

คำนำ

รายงานฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของรายวิชา 01026208 ELECTRICAL INSTRUMENTS AND MEASUREMENTS โดยมีจุดประสงค์เพื่อการศึกษาหลักการทำงาน ข้อได้เปรียบ และข้อจำกัดของเครื่องวัดระดับที่ใช้ในอุตสาหกรรมประเภทต่างๆ เนื้อหาของรายงานฉบับนี้ จะเริ่มต้นด้วยการอธิบายถึงประเภทของการวัดระดับต่างๆ แล้วลงรายละเอียดเกี่ยวกับหลักการทำงานของเครื่องวัดระดับในอุตสาหกรรมที่นิยมใช้ 7 ชนิด ได้แก่ เครื่องวัดระดับแบบลอย เครื่องวัดระดับทางแสง สวิตช์ระดับแบบสภาพความนำ สวิตช์ระดับแบบสัมผัส เครื่องวัดระดับแบบความจุไฟฟ้า เครื่องวัดระดับระดับแบบใช้คลื่นเหนือเสียง (อัลตราโซนิก) และเครื่องวัดระดับแบบเรดาร์

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

นายปรีดิ์ คงไทย

นายคนพศ ไชยมนักร (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	เครื่องวัดระดับแบบลอย (Float Level Device)	6
3.2	เครื่องวัดระดับทางแสง (Optical Level Device)	8
3.3	สวิตช์ระดับแบบสภาพความนำ (Conductivity-type Level Switch)	9
3.4	เครื่องวัดระดับแบบความจุไฟฟ้า (Capacitance Level Device)	10
3.5	สวิตช์ระดับแบบสั่นสะเทือน (Vibrating Level Switch)	11
3.6	เครื่องวัดระดับแบบอัลตราโซนิก (Ultrasonic Level Detector)	12
3.7	เครื่องวัดระดับแบบเรดาร์ (Radar Level Transmitter)	14
4	บทสรุป	16

1 บทนำ

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

การวัดระดับมีความสำคัญต่ออุตสาหกรรมเป็นอย่างมาก เพราะการทราบระดับของวัตถุดิบ และผลิตภัณฑ์ในกระบวนการผลิตต่างๆ ทำให้สามารถจัดการระบบการผลิตได้อย่างมีประสิทธิภาพ ช่วยเพิ่มความสามารถในการแข่งขันขององค์กร และที่สำคัญคือช่วยให้กระบวนการผลิตมีความปลอดภัย ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญทำให้ผู้ผลิต 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) หนึ่งใน **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 และของเหลวอาจเคลื่อนติดหัววัดส่งผลต่อความไว (Sensitivity) ของเครื่องวัดที่อาศัยการสัมผัส

2.2.4 ข้อพิจารณาอื่นๆ

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

3 หลักการทำงานของเครื่องวัดระดับในอุตสาหกรรม

3.1 เครื่องวัดระดับแบบลอย (Float Level Device)

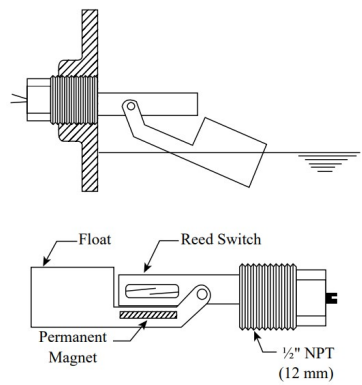
3.1.1 หลักการทำงาน

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

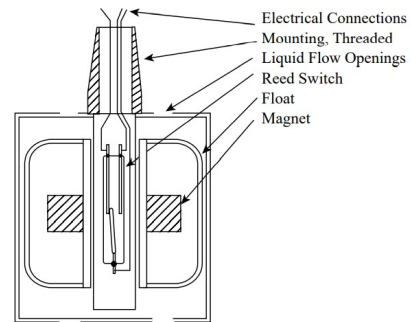
3.1.2 รูปแบบของเครื่องวัดระดับแบบลอย

หลักการของเครื่องวัดระดับแบบลอย อาจนำไปสร้างเป็นเครื่องวัดในอุตสาหกรรมได้หลากหลายรูปแบบ โดยแต่ละรูปแบบก็จะเหมาะสมกับสภาพแวดล้อม และการใช้งานที่ต่างกันไป รูปแบบหลักๆ ของเครื่องวัดระดับแบบลอยสรุปได้ดังนี้

