



การวัดระดับของเหลวในอุตสาหกรรม

Level Measurement

จัดทำโดย

นายปรีดิ์ คงไทย 58010740

นายคณพศ ไชยมณีกร 63010104

นายญาณันธร เชิดชูไทย 63010647

นายธนกฤต กิตติบรรพชา 63010392

นางสาวนันท์นภัส แดงเรือง 63010512

นายนิธิศ อรัญवास 63010528

นายริมทวีป กุสุตใจ 63010824

เสนอ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นิรุช จิรสวรรณกุล

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2564

คำนำ

รายงานฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของรายวิชา 01026208 ELECTRICAL INSTRUMENTS AND MEASUREMENTS โดยมีจุดประสงค์เพื่อการศึกษาหลักการทำงาน ข้อได้เปรียบ และข้อจำกัดของอุปกรณ์วัดระดับที่ใช้ในอุตสาหกรรมประเภทต่างๆ เนื้อหาของรายงานฉบับนี้ จะเริ่มต้นด้วยการอธิบายถึงประเภทของการวัดระดับต่างๆ แล้วลงรายละเอียดเกี่ยวกับหลักการทำงานของอุปกรณ์วัดระดับในอุตสาหกรรมที่นิยมใช้ 7 ชนิด ได้แก่ อุปกรณ์วัดระดับแบบลอย อุปกรณ์วัดระดับทางแสง สวิตช์ระดับแบบสภาพความนำ สวิตช์ระดับแบบสัมผัส อุปกรณ์วัดระดับแบบความจุไฟฟ้า อุปกรณ์วัดระดับแบบใช้คลื่นเหนือเสียง (อัลตราโซนิก) และอุปกรณ์วัดระดับแบบเรดาร์

รายงานฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์ได้ด้วยความอนุเคราะห์ช่วยเหลือจากผู้มีพระคุณหลายท่าน กลุ่มผู้จัดทำต้องขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นิรุช จิรสวรรณกุล ผู้ให้ความรู้และแนวทางการศึกษา และขอขอบคุณเพื่อน ๆ ทุกคนในคณะวิศวกรรมศาสตร์ สจล. ที่ให้ความช่วยเหลือมาโดยตลอด กลุ่มผู้จัดทำหวังว่ารายงานฉบับนี้จะให้ความรู้ แนวทางเกี่ยวกับการวัดระดับในอุตสาหกรรม ที่เป็นประโยชน์แก่ผู้สนใจทุกๆ ท่านบ้างไม่มากก็น้อย

นายปรีดิ์ คงไทย

นายคนพศ ไชยมนิกร (บรรณาธิการ)

นายญาณันธร เชิดชูไทย

นายชนกฤต กิตติบรรพชา

นางสาวนันท์นภัส แดงเรือง

นายนิธิศ อรัญวาส

นายริมทวีป ภู่อสุใจ

สารบัญ

1	บทนำ	3
2	ประเภทของการวัดระดับ และข้อพิจารณาในการเลือกเครื่องวัดระดับ	4
2.1	ประเภทของการวัดระดับ	4
2.2	ข้อพิจารณาในการเลือกเครื่องมือวัดระดับ	5
3	หลักการทำงานของเครื่องวัดระดับในอุตสาหกรรม	6
3.1	อุปกรณ์วัดระดับแบบลอย (Float Level Device)	6
3.2	อุปกรณ์วัดระดับทางแสง (Optical Level Device)	8
3.3	สวิตช์ระดับแบบสภาพความนำ (Conductivity-type Level Switch)	9
3.4	อุปกรณ์วัดระดับแบบความจุไฟฟ้า (Capacitance Level Device)	10
3.5	สวิตช์ระดับแบบสั่นสะเทือน (Vibrating Level Switch)	11
3.6	อุปกรณ์วัดระดับระดับแบบอัลตราโซนิก (Ultrasonic Level Detector) . . .	12
3.7	อุปกรณ์วัดระดับแบบเรดาร์ (Radar Level Transmitter)	14
4	บทสรุป	16

1 บทนำ

การวัดระดับ (Level Measurement) คือการระบุตำแหน่งของพื้นผิวภายในถัง เครื่องปฏิกรณ์ หรือภาชนะอื่นๆ โดยวัดระยะห่างแนวตั้ง (Vertical Distance) ระหว่างจุดอ้างอิงซึ่งโดยปกติคือฐานของภาชนะ กับพื้นผิว ของของเหลว ของแข็ง หรือส่วนต่อประสานของของเหลวสองชนิด

การวัดระดับมีความสำคัญต่ออุตสาหกรรมเป็นอย่างมาก เพราะการทราบระดับของวัตถุดิบ และผลิตภัณฑ์ในกระบวนการผลิตต่างๆ ทำให้สามารถจัดการระบบการผลิตได้อย่างมีประสิทธิภาพ 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 ขึ้นอยู่กับน้ำหนัก หรือปริมาตรของสินค้า ซึ่งคำนวณได้จากระดับของสินค้านั้นๆ ความคลาดเคลื่อนในการวัดระดับเพียง $\frac{1}{8}$ นิ้ว (≈ 3 มิลลิเมตร) จึงอาจส่งผลต่อมูลค่าของสินค้าได้อย่างมหาศาล โดยปกติเครื่องวัดที่ใช้วัดระดับในการซื้อขาย โอนกรรมสิทธิ์ในสินค้าตามกฎหมายจะมีความคลาดเคลื่อนในการวัดระดับน้อยกว่า $\frac{1}{16}$ นิ้ว (≈ 1 มิลลิเมตร) และได้รับการอนุมัติจากหน่วยงานทางมาตรวิทยา

2 ประเภทของการวัดระดับ และข้อพิจารณาในการเลือกเครื่องวัดระดับ

2.1 ประเภทของการวัดระดับ

2.1.1 การวัดระดับแบบต่อเนื่อง และแบบจุด

การวัดระดับแบบต่อเนื่อง (Continuous Level Measurement) ระดับของของเหลวเหนือช่วงการวัด (Full Span of Measurement) ทั้ง ส่วนการวัดระดับแบบจุด (Point Level Measurement) เป็นการวัดระดับที่บอกได้แต่เพียงว่า ของเหลวที่ทำการวัดอยู่ “เหนือ” หรือ “ใต้” เครื่องวัดเท่านั้น ไม่สามารถบอกระดับของเหลวได้ในอุตสาหกรรม เครื่องวัดระดับแบบต่อเนื่องถูกใช้เพื่อควบคุมกระบวนการ (Process Control) รวมถึงควบคุมและจัดการสินค้าคงคลัง (Inventory Control and Management) ส่วนเครื่องวัดระดับแบบจุด จะถูกใช้ร่วมกับเครื่องวัดแบบต่อเนื่อง เพื่อให้สัญญาณเตือนในกรณีที่ระดับของเหลวในถังเก็บอยู่สูง หรือต่ำเกินไป

2.1.2 การวัดระดับแบบสัมผัส และไม่สัมผัส

ในการวัดระดับแบบสัมผัส (Contacting Level Measurement) ส่วนใดส่วนหนึ่งของระบบการวัด จะมีการสัมผัสโดยตรงกับของเหลวในถังเก็บ เช่น การวัดระดับโดยใช้เรดาร์แบบบังคับนำคลื่น และลูกลอย เป็นต้น ส่วนในการวัดระดับแบบไม่สัมผัส (Non-contacting Level Measurement) จะไม่มีส่วนของระบบการวัด ที่สัมผัสกับของเหลวที่ต้องการวัดเลย การวัดลักษณะนี้มักถูกใช้วัดระดับของเหลวและของแข็งที่ไม่สามารถวัดแบบสัมผัสได้ เช่น ของเหลวมีฤทธิ์กัดกร่อนสูง ของแข็งที่ระเหิดได้ ของเหลวความหนืดสูง หรือวัตถุที่สกปรกมาก เป็นต้น

2.1.3 การวัดระดับแบบวัดโดยตรง และโดยอ้อม

การวัดระดับโดยตรง (Direct Level Measurement) เป็นการวัดระดับของเหลวโดยไม่ผ่านตัวแปรอื่น ตัวอย่างเช่น การวัดระดับน้ำมันเครื่องในรถ ด้วยแท่งวัด (Dipstick) ที่ให้ค่าออกมาเป็นระดับของน้ำมันเครื่องในถังเก็บโดยตรง ส่วน **การวัดระดับโดยอ้อม** (Indirect Level Measurement) เป็นเทคนิคการวัดระดับของของเหลวโดยผ่านตัวแปรอื่นที่มีความสัมพันธ์กับระดับ เช่น กระแสที่ไหลในวงจร เวลาที่คลื่นใช้ในการเดินทาง และอื่นๆ จากนั้นแปลงค่าที่ได้เป็นระดับของของเหลวด้วยกระบวนการทางคณิตศาสตร์

2.2 ข้อพิจารณาในการเลือกเครื่องมือวัดระดับ

เครื่องมือวัดระดับมีหลายประเภท แต่ละประเภทก็จะมีหลักการทำงาน ข้อได้เปรียบและข้อจำกัดที่แตกต่างกันไป ดังนั้นการเลือกเครื่องมือวัดระดับให้ถูกต้องเหมาะสมกับการใช้งานจึงมีความสำคัญและจำเป็นอย่างยิ่ง ข้อพิจารณาในการเลือกเครื่องมือวัดระดับเบื้องต้นมีดังนี้

2.2.1 จุดประสงค์ของการวัดระดับ

การทราบจุดประสงค์ที่แท้จริงของการทำการวัดเป็นสิ่งสำคัญอย่างมาก เพราะจะทำให้ทราบถึงข้อมูลที่ต้องการจากเครื่องวัด และเลือกประเภทการวัดที่เหมาะสมได้ เช่นถ้าผู้ใช้ต้องการระบบป้องกันการล้น และทราบจุดที่ต้องการเติมถังเก็บ เครื่องวัดระดับแบบจุดก็อาจเพียงพอต่อการใช้งาน แต่ถ้าผู้ใช้ต้องการทราบระดับของของเหลวภายในช่วงหนึ่งของถังเก็บ ก็จำเป็นที่จะต้องใช้เครื่องวัดระดับแบบต่อเนื่อง

2.2.2 เงื่อนไขภายในถังเก็บ

เครื่องวัดระดับประเภทต่างๆ สามารถทนต่ออุณหภูมิ และความดันในถังเก็บได้ไม่เท่ากัน สำหรับเครื่องวัดบางประเภท ความแม่นยำของการวัดจะขึ้นกับอุณหภูมิภายในถังเก็บ นอกจากนี้การคน ความปั่นป่วน และไอเหนือของเหลวสามารถทำให้ค่าที่วัดได้เกิดความคลาดเคลื่อนได้

2.2.3 คุณลักษณะของของเหลวที่ทำการวัด

คุณลักษณะของของเหลวอาจส่งผลต่อเครื่องวัดได้ในหลายรูปแบบ ของเหลวที่หนืดอาจอุดที่หัววัด ใสน้ำ ฟองหรือฝุ่นเหนือของเหลวอาจบดบังสัญญาณที่ถูกส่งมา นอกจากนี้ ค่าคงตัวไดอิเล็กตริกของของเหลวอาจทำให้ค่าจากเครื่องวัดระดับแบบความจุไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงไป และของเหลวอาจเคลือบติดหัววัดส่งผลต่อความไว (Sensitivity) ของเครื่องวัดที่อาศัยการสัมผัส

2.2.4 ข้อพิจารณาอื่นๆ

นอกจากข้อพิจารณาที่สำคัญทั้งสามข้างต้นแล้ว ยังมีข้อพิจารณาในประเด็นอื่นๆ เช่น ความเที่ยงตรง (Accuracy) และต้นทุนรวม (Total Cost) ของเครื่องมือวัด รวมทั้งความยากง่ายในการติดตั้ง, ปรับเทียบ, บำรุงรักษา และการใช้งานประจำวัน เป็นต้น

3 หลักการทำงานของเครื่องวัดระดับในอุตสาหกรรม

3.1 อุปกรณ์วัดระดับแบบลอย (Float Level Device)

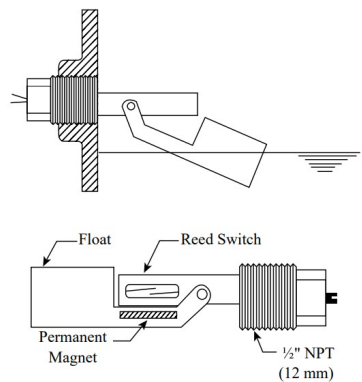
3.1.1 หลักการทำงาน

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

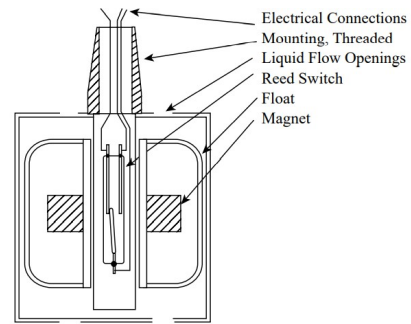
3.1.2 รูปแบบของอุปกรณ์วัดระดับแบบลอย

หลักการของเครื่องวัดระดับแบบลอย อาจนำไปสร้างเป็นเครื่องวัดในอุตสาหกรรมได้หลากหลายรูปแบบ โดยแต่ละรูปแบบก็จะเหมาะสมกับสภาพแวดล้อม และการใช้งานที่ต่างกันไป รูปแบบหลักๆ ของเครื่องวัดระดับแบบลอยสรุปได้ดังนี้

