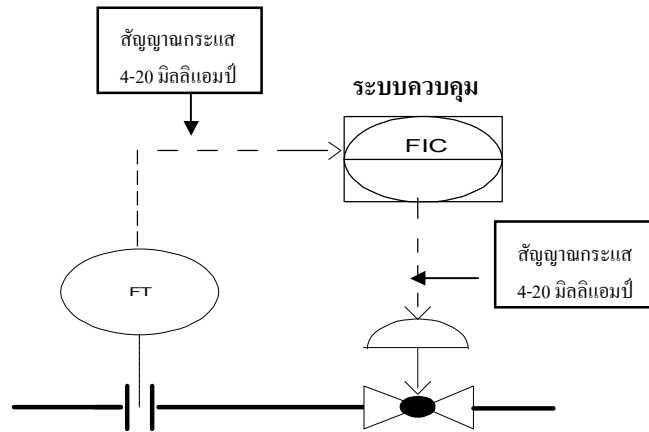


## อุปกรณ์เครื่องมือวัด แบบ 4-20 มิลลิแอมป์

เป็นเวลานานมาแล้วที่อุปกรณ์เครื่องมือวัดแบบ 4-20 มิลลิแอมป์ (4-20mA Transmitters) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้สัญญาณกระแสมาตรฐาน 4-20 มิลลิแอมป์ ในการส่งผ่านข้อมูลและเป็นที่ยอมรับในการนำไปใช้งานส่งผ่านข้อมูลระหว่างอุปกรณ์เครื่องมือวัดที่อยู่ในกระบวนการผลิตและระบบควบคุมที่อยู่ในห้องควบคุมกลาง (Central Control Room) ถึงแม้ในปัจจุบันได้มีการนำเสนอการส่งผ่านข้อมูลแบบใหม่ระหว่างอุปกรณ์เครื่องมือวัดและระบบควบคุม เพื่อพยายามผลักดันให้เป็นมาตรฐานการส่งผ่านข้อมูลแบบใหม่ในอนาคต ซึ่งยังคงต้องใช้เวลาานพอสมควร เช่นการส่งผ่านข้อมูลแบบดิจิทัลในรูปแบบต่างๆ หรือที่รู้จักกันในชื่อของ FieldBus เป็นต้น อย่างไรก็ตามยังมีระบบควบคุมและอุปกรณ์เครื่องมือวัดอีกเป็นจำนวนมากที่ยังคงใช้ในการส่งผ่านข้อมูลด้วยสัญญาณกระแส (Current Loop) มาตรฐาน 4-20 มิลลิแอมป์ เนื่องจากผู้ใช้งานส่วนมากจะมีความเข้าใจการทำงานและการใช้งานอุปกรณ์เครื่องมือวัดแบบ 4-20 มิลลิแอมป์เป็นอย่างดีและใช้งานกันมาเป็นเวลานานแล้ว ส่วนใหญ่แล้วผู้ใช้งานส่วนมากจะมีความเข้าใจการเลือกใช้งานและติดตั้งอุปกรณ์เหล่านี้ แต่ก็ยังคงมีคำถามเกี่ยวกับอุปกรณ์แบบนี้บ้าง เช่น ความแตกต่างระหว่างอุปกรณ์เครื่องมือวัดแบบ 4-20 มิลลิแอมป์ แบบ 2 สาย 3 สาย และ 4 สาย หรือมีข้อจำกัดในการใช้งานอุปกรณ์เครื่องมือวัดแบบ 4-20 มิลลิแอมป์ เป็นต้น

ในการควบคุมกระบวนการผลิต สามารถแสดงแผนภาพกระบวนการผลิตได้ดังรูปที่ 1 ซึ่งประกอบด้วยส่วนต่างๆ 3 ส่วนคือ อุปกรณ์การวัด (Sensing Element) ระบบควบคุม (Control System) และวาล์วควบคุม (Control Valve) ในการควบคุมจะมีการทำงานอยู่ 3 ขั้นตอนดังนี้ ขั้นตอนแรกอุปกรณ์การวัดจะทำการแปลงตัวแปรจากกระบวนการผลิตไปเป็นสัญญาณกระแสมาตรฐาน 4-20 มิลลิแอมป์และส่งไปยังระบบควบคุม ขั้นตอนที่สองระบบควบคุมจะทำการประมวลผลและส่งออกสัญญาณเป็นสัญญาณกระแสมาตรฐาน 4-20 มิลลิแอมป์ไปยังวาล์วควบคุม ขั้นตอนที่สามวาล์วควบคุมรับสัญญาณมาจากระบบควบคุมและจะเปลี่ยนเป็นการกระทำต่อตัวแปรกระบวนการ โดยการปิดหรือเปิดวาล์วควบคุม เพื่อให้ตัวแปรกระบวนการเปลี่ยนแปลงไปตามสัญญาณที่ได้รับมาจากระบบควบคุม



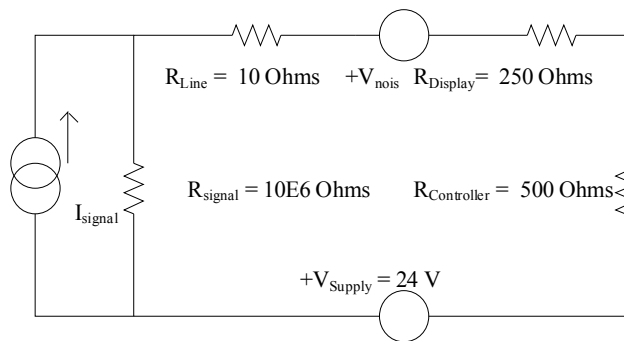
รูปที่ 1 ระบบควบคุมบนแผนภาพกระบวนการผลิต

อุปกรณ์การวัดและวาล์วควบคุมของระบบการผลิตจะถูกติดตั้งกระจายอยู่ตามพื้นที่ต่างๆของกระบวนการผลิตและส่งผ่านข้อมูลด้วยสัญญาณมาตรฐานแบบต่างๆ เป็นระยะทางไกลไปยังระบบควบคุมกลางในบางครั้งปัญหาหลักๆที่เกิดขึ้นกับระบบควบคุมก็จะพบได้ในการส่งผ่านข้อมูลเหล่านี้การสื่อสารข้อมูลแบบต่างๆกับอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องสามารถทำให้เชื่อถือได้โดยใช้อิเล็กทรอนิกส์แบบชาญฉลาด(Smart)ในอุปกรณ์การวัดหรืออุปกรณ์ควบคุมซึ่งมีการใช้งานกันอย่างแพร่หลายในปัจจุบันในอดีตที่ผ่านมาระบบการควบคุมแบบนิวแมติก(Pneumatic)ได้ถูกนำมาใช้ในการควบคุมการผลิตก่อนที่จะมีการนำระบบอิเล็กทรอนิกส์มาใช้งาน

ในระบบการควบคุมแบบนิวแมติกจะมีอุปกรณ์ต่างๆเหมือนกับระบบควบคุมแบบอิเล็กทรอนิกส์ เช่น ตัวควบคุมแบบอัตราส่วน(Ratio Controller) ตัวควบคุมแบบ PID (PID Controller) เป็นต้น โดยอุปกรณ์ทั้งหมดจะส่งผ่านสัญญาณความดันมาตรฐาน 3-15 psi ในช่วงปี 1950 ระบบคอมพิวเตอร์ ได้เริ่มเข้ามามีบทบาทในการควบคุมกระบวนการผลิตมากขึ้น ดังนั้นเทคนิคในการส่งผ่านข้อมูลจึงถูกเปลี่ยนแปลงจากสัญญาณความดันมาตรฐาน 3- 15 psi ไปเป็นสัญญาณกระแสมาตรฐาน 4-20 มิลลิแอมป์เพื่อให้เหมาะสมกับระบบควบคุมแบบอิเล็กทรอนิกส์สำหรับในบทความนี้จะเป็นการแสดงรายละเอียดและมาตรฐานของอุปกรณ์เครื่องมือวัดแบบ 4-20 มิลลิแอมป์ นอกจากนั้นยังแสดงข้อจำกัดต่างๆเพื่อเป็นพื้นฐานในการนำไปใช้งาน

## อุปกรณ์เครื่องมือวัดแบบ 4-20 มิลลิแอมป์

อุปกรณ์เครื่องมือวัดแบบ 4-20 มิลลิแอมป์ สามารถเขียนเป็นวงจรกระแสอย่างง่ายได้ดังรูปที่ 2 ซึ่งจะมีแหล่งจ่ายกระแสตามอุดมคติของนอร์ตันซึ่งประกอบไปด้วยแหล่งจ่ายกระแส ( $I_{\text{Signal}}$ ) และความต้านทาน ( $R_{\text{Signal}}$ ) มีความต้านทานของสายสัญญาณ ( $R_{\text{Line}}$ ) และแหล่งกำเนิดสัญญาณรบกวน ( $V_{\text{Noise}}$ ) สำหรับใช้แทนสัญญาณรบกวนที่ถูกเหนี่ยวนำมาจากส่วนอื่นๆ สำหรับวงจรกระแสในรูปที่ 2 จะมีความต้านทาน ( $R_{\text{Load}}$ ) ต่ออนุกรมกับวงจรกระแสนี้ 2 ค่าคือ ความต้านทานของชุดอินพุตของระบบควบคุม ( $R_{\text{Controller}}$ ) และความต้านทานของชุดแสดงผล ( $R_{\text{Display}}$ ) โดยวงจรนี้จะถูกจ่ายพลังงานด้วยแหล่งจ่ายแรงดันที่ 24 VDC



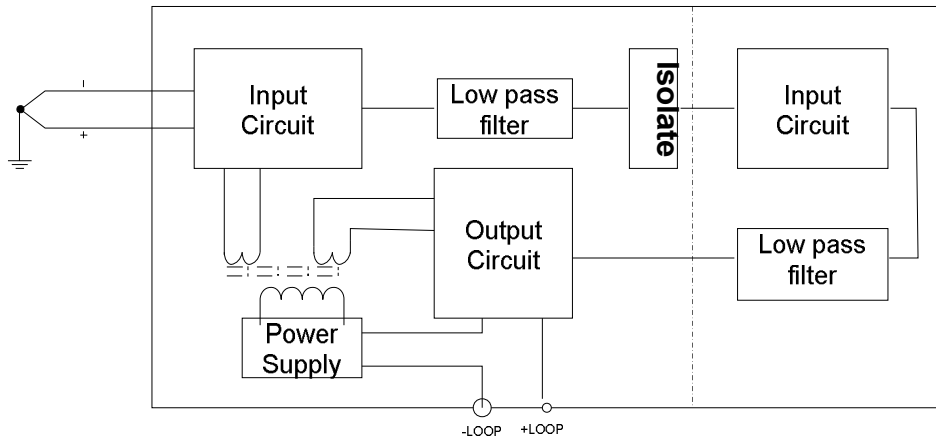
รูปที่ 2 วงจรกระแสอย่างง่าย

จากรูปที่ 2 จะสามารถแสดงข้อดีของอุปกรณ์เครื่องมือวัดแบบ 4-20 มิลลิแอมป์ ได้ดังนี้

- สัญญาณแรงดันที่โหนดใดๆจะมีค่าเท่ากับ  $(I_{\text{Signal}}) * (R_{\text{Load}})$  ซึ่งจะเป็นอิสระต่อแหล่งจ่ายแรงดันและความต้านทานของสายไฟซึ่งอาจจะมีการเปลี่ยนแปลงความยาวได้ในการติดตั้ง
- สัญญาณรบกวนที่โหนดใดๆจะมีค่าลดลงด้วยตัวแปรดังนี้  $(R_{\text{Load}}) / (\text{Sum } R_{\text{Load}} + R_{\text{Line}} + R_{\text{Signal}})$  ดังตัวอย่างที่แสดงต่อไปนี้ เมื่อมีแรงดันสัญญาณรบกวนเกิดขึ้นเป็น 15 โวลต์ จะทำให้เกิดแรงดันที่อินพุตของชุดควบคุมเป็น 0.75 มิลลิโวลต์  $500(15/10E6+10 +250+500)$  และสัญญาณแรงดันเต็มย่าน (Full Scale) ที่อินพุตของระบบจะมีค่าเป็น 10 โวลต์ ( 20 มิลลิโวลต์ \* 500 โอห์ม) และสัญญาณแรงดันจะมีค่ารบกวน 0.75 มิลลิโวลต์ จะทำให้เกิดความผิดพลาดที่อินพุตของระบบควบคุมเป็น 0.075 %
- สามารถต่อโหนดความต้านทานได้หลายตัวโดยการต่ออนุกรมเข้าไปกับวงจรกระแส เช่นระบบควบคุม ชุดแสดงผล หรือบันทึกข้อมูล เป็นต้น แต่เมื่อทำการต่อโหนดหลายตัวเข้าไปในวงจร จะเป็นผลทำให้แรงดันที่ขั้วของอุปกรณ์การวัดมีค่า

ลดลง จนเป็นสาเหตุทำให้อุปกรณ์การวัดไม่สามารถทำงานได้ ดังตัวอย่างในรูปที่ 2 แรงดันที่ขั้วของอุปกรณ์การวัดที่สัญญาณกระแสเป็น 20 มิลลิแอมป์จะมีค่าเท่ากับ  $24 \text{ โวลต์} - 760 \text{ โอห์ม} \times 20 \text{ มิลลิแอมป์} = 24 - 15.2 = 8.8 \text{ โวลต์}$  ดังนั้น อุปกรณ์การวัดที่นำมาใช้งานจะต้องทำงานได้ที่แรงดันที่ขั้วต่ำสุด (**Minimum Working Voltage**) เป็น 8.8 โวลต์ เพราะไม่เช่นนั้นแล้วอุปกรณ์การวัดจะไม่สามารถทำงานได้ที่ สัญญาณกระแสเต็มย่านการวัดหรือไม่สามารถอ่านค่าการวัดได้เต็มย่านที่ต้องการ

ต่อไปนี้เป็นารแสดงตัวอย่างรายละเอียดวงจรภายในพื้นฐานของ อุปกรณ์การวัดแบบ 4-20 มิลลิแอมป์ ดังแสดงได้ดังรูปที่ 3



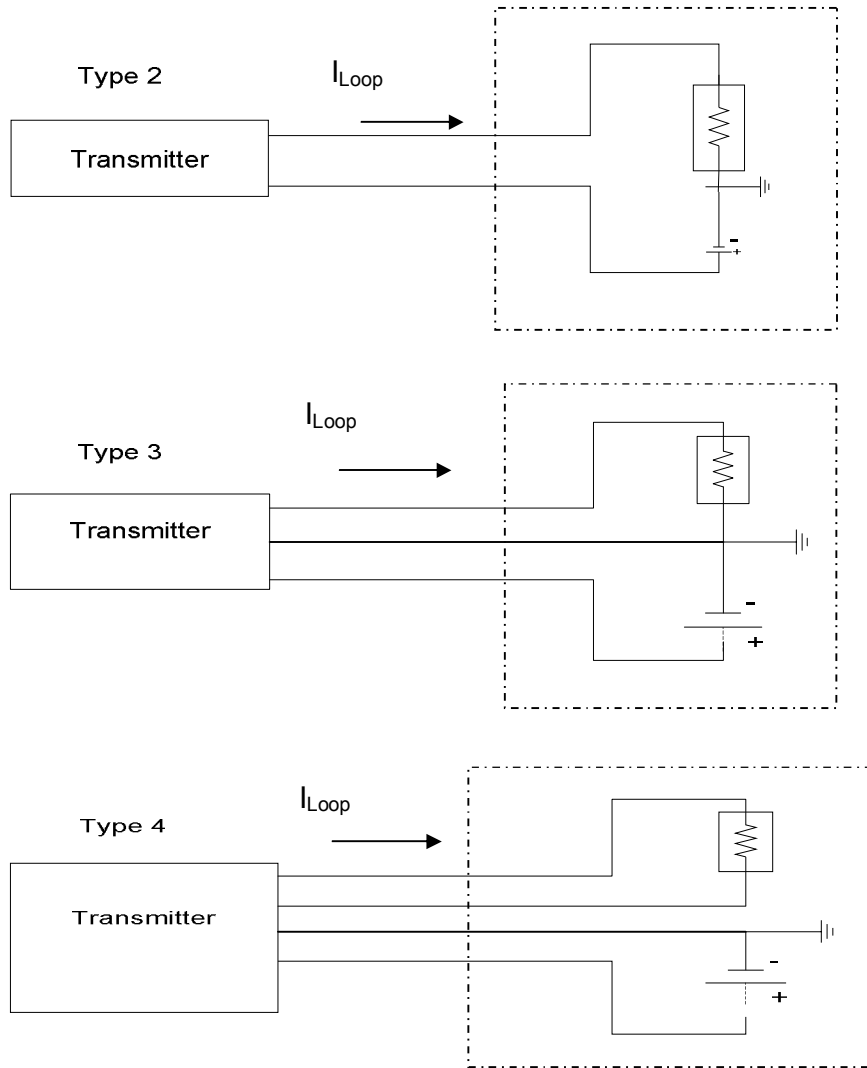
รูปที่ 3 วงจรภายในพื้นฐานของอุปกรณ์การวัดแบบ 4-20 มิลลิแอมป์

