บทที่ 4

การศึกษาผลของแก๊สพาห์ที่มีต่อการตอบสนองของหัวตรวจวัดแก๊ส

ในการประดิษฐ์หัวตรวจวัดแก๊สจากสารกึ่งตัวนำ ตามที่ปรากฏทั่วไป จะมุ่งเน้นในด้านการปรับปรุงลักษณะสมบัติ 2 ประการ ได้แก่ ความไว และ ความจำเพาะ ซึ่งจะได้จากการใช้สารเจือปน(doping material) ชนิดต่างๆ เติมลงในวัสดุหลักที่นำมาสร้างหัวตรวจวัดแก๊ส อย่างไรก็ตามยังคงมีลักษณะสมบัติอื่นที่ควรนำมาพิจารณา เมื่อนำหัวตรวจวัดแก๊สไปใช้งาน อันได้แก่ ช่วงการตรวจวัด(dynamic range), ความเป็นเส้นตรงของการตรวจวัด (linearity) , เวลาตอบสนอง(response time) , เวลาฟื้นตัว (recovery time) และ ค่าการนำไฟฟ้าพื้นหลังของหัวตรวจวัด (background conductance)

ดังที่ได้กล่าวถึงการตอบสนองของหัวตรวจวัดแก๊สในบทที่ 2 ไปแล้วว่าเป็นผลมาจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน-รีดักชัน ของแก๊สที่อยู่บริเวณผิวหัวตรวจวัดแก๊ส กับผิวของหัวตรวจวัดแก๊ส ปฏิกิริยาดังกล่าวทำให้ความต้านทานไฟฟ้า หรือการนำไฟฟ้าของหัวตรวจวัดแก๊สเกิดการเปลี่ยนแปลง ดังนั้นคาดว่าจากการควบคุมชนิดและปริมาณของแก๊สพาห์จะทำให้สามารถควบคุม ช่วงการตรวจวัด, ความเป็นเส้นตรง, เวลาตอบสนอง, เวลาฟื้นตัว, ค่าความนำไฟฟ้าพื้นหลัง และ ความไว ได้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

<u>การทดลอง</u>

ระบบโฟลว์อินเจคชันจากบทที่ 3 จะถูกนำมาเป็นระบบสำหรับการทดลองผลของแก๊สพาห์ต่อการตอบสนองของหัวตรวจวัดแก๊ส โดยในขั้นแรกนี้จะใช้หัวตรวจวัดแก๊ส ที่มีจำหน่ายจาก 2 บริษัท ดังรูปที่ 4.1 โดยตัวแรกเป็นของบริษัท Figaro Engineering รุ่น TGS-822 และอีกตัวหนึ่งเป็นของบริษัท Nippon Ceramic รุ่น NGSX-03 หัวตรวจ

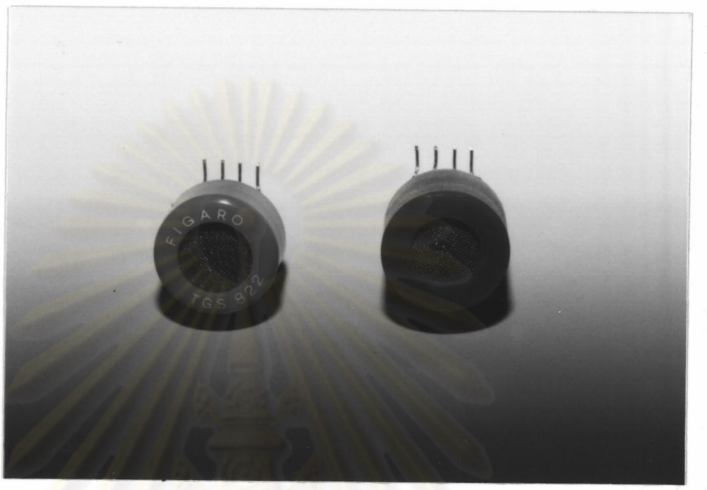
T182020074

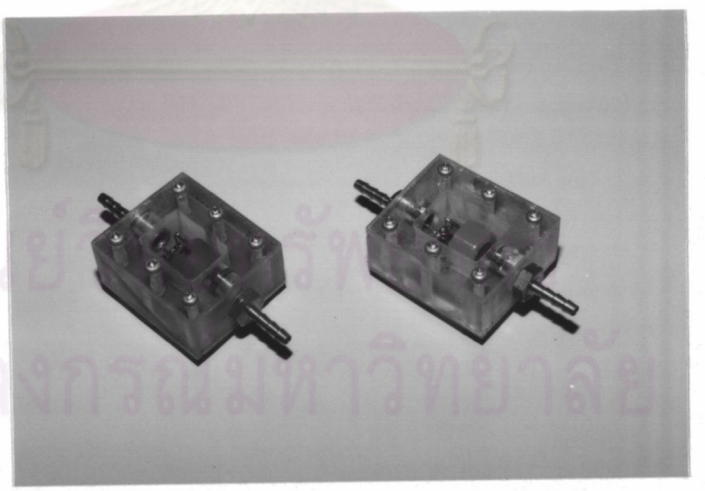
วัดแก๊สทั้งสองสร้างขึ้นจากสารกึ่งตัวนำในแบบเซรามิก สำหรับใช้ในการตรวจวัดแอลกอฮอล์ เงื่อนไขของระบบที่ใช้ในการทดลองแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 เงื่อนไขของระบบสำหรับการศึกษาผลของออกซิเจนในแก๊สพาห์ที่มีต่อการตอบสนองของหัวตรวจวัดแก๊ส TGS-822 และ NGSX-03

เงื่อนไข	หัวตรวจวัดแก๊ส	
	TGS-822	NGSX-03
V_{IN} (v)	15	15
V_H (v)	5	5
R (Ω)	10K	100
ปริมาตรโฟลว์เซล (ml)	8.3	8.3
แก๊สพาห์	O_2+N_2 มี O_2 ตั้งแต่ 10ppmถึง99.5%	O_2+N_2 มี O_2 ตั้งแต่ 10ppmถึง99.5%
อัตราการไหลของแก๊สพาห์ (ml/min)	200	200
สารตัวอย่าง	เอทิลแอลกอฮอล์ตั้งแต่0% v/v ถึง 100%v/v	เอทิลแอลกอฮอล์ตั้งแต่0% v/v ถึง 100%v/v
ปริมาตรสารตัวอย่างที่ฉีด (µl)	1	1
อุณหภูมิหัวฉีด(^{o}c)	80±5	80±5

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย





รูปที่ 4.1 ลักษณะของหัวตรวจวัดแก๊ส TGS-822 และ NGSX-03 ก่อนและหลังติดตั้งในโฟลว์เซล

ผลการทดลอง

1. ค่าการนำไฟฟ้าพื้นหลัง (Background conductance)

จากการทดลองศึกษาความสัมพันธ์ระหว่าง ปริมาณออกซิเจนในแก๊สพาห์ และค่าความนำไฟฟ้าพื้นหลังของหัวตรวจวัดแอลกอฮอล์ NGSX-03 และ TGS-822 ซึ่งเป็นค่าความนำไฟฟ้าในขณะที่ไม่มีแอลกอฮอล์ในระบบ ได้ผลดังรูปที่ 4.2 และรูปที่ 4.3 ตามลำดับ ผลจากหัวตรวจวัดทั้งสองได้แสดงให้เห็นว่า ค่าความนำไฟฟ้าพื้นหลังมีค่าลดต่ำลง เมื่อแก๊สพาห์มีปริมาณออกซิเจนเพิ่มขึ้น โดยเมื่อใช้แก๊สไนโตรเจน(มีออกซิเจน10ppm)เป็นแก๊สพาห์กับหัวตรวจวัดแก๊ส NGSX-03 ค่าความนำไฟฟ้าพื้นหลังมีค่า 15 mS แต่เมื่อมีออกซิเจนในแก๊สพาห์ 99.5% ค่าความนำไฟฟ้าพื้นหลังจะลดลงอย่างเด่นชัดคือ มีค่าเหลือเพียง 3 mS ส่วนหัวตรวจวัดแอลกอฮอล์ TGS-822 จะมีค่าความนำไฟฟ้าพื้นหลังเมื่อใช้ไนโตรเจน(มีออกซิเจน10ppm) และออกซิเจนเป็นแก๊สพาห์ เท่ากับ 14μS และ 1μS ตามลำดับ

ผลของออกซิเจนที่ทำให้ค่าความนำไฟฟ้าพื้นหลังลดลงคาดว่าเกิดจากโมเลกุลของออกซิเจนในแก๊สพาห์มีการดูดซับ(adsorption) ที่บริเวณผิวของหัวตรวจวัดซึ่งเป็นตีบุกออกไซด์(SnO_x) ดังแสดงในสมการที่[4.1] ทำให้บริเวณผิวดังกล่าวเปลี่ยนแปลงเป็น $O_{ad}(SnO_x)$ ที่ง่ายต่อการทำปฏิกิริยากับแก๊สที่เป็นตัวรีดิวซ์ ซึ่งในที่นี้คือเอทิลแอลกอฮอล์ $O_{ad}(SnO_x)$ ที่เกิดขึ้นจะเปรียบเสมือนกำแพงพลังงานศักย์ของอิเล็กตรอน (potential barrier) ถ้าในขณะนั้นไม่มีแก๊สที่เป็นตัวรีดิวซ์อยู่บริเวณผิวของหัวตรวจวัด ก็จะเป็นผลให้ความนำไฟฟ้าพื้นหลังของหัวตรวจวัดแอลกอฮอล์มีค่าลดลง

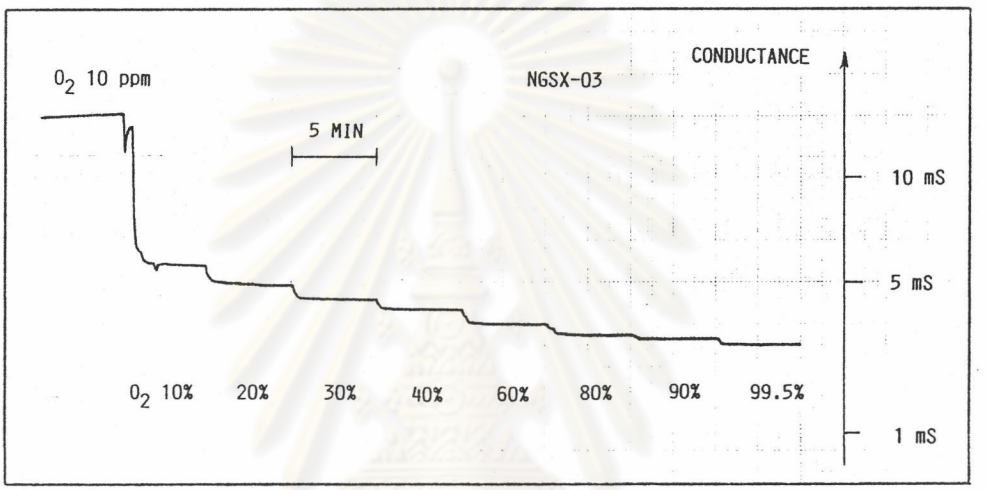
$$O_2 + SnO_x \longrightarrow O_{ads}(Sno_x) \qquad \text{———[4.1]}$$

ผลจากการที่หัวตรวจวัดแอลกอฮอล์มีค่าความนำไฟฟ้าพื้นหลังต่ำ ทำให้ความไว (sensitivity) ในการตรวจวัดแอลกอฮอล์สูงขึ้นในกรณีที่คำนวณความไวในการวัดโดยใช้ค่าความนำไฟฟ้าพื้นหลังเป็นค่าอ้างอิง เช่น

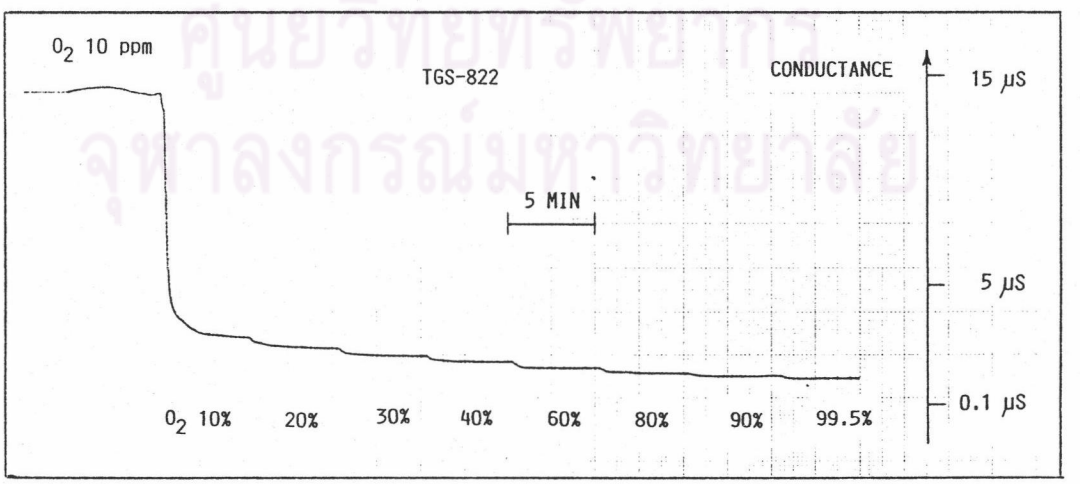
ความไว = G/G_o

เมื่อ G คือ ค่าความนำไฟฟ้าสูงสุดของหัวตรวจวัดแก๊สเมื่อมีการตอบสนองต่อแก๊สตัวอย่าง

G_o คือ ค่าความนำไฟฟ้าพื้นหลัง



รูปที่ 4.2 ผลของออกซิเจนในแก๊สพาห์ที่มีต่อค่าความนำไฟฟ้าพื้นหลัง ของหัวตรวจวัดแก๊ส NGSX-03

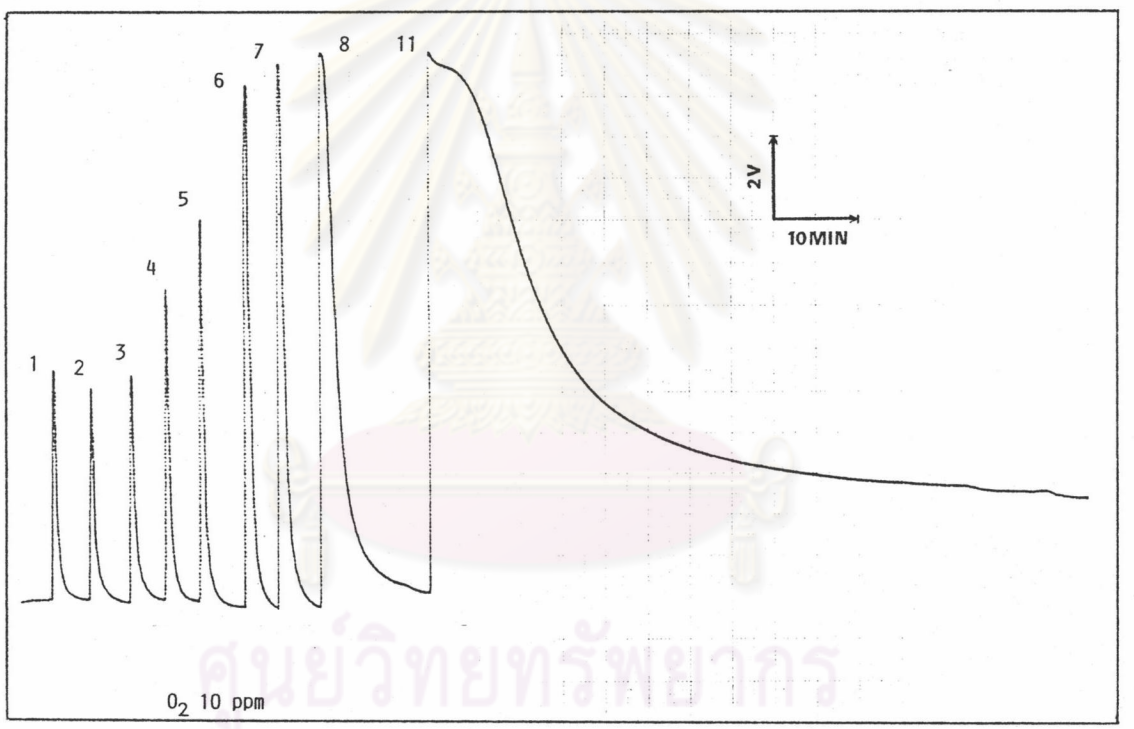


รูปที่ 4.3 ผลของออกซิเจนในแก๊สพาห์ที่มีต่อค่าความนำไฟฟ้าพื้นหลัง ของหัวตรวจวัดแก๊ส TGS-822

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

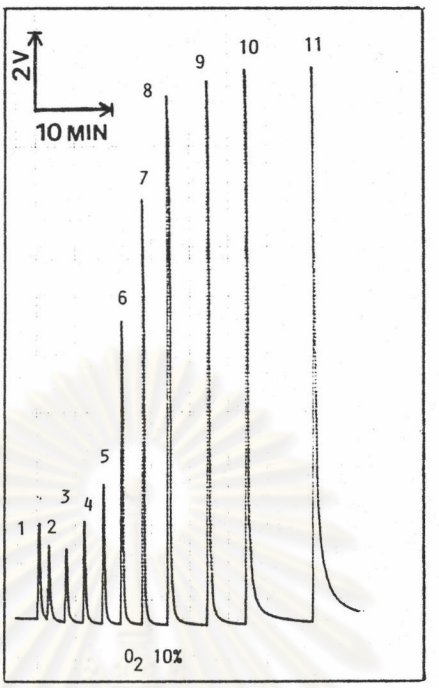
2. <u>เวลาตอบสนองและเวลาฟื้นตัว</u>

เมื่อทดลองฉีดเอทิลแอลกอฮอล์ที่ความเข้มข้นต่างๆ ตั้งแต่ 0 ถึง 100%v/v เข้าสู่ระบบ ได้ผลการทดลองดังรูปที่ 4.4, 4.5 และ 4.6 ซึ่งเป็นผลจากหัวตรวจวัด TGS -822 เมื่อใช้ไนโตรเจน(มีออกซิเจน10ppm), ออกซิเจน10% และออกซิเจน99.5% เป็นแก๊สพาห์ ตามลำดับ สำหรับหัวตรวจวัด NGSX-03 จะให้ผลในลักษณะเดียวกัน

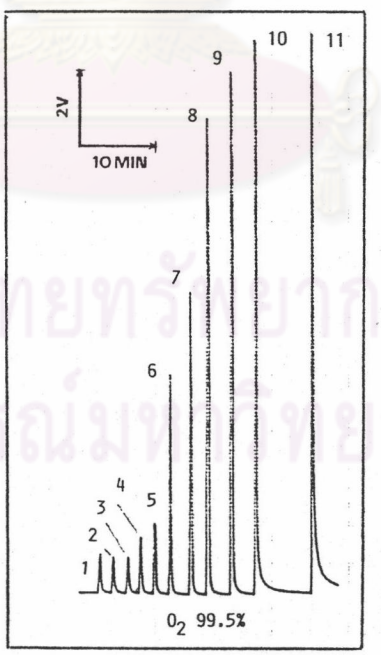


รูปที่ 4.4 การตอบสนองของหัวตรวจวัดแก๊ส TGS-822ที่มีต่อเอทิลแอลกอฮอล์ความเข้มข้นต่างๆได้แก่ 1)0%(น้ำ),2)0.001%,3)0.01%,4)0.05%,5)0.1%,6)0.5%, 7)1%,8)5% และ11)100% v/v เมื่อใช้แก๊สพาห์ที่มีปริมาณออกซิเจน 10ppm

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.5 การตอบสนองของหัวตรวจวัดแก๊ส TGS-822ที่มีต่อเอทิลแอลกอฮอล์ความเข้มข้นต่างๆได้แก่ 1)0%(น้ำ),2)0.001%,3)0.01%,4)0.05%,5)0.1%,6)0.5%, 7)1%,8)5%,9)10%,10)50% และ 11)100% v/v เมื่อใช้แก๊สพาห์ที่มีปริมาณออกซิเจน 10%



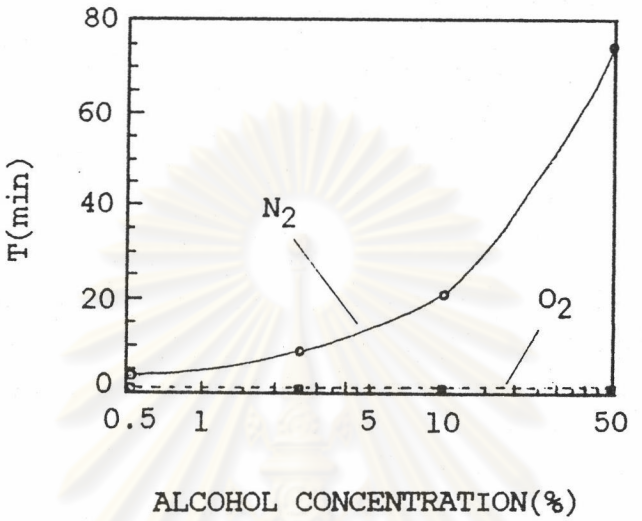
รูปที่ 4.6 การตอบสนองของหัวตรวจวัดแก๊ส TGS-822ที่มีต่อเอทิลแอลกอฮอล์ความเข้มข้นต่างๆได้แก่ 1)0%(น้ำ),2)0.001%,3)0.01%,4)0.05%,5)0.1%,6)0.5%, 7)1%,8)5%,9)10%,10)50% และ 11)100% v/v เมื่อใช้แก๊สพาห์ที่มีปริมาณออกซิเจน 99.5%

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

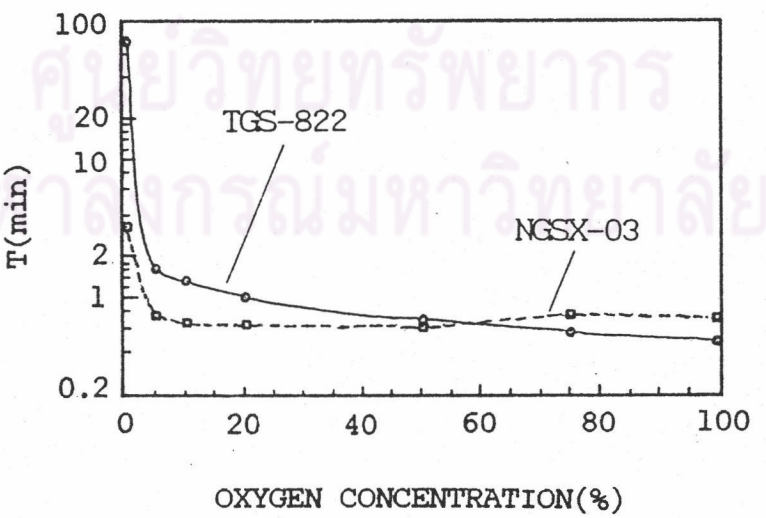
จากรูปที่ 4.4, 4.5 และ4.6 พบว่าหัวตรวจวัด TGS-822 มีการตอบสนองโดยรวดเร็วมาก ที่ทุกค่าความเข้มข้นของแอลกอฮอล์และทุกปริมาณของออกซิเจนในแก๊สพาห์ สำหรับเวลาฟื้นตัว ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่นับตั้งแต่การเปลี่ยนแปลงค่าความนำไฟฟ้าจากจุดสูงสุดลงมาเหลือเพียงร้อยละ 90 เมื่อเทียบจากจุดสูงสุดกับค่าความนำไฟฟ้าพื้นหลังนั้น ได้ผลการทดลองในรูปที่ 4.7 ซึ่งเปรียบเทียบเวลาฟื้นตัวของหัวตรวจวัดแก๊ส TGS-822 เมื่อใช้ออกซิเจน และไนโตรเจนเป็นแก๊สพาห์ ในการตรวจวัดเอทิลแอลกอฮอล์ที่ความเข้มข้นต่างๆ จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการใช้ไนโตรเจน(มีออกซิเจน10ppm)เป็นแก๊สพาห์ จะทำให้เวลาฟื้นตัวจะมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อเอทิลแอลกอฮอล์มีความเข้มข้นเพิ่มขึ้น ส่วนการใช้ออกซิเจนเป็นแก๊สพาห์นั้นถึงแม้ว่าเอทิลแอลกอฮอล์มีความเข้มข้นเพิ่มขึ้น ก็ไม่มีผลต่อเวลาฟื้นตัวมากนัก

ส่วนในรูปที่ 4.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาฟื้นตัวของหัวตรวจวัดแก๊ส TGS-822 และ NGSX-03 กับปริมาณของออกซิเจนในแก๊สพาห์ เมื่อตรวจวัดเอทิลแอลกอฮอล์ที่มีความเข้มข้น 50%v/v จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าเมื่อเอทิลแอลกอฮอล์มีความเข้มข้นคงที่ เวลาฟื้นตัวของหัวตรวจวัดแก๊สทั้งสองจะมีค่าลดลงเมื่อออกซิเจนมีปริมาณเพิ่มขึ้น

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาฟื้นตัวกับความเข้มข้นของแอลกอฮอล์



รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาฟื้นตัวกับปริมาณออกซิเจนในแก๊สพาห์

เวลาตอบสนองและเวลาฟื้นตัวของหัวตรวจวัดแก๊สจะมีความเกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาระหว่างเอทิลแอลกอฮอล์กับผิวของหัวตรวจวัดแก๊ส ดังสมการที่ [4.2]

$$CH_3CH_2OH + O_{ad}(SnO_x) \longrightarrow CH_3CHO + H_2O + SnO_x \qquad \text{———[4.2]}$$

ปฏิกิริยาระหว่าง $O_{ad}(SnO_x)$ กับแอลกอฮอล์ในสมการที่[4.2] จะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วดังเห็นได้จากรูปที่ 4.4, 4.5 และ4.6 ซึ่งแสดงการตอบสนองของหัวตรวจวัดแก๊สที่มีช่วงเวลาการตอบสนองที่สั้นมาก ตลอดช่วงความเข้มข้นของเอทิลแอลกอฮอล์ที่ฉีดเข้าสู่ระบบ

SnO_x อันเป็นผลผลิตของปฏิกิริยาที่[4.2] จะเปลี่ยนเป็น $O_{ad}(SnO_x)$ได้อีกถ้ามีออกซิเจนในแก๊สพาห์เพียงพอ ดังสมการที่[4.3]

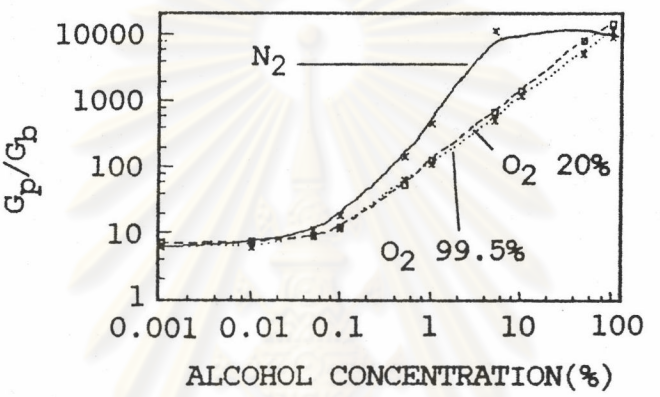
$$O_2 + SnO_x \longrightarrow O_{ad}(SnO_x) \qquad \text{———[4.3]}$$

ถ้าการเกิดปฏิกิริยาเคมีในสมการที่[4.3]เป็นผลให้ $O_{ad}(SnO_x)$มีจำนวนเท่ากับก่อนทำปฏิกิริยากับเอทิลแอลกอฮอล์ ค่าความนำไฟฟ้าของหัวตรวจวัดแก๊สจะลดลงเป็นค่าความนำไฟฟ้าพื้นหลัง ดังนั้นเวลาฟื้นตัวของหัวตรวจวัดแก๊ส จึงเป็นเวลาที่ใช้ในการดูดซับออกซิเจนที่บริเวณผิวของหัวตรวจวัดแก๊ส เพื่อเกิดเป็น $O_{ad}(SnO_x)$ที่ทำให้ค่าความนำไฟฟ้าของหัวตรวจวัดแก๊สมีค่าเป็นความนำไฟฟ้าพื้นหลัง หัวตรวจวัดแก๊สจึงพร้อมจะใช้งานได้ต่อไป

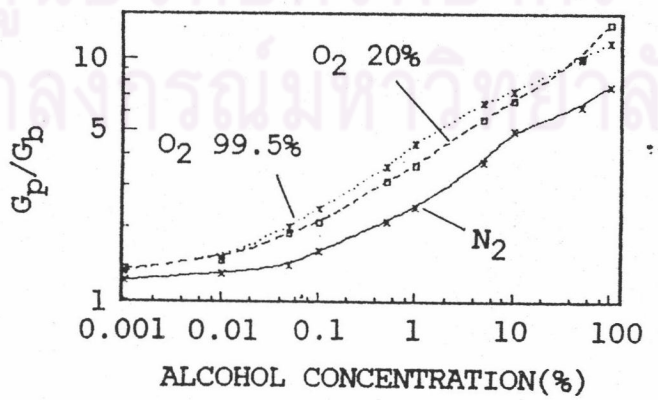
3. <u>ความไว ช่วงการตรวจวัด และความเป็นเส้นตรง</u>

ผลการทดลองในรูปที่ 4.9 และ 4.10 เป็นรูปแสดงกราฟมาตรฐาน (calibration curve)สำหรับเอทิลแอลกอฮอล์ ที่ความเข้มข้นตั้งแต่ 0.001 - 100% v/v จากหัวตรวจวัดแอลกอฮอล์ TGS-822 และ NGSX-03 ตามลำดับ โดยค่า G_p/G_b คือความไวในการตรวจวัด ซึ่งเป็นอัตราส่วนระหว่างค่าความนำไฟฟ้าสูงสุด(G_p) ของหัว

ตรวจวัดแก๊สในการตรวจวัดแอลกอฮอล์ที่ความเข้มข้นต่างๆ กับค่าความนำไฟฟ้าพื้นหลัง(G_b) ของหัวตรวจวัดในการตรวจวัดแอลกอฮอล์ที่ความเข้มข้นนั้นๆ



รูปที่ 4.9 กราฟมาตรฐานของแอลกอฮอล์จากหัวตรวจวัดแก๊ส TGS-822



รูปที่ 4.10 กราฟมาตรฐานของแอลกอฮอล์จากหัวตรวจวัดแก๊ส NGSX-03

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ความสัมพันธ์ระหว่างความไวในการตรวจวัดกับความเข้มข้นของเอทิลแอลกอฮอล์ ใน รูปที่ 4.9 และ 4.10 แสดงได้ในรูปของสมการที่ 4.4

$$\log(G_p/G_b) = \log(a) + (b \log(C)) \qquad \text{———[4.4]}$$

จากสมการที่[4.4] a,b และ C คือ จุดตัดแกน Y, ความชัน และความเข้มข้นของแอลกอฮอล์ ตามลำดับ ค่า b และค่า r^2 ของข้อมูลในรูปที่ 4.9 และ4.10 แสดงในตารางที่ 4.2 โดย r^2 คือ ค่าสัมประสิทธิ์ความเป็นเส้นตรง (linear regression coefficient)

ตารางที่ 4.2 ค่าความชันและค่าสัมประสิทธิ์ความเป็นเส้นตรงของกราฟมาตรฐานในรูปที่ 4.9 และ 4.10

ปริมาณออกซิเจน	TGS-822		NGSX-03	
ในแก๊สพาห์	b	r^2	b	r^2
10ppm	0.944	0.8112	0.236	0.9896
20%	1.042	0.9992	0.267	0.9955
99.5%	0.988	0.9994	0.227	0.9932

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากค่า b ในตารางที่4.2 ได้แสดงให้เห็นว่าความไวในการตรวจวัดของหัวตรวจวัดแอลกอฮอล์ทั้งสองมีแนวโน้มคล้ายคลึงกัน เมื่อใช้แก๊สพาห์ที่มีออกซิเจนในปริมาณต่างๆ แต่เมื่อพิจารณารูปที่ 4.9 และ 4.10 จะพบว่าแก๊สพาห์ที่มีออกซิเจนต่างกัน จะมีความแตกต่างของช่วงการตรวจวัดรวมทั้งความเป็นเส้นตรง โดยพบว่าปริมาณของออกซิเจนที่สูงขึ้นในแก๊สพาห์ในระดับหนึ่ง จะช่วยให้ช่วงการตรวจวัดที่มีความเป็นเส้นตรงกว้างขึ้น ซึ่งในที่นี้ความเป็นเส้นตรงของการตรวจวัดจะพิจารณาได้จากค่า r^2 ในตารางที่ 4.2 เมื่อ r^2 มีค่าเข้าใกล้ 1 มากขึ้น กราฟมาตรฐานของเอทิลแอลกอฮอล์จะมีความเป็นเส้นตรงสูง

การตรวจวัดแอลกอฮอล์ของหัวตรวจวัดแก๊สทั้งสองสามารถใช้งานได้ในช่วงความเข้มข้นแอลกอฮอล์ระหว่าง 0.05 ถึง 50%v/v เมื่อมีออกซิเจน 20% หรือ 99.5% ในแก๊สพาห์ แต่ช่วงความเข้มข้นของแอลกอฮอล์ที่ให้ความเป็นเชิงเส้นดีที่สุด จะอยู่ระหว่าง 0.1 ถึง 50%v/v

ผลของออกซิเจนในแก๊สพาห์ ที่มีต่อช่วงการตรวจวัด และ ความเป็นเส้นตรงสามารถอธิบายได้โดยสมการที่[4.3] ซึ่งปริมาณออกซิเจนที่มากกว่าจะช่วยให้ $O_{ad}(SnO_x)$ เกิดขึ้นอย่างเพียงพอสำหรับเกิดปฏิกิริยากับแอลกอฮอล์ในช่วงความเข้มข้นต่างๆ

4. สรุป

จากการศึกษาผลของแก๊สพาห์ที่มีต่อการตอบสนองของหัวตรวจวัดแก๊สที่สร้างจากสารกึ่งตัวนำ ซึ่งในการทดลองได้ใช้หัวตรวจวัดแก๊สแอลกอฮอล์ TGS-822 และ NGSX-03 สำหรับเป็นแบบอย่างในการศึกษา จากการทดลองได้แสดงให้เห็นถึงผลของออกซิเจนในแก๊สพาห์ ที่มีต่อลักษณะสมบัติพื้นฐานของหัวตรวจวัดแก๊สที่สร้างจากสารกึ่งตัวนำ ดังนี้ คือ เมื่อออกซิเจนในแก๊สพาห์มีปริมาณสูงขึ้นจะทำให้

- การนำไฟฟ้าพื้นหลังมีค่าต่ำลง
- เวลาฟื้นตัวมีค่าลดลง
- ช่วงการตรวจวัด ที่มีความเป็นเส้นตรงกว้างขึ้น

ผลดังกล่าวของออกซิเจน ได้ถูกอธิบายด้วยปฏิกิริยาออกซิเดชัน-รีดักชันที่ผิวของหัวตรวจวัดแก๊สดังได้กล่าวในข้างต้น

เมื่อพิจารณาผลการทดลองของลักษณะสมบัติที่ได้กล่าวไปทั้งหมด จะเห็นได้อย่างชัดเจนว่าปริมาณของออกซิเจนในแก๊สพาห์ที่สูงกว่า จะทำให้ลักษณะสมบัติเหล่านี้ของหัวตรวจวัดแก๊สมีความเหมาะสมต่อการใช้งานมากขึ้น ซึ่งปริมาณออกซิเจนที่ 20% กับ 99.5% จะให้ผลที่ใกล้เคียงกัน ดังนั้นการใช้แก๊สพาห์ที่มีออกซิเจน 20% จะทำให้ใช้งานหัวตรวจวัดแก๊สได้คล่องตัวกว่า เนื่องจากในบรรยากาศจะมีออกซิเจนในปริมาณใกล้เคียงค่าดังกล่าว

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย