



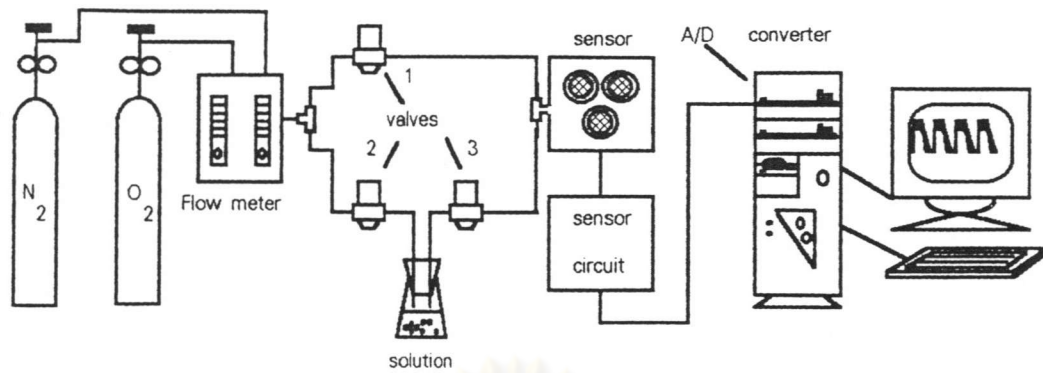
### บทที่ 3

#### การสร้างระบบตรวจวัดก๊าซ

ในบทนี้จะกล่าวถึงการจัดหาอุปกรณ์และสร้างระบบสำหรับการตรวจวัดก๊าซ ซึ่งเป็นระบบไฮดรอเฮด (Head space) ระบบที่สร้างขึ้นเพื่อจะนำมาประยุกต์ใช้ในการตรวจวัดก๊าซเพื่อให้ได้ข้อมูลมาใช้ร่วมกับระบบนิวตรอนเน็ตเวอร์ก

#### การจัดสร้างระบบตรวจวัดก๊าซ

ระบบที่สร้างขึ้นสำหรับวัดสารเป็นระบบให้ก๊าซผ่านไปทางด้านบนของสารละลายสารตัวอย่าง (Head space) ดังแสดงในรูปที่ 3.1 ซึ่งมีหลักการทำงานดังนี้คือ ก๊าซออกซิเจนและก๊าซไนโตรเจนใช้เป็นก๊าซพาหะจะถูกควบคุมความดันด้วยวาล์วปรับความดัน (pressure regulator) จากนั้นก๊าซทั้งสองชนิดจะถูกควบคุมอัตราการไหลและอ่านค่าได้จากโฟลว์มิเตอร์ ซึ่งอัตราส่วนระหว่างก๊าซสองชนิดจะอ่านได้จากมาตรวัดอัตราการไหลของก๊าซแต่ละชนิด ก๊าซที่ถูกควบคุมอัตราส่วนจะผสมกันแล้วจะไหลเข้าไปในเซลล์ไหลผ่าน (flow cell) ซึ่งมีหัวตรวจวัดก๊าซอยู่ 3 หัว โดยผ่านโซลินอยด์วาล์วตัวที่ 1 (โซลินอยด์วาล์วทุกตัวจะถูกควบคุมการปิด-เปิดโดยซอฟต์แวร์ซึ่งผ่านทางพอร์ตเอาต์พุตของวงจรแปลงสัญญาณจากคอมพิวเตอร์) ในขณะที่โซลินอยด์วาล์วตัวที่ 2 และ 3 ปิดอยู่ เมื่อต้องการวัดก๊าซจะทำการเปิดโซลินอยด์วาล์วตัวที่ 2 และ 3 ซึ่งก๊าซพาหะจะพาไฮดรอเฮดของสารตัวอย่างเข้าไปยังเซลล์ไหลผ่าน (flow cell) ค่าความนำไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นตามชนิดและความเข้มข้นของสารตัวอย่าง หลังจากนั้นจะเปิดโซลินอยด์วาล์วตัวที่ 1 เพื่อให้ก๊าซไหลผ่านและปิดโซลินอยด์วาล์วตัวที่ 2 และ 3 สัญญาณที่วัดได้จะเป็นสัญญาณแอนาลอก ซึ่งถูกแปลงเป็นสัญญาณดิจิตอลโดยวงจรแปลงสัญญาณและข้อมูลที่วัดได้จะถูกเก็บไว้เป็นไฟล์ข้อมูลเพื่อจะนำเข้าสู่ระบบนิวตรอนเน็ตเวอร์กต่อไป

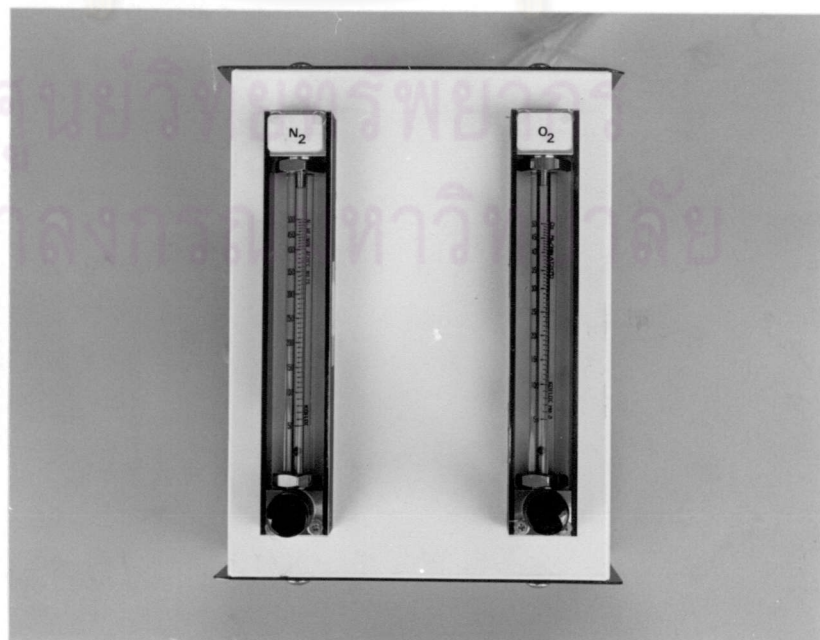


รูปที่ 3.1 ระบบที่สร้างขึ้นสำหรับการตรวจวัดก๊าซ

ส่วนประกอบของระบบตรวจวัดก๊าซมีดังต่อไปนี้

#### 1. ก๊าซพาร์

ก๊าซพาร์ของระบบจะประกอบด้วย ก๊าซออกซิเจนและก๊าซไนโตรเจน โดยก๊าซแต่ละชนิดจะถูกควบคุมอัตราการไหลด้วยฟลว์มิเตอร์ (flow meter) โดยการปรับอัตราการไหลด้วย นีดเดิลวาล์ว ( needle valve ) และอ่านค่าได้จากมาตรวัดอัตราการไหลซึ่งมีหน่วยเป็นมิลลิลิตรต่อนาที ( ml / min ) ฟลว์มิเตอร์ของก๊าซทั้ง 2 ชนิด จะถูกติดตั้งภายในกล่องเดียวกัน ดังรูปที่ 3.2 และข้อมูลของก๊าซออกซิเจนและก๊าซไนโตรเจนแสดงในตารางที่ 3.1



รูปที่ 3.2 ฟลว์มิเตอร์ที่ใช้ควบคุมอัตราการไหลของก๊าซพาร์

ตารางที่ 3.1 ข้อมูลของก๊าซออกซิเจนและก๊าซไนโตรเจนที่ใช้เป็นก๊าซพาห้

ก๊าซ	ความบริสุทธิ์	ก๊าซเฉื่อยปน	บริษัทผู้ผลิต
ออกซิเจน	99.5%	ความชื้น < 100 ppm	ไทยอินดัสเตรียลก๊าซ
ไนโตรเจน	99.5%	ความชื้น < 100 ppm ออกซิเจน < 0.3 %	ไทยอินดัสเตรียลก๊าซ

## 2. โซลินอยด์วาล์วและวงจรควบคุมการปิด-เปิด

โซลินอยด์วาล์วใช้เป็นตัวควบคุมการปิด-เปิดก๊าซที่ไหลไปยังโพลีเซลล์ซึ่งในระบบที่สร้างขึ้นจะประกอบด้วยโซลินอยด์วาล์วทั้งหมด 3 ตัว จะแบ่งการทำงานออกเป็น 2 ขั้นตอนด้วยกัน คือ

### 1. ขั้นตอนก่อนและหลังการวัด

โซลินอยด์วาล์วตัวที่ 1 จะเปิดในขณะที่โซลินอยด์วาล์วตัวที่ 2 และโซลินอยด์วาล์วตัวที่ 3 ปิด เพื่อให้ก๊าซพาห้ไหลผ่านไปยังโพลีเซลล์โดยตรง เพื่อให้ค่าความนำไฟฟ้าของหัวตรวจวัดก๊าซลดลงเป็นค่าความนำไฟฟ้าพื้นหลัง(background conductance)

### 2. ขั้นตอนการวัด

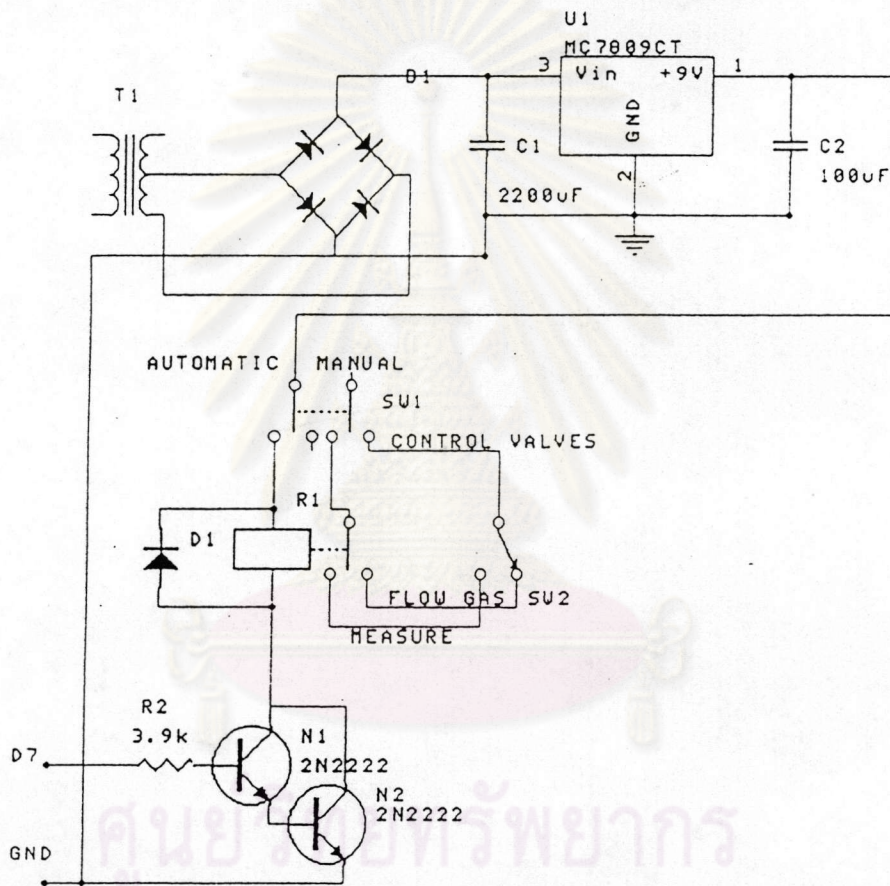
โซลินอยด์วาล์วตัวที่ 2 และ 3 จะเปิดในขณะที่โซลินอยด์วาล์วตัวที่ 1 ปิด เพื่อให้ก๊าซพาห้ไหลผ่านไปยังบีกเกอร์ซึ่งใส่สารตัวอย่างที่ต้องการวัดอยู่ ก๊าซพาห้จะพาไอระเหยของสารตัวอย่างผ่านไปยังโพลีเซลล์

ข้อมูลของโซลินอยด์วาล์วแสดงในตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 ข้อมูลของโซลินอยด์วาล์ว

รายละเอียด	คุณสมบัติ
แหล่งจ่ายไฟ (V)	AC 220 V
สถานะภาพขณะไม่มีไฟเลี้ยง	ปิด
สารส่งผ่าน	อากาศ, น้ำ, น้ำมัน(ต่ำกว่า 50 cst)
ความดันในการทำงาน $\text{kgf/cm}^2$ (kPa)	0 ถึง 15 (0 ถึง 1500)
ความดันต้านทาน $\text{kgf/cm}^2$ (kPa)	30 (3000)
อุณหภูมิของเหลว	-10 ถึง 40 องศาเซลเซียส
อุณหภูมิสภาพแวดล้อม	-20 ถึง 50 องศาเซลเซียส
วัสดุที่แนะนำให้ทำโซลินอยด์วาล์ว	อัลลูมิเนียม
ขนาดของท่อเชื่อมต่อ	PT(1/8)

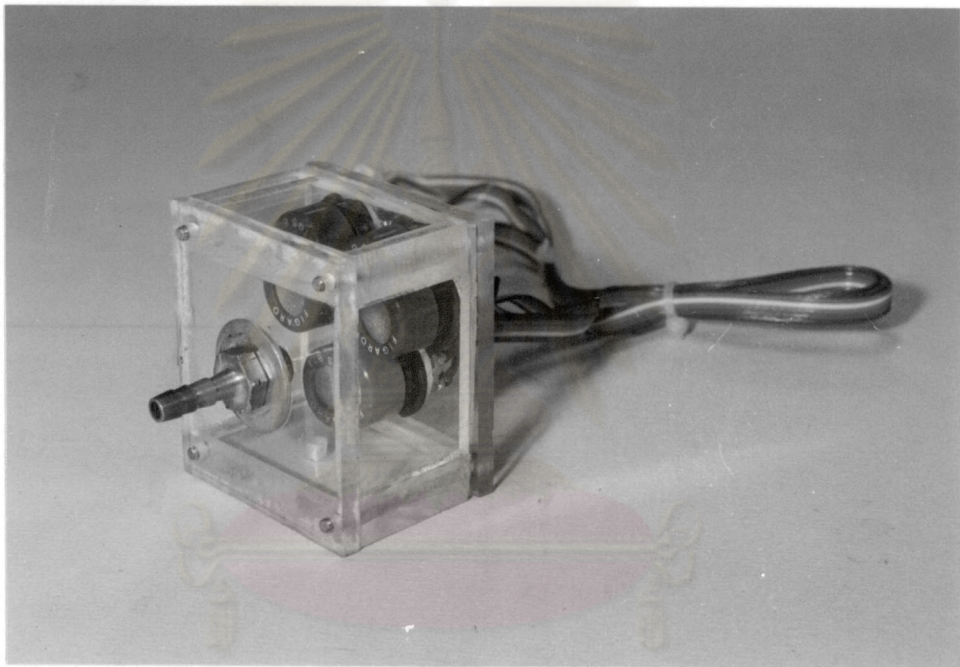
เนื่องจากระบบที่สร้างจะต้องมีความแม่นยำในการวัด ดังนั้นเพื่อป้องกันไม่ให้ข้อมูลที่จะนำเข้าระบบนิรลเน็ตเวิร์กเพื่อการเรียนรู้และการทดสอบผิดพลาด จึงได้ออกแบบให้โซลินอยด์วาล์วปิด-เปิดเองด้วยระบบอัตโนมัติ กล่าวคือ โซลินอยด์วาล์วทุกตัวจะถูกควบคุมการปิด-เปิดโดยซอฟต์แวร์ผ่านทางวงจรแปลงสัญญาณจากแอนาลอกเป็นดิจิตอล จากพอร์ตเอาท์พุท (CON1) 8 บิต ดิจิตอล BASE+8 ขา 8 (D7 +5 V) และ10 (GND) ไปยังวงจรควบคุมโซลินอยด์วาล์ว ดังรูป ที่ 3.3



รูปที่ 3.3 วงจรควบคุมการปิด-เปิด ของโซลินอยด์วาล์ว

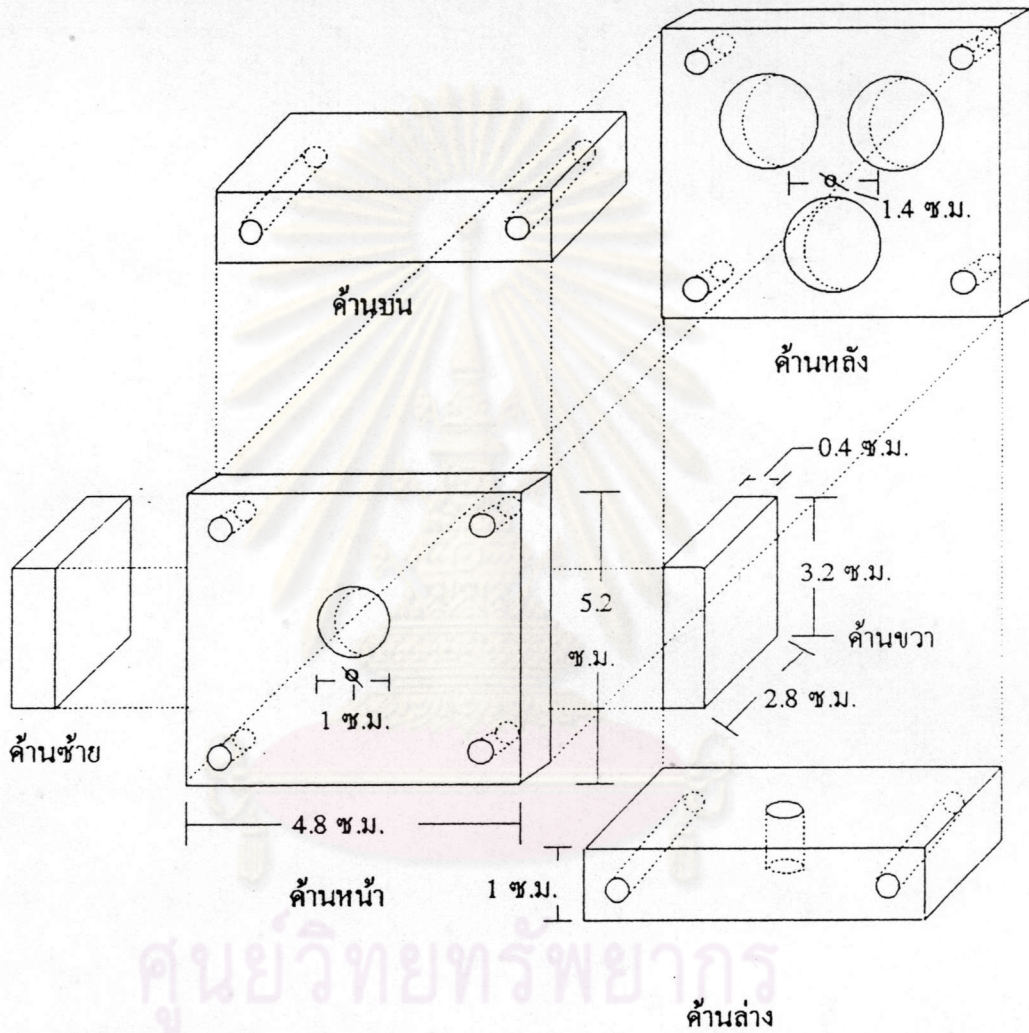
### 3. โฟล์วเชล

โฟล์วเชลเป็นส่วนที่หัวตรวจวัดก๊าซทั้ง 3 ตัว ติดตั้งอยู่ ดังนั้นโฟล์วเชลจึงเป็นส่วนประกอบที่สำคัญที่สุดในระบบตรวจวัดก๊าซ และเพื่อความแม่นยำในการวัดสารตัวอย่าง ระบบควรมีอุณหภูมิและความดันอากาศคงที่ ดังนั้นจึงได้ออกแบบโฟล์วเชลให้เป็นระบบปิดโดยใช้พลาสติกอะครีลิกในการจัดทำเมื่อประกอบเสร็จเรียบร้อยโฟล์วเชลจะมีปริมาตรภายในเท่ากับ 36 ลูกบาศก์เซนติเมตร ดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 โฟล์วเชลหลังจากติดตั้งหัวตรวจวัดก๊าซ

ศูนย์วิจัยมลพิษทางอากาศ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.5 โครงสร้างของฟิล์วเซด

#### 4. หัวตรวจวัดก๊าซและวงจรวัดสัญญาณ

หัวตรวจวัดก๊าซที่ใช้ทั้งสามตัวทำขึ้นจากสารกึ่งตัวนำของดีบุกออกไซด์( $\text{SnO}_2$ )แบบเซรามิก(ceramic) ของบริษัท Figaro Engineering ดังรูปที่ 3.6 ประกอบด้วย TGS-800 , TGS-813 , TGS-822 หัวตรวจวัดก๊าซทั้งสามตัวจะมีหลักการทำงานในลักษณะเดียวกัน(ดูรายละเอียดในตารางที่ 3.3) กล่าวคือ หัวตรวจวัดก๊าซจะตอบสนองเมื่อมีไอระเหยของสารตัวอย่างเข้าสู่ระบบ โดยสามารถวัดได้จากการวัดการเปลี่ยนแปลงความต้านทานของหัวตรวจวัดก๊าซ การเปลี่ยนแปลงความต้านทานเกิดจากเมื่อกระแสไฟฟ้าไหลผ่านหัวตรวจวัดก๊าซซึ่งเป็นผลึกดีบุกออกไซด์( $\text{SnO}_2$ )จะถูกทำให้ร้อนที่อุณหภูมิสูงคงที่ โมเลกุลของออกซิเจนในก๊าซพาห้จะถูกดูดซับ(adsorbed) ที่บริเวณผิวหน้าของผลึกดีบุกออกไซด์ ดังแสดงในสมการที่ 3.1 (Figaro gas sensor, Figaro engineering Inc., 1993) ทำให้บริเวณผิวหน้าของผลึกดีบุกออกไซด์เปลี่ยนแปลงเป็น  $\text{O}_2^{\text{ad}}$  ที่ง่ายต่อการทำปฏิกิริยากับก๊าซที่เป็นตัวรีดิวซ์( deoxidizing gas) ซึ่งในที่นี้คือสารตัวอย่าง  $\text{O}_2^{\text{ad}}$  ที่เกิดขึ้นจะเปรียบเสมือนกำแพงพลังงานศักย์ของอิเล็กทรอนิกส์(potential barrier) ที่จะต้านการเคลื่อนที่ของอิเล็กทรอนิกส์ ถ้าในขณะที่มีก๊าซที่เป็นตัวรีดิวซ์อยู่บริเวณผิวหน้าของผลึกดีบุกออกไซด์ ก็จะเป็นผลให้  $\text{O}_2^{\text{ad}}$  ถูกแทนที่ด้วยโมเลกุลของก๊าซ ทำให้กำแพงพลังงานศักย์ลดลงดังรูปที่ 3.7 ซึ่งจะทำให้ค่าความต้านทานของหัวตรวจวัดก๊าซลดลง ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานของหัวตรวจวัดก๊าซและความเข้มข้นของก๊าซที่เป็นตัวรีดิวซ์แสดงได้ดังสมการที่ 3.2 (Figaro gas sensor, Figaro engineering Inc., 1993) กล่าวคือ ความเข้มข้นของก๊าซที่เป็นตัวรีดิวซ์เพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าความต้านทานของหัวตรวจวัดก๊าซลดลง



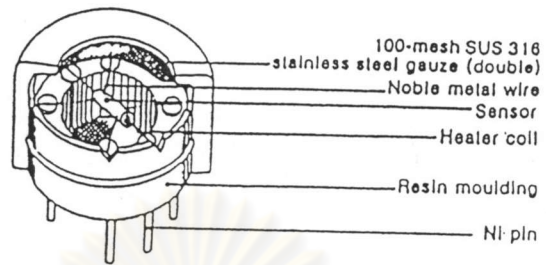
$$R = A [C]^{-\alpha} \quad (3.2)$$

เมื่อ  $R$  = ค่าความต้านทานของหัวตรวจวัด

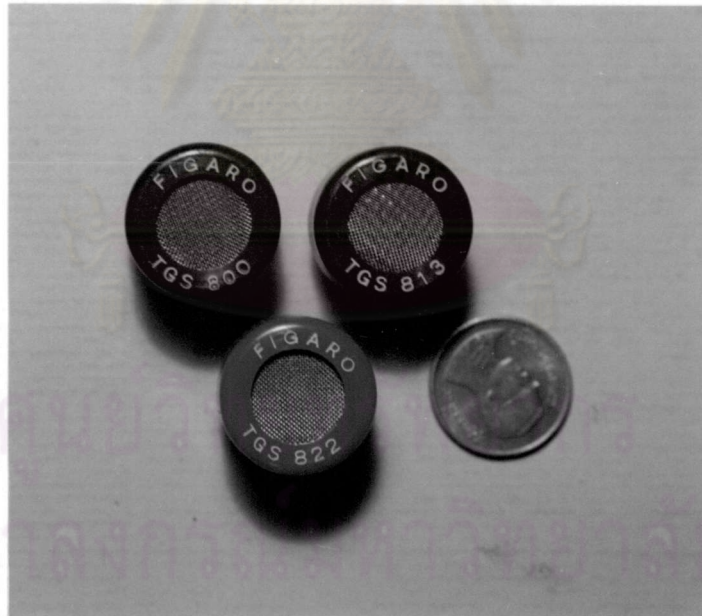
$A, \alpha$  = ค่าคงที่

$[C]$  = ความเข้มข้นของก๊าซ





(Figaro gas sensor, Figaro engineering Inc., 1993)

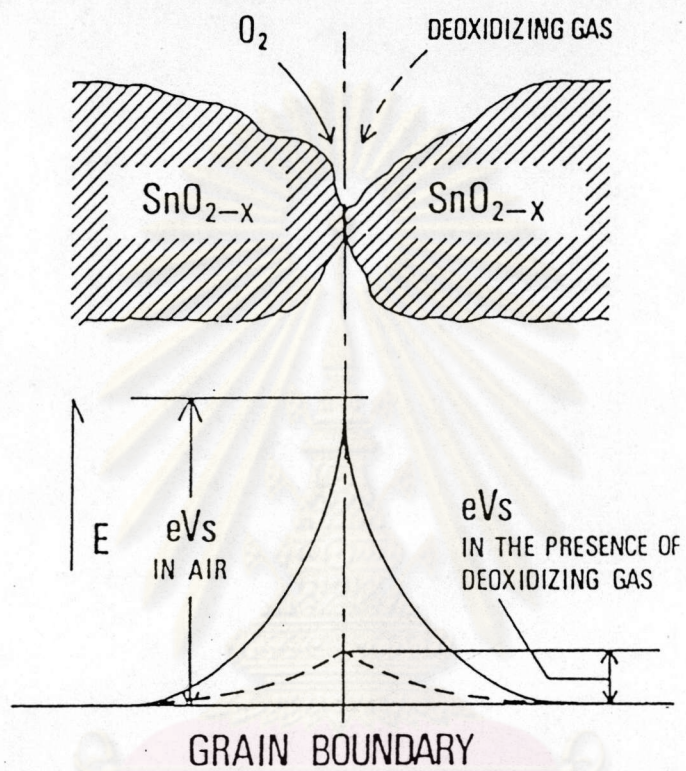


รูปที่ 3.6 หัวตรวจวัดก๊าซ

ตารางที่ 3.3 ข้อมูลของหัวตรวจวัดก๊าซทั้งสาม

หัวตรวจวัดก๊าซ	TGS-800	TGS-813	TGS-822
รายละเอียด			
แรงดันสูงสุดที่สามารถให้แก่วงจรไฟฟ้า	24 V AC หรือ DC		
แรงดันของลวดความร้อน	5.0 V AC หรือ DC		
กำลังไฟที่ใช้สูงสุด( $P_s$ )	15 mW		
ผลตอบสนองไวต่อ	สิ่งเจือปนในอากาศ เช่น คาร์บอนหรือ, ไฮโดรเจน เป็นต้น	ก๊าซติดไฟต่างๆไป	สารละลายอินทรีย์ เช่น แอลกอฮอล์, โทลูอีน, ไซลีน เป็นต้น

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



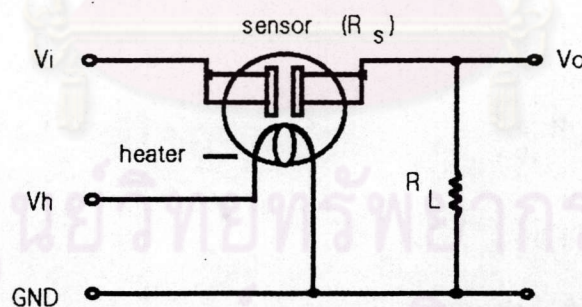
รูปที่ 3.7 โครงสร้างของกำแพงพลังงานศักย์ของอิเล็กตรอน

(Figaro gas sensor, Figaro engineering Inc., 1993)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

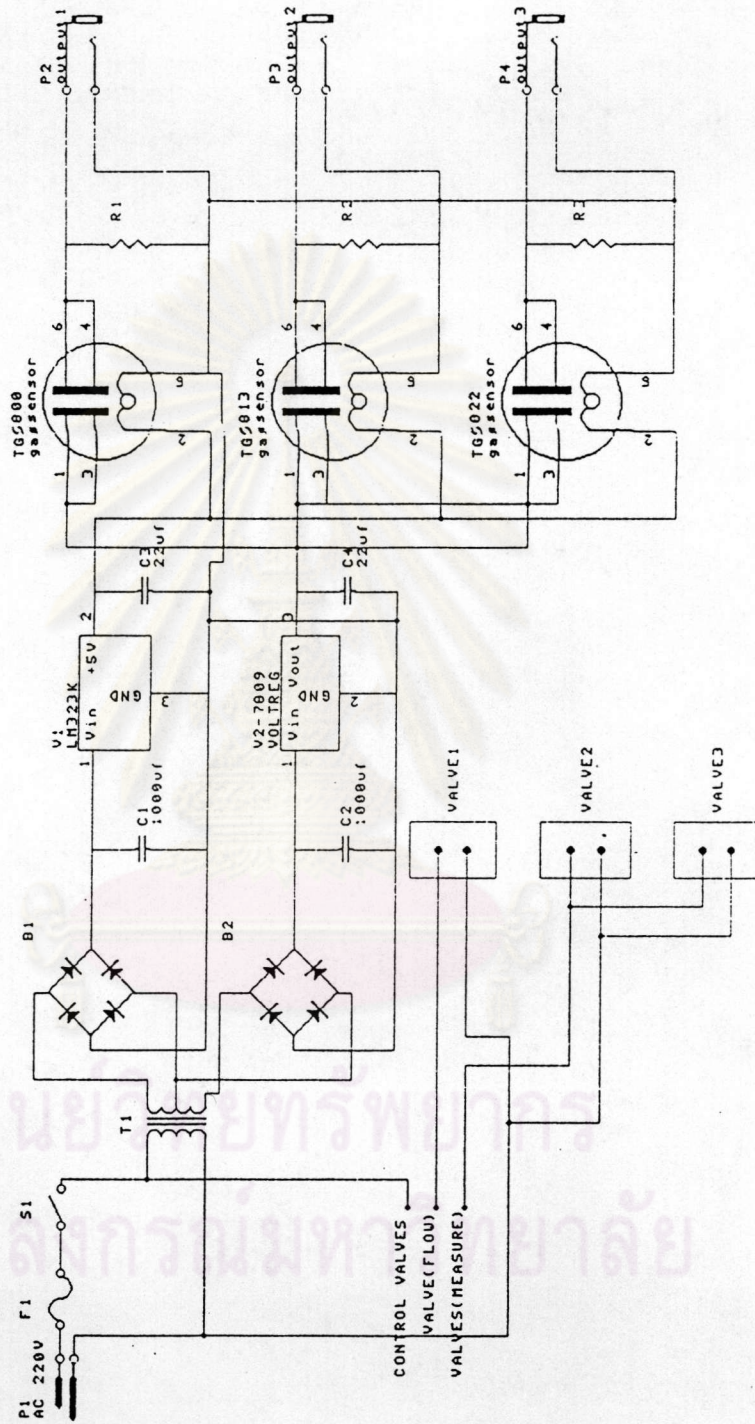
วงจรวัดสัญญาณของหัวตรวจวัดก๊าซทั้งสามจะมีวงจรวัดสัญญาณลักษณะเดียวกัน แสดงดังรูปที่ 3.8 จะประกอบด้วย แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงที่ป้อนแรงดันไฟฟ้า( $V_i$ )ให้กับหัวตรวจวัดก๊าซ 9 V และป้อนแรงดันไฟฟ้า( $V_h$ )ให้กับหลอดความร้อน 5 V , หัวตรวจวัดก๊าซ( $R_s$ ) และตัวต้านทาน ( $R_L$ )จะต่ออนุกรมกัน ค่าความต้านทาน( $R_L$ )ที่ใช้จะปรับเปลี่ยนตามความเหมาะสมกับหัวตรวจวัดก๊าซ ซึ่งจากทฤษฎีการถ่ายเทกำลังสูงสุด(Maximum power transfer theory) ค่าความต้านทาน( $R_L$ )ควรมีค่าเท่ากับค่าความต้านทานของหัวตรวจวัดก๊าซ( $R_s$ ) เพื่อให้ได้กำลังมีค่าสูงสุดซึ่งสามารถเรียกได้ว่าการแมตซ์อิมพีแดนซ์(impedance matching) ซึ่งกำลังมีค่าสูงสุดจะทำให้ประสิทธิภาพสูงสุด นอกจากนี้ตัวต้านทาน( $R_L$ ) ยังเป็นตัวป้องกันกระแสไหลผ่านหัวตรวจวัดก๊าซมากเกินไปเนื่องจากการตรวจวัดก๊าซชนิดรีดิวซ์ที่มีความเข้มข้นสูงทำให้ค่าความต้านทานของหัวตรวจวัดก๊าซ( $R_s$ )มีค่าต่ำ ความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงดันไฟฟ้าที่ได้จากการตรวจวัด( $V_o$ )และค่าความต้านทานของหัวตรวจวัดก๊าซ( $R_s$ ) สามารถแสดงได้จากสมการที่ 3.3 กล่าวคือ ค่าความต้านทานของหัวตรวจวัดก๊าซ( $R_s$ ) ลดลงจะทำให้ค่าแรงดันไฟฟ้าที่ได้จากการตรวจวัด( $V_o$ )เพิ่มขึ้น

$$V_o = V_i \left[ \frac{R_L}{R_L + R_s} \right] \quad (3.3)$$

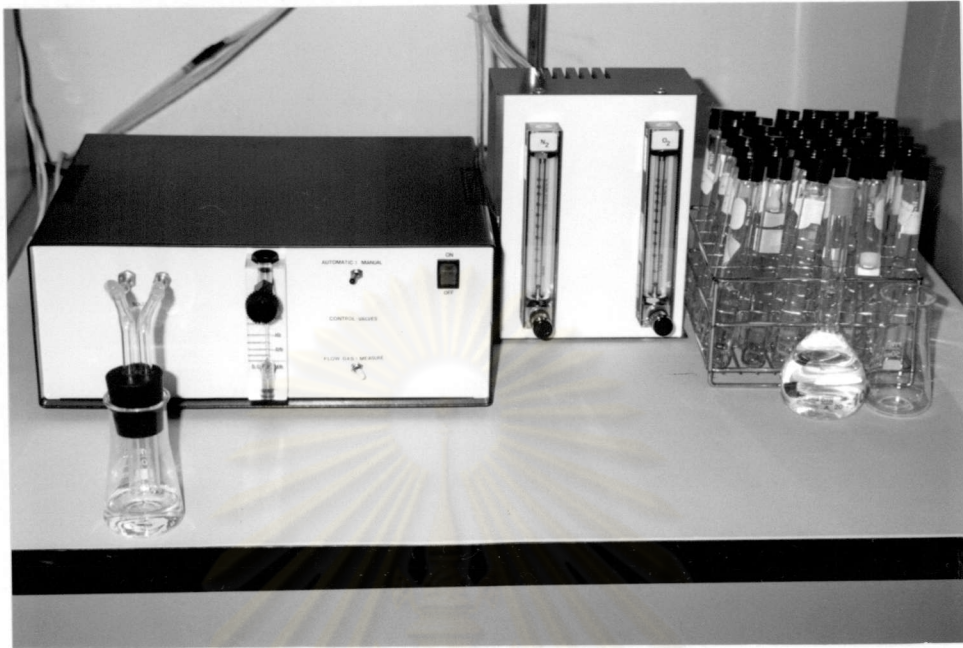


รูปที่ 3.8 วงจรไฟฟ้าที่ใช้กับหัวตรวจวัดก๊าซ

วงจรวัดสัญญาณของหัวตรวจวัดก๊าซทั้งสามแสดงได้จากรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 วงจรวัดสัญญาณของหัวตรวจวัดก๊าซ



รูปที่ 3.10 ระบบตรวจวัดก๊าซที่ได้จัดสร้างขึ้น

สรุป

ระบบตรวจวัดก๊าซที่ได้จัดสร้างขึ้น มีส่วนประกอบที่สำคัญอยู่ 4 ส่วน คือ

1. ก๊าซพาค์
2. โซลินอยด์วาล์วและวงจรควบคุมการปิด-เปิด
3. ไฟล์เชล
4. หัวตรวจวัดก๊าซและวงจรวัดสัญญาณ

โดยระบบที่ได้จัดสร้างขึ้น เมื่อใส่สารตัวอย่างที่ต้องการวัดแล้ว ระบบสามารถทำการวัดได้โดยอัตโนมัติ