

ตัวรับรู้และทรานสดิวเซอร์

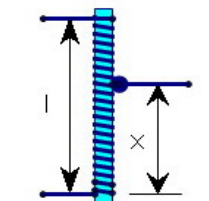
เกริ่นนำ

ในการเรียนการสอนวิชาวิทยาศาสตร์ การทดลองเป็นสิ่งสำคัญเพราะจะทำให้นักเรียนสามารถสังเกตเห็นการเปลี่ยนแปลงของสิ่งที่สนใจ (ตัวแปรตาม) เมื่อเงื่อนไข (ตัวแปรต้น และ ตัวแปรควบคุม) มีการเปลี่ยนแปลง บางการทดลองนักเรียนและครูสามารถสังเกตได้โดยใช้ อวัยวะรับรู้ภายในร่างกาย ได้แก่ ตา หู จมูก ลิ้น และผิวหนัง แต่การทดลองบางอย่างไม่สามารถใช้อวัยวะรับรู้ของมนุษย์สังเกตได้ ต้องใช้อุปกรณ์บางอย่างช่วยเพื่อขยายการรับรู้ของมนุษย์ ในบางการทดลองที่ต้องการหาความสัมพันธ์ของปริมาณตั้งแต่สองปริมาณขึ้นไปการเก็บข้อมูลเชิงปริมาณเป็นสิ่งจำเป็น การทดลองประเภทนี้จำเป็นต้องใช้เครื่องมือวัด ส่วนประกอบที่สำคัญในระบบเครื่องมือวัดคือตัวรับรู้และทรานสดิวเซอร์ (Sensor and transducer)

ตัวรับรู้และทรานสดิวเซอร์คืออะไร

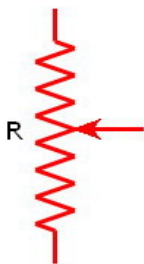
คำว่าตัวรับรู้และทรานสดิวเซอร์ทั้งสองคำใช้กันอย่างแพร่หลายในระบบเครื่องมือวัด

ตัวรับรู้ คืออุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ตรวจจับการเปลี่ยนแปลงของปริมาณทางกายภาพและแปลงผันการเปลี่ยนแปลงปริมาณนั้นเป็นปริมาณที่สามารถวัดหรือบันทึกได้ เช่น โพลเทนซิโอ มิเตอร์ซึ่งเป็นตัวต้านทานที่สามารถเปลี่ยนค่าได้ ทำหน้าที่แปลงผันการเปลี่ยนแปลงการกระจัดเป็นการเปลี่ยนแปลงความต้านทาน เรียกโพลเทนซิโอมิเตอร์ว่าเป็นตัวรับรู้

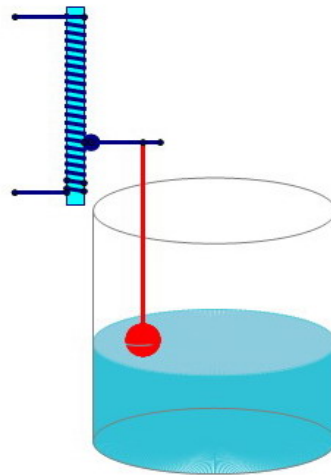


โพลเทนซิโอมิเตอร์

$$R_x = \frac{x}{l} R$$



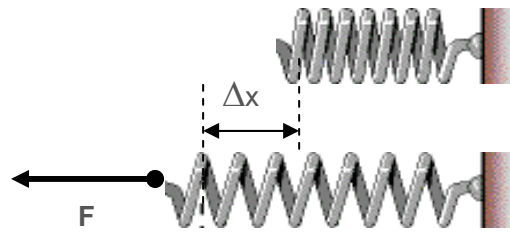
สัญลักษณ์ทางไฟฟ้า



การใช้โพลเทนซิโอมิเตอร์เป็นตัวรับรู้ระดับของเหลวในถัง

รูปที่ 1

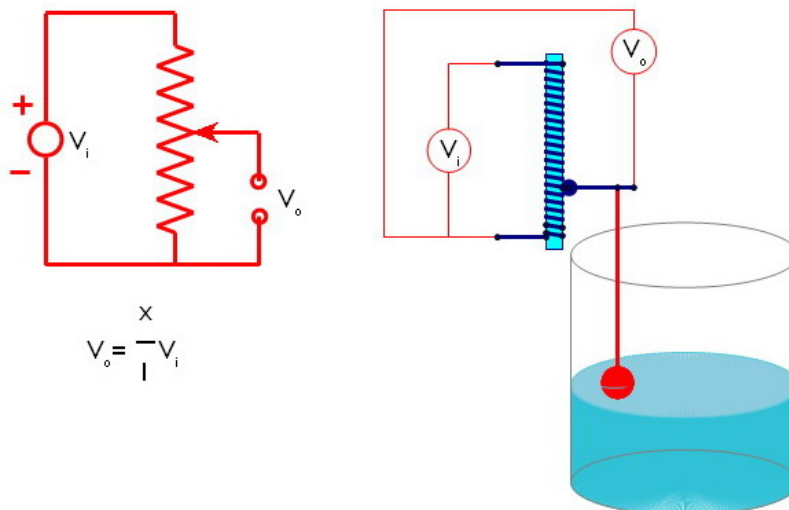
สปริงเป็นอีกตัวอย่างหนึ่งของตัวรับรู้ เมื่อยืดปลายด้านหนึ่งของสปริงให้อยู่กับที่ แล้วออกแรงดึงปลายอีกข้างหนึ่งสปริงจะยืดออก ความยาวของสปริงที่เปลี่ยนไปจะสัมพันธ์กับขนาดของแรงดึง



รูปที่ 2

ทรานสดิวเซอร์ คืออุปกรณ์ที่ถ่ายโอนพลังงานจากระบบหนึ่งไปยังอีกระบบหนึ่งในรูปแบบเดิมหรือแตกต่างจากเดิม โดยปกติจะเปลี่ยนอยู่ในรูปพลังงานไฟฟ้า

ตัวรับรู้เป็นคำที่ใช้สำหรับตัวอุปกรณ์ที่มีความสามารถในการรับรู้การเปลี่ยนแปลง แต่ทรานสดิวเซอร์ใช้กับตัวรับรู้บวกกับวงจรที่เกี่ยวข้อง เช่น โพลเทนซิโอมิเตอร์จัดเป็นตัวรับรู้ เมื่อนำโพลเทนซิโอมิเตอร์ไปต่อกับวงจรไฟฟ้า (เพื่อแปลงผันการเปลี่ยนแปลงความต้านทานเป็นการเปลี่ยนแปลงแรงดันไฟฟ้า) เรียกว่าทรานสดิวเซอร์ โพลเทนซิโอมิเตอร์บวกกับวงจรไฟฟ้าจะทำหน้าที่ถ่ายโอนพลังงานจากพลังงานกล (การกระจัด) เป็นพลังงานไฟฟ้า (แรงดันไฟฟ้า) ดังแสดงในรูปที่ 3

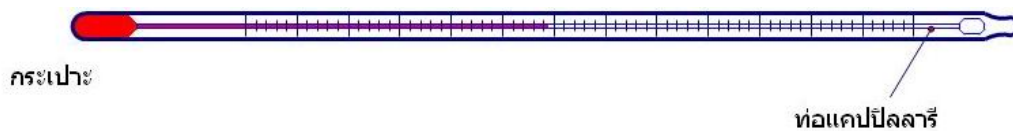


การใช้โพลเทนซิโอมิเตอร์ร่วมกับวงจรไฟฟ้าเป็นทรานสดิวเซอร์สำหรับการวัดระดับของเหลวในถัง

รูปที่ 3

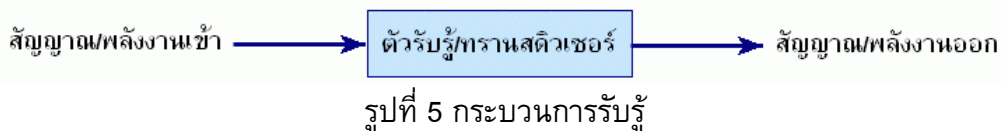
เทอร์โมมิเตอร์ชนิดของเหลว ของเหลวที่บรรจุอยู่ในกระเปาะ (เช่น โปรท อัลกอฮอล์) จะเปลี่ยนแปลงพลังงานไปตามสิ่งแวดล้อม จนกระทั่งสิ่งแวดล้อมและของเหลวในเทอร์โมมิเตอร์

อยู่ในภาวะสมดุลทางความร้อน ที่จุดนั้นทั้งสิ่งแวดล้อมและของเหลวในเทอร์โมมิเตอร์จะมีอุณหภูมิเท่ากัน ปรากฏการณ์การขยายตัวของของเหลวเมื่อมีการถ่ายโอนความร้อนทำให้มันเคลื่อนที่ขึ้นหรือลง ของเหลวภายในกระเปาะและท่อทำหน้าที่เป็นตัวรับรู้ การบังคับให้ของเหลวที่ขยายตัวไหลขึ้น-ลงในท่อแคปิลลารีเป็นการแปลงผันข่าวสารทางความร้อนเป็นการกระจัดทางกล นั่นคือ **ของเหลว กระเปาะและท่อแคปิลลารีได้รับการออกแบบให้ทำหน้าที่เป็นทรานสดิวเซอร์สำหรับถ่ายโอนพลังงานความร้อนเป็นพลังงานกล**



รูปที่ 4

ทรานสดิวเซอร์ทุกตัวต้องมีตัวรับรู้และตัวรับรู้ส่วนใหญ่จะเป็นทรานสดิวเซอร์ด้วย



รูปที่ 5 กระบวนการรับรู้

ประเภทของตัวรับรู้

ตัวรับรู้และทรานสดิวเซอร์ ต่อไปนี้จะเรียกสั้น ๆ ว่าตัวรับรู้ มีการจัดประเภทอยู่หลายแบบตั้งแต่แบบง่าย ๆ ไปจนถึงซับซ้อน ขึ้นอยู่กับเกณฑ์การพิจารณา เช่น สมบัติทั้งหมดของตัวรับรู้ ใช้วัดอะไร (สิ่งที่มากระตุ้นตัวรับรู้) มีลักษณะจำเพาะอะไรบ้าง ปรากฏการณ์ทางกายภาพที่ตอบสนอง กลไกที่ใช้ในการแปลงผันคืออะไร ตัวรับรู้ทำจากวัสดุชนิดไหน ใช้ทำงานแบบไหน ต่อไปนี้เป็นตัวอย่างของการจัดประเภทของตัวรับรู้

1. ตัวรับรู้ที่แบ่งโดยวัสดุที่ใช้ทำ เช่น สารอินทรีย์ สารอนินทรีย์ ตัวนำ สารกึ่งตัวนำ ฉนวน ของเหลว ก๊าซหรือพลาสมา สารทางชีววิทยา อื่น ๆ
2. ตัวรับรู้ที่แบ่งโดยวิธีการตรวจวัด เช่น วิธีการทางชีววิทยา วิธีการทางเคมี ไฟฟ้า แม่เหล็ก หรือคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ความร้อน อุณหภูมิ การกระจัดทางกล หรือคลื่นกล กัมมันตภาพรังสี การแผ่รังสี อื่น ๆ
3. ตัวรับรู้ที่แบ่งโดยปรากฏการณ์การแปลงผัน
 - 3.1 ปรากฏการณ์ทางกายภาพ เช่น เทอร์โมอิเล็กทริก โฟโตอิเล็กทริก ไฟฟ้าแม่เหล็ก เทอร์โมแมกเนติก เทอร์โมอิลาสติก อื่น ๆ
 - 3.2 ปรากฏการณ์ทางเคมี เช่น การเปลี่ยนแปลงรูปทางเคมี การเปลี่ยนแปลงรูปทางกายภาพ กระบวนการเคมีไฟฟ้า สเปกโทรสโคปี อื่น ๆ
 - 3.3 ปรากฏการณ์ทางชีววิทยา เช่น การเปลี่ยนแปลงรูปทางชีววิทยา การเปลี่ยนแปลงรูปทางกายภาพ ผลต่อการทดสอบสิ่งมีชีวิต สเปกโทรสโคปี อื่น ๆ

4. ตัวรับรู้ที่แบ่งตามการใช้งาน เช่น ตัวรับรู้สำหรับงานด้าน เกษตรกรรม วิศวกรรมโยธา โครงสร้าง พลังงาน ทางการแพทย์ การทหาร อุตสาหกรรม เครื่องมือวัดทางวิทยาศาสตร์ ยานยนต์ สิ่งแวดล้อม อุตุนิยมวิทยา การสื่อสารโทรคมนาคม อวกาศอื่น ๆ
5. ตัวรับรู้ที่แบ่งตามสิ่งที่มากระตุ้น แสดงดังตาราง

สิ่งที่มากระตุ้น	ตัวรับรู้	สิ่งที่มากระตุ้น	ตัวรับรู้
ปริมาณทางชีววิทยา	<ul style="list-style-type: none"> - ชีวมวล เช่น ชนิด ความเข้มข้น สถานะ - เอนไซม์ - อื่น ๆ 	ปริมาณทางเคมี	<ul style="list-style-type: none"> - ความเข้มข้น - pH - ก๊าซ - อื่น ๆ
เสียง	<ul style="list-style-type: none"> - แอมพลิจูด เฟส ความถี่ - สเปกตรัม - ความเร็วคลื่น - อื่น ๆ 	แสง	<ul style="list-style-type: none"> - ความยาวคลื่น เฟส สเปกตรัม - ความเข้ม - ดัชนีหักเห - ทะลุผ่าน สะท้อน ดูดกลืน - อื่น ๆ
ไฟฟ้า	<ul style="list-style-type: none"> - ประจุ กระแสไฟฟ้า - ความต่าง ศักย์ แรงดันไฟฟ้า - สนามไฟฟ้า - ความนำไฟฟ้า - อิมพีแดนซ์ - อื่น ๆ 	แม่เหล็ก	<ul style="list-style-type: none"> - สนามแม่เหล็ก - ฟลักซ์แม่เหล็ก - ความสามารถซึมผ่านได้ - อื่น ๆ
ความร้อน	<ul style="list-style-type: none"> - อุณหภูมิ - ฟลักซ์ความร้อน - ความร้อนจำเพาะ - การนำความร้อน - อื่น ๆ 	การแผ่รังสี	<ul style="list-style-type: none"> - ชนิด - พลังงาน - ความเข้ม - อื่น ๆ
ปริมาณทางกล	<ul style="list-style-type: none"> - ตำแหน่ง (เชิงเส้น เชิงมุม) - ความเร่ง - แรง - ความเค้น ความดัน - ความเครียด - มวล ความหนาแน่น 	ปริมาณทางกล (ต่อ)	<ul style="list-style-type: none"> - โมเมนต์ ทอร์ก - อัตราไหล อัตราการ ขนถ่ายมวล - ความหยาบ ความ กลม - ความหนืด - อื่น ๆ

คุณลักษณะของตัวรับรู้

การเลือกตัวรับรู้สำหรับเครื่องมือวัดหรือระบบควบคุมขึ้นอยู่กับองค์ประกอบหลายประการ เช่น ราคา การเอาไปใช้ประโยชน์ และองค์ประกอบทางสิ่งแวดล้อม เมื่อเลือกตัวรับรู้ สิ่งที่สำคัญก็คือคุณลักษณะของตัวรับรู้ต้องสอดคล้องกับคุณภาพของเอาต์พุตที่ต้องการ ตัวอย่างเช่น มีตัวรับรู้สำหรับอุณหภูมิมากมายแต่มีบางชนิดเท่านั้นที่เหมาะสมสำหรับใช้วัดอุณหภูมิของอากาศในเรือนเพาะชำ บางชนิดไม่สามารถวัดอุณหภูมิในช่วงนั้นได้ บางชนิดแพงเกินไป หรือต้องการไฟฟ้าเป็นแหล่งพลังงาน

ความเข้าใจพื้นฐานในคุณลักษณะของตัวรับรู้ เป็นสิ่งสำคัญที่เราต้องมีเพื่อที่จะสามารถเลือกใช้ตัวรับรู้ที่เหมาะสม คุณลักษณะของตัวรับรู้ได้แก่

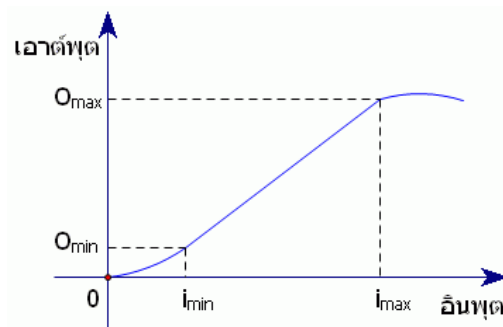
1. ความถูกต้อง (Accuracy) โดยปกตินิยามเป็นความผิดพลาดที่มากที่สุดที่คาดว่าจะเกิดขึ้นระหว่างค่าที่อ่านได้กับค่าทางทฤษฎี บางครั้งค่านี้จะบอกเป็นเปอร์เซ็นต์ของค่าเต็มสเกล เช่น เทอร์โมมิเตอร์อาจรับประกันความถูกต้องอยู่ภายใน 5%FSO (Full scale output, ค่าเต็มสเกลเอาต์พุต)

2. ความไว (Sensitivity) นิยามในเทอมของความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณอินพุตและเอาต์พุต ความไวโดยทั่วไปแล้วเป็นอัตราส่วนระหว่างการเปลี่ยนแปลงของเอาต์พุตต่อการเปลี่ยนแปลงของอินพุต เมื่ออินพุตเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยความไวอาจแสดงในรูปของอนุพันธ์ของฟังก์ชันการถ่ายโอนเทียบกับสัญญาณอินพุต

$$\text{ความไว} = \frac{O_{\max} - O_{\min}}{i_{\max} - i_{\min}} = \frac{\Delta O}{\Delta i}$$

เมื่อ $\Delta i \rightarrow 0$ จะได้

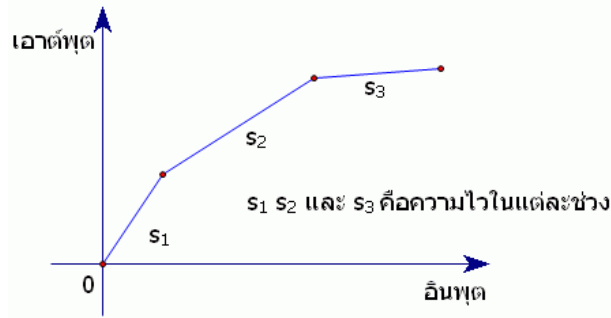
$$\text{ความไว} = \frac{do}{di}$$



รูปที่ 6

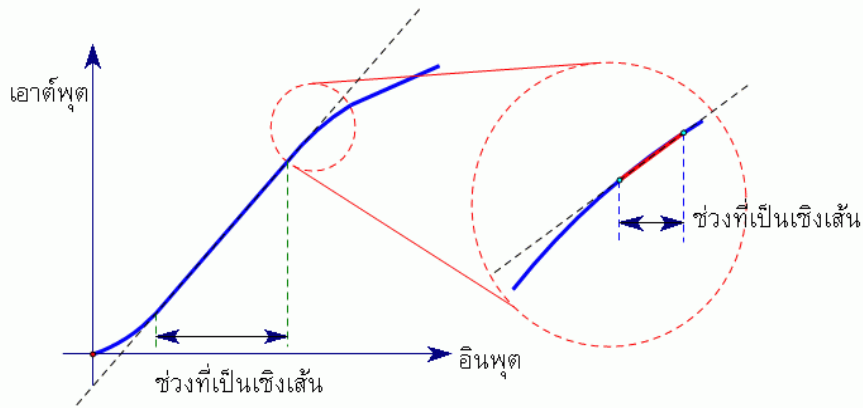
หน่วยของความไวแสดงโดยนิยามตามสมการข้างบน ซึ่งเปลี่ยนไปตามธรรมชาติของตัวรับรู้ที่ใช้วัดและปริมาณที่ถูกวัด ตัวอย่างเช่นวัดระยะทางเป็นมิลลิเมตรด้วยตัวรับรู้ที่ให้เอาต์พุตออกมาเป็นแรงดันไฟฟ้า(Volt) ในกรณีนี้หน่วยของความไวจะเป็น V/mm

ถ้าความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณที่ถูกวัดและเอาต์พุตเป็นเชิงเส้นแล้วความไวที่ใช้แสดงตลอดช่วงจะมีค่าเดียว แต่ถ้าความสัมพันธ์ดังกล่าวไม่เป็นเชิงเส้น คุณลักษณะของความไวของตัวรับรู้จะเปลี่ยนไปหลายค่าและความไวจะถูกกำหนดออกเป็นหลายช่วง ดังแสดงในรูปที่ 7



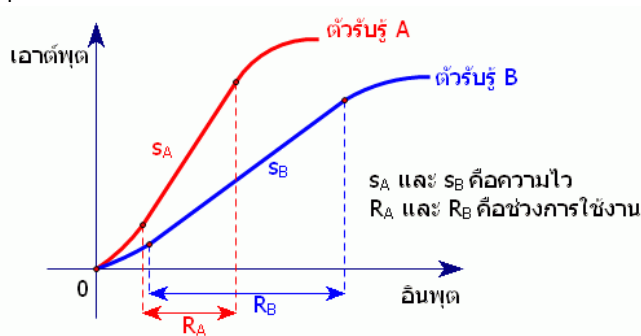
รูปที่ 7

3. ความเป็นเชิงเส้น (Linearity) ความเป็นเชิงเส้นของตัวรับรู้ดูจากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเอาต์พุตกับอินพุตที่ใกล้เคียงกับเส้นตรง ซึ่งอาจเป็นเส้นตรงในช่วงอินพุตแคบ ๆ ดังแสดงในรูปที่ 8 โดยปกติการใช้งานตัวรับรู้จะใช้งานในช่วงที่เป็นเชิงเส้นเท่านั้น



รูปที่ 8

4. ช่วงการใช้งาน (Range) ช่วงการใช้งานของตัวรับรู้ กำหนดว่าเป็นขีดจำกัดซึ่งตัวรับรู้สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ช่วงการทำงานของตัวรับรู้โดยปกติถูกกำหนดด้วยค่าอินพุตต่ำสุดและสูงสุดซึ่งสามารถจะวัดได้ ช่วงการใช้งานจะแปรผกผันกับความไว กล่าวคือถ้าช่วงการใช้งานแคบความไวจะสูง ถ้าช่วงการใช้งานกว้างความไวจะต่ำ สิ่งที่สำคัญคือต้องไม่ทำการวัดนอกช่วงที่กำหนดเพราะจะทำให้เครื่องมือล้มเหลวในการทำงานหรืออุปกรณ์อาจเสียหายได้ หรืออาจเสี่ยงต่อสุขภาพหรือความปลอดภัย



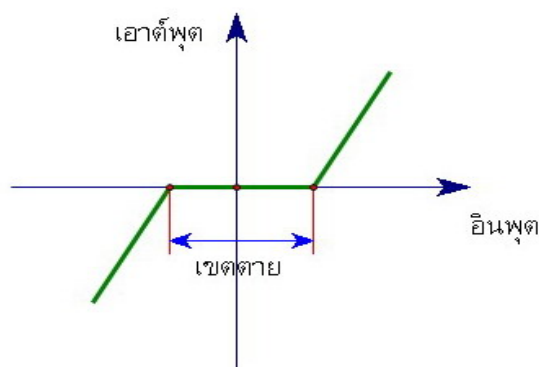
รูปที่ 9

5. ความละเอียด (Resolution) ความละเอียดของตัวรับรู้จะสัมพันธ์กับอินพุตที่น้อยที่สุดหรือการเปลี่ยนแปลงอินพุตที่น้อยที่สุดที่มันสามารถตรวจจับได้ โดยปกติจะแสดงในเทอมของการเพิ่มขึ้นที่น้อยที่สุดของอินพุตซึ่งสามารถวัดหรือรับรู้ได้ ยิ่งความละเอียดของการแสดงผลสูงขึ้นความสามารถในการวัดหรือรับรู้ก็จะมีขนาดเล็กลง ตัวอย่างเช่นตัวแสดงผลเป็นเลขทศนิยม 4 ตำแหน่ง 0.0001 หน่วยมีความละเอียดมากกว่าการแสดงผลการวัดด้วยทศนิยม 3 ตำแหน่ง 0.001 หน่วย

6. การตอบสนอง (Response) การตอบสนองของตัวรับรู้คือ เวลาที่มันใช้เพื่อให้ค่าเอาต์พุตสุดท้ายสำหรับอินพุตที่กำหนดให้ ซึ่งอาจจะแสดงในเทอมของวินาที หรือเศษส่วนของวินาที (เช่น มิลลิวินาที หรือไมโครวินาที เป็นต้น) และบางครั้งเป็นเปอร์เซ็นต์ของค่าเต็มสเกล เช่นข้อกำหนดกล่าวว่าตัวรับรู้ใช้เวลา 3 วินาทีเพื่อให้เอาต์พุตถึง 95 % ของค่าเต็มสเกล **ระวังอย่าสับสนกับคำว่าความไว**

7. การตอบสนองต่อความถี่ อินพุตที่ให้กับตัวรับรู้อาจมีค่าคงตัว หรือเปลี่ยนแปลงขึ้นลงจำนวนวัฏจักรของการเปลี่ยนแปลงค่าขึ้นลงในหนึ่งหน่วยเวลาเรียกว่าความถี่ ตัวรับรู้แต่ละชนิดจะมีความสามารถในการตอบสนองต่อความถี่ไม่เท่ากัน ขึ้นอยู่กับความถี่ธรรมชาติของตัวรับรู้ ตัวรับรู้ที่มีความถี่ธรรมชาติสูงสามารถประยุกต์ใช้งานได้ทั้งภาระสถิต และภาระพลวัต โดยทั่วไปตัวรับรู้ควรมีความถี่ธรรมชาติสูงกว่าความถี่ของสัญญาณอินพุตอย่างน้อย 2 เท่า ต้องไม่ใช้ตัวรับรู้วัดสัญญาณอินพุตที่มีความถี่เท่ากับหรือใกล้เคียงกับความถี่ธรรมชาติของตัวรับรู้เพราะจะทำให้เกิดเรโซแนนซ์ ค่าที่ได้มีความผิดพลาดมาก และอาจทำให้ตัวรับรู้เสียหาย

8. เขตตาย (Dead zone) หมายถึงการเปลี่ยนแปลงที่มากที่สุดของปริมาณที่ถูกวัด โดยที่เอาต์พุตไม่เปลี่ยนแปลง หรือช่วงของอินพุตที่ไม่มีเอาต์พุต Dead zone เกิดขึ้นเนื่องจากผลของแรงเสียดทานสถิต หรือ ฮิสเทอรีซิส



รูปที่ 10 เขตตาย – อินพุตเปลี่ยนแปลงแต่เอาต์พุตไม่เปลี่ยนแปลง

9. ความสามารถในการทำซ้ำ (Repeatability or Reproducibility) หรือความเที่ยง (Precision) ความสามารถในการทำซ้ำ คือจำนวนครั้งของการวัดได้ค่าเดิม ภายใต้เงื่อนไขที่จำกัด เป็นการวัดความสามารถของตัวรับรู้ เพื่อให้การแสดงผลค่าหรือการตอบสนองเหมือนเดิม/

เท่าเดิมสำหรับการวัดซ้ำ ๆ ที่ค่าเดิมของปริมาณเดิมที่ถูกวัด ความสามารถในการทำซ้ำอาจจะให้ค่าเป็น \pm เปอร์เซ็นต์สูงสุดของการอ่านหรือภายใต้สภาวะจำกัดของแต่ละการอ่าน

10. ความเสถียร (Stability) ความเสถียรเป็นการวัดความเปลี่ยนแปลงของเอาต์พุตจากตัวรับรู้ภายใต้เงื่อนไขการป้อนอินพุตด้วยค่าคงตัวเป็นระยะเวลาานาน ๆ

11. ความเชื่อมั่น (Reliability) คือความสามารถของตัวรับรู้ที่จะสามารถทำงานภายใต้เงื่อนไขที่กำหนด สำหรับคาบเวลาที่กำหนด หรือจำนวนครั้งของการทำงานที่กำหนด ขณะที่ยังคงอยู่ภายใต้ข้อกำหนดของตัวรับรู้

ความเชื่อมั่นของตัวรับรู้คล้ายกับอายุการใช้งานของตัวรับรู้

12. อายุการใช้งาน (Operating life) ประโยชน์ของอายุการใช้งานของตัวรับรู้คือเป็นเครื่องแสดงว่าระยะเวลาการใช้งานของตัวรับรู้ที่คาดว่าจะสามารถทำงานได้ภายใต้ข้อกำหนด อายุการใช้งานจะแสดงในรูปของเวลาหรือจำนวนครั้งของการใช้งานหรือจำนวนวัฏจักรที่ตัวรับรู้ควรจะทนทานอยู่ได้

13. ความไวคู่ (Dual Sensitivity) ตามปกติแล้ว ตัวรับรู้จะถูกออกแบบมาเพื่อใช้ในการวัดปริมาณอย่างใดอย่างหนึ่งเพียงอย่างเดียวเท่านั้น เช่น วัดความดัน หรือวัดแรง อย่างไรก็ตาม ตัวรับรู้อาจมีความไวต่อปริมาณอื่นด้วย เช่น อุณหภูมิ หรือความเร่ง ถ้านำตัวรับรู้ไปวัดปริมาณบางอย่างในกระบวนการที่อุณหภูมิเปลี่ยนแปลง เช่น ความดัน ก็สามารถเกิดความผิดพลาดขึ้นได้จากความไวคู่ คือตัวรับรู้วัดปริมาณสองปริมาณในเวลาเดียวกัน

การเลือกตัวรับรู้

การเลือกใช้ตัวรับรู้มีขั้นตอนที่ต้องพิจารณาดังนี้

1. ต้องการวัดอะไร - ปริมาณหรือตัวแปรที่ต้องการรู้ค่า ช่วงของค่าที่วัด ความไว ความถูกต้องที่ต้องการ การตอบสนอง ความเชื่อมั่นที่ต้องการ การวัดกระทำภายใต้สภาวะแวดล้อมและเงื่อนไขใด
2. รูปแบบของเอาต์พุตที่ต้องการคืออะไร ตัวปรับแต่งสัญญาณที่ต้องการคืออะไร
3. ระบุตัวรับรู้ที่เป็นไปได้ โดยพิจารณา ช่วงของการวัด ความไว การตอบสนอง ความเชื่อมั่น ความสามารถในการบำรุงรักษา อายุการใช้งาน กำลังที่ต้องการ หาได้ง่าย ความทนทาน ราคาสมเหตุสมผล
4. ขนาดของตัวรับรู้ยิ่งเล็กลงยิ่งดี เพราะจะช่วยส่งเสริมการตอบสนองพลวัต นอกจากนั้นยังรวมระบบหรือดึงพลังงานออกมาจากระบบน้อยกว่าตัวรับรู้ที่มีขนาดใหญ่

ส่งท้าย

การเลือกตัวรับรู้และเครื่องมือวัดที่เหมาะสม และตรงตามจุดประสงค์ของการทดลองเป็นสิ่งสำคัญ เครื่องมือที่ลักษณะจำเพาะสูง (เช่น ความถูกต้อง ความไว ความละเอียด ฯลฯ) เป็นเครื่องมือเราต้องการแต่จะมีราคาแพง สำหรับการทดลองวิทยาศาสตร์ในระดับโรงเรียนไม่มี

ความจำเป็นที่จะต้องใช้ตัวรับรู้และระบบเครื่องมือวัดที่มีคุณภาพสูงระดับที่ใช้ในวงการอุตสาหกรรม ทหาร หรืองานวิจัยระดับสูง การทดลองในระดับโรงเรียนส่วนใหญ่ต้องการให้นักเรียนได้ข้อมูลเพื่อสรุปเป็นแนวคิดหรือความคิดรวบยอด ถ้าใช้ตัวรับรู้และระบบเครื่องมือวัดที่มีความละเอียดทศนิยม 1 ตำแหน่ง กับ 3 ตำแหน่ง แล้วได้ข้อสรุปเหมือนกัน ทำไมเราจะต้องใช้ตัวรับรู้และระบบเครื่องมือวัดที่มีความละเอียดทศนิยม 3 ตำแหน่งที่มีราคาแพงและต้องการการดูแลรักษาอย่างดี เครื่องมือวัดยังมีความไวและความละเอียดมากก็ยิ่งไวต่อสัญญาณรบกวนมาก บางครั้งการใช้เครื่องมือวัดที่มีความไวและความละเอียดมากเกินไปกับการทดลองในชั้นเรียนที่ไม่สามารถควบคุมการรบกวนจากสิ่งแวดล้อมได้ ก็อาจทำให้หาข้อสรุปจากการทดลองไม่ได้หรือการทดลองล้มเหลว สุดท้ายที่สำคัญเราสามารถนำสิ่งที่เราพบเห็นในท้องถิ่น เช่น ยางพารา มาทำเป็นตัวรับรู้เพื่อใช้ในการทดลองระดับโรงเรียนได้หรือไม่เพื่อจะได้สร้างความรู้ของเราเอง

สมนึก บุญพาไสว
มกราคม 2549

เอกสารอ้างอิง

Beckwith, T. G., Marangoni, R. D. and Lienhard V, J. H., Mechanical Measurements, 5th ed., Addison Wesley Publishing Company, Reading, 1993.

Dally, J. W., Riley. W. F., and McConnell, K. G., Instrumentation for Engineering Measurement, 2nd ed., John Wiley and Sons Inc., New York, 1993.

Elgar, P., Sensors for Measurement and Control, TecEquipment Limited, Nottingham, 1998

Fraden, J., AIP Hand Book of Modern Sensor: Physics, Designs and Applications, American Institute of Physics, New York, 1993

หนังสืออิเล็กทรอนิกส์	
ฟิสิกส์ 1(ภาคกลศาสตร์(ฟิสิกส์ 1 (ความร้อน)
ฟิสิกส์ 2	กลศาสตร์เวกเตอร์
โลหะวิทยาฟิสิกส์	เอกสารคำสอนฟิสิกส์ 1
ฟิสิกส์ 2 (บรรยาย(แก้ปัญหาฟิสิกส์ด้วยภาษา C
ฟิสิกส์พิศวง	สอนฟิสิกส์ผ่านทางอินเทอร์เน็ต
ทดสอบออนไลน์	วิดีโอการเรียนการสอน
หน้าแรกในอดีต	แผ่นใสการเรียนการสอน
เอกสารการสอน PDF	กิจกรรมการทดลองทางวิทยาศาสตร์
แบบฝึกหัดออนไลน์	สุดยอดสิ่งประดิษฐ์
การทดลองเสมือน	
บทความพิเศษ	ตารางธาตุไทย1) 2 (Eng)
พจนานุกรมฟิสิกส์	ลับสมองกับปัญหาฟิสิกส์
ธรรมชาติมหัศจรรย์	สูตรพื้นฐานฟิสิกส์
การทดลองมหัศจรรย์	ดาราศาสตร์ราชมงคล
แบบฝึกหัดกลาง	
แบบฝึกหัดโลหะวิทยา	แบบทดสอบ
ความรู้รอบตัวทั่วไป	อะไรเอ่ย ?
ทดสอบ)เกมเศรษฐี(คติปริศนา
ข้อสอบเอนทรานซ์	เฉลยกลศาสตร์เวกเตอร์
คำศัพท์ประจำสัปดาห์	
ความรู้รอบตัว	
การประดิษฐ์ของโลก	ผู้ได้รับโนเบลสาขาฟิสิกส์
นักวิทยาศาสตร์เทศ	นักวิทยาศาสตร์ไทย
ดาราศาสตร์พิศวง	การทำงานของอุปกรณ์ทางฟิสิกส์
การทำงานของอุปกรณ์ต่าง ๆ	

 การเรียนรู้การสอนฟิสิกส์ 1 ผ่านทางอินเทอร์เน็ต 	
1. การวัด	2. เวกเตอร์
3. การเคลื่อนที่แบบหนึ่งมิติ	4. การเคลื่อนที่บนระนาบ
5. กฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน	6. การประยุกต์กฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน
7. งานและพลังงาน	8. การดลและโมเมนตัม
9. การหมุน	10. สมดุลของวัตถุแข็งเกร็ง
11. การเคลื่อนที่แบบคาบ	12. ความยืดหยุ่น
13. กลศาสตร์ของไหล	14. ปริมาณความร้อน และ กลไกการถ่ายโอนความร้อน
15. กฎข้อที่หนึ่งและสองของเทอร์โมไดนามิก	16. คุณสมบัติเชิงโมเลกุลของสสาร
17. คลื่น	18. การสั่น และคลื่นเสียง
 การเรียนรู้การสอนฟิสิกส์ 2 ผ่านทางอินเทอร์เน็ต 	
1. ไฟฟ้าสถิต	2. สนามไฟฟ้า
3. ความกว้างของสายฟ้า	4. ตัวเก็บประจุและการต่อตัวต้านทาน
5. ศักย์ไฟฟ้า	6. กระแสไฟฟ้า
7. สนามแม่เหล็ก	8. การเหนี่ยวนำ
9. ไฟฟ้ากระแสสลับ	10. ทรานซิสเตอร์
11. สนามแม่เหล็กไฟฟ้าและเสาอากาศ	12. แสงและการมองเห็น
13. ทฤษฎีสัมพัทธภาพ	14. กลศาสตร์ควอนตัม
15. โครงสร้างของอะตอม	16. นิวเคลียร์
 การเรียนรู้การสอนฟิสิกส์ทั่วไป ผ่านทางอินเทอร์เน็ต 	
1. จลศาสตร์ (kinematic)	2. จลพลศาสตร์ (kinetics)
3. งานและโมเมนตัม	4. ซิมเปิลฮาร์โมนิก คลื่น และเสียง
5. ของไหลกับความร้อน	6. ไฟฟ้าสถิตกับกระแสไฟฟ้า
7. แม่เหล็กไฟฟ้า	8. คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ากับแสง
9. ทฤษฎีสัมพัทธภาพ อะตอม และนิวเคลียร์	

