

การประดิษฐ์หัววัดก๊าซชนิดดีบุกออกไซด์-ทิตาเนียมออกไซด์

นายขวัญชัย อโณทัยนาท



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2539

ISBN 974-636-574-6

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

FABRICATION OF SnO<sub>2</sub>-TiO<sub>2</sub> GAS SENSORS

Mr. Kwanchai Anothainart

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of Master of Engineering in Electrical Engineering

Department of Electrical Engineering

Graduate School

Chulalongkorn University

Academic Year 1996

ISBN 974-636-574-6

หัวข้อวิทยานิพนธ์      การประดิษฐ์หัววัดก๊าซชนิดดีบุกออกไซด์-ทิทาเนียมออกไซด์  
โดย                              นายขวัญชัย อโณทัยนาท  
ภาควิชา                        วิศวกรรมไฟฟ้า  
อาจารย์ที่ปรึกษา            ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มานะ ศรียุทธศักดิ์

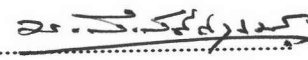
---


บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบัณฑิต



..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย  
(ศาสตราจารย์ นายแพทย์ สุภวัฒน์ ชุตินวงศ์)

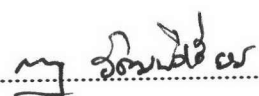
คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

 ประธานกรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ดร. มนตรี สวัสดิ์ศฤงฆาร)

 อาจารย์ที่ปรึกษา  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. มานะ ศรียุทธศักดิ์)

 กรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ดร. ชุมพล อันตรเสน)

 กรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ธารา ชลปราณี)

 กรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ดร. กรกฎ วัฒนวิเชียร)

พิมพ์ต้นฉบับบทความวิจัยวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสี่เหลี่ยมนี้เพียงแผ่นเดียว

ขวัญชัย อโหมทัยนาท : การประดิษฐ์หัววัดก๊าซชนิดดีบุกออกไซด์-ทิตานเนียมออกไซด์ (FABRICATION OF  $\text{SnO}_2\text{-TiO}_2$  GAS SENSORS) อ. ที่ปรึกษา : ผศ.ดร. มานะ ศรียุทธศักดิ์, 134 หน้า. ISBN 974-636-574-6.

วิทยานิพนธ์นี้ได้เสนอการประดิษฐ์หัววัดก๊าซชนิดดีบุกออกไซด์ หัววัดก๊าซชนิดทิตานเนียมออกไซด์ และหัววัดก๊าซชนิดดีบุกออกไซด์-ทิตานเนียมออกไซด์ รวมทั้งการประดิษฐ์ระบบวัดและประเมินผล โดยมุ่งพัฒนาและวิจัยหาเงื่อนไขการประดิษฐ์เพื่อให้ได้หัววัดก๊าซที่มีความไวและความจำเพาะต่อชนิดของก๊าซ การประดิษฐ์หัววัดก๊าซชนิดดีบุกออกไซด์และหัววัดก๊าซชนิดทิตานเนียมออกไซด์ เริ่มจากการเตรียมผงดีบุกออกไซด์และผงทิตานเนียมออกไซด์จากสารละลายดีบุกคลอไรด์และทิตานเนียมคลอไรด์ โดยผ่านเงื่อนไขการเผาที่อุณหภูมิ 200, 300, 400, 500 และ 600 °C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ได้ทำการทดสอบวัดการตอบสนองที่อุณหภูมิตั้งแต่ 100 ถึง 600 °C จากผลการทดลองพบว่า หัววัดก๊าซชนิดดีบุกออกไซด์ที่ผ่านเงื่อนไขการเผาที่อุณหภูมิ 300 °C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ให้ความไวในการตอบสนองสูงสุดต่อสารละลายเมทิลแอลกอฮอล์ที่อุณหภูมิการทำงาน 300 °C และหัววัดก๊าซที่ประดิษฐ์ขึ้นสามารถตอบสนองต่อสารละลายเมทิลแอลกอฮอล์ โดยความเข้มข้นต่ำสุดที่ยังคงตอบสนองได้ดี คือ 0.5 % โดยปริมาตร ในกรณีของหัววัดก๊าซชนิดทิตานเนียมออกไซด์ไม่พบความสัมพันธ์ระหว่างการตอบสนองกับความเข้มข้นของสารละลายเมทิลแอลกอฮอล์ นอกจากนี้ยังพบว่าเงื่อนไขที่เหมาะสมในการวัดการตอบสนอง คือการใช้ความเร็วของก๊าซพาห้ 500 มิลลิลิตรต่อนาที โดยใช้ปริมาตรสารตัวอย่าง 5 ไมโครลิตร

