

การพัฒนาเพื่อตรวจสอบค่าสมบัติทางกลของตัวอย่างโลหะภายใต้ ความเครียดแปรผันโดยใช้โปรแกรมแล็บวิว

A Development to Monitoring of the Mechanical Properties of Metallic Specimens under the Strain Variation Using LabVIEW Program

วีระพงษ์ กาญจนวงศ์กุล

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์ กรุงเทพมหานคร 10160

E-mail: kveepong@hotmail.com

Veerapong Kanchanawongkul

Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, South-East Asia University,

Bangkok, 10160. E-mail: kveepong@hotmail.com

บทคัดย่อ

ปัจจุบันส่วนมากเครื่องทดสอบมาตรฐานที่ยังใช้ตรวจสอบความแข็งแรงของวัสดุ ดังเช่น เครื่องทดสอบแรงดึง (Tensile testing machine) โดยค่าสมบัติทางกลของวัสดุเป็นค่าหนึ่งที่มีความสำคัญอย่างมากที่นำไปเป็นค่าอ้างอิงมาตรฐานการผลิตด้านความแข็งแรงของวัสดุแต่ละชนิดและเป็นขอบเขตเกี่ยวกับความปลอดภัยในงานทางวิศวกรรม ดังนั้น การวิจัยนี้จึงมีความจำเป็นต้องพัฒนาระบบการวัดทางวิศวกรรมโดยทดสอบจากโปรแกรมแล็บวิว กับ DAQ-ADAM 4018 และตรวจสอบค่าสมบัติทางกลตัวอย่างโลหะ 5 ชนิด ด้วยสเตรนเกจ (strain gage) ที่ยึดติดผิวส่วนล่างกับส่วนบนที่ระยะกึ่งกลางความยาว 500 mm ของคานหน้าตัดสี่เหลี่ยมจัตุรัส (8 x 8 mm) การทดสอบนี้กระทำแบบ 3 ซ้ำ จากการเพิ่มภาระกดที่ระยะกึ่งกลางของคานโดยใช้มวลมาตรฐาน 5 ค่า กับตัวอย่างโลหะที่เตรียมทดสอบ จากผลการวัดค่าความเครียดเทียบกับค่าความเครียดทางทฤษฎีพบว่า ค่าความเครียดแปรผันเป็นเชิงเส้นตามการเพิ่มค่ามวล และความเครียดที่ผิวแสดงด้วยค่าลบและค่าบวกเนื่องจากการหดและการยืดของผิวคานจากแนวระดับอ้างอิง โดยค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นทางการวัดเทียบเคียงกับค่ามาตรฐานของตัวอย่างโลหะ 4 ชนิด ทั้งกลุ่มเหล็กและกลุ่มมิใช่เหล็ก (เหล็กกล้าคาร์บอน SS400 และ S45C, ทองเหลือง และอะลูมิเนียม) ยกเว้นตัวอย่างโลหะแอสแตนเลส ส่วนค่าสัมประสิทธิ์การแปรผันของค่าความเครียดทางการวัดสามารถยอมรับได้ขณะที่ค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุดไม่เกิน 10 % สำหรับค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นทางการวัด ผลจากพัฒนาระบบการวัดและการตรวจสอบนี้แสดงอย่างชัดเจนว่ามีความถูกต้องเพียงพอเป็นที่ยอมรับและใช้งานกับการวัดทางวิศวกรรมได้อย่างสมบูรณ์

คำหลัก: สมบัติทางกล ตัวอย่างโลหะ ความเครียดแปรผัน.

Abstract

At present, a standard machine is widely used the monitoring in the strength of the materials such as Tensile machine. The mechanical properties of materials is one of the most important is carried out to the reference standard for the production of the strength of the material and limited about the safety in engineering. Therefore, this research is necessary to develop system of simple measurement engineering by tested the LabVIEW program with DAQ-ADAM 4018 and the mechanical properties of five type

materials were determined. The strain gages were attached on the surface of the bottom to the top at the range center in length of 500 mm of the square beam (8 x 8 mm). The three times of repeated test was increased the press that the center of the beam by the mass of five values for the metallic specimens prepared and then tested. The measured result of strain values when compared to the theoretical strain values were found that linearly strain variation by the increased mass, and the strains of surfaces exhibited the negative and the positive values due to a shrink and a stretch of beam surfaces from the horizontal reference. The modulus of elasticity was measured and closed to find the standard values of four types of metallic specimens both ferrous group and non-ferrous group (Carbon steel SS400 and S45C, brass and aluminum), except for stainless steel. The coefficient of variation of measured strain values were accepted while the maximum error values limited of 10% for the modulus of elasticity measured. The results of develop system and monitoring were clearly exhibited that precision enough to be accepted and used to successful measurement engineering.

Keywords: Mechanical properties, Metallic specimens, Strain variation.

1. บทนำ

ปัจจุบันผลการทดสอบแรงดึง (Tensile testing) เป็นที่ยอมรับอย่างกว้างขวางสำหรับใช้เป็นค่ามาตรฐานอ้างอิงเพื่อเลือกวัสดุงานทางด้านวิศวกรรมได้อย่างปลอดภัยและเป็นประโยชน์ต่อการวิจัยพัฒนาทางวัสดุวิศวกรรมพื้นฐาน โดยค่าอ้างอิงที่กล่าวถึงสมบัติทางกลด้านความแข็งแรง (Strength) นั่นคือ ค่าคงที่โมดูลัสความยืดหยุ่น (Modulus of elasticity) และความเค้นที่เป็นจุดเริ่มต้นของการเปลี่ยนรูปถาวร เรียกว่า ความเค้นจุดคราก (Yield stress) ขณะที่ความเค้นแรงดึงสูงสุด เรียกว่า ความต้านแรงดึงสูงสุด (Tensile strength) บางครั้งอาจเรียกว่า Ultimate strength หรือ Ultimate tensile strength ได้เช่นกัน สำหรับการวัดค่าทั้งสองถือว่ามีผลสำคัญต่อการออกแบบทางวิศวกรรม ซึ่งพฤติกรรมความสามารถการดัดยัด (Ductility) ของวัสดุสามารถระบุจุดของการเปลี่ยนรูปได้ก่อนที่วัสดุนั้นจะเกิดการแตกหักตามมาอันนำไปสู่ความมั่นใจในคุณภาพและความเหนียวเพียงพอที่มีความเกี่ยวข้องโดยตรงกับการออกแบบทางวิศวกรรม [3]

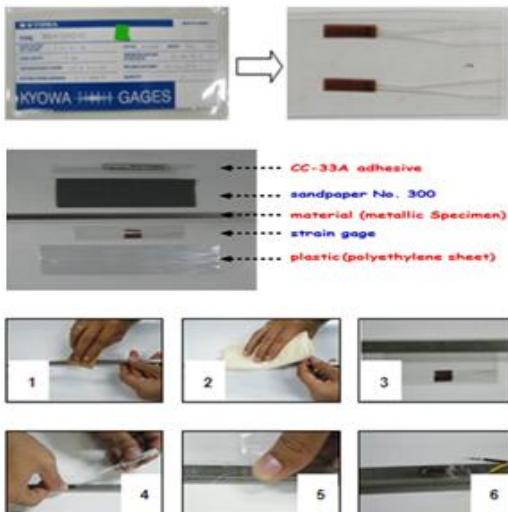
โดยทั่วไป ค่าสมบัติทางกลถือว่าเป็นประเด็นสำคัญซึ่งทราบค่าได้จากการทดสอบด้วยแรงดึงจนวัสดุแตกหักในที่สุด ขณะเดียวกันการทดสอบด้วยวิธีการอื่นๆ สามารถใช้ทดสอบและทราบค่าสมบัติทางกลตามทฤษฎีความยืดหยุ่นและพลาสติกซิตี้ได้เช่นกัน [3] ดังเช่นการทดสอบแรงบิด (Torsion test) การทดสอบแรงกด

(Compression test) และการทดสอบแรงดัด (Bending test) เป็นต้น จากพฤติกรรมของการเปลี่ยนรูปของวัสดุที่สังเกตได้พบว่า ค่าความเครียดทางวิศวกรรมของวัสดุกลุ่มโลหะและอโลหะสามารถเกิดขึ้นได้ทั้งภาวะเนื่องจากการร้อนและแรงกระทำภายนอก [1, 2] ซึ่งนำไปสู่การเปลี่ยนรูปได้จากตำแหน่งของจุดเริ่มต้นและแทนที่ด้วยตำแหน่งถัดไปของจุดใหม่ [3] สำหรับการทดสอบวิธีการหนึ่งจากการเปลี่ยนรูปนี้สามารถสังเกตได้ชัดเจนพร้อมกันจากภายนอกขณะผิวเกิดการยึดกับหดตัวโดยไม่เสียหายอย่างรุนแรงอย่างเช่นการทดสอบแรงดึงหรือแรงบิดก็คือ การทดสอบแรงดัด โดยคานที่รับภาระจากแรงกระทำภายนอกเกิดพฤติกรรมแอ่นตัวหรือคานโค้งตัว และทราบค่าความเครียดได้จากการคำนวณทางทฤษฎีเมื่อทราบค่าคงที่โมดูลัสความยืดหยุ่นของวัสดุจากค่ามาตรฐานการผลิต [3, 11] แต่จากประสบการณ์ตรงอาจไม่ทราบค่ามาตรฐานและยากต่อการระบุที่ชัดเจน ยกเว้นข้อมูลอ้างอิงจากการจำหน่ายของบริษัทที่เชื่อถือได้หรือค่าที่ระบุไว้ทั่วไปตามมาตรฐานจากตารางที่ 1 [1, 3] ตัวอย่างทดสอบที่เป็นเหล็กกล้าคาร์บอน SS400, S45C, สแตนเลส (Stainless steel), ทองเหลือง (Brass) และอะลูมิเนียม (Aluminum) ตามลำดับ การตรวจสอบเบื้องต้นที่ชัดเจนในการทดสอบวัสดุและไม่เกิดการแตกหักโดยสามารถทราบค่าสมบัติทางกลได้เช่นกัน ในที่นี้นำเสนอการวิจัยพื้นฐานแบบประยุกต์โดยใช้คานที่รับภาระอย่างง่ายแต่ละกรณีจำนวน 25 ตัวอย่าง

จากการทดสอบลักษณะคานแอนและคานยื่น [6, 8] กับระบบการวัดที่พัฒนาขึ้นเพื่อตรวจสอบค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นจากผลการวัดค่าความเครียด (Strain) และใช้สเตรนเกจ (Strain gage) ยึดติดตามความยาวบนผิวคานหน้าตัดสี่เหลี่ยมจัตุรัส (Square beam) [4, 5, 7] โดยคาดว่าจะทราบค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นเทียบเท่ากับค่าอ้างอิงมาตรฐานจากระบบการวัดที่มีความถูกต้องเพียงพอจากโปรแกรมแล็บวิว (LabVIEW) ที่พัฒนาขึ้น และสามารถลดค่าใช้จ่ายได้ส่วนหนึ่งจากการส่งตัวอย่างทดสอบไปตรวจสอบส่วนประกอบปริมาณธาตุทางเคมี

