บทที่ 3

เครื่องมือวัดระดับ

เครื่องมือวัดระดับเป็นอุปกรณ์ที่จำเป็นอย่างหนึ่ง ที่ใช้ในการควบคุมการผลิต และผลผลิตของขบวนการต่าง ๆ เช่น การป้อนวัตถุดิบที่สม่ำเสมอ การไหลของหอกลั่น การควบคุมระดับน้ำในหม้อไอน้ำ การวัดปริมาณของสินค้าเพื่อการเก็บ หรือส่งจำหน่าย และใช้เป็นเครื่องเตือน หรือส่งสัญญาณไปควบคุมการทำงานของเครื่องมืออื่น ๆ โดยอัตโนมัติ ซึ่งระดับผิดพลาดเพียงเล็กน้อย อาจทำให้ผลผลิตผิดไปจากที่ต้องการ หรือไม่ได้มาตรฐานหรือทำให้ประสิทธิภาพของเครื่องจักรลดลง หรือเกิดอันตรายขึ้นได้

การวัดระดับแบ่งได้ 2 แบบ[3] คือ การวัดทางตรง และทางอ้อม

3.1 การวัดทางตรง (Direct Method)

การวัดทางตรง เป็นแบบง่าย ๆ และวัดได้ ณ ตำแหน่งนั้นด้วยการดูระดับของเหลวเทียบกับสเกล เช่นในหลอดแก้ว หรือใช้แท่งโลหะแหลมซึ่งสเกลบอกเป็นระยะ หรือปริมาตร หรือน้ำหนักก็ได้ อุปกรณ์นี้มีราคาถูก แต่ไม่สามารถเปลี่ยนเป็นสัญญาณไฟฟ้าได้ ความแน่นอนในการวัดขึ้นกับความสะอาดของของเหลว และ แก้ว

3.2 การวัดทางอ้อม (Indirect or Inferential Method)

การวัดทางอ้อม วิธีนี้ใช้คุณสมบัติต่าง ๆ ทางฟิสิกส์มาเปลี่ยนการเปลี่ยนแปลงของระดับให้เป็นสัญญาณทางไฟฟ้า หรือ ทางกล ซึ่งสเกลของเครื่องวัดไม่จำเป็นต้องอยู่ ณ ที่ทำการวัดก็ได้ อุปกรณ์การวัดนี้แบ่งได้ 7 ชนิด คือ

3.2.1 การลอยตัว (Buoyancy) ใช้ลูกลอยเป็นอุปกรณ์หลัก ซึ่งอาศัยการลอยตัวของวัตถุ หรือแรงยกตัวของของเหลวที่ถูกวัตถุแทนที่ วิธีนี้จำเป็นต้องสัมผัสของเหลว และต้อง

เจาะผนังของถังด้วย (ราคาของอุปกรณ์ประมาณ 1,500 – 6,000 บาท)(4)

3.2.2 แรงดัน (Hydrostatic Head) ใช้ความดันจากความสูงของของเหลวไปดันของเหลวในหลอดรูปตัวยู หรือแผ่นไดอะแฟรม ซึ่งต้องเจาะผนังของถังเช่นกัน (ราคาประมาณ 500 – 10,000 บาท)

3.2.3 การนำไฟฟ้า (Conductance) ใช้แท่งโลหะติดตั้งในแนวดิ่ง จากด้านบนของภาชนะ ทำหน้าที่เป็นสวิทช์เมื่อของเหลวมาสัมผัส หรือใช้แท่งโลหะที่มีความต้านทานจำเพาะสูง ๆ เพื่อให้กระแสเปลี่ยนแปลงตามความยาวของแท่งโลหะ และใช้แท่งโลหะอีกแท่งหนึ่ง หรือผนังของถังเป็นขั้วไฟอีกขั้วหนึ่ง วิธีนี้กระแสไฟจะไหลผ่านของเหลวด้วย และสามารถสนองตอบได้ในเวลา 0.1 – 0.5 วินาที(5) หลังจากที่ระดับเปลี่ยนแปลง (ราคาประมาณ 400 – 4,000 บาท)

