิตทางอุตสาหกรรมการวัด และการควบคุมเป็นสิ่งที่ไม่อาจหลีกเลี่ยงได้สำหรับกระบวนการผลิตที่มีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา นั้น จำเป็นที่จะต้องมีการเฝ้าติดตามการทำงานอยู่ตลอด โดยกระบวนการหนึ่ง ๆ จะมีข้อมูลเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง ทำให้มีข้อมูลมหาศาล บางครั้งความผิดพลาดที่เกิดขึ้นอย่างค่อยเป็นค่อยไป ยากแก่การทำความเข้าใจได้ด้วยการมองเพียงแต่ค่าข้อมูลที่แสดงอยู่ ณ ปัจจุบัน หากได้มีการเก็บรวบรวมข้อมูลในอดีต ทำการแยกแยะข้อมูล และมองหาตัวแปรที่มีผลต่อพฤติกรรมของระบบ ย่อมง่ายแก่การทำความเข้าใจในพฤติกรรมของระบบ ทั้งยังสามารถทำนายการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมของระบบในอนาคตได้อีกด้วย

ดังนั้นเพื่อให้ง่ายต่อการจัดการข้อมูลจำนวนมาก ที่เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องตลอดเวลา จึงได้มีการคิดสร้างเครื่องมือที่สามารถเก็บรวบรวม วิเคราะห์ ตีความหมาย และนำเสนอข้อมูลของระบบอันจะทำให้สามารถสังเกต ตรวจสอบ และทำนายพฤติกรรมของระบบได้อย่างทันท่วงที ซึ่งจะทำให้ลดความผิดพลาดที่จะเกิดขึ้น และสามารถลดต้นทุนการผลิตอันจะเป็นประโยชน์ต่อองค์กรได้ต่อไป

### 1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญาานิพนธ์

1. ศึกษาการประยุกต์ใช้งานโปรแกรม PLC
2. ศึกษาการประยุกต์ใช้งานโปรแกรม Genesis32
3. ศึกษาการเชื่อมต่อระหว่าง โปรแกรม Genesis32 กับเครื่อง PLC
4. ทำการควบคุมกระบวนการโดยผ่านทางหน้าจอคอมพิวเตอร์
5. ศึกษาและนำความรู้ทางด้านสถิติศาสตร์มาใช้กับแบบจำลองการผลิตได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์

1. สร้างแบบจำลองกระบวนการผลิตอย่างง่าย
2. แสดงหน้าจอการทำงานរបแบบจำลองบนเครื่องคอมพิวเตอร์ โดยใช้โปรแกรม Genesis32 และทำการควบคุมผ่าน PLC
3. สามารถเชื่อมต่อระหว่างโปรแกรม Genesis32 กับเครื่อง PLC
4. สามารถนำความรู้เชิงสถิติ โดยใช้เทคนิค Statistic Control Process (SPC) มาใช้กับแบบจำลองกระบวนการผลิตเพื่อเฝ้าติดตามผลของกระบวนการ

### 1.4 ขั้นตอนการศึกษา

1. ทำการออกแบบกระบวนการที่ต้องการจะศึกษา
2. ศึกษาการใช้งานโปรแกรม Genesis32
3. ศึกษาการใช้งานโปรแกรม PLC KOYO รุ่น DL06
4. ศึกษาการนำความรู้เชิงสถิติศาสตร์ โดยใช้เทคนิค Statistical Process Control (SPC) มาใช้กับกระบวนการผลิต
5. จัดหาอุปกรณ์ เครื่องมือ สำหรับสร้างแบบจำลองกระบวนการผลิต
6. ต้องงจรอิเล็กทรอนิกส์เพื่อนำสัญญาณออกไปใช้ในกระบวนการ
7. ออกแบบวงจรไฟฟ้า
8. ประกอบและทำการติดตั้ง
9. ทำการเชื่อมต่อระหว่างโปรแกรม Genesis32 กับเครื่อง PLC
10. ควบคุมการทำงานของกระบวนการผ่านหน้าจคอมพิวเตอร์
11. ทำการเก็บค่าทางสถิติ เพื่อนำไปสร้างแผนภูมิควบคุม สำหรับทำการเฝ้าติดตามความเป็นไปของกระบวนการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

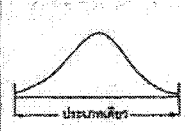
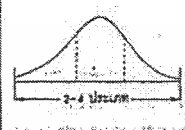
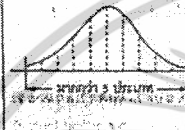
# ทฤษฎีและหลักการ

### 2.1 ความสามารถในการแยกความแตกต่าง

จุดประสงค์สำคัญสำหรับการจัดทำระบบการวัดคือ การพิจารณากระบวนการในด้านการผันแปร เพื่อการประเมินความสามารถของระบบการวัดสำหรับการอธิบายถึงความผันแปรของกระบวนการ ดังนั้นถ้าหากกระบวนการวัดไม่สามารถอธิบายถึงความผันแปรได้แล้ว ก็ย่อมจะขาดข้อมูลในการอธิบายความผันแปรของกระบวนการได้ และถ้าหากไม่สามารถอธิบายความผันแปรของกระบวนการได้ข้อมูลจากระบบการวัดดังกล่าว ก็ไม่สามารถใช้ตรวจจับความผันแปรจากสาเหตุแบบพิศุทธิกรรมชาติ (Special Cause) ในการควบคุมกระบวนการโดยอาศัยสถิติ (SPC) ได้

AIAG : Automotive Industry Action Group (1995) ได้นิยามความสามารถในการแยกความแตกต่างไว้ว่า ความสามารถของระบบการวัดที่จะตรวจพบ และระบุอย่างถูกต้องถึงการเปลี่ยนแปลง แม้แต่ค่าเล็กน้อยของคุณลักษณะที่ได้รับการวัด (The capability of the measurement system to detect and faithfully indicate even small change of the measured characteristic) และบางครั้งอาจจะเรียกว่าความสามารถในการกระจาย หรือรีโซลูชัน (Resolution)

ในการควบคุมคุณภาพของกระบวนการโดยอาศัยสถิตินั้น จะมีข้อจำกัดด้านเศรษฐศาสตร์ และข้อจำกัดด้านกายภาพอื่น ๆ ที่ทำให้ไม่สามารถทำการวัดคุณลักษณะที่สนใจของชิ้นงานทุกชิ้นตามการกระจายในกระบวนการผลิตได้ จึงมีความจำเป็นต้องรวมคุณลักษณะที่ได้รับการวัดที่ไม่มี ความแตกต่างกัน (หรือ แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ) อยู่ในกลุ่มข้อมูลประเภทเดียวกัน และจะตีความหมายว่า ชิ้นงานที่ได้รับการวัดที่มีข้อมูลอยู่ในกลุ่มประเภทเดียวกันจะมีคุณลักษณะที่เหมือนกัน ดังนั้นถ้าหากข้อมูลขาดคุณสมบัติในการแยกความแตกต่างแล้ว ก็จะทำให้ขาดคุณสมบัติในการควบคุมและวิเคราะห์ ดังภาพที่ 2.1

ลักษณะข้อบกพร่อง	กระบวนการผลิต	การควบคุม
	<ul style="list-style-type: none"> <li>สามารถใช้ในการควบคุมได้ดี</li> <li>ความถี่แปรของกระบวนการมีความน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับข้อกำหนดเฉพาะ</li> <li>ดัชนีความสูงของเส้นโค้งไม่แตกต่างกันตามค่าความหมายของความแปรของกระบวนการ</li> <li>สามารถหลีกเลี่ยงความเสียหายของกระบวนการที่ได้น่าพอใจ (ค่าเฉลี่ย) ของกระบวนการเปลี่ยนไป</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ไม่สามารถใช้ข้อมูลนี้ในการประมาณค่าพารามิเตอร์ของกระบวนการและค่า <math>C_p, C_{pk}</math> ได้</li> <li>ใช้ข้อมูลในการอธิบายได้ของกระบวนการผลิตชนิดที่ผลิตได้คงที่เกี่ยวกับข้อกำหนดเฉพาะ</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>สามารถใช้ได้กับกฎวิธีการควบคุมที่มีแปร (semi-variable) ที่ขึ้นกับการแจกแจงของกระบวนการ</li> <li>สามารถใช้ได้กับแผนภูมิควบคุมที่ไม่ค่อยมีความไวต่อการตรวจหาค่าความแปรผัน</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>โดยทั่วไปแล้ว ไม่สามารถใช้ข้อมูลนี้ในการประมาณค่าพารามิเตอร์ของกระบวนการและค่า <math>C_p, C_{pk}</math> ได้</li> <li>ใช้ข้อมูลในการประมาณการอย่างหยาบ ๆ ได้</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>สามารถใช้ได้ทั้งแผนภูมิควบคุมเริ่มต้นแปรที่ตรวจพบความผันแปรของกระบวนการได้ทันที</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>มีความเหมาะสมกับการประมาณค่าพารามิเตอร์และค่า <math>C_p, C_{pk}</math></li> </ul>

ภาพที่ 2.1 แสดงผลกระทบจากคุณสมบัติด้านความสามารถในการแยกความแตกต่างของข้อมูลที่ผลต่อการควบคุม

**แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (X-bar Chart และ S Chart)**

เป็นแผนภูมิที่เหมาะสมในกรณีที่ขนาดตัวอย่างของกลุ่มย่อยมากกว่า 6 ( $n > 6$ ) การประมาณค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของประชากรด้วยค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวอย่าง (S)

$$s_j = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X}_j)^2}{n-1}} \quad \text{และ} \quad \bar{s}_j = \frac{\sum_{j=1}^N s_j}{N}$$

ดังนั้นกรณีตัวอย่างกลุ่มย่อย มีขนาดใหญ่ แผนภูมิ S จะควบคุมกระบวนการผลิตได้แม่นยำ

การคำนวณขีดจำกัดของแผนภูมิควบคุม ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน แผนภูมิ X-bar Chart สามารถคำนวณค่าขอบเขตบนและขอบเขตล่างได้จาก

$$\begin{aligned} (UCL_{\bar{x}}, LCL_{\bar{x}}) &= \hat{\mu} \pm \frac{3\hat{\sigma}}{\sqrt{n}} \\ &= \hat{\mu} \pm \frac{3\bar{s}}{\sqrt{nc_4}} \\ &= \hat{\mu} \pm A_3\bar{s} \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ  $A_3 = \frac{3}{c_4\sqrt{n}}$  โดยที่  $CL = \bar{x}$

แผนภูมิ S Chart

สามารถคำนวณค่าขอบเขตบนและขอบเขตล่างได้จาก

$$(UCL_s, LCL_s) = \bar{s} \pm 3\sigma_s$$

โดยที่ค่าประมาณของ S คือ  $E(s) = c_4\sigma$  และ  $\sigma_s = \sqrt{1-c_4^2}$  จากการประมาณค่า  $E(s) = c_4\sigma$  ทำให้ได้ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของประชากรเป็น  $\hat{\sigma} = \frac{\bar{s}}{c_4}$  และเมื่อแทนความสัมพันธ์ลงในสมการจะได้ จีตจำกัดบนของแผนภูมิ S คือ

$$\begin{aligned} UCL_s &= \bar{s} + 3\sigma_s \\ &= \bar{s} + 3\sigma\sqrt{1-c_4^2} \\ &= \bar{s} + \frac{3\bar{s}\sqrt{1-c_4^2}}{c_4} \\ &= B_4\bar{s} \end{aligned}$$

เมื่อ  $B_4 = 1 + 3\frac{\sqrt{1-c_4^2}}{c_4}$

จีตจำกัดล่างของแผนภูมิ s คือ

$$\begin{aligned} LCL_s &= \bar{s} - 3\sigma_s \\ &= \bar{s} - 3\sigma\sqrt{1-c_4^2} \\ &= \bar{s} - \frac{3\bar{s}\sqrt{1-c_4^2}}{c_4} \\ &= B_3\bar{s} \end{aligned}$$

เมื่อ  $B_3 = 1 - 3\frac{\sqrt{1-c_4^2}}{c_4}$

โดยที่  $CL = \bar{x}$  ส่วนค่าคงที่  $c_4, B_4, B_3$  ขึ้นอยู่กับขนาดของตัวอย่างในกลุ่มย่อย ดูได้จากตารางค่าคงที่ที่ขึ้น อยู่กับขนาดของตัวอย่างสำหรับการสร้างแผนภูมิวาริเอเบิล

การวิเคราะห์และปรับปรุงแผนภูมิควบคุม X-bar-S

- สังเกตค่าจากแผนภูมิค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (X-bar-s) ว่าอยู่นอกเหนือเขตการควบคุมหรือไม่ หากอยู่นอกเหนือเขตการควบคุมแล้ว ทำการวิเคราะห์และแก้ไขปัญหาค้างกับ การวิเคราะห์แผนภูมิ X-bar-R

- ทำการปรับปรุงแผนภูมิใหม่โดยตัดข้อมูลกลุ่มย่อยที่มีความแปรปรวนในออกไป และทำการคำนวณแผนภูมิใหม่

### ตัวอย่างการคำนวณแผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยและส่วน เบี่ยงเบนมาตรฐาน

ปริมาณการบรรจุน้ำผลไม้ห่อหนึ่งแสดงดังตาราง โดยปริมาณการบรรจุถือว่าเป็นสิ่งที่สำคัญมากที่สุดได้มีการตรวจสอบปริมาณ การบรรจุโดยทำการวัดความ สูงของปริมาณน้ำยาหรือน้ำผลไม้บริเวณคอขวดเทียบกับปริมาณมาตรฐาน ค่าที่วัดได้ เป็นบวกหรือลบหมายถึงปริมาณการบรรจุที่สูงกว่าหรือต่ำกว่ามาตรฐานตามลำดับ ค่าที่วัดได้เท่ากับ 0 หมายถึง การบรรจุเท่ากับปริมาณมาตรฐาน โดยได้ทำการเก็บ ข้อมูลจากกระบวนการผลิตมา 15 กลุ่มตัวอย่าง ตัวอย่างละ 10 ขวดดังตาราง จึงสร้างแผนภูมิ  $\bar{X}$ -bar และ S เพื่อตรวจสอบว่าการผลิต อยู่ภายใต้การควบคุมหรือไม่ พร้อมทั้งปรับปรุงแผนภูมิถ้าจำเป็น

ตารางที่ 2.1 แสดงค่าปริมาณการบรรจุน้ำผลไม้เทียบกับปริมาณมาตรฐาน

ตัวอย่างที่	ข้อมูล									
1	-1	-0.5	-0.5	-1	0	0.5	0.5	-1.5	-1	-1
2	1.5	1.5	0	-1.5	-1	-2	-0.5	-1	1	0.5
3	1	0	1	0.5	0	0	1.5	1.5	-1.5	-2
4	2.5	0.5	2	-1	1	-1	0.5	1.5	0.5	-1.5
5	-1	1	-1	-1	-1.5	0	-1	1	1	1.5
6	0.5	1	-0.5	-0.5	0	0	0	0	0	-0.5
7	-1	0	-2	0.5	0	1.5	-1.2	0	-2	-1.5
8	0	1.5	0	1	0	0	1	-1	-1	-1
9	-1	0.5	0	1.5	2	-0.5	0	-0.5	-2	0
10	0	1	-2	-1.5	1	0	1.5	1.5	1	-1
11	-1.5	2	0	0	1.5	0	0.5	-0.5	2	-1
12	-1	-1.5	-1.5	-1	-1	1	0.5	-0.5	1.5	0
13	0.5	0	0	1	1.5	1	-1	1	1.5	-1
14	-0.5	1	0	0	0	0.5	-1	1	-2	1
15	-0.5	0.5	-1	0	0	0	1.5	-0.5	-1.5	0

$$\text{ได้ } \bar{s} = \frac{15.495}{15} = 1.033 \text{ และ } \bar{\bar{x}} = \frac{-0.22}{15} = -0.01467$$

เมื่อขนาดตัวอย่างย่อยเท่ากับ 10 ( $n = 10$ ) จากตารางในภาคผนวก ได้  $A_3 = 0.975, B_3 = 0.284$  และ  $B_4 = 1.716$  ทำการหาขีดจำกัดควบคุมของแผนภูมิได้ดังต่อไปนี้

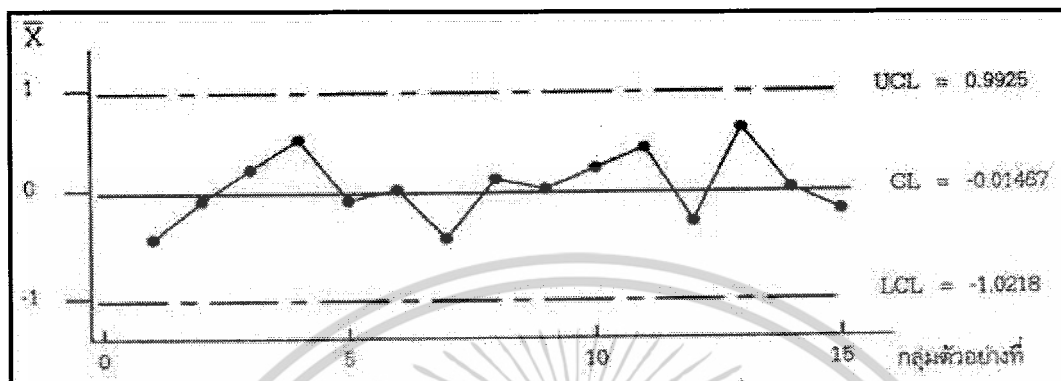
แผนภูมิ  $\bar{X}$ -bar

$$UCL = \bar{\mu} + A_3\bar{s} = (-0.01467) + (0.975)(1.033) = 0.9925$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$CL = \hat{\mu} = -0.01467$$

$$LCL = \hat{\mu} - A_3\bar{s} = (-0.01467) - (0.975)(1.033) = -1.0218$$



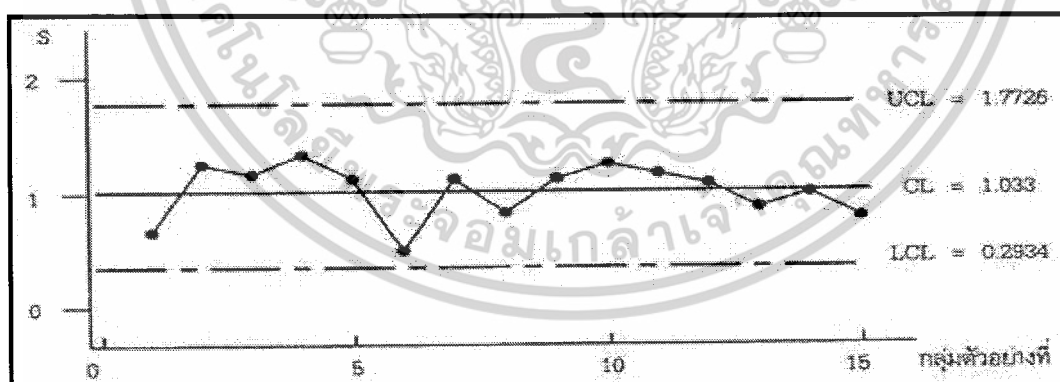
ภาพที่ 2.2 กราฟแสดงแผนภูมิ X-bar

แผนภูมิ S

$$UCL = B_4\bar{s} = (1.716)(1.033) = 1.7726$$

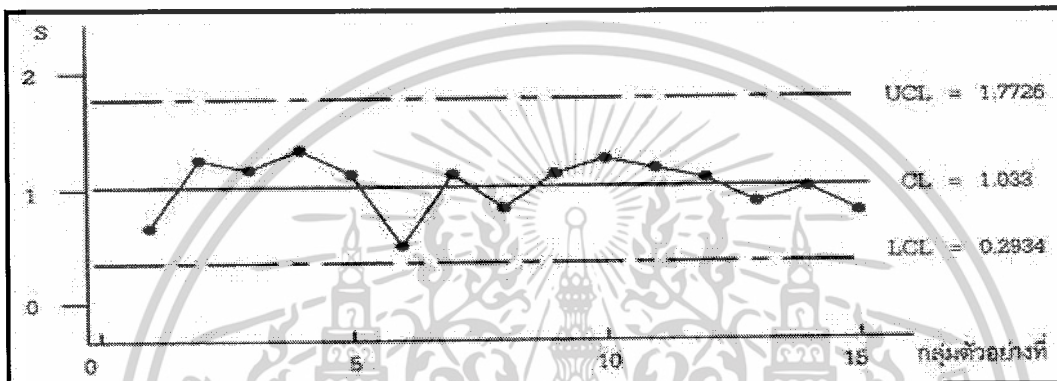
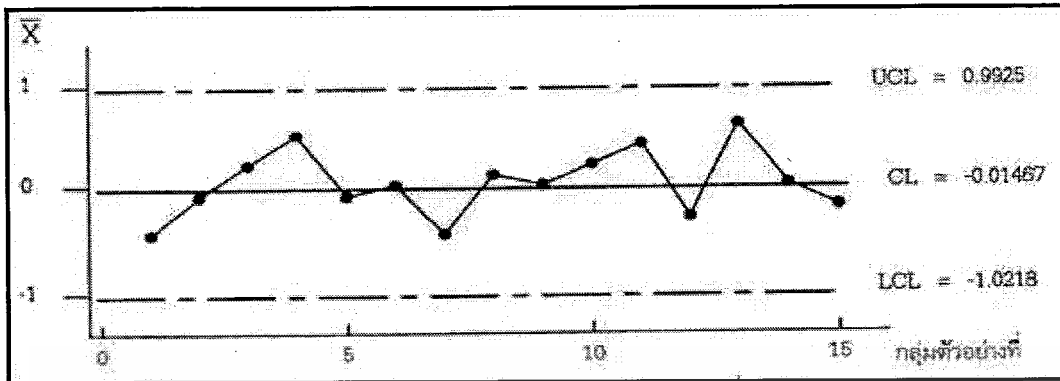
$$CL = \bar{s} = 1.033$$

$$LCL = B_3\bar{s} = (0.284)(1.033) = 0.2934$$



ภาพที่ 2.3 กราฟแสดงแผนภูมิ S

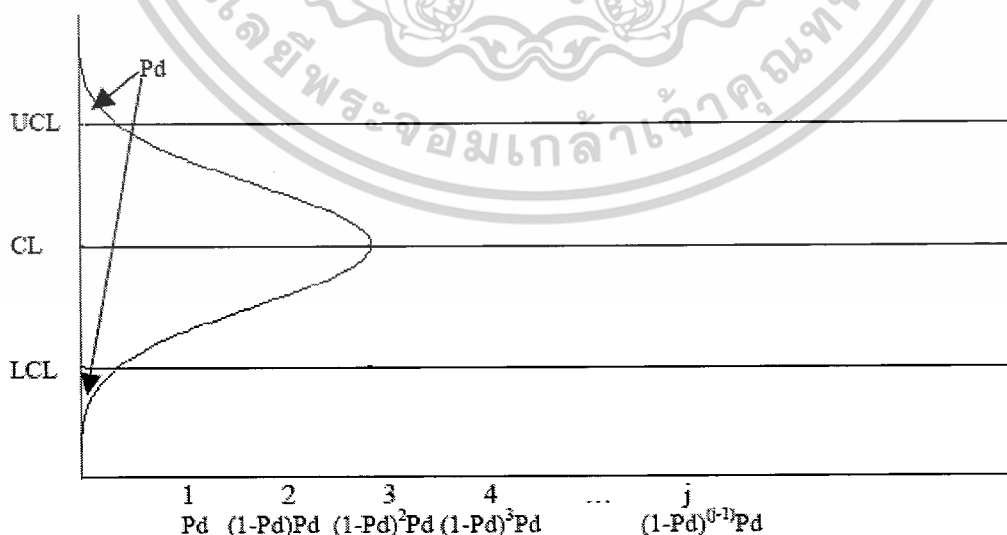
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.4 กราฟแสดงแผนภูมิ  $\bar{x}$ -bar และ S ของปริมาณการบรรจุผลไม้

จากแผนภูมิ X และแผนภูมิ S ไม่มีจุดใดตกอยู่นอกขีดจำกัดควบคุม สรุปได้ว่ากระบวนการบรรจุผลไม้ไม่อยู่ภายใต้การควบคุมแล้ว

#### Average Run Length



ภาพที่ 2.5 ค่าความน่าจะเป็นที่จะเกิดเหตุการณ์ที่ตัวสถิติจะตกอยู่นอกเส้นควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned}
 ARL &= \sum_{j=1}^{\infty} j(1-P_d)^{j-1} P_d \\
 &= P_d \sum_{j=1}^{\infty} j(1-P_d)^{j-1}
 \end{aligned}$$

เนื่องจากการพล็อตตัวสถิติที่เราต้องการตรวจสอบลงในแผนภูมิควบคุม จะทำการพล็อตลงในแผนภูมิเรื่อย ๆ ไม่มีที่สิ้นสุด นั่นคือการพล็อตในครั้งที่  $j$  เมื่อ  $j=1, 2, 3, \dots$  ดังนั้นในการพล็อตครั้งที่ใด ๆ ก็คือโอกาสที่ครั้งที่  $j$  นั้น ๆ จะเป็นเหตุการณ์ที่ตัวสถิติจะตกอยู่นอกเขตการควบคุม ซึ่งในกรณีนี้  $j$  เป็นตัวแปรสุ่มที่มีฟังก์ชันการแจกแจงเป็นฟังก์ชันเรขาคณิตที่แทนด้วย ซึ่งอยู่ในรูป

$$f(j, P_d) = P_d (1 - P_d)^{j-1}$$

ค่าเฉลี่ยหรือค่าที่คาดหวังครั้งที่  $j$  จะเกิดขึ้นเหตุการณ์ที่ตัวสถิติอยู่นอกช่วงการควบคุม คือ  $E(j) = \frac{1}{P_d}$  การบวกค่าความน่าจะเป็นที่ตัวสถิติจะตกอยู่ในขีดจำกัดการควบคุมที่  $j = \infty$  สามารถคำนวณค่า ARL ได้

$$ARL = \frac{P_d}{[1 - (1 - P_d)]^2} = \frac{1}{P_d}$$

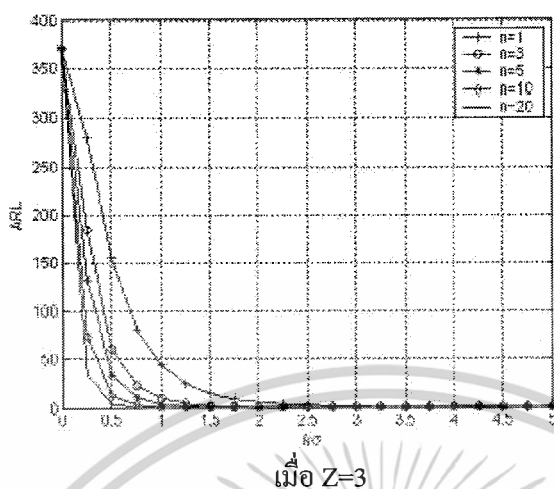
ตัวอย่างการหาค่า Average Run Length

เมื่อค่าเฉลี่ยของกระบวนการเท่ากับ 120 kg ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 8 kg นั่นคือแผนภูมิควบคุมจะมีค่า  $CL=120, UCL=130.733$  และ  $LCL=109.267$  เมื่อค่าเฉลี่ยของกระบวนการถูกเลื่อนให้ห่างจากค่า  $CL$  ไปเรื่อยๆ เมื่อ  $n=5$  หาค่า ARL ได้ดังตาราง

ค่าเฉลี่ยของกระบวนการ	$z\sigma_{\bar{x}}$ เมื่อค่า $z$ คือ	$z\sigma$ เมื่อค่า $z$ คือ	$P_d$	ARL
123.578	1	0.7156	0.0228	43.86
127.156	2	1.4312	0.1587	6.30
130.733	3	2.1468	0.5000	2.00
134.311	4	2.8624	0.8413	1.19
137.888	5	3.5780	0.9772	1.02
141.466	6	4.2936	0.9987	1.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปกราฟ ARL ในกรณีที่ขนาดของตัวอย่าง  $n$  แตกต่างกัน



## 2.2 การควบคุมกระบวนการทางสถิติ (SPC : Statistical Process Control)

การควบคุมกระบวนการทางสถิติคือ เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์คุณภาพ (Quality Analysis Tools) โดยการควบคุมกระบวนการทางสถิติ ถูกนำมาประยุกต์ใช้สำหรับปรับปรุงเสถียรภาพ (Stability) และสมรรถนะ (Capability) ของกระบวนการโดยการลดการผันแปร ซึ่งความผันแปรแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท ดังนี้

### 2.2.1 สาเหตุโดยบังเอิญหรือสาเหตุที่ระบุไม่ได้

ความผันแปรประเภทโดยธรรมชาติที่ไม่รุนแรงและไม่สามารถหลีกเลี่ยงได้ โดยส่วนใหญ่จะเป็นค่าที่น้อยมากและยอมรับได้ กระบวนการที่มีสาเหตุโดยบังเอิญถือว่าเป็นกระบวนการที่อยู่ในการควบคุม (In Control)

### 2.2.2 สาเหตุที่ระบุได้หรือสาเหตุที่กำจัดได้

ความผันแปรประเภทนี้โดยส่วนใหญ่เกิดขึ้นจากความผิดพลาด ความผิดปกติ ความไม่เป็นไปตามมาตรฐานของปัจจัยต่าง ๆ เช่น เครื่องจักร วัตถุดิบ และแรงงาน ซึ่งโดยทั่วไปแล้วความผันแปรเหล่านี้มีค่าเกินกว่าที่จะยอมรับได้เมื่อเทียบกับการผันแปรทางธรรมชาติ กระบวนการที่ไม่สามารถระบุสาเหตุได้ ถือเป็นกระบวนการที่ไม่อยู่ในการควบคุม (Out of Control)

จุดประสงค์หลักของการควบคุมกระบวนการเชิงสถิติคือ ความสามารถในการตรวจสอบสาเหตุที่ระบุได้โดยเร็วมากที่สุด เพื่อหาวิธีการป้องกันหรือแก้ไข ก่อนที่ชิ้นส่วนที่ไม่ตรงตามข้อกำหนดจะถูกผลิตออกมาเป็นจำนวนมาก การควบคุมกระบวนการทางสถิติ ประกอบด้วยเครื่องมือวิเคราะห์คุณภาพ 7 ชนิด คือ

#### 1) แผ่นการตรวจสอบ (Check Sheet)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

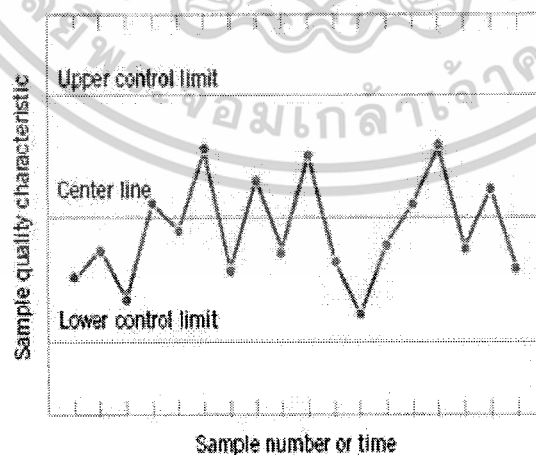
- 2) แผนภูมิแท่ง (Histogram)
- 3) ผังแสดงเหตุผลและข้อมูล (Cause-and-Effect Diagram)
- 4) แผนภูมิพาเรโต (Pareto Chart)
- 5) ผังแสดงรอยตำหนิหรือความบกพร่อง (Defect Concentration Diagram)
- 6) ผังควบคุมการกระจาย (Scatter Diagram)
- 7) แผนภูมิควบคุม (Control Chart)

สำหรับโครงการนี้ได้เลือกใช้แผนภูมิควบคุมหรือ Control Chart เป็นเครื่องมือในการเฝ้าติดตามผลของกระบวนการ

### 2.3 แผนภูมิควบคุม (Control Chart)

แผนภูมิควบคุมเป็นแผนภูมิกราฟ ที่ใช้ในการควบคุมคุณภาพของกระบวนการทดสอบ เพื่อให้ทราบปัญหา และปรับปรุงให้ได้ตามมาตรฐานที่กำหนด โดยใช้วิธีทางสถิติมาช่วย มีการแสดงให้เห็นถึงขอบเขตในการควบคุม ทั้งขอบเขตควบคุมบน (เส้นUCL) เส้นกลาง (Central line) และขอบเขตควบคุมล่าง (เส้น LCL) แผนภูมิควบคุมเป็นเครื่องมือที่ช่วยในการตัดสินใจว่ากระบวนการทดสอบนั้นยังคงปกติหรือเกิดความแปรผัน

แผนภูมิควบคุมถูกนำมาใช้สำหรับเฝ้าติดตามผลของกระบวนการผลิตว่า อยู่ในการควบคุมหรือไม่ โดยการสร้างกราฟของตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับคุณลักษณะที่สนใจ ในการสุ่มตัวอย่างแต่ละครั้ง แผนภูมิควบคุมเป็นหนึ่งในเทคนิคการควบคุมกระบวนการตามสาย (On-Line Process Control) สามารถใช้ประมาณค่าพารามิเตอร์ของกระบวนการและสามารถหาสมรรถนะของกระบวนการผลิตได้ โดยใช้ข้อมูลที่ได้จากการสุ่มตัวอย่างจากกระบวนการที่อยู่ภายใต้การควบคุม นอกจากนี้แผนภูมิควบคุมยังสามารถช่วยลดความผันแปรของระบบได้อีกด้วย



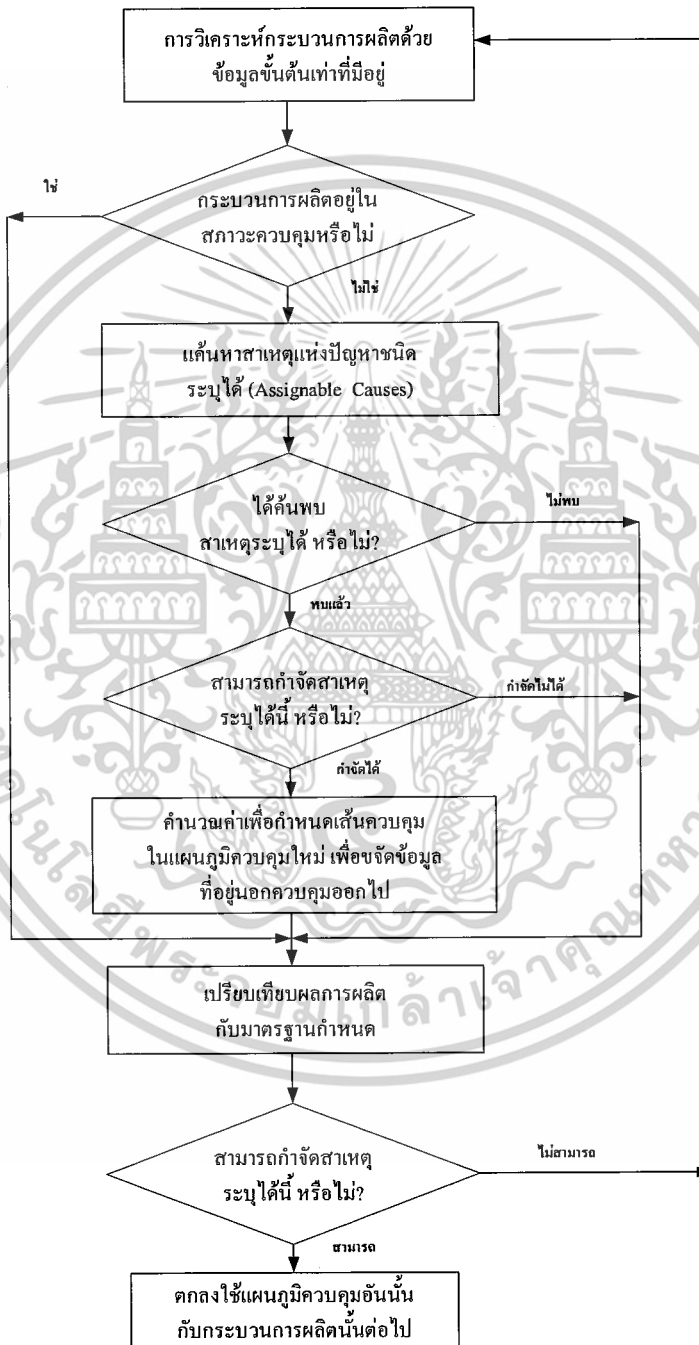
ภาพที่ 2.6 ตัวอย่างแผนภูมิควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากภาพที่ 2.3 ภายในแผนภูมิควบคุมประกอบด้วยส่วนประกอบหลัก 3 ส่วน คือ

- เส้นกลาง (Central Line, CL)
- ขอบเขตควบคุมล่าง (Lower Control Limit, LCL)
- ขอบเขตควบคุมบน (Upper Control Limit, UCL)

แผนภูมิควบคุมมีขั้นตอนการทำงาน ดังภาพที่ 2.7



ภาพที่ 2.7 แสดงขั้นตอนการทำงานของแผนภูมิควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.3.1 ประโยชน์ของแผนภูมิควบคุม

1. ควบคุมกระบวนการผลิตได้ทันเหตุการณ์ สามารถตรวจสอบความผิดพลาดได้จากแผนภูมิควบคุม ทำให้สามารถปรับปรุงแก้ไขได้ทันที และแผนภูมียังสามารถใช้คาดการณ์เหตุการณ์ที่ยังไม่เกิดขึ้นได้

2. ตรวจสอบค่ามาตรฐานที่กำหนด

3. ทราบถึงประสิทธิภาพของวิธีการผลิตว่ามีความเหมาะสมหรือไม่ ต้องลงทุนในการปรับปรุงประสิทธิภาพ เครื่องจักร หรืออื่น ๆ หรือไม่ รวมถึงการตัดสินใจรับคำสั่งผลิตจากลูกค้า

4. ป้องกันปัญหาการด้อยคุณภาพของผลิตภัณฑ์

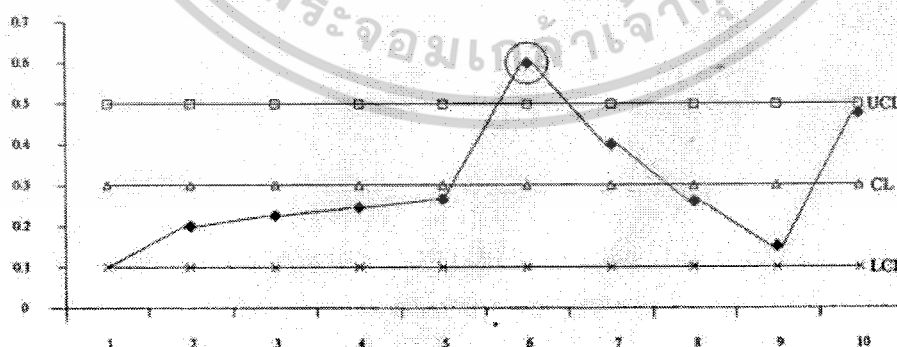
5. ป้องกันการปรับแต่งกระบวนการโดยไม่จำเป็น แผนภูมิควบคุมจะบอกได้ว่าส่วนใดผิดปกติ และบอกได้ว่าต้องปรับแต่งส่วนใด ทำให้การแก้ไขได้ถูกต้อง

7. ให้ข้อมูลเพื่อแก้ไขวิธีการผลิต เช่น การเปลี่ยนวัตถุดิบ เปลี่ยนวิธีการผลิต เป็นต้น

### 2.3.2 การวิเคราะห์แผนภูมิควบคุม

วัตถุประสงค์หลักของการใช้แผนภูมิควบคุมคือ การตรวจสอบสถานะของกระบวนการว่าอยู่ภายใต้การควบคุม หรืออยู่นอกเหนือการควบคุมหรือไม่ เพราะนอกจากเราต้องคอยตรวจสอบดูว่ามีจุดใดบ้างที่พล็อตลงในกราฟแล้วมีค่าทางสถิติอยู่นอกขีดจำกัดควบคุม โดยพิจารณาสัญญาณเตือนในรูปแบบอื่น ๆ เพื่อให้กระบวนการทำงานได้เต็มประสิทธิภาพ ทั้งนี้เงื่อนไขที่ใช้ในการวิเคราะห์รูปแบบของค่าที่นำมาพล็อตลงบนแผนภูมิ มีดังนี้

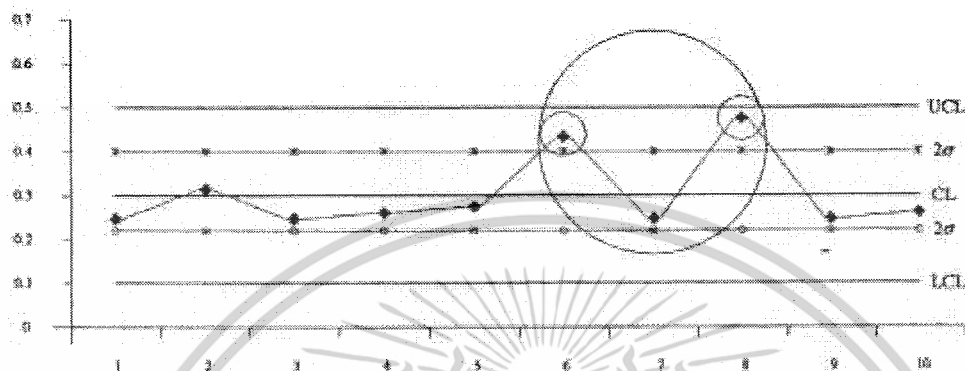
1. กระบวนการจะอยู่นอกเหนือการควบคุม เมื่อมีจุดใดจุดหนึ่งตกอยู่นอกเหนือขีดจำกัดการควบคุม ซึ่งกฎข้อนี้จะใช้กันทั่วไปกับแผนภูมิควบคุม ถ้าขีดจำกัดการควบคุมอยู่ที่  $\pm 3\sigma$  จากค่าเฉลี่ยของคุณลักษณะเชิงคุณภาพ ความน่าจะเป็นที่ค่าเฉลี่ยของคุณลักษณะเชิงคุณภาพที่จะตกนอกขีดจำกัดควบคุมนั้นจะมีค่าน้อยมาก (ประมาณ 0.0026)



ภาพที่ 2.8 แสดงรูปแบบการที่กระบวนการอยู่นอกเหนือการควบคุมตามกฎข้อที่ 1

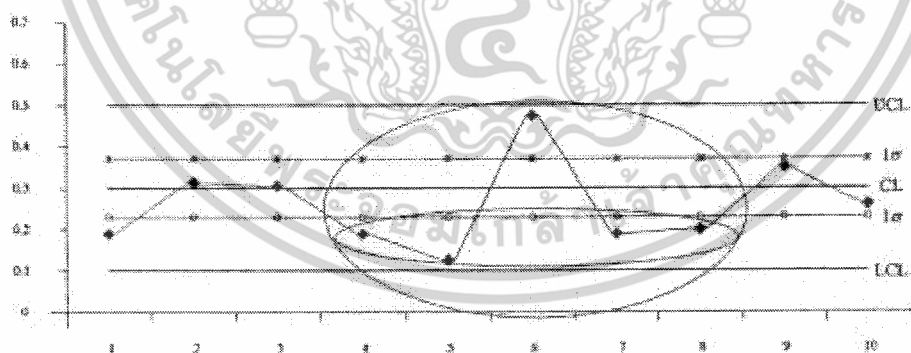
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. กระบวนการจะอยู่นอกเหนือการควบคุม เมื่อสองในสามจุดที่พล็อตตกอยู่นอกช่วงการเตือน  $\pm 2\sigma$  บนฝั่งเดียวกันของเส้นควบคุม ซึ่งรายละเอียดของช่วงการเตือนได้อธิบายไว้ในหัวข้อก่อนหน้านี้ ตัวอย่างของกรณีแสดงไว้ในภาพที่ 2.6 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าจุด 6 และ 8 ตกอยู่นอกช่วงการเตือน



ภาพที่ 2.9 แสดงรูปแบบการที่กระบวนการอยู่นอกเหนือการควบคุมตามกฎข้อที่ 2

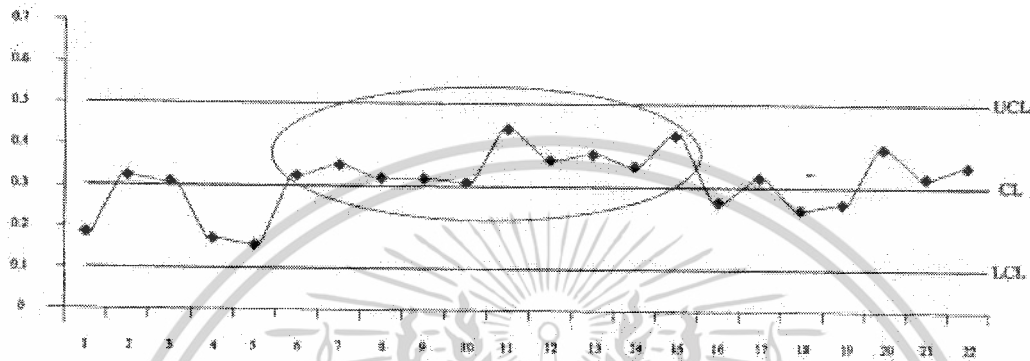
3. กระบวนการจะอยู่ในสถานะนอกเหนือการควบคุม เมื่อสี่ในห้าจุดที่พล็อตต่อเนื่องกันไปตกอยู่นอกช่วง  $\pm 1\sigma$  โดยตกอยู่ในด้านเดียวกันของเส้นควบคุม เมื่อค่าสถิติที่เรพล็อตลงไป โดยมีสี่ในห้าจุดที่ต่อเนื่องกันกันไป ทำให้โอกาสของการยอมรับกระบวนการต่ำมาก ดังนั้นจึงถือว่าเหตุการณ์ในกรณีนี้ แสดงถึงสภาวะที่ระบบนอกเหนือการควบคุม



ภาพที่ 2.10 แสดงรูปแบบการที่กระบวนการอยู่นอกเหนือการควบคุมตามกฎข้อที่ 3

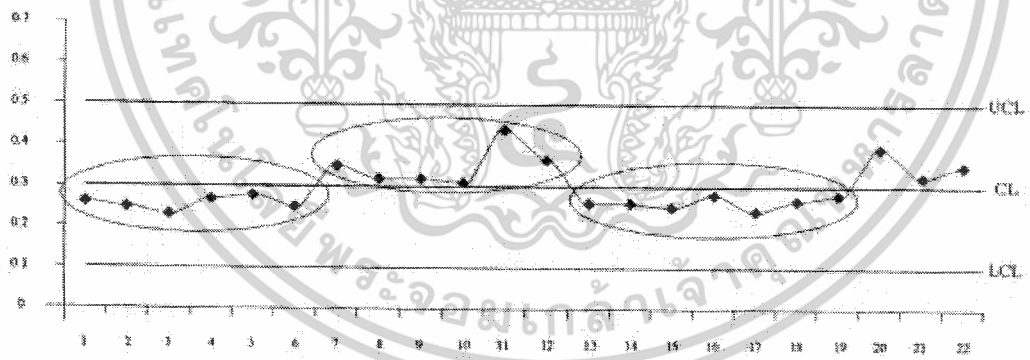
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. กระบวนการจะอยู่นอกเหนือการควบคุม ถ้ามีจุดพล็อตติดอยู่ด้านเดียวกันของเส้นควบคุมมากกว่าหรือเท่ากับ 9 จุด เมื่อกระบวนการอยู่ในสภาวะปกติ จุดที่พล็อตควมมีการกระจายทั้งด้านของเส้นควบคุม แต่ถ้าจุดที่พล็อตไปกระจุกตัวอยู่ด้านใดด้านหนึ่งมากกว่าหรือเท่ากับ 9 จุด ก็จะเป็นสัญญาณเตือนว่าตัวแปรของกระบวนการอาจจะเลื่อนตำแหน่งไปแล้วก็ได้



ภาพที่ 2.11 แสดงรูปแบบการที่กระบวนการอยู่นอกเหนือการควบคุมตามกฎข้อที่ 4

5. กระบวนการน่าจะอยู่ในสภาวะเหนือการควบคุม ถ้าจุดที่พล็อตอยู่ในรูปคลื่นคือมีมากกว่าหรือเท่ากับหกจุดพล็อตอยู่เหนือเส้นควบคุม และอีกหกจุดหรือมากกว่าพล็อตต่อเนื่องอยู่ด้านล่างของเส้นควบคุม สลับไปมาคล้ายรูปคลื่น ดังแสดงในภาพที่ 2.9



ภาพที่ 2.12 แสดงรูปแบบการที่กระบวนการอยู่นอกเหนือการควบคุมตามกฎข้อที่ 5

## 2.4 ซอฟต์แวร์ GENESIS 32

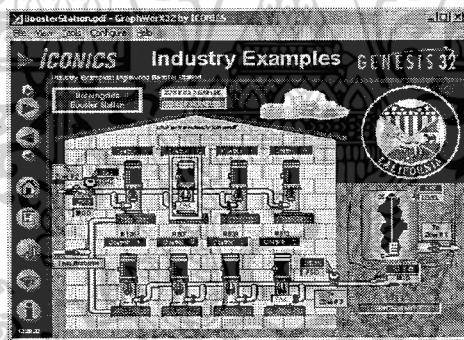
GENESIS32 คือ ซอฟต์แวร์ประเภท Web-enabled Industrial Automation ผลิตโดยบริษัท ICONICS ที่ทำงานบนระบบปฏิบัติการวินโดวส์ โดยใช้เทคโนโลยีการสื่อสารข้อมูลของ OPC แบบ Client – Server เพื่อสร้างแอปพลิเคชันสำหรับระบบ Human Machine Interface (HMI), SCADA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

GENESIS32 ประกอบไปด้วยโมดูลย่อยต่าง ๆ ที่ทำงานเป็นอิสระต่อกันเพื่อสร้างแอปพลิเคชันแบบต่าง ๆ ตามลักษณะงานสำหรับแอปพลิเคชันแบบกราฟิก แอปพลิเคชันสำหรับรวบรวมข้อมูล พล็อตกราฟข้อมูลแบบต่อเนื่อง (Trending) และแอปพลิเคชันระบบแจ้งเตือน (Alarm) โดยแอปพลิเคชันแต่ละโมดูลจะทำงานในลักษณะ ActiveX Container สามารถใช้งานบนระบบเครือข่ายแบบ Internet/Intranet ได้ และรองรับภาษาโปรแกรมมิ่งแบบ Visual Basic for Application นอกจากนี้ GENESIS32 ยังมีเครื่องมือช่วยในการสร้าง SCADA ที่รวมอยู่ในชุดซอฟต์แวร์ด้วย มีที่สำคัญดังนี้

#### 2.4.1 GraphWorX32

GraphWorX32 เป็นซอฟต์แวร์หนึ่งในสาม โมดูลหลักของ GENESIS32 ที่ใช้สร้างระบบแสดงผลแบบกราฟิกเพื่อให้พนักงาน และวิศวกรสามารถตรวจสอบ และควบคุมกระบวนการผลิต กระบวนการทางวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมได้ ซึ่งสามารถสร้างกราฟฟิกด้วยเครื่องมือวาดภาพพื้นฐาน มีไลบรารีของกราฟิกแบบ Enhanced Metafile และภาพเคลื่อนไหวในอุตสาหกรรม ควบคุมการเปลี่ยนแปลงของกราฟิก สามารถใช้งานแบบเลย์เออร์ได้ สามารถควบคุมส่วนต่างๆ ของ GraphWorX32 ด้วยสคริปต์ VBA ด้วย Visual Basic Editor ให้ใช้สำหรับงานเขียนโปรแกรม

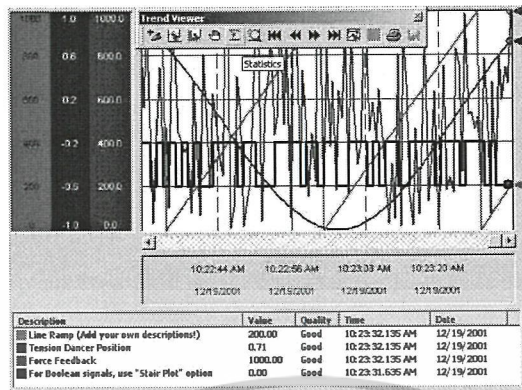


ภาพที่ 2.13 แสดงหน้าจอการทำงานของ GraphWorX32

#### 2.4.2 TrendWorX32

TrendWorX32 เป็น โมดูลหลักอีกตัวหนึ่งของชุดซอฟต์แวร์ GENESIS32 ที่ทำงานแบบ Data Logging และ Trending คือ สามารถเก็บรวบรวมข้อมูลไว้ในรูปแบบบานข้อมูลต่าง ๆ และทำการพล็อตกราฟสัญญาณแบบต่อเนื่อง เพื่อประโยชน์ เช่น สังเกตความเปลี่ยนแปลงของสัญญาณ การเปรียบเทียบสัญญาณจากอุปกรณ์ควบคุมต่าง ๆ ในกระบวนการทางอุตสาหกรรม ซึ่งจะประกอบด้วย SQL Data Logger เพื่อเก็บข้อมูลจาก OPC Server, Data Logger Configuration เป็นเครื่องมือใช้กำหนดว่าเราจะเก็บสัญญาณอะไรบ้าง และเก็บฐานข้อมูลประเภทใดไว้ที่ไหน Trend Viewer ActiveX คือ ตัวแสดงผลสัญญาณทั้ง Real time และ Historical

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

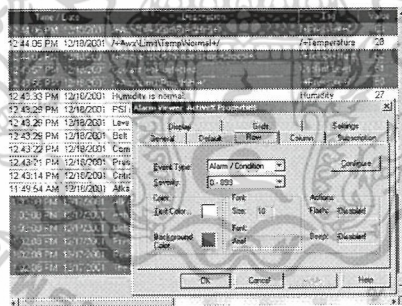


ภาพที่ 2.14 แสดงการทำงานของ Trend

### 2.4.3 AlarmWorx32

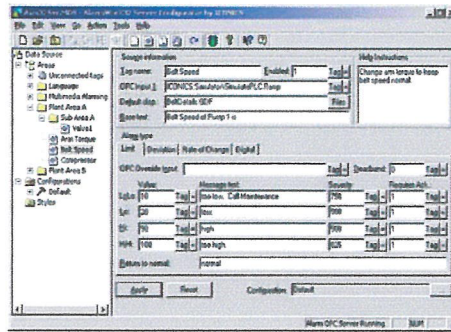
AlarmWorX32 เป็นเครื่องมือจัดสร้างระบบแจ้งเตือนสำหรับ SCADA ซึ่งประกอบไปด้วยเครื่องมือ ดังต่อไปนี้

- **Alarm Container** : สามารถทำงานบน ActiveX container เพื่อติดกับเหตุการณ์ Alarm ที่เรากำหนดไว้ และสามารถทำให้ผู้เกี่ยวข้องมีส่วนร่วมในการแจ้ง Acknowledge หรือใส่คำแนะนำผ่านหน้าจอแสดงผลได้



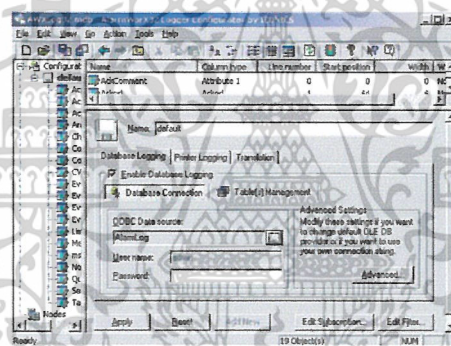
ภาพที่ 2.15 แสดง Alarm Container

- **Alarm Server และ Server Configuration** : เป็นเครื่องมือสำหรับ Configuration โดยเราสามารถเลือกสัญญาณที่สนใจมากำหนดเป็น Alarm โดยสามารถทำการคอนฟิกผ่านเครื่องมือแบบ User Interface สามารถกำหนดการแจ้งเตือนจากสัญญาณแบบ Analog หรือการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณนั้น ๆ



ภาพที่ 2.16 แสดงหน้าจอการกำหนดค่าสัญญาณเตือน

- **Alarm Logger** : เป็นข้อมูลสำหรับการเก็บรวบรวมข้อมูลการ Alarm, Acknowledge, Comment, Node ที่เกิด Alarm เวลาที่เกิดไว้ในฐานข้อมูลที่ต้องการ โดยเลือกได้ว่าจะเก็บข้อมูลไว้ในฐานข้อมูลแบบใด



ภาพที่ 2.17 การกำหนด Alarm Logger

- **Alarm Report ActiveX** : ActiveX คือ เครื่องมือจัดสร้างรายงานในรูปแบบมาตรฐานที่เป็นที่นิยม เช่น รายงานแบบตารางที่แสดงข้อมูลเป็นเรคคอร์ด รายงานแบบ Crystal Report รายงานแบบสรุปเป็นกราฟหรือชาร์ต โดยเราสามารถกำหนดหัวรายงาน และรายละเอียดที่เกี่ยวข้องในแต่ละส่วนได้ตามต้องการ เพื่อให้เหมาะกับหน่วยงานและลักษณะงาน

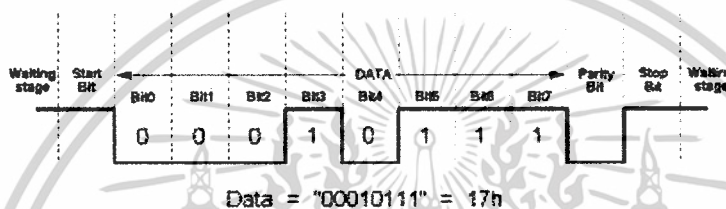
## 2.5 การสื่อสารข้อมูลแบบอะซิงโครนัส

การสื่อสารข้อมูลแบบอะซิงโครนัสคือ การรับและส่งข้อมูลไปในสายโดยไม่จำเป็นต้องมีสายสัญญาณนาฬิกาพร้อมด้วย ซึ่งแตกต่างกับการสื่อสารข้อมูลแบบซิงโครนัสที่ต้องใช้สายสัญญาณนาฬิกาในการรับ และส่งสัญญาณเพิ่มขึ้นมาอีกหนึ่งเส้น สำหรับการสื่อสารข้อมูลแบบอะซิงโคร-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นั่นนั้น จะใช้การกำหนดค่าสัญญาณนาฬิกาทั้งภาครับ และภาคส่งให้มีค่าเท่ากัน ซึ่งเรียก สัญญาณนาฬิกาที่ใช้ในการกำหนดค่าให้ทั้งภาครับและภาคส่ง ว่าอัตราการถ่ายถอดข้อมูลหรือ บอดเรต (baudrate) ซึ่งมีหน่วยเป็นบิตต่อวินาที (Bit Per Second : bps) จากภาพที่ 2.5 เป็นรูปแบบ ของข้อมูลที่ใช้ในการสื่อสารอนุกรมแบบอะซิงโครนัส ซึ่งมีส่วนประกอบอยู่ด้วยกัน 4 ส่วนคือ

1. บิตเริ่มต้น (Start Bit) จะมีขนาด 1 บิต
2. บิตข้อมูลแบบอนุกรมจะมีขนาด 5, 6, 7 หรือ 8 บิต
3. บิตตรวจสอบพาริตี (Parity Bit) จะมีขนาด 1 บิตหรือไม่มี
4. บิตปิดท้าย (Stop Bit) จะมีขนาด 1, 1.5 หรือ 2 บิต



ภาพที่ 2.18 รูปแบบของข้อมูลที่ใช้ในการรับส่งแบบอะซิงโครนัส

ซึ่งหลักการทำงานของไดอะแกรมในรูปที่ 1 สามารถอธิบายได้คือ ขณะที่ไม่มีข้อมูลส่งมา นั้นๆ Data จะมีสถานะลอจิก “1” (High) ซึ่งจะเรียกสถานะนี้ว่าสถานะหยุดรอ (Waiting Stage) การเริ่มต้นส่งข้อมูลจะเริ่มจากการให้ Data มีลอจิก “0” (Low) ด้วยช่วงขนาด 1 บิตเราเรียกบิตนี้ ว่าบิตเริ่มต้น (Start Bit) จากนั้นบิตข้อมูลจะถูกส่งออกไป โดยเริ่มส่งจากบิต LSB ก่อนจนถึงบิต MSB จากนั้นจะตามด้วยบิตพาริตี (Parity Bit) ซึ่งใช้เพื่อตรวจสอบความผิดพลาดที่เกิดขึ้นจากการ ส่งข้อมูล บิตสุดท้ายที่จะส่ง คือ Stop Bit ซึ่งจะให้ Data มีสถานะลอจิก “1” (High) อีกครั้งเพื่อ ทำให้ยืนยันสถานะหยุดรอ (Waiting Stage) ด้วยขนาด 1 บิต และเป็นการแสดงว่าสิ้นสุดข้อมูล

### 2.5.1 หน้าที่สำคัญของการสื่อสารแบบอะซิงโครนัส (Asynchronous)

#### รับสัญญาณ

1. เปลี่ยนสัญญาณ Input ที่เข้ามาแบบอนุกรมให้เป็นแบบขนาน
2. ตรวจสอบความผิดพลาดของสัญญาณที่รับ
3. ดัดสตีอปบิต (Stop Bit) และพาริตีบิต (Parity Bit)
4. ให้ CPU รับรู้ว่าได้รับสัญญาณแล้ว

#### ส่งสัญญาณ

1. เปลี่ยนสัญญาณแบบขนานจาก CPU ค่อย ๆ ทอยส่งออกเป็นแบบอนุกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. เพื่อสตอปบิตและพาริตีบิต
3. เพื่อสัญญาณควบคุมโมเด็มที่เชื่อมต่อ (ถ้ามี)

## 2.6 การสื่อสารข้อมูลแบบ Half – duplex

การสื่อสารแบบทางใดทางหนึ่ง หรือแบบฮาล์ฟดูเพล็กซ์ (Either-way communication หรือ Half Duplex) การส่งข้อมูลแบบนี้อุปกรณ์ปลายทางทั้งสองด้านสามารถส่ง หรือรับข้อมูลได้ แต่จะมีช่องส่งสัญญาณเพียงช่องเดียว ในการส่งข้อมูลต้องมีการสลับกันส่ง จะส่งในเวลาเดียวกันไม่ได้ เช่น วิทยุสื่อสาร เป็นต้น ลักษณะการสื่อสาร ดังแสดงในภาพที่ 1.5



ภาพที่ 2.19 แสดงระบบการสื่อสารแบบ Half duplex

## 2.7 โพรโทคอล (Protocol)

คือ ระเบียบพิธีการ ในการติดต่อสื่อสาร เมื่อมาใช้กับเทคโนโลยีสื่อสารโทรคมนาคม จึงหมายถึงขั้นตอนการติดต่อสื่อสาร ซึ่งรวมถึง กฎ ระเบียบ และข้อกำหนดต่าง ๆ รวมถึงมาตรฐานที่ใช้เพื่อให้ตัวรับและตัวส่งสามารถดำเนินกิจกรรมทางด้านสื่อสารได้สำเร็จ แนวคิดด้านสื่อสารข้อมูล หัวใจในการสื่อสารข้อมูลอยู่ที่ว่าจะทำอะไรให้อุปกรณ์สื่อสารต่าง ๆ สื่อสารกันได้อย่างอัตโนมัติ โดยเน้นการสื่อสารที่แตกต่างกันทางด้านเครื่องมือ อุปกรณ์ และวิธีการต่าง ๆ

### 2.7.1 Modbus Protocol

โพรโทคอล Modbus เป็นโพรโทคอลเพื่อส่งสารข้อมูลอินพุท/เอาต์พุท และรีจิสเตอร์ภายใน PLC ยี่ห้อ Modicon ซึ่งเป็นหนึ่งในบริษัทผู้ผลิต PLC ในประเทศสหรัฐอเมริกา (ปัจจุบันเป็นบริษัทในกลุ่ม Schneider Electric) ความแพร่หลายในการนำโพรโทคอลนี้ไปใช้งานในอุปกรณ์อื่น ๆ อาทิ RTU (Remote Terminal Unit), Remote I/O, Digital Power Meter, Flow Computer เป็นต้น และในทุกซอฟต์แวร์ SCADA มีความสามารถสื่อสารกับโพรโทคอล Modbus ได้ โพรโทคอล Modbus ได้ออกแบบเพื่อใช้งานบนพอร์ตสื่อสารอนุกรมมาตรฐาน อย่าง RS-232C, RS-422 และ RS-485 ในจุดประสงค์แรก จนเกิดการใช้งานกันอย่างแพร่หลาย จึงได้พัฒนาออกไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นโปรโตคอล Modbus Plus และ Modbus/TCP อีกด้วย อย่างไรก็ตาม โปรโตคอล Modbus บนพอร์ตสื่อสารอนุกรมยังคงเป็นพื้นฐาน และครองความนิยมในอุปกรณ์ควบคุมอยู่นั่นเอง

โปรโตคอล Modbus เป็นการสื่อสารข้อมูลในลักษณะ Master/Slave ซึ่งเป็นการสื่อสารจากอุปกรณ์แม่ (Master) เครื่องเดียว โดยส่วนใหญ่มักเป็นซอฟต์แวร์คอมพิวเตอร์ หรืออุปกรณ์แสดงผล HMI ไปยังอุปกรณ์ลูก (Slave) ได้หลายๆ เครื่อง สามารถกำหนดหมายเลขอุปกรณ์ลูกได้สูงสุด 255 เครื่อง โดยมีลักษณะการส่งข้อมูล 2 แบบ คือ ข้อมูลแบบแอสกี (ASCII) และข้อมูลแบบเลขฐาน 2 (Binary) ในโปรโตคอล Modbus ที่สื่อสารข้อมูลแบบ ASCII จึงเรียกว่า Modbus ASCII และโปรโตคอล Modbus ที่สื่อสารข้อมูลแบบเลขฐาน 2 จะเรียกว่า Modbus RTU ทำให้มีความแตกต่างในการกำหนดค่าพอร์ตสื่อสาร ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 2.2 แสดงการเปรียบเทียบข้อแตกต่าง Modbus ASCII กับ Modbus RTU

	โหมดการส่งข้อมูล	
	Modbus ASCII	Modbus RTU
ลักษณะข้อมูลที่สื่อสาร	เลขฐาน 16 ไนรหัสแอสกี	เลขฐาน 2 ขนาด 8 บิต
จำนวนบิตสื่อสาร	-	-
บิตเริ่มต้น(Start Bit)	1	1
บิตข้อมูล(Data Bit)	7	8
ลักษณะบิตพาไรตี้(Parity Bit)	คี่, คู่, ไม่มี (Odd, Even, none)	คี่, คู่, ไม่มี (Odd, Even, none)
บิตปิดท้าย(Stop bit)	1หรือ2	1หรือ2
ตรวจสอบบิตข้อมูล(Error Checking)	LRC	CRC
ความเร็วในการสื่อสาร(Baud Rate)	9600-38.4 kbps	9600-38.4 kbps

รหัสฟังก์ชัน เป็นส่วนบอกเครื่องลูกให้ทำงานตามรหัสฟังก์ชัน ซึ่งระบุให้อ่าน หรือเขียนข้อมูลกับรีเลย์ หรือรีจิสเตอร์ใน PLC ตามตำแหน่งที่ระบุในกลุ่มข้อมูล โดยมีรหัสฟังก์ชันดังนี้

ตารางที่ 2.3 แสดงรหัสฟังก์ชัน

รหัสฟังก์ชัน	การกระทำต่อเครื่องลูก
01	อ่านค่าบิตของรีเลย์ใน PLC ตัวเดียวหรือหลายตัวเป็นกลุ่ม
03	อ่านค่าข้อมูลไบต์ของรีจิสเตอร์ใน PLC ค่าเดียวหรือหลายค่าเป็นกลุ่ม
05	เขียนค่าบิตของรีเลย์ใน PLC ตัวเดียว
06	เขียนค่าข้อมูลไบต์ของรีจิสเตอร์ใน PLC ค่าเดียว
15	เขียนค่าบิตของรีเลย์ใน PLC หลายตัวเป็นกลุ่ม
16	เขียนค่าข้อมูลไบต์ของรีจิสเตอร์ใน PLC หลายค่าเป็นกลุ่ม

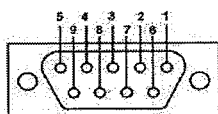
## 2.8 มาตรฐานพอร์ตอนุกรมแบบ RS-232

มาตรฐานการเชื่อมต่อแบบอนุกรม RS-232 เป็นมาตรฐานที่ออกแบบมา เพื่อใช้ในการส่งข้อมูลอนุกรมแบบอะซิงโครนัส 2 ทิศทาง ในการนำเอามาตรฐาน RS-232 ไปประยุกต์ใช้งาน จะถูกใช้งานในการส่งข้อมูลระหว่างคอมพิวเตอร์โดยเชื่อมต่อกับโมเด็มดังภาพที่ 2.6 มาตรฐาน RS-232 ได้กำหนดรูปแบบของอุปกรณ์เชื่อมต่อข้อมูล (Data Terminal Equipment: DTE) กับวงจรข้อมูลปลายทาง (Data Circuit Terminating: DCE) ไว้ว่าอุปกรณ์ DTE จะต้องเป็นอุปกรณ์ที่มีการประมวลผลในตัว เช่น ไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งมีความสามารถในการสร้างบิตข้อมูลแบบอนุกรมได้ ส่วนอุปกรณ์ DCE จะทำหน้าที่เป็นเพียงตัวรับข้อมูลที่ส่งมาจาก DTE เท่านั้น โดยการรับส่งข้อมูลระหว่างอุปกรณ์ทั้งสองจะกระทำผ่านมาตรฐาน RS-232

ข้อแตกต่างของอุปกรณ์ DTE และอุปกรณ์ DCE อย่างหนึ่งที่ได้สังเกตเห็นได้ชัด คือ คอนเน็กเตอร์ของ DTE จะเป็นตัวผู้ ส่วนคอนเน็กเตอร์ของ DCE จะเป็นตัวเมีย ซึ่งพอร์ตอนุกรมของคอมพิวเตอร์ที่ใช้กันอยู่ทั่วไปจะเป็นแบบ DTE ส่วนคอนเน็กเตอร์ที่อยู่ทีโมเด็มจะเป็นแบบ DCE

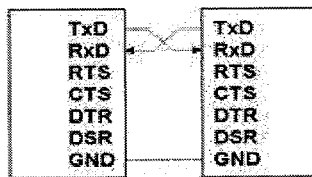


ภาพที่ 2.20 การส่งข้อมูลผ่านมาตรฐาน RS-232



ภาพที่ 2.21 คอนเน็กเตอร์ แบบ DB-9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.22 การต่ออุปกรณ์ภายนอกแบบ RS-232 โดยใช้สายสัญญาณเพียง 3 เส้น

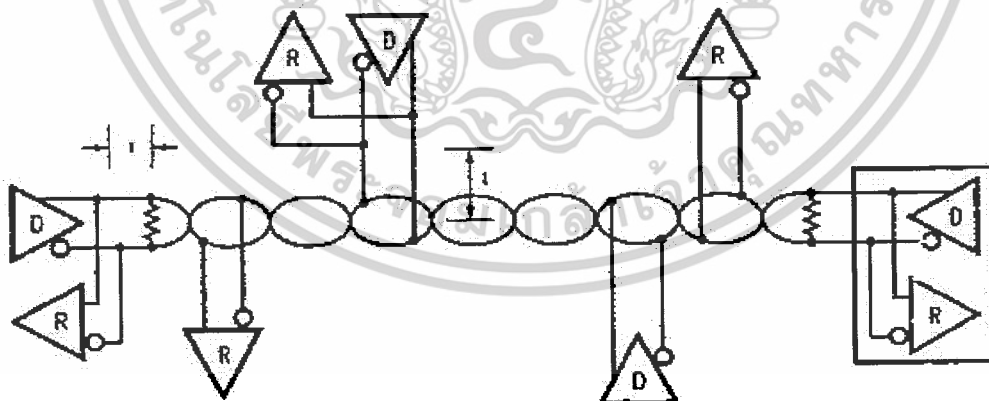
## 2.9 ลักษณะการเชื่อมต่อตามมาตรฐาน RS-485

มาตรฐาน RS-485 เป็นมาตรฐานที่ได้รับการพัฒนามาจากมาตรฐาน RS-422 ให้มีประสิทธิภาพในการสื่อสารเพิ่มขึ้นเป็นอย่างมาก โดยมีการพัฒนาให้วงจรของตัวขับสัญญาณเป็นแบบ 3 สถานะ (Tri State) ทำให้สามารถส่งข้อมูลได้สองทิศทางบนสายคู่เดียว และสามารถต่อเครือข่ายแบบ Multidrop ซึ่งอุปกรณ์หลาย ๆ ตัวสามารถรับ และส่งข้อมูลแบบ (Half-duplex) บนสายสัญญาณคู่เดียวได้

### 2.9.1 คุณสมบัติของมาตรฐาน RS-485

#### 2.9.1.1 คุณสมบัติในการสื่อสารแบบสองทิศทางในขณะเวลา (Half-duplex)

เนื่องจากตัวรับและตัวส่งมาตรฐาน RS-485 ถูกออกแบบให้เป็นแบบ 3 สถานะ (Tri-state) จึงสามารถทำการสื่อสารได้สองทิศทางบนสายสัญญาณเพียงคู่เดียว (bidirectional) ซึ่งมีข้อดี คือ ทำให้สะดวก และประหยัดต่อการใช้งาน



ภาพที่ 2.23 แสดงการเชื่อมต่อเครือข่ายตามมาตรฐาน RS-485

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

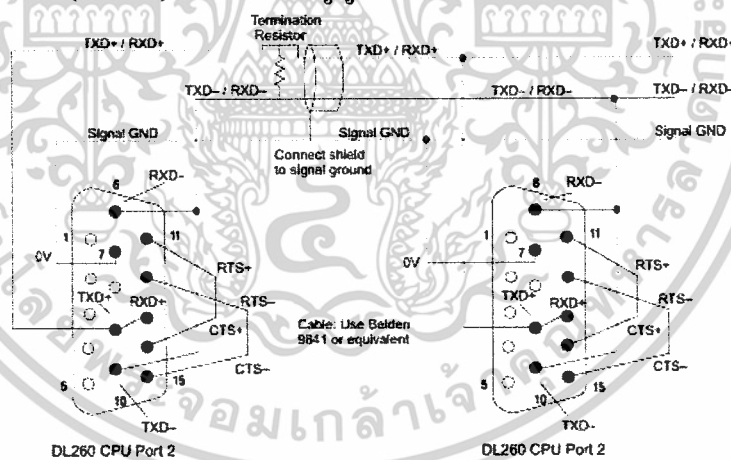
นอกจากนี้ตามมาตรฐาน RS-485 นั้น ยังสามารถที่จะเชื่อมต่อเป็นเครือข่ายได้มากถึง 32 จุด (Unit Loads: ULs) บนสายสัญญาณคู่เดียว ซึ่งช่วงของกระแส และแรงดันในการทำงานเมื่อเชื่อมต่อทั้ง

### 2.9.1.2 คุณสมบัติทางการเชื่อมต่อเป็นเครือข่าย

ตามมาตรฐาน RS-485 นั้น เครือข่ายสามารถเชื่อมต่อได้หลายจุดบนสายสัญญาณเพียงคู่เดียว (Multiple Transceivers) และการเชื่อมต่อตามมาตรฐาน RS-485 นั้น จะมีพื้นฐานอยู่บนการเชื่อมต่อเครือข่ายแบบบัส (Bus-Type Network) ซึ่งสามารถเชื่อมต่อได้หลายแบบ โดยอาศัยการแปลงให้เป็นเครือข่ายเสมือนเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงที่สุดในการทำงาน ดังในภาพที่ 2.12 เครือข่ายทางขวามือจะเป็นเครือข่ายเสมือนของเครือข่ายทางซ้ายมือ

### 2.9.1.3 คุณสมบัติของสายสัญญาณที่ใช้

สายสัญญาณที่ใช้ตามมาตรฐาน RS-485 นั้น สามารถที่จะใช้สายเกลียวคู่ (Twist Pair) ซึ่งเป็นสายสัญญาณ โทรศัพท์ที่ใช้งานโดยทั่วไป ได้โดยไม่มีผลกระทบต่อการสื่อสาร แต่ถ้าต้องการคุณภาพของการสื่อสารที่สูงขึ้นอาจใช้สายสัญญาณที่มีคุณภาพดีกว่าสายเกลียวคู่ เช่น สายโคแอกเชียล (Coaxial) เป็นสายสัญญาณในการสื่อสารแทนได้



ภาพที่ 2.24 การต่อสาย RS-485

### 2.9.1.4 คุณสมบัติทางด้านอัตราเร็ว และระยะทางในการส่งข้อมูล

ในการส่งข้อมูลตามมาตรฐาน RS-485 นั้น สามารถที่จะส่งข้อมูลได้สูงที่สุดถึง 10 Mbps และส่งข้อมูลได้ไกลที่สุดถึง 4000 ฟุต (1200 เมตร) โดยความสัมพันธ์ของอัตราเร็วในการส่งข้อมูล และระยะทางในการส่งข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.9.1.5 คุณสมบัติทางด้านสัญญาณรบกวน

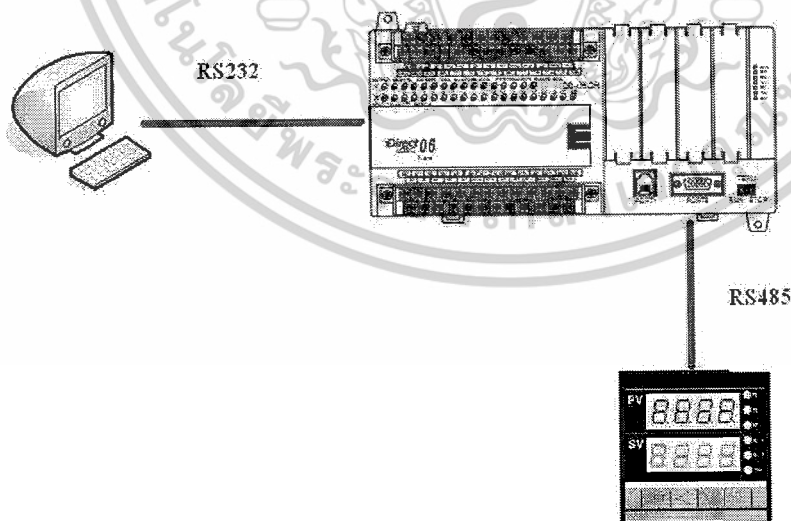
สัญญาณรบกวนจะมีผลต่อการสื่อสารตามมาตรฐาน RS-485 น้อยมาก ถ้าเลือกอัตราเร็ว และระยะทางในการส่งข้อมูลให้เหมาะสม เนื่องจากมาตรฐาน RS-485 นั้นการสื่อสารจะเป็นแบบ Current Loop และใช้ความต่างศักย์ของคู่สายสัญญาณรบกวนในลักษณะของ Common-mode noise

## 2.10 ตัวควบคุม (Controller)

เครื่องควบคุมเป็นส่วนประกอบสำคัญของระบบควบคุมแบบอัตโนมัติ ซึ่งทำหน้าที่ในการสั่งการด้วยการสร้างสัญญาณสำหรับควบคุมกระบวนการต่าง ๆ ให้มีผลตอบสนองให้เป็นไปตามต้องการ โดยสัญญาณดังกล่าวจะเป็นไปตามกฎ และรูปแบบของการควบคุมที่ผู้ควบคุมได้เลือกไว้ และสัญญาณควบคุมจะขึ้นอยู่กับค่าความคลาดเคลื่อนของการควบคุม

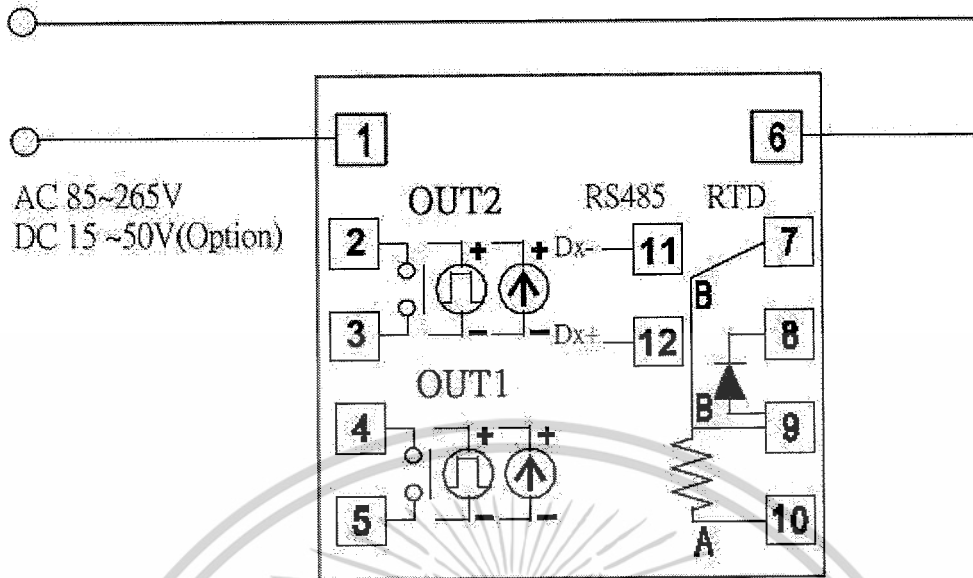
เครื่องควบคุมสามารถแบ่งตามโครงสร้างการทำงานได้ 3 ชนิด คือ เครื่องควบคุมแบบนิวเมติกส์ที่ทำงานโดยใช้สัญญาณลม เครื่องควบคุมแบบอิเล็กทรอนิกส์ โดยใช้วงจรอิเล็กทรอนิกส์เชิงเส้น (Linear Circuits) ในการสร้างสัญญาณควบคุม และเครื่องควบคุมแบบดิจิทัลทำงานโดยใช้วงจรตรรกะ (Logic Circuits) หรือไมโครโปรเซสเซอร์สร้างสัญญาณควบคุม

ตัวควบคุมอุณหภูมิที่ใช้ในโรงงานนี้ คือ DB5010 ของ J&D โดยรับอินพุตจาก ตัววัดอุณหภูมิ RTD และเอาต์พุตของตัวควบคุม คือ 4-20mA โดยที่เชื่อมต่อตัวควบคุมผ่าน PLC โดยใช้สาย RS-485 ในการเชื่อมต่อผ่าน Modbus Protocol

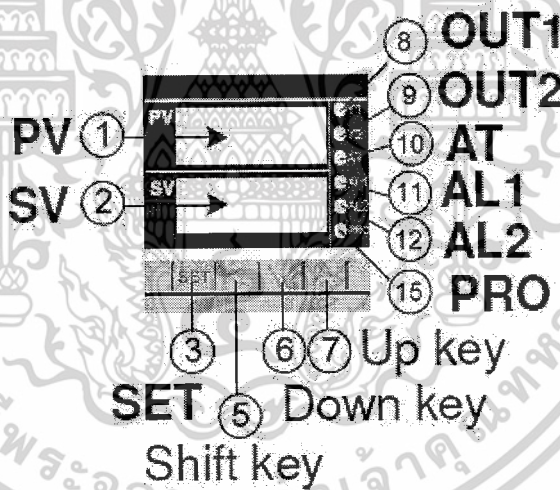


ภาพที่ 2.25 แสดงการเชื่อมต่อระหว่าง PC กับ PLC และ PLC กับ ตัวควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.26 แสดงจุดเชื่อมต่อของตัวควบคุม DB 5010



ภาพที่ 2.27 แสดงโครงสร้างของหน้าจอบุหรี่ DB5010

จากภาพที่ 2.24 หน้าจอมีค่า PV คือ ค่าอุณหภูมิจริงที่วัดได้จากระบบ และ SV คือ ค่าเป้าหมายในการควบคุม ส่วนของหลอดไฟแสดงสถานะการทำงานนั้น OUT1 และ OUT2 คือ แสดงสถานะการทำงานของเอาต์พุต 1 และ 2, AT คือ แสดงการทำงานของ Auto Tuning, Pro คือ แสดงสถานะการทำงานของรุ่น โปรแกรมฟังก์ชัน, AL1 และ AL2 แสดงสถานะการทำงานของ Alarm1 และ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.11 เครื่องควบคุมแบบโปรแกรมได้ (Programmable logic Controller : PLC)

### 2.11.1 ความหมายของ PLC

โปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรลเลอร์ (Programmable logic Controller: PLC) เป็นอุปกรณ์ควบคุมการทำงานของเครื่องจักร หรือระบบกระบวนการต่าง ๆ โดยที่ภายในมีไมโคร-โปรเซสเซอร์เป็นมันสมองสั่งการการควบคุมการทำงานสามารถทำได้ โดยการป้อนเป็นโปรแกรมคำสั่งเข้าไปใน PLC ซึ่งภายในตัว PLC จะมีอุปกรณ์ต่าง ๆ ให้ใช้ เช่น รีเลย์ ตัวตั้งเวลา ตัวนับ เป็นต้น โดยอุปกรณ์เหล่านี้จะอยู่ในรูปแบบของซอฟต์แวร์ และมีรูปแบบฟังก์ชันการทำงานที่ตรงกับของจริง ในปัจจุบันนอกจากเครื่อง PLC จะใช้งานแบบเดี่ยวแล้วยังสามารถต่อ PLC หลาย ๆ ตัวเข้าด้วยกัน เพื่อควบคุมการทำงานของระบบให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น จากการใช้งานที่มีความยืดหยุ่นได้สูงจึงเป็นเหตุผลให้ในโรงงานอุตสาหกรรมต่าง ๆ เปลี่ยนมาใช้ PLC มากขึ้น

### 2.11.2 เครื่องควบคุมแบบโปรแกรมได้

เครื่องควบคุมแบบโปรแกรมได้ หรือ PLC เป็นอุปกรณ์ชนิดโซลิด-สเตท (Solid State) ที่ทำงานแบบลอจิก (Logic Function) การออกแบบการทำงานของ PLC จะคล้ายกับหลักการทำงานของคอมพิวเตอร์ จากหลักการพื้นฐานแล้ว จะประกอบด้วยอุปกรณ์ที่เรียกว่า Solid-State Digital Logic Elements เพื่อให้ทำงานและตัดสินใจแบบลอจิก

การใช้ PLC สำหรับควบคุมเครื่องจักรหรืออุปกรณ์ต่าง ๆ ในโรงงานอุตสาหกรรมจะมีข้อได้เปรียบกว่าการใช้รีเลย์ (Relay) ซึ่งจำเป็นจะต้องเดินสายไฟฟ้า เพราะฉะนั้นหากมีความจำเป็นจะต้องเปลี่ยนกระบวนการผลิต หรือลำดับการทำงานใหม่ จะต้องเดินสายไฟฟ้าใหม่ซึ่งเสียเวลาและเสียค่าใช้จ่ายสูง แต่เมื่อเปลี่ยนมาใช้ PLC แล้ว การเปลี่ยนกระบวนการผลิตหรือลำดับการทำงานใหม่นั้นทำได้โดยการเปลี่ยนโปรแกรมใหม่เท่านั้น นอกจากนี้แล้ว PLC ยังใช้ระบบโซลิด-สเตท ซึ่งน่าเชื่อถือกว่าระบบเดิม การกินกระแสไฟฟ้าน้อยกว่า และสะดวกกว่าเมื่อต้องการขยายขั้นตอนการทำงานของเครื่องจักร

### 2.11.3 โครงสร้างของ PLC

PLC เป็นอุปกรณ์คอมพิวเตอร์สำหรับใช้ในงานอุตสาหกรรม ประกอบไปด้วย หน่วยประมวลผลกลาง หน่วยความจำ หน่วยรับข้อมูล หน่วยส่งข้อมูล และหน่วยป้อนโปรแกรม สำหรับ PLC ขนาดเล็กส่วนประกอบทั้งหมดนั้นจะรวมกันเป็นเครื่องเดียว แต่ถ้าเป็นขนาดใหญ่สามารถแยกออกเป็นส่วนประกอบย่อย ๆ ได้

หน่วยความจำของ PLC ประกอบด้วย หน่วยความจำชนิด RAM และ ROM ซึ่งหน่วยความจำชนิด RAM ทำหน้าที่เก็บ โปรแกรมของผู้ใช้ และข้อมูลสำหรับใช้ในการปฏิบัติงานของ PLC ส่วนหน่วยความจำชนิด ROM ทำหน้าที่เก็บโปรแกรมสำหรับการปฏิบัติงานของ

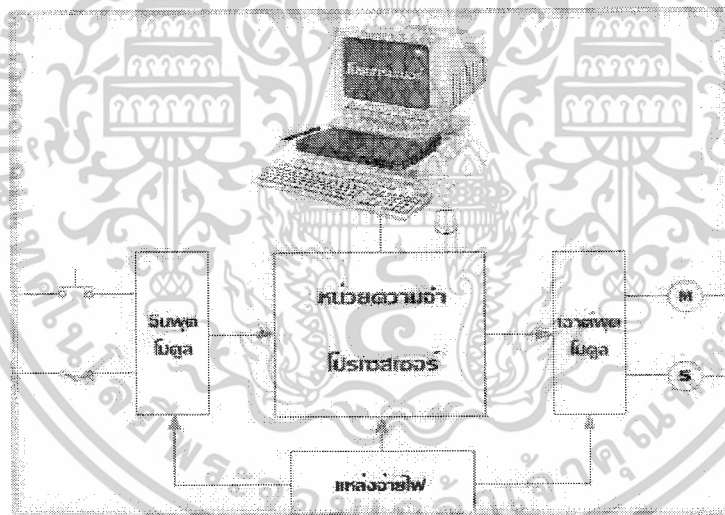
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PLC ตามโปรแกรมของผู้ใช้ ROM ย่อมาจาก Read Only Memory สามารถโปรแกรมได้แต่ลบไม่ได้ ถ้าชำรุดแล้วซ่อมไม่ได้

1. RAM (Random Access Memory) หน่วยความจำประเภทนี้จะมีแบตเตอรี่เล็ก ๆ ต่อไว้เพื่อใช้เลี้ยงข้อมูลเมื่อเกิดไฟดับ การอ่าน และเขียนโปรแกรมลงใน RAM ทำได้ง่ายมาก จึงเหมาะกับการใช้งานในระยะทดลองเครื่องที่มีการเปลี่ยนแปลงแก้ไขโปรแกรมบ่อย ๆ

2. EPROM (Erasable Programmable Read Only Memory) หน่วยความจำชนิด EPROM นี้ จะต้องใช้เครื่องมือพิเศษในการเขียนโปรแกรม การลบโปรแกรมทำได้โดยใช้แสงอัลตราไวโอเลต หรือตากแดดร้อนๆนาน ๆ ซึ่งมีข้อดีตรงที่โปรแกรมจะไม่สูญหายแม้ไฟดับ จึงเหมาะกับการใช้งานที่ไม่ต้องการเปลี่ยนโปรแกรม

3. EEPROM (Electrical Erasable Programmable Read Only Memory) หน่วยความจำชนิดนี้ไม่ต้องใช้เครื่องมือพิเศษในการเขียน และลบโปรแกรม โดยใช้วิธีการทางไฟฟ้า เหมือนกับ RAM นอกจากนี้ก็ไม่จำเป็นต้องมีแบตเตอรี่สำรองไฟเมื่อไฟดับ ราคาจะแพงกว่าแต่จะรวมคุณสมบัติที่ดีของ RAM และ EPROM เอาไว้ด้วยกัน



ภาพที่ 2.28 โครงสร้างของ PLC

#### 2.11.4 ส่วนประกอบของ PLC

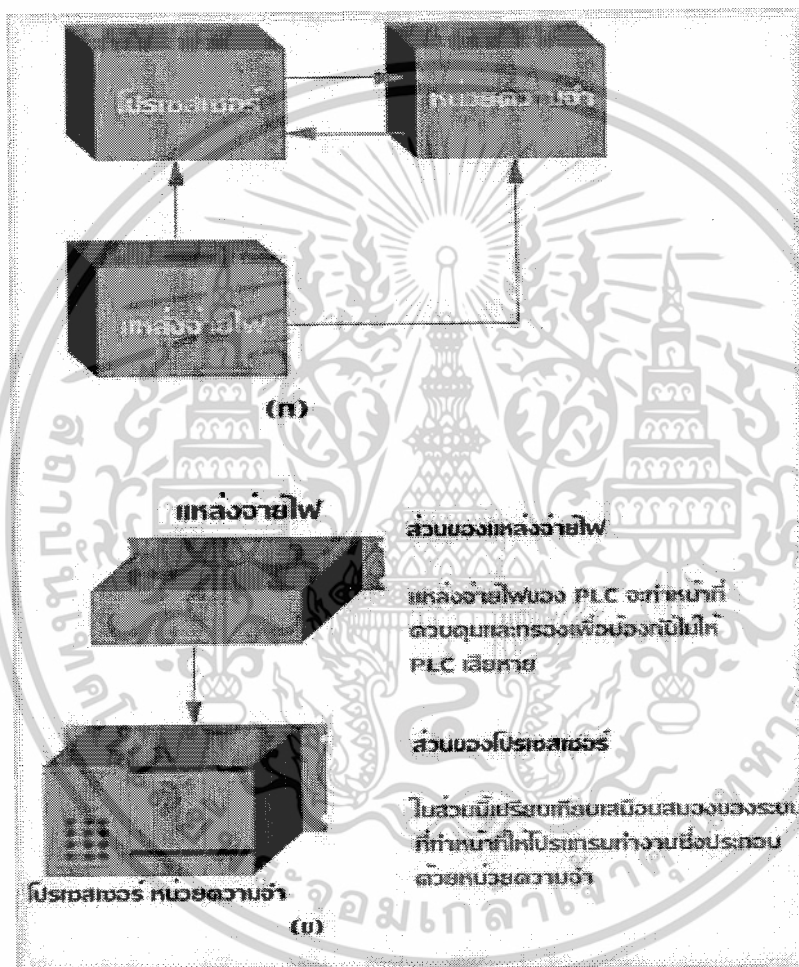
แบ่งออกได้ 3 ส่วนด้วยกัน คือ

1. ส่วนที่เป็นหน่วยประมวลผลกลาง (Control Processing Unit)
2. ส่วนที่เป็นอินพุต/เอาต์พุต (Input output : I/O)
3. ส่วนที่เป็นอุปกรณ์การโปรแกรม (Programming Device)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 1. ส่วนที่เป็นหน่วยประมวลผลกลาง (CPU)

CPU เป็นส่วนมันสมองของระบบ ซึ่งภายในจะประกอบไปด้วยวงจรถลอจิกเกต (Logic Gate) ชนิดต่าง ๆ หลายชนิด และมีไมโครโปรเซสเซอร์ ใช้สำหรับแทนอุปกรณ์จำพวกรีเลย์ (Relay) เคาน์เตอร์ (Counter) ไทเมอร์ (Timer) และซีควเอนเซอร์ (Sequencers) เพื่อให้ผู้ใช้ได้ ออกแบบใช้วงจรรีเลย์แลดเดอร์ ลอจิก (Relay Ladder Logic) เข้าไปได้



ภาพที่ 2.29 ส่วนประกอบของ CPU

การประมวลผลของ CPU จากโปรแกรมทำได้โดยรับข้อมูลจากหน่วยอินพุต และเอาต์พุต และส่งข้อมูลสุดท้ายที่ได้รับจากการประมวลผลไปยังหน่วยเอาต์พุตเรียกว่า การสแกน (Scan) ซึ่งใช้เวลาจำนวนหนึ่งเรียกว่า เวลาสแกน (Scan Time) เวลาในการสแกนแต่ละรอบใช้เวลาประมาณ 1 ถึง 100 มิลลิวินาที ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับข้อมูลและความยาวของโปรแกรม หรือจำนวนอินพุต/เอาต์พุต หรือจำนวนอุปกรณ์ที่ต่อจาก PLC เช่น เครื่องพิมพ์ จอภาพ เป็นต้น อุปกรณ์เหล่านี้จะทำให้เวลาใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การสแกนยาวนานขึ้น การเริ่มต้นการสแกนเริ่มจากรับคำสั่งของสถานะของอุปกรณ์จากหน่วยอินพุตมาเก็บไว้ในหน่วยความจำ (Memory) เสร็จแล้ว จะทำการปฏิบัติตาม โปรแกรมจากหน่วยความจำนั้นจนสิ้นสุดแล้วส่งไปที่หน่วยเอาต์พุตส่วนของอินพุต และเอาต์พุต (I/O Unit)

ส่วนของอินพุต และเอาต์พุต (I/O Unit) จะต่อร่วมกับชุดควบคุมเพื่อรับสถานะ และสัญญาณต่าง ๆ เช่น หน่วยอินพุตรับสัญญาณ หรือสถานะแล้วส่งไปยัง CPU เพื่อประมวลผล เมื่อ CPU ประมวลผลแล้วจะส่งให้ส่วนของเอาต์พุต เพื่อให้อุปกรณ์ทำงานตามที่โปรแกรมเอาไว้ สัญญาณอินพุตจากภายนอกที่เป็นสวิตช์ และตัวตรวจจับชนิดต่าง ๆ จะถูกแปลงให้เป็นสัญญาณที่เหมาะสมถูกต้อง ไม่ว่าจะเป็น AC หรือ DC เพื่อส่งให้ CPU ดังนั้นสัญญาณเหล่านี้จึงต้องมีความถูกต้องไม่เช่นนั้นแล้ว CPU จะเสียหายได้

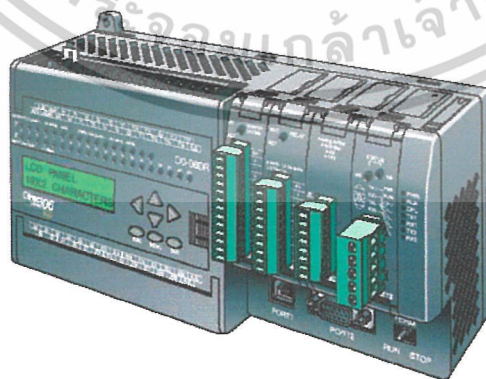
สัญญาณอินพุตที่ดีจะต้องมีคุณสมบัติ และหน้าที่ดังนี้

1. ทำให้สัญญาณเข้าได้ระดับที่เหมาะสมกับ PLC
2. การส่งสัญญาณระหว่างอินพุตกับ CPU จะติดต่อกันด้วยลำแสง ซึ่งอาศัยอุปกรณ์ประเภทโฟโตทรานซิสเตอร์ เพื่อต้องการแยกสัญญาณทางไฟฟ้าให้ออกจากกัน
3. หน้าสัมผัสจะต้องไม่สั้นสะเทือน

## 2.12 เครื่องป้อนโปรแกรม (Programming Device)

หน้าที่ของเครื่องป้อนโปรแกรม คือ ควบคุมโปรแกรมของผู้ใช้ในหน่วยความจำของ PLC นอกจากนั้นแล้วยังทำหน้าที่ติดต่อกับผู้ใช้กับ PLC เพื่อให้ผู้ใช้สามารถตรวจการปฏิบัติงานของ PLC และผลการควบคุมเครื่องจักร และกระบวนการตามโปรแกรมควบคุมที่ผู้ใช้เขียนขึ้นได้อีกด้วย

สำหรับโครงการนี้จะใช้ PLC ของ KOYO รุ่น DL06

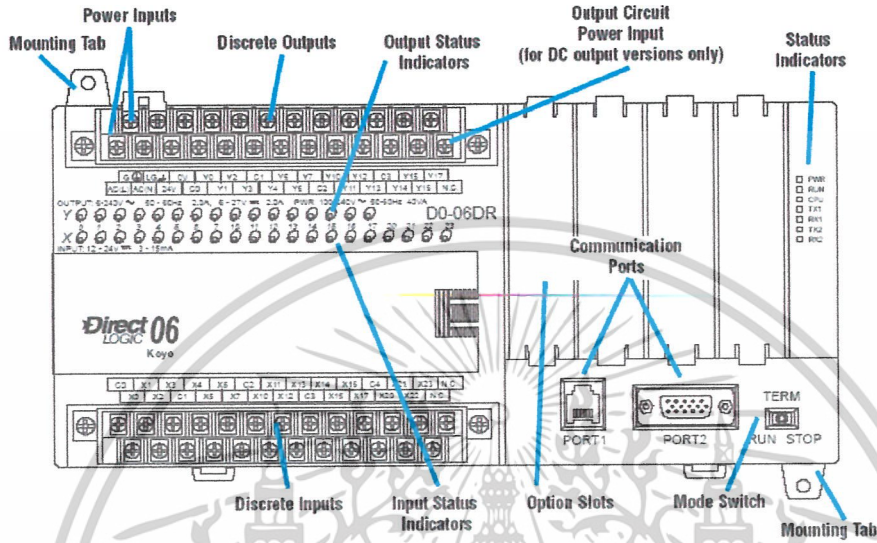


ภาพที่ 2.30 PLC ของ KOYO รุ่น DL 06

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.12.1 ส่วนประกอบของ PLC ของ KOYO รุ่น DL06

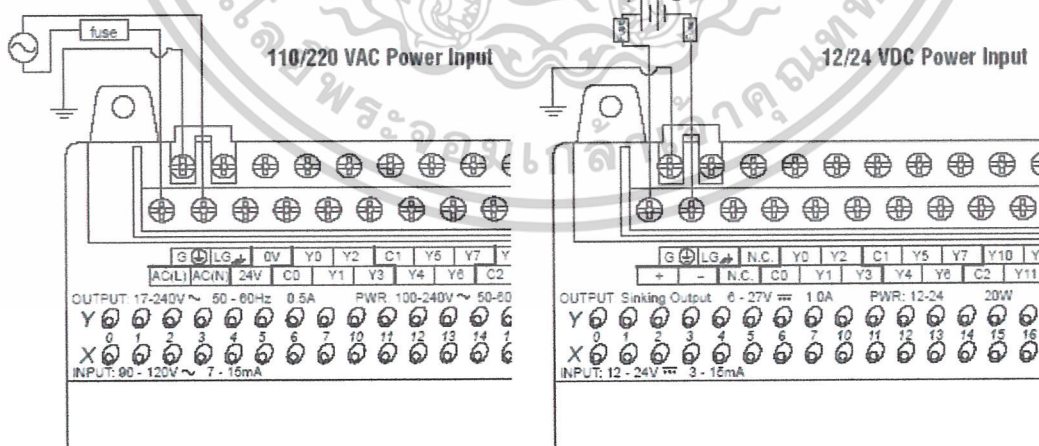
ประกอบด้วยขบวนการติดต่อ ส่วนแสดงผล ไฟแสดงสถานะ และสัญญาณค้ำอธิบายแสดงอยู่บนด้านหน้าของ PLC รุ่น DL 06 ดังภาพข้างล่าง



ภาพที่ 2.31 แสดงส่วนประกอบของ PLC ของ KOYO รุ่น DL 06

### 2.12.2 การต่อกับแหล่งจ่ายไฟฟ้าภายนอก

สำหรับ PLC รุ่น KOYO DL06 มีการต่อแหล่งจ่ายไฟฟ้าดังภาพ เมื่อเชื่อมสายเสร็จแล้ว ให้เอาฉนวนคลุมส่วนของการติดต่อ

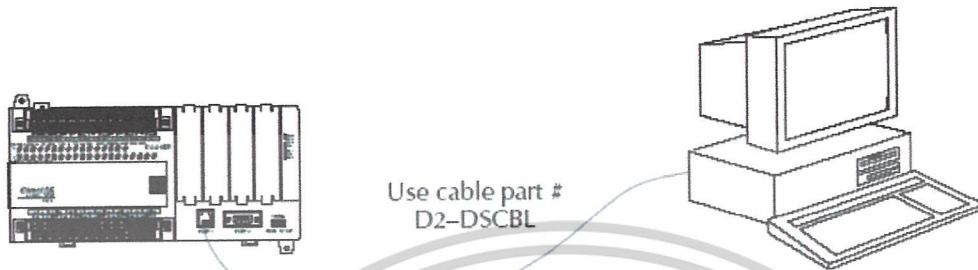


ภาพที่ 2.32 แสดงการต่อแหล่งจ่ายไฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.12.3 การติดต่อกับเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล

สามารถโปรแกรมได้จากโปรแกรมไดเร็กซอฟท์ (DirectSOFT) บนเครื่องคอมพิวเตอร์ โดยใช้สายเคเบิลต่อดังภาพข้างล่าง



ภาพที่ 2.33 แสดงการเชื่อมต่อ PLC กับ PC

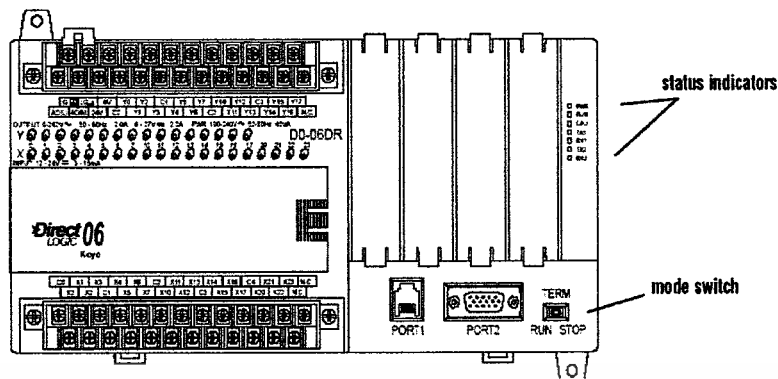
### 2.12.4 การแสดงผลของ PLC ของ KOYO รุ่น DL06

การแสดงผลของไฟแสดงผลของ PLC จะบอกให้ทราบถึงสถานการณ์ทำงานของ PLC ในขณะนั้น ซึ่งจะมีไฟแสดงสถานะ ดังตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 แสดงผลของไฟแสดงผลของ PLC

Indicator	Status	Meaning
PWR	ON	Power good
	OFF	Power failure
RUN	ON	CPU is in Run Mode
	OFF	CPU is in Stop or program Mode
	Blinking	CPU is in firmware update mode
CPU	ON	CPU self diagnostics error
	OFF	CPU self diagnostics good
	Blinking	Low battery
TX1	ON	Data is being transmitted by the CPU - Port 1
	OFF	No data is being transmitted by the CPU - Port 1
RX1	ON	Data is being received by the CPU - Port 1
	OFF	No data is being received by the CPU - Port 1
TX2	ON	Data is being transmitted by the CPU - Port 2
	OFF	No data is being transmitted by the CPU - Port 2
RX2	ON	Data is being received by the CPU - Port 2
	OFF	No data is being received by the CPU - Port 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

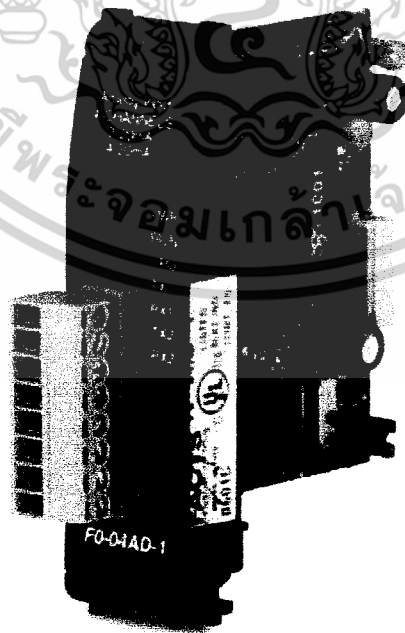


ภาพที่ 2.34 แสดงผลไฟสถานะ CPU ของ PLC

อนาลอกจากภายนอกแล้วทำการแปลงมาเป็นสัญญาณดิจิทัล เพื่อให้ CPU ของเครื่อง PLC สามารถทำการประมวลผลได้ ดังนั้น Analog Input Module จึงมีความจำเป็นเมื่อต้องการที่จะทำการควบคุมขบวนการที่มีการส่งสัญญาณควบคุมออกมาเป็นสัญญาณอนาลอก เราสามารถเลือกใช้ Analog Input Module ได้ตามความเหมาะสมกับความต้องการได้ เนื่องจากในท้องตลาดจะมีให้เลือกจำนวน Channel ได้ เช่น 2 Channel, 4 Channel หรือจะมีทั้งอินพุต และเอาต์พุตในโมดูลตัวเดียวกันได้ ซึ่งสำหรับโครงการนี้เลือกใช้ Analog Input Module 4 Channel

### 2.13 Analog Input Module

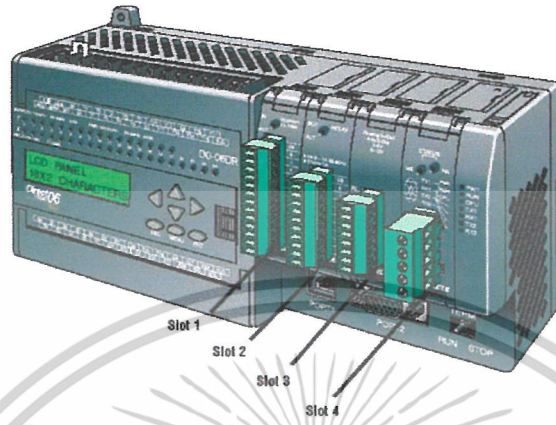
Analog Input Module เป็นอุปกรณ์ที่ใช้รับสัญญาณ



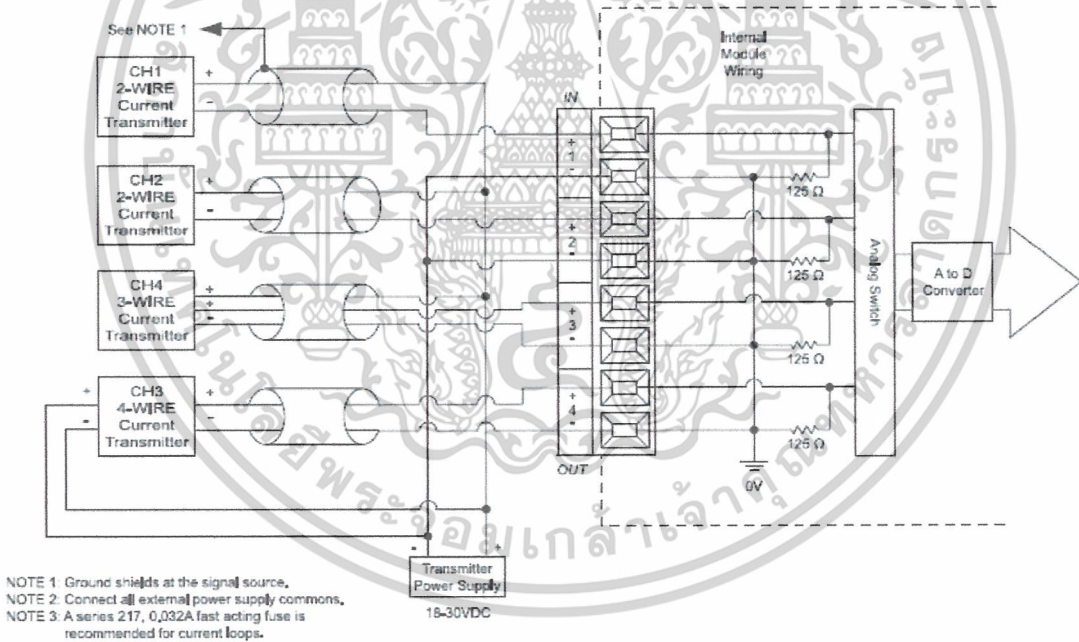
ภาพที่ 2.35 แสดง Analog Input Module 4 Channel

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในตัวเครื่อง PLC DL06 จะมีช่องสำหรับที่จะใช้ต่อกับ โมดูลพิเศษอยู่แล้ว การที่จะติดตั้งสามารถที่จะทำได้ง่ายมากเพียงแค่ทำการเสียบลงในช่องที่มีอยู่แล้วในตัวเครื่อง PLC ก็จะสามารถทำการใช้งานได้ทันที



ภาพที่ 2.36 แสดงตัวเครื่อง PLC ยี่ห้อ KOYO รุ่น DL-06



ภาพที่ 2.37 แสดงโครงสร้างภายในของ Analog Input Module 4 channel

V-Memory ที่เกี่ยวข้องกับ Analog Input Module ก็จะมี Data type เลขของ Channel อยู่ที่ V7700 และที่ Storage Pointer อยู่ที่ V7701

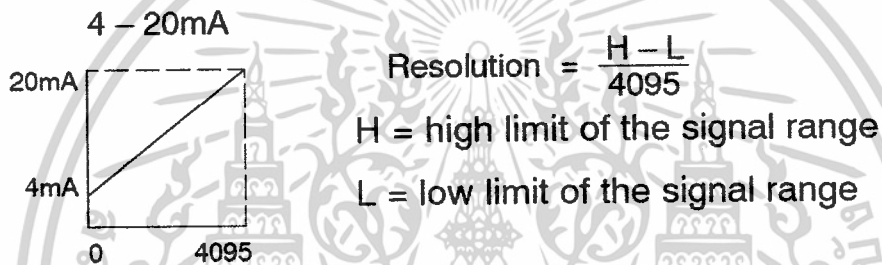
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.5 แสดง V-Memory ของ Analog Input Module DL-06

Analog Input Module DL06 Special V-memory Locations				
Slot No.	1	2	3	4
Data Type and Number of Channels	V700	V710	V720	V730
Storage Pointer	V701	V711	V721	V731

2.13.1 การสร้าง Scale ค่าใช้งาน

ความไวของการ Scale ค่าจะมีสูตรการคำนวณหาดังภาพ โดยค่าความไวจะมีผลต่อค่าประสิทธิภาพในการนำกลับมาแสดงผลถ้าค่ามีความละเอียดต่อหน่วยมาก ก็จะทำให้กราฟที่จะแสดงผลมีความละเอียดมากขึ้นด้วย



ภาพที่ 2.38 แสดงสูตรที่ใช้ในการทำ Scale ของ Analog Input Module รุ่น F0-04AD-1

การคำนวณหาค่าเมื่อเราทำการแปลงค่าสัญญาณอนาลอกไป เป็นสัญญาณดิจิตอล และ การคำนวณหาค่าเมื่อแปลงสัญญาณดิจิตอลไปเป็นสัญญาณอนาลอก ก็จะมีการคำนวณดังนี้

ตารางที่ 2.6 แสดงการแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นอนาล็อก และแปลงอนาล็อกเป็นดิจิทัล

Range	If you know the digital value	If you know the analog signal level
4 to 20mA	$A = \frac{16D}{4095} + 4$	$D = \frac{4095}{16} (A - 4)$
0 to 20mA	$A = \frac{20D}{4095}$	$D = \frac{4095}{16} A$

For example, if you have measured the signal as 10mA, you can use the formula to determine the digital value that will be stored in the V-memory location that contains the data.

$$D = \frac{65535}{20} \cdot A$$

$$D = \frac{65535}{20} \cdot 10\text{mA}$$

$$D = 32767$$

ตารางที่ 2.7 แสดงรีเลย์พิเศษที่ใช้ใน Analog Input Module DL06 Special Relays

DL06 Special Relays			
<b>Slot 1</b>			
SP140	Chan 1 input type	0 = 0 - 20mA	1 = 4 - 20mA
SP141	Chan 2 input type	0 = 0 - 20mA	1 = 4 - 20mA
SP142	Chan 3 input type	0 = 0 - 20mA	1 = 4 - 20mA
SP143	Chan 4 input type	0 = 0 - 20mA	1 = 4 - 20mA
SP150	Chan 1 input open	1 = xmitter signal open	0 = xmitter signal good
SP151	Chan 2 input open	1 = xmitter signal open	0 = xmitter signal good
SP152	Chan 3 input open	1 = xmitter signal open	0 = xmitter signal good
SP153	Chan 4 input open	1 = xmitter signal open	0 = xmitter signal good
<b>Slot 2</b>			
SP240	Chan 1 input type	0 = 0 - 20mA	1 = 4 - 20mA
SP241	Chan 2 input type	0 = 0 - 20mA	1 = 4 - 20mA
SP242	Chan 3 input type	0 = 0 - 20mA	1 = 4 - 20mA
SP243	Chan 4 input type	0 = 0 - 20mA	1 = 4 - 20mA
SP250	Chan 1 input open	1 = xmitter signal open	0 = xmitter signal good
SP251	Chan 2 input open	1 = xmitter signal open	0 = xmitter signal good
SP252	Chan 3 input open	1 = xmitter signal open	0 = xmitter signal good
SP253	Chan 4 input open	1 = xmitter signal open	0 = xmitter signal good

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.7 (ต่อ) แสดงรีเลย์พิเศษที่ใช้ใน Analog Input Module

DL06 Special Relays (cont'd)			
<b>Slot 3</b>			
SP340	Chan 1 input type	0 = 0 - 20mA	1 = 4 - 20mA
SP341	Chan 2 input type	0 = 0 - 20mA	1 = 4 - 20mA
SP342	Chan 3 input type	0 = 0 - 20mA	1 = 4 - 20mA
SP343	Chan 4 input type	0 = 0 - 20mA	1 = 4 - 20mA
SP350	Chan 1 input open	1 = xmitter signal open	0 = xmitter signal good
SP351	Chan 2 input open	1 = xmitter signal open	0 = xmitter signal good
SP352	Chan 3 input open	1 = xmitter signal open	0 = xmitter signal good
SP353	Chan 4 input open	1 = xmitter signal open	0 = xmitter signal good

<b>Slot 4</b>			
SP440	Chan 1 input type	0 = 0 - 20mA	1 = 4 - 20mA
SP441	Chan 2 input type	0 = 0 - 20mA	1 = 4 - 20mA
SP442	Chan 3 input type	0 = 0 - 20mA	1 = 4 - 20mA
SP443	Chan 4 input type	0 = 0 - 20mA	1 = 4 - 20mA
SP450	Chan 1 input open	1 = xmitter signal open	0 = xmitter signal good
SP451	Chan 2 input open	1 = xmitter signal open	0 = xmitter signal good
SP452	Chan 3 input open	1 = xmitter signal open	0 = xmitter signal good
SP453	Chan 4 input open	1 = xmitter signal open	0 = xmitter signal good

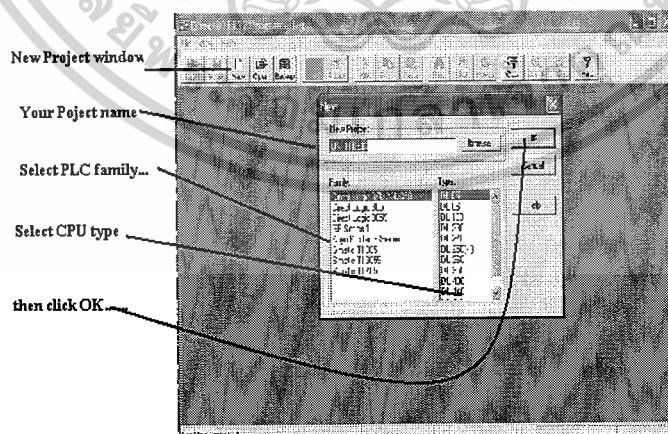
## 2.14 โปรแกรม DirectSOFT32

ในการเขียนโปรแกรมลงใน PLC ขนาดเล็กรุ่น DirectLogic05 นั้น จะใช้โปรแกรม DirectSOFT32 ในการเขียน Ladder ซึ่งเป็นโปรแกรมการทำงานของ PLC แล้วทำการ Memory ลงไปใน CPU ของ PLC

### การใช้งานโปรแกรม DirectSOFT32

#### ขั้นตอนแรก

เมื่อทำการเปิดโปรแกรม DirectSOFT32 ขึ้นมาก็คะปรากฏหน้าต่างดังภาพที่ 2.36



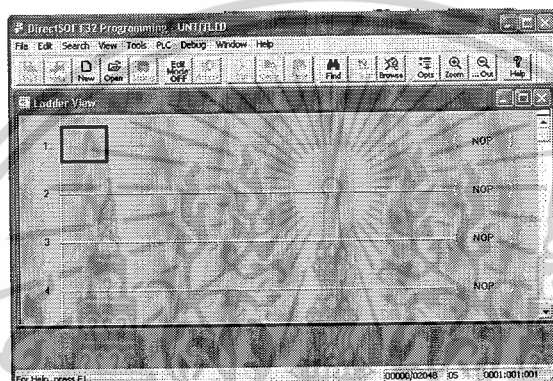
ภาพที่ 2.39 แสดงการเปิด New Project เพื่อทำการเขียน Ladder Program

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

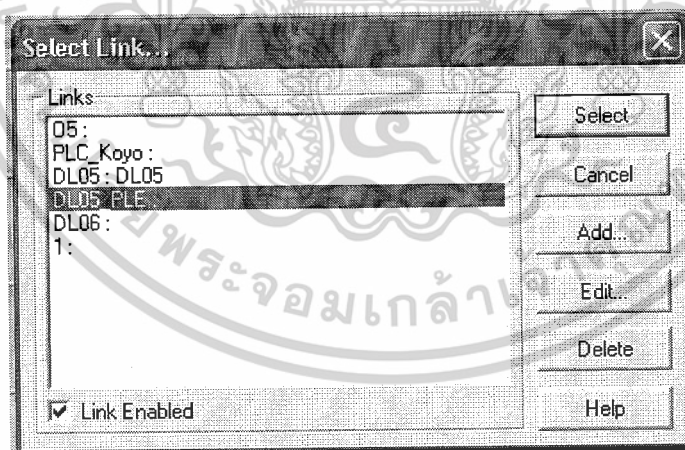
ซึ่งหน้าต่านี้จะเป็นการสร้าง New Project ขึ้นมา เพื่อทำการเขียนโปรแกรม โดยการคลิกที่ช่อง Name เพื่อตั้งชื่อ New Project หลังจากนั้น เลือกชนิด และรุ่นของ PLC รวมไปถึงชนิดของ CPU แล้วคลิก OK ก็จะปรากฏหน้าต่าตามภาพที่ 2.21

### ขั้นตอนที่สอง

ทำการต่อ PLC เข้ากับเครื่องคอมพิวเตอร์ แล้วทำการเชื่อมต่อเข้าหากันโดยใช้โปรแกรม DirectSOFT32 โดยหลังจาก RUN โปรแกรม DirectSOFT32 ขึ้นมา ก็ไปเลือกที่แถบเมนูด้านบน เลือกที่ PLC → Connect จะได้ผลตามภาพที่ 2.22

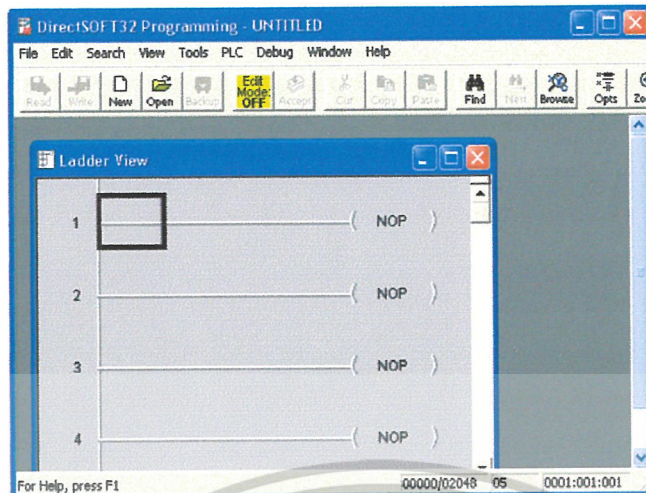


ภาพที่ 2.40 แสดงการเลือกชนิด PLC และรุ่นของ PLC หรือชนิดของ CPU แล้วคลิก OK



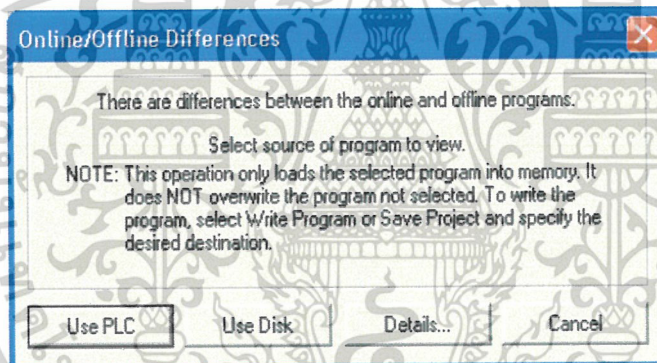
ภาพที่ 2.41 แสดงการเชื่อมต่อ PLC กับคอมพิวเตอร์ และทำการ Link กับโปรแกรม DirectSOFT32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.42 แสดงหน้าจอการรเขียนโปรแกรมให้กับ PLC

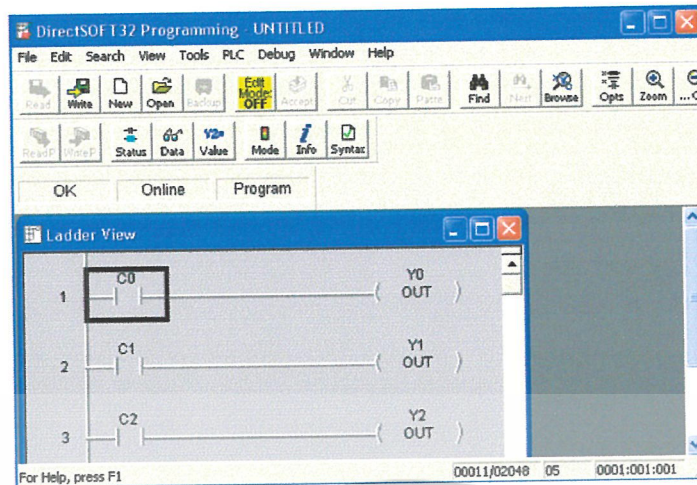
หลังจากนั้นคลิกเลือกที่ Name ในช่อง Link แล้วคลิก Select จะได้ผลตามภาพที่ 2.25



ภาพที่ 2.43 การเลือกใช้ข้อมูลบน PLC แบบใด

แล้วคลิกเลือก Use PLC โปรแกรมก็จะทำการอ่านโปรแกรมที่อยู่ใน CPU ของ PLC เพื่อที่จะทำการ RUN โปรแกรมที่ค้างอยู่ใน PLC ล่าสุด แต่ถ้าเลือก Use Disk โปรแกรมก็จะทำการเตรียมพร้อมที่จะบันทึกโปรแกรมใหม่ลงใน CPU ของ PLC ดังแสดงในภาพที่ 2.41

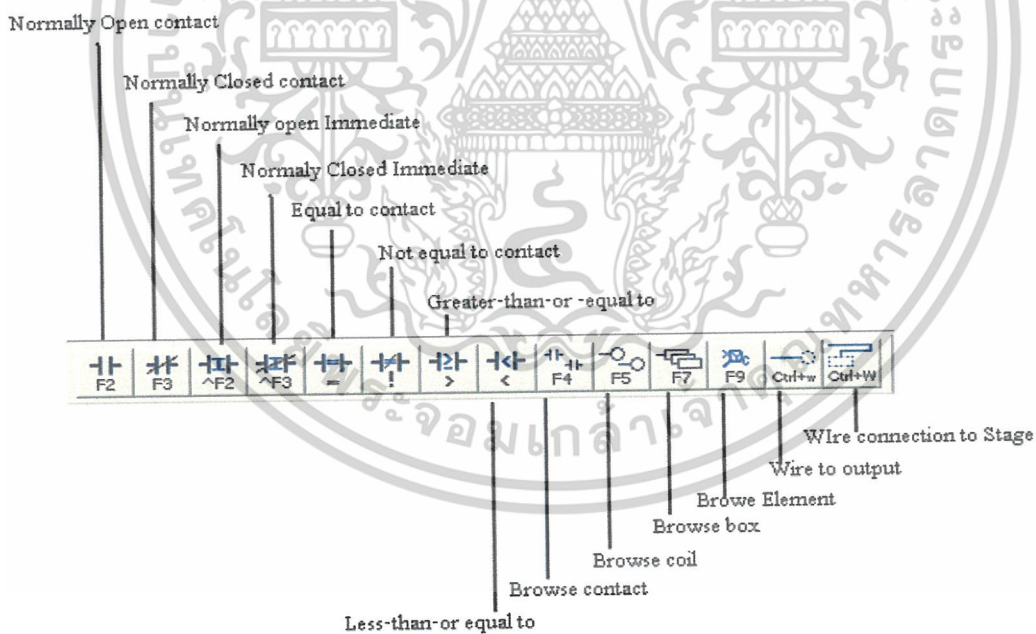
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.44 เลือก Use Disk เพื่อทำการเขียน โปรแกรม PLC ใหม่

**ขั้นตอนที่สาม**

การเขียนโปรแกรมทำได้โดยการคลิกที่ Edit Mode Off หนึ่งครั้ง แล้วตัวหนังสือจะเปลี่ยนเป็น Edit Mode On นั้นแสดงว่าพร้อมที่จะทำการเขียนแล้ว แล้วจะปรากฏสัญลักษณ์การเขียน Ladder ดังภาพที่ 2.27

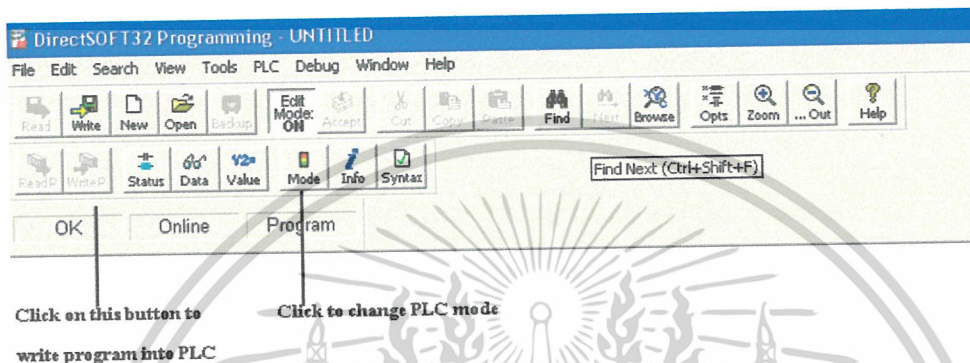


ภาพที่ 2.45 แสดงบล็อกสัญลักษณ์การเขียน Ladder

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

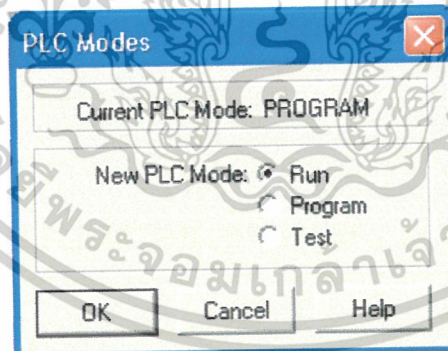
### ขั้นตอนที่สี่

การเขียนโปรแกรมลงใน PLC เมื่อเครื่อง PLC และคอมพิวเตอร์ได้เชื่อมต่อกันเรียบร้อยแล้ว ก็สามารถที่จะเขียนโปรแกรมลงใน PLC ได้โดยผ่านโปรแกรม DirectSOFT32 ซึ่งทำได้โดยการคลิกที่ไอคอนที่สองในแถวที่สองทางซ้ายมือของแถบเมนูด้านบน ซึ่งเป็นการ Write โปรแกรมลงใน PLC ดังภาพที่ 2.28



ภาพที่ 2.46 แสดงการใช้งาน Mode ใน PLC

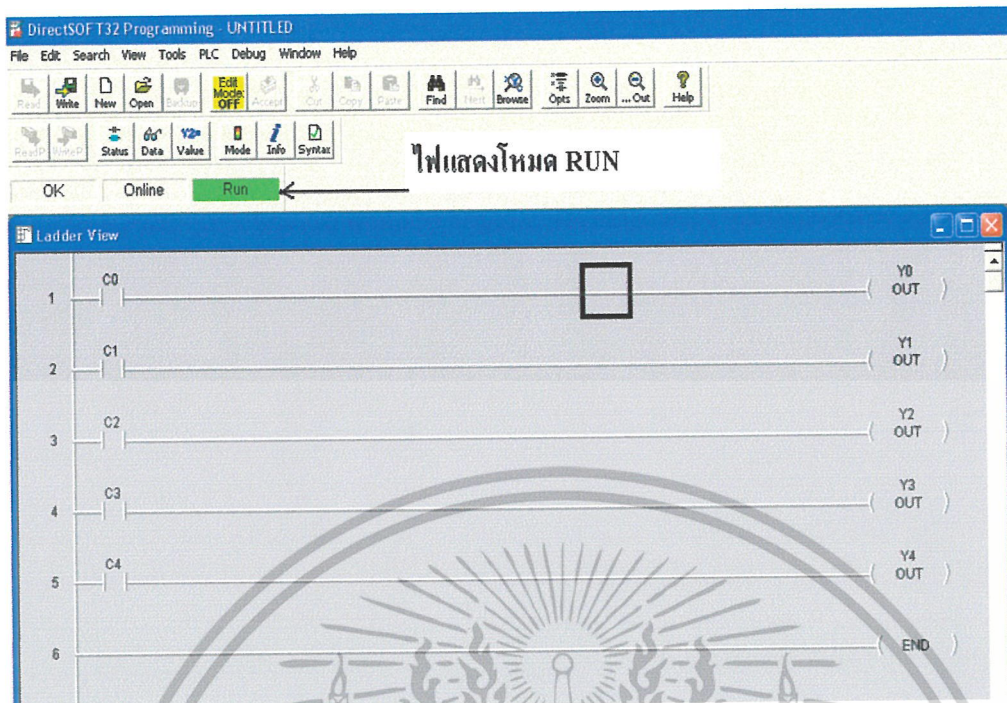
และหลังจากนั้นทำการ RUN โปรแกรมโดยคลิกที่ไอคอน Mode ดังแสดงในภาพที่ 2.29 แล้วคลิก RUN PLC ก็จะเข้าสู่โหมด RUN



ภาพที่ 2.47 แสดงการเลือกโหมดการทำงาน

เมื่อโปรแกรมอยู่ใน RUN Mode โปรแกรมก็จะแสดงผลดังภาพที่ 2.45

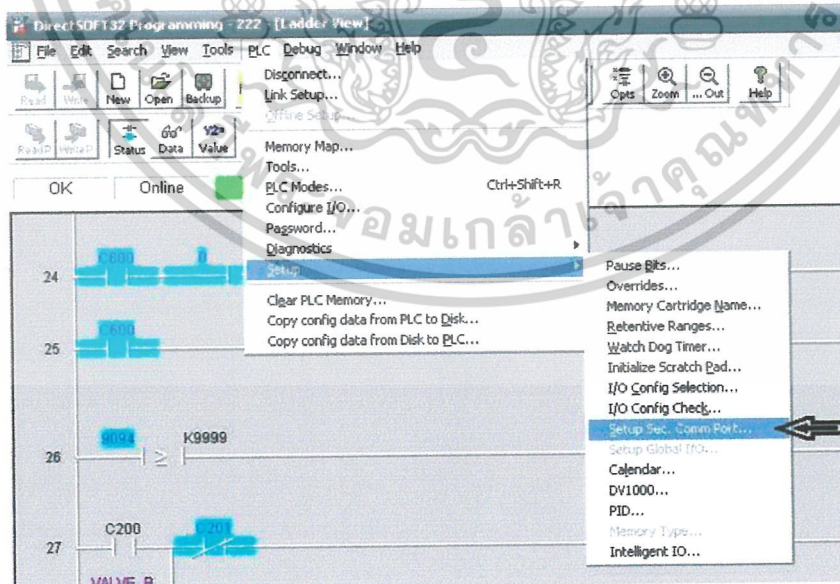
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.48 แสดงการทำงาน โปรแกรมในโหมด RUN

#### 2.14.1 การเชื่อมต่อพอร์ต Modbus

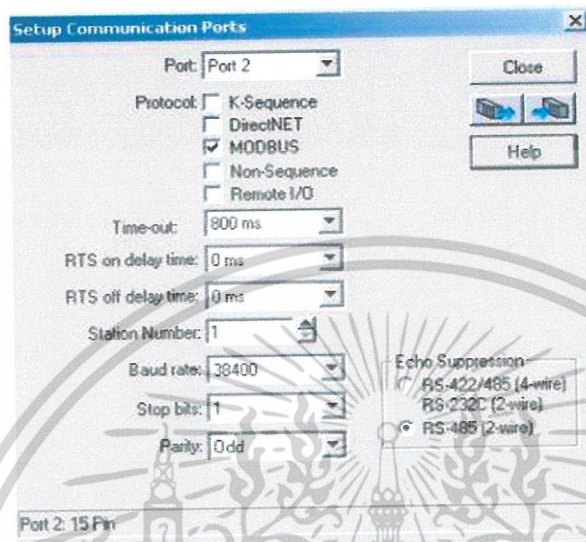
เปิดโปรแกรม Direct SOFT 32 เลือกเมนู PLC ไปที่ Setup เลือก Secondary Comm Port 2  
ดังภาพที่ 2.46



ภาพที่ 2.49 แสดงการเชื่อมต่อพอร์ตที่ 2 ของ PLC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

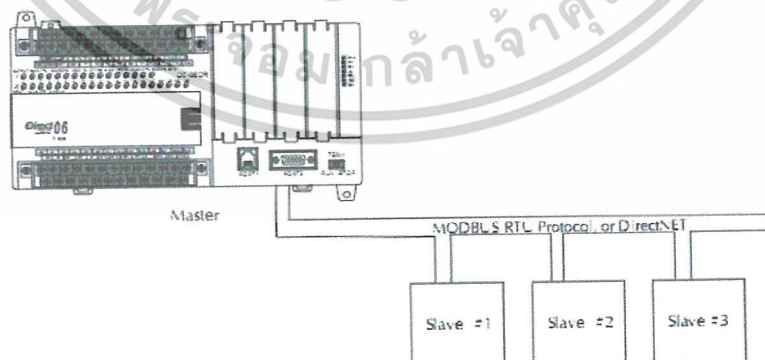
จากนั้นเลือกพอร์ต 2 ที่ใช้ในการเชื่อมต่อ เลือกโปรโตคอลที่ใช้ คือ Modbus และ Station number ให้ตรงกับอุปกรณ์ที่ใช้เชื่อมต่อ กำหนด Baud rate, Stop bits และ Parity ให้ตรงกับอุปกรณ์ที่เชื่อมต่อดังกล่าว



ภาพที่ 2.50 การกำหนดการเชื่อมต่อของพอร์ตที่ 2

#### 2.14.2 การอ่านและเขียนค่าจากอุปกรณ์ที่เชื่อมต่อโดยใช้หมอดับผ่าน PLC

ในส่วนนี้เป็นการใช้ DL06 ในการติดต่อสื่อสารผ่าน Modbus RTU โดยที่ PLC เป็นตัวสั่งการ โดยในการอ่านค่าจะใช้คำสั่ง MRX และในการเขียนค่าผ่าน Modbus RTU นั้น จะใช้คำสั่ง MWX ซึ่ง PLC จะสั่งการไปยังตัวอุปกรณ์ที่ต้องการเท่านั้น



ภาพที่ 2.51 แสดงการเชื่อมต่อระหว่าง PLC และอุปกรณ์โดยใช้ MODBUS RTU

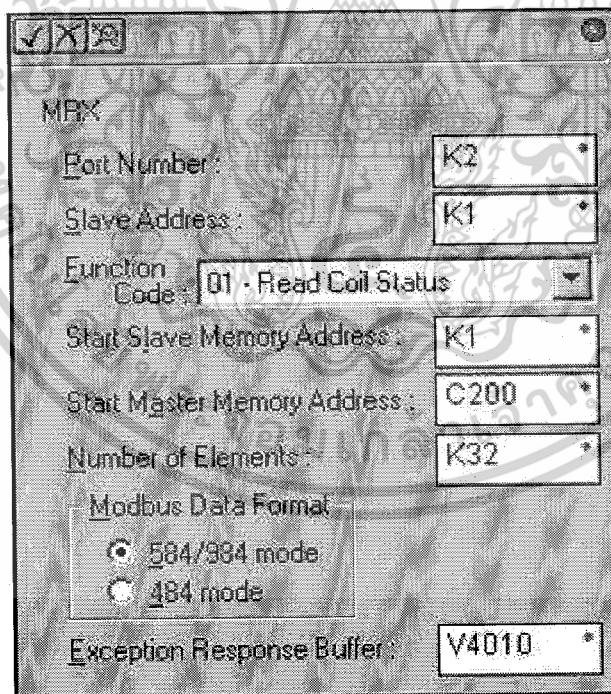
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ตารางที่ 2.8 Function Code ที่ใช้ใน MODBUS RTU

MODBUS Function Code	Function	DL06 Data Types Available
01	Read a group of coils	Y, CR, T, CT
02	Read a group of inputs	X, SP
05	Set / Reset a single coil (slave only)	Y, CR, T, CT
15	Set / Reset a group of coils	Y, CR, T, CT
03, 04	Read a value from one or more registers	V
06	Write a value into a single register (slave only)	V
07	Read Exception Status	V
08	Diagnostics	V
16	Write a value into a group of registers	V

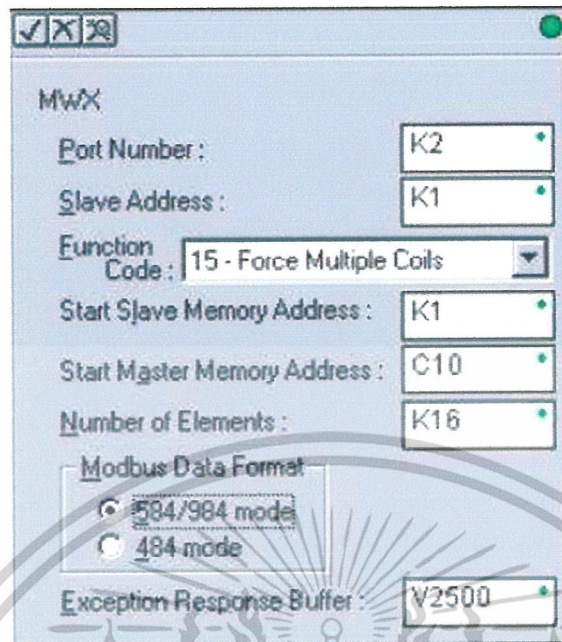
### 2.14.3 การใช้คำสั่ง MODBUSอ่านค่าและเขียนค่า (MRX/WRX)

การอ่านค่าสั่งจากอุปกรณ์ที่ใช้ Modbus RTU โดยจะนำข้อมูลที่อ่านได้นั้นไปเก็บไว้ใน V-Memory ที่ PLC โดยที่จะต้องใช้ Modbus Function Code, address ของอุปกรณ์, addresses เริ่มต้นของ PLC และอุปกรณ์ จำนวนของอุปกรณ์ที่อ่านข้อมูล การจัดการข้อมูล และบัฟเฟอร์การรับผลตอบสนอง ดังภาพที่ 2.49



ภาพที่ 2.52 การใช้คำสั่ง MRX

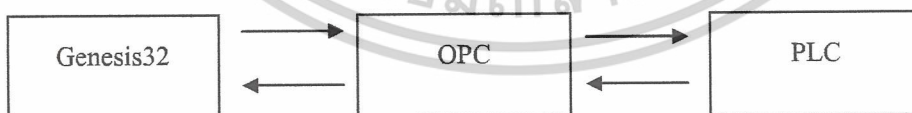
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.53 การใช้คำสั่ง MWX

## 2.15 OLE for Process Control (OPC Server)

OPC เป็นมาตรฐานในการสื่อสาร และแลกเปลี่ยนข้อมูลระหว่างอุปกรณ์ควบคุมทางอุตสาหกรรมกับแอปพลิเคชันบนระบบปฏิบัติการวินโดวส์ ซึ่งใช้กันอย่างแพร่หลาย และได้รับการยอมรับว่าเป็นมาตรฐานที่เป็นกลาง มีเสถียรภาพที่สุดทั้งความเร็วในการสื่อสาร และการทำงานในระบบเครือข่าย โดยผู้ผลิตมักจะสร้าง Device Communication OPC Server ซึ่งทำหน้าที่รับข้อมูลจากอุปกรณ์ต่าง ๆ ซึ่งเปรียบเสมือนว่า OPC จะเป็นล่ามที่ช่วยในการแปลข้อมูล จาก Software Window เพื่อที่จะให้เครื่อง PLC เข้าใจซึ่งเรียกว่า โปรโตคอลนั่นเอง



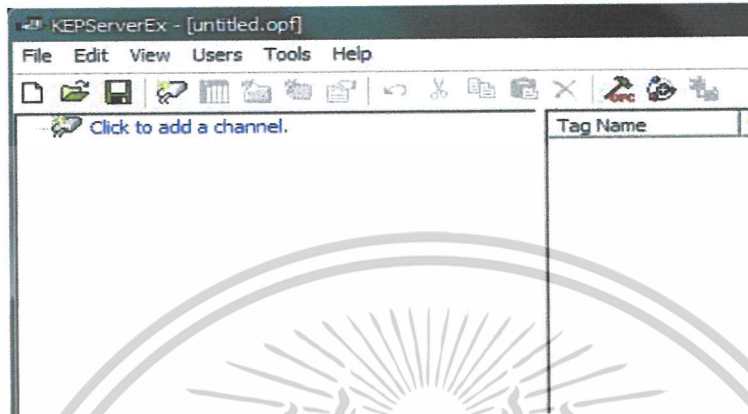
ภาพที่ 2.54 แสดงการเชื่อมโยงข้อมูลโดยใช้ OPC

สำหรับโครงการนี้ได้ใช้ OPC Server ของ Kepware ในการติดต่อกันระหว่างซอฟต์แวร์ Genesis32 กับ PLC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

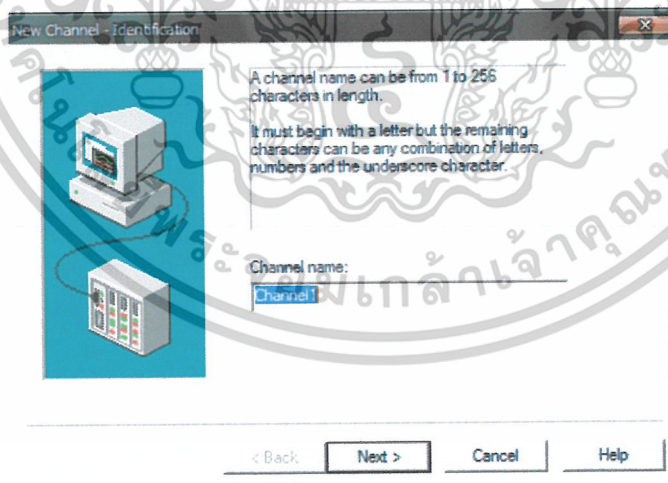
## การตั้งค่าเชื่อมต่อกับ PLC

เปิดโปรแกรม Kepware ServerEx ขึ้นมา ทำการสร้างไฟล์คอนฟิกูเรชันใหม่โดยเลือกเมนู File > New จะปรากฏรูปไอคอน ดังภาพที่ 2.52



ภาพที่ 2.55 แสดงหน้าจอโปรแกรม Kepware

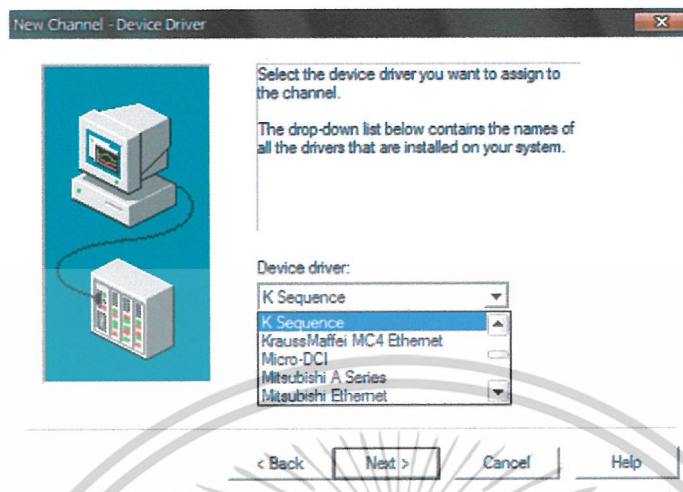
ทำการเพิ่ม Channel ใหม่ (โดย Channel หมายถึงช่องทางการติดต่อระหว่าง PLC กับ OPC Server) โดยคลิกที่ไอคอนรูปพอร์ตในหน้าต่างด้านซ้าย จะปรากฏหน้าต่างดังภาพที่ 2.53 เพื่อให้เราตั้งชื่อ Channel ให้คลิกปุ่ม Next



ภาพที่ 2.56 ทำการเลือก Channel

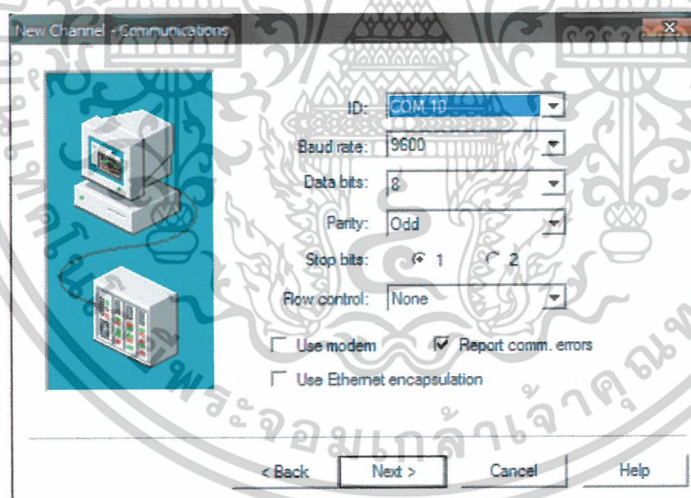
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ให้ทำการเลือก K-Sequence จาก Dropdown list ดังภาพที่ 2.53 แล้วคลิก Next



ภาพที่ 2.57 เลือก Device driver

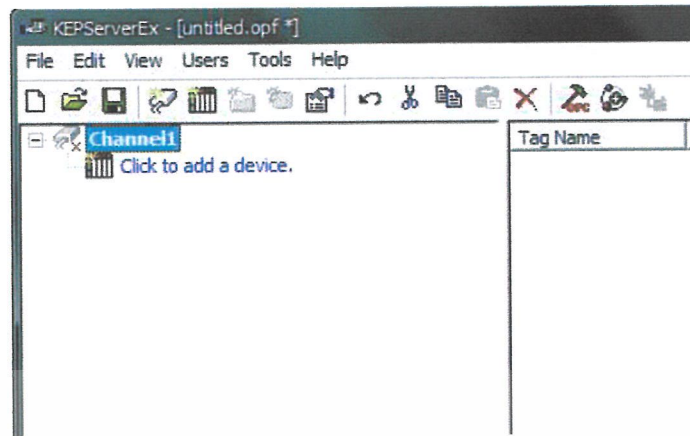
จากนั้นให้เลือกพอร์ตของ PC ที่ติดต่อกับ PLC อยู่จริง แล้วคลิก Next



ภาพที่ 2.58 กำหนดคอมพอร์ต

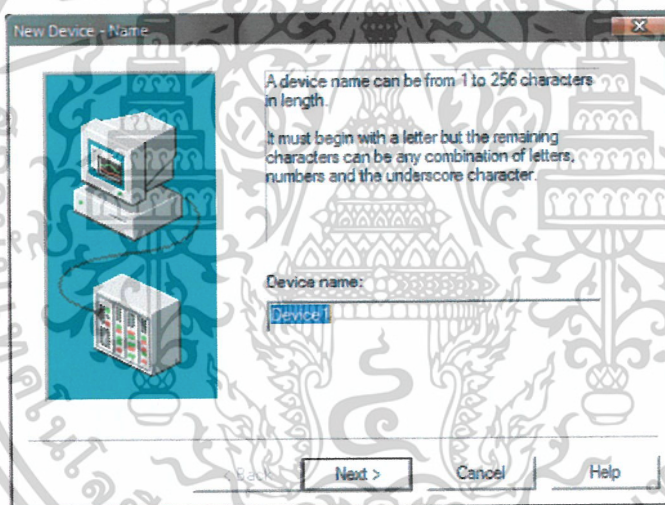
จากนั้นกดปุ่ม Next ต่อไปจนจบ และกลับมายังหน้าต่างโปรแกรมหลักดังภาพที่ 2.56 ให้คลิก ไอคอนที่มีคำว่า Click to add a device เพื่อเป็นการเพิ่ม Device

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.59 คลิกเพื่อเพิ่ม device

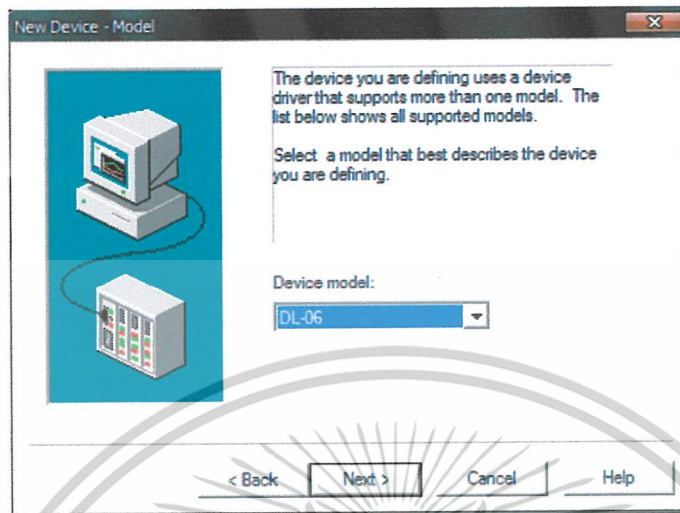
จะพบหน้าต่าง New Device ให้ตั้งชื่อ Device และคลิกปุ่ม Next



ภาพที่ 2.60 แสดงหน้าต่างให้ตั้งชื่อ Device

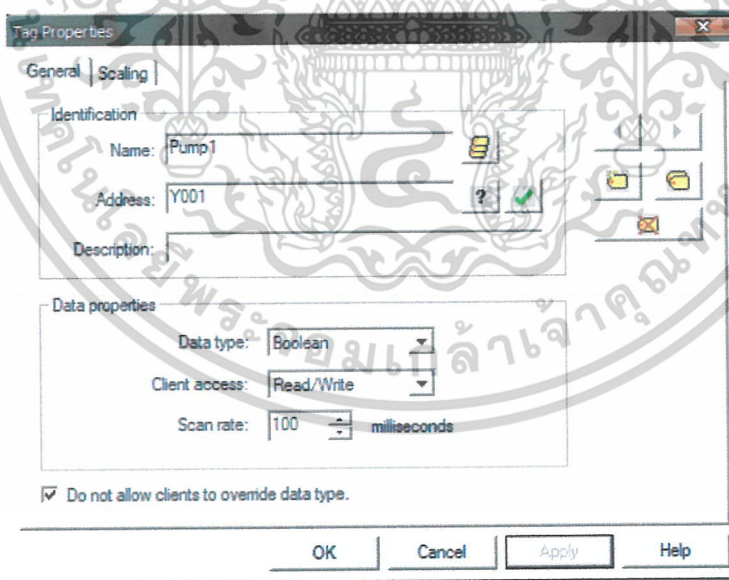
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากนั้นเลือกรุ่นของ PLC เป็น D06



ภาพที่ 2.61 แสดงหน้าต่างให้เลือกรุ่น Device ที่ตรงกับที่เราใช้


คลิก Next จนออกจากหน้าต่างย่อยทั้งหมด จากนั้นกลับมาที่หน้าโปรแกรมหลัก ทำการสร้าง OPC Tag เพื่อใช้ติดต่อกับ Register Address ต่าง ๆ ของ PLC

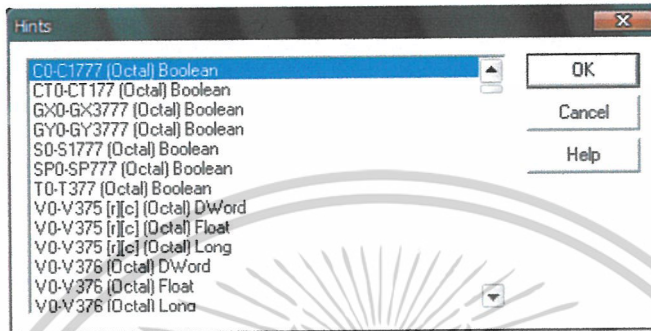


ภาพที่ 2.62 ทำการกำหนดค่าคุณสมบัติต่างๆให้กับ Tag

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

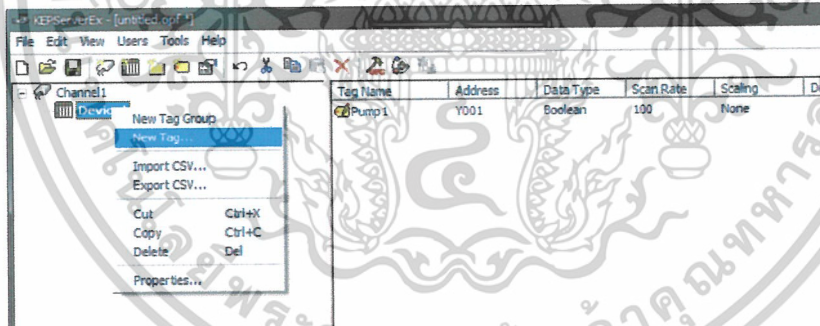
สามารถทำการกำหนด Tag ที่ต้องการตั้งภาพที่ 2.60 ให้ตั้งชื่อ Tag ที่ต้องการ และใส่ Address ของ I/O ของ PLC

การอ้างอิงไปยัง Address จริงของ I/O ของ PLC สามารถตรวจสอบรายละเอียด Address ของ PLC ที่ติดต่อปัจจุบันโดยคลิกปุ่ม  ที่อยู่ด้านขวาของช่อง Address เพื่อตรวจสอบดูได้



ภาพที่ 2.63 หน้าต่างแสดงคำแนะนำอ้างอิง Address ของ PLC

สามารถทำการเพิ่ม Tag ที่ต้องการใช้ติดต่อกับ I/O ของ PLC ได้อีกตามต้องการ โดยคลิกขวาที่ Device แล้วเลือก New Tag ดังภาพที่ 2.61



ภาพที่ 2.64 แสดงหน้าต่างเมื่อกำหนดค่า Tag เสร็จแล้ว และสามารถสร้างเพิ่มได้

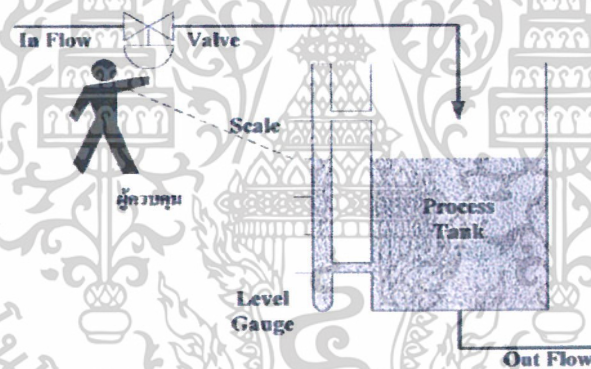
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### บทที่ 3

## หลักการและทฤษฎีที่ใช้ในการออกแบบ

### 3.1 บทนำ

โดยทั่วไปเป้าหมายของระบบควบคุมกระบวนการต่าง ๆ ในอุตสาหกรรมนั้นคือ การรักษาปริมาณทางฟิสิกส์อันได้แก่ อุณหภูมิ (Temperature) ความดัน (Pressure) ระดับ (Level) อัตราการไหล (Flow Rate) ค่าความเป็นกรดด่าง (pH) และอื่น ๆ ให้มีค่าใกล้เคียงกับค่าเป้าหมาย (Set point) หรือค่าที่ต้องการมากที่สุด แม้ว่าสภาวะการทำงานและสภาพแวดล้อมอาจเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาก็ตาม ซึ่งการควบคุมที่ดีย่อมเริ่มจากการเลือกแบบการควบคุมที่เหมาะสม ในอดีตการควบคุมกระบวนการต่างๆ จะเลือกใช้การควบคุมแบบง่าย ๆ ด้วยมือ (Manual Control) ซึ่งอาศัยพนักงานหรือผู้ควบคุม (Operator) คอยทำหน้าที่เกี่ยวกับการตรวจวัด และเปลี่ยนแปลงการควบคุม ให้ผลตอบสนองเป็นไปตามที่ต้องการ ยกตัวอย่างเช่น การควบคุมระดับน้ำในถัง ดังภาพที่ 3.1



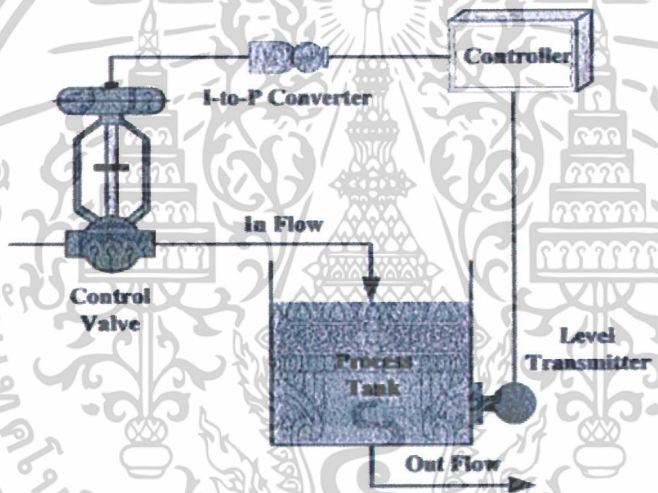
ภาพที่ 3.1 แสดงการควบคุมระดับน้ำในถังแบบ Manual Control



ภาพที่ 3.2 แสดงบล็อกไดอะแกรมของการควบคุมระดับน้ำในถังแบบ Manual Control

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

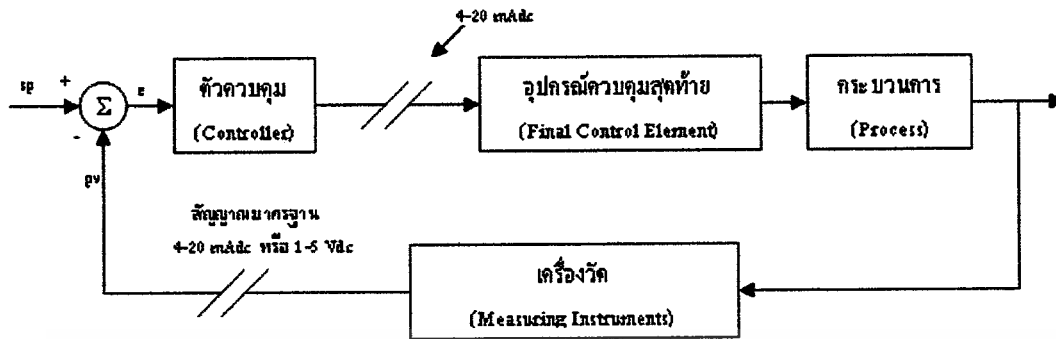
จากภาพที่ 3.1 การควบคุมระดับน้ำในถัง จะอาศัยพนักงานคอยทำหน้าที่ในการตรวจวัดระดับน้ำในถังว่าได้ระดับที่ต้องการหรือไม่ โดยใช้สายตาจากเกจวัดระดับ (Level Gauge) จากนั้นสมองจะตัดสินใจสั่งการให้มือทำหน้าที่เปิด-ปิดวาล์ว เพื่อให้ระดับน้ำเป็นไปตามต้องการ ซึ่งขั้นตอนของการควบคุมสามารถเขียนเป็นบล็อกไดอะแกรมได้ดังภาพที่ 3.2 จะเห็นว่าการควบคุมแบบง่าย ๆ ด้วยมือวิธีนี้ จำเป็นต้องอาศัยประสบการณ์และความชำนาญของพนักงาน ดังนั้นการควบคุมจะดีหรือไม่อย่างไร จะขึ้นอยู่กับพนักงานผู้ควบคุมเป็นหลัก ซึ่งในการปฏิบัติงานจริงแล้วพนักงานควบคุมไม่สามารถทำงานได้ดีเท่ากันตลอดเวลา จึงทำให้ประสิทธิภาพของการควบคุมลดลง ดังนั้นปัจจุบันโรงงานที่ต้องการควบคุมที่มีความแม่นยำ และประสิทธิภาพสูงจำเป็นต้องนำการควบคุมแบบอัตโนมัติ (Automatic Control) มาใช้งาน ซึ่งจากกระบวนการควบคุมระดับน้ำแบบ Manual Control ตามภาพที่ 3.1 ถ้านำมาทำการควบคุมแบบอัตโนมัติ สามารถแสดงการควบคุมได้ดังภาพที่ 3.3



ภาพที่ 3.3 แสดงการควบคุมระดับน้ำในถังจากภาพที่ 3.1 ด้วยการควบคุมแบบอัตโนมัติ

จากภาพที่ 3.3 ระดับน้ำในถังกระบวนการจะถูกวัดโดยเครื่องวัดระดับ (Level Transmitter) และส่งสัญญาณในการวัดให้กับเครื่องควบคุม (Controller) ซึ่งเครื่องควบคุมจะนำไปใช้เป็นเกณฑ์ในการตัดสินใจสั่งให้วาล์วควบคุมเปิด-ปิด เพื่อให้ระดับน้ำเป็นไปตามต้องการ โดยเครื่องควบคุมจะทำหน้าที่หลักในการคำนวณหาสัญญาณควบคุมที่เหมาะสม ตามกฎเกณฑ์การควบคุม (Control Law) ที่พนักงานได้กำหนดไว้ล่วงหน้า สำหรับระบบควบคุมแบบอัตโนมัติที่เราพบเห็นกันอยู่บ่อย ๆ ในโรงงานอุตสาหกรรมคือ ระบบควบคุมแบบป้อนกลับ (Feedback Control System) ที่มีตัวควบคุมแบบ PID (PID Controller) เป็นเครื่องควบคุม โดยรูปแบบการควบคุมกระบวนการทางอุตสาหกรรมแบบป้อนกลับ โดยทั่วไปแสดงดังภาพที่ 3.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.4 แสดงบล็อกไดอะแกรมของระบบควบคุมแบบป้อนกลับโดยทั่วไป

จากบล็อกไดอะแกรมดังภาพที่ 3.4 จะสังเกตเห็นว่ามีลักษณะคล้ายกับบล็อกไดอะแกรมในภาพที่ 3.2 ซึ่งถ้าจะกล่าวไปแล้วแนวความคิดของการควบคุมแบบอัตโนมัตินั้นก็มาจากรูปแบบการควบคุมในลักษณะตามภาพที่ 3.2 นั่นเอง โดยระบบควบคุมทางอุตสาหกรรมแบบป้อนกลับทั่วไปประกอบด้วยอุปกรณ์ 4 ส่วน คือ

1. **ตัวควบคุม (Controller)** เป็นเครื่องมือหรืออุปกรณ์ ที่ใช้ในการสร้างสัญญาณควบคุมเพื่อทำหน้าที่ควบคุมให้ระบบที่ต้องการควบคุม มีเอาต์พุตหรือผลตอบสนองเป็นไปตามต้องการ โดยเครื่องควบคุมที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันมีหลายแบบด้วยกัน แต่ที่นิยมใช้กันมากที่สุดคือ ตัวควบคุมแบบ PID

2. **อุปกรณ์ควบคุมสุดท้าย (Final Control Element)** คือ อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ปรับสถานะของกระบวนการด้วยการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรปรับกระบวนการ ตามคำสั่งหรือสัญญาณควบคุมที่ได้รับจากตัวควบคุม อุปกรณ์ควบคุมสุดท้ายนี้มีอยู่หลายอย่างด้วยกัน เช่น วาล์วควบคุม (Control Valve) อินเวอร์เตอร์ (Inverter) และตัวกระทำ (Actuator) เป็นต้น แต่ที่พบเห็นกันมากในกระบวนการอุตสาหกรรมได้แก่ วาล์วควบคุม

3. **กระบวนการ (Plant or Process)** หมายถึง ระบบหรือกระบวนการทางฟิสิกส์ที่ต้องการควบคุมให้มีสถานะเป็นไปตามที่ต้องการ เช่น กระบวนการเกี่ยวกับการควบคุมระดับของของเหลว กระบวนการเกี่ยวกับการควบคุมอุณหภูมิ เป็นต้น ซึ่งสถานะของกระบวนการแสดงด้วยตัวแปรกระบวนการ (Process Variable: PV)

4. **อุปกรณ์วัด (Measuring Instrument)** หมายถึง อุปกรณ์ซึ่งอาจจะได้แก่ เซนเซอร์ (Sensor) ทรานสดิวเซอร์ (Transducer) อุปกรณ์แปลง (Transmitter) หรือเครื่องวัดสัญญาณอื่น ๆ ในกระบวนการ เพื่อนำสัญญาณที่ได้ไปใช้ในตัวแปรในการควบคุม โดยสัญญาณขาออกของอุปกรณ์วัดทั่วไป จะเป็นสัญญาณมาตรฐานทางอุตสาหกรรม เช่น สัญญาณกระแสไฟฟ้า 4-20 mA dc สัญญาณแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง 1-5 V dc หรือสัญญาณลมขนาด 3-15 psi เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การควบคุมแบบอัตโนมัติจากภาพที่ 3.4 มีขั้นตอนการทำงานคือ อุปกรณ์วัดค่าตัวแปรกระบวนการ (PV) เช่น อุณหภูมิ ความดัน อัตราการไหล และระดับของเหลว เป็นต้น เพื่อเปรียบเทียบค่าอ้างอิงหรือค่าเป้าหมาย (Set point: SP) จากนั้นตัวควบคุมจะนำค่าความคลาดเคลื่อน (Error: e) ในการควบคุมมาใช้ในการคำนวณเพื่อหาสัญญาณควบคุมที่เหมาะสม ที่จะไปควบคุมกระบวนการให้เข้าสู่ค่าเป้าหมายที่ต้องการ ซึ่งจะเห็นว่าก่อนที่จะทำการควบคุมกระบวนการใด ๆ นั้น จะต้องศึกษาถึงการทำงานของส่วนประกอบต่าง ๆ ในระบบควบคุมและลักษณะกระบวนการก่อนนั้นก็จะต้องศึกษาถึงชนิด และการทำงานของอุปกรณ์วัด ตัวควบคุม และอุปกรณ์ควบคุมสุดท้าย รวมถึงวิธีควบคุมและวิธีการปรับแต่งต่าง ๆ เสียก่อน เพื่อที่จะได้เลือกใช้อุปกรณ์และรูปแบบของการควบคุมได้อย่างถูกต้อง ในอันที่จะทำให้การควบคุมมีประสิทธิภาพสูงสุด

ดังนั้นปัจจุบันในโรงงานที่ต้องการการควบคุมที่มีความแม่นยำ และประสิทธิภาพสูง จำเป็นต้องนำการควบคุมแบบอัตโนมัติ (Automation Control) มาใช้งาน

### 3.2 การวัดระดับ (Level Measurement)

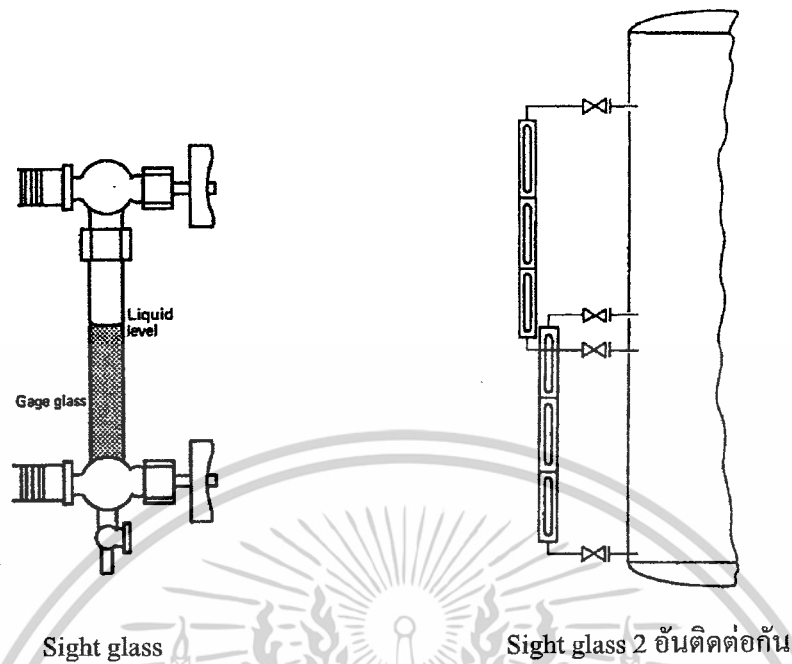
การวัดระดับเป็นสิ่งสำคัญประการหนึ่งในงานอุตสาหกรรมเกือบทุกประเภท เนื่องจากค่าของระดับจะส่งผลกระทบต่อพารามิเตอร์อื่นได้แก่ ความดันและอัตราการไหล เป็นต้น สำหรับการวัดระดับนั้นมีอยู่ 2 วิธี คือ

**3.2.1 การวัดระดับโดยตรง (Direct Level Measurement)** สามารถวัดได้ด้วยวิธีการหลายรูปแบบ ดังนี้

1. Sight Glass (แบบใช้กระจมองระดับ)
2. Float Type (แบบลูกลอย)
3. Dip Stick (แบบจุ่ม)
4. Hook Type

#### 1. Sight Glass

ลักษณะที่สำคัญสำหรับการวัดมาตรฐานทั่วไปจะใช้วัดระดับไม่เกิน 900 mm หากเกินกว่านี้จะต้องใช้ Sight Glass มากกว่า 2 อัน มาต่อเรียงกันในลักษณะ Overlapping กัน



ภาพที่ 3.5 แสดง Sight Glass แบบต่างๆ

#### ข้อดีของ Sight Glass

1. อ่านค่าได้โดยตรง
2. สามารถออกแบบพิเศษให้สามารถทนความดันได้ถึง 10,000 psi และทนอุณหภูมิได้สูงถึง 750 °F
3. วัสดุที่ใช้ทำ Sight Glass สามารถออกแบบให้ทนต่อสภาพการกัดกร่อนได้เป็นอย่างดีเช่น ใช้พลาสติก หรือแก้ว เป็นต้น

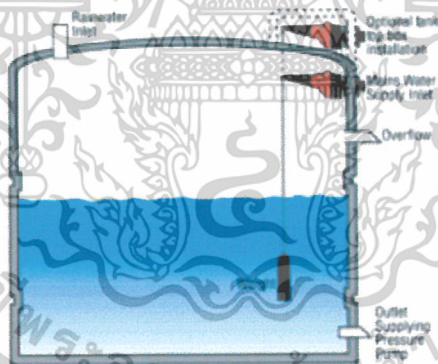
#### ข้อจำกัดของ Sight Glass

1. การอ่านค่าโดยตรงอาจไม่สะดวก เช่น กรณีที่ติดตั้งไว้บนที่สูงหรือด้านบนของถัง เป็นต้น
2. ค่าความแม่นยำ (Accuracy) ขึ้นอยู่กับความสะอาดของช่องมอง สภาพของของไหล เช่น ความใส และผู้อ่าน ซึ่งควบคุมได้ยาก
3. กรณีของเหลวมีสีใส ทำให้ยากสำหรับการอ่านค่า
4. ในสภาพที่มีอากาศหนาวจัด อาจทำให้ของเหลวบริเวณ Sight Glass เกิดการแข็งตัว ในกรณีที่ Sight Glass ติดตั้งไว้ภายนอก
5. การกระเพื่อมของของเหลว ทำให้การอ่านค่ากระทำได้ยาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2. Float Type (แบบลูกลอย)

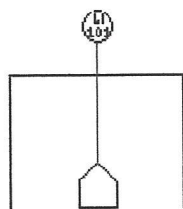
การวัดระดับของของเหลวแบบลูกลอย (Float) เป็นแบบที่นิยมมากที่สุดวิธีหนึ่งซึ่งเป็นการวัดการเคลื่อนที่ในแนวตั้ง มีโครงสร้างง่าย ๆ สามารถใช้ได้กับงานในสภาพที่มีอุณหภูมิและความดันสูงง่ายต่อการใช้ในการวัดระดับของของเหลว โดยอาศัยการลอยตัวของลูกลอย การที่ลูกลอยสามารถลอยได้นั้นอยู่บนของเหลว แสดงว่าแรงที่กดลงมาซึ่งก็คือน้ำหนักของลูกลอย ซึ่งถูกกระทำด้วยแรงดึงดูดของโลก จะต้องมียกเท่ากับน้ำหนักของของเหลวที่มีปริมาตรเท่ากับส่วนที่ลูกลอยจมในของเหลว เมื่อระดับของของเหลวเปลี่ยนแปลงจะทำให้ลูกลอยเคลื่อนที่ขึ้น-ลง ตามไปด้วยจึงสามารถต่อแกนขึ้นในแนวตั้งเพื่อจับบอกค่าระดับได้ ซึ่งวิธีการอ่านค่าระดับทำได้โดยลูกลอยจะถูกต่อด้วยเชือก เส้นลวด โซ่ หรือเทป คล้องผ่านรอก (Pulley) และอีกปลายต่อเข้ากับลูกตุ้ม เพื่อรักษาให้เชือกตึงอยู่ตลอดเวลา การหมุนของรอกจะสัมพันธ์โดยตรงกับการเคลื่อนที่ของลูกลอย ขณะที่ระดับเปลี่ยนแปลง ลูกลอยจะเคลื่อนที่ขึ้นหรือลงในแนวตั้งส่งผลให้รอกหมุน แกนของรอกสามารถต่อ ไปขยับเข็มชี้ที่ติดอยู่เพื่อเทียบกับสเกลที่แสดงค่าของระดับ โดยทั่วไปผู้ผลิตจะผลิตออกมาหลาย ๆ รูปแบบ แต่ก็มีหลักการคล้าย ๆ กัน เกจวัดระดับชนิดนี้ไม่เหมาะสำหรับการวัดระดับของของเหลวในภาชนะปิด (Closed Tank) ในปัจจุบันได้พัฒนาให้ส่งเป็นสัญญาณไฟฟ้าแล้วโดยใส่อุปกรณ์ Encoder เข้ามาช่วยแล้วแปลงเป็นสัญญาณมาตรฐาน



ภาพที่ 3.6 เครื่องอ่านค่าระดับแบบใช้ลูกลอย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

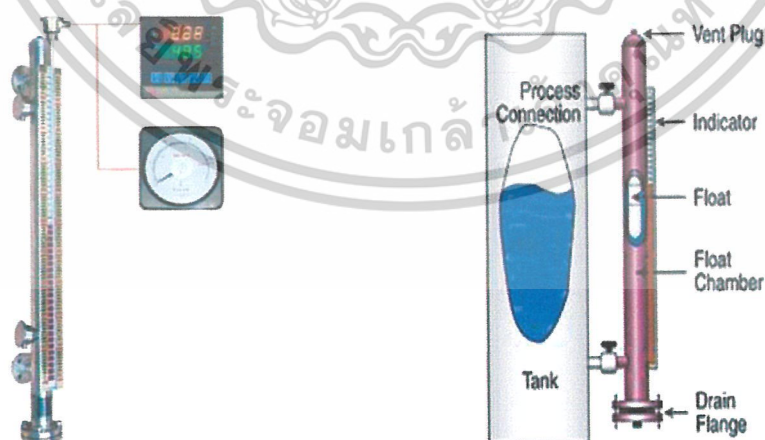
## - สัญลักษณ์ในการใช้งาน



ภาพที่ 3.7 สัญลักษณ์การใช้งาน Float Type

### 3. Dip Stick (แบบจุ่ม)

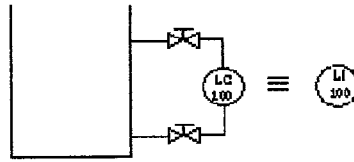
ในกรณีที่ของเหลวที่ต้องการทราบค่าระดับที่มีสภาพอันตราย ซึ่งถ้าให้รั่วออกมาข้างนอก ก็จะเป็นอันตราย จึงจำเป็นต้องแยกส่วนที่วัดออกจากตัวอ่านค่า เพื่อไม่ให้เกิดการรั่วขึ้นได้ วิธีการใช้ลูกลอยติดแท่งแม่เหล็กจะแก้ปัญหานี้ได้ ตัววัดแบบนี้ประกอบด้วยท่อรูปทรงกระบอกที่แข็งแรงไม่ใช่สารแม่เหล็ก หรือด้านทานต่อเส้นแรงแม่เหล็กต่อออกมาลักษณะเดียวกับแบบกระจกมอกระดับ ภายในมีลูกลอยซึ่งมีแม่เหล็กถาวรติดอยู่ ลูกลอยสามารถเคลื่อนที่ขึ้น-ลง ตามระดับน้ำได้อย่างอิสระ ด้านนอกมีที่ระดับที่ประกอบด้วยแผ่นโลหะชิ้นเล็ก ๆ ที่เป็นสารแม่เหล็กตั้งเรียงกันอยู่ในแนวระดับ แผ่นโลหะเหล่านี้ขยับได้โดยอิสระ ขณะที่ลูกลอยเคลื่อนที่ไปอยู่ ณ จุดใด สนามแม่เหล็กจากลูกลอยจะทำให้แผ่นโลหะในจุดนั้นถูกดูดเอียงทำมุม ทำให้ทราบค่าระดับของของเหลวนั้นได้ วิธีการนี้ไม่เหมาะสมถ้าของเหลวนั้นมีอุณหภูมิสูงเพราะจะทำให้แม่เหล็กเสื่อมในเวลาอันรวดเร็วแต่ปัจจุบันได้พัฒนาการแสดงผลเป็นตัวเลขดิจิทัล และบาร์กราฟ



ภาพที่ 3.8 แสดงการใช้แม่เหล็กช่วยในการอ่านที่เป็นแบบดิจิทัล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## - สัญลักษณ์ในการใช้งาน



ภาพที่ 3.9 แสดงสัญลักษณ์ในการใช้งาน Dip Stick

### 3.2.2 การวัดระดับแบบทางอ้อม (Indirect Level Measurement)

#### 1. หลักการวัดระดับโดยวิธีวัดความดันแตกต่าง (Differential Pressure)

การวัดระดับ โดยวิธีวัดความดันแตกต่างเป็นวิธีที่แพร่หลายในวงการอุตสาหกรรมสามารถใช้กับของเหลวที่สกปรก มีความดันหรืออุณหภูมิสูงได้ดี โดยหลักการวัดระดับแบบนี้ใช้หลักการวัดความดันที่เกิดจากความสูงของระดับของของเหลวที่ต้องการวัด ดังสมการ

$$P = h \cdot SG_m$$

เมื่อ  $P$  คือ ค่าความดันมีหน่วยเป็น เมตรน้ำ

$h$  คือ ค่าความสูงของของเหลวมีหน่วยเป็น เมตร

$SG_m$  คือ ค่าความถ่วงจำเพาะของของเหลวที่ต้องการวัด (ไม่มีหน่วย)

ค่าความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity: SG) ของสารเป็นค่าคงที่ ซึ่งเป็นคุณสมบัติประจำตัวของสารนั้น เช่น น้ำมีค่าความถ่วงจำเพาะเป็น 1 ปรอทมีค่าความถ่วงจำเพาะ 13.6 ดังนั้น ความดันที่เกิดขึ้นจึงมีความสัมพันธ์โดยตรงกับความสูงของของเหลวนั้น ทำให้สามารถหาความสูงของ

ของเหลวได้จาก  $h = \frac{P}{SG_m}$



Standard Type



Flange Mounting



Remote Diaphragm

ภาพที่ 3.10 เครื่องวัดระดับแบบอาศัยหลักการความดันแตกต่าง

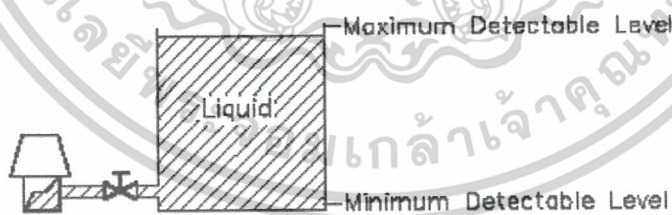
## 2. การวัดระดับแบบถังเปิด (Open Tank)

ในการวัดระดับของเหลวในถังเปิด ความดันที่ Transmitter จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับระดับความสูงของของเหลวในถัง ซึ่งเหมาะสำหรับวัดของเหลวที่มีอัตราการระเหยต่ำ การสอบเทียบ D/P Transmitter ที่ถูกติดตั้งในภาพที่ 3.11 สามารถคำนวณ Span และ Suppressed Zero ได้ตามสมการดังนี้

$$\text{Span} = xSG$$

$$\text{Suppressed Zero} = ySG$$

โดยที่ SG คือ ค่าความถ่วงจำเพาะของของเหลวในถัง



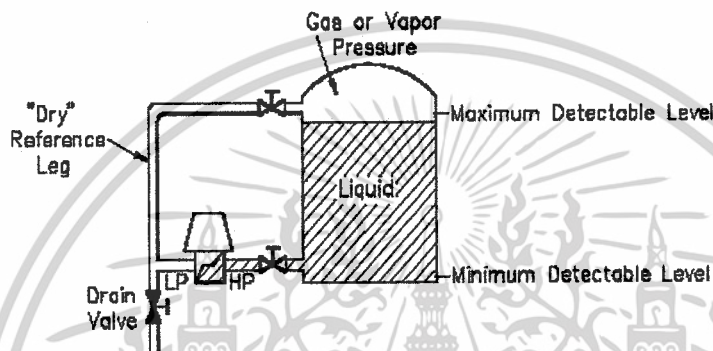
ภาพที่ 3.11 การวัดระดับแบบถังเปิด (Open Tank)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3. การวัดระดับในแบบถังปิด (Close Tank) แบบ Dry Leg

การวัดระดับของของเหลวในถังปิดแบบ Dry Leg ท่อระหว่างถังและ Transmitter ทางด้านความดันต่ำจะถูกต้องถึงกัน เพื่อลดความดันที่เกิดจากความดันของก๊าซที่เกิดขึ้นภายในถัง การวัดระดับแบบ Dry Leg เหมาะสำหรับการวัดระดับของเหลวที่เปลี่ยนสถานะเป็นก๊าซที่ไม่สามารถควบแน่นได้

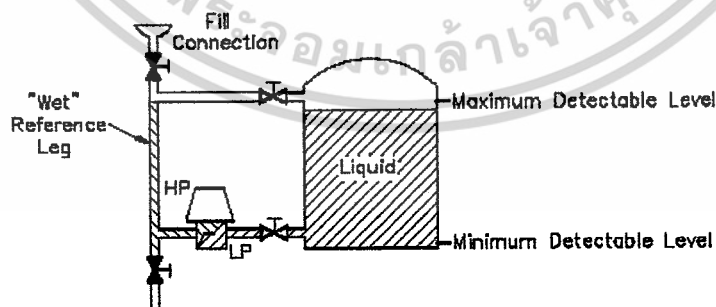
การสอบเทียบ D/P Transmitter ที่ถูกติดตั้งในภาพที่ 3.12 การคำนวณ Span และ Suppressed Zero สามารถคำนวณได้เหมือนกับการวัดระดับของเหลวแบบถังเปิด



ภาพที่ 3.12 การวัดระดับในแบบถังปิด (Close Tank) แบบ Dry Leg

### 4. การวัดระดับในแบบถังปิด (Close Tank) แบบ Wet Leg

การวัดระดับของของเหลวในถังปิดแบบ Wet Leg เหมาะสำหรับของเหลวที่เปลี่ยนสถานะเป็นก๊าซและก๊าซสามารถควบแน่นกลับมาเป็นของเหลวได้สามารถทำได้ โดยการเติมของเหลวในท่อทางด้านความดันต่ำของ Transmitter ของเหลวที่เติมลงไป จะต้องมีความถ่วงจำเพาะมากกว่าของเหลวที่อยู่ในถัง และจะต้องไม่สามารถผสมกับของเหลวในถังได้



ภาพที่ 3.13 การวัดระดับในแบบถังปิด (Close Tank) แบบ Wet Leg

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.14 แสดงการติดตั้ง Level Transmitter ที่ถัง

### 3.3 การตรวจวัดอุณหภูมิ

อุณหภูมิเป็นตัวแปรอีกประเภทหนึ่งที่มีความสำคัญมากในอุตสาหกรรมทั่วไป โดยเฉพาะในอุตสาหกรรมหนักเท่านั้น การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิจึงมีผลกระทบต่อตัวแปรอื่นๆ ที่อยู่ในกระบวนการทางอุตสาหกรรมด้วยเช่นกันไม่ทางตรงก็ทางอ้อม ไม่ว่าจะเป็นความดัน อัตราการไหล ระดับของของเหลว หรือค่าความต้านทาน นั่นหมายความว่า การตรวจวัดปริมาณของตัวแปรใดๆ ที่กล่าวมานี้ภายใต้สภาวะที่มีอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงตลอดเวลา มักจะมีผลทำให้เกิดความผิดพลาดในการวัดและควบคุมปริมาณของตัวแปรนั้นๆ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการตรวจวัดเพื่อควบคุมอุณหภูมิให้คงที่อยู่เสมอในระหว่างการทำงาน อุปกรณ์ที่ใช้สำหรับการตรวจวัดอุณหภูมินั้นมีอยู่มากมายหลายชนิด ขึ้นอยู่กับย่านของอุณหภูมิที่ต้องการวัด ประเภทของตัวกลางที่ต้องการวัดอุณหภูมิ และลักษณะการติดตั้งตัวอุปกรณ์วัด

โดยการตรวจวัดอุณหภูมิในโรงงานนี้ จะใช้คุณสมบัติการเปลี่ยนแปลงทางไฟฟ้า โดยค่าความต้านทานของอาร์ทีดี จะเปลี่ยนแปลงไปตามการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิที่จะตรวจวัดในการวัดอุณหภูมิ

#### 3.3.1 อาร์ทีดี (Resistance Temperature Detector , RTD)

หลักการของ อาร์ทีดีคือ ความต้านทานไฟฟ้าในเส้นลวด โลหะจะเปลี่ยนค่าไปตามสมการ

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

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

$R_0$  คือ ค่าความต้านทานของลวดโลหะ ที่อุณหภูมิ  $0^\circ\text{C}$

$\alpha$  คือ สัมประสิทธิ์ของการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานไฟฟ้า ต่ออุณหภูมิ  $1^\circ\text{C}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

ซึ่งค่า  $\alpha$  มีค่าเปลี่ยนแปลงไปตามชนิดของโลหะ เช่น แพลทินัม  $0.00392 \Omega/\Omega/^{\circ}\text{C}$  จากย่านอุณหภูมิ  $0^{\circ}\text{C}$  ถึง  $100^{\circ}\text{C}$  นิกเกิล  $0.0063 \Omega/\Omega/^{\circ}\text{C}$  ทองแดง  $0.00425 \Omega/\Omega/^{\circ}\text{C}$  ในทางปฏิบัติค่า  $\alpha$  ของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิแต่ละช่วง จะไม่แปรผันเป็นเส้นตรง (Non-linearity) ในห้องปฏิบัติการมาตรฐานที่ต้องการค่าแน่นอน สามารถทำได้โดยการใช้สมการต่อไปนี้

$$R_T = R_0 (1 + \alpha T + \beta T^2 + \gamma T^3)$$

ค่า  $\alpha$ ,  $\beta$  และ  $\gamma$  ได้จากการทดลอง (Empirical Quantity) ซึ่งบริษัทผู้ผลิตเป็นผู้กำหนดมา เช่น แพลทินัม

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

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

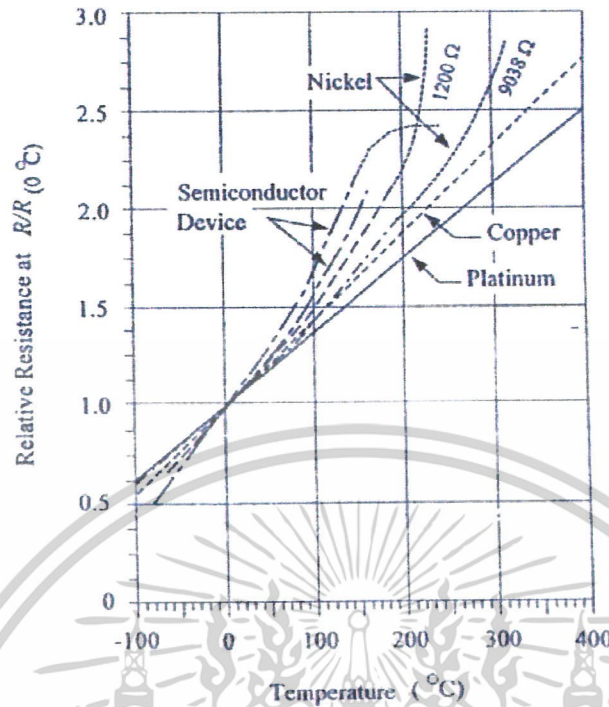
$$\gamma = 4.330 \times 10^{-10}$$

สูตรนี้สามารถใช้ได้ทั้งงานการใช้งานที่ต้องการ Accuracy สูง แต่โดยทั่วไป การคำนวณจะใช้สูตร

$$R_t = R_0(1 + \alpha T)$$

กลุ่มกำหนดมาตรฐาน IEC (IEC Standard Groups) ได้กำหนด Calibration Curve ของตัวอาร์ทีดี แบบแพลทินัมใหม่ และเป็นที่ยอมรับของสมาคมอื่น ช่วงอุณหภูมิต่ำกว่า  $400^{\circ}\text{C}$  ค่าความผิดพลาดไม่เกิน  $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$  และในช่วงอุณหภูมิ  $400^{\circ}\text{C}$  ถึง  $600^{\circ}\text{C}$  ค่าผิดพลาดไม่เกิน  $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$  กราฟในภาพที่ 3.5 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่าของอาร์ทีดีที่ทำจากโลหะชนิดต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.15 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่าของอาร์ทีดีที่ทำจากโลหะชนิดต่าง ๆ

แกนในแนวตั้งจะบอกค่าความต้านทานที่อุณหภูมิ  $T(R)$  จะมีค่าเป็นกี่เท่าของความต้านทานที่  $0^\circ\text{C}$  ซึ่งอาจเปลี่ยนแปลงได้ถึง 5 เท่า หรือมากกว่าอาร์ทีดีแบบเพลทินัมเป็นที่ใช้กันมากที่สุดในงานอุตสาหกรรม มีค่ามาตรฐาน 100 โอห์ม ที่  $0^\circ\text{C}$  และเป็นแบบมาตรฐานที่ใช้ในห้องปฏิบัติการทั่วไปหรือเรียกว่า Standard Platinum-Thermometer (SPRTs) ในช่วงอุณหภูมิสูงถึง  $600^\circ\text{C}$  ควรใช้อาร์ทีดีเพลทินัมแบบ 10 โอห์ม เพราะจะให้เสถียรภาพดีกว่าแบบ 100 โอห์ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### รายละเอียดในการสร้างและประกอบปฏิญญาพันธ

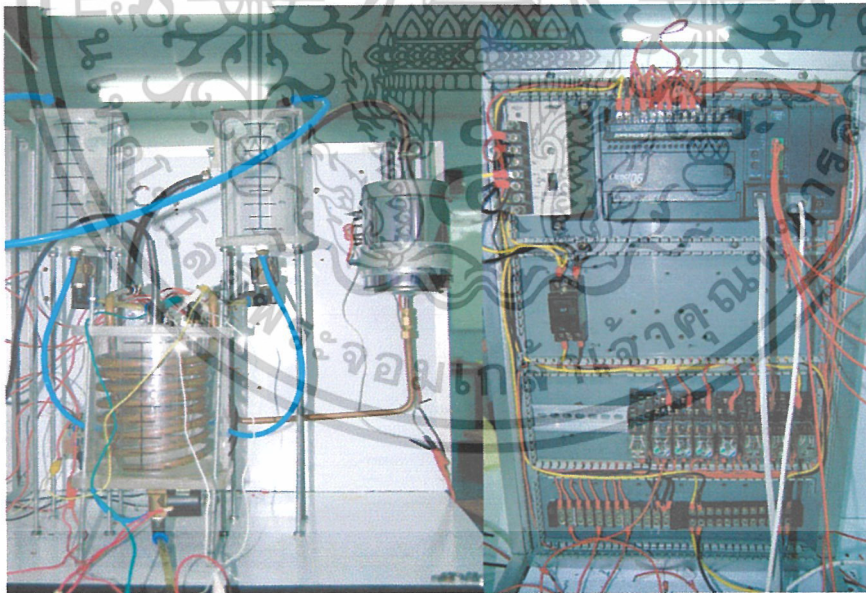
ในปฏิญญาพันธนี้แบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ

#### 1. ส่วนของฮาร์ดแวร์ (Hardware) ได้แก่

- 1 วงจรของตัว Pressure Sensor
- 2 วงจรขยายสัญญาณในการวัดทางอุตสาหกรรม (Instrument Amplifier)
- 3 วงจรแปลงสัญญาณแรงดันไฟฟ้าเป็นกระแสไฟฟ้า (V to I Converter Circuit)
- 4 วงจรควบคุมมอเตอร์ 12 โวลต์
- 5 เครื่องควบคุมอุณหภูมิ (Temperature Controller)
- 6 ส่วนของแพลนท์ (Plant) กระบวนการ
- 7 ส่วนของวงจรไฟฟ้า

#### 2. ส่วนของซอฟต์แวร์ (Software)

- 1 โปรแกรม PLC
- 2 โปรแกรมหน้าจอ SCADA (Genesis32)



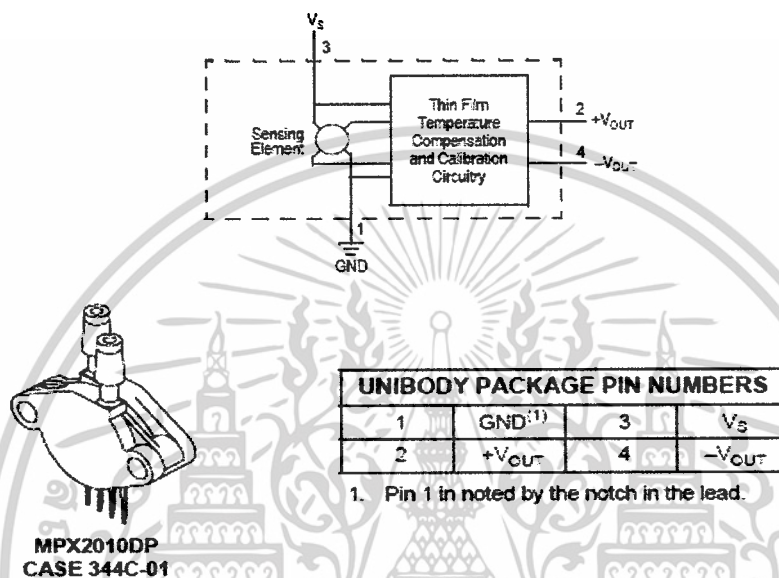
ภาพที่ 4.1 แสดงแบบจำลองกระบวนการที่ใช้จริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

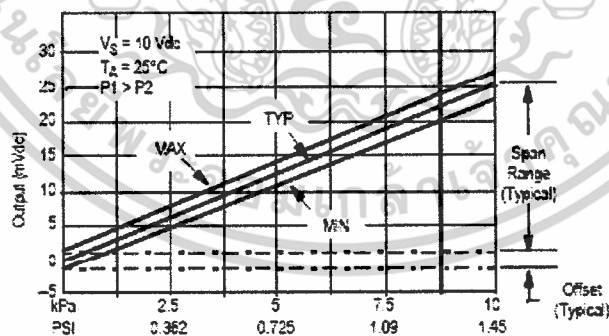
## 4.1 ส่วนของฮาร์ดแวร์ (Hardware)

### 4.1.1 Pressure Sensor (Differential Pressure Transmitter)

สำหรับปริมาณที่วัดได้ใช้ Pressure Sensor เบอร์ MPX2010DP ซึ่งมีย่านวัดความดัน 0 - 10 kPa และให้เอาต์พุตอยู่ในย่าน 0 - 25 mV เป็นอุปกรณ์วัดความดันที่มีวงจรดังแสดงในภาพที่ 4.2



ภาพที่ 4.2 แสดงตัวอุปกรณ์วงจรภายในและตำแหน่งขาของ Pressure Sensor



ภาพที่ 4.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างเอาต์พุตและความดันแตกต่าง

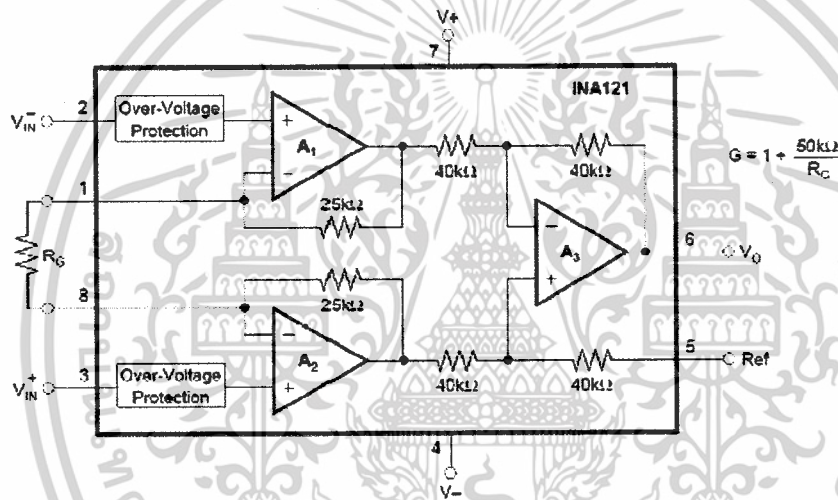
โดยหลักการทำงาน คือ เมื่อมีการจ่าย V<sub>S</sub> ให้แก่ตัวอุปกรณ์ และจ่ายความดันให้กับตัวอุปกรณ์ซึ่งวัดได้เป็นความดันแตกต่าง โดยเทียบกับความดันบรรยากาศ จะได้ค่าแรงดันไฟฟ้าที่เอาต์พุตออกมาเป็นค่าแรงดันไฟฟ้าที่เป็น mV ซึ่งจะต้องนำมาขยายแรงดันไฟฟ้าอีกที โดยการเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ป้อนเข้าวงจรมหาสัญญาณในการวัดทางอุตสาหกรรม (Instrument Amplifier) เพื่อที่จะทำการขยายแรงดัน แล้วจากนั้นนำค่าแรงดันไฟฟ้าที่ได้ไปแปลงเป็นกระแส 4- 20 mA เพื่อที่จะจ่ายค่าที่รับได้จากแพลนท์ (Plant) ในรูปของกระแสให้กับ PLC เพื่อใช้ในการควบคุมกระบวนการ

#### 4.1.2 วงจรมหาสัญญาณในการวัดทางอุตสาหกรรม (Instrument Amplifier)

วงจรมหาสัญญาณในการวัดทางอุตสาหกรรม คือ วงจรออปแอมป์ที่ใช้ในการขยายสัญญาณที่ได้จากการวัดซึ่งใช้ในงานอุตสาหกรรมต่างๆ ไป

ในปริยญาณิพนธ์นี้ได้ใช้ Instrumentation Amplifier เบอร์ INA121P ของ Burr-Brown ซึ่ง เป็นแบบ FET – Input ภายในประกอบไปด้วยวงจรดังนี้



ภาพที่ 4.4 แสดงสถาปัตยกรรมภายในของไอซีเบอร์ INA121P

โดยมีคุณสมบัติ ดังนี้

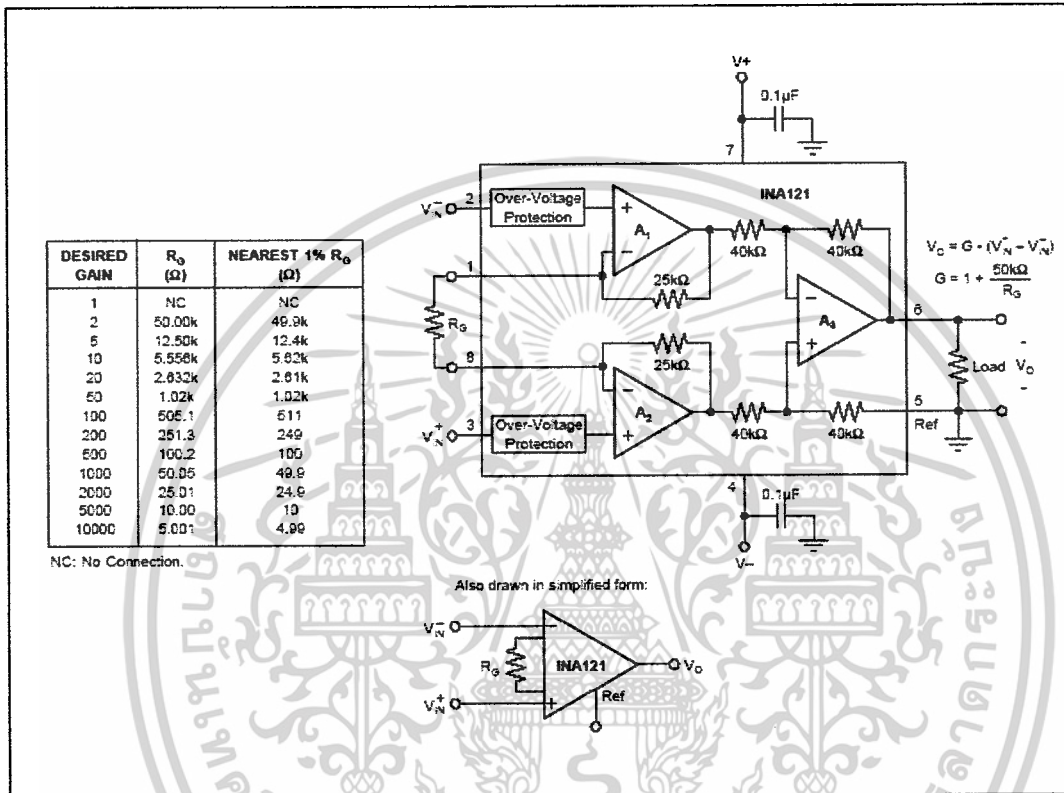
- Bias current ต่ำ อยู่ที่  $\pm 4$  pA
- Quiescent current ต่ำ อยู่ที่  $\pm 450$   $\mu$ A
- Input offset voltage ต่ำ อยู่ที่  $\pm 200$   $\mu$ V
- Input noise ต่ำ
- ค่า CMR สูง อยู่ที่ 106 dB
- รับค่า Supply ได้ตั้งแต่  $\pm 2.25$  V ถึง  $\pm 18$  V
- ค่าความผิดพลาดในการไม่เป็นเชิงเส้นต่ำ ซึ่งสูงสุดอยู่ที่ 0.001%
- มี Input protection ได้ถึง  $\pm 40$  V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำลังขยาย (G) สามารถกำหนดได้จากค่า  $R_G$  โดยคำนวณจาก

$$G = 1 + \frac{50k\Omega}{R_G}$$

เช่น ค่า  $R_G = 50 \Omega$  จะได้กำลังขยาย 1000 เท่า

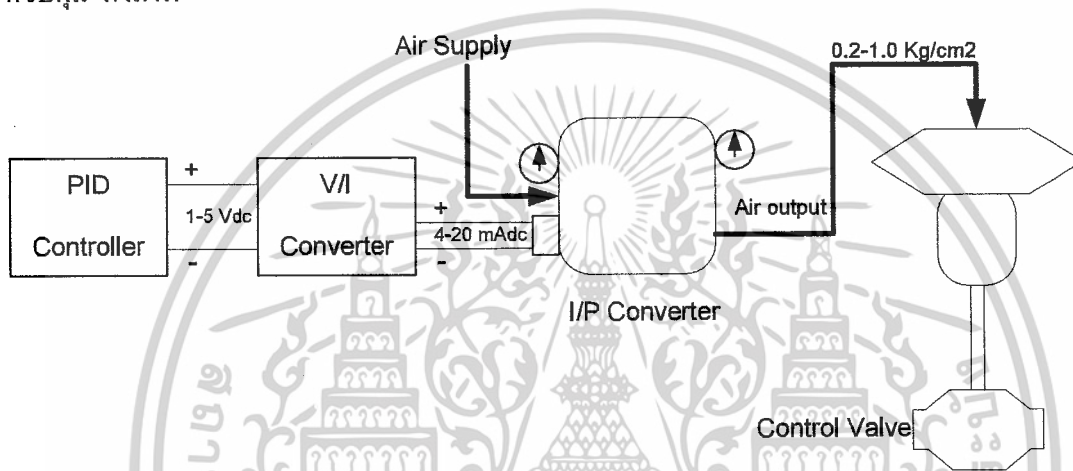


ภาพที่ 4.5 แสดงการต่อวงจรและค่าอัตราขยาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

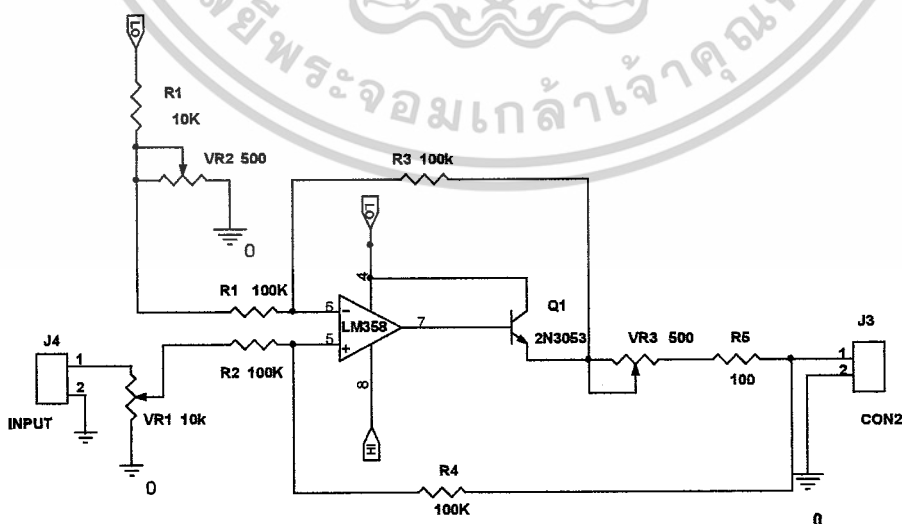
#### 4.1.3 วงจรแปลงสัญญาณแรงดันไฟฟ้าเป็นกระแสไฟฟ้า (V to I Converter Circuit)

เป็นวงจรที่สำคัญวงจรหนึ่งที่ใช้ในระบบควบคุมกระบวนการทางอุตสาหกรรม ทั้งนี้เนื่องจากบางครั้งอุปกรณ์ตัวส่งสัญญาณในระบบให้สัญญาณเอาต์พุตเป็นแรงดันไฟฟ้า แต่จำเป็นต้องส่งไปเป็นระยะทางไกลจึงต้องส่งเป็นกระแสไฟฟ้า หรืออุปกรณ์ตัวรับต้องการอินพุตเป็นกระแสไฟฟ้า ตัวอย่างเช่น การต่อตัวควบคุมพีไอดี (PID Controller) ที่มีสัญญาณเอาต์พุตเป็นแรงดันไฟฟ้ามาตรฐาน 1-5 Vdc กับตัวแปลงสัญญาณกระแสไฟฟ้า (Current-to-Pneumatic Converter ,I/P Converter) 4-20 mAdc เป็นสัญญาณลม 0.2 -1.0 Kg/cm<sup>2</sup> เพื่อนำสัญญาณลมไปควบคุมวาล์วควบคุม ดังภาพ



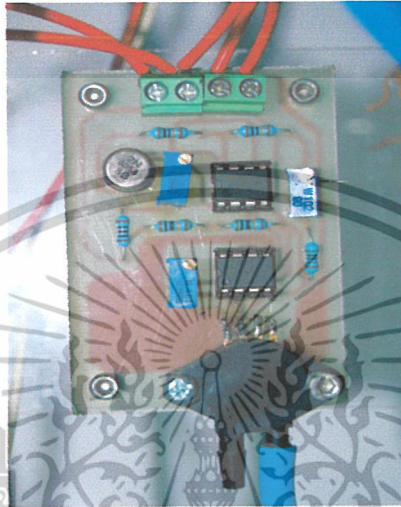
ภาพที่ 4.6 แสดงความจำเป็นของการแปลงสัญญาณแรงดันไฟฟ้าเป็นกระแสไฟฟ้า

วงจรแปลงแรงดันไฟฟ้าเป็นกระแสไฟฟ้าที่ใช้ในปริยญาณิพนธ์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

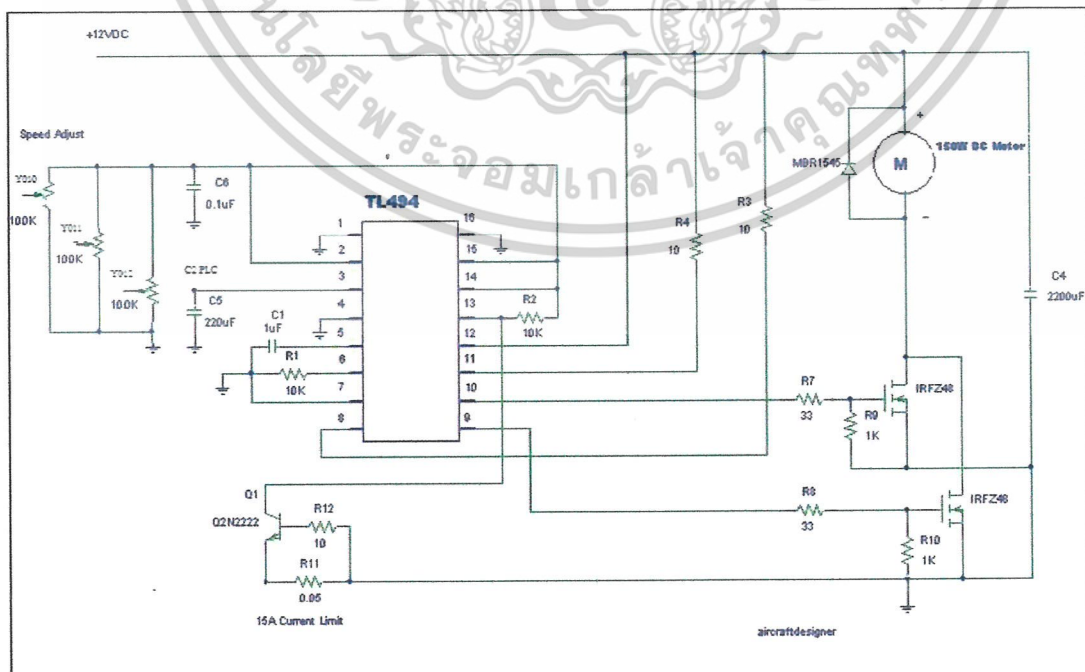
จากวงจรของตัว Pressure Sensor วงจรขยายสัญญาณในการวัดทางอุตสาหกรรม (Instrument Amplifier) และวงจรแปลงแรงดันไฟฟ้าเป็นกระแสไฟฟ้า เมื่อเราทำการต่อวงจรเรียบร้อยแล้ว จะต้องทำการปรับ Zero และ Span ให้ได้ความดัน (ความสูงของน้ำ) ที่ต้องการตามที่ต้องการตามที่ได้ ออกแบบไว้



ภาพที่ 4.7 แสดงการต่อใช้งานจริง

#### 4.1.4 วงจรควบคุมมอเตอร์ 12 โวลต์

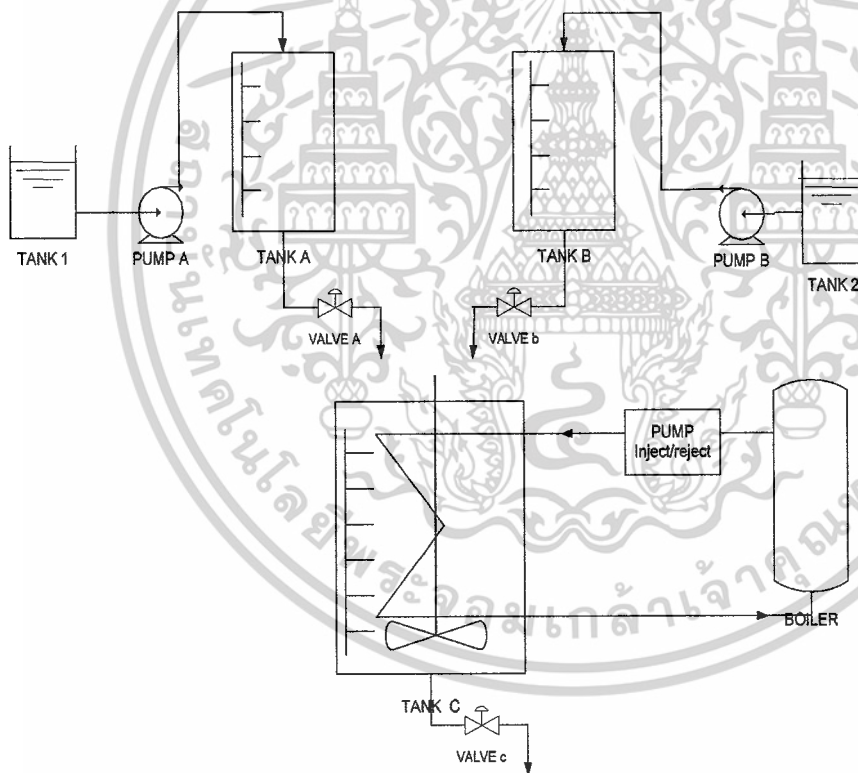
วงจรที่ใช้ในการควบคุมความเร็วมอเตอร์ 12 โวลต์โดยใช้ไอซี TL494 คือ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.1.6 แพล้นท์กระบวนการ (Plant Process)

ทำการจำลองกระบวนการผสมของเหลว 2 ชนิด โดยเมื่อเราสั่งให้ปั๊ม A และปั๊ม B ทำงาน (โดยการสั่งการทำงานนี้ทำได้จากหน้าจอคอมพิวเตอร์โดยใช้ซอฟต์แวร์ SCADA Genesis32) ของเหลวจะไหลเข้าสู่ถัง A และถัง B ตามลำดับ โดยในสองถังนี้จะเป็นที่พักของเหลวก่อนทำการผสมและทำการตรวจปริมาตรของเหลวโดยการวัดระดับน้ำ และเมื่อสั่งให้วาล์ว A หรือวาล์ว B ทำงาน ของเหลวก็จะไหลเข้าสู่ถัง C โดยในถัง C นี้จะมีท่อขดลวดทองแดง ซึ่งทำหน้าที่เป็น Heat Exchanger ทำการนำน้ำร้อนจากตัว Boiler ผ่านถังนี้ ทำให้อุณหภูมิของน้ำภายในถังมีการเปลี่ยนแปลง และจะมีที่กวนสารเพื่อให้ความร้อนกระจายไปทั่วถัง และจะทำการวัดอุณหภูมิ โดยค่าของอุณหภูมิที่วัดได้จะทำการเก็บค่าทางสถิติ เพื่อทำการเฝ้าติดตามกระบวนการโดยใช้แผนภูมิควบคุม

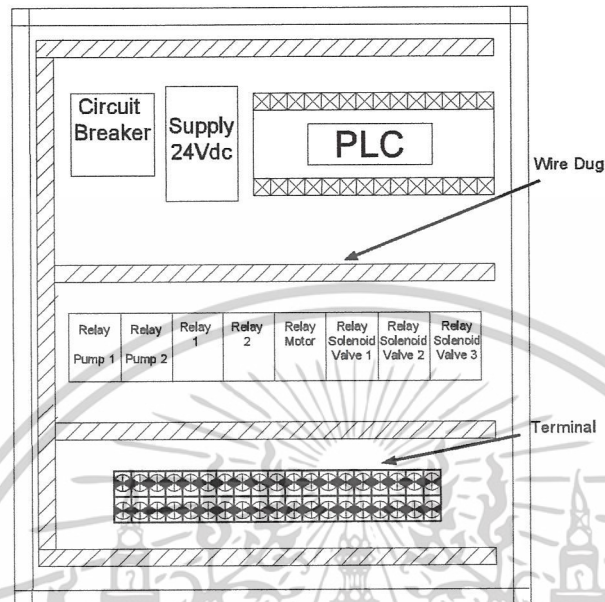


ภาพที่ 4.8 ออกแบบแบบจำลองกระบวนการเบื้องต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

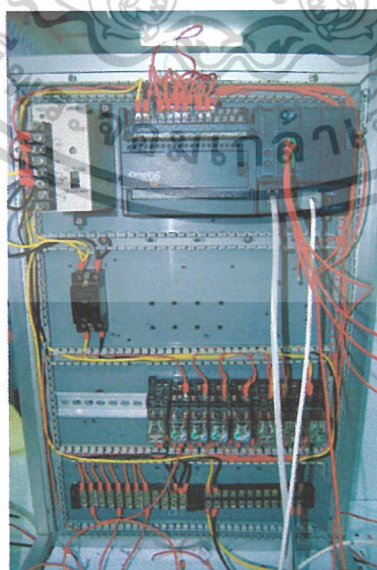
#### 4.1.7 วงจรไฟฟ้า

ทำการออกแบบการติดตั้งและการเดินสาย ดังนี้



ซึ่งประกอบไปด้วย

- PLC KOYO D 06
- Temperature Controller
- Circuit Breaker
- Relay
- Terminal
- Auto Switch / MAN Switch



ภาพที่ 4.9 แสดงการติดตั้งใช้งานจริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## การทำงานของรีเลย์



ภาพที่ 4.10 รีเลย์

รีเลย์คือ อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ที่ทำหน้าที่ตัด – ต่ วงจรคล้ายกับสวิตช์ โดยใช้หลักการ หน้าสัมผัส และการที่จะให้มันทำงานก็ต้องจ่ายไฟให้มันตามที่กำหนด เพราะเมื่อจ่ายไฟให้กับตัวรีเลย์ มันจะทำให้หน้าสัมผัสติดกันกลายเป็นวงจรปิด และตรงข้ามทันทีที่ไม่ได้จ่ายไฟให้มันมันก็จะกลายเป็นวงจรเปิด

รีเลย์เป็นสวิตช์ควบคุมที่ทำงานด้วยไฟฟ้า แบ่งออกตามลักษณะการใช้งาน ได้เป็น 2 ประเภท คือ

1 รีเลย์ควบคุม (Control Relay) มีขนาดเล็กกำลังไฟฟ้าน้อย ใช้ในวงจรควบคุมทั่วไปที่มีกำลังไฟฟ้าน้อยมาก หรือเพื่อการควบคุมรีเลย์ หรือคอนแทกเตอร์ขนาดใหญ่ รีเลย์ควบคุมบางที่เรียกกันง่าย ๆ ว่า "รีเลย์"

2 รีเลย์กำลัง (Power Relay) หรือมักเรียกกันว่าคอนแทกเตอร์ (Contactor or Magnetic Contactor) ใช้ในการควบคุมไฟฟ้ากำลัง มีขนาดใหญ่กว่ารีเลย์ธรรมดา

## 4.2 ส่วนของซอฟต์แวร์ (Software)

4.2.1 โปรแกรมของ PLC จะเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ควบคุมการทำงานของกระบวนการโดยตรง PLC สามารถเขียน โปรแกรมได้ง่าย และสะดวกในการนำไปใช้งานเพื่อควบคุมกระบวนการ

การออกแบบจะต้องทำการกำหนด I/O และหน่วยความจำว่าจะใช้งานอย่างไรซึ่งขึ้นอยู่กับ การออกแบบ และลักษณะการนำไปใช้งาน ในปริิณญาณิพนธ์นี้จะใช้ PLC ของ KOYO DL06 โดยทำการกำหนดการแบ่ง I/O และหน่วยความจำดังนี้

#### ตารางที่ 4.1 แสดง I/O Assignment ของ PLC

##### PLC I/O Assignment

ตำแหน่งหน่วยความจำ อินพุต- เอาท์พุท	รายการอุปกรณ์และการใช้ งาน	หมายเหตุ
Y0	Pump 1	สูบของเหลวไปใน TankA
Y1	Pump 2	สูบของเหลวไปใน TankB
Y3	Boiler Pump	สูบของเหลวออกจากหม้อต้ม
Y4	Stirrer	ใบพัดกวนทำงาน
Y5	Solenoid Valve A	ปล่อยของเหลวใน TankA
Y2	Solenoid Valve B	ปล่อยของเหลวใน TankB
Y7	Solenoid Valve C	ปล่อยของเหลวใน TankC
Y10	Speed 1	ใบพัดหมุนที่ความเร็วที่ 1
Y11	Speed 2	ใบพัดหมุนที่ความเร็วที่ 2
Y12	Speed 3	ใบพัดหมุนที่ความเร็วที่ 3
V4000	หน่วยความจำอินพุต	รับค่า PV จาก Controller
V4012	หน่วยความจำเอาท์พุท	เขียนค่า SV เข้า Controller
C0-C1777	Control Relay	
V2000	เก็บข้อมูลจาก Analog CH1	ข้อมูลก่อนทำสเกล
V2001	เก็บข้อมูลจาก Analog CH2	ข้อมูลก่อนทำสเกล
V2002	เก็บข้อมูลจาก Analog CH3	ข้อมูลก่อนทำสเกล
V2010	เก็บข้อมูลจาก Analog CH1	ข้อมูลหลังทำสเกล
V2011	เก็บข้อมูลจาก Analog CH2	ข้อมูลหลังทำสเกล
V2012	เก็บข้อมูลจาก Analog CH3	ข้อมูลหลังทำสเกล
V3010-V3011	เก็บค่า Limit Level Tank1	รับข้อมูลจาก Genesis32
V3012-V3013	เก็บค่า Limit Level Tank2	รับข้อมูลจาก Genesis32

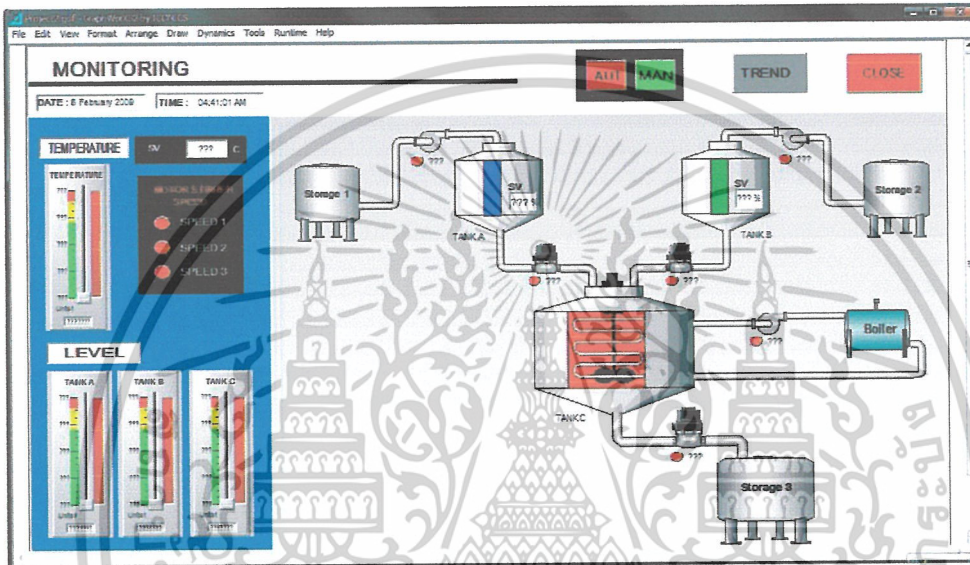
#### 4.2.2 โปรแกรมหน้าจอ Genesis32

โปรแกรมแสดงผล Genesis32 (Demo Mode Runtime) เป็นส่วนที่ใช้ในการติดต่อโดยตรงกับผู้ใช้หรือผู้ควบคุม โดย Genesis32 จะมีการติดต่อสื่อสารกันกับ PLC โดยอาศัย OPC Server ซึ่งเป็นเซิร์ฟเวอร์ในการจัดการสร้างโปรโตคอลเพื่อใช้ในการสื่อสารระหว่างโปรแกรม Genesis32 กับ PLC รุ่น KOYO DirectLogic06 หรือ DL06 ซึ่งใช้ในการทำปริญญานิพนธ์ครั้งนี้

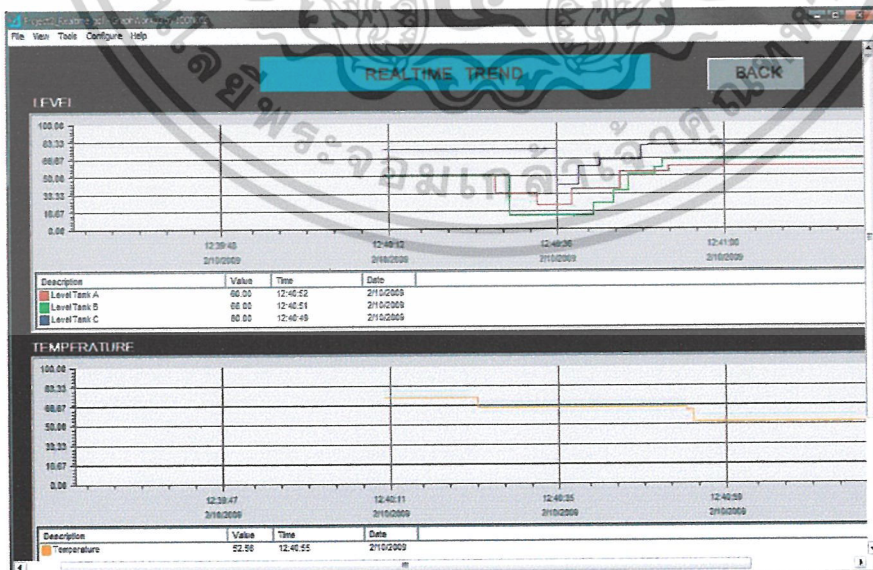
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนประกอบของโปรแกรมที่ได้ทำการสร้างกราฟิก มีดังนี้

- กราฟิกแสดงกระบวนการทำงานของระบบ (Process & Control Monitoring) โดยใช้ GraphWorX32
- กราฟิกแสดงแผนภูมิเส้น ซึ่งอ้างอิงถึงระดับของเหลว และอุณหภูมิในกระบวนการ โดยใช้ TrendWorX32
- กราฟิกแสดงสัญญาณเตือนเมื่อระดับของเหลวเกินกำหนด โดยใช้ AlarmWorX32



ภาพที่ 4.11 แสดงการออกแบบหน้าจอของกระบวนการ



ภาพที่ 4.12 แสดงการออกแบบ Real – Time monitoring

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Time / Date	Description	Tag	Value	Priority	Type	Quality	Comment	Event Time
12:53:45 2/10/2009	Level Tank B High	tag2	99	500	HI	Good - Non-Specific		12:53:45 2/10/2009
12:53:49 2/10/2009	Wrote new value (95) to ICONICS Simulator 1(SI)	GWXGauge		600				12:53:49 2/10/2009
12:53:47 2/10/2009	Wrote new value (82) to ICONICS Simulator 1(SI)	GWXGauge		600				12:53:47 2/10/2009
12:53:44 2/10/2009	Wrote new value (82) to ICONICS Simulator 1(SI)	GWXGauge		600				12:53:44 2/10/2009
12:53:43 2/10/2009	Wrote new value (55) to ICONICS Simulator 1(SI)	GWXGauge		600				12:53:43 2/10/2009
12:53:42 2/10/2009	Wrote new value (32) to ICONICS Simulator 1(SI)	GWXGauge		600				12:53:42 2/10/2009
12:52:38 2/10/2009	Temperature High	Temperature	34.4099	500	HI	Good - Non-Specific		12:52:38 2/10/2009
12:52:34 2/10/2009	Limit is Normal	tan1	75	500	HI	Good - Non-Specific		12:52:36 2/10/2009

ภาพที่ 4.13 แสดงสัญญาณเตือนเมื่อระดับสัญญาณเกินค่าที่กำหนด

#### 4.2.3 โปรแกรม Microsoft Excel แสดงตารางการสุ่มตัวอย่างและแผนภูมิควบคุม

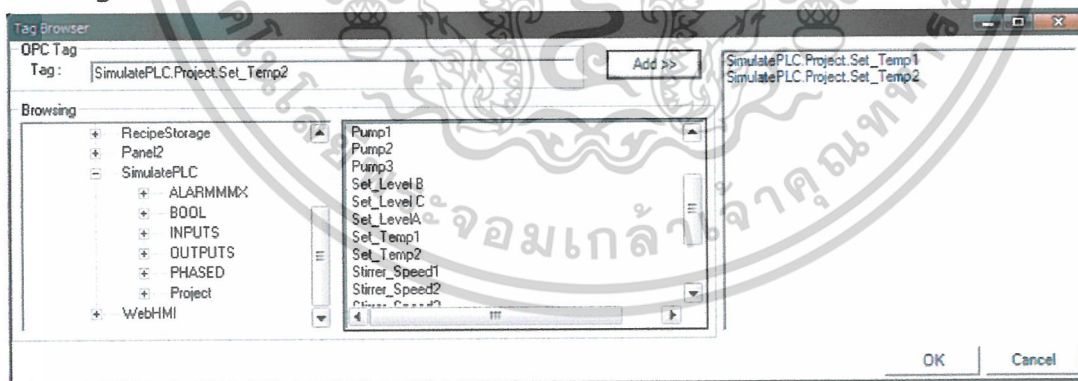
เนื่องจากซอฟต์แวร์สกาต้าที่ใช้เป็นแบบ FREE DEMO RUNTIME จึงทำให้ไม่สามารถใช้เครื่องมือที่มีอยู่ในซอฟต์แวร์ได้ทั้งหมด รวมถึงฟังก์ชันที่สามารถสร้างเครื่องมือวิเคราะห์ทางสถิติ (SPC) ด้วยเหตุนี้จึงทำการใช้เครื่องมือที่เรียกว่า Trend Logger ทำการเก็บค่าทางสถิติและนำค่าที่ได้มาสร้างแผนภูมิควบคุมในโปรแกรม Microsoft Excel

##### คุณสมบัติเด่นของ Trend Logger

Trend Logger เป็นแอปพลิเคชัน เพื่อการเก็บข้อมูลจากอุปกรณ์ควบคุมเช่น PLC, DCS, Remote I/O, Power Meter ไว้ในฐานข้อมูล ได้แก่ MSDE, MS SQL Server 2000, MS SQL Server 2005 Express โดยมีจุดเด่นนอกจากการเก็บข้อมูลแล้ว ก็คือ

1. เป็นเครื่องมือในการสร้างฐานข้อมูลบน MS SQL Server
2. เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการติดต่อ OPC Server ที่ทำให้สามารถเลือก OPC Server และ

OPC Tag ได้สะดวก



ภาพที่ 4.14 แสดงหน้าต่างในการเลือก OPC Tag

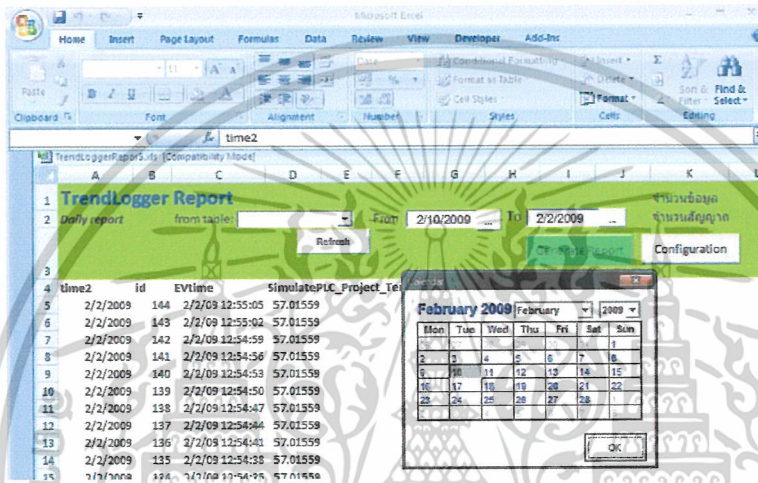
3. สามารถสร้างตารางข้อมูลเพื่อเก็บข้อมูลอัตโนมัติ โดยที่ผู้ใช้งานไม่ต้องสร้างตารางข้อมูลขึ้นมาเอง โปรแกรมจะสร้างข้อมูลให้ และเมื่อข้อมูลมีจำนวนมากจนถึงระดับหนึ่ง โปรแกรมจะทำการสร้างตารางข้อมูลใหม่โดยอัตโนมัติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

iData	dbo	2009-01-30 16:46:29
iData1	dbo	2009-01-30 16:47:32
iData2	dbo	2009-01-30 17:00:37

ภาพที่ 4.15 แสดงตารางที่ใช้เก็บข้อมูลอัตโนมัติ

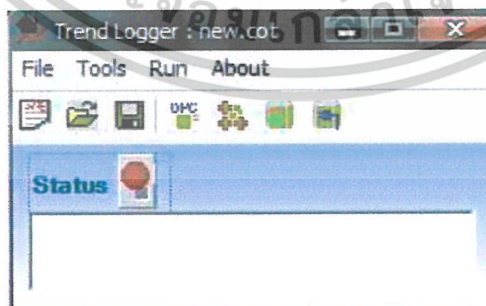
4. สามารถแสดงรายงานแบบข้อมูล MS Excel และชาร์ต ทำให้ผู้ใช้สามารถเลือกข้อมูล สัญญาณ และช่วงเวลาที่ต้องการนำข้อมูลออกมาแสดงเพื่อทำรายงาน หรือนำข้อมูลไปคำนวณด้วย สูตร Excel ตามต้องการได้



ภาพที่ 4.16 หน้าต่าง โปรแกรม Excel ของ Trend Logger

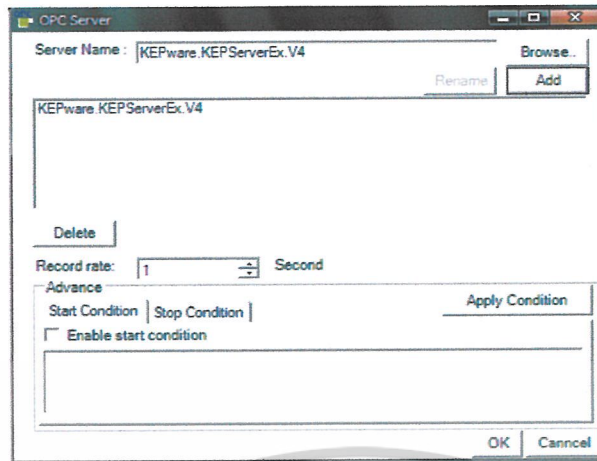
ขั้นตอนการทำงาน

- เข้าไปที่ Trend Logger ทำการกำหนดค่าสัญญาณ OPC tag ที่ต้องการนำมาแสดงค่า และทำการสร้างไฟล์ฐานข้อมูล

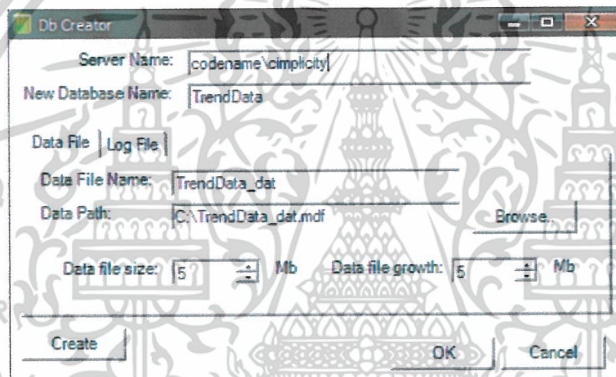


ภาพที่ 4.17 แสดงหน้าต่างในการสร้างข้อมูลที่ Trend Logger

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

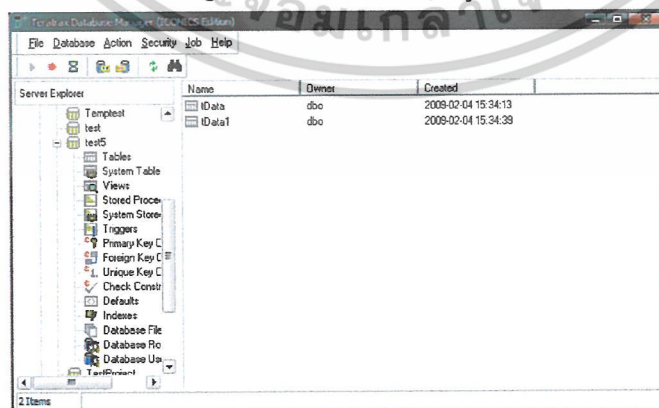


ภาพที่ 4.18 แสดงหน้าต่างในการเลือกสัญญาณ OPC Server



ภาพที่ 4.19 แสดงหน้าต่างในการสร้างไฟล์ฐานข้อมูล

- จากนั้นทำการติดต่อระหว่างเซิร์ฟเวอร์และฐานข้อมูล ฐานข้อมูลจะถูกเก็บในรูปแบบของตารางใน MSDE Database Manager ซึ่งเป็นเครื่องมือที่อยู่ใน ICONIC GENESIS32 TOOL



ภาพที่ 4.20 แสดงหน้าต่างของ MSDE Database Manager

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- เมื่อกระบวนการทำงาน ค่าของสัญญาณ OPC Tag ที่เรากำหนดไว้จะนำไปเก็บไว้ในตารางของไฟล์ฐานข้อมูลที่เราสร้างขึ้น
- จากนั้นทำการ IMPORT ข้อมูลเหล่านั้น ไปที่โปรแกรม Microsoft Excel

id	EVTime	SimulatePLC_Project_TempSensor
1	2/4/2009 16:17:56	34744
2	2/4/2009 16:17:56	34744
3	2/4/2009 16:17:56	34744
4	2/4/2009 16:17:56	34744
5	2/4/2009 16:17:56	34744
6	2/4/2009 16:17:56	34744
7	2/4/2009 16:17:56	34744
8	2/4/2009 16:17:56	34744
9	2/4/2009 16:17:56	34744
10	2/4/2009 16:17:56	34744
11	2/4/2009 16:17:56	34744
12	2/4/2009 16:17:56	34744
13	2/4/2009 16:17:56	34744
14	2/4/2009 16:18:56	34744
15	2/4/2009 16:18:56	34744
16	2/4/2009 16:18:56	34744
17	2/4/2009 16:18:56	34744
18	2/4/2009 16:18:56	34744
19	2/4/2009 16:18:56	34744
20	2/4/2009 16:18:56	34744
21	2/4/2009 16:18:56	34744

ภาพที่ 4.21 แสดงหน้าต่างโปรแกรม Excel

- นำค่าสัญญาณที่ได้ ไปคำนวณตามสูตรทางสถิติ และนำไปสร้างแผนภูมิข้อมูล

Sample Number	Range	x.bar	UCL	CL	LCL	Status
1	0.00101	56.34691	56.60387	56.60387	56.60387	0
2	0.20256	56.40976	56.60387	56.60387	56.60387	0
3	0.09456	56.36704	56.60387	56.60387	56.60387	0
4	0.00198	56.34766	56.60387	56.60387	56.60387	0
5	0.00153	56.34775	56.60387	56.60387	56.60387	0
6	0.00562	56.34624	56.60387	56.60387	56.60387	0
7	0.2	56.31047	56.60387	56.60387	56.60387	0
8	5.54566	57.04989	56.60387	56.60387	56.60387	0
9	3.29521	56.10245	56.60387	56.60387	56.60387	0
10	2.24053	55.90423	56.60387	56.60387	56.60387	0
11	0.57238	56.29176	56.60387	56.60387	56.60387	0
12	0.25414	56.96259	56.60387	56.60387	56.60387	0
13	0.24	56.83491	56.60387	56.60387	56.60387	0
14	0.20024	56.95487	56.60387	56.60387	56.60387	0
15	0.2998	57.08979	56.60387	56.60387	56.60387	0
16	0.10467	56.82717	56.60387	56.60387	56.60387	0
17	10.22717	58.71092	56.60387	56.60387	56.60387	0
18	0.78619	56.70156	56.60387	56.60387	56.60387	0
19	0.51231	56.28508	56.60387	56.60387	56.60387	0
20	0.12	56.38813	56.60387	56.60387	56.60387	0

status :  
 -1 = xbar < LCL  
 0 = LCL < xbar <= UCL  
 1 = xbar > UCL

Clear Data

Create Chart

ภาพที่ 4.22 แสดงหน้าต่างตารางการคำนวณในโปรแกรม Excel

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

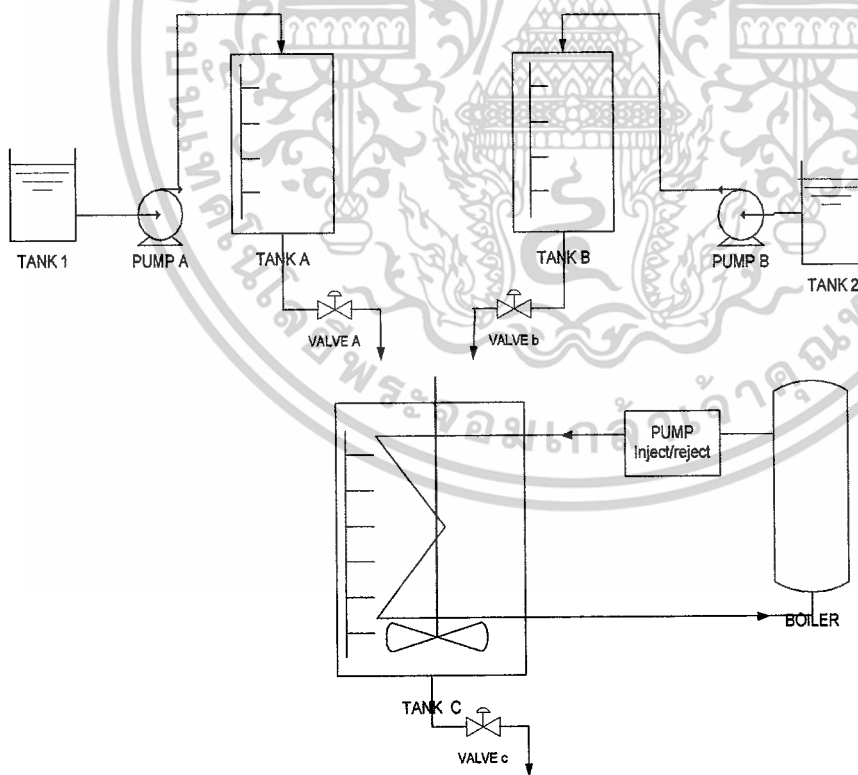
### ผลการทดลองการควบคุมเชิงสถิติ

#### 5.1 จุดประสงค์ในการทดลอง

- สามารถสั่งงานกระบวนการผ่านทางหน้าจocomพิวเตอร์ได้
- เพื่อทดสอบว่าเมื่อระบบอยู่ในสถานะคงตัว การควบคุมเชิงสถิติ (SPC) สามารถตรวจจับความผิดพลาดอันเกิดจากสาเหตุที่ผิดปกติได้จริง

#### 5.2 การทดลองและสอบเทียบ Differential Pressure Transmitter

ในปริญญานิพนธ์นี้จะใช้ Differential Pressure Transmitter เป็นตัววัดระดับของเหลวในที่กระบวนการที่จะควบคุมซึ่งจะทำการแปลงระดับของของเหลวเป็นสัญญาณไฟฟ้า 4-20 mA. เพื่อส่งสัญญาณอินพุตของ Analog Card ของ PLC ดังนั้นจึงจะต้องสอบเทียบ Differential Pressure Transmitter ก่อนที่จะนำไปใช้งานจริง



ภาพที่ 5.1 แบบจำลองกระบวนการผลิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำการจำลองกระบวนการผสมของเหลว 2 ชนิด โดยเมื่อเราสั่งให้ปั๊ม A และปั๊ม B ทำงาน (โดยการสั่งการทำงานนี้ทำได้จากหน้าจอคอมพิวเตอร์โดยใช้ซอฟต์แวร์ SCADA Genesis32) ของเหลวจะไหลเข้าสู่ถัง A และถัง B ตามลำดับ โดยในสองถังนี้จะเป็นที่พักของเหลวก่อนทำการผสมและทำการตรวจปริมาตรของเหลวโดยการวัดระดับน้ำ และเมื่อสั่งให้วาล์ว A หรือวาล์ว B ทำงาน ของเหลวก็จะไหลเข้าสู่ถัง C โดยในถัง C นี้จะมีท่อขดลวดทองแดง ซึ่งทำหน้าที่เป็น Heat Exchanger ทำการผ่านน้ำร้อนจากตัว Boiler ผ่านถังนี้ ทำให้อุณหภูมิของน้ำภายในถังมีการเปลี่ยนแปลง และจะมีที่กวนสารเพื่อให้ความร้อนกระจายไปทั่วถัง และจะทำการวัดอุณหภูมิ โดยค่าของอุณหภูมิที่วัดได้จะทำการเก็บค่าทางสถิติ เพื่อทำการเฝ้าติดตามกระบวนการ โดยใช้แผนภูมิควบคุม

### ขั้นตอนการทดลอง

ขั้นตอนการสอบเทียบเริ่มจัดแบ่งสเกลของระดับของเหลวเป็น 0%, 25%, 50%, 75%, 100% แล้วปล่อยของเหลวจนถึงระดับที่ค่าสเกลต่าง ๆ ซึ่งค่าที่ได้จะไม่ถูกต้องจึงทำการปรับ Zero และ Span จนกว่าจะได้ค่าใกล้เคียงกับทฤษฎีมากที่สุด โดยทำตามขั้นตอนดังนี้

1. ทำการปรับค่า Input โดยการเติมระดับน้ำไปใน Tank ให้ได้ระดับที่ 0 % แล้วดูที่ค่า Output คือ ค่าที่ออกมาจากวงจรที่ทำการทดลอง ซึ่งปกติแล้วจะต้องมีค่า 4 mA แต่ถ้าค่าที่ได้ไม่ถูกต้องก็ใช้ไขควงปรับที่ตำแหน่ง Zero adjustment ให้มีค่าเท่ากับค่า Standard Signal คือ 4 mA
2. ทำการปรับค่า Input โดยการเติมระดับน้ำไปใน Tank ให้ได้ระดับที่ 100 % แล้วดูที่ค่า Output คือ ค่าที่ออกมาจากวงจรที่ทำการทดลอง ซึ่งปกติแล้วจะต้องมีค่า 20 mA แต่ถ้าค่าที่ได้ไม่เท่ากับค่าที่อ่านได้นั้นเป็นค่า A1
3. นำค่า A1 ที่ได้มาแทนค่าในสูตรเพื่อหาค่ากระแสที่เราจะต้องทำการปรับเพื่อหาค่า A2

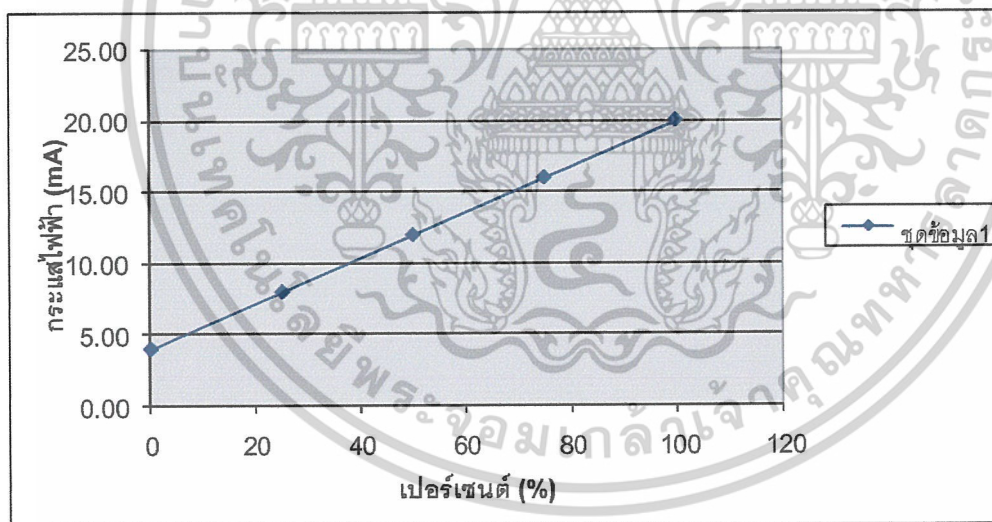
$$A2 = \{(Zero * Range) / (A1 - Zero)\} + (Span - Zero)$$

4. ทำการใช้ไขควงปรับที่ตำแหน่ง Span Adjustment ให้มีค่าเท่ากับ A2
5. ทำการใช้ไขควงปรับที่ตำแหน่ง Zero Adjustment ให้มีค่าที่ค่า 100% ของค่า Standard Signal คือ 20 mA
6. ให้ทำตามขั้นตอนที่ 1-5 ซ้ำจนได้ค่าตามค่า Standard Signal คือค่า 4 mA ถึง 20 mA เช่น จากการทดลองที่ Tank ที่ 2 เมื่อเราทำการปรับค่ามาที่ค่า 100% แล้วทำการอ่านค่าที่เอาท์พุท ได้ค่าเท่ากับ 16.52 mA แล้วเมื่อนำค่าที่ได้ไปเข้าสู่สูตรเพื่อหาค่า A2 จะได้ค่าเท่ากับ 21.112 mA แล้วเราก็นำค่า A2 มาทำการปรับค่า Span ให้ได้เท่ากับ 21.112 mA โดยการปรับที่ Span Adjustment และทำการปรับที่ Zero Adjustment ให้ได้ค่าเท่ากับ 20 mA แล้วทำตามขั้นตอนขั้นต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.1 ผลการทดลองของ Tank A

INPUT		OUTPUT				
%	mA	ก่อน	หลังจากการ Calibration			ค่าเฉลี่ย
		Calibration	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
0	4	2.85	4.02	3.99	4.01	4.01
25	8	7.84	8.03	8.01	7.98	8.01
50	12	12.83	12.02	11.98	12.01	12.00
75	16	17.82	16.04	16.01	16.02	16.02
100	20	22.84	20.01	20.03	20.02	20.02
75	16	17.68	16.04	15.98	16.03	16.02
50	12	12.69	11.99	12.05	11.98	12.01
25	8	7.80	8.01	8.03	8.01	8.02
0	4	2.82	3.99	4.01	4.02	4.01

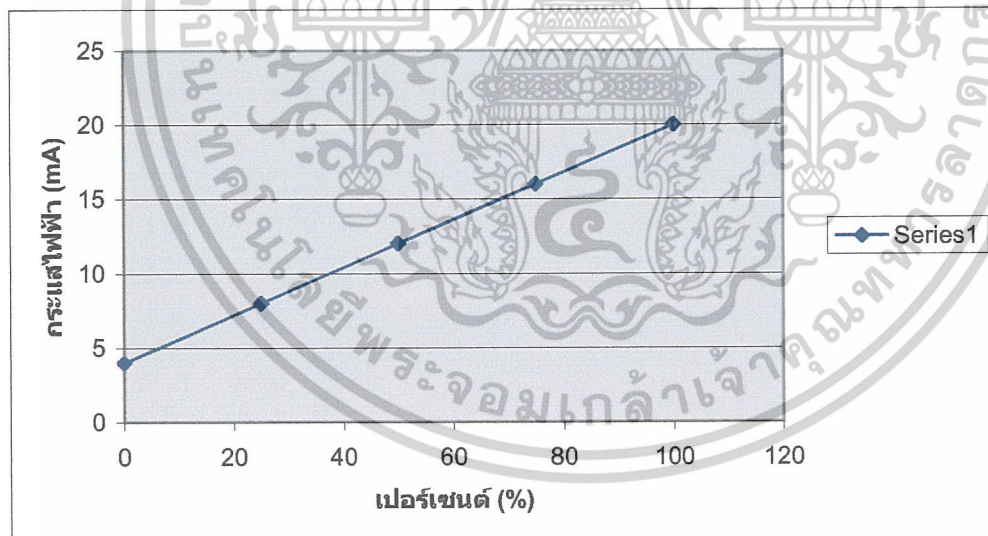


ภาพที่ 5.2 กราฟแสดงกระแสเอาต์พุตเทียบกับระดับของเหลว Tank A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.2 ผลการทดลองของ Tank B

INPUT		OUTPUT				
%	mA	ก่อน Calibration	หลังจากการ Calibration			
			ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย
0	4	5.74	4.00	4.01	4.00	4.00
25	8	8.96	8.03	8.04	7.97	8.01
50	12	12.24	12.04	12.02	12.00	12.02
75	16	15.49	15.98	16.05	16.03	16.02
100	20	18.75	20.01	20.02	20.02	20.02
75	16	15.45	16.01	15.98	16.01	16.00
50	12	12.26	12.05	12.03	12.04	12.04
25	8	9.01	7.98	8.02	8.03	8.01
0	4	5.80	4.01	4.00	4.01	4.01

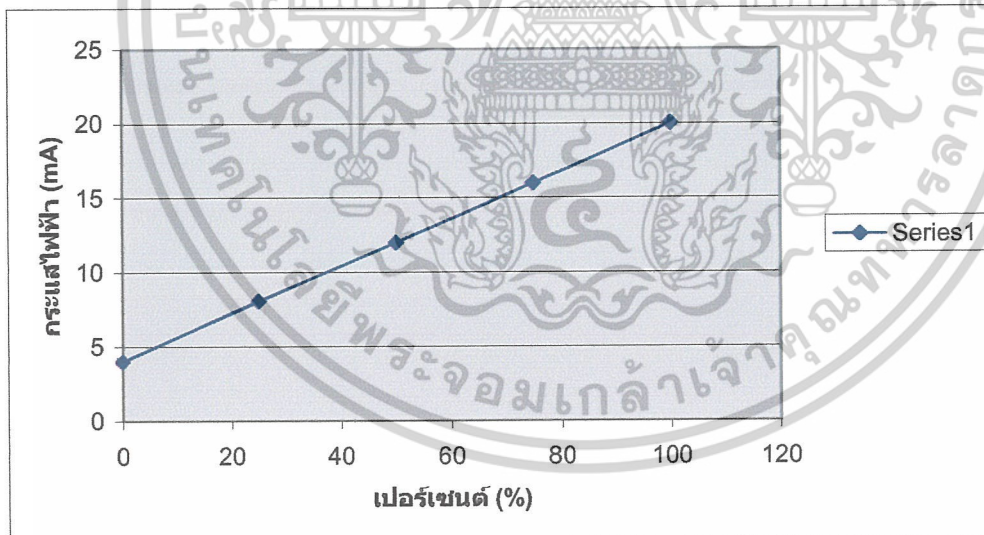


ภาพที่ 5.3 กราฟแสดงกระแสเอาต์พุตเทียบกับระดับของเหลว Tank B

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.3 ผลการทดลองของ Tank C

INPUT		OUTPUT				
%	mA	ก่อน Calibration	หลังจากการ Calibration			
			ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย
0	4	4.59	4.00	4.02	4.00	4.01
25	8	8.21	8.01	8.02	8.04	8.02
50	12	11.83	12.02	12.01	12.03	12.02
75	16	15.54	15.98	16.01	15.95	15.98
100	20	19.08	20.01	20.02	20.03	20.02
75	16	15.56	16.03	15.97	15.98	15.99
50	12	11.93	11.98	11.95	12.01	11.98
25	8	8.25	8.03	7.98	8.25	8.09
0	4	4.55	4.02	4.00	4.02	4.01



ภาพที่ 5.4 กราฟแสดงกระแสเอาต์พุตเทียบกับระดับของเหลว Tank C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

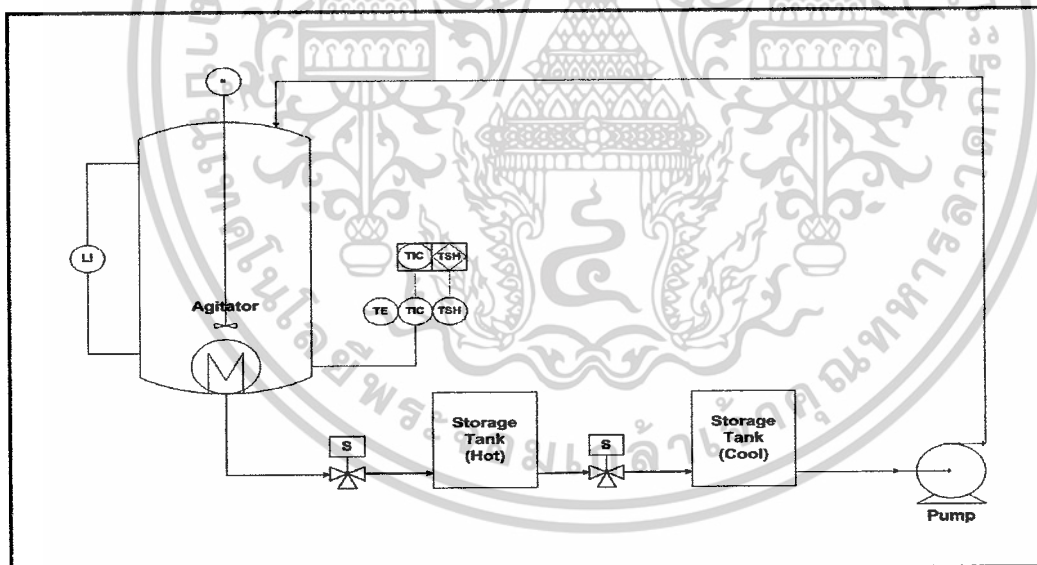
### 5.3 การทดลองการควบคุมเชิงสถิติมาใช้กับแบบจำลองกระบวนการผลิต

#### การออกแบบการทดลอง

กระบวนการที่ใช้ในการทดลองนี้ เป็นการจำลองการตรวจจับความผิดปกติของอุณหภูมิในถัง โดยกำหนดให้ตัวควบคุมรักษาอุณหภูมิคงที่ตามที่กำหนด และปริมาณน้ำที่ใช้ในการทดลอง ประมาณ 8 ลิตร เมื่อระบบเริ่มเข้าสู่สภาวะปกติทำการสุ่มเก็บตัวอย่างค่าวัดอุณหภูมิ ทุกๆ 20 วินาที โดยเริ่มจากกลุ่มละ 5 ตัวอย่าง จำนวน 25 กลุ่ม รวมทั้งสิ้น 125 ตัวอย่าง เพื่อนำมาคำนวณสร้าง แผนภูมิควบคุม จากนั้นจำลองเหตุการณ์ที่ทำให้กระบวนการอยู่ในสภาวะคงตัวเกิดเหตุผิดพลาดอัน เป็นสาเหตุให้กระบวนการผิดปกติ โดย

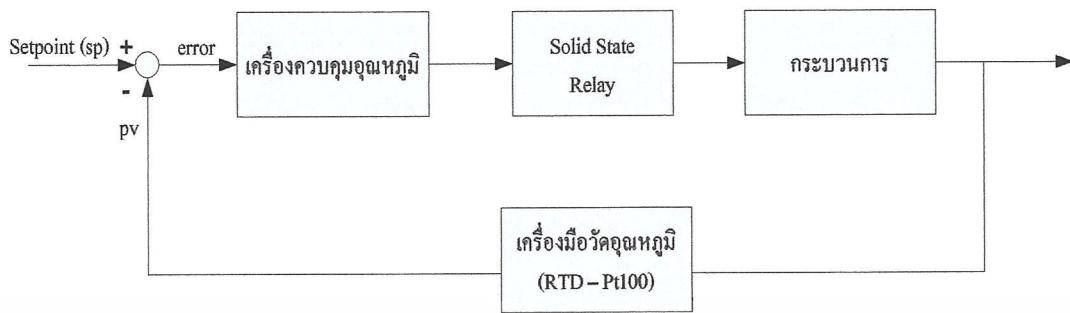
- กรณีที่ขจัดลดทำความร้อนหยุดการทำงานไปช่วงหนึ่ง
- กรณีที่เติมน้ำอุณหภูมิ 29 °C ปริมาณ 1 ลิตร
- กรณีที่เติมน้ำอุณหภูมิ 29 °C ปริมาณ 0.5 ลิตร ทุกๆ 1 นาที เป็นเวลา 5 นาที
- กรณีที่เติมน้ำอุณหภูมิ 44 °C ปริมาณ 0.5 ลิตร ทุกๆ 1 นาที เป็นเวลา 5 นาที

กระบวนการที่ใช้ในการควบคุมอุณหภูมิ

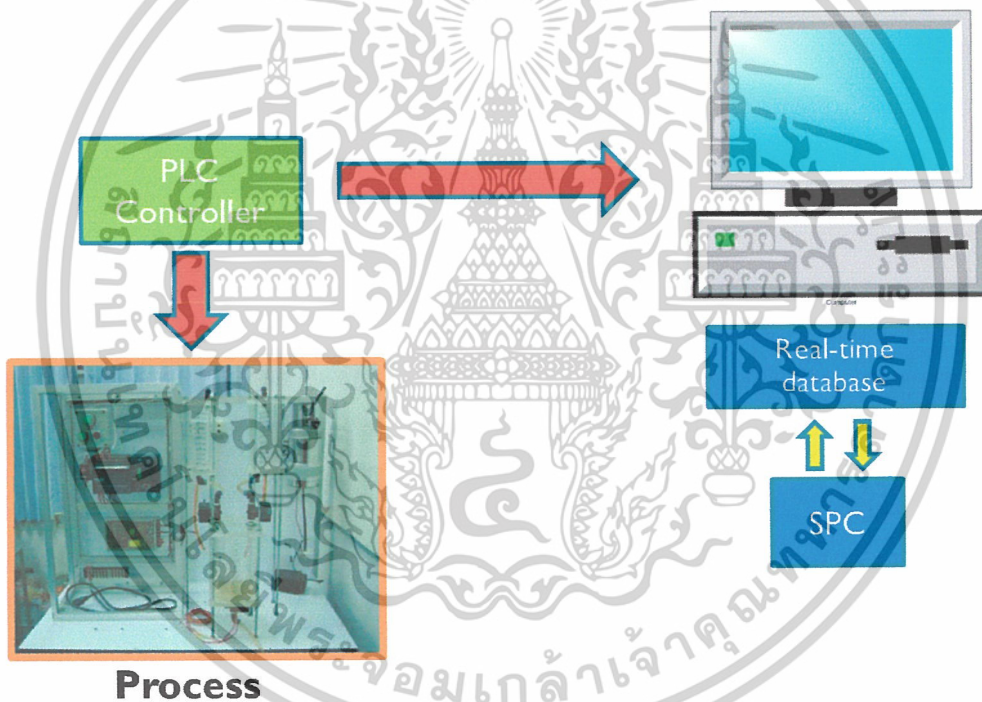


ภาพที่ 5.5 แพล้นท์ที่ใช้ในการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 5.6 แสดงบล็อกไดอะแกรมของการทำงานได้ดังนี้



ภาพที่ 5.7 กระบวนการควบคุม

กระบวนการจะทำการควบคุมอุณหภูมิ โดยเครื่องควบคุมอุณหภูมิ ค่าอุณหภูมิในถังของกระบวนการจะถูกวัดโดยเครื่องวัดอุณหภูมิ และส่งสัญญาณในการวัดให้กับเครื่องควบคุมอุณหภูมิ ซึ่งเครื่องควบคุมอุณหภูมิจะนำไปใช้เป็นเกณฑ์ในการตัดสินใจสั่ง Solid State Relay ในการส่งสัญญาณไปยังขดลวดความร้อน เพื่อให้ได้ระดับอุณหภูมิที่เป็นไปตามต้องการ โดยเครื่องควบคุมจะทำหน้าที่หลักในการคำนวณหาสัญญาณควบคุมที่เหมาะสมตามกฎเกณฑ์การควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ขั้นตอนการทดลอง

ทำการบันทึกค่าปริมาณน้ำ อุณหภูมิ น้ำ อุณหภูมิห้อง ก่อนการทดลอง แล้วเริ่มกระบวนการผลิตโดยสั่งการทำงานผ่านหน้าจอกอมพิวเตอร์ เมื่อระบบอยู่ในสภาวะคงตัว ทำการบันทึกผลโดยเก็บข้อมูลที่ได้อไว้ใน MSDE database manager (โดย TrendLogger) แล้วทำการดึงข้อมูลที่ได้อมาทำการคำนวณ และสร้างแผนภูมิควบคุมเพื่อเฝ้าติดตามการทำงานของระบบที่โปรแกรม Microsoft Excel หลังจากนั้นทำการรบกวนระบบ คือ

1. เมื่อระบบอยู่ในสภาวะคงตัวแล้ว สมมติให้เกิดความผิดพลาดอันเกิดจากกรณีที่ขดลวดทำความร้อนหยุดการทำงานไปช่วงหนึ่ง แล้วทำการบันทึกผล
2. เมื่อระบบอยู่ในสภาวะคงตัวแล้ว สมมติให้เกิดความผิดพลาดอันเกิดจากกรณีที่เติมน้ำ 1 ลิตร ที่อุณหภูมิ 29 °C แล้วทำการบันทึกผล
3. เมื่อระบบอยู่ในสภาวะคงตัวแล้ว สมมติให้เกิดความผิดพลาดอันเกิดจากกรณีที่เติมน้ำ ปริมาณ 0.5 ลิตร ที่อุณหภูมิ 29 °C ทุกๆ 1 นาที เป็นเวลา 5 นาที
4. เมื่อระบบอยู่ในสภาวะคงตัวแล้ว สมมติให้เกิดความผิดพลาดอันเกิดจากกรณีที่เติมน้ำ ปริมาณ 0.5 ลิตร ที่อุณหภูมิ 44 °C ทุกๆ 1 นาที เป็นเวลา 5 นาที

## 5.4 บันทึกผลการทดลอง

### 5.4.1 กรณีที่กระบวนการทำงานตามปกติ

#### 1. บันทึกค่าก่อนการทดลอง

ปริมาณน้ำที่ใช้ในการทดลองจำนวน 8 ลิตร

- อุณหภูมิของน้ำ 31 °C
- อุณหภูมิห้อง 29 °C
- อุณหภูมิที่ต้องการควบคุม คือ 60 °C

#### 2. ทำการเริ่มกระบวนการเพื่อควบคุมอุณหภูมิ

3. เมื่อระบบอยู่ในสภาวะคงตัวแล้ว เริ่มบันทึกผลใน MSDE Database Manager ซึ่งจากการทดลองอุณหภูมิเริ่มเข้าสู่สภาวะคงที่ เมื่อจำนวนตัวอย่างการตรวจสอบคือ 5 ตัวอย่าง ( $n = 5$ )

ตารางที่ 5.4 แสดงค่าที่ได้จากการสุ่มวัดอุณหภูมิน้ำในถังเมื่อระบบอยู่ในสภาวะคงตัว (n=5)

Sample Number	Sam1	Sam2	Sam3	Sam4	Sam5	Average	Range	S	
1	60.02442	60.02442	60.04884	60.04884	60.02442	60.03419	0.02442	0.013375	
2	60.02442	60.04884	60.02442	60.02442	60.02442	60.0293	0.02442	0.010921	
3	60.02442	59.95116	59.97558	60.02442	60.02442	60	0.07326	0.034535	
4	60.02442	60.04884	60.02442	60.02442	60.04884	60.03419	0.02442	0.013375	
5	60.04884	60.04884	60.02442	60.02442	59.97558	60.02442	0.07326	0.029908	
6	60.02442	60.02442	60.04884	60.04884	60.02442	60.03419	0.02442	0.013375	
7	60.02442	60.02442	60.02442	60.04884	60.02442	60.0293	0.02442	0.010921	
8	60.02442	60.02442	59.95116	59.97558	60.02442	60	0.07326	0.034535	
9	60.02442	59.97558	60.02442	59.97558	59.97558	59.99512	0.04884	0.026751	
10	59.97558	60.02442	60.02442	59.97558	60.02442	60.00488	0.04884	0.026751	
11	60.02442	60.02442	59.95116	59.97558	60.02442	60	0.07326	0.034535	
12	60.02442	60.04884	60.02442	60.02442	59.95116	60.01465	0.09768	0.037035	
13	59.97558	59.97558	59.97558	60.02448	59.97558	59.98536	0.0489	0.021869	
14	60.02442	59.97558	60.02442	60.04884	60.02442	60.01954	0.07326	0.026751	
15	60.02442	60.04884	60.02442	60.02442	59.95116	60.01465	0.09768	0.037035	
16	59.97558	59.97558	60.02448	59.97558	60.04884	60.00001	0.07326	0.034546	
17	60.04884	60.02442	59.97558	60.02442	60.02442	60.01954	0.07326	0.026751	
18	60.02442	59.95116	59.97558	60.02442	60.02442	60	0.07326	0.034535	
19	59.97558	59.97558	59.97558	60.02448	59.97558	59.98536	0.0489	0.021869	
20	60.04884	60.02442	60.02442	60.02442	60.02442	60.0293	0.02442	0.010921	
21	60.02442	60.02442	60.04884	60.02442	60.04884	60.03419	0.02442	0.013375	
22	60.02442	59.97558	60.02442	60.04884	60.02442	60.01954	0.07326	0.026751	
23	60.02442	59.97558	60.02442	59.95116	59.97558	59.99023	0.07326	0.032763	
24	59.97558	59.97558	60.02448	59.97558	60.04884	60.00001	0.07326	0.034546	
25	60.02442	60.02442	60.04884	60.04884	60.02442	60.03419	0.02442	0.013375	
						Avg.	60.01329	0.055682	0.024844

$$\text{Standard Derivation} = 0.0290$$

หาขีดจำกัดการควบคุมแผนภูมิค่าเฉลี่ย (X-bar Chart)

จาก

$$UCL_{\bar{x}} = \bar{X} + A_3\bar{S}$$

$$CL_{\bar{x}} = \bar{X}$$

$$LCL_{\bar{x}} = \bar{X} - A_3\bar{S}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ  $n = 5$  จะได้  $A_3 = 1.427$  จะได้

$$UCL_{\bar{x}} = 60.01329 + (1.427)(0.024844) = 60.04874$$

$$CL_{\bar{x}} = 60.01329$$

$$LCL_{\bar{x}} = 60.01329 - (1.427)(0.024844) = 59.97783$$

หาขีดจำกัดการควบคุมแผนภูมิค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานตัวอย่าง (S Chart)

จาก

$$UCL_S = B_4 \bar{S}$$

$$CL_S = \bar{S}$$

$$LCL_S = B_3 \bar{S}$$

เมื่อ  $n = 5$  จะได้  $B_4 = 2.089$ ,  $B_3 = 0$  จะได้

$$UCL_S = (2.089)(0.024884) = 0.051899$$

$$CL_S = 0.024884$$

$$LCL_S = (0)(0.024884) = 0$$

ในกรณีที่กระบวนการอยู่ในสถานะเสถียร จะได้

$$P_d = \alpha$$

เมื่อ  $\alpha$  คือ ความผิดพลาดประเภทที่หนึ่ง  
และจะได้

$$ARL = \frac{1}{P_d}$$

เมื่อกำหนดขีดจำกัดการควบคุมที่  $\pm 3\sigma$  จะได้  $\alpha = 0.0027$  นั่นคือ

$$\begin{aligned} ARL &= \frac{1}{0.0027} \\ &\approx 370 \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

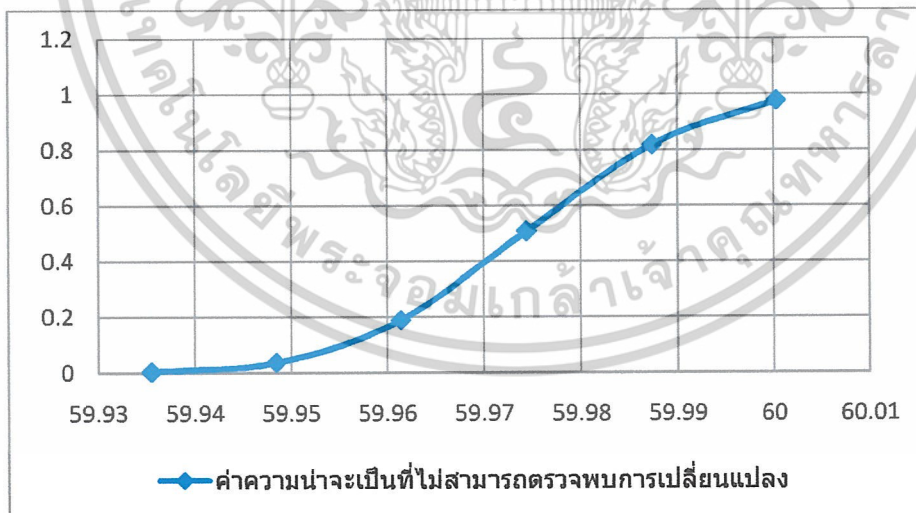
ดังนั้น เมื่อกระบวนการอยู่ในการควบคุม จะพบจุดที่ทำให้กระบวนการไม่อยู่ในการควบคุมโดยเฉลี่ยทุกๆ 370 ตัวอย่าง

เมื่อค่าเฉลี่ยของกระบวนการมีการเลื่อนตำแหน่ง ซึ่งค่าเป้าหมายหรือค่าเฉลี่ยของกระบวนการนี้คือ 60.01309 การเลื่อนของค่าเฉลี่ยกระบวนการ จะใช้ค่า  $\mu + z\sigma_{\bar{x}}$  เมื่อค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานตัวอย่าง คือ 0.028852 จะได้

$$\sigma_{\bar{x}} = \frac{0.028852}{\sqrt{5}}$$

ตารางที่ 5.5 ค่า ARL เมื่อค่าเฉลี่ยของกระบวนการเกิดการเปลี่ยนแปลง เมื่อ  $n = 5$

ค่าเฉลี่ยของกระบวนการ	$z\sigma_{\bar{x}}$ เมื่อค่า $z$ คือ	$\beta$ -error	$P_d = 1 - \beta$	ARL
60.00032	-1	0.97725	0.02275	43.96
59.98735	-2	0.81859	0.18141	5.51
59.97438	-3	0.50798	0.49202	2.03
59.96141	-4	0.18943	0.81057	1.23
59.94844	-5	0.03673	0.96327	1.04
59.93547	-6	0.00357	0.99643	1.00



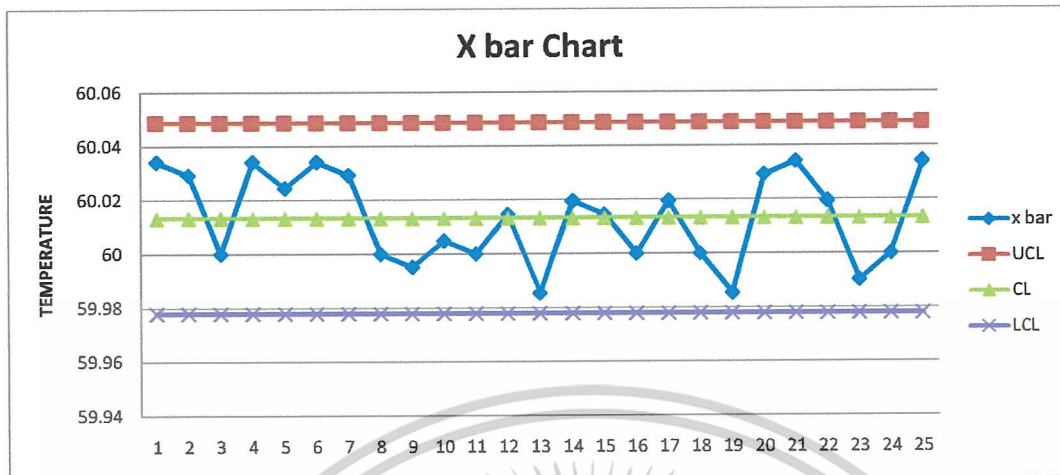
ภาพที่ 5.8 OC Curve ของแผนภูมิควบคุม

ทำการคำนวณและสร้างแผนภูมิควบคุม

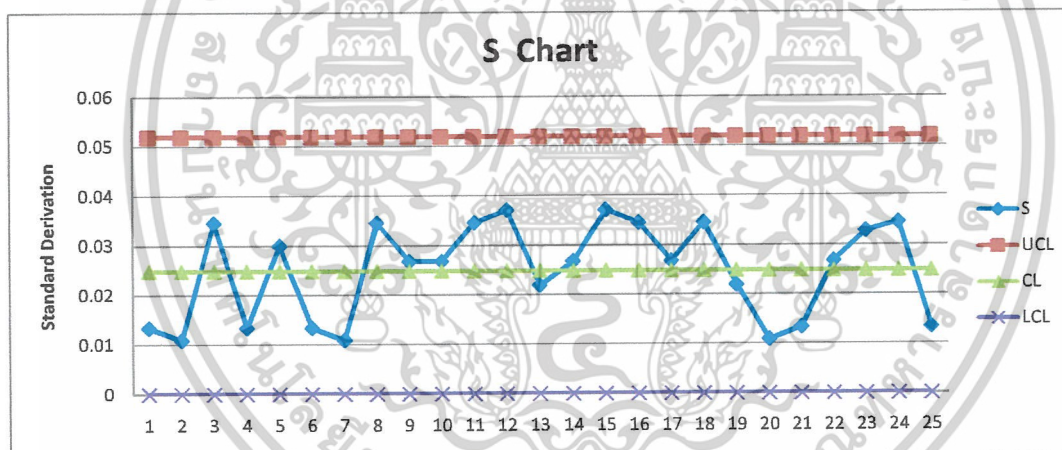
โดยตั้งค่ามาที่โปรแกรม Microsoft Excel

จะได้กราฟค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานตัวอย่าง คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 5.9 (ก) แสดงกราฟ X bar แสดงค่าที่ได้จากการคำนวณค่าส่วนการวัดอุณหภูมิน้ำในถัง เมื่อระบบ อยู่ในสภาวะคงตัว ( $n=5$ )



ภาพที่ 5.9 (ข) แสดงกราฟ S แสดงค่าที่ได้จากการคำนวณค่าส่วนการวัดอุณหภูมิน้ำในถัง เมื่อระบบอยู่ในสภาวะคงตัว ( $n=5$ )

จากภาพที่ 5.9 เป็นกราฟ X bar-S ที่แสดงอุณหภูมิที่ได้จากการคำนวณทางสถิติ ซึ่งระบบ อยู่ในสภาวะคงตัวโดยระบบอยู่ในสภาวะปกติ เมื่อ  $n=5$

4. เมื่อระบบอยู่ในสภาวะคงตัวแล้ว เริ่มบันทึกผลใน MSDE Database Manager ซึ่งจากการทดสอบอุณหภูมิเริ่มเข้าสภาวะคงที่ เมื่อจำนวนตัวอย่างการตรวจสอบคือ 7 ตัวอย่าง ( $n=7$ )

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.6 แสดงค่าที่ได้จากการสุ่มวัดอุณหภูมิน้ำในถังเมื่อระบบอยู่ในสภาวะคงตัว (n = 7)

Sample Number	Sam1	Sam2	Sam3	Sam4	Sam5	Sam6	Sam7	Average	Range	S	
1	60.02442	60.02442	60.04884	60.04884	60.02442	60.02442	60.04884	60.03489	0.02442	0.013053	
2	60.02442	60.02442	60.02442	60.02442	59.95116	59.97558	60.02442	60.00698	0.07326	0.030612	
3	60.02442	60.02442	60.04884	60.02442	60.02442	60.04884	60.04884	60.03489	0.02442	0.013053	
4	60.04884	60.02442	60.02442	59.97558	60.02442	60.02442	60.04884	60.02442	0.07326	0.02442	
5	60.04884	60.02442	60.02442	60.02442	60.02442	60.04884	60.02442	60.0314	0.02442	0.011916	
6	60.02442	60.02442	59.95116	59.97558	60.02442	60.02442	59.97558	60	0.07326	0.031526	
7	60.02442	59.97558	59.97558	59.97558	60.02442	60.02442	59.97558	59.99651	0.04884	0.026106	
8	60.02442	60.02442	60.02442	59.95116	59.97558	60.02442	60.02442	60.00698	0.07326	0.030612	
9	60.04884	60.02442	60.02442	59.95116	59.97558	59.97558	59.97558	59.99651	0.09768	0.035747	
10	60.02448	59.97558	60.02442	59.97558	60.02442	60.04884	60.02442	60.01396	0.07326	0.027693	
11	60.02442	60.04884	60.02442	60.02442	59.95116	59.97558	59.97558	60.00349	0.09768	0.035747	
12	60.02448	59.97558	60.04884	60.04884	60.02442	59.97558	60.02442	60.01745	0.07326	0.030614	
13	60.02442	60.02442	59.95116	59.97558	60.02442	60.02442	59.97558	60	0.07326	0.031526	
14	59.97558	59.97558	60.02448	59.97558	60.04884	60.02442	60.02442	60.00699	0.07326	0.030618	
15	60.02442	60.02442	60.02442	60.02442	60.04884	60.02442	60.04884	60.0314	0.02442	0.011916	
16	60.02442	59.97558	60.02442	60.04884	60.02442	60.02442	59.97558	60.01395	0.07326	0.02769	
17	60.02442	60.02442	59.97558	59.97558	59.97558	60.02448	59.97558	59.99652	0.0489	0.026117	
18	60.04884	60.02442	60.02442	60.04884	60.04884	60.02442	60.02442	60.03489	0.02442	0.013053	
19	59.97558	60.02442	60.04884	60.02442	60.02442	60.04884	60.02442	60.02442	0.07326	0.02442	
20	60.02442	60.02442	60.02442	60.04884	60.02442	60.02442	59.95116	60.01744	0.09768	0.030612	
21	60.02442	59.95116	59.97558	60.02442	60.02442	59.97558	59.97558	59.99302	0.07326	0.030612	
22	60.02448	59.97558	60.04884	60.02442	60.04884	60.02442	60.02442	60.02443	0.07326	0.02442	
23	60.04884	60.04884	60.02442	59.97558	60.02442	60.02442	60.04884	60.02791	0.07326	0.026106	
24	60.04884	60.02442	60.02442	59.97558	60.02442	59.95116	59.97558	60.00349	0.09768	0.035747	
25	60.02442	60.02442	60.02442	60.02442	60.04884	60.04884	60.02442	60.0314	0.02442	0.011916	
								Avg.	60.01493	0.063494	0.025434

Standard Deviation = 0.0290

หาขีดจำกัดการควบคุมแผนภูมิค่าเฉลี่ย (X-bar Chart)

เมื่อ n=7 จะได้  $A_3 = 1.182$

จะได้

$$UCL_{\bar{x}} = 60.01493 + (1.182)(0.025434) = 60.0450$$

$$CL_{\bar{x}} = 60.01493$$

$$LCL_{\bar{x}} = 60.01493 - (1.182)(0.025434) = 59.98487$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ  $n = 7$  จะได้  $B_4 = 1.882, B_3 = 0.118$   
จะได้

$$UCL_S = (1.882)(0.025434) = 0.047867$$

$$LCL_S = 0.025434$$

$$LCL_S = (0.118)(0.025434) = 0.003001$$

ในกรณีที่กระบวนการอยู่ในสภาวะเสถียร จะได้

$$P_d = \alpha$$

เมื่อ  $\alpha$  คือ ความผิดพลาดประเภทที่หนึ่ง  
และจะได้

$$ARL = \frac{1}{P_d}$$

เมื่อกำหนดขีดจำกัดการควบคุมที่  $\pm 3\sigma$  จะได้  $\alpha = 0.0027$  นั่นคือ

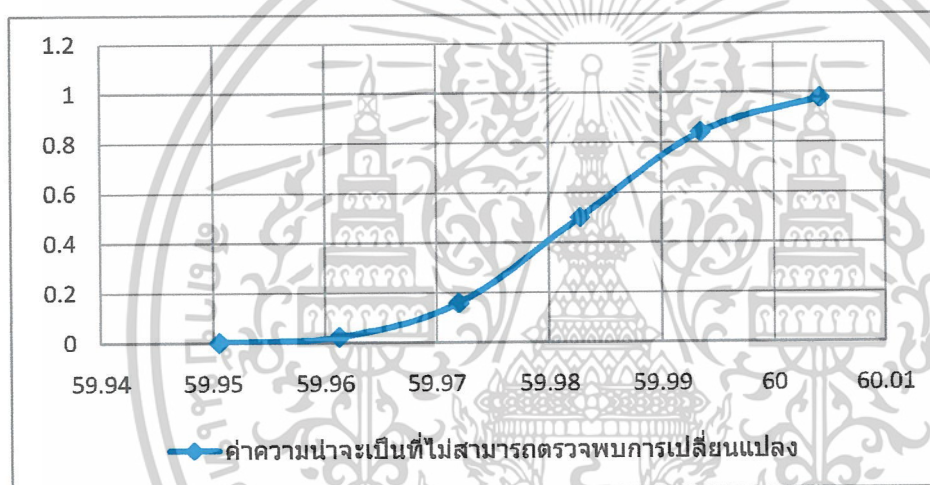
$$ARL = \frac{1}{0.0027} \approx 370$$

ดังนั้น เมื่อกระบวนการอยู่ในการควบคุม จะพบจุดที่ทำให้กระบวนการไม่อยู่ในการควบคุมโดยเฉลี่ยทุกๆ 370 ตัวอย่าง  
เมื่อค่าเฉลี่ยของกระบวนการมีการเลื่อนตำแหน่ง ซึ่งค่าเป้าหมายหรือค่าเฉลี่ยของกระบวนการนี้คือ 60.01173 การเลื่อนของค่าเฉลี่ยกระบวนการ จะใช้ค่า  $\mu + z\sigma_{\bar{x}}$  เมื่อ

$$\sigma_{\bar{x}} = \frac{0.027188}{\sqrt{7}}$$

ตารางที่ 5.7 ค่า ARL เมื่อค่าเฉลี่ยของกระบวนการเกิดการเปลี่ยนแปลง เมื่อ  $n = 7$

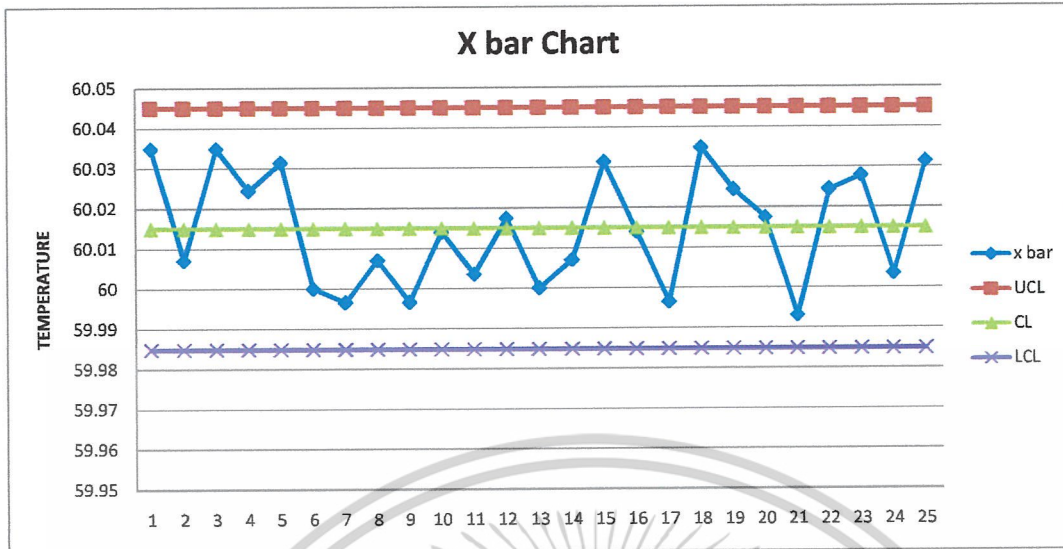
ค่าเฉลี่ยของกระบวนการ	$z\sigma_{\bar{x}}$ เมื่อค่า $z$ คือ	$\beta$ -error	$P_d = 1 - \beta$	ARL
60.0042	-1	0.9772	0.0228	43.86
59.99346	-2	0.8413	0.1587	6.30
59.98273	-3	0.50	0.50	2.00
59.97199	-4	0.1587	0.8413	1.19
59.96126	-5	0.0228	0.9772	1.02
59.95052	-6	0.0013	0.9987	1.00



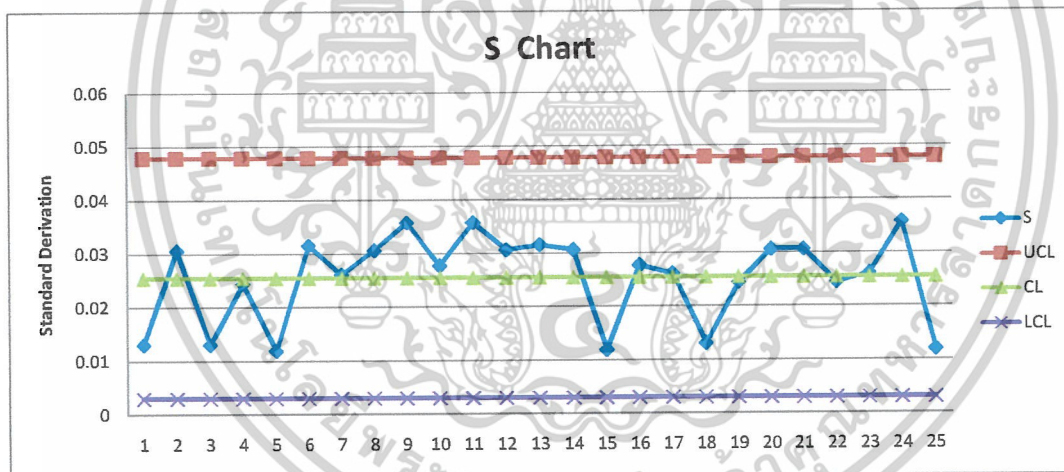
ภาพที่ 5.9 (ค) OC Curve ของแผนภูมิควบคุม

ทำการคำนวณและสร้างแผนภูมิควบคุม โดยดึงค่ามาที่โปรแกรม Microsoft Excel จะได้กราฟ ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานตัวอย่าง คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 5.10 (ก) แสดงกราฟ X bar แสดงค่าที่ได้จากการคำนวณค่าคู่การวัดอุณหภูมิน้ำในถังเมื่อระบบอยู่ในสภาวะคงตัว ( $n=7$ )



ภาพที่ 5.10 (ข) แสดงกราฟ S แสดงค่าที่ได้จากการคำนวณค่าคู่การวัดอุณหภูมิน้ำในถังเมื่อระบบอยู่ในสภาวะคงตัว ( $n=7$ )

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากภาพที่ 5.10 เป็นกราฟ X bar-S ที่แสดงอุณหภูมิที่ได้จากการคำนวณทางสถิติ ซึ่งระบบอยู่ในสถานะคงตัวโดยระบบอยู่ในสภาวะปรกติ เมื่อ  $n = 7$

#### 5.4.2 กรณีที่เติมน้ำอุณหภูมิ 29 °C ปริมาณ 1 ลิตร

##### 1. บันทึกค่าก่อนการทดลอง

ปริมาณน้ำที่ใช้ในการทดลองจำนวน 8 ลิตร

- อุณหภูมิของน้ำ 31 °C
- อุณหภูมิห้อง 29 °C
- อุณหภูมิที่ต้องการควบคุม คือ 60 °C

2. ทำการเริ่มกระบวนการเพื่อควบคุมอุณหภูมิ โดยน้ำที่ใช้ในการทดลองตอนแรกจำนวน 8 ลิตรแล้วรอนระบบอยู่ในการควบคุม (เข้า set point) สักระยะหนึ่ง จึงทำการเติมน้ำลงในถังประมาณ 1 ลิตร (เสมือนว่าวาล์วเปิดหรือปิดไม่สนิท) จึงทำให้อุณหภูมิลดลงกะทันหัน

3. เมื่อระบบอยู่ในสภาวะคงตัวแล้ว เริ่มบันทึกผลใน MSDE Database Manager ซึ่งจากการทดลองอุณหภูมิเริ่มเข้าสู่สภาวะคงที่แล้ว จึงทำการเริ่มเก็บค่าผลการทดลอง

ตารางที่ 5.8 แสดงค่าที่ได้จากการสุ่มวัดอุณหภูมิน้ำในถังเมื่อระบบถูกรบกวนจากสาเหตุที่ผิดปกติ  
เมื่อ  $n = 5$

Sample Number	Sam1	Sam2	Sam3	Sam4	Sam5	Average	Range	S	
1	60.02442	60.02442	60.04884	60.04884	60.02442	60.03419	0.02442	0.013375	
2	60.02442	60.02442	60.02442	59.95116	58.75458	59.7558	1.26984	0.560597	
3	58.38828	58.75458	59.19414	59.48718	59.92674	59.15018	1.538462	0.603229	
4	60.21978	60.58608	60.53724	60.34188	60.26862	60.39072	0.3663	0.162902	
5	60.17094	60.09768	60.04884	59.97558	59.92674	60.04396	0.2442	0.09676	
6	59.95116	60.02442	59.97558	60.02442	59.95116	59.98535	0.07326	0.037035	
7	59.97558	60.02448	59.97558	60.02442	60.04884	60.00978	0.07326	0.03277	
8	60.04884	60.02442	60.02442	60.02442	60.04884	60.03419	0.02442	0.013375	
9	59.97558	60.02448	59.97558	60.04884	60.04884	60.01466	0.07326	0.037039	
10	60.02442	60.02442	60.02442	60.02442	60.02442	60.02442	0	0	
11	59.97558	59.95116	59.97558	60.04884	60.02442	59.99512	0.09768	0.040126	
12	60.02442	60.04884	60.04884	60.04884	60.02442	60.03907	0.02442	0.013375	
13	60.02442	60.04884	60.04884	60.04884	60.02442	60.03907	0.02442	0.013375	
14	59.97558	60.02442	60.02442	60.02442	59.95116	60	0.07326	0.034535	
15	59.97558	60.02448	60.02442	59.95116	60.04884	60.0049	0.09768	0.040133	
16	60.04884	60.02442	60.02442	60.02442	60.02442	60.0293	0.02442	0.010921	
17	59.95116	59.97558	60.02448	60.02442	59.97558	59.99024	0.07332	0.032779	
18	60.02442	60.02442	60.04884	60.04884	60.04884	60.03907	0.02442	0.013375	
19	60.04884	60.02442	60.04884	60.02442	59.97558	60.02442	0.07326	0.029908	
20	60.02442	60.02442	60.04884	60.04884	60.02442	60.03419	0.02442	0.013375	
21	60.02442	59.97558	60.02442	60.02448	59.95116	60.00001	0.07332	0.034546	
22	59.97558	59.97558	59.97558	60.02448	59.97558	59.98536	0.0489	0.021869	
23	60.02442	60.02442	60.04884	60.04884	60.02442	60.03419	0.02442	0.013375	
24	59.97558	59.97558	60.02442	59.97558	59.97558	59.98535	0.04884	0.021842	
25	60.02442	60.02442	60.04884	60.04884	60.02442	60.03419	0.02442	0.013375	
						Avg.	59.98711	0.177785	0.07616

$$\text{Standard Derivation} = 0.2482$$

หาขีดจำกัดการควบคุมแผนภูมิค่าเฉลี่ย (X-bar Chart)

เมื่อ  $n = 5$  จะได้  $A_3 = 1.427$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะได้

$$UCL_{\bar{x}} = 59.98711 + (1.427)(0.07616) = 60.096$$

$$CL_{\bar{x}} = 59.98711$$

$$LCL_{\bar{x}} = 59.98711 - (1.427)(0.07616) = 59.8784$$

หาขีดจำกัดการควบคุมแผนภูมิค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานตัวอย่าง (S Chart)

เมื่อ  $n = 5$  จะได้  $B_4 = 2.089, B_3 = 0$

จะได้

$$UCL_S = (2.089)(0.07616) = 0.1591$$

$$CL_S = 0.07616$$

$$LCL_S = (0)(0.07616) = 0$$

ในกรณีที่กระบวนการไม่เสถียร จะได้

$$P_d = 1 - \beta$$

เมื่อ  $\beta$  คือ ความผิดพลาดประเภทที่สอง  
และจะได้

$$ARL = \frac{1}{1 - P_d}$$

เมื่อ  $n = 5, z = 3$

ค่าเฉลี่ยของกระบวนการเท่ากับ  $\mu_0 = 60.01329$  (ค่าเฉลี่ยของกระบวนการในกรณีที่ระบบทำงานตามปกติ) โดยค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานตัวอย่างของกระบวนการในกรณีที่ระบบทำงานตามปกติ คือ 0.029 จะได้

$$\sigma_{\bar{x}} = \frac{0.0290}{\sqrt{5}}$$

และค่าเฉลี่ยของกระบวนการที่เลื่อนไปอยู่ที่

$$\mu_1 = (59.7558 + 59.15018 + 60.39072) / 3 = 59.76557$$

เมื่อมีการรบกวนระบบโดยการเติมน้ำ 1 ลิตร  $29^\circ\text{C}$  ลงไป เราสามารถคำนวณค่าความคลาดเคลื่อนประเภทที่สองได้จาก

$$\beta = \phi \left[ z_{\frac{\alpha}{2}} - \frac{\delta\sqrt{n}}{\sigma} \right] - \phi \left[ -z_{\frac{\alpha}{2}} - \frac{\delta\sqrt{n}}{\sigma} \right]$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ  $\delta$  คือ ผลต่างของค่าเฉลี่ยของกระบวนการ  
ดังนั้น จะได้

$$\beta = \phi \left[ 3 - \frac{(0.24772)\sqrt{5}}{0.0290} \right] - \phi \left[ -3 - \frac{(0.24772)\sqrt{5}}{0.0290} \right]$$

$$\beta = \phi[-16] - \phi[-22]$$

$$\beta = 0$$

จะได้

$$ARL = \frac{1}{1-0} = 1$$

จากข้อมูลในตารางที่ 5.8 นำมาสร้างแผนภูมิควบคุม และเนื่องจากเป็นกระบวนการ  
ต่อเนื่องจึงใช้ขีดจำกัดการควบคุมจากกรณีกระบวนการทำงานตามปกติ

$$UCL_{\bar{x}} = 60.04874$$

$$CL_{\bar{x}} = 60.01329$$

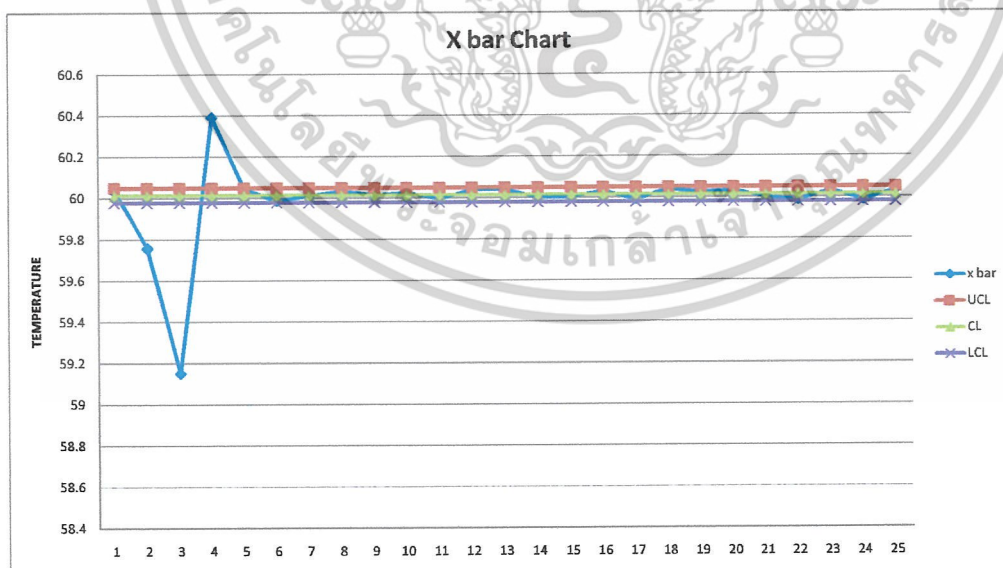
$$LCL_{\bar{x}} = 59.97783$$

$$UCL_s = 0.051899$$

$$CL_s = 0.024884$$

$$LCL_s = 0$$

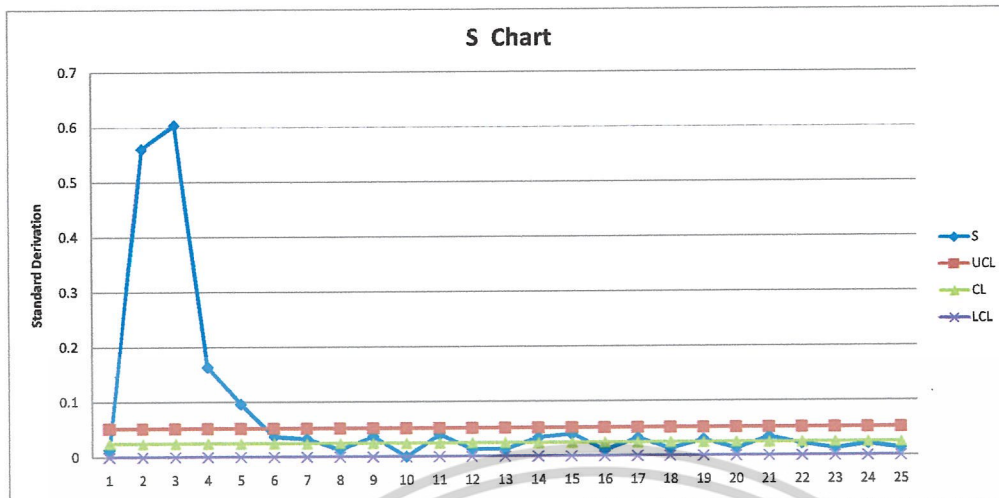
จะได้กราฟค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานตัวอย่าง คือ



ภาพที่ 5.11 (ก) แสดงกราฟ X bar แสดงค่าที่ได้จากการคำนวณค่าส่วนการวัดอุณหภูมิน้ำในถัง

เมื่อระบบถูกรบกวนจากสาเหตุที่ผิดปกติ (เมื่อ  $n = 5$ )

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 5.11 (ข) แสดงกราฟ S แสดงค่าที่ได้จากการคำนวณค่าส่วนการวัดอุณหภูมิในถังเมื่อระบบถูกรบกวนจากสาเหตุที่ผิดปกติ (เมื่อ  $n = 5$ )

จากภาพที่ 5.11 เป็นกราฟ  $\bar{X}$ -S ที่แสดงอุณหภูมิที่ได้จากการคำนวณทางสถิติ ซึ่งระบบถูกรบกวนจากสาเหตุที่ผิดปกติที่เกิดขึ้นโดยการเติมน้ำอุณหภูมิ  $29^{\circ}\text{C}$  ปริมาณ 1 ลิตร ที่มี เข้าสู่ระบบ จากกราฟค่าเฉลี่ย (X-Chart) จะเห็นได้ว่าระบบพยายามคงค่าเมื่อสภาวะคงตัวให้อยู่ที่  $60^{\circ}\text{C}$  เมื่อมีการเติมน้ำที่มีอุณหภูมิ  $29^{\circ}\text{C}$  ปริมาณ 1 ลิตร ลงในถัง จะสามารถดักจับความผิดปกติที่เกิดขึ้นนั้น ได้อย่างชัดเจน รวมถึงกราฟค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานตัวอย่าง (S Chart) ด้วย และนอกจากนั้น กราฟ  $\bar{X}$ -S ยังทำให้เราดูและมองเห็นความเป็นไปของระบบ

4. เมื่อระบบอยู่ในสภาวะคงตัวแล้ว เริ่มบันทึกผลใน MSDE Database Manager ซึ่งจากการทดลองอุณหภูมิเริ่มเข้าสภาวะคงที่ เมื่อจำนวนตัวอย่างการตรวจสอบคือ 7 ตัวอย่าง ( $n = 7$ )

ตารางที่ 5.9 แสดงค่าที่ได้จากการสุ่มวัดอุณหภูมิน้ำในถังเมื่อระบบถูกรบกวนจากสาเหตุที่ผิดปกติ  
เมื่อ  $n = 7$

Sample Number	Sam1	Sam2	Sam3	Sam4	Sam5	Sam6	Sam7	Average	Range	S	
1	60.02442	60.02442	60.04884	60.04884	60.02442	60.02442	59.97558	60.02442	0.07326	0.02442	
2	60.04884	60.02442	60.02442	60.02442	60.02442	59.95116	58.75458	59.83604	1.29426	0.477849	
3	58.38828	58.75458	59.19414	59.48718	59.92674	60.21978	60.58608	59.50811	2.197802	0.792106	
4	60.53724	60.34188	60.26862	60.17094	60.09768	60.04884	59.97558	60.20583	0.561661	0.192726	
5	59.92674	59.95116	60.02442	59.97558	60.02442	59.95116	59.97558	59.97558	0.097680	0.037302	
6	60.02448	59.97558	60.02442	60.04884	60.04884	60.02442	60.02442	60.02443	0.07326	0.02442	
7	60.02442	60.04884	59.97558	60.02448	59.97558	60.04884	60.04884	60.02094	0.073260	0.032851	
8	60.02442	60.02442	60.02442	60.02442	60.02442	59.97558	59.95116	60.00698	0.073260	0.030612	
9	59.97558	60.04884	60.02442	60.02442	60.04884	60.04884	60.04884	60.0314	0.073260	0.027172	
10	60.02442	60.02442	60.04884	60.04884	60.04884	60.02442	59.97558	60.02791	0.073260	0.026106	
11	60.02442	60.02442	60.02442	59.95116	59.97558	60.02448	60.02442	60.00699	0.073320	0.030618	
12	59.95116	60.04884	60.04884	60.02442	60.02442	60.02442	60.02442	60.02093	0.097680	0.032849	
13	59.95116	59.97558	60.02448	60.02442	59.97558	60.02442	60.02442	60.00001	0.073320	0.031534	
14	60.04884	60.04884	60.04884	60.04884	60.02442	60.04884	60.02442	60.04186	0.024420	0.011916	
15	59.97558	60.02442	60.02442	60.04884	60.04884	60.02442	60.02442	60.02442	0.07326	0.02442	
16	59.97558	60.02442	60.04884	60.02442	60.04884	60.04884	60.02442	60.02791	0.073260	0.026106	
17	60.02442	59.97558	60.02442	59.95116	59.97558	60.02442	60.02442	60	0.073260	0.031526	
18	60.02442	60.02442	60.04884	60.04884	60.02442	59.97558	59.97558	60.01744	0.073260	0.030612	
19	60.02442	60.02442	59.97558	60.02442	60.02442	60.02442	60.04884	60.02093	0.073260	0.021972	
20	60.02442	60.04884	60.02442	60.02442	60.02442	60.02442	60.02442	60.02791	0.02442	0.00923	
21	60.02442	59.95116	59.97558	60.02442	60.02442	60.02442	60.04884	60.01047	0.097680	0.034122	
22	60.02442	60.04884	60.02442	59.97558	60.02442	59.97558	59.97558	60.00698	0.073260	0.030612	
23	60.02442	60.02448	59.95116	59.97558	59.97558	59.97558	60.02448	59.99304	0.073320	0.030633	
24	59.97558	60.02442	60.02442	60.04884	60.04884	60.02442	59.97558	60.01744	0.073260	0.030612	
25	59.97558	60.02442	59.97558	59.97558	60.02442	60.02442	60.04884	60.00698	0.073260	0.030612	
								Avg.	59.9954	0.225648	0.082918

Standard Derivation = 0.2105

หาขีดจำกัดการควบคุมแผนภูมิค่าเฉลี่ย (X-bar Chart)

เมื่อ  $n = 7$  จะได้  $A_3 = 1.182$

จะได้

$$UCL_{\bar{x}} = 59.9954 + (1.182)(0.0829) = 60.0934$$

$$CL_{\bar{x}} = 59.9954$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$LCL_{\bar{x}} = 59.9954 - (1.182)(0.0829) = 59.8974$$

หาขีดจำกัดการควบคุมแผนภูมิค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานตัวอย่าง (S Chart)

เมื่อ  $n = 7$  จะได้  $B_4 = 1.882, B_3 = 0.118$

จะได้

$$UCL_S = (1.882)(0.0829) = 0.1560$$

$$CL_S = 0.0829$$

$$LCL_S = (0.118)(0.0829) = 0.00097$$

จาก

$$ARL = \frac{1}{1 - P_d}$$

เมื่อ  $n = 7, z = 3$

ค่าเฉลี่ยของกระบวนการเท่ากับ  $\mu_0 = 60.01493$  (ค่าเฉลี่ยของกระบวนการในกรณีที่ระบบทำงานตามปกติ) โดยค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานตัวอย่างของกระบวนการในกรณีที่ระบบทำงานตามปกติ คือ 0.0284 จะได้

$$\sigma_{\bar{x}} = \frac{0.0284}{\sqrt{7}}$$

และค่าเฉลี่ยของกระบวนการที่เลื่อนไปอยู่ที่

$$\mu_1 = (59.83604 + 59.50811 + 60.20583 + 59.97448) / 4 = 59.88139$$

เมื่อมีการรบกวนระบบโดยการเติมน้ำ 1 ลิตร  $29^\circ\text{C}$  ลงไป เราสามารถคำนวณค่าความคลาดเคลื่อนประเภทที่สองได้จาก

$$\beta = \phi\left[\frac{z_{\alpha/2} - \frac{\delta\sqrt{n}}{\sigma}}{\sigma}\right] - \phi\left[-\frac{z_{\alpha/2} - \frac{\delta\sqrt{n}}{\sigma}}{\sigma}\right]$$

เมื่อ  $\delta$  คือ ผลต่างของค่าเฉลี่ยของกระบวนการ

ดังนั้น จะได้

$$\beta = \phi\left[3 - \frac{(0.13354)\sqrt{7}}{0.0284}\right] - \phi\left[-3 - \frac{(0.13354)\sqrt{7}}{0.0284}\right]$$

$$\beta = \phi[-9.44] - \phi[-15.44]$$

$$\beta = 0$$

จะได้

$$ARL = \frac{1}{1 - 0} = 1$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากข้อมูลในตารางที่ 5.9 นำมาสร้างแผนภูมิควบคุม และเนื่องจากเป็นกระบวนการ ต่อเนื่องจึงใช้ขีดจำกัดการควบคุมจากกรณีกระบวนการทำงานตามปกติ

$$UCL_{\bar{x}} = 60.0450$$

$$UCL_S = 0.047867$$

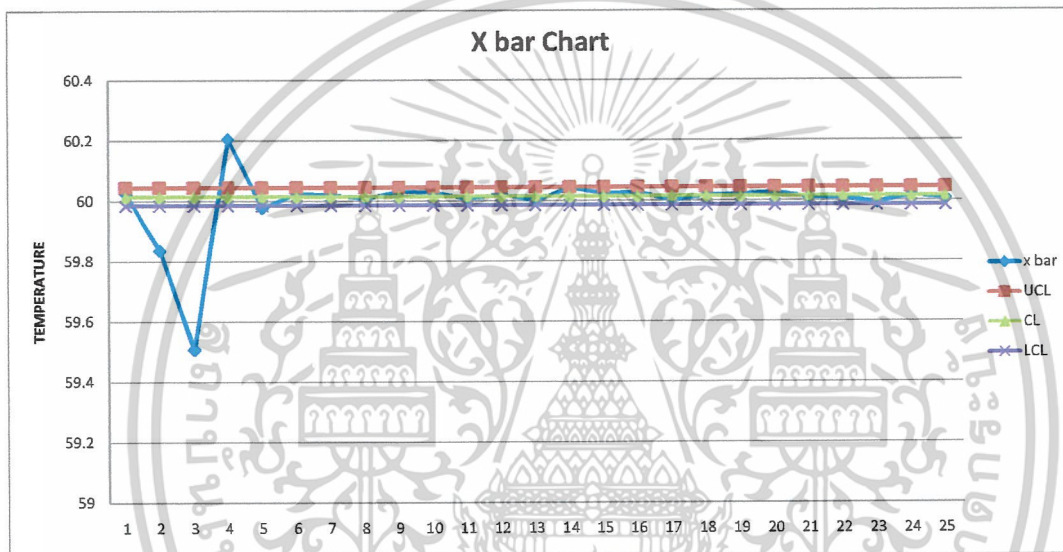
$$CL_{\bar{x}} = 60.01493$$

$$CL_S = 0.025434$$

$$LCL_{\bar{x}} = 59.98487$$

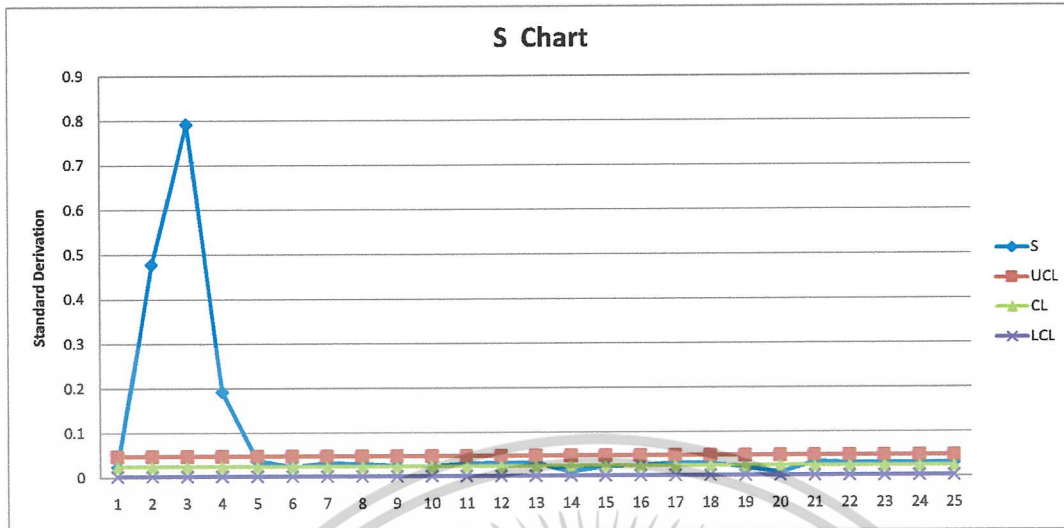
$$LCL_S = 0.003001$$

จะได้กราฟค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานตัวอย่าง คือ



ภาพที่ 5.12 (ก) แสดงกราฟ X bar แสดงค่าที่ได้จากการคำนวณค่าสุ่มการวัดอุณหภูมิน้ำในถัง เมื่อระบบถูกรบกวนจากสาเหตุที่ผิดปกติ (เมื่อ  $n = 7$ )

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 5.12 (ข) แสดงกราฟ S แสดงค่าที่ได้จากการคำนวณค่าส่วนการวัดอุณหภูมิน้ำในถัง เมื่อระบบถูกรบกวนจากสาเหตุที่ผิดปกติ (เมื่อ  $n = 7$ )

#### 5.4.3 กรณีที่เติมน้ำอุณหภูมิ 29 °C ปริมาณ 0.5 ลิตร ทุก ๆ 1 นาที เป็นเวลา 5 นาที

##### 1. บันทึกค่าก่อนการทดลอง

ปริมาณน้ำที่ใช้ในการทดลองจำนวน 8 ลิตร

- อุณหภูมิของน้ำ 31 °C
- อุณหภูมิห้อง 29 °C
- อุณหภูมิที่ต้องการควบคุม คือ 60 °C

##### 2. ทำการเริ่มกระบวนการเพื่อควบคุมอุณหภูมิ โดยน้ำที่ใช้ในการทดลองตอนแรก

จำนวน 8 ลิตรแล้วรอนระบบอยู่ในการควบคุม (เข้า set point) ลักยะหนึ่ง จึงทำการเติมน้ำลงในถังประมาณ 0.5 ลิตรทุก ๆ 1 นาที เป็นเวลา 5 ครั้ง ซึ่งน้ำมีอุณหภูมิอยู่ที่ 29 °C (เสมือนว่าวาล์วเกิดรั่วหรือปิดไม่สนิท) จึงทำให้อุณหภูมิลดลงกะทันหัน

##### 3. เมื่อระบบอยู่ในสภาวะคงตัวแล้ว เริ่มบันทึกผลใน MSDE Database Manager ซึ่งจากการทดลองอุณหภูมิเริ่มเข้าสภาวะคงที่แล้ว จึงทำการเริ่มเก็บค่าผลการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.10 แสดงค่าที่ได้จากการสุ่มวัดอุณหภูมิในถังเมื่อระบบถูกรบกวนจากสาเหตุที่ผิดปกติ  
เมื่อ  $n = 5$

Sample Number	Sam1	Sam2	Sam3	Sam4	Sam5	Average	Range	S	
1	60.02442	60.02442	60.04884	60.04884	60.02442	60.03419	0.02442	0.013375	
2	60.02442	60.04884	60.02442	60.02442	60.02442	60.0293	0.02442	0.010921	
3	60.04884	60.02442	59.97558	60.02442	60.04884	60.02442	0.07326	0.029908	
4	60.02442	60.02442	60.04884	60.04884	60.09768	60.04884	0.07326	0.029908	
5	60.21978	57.26496	57.26496	58.75458	57.24054	58.14896	2.979243	1.326954	
6	57.58242	56.48352	56.43468	56.77656	56.36142	56.72772	1.221001	0.503135	
7	55.50672	55.82418	54.77411	54.04151	53.87057	54.80342	1.953602	0.86431	
8	53.84615	53.79731	53.72405	53.67521	53.62637	53.73382	0.21978	0.089058	
9	53.57753	53.50427	53.47985	53.45543	53.67521	53.53846	0.21978	0.089058	
10	54.21245	54.60317	54.94505	55.28694	55.57998	54.92552	1.367521	0.541222	
11	55.94628	56.28816	56.60562	56.92308	57.28938	56.6105	1.343101	0.525286	
12	57.60684	57.94872	58.21734	58.55922	58.85226	58.23687	1.245421	0.490654	
13	59.16972	59.48718	59.80464	60.14652	60.41514	59.80464	1.245421	0.498372	
14	60.58608	60.39072	60.26862	60.19536	60.14652	60.31746	0.43956	0.176095	
15	60.04884	59.97558	59.97558	59.97558	60.02442	60	0.07326	0.034535	
16	60.04884	60.02442	59.97558	60.04884	60.04884	60.0293	0.07326	0.03184	
17	60.02442	60.02442	59.95116	59.95116	60.02448	59.99513	0.07332	0.040137	
18	60.02442	60.04884	60.04884	60.04884	60.02442	60.03907	0.02442	0.013375	
19	60.04884	59.97558	60.02442	60.04884	60.02442	60.02442	0.07326	0.029908	
20	60.02442	60.02442	60.04884	60.02442	60.02442	60.0293	0.02442	0.010921	
21	60.02442	60.04884	60.04884	60.04884	60.04884	60.04396	0.02442	0.010921	
22	60.02442	59.97558	59.97558	59.95116	60.02442	59.99023	0.07326	0.032763	
23	60.02442	60.02442	60.04884	60.02442	60.02442	60.0293	0.02442	0.010921	
24	60.02442	60.04884	60.02442	60.04884	60.02442	60.03419	0.02442	0.013375	
25	59.97558	60.02442	59.97558	60.02442	60.04884	60.00977	0.07326	0.032763	
						Avg.	58.68835	0.519661	0.217989

$$\text{Standard Derivation} = 2.2247$$

หาขีดจำกัดการควบคุมแผนภูมิค่าเฉลี่ย (X-bar Chart)

เมื่อ  $n = 5$  จะได้  $A_3 = 1.427$

จะได้

$$UCL_{\bar{x}} = 58.68835 + (1.427)(0.2179) = 58.9993$$

$$CL_{\bar{x}} = 58.68835$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$LCL_{\bar{x}} = 58.68835 - (1.427)(0.2179) = 58.3774$$

หาขีดจำกัดการควบคุมแผนภูมิค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานตัวอย่าง (S Chart)

เมื่อ  $n = 5$  จะได้  $B_4 = 2.089$ ,  $B_3 = 0$

จะได้

$$UCL_S = (2.089)(0.2179) = 0.45519$$

$$CL_S = 0.2179$$

$$LCL_S = (0)(0.2179) = 0$$

จากตารางที่ 5.10 เป็นการแสดงตารางการเก็บข้อมูล 125 ตัวอย่างของอุณหภูมิ ค่าเฉลี่ยและค่าพิสัยของกลุ่มตัวอย่างที่ได้จากการคำนวณของระบบ โดยระบบได้ถูกรบกวนจากสาเหตุที่ผิดปกติที่เกิดขึ้น โดยทำการเติมน้ำปริมาณ 0.5 ลิตร ที่มีอุณหภูมิ  $29^{\circ}\text{C}$  ลงไปในระบบทุกๆ 1 นาที เป็นเวลา 5 นาที

จาก

$$ARL = \frac{1}{1 - P_d}$$

เมื่อ  $n = 5$ ,  $z = 3$

ค่าเฉลี่ยของกระบวนการเท่ากับ  $\mu_0 = 60.01329$  (ค่าเฉลี่ยของกระบวนการในกรณีที่ระบบทำงานตามปกติ) โดยค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานตัวอย่างของกระบวนการในกรณีที่ระบบทำงานตามปกติคือ 0.029 จะได้

$$\sigma_{\bar{x}} = \frac{0.0290}{\sqrt{5}}$$

และค่าเฉลี่ยของกระบวนการที่เลื่อน ไปอยู่ที่

$$\mu_1 = (60.04884 + 58.14896 + 56.72772 + 54.80342 + 53.73382 + 53.53846 + 54.92552 + 56.6105 + 58.23687 + 59.80464 + 60.31746) / 11 = 56.99056$$

เมื่อมีการรบกวนระบบ โดยการเติมน้ำ  $0.5$  ลิตร  $29^{\circ}\text{C}$  ลงไปทุกๆ 1 นาที เป็นเวลา 5 นาที เราสามารถคำนวณค่าความคลาดเคลื่อนประเภทที่สองได้จาก

$$\beta = \phi \left[ z_{\frac{\alpha}{2}} - \frac{\delta\sqrt{n}}{\sigma} \right] - \phi \left[ -z_{\frac{\alpha}{2}} - \frac{\delta\sqrt{n}}{\sigma} \right]$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ  $\delta$  คือ ผลต่างของค่าเฉลี่ยของกระบวนการ  
ดังนั้น จะได้

$$\beta = \phi \left[ 3 - \frac{(3.02273)\sqrt{5}}{0.0290} \right] - \phi \left[ -3 - \frac{(3.02273)\sqrt{5}}{0.0290} \right]$$

$$\beta = \phi[-230] - \phi[-236]$$

$$\beta = 0$$

จะได้

$$ARL = \frac{1}{1-0} = 1$$

จากข้อมูลในตารางที่ 5.12 นำมาสร้างแผนภูมิควบคุม และเนื่องจากเป็นกระบวนการ  
ต่อเนื่องจึงใช้ขีดจำกัดการควบคุมจากกรณีกระบวนการทำงานตามปกติ ( $n=5$ )

$$UCL_{\bar{x}} = 60.04874$$

$$CL_{\bar{x}} = 60.01329$$

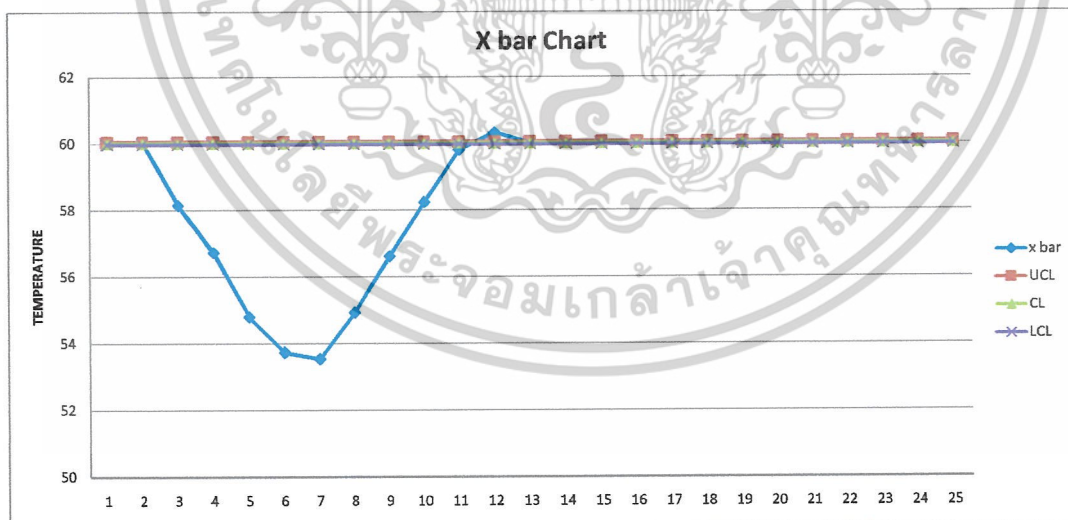
$$LCL_{\bar{x}} = 59.97783$$

$$UCL_s = 0.051899$$

$$CL_s = 0.024884$$

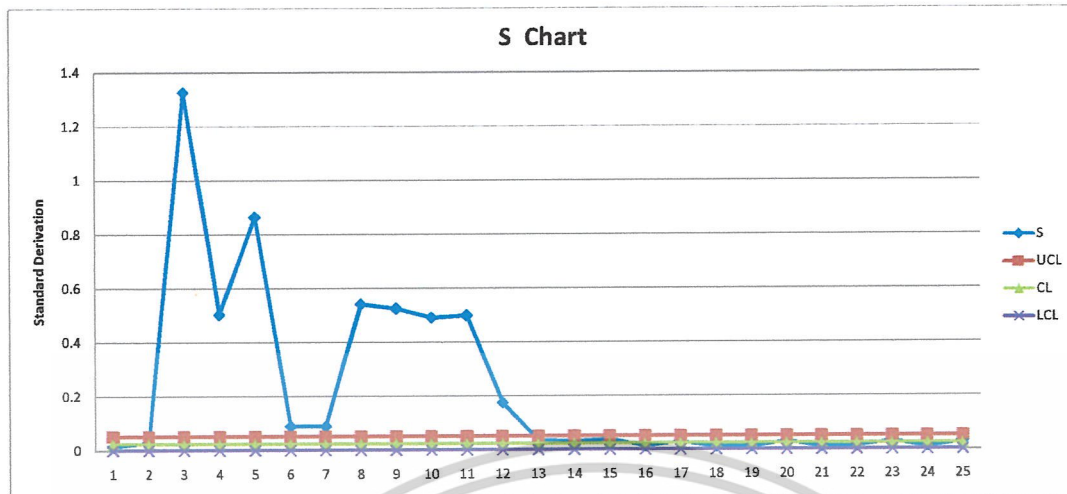
$$LCL_s = 0$$

จะได้กราฟค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานตัวอย่าง คือ



ภาพที่ 5.13 (ก) แสดงกราฟ  $\bar{X}$  แสดงค่าที่ได้จากการคำนวณค่าคู่การวัดอุณหภูมิในถัง  
เมื่อระบบถูกรบกวนจากสาเหตุที่ผิดปกติ (เมื่อ  $n = 5$ )

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 5.13 (ข) แสดงกราฟ S แสดงค่าที่ได้จากการคำนวณค่าส่วนการวัดอุณหภูมิน้ำในถัง เมื่อระบบถูกรบกวนจากสาเหตุที่ผิดปกติ ( $n = 5$ )

จากภาพที่ 5.13 เป็นกราฟ  $\bar{X}-S$  ที่แสดงอุณหภูมิที่ได้จากการคำนวณทางสถิติ ซึ่งระบบถูกรบกวนจากสาเหตุที่ผิดปกติที่เกิดขึ้น โดยการเติมน้ำปริมาณ 0.5 ลิตร ที่มีอุณหภูมิ  $29^{\circ}\text{C}$  เข้าสู่ระบบ ทุก ๆ 1 นาที เป็นเวลา 5 นาที จากกราฟค่าเฉลี่ย ( $\bar{X}$ -Chart) จะเห็นได้ว่าระบบพยายามคงค่าเมื่อสภาวะคงตัวให้อยู่ที่  $60^{\circ}\text{C}$  เมื่อมีการเติมน้ำปริมาณ 0.5 ลิตร ที่มีอุณหภูมิ  $29^{\circ}\text{C}$  ลงในถัง ทำให้ระบบทำงานผิดปกติ อุณหภูมิจะลดลงช่วงหนึ่ง และเมื่อหยุดกรบกวนระบบจะพยายามกลับเข้ามาสู่ค่าเป้าหมายที่เราได้ตั้งไว้คือ  $60^{\circ}\text{C}$  กราฟค่าเฉลี่ย ( $\bar{X}$  Chart) จะสามารถดักจับความผิดปกติที่เกิดขึ้นนั้นได้รวมถึงกราฟค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานตัวอย่าง ( $S$  Chart) ด้วย และนอกจากนั้นกราฟ  $\bar{X}-S$  ยังทำให้เรารู้และมองเห็นความเป็นไปของระบบ

4. เมื่อระบบอยู่ในสภาวะคงตัวแล้ว เริ่มบันทึกผลใน MSDE Database Manager ซึ่งจากการทดลองอุณหภูมิเริ่มเข้าสู่สภาวะคงที่ เมื่อจำนวนตัวอย่างการตรวจสอบคือ 7 ตัวอย่าง ( $n = 7$ )

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.11 แสดงค่าที่ได้จากการสุ่มวัดอุณหภูมิน้ำในถังเมื่อระบบถูกรบกวนจากสาเหตุที่ผิดปกติ  
เมื่อ  $n = 7$

Sample Number	Sam1	Sam2	Sam3	Sam4	Sam5	Sam6	Sam7	Average	Range	S	
1	60.02442	60.02442	60.04884	60.04884	60.02442	60.02442	60.04884	60.03489	0.02442	0.013053	
2	60.02442	60.02442	60.02442	60.04884	60.02442	59.97558	60.02442	60.02093	0.07326	0.021972	
3	60.04884	60.02442	60.02442	60.04884	60.04884	60.09768	60.21978	60.07326	0.19536	0.06907	
4	57.26496	57.26496	58.75458	57.24054	57.58242	56.48352	56.43468	57.28938	2.319902	0.776337	
5	56.77656	56.36142	55.50672	55.82418	54.77411	54.04151	53.87057	55.30787	2.905983	1.120081	
6	53.84615	53.79731	53.72405	53.67521	53.62637	53.57753	53.50427	53.6787	0.34188	0.120814	
7	53.47985	53.45543	53.67521	54.21245	54.60317	54.94505	55.28694	54.23687	1.831502	0.734633	
8	55.57998	55.94628	56.28816	56.60562	56.92308	57.28938	57.60684	56.60562	2.026862	0.725512	
9	57.94872	58.21734	58.55922	58.85226	59.16972	59.48718	59.80464	58.86272	1.855922	0.672749	
10	60.14652	60.41514	60.58608	60.39072	60.26862	60.19536	60.14652	60.30699	0.43956	0.164334	
11	60.04884	59.97558	59.97558	59.97558	60.02442	60.04884	60.02442	60.01047	0.07326	0.034122	
12	59.97558	60.04884	60.04884	60.02442	60.02442	59.95116	59.95116	60.00349	0.09768	0.043292	
13	60.02448	60.02442	60.04884	60.04884	60.04884	60.02442	60.04884	60.03838	0.02442	0.013042	
14	59.97558	60.02442	60.04884	60.02442	60.02442	60.02442	60.04884	60.02442	0.07326	0.02442	
15	60.02442	60.02442	60.02442	60.04884	60.04884	60.04884	60.04884	60.03837	0.02442	0.013053	
16	60.02442	59.97558	59.97558	59.95116	60.02442	60.02442	60.02442	60	0.07326	0.031526	
17	60.04884	60.02442	60.02442	60.02442	60.04884	60.02442	60.04884	60.03489	0.02442	0.013053	
18	60.02442	59.97558	60.02442	59.97558	60.02442	60.04884	60.02442	60.01395	0.07326	0.02769	
19	60.02442	59.97558	59.95116	60.02442	60.02442	60.04884	60.02442	60.01047	0.09768	0.034122	
20	60.02442	59.95116	59.97558	59.97558	60.02448	59.97558	60.04884	59.99652	0.09768	0.035755	
21	60.04884	60.02442	59.97558	60.02442	60.02442	60.02442	59.95116	60.01047	0.09768	0.034122	
22	59.97558	60.02442	60.02442	59.97558	59.97558	59.97558	60.02448	59.99652	0.04889	0.026117	
23	59.97558	60.04884	60.02442	60.02442	60.02442	60.02442	60.02442	60.02093	0.07326	0.021972	
24	60.02442	60.04884	60.02442	60.04884	60.02442	59.97558	60.02442	60.02442	0.07326	0.02442	
25	60.04884	60.02442	60.02442	59.97558	60.02442	59.95116	59.97558	60.00349	0.09768	0.035747	
								Avg.	59.06576	0.522591	0.19324

Standard Derivation = 1.9712

หาขีดจำกัดการควบคุมแผนภูมิค่าเฉลี่ย (X-bar Chart)

เมื่อ  $n=7$  จะได้  $A_3 = 1.182$

จะได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$UCL_{\bar{x}} = 59.0657 + (1.182)(0.19324) = 59.29411$$

$$CL_{\bar{x}} = 59.06576$$

$$LCL_{\bar{x}} = 59.06576 - (1.182)(0.19324) = 58.83735$$

หาขีดจำกัดการควบคุมแผนภูมิค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานตัวอย่าง (S Chart)

เมื่อ  $n = 7$  จะได้  $B_4 = 1.882, B_3 = 0.118$

จะได้

$$UCL_S = (1.882)(0.19324) = 0.36367$$

$$CL_S = 0.19324$$

$$LCL_S = (0.118)(0.19324) = 0.02280$$

เมื่อ  $n = 7, z = 3$

ค่าเฉลี่ยของกระบวนการเท่ากับ  $\mu_0 = 60.01493$  (ค่าเฉลี่ยของกระบวนการในกรณีที่ระบบทำงานตามปกติ) โดยค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานตัวอย่างของกระบวนการในกรณีที่ระบบทำงานตามปกติ คือ 0.0284 จะได้

$$\sigma_{\bar{x}} = \frac{0.0284}{\sqrt{7}}$$

และค่าเฉลี่ยของกระบวนการที่เลื่อนไปอยู่ที่

$$\begin{aligned} \mu_1 &= (60.07326 + 57.28938 + 55.38787 + 53.6787 + 54.23687 + 56.60562 + 58.86272 + 60.30699) / 8 \\ &= 57.04513 \end{aligned}$$

เมื่อมีการรบกวนระบบโดยการเติมน้ำ 1 ลิตร  $29^\circ\text{C}$  ลงไป เราสามารถคำนวณค่าความคลาดเคลื่อนประเภทที่สองได้จาก

$$\beta = \phi \left[ \frac{z_{\alpha/2} - \frac{\delta\sqrt{n}}{\sigma}}{2} \right] - \phi \left[ \frac{-z_{\alpha/2} - \frac{\delta\sqrt{n}}{\sigma}}{2} \right]$$

เมื่อ  $\delta$  คือ ผลต่างของค่าเฉลี่ยของกระบวนการ

ดังนั้น จะได้

$$\beta = \phi \left[ 3 - \frac{(2.969)\sqrt{7}}{0.0284} \right] - \phi \left[ -3 - \frac{(2.969)\sqrt{7}}{0.0284} \right]$$

$$\beta = \phi[-273] - \phi[-279]$$

$$\beta = 0$$

จะได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$ARL = \frac{1}{1-0} = 1$$

จากข้อมูลในตารางที่ 8 นำมาสร้างแผนภูมิควบคุม และเนื่องจากเป็นกระบวนการต่อเนื่อง จึงใช้ขีดจำกัดการควบคุมจากกรณีกระบวนการทำงานตามปกติ ( $n=7$ )

$$UCL_{\bar{x}} = 60.0450$$

$$UCL_S = 0.047867$$

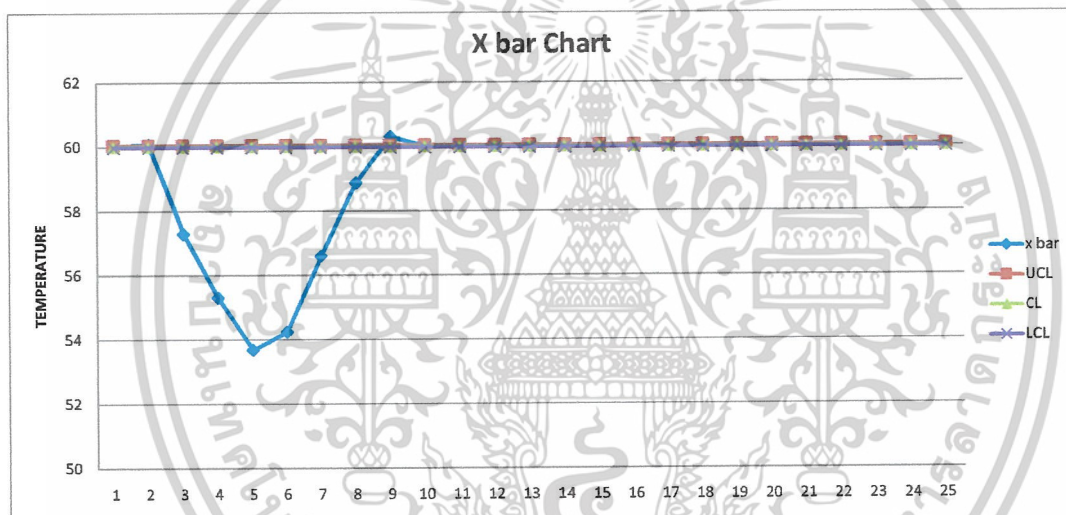
$$CL_{\bar{x}} = 60.01493$$

$$CL_S = 0.025434$$

$$LCL_{\bar{x}} = 59.98487$$

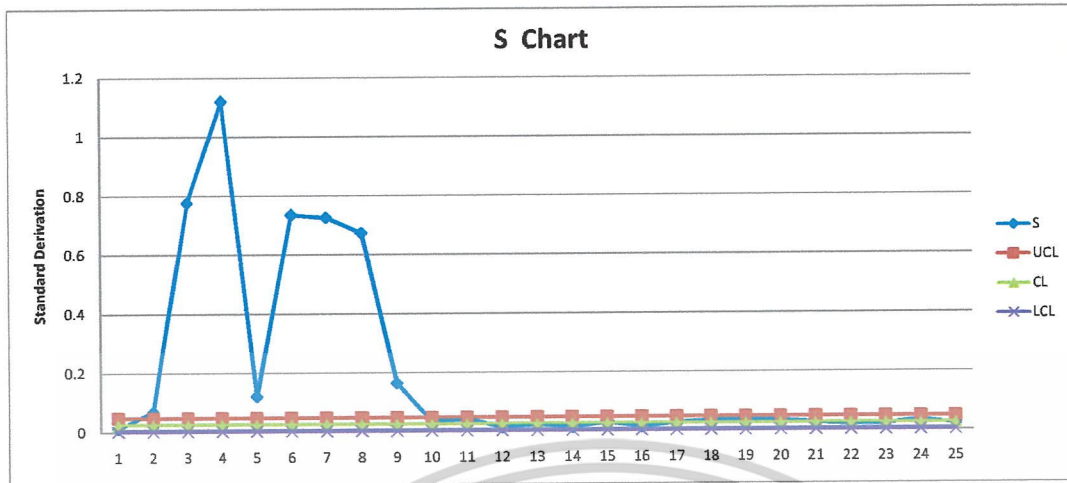
$$LCL_S = 0.003001$$

จะได้กราฟค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานตัวอย่าง คือ



ภาพที่ 5.14 (ก) แสดงกราฟ X bar แสดงค่าที่ได้จากการคำนวณค่าส่วนการวัดอุณหภูมิน้ำในถัง เมื่อระบบถูกรบกวนจากสาเหตุที่ผิดปกติ ( $n = 7$ )

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 5.14 (ข) แสดงกราฟ S แสดงค่าที่ได้จากการคำนวณค่าผู้มการวัดอุณหภูมิในถัง  
เมื่อระบบถูกรบกวนจากสาเหตุที่ผิดปกติ ( $n = 7$ )

#### 5.4.4 กรณีที่เติมน้ำอุณหภูมิ $44^{\circ}\text{C}$ ปริมาณ 0.5 ลิตร ทุก ๆ 1 นาที เป็นเวลา 5 นาที

##### 1. บันทึกค่าก่อนการทดลอง

ปริมาณน้ำที่ใช้ในการทดลองจำนวน 8 ลิตร

- อุณหภูมิของน้ำ  $31^{\circ}\text{C}$
- อุณหภูมิห้อง  $29^{\circ}\text{C}$
- อุณหภูมิที่ต้องการควบคุม คือ  $60^{\circ}\text{C}$

2. ทำการเริ่มกระบวนการเพื่อควบคุมอุณหภูมิ โดยน้ำที่ใช้ในการทดลองตอนแรกจำนวน 8 ลิตรแล้วรอนระบบอยู่ในการควบคุม (เข้า set point) สักระยะหนึ่ง จึงทำการเติมน้ำอุณหภูมิอยู่ที่  $44^{\circ}\text{C}$  ลงในถังประมาณ 0.5 ลิตร ซึ่งน้ำมี (เสมือนว่าวาล์วเกิดรั่วหรือปิดไม่สนิท) จึงทำให้อุณหภูมิลดลง

3. เมื่อระบบอยู่ในสภาวะคงตัวแล้ว เริ่มบันทึกผลใน MSDE Database Manager ซึ่งจากการทดลองอุณหภูมิเริ่มเข้าสภาวะคงที่

ตารางที่ 5.12 แสดงค่าที่ได้จากการสุ่มวัดอุณหภูมิน้ำในถังเมื่อระบบถูกรบกวนจากสาเหตุที่ผิดปกติ  
เมื่อ  $n = 5$

Sample Number	Sam1	Sam2	Sam3	Sam4	Sam5	Average	Range	S
1	60.02442	60.02442	60.04884	60.02442	60.02442	60.0293	0.02442	0.010921
2	60.04884	59.68254	59.09646	59.41392	59.04762	59.45788	1.001221	0.418503
3	58.36386	58.68132	58.26618	57.85104	58.19292	58.27106	0.830281	0.29978
4	57.87546	57.36264	57.65568	56.67888	56.89866	57.29426	1.196581	0.502068
5	59.97558	59.97558	57.89988	60.02442	58.58364	59.29182	2.124542	0.988785
6	58.94994	59.29182	59.58486	59.97558	60.26862	59.61416	1.318681	0.52557
7	60.53724	60.46398	60.26862	60.19536	60.14652	60.32234	0.39072	0.170416
8	60.04884	59.97558	59.95116	59.97558	60.02442	59.99512	0.09768	0.040126
9	60.07326	60.07326	60.07326	60.04884	60.04884	60.06349	0.02442	0.013375
10	60.04884	60.02448	59.95116	59.97558	59.97558	59.99513	0.09768	0.040137
11	60.02442	59.95116	59.97558	60.02448	59.97558	59.99024	0.07332	0.032779
12	60.04884	59.97558	59.97558	59.97558	60.02442	60	0.07326	0.034535
13	59.97558	59.97558	60.04884	60.04884	59.97558	60.00488	0.07326	0.040126
14	60.04884	60.02442	60.04884	60.02442	60.02442	60.03419	0.02442	0.013375
15	60.02442	59.97558	59.97558	59.97558	59.97558	59.98535	0.04884	0.021842
16	60.04884	60.04884	60.04884	60.02442	60.04884	60.04396	0.02442	0.010921
17	60.02442	59.94994	60.0244	59.97558	59.97558	59.98998	0.07448	0.033124
18	60.02442	60.04884	60.02442	60.02442	60.02442	60.0293	0.02442	0.010921
19	60.04884	60.02442	60.04884	60.02448	59.95116	60.01955	0.09768	0.040128
20	59.97558	59.97558	59.97558	60.02448	59.97558	59.98536	0.0489	0.021869
21	60.02442	60.02442	60.04884	60.04884	60.02442	60.03419	0.02442	0.013375
22	60.04884	60.02442	60.02442	59.95116	59.97558	60.00488	0.09768	0.040126
23	59.97558	60.02448	59.97558	60.04884	60.04884	60.01466	0.07326	0.037039
24	60.02442	60.02442	59.97558	60.02442	60.02442	60.01465	0.04884	0.021842
25	60.02442	60.04884	59.97558	60.04884	60.02442	60.02442	0.07326	0.029908
						Avg.	59.78041	0.136464

หาขีดจำกัดการควบคุมแผนภูมิค่าเฉลี่ย (X-bar Chart)

เมื่อ  $n=5$  จะได้  $A_3 = 1.427$

จะได้

$$UCL_{\bar{x}} = 59.78041 + (1.427)(0.136464) = 59.97514$$

$$CL_{\bar{x}} = 59.78041$$

$$LCL_{\bar{x}} = 59.78041 - (1.427)(0.136464) = 59.58568$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หาขีดจำกัดการควบคุมแผนภูมิค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานตัวอย่าง (S Chart)

เมื่อ  $n=5$  จะได้  $B_4=2.089$ ,  $B_3=0$

จะได้

$$UCL_S = (2.089)(0.136464) = 0.28507$$

$$CL_S = 0.136464$$

$$LCL_S = (0)(0.136464) = 0$$

จาก

$$ARL = \frac{1}{1 - P_d}$$

เมื่อ  $n = 5$ ,  $z = 3$

ค่าเฉลี่ยของกระบวนการเท่ากับ  $\mu_0 = 60.01329$  (ค่าเฉลี่ยของกระบวนการในกรณีที่ระบบทำงานตามปกติ) โดยค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานตัวอย่างของกระบวนการในกรณีที่ระบบทำงานตามปกติคือ 0.029 จะได้

$$\sigma_{\bar{x}} = \frac{0.0290}{\sqrt{5}}$$

และค่าเฉลี่ยของกระบวนการที่เลื่อนไปอยู่ที่

$$\mu_1 = (59.45788 + 58.27106 + 57.29426 + 59.29182 + 59.61416 + 60.32234) / 6 = 59.04192$$

เมื่อมีการรบกวนระบบ โดยการเติมน้ำ 0.5 ลิตร 44 °C ลงไปทุกๆ 1 นาที เป็นเวลา 5 นาที เราสามารถคำนวณค่าความคลาดเคลื่อนประเภทที่สองได้จาก

$$\beta = \phi \left[ \frac{z_{\alpha/2} - \frac{\delta\sqrt{n}}{\sigma}}{\sigma} \right] - \phi \left[ -\frac{z_{\alpha/2} - \frac{\delta\sqrt{n}}{\sigma}}{\sigma} \right]$$

เมื่อ  $\delta$  คือ ผลต่างของค่าเฉลี่ยของกระบวนการ

ดังนั้น จะได้

$$\beta = \phi \left[ 3 - \frac{(0.97137)\sqrt{5}}{0.0290} \right] - \phi \left[ -3 - \frac{(0.97137)\sqrt{5}}{0.0290} \right]$$

$$\beta = \phi[-71.9] - \phi[-77.9]$$

$$\beta = 0$$

จะได้

$$ARL = \frac{1}{1 - 0} = 1$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากข้อมูลในตารางที่ 5.12 นำมาสร้างแผนภูมิควบคุม และเนื่องจากเป็นกระบวนการ ต่อเนื่องจึงใช้ขีดจำกัดการควบคุมจากกรณีกระบวนการทำงานตามปกติ ( $n=5$ )

$$UCL_{\bar{x}} = 60.04874$$

$$UCL_S = 0.051899$$

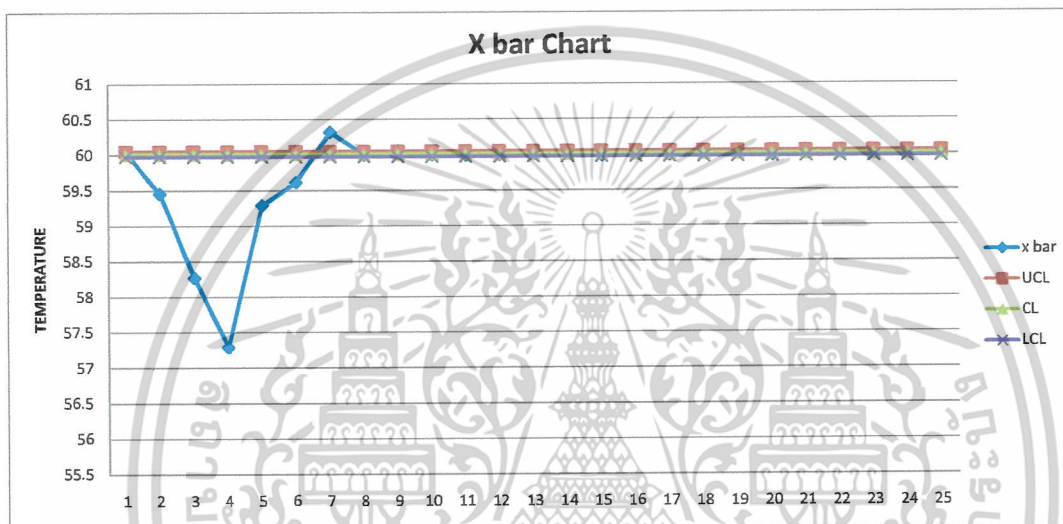
$$CL_{\bar{x}} = 60.01329$$

$$CL_S = 0.024884$$

$$LCL_{\bar{x}} = 59.97783$$

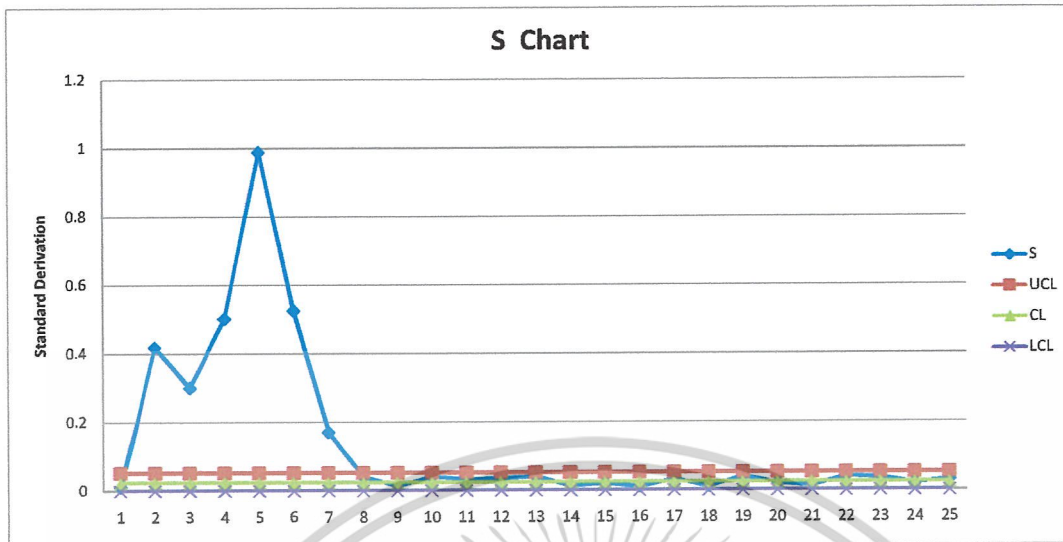
$$LCL_S = 0$$

จะได้กราฟค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานตัวอย่าง คือ



ภาพที่ 5.15 (ก) แสดงกราฟ X bar แสดงค่าที่ได้จากการคำนวณค่าส่วนการวัดอุณหภูมิในถัง เมื่อระบบถูกรบกวนจากสาเหตุที่ผิดปกติ ( $n = 5$ )

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 5.15 (ข) แสดงกราฟ S แสดงค่าที่ได้จากการคำนวณค่าส่วนการวัดอุณหภูมิน้ำในถัง เมื่อระบบถูกรบกวนจากสาเหตุที่ผิดปกติ ( $n = 5$ )

จากภาพที่ 5.15 เป็นกราฟ  $\bar{X}$ -S ที่แสดงอุณหภูมิที่ได้จากการคำนวณทางสถิติ ซึ่งระบบถูกรบกวนจากสาเหตุที่ผิดปกติที่เกิดขึ้น โดยการเติมน้ำที่มีอุณหภูมิ  $44^{\circ}\text{C}$  ปริมาณ 0.5 ลิตร เข้าสู่ระบบ ทุก ๆ 1 นาที เป็นเวลา 5 นาที จากกราฟค่าเฉลี่ย ( $\bar{X}$ -Chart) จะเห็นได้ว่าระบบพยายามคงค่าเมื่อสภาวะคงตัวให้อยู่ที่  $60^{\circ}\text{C}$  เมื่อมีการเติมน้ำที่มีอุณหภูมิ  $44^{\circ}\text{C}$  ปริมาณ 0.5 ลิตร ลงในถังทุก ๆ 1 นาที เป็นเวลา 5 นาที ทำให้ระบบทำงานผิดปกติ อุณหภูมิน้ำจะลดลงช่วงหนึ่ง และเมื่อหยุดรบกวนระบบจะพยายามกลับเข้ามาสู่ค่าเป้าหมายที่เราได้ตั้งไว้คือ  $60^{\circ}\text{C}$  กราฟค่าเฉลี่ย ( $\bar{X}$ -Chart) จะสามารถดักจับความผิดปกติที่เกิดขึ้นนั้นได้รวมถึงกราฟค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานตัวอย่าง ( $S$  Chart) ด้วย และนอกจากนั้นกราฟ  $\bar{X}$ -S ยังทำให้เรารู้และมองเห็นความเป็นไปของระบบ

4. เมื่อระบบอยู่ในสภาวะคงตัวแล้ว เริ่มบันทึกผลใน MSDE Database Manager ซึ่งจากการทดลองอุณหภูมิเริ่มเข้าสภาวะคงที่ เมื่อจำนวนตัวอย่างการตรวจสอบคือ 7 ตัวอย่าง ( $n = 7$ )

ตารางที่ 5.13 แสดงค่าที่ได้จากการสุ่มวัดอุณหภูมิน้ำในถังเมื่อระบบถูกรบกวนจากสาเหตุที่ผิดปกติ  
เมื่อ  $n = 7$

Sample Number	Sam1	Sam2	Sam3	Sam4	Sam5	Sam6	Sam7	Average	Range	S	
1	60.02442	60.02442	60.04884	60.04884	60.02442	60.02442	60.04884	60.03489	0.02442	0.013053	
2	60.02442	60.02442	60.02442	60.04884	60.02442	59.97558	60.02442	60.02093	0.07326	0.021972	
3	60.04884	60.02442	60.02442	60.04884	60.04884	60.09768	60.21978	60.07326	0.19536	0.06907	
4	57.26496	57.26496	58.75458	57.24054	57.58242	56.48352	56.43468	57.28938	2.319902	0.776337	
5	56.77656	56.36142	55.50672	55.82418	54.77411	54.04151	53.87057	55.30787	2.905983	1.120081	
6	53.84615	53.79731	53.72405	53.67521	53.62637	53.57753	53.50427	53.6787	0.34188	0.120814	
7	53.47985	53.45543	53.67521	54.21245	54.60317	54.94505	55.28694	54.23687	1.831502	0.734633	
8	55.57998	55.94628	56.28816	56.60562	56.92308	57.28938	57.60684	56.60562	2.026862	0.725512	
9	57.94872	58.21734	58.55922	58.85226	59.16972	59.48718	59.80464	58.86272	1.855922	0.672749	
10	60.14652	60.41514	60.58608	60.39072	60.26862	60.19536	60.14652	60.30699	0.43956	0.164334	
11	60.04884	59.97558	59.97558	59.97558	60.02442	60.04884	60.02442	60.01047	0.07326	0.034122	
12	59.97558	60.04884	60.04884	60.02442	60.02442	59.95116	59.95116	60.00349	0.09768	0.043292	
13	60.02448	60.02442	60.04884	60.04884	60.04884	60.02442	60.04884	60.03838	0.02442	0.013042	
14	59.97558	60.02442	60.04884	60.02442	60.02442	60.02442	60.04884	60.02442	0.07326	0.02442	
15	60.02442	60.02442	60.02442	60.04884	60.04884	60.04884	60.04884	60.03837	0.02442	0.013053	
16	60.02442	59.97558	59.97558	59.95116	60.02442	60.02442	60.02442	60	0.07326	0.031526	
17	60.04884	60.02442	60.02442	60.02442	60.04884	60.02442	60.04884	60.03489	0.02442	0.013053	
18	60.02442	59.97558	60.02442	59.97558	60.02442	60.04884	60.02442	60.01395	0.07326	0.02769	
19	60.02442	59.97558	59.95116	60.02442	60.02442	60.04884	60.02442	60.01047	0.09768	0.034122	
20	60.02442	59.95116	59.97558	59.97558	60.02448	59.97558	60.04884	59.99652	0.09768	0.035755	
21	60.04884	60.02442	59.97558	60.02442	60.02442	60.02442	59.95116	60.01047	0.09768	0.034122	
22	59.97558	60.02442	60.02442	59.97558	59.97558	59.97558	60.02448	59.99652	0.0489	0.026117	
23	59.97558	60.04884	60.02442	60.02442	60.02442	60.02442	60.02442	60.02093	0.07326	0.021972	
24	60.02442	60.04884	60.02442	60.04884	60.02442	59.97558	60.02442	60.02442	0.07326	0.02442	
25	60.04884	60.02442	60.02442	59.97558	60.02442	59.95116	59.97558	60.00349	0.09768	0.035747	
								Avg.	59.06576	0.522591	0.19324

Standard Deviation = 1.9712

หาขีดจำกัดการควบคุมแผนภูมิค่าเฉลี่ย (X-bar Chart)

เมื่อ  $n=7$  จะได้  $A_3 = 1.182$

จะได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$UCL_{\bar{x}} = 59.0657 + (1.182)(0.19324) = 59.29411$$

$$CL_{\bar{x}} = 59.06576$$

$$LCL_{\bar{x}} = 59.06576 - (1.182)(0.19324) = 58.83735$$

หาขีดจำกัดการควบคุมแผนภูมิค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานตัวอย่าง (S Chart)

เมื่อ  $n = 7$  จะได้  $B_4 = 1.882$ ,  $B_3 = 0.118$

จะได้

$$UCL_S = (1.882)(0.19324) = 0.36367$$

$$CL_S = 0.19324$$

$$LCL_S = (0.118)(0.19324) = 0.02280$$

จาก

$$ARL = \frac{1}{1 - P_d}$$

เมื่อ  $n = 7$ ,  $z = 3$

ค่าเฉลี่ยของกระบวนการเท่ากับ  $\mu_0 = 60.01493$  (ค่าเฉลี่ยของกระบวนการในกรณีที่ระบบทำงานตามปกติ) โดยค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานตัวอย่างของกระบวนการในกรณีที่ระบบทำงานตามปกติคือ 0.0284 จะได้

$$\sigma_{\bar{x}} = \frac{0.0284}{\sqrt{7}}$$

และค่าเฉลี่ยของกระบวนการที่เลื่อนไปอยู่ที่

$$\begin{aligned} \mu_1 &= (60.07326 + 57.28938 + 55.38787 + 53.6787 + 54.23687 + 56.60562 + 58.86272 + 60.30699) / 8 \\ &= 57.04513 \end{aligned}$$

เมื่อมีการรบกวนระบบโดยการเติมน้ำ 29°C ปริมาณ 1 ลิตร ลงไป เราสามารถคำนวณค่าความคลาดเคลื่อนประเภทที่สองได้จาก

$$\beta = \phi \left[ \frac{z_{\frac{\alpha}{2}} - \frac{\delta\sqrt{n}}{\sigma}}{\sigma} \right] - \phi \left[ -\frac{z_{\frac{\alpha}{2}} - \frac{\delta\sqrt{n}}{\sigma}}{\sigma} \right]$$

เมื่อ  $\delta$  คือ ผลต่างของค่าเฉลี่ยของกระบวนการ

ดังนั้น จะได้

$$\beta = \phi \left[ 3 - \frac{(2.969)\sqrt{7}}{0.0284} \right] - \phi \left[ -3 - \frac{(2.969)\sqrt{7}}{0.0284} \right]$$

$$\beta = \phi[-273] - \phi[-279]$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\beta = 0$$

จะได้

$$ARL = \frac{1}{1-0} = 1$$

จากข้อมูลในตารางที่ 5.13 นำมาสร้างแผนภูมิควบคุม และเนื่องจากเป็นกระบวนการต่อเนื่องจึงใช้ขีดจำกัดการควบคุมจากกรณีกระบวนการทำงานตามปกติ ( $n = 7$ )

$$UCL_{\bar{x}} = 60.0450$$

$$UCL_S = 0.047867$$

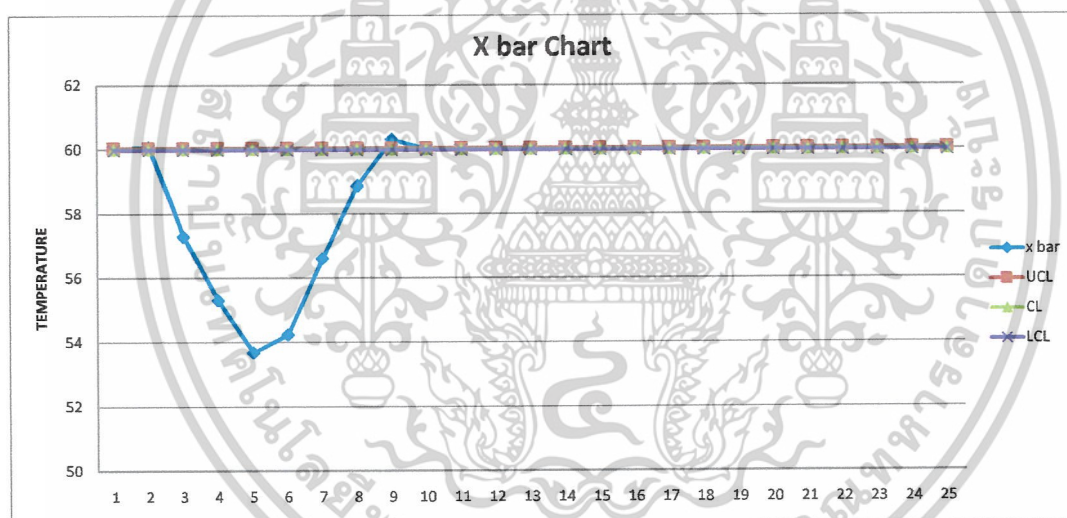
$$CL_{\bar{x}} = 60.01493$$

$$CL_S = 0.025434$$

$$LCL_{\bar{x}} = 59.98487$$

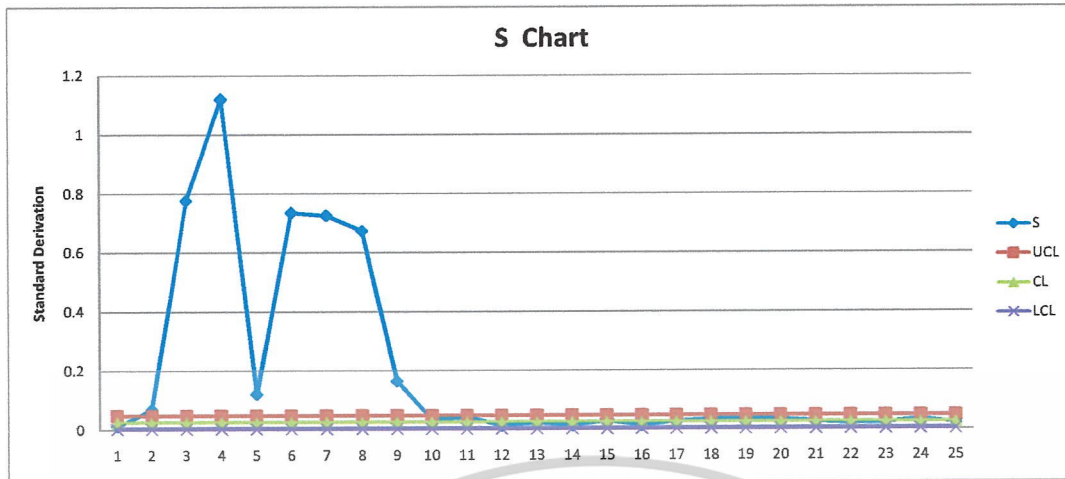
$$LCL_S = 0.003001$$

จะได้กราฟค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานตัวอย่าง คือ



ภาพที่ 5.16 (ก) แสดงกราฟ X bar แสดงค่าที่ได้จากการคำนวณค่าผู้มการวัดอุณหภูมิน้ำในถังเมื่อระบบถูกรบกวนจากสาเหตุที่ผิดปกติ ( $n = 7$ )

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 5.16 (ข) แสดงกราฟ  $\bar{X}$  แสดงค่าที่ได้จากการคำนวณค่าส่วนการวัดอุณหภูมิในถัง เมื่อระบบถูกรบกวนจากสาเหตุที่ผิดปกติ ( $n = 7$ )



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 5.4.5 กรณีที่ขจัดลดทำความร้อนหยุดการทำงานไปช่วงหนึ่ง

1. จากกรณีเมื่อกระบวนการเข้าสู่สภาวะคงตัว
2. เริ่มบันทึกผลใน MSDE Database Manager
3. ทำการรบกวนกระบวนการ โดยหยุดการทำงานของขจัดลดทำความร้อนไปช่วงหนึ่ง (เสมือนว่าเกิดไฟตกหรือดับไปชั่วขณะ) จึงทำให้อุณหภูมิในถังลดลงเรื่อย ๆ
4. จากนั้นเปิดให้ขจัดลดทำความร้อนทำงานตามปกติ

ตารางที่ 5.14 แสดงค่าที่ได้จากการสุ่มวัดอุณหภูมิในถังเมื่อระบบถูกรบกวนจากสาเหตุที่ผิดปกติ

Sample Number	Sam1	Sam2	Sam3	Sam4	Sam5	Average	Range	S	
1	60.02442	60.04884	60.02442	60.02442	60.02442	60.0293	0.02442	0.010921	
2	60.02442	60.04884	60.02442	60.02442	59.95116	60.01465	0.09768	0.037035	
3	60.02442	60.04884	60.02442	60.02442	60.02442	60.0293	0.02442	0.010921	
4	59.82906	59.73138	59.68254	59.58486	59.48718	59.663	0.34188	0.131959	
5	59.43834	59.36508	59.29182	59.19414	59.12088	59.28205	0.31746	0.127593	
6	59.04762	58.99878	58.92552	58.82784	58.75458	58.91087	0.29304	0.120379	
7	58.68132	58.60806	58.55922	58.48596	58.38828	58.54457	0.29304	0.112703	
8	58.33944	58.24176	58.68132	58.60806	58.55922	58.48596	0.43956	0.186777	
9	58.48596	58.38828	58.33944	58.24176	58.33944	58.35897	0.2442	0.088722	
10	58.24176	59.19414	59.60928	60.04884	60.41514	59.50183	2.173382	0.840737	
11	60.63492	60.21978	60.04884	59.97558	59.92674	60.16117	0.708181	0.287182	
12	59.97558	60.04884	60.07326	60.04884	60.02442	60.03419	0.09768	0.037035	
13	60.02442	60.04884	60.02442	60.02442	59.97558	60.01954	0.07326	0.026751	
14	59.97558	60.02442	60.02448	60.02442	59.97558	60.0049	0.0489	0.026762	
15	59.97558	60.02442	60.02442	60.02442	60.02442	60.01465	0.04884	0.021842	
16	60.02442	60.02442	59.97558	59.97558	59.94994	59.98999	0.07448	0.033129	
17	59.95116	59.97558	60.02442	60.02442	60.02442	60	0.07326	0.034535	
18	60.02442	60.02442	60.02442	60.04884	60.02442	60.0293	0.02442	0.010921	
19	60.02442	60.02448	59.95116	59.97558	59.97558	59.99024	0.07332	0.032779	
20	60.02442	60.02442	60.04884	60.02442	60.02442	60.0293	0.02442	0.010921	
21	60.02442	60.02442	60.04884	60.02442	60.02442	60.0293	0.02442	0.010921	
22	60.02448	59.95116	59.97558	59.97558	60.02442	59.99024	0.07332	0.032779	
23	60.02442	60.02442	60.02442	60.02442	60.04884	60.0293	0.02442	0.010921	
24	60.02448	60.02442	59.97558	59.97558	60.02442	60.0049	0.0489	0.026762	
25	60.02442	60.02442	59.95116	59.97558	59.97558	59.99023	0.07326	0.032763	
						Avg.	59.72551	0.229607	0.09215

$$\text{Standard Derivation} = 0.5694$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หาขีดจำกัดการควบคุมแผนภูมิค่าเฉลี่ย (X-bar Chart)

เมื่อ  $n=5$  จะได้  $A_3 = 1.427$

จะได้

$$UCL_{\bar{x}} = 59.72551 + (1.427)(0.09215) = 59.8570$$

$$CL_{\bar{x}} = 59.72551$$

$$LCL_{\bar{x}} = 59.72551 - (1.427)(0.09215) = 59.59401$$

หาขีดจำกัดการควบคุมแผนภูมิค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานตัวอย่าง (S Chart)

เมื่อ  $n = 5$  จะได้  $B_4 = 2.089$ ,  $B_3 = 0$

จะได้

$$UCL_S = (2.089)(0.09215) = 0.19250$$

$$CL_S = 0.09215$$

$$LCL_S = (0)(0.09215) = 0$$

จาก

$$ARL = \frac{1}{1 - P_d}$$

เมื่อ  $n = 5$ ,  $z = 3$

ค่าเฉลี่ยของกระบวนการเท่ากับ  $\mu_0 = 60.01329$  (ค่าเฉลี่ยของกระบวนการในกรณีที่ระบบทำงานตามปกติ) โดยค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานตัวอย่างของกระบวนการในกรณีที่ระบบทำงานตามปกติ คือ 0.029 จะได้

$$\sigma_{\bar{x}} = \frac{0.0290}{\sqrt{5}}$$

และค่าเฉลี่ยของกระบวนการที่เลื่อนไปอยู่ที่

$$\begin{aligned} \mu_1 &= (59.663 + 59.28205 + 58.91087 + 58.54457 + 58.48596 + 58.35897 + 59.50183 + 60.16117) / 8 \\ &= 59.11355 \end{aligned}$$

เมื่อมีการบกพร่องระบบโดยการหยุดการทำงานของขดลวดทำความร้อนชั่วขณะหนึ่ง เราสามารถคำนวณค่าความคลาดเคลื่อนประเภทที่สองได้จาก

$$\beta = \phi \left[ z_{\frac{\alpha}{2}} - \frac{\delta\sqrt{n}}{\sigma} \right] - \phi \left[ -z_{\frac{\alpha}{2}} - \frac{\delta\sqrt{n}}{\sigma} \right]$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ  $\beta$  คือ ผลต่างของค่าเฉลี่ยของกระบวนการ  
ดังนั้น จะได้

$$\beta = \phi \left[ 3 - \frac{(0.89974)\sqrt{5}}{0.0290} \right] - \phi \left[ -3 - \frac{(0.89974)\sqrt{5}}{0.0290} \right]$$

$$\beta = \phi[-66] - \phi[-72]$$

$$\beta = 0$$

จะได้

$$ARL = \frac{1}{1-0} = 1$$

จากข้อมูลในตารางที่ 5.14 นำมาสร้างแผนภูมิควบคุม และเนื่องจากเป็นกระบวนการ  
ต่อเนื่องจึงใช้ขีดจำกัดการควบคุมจากกรณีกระบวนการทำงานตามปกติ ( $n=5$ )

$$UCL_{\bar{x}} = 60.04874$$

$$UCL_s = 0.051899$$

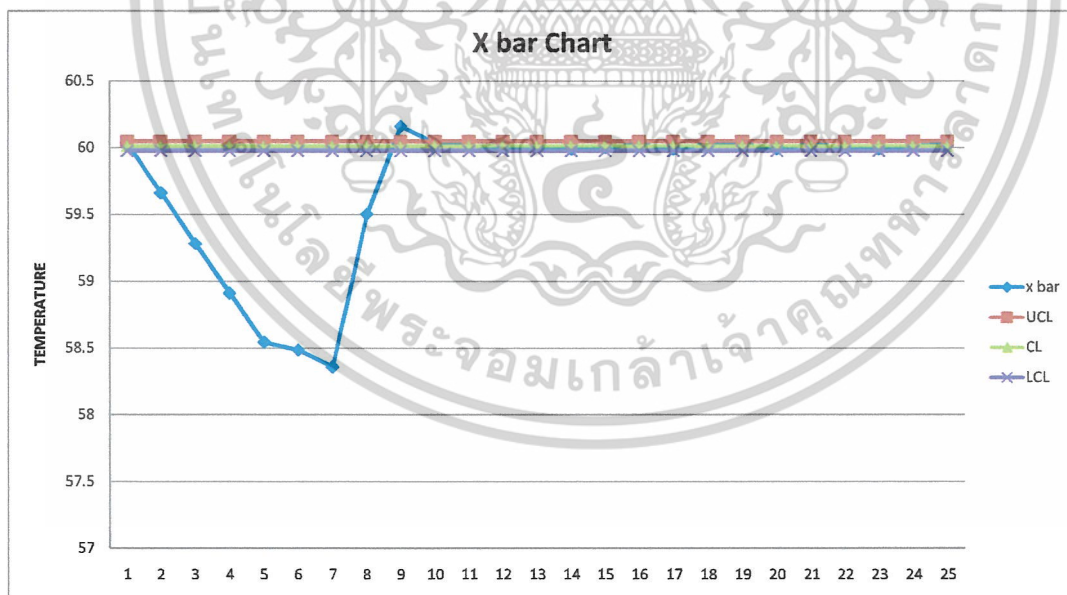
$$CL_{\bar{x}} = 60.01329$$

$$CL_s = 0.024884$$

$$LCL_{\bar{x}} = 59.97783$$

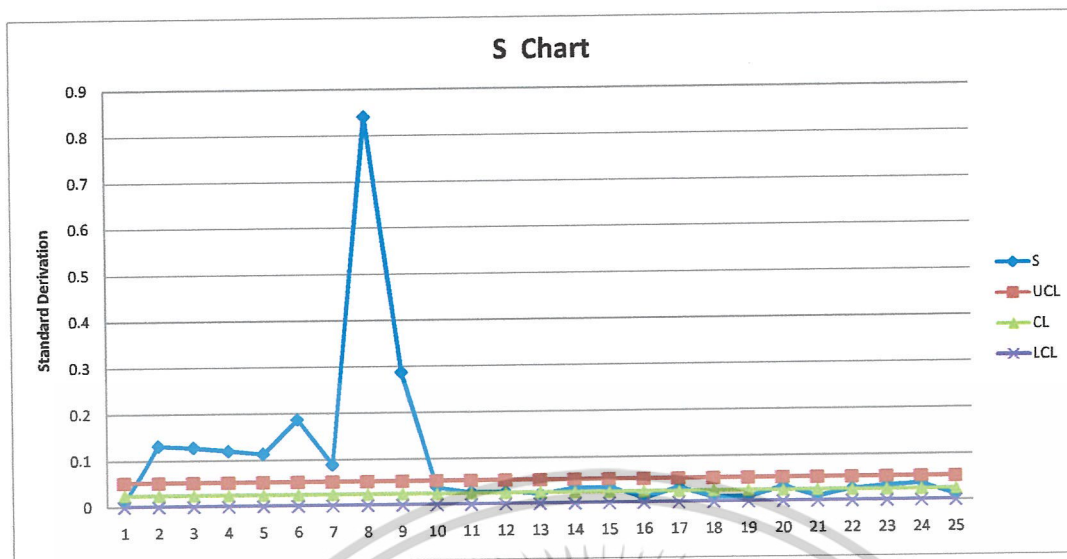
$$LCL_s = 0$$

จะได้กราฟค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานตัวอย่าง คือ



ภาพที่ 5.17 (ก) แสดงกราฟ X bar แสดงค่าที่ได้จากการคำนวณค่าสุ่มการวัดอุณหภูมิน้ำในถัง  
เมื่อระบบถูกรบกวนจากสาเหตุที่ผิดปกติ ( $n = 5$ )

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 5.17 (ข) แสดงกราฟ  $\bar{X}$  แสดงค่าที่ได้จากการคำนวณค่าสุ่มการวัดอุณหภูมิในถังเมื่อระบบ ถูกรบกวนจากสาเหตุที่ผิดปกติ ( $n = 5$ )

จากภาพที่ 5.17 เป็นกราฟ  $\bar{X}$ -S ที่แสดงอุณหภูมิที่ได้จากการคำนวณทางสถิติ ซึ่งระบบถูกรบกวนจากสาเหตุที่ผิดปกติที่เกิดขึ้นโดยขดลวดทำความร้อนหยุดทำงานไปช่วงหนึ่ง จากกราฟค่าเฉลี่ย ( $\bar{X}$ -Chart) จะเห็นได้ว่าระบบพยายามคงค่าเมื่อสภาวะคงตัวให้อยู่ที่  $60^{\circ}\text{C}$  เมื่อขดลวดทำความร้อนหยุดทำงานจะทำให้อุณหภูมิลดลงในช่วงหนึ่ง แล้วระบบจะพยายามกลับมาคงตัวให้อยู่ที่  $60^{\circ}\text{C}$  อีกครั้ง และจากกราฟค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานตัวอย่าง (S Chart) จะสามารถตรวจพบสิ่งผิดปกติที่เกิดจากการรบกวนได้ จะเห็นได้ว่าแผนภูมิควบคุมสามารถช่วยในการตรวจจับสาเหตุผิดปกติที่เกิดขึ้นได้

5. เมื่อระบบอยู่ในสภาวะคงตัวแล้ว เริ่มบันทึกผลใน MSDE Database Manager ซึ่งจากการทดลองอุณหภูมิเริ่มเข้าสู่สภาวะคงที่ เมื่อจำนวนตัวอย่างการตรวจสอบคือ 7 ตัวอย่าง ( $n = 7$ )

ตารางที่ 5.15 แสดงค่าที่ได้จากการสุ่มวัดอุณหภูมิน้ำในถังเมื่อระบบถูกรบกวนจากสาเหตุที่ผิดปกติ  
เมื่อ n=7

Sample Number	Sam1	Sam2	Sam3	Sam4	Sam5	Sam6	Sam7	Average	Range	S	
1	60.02442	60.02442	60.04884	60.02442	60.02442	60.02442	60.02442	60.02791	0.02442	0.00923	
2	60.02442	60.04884	59.68254	59.09646	59.41392	59.04762	58.36386	59.38252	1.684982	0.602588	
3	58.68132	58.26618	57.85104	58.19292	57.87546	57.36264	57.65568	57.98361	1.318681	0.434525	
4	56.67888	56.89866	59.97558	59.97558	57.89988	60.02442	58.58364	58.57666	3.345543	1.465453	
5	58.94994	59.29182	59.58486	59.97558	60.26862	60.53724	60.46398	59.86743	1.587302	0.609663	
6	60.26862	60.19536	60.14652	60.04884	59.97558	59.95116	59.97558	60.08024	0.31746	0.12429	
7	60.02442	60.07326	60.07326	60.07326	60.04884	60.04884	60.04884	60.05582	0.04884	0.01846	
8	60.02448	59.95116	59.97558	59.97558	60.02442	59.95116	59.97558	59.98257	0.07332	0.030626	
9	60.02448	59.97558	60.04884	59.97558	59.97558	59.97558	60.02442	60.00001	0.07326	0.031534	
10	59.97558	59.97558	60.04884	60.04884	59.97558	60.04884	60.02442	60.01395	0.07326	0.03692	
11	60.04884	60.02442	60.02442	60.02442	59.97558	59.97558	59.97558	60.00698	0.07326	0.030612	
12	59.97558	60.04884	60.04884	60.04884	60.02442	60.04884	60.02442	60.0314	0.07326	0.027172	
13	59.94994	60.0244	59.97558	59.97558	60.02442	60.04884	60.02442	60.00331	0.0989	0.036045	
14	60.02442	60.02442	60.04884	60.02442	60.04884	60.02448	59.95116	60.02094	0.09768	0.032851	
15	59.97558	59.97558	59.97558	60.02448	59.97558	60.02442	60.02442	59.99652	0.0489	0.026117	
16	60.04884	60.04884	60.02442	60.04884	60.02442	60.02442	59.95116	60.02442	0.09768	0.034535	
17	59.97558	59.97558	60.02448	59.97558	60.04884	60.04884	60.07326	60.01745	0.09768	0.041622	
18	60.02442	60.04884	59.97558	59.95116	60.02442	60.02442	60.04884	60.01395	0.09768	0.03692	
19	60.02442	60.04884	60.02442	59.97558	60.02442	60.04884	60.02442	60.02442	0.07326	0.02442	
20	60.02442	59.97558	60.02442	59.95116	59.97558	59.97558	59.97558	59.98605	0.07326	0.02769	
21	60.02448	59.97558	60.04884	60.02442	60.02442	60.04884	60.04884	60.02792	0.07326	0.026105	
22	60.02442	60.02442	59.97558	60.02442	60.04884	60.02442	60.02442	60.02093	0.07326	0.021972	
23	60.04884	60.02442	60.02442	60.02442	60.02442	60.04884	60.02442	60.0314	0.02442	0.011916	
24	60.02442	59.95116	60.02442	59.95116	59.97558	60.02442	60.02442	59.99651	0.07326	0.035747	
25	59.97558	60.02442	60.02442	60.02442	60.04884	59.97558	60.04884	60.01744	0.07326	0.030612	
								Avg.	59.84761	0.387844	0.152305

Standard Derivation = 0.4988

หาขีดจำกัดการควบคุมแผนภูมิค่าเฉลี่ย (X-bar Chart)

เมื่อ n=7 จะได้  $A_3 = 1.182$

จะได้

$$UCL_{\bar{x}} = 59.80896 + (1.182)(0.086126) = 59.91076$$

$$CL_{\bar{x}} = 59.80896$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$LCL_{\bar{x}} = 59.80896 - (1.182)(0.086126) = 59.5506$$

หาขีดจำกัดการควบคุมแผนภูมิค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานตัวอย่าง (S Chart)

เมื่อ  $n = 7$  จะได้  $B_4 = 1.882$ ,  $B_3 = 0.118$

จะได้

$$UCL_S = (1.882)(0.086126) = 0.16209$$

$$CL_S = 0.086126$$

$$LCL_S = (0.118)(0.086126) = 0.010163$$

จาก

$$ARL = \frac{1}{1 - P_d}$$

เมื่อ  $n = 7$ ,  $z = 3$

ค่าเฉลี่ยของกระบวนการเท่ากับ  $\mu_0 = 60.01493$  (ค่าเฉลี่ยของกระบวนการในกรณีที่ระบบทำงานตามปกติ) โดยค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานตัวอย่างของกระบวนการในกรณีที่ระบบทำงานตามปกติคือ 0.0284 จะได้

$$\sigma_{\bar{x}} = \frac{0.0284}{\sqrt{7}}$$

และค่าเฉลี่ยของกระบวนการที่เลื่อนไปอยู่ที่

$$\mu_1 = (59.68254 + 59.13483 + 58.61504 + 58.472 + 58.85924 + 60.17094) / 6 = 59.15576$$

เมื่อมีการรบกวนระบบโดยการหยุดการทำงานของขดลวดทำความร้อนชั่วคราวหนึ่ง เราสามารถคำนวณค่าความคลาดเคลื่อนประเภทที่สองได้จาก

$$\beta = \phi \left[ z_{\frac{\alpha}{2}} - \frac{\delta\sqrt{n}}{\sigma} \right] - \phi \left[ -z_{\frac{\alpha}{2}} - \frac{\delta\sqrt{n}}{\sigma} \right]$$

เมื่อ  $\delta$  คือ ผลต่างของค่าเฉลี่ยของกระบวนการ

ดังนั้น จะได้

$$\beta = \phi \left[ 3 - \frac{(0.8592)\sqrt{7}}{0.0284} \right] - \phi \left[ -3 - \frac{(0.8592)\sqrt{7}}{0.0284} \right]$$

$$\beta = \phi[-77] - \phi[-83]$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\beta = 0.61409$$

จะได้

$$ARL = \frac{1}{1-0} = 1$$

จากข้อมูลในตารางที่ 5.15 นำมาสร้างแผนภูมิควบคุม และเนื่องจากเป็นกระบวนการต่อเนื่องจึงใช้ขีดจำกัดการควบคุมจากกรณีกระบวนการทำงานตามปกติ ( $n=7$ )

$$UCL_{\bar{x}} = 60.0450$$

$$UCL_S = 0.047867$$

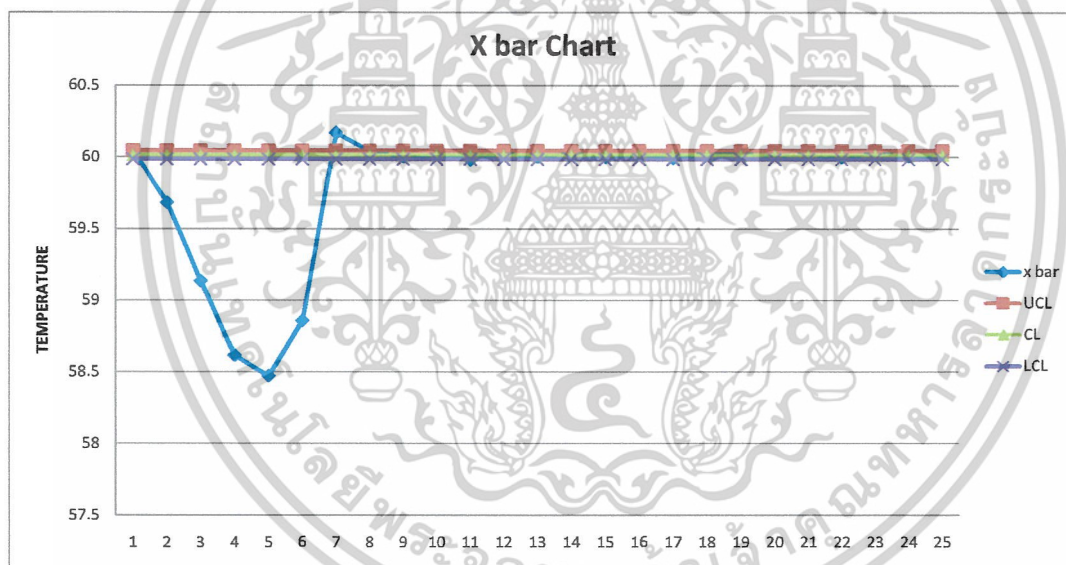
$$CL_{\bar{x}} = 60.01493$$

$$CL_S = 0.025434$$

$$LCL_{\bar{x}} = 59.98487$$

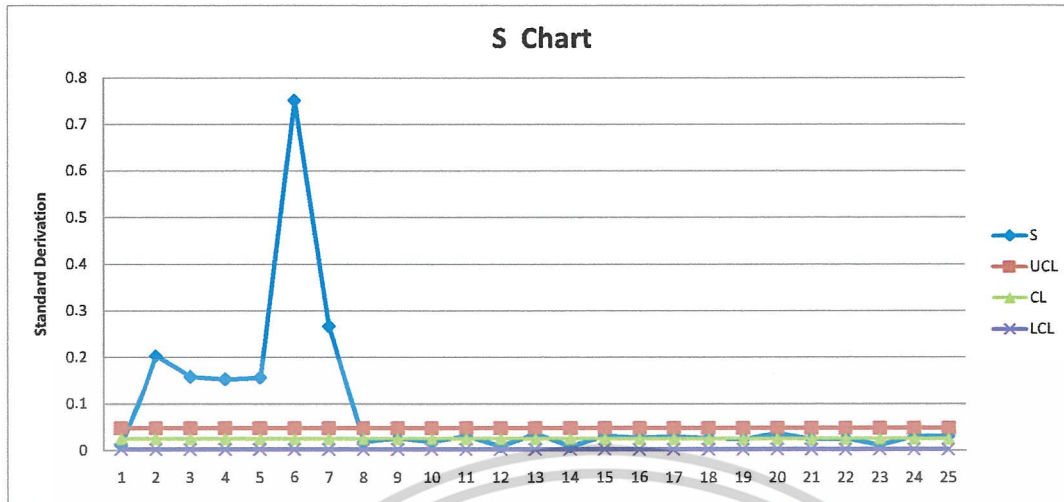
$$LCL_S = 0.003001$$

จะได้กราฟค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานตัวอย่าง คือ



ภาพที่ 5.18 (ก) แสดงกราฟ X bar แสดงค่าที่ได้จากการคำนวณค่าส่วนการวัดอุณหภูมิน้ำในถังเมื่อระบบถูกรบกวนจากสาเหตุที่ผิดปกติ ( $n=7$ )

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 5.18 (ข) แสดงกราฟ S แสดงค่าที่ได้จากการคำนวณค่าส่วนการวัดอุณหภูมิในถัง เมื่อระบบถูกรบกวนจากสาเหตุที่ผิดปกติ ( $n = 7$ )

### 5.5 สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองจะเห็นได้ว่า เมื่อเพิ่มจำนวนตัวอย่างในการทดสอบ จะทำให้ค่าความแปรปรวนที่เกิดขึ้นมีค่าลดลง เป็นผลทำให้ขีดจำกัดควบคุมแคบลง ทำให้เราสามารถตรวจจับความผิดปกติได้เร็วขึ้น สำหรับการทดลองนี้เมื่อทำการเปรียบเทียบการใช้จำนวนตัวอย่างการตรวจสอบที่เท่ากับ 5 และ 7 ซึ่งค่าความแปรปรวนที่เกิดขึ้นเมื่อกระบวนการทำงานตามปกติมีค่าไม่ต่างกันมากนัก ดังนั้นในการคำนวณค่าความผิดพลาดประเภทที่ 2 ( $\beta$ -error) จะมีค่าน้อยมากเมื่อทำการรบกวนระบบตามกรณีต่างๆดังการทดลอง และสามารถตรวจพบความผิดปกติที่เกิดขึ้นได้ หลังจากทำการสุ่มตรวจครั้งที่ 1 ในการทดลองนี้ใช้จำนวนตัวอย่างในการทดสอบเพียง 5 ตัวอย่าง ก็สามารถพบความผิดพลาดที่เกิดขึ้นได้แล้ว

ดังนั้น แผนภูมิควบคุมค่าพิสัยและแผนภูมิค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานตัวอย่าง สามารถช่วยในการตรวจจับความผิดปกติที่เกิดขึ้นได้จริง และยังสามารถเตือนให้ตรวจหาสาเหตุของความผิดพลาด วินิจฉัย และแก้ไขปัญหาในกระบวนการผลิตได้ทันเวลา

หมายเหตุ เนื่องจากแพลนท์ที่ข้าพเจ้าสร้างขึ้นนั้น เป็นแพลนท์ที่ไม่สามารถควบคุมอุณหภูมิได้ตามวัตถุประสงค์ เพราะแพลนท์ที่ต้องนำมาทดลองนี้ต้องเป็นที่ได้มาตรฐานจึงจะเห็นถึงความแตกต่างของแผนภูมิควบคุม ข้าพเจ้าจึงยืมแพลนท์ของกลุ่มนายธีรวัฒน์ ศรีสุข มาทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 6

# สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

### 6.1 สรุปผลงาน

จากการทดลองเราสามารถสร้างกราฟจำลองระบบควบคุมของกระบวนการ เพื่อที่จะทำการควบคุมระดับของของเหลว และอุณหภูมิ โดยใช้โปรแกรม Genesis32 แล้วทำการแลกเปลี่ยนข้อมูลกับ PLC เพื่อนำสัญญาณจาก PLC ไปส่งงานอุปกรณ์ที่อยู่ในแพลตฟอร์มจำลอง ได้แก่ โซลีนอยด์ วาล์ว และปั๊ม ส่วนสัญญาณ Analog จาก Analog Module ของ PLC เราจะนำไปควบคุมระดับของของเหลว และส่งสัญญาณ 4 -20 mA ไปที่เครื่องควบคุมอุณหภูมิเพื่อควบคุมอุณหภูมิให้ได้ค่าตามที่เรารต้องการ

จากนั้นได้ทำการสุ่มเก็บตัวอย่างค่าอุณหภูมิ และนำทฤษฎีในการควบคุมคุณภาพเชิงสถิติ (Statistical Process Control) มาสร้างเป็นแผนภูมิควบคุมเพื่อทำการเฝ้าติดตามความเป็นไปของกระบวนการ ซึ่งพบว่าแผนภูมิควบคุมช่วยตรวจจับข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้นได้ และสามารถคาดการณ์พฤติกรรมของระบบได้ทันทั่วทั้งที่

นอกจากนี้ในปริิณญาณิพนธ์นี้ ได้สร้างอุปกรณ์วัดระดับ Differential Pressure Transmitter เพื่อวัดระดับของเหลวของกระบวนการ แล้วทำการแปลงเป็นสัญญาณควบคุมมาตรฐาน 4-20 mA โดยอุปกรณ์วัดระดับที่ใช้มีความแม่นยำ และความเป็นเชิงเส้นที่ดี

### 6.2 ข้อเสนอแนะและแนวทางการพัฒนา

การสร้างเครื่องมือในการควบคุมคุณภาพนั้นมีหลากหลายวิธีการในการปฏิบัติ โดยการทดลองในปริิณญาณิพนธ์นี้ถือเป็นเครื่องมือที่สำคัญชนิดหนึ่งในการวิเคราะห์คุณภาพการวัด และการควบคุมระบบ

ซึ่งในกระบวนการควบคุมคุณภาพ โดยอาศัยทฤษฎีทางสถิตินั้น ยังมีหลักคิดอื่น ๆ ในการวิเคราะห์ และคำนวณ เพื่อที่จะให้ได้มา ซึ่งความเข้าใจในธรรมชาติของระบบ อันจะทำให้สามารถทำนายเป้าหมายในอนาคตได้แม่นยำยิ่งขึ้น จึงควรมีการนำเอาทฤษฎีอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องมาใช้ร่วมในการวิเคราะห์ค่าการวัด ทั้งยังควรทดลองกับระบบอื่น ๆ ที่มีคุณลักษณะทางกายภาพที่แตกต่างกันออกไป

## บรรณานุกรม

- [1] สุทธิพงษ์ เสนาดี, *เรียนรู้สร้างระบบ SCADA ด้วย Iconic*
- [2] ผศ.ดร. ฤดี มาสุจันทร์, *การควบคุมคุณภาพ, ภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง*
- [3] ทรงเกียรติ วิสุทธิพิทักษ์กุล, *การใช้สถิติเพื่อการปรับปรุงกระบวนการ, สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี*
- [4] กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ, *การวิเคราะห์ระบบการวัด, สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยีไทย – ญี่ปุ่น*
- [5] PLC Direct™ Intercorporated “DL 06 User Manual”, 1994 [www.Indusoft.com](http://www.Indusoft.com)
- [6] REAL – TIME STATISTICAL PROCESS CONTROL, Paul C. Badavas



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## LM158/LM258/LM358/LM2904 Low Power Dual Operational Amplifiers

### General Description

The LM158 series consists of two independent, high gain, internally frequency compensated operational amplifiers which were designed specifically to operate from a single power supply over a wide range of voltages. Operation from split power supplies is also possible and the low power supply current drain is independent of the magnitude of the power supply voltage.

Application areas include transducer amplifiers, dc gain blocks and all the conventional op amp circuits which now can be more easily implemented in single power supply systems. For example, the LM158 series can be directly operated off of the standard +5V power supply voltage which is used in digital systems and will easily provide the required interface electronics without requiring the additional  $\pm 15V$  power supplies.

### Unique Characteristics

- In the linear mode the input common-mode voltage range includes ground and the output voltage can also swing to ground, even though operated from only a single power supply voltage.
- The unity gain cross frequency is temperature compensated.
- The input bias current is also temperature compensated.

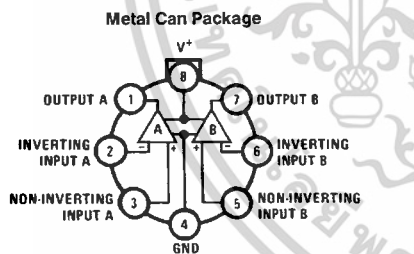
### Advantages

- Two internally compensated op amps in a single package
- Eliminates need for dual supplies
- Allows directly sensing near GND and  $V_{OUT}$  also goes to GND
- Compatible with all forms of logic
- Power drain suitable for battery operation
- Pin-out same as LM1558/LM1458 dual operational amplifier

### Features

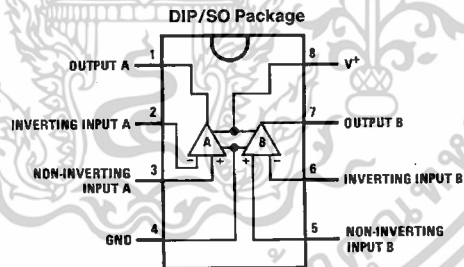
- Internally frequency compensated for unity gain
- Large dc voltage gain 100 dB
- Wide bandwidth (unity gain) 1 MHz (temperature compensated)
- Wide power supply range:
  - Single supply 3V to 32V
  - or dual supplies  $\pm 1.5V$  to  $\pm 16V$
- Very low supply current drain (500  $\mu A$ )—essentially independent of supply voltage
- Low input offset voltage 2 mV
- Input common-mode voltage range includes ground
- Differential input voltage range equal to the power supply voltage
- Large output voltage swing 0V to  $V^+ - 1.5V$

### Connection Diagrams (Top Views)



Order Number LM158AH, LM158AH/883\*,  
 LM158H, LM158H/883\*, LM258H or LM358H  
 See NS Package Number H08C

TL/H/7787-1



Order Number LM158J, LM158J/883\*,  
 LM158AJ or LM158AJ/883\*  
 See NS Package Number J08A  
 Order Number LM358M, LM358AM or LM2904M  
 See NS Package Number M08A  
 Order Number LM358AN, LM358N or LM2904N  
 See NS Package Number N08E

TL/H/7787-2

\*LM158 is available per SMD #5962-8771001  
 LM158A is available per SMD #5962-8771002

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Absolute Maximum Ratings

If Military/Aerospace specified devices are required, please contact the National Semiconductor Sales Office/Distributors for availability and specifications.  
(Note 9)

	LM158/LM258/LM358		LM2904	LM158/LM258/LM358		LM2904	
	LM158A/LM258A/LM358A			LM158A/LM258A/LM358A			
Supply Voltage, V <sup>+</sup>	32V		26V	Operating Temperature Range			
Differential Input Voltage	32V		26V	LM358	0°C to +70°C	-40°C to +85°C	
Input Voltage	-0.3V to +32V		-0.3V to +26V	LM258	-25°C to +85°C		
Power Dissipation (Note 1)				LM158	-55°C to +125°C		
	Molded DIP	830 mW	830 mW	Storage Temperature Range		-65°C to +150°C	
	Metal Can	550 mW		Lead Temperature, DIP			
Small Outline Package (M)	530 mW	530 mW		(Soldering, 10 seconds)	260°C	260°C	
Output Short-Circuit to GND (One Amplifier) (Note 2)				Lead Temperature, Metal Can			
	V <sup>+</sup> ≤ 15V and T <sub>A</sub> = 25°C	Continuous	Continuous	(Soldering, 10 seconds)		300°C	300°C
Input Current (V <sub>IN</sub> < -0.3V) (Note 3)				Soldering Information			
		50 mA	50 mA	Dual-In-Line Package			
				Soldering (10 seconds)		260°C	260°C
				Small Outline Package			
				Vapor Phase (60 seconds)		215°C	215°C
				Infrared (15 seconds)		220°C	220°C
				See AN-450 "Surface Mounting Methods and Their Effect on Product Reliability" for other methods of soldering surface mount devices.			
				ESD Tolerance (Note 10)		250V	250V

## Electrical Characteristics V<sup>+</sup> = +5.0V, unless otherwise stated

Parameter	Conditions	LM158A		LM358A		LM158/LM258		LM358		LM2904		Units
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	
Input Offset Voltage	(Note 5), T <sub>A</sub> = 25°C	1	2	2	3	2	5	2	7	2	7	mV
Input Bias Current	I <sub>IN(+)</sub> or I <sub>IN(-)</sub> , T <sub>A</sub> = 25°C, V <sub>CM</sub> = 0V, (Note 6)	20	50	45	100	45	150	45	250	45	250	nA
Input Offset Current	I <sub>IN(+)</sub> - I <sub>IN(-)</sub> , V <sub>CM</sub> = 0V, T <sub>A</sub> = 25°C	2	10	5	30	3	30	5	50	5	50	nA
Input Common-Mode Voltage Range	V <sup>+</sup> = 30V, (Note 7) (LM2904, V <sup>+</sup> = 26V), T <sub>A</sub> = 25°C	0	V <sup>+</sup> - 1.5	0	V <sup>+</sup> - 1.5	0	V <sup>+</sup> - 1.5	0	V <sup>+</sup> - 1.5	0	V <sup>+</sup> - 1.5	V
Supply Current	Over Full Temperature Range											
	R <sub>L</sub> = ∞ on All Op Amps	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	mA
	V <sup>+</sup> = 30V (LM2904 V <sup>+</sup> = 26V) V <sup>+</sup> = 5V	0.5	1.2	0.5	1.2	0.5	1.2	0.5	1.2	0.5	1.2	mA

**Electrical Characteristics** (Continued)  $V^+ = +5.0V$ , Note 4, unless otherwise stated

Parameter	Conditions	LM158A			LM358A			LM158/LM258			LM358			LM2904			Units
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Large Signal Voltage Gain	$V^+ = 15V$ , $T_A = 25^\circ C$ , $R_L \geq 2 k\Omega$ , (For $V_O = 1V$ to $11V$ )	50	100		25	100		50	100		25	100		25	100		V/mV
Common-Mode Rejection Ratio	$T_A = 25^\circ C$ , $V_{CM} = 0V$ to $V^+ - 1.5V$	70	85		65	85		70	85		65	85		50	70		dB
Power Supply Rejection Ratio	$V^+ = 5V$ to $30V$ (LM2904, $V^+ = 5V$ to $26V$ ), $T_A = 25^\circ C$	65	100		65	100		65	100		65	100		50	100		dB
Amplifier-to-Amplifier Coupling	$f = 1 kHz$ to $20 kHz$ , $T_A = 25^\circ C$ (Input Referred), (Note 8)		-120			-120			-120			-120			-120		dB
Output Current	Source $V_{IN}^+ = 1V$ , $V_{IN}^- = 0V$ , $V^+ = 15V$ , $V_O = 2V$ , $T_A = 25^\circ C$	20	40		20	40		20	40		20	40		20	40		mA
	Sink $V_{IN}^- = 1V$ , $V_{IN}^+ = 0V$ $V^+ = 15V$ , $T_A = 25^\circ C$ , $V_O = 2V$	10	20		10	20		10	20		10	20		10	20		mA
	$V_{IN}^- = 1V$ , $V_{IN}^+ = 0V$ $T_A = 25^\circ C$ , $V_O = 200 mV$ , $V^+ = 15V$	12	50		12	50		12	50		12	50		12	50		$\mu A$
Short Circuit to Ground	$T_A = 25^\circ C$ , (Note 2), $V^+ = 15V$		40	60		40	60		40	60		40	60		40	60	mA
Input Offset Voltage	(Note 5)			4			5			7			9			10	mV
Input Offset Voltage Drift	$R_S = 0\Omega$		7	15		7	20		7			7			7		$\mu V/^\circ C$
Input Offset Current	$I_{IN(+)} - I_{IN(-)}$			30			75			100			150		45	200	nA
Input Offset Current Drift	$R_S = 0\Omega$		10	200		10	300		10			10			10		$pA/^\circ C$
Input Bias Current	$I_{IN(+)}$ or $I_{IN(-)}$		40	100		40	200		40	300		40	500		40	500	nA

**Electrical Characteristics** (Continued)  $V^+ = +5.0V$ , Note 4, unless otherwise stated

Parameter	Conditions		LM158A			LM358A			LM158/LM258			LM358			LM2904			Units
			Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Input Common-Mode Voltage Range	$V^+ = 30V$ , (Note 7) (LM2904, $V^+ = 26V$ )		0		$V^+ - 2$	0		$V^+ - 2$	0		$V^+ - 2$	0		$V^+ - 2$	0		$V^+ - 2$	V
Large Signal Voltage Gain	$V^+ = +15V$ ( $V_O = 1V$ to $11V$ ) $R_L \geq 2k\Omega$		25			15			25			15			15			V/mV
Output Voltage Swing	$V_{OH}$	$V^+ = +30V$ (LM2904, $V^+ = 26V$ )	$R_L = 2k\Omega$		26		26		26		26		22				V	
			$R_L = 10k\Omega$		27	28	27	28	27	28	27	28	23	24			V	
	$V_{OL}$	$V^+ = 5V, R_L = 10k\Omega$		5	20	5	20	5	20	5	20	5	100			mV		
Output Current	Source	$V_{IN}^+ = +1V, V_{IN}^- = 0V$ , $V^+ = 15V, V_O = 2V$		10	20	10	20	10	20	10	20	10	20			mA		
	Sink	$V_{IN}^- = +1V, V_{IN}^+ = 0V$ , $V^+ = 15V, V_O = 2V$		10	15	5	8	5	8	5	8	5	8			mA		

**Note 1:** For operating at high temperatures, the LM358/LM358A, LM2904 must be derated based on a  $+125^\circ C$  maximum junction temperature and a thermal resistance of  $120^\circ C/W$  which applies for the device soldered in a printed circuit board, operating in a still air ambient. The LM258/LM258A and LM158/LM158A can be derated based on a  $+150^\circ C$  maximum junction temperature. The dissipation is the total of both amplifiers—use external resistors, where possible, to allow the amplifier to saturate or to reduce the power which is dissipated in the integrated circuit.

**Note 2:** Short circuits from the output to  $V^+$  can cause excessive heating and eventual destruction. When considering short circuits to ground, the maximum output current is approximately 40 mA independent of the magnitude of  $V^+$ . At values of supply voltage in excess of  $+15V$ , continuous short-circuits can exceed the power dissipation ratings and cause eventual destruction. Destructive dissipation can result from simultaneous shorts on all amplifiers.

**Note 3:** This input current will only exist when the voltage at any of the input leads is driven negative. It is due to the collector-base junction of the input PNP transistors becoming forward biased and thereby acting as input diode clamps. In addition to this diode action, there is also lateral NPN parasitic transistor action on the IC chip. This transistor action can cause the output voltages of the op amps to go to the  $V^+$  voltage level (or to ground for a large overdrive) for the time duration that an input is driven negative. This is not destructive and normal output states will re-establish when the input voltage, which was negative, again returns to a value greater than  $-0.3V$  (at  $25^\circ C$ ).

**Note 4:** These specifications are limited to  $-55^\circ C \leq T_A \leq +125^\circ C$  for the LM158/LM158A. With the LM258/LM258A, all temperature specifications are limited to  $-25^\circ C \leq T_A \leq +85^\circ C$ , the LM358/LM358A temperature specifications are limited to  $0^\circ C \leq T_A \leq +70^\circ C$ , and the LM2904 specifications are limited to  $-40^\circ C \leq T_A \leq +85^\circ C$ .

**Note 5:**  $V_O \approx 1.4V, R_S = 0\Omega$  with  $V^+$  from 5V to 30V, and over the full input common-mode range (0V to  $V^+ - 1.5V$ ) at  $25^\circ C$ . For LM2904,  $V^+$  from 5V to 26V.

**Note 6:** The direction of the input current is out of the IC due to the PNP input stage. This current is essentially constant, independent of the state of the output so no loading change exists on the input lines.

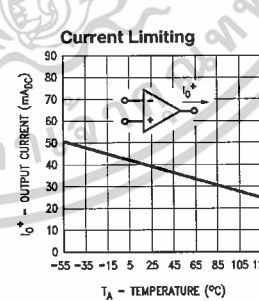
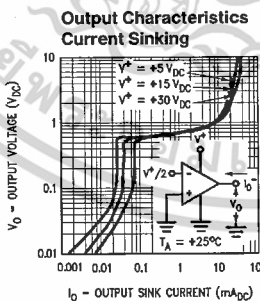
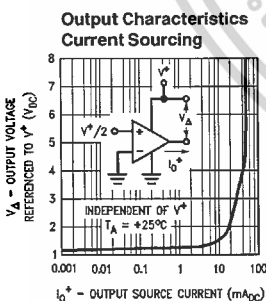
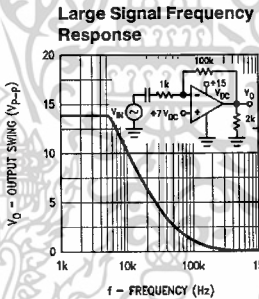
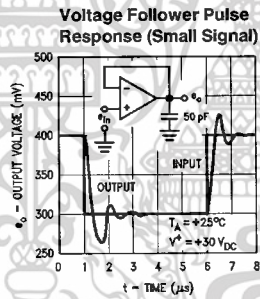
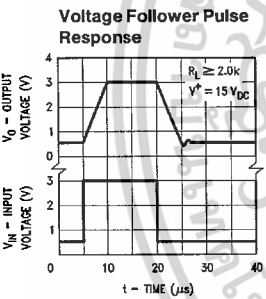
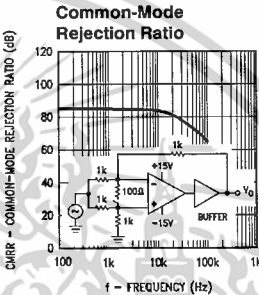
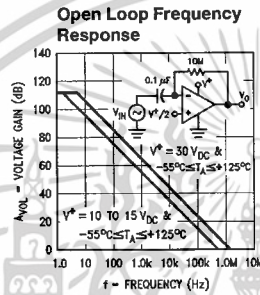
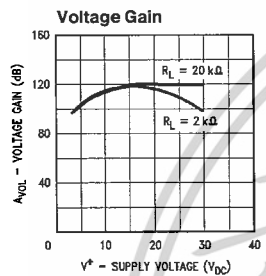
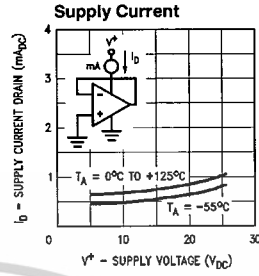
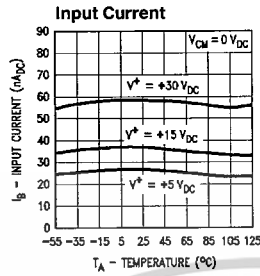
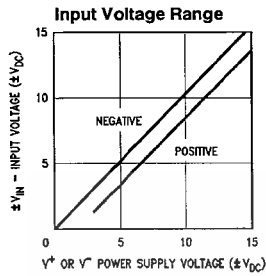
**Note 7:** The input common-mode voltage of either input signal voltage should not be allowed to go negative by more than 0.3V (at  $25^\circ C$ ). The upper end of the common-mode voltage range is  $V^+ - 1.5V$  (at  $25^\circ C$ ), but either or both inputs can go to  $+32V$  without damage ( $+26V$  for LM2904), independent of the magnitude of  $V^+$ .

**Note 8:** Due to proximity of external components, insure that coupling is not originating via stray capacitance between these external parts. This typically can be detected as this type of capacitance increases at higher frequencies.

**Note 9:** Refer to RETS158AX for LM158A military specifications and to RETS158X for LM158 military specifications.

**Note 10:** Human body model,  $1.5k\Omega$  in series with 100 pF.

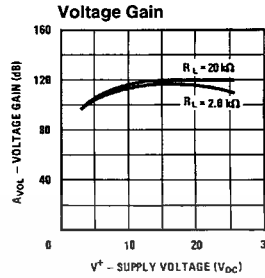
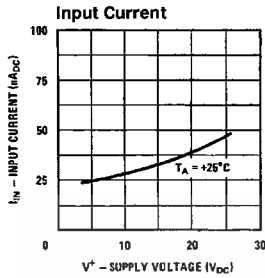
# Typical Performance Characteristics



TL/H/7787-4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Typical Performance Characteristics (Continued) (LM2902 only)



TL/H/7787-5

## Application Hints

The LM158 series are op amps which operate with only a single power supply voltage, have true-differential inputs, and remain in the linear mode with an input common-mode voltage of 0 V<sub>DC</sub>. These amplifiers operate over a wide range of power supply voltage with little change in performance characteristics. At 25°C amplifier operation is possible down to a minimum supply voltage of 2.3 V<sub>DC</sub>.

Precautions should be taken to insure that the power supply for the integrated circuit never becomes reversed in polarity or that the unit is not inadvertently installed backwards in a test socket as an unlimited current surge through the resulting forward diode within the IC could cause fusing of the internal conductors and result in a destroyed unit.

Large differential input voltages can be easily accommodated and, as input differential voltage protection diodes are not needed, no large input currents result from large differential input voltages. The differential input voltage may be larger than  $V^+$  without damaging the device. Protection should be provided to prevent the input voltages from going negative more than  $-0.3 V_{DC}$  (at 25°C). An input clamp diode with a resistor to the IC input terminal can be used.

To reduce the power supply current drain, the amplifiers have a class A output stage for small signal levels which converts to class B in a large signal mode. This allows the amplifiers to both source and sink large output currents. Therefore both NPN and PNP external current boost transistors can be used to extend the power capability of the basic amplifiers. The output voltage needs to raise approximately 1 diode drop above ground to bias the on-chip vertical PNP transistor for output current sinking applications.

For ac applications, where the load is capacitively coupled to the output of the amplifier, a resistor should be used, from the output of the amplifier to ground to increase the class A bias current and prevent crossover distortion. Where the load is directly coupled, as in dc applications, there is no crossover distortion.

Capacitive loads which are applied directly to the output of the amplifier reduce the loop stability margin. Values of 50 pF can be accommodated using the worst-case non-inverting unity gain connection. Large closed loop gains or resistive isolation should be used if larger load capacitance must be driven by the amplifier.

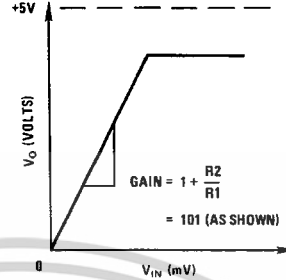
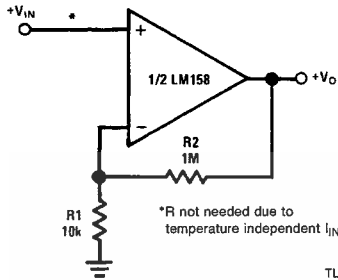
The bias network of the LM158 establishes a drain current which is independent of the magnitude of the power supply voltage over the range of 3 V<sub>DC</sub> to 30 V<sub>DC</sub>.

Output short circuits either to ground or to the positive power supply should be of short time duration. Units can be destroyed, not as a result of the short circuit current causing metal fusing, but rather due to the large increase in IC chip dissipation which will cause eventual failure due to excessive function temperatures. Putting direct short-circuits on more than one amplifier at a time will increase the total IC power dissipation to destructive levels, if not properly protected with external dissipation limiting resistors in series with the output leads of the amplifiers. The larger value of output source current which is available at 25°C provides a larger output current capability at elevated temperatures (see typical performance characteristics) than a standard IC op amp.

The circuits presented in the section on typical applications emphasize operation on only a single power supply voltage. If complementary power supplies are available, all of the standard op amp circuits can be used. In general, introducing a pseudo-ground (a bias voltage reference of  $V^+ / 2$ ) will allow operation above and below this value in single power supply systems. Many application circuits are shown which take advantage of the wide input common-mode voltage range which includes ground. In most cases, input biasing is not required and input voltages which range to ground can easily be accommodated.

**Typical Single-Supply Applications** ( $V^+ = 5.0 V_{DC}$ )

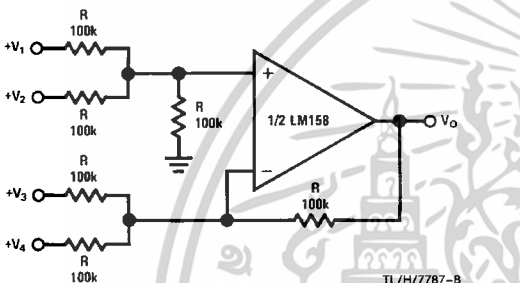
**Non-Inverting DC Gain (0V Input = 0V Output)**



TL/H/7787-6

TL/H/7787-7

**DC Summing Amplifier**  
( $V_{IN'S} \geq 0 V_{DC}$  and  $V_O \geq 0 V_{DC}$ )

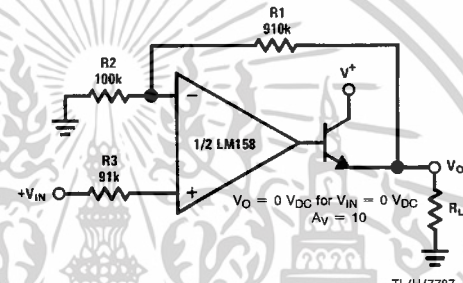


Where:  $V_O = V_1 + V_2 + V_3 + V_4$   
 $(V_1 + V_2) \geq (V_3 + V_4)$  to keep  $V_O > 0 V_{DC}$

TL/H/7787-8

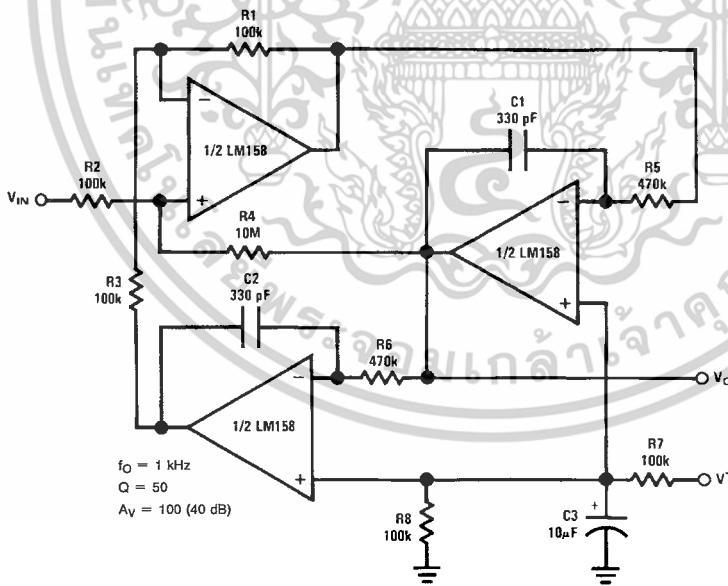
TL/H/7787-8

**Power Amplifier**



$V_O = 0 V_{DC}$  for  $V_{IN} = 0 V_{DC}$   
 $A_v = 10$

**"BI-QUAD" RC Active Bandpass Filter**



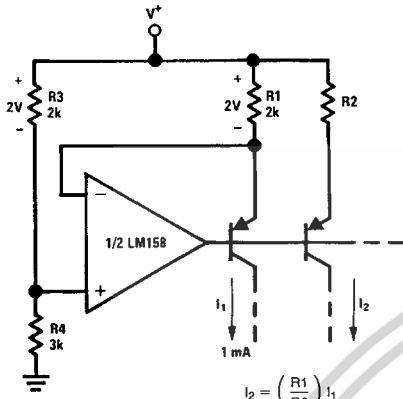
$f_o = 1 \text{ kHz}$   
 $Q = 50$   
 $A_v = 100 \text{ (40 dB)}$

TL/H/7787-10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรรมใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

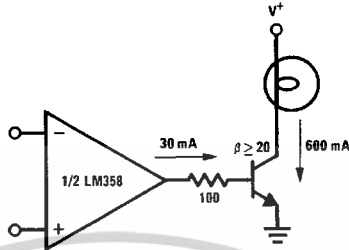
**Typical Single-Supply Applications** ( $V^+ = 5.0 V_{DC}$ ) (Continued)

**Fixed Current Sources**



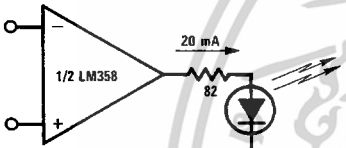
TL/H/7787-11

**Lamp Driver**



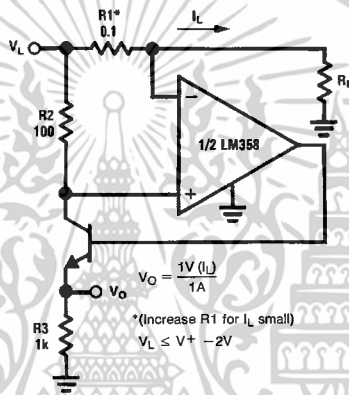
TL/H/7787-12

**LED Driver**



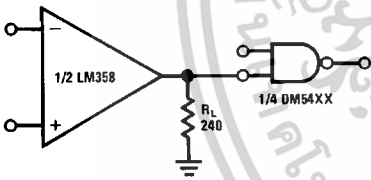
TL/H/7787-13

**Current Monitor**



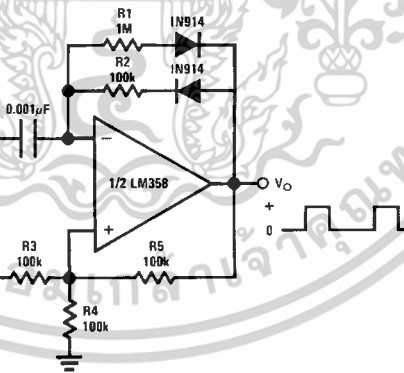
TL/H/7787-14

**Driving TTL**



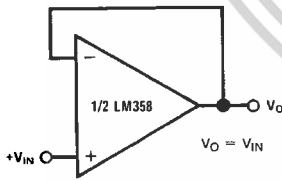
TL/H/7787-15

**Pulse Generator**



TL/H/7787-16

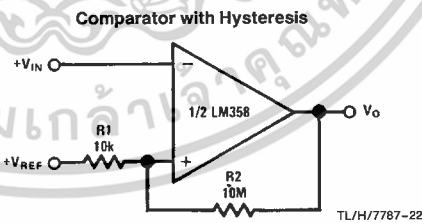
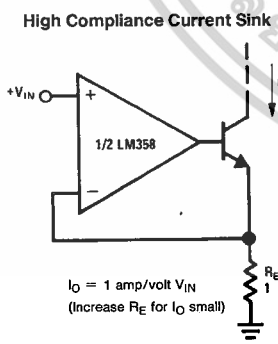
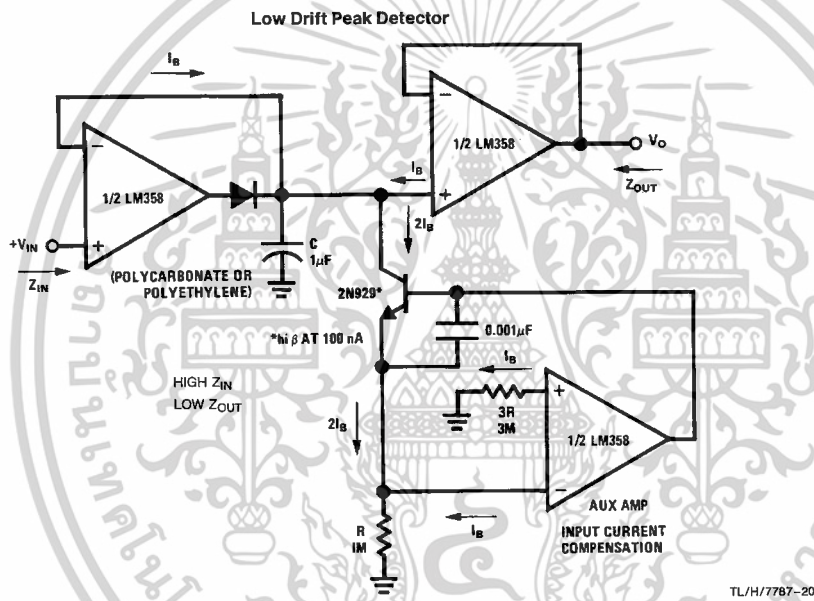
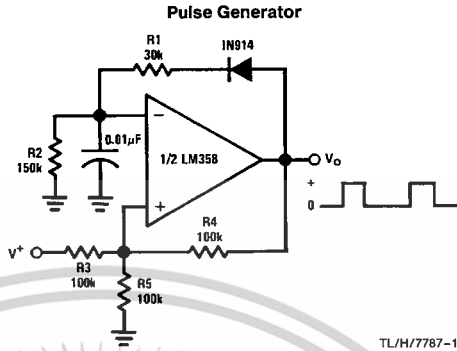
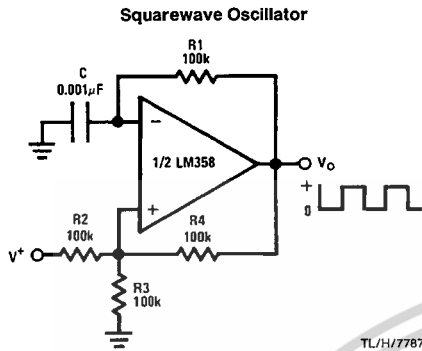
**Voltage Follower**



TL/H/7787-17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรรมใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

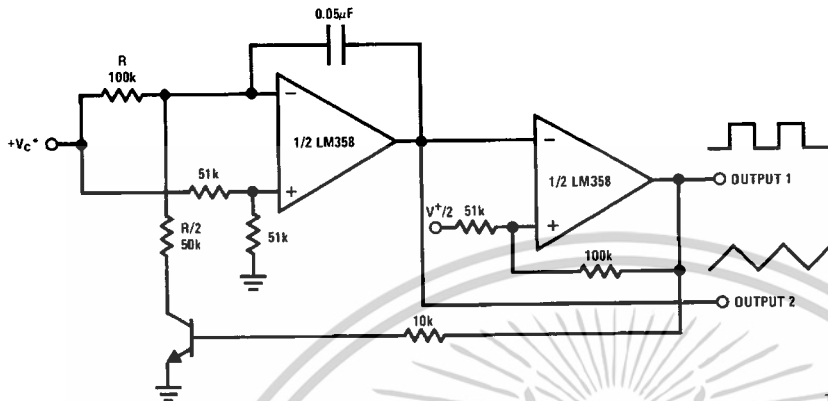
**Typical Single-Supply Applications** ( $V^+ = 5.0 V_{DC}$ ) (Continued)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**Typical Single-Supply Applications** ( $V^+ = 5.0 V_{DC}$ ) (Continued)

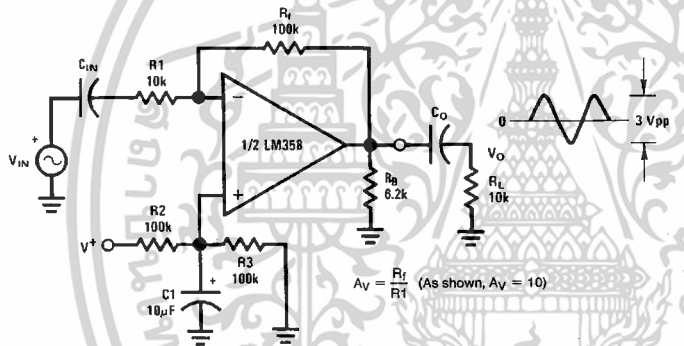
**Voltage Controlled Oscillator (VCO)**



TL/H/7787-23

\*WIDE CONTROL VOLTAGE RANGE:  $0 V_{DC} \leq V_C \leq 2 (V^+ - 1.5V_{DC})$

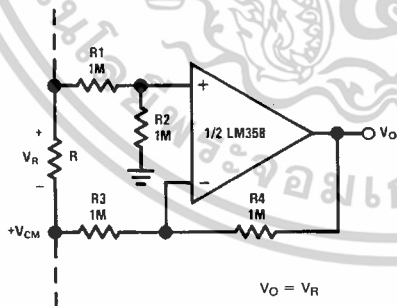
**AC Coupled Inverting Amplifier**



$$A_v = \frac{R_f}{R_1} \quad (\text{As shown, } A_v = 10)$$

TL/H/7787-24

**Ground Referencing a Differential Input Signal**

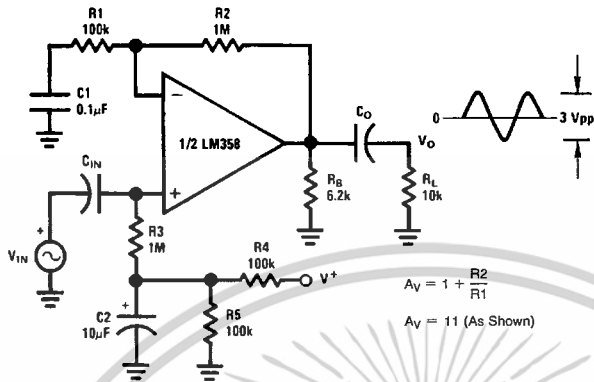


TL/H/7787-25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

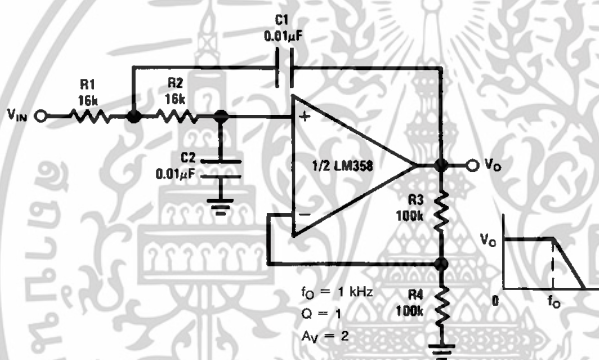
**Typical Single-Supply Applications** ( $V^+ = 5.0\text{ V}_{DC}$ ) (Continued)

**AC Coupled Non-Inverting Amplifier**



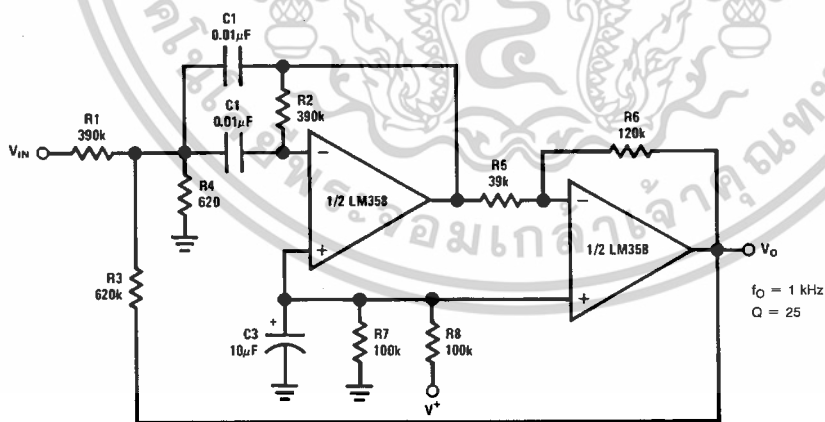
TL/H/7787-26

**DC Coupled Low-Pass RC Active Filter**



TL/H/7787-27

**Bandpass Active Filter**

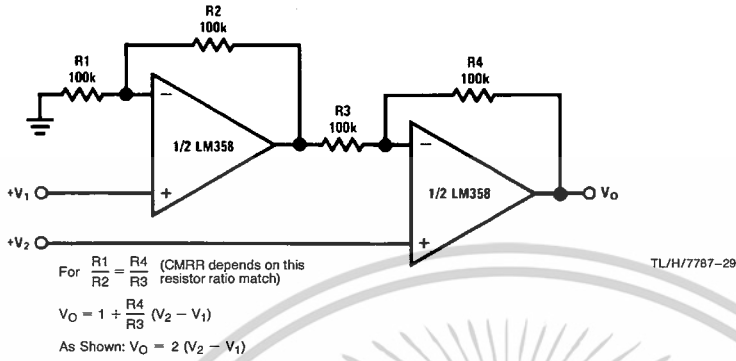


TL/H/7787-28

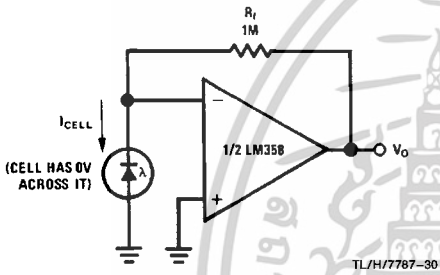
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**Typical Single-Supply Applications** ( $V^+ = 5.0 V_{DC}$ ) (Continued)

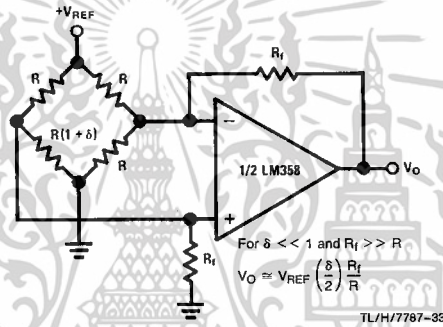
**High Input Z, DC Differential Amplifier**



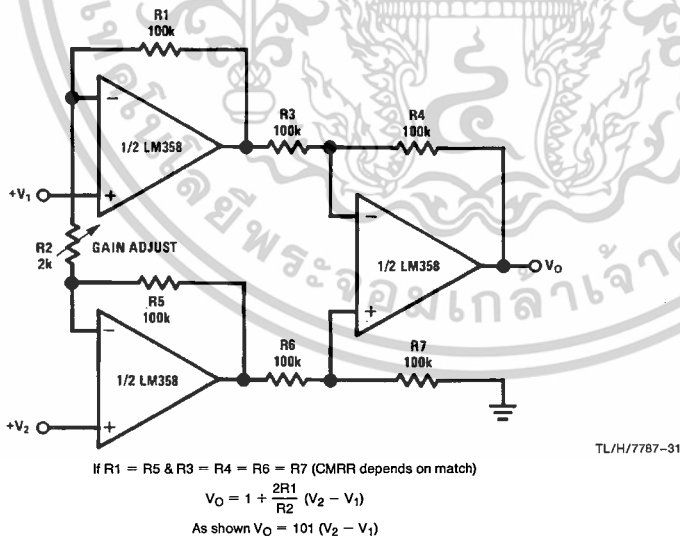
**Photo Voltaic-Cell Amplifier**



**Bridge Current Amplifier**



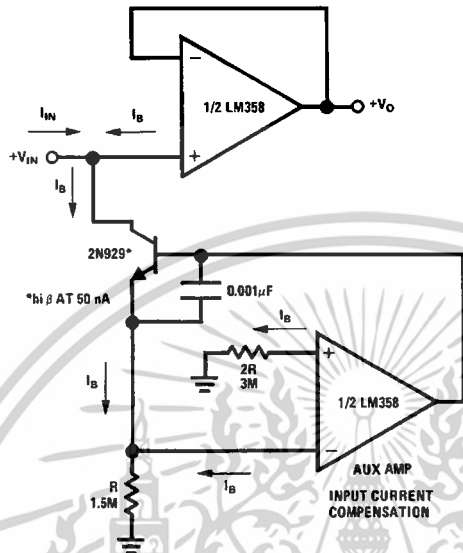
**High Input Z Adjustable-Gain DC Instrumentation Amplifier**



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

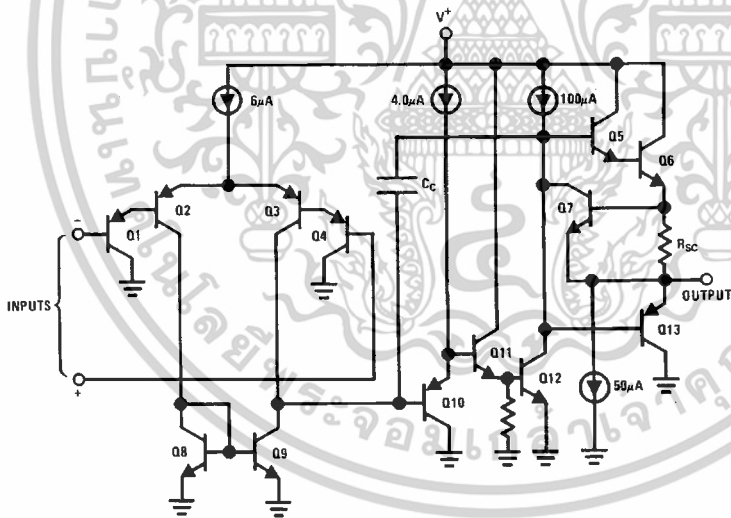
**Typical Single-Supply Applications** ( $V^+ = 5.0 V_{DC}$ ) (Continued)

**Using Symmetrical Amplifiers to Reduce Input Current (General Concept)**



TL/H/7787-32

**Schematic Diagram** (Each Amplifier)

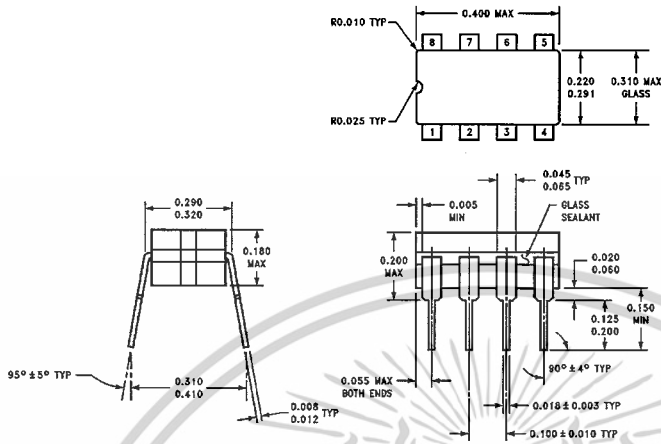


TL/H/7787-3

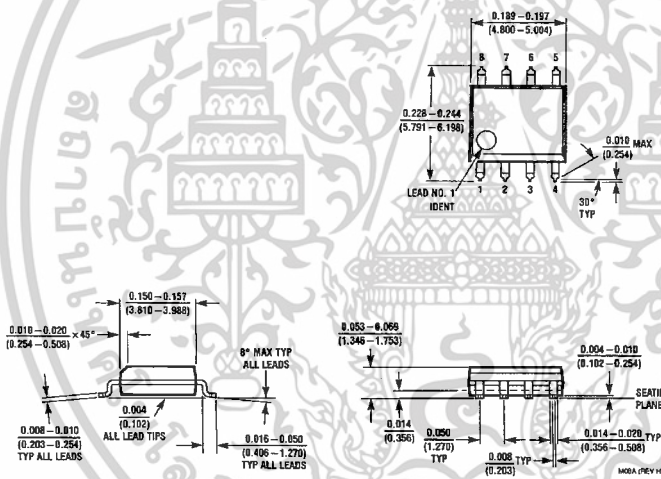
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**Physical Dimensions** inches (millimeters) (Continued)



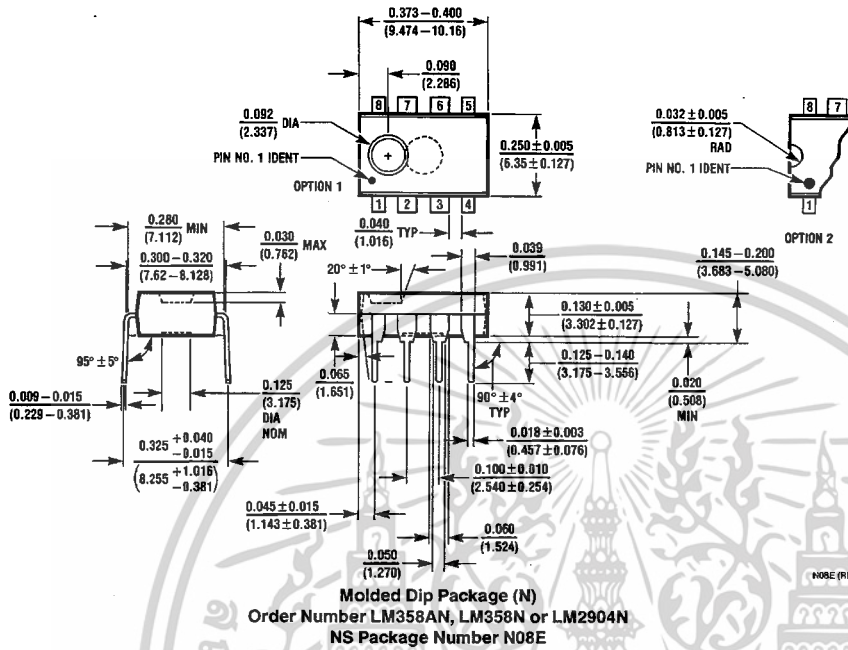
**Cerdip Package (J)**  
**Order Number LM158J, LM158J/883, LM158AJ or LM158AJ/883**  
**NS Package Number J08A**



**S.O. Package (M)**  
**Order Number LM358M, LM358AM or LM2904M**  
**NS Package Number M08A**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Physical Dimensions inches (millimeters) (Continued)




Molded Dip Package (N)  
Order Number LM358AN, LM358N or LM2904N  
NS Package Number N08E

LIFE SUPPORT POLICY

NATIONAL'S PRODUCTS ARE NOT AUTHORIZED FOR USE AS CRITICAL COMPONENTS IN LIFE SUPPORT DEVICES OR SYSTEMS WITHOUT THE EXPRESS WRITTEN APPROVAL OF THE PRESIDENT OF NATIONAL SEMICONDUCTOR CORPORATION. As used herein:

1. Life support devices or systems are devices or systems which, (a) are intended for surgical implant into the body, or (b) support or sustain life, and whose failure to perform, when properly used in accordance with instructions for use provided in the labeling, can be reasonably expected to result in a significant injury to the user.
2. A critical component is any component of a life support device or system whose failure to perform can be reasonably expected to cause the failure of the life support device or system, or to affect its safety or effectiveness.

 <p><b>National Semiconductor Corporation</b> 1111 West Bardin Road Arlington, TX 76017 Tel: 1(800) 272-9959 Fax: 1(800) 737-7018</p>	<p><b>National Semiconductor Europe</b> Fax: (+49) 0-180-530 85 86 Email: cnjwge@levm2.nsc.com Deutsch Tel: (+49) 0-180-530 85 85 English Tel: (+49) 0-180-532 78 32 Français Tel: (+49) 0-180-532 83 58 Italiano Tel: (+49) 0-180-534 16 80</p>	<p><b>National Semiconductor Hong Kong Ltd.</b> 13th Floor, Straight Block, Ocean Centre, 5 Canton Rd. Tsimshatsui, Kowloon Hong Kong Tel: (852) 2737-1600 Fax: (852) 2736-0960</p>	<p><b>National Semiconductor Japan Ltd.</b> Tel: 81-043-299-2309 Fax: 81-043-299-2408</p>
--	--	---	---

National does not assume any responsibility for use of any circuitry described, no circuit patent licenses are implied and National reserves the right at any time without notice to change said circuitry and specifications.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

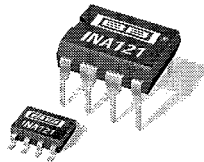
This datasheet has been download from:

[www.datasheetcatalog.com](http://www.datasheetcatalog.com)

Datasheets for electronics components.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



INA121

# FET-Input, Low Power INSTRUMENTATION AMPLIFIER

## FEATURES

- **LOW BIAS CURRENT:** ±4pA
- **LOW QUIESCENT CURRENT:** ±450µA
- **LOW INPUT OFFSET VOLTAGE:** ±200µV
- **LOW INPUT OFFSET DRIFT:** ±2µV/°C
- **LOW INPUT NOISE:** 20nV/√Hz at f = 1kHz (G = 100)
- **HIGH CMR:** 106dB
- **WIDE SUPPLY RANGE:** ±2.25V to ±18V
- **LOW NONLINEARITY ERROR:** 0.001% max
- **INPUT PROTECTION TO ±40V**
- **8-PIN DIP AND SO-8 SURFACE MOUNT**

## APPLICATIONS

- **LOW-LEVEL TRANSDUCER AMPLIFIERS**  
Bridge, RTD, Thermocouple
- **PHYSIOLOGICAL AMPLIFIERS**  
ECG, EEG, EMG, Respiratory
- **HIGH IMPEDANCE TRANSDUCERS**
- **CAPACITIVE SENSORS**
- **MULTI-CHANNEL DATA ACQUISITION**
- **PORTABLE, BATTERY OPERATED SYSTEMS**
- **GENERAL PURPOSE INSTRUMENTATION**

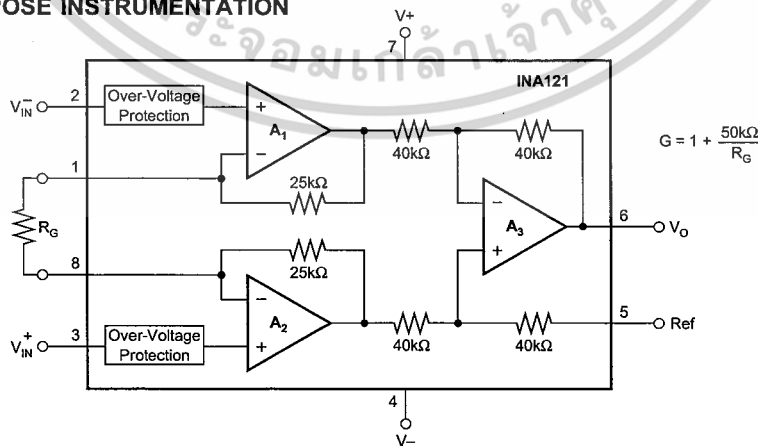
## DESCRIPTION

The INA121 is a FET-input, low power instrumentation amplifier offering excellent accuracy. Its versatile three-op amp design and very small size make it ideal for a variety of general purpose applications. Low bias current (±4pA) allows use with high impedance sources.

Gain can be set from 1V to 10,000V/V with a single external resistor. Internal input protection can withstand up to ±40V without damage.

The INA121 is laser-trimmed for very low offset voltage (±200µV), low offset drift (±2µV/°C), and high common-mode rejection (106dB at G = 100). It operates on power supplies as low as ±2.25V (+4.5V), allowing use in battery operated and single 5V systems. Quiescent current is only 450µA.

Package options include 8-pin plastic DIP and SO-8 surface mount. All are specified for the -40°C to +85°C industrial temperature range.



International Airport Industrial Park • Mailing Address: PO Box 11400, Tucson, AZ 85734 • Street Address: 6730 S. Tucson Blvd., Tucson, AZ 85706 • Tel: (520) 746-1111 • Twx: 910-952-1111  
Internet: <http://www.burr-brown.com/> • FAXLine: (800) 548-6133 (US/Canada Only) • Cable: BBRCORP • Telex: 066-6491 • FAX: (520) 889-1510 • Immediate Product Info: (800) 548-6132

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# SPECIFICATIONS: $V_S = \pm 15V$

At  $T_A = +25^\circ C$ ,  $V_S = \pm 15V$ ,  $R_L = 10k\Omega$ , and IA reference = 0V, unless otherwise noted.

PARAMETER	CONDITIONS	INA121P, U			INA121PA, UA			UNITS
		MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
<b>INPUT</b>								
Offset Voltage, RTI vs Temperature	$V_S = \pm 2.25V$ to $\pm 18V$		$\pm 200 \pm 200/G$	$\pm 500 \pm 500/G$		$\pm 300 \pm 200/G$	$\pm 1000 \pm 1000/G$	$\mu V$
vs Power Supply			$\pm 2 \pm 2/G$	$\pm 5 \pm 20/G$		*	$\pm 15 \pm 20/G$	$\mu V/^\circ C$
Long-Term Stability	$V_O = 0V$		$\pm 5 \pm 20/G$	$\pm 50 \pm 150/G$		*	*	$\mu V/V$
Impedance, Differential				$\pm 0.5$			*	$\mu V/mo$
Common-Mode			$10^{12} \parallel 1$			*	$\Omega \parallel pF$	
Input Voltage Range			$10^{12} \parallel 1$			*	$\Omega \parallel pF$	
Safe Input Voltage	$V_{CM} = -12.5V$ to $13.5V$		See Text and Typical Curves			*		V
Common-Mode Rejection		$G = 1$	78	86	$\pm 40$	72	*	
	$G = 10$	91	100		85	*		
	$G = 100$	96	106		90	*		
	$G = 1000$		106			*		
<b>BIAS CURRENT</b>	$V_{CM} = 0V$		$\pm 4$	$\pm 50$		*	*	pA
vs Temperature			See Typical Curve			*		
Offset Current			$\pm 0.5$			*		pA
vs Temperature			See Typical Curve			*		
<b>NOISE, RTI</b>								
Voltage Noise: $f = 10Hz$	$R_S = 0\Omega$					*		$nV/\sqrt{Hz}$
	$G = 100$		30			*		$nV/\sqrt{Hz}$
	$f = 100Hz$		21			*		$nV/\sqrt{Hz}$
	$G = 100$		20			*		$nV/\sqrt{Hz}$
	$f = 1kHz$		1			*		$\mu Vp-p$
	$f = 0.1Hz$ to $10Hz$		1			*		$fA/\sqrt{Hz}$
Current Noise: $f = 1kHz$	$G = 100$		1			*		$fA/\sqrt{Hz}$
<b>GAIN</b>								
Gain Equation			$1 + (50k\Omega/R_G)$			*		V/V
Range of Gain	$V_O = -14V$ to $13.5V$	1		10,000	*		*	V/V
Gain Error	$G = 1$		$\pm 0.01$	$\pm 0.05$		*	$\pm 0.1$	%
	$G = 10$		$\pm 0.03$	$\pm 0.4$		*	$\pm 0.5$	%
	$G = 100$		$\pm 0.05$	$\pm 0.5$		*	$\pm 0.7$	%
	$G = 1000$		$\pm 0.5$			*		%
Gain vs Temperature <sup>(1)</sup>	$G = 1$		$\pm 1$	$\pm 10$		*	*	ppm/ $^\circ C$
	$G > 1$		$\pm 25$	$\pm 100$		*	*	ppm/ $^\circ C$
Nonlinearity	$V_O = -14V$ to $13.5V$					*		% of FSR
	$G = 1$		$\pm 0.0002$	$\pm 0.001$		*	$\pm 0.002$	% of FSR
	$G = 10$		$\pm 0.0015$	$\pm 0.005$		*	$\pm 0.008$	% of FSR
	$G = 100$		$\pm 0.0015$	$\pm 0.005$		*	$\pm 0.008$	% of FSR
	$G = 1000$		$\pm 0.002$			*		% of FSR
<b>OUTPUT</b>								
Voltage: Positive	$R_L = 100k\Omega$		$(V+) - 0.9$			*		V
Negative	$R_L = 100k\Omega$		$(V-) + 0.15$			*		V
Positive	$R_L = 10k\Omega$	$(V+) - 1.5$	$(V+) - 0.9$		*	*		V
Negative	$R_L = 10k\Omega$	$(V-) + 1$	$(V-) + 0.25$		*	*		V
Capacitance Load Drive			1000			*		pF
Short-Circuit Current			$\pm 14$			*		mA
<b>FREQUENCY RESPONSE</b>								
Bandwidth, $-3dB$	$G = 1$		600			*		kHz
	$G = 10$		300			*		kHz
	$G = 100$		50			*		kHz
	$G = 1000$		5			*		kHz
Slew Rate	$V_O = \pm 10V$ , $G \leq 10$		0.7			*		V/ $\mu s$
Settling Time, 0.01%	$G = 1$ to $10$		20			*		$\mu s$
	$G = 100$		35			*		$\mu s$
	$G = 1000$		260			*		$\mu s$
Overload Recovery	50% Input Overload		5			*		$\mu s$
<b>POWER SUPPLY</b>								
Voltage Range		$\pm 2.25$	$\pm 15$	$\pm 18$	*	*	*	V
Quiescent Current	$I_O = 0V$		$\pm 450$	$\pm 525$		*	*	$\mu A$
<b>TEMPERATURE RANGE</b>								
Specification		-40		85	*		*	$^\circ C$
Operating		-55		125	*		*	$^\circ C$
Storage		-55		125	*		*	$^\circ C$
Thermal Resistance, $\theta_{JA}$						*		$^\circ C/W$
8-Lead DIP			100			*		$^\circ C/W$
SO-8 Surface Mount			150			*		$^\circ C/W$

\* Specification same as INA121P, U.

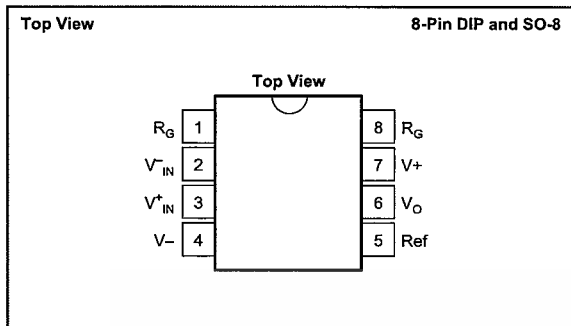
NOTE: (1) Temperature coefficient of the "Internal Resistor" in the gain equation. Does not include TCR of gain-setting resistor,  $R_G$ .



INA121

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## PIN CONFIGURATION



## ELECTROSTATIC DISCHARGE SENSITIVITY

This integrated circuit can be damaged by ESD. Burr-Brown recommends that all integrated circuits be handled with appropriate precautions. Failure to observe proper handling and installation procedures can cause damage.

ESD damage can range from subtle performance degradation to complete device failure. Precision integrated circuits may be more susceptible to damage because very small parametric changes could cause the device not to meet its published specifications.

## ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS<sup>(1)</sup>

Supply Voltage .....	±18V
Analog Input Voltage Range .....	±40V
Output Short-Circuit (to ground) .....	Continuous
Operating Temperature .....	-55°C to +125°C
Storage Temperature .....	-55°C to +125°C
Junction Temperature .....	+150°C
Lead Temperature (soldering, 10s) .....	+300°C

NOTE: (1) Stresses above these ratings may cause permanent damage. Exposure to absolute maximum conditions for extended periods may degrade device reliability.

## PACKAGE/ORDERING INFORMATION

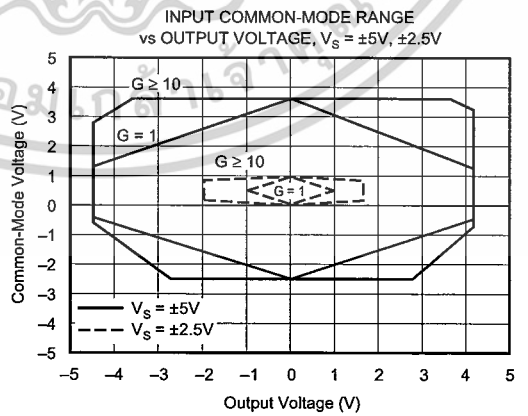
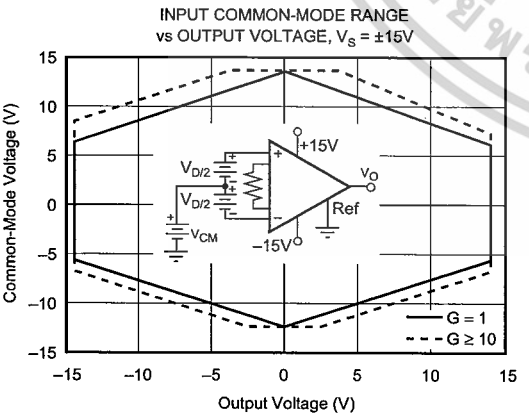
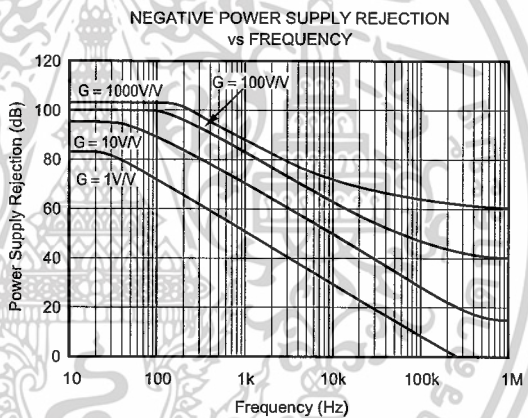
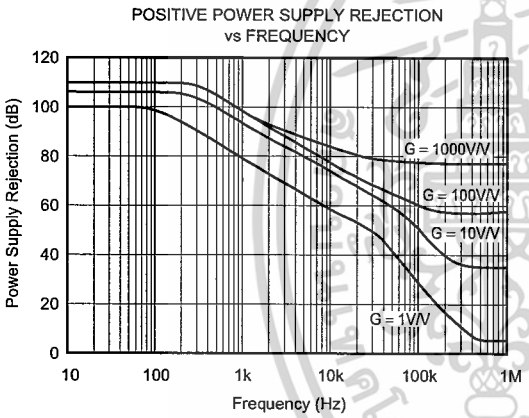
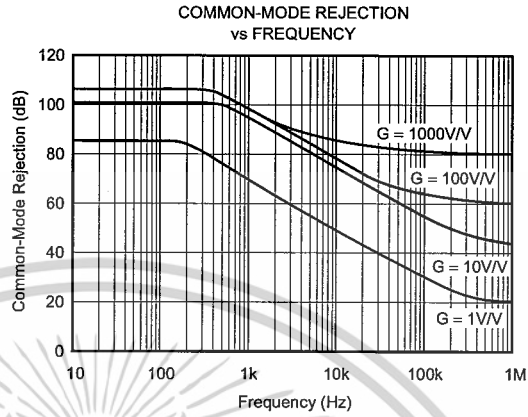
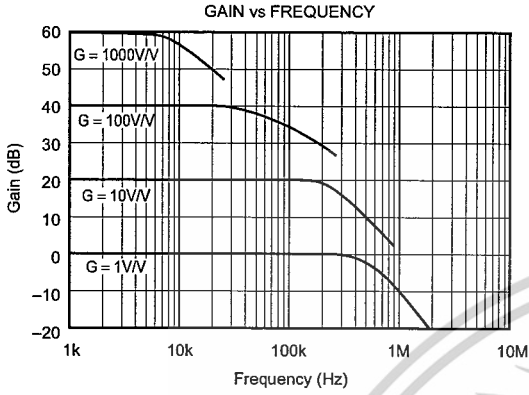
PRODUCT	PACKAGE	PACKAGE DRAWING NUMBER(1)	SPECIFIED TEMPERATURE RANGE	PACKAGE MARKING	ORDERING NUMBER(2)	TRANSPORT MEDIA
Single						
INA121P	8-Pin DIP	006	-40°C to +85°C	INA121P	INA121P	Rails
INA121PA	8-Pin DIP	006	-40°C to +85°C	INA121PA	INA121PA	Rails
INA121U	SO-8 Surface-Mount	182	-40°C to +85°C	INA121U	INA121U	Rails
"	"	"	"	"	INA121U/2K5	Tape and Reel
INA121UA	SO-8 Surface-Mount	182	-40°C to +85°C	INA121UA	INA121UA	Rails
"	"	"	"	"	INA121UA/2K5	Tape and Reel

NOTES: (1) For detailed drawing and dimension table, please see end of data sheet, or Appendix C of Burr-Brown IC Data Book. (2) Models with a slash (/) are available only in Tape and Reel in the quantities indicated (e.g., /2K5 indicates 2500 devices per reel). Ordering 2500 pieces of "INA121U/2K5" will get a single 2500-piece Tape and Reel. For detailed Tape and Reel mechanical information, refer to Appendix B of Burr-Brown IC Data Book.

The information provided herein is believed to be reliable; however, BURR-BROWN assumes no responsibility for inaccuracies or omissions. BURR-BROWN assumes no responsibility for the use of this information, and all use of such information shall be entirely at the user's own risk. Prices and specifications are subject to change without notice. No patent rights or licenses to any of the circuits described herein are implied or granted to any third party. BURR-BROWN does not authorize or warrant any BURR-BROWN product for use in life support devices and/or systems.

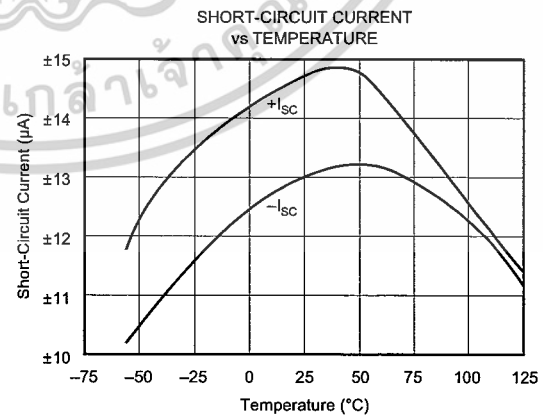
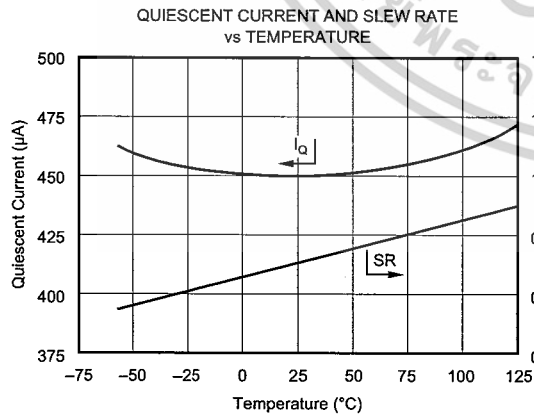
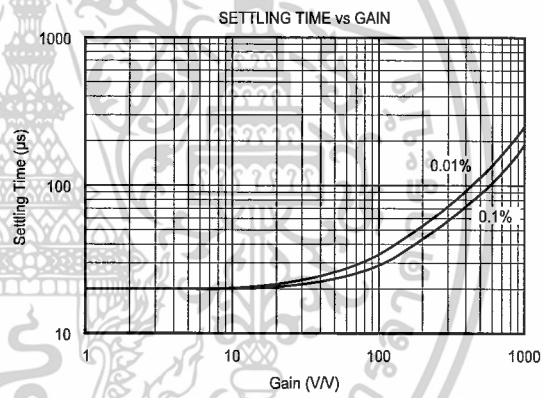
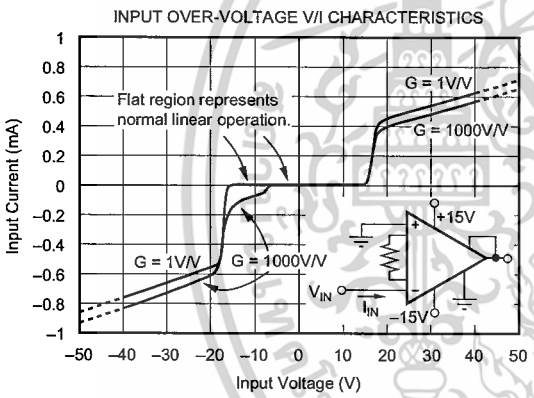
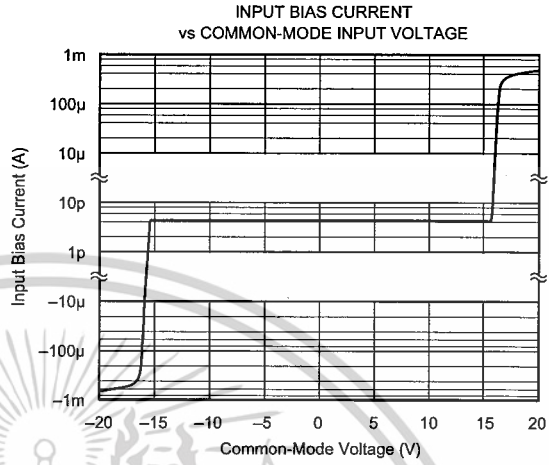
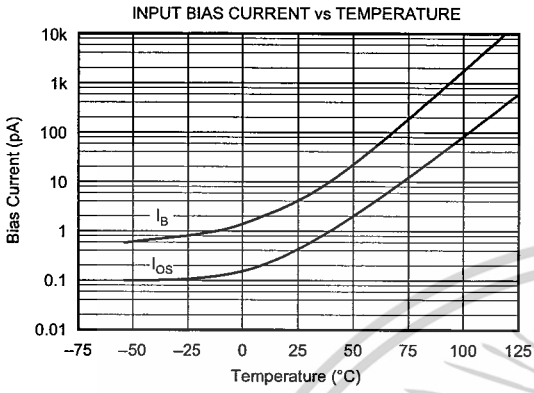
# TYPICAL PERFORMANCE CURVES

At  $T_A = +25^\circ\text{C}$ ,  $V_S = \pm 15\text{V}$ , unless otherwise noted.



# TYPICAL PERFORMANCE CURVES (CONT)

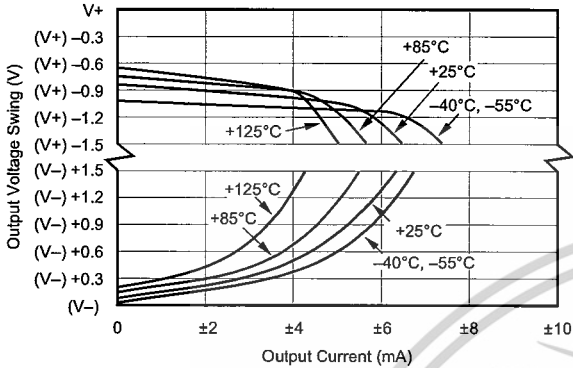
At  $T_A = +25^\circ\text{C}$ ,  $V_S = \pm 15\text{V}$ , unless otherwise noted.



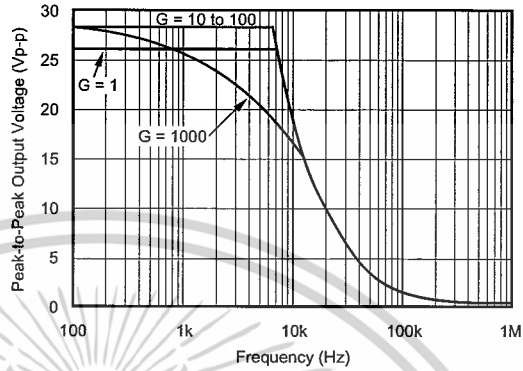
# TYPICAL PERFORMANCE CURVES (CONT)

At  $T_A = +25^\circ\text{C}$ ,  $V_S = \pm 15\text{V}$ , unless otherwise noted.

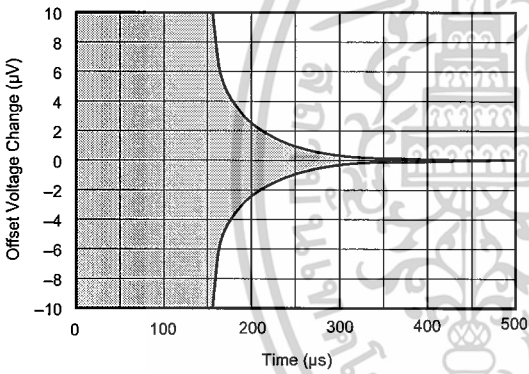
OUTPUT VOLTAGE SWING vs OUTPUT CURRENT



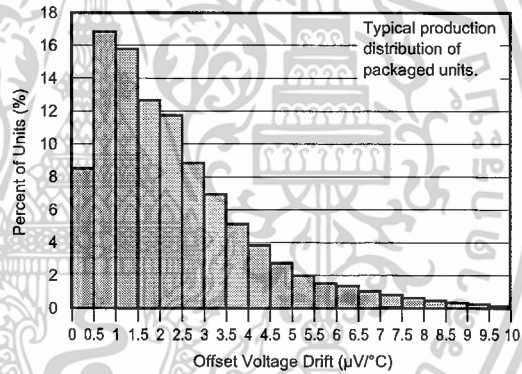
MAXIMUM OUTPUT VOLTAGE vs FREQUENCY



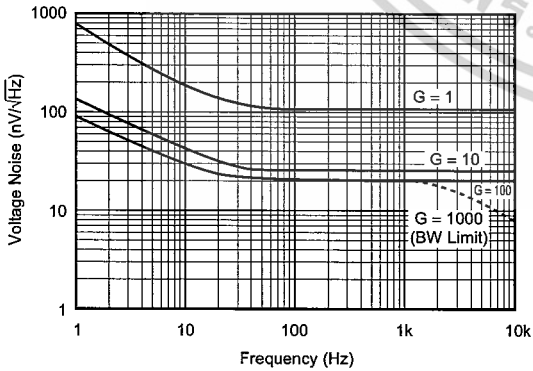
INPUT OFFSET VOLTAGE WARM-UP



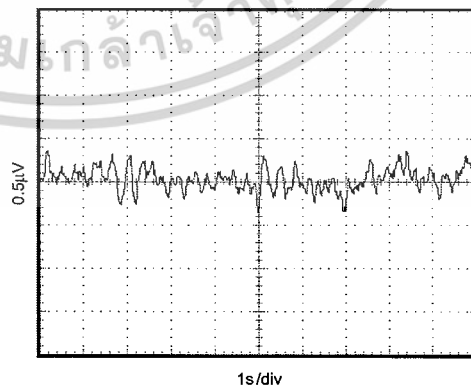
INPUT OFFSET VOLTAGE DRIFT PRODUCTION DISTRIBUTION



INPUT-REFERRED NOISE VOLTAGE vs FREQUENCY



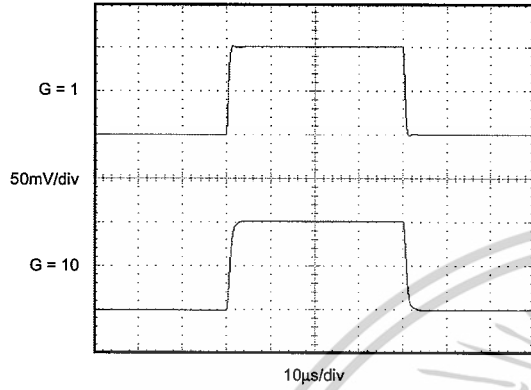
VOLTAGE NOISE 0.1 TO 10Hz INPUT-REFERRED, G ≥ 100



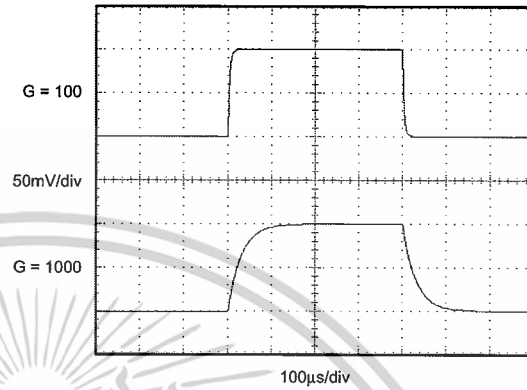
# TYPICAL PERFORMANCE CURVES (CONT)

At  $T_A = +25^\circ\text{C}$ ,  $V_S = \pm 15\text{V}$ , unless otherwise noted.

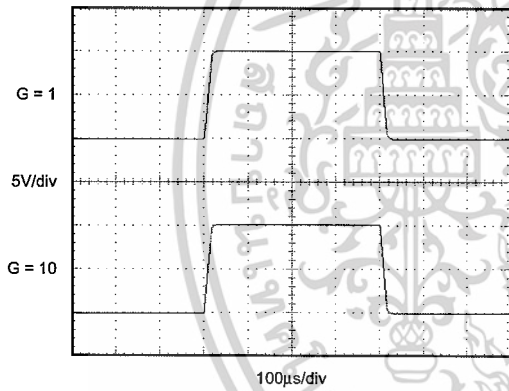
SMALL-SIGNAL STEP RESPONSE  
(G = 1, 10)



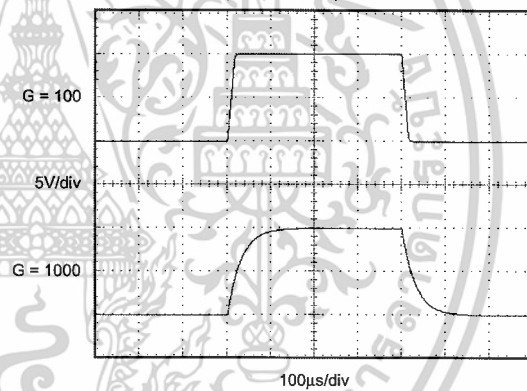
SMALL-SIGNAL STEP RESPONSE  
(G = 100, 1000)



LARGE-SIGNAL STEP RESPONSE  
(G = 1, 10)



LARGE-SIGNAL STEP RESPONSE  
(G = 100, 1000)



## APPLICATION INFORMATION

Figure 1 shows the basic connections required for operation of the INA121. Applications with noisy or high impedance power supplies may require decoupling capacitors close to the device pins as shown.

The output is referred to the output reference (Ref) terminal which is normally grounded. This must be a low-impedance connection to assure good common-mode rejection. A resistance of 8Ω in series with the Ref pin will cause a typical device to degrade to approximately 80dB CMR ( $G = 1$ ).

### SETTING THE GAIN

Gain of the INA121 is set by connecting a single external resistor,  $R_G$ , connected between pins 1 and 8:

$$G = 1 + \frac{50k\Omega}{R_G} \quad (1)$$

Commonly used gains and resistor values are shown in Figure 1.

The 50kΩ term in Equation 1 comes from the sum of the two internal feedback resistors of  $A_1$  and  $A_2$ . These on-chip metal film resistors are laser trimmed to accurate absolute values. The accuracy and temperature coefficient of these resistors are included in the gain accuracy and drift specifications of the INA121.

The stability and temperature drift of the external gain setting resistor,  $R_G$ , also affects gain.  $R_G$ 's contribution to gain accuracy and drift can be directly inferred from the gain equation (1). Low resistor values required for high gain can make wiring resistance important. Sockets add to the wiring resistance which will contribute additional gain error (possibly an unstable gain error) in gains of approximately 100 or greater.

### DYNAMIC PERFORMANCE

The typical performance curve "Gain vs Frequency" shows that, despite its low quiescent current, the INA121 achieves wide bandwidth, even at high gain. This is due to the current-feedback topology of the INA121. Settling time also remains excellent at high gain.

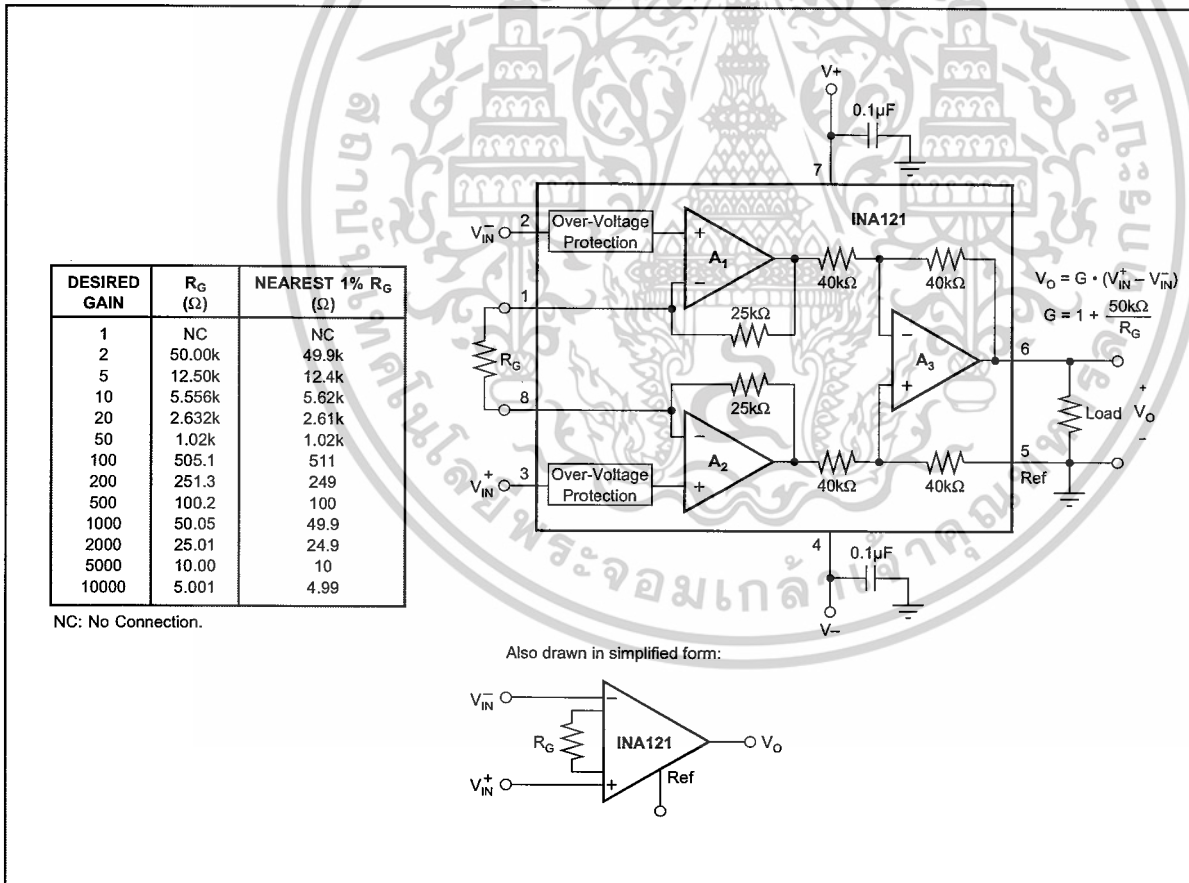


FIGURE 1. Basic Connections.

The INA121 provides excellent rejection of high frequency common-mode signals. The typical performance curve, “Common-Mode Rejection vs Frequency” shows this behavior. If the inputs are not properly balanced, however, common-mode signals can be converted to differential signals. Run the  $V_{IN}^+$  and  $V_{IN}^-$  connections directly adjacent each other, from the source signal all the way to the input pins. If possible use a ground plane under both input traces. Avoid running other potentially noisy lines near the inputs.

### NOISE AND ACCURACY PERFORMANCE

The INA121’s FET input circuitry provides low input bias current and high speed. It achieves lower noise and higher accuracy with high impedance sources. With source impedances of 2k $\Omega$  to 50k $\Omega$  the INA114, INA128, or INA129 may provide lower offset voltage and drift. For very low source impedance ( $\leq 1k\Omega$ ), the INA103 may provide improved accuracy and lower noise. At very high source impedances ( $> 1M\Omega$ ) the INA116 is recommended.

### OFFSET TRIMMING

The INA121 is laser trimmed for low offset voltage and drift. Most applications require no external offset adjustment. Figure 2 shows an optional circuit for trimming the output offset voltage. The voltage applied to Ref terminal is summed at the output. The op amp buffer provides low impedance at the Ref terminal to preserve good common-mode rejection. Trim circuits with higher source impedance should be buffered with an op amp follower circuit to assure low impedance on the Ref pin.

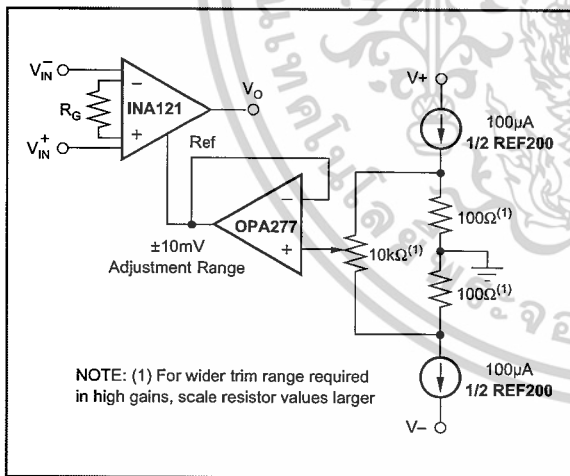


FIGURE 2. Optional Trimming of Output Offset Voltage.

### INPUT BIAS CURRENT RETURN PATH

The input impedance of the INA121 is extremely high—approximately  $10^{12}\Omega$ . However, a path must be provided for the input bias current of both inputs. This input bias current is typically 4pA. High input impedance means that this input bias current changes very little with varying input voltage.

Input circuitry must provide a path for this input bias current if the INA121 is to operate properly. Figure 3 shows various provisions for an input bias current path. Without a bias current return path, the inputs will float to a potential which exceeds the common-mode range of the INA121 and the input amplifiers will saturate.

If the differential source resistance is low, the bias current return path can be connected to one input (see the thermocouple example in Figure 3). With higher source impedance, using two resistors provides a balanced input with possible advantages of lower input offset voltage due to bias current and better high-frequency common-mode rejection.

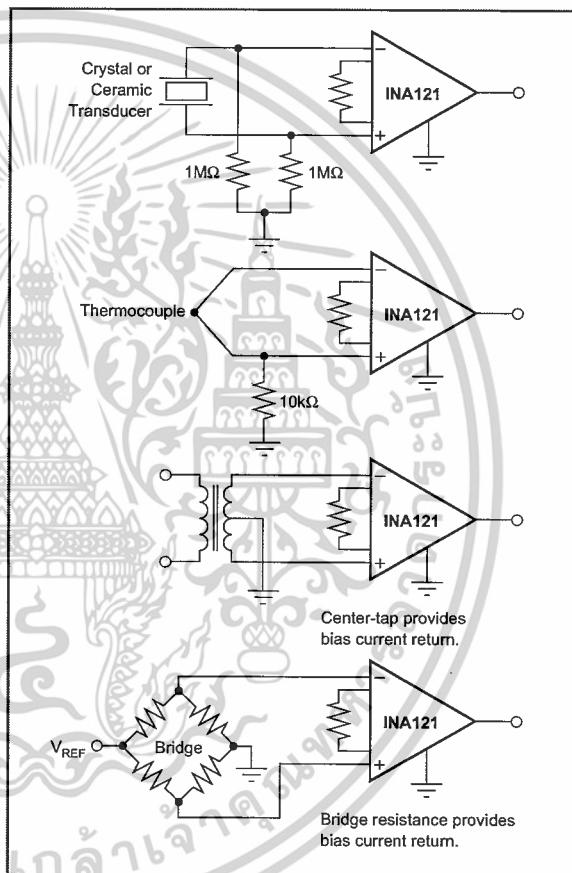


FIGURE 3. Providing an Input Common-Mode Current Path.

### INPUT COMMON-MODE RANGE

The linear input voltage range of the input circuitry of the INA121 is from approximately 1.2V below the positive supply voltage to 2.1V above the negative supply. A differential input voltage causes the output voltage to increase. The linear input range, however, will be limited by the output voltage swing of amplifiers  $A_1$  and  $A_2$ . So the linear common-mode input range is related to the output voltage of the complete amplifier. This behavior also depends on supply voltage—see typical performance curve “Input Common-Mode Range vs Output Voltage”.

A combination of common-mode and differential input voltage can cause the output of  $A_1$  or  $A_2$  to saturate. Figure 4 shows the output voltage swing of  $A_1$  and  $A_2$  expressed in terms of a common-mode and differential input voltages. For applications where input common-mode range must be maximized, limit the output voltage swing by connecting the INA121 in a lower gain (see performance curve "Input Common-Mode Voltage Range vs Output Voltage"). If necessary, add gain after the INA121 to increase the voltage swing.

Input-overload can produce an output voltage that appears normal. For example, if an input overload condition drives both input amplifiers to their positive output swing limit, the difference voltage measured by the output amplifier will be near zero. The output of  $A_3$  will be near 0V even though both inputs are overloaded.

### LOW VOLTAGE OPERATION

The INA121 can be operated on power supplies as low as  $\pm 2.25V$ . Performance remains excellent with power supplies ranging from  $\pm 2.25V$  to  $\pm 18V$ . Most parameters vary only slightly throughout this supply voltage range—see typical

performance curves. Operation at very low supply voltage requires careful attention to assure that the input voltages remain within their linear range. Voltage swing requirements of internal nodes limit the input common-mode range with low power supply voltage. Typical performance curves, "Input Common-Mode Range vs Output Voltage" show the range of linear operation for  $\pm 15V$ ,  $\pm 5V$ , and  $\pm 2.5V$  supplies.

### INPUT FILTERING

The INA121's FET input allows use of an R/C input filter without creating large offsets due to input bias current. Figure 5 shows proper implementation of this input filter to preserve the INA121's excellent high frequency common-mode rejection. Mismatch of the common-mode input time constant ( $R_1C_1$  and  $R_2C_2$ ), either from stray capacitance or mismatched values, causes a high frequency common-mode signal to be converted to a differential signal. This degrades common-mode rejection. The differential input capacitor,  $C_3$ , reduces the bandwidth and mitigates the effects of mismatch in  $C_1$  and  $C_2$ . Make  $C_3$  much larger than  $C_1$  and  $C_2$ . If properly matched,  $C_1$  and  $C_2$  also improve ac CMR.

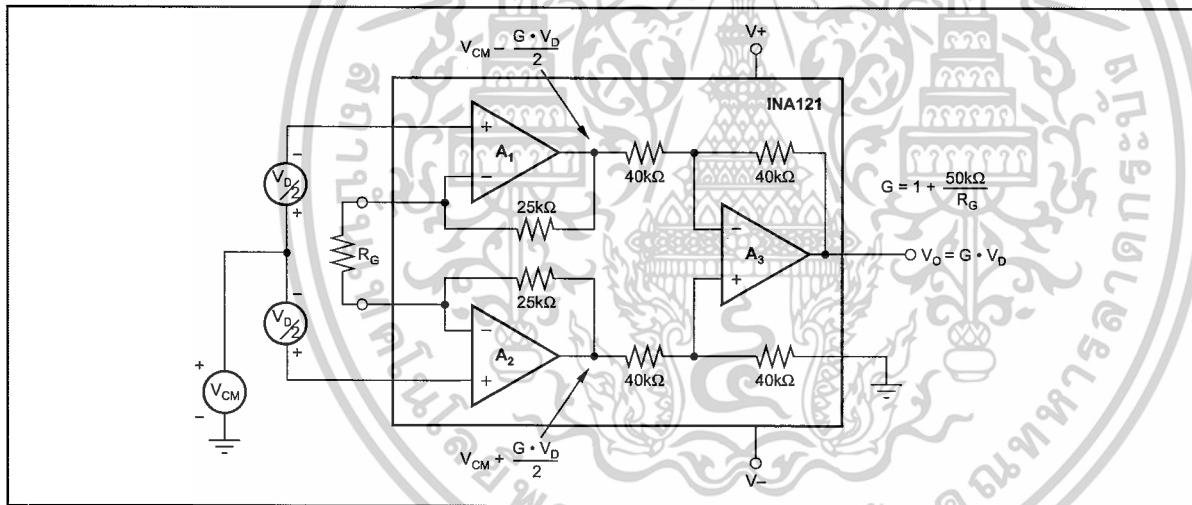


FIGURE 4. Voltage Swing of  $A_1$  and  $A_2$ .

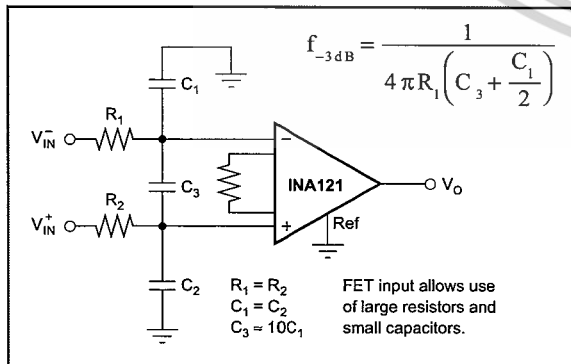


FIGURE 5. Input Low-Pass Filter.

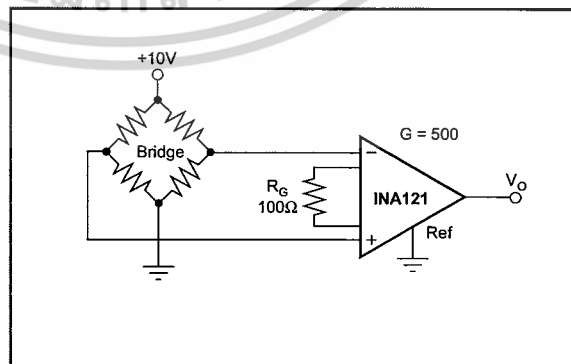


FIGURE 6. Bridge Transducer Amplifier.

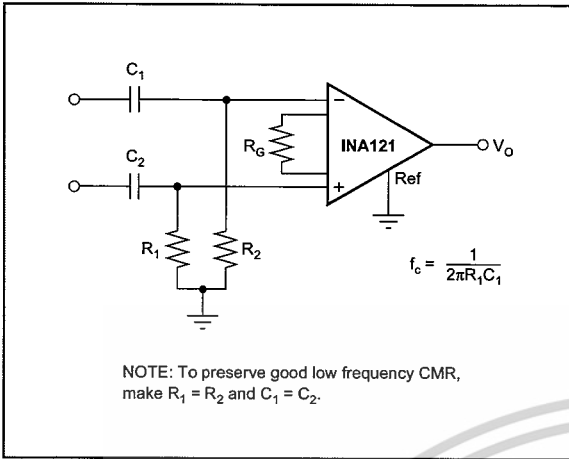


FIGURE 7. High-Pass Input Filter.

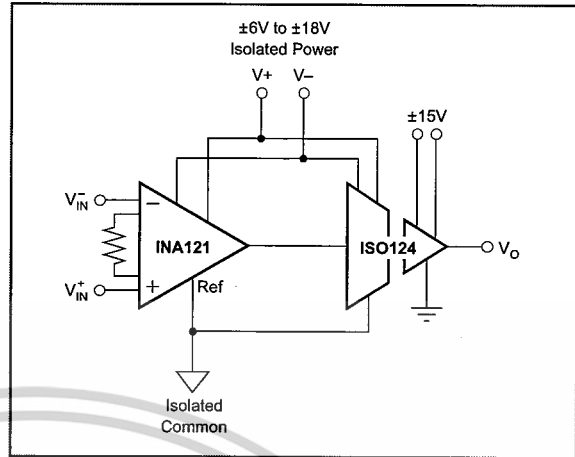


FIGURE 8. Galvanically Isolated Instrumentation Amplifier.

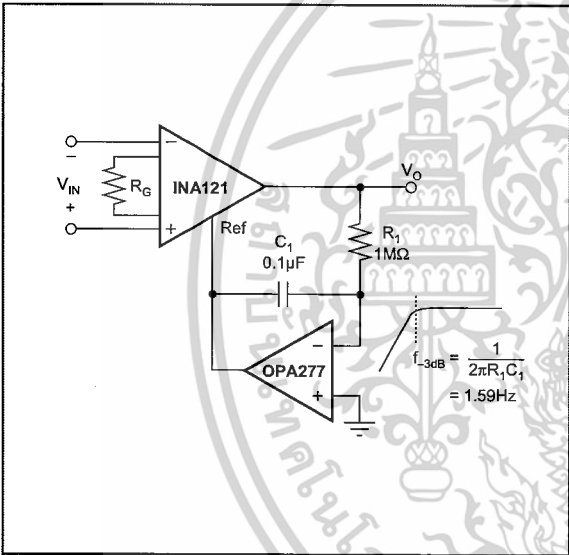


FIGURE 9. AC-Coupled Instrumentation Amplifier.

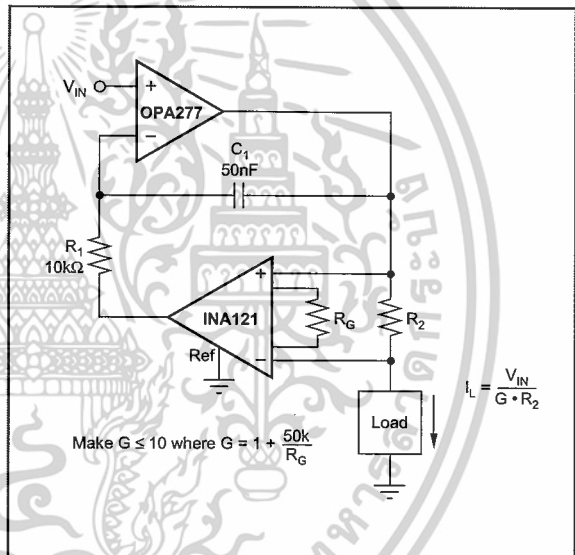


FIGURE 10. Voltage Controlled Current Source.

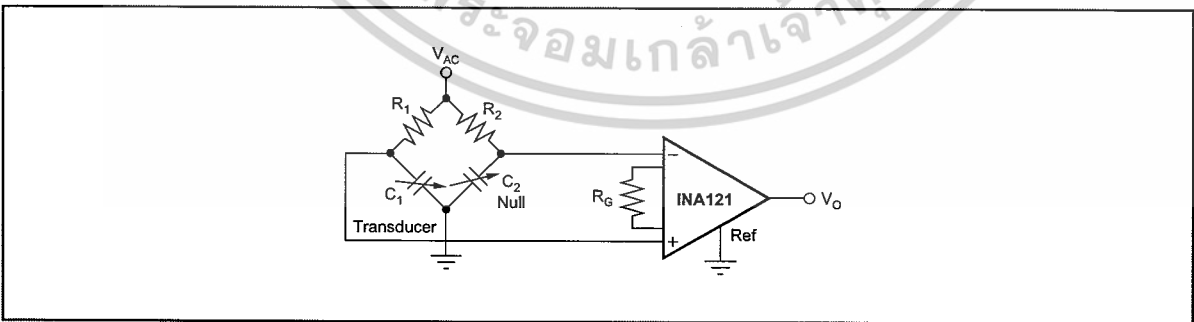


FIGURE 11. Capacitive Bridge Transducer Circuit.

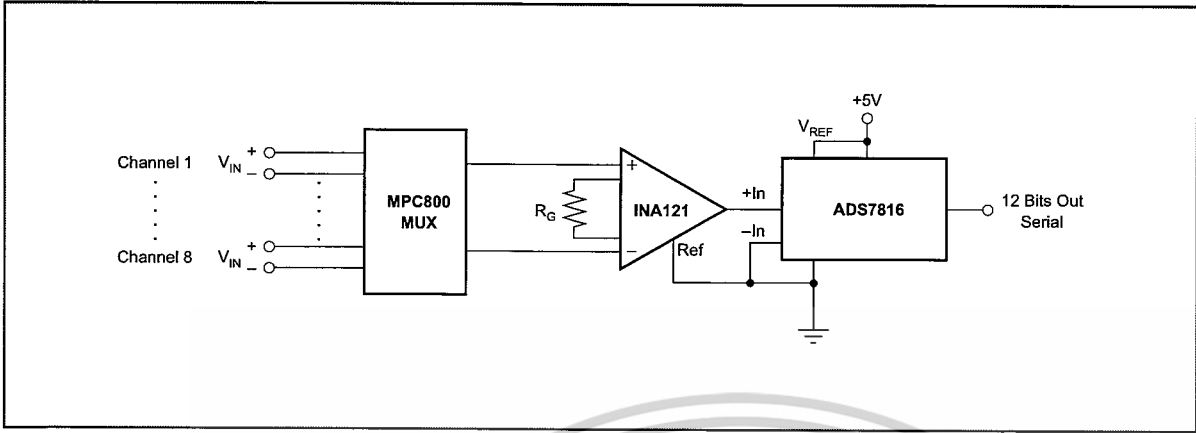


FIGURE 12. Multiplexed-Input Data Acquisition System.

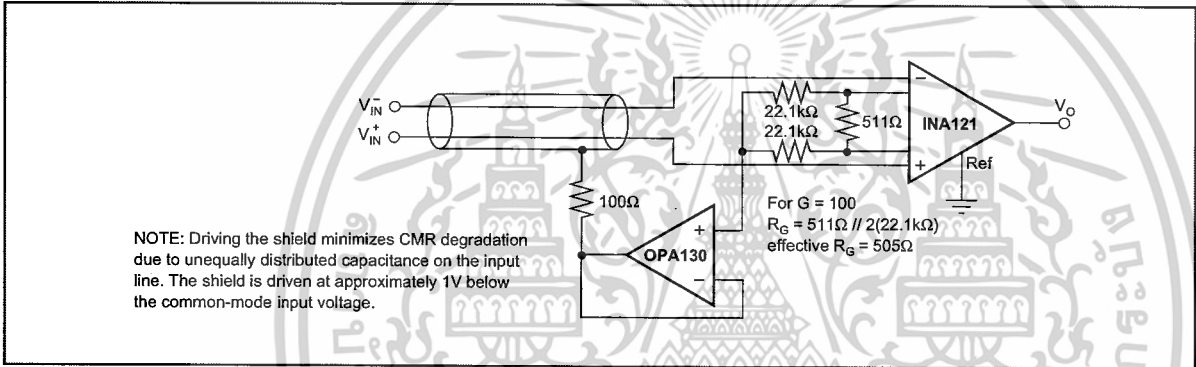


FIGURE 13. Shield Driver Circuit.

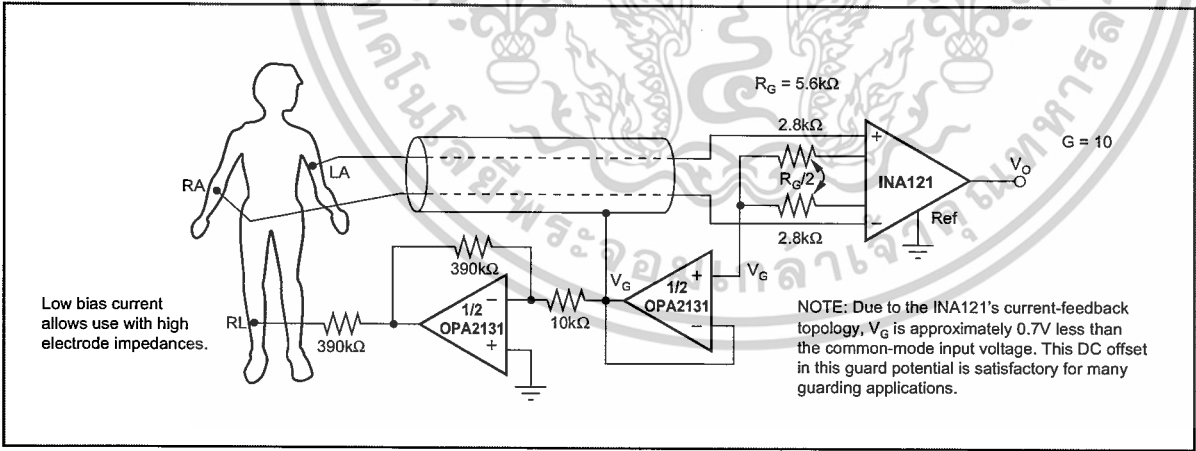


FIGURE 14. ECG Amplifier With Right-Leg Drive.

**PACKAGING INFORMATION**

Orderable Device	Status <sup>(1)</sup>	Package Type	Package Drawing	Pins	Package Qty	Eco Plan <sup>(2)</sup>	Lead/Ball Finish	MSL Peak Temp <sup>(3)</sup>
INA121P	ACTIVE	PDIP	P	8	50	Pb-Free (RoHS)	Call TI	Level-NC-NC-NC
INA121PA	ACTIVE	PDIP	P	8	50	Pb-Free (RoHS)	Call TI	Level-NC-NC-NC
INA121U	ACTIVE	SOIC	D	8	100	None	CU SNPB	Level-3-220C-168 HR
INA121U/2K5	ACTIVE	SOIC	D	8	2500	None	CU SNPB	Level-3-220C-168 HR
INA121UA	ACTIVE	SOIC	D	8	100	None	CU SNPB	Level-3-220C-168 HR
INA121UA/2K5	ACTIVE	SOIC	D	8	2500	None	CU SNPB	Level-3-220C-168 HR

<sup>(1)</sup> The marketing status values are defined as follows:

**ACTIVE:** Product device recommended for new designs.

**LIFEBUY:** TI has announced that the device will be discontinued, and a lifetime-buy period is in effect.

**NRND:** Not recommended for new designs. Device is in production to support existing customers, but TI does not recommend using this part in a new design.

**PREVIEW:** Device has been announced but is not in production. Samples may or may not be available.

**OBsolete:** TI has discontinued the production of the device.

<sup>(2)</sup> Eco Plan - May not be currently available - please check <http://www.ti.com/productcontent> for the latest availability information and additional product content details.

**None:** Not yet available Lead (Pb-Free).

**Pb-Free (RoHS):** TI's terms "Lead-Free" or "Pb-Free" mean semiconductor products that are compatible with the current RoHS requirements for all 6 substances, including the requirement that lead not exceed 0.1% by weight in homogeneous materials. Where designed to be soldered at high temperatures, TI Pb-Free products are suitable for use in specified lead-free processes.

**Green (RoHS & no Sb/Br):** TI defines "Green" to mean "Pb-Free" and in addition, uses package materials that do not contain halogens, including bromine (Br) or antimony (Sb) above 0.1% of total product weight.

<sup>(3)</sup> MSL, Peak Temp. -- The Moisture Sensitivity Level rating according to the JEDEC industry standard classifications, and peak solder temperature.

**Important Information and Disclaimer:** The information provided on this page represents TI's knowledge and belief as of the date that it is provided. TI bases its knowledge and belief on information provided by third parties, and makes no representation or warranty as to the accuracy of such information. Efforts are underway to better integrate information from third parties. TI has taken and continues to take reasonable steps to provide representative and accurate information but may not have conducted destructive testing or chemical analysis on incoming materials and chemicals. TI and TI suppliers consider certain information to be proprietary, and thus CAS numbers and other limited information may not be available for release.

In no event shall TI's liability arising out of such information exceed the total purchase price of the TI part(s) at issue in this document sold by TI to Customer on an annual basis.

## IMPORTANT NOTICE

Texas Instruments Incorporated and its subsidiaries (TI) reserve the right to make corrections, modifications, enhancements, improvements, and other changes to its products and services at any time and to discontinue any product or service without notice. Customers should obtain the latest relevant information before placing orders and should verify that such information is current and complete. All products are sold subject to TI's terms and conditions of sale supplied at the time of order acknowledgment.

TI warrants performance of its hardware products to the specifications applicable at the time of sale in accordance with TI's standard warranty. Testing and other quality control techniques are used to the extent TI deems necessary to support this warranty. Except where mandated by government requirements, testing of all parameters of each product is not necessarily performed.

TI assumes no liability for applications assistance or customer product design. Customers are responsible for their products and applications using TI components. To minimize the risks associated with customer products and applications, customers should provide adequate design and operating safeguards.

TI does not warrant or represent that any license, either express or implied, is granted under any TI patent right, copyright, mask work right, or other TI intellectual property right relating to any combination, machine, or process in which TI products or services are used. Information published by TI regarding third-party products or services does not constitute a license from TI to use such products or services or a warranty or endorsement thereof. Use of such information may require a license from a third party under the patents or other intellectual property of the third party, or a license from TI under the patents or other intellectual property of TI.

Reproduction of information in TI data books or data sheets is permissible only if reproduction is without alteration and is accompanied by all associated warranties, conditions, limitations, and notices. Reproduction of this information with alteration is an unfair and deceptive business practice. TI is not responsible or liable for such altered documentation.

Resale of TI products or services with statements different from or beyond the parameters stated by TI for that product or service voids all express and any implied warranties for the associated TI product or service and is an unfair and deceptive business practice. TI is not responsible or liable for any such statements.

Following are URLs where you can obtain information on other Texas Instruments products and application solutions:

<b>Products</b>		<b>Applications</b>	
Amplifiers	<a href="http://amplifier.ti.com">amplifier.ti.com</a>	Audio	<a href="http://www.ti.com/audio">www.ti.com/audio</a>
Data Converters	<a href="http://dataconverter.ti.com">dataconverter.ti.com</a>	Automotive	<a href="http://www.ti.com/automotive">www.ti.com/automotive</a>
DSP	<a href="http://dsp.ti.com">dsp.ti.com</a>	Broadband	<a href="http://www.ti.com/broadband">www.ti.com/broadband</a>
Interface	<a href="http://interface.ti.com">interface.ti.com</a>	Digital Control	<a href="http://www.ti.com/digitalcontrol">www.ti.com/digitalcontrol</a>
Logic	<a href="http://logic.ti.com">logic.ti.com</a>	Military	<a href="http://www.ti.com/military">www.ti.com/military</a>
Power Mgmt	<a href="http://power.ti.com">power.ti.com</a>	Optical Networking	<a href="http://www.ti.com/opticalnetwork">www.ti.com/opticalnetwork</a>
Microcontrollers	<a href="http://microcontroller.ti.com">microcontroller.ti.com</a>	Security	<a href="http://www.ti.com/security">www.ti.com/security</a>
		Telephony	<a href="http://www.ti.com/telephony">www.ti.com/telephony</a>
		Video & Imaging	<a href="http://www.ti.com/video">www.ti.com/video</a>
		Wireless	<a href="http://www.ti.com/wireless">www.ti.com/wireless</a>

Mailing Address: Texas Instruments  
Post Office Box 655303 Dallas, Texas 75265

Copyright © 2005, Texas Instruments Incorporated

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# 10 kPa On-Chip Temperature Compensated and Calibrated Silicon Pressure Sensors

The MPX2010 series silicon piezoresistive pressure sensors provide a very accurate and linear voltage output directly proportional to the applied pressure. These sensors house a single monolithic silicon die with the strain gauge and thin film resistor network integrated. The sensor is laser trimmed for precise span, offset calibration and temperature compensation.

## Features

- Temperature Compensated over 0°C to +85°C
- Ratiometric to Supply Voltage
- Differential and Gauge Options
- Available in Easy-to-Use Tape & Reel

## MPX2010 Series

0 to 10 kPa (0 to 1.45 psi)  
25 mV Full Scale  
(Typical)

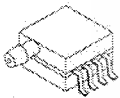
## Application Examples

- Respiratory Diagnostics
- Air Movement Control
- Controllers
- Pressure Switching

## ORDERING INFORMATION

Device Name	Package Options	Case No.	# of Ports			Pressure Type			Device Marking
			None	Single	Dual	Gauge	Differential	Absolute	
<b>Small Outline Package (MPXV2010 Series)</b>									
MPXV2010GP	Tray	1369		•		•			MPXV2010GP
MPXV2010DP	Tray	1351			•			•	MPXV2010DP
<b>Unibody Package (MPX2010 Series)</b>									
MPX2010D	Tray	344	•					•	MPX2010D
MPX2010DP	Tray	344C			•			•	MPX2010DP
MPX2010GP	Tray	344B		•		•			MPX2010GP
MPX2010GS	Tray	344E		•		•			MPX2010D
MPX2010GSX	Tray	344F		•		•			MPX2010D
<b>MPAK Package (MPXM2010 Series)</b>									
MPXM2010D	Rail	1320	•					•	MPXM2010D
MPXM2010DT1	Tape and Reel	1320	•					•	MPXM2010D
MPXM2010GS	Rail	1320A		•		•			MPXM2010GS
MPXM2010GST1	Tape and Reel	1320A		•		•			MPXM2010GS

### SMALL OUTLINE PACKAGES



MPXV2010GP  
CASE 1369-01



MPXV2010DP  
CASE 1351-01



MPXM2010D/DT1  
CASE 1320-02

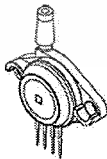


MPXM2010GS/GST1  
CASE 1320A-02

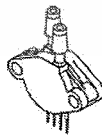
### UNIBODY PACKAGES



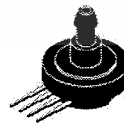
MPX2010D  
CASE 344-15



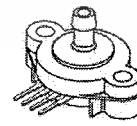
MPX2010GP  
CASE 344B-01



MPX2010DP  
CASE 344C-01



MPX2010GS  
CASE 344E-01



MPX2010GSX  
CASE 344F-01

## Operating Characteristics

Table 1. Operating Characteristics ( $V_S = 10 V_{DC}$ ,  $T_A = 25^\circ C$  unless otherwise noted,  $P_1 > P_2$ )

Characteristic	Symbol	Min	Typ	Max	Units
Pressure Range <sup>(1)</sup>	$P_{OP}$	0	—	10	kPa
Supply Voltage <sup>(2)</sup>	$V_S$	—	10	16	$V_{DC}$
Supply Current	$I_O$	—	6.0	—	mAdc
Full Scale Span <sup>(3)</sup>	$V_{FSS}$	24	25	26	mV
Offset <sup>(4)</sup>	$V_{OFF}$	-1.0	—	1.0	mV
Sensitivity	$\Delta V/\Delta P$	—	2.5	—	mV/kPa
Linearity	—	-1.0	—	1.0	% $V_{FSS}$
Pressure Hysteresis (0 to 10 kPa)	—	—	$\pm 0.1$	—	% $V_{FSS}$
Temperature Hysteresis (-40°C to +125°C)	—	—	$\pm 0.5$	—	% $V_{FSS}$
Temperature Coefficient on Full Scale Span	$TCV_{FSS}$	-1.0	—	1.0	% $V_{FSS}$
Temperature Coefficient on Offset	$TCV_{OFF}$	-1.0	—	1.0	mV
Input Impedance	$Z_{IN}$	1300	—	2550	$\Omega$
Output Impedance	$Z_{OUT}$	1400	—	3000	$\Omega$
Response Time <sup>(5)</sup> (10% to 90%)	$t_R$	—	1.0	—	ms
Warm-Up Time	—	—	20	—	ms
Offset Stability <sup>(6)</sup>	—	—	$\pm 0.5$	—	% $V_{FSS}$

- 1.0 kPa (kiloPascal) equals 0.145 psi.
- Device is ratiometric within this specified excitation range. Operating the device at a different range may induce additional error due to device self-heating.
- Full Scale Span ( $V_{FSS}$ ) is defined as the algebraic difference between the output voltage at full rated pressure and the output voltage at the minimum rated pressure.
- Offset ( $V_{OFF}$ ) is defined as the output voltage at the minimum rated pressure.
- Response Time is defined as the time for the incremental change in the output to go from 10% to 90% of its final value when subjected to a specified step change in pressure.
- Offset stability is the product's output deviation when subjected to 1000 hours of Pulsed Pressure, Temperature Cycling with Bias Test.

## Maximum Ratings

Table 2. Maximum Ratings<sup>(1)</sup>

Rating	Symbol	Value	Unit
Maximum Pressure (P1 > P2)	$P_{MAX}$	75	kPa
Burst Pressure (P1 > P2)	$P_{BURST}$	100	kPa
Storage Temperature	$T_{STG}$	-40 to +125	°C
Operating Temperature	$T_A$	-40 to +125	°C

1. Exposure beyond the specified limits may cause permanent damage or degradation to the device.

## Voltage Output versus Applied Differential Pressure

The output voltage of the differential or gauge sensor increases with increasing pressure applied to the pressure side (P1) relative to the vacuum side (P2). Similarly, output voltage increases as increasing vacuum is applied to the vacuum side (P2) relative to the pressure side (P1).

Figure 1. shows a block diagram of the internal circuitry on the stand-alone pressure sensor chip.

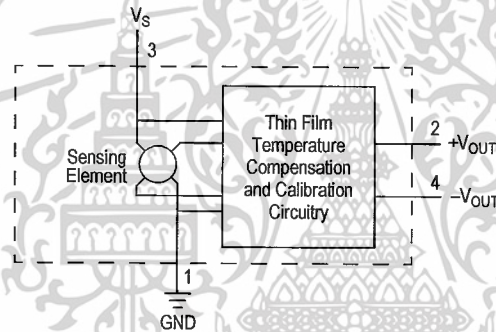


Figure 1. Temperature Compensated and Calibrated Pressure Sensor Schematic

MPX2010

Sensors

Freescale Semiconductor

เอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## On-Chip Temperature Compensation and Calibration

Figure 2. shows the output characteristics of the MPX2010 series at 25°C. The output is directly proportional to the differential pressure and is essentially a straight line.

The effects of temperature on full scale span and offset are very small and are shown under Operating Characteristics.

This performance over temperature is achieved by having both the shear stress strain gauge and the thin-film resistor circuitry on the same silicon diaphragm. Each chip is dynamically laser trimmed for precise span and offset calibration and temperature compensation.

Figure 3. illustrates the differential/gauge die in the basic chip carrier (Case 344). A silicone gel isolates the die surface and wire bonds from the environment, while allowing the pressure signal to be transmitted to the silicon diaphragm.

The MPX2010 series pressure sensor operating characteristics and internal reliability and qualification tests are based on use of dry air as the pressure media. Media other than dry air may have adverse effects on sensor

performance and long term reliability. Contact the factory for information regarding media compatibility in your application.

### LINEARITY

Linearity refers to how well a transducer's output follows the equation:  $V_{out} = V_{off} + \text{sensitivity} \times P$  over the operating pressure range. There are two basic methods for calculating nonlinearity: (1) end point straight line fit (see Figure 4.) or (2) a least squares best line fit. While a least squares fit gives the "best case" linearity error (lower numerical value), the calculations required are burdensome.

Conversely, an end point fit will give the "worst case" error (often more desirable in error budget calculations) and the calculations are more straightforward for the user.

Freescale's specified pressure sensor linearities are based on the end point straight line method measured at the midrange pressure.

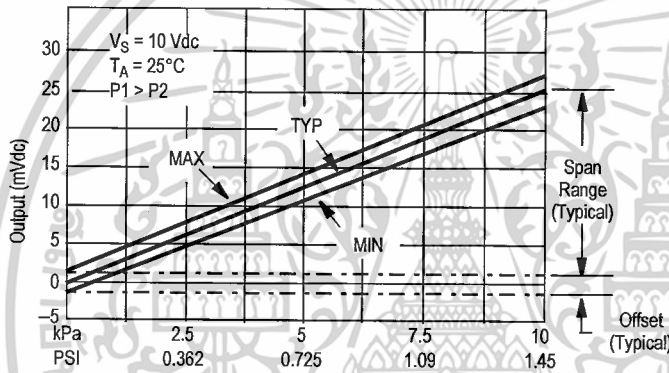


Figure 2. Output vs. Pressure Differential

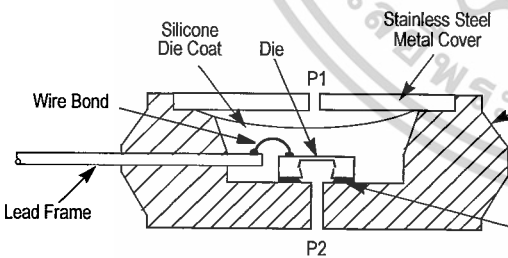


Figure 3. Unibody Package: Cross Sectional Diagram (not to scale)

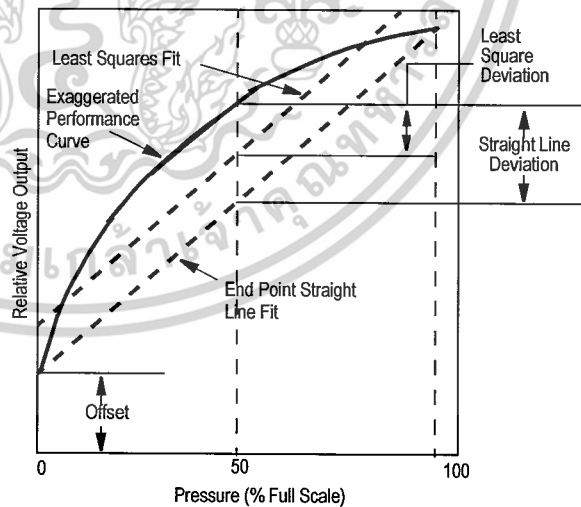


Figure 4. Linearity Specification Comparison

## PRESSURE (P1)/VACUUM (P2) SIDE IDENTIFICATION TABLE

Freescale designates the two sides of the pressure sensor as the Pressure (P1) side and the Vacuum (P2) side. The Pressure (P1) side is the side containing silicone gel which isolates the die from the environment. The pressure sensor is designed to operate with positive differential pressure applied,  $P1 > P2$ .

The Pressure (P1) side may be identified by using the following table.

Table 3. Pressure (P1) Side Delineation

Part Number	Case Type	Pressure (P1) Side Identifier
MPX2010D	344	Stainless Steel Cap
MPX2010DP	344C	Side with Part Marking
MPX2010GP	344B	Side with Port Attached
MPX2010GS	344E	Side with Port Attached
MPX2010GSX	344F	Side with Port Attached
MPXV2010GP	1369	Side with Port Attached
MPXV2010DP	1351	Side with Part Marking
MPXM2010D/DTI	1320	Side with Part Marking
MPXM2010GS/GSTI	1320A	Side with Port Attached



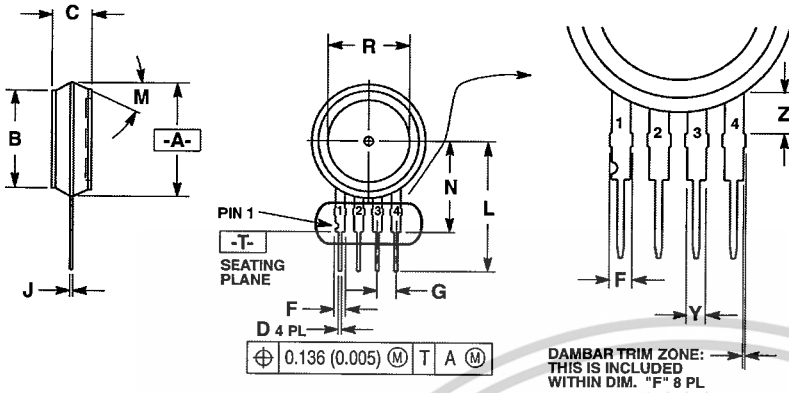
MPX2010

Sensors

Freescale Semiconductor เอกสารที่ส่งจนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

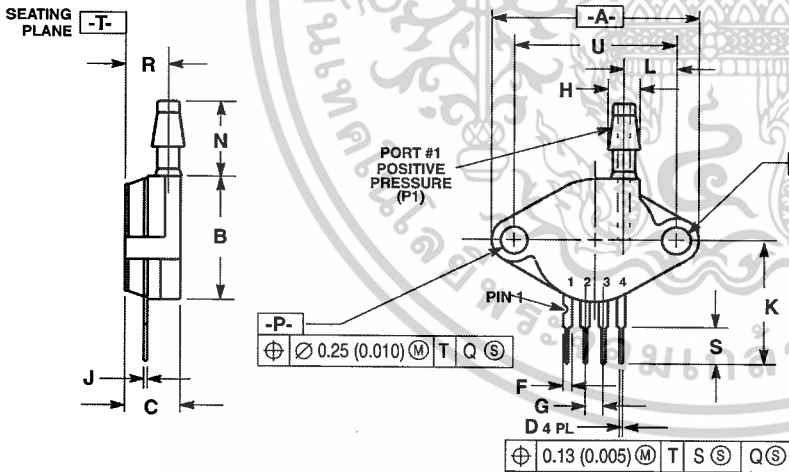
PACKAGE DIMENSIONS



- NOTES:
1. DIMENSIONING AND TOLERANCING PER ASME Y14.5M, 1994.
  2. CONTROLLING DIMENSION: INCH.
  3. DIMENSION -A- IS INCLUSIVE OF THE MOLD STOP RING. MOLD STOP RING NOT TO EXCEED 16.00 (0.630).

DIM	INCHES		MILLIMETERS	
	MIN	MAX	MIN	MAX
A	0.595	0.630	15.11	16.00
B	0.514	0.534	13.06	13.56
C	0.200	0.220	5.08	5.59
D	0.016	0.020	0.41	0.51
F	0.048	0.064	1.22	1.63
G	0.100 BSC		2.54 BSC	
J	0.014	0.016	0.36	0.40
L	0.695	0.725	17.65	18.42
M	30° NOM		30° NOM	
N	0.475	0.495	12.07	12.57
R	0.430	0.450	10.92	11.43
Y	0.048	0.052	1.22	1.32
Z	0.106	0.118	2.68	3.00

CASE 344-15  
ISSUE AA  
UNIBODY PACKAGE

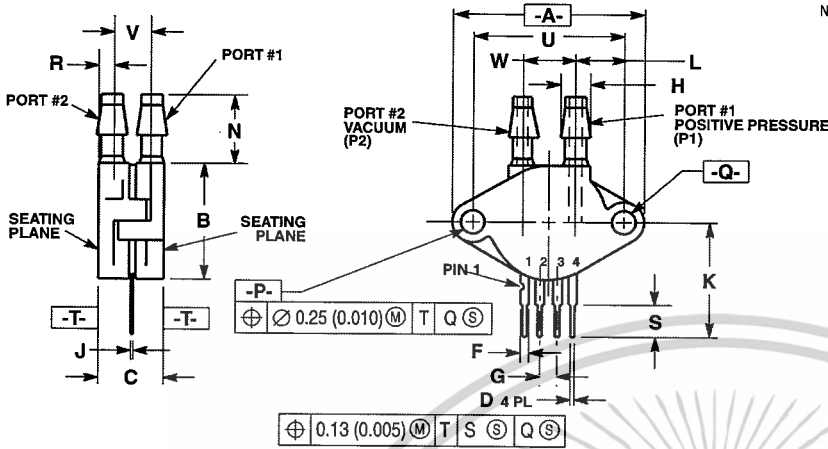


- NOTES:
1. DIMENSIONING AND TOLERANCING PER ANSI Y14.5M, 1982.
  2. CONTROLLING DIMENSION: INCH.

DIM	INCHES		MILLIMETERS	
	MIN	MAX	MIN	MAX
A	1.145	1.175	29.08	29.85
B	0.685	0.715	17.40	18.16
C	0.305	0.325	7.75	8.26
D	0.016	0.020	0.41	0.51
F	0.048	0.064	1.22	1.63
G	0.100 BSC		2.54 BSC	
H	0.182	0.194	4.62	4.93
J	0.014	0.016	0.36	0.41
K	0.695	0.725	17.65	18.42
L	0.290	0.300	7.37	7.62
N	0.420	0.440	10.67	11.18
P	0.153	0.159	3.89	4.04
Q	0.153	0.159	3.89	4.04
R	0.230	0.250	5.84	6.35
S	0.220	0.240	5.59	6.10
U	0.910 BSC		23.11 BSC	

CASE 344B-01  
ISSUE B  
UNIBODY PACKAGE

PACKAGE DIMENSIONS

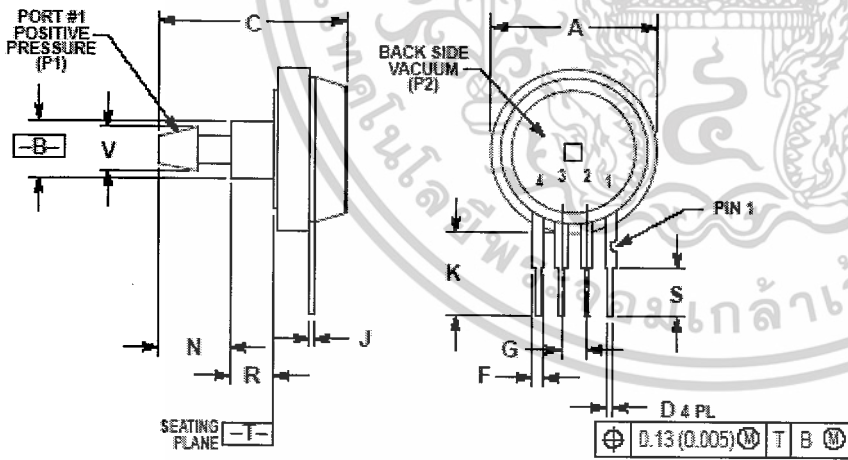


- NOTES:  
 1. DIMENSIONING AND TOLERANCING PER ANSI Y14.5M, 1982.  
 2. CONTROLLING DIMENSION: INCH.

DIM	INCHES		MILLIMETERS	
	MIN	MAX	MIN	MAX
A	1.145	1.175	29.08	29.85
B	0.685	0.715	17.40	18.16
C	0.405	0.435	10.29	11.05
D	0.016	0.020	0.41	0.51
F	0.048	0.064	1.22	1.63
G	0.100 BSC		2.54 BSC	
H	0.182	0.194	4.62	4.93
J	0.014	0.016	0.36	0.41
K	0.695	0.725	17.65	18.42
L	0.290	0.300	7.37	7.62
N	0.420	0.440	10.67	11.18
P	0.153	0.159	3.89	4.04
Q	0.153	0.159	3.89	4.04
R	0.063	0.083	1.60	2.11
S	0.220	0.240	5.59	6.10
U	0.910 BSC		23.11 BSC	
V	0.248	0.278	6.30	7.06
W	0.310	0.330	7.87	8.38

- STYLE 1:  
 PIN 1: GROUND  
 2: +OUTPUT  
 3: +SUPPLY  
 4: -OUTPUT

CASE 344C-01  
 ISSUE B  
 UNIBODY PACKAGE



- NOTES:  
 1. DIMENSIONING AND TOLERANCING PER ANSI Y14.5M, 1982.  
 2. CONTROLLING DIMENSION: INCH.

DIM	INCHES		MILLIMETERS	
	MIN	MAX	MIN	MAX
A	0.890	0.720	17.53	18.28
B	0.245	0.265	6.22	6.48
C	0.790	0.820	19.91	20.82
D	0.016	0.020	0.41	0.51
F	0.048	0.064	1.22	1.63
G	0.100 BSC		2.54 BSC	
J	0.014	0.016	0.36	0.41
K	0.345	0.375	8.78	9.53
N	0.300	0.310	7.62	7.87
R	0.175	0.186	4.52	4.72
S	0.220	0.240	5.59	6.10
V	0.182	0.194	4.62	4.93

- STYLE 1:  
 PIN 1: GROUND  
 2: +OUTPUT  
 3: +SUPPLY  
 4: -OUTPUT

CASE 344E-01  
 ISSUE B  
 UNIBODY PACKAGE

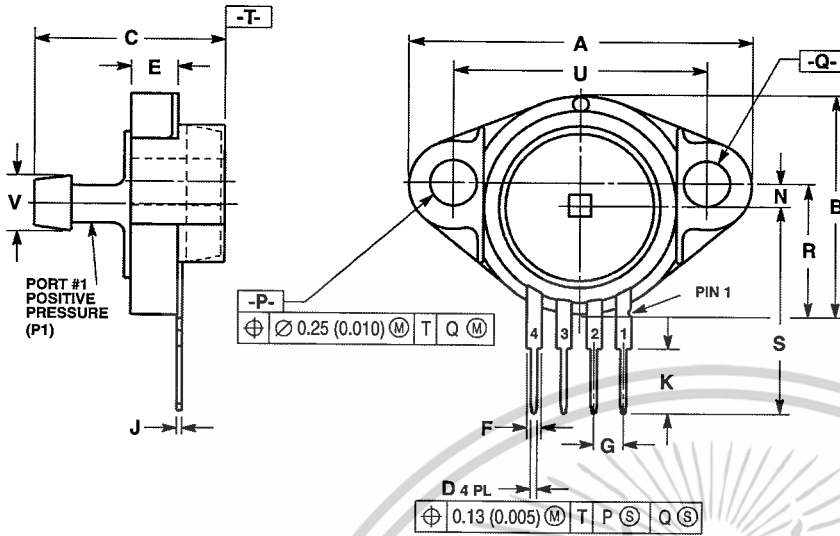
MPX2010

Sensors

Freescale Semiconductor

เอกสารที่ส่งจนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่วาระณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PACKAGE DIMENSIONS



- NOTES:
1. DIMENSIONING AND TOLERANCING PER ANSI Y14.5M, 1982.
  2. CONTROLLING DIMENSION: INCH.

DIM	INCHES		MILLIMETERS	
	MIN	MAX	MIN	MAX
A	1.080	1.120	27.43	28.45
B	0.740	0.760	18.80	19.30
C	0.630	0.650	16.00	16.51
D	0.016	0.020	0.41	0.51
E	0.160	0.180	4.06	4.57
F	0.048	0.064	1.22	1.63
G	0.100 BSC		2.54 BSC	
J	0.014	0.016	0.36	0.41
K	0.220	0.240	5.59	6.10
N	0.070	0.080	1.78	2.03
P	0.150	0.160	3.81	4.06
Q	0.150	0.160	3.81	4.06
R	0.440	0.460	11.18	11.68
S	0.695	0.725	17.65	18.42
U	0.840	0.860	21.34	21.84
V	0.182	0.194	4.62	4.92

- STYLE 1:
1. GROUND
  2. V (+) OUT
  3. V SUPPLY
  4. V (-) OUT

CASE 344F-01  
ISSUE B  
UNIBODY PACKAGE

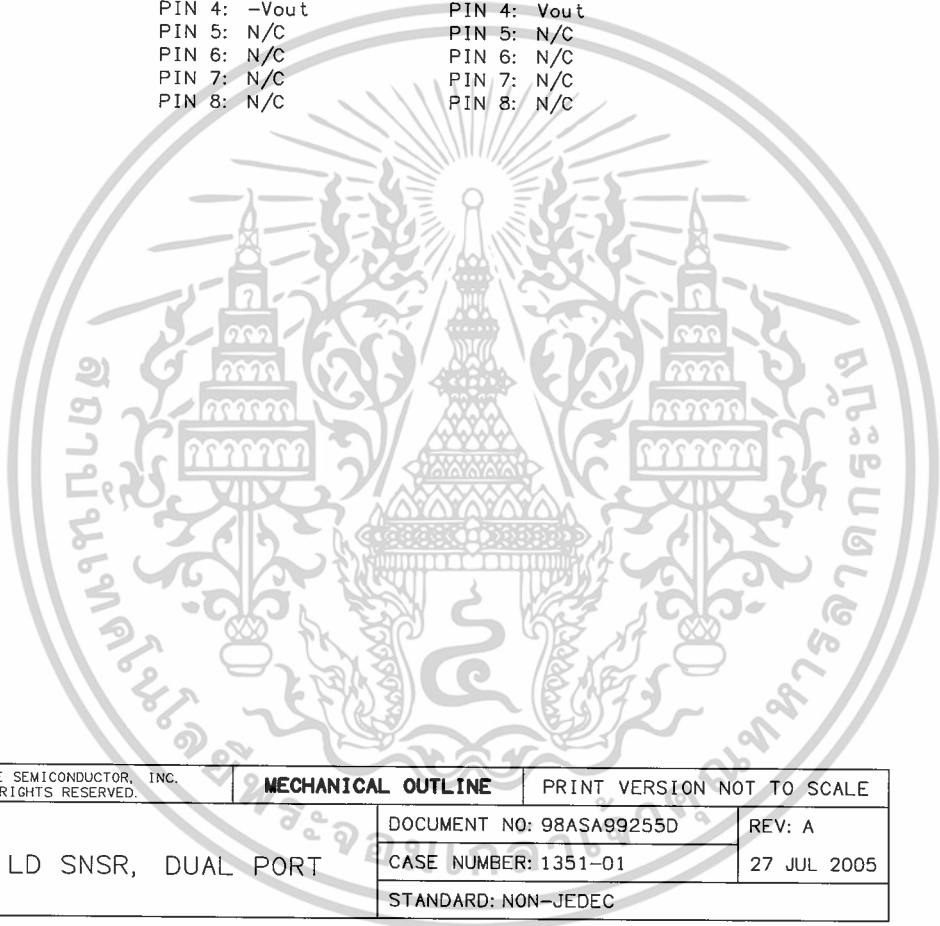


**PACKAGE DIMENSIONS**

NOTES:

1. CONTROLLING DIMENSION: INCH
2. INTERPRET DIMENSIONS AND TOLERANCES PER ASME Y14.5M-1994.
3. DIMENSIONS DO NOT INCLUDE MOLD FLASH OR PROTRUSIONS. MOLD FLASH AND PROTRUSIONS SHALL NOT EXCEED .006 PER SIDE.
4. DIMENSION DOES NOT INCLUDE DAMBAR PROTRUSION. ALLOWABLE DAMBAR PROTRUSION SHALL BE .008 MAXIMUM.

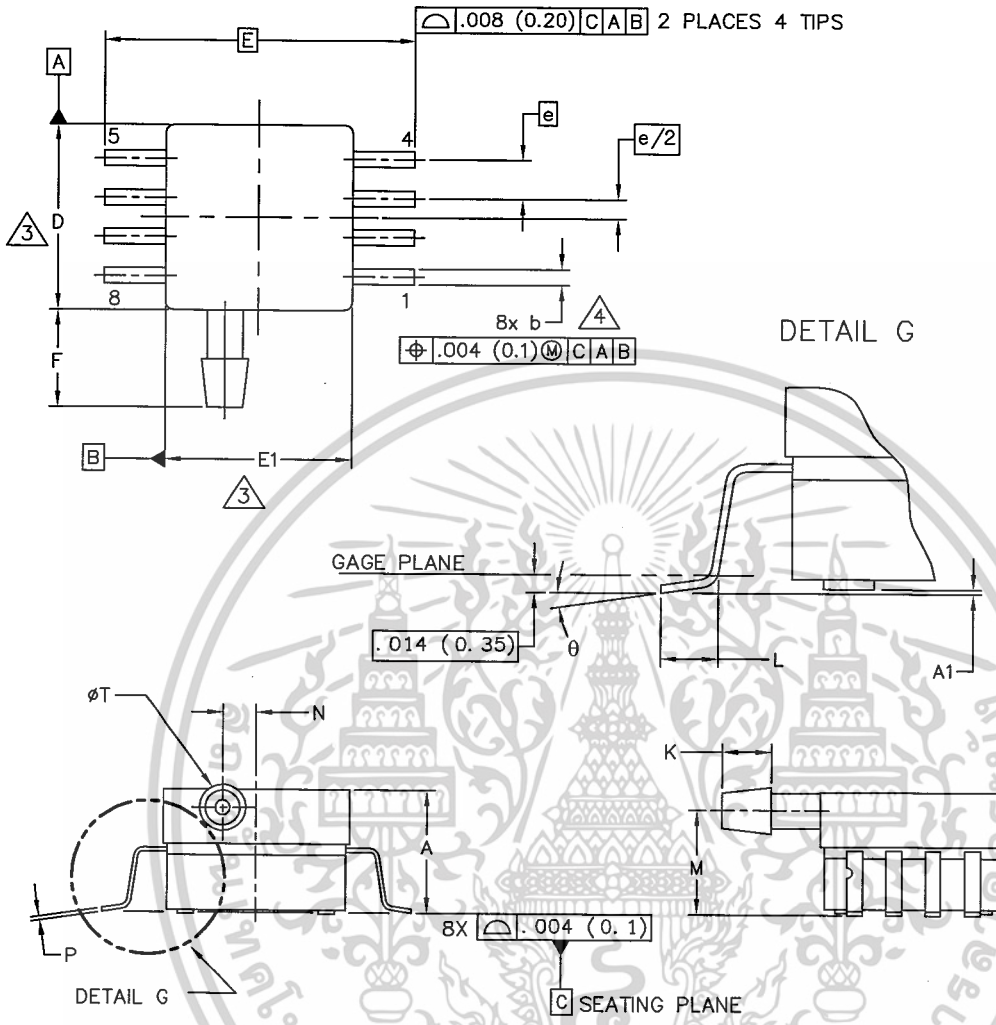
STYLE 1:	STYLE 2:
PIN 1: GND	PIN 1: N/C
PIN 2: +Vout	PIN 2: Vs
PIN 3: Vs	PIN 3: GND
PIN 4: -Vout	PIN 4: Vout
PIN 5: N/C	PIN 5: N/C
PIN 6: N/C	PIN 6: N/C
PIN 7: N/C	PIN 7: N/C
PIN 8: N/C	PIN 8: N/C



© FREESCALE SEMICONDUCTOR, INC. ALL RIGHTS RESERVED.	<b>MECHANICAL OUTLINE</b>	PRINT VERSION NOT TO SCALE
TITLE:  8 LD SNSR, DUAL PORT	DOCUMENT NO: 98ASA99255D	REV: A
	CASE NUMBER: 1351-01	27 JUL 2005
	STANDARD: NON-JEDEC	

**CASE1351-01  
ISSUE A  
SMALL OUTLINE PACKAGE**

PACKAGE DIMENSIONS



© FREESCALE SEMICONDUCTOR, INC. ALL RIGHTS RESERVED.  TITLE:  8 LD SOP, SIDE PORT	<b>MECHANICAL OUTLINE</b>	PRINT VERSION NOT TO SCALE
	DOCUMENT NO: 98ASA99303D	REV: B
	CASE NUMBER: 1369-01	24 MAY 2005
STANDARD: NON-JEDEC		

**CASE 1369-01  
 ISSUE B  
 SMALL OUTLINE PACKAGE**

**PACKAGE DIMENSIONS**

NOTES:

1. CONTROLLING DIMENSION: INCH

2. INTERPRET DIMENSIONS AND TOLERANCES PER ASME Y14.5M-1994.

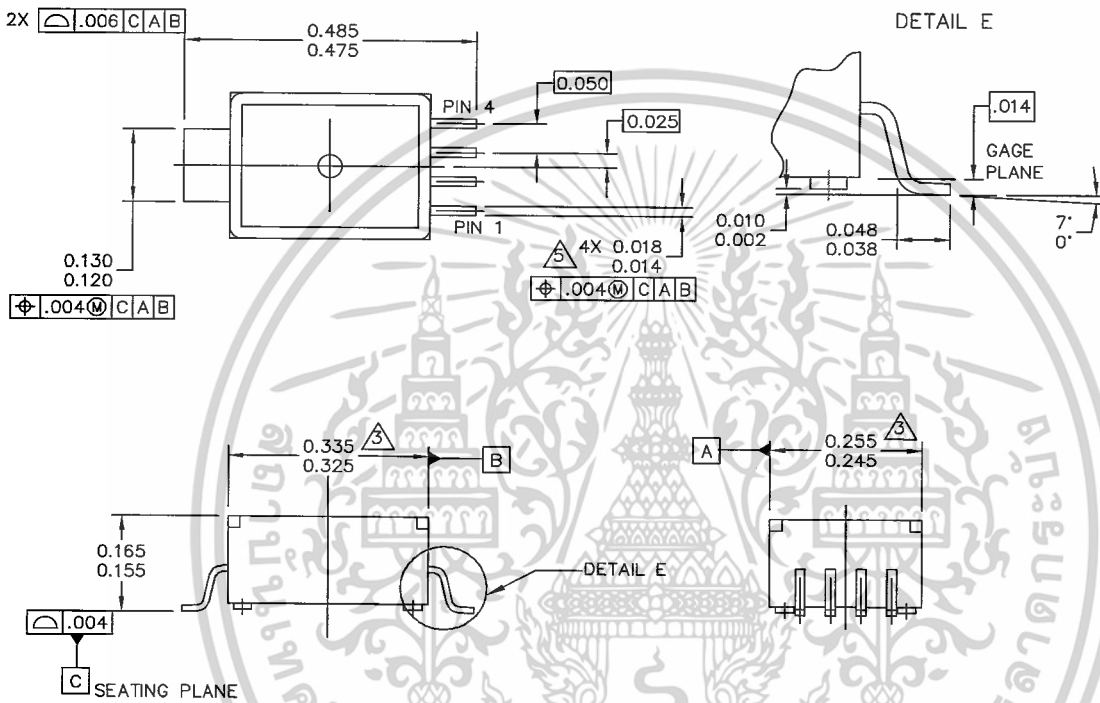
③ DIMENSIONS DO NOT INCLUDE MOLD FLASH OR PROTRUSIONS.  
MOLD FLASH AND PROTRUSIONS SHALL NOT EXCEED .006 (0.152) PER SIDE.

④ DIMENSION DOES NOT INCLUDE DAMBAR PROTRUSION. ALLOWABLE DAMBAR  
PROTRUSION SHALL BE .008 (0.203) MAXIMUM.

DIM	INCHES		MILLIMETERS		DIM	INCHES		MILLIMETERS	
	MIN	MAX	MIN	MAX		MIN	MAX	MIN	MAX
A	.300	.330	7.11	7.62	θ	0°	7°	0°	7°
A1	.002	.010	0.05	0.25	---	---	---	---	---
b	.038	.042	0.96	1.07	---	---	---	---	---
D	.465	.485	11.81	12.32	---	---	---	---	---
E	.717 BSC		18.21 BSC		---	---	---	---	---
E1	.465	.485	11.81	12.32	---	---	---	---	---
e	.100 BSC		2.54 BSC		---	---	---	---	---
F	.245	.255	6.22	6.47	---	---	---	---	---
K	.120	.130	3.05	3.30	---	---	---	---	---
L	.061	.071	1.55	1.80	---	---	---	---	---
M	.270	.290	6.86	7.36	---	---	---	---	---
N	.080	.090	2.03	2.28	---	---	---	---	---
P	.009	.011	0.23	0.28	---	---	---	---	---
T	.115	.125	2.92	3.17	---	---	---	---	---
© FREESCALE SEMICONDUCTOR, INC. ALL RIGHTS RESERVED.			<b>MECHANICAL OUTLINE</b>			PRINT VERSION NOT TO SCALE			
TITLE: 8 LD SOP, SIDE PORT					DOCUMENT NO: 98ASA99303D			REV: B	
					CASE NUMBER: 1369-01			24 MAY 2005	
					STANDARD: NON-JEDEC				

**CASE 1369-01  
ISSUE B  
SMALL OUTLINE PACKAGE**

PACKAGE DIMENSIONS



© FREESCALE SEMICONDUCTOR, INC. ALL RIGHTS RESERVED.	<b>MECHANICAL OUTLINE</b>	PRINT VERSION NOT TO SCALE
TITLE:  5 LD M-PAC	DOCUMENT NO: 98ARH99088A	REV: B
	CASE NUMBER: 1320-02	22 JUL 2005
	STANDARD: NON-JEDEC	

**CASE 1320-02  
ISSUE B  
MPAK**

**MPX2010**

**PACKAGE DIMENSIONS**

NOTES:

- 1. DIMENSIONS ARE IN INCHES.
- 2. INTERPRET DIMENSIONS AND TOLERANCES PER ASME Y14.5M-1994.
- 3. DIMENSION DOES NOT INCLUDE MOLD FLASH OR PROTRUSION. MOLD FLASH OR PROTRUSION SHALL NOT EXCEED .006" PER SIDE.
- 4. ALL VERTICAL SURFACES TO BE 5° MAXIMUM.
- 5. DIMENSION DOES NOT INCLUDE DAMBAR PROTRUSION. ALLOWABLE DAMBAR PROTRUSION SHALL BE .008 MAXIMUM.

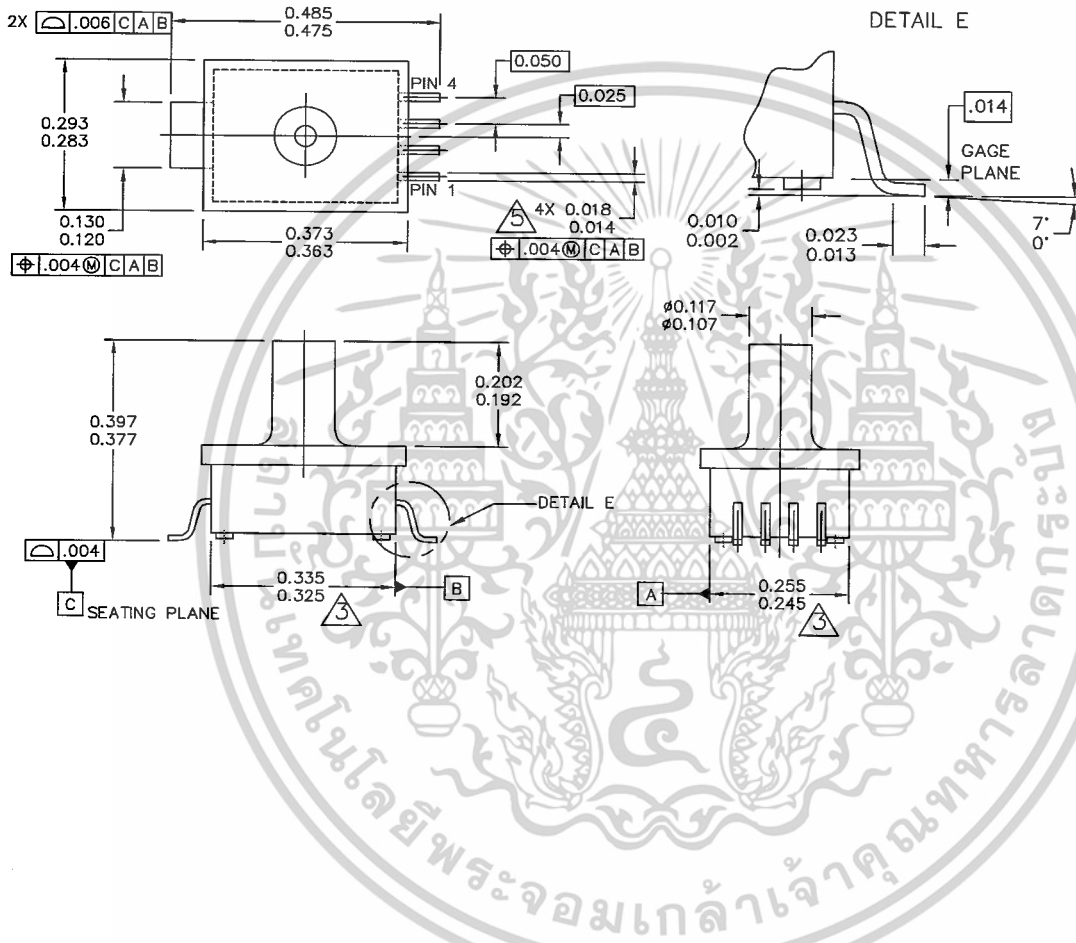
PIN 1: GND  
 PIN 2: +Vout  
 PIN 3: Vs  
 PIN 4: -Vout



© FREESCALE SEMICONDUCTOR, INC. ALL RIGHTS RESERVED.	<b>MECHANICAL OUTLINE</b>	PRINT VERSION NOT TO SCALE
TITLE:  5 LD M-PAC	DOCUMENT NO: 98ARH99088A	REV: B
	CASE NUMBER: 1320-02	22 JUL 2005
	STANDARD: NON-JEDEC	

**CASE 1320-02  
 ISSUE A  
 MPAK**

PACKAGE DIMENSIONS



© FREESCALE SEMICONDUCTOR, INC. ALL RIGHTS RESERVED.	<b>MECHANICAL OUTLINE</b>	PRINT VERSION NOT TO SCALE
TITLE: 5 LD M-PAC, PORTED	DOCUMENT NO: 98ARH99087A	REV: A
	CASE NUMBER: 1320A-02	22 JUL 2005
	STANDARD: NON-JEDEC	

**CASE 1320A-02  
ISSUE A  
MPAK**

**MPX2010**

## How to Reach Us:

**Home Page:**  
[www.freescale.com](http://www.freescale.com)

**Web Support:**  
<http://www.freescale.com/support>

**USA/Europe or Locations Not Listed:**  
Freescale Semiconductor, Inc.  
Technical Information Center, EL516  
2100 East Elliot Road  
Tempe, Arizona 85284  
1-800-521-6274 or +1-480-768-2130  
[www.freescale.com/support](http://www.freescale.com/support)

**Europe, Middle East, and Africa:**  
Freescale Halbleiter Deutschland GmbH  
Technical Information Center  
Schatzbogen 7  
81829 Muenchen, Germany  
+44 1296 380 456 (English)  
+46 8 52200080 (English)  
+49 89 92103 559 (German)  
+33 1 69 35 48 48 (French)  
[www.freescale.com/support](http://www.freescale.com/support)

**Japan:**  
Freescale Semiconductor Japan Ltd.  
Headquarters  
ARCO Tower 15F  
1-8-1, Shimo-Meguro, Meguro-ku,  
Tokyo 153-0064  
Japan  
0120 191014 or +81 3 5437 9125  
[support.japan@freescale.com](mailto:support.japan@freescale.com)

**Asia/Pacific:**  
Freescale Semiconductor China Ltd.  
Exchange Building 23F  
No. 118 Jianguo Road  
Chaoyang District  
Beijing 100022  
China  
+86 010 5879 8000  
[support.asia@freescale.com](mailto:support.asia@freescale.com)

**For Literature Requests Only:**  
Freescale Semiconductor Literature Distribution Center  
P.O. Box 5405  
Denver, Colorado 80217  
1-800-441-2447 or +1-303-675-2140  
Fax: +1-303-675-2150  
[LDCForFreescaleSemiconductor@hibbertgroup.com](mailto:LDCForFreescaleSemiconductor@hibbertgroup.com)

Information in this document is provided solely to enable system and software implementers to use Freescale Semiconductor products. There are no express or implied copyright licenses granted hereunder to design or fabricate any integrated circuits or integrated circuits based on the information in this document.

Freescale Semiconductor reserves the right to make changes without further notice to any products herein. Freescale Semiconductor makes no warranty, representation or guarantee regarding the suitability of its products for any particular purpose, nor does Freescale Semiconductor assume any liability arising out of the application or use of any product or circuit, and specifically disclaims any and all liability, including without limitation consequential or incidental damages. "Typical" parameters that may be provided in Freescale Semiconductor data sheets and/or specifications can and do vary in different applications and actual performance may vary over time. All operating parameters, including "Typicals", must be validated for each customer application by customer's technical experts. Freescale Semiconductor does not convey any license under its patent rights nor the rights of others. Freescale Semiconductor products are not designed, intended, or authorized for use as components in systems intended for surgical implant into the body, or other applications intended to support or sustain life, or for any other application in which the failure of the Freescale Semiconductor product could create a situation where personal injury or death may occur. Should Buyer purchase or use Freescale Semiconductor products for any such unintended or unauthorized application, Buyer shall indemnify and hold Freescale Semiconductor and its officers, employees, subsidiaries, affiliates, and distributors harmless against all claims, costs, damages, and expenses, and reasonable attorney fees arising out of, directly or indirectly, any claim of personal injury or death associated with such unintended or unauthorized use, even if such claim alleges that Freescale Semiconductor was negligent regarding the design or manufacture of the part.

Freescale™ and the Freescale logo are trademarks of Freescale Semiconductor, Inc. All other product or service names are the property of their respective owners.  
© Freescale Semiconductor, Inc. 2008. All rights reserved.