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องและการทดสอบ

2.1 สเตรนเกจและการติดสเตรนเกจ



รูปที่ 1 สเตรนเกจใช้งานแบบ KFG Type และการติดสเตรนเกจบนผิวตัวอย่างทดสอบ

จากรูปที่ 1 เป็นแนวทางการติดสเตรนเกจ 6 ขั้นตอน บนผิวตัวอย่างโลหะที่ใช้เป็นตัวอย่างทดสอบด้วยซีเมนต์ CC-33A [7] และสเตรนเกจใช้งานตาม Model number coding system, KFG-5-120-C1-11: gage resistance = $119.8 \pm 0.2 \Omega$, gage factor = $2.10 \pm 1\%$, temperature coefficient of gage factor = $+0.008 \%$ / $^{\circ}\text{C}$ โดยที่ KFG = general-purpose foil strain gage, 5 = gage length: 5 mm, 120 = resistance: 120 Ω , C1 = gage pattern, Uniaxial: leads at one end และ 11 = applicable linear expansion coefficient, common steel: $11.7 \times 10^{-6} / ^{\circ}\text{C}$ ตามลำดับ [7]

2.2 สมบัติทางกลของโลหะ [1, 3 และ 11]

ตารางที่ 1 ค่าอ้างอิงของตัวอย่างโลหะ 5 ชนิด ที่ใช้เป็น

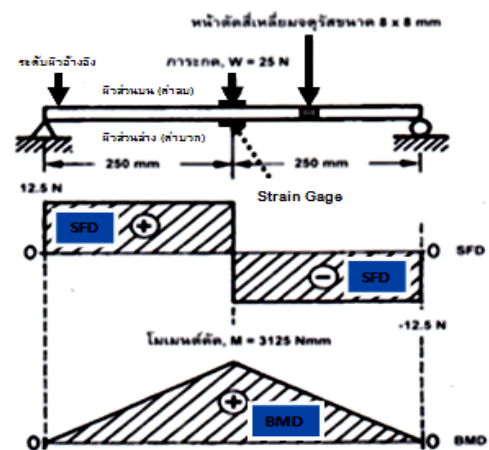
ตัวอย่างทดสอบในกลุ่มเหล็กและกลุ่มมิใช่เหล็ก

ตัวอย่างทดสอบ	E (N/mm ²)	σ_y (N/mm ²)	ρ (kg/mm ³)
SS400	210000	240	7850
S45C	200000	400	7850
STAINLESS	190000	260	7900
BRASS	106000	250	8550
ALUMINIUM	71000	100	2700

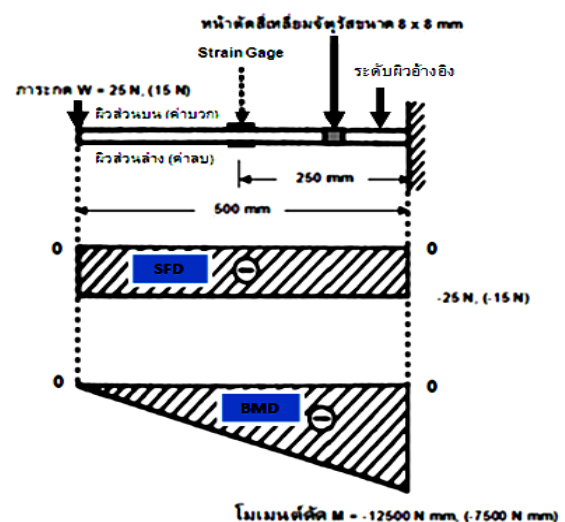
หมายเหตุ : ตัวอักษร E (ME) = ค่าคงที่โมดูลัสความยืดหยุ่น
อ้างอิงหรือทางทฤษฎี, σ_y = ความเค้นจุดคราก และ
 ρ = ความหนาแน่น ตามลำดับ

2.3 ทฤษฎีการตัดอย่างง่ายและวงจรถดสอบ

2.3.1 การตัดของคานแอนและคานยื่น



(a) ลักษณะคานแอนรองรับอย่างง่าย



(b) ลักษณะคานยื่นที่ยึดแน่นด้านเดียว

รูปที่ 2 SFD และ BMD ของคานที่ติดสเตรนเกจ

จากรูปที่ 2 (a) แสดงลักษณะคานแอนรองรับอย่างง่าย 2 จุด และใช้สเตรนเกจยึดติดผิวส่วนล่างกับส่วนบนตามความยาวผิวคานที่ระยะกึ่งกลางของความยาวคานขนาด 8 (ความกว้าง, b) x 8 (ความสูง, h) mm และคานเป็นเนื้อเดียวกันขณะอยู่ภายใต้ภาวะกดแบบจุด (pointed compression) ที่มีมวลมาตรฐาน, $W = 25$ N โดยคานแอนตัวลงแบบไม่เปลี่ยนรูปร่างอย่างถาวรเนื่องจากความเค้นที่เกิดขึ้นอยู่ในขอบเขตความเค้นครากตามตารางที่ 2 โดยที่ $SFD = \pm 12.5$ N และ $BMD_{max} = 3125$ Nmm

จากรูปที่ 2 (b) แสดงลักษณะคานยื่นที่ยึดแน่นด้านหนึ่งส่วนอีกด้านหนึ่งอิสระ และใช้สเตรนเกจยึดติดผิวส่วนล่างกับส่วนบนที่ระยะกึ่งกลางของความยาวคานที่มีขนาดเดียวกับการทดสอบคานแอนขณะอยู่ภายใต้ภาวะกดแบบจุดส่วนปลาย (end-pointed compression) ที่มีมวลมาตรฐาน, $W = 25$ N กระทำกับตัวอย่างทดสอบเหล็กกล้าคาร์บอน SS400, S45C, แอสแตนเลส และทองเหลือง ส่วนมวลมาตรฐาน, $W = 15$ N ใช้กับตัวอย่างทดสอบอะลูมิเนียม โดยคานโค้งตัวแบบไม่เปลี่ยนรูปร่างอย่างถาวร โดยที่ $SFD = -25$ N หรือ (-15 N สำหรับอะลูมิเนียม) และ $BMD_{max} = -12500$ Nmm หรือ (-7500 Nmm สำหรับอะลูมิเนียม)

ตารางที่ 2 ขอบเขตค่าภาระกดสูงสุด, W_{max} ของตัวอย่างโลหะ 5 ชนิด ที่ใช้เป็นตัวอย่างทดสอบในกลุ่มเหล็กและกลุ่มมิใช่เหล็ก

ตัวอย่างทดสอบ	σ_y (N/mm ²)	คานแอน	คานยื่น
		$W_{max} = 4\sigma_y l / CL$ (N)	$W_{max} = \sigma_y l / 4L$ (N)
SS400	240	163.83	40.96
S45C	400	273.06	68.27
STAINLESS	260	177.49	44.37
BRASS	250	170.66	42.67
ALUMINIUM	100	68.26	(17.07)

หมายเหตุ : ตัวอักษร l = โมเมนต์ความเฉื่อย (341.33) mm⁴,
C = ตำแหน่งศูนย์กลางของหน้าตัดคาน (4) mm,
L = ความยาวคาน (500) mm และ W_{max} = ภาระกดสูงสุดของมวลมาตรฐานที่ยอมรับได้ N ตามลำดับ

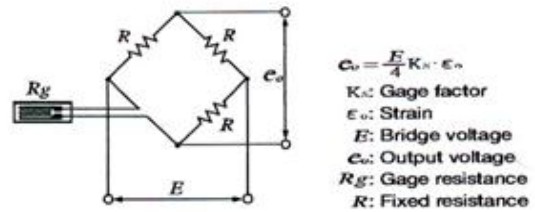
จากกฎของฮุกกำหนดสมการเป็น [6, 8]

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} \quad (1)$$

จากสมการ (1) ค่าความเค้น $\sigma = \sigma_y = W/A$ โดยที่ $A =$ พื้นที่หน้าตัดคาน, 64 mm² และใช้ค่าคงที่โมดูลัสความยืดหยุ่นตามตารางที่ 1 คำนวณค่าความเครียดทางทฤษฎี, ϵ_{th} (Theoretical strain; TS) ได้ตามสมการ

$$\epsilon_{th} = \frac{W/A}{E} \quad (2)$$

2.3.2 วงจรทดสอบความเครียดแปรผัน



รูปที่ 3 วงจร Wheatstone bridge ของสเตรนเกจต่อเข้ากับ DAQ-ADAM 4018 ($\epsilon_{ms} = \epsilon_o = 4e_o / E K_s$)

จากโปรแกรมแล็ปวิวที่พัฒนาขึ้นใช้กับ DAQ-ADAM 4018 สามารถคำนวณค่าความเครียดทางการวัด (ความเครียดแปรผัน), $\epsilon_{ms} = \epsilon_o$ (Experimental strain; ES) ของสเตรนเกจได้จากผลการแปรผันแรงดันออก (output voltage, e_o) ตามวงจรทดสอบดังรูปที่ 3 ในที่นี้ตัวอย่างทดสอบเหล็กกล้าคาร์บอน S45C ใช้เป็นขอบเขตกำหนดค่าภาระกด, W (ตารางที่ 2) โดยที่ทุกตัวอย่างทดสอบใช้ค่ามวลมาตรฐาน, $W = 25$ N ยกเว้นตัวอย่างทดสอบอะลูมิเนียมใช้ค่ามวลมาตรฐาน, $W = 15$ N (คานยื่น) และคำนวณค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นทางการวัด, E_{ms} (Experimental modulus of elasticity; EME) ของตัวอย่างโลหะ 5 ชนิด ที่ใช้เป็นตัวอย่างทดสอบในกลุ่มเหล็กและกลุ่มมิใช่เหล็กได้ตามสมการ

$$E_{ms} = \frac{W/A}{\epsilon_{ms}} \quad (3)$$

2.4 การทดสอบและโปรแกรมใช้งาน [9, 10]

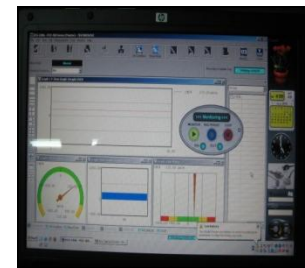
การทดสอบนี้ได้ยึดติดสเตรนเกจที่ค่าความต้านทาน 120 โอห์ม แบบแยกส่วนจำนวน 2 ตัว ที่ผิวส่วนล่างกับส่วนบน (รูปที่ 2) ตามวงจร Wheatstone bridge ของสเตรนเกจต่อเข้ากับ DAQ-ADAM 4018 ผ่านตัวแปลงจาก RS-485 เป็น RS-232/USB ไปยังโปรแกรมแล็บวิว โดยที่แรงดันบริดจ์ (bridge voltage, E) เป็นแหล่งจ่ายค่าคงที่, $E = 5$ โวลต์ (รูปที่ 3) และเปรียบเทียบกับโปรแกรมใช้งานของบริษัท ไฟฟ้าอุตสาหกรรม จำกัด ต่อเข้ากับ PCD-300A ดังรูปที่ 4 โดยผลเปรียบเทียบค่าความเครียดทางการวัดตามตารางที่ 3 ได้จากการทดสอบซ้ำที่ค่าสภาวะสถิติของการเก็บข้อมูลจำนวน 30 ครั้ง (3 ซ้ำ) พบว่า เส้นแนวโน้มที่ค่า R^2 เข้าใกล้ 1 แสดงว่าผลการเปรียบเทียบนี้มีความถูกต้องเพียงพอ

ตารางที่ 3 การเปรียบเทียบค่าความเครียดทางการวัด, ϵ_{ms} จากการติดสเตรนเกจส่วนผิวคานของตัวอย่างโลหะ 5 ชนิด โดยใช้ภาระกด W ที่มวลมาตรฐาน 5 ค่า

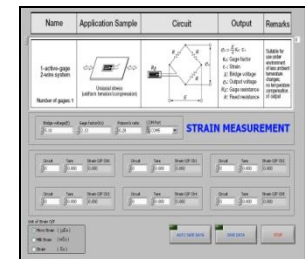
ตัวอย่างทดสอบ และภาระกด W ที่มวลมาตรฐาน		LabVIEW กับ DAQ-ADAM 4018 (IBCON CO.,LTD)		PCD-300A (IE CO.,LTD)	
		ความเครียดทางการวัด, ϵ_{ms}			
		คานอ่อน (ส่วนล่าง)	คานเย็น (ส่วนบน)	คานอ่อน (ส่วนล่าง)	คานเย็น (ส่วนบน)
SS400	5 N	3.63E-07	3.66E-07	3.70E-07	3.68E-07
	10 N	7.29E-07	7.28E-07	7.32E-07	7.30E-07
	15 N	1.11E-06	1.09E-06	1.10E-06	1.08E-06
	20 N	1.48E-06	1.47E-06	1.47E-06	1.49E-06
	25 N	1.84E-06	1.81E-06	1.83E-06	1.85E-06
		$R^2=0.9999$	$R^2=0.9998$	$R^2=1.00$	$R^2=0.9994$
S45C	5 N	3.99E-07	3.78E-07	3.95E-07	3.81E-07
	10 N	7.75E-07	7.63E-07	7.80E-07	7.64E-07
	15 N	1.15E-06	1.14E-06	1.17E-06	1.16E-06
	20 N	1.52E-06	1.52E-06	1.54E-06	1.55E-06
	25 N	1.90E-06	1.92E-06	1.93E-06	1.93E-06
		$R^2=1.00$	$R^2=0.9999$	$R^2=0.9999$	$R^2=1.00$
STAIN- LESS	5 N	4.16E-07	4.78E-07	4.14E-07	4.79E-07
	10 N	8.40E-07	9.18E-07	8.32E-07	9.15E-07
	15 N	1.25E-06	1.38E-06	1.26E-06	1.30E-06
	20 N	1.67E-06	1.85E-06	1.65E-06	1.79E-06
	25 N	2.06E-06	2.30E-06	2.05E-06	2.25E-06
		$R^2=0.9998$	$R^2=0.9999$	$R^2=0.9997$	$R^2=0.9985$
BRASS	5 N	6.78E-07	7.17E-07	7.35E-07	7.35E-07
	10 N	1.34E-06	1.44E-06	1.46E-06	1.46E-06
	15 N	2.03E-06	2.14E-06	2.23E-06	2.21E-06
	20 N	2.69E-06	2.84E-06	2.90E-06	2.90E-06
	25 N	3.38E-06	3.55E-06	3.67E-06	3.69E-06
		$R^2=0.9999$	$R^2=1.00$	$R^2=0.9996$	$R^2=0.9997$
ตัวอย่างทดสอบ และภาระกด W		LabVIEW กับ DAQ-ADAM 4018		PCD-300A (IE CO.,LTD)	

ที่มวลมาตรฐาน		(IBCON CO.,LTD)			
		ความเครียดทางการวัด, ϵ_{ms}			
		คานอ่อน (ส่วนล่าง)	คานเย็น (ส่วนบน)	คานอ่อน (ส่วนล่าง)	คานเย็น (ส่วนบน)
ALUMI- NIUM	5 N	1.04E-06	1.09E-06	1.12E-06	1.12E-06
	10 N	2.10E-06	2.18E-06	2.17E-06	2.17E-06
	15 N	3.16E-06	3.25E-06	3.24E-06	3.27E-06
	20* N	4.21E-06	4.32E-06	4.34E-06	4.38E-06
	25* N	5.27E-06	5.38E-06	5.44E-06	5.42E-06
		$R^2=1.00$	$R^2=1.00$	$R^2=0.9999$	$R^2=0.9999$

หมายเหตุ สำหรับตัวอย่างทดสอบอะลูมิเนียม* จะใช้ภาระกดที่ค่า W_{max} เกินจุดครากที่ 17.07 N เพื่อความสอดคล้องกับการทดสอบตัวอย่างโลหะอีก 4 ชนิด จากการเปรียบเทียบกับการคำนวณค่าสมบัติทางกลต่อไป



PCD-300A และโปรแกรมใช้งาน (IE CO.,LTD)

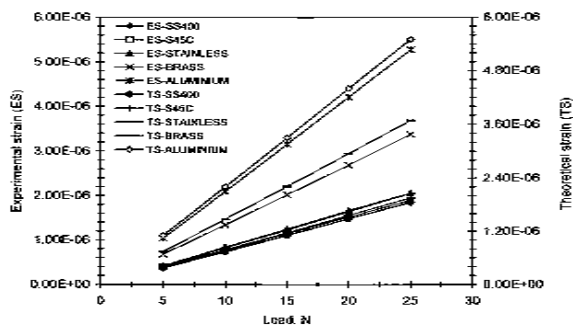


DAQ-ADAM 4018 (IBCON CO.,LTD) และโปรแกรมใช้งานแล็บวิว (LabVIEW) ที่พัฒนาขึ้น

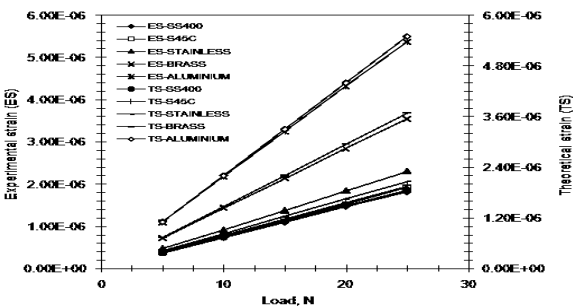
รูปที่ 4 อุปกรณ์ตัวรับ-ส่งค่าและโปรแกรมใช้งาน

3. ผลการวิจัยและการอภิปราย

จากตารางที่ 3 (ประกอบรูปที่ 2 ถึง 4) โดยติดสเตรนเกจที่ผิวคานแบบแยกส่วนตามวงจรที่กำหนดไว้ และต่อเข้ากับ DAQ-ADAM 4018 เป็นอุปกรณ์รับ-ส่งค่าไปยังโปรแกรมแล็บวิวที่พัฒนาขึ้น พบว่า ค่าความเครียดทางการวัดเทียบเคียงกัน สำหรับการทดสอบคานอ่อนที่ผิวส่วนล่างเปลี่ยนรูปจากการยืดแสดงเป็นค่าบวก ขณะที่ส่วนบนเปลี่ยนรูปจากการหดแสดงเป็นค่าลบ แต่ไม่ได้แสดงค่าเทียบไว้ในบทความนี้ ส่วนการทดสอบคานเย็นจะแสดงค่าที่ตรงข้ามกับการทดสอบคานอ่อน



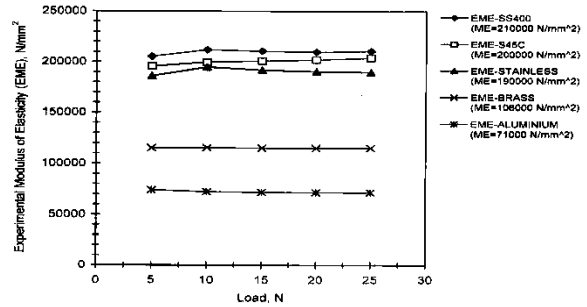
(คานแฉิ่ง)



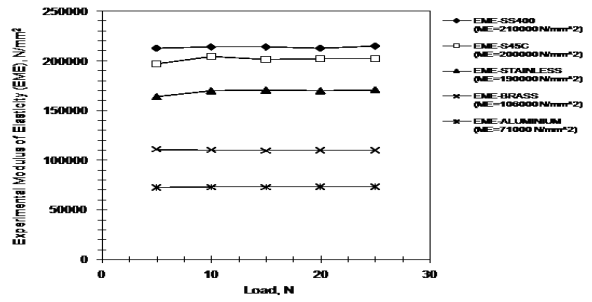
(คานยื่น)

รูปที่ 5 ตัวแทนเปรียบเทียบค่าความเครียดทางการวัดกับทางทฤษฎีของตัวอย่างกลุ่มเหล็กและมิใช่เหล็ก

จากรูปที่ 5 (ประกอบตารางที่ 3) เป็นตัวแทนจากผลเปรียบเทียบค่าความเครียดทางการวัด (ES) กับทางทฤษฎี (TS) ของตัวอย่างกลุ่มเหล็กและมิใช่เหล็ก พบว่าค่าเทียบเคียงกันและสามารถใช้ DAQ-ADAM 4018 แทน PCD-300A ได้เนื่องจากความเป็นเชิงเส้นตามการเพิ่มค่ามวลมาตรฐานที่ 5 N ถึง 25 N และจากรูปที่ 5 เป็นที่สังเกตได้ว่าค่าความเครียดทางการวัด (ความเครียดแปรผัน) สามารถระบุกลุ่มโลหะได้อย่างชัดเจนเนื่องจากตัวอย่างกลุ่มเหล็ก (เหล็กกล้าคาร์บอน SS400, S45C และสแตนเลส) แสดงการเปลี่ยนรูปจากการยืดที่ผิวหน้าเล็กน้อยและค่าความเครียดต่ำอย่างเทียบเคียงกัน ขณะที่ตัวอย่างกลุ่มมิใช่เหล็ก (ทองเหลือง และอะลูมิเนียม) แสดงการเปลี่ยนรูปจากการยืดที่ผิวมากกว่าและค่าความเครียดสูงขึ้นอย่างชัดเจน โดยที่ตัวอย่างทดสอบอะลูมิเนียมแสดงค่าเฉลี่ยสำหรับค่าความเครียดทางการวัดที่สูงที่สุด ลำดับต่อมาเป็นตัวอย่างเป็นตัวอย่างทดสอบทองเหลือง สแตนเลส เหล็กกล้าคาร์บอน S45C และ SS400 ตามลำดับ



(คานแฉิ่ง)



(คานยื่น)

รูปที่ 6 ตัวแทนเปรียบเทียบค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นทางการวัดกับทางทฤษฎีของตัวอย่างกลุ่มเหล็กและมิใช่เหล็ก

ตารางที่ 4 ค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นทางการวัดเฉลี่ย, E_{ms} และค่าความคลาดเคลื่อน, $\%E_{rr}$ ของตัวอย่างโลหะ 5 ชนิด โดยใช้ภาระกด W ที่มวลมาตรฐาน 5 ค่า

ตัวอย่างทดสอบและภาระกด W ที่มวลมาตรฐาน		ค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นทางการวัด, E_{ms} และค่าความคลาดเคลื่อน, $\%E_{rr}$			
		คานแฉิ่ง		คานยื่น	
		E_{ms}	$\%E_{rr}$	E_{ms}	$\%E_{rr}$
SS400	5 N	208335.0983	-0.79	215275.7064	+2.51
	10 N	210528.3830	+0.25	214726.4708	+2.25
	15 N	210657.9224	+0.31	214157.8774	+1.97
	20 N	210471.4464	+0.22	213259.9028	+1.55
	25 N	210755.5222	+0.35	214536.9954	+2.16
			210149.6745	0.068	214391.3906
S45C	5 N	198593.9984	-1.70	201624.0066	+0.81
	10 N	202357.8439	+1.17	204703.7948	+2.35
	15 N	204152.5005	+2.07	203405.1217	+1.70
	20 N	203993.5976	+1.99	202773.5357	+1.38
	25 N	204927.3687	+2.46	202284.5994	+1.14
			202805.0618	1.198	202958.2116
STAINLESS	5 N	184779.5230	-2.74	166026.4194	-12.61
	10 N	188972.4457	-0.54	171361.8538	-9.81
	15 N	188129.0498	-0.98	171321.8875	-9.83
	20 N	188677.7297	-0.69	170802.3331	-10.10
	25 N	188471.6936	-0.80	171098.2124	-9.94
			187806.0884	-1.150	170122.1412

(ต่อตารางที่ 4 หน้าถัดไป)

ตัวอย่างทดสอบ และภาระกด W ที่มีมวลมาตรฐาน		ค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นทางการวัด, E_{ms} และค่าความคลาดเคลื่อน, $\%E_r$			
		คานอ่อน		คานยี่น	
		E_{ms}	$\%E_r$	E_{ms}	$\%E_r$
BRASS	5 N	113680.2290	+ 7.24	109844.8324	+3.62
	10 N	113736.5225	+ 7.29	109726.8522	+3.51
	15 N	113708.0468	+ 7.27	109813.3626	+3.59
	20 N	114088.4365	+ 7.63	109830.3142	+3.61
	25 N	114190.5452	+ 7.72	110099.1420	+3.86
			113880.756	7.430	109862.9007
ALUMI- NIUM	5 N	73068.08787	+ 2.91	71861.3522	+1.21
	10 N	72916.21174	+ 2.69	72144.7196	+1.61
	15 N	72289.02060	+ 1.81	72403.8820	+1.97
	20* N	72286.98901	+ 1.81	72526.9818	+2.15
	25* N	72329.16534	+ 1.87	72816.7838	+2.55
			72577.89491	2.218	72350.74388

จากรูปที่ 6 เป็นตัวแทนเปรียบเทียบค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นทางการวัด (EME) กับทางทฤษฎี (ME) ของตัวอย่างกลุ่มเหล็กและมิใช่เหล็ก พบว่า ค่าเทียบเคียงกับมาตรฐาน และเมื่อพิจารณาประกอบตารางที่ 4 พบว่า ค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นทางการวัดเทียบเคียงกับค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นที่ระบุไว้ตามมาตรฐานอย่างชัดเจน (ประกอบตารางที่ 1) ยกเว้นตัวอย่างทดสอบแอสแตนเลสที่ค่าต่ำกว่ามาตรฐาน ($ME = 190000 \text{ N/mm}^2$) แสดงว่าไม่มีความแข็งแรงพอต่อการนำไปใช้งานได้อย่างปลอดภัย และผลจากสมการ (3) พบว่า ค่าความเครียดทางการวัดส่งผลต่อค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นทางการวัดด้วย โดยที่มีมวลมาตรฐาน 5 N และ 10 N จากการเทียบค่าสัมประสิทธิ์การแปรผัน (%CV.) ของค่าความเครียดทางการวัดแนวโน้มสูงและจากการทดสอบคานอ่อนสูงกว่าการทดสอบคานยี่น และค่าสัมประสิทธิ์การแปรผันโดยรวมของค่าความเครียดทางการวัดสามารถยอมรับได้ (ไม่เกิน 5 %CV.) และการกระจายพบที่มีมวลมาตรฐาน 5 N และ 10 N ของตัวอย่างกลุ่มเหล็กสำหรับการทดสอบคานยี่น ขณะที่การกระจายพบที่ทุกค่ามวลมาตรฐาน (5 N ถึง 25 N) สำหรับการทดสอบคานอ่อนและค่ามากกว่าการทดสอบคานยี่น ทั้งตัวอย่างกลุ่มเหล็กและมิใช่เหล็ก

จากตารางที่ 4 พบว่า แต่ละค่าจากการวัดเป็นที่ยอมรับได้ว่ามีค่าความคลาดเคลื่อนอยู่ ($\%E_r$) โดยแนวโน้มแม้ว่าจะสูงกว่าที่ระบุไว้ตามมาตรฐาน (ตารางที่ 4 ประกอบตารางที่ 1) แต่ก็น่าเชื่อถือได้เนื่องจากผลปรับเทียบกับโปรแกรมใช้งานที่ต่อเข้ากับ PCD-300A

เทียบเคียงกัน (ตารางที่ 3) และผลการตรวจสอบสมบัติทางกลจากค่าความเครียดทางการวัดสำหรับการทดสอบคานอ่อนและคานยี่น พบว่า ค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นทางการวัดเฉลี่ย (EME) ที่เป็นค่าสมบัติทางกลสำคัญเป็นไปในทิศทางเดียวกัน ยกเว้นตัวอย่างทดสอบแอสแตนเลสที่ต่ำกว่าค่ามาตรฐาน และแสดงค่าความคลาดเคลื่อนทางลบจากการทดสอบทั้งสองลักษณะ โดยเฉพาะการทดสอบคานยี่น พบว่า ค่าความคลาดเคลื่อนทางลบสูงมากในช่วง 9 ถึง 12 เปอร์เซ็นต์ และสูงกว่าประมาณ 10 เท่า ของการทดสอบคานอ่อนที่ค่าเฉลี่ยส่วนต่าง -9.308 เปอร์เซ็นต์ (ระหว่างค่าเฉลี่ยที่ -1.15 และ -10.458 ของ $\%E_r$) และเป็นไปได้ว่าไม่สามารถนำไปใช้งานได้อย่างชัดเจน ส่วนตัวอย่างทดสอบอีก 4 ชนิด สามารถยอมรับได้ โดยค่าความคลาดเคลื่อนของตัวอย่างทดสอบทองเหลืองทางบวกสูงในช่วง 3 ถึง 4 เปอร์เซ็นต์ และค่าความคลาดเคลื่อนทางบวกโดยรวมอยู่ในช่วง 1 ถึง 4 เปอร์เซ็นต์ สำหรับตัวอย่างทดสอบเหล็กกล้าคาร์บอน SS400, S45C, ทองเหลือง และอะลูมิเนียม ขณะที่การทดสอบคานอ่อน พบว่า ค่าความคลาดเคลื่อนของตัวอย่างทดสอบทองเหลืองทางบวกสูงกว่า 1 เท่า ของการทดสอบคานยี่นที่ค่าเฉลี่ยส่วนต่าง 3.792 เปอร์เซ็นต์ (ระหว่างค่าเฉลี่ยที่ 3.638 และ 7.43 ของ $\%E_r$) และตัวอย่างทดสอบเหล็กกล้าคาร์บอน SS400, S45C, แอสแตนเลส และอะลูมิเนียมเป็นไปในทิศทางเดียวกัน และสามารถนำไปใช้งานได้อย่างปลอดภัยจากผลการทดสอบเป็นที่ยอมรับทั้งการทดสอบคานอ่อนและคานยี่นขณะที่ค่าความคลาดเคลื่อนโดยรวมไม่เกิน 10 เปอร์เซ็นต์

อย่างไรก็ตาม จากผลการตรวจสอบค่าสมบัติทางกลโดยวิธีการนี้เป็นแนวทางที่ลดค่าใช้จ่ายได้ แต่ยังคงจำเป็นต้องตรวจสอบส่วนประกอบปริมาณธาตุทางเคมีด้วยเพื่อเป็นการยอมรับการระบุเกรดที่สอดคล้องกับค่าสมบัติทางกลของตัวอย่างทดสอบนี้ โดยคาดว่าปริมาณธาตุอาจส่งผลต่อความต้านทานการกัดของมวลมาตรฐานจากภายในเนื้อโลหะที่แข็งแกร่งแม้ว่าการพิจารณาทางทฤษฎีเป็นเนื้อเดียวกันก็ตาม [1, 2] และจากงานวิจัยนี้เป็นแนวทางของการตรวจสอบอย่างง่ายที่มีความถูกต้องระดับหนึ่งโดยควรตรวจสอบค่าสมบัติทางกลจากใบรับรองของผู้ผลิตด้วยจะมีความปลอดภัยมากขึ้น

4. สรุป

จากความสำคัญของการตรวจสอบค่าสมบัติทางกลของวัสดุที่ใช้เป็นตัวอย่างทดสอบในกลุ่มเหล็กและกลุ่มมิใช่เหล็กที่เทียบกับค่ามาตรฐานการผลิตหรือค่าอ้างอิง และได้พัฒนาระบบการวัดทางวิศวกรรมโดยใช้โปรแกรมแล็บวิวตรวจสอบค่าสมบัติทางกลที่เป็นค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นตัวอย่างโลหะ 5 ชนิด ด้วยสเตรนเกจที่ผิวส่วนล่างกับส่วนบนของคานหน้าตัดสี่เหลี่ยมจัตุรัสจากการเพิ่มภาระกดที่มวลมาตรฐาน 5 ค่า พบว่าค่าความเครียดแปรผันเป็นเชิงเส้นตามการเพิ่มค่ามวล โดยเกิดการหดและการยืดของผิวคาน ค่าความเครียดทางการวัดส่งผลต่อค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นทางการวัด และจากการทดสอบคานแอนและคานยื่นนี้ค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นทางการวัดเทียบเคียงกับค่ามาตรฐานของตัวอย่างโลหะ 4 ชนิด ทั้งกลุ่มเหล็กและกลุ่มมิใช่เหล็กที่เป็นเหล็กกล้าคาร์บอน SS400 และ S45C, ทองเหลืองและอะลูมิเนียม ยกเว้นตัวอย่างโลหะแอสแตนเลสที่ต่ำกว่าค่ามาตรฐานและไม่มีค่าสัมประสิทธิ์การแปรผันของค่าความเครียดทางการวัดสามารถยอมรับได้ขณะที่ค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุดไม่เกิน 10 % สำหรับค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นทางการวัด และจากการตรวจสอบนี้แสดงอย่างชัดเจนว่าระบบการวัดที่พัฒนาขึ้นจากโปรแกรมแล็บวิวมีความถูกต้องและสามารถใช้งานกับการวัดทางวิศวกรรมได้อย่างสมบูรณ์

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ คุณกฤษณ์ วัชรวิชัย บริษัท ไฟฟ้าอุตสาหกรรม จำกัด ที่สนับสนุนเพื่อการปรับเทียบกับโปรแกรมสำเร็จเชื่อมต่อกับ PCD-300A ต่อสาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์ และขอขอบคุณนักวิจัย นักวิชาการ คณาจารย์ทุกท่านที่ผู้วิจัยนำข้อมูลต่าง ๆ มาเป็นเอกสารอ้างอิงอันนำไปสู่ความรู้ทางวิชาการที่เป็นประโยชน์ต่อการวิจัยต่อไป

เอกสารอ้างอิง

[1] ชนะ กลีภาร์. 2528. ความแข็งแรงของวัสดุ. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า พระนครเหนือ. กรุงเทพฯ.

- [2] ชาญ ถนัดงาน. 2523. กลศาสตร์วัสดุ. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า พระนครเหนือ. กรุงเทพฯ.
- [3] วีระพงษ์ กาญจนวงศ์กุล. 2550. กลศาสตร์การเปลี่ยนรูปวัสดุ. สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล, คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์. กรุงเทพฯ.
- [4] สมนึก บุญพาไสว. 2550. การวัดและเครื่องมือวัด. สำนักพิมพ์ท็อป. กรุงเทพฯ.
- [5] วิศรุต ศรีรัตนะ. 2550. เซนเซอร์และทรานสดิวเซอร์ในงานอุตสาหกรรม. บริษัท ซีเอ็ดดูเคชั่น จำกัด (มหาชน). กรุงเทพฯ.
- [6] รุ่งเสรีย์ ใจเขื่อนแก้ว. 2545. กลศาสตร์ของวัสดุ. สำนักพิมพ์ท็อป. กรุงเทพฯ.
- [7] Eiichi Saito. 1995. Strain Gage Installation Manual. Kyowa Electronic Instruments CO.,LTD.
- [8] Hicks, T. G. 2003. Mechanical Engineering Formulas. McGraw Hill Companies. Inc., USA.
- [9] Kyowa. 2005 and 2006. Kyowa Measurement Instruments. Industrial Electrical CO.,LTD.
- [10] Product Catalog. 2008 and 2009. eAutomation Solutions. IBCON CO.,LTD.
- [11] Rao, P. N. 2002. Manufacturing Technology. Tata McGraw Hill Companies. Inc., New Delhi.