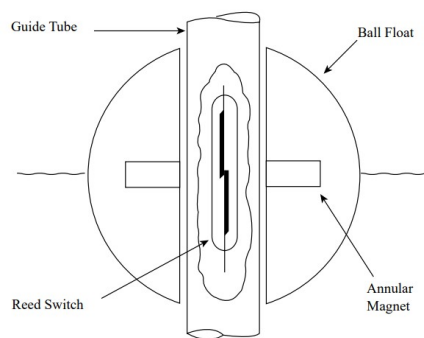
- 1) **สวิทช์ลอยแบบเชื่อมต่อด้วยแม่เหล็ก (Magnetic Coupled Float Switch)** สวิทช์ลอยชนิดนี้ใช้การเชื่อมต่อทางแม่เหล็ก (Magnetic Coupling) ข้ามท่อปิดเพื่อแยกระหว่างของเหลวในกระบวนการและอุปกรณ์สวิทช์ของเครื่องวัด โดยมีโครงสร้างภายในแสดงได้ดังภาพที่ 1 (a) เมื่อระดับของเหลวเพิ่มสูงขึ้น แม่เหล็กที่ติดอยู่จะพลิกกลับขั้วมากระตุ้นสวิทช์ให้เกิดการเปลี่ยนสถานะไป นอกจากนี้ยังอาจใช้หรีดสวิทช์ (Reed Switch) ที่เป็นหน้าสัมผัสขนาดเล็กบรรจุอยู่ในหลอดแก้ว ช่วยลดขนาดและจำนวนส่วนเคลื่อนที่ ดังภาพที่ 1 (b)
- 2) **ลูกลอยและท่อนำ (Float and Guide Tube)** สวิทช์ลอยรูปแบบนี้ประกอบด้วยลูกลอยทรงกลมซึ่งถูกร้อยผ่านท่อนำที่ไม่ติดแม่เหล็ก แม่เหล็กรูปวงแหวนจะถูกฝังอยู่ในลูกลอย และหรีดสวิทช์จะถูกผนึกอยู่ในท่อนำดังภาพที่ 1 (c) ในจุดที่ต้องการ เมื่อระดับของเหลวเพิ่มขึ้น ลูกลอยที่มีแม่เหล็กอยู่ภายใน จะลอยขึ้นตามท่อนำ โดยเมื่อลอยขึ้นถึงตำแหน่งที่ฝังหรีดสวิทช์ไว้ หรีดสวิทช์ก็จะเปลี่ยนสถานะไป
- 3) **สวิทช์เอียง (Tilt Switch)** สวิทช์เอียงเป็นลูกลอยพลาสติกที่ภายในมีสวิทช์ปรอทบรรจุอยู่ และถูกแขวนอย่างอิสระโดยสายเคเบิล ที่ระดับที่ต้องการ (ภาพที่ 1 (d)) เมื่อระดับของเหลวเพิ่มขึ้น



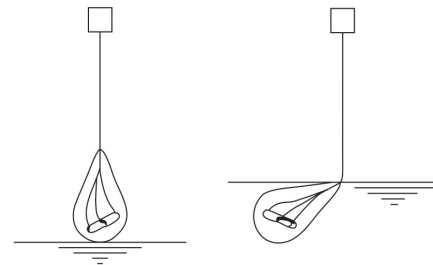
(a) สวิตช์ลอยที่ถูกเชื่อมต่อกับแม่เหล็ก



(b) สวิตช์ลอยแบบ หรีด สวิตช์



(c) ลูกลอยและท่อ นำ



(d) สวิตช์เอียง

ภาพที่ 1: โครงสร้างภายในของสวิตช์ลอยรูปแบบต่างๆ

จนถึงระดับลูกลอย 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 Device)

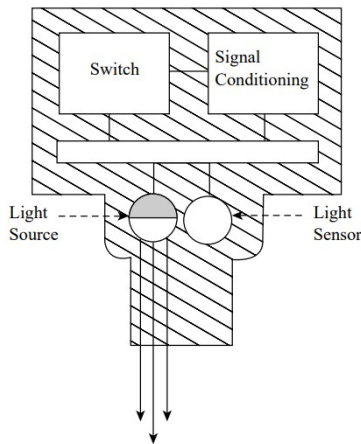
อุปกรณ์วัดระดับทางแสงแบ่งตามหลักการทำงานได้เป็น 3 รูปแบบ ได้แก่การสะท้อน (Reflection), การส่งผ่าน (Transmission) และการหักเห (Refraction) โดยแต่ละรูปแบบก็จะมีข้อได้เปรียบและข้อจำกัดในการใช้งานที่แตกต่างกัน ในรายงานฉบับนี้จะกล่าวถึงรายละเอียดของอุปกรณ์วัดระดับทางแสงที่ใช้หลักการสะท้อน และการหักเหเท่านั้น เนื่องจากอุปกรณ์วัดระดับทางแสงที่ใช้หลักการการส่งผ่าน มักใช้ตรวจจับความหนาของชั้นตะกอนของแข็งภายในของเหลว ซึ่งเกินขอบเขตของหัวข้อรายงานฉบับนี้

