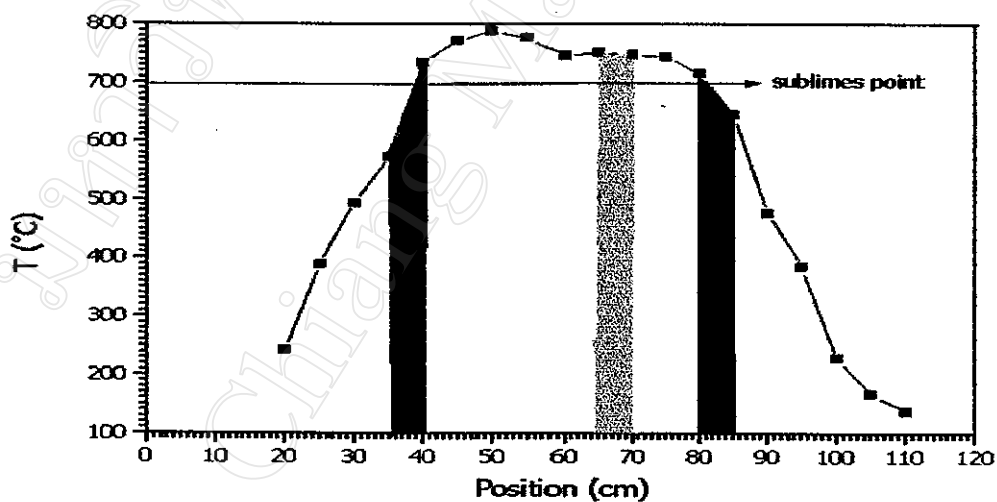


บทที่ 4

ผลการทดลอง

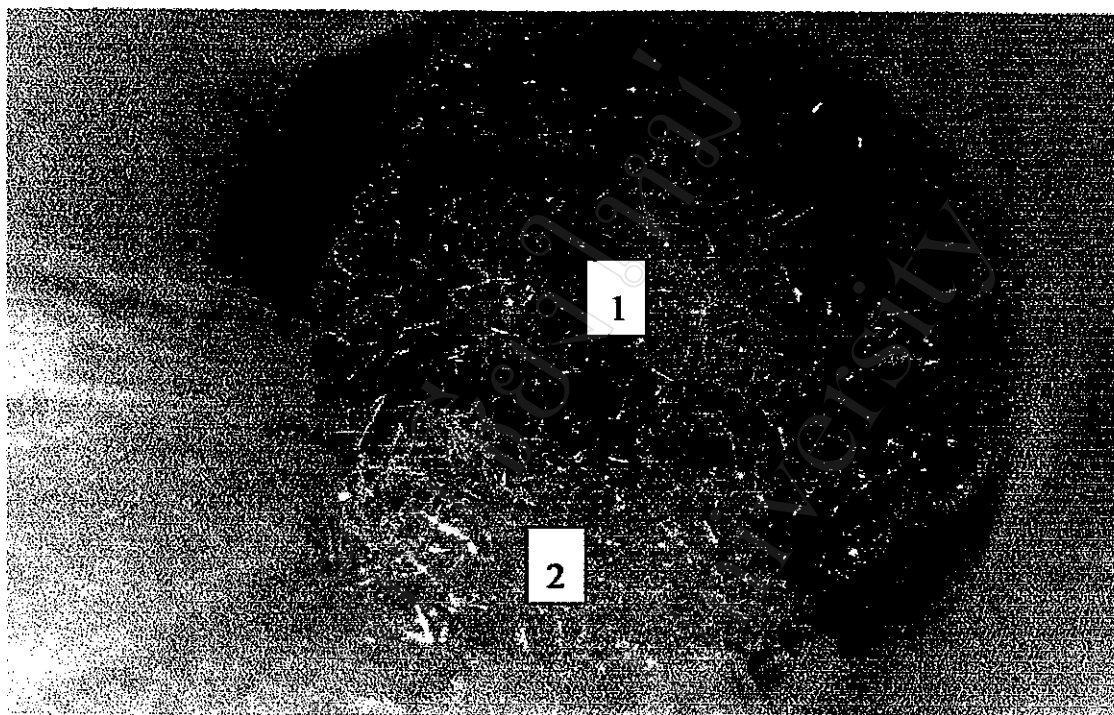
4.1 กระบวนการเกิดของวิสเกอร์ MoO_3

ในงานวิจัยนี้ได้ปลูกวิสเกอร์ MoO_3 โดยวิธี growth from vapor จากเมล็ด MoO_3 ในเตาไฟฟ้าแบบท่อแนวนอนที่อุณหภูมิ 750°C เป็นเวลานาน 24 ชั่วโมง ก่อนที่จะปลูกวิสเกอร์ได้วัดอุณหภูมิของท่อเตา ณ จุดต่างๆตามความยาวของท่อเตาเมื่อตั้งค่าอุณหภูมิของระบบควบคุมเตาให้คงที่ที่ 750°C เพื่อให้ทราบถึงกระบวนการเกิดของวิสเกอร์ อุณหภูมิ ณ จุดต่างๆตามความยาวของท่อเตาเป็นไปตามกราฟในรูปที่ 4.1 ต่อมาเมื่อมีการเกิดวิสเกอร์ได้วัดตำแหน่งที่เกิดวิสเกอร์ ปรากฏว่ามีวิสเกอร์จำนวนมากงอกจากผนังด้านในของท่อเตาดังรูปที่ 4.2 ณ บริเวณที่ท่อเตามีอุณหภูมิประมาณ 700°C ซึ่งสอดคล้องกับอุณหภูมิจุดระเหิด (sublime point) ของ MoO_3 ⁽¹⁵⁾ ที่ระบุไว้



รูปที่ 4.1 กราฟแสดงอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่างๆ ตามความยาวของท่อเตา

■ บริเวณที่วางเมล็ด MoO_3 ■ บริเวณที่เกิดวิสเกอร์



รูปที่ 4.2 แสดงวิสเกอร์ที่เกิดขึ้นบริเวณผิวด้านในของท่อเตา

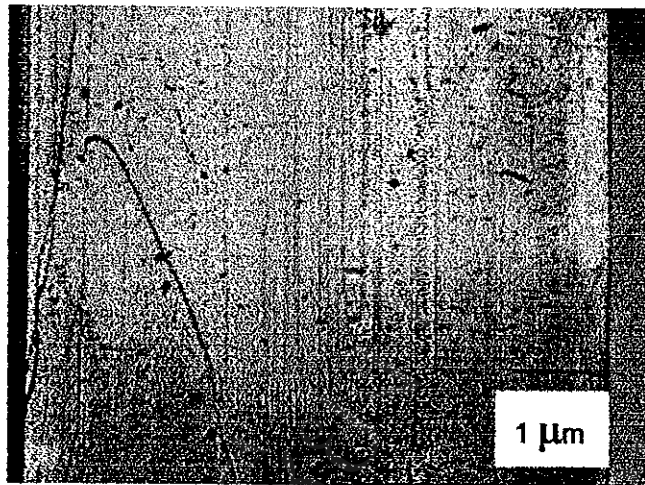
1.วิสเกอร์ที่กำลังงอกออกมาจากผิwt่อเตา

2.วิสเกอร์ที่หลุดออกมาจากผิwt่อเตาแล้วมากองรวมกันที่ด้านล่างของท่อเตา

4.2 ขนาดและสภาพพื้นผิวของวิสเกอร์ MoO_3

วิสเกอร์ที่เตรียมได้มีขนาดความยาว 2–50 mm ความกว้าง 0.5–1.5 mm และ ความหนาประมาณ 5–15 μm

จากการสังเกตลักษณะพื้นผิวของวิสเกอร์ด้วยกล้อง metallurgical microscope พบว่าสภาพพื้นผิวของวิสเกอร์โดยส่วนใหญ่แล้วจะค่อนข้างเรียบ และจะมี layered-structure เนื่องจากการทับถมกันของไอของ MoO_3 ที่มาควบแน่นเป็นวิสเกอร์ตามความยาวของวิสเกอร์เท่านั้นดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 ภาพถ่ายของวิสเกอร์จากกล้อง metallurgical microscope กำลังขยาย 100 เท่า

เมื่อสังเกตลักษณะพื้นผิวของวิสเกอร์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ด้วยกำลังขยาย 1000 เท่า พบว่าพื้นผิวส่วนใหญ่มีความเรียบมากไม่พบ grain boundary แสดงว่า วิสเกอร์นี้มีลักษณะเป็นผลึกเชิงเดี่ยว (single crystal) ที่สมบูรณ์มากดังรูปที่ 4.4



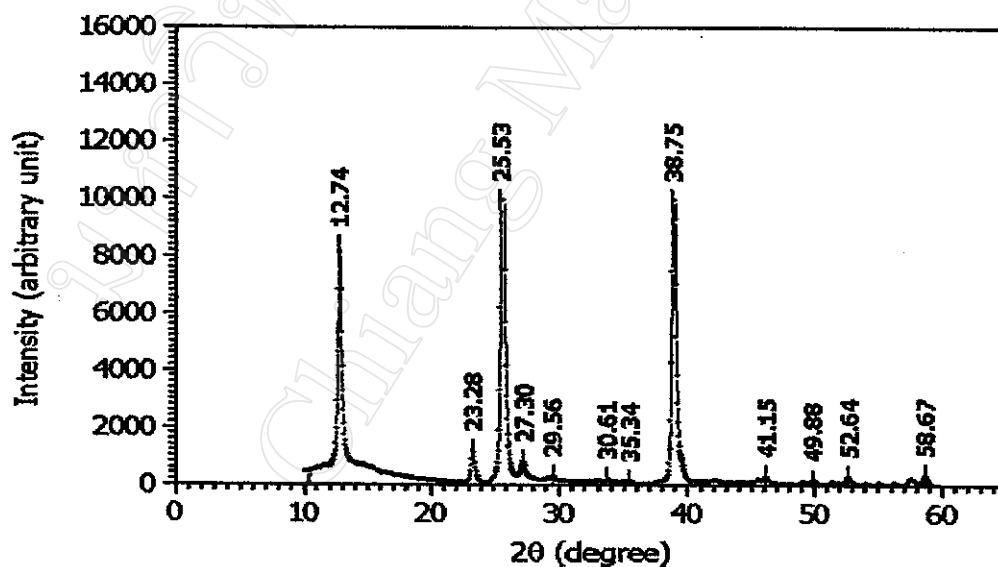
รูปที่ 4.4 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดแสดงลักษณะพื้นผิวของ วิสเกอร์ MoO_3 กำลังขยาย 1000 เท่า

4.3 โครงสร้างของวัสดุ MoO₃

ได้ศึกษาโครงสร้างของวัสดุ MoO₃ ด้วยวิธี XRD ด้วยรังสีเอกซ์จากเป้าทองแดงชนิด Cu-K α_1 ที่มีความยาวคลื่น 1.540 Å ในกระบวนการศึกษาได้เปรียบเทียบลักษณะ XRD pattern ของวัสดุ กับผง MoO₃ ซึ่งเป็นสารตั้งต้นในการเตรียมวัสดุ และใช้ powder diffraction file card No. 5-0508 ของ JCPDS⁽²³⁾ เป็นข้อมูลอ้างอิงเปรียบเทียบ

4.3.1 ผลการวิเคราะห์ XRD pattern ของวัสดุ MoO₃

จากการศึกษาโครงสร้างของวัสดุ MoO₃ โดยวิธี XRD ในช่วงมุม 2 θ ตั้งแต่ 10°–60° พบว่า XRD pattern ของวัสดุมีลักษณะดังรูป 4.5 ค่าความเข้มสูงสุด (Strongest line) อยู่ที่ 25.53°, 38.75° และ 12.74° ตามลำดับ



รูปที่ 4.5 x-ray diffraction pattern ของวัสดุที่เตรียมได้

ซึ่งได้นำลักษณะ diffraction pattern ไปวิเคราะห์หาระนาบที่ก่อให้เกิดการเลี้ยวเบนได้ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 แสดงผลการวิเคราะห์ x-ray diffraction pattern ของวิสเกอร์ MoO₃

Sample : Whisker MoO₃ Date: 15 July 2002
 Target : Cu Power: 30 kV 20 mA
 X-ray : Cu K α_1 $\lambda = 1.540 \text{ \AA}$
 Start angle(2 θ) : 10° Stop angle(2 θ) : 60°

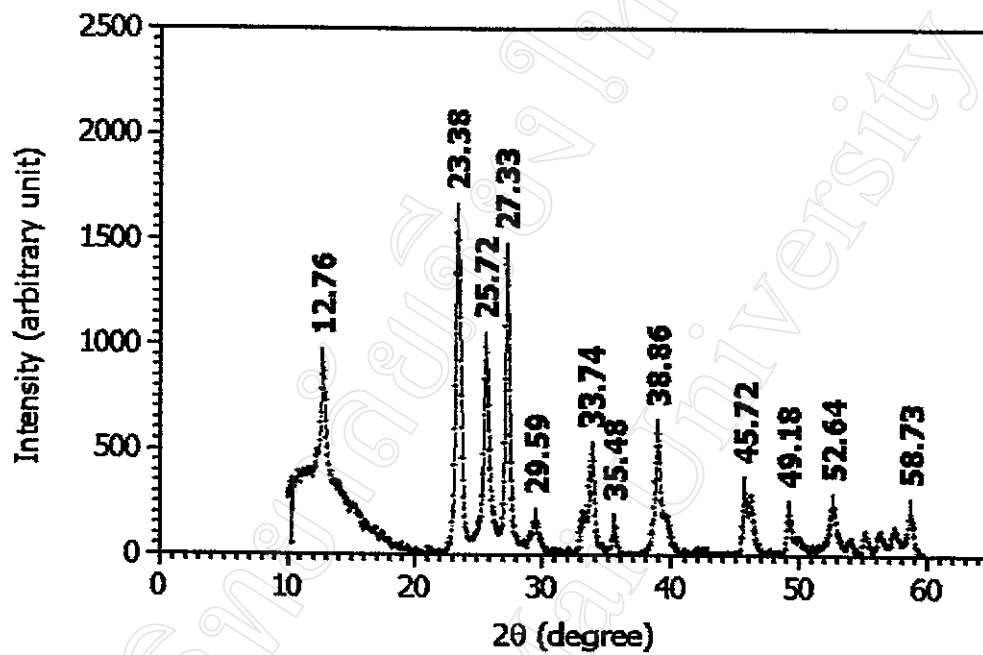
peak (No.)	2 θ (degree)	θ (degree)	d (Å)	Intensity (arb.unit)	I/I ₀	ระนาบ
1	12.74	6.37	6.941	8387.16	0.84	(020)
2	23.28	11.64	3.818	1247.72	0.12	(110)
3	25.53	12.77	3.486	10000.00	1.00	(040)
4	27.24	13.62	3.271	871.96	0.09	(021)
5	29.56	14.78	3.019	332.72	0.03	(130)
6	38.75	19.37	2.322	10000.00	1.00	(060)
7	46.15	23.08	1.965	330.28	0.03	(061)
8	49.88	24.94	1.827	191.20	0.02	(002)
9	52.64	26.32	1.737	320.52	0.03	(080)
10	58.67	29.34	1.572	386.40	0.04	(081)

เมื่อนำข้อมูล ไปวิเคราะห์โครงสร้างของวิสเกอร์โดยใช้โปรแกรม X-ray PC task manager Version 1.20A พบว่ามีโครงสร้างแบบ orthorhombic ที่มี lattice parameter $a = 3.970 \text{ \AA}$, $b = 13.823 \text{ \AA}$ และ $c = 3.687 \text{ \AA}$ โดยทิศทางตามความยาวของวิสเกอร์จะเป็นทิศทางของแกน c^(2,12)

4.3.2 ผลการวิเคราะห์ XRD pattern ของผง MoO₃

จากการศึกษาโครงสร้างของผง MoO₃ ซึ่งใช้เป็นสารเริ่มต้นในการปลูกวิสเกอร์ พบว่า XRD pattern ของผง MoO₃ นี้มีเส้นพิคที่เกิดจากการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์จำนวนมากแสดงให้เห็นว่า

ผิวหน้าของการสะท้อนรังสีเอกซ์เป็นแบบสุ่ม (random) มากกว่าวัสดุโดยมีค่าความเข้มสูงสุด (Strongest line) อยู่ที่มุม 23.37° , 27.33° และ 25.71° ตามลำดับดังแสดงในรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 x-ray diffraction pattern ของผง MoO_3

จากนั้นได้นำ XRD pattern ของผง MoO_3 ไปวิเคราะห์หาระนาบที่ก่อให้เกิดการเลี้ยวเบน ได้ดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 แสดงผลการวิเคราะห์ x-ray diffraction pattern ของวัสดุ MoO₃

Sample : ผง MoO₃

Date: 15 July 2002

Target : Cu

Power:: 30 kV 20mA

X-ray : Cu K α_1

$\lambda = 1.540 \text{ \AA}$

Start angle(2 θ) : 10°

Stop angle(2 θ) : 60°

peak (No.)	2 θ (degree)	θ (degree)	d (Å)	Intensity(arb.unit)	I/I ₀	ระนาบ
1	12.76	6.38	6.932	925.64	0.57	(020)
2	23.38	11.69	3.802	1611.28	1.00	(110)
3	25.72	12.86	3.461	1001.28	0.62	(040)
4	27.33	13.66	3.261	1430.72	0.89	(021)
5	29.59	14.79	3.017	169.24	0.11	(130)
6	33.74	16.87	2.654	484.00	0.30	(111)
7	35.48	17.74	2.528	142.40	0.09	(041)
8	38.86	19.43	2.316	593.80	0.37	(060)
9	45.72	22.86	1.983	320.52	0.20	(061)
10	49.18	24.59	1.851	208.28	0.13	(002)
11	52.64	26.32	1.737	237.56	0.15	(080)
12	58.73	29.37	1.571	218.04	0.14	(081)

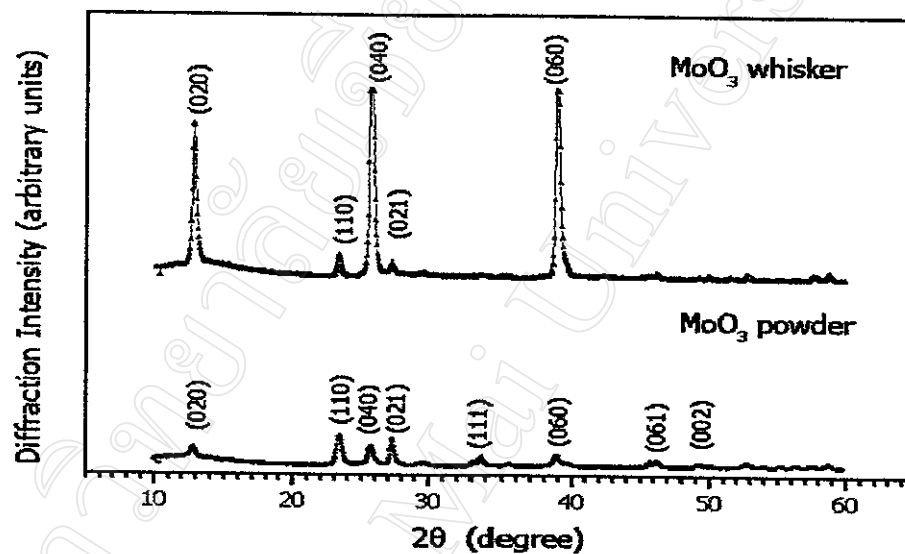
เมื่อนำข้อมูลไปวิเคราะห์โครงสร้างของผง MoO₃ โดยใช้โปรแกรม X-ray PC task manager

Version 1.20A พบว่ามีโครงสร้างแบบ orthorhombic ที่มี lattice parameter a = 3.956 Å ,

b = 13.846 Å และ c = 3.699 Å

4.3.3 การเปรียบเทียบ XRD pattern ของวิสเกอร์ MoO_3 กับ ผง MoO_3

เมื่อนำ XRD pattern ของวิสเกอร์ MoO_3 และ ผง MoO_3 มาเปรียบเทียบกันพบว่าตำแหน่งที่เกิด peak ของการเลี้ยวเบนอยู่ที่ตำแหน่งเดียวกัน และพบว่าวิสเกอร์ MoO_3 มี prefer orientation ในทิศทาง (0k0) โดยที่ $k = 2, 4, 6$ ดังรูปที่ 4.7 แสดงว่าวิสเกอร์ที่เตรียมได้เป็น MoO_3

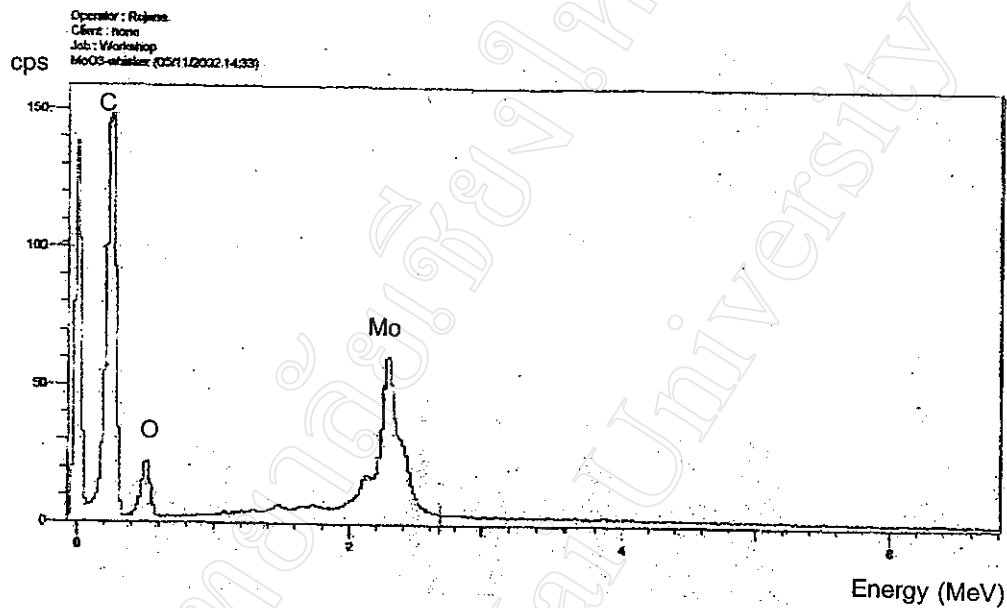


รูปที่ 4.7 แสดงการเปรียบเทียบ XRD pattern ของวิสเกอร์ MoO_3 กับผง MoO_3

4.4 ผลการทดลองการวิเคราะห์องค์ประกอบโดยวิธี Energy dispersive spectrometry (EDS)

ได้วิเคราะห์ธาตุที่เป็นองค์ประกอบของวิสเกอร์โดยวิธี Energy dispersive spectrometry (EDS) โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) พบว่าการกระจายพลังงานของรังสีเอกซ์ที่เกิดขึ้นจากธาตุ โมลิบดีนัม(Mo) ออกซิเจน(O) และ คาร์บอน(C) มีดังรูปที่ 4.8 แต่คาร์บอนเป็นสารที่ใช้การเคลือบ sample เพื่อเพิ่มการนำไฟฟ้าของวิสเกอร์และลด charging effect ที่เกิดจากอันตรกิริยาระหว่าง sample กับ ลำอิเล็กตรอน ดังนั้นคาร์บอนจึงไม่น่าจะใช้องค์ประกอบของวิสเกอร์ เนื่องจากในการเตรียมวิสเกอร์จะเตรียมที่อุณหภูมิสูงในบรรยากาศของออกซิเจนซึ่งจะทำให้

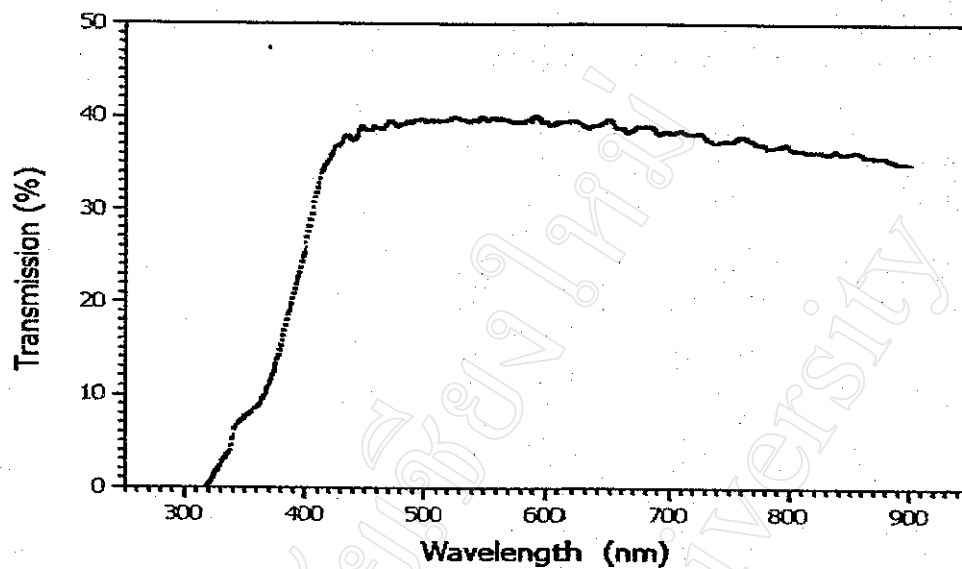
คาร์บอนถูกเผาไหม้จนหมด (ถ้ามีคาร์บอนอยู่ในสารตั้งต้น) ดังนั้นวัสดุประกอบไปด้วยอะตอมของโมลิบดีนัม และ ออกซิเจนเท่านั้นดังแสดงดังรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.8 Energy dispersive spectrum ของรังสีเอกซ์ที่ได้จากวัสดุ

4.5 ผลการหาค่า Energy gap โดยวิธี UV- visible transmission spectrometry

ได้ทำการทดลองวัดค่า UV- visible transmission spectrum ของวัสดุที่มีความหนาประมาณ 10 μm โดยใช้ UV-visible spectrophotometer โดยใช้โฟตอนที่มีความยาวคลื่นในช่วง 200 – 900 nm ซึ่งจะให้ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การส่งผ่าน (T%) กับ ความยาวคลื่นของโฟตอน ดังแสดงในรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การส่งผ่านของโฟตอนกับความยาวคลื่นของโฟตอน

จากนั้นจึงนำข้อมูลนี้ไปคำนวณหาค่า $\alpha h\nu$ โดยใช้สมการที่ (4.1)⁽¹⁷⁾

$$\alpha h\nu = \frac{hc}{\lambda t} \ln \left(\frac{100}{T\%} \right) \quad (4.1)$$

โดยที่ α คือ Absorption coefficient

ν คือความถี่ของโฟตอน

h คือค่าคงที่ของพลังค์มีค่า 4.136×10^{-15} eV.s

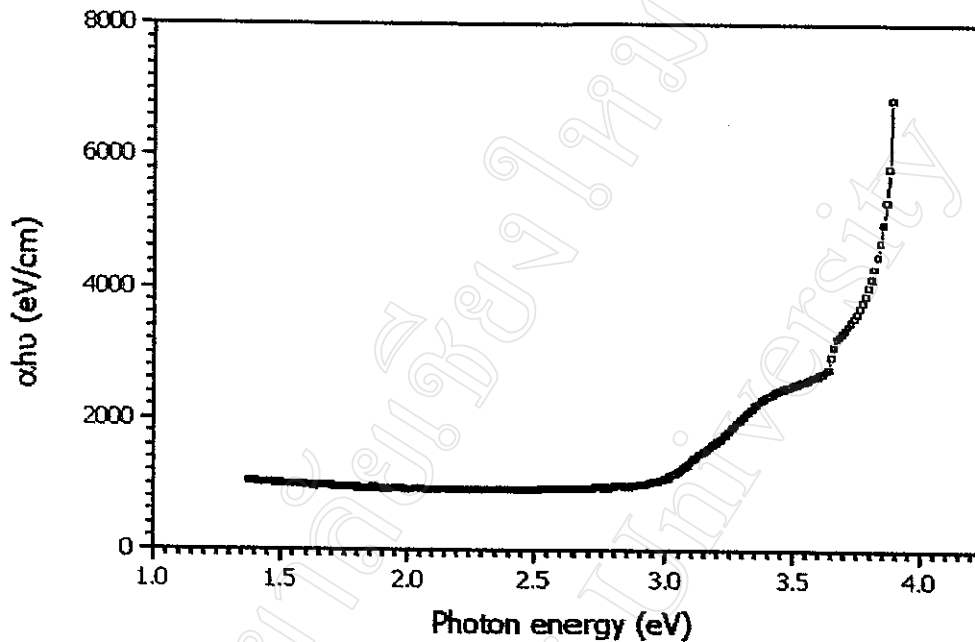
c คือความเร็วของแสงมีค่า 3.0×10^8 m/s

t คือความหนาของวัสดุมีค่า $10 \mu\text{m}$

$T\%$ คือเปอร์เซ็นต์การส่งผ่านของโฟตอนที่มีความยาวคลื่นต่างๆ

λ คือความยาวคลื่นของโฟตอน

จะได้ความสัมพันธ์ระหว่าง $\alpha h\nu$ กับ พลังงานของโฟตอนดังรูปที่ 4.10



รูปที่ 4.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\alpha h\nu$ กับพลังงานของโฟตอนของวิสเกอร์

จากความสัมพันธ์ระหว่าง Energy gap กับ $\alpha h\nu$ ณ absorption edge ดังสมการที่ (2.25) ⁽¹⁾

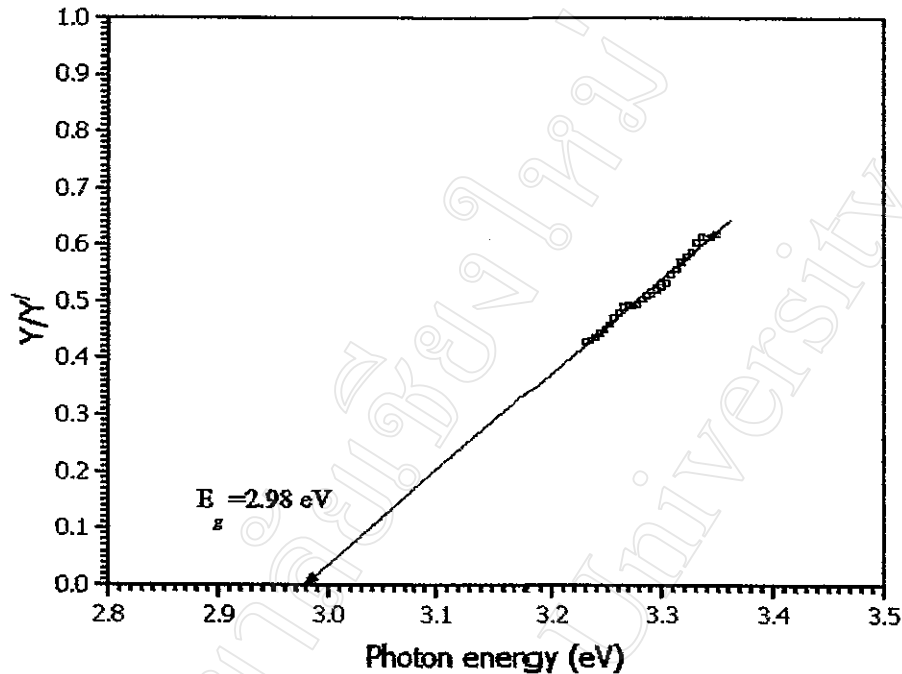
$$\alpha h\nu = B(h\nu - E_g)^n \quad (4.2)$$

ให้ $Y = \alpha h\nu$ และ $Y' = \frac{dY}{dh\nu}$

$$\text{จะได้ } \frac{Y}{Y'} = \frac{(h\nu - E_g)}{n} \quad (4.3)$$

ดังนั้นถ้าเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $\frac{Y}{Y'}$ กับพลังงานของโฟตอนจะได้กราฟเส้นตรงที่มีจุด

ตัดแกน x เท่ากับ Energy gap ดังรูปที่ 4.11 ปรากฏว่าได้ค่า Energy gap ของวิสเกอร์ MoO_3 เท่ากับ 2.98 eV และสามารถหาค่า n จากความชันได้เท่ากับ 2



รูปที่ 4.11 แสดงการหาค่า Energy gap จากความสัมพันธ์ระหว่าง $\frac{Y}{Y'}$ กับพลังงานของโฟตอน

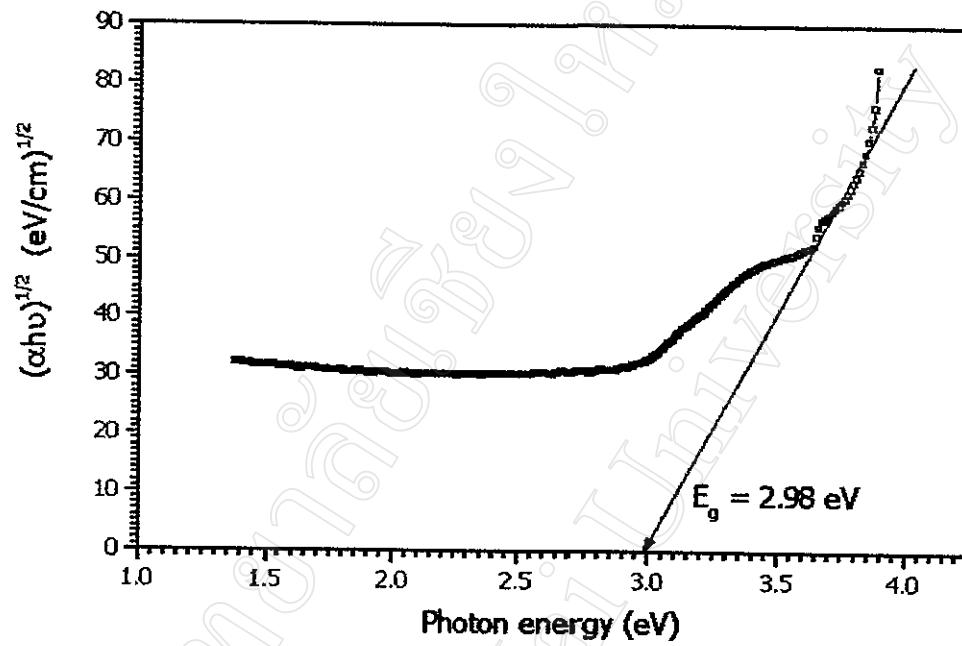
อีกวิธีหนึ่งในการหาค่า Energy gap ของวัสดุเจอร์ MoO₃ ทำได้โดยการพิจารณาสมการที่ 4.2 ได้มีผู้ทำการวิจัย⁽¹⁾ พบว่าค่าคงที่ n ของ MoO₃ มีค่าเท่ากับ 2 ดังนั้นเมื่อแทนค่าลงในสมการที่ 4.2 จะได้

$$\alpha h\nu = B(h\nu - E_g)^2 \quad (4.4)$$

ดังนั้น

$$\sqrt{\alpha h\nu} = B(h\nu - E_g) \quad (4.5)$$

ถ้าเขียนกราฟระหว่าง $\sqrt{\alpha h\nu}$ กับพลังงานของโฟตอนและพิจารณาในช่วง Strong absorption edge แล้วจะได้ความสัมพันธ์ระหว่าง $\sqrt{\alpha h\nu}$ กับพลังงานของโฟตอนเป็นกราฟเส้นตรงที่มีจุดตัดแกน x เท่ากับ Energy gap⁽²⁴⁾ ดังรูปที่ 4.12 ปรากฏว่าสามารถหาค่า Energy gap ได้ 2.98 eV เช่นเดียวกัน



รูปที่ 4.12 แสดงการหาค่า Energy gap จากกราฟระหว่าง $\sqrt{\alpha h\nu}$ กับพลังงานของโฟตอน

4.6 การตรวจวัดไอของเอธิลแอลกอฮอล์ และ ไอของอะซีโตน

ได้ทำการสร้างหัวตรวจวัดก๊าซของวิสเกอร์ MoO_3 โดยการติดวิสเกอร์ลงบนกระจก Cover slide และทำขั้วไฟฟ้าด้วย silver paint กับ ลวดทองแดง แล้วนำไปการตรวจวัดไอของเอธิลแอลกอฮอล์ และ อะซีโตน โดยใช้ gas sensor Figaro TGS 822 (รายละเอียดอยู่ในภาคผนวก ข.) เป็นเครื่องมือสำหรับวัดความเข้มข้นของก๊าซ ในการทดลองแต่ละครั้งจะควบคุมความเข้มข้นของก๊าซให้มีค่าใกล้เคียงกัน และพยายามรักษาความเข้มข้นของก๊าซในระบบให้คงที่ประมาณ 2 นาทีขึ้นไปเพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงของสภาพต้านทานของวิสเกอร์เมื่อได้รับไอของเอธิลแอลกอฮอล์ และ อะซีโตน

ได้เลือกใช้ขนาดของวิสเกอร์ MoO_3 เพื่อนำมาสร้างเป็นหัววัดก๊าซทั้งหมด 3 ตัวอย่างเพื่อตรวจสอบความถูกต้องของค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าที่วัดได้ดังตารางที่ 4.3

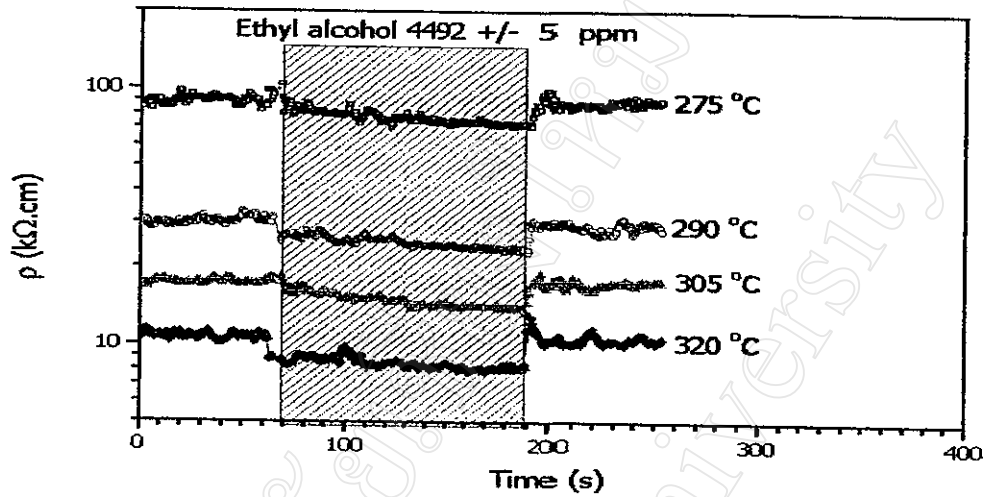
ตารางที่ 4.3 แสดงขนาดของวิสเกอร์ที่ใช้เป็นหัววัดก๊าซในการทดลอง

หัววัด	ขนาดของ หัววัด			พื้นที่ผิวหน้า	พื้นที่หน้าตัด
	กว้าง (mm)	ยาว(mm)	หนา (μm)	(mm^2)	(mm^2)
A	0.5	15	4	7.5	0.0020
B	0.8	18	12.5	14.4	0.0100
C	0.6	13	12.5	7.8	0.0075

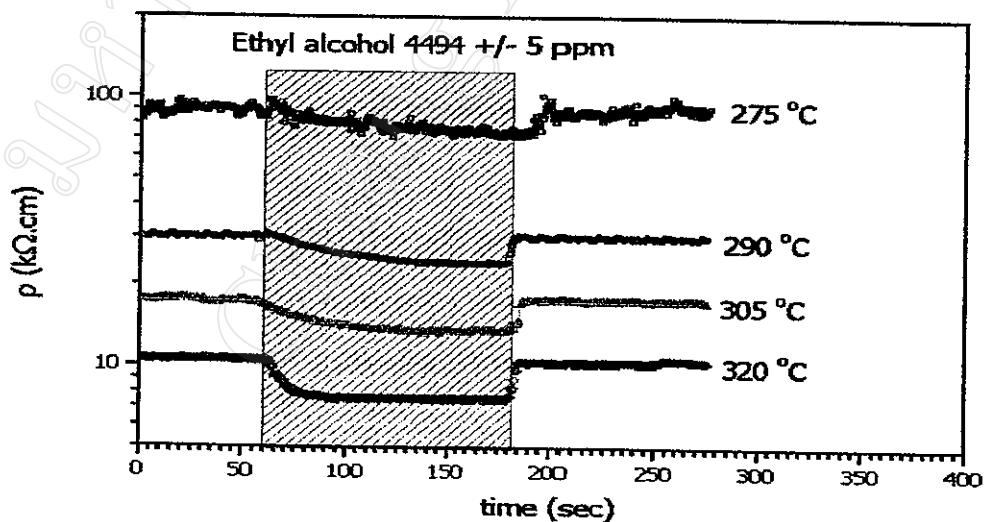
4.6.1 การตรวจวัดไอของเอธิลแอลกอฮอล์

1) สภาพไว และ เวลาการตอบสนองที่อุณหภูมิต่างๆ

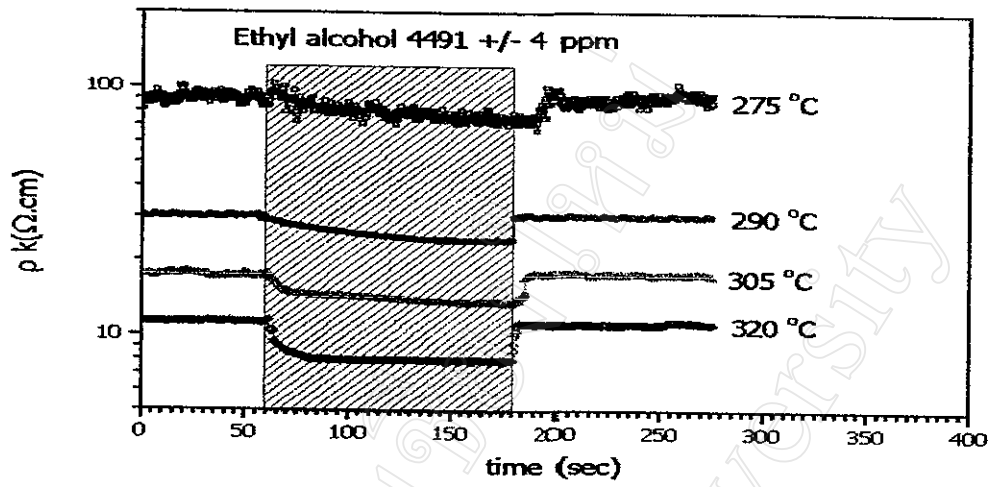
จากการทดลองพบว่าสภาพต้านทานไฟฟ้าของวิสเกอร์ MoO_3 จะลดลงเมื่อได้รับไอของเอธิลแอลกอฮอล์ ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและสภาพต้านทานไฟฟ้าของวิสเกอร์ก่อนและหลังได้รับ ไอของแอลกอฮอล์ที่มีความเข้มข้นประมาณ 4500 ppm ที่อุณหภูมิต่างๆ ของ หัววัด A,B และ C ดังแสดงในรูปที่ 4.13-4.15 ตามลำดับ ซึ่งสามารถวิเคราะห์ค่าสภาพไว และ เวลาการตอบสนองได้ดังตารางที่ 4.4



รูปที่ 4.13 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของสภาพต้านทานไฟฟ้าของ หัววัด A เมื่อได้รับไอของ เอธิลแอลกอฮอล์ที่มีความเข้มข้น 4492 ± 5 ppm ที่อุณหภูมิต่างๆ



รูปที่ 4.14 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของสภาพต้านทานไฟฟ้าของ หัววัด B เมื่อได้รับ ไอของ เอธิลแอลกอฮอล์ที่มีความเข้มข้น 4494 ± 4 ppm ที่อุณหภูมิต่างๆ



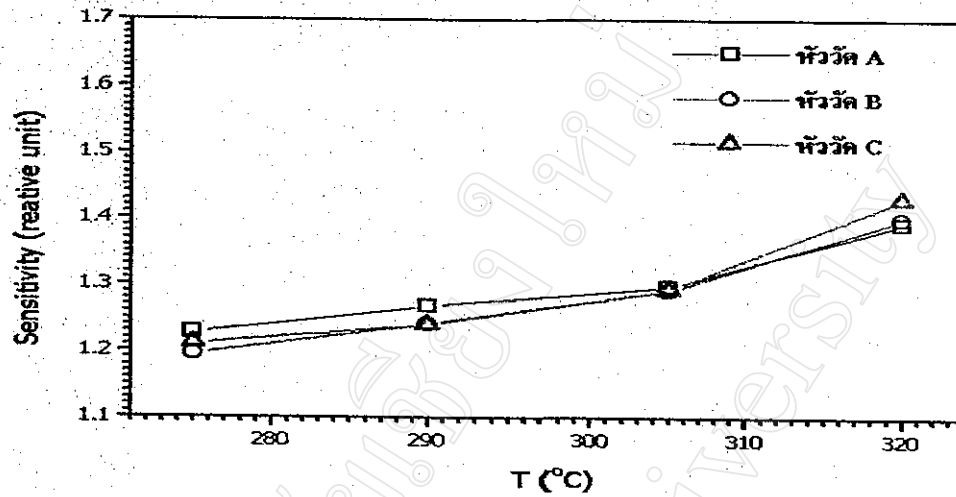
รูปที่ 4.15 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของสภาพต้านทานไฟฟ้าของ หัววัด C เมื่อได้รับไอของ เอธิลแอลกอฮอล์ที่มีความเข้มข้น $4491 \pm 5\ ppm$ ที่อุณหภูมิต่างๆ

ตารางที่ 4.4 แสดงค่าของความต้านทานไฟฟ้าเริ่มต้น (ρ_0) ความต้านทานไฟฟ้าเมื่อได้รับไอของ
เอริลแอลกอฮอล์(ρ_g) response time (τ_{90}) และ สภาพไว (S) ของ หัววัด A B และ C

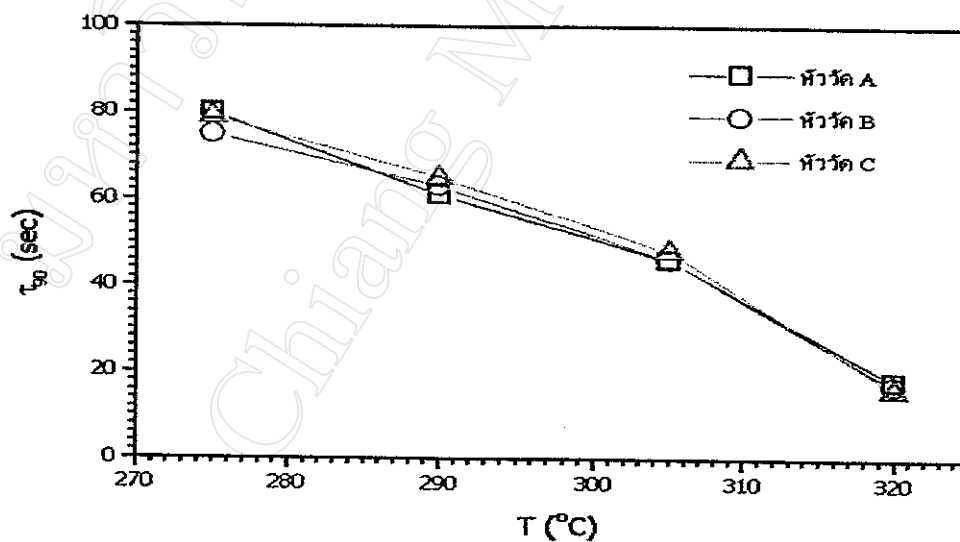
หัววัด	T (°C)	ρ_0 (k Ω .cm)		ρ_g (k Ω .cm)		$\Delta\rho$ (k Ω .cm)	$\rho_0 - 90\%\Delta\rho$ (k Ω .cm)	τ_{90} (sec)	S
		เฉลี่ย	$\pm$ error	เฉลี่ย	$\pm$ error				
A	275	89.430	0.152	72.798	0.075	16.633	74.461	80	1.228
	290	30.182	0.058	23.808	0.023	6.374	24.446	61	1.268
	305	17.520	0.019	13.511	0.014	4.009	13.912	46	1.297
	320	10.983	0.015	7.882	0.009	3.101	8.192	18	1.393
B	275	89.959	0.162	75.217	0.111	14.742	76.691	75	1.196
	290	30.161	0.019	24.312	0.009	5.849	24.897	63	1.241
	305	17.526	0.017	13.565	0.006	3.961	13.961	46	1.292
	320	10.609	0.003	7.58	0.001	3.029	7.883	17	1.400
C	275	90.468	0.21	74.734	0.152	15.734	76.307	79	1.211
	290	30.163	0.019	24.328	0.011	5.835	24.912	65	1.240
	305	17.524	0.017	13.554	0.007	3.970	13.951	48	1.293
	320	11.393	0.004	7.969	0.001	3.424	8.311	16	1.430

2) อุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับใช้งานหัววัดในการตรวจวัดเอริลแอลกอฮอล์

เมื่อพิจารณาค่าสภาพไวคือ ไอของเอริลแอลกอฮอล์ และ เวลาการตอบสนองที่
อุณหภูมิต่างๆ แล้วพบว่าที่อุณหภูมิ 320 °C เป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมในการใช้งานหัววัดเพื่อ
ตรวจวัด ไอของเอริลแอลกอฮอล์ เพราะว่าหัววัดมีสภาพไวสูงสุดเมื่อเทียบกับทุกอุณหภูมิ
ประมาณ 1.40 หรือมีการเปลี่ยนแปลงของสภาพต้านทานไฟฟ้า 40 % ดังรูปที่ 4.16 และ หัว
วัดใช้เวลาในการตอบสนองน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับทุกอุณหภูมิประมาณ 17 วินาที ดังรูปที่
4.17



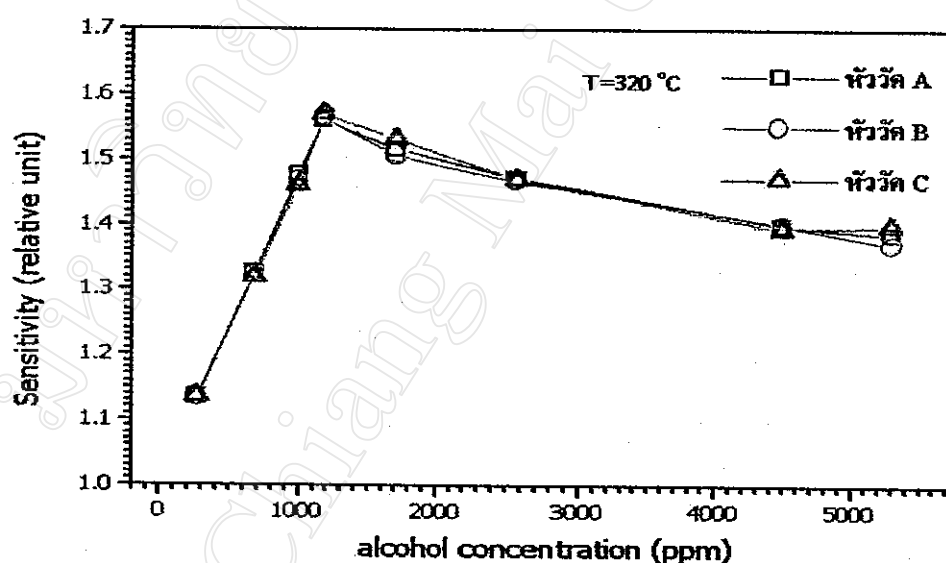
รูปที่ 4.16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสภาพไว กับ อุณหภูมิของ หัววัด A, B และ C เมื่อได้รับ ไอของเอทิลแอลกอฮอล์ที่มีความเข้มข้นประมาณ 4500 ppm



รูปที่ 4.17 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาการตอบสนองกับ อุณหภูมิของ หัววัด A, B และ C เมื่อได้รับ ไอของเอทิลแอลกอฮอล์ที่มีความเข้มข้นประมาณ 4500 ppm

3) ความสัมพันธ์ระหว่างสภาพไวและความเข้มข้นของเอริธแอลกอฮอล์ของหัววัด

หลังจากที่ได้อุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการตรวจวัดไอของเอริธแอลกอฮอล์ (320°C) ต่อมาได้ทดลองแปรค่าความเข้มข้นของไอของเอริธแอลกอฮอล์ เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างสภาพไวและความเข้มข้นของเอริธแอลกอฮอล์ของหัววัดที่อุณหภูมิ 320°C เมื่อความเข้มข้นของไอของเอริธแอลกอฮอล์น้อยกว่า 1200 ppm พบว่าสภาพไวของหัววัดจะเพิ่มขึ้นเป็นแบบเชิงเส้นกับความเข้มข้นของไอของเอริธแอลกอฮอล์ดังรูป 4.18 แต่เมื่อความเข้มข้นของไอของเอริธแอลกอฮอล์มากกว่า 1200 ppm พบว่า สภาพไวจะลดลงอย่างช้าๆ เนื่องจากปริมาณของออกซิเจนที่ยึดติดอยู่ที่ oxygen vacancy ที่บริเวณใกล้ผิวหน้ามีไม่เพียงพอที่จะรองรับจำนวนโมเลกุลของก๊าซที่เพิ่มขึ้นได้ต้องรอให้ไอของเอริธแอลกอฮอล์แทรกซึมเข้าไปข้างในผิวหน้า จึงทำให้ค่าสภาพไวลดลงเมื่อความเข้มข้นเพิ่มขึ้น



รูปที่ 4.18 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสภาพไวกับความเข้มข้นของไอของเอริธแอลกอฮอล์เมื่อแปรค่าความเข้มข้นของก๊าซตั้งแต่ 0-5300 ppm ที่อุณหภูมิ 320°C

4) ฟังก์ชันแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสภาพไวกับความเข้มข้นของเอริธแอลกอฮอล์ก่อนที่หัววัดจะเกิด การอิ่มตัว

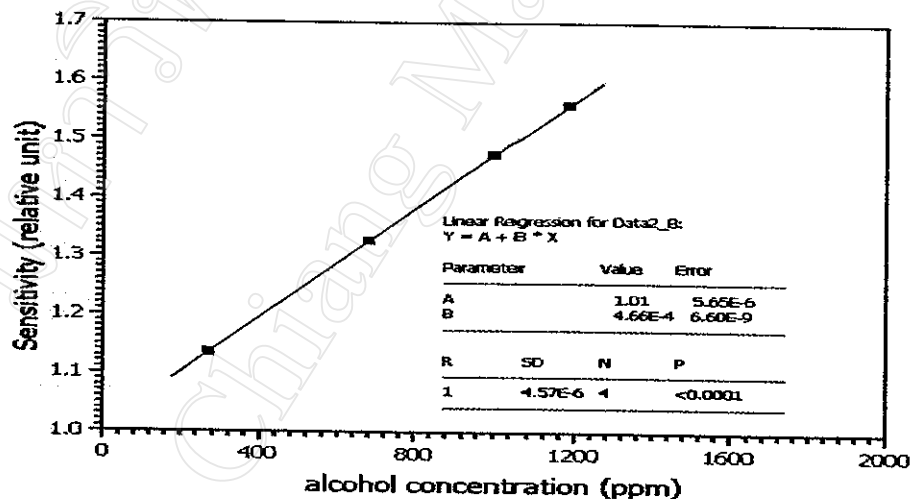
ฟังก์ชันแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสภาพไวกับความเข้มข้นของเอริธแอลกอฮอล์นั้นเป็นสิ่งสำคัญที่ใช้การแปลงสภาพไวเป็นความเข้มข้นของก๊าซ จากการทดลองพบว่าเมื่อความเข้มข้นของไอของเอริธแอลกอฮอล์มีค่าน้อยกว่า 1200 ppm จะให้ความสัมพันธ์ระหว่างสภาพไวและความเข้มข้นของก๊าซเป็นแบบเชิงเส้นในรูป^(1.4)

$$S = aC + d \quad (4.2)$$

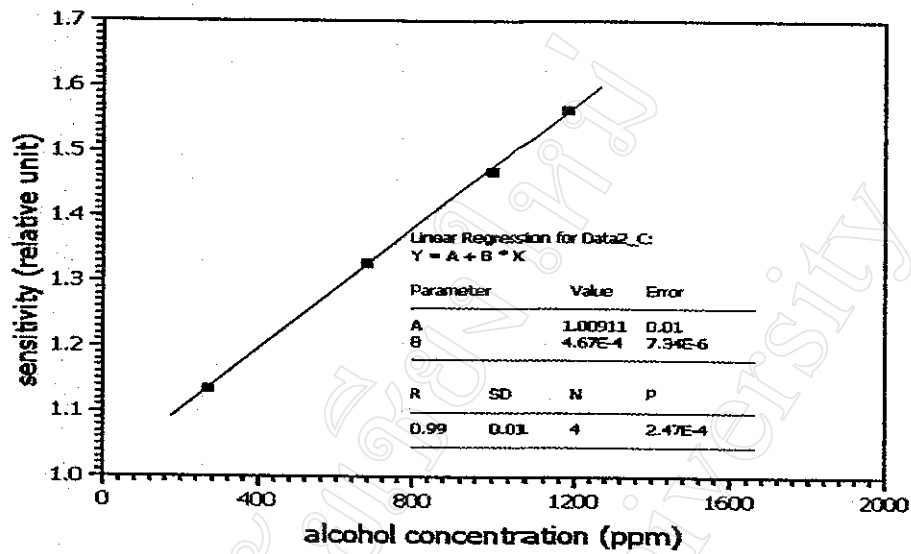
เมื่อ C คือความเข้มข้นของก๊าซ

a และ d คือค่าคงที่

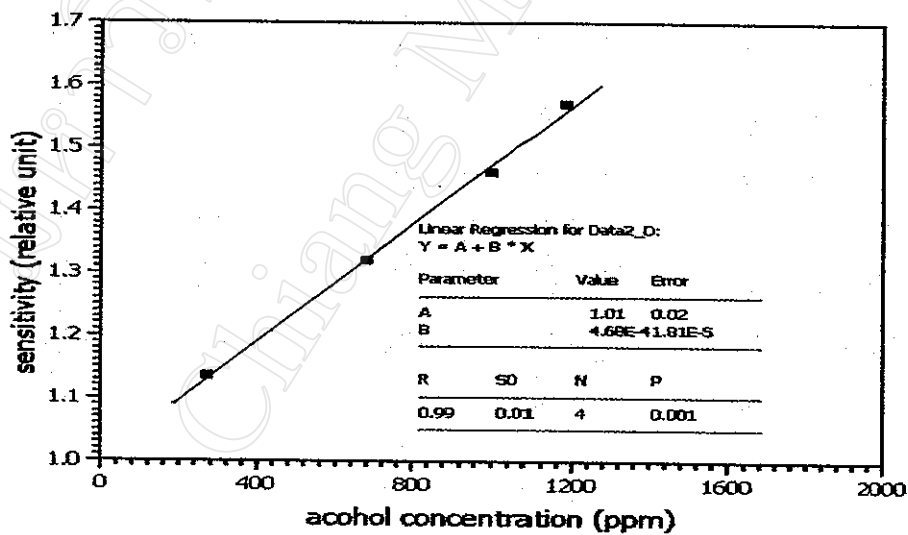
ฟังก์ชันแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสภาพไวกับความเข้มข้นของเอริธแอลกอฮอล์ของ หัววัด A,B และ C แสดงดังรูป 4.19-4.21 ซึ่งสามารถวิเคราะห์หาฟังก์ชันแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสภาพไวกับความเข้มข้นของเอริธแอลกอฮอล์ได้ดังตารางที่ 4.6



รูปที่ 4.19 การหาฟังก์ชันแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสภาพไวกับความเข้มข้นของไอของเอริธแอลกอฮอล์ของ หัววัด A



รูปที่ 4.20 การหาฟังก์ชันแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสภาพไวกับความเข้มข้นของไอของเอริลแอลกอฮอล์ของ หัววัด B



รูปที่ 4.21 การหาฟังก์ชันแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสภาพไวกับความเข้มข้นของไอของเอริลแอลกอฮอล์ของ หัววัด C

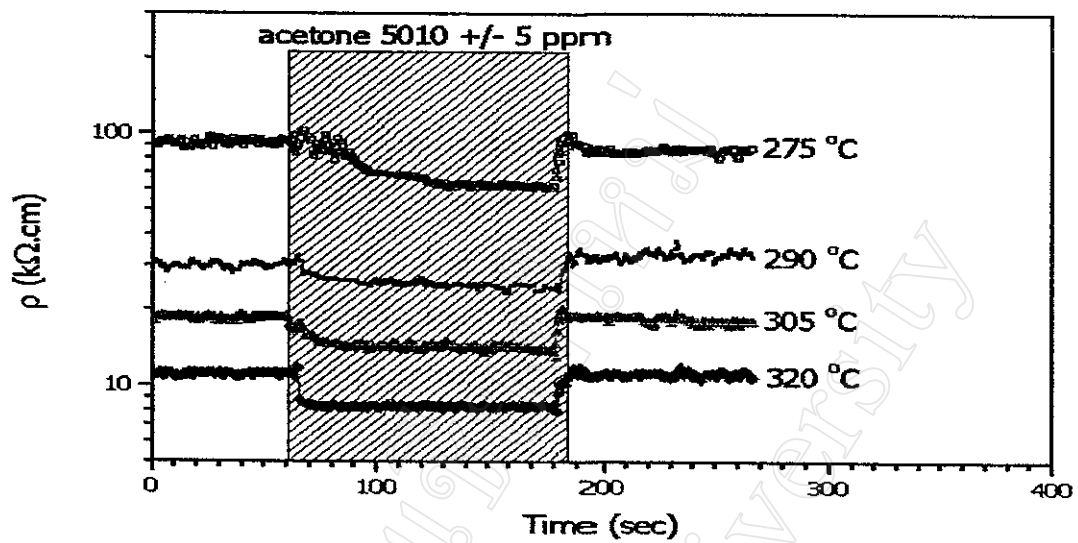
ตารางที่ 4.5 แสดงฟังก์ชันแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสภาพไวกับความเข้มข้นของไอของ
เอริลแอลกอฮอล์ของ หัววัด A ,B และ C

หัววัด	ความสัมพันธ์ระหว่างสภาพไวกับความเข้มข้นของก๊าซ
A	$S = (4.66 \times 10^{-4})C + 1.01$
B	$S = (4.66 \times 10^{-4})C + 1.01$
C	$S = (4.68 \times 10^{-4})C + 1.01$

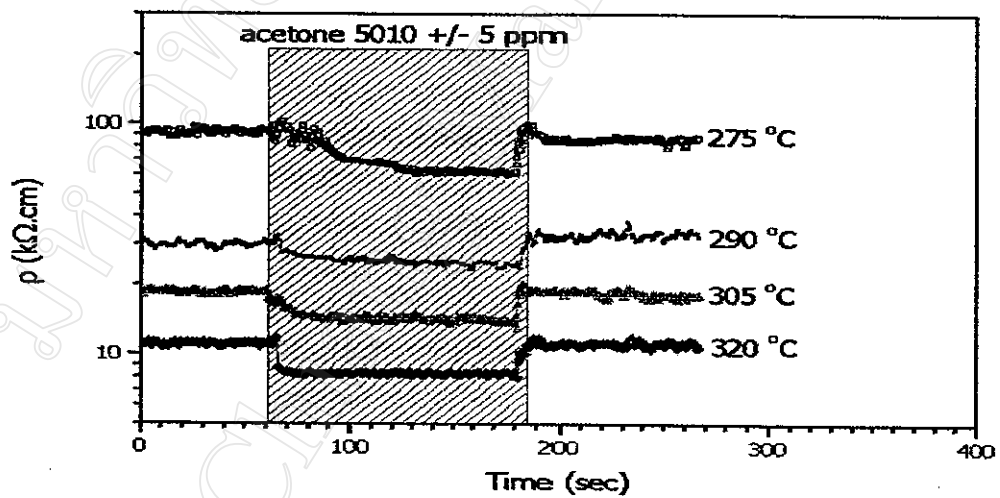
4.6.2 การตรวจวัดไอของอะซีโตนของหัววัด

1) สภาพไวก และ เวลาการตอบสนองที่อุณหภูมิต่างๆ

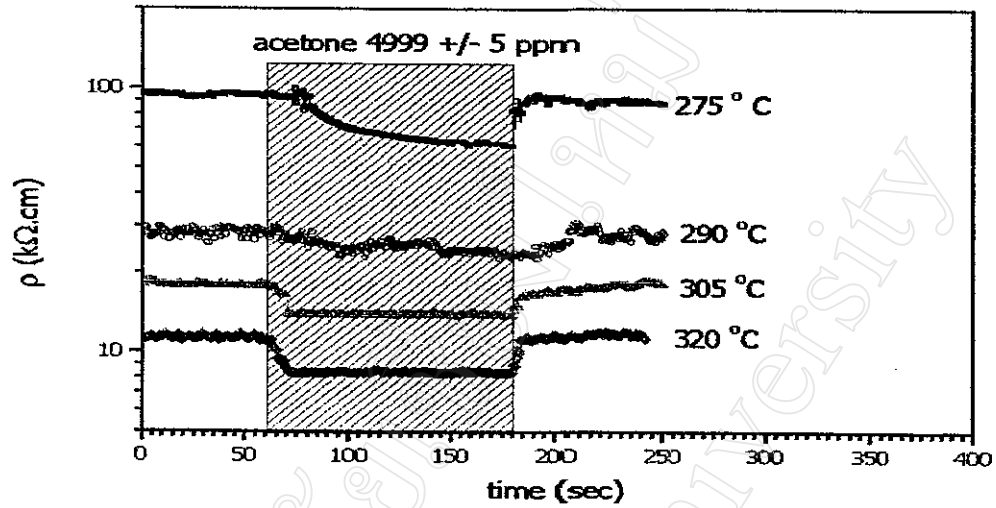
จากการทดลองพบว่าสภาพต้านทานไฟฟ้าของวิสเกอร์ MoO_3 จะลดลงเมื่อได้รับไอ
ของอะซีโตน ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและสภาพต้านทานไฟฟ้าของวิสเกอร์ก่อนและหลัง
ได้รับไอของอะซีโตน ที่อุณหภูมิต่างๆ ของ หัววัด A,B และC แสดงได้ดังรูปที่ 4.22-4.24
ตามลำดับ โดยใช้ความเข้มข้นของอะซีโตนประมาณ 5000 ppm ซึ่งสามารถวิเคราะห์ค่า
สภาพไวก และ เวลาการตอบสนองได้ดังตารางที่ 4.6



รูปที่ 4.22 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของสภาพต้านทานไฟฟ้าของ หัววัด A เมื่อได้รับไอของ อะซิโตนที่มีความเข้มข้น 5010 ± 5 ppm ที่อุณหภูมิต่างๆ



รูปที่ 4.23 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของสภาพต้านทานไฟฟ้าของ หัววัด B เมื่อได้รับไอของ อะซิโตนที่มีความเข้มข้น 5010 ± 6 ppm ที่อุณหภูมิต่างๆ



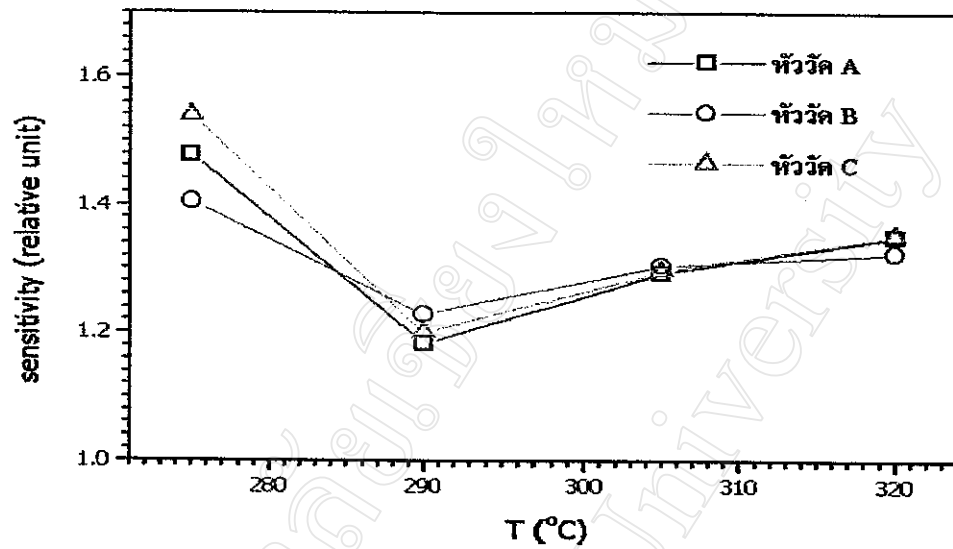
รูปที่ 4.24 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของสภาพต้านทานไฟฟ้าของ หัววัด C เมื่อได้รับไอของ อะซิโตนที่มีความเข้มข้น 4999 ± 5 ppm ที่อุณหภูมิต่างๆ

ตารางที่ 4.6 แสดงค่าของความต้านทานไฟฟ้าเริ่มต้น (ρ_0) ความต้านทานไฟฟ้าเมื่อได้รับไอของอะซีไคน (ρ_g) response time (τ_{90}) และ สภาพไว (S) ของ หัววัด A B และ C

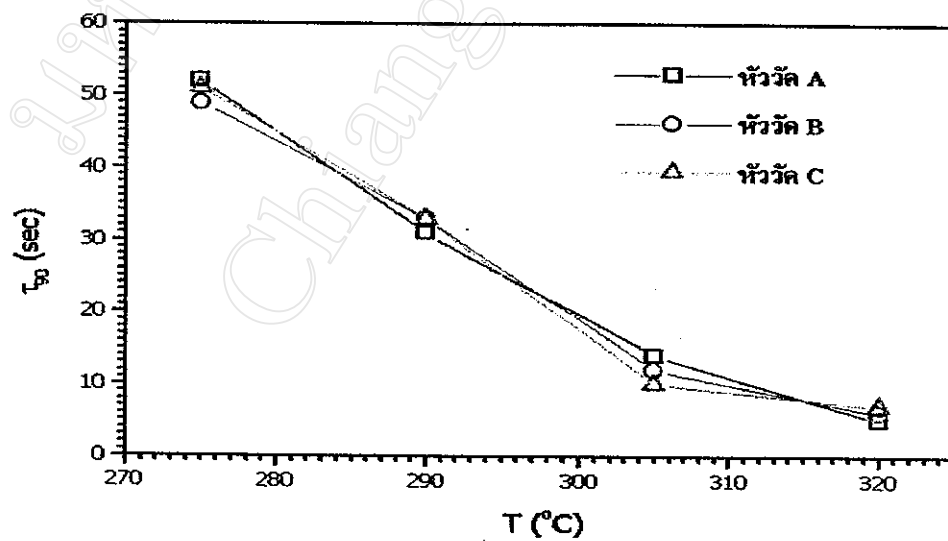
หัววัด	T (°C)	ρ_0 (k Ω .cm)		ρ_g (k Ω .cm)		$\Delta\rho$ (k Ω .cm)	$\rho_0-90\%\Delta\rho$ (k Ω .cm)	τ_{90} (sec)	S
		เฉลี่ย	$\pm$ error	เฉลี่ย	$\pm$ error				
A	275	92.242	0.114	62.392	0.093	29.85	68.362	52	1.478
	290	29.865	0.043	25.248	0.032	4.617	26.171	35	1.183
	305	18.355	0.029	14.199	0.012	4.156	15.030	17	1.293
	320	11.348	0.022	8.4	0.008	2.948	8.990	8	1.351
B	275	94.878	0.1	67.509	0.24	27.369	72.983	50	1.405
	290	35.607	0.1	28.974	0.022	6.633	30.301	36	1.229
	305	18.431	0.023	14.128	0.021	4.303	14.989	19	1.305
	320	10.767	0.003	8.123	0.002	2.644	8.652	7	1.325
C	275	94.423	0.107	61.372	0.076	33.051	67.982	51	1.539
	290	28.598	0.097	23.824	0.044	4.774	24.779	33	1.200
	305	18.008	0.017	13.878	0.012	4.13	14.704	18	1.298
	320	11.371	0.011	8.402	0.004	2.969	8.996	7	1.353

2) อุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับใช้งานหัววัดในการตรวจวัดไอของอะซีไคน

เมื่อพิจารณาค่าสภาพไวค่อไอของอะซีไคน และ เวลาการตอบสนองที่อุณหภูมิต่างๆ ดังรูปที่ 4.25 และ 4.26 แล้วพบว่าที่อุณหภูมิ 275 °C เป็นอุณหภูมิที่ให้สภาพไวสูงสุดประมาณ 1.40-1.50 แต่เมื่อพิจารณาเวลาการตอบสนองที่อุณหภูมิ 275 °C พบว่าหัววัดต้องใช้เวลาคอบสนองถึง 50 วินาที และสภาพต้านทานไฟฟ้าเริ่มต้น (ρ_0) มีค่าสูงมากซึ่งจะทำให้วัดค่าสภาพต้านทานได้ยากจึงไม่เหมาะสมที่จะใช้ในการตรวจวัด เมื่อพิจารณาที่อุณหภูมิ 320 °C พบว่าให้สภาพไวรองลงมาประมาณ 1.30-1.36 แต่เวลาการตอบสนองประมาณ 7 วินาทีและสภาพต้านทานไฟฟ้าเริ่มต้นมีค่าต่ำเมื่อเทียบกับอุณหภูมิ 275 °C ดังนั้นการใช้งานหัววัดเพื่อตรวจวัดไอของอะซีไคนที่อุณหภูมิ 320 °C จึงเหมาะสมที่สุด



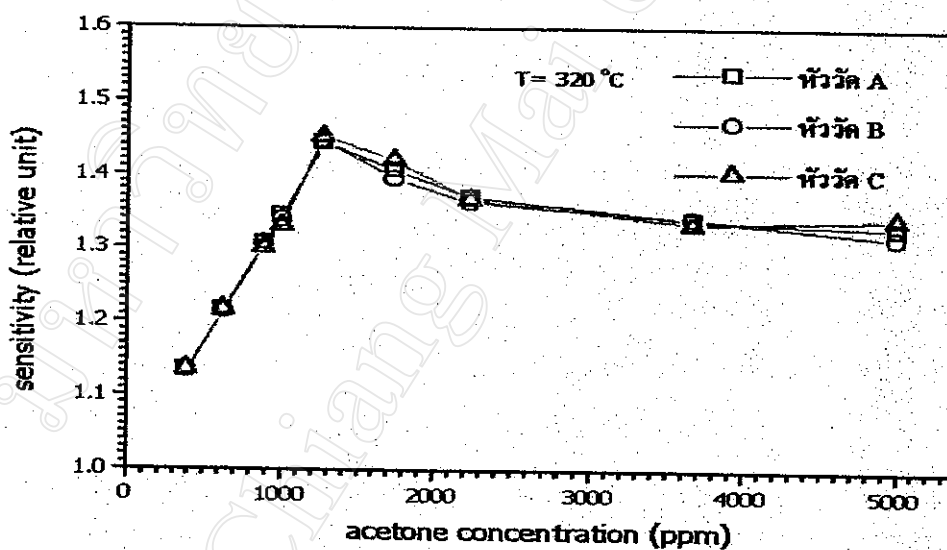
รูปที่ 4.25 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสภาพ ไร กับ อุณหภูมิของ หัววัด A, B และ C เมื่อ ได้รับ ไอของอะซีโตนที่มีความเข้มข้นประมาณ 5000 ppm



รูปที่ 4.26 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาการตอบสนองกับ อุณหภูมิของ หัววัด A, B และ C เมื่อ ได้รับ ไอของอะซีโตนที่มีความเข้มข้นประมาณ 5000 ppm

3) ความสัมพันธ์ระหว่างสภาพไวและความเข้มข้นของอะซิโตนของหัววัด

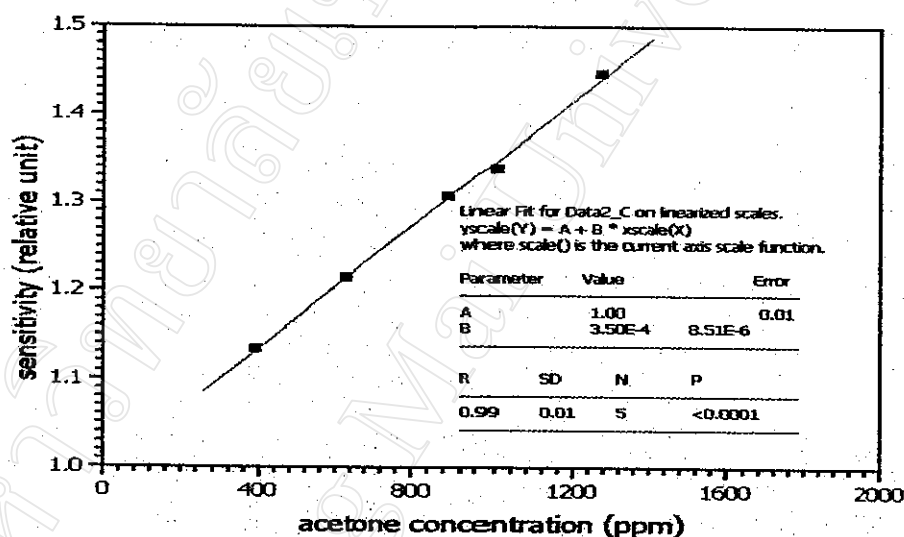
หลังจากที่ได้อุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการตรวจวัดไอของอะซิโตน (320°C) ต่อมาได้ทดลองแปรค่าความเข้มข้นของไอของอะซิโตนเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างสภาพไวและความเข้มข้นของอะซิโตนของหัววัดที่อุณหภูมิ 320°C เมื่อความเข้มข้นของไอของอะซิโตนน้อยกว่า 1100 ppm พบว่าสภาพไวของหัววัดจะเพิ่มขึ้นเป็นแบบเชิงเส้นกับความเข้มข้นของไอของอะซิโตนดังรูป ที่ 4.27 ในทำนองเดียวกันกับการตรวจวัดเอริลแอลกอฮอล์เมื่อความเข้มข้นของไอของอะซิโตนมากกว่า 1100 ppm พบว่า สภาพไวจะลดลงอย่างช้าๆ คล้ายกับการทดสอบที่ได้จากวัดไอของเอริลแอลกอฮอล์



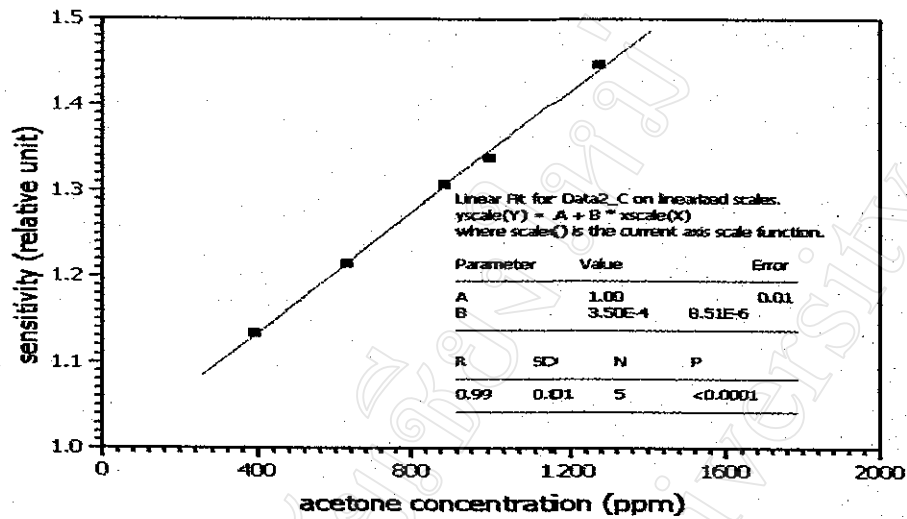
รูปที่ 4.27 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสภาพไวกับความเข้มข้นของไอของอะซิโตน เมื่อแปรค่าความเข้มข้นของก๊าซตั้งแต่ 0-5000 ppm ที่อุณหภูมิ 320°C

4) ฟังก์ชันแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสภาพไวกับความเข้มข้นของไอของอะซีโตนก่อนที่หัววัดจะเกิดการอิ่มตัว

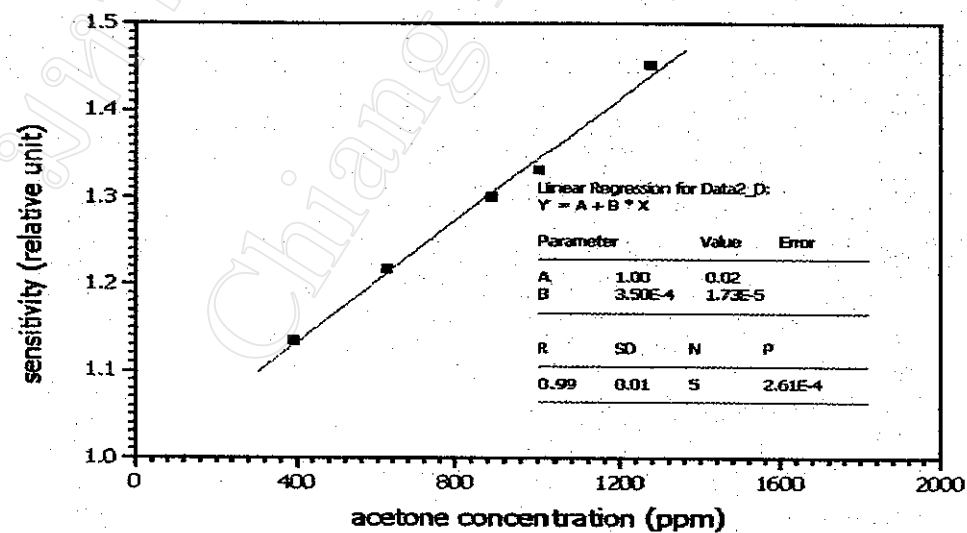
จากการทดลองพบว่าเมื่อความเข้มข้นของไอของอะซีโตนมีค่าน้อยกว่า 1100 ppm จะให้ความสัมพันธ์ระหว่างสภาพไวและความเข้มข้นของก๊าซของ หัววัด A,B และ C เป็นแบบเชิงเส้นในรูป 4.28-4.30 ตามลำดับ ซึ่งสามารถวิเคราะห์หาฟังก์ชันแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสภาพไวกับความเข้มข้นของไอของอะซีโตนได้ดังตารางที่ 4.7



รูปที่ 4.28 การหาฟังก์ชันแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสภาพไวกับความเข้มข้นของไอของอะซีโตนหัววัด A



รูปที่ 4.29 การหาฟังก์ชันแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสภาพไวกับความเข้มข้นของไอของอะซีโตนของ หัววัด B



รูปที่ 4.30 การหาฟังก์ชันแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสภาพไวกับความเข้มข้นของไอของอะซีโตนของ หัววัด C

ตารางที่ 4.7 แสดงฟังก์ชันแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสภาพไวกับความเข้มข้นของอะซิโตน
ของ หัววัด A , B และ C

หัววัด	ความสัมพันธ์ระหว่างสภาพไวกับความเข้มข้น
A	$S = (3.48 \times 10^{-4})C + 1.00$
B	$S = (3.50 \times 10^{-4})C + 1.00$
C	$S = (3.50 \times 10^{-4})C + 1.00$