

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 จิรสุวรรณกุล ผู้ให้ความรู้และแนวทางการศึกษา และขอขอบคุณเพื่อน ๆ ทุกคนในคณะวิศวกรรมศาสตร์ สจล. ที่ให้ความช่วยเหลือมาโดยตลอด กลุ่มผู้จัดทำหวังว่ารายงานฉบับนี้จะให้ความรู้ แนวทางเกี่ยวกับการวัดระดับในอุตสาหกรรม ที่เป็นประโยชน์แก่ผู้สนใจทุกๆ ท่านบ้างไม่มากก็น้อย

นายปรีดี คงไทย

นายคณพศ ไชยมณีกร (บรรณาธิการ)

นายญาณันธร เชิดชูไทย

นายธนกฤต กิตติบรรพชา

นางสาวนันท์นภัส แดงเรือง

นายนิธิศ อรัญवास

นายริมทวีป กุสุตใจ

สารบัญ

1	บทนำ	3
2	ประเภทของเครื่องวัดระดับ	4
2.1	เครื่องวัดระดับแบบจุด และต่อเนื่อง	4
2.2	เครื่องวัดระดับแบบสัมผัส และไม่สัมผัส	4
2.3	เครื่องวัดระดับแบบวัดโดยตรง และโดยอ้อม	4
2.4	เครื่องวัดระดับจากล่างขึ้นบน และจากบนลงล่าง	4
3	หลักการทำงานของเครื่องวัดระดับในอุตสาหกรรม	5
3.1	อุปกรณ์วัดระดับแบบลอย (Float Level Device)	5
3.2	อุปกรณ์วัดระดับทางแสง (Optical Level Device)	7
3.3	สวิตช์ระดับแบบสภาพความนำ (Conductivity-type Level Switch)	8
3.4	อุปกรณ์วัดระดับแบบความจุไฟฟ้า (Capacitance Level Device)	10
3.5	สวิตช์ระดับแบบสั่นสะเทือน (Vibrating Level Switch)	11
3.6	อุปกรณ์วัดระดับแบบอัลตราโซนิก (Ultrasonic Level Detector)	12
3.7	อุปกรณ์วัดระดับแบบเรดาร์ (Radar Level Transmitter)	14
4	บรรณานุกรม	15

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 และ ประชาชนโดยรอบสถานที่ผลิต 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 ประเภทของเครื่องวัดระดับ

เครื่องวัดระดับ

2.1 เครื่องวัดระดับแบบจุด และต่อเนื่อง

2.2 เครื่องวัดระดับแบบสัมผัส และไม่สัมผัส

2.3 เครื่องวัดระดับแบบวัดโดยตรง และโดยอ้อม

เครื่องวัดระดับโดยตรง (Direct Level Measurement Device) จะวัดระดับของเหลวโดยไม่ผ่านตัวแปรอื่น ตัวอย่างเช่น แท่งวัดน้ำมันเครื่องในรถที่ให้ค่าออกมาเป็นระดับของน้ำมันเครื่องในถังเก็บโดยตรง ส่วน **เครื่องวัดระดับโดยอ้อม** (Indirect Level Measurement Device) จะวัดระดับของของเหลวผ่านตัวแปรอื่นที่มีความสัมพันธ์กับระดับ เช่น กระแสที่ไหลในวงจร เวลาที่คลื่นใช้ในการเดินทาง และอื่นๆ จากนั้นแปลงค่าที่ได้เป็นระดับของของเหลวด้วยกระบวนการทางคณิตศาสตร์

2.4 เครื่องวัดระดับจากล่างขึ้นบน และจากบนลงล่าง

3 หลักการทำงานของเครื่องวัดระดับในอุตสาหกรรม

3.1 อุปกรณ์วัดระดับแบบลอย (Float Level Device)

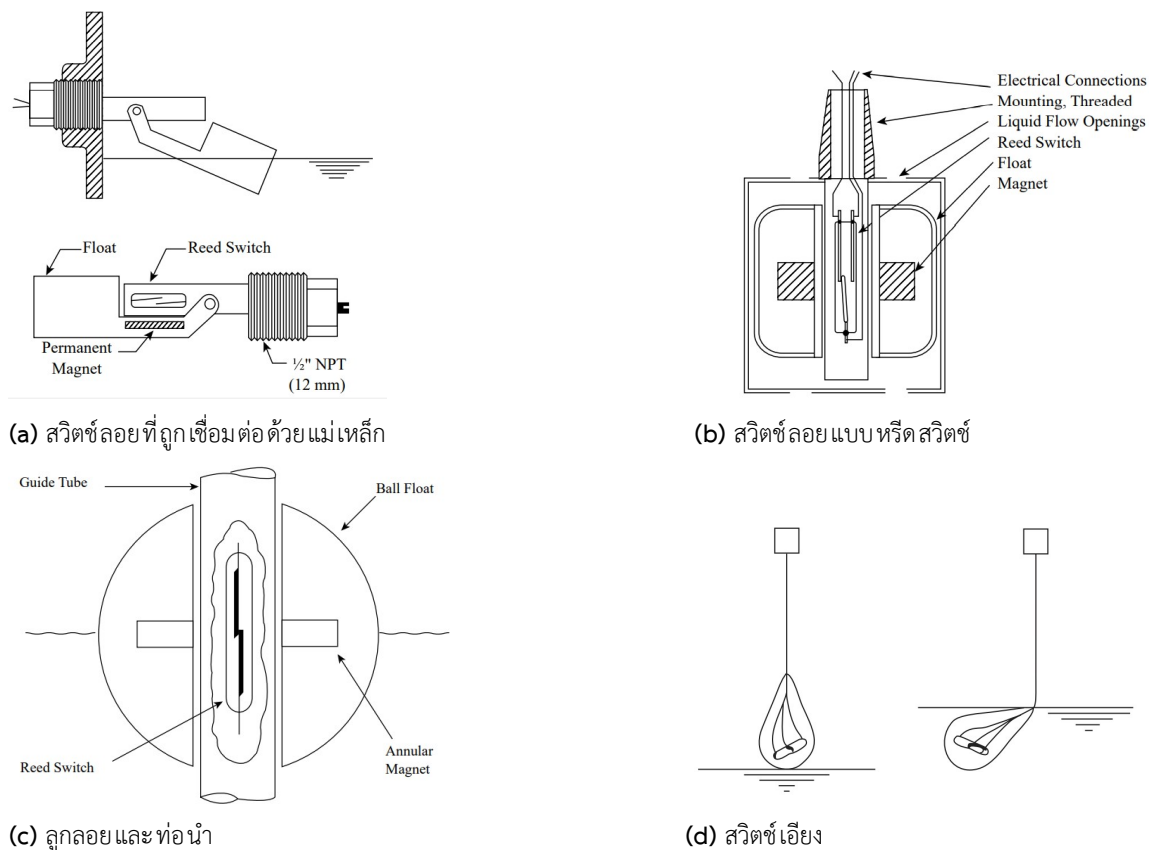
3.1.1 หลักการทำงาน

อุปกรณ์วัดระดับแบบลอย เป็นเครื่องวัดระดับที่มีหลักการทำงานง่ายที่สุดแบบหนึ่ง โดยเครื่องวัดระดับแบบลอยอย่างง่าย จะประกอบด้วยลูกลอยที่เป็นวัสดุลอยน้ำทรงกลม (Spherical) ทรงกระบอก (Cylindrical) หรือเป็นทรงรีคล้ายแคปซูลยา (Oblong) ที่ถูกติดอยู่กับก้านกลไก เมื่อนำวัสดุลอยน้ำนี้ไปลอยน้ำ การเคลื่อนที่ของก้านกลไกจะเป็นไปโดยสอดคล้องกับระดับน้ำ และสามารถเป็นตัวบอกระดับบนแผ่นเกจ (Gauge 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 แม่เหล็กที่ติดอยู่จะพลิกกลับลงมากระตุ้นสวิทช์ให้เกิดการเปลี่ยนสถานะไป นอกจากนี้ยังอาจใช้หรีดสวิทช์ (Reed Switch) ที่เป็นหน้าสัมผัสขนาดเล็กบรรจุอยู่ในหลอดแก้ว ช่วยลดขนาดและจำนวนส่วนเคลื่อนที่ ดังภาพที่ 1 (b)
- 2) **ลูกลอยและท่อนำ (Float and Guide Tube)** สวิทช์ลอยรูปแบบนี้ประกอบด้วยลูกลอยทรงกลมซึ่งถูกร้อยผ่านท่อนำที่ไม่ติดแม่เหล็ก แม่เหล็กรูปร่างวงแหวนจะถูกฝังอยู่ในลูกลอย และหรีดสวิทช์จะถูกผนึกอยู่ในท่อนำดังภาพที่ 1 (c) ในจุดที่ต้องการ เมื่อระดับของเหลวเพิ่มขึ้น ลูกลอยที่มีแม่เหล็กอยู่ภายในจะลอยขึ้นตามท่อนำ โดยเมื่อลอยขึ้นถึงตำแหน่งที่ฝังหรีดสวิทช์ไว้ หรีดสวิทช์ก็จะเปลี่ยนสถานะไป



ภาพที่ 1: โครงสร้างภายในของสวิตช์ลอยรูปแบบต่างๆ

3) **สวิตช์เอียง (Tilt Switch)** สวิตช์เอียงเป็นลูกลอยพลาสติกที่ภายในมีสวิตช์ปรอทบรรจุอยู่ และถูกแขวนอย่างอิสระโดยสายเคเบิล ที่ระดับที่ต้องการ (ภาพที่ 1 (d)) เมื่อระดับของเหลวเพิ่มขึ้นจนถึงระดับลูกลอย ลูกลอยจะเอียง และสวิตช์ปรอทจะเปลี่ยนสถานะ สวิตช์ลอยลักษณะนี้จะได้กับการใช้งานภายใต้อุณหภูมิห้องและความดันบรรยากาศเท่านั้น

3.1.3 ข้อได้เปรียบและข้อจำกัด

เครื่องวัดระดับแบบลอยมีหลักการทำงานที่ง่าย มีโครงสร้างไม่ซับซ้อนและส่วนประกอบไม่มาก ทำให้สามารถบำรุงรักษา ซ่อมแซมได้ง่าย และเชื่อถือได้เป็นอย่างมาก นอกจากนี้เครื่องวัดระดับแบบลอยบางรูปแบบยังสามารถทำงานภายใต้อุณหภูมิและความดันที่สูง อย่างไรก็ตาม เครื่องวัดระดับแบบลอยเป็น

อุปกรณ์เฉื่อยงาน (Passive) ที่ไม่มีระบบตรวจสอบตนเอง จึงมีความจำเป็นต้องทำการตรวจสอบอยู่เสมอ และเนื่องจากการสัมผัสกับของเหลวที่จะวัดโดยตรง ของเหลวที่หนืดอาจทำให้กลไกของลูกกลอยเกิดติดขัดได้

3.2 อุปกรณ์วัดระดับทางแสง (Optical Level Device)

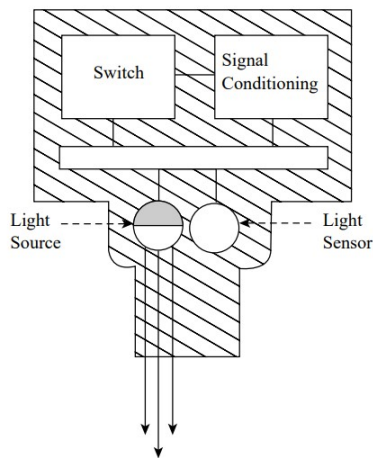
อุปกรณ์วัดระดับทางแสงแบ่งตามหลักการทำงานได้เป็น 3 รูปแบบ ได้แก่การสะท้อน (Reflection), การส่งผ่าน (Transmission) และการหักเห (Refraction) โดยแต่ละรูปแบบก็มีข้อได้เปรียบและข้อจำกัดในการใช้งานที่ต่างกัน ในรายงานฉบับนี้จะกล่าวถึงรายละเอียดของอุปกรณ์วัดระดับทางแสงที่ใช้หลักการสะท้อนและการหักเหเท่านั้น เนื่องจากอุปกรณ์วัดระดับทางแสงที่ใช้หลักการการส่งผ่าน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

3.2.1 หลักการทำงาน

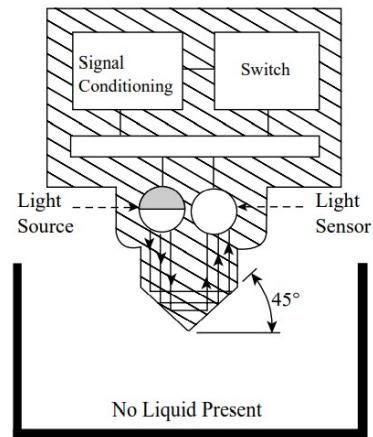
อุปกรณ์วัดระดับทางแสงแบบสะท้อนประกอบด้วยแหล่งกำเนิดแสง และเซนเซอร์ตรวจจับที่เป็นทรานซิสเตอร์ที่ไวต่อแสงหรือโฟโตทรานซิสเตอร์ (Phototransistor) บรรจุอยู่ในตัวถังเดียวกันดังภาพที่ 2 (a) ลำแสงจากแหล่งกำเนิดแสงจะฉายไปยังของเหลวที่ทำการวัด และเมื่อระดับของของเหลวเพิ่มขึ้นจนถึงระดับหนึ่ง ลำแสงจะสะท้อนกลับไปยังเซนเซอร์รับแสง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

3.2.2 ข้อได้เปรียบและข้อจำกัด

อุปกรณ์วัดระดับทางแสงทั้งสองชนิดที่กล่าวมาก็มีข้อได้เปรียบและข้อจำกัดที่ต่างกันไป อุปกรณ์วัดระดับทางแสงแบบสะท้อนมีข้อได้เปรียบสำคัญคือ ไม่มีการสัมผัสกับของเหลวที่ทำการวัด จึงสามารถใช้กับของเหลวที่กัดกร่อน เหนียวเหนอะหนะ และเคลือบติดได้ แต่ก็มีข้อเสียตรงที่ของเหลวที่ทำการวัดต้องทึบแสงพอสมควร และต้องไม่มีไอ หรือความปั่นป่วนเหนือของเหลวที่ทำการวัด เพราะจะทำให้การวัดคลาดเคลื่อน



(a) อุปกรณ์วัดระดับทางแสงแบบสะท้อน



(b) อุปกรณ์วัดระดับทางแสงแบบหักเห

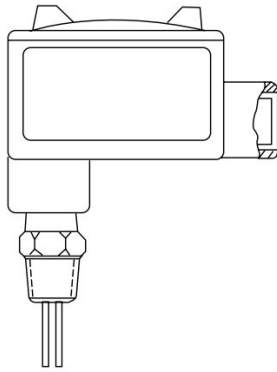
ภาพที่ 2: อุปกรณ์วัดระดับทางแสงประเภทต่างๆ

ส่วนอุปกรณ์วัดระดับทางแสงแบบหักเหข้อดีสำคัญคือน้ำหนักเบา ขนาดเล็ก และสามารถตรวจจับของเหลวปริมาณน้อยๆ ได้ แต่เนื่องจากหัววัดสัมผัสกับของเหลวโดยตรง จึงไม่สามารถใช้กับของเหลวที่กัดกร่อน เกาะติด หรือเคลือบติดได้ นอกจากนี้ยังอาจได้ผลบวกหลง (False Positive) หากมีหยดของของเหลวติดอยู่ที่ปลายหัววัด

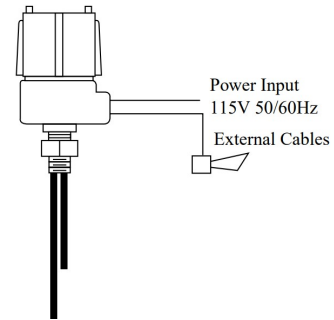
3.3 สวิตช์ระดับแบบสภาพความนำ (Conductivity-type Level Switch)

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 กระแสที่ไหลผ่านเมื่อหัววัดนี้ถูกจุ่มลงในสารละลาย จะมากกว่ากระแสที่ไหลเมื่อหัววัดนี้ถูกล้อมรอบด้วยอากาศ อาศัยหลักการนี้ สวิตช์สภาพความนำจึงสามารถ



(a) สวิตช์ระดับแบบสภาพความนำในอุตสาหกรรม



(b) แสดงสวิตช์ระดับแบบสภาพความนำที่ถูกตัดปลายหัววัดให้ไม่เท่ากันเพื่อเพิ่มเสถียรภาพ

ภาพที่ 3: สวิตช์ระดับแบบสภาพความนำ

แยกระหว่างอากาศและสารละลาย 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) ซึ่งช่วยเพิ่มความเสถียรในกรณีที่มีการกว่น หรือการกระฉอกภายในถัง

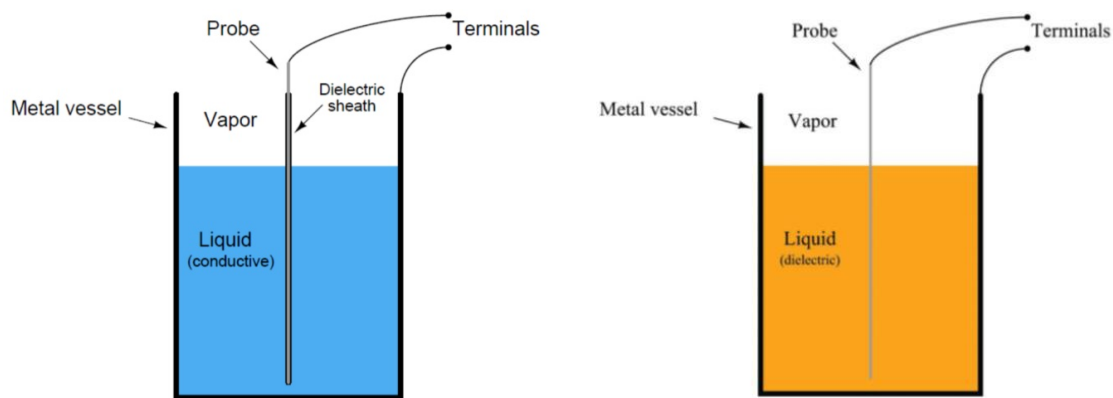
3.3.2 ข้อได้เปรียบและข้อจำกัด

สวิตช์สภาพความนำมีโครงสร้างและหลักการทำงานที่ไม่ซับซ้อน ไม่มีส่วนเคลื่อนที่สัมผัสกับของเหลว และสามารถนำไปใช้กับของแข็งที่ชื้นส่วนใหญ่ได้ ในด้านข้อจำกัด สวิตช์สภาพนำสามารถใช้ได้กับของเหลวที่นำไฟฟ้า ไม่กัดกร่อน และไม่เคลือบติดหัววัดเท่านั้น

3.4 อุปกรณ์วัดระดับแบบความจุไฟฟ้า (Capacitance Level Device)

3.4.1 หลักการทำงาน

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



(a) หัววัดแบบความจุไฟฟ้าในของเหลวที่เป็นตัวนำ

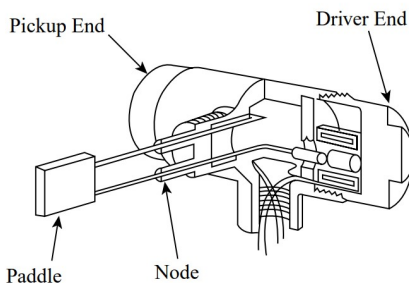
(b) หัววัดแบบความจุไฟฟ้าในของเหลวที่เป็นฉนวน

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 โดยสัญญาณป้อนกลับที่ได้รับจากตัวตรวจจับจะถูกขยาย และนำไปขับผลึกเพียโซอิเล็กตริกที่ใช้กำเนิดสัญญาณอีกครั้ง ในสภาวะปกติ หัววัดระดับนี้จะสั่นสะเทือนด้วยความถี่ธรรมชาติหนึ่ง แต่เมื่อระดับของวัสดุ (ของเหลวหรือของแข็งที่ทำกรวัด) เพิ่มขึ้นจนสัมผัสกับหัววัด การสั่นของหัววัดจะถูกหน่วง (Damped) ทำให้ขนาดและความถี่ของการสั่นสะเทือนลดลง ตัวตรวจจับจึงสั่งการให้รีเลย์ทำการเปลี่ยนสถานะไป

3.5.2 ข้อได้เปรียบและข้อจำกัด

การวัดของสวิตช์ระดับแบบสั่นสะเทือนแทบไม่ได้รับผลกระทบจากการไหล (Flow), ความปั่นป่วน (Turbulence), ฟอง (Foam), การสั่น (Vibration) การเคลือบ (Coating) และการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติ

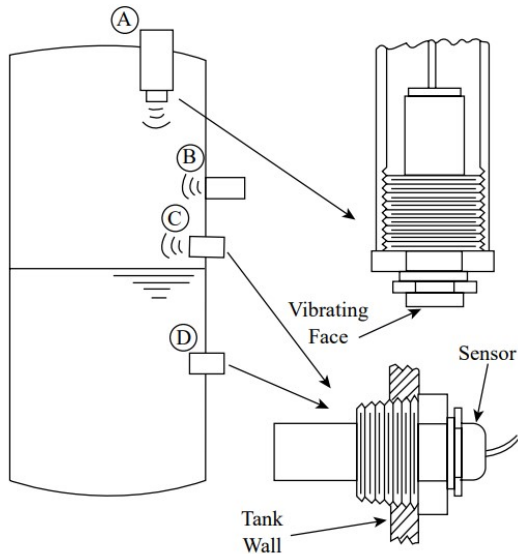
ของวัสดุ ทำให้เป็นเทคโนโลยีการวัดระดับที่เชื่อถือได้ และสามารถใช้กับวัสดุได้หลากหลาย ไม่ว่าจะเป็นของเหลวชนิดต่างๆ, ผงพลาสติก, นมผง, น้ำตาล, ข้าว, ธัญพืช, ฯลฯ นอกจากนี้ยังไม่ต้องมีการปรับเทียบ (Calibration) และมีความสามารถตรวจสอบการทำงานของตนเอง อุปกรณ์สมัยใหม่ที่ใช้ในอุตสาหกรรมสามารถตรวจสอบและรายงานสถานะ และความผิดปกติต่างๆ ทั้งทางไฟฟ้าและทางกลได้อย่างสม่ำเสมอ อย่างไรก็ตาม สวิตช์ระดับแบบสัมผัสเหนือน้ำไม่สามารถใช้กับวัสดุที่มีความหนืดมากๆ เนื่องจากวัสดุอาจจับตัวระหว่างหัววัดทั้งสอง ทำให้เกิดความผิดพลาดได้หากไม่ได้รับการตรวจสอบอย่างสม่ำเสมอ

3.6 อุปกรณ์วัดระดับระดับแบบอัลตราโซนิก (Ultrasonic Level Detector)

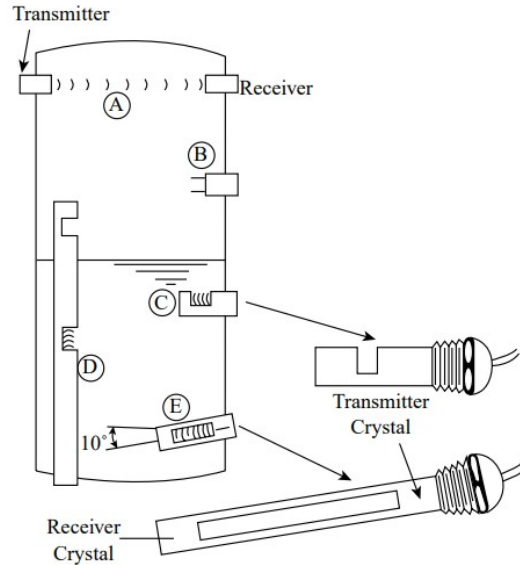
หลักการการวัดระดับด้วยคลื่นเหนือเสียงหรืออัลตราโซนิกที่มีความถี่ระหว่าง 10 - 70 kHz สามารถนำมาสร้างเป็นเครื่องมือวัดระดับทั้งแบบจุด และแบบต่อเนื่องได้หลากหลายรูปแบบ โดยในรายงานฉบับนี้จะอธิบายแต่เพียงรูปแบบที่สำคัญเท่านั้น

3.6.1 หลักการทำงาน

เครื่องวัดระดับอัลตราโซนิกแบบจุดสามารถแยกได้เป็นสองประเภทใหญ่ๆ คือแบบหน่วงการสั่นสะเทือน (Damped Vibration Type) และแบบดูดกลืน (Absorption Type) โดยแบบหน่วงการสั่นสะเทือน (รูปที่ 6 (a)) มีจะหลักการคล้ายกับสวิตช์ระดับแบบสัมผัสเหนือน้ำ กล่าวคือหัววัดจะสั่นสะเทือนด้วยความถี่ธรรมชาติหนึ่ง เมื่อระดับของเหลวเพิ่มขึ้นจนถึงหัววัด ความถี่การสั่นสะเทือนจะถูกหน่วง ทำให้สถานะทางไฟฟ้าของสวิตช์เปลี่ยนไป ส่วนแบบดูดกลืนจะประกอบด้วยตัวส่ง (Transmitter) และตัวรับ (Receiver) จะส่งพัลส์ของคลื่นอัลตราโซนิกไปยังตัวรับผ่านของเหลวที่ต้องการวัด ที่ติดตั้งในรูปแบบต่างๆ (รูปที่ 6 (b)) เมื่อระดับของเหลวเพิ่มขึ้นจนท่วมหัววัด พัลส์คลื่นอัลตราโซนิกจะถูกดูดกลืน ทำให้ตัวรับตรวจจับคลื่นได้น้อยลง ส่วนเครื่องวัดระดับอัลตราโซนิกแบบต่อเนื่อง วัดเวลาที่คลื่นอัลตราโซนิกใช้ในการเดินทางจากตัวส่งที่เป็นลำโพงแบบอัลตราโซนิก (Ultrasonic Speaker) ไปยังพื้นผิวของวัสดุที่ถูกวัด และสะท้อนกลับมายังตัวรับ จากนั้นเวลาที่กำหนดทั้งทางไฟฟ้าและทางกล เครื่องวัดชนิดนี้สามารถติดตั้งได้หลายรูปแบบดังภาพที่ 7 ซึ่งเวลาสะท้อนคลื่นอัลตราโซนิกของเครื่องวัด C และ D จะเป็นตัวบอกระดับที่แท้จริง แต่สำหรับเครื่องวัด A และ B เวลาสะท้อนต้องถูกนำไปคำนวณโดยพิจารณาความสูงที่ติดตั้งเครื่องวัดเสียก่อน จึงจะทราบระดับได้

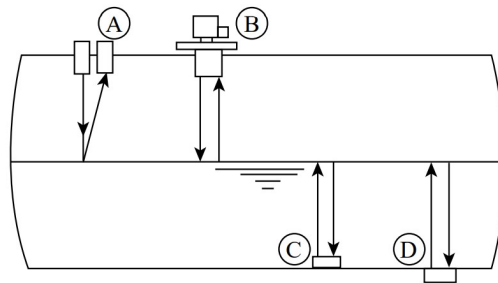


(a) สวิตช์ระดับอัลตราโซนิกแบบสัมผัสต่อเนื่อง



(b) สวิตช์ระดับอัลตราโซนิกแบบดูดกลืน

ภาพที่ 6: โครงสร้าง และการติดตั้งเครื่องวัดระดับอัลตราโซนิกแบบจุดประเภทต่างๆ



ภาพที่ 7: ตัววัดระดับอัลตราโซนิกแบบต่อเนื่องประเภทต่างๆ

3.6.2 ข้อได้เปรียบและข้อจำกัด

อุปกรณ์วัดระดับระดับอัลตราโซนิกแบบจุดไม่มีส่วนเคลื่อนที่ สามารถออกแบบให้ทำการวัดโดยไม่สัมผัสได้ และบางชนิดสามารถทำการวัดได้โดยไม่ต้องเจาะทะลุถัง ทำให้สามารถวัดระดับของเหลวที่เคลือบติดและเหนียวหนืดได้ นอกจากนี้ความแม่นยำของการวัด จะไม่ขึ้นกับคุณสมบัติต่างๆ ของของเหลวหรือวัสดุ

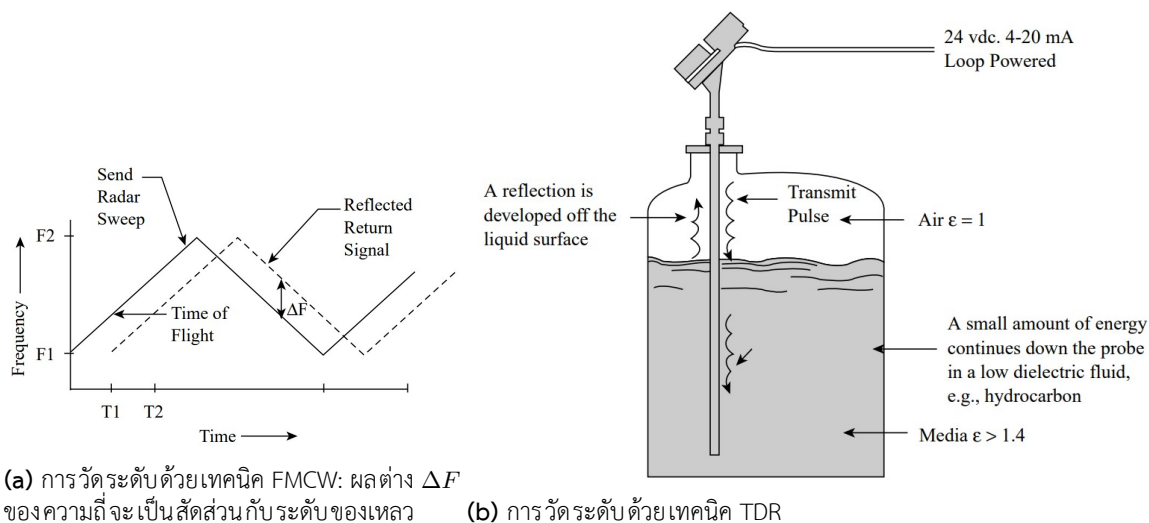
ที่ทำการวัดเช่นส่วนประกอบ ความหนาแน่น สภาพความนำไฟฟ้า และค่าคงตัวไดอิเล็กตริก สำหรับอุปกรณ์วัดระดับระดับอัลตราโซนิกแบบต่อเนื่อง การมีตัวชดเชยทางอุณหภูมิ (Temperature Compensator) และระบบปรับเทียบด้วยตนเอง (Automated Self-calibrator) เป็นสิ่งจำเป็น เนื่องจากความเร็วของคลื่นอัลตราโซนิกจะขึ้นกับอุณหภูมิ นอกจากนี้ปัจจัยต่างๆ ที่ลดทอนคลื่นสัญญาณสะท้อนกลับ เช่น ความสูงของถังไอน้ำ และฝุ่นที่อยู่เหนือพื้นผิว รวมทั้งคุณสมบัติการสะท้อน และความหนาแน่นของพื้นผิวของวัสดุที่ทำการวัดก็ส่งผลต่อความแม่นยำของการวัดเช่นกัน

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 กลับมายังตัวตรวจจับที่ตรวจจับความถี่ที่ส่งออกไป และสะท้อนกลับมาพร้อมๆ กัน ผลต่างของความถี่ที่ส่งไปใหม่ และสะท้อนกลับมา จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับระยะเวลาที่คลื่นใช้ในการเดินทาง (Time of Flight) และ ระยะห่างระหว่างเครื่องวัดกับพื้นผิวของของเหลว การใช้เทคนิคมอดูเลตความถี่มีข้อได้เปรียบที่สำคัญคือ สัญญาณรบกวนภายในถึงเก็บที่อยู่โดเมนขนาด (Amplitude Domain) จะไม่มีผลต่อความแม่นยำของการวัด ส่วนอุปกรณ์วัดระดับเรดาร์แบบบังคับนำคลื่นจะทำการวัดระดับด้วยกระบวนการ TDR (Time Domain Reflectometry) คือทำการปล่อยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าความถี่สูงแต่มีขนาดต่ำ ผ่านสายส่ง (Transmission Line), เคเบิล (Cable) หรือตัวบังคับนำคลื่น (Waveguide) แล้วตรวจจับขนาดของสัญญาณที่สะท้อนกลับมาเป็นระยะๆ ระยะเวลาระหว่างสัญญาณที่ส่งออกไป และสะท้อนกลับมาจะสามารถนำมาหาตำแหน่งที่อิมพีแดนซ์ของโพรบวัดนี้ไม่ต่อเนื่อง (จุดที่ของเหลวท่วมหัววัดอยู่) ได้ (ภาพที่ 4 (b))



ภาพที่ 8: การวัดระดับของเครื่องวัดระดับแบบเรดาร์ด้วยเทคนิค FMCW และ TDR

3.7.2 ข้อได้เปรียบและข้อจำกัด

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

4 บรรณานุกรม