การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 22
15-17 ตุลาคม 2551 มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต

ระบบยิง Striker ด้วยลมอัดสำหรับ Split Hopkinson Pressure Bar

Compressed-Air Striker Launching System for Split Hopkinson Pressure Bar

เอกวัฒน์ นิลวิจิตร*, ฐิตะพล หุยะนันท์
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร
51 ถ.เชื่อมสัมพันธ์ หนองจอก กรุงเทพมหานคร 10530
โทร 086-298-8510* e-mail: eakkawat_mut@hotmail.com*

บทคัดย่อ

Split Hopkinson Pressure Bar (SHPB) เป็นเทคนิคที่รู้จักกันดีในการทดสอบหาคุณสมบัติเชิงพลวัตของโลหะที่อัตราความเครียดสูง (10^2-10^4 s^{-1}) เทคนิคนี้เป็นการพัฒนาบนทฤษฎีของการเคลื่อนที่ของคลื่นตามยาวในแท่งกลม โดยใช้การกระแทกของ Striker เป็นต้นกำเนิดความเร็วเข้ากระแทกสำหรับสร้างคลื่นความเค้นอัดใน Pressure Bar บทความนี้เป็นการนำเสนอระบบยิง Striker ด้วยลมอัดซึ่งสามารถควบคุมความเร็วเข้ากระแทกของ Striker ณ ค่าที่กำหนดด้วยระบบ Electro-Pneumatics ในช่วงความดันใช้งานไม่เกิน 15 bar โดย Striker ทั้งสองที่ใช้ในการทดลองเป็นเพลากลมตันขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 26 mm ที่ความยาว 0.50 m น้ำหนัก 2.17 kg และที่ความยาว 0.25 m น้ำหนัก 1.11 kg จากผลการทดลองพบว่า ณ ความดัน 14 bar Striker ยาว 0.50 m มีความเร็วเข้ากระแทกที่ทำได้สูงสุดเท่ากับ 28.05 m/s ขณะที่ Striker ยาว 0.25 m มีความเร็วเข้ากระแทกที่ทำได้สูงสุดเท่ากับ 45.95 m/s โดยผลต่างจากค่าทางทฤษฎีของความเร็วเข้ากระแทกเฉลี่ยของ Striker ยาว 0.50 และ 0.25 m ตลอดช่วงการทดลองเท่ากับ 1.18 m/s และ 3.67 m/s ตามลำดับ และเมื่อนำค่าความเร็วเข้ากระแทกที่ได้ไปคำนวณหาอัตราความเครียด พบว่า สามารถทดสอบ St.A30 และ Copper ได้ที่ Strain rate ในช่วงของ 10^2 s^{-1} ขณะที่ Aluminum สามารถทดสอบได้ที่ Strain rate ซึ่งอยู่ในช่วง 10^2 ถึง 10^3 s^{-1} ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า ระบบยิง Striker ด้วยลมอัดนี้สามารถนำไปใช้ในการทดสอบคุณสมบัติเชิงพลวัตด้วยเทคนิค SHPB ได้

Abstract

Split Hopkinson Pressure Bar (SHPB) is a well-recognized technique for measuring dynamic properties of metal at high strain rate (10^2-10^4 s^{-1}). This technique was developed on theory of longitudinal wave propagation in rod in which a compressive stress wave is generated by an impact velocity of striker. This paper represents a compressed-air Striker Launching System which is capable of controlling the impact velocity of striker at a setup value by means of an electro-pneumatics system within a range of 15 bar of working pressure. Two 26 mm in diameter strikers (0.50 m in length weighted 2.17 kg and 0.25 m weighted 1.11 kg) were used to conduct the tests. It was found that, at the 14 bar working pressure, the maximum impact velocity generated by both 0.50 m and 0.25 m strikers are 28.05 m/s and 45.95 m/s respectively. Throughout the experiment, both average maximum of the measured velocities are lower than the theoretical values: 1.18 m/s for the 0.50 m striker and 3.67 m/s for the 0.25 m striker. Within a range of available impact velocities from this system, it can be stated that St.A30 and Copper can be conducted at range of 10^2 s^{-1} while Aluminum is in a conducting range of 10^2-10^3 s^{-1}. Therefore it can be concluded that the SHPB test can be conducted by a use of this Compressed-Air Striker Launching System.

1. บทนำ

กระบวนการผลิตชิ้นส่วนเครื่องจักรส่วนใหญ่ในปัจจุบัน อธิเช่น กระบวนการกัด การกลึง พบว่าวัสดุมีการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติระหว่างกระบวนการผลิตที่อัตราความเครียดสูงมากกว่า 10 s^{-1} ซึ่งค่าคุณสมบัติที่ได้จากเครื่อง UTM ที่ใช้ทำการทดสอบหาคุณสมบัติของวัสดุ เป็นคุณสมบัติของวัสดุที่อัตราความเครียดน้อยกว่า 1 s^{-1} ดังนั้นค่าคุณสมบัติที่ได้จึงไม่สามารถนำไปใช้กับกระบวนการผลิตชิ้นส่วนที่วัสดุมีการเปลี่ยนแปลงอัตราความเครียดสูงได้ การทดสอบหาค่าคุณสมบัติที่อัตราความเครียดสูงจึงมีความสำคัญอย่างมาก

รูปที่ 1 Split Hopkinson Pressure Bars for French-German Research Institute of Saint-Louis

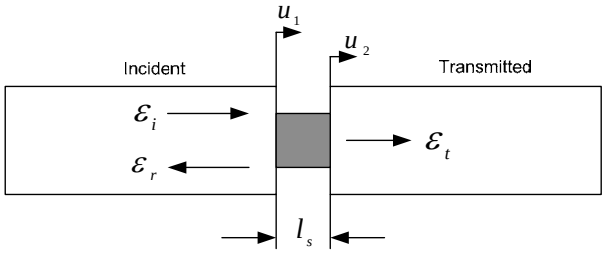
ในปัจจุบันเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบหาคุณสมบัติของวัสดุที่อัตราความเครียดที่สูงมากกว่า 10 s^{-1} คือ Taylor[1] และSplit Hopkinson Pressure Bar (SHPB)[2] ซึ่งบทความนี้มุ่งเน้นไปที่ SHPB ซึ่งใช้เทคนิคการวัดด้วย stress wave สำหรับการวัด ณ อัตราความเครียดสูง โดยหลักการทำงานของ SHPB จะเป็นการทดสอบโดยการอัดกระแทกวัสดุทดสอบ (Specimen) ด้วยความเร็วสูง ซึ่งองค์ประกอบหลักของ SHPB จะประกอบไปด้วย Specimen, Striker, Incident Bar Transmitted Bar, และ Momentum Trap ในส่วนของการอัดกระแทกด้วยความเร็วสูงนี้ จะเป็นการอัดกระแทกจาก Striker ดังนั้นการที่จะทำให้ Striker เคลื่อนที่ให้ได้ความเร็วที่ต้องการในการเข้ากระแทกที่จะทำให้เกิดอัตราการเปลี่ยนแปลงความเครียดในวัสดุทดสอบได้นั้น จะต้องมีต้นกำลังในการสร้างความเร็วให้กับ Striker เพื่อให้ได้ความเร็วที่ต้องการ

ในส่วนของบทความนี้สนใจที่สร้างระบบยิง Striker ด้วยลมอัดเพื่อใช้เป็นต้นกำลังในการสร้างความเร็วเข้ากระแทกสำหรับการทดสอบวัสดุเชิงพลวัตด้วยเทคนิค SHPB ซึ่งระบบควบคุมการทำงานของระบบยิงด้วยลมอัดจะเป็นแบบ Electro-Pneumatics ในช่วงความดันใช้งานไม่เกิน 15 bar โดย Striker ที่ใช้ในการทดลองเป็นเพลากลมตันขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 26 mm ที่ความยาว 0.50 m น้ำหนัก 2.17 kg และที่ความยาว 0.25 m น้ำหนัก 1.11 kg

2. ทฤษฎี Split Hopkinson Pressure Bar (SHPB)

การหาความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น-ความเครียดของวัสดุ ด้วยเทคนิค SHPB นั้น จะตั้งอยู่บนหลักการการเคลื่อนที่ของคลื่นใน 1 มิติ (One-Dimensional Elastic Wave) ดังที่ Kolsky [2,5] ได้พิสูจน์เอาไว้ว่าสามารถศึกษาพฤติกรรมเชิงกลของวัสดุที่มีอัตราการเปลี่ยนแปลงความเครียดต่อเวลาสูง โดยการใช้ Elastic Bar ที่มีความยาวได้ เพราะการเดินทางของคลื่นนั้นสามารถพยากรณ์ทางคณิตศาสตร์ได้ และสามารถวัดค่า Elastic Wave เพื่อนำไปหาความเค้นและความเครียดที่เกิดขึ้นใน Pressure Bar (Incident Bar และTransmitted Bar) ณ จุดใดๆของ Pressure Bar ก็ได้

