

ระบบตรวจจذبใยแก้วนำแสงชนิด ฟาบริ-เปโรต์ อินเทอร์ฟีรอมิเตอร์ สำหรับการประยุกต์ใช้งานด้านวิศวกรรมเมคคาทรอนิกส์

สาโรช พูลเทพ*

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการพัฒนาาระบบตรวจจذبใยแก้วนำแสงชนิด ฟาบริ-เปโรต์ อินเทอร์ฟีรอมิเตอร์ (Fiber optic based Fabry-Perot interferometer: *FFPI*) สำหรับวัดค่าความเครียดขนาดเล็กของวัตถุ คานอะลูมิเนียม (Cantilever beam) ที่ติดตั้งอยู่กับตัวกระตุ้นแบบไดนามิกส์ (Mechanical vibrator) ถูกเชื่อมต่อเข้ากับเครื่องกำเนิดรูปคลื่นสัญญาณ (Function generator) เพื่อใช้ในการทดลอง นอกจากนั้นตัวตรวจจذبความเครียดอ้างอิง (Reference strain gauge) ยังถูกนำมาใช้เพื่อหาค่าความผิดพลาด (Measurement error) ที่เกิดขึ้นจากการวัด โดยการดำเนินการวิจัยสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 การทดลองหลัก ๆ คือวัดค่าความเครียดจากการป้อนความถี่กระตุ้น และแอมพลิจูดกระตุ้นแบบซ้าคาบ และไม่ซ้าคาบ ตามลำดับ ผลการทดลองพบว่าเมื่อกำหนดให้ความถี่กระตุ้นของสัญญาณแบบซ้าคาบรูปสามเหลี่ยม (Triangular waveform) มีค่าเท่ากับ 200 เฮิร์ตซ์ และเปลี่ยนค่าแรงดันกระตุ้นในช่วง 0.25 - 6 โวลต์ ค่าความเครียดที่วัดได้จากระบบตรวจจذبใยแก้วนำแสงมีค่าเท่ากับ $0.164 \mu\epsilon$ - $4.179 \mu\epsilon$ ขณะที่ค่าความเครียดที่วัดได้จากตัวตรวจจذبความเครียดอ้างอิงมีค่าเท่ากับ $0.158 \mu\epsilon$ - $3.519 \mu\epsilon$ ตามลำดับ ซึ่งจะมีค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดเฉลี่ยเท่ากับ 2.46% นอกจากนั้นเมื่อดำเนินการป้อนความถี่กระตุ้นวัตถุทดสอบในช่วง 30 - 180 เฮิร์ตซ์ ระบบตรวจจذبใยแก้วนำแสงสามารถอ่านค่าความเครียดได้ในช่วงตั้งแต่ $0.158 \mu\epsilon$ ถึง $3.519 \mu\epsilon$ ขณะที่เปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 2.74% ตามลำดับ

คำสำคัญ: ระบบตรวจจذبใยแก้วนำแสงชนิดฟาบริ-เปโรต์ อินเทอร์ฟีรอมิเตอร์, ตัวตรวจจذبความเครียดอ้างอิง, การวัดความเครียด, สัญญาณกระตุ้น

Fiber Optic based Fabry-Perot Interferometric Sensor Applied for Mechatronic Engineering

Saraj Pullteap*

Abstract

This paper presents a development of a fiber optic based Fabry-Perot interferometer (*FFPI*) for strain measurements. A cantilever beam with connected to a mechanical vibrator has been interfaced to a function generator for the experiments studying. In addition, a reference strain gauge has, also, been employed for studying the measurement errors. However, the experiments have been divided into 2 main parts; using the amplitude excitation, and also frequency excitation in terms of periodic and non-periodic for strain investigations respectively. By choosing a triangular waveform with an excitation frequency of 200 Hz and varying the excitation amplitude from 0.25 V to 6 V, the output strain obtained from the *FFPI* sensor has been indicated in the range of 0.164 $\mu\epsilon$ - 4.179 $\mu\epsilon$, while the output from the reference sensor are 0.158 $\mu\epsilon$ - 3.519 $\mu\epsilon$, leading to an average percentage error of 2.46% occurred. Moreover, the second experiment has been investigated by inputting the excitation frequency in the range of 30 - 180 Hz driven to the vibrator. The experimental results shown that the fiber optic sensor has been detected the strain value in the range of 0.158 - 3.519 $\mu\epsilon$, with an average error of 2.74% respectively.

Keywords : Fiber optic based Fabry-Perot interferometer system, Reference strain gauge, Strain measurement, Excitation signal.

Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering and Industrial Technology, Silpakorn University (Sanam Chandra Palace)

* Corresponding author, E-mail: saraj@su.ac.th Received 5 April 2016, Accepted 16 June 2016

1. บทนำ

ในปัจจุบันอาจจะกล่าวได้ว่าเทคโนโลยีการตรวจจับ (Sensor technology) นั้นมีความทันสมัยมาก ดังจะเห็นได้จากมีระบบตรวจจับที่ใช้ในการตรวจสอบคุณสมบัติต่าง ๆ ของวัตถุทั้งทางกล (Mechanical testing) และทางไฟฟ้า (Electrical testing) อยู่เป็นจำนวนมาก โดยระบบเหล่านี้มักจะอยู่ในรูปแบบของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ซึ่งจะมีข้อจำกัดในด้านของสัญญาณรบกวน (Noise) และผลกระทบจากสิ่งแวดล้อม (Environmental effects) อุปกรณ์ตรวจจับชนิดใยแก้วนำแสงถือว่าเป็นระบบตัวจับอีกประเภทหนึ่งที่ถูกนำมาประยุกต์ใช้ในการตรวจจับปริมาณทางกลต่าง ๆ เช่น ความเครียด ระยะกระจัด อุณหภูมิ ฯลฯ [1-3] และมีข้อดีเหนือกว่าระบบตรวจจับประเภทอื่น ๆ คือ มีน้ำหนักเบา มีขนาดเล็ก และไม่เป็นตัวนำไฟฟ้า ดังนั้นจึงมีนักวิจัยหลาย ๆ คนได้นำเอาระบบตรวจจับชนิดใยแก้วนำแสงมาประยุกต์ใช้ในการตรวจจับปริมาณทางกลต่าง ๆ เช่น *Sum* [4] ได้ใช้ระบบตรวจจับใยแก้วนำแสงในการทดสอบการสั่นสะเทือนของวัตถุทดสอบ ผลที่ได้คือสามารถที่จะบอกคุณลักษณะของการสั่นสะเทือนและความถี่ของการสั่นในรูปแบบคลื่นสัญญาณได้ นอกจากนี้ *Kersey* [5] ได้ทำการพัฒนาระบบตรวจจับใยแก้วนำแสงชนิดแบร์ริกเกรตติ้ง (Fiber bragg gating: *FBG*) มาประยุกต์เป็นเครื่องมือเพื่อใช้ในการตรวจสอบโครงสร้างแบบคอมโพสิต ผลที่ได้คือสามารถใช้ตรวจสอบความเสียหายที่เกิดขึ้นในวัตถุคอมโพสิตได้อย่างแม่นยำเช่นเดียวกันกับ *Liang* [6] ได้มีการนำเอาระบบตรวจจับใยแก้วชนิดแบร์ริกเกรตติ้งในการวัดการสั่นสะเทือนของพื้นดิน ซึ่งอาจเกิดจากแผ่นดินไหว ดินถล่ม หรือเกิดจากการที่หินเคลื่อนที่ตกลงบนพื้น โดยใช้หลักการของการ

แปลงฟูเรียร์แบบเร็ว (Fast Fourier Transform: *FFT*) และตัวกรองเกเบอร์ (Gabor filter) มาใช้ในการวิเคราะห์เทียบกับอุปกรณ์ตรวจจับมาตรฐาน (Geophone sensor) โดยผลการทดลองพบว่า *FBG* สามารถแสดงค่าที่ใกล้เคียงกับอุปกรณ์ตรวจจับมาตรฐาน

ในงานวิจัยนี้เป็นการออกแบบและพัฒนาระบบตรวจจับใยแก้วนำแสงชนิดฟารี-เปโรต์ อินเทอร์ฟีรอมิเตอร์ เพื่อที่จะประยุกต์ใช้ในการตรวจสอบหาค่าความเครียดขนาดเล็กของคานอะลูมิเนียม แรงกระตุ้นแบบซ้ำคาบ (Periodic forcing) และไม่ซ้ำคาบ (Non-periodic forcing) ที่กำเนิดมาจากเครื่องกำเนิดรูปคลื่นสัญญาณถูกนำมาใช้ในการสร้างแรงเครียดให้กับวัตถุทดสอบ เพื่อศึกษาถึงความสามารถในการตรวจวัดของระบบตรวจจับที่พัฒนาขึ้นเทียบกับค่ามาตรฐานที่ได้มาจากตัวตรวจจับอ้างอิง (Reference sensor) โดยผลที่ได้จากระบบตรวจจับใยแก้วนำแสงชนิดฟารี-เปโรต์นั้นจะอยู่ในรูปแบบของริ้วการแทรกสอดของแสง (Interference fringe) จากนั้นเทคนิคการนับจำนวนริ้วการแทรกสอด Fringe counting technique) จะถูกนำมาประยุกต์ใช้ร่วมกับทฤษฎีพื้นฐานในการหาค่าความเครียด (Basic strain theory) ใช้เพื่อนับจำนวนริ้วการแทรกสอดและแปลงให้อยู่ในรูปแบบของค่าความเครียดต่อไป โดยหลักการดังกล่าวนี้สามารถที่จะนำไปประยุกต์ใช้ในงานด้านวิศวกรรมเมคคาทรอนิกส์ต่อไปได้

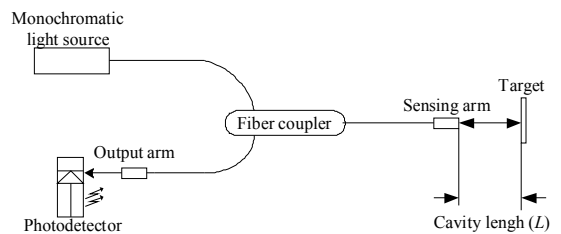
2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ระบบตรวจจับใยแก้วนำแสง

ระบบตรวจจับใยแก้วนำแสง หรือบางครั้งถูกเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าตัวตรวจจับใยแก้วนำแสง (Fiber optic

sensor) ถูกพัฒนาขึ้นมานานกว่า 30 ปี ด้วยลักษณะเด่นหลากหลายประการดังที่ได้กล่าวมาแล้วในตอนต้น ทำให้ระบบดังกล่าวถูกประยุกต์ใช้งานในการวัดปริมาณทางกลกันอย่างแพร่หลาย อาทิเช่น การวัดระยะกระจัดของวัตถุ (Displacement) การวัดอุณหภูมิ (Temperature) การวัดแรงเค้น/แรงเครียด (Stress and Strain) เป็นต้น อย่างไรก็ตามประเภทของตัวตรวจจับสนัยใยแก้วนำแสงยังสามารถที่จะแบ่งออกได้เป็นอีกหลากหลายชนิดด้วยกัน เช่น ตัวตรวจจับสนัยใยแก้วนำแสง ชนิดแบร์กเกรตติ้ง ระบบตรวจจับสนัยใยแก้วนำแสงชนิดกระจาย (Distributed fiber sensor) และระบบตรวจจับสนัยใยแก้วนำแสงชนิดอินเทอร์เฟอโรมิเตอร์ (Fiber optic interferometer) เป็นต้น [7] โดยความแตกต่างระหว่างระบบตรวจจับสนัยใยแก้วนำแสงในแต่ละชนิดนั้นจะขึ้นอยู่กับการทำงานไปประยุกต์ใช้งาน อย่างไรก็ตามจากกล่าวได้ว่าตัวตรวจจับสนัยใยแก้วนำแสงชนิดอินเทอร์เฟอโรมิเตอร์นั้น จะถือว่าเป็นตัวตรวจจับที่ได้รับความนิยมในการใช้งานมากที่สุด ทั้งนี้เนื่องจากใช้งานง่าย (Simply to use) มีโครงสร้างที่ไม่ซับซ้อน (Non-complexity) มีราคาถูก (Low cost) ฯลฯ อย่างไรก็ตามระบบตรวจจับสนัยใยแก้วนำแสงชนิดนี้ยังสามารถที่จะจำแนกได้เป็นอีก 4 ประเภทคือ ซาเนียก อินเทอร์เฟอโรมิเตอร์ (Sagnac fiber interferometer) ไมเคิลสันอินเทอร์เฟอโรมิเตอร์ (Michelson interferometer) มาร์ช-แซนเดอร์อินเทอร์เฟอโรมิเตอร์ (Mach-Zehnder interferometer) และฟาบริ-เปโรต์ อินเทอร์เฟอโรมิเตอร์ (Fabry-Perot interferometer) ตามลำดับ สำหรับระบบตรวจจับสนัยใยแก้วนำแสง 3 ประเภทแรกนั้น สัญญาณวัด (Sensing signal) และสัญญาณอ้างอิง (Reference signal) จะถูกกำเนิดขึ้นจาก 2 แขนวัด (Reference and Sensing arms) ขณะที่ระบบตรวจจับชนิด ฟาบริ-เปโรต์ อินเทอร์เฟอโรมิเตอร์

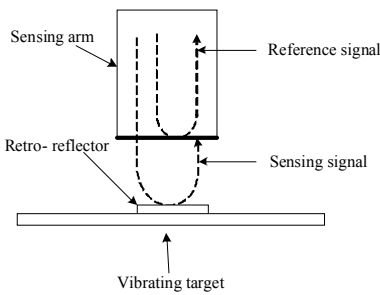
นั้น สัญญาณทั้งสองจะถูกกำเนิดขึ้นจากแกนวัดเพียงแกนเดียวภายในใยแก้วนำแสง (Fiber arm) ดังนั้นจึงทำให้ตัวตรวจจับประเภทนี้ไม่จำเป็นต้องใช้แกนอ้างอิงเป็นส่วนประกอบ ส่งผลให้สามารถลดค่าใช้จ่ายในส่วนเรื่องของอุปกรณ์ทางแสงต่าง ๆ (Optical device) ลงได้นอกจากนั้นเมื่อพิจารณาถึงคุณสมบัติด้านความไวในการวัด (Sensitivity) กล่าวได้ว่าอินเทอร์เฟอโรมิเตอร์ชนิดฟาบริ-เปโรต์นั้น จะมีความไวในการวัดสูงกว่าอินเทอร์เฟอโรมิเตอร์ทั้ง 3 ชนิดที่กล่าวมาในช่วงต้น [8] โดยปัจจุบันใน วงการอุตสาหกรรม ได้นำตัวตรวจจับประเภทนี้ชนิดนี้มาประยุกต์ใช้งานกันอย่างแพร่หลาย ทั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อใช้ในการวัดที่ต้องการความไวสูง ๆ (High sensitivity) หรือการวัดที่ไม่ต้องการสัมผัสกับชิ้นงานทดสอบ (Non-destructive testing) เช่น การวัดการสั่นสะเทือนของวัตถุ (Vibration) การวัดคลื่นเสียง (Acoustic wave) หรือการวัดความเครียดของโครงสร้างต่าง ๆ (Strain) เป็นต้น [9-10] โดยโครงสร้างของตรวจจับสนัยใยแก้วนำแสงชนิด ฟาบริ-เปโรต์ อินเทอร์เฟอโรมิเตอร์ นั้นสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 โครงสร้างพื้นฐานของตรวจจับสนัยใยแก้วนำแสงชนิดฟาบริ-เปโรต์ อินเทอร์เฟอโรมิเตอร์

แหล่งกำเนิดแสงเดี่ยว (Monochromatic light) จะถูกส่งผ่านแสงเข้าไปในใยแก้วนำแสง (Fiber pigtail) ก่อน

ส่งผ่านแสงต่อไปยังไฟเบอร์คัปเบลอร์ (Fiber coupler) และแกนวัด และส่งผ่านแสงต่อไปยังพื้นผิวของชิ้นงาน (Vibrating target) ตามลำดับ ประมาณ 4% ของแสงจะถูกสะท้อนกลับที่ปลายของใยแก้วนำแสง (Fiber caved end) เรียกว่า “สัญญาณอ้างอิง (Reference signal)” ขณะที่ปริมาณแสงส่วนที่เหลือจะถูกส่งต่อไปยังชิ้นงานทดสอบซึ่งติดอยู่กับตัวสะท้อนแสง ก่อนถูกสะท้อนกลับเข้าไปยังหัววัดของตัวตรวจจับ เรียกว่า “สัญญาณวัด (Sensing signal)” ซึ่งสามารถแสดงโครงสร้างภายในดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 สัญญาณอ้างอิงและสัญญาณวัดที่ถูกกำเนิดภายในตัวตรวจจับฟابรี-เปโรต์อินเทอร์เฟอโรมิเตอร์

จากรูปข้างต้นแสดงให้เห็นการกำเนิดของสัญญาณการแทรกสอดของแสง (Interference signal) ที่เกิดขึ้นภายในใยแก้วนำแสง ซึ่งได้มาจากการรวมกัน (Superposition) ของ 2 คลื่นแสง (สัญญาณอ้างอิง และสัญญาณวัด) ก่อนจะถูกส่งต่อไปยังแกนอ่าน (Output arm) ของตัวตรวจจับ และแปลงค่าจากความเข้มแสง (Intensity) เป็นปริมาณทางไฟฟ้าโดยใช้ตัวตรวจจับแสง (Photodetector) ดังสามารถคำนวณได้จาก (1)

$$I_t = I_r + I_s + 2\sqrt{I_r I_s} \cos \Delta\phi \quad (1)$$

เมื่อ I_t = ความเข้มแสงของสัญญาณการแทรกสอด
 I_r = ความเข้มแสงของสัญญาณอ้างอิง
 I_s = ความเข้มแสงของสัญญาณการวัด
 $\Delta\phi$ = ความต่างของเฟสของคลื่นแสงทั้งสอง

จาก (1) แสดงให้เห็นว่าค่าความเข้มแสงรวม (I_t) ของสัญญาณการแทรกสอดนั้น สัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงของผลต่างของเฟส (Phase difference: $\Delta\phi$) ระหว่างคลื่นแสงทั้งสอง นอกจากนั้นค่าดังกล่าวยังสามารถที่จะพิจารณาได้จากระยะห่าง (Cavity length) ระหว่างแกนวัด และชิ้นงานทดสอบ (d) รวมถึงค่าดัชนีการหักเหของแสง (n) ซึ่งสามารถเขียนให้อยู่ในรูปแบบของสมการได้ดังต่อไปนี้ [11]

$$\Delta\phi = \frac{2\pi n}{\lambda} 2d \quad (2)$$

กำหนดให้ λ คือค่าความยาวคลื่นของแสงมีหน่วยเป็นนาโนเมตร และ n คือดัชนีการหักเหของแสง ($n = 1$ เมื่อตัวกลางคืออากาศ) ตามลำดับ

นอกจากนั้นจำนวนร้าวการแทรกสอดของแสง (N) ที่วัดได้จากอินเทอร์เฟอโรมิเตอร์ในหนึ่งช่วงเวลา (Time period) นั้นจะสัมพันธ์กับระยะการกระจัดของวัตถุที่เกิดขึ้น โดยสมการที่ใช้ในการหาระยะการกระจัดของวัตถุ (D) สามารถคำนวณได้จาก [11]

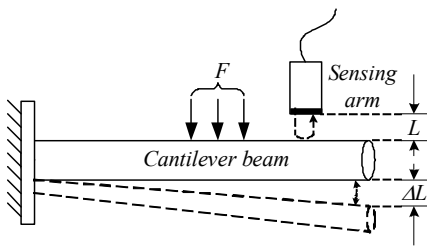
$$D = N \frac{\lambda}{2} \quad (3)$$

อย่างไรก็ตามค่าระยะการกระจัดของวัตถุทดสอบที่เปลี่ยนแปลงนั้นจะสัมพันธ์กับค่าความเครียด (ε) ที่มากระทำกับวัตถุดังแสดงได้จาก (4)

$$\varepsilon = \frac{\Delta d}{L} \tag{4}$$

เมื่อ Δd คือ การเปลี่ยนแปลงระยะกระจัดของวัตถุ
 L คือ ระยะห่างระหว่างแกนวัดและวัตถุ

โดยลักษณะ โครงสร้างของวัตถุเมื่อมีแรงเค้นมากระทำสามารถอธิบายได้ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 ความเค้นที่ถูกกำเนิดขึ้นเมื่อมีแรงมากระทำบนคานอะลูมิเนียม

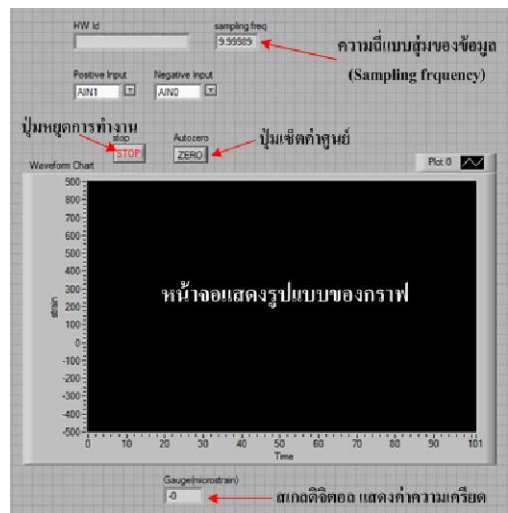
จากรูปเมื่อมีแรงใด ๆ มากระทำกับวัตถุทดสอบผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นก็คือ วัตถุจะมีการเปลี่ยนรูป (Deformation) ไปจากเดิม โดยในรูปที่ 3 แสดงให้เห็นว่าเมื่อไม่มีแรงใด ๆ มากระทำ ค่าระยะห่างระหว่างแกนวัดและวัตถุจะมีค่าเท่ากับ L อย่างไรก็ตามเมื่อมีแรงจากภายนอกมากระทำต่อวัตถุ ส่งผลทำให้วัตถุเปลี่ยนแปลงรูปไปจากเดิมเป็นระยะทางเท่ากับ ΔL ซึ่งค่าดังกล่าวนี้ก็คือระยะกระจัดของวัตถุที่เคลื่อนที่ โดยมีค่าเท่ากับ Δd ดังแสดงใน (4) นั่นเอง

2.2 โปรแกรมประยุกต์ทางวิศวกรรม

คือ โปรแกรมประยุกต์ประเภทหนึ่งที่สามารถจำลองการทำงานด้านวิศวกรรมต่าง ๆ เพื่อให้ निक่ออกแบบสามารถนำเอาทฤษฎีที่ออกแบบมาทดลองแบบเสมือน

(Virtual interfacing: VI) ก่อนลงมือจัดสร้างจริง โดยในงานวิจัยนี้โปรแกรม Labview 2002 ถูกนำมาใช้งานร่วมกับเกจวัดความเค้นมาตรฐาน และระบบจัดเก็บข้อมูลอัตโนมัติ (Data acquisition system) เพื่อคำนวณและแสดงค่าความเค้นมาตรฐาน (Reference strain information) ออกมาสำหรับเปรียบเทียบผลกับค่าความเค้นที่วัดได้จากตัวตรวจจับไขแ้วนำแสงสำหรับหาค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้น ซึ่งโครงสร้างของโปรแกรมประยุกต์ทางวิศวกรรมประกอบด้วย 3 ส่วนหลัก ๆ ดังต่อไปนี้

