บทที่ 5

ผลการทดลองและวิจารณ์

5.1 ข้อมูลด้านการตลาด

5.1.1 ประเภทกิจการและจำนวนข้อมูล

ตารางที่ 5.1 ประเภทกิจการและจำนวนโรงงาน/ร้าน ที่ได้จากการสำรวจ

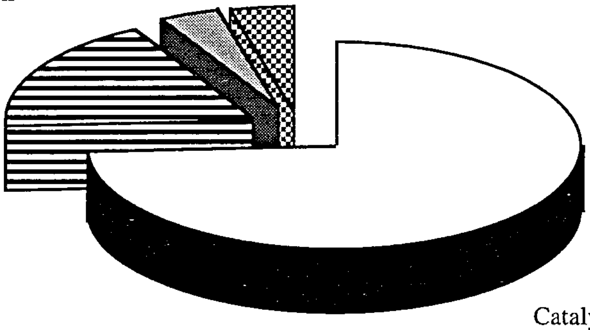
ประเภทกิจการ	จำนวนโรง/ร้าน
ร้านจำหน่ายแก๊ส	3
ลานบรรจุแก๊ส	6
สถานีจำหน่ายแก๊ส	11
สถานีบรรจุแก๊ส	1
สถานที่ใช้แก๊ส	26
โรงกลั่น โรงแยกแก๊สและโรงงานผลิตปิโตรเคมีขั้นต้นและต่อเนื่อง	4
รวม	51

จากตารางที่ 5.1 เป็นข้อมูลเกี่ยวกับ กิจการและโรงงานที่สำรวจจากจำนวนแบบสอบถาม 48 ชุด จากที่ส่งไปทั้งหมด 218 ชุด ซึ่งคิดเป็น 22% ของข้อมูลทั้งหมด และสัมภาษณ์ โรงงาน 3 โรง พบว่ามีร้านจำหน่ายแก๊ส จำนวน 3 ร้าน ลานบรรจุก๊าส 6 ลาน สถานีจำหน่ายแก๊ส 11 สถานี สถานีบรรจุแก๊ส 1 สถานี โรงงาน 26 โรง โรงกลั่นและโรงงานผลิตปิโตรเลียม 4 โรง ซึ่งรายละเอียดของโรงงานและกิจการเหล่านั้นได้แสดงไว้ในตารางภาคผนวกที่ 1

5.1..2 ประเภทตัวตรวจสอบแก๊สที่ใช้ในกิจการที่สำรวจ

ตารางที่ 5.2 แสดงจำนวนและประเภทของตัวตรวจสอบแก๊ส

ประเภทของตัวตรวจสอบแก๊ส	จำนวนเครื่อง
Catalytic combusion sensor	641
Electrochemical cell sensor	155
Semeconductor sensor	30
อื่น ๆ	38
รวม	864



รูปที่ 5.1 ประเภทตัวตรวจสอบแก๊สแสดงในรูปเปอร์เซ็นต์

จากตารางที่ 5.2 และรูปที่ 5.1 แสดงจำนวนความถี่และเปอร์เซ็นต์ของกิจการที่ใช้ตัวตรวจสอบแก๊สแต่ละประเภทที่ใช้ในกิจการที่สำรวจ โดยสามารถจำแนกความนิยมได้ตามประเภทต่าง ๆ ได้คือ ตัวตรวจสอบประเภท Catalytic combusion type มีจำนวน 641 เครื่อง คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ได้ 74% รองลงมาคือ Electrochemical type มีจำนวน 155เครื่อง คิดเป็น 18% และSemiconductor type มี30 เครื่อง คิดเป็น 4% ส่วนตัวตรวจสอบที่ไม่มีการระบุประเภทมี 38 เครื่อง โดยคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ได้ 4%

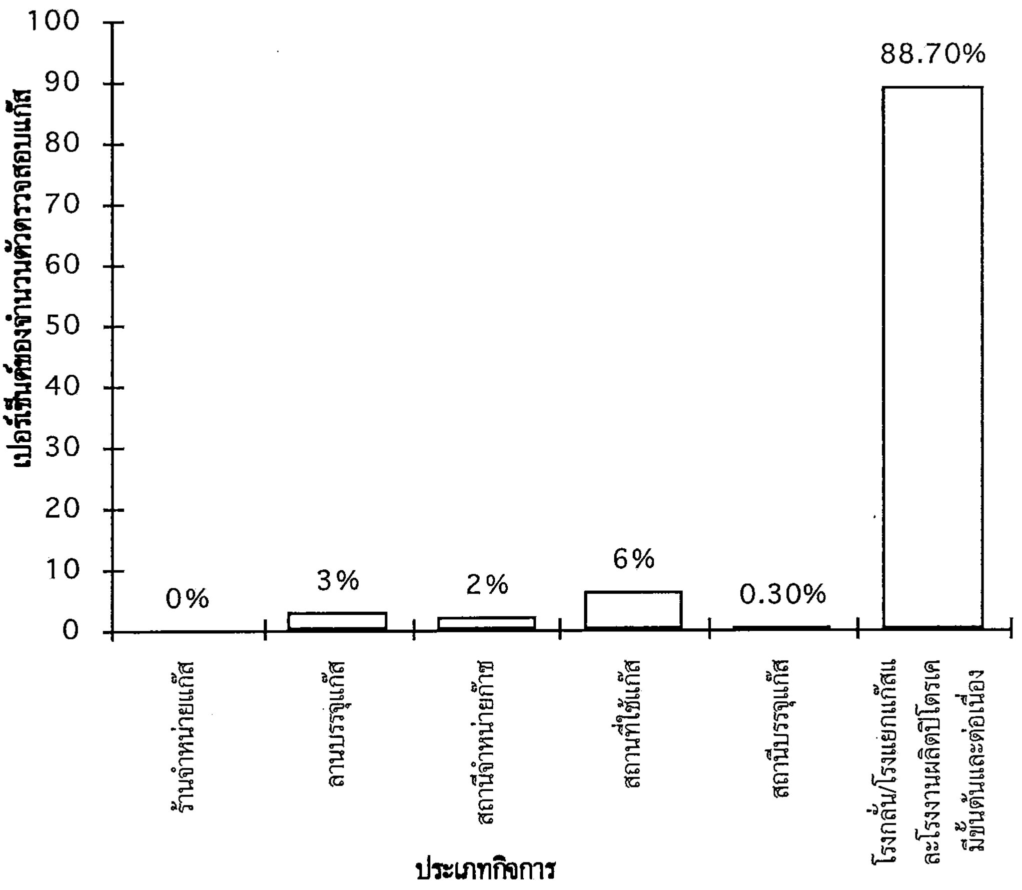
การที่ตัวตรวจสอบแก๊สประเภท Catalytic combustion type มีเปอร์เซ็นต์การใช้ค่อนข้างสูงจะเพราะข้อมูลที่ได้จากการศึกษาในครั้งนี้ส่วนใหญ่จะใช้กับแก๊สเชื้อเพลิง ซึ่งมักใช้ตัวตรวจสอบประเภทนี้เนื่องจากมีความเฉพาะ (Selectivity) ในการตอบสนองต่อแก๊สเหล่านี้ได้ดี นอกจากนี้ตัวตรวจสอบแก๊สที่ใช้ในโรงงานขนาดใหญ่ อาทิ โรงกลั่น โรงงานปิโตรเลียมและปิโตรเคมี เป็นการติดตั้งพร้อมการสร้างโรงงาน และส่วนใหญ่มักใช้เทคโนโลยีจากประเทศสหรัฐอเมริกา หรือ ประเทศในแถบยุโรป ซึ่งนิยมใช้ตัวตรวจสอบประเภทนี้ อย่างไรก็ตามตัวตรวจสอบแก๊สประเภทนี้ต้องดูแลอย่างถูกต้อง อาทิ การปรับมาตรฐานของตัวตรวจสอบทุก ๆ 3-6 เดือน จึงจะใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้ยังใช้อุณหภูมิสูง (>500องศาเซลเซียส) ทำให้สิ้นเปลืองพลังงาน ในขณะที่ในพวก Semiconductor sensor ไม่ต้องมีการ

ปรับมาตรฐาน มีการใช้และดูแลรักษาง่าย ราคาถูกและใช้อุณหภูมิต่ำ (<400องศาเซลเซียส) ทำให้สิ้นเปลืองพลังงานน้อยกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับ Catalyst combustion type และElectrochemical type ดังนั้นในการศึกษาผลิตภัณฑ์ในโครงการนี้จะเน้นเฉพาะด้าน Semiconductor sensor เพื่อเป็นแนวทางในการวิจัยและพัฒนาตัวตรวจสอบแก๊สประเภทนี้ต่อไปในอนาคต

5.1.3 ปริมาณการใช้ตัวตรวจสอบแก๊สในกิจการต่าง ๆ

ตารางที่ 5.3 กิจการและจำนวนการใช้ตัวตรวจสอบแก๊ส

ประเภทกิจการ (โรง/ร้าน)	จำนวนตัวตรวจสอบแก๊ส	มูลค่า (บาท)
ร้านจำหน่ายแก๊ส	-	-
ลานบรรจุแก๊ส	25	250,000-1,250,000
สถานีจำหน่ายแก๊ส	18	180,000-900,000
สถานที่ใช้แก๊ส	50	500,000-2,500,000
สถานีบรรจุแก๊ส	3	30,000-150,000
โรงกลั่น โรงแยกแก๊สและโรงงาน ผลิตปิโตรเคมีขั้นต้นและต่อเนื่อง	768	7,680,000-38,400,000
รวม	864	8,640,000-43,200,000



รูปที่ 5.2 แสดงเปอร์เซ็นต์ตัวตรวจสอบแก๊สที่ใช้ในกิจการต่าง ๆ

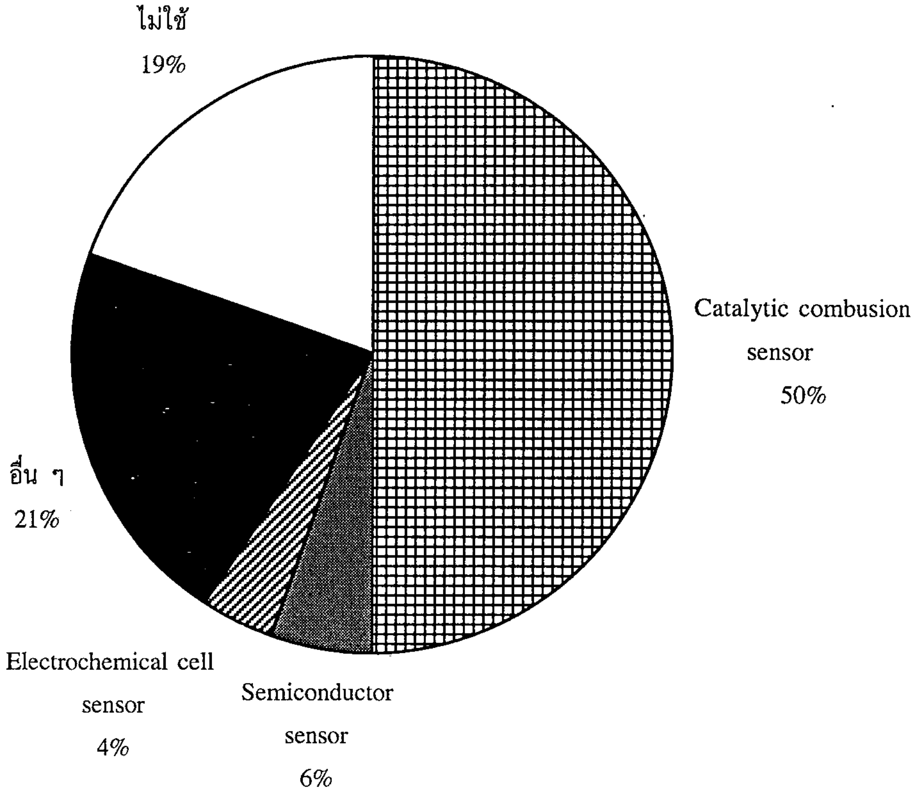
จากตารางที่ 5.3 และรูปที่ 5.2 เป็นการใช้ตัวตรวจสอบแก๊สในกิจการที่ได้สำรวจ สามารถสรุปได้คือ กิจการประเภทโรงกลั่น/โรงแยกแก๊ส และโรงงานผลิตปิโตรเคมีขั้นต้นและต่อเนื่อง มีจำนวนการใช้ตัวตรวจสอบมากที่สุดคือ 768 เครื่องคิดเป็น 89% เนื่องจากเป็นกิจการขนาดใหญ่ และต้องการความปลอดภัยสูง นอกจากนั้นยังต้องใช้ตัวตรวจสอบแก๊สในการควบคุมการผลิตด้วย รองลงมาเป็นสถานที่ใช้แก๊สจำนวน 50 เครื่อง คิดเป็น 6% ลานบรรจุแก๊สจำนวน 25 เครื่องคิดเป็น 3% สถานีจำหน่ายแก๊สจำนวน 18 เครื่องคิดเป็น 2% สำหรับสถานีบรรจุแก๊สมีใช้เพียง 0.3% จากข้อมูลจะเห็นได้ว่ากิจการเหล่านี้มีเปอร์เซ็นต์จำนวนเครื่องรวมกันเพียง 11% ทั้งนี้เนื่องจากกิจการเหล่านี้จะใช้ตัวตรวจสอบด้านการรักษาความปลอดภัยเป็นส่วนใหญ่ และจะติดตั้งเฉพาะบริเวณตามที่กฎหมายกำหนด อาทิ บริเวณสถานีจำหน่ายแก๊ส จะมีการติดตั้งเพียง 2 จุดคือ บริเวณหัวจ่ายแก๊ส กับบริเวณที่เก็บแก๊ส

จากข้อมูลการตรวจสอบแก๊สทั้งหมดที่ได้จากการสำรวจ เมื่อนำมาคิดเป็นมูลค่าพบว่า มูลค่ารวมทั้งหมดอยู่ในช่วงระหว่าง 8 ล้านบาท ถึง 43 ล้านบาท โดยราคาเฉลี่ยของเครื่องที่ได้จากการสอบถามผู้แทนจำหน่ายจะประมาณ 10,000-50,000 บาท ขึ้นกับยี่ห้อ รุ่น และประสิทธิภาพของการทำงาน

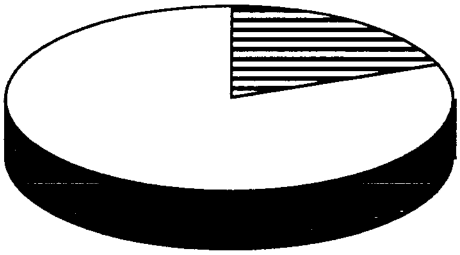
5.1.4 ความถี่โรงงานที่ใช้ตัวตรวจสอบแก๊สประเภทต่าง ๆ

ตารางที่ 5.4 ความถี่ของโรงงานที่ใช้ตัวตรวจสอบแก๊สแต่ละประเภท

ประเภท Gas sensor	ร้านจำหน่ายแก๊ส (ร้าน)	โรงกลั่น โรงแยกแก๊ส โรงงานผลิตปิโตรเลียม (โรง)	ลานบรรจุแก๊ส (ลาน)	สถานีจำหน่ายแก๊ส (สถานี)	สถานีบรรจุแก๊ส (สถานี)	สถานที่ใช้แก๊ส (โรง)	รวม
Catalytic combusion sensor	-	4	2	5	1	14	26
Semiconductor sensor	-	2	1	-	-	-	3
Electrochemical cell sensor	-	2	-	-	-	-	2
อื่น ๆ	-	-	1	4	-	6	11
ไม่ใช้	3	-	-	1	-	6	10
รวมความถี่ของจำนวนโรงงานทั้งหมด							**52**



รูปที่ 5.3 แสดงเปอร์เซ็นต์ความถี่ของกิจการที่ใช้ตัวตรวจสอบแก๊สประเภทต่าง ๆ



รูปที่ 5.4 แสดงจำนวนความถี่และเปอร์เซ็นต์ของกิจการที่ใช้ตัวตรวจสอบแก๊สแต่ละประเภท

จากตารางที่ 5.4 และรูปที่ 5.3 แสดงข้อมูลจำนวนความถี่ของโรงงานและกิจการที่ใช้ตัวตรวจสอบแก๊สแต่ละประเภทซึ่งคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ได้ดังนี้ Catalytic combusion type มีความถี่ 26 คิดเป็น 50% รองลงมาคือ Semiconductor type มีจำนวนความถี่ 3 คิดเป็น 6% Electrochemical type มีจำนวนความถี่ 2 คิดเป็น 4% และอื่น ๆ มีความถี่ 11 คิดเป็น 21% สำหรับกิจการที่ไม่ได้ใช้ตัวตรวจสอบมีจำนวนความถี่ 10 คิดเป็น 19%

จากรูปที่ 5.4 ได้แสดงเปรียบเทียบความถี่ของข้อมูลกิจการที่ใช้ตัวตรวจสอบแก๊สและไม่ใช้ตัวตรวจสอบ เป็นที่น่าสังเกตว่ากิจการที่ไม่ใช้ตัวตรวจสอบมีสูงถึง 21% และส่วนใหญ่เป็นกิจการขนาดเล็กที่เกี่ยวกับการจำหน่ายแก๊สและสถานที่ใช้แก๊ส ซึ่งสาเหตุมาจากราคาของตัวตรวจสอบมีราคาแพง และการขาดความรู้เกี่ยวกับตัวตรวจสอบ ทำให้ไม่สามารถใช้ตัวตรวจสอบได้อย่างถูกต้อง จึงไม่เห็นประโยชน์ของการนำตัวตรวจสอบมาใช้ในด้านต่าง ๆ โดยเฉพาะด้านความปลอดภัย

5.1.5 ปริมาณความต้องการและมูลค่าการใช้ตัวตรวจสอบแก๊ส

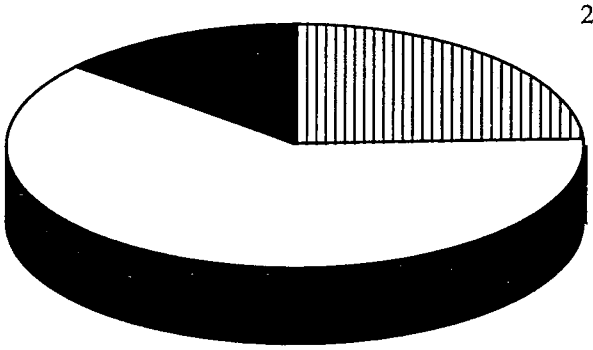
ตารางที่ 5.5 ปริมาณความต้องการตัวตรวจสอบแก๊ส ในกิจการ/โรงงานต่าง ๆ

กิจการ/โรงงาน	ตัวตรวจสอบแก๊ส	
	ปริมาณ * (เครื่อง)	มูลค่า ** (บาท)
ลานบรรจุแก๊ส สถานีจำหน่ายแก๊ส ร้านจำหน่ายแก๊ส	1,010	10,100,000-50,500,000
โรงกลั่น โรงแยกแก๊ส โรงงานผลิตปิโตรเคมีขั้นต้นและต่อเนื่อง	2,561	25,610,000 -128,050,000
สถานที่ใช้แก๊ส และอื่น ๆ	560	5,600,000 - 28,000,000
รวม	**41,41**	**41,310,000 -206,550,000**

* โรงงานประเภทเดียวกันที่มีกำลังการผลิตใกล้เคียงกันจะกำหนดให้ใช้ตัวตรวจสอบแก๊ส จำนวนปริมาณเท่ากัน

** มูลค่า = จำนวนร้าน/โรงงาน x ราคาซื้อ/ขาย

(คิดเฉลี่ยราคาเครื่องละ10,000-50,000 บาท)



<u>รูปที่ 5.5</u> เปอร์เซ็นต์ความต้องการใช้ตัวตรวจสอบแก๊สในกิจการประเภทต่าง ๆ

จากตารางที่ 5.5 และ รูปที่ 5.5 เป็นคาดการณ์ความต้องการและมูลการค่าตัวตรวจสอบแก๊สในแต่ละกิจการโดยใช้วิธีการคำณวนจากข้อมูลที่ได้จากการสำรวจ (ตารางภาคผนวกที่ 1) และจำนวนร้าน/โรงงาน ซึ่งเป็นข้อมูลที่ได้จากกรมโยธาธิการ (ตารางภาคผนวกที่ 2) โดยการคาดการณ์การมูลค่าตัวตรวจสอบ แก๊สใช้ราคาที่สอบถามจากผู้แทนจำหน่ายในประเทศโดยมีผลการศึกษาและวิเคราะห์ดังต่อไปนี้

1. ลานบรรจุแก๊ส สถานีจำหน่ายแก๊ส และร้านจำหน่ายแก๊ส สำหรับการใช้ตัวตรวจสอบแก๊สในกิจการเหล่านี้จะเน้นเกี่ยวกับความปลอดภัย หรือเป็นตัวตรวจสอบแก๊สรั่วเป็นส่วนใหญ่ โดยเฉพาะกับแก๊ส LPG และ Natural gas ซึ่งจากการสำรวจพบว่าแต่ละลานบรรจุแก๊สและสถานีจำหน่ายแก๊สจะมี

leakge gas alarm 2 เครื่อง คือบริเวณถังบรรจุแก๊ส 1 เครื่อง และบริเวณหัวจ่าย 1 เครื่อง จากตารางผนวกที่ 2 พบว่าลานบรรจุแก๊สและสถานีจำหน่ายแก๊สทั้งหมด 303 ราย ดังนั้นความต้องการตัวตรวจสอบแก๊สรั่ว มีประมาณ 606 เครื่อง ในขณะที่ร้านจำหน่ายแก๊สนั้นถ้ากำหนดให้อย่างน้อยต้องมีการใช้ ตัวตรวจสอบแก๊สรั่ว จำนวน 1 เครื่องต่อร้าน จะได้มีความต้องการทั้ง 404 เครื่อง จากร้านค้าแก๊สซึ่งเกิดเฉพาะที่มีข้อมูลในเขตกรุงเทพฯ จำนวน 404 ร้าน เมื่อคิดรวมความต้องการใช้ตัวตรวจสอบแก๊สทั้งจากลานบรรจุแก๊ส สถานีจำหน่ายแก๊ส และร้านจำหน่ายแก๊ส จะมีด้วยกันทั้งสิ้น 1,010 เครื่อง เป็นอย่างต่ำ

