

คำนำ

รายงานฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของรายวิชา 01026208 ELECTRICAL INSTRUMENTS AND MEASUREMENTS โดยมีจุดประสงค์เพื่อการศึกษาหลักการทำงาน ข้อได้เปรียบ และข้อจำกัดของอุปกรณ์วัดระดับที่ใช้ในอุตสาหกรรมประเภทต่างๆ อันเป็น เนื้อหาของรายงานฉบับนี้ จะเริ่มต้นด้วยการอธิบายหลักการและนิยามศัพท์เบื้องต้น แล้วลงรายละเอียดเกี่ยวกับหลักการทำงานของอุปกรณ์วัดระดับในอุตสาหกรรมที่นิยมใช้ 9 ชนิด ได้แก่ อุปกรณ์วัดระดับแบบลอย อุปกรณ์วัดระดับทางแสง สวิตช์ระดับแบบสภาพความนำ สวิตช์ระดับแบบสัมผัส อุปกรณ์วัดระดับแบบความจุไฟฟ้า อุปกรณ์วัดระดับแบบใช้คลื่นเหนือเสียง (อัลตราโซนิก) และอุปกรณ์วัดระดับแบบเรดาร์

รายงานฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์ได้ด้วยความช่วยเหลือจากผู้มีพระคุณหลายท่าน กลุ่มผู้จัดทำต้องขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นิรุช จิรสวรรณกุล ผู้ให้ความรู้และแนวทางการศึกษา และขอขอบคุณเพื่อน ๆ ทุกคนในคณะวิศวกรรมศาสตร์ สจล. ที่ให้ความช่วยเหลือมาโดยตลอด กลุ่มผู้จัดทำหวังว่ารายงานฉบับนี้จะให้ความรู้ แนวทางเกี่ยวกับการวัดระดับในอุตสาหกรรม ที่เป็นประโยชน์แก่ผู้สนใจทุกท่านบ้างไม่มากนัก

นายปรีดี คงไทย

นายคณพศ ไชยมณีกร (บรรณาธิการ)

นายญาณันธร เชิดชูไทย

นายธนภุต กิตติบรรพชา

นางสาวนันท์นภัส แดงเรือง

นายพรหมนรินทร์ สุภานิล

นายริมทวีป กุสุตใจ

สารบัญ

1	บทนำ	3
2	ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับการวัดระดับ และเครื่องวัดระดับ	4
2.1	ระบบวัดถึง	4
2.2	การคำนวณมวลและปริมาตรจากระดับ	4
2.3	ประเภทของเครื่องวัดระดับ	4
2.4	การเลือกใช้เครื่องวัดระดับ	4
3	หลักการทำงานของเครื่องวัดระดับ และการประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรม	5
3.1	อุปกรณ์วัดระดับแบบลอย (Float Level Device)	5
3.1.1	หลักการทำงาน	5
3.1.2	รูปแบบของอุปกรณ์วัดระดับแบบลอย	5
3.1.3	ข้อได้เปรียบและข้อจำกัด	6
3.2	อุปกรณ์วัดระดับทางแสง (Optical Level Devices)	6
3.2.1	หลักการทำงาน	7
3.2.2	ข้อได้เปรียบและข้อจำกัด	7
3.3	สวิตช์ระดับแบบสภาพความนำ (Conductivity-type Level Switch)	8
3.3.1	หลักการทำงาน	8
3.3.2	ข้อได้เปรียบและข้อจำกัด	8
3.4	สวิตช์ระดับแบบสั่น (Vibrating Level Switch)	9
3.4.1	หลักการทำงาน	9
3.4.2	ข้อได้เปรียบและข้อจำกัด	9
3.5	ความจุ	10
3.6	อัลตราโซนิก	10
3.7	เรดาร์แบบบังคับนำคลื่น	10
3.8	เรดาร์แบบไม่สัมผัส	10
4	บรรณานุกรม	10

1 บทนำ

การวัดระดับ (Level Measurement) คือการระบุตำแหน่งของพื้นผิวภายในถัง เครื่องปฏิกรณ์ หรือภาชนะอื่นๆ โดยวัดระยะทางแนวตั้ง (Vertical Distance) ระหว่างจุดอ้างอิงซึ่งโดยปกติคือฐานของภาชนะกับพื้นผิว ของของเหลว ของแข็ง หรือส่วนต่อประสานของของเหลวสองชนิด

การวัดระดับมีความสำคัญต่ออุตสาหกรรมเป็นอย่างมาก เพราะการทราบระดับของวัตถุดิบ และผลิตภัณฑ์ในกระบวนการผลิตต่างๆ ทำให้สามารถจัดการระบบการผลิตได้อย่างมีประสิทธิภาพ มีประสิทธิภาพ ช่วยเพิ่มความสามารถในการแข่งขันขององค์กร และที่สำคัญคือช่วยให้กระบวนการผลิตมีความปลอดภัย ซึ่งปัจจัยสำคัญทำให้ผู้ผลิต ได้รับไว้วางใจจากกลุ่มลูกค้า ผู้ลงทุน และประชาชนโดยรอบสถานที่ผลิต โดยความสำคัญของการวัดระดับต่ออุตสาหกรรมในมิติต่างๆ พอจะสรุปได้ดังนี้

- 1) **ประสิทธิภาพของกระบวนการผลิต** การทราบปริมาณที่แน่นอนจากการวัดระดับที่แม่นยำ ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการผลิต ผู้ผลิตสามารถจัดสรรทรัพยากรที่มีได้อย่างมีประสิทธิภาพ และลดค่าใช้จ่ายในการจัดซื้อและบำรุงรักษาถังเก็บที่ไม่จำเป็น
- 2) **ความปลอดภัย** การวัดระดับมีบทบาทอย่างมากในการรักษาความปลอดภัยในอุตสาหกรรม ความล้มเหลวในระบบวัดระดับ จนทำให้เกิดการบรรจุเกินจนล้น อาจนำไปสู่หายนะ ทำให้สารอันตรายเกิดการรั่วไหล สร้างความเสียหายต่อชีวิตและทรัพย์สิน รวมทั้งสิ่งแวดล้อมโดยรอบอย่างมหาศาลได้
- 3) **มูลค่าของสินค้า** บ่อยครั้งมูลค่าของสินค้าที่เป็นของเหลว หรือของแข็งในถังเก็บ ขึ้นอยู่กับน้ำหนักหรือปริมาตรของสินค้า ซึ่งคำนวณได้จากระดับของสินค้านั้นๆ ความคลาดเคลื่อนในการวัดระดับเพียง $\frac{1}{8}$ นิ้ว (≈ 3 มิลลิเมตร) จึงอาจส่งผลต่อมูลค่าของสินค้าได้อย่างมหาศาล โดยปกติเครื่องวัดที่ใช้วัดระดับในการซื้อขาย โอนกรรมสิทธิ์ในสินค้าตามกฎหมายจะมีความคลาดเคลื่อนในการวัดระดับน้อยกว่า $\frac{1}{16}$ นิ้ว (≈ 1 มิลลิเมตร) และได้รับการอนุมัติจากหน่วยงานทางมาตรวิทยา

2 ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับการวัดระดับ และเครื่องวัดระดับ

2.1 ระบบวัดถึง

2.2 การคำนวณมวลและปริมาตรจากระดับ

2.3 ประเภทของเครื่องวัดระดับ

2.4 การเลือกใช้เครื่องวัดระดับ

3 หลักการทำงานของเครื่องวัดระดับ และการประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรม

3.1 อุปกรณ์วัดระดับแบบลอย (Float Level Device)

3.1.1 หลักการทำงาน

อุปกรณ์วัดระดับแบบลอย เป็นเครื่องวัดระดับที่มีหลักการทำงานง่ายที่สุดแบบหนึ่ง โดยเครื่องวัดระดับแบบลอยอย่างง่าย จะประกอบด้วยลูกลอยที่เป็นวัสดุลอยน้ำทรงกลม (Spherical) ทรงกระบอก (Cylindrical) หรือเป็นทรงรีคล้ายแคปซูลยา (Oblong) ที่ถูกติดอยู่กับก้านกลไก เมื่อนำวัสดุลอยน้ำนี้ไปลอยน้ำ การเคลื่อนที่ของก้านกลไกจะเป็นไปโดยสอดคล้องกับระดับน้ำ และสามารถเป็นตัวบอกระดับบนแผ่นเกจ (Guage Board) หรือกระตุ้นสวิทช์สำหรับส่งสัญญาณ หรือใช้ควบคุมการปิด-เปิดของเครื่องสูบน้ำ (Pump) ให้ทำงานได้โดยอัตโนมัติได้

3.1.2 รูปแบบของอุปกรณ์วัดระดับแบบลอย

หลักการของเครื่องวัดระดับแบบลอย อาจนำไปสร้างเป็นเครื่องวัดในอุตสาหกรรมได้หลากหลายรูปแบบ โดยแต่ละรูปแบบก็จะเหมาะสมกับสภาพแวดล้อม และการใช้งานที่ต่างกันไป รูปแบบหลักๆ ของเครื่องวัดระดับแบบลอยสรุปได้ดังนี้

- 1) **สวิทช์ลอยแบบเชื่อมต่อกับแม่เหล็ก (Magnetic Coupled Float Switch)** สวิทช์ลอยชนิดนี้ใช้การเชื่อมต่อทางแม่เหล็ก (Magnetic Coupling) ข้ามท่อปิดเพื่อแยกระหว่างของเหลวในกระบวนการ และอุปกรณ์สวิทช์ของเครื่องวัด โดยมีโครงสร้างภายในแสดงได้ดังภาพที่ (*) เมื่อระดับของเหลวเพิ่มขึ้น ระดับของลูกลอยก็จะเพิ่มสูงขึ้น ปลายอีกด้านของก้านกลไกที่ติดอยู่กับลูกลอยซึ่งเป็นปลอกที่ทำมาจากวัสดุที่แม่เหล็กดูดติด (Attraction Sleeve) จะถูกดันขึ้นจนเข้าใกล้แม่เหล็กที่อยู่อีกด้านของท่อ ทำให้แม่เหล็กนี้สามารถดูดติดวัสดุดังกล่าวได้ สวิทช์ปรอท (Mercury Switch) ที่อยู่อีกด้านของแขนแกว่งจะเอียงไปอีกด้านหนึ่งจนเกิดเปลี่ยนสถานะทางไฟฟ้า ในกรณีที่ต้องติดสวิทช์ลอยที่ผนังบ่อหรือถังเก็บ สวิทช์ลอยแบบเชื่อมต่อกับแม่เหล็กสามารถออกแบบได้อีกรูปแบบหนึ่งดังภาพที่ (*) โดยเมื่อระดับของเหลวเพิ่มสูงขึ้น แม่เหล็กพลิกกลับลงมาระตุ้นสวิทช์ให้เกิดการเปลี่ยนสถานะไป

นอกจากนี้ยังอาจใช้หรีดสวิตช์ (Reed Switch) ที่เป็นหน้าสัมผัสขนาดเล็กบรรจุอยู่ในหลอดแก้ว ช่วยลดขนาดและจำนวนส่วนเคลื่อนที่ ดังภาพที่ (*) และ (*)

- 2) **ลูกลอยและท่อนำ (Float and Guide Tube)** สวิตช์ลอยรูปแบบนี้ประกอบด้วยลูกลอยทรงกลม ซึ่งถูกร้อยผ่านท่อนำที่ไม่ติดแม่เหล็ก แม่เหล็กรูปวงแหวนจะถูกฝังอยู่ในลูกลอย และหรีดสวิตช์จะถูกผนึกอยู่ในท่อนำดังภาพที่ (*) ในจุดที่ต้องการ เมื่อระดับของเหลวเพิ่มขึ้น ลูกลอยที่มีแม่เหล็กอยู่ภายในจะลอยขึ้นตามท่อนำ โดยเมื่อลอยขึ้นถึงตำแหน่งที่ฝังหรีดสวิตช์ไว้ หรีดสวิตช์ก็จะเปลี่ยนสถานะไป
- 3) **สวิตช์เอียง (Tilt Switch)** สวิตช์เอียงเป็นลูกลอยพลาสติกที่ภายในมีสวิตช์ปรอทบรรจุอยู่ และถูกแขวนอย่างอิสระโดยสายเคเบิล ที่ระดับที่ต้องการ (ภาพที่ *) เมื่อระดับของเหลวเพิ่มขึ้นจนถึงระดับลูกลอย ลูกลอยจะเอียง และสวิตช์ปรอทจะเปลี่ยนสถานะ สวิตช์ลอยลักษณะนี้จะใช้ได้กับการใช้งานภายใต้อุณหภูมิห้องและความดันบรรยากาศเท่านั้น

3.1.3 ข้อได้เปรียบและข้อจำกัด

เครื่องวัดระดับแบบลอยมีหลักการทำงานที่ง่าย มีโครงสร้างไม่ซับซ้อนและส่วนประกอบไม่มาก ทำให้สามารถบำรุงรักษา ซ่อมแซมได้ง่าย และเชื่อถือได้เป็นอย่างมาก นอกจากนี้เครื่องวัดระดับแบบลอยบางรูปแบบยังสามารถทำงานภายใต้อุณหภูมิและความดันที่สูง อย่างไรก็ตาม เครื่องวัดระดับแบบลอยเป็นอุปกรณ์เฉื่อยงาน (Passive) ที่ไม่มีระบบตรวจสอบตนเอง จึงมีความจำเป็นต้องทำการตรวจสอบอยู่เสมอ และเนื่องจากการสัมผัสกับของเหลวที่จะวัดโดยตรง ของเหลวที่หนืดอาจทำให้กลไกของลูกลอยเกิดติดขัดได้

3.2 อุปกรณ์วัดระดับทางแสง (Optical Level Devices)

อุปกรณ์วัดระดับทางแสงแบ่งตามหลักการทำงานได้เป็น 3 รูปแบบ ได้แก่การสะท้อน (Reflection), การส่งผ่าน (Transmission) และการหักเห (Refraction) โดยแต่ละรูปแบบก็จะมีข้อได้เปรียบและข้อจำกัดในการใช้งานที่ต่างกัน ในรายงานฉบับนี้จะกล่าวถึงรายละเอียดของอุปกรณ์วัดระดับทางแสงที่ใช้หลักการสะท้อนและการหักเหเท่านั้น เนื่องจากอุปกรณ์วัดระดับทางแสงที่ใช้หลักการการส่งผ่าน มักใช้ตรวจจับความหนาของชั้นตะกอนของแข็งภายในของเหลว ซึ่งเกินขอบเขตของหัวข้อรายงานฉบับนี้

3.2.1 หลักการทำงาน

อุปกรณ์วัดระดับทางแสงแบบสะท้อนประกอบด้วยแหล่งกำเนิดแสง และเซนเซอร์ตรวจจับที่เป็นทรานซิสเตอร์ที่ไวต่อแสงหรือโฟโตทรานซิสเตอร์ (Phototransistor) บรรจุอยู่ในตัวถังเดียวกันดังภาพที่ (*) ลำแสงจากแหล่งกำเนิดแสงจะฉายไปยังของเหลวที่ทำการวัด และเมื่อระดับของของเหลวเพิ่มขึ้นจนถึงระดับหนึ่ง ลำแสงจะสะท้อนกลับไปยังเซนเซอร์รับแสง ทำให้โฟโตทรานซิสเตอร์นำกระแส ส่วนอุปกรณ์วัดระดับทางแสงประกอบด้วยแหล่งกำเนิดแสง และเซนเซอร์ตรวจจับ บรรจุอยู่ในตัวถังเดียวกันเช่นเดียวกับอุปกรณ์วัดระดับทางแสงแบบสะท้อน แต่สิ่งที่ต่างออกไปคือที่ปลายของหัววัดระดับจะถูกตัดเฉียง เป็นมุม 45° ดังภาพที่ (*) เมื่อเครื่องวัดถูกล้อมรอบด้วยอากาศ ลำแสงส่วนใหญ่จะสะท้อนกลับหมดภายในปริซึม ไปยังเซนเซอร์รับแสง ทำให้โฟโตทรานซิสเตอร์นำกระแส เมื่อระดับของของเหลวที่ทำการวัดเพิ่มสูงขึ้นจนท่วมปริซึม แสงจากแหล่งกำเนิดแสงที่ตกกระทบปริซึมจะเกิดการหักเหเข้าสู่ของเหลวที่ทำการวัด เนื่องจากดัชนีหักเห (Index of Refraction) ของของเหลวส่วนใหญ่จะมากกว่าอากาศ ทำให้โฟโตทรานซิสเตอร์หยุดนำกระแส

3.2.2 ข้อได้เปรียบและข้อจำกัด

อุปกรณ์วัดระดับทางแสงทั้งสองชนิดที่กล่าวมาก็มีข้อได้เปรียบและข้อจำกัดที่แตกต่างกันไป อุปกรณ์วัดระดับทางแสงแบบสะท้อนมีข้อได้เปรียบสำคัญคือ ไม่มีการสัมผัสกับของเหลวที่ทำการวัด จึงสามารถใช้กับของเหลวที่กัดกร่อน เหนียวเหนอะหนะ และเคลือบติดได้ แต่ก็มีข้อเสียตรงที่ของเหลวที่ทำการวัดต้องทึบแสงพอสมควร และต้องไม่มีไอ หรือความปั่นป่วนเหนือของเหลวที่ทำการวัด เพราะจะทำให้การวัดคลาดเคลื่อน ส่วนอุปกรณ์วัดระดับทางแสงแบบหักเหมีข้อดีสำคัญคือน้ำหนักเบา ขนาดเล็ก และสามารถตรวจจับของเหลวปริมาณน้อยๆ ได้ แต่เนื่องจากหัววัดสัมผัสกับของเหลวโดยตรง จึงไม่สามารถใช้กับของเหลวที่กัดกร่อน เกาะติด หรือเคลือบติดได้ นอกจากนี้ยังอาจได้ผลบวกหลวง (False Positive) หากมีหยดของของเหลวติดอยู่ที่ปลายหัววัด

3.3 สวิตช์ระดับแบบสภาพความนำ (Conductivity-type Level Switch)

3.3.1 หลักการทำงาน

สภาพความนำ (Conductivity- σ) เป็นคุณสมบัติของวัสดุ ซึ่งถูกนิยามให้เป็นความนำ (Conductance- G) หรือส่วนกลับของความต้านทาน (Resistance- R) ของวัสดุหนึ่ง ที่มีพื้นที่หน้าตัด 1 cm^2 และยาว 1 cm (หน่วยของสภาพความนำคือ $\text{mS}\cdot\text{cm}^{-1}$) สำหรับของเหลวหรือสารละลาย (Solution) สภาพความนำเป็นฟังก์ชันของจำนวนไอออนที่มีประจุที่อยู่ในของเหลวนั้นๆ ซึ่งโดยปกติแล้วจะมีมากกว่าในอากาศ ดังนั้นถ้าวงจรไฟฟ้าถูกปิดโดยสารรอบๆ ปลายหัววัดหนึ่ง กระแสที่ไหลผ่านเมื่อหัววัดนี้ถูกจุ่มลงในสารละลายจะมากกว่ากระแสที่ไหลเมื่อหัววัดนี้ถูกล้อมรอบด้วยอากาศ อาศัยหลักการนี้ สวิตช์สภาพความนำจึงสามารถแยกระหว่างอากาศและสารละลาย หรือระหว่างสารละลายที่นำไฟฟ้า และสารละลายที่ไม่นำไฟฟ้าได้

พิจารณาสวิตช์สภาพความนำดังภาพที่ (*) เมื่อรอยต่อระหว่างของเหลวและอากาศเพิ่มขึ้นสูงถึงระดับหัววัด ของเหลวจะปิดวงจรทำให้กระแสไหลจากหัววัดหนึ่ง ไปยังอีกหัววัดหนึ่งได้ โดยกระแสนี้จะถูกกำหนดให้มีค่าน้อยๆ อยู่ในระดับไมโครแอมป์ เพื่อป้องกันอันตรายจากไฟฟ้าดูดและการเกิดประกายไฟและความไวของสวิตช์นี้จะถูกปรับให้เข้ากับสภาพความนำของของเหลวที่ทำการวัด หัววัดทั้งสองอาจมีความยาวไม่เท่ากันดังภาพที่ (*) หรืออาจมีการหน่วงเวลา 0 ถึง 20 วินาที เพื่อให้มีช่วงไร้การตอบสนอง (Dead zone) หรือช่วงสมดุล (Neutral zone) ซึ่งช่วยเพิ่มความเสถียรในกรณีที่มีการกว่น หรือการกระชอกภายในถัง

3.3.2 ข้อได้เปรียบและข้อจำกัด

สวิตช์สภาพความนำมีโครงสร้างและหลักการทำงานที่ไม่ซับซ้อน ไม่มีส่วนเคลื่อนที่สัมผัสกับของเหลว และสามารถนำไปใช้กับของแข็งที่ชิ้นส่วนใหญ่ได้ ในด้านข้อจำกัด สวิตช์สภาพความนำสามารถใช้ได้กับของเหลวที่นำไฟฟ้า ไม่กัดกร่อน และไม่เคลือบติดหัววัดเท่านั้น

3.4 สวิตช์ระดับแบบสั่น (Vibrating Level Switch)

3.4.1 หลักการทำงาน

สวิตช์ระดับแบบสั่นประกอบด้วยแหล่งกำเนิดความถี่เพียโซอิเล็กทริก (Piezoelectric Oscillator) ต่อกับหัววัดที่มีลักษณะเป็นแผ่นคล้ายใบมีด และตัวตรวจจับสัญญาณ ดังภาพที่ (*) โดยสัญญาณป้อนกลับที่ได้รับจากตัวตรวจจับจะถูกขยาย และนำไปขับผลึกเพียโซอิเล็กทริกที่ใช้กำเนิดสัญญาณอีกครั้ง ในสภาวะปกติ หัววัดระดับนี้จะสั่นด้วยความถี่ธรรมชาติหนึ่ง แต่เมื่อระดับของวัสดุ (ของเหลวหรือของแข็งที่ทำการวัด) เพิ่มขึ้นจนสัมผัสกับหัววัด การสั่นของหัววัดจะถูกหน่วง (Damped) ทำให้ขนาดและความถี่ของการสั่นลดลง ตัวตรวจจับจึงสั่งการให้รีเลย์ทำการเปลี่ยนสถานะไป

3.4.2 ข้อได้เปรียบและข้อจำกัด

การวัดของสวิตช์ระดับแบบสั่นแทบไม่ได้รับผลกระทบจากการไหล (Flow), ความปั่นป่วน (Turbulence), ฟอง (Foam), การสั่น (Vibration) การเคลือบ (Coating) และการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของวัสดุ ทำให้เป็นเทคโนโลยีการวัดระดับที่สามารถใช้กับวัสดุได้หลากหลาย ไม่ว่าจะเป็นของเหลวชนิดต่างๆ, พลาสติก, นมผง, น้ำตาล, ข้าว, ธัญพืช, ฯลฯ และเชื่อถือได้มากเทคโนโลยีหนึ่ง นอกจากนี้ยังไม่ต้องมีการปรับเทียบ (Calibration) และมีความสามารถตรวจสอบการทำงานของตนเอง อุปกรณ์สมัยใหม่ที่ใช้ในอุตสาหกรรมสามารถตรวจสอบและรายงานสถานะ และความผิดปกติต่างๆ ทั้งทางไฟฟ้าและทางกลได้อย่างสม่ำเสมอ อย่างไรก็ตาม สวิตช์ระดับแบบสั่นไม่สามารถใช้กับวัสดุที่มีความหนืดมากๆ เนื่องจากวัสดุอาจจับตัวระหว่างหัววัดทั้งสอง ทำให้เกิดความผิดพลาดได้หากไม่ได้รับการตรวจสอบอย่างสม่ำเสมอ

3.5 ความจุ

3.6 อัลตราโซนิก

3.7 เรดาร์แบบบังคับนำคลื่น

3.8 เรดาร์แบบไม่สัมผัส

4 บรรณานุกรม