โครงการ

การศึกษาเบื้องต้นของ Ceramic Sensor สำหรับเป็นตัวตรวจสอบการรั่วของแก๊ส

(Preliminary Study of Ceramic Sensor for Gas Leakage Alarm)

โดย

นางสาวสิริพรรณ นิลไพรัช
นางสรินทร ลิ่มปนาท
นายปริญญา พวงนาค
นายมงคล อุมา

สถาบันวิจัยโลหะและวัสดุ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เสนอ

กองส่งเสริมและประสานงานวิจัย ฝ่ายวิจัย
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

(มีนาคม 2541)

I20141269

12 มิ.ย. 2549

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยใคร่ขอขอบพระคุณ ฝ่ายวิจัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้สนับสนุนในงานวิจัยและพัฒนาครั้งนี้และขอขอบคุณศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้บริการวิเคราะห์ต่าง ๆ ซึ่งสามารถทำให้งานวิจัยสำเร็จลุล่วง อนึ่ง คณะผู้วิจัย ขอขอบคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เล็ก อุดดมะศิล และผู้ช่วยศาสตราจารย์สุวิทย์ ปุณณะชัยยะ สำหรับคำแนะนำที่เป็นประโยชน์ต่องานวิจัยและพัฒนานี้

สิริพรรณ นิลไพรัช
(หัวหน้าโครงการ)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

มอบให้หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
15 / ธ.ค. / 44

สารบัญ

หน้า

สารบัญรูปภาพ A-B
สารบัญตาราง C
บทคัดย่อภาษาไทย D
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ (Abstract) E

บทที่ 1 บทนำ
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา 1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ 1
1.3 ขอบเขตการวิจัย 2
1.4 สถานที่ทำการทดลอง 2
1.5 วิธีการวิจัย 2
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 2

บทที่ 2 ทฤษฎี
2.1 ชนิดของตัวตรวจสอบแก๊ส 3
2.2 กลไกการเปลี่ยนแปลงทางไฟฟ้าในตัวตรวจสอบแก๊ส 4
ชนิด Semmiconductor Type และ Combusion Type

บทที่ 3 เทคโนโลยีการผลิต Gas Sensor ชนิด SnO_2
3.1 กระบวนการขึ้นรูปเซรามิกดั้งเดิม 9
3.2 กระบวนการขึ้นรูปฟิล์มหนา 9
3.3 กระบวนการขึ้นรูปฟิล์มบาง 15

บทที่ 4 วิธีการวิจัยและทดลอง
4.1 การศึกษาข้อมูลด้านการตลาด 22
4.2 การศึกษาสมบัติของชิ้นส่วนของผลิตภัณฑ์ในท้องตลาด 23

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทที่ 5 ผลการทดลองและวิจารณ์

5.1 ข้อมูลด้านการตลาด 26

5.2 การศึกษาผลิตภัณฑ์ตัวตรวจสอบแก๊สรั่ว 37

5.3 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางไฟฟ้า 50

5.4 ความไวในการตรวจวัด 53

บทที่ 6 สรุปผลการทดลอง

6.1 ข้อมูลด้านการตลาด 54

6.2 การศึกษาด้านเทคโนโลยีการผลิต 54

6.3 การศึกษาผลิตภัณฑ์ตัวตรวจสอบแก๊สรั่ว 55

6.4 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางไฟฟ้าและความไวในการตอบสนอง 55

เอกสารอ้างอิง 56

ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญรูปภาพ

หน้า

บทที่ 2
รูปที่ 2.1 แสดงแถบพลังในสารชนิดต่าง ๆ 4
รูปที่ 2.2 การเปลี่ยนแปลงการนำไฟฟ้าในบรรยากาศของแก๊สรีดิวซิงส์และออกซิเจน 7

บทที่ 3
รูปที่ 3.1 แสดงผลการเผาต่อการเพิ่มขนาดผลึกของ SnO_2 ที่มีสารโด๊ป และไม่มีสารโด๊ป 11
รูปที่ 3.2 ผลของความเข้มข้นของสารโด๊ปต่อการตอบสนองแก๊สต่างๆ 12
รูปที่ 3.3 แสดงอุณหภูมิการเผากับการตอบสนองต่อแก๊ส 15
รูปที่ 3.4 กระบวนการเตรียมฟิล์มบาง 19
รูปที่ 3.5 ตัวอย่างของตัวตรวจสอบแก๊สซึ่งเตรียมด้วยเทคนิคฟิล์มบาง 19
รูปที่ 3.6 การพัฒนาและวิจัยตัวตรวจสอบแก๊สโดยเทคนิคต่าง ๆ 20

บทที่ 4
รูปที่ 4.1 ภาพวงจรที่ใช้ในการทดสอบทางไฟฟ้า 25
รูปที่ 4.2 แสดงลักษณะการต่อวงจรกับเครื่อง Digital multimeter 25

บทที่ 5
รูปที่ 5.1 ประเภทตัวตรวจสอบแก๊สแสดงในรูปเปอร์เซ็นต์ 27
รูปที่ 5.2 แสดงเปอร์เซ็นต์ตัวตรวจสอบแก๊สที่ใช้ในกิจการต่าง ๆ 29
รูปที่ 5.3 แสดงเปอร์เซ็นต์ความถี่ของกิจการที่ใช้ตัวตรวจสอบแก๊สประเภทต่าง ๆ 31
รูปที่ 5.4 แสดงจำนวนความถี่และเปอร์เซ็นต์ของกิจการที่ใช้ตัวตรวจสอบแก๊สแต่ละประเภท 32
รูปที่ 5.5 เปอร์เซ็นต์ความต้องการตัวตรวจสอบแก๊สในกิจการประเภทต่าง ๆ 34
รูปที่ 5.6 ลักษณะภายนอกของตัวตรวจสอบแก๊สรั่ว 38
รูปที่ 5.7 ลักษณะโครงสร้างภายในของตัวตรวจสอบแก๊สรั่ว 39
รูปที่ 5.8 แผนผังวงจรไฟฟ้าของตัวตรวจสอบแก๊สรั่ว 39
รูปที่ 5.9 แบบจำลองของหัวตรวจวัดแก๊ส (Sensor module) 41
A. แบบจำลอง B. ถ่ายจากของจริง
รูปที่ 5.10 หัวตรวจวัดแก๊สที่ใช้ในเชิงพานิช 42

สารบัญรูปภาพ

หน้า

รูปที่ 5.11 แสดงลักษณะ Sensing element A. ท่อกลวงทรงกระบอก และ B. แท่งสี่เหลี่ยมตัน 44

รูปที่ 5.12 ลักษณะชั้นต่าง ๆของ Sensing element ชนิดท่อกลวงทรงกระบอก 45

รูปที่ 5.13 ภาพถ่าย SEM ของ Sensing element ชนิดท่อกลวงทรงกระบอก ที่บริเวณ Sensitive layer ที่กำลังขยาย 1700 เท่า 46

รูปที่ 5.14 ภาพถ่าย SEM ของ Sensing element ชนิดแท่งสี่เหลี่ยมตัน ที่กำลังขยาย 3000 เท่า 46

รูปที่ 5.15 ภาพถ่าย TEM ของ Sensing element ชนิดท่อกลวงทรงกระบอก ที่บริเวณ Sensitive layer 47

รูปที่ 5.16 EDX pattern ของ Sensitive layer ของท่อกลวงทรงกระบอก 48

รูปที่ 5.17 EDX pattern ของ Sensitive layer ของแท่งสี่เหลี่ยมตัน 49

รูปที่ 5.18 XRD pattern ของ Sensitive layer ของท่อกลวงทรงกระบอก 49

รูปที่ 5.19 ลักษณะการเปลี่ยนแปลงความต้านทานของตัวตรวจสอบแก๊ส เมื่ออยู่ในบรรยากาศของแก๊สชนิดต่าง ๆ 52

รูปที่ 5.20 ความไวในการตอบสนองต่อแก๊สชนิดต่าง ๆ 53

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

หน้า

บทที่ 3
ตารางที่ 3.1 แสดงวัสดุที่ใช้เป็นหมึกประเภทต่าง ๆ 10
ตารางที่ 3.2 สารโด๊ปที่ตอบสนองต่อแก๊สชนิดต่าง ๆ 13
ตารางที่ 3.3 แสดงความหนาของฟิล์มบาง SnO_2 ที่เตรียมด้วยวิธีการต่าง ๆ 17
ตารางที่ 3.4 วัสดุที่ใช้และวิธีการโด๊ปในฟิล์มบาง 18

บทที่ 5
ตารางที่ 5.1 ประเภทกิจการและจำนวนโรงงาน/ร้าน ที่ได้จากการสำรวจ 26
ตารางที่ 5.2 จำนวนและประเภทของตัวตรวจสอบแก๊ส 26
ตารางที่ 5.3 กิจการและจำนวนการใช้ตัวตรวจสอบแก๊ส 28
ตารางที่ 5.4 ความถี่ของโรงงานที่ใช้ตัวตรวจสอบแก๊สแต่ละประเภท 30
ตารางที่ 5.5 ปริมาณความต้องการใช้ตัวตรวจสอบแก๊สในกิจการ/โรงงานต่าง ๆ 33
ตารางที่ 5.6 มูลค่าการนำเข้าของพิกัด 8531-008-004 36
ตารางที่ 5.7 มูลค่าการนำเข้าของพิกัด 9031-800-004 37
ตารางที่ 5.8 ลักษณะและขนาดของ Sensing element 43
ตารางที่ 5.9 ธาตุที่เป็นที่เป็นองค์ประกอบใน Sensitive layer 48
ตารางที่ 5.10 องค์ประกอบทางเคมีของชิ้นส่วนต่าง ๆ 50
ตารางที่ 5.11 การเปลี่ยนแปลงความต้านทานของตัวตรวจสอบแก๊ส เมื่ออยู่ในบรรยากาศของแก๊สชนิดต่าง ๆ 51

ตารางภาคผนวกที่ 1 รายละเอียดของแต่ละกิจการที่ได้จากการสำรวจ 58
ตารางภาคผนวกที่ 2 ข้อมูลและจำนวนกิจการทั้งหมดซึ่งใช้ในการประมาณความต้องการตัวตรวจสอบแก๊ส 63
ตารางภาคผนวกที่ 3 จำนวนโรงกลั่นน้ำมันและกำลังการผลิต 64
ตารางภาคผนวกที่ 4 จำนวนโรงงานผลิตปิโตรเลียมขั้นต้นและกำลังการผลิตผลิตภัณฑ์ 64
ตารางภาคผนวกที่ 5 จำนวนโรงงานผลิตปิโตรเคมีขั้นต้นและต่อเนื่องและกำลังการผลิต 64

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อ

การศึกษาเบื้องต้นของ Ceramic sensor สำหรับเป็นตัวตรวจสอบการรั่วของแก๊สได้ดำเนินการทั้งสำรวจด้านการตลาด การศึกษาเทคโนโลยีการผลิต และศึกษาสมบัติของตัวตรวจสอบแก๊สรั่วในห้องทดลอง

ผลการสำรวจการตลาดปรากฏว่า ตัวตรวจสอบแก๊สประเภทที่นิยมใช้กันมากที่สุดคือ Catalytic combusion sensor 74% รองลงมาได้แก่ Electrochemical sensor 15% และ Semiconductor sensor 4% ส่วนประเภทกิจการที่มีการใช้ตัวตรวจสอบแก๊สมาก 2 อันดับแรก คือ อุตสาหกรรมปิโตรเลียมและปิโตรเคมี 88% และกิจการอื่น ๆ 11% ซึ่งมูลค่าของตัวตรวจสอบแก๊สที่ใช้รวมกันในทุกกิจการที่สำรวจอยู่ระหว่าง 8-43 ล้านบาท (864 เครื่อง) ซึ่งจากการคาดการณ์ความต้องการตัวตรวจสอบแก๊สทั้งหมด ในอุตสาหกรรมและกิจการที่เกี่ยวข้อง มีมูลค่าประมาณ 41 – 200 ล้านบาท (4000 เครื่อง)

เทคโนโลยีการผลิตตัวตรวจสอบแก๊สที่ใช้ในปัจจุบันมี 3 วิธี คือ การขึ้นรูปแบบเซรามิกส์ดั้งเดิม การขึ้นรูปแบบฟิล์มหนาและการขึ้นรูปแบบฟิล์มบาง ซึ่งเทคโนโลยีที่น่าสนใจในการวิจัยและพัฒนาผลิตในเชิงพาณิชย์คือการขึ้นรูปแบบฟิล์มหนา เนื่องจากการถ่ายทอดเทคโนโลยีจากห้องปฏิบัติการไปยังอุตสาหกรรมเป็นไปได้ง่าย เครื่องมือมีราคาไม่แพง และผลิตเป็นจำนวนซ้ำ ๆ ได้

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี และโครงสร้างจุลภาคของวัสดุหลักใน Sensing element ซึ่งเป็นชิ้นส่วนที่เกิดปฏิกิริยาตอบสนองต่อแก๊ส จำนวน 2 ชนิด คือ ชนิดท่อกลวงทรงกระบอก และ ชนิดแท่งสี่เหลี่ยมตัน พบว่ามีองค์ประกอบทางเคมีที่คล้ายกันโดยจะประกอบด้วย Sn Al และ Si ยกเว้นธาตุ Pd ที่พบในเฉพาะท่อกลวงทรงกระบอกเท่านั้น เมื่อวิเคราะห์สารประกอบในท่อกลวงทรงกระบอก พบว่ามี SnO_2 88.75% Al_2O_3 1.5% SiO_2 9.0% และมีธาตุ Pd 1.1% สำหรับโครงสร้างจุลภาคจะมีลักษณะเป็นก้อนเกิดจากการจับตัวกันของอนุภาค SnO_2 ขนาดของเกรนจากตัวอย่างชนิดท่อกลวงทรงกระบอก มีค่า 0.021 ไมครอน

จากการวัดความต้านทานของตัวตรวจสอบแก๊สรั่วพบว่า ค่าความต้านทานในบรรยากาศของเชื้อเพลิง และแก๊สอะเซทิลีนมีค่าลดลง ในขณะที่ความต้านทานในบรรยากาศของออกซิเจน จะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับความต้านทานในบรรยากาศในห้องปกติ สำหรับผลจากการศึกษาความไวในการตอบสนองต่อแก๊สชื้อเพลิงและแก๊สอะเซทิลีน พบว่าตัวตรวจสอบแก๊สรั่วประเภท Semiconductor sensor ที่ใช้ในการศึกษานี้มีความไวในการตรวจสอบระหว่าง 98-99 %

Abstract

The preleminary study of ceramic sensor as gas leakage alarm was on marketing survey, production technology as well as its properties.

The result of this marketing survey showed that 74 %,15 % and 4 % of gas sensor used in industries and businesses are Catalytic combustion sensor , Electrochemical sensor and Semiconductor sensor , respectively. It is also found that 88 %of gas sensor including gas leakage alarm is used by the petroleum and petrochemical industries ,6 % by other industries,. From the industrial surveys,the total price of gas sensor is 8 – 43 million baht (864 Unit) . Extrapolate the basis of demand , it is about 41 – 200 million bath (4000 unit) for all.

There are 3 fabrication techiques for gas sensors : typical ceramic fabrication process, thick film and thin film. The technology which could be commercialized is thick film as it is easy to transfer from laboratories to industries, low capital equipment cost and reproductivity.

The result of the chemical and microstructure analysis on the 2 types of sensing element, cylindrical tube and bulk-sintered body showed that both of sensing element contain Sn, Al and Si which Pd exist in the cylindrical tube only. In addition, chemical composition found in the cylindrical tube is SnO_2 88.5% Al_2O_3 1.5% SiO_2 9.0%, respectively with 1.1% Pd. Its micorstructure is coagulated SnO_2 with average grain size of approximately 0.021 micron.

From the resistance measurement, with respect to room atmosphere resistance of gas leakage alarm ,which is semicondustor type , is decreased in combustibe and acetelylene gas and decreased in oxygen gas . Both of the gas leakge alarm show sensitivigy varies between 98-99%.

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

ตัวตรวจสอบการรั่วของแก๊ส (Gas leakage alarm) จัดเป็นตัวตรวจสอบแก๊ส (Gas Sensor) ประเภทหนึ่งซึ่งเน้นการใช้งานเพื่อป้องกันอันตรายที่เกิดจากการรั่วของแก๊สต่างๆ อาทิ แก๊สหุงต้ม แก๊สมีเทน แก๊สพิษ ในปัจจุบันจากผลของการพัฒนาประเทศไปสู่อุตสาหกรรม ทำให้ความต้องการใช้พลังงานในประเทศมีสูงขึ้น ซึ่งแหล่งพลังงานที่สำคัญอย่างหนึ่งในขณะนี้คือ แก๊สธรรมชาติทั้งหลายที่มีแนวโน้มการใช้เพิ่มขึ้น ทั้งเป็นเชื้อเพลิงในครัวเรือน และอุตสาหกรรม นอกจากนี้ยังเป็นวัตถุดิบที่สำคัญในอุตสาหกรรมปิโตรเคมีซึ่งเป็นอุตสาหกรรมสำคัญของประเทศ อย่างไรก็ตามในการใช้แก๊สเหล่านั้นความปลอดภัยเป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่งเพื่อป้องกันอุบัติเหตุจากสาเหตุการระเบิดของแก๊สและการเกิดเพลิงไหม้ ซึ่งก่อให้เกิดความเสียหายทั้งชีวิตและทรัพย์สินมหาศาล ซึ่งปรากฏเป็นข่าวอยู่เสมอๆ นอกจากแก๊สเชื้อเพลิงแล้วปริมาณแก๊สพิษต่าง ๆ ที่สะสมในอากาศในระดับเกิดความปลอดภัยก็สามารถทำให้เกิดความเสียหายต่อชีวิตได้เช่นกัน

จากสาเหตุดังกล่าวจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องนำตัวตรวจสอบการรั่วของแก๊ส (Gas leage alarm) มาใช้เพื่อความปลอดภัยจากแก๊สพิษและการใช้แก๊สเชื้อเพลิง ซึ่งรัฐบาลก็ได้มีการออกกฎในการบังคับให้มีการติดตั้งตัวตรวจสอบแก๊สซึ่งในสถานที่ที่มีแก๊สเชื้อเพลิงทั้งหลายตั้งแต่ 500 ลิตรขึ้นไป

อย่างไรก็ตามข้อมูลเกี่ยวกับตัวตรวจสอบการรั่วของแก๊สในประเทศยังมีน้อยมาก สถาบันวิจัยโลหะและวัสดุ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เล็งเห็นความสำคัญของอุปกรณ์ดังกล่าว จึงได้จัดทำโครงการนี้เพื่อเป็นการพัฒนาความรู้ทางด้านตัวตรวจสอบแก๊สรั่ว และเป็นแหล่งข้อมูลให้กับผู้สนใจ รวมถึงอุตสาหกรรมต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง สำหรับในการศึกษานี้จะเน้นตัวตรวจสอบการรั่วที่ใช้วัสดุ Ceramic โดยเฉพาะ SnO_2 เป็นสำคัญ เพราะสามารถใช้ตรวจจับได้อย่างรวดเร็ว การดูแลรักษาง่ายและต้นทุนการผลิตต่ำทำให้มีศักยภาพอย่างสูงในการพัฒนาวิจัยต่อไปในอนาคตไปสู่เชิงพาณิชย์

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1. ศึกษาเทคโนโลยีการผลิตตัวตรวจสอบการรั่วของแก๊ส
2. ศึกษาผลิตภัณฑ์ในท้องตลาด เพื่อทดสอบคุณสมบัติ
3. ศึกษาข้อมูลด้านการตลาด

1.3 ขอบเขตการวิจัย

วิจัยในขั้นพื้นฐานโดยนำผลิตภัณฑ์ที่มีอยู่แล้วในท้องตลาดมาศึกษาเท่านั้นไม่รวมถึงการทดลองผลิตผลิตภัณฑ์ในห้องปฏิบัติการ

1.4 สถานที่ทำการทดลอง

1. สถาบันวิจัยโลหะและวัสดุ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
2. ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
3. ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1.5 วิธีการวิจัย

1. รวบรวมเทคโนโลยีการผลิตจากเอกสารต่าง ๆ
2. ศึกษาข้อมูลด้านการตลาด
3. จัดหาผลิตภัณฑ์และศึกษาระบบการทำงานของตัวตรวจสอบการรั่วของแก๊ส
4. จัดเตรียมวัตถุดิบและอุปกรณ์ในการวิจัย
5. ทดลองถอดชิ้นงานและวิเคราะห์คุณสมบัติของผลิตภัณฑ์
6. ทดสอบคุณสมบัติด้านไฟฟ้าและอื่น ๆ
7. สรุปและรายงานผล

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ได้ความรู้เกี่ยวกับเทคโนโลยีการผลิตตัวตรวจสอบการรั่วของแก๊สจากวัสดุด้านเซรามิกส์ ทราบถึงโครงสร้างและคุณสมบัติของตัวตรวจสอบการรั่วของแก๊สที่มีในท้องตลาดในประเทศได้ ความรู้ทางด้านการตลาดเพื่อเป็นข้อมูลให้แก่ภาคอุตสาหกรรม

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

ทฤษฎี

ตัวตรวจสอบการรั่วของแก๊สเป็นตัวตรวจสอบประเภทหนึ่งซึ่งออกแบบให้ตรวจสอบความเข้มข้นของแก๊สในระดับที่เริ่มจะเป็นอันตราย ทั้งแก๊สติดไฟ และแก๊สพิษ โดยทำให้มีการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางไฟฟ้า อาทิ ค่าการนำไฟฟ้า ค่าความต้านทานของ Sensing Element เมื่ออยู่ในบรรยากาศของแก๊สนั้น ๆ และแสดงเป็นสัญญาณเตือนในลักษณะต่าง ๆ อาทิ สัญญาณแสง สัญญาณเสียง เพื่อเตือนให้มีการจัดการในด้านความปลอดภัย โดยระดับความปลอดภัยของแก๊สติดไฟจะระบุในหน่วยของ LEL (Lower Explosive Limit) หรือ UEL (Upper Explosive Limit) ซึ่งหมายถึงระดับพิกัดล่างหรือพิกัดบนของความเข้มข้นแก๊สที่สามารถติดไฟได้เมื่อมีประกายไฟ หรือสะเก็ดไฟก็ตาม สำหรับแก๊สพิษจะระบุความปลอดภัยในหน่วย TLV (Threshode Limit Value) ซึ่งเป็นความเข้มข้นมากที่สุดของแก๊สพิษที่บุคลากรที่อยู่ในบรรยากาศดังกล่าวสามารถปฏิบัติงานต่อเนื่องได้อย่างปลอดภัย ภายในเวลา 8 ชั่วโมง

2.1 ชนิดของตัวตรวจสอบแก๊ส

การจำแนกประเภทของตัวตรวจสอบแก๊สจะขึ้นกับสมบัติในการจำแนก แต่ในที่นี้จะกล่าวถึงเฉพาะประเภทที่นิยมใช้อย่างกว้างในการตรวจวัดการรั่วของแก๊ส คือ

2.1.1 Semiconductor type เป็นการตรวจสอบโดยอาศัยการเปลี่ยนแปลงทางเคมี – ฟิสิกส์ของสารกึ่งตัวนำเมื่อได้รับความร้อนและอยู่ในบรรยากาศของแก๊ส ซึ่งจะเกิดการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานตามความดันย่อย หรือความเข้มข้นของแก๊ส สำหรับวัสดุกึ่งตัวนำที่เป็นสารเซรามิกส์และนิยมใช้เป็นตัวตรวจสอบแก๊สคือ SnO_2

2.1.2 Contact combustion type เป็นการตรวจสอบโดยอาศัยการเปลี่ยนแปลงทางฟิสิกส์ของขดลวด อาทิ ทองคำขาว ที่มีสารตัวเร่งปฏิกิริยาเคลือบอยู่ ซึ่งเมื่อสารตัวเร่งปฏิกิริยาทำปฏิกริยาแก๊สเป็นผลให้ความร้อนของขดลวดจะสูงขึ้น ทำให้ความต้านทานเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของแก๊ส ซึ่งตัวตรวจสอบแก๊สรั่วแบบนี้อาจเรียกได้อีกแบบหนึ่งว่า Catalytic Combusion sensor

สิ่งสำคัญที่ต้องคำนึงถึงเมื่อใช้ตัวตรวจสอบแก๊สแต่ละประเภทคือ ลักษณะของการนำตัวตรวจสอบแก๊สไปใช้งาน เนื่องจากความต้องการคุณสมบัติจะแตกต่างกัน อาทิ ในตัวตรวจสอบแก๊สซึ่งใช้เป็นตัวตรวจสอบการรั่วของแก๊สนั้นจะต้องมีความคงที่ (Stability) มากกว่าความแม่นยำ แต่ตัวตรวจสอบที่ใช้เป็นเครื่องมือตรวจวัดระดับความเข้มข้นต้องการค่าความถูกต้องแม่นยำ (Accuracy) มากกว่าความคงที่ ซึ่งในบรรดาตัวตรวจสอบแก๊สที่ได้กล่าวมาแล้ว พวก Semiconductor sensor จัดได้ว่ามีสมบัติความคงที่

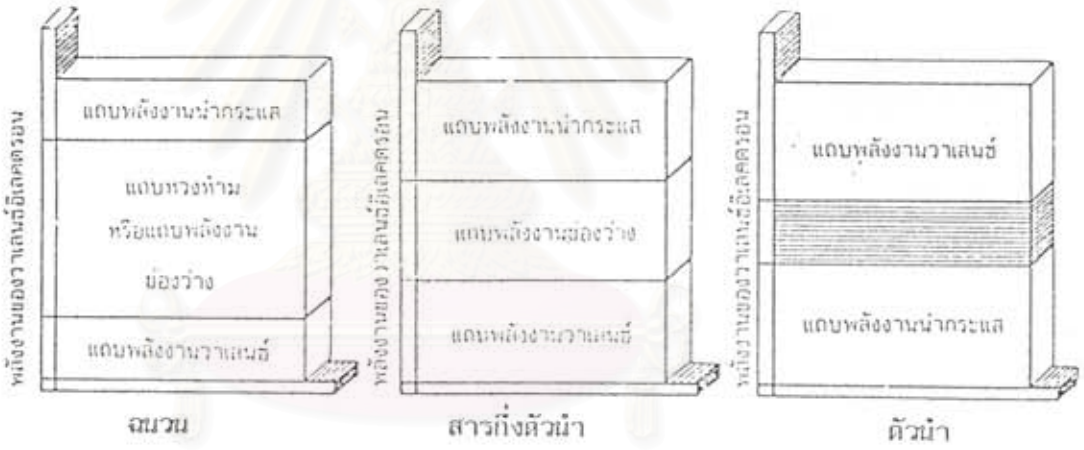
เมื่อเปรียบเทียบกับตัวตรวจสอบประเภทอื่น ๆ อาทิ Catalytic combusion sensor ดังนั้นในการศึกษาวิจัยนี้จะเน้นเกี่ยวกับพวก Semiconductor sensor เป็นหลัก

2.2 กลไกการเปลี่ยนแปลงทางไฟฟ้าในตัวตรวจสอบชนิด Semiconductor Type และ Combustion Type

2.2.1 กลไกการเปลี่ยนแปลงทางไฟฟ้าของตัวตรวจสอบแก๊สชนิด Semiconductor type

2.2.1.1 วัสดุกึ่งตัวนำ (Semiconductor material)

สารกึ่งตัวนำเป็นเซรามิกประเภทหนึ่งที่มีสมบัติการนำไฟฟ้าสูงกว่าฉนวนและต่ำกว่าตัวนำ โครงสร้างของแถบพลังงานประกอบด้วยแถบเวเลนต์เต็มและแถบการนำว่าง มีช่องว่างของพลังงานความกว้างไม่เกิน 4 อิเล็กตรอนโวลต์ กั้นระหว่าง 2 แถบนี้ ดังนั้นถ้าอิเล็คตรอนที่อยู่ในแถบเวเลนต์ได้รับพลังงานมากพอก็สามารถข้ามช่องว่างพลังงานไปยังแถบนำและก่อให้เกิดการนำได้ (รูปที่ 2.1)



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 2.1 แสดงแถบพลังในสารชนิดต่าง ๆ

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารกึ่งตัวนำสามารถแบ่งได้เป็น 2 ชนิด คือ สารกึ่งตัวนำชนิดในตัวและสารกึ่งตัวนำเจือปน ซึ่งความแตกต่างของสารกึ่งตัวนำทั้ง 2 ชนิด ขึ้นกับการเกิดของสภาพการนำไฟฟ้า โดยที่ในสารกึ่งตัวนำในตัวความนำไฟฟ้าเป็นสมบัติที่อยู่ในตัวเอง เนื่องจากในแถบเวเลนต์มีอิเล็กตรอนบรรจุเต็มทำให้การเคลื่อนที่ของอิเล็คตรอจจำกัด จนเสมือนถูกยึดเหนี่ยวไว้ด้วยพันธะโควาเลนต์ แต่เนื่องจากช่องว่างพลังงานในสารกึ่งตัวนำมีความกว้างไม่มากนักทำให้ไม่จำเป็นต้องให้พลังงานสูงแก่อิเล็กตรอน อาทิ ใน ซิลิคอน ซึ่งมีอิเล็กตรอนเวเลนซ์ 4 ตัว มีช่องว่างพลังงานกว้าง 1.1 อิเล็กตรอนโวลต์ที่ 20 องศาเซลเซียส ซึ่งพลังงานที่ระดับอุณหภูมิห้องก็เพียงพอที่กระตุ้นให้อิเล็กตรอนเคลื่อนที่จากแถบวาเลนต์เข้าไปอยู่ในแถบนำ และให้เกิดการนำไฟฟ้านอกจากอิเล็กตรอนแล้ว หลุม (Hole) ในแถบเวเลนต์ซึ่งเกิดจากการเคลื่อนย้ายของ อิเล็กตรอน ก็เป็นอีกสาเหตุหนึ่งของการนำไฟฟ้าในสารกึ่งตัวนำประเภทนี้ ตัวอย่างของวัสดุประเภทนี้ได้แก่ Si, Ge ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นธาตุในหมู่ 4 A

ส่วนสารกึ่งตัวนำชนิดสารเจือปนนั้น ความนำไฟฟ้าเกิดจากการเติมสารเจือปนลงในอะตอมทำให้เกิดสารละลายของแข็งแบบแทนที่และกลายเป็นสารกึ่งตัวนำ เนื่องจากสารเจือปนที่เติมลงไปจะทำให้เกิดอิเล็กตรอนหรือหลุมขึ้นมาในแลตทิซก่อให้เกิดการนำไฟฟ้าได้ ในสารกึ่งตัวนำประเภทนี้สามารถแบ่งออกเป็นได้ 2 ชนิด คือ สารกึ่งตัวนำในตัวชนิดเอ็น (N-Type Impurity Smiconductor) และสารกึ่งตัวนำชนิดพี (P-Type Impurity Semiconductior) โดยพวกสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็นพาหะที่ทำหน้าที่นำประจุจะเป็นพวกอิเล็กตรอนที่ได้เพิ่มมาจากสารเจือปน อาทิ การเติม P ซึ่งมีเวเลนต์อิเล็กตรอน 5 ตัว ลงในซิลิกอนที่มีอิเล็กตรอน 4 ตัว ทำให้มีอิเล็กตรอนอิสระของ P ที่ดูดยึดอย่างหลวม ๆ กับนิวเคลียสด้วยพลังงานเพียง 0.044 อิเล็กตรอนโวลต์ จากการที่ช่องว่างพลังงานของซิลิคอนเท่ากับ 1.1 อิเล็ตรอนโวลต์ ดังนั้นอิเล็กตรอนของ Pต้องการพลังงานเพียง 0.044 อิเล็กตรอนโวลต์ ก็สามารถเข้าไปในแถบนำ และนำไฟฟ้าได้เมื่อสารตัวนำอยู่ในสนามไฟฟ้า ซึ่งจะเรียกสารเจือปนประเภทนี้ว่าตัวให้ (Donor) และจะมีระดับพลังงานอยู่ต่ำกว่าแถบการนำ หรือส่วนบนของช่องว่างพลังงานเรียกว่าระดับตัวให้ (Donor Level) สำหรับสารเจือปนในกลุ่มนี้จะอยู่ในหมู่ 5A เป็นส่วนใหญ่นอกจาก P แล้วได้แก่ N As และ Sb

สำหรับพวกสารกึ่งตัวนำชนิดมีพาหะที่ทำหน้าที่นำประจุเป็นพวกหลุมหรือประจุบวก ซึ่งได้จากการเติมสารเจือปนในธาตุหมู่ 3 A คือ B Al Ga และ In ซึ่งมีเวเลนต์อิเล็กตรอน 3 ตัว ลงไปในอะตอมของธาตุหมู่ 4A เช่น Si Ge Sn ซึ่งมีเวเลนต์อิเล็กตรอน 4 ตัว ดังนั้นจึงมีหลุมเหลือ 1 หลุมในสารเจือปนเสมอ และพร้อมที่จะรับอิเล็กตรอน จึงเรียกว่าสารเจือปนเหล่านี้ว่าตัวรับอิเล็กตรอน (Acceptor) ซึ่งมีระดับพลังงานเหนือแถบเวเลนต์เล็กน้อยเรียกว่าระดับตัวรับ (Acceptor Level) ซึ่งอิเล็กตรอนจากแถบเวเลนต์สามารถเข้าไปอยู่ได้ เนื่องจากจะใช้พลังงานต่ำกว่าการเข้าไปอยู่ในแถบนำ ดังนั้นเมื่อมีการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนออกไปจากเวเลนต์แล้วจะทำให้เกิดหลุมที่สภาพเคลื่อนที่ได้ จึงมีการนำไฟฟ้าในสารกึ่งตัวนำชนิดนี้ในการใช้งานด้านตรวจสอบแก๊ส โดยมักใช้วัสดุกึ่งตัวนำประเภทเอ็นเป็นส่วนใหญ่ ตัวอย่างสารกึ่งตัวนำที่มีการใช้ทางด้านนี้ได้แก่ Al_2O_3 SnO_2 Sintered Cao-SnO_2 เป็นต้น แต่ที่นิยมแพร่หลายทั่วไป คือ SnO_2

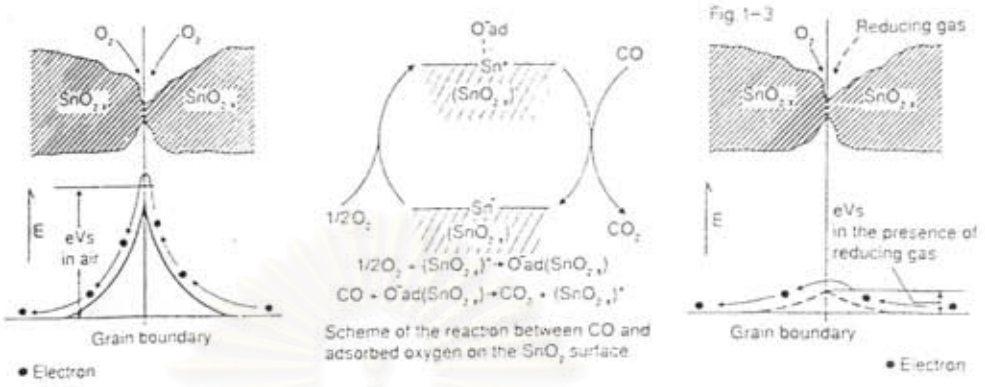
2.2.1.2 กลไกการเปลี่ยนแปลงการนำไฟฟ้าของ SnO_2

SnO_2 มีโครงสร้างแบบ Rutile เป็นวัสดุกึ่งตัวนำชนิด n-type ที่มีความกว้างของช่องว่างพลังงานประมาณ 3.5 อิเล็กตรอนโวลต์ ซึ่งในสภาพอุณหภูมิห้องจะมีความเป็นฉนวนสูง และการนำไฟฟ้าเป็นผลมาจากการเกิดจุดบกพร่องของโครงสร้างทำให้เกิดช่องว่างออกซิเจนโดยที่ใต้แถบนำ (Conduction Band) จะเกิดระดับตัวให้ (Donor Level) ซึ่งมีค่าพลังงาน 0.03-0.034 หรือ 0.14-0.15 อิเล็กตรอนโวลต์ ขึ้นกับชนิดช่องว่างออกซิเจนเป็นชนิดเดี่ยว (Single Vancacy) หรือชนิดคู่ (Double Vacancies) จากการเคลื่อนที่ของออกซิเจนจากบริเวณปลายสุดของโครงสร้าง Rutile (The Terminal Layer of Rutile) เมื่อได้รับความร้อน

ในสภาพที่ได้รับความร้อน SnO_2 เมื่ออยู่ในบรรยากาศที่ไม่มีออกซิเจนจะเกิดการไหลของอิเล็กตรอน ซึ่งได้จากการแตกตัวในระดับของผู้ให้ผ่านแถบนำไปยังเกรนต่าง ๆ โดยอิเล็กตรอนสามารถที่จะไหลได้อย่างอิสระ แต่เมื่ออยู่ในบรรยากาศที่มีออกซิเจนจะมีปฏิกิริยาระหว่างออกซิเจนที่อยู่ระหว่างพื้นผิวของ SnO_2 กับบรรยากาศกับอิเล็กตรอน อิเล็กตรอนจะถูกออกซิเจนดึงดูดไปยังพื้นผิวด้วยสมบัติ Electro Affinity ของออกซิเจนกลายเป็นออกซิเจนอิออน O^- หรือ O^{2-} ขึ้นกับอุณหภูมิเกาะติดที่พื้นผิวของ SnO_2 เป็นผลให้เกิดกำแพงศักย์ทางไฟฟ้าระหว่างเกรนเพราะในระดับผู้ให้เกิดมีสภาพการพร่องพาหะนำประจุ และกลายเป็นไฟฟ้าบวก ผลการเกิดกำแพงศักย์ทำให้การเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนถูกจำกัด ดังนั้นค่าการนำไฟฟ้าจึงต่ำลงในบรรยากาศออกซิเจน แต่ในขณะที่เกิดประจุพื้นผิวการดูดซับออกซิเจนต่อไปก็มีอัตราที่ช้าลงเพราะการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนจะต้องข้ามพื้นผิวขวางกั้นซึ่งเป็นชั้นประจุของพื้นผิวที่เกิดก่อน นอกจากนี้จุดอิ่มตัวของพื้นผิว SnO_2 ก็ต่ำ

ดังนั้นความต้านทานของ SnO_2 จะไวต่อปริมาณของออกซิเจนอิออนที่ปกคลุมที่พื้นผิว การเปลี่ยนแปลงการปกคลุมของออกซิเจนที่พื้นผิว จะเป็นสาเหตุให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางไฟฟ้าซึ่งในกรณีของรีดิวซิ่งแก๊ส อาทิ LPG CH_4 CO จะสามารถเกิดปฏิกิริยากับออกซิเจนอิออนที่เกาะติดที่พื้นผิวของ SnO_2 เกิดการเผาไหม้ (Surface Catalyst Combusion) ออกซิเจนที่ปกคลุมพื้นผิวลดลงและทำให้กำแพงศักย์ไฟฟ้าลดลง อิเล็กตรอนจึงสามารถเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระ ค่าการนำไฟฟ้าจึงสูงขึ้น ซึ่งสามารถแสดงการเปลี่ยนแปลงดังรูปที่ 2.2

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.2 การเปลี่ยนแปลงการนำไฟฟ้าในบรรยากาศของแก๊สรีดิวซิ่งส์และออกซิเจน

สำหรับออกซิเจนที่ปกคลุมพื้นผิวจะสัมพันธ์กับความดันย่อยของแก๊สรีดิวซิ่งส์ อาทิ CO ซึ่งสามารถแสดงความสัมพันธ์ได้ดังสมการ คือ

$$\theta = \frac{k1\ P_{O_2}}{k_{-1} + k_1\ PO_2 + k_2\ P_{CO^2}}$$

เมื่อ θ = สัดส่วนพื้นที่ถูกปกคลุมด้วยออกซิเจนอิออน

k_1 = ค่าคงที่ของการดูดซับออกซิเจนบนพื้นผิว SnO_2

k_{-1} = ค่าคงที่ของการปลดปล่อยออกซิเจนจากพื้นผิว

k_2 = ค่าคงที่ของการเกิดปฏิกิริยาระหว่าง CO และ ออกซิเจนบนพื้นผิว

ในกรณีที่อยู่ภายใต้ภาวะที่ $k_{-1} << P_{CO2}$ และ $k_1 << k_2\ P_{CO2}$ จะได้สัดส่วนของออกซิเจนที่ปกคลุมพื้นผิวผันแปรผกผันกับความดันย่อยของ CO จึงเป็นผลให้ความไวและการนำไฟฟ้าบนพื้นผิวขึ้นกับความดันย่อยของ CO หรือพวกแก๊สรีดิวซิ่งส์ ซึ่งเป็นหลักการที่นำมาใช้ในการประยุกต์ใช้กับตัวตรวจจับแก๊สรั่ว

2.2.2 Catalytic combustion sensor

ใน Combustion สามารถแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงของความต้านทานกระแสไฟฟ้าที่เกิดจากการเผาไหม้แก๊สซึ่งเป็นสัดส่วนกับอุณหภูมิดังสัมการ

$$\Delta R = \Delta T = \alpha . \Delta H/C = \alpha . a . m . Q/C \quad \text{.....(1)}$$

โดยที่

ΔR : ค่าการเปลี่ยนแปลงของความต้านทานไฟฟ้า เนื่องจากการเผาไหม้ของแก๊สด้วยขดลวด

α : สัมประสิทธิ์ความต้านทานไฟฟ้าของขดลวดต่ออุณหภูมิ

ΔT : อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นจากการเผาไหม้แก๊ส

C : Heat capacity ของขดลวด

m : ปริมาณแก๊ส

Q : ความร้อนในการเผาไหม้โมเลกุลของแก๊ส

a : ค่าคงที่สัมพัทธ์ของขดลวด

ค่า α, C และ a จากสมการที่ 1 สัมพันธ์กับคุณสมบัติ, รูปทรงและโครงสร้างของขดลวดส่วน Q ขึ้นกับชนิดของแก๊สและถ้ากำหนดให้ aQ/C = b แล้วสามารถแสดงสมการที่ 1 ได้ว่า

$$\Delta R = \alpha \cdot b \cdot m \quad \text{.....(2)}$$

จากสมการที่ 2 การเปลี่ยนแปลงความต้านทานไฟฟ้าขดลวด จะเป็นสัดส่วนกับปริมาณ Gas ซึ่งจะสามารถตรวจวัดได้ และค่านี้จะเปลี่ยนแปลงไปตามค่ากระแสไฟฟ้า ความร้อนที่ไหลผ่านสะพาน Curcuit ในกรณีที่ต้องใช้งาน ควรทราบถึงความสัมพันธ์ของชนิดและปริมาณ Gas กับค่ากระแสที่ไหลผ่านสะพานไฟฟ้า สำหรับตัวตรวจสอบแก๊ส Methane นั้นอุณหภูมิของขดลวดโดยทั่วไปประมาณ 450-550° C

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

เทคโนโลยีการผลิต Gas sensor ชนิด SnO_2

เทคโนโลยีการผลิต Gas sensor ชนิด SnO_2 ได้เริ่มนำมาใช้ผลิตเป็นตัวตรวจสอบการรั่วของแก๊สในบ้านเป็นครั้งแรกในปี 1968 โดย Naoyoshi Taguchi ซึ่งใช้การอัดขึ้นรูป SnO_2 เป็นเม็ด ต่อมาได้มีการนำเทคนิคฟิล์มหนาและฟิล์มบางมาใช้ในการขึ้นรูป เพื่อช่วยเพิ่มสมบัติต่าง ๆ อาทิ ความไวของการตอบสนอง การตอบสนองแก๊สอย่างเฉพาะเจาะจง อย่างไรก็ตามนอกจากการพัฒนาเทคนิคขึ้นรูปแล้วยังได้มีการศึกษาและวิจัยการใช้สารโด๊ปเพื่อทำหน้าที่เป็นสารเชิงปฏิกิริยาและอื่น ๆ ทำให้เพิ่มความสามารถในการตรวจวัดของ Gas sensor ให้มีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้น

3.1 กระบวนการขึ้นรูปแบบเซรามิกสดั้งเดิม (Typical Ceramic fabrication process)

การขึ้นรูปของเซรามิกโดยกระบวนการแบบเซรามิกดั้งเดิมคือการ การอัดขึ้นรูปจากผงซึ่งยังมีการใช้ในการผลิตตัวตรวจสอบที่ใช้ในเชิงการค้า อาทิ TGS เป็นต้น สำหรับการขึ้นรูปตัวตรวจสอบแก๊สด้วยกระบวนการนี้จะสามารถปรับปรุงสมบัติด้านความเสถียรในการใช้งาน (Long - term stability) ได้โดยการควบคุมบรรยากาศของแก๊ส และอุณหภูมิในการเผา นอกจากนี้ต้องเพิ่มเวลาในการเผาให้นานเพียงพอ ซึ่งอาจเป็นหนึ่งสัปดาห์หรือมากกว่า

โดยทั่วไปลักษณะรูปร่างและโครงสร้างทางเคมีของชิ้นงาน ที่ได้จากการขึ้นรูปด้วยวิธีการนี้จะมีความซับซ้อน แต่จะมีสมบัติที่ไวต่อการตรวจวัดแก๊ส ซึ่งเป็นผลจากการที่มีเกรนขนาดเล็ก ทั้งยังมีความเสถียร เนื่องจากกระบวนการบ่มระยะยาว (Long ageing) ในช่วงของการเผา

3.2 กระบวนการขึ้นรูปฟิล์มหนา (Thick film fabrication process)

เทคโนโลยีการขึ้นรูปฟิล์มหนา นิยมใช้กันทั่วไปในการผลิตชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ อาทิ วงจรผสม หุ่นยนต์ รวมทั้งตัวตรวจสอบแก๊ส เนื่องจากเป็นเทคนิคที่มีต้นทุนต่ำ และสามารถที่จะผลิตได้ครั้งละมาก ๆ นอกจากข้อดีดังกล่าวแล้วการใช้เทคนิคฟิล์มหนายังสะดวกต่อการปรับปรุงสมบัติของตัวตรวจสอบแก๊ส อาทิ การใช้สารโด๊ป เพื่อเพิ่มความไวต่อการตอบสนอง การเลือกตอบสนองต่อแก๊สแต่ละชนิดอย่างเฉพาะ เพิ่มอายุการใช้งาน

สำหรับกระบวนการขึ้นรูปฟิล์มหนาจะประกอบด้วย การพิมพ์หมึกลงบนแผ่นรองวงจร แล้วนำไปอบและเผาที่อุณหภูมิสูง สำหรับส่วนผสมของหมึกที่ใช้จะประกอบด้วยวัสดุที่มีสมบัติทางไฟฟ้า

ต่าง ๆ อาทิ ตัวนำไฟฟ้า ตัวต้านทาน ดังแสดงในตารางที่ 3.1 สารยึดประสานและสารช่วยทำหรือพิมพ์แบบ นอกจากนี้อาจมีสารตัวเติมอื่น ๆ เพื่อช่วยปรับปรุงสมบัติต่อการเผาหรือเพิ่มพฤติกรรมการไหลตัว (Rheology) ของหมึกให้เหมาะสม

ตารางที่ 3.1 แสดงวัสดุที่ใช้เป็นหมึกประเภทต่าง ๆ

คุณสมบัติของหมึก	วัสดุเซรามิก/โลหะ
Conductor	Au, Ag/Pd, Pd/Au, Pt
Resistor	RuO_2, IrO_2
Insulator	Al_2O, ZrO_2, ($BaTiO_3$)

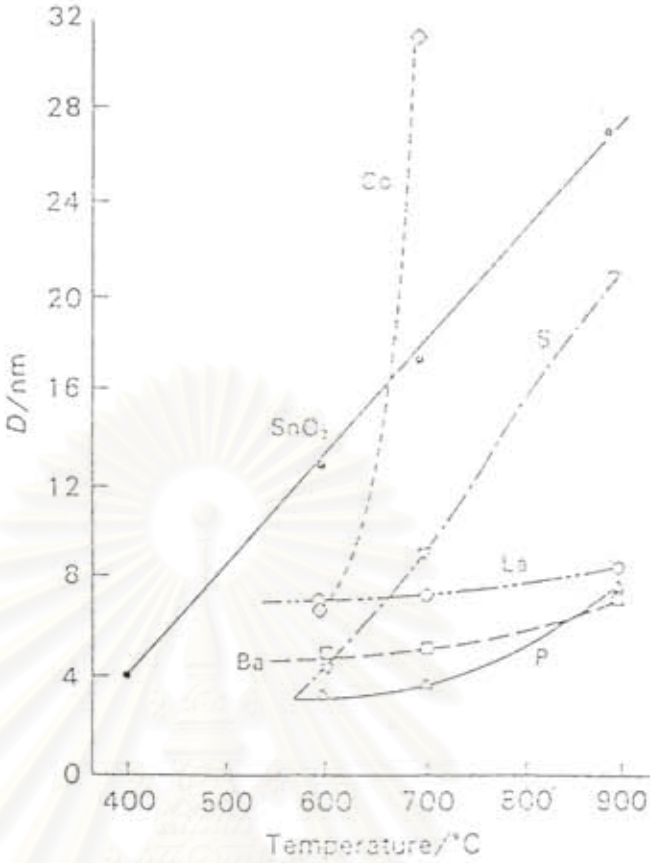
ในการขึ้นรูป SnO_2 เพื่อเป็นตัวตรวจสอบแก๊สรั่วด้วยเทคนิคฟิล์มหนาจะประกอบด้วยวัตถุดิบและขั้นตอนต่อไปนี้

3.2.1 วัตถุดิบ

3.2.1.1 ผง SnO_2 ผง SnO_2 ที่ใช้ในการเตรียมหมึกมีทั้งชนิดที่ใช้ในการค้าซึ่งมีความบริสุทธิ์สูง (99.99) หรือจากการเตรียมด้วยวิธีการต่อไปนี้

- ผง SnO_2 ที่ได้จากการกระบวนการออกซิเดชั่น ได้จากการนำดีบุก โลหะทำปฏิกิริยากับกรดไนตริก (HCl) หรือกรดกำมะถันร้อน (H_2SO_4) หลังน้ำตะกอนที่ได้ไปล้างและเผา บดจะได้ผง SnO_2

- ผง SnO_2 ที่ได้จากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของเกลือทินคลอไรด์ ($SnCl_4$) วิธีการนี้นิยมใช้ในการศึกษาในห้องปฏิบัติการ โดยการใช้เกลือคลอไรด์ทำปฏิกิริยากับสารละลายแอมโมเนีย (NH_3) ซึ่งจะได้ตะกอนคือ สแตนนิคแอซิด (Stanic acid) หลังการกรองตะกอน นำไปล้างน้ำจนกระทั่งไม่มีคลอไรด์ หลังจากนั้นก็นำไปเผาและบดเช่นเดียวกับวิธีแรก สำหรับช่วงอุณหภูมิการเผาจะมีผลต่อพื้นผิวของผง SnO_2 ดังแสดงในรูปที่ 3.1 ซึ่งขนาดอนุภาคหรือพื้นที่ผิวเริ่มต้นของผง SnO_2 จะมีผลต่อความไวของการตรวจสอบ โดยผง SnO_2 ที่มีขนาดเล็กกว่าหรือพื้นที่ผิวมากกว่าจะให้การตอบสนองที่ดีกว่าผง SnO_2 ที่มีขนาดเล็กหรือพื้นที่ผิวน้อยกว่า ซึ่งผง SnO_2 ที่ใช้ในการเตรียมหมึกมักจะใช้ขนาดเล็กกว่า 1 ไมครอน



รูปที่ 3.1 แสดงผลการเผาต่อการเพิ่มขนาดผลึกของ SnO_2 ที่มีสารโด๊ปและไม่มีสารโด๊ป

3.2.1.2 สารยึดประสาน ทำหน้าที่ยึดฟิล์มหนากับแผ่นรองโดยปกตินิยมใช้แก้วหรือออกไซด์ที่เป็นผลึกอื่น ๆ นอกจากสารยึดประสานยังช่วยเพิ่มความแข็งให้กับฟิล์มหนา

3.2.1.3 สารช่วยทาหรือพิมพ์แบบ เป็นสารที่ช่วยให้หมึกของ SnO_2 มีความหนืดที่เหมาะสมต่อการทาหรือพิมพ์บนแผ่นรองวงจรจะประกอบด้วยสารพอลิเมอร์ อาทิ Ethycellulose ในตัวทำลาย Terpineol เป็นต้น

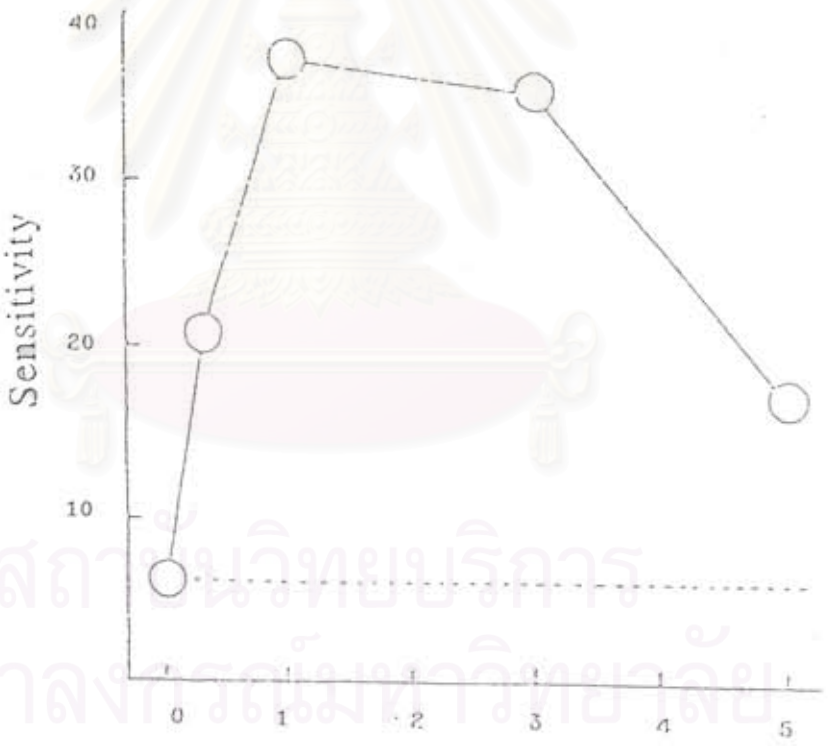
3.2.1.4 สารที่ช่วยปรับปรุงสมบัติของฟิล์ม SnO_2 หลังการเผา สารปรับปรุงสมบัติหลังการเผาทำหน้าที่ช่วยให้ SnO_2 เพิ่มปฏิกริยาในการตอบสนองต่อแก๊สชนิดต่าง ๆ ทั้งด้านความไวของการตรวจสอบ ความเฉพาะที่จะตอบสนองเฉพาะแก๊ส และความคงที่ เป็นต้น สำหรับสารปรับปรุงสมบัติมีทั้งที่ช่วยควบคุมการโตของเกรนให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสม ซึ่งส่วนใหญ่เป็น ออกไซด์ของโลหะ อาทิ CaO_2 NiO_2 และสารปรับปรุงสมบัติซึ่งจะมีความสำคัญมากและนิยมใช้ทั้งในทางการค้าและการศึกษาวิจัยคือสารโด๊บสารโด๊บที่นิยมใช้ส่วนใหญ่จะเป็นโลหะมีค่า อาทิ Pd Pt Ag ซึ่งจะทำหน้าที่เร่งการเกิดปฏิกริยาของแก๊ส และเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางไฟฟ้าของผลึก SnO_2 ทำให้การตอบสนองต่อแก๊สต่าง ๆ มีประสิทธิภาพดีขึ้น สำหรับสารโด๊บแต่ละชนิดจะเพิ่มการเลือกตอบสนองต่อแก๊สแตกต่างกันดังแสดงในตารางที่ 3.2 ซึ่งในปัจจุบันตัวตรวจสอบแก๊สที่มีจำหน่ายในเชิงการค้า มักจะใช้ตรวจวัดเฉพาะแก๊สตามชนิด

ของสารโด๊ปที่เป็นส่วนผสม ดังนั้นจึงให้มีการพัฒนานำเอาหัวตรวจวัดแก๊สหลายชนิด ๆ มาประกอบอยู่ในเครื่องตรวจวัดแก๊สตัวเดียวกัน ทำให้เพิ่มความสามารถในการตรวจวัดแก๊สได้หลายชนิด ซึ่งจะเรียกกันว่า Combination gas detector

ในการผสมสารปรับปรุงสมบัตินั้นมีหลายวิธีด้วยกัน ได้แก่

- การตกตะกอนร่วมตั้งแต่ขั้นตอนการเตรียมผง SnO_2 โดยอาจใช้สารโด๊ปที่อยู่ในรูปของเกลือต่าง ๆ อาทิ $PdCl_4$ ซึ่งมักนิยมใช้ในกรณีที่มีการเตรียมผงแบบไฮโดรไลซิส
- การบดผสมกับผง SnO_2 ในขั้นตอนการเตรียมหมึก การเคลือบบนผิวของชิ้นงานหลังการเผาหรืออบแห้งโดยการอบชุบ (Impregnation)

สำหรับปริมาณการใช้สารโด๊ปจะมีความแตกต่างกันขึ้นกับชนิดของสารโด๊ป อาทิ Pd ในช่วง 1-2% จะให้การตอบสนองต่อ H_2 ในอากาศดีที่สุด (รูปที่ 3.2)



รูปที่ 3.2 ผลของความเข้มข้นของสารโด๊ปต่อการตอบสนองของแก๊ส

ตารางที่ 3.2 สารโด๊ปที่ตอบสนองต่อแก๊สชนิดต่าง ๆ

ชนิดสารโด๊ป	แก๊สที่ตรวจวัด
-	H_2
Sb_2O_3, Au	H_2, H_2S
Sb, Pt	H_2
-	H_2, NO, H_2S
-	NO_X
Pd-Au	NO_X, C_2H_5OH, C_3H_6
-	ethyl ether, halothane
-	C_2H_5OH, H_2NH_3, CO
-	NO_2
-	H_2S
-	CO
Pd, PdO	CO
Pd, Pt	H_2, CO
Pt	C_3H_8, CO, H_2,CH_4
Pd, Pt, Au, Ni, W, Fe	CH_4, H_2
Pd	hydrocarbons, H_2Cl_2
Pd	CH_2, Cl_2, $CHCl_3$, CCl_4
-	AsH_3
Pd	CO, C_2H_3OH
-	C_2H_3OH, CO, C_3H_8
Cd	NO_X, NO_2,CO, H_2, C_4, H_{10}
Cd	CH_4
In	NO
-	H_2, n-C_4H_{10}, C_2H_5OH
Sb	CO
Pt	H_2
Pt	H_2S
Bi_2O_3	H_2
Co	CO

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.2.2 การเตรียมหมึกและฟิล์มหนาของ SnO_2

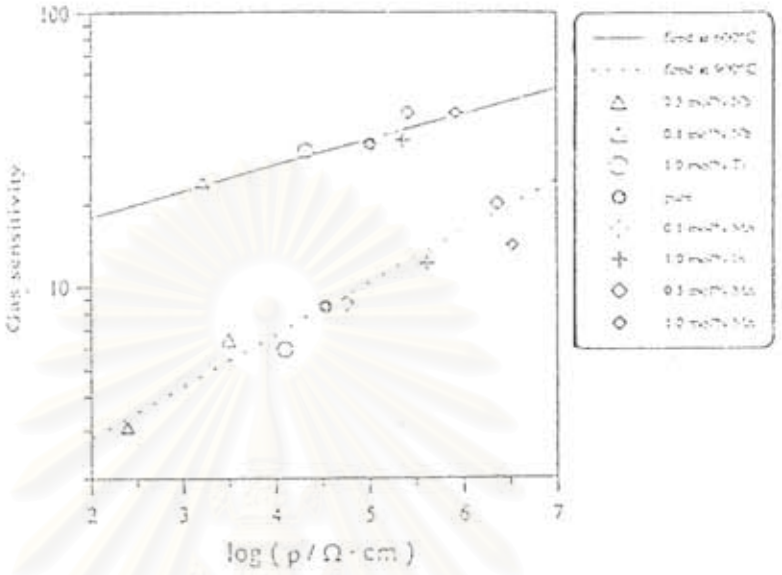
ในการเตรียมหมึกนั้นจะประกอบด้วยผง SnO_2 ปริมาณ 70-90% สารยึดประสาน SiO_2 หรือ Al_2O_3 5-10% บดผสมในสารอินทรีย์ อาทิ Cellulose ซึ่งทำละลายสารอินทรีย์ Terpineol นำส่วนผสมที่ได้บดด้วยเครื่องบดผสมแบบ roll ball ทดสอบความหนืดให้สารผสมสามารถที่จะเกาะติดบนแผ่นรองซึ่งเป็น Al_2O_3 หรือวัสดุอย่างอื่น ๆ ที่เป็นฉนวนจากนั้นนำหมึกไปทำ Screen printing หรือชุบ (Dipping) บนแผ่นรองซึ่งได้เคลือบสารที่ทำหน้าที่เป็นขั้วไฟฟ้าแล้วหลังจากนั้นปล่อยชิ้นงานให้แห้งในอากาศ ในขั้นตอนการผสมนี้บางครั้งได้ใส่สารปรับปรุงสมบัติที่กล่าวถึงแล้วผสมด้วย

สำหรับบนแผ่นรองวงจรนอกจากประกอบด้วยหมึก SnO_2 แล้ว อีกด้านหนึ่งของแผ่นรองจะมีตัวต้านทาน อาทิ ขดลวดที่เป็นโลหะผสมระหว่าง Pd-Ir หรือหมึกตัวต้านทานเพื่อทำหน้าที่ให้ความร้อนแก่ฟิล์มหนาของ SnO_2 ในขั้นตอนของการเกิดปฏิกิริยาตอบสนองต่อแก๊ส

3.2.3 การเผา

สำหรับชิ้นงานหลังอบแห้งแล้ว จะนำไปเผาซึ่งช่วงอุณหภูมิการเผาและเวลาที่ใช้ จะมีผลต่อสมบัติของฟิล์มหลังการเผา จากข้อมูลที่ศึกษาผลของการเผาชิ้นงาน SnO_2 ซึ่งใช้ผง SnO_2 เริ่มต้น คือ เบตาทินออกไซด์ พบว่าการเผาที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส ทั้งในชิ้นงานที่มีการโด๊ปและไม่มีการโด๊ปสารจะมีความไวในการตอบสนองต่อแก๊ส CO_2 ได้ดีกว่าเมื่อเผาที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส ดังแสดงในรูปที่ 3.3 ทั้งนี้เป็นเพราะการเผาที่ 600 องศาเซลเซียส เกรนจะมีขนาดเล็กกว่า โดยเกรนขนาดเล็กจะมีความไวต่อการตรวจจับแก๊สมากกว่าเกรนขนาดใหญ่ ซึ่งอธิบายโดยใช้ทฤษฎีแบบจำลองของเกรน อย่างไรก็ตาม สำหรับอุณหภูมิในการเผาที่ใช้กันทั่วไปจะอยู่ในช่วง 500-1000 องศาเซลเซียส

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.3 แสดงอุณหภูมิการเผากับการตอบสนองต่อแก๊ส

สำหรับขั้นงานหลังการเผาในบางกรณีจะมีการชุบสารโด๊ปและเคลือบสารนำไฟฟ้าซึ่งใช้เป็นขั้วไฟฟ้าเพื่อช่วยเร่งปฏิกิริยาการตอบสนอง ซึ่งขั้วไฟฟ้าที่เคลือบบนผิวของ SnO_2 จะมีความแข็งแรงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับสารนำไฟฟ้าที่เคลือบบนผิวแผ่นรอง

3.3 กระบวนการขึ้นรูปฟิล์มบาง (Thin film fabrication process)

เทคโนโลยีการขึ้นรูปตัวตรวจสอบแก๊สแบบฟิล์มบาง ซึ่งใช้กระบวนการระเหิดในสุญญากาศหรือการฉาบสารของ SnO_2 ลงบนแผ่นรองวงจร อาทิ Al Si ได้นำมาใช้ในการผลิตตัวตรวจสอบแก๊สซึ่งสามารถผลิตตัวตรวจสอบที่มีขนาดเล็ก และมีความน่าเชื่อถือสูงเหมาะที่จะนำไปกับการตรวจสอบที่ควบคุมด้วยระบบ Microprocesser การขึ้นรูปเริ่มจากการทำความสะอาดแผ่นรอง โดยแผ่นรองวงจรที่ใช้กับการขึ้นรูปแบบฟิล์มจะมีความเรียบมากกว่าแผ่นรองวงจรที่ใช้ขึ้นรูปแบบฟิล์มหนา แล้วเคลือบด้วยสารยึดติด (Adhesion layer) อาทิ Titanium หรือ Cromium ด้วยเทคนิค Screen printing หลังจากนั้นจะ

เตรียมขั้วไฟฟ้า (Electrode) โดยเคลือบทับสารยึดติดด้วยสารของโลหะมีค่า เช่น Au Pt เป็นต้น ด้วยเทคนิคการฉาบ (Sputtering) สำหรับตัวให้ความร้อน (Heating element) และตัววัดอุณหภูมิ (Temperature sensor) เตรียมด้วยวิธีการ " Lift – off" การเตรียมขั้วไฟฟ้านั้นนอกจากวิธีการที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น ในขณะนี้ได้มีการนำเทคนิคทางเคมีไฟฟ้า และการกัดด้วยอิออนมาใช้ด้วยเช่นกัน

ในขั้นตอนการเตรียมฟิล์มบางของ SnO_2 บนแผ่นรองวงจรที่เตรียมขั้วไฟฟ้าแล้วสามารถเตรียมโดยใช้กระบวนการระเหิดโดยความร้อนหรือใช้ลำอิเล็กตรอนกับวิธีฉาบด้วย Sputtering โดยมี SnO_2 หรือโลหะดีบุกเป็นเป้าในบรรยากาศออกซิเจน ในการเตรียมฟิล์มบางของ SnO_2 ในแต่ละวิธีผลต่อความหนาที่แตกต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 3.3

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3.3 แสดงความหนาของฟิล์มบาง SnO_2 ที่เตรียมด้วยวิธีการต่างๆ

Basic material	Technology of deposition	Film's thickness
	PVD : Physical Vapor Deposition	
	RF magnetron sputtering	400nm
		50-300nm
		10-100nm
		600nm
		1μm
		100nm
		100-1500nm
		100-1600nm
		500nm
		10-1500nm
		300nm
SnO_2	Ion beam sputtering	1-1700nm
	Sputtering (not precised)	150nm
		100nm
		10-100nm
	EVAPORATION	
	- evaporation (not precised)	200-300nm
		300nm
		400nm
	- electron-beam evaporation	50-300nm
		100,200nm
		9nm
	- UHV evaporation	-
	SPRAY TECHNIQUE	500nm
		20-100nm
	MOD (Metallic-Organic Deposition)	100-200nm

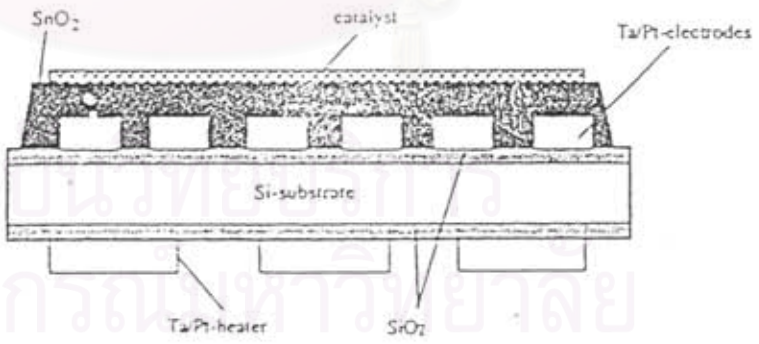
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สำหรับวิธีที่ใช้ในการเตรียมฟิล์มบางข้างต้น ยังใช้ในการโด๊ปวัสดุบนพื้นผิวของ SnO_2ด้วย เพื่อช่วยเพิ่มสมบัติของตัวตรวจสอบในการตอบสนองต่อแก๊สต่าง ๆ ขั้นตอนของการโด๊ปจะเกิดขึ้นหลังจากเตรียมฟิล์มของ SnO_2 สารโด๊ปที่นิยมใช้ในการโด๊ปและวิธีการโด๊ปได้แสดงในตารางที่ 3.4 นอกจากนี้ได้มีการใช้เทคนิคการอบที่อุณหภูมิสูง (300-700 องศาเซลเซียส) หรือที่เรียกว่า " Rheotoasial Growth and Thermal Oxidation " เพื่อให้เกิดเกรนที่มีหลายผลึก (Polycrystalline) และช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวของฟิล์ม ซึ่งทำให้ตัวตรวจสอบแก๊สมีความไวต่อการตอบสนองเพิ่มขึ้น และขั้นตอนนี้มักจะกระทำเป็นขั้นตอนสุดท้ายของการเตรียมฟิล์มบาง ซึ่งรูปที่ 3.4 และ 3.5 เป็นตัวอย่างของกระบวนการเตรียมแบบฟิล์มบาง และตัวตรวจสอบแก๊ส ที่ได้ในวิธีการฟิล์มบาง

ตารางที่ 3.4 วัสดุที่ใช้และวิธีการโด๊ปในฟิล์มบาง

Basic material	Doping material	Technology of doping
SnO_2	Sb_2O_3, Au	Sb_2O_3 sputtering (SnO_2+1%Sb_2O_3) Au sputtering
	Pt	spray technique
	Pt-Au (4/6)	flash evaporation
	Pd	electron-beam evaporation
	Pt, Pd	sputtering
	Pt	impregnation
	Pt, Pd, Au, Ni, V W,Fe	sputtering
	Pd	evaporation (SnO_2+Pd)
	Cd	evaporation
	In	evaporation, sputtering
	Pt	ion-beam sputtering
	Sb	-
	Pd	sputtering
ZnO	Al_2O_3,In_2O_3, Ga_2O_3	mixture in the targets
In_2O_3	CeO_2	impregnation
ZnO	Li	sputtering (ZnO+1mol%Li)

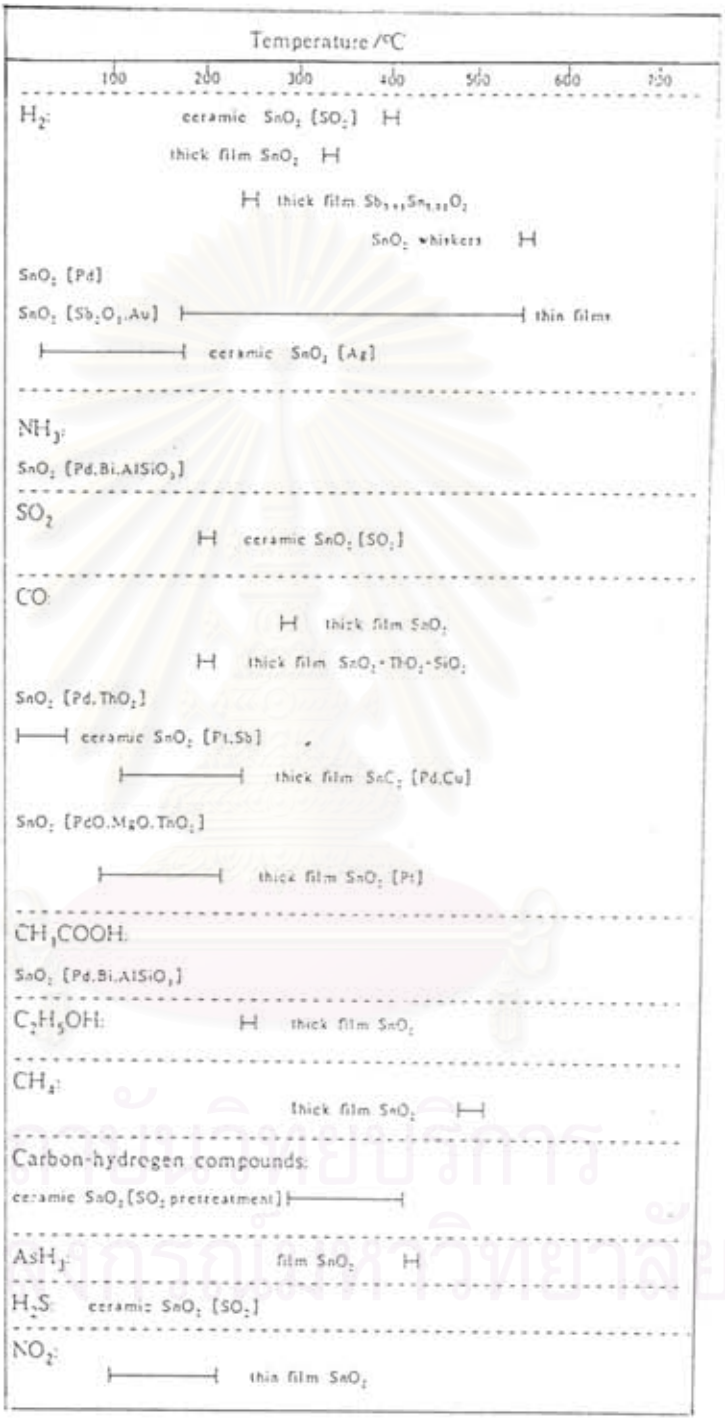
รูปที่ 3.4 กระบวนการเตรียมฟิล์มบาง



รูปที่ 3.5 ตัวอย่างของตัวตรวจสอบแก๊สซึ่งเตรียมด้วยเทคนิคฟิล์มบาง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สำหรับวิธีการขึ้นรูปตัวตรวจสอบแก๊ส การใช้สารโด๊ปและแก๊สที่ต้องการตรวจสอบ สามารถสรุปได้ดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 การพัฒนาและวิจัยตัวตรวจสอบแก๊สโดยเทคนิคต่าง ๆ

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สำหรับเทคนิคการขึ้นรูปตัวตรวจสอบแก๊สที่ยังคงนิยมและใช้กันอย่างแพร่หลายทั้งในเชิงการค้าและพานิช คือ การขึ้นรูปแบบฟิล์มหนา เพราะนอกจากมีข้อดีต่าง ๆ ที่ได้กล่าวถึงมาแล้วในตอนต้น การถ่ายทอดเทคโนโลยีระดับห้องปฏิบัติการเป็นไปอย่างง่ายกว่าวิธีการอื่น ๆ และเครื่องมือที่ใช้ในการขึ้นรูปก็ราคาไม่แพง อาทิ Screen printer ทั้งยังสามารถผลิตซ้ำได้

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

วิธีการวิจัยและทดลอง

การวิจัยได้แบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ การศึกษาข้อมูลด้านการตลาด และการศึกษาชิ้นส่วนในท้องตลาด

สำหรับรายละเอียดการศึกษาในแต่ละหัวข้อประกอบด้วยขั้นตอนต่อไปนี้

4.1 การศึกษาข้อมูลด้านการตลาด ประกอบด้วย

4.1.1 การศึกษาข้อมูลนำเข้าและส่งออก

4.1.2 การศึกษาและกำหนดประเภทกิจการเป้าหมายที่ใช้เป็นตัวแทนโดยกิจการที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ประกอบด้วย

- สถานที่บรรจุแก๊ส สถานที่ที่มีพื้นที่สำหรับใช้บรรจุแก๊ส รวมทั้งบริเวณของสถานที่ ดังกล่าว
- ร้านจำหน่ายแก๊ส ได้แก่ สถานที่เก็บและจำหน่ายแก๊สที่บรรจุอยู่ในกระป๋องแก๊สและหรือถังแก๊สหุงต้ม และมีปริมาณแก๊สรวมทั้งหมด 500 ลิตรขึ้นไป
- สถานีบรรจุแก๊ส ได้แก่ สถานที่ที่มีอาคารที่ใช้บรรจุแก๊ส รวมทั้งบริเวณของสถานที่ดังกล่าว
- สถานีจำหน่ายแก๊ส ได้แก่ สถานที่ที่จัดไว้สำหรับใช้บรรจุแก๊สแก่ยานพาหนะโดยเฉพาะ รวมทั้งบริเวณของสถานที่ดังกล่าว ไม่ว่าจะจำหน่ายขายด้วยหรือไม่
- สถานที่ใช้แก๊ส โรงงานอุตสาหกรรมและอื่น ๆ ได้แก่ สถานที่เก็บและใช้แก๊สจากถังเก็บและจ่ายแก๊ส หรือจากถังหุงต้มแก๊สหลายถัง ซึ่งมีไว้เพื่อการใช้เอง หรือมีปริมาณแก๊สรวมกันทั้งหมดเกิน 500 ลิตร รวมทั้งบริเวณของสถานที่ดังกล่าว

4.1.3 การออกแบบสอบถามและการสำรวจ

- แบบสอบคำถามจะเป็นทั้งปรนัยและอัตนัยในชุดเดียวกัน
- การสำรวจข้อมูลใช้วิธีการตอบแบบสอบถามและสอบถามทางโทรศัพท์

4.1.4 การประเมินและสรุปผลการสำรวจ

- ใช้การวิเคราะห์ทางสถิติโดยค่าที่นำมาใช้วิเคราะห์คือค่าเฉลี่ย

4.2 การศึกษาสมบัติของชิ้นส่วนผลิตภัณฑ์ในท้องตลาด

4.2.1 ขอบเขตของการศึกษาชิ้นส่วนผลิตภัณฑ์

- การศึกษาโครงสร้างของตัวตรวจจับการรั่วของแก๊ส
- การศึกษาวงจรการทำงาน
- การศึกษาโครงสร้างจุลภาค
- การศึกษาวัฏภาค
- การศึกษาการเปลี่ยนแปลงความต้านทานในบรรยากาศของแก๊สต่าง ๆ
- การศึกษาความไวต่อการตรวจวัดแก๊ส

4.2.2 วัสดุและอุปกรณ์

- ตัวตรวจสอบแก๊สรั่วที่มีในท้องตลาด
- Scanning electron microscope (SEM)
- Transmission electron microscope (TEM)
- X-ray diffractrometer (XRD)
- ตัวต้านทาน (Resistance) และแผ่นรองวงจร
- Digital mutimeter
- เครื่องอุลตร้าโซนิค
- เครื่องขัดชิ้นงาน
- กระดาษทราย 320 เมช

4.2.3 สารเคมี

- Epoxide resin
- Epoxide hardener
- แก๊สหุงต้ม
- แก๊สออกซิเจน
- แก๊สอะเซทิลีน
- อะซีโตน

4.2.4 วิธีการดำเนินการ

4.2.4.1 การศึกษาโครงสร้างและวงจรการทำงาน นำตัวอย่างเครื่องวัดแก๊สมาแยกเป็นชิ้นส่วนต่าง ๆ แล้วศึกษารายละเอียดและหน้าที่การทำงานพร้อมทั้งตรวจดูวงจร

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.2.4.2 การเตรียมตัวอย่างชิ้นส่วนเซรามิกส์เพื่อวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาคและองค์ประกอบทางเคมี จะใช้วิธีการอัดชิ้นงานแบบ Cold mount

- ผสม Epoxide resin 1 ส่วน Epoxide hardener 5 ส่วน กวนให้เข้ากัน
- นำชิ้นงานไปวางในแบบแล้วเทสารผสมข้างต้นประมาณ 2 ใน 3 ส่วนของปริมาตรของแบบ
- ปล่อยชิ้นงานไว้ให้แห้ง 1 คืน
- ขัดชิ้นงานที่อัดในเรซินมาด้วยกระดาษทราย 325 เมช แล้วทำความสะอาดด้วยเครื่องอุลตร้าโซนิค อบให้แห้ง แล้วเช็ดด้วยอะซีโตน
- นำตัวอย่างไปเคลือบด้วยสารนำไฟฟ้า คือ คาร์บอน แล้ววิเคราะห์ด้วยเครื่อง SEM

4.2.4.3 การเตรียมตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์วัฏภาค

- แยกเนื้อเซรามิกส์จากบริเวณแผ่นรอง นำมาบดละเอียดด้วย Alumina motar
- นำผงที่ได้มาโรยบนแผ่นรองที่มีเทปกาวติดอยู่ กระทั่งได้ความหนาไม่ต่ำกว่า.30-50 ไมครอน แล้ววิเคราะห์ด้วยเครื่อง XRD

4.2.4.4 การศึกษาขนาดอนุภาคของสารด้วย TEM

ส่งวิเคราะห์ที่ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

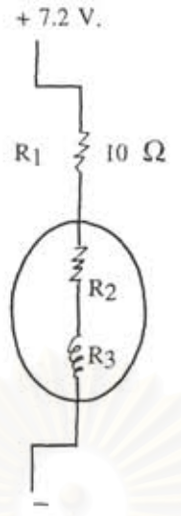
4.2.4.5 การศึกษาการตอบสนองต่อแก๊ส

- การออกแบบวงจรที่ใช้ในการทดสอบ วงจรที่ใช้ในการทดลองดังแสดงในรูปที่ 4.1 และรูปที่ 4.2 ตรวจวัดค่าความต้านทานในสภาพบรรยากาศต่าง ๆ คือ สภาพบรรยากาศในห้อง บรรยากาศออกซิเจน บรรยากาศแก๊สเชื้อเพลิง บรรยากาศแก๊สอะเซททิลีน โดยใช้ฉีดพ่นแก๊สแต่ละชนิด 5 นาที ก่อนการตรวจวัด หลังจากนั้นจะทำการตรวจวัดค่าความเปลี่ยนแปลงของความต้านทาน และนำไปคำนวณค่าความไวของการตรวจวัดโดยใช้สูตร

$$\%\text{Sensitivity} = \frac{R_O - R_G}{R_O} \times 100$$

R_O = ความต้านทานของตัวตรวจสอบแก๊สในสภาพบรรยากาศในห้อง

R_G = ความต้านทานของตัวตรวจสอบแก๊สในสภาพบรรยากาศแก๊สต่าง ๆ

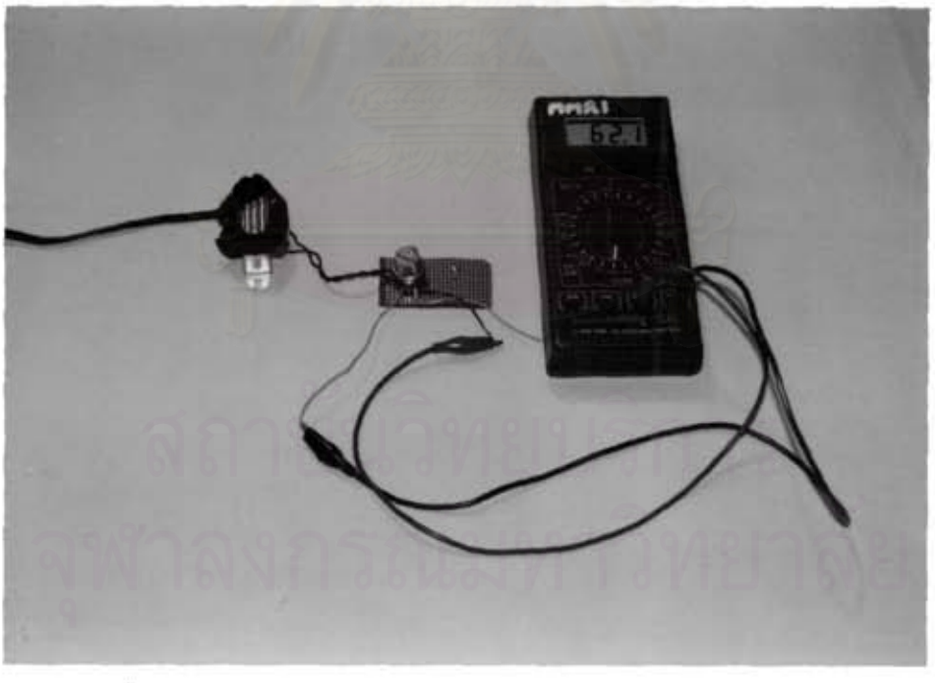


รูปที่ 4.1 ภาพวงจรที่ใช้ในการทดสอบทางไฟฟ้า

R_1 = ความต้านทานคงที่ใช้ป้องกันการกระแสที่เกินความต้องการ

R_2 = ความต้านทานของลวดนำไฟฟ้า (Lead wire) ซึ่งเปลี่ยนแปลงตามสภาพบรรยากาศของแก๊ส

R_3 = heater coil ซึ่งจะให้ความร้อนแก่ Sensing element



รูปที่ 4.2 ภาพแสดงลักษณะการต่อวงจรกับเครื่อง Digital multimeter

บทที่ 5

ผลการทดลองและวิจารณ์

5.1 ข้อมูลด้านการตลาด

5.1.1 ประเภทกิจการและจำนวนข้อมูล

ตารางที่ 5.1 ประเภทกิจการและจำนวนโรงงาน/ร้าน ที่ได้จากการสำรวจ

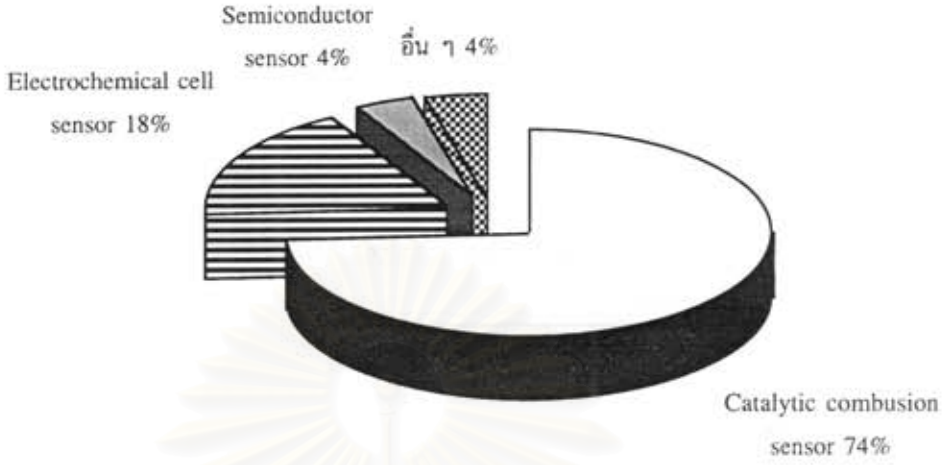
ประเภทกิจการ	จำนวนโรง/ร้าน
ร้านจำหน่ายแก๊ส	3
ลานบรรจุแก๊ส	6
สถานีจำหน่ายแก๊ส	11
สถานีบรรจุแก๊ส	1
สถานที่ใช้แก๊ส	26
โรงกลั่น โรงแยกแก๊สและโรงงานผลิตปิโตรเคมีขั้นต้นและต่อเนื่อง	4
รวม	51

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

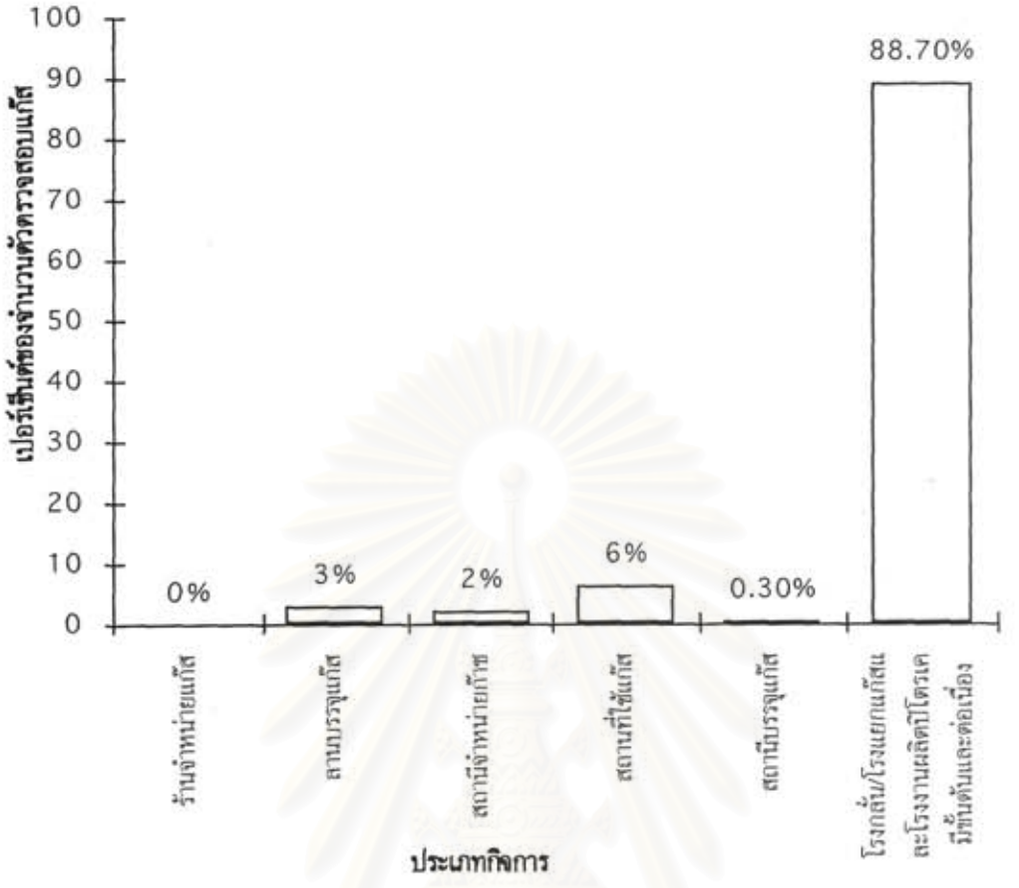
ปรับมาตรฐาน มีการใช้และดูแลรักษาง่าย ราคาถูกและใช้อุณหภูมิต่ำ (<400องศาเซลเซียส) ทำให้สิ้นเปลืองพลังงานน้อยกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับ Catalyst combustion type และElectrochemical type ดังนั้นในการศึกษาผลิตภัณฑ์ในโครงการนี้จะเน้นเฉพาะด้าน Semiconductor sensor เพื่อเป็นแนวทางในการวิจัยและพัฒนาตัวตรวจสอบแก๊สประเภทนี้ต่อไปในอนาคต

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 โรงแยกแก๊สและโรงงานผลิตปิโตรเคมีขั้นต้นและต่อเนื่อง	768	7,680,000-38,400,000
รวม	864	8,640,000-43,200,000

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



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

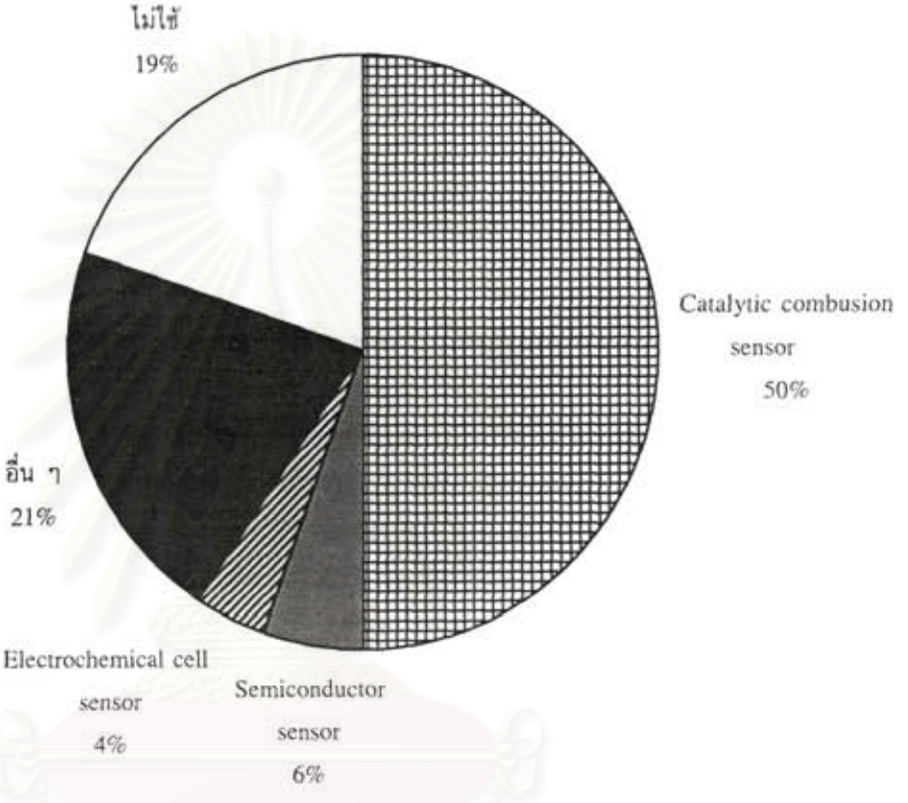
จากข้อมูลการตรวจสอบแก๊สทั้งหมดที่ได้จากการสำรวจ เมื่อนำมาคิดเป็นมูลค่าพบว่า มูลค่ารวมทั้งหมดอยู่ในช่วงระหว่าง 8 ล้านบาท ถึง 43 ล้านบาท โดยราคาเฉลี่ยของครื่องที่ได้จากการสอบถามผู้แทนจำหน่ายจะประมาณ 10,000-50,000 บาท ขึ้นกับยี่ห้อ รุ่น และประสิทธิภาพของการทำงาน

5.1.4 ความถี่โรงงานที่ใช้ตัวตรวจสอบแก๊สประเภทต่าง ๆ

ตารางที่ 5.4 ความถี่ของโรงงานที่ใช้ตัวตรวจสอบแก๊สแต่ละประเภท

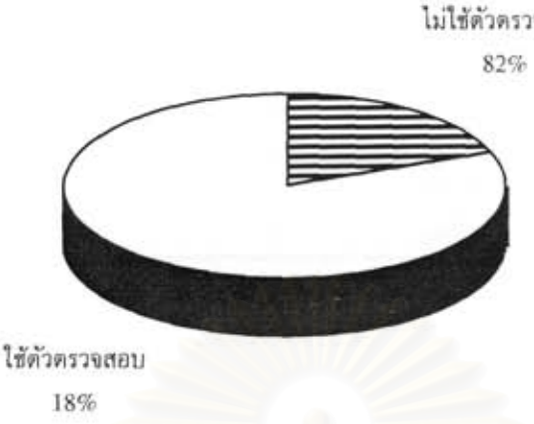
ประเภท Gas sensor	ร้านจำหน่ายแก๊ส (ร้าน)	โรงกลั่น โรงแยกแก๊ส โรงงานผลิตปิโตรเลียม (โรง)	ลานบรรจุแก๊ส (ลาน)	สถานีจำหน่ายแก๊ส (สถานี)	สถานีบรรจุแก๊ส (สถานี)	สถานที่ใช้แก๊ส (โรง)	รวม
Catalytic combusion sensor	-	4	2	5	1	14	26
Semiconductor sensor	-	2	1	-	-	-	3
Electrochemical cell sensor	-	2	-	-	-	-	2
อื่น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

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5.3 แสดงเปอร์เซ็นต์ความถี่ของกิจการที่ใช้ตัวตรวจสอบแก๊สประเภทต่าง ๆ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



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

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5.1.5 ปริมาณความต้องการและมูลค่าการใช้ตัวตรวจสอบแก๊ส

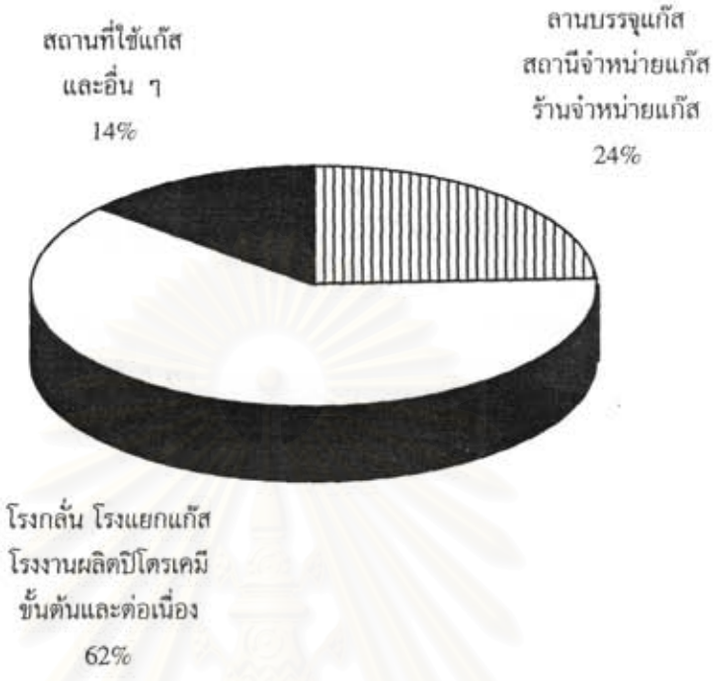
ตารางที่ 5.5 ปริมาณความต้องการตัวตรวจสอบแก๊ส ในกิจการ/โรงงานต่าง ๆ

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)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5.5 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 ดังนั้นเมื่อรวมความต้องการใช้ตัวตรวจสอบแก๊สในโรงกลั่นน้ำมันและปิโตรเคมี 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

I20141269

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 สถานที่ใช้แก๊สก็น่ายังมีความต้องการตัวตรวจสอบโดยเฉพาะชิ้นส่วนที่เป็นหัวตักจับแก๊สซึ่งมีอายุการใช้งานเพียง 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)

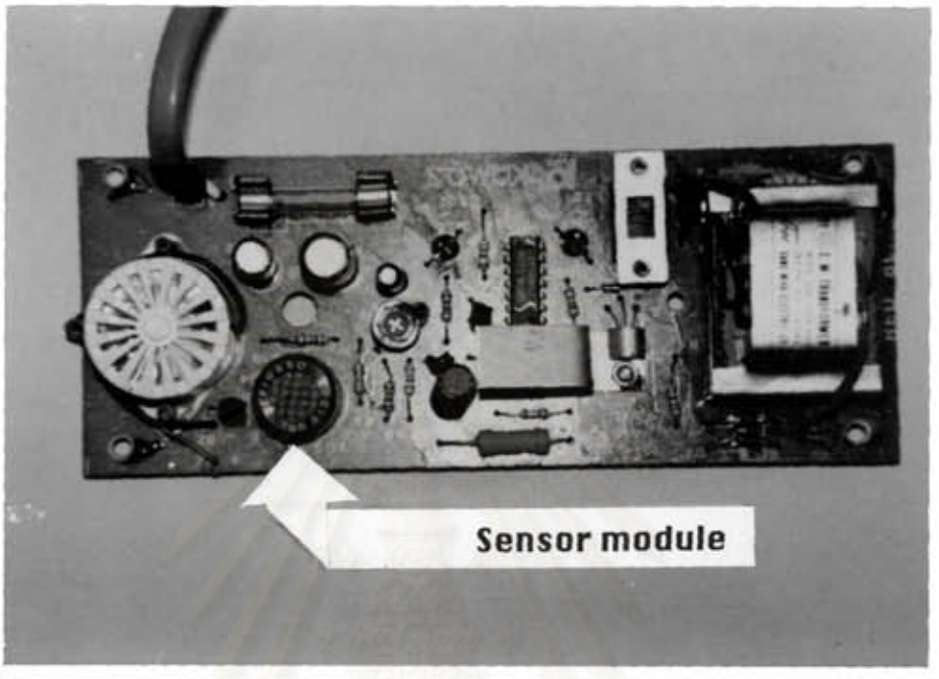
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 5.6 ลักษณะภายนอกของตัวตรวจสอบแก๊สรั่ว

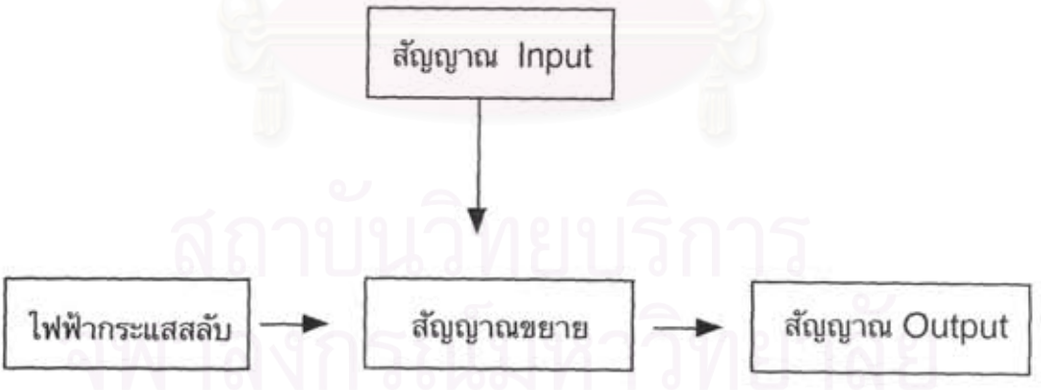
5.2.1.2 ลักษณะภายใน

เมื่อถอดกล่องพลาสติกออกภายในจะประกอบด้วยแผ่นรองวงจรทำจากพลาสติก และมีอุปกรณ์อิเลกทรอนิกต่าง ๆ ต่อเป็นวงจร (รูปที่ 5.7 และ 5.8) ซึ่งอุปกรณ์และวงจรที่สำคัญมีดังต่อไปนี้

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



รูปที่ 5.7 ลักษณะโครงสร้างภายในของตัวตรวจสอบแก๊ส



รูปที่ 5.8 แผนผังวงจรไฟฟ้าของตัวตรวจสอบแก๊สรั่ว

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

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

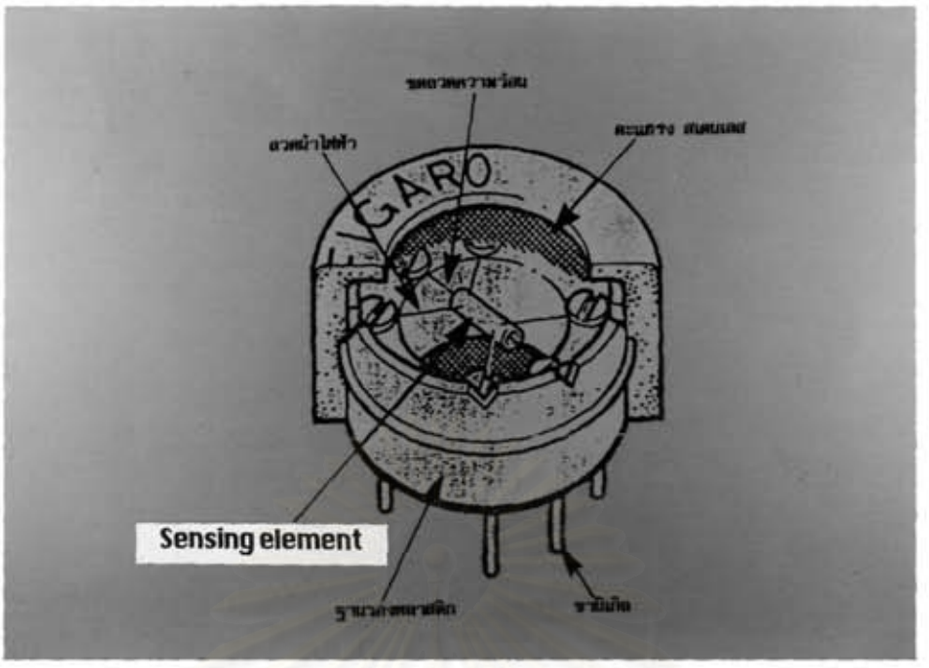
- Sensing element ทำหน้าที่ในการเกิดปฏิกิริยากับแก๊ส และค่าความต้านทานจะเปลี่ยนแปลงตามความเข้มของแก๊ส

- ลวดนำความร้อน (Lead wire) ทำหน้าที่รับสัญญาณไฟฟ้าที่เกิดการเปลี่ยนแปลงที่ Sensing element) ไปยังขาของหัวตรวจวัด

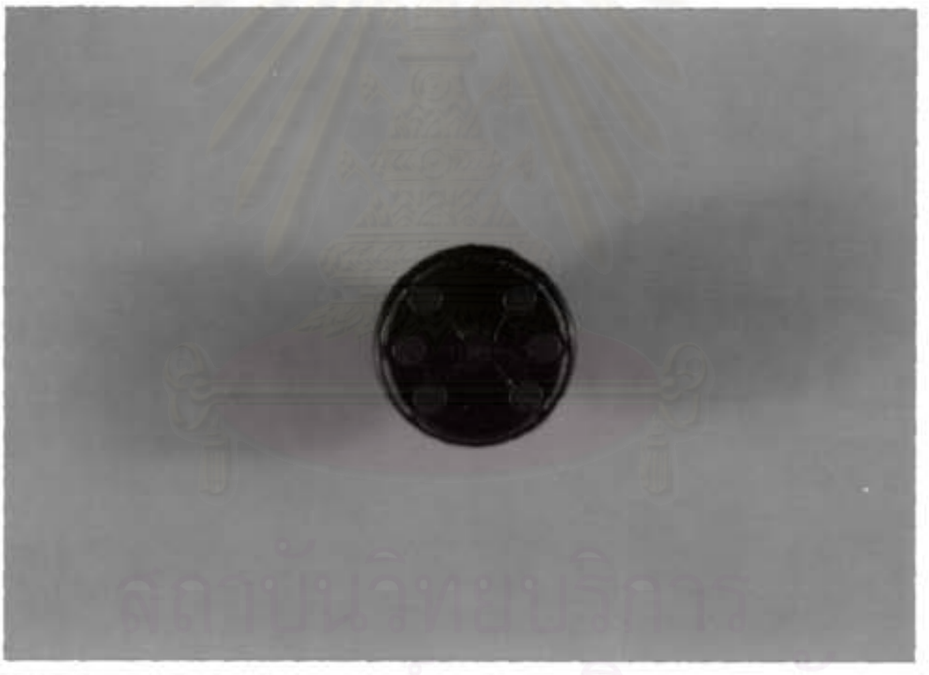
- ขา (Pin) ทำหน้าที่นำสัญญาณไฟฟ้าเข้าและออกจากวงจรของหัวตรวจวัดไปยังวงจรภายนอก

- ฐานรองพลาสติก (Resin moulding) ทำหน้าที่รองรับส่วนประกอบต่างๆ ข้างต้นของหัวตรวจวัดแก๊ส

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



A. แบบจำลอง



B. ถ่ายจากของจริง

รูปที่ 5.9 แบบจำลองของหัวตรวจวัดแก๊ส (Sensor module) A. แบบจำลอง B. ถ่ายจากของจริง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 5.10 หัวตรวจวัดแก๊สที่ใช้ในเชิงพานิช

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5.2.3 สมบัติของ Sensing element

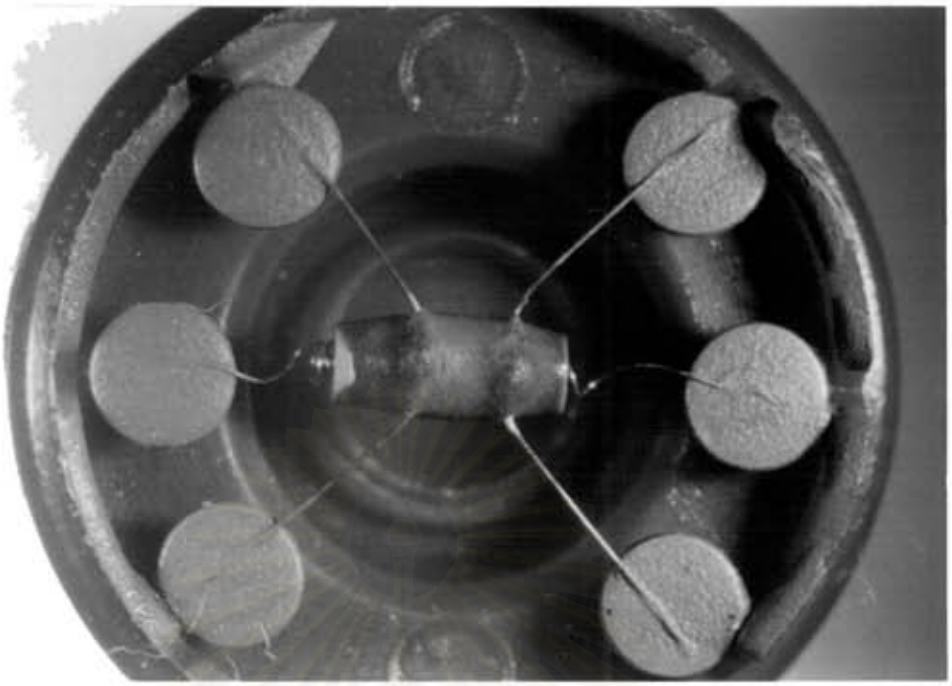
Sensing element เป็นชิ้นส่วนที่สำคัญในการเกิดปฏิกิริยากับแก๊สต่าง ๆ ดังนั้นทั้งสมบัติทางเคมีและกายภาพของ Sensing element จะมีผลต่อการควบคุมกระบวนการเกิดปฏิกิริยาการตอบสนองต่อแก๊ส จากการศึกษาสมบัติทางเคมีและกายภายได้ผลการวิเคราะห์และทดลองคือ

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

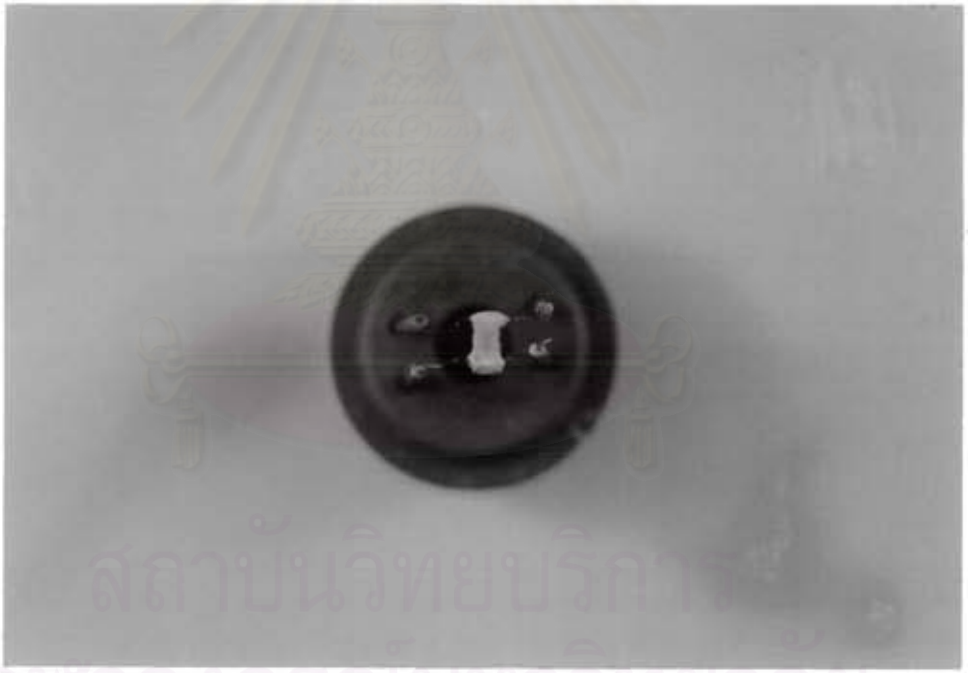
ตารางที่ 5.8 ลักษณะและขนาดของ Sensing element

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)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



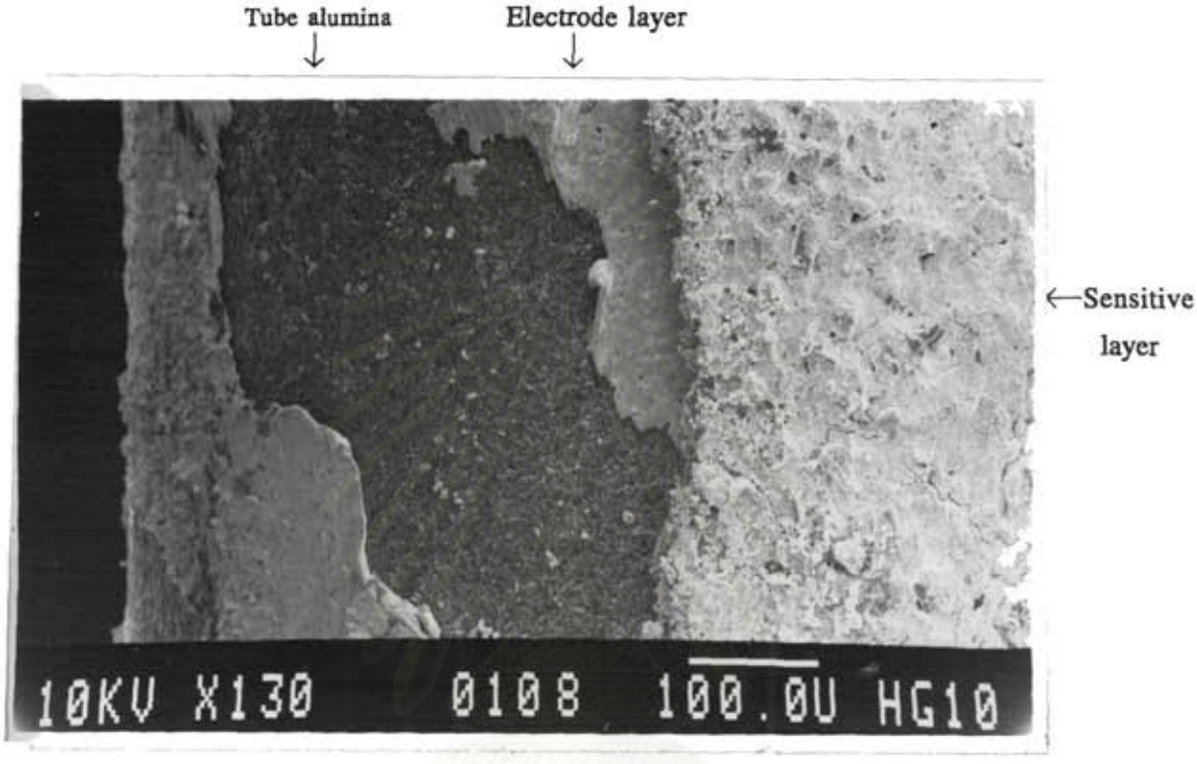
A. ท่อกลวงทรงกระบอก



B. แท่งสี่เหลี่ยมตัน

รูปที่ 5.11 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. ซึ่งเป็นแผ่นบาง สามารถลอกได้และชั้นสุดท้ายจะเป็นท่อกลวงอลูมินา ความหนา 0.18 มม. มีความหนาแน่นสูง

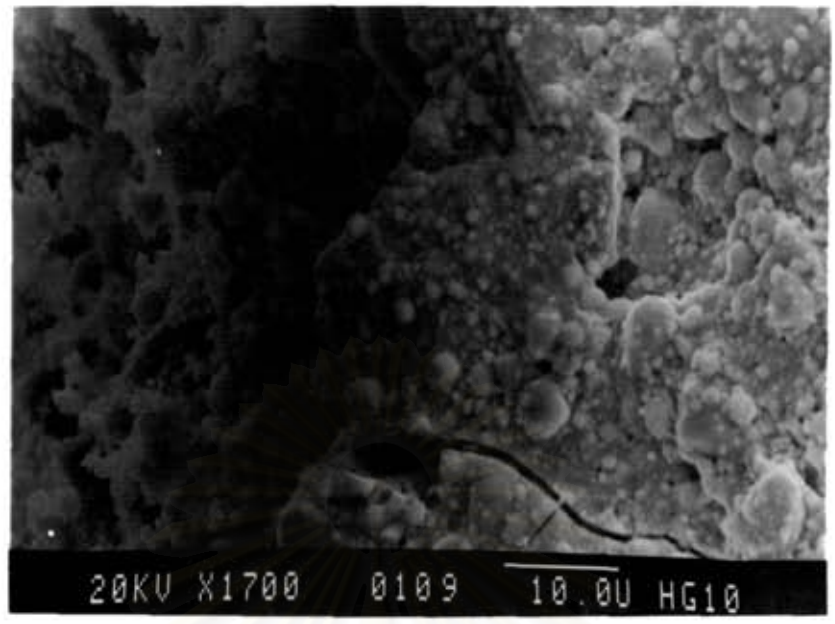


รูปที่ 5.12 ลักษณะชั้นต่าง ๆ ของ Sensing element ชนิดท่อกลวงทรงกระบอก

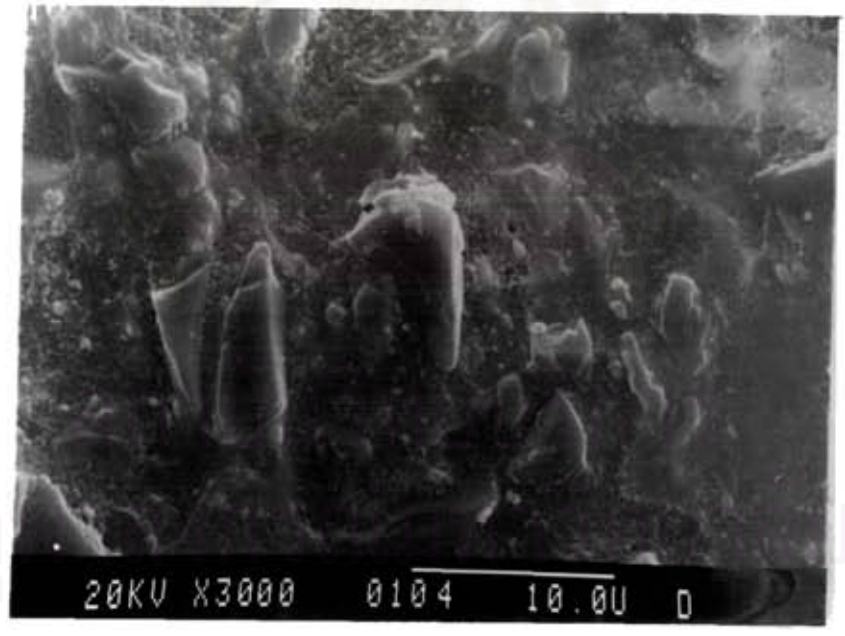
5.2.3.2 โครงสร้างจุลภาคและขนาดเกรน

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

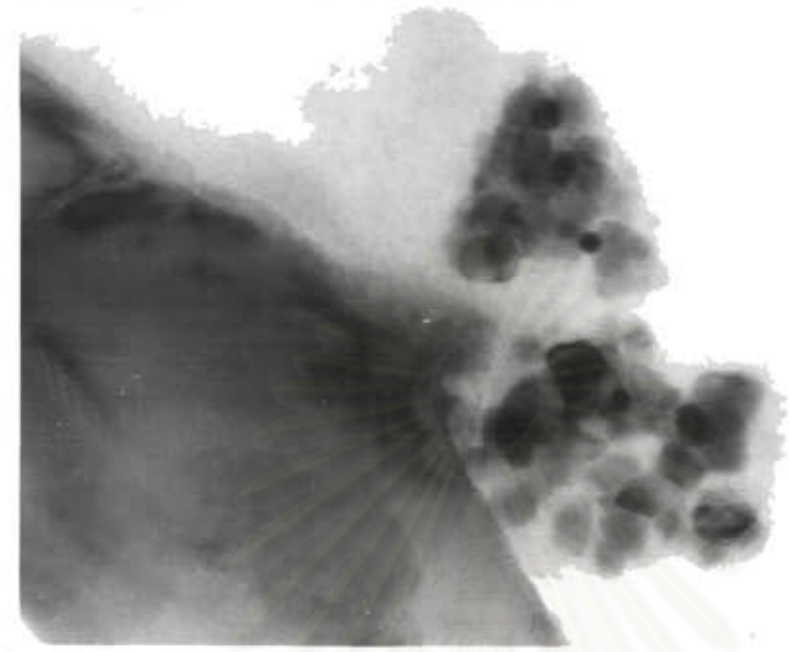
ผลของการวัดขนาดอนุภาคของเกรนของชั้นเนื้อวัสดุชนิดท่อกลวงทรงกระบอก จะพบว่ามีเกรนขนาดเฉลี่ยอยู่ในช่วง 0.021 ไมครอน



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



รูปที่ 5.15 ภาพถ่าย TEM ของ Sensing element ชนิดท่อกลวงทรงกระบอก ที่บริเวณ Sensitive layer

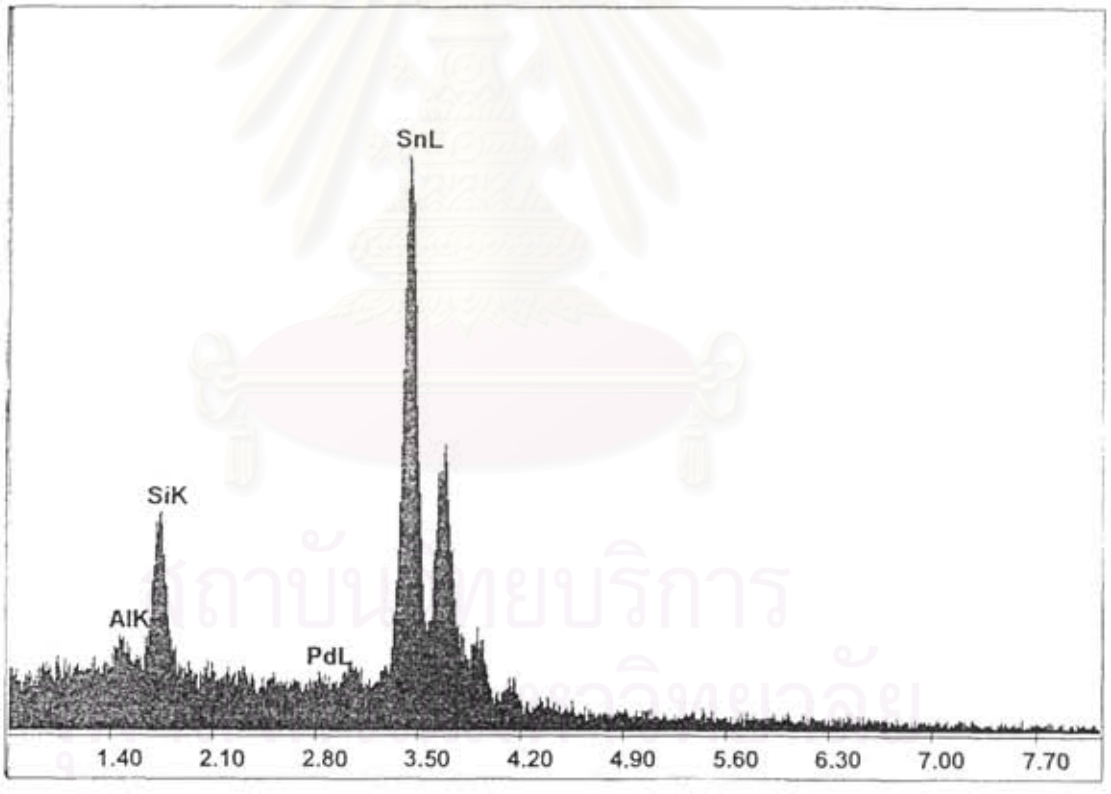
5.2.2.3 การศึกษาองค์ประกอบทางเคมี Sensitive layer

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

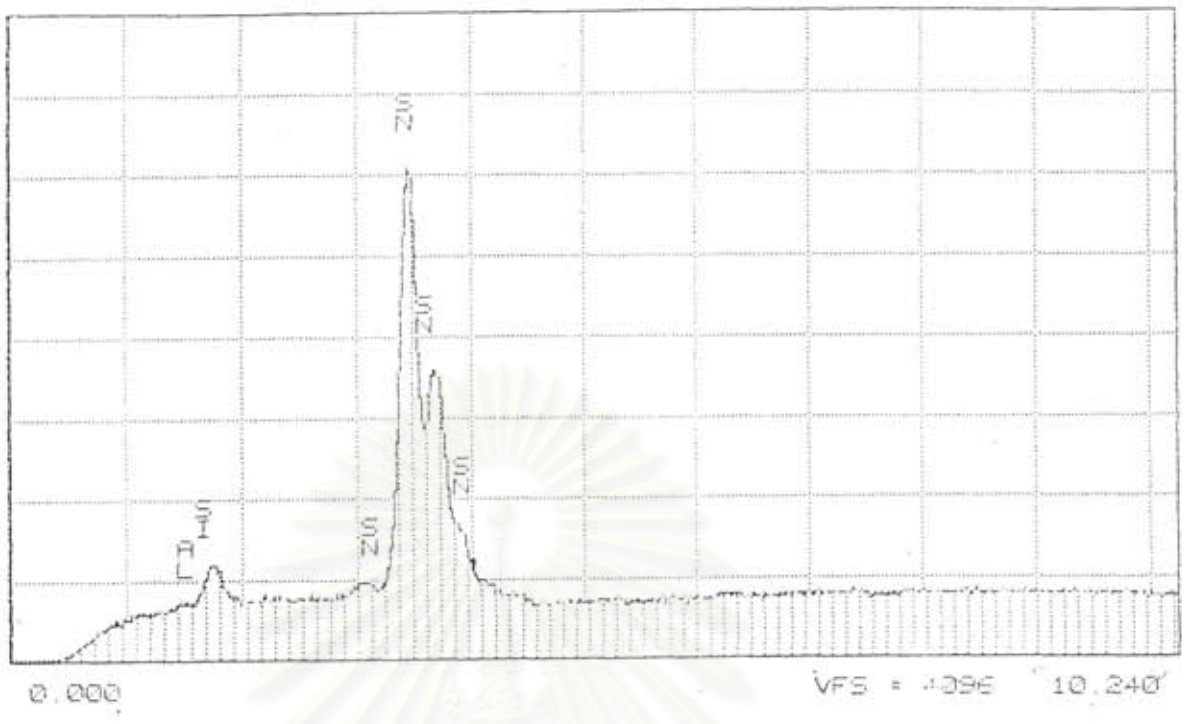
ส่วนการตรวจวัฏภาคด้วย XRD จะพบ Sn Si และ Al จะมีอยู่ในรูปของออกไซด์ คือ SnO_2 SiO_2 และ Al_2O_3 ตามลำดับ โดย SiO_2 จะมีลักษณะผลึกอสัณฐาน (Amorphous crystal) สังเกตได้จาก Broad peak ที่ตำแหน่ง 2 θ ช่วง 20-30 องศา (รูปที่ 5.18) จากการคำนวณเป็นน้ำหนักของสารประกอบที่ผสมในชนิดท่อกลวงทรงกระบอก พบว่าจะมี SnO_2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

ตารางที่ 5.9 ธาตุที่เป็นองค์ประกอบใน Sensitive layer

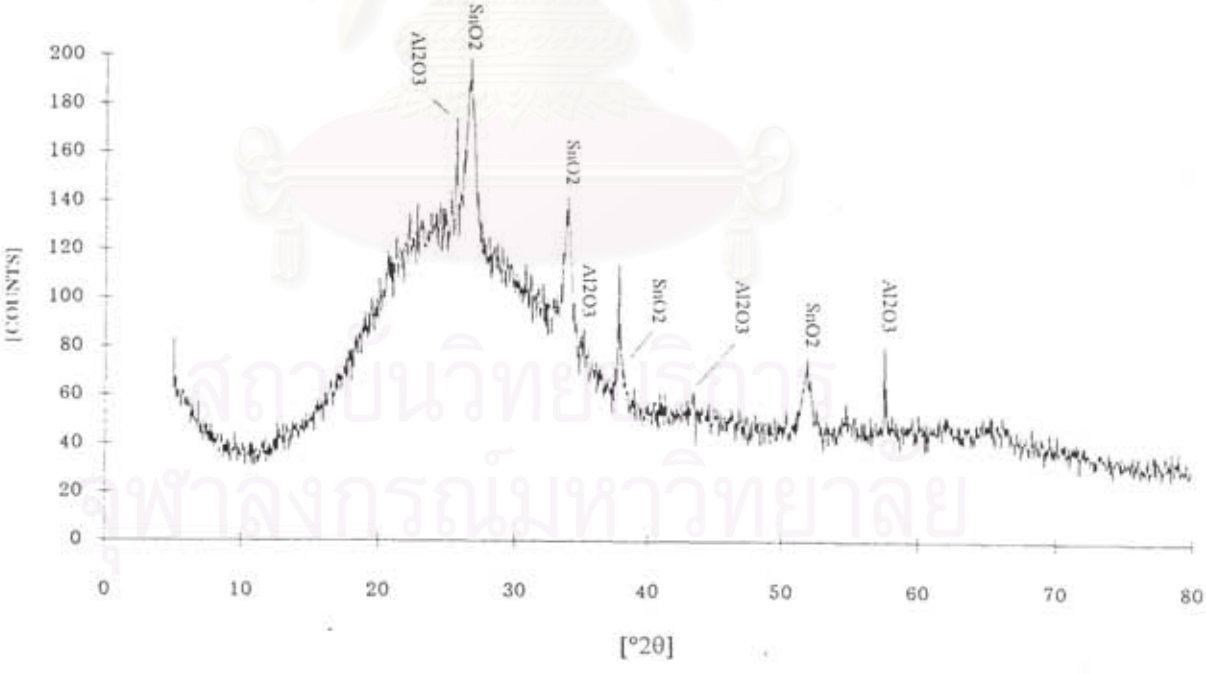
ธาตุ	ปริมาณ (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก)	
	แท่งสี่เหลี่ยมตัน	ท่อกลวงทรงกระบอก
Sn	95.79	92.06
Si	3.22	5.54
Al	0.74	1.26
Pd	-	1.1
Fe	0.44	-



รูปที่ 5.16 EDX pattern ของ Sensitive layer ของท่อกลวงทรงกระบอก



รูปที่ 5.17 EDX pattern ของ Sensitive layer ของแท่งสี่เหลี่ยมผืนผ้า



รูปที่ 5.18 XRD pattern ของ Sensitive layer ของท่อกลวงทรงกระบอก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

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

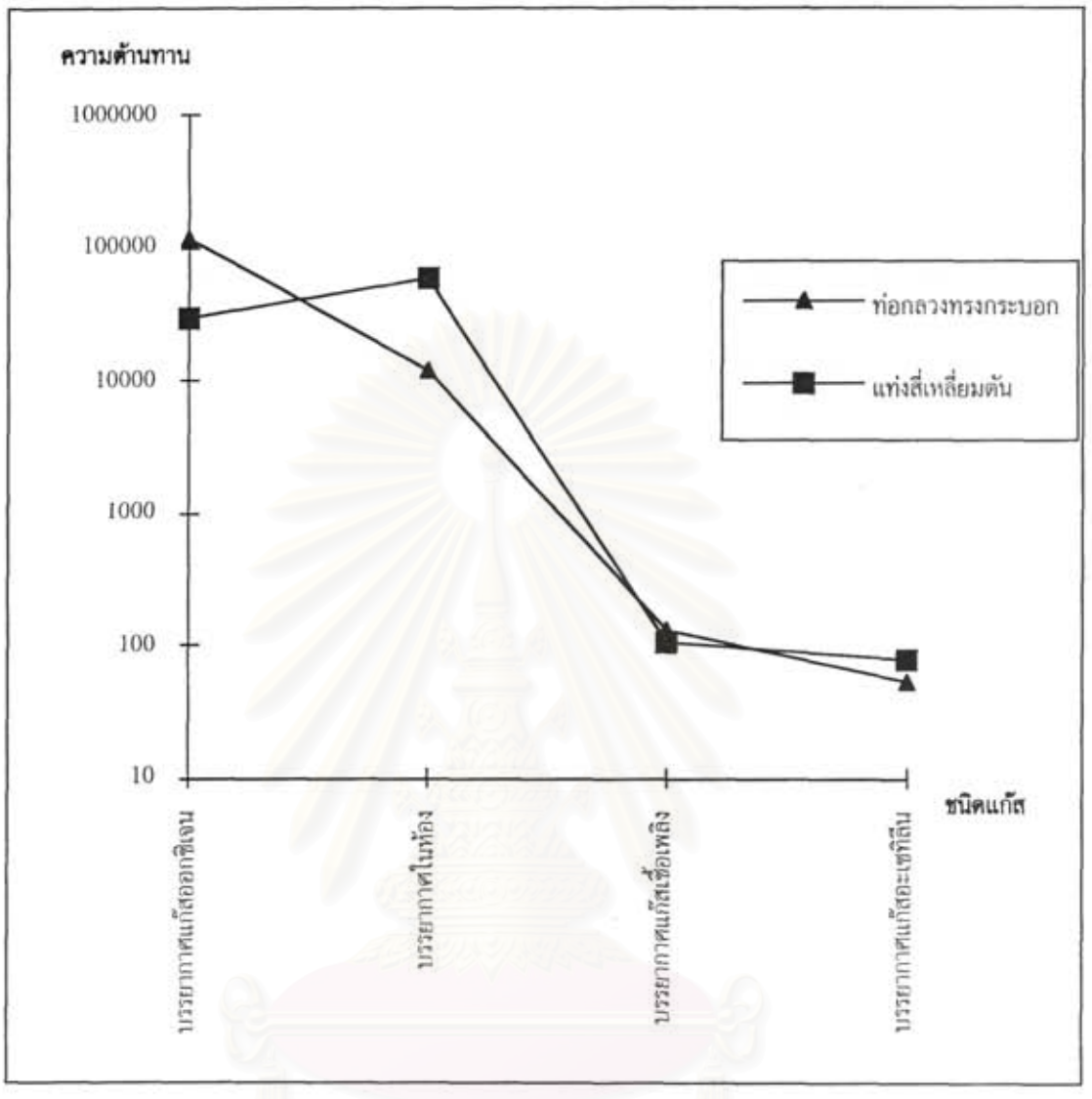
5.3 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางไฟฟ้า

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 ดังนั้นจึงนิยมใช้ตัวตรวจสอบแก๊สประเภทตรวจวัดการรั่วของแก๊สรีดิวซิ่งส์ 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

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



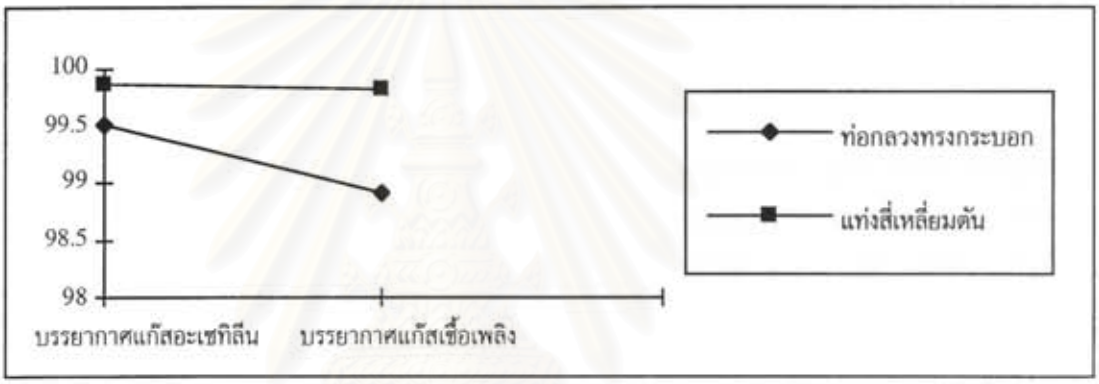
รูปที่ 5.19 ลักษณะการเปลี่ยนแปลงความต้านทานของตัวตรวจสอบแก๊สเมื่ออยู่ในบรรยากาศของแก๊สชนิดต่าง ๆ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

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

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 6

สรุปผลการทดลอง

6.1 ข้อมูลด้านการตลาด

ในการศึกษาข้อมูลทางการตลาดในกิจการ 6 กิจการ คือ ร้านค้าจำหน่ายแก๊ส ลานบรรจุแก๊ส สถานีจำหน่ายแก๊ส สถานีบรรจุแก๊ส สถานที่ใช้แก๊ส และโรงกลั่น โรงแยกแก๊ส และโรงงานผลิตปิโตรเคมีเบื้องต้นและต่อเนื่อง ได้ผลสรุปดังต่อไปนี้

6.1.1 ประเภทตัวตรวจสอบแก๊สที่นิยมใช้มากที่สุดจะเป็น Catalyst Combustion sensor คิดเป็น 74% ของตัวตรวจสอบแก๊สที่ได้จากการสำรวจ รองลงมาคือ Electrochemical cell sensor มี 15% และ Semiconductor 4% ตามลำดับ

6.1.2 โรงแยกแก๊ส และโรงงานผลิตปิโตรเคมีขั้นต้นและต่อเนื่อง เป็นกิจการที่มีจำนวนตัวตรวจสอบแก๊สสูงสุด 88% ของจำนวนตัวตรวจสอบแก๊สที่ใช้รวมกันทุกกิจการ รองลงมาเป็นสถานที่ใช้แก๊ส 6% ลานบรรจุแก๊ส 3% สถานีจำหน่ายแก๊ส 2% และสถานีบรรจุแก๊ส 0.3%

6.1.3 ข้อมูลที่ได้จากการสำรวจพบว่ามีปริมาณตัวตรวจสอบแก๊ส 864 เครื่อง คิดเป็นมูลค่าประมาณ 8-43 ล้านบาท ซึ่งจากการคาดการณ์พบว่าความต้องการตัวตรวจสอบทั้งหมดในกิจการเหล่านี้มีประมาณ 4,100 เครื่อง มูลค่า 41 - 200 ล้านบาท ดังนั้นแนวโน้มความต้องการตัวตรวจสอบแก๊สยังคงมีเพิ่มขึ้น โดยมีปัจจัยสำคัญคือ การเร่งรัดให้มีการปฏิบัติตามกฎหมาย และการขยายตัวของกิจการและอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้อง

6.2 การศึกษาด้านเทคโนโลยีการผลิต

จากการศึกษาเอกสารสามารถสรุปเทคโนโลยีในการผลิตตัวตรวจสอบแก๊สได้ด้วยกัน 3 วิธี

1. การขึ้นรูปเซรามิกส์แบบดั้งเดิม(Typical ceramic fabrication process)
2. การขึ้นรูปแบบฟิล์มหนา (Thick film fabrication process)
3. การขึ้นรูปแบบฟิล์มบาง (Thin film fabrication process)

จากเทคนิคทั้งหมดที่กล่าวถึงข้างต้น การขึ้นรูปด้วยวิธีการฟิล์มหนามีความเป็นไปได้สูงในการพัฒนาวิจัยตัวตรวจสอบแก๊สในเชิงพานิชต่อไปในอนาคตเพื่อทดแทนการนำเข้าเพราะการถ่ายทอดเทคโนโลยีจากห้องปฏิบัติการไปยังระดับอุตสาหกรรมเป็นไปได้ง่าย เครื่องจักรที่ใช้มีราคาไม่แพง มีต้นทุนการผลิตต่ำ และสามารถผลิตซ้ำ ๆ ได้

6.3 การศึกษาผลิตภัณฑ์ตัวตรวจสอบแก๊ส

ผลการศึกษาผลิตภัณฑ์ตัวตรวจสอบแก๊สมีดังต่อไปนี้

ลักษณะทั่วไปประกอบด้วย Sensor module ต่อกับชิ้นส่วนอเล็กทรอนิกส์ต่าง ๆ เป็นวงจรไฟฟ้า โดยชิ้นส่วนที่สำคัญใน Sensor module คือ Sensing element สำหรับ Sensing element ของผลิตภัณฑ์ที่ศึกษาครั้งนี้มี 2 รูปแบบ ท่อกลวงทรงกระบอก และ แท่งสี่เหลี่ยมตัน โดยชนิดท่อกลวงทรงกระบอก จะมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 3.08 มม. มีชั้น Sensitive layer ความหนา 0.08 มม. เคลือบอยู่เหนือขั้วไฟฟ้า ซึ่งเป็นธาตุ Au ส่วนแท่งสี่เหลี่ยมตัน มีขนาดความยาว 3.8 มม x ความกว้าง1.1มม.สำหรับ Sensing element ทั้ง 2 ชนิดมีธาตุประกอบที่เหมือนกันคือ Sn ,Al , Si และ Pd สำหรับผลการวิเคราะห์สารประกอบของชนิดท่อกลวงทรงกระบอก พบว่า มี SnO2 88.7 % Al_2O_3 1.5 %และ SiO_2 9.0%และ Pd 0.8 % ตามลำดับ โดยโครงสร้างจุลภาคจะมีลักษณะเป็นก้อนเกิดจากการจับกันของอนุภาค SnO_2 สำหรับขนาดของเกรนจากตัวอย่างชนิดท่อกลวงทรงกระบอกโดยเฉลี่ย มีค่า 0.021 ไมครอน

6.4 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางไฟฟ้า และความไวในการตอบสนอง

ผลความต้านทานในบรรยากาศต่าง ๆ พบว่าความต้านทานในบรรยากาศของรีดิวซิงส์แก๊สคือ แก๊สเชื้อเพลิงกับแก๊สอะเซทิลีนจะมีการเปลี่ยนแปลงมากกว่าในบรรยากาศของออกซิเจน โดยค่าความต้านทานในบรรยากาศของรีดิวซิงส์แก๊สค่าจะลดลง ขณะที่ในบรรยากาศของออกซิเจนความต้านทานจะเพิ่มสูงขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับบรรยากาศของในห้องปกติ ผลการศึกษาความไวในการตอบสนองต่อแก๊สเชื้อเพลิงเฉพาะแก๊สอะเซทิลีนพบว่าตัวตรวจสอบแก๊สรั่วประเภท Semiconductor sensor ที่ใช้ในการศึกษานี้มีความไวในการตรวจสอบระหว่าง 98-99 %

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เอกสารอ้างอิง

เจน สงสมพันธ์ เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์ 1. สถาบันอิเล็กทรอนิกส์ กรุงเทพรังสิต. ปทุมธานี 2537.

ประกาศคณะปฏิวัติ ฉบับที่ 28 ว่าด้วยการบรรจุแก๊สปิโตรเลียมเหลว กรมโยธาธิการ กระทรวงมหาดไทย, โรงพิมพ์ธรรมศาสตร์ 2535.

ศุภสโภช หมื่นสิทธิ์ ฟิสิกส์ของวัสดุ ศูนย์ส่งเสริมกรุงเทพสหมิตรออฟเซท, กรุงเทพ 1992.

สรุปสภาวะธุรกิจ-อุตสาหกรรม 2538 และแนวโน้มปี 2539 บริษัท ปิโตรเคมีแห่งชาติ

C. XU, J. tamaki, N. Miura และ N. Yamazoe, Grain Size Effects on Gas sensitivity of Porous SnO_2 - based Elements, Sensors and Actuators, B 3(1991) 147 - 155.

F.J. Schmitte, Conductivity Behavior fo Thick film Tin Dioxide Gas Sensors, Sensors and Actuators, B 4(1991) 473 - 477.

Figaro Gas Sensor, Production Catalog, Figaro Engineering Inc. 1995.

G. Ghiotti, A. Chiorino, W.X. Pan และ L. Marchese, A Comparative study of SnO_2 and CrO_x , SnO_2 Powders : their microsture and their different response to CO, NO, H_2 and CH_4 atmosphers, Sensors and Actuators, B 7(1992) 691 - 699.

H.J. Beie, Oxygen Gas Sensors Based on CeO_2 Thick and Thin film, Sensors and Actuators, B 4(1991) 393 - 399.

G. Materinelli และ M. C. Carotta, Influence of Additive on the Sensing Properties of Screen Printed SnO_2 Gas Sensors, Sensors and Actuators, B 15-16(1993) 363 - 366.

G. Sberveglieri, Gas sensor : Principles, Operation and Developments, Kluwer Academic Publishers, Boston and London, 1992.

KTV. Gratton, Sensors Technology, System and Application Adarm Higer press, Bristol and Philadelphia, 1991.

Introduction to Cosmos Gas Sensor. New Cosmos Electric CO., Ltd. Japan.

K. Tanaka, S. Morimoto, S.Sonoda, S. Matsuura, K. Moriya และ M. Egashira, Combustion Monitoring Sensor using Tin Oxide Semiconductor, Sensors and Actuators, B 3(1991) 247 - 253.

L.J. Golonka, J. Kozlowshi และ B.W Liczenerski, The Influence of The Electrode Material on the Sensitivity of SnO_2 Thick - film Gas Sensor, Sensors and Actuators, B 18-19(1994) 453 - 456.

N. Taguchi, Jpn, Patent NO. 3,644,795

N. Murakami, K. Tanaka และ K. Ihokura, US, patent NO. 4,459,577

P.D. Skafidas, D.S. Vlachos และ J.N. Avaritsiotlis, Modelling and Simulation of Abnormal Behavior of Thick - film Tin Oxides Gas Sensor in CO, Sensors and Actuators, B 21(1994) 109 - 121.

P.T. Moseley และ B.C. Tofield, Solid State Gas sensor, IOP Phblishing Ltd. , Bristol and Philadelphia.

R.W. Vest, Materials Science of Thick - film Technology, Ceramic Bulletin, 65(4) 1986, 631 - 636.

T. Oyabu, Sensing Charecteristic of SnO_2 Thin - film Gas sensor, J. Appl. phys., 53(4) 1982, 2785 - 2788.

W.F. Chu, V. Leonhard, H. Erdmann และ M. Ilgenstein, Thick - film Chemical Sensors, Sensors and Actuators, B 4(1991) 321 - 324.

Y. Matsuura และ K. Takahata, Stabilization of SnO_2 Sintered Gas Sensor, Sensors and Actuators, B 5(1991) 205 - 209.

ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางภาคผนวกที่ 1 รายละเอียดของแต่ละกิจการที่ได้จากการสำรวจ

ลำดับที่	ชื่อบริษัท/ร้าน	ที่ตั้ง	โทรศัพท์	จำนวน Sensor	ประเภทกิจการ
1	ไทยอุตสาหกรรมเครื่องปั้น	75 ถ.เศรษฐกิจ 1 ต.อ้อมน้อย อ.กระทุ่มแบน จ.สมุทรสาคร 74130	4205465	1	สถานที่ใช้แก๊ส
2	ดาวกิตติบริการ จำกัด	505 ถ.ราชวิถี แขวงพญาไท กรุงเทพฯ	2463353	2	สถานีจำหน่ายแก๊ส
3	ยูนิคแก๊ส แอนด์ ปิโตรเคมีคัล จำกัด (มหาชน)	30/1 หมู่ 11 แขวงบางปะกง	-	1	ลานบรรจุแก๊ส
4	นิวโรจน์รุ่งเรือง	244 ถ.นครชัยศรี กรุงเทพฯ 10300	2414584	1	สถานีจำหน่ายแก๊ส
5	อโศกเอ็นจิเนียริ่ง	575/1 ถ.อโศก-ดินแดง แขวงดินแดง กรุงเทพฯ 10400	2467596	2	สถานีจำหน่ายแก๊ส
6	พงศ์สวัสดิ์บริการ	306/1 แขวงสามเสนใน กรุงเทพฯ 10400	2797966 2701657	2	สถานีจำหน่ายแก๊ส
7	พิชัยบรรทัดทอง	181 ถ.เพชรบุรี แขวงพญาไท กรุงเทพฯ 10400	2151257 2159529	2	สถานีจำหน่ายแก๊ส
8	ยูเนี่ยนอินเตอร์เทรด	23/24 หมู่ 9 แขวงบางหว้า กรุงเทพฯ 10160	4133497	2	สถานีจำหน่ายแก๊ส
9	ส. วารินทริการ	2/16 หมู่ 3 แขวงทุ่งสีกัน กรุงเทพฯ 10210	5662814	2	สถานีจำหน่ายแก๊ส
10	สมภพแก๊ส จำกัด	23 แขวงบางค้อ กรุงเทพฯ 10150	4686314	2	สถานีจำหน่ายแก๊ส
11	เอสโซ่แสดนดาร์ดประเทศไทย	81 แขวงช่องนนทรีย์ กรุงเทพฯ 10120	2624965 2624638	3	สถานีบรรจุแก๊ส

ตารางภาคผนวกที่ 1 (ต่อ) รายละเอียดของแต่ละกิจการที่ได้จากการสำรวจ

ลำดับที่	ชื่อบริษัท/ร้าน	ที่ตั้ง	โทรศัพท์	จำนวน Sensor	ประเภทกิจการ
12	เอสโซ่สแตนดาร์ดประเทศไทย	ตู้ ป.ณ 8 แขวงศรีราชา อ.ศรีราชา ชลบุรี 20110	(038) 3951583-9	225	สถานีกลั่นน้ำมัน
13	ซันโย ยูนิเวอร์แซลอิเล็กทริก จำกัด	26/3 หมู่ 1 ซอยวัดหนามแดง อ.เชิงเทรา	2396845-6	1	โรงงานผลิตเครื่องใช้ไฟฟ้า
14	บ. ปิโตรเคมีแห่งชาติ (NPC)	นิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด ต.มาบตาพุด อ.เมือง จ.ระยอง	(038) 683800 Fax. (038)683816	80	สถานีแยกแก๊ส
15	บ. TPI	นิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด ต.มาบตาพุด อ.เมือง จ.ระยอง	-	400	ผลิตเม็ดพลาสติก
16	โรงไฟฟ้าบางปะกง	นิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด ต.มาบตาพุด อ.เมือง จ.ระยอง	-		ผลิตพลังงานไฟฟ้า
17	ตลาดน้อยแก๊ส	11/5 แขวงตลาดน้อย กรุงเทพฯ 10100	2336226	-	ร้านจำหน่ายแก๊ส
18	บางปะกอกแก๊ส	207 หมู่ 1 แขวงบางปะกอก กรุงเทพฯ 10140	4274464	-	ร้านจำหน่ายแก๊ส
19	บางไผ่ปิโตรเลียม	159/14 แขวงปากคลอง กรุงเทพฯ 10160	4670415 4670746	-	ร้านจำหน่ายแก๊ส
20	อำนาจชัยบริการ จำกัด	376 แขวงบางซื่อ เขตเตาปูน กรุงเทพฯ 10800	-	-	สถานีจำหน่ายแก๊ส
21	การปิโตรเลียมแห่งประเทศไทย (คลังเก็บและบรรจุแก๊สบ้านโรงโป๊ะ)	222/115 หมู่ 1 แขวงบางละมุง ชลบุรี 20150	(038) 241050 241146	18	ลานบรรจุแก๊ส
22	ที.พี.สุขสวัสดิ์ 26 แก๊ส จำกัด	629/5 หมู่ 8 แขวงบางปะกอก กรุงเทพฯ		2	ลานบรรจุแก๊ส
23	บางจากปิโตรเลียม จำกัด(มหาชน)	210 ถ.สุขุมวิท 64 แขวงบางจาก พระโขนง กรุงเทพฯ 10260	3310047	63	โรงกลั่นน้ำมัน

ตารางภาคผนวกที่ 1 (ต่อ) รายละเอียดของแต่ละกิจการที่ได้จากการสำรวจ

ลำดับที่	ชื่อบริษัท/ร้าน	ที่ตั้ง	โทรศัพท์	จำนวน Sensor	ประเภทกิจการ
24	แพรกษา จำกัด	81/1 หมู่ 4 แขวงบางเมือง อ.เมือง จ.สมุทรปราการ	7013902	2	ลานบรรจุแก๊ส
25	อ.สมบูรณ์ (ดินแดง) จำกัด	86 แขวงสามเสนใน กรุงเทพฯ 10400	2454524	-	ลานบรรจุแก๊ส
26	อุตสาหกรรมแก๊สยูเนียน จำกัด	143/353 ถนนเอกชัย แขวงบางบอน กรุงเทพฯ 10150	4168212	2	ลานบรรจุแก๊ส
27	Biothane	-	-	1	สถานที่ใช้แก๊ส
28	STP & I (Public) Company Limited	69 หมู่ 3 แขวงคลองตำหรุ อ.เมือง จ. ชลบุรี	(038) 214131-9	-	สถานที่ใช้แก๊ส
29	กระดาษสหไทยอุตสาหกรรม จำกัด	99 หมู่ 6 ต.วังศาลา อ.ท่าม่วง กาญจนบุรี 71130	(034) 562276	1	สถานที่ใช้แก๊ส
30	สยามซุชิยะ จำกัด	1055 แขวงบางนา กรุงเทพฯ 10260	3936731-2	-	สถานที่ใช้แก๊ส
31	องค์การโทรศัพท์แห่งประเทศไทย	กองบำรุงรักษาที่ 1	-	4	สถานที่ใช้แก๊ส
32	บ. เฮสโกฟู้ดอินดัสเตรียล จำกัด	99/5 หมู่ 7 แขวงบางโฉลง จ.สมุทรปราการ 10540	3126101-2	1	สถานที่ใช้แก๊ส
33	องค์การแก้ว	550 ถ.สรรพาวุธ แขวงบางนา กรุงเทพฯ 10260	3931131	1	สถานที่ใช้แก๊ส
34	Bulk Operation	-	-	6	สถานที่ใช้แก๊ส
35	เอ็ม เอ็ม ซี สิทธิผล จำกัด	61 หมู่ 4 แขวงลำปลาทิว (นิคมอุตสาห-กรรมลาดกระบัง) กรุงเทพฯ 10520	-	11	สถานที่ใช้แก๊ส ประกอบรถบรรทุก

ตารางภาคผนวกที่ 1 (ต่อ) รายละเอียดของแต่ละกิจการที่ได้จากการสำรวจ

ลำดับที่	ชื่อบริษัท/ร้าน	ที่ตั้ง	โทรศัพท์	จำนวน Sensor	ประเภทกิจการ
36	Unitank	-	-	1	สถานที่ใช้แก๊ส ให้เช่าถังเก็บสาร
37	โรงงาน Bangkokglass	47/1 หมู่ 2 ต.บึงยี่โถ อ.ธัญญบุรี ปทุมธานี	5331125-34	2	สถานที่ใช้แก๊ส ผลิตขวดแก้ว
38	เอส ที ผลิตภัณฑ์เครื่องดื่ม จำกัด	-	-	1	สถานที่ใช้แก๊ส ผลิตเครื่องดื่ม
39	ซีรับเบอร์ จำกัด	162/2 หมู่ 4 แขวงอ้อมน้อย อ.กระทุ่มแบน สมุทรสาคร 74130	4201931	1	สถานที่ใช้แก๊ส ผลิตถุงมือยาง
40	เพาว์เวอร์ อินชูเลเตอร์	28/2 หมู่ 5 แขวงเมือง ชลบุรี	-	-	สถานที่แก๊ส ผลิตลูกถ้วยไฟฟ้า
41	โตนาสดี้เซรามิค (มหาชน) จำกัด	ถนนสุวรรณศร ต.โคกแย้ อ.หนองแค จ.สระบุรี	-	2	สถานที่ใช้แก๊ส โรงงานเซรามิกส์
42	อาเซียนอินชูเลเตอร์ จำกัด	9/8 นิคมอุตสาหกรรม แขวงคันนายาว กรุงเทพฯ 10231	5171451 5171465	-	สถานที่ใช้แก๊ส โรงงานเซรามิกส์
43	สุราทิพย์นครกาญจนา จำกัด	50 หมู่ 2 ต.วังขนาย อ.ท่าม่วง กาญจนบุรี 71110	-	-	สถานที่ใช้แก๊ส โรงงานสุรา
44	สุราทิพย์สินสมุทร จำกัด	-	-	-	สถานที่ใช้ก๊าซ โรงงานสุรา
45	สุราทิพย์ยุคนธร จำกัด	101 หมู่ 11 ถ.สถิตย์นิมานกาล ต.สว่าง- แดนดิน อ.วารินชำราบ อุบลราชธานี	(045)441077 242200	-	โรงงานสุรา
46	ทีที แอล อุตสาหกรรมจำกัด	175 หมู่ 9 แขวงบางเขน กรุงเทพฯ 10210	5236282 5322345	1	สถานที่ใช้แก๊สพ่อก ปั่นด้าย ทอผ้า ย้อม
47	โรงงานสุราบางยี่ขัน 2	ปทุมธานี	-	3	สถานที่ใช้แก๊ส

ตารางภาคผนวกที่ 1 (ต่อ) รายละเอียดของแต่ละกิจการที่ได้จากการสำรวจ

ลำดับที่	ชื่อบริษัท/ร้าน	ที่ตั้ง	โทรศัพท์	จำนวน Sensor	ประเภทกิจการ
48	เฟอร์โร (ประเทศไทย) จำกัด	46/4 ต.คชสิทธิ์ อ.หนองแค สระบุรี 18250	(036) 375024-25	1	สถานที่ใช้แก๊ส สารเคลือบเซรามิกส์
49	เชลล์แห่งประเทศไทย (คลังศรีราชา)	9 อ่าวอุดม แขวงทุ่งศุขลา อ.ศรีราชา ชลบุรี 20230	(038) 351578	-	สถานีจำหน่ายแก๊ส
50	ซัมมิทชวลิต 1977 จำกัด	ปั๊มคาลเท็กซ์ชวลิตบริการ 743/11 แขวงบางบำหรุ บางพลัด กรุงเทพฯ 10700	4241101	2	สถานีจำหน่ายแก๊ส
51	ไทยรุ่งยูเนียนคาร์ไบด์ จำกัด (มหาชน)	28/6 หมู่ 8 ถ.เพชรเกษม แขวงค้างพลู กรุงเทพฯ 10160	4200076 4203664	1	สถานที่ใช้แก๊ส

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางภาคผนวกที่ 2 ข้อมูลและจำนวนกิจการทั้งหมดซึ่งใช้ในการประมาณความต้องการ Gas sonser

ประเภทกิจการ	กรุงเทพมหานคร	ต่างจังหวัด	รวม
ร้านจำหน่ายแก๊ส	404	ไม่มีข้อมูล	404
สถานีบริการแก๊ส	92	87	179
สถานีบรรจุแก๊ส	15	219	234
ลานบรรจุแก๊ส	7	17	24
ร้านจำหน่ายอาหารที่ใช้แก๊ส	153	ไม่มีข้อมูล	153
สถานที่ใช้แก๊ส	145	411	556
รวม	**816**	**734**	**1550**

ที่มา : งานพัฒนาสถิติข้อมูล กรมโยธาธิการ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางภาคผนวกที่ 3 จำนวนโรงกลั่นน้ำมันและกำลังการผลิต

โรงกลั่นน้ำมัน	กำลังการผลิต (พันบาเรล/วัน)	ปริมาณผลผลิต (พันบาเรล/วัน)
1. บริษัท บางจากปิโตรเลียม จำกัด	120	108
2. บริษัท เอสโซ่สแตนดาร์ด (ประเทศไทย) จำกัด	145	145
3. บริษัท ไทยออยล์ จำกัด	220	208
4. บริษัท สตาร์ รีไฟน์นิ่ง จำกัด	120	-
5. บริษัท ระยอง จำกัด	145	-

ที่มา : สรุปภาวะธุรกิจ อุตสาหกรรม 2538 และแนวโน้ม 2539

ตารางภาคผนวกที่ 4 จำนวนโรงงานผลิตปิโตรเคมีขั้นต้นและกำลังการผลิตผลิตภัณฑ์

โรงงาน	ผลิตภัณฑ์	กำลังการผลิต (ตัน/ปี)
1. โอเลฟินส์	PE	315,000
	PP	105,000
2. ไทยโอเลฟินส์ จำกัด (TOC)	PE	350,000
	PP	190,000
	Mix 4	100,000
	แก๊สโซลีน	200,000

ที่มา : ปิโตรเคมีแห่งชาติ

ตารางภาคผนวกที่ 5 จำนวนโรงงานผลิตปิโตรเคมีขั้นต้นต่อเนื่อง และกำลังการผลิต

โรงงาน	ผลิตภัณฑ์	กำลังการผลิต (ตัน/ปี)
1. ไทยโพลิเอททีลีน จำกัด	HDPE	137,500
	LLDPE	"
2. บริษัท อุตสาหกรรมปิโตรเคมีกัลไทย จำกัด	LDPE	125,000
	LLDPE	"
	HOPE	"
3. บริษัท ไทยพลาสติกและเคมีภัณฑ์ จำกัด	VCM	140,000
	PVC	"
4. บริษัท เอ็ช เอ็ม ซี โปลีเมอส์ จำกัด	PP	100,000

ที่มา : สรุปภาวะธุรกิจ-อุตสาหกรรม 2538 และแนวโน้มปี 2539 บริษัท ปิโตรเคมีแห่งชาติ (จำกัด)