3.2.1 หลักการทำงาน

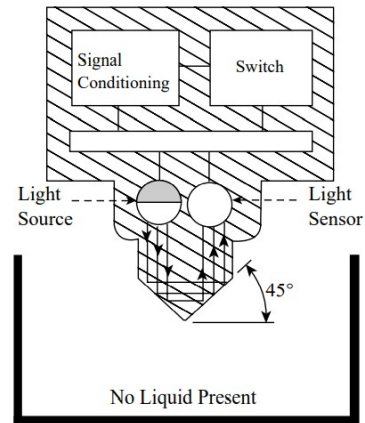
อุปกรณ์วัดระดับทางแสงแบบสะท้อนประกอบด้วยแหล่งกำเนิดแสง และเซนเซอร์ตรวจจับที่เป็นทรานซิสเตอร์ที่ไวต่อแสงหรือโฟโตทรานซิสเตอร์ (Phototransistor) บรรจุอยู่ในตัวถังเดียวกันดังภาพที่ 2 (a) ลำแสงจากแหล่งกำเนิดแสงจะฉายไปยังของเหลวที่ทำการวัด และเมื่อระดับของของเหลวเพิ่มขึ้นจนถึงระดับหนึ่ง ลำแสงจะสะท้อนกลับไปยังเซนเซอร์รับแสง ทำให้โฟโตทรานซิสเตอร์นำกระแส ส่วนอุปกรณ์วัดระดับทางแสงประกอบด้วยแหล่งกำเนิดแสง และเซนเซอร์ตรวจจับ บรรจุอยู่ในตัวถังเดียวกันเช่นเดียวกับอุปกรณ์วัดระดับทางแสงแบบสะท้อน แต่สิ่งที่ต่างออกไปคือที่ปลายของหัววัดระดับจะถูกตัดเฉียง เป็นมุม 45° ดังภาพที่ 2 (b) เมื่อเครื่องวัดถูกล้อมรอบด้วยอากาศ ลำแสงส่วนใหญ่จะสะท้อนกลับหมดภายในปริซึมไปยังเซนเซอร์รับแสง ทำให้โฟโตทรานซิสเตอร์นำกระแส เมื่อระดับของของเหลวที่ทำการวัดเพิ่มสูงขึ้นจนท่วมปริซึม แสงจากแหล่งกำเนิดแสงที่ตกกระทบปริซึมจะเกิดการหักเหเข้าสู่ของเหลวที่ทำการวัด เนื่องจากดัชนีหักเห (Index of Refraction) ของของเหลวส่วนใหญ่จะมากกว่าอากาศ ทำให้โฟโตทรานซิสเตอร์หยุดนำกระแส

3.2.2 ข้อได้เปรียบและข้อจำกัด

อุปกรณ์วัดระดับทางแสงทั้งสองชนิดที่กล่าวมาก็มีข้อได้เปรียบและข้อจำกัดที่แตกต่างกันไป อุปกรณ์วัดระดับทางแสงแบบสะท้อนมีข้อได้เปรียบสำคัญคือ ไม่มีการสัมผัสกับของเหลวที่ทำการวัด จึงสามารถใช้กับของเหลวที่กัดกร่อน เหนียวเหนอะหนะ และเคลือบติดได้ แต่ก็มีข้อเสียตรงที่ของเหลวที่ทำการวัดต้องทึบแสงพอสมควร และต้องไม่มีไอ หรือความปั่นป่วนเหนือของเหลวที่ทำการวัด เพราะจะทำให้การวัดคลาดเคลื่อน ส่วนอุปกรณ์วัดระดับทางแสงแบบหักเหมีข้อดีสำคัญคือมีน้ำหนักเบา ขนาดเล็ก และสามารถตรวจจับของเหลวปริมาณน้อยๆ ได้ แต่เนื่องจากหัววัดสัมผัสกับของเหลวโดยตรง จึงไม่สามารถใช้กับของเหลวที่กัดกร่อน เกาขีด หรือเคลือบติดได้ นอกจากนี้ยังอาจได้ผลบวกสูง (False Positive) หากมีหยดของของเหลวติดอยู่ที่ปลายหัววัด



(a) อุปกรณ์วัดระดับทางแสงแบบสะท้อน



(b) อุปกรณ์วัดระดับทางแสงแบบหักเห

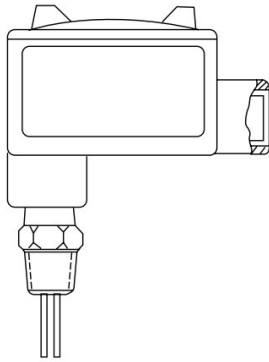
ภาพที่ 2: อุปกรณ์วัดระดับทางแสงประเภทต่างๆ

3.3 สวิตช์ระดับแบบสภาพความนำ (Conductivity-type Level Switch)

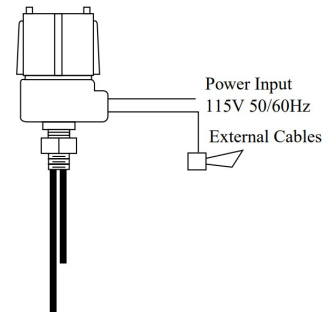
3.3.1 หลักการทำงาน

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 3 (a) เมื่อรอยต่อระหว่างของเหลวและอากาศเพิ่มขึ้นสูงถึงระดับหัววัด ของเหลวจะปิดวงจรทำให้กระแสไหลจากหัววัดหนึ่ง ไปยังอีกหัววัดหนึ่งได้ โดยกระแสนี้จะถูกกำหนดให้มีค่าน้อยๆ อยู่ในระดับไมโครแอมป์ เพื่อป้องกันอันตรายจากไฟฟ้าดูดและการเกิดประกายไฟ และความไวของสวิตช์นี้จะถูกปรับให้เข้ากับสภาพความนำของของเหลวที่ทำการวัด หัววัดทั้งสองอาจมีความยาวไม่เท่ากันดังภาพที่ 3 (b) หรืออาจมีการหน่วงเวลา 0 ถึง 20 วินาที เพื่อให้มีช่วงไร้การตอบสนอง (Dead zone) หรือช่วงสมดุล (Neutral zone) ซึ่งช่วยเพิ่มความเสถียรในกรณีที่มีการกว่นหรือการกระชากภายในถัง



(a) สวิตซ์ระดับแบบสภาพความนำใน
อุตสาหกรรม



(b) แสดงสวิตซ์ระดับแบบสภาพความ
นำที่ถูกตัดปลายหัววัดให้ไม่เท่ากันเพื่อ
เพิ่มเสถียรภาพ