โดยในบทความนี้จะกำหนดให้ Incident Strain Wave, Reflected Strain Wave และ Transmitted Strain Wave แทนด้วย $\varepsilon_i, \varepsilon_r, \varepsilon_t$ ตามลำดับ และระยะขจัดที่พื้นผิวระหว่าง Incident Bar กับวัสดุทดสอบเป็น u_1 ระยะขจัดที่พื้นผิวระหว่าง Transmitted Bar กับวัสดุทดสอบเป็น u_2 ดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 ภาพรวมของ Incident Bar, Transmission Bar และ ชิ้นทดสอบ (Specimen) [2]

จากทฤษฎีพื้นฐานของคลื่นตามยาวของ Cauchy [3] สามารถเขียนสมการการเคลื่อนที่ของคลื่นตามยาวได้ดังสมการที่ 1

$$\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} = \frac{1}{c_0^2}\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} \quad , \quad c_0 = \sqrt{\frac{E}{\rho}} \tag{1}$$

เมื่อ c_0 คือ ความเร็วของ Longitudinal Wave ใน Pressure Bar E คือ ค่ายังโมดูลัสของ Pressure Bar และ ρ คือ ความหนาแน่นของ Pressure Bar

โดยการแผ่ของคลื่นในที่เกิดขึ้นใน Pressure Bar จะเป็นไปตามผลเฉลยของ D'Alembert [3] ดังสมการที่ 2

$$\begin{aligned} u_1(x,t) &= f_1(x-c_0t) + g_1(x+c_0t) \\ u_2(x,t) &= f_2(x-c_0t) \end{aligned} \tag{2}$$

เมื่อ f_1, g_1 และ f_2 เป็น Function ที่แสดงถึง Incident Wave Reflected Wave และ Transmitted wave ของ Pressure Bar

จากสมมติฐานทางเทคนิค SHPB ที่กำหนดให้ Pressure Bar มีพฤติกรรมการเปลี่ยนรูปแบบอีลาสติกอย่างสมบูรณ์ สามารถเขียนความสัมพันธ์ของแรงที่เกิดใน Pressure Bar ได้ดังสมการที่ 3 และสมการที่ 4

$$F_1 = AE(\varepsilon_i + \varepsilon_r) \tag{3}$$

$$F_2 = AE\varepsilon_t \tag{4}$$

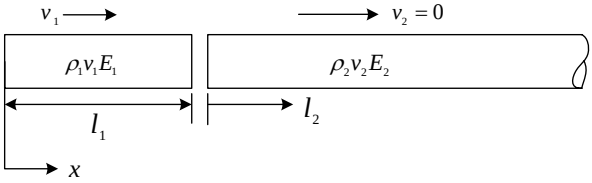
เมื่อ A คือ พื้นที่หน้าตัดของ Pressure Bar และ E คือ ค่ายังโมดูลัสของ Pressure Bar และในทางเทคนิคของ SHPB จะกำหนดให้ Pressure Bar ทำมาจากวัสดุเดียวกัน นอกจากนี้ยังมีสมมติฐานว่าวัสดุทดสอบอยู่ใน Force Equilibrium และมี Deforming Uniformly ซึ่งหากสมมติฐานเหล่านี้เป็นจริง แรงที่เกิดขึ้นบนแต่ละด้านของวัสดุทดสอบจะเท่ากัน $(F_1 = F_2)$ และเมื่อนำสมการที่ 3 และ 4 มาเปรียบเทียบจะได้ความสัมพันธ์ของความเครียด ดังสมการที่ 5

$$\varepsilon_i = \varepsilon_r + \varepsilon_t \tag{5}$$

ดังนั้นจะได้อัตราการเปลี่ยนแปลงความเครียดต่อเวลา $(\dot{\varepsilon})$ ที่เกิดขึ้นในวัสดุทดสอบดังแสดงในสมการที่ 6

$$\dot{\varepsilon} = \frac{2c_0\varepsilon_r}{l_s} \tag{6}$$

Longitudinal impact of two rod



รูปที่ 3 การเข้ากระแทกตามยาวของแท่งเหล็กสองแท่ง[3]

การกระแทกตามยาวของแท่งเหล็กสองแท่ง จะกำหนดคุณสมบัติของวัสดุ ความเร็วเข้ากระแทก และผิวหน้าสัมผัสของทั้งสอง ซึ่งมีผลต่อการแผ่ของคลื่นตามยาวจากการกระแทกของแท่งเหล็ก ดังแสดงในรูปที่ 3 กำหนดให้แท่งเหล็กสองแท่งเป็นวัสดุเหมือนกัน และมีพื้นที่หน้าตัดที่เหมือนกัน $E_1 = E_2, \rho_1 = \rho_2, A_1 = A_2$ และความ

ยาว $l_2 = \infty$ อยู่ ในรูปที่ 3 การแผ่ของคลื่นความเค้นที่เกิดขึ้นที่จุดกระแทกกันที่ $(t = 0)$ คลื่นความเค้นจะเคลื่อนที่ไปทางขวาและทางซ้าย ฟังก์ชันจะเป็นไปตามผลเฉลยของ D'Alembert [3]

จากเงื่อนไขในเบื้องต้นที่กล่าวมาแล้วความเร็วเข้ากระแทกเท่ากับ V_1 และความเร็ว $V_2 = 0$ จากสมการที่ 2 หาอนุพันธ์เทียบระยะขจัดจะได้ความเร็วและความเค้น ดังสมการที่ 7

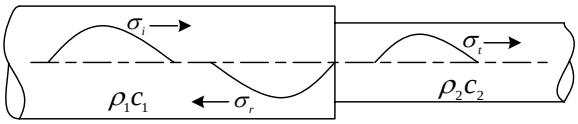
$$v(x,t) = -c_1 f'(x - c_1 t) + c_1 g'(x + c_1 t)$$
$$\sigma(x,t) = E\{ f'(x - c_1 t) + g'(x + c_1 t)\} \quad (7)$$

ผลที่ได้จากการกระแทกคือ คลื่นความเค้นที่เกิดขึ้นใน Pressure Bar ดังสมการที่ 8

$$\sigma = \frac{\rho_1 c_1 V_1}{2} \quad (8)$$

Transmission into another rod

จากคุณสมบัติพื้นฐานของคลื่น เมื่อคลื่นเคลื่อนที่ผ่านจากตัวกลางหนึ่งไปอีกตัวกลางหนึ่งจะทำให้เกิดการสะท้อนของคลื่น(Reflect wave) และการส่งผ่านของคลื่น (transmitted wave) ขึ้น ดังนั้นการเคลื่อนที่ของคลื่นใน Pressure Bar ก็เช่นกัน



รูปที่ 4 Incident wave, Reflect wave และTransmit wave ระหว่างจุดเชื่อมต่อ[4]

จากรูปที่ 4 สามารถสมดุลแรงที่เกิดขึ้นใน Pressure Bar ระหว่างจุดที่เชื่อมต่อกันได้ดังสมการที่ 9

$$A_1(\sigma_i + \sigma_r) = A_2 \sigma_t \quad (9)$$

ผลที่ได้จากการ Reflected wave จะได้

$$\sigma_r = \frac{A_2\sigma_2 c_2 - A_1\rho_1 c_1}{A_1\rho_1 c_1 + A_2\sigma_2 c_2}\sigma_i$$

กำหนดให้ α คือ อัตราส่วนการสะท้อนของคลื่น มีค่าเท่ากับ

$$\alpha = \frac{A_2\sigma_2 c_2 - A_1\rho_1 c_1}{A_1\rho_1 c_1 + A_2\sigma_2 c_2}$$

ดังนั้น ผลที่ได้จากการ Reflected wave จะได้ดังสมการที่ 10

$$\sigma_r = \alpha\sigma_i \quad (10)$$

3. แนวทางการออกแบบ

จากการหาความเร็วเข้ากระแทกของ Striker จากอัตราการเปลี่ยนแปลงความเครียดต่อเวลา $(\dot{\varepsilon})$ ที่เกิดขึ้นในวัสดุทดสอบดังแสดงในสมการที่ 6 ของเทคนิค SHPB เมื่อนำไปเทียบหาความสัมพันธ์ระหว่างสมการที่ใช้ในการออกแบบระบบยิง ก็คือสมการพลังงานเพื่อหาความดันที่ใช้งาน ในการที่จะทำให้ Striker เคลื่อนที่ให้ได้ความเร็วเข้ากระแทกที่จะทำให้เกิดอัตราความเครียดเกิดขึ้นในวัสดุทดสอบ ในช่วง 10^2-10^4 s^{-1} ของวัสดุที่ได้เลือกมาใช้เป็นวัสดุทดสอบ เพื่อเป็นแนวทางการหาค่าความเร็วเข้ากระแทกของ Striker ซึ่งมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

3.1 ความเร็วเข้ากระแทกของ Striker ใน SHPB

จากการคำนวณหาความเร็วในการเข้ากระแทกของ Striker จากอัตราการเปลี่ยนแปลงความเครียดต่อเวลา $(\dot{\varepsilon})$ ที่เกิดขึ้นในวัสดุทดสอบดังแสดงในสมการที่ 6 สามารถหาความเร็วเข้ากระแทกของ Striker ที่อัตราความเครียดต่างๆได้ ดังนี้

$$\dot{\varepsilon} = \frac{2c_0\sigma_r}{l_s E}$$

นำสมการที่ 8 และ สมการที่ 10 แทนค่าในสมการที่ 6 และกำหนดให้ $c_0 = c_1$ จะได้

$$\dot{\varepsilon} = \frac{\rho_1 c_1^2 V_1 \alpha}{l_s E}$$

ดังนั้น ความเร็วเข้ากระแทกของ Striker ที่ Strain rate ในช่วงต่างๆของวัสดุทดสอบ สามารถหาได้จาก

$$V_1 = \frac{l_s E}{\alpha\rho_1 c_1^2}\dot{\varepsilon}$$

จากการคำนวณหาความเร็วเข้ากระแทกของ Striker ที่ Strain rate ในช่วง 10^2-10^4 s^{-1}ของวัสดุที่นำมาเลือกใช้ในการหาความเร็วเข้ากระแทกของ Striker ในบทความนี้วัสดุที่นำมาเลือกใช้คือ Copper, Aluminum และ St.A30 ซึ่งจะมีคุณสมบัติดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 คุณสมบัติของวัสดุ[5,6]

Materials	Density: ρ (kg/m^3)	Young's modulus: E (Gpa)
Copper	8,740	101
Aluminum	2,790	73.1
St.A30	7,850	200
St.4340	7,850	205

ตารางที่ 2 ความเร็วเข้ากระแทก

Materials	ความเร็วเข้ากระแทก(m/s) ที่ Strain rate ต่างๆ					
	L/D = 1.5			L/D = 2		
	10^2	10^3	10^4	10^2	10^3	10^4
copper	7.11	71.05	710.50	9.47	94.73	947.34
Aluminum	4.39	43.90	439.04	5.85	58.54	585.39
St.A30	10.24	102.47	1024.71	13.66	136.62	1366.28

กำหนดให้ Pressure Bar เป็นวัสดุที่ทำจากเหล็ก St.4340 มีคุณสมบัติของวัสดุดังแสดงในตารางที่ 1 มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 26 mm ความยาวเท่ากับ 2.5 m และจากเทคนิคของ SHPB จะต้องคำนึงถึงสัดส่วนของความยาวต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของวัสดุทดสอบ คือ L/D จะต้องอยู่ในช่วง 1.5-2 เท่า และพื้นที่หน้าตัดของวัสดุทดสอบต่อพื้นที่หน้าตัดของ Pressure Bar ต้องมีขนาดน้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.75 เท่า หรือ 25% เพราะฉะนั้น จากข้อกำหนดและเงื่อนไขจากเทคนิคของ SHPB สามารถคำนวณหาค่าความเร็วเข้ากระแทกของ Striker ที่ได้จากวัสดุที่เลือกมาใช้ในการคำนวณที่ Strain rate ในช่วงที่ได้กล่าวมาแล้ว ดังแสดงในตารางที่ 2และนำไปเป็นค่าเริ่มต้นของการออกแบบระบบยิงด้วยลมอัด(Air Gun)

3.2 ระบบยิงด้วยลมอัด (Air Gun)

ในระบบจากการออกแบบและคำนวณได้นำสมการพลังงานมาใช้เป็นสมการหลักในระบบ ในการคำนวณหาความเร็วเข้ากระแทกของ Striker โดยกำหนดให้ $\mu N << F$ จึงไม่นำมาคิด ณ ที่นี้ และ Striker เริ่มเคลื่อนที่จากสภาวะหยุดนิ่ง $(V_0 = 0)$ ดังนั้น

$$Fs - \cancel{\mu N}s = \frac{1}{2}mV_1^2 - \frac{1}{2}\cancel{m}V_0^2$$

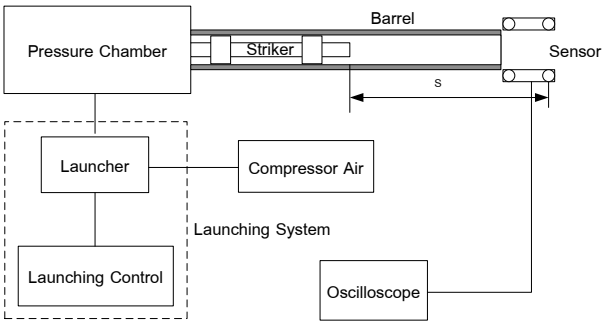
หาความดันที่ใช้ได้จาก

$$P = \frac{mV_1^2}{2(A \times s)}$$

เมื่อ P คือ ความดัน A คือ พื้นที่หน้าตัดกระบอก Air Gun s คือ ระยะการเคลื่อนที่ของ Striker m คือ มวลของ Striker และ V_1 คือ ความเร็วเข้ากระแทก

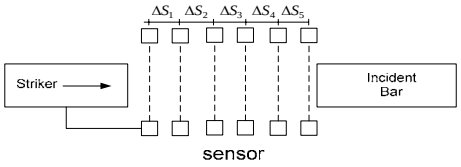
การออกแบบของระบบยิงด้วยลมอัด (Air Gun) นี้ ต้องศึกษาถึงคุณสมบัติของวัสดุที่นำมาใช้งาน เพื่อที่จะทราบถึงความแข็งแรงของชิ้นส่วนที่จะนำมาใช้ทำโครงสร้างของถังเก็บความดัน (Pressure Chamber) และกระบอกยิง Striker ให้มีความแข็งแรงยิ่งขึ้น จึงได้เลือกใช้ Safety Factor เท่ากับ 5 เพื่อป้องกันชิ้นส่วนเกิดการแตกหักเสียหาย ซึ่งอาจทำให้เกิดอันตรายขณะปฏิบัติงานได้ ฉะนั้นในการออกแบบจะต้องคำนวณหาค่าความแข็งแรงของระบบที่จะรับแรงดันสูงสุดที่กำหนดไว้ที่ 15 bar เพื่อความปลอดภัยในการใช้ทำการทดลองหาค่าความเร็วเข้ากระแทกของ Striker จึงได้นำเอาพื้นฐานทางด้านการออกแบบชิ้นส่วนเครื่องจักรกล และหลักการเลือกใช้วัสดุมาคำนวณเพื่อออกแบบชิ้นส่วนต่างๆ

ลักษณะของระบบยิง Striker ด้วยลมอัดที่ใช้เป็นต้นกำลังในการสร้างความเร็วเข้ากระแทกสำหรับการทดสอบวัสดุเชิงพลวัตด้วยเทคนิค SHPB จะประกอบไปด้วย Pressure Chamber, Barrel, Striker, Launching System, Compressor Air, Sensor และ Oscilloscope ดังแสดงในรูปที่ 5



รูปที่ 5 ระบบยิงด้วยลมอัด (Air Gun)

การทำงานของระบบยิง (Launching System) จะเป็นแบบ Electro-Pneumatics ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ Launcher และ Lunching Control ส่วนของ Launcher คือส่วนของการควบคุมการจ่ายลมให้กับระบบ ซึ่งแรงดันใช้งานสูงสุดไม่เกิน 15 bar และในส่วนของ Lunching Control จะเป็นการควบคุมการยิง Striker ด้วยระบบวงจรไฟฟ้า โดยขั้นตอนการทำงานของระบบยิง Striker จะเริ่มจาก Compressor Air จะจ่ายความดันเข้าไปยัง Pressure Chamber จนถึงระดับความดันที่กำหนดไว้ จากนั้นระบบ Launcher จะตัดความดันที่จ่ายไปยัง Pressure Chamber ทำให้ระบบจะอยู่ในสภาวะพร้อมยิง Striker เมื่อทำการยิง Striker โดยการกดสวิทช์ในส่วนของ Lunching Control ความดันที่ถูกเก็บอยู่ใน Pressure Chamber จะถูกจ่ายออกไปผลัก Striker ให้เคลื่อนที่ ในการเคลื่อนที่ของ Striker จะทำการวัดความเร็วก่อนเข้ากระแทกกับ Incident Bar ด้วย sensor ตรวจจับความเร็วซึ่งติดตั้งอยู่บริเวณปลายของ Barrel และค่าที่วัดได้จาก sensor คือระยะเวลาการเคลื่อนที่ของ Striker จาก sensor ตัวที่ 1ไปยัง sensor ตัวสุดท้าย สามารถอ่านค่าได้จาก Oscilloscope



รูปที่ 6 Sensor วัดความเร็ว

การวัดความเร็วของ Striker โดยการใช้ Photo Diode Sensor ติดตั้งที่ระยะห่างเท่าๆกันจำนวน 6 ชุด ดังแสดงในรูปที่ 6 ในการวัดความเร็วก่อนเข้ากระแทก โดยอ่านค่าได้จาก Oscilloscope ค่าที่อ่านค่าได้นั้น จะอยู่ในรูปของ Δt ดังนั้นความเร็วเข้ากระแทกสามารถหาได้จาก

$$v_1 = \frac{\sum_{i=1}^{5}(\Delta s / \Delta t)_i}{5}$$

เมื่อ v_1 คือ ความเร็วเข้ากระแทกของ Striker ที่ได้จากการวัดของ sensor Δt คือ ระยะเวลาที่ Striker เคลื่อนที่ผ่าน sensor ตัวที่ 1 ถึงตัวที่ 6 Δs คือ ระยะทางการเคลื่อนที่ของ Striker จาก sensor ตัวที่ 1 ไปยังตัวที่ 6 ซึ่งค่าที่ได้มานี้ ได้มาจากการการสอบเทียบระยะห่างของ sensor

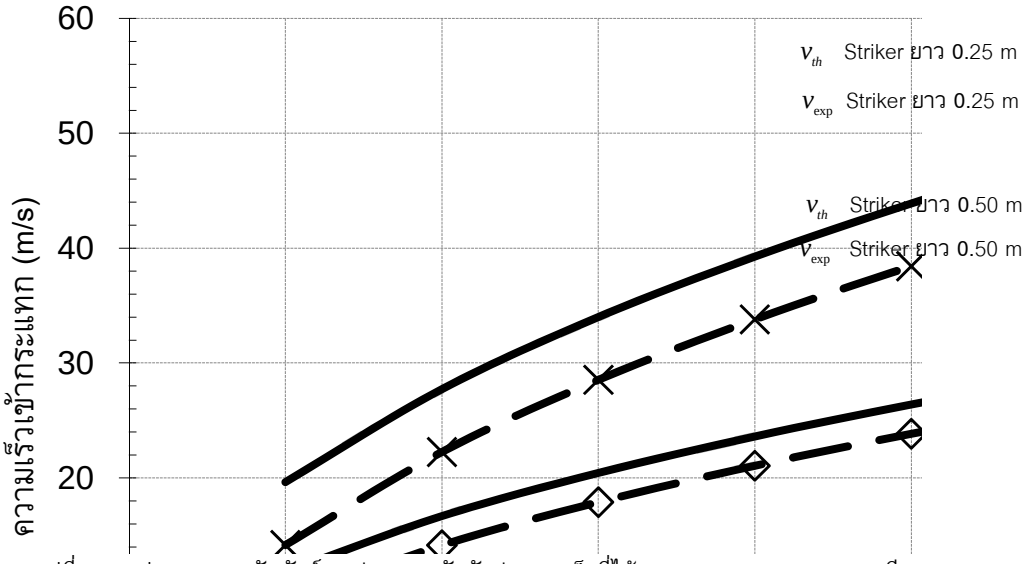
4. การทดลอง

ในการทดลองนี้เป็นการทดลองเพื่อหาความเร็วเข้ากระแทกของ Striker ที่ค่าความดันต่างๆ แล้วนำค่าความเร็วเข้ากระแทกของ Striker ที่วัดค่าได้ มาเปรียบเทียบกับค่าความเร็วเข้ากระแทกที่ได้จากการคำนวณของเทคนิค SHPB ตามตารางที่ 2 เพื่อดูว่าความเร็วเข้ากระแทกของ Striker ที่วัดค่าได้จากการทดลองนั้น เมื่อเทียบกับความเร็วเข้ากระแทกในตารางที่ 2 สามารถนำไปใช้เป็นระบบยิงของ SHPB ได้ในช่วง Strain rate ใดบ้าง ซึ่งในการทดลองจะใช้ Striker มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 26 mm โดยกำหนดความยาวไว้ที่ 0.50 m และ 0.25 m ใช้ในการทดลอง

5. ผลการทดลอง

จากกราฟในรูปที่ 5 จะเห็นได้ว่าความแตกต่างของความเร็วที่ได้จากการทดลองกับความเร็วที่ได้จากทฤษฎีนั้น จะแตกต่างกันตามขนาดของ Striker โดยที่ Striker ยาว 0.5 m นั้นจะมีค่าความแตกต่างของความเร็วเฉลี่ยอยู่ที่ 2.55 m/s ซึ่งจะน้อยกว่า Striker ยาว 0.25 m

จะมีความแตกต่างเฉลี่ยของความเร็วอยู่ที่ 5.46 m/s เมื่อมาพิจารณาถึงสมการพลังงานที่ใช้ในการคำนวณหาความเร็ว จะเห็นว่าตัวแปรที่สำคัญในสมการก็คือ ความดัน ส่วนน้ำหนัก พื้นที่หน้าตัด และระยะทางการเคลื่อนที่ของ Striker นั้น ไม่ส่งผลต่อการทดลอง เพราะในการทดลองแต่ละครั้งนั้น ระยะทางการเคลื่อนที่ และพื้นที่หน้าตัดของ Striker จะคงที่เสมอ ส่วนน้ำหนักของลูกกระสุนซึ่งได้จากการนำไปชั่งน้ำหนัก ก็จะเป็นค่าคงที่เช่นเดียวกัน



รูปที่ 7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันกับค่าความเร็วที่ได้จากการทดลองและจากทฤษฎี ที่ Striker 2 ขนาด ยาว 0.50 m น้ำหนัก 2.17 kg และ ยาว 0.25 m น้ำหนัก 1.11 kg

6. สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองที่ได้จาก Striker 2 แบบ ที่ขนาดความยาวและน้ำหนักต่างกัน พบว่าที่ Striker ยาว 0.5 m และ 0.25 m ความดันที่ใช้ในการทดลองเริ่มต้นที่ 2 bar ได้ความเร็วเข้ากระแทกเท่ากับ 10.25 m/s และ 16.77 m/s และความดันสูงสุดที่ใช้ในการทดลอง 14 bar ความเร็วเข้ากระแทกที่ได้สูงสุดเท่ากับ 28.67 m/s และ 47.72 m/s ตามลำดับ จากกราฟจะเห็นว่าเส้นแนวโน้มของความเร็วที่ได้จากการทดลองนั้น จะใกล้เคียงกับเส้นแนวโน้มของทฤษฎี ค่าความแตกต่างของความเร็วจะมีค่าค่อนข้างคงที่ตลอดช่วงความดัน ซึ่งคาดว่าเกิดจากการรั่วของความดันที่ผลักให้ Striker เคลื่อนที่ตามระยะ s (รูปที่ 5) เนื่องจากการสวม Striker ในกระบอกเป็นการสวมแบบคลอน ทำให้เกิดช่องว่างเล็กๆเกิดขึ้นระหว่าง Striker กับกระบอก จึงทำให้ค่าความเร็วเข้ากระแทกที่ Striker ยาว 0.5 m และ 0.25 m ลดลงเฉลี่ย 1.18 m/s และ 3.67 m/s ตามลำดับตลอดช่วงการทดลอง และเมื่อนำค่าความเร็วเข้ากระแทกที่ได้ไปคำนวนหาอัตราความเรียด พบว่า สามารถทดสอบ St.A30 และ Copper ได้ที่ Strain rate ในช่วงของ 10^2 s^{-1} ขณะที่ aluminum สามารถทดสอบได้ที่ Strain rate ซึ่งอยู่ในช่วง 10^2 ถึง 10^3 s^{-1} ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า ระะบบยิง Striker ด้วยลมอัดนี้สามารถนำไปใช้ในการทดสอบคุณสมบัติเชิงพลวัตด้วยเทคนิค SHPB ได้

เอกสารอ้างอิง

1 Gordon R. Johnson, William H. Cook, “A Constitutive model And Data for Metals Subjected to Large Strains, High Strain Rates And High Temperatures” Proc. 7th Int. Symp. on Ballistics 1983, 541-547

2 Michael Adam Kaiser, “Advancements in the Split Hopkinson Bar Test”, Blacksburg Virginia ,1998

3 Karl F. Graff, “Wave Motion in Elastic Solid”, by Oxford University, 1975

4 Wang Li-li, “Foundations of Stress Waves First Edition 2007”, Elsevier BV. All rights reserved, 2007

5 Michael R. Staker, Army Materials & Mechanic Research Center “ASM Handbook Volume 8 Mechanical Testing”, metals Handbook, 1945-1973

6 R.C. Hibber “Mechanics of Materials” Fifth Editiomn,2003