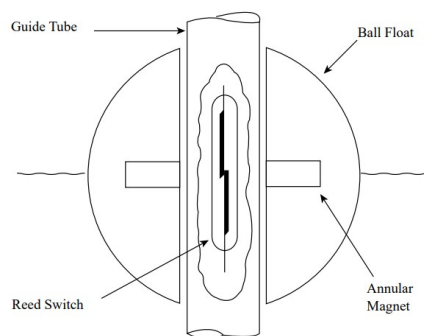
- 1) **สวิทช์ลอยแบบเชื่อมต่อด้วยแม่เหล็ก (Magnetic Coupled Float Switch)** สวิทช์ลอยชนิดนี้ใช้การเชื่อมต่อทางแม่เหล็ก (Magnetic Coupling) ข้ามท่อปิดเพื่อแยกระหว่างของเหลวในกระบวนการและอุปกรณ์สวิทช์ของเครื่องวัด โดยมีโครงสร้างภายในแสดงได้ดังภาพที่ 1 (a) เมื่อระดับของเหลวเพิ่มสูงขึ้น แม่เหล็กที่ติดอยู่จะพลิกกลับลงมากกระตุ้นสวิทช์ให้เกิดการเปลี่ยนสถานะไป 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



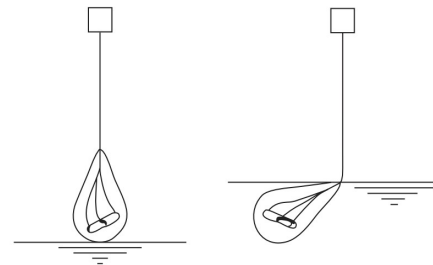
(a) สวิตช์ลอยที่ถูกเชื่อมต่อกับแม่เหล็ก



(b) สวิตช์ลอยแบบ หริต 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 เครื่องวัดระดับทางแสง (Optical Level Device)

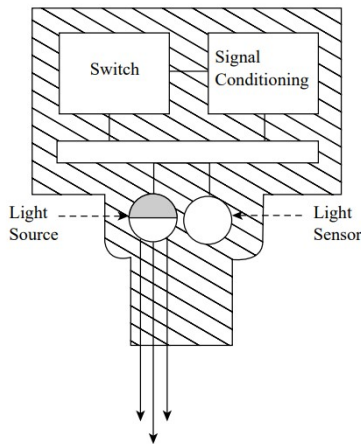
เครื่องวัดระดับทางแสงแบ่งตามหลักการทำงานได้เป็น 3 รูปแบบ ได้แก่การสะท้อน (Reflection), การส่งผ่าน (Transmission) และการหักเห (Refraction) โดยแต่ละรูปแบบก็จะมีข้อได้เปรียบและข้อจำกัดในการใช้งานที่แตกต่างกัน ในรายงานฉบับนี้จะกล่าวถึงรายละเอียดของเครื่องวัดระดับทางแสงที่ใช้หลักการสะท้อน และการหักเหเท่านั้น เนื่องจากเครื่องวัดระดับทางแสงที่ใช้หลักการการส่งผ่าน มักใช้ตรวจจับความหนาของชั้นตะกอนของแข็งภายในของเหลว ซึ่งเกินขอบเขตของหัวข้อรายงานฉบับนี้

3.2.1 หลักการทำงาน

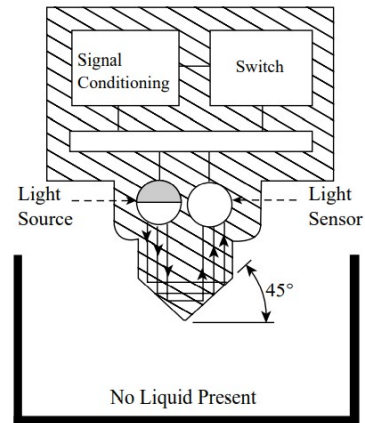
เครื่องวัดระดับทางแสงแบบสะท้อนประกอบด้วยแหล่งกำเนิดแสง และเซนเซอร์ตรวจจับที่เป็นทรานซิสเตอร์ที่ไวต่อแสงหรือโฟโตทรานซิสเตอร์ (Phototransistor) บรรจุอยู่ในตัวถังเดียวกันดังภาพที่ 2 (a) ลำแสงจากแหล่งกำเนิดแสงจะฉายไปยังของเหลวที่ทำการวัด และเมื่อระดับของของเหลวเพิ่มขึ้นจนถึงระดับหนึ่ง ลำแสงจะสะท้อนกลับไปยังเซนเซอร์รับแสง ทำให้โฟโตทรานซิสเตอร์นำกระแส ส่วนเครื่องวัดระดับทางแสงแบบหักเหประกอบด้วยแหล่งกำเนิดแสง และเซนเซอร์ตรวจจับ บรรจุอยู่ในตัวถังเดียวกันเช่นเดียวกับเครื่องวัดระดับทางแสงแบบสะท้อน แต่สิ่งที่ต่างออกไปคือที่ปลายของหัววัดระดับจะถูกตัดเฉียง เป็นมุม 45° ดังภาพที่ 2 (b) เมื่อเครื่องวัดถูกล้อมรอบด้วยอากาศ ลำแสงส่วนใหญ่จะสะท้อนกลับหมดภายในปริซึม ไปยังเซนเซอร์รับแสง ทำให้โฟโตทรานซิสเตอร์นำกระแส เมื่อระดับของของเหลวที่ทำการวัดเพิ่มสูงขึ้นจนท่วมปริซึม แสงจากแหล่งกำเนิดแสงที่ตกกระทบปริซึม จะเกิดการหักเหเข้าสู่ของเหลวที่ทำการวัด เนื่องจากดัชนีหักเห (Index of Refraction) ของของเหลวส่วนใหญ่จะมากกว่าอากาศ ทำให้โฟโตทรานซิสเตอร์หยุดนำกระแส

3.2.2 ข้อได้เปรียบและข้อจำกัด

เครื่องวัดระดับทางแสงทั้งสองชนิดที่กล่าวมาก็มีข้อได้เปรียบและข้อจำกัดที่แตกต่างกันไป เครื่องวัดระดับทางแสงแบบสะท้อนมีข้อได้เปรียบสำคัญคือ ไม่มีการสัมผัสกับของเหลวที่ทำการวัด จึงสามารถใช้กับของเหลวที่กัดกร่อน เหนียวเหนอะหนะ และเคลือบติดได้ แต่ก็มีข้อเสียตรงที่ของเหลวที่ทำการวัดต้องทึบแสงพอสมควร และต้องไม่มีไอ หรือความปั่นป่วนเหนือของเหลวที่ทำการวัด เพราะจะทำให้การวัดคลาดเคลื่อน ส่วนเครื่องวัดระดับทางแสงแบบหักเหมีข้อดีสำคัญคือมีน้ำหนักเบา ขนาดเล็ก และสามารถตรวจจับของเหลวปริมาณน้อยๆ ได้ แต่เนื่องจากหัววัดสัมผัสกับของเหลวโดยตรง จึงไม่สามารถใช้กับของเหลวที่กัดกร่อน เกาะติด หรือเคลือบติดได้ นอกจากนี้ยังอาจได้ผลบวกสูง (False Positive) หากมีหยดของของเหลวติดอยู่ที่ปลายหัววัด



(a) เครื่องวัดระดับทางแสงแบบสะท้อน



(b) เครื่องวัดระดับทางแสงแบบหักเห

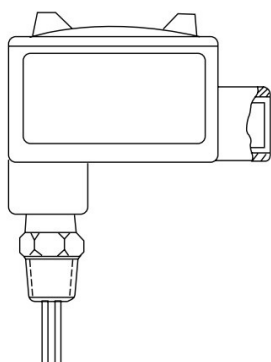
ภาพที่ 2: เครื่องวัดระดับทางแสงประเภทต่างๆ

3.3 สวิตช์ระดับแบบสภาพความนำ (Conductivity-type Level Switch)

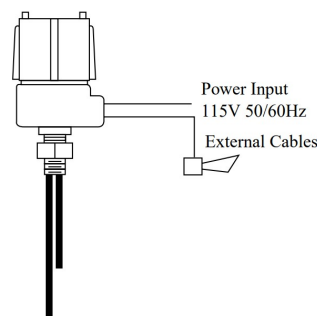
3.3.1 หลักการทำงาน

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 สวิตช์สภาพความนำจึงสามารถแยกแยะระหว่างอากาศและสารละลาย 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) ซึ่งช่วยเพิ่มความเสถียรในกรณีที่มีการกว่นหรือการกระชอกภายในถัง



(a) สวิตซ์ระดับแบบสภาพความนำใน
อุตสาหกรรม



(b) แสดงสวิตซ์ระดับแบบสภาพความ
นำที่ถูกตัดปลายหัววัดให้ไม่เท่ากันเพื่อ
เพิ่มเสถียรภาพ

ภาพที่ 3: สวิตซ์ระดับแบบสภาพความนำ

3.3.2 ข้อได้เปรียบและข้อจำกัด

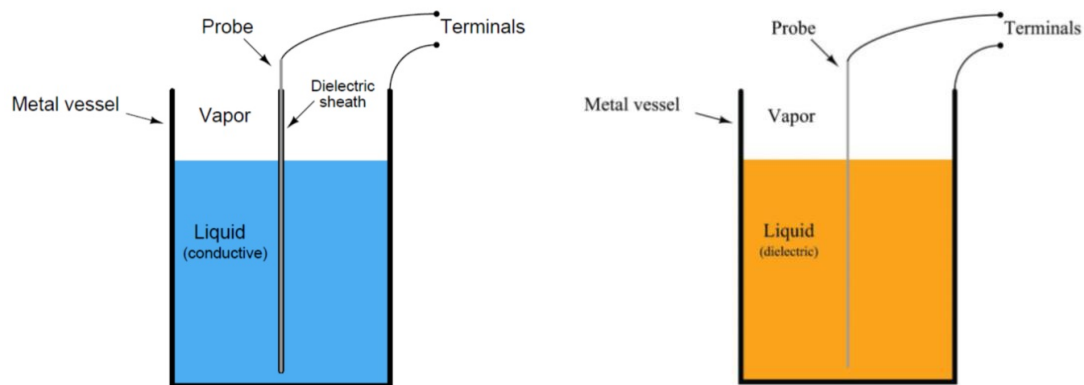
สวิตซ์สภาพความนำมีโครงสร้างและหลักการทำงานที่ไม่ซับซ้อน ไม่มีส่วนเคลื่อนที่ที่สัมผัสกับของเหลว และสามารถนำไปใช้กับของแข็งที่ขึ้นส่วนใหญ่ได้ ในด้านข้อจำกัด สวิตซ์สภาพนำสามารถใช้ได้กับของเหลวที่นำไฟฟ้า ไม่กัดกร่อน และไม่เคลือบติดหัววัดเท่านั้น

3.4 เครื่องวัดระดับแบบความจุไฟฟ้า (Capacitance Level Device)

3.4.1 หลักการทำงาน

เครื่องวัดระดับแบบความจุไฟฟ้า เป็นเครื่องวัดระดับอีกชนิด ที่สามารถวัดระดับได้ทั้งแบบต่อเนื่องและแบบจุด ส่วนประกอบที่สำคัญของเครื่องวัดระดับแบบความจุไฟฟ้านี้คือหัววัดหรือโพรบ ที่จุ่มลงไปของเหลวที่ทำการวัด 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

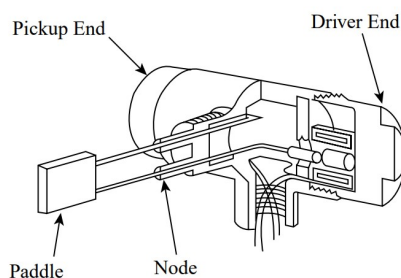
(b) หัววัดแบบความจุไฟฟ้าในของเหลวที่เป็นฉนวน

ภาพที่ 4: หัววัดของเครื่องวัดระดับแบบความจุไฟฟ้าในของเหลวประเภทต่างๆ

3.4.2 ข้อได้เปรียบและข้อจำกัด

เครื่องวัดระดับแบบความจุไฟฟ้ามีโครงสร้างที่ง่าย 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

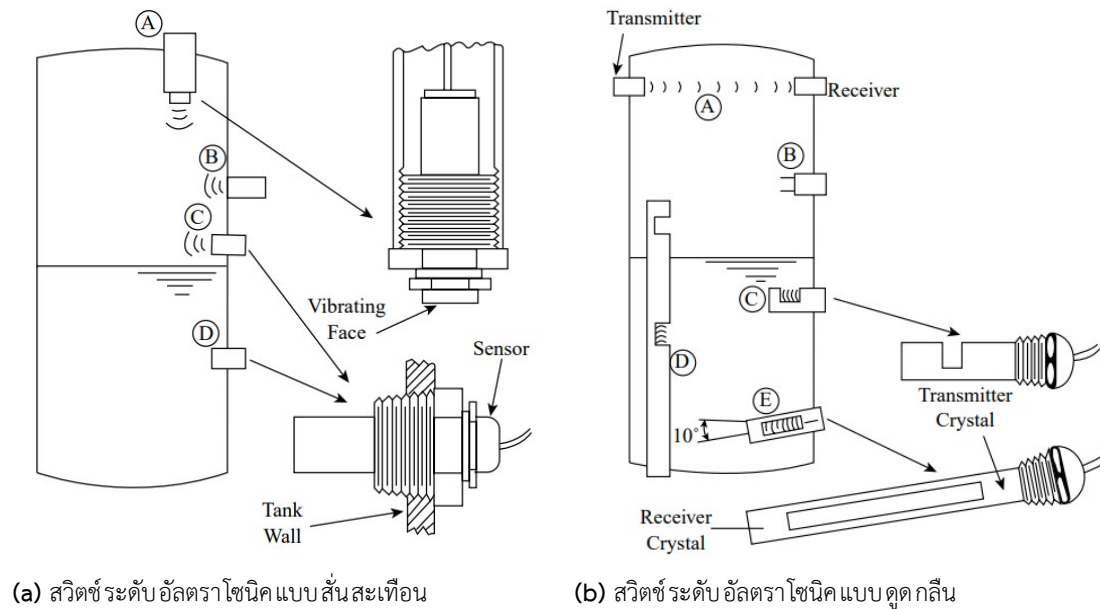
3.6 เครื่องวัดระดับแบบอัลตราโซนิก (Ultrasonic Level Detector)

หลักการการวัดระดับด้วยคลื่นเหนือเสียงหรืออัลตราโซนิกที่มีความถี่ระหว่าง 10 - 70 kHz สามารถนำมาสร้างเป็นเครื่องมือวัดระดับทั้งแบบจุด และแบบต่อเนื่องได้หลากหลายรูปแบบ โดยในรายงานฉบับนี้จะอธิบายแต่เพียงรูปแบบที่สำคัญเท่านั้น

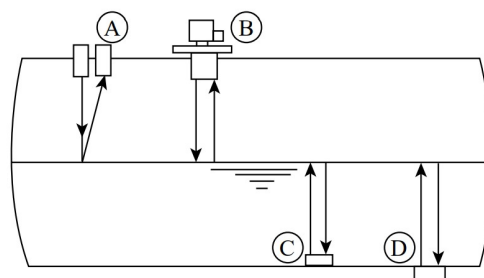
3.6.1 หลักการทำงาน

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



ภาพที่ 6: โครงสร้าง และการติดตั้งเครื่องวัดระดับอัลตราโซนิกแบบจุดประเภทต่างๆ



ภาพที่ 7: ตัววัดระดับอัลตราโซนิกแบบต่อเนื่องประเภทต่างๆ

3.6.2 ข้อได้เปรียบและข้อจำกัด

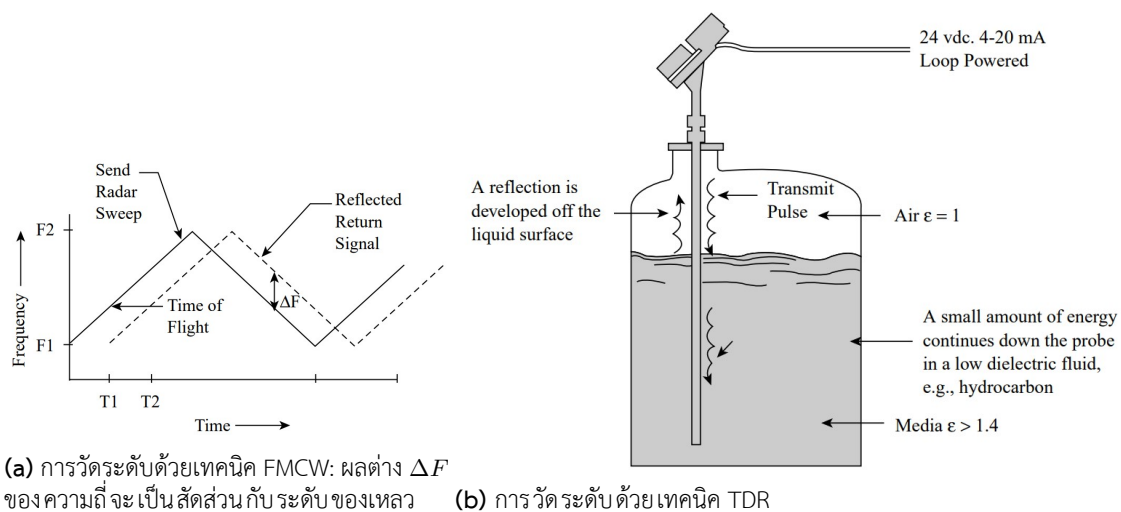
เครื่องวัดระดับระดับอัลตราโซนิกแบบจุดไม่มีส่วนเคลื่อนที่สามารถออกแบบให้ทำการวัดโดยไม่สัมผัสได้ และบางชนิดสามารถทำการวัดได้โดยไม่ต้องเจาะทะลุถัง ทำให้สามารถวัดระดับของเหลวที่เคลือบติดและเหนียวหนืดได้ นอกจากนี้ความแม่นยำของการวัด จะไม่ขึ้นกับคุณสมบัติต่างๆ ของของเหลวหรือวัสดุที่ทำการวัดเช่นส่วนประกอบ ความหนาแน่น สภาพความนำไฟฟ้า และค่าคงตัวไดอิเล็กตริก สำหรับเครื่องวัดระดับระดับอัลตราโซนิกแบบต่อเนื่อง การมีตัวชดเชยทางอุณหภูมิ (Temperature Compensator) และระบบปรับเทียบด้วยตนเอง (Automated Self-calibrator) เป็นสิ่งจำเป็น เนื่องจากความเร็วของคลื่นอัลตราโซนิกจะขึ้นกับอุณหภูมิ นอกจากนี้ปัจจัยต่างๆ ที่ลดทอนคลื่นสัญญาณสะท้อนกลับ เช่น ความสูงของถัง ใต้น้ำ และฝุ่นที่อยู่เหนือพื้นผิว รวมทั้งคุณสมบัติการสะท้อน และความหนาแน่นของพื้นผิวของวัสดุที่ทำการวัด ก็ส่งผลต่อความแม่นยำของการวัดเช่นกัน

3.7 เครื่องวัดระดับแบบเรดาร์ (Radar Level Transmitter)

เครื่องวัดระดับแบบเรดาร์ใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งโดยปกติคือคลื่นไมโครเวฟในย่าน K และ X (≈ 6 ถึง 28 GHz) เพื่อทำการวัดระดับของเหลวอย่างต่อเนื่อง เครื่องวัดระดับแบบเรดาร์สามารถแบ่งได้เป็นสองประเภทหลักๆ คือ **เครื่องวัดระดับเรดาร์แบบไม่สัมผัส** (Non-Contacting Radar Level Transmitter) และ **เครื่องวัดระดับเรดาร์แบบบังคับนำคลื่น** (Guided Wave Radar Level Transmitter)

3.7.1 หลักการทำงาน

เครื่องวัดระดับเรดาร์แบบไม่สัมผัสมักใช้หลักการ **FMCW** (Frequency Modulated Continuous Wave) ในการวัด โดยตัวส่งสัญญาณจะทำการกวาดความถี่ (Frequency Sweep) หรือกำเนิดสัญญาณความถี่เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ อย่างเชิงเส้น ภายใต้แบนวิทซ์ และเวลาการกวาด (Sweep Time) ที่คงตัว ดังภาพที่ 8 (a) คลื่นจากตัวกำเนิดจะสะท้อนกับพื้นผิวของของเหลว กลับมายังตัวตรวจจับที่ตรวจจับความถี่ที่ส่งออก และสะท้อนกลับมาพร้อมๆ กัน ผลต่างของความถี่ที่ส่งไปใหม่ และสะท้อนกลับมา จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับระยะเวลาที่คลื่นใช้ในการเดินทาง (Time of Flight) และระยะห่างระหว่างเครื่องวัดกับพื้นผิวของของเหลว การใช้เทคนิคมอดูเลตความถี่มีข้อได้เปรียบที่สำคัญคือ สัญญาณรบกวนภายในถึงเก็บที่อยู่ในโดเมนขนาด (Amplitude Domain) จะไม่มีผลต่อความแม่นยำของการวัด ส่วนเครื่องวัดระดับเรดาร์แบบบังคับนำคลื่นจะทำการวัดระดับด้วยกระบวนการ **TDR** (Time Domain Reflectometry) คือทำการปล่อยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าความถี่สูงแต่มีขนาดต่ำ ผ่านสายส่ง (Transmission Line), เคเบิล (Cable) หรือตัวบังคับนำคลื่น (Waveguide) แล้วตรวจจับขนาดของสัญญาณที่สะท้อนกลับมาเป็นระยะๆ



ภาพที่ 8: การวัดระดับของเครื่องวัดระดับแบบเรดาร์ด้วยเทคนิค FMCW และ TDR

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

3.7.2 ข้อได้เปรียบและข้อจำกัด

เครื่องวัดระดับแบบเรดาร์เป็นเครื่องวัดที่มีประสิทธิภาพค่อนข้างมาก สามารถใช้กับวัสดุที่ต้องการวัดได้หลากหลาย และมีจุดเด่นสำคัญที่เหนือกว่าเครื่องวัดระดับแบบอัลตราโซนิกคือ อัตราเร็วของคลื่นเรดาร์เปลี่ยนแปลงในตัวกลาง และอุณหภูมิต่างๆ น้อยกว่าอัตราเร็วของคลื่นอัลตราโซนิกมาก แต่อย่างไรก็ตาม เครื่องวัดระดับแบบเรดาร์มีข้อจำกัดคือไม่สามารถใช้ได้เมื่อวัสดุที่ต้องการวัดระดับเป็นฉนวนที่มีค่าคงตัวไดอิเล็กตริก (ϵ) น้อยกว่า 1.4 เนื่องจากค่าไดอิเล็กตริกของตัวกลางที่น้อยจนเกินไปจะทำให้สัญญาณที่สะท้อนกลับมามีขนาดที่น้อยจนตรวจจับไม่ได้

เครื่องวัดระดับเรดาร์แบบไม่สัมผัสมีข้อเด่นคือไม่สัมผัสกับวัสดุที่ทำการวัด แต่ก็ถูกรบกวนโดยการคนฟอง และการรบกวนจากแหล่งอื่นๆ ได้ง่ายกว่าเครื่องวัดระดับแบบบังคับนำคลื่น ที่ต้องมีหัววัดสัมผัสจุ่มลงไปของเหลว นอกจากนี้ความแม่นยำของการวัดระดับด้วยกระบวนการ FMCW ขึ้นกับความเที่ยงตรงของตัวกำเนิดความถี่ซึ่งสัมพันธ์กับราคาของเครื่องวัด ทำให้เครื่องวัดระดับเรดาร์แบบไม่สัมผัสที่เที่ยงตรงสูงมีราคาแพงมาก

4 บทสรุป

การวัดระดับในอุตสาหกรรมเมื่อมองเผินๆ อาจดูเหมือนว่าเป็นเรื่องไถ่ตัว แต่ถ้าหากพิจารณาสิ่งต่างๆ รอบๆ ตัวเราอย่างละเอียด ก็จะได้พบได้ว่าการวัดระดับนั้น 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.