3.2.4 การประจุไฟฟ้า (Capacitance) ใช้แท่งโลหะ 2 แท่งวางขนานกัน ทำหน้าที่เป็นคอนเดนเซอร์ ของเหลวซึ่งเป็นฉนวนมีค่าไดอีเลคตริกสูงกว่าอากาศ เมื่อมีระดับสูงขึ้นจะเข้ามาแทนที่อากาศในช่องว่างของแท่งโลหะ ทำให้ค่าไดอีเลคตริกรวมสูงขึ้น ก่อให้เกิดกระแสเปลี่ยนแปลง ความต่างศักดิ์ที่ใช้กับอีเลคโทรดเป็นกระแสสลับที่มีความถี่สูง (0.5 – 1.5 MHz) และสนองตอบในเวลา 0.05 วินาที (ราคาประมาณ 4,000 – 15,000 บาท)

3.2.5 น้ำหนัก (Weight) เครื่องมือเปลี่ยนน้ำหนักเป็นระดับของเหลวโดยอาศัยความหนาแน่นของเหลวที่คงที่ วิธีนี้ไม่ต้องเจาะผนัง แต่ไม่นิยมใช้กับงานใหญ่ ๆ

3.2.6 คลื่นความถี่สูง (Sonar or Ultrasonic) โดยส่งคลื่นไปกระทบของเหลวแล้วสะท้อนกลับ เวลาจะสัมพันธ์กับระยะทางระหว่างหัววัดกับผิวของของเหลว หรือใช้ของเหลวเป็นตัวนำคลื่น ซึ่งต้องเจาะผนังแล้วติดตั้งอุปกรณ์ไว้ภายใน วิธีนี้สามารถสนองตอบได้เร็วมาก ประมาณ 0.02 วินาที เท่านั้น (ราคาประมาณ 3,000 – 200,000 บาท)

3.2.7 รังสี (Radiation) ใช้ต้นกำเนิดรังสีที่มีพลังงานสูงพอที่จะทะลุผ่านผนังของถังได้เป็นอุปกรณ์ ของเหลวจะสามารถดูดกลืนรังสีได้ดีกว่าอากาศ เมื่อระดับของเหลวเปลี่ยนแปลงก็จะทำให้ปริมาณรังสีเปลี่ยนไปด้วย วิธีนี้ส่วนใหญ่จะไม่ต้องเจาะผนังและสนองตอบได้ใน 0.1 – 10 วินาที (ราคาประมาณ 12,000 – 200,000 บาท)

3.3 วิธีการวัดระดับด้วยนิวเคลียร์เทคนิค

วิธีนี้ได้ใช้ในทางอุตสาหกรรมมาแล้วประมาณ 20 ปี ซึ่งใช้แทนเครื่องมือชนิดอื่น ๆ ที่ไม่สามารถทำการวัดได้ เช่น ในถังที่บรรจุสารที่มีความหนืดสูง สามารถกัดกร่อน หรือ อุดตัน ทำให้เครื่องมือที่ต้องสัมผัสใช้ไม่ได้ หรือในถังที่มีความดันและความร้อนสูง ซึ่งจะเจาะผนังไม่ได้ เป็นต้น สาเหตุที่เลือกเป็นวิธีสุดท้าย คือ อุปกรณ์มีราคาสูง มีปัญหาทางด้านการป้องกันรังสี ต้องมีใบอนุญาตในการใช้สารกัมมันตรังสี และยังมีข้อมูลของการใช้น้อยกว่าชนิดอื่น ๆ

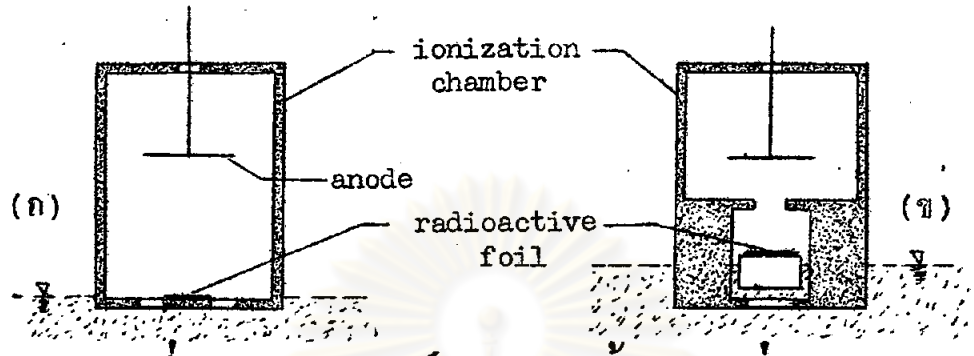
การวัดระดับด้วยนิวเคลียร์เทคนิค มีหลายวิธีที่ได้ประดิษฐ์ขึ้น เช่น

3.3.1 รังสีอัลฟ่ากับหัววัดไอออนไนเซชั่น[6] มี 2 แบบ คือ

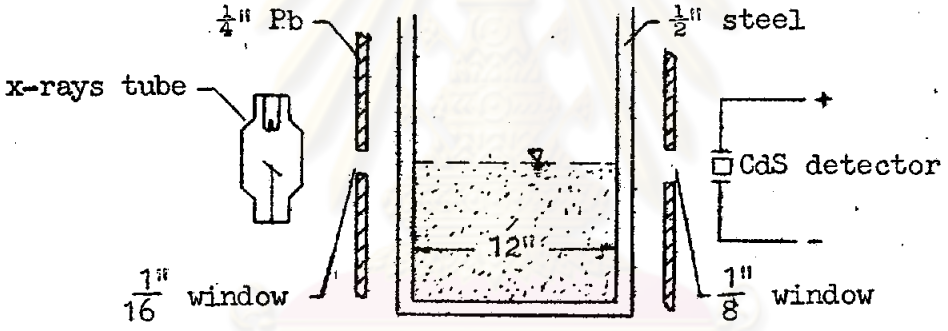
แบบจ่ม ดังรูปที่ 3.1 (ก) ใช้สารกัมมันตรังสีที่ให้รังสีอัลฟ่า ทำเป็นแผ่นบาง ๆ หุ้มวัตถุที่ไม่ก่อให้เกิดแรงตึงผิว (ของเหลวไม่เกาะเป็นหยดที่ผิว) และฉาบติดไว้ที่ส่วนล่างของกระบอกโลหะ ซึ่งทำหน้าที่เป็นแคโทด เมื่อระดับของเหลวขึ้นมาถึงหัววัด ของเหลวเข้าไปคลุมสารกัมมันตรังสีเพียงบาง ๆ (น้อยกว่า 1 มม.) ก็จะกั้นรังสีอัลฟ่าได้เกือบหมด แบบนี้ใช้เป็นสวิทช์เปิดปิดเท่านั้น (แบบนี้สามารถดัดแปลงเป็นเครื่องวัดแรงตึงผิวของของเหลวได้)

แบบลอย ดังรูป 3.1 (ข) ลักษณะคล้ายกับแบบจม แต่ฉาบสารกัมมันตรังสีไว้บนลูกลอย และวัดปริมาณรังสีที่เปลี่ยนแปลงตามระยะทาง ซึ่งสามารถบอกได้ว่าระดับน้ำอยู่ที่ใดในช่วง 2 ซม.

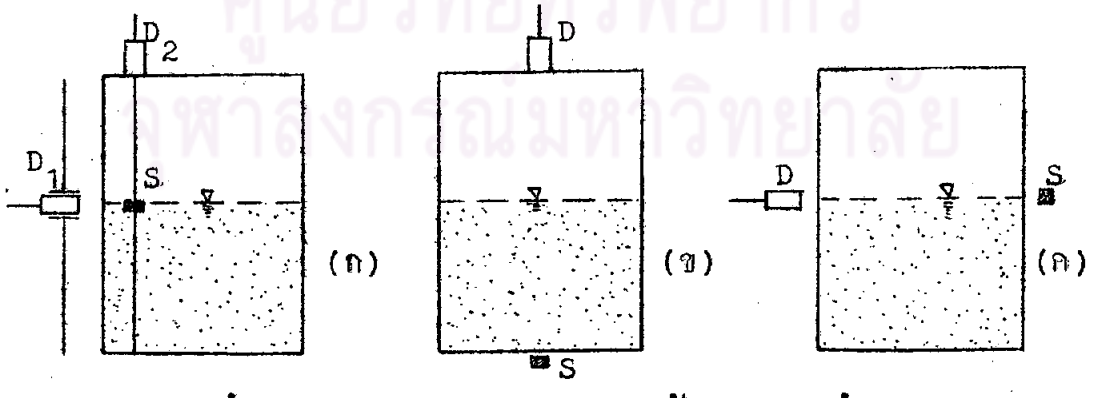
ทั้งสองแบบไม่นิยมใช้ในอุตสาหกรรม เพราะต้องสัมผัสกับของเหลวโดยตรง



รูปที่ 3.1 แสดงอุปกรณ์การวัดระดับด้วยรังสีอัลฟา



รูปที่ 3.2 แสดงอุปกรณ์การวัดระดับด้วยรังสีเอกซ์



รูปที่ 3.3 แสดงอุปกรณ์การวัดระดับด้วยรังสีแกมมา

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.3.2 รังสีเบต้า กับหัววัดไกเกอร์[7] โดยวางต้นกำเนิดรังสี กับหัววัดไว้คนละด้านของภาชนะ เพื่อวัดปริมาณของรังสีที่ทะลุผ่าน วิธีนี้ใช้ตรวจวัดการบรรจุยาสีฟันในหลอดอลูมิเนียม หรือ ผงซักฟอกในกล่องพลาสติก หรือกระดาษ ถ้าภาชนะทำด้วยโลหะบาง ๆ จะใช้รังสีเอกซ์ที่เกิดจากรังสีเบต้าแทน

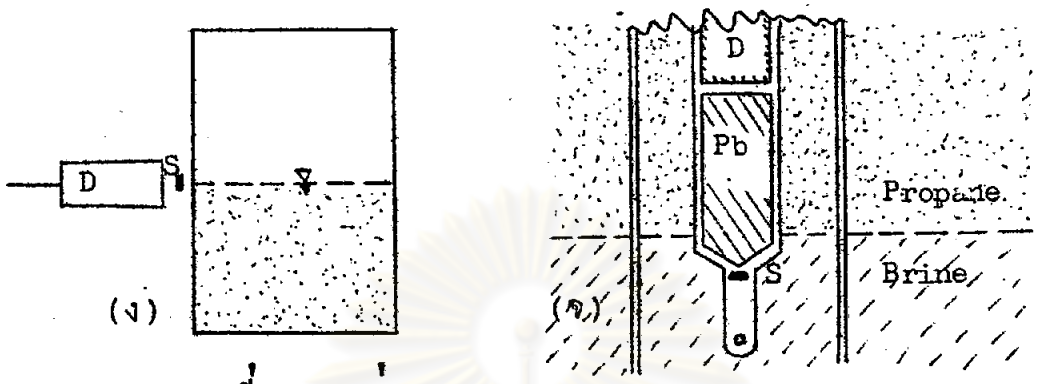
3.3.3 รังสีเอกซ์ กับหัววัดกึ่งตัวนำ[8] ใช้รังสีเอกซ์จากเครื่องกำเนิดรังสี กับหัววัดแคดเมียมซัลไฟด์ 8 ตัว เป็นอุปกรณ์วัดระดับในถังเหล็กขนาด ϕ = 12 นิ้ว หนา 1/2 นิ้ว โดยมีตะกั่วกั้นให้รังสีผ่านเป็นแนวขนานดังรูป 3.2 ซึ่งจะใช้ความต่างศักดิ์ของเครื่องเอกซ์เรย์ 250 kVp และ ถ้าถังหนา 1/8 นิ้ว จะใช้ประมาณ 100 kVp

3.3.4 รังสีแกมม่า กับหัววัดไกเกอร์ หรือหัววัดเรืองแสง[9, 10] รังสีแกมม่ามีอำนาจการทะลุทะลวงสูงมาก จึงสามารถจัดวิธีการวัดได้หลายแบบ คือ