ภาพที่ 3: สวิตซ์ระดับแบบสภาพความนำ

3.3.2 ข้อได้เปรียบและข้อจำกัด

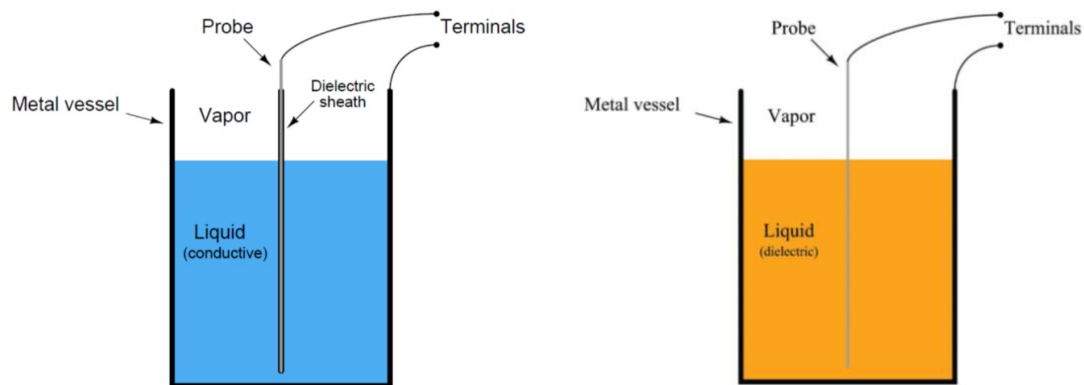
สวิตซ์สภาพความนำมีโครงสร้างและหลักการทำงานที่ไม่ซับซ้อน ไม่มีส่วนเคลื่อนที่ที่สัมผัสกับของเหลว และสามารถนำไปใช้กับของแข็งที่ขึ้นส่วนใหญ่ได้ ในด้านข้อจำกัด สวิตซ์สภาพนำสามารถใช้ได้กับของเหลวที่นำไฟฟ้า ไม่กัดกร่อน และไม่เคลือบติดหัววัดเท่านั้น

3.4 อุปกรณ์วัดระดับแบบความจุไฟฟ้า (Capacitance Level Device)

3.4.1 หลักการทำงาน

อุปกรณ์วัดระดับแบบความจุไฟฟ้า เป็นเครื่องวัดระดับอีกชนิด ที่สามารถวัดระดับได้ทั้งแบบต่อเนื่อง และแบบจุด ส่วนประกอบที่สำคัญของอุปกรณ์วัดระดับแบบความจุไฟฟ้านี้คือหัววัดหรือโพรบที่จุ่มลงไปในของเหลวที่ทำการวัด สัญญาณความถี่วิทยุขนาดคงตัว ที่มีความถี่อยู่ในช่วง 0.1 - 1MHz ถูกป้อนเข้าสู่หัววัด ระดับของของเหลวหาได้จากการตรวจจับกระแสที่ไหลซึ่งเป็นสัดส่วนกับค่าแอดมิตแตนซ์ (Admittance) หรือค่าความจุ (Capacitance) จากแท่งยาวที่เป็นหัววัดนี้ ไปยังอิเล็กทรอนิกส์อื่นหนึ่ง ซึ่งโดยปกติมักจะถูกเลือกให้เป็นผนังของถังเก็บ ในกรณีที่ของเหลวที่ต้องการวัด เป็นตัวนำไฟฟ้า ($\sigma \neq 0$) หัววัดที่จะใช้จำเป็นต้องถูกเคลือบด้วยสารที่เป็นฉนวนไฟฟ้าเสียก่อนดังภาพที่ 4 (a) กรณีนี้ไดอิเล็กตริกที่คั่นระหว่างโพรบและผนังของถังเก็บจะประกอบ ด้วยสามส่วนคือ อากาศที่ล้อมรอบหัววัด ฉนวนที่เคลือบหัววัด และของเหลวที่ต้องการวัด แต่ถ้าหากของเหลวนั้นไม่นำไฟฟ้า เราสามารถนำหัววัดโลหะ จุ่มลงในของเหลวได้โดยตรง (ภาพที่ 4 (a)) โดยของเหลวที่ทำการวัด และอากาศที่ล้อมรอบหัววัด จะทำหน้าที่เป็นไดอิเล็กตริก เมื่อระดับของเหลวเพิ่มขึ้น ค่าความจุจะเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากค่าคงตัวไดอิเล็กตริกของตัวกลาง

มีค่ามากกว่าค่าคงตัวไดอิเล็กตริกของอากาศที่ล้อมรอบ กระแสที่ไหลผ่านหัววัดก็จะเพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย



(a) หัววัดแบบความจุไฟฟ้าในของเหลวที่เป็นตัวนำ

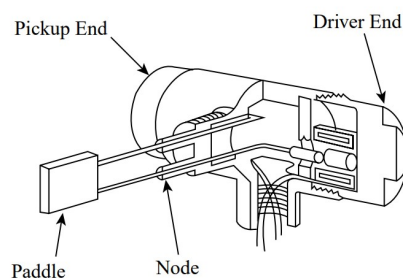
(b) หัววัดแบบความจุไฟฟ้าในของเหลวที่เป็นฉนวน

ภาพที่ 4: หัววัดของเครื่องวัดระดับแบบความจุไฟฟ้าในของเหลวประเภทต่างๆ

3.4.2 ข้อได้เปรียบและข้อจำกัด

อุปกรณ์วัดระดับแบบความจุไฟฟ้ามีโครงสร้างที่ง่าย มีราคาค่อนข้างถูกเมื่อเทียบกับเครื่องวัดระดับในอุตสาหกรรมประเภทอื่นๆ ไม่มีส่วนเคลื่อนที่ และทนต่อการกัดกร่อน แต่ก็อาจเกิดความคลาดเคลื่อนได้จากหลายแหล่งไม่ว่าจะเป็นค่าคงตัวไดอิเล็กตริกของของเหลว รูปทรงทางเรขาคณิตของถังเก็บ และการเคลือบของของเหลวที่นำไฟฟ้าบนหัววัด

3.5 สวิตช์ระดับแบบสั่นสะเทือน (Vibrating Level Switch)



ภาพที่ 5: โครงสร้างภายในอย่างง่ายของสวิตช์ระดับแบบสั่นสะเทือน

3.5.1 หลักการทำงาน

สวิตช์ระดับแบบสั่นสะเทือนประกอบด้วยแหล่งกำเนิดความถี่เพียโซอิเล็กตริก (Piezoelectric Oscillator) ต่อกับหัววัดที่มีลักษณะเป็นแผ่นคล้ายใบมีด และตัวตรวจจับสัญญาณ ดังภาพที่ 5 โดยสัญญาณ

บ่อนกลับที่ได้รับจากตัวตรวจจับจะถูกขยาย และนำไปขับผลึกเปียโซอิเล็กทริกที่ใช้กำเนิดสัญญาณอีกครั้ง ในสภาวะปกติ หัววัดระดับนี้จะสั่นสะเทือนด้วยความถี่ธรรมชาติหนึ่ง แต่เมื่อระดับของวัสดุ (ของเหลวหรือของแข็งที่ทำการวัด) เพิ่มขึ้นจนสัมผัสกับหัววัด การสั่นของหัววัดจะถูกหน่วง (Damped) ทำให้ขนาดและความถี่ของการสั่นสะเทือนลดลง ตัวตรวจจับจึงสั่งการให้รีเลย์ทำการเปลี่ยนสถานะไป

3.5.2 ข้อได้เปรียบและข้อจำกัด

การวัดของสวิตช์ระดับแบบสั่นสะเทือนแทบไม่ได้รับผลกระทบจากการไหล (Flow), ความปั่นป่วน (Turbulence), ฟอง (Foam), การสั่น (Vibration) การเคลือบ (Coating) และการเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะของวัสดุ ทำให้เป็นเทคโนโลยีการวัดระดับที่เชื่อถือได้ และสามารถเข้ากับวัสดุได้หลากหลาย ไม่ว่าจะเป็นของเหลวชนิดต่างๆ, ผงพลาสติก, นมผง, น้ำตาล, ข้าว, ธัญพืช, ฯลฯ นอกจากนี้ยังไม่ต้องมีการปรับเทียบ (Calibration) และมีความสามารถตรวจสอบการทำงานของตนเอง อุปกรณ์สมัยใหม่ที่ใช้ในอุตสาหกรรมสามารถตรวจสอบและรายงานสถานะ และความผิดปกติต่างๆ ทั้งทางไฟฟ้าและทางกลได้อย่างสม่ำเสมอ อย่างไรก็ตาม สวิตช์ระดับแบบสั่นสะเทือนไม่สามารถเข้ากับวัสดุที่มีความหนืดมากๆ เนื่องจากวัสดุอาจจับตัวระหว่างหัววัดทั้งสอง ทำให้เกิดความผิดพลาดได้หากไม่ได้รับการตรวจสอบอย่างสม่ำเสมอ

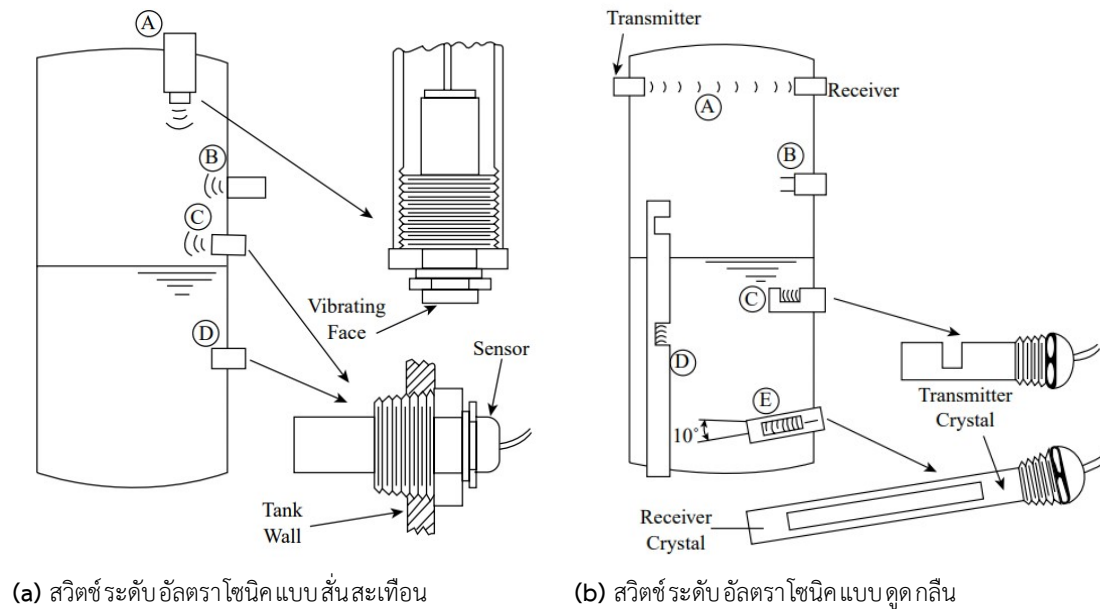
3.6 อุปกรณ์วัดระดับระดับแบบอัลตราโซนิก (Ultrasonic Level Detector)

หลักการการวัดระดับด้วยคลื่นเหนือเสียงหรืออัลตราโซนิกที่มีความถี่ระหว่าง 10 - 70 kHz สามารถนำมาสร้างเป็นเครื่องมือวัดระดับทั้งแบบจุด และแบบต่อเนื่องได้หลากหลายรูปแบบ โดยในรายงานฉบับนี้จะอธิบายแต่เพียงรูปแบบที่สำคัญเท่านั้น

3.6.1 หลักการทำงาน

เครื่องวัดระดับอัลตราโซนิกแบบจุดสามารถแยกได้เป็นสองประเภทใหญ่ๆ คือแบบหน่วงการสั่นสะเทือน (Damped Vibration Type) และแบบดูดกลืน (Absorption Type) โดยแบบหน่วงการสั่นสะเทือน (รูปที่ 6 (a)) มีหลักการคล้ายกับสวิตช์ระดับแบบสั่นสะเทือน กล่าวคือหัววัดจะสั่นสะเทือนด้วยความถี่ธรรมชาติหนึ่ง เมื่อระดับของเหลวเพิ่มขึ้นจนถึงหัววัด ความถี่การสั่นสะเทือนจะถูกหน่วง ทำให้สถานะทางไฟฟ้าของสวิตช์เปลี่ยนไป ส่วนแบบดูดกลืนจะประกอบด้วยตัวส่ง (Transmitter) และตัวรับ (Receiver) จะส่งพัลส์ของคลื่นอัลตราโซนิกไปยังตัวรับผ่านของเหลวที่ต้องการวัด ที่ติดตั้งในรูปแบบต่างๆ (รูปที่ 6 (b)) เมื่อระดับของเหลวเพิ่มขึ้นจนท่วมหัววัด พัลส์คลื่นอัลตราโซนิกจะถูกดูดกลืน ทำให้ตัวรับตรวจจับคลื่นได้น้อยลง ส่วนเครื่องวัดระดับอัลตราโซนิกแบบต่อเนื่อง วัดเวลาที่คลื่นอัลตราโซนิกใช้ในการเดินทางจากตัวส่งที่เป็นลำโพงแบบอัลตราโซนิก (Ultrasonic Speaker) ไปยังพื้นผิว

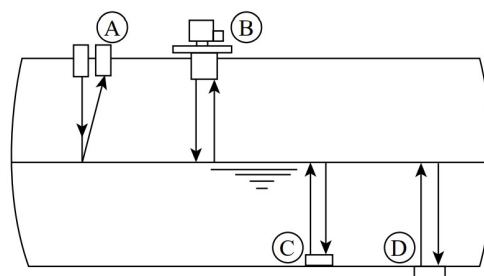
ของวัสดุที่ถูกวัด และสะท้อนกลับมายังตัวรับจานโลหะที่กำทอนทั้งทางไฟฟ้าและทางกล เครื่องวัดชนิดนี้สามารถติดตั้งได้หลายรูปแบบดังภาพที่ 7 ซึ่ง เวลาสะท้อนคลื่นอัลตราโซนิกของเครื่องวัด C และ D จะเป็นตัวบอกระดับที่แท้จริง แต่สำหรับเครื่องวัด A และ B เวลาสะท้อนต้องถูกนำไปคำนวณโดยพิจารณาความสูงที่ติดตั้งเครื่องวัดเสียก่อน จึงจะทราบระดับได้



(a) สวิตช์ระดับอัลตราโซนิกแบบเส้นสะท้อน

(b) สวิตช์ระดับอัลตราโซนิกแบบดูดกลืน

ภาพที่ 6: โครงสร้าง และการติดตั้งเครื่องวัดระดับอัลตราโซนิกแบบจุดประเภทต่างๆ



ภาพที่ 7: ตัววัดระดับอัลตราโซนิกแบบต่อเนื่องประเภทต่างๆ

3.6.2 ข้อได้เปรียบและข้อจำกัด

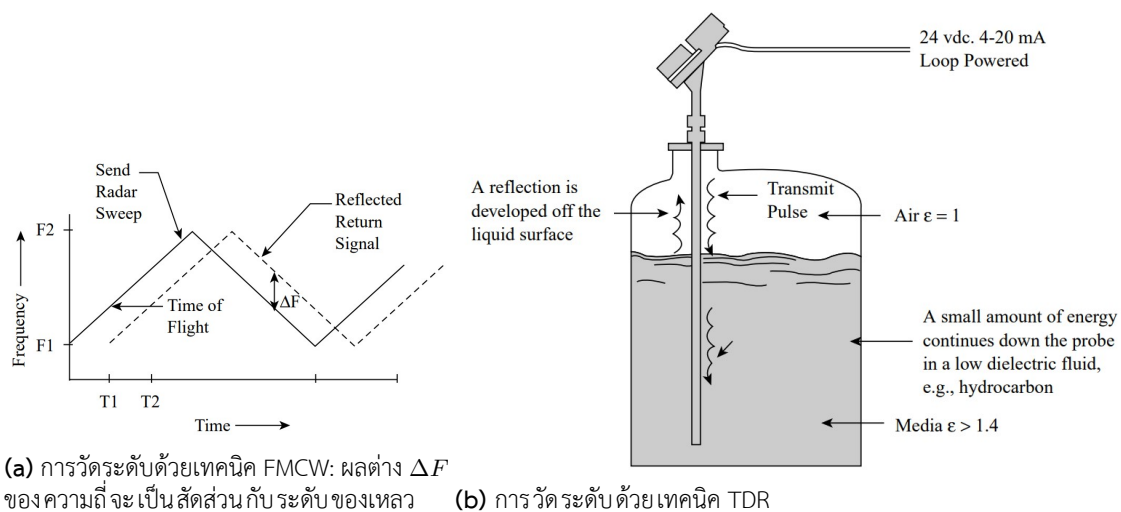
อุปกรณ์วัดระดับระดับอัลตราโซนิกแบบจุดไม่มีส่วนเคลื่อนที่ สามารถออกแบบให้ทำการวัดโดยไม่สัมผัสได้ และบางชนิดสามารถทำการวัดได้โดยไม่ต้องเจาะทะลุถึง ทำให้สามารถวัดระดับของเหลวที่เคลือบติด และเหนียวหนืดได้ นอกจากนี้ความแม่นยำของการวัด จะไม่ขึ้นกับคุณสมบัติต่างๆ ของของเหลวหรือวัสดุที่ทำการวัดเช่น ส่วนประกอบ ความหนาแน่น สภาพความนำไฟฟ้า และค่าคงตัวไดอิเล็กตริก สำหรับอุปกรณ์วัดระดับระดับอัลตราโซนิกแบบต่อเนื่อง การมีตัวชดเชยทางอุณหภูมิ (Temperature Compensator) และระบบปรับเทียบด้วยตนเอง (Automated Self-calibrator) เป็นสิ่งจำเป็น เนื่องจากความเร็วของคลื่นอัลตราโซนิกจะขึ้นกับอุณหภูมิ นอกจากนี้ปัจจัยต่างๆ ที่ลดทอนคลื่นสัญญาณสะท้อนกลับ เช่น ความสูงของถัง ใต้น้ำ และฝุ่นที่อยู่เหนือพื้นผิว รวมทั้งคุณสมบัติการสะท้อนและความหนาแน่นของพื้นผิวของวัสดุที่ทำการวัด ก็ส่งผลต่อความแม่นยำของการวัดเช่นกัน

3.7 อุปกรณ์วัดระดับแบบเรดาร์ (Radar Level Transmitter)

อุปกรณ์วัดระดับแบบเรดาร์ใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งโดยปกติคือคลื่นไมโครเวฟในย่าน K และ X (≈ 6 ถึง 28 GHz) เพื่อทำการวัดระดับของเหลวอย่างต่อเนื่อง อุปกรณ์วัดระดับแบบเรดาร์สามารถแบ่งได้เป็นสองประเภทหลักๆ คือ อุปกรณ์วัดระดับเรดาร์แบบไม่สัมผัส (Non-Contacting Radar Level Transmitter) และ เครื่องวัดระดับเรดาร์แบบบังคับนำคลื่น (Guided Wave Radar Level Transmitter)

3.7.1 หลักการทำงาน

อุปกรณ์วัดระดับเรดาร์แบบไม่สัมผัสมักใช้หลักการ FMCW (Frequency Modulated Continuous Wave) ในการวัด โดยตัวส่งสัญญาณจะทำการกวาดความถี่ (Frequency Sweep) หรือกำเนิดสัญญาณความถี่เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ อย่างเชิงเส้น ภายใต้แบนด์วิดท์ และเวลาการกวาด (Sweep Time) ที่คงตัว ดังภาพที่ 8 (a) คลื่นจากตัวกำเนิดจะสะท้อนกับพื้นผิวของของเหลว กลับมายังตัวตรวจจับที่ตรวจจับความถี่ที่ส่งออก และสะท้อนกลับมาพร้อมๆ กัน ผลต่างของความถี่ที่ส่งไปใหม่ และสะท้อนกลับมา จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับระยะเวลาที่คลื่นใช้ในการเดินทาง (Time of Flight) และระยะห่างระหว่างเครื่องวัดกับพื้นผิวของของเหลว การใช้เทคนิคมอดูเลทความถี่มีข้อได้เปรียบที่สำคัญคือ สัญญาณรบกวนภายในถังเก็บที่อยู่ในโดเมนขนาด (Amplitude Domain) จะไม่มีผลต่อความแม่นยำของการวัด ส่วนอุปกรณ์วัดระดับเรดาร์แบบบังคับนำคลื่นจะทำการวัดระดับด้วยกระบวนการ TDR (Time Domain Reflectometry) คือทำการปล่อยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าความถี่สูงแต่มีขนาดต่ำ ผ่านสายส่ง (Transmission Line), เคเบิล (Cable) หรือตัวบังคับนำคลื่น (Waveguide) แล้วตรวจจับขนาดของสัญญาณที่สะท้อนกลับมาเป็นระยะๆ



ภาพที่ 8: การวัดระดับของเครื่องวัดระดับแบบเรดาร์ด้วยเทคนิค FMCW และ TDR

ระยะเวลาระหว่างสัญญาณที่ส่งออกไป และสะท้อนกลับมากจะสามารถนำมาหาตำแหน่งที่อิมพีแดนซ์ของโพรวัดนี้ไม่ต่อเนื่อง (จุดที่ของเหลวท่วมหัววัดอยู่) ได้ (ภาพที่ 4 (b))

3.7.2 ข้อได้เปรียบและข้อจำกัด

อุปกรณ์วัดระดับแบบเรดาร์เป็นเครื่องวัดที่มีประสิทธิภาพค่อนข้างมาก สามารถใช้กับวัสดุที่ต้องการวัดได้หลากหลาย และมีจุดเด่นสำคัญที่เหนือกว่าอุปกรณ์วัดระดับแบบอัลตราโซนิกคือ อัตราเร็วของคลื่นเรดาร์เปลี่ยนแปลงในตัวกลาง และอุณหภูมิต่างๆ น้อยกว่าอัตราเร็วของคลื่นอัลตราโซนิกมาก แต่อย่างไรก็ตาม อุปกรณ์วัดระดับแบบเรดาร์มีข้อจำกัดคือไม่สามารถใช้ได้เมื่อวัสดุที่ต้องการวัดระดับเป็นฉนวนที่มีค่าคงตัวไดอิเล็กตริกน้อยกว่า 1.4 ($\epsilon < 1.4$) เนื่องจากจะทำให้สัญญาณที่สะท้อนกลับมามีขนาดที่น้อยจนตรวจจับไม่ได้

เครื่องวัดระดับเรดาร์แบบไม่สัมผัสมีข้อเด่นคือไม่สัมผัสกับวัสดุที่ทำการวัด แต่ก็ถูกรบกวนโดยการคนฟอง และการรบกวนจากแหล่งอื่นๆ ได้ง่ายกว่าเครื่องวัดระดับแบบบังคับนำคลื่น ที่ต้องมีหัววัดสัมผัสจุ่มลงไปของเหลว นอกจากนี้ความแม่นยำของการวัดระดับด้วยกระบวนการ FMCW ขึ้นกับความเที่ยงตรงของตัวกำเนิดความถี่ซึ่งสัมพันธ์กับราคาของเครื่องวัด ทำให้เครื่องวัดระดับเรดาร์แบบไม่สัมผัสที่เที่ยงตรงสูงมีราคาแพงมาก

4 บทสรุป

การวัดระดับในอุตสาหกรรมเมื่อมองเผินๆ อาจดูเหมือนว่าเป็นเรื่องไถ่ตัว แต่ถ้าหากพิจารณาสิ่งต่างๆ รอบๆ ตัวเราอย่างละเอียด ก็จะพบได้ว่าการวัดระดับนั้น แท้ที่จริงแล้วเป็นฟันเฟืองที่สำคัญหนึ่งที่ขับเคลื่อนโลกยุคปัจจุบัน น้ำหวานในร้านสะดวกซื้อ กระดาษที่วางอยู่บนโต๊ะ รวมไปถึงแชมพู สบู่เหลวในห้องน้ำและ น้ำยาล้างจานในห้องครัวที่ไม่อาจแยกออกจากวิถีชีวิตของมนุษย์ ล้วนผ่านกระบวนการทางอุตสาหกรรม ที่การวัดระดับมีบทบาทสำคัญในการควบคุมจัดการกระบวนการผลิตทั้งสิ้น การจัดทำรายงานฉบับนี้ นอกจากกลุ่มผู้จัดทำจะได้ศึกษา และค้นคว้าวิธี และหลักการวัดระดับในอุตสาหกรรมจากแหล่งต่างๆ แล้ว ยังทำให้ได้ตระหนักถึงความสำคัญของการวัดและเครื่องมือวัด ที่มีผลต่อการพัฒนาทางอุตสาหกรรม และคุณภาพชีวิตของมนุษย์อีกด้วย อีกสิ่งหนึ่งที่นำทั้งศาสตร์แห่งการวัดระดับนั้นเป็นการผสานเอาองค์ความรู้ต่างๆ เช่น คาน การสะท้อนและหักเหของแสง วงจรไฟฟ้า การสะท้อนของเสียง และการประมวลสัญญาณ เพื่อสร้างเครื่องวัดระดับที่เหมาะสมสอดคล้องกับของเหลว และสภาพการผลิตในอุตสาหกรรมที่หลากหลาย ซึ่งบางชนิดก็มีหลักการทางานที่มีซับซ้อน แต่ขณะเดียวกันก็น่าสนใจอย่างน่าเหลือเชื่อ ในที่สุดแล้ว ไม่มีเครื่องวัดระดับ หรือหลักการวัดระดับใดในโลกที่ดีที่สุดเสมอ มีเพียงแต่เครื่องวัดระดับต่างๆ ที่เหมาะกับการใช้งานในสภาพแวดล้อมนั้นๆ ซึ่งจะต้องถูกเลือกเหมาะสมโดยการพิจารณาเงื่อนไขต่างๆ อย่างละเอียด

บรรณานุกรม

- [1] A.K.Sawhney. *A Course in Electrical and Electronic Measurements and Instrumentation*, volume 1. Karan printing service, 4 edition, 1985.
- [2] Emerson Electric Co. *The Engineer's Guide to Level Measurement*. Emerson Electric Co., 2021.
- [3] Bela G. Liptak. *Process Measurement and Analysis*, volume 1. ISA-The Instrumentation, Systems, and Automation Society, 4 edition, 1995.
- [4] Alan S. Morris. *Measurement and Instrumentation Principles*. Butterworth-Heinemann Linacre House, 2001.
- [5] Alan S. Morris Reza Langari. *Measurement and Instrumentation Theory and Application*. Elsevier Science, 2011.