การสอบเทียบแท่งเทียบมาตรฐาน ด้วยเทคนิคการแทรกสอดทางแสง

เยาวลักษณ์ ล้อมธื่น

การสร้างเสริมศักยภาพด้านวิทยาศาสตร์ของการวัดหรือมาตรวิทยาถือเป็นความจำเป็นเร่งด่วน ประเทศไทยยังขาดความพร้อมในเทคโนโลยีด้านนี้ กล่าวคือ หน่วยงานด้านมาตรวิทยาที่ทำหน้าที่ดูแลและเก็บรักษามาตรฐานแห่งชาติของหน่วยการวัดปริมาณพื้นฐานมีไม่ครบถ้วน และเทคโนโลยีการถ่ายทอดค่าความถูกต้องจากมาตร-ฐานดังกล่าวไปสู่เครื่องมือวัดยังไม่ได้รับความเชื่อถือในระดับสากล ดังนั้นในประเทศไทยจำเป็นต้องพัฒนาเทคโนโลยีด้านมาตรฐานขั้นปฐมภูมิ และการถ่ายทอดค่าความถูกต้องไปยังมาตรฐานขั้นทุติ-ยภูมิและมาตรฐานใช้งาน เพื่อแสดงศักยภาพและเป็นพื้นฐานการพัฒนาวิทยาศาสตร์ของประเทศ วิทยา-ศาสตร์ทางด้านการวัดความยาวถือว่าเป็นศาสตร์ที่ได้รับการพัฒนาอย่างมากและเป็นศาสตร์ที่ประยุกต์ใช้ทฤษฎีทางฟิสิกส์อย่างมีประ-สิทธิภาพ โดยเฉพาะการนำเอาความรู้ด้านเลเซอร์ฟิสิกส์มาประยุกต์ใช้ใน ค.ศ. 1960 ทำให้วิทยาศาสตร์การวัดพัฒนาจากระดับความถูกต้องที่ 10^{-6} เมตร มาสู่ที่ระดับ 10^{-8} เมตร ปัจจุบันประเทศไทยได้จัดการให้มีมาตรฐานแห่งชาติด้านการวัดความยาว แต่ยังไม่สามารถแสดงขีดความสามารถในการถ่ายทอดค่าความถูกต้องของมาตรฐานดังกล่าวให้เป็นที่ยอมรับของนานาประเทศได้

การศึกษานี้เพื่อเป็นการวัดระดับความสามารถของมาตรวิทยาด้านการวัดความยาว โดยถ่ายทอดค่าความถูกต้องของมาตรฐานนี้ไปยังแท่งเทียบมาตรฐานซึ่งเป็นมาตร-ฐานขั้นทุติยภูมิด้วยเทคนิคการแทรกสอดทางแสง ซึ่งเป็นแนวทางที่ห้องปฏิบัติการมาตรวิทยาความยาวและมิติของกรมวิทยาศาสตร์บริการ ร่วมมือกับห้องปฏิบัติการมาตรวิทยาความยาวของสถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ ได้ทำการศึกษาพัฒนาเทคโนโลยีการสอบเทียบแท่งเทียบมาตรฐานด้วยเทคนิคการแทรกสอดทางแสงจากเครื่อง เกจบล็อกอินเตอร์ฟีรอมิเตอร์ ซึ่งเป็นเครื่องมือสำหรับถ่ายทอดค่าความถูกต้องขั้นทุติยภูมิที่ห้องปฏิบัติการระดับทุติยภูมิอย่างกรมวิทยาศาสตร์บริการควรมีเพื่อเพิ่มศักยภาพให้กับงานด้านมาตรวิทยาทางความยาวต่อไป

การสอบเทียบแท่งเทียบมาตรฐานทั่วไปมี 2 วิธี

1. วิธีการวัดแบบเปรียบเทียบ (Comparison Measurement Method) เป็นการวัดเปรียบเทียบแท่งเทียบมาตรฐานด้วยเครื่องวัดเปรียบเทียบแท่งเทียบมาตรฐาน โดยเปรียบเทียบแท่งเทียบมาตรฐานที่มีความถูกต้องสูงกว่าเช่นระดับ 0 กับแท่งเทียบมาตรฐานที่มีความถูกต้องต่ำกว่าเช่น 1 และ 2 ซึ่งเป็นเครื่องมือที่กรมวิทยาศาสตร์บริการกำลังดำเนินการพัฒนาให้มีประสิทธิภาพการทำงานให้มากขึ้น

2. วิธีการวัดแบบสัมบูรณ์ (Absolute Measurement Method) เป็นวิธีการวัดแท่งเทียบมาตรฐานระดับ K โดยใช้เทคนิคการวัดการแทรกสอดทางแสงของเครื่องเกจบล็อกอินเตอร์ฟีรอมิเตอร์และใช้ความยาวคลื่นแสงของแสงสีเดียว เช่น แสงเลเซอร์หรือแคดเมี่ยม เป็นมาตรฐานอ้างอิง ซึ่งปัจจุบันมีสถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติเพียงแห่งเดียวที่ให้บริการในประเทศไทย

การวัดแบบสัมบูรณ์นี้จะได้ความถูกต้องมากกว่าวิธีการวัดแบบเปรียบเทียบเพราะต้องใช้เทคนิคการแทรกสอดทางแสงและวิเคราะห์

เศษส่วนของริ้วการแทรกสอดทางแสงช่วงครึ่งความยาวคลื่นแสงสำหรับสถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติของประเทศไทยได้ถ่ายทอดค่าความถูกต้องแท่งเทียบมาตรฐานโดยใช้เครื่องเกจบล็อกอินเตอร์ฟีรอมิเตอร์ (Gauge Block Interferometer : GBI) ซึ่งเป็นการวัดแบบสัมบูรณ์ถ่ายทอดค่าความถูกต้องมายังแท่งเทียบมาตรฐานระดับ K ให้กับกรมวิทยาศาสตร์บริการและหน่วยงานอื่นในวงการอุตสาหกรรม เพื่อนำแท่งเทียบมาตรฐานไปเป็นมาตรฐานสำหรับสอบเทียบเครื่องมือวัดอื่นๆ ต่อไป

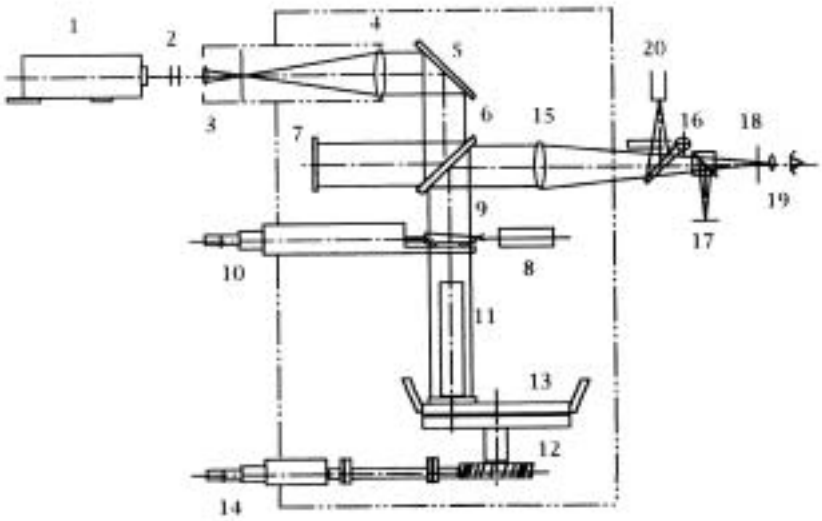
แท่งเทียบมาตรฐาน (Standard Gauge Block) เป็นมาตรฐานความยาวชนิดหนึ่งที่นิยมใช้อย่างแพร่หลายในวงการอุตสาหกรรม เนื่องจากแท่งเทียบมาตรฐานมีความถูกต้องสูง สามารถสอบเทียบเครื่องมือได้หลายชนิด เช่น ยูนิเวอร์แซลเมเชอร์ริ่งแมชีน (Universal Measuring Machine), ไมโครมิเตอร์ (Micrometer), เวอร์เนียร์คาลิปเปอร์ (Vernier Caliper), ไฮท์มาสเตอร์ (Height Master), ปลั๊กเกจ (Plug Gauge) เป็นต้น

โครงสร้างเครื่องเกจบล็อกอินเตอร์ฟีรอมิเตอร์

การสอบเทียบแท่งเทียบมาตรฐานโดยใช้หลักการแทรกสอดทางแสงของไมเคิลสันอินเตอร์ฟีรอมิเตอร์ ใช้เลเซอร์ฮีเลียม-นีออน ความยาวคลื่นแสง 632.990844 nm เป็นมาตรฐานอ้างอิง ระบบการทำงานของเครื่องเกจบล็อกอินเตอร์ฟีรอมิเตอร์เป็นระบบอัตโนมัติ ประกอบด้วย ระบบทางแสงและส่วนควบคุมอิเล็กทรอนิกส์ ส่วนประมวลผลรวมทั้งอุปกรณ์ต่างๆ แสดงดังรูปที่ 1 โครงสร้างเครื่องเกจบล็อกอินเตอร์ฟีรอมิเตอร์ประกอบด้วย 3 ส่วนดังรูปที่ 1 ส่วนแรกเป็นชุดอุปกรณ์ทางแสงที่ทำให้เกิดการแทรกสอด จะอยู่ส่วนบน ส่วนที่สองเป็นแท่นติดตั้งแท่งเทียบมาตรฐาน อยู่ส่วนกลางของเครื่อง และส่วนที่สามอยู่ข้างล่างซึ่งเป็นขาตั้งที่แยกจากกัน เป็นขาตั้งลดความสั่นสะเทือนมีแผ่นยางรองกันสะเทือน 3 ชิ้น ขาตั้ง ส่วนแท่นวางแท่งเทียบมาตรฐานมีสกรูสามารถปรับระดับของเครื่องทั้ง 4 ตัว

รูปที่ 1 *เครื่องเกจบล็อกอินเตอร์ฟีรอมิเตอร์*

ระบบทางแสงของเครื่องเกจบล็อกอินเตอร์ฟีรอมิเตอร์



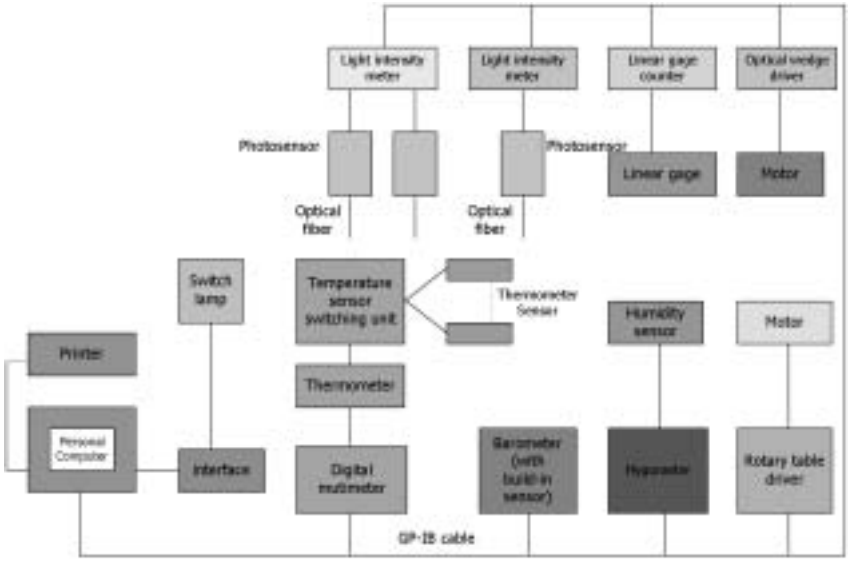
รูปที่ 2 *หลักการทำงานของเครื่องเกจบล็อกอินเตอร์ฟีรอมิเตอร์*

ชุดอุปกรณ์และโครงสร้างภายในส่วนประกอบระบบทางแสงของเครื่องเกจบล็อกอินเตอร์ฟีรอมิเตอร์แสดงดังรูปที่ 2 เริ่มจากแหล่งกำเนิดแสงเลเซอร์ฮีเลียม-นีออน (1) เป็นแหล่งกำเนิดแสง ถูกติดตั้งอยู่ด้านหลังของชุดอินเตอร์ฟีรอมิเตอร์ดังรูปที่ 2 มีความยาวคลื่นแสงเท่ากับ 632.990844 nm กำลังขนาด 1.2

mw เส้นผ่านศูนย์กลางลำแสง 0.6 mm ระดับclass 3B(LIS-50) ผ่านตัว wave plate (2) ซึ่งทำหน้าที่ปรับระนาบโพลาไรซ์ของแสงเลเซอร์ผ่านมายังเลนส์รวมแสงและเลนส์กระจายแสงขนาน (3 และ 4) ทำหน้าที่เป็นชุดขยายลำแสงจากขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.6 mm เป็นลำแสงขนานขนาดเส้นผ่านศูนย์-กลาง 45 mm เพื่อให้เกิดฟริงจ์เต็มพื้นที่ผิวของแท่งเทียบและสะท้อนกระจกเงา (5) ไปยังผลึกแยกลำแสงขนาด 50% เพื่อให้ลำแสงส่วนหนึ่งผ่านลิ่มกระจก (9) แทนการปรับมุมเอียงของแท่งเทียบมาตรฐานไปตกกระทบบนผิวของแท่งเทียบที่ประกบกับเบสเพลต (11) วางอยู่บนแท่นวาง (13) แล้วสะท้อนกลับมาเปรียบเทียบกับลำแสงอีกส่วนหนึ่ง ที่ถูกแบ่งออกไปตกกระทบยังกระจกเงา (7) ซึ่งเป็นหัวใจสำคัญในการทำให้เกิดการแทรกสอด และผ่านไปยังเลนส์รวมแสง (15) ซึ่งทำหน้าที่สะท้อนฟริงจ์ที่เกิดขึ้นไปยังตัวตรวจจับความเข้มแสง (20) และชุดมองภาพฟริงจ์ทางช่องมอง (16-19) ที่ใช้สำหรับมองภาพฟริงจ์ขณะทำการตรวจวัด โดยความเข้มแสงของฟริงจ์นี้และสภาวะสิ่งแวดล้อมจะตรวจวัดด้วยระบบอิเล็กทรอนิกส์

ระบบควบคุมอิเล็กทรอนิกส์ของเครื่องวัดอินเตอร์ฟีรอมิเตอร์

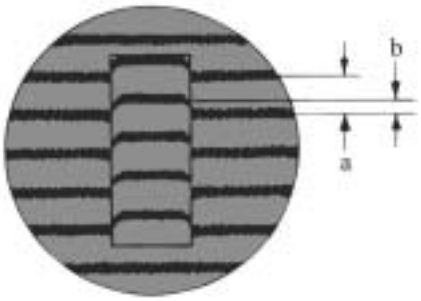
การทำงานของเกจบล็อกอินเตอร์-ฟีรอมิเตอร์จะถูกควบคุมด้วยชุดควบคุมอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic control unit) ซึ่งประกอบด้วยส่วนต่างๆ ดังนี้



รูปที่ 3 *แผนผังระบบควบคุมและประมวลผลของเครื่องเกจบล็อกอินเตอร์ฟีรอ-มิเตอร์*

ระบบควบคุมและประมวลผลของเครื่องเกจบล็อกอินเตอร์ฟีรอมิเตอร์ดังรูปที่ 3 แสดงการเชื่อมต่อกันของอุปกรณ์และเครื่องมือวัดต่างๆ รวมทั้งส่งผ่านข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดมายังส่วนประมวลผลด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์ โดยส่งสัญญาณผ่านอินเตอร์เฟสการ์ด ประกอบด้วยส่วนสำคัญ 2 ส่วน ดังนี้

ส่วนที่หนึ่งเป็นชุดอุปกรณ์ตรวจจับความเข้มแสงที่เชื่อมต่อกันกับชุดควบคุมทางอิเล็กทรอนิกส์มีรายละเอียดดังนี้ เริ่มต้นจากอุปกรณ์ตรวจจับความเข้มแสง (Photosensor) แบบเส้นใยแก้วนำแสง (Fibre Optic) ประกอบด้วยตัวตรวจจับความเข้มแสง 3 ตัว สองตัวแรกตรวจจับความเข้มแสงจากฟริงจ์ที่ปรากฏบนเบสเพลต ส่วนตัวที่สามจะตรวจจับความเข้มแสงจากฟริงจ์ที่ปรากฏบนบริเวณกึ่งกลางของแท่งเทียบมาตรฐาน ตัวตรวจจับความเข้มแสงบนเบสเพลตมีระยะห่างจากขอบแท่งเทียบมาตรฐานประมาณ 1.5 mm ความเข้มแสงจะถูกส่งผ่านเส้นใยแก้วนำแสงมายังเครื่องวัดความเข้มแสงทั้งสองชุด การตรวจจับความเข้มแสงของแนวฟริงจ์จะสัมพันธ์กันกับอุปกรณ์วัดระยะชุดลิเนียร์เกจที่ติดตั้งอยู่บนลิ่มกระจก ขับเคลื่อนด้วยระบบมอเตอร์ ซึ่งถูกกำหนดให้วัดระยะจุดตรวจจับความเข้มบนแถบฟริงจ์จำนวน 32 จุด แต่ละจุดมีระยะการเคลื่อนที่ของลิ่มกระจกห่างเท่ากับ 40 μm ระยะตลอดแถบฟริงจ์ประมาณ 1280 μm หรือประมาณ 1.28 mm สามารถดูช่วงการตรวจจับความเข้มแสงดังตัวอย่างในรูปที่ 4 และแสดงผลการวัดจาก wave forms ได้ผลการคำนวณค่าเฉลี่ยค่าผิดพลาดที่จุดกึ่งกลางและค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานของแท่งเทียบมาตรฐานดังตารางที่ 1



รูปที่ 4 การวัดเศษส่วนฟริงจ์บนเบสเพลตและแท่งเทียบมาตรฐาน

ส่วนที่สองเป็นอุปกรณ์ชุดตรวจวัดสภาวะอากาศภายในตู้วางแท่งเทียบมาตรฐานและอุณหภูมิของแท่งเทียบมาตรฐานเชื่อมต่อกันกับชุดอิเล็กทรอนิกส์ ทั้งสองส่วนจะส่งผ่านข้อมูลไปยังเครื่องคอมพิวเตอร์โดยส่งผ่านอินเตอร์เฟสการ์ด เพื่อทำการประมวลผลและแสดงที่จอมอนิเตอร์ด้วยโปรแกรมคอมแลปวิว (LabView)

จากผลการศึกษานี้แสดงถึงขีดความสามรถของการสอบเทียบแท่งเทียบมาตรฐานระดับ K ด้วยค่าความไม่แน่นอนเท่ากับ ±0.028 ไมโครเมตร ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และเป็นแนวทางในการพัฒนาขีดความสามารถให้กับงานมาตรวิทยาด้านการวัดความยาวมาตรฐานของกรมวิทยาศาสตร์บริการ อีกทั้งลดต้นทุนในการสอบกลับของแท่งเทียบมาตรฐานไปยังต่างประเทศ ซึ่งสอดคล้องกับแนวทางในการพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมของประเทศไทยในปัจจุบัน

เอกสารอ้างอิง

Hariharan P. **Basics of interferometry academic**. New york. [n.p.]1991.

International Organization for Standardization. **ISO 3650: gauge blocks**. 2nd ed. Geneva : International Organization for Standardization. 1998.

_____.Technical Advisory Groy on Metrology (TAG4). **Guide to the expression of uncertainty in measurement**. Geneva: ISO/TAG. 1993.

Mitutoyo. **Automatic gauge block interferometer measuring systems**. Manual No.4763 (n.p.,n.d)

Steel, W.H. **Interferometry**. 2nd ed. New York: Cambridge University Press. 1983.