จากรูปที่ 3 สามารถแสดงรายละเอียดของวงจรภายในพื้นฐานของแต่ละส่วนได้ดังนี้

- วงจรอินพุตจะใช้ในการเชื่อมต่อกับเซ็นเซอร์ชนิดต่างๆ เช่น เทอร์โมคัปเปิ้ล, RTD, แหล่งกำเนิดสัญญาณแรงดันหรือกระแส เป็นต้น ในส่วนนี้จะมีวงจรในการปรับความเป็นเชิงเส้น (**Linearization**) และฟังก์ชันการคำนวณต่างๆ
- แหล่งจ่ายพลังงานจะใช้สำหรับจ่ายพลังงานที่ต้องการภายในอุปกรณ์
- วงจรเอาต์พุตจะใช้วงจรในการแปลงสัญญาณเพื่อเป็นแหล่งกำเนิดสัญญาณ 4-20 มิลลิแอมป์ให้กับลูปกระแสที่จุดเอาต์พุตของอุปกรณ์การวัด

## มาตรฐานอุปกรณ์เครื่องมือวัดแบบ 4-20 มิลลิแอมป์

เนื่องจากการใช้งานกันอย่างแพร่หลายและมีผู้ผลิตเป็นจำนวนมาก ดังนั้นจึงต้องมีการกำหนดมาตรฐานของอุปกรณ์เครื่องมือวัดประเภทนี้ เพื่อใช้ในการกำหนดคุณสมบัติของอุปกรณ์เครื่องมือวัดเพื่อให้ผู้ใช้สามารถเลือกใช้อุปกรณ์ได้อย่างสะดวกและสามารถนำไปทดแทนกันได้ มาตรฐาน ANSI/ISA-S50.1-1982 ได้กำหนดมาตรฐานแบบนี้ได้เป็น 3 แบบดังแสดงในรูปที่ 4



รูปที่ 4 อุปกรณ์การวัดแบบ 4-20 มิลลิแอมป์

### 1.อุปกรณ์ Type 2

เป็นอุปกรณ์การวัดแบบ 2 สายโดยพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ภายในอุปกรณ์ ประเภทนี้จะถูกจ่ายมาจากลูปกระแส(Loop Powered) ดังนั้นแหล่งจ่ายแรงดันสำหรับอุปกรณ์ประเภทนี้จะถูกติดตั้งรวมอยู่ที่ชุดรับสัญญาณและการต่อลงดินของสัญญาณจะอยู่ที่ชุดรับสัญญาณเช่นกัน อุปกรณ์เครื่องมือวัดโดยทั่วไปจะใช้มาตรฐานแบบนี้เป็นมาตรฐานในการเชื่อมต่อกับระบบควบคุม

### 2.อุปกรณ์ Type 3

เป็นอุปกรณ์การวัดแบบ 2 สายโดยพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ภายในอุปกรณ์ ประเภทนี้จะถูกจ่ายมาจากแหล่งจ่ายแรงดันที่แยกออกจากลูปกระแสดังนั้นจึงต้องการสายเพิ่มอีก 1 เส้น สำหรับจ่ายอุปกรณ์ไฟฟ้าให้กับอุปกรณ์ประเภทนี้ แต่จะใช้การต่อลงดินของสัญญาณจะอยู่ที่จุดเดียวกัน อุปกรณ์เครื่องมือวัดแบบนี้จะพบได้บ่อยครั้งในอุปกรณ์ที่ตรวจจับก๊าซรั่วและเพลิงไหม้ เช่น Gas Detector, Flame Detector เป็นต้น

### 3.อุปกรณ์ Type 4

เป็นอุปกรณ์การวัดแบบ 2 สายโดยพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ภายในอุปกรณ์ ประเภทนี้จะถูกจ่ายมาจากแหล่งจ่ายแรงดันที่แยกออกจากลูปกระแสดังนั้นจึงต้องการสายเพิ่มอีก 1 คู่ สำหรับจ่ายอุปกรณ์ไฟฟ้าให้กับอุปกรณ์ประเภทนี้ และจะใช้การต่อลงดินของสัญญาณกับแหล่งจ่ายแรงดันแยกออกจากกัน ตัวอย่างอุปกรณ์เครื่องมือวัดแบบนี้ เช่น Magnetic Flow Meter, Coriolis Flow Meter เป็นต้น ซึ่งชุดเซ็นเซอร์และชุดแปลงสัญญาณของอุปกรณ์เหล่านี้ จะต้องการแหล่งจ่ายพลังงานที่แยกออกจากกัน

### การขั้วกระแสของอุปกรณ์

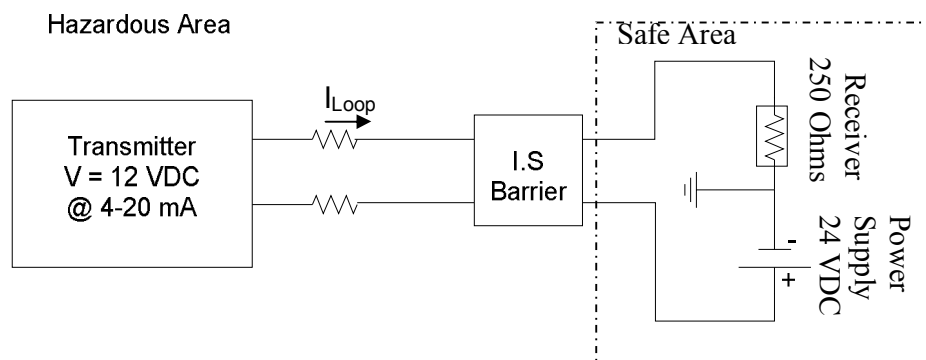
จากรายละเอียดต่างๆที่ได้แสดงมาในหัวข้อที่ผ่านมาจะเห็นว่าจะใช้อุปกรณ์ในการจับสัญญาณกระแสให้กับวงจร ดังนั้นเป้าหมายหลักในการนำไปใช้งาน จะต้องออกแบบให้มีการตอบสนองต่อตัวแปรที่ต้องการวัดได้ตลอดย่าน รวมไปถึงการติดตั้งและการจ่ายสัญญาณกระแส 4-20 มิลลิแอมป์ด้วยแหล่งจ่ายกระแสที่เพียงพอทุกย่านการวัด มาตรฐาน ISA S50.1 ได้กำหนดคุณสมบัติของอุปกรณ์เครื่องมือวัด สำหรับนำไปใช้งานกับโหลดความต้านทานที่ค่าแหล่งจ่ายแรงดันตามที่กำหนดในแสดงในตารางที่ 1

Transmitter Class Suffix Classifications			
	H	L	U
Load Resistance(Ohms)	300	800	300 to 800
Minimum Supply Voltage	23 VDC	32.7 VDC	23-32.7 VDC

ตารางที่ 1 ค่าโหลดความต้านทานและค่าแหล่งจ่ายแรงดัน

จากตารางที่ 1 เป็นมาตรฐานของอุปกรณ์ในการขับเคลื่อนทำให้ผู้ใช้งานสามารถแน่ใจได้ว่าอุปกรณ์ประเภทต่างๆจากผู้ผลิตที่แตกต่างกันสามารถนำไปใช้งานทดแทนกันได้โดยไม่ต้องมีการปรับปรุงหรือเปลี่ยนแปลงอุปกรณ์อื่นๆที่เกี่ยวข้องและเพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาในการขับเคลื่อนกระแสของอุปกรณ์ ควรจะมีความพิจารณาความต้านทานโหลดในลูปกระแสของอุปกรณ์การวัด เมื่อมีการเพิ่มเติมอุปกรณ์ใดเข้าไปในลูปกระแส เช่นถ้าเลือกการป้องกันการระเบิดในพื้นที่อันตรายเป็นแบบ I.S (Intrinsically Safe) ต้องมีการใส่ Barrier เข้าไปในวงจรกระแสหรือมีการเพิ่มส่วนแสดงเพิ่มเติมที่บริเวณกระบวนการ เป็นต้น

ดังสามารถแสดงตัวอย่าง การใส่ Barrier เข้าไปในลูปกระแสที่ต้องการการใช้การป้องกันการระเบิดในพื้นที่อันตรายเป็นแบบ I.S (Intrinsically Safe) ได้ดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 อุปกรณ์การวัดแบบ I.S (Intrinsically Safe)

จากรูปที่ 5 สามารถแสดงการหากระแสในลูปของอุปกรณ์การวัด เมื่อมีการเพิ่มเติม Barrier เข้าไปในลูปกระแสได้ดังนี้

ความต้านทานที่สามารถมีได้ในลูปนี้จะเท่ากับ

$$R_{Loop} = 24 \text{ Volts} / 20 \text{ mA} = 1200 \text{ Ohms}$$

ความต้านทานก่อนใส่ Barrier เท่ากับ

$$R_{Trans} = 12 \text{ Volts} / 20 \text{ mA} = 600 \text{ Ohms}$$

$$R_{Load} = 250 \text{ Ohms}$$

$$R_{Line} = 10 \text{ Ohms}]$$

ความต้านทานของ Barrier จะเท่ากับ

$$R_{MAX} = 1200 - (600+250+10) = 340 \text{ Ohms}$$

จากการคำนวณดังกล่าวข้างต้นจะเห็นได้ว่าค่าความต้านทานสูงสุดของ Barrier ที่จะใส่เข้าไปในลูปจะต้องมีค่าไม่มากกว่า 340 โอห์ม เพราะถ้าใช้ Barrier ที่มีค่าความต้านทานที่มากกว่าค่านี้แล้วจะทำให้สัญญาณกระแสไม่สามารถไปถึงค่า 20 มิลลิแอมป์ได้เลย เพราะจะทำให้อุปกรณ์การวัดหยุดการทำงานก่อนเนื่องจากแรงดันที่ขั้วต่ำกว่า 12 โวลต์ ดังตัวอย่างเช่น

ถ้าความต้านทานของ **Barrier** ที่มีค่าเท่ากับ 400 โอห์ม กระแสสูงสุดของลูปจะเท่ากับ  $24 \text{ Volts} / (860 \text{ Ohms} + 400 \text{ Ohms}) = 19.04 \text{ mA}$

จากรายละเอียดที่แสดงมาทั้งหมดข้างต้นเป็นการทำงานพื้นฐาน, ข้อจำกัดและมาตรฐานของอุปกรณ์เครื่องมือวัดแบบ 4-20 มิลลิแอมป์ ซึ่งจะยังคงมีใช้งานกันอีกต่อไป เนื่องจากมีความเชื่อมั่นในการทำงานได้สูง

และมีการใช้งานกันมายาวนาน ถึงแม้ในปัจจุบันอุปกรณ์ที่มีการสื่อสารแบบดิจิทัลกำลังเข้ามามีบทบาทเพิ่มขึ้น

ซึ่งคงต้องใช้เวลาพอสมควรในการที่จะเข้ามาแทนที่อุปกรณ์เครื่องมือวัดแบบ 4-20 มิลลิแอมป์ได้ทั้งหมด ทั้งในแง่ความเชื่อมั่นในการทำงานและการใช้งานทดแทนกันได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งก็นำเข้าไปใช้งานในระบบวัดคุมนิรภัย (**Safety Instrumented System**) สำหรับอุตสาหกรรมการผลิต

---

#### เอกสารอ้างอิง

1.หนังสือข่าวสารเพื่อการปรับตัวก้าวทันเทคโนโลยีอุตสาหกรรม **INDUSTRIAL TECHNOLOGY REVIEW** ปีที่ 10 ฉบับที่ 119, มกราคม 2547