

บทที่ 2

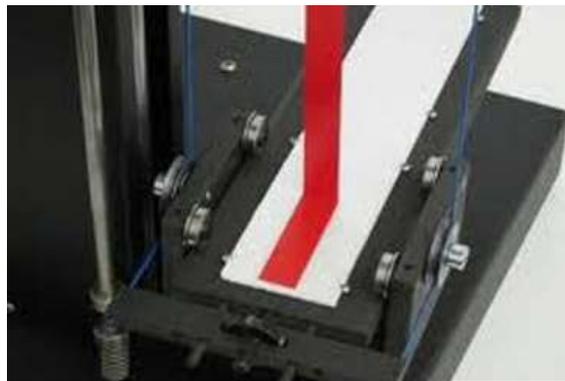
แนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 การตรวจสอบคุณภาพการติดแน่นของบรรจุภัณฑ์

การตรวจสอบคุณภาพการติดแน่นของกระดาษพอยล์ แบ่งออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ คือ การทดสอบทางประสาทสัมผัส (Sensory evaluation method) และการทดสอบทางกายภาพหรือการใช้เครื่องมือตรวจวิเคราะห์ (Physical method or instrument method) ซึ่งการทดสอบทางกายภาพจะใช้เครื่องมือวัด เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างแรงกับระยะเวลา ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น (Stress) กับความเครียด (Strain) ซึ่งจะแสดงผลออกมาเป็นรูปกราฟเรียกว่า Force-Deformation curve และ Force-Time curve และ Stress-Strain curve ส่วนการทดสอบทางประสาทสัมผัสจะใช้คนเป็นผู้ทดสอบโดยอาศัยความรู้สึกทางประสาทสัมผัสทางรูป หรือการสัมผัส แต่จะขาดความแม่นยำ เนื่องจากมีอคติและความแปรปรวนจากผู้ทดสอบเกิดขึ้น ต่างจากการใช้เครื่องมือวิเคราะห์ที่มีความแม่นยำมากกว่า ตัวอย่างการทดสอบโดยใช้ประสาทสัมผัสและการใช้เครื่องมือทดสอบชนิดทำงานโดยอาศัยการวิเคราะห์เนื้อสัมผัสแสดงในภาพที่ 2.1



(ก)



(ข)

ภาพที่ 2.1 (ก) การทดสอบทางประสาทสัมผัส และ (ข) การทดสอบด้วยเครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส

2.2 เครื่องมือวิเคราะห์เนื้อสัมผัสและวิธีการทดสอบ

2.2.1 เครื่องมือวิเคราะห์เนื้อสัมผัส

เครื่องมือวิเคราะห์เนื้อสัมผัส มีหลักการทำงานคล้ายกับการเคี้ยวของมนุษย์ โดยเป็นเครื่องมือแบบเดียวกันกับวิธีการวัดค่าพื้นฐานทางวัสดุศาสตร์ที่สามารถหาความสัมพันธ์ระหว่างแรงที่กระทำกับวัตถุและระยะทาง หรือความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดที่เกิดขึ้นกับวัตถุทดสอบได้ ตัวอย่างเครื่องมือวิเคราะห์เนื้อสัมผัส ได้แก่ Texture Analysis (ภาพที่ 2.2) และ Universal Testing Machine เป็นต้น

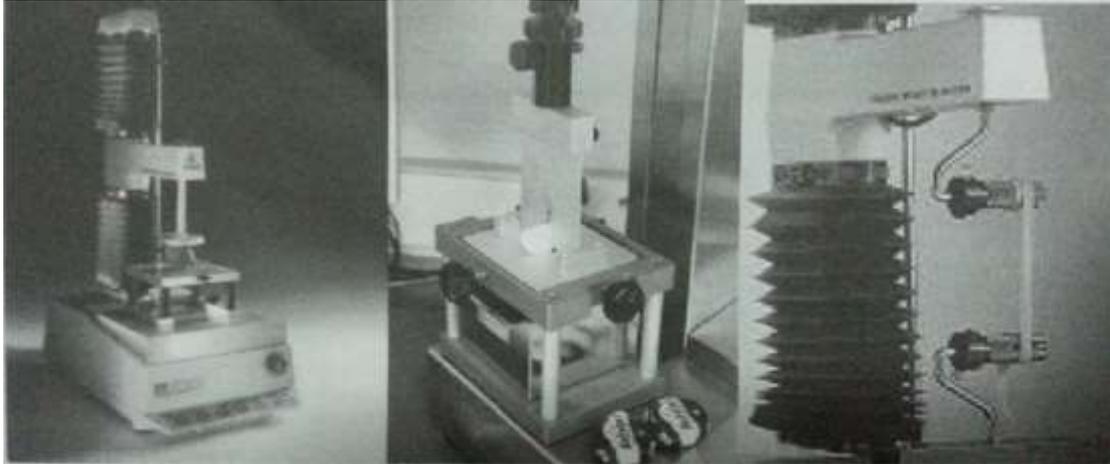


ภาพที่ 2.2 เครื่อง Texture Analyser รุ่น TA.XT plus
ที่มา : www.stablemicrosystems.com

เครื่องมือวิเคราะห์เนื้อสัมผัสนี้สามารถทดสอบด้วยแรงกด แรงเฉือน หรือแรงดึง ดังแสดงตัวอย่างในภาพที่ 2.3 การให้แรงชนิดใดขึ้นอยู่กับลักษณะห้วงกุดและทิศทางการเคลื่อนที่ของห้วงกุด หลักการทำงานของเครื่อง Texture Analyser คือ หัววัด หรือ probe เชื่อมต่ออยู่กับโหลดเซลล์ เมื่อ probe ได้รับแรงกระทำจะทำให้โหลดเซลล์ได้รับแรงกระทำด้วย และเปลี่ยนค่าแรงดังกล่าวเป็นสัญญาณทางไฟฟ้า และแปลค่าออกมาเป็นความสัมพันธ์ระหว่างแรงกับเวลา (Force-Time) หรือแรงกับระยะทาง (Force-Distance) ซึ่งสามารถนำค่าที่ได้มาวิเคราะห์เป็นค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ได้ตามความต้องการ

เครื่องมือวัดเนื้อสัมผัส ประกอบด้วยส่วนสำคัญ ได้แก่ แผ่นวางวัสดุ ที่ติดตั้งหัววัด หัววัด โหลดเซลล์ที่ใช้เป็นตัวตรวจรับแรง ตัวควบคุมการเคลื่อนที่ของหัววัดซึ่งควบคุมการเคลื่อนที่ขึ้นลงของหัววัดด้วยคอมพิวเตอร์ และข้อมูลแรง ระยะทางและเวลา ซึ่งบันทึกลงในคอมพิวเตอร์ โดยแผ่นวางวัสดุ บางครั้งอาจไม่จำเป็นต้องใช้ เช่นการวัดแบบแรงดึง หัววัดจะจับยึดปลายทั้งสองของวัสดุ โดยหัววัดจะสัมผัสกับตัวอย่างและติดกับตัวตรวจรับแรง หัววัดมีหลายชนิดขึ้นกับลักษณะการวัดที่ต้องการ เช่น หัววัดแบบแผ่นแบน หัววัดแบบทรงกระบอก เป็นต้น โดยในการทดสอบต้องกำหนดวิธีการทดสอบ ชนิดของหัววัดและพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ ความเร็วหัววัด (ที่ติดตั้งหัววัด) ก่อนถึงตัวอย่าง (Pre-test speed) ความเร็ว

หัววัดขณะสัมผัสกับตัวอย่างหรือความเร็วขณะทดสอบ (Test speed) ความเร็วหัววัดหลังจากการทดสอบ ครบขั้นตอนหรือความเร็วถอนขึ้น (Post-test speed) ขนาดแรงเมื่อต้องการหยุดการเคลื่อนที่ทดสอบ หรือระยะทางเมื่อต้องการหยุดการเคลื่อนที่ทดสอบ หรือค่าเปอร์เซ็นต์ความเครียด (% Strain) เมื่อต้องการหยุดการเคลื่อนที่ทดสอบ และความละเอียดของการบันทึกข้อมูล เป็นต้น



(ก)

(ข)

(ค)

ภาพที่ 2.3 เครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส (ก) แรงกด (ข) แรงเฉือน และ (ค) แรงดึง

ข้อดีของการใช้เครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัสในการทดสอบความต้านทานแรง มีดังนี้

- เครื่องสามารถวัดและประมวลผลได้อย่างถูกต้องแม่นยำ เนื่องจากก่อนการวัดเนื้อสัมผัสมีการสอบเทียบ (Calibrate) ก่อนทุกครั้ง
- เครื่องสามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่องเป็นเวลานาน ภายใต้สภาวะเงื่อนไขควบคุม
- เครื่องคอมพิวเตอร์มีโปรแกรมที่ประมวลผลเป็นค่าเนื้อสัมผัสออกมาเป็นตัวเลขได้ จึงง่ายต่อการนำไปใช้งาน

- ให้ค่าเนื้อสัมผัสออกมาเป็นตัวเลขในหน่วยมาตรฐาน
- ผู้ใช้เครื่องสามารถศึกษาจากข้อมูลต่าง ๆ จากคู่มือการใช้และทำการวัดตามคู่มือได้

ง่าย

- นำไปประยุกต์ใช้กับอาหารได้หลายชนิด
- ใช้คนจำนวนน้อยในการวัด

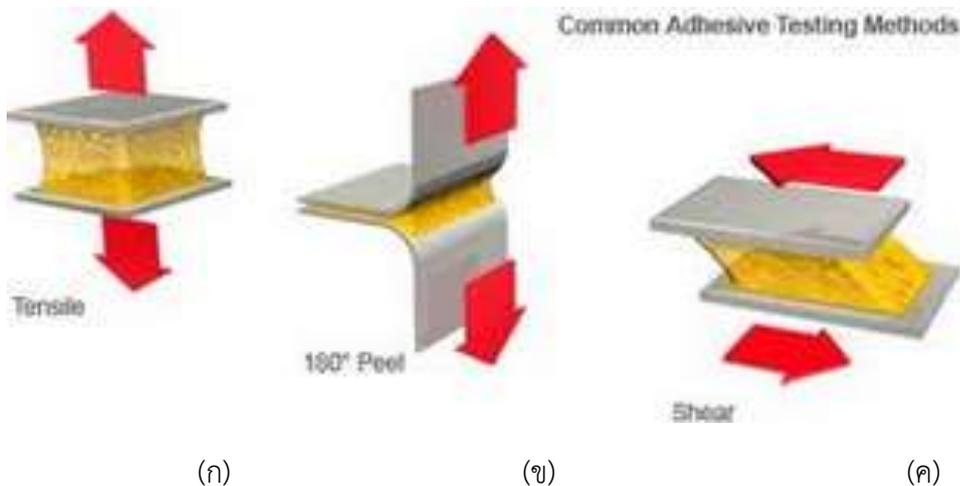
ข้อด้อยของการใช้เครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัสในการทดสอบความต้านทานแรง มีดังนี้

- เครื่องมีราคาแพง
- ผู้ใช้เครื่องต้องมีความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับการใช้เครื่องเครื่องมือวัดเนื้อสัมผัส(Texture Analyzer) และการเลือกใช้หัววัดให้เหมาะสมกับชนิดของอาหาร และนำค่าที่ได้ไปวิเคราะห์ได้อย่างถูกต้อง

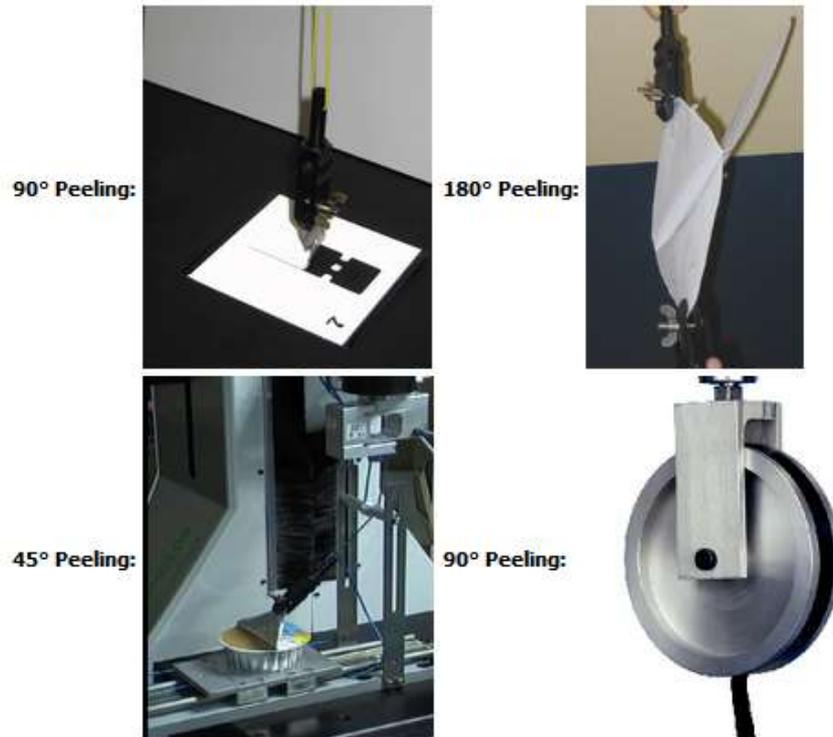
- ผู้ใช้เครื่องต้องมีความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับเนื้อสัมผัสเพื่อใช้ในการแปรผลค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการวัดเนื้อสัมผัส
- ผู้ใช้เครื่องต้องทราบความหมายของค่าเนื้อสัมผัสต่างๆ จึงจะสามารถนำค่าที่ได้จากการทดลองมาวิเคราะห์และนำไปใช้ได้ถูกต้อง
- เครื่องมือวัดเนื้อสัมผัส ทำการเคลื่อนย้ายยาก ต้องใช้ความระมัดระวังและความชำนาญในการเคลื่อนย้าย จึงต้องทำการวัดเฉพาะในห้องปฏิบัติการเท่านั้น

2.2.2 วิธีการทดสอบความต้านทานแรงดึง

การทดสอบแรงดึงเป็นการทดสอบเพื่อวัดแรงยึดเกาะ วัดค่าความเหนียวว่ามีการยึดเกาะได้ดีมากน้อยเพียงใด ด้วยการออกแรงไปในทิศทางตรงกันข้าม ทำให้เกิดการแบ่งแยกออกจากกัน จนกระทั่งเกิดการแตกหัก (Break) ของอาหาร โดยมีรอยแยกที่ไม่เป็นระเบียบ สิ่งที่ต้านแรงแยกคือความเหนียว เช่น ความเหนียวของเส้นใย รูปแบบการทดสอบแรงดึงมี ดังนี้ การดึงในแนวตั้งฉากกับการยึดติด (Tensile) การดึงในแนวระนาบขนานกับแนวการยึดติด (Shear) และ การดึงลอก (Peeling) ดังแสดงในภาพที่ 2.4 (ก) (ข) และ (ค) ตามลำดับ ตัวอย่างการทดสอบโดยการดึง (ภาพที่ 2.5) โดยค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการทดสอบ คือ Peak force ซึ่งเป็นค่าแรงสูงสุดที่ทำให้อาหารเกิดการแยกตัวหรือการเสียหาย

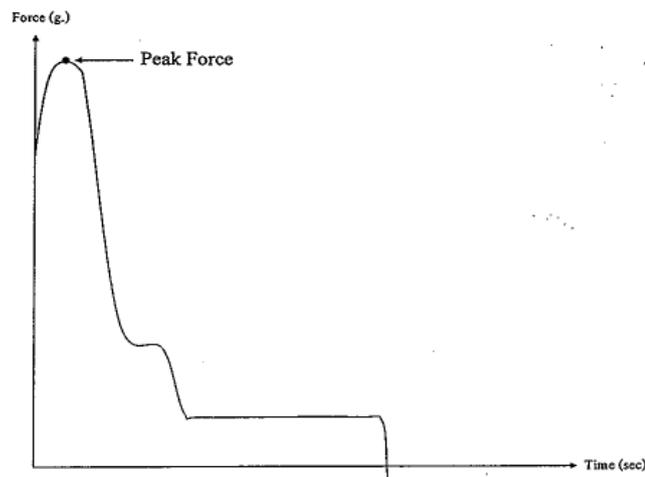


ภาพที่ 2.4 การทดสอบแรงดึง ก) การดึงแนวตั้งฉาก ข) การดึงลอก และ ค) การดึงแนวระนาบ



ภาพที่ 2.5 การทดสอบด้วยวิธีดึงในมุมที่ต่างกัน

เงื่อนไขข้อกำหนดในการทดสอบขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุ รูปร่างของตัวอย่างและวัตถุประสงค์ที่ต้องการทดสอบ Rivals et al (2005) ศึกษาการทดสอบแรงดึงด้วยหัววัดแบบต่าง ๆ โดยอาศัยวิธีการทางสถิติในการประเมินวิธีที่เหมาะสม ตัวอย่างอาหารที่ทดสอบด้วยวิธีนี้ที่ผลิตภัณฑ์เป็นอาหาร เช่น พืชซ่าและเส้นบะหมี่ เป็นต้น หัววัดที่นิยมใช้ ได้แก่ SMS/Kieffer Dough & Gluten Extensibility Rig, Spaghetti/Noodle Test Rig, Tensile Grips, Self-Tightening Roller Grips และ Peel Strength Rig ลักษณะกราฟที่ได้จากการทดสอบแบบดึงแสดงดังภาพที่ 2.6



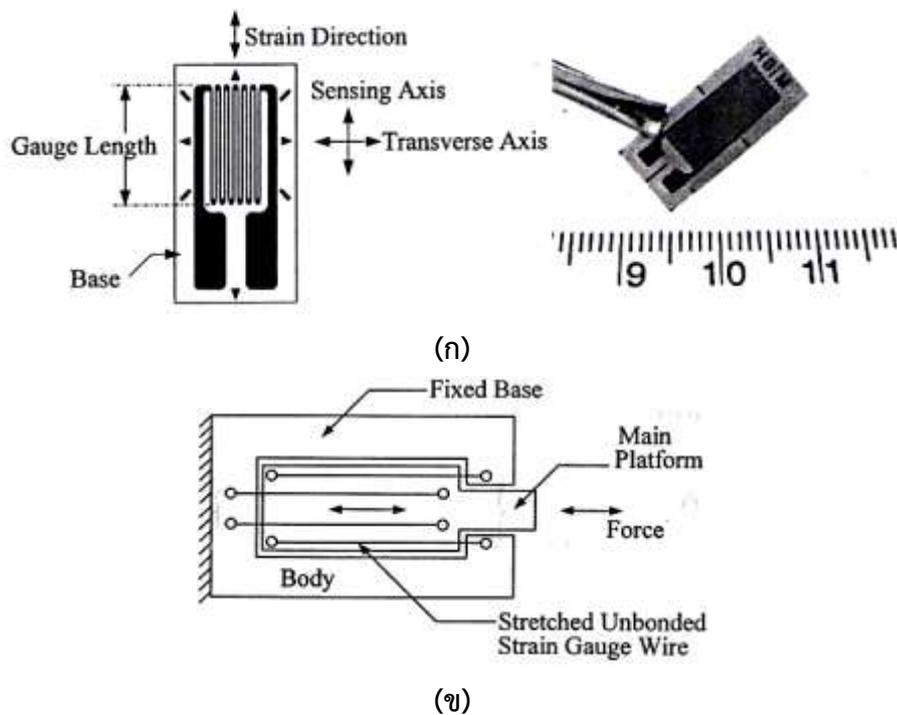
ภาพที่ 2.6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงกับเวลาที่ได้จากการทดสอบแบบการดึงของพืชซ่า

2.3 สเตรนเกจและโพลดเซลล์

สเตรนเกจ เป็นอุปกรณ์ทรานสดิวเซอร์แบบพาสซีฟ (Passive transducer) โดยใช้หลักการของการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานทางไฟฟ้าภายในเส้นลวดเพื่อตรวจวัดความเครียด (Strain) ที่เกิดขึ้นจากแรงที่มากระทำบนเส้นลวด สเตรนเกจสามารถแบ่งออกเป็น 2 แบบ คือแบบยึดติด (Bonded Strain Gauge) และแบบไม่ยึดติด (Unbonded Strain Gauge) แสดงตัวอย่างดังภาพที่ 2.7 ซึ่งสเตรนเกจทั้งสองชนิดจะมีลักษณะโครงสร้างและการทำงานที่คล้ายกันคือ ทำด้วยเส้นเล็กๆ ขดไปขดมาและนำไปติดกับวัสดุที่ต้องการวัดความเครียดเมื่อสเตรนเกจ ถูกดึงให้ยืดออก ความยาวของเส้นลวดจะเพิ่มขึ้น ในขณะที่พื้นที่หน้าตัดจะลดลง ผลก็คือความต้านทานของเส้นลวดจะเพิ่มขึ้น เนื่องจากความต้านทานโลหะตัวนำจะแปรค่าโดยตรงตามความยาวและแปรค่าผกผันกับพื้นที่หน้าตัด ดังนั้นจึงเขียนเป็นสมการคณิตศาสตร์แสดงความสัมพันธ์ได้ว่า

$$R = \frac{\rho L}{A} \quad (2.1)$$

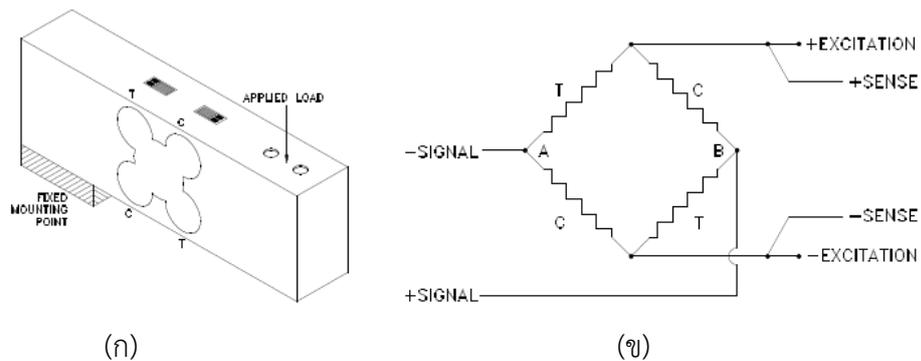
โดยที่ R เป็นค่าความต้านทานของขดลวดตัวนำมีหน่วยเป็นโอห์ม
 ρ เป็นค่าสัมประสิทธิ์ความต้านทานของลวดตัวนำ มีหน่วยเป็นโอห์ม-เมตร
 L เป็นความยาวของขดลวดตัวนำมีหน่วยเป็นเมตร
 A เป็นพื้นที่หน้าตัดของลวดตัวนำมีหน่วยเป็นตารางเมตร



ภาพที่ 2.7 ลักษณะรูปร่างของสเตรนเกจในแบบต่าง ๆ กัน

สเตรนเกจไม่เพียงจะนำมาใช้วัดค่าความเครียดเพียงอย่างเดียว แต่ยังมาใช้เป็นตัวแปลงสัญญาณ(Transducer) เช่น โหลดเซลล์ สำหรับวัดแรงเป็นต้น

โหลดเซลล์ คือ เซนเซอร์ที่สามารถแปลงค่าแรงกดหรือแรงดึง เป็นสัญญาณทางไฟฟ้าได้ เหมาะสำหรับการทดสอบคุณสมบัติทางกลของชิ้นงาน โหลดเซลล์ถูกนำไปใช้ในอุตสาหกรรมหลากหลายประเภท ได้แก่ การชั่งน้ำหนัก การทดสอบแรงกด แรงดึงของชิ้นงาน โดยแบบที่เลือกใช้เป็นชนิดโหลดเซลล์แบบสเตรนเกจ (Strain gauge load cell) หลักการของโหลดเซลล์ ประเภทนี้ก็คือ เมื่อมีน้ำหนักมากระทำ ความเครียดจะเปลี่ยนเป็นความต้านทานทางไฟฟ้าในสัดส่วนโดยตรงกับแรงที่มากระทำ ซึ่งเป็นหลักการเช่นเดียวกับสเตรนเกจ ปกติแล้วมักจะใช้สเตรนเกจวัดความเครียด 4 ตัว โหลดเซลล์แบบคานจะประกอบด้วยสองส่วน คือ คานยื่นและสเตรนเกจ จากภาพที่ 2.8 (ก) คานยื่นมี สเตรนเกจสองตัวอยู่ที่พื้นผิวด้านบน และอีกสองตัวอยู่บนพื้นผิวด้านล่าง โดยทั้งหมดจะต่อกันเป็นวงจรวีทสโตนบริดจ์ (Wheatstone bridge) ดังภาพที่ 2.8 (ข)



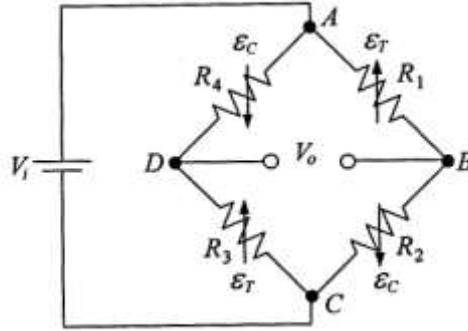
ภาพที่ 2.8 โหลดเซลล์แบบสเตรนเกจ

ก) คานยื่นสำหรับยึดสเตรนเกจ และ ข) สเตรนเกจที่ต่อเป็นวงจรวีทสโตนบริดจ์

การต่อวงจรสำหรับตรวจวัดความเครียด โดยปกติแล้วจะใช้วงจรวีทสโตนบริดจ์ แบบสี่แขน ดังภาพที่ 2.9 ซึ่งระหว่างจุด B และ D ซึ่งเป็นแรงดันเอาพุท (Voltage output, V_O) จะมีความต่างศักย์เท่ากับ

$$V_O = V_{AB} - V_{AD} \quad (2.2)$$

ในขณะที่แรงดันไฟฟ้าทางด้านเอาพุท (V_O) จะเป็นศูนย์ก็ต่อเมื่อ $R_1 R_3 = R_2 R_4$ ซึ่งในสภาวะนี้จะถือว่าบริดจ์มีความสมดุล ดังนั้นจึงสามารถปรับค่าความต้านทานที่แขนของบริดจ์ได้ตามต้องการเพื่อให้ได้แรงดันไฟฟ้าทางด้านเอาพุท (V_O) เท่ากับศูนย์เมื่อไม่มีความเครียดเกิดขึ้น



ภาพที่ 2.9 วงจรวิทสโตนบริดจ์

ในการวัดแรงโดยสเตรนเกจ ตัวต้านทานทั้งสองจะเชื่อมต่อเข้าด้วยกันเพื่อใช้แปลงแรงที่กระทำกับตัวของมันไม่ว่าจะเป็นแรงกดหรือแรงดึง จากนั้นจะส่งสัญญาณออกมาเป็นแรงดันไฟฟ้า โดยที่แรงดันไฟฟ้าที่ได้จะเทียบเป็น mV/V หมายความว่า ถ้าจ่ายแรงดัน 10 V ให้กับโหนดเซลล์ที่มีข้อกำหนด (Specification) เป็น 2 mV/V ที่ภาระสูงสุด(Full load) สมมุติว่าน้ำหนักเป็น 2,000 กิโลกรัม ดังนั้น เมื่อมีแรงกระทำต่อโหนดเซลล์ที่ภาระสูงสุด สัญญาณที่จะได้ก็จะได้เท่ากับ 20 mV ซึ่งจะแสดงแรงดันเข้าพุทเป็นสัดส่วน คือ

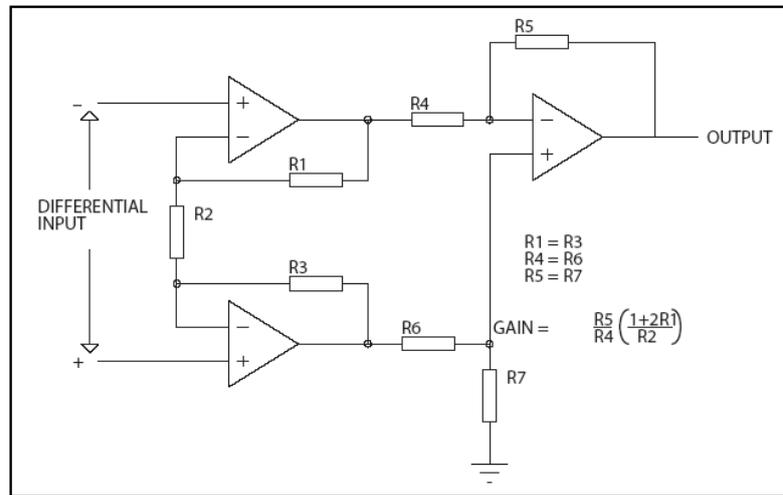
0 Kg	จะได้ $V_o = 0$ mV
1000 Kg	จะได้ $V_o = 10$ mV
2000 Kg	จะได้ $V_o = 20$ mV

2.4 วงจรขยายสัญญาณแบบเครื่องมือวัด (Instrument Amplifier)

วงจรขยายแบบเครื่องมือวัด นำมาใช้เพื่อขยายสัญญาณจากโหนดเซลล์แบบสเตรนเกจ เมื่อได้รับแรงกระทำจากโหนด ค่าความต้านทานของสเตรนเกจที่ตัวโหนดเซลล์จะเปลี่ยนแปลง ทำให้วงจรบริดจ์ไม่สมดุล ทำให้เกิดมีความต่างศักย์ทางไฟฟ้าออกมาจากวงจรวิทสโตนบริดจ์ เหตุผลที่ไม่ใช้วงจรขยายความแตกต่าง (Differential amplifier) เนื่องจากอาจจะมี Common Mode Rejection Ratio (CMRR) สูง แต่ Input impedance ถูกจำกัดโดยค่าความต้านทานที่ขา Input ทำให้บางครั้งอาจจะมี Input Impedance ต่ำ จะเป็นเหตุให้มีการดึงกระแสจาก Signal source โหลดเข้าสู่วงจรขยายความแตกต่าง ซึ่งโดยปกติแล้วจะไม่มี Signal source ใดถูกออกแบบให้จ่ายพลังงานได้สูง ซึ่งเป็นสาเหตุให้การออกแบบวงจรขยายไม่ต้องเป็นโหลดของตัวตรวจจับสัญญาณ(Sensor) อีก และนอกจากนั้นการที่มีกระแสไหลจาก Signal Source ไปสู่วงจรขยาย อาจทำให้เกิดสัญญาณรบกวนแทรกเข้ามาในวงจรได้ง่าย

ส่วนวงจรขยายแบบเครื่องมือวัดจะไม่มีมีการดึงกระแสจาก Signal Source เนื่องจาก Input impedance ของวงจรเท่ากับ Input impedance ของ Op-Amp ซึ่งปกติมีค่าสูง ข้อดีอีกอย่างคือมี

CMRR สูง จึงเหมาะกับการนำไปใช้กับตัวตรวจจับสัญญาณซึ่งส่วนใหญ่จะให้สัญญาณ Amplitude ต่ำในสถานะที่มีสัญญาณรบกวนสูง ซึ่งเหมาะสำหรับนำไปขยายสัญญาณจากโพลตเซลล์



ภาพที่ 2.10 วงจรขยายแบบเครื่องมือวัด

2.5 ชุดควบคุมการเคลื่อนที่

ส่วนควบคุมการเคลื่อนที่ประกอบด้วยส่วนสำคัญ ดังต่อไปนี้

2.5.1 มอเตอร์ เป็นอุปกรณ์ที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกล ประกอบด้วยขดลวดที่พันรอบแกนโลหะที่วางอยู่ระหว่างขั้วแม่เหล็ก โดยเมื่อกระแสไฟฟ้าไหลเข้าไปยังขดลวดอยู่ระหว่างขั้วแม่เหล็ก จะทำให้ขดลวดหมุนไปรอบแกน และเมื่อสลับขั้วไฟฟ้า การหมุนของขดลวดจะหมุนกลับทาง สำหรับเซอร์โวมอเตอร์ เป็นมอเตอร์ที่ทำงานโดยใช้สัญญาณพัลส์ โดยภายในเซอร์โวมอเตอร์จะประกอบไปด้วย มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ชุดเกียร์และส่วนควบคุม โดยจะประกอบอยู่ในชุดเดียวกัน ในการควบคุมเซอร์โวมอเตอร์นั้นจะทำให้หมุนไปทางซ้ายได้ 90 องศา และไปทางขวาได้ 90 องศา (รวมเป็น 180 องศา) และสามารถสั่งให้หมุนตามองศาที่กำหนดได้ (ในการที่จะทำให้หมุนได้ 360 องศา สามารถทำได้โดยการดัดแปลงแก้ไขวงจรภายใน) การใช้งานเซอร์โวมอเตอร์นั้นจะนำไปใช้ในงานที่ต้องการความแม่นยำ ในเรื่องขององศาหรือการหมุนไปในทิศทางที่ต้องการ ความเร็วหรือระยะทางตามที่กำหนด โดยมีวงจรในการป้อนกลับเพื่อควบคุมความเร็วหรือระยะทางให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

2.5.2 Ball screw เป็นระบบการขับเคลื่อนแบบหนึ่งในระบบขับเคลื่อนประเภทเครื่องกล (Mechanic) โดยมีส่วนประกอบหลัก 2 ส่วนคือ เฟลาเกลียว (Screw shaft) และ Nut มีเม็ดลูกปืนกลม (Ball) เป็นตัวรับน้ำหนักและแรงเสียดทาน Ball screw มีส่วนดีกว่าระบบขับเคลื่อนอื่นๆ มีส่วนประกอบที่น้อย ไม่ซับซ้อน และมีความแข็งแรงกว่าระบบอื่นๆ Ball screw แบบเจีย (Grounded or precision ball screw) ผลิตโดยการนำเฟลาที่ชุบแข็งแล้ว (Case hardening) มาเจียทางวิ่ง โดยสามารถควบคุมการเจีย

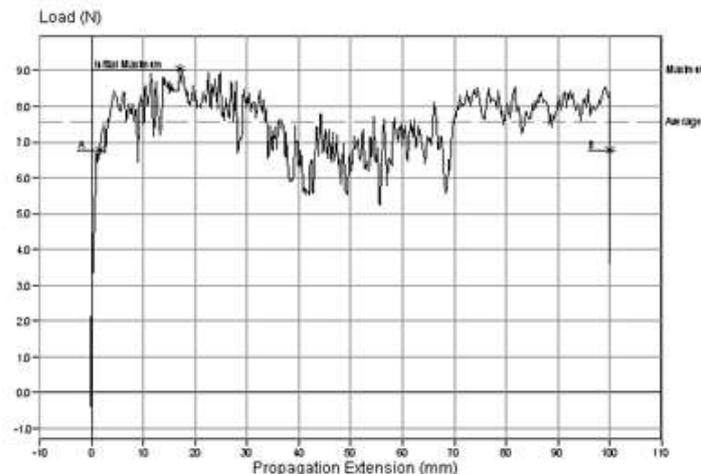
ให้ได้ความละเอียดตามความต้องการ ซึ่งความผิดเพี้ยนจะเกิดขึ้นในช่วงหนึ่ง แต่จะไม่สะสมตามความยาวเหมือนแบบรีด ทำให้เหมาะสำหรับงานที่ต้องการความละเอียดสูง



ภาพที่ 2.11 Ball screw

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Chuang และคณะ (1997) แสดงลักษณะกราฟการทดสอบแรงดึง ซึ่งมีลักษณะเป็นจุดสูงสุดของแรงและหลังจากนั้นจะกลายเป็นลักษณะฟันเลื่อย จนกราฟตกมาที่จุดต่ำสุดเนื่องจากการลอกออกจากกันอย่างสมบูรณ์ดังแสดงในภาพที่ 2.12



ภาพที่ 2.12 ผลการทดสอบด้วยวิธีการดึง

นักวิจัยหลายกลุ่มได้นำวิธีการทดสอบแรงดึงไปใช้เพื่อตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์ เช่น การทดสอบประสิทธิภาพการยึดติดของเทปกาวเมื่อสัมผัสน้ำด้วยวิธีทดสอบแรงดึง (Jackson et al., 1998) การศึกษาผลของคุณสมบัติทางความร้อนที่มีต่อความแข็งแรงในการดึงลอกกาวพอลิเมอร์ (Trenor et al., 2002) การศึกษาผลของอุณหภูมิที่พื้นผิวที่มีต่อแรงยึดติดของเทปกาว (McGuiggan et al., 2008) การศึกษาประสิทธิภาพการยึดติดของกาวธรรมชาติชนิดเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม (KIM, 2009) เป็นต้น