การทดลอง
เทอร์โมคัปเปิล

วัตถุประสงค์

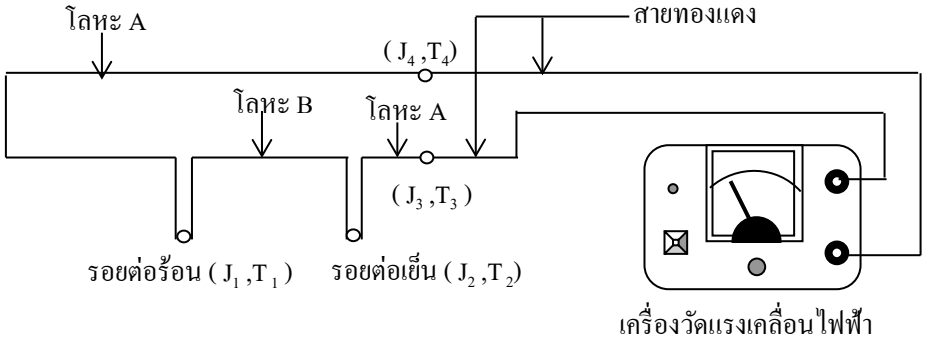
เพื่อศึกษาแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่เกิดจากเทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple)

อุปกรณ์

1. เครื่องวัดแรงเคลื่อนไฟฟ้า 1 เครื่อง
2. เทอร์โมมิเตอร์ 2 อัน พร้อมขาตั้ง
3. บีกเกอร์ 1 ใบ + กระติกน้ำแข็ง 1 ใบ + น้ำแข็ง
4. เตาไฟฟ้า 1 เตา
5. เทอร์โมคัปเปิลชนิด K 1 ชุด

ทฤษฎี

เทอร์โมคัปเปิลเป็นอุปกรณ์ที่เหมาะสมในการวัดอุณหภูมิที่สูงกว่า 150°C ขึ้นไปและเหมาะสมกับการใช้งานในอุตสาหกรรมที่มีกระบวนการที่ต้องเกี่ยวข้องกับอุณหภูมิสูง ๆ เช่น การชุบแข็งเหล็กกล้าชนิดหนึ่ง จะต้องให้ความร้อนแก่เหล็กจนอุณหภูมิประมาณ 780°C แล้วรักษาอุณหภูมิไว้ชั่วขณะหนึ่ง จากนั้นจึงจุ่มลงในน้ำให้เย็นตัวลงทันทีทันใด โครงสร้างของเนื้อโลหะจะกลายเป็นผลึกที่มีความเค้นสูงและมีความแข็งแกร่งมาก เรียกว่า **มาร์เทนไซท์** (martensite) จุดสำคัญของกระบวนการชุบแข็งนี้ก็คือการรักษาอุณหภูมิที่ 780°C อยู่ชั่วเวลาหนึ่ง มิฉะนั้นเหล็กกล้าที่ได้จะไม่แข็งตามที่ต้องการ การวัดอุณหภูมิสูงๆ เป็นเวลานาน ๆ นี้เหมาะมากที่จะใช้เทอร์โมคัปเปิล เพราะถ้าใช้ไอซีหรือทรานซิสเตอร์วัดอุณหภูมิสูงขนาดนี้ก็จะไหม้เสียหายหมด



รูปที่ 1 วงจรเบื้องต้นของเทอร์โมคัปเปิล

เทอร์โมคัปเปิลถูกค้นพบในปี พ.ศ. 2364 โดยนักฟิสิกส์ชาวเยอรมัน ชื่อ โธมัส โยฮานน์ ซีเบค (Thomas Johann Seebeck) เขาพบว่า เมื่อเชื่อมต่อโลหะ 2 ชนิดเข้าด้วยกัน ตามรูปที่ 1 ทำให้มีรอยต่อระหว่างโลหะ 2 ชนิดนี้ 2 แห่ง แล้วทำให้รอยต่อทั้งสองนี้มีอุณหภูมิต่างกันจะทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าอ่อนๆ ไหลภายในวงจร โดยมีรอยต่อร้อนเป็นขั้วบวก และรอยต่อเย็นเป็นขั้วลบ แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่เกิดขึ้นระหว่างรอยต่อทั้งสองของโลหะนี้ เรียกว่า **แรงเคลื่อนไฟฟ้าซีเบค** (Seebeck EMF) แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่เกิดขึ้นมีค่าน้อยมากคือประมาณ 0.04 mV/^{o}C ซึ่งขึ้นอยู่กับโลหะ 2 ชนิดที่นำมาทำรอยต่อด้วย ได้มีผู้ทดลองจับคู่โลหะ 2 ชนิดต่างๆ กัน เพื่อทำเป็นเทอร์โมคัปเปิล สำหรับใช้งานแต่ละแบบไว้หลายคู่ แต่ละคู่จะเรียกชื่อตามตัวอักษรภาษาอังกฤษ

ตารางที่ 1 เทอร์โมคัปเปิลชนิดต่างๆ ที่นิยมใช้กัน

สัญลักษณ์	โลหะที่ใช้	พิสัยอุณหภูมิ	ข้อดี-ข้อเสีย
J	เหล็กกับทองแดง - นิเกิล (คอนสแตนตัน)	0 - 800^{o}C	จะเกิดสนิมเหล็กขึ้น ถ้าไม่มีการป้องกัน
K	นิเกิล-โครเมียม (โครเมล) กับนิเกิล-อลูมิเนียม (อลูเมล)	0-1100^{o}C	เหมาะกับบรรยากาศที่มีการออกซิไดซ์
T	ทองแดงกับทองแดง-นิเกิล	(-200^{o}C) - 400^{o}C	นิยมใช้กับอุณหภูมิต่ำกว่า0^{o}C จนถึงอุณหภูมิต่ำ ๆ
E	นิเกิล-โครเมียมกับทองแดง-นิเกิล	0 - 800^{o}C	เที่ยงตรงและมีเสถียรภาพตลอดจนราคาถูก
N	นิเกิล - โครเมียม - ซิลิกอน (นิโครซิล) กับนิเกิล-ซิลิกอน (นิซิล)	0-1250^{o}C	มีเสถียรภาพสูงที่ค่าอุณหภูมิสูงๆ

จากตารางที่ 1 จะเห็นว่าเทอร์โมคัปเปิลชนิด N ที่สร้างจากโลหะผสมของ นิเกิล – โครเมียม – ซิลิกอน (Nicrosil) และโลหะผสมของนิเกิล – ซิลิกอน (Nisil) นั้นมีเสถียรภาพต่ออุณหภูมิดีเยี่ยม มีอายุการใช้งานยาวนานที่อุณหภูมิสูง ให้แรงเคลื่อนไฟฟ้าสูงกว่าเทอร์โมคัปเปิลสำหรับวัดอุณหภูมิสูงๆ ชนิดอื่น และราคาถูกทำให้ได้รับความนิยมเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ

เทอร์โมคัปเปิล สำหรับวัดอุณหภูมิสูงๆ ที่ใช้งานจริงนั้นมีรูปร่างต่างๆ กัน แบบที่ง่ายที่สุดนั้นจะเป็นลวดเส้นเล็กๆ สองเส้นร้อยผ่านฉนวนที่ทำจากเซรามิก และเชื่อมปลายติดกันให้เป็นรอยต่อ (Junction) ดังรูปที่ 1 มี T_1, T_2 เป็นอุณหภูมิของรอยต่อร้อน (J_1) และรอยต่อเย็น (J_2) ตามลำดับ ผลต่างของอุณหภูมิที่รอยต่อทั้งสองจะทำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าดังสมการ

$$V = a(T_1 - T_2) + (\frac{1}{2})b(T_1 - T_2)^2 + \ldots\ldots\ldots\ldots \quad \ldots\ldots\ldots(1)$$

เมื่อ a และ b เป็นค่าคงที่

ถ้าให้ปลายหนึ่งของเทอร์โมคัปเปิลจุ่มอยู่ในน้ำแข็งซึ่งกำลังละลาย นั่นคือ T_2 = 273 K (เคลวิน) ซึ่งถือว่าเป็นรอยต่ออ้างอิง (reference junction) และ $T_1 = T_c + 273$ K เมื่อ T_c คืออุณหภูมิ T_1 ที่มีหน่วยเป็น °C ดังนั้นจึงได้ว่า

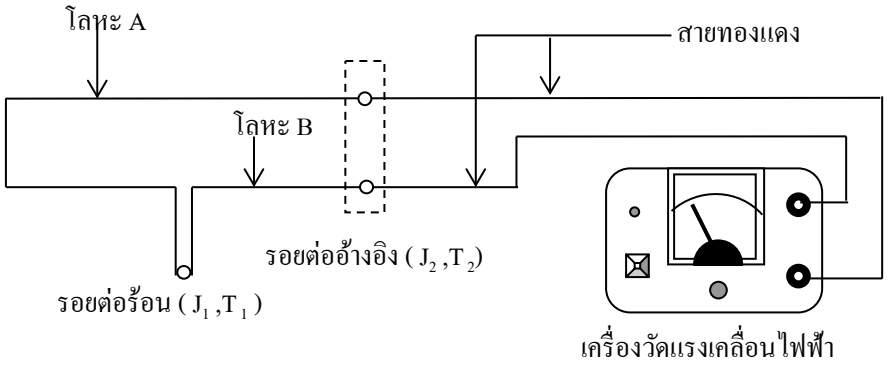
$$V = aT_c + (\frac{1}{2})bT_c^2 + \ldots\ldots\ldots\ldots \quad \ldots\ldots\ldots(2)$$

จากรูปที่ 1 จะเห็นว่าแรงเคลื่อนไฟฟ้า V จะเป็นผลรวมทางพีชคณิตของ 4 รอยต่อด้วยกัน คือ J_1 ที่อุณหภูมิ T_1 J_2 ที่อุณหภูมิ T_2 J_3 ที่อุณหภูมิ T_3 และ J_4 ที่อุณหภูมิ T_4 แต่ J_3 และ J_4 ต่อกับโลหะ A เข้าโวลต์มิเตอร์ ต่อด้วยสายทองแดงเหมือนกันและมีอุณหภูมิ T_3 เท่ากับ T_4 ดังนั้น J_3 และ J_4 จะไม่มีผลกระทบกับความถูกต้องของการวัดอุณหภูมิ ดังนั้น สมการ (2) ยังคงใช้ได้

หากเลือกคู่โลหะที่เหมาะสม และพิสัยการวัดอุณหภูมิไม่มากนัก ค่า b จะมีผลต่อการวัดน้อยมาก จนถือได้ว่า b = 0 ดังนั้น

$$V = aT_c \quad \ldots\ldots\ldots(3)$$

ในการวัดอุณหภูมิด้วยเทอร์โมคัปเปิลนั้น จะต้องควบคุมอุณหภูมิที่รอยต่ออ้างอิงไว้ที่อุณหภูมิคงที่ ในขณะที่รอยต่ออีกด้านหนึ่งอยู่ในอุณหภูมิที่ต้องการวัด ถ้าต้องการความเที่ยงตรงจะต้องแช่รอยต่ออ้างอิงไว้ในกระติกน้ำแข็งที่ 0°C แต่ถ้าไม่ต้องการความเที่ยงตรงมากนักก็ปล่อยรอยต่ออ้างอิงไว้ที่อุณหภูมิห้องก็ได้ดังรูปที่ 2 จากนั้นทำการวัดแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ได้จากเทอร์โมคัปเปิลแล้วนำไปหาค่าอุณหภูมิที่แท้จริง



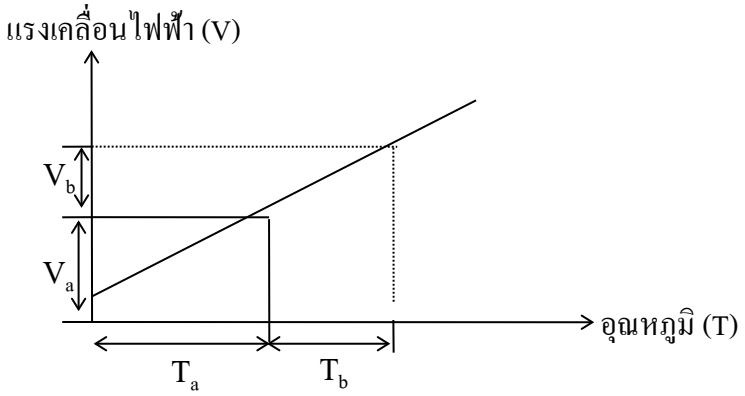
รูปที่ 2 การต่อวงจรเทอร์โมคัปเปิล เมื่อรอยต่ออ้างอิงอยู่ในอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม (T_2)

จากสมการ $$V = V_a + V_b$$ .....(4)

V คือ แรงเคลื่อนไฟฟ้า เมื่อรอยต่ออ้างอิงเป็น 0°C

V_a คือ แรงเคลื่อนไฟฟ้า ของอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม เมื่อรอยต่ออ้างอิงอยู่ที่ 0°C

V_b คือ แรงเคลื่อนไฟฟ้า ของอุณหภูมิที่ต้องการวัด เมื่อรอยต่ออ้างอิงอยู่ที่อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม

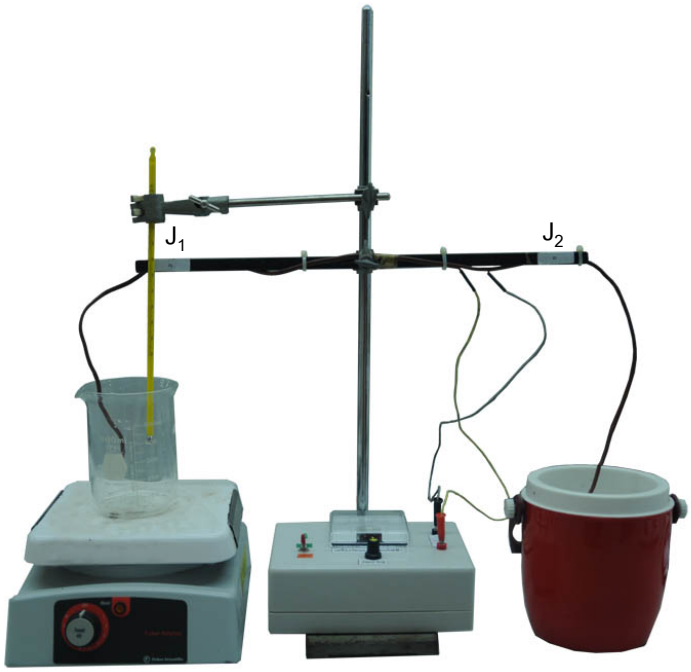


รูปที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและแรงเคลื่อนไฟฟ้า

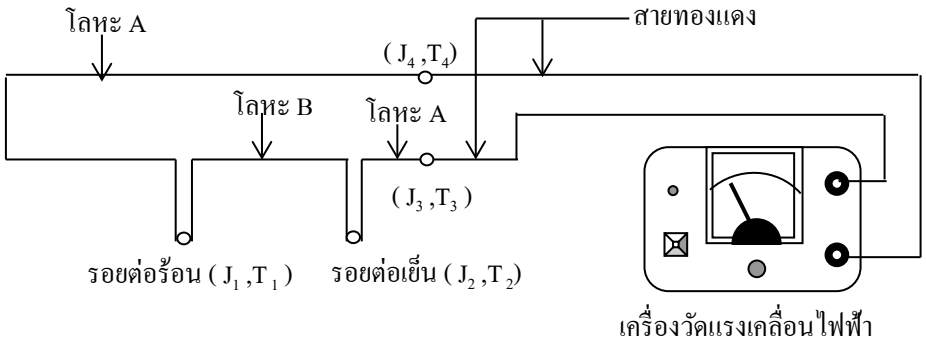
ดังได้กล่าวมาแล้ว เทอร์โมคัปเปิลจะผลิตแรงเคลื่อนไฟฟ้าค่อนข้างต่ำ เช่น เทอร์โมคัปเปิลชนิด K ที่ 100°C ให้แรงเคลื่อนไฟฟ้า 4.1 มิลลิโวลต์ ซึ่งสามารถวัดได้โดยใช้ดิจิตอลโวลต์มิเตอร์ที่มีพิสัยการวัดแรงเคลื่อนไฟฟ้าต่ำ ๆ แต่มีราคาค่อนข้างแพง เพื่อที่สามารถจะวัดได้โดยใช้โวลต์มิเตอร์ที่มีพิสัยการวัดปานกลาง จึงเพิ่มวงจรขยายเข้าไป

วิธีการทดลอง

<u>ตอนที่ 1</u> หาความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและแรงเคลื่อนไฟฟ้า โดยมีรอยต่ออ้างอิง J_2 จุ่มอยู่ในน้ำแข็งที่ 0 °C



รูปที่ 4 แสดงชุดการทดลองตอนที่ 1

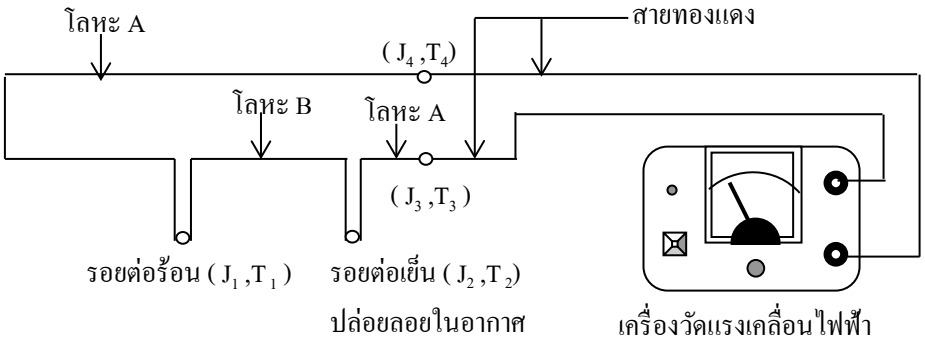


รูปที่ 5 แสดงการต่อวงจรเทอร์โมคัปเปิลชุดแรกกับเครื่องวัดแรงเคลื่อนไฟฟ้า โดยรอยต่อ J_1 ใช้วัดอุณหภูมิ ส่วนรอยต่อ J_2 เป็นรอยต่ออ้างอิงจุ่มในน้ำแข็ง

1. อ่านอุณหภูมิห้อง (T_0) จากเทอร์โมมิเตอร์ที่ติดไว้ในห้องปฏิบัติการ
2. ใช้วงจรดังรูปที่ 5 โดยให้รอยต่อ J_1 และ J_2 ลอยอยู่ในอากาศที่อุณหภูมิห้องทั้งคู่
3. เปิดสวิตช์ของเครื่องวัดแรงเคลื่อนไฟฟ้าไปที่ ON (โดยที่ J_1 และ J_2 ยังลอยอยู่ในอากาศ) ดูว่าเข็มของเครื่องวัดแรงเคลื่อนไฟฟ้าชี้ที่ 0 โวลต์ หรือไม่ ถ้าไม่เป็น 0 ให้ปรับที่ปุ่ม Zero AdJ ของเครื่องวัดแรงเคลื่อนไฟฟ้าให้ได้ 0 โวลต์ (*ขั้นตอนนี้เมื่อปรับแล้วให้ใช้ทุกการทดลองไม่ต้องปรับอีก*)
4. นำรอยต่อ J_2 ใส่ในกระติกน้ำแข็ง ส่วนรอยต่อ J_1 ลอยอยู่ในอากาศ เข็มของเครื่องวัดแรงเคลื่อนไฟฟ้าจะเบนออกจาก 0 โวลต์ รอจนกระทั่งเข็มไม่เบนต่อไป บันทึกค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าดังกล่าวเป็นค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่อุณหภูมิห้อง (V_{room})
5. ใส่น้ำลงไปประมาณ 1/3 ของความจุบีกเกอร์ นำเทอร์โมมิเตอร์จุ่มลงในน้ำ ค่อย ๆ ใส่น้ำแข็งลงในบีกเกอร์พร้อมกับใช้แท่งแก้วคนให้น้ำแข็งละลาย ใส่น้ำแข็งลงไปเรื่อย ๆ จนกระทั่งอุณหภูมิของน้ำในบีกเกอร์ต่ำกว่า 5 องศาเซลเซียส
6. ใช้ผ้าเช็ดด้านนอกของบีกเกอร์ให้แห้ง นำบีกเกอร์ตั้งบนเตาไฟฟ้า <u>(ยังไม่เปิดสวิตช์เตาไฟฟ้า)</u> นำรอยต่อ J_1 พร้อมเทอร์โมมิเตอร์จุ่มลงในน้ำในบีกเกอร์ ส่วนรอยต่อ J_2 และเทอร์โมมิเตอร์อีกอันหนึ่งอยู่ในน้ำแข็งในกระติก
7. เปิด (ON) สวิตช์เตาไฟฟ้าให้ทำงาน อุณหภูมิของน้ำในบีกเกอร์ที่ J_1 จุ่มอยู่จะค่อยๆ สูงขึ้น สังเกตค่าอุณหภูมิที่เทอร์โมมิเตอร์และค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่เครื่องวัดอย่างต่อเนื่อง เริ่มบันทึกค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าเมื่ออุณหภูมิของน้ำได้ 5°C และบันทึกค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นจากเดิมทุกๆ 5°C จนกระทั่งอุณหภูมิของน้ำในบีกเกอร์สูงถึง 80°C
8. ปิด (OFF) สวิตช์เครื่องวัดแรงเคลื่อนไฟฟ้า เทน้ำในบีกเกอร์ทิ้ง
9. เขียนกราฟระหว่างแรงเคลื่อนไฟฟ้าและอุณหภูมิ โดยให้แรงเคลื่อนไฟฟ้าเป็นแกนตั้งและอุณหภูมิเป็นแกนนอน อ่านค่าอุณหภูมิห้อง (T_1) จากกราฟที่ตำแหน่งตรงกับค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่อุณหภูมิห้อง (V_{room}) ซึ่งบันทึกไว้ในข้อ 4.
10. คำนวณหาค่าความคลาดเคลื่อนระหว่างอุณหภูมิห้องที่วัดโดยเทอร์โมคัปเปิล T_1 กับค่าอุณหภูมิห้องที่อ่านจากเทอร์โมมิเตอร์ในห้องปฏิบัติการ T_0

<u>ตอนที่ 2</u> หาความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและแรงเคลื่อนไฟฟ้าโดยมีรอยต่ออ้างอิง J_2 อยู่ที่อุณหภูมิห้อง

รูปที่ 6 แสดงชุดการทดลองตอนที่ 2



รูปที่ 7 แสดงการต่อวงจรเทอร์โมคัปเปิลชุดที่สองกับเครื่องวัดแรงเคลื่อนไฟฟ้า โดยรอยต่อ J_1 ใช้วัดอุณหภูมิ ส่วน J_2 เป็นรอยต่ออ้างอิงอยู่ที่อุณหภูมิห้อง

1. อ่านค่าอุณหภูมิห้อง (T_0) จากเทอร์โมมิเตอร์ที่ติดไว้ในห้องปฏิบัติการ
2. ใช้วงจรดังเดิม แต่ให้รอยต่อ J_2 ลอยอยู่ในอากาศที่อุณหภูมิห้อง

3. เปิด (ON) สวิตช์เครื่องวัดแรงเคลื่อนไฟฟ้า ซึ่งจะเห็นว่าเข็มของมิลลิโวลต์มิเตอร์จะยังคงชี้ที่ 0 โวลต์ เมื่อ J_1 และ J_2 ลอยอยู่ในอากาศที่อุณหภูมิห้องเท่ากัน
4. นำรอยต่อ J_1 พร้อมเทอร์โมมิเตอร์จุ่มลงในบีกเกอร์ที่มีน้ำอยู่ประมาณ 1/3 ซึ่งตั้งอยู่บนเตาไฟฟ้า
5. เปิด (ON) สวิตช์เตาไฟฟ้า อุณหภูมิของน้ำในบีกเกอร์ที่ J_1 จุ่มอยู่จะค่อยๆ สูงขึ้น เริ่มบันทึกค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าเมื่ออุณหภูมิเป็น 35°C และบันทึกค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้ามื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นจากเดิมทุก ๆ 5°C จนกระทั่งอุณหภูมิของน้ำในบีกเกอร์สูงถึง 80°C
6. ปิด (OFF) สวิตช์เตาไฟฟ้า และสวิตช์ของเครื่องวัดแรงเคลื่อนไฟฟ้า
7. เขียนกราฟระหว่างแรงเคลื่อนไฟฟ้า และอุณหภูมิ (ใช้กราฟแผ่นเดียวกับการทดลองตอนที่ 1)
8. อ่านค่าอุณหภูมิห้อง (T_2) จากตำแหน่งที่เส้นกราฟตัดแกนนอน
9. คำนวณหาค่าความคลาดเคลื่อนระหว่างอุณหภูมิห้องที่วัดโดยเทอร์โมคัปเปิล T_2 กับค่าอุณหภูมิห้องที่อ่านจากเทอร์โมมิเตอร์ในห้องปฏิบัติการ T_0