2. โรงกลั่น โรงแยกแก๊ส และอุตสาหกรรมปิโตรเคมีขั้นต้นและขั้นต่อเนื่อง ความต้องการใช้ตัวตรวจสอบแก๊ส ในธุรกิจเหล่านี้จะมีหลายวัตถุประสงค์ด้วยกันคือ ใช้ในด้านการป้องกันความปลอดภัย การควบคุมการผลิต ด้านชีวอนามัย และสิ่งแวดล้อม จากการประมาณความต้องการ ตัวตรวจสอบแก๊ส ในธุรกิจเหล่านี้อาจจำแนกได้ดังตารางที่ 5 คือ

- โรงกลั่นน้ำมัน สำหรับโรงกลั่นน้ำมันมีด้วยกันทั้งหมด 5 โรง (ตารางภาคผนวกที่ 3) มีความต้องการใช้ ตัวตรวจสอบแก๊ส ประมาณ 801 เครื่อง

- อุตสาหกรรมปิโตรเคมี อุตสาหกรรมปิโตรเคมีแบ่งได้เป็น อุตสาหกรรมปิโตร-เคมีขั้นต้น ซึ่งมีอยู่จำนวน 2 โรง (ตารางภาคผนวกที่ 4) มีความต้องการใช้ ตัวตรวจสอบแก๊ส ประมาณ 160 เครื่อง เป็นอย่างต่ำ ในขณะที่อุตสาหกรรมปิโตรเคมีต่อเนื่อง ใช้แก๊สเอทิลีน และโปรทิลีน เป็นวัตถุดิบ มีจำนวน 4 โรง (ตารางภาคผนวกที่ 5) มีความต้องการใช้ตัวตรวจสอบแก๊สประมาณ 1,600 เครื่อง ดังนั้น เมื่อรวมความต้องการใช้ตัวตรวจสอบแก๊สในโรงกลั่นน้ำมันและปิโตรเคมี โดยรวมจะมีประมาณ 2,561 เครื่อง

- สถานที่ใช้แก๊สและอื่น ๆ จากข้อมูลที่ได้จากการสำรวจโรงงาน 26 โรง พบว่ามีการใช้ตัวตรวจสอบแก๊ส 1 เครื่องต่อ1โรงงาน เป็นอย่างน้อยโดยมีวัตถุประสงค์นำไปใช้เพื่อความปลอดภัย นอกจากนี้ก็ยังใช้ในการควบคุมการผลิต ควบคุมเตาเผาและหม้อต้ม และสิ่งแวดล้อม สำหรับสถานที่ใช้แก๊สมีทั้งหมด 556 โรง ฉะนั้นปริมาณ อย่างต่ำที่มีความต้องการในกิจการนี้ จึงไม่น้อยกว่า 556 เครื่อง

จากความประมาณความต้องการใช้ ในลานบรรจุแก๊ส สถานีจำหน่ายแก๊ส ร้านจำหน่ายแก๊ส โรงกลั่นน้ำมัน โรงงานผลิตปิโตรเคมีขั้นต้นและต่อเนื่อง สถานที่ใช้แก๊ส และอื่น ๆ รวมกันพบว่ามีจำนวนทั้งหมด 4,141 เครื่อง โดยเมื่อคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ความต้องการตัวตรวจสอบแก๊ส ในแต่ละกลุ่มกิจการจะได้ดังนี้คือ ซึ่งเมื่อคิดเป็นเปอร์เซ็นต์แต่ละกลุ่มกิจการจะได้ดังนี้คือ โรงกลั่นน้ำมันและโรงงานผลิตปิโตรเคมีขั้นต้นและต่อเนื่อง 62% รองลงมาเป็นลานบรรจุแก๊ส สถานีจำหน่ายแก๊ส และร้านจำหน่ายแก๊ส 24% และสถานที่ใช้และอื่น ๆ 14% ตามลำดับ (รูปที่ 5.5) สำหรับมูลค่ารวมของตัวตรวจสอบแก๊ส ที่ใช้ในทุกกิจการอยู่ในช่วง 41 ล้าน ถึง 207 ล้านบาท

นอกจากการใช้ ตัวตรวจสอบแก๊สในโรงงานเหล่านี้แล้ว ในบางหน่วยงาน อาทิ องค์การโทรศัพท์ การประปา ใช้ ตัวตรวจสอบแก๊ส โดยจะเน้นด้านชีวอนามัย และความปลอดภัยเป็นสำคัญ โดยเฉพาะ เมื่อต้องการมีการปฏิบัติงานในบริเวณที่เสี่ยงอันตราย อาทิ บริเวณท่อใต้ดิน บริเวณถังเก็บคลอรีน อย่างไรก็ตามการใช้ ตัวตรวจสอบแก๊ส ในงานเหล่านี้ยังมีน้อยเมื่อเทียบกับโรงงาน หรือกิจการอื่น ๆ โดยข้อมูลการสำรวจจากองค์การโทรศัพท์ในงานบำรุงรักษาพบว่า ในขณะนี้มี ตัวตรวจสอบแก๊ส ใช้ 4 เครื่อง

5.1.6 ข้อมูลการนำเข้า

ตารางที่ 5.6 แสดงมูลค่าการนำเข้าของพิกัด 8531-008-004

ปี	มูลค่า (บาท)
1991	8,365,772
1992	57,550,746
1993	5,449,241
1994	5,172,039
1995	6,458,619

ตารางที่ 5.7 แสดงมูลค่าการนำเข้าของพิกัด 9031-800-004

ปี	มูลค่า (บาท)
1991	3,040,124,369
1992	2,892,610,902
1993	2,578,593,115
1994	4,110,394,728
1995	5,103,979,989

ตามพิกัดศุลกากรตัวตรวจสอบแก๊ส ประเภทเตือนภัย(alarm)จะอยู่ในพิกัด 8531-008-004 ในขณะที่ตัวตรวจสอบแก๊ส ที่ใช้ในตรวจวัดปริมาณจะอยู่ในพิกัด 9031-800-004 ซึ่งในพิกัดทั้งสองนี้นอกจากนี้มีตัวตรวจสอบแก๊สแล้ว ยังมีผลิตภัณฑ์อื่น ๆ ด้วย โดยมูลค่าการนำเข้าของสินค้าในพิกัด 8531-008-004 และ 9031.800-004 ในช่วงปี 1991-1995 ดังแสดงในตารางที่ 5.6 และ ตารางที่ 5.7

5.1.7 แนวโน้มความต้องการของตัวตรวจสอบแก๊สรั่วและชิ้นส่วนต่าง ๆ

จากตัวเลขจำนวนการใช้ตัวตรวจสอบแก๊สในกลุ่มตัวอย่างกิจการที่ใช้ในการสำรวจกับการคาดการณ์ปริมาณความต้องการของตัวตรวจสอบแก๊ส พบว่ามีแนวโน้มความต้องการตัวตรวจสอบแก๊สน่าจะยังมีเพิ่มขึ้นโดยเฉพาะในกิจการพวกร้านจำหน่ายแก๊สและสถานที่ใช้แก๊สซึ่งจากข้อมูลที่ได้จากการสำรวจพบว่ายังมีการใช้ตัวตรวจสอบแก๊สกันน้อยทั้งที่กิจการเหล่านี้ต้องมีการใช้ตัวตรวจสอบแก๊สตามกฎหมายบังคับ นอกจากนี้ในกิจการที่มีการใช้ตัวตรวจสอบแก๊ส อาทิ โรงกลั่น โรงงานปิโตรเคมี สถานที่ใช้แก๊สก็น่ายังมีความต้องการตัวตรวจสอบโดยเฉพาะชิ้นส่วนที่เป็นหัวดักจับแก๊สซึ่งมีอายุการใช้งานเพียง 2 -3 ปี นอกจากนี้ในกิจการที่มีการใช้ตัวตรวจสอบแก๊สอยู่แล้วมีแนวโน้มที่จะมีการเปลี่ยนตัวตรวจสอบแก๊สที่มาพร้อมโรงงานเนื่องจากมีปัญหาด้านการดูแลรักษา อย่างไรก็ตามการที่จะเพิ่มปริมาณการใช้ตัวตรวจสอบแก๊สให้เพิ่มสูงขึ้นนั้นเป็นความจำเป็นที่รัฐต้องดำเนินการเร่งรัดให้การใช้กฎหมายอย่างจริงจัง และสิ่งเสริมความรู้ด้านตัวตรวจสอบแก๊สให้ผู้ใช้งานและผู้เกี่ยวข้อง นอกจากนี้ปัจจัยที่มีผลสำคัญอย่างยิ่งก็คือ การขยายตัวของกิจการและอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้อง ซึ่งส่งผลกระทบโดยตรงต่อความต้องการตัวตรวจสอบแก๊สในอนาคต

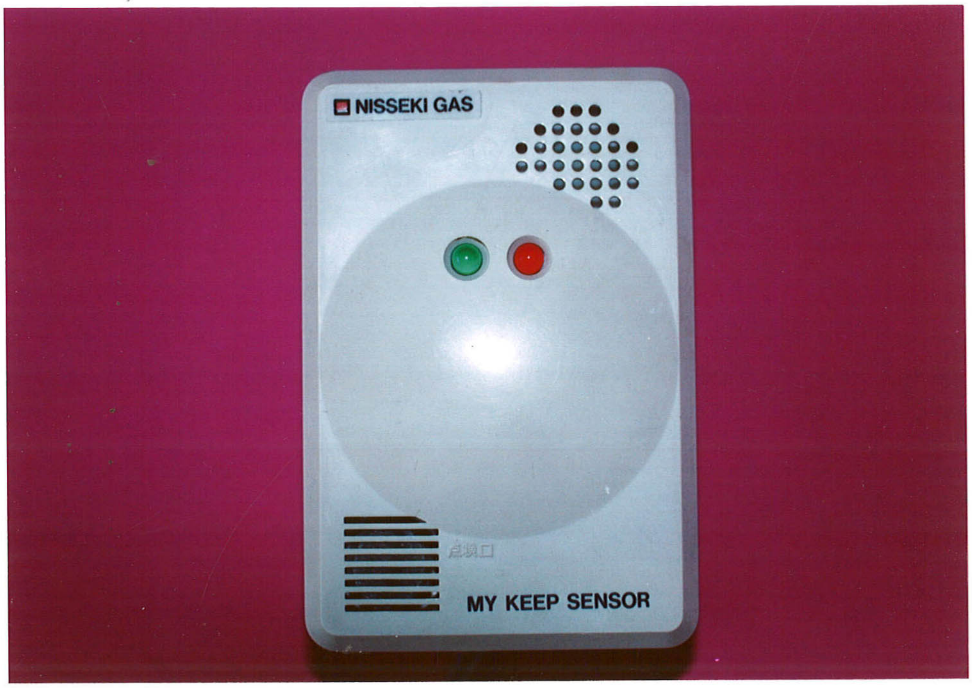
5.2 การศึกษาผลิตภัณฑ์ตัวตรวจสอบแก๊สรั่ว (Gas leakage alarm)

5.2.1 ลักษณะทั่วไปของตัวตรวจสอบแก๊สรั่ว

ตัวตรวจสอบแก๊สรั่วที่ใช้ศึกษาในครั้งนี้ใช้ในการตรวจสอบเชื้อเพลิง ซึ่งมีลักษณะโดยทั่วไปคือ

5.2.1.1 ลักษณะภายนอก

ลักษณะภายนอกจะเป็นกล่องพลาสติก ซึ่งบริเวณด้านหน้ามีช่องให้แก๊สเข้าโดยจะตรงกับบริเวณหัวตรวจวัดแก๊ส (Sensor module) ที่อยู่ภายในเครื่อง และมีไดโอดเปล่งแสง (Light Emiting Diod, LED) ทำหน้าที่ให้สัญญาณแสงโดยจะเปล่งแสงสีเขียวถ้าเครื่องทำงานปกติ และในกรณีที่มีการรั่วของแก๊สจนถึงระดับที่กำหนดไว้จะมีสัญญาณแสงสีแดง (รูปที่ 5.6)

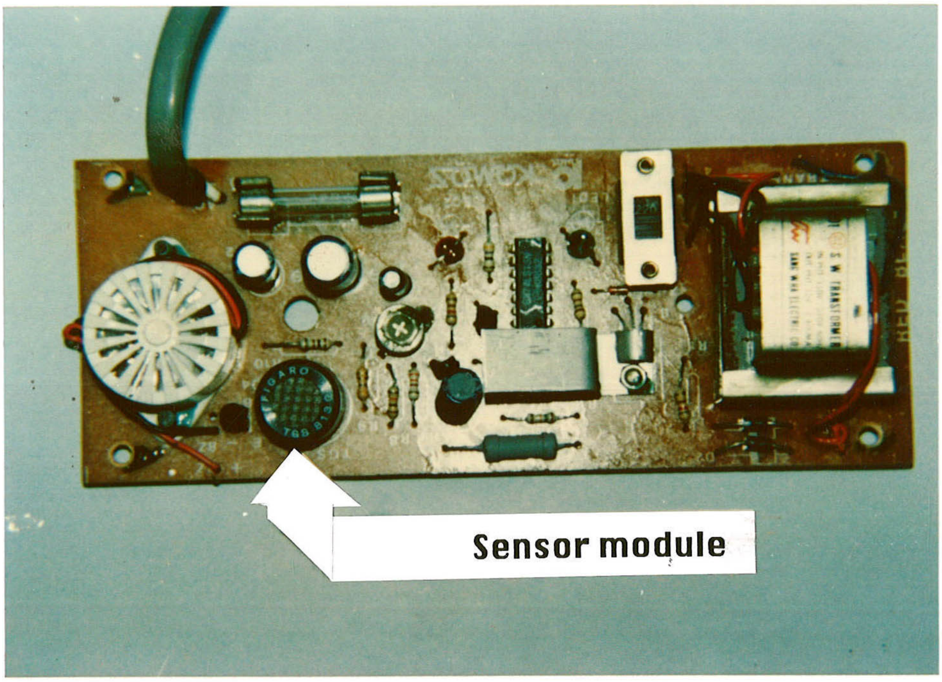


<u>รูปที่ 5.6</u> ลักษณะภายนอกของตัวตรวจสอบแก๊สรั่ว

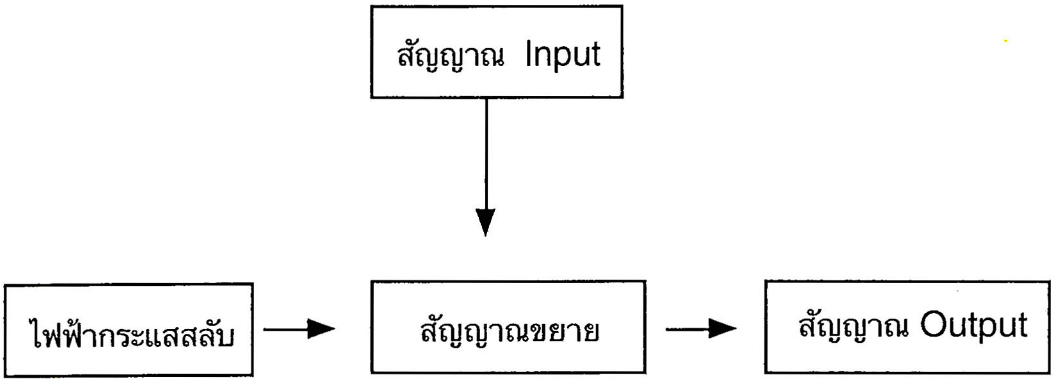
5.2.1.2 ลักษณะภายใน

เมื่อถอดกล่องพลาสติกออกภายในจะประกอบด้วยแผ่นรองวงจรทำจากพลาสติก และมีอุปกรณ์อิเลกทรอนิกต่าง ๆ ต่อเป็นวงจร (รูปที่ 5.7 และ 5.8) ซึ่งอุปกรณ์และวงจรที่สำคัญมีดังต่อไปนี้

- วงจรแปลงสัญญาณ (Rectifier) ทำหน้าที่ในแปลงสัญญาณแรงดันไฟฟ้ากระแสลับเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง ให้เหมาะสมกับอุปกรณ์อิเลกทรอนิก อื่น ๆ อาทิ ตัวต้านทาน ตัวเก็บประจุ
- วงจรสัญญาน input เมื่อ Sensing element ทำปฏิกริยากับแก๊สจะเกิดการเปลี่ยนแปลงความต้านทานของวงจร ซึ่งผันแปรตามความเข้มข้นของแก๊ส
- วงจรขยาย (Amplifier) ทำหน้าที่ขยายสัญญานที่ได้จาก input ให้มีกำลังเพิ่มขึ้นเพื่อให้เกิดสัญญานในส่วนของสัญญาน Output
- วงจรแสดงผล Output จะแปลงสัญญาณไฟฟ้าเป็นสัญญานแสงและเสียง



<u>รูปที่ 5.7</u> ลักษณะโครงสร้างภายในของตัวตรวจสอบแก๊ส



<u>รูปที่ 5.8</u> แผนผังวงจรไฟฟ้าของตัวตรวจสอบแก๊สรั่ว

5.2.2 โครงสร้างของหัวตรวจวัดแก๊ส (Sensor module)

หัวตรวจวัดแก๊สจะมีโครงสร้างดังแสดงในรูปที่ 5.9 A. และ B. และ รูปที่ 5.10 ซึ่งประกอบด้วยส่วนต่าง ๆ ที่มีหน้าที่แตกต่างกันคือ

- ฝาครอบ (Protective cover) จะเป็นส่วนที่ป้องกันอุปกรณ์ต่างๆ ที่อยู่ภายในโดยด้านบนฝาครอบจะเป็นตะแกรง ซึ่งทำจากวัสดุที่ช่วยป้องกันการระเบิดเนื่องจากความร้อนจากบริเวณ Sinsing element อาทิ Austenite stainless steel

- ตะแกรงสแตนเลสสตีล (Stainless steel gauze) ทำหน้าที่ป้องกันการระเบิดที่เกิดจากความร้อนบริเวณ Sensing element ความร้อนของ Sening element และช่วยกรองฝุ่นละออง

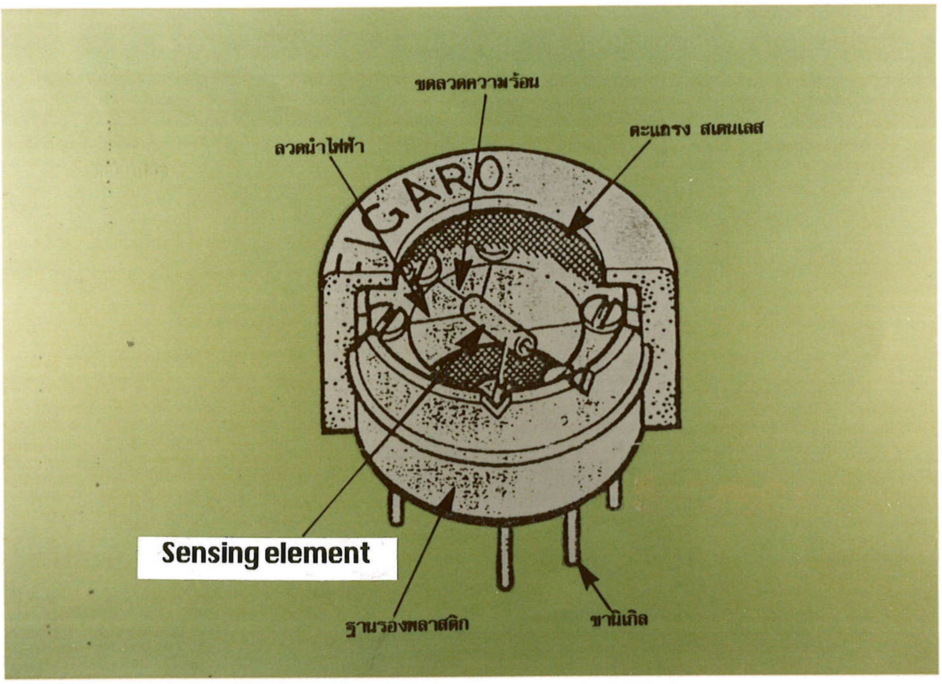
- ขดลวดให้ความร้อน (Heater coil) ทำหน้าที่ให้ความร้อนแก่ Sensing element ซึ่งปกติอุณหภูมิการทำงานจะอยู่ในช่วง 300-400 องศาเซลเซียส

- Sensing element ทำหน้าที่ในการเกิดปฏิกิริยากับแก๊ส และค่าความต้านทานจะเปลี่ยนแปลงตามความเข้มของแก๊ส

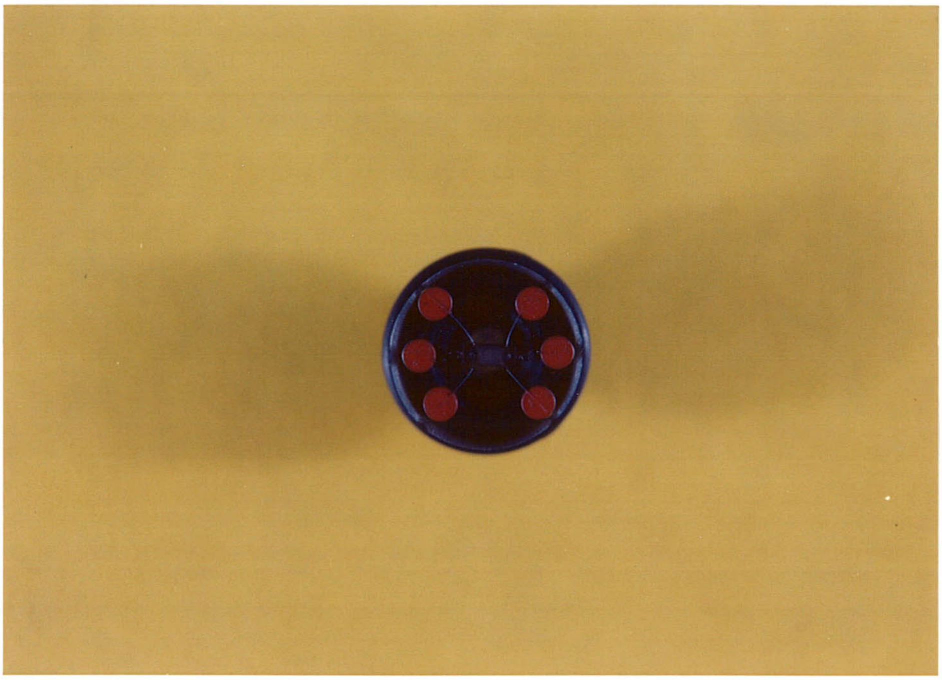
- ลวดนำความร้อน (Lead wire) ทำหน้าที่รับสัญญาณไฟฟ้าที่เกิดการเปลี่ยนแปลงที่ Sensing element) ไปยังขาของหัวตรวจวัด

- ขา (Pin) ทำหน้าที่นำสัญญาณไฟฟ้าเข้าและออกจากวงจรของหัวตรวจวัดไปยังวงจรภายนอก

- ฐานรองพลาสติก (Resin moulding) ทำหน้าที่รองรับส่วนประกอบต่างๆ ข้างต้นของหัวตรวจวัดแก๊ส

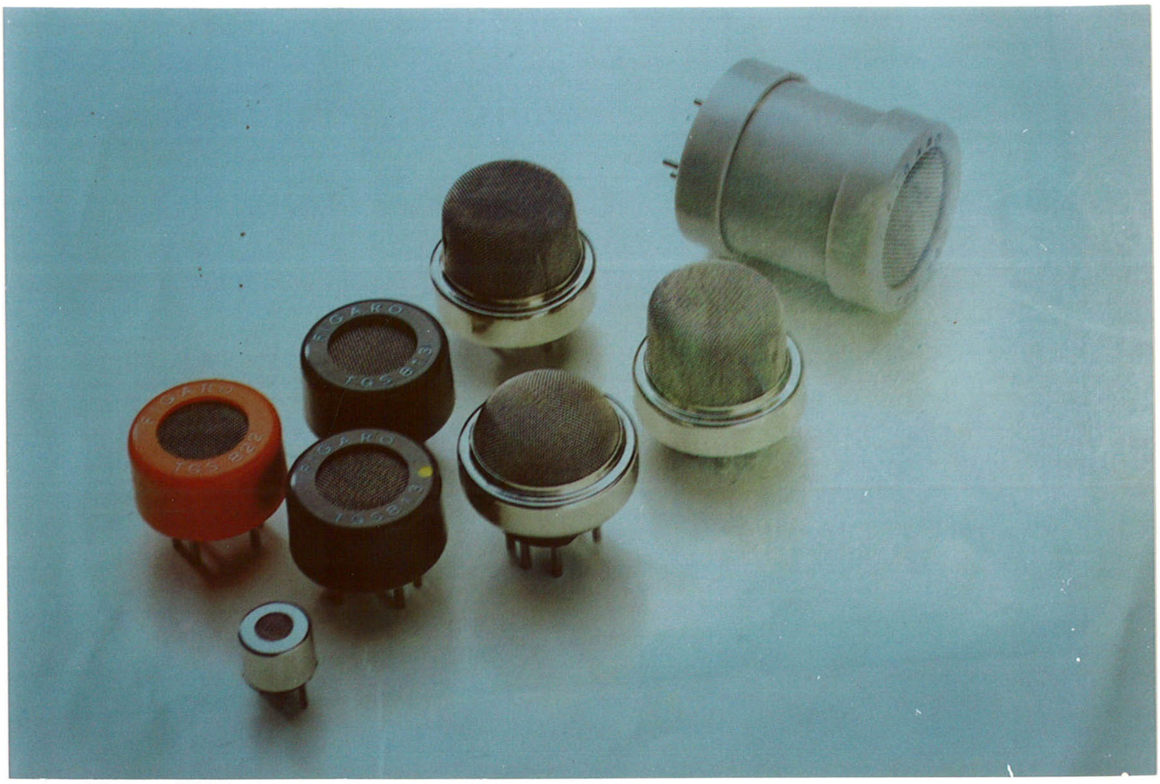


A. แบบจำลอง



B. ถ่ายจากของจริง

<u>รูปที่ 5.9</u> แบบจำลองของหัวตรวจวัดแก๊ส (Sensor module) A. แบบจำลอง B. ถ่ายจากของจริง



<u>รูปที่ 5.10</u> หัวตรวจวัดแก๊สที่ใช้ในเชิงพานิช

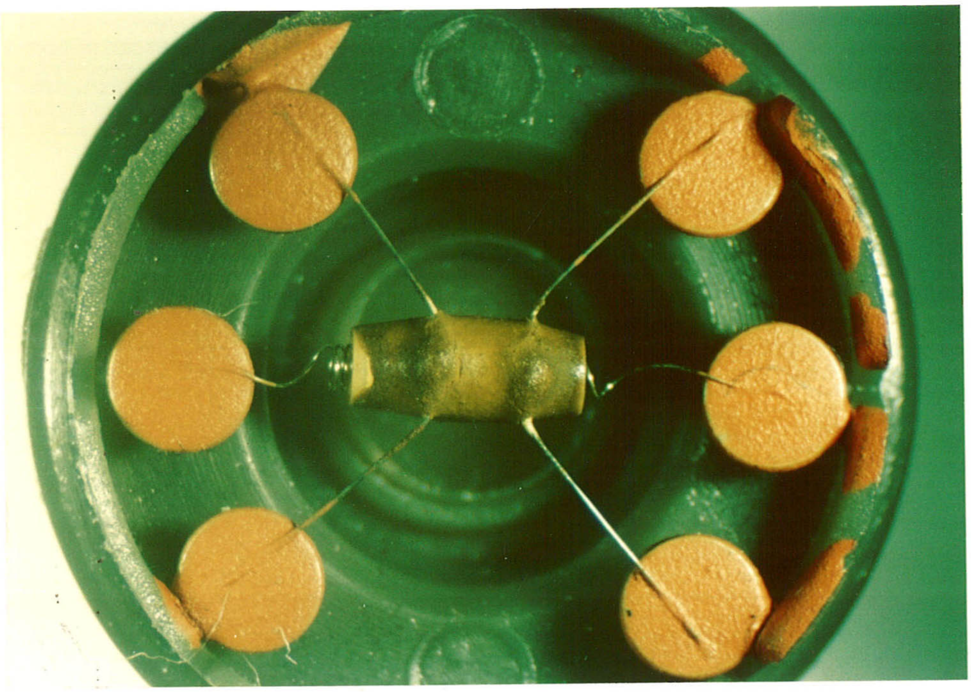
5.2.3 สมบัติของ Sensing element

Sensing element เป็นชิ้นส่วนที่สำคัญในการเกิดปฏิกิริยากับแก๊สต่าง ๆ ดังนั้นทั้งสมบัติทางเคมีและกายภาพของ Sensing element จะมีผลต่อการควบคุมกระบวนการเกิดปฏิกิริยาการตอบสนองต่อแก๊ส จากการศึกษาสมบัติทางเคมีและกายภายได้ผลการวิเคราะห์และทดลองคือ

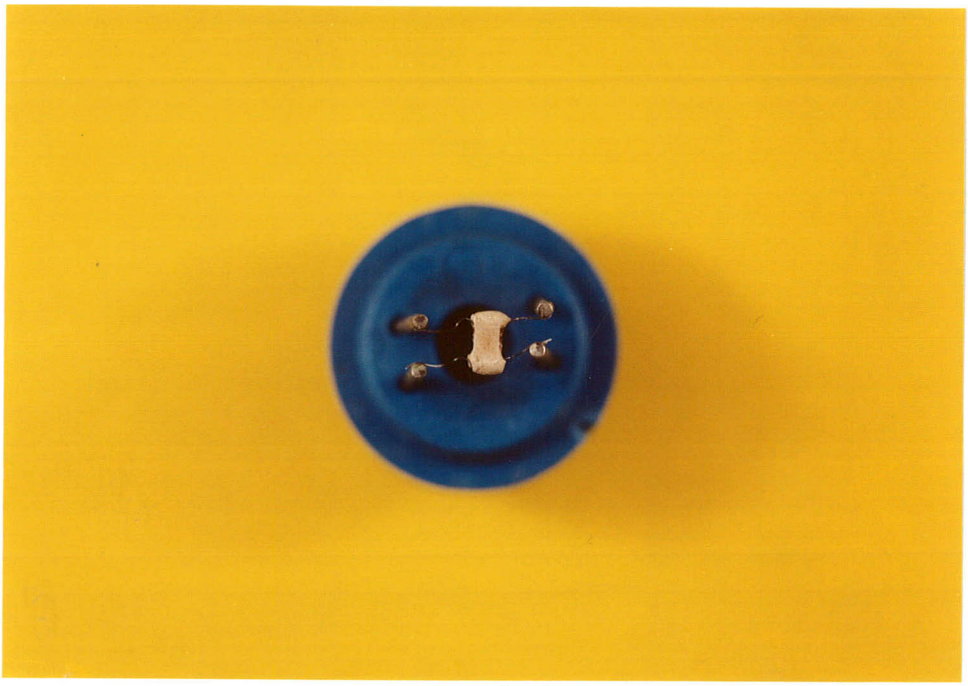
5.2.3.1 รูปร่างและขนาดของ Sensing element ผลการศึกษารูปร่างและวัดขนาด Sensing element แบบ ท่อกลวงทรงกระบอก กับ แท่งสี่เหลี่ยมตัน ซึ่งขึ้นรูปด้วยวิธีฟิล์มหนาแสดงไว้ในตารางที่ 5.8 พบว่า ท่อกลวงทรงกระบอก จะมีลักษณะเป็นกระบอกกลวงและมีชั้นของวัสดุเคลือบ (รูปที่ 5.11) ส่วน แท่งสี่เหลี่ยมตัน จะมีรูปร่างเป็นแท่งสี่เหลี่ยมตัน (รูปที่ 5.12) โดยมีขนาดความยาวใกล้เคียงกันคือ 4 มิลลิเมตร

ตารางที่ 5.8 ลักษณะและขนาดของ Sensing element

ลักษณะ Sensing element	มิติ
	ขนาด (มม.)
ท่อกลวงทรงกระบอก	2 x 4 x 1.4 (กว้าง x ยาว x หนา)
แท่งสี่เหลี่ยมตัน	3.8 x 1.5 (ยาว x เส้นผ่าศูนย์กลาง)



A. ท่อกลวงทรงกระบอก

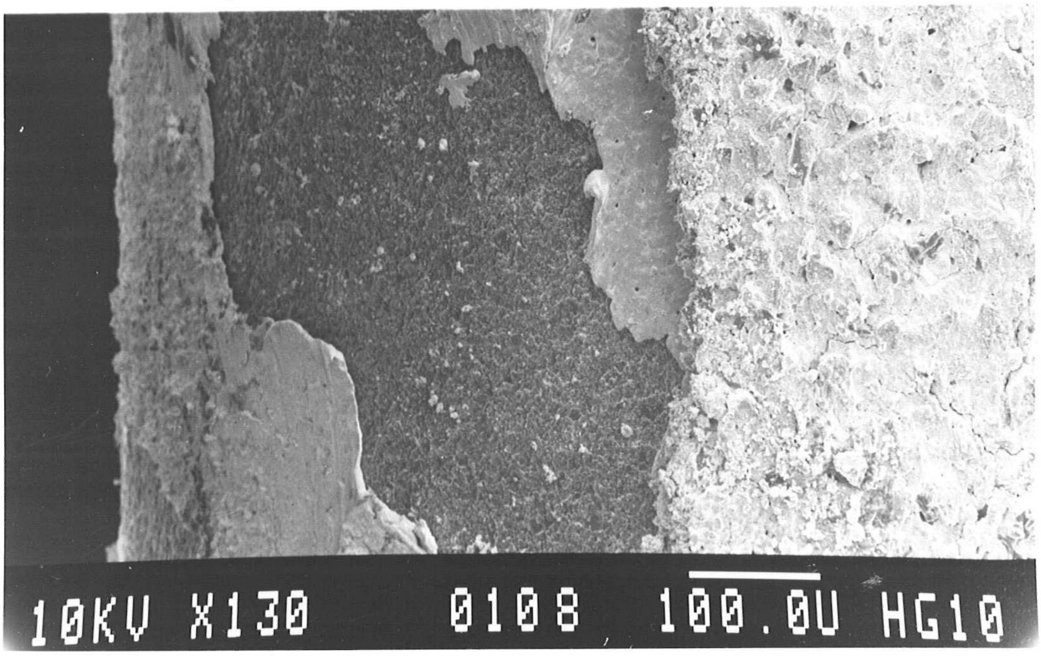


B. แท่งสี่เหลี่ยมตัน

<u>รูปที่ 5.11</u> แสดงลักษณะ Sensing element A. ท่อกลวงทรงกระบอก และ B. แท่งสี่เหลี่ยมตัน

สำหรับ Sensing element ชนิด ท่อกลวงทรงกระบอก เมื่อนำมาตรวจสอบด้วย SEM ที่กำลังขยาย 130 เท่า ได้แสดงในรูปที่ 5.12 จะพบว่าประกอบด้วย Sensitive layer ความหนา 0.08 มม. อยู่ภายนอกสุด และถัดมาจะเป็นชั้นไฟฟ้า (Electrod layer) ความหนา 0.007 มม. ซึ่งเป็นแผ่นบางสามารถลอกได้และชั้นสุดท้ายจะเป็นท่อกลวงอลูมินา ความหนา 0.18 มม. มีความหนาแน่นสูง

Tube alumina ↓ Electrode layer ↓



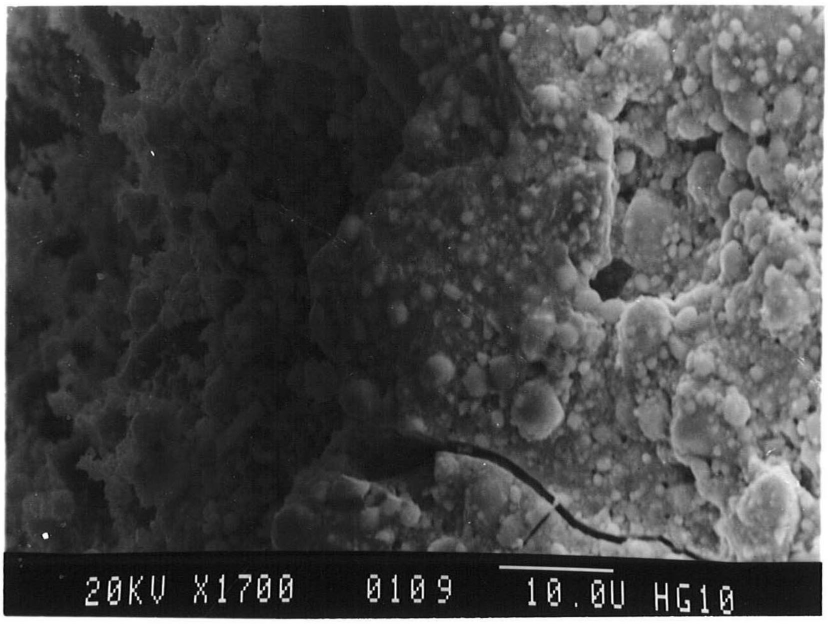
←Sensitive layer

รูปที่ 5.12 ลักษณะชั้นต่าง ๆ ของ Sensing element ชนิดท่อกลวงทรงกระบอก

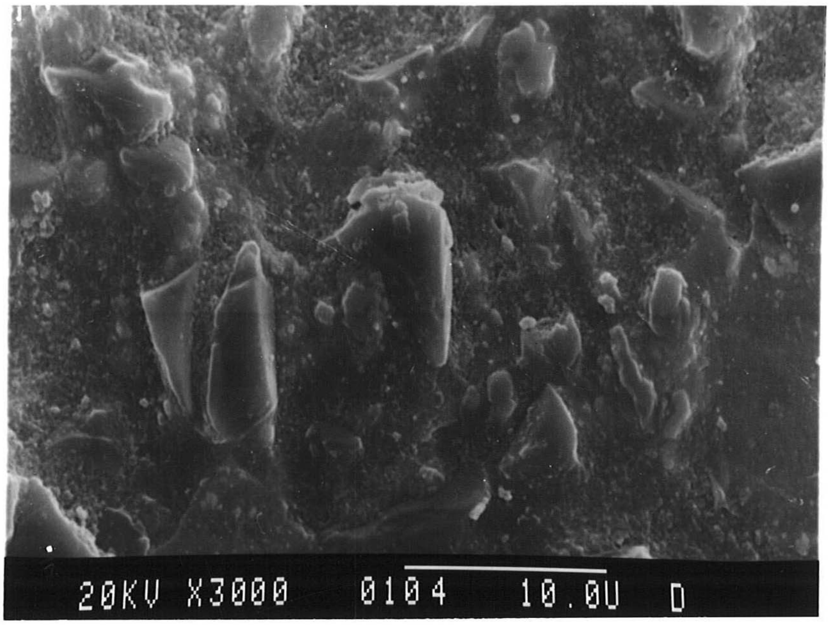
5.2.3.2 โครงสร้างจุลภาคและขนาดเกรน

จากรูปที่ 5.13 ถึง รูปที่ 5.14 เป็นภาพถ่ายโครงสร้างจุลภาคของ Sensing element ชนิดท่อกลวงทรงกระบอก ที่บริเวณ Sensitive layer และ แท่งสี่เหลี่ยมตัน ตามลำดับ พบว่ามีลักษณะเป็นก้อน (Coagulation) ซึ่งเกิดจากการจับยึดกันของอนุภาคเป็น SnO_2 และจะมีความพรุนโดย ท่อกลวงทรงกระบอก มีความพรุนที่เห็นได้ชัดเจนกว่า แท่งสี่เหลี่ยมตัน สำหรับพฤติกรรมของการโตของเกรนแตกต่างไปจากการโตของเกรนแบบทั่วไปซึ่งจะเห็นได้จากภาพถ่าย TEM (รูปที่ 5.15) ซึ่งความพรุนที่พื้นผิวจะส่งเสริมการเกิดปฏิกิริยาที่ระหว่างวัสดุและแก๊สได้ดียิ่งขึ้น

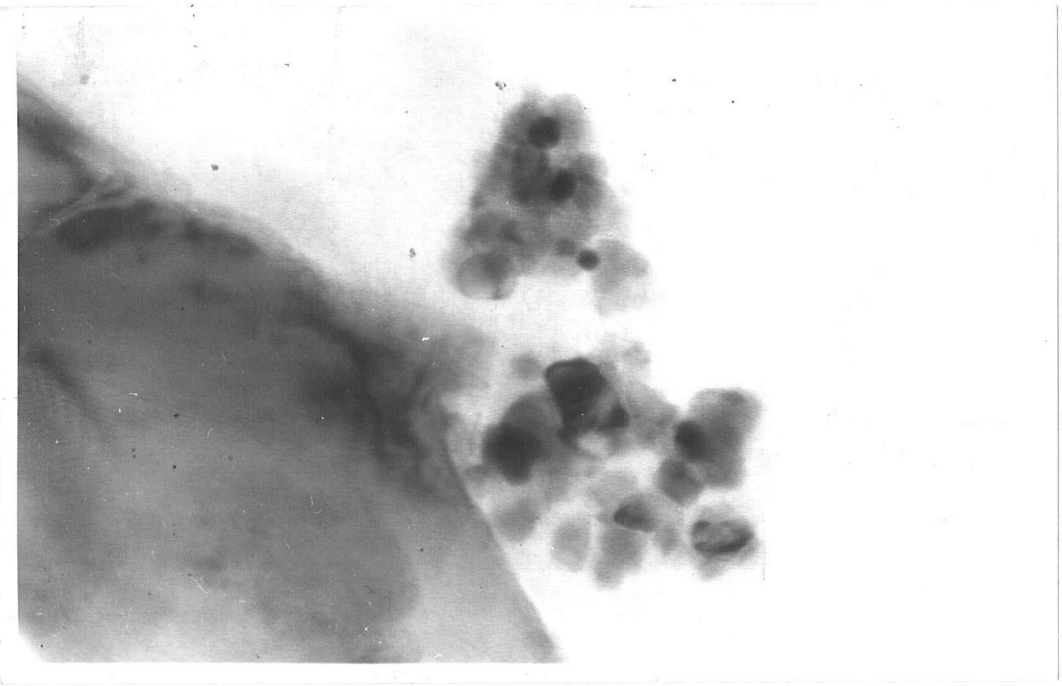
ผลของการวัดขนาดอนุภาคของเกรนของชั้นเนื้อวัสดุชนิดท่อกลวงทรงกระบอก จะพบว่ามีเกรนขนาดเฉลี่ยอยู่ในช่วง 0.021 ไมครอน



รูปที่ 5.13 ภาพถ่าย SEM ของ Sensing element ชนิดท่อกลวงทรงกระบอก ที่บริเวณ Sensitive layer ที่กำลังขยาย 1700 เท่า



รูปที่ 5.14 ภาพถ่าย SEM ของ Sensing element ชนิดแท่งสี่เหลี่ยมตัน ที่กำลังขยาย 3000 เท่า



<u>รูปที่ 5.15</u> ภาพถ่าย TEM ของ Sensing element ชนิดท่อกลวงทรงกระบอก ที่บริเวณ Sensitive layer

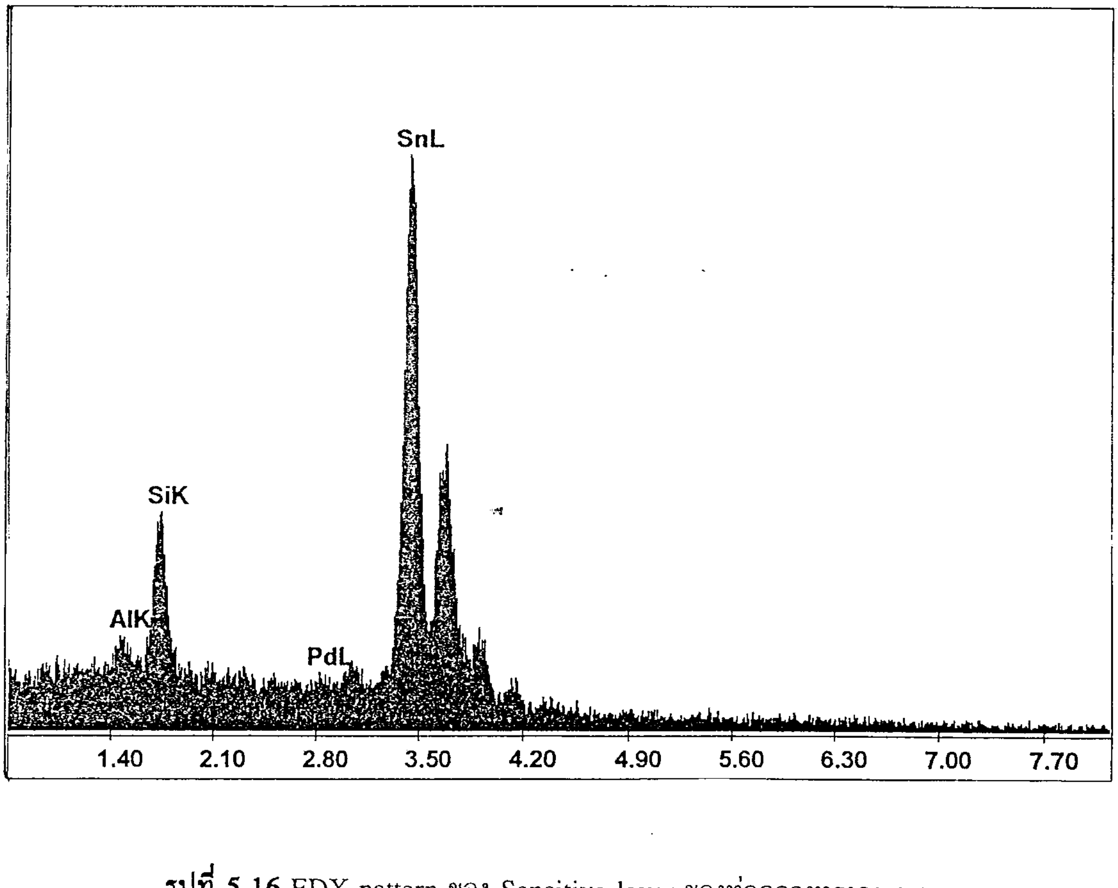
5.2.2.3 การศึกษาองค์ประกอบทางเคมี Sensitive layer

การตรวจสอบองค์ประกอบทางเคมีด้วย EDX และ XRD ได้แสดงไว้ในตารางที่ 5.9 จากผลการศึกษาองค์ประกอบของธาตุด้วย EDX พบว่า Sensitive layer ชนิดที่ขึ้นรูปแบบ แท่งสี่เหลี่ยมตัน และ ท่อกลวงทรงกระบอก มีธาตุองค์ประกอบที่เหมือนกันคือ Sn Si และ Al ส่วนธาตุที่พบเฉพาะชนิดท่อกลวงทรงกระบอก คือ Pd ซึ่งทำหน้าที่เป็นสารโด๊ป และช่วยให้ตัวตรวจสอบแก๊สรั่วมีการตอบสนอง (Selectivity) ต่อแก๊สแต่ละชนิดได้ดี

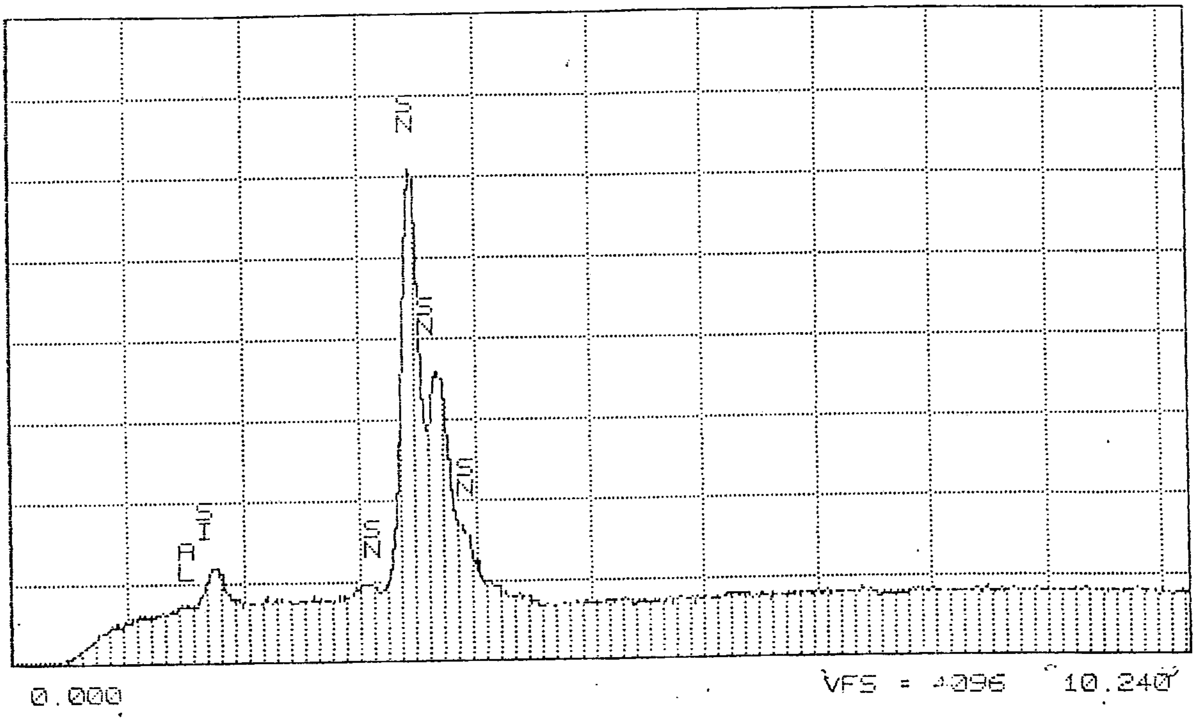
ส่วนการตรวจวัฏภาคด้วย XRD จะพบ Sn Si และ Al จะมีอยู่ในรูปของออกไซด์ คือ SnO_2 SiO_2 และ Al_2O_3 ตามลำดับ โดย SiO_2 จะมีลักษณะผลึกอสัณฐาน (Amorphous crystal) สังเกตได้จาก Broad peak ที่ตำแหน่ง 2 θ ช่วง 20-30 องศา (รูปที่ 5.18) จากการคำนวณเป็นน้ำหนักของสารประกอบที่ผสมในชนิดท่อกลวงทรงกระบอก พบว่าจะมี SnO_2 88.7% Al_2O_3 1.5% SiO_2 9.0% และมีธาตุ Pd 0.8%

ตารางที่ 5.9 ธาตุที่เป็นองค์ประกอบใน Sensitive layer

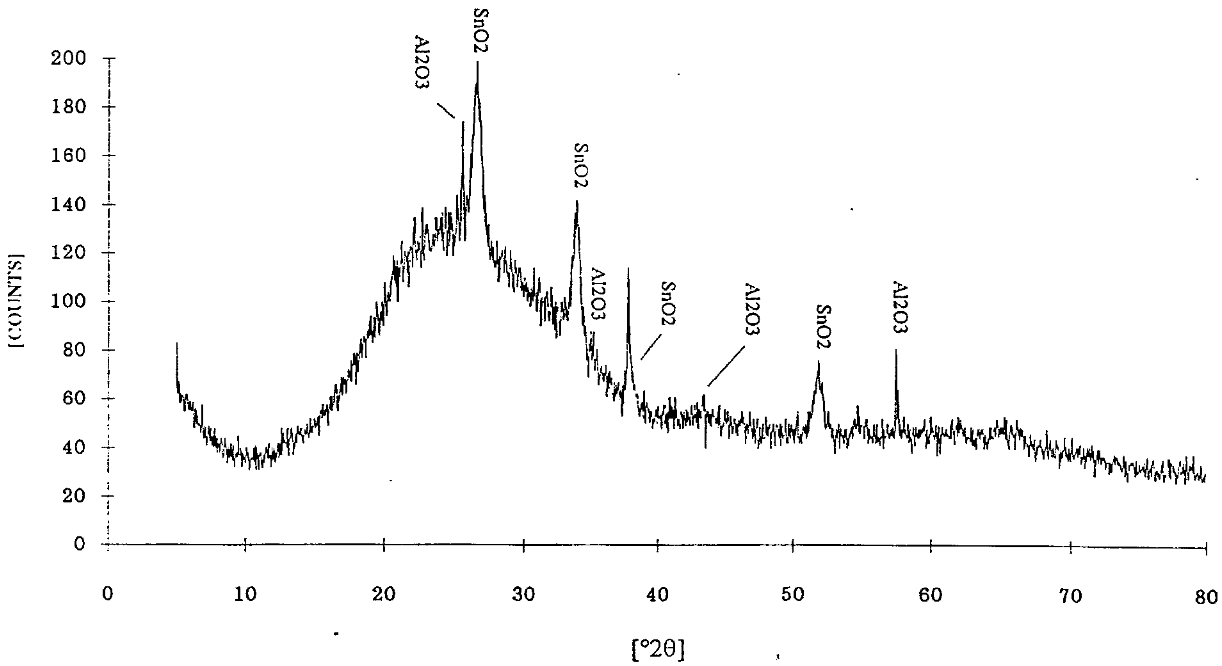
ธาตุ	ปริมาณ (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก)	
	แท่งสี่เหลี่ยมตัน	ท่อกลวงทรงกระบอก
Sn	95.79	92.06
Si	3.22	5.54
Al	0.74	1.26
Pd	-	1.1
Fe	0.44	-



รูปที่ 5.16 EDX pattern ของ Sensitive layer ของท่อกลวงทรงกระบอก



รูปที่ 5.17 EDX pattern ของ Sensitive layer ของแท่งสี่เหลี่ยมตัน



รูปที่ 5.18 XRD pattern ของ Sensitive layer ของท่อกลวงทรงกระบอก

5.2.3.4 องค์ประกอบทางเคมีของชิ้นส่วนอื่นๆ

ผลการวิเคราะห์เชิงปริมาณของชิ้นส่วนอื่น ๆ นอกเหนือจาก Sensitive layer ใน Sensing element ได้แสดงไว้ในตารางที่ 5.10 พบว่าส่วนประกอบในชิ้นส่วนเหล่านี้จะคล้ายกับที่ใช้ในวงจรอิเล็กทรอนิกส์ ทั่วไป ซึ่งการวิจัยและพัฒนาเพื่อปรับปรุงสมบัติของชิ้นส่วนเหล่านี้ยังมีน้อย ยกเว้นขั้วไฟฟ้าที่ได้รับความสนใจในการวิจัย พัฒนามากขึ้น อาทิ วิธีการเตรียม ชนิดของวัสดุ เพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการตรวจวัดโดยเฉพาะ ด้านความไวในการตอบสนอง

ตารางที่ 5.10 องค์ประกอบทางเคมีของชิ้นส่วนต่าง ๆ

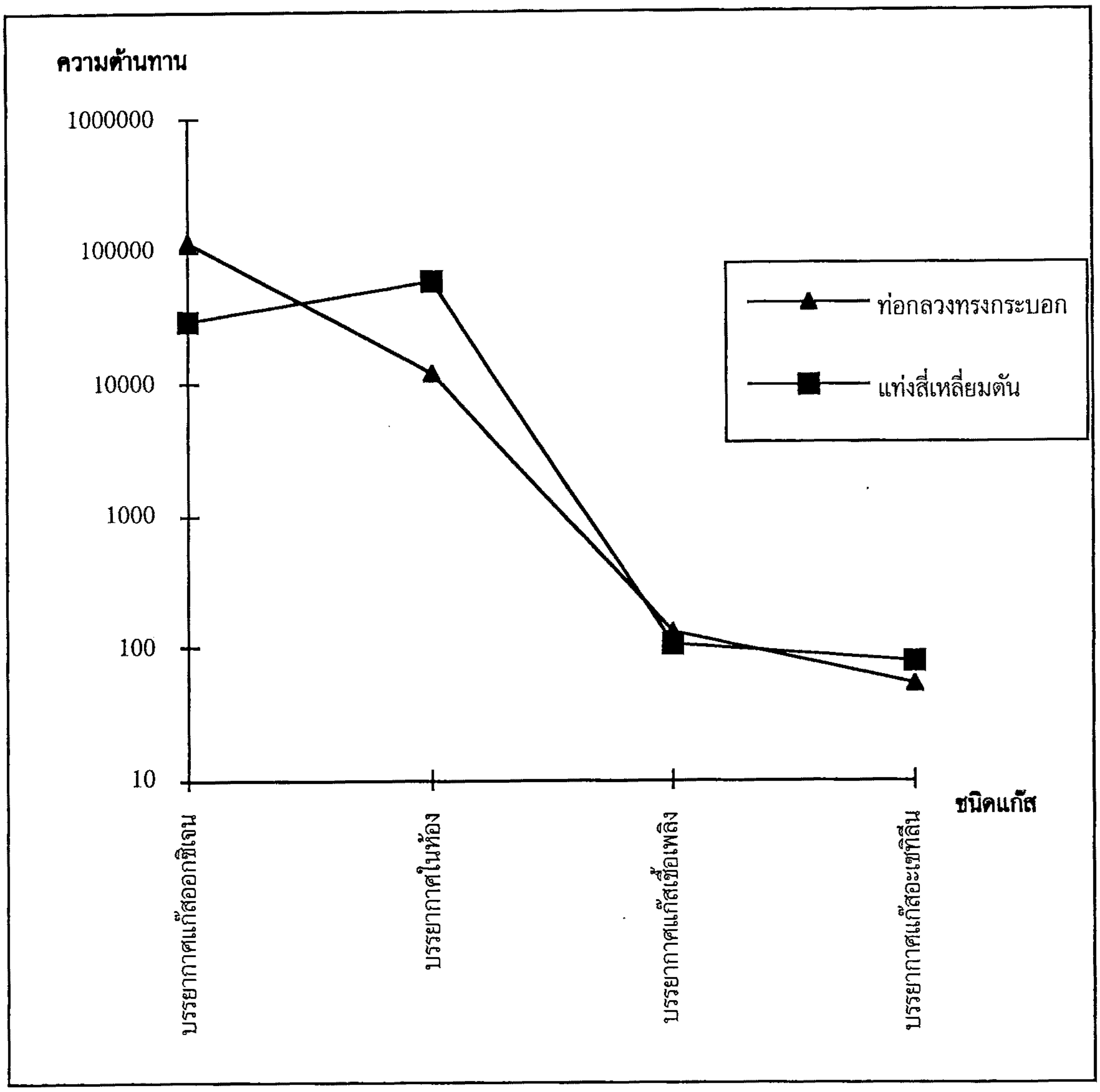
ชิ้นส่วน	ธาตุองค์ประกอบ	
	แท่งสี่เหลี่ยมตัน	ท่อกลวงทรงกระบอก
ตะแกรง (Gauze)	Al , Cr ,Fe	Al, Cr ,Fe
ขดลวดให้ความร้อน (Heater coil)	Pd , Ir	Fe , Cr , Al
ลวดนำไฟฟ้า (Lead wire)	Pd , Ni , P	Pd , Au
ขา (Pin)	Ni	Ni
ฐานรองพลาสติก (Resin moulding)	-	Al
ท่อกลวง(tube)	-	-
ขั้วไฟฟ้า(Electrode)	-	Au

5.3 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางไฟฟ้า

จากตารางที่ 5.11 และรูปที่ 5.19 แสดงให้เห็นการเปลี่ยนแปลงความต้านทานในบรรยากาศของแก๊สชนิดต่าง ๆ พบว่าความต้านทานจะมีเพิ่มสูงขึ้นเมื่ออยู่ในบรรยากาศออกซิเจน โดยใน Sensing element ที่เป็นท่อกลวงทรงกระบอก จะเพิ่มขึ้นจาก 10-12 กิโลโอมห์ เป็น 110-120 กิโลโอมห์ ส่วนแท่งสี่เหลี่ยมตัน จะเพิ่มขึ้นจาก 50-60 กิโลโอมห์เป็น 280-300 กิโลโอมห์ ในบรรยากาศของแก๊สเชื้อเพลิงกับ แก๊สอะเซทิลีน ซึ่งเป็นรีดิวซิงส์แก๊สพบว่า ความต้านทานของSensing element ที่เป็นท่อกลวงทรงกระบอก จะลดลงจาก 10-12 กิโลโอมห์เป็น 128-130 โฮมห์ และ 50-53 โอมห์ ตามลำดับ สำหรับแท่งสี่เหลี่ยมตัน จะเปลี่ยนแปลงความต้านทานจาก 50-60 กิโลโอมห์ เป็น 100-105 โอมห์ และ 75-78 โอมห์ ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่าการเปลี่ยนแปลงความต้านทานในบรรยากาศของรีดิวซิงส์แก๊สทั้งแก๊สเชื้อเพลิงและแก๊สอะเซทิลีน จะสูงกว่าการเปลี่ยนแปลงในบรรยากาศของออกซิเจน ดังนั้นจึงนิยมใช้ตัวตรวจสอบแก๊สประเภทตรวจวัดการรั่วของแก๊สรีดิวซิงส์ ส่วนการตรวจวัดออกซิเจนนิยมใช้ตัวตรวจสอบแก๊สประเภท Electrochemical cell sensor เป็นส่วนใหญ่

ตารางที่ 5.11 การเปลี่ยนแปลงความต้านทานของตัวตรวจสอบแก๊สเมื่ออยู่ในบรรยากาศของแก๊สชนิดต่าง ๆ

ชนิดแก๊ส	ค่าความต้านทาน	
	ท่อกลวงทรงกระบอก	แท่งสี่เหลี่ยมตัน
บรรยากาศในห้อง	10-12 KΩ	50-60 KΩ
บรรยากาศแก๊สออกซิเจน	110-120 KΩ	280-300 KΩ
บรรยากาศแก๊สเชื้อเพลิง	128-130 Ω	100-105 Ω
บรรยากาศแก๊สอะเซทิลีน	50-53 Ω	75-78 Ω

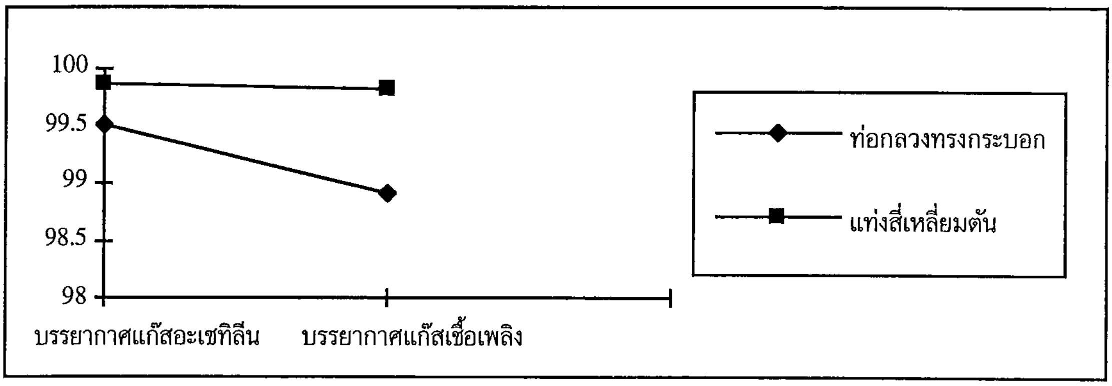


รูปที่ 5.19 ลักษณะการเปลี่ยนแปลงความต้านทานของตัวตรวจสอบแก๊สเมื่ออยู่ในบรรยากาศของแก๊สชนิดต่าง ๆ

5.4 ความไวในการตรวจวัด

ความไวในการตรวจวัดแก๊สต่าง ๆ ของตัวตรวจวัดแก๊สที่ใช้ Sensitive layer ทั้ง 2 แบบ แสดงในรูปที่ 5.20 จะเห็นได้ว่า ท่อกลวงทรงกระบอก จะมีความไวในการตรวจวัดแก๊สอะเซททิลีนมากกว่าแก๊สเชื้อเพลิง ส่วน แท่งสี่เหลี่ยมตันจะไม่มีความแตกต่างในด้านความไวของการตรวจสอบ แก๊สทั้ง 2 ชนิด

อย่างไรก็ตามจากค่าความไวในการตรวจวัดรีดิวซิงส์แก๊สของตัวตรวจวัดแก๊สทั้ง 2 แบบ ซึ่งมีความแตกต่างกันน้อยมาก ทำให้เกิดปัญหาการเลือกตอบสนองเฉพาะแก๊ส (Sensitivity) ในตัวตรวจสอบประเภทนี้และเป็นสมบัติที่ต้องปรับปรุงเพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพและขยายการใช้งานให้กว้างขวางยิ่งขึ้น ซึ่งในขณะนี้บริษัทผู้ผลิตและนักวิจัยได้มีการศึกษาวิจัยและค้นคว้าเรื่องนี้กันอย่างกว้างขวาง



รูปที่ 5.20 ความไวต่อการตอบสนองของแก๊สชนิดต่าง ๆ