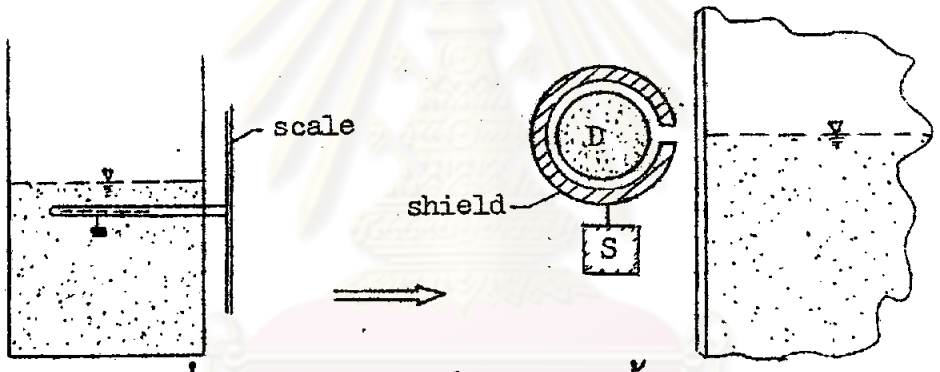
แบบที่ 1 วัดปริมาณรังสีที่เปลี่ยนแปลงตามระยะทางระหว่างหัววัดกับต้นกำเนิดรังสี โดยติดสารกัมมันตรังสีไว้บนลูกลอย และขึ้นลงตามแกน ดังรูป 3.3 (ก) หัววัดอยู่ภายนอกถังที่จุด 1 หรือ 2 ปริมาณรังสีที่วัดได้จะมีค่าสูงขึ้นเมื่อระดับของเหลวสูงขึ้น ($I \propto 1/l^2$) วิธีนี้ใช้กับถังที่มีความหนามาก ๆ และของเหลวไม่กัดกร่อน

แบบที่ 2 วัดปริมาณรังสีที่เปลี่ยนแปลง เนื่องจากความหนาของของเหลว ซึ่งติดต้นกำเนิดรังสี และหัววัดไว้ภายนอกของถังที่ฝั่งละด้าน ดังรูป 3.3 (ข) ปริมาณรังสีที่วัดได้จะขึ้นอยู่กับส่วนประกอบของของเหลว (ความหนาแน่น) ดวย ($I \propto \exp(-\mu x)$) ดังนั้นความแม่นยำของการวัดจะลดลง ถ้าความหนาแน่นไม่คงที่ เช่นในกรณีที่มีความร้อนเปลี่ยนแปลง

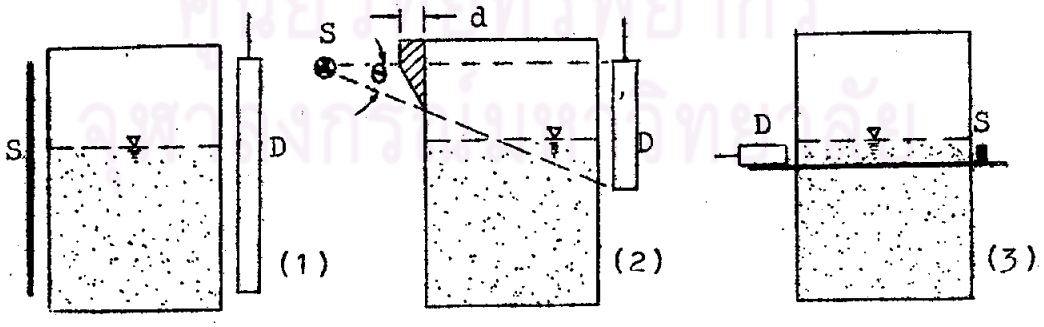
แบบที่ 3 วัดปริมาณรังสีที่เปลี่ยนแปลง เมื่อหัววัดถูกบัง ด้วยของเหลวโดยวางต้นกำเนิดรังสี และหัววัดไว้ด้านข้างคนละด้านของถัง ดังรูป 3.3 (ค) วิธีนี้ใช้กันมากในอุตสาหกรรม เพราะมีความแม่นยำสูงกว่าชนิดอื่น ๆ



รูปที่ 3.3 (ต่อ)



รูปที่ 3.4 แสดงอุปกรณ์การวัดระดับด้วยนิวตรอน



รูปที่ 3.5 แสดงอุปกรณ์การวัดระดับที่ให้ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณรังสีกับระยะของระดับเป็นเส้นตรง

แบบที่ 4 วัดปริมาณรังสีที่เปลี่ยนแปลงจากรังสีสะท้อนกลับ โดยวางต้นกำเนิดรังสีและหัววัดไว้ด้วยกัน (กั้นรังสีที่จะเข้าหัววัดโดยตรงด้วยตะกั่ว) วิธีนี้ใช้ในกรณีที่ถังมีขนาดใหญ่หรือไม่สามารถวางอุปกรณ์แบบที่ 3 ได้ ดังรูป 3.3 (ง) แต่มีขีดจำกัดในการวัด[11] คือ ระยะของเครื่องวัด กับผนังต้องไม่มากกว่า 5/4 นิ้ว และความหนาของถังไม่เกิน 3/4 นิ้ว และวิธีการเดียวกันนี้จะหาระดับของของเหลว 2 ชนิด ที่ไม่รวมตัวกันได้ เช่น propane and brine[12] เพื่อหาระดับของของเหลวที่อยู่ชั้นล่าง ดังรูป 3.3 (จ)

3.3.5 นิวตรอนกับหัววัดพรอพพอร์ชั่นนัล หรือหัววัดเรืองแสง วิธีนี้ไม่ค่อยได้รับความนิยมมากนัก แม้ว่าจะมีการป้องกันรังสีน้อยกว่า และเบากว่าก็ตาม ตำแหน่งที่ดี คือ วางต้นกำเนิดรังสี (นิวตรอนเร็ว) ไว้คนละด้านกับหัววัดเทอร์มัลนิวตรอน หรือไว้ใต้หัววัด ดังรูป 3.4 ซึ่งทั้ง 2 แบบ จะมีความคลาดเคลื่อนน้อยกว่า $\pm$ 2 มม.[13] สำหรับในพื้นที่ที่มีรังสีแกมม่าสูง จะใช้หัววัดซึ่งวัดนิวตรอนเร็ววางคนละด้านกับต้นกำเนิดรังสีโพโลเนียม–เบอรีลเลียม ขนาด 5×10^5 นิวตรอนต่อวินาที[14]

แม็คคีนนีย์[15] อธิบายว่าการวางต้นกำเนิดรังสี ให้อยู่ในระดับของขอบล่าง ของหัววัด ซึ่งมีหน้าต่างอยู่ด้านข้าง จะให้การเปลี่ยนแปลงของรังสีต่อระยะทางที่ระดับน้ำเปลี่ยนไปดีกว่าวางไว้ในระดับของขอบบนของหัววัด และแนะว่าการที่ให้ปริมาณของรังสีแปรผันตรงกับระยะที่ระดับของเหลวเปลี่ยนไป ทำได้ 3 วิธี (ดังรูปที่ 3.5)

วิธีที่ 1 ใช้ต้นกำเนิดรังสีที่เป็นแท่งยาว (trip) กับหัววัดที่ยาวเท่ากัน หรือใช้หัววัด 2 หัวก็ได้ วางคนละด้านของภาชนะ

วิธีที่ 2 ใช้ลิ่มโลหะทำหน้าที่กั้นรังสีบางส่วน เพื่อให้ปริมาณรังสีจากต้นกำเนิดรังสี (point source) เข้าหัววัดเท่า ๆ กัน ทุกจุด และได้เขียนกราฟไว้สำหรับหาความหนาของลิ่ม กับการทำมุมของหัววัดกับต้นกำเนิดรังสี

วิธีที่ 3 เป็นวิธีที่ดีที่สุด คือให้ต้นกำเนิดรังสีกับหัววัดเคลื่อนที่ขึ้นลงพร้อมกัน

โอวากิ[16] อธิบายว่า การใช้เครื่องวัดระดับเป็นอุปกรณ์เปิดปิดสวิทช์ปริมาณรังสีที่แตกต่างกัน ระหว่างเปิดกับปิด ต้องมากกว่า 3 เท่า ของความคลาดเคลื่อนในการวัด (statistic standard deviation) และได้เขียนกราฟไว้สำหรับการเลือกขนาดความแรงของโคบอลท์-60 เพื่อใช้กับถังขนาดใหญ่ และหนาต่างกัน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย