บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการวิจัยเพื่อออกแบบและสร้างชุดการทดลองหาค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวของโลหะ ผู้วิจัยศึกษาค้นคว้าเอกสารที่เกี่ยวข้องดังต่อไปนี้

1. การขยายตัวของวัตถุเนื่องจากความร้อน
2. ไดอัลเกจ (Dial Gauge)
3. การออกแบบและสร้างชุดทดลอง
4. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การขยายตัวของวัตถุเนื่องจากความร้อน

วัตถุโดยทั่วไปเมื่อได้รับความร้อนจะขยายตัว ผลของการขยายตัวทำให้ความยาว หรือพื้นที่หน้าตัด หรือปริมาตรของวัตถุเพิ่มขึ้น ในทางกลับกันถ้าวัตถุสูญเสียความร้อน หรือคายความร้อน วัตถุก็จะหดตัวทำให้มีความยาว พื้นที่หน้าตัด หรือปริมาตรลดลง

สมบัติที่สำคัญเกี่ยวกับการขยายตัวของของแข็งที่ควรทราบ ได้แก่

- ของแข็งต่างชนิดกัน ถ้าเดิมมีความยาวเท่ากัน และเมื่อมีความร้อนที่เพิ่มขึ้นเท่ากันจะมีส่วนขยายตัวเพิ่มขึ้นต่างกัน

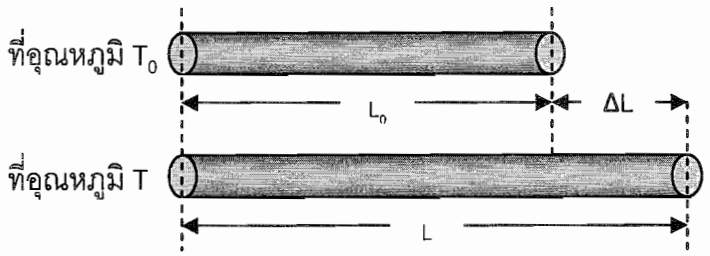
- ของแข็งชนิดเดียวกัน ถ้ามีความยาวเท่ากัน เมื่อมีความร้อนเพิ่มขึ้นเท่ากัน จะมีการขยายตัวในปริมาณที่เพิ่มขึ้นเท่ากัน

- สมบัติการขยายตัวและหดตัวของวัตถุเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยน เป็นเรื่องที่วิศวกรต้องคำนึงถึงเวลานำวัตถุมาใช้งาน (สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี [สสวท.], 2551, หน้า 52-53)

การขยายตัวเนื่องจากความร้อนของของแข็งแบ่งเป็น 3 ประเภท คือ การขยายตัวเชิงเส้น การขยายตัวเชิงพื้นที่ และการขยายตัวเชิงปริมาตร โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. **การขยายตัวเชิงเส้น** (Linear Expansion) คือ การที่วัตถุนั้นขยายตัวออกไปทางด้านใดด้านหนึ่งตามความยาว เมื่อวัตถุนั้นได้รับความร้อนเพิ่มขึ้น โดยความยาวที่เพิ่มขึ้นจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความยาวเดิมและอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น ดังภาพที่ 2-1

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University



ภาพที่ 2-1 ความยาวของแท่งวัตถุเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลง

จะได้ว่า $$\Delta L \propto L_0 \Delta T \quad (2\text{-}1)$$

$$\Delta L = \alpha L_0 \Delta T \quad (2\text{-}2)$$

ให้ α เป็นค่าคงที่เฉพาะวัตถุแต่ละชนิด เรียกว่า สัมประสิทธิ์การขยายตัวเชิงเส้น (Coefficient of Linear Expansion)

$$\alpha = \frac{\Delta L}{L_0 \Delta T} = \frac{(L - L_0)}{L_0 (T - T_0)} \quad (2\text{-}3)$$

เมื่อ α คือ สัมประสิทธิ์การขยายตัวเชิงเส้น ($^\circ C^{-1}$)

L_0 คือ ความยาวเริ่มต้น (m)

L คือ ความยาวที่อุณหภูมิ T ใด ๆ (m)

T_0 คือ อุณหภูมิเริ่มต้น (°C)

T คือ อุณหภูมิขณะใด ๆ (°C)

ΔL คือ ความยาวที่เพิ่มขึ้น (m)

ΔT คือ อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น (°C)

เมื่อนำค่า ΔL กับ ΔT ไปเขียนกราฟความสัมพันธ์โดยให้แกน y แทน ΔL และแกน x แทน ΔT พบว่าค่าความชัน (slope) ของกราฟ มีค่าเท่ากับ $\frac{\Delta L}{\Delta T}$ หรือสามารถเขียนในรูปความสัมพันธ์ ดังนี้

$$\alpha = \frac{\text{slope}}{L_0} \quad (2\text{-}4)$$

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

วัตถุใดที่มีค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวมากจะขยายตัวได้มากกว่าวัตถุที่มีค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวน้อย เช่น ที่อุณหภูมิ 25 °C และความดันบรรยากาศเดียวกัน อะลูมิเนียม ทองเหลือง ทองแดง จะมีการขยายตัวจากมากไปน้อยตามลำดับ ตัวอย่างค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเชิงเส้นเนื่องจากความร้อนของวัสดุต่าง ๆ แสดงดังตารางที่ 2-1

ตารางที่ 2-1 ค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเชิงเส้นเนื่องจากความร้อนของวัสดุต่าง ๆ (Young, 2004, pp.646-651)

วัสดุ	α ($^{\circ}C^{-1}$)
อะลูมิเนียม	2.4×10^{-5}
ทองเหลือง	2.0×10^{-5}
ทองแดง	1.7×10^{-5}
แก้ว	$0.4 - 0.9 \times 10^{-5}$
เหล็ก	1.2×10^{-5}
สเตนเลส	1.73×10^{-5}

2. **การขยายตัวเชิงพื้นที่** (Area Expansion) คือ การที่พื้นที่ผิวด้านใดด้านหนึ่งของวัตถุนั้น มีพื้นที่เพิ่มขึ้นเมื่อวัตถุได้รับความร้อนเพิ่มขึ้น โดยพื้นที่ที่เพิ่มขึ้นจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับพื้นที่เดิมและอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น

จะได้ว่า $$\Delta A \propto A_0 \Delta T \quad (2\text{-}5)$$

$$\Delta A = \beta A_0 \Delta T \quad (2\text{-}6)$$

ให้ β เป็นสัมประสิทธิ์การขยายตัวเชิงพื้นที่ของวัตถุ (Coefficient of Area Expansion)

$$\beta = \frac{\Delta A}{A_0 \Delta T} = \frac{(A - A_0)}{A_0 (T - T_0)} \quad (2\text{-}7)$$

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

เมื่อ β คือ สัมประสิทธิ์การขยายตัวเชิงพื้นที่ ($°C^{-1}$)

A_0 คือ พื้นที่เริ่มต้น (m^2)

A คือ พื้นที่ที่อุณหภูมิ T ใด ๆ (m^2)

T_0 คือ อุณหภูมิเริ่มต้น (°C)

T คือ อุณหภูมิขณะใด ๆ (°C)

ΔA คือ พื้นที่ที่เพิ่มขึ้น (m^2)

ΔT คือ อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น (°C)

เนื่องจากการคำนวณหาพื้นที่ได้มาจากผลคูณความยาวของด้าน 2 ด้าน ดังนั้นทำให้ความสัมพันธ์ระหว่าง β และ α เป็นดังนี้

$$\beta = 2\alpha \tag{2-8}$$

3. **การขยายตัวเชิงปริมาตร** (Volume Expansion) คือ การที่ปริมาตรของวัตถุทั้งก้อนเพิ่มขึ้นเมื่อวัตถุนั้นได้รับความร้อนเพิ่มขึ้น โดยปริมาตรที่เพิ่มขึ้นจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับปริมาตรเดิมและอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น

จะได้ว่า $$\Delta V \propto V_0 \Delta T \tag{2-9}$$

$$\Delta V = \gamma V_0 \Delta T \tag{2-10}$$

ให้ γ เป็นสัมประสิทธิ์การขยายตัวเชิงปริมาตรของวัตถุ (Coefficient of Volume Expansion)

$$\gamma = \frac{\Delta V}{V_0 \Delta T} = \frac{(V - V_0)}{V_0(T - T_0)} \tag{2-11}$$

เมื่อ γ คือ สัมประสิทธิ์การขยายตัวเชิงปริมาตร ($°C^{-1}$)

V_0 คือ ปริมาตรเริ่มต้น (m^3)

V คือ ปริมาตรที่อุณหภูมิ T ใด ๆ (m^3)

T_0 คือ อุณหภูมิเริ่มต้น (°C)

T คือ อุณหภูมิขณะใด ๆ (°C)

ΔV คือ ปริมาตรที่เพิ่มขึ้น (m^3)

ΔT คือ อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น (°C)

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ความสัมพันธ์ระหว่าง γ β และ α เป็นดังนี้

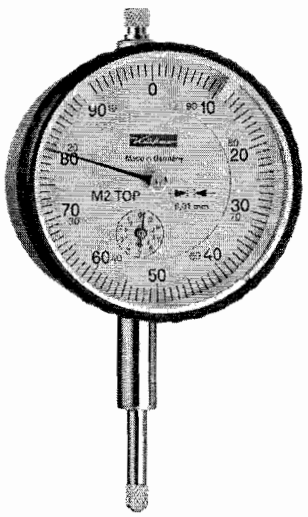
$$\gamma = 3\alpha \qquad (2\text{-}12)$$

หรือ $$\gamma = \frac{3}{2}\beta \qquad (2\text{-}13)$$

ไดอัลเกจ

ไดอัลเกจ (Dial gauge) เป็นเครื่องมือวัดละเอียดที่สามารถใช้งานได้หลายประเภท เช่น วัดขนาดของชิ้นงาน วัดตรวจสอบความเที่ยงตรงของงานกลม วัดตรวจสอบความขนานของชิ้นงาน และการใช้งานวัดร่วมกับงานคอมพาราเตอร์ (Comparator) ไดอัลเกจใช้หลักการทำงานโดยอาศัยการเคลื่อนที่ของแกนวัดที่ขับเคลื่อนโดยเฟืองสะพานและเฟืองขับตัวเล็ก โดยอาศัยเฟืองตรงเป็นตัวเชื่อมติดต่อกับเข็ม

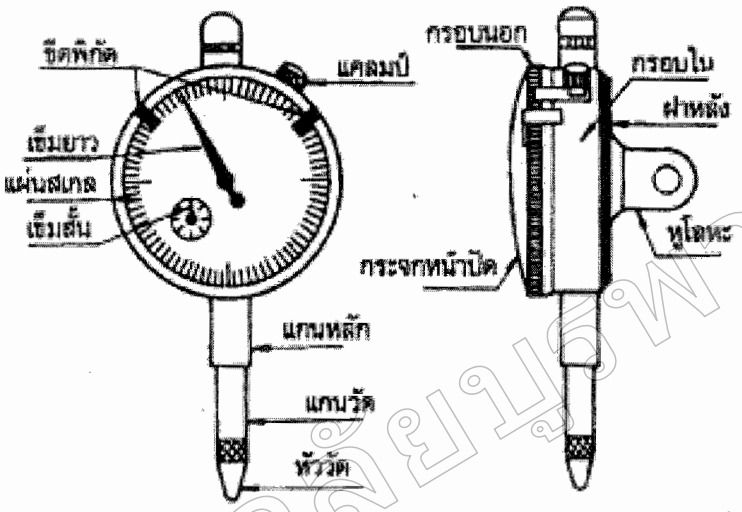
ลักษณะภายนอกโดยทั่วไปของไดอัลเกจแสดงดังภาพที่ 2-2 ค่าความละเอียดของไดอัลเกจมีทั้งแบบ 0.01 มิลลิเมตร และ 0.001 มิลลิเมตร เมื่อหัวสัมผัสถูกดันขึ้นเข็มยาวของหน้าปัดจะหมุนตามเข็มนาฬิกา เมื่อเข็มยาวหมุนครบ 1 รอบ เข็มสั้นจะหมุนไป 1 ช่องสเกล เมื่อมองดูที่หน้าปัดของเข็มสั้นจะทราบทันทีว่าเข็มยาวหมุนไปกี่รอบ



ภาพที่ 2-2 ลักษณะภายนอกโดยทั่วไปของไดอัลเกจ (http://www.nanasupplier.com)

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ส่วนประกอบและหน้าที่ของไดอัลเกจ



ภาพที่ 2-3 ส่วนประกอบของไดอัลเกจ

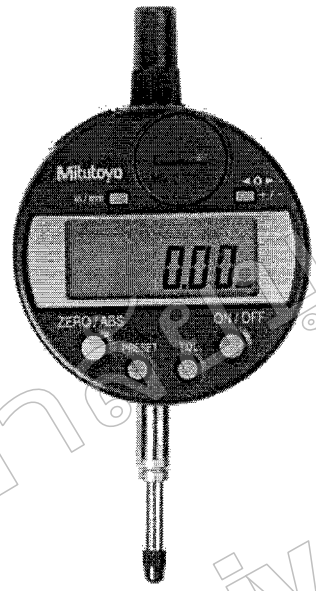
(ศูนย์พัฒนาและถ่ายทอดเทคโนโลยีการผลิต, ม.ป.ป., หน้า 35)

จากภาพที่ 2-3 แสดงส่วนประกอบของไดอัลเกจที่มีหน้าที่ต่าง ๆ ดังนี้

1. หัววัด เป็นตัวสัมผัสวัด หรือตรวจสอบชิ้นงานโดยตรง
2. แกนวัด เป็นตัวจับยึดหัววัดเมื่อหัววัดถูกดันโดยผิวชิ้นงาน แกนเลื่อนขึ้น – ลง
3. เข็มยาว บอกค่าความคลาดเคลื่อนของชิ้นงานภายหลังการสัมผัสชิ้นงานของหัววัด
4. เข็มสั้น บอกจำนวนรอบของเข็มว่าเคลื่อนที่ไปเป็นระยะทางเท่าไร (mm)
5. แผ่นสเกล บอกค่าความละเอียด โดยแบ่งออกเป็น 100 ช่องเท่า ๆ กัน เมื่อเข็มยาวหมุนไป 1 รอบ จะอ่านค่าได้ 1 mm
6. กรอบนอก หมุนปรับให้จุดศูนย์ (ขีด 0) ของแผ่นสเกลตรงกับเข็มยาวพอดีเพื่อที่จะกำหนดจุดเริ่มต้นในการอ่านค่า หรือตรวจสอบชิ้นงานในขั้นตอนต่อไป
7. ขีดพิกัด กำหนดค่าของพิกัดที่ยอมรับ หรือคลาดเคลื่อนจากค่าที่กำหนด
8. แคลมป์ เป็นสกรูล็อกตำแหน่งของหน้าปัด
9. กระจกหน้าปัด ป้องกันฝุ่นหรือสิ่งแปลกปลอมเข้าไปทำความเสียหายให้อุปกรณ์หรือส่วนประกอบอื่นๆ
10. กรอบใน ป้องกันหรือครอบอุปกรณ์ ไม่ให้เกิดความเสียหาย (กลไกภายใน)
11. แกนหลัก สำหรับจับยึดอุปกรณ์ (ขาตั้ง) ใช้ในการตรวจสอบ หรือวัดงาน

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ในการวิจัยเพื่อออกแบบและสร้างชุดการทดลองหาค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวของโลหะในครั้งนี้ ผู้วิจัยเลือกใช้ไดอัลเกจแบบดิจิตอล ซึ่งมีหลักการทำงานเหมือนไดอัลเกจแบบเข็ม แต่แสดงผลการวัดออกมาเป็นตัวเลข ไดอัลเกจแบบดิจิตอลมีลักษณะภายนอกโดยทั่วไปแสดงดังภาพที่ 2-4

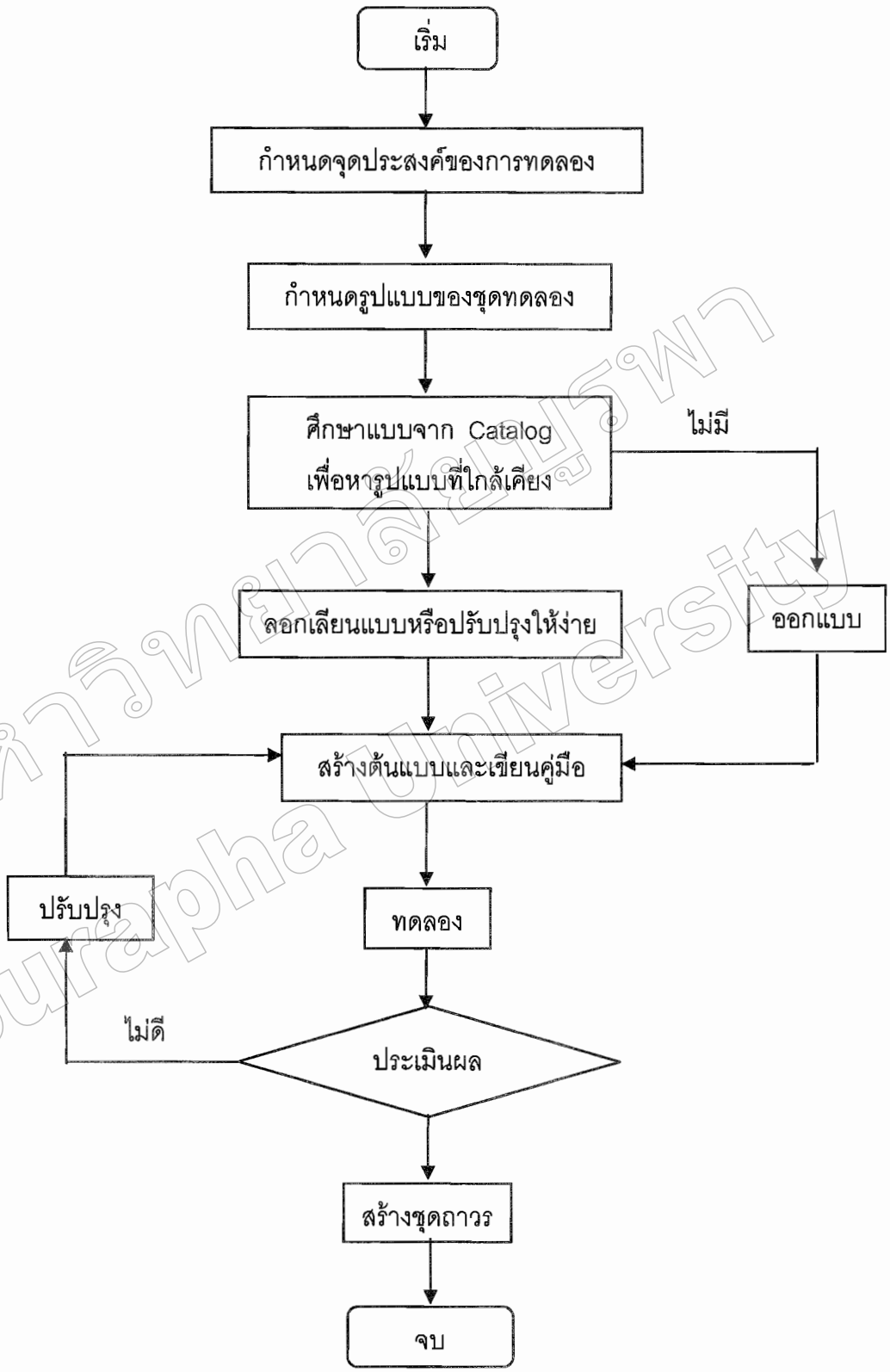


ภาพที่ 2-4 ลักษณะภายนอกโดยทั่วไปของไดอัลเกจแบบดิจิตอล
(http://www.recycledgoods.com)

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

การออกแบบและสร้างชุดทดลอง

การออกแบบสร้างชุดทดลองเพื่อใช้ในการเรียนการสอนเป็นสิ่งที่ยุ่งยาก และค่อนข้างละเอียด ผู้สร้างจะต้องพิจารณาองค์ประกอบทุก ๆ ด้านที่เกี่ยวข้อง ประการแรกที่สำคัญ ได้แก่ การวิเคราะห์วัตถุประสงค์ของบทเรียนว่าเนื้อหาหลักต้องการอะไร ผู้เรียนต้องมีกิจกรรมอย่างไร จึงจะแสดงว่าบรรลุตามวัตถุประสงค์ ถ้าต้องการการแสดงออกด้วยผลการทดลองค้นคว้า หรือหาความสัมพันธ์ของตัวแปรต่าง ๆ ซึ่งจำเป็นต้องใช้ชุดทดลองประกอบ หรือใช้สื่อความหมาย ก็จะต้องสร้างชุดทดลองโดยออกแบบขึ้นเอง หรือดัดแปลงแก้ไขตามแบบที่มีอยู่ โดยมีขั้นตอนการดำเนินการสร้างพอสรุปดังนี้ (มนต์ชัย เทียนทอง, 2530, หน้า 69 – 71)



ภาพที่ 2-5 ผังงานการออกแบบและสร้างชุดทดลอง

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ในการออกแบบสร้างชุดทดลองขึ้นใหม่โดยการลอกเลียนแบบจาก Catalog หรือจากชุดทดลองอื่น ๆ ที่มีอยู่ ควรพิจารณาองค์ประกอบต่าง ๆ ดังนี้

1. ชุดทดลองสำหรับผู้สอนใช้สาธิตหน้าชั้นเรียนต้องมีขนาดเหมาะสม การแสดงผลเห็นได้ทั่วถึงชัดเจน

2. ความปลอดภัยในการใช้ โดยเฉพาะชุดทดลองสำหรับผู้เรียน เช่น ขนาดแรงดันสวิทซ์ ป้องกันอุปกรณ์ตัดวงจร เป็นต้น

3. มีความสะดวกในการใช้งาน ไม่ต้องใช้ประกอบกับอุปกรณ์อื่น ๆ โดยไม่จำเป็น

4. มีโครงสร้างง่าย และใช้วัสดุที่หาได้ทั่วไป เพื่อความสะดวกต่อการซ่อมแซม

5. มีความยืดหยุ่นในการประยุกต์ใช้กับวัตถุประสงค์อื่นได้ โดยการเพิ่มรายละเอียดบางส่วน

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากการศึกษาค้นคว้างานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบและสร้างชุดทดลองเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวของโลหะ พบว่ามีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องทั้งในประเทศและต่างประเทศ ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

ประชา แขซัยพร (2548) ทำโครงงานศึกษาทางมาตรวิทยาเรื่องการวัดค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเชิงเส้นทางความร้อนของโลหะด้วยเทคนิคไมเคิลสันอินเตอร์ฟีรอมิเตอร์ การขยายตัวเชิงเส้นทางความร้อนของโลหะจะถูกวัดโดยไมเคิลสันอินเตอร์ฟีรอมิเตอร์ ด้วยความละเอียด 316 nm ในช่วงอุณหภูมิระหว่าง 20°C ถึง 60°C โดยมีเทอร์โมอิเล็คตริกทรานสดิวเซอร์เป็นแหล่งกำเนิดความร้อนซึ่งถูกควบคุมด้วยระบบควบคุมอุณหภูมิแบบพีไอดี ผลการทดสอบพบว่าค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเชิงเส้นทางความร้อนของเหล็กล้าไร้สนิม เบอร์ 316 และอะลูมินัมอัลลอย มีค่า $17.84 \pm 1.03 \times 10^{-6}$ °C^{-1} และ $22.92 \pm 0.13 \times 10^{-6}$ °C^{-1} ตามลำดับ

S.S.R. Inbanathan, K. Moorthy, & G. Balasubramanian (2007) ศึกษาวิธีการวัดและสร้างชุดสาธิตเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเนื่องจากความร้อนของโลหะ โดยอาศัยหลักการสะท้อนของแสง ซึ่งเป็นวิธีที่ง่ายและเหมาะสำหรับนำไปใช้ในห้องเรียน จากการศึกษาพบว่า วิธีการดังกล่าวสามารถวัดค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเนื่องจากความร้อนของโลหะตัวอย่างได้ $18.6 \times 10^{-6} \pm 0.7 \times 10^{-6}$ K^{-1} ใกล้เคียงกับค่ามาตรฐาน 19×10^{-6} K^{-1}

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

เรือตรีหญิง นิศาชล บุญประชม (2551) ได้ทำการศึกษาการออกแบบและสร้างชุดทดลองเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเนื่องจากความร้อนของโลหะ โดยแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกเป็นการออกแบบและสร้างเครื่องมือโดยใช้ความรู้เรื่องความร้อนและแสงมาบูรณาการเข้าด้วยกัน ส่วนที่สองเป็นการทดลองเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเนื่องจากความร้อนของโลหะ เช่น ทองแดง สเตนเลส และอะลูมิเนียม โดยทำการทดลองในช่วงอุณหภูมิ 303 – 358 K ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า ค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของสัมประสิทธิ์การขยายตัวเนื่องจากความร้อนของโลหะตัวอย่างเป็น 0.65% 1.79% และ 0.71% ตามลำดับ

ปิยะรัตน์ พราหมณี (2551) ทดลองหาค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเนื่องจากความร้อนของโลหะโดยวิธีการวัดการเลี้ยวเบนทางแสงผ่านสลิตเดี่ยว แผ่นอะลูมิเนียมถูกนำมาใช้เป็นตัวอย่างในการทดลอง หลักการในการออกแบบอุปกรณ์สำหรับการทดลองนี้ คือ ความกว้างของสลิตเดี่ยวจะเพิ่มขึ้นในปริมาณที่เท่า ๆ กับความยาวที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากการขยายตัวทางความร้อนของแผ่นโลหะที่ใช้ในการทดลอง โดยความกว้างของสลิตที่เพิ่มขึ้นนี้ สามารถวัดได้จากรูปแบบของการเลี้ยวเบน ที่มีเลเซอร์ฮีเลียมนีออนเป็นแหล่งกำเนิดแสง ค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเนื่องจากความร้อนของโลหะสามารถคำนวณได้โดยใช้สมการการเลี้ยวเบนร่วมกับความรู้ในเรื่องของการขยายตัวเนื่องจากความร้อน จากการทดลองพบว่าค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเนื่องจากความร้อนของแผ่นอะลูมิเนียมมีค่าเป็น $22.52 \times 10^{-6}\ ^{\circ}C^{-1}$ ที่ให้ค่าความผิดพลาดเท่ากับ 2.51%

Rran and Bruce (2009) ใช้เทคนิคไมเคิลสันอินเตอร์ฟีรอมิเตอร์วัดสัมประสิทธิ์การขยายตัวเนื่องจากความร้อนของทองแดง จากผลการทดลองพบว่า ที่ช่วงอุณหภูมิระหว่าง 26.9 °C ถึง 105.8 °C สัมประสิทธิ์การขยายตัวเนื่องจากความร้อนของทองแดงมีค่าเท่ากับ $17.3 \pm 0.3 \times 10^{-6}\ ^{\circ}C^{-1}$ ซึ่งมีค่าสอดคล้องกับค่ามาตรฐานคือ $1 \times 10^{-6}\ ^{\circ}C^{-1}$

สุพัตรา สุกัน (2554) ได้ออกแบบและสร้างชุดทดลองหาค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวของโลหะโดยใช้ระบบคานอย่างง่าย ผลการวิจัยพบว่าค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวของทองแดง เหล็ก และอะลูมิเนียม มีค่าเท่ากับ $1.10 \times 10^{-5}\ ^{\circ}C^{-1}$ $0.85 \times 10^{-5}\ ^{\circ}C^{-1}$ และ $1.61 \times 10^{-5}\ ^{\circ}C^{-1}$ มีเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนเท่ากับ 34.71% 22.73% และ 32.92% ตามลำดับ

นภดล แกมเพชร (2554) ได้ออกแบบและสร้างชุดทดลองหาค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวของโลหะโดยใช้สเฟียร์โรมิเตอร์ ผลการวิจัยพบว่าค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวของทองแดง เหล็ก และอะลูมิเนียม มีค่าเท่ากับ $1.67 \times 10^{-5}\ ^{\circ}C^{-1}$ $1.25 \times 10^{-5}\ ^{\circ}C^{-1}$ และ $2.24 \times 10^{-5}\ ^{\circ}C^{-1}$ มีเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนเท่ากับ 1.76% 13.64% และ 3.33% ตามลำดับ

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University