บทที่ 4
เครื่องมือวัดและควบคุมที่บริษัทเป็นตัวแทนจัดจำหน่าย

ในบทนี้จะกล่าวถึง เครื่องมือวัดและควบคุมที่บริษัทตัวอย่างเป็นตัวแทนจัดจำหน่าย ซึ่งอุปกรณ์แต่ละชนิดนำเข้าจากหลายประเทศ บริษัทมีสินค้าจัดจำหน่ายทั้งหมดรวม 22 ยี่ห้อ แต่ที่นำมาศึกษาเพียง 5 ยี่ห้อ โดยเลือกมาจากบริษัทผู้ผลิตที่มีการติดต่อกันเป็นระยะเวลานาน และมีการสั่งซื้อจากลูกค้าอย่างสม่ำเสมอ

วิศวกรขาย ควรมีความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับเครื่องมือวัด และควบคุมในงานอุตสาหกรรม และควรศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับชนิด (Type) และคุณลักษณะเฉพาะ (Specification) ของสินค้าจากบริษัทผู้ผลิต เนื่องจากวิวัฒนาการของเครื่องมือวัดในปัจจุบันมีความก้าวหน้าไปมาก ทั้งนี้เพื่อที่จะได้ให้ข้อมูล และนำเสนอสินค้าได้ตรงกับความต้องการของลูกค้า ซึ่งโดยทั่วไปแล้วบริษัทผู้ผลิตจะจัดทำการสอน (Training) เพื่ออธิบายสินค้าที่ตนผลิต และจะเดินทางมาสอนเพิ่มเติมเป็นครั้งคราวเมื่อสินค้ามีการปรับปรุงคุณลักษณะให้ดีขึ้น

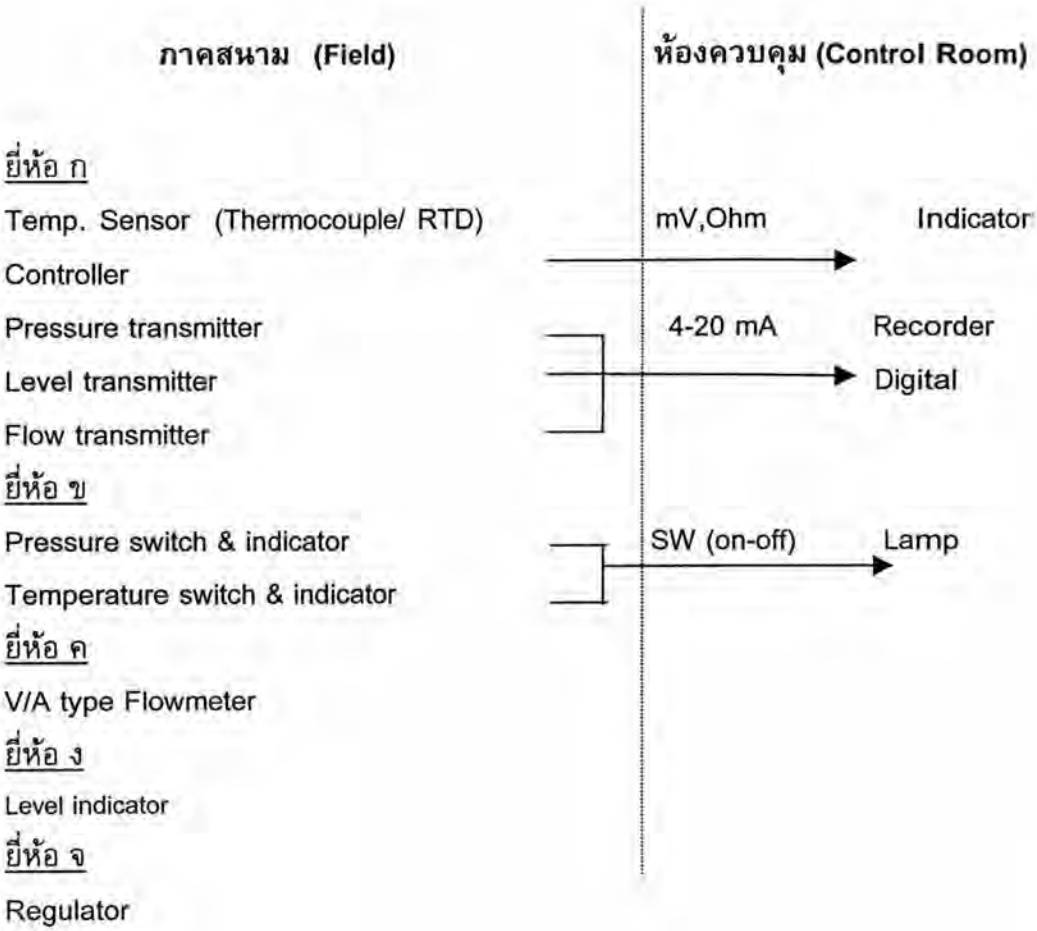
เจ้าหน้าฝ่ายจัดซื้อ ก็ควรมีความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับประเภทของสินค้าที่บริษัทจัดจำหน่ายเช่นกัน เพื่อที่จะได้ทราบว่าสินค้าแต่ละอย่างควรเข้าพิกัดภาษีใดในการคำนวณราคาต้นทุนสินค้าขาย

โดยทั่วไปแล้ว กระบวนการวัดและควบคุมในอุตสาหกรรมนั้น จะประกอบไปด้วยตัวแปรหลักอยู่ 4 ชนิดด้วยกัน คือ

1. อุณหภูมิ (Temperature)
2. ความดัน (Pressure)
3. ระดับ (Level)
4. การไหล (Flow)

ซึ่งแต่ละตัวแปรล้วนมีความสำคัญในการวัดและควบคุมให้ระบบในอุตสาหกรรมเป็นไปตามค่าที่กำหนด เครื่องมือที่ใช้ในการวัดมักจะอยู่ในส่วนของงานภาคสนาม (Field) และสัญญาณที่ได้จากการวัดจะถูกส่งไปที่ส่วนของห้องควบคุม (Control Room) เพื่อทำการอ่านค่า บันทึกค่า หรือประมวลผลค่าที่ได้จากการวัด ก่อนส่ง

สัญญาณกลับไปควบคุมอุปกรณ์อื่น ๆ อีกต่อไป ความสัมพันธ์ของอุปกรณ์ต่าง ๆ ในส่วนของงานภาคสนามและส่วนของห้องควบคุมที่บริษัทตัวอย่างเป็นตัวแทนจำหน่ายทั้ง 5 ยี่ห้อ สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 แสดงความสัมพันธ์ของเครื่องมือวัดในภาคสนามและห้องควบคุม

โดยสัญญาณที่ได้จากการวัดนั้นมีการกำหนดให้เป็นมาตรฐานสากล เพื่อให้ผู้ผลิตแต่ละผลิตภัณฑ์มีสัญญาณที่ใช้ในการส่งเป็นสัญญาณเดียวกัน ซึ่งสัญญาณมาตรฐานนั้นมีดังนี้

ก. แรงดันมาตรฐาน อยู่ในช่วง 3-15 ปอนด์ (Pound) หรือ 6-30 ปอนด์ (Pound)

ข. กระแสมาตรฐาน มีอยู่ 2 หน่วย คือ มิลลิแอมป์ (Milliamp,mA) ได้แก่ 4-20 มิลลิแอมป์, 0-20 มิลลิแอมป์ และหน่วยโวลต์ (Volt,V) ได้แก่ 1-5 โวลต์, 0-5 โวลต์ เป็นต้น

4.1 เครื่องมือวัดอุณหภูมิ

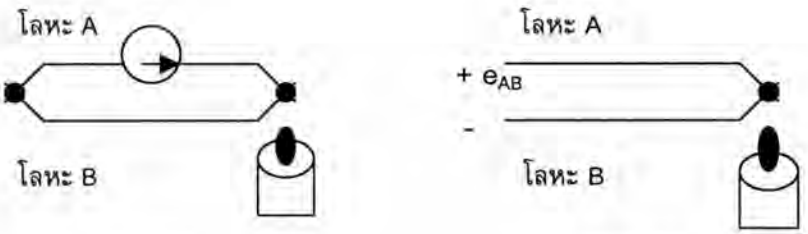
อุณหภูมิเป็นหน่วยมูลฐานที่สำคัญ และใช้มากที่สุดค่าหนึ่งในอุตสาหกรรม หน่วยของอุณหภูมิที่ใช้ในปัจจุบันมีหลายหน่วยด้วยกัน ที่สำคัญคือ เซลเซียส (Celcius), ฟาเรนไฮต์ (Fahrenheit) และ เคลวิน (Kelvin) สามารถทำการเปรียบเทียบหน่วยดังกล่าวที่จุดอ้างอิง (Reference) ต่าง ๆ จะมีค่าเป็นดังนี้

	องศาเซลเซียส (C)	องศาฟาเรนไฮต์ (F)	องศาเคลวิน (K)
จุดศูนย์สัมบูรณ์	-273.15	-459.67	0
จุดเยือกแข็งของน้ำ	0	32	273.15
จุดเดือดของน้ำ	100	212	373.15

เครื่องวัดอุณหภูมิมีหลายชนิด โดยเครื่องมือแต่ละชนิดอาศัยหลักการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติเฉพาะของสาร คือ จะต้องมีการเปลี่ยนแปลงที่วัดได้ เมื่ออุณหภูมิที่วัดเปลี่ยนแปลงไป และการเปลี่ยนแปลงที่วัดได้จะต้องคงที่แน่นอนและพิสูจน์ได้

เครื่องมือวัดอุณหภูมิที่นิยมใช้กันมากในงานอุตสาหกรรมเป็นเครื่องมือวัดที่อาศัยหลักการเปลี่ยนแปลงเชิงไฟฟ้า ซึ่งมี 2 ชนิด คือ

4.1.1 เทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple) อาศัยหลักการเปลี่ยนแปลงแรงเคลื่อนไฟฟ้า คือ เมื่อนำลวดโลหะ 2 เส้นที่ทำด้วยโลหะต่างชนิดกันมาเชื่อมต่อปลายทั้งสองเข้าด้วยกัน ถ้าปลายจะต่อทั้งสองมีอุณหภูมิต่างกัน จะเกิดกระแสไฟฟ้าไหลในวงจรเส้นลวดทั้งสองนี้ ปริมาณการไหลของกระแสไฟฟ้านี้ จะเปลี่ยนแปลงไปตามผลต่างของอุณหภูมิที่ปลายจุดต่อทั้งสอง ดังภาพ (ก) และถ้าเปิดปลายจุดต่อด้านหนึ่งออก ดังภาพ (ข) จะทำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ปลายด้านเปิด (e_{AB}) ที่วัดได้ มีหน่วยเป็นมิลลิโวลต์ (mV)



ภาพ (ก) ภาพ (ข)

รูปที่ 4.2 แสดงการเกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้า

การแบ่งชนิดของเทอร์โมคัปเปิล กำหนดตามส่วนผสมของโลหะ ซึ่งจะให้ช่วงอุณหภูมิการวัดที่แตกต่างกัน

4.1.2 อาร์ทีดี (Resistance Temperature Detector, RTD) อาศัยหลักการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทาน คือ ค่าความต้านทานของลวดโลหะจะเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไป มีหน่วยเป็นโอห์ม (Ohm)

ค่าความต้านทานไฟฟ้าของลวดโลหะจะเปลี่ยนค่าไปตามสมการ ดังนี้

$$Rt = Ro(1+\Delta T) \text{ หรือ } dRt/dT = KRo$$

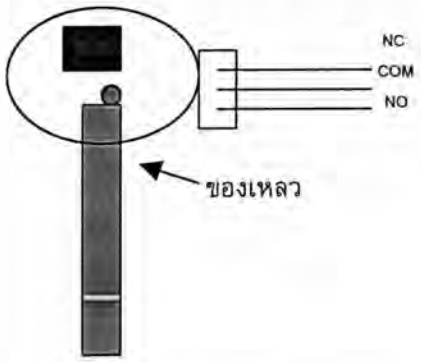
เมื่อ Rt คือ ค่าความต้านทานของลวดโลหะ ที่อุณหภูมิ t องศาเซลเซียส
Ro คือ ค่าความต้านทานของลวดโลหะ ที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส
K คือ สัมประสิทธิ์ของการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานไฟฟ้า ต่ออุณหภูมิ 1 องศาเซลเซียส และเปลี่ยนไปตามชนิดของโลหะ

โดยทั่วไปแล้วอาร์ทีดีทำจากลวดโลหะที่มีความยาวค่าหนึ่งซึ่งทำให้เกิดค่าความต้านทานที่ต้องการ ณ อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส ลวดโลหะนี้จะพันอยู่บนแกนที่เป็นฉนวนไฟฟ้าและมีคุณสมบัติทนต่อความร้อน แกนที่ใช้เป็นสารประเภทเซรามิคหรือแก้ว

สภาพภายนอกของอาร์ทีดีจะเหมือนกับเทอร์โมคัปเปิล แต่ช่วงอุณหภูมิของการวัดและคุณสมบัติอื่น ๆ เช่น สัมประสิทธิ์การขยายตัว ความเที่ยงตรง เป็นต้น จะ

แตกต่างกัน ดังนั้นในการเลือกใช้งาน ควรดูสภาพความเหมาะสมของงานนั้น ๆ ประกอบด้วย

4.1.3 สวิตช์อุณหภูมิ (Temperature Switch) เป็นเครื่องมือวัดอุณหภูมิโดยใช้หลักการขยายตัวและหดตัวของของเหลว คือ เมื่อของเหลวได้รับความร้อนจะขยายตัวและจะหดตัวเมื่อเย็นลง จากส่วนที่ขยายและหดตัวจะต่อไปยังส่วนของสวิตช์ เพื่อทำหน้าที่ส่งสัญญาณไปตัดต่ออุปกรณ์ตัวอื่น ๆ ต่อไป เมื่ออุณหภูมิถึงค่าที่ต้องการ



รูปที่ 4.3 แสดงการทำงานของสวิตช์อุณหภูมิ

อาร์ทีดี เทอร์โมคัปเปิล และสวิตช์อุณหภูมิ ที่บริษัทตัวอย่างนำมาจัดจำหน่าย แสดงดังตารางที่ 4.1 และตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.1 ชนิดของเทอร์โมคัปเปิลและอาร์ทีดีของบริษัทผู้ผลิต ก

ชนิดเครื่องมือวัด	รุ่น	แบบ	ส่วนผสม	ช่วงอุณหภูมิ	เอาท์พุต
เทอร์โมคัปเปิล	FTA	J	Steel/Cu+Ni	0 – 750	มิลลิโวลต์
	FTB	K	Ni+Ch/Ni	0 - 1,200	(mv)
	FTC	E	Ni+Ch/Cu+Ni	0 - 800	
	FTJ	J	Steel/Cu+Ni	0 - 750	
	FTK	K	Ni+Ch/Ni	0 - 1,200	
	FTE	E	Ni+Ch/Cu+Ni	0 - 800	
อาร์ทีดี	FTF		Pt100	0 – 600	โอห์ม (Ohm)

ตารางที่ 4.2 ชนิดของสวิตช์อุณหภูมิและช่วงอุณหภูมิของบริษัทผู้ผลิต ข

Product Series	400	120	119	800	117	105	100
Enclosure							
Division 1		o	o	o			
Division 2		o	o	o	o		
Zone1		x	o				
NEMA1 General Purpose	o	o		o			
NEMA4 Water type	x		x	o	o	o	
NEMA4X Water type	x	x	x	x	o	o	o
NEMA 7		o	o				
NEMA 9		o	o				
Switch output							
Single SPDT	o	o	x	o		o	o
DPDT	x	x					x
Dual SPDT	o	o		o			
Hermitically Seal SPDT		x	o		o		
Hermitically Seal DPDT		x	o		X		

O = Standard
X = Option

Model	ช่วงอุณหภูมิ
1BS – 8BS	-118 to 343 Degree C
1BC – 8BC	-118 to 343 Degree C
H20BS – H23BS	-90 to 343 Degree C
120,121	-17 to 218 Degree C

4.2 เครื่องมือวัดแรงดัน

ความดันเป็นค่าตัวแปร (Variable) ที่สำคัญมากค่าหนึ่ง ค่าของตัวแปรอื่น ๆ ในระบบ (Process Measurement) สามารถวัดได้ในรูปของความดันทั้งสิ้น เช่น การวัดค่าอัตราการไหล และการวัดระดับของเหลว เป็นต้น

ความดัน หมายถึง แรงที่กระทำลงอย่างสม่ำเสมอในแนวตั้งฉากบนพื้นที่ที่กำหนด ถ้ากำหนดให้ F คือ แรงที่กระทำ, A คือพื้นที่ที่ถูกกระทำ และ P คือ ความดันที่เกิดขึ้น จะได้ว่า

$$P = F/A$$

ซึ่งแรงที่กระทำอาจเกิดจาก ของเหลว (Liquid) ก๊าซ (Gas) หรือของแข็ง (Solids) ก็ได้

ทรานสมิตเตอร์ (Transmitter) เป็นอุปกรณ์ที่แปลงค่าของความดันให้อยู่ในรูปกระแสไฟฟ้า ซึ่งนิยมใช้ค่า 4-20 มิลลิแอมป์ เป็นสัญญาณเอาท์พุท ปัจจุบันได้มีการออกแบบให้ทรานสมิตเตอร์อยู่ในแคปซูลเดียวกับตัววัดความดัน (Pressure Sensor) และเป็นเครื่องมือที่มีการใช้งานอย่างแพร่หลาย

4.2.1 ชนิดของทรานสมิตเตอร์ แบ่งตามชนิดของความดันได้ 2 ประเภท คือ

4.2.1.1 ทรานสมิตเตอร์ชนิดความดัน (Pressure Transmitter)

4.2.1.2 ทรานสมิตเตอร์ชนิดความดันดิฟเฟอเรนเชียล (Differential Pressure Transmitter) ได้แก่ การวัดค่าอัตราการไหล แบบใช้ตัววัดลักษณะออริฟิส ทำให้เกิดค่าความดันดิฟเฟอเรนเชียล, การวัดระดับของของเหลวในภาชนะโดยใช้หลักการวัดความดันดิฟเฟอเรนเชียล ที่เกิดจากสแตติดเฮด

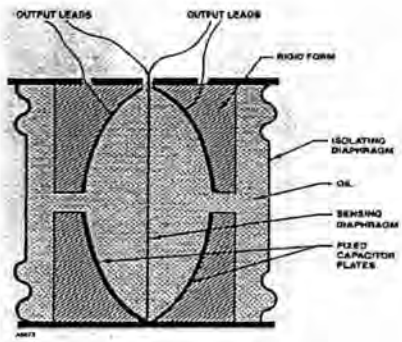
ในส่วนที่เป็นตัววัดค่าความดัน อาศัยหลักการให้ไดอะแฟรม เป็นตัวเปลี่ยนค่าความดันเป็นค่าคาปาซิแตนซ์ และในส่วนอิเล็กทรอนิกส์ของทรานสมิตเตอร์ส่วนใหญ่จะให้สัญญาณเอาท์พุทเป็นกระแส ซึ่งมีข้อดีคือสามารถส่งสัญญาณนี้ไปยังเครื่องบันทึก เครื่องควบคุม หรือชี้บอกค่าได้หลายอย่างพร้อมกันในระยะที่ห่างออกไปจากจุดที่วัดได้มาก ไม่มีปัญหาเหมือนกับการส่งสัญญาณเป็นแรงดัน (Voltage) ที่อาจเกิดการดกคร่อม (Drop) ของแรงดัน เมื่อระยะที่ต้องการวัดห่างมาก ๆ

ทรานสมิตเตอร์ ในปัจจุบันได้รับการออกแบบให้เหมาะสมและสะดวกต่อการใช้งานมากขึ้น เช่น ทนต่อสภาพแวดล้อม การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิและความชื้นได้ดี ให้ผลการทำงานที่ดี มีความเที่ยงตรงสูง Dead Band ต่ำ, ลิเนียรตี ดี, การเปลี่ยนค่าของความดันสถิตย์ (Static Pressure) มีผลน้อยต่อการวัดความดันดิฟเฟอเรนเชียลค่าเดียวกัน เอาท์พุทของทรานสมิตเตอร์จะถูกกำหนดให้อยู่ในมาตรฐานเดียวกันโดย

สมาคมผู้ผลิต คือ สัญญาณ 4- 20 มิลลิแอมป์ ซึ่งมีผลดีต่อผู้ใช้งาน คือ สามารถใช้ทรานสมิตเตอร์ของบริษัทใดก็ได้ที่มีค่าแรงดันย่านเดียวกัน โดยไม่ต้องเปลี่ยนเครื่องบันทึกค่า, เครื่องควบคุมหรือตัวชี้บอกค่าในระบบ

4.2.2 การทำงานของทรานสมิตเตอร์ชนิดความดันดิฟเฟอเรนเชียล (DP Transmitter)

จะใช้หลักการของการเปลี่ยนค่าคาพาซิแตนซ์ คือ จะเปลี่ยนค่าแรงดันให้เป็นค่าคาพาซิแตนซ์ (Capacitance ,C) และขยายเป็นสัญญาณไฟฟ้า ตามรูปที่ 4.4 ความดันทั้ง 2 ค่า คือ P1 และ P2 จะกระทำลงบน measuring diaphragm ทั้งสองด้านผลต่างของความดันทั้งสองจะทำให้ connecting rod เคลื่อนที่ไปตามแนวแรงดันด้านที่มีค่ามากกว่าตรงกลาง connecting rod จะมี movable electrode ติดตั้งอยู่ การเคลื่อนตัวของ movable electrode ไปตามแนวแรงตาม connecting rod จะทำให้ระยะ d1 และ d2 เปลี่ยนแปลงไปทำให้ค่า capacitor ของ movable electrode กับ fixed electrode ทั้งสองด้านเปลี่ยนค่าตามไปด้วย



รูปที่ 4.4 แสดงภาพตัดของตัววัดความดันดิฟเฟอเรนเชียลแบบคาปาซิแตนซ์

หลักการของวงจรวัด ตามรูปที่ 4.4 ขณะที่ P1 = P2 ให้ระยะห่าง (gap) ทั้งสองข้างเท่ากัน คือ d = d1 = d2 ขณะที่ป้อนความดัน P2 ให้มากกว่า P1 แรง P2 - P1 ทำให้ connecting rod เคลื่อนที่ไป = d

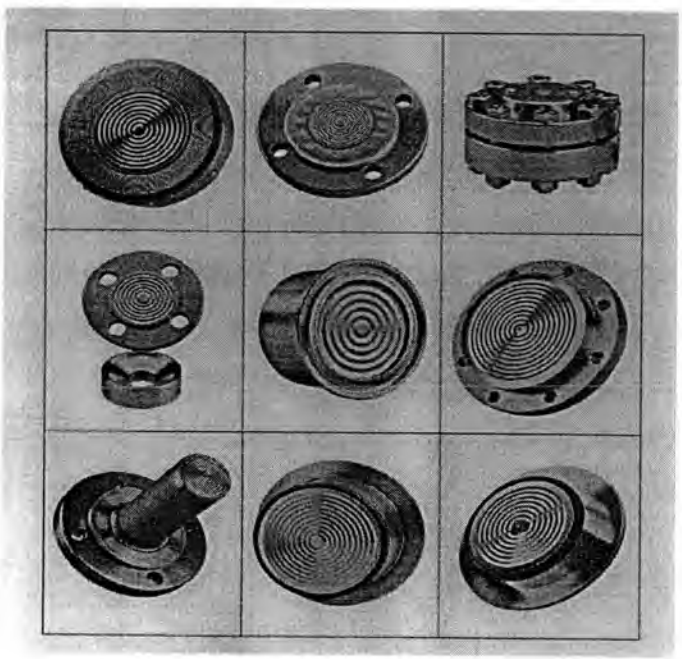
ตารางที่ 4.3 แสดงรายละเอียดของทรานสมิตเตอร์ที่บริษัทเป็นตัวแทนจำหน่าย

Application	Type	Model	Element	Measuring Range		Over Range Limit
				Kpa	Bar (mBAr)	Bar
Absolute Pressure	Traditional	FHA	1	1.6 to 16	0.016 to 0.16	5
	smart	FKA	2	13 to 130	0.13 to 1.3	5
			3	50 to 500	0.05 to 5	15
			4	300 to 3000	3 to 30	90
Pressure	Traditional	FHG	1	6.4 to 64	0.064 to 0.64	10
	Smart	FKG	2	50 to 500	0.5 to 5	15
			3	300 to 3000	3 to 30	90
			4	1000 to 10000	10 to 100	150
			5	5000 to 50000	50 to 500	750
Differencial Pressure	Traditional	FHC	11	0.1 to 1	(1 to 10)	10 mBar
	Smart	FKC	22	0.6 to 6	(6 to 60)	60 mBar
			23	3.2 to 32	(32 to 320)	320 mBar
			24	6.4 to 64	(64 to 640)	640 mBar
			25	13 to 130	(130 to 1300)	1300 mBar
			26	50 to 500	(500 to 5000)	5000 mBar
			33	3.2 to 32	(32 to 320)	320 mBar
			34	6.4 to 64	(64 to 640)	640 mBar
			35	13 to 130	(130 to 1300)	1300 mBar
			36	50 to 500	(500 to 5000)	5000 mBar
			38	300 to 3000	(3000 to 30000)	30000 mBar
Differencial Pressure	Traditional	FHD	3	3.2 to 32	(32 to 320)	320 mBar
Remote Seal	Smart	FKD	4	6.4 to 64	(64 to 640)	640 mBar
			5	13 to 130	(130 to 1300)	1300 mBar
			6	50 to 500	(500 to 5000)	5000 mBar
Flow	Traditional	FHF	11	0.1 to 1	(1 to 10)	10 mBar
			22	0.6 to 6	(6 to 60)	60 mBar
			23	3.2 to 32	(32 to 320)	320 mBar
			24	6.4 to 64	(64 to 640)	640 mBar
			25	13 to 130	(130 to 1300)	1300 mBar
			26	50 to 500	(500 to 5000)	5000 mBar
			33	3.2 to 32	(32 to 320)	320 mBar
			34	6.4 to 64	(64 to 640)	640 mBar
			35	13 to 130	(130 to 1300)	1300 mBar
			36	50 to 500	(500 to 5000)	5000 mBar
			38	300 to 3000	(3000 to 30000)	30000 mBar
Level	Traditional	FHE	3	3.2 to 32	(32 to 320)	320 mBar
	Smart	FKE	4	6.4 to 64	(64 to 640)	640 mBar
			5	13 to 130	(130 to 1300)	1300 mBar
			6	50 to 500	(500 to 5000)	5000 mBar

นอกจากนี้ ยังมีอุปกรณ์เสริมสำหรับติดกับทรานสมิตเตอร์ ในส่วนของ Process Connection เรียกว่า Diaphragm seals โดยแบ่งออกเป็น 5 กลุ่ม คือ

ก. Flange Mount - Flushed
ข. Flange Mount - Extended
ค. Flange Mount - Internal
ง. Threaded
จ. Sanitary

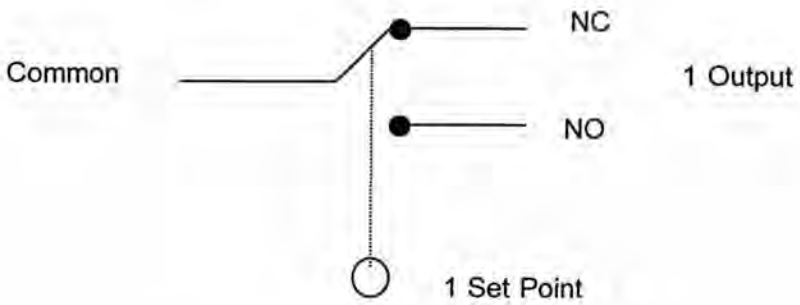
ซึ่งอุปกรณ์เสริมมักใช้กับ Process ที่เป็นสารที่กัดกร่อน, มีค่าความหนืดสูง หรือมีอุณหภูมิสูง โดยเมื่อติดชุด diaphragm Seal เข้าไปแล้วจะปิดกั้นไม่ให้ของเหลวที่วัดเข้าไปในส่วนของ sensor ได้ อุปกรณ์เสริมดังกล่าวสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.5



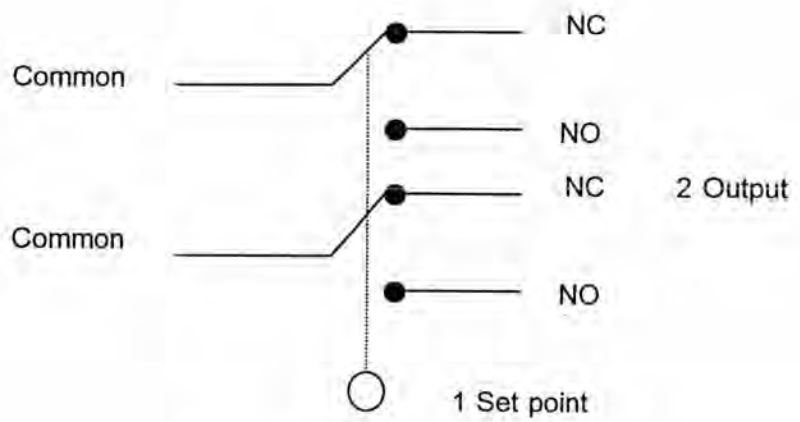
รูปที่ 4.5 Diaphragm Seal สำหรับทรานสมิตเตอร์

4.2.3 สวิตช์ความดัน (Pressure Switch)

นอกจากทรานสมิตเตอร์ ที่ให้สัญญาณ 4-20 มิลลิแอมป์ ไปยังห้องคอนโทรล ยังมีอุปกรณ์อีกชนิดหนึ่ง คือ สวิตช์ความดัน ที่ส่งสัญญาณเป็นสวิตช์ On-Off ซึ่ง ได้แก่ SPDT (Single Pole Double Throw) คือ ตั้งค่าการทำงาน (Set point) ได้ 1 ค่า มี 1 เอาท์พุต เป็นปกติเปิด (Normal Open, NO) หรือ ปกติปิด (Normal Close, NC) ก็ได้ และ DPDT (Double Pole Double Throw) ตั้งค่าการทำงาน 1 ค่า แต่มี 2 เอาท์พุต เป็นปกติเปิด (Normal Open, NO) หรือ ปกติปิด 2 ชุด มีลักษณะดังนี้



รูปที่ 4.6 สวิตช์ชนิด SPDT



รูปที่ 4.7 สวิตช์ชนิด DPDT

ชนิดของตัววัดของสวิตช์แรงดัน ได้แก่ ไดอะแฟรม (Diaphragm) หรือ พิสตัน(Piston) ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับแรงดันที่ต้องการวัด ตัวเรือนมีทั้งวัสดุที่ทำจาก Stainless Steel และBronze ส่วนตัววัดทำจาก Stainless Steel , Bronze และวัสดุที่

ทนการกัดกร่อนได้สูง เช่น PTFE, Hastelloy C เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีชนิดของโครงสร้างแบบ Hazardous Location ทั้ง Class 1 Division I,II Class 2 เป็นต้น

การเลือกใช้ชนิด (Type)ต่าง ๆ ของสวิตช์แรงดันของยี่ห้อ ข สามารถดูได้จากตารางที่ 4.4 ซึ่งแสดงถึงมาตรฐานของสินค้า (Standard Specification)

ตารางที่ 4.4 แสดงชนิดต่าง ๆ ของสวิตช์แรงดัน

Product Series	400	120	119	118	117	105	100	H54	J6	J21K
Located on page Number	99	14	37	48	59	70	77	90	113	100
Variable										
Pressure	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o
Vacuum	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o
Differential Pressure	o	o				o				o
Enclosure										
Division 1		o	o	o						
Division 2		o	o	o	o					
Zone1		x	o							
NEMA1 General Purpose	o	o							o	o
NEMA4 Water type	x		x	o	o	o		o		x
NEMA4X Water type	x	x	x	o	o	o	o			
NEMA 7		o	o	o						
NEMA 9		o	o	o						
Switch output										
Single SPDT	o	o	x			o	o	o	o	o
DPDT	x	x					x	x		
Dual SPDT	o	o								
Triple SPDT	o									
Hermitically Seal SPDT		x	o	o	o					
Hermitically Seal DPDT		x	o	o	x					

O **Standard**

x **Option**

4.3 การวัดระดับ (Level)

ในงานอุตสาหกรรมเกือบทุกประเภท จะต้องมีงานวัดระดับแทรกอยู่ด้วยเสมอ เช่น การวัดระดับน้ำ, น้ำมัน หรือสารเคมีในถังพัก ส่วนมากจะอาศัยหลักการวัดโดยวิธีตรง ซึ่งเป็นวิธีการวัดแบบง่าย ๆ แต่ถ้าเป็นการวัดระดับในภาชนะที่มีความดันสูง อุณหภูมิสูง เป็นสารเคมีที่มีอันตราย หรือต้องการสัญญาณระดับ เพื่อไปใช้ในงานอย่างอื่น เช่น เพื่อการควบคุม บันทึกค่า จะใช้การวัดโดยวิธีตรงไม่ได้จะต้องประยุกต์หลักการอื่น ๆ เข้าช่วย เพื่อให้งานการวัดระดับบรรลุตามความมุ่งหมาย

การแบ่งประเภทวิธีการวัดระดับ (Classification of Methods) พอจะแบ่งเป็นหลักการใหญ่ ได้สองประเภทคือ วิธีการวัดโดยตรง และวิธีการวัดโดยใช้หลักการอย่างอื่นเข้าช่วย (inferential)

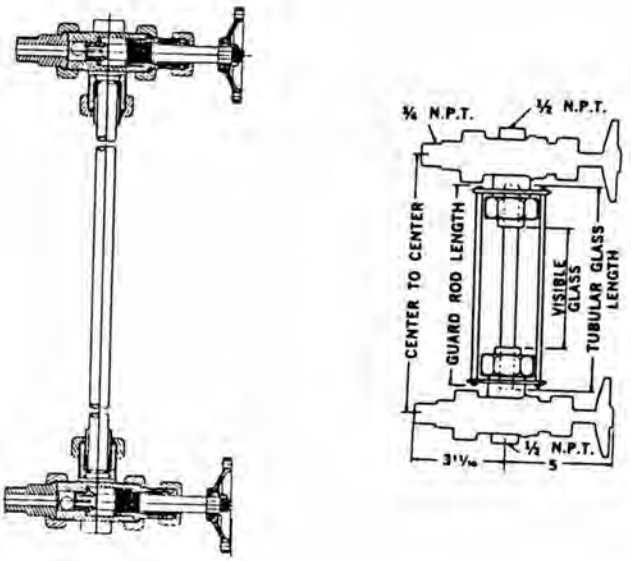
4.3.1 วิธีการวัดโดยตรง (Direct Method)

เป็นวิธีการที่ประหยัดง่าย และเชื่อถือได้ เพราะเป็นการวัดที่มองเห็นระดับที่แท้จริง ที่มีใช้อยู่ในปัจจุบันได้แก่ การวัดระดับโดยใช้กระจกแก้วมองระดับ (Gauge Glass) กระจกมองระดับเป็นวิธีที่สามารถดูระดับของของเหลวได้โดยตรง นิยมใช้กับภาชนะที่ไม่สูงนักแบบพิเศษ สามารถใช้งานได้กับภาชนะที่มีความดันและอุณหภูมิสูง เช่น ในหม้อน้ำเลี้ยง (drum) ของหม้อไอน้ำ (boiler) การอ่านระดับจะอ่านได้เฉพาะจุดที่ติดตั้งกระจกมองระดับเท่านั้น ถ้าต้องการดูระดับในจุดที่ห่างออกไปจากตัววัด เช่น ในห้องควบคุม อาจทำได้โดยใช้โทรทัศน์วงจรปิด เพื่อให้ง่ายต่อการติดตั้งและปลอดภัยต่อการใช้งาน กระจกมองระดับจะถูกติดตั้งไว้ภายนอกภาชนะ มีวาล์วปิดทั้งด้านบนและด้านล่าง เพื่อตัดส่วนนี้ออกขณะต้องการทำการซ่อมบำรุง กระจกแก้วมองระดับสามารถแบ่งแยกตามลักษณะโครงสร้างได้เป็น 2 แบบ คือ แบบท่อแก้ว (Tubular glass), แบบแผ่นแก้วเรียบ (Flat glass)

4.3.1.1 แบบท่อแก้ว (Tubular glass)

ลักษณะตามรูปที่ 4.8 ใช้สำหรับงานที่มีความดันและอุณหภูมิไม่สูงนัก ราคาถูก แต่มีข้อเสียคือ แตกง่ายไม่เหมาะกับงานที่อยู่ในบริเวณที่อาจเกิดอันตรายได้ (hazardous area) ท่อแก้วจะถูกติดตั้งอยู่ในช่วงที่ต้องการดูระดับมีวาล์วที่สามารถปิดเปิดได้ทั้งสองข้าง ขนาดและความหนาของท่อแก้วขึ้นอยู่กับความดัน และช่วงความยาวของระดับที่ต้องการวัด การป้องกันอันตรายจากท่อแก้วแตกสามารถทำได้โดยการใช้ท่อพลาสติก ใส แข็ง ครอบตัวแก้วไว้ ในบางครั้งการดูระดับของของเหลวที่ใส ไม่มีสี จะมีความยุ่งยากในการสังเกตระดับ การอ่านจะต้องเข้า

ไปพิจารณาใกล้ ๆ เพื่อให้การอ่านค่าทำได้ง่ายยิ่งขึ้น จึงมีผู้นำหลักการขยายในลักษณะของเลนส์นูนเข้าช่วย ทำให้การสังเกตระดับง่ายยิ่งขึ้น เนื่องจากเลนส์นูนมีคุณสมบัติในการขยายภาพ ท่อแก้วเปรียบเสมือนเลนส์นูน ถ้าเรานำแถบสีขนาดเล็กปิดไว้ตามแนวยาวด้านหลังท่อ เมื่อของเหลวในหลอดแก้วสูงขึ้นถึงบริเวณใด เนื่องจากการหักเหของแสงในอากาศและในของเหลวไม่เท่ากัน ดังนั้น ในช่วงที่เป็นของเหลว แถบสีเล็ก ๆ ด้านหลังจะถูกขยายให้เห็นใหญ่กว่าเดิมมาก ทำให้สามารถสังเกตระดับได้ชัดเจนขึ้น

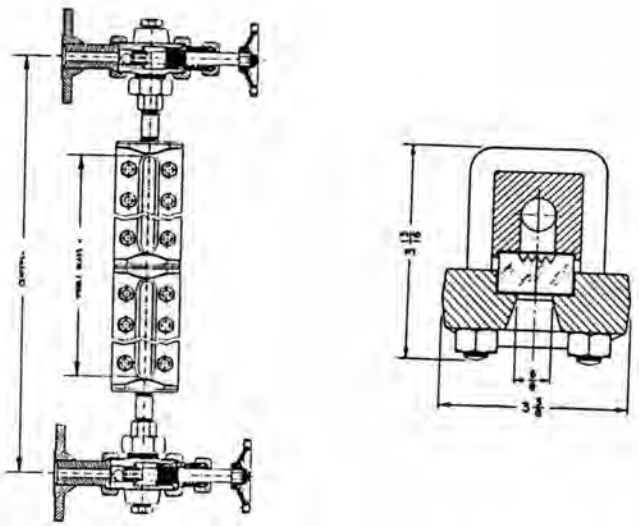


รูปที่ 4.8 แสดงท่อแก้วมองระดับ

4.3.1.2 แบบแผ่นแก้วเรียบ (Flat Glass) แบ่งเป็นแบบย่อยได้อีก 2 แบบคือ แบบแผ่น แก้วสะท้อน และแบบใส

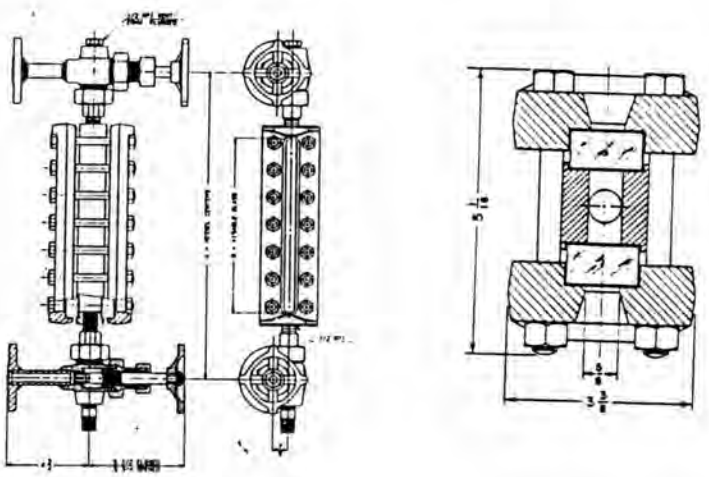
ก. แบบแผ่นแก้วสะท้อน (Reflex type) ลักษณะด้านหน้าของแผ่นแก้วจะเรียบ ด้านในเซาะร่องเป็นมุมรูปฟันเลื่อย มุมด้านในของแผ่นแก้วพอดีที่จะทำให้แสงส่วนที่อยู่ใต้ระดับของเหลวถูกดูดกลืนไปหมด ทำให้ดูมืดในส่วนที่เป็นของเหลว และส่วนที่เป็นอากาศแสงจะสะท้อนกลับออกมา ทำให้ดูโปร่งแสงกว่าส่วนที่เป็นของเหลว แผ่นแก้วที่ใช้ทำจากโบโรซิลิเกท (Borosilicate) ซึ่งมีอัตราการขยายตัวเมื่อได้รับความร้อนต่ำ ทนต่อช็อคที่เกิดจากความร้อนและแรงที่มากระทำได้ดี ลักษณะการติดตั้งเป็นดังภาพ แผ่นแก้วที่ติดกับของ

เหลวด้านในมี Gasket รองอยู่ด้านนอกมี Cushion รองอยู่ระหว่างแผ่นเหล็กกับแผ่นแก้ว จึงไม่มีส่วนสัมผัสโดยตรงกับโลหะ เหล็กรัดรูปตัว U มีไว้สำหรับรัดส่วนประกอบทั้งหมดเข้าด้วยกัน แบบแผ่นแก้วสะท้อนเหมาะสำหรับของเหลวที่สะอาด ไม่มีสี มีค่าความหนืดต่ำ เพราะถ้ามีของเหลวที่ต้องการดูระดับมาเคลือบบนแผ่นแก้ว การอ่านระดับจะทำได้ยาก หรือถ้าของเหลวด้านในเดือด มีไอน้ำมาเกาะที่แผ่นแก้วที่จะทำให้การอ่านระดับผิดไปได้เช่นกัน ข้อดีของแผ่นแก้วแบบสะท้อนคือไม่ต้องมีหลอดส่องแสงสว่างก็สามารถอ่านระดับได้ แบบพิเศษสามารถทนความดันได้สูงถึง 4,000 Psig และทนอุณหภูมิได้ 750 F



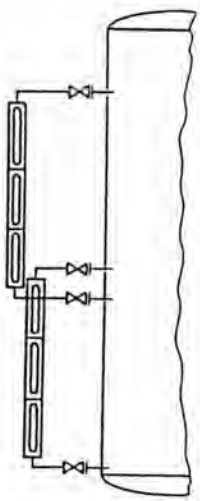
รูปที่ 4.9 แสดงการติดตั้งใช้งานและภาพตัดขวางของแบบแผ่นแก้วสะท้อน

ข. แบบแผ่นแก้วใส (Transparent Type) โครงสร้างคล้ายแบบสะท้อน แต่ผิวด้านในเรียบเหมาะสำหรับใช้ดูระดับของของเหลวที่มีสี หรือมีความหนืดสูง เช่น น้ำมัน ภาพตัดขวางเป็นดังรูปที่ 4.10 มีแผ่นแก้วเรียบประกบอยู่ระหว่างของเหลวทั้งสองด้าน ทำให้มองเห็นทะลุทั้งสองด้าน บางแบบอาจมีไฟส่อง (Lamp) ดูระดับซึ่งสามารถดูได้ทุกเวลา



รูปที่ 4.10 แสดงการติดตั้งใช้งานและภาพตัดขวางของแบบแผ่นใส

ถ้าของเหลวที่ต้องการดูระดับเป็นสารกัดกร่อน ซึ่งอาจกระทำกับแผ่นแก้วจะต้องใช้แผ่นไมก้าใส (mica) หรือ kel-F เป็นแผ่นรองมิให้ของเหลวนั้นสัมผัสกับแผ่นแก้วได้โดยตรง ถ้าระดับที่ต้องการดูมีช่วงยาวการใช้แผ่นแก้วอันเดียวจะทำให้แผ่นแก้วนั้นแตกได้ง่าย เนื่องจากการขยายตัว ดังนั้นจะต้องแบ่งแผ่นแก้วออกเป็นช่วง ๆ และติดตั้งคาบเกี่ยวกัน (Overlap) ดังในรูปที่ 4.11

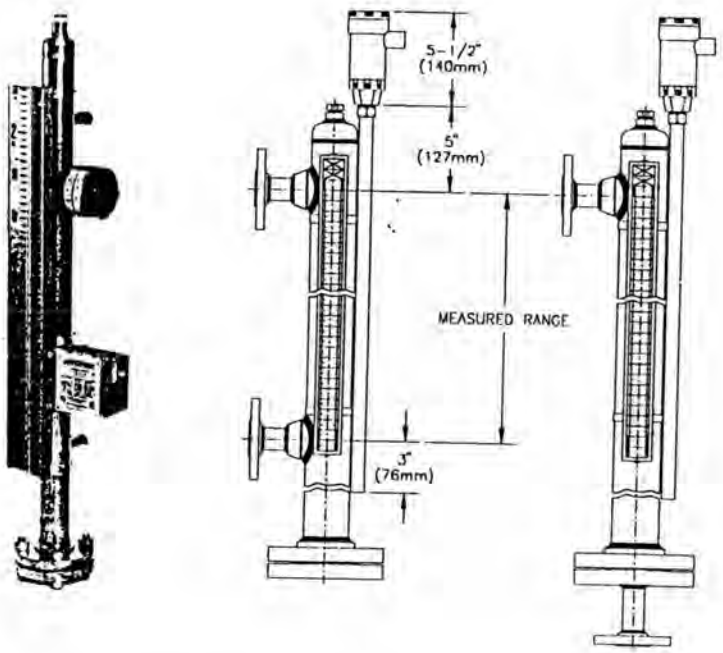


รูปที่ 4.11 แสดงการแบ่งแผ่นแก้วดูระดับออกเป็นช่วง ๆ

4.3.1.3 แม่เหล็กอ่านระดับ (Magnetic Type level Indicator)

วิธีการใช้ลูกลอยติดแท่งแม่เหล็ก ใช้ในกรณีที่ของเหลวที่ต้องการทราบระดับ มีอันตราย, มีพิษ ซึ่งจะให้รั่วออกมาข้างนอกไม่ได้ จึงจำเป็นต้องแยกส่วนที่วัดออกจากตัวอ่านค่าเพื่อไม่ให้เกิดการรั่วได้ ตัววัดแบบนี้ประกอบด้วยลูกลอยรูปทรงกระบอกที่แข็งแรง มีแม่เหล็กถาวรติดอยู่ ลูกลอยสามารถเคลื่อนตัวขึ้น - ลงตามระดับน้ำได้อย่างอิสระ ด้านนอกมีที่ดูระดับที่ประกอบด้วยแผ่นโลหะชิ้นเล็ก ๆ ที่เป็นสารแม่เหล็กตั้งเรียงกันอยู่ตามแนวระดับ แผ่นโลหะเหล่านี้ขยับได้โดยอิสระเป็นมุม 18 องศา

ขณะที่ลูกลอยเคลื่อนที่ไปอยู่ ณ จุดใด สนามแม่เหล็กจากลูกลอยจะทำให้แผ่นโลหะในจุดนั้นถูกดูดเอียงทำมุมทำให้ทราบค่าระดับของเหลวนั้นได้ แต่วิธีนี้ไม่เหมาะสมถ้าของเหลวนั้นมีอุณหภูมิ และแรงดันสูง เพราะจะทำให้แม่เหล็กเสื่อมในเวลาอันรวดเร็ว



รูปที่ 4.12 แสดงอุปกรณ์อ่านระดับชนิดแม่เหล็ก

ตารางที่ 4.5 แสดงชนิดและรุ่นของตัววัดระดับที่บริษัทจัดจำหน่าย

Type	Glass NO #	Length	Material	Valve Series	Option
Tubular Type	OD 5/8, 3/4	Max. 2000 mm.	A105, CS 316LSS	56, 125, 136	Center fitter Scale Plastic Protection
Reflex & Transparent Type					
18	1	95 mm.	A696, CS	63, 64, 66, 67	SST Cover
20	2	121 mm.	LTCS	93, 94, 143,	Scale
32	3	146 mm.	A611,316SS	144, 146, 147	Illuminator
	4	171 mm.			Vent / Drain Valve
	5	200 mm.			
	6	232 mm.			
	7	260 mm.			
	8	302 mm.			
	9	321 mm.			
Magnetic Type	NA	Max. 6000 mm.	CS	NA	Scale
SF (Side-Flange)			304SS		4-20 mA output
ST (Side-Thread)			316SS		Switch Output
EF			Tantalum		Digital Display
EST			Hasteloy C		Vent / Drain Valve
ESF			CPVC		
			TFE		

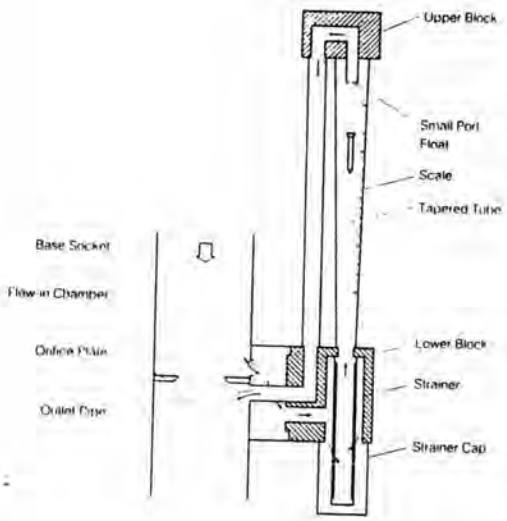
4.3 การวัดอัตราการไหล (Flow Measurement)

ตัวแปรที่สำคัญในระบบควบคุมอีกตัวหนึ่งคือ อัตราการไหล ซึ่งมีการแบ่งชนิดของเครื่องมือวัดตากหลักการที่แตกต่างกันออกไป แต่ส่วนใหญ่แล้วมิใช่เป็นการหาค่า Flow โดยตรงแต่จะวัดหาความเร็ว (Velocity) ของการไหลแล้วคำนวณออกมาเป็นอัตราการไหล เช่น วิธีการหาค่าความดันแตกต่างโดยใช้ออริฟิส, แบบใช้หลักการแม่เหล็ก (Magnetic Flow Meter) แบบใช้อุลตราโซนิค แบบใช้ Vortex แบบใช้เทอร์ไบน์ หรือแบบโรต้ามิเตอร์ จะเห็นว่าวิทยาการหลายแขนงสามารถประยุกต์เข้ามาวัดค่า Flow ได้ ซึ่งก็มีทั้งข้อดีและข้อเสีย, ขีดจำกัดในการใช้งานแตกต่างกันไปตามคุณสมบัติของเครื่องมือวัดและของเหลวที่ต้องการวัดนั้น ๆ

4.4.1 โรต้ามิเตอร์ (Rota meters)

เป็น flow meter อีกแบบหนึ่งที่รักษาความดันตำคร่อมได้ให้มีค่าเกือบคงที่ตลอดย่านการวัด แต่จะเปลี่ยนขนาดพื้นที่ให้ fluid ไหลผ่านไปตามปริมาณของ flow และยังสามารถให้ accuracy ที่ดีแม้ flow ค่า ต่ำ ๆ เครื่องวัดแบบนี้มีชื่อเรียกหลายชื่อ เช่น Rota meter, Variable Area flow meter, Constant pressure drop flowmeter

โรต้ามิเตอร์ จะอาศัยหลักการที่ว่า ตัวมิเตอร์เป็นท่อแก้วใสซึ่งด้านในเป็นรูปกรวยเรียว (tapered pipe) และมีลูกลอย (float) ที่ออกแบบพิเศษบรรจุอยู่ภายในกรอบตามรูปที่ 4.13 ของเหลวที่ต้องการวัดจะไหลผ่านเข้ามาทางด้านล่างของตัววัด ลูกลอยจะถูก Velocity head ของ fluid กับน้ำหนักของลูกลอย เมื่อลูกลอยสูงขึ้น พื้นที่สำหรับให้ fluid ไหลผ่านก็จะมีมากขึ้น เป็นการรักษาความดันตกคร่อมตัววัดให้ค่าที่ เนื่องจาก Velocity head กับอัตราการไหลจะแปรเปลี่ยนไปตามกัน ดังนั้น ตำแหน่งของลูกลอยจะบอกค่าอัตราการไหลได้



ถ้ากำหนดให้

Q เป็น อัตราการไหล (flow rate)

C เป็น ค่าคงที่

A เป็น พ.ท.หน้าตัดที่ fluid ไหลผ่าน

Vf เป็น ปริมาตรของลูกลอย

a เป็น พ.ท.หน้าตัดของลูกลอย

p เป็น ถ.พ.ของ fluid

g เป็น ค่าแรงโน้มถ่วง

$$Q = CA\sqrt{Vf.2g.(pf - p)/ ap}$$

ตามสมการจะเห็นว่า Q ~ A

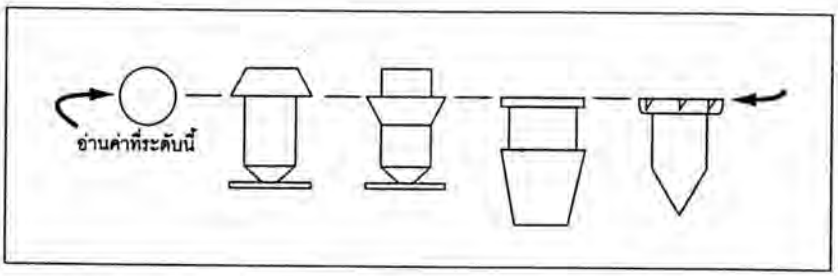
รูปที่ 4.13 แสดงการทำงานของโรต้ามิเตอร์

ก. ลูกลอย (Float)

ลักษณะของลูกลอยจะถูกออกแบบตามลักษณะสมบัติของ fluid และปริมาณการไหล แบบลูกบอลล์กลมเหมาะสำหรับ flow ค่าต่ำ ๆ บางแบบเหมาะสำหรับ fluid ที่มีค่าความหนืดสูง , ต่ำ หรือต้องการให้ มีความดันสูญเสียต่ำ

ข. ท่อแก้ว

ที่ใช้ทำตัววัดส่วนใหญ่ทำจาก "โบโรซิลิเกท" สำหรับงานที่มีความดัน, อุณหภูมิ ต่ำและไม่เป็น สารอันตราย เช่น น้ำ , อากาศ โดยปกติท่อแก้วไม่นิยมใช้กับความดันค่าสูง ๆ เพราะท่อแก้วที่ใช้จะเกิดการแตกได้ง่ายเนื่องจากถูกวัดถุอย่างอื่นกระแทก เมื่อขนาดของท่อแก้วใหญ่ขึ้น จะทนต่อความดันได้น้อยลง

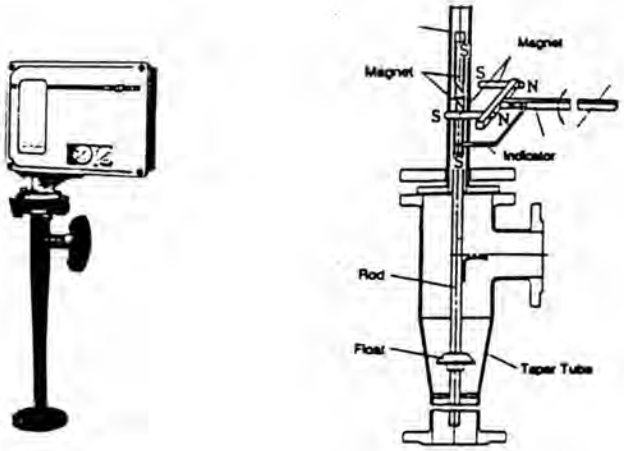


รูปที่ 4.14 แสดงลักษณะของลูกลอยชนิดต่าง ๆ

ค. ท่อโลหะ

ออกแบบพิเศษสำหรับใช้งานในจุดที่ใช้ท่อแก้วไม่ได้ วิธีการอ่านค่าจึงต่างออกไปเนื่องจากไม่สามารถมองดูลูกลอยโดยตรงได้ โดยออกแบบให้มีก้านต่อจากลูกลอยผ่านขบวนการแสดงค่าโดยใช้แรงดึงดูดของแม่เหล็ก ที่ส่วนบนของก้านต่อกับแผ่นแม่เหล็กรูป Helix ซึ่งจะหมุนให้เข้าใกล้กับแท่งแม่เหล็กที่ส่วนบนของก้าน ต่ออยู่ตลอดเวลา จึงสามารถกำหนดว่า flow rate ได้จากตำแหน่งของแผ่นแม่เหล็กรูป Helix และแสดงค่าด้วยเข็มกับ แผ่นเสกลที่ Calibrated ไว้

ตามรูปที่ 4.14 วิธีการแสดงค่านี้สามารถออกแบบให้เป็นตัวบอกค่ารวมของ fiuid ที่ไหลผ่านตัววัดไปแล้วโดยมี Timing Disc เป็นตัวกำหนดเวลารวมที่ fluid ไหลผ่าน และ characterized Cam เป็นตัวกำหนดค่าของการไหล



รูปที่ 4.15 แสดงลักษณะของโรต้ามิเตอร์ชนิดท่อโลหะ

ง. ข้อมูลโดยทั่วไปของ Rotameters

: ขนาด ของ taper tube ตั้งแต่ 1/16 นิ้ว - ใหญ่กว่า 12 นิ้ว

: ความเร็วของ fluid ที่ไหลผ่าน ตั้งแต่ 1/2 ฟุต/วินาที - 10 ฟุต/วินาที

: อัตราการไหล ตั้งแต่ ต่ำกว่า 1 cc. - 3000 แกลลอนต่อนาที

: Accuracy โดยทั่วไปประมาณ 2% แบบพิเศษสามารถให้ Accuracy ได้ถึง 0.5% ของค่า full scale

: Rangabilily ประมาณ 10 : 1

: Pressure loss มีค่าคงที่ตลอดย่านการวัด ประมาณ F/A, A คือ พ.ท. หน้าตัด ส่วนที่ใหญ่ที่สุดของลูกลอย

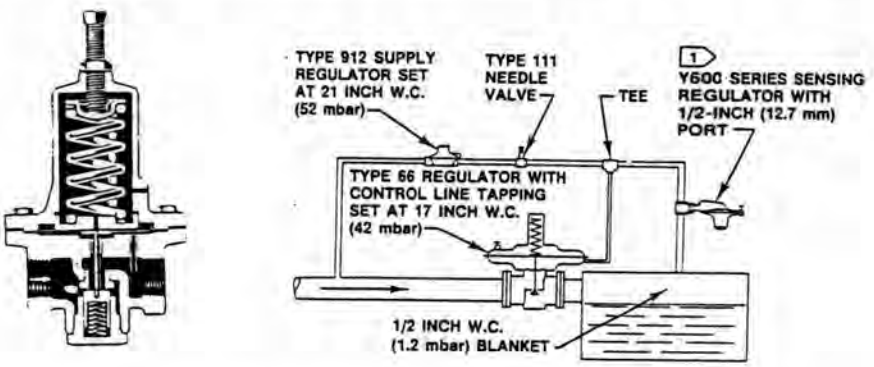
ตารางที่ 4.6 แสดงรุ่นของโรต้ามิเตอร์ที่บริษัทเป็นตัวแทนจำหน่าย

Type	Size (mm)	Flow rate (L/H)		Press Rating (Kg/cm^2)	
		SST Body	PVC Body	SST Body	PVC Body
FLT	10	120	70	10	5
FLY	15	430	230	10	5
FLW	20	1100	700	10	5
	25	1750	1150	10	5
	40	2500	1900	10	5
	50	9100	6800	10	5
	65	12100	9500	10	5
	80	21000	16000	10	5
	100	52000	42600	10	5

4.5 วาล์วลดแรงดัน (Regulator Valve)

วาล์วลดแรงดัน ทำหน้าที่จำกัดและคอยปรับความดันให้ต่ำลงกว่าความดันสูงสุดของวงจรที่ปรับตั้งไว้ ทำให้ความดันที่ลดลงที่ท่อทางออกของวาล์วจะมีค่าคงที่อยู่ตลอดเวลา ถึงแม้ว่าความดันในวงจรหลักหรือที่ช่องทางเข้าวาล์วจะสูงและเปลี่ยนไป

วาล์วลดแรงดันจัดเป็นวาล์วแบบปกติเปิดโดยอาศัยสปริงเป็นตัวดันให้สปูลเลื่อนเปิดช่องทางให้กว้างเต็มที่เพื่อให้น้ำมันจากช่องทางเข้าไหลผ่านวาล์วไปยังช่องทางออกได้ทันที ในขณะที่ความดันยังต่ำกว่าจุดที่กำหนด การควบคุมความดันที่ช่องทางออกของวาล์วให้มีค่าต่ำลงตามความต้องการนั้น อาศัยหลักการเกี่ยวกับของไหลไหลผ่านออริฟิซ กล่าวคือ ที่ช่องทางเข้าจะมีความดันสูง ส่วนที่ช่องทางออกเมื่อน้ำมันไหลผ่านออริฟิซมาแล้วจะมีความดันต่ำตามที่ปรับออริฟิซให้แคบลง วาล์วลดความดันจะมีโครงสร้างภายใน 2 แบบ คือ แบบไดเรกแอกติ้ง และแบบไพลอต แต่ผู้ผลิตส่วนมากมักจะผลิตแบบไพลอต เนื่องจากมีข้อดีกว่า เช่น ปรับความดันได้ช่วงกว้างกว่าโดยไม่ต้องเปลี่ยนสปริง การสูญเสียพลังงานน้อยกว่า ลดการเกิดความร้อนในวงจร เป็นต้น



รูปที่ 4.16 แสดงการทำงานของวาล์วลดความดัน

ตารางที่ 4.6 แสดงรุ่นของวาล์วลดความดันที่จัดจำหน่าย

Application	รุ่น	Process
General Purpose	95L, 95H	Air,Gas, Liquid และ Steam
	92W	Air,Gas, Liquid
	1301	Air,Gas, Liquid
Air and Gas	Y133Series	Air and Gas
	64	Air and Gas
	S201	Air and Gas
	627	Air and Gas
Tank Blanketing	Y600Series	Gas