บทที่ 3
อุปกรณ์

ในการทดลองวัดค่าความจุความร้อนของอินเดียมในช่วงอุณหภูมิ 80-300 เคลวิน ใช้วิธีการวัดที่เรียกว่า Adiabatic Method[3] วิธีวัดแบบนี้อาศัยการควบคุมอุณหภูมิระหว่างแคลอริมิเตอร์กับสิ่งแวดล้อมให้เท่ากัน เพื่อป้องกันมิให้ความร้อนจากแคลอริมิเตอร์ไหลออก หรือมิให้ความร้อนจากสิ่งแวดล้อมไหลเข้า ซึ่งการควบคุมอุณหภูมิระหว่างแคลอริมิเตอร์กับสิ่งแวดล้อมให้เท่ากันนี้อาศัย Differential thermocouple และเครื่องควบคุมอุณหภูมิ รายละเอียดของอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้ประกอบด้วยส่วนต่าง ๆ ดังนี้

3.1 ไครโอสแตท

ไครโอสแตทที่สร้างขึ้นมามีลักษณะดังรูปที่ 3.1 ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.1.1 แคลอริมิเตอร์ (Calorimeter)

รูปร่างลักษณะของแคลอริมิเตอร์ขึ้นอยู่กับขนาดและลักษณะของเทอร์โมมิเตอร์ที่ใช้เพื่อให้เทอร์โมมิเตอร์บอกอุณหภูมิของแคลอริมิเตอร์ได้ใกล้เคียงความเป็นจริงที่สุด จึงออกแบบให้ Platinum Thermometer และแคลอริมิเตอร์มีผิวสัมผัสกันมากที่สุด ซึ่งแสดงรายละเอียดในรูปที่ 3.2 แคลอริมิเตอร์ทำจากทองแดงมีลักษณะเป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสยาวด้านละ 3.54 เซนติเมตร หนา 0.3 เซนติเมตร และมีร่องตรงกลางเป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสยาวด้านละ 2.54 เซนติเมตรลึก 0.1 เซนติเมตร สำหรับวางเทอร์โมมิเตอร์และมีแผ่นทองแดงหนา 0.02 เซนติเมตร ประกบด้านบนของเทอร์โมมิเตอร์ให้แนบสนิทกับแคลอริมิเตอร์ แกนกลางเป็นท่อทองแดงผันมีรัศมี 0.5 เซนติเมตร สูง 1.5 เซนติเมตรพันด้วยลวด Euraka มีความต้านทานประมาณ 500 โอห์มที่อุณหภูมิห้องทำหน้าที่เป็น Heater ตัวที่หนึ่ง

สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Copyright © by Chulalongkorn University
All rights reserved

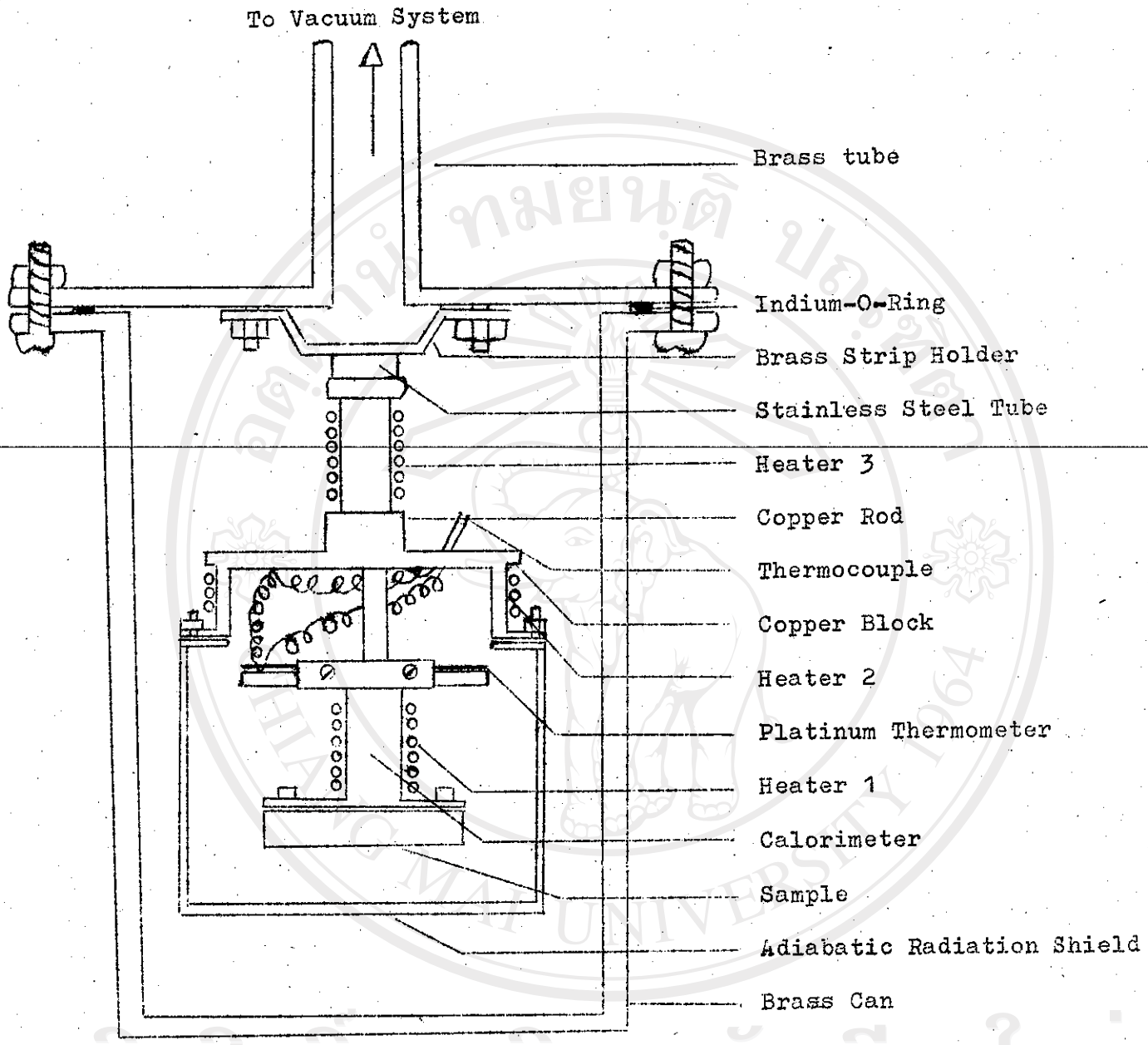
ด้านล่างของท่อทองแดงตันเป็นที่ยึด Sample ซึ่งมีลักษณะเป็นแผ่นกลมรัศมี 1.5 เซนติเมตร หนา 0.1 เซนติเมตรมีสกรูและน็อตทองเหลือง 8 ตัวเป็นตัวยึดสารตัวอย่างให้แนบสนิทกับแคลอริมิเตอร์ แคลอริมิเตอร์นี้ถูกแขวนติดกับ Copper block ด้วยแผ่นสแตนเลสที่มีขนาดกว้าง 0.35 เซนติเมตร หนา 0.1 เซนติเมตร สูง 2.5 เซนติเมตร เพื่อมิให้มีการถ่ายเทความร้อนระหว่างแคลอริมิเตอร์กับสิ่งแวดล้อมมากเกินไป

3.1.2 Adiabatic Radiation Shield

มีลักษณะเป็นรูปทรงกระบอกที่ปลายด้านล่างปิดตัน ซึ่งปลายบนมีสกรูสำหรับขันเกลียวติดกับ Copper block ทำด้วยทองแดงโดยที่แคลอริมิเตอร์จะห้อยอยู่ภายในนี้ โดยที่ทรงกระบอกนี้มีขนาดสูง 4 เซนติเมตร รัศมี 2.75 เซนติเมตร หนา 0.1 เซนติเมตร ดังแสดงในรูปที่ 3.3

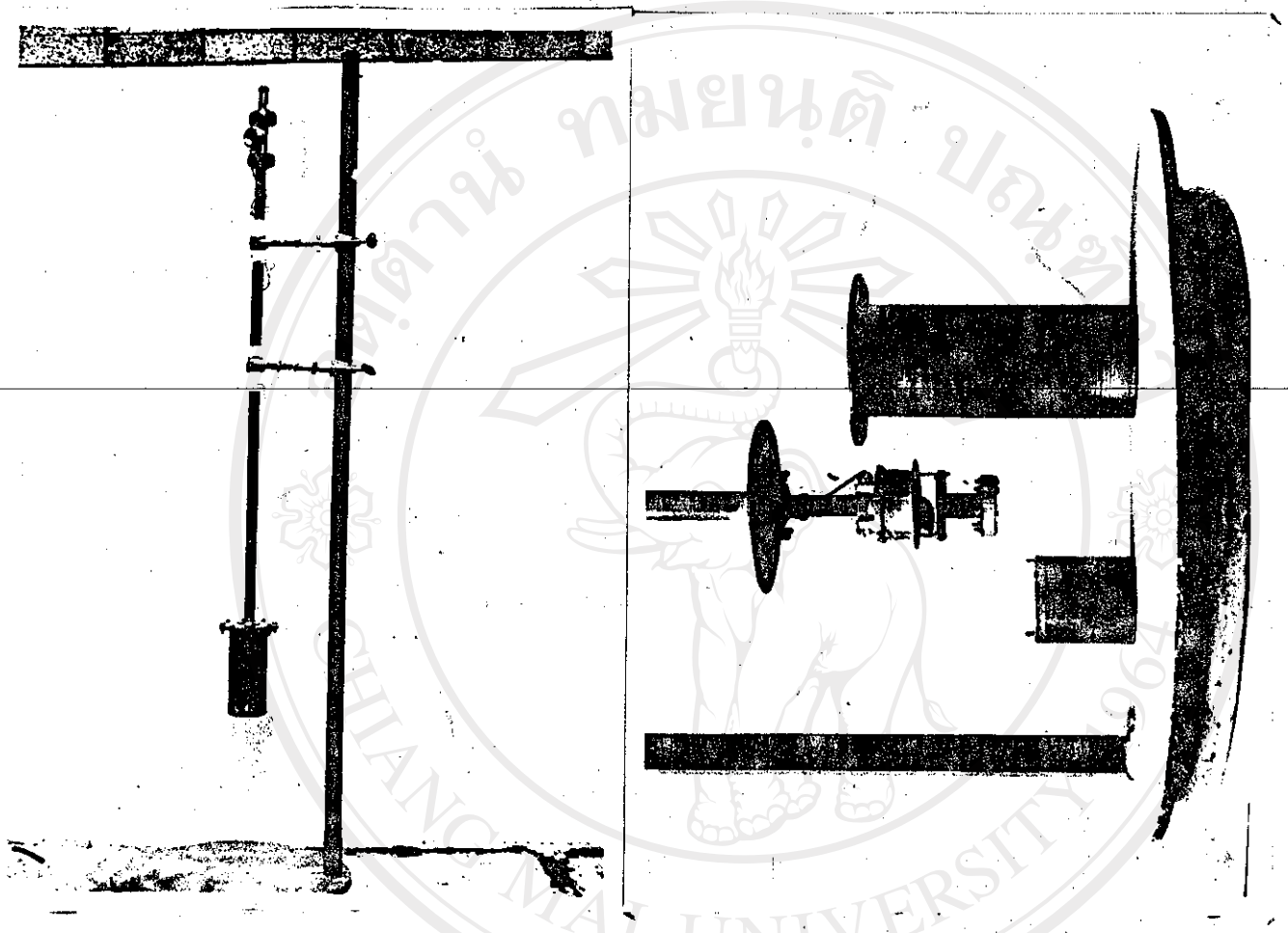
Heater ตัวที่สองมีลักษณะเป็นรูปทรงกระบอกกลวง ซึ่งทำจากทองแดงมีรัศมี 2.2 เซนติเมตร สูง 1 เซนติเมตร หนา 0.3 เซนติเมตร พันด้วยลวด Euraka มีความต้านทานประมาณ 450 โอห์มที่อุณหภูมิห้องทำหน้าที่เป็น Heater ตัวที่สอง สายไฟจากเทอร์โมมิเตอร์ Heater ตัวที่หนึ่ง และจาก Thermocouple ลอดผ่านช่องเล็ก ๆ ของ Copper block ออกไป ด้านบนของ copper block เชื่อมติดกับแกนทองแดงที่มีรัศมี 0.4 เซนติเมตร สูง 2.5 เซนติเมตร ซึ่งพันรอบด้วยลวด Euraka ที่มีความต้านทานประมาณ 400 โอห์มที่อุณหภูมิห้อง ทำหน้าที่เป็น Heater ตัวที่สาม Heater ตัวที่สามนี้จะเริ่มใช้เมื่ออุณหภูมิของแคลอริมิเตอร์สูงกว่า 200 เคลวิน เพื่อป้องกันมิให้ปริมาณความร้อนจากแคลอริมิเตอร์ไหลออกสู่สิ่งแวดล้อมมากเกินไป ด้านบนของ Heater ตัวที่สามมีท่อสแตนเลสรัศมี 0.5 เซนติเมตร สูง 1 เซนติเมตร หนา 0.1 เซนติเมตร เชื่อมอยู่ตรงกลางระหว่าง Heater ตัวที่สามกับแผ่นทองเหลือง ซึ่งยึดติดกับฝาของทรงกระบอกทองเหลืองด้วยน็อตสี่ตัวเพื่อให้ผิวทั้งสองแนบสนิทกัน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



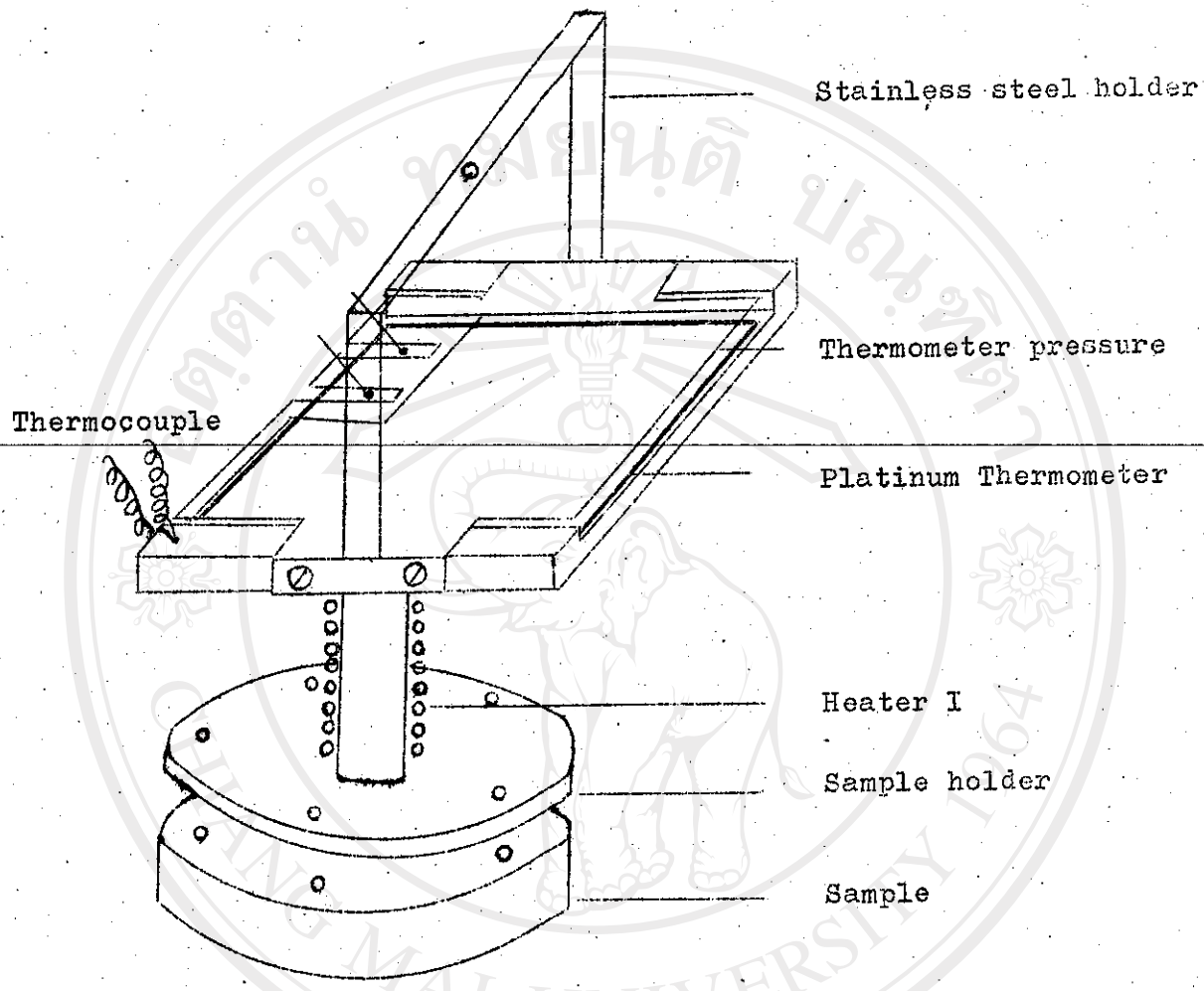
รูปที่ 3.1 แสดงองค์ประกอบส่วนต่าง ๆ ของไครโอสแตท สำหรับวัดความจุความร้อน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved



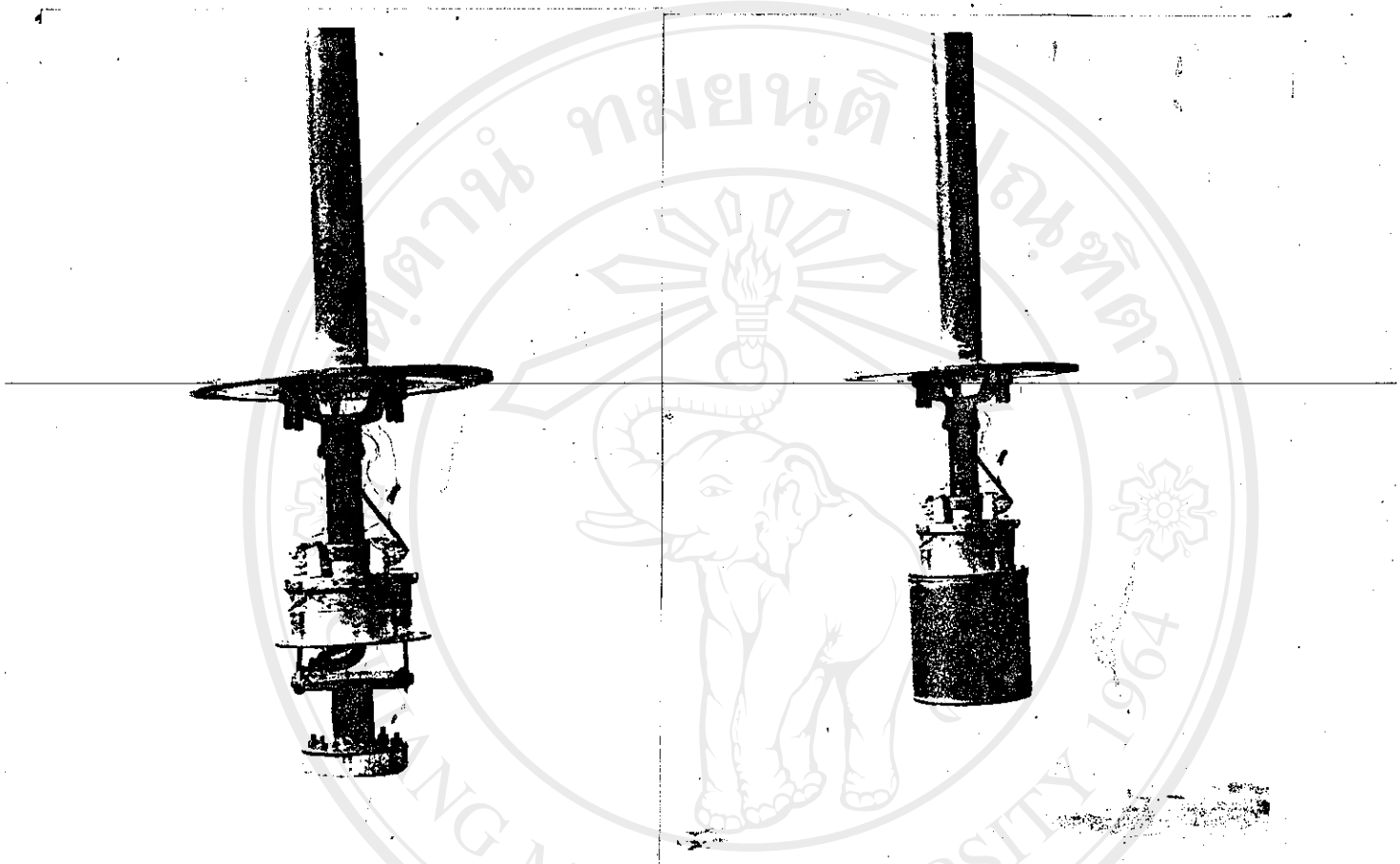
รูปที่ 3.1.1 แสดงภาพถ่ายของไครโอสแตท

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



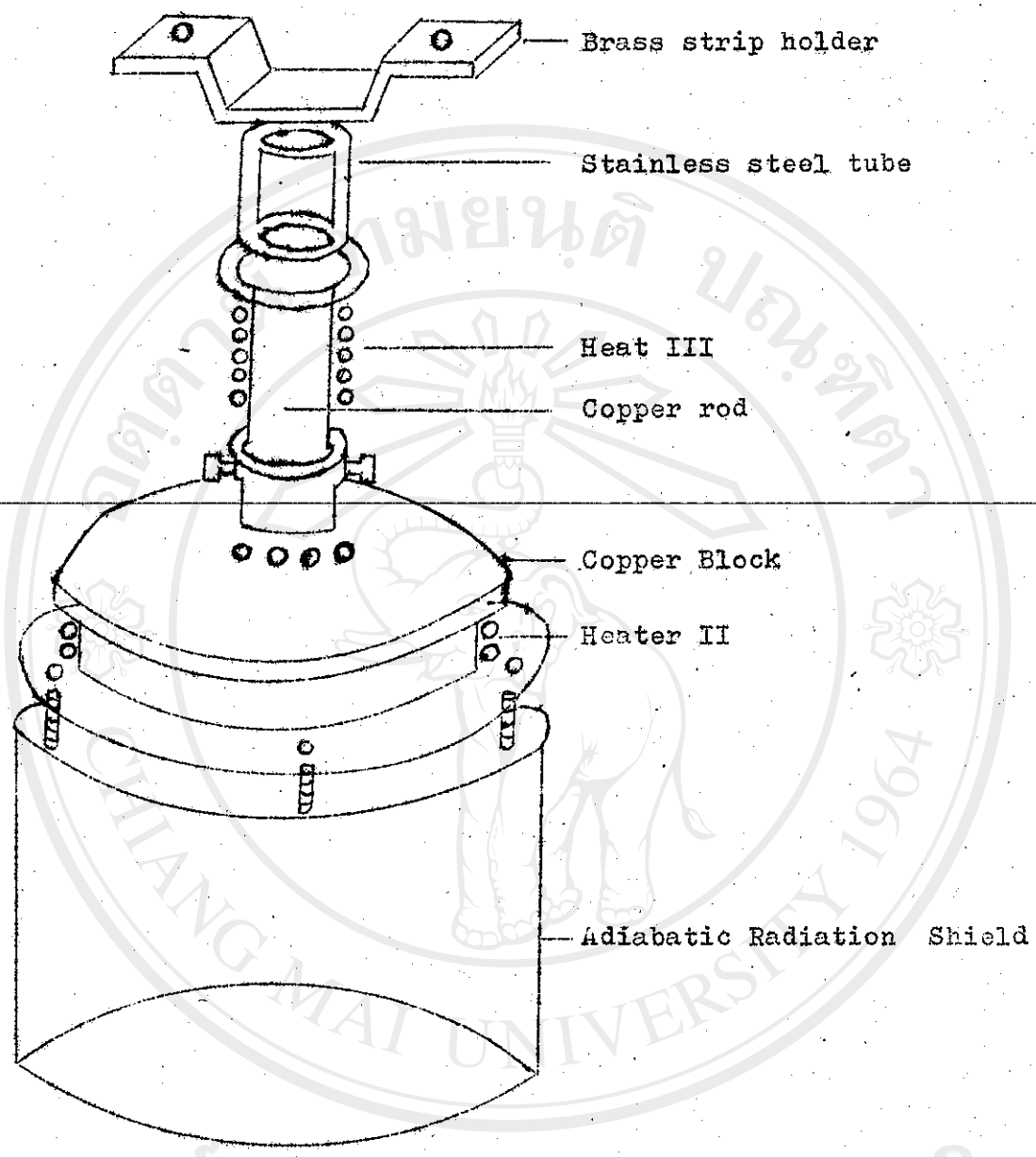
รูปที่ 3.2 แสดงลักษณะของแคลอริมิเตอร์และสารตัวอย่าง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



รูปที่ 3.2.1 แสดงภาพถ่ายของแคลอริมิเตอร์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved



รูปที่ 3.3 แสดงลักษณะของ Adiabatic Radiation Shield และส่วนประกอบ

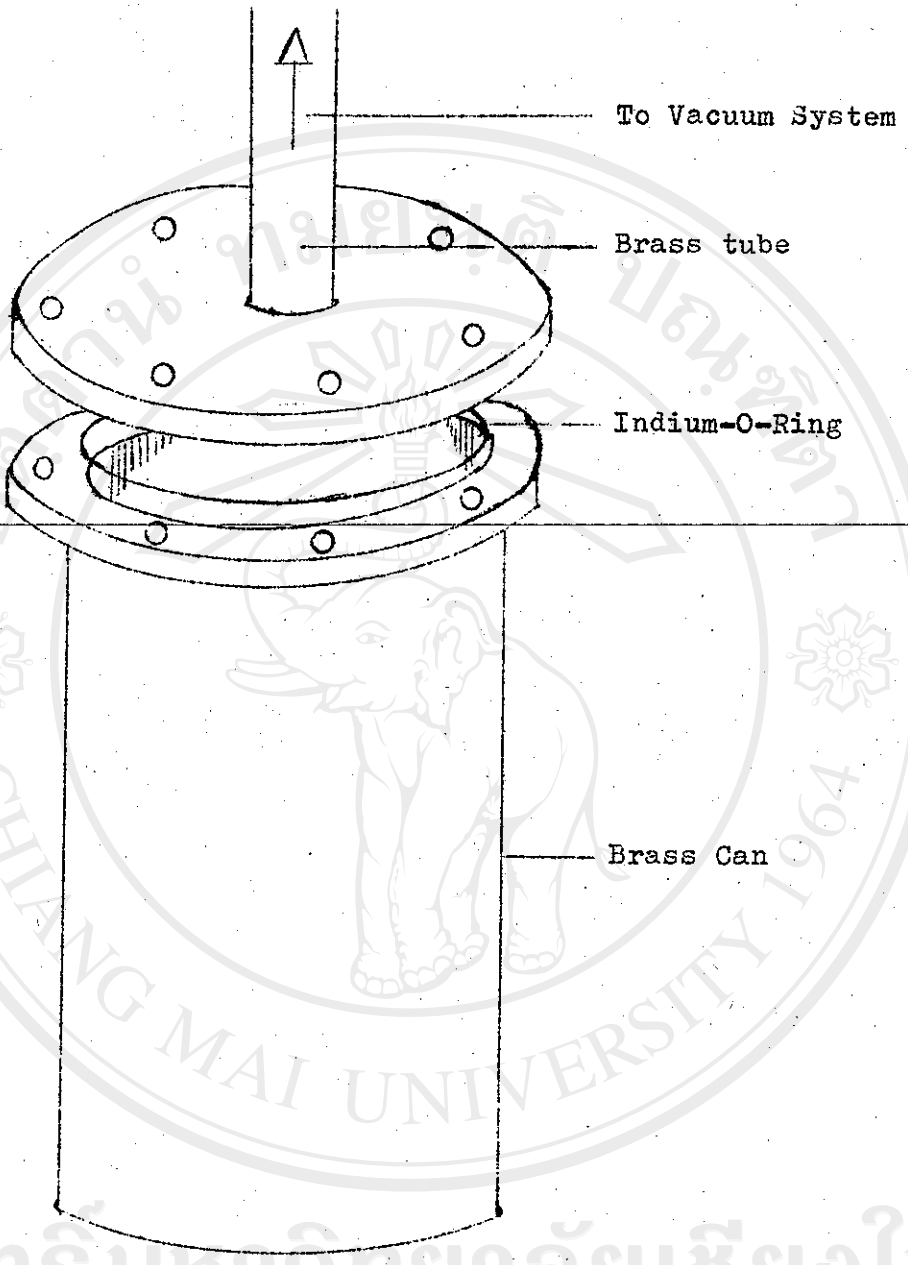
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

3.1.3 ระบบสูญญากาศ (Vacuum System)

ระบบสูญญากาศประกอบด้วย Vacuum chambem ที่มีลักษณะเป็นรูปทรงกระบอกกลวงซึ่งปลายด้านล่างปิดตัน ทำด้วยทองเหลืองมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 5 เซนติเมตร หนา 0.35 เซนติเมตร สูง 14.5 เซนติเมตร ดังแสดงในรูปที่ 3.4 และส่วนประกอบของ cryogenic ทั้งหมดจะถูกบรรจุอยู่ในกระบอกทองเหลืองนี้ กระบอกทองเหลืองถูกขันติดกับฝาทองเหลืองที่มี Indium-O-Ring ทำหน้าที่เป็น Vacuum seal และฝาทองเหลืองเชื่อมติดกับท่อทองเหลืองรัศมี 0.5 เซนติเมตร หนา 0.1 เซนติเมตรและยาว 74 เซนติเมตร ซึ่งต่อไปยัง Rotary pump Model ED100 ของ Edward High Vacuum, A division of the British Oxygen Co. Ltd. ซึ่งมีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 3.5 และรูปที่ 3.6 แสดงถึงแผนภาพของระบบสูญญากาศ

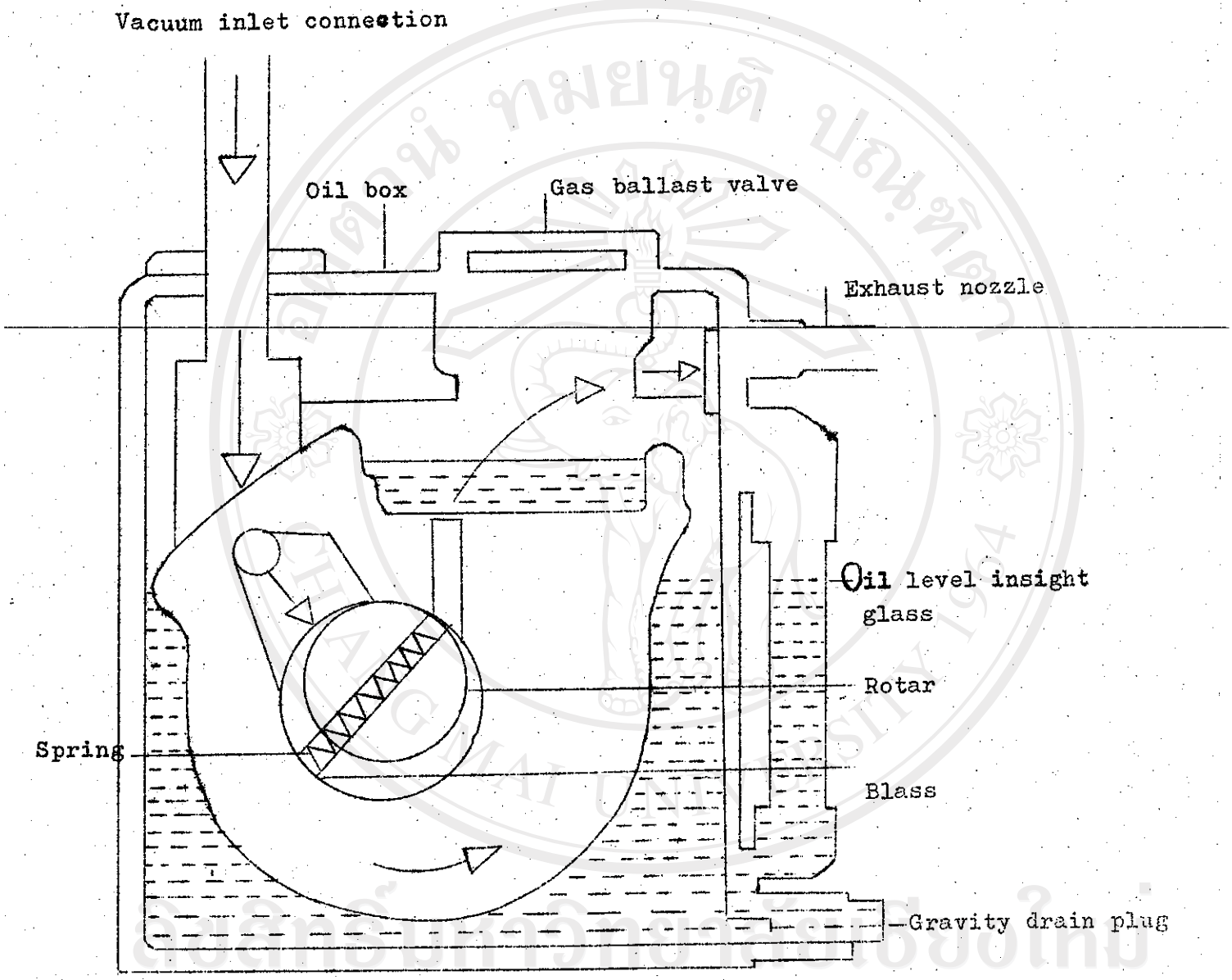
สายไฟที่ออกจากส่วนประกอบของ Cryogenic นั้นต่อเข้ากับส่วนล่างของ electrical probe ซึ่งอัดแน่นกับ Brass tube โดยกาว Epoxy และสายไฟทั้งหมดนั้นมี 6 คู่ด้วยกันเป็นสายไฟจาก Thermocouple จากเทอร์โมมิเตอร์และ Heater ทั้งสามตัว

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



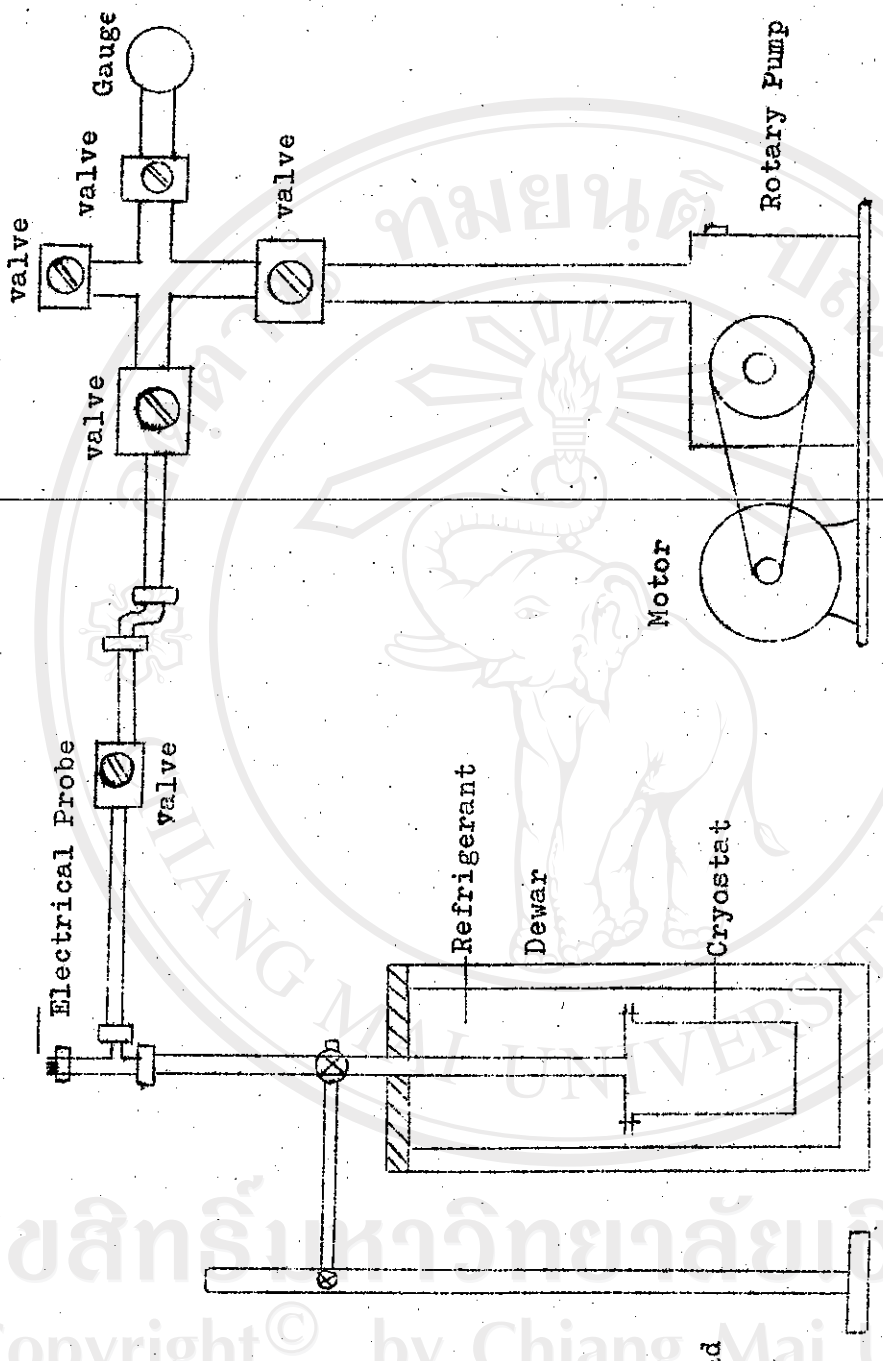
รูปที่ 3.4 แสดงกระบอกทองเหลืองซึ่งทำหน้าที่เป็น Vacuum chamber

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



รูปที่ 3.5 แสดง Rotary pump model ED100

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



รูปที่ 3.6 แสดงระบบสุญญากาศ (Vacuum System)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

3.2 Thermometry[3]

ในการเลือกใช้เทอร์โมมิเตอร์ในการวิจัยครั้งนี้ต้องคำนึงถึงคุณสมบัติที่สำคัญ 4 ประการดังนี้

1. Sensitivity สูง
2. Reproducibility
3. เข้าสู่สภาวะสมดุลย์ทางความร้อนได้เร็ว และ
4. มีขนาดที่เหมาะสม

เทอร์โมมิเตอร์แต่ละชนิดก็เหมาะสำหรับการใช้งานในลักษณะที่แตกต่างกัน เทอร์โมมิเตอร์ที่ทำจากโลหะเช่น Platinum Resistance Thermometer เหมาะสำหรับการวัดอุณหภูมิตั้งแต่ 30-300 เคลวิน

เมื่ออุณหภูมิของโลหะเปลี่ยนแปลงไป ค่าความต้านทานจำเพาะของโลหะจะเปลี่ยนแปลงไปด้วย ซึ่งอธิบายได้โดย Matthiessen's rule ดังสมการ

$$\rho = \rho(T) + \rho_{impure} \qquad (3.1)$$

เมื่อ $\rho(T)$ = ความต้านทานจำเพาะของโลหะที่เปลี่ยนแปลงไปตามการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ

ρ_{impure} = ความต้านทานจำเพาะของโลหะที่ขึ้นอยู่กับความไม่บริสุทธิ์ของโลหะนั้น (impurity)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สำหรับ Platinum Resistance thermometer ที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ ค่า $\rho(T)$ พิจารณาตั้งแต่ช่วงอุณหภูมิ 30-300 เคลวิน และค่าความต้านทานไฟฟ้ากระแสตรงกับอุณหภูมิของ Platinum Resistance Thermometer สัมพันธ์กันตามสมการ

$$R_T = R_o\left\{1+aT+bT^2+c(T-100)T^2\right\} \qquad (3.2)$$

เมื่อ R_T = ความต้านทานมีหน่วยเป็นโอห์มที่อุณหภูมิใดที่มีหน่วยเป็นองศาเซลเซียส

R_o = ความต้านทานของแพลตทินัมที่อุณหภูมิของ triple point of water

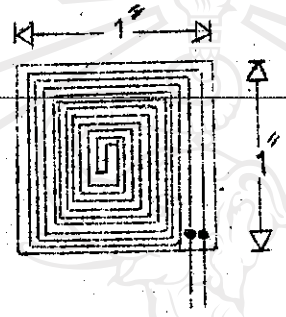
a, b, c = ค่าคงที่

ในการวิจัยครั้งนี้ใช้ Platinum Resistance Thermometer Grad I ของ Matthey Printed Products Limited เป็นตัวบอกอุณหภูมิของสารตัวอย่างมี accuracy น้อยกว่า 1% มีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 3.7 และ characteristic curve ของความต้านทานที่เปลี่ยนตามอุณหภูมิแสดงในรูปที่ 3.8

3.3 การควบคุมอุณหภูมิ(3)

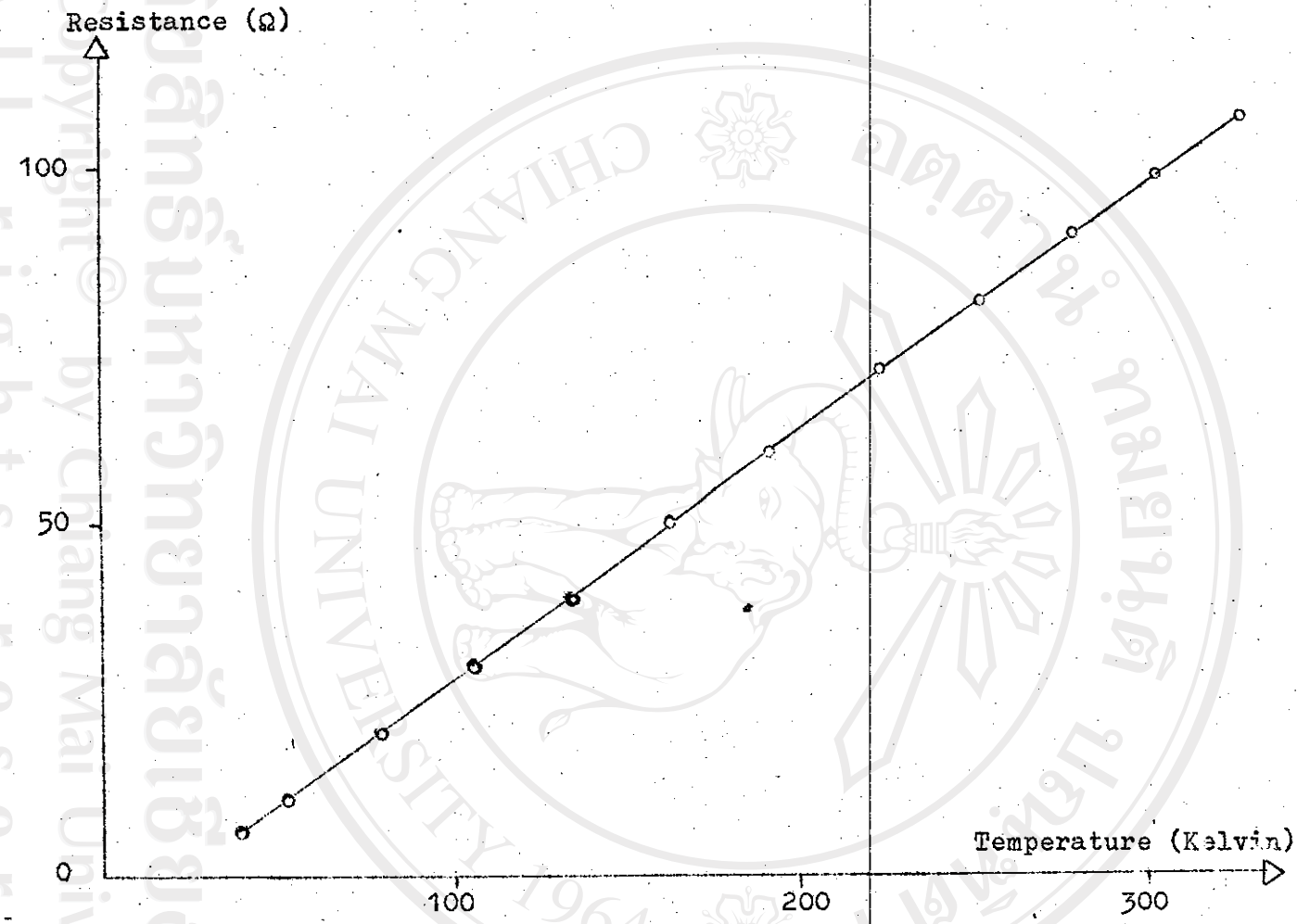
เป็นการควบคุมอุณหภูมิระหว่างแคลอริมิเตอร์กับ Adiabatic Radiation shield ให้เท่ากันหรือแตกต่างกันน้อยที่สุด เพื่อป้องกันไม่ให้มีปริมาณความร้อนไหลเข้าหรือออกจากแคลอริมิเตอร์ โดยอาศัยอุปกรณ์ดังต่อไปนี้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



รูปที่ 3.7 แสดงลักษณะของ Platinum Resistance Thermometer

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



รูปที่ 3.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานของ Platinum Thermometer กับอุณหภูมิ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

3.3.1 Differential Thermocouple

Differential Thermocouple ที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้เป็นชนิด Copper-constantant โดยปลายคู่หนึ่งของ Thermocouple ติดกับ Copper block อีกปลายหนึ่งติดกับแคลอริมิเตอร์ และสายไฟ 2 สายของ Thermocouple ต่อเข้ากับ scalamp galvanometer เมื่ออุณหภูมิระหว่างแคลอริมิเตอร์และ Adiabatic Radiation shield แตกต่างกันจะทำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าเนื่องจากความร้อน (Thermal electromotive force) ขึ้นที่ปลายทั้งสองข้างของเทอร์โมคัปเปิ้ล ซึ่งอธิบายได้โดยสมการที่ (3.3)

$$E_{AB} = \int_{T_R}^{T} (\epsilon_A - \epsilon_B) dT \qquad (3.3)$$

เมื่อ E_{AB} = แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่เกิดขึ้นใน Differential Thermocouple (Thermal emf.)

ϵ_A, ϵ_B = See beck coefficient ของโลหะแต่ละชนิด ซึ่งอยู่กับค่าสภาพการนำความร้อน (thermal conductivity) และสภาพการนำไฟฟ้า (Electrical conductivity) ของโลหะที่ใช้เป็น Thermocouple

ถ้าหากว่าอุณหภูมิระหว่างแคลอริมิเตอร์และ Adiabatic Radiation shield เท่ากัน ก็จะไม่มี Thermal electromotive force เกิดขึ้นแต่อย่างใด

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

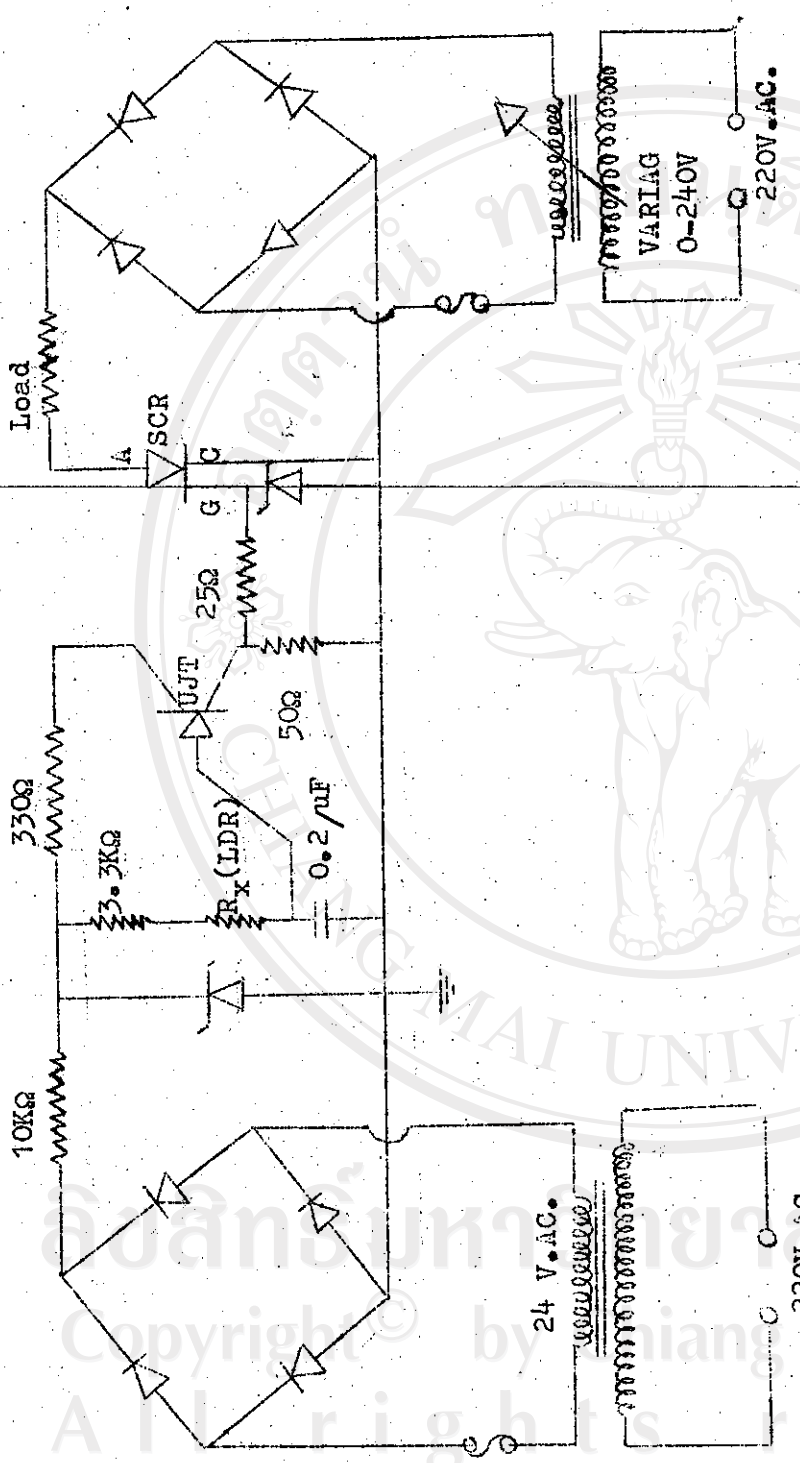
3.3.2 เครื่องควบคุมอุณหภูมิ(3),(4)

วงจรเครื่องควบคุมอุณหภูมิประกอบด้วย

-Diode	เบอร์ 1N1206	4 ตัว
-Diode	เบอร์ 1N5401	4 ตัว
-Zener diode	เบอร์ B2Y88	1 ตัว
-Zener diode	เบอร์ C3V9	1 ตัว
-SCR	เบอร์ BTY79-400	1 ตัว
-UJT	เบอร์ 2N2647	1 ตัว
-LDR		1 ตัว
-Capacitor	0.2 /uF	1 ตัว
-Resistor	25Ω ¼W	1 ตัว
	330Ω ¼W	1 ตัว
	10kΩ ½W	1 ตัว
-Potentiometer	100Ω	1 ตัว
	3.3 kΩ	1 ตัว
-Step down Transformer	24V	1 ตัว
-Ammeter	10A	1 ตัว

หม้อแปลงไฟฟ้าจาก 220 โวลท์เป็น 24 โวลท์ และผ่านไปยังวงจร Bridge Rectifier ที่ประกอบด้วย Diode จำนวน 4 ตัว ซึ่งทำหน้าที่เปลี่ยนไฟฟ้ากระแสสลับให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรงแบบเต็มคลื่น (Full wave) แล้วผ่านตัวต้านทาน 10 กิโลโอห์ม เพื่อลดศักดาไฟฟ้าลงเล็กน้อย โดยมี Zener diode ต่อขนานอยู่เพื่อควบคุมศักดาไฟฟ้าให้คงที่ จากนั้นเป็นวงจร RC ที่ประกอบด้วยตัวต้านทาน 3.3 กิโลโอห์ม ความต้านทาน R_x จากตัวต้านทาน LDR (Light Dependent Resistor) แต่ตัวเก็บประจุขนาด

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



รูปที่ 3.9 แสดงวงจรเครื่องควบคุมอุณหภูมิ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

0.2 ไมโครฟารัดต่อขนานกับตัวต้านทาน 330 โอห์ม และ UJT (Unijunction transistor) กับตัวต้านทาน 50 โอห์ม วงจรส่วนนี้ทำหน้าที่เป็น oscillator ผลิต pulse ไปกระตุ้น gate ของ SCR (Silicon Control Rectifier) กล่าวคือ เมื่อวงจรออสซิลเลเตอร์ทำงานตัวเก็บประจุ C จะถูก charge ผ่านตัวต้านทาน R 3.3 กิโลโอห์มและ R_x เมื่อศักดาไฟฟ้าที่ตัวเก็บประจุ C มีค่าสูงสุด (Peak voltage) UJT จะนำกระแสไฟฟ้าได้ แล้วตัวเก็บประจุ C จะคายประจุ (discharge) อย่างรวดเร็ว แล้วศักดาไฟฟ้าของมันจะน้อยกว่าศักดาไฟฟ้าสูงสุด UJT จะหยุดทำงาน จากนั้นตัวเก็บประจุ C จะถูก charge อีกครั้งหนึ่ง โดยอัตราการประจุของตัวเก็บประจุ C นี้ขึ้นอยู่กับค่าคงที่ของเวลา (time constant, T) ของวงจร RC โดยที่

$$T = RC$$

โดยค่า $C = 0.2\ \mu F$

$$R = 3.3\ k\Omega + R_x$$

ดังนั้นค่า R_x จึงเป็นตัวกำหนดอัตราการประจุของ C และกำหนดอัตราการสั่นของออสซิลเลเตอร์

จากสัญญาณออกของออสซิลเลเตอร์มีตัวต้านทาน 25 โอห์มต่ออยู่ เพื่อลดศักดาไฟฟ้าและมี Zener diode ต่อขนานอยู่เพื่อควบคุมศักดาไฟฟ้าให้คงที่ pulse จากออสซิลเลเตอร์นี้จะไปกระตุ้น gate ของ SCR เมื่อ gate ของ SCR ถูกกระตุ้นก็จะนำไฟฟ้า จึงมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่าน Load กระแสไฟฟ้าที่ผ่าน Load นี้ได้จาก Power Bridge Rectifier ซึ่งต่อกับ Variac ที่เปลี่ยนความต่างศักย์ไฟฟ้าตั้งแต่ 0-240 โวลท์ โดยความถี่ของ pulse นี้ขึ้นอยู่กับค่าคงที่ของเวลาของวงจร RC และค่าคงที่ของเวลานี้จะเปลี่ยนตามความต้านทาน R_x และ R_x นี้คือ LDR ซึ่งค่าความต้านทานจะเปลี่ยนไปตาม

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ความเข้มของแสงที่ตกกระทบ ถ้าได้รับแสงน้อยค่า R_x จะมากถ้าได้รับแสงมากค่า R_x จะน้อย การควบคุมแสงที่มาตกกระทบ LDR จึงเป็นการควบคุมกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่าน SCR และ Load จึงเป็นการควบคุมอุณหภูมิที่ Load (Heat ตัวที่สอง) เพื่อให้มีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไปของแคลอริมิเตอร์

การควบคุมอุณหภูมิระหว่าง Adiabatic Radiation Shield กับแคลอริมิเตอร์ให้เท่ากันหรือแตกต่างกันน้อยที่สุด ทำได้โดยใช้ LDR รับแสงที่หน้าปัทม์ของ scalamp Galvanometer ถ้าอุณหภูมิระหว่าง Adiabatic Radiation Shield กับแคลอริมิเตอร์เท่ากัน เข็มของ Scalamp galvanometerจะชี้ที่ศูนย์ ลักษณะการควบคุมอุณหภูมิ แสดงในรูปที่ 3.10 โดย Load คือ Heater ตัวที่สอง

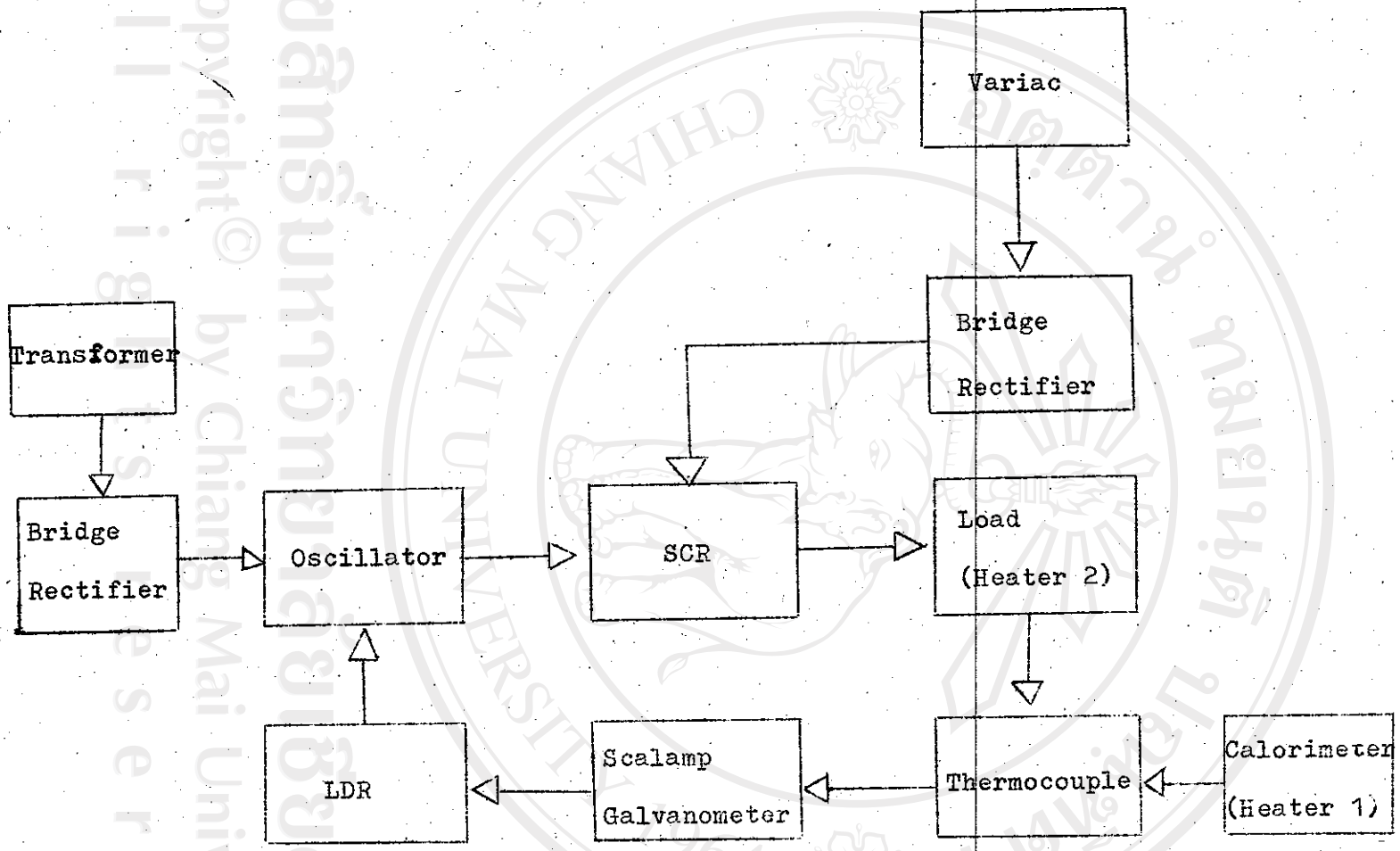
3.4 วงจรไฟฟ้า

วงจรไฟฟ้าในการวิจัยครั้งนี้แสดงไว้ในรูปที่ 3.11 ซึ่งมีรายละเอียดของวงจรไฟฟ้าแต่ละส่วนดังต่อไปนี้

3.4.1 วงจรไฟฟ้าของแคลอริมิเตอร์

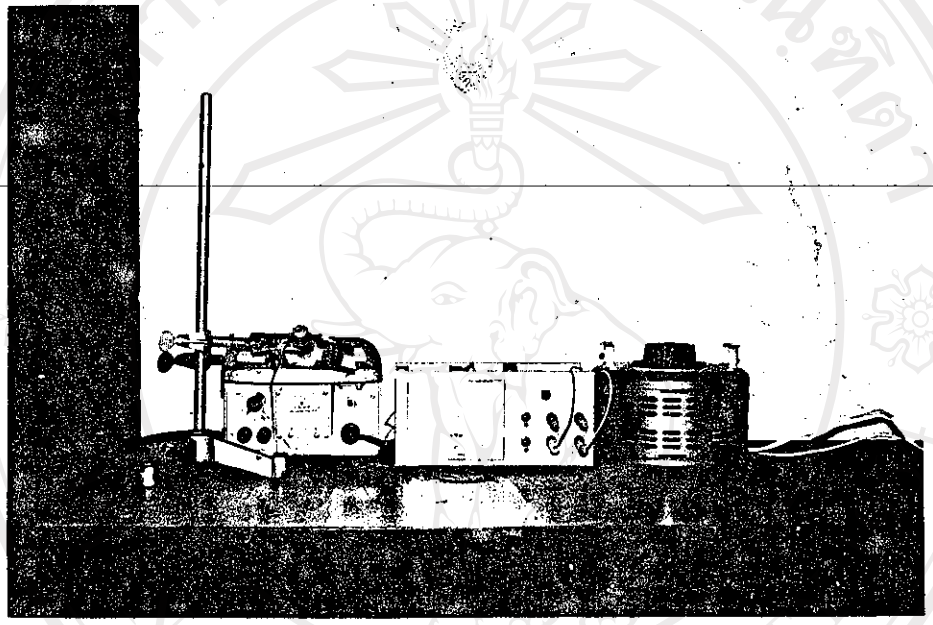
วงจรไฟฟ้าของแคลอริมิเตอร์คือวงจรไฟฟ้าของ Heater ตัวที่หนึ่ง โดยมีวงจรดังแสดงในรูปที่ 3.12 กระแสไฟฟ้าที่ผ่าน Heater ตัวที่หนึ่งหาได้จากการวัดความต่างศักย์ไฟฟ้าคร่อมตัวต้านทานมาตรฐาน 100Ω $\pm$ 1% และ Heater ตัวที่หนึ่งมีความต้านทานประมาณ 500 โอห์มที่อุณหภูมิห้อง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



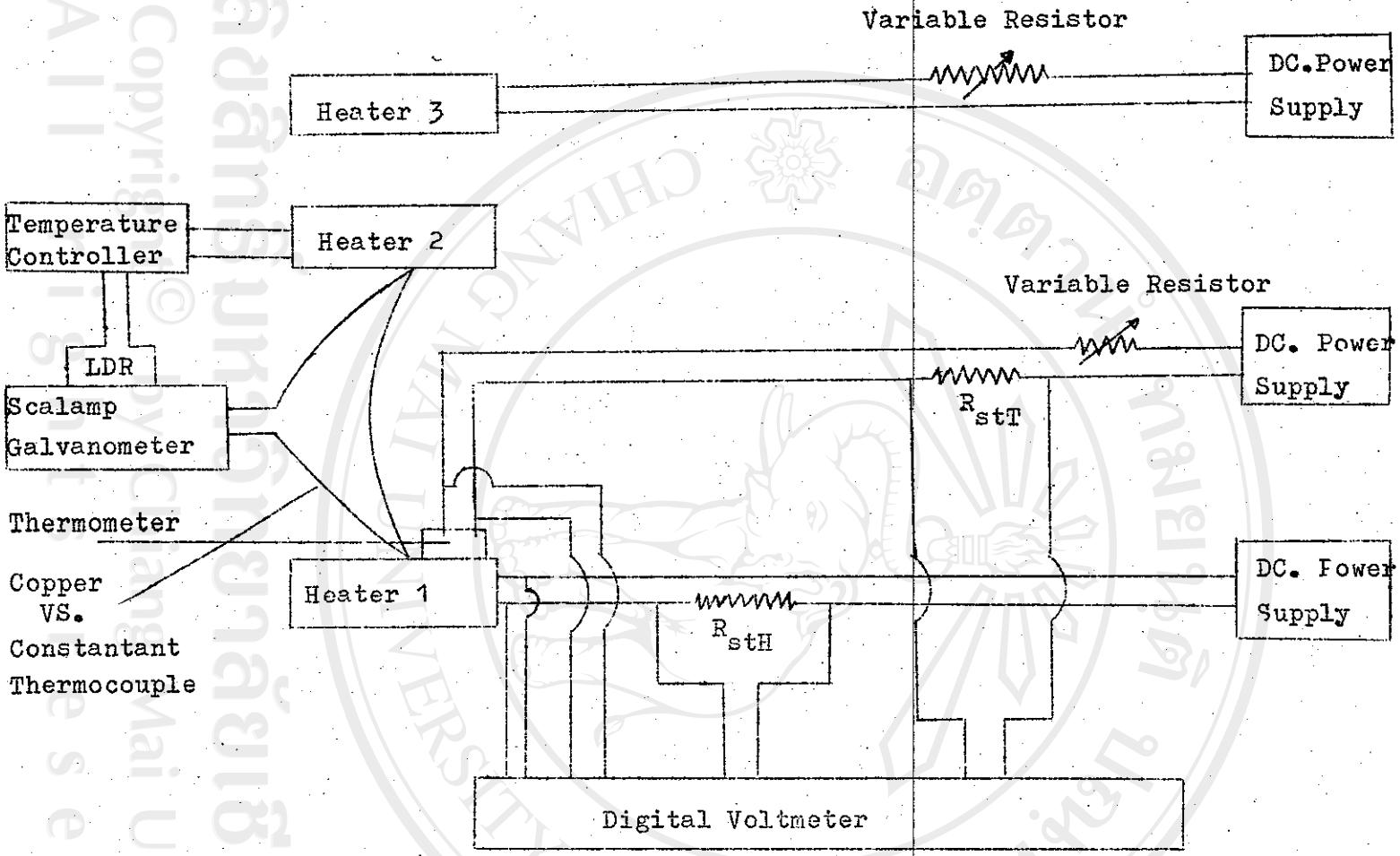
รูปที่ 3.10. แสดง Diagram การควบคุมอุณหภูมิ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



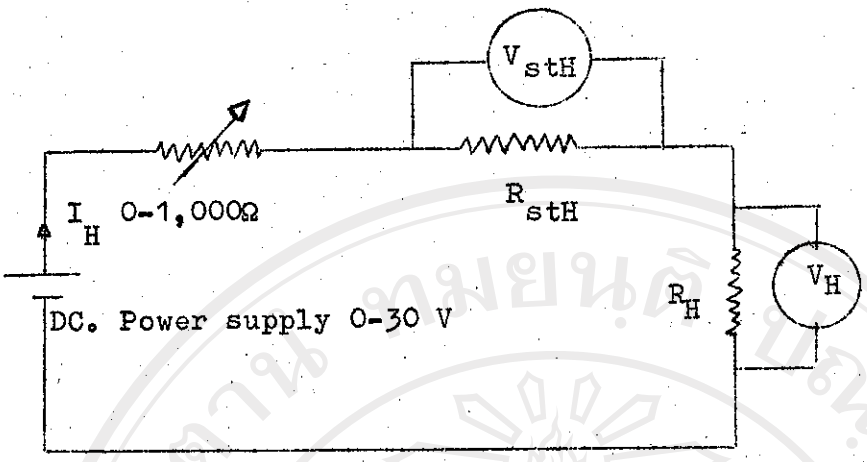
รูปที่ 3.10.1 แสดงอุปกรณ์ที่ใช้ในการควบคุมอุณหภูมิ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



รูปที่ 3.11 แสดงวงจรไฟฟ้าที่ใช้ในการวัดความจุความร้อน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



รูปที่ 3.12 แสดงวงจรไฟฟ้าของแคลอริมิเตอร์

ปริมาณความร้อนที่แคลอริมิเตอร์ได้รับคำนวณได้ดังนี้

$$I_H = \frac{V_{stH}}{R_{stH}} \tag{3.4}$$

และ

$$P_H = I_H V_H \tag{3.5}$$

และพลังงานความร้อนที่แคลอริมิเตอร์ได้รับก็คือ

$$W_H = P_H t \tag{3.6}$$

เมื่อ I_H = กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่าน Heater ตัวที่หนึ่ง

V_H = ความต่างศักย์ไฟฟ้าคร่อม Heater ตัวที่หนึ่ง

V_{stH} = ความต่างศักย์ไฟฟ้าคร่อมตัวต้านทานมาตรฐาน

R_{stH} = ความต้านทานมาตรฐานมีค่าเท่ากับ 100Ω ± 1%

P_H = กำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้แคลอริมิเตอร์

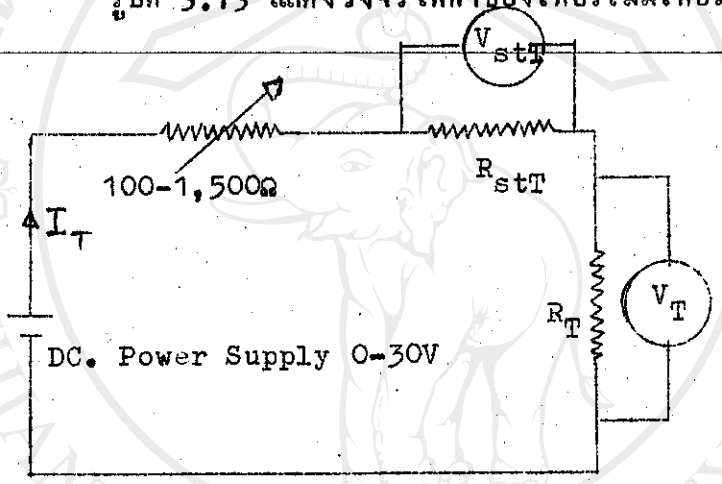
W_H = พลังงานไฟฟ้าที่แคลอริมิเตอร์ได้รับ

t = เวลา

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

3.4.2 วงจรไฟฟ้าของเทอร์โมมิเตอร์

วงจรไฟฟ้าของเทอร์โมมิเตอร์ใช้ความต้านทานมาตรฐาน 100 Ω ± 1% สำหรับคำนวณหาค่ากระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านเทอร์โมมิเตอร์ โดยที่ค่าความต้านทานของเทอร์โมมิเตอร์นี้จะเปลี่ยนแปลงไปตามอุณหภูมิ เมื่อทราบค่าความต้านทานของเทอร์โมมิเตอร์ก็สามารถหาอุณหภูมิได้จากตารางคุณสมบัติ (characteristic table) ของ Platinum Resistance Thermometer ที่คาลิเบรท เทียบกับ standard thermometer(2) รูปที่ 3.13 แสดงวงจรไฟฟ้าของเทอร์โมมิเตอร์



รูปที่ 3.13 แสดงวงจรไฟฟ้าของเทอร์โมมิเตอร์

จากกฎของโอห์มจะได้ว่า

$$I_T = \frac{V_{stT}}{R_{stT}} \qquad (3.7)$$

และ

$$R_T = \frac{V_T}{I_T} \qquad (3.8)$$

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เมื่อ I_T = กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านเทอร์โมมิเตอร์

R_T = ความต้านทานของเทอร์โมมิเตอร์

V_T = ความต่างศักย์คร่อมเทอร์โมมิเตอร์

R_{stT} = ความต้านทานมาตรฐานมีค่าเท่ากับ 100 ± 1%

V_{stT} = ความต่างศักย์คร่อมตัวต้านทานมาตรฐาน

3.5 เครื่องมืออื่น ๆ

เครื่องมืออื่น ๆ นอกจากที่กล่าวมาแล้วได้แก่ กระติกสำหรับบรรจุไนโตรเจนเหลว ดิจิทอล มัลติมิเตอร์ (Digital Multimeter) ของ Advance Instrument เครื่องจับเวลา (timer counter) ของ Ohio Co. Ltd. และแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง 0-30 โวลท์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved