บทที่ 4

ระบบวัดการตอบสนองและการทดลองวัด

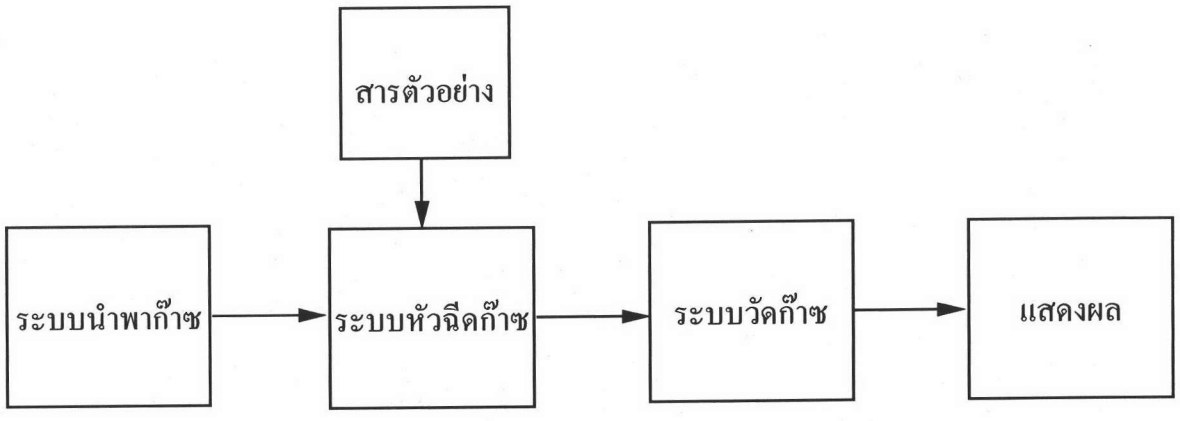
การศึกษาและทดสอบลักษณะสมบัติของหัววัดก๊าซที่ประดิษฐ์ขึ้นนั้น จำเป็นจะต้องมีระบบวัดและทดสอบที่เหมาะสม ในบทนี้จะกล่าวถึง การออกแบบและประดิษฐ์ระบบวัดก๊าซ

ระบบวัดการตอบสนอง

สามารถแบ่งระบบวัดการตอบสนองได้เป็น 3 ส่วนที่สำคัญ คือ

1. ระบบนำพาก๊าซ (flowing gas system)
2. ระบบหัวฉีดก๊าซ (injecting gas system)
3. ระบบวัดก๊าซ (measuring gas system)

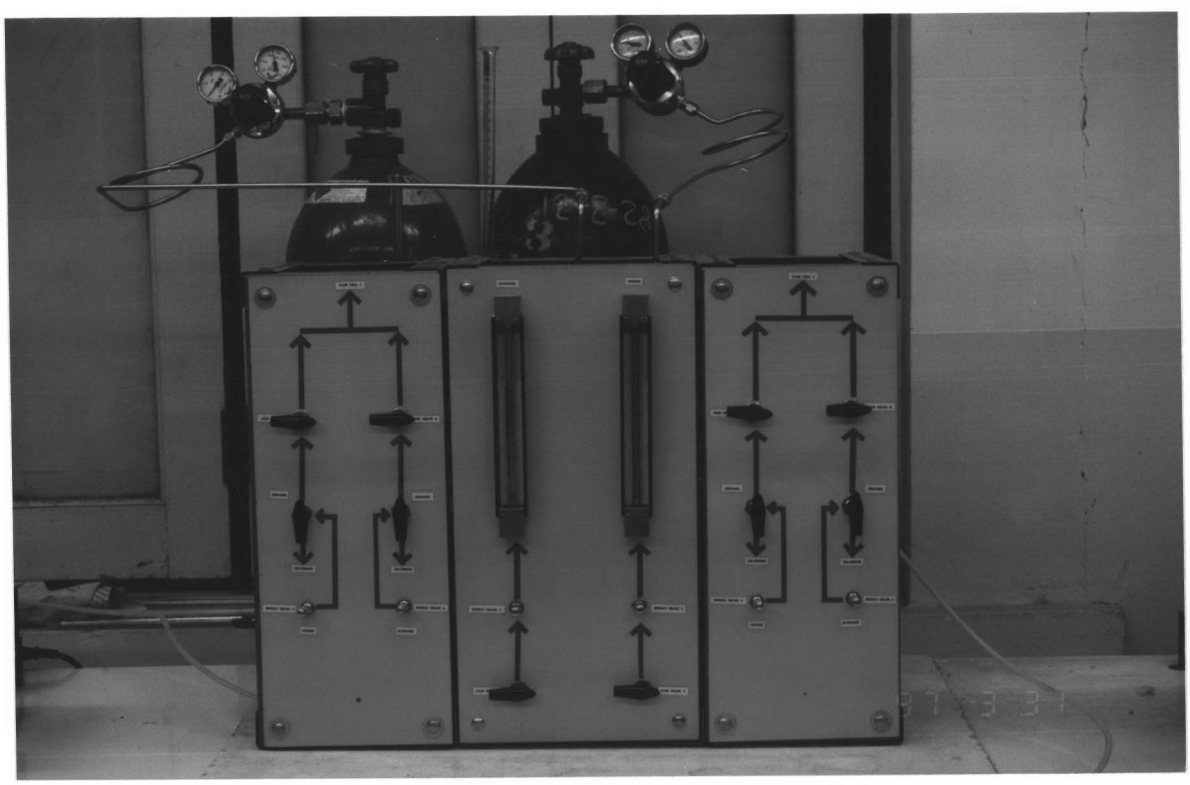
ซึ่งเขียนเป็นบล็อกไดอะแกรมได้ดังนี้



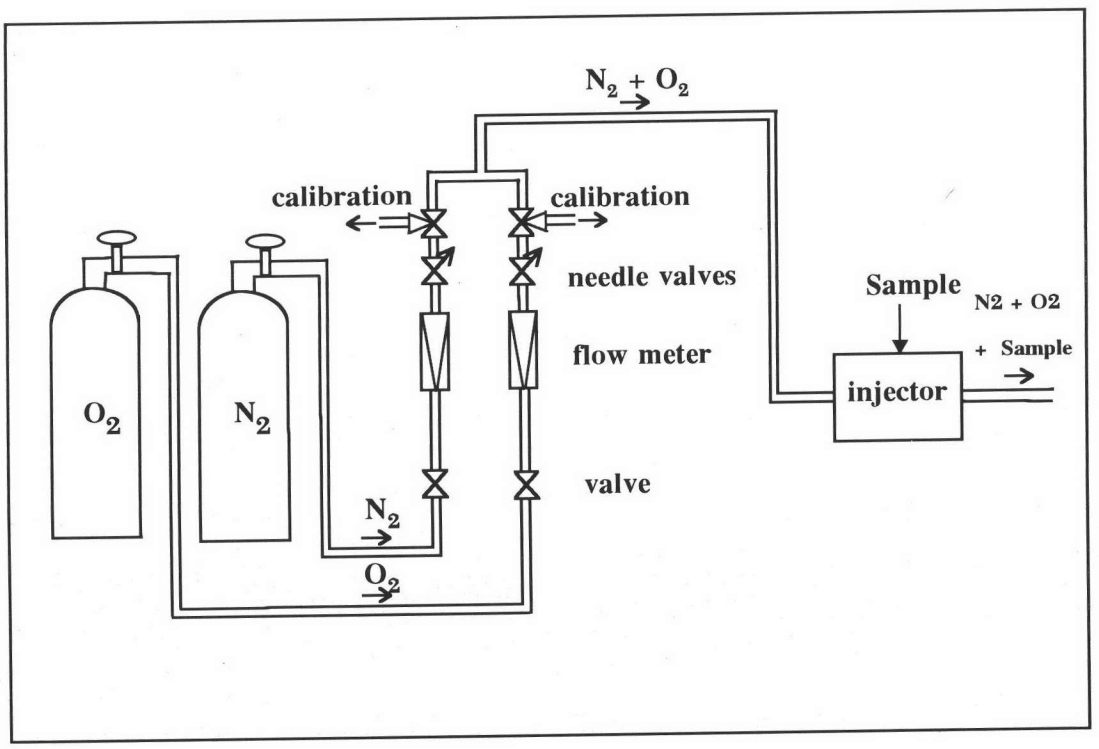
รูปที่ 4.1 ไดอะแกรมของระบบวัดการตอบสนอง

1. ระบบนำพาก๊าซ

รูปที่ 4.2 แสดงระบบนำพาก๊าซ ซึ่งทำหน้าที่นำก๊าซพาห์ (carrier gas) ไปยังระบบวัด โดยก๊าซพาห์จะทำหน้าที่นำสารตัวอย่างที่อยู่ในสถานะก๊าซเข้าไปยังระบบวัด ก๊าซพาห์เป็นก๊าซผสมของก๊าซออกซิเจนและก๊าซไนโตรเจน โดยใช้ก๊าซออกซิเจน (99.5%) และก๊าซไนโตรเจน (99.5%) จากถังบรรจุก๊าซจะไหลเข้าสู่โฟลว์มิเตอร์ (flow meter) เพื่อปรับอัตราการไหลของก๊าซ หลังจากนั้นก๊าซทั้งสองจะถูกผสมเข้าด้วยกันก่อนที่จะส่งไปยังระบบวัดต่อไป รูปที่ 4.3 แสดงแผนผังทางเดินของก๊าซในระบบนำพาก๊าซ ระบบนำพาก๊าซที่ประดิษฐ์ขึ้นสามารถพาก๊าซพาห์ให้กับระบบวัดได้พร้อมกัน 2 ระบบ



รูปที่ 4.2 ระบบนำพาก๊าซ



รูปที่ 4.3 แผนผังทางเดินของก๊าซในระบบนำพาก๊าซ

2. ระบบหัวฉีดก๊าซ

ระบบหัวฉีดก๊าซเป็นระบบที่ใช้ในการนำพาสารตัวอย่างเข้าสู่ระบบวัดโดย สามารถแบ่งเป็นระบบย่อย ๆ ที่สำคัญได้ดังนี้คือ

1. หัวฉีดก๊าซ (injector)
2. ระบบจ่ายความร้อนแก่หัวฉีดก๊าซ
3. ระบบควบคุมอุณหภูมิที่หัวฉีดก๊าซ

หัวฉีดก๊าซ

หัวฉีดก๊าซเป็นส่วนที่ใช้ในการฉีดสารตัวอย่างที่อยู่ในสถานะสารละลายเข้าสู่ระบบวัด โดยสารตัวอย่างจะถูกทำให้เป็นสถานะก๊าซด้วยความร้อนที่หัวฉีดก๊าซ ก่อนที่จะถูกก๊าซพาห์นำพาก๊าซตัวอย่างไปยังระบบวัด

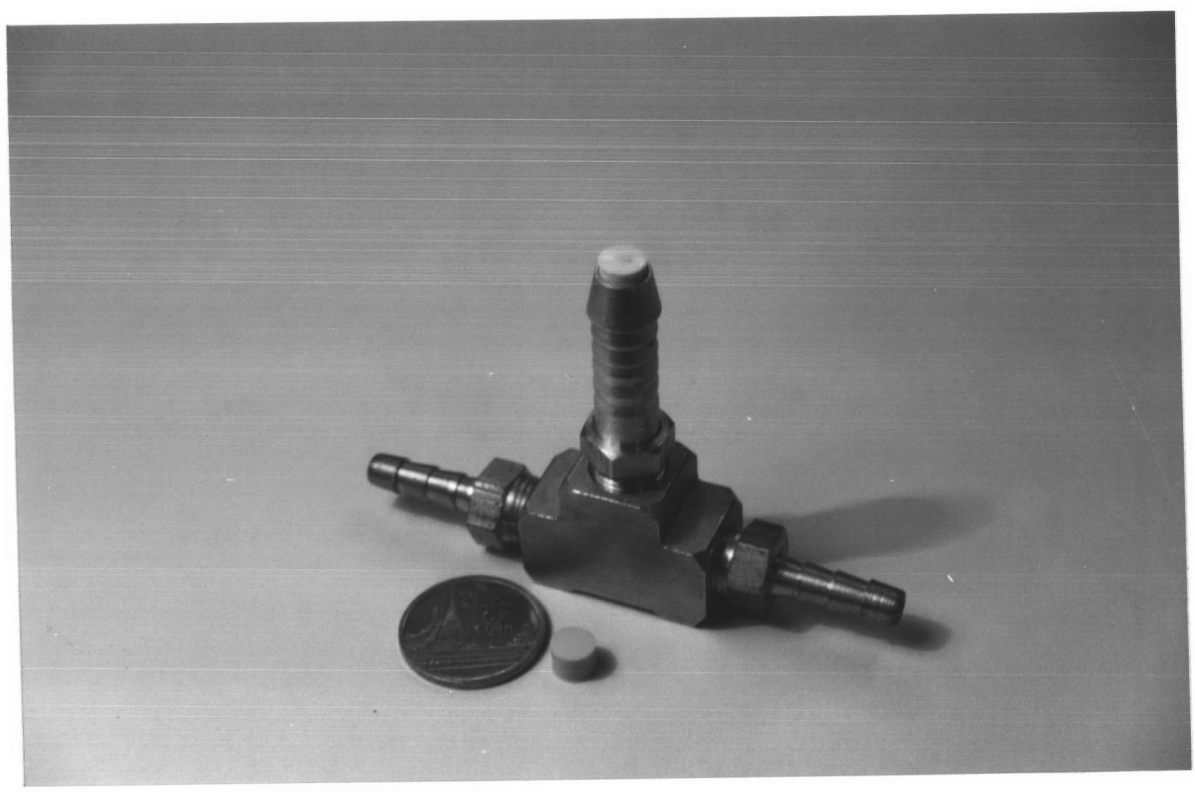
หัวฉีดก๊าซนี้ ได้ใช้ท่อทองเหลืองแบบสามทางเป็นแกนของระบบ การที่ใช้ท่อโลหะเนื่องจากต้องการให้มีการนำความร้อนได้ดีจากตัวจ่ายความร้อน และที่ตำแหน่งฉีดสารตัวอย่างได้ใช้ยางเซปตรัม (septum) ปิดที่ปากท่อ ยางเซปตรัมเป็นยางที่สามารถคืนตัวได้หลังจากที่ทำการฉีดสารตัวอย่างแล้ว ใช้เพื่อป้องกันก๊าซจากภายนอกจะไปรบกวนระบบวัด รูปที่ 4.4 แสดงท่อทองเหลืองแบบสามทาง และยางเซปตรัมที่ใช้

ระบบจ่ายความร้อนแก่หัวฉีดก๊าซ

ระบบจ่ายความร้อนแก่หัวฉีดก๊าซประกอบด้วย 2 ส่วนหลัก คือ ตัวจ่ายความร้อน (heater) และแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้า (voltage source)

ตัวจ่ายความร้อนเป็นชนิดสำเร็จรูปที่มีขายในท้องตลาด ซึ่งมีลักษณะเป็นแผ่นสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่มีขนาด 38 x 66 ตารางมิลลิเมตร ภายในประกอบด้วยลวดความร้อนพันรอบแกนแผ่นไมก้า ซึ่งสามารถทนความร้อนได้สูงและเป็นฉนวนไฟฟ้าที่ดี ตัวจ่ายความร้อนมีค่าความต้าน

ทานไฟฟ้า 580 โอห์ม และได้ทำการทดสอบตัวจ่ายความร้อน โดยการจ่ายแรงดันกระแสสลับ 110 โวลต์ อุณหภูมิที่ได้อยู่ในช่วงประมาณ 135-153° C รูปที่ 4.5 แสดงตัวจ่ายความร้อนที่ใช้



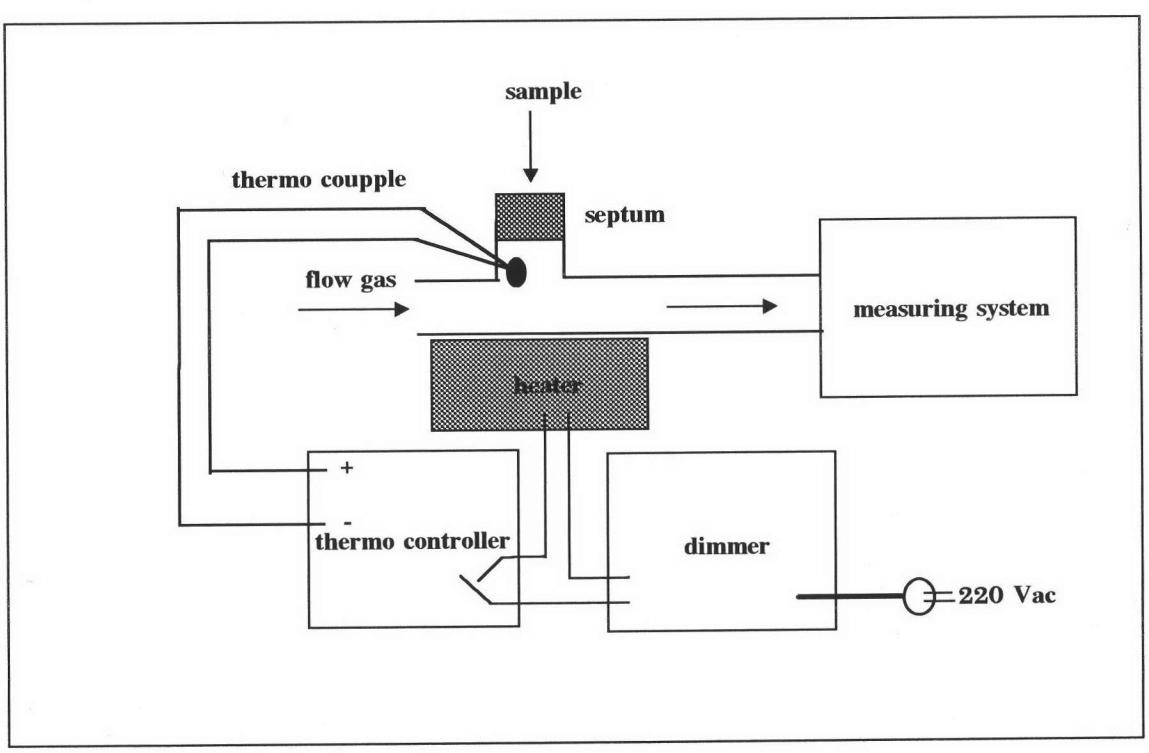
รูปที่ 4.4 ท่อทองเหลืองแบบสามทาง และยางเซปตรัม

รูปที่ 4.5 ตัวจ่ายความร้อนที่หัวฉีดก๊าซ

แหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้า ได้ทำการป้อนแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับขนาด 220 โวลท์ ผ่านตัวหรี่ไฟ (dimmer) แรงดันไฟฟ้าที่ออกจากตัวหรี่ไฟจะทำการจ่ายให้แก่ตัวจ่ายความร้อน ในขณะทำงานจริงจะทำการปรับตัวหรี่ไฟ จนได้ค่าแรงดันที่จะทำให้ตัวให้ความร้อนมีอุณหภูมิสูงตามที่ต้องการ

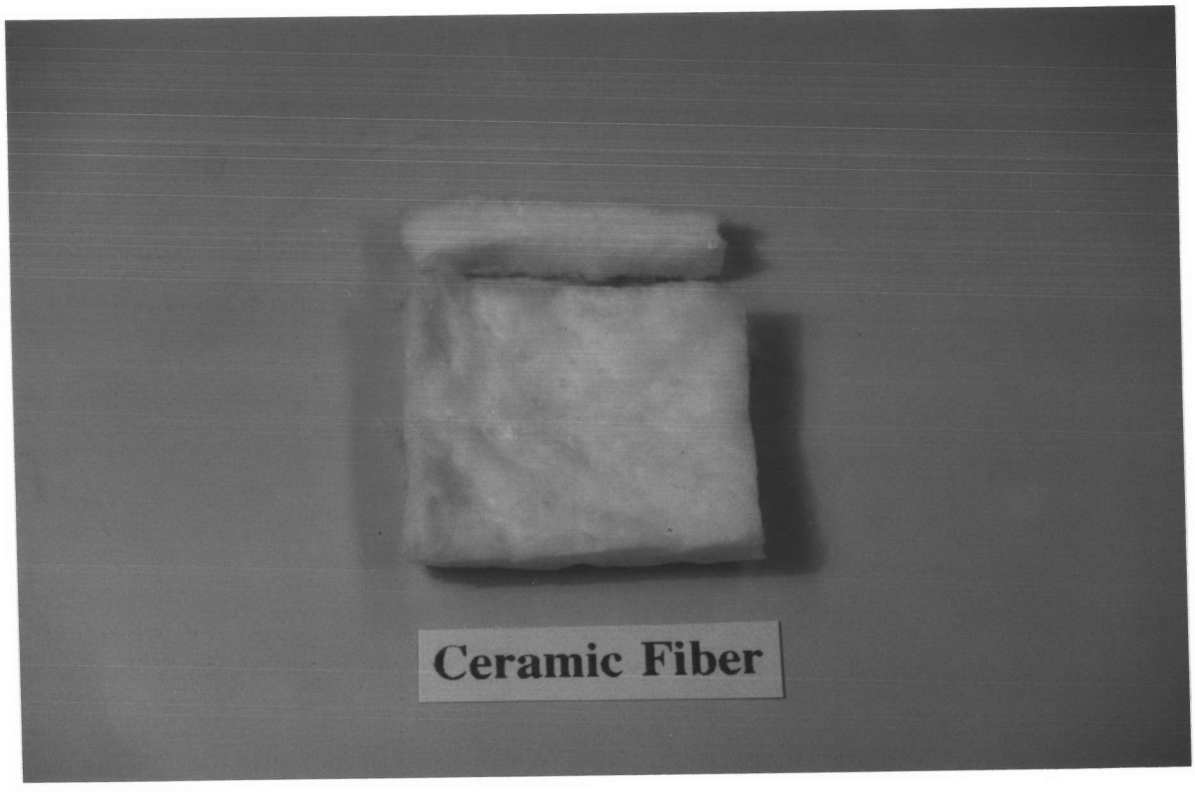
ระบบควบคุมอุณหภูมิที่หัวฉีดก๊าซ

เครื่องที่ใช้ในการควบคุมอุณหภูมิ (thermo controller) คือ เครื่องควบคุมอุณหภูมิของบริษัทโอมรอน (Omron) รุ่น E5C4 - R40K ซึ่งสามารถควบคุมอุณหภูมิได้ในช่วง 0 - 399 °C ในการใช้งานกับระบบหัวฉีดสารตัวอย่างได้ควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ในช่วง 120 - 130 °C ซึ่งจะเป็นอุณหภูมิที่สูงกว่าจุดเดือดของน้ำ เพื่อให้สารละลายที่ฉีดเข้าระบบกลายเป็นไอได้ทันที ในระบบควบคุมอุณหภูมินี้ได้ใช้เทอร์โมคัปเปิลแบบ K (thermo coupple type K) เป็นที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย เนื่องจากสามารถใช้กับสภาวะงานที่เป็นออกซิไดซ์ (oxidizing) และ สภาวะเฉื่อย (inert) ได้ดีกว่าแบบอื่น และยังทนอุณหภูมิได้ถึง 1260 °C และที่อุณหภูมิต่ำถึง -250 °C จากระบบทั้งสามส่วนดังกล่าว สามารถแสดงระบบหัวฉีดก๊าซได้ดังรูปที่ 4.6

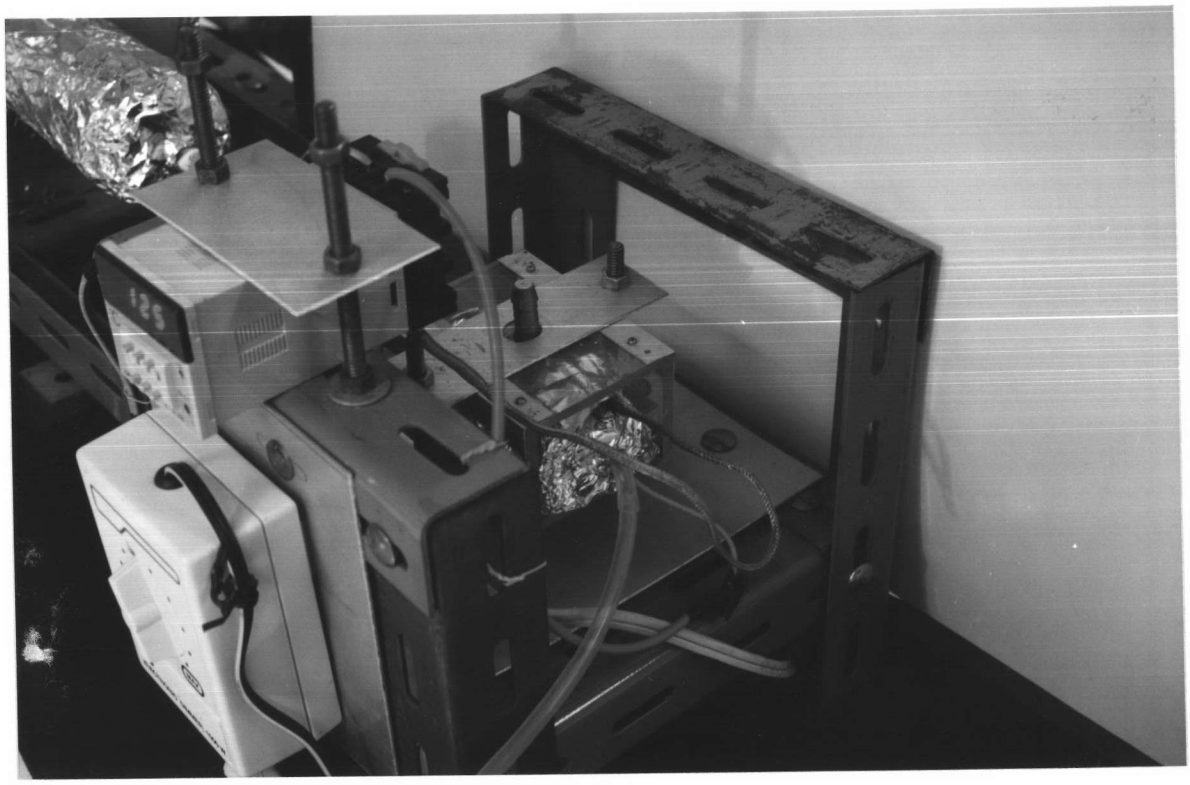


รูปที่ 4.6 โครงสร้างของระบบหัวฉีดก๊าซ

นอกจากระบบทั้งสามแล้ว เพื่อให้ระบบฉีดสารตัวอย่างสามารถควบคุมอุณหภูมิได้ง่ายและสูญเสียความร้อนให้กับภายนอกระบบน้อยลง จึงได้ใช้ฉนวนความร้อนห่อหุ้มให้กับระบบฉีดสารตัวอย่าง ฉนวนความร้อนที่ใช้คือ ฉนวนใยเซรามิก (ceramic fiber) ดังแสดงในรูปที่ 4.7 และรูปที่ 4.8 แสดงระบบหัวฉีดก๊าซที่ประกอบเสร็จ



รูปที่ 4.7 ฉนวนใยเซรามิก



รูปที่ 4.8 ระบบหัวฉีดก๊าซที่ประกอบเสร็จ

I18760831

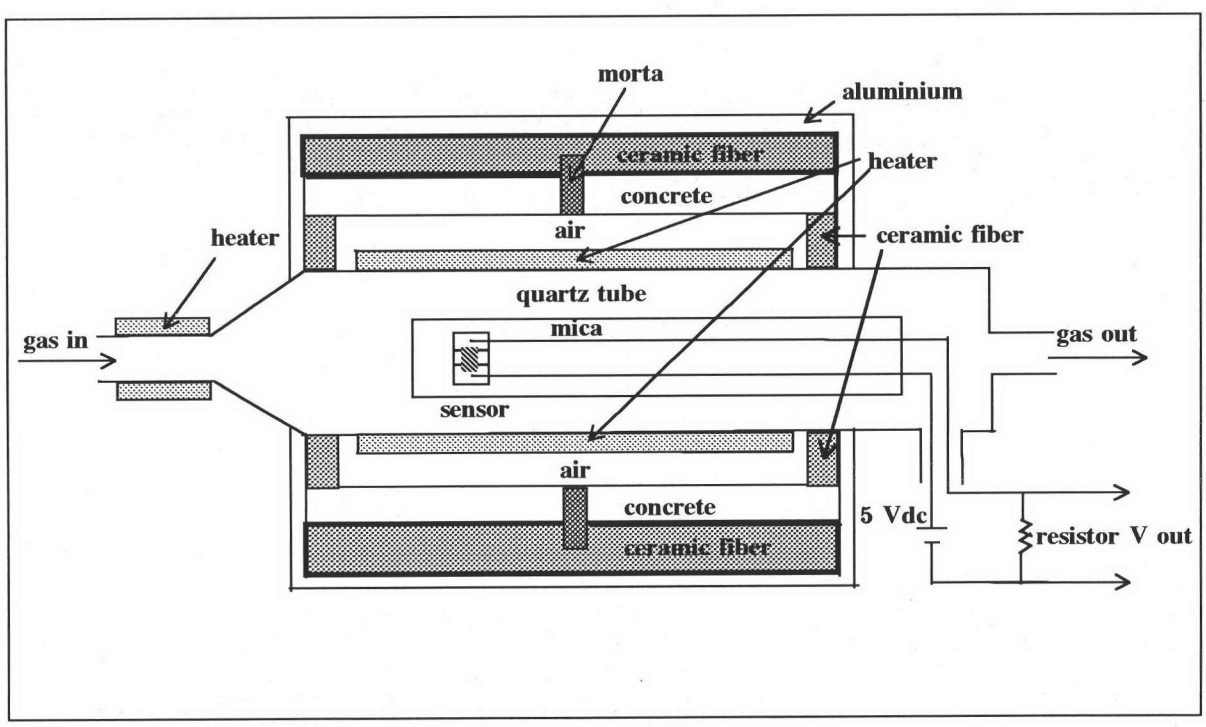
3. ระบบวัดก๊าซ

สามารถแบ่งระบบวัดก๊าซเป็นระบบย่อย ๆ ที่สำคัญได้ดังนี้ คือ

1. เตาความร้อน
2. ระบบควบคุมอุณหภูมิวงจรวัดและวงจรขยาย
3. แกนฐานหัววัดก๊าซ

เตาความร้อน

เตาความร้อนที่ได้ออกแบบ ประดิษฐ์ขึ้น และใช้ในการทดลอง สามารถแสดงโครงสร้างได้ดังรูปที่ 4.9



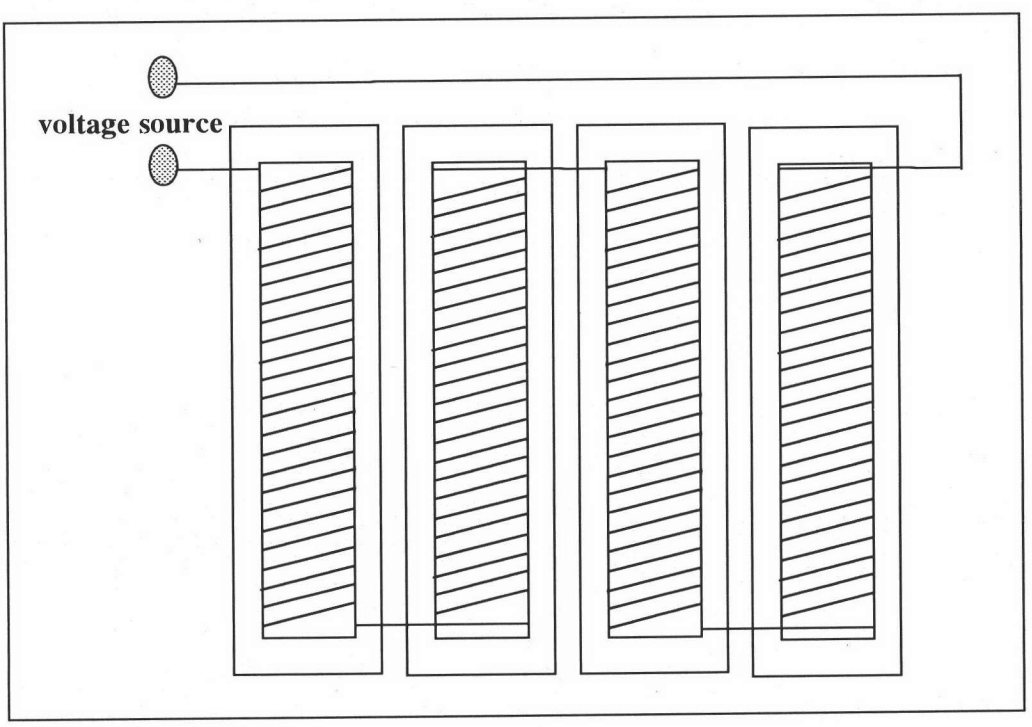
รูปที่ 4.9 โครงสร้างของเตาความร้อนที่ออกแบบ

โครงสร้างของเตาความร้อนประกอบด้วย

1. **ท่อแก้วควอทซ์** (quartz tube) ทำหน้าที่บรรจุหัววัดก๊าซและเป็นทางเดินของก๊าซพาห์และก๊าซตัวอย่างมาสัมผัสกับหัววัดก๊าซ ซึ่งมีขนาดดังนี้

ท่อใหญ่	เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน	3.9	เซนติเมตร
	เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก	4.1	เซนติเมตร
	ยาว	66	เซนติเมตร
ท่อเล็ก	เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน	1.0	เซนติเมตร
	เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก	1.25	เซนติเมตร
	ยาว	18	เซนติเมตร

2. ตัวจ่ายความร้อน ทำหน้าที่ให้ความร้อนแก่ท่อแก้วควอทซ์ ซึ่งตัวจ่ายความร้อนนี้ได้ใช้ลวดความร้อนขนาด 0.03125" x 0.004" ซึ่งมีค่าความต้านทานไฟฟ้า 14.43 โอห์ม/เมตร โดยทำการพันรอบแผ่นไมก้าในลักษณะดังรูปที่ 4.10



รูปที่ 4.10 ลักษณะการพันลวดความร้อน

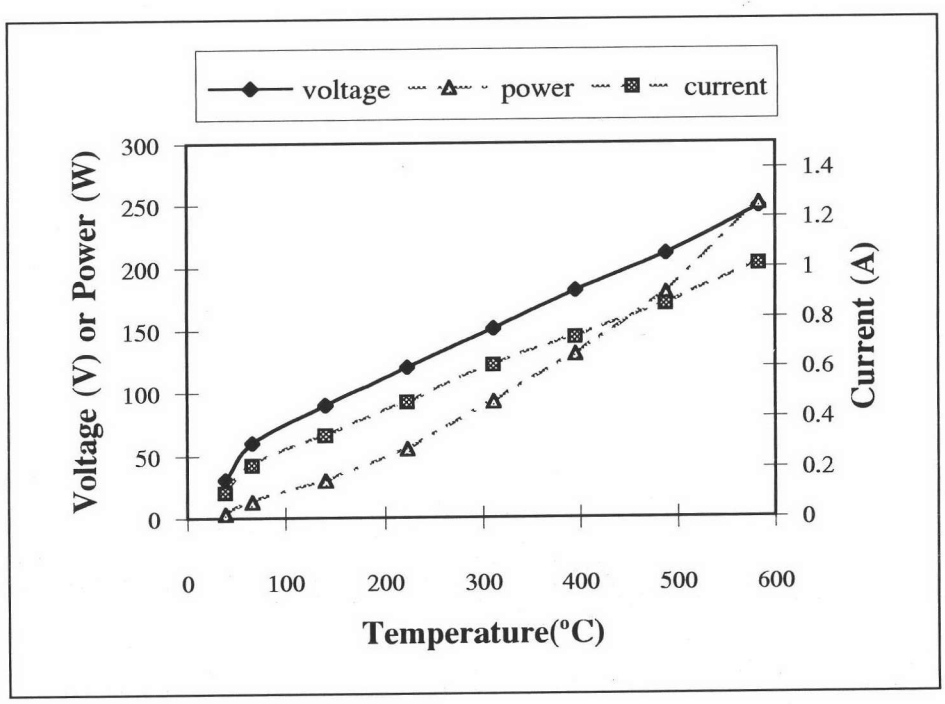
ตัวจ่ายความร้อนนี้จะประกอบด้วย 2 ส่วน คือ

1. ส่วนให้ความร้อนภายในเตา ทำหน้าที่ให้ความร้อนแก่ท่อแก้วควอทซ์ เพื่อเป็นอุณหภูมิที่จะทำการวัดก๊าซตัวอย่างของหัววัดก๊าซ หรือที่เรียกว่าอุณหภูมิการทำงาน (operated temperature) ของหัววัดก๊าซ ซึ่งในงานวิจัยนี้ต้องการอุณหภูมิการทำงานของหัววัดก๊าซอยู่ในช่วง 100 - 600 °C ค่าความต้านทานไฟฟ้าของลวดความร้อนที่ใช้ในการพันรอบแกนแผ่นไมก้าคือ 228 โอห์ม ตัวจ่ายความร้อนที่ประดิษฐ์ขึ้นได้นำไปทดสอบวัดอุณหภูมิที่ได้จากการป้อนแรงดันกระแสสลับจากวาริแอค (variac) ความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงดันที่จ่ายให้กับลวดความร้อน กับอุณหภูมิที่ได้ แสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบของตัวจ่ายความร้อนภายในเตา

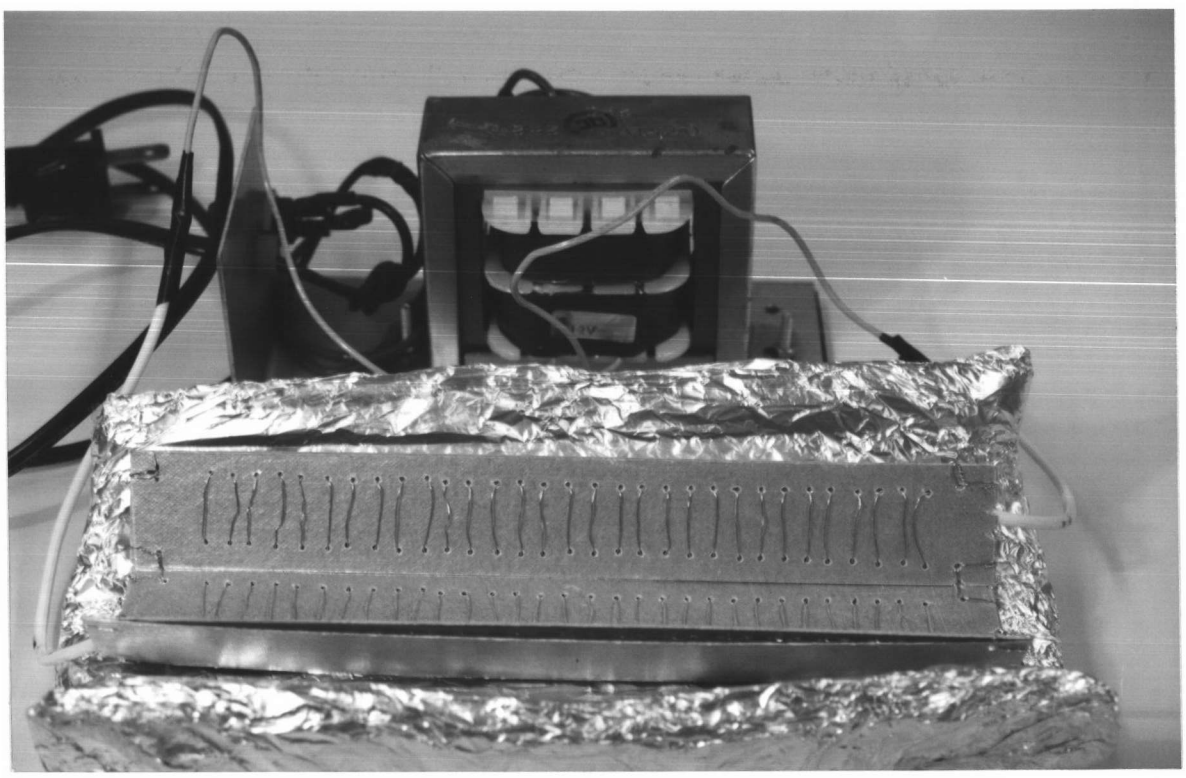
แรงดัน (โวลท์)	กระแส (แอมแปร์)	กำลัง (วัตต์)	อุณหภูมิกลางเตา (°C)	อุณหภูมิปลายท่อ (ห่างจากกลางเตา 19 ซ.ม.) (°C)
30.7	0.10	3.07	39	37
60.2	0.21	12.64	67	39
89.8	0.33	29.63	141	39
120.0	0.46	55.20	223	40
151.2	0.61	92.23	311	43
181.2	0.72	130.46	395	44
210.8	0.85	179.18	488	45
248.0	1.01	250.48	583	53

รูปที่ 4.11 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแส แรงดัน กำลัง ที่จ่ายให้แก่ตัวจ่ายความร้อนกับอุณหภูมิที่ได้



รูปที่ 4.11 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแส แรงดัน กำลัง ที่จ่ายให้แก่ตัวจ่ายความร้อนกับอุณหภูมิที่ได้

2. ส่วนจ่ายความร้อนแก่ท่อแก้วควอทซ์ภายนอก ซึ่งอยู่ระหว่างระบบวัดและระบบหัวฉีดก๊าซ สารตัวอย่างที่ออกจากระบบหัวฉีดก๊าซจะอยู่ในสถานะก๊าซ เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการควบแน่นของสารตัวอย่างก่อนจะเข้าระบบวัด จึงได้ทำการติดตัวจ่ายความร้อนแก่ท่อแก้วควอทซ์ในส่วนก่อนที่จะเข้าระบบวัด โดยต้องการให้มีอุณหภูมิอยู่ในช่วง 80-100 °C ค่าความต้านทานของลวดความร้อนที่ได้จากการพันรอบแกนแผ่นไมก้าคือ 28 โอห์ม และได้ทำการทดสอบจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับขนาด 12 โวลท์ ให้แก่ตัวจ่ายความร้อนที่ประดิษฐ์ขึ้น อุณหภูมิที่ได้คือ 89 °C แหล่งจ่ายแรงดันได้ใช้การจ่ายแรงดันกระแสสลับ 220 โวลท์ ผ่านหม้อแปลงแรงดันไฟฟ้า (voltage tranformer) 220/12 แรงดันไฟฟ้าที่ได้จะมีขนาด 12 โวลท์ นอกจากนี้เพื่อให้มีการสูญเสียความร้อนแก่ภายนอกน้อยลง จึงได้ห่อหุ้มภายนอกด้วยฉนวนใยเซรามิก รูปที่ 4.12 แสดงตัวจ่ายความร้อนที่อยู่ระหว่างระบบวัดและระบบหัวฉีดก๊าซ



รูปที่ 4.12 ตัวจ่ายความร้อนที่อยู่ระหว่างระบบวัดและระบบหัวฉีดก๊าซ

3. ท่อคอนกรีตทนไฟ ทำหน้าที่เป็นโครงสร้างห่อหุ้มตัวให้ความร้อนและระบบวัด รวมทั้งเป็นฉนวนความร้อนกั้นไม่ให้ความร้อนออกสู่ภายนอกระบบ โดยได้ใช้คอนกรีตทนไฟชนิด Castable-13 ของบริษัท ปูนซิเมนต์ไทย จำกัด ซึ่งมีคุณสมบัติต่าง ๆ ดังนี้

maximum service temperature	1300	°C
maximum grain size of aggregates	5	mm.
approximate weight reguired for casting	2010	Kg/m^3
approximate amount of water required for casting	12.5	%
bulk density	2070	Kg/m^3
(after drying at 110 °C)		
modulus of rupture	55-75	Kg/Cm^2
(after drying at 110 °C)		
cold crushing strength	350-450	Kg/Cm^2
(after drying at 110 °C)		
permanent linear change	0.3 to + 1.0	%
(after heating)		
at 1260 °C		
chemical analysis (approximate)		
Silica (SiO_2)	58.8	%
Alumina (Al_2O_3)	28.4	%
Iron Oxide (Fe_2O_3)	4.0	%
classification :	C 401-77	
ASTM designation	Class-B	

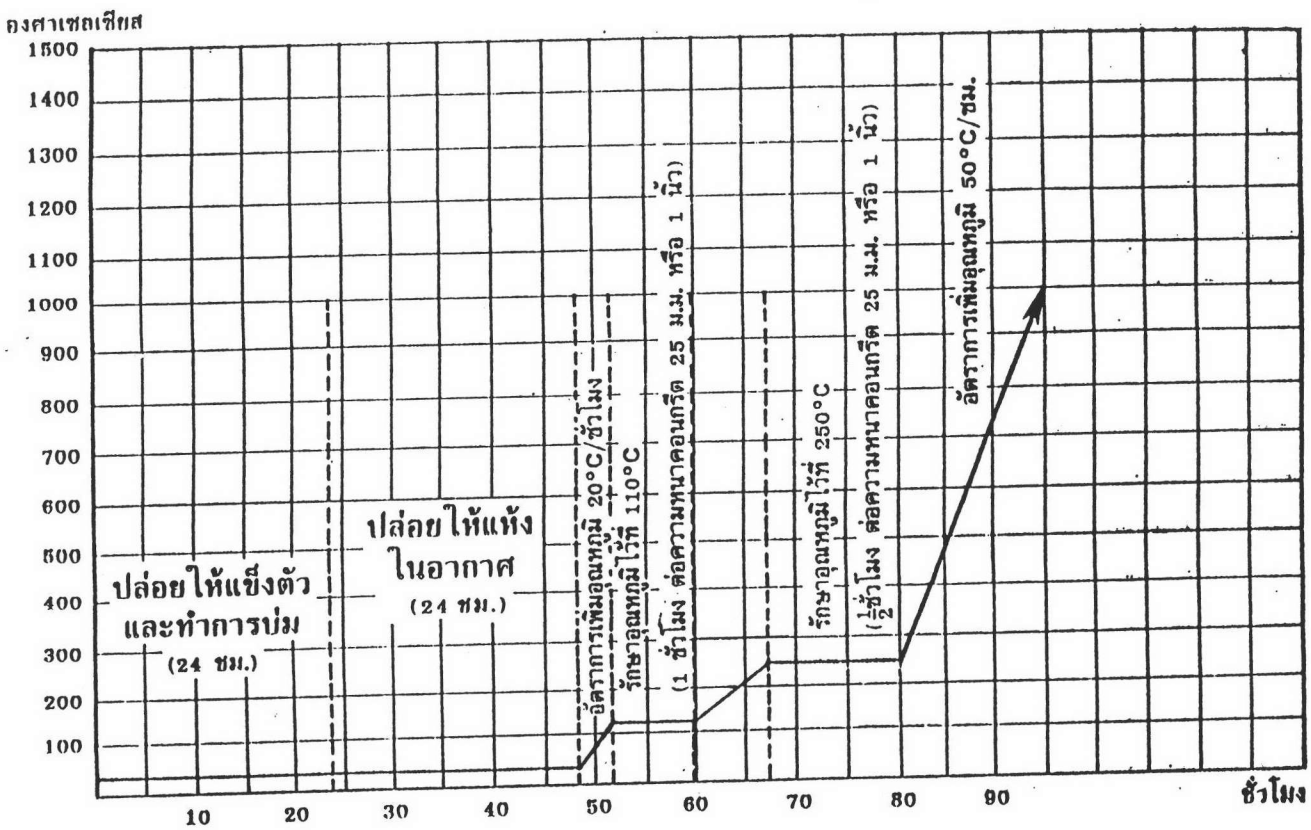
จากคุณสมบัติของคอนกรีตทนไฟ ชนิด Castable-13 สามารถใช้กับงานที่มีอุณหภูมิได้สูงถึง 1300 °C จึงเหมาะที่จะนำมาใช้กับเตาความร้อนที่ประดิษฐ์ขึ้น ท่อคอนกรีตทนไฟที่ประดิษฐ์ขึ้นมีขนาดดังนี้

เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก	15.5	เซนติเมตร
เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน	11.5	เซนติเมตร
ความยาว	12.0	เซนติเมตร

โดยแบบหล่อที่ใช้คือ ท่อพีวีซี (PVC) และในการหล่อคอนกรีตทนไฟ สามารถสรุปเป็นขั้นตอนโดยย่อได้ดังนี้ คือ

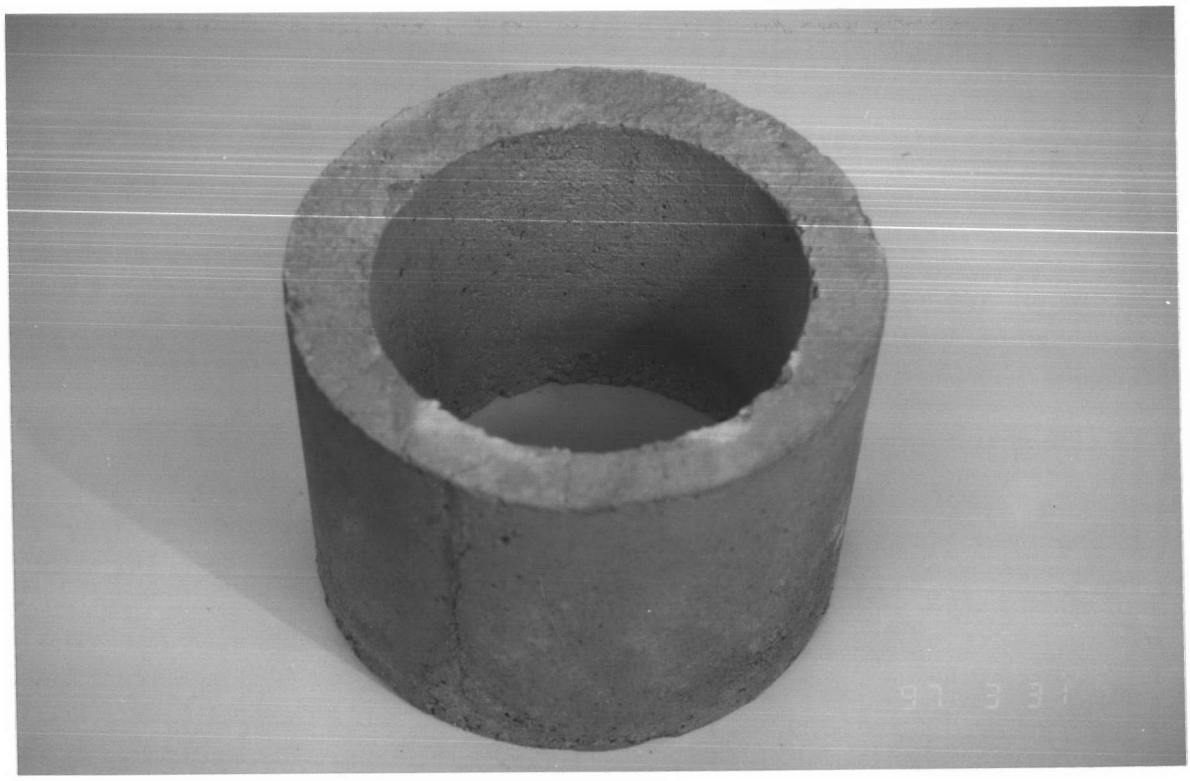
1. การหล่อ ทำการผสมน้ำกับผงคอนกรีตในปริมาณน้ำที่พอเหมาะ เมื่อผสมได้ที่แล้ว เทคอนกรีตลงในแบบหล่อ ที่ได้เตรียมไว้ ทำการเขย่าเพื่อให้เนื้อคอนกรีตแน่น หลังจากหล่อเสร็จ 8 ชั่วโมง จึงทำการถอดแบบออก

2. การบ่มและการจุดไฟอุ่นคอนกรีตทนไฟ เป็นขั้นตอนที่ทำเพื่อไล่น้ำในคอนกรีตออกและเสริมความแข็งแรงของคอนกรีต รูปที่ 4.13 แสดงขั้นตอนที่ต้องทำหลังจากหล่อคอนกรีตทนไฟ



รูปที่ 4.13 ขั้นตอนที่ต้องทำหลังจากหล่อคอนกรีตทนไฟ

รูปที่ 4.14 แสดงท่อคอนกรีตทนไฟที่ได้



รูปที่ 4.14 ท่อคอนกรีตทนไฟ

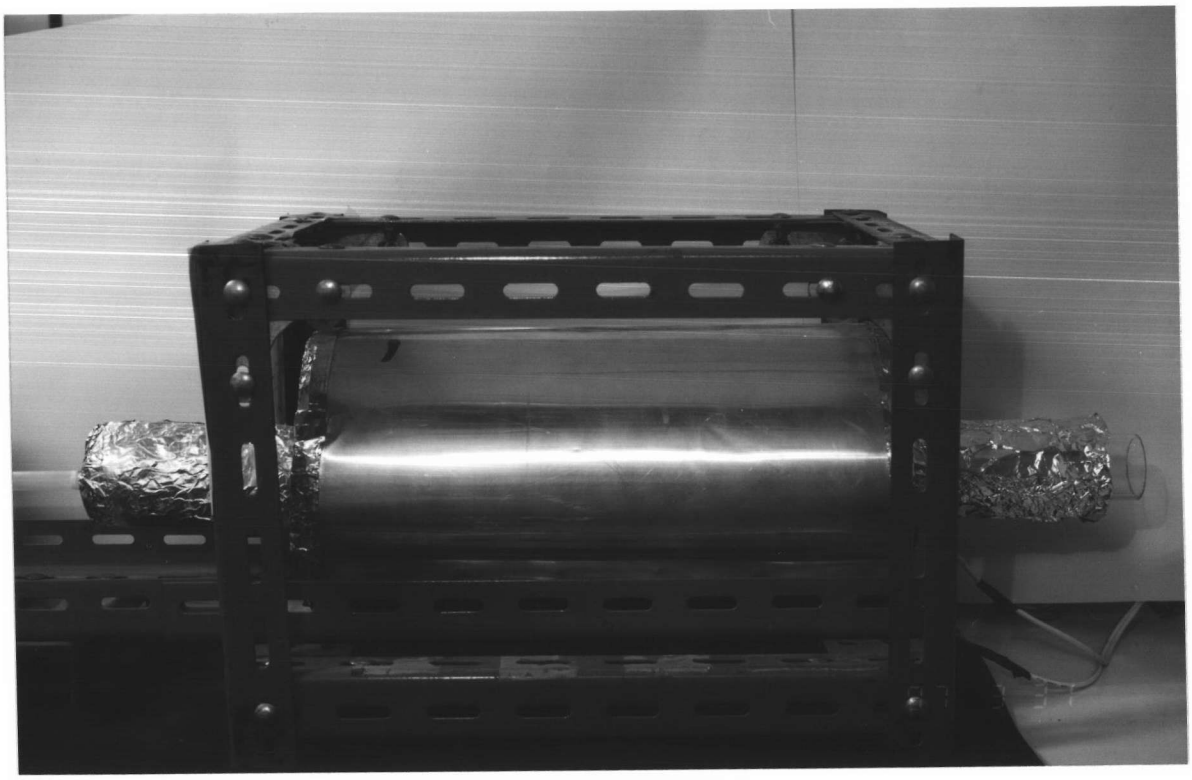
เตาความร้อนที่ประดิษฐ์ขึ้นนี้จะใช้ท่อคอนกรีตทนไฟ 2 ชิ้นต่อกัน โดยที่รอยต่อระหว่างท่อคอนกรีตทนไฟทั้งสองจะถูกเชื่อมโดยใช้ปูนมอร์ต้าหรือปูนทนไฟเพื่อยึดติดกัน และป้องกันความร้อนที่จะออกจากระบบวัดที่รอยต่อระหว่างคอนกรีตทนไฟ

4. ฉนวนความร้อนแบบใยเซรามิก เป็นส่วนที่ทำหน้าที่ป้องกันการสูญเสียความร้อนของระบบออกสู่ภายนอก และเพื่อให้ค่าแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้ตัวจ่ายความร้อนลดลง โดยได้ใช้ฉนวนความร้อนแบบใยเซรามิกติดตั้ง 2 บริเวณ คือ

1. รอบคอนกรีตทนไฟ
2. ปากท่อทั้งสองข้างของเตาความร้อน

หลังจากหุ้มด้วยฉนวนความร้อนใยเซรามิกแล้ว นำแผ่นอลูมิเนียมมาหุ้มเป็นโครงภายนอกของเตาความร้อนอีกชั้นหนึ่ง เพื่อป้องกันการฟุ้งกระจายของฝุ่นใยเซรามิก เมื่อทำการประกอบเสร็จ จะได้เตาความร้อนดังรูปที่ 4.15 และทำการทดสอบเตาความร้อนที่ประดิษฐ์ขึ้น ได้ผลการทดลอง ดังนี้

แรงดันไฟฟ้ากระแสสลับที่จ่ายให้แก่เตาความร้อน	210	โวลท์
กระแสไฟฟ้าที่ได้	0.85	แอมแปร์
อุณหภูมิกลางเตาความร้อน	600	°C
อุณหภูมิปลายท่อควอทซ์	61	°C
อุณหภูมิภายนอกระบบที่โครงอลูมิเนียม	51	°C



รูปที่ 4.15 เตาความร้อนที่ประกอบเสร็จ

ในการใช้งานจริงได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.2

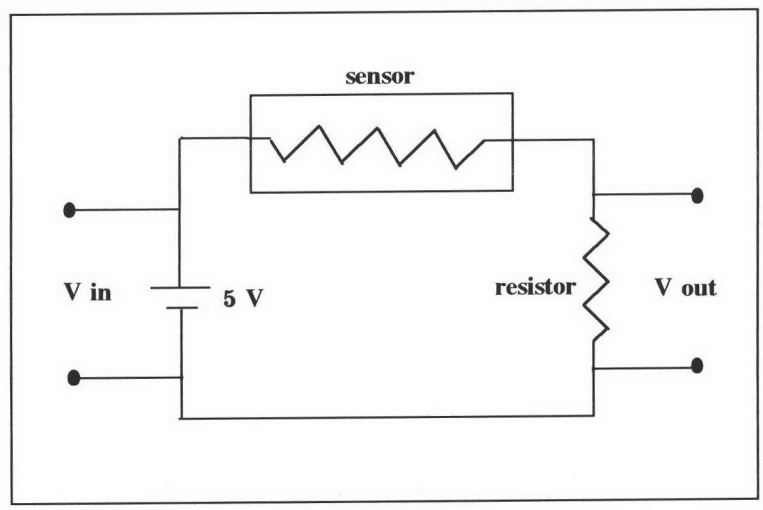
ตารางที่ 4.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับเตาความร้อน

อุณหภูมิที่ต้องการ (° C)	แรงดันไฟฟ้ากระแสสลับที่ต้องจ่าย (โวลท์)
100	70
200	105
300	135
400	155
500	185
600	210

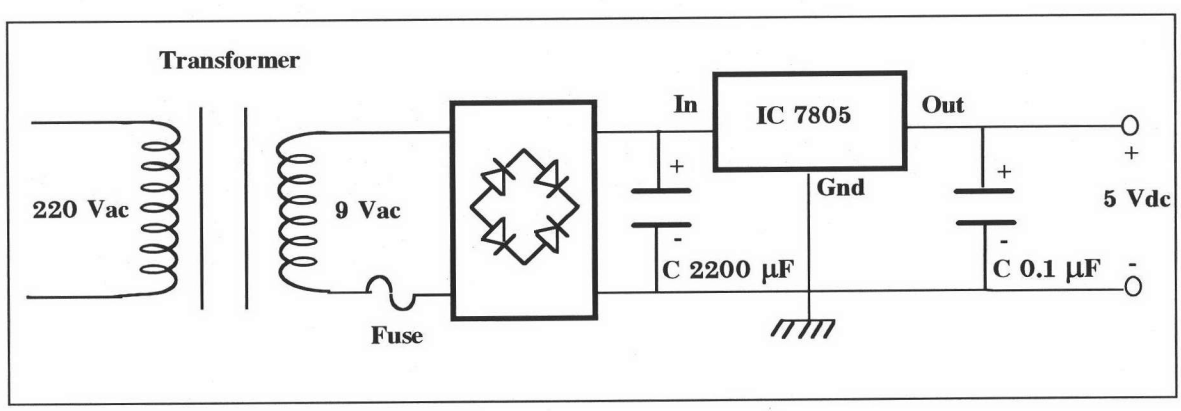
ระบบควบคุมอุณหภูมิของเตาความร้อน วงจรวัดและวงจรขยาย

เครื่องที่ใช้ในการควบคุมอุณหภูมิของเตาความร้อน คือ เครื่องควบคุมอุณหภูมิของบริษัทโอมรอน (Omron) รุ่น E5CS - RKJ ซึ่งสามารถควบคุมอุณหภูมิได้ในช่วง 0 ถึง 999 °C ซึ่งสูงกว่าเครื่องที่ใช้ควบคุมอุณหภูมิที่หัวฉีดก๊าซ และได้ใช้เทอร์โมคัปเปิลแบบ K เป็นตัววัดอุณหภูมิ

ระบบวัดที่ใช้สามารถทำการวัดหัววัดก๊าซได้ 6 ตัวพร้อมกัน โดยมีวงจรวัดของแต่ละหัววัดก๊าซดังรูปที่ 4.16 วงจรวัดประกอบด้วยแหล่งจ่ายไฟต่อกับหัววัดก๊าซ และตัวต้านทานอีกหนึ่งตัวในลักษณะวงจรแบ่งแรงดัน โดยในวงจรวัดใช้แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงขนาด 5 โวลท์ ซึ่งมาจากป้อนแรงดันกระแสสลับ 220 โวลท์ ผ่านวงจรคงค่าแรงดันก่อนเข้าวงจรวัด รูปที่ 4.17 แสดงวงจรคงค่าแรงดันที่ 5 โวลท์ และการวัดผลตอบสนองทำได้โดยวัดแรงดันที่ตกคร่อมตัวต้านทานที่ต่ออนุกรมอยู่กับหัววัดก๊าซ เครื่องควบคุมอุณหภูมิของเตาความร้อนและวงจรวัด ถูกบรรจุอยู่ในเครื่องเดียวกัน



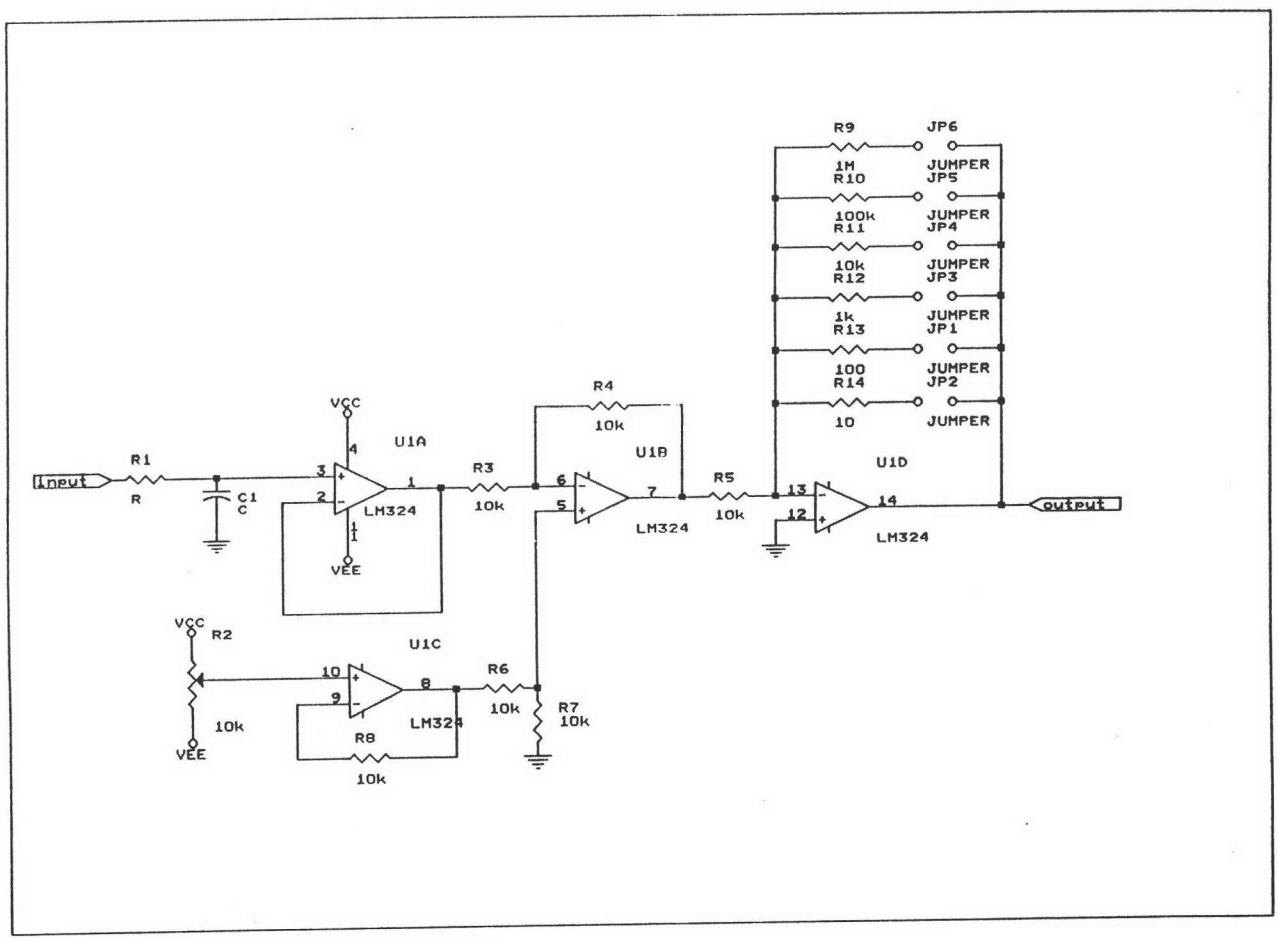
รูปที่ 4.16 วงจรวัด



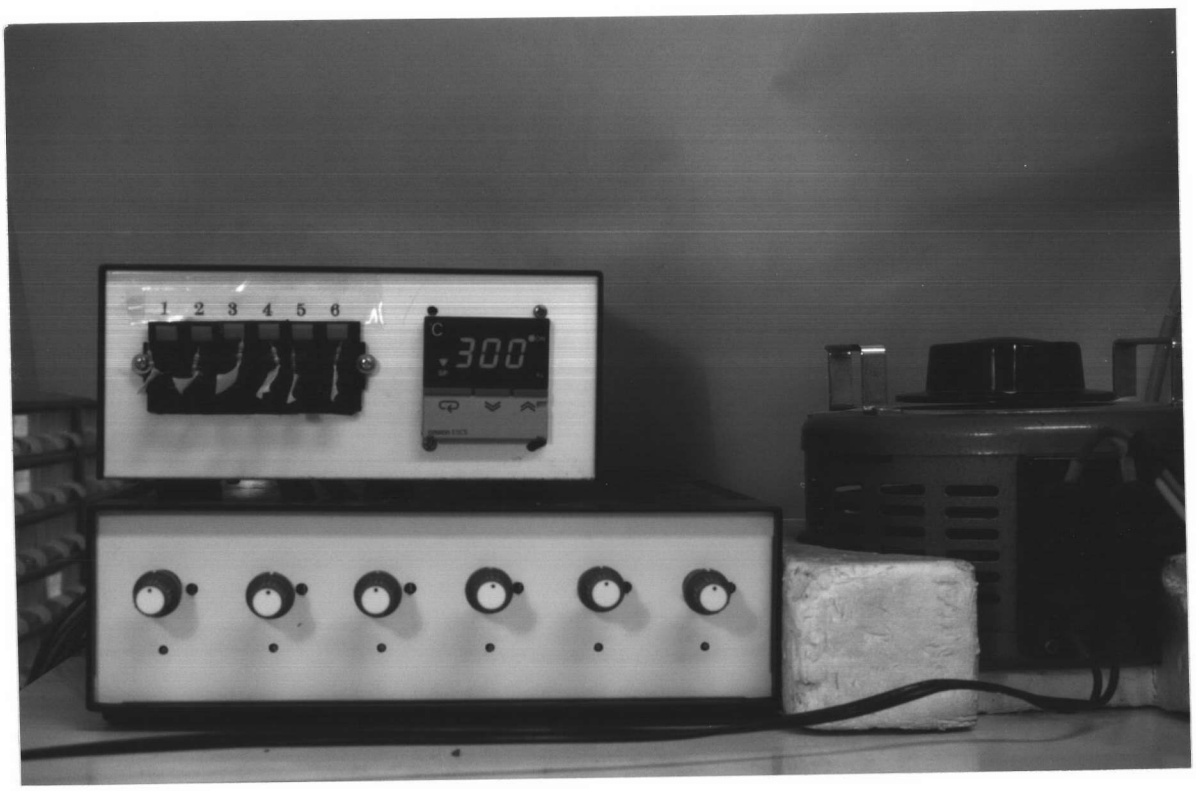
รูปที่ 4.17 วงจรจ่ายแรงดันคงที่ 5 โวลท์

สัญญาณแรงดันที่ได้จากวงจรวัดจะถูกต่อไปยังวงจรขยายโดยมีลักษณะวงจรดังรูปที่ 4.18 ซึ่งวงจรขยายจะทำหน้าที่กรองสัญญาณรบกวนออกจากสัญญาณจริง และปรับอัตราขยายของสัญญาณในกรณีที่สัญญาณที่ได้มีค่าสูงหรือต่ำเกินไป และรูปที่ 4.19 แสดงเครื่องควบคุมอุณหภูมิเตาความร้อนและวงจรวัด(ซ้ายบน) เครื่องขยายสัญญาณ(ซ้ายล่าง) และแหล่งจ่ายแรงดัน (ขวา)

สัญญาณแรงดันที่ได้จากวงจรวัดและผ่านวงจรขยายแล้ว จะถูกนำไปต่อเข้ากับเครื่องคอมพิวเตอร์ เพื่อแสดงผลของการวัดที่เกิดขึ้น โดยผ่านการ์ดแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอล (A/D Card)



รูปที่ 4.18 วงจรขยาย



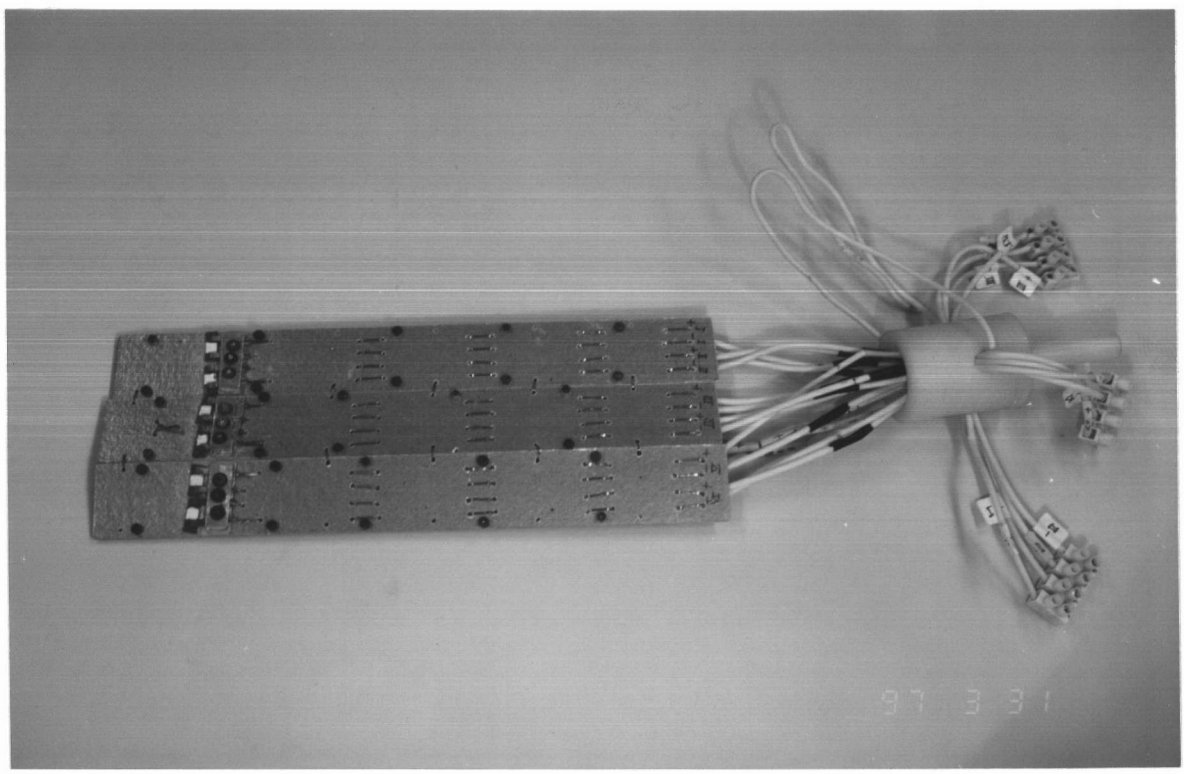
รูปที่ 4.19 เครื่องควบคุมอุณหภูมิเตาความร้อนและวงจรวัด(ซ้ายบน)
เครื่องขยายสัญญาณ(ซ้ายล่าง) และแหล่งจ่ายแรงดัน(ขวา)

แกนฐานหัววัดก๊าซ

มีหน้าที่หลัก ๆ คือ

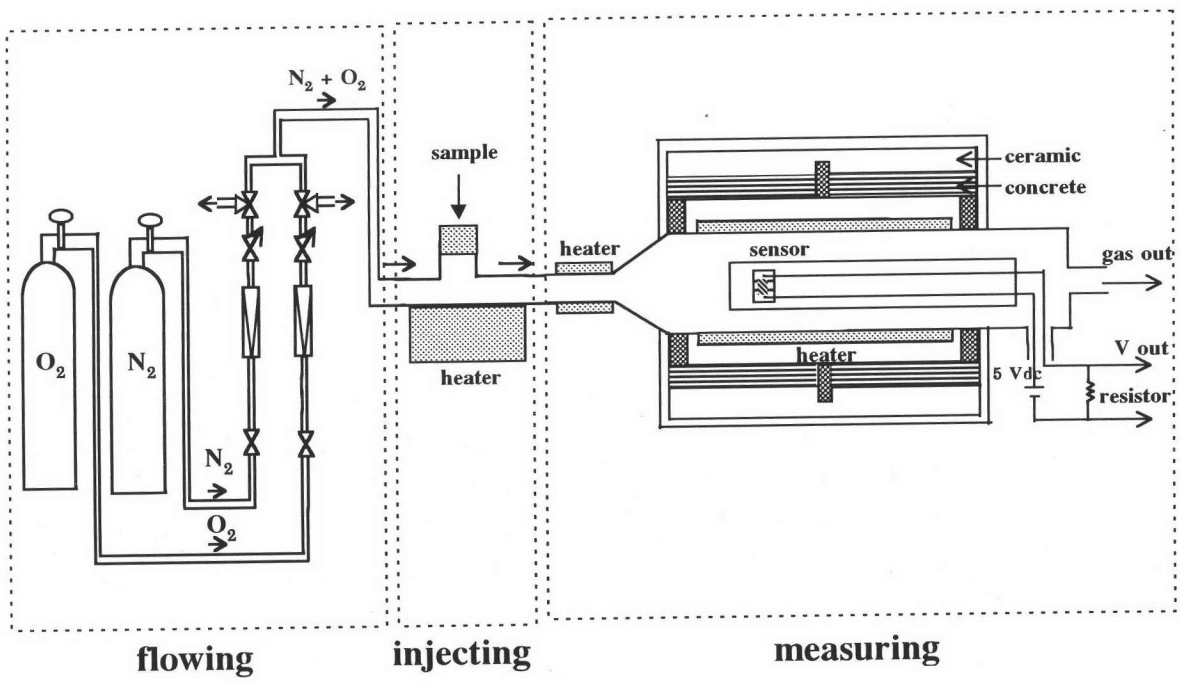
1. เป็นฐานวางหัววัดก๊าซ
2. เป็นฐานยึดคอนแทคส์ (contacts) ซึ่งทำหน้าที่วัดความต้านทานของหัววัดก๊าซ
3. เป็นทางเดินของสายนำสัญญาณจากคอนแทคส์ เนื่องจากสายนำสัญญาณอยู่ภายในเตาความร้อน จึงต้องสามารถทนความร้อนได้สูง ดังนั้น จึงใช้ลวดความร้อนทำหน้าที่เป็นสายนำสัญญาณ
4. เป็นที่ติดตั้งเทอร์โมคัปเปิล ซึ่งทำการวัดอุณหภูมิภายในเตาความร้อนและส่งไปยังระบบควบคุมอุณหภูมิของเตาความร้อนต่อไป

แกนฐานหัววัดก๊าซได้ใช้แผ่นไมก้าเป็นแกน เนื่องจากต้องทนอุณหภูมิที่สูงภายในเตาความร้อน แกนฐานประกอบด้วย 3 ส่วน ซึ่งแต่ละส่วนมีขนาด 3 x 24.5 ตารางเซนติเมตร โดยในการใช้งานจะประกอบ 3 ส่วน ให้อยู่ในลักษณะสามเหลี่ยมทรงสูง และใส่เข้าไปในท่อแก้วควอทซ์ ซึ่งวางอยู่กลางเตา นอกจากนี้แล้วที่ปลายของแกนฐานหัววัดก๊าซยังมีจุกปิดปากทางออกของท่อแก้วควอทซ์ ซึ่งทำจากวัสดุเทฟลอน (teflon) และที่จุกเทฟลอนมีช่อง 3 ช่อง ซึ่งเป็นทางออกของสายนำสัญญาณและสายเทอร์โมคัปเปิลไปยังเครื่องควบคุมอุณหภูมิของเตาความร้อนและวงจรวัด เพื่อป้องกันการลัดวงจรซึ่งเกิดจากสัมผัสกันระหว่างสายนำสัญญาณจึงได้ใส่ท่อฉนวนไฟฟ้าในแต่ละสายนำสัญญาณรวมทั้งสายเทอร์โมคัปเปิลด้วย แต่ที่กลางเตาความร้อนสายเทอร์โมคัปเปิลจะใช้ท่อเซรามิกเป็นฉนวนไฟฟ้า เนื่องจากต้องสามารถทนได้ที่อุณหภูมิสูง เมื่อประกอบแกนฐานหัววัดก๊าซเสร็จจะได้ดังรูปที่ 4.20



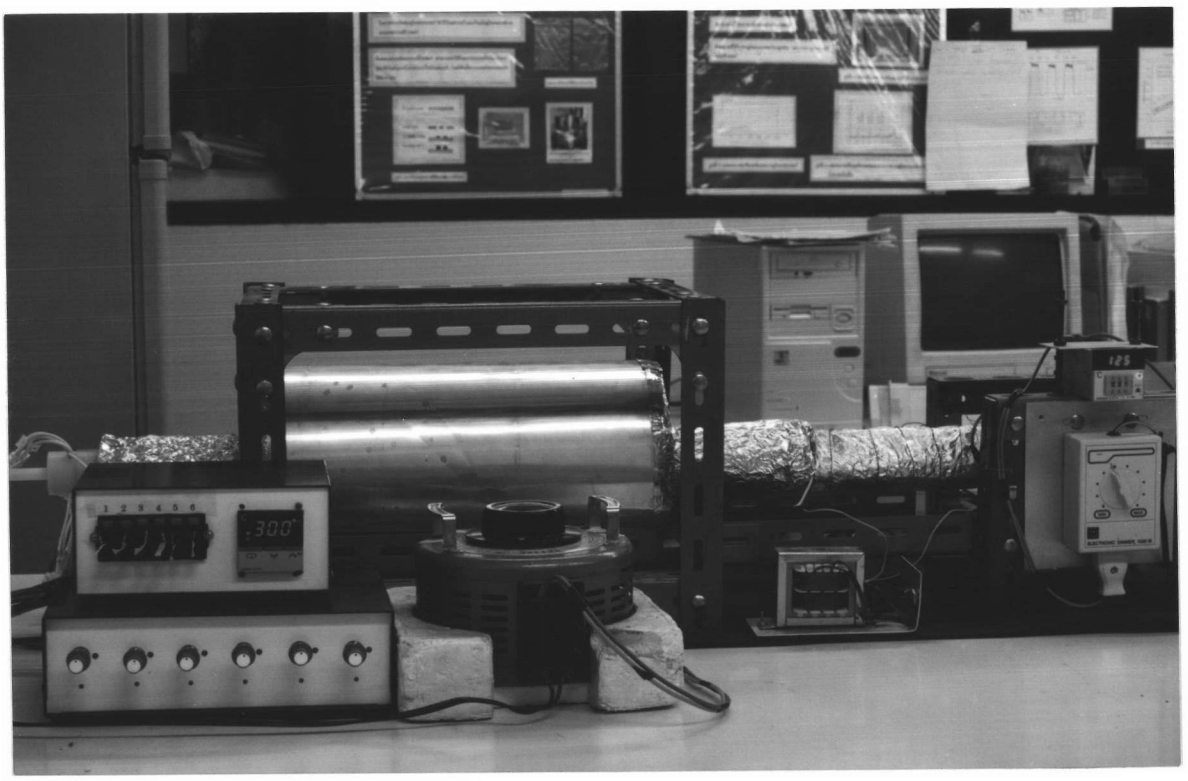
รูปที่ 4.20 แกนฐานหัววัดก๊าซ

จากระบบต่าง ๆ ในระบบวัดก๊าซ สามารถแสดงระบบรวมได้ดังนี้คือ



รูปที่ 4.21 โครงสร้างระบบวัดก๊าซรวม

รูปที่ 4.22 ก และ 4.22 ข แสดงระบบวัดก๊าซรวมที่ได้ประดิษฐ์ขึ้น



(ก)

(ข)

รูปที่ 4.22 ระบบวัดก๊าซรวมที่ประดิษฐ์ขึ้น

ผลการทดสอบระบบวัด

การตอบสนองของหัววัดก๊าซจะขึ้นกับการตั้งเงื่อนไขของระบบวัดก๊าซ และวิธีการทดลอง เช่น การปรับค่าความเร็วของก๊าซพาห์ ปริมาตรสารตัวอย่างที่ใช้ เป็นต้น

ผลของความเร็วก๊าซพาห์และปริมาณสารตัวอย่างต่อการตอบสนองของหัววัดก๊าซ

ได้ทำการทดลองศึกษาผลของความเร็วก๊าซพาห์และปริมาตรสารตัวอย่าง ต่อการตอบสนองของหัววัดก๊าซ ตารางที่ 4.3 และรูปที่ 4.23 แสดงผลของความเร็วก๊าซพาห์และปริมาตรสารตัวอย่าง ต่อความไวในการตอบสนองของหัววัดก๊าซชนิดดีบุกออกไซด์ที่เผาที่อุณหภูมิ 300 °C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ตารางที่ 4.4 และ รูปที่ 4.24 แสดงผลของความเร็วก๊าซพาห์และปริมาตรสารตัวอย่างต่อเวลาคืนตัวของหัววัดก๊าซชนิดดีบุกออกไซด์ที่เผาที่อุณหภูมิ 300 °C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง

จากผลการทดลองสามารถสรุปได้ว่า

1. ความเร็วก๊าซพาห์ มีผลต่อค่าความไวในการตอบสนองของหัววัดก๊าซที่ประดิษฐ์ขึ้น คือ ที่ความเร็วก๊าซพาห์สูงทำให้ค่าความไวในการตอบสนองของหัววัดก๊าซสูงขึ้นตาม

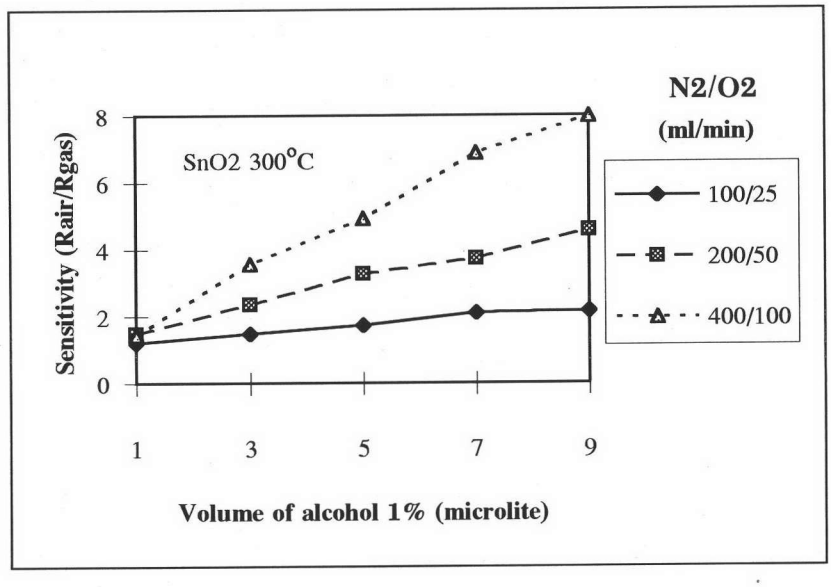
2. ปริมาตรสารตัวอย่าง ไม่มีผลต่อค่าความไวในการตอบสนองของหัววัดก๊าซที่ความเร็วก๊าซพาห์ (ไนโตรเจน/ออกซิเจน) 100/25 มิลลิลิตร/นาที และจะมีผลต่อค่าความไวในการตอบสนองของหัววัดก๊าซ ที่ความเร็วก๊าซพาห์ (ไนโตรเจน/ออกซิเจน) 200/50 และ 400/100 มิลลิลิตร/นาที

3. ความเร็วก๊าซพาห์ มีผลต่อเวลาคืนตัวของหัววัดก๊าซที่ประดิษฐ์ขึ้น คือ ที่ความเร็วก๊าซพาห์สูงทำให้เวลาคืนตัวของหัววัดก๊าซเร็วขึ้น

4. ปริมาตรสารตัวอย่าง ไม่มีผลต่อเวลาคืนตัวของหัววัดก๊าซที่ความเร็วก๊าซพาห์ (ไนโตรเจน/ออกซิเจน) 200/50 และ 400/100 มิลลิลิตร/นาที แต่จะมีผลต่อเวลาคืนตัวของหัววัดก๊าซที่ความเร็วก๊าซพาห์ (ไนโตรเจน/ออกซิเจน) 100/25 มิลลิลิตร/นาที คือ ใช้ปริมาตรสารตัวอย่างมากขึ้น ทำให้เวลาคืนตัวของหัววัดก๊าซมากขึ้นตาม

ตารางที่ 4.3 แสดงผลของความเร็วก๊าซพาห์และปริมาณสารตัวอย่าง ต่อความไวในการตอบสนองของหัววัดก๊าซดีบุกออกไซด์ที่เผาที่อุณหภูมิ 300 °C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง

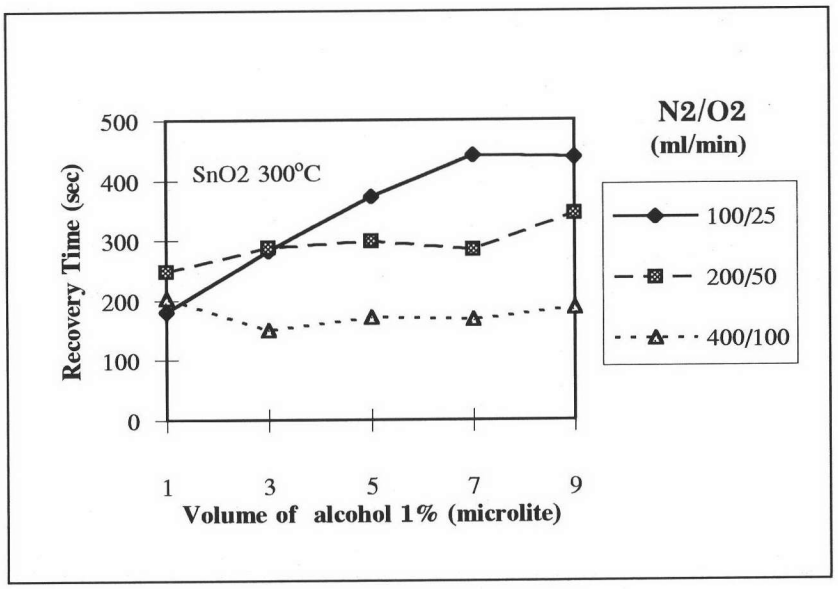
ความไวในการตอบสนองของหัววัดก๊าซชนิดดีบุกออกไซด์ ที่เผาที่อุณหภูมิ 300 °C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง			
ปริมาณสารตัวอย่าง (ไมโครลิตร)	ความเร็วก๊าซพาห์ ไนโตรเจน/ออกซิเจน (ม.ล./นาที)		
	100/25	200/50	400/100
1	1.22	1.47	1.44
3	1.49	2.34	3.56
5	1.74	3.28	4.92
7	2.10	3.72	6.88
9	2.15	4.57	7.98



รูปที่ 4.23 ผลของความเร็วก๊าซพาห์และปริมาณสารตัวอย่างต่อความไวในการตอบสนองของหัววัดก๊าซดีบุกออกไซด์ที่เผาที่อุณหภูมิ 300 °C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง

ตารางที่ 4.4 ผลของความเร็วก๊าซพาห์และปริมาณสารตัวอย่างต่อเวลาคืนตัวของหัววัดก๊าซดีบุกออกไซด์ที่เผาที่อุณหภูมิ 300 °C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง

เวลาคืนตัวของหัววัดก๊าซชนิดดีบุกออกไซด์ ที่เผาที่อุณหภูมิ 300 °C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง			
ปริมาณสารตัวอย่าง (ไมโครลิตร)	ความเร็วก๊าซพาห์ ไนโตรเจน/ออกซิเจน (ม.ล./นาที)		
	100/25	200/50	400/100
1	181	248	204
3	283	288	150
5	373	298	171
7	442	284	168
9	439	344	188



รูปที่ 4.24 ผลของความเร็วก๊าซพาห์และปริมาณสารตัวอย่างต่อเวลาคืนตัวของหัววัดก๊าซดีบุกออกไซด์ที่เผาที่อุณหภูมิ 300 °C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง