

## คำนำ

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

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

นายปรีดิ์ คงไทย

นายคณพศ ไชยมณีกร (บรรณาธิการ)

นายญาณันธร เชิดชูไทย

นายธนภุต กิตติบรรพชา

นางสาวนันท์นภัส แดงเรือง

นายนิธิศ อรัญवास

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	สวิตช์ระดับแบบสั่นสะเทือน (Vibrating Level Switch) . . . . .	9
3.4.1	หลักการทำงาน . . . . .	9
3.4.2	ข้อได้เปรียบและข้อจำกัด . . . . .	9
3.5	ความจุ . . . . .	10
3.6	อุปกรณ์วัดระดับระดับอัลตราโซนิก (Ultrasonic Level Detectors) . . . . .	10
3.6.1	หลักการทำงาน . . . . .	10
3.6.2	ข้อได้เปรียบและข้อจำกัด . . . . .	10
3.7	อุปกรณ์วัดระดับแบบเรดาร์ . . . . .	11
3.7.1	หลักการทำงาน . . . . .	11
3.7.2	ข้อได้เปรียบและข้อจำกัด . . . . .	12
4	บรรณานุกรม	12

# 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 ( $\approx 3$  มิลลิเมตร) จึงอาจส่งผลต่อมูลค่าของสินค้าได้อย่างมหาศาล โดยปกติเครื่องวัดที่ใช้วัดระดับในการซื้อขาย โอนกรรมสิทธิ์ในสินค้าตามกฎหมายจะมีความคลาดเคลื่อนในการวัดระดับน้อยกว่า  $\frac{1}{16}$  นิ้ว ( $\approx 1$  มิลลิเมตร) และได้รับการอนุมัติจากหน่วยงานทางมาตรวิทยา

## 2 ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับการวัดระดับ และเครื่องวัดระดับ

### 2.1 ระบบวัดถั่ง

### 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  $45^\circ$  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- $\sigma$ ) เป็นคุณสมบัติของวัสดุ ซึ่งถูกนิยามให้เป็นความนำ (Conductance-  $G$ ) หรือส่วนกลับของความต้านทาน (Resistance- $R$ ) ของวัสดุหนึ่ง ที่มีพื้นที่หน้าตัด  $1 \text{ cm}^2$  และยาว  $1 \text{ cm}$  (หน่วยของสภาพความนำคือ  $\text{mS}\cdot\text{cm}^{-1}$ ) สำหรับของเหลวหรือสารละลาย (Solution) สภาพความนำเป็นฟังก์ชันของจำนวนไอออนที่มีประจุที่อยู่ในของเหลวนั้นๆ ซึ่งโดยปกติแล้วจะมีมากกว่าในอากาศ ดังนั้นถ้าวงจรไฟฟ้าถูกปิดโดยสารรอบๆ ปลายหัววัดหนึ่ง กระแสที่ไหลผ่านเมื่อหัววัดนี้ถูกจุ่มลงในสารละลายจะมากกว่ากระแสที่ไหลเมื่อหัววัดนี้ถูกล้อมรอบด้วยอากาศ อาศัยหลักการนี้ สวิตช์สภาพความนำจึงสามารถแยกระหว่างอากาศและสารละลาย หรือระหว่างสารละลายที่นำไฟฟ้า และสารละลายที่ไม่นำไฟฟ้าได้

พิจารณาสวิตช์สภาพความนำดังภาพที่ (\*) เมื่อรอยต่อระหว่างของเหลวและอากาศเพิ่มขึ้นสูงถึงระดับหัววัด ของเหลวจะปิดวงจรทำให้กระแสไหลจากหัววัดหนึ่ง ไปยังอีกหัววัดหนึ่งได้ โดยกระแสนี้จะถูกกำหนดให้มีค่าน้อยๆ อยู่ในระดับไมโครแอมป์ เพื่อป้องกันอันตรายจากไฟฟ้าดูดและการเกิดประกายไฟ และความไวของสวิตช์นี้จะถูกปรับให้เข้ากับสภาพความนำของของเหลวที่ทำการวัด 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 สวิตช์ระดับแบบสั่นสะเทือน (Vibrating Level Switch)

#### 3.4.1 หลักการทำงาน

สวิตช์ระดับแบบสั่นสะเทือนประกอบด้วยแหล่งกำเนิดความถี่เพียโซอิเล็กทริก (Piezoelectric Oscillator) ต่อกับหัววัดที่มีลักษณะเป็นแผ่นคล้ายใบมีด และตัวตรวจจับสัญญาณ ดังภาพที่ (\*) โดยสัญญาณป้อนกลับที่ได้รับจากตัวตรวจจับจะถูกขยาย และนำไปขับผลึกเพียโซอิเล็กทริกที่ใช้กำเนิดสัญญาณอีกครั้ง ในสภาวะปกติ หัววัดระดับนี้จะสั่นสะเทือนด้วยความถี่ธรรมชาติหนึ่ง แต่เมื่อระดับของวัสดุ (ของเหลว หรือของแข็งที่ทำการวัด) เพิ่มขึ้นจนสัมผัสกับหัววัด การสั่นของหัววัดจะถูกหน่วง (Damped) ทำให้ขนาดและความถี่ของการสั่นสะเทือนลดลง ตัวตรวจจับจึงสั่งการให้รีเลย์ทำการเปลี่ยนสถานะไป

#### 3.4.2 ข้อได้เปรียบและข้อจำกัด

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

### 3.5 ความจุ

### 3.6 อุปกรณ์วัดระดับระดับอัลตราโซนิก (Ultrasonic Level Detectors)

หลักการการวัดระดับด้วยคลื่นเหนือเสียงหรืออัลตราโซนิกที่มีความถี่ระหว่าง 10 - 70 kHz สามารถนำมาสร้างเป็นเครื่องมือวัดระดับทั้งแบบจุด และแบบต่อเนื่องได้หลากหลายรูปแบบ โดยในรายงานฉบับนี้จะอธิบายแต่เพียงรูปแบบที่สำคัญเท่านั้น

#### 3.6.1 หลักการทำงาน

เครื่องวัดระดับอัลตราโซนิกแบบจุดสามารถแยกได้เป็นสองประเภทใหญ่ๆ คือแบบหน่วงการสั่นสะเทือน (Damped Vibration Type) และแบบดูดกลืน (Absorption Type) โดยแบบหน่วงการสั่นสะเทือน (รูปที่ \*) มีหลักการคล้ายกับสวิตช์ระดับแบบสั่นสะเทือน กล่าวคือหัววัดจะสั่นสะเทือนด้วยความถี่ธรรมชาติหนึ่ง เมื่อระดับของเหลวเพิ่มขึ้นจนถึงหัววัด ความถี่การสั่นสะเทือนจะถูกหน่วง ทำให้สถานะทางไฟฟ้าของสวิตช์เปลี่ยนไป ส่วนแบบดูดกลืนจะประกอบด้วยตัวส่ง (Transmitter) และตัวรับ (Receiver) จะส่งพัลส์ของคลื่นอัลตราโซนิกไปยังตัวรับผ่านของเหลวที่ต้องการวัด ที่ติดตั้งในรูปแบบต่างๆ (รูปที่ \*) เมื่อระดับของเหลวเพิ่มขึ้นจนท่วมหัววัด พัลส์คลื่นอัลตราโซนิกจะถูกดูดกลืน ทำให้ตัวรับตรวจจับคลื่นได้น้อยลง ส่วนเครื่องวัดระดับอัลตราโซนิกแบบต่อเนื่อง วัดเวลาที่คลื่นอัลตราโซนิกใช้ในการเดินทางจากตัวส่งที่เป็นลำโพงแบบอัลตราโซนิก (Ultrasonic Speaker) ไปยังพื้นผิวของวัสดุที่ถูกวัด และสะท้อนกลับมายังตัวรับ จากนั้นโลหะที่กำทอนทั้งทางไฟฟ้าและทางกล เครื่องวัดชนิดนี้สามารถติดตั้งได้หลายรูปแบบดังภาพที่ \* ซึ่งเวลาสะท้อนคลื่นอัลตราโซนิกของเครื่องวัด C และ D จะเป็นตัวบอกระดับที่แท้จริง แต่สำหรับเครื่องวัด A และ B เวลาสะท้อนต้องถูกนำไปคำนวณโดยพิจารณาความสูงที่ติดตั้งเครื่องวัดเสียก่อน จึงจะทราบระดับได้

#### 3.6.2 ข้อได้เปรียบและข้อจำกัด

อุปกรณ์วัดระดับระดับอัลตราโซนิกแบบจุดไม่มีส่วนเคลื่อนที่ สามารถออกแบบให้ทำการวัดโดยไม่สัมผัสได้ และบางชนิดสามารถทำการวัดได้โดยไม่ต้องเจาะทะลุถึง ทำให้สามารถวัดระดับของเหลวที่เคลือบติด

และเหนียวหนืดได้ นอกจากนี้ความแม่นยำของการวัด จะไม่ขึ้นกับคุณสมบัติต่างๆ ของของเหลวหรือวัสดุ ที่ทำการวัดเช่นส่วนประกอบ ความหนาแน่น สภาพความนำไฟฟ้า และค่าคงตัวไดอิเล็กตริก สำหรับอุปกรณ์ วัดระดับระดับอัลตราโซนิกแบบต่อเนื่อง การมีตัวชดเชยทางอุณหภูมิ (Temperature Compensator) และระบบปรับเทียบด้วยตนเอง (Automated Self-calibrator) เป็นสิ่งจำเป็น เนื่องจากความเร็วของคลื่น อัลตราโซนิกจะขึ้นกับอุณหภูมิ นอกจากนี้ปัจจัยต่างๆ ที่ลดทอนคลื่นสัญญาณสะท้อนกลับ เช่น ความสูงของถัง ใต้น้ำ และฝุ่นที่อยู่เหนือพื้นผิว รวมทั้งคุณสมบัติการสะท้อน และความหนาแน่นของพื้นผิวของวัสดุที่ทำการวัด ก็ส่งผลต่อความแม่นยำของการวัดเช่นกัน

### 3.7 อุปกรณ์วัดระดับแบบเรดาร์

อุปกรณ์วัดระดับแบบเรดาร์ใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งโดยปกติคือคลื่นไมโครเวฟในย่าน K และ X ( $\approx 6$  ถึง 28 GHz) เพื่อทำการวัดระดับของเหลวอย่างต่อเนื่อง อุปกรณ์วัดระดับแบบเรดาร์สามารถแบ่งได้เป็นสอง ประเภทหลักๆ คือ อุปกรณ์วัดระดับเรดาร์แบบไม่สัมผัส (Non-Contacting Radar Level Transmittor) และ เครื่องวัดระดับเรดาร์แบบบังคับนำคลื่น (Guided Wave Radar Level Transmittor)

#### 3.7.1 หลักการทำงาน

อุปกรณ์วัดระดับเรดาร์แบบไม่สัมผัสมักใช้หลักการ FMCW (Frequency Modulated Continuous Wave) ในการวัด โดยตัวส่งสัญญาณจะทำการกวาดความถี่ (Frequency Sweep) หรือกำหนดสัญญาณความถี่ เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ อย่างเชิงเส้น ภายใต้แบนวิทซ์ และเวลาการกวาด (Sweep Time) ที่คงตัว ดังภาพที่ (\*) คลื่นจากตัวกำเนิดจะสะท้อนกับพื้นผิวของของเหลว กลับมายังตัวตรวจจับที่ตรวจจับความถี่ที่ส่งออก และสะท้อนกลับมาพร้อมๆ กัน ผลต่างของความถี่ที่ส่งไปใหม่ และสะท้อนกลับมา จะเป็นสัดส่วนโดยตรง กับระยะเวลาที่คลื่นใช้ในการเดินทาง (Time of Flight) และระยะห่างระหว่างเครื่องวัดกับพื้นผิวของ ของเหลว การใช้เทคนิคมอดูเลทความถี่มีข้อได้เปรียบที่สำคัญคือ สัญญาณรบกวนภายในถังเก็บที่อยู่ใน โดเมนขนาด (Amplitude Domain) จะไม่มีผลต่อความแม่นยำของการวัด ส่วนอุปกรณ์วัดระดับเรดาร์แบบ บังคับนำคลื่นจะทำการวัดระดับด้วยกระบวนการ TDR (Time Domain Reflectometry) คือทำการปล่อย คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าความถี่สูงแต่มีขนาดต่ำ ผ่านสายส่ง (Transmission Line), เคเบิล (Cable) หรือตัวบังคับ

นำคลื่น (Waveguide) แล้วตรวจจับขนาดของสัญญาณที่สะท้อนกลับมาเป็นระยะๆ ระยะเวลาระหว่างสัญญาณที่ส่งออกไป และสะท้อนกลับจะสามารถนำมาหาตำแหน่งที่อิมพีแดนซ์ของโพรบวัดนี้ไม่ต่อเนื่อง (จุดที่ของเหลวท่วมหัววัดอยู่) ได้ (ภาพที่ \*)

### 3.7.2 ข้อได้เปรียบและข้อจำกัด

อุปกรณ์วัดระดับแบบเรดาร์เป็นเครื่องวัดที่มีประสิทธิภาพค่อนข้างมาก สามารถใช้กับวัสดุที่ต้องการวัดได้หลากหลาย และมีจุดเด่นสำคัญที่เหนือกว่าอุปกรณ์วัดระดับแบบอัลตราโซนิกคือ อัตราเร็วของคลื่นเรดาร์เปลี่ยนแปลงในตัวกลาง และอุณหภูมิต่างๆ น้อยกว่าอัตราเร็วของคลื่นอัลตราโซนิกมาก แต่อย่างไรก็ตาม อุปกรณ์วัดระดับแบบเรดาร์มีข้อจำกัดคือไม่สามารถใช้ได้เมื่อวัสดุที่ต้องการวัดระดับเป็นฉนวนที่มีค่าคงตัวไดอิเล็กตริกน้อยกว่า 1.4 ( $\epsilon < 1.4$ ) เนื่องจากจะทำให้สัญญาณที่สะท้อนกลับมามีขนาดที่น้อยจนตรวจจับไม่ได้ เครื่องวัดระดับเรดาร์แบบไม่สัมผัสข้อเด่นคือไม่สัมผัสกับวัสดุที่ต้องการวัด แต่ก็ถูกรบกวนโดยการคน ฟอง และการรบกวนจากแหล่งอื่นๆ ได้ง่ายกว่าเครื่องวัดระดับแบบบังคับนำคลื่น ที่ต้องมีหัววัดสัมผัสจมลงไปในของเหลว นอกจากนี้ความแม่นยำของการวัดระดับด้วยกระบวนการ FMCW ขึ้นกับความเที่ยงตรงของตัวกำเนิดความถี่ ซึ่งสัมพันธ์กับราคาของเครื่องวัด ทำให้เครื่องวัดระดับเรดาร์แบบไม่สัมผัสที่เที่ยงตรงสูงมีราคาแพงมาก

## 4 บรรณานุกรม