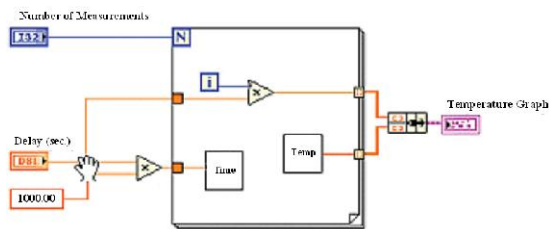
ก. **แผงหน้า (Front Panel)** คือ ส่วนด้านหน้าของโปรแกรมที่ใช้ติดต่อระหว่างผู้ใช้กับโปรแกรมประยุกต์ มีลักษณะคล้ายกับหน้าปัทม์ของเครื่องมือหรืออุปกรณ์การวัด โดยทั่วไป ซึ่งอาจจะประกอบด้วยสวิทช์ และปุ่มกดต่าง ๆ รวมถึงหน้าจอแสดงผลที่สามารถออกแบบได้ตามความต้องการ โดยตัวอย่างในส่วนแผงหน้าของโปรแกรมที่ใช้ในงานวิจัยสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 หน้าต่างแผงหน้าของโปรแกรมที่ถูกออกแบบขึ้นจากโปรแกรมประยุกต์ทางวิศวกรรม

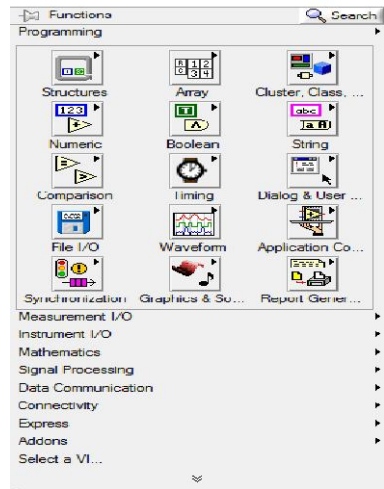
จากรูปแสดงให้เห็นถึงแผงหน้าของโปรแกรมประยุกต์ทางวิศวกรรมที่ออกแบบขึ้น โดยมีโครงสร้างประกอบไปด้วย 5 ส่วนคือ ส่วนที่แสดงความถี่แบบสุ่มของข้อมูล (Sampling frequency) ปุ่มเซ็ทค่าศูนย์ (Auto zero knob) ปุ่มหยุดการแสดงผล (Stop knob) หน้าจอแสดงผล (Display) และส่วนแสดงค่าความเครียด (Gauge panel) ตามลำดับ

ข. ไดอะแกรมการทำงาน (Block Diagram) ส่วนนี้คือส่วนของรายละเอียดการทำงานของโปรแกรมที่ออกแบบขึ้น สามารถที่จะตรวจสอบหรือแก้ไขความผิดพลาดของโปรแกรมได้ในส่วนนี้ นอกจากนี้ในส่วนนี้ยังประกอบด้วยฟังก์ชันที่อยู่ในรูปแบบของเครื่องมือต่าง ๆ (Tools) ซึ่งเวลาใช้งานผู้ใช้สามารถที่จะลากเครื่องมือเหล่านั้นมาวางไว้บนหน้าทำงาน (Worksheet) จากนั้นเชื่อมต่อแต่ละเครื่องมือเข้าไว้ด้วยกันโดยใช้สายต่อ (Wire) ซึ่งทำให้สามารถกำหนดลักษณะการไหลของเครื่องมือต่าง ๆ ได้ อย่งไรก็ตามเมื่อดำเนินการออกแบบหรือแก้ไขเสร็จสิ้น ผู้ใช้จะต้องประมวลผลข้อมูลก่อนเสมอ ทั้งนี้เพื่อจะให้โปรแกรมแสดงผลตามที่ต้องการออกมา โดยตัวอย่างในส่วนของไดอะแกรมการทำงานที่ใช้ในงานวิจัยนี้สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 ตัวอย่างของไดอะแกรมการทำงานที่ถูกออกแบบขึ้นจากโปรแกรมประยุกต์ทางวิศวกรรม

ค. เครื่องมือย่อย และตัวเชื่อมต่อ (Icon and Connector) ทำหน้าที่เปรียบเสมือนโปรแกรมย่อย (Subroutine) ของโปรแกรมหลัก เพื่อให้การออกแบบโปรแกรมมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น โดยลักษณะของไอคอนนั้นจะเหมือนกับเครื่องมือย่อยชนิดหนึ่งที่ใช้สามารถที่จะกำหนดโครงสร้างของโปรแกรมได้ตามต้องการ ซึ่งจะมีคล้ายกับของไดอะแกรมการทำงานที่ผ่านมา ซึ่งตัวอย่างของเครื่องมือย่อย และตัวเชื่อมต่อที่ใช้ในโปรแกรมประยุกต์ทางวิศวกรรมสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 ตัวอย่างของเครื่องมือย่อยและตัวเชื่อมต่อที่ถูกนำมาใช้ในโปรแกรมประยุกต์ทางวิศวกรรม

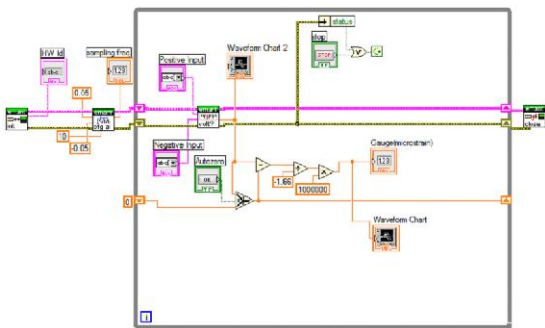
3. วิธีการทดลอง

งานวิจัยนี้แบ่งการทดลองออกเป็น 3 ส่วนใหญ่ ๆ คือ การพัฒนาโปรแกรมประยุกต์ทางวิศวกรรมร่วมกับระบบจัดเก็บข้อมูลอัตโนมัติสำหรับวัดค่าความเครียด การพัฒนาตัวตรวจจับสนามนำแสงชนิด ฟาบริ-เปโรต์ อินเทอร์ฟีโรมิเตอร์ (FFPI) สำหรับวัดค่าความเครียด

และการทดลองหาประสิทธิภาพการทำงานของระบบตรวจจับที่พัฒนาขึ้นเทียบกับค่าความเครียดมาตรฐานที่ได้มาจากเกจวัดความเครียดมาตรฐาน ตามลำดับ

3.1 การพัฒนาโปรแกรมประยุกต์ทางวิศวกรรม

ในการพัฒนาโปรแกรมประยุกต์ทางวิศวกรรมสำหรับงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อแสดงค่าความเครียดที่วัดได้จากเกจวัดความเครียดมาตรฐานสำหรับใช้เป็นค่าความเครียดอ้างอิง โดยโครงสร้างของไดอะแกรมการทำงานของโปรแกรมประยุกต์ทางวิศวกรรมสำหรับการวัดค่าความเครียดที่ใช้ในงานวิจัยนี้สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 7



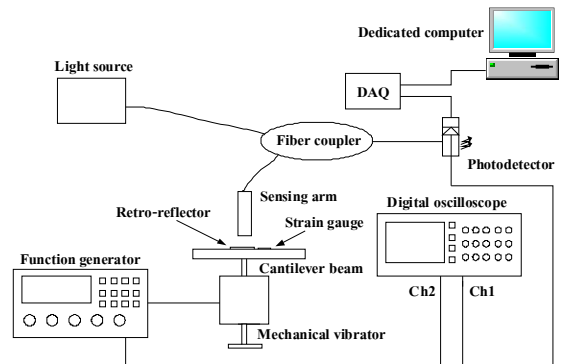
รูปที่ 7 ไดอะแกรมการทำงานของระบบสำหรับวัดค่าความเครียดที่ได้จากเกจวัดความเครียดมาตรฐาน

จากไดอะแกรมการทำงานข้างต้นสามารถอธิบายได้โดยการรับข้อมูลที่ได้อาจจากระบบจัดเก็บข้อมูลอัดโน้มนต์ ขนาด 24 บิต จากบริษัท *Emant Pte. Ltd.* รุ่น *Emant300* ซึ่งกำหนดความถี่แบบสุ่มของข้อมูลเท่ากับ 10 ข้อมูลต่อวินาที และสามารถที่จะรับค่าได้ทั้งค่าบวกและลบ โดยการแสดงผลของข้อมูลสามารถที่จะกระทำได้ 2 ลักษณะคือ รูปแบบของกราฟเส้น (Line graph) และแสดงค่าเป็นตัวเลข (Digit display) และก่อนที่จะ

ดำเนินการแสดงผลข้อมูล ผู้ใช้จะต้องทำการเซตค่าศูนย์ก่อนเสมอ ทั้งนี้เพื่อให้ข้อมูลที่อ่านค่าได้มานั้นมีความถูกต้องและแม่นยำมากที่สุด

3.2 การพัฒนาระบบตรวจจับใยแก้วนำแสงชนิด ฟาบริ-เปโรต์ อินเทอร์เฟอโรมิเตอร์ เพื่อวัดค่าความเครียด

ขั้นตอนนี้เป็นพัฒนาระบบระบบตรวจจับใยแก้วนำแสงชนิด ฟาบริ-เปโรต์ อินเทอร์เฟอโรมิเตอร์ สำหรับวัดค่าความเครียดในคานอะลูมิเนียม ซึ่งโครงสร้างการทำงานของระบบตรวจจับใยแก้วนำแสงสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 8



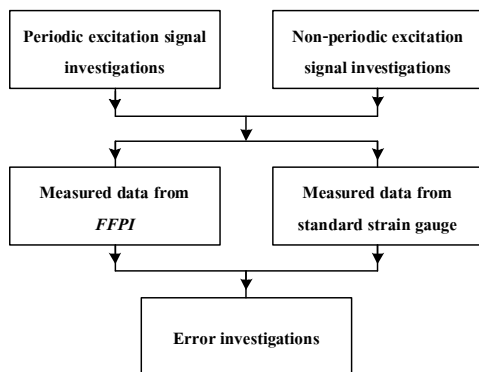
รูปที่ 8 โครงสร้างการทำงานของระบบตรวจจับใยแก้วนำแสงชนิด ฟาบริ-เปโรต์ อินเทอร์เฟอโรมิเตอร์

แหล่งกำเนิดแสงเดี่ยว (Monochromatic light) ที่มีค่าความยาวคลื่น 1,310 นาโนเมตร ถูกส่งผ่านแสงเข้าไปยังไฟเบอร์คัมเพลเตอร์ ก่อนส่งผ่านแสงต่อไปยังหัววัดของตัวตรวจจับ ตัวสะท้อนแสง (Retro-reflector) ซึ่งมีค่าเปอร์เซ็นต์การสะท้อนแสง (Reflectance) ประมาณ 60% ถูกนำมาติดกับชิ้นงานทดสอบเพื่อใช้ในการสะท้อนกลับของแสง นอกจากนั้นตัวกระตุ้นแบบไดนามิกส์ (Mechanical vibrator) ที่ควบคุมการสั่นด้วย

เครื่องกำเนิดสัญญาณ (Function generator) ยังถูกนำมาใช้ในการกำหนดแรงเครียดให้กับวัตถุทดสอบ โดยสัญญาณการแทรกสอดที่เกิดขึ้นจะถูกตรวจวัดโดยตัวตรวจจับแสง (Photodetector) ก่อนที่จะส่งต่อไปยังเครื่องมือวัดรูปคลื่นสัญญาณ (Digital oscilloscope) เพื่อแสดงผล (Displaying) แปรลงค่า (Demodulation) และจัดเก็บข้อมูลอัตโนมัติ (DAQ system) ก่อนที่จะแสดงผลลัพธ์ของปริมาณดังกล่าวในรูปของค่าความเครียดต่อไป นอกจากนี้เกจวัดความเครียดมาตรฐานถูกนำมาติดตั้งเข้ากับวัตถุทดสอบ เพื่อใช้เป็นค่ามาตรฐานสำหรับเปรียบเทียบกับค่าความเครียดที่วัดได้จากระบบตรวจจับใยแก้วนำแสง สำหรับใช้หาค่าความผิดพลาดที่เกิดจากการวัด

3.3 การหาประสิทธิภาพการทำงานของระบบตรวจจับ

เป็นการหาประสิทธิภาพของระบบตรวจจับใยแก้วนำแสงชนิด ฟาบริ-เปโรต์ อินเทอร์เฟอโรมิเตอร์ สำหรับวัดค่าความเครียดของวัตถุเทียบกับเกจวัดความเครียดมาตรฐาน โดยขั้นตอนการดำเนินการสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 9



รูปที่ 9 แผนผังการทดลองหาประสิทธิภาพของระบบตรวจจับใยแก้วนำแสง สำหรับวัดค่าความเครียด

ในงานวิจัยนี้สามารถแบ่งการทดลองออกได้เป็น 2 ส่วนหลัก ๆ คือ การหาค่าความเครียดเมื่อให้แรงกระตุ้นแก่วัตถุทดสอบแบบซ้ำคาบที่ความถี่กระตุ้น (Excitation frequency) ในช่วงตั้งแต่ 30 จนถึง 180 เฮิรตซ์ และการให้แรงกระตุ้นวัตถุทดสอบแบบไม่ซ้ำคาบ ตามลำดับโดยผลลัพธ์ที่ได้จากการทดลองนั้นจะอยู่ในรูปแบบของความเครียด ซึ่งสามารถบันทึกค่าได้จาก 2 ตัวตรวจจับคือค่าความเครียดที่วัดได้จากตัวตรวจจับใยแก้วนำแสง และค่าความเครียดที่วัดได้จากเกจวัดความเครียดมาตรฐาน โดยผลลัพธ์ที่ได้นั้นจะถูกนำมาเปรียบเทียบค่าเพื่อหาค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้นจากการวัด (Measurement errors) ซึ่งค่าดังกล่าวนี้จะสัมพันธ์กับประสิทธิภาพของระบบตรวจจับใยแก้วนำแสงชนิดฟาบริ-เปโรต์ อินเทอร์เฟอโรมิเตอร์ เพื่อวัดค่าความเครียดนั่นเอง

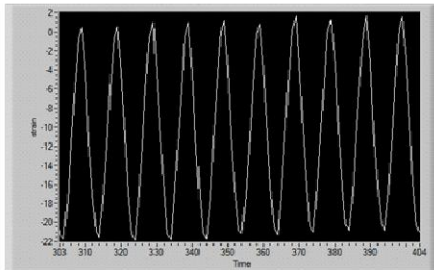
4. ผลการทดลอง

ในหัวข้อนี้นำเสนอผลการทดลองทั้ง 3 การทดลองที่ได้บรรยายเอาไว้ในหัวข้อที่ผ่านมา ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

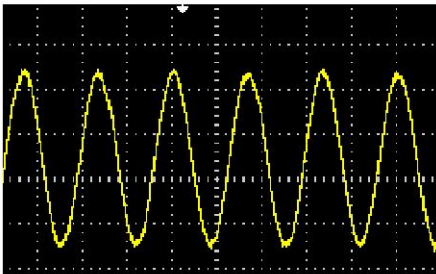
4.1 ผลการพัฒนาโปรแกรมประยุกต์ทางวิศวกรรม

จากที่ได้บรรยายเอาไว้ในตอนต้นถึงโครงสร้างของการพัฒนาโปรแกรมประยุกต์ทางวิศวกรรมสำหรับวัดค่าความเครียดของเกจวัดความเครียดมาตรฐาน ซึ่งสามารถแบ่งผลการทดลองออกได้เป็น 2 ลักษณะคือการวัดความเครียดเมื่อถูกสัญญาณกระตุ้นแบบซ้ำคาบมากระทำต่อวัตถุทดสอบ และการวัดความเครียดเมื่อถูกสัญญาณกระตุ้นแบบไม่ซ้ำคาบมากระทำต่อวัตถุตามลำดับ

สำหรับการทดลองแรกนั้นจะดำเนินการเลือกสัญญาณรูปคลื่นไซน์ (Sinusoidal waveform) ที่ความถี่กระตุ้นเท่ากับ 1 เฮิร์ตซ์ และแอมพลิจูดกระตุ้นเท่ากับ 6 โวลต์ จากเครื่องกำเนิดรูปคลื่นสัญญาณ สำหรับควบคุมการทำงานของตัวกระตุ้นแบบไดนามิกส์ ผลลัพธ์ที่ได้สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 10



(a)

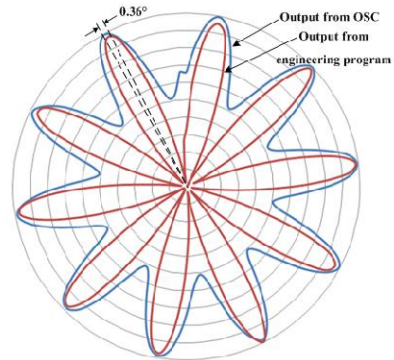


(b)

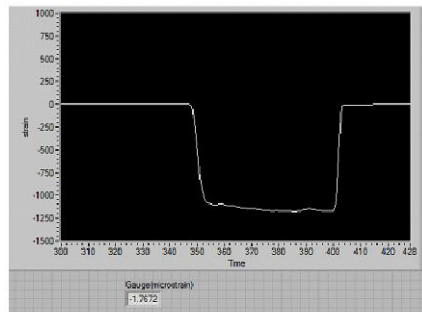
รูปที่ 10 การกระตุ้นวัตถุด้วยความถี่กระตุ้นแบบซ้ำคาบ; (a) ผลที่ได้จากโปรแกรมประยุกต์ทางวิศวกรรม (b) ผลที่ได้จากเครื่องมือวัดรูปคลื่นสัญญาณ

จากรูปข้างต้นแสดงให้เห็นถึงผลที่ได้วัดจากโปรแกรมประยุกต์ทางวิศวกรรมเทียบกับเครื่องมือวัดรูปคลื่นสัญญาณ ซึ่งสังเกตได้ว่าโปรแกรมประยุกต์สามารถพล็อตค่าของสัญญาณกระตุ้นได้สัมพันธ์กันกับเครื่องมือเครื่องมือวัดรูปคลื่นสัญญาณทางไฟฟ้า อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาถึงความแม่นยำในเรื่องของ

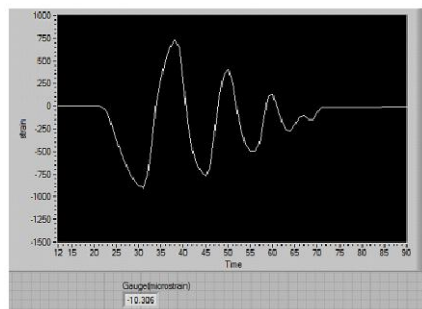
การเลื่อนเฟสของสัญญาณ (Phase shift) สามารถพิสูจน์ได้โดยใช้โพลารกราฟ (Polar graph) ซึ่งผลที่ได้จากการทดลองสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 11



รูปที่ 11 ผลการเลื่อนเฟสของสัญญาณบนโพลารกราฟ



(a)



(b)

รูปที่ 12 การกระตุ้นด้วยความถี่กระตุ้นแบบไม่ซ้ำคาบ; (a) การป้อนความถี่เดียว (b) การป้อนหลายๆ ความถี่

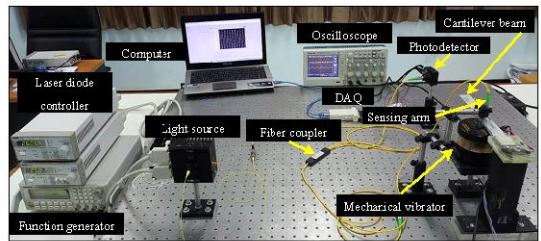
จากรูปที่ 11 สามารถพิสูจน์ได้ว่าสัญญาณที่วัดจากโปรแกรมประยุกต์ทางวิศวกรรมเทียบกับเครื่องมือวัดรูปคลื่นสัญญาณมีค่าการเลื่อนเฟสของสัญญาณสูงสุดเท่ากับ 1.44 องศา ขณะที่ค่าการเลื่อนเฟสเฉลี่ยนั้นมีค่าเท่ากับ 0.36 องศา ซึ่งผลลัพธ์ดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นนั้นมีความน่าเชื่อถือ เนื่องจากมีเปอร์เซ็นต์ค่าผิดพลาดสูงสุดเพียง 0.4% และมีค่าความไม่แน่นอน (Uncertainty) เท่ากับ 99.86% ตามลำดับ

การทดลองต่อมาคือการวัดความเครียดเมื่อวัตถุถูกแรงกระตุ้นแบบไม่ซ้ำคาบมากระทำ โดยการทดลองจะดำเนินการอยู่ 2 ลักษณะคือ ป้อนความถี่เดี่ยว (Single excitation frequency) มากระตุ้นคานอะลูมิเนียม และป้อนหลายๆ ความถี่ (Multiple excitation frequency) มากระตุ้นวัตถุทดสอบ ตามลำดับ ซึ่งผลที่วัดได้จากโปรแกรมประยุกต์สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 12 อย่างไรก็ตามเพื่อพิจารณาผลที่ได้จากการวัดพบว่า โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นมีความไว (Sensitivity) ในการตอบสนองต่อแรงกระตุ้นสูง โดยในรูปที่ 12(a) แสดงให้เห็นถึงผลลัพธ์ที่ได้จากการดำเนินการป้อนแรงกระตุ้นที่มีความถี่เดี่ยว และโปรแกรมสามารถอ่านความเครียดได้เท่ากับ $1.768 \mu\epsilon$ ขณะที่ในรูปที่ 12(b) เป็นการกระตุ้นวัตถุด้วยหลายๆ ความถี่ ผลลัพธ์ที่ได้จากการโปรแกรมสามารถแสดงลักษณะความเครียดในช่วงความถี่กระตุ้นต่างๆ ได้อย่างสมบูรณ์ ซึ่งความเครียดสูงสุดที่โปรแกรมวัดได้จะมีค่าเท่ากับ $10.306 \mu\epsilon$ ตามลำดับ

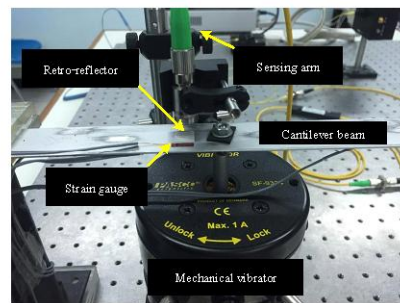
4.2 ผลการพัฒนาระบบตรวจจذبใยแก้วนำแสงชนิดฟาบรี-เปโรต์ อินเทอร์เฟอโรมิเตอร์ เพื่อวัดค่าความเครียด

จากที่ได้ออกแบบและพัฒนาระบบตรวจจذبใยแก้วนำแสงชนิด ฟาบรี-เปโรต์ อินเทอร์เฟอโรมิเตอร์ สำหรับ

การวัดความเครียดของวัตถุแล้วนั้น ในหัวข้อนี้จะเป็นการนำเสนอผลที่ได้จากการพัฒนาระบบตรวจจذبชนิดดังกล่าวเพื่อใช้ในการทดลอง ซึ่งจะมีโครงสร้างการทำงานดังรูปที่ 13



(a)

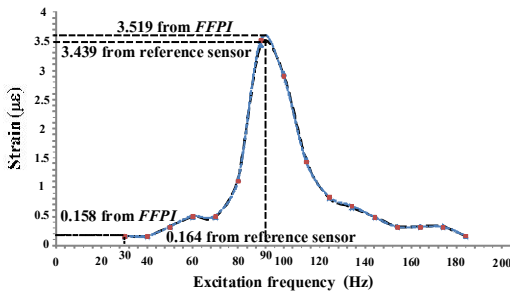


(b)

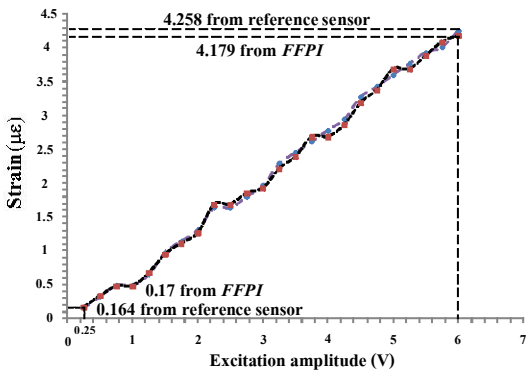
รูปที่ 13 ตัวตรวจจذبใยแก้วนำแสงชนิด ฟาบรี-เปโรต์ อินเทอร์เฟอโรมิเตอร์; (a) โครงสร้างการทำงานโดยทั่วไป (b) หัววัดและชุดทดสอบการหาค่าความเครียด

จากรูปที่ 13(a) แสดงให้เห็นถึงลักษณะ โครงสร้างโดยทั่วไปของระบบตรวจจذبใยแก้วนำแสงชนิด ฟาบรี-เปโรต์ อินเทอร์เฟอโรมิเตอร์สำหรับหารวัดค่าความเครียดของวัตถุทดสอบ ขณะที่รูปที่ 13(b) จะแสดงให้เห็นถึงการติดตั้งหัววัดของระบบตรวจจذبใยแก้วนำแสงเข้ากับชุดทดสอบหาค่าความเครียด ซึ่งประกอบไปด้วยคานอะลูมิเนียม ตัวกระตุ้นแบบไดนามิกส์ และเกจวัดความเครียด ตามลำดับ อย่างไรก็ตามการทดลอง

สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ส่วนคือ การหาความเครียดของวัตถุโดยป้อนความถี่กระตุ้นในช่วง 30 - 180 เฮิร์ตซ์ และการป้อนแอมพลิจูดกระตุ้นให้แก่วัตถุทดสอบในช่วง 0.25 ถึง 6 โวลต์ ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จากการทดลองทั้ง 2 นั้นสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 14 และ 15 ตามลำดับ



รูปที่ 14 ผลการทดลองหาความเครียดเมื่อป้อนความถี่กระตุ้นในช่วง 30 - 180 เฮิร์ตซ์



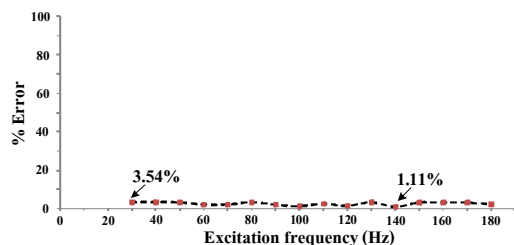
รูปที่ 15 ผลการทดลองหาค่าความเครียด โดยกำหนดให้แอมพลิจูดกระตุ้นมีค่าในช่วง 0.25 - 6 โวลต์

จากรูปที่ 14 เมื่อมีการป้อนความถี่กระตุ้น 30 เฮิร์ตซ์ ให้กับตัวกระตุ้นแบบ ไดนามิกส์ อินเทอร์เฟอโรมิเตอร์ สามารถอ่านค่าความเครียดได้เท่ากับ 0.158 $\mu\epsilon$ ขณะที่

เกจวัดความเครียดมาตรฐานอ่านค่าความเครียดได้เท่ากับ 0.164 $\mu\epsilon$ อย่างไรก็ตามเมื่อทำการป้อนความถี่กระตุ้นที่ 90 เฮิร์ตซ์ ค่าความเครียดได้ที่วัดได้จากระบบตรวจจับทั้ง 2 ชนิดสามารถอ่านเท่ากับ 3.519 $\mu\epsilon$ และ 3.439 $\mu\epsilon$ ตามลำดับ นอกจากนี้ในรูปที่ 15 แสดงให้เห็นถึงผลการทดลองวัดค่าความเครียดของวัตถุเมื่อดำเนินการป้อนแอมพลิจูดกระตุ้นในช่วง 0.25 - 6 โวลต์ ให้กับตัวกระตุ้นแบบ ไดนามิกส์ ระบบตรวจจับ โยแก้วนำแสงจะสามารถอ่านค่าความเครียดในช่วง 0.17 $\mu\epsilon$ - 4.179 $\mu\epsilon$ ขณะที่เกจวัดความเครียดมาตรฐานสามารถที่จะอ่านค่าความเครียดได้ในช่วง 0.164 $\mu\epsilon$ - 4.258 $\mu\epsilon$ ตามลำดับ

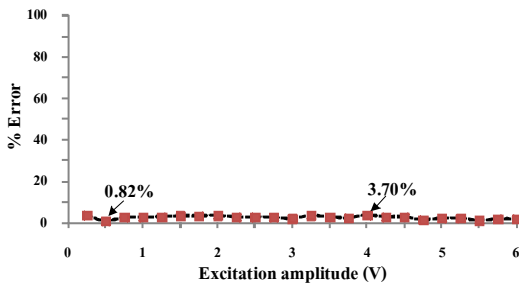
4.3 ผลการวิเคราะห์ความผิดพลาดที่เกิดจากการทดลอง

ในหัวข้อนี้เป็นการวิเคราะห์ความผิดพลาดที่เกิดขึ้นจากการทดลองข้างต้น เพื่อใช้ในการหาประสิทธิภาพของระบบตรวจจับ โยแก้วนำแสง ชนิดฟาบรี-เปโรต์ อินเทอร์เฟอโรมิเตอร์ สำหรับการวัดความเครียดของวัตถุ โดยเปรียบเทียบกับเกจวัดความเครียดมาตรฐาน ซึ่งจากการทดลองทั้ง 2 ที่ผ่านมามีพบว่า ค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้นสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 16 และ 17 ตามลำดับ



รูปที่ 16 ผลการทดลองหาค่าความผิดพลาดจากการวัดในช่วงความถี่กระตุ้นเท่ากับ 30 - 180 เฮิร์ตซ์

จากรูปที่ 16 แสดงให้เห็นถึงค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดต่ำสุดและสูงสุดที่เกิดขึ้นจากการทดลองกระตุ้นวัตถุด้วยความถี่กระตุ้นในช่วงตั้งแต่ 30 - 180 เฮิร์ตซ์ มีค่าเท่ากับ 1.11% และ 3.54% ขณะที่เปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 2.74% ตามลำดับ



รูปที่ 17 ผลการทดลองหาค่าความผิดพลาดจากการวัดในช่วงแอมพลิจูดกระตุ้นเท่ากับ 0.25 - 6 โวลต์

รูปที่ 17 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดที่เกิดขึ้นจากการทดลอง โดยเปอร์เซ็นต์ผิดพลาดต่ำสุดและสูงสุดที่เกิดขึ้นจากการวัดความถี่มีค่าเท่ากับ 0.82% และ 3.70% ตามลำดับ ขณะที่ค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดเฉลี่ยที่คำนวณได้มีค่าเท่ากับ 2.46%

5. อภิปรายผลการทดลอง

การทดลองวัดความถี่ของวัตถุทดสอบในช่วงความถี่และแอมพลิจูดกระตุ้นที่กำหนด ด้วยตัวตรวจจับใยแก้วนำแสงชนิด ฟาบริ-เปโรต์ อินเทอร์เฟอโรมิเตอร์ นั้น ผลที่ได้จากการวัดสามารถสรุปได้ว่าเครื่องมือวัดดังกล่าวมีความไวและสามารถตอบสนองต่อความถี่ขนาดเล็ก ๆ ได้เป็นอย่างดี แม้ว่าจะมีการปรับเปลี่ยนวัสดุที่ใช้ในการทดสอบเป็นประเภทอื่น ๆ

อย่างไรก็ตามค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้นสามารถจำแนกออกได้เป็น 3 ส่วนหลัก ๆ คือ ความผิดพลาดที่เกิดจากผู้ทดลอง (Gross error) ซึ่งอาจจะเกิดจากการปรับแต่งระบบตัวจับทั้ง 2 ที่ไม่เที่ยงตรง ทำให้ผลที่ได้จากการวัดนั้นมีความผิดพลาดเพิ่มขึ้นไป [12-13] ความผิดพลาดจากระบบ (Systematic error) ซึ่งเกิดอาจจะได้จากค่าความละเอียดและความไวของเกจวัดความถี่แบบมาตรฐาน [14] โดยเมื่อสังเกตผลที่ได้จากการคำนวณค่าความผิดพลาดในรูปที่ 16 และ 17 พบได้ว่าเมื่อกระตุ้นวัตถุทดสอบด้วยแรงขนาดเล็ก (30 เฮิร์ตซ์ และ 0.25 โวลต์) ระบบจะแสดงค่าความผิดพลาดสูงสุดออกมา หรืออาจจะกล่าวอีกนัยหนึ่งว่าตัวตรวจจับมาตรฐานนั้นมีค่าความละเอียดและความไวในการวัดที่ต่ำ นอกจากนั้นความผิดพลาดในส่วนสุดท้ายคือ ความผิดพลาดจากสิ่งแวดล้อม (Environmental error) ซึ่งเกิดจากสิ่งแวดล้อมภายนอก เช่น อุณหภูมิ การสั่นสะเทือน และความสว่าง เป็นต้น ทั้งนี้เนื่องจากคุณสมบัติพื้นฐานของอินเทอร์เฟอโรมิเตอร์ นั้นมีความไวต่อสิ่งแวดล้อมภายนอกสูง [15-16] ดังนั้นจึงมีความเป็นไปได้ที่ค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้นอาจเกิดขึ้นมาจากสาเหตุข้างต้น

นอกจากเรื่องการวิเคราะห์ความผิดพลาดที่เกิดขึ้นจากการทดลอง ผลการทดลองยังสามารถแสดงให้เห็นได้ว่า ตัวกระตุ้นแบบไดนามิกส์ที่นำมาใช้ในการทดลองนั้นมีค่าความถี่เรโซแนนซ์ (Resonance frequency) เท่ากับ 90 เฮิร์ตซ์ ทั้งนี้สามารถพิจารณาได้จากผลการทดลองในรูปที่ 14 ซึ่งค่าความถี่ดังกล่าวจะเป็นค่าที่ทำให้แรงกระตุ้นสูงสุดแก่วัตถุทดสอบที่อินเทอร์เฟอโรมิเตอร์สามารถตรวจจับได้ [17-18] ในขณะที่ผลการทดลองในรูปที่ 15 แสดงให้เห็นว่าค่าความถี่ที่วัดได้จากวัตถุทดสอบแปรผันตรงกับการเปลี่ยนแปลงของแอมพลิจูด

กระตุ้น โดยผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าระบบตรวจจับใยแก้วนำแสงนั้น สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในงานด้านการวัดละเอียด (High precision measurements) และงานด้านวิศวกรรมเมคคาทรอนิกส์ได้เป็นอย่างดี เช่น งานด้านวิศวกรรมการบินและอากาศยาน หรืองานด้านวิศวกรรมระบบควบคุมอัตโนมัติ เป็นต้น

6. สรุปผล

งานวิจัยนี้ระบบตรวจจับใยแก้วนำแสงชนิด ฟาบริ-เปโรต์ อินเทอร์เฟอโรมิเตอร์ ถูกพัฒนาขึ้นสำหรับวัดค่าความเครียดของคานอะลูมิเนียม ที่ถูกนำมาใช้เป็นวัตถุทดสอบ นอกจากนั้นเกจวัดความเครียดมาตรฐานถูกใช้เป็นตัวตรวจจับอ้างอิงสำหรับหาค่าความผิดพลาดจากการวัด แรงกระตุ้นแบบซ้ำคาบ และไม่ซ้ำคาบจากเครื่องกำเนิดรูปคลื่นสัญญาณรูปสามเหลี่ยมถูกนำมาเชื่อมต่อเข้ากับตัวกระตุ้นแบบไดนามิกส์ อย่างไรก็ตามเมื่อดำเนินการกระตุ้นวัตถุด้วยความถี่กระตุ้นแบบซ้ำคาบในช่วง 30 - 180 เฮิรตซ์ ค่าความเครียดที่วัดได้จากระบบตรวจจับใยแก้วนำแสงสามารถอ่านค่าได้ในช่วงตั้งแต่ 0.158 $\mu\epsilon$ ถึง 3.519 $\mu\epsilon$ ขณะที่เปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 2.74% นอกจากนั้นเมื่อกระตุ้นวัตถุด้วยแอมพลิจูดกระตุ้นในช่วง 0.25 - 6 โวลต์ ค่าความเครียดที่วัดได้จากระบบตรวจจับที่พัฒนาขึ้นมีค่าอยู่ในช่วง 0.17 $\mu\epsilon$ - 4.179 $\mu\epsilon$ โดยมีเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 2.46% ตามลำดับ จากผลการทดลองทั้ง 2 สามารถพิสูจน์ได้ว่าระบบตรวจจับใยแก้วนำแสงชนิดฟาบริ-เปโรต์ นั้นมีความไวสูง และตอบสนองต่อสิ่งเร้าขนาดเล็กทางกลได้เป็นอย่างดี ซึ่งเหมาะสมเป็นอย่างยิ่งที่จะประยุกต์เอาระบบตรวจจับชนิดดังกล่าวมาใช้ในการงานด้านวิศวกรรมเมคคาทรอนิกส์

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] S. Yin and P. B. Ruffin, “*Fiber Optic Sensor*”, Taylor & Francis Group, USA, 2008.
- [2] X. Zhou and Q. Yu, “Wide-Range Displacement Sensor Based on Fiber-Optic Fabry-Perot Interferometer for Subnanometer Measurement”, *IEEE Sensors* 11, 2011, pp. 1602-1606.
- [3] K. Kesavan, K. Ravisankar, P. Sreeshylam and S. Sridhar, “Experimental studies on fiber optic sensors embedded in concrete”, *Measurement* 43, 2010, pp. 157-163.
- [4] Q. Sun, D. Liu and J. Wang, “Distributed fiber-optic vibration sensor using a ring Mach-Zehnder interferometer”, *Optics Communication* 281, 2008, pp. 1538-1544.
- [5] A.D. Kersey, “A Review of Recent Development in Fiber Optic Sensor Technology”, *Optical Fiber Technology* 2, 1996, pp. 291-317.
- [6] T.C. Liang, and Y.L. Lin, “Ground vibration with fiber optic sensor”, *Optics Communications* 285, 2012, pp. 2363-2367.
- [7] R.P. Areny, and J.G. Webster, “*Sensors and Signal Conditioning*”, John Willy & Sons Inc., Newyork, 1991.
- [8] K.J. Gasvik, “*Optical Metrology*”, Wiley & Sons., London, 2012.
- [9] S. Pullteap and H. Seat, “An Extrinsic Fiber Fabry-Perot Interferometer for Dynamic Displacement Measurement”, *Photonic Sensors* 5, 2015, pp. 50-59.

- [10] A. Ghatak, and K. Thyagarjan, “*An Introduction to Fiber Optics*”, Cambridge, UK, 1999.
- [11] E. Udd and W.B. Spillman, “*Fiber Optic Sensors: An Introduction for Engineers and Scientists*”, John Wiley & Sons Inc., New York, 1991.
- [12] R.B. Northrop, “*Introduction to Instrumentation and Measurements*”, Taylor & Francis Group, Boca Raton, 2005.
- [13] X. Chen and C. Shen, “Study on temperature error processing technique for fiber optic gyroscope”, *Optik* 124, 2013, pp. 784-792.
- [14] R. Wang and X. Qiao, “Hybrid optical fiber Fabry–Perot interferometer for simultaneous measurement of gas refractive index and temperature”, *Applied Optics* 53, 2014, pp. 7724-7728.
- [15] M. Xue, Y. Zhao, X. Gu, and S. Pan, “Performance analysis of optical vector analyzer based on optical single-sideband modulation”, *Journal of the Optical Society of America B* 30, pp. 928-933.
- [16] W. Wang and F. Li, “Large-range liquid level sensor based on an optical fibre extrinsic Fabry–Perot interferometer”, *Optics and Lasers in Engineering* 52, 2014, pp. 201-205.
- [17] L. Bian, Y. Wen, and P. Li, “Field-dependent characteristics of equivalent circuit parameters and the magneto-impedance effect in $Tb_{1-x}Dy_xFe_{2-y}Pb(Zr,Ti)O_3$ laminate vibrator”, *Sensors and Actuators A: Physical* 236, 2015, pp. 338-342.
- [18] C. Yang, X. Shan, and T. Xie, “A new piezoelectric ceramic longitudinal–torsional composite ultrasonic vibrator for wire drawing”, *Ceramics International* 41, 2015, pp. S625-S630.