การประดิษฐ์หัววัดก๊าซชนิดดีบุกออกไซด์-ทิตานเนียมออกไซด์ เริ่มจากการนำผงของดีบุกออกไซด์และผงของทิตานเนียมออกไซด์ ที่ผ่านเงื่อนไขการเผาที่อุณหภูมิ 300 °C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง มาผสมกันในอัตราส่วน 5:0, 4:1, 3:2, 2:3, 1:4 และ 0:5 ตามลำดับ โดยทำการทดสอบวัดการตอบสนองที่อุณหภูมิ 300 °C จากผลการทดลองพบว่า หัววัดก๊าซชนิดดีบุกออกไซด์-ทิตานเนียมออกไซด์ที่ผสมในอัตราส่วน 5:0 ให้ความไวในการตอบสนองสูงสุดต่อสารละลายเมทิลแอลกอฮอล์ โดยความเข้มข้นต่ำสุดที่ยังคงตอบสนองได้ดี คือ 0.5 % โดยปริมาตร และมีแนวโน้มว่าหัววัดก๊าซชนิดดีบุกออกไซด์-ทิตานเนียมออกไซด์ที่ผสมในอัตราส่วน 2:3 ถึง 3:2 ให้ความไวในการตอบสนองสูงสุดต่อสารละลายแอมโมเนีย โดยความเข้มข้นต่ำสุดที่ยังคงตอบสนองได้ดี คือ 0.5 % โดยปริมาตร

ภาควิชา ..... วิศวกรรมไฟฟ้า  
สาขาวิชา ..... วิศวกรรมไฟฟ้า  
ปีการศึกษา ..... 2539

ลายมือชื่อนิติต ..... ขวัญชัย อโหมทัยนาท  
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา ..... ผศ.ดร. มานะ ศรียุทธศักดิ์  
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

# # C815504 : MAJOR ELECTRICAL ENGINEERING

KEY WORD: GAS SENSOR / SnO<sub>2</sub> / TiO<sub>2</sub>

KWANCHAI ANOTHAINART : FABRICATION OF SnO<sub>2</sub> - TiO<sub>2</sub> GAS SENSORS.

THESIS ADVISOR: ASST. PROF. MANA SRIYUDTHSAK, DR. Eng.

134 pp. ISBN 974-636-574-6.

This thesis presents the fabrication of tin oxide gas sensors, titanium oxide gas sensors, tin oxide-titanium oxide gas sensors and the measuring system. The objective is to investigate and develop a high sensitivity and selectivity gas sensor. The fabrication of tin oxide gas sensors and titanium oxide gas sensors started from preparation of tin oxide and titanium oxide from tin tetrachloride and titanium tetrachloride, then sintering them at temperatures of 200, 300, 400, 500 and 600 °C for 3 hours. The sensors were characterized at the temperature range from 100 to 600 °C. From the experimental results, the tin oxide gas sensors sintered at 300 °C for 3 hours gave the highest sensitivity to methyl alcohol at an operating temperature of 300 °C. The lowest concentration of methyl alcohol solution which the fabricated gas sensors can be measured was 0.5 % by volume. In the case of the titanium oxide gas sensors, we could not observe the relation between the response and the concentration of methyl alcohol. The optimal condition for the measurement was found at a carrier gas flow rate of 500 ml/min with the injection of sample volume at 5 microliters.

The fabrication of tin oxide - titanium oxide gas sensors started from mixing the tin oxide powder and the titanium oxide powder which were sintered at 300 °C for 3 hours with the ratios of 5:0, 4:1, 3:2, 2:3, 1:4 and 0:5, respectively. The sensors are characterized at a temperature of 300 °C. From the experimental results, the tin oxide-titanium oxide gas sensors which are mixed in the ratio of 5:0 give the highest sensitivity to methyl alcohol with a detection limit of 0.5 % by volume. It was also found that the tin oxide-titanium oxide gas sensors for which the mixture ratios were 2:3 and 3:2 tended to give the highest sensitivity to ammonia with the detection limit of 0.5 % by volume.

ภาควิชา..... วิศวกรรมไฟฟ้า  
สาขาวิชา..... วิศวกรรมไฟฟ้า  
ปีการศึกษา..... 2539

ลายมือชื่อนิสิต..... อรุณชัย อิ่มทันนท  
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา..... มานะ ศรียุดทสะก  
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....



## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ระดับปริญญาโทฉบับนี้จัดทำได้ที่ ห้องปฏิบัติการวิจัยไบโอ - อิเล็กทรอนิกส์ (BERL) ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ ด้วยความช่วยเหลือทั้งในด้านวิชาการและด้านการปฏิบัติการจาก ผศ.ดร.มานะ ศรียุทธศักดิ์ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ขอขอบพระคุณคณาจารย์ประจำห้องปฏิบัติการวิจัยสิ่งประดิษฐ์สารกึ่งตัวนำ (SDRL) ซึ่งได้แก่ ศ.ดร. สมศักดิ์ ปัญญาแก้ว รศ.ดร.มนตรี สวัสดิ์ศฤงฆาร รศ.ดร.บรรยง โตประเสริฐพงศ์ รศ.ดร.ชุมพล อันตรเสน รศ.ดร.คุสิต เกรืองาม ผศ.ดร.ชารา ชลปราณี และ อ.ดร.สมชัย รัตนธรรมพันธ์ ที่ได้ให้คำแนะนำที่มีค่า และได้ให้กำลังใจในการทำงานแก่ผู้วิจัยมาโดยตลอด

ขอขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ซึ่งได้แก่ รศ.ดร. มंत्री สวัสดิ์ศฤงฆาร รศ.ดร.ชุมพล อันตรเสน ผศ.ดร.ชารา ชลปราณี รศ.ดร. กรกฏ วัฒนวิเชียร และ ผศ.ดร.มานะ ศรี-ยุทธศักดิ์ สำหรับคำแนะนำ ข้อคิดเห็นและคำวิจารณ์ต่าง ๆ ที่มีค่ายิ่ง

นอกจากนี้ ผู้วิจัยขอขอบพระคุณนิสิตปริญญาเอก อันได้แก่ คุณอาภรณ์ ชีรมงคลรัมย์ และคุณสุวัฒน์ โสภิตพันธ์ และนิสิตปริญญาโทคือ คุณกฤษฎา พรพิทักษ์พงศ์ คุณทิพย์วรรณ สุจริตชัย คุณร่มฉัตร ยूरประถม และคุณวรพันธ์ บุญชัย รวมทั้งคุณเลอศักดิ์ พร้อมสงฆ์ สำหรับข้อคิดเห็น และคำแนะนำในการทำงาน ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ของ SDRL ทุกท่าน โดยเฉพาะคุณบัณฑิตา รัฐวิเศษ คุณอนุศักดิ์ เกตุสารัญ คุณประวิทย์ ชีวทรศน์ คุณศุภโชค ไทยน้อย และคุณขวัญเรือน ไทยน้อย สำหรับความช่วยเหลือทางด้านเทคนิคต่าง ๆ และงานด้านธุรการ

สุดท้ายนี้ ขอขอบพระคุณสถาบันเทคโนโลยีชีวภาพและวิศวกรรมพันธุศาสตร์ และศูนย์เครื่องมือวิเคราะห์ ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สำหรับความช่วยเหลือทางด้านอุปกรณ์และเครื่องมือวัด และที่สำคัญคือ โครงการศิษย์ก้นกุฏิ ผู้สนับสนุนทางด้านทุนการศึกษา ตลอดระยะเวลา 2 ปีของการศึกษาในระดับปริญญาโทฉบับนี้

ท้ายนี้ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณบิดา-มารดา และพี่ ๆ ของข้าพเจ้า ซึ่งให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

## สารบัญ

|                          | หน้า |
|--------------------------|------|
| บทคัดย่อภาษาไทย .....    | ง    |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... | จ    |
| กิตติกรรมประกาศ .....    | ฉ    |
| สารบัญตาราง .....        | ญ    |
| สารบัญภาพ .....          | ฐ    |

### บทที่

|  |    |
|--|----|
| 1. บทนำ .....  | 1  |
| ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย .....                                | 1  |
| วัตถุประสงค์ของงานวิจัย .....  | 4  |
| ขอบเขตของงานวิจัย .....  | 4  |
| 2. หลักการของหัววัดก๊าซ .....  | 6  |
| 3. การประดิษฐ์หัววัดก๊าซชนิดดีบุกออกไซด์และชนิดทิตานเนียมออกไซด์ ..... | 10 |
| กระบวนการเตรียมผงดีบุกไฮดรอกไซด์และผงทิตานเนียมไฮดรอกไซด์ .....        | 10 |
| กระบวนการเผาผงดีบุกไฮดรอกไซด์และผงทิตานเนียมไฮดรอกไซด์ .....           | 14 |
| ผลของเงื่อนไขการเผาต่อพื้นที่ผิวดีบุกออกไซด์และทิตานเนียมออกไซด์ ..... | 20 |
| กระบวนการเตรียมฟิล์มหนาของดีบุกออกไซด์และทิตานเนียมออกไซด์ .....       | 22 |

## สารบัญ(ต่อ)

| บทที่   | หน้า |
|---|------|
| 4. ระบบวัดการตอบสนองและการทดลองวัด .....  | 27   |
| ระบบวัดการตอบสนอง .....   | 27   |
| ระบบนำพาค้ำช .....  | 28   |
| ระบบหัวฉีดค้ำช .....  | 30   |
| หัวฉีดค้ำช .....  | 30   |
| ระบบจ่ายความร้อนแก่หัวฉีดค้ำช .....   | 30   |
| ระบบควบคุมอุณหภูมิที่หัวฉีดค้ำช .....   | 33   |
| ระบบวัดค้ำช .....   | 36   |
| เตาความร้อน .....   | 46   |
| แกนฐานหัววัดค้ำช .....  | 50   |
| ผลการทดสอบระบบวัด .....   | 55   |
| 5. ผลการตอบสนองและลักษณะสมบัติของหัววัดค้ำชชนิดดีบุกออกไซด์<br>และหัววัดค้ำชชนิดทิตานเนียมออกไซด์ ..... | 58   |
| ผลการตอบสนองของหัววัดค้ำชชนิดดีบุกออกไซด์ .....   | 58   |
| ผลของชนิดค้ำชตัวอย่างต่อการตอบสนอง .....  | 58   |
| ผลของความเข้มข้นเมทิลแอลกอฮอล์ต่อการตอบสนอง .....   | 61   |
| ผลของความเข้มข้นแอมโมเนียต่อการตอบสนอง .....  | 67   |
| ผลของอุณหภูมิการทำงานต่อการตอบสนอง .....  | 71   |
| ผลของพื้นที่ผิวของเกรนต่อการตอบสนอง .....   | 74   |
| ลักษณะสมบัติของหัววัดค้ำชชนิดดีบุกออกไซด์ .....   | 76   |
| ความต้านทาน .....   | 76   |
| เวลาคืนตัว .....  | 80   |
| เสถียรภาพการตอบสนอง .....   | 84   |



สารบัญ(ต่อ)

| บทที่  | หน้า |
|--|------|
| ผลการตอบสนองของหัววัดก๊าซชนิดทิตาเนียมออกไซด์ .....        | 86   |
| ผลของชนิดก๊าซตัวอย่างต่อการตอบสนอง .....                   | 86   |
| ผลของความเข้มข้นเมทิลแอลกอฮอล์ต่อการตอบสนอง .....          | 88   |
| ผลของความเข้มข้นแอมโมเนียต่อการตอบสนอง .....               | 92   |
| ผลของอุณหภูมิการทำงานต่อการตอบสนอง .....                   | 96   |
| ผลของพื้นที่ผิวของเกรนต่อการตอบสนอง .....                  | 99   |
| ลักษณะสมบัติของหัววัดก๊าซชนิดทิตาเนียมออกไซด์ .....        | 101  |
| ความต้านทาน .....  | 101  |
| เวลาคืนตัว .....   | 105  |
| เสถียรภาพการตอบสนอง .....                                  | 109  |
| <br>   |      |
| 6. การประดิษฐ์และผลการตอบสนองของหัววัดก๊าซชนิดดีบุกออกไซด์ |      |
| -ทิตาเนียมออกไซด์ .....                                    | 112  |
| การประดิษฐ์ .....  | 112  |
| ผลการตอบสนอง .....   | 113  |
| ผลของชนิดก๊าซตัวอย่างต่อการตอบสนอง .....                   | 113  |
| ผลของความเข้มข้นเมทิลแอลกอฮอล์ต่อการตอบสนอง .....          | 121  |
| ผลของความเข้มข้นแอมโมเนียต่อการตอบสนอง .....               | 123  |
| <br>   |      |
| 7. สรุป .....  | 128  |
| รายการอ้างอิง .....  | 130  |
| รายชื่อการเผยแพร่ผลงานวิจัย .....                          | 132  |
| ภาคผนวก .....  | 133  |
| ประวัติของผู้เขียน .....                                   | 134  |

## สารบัญตาราง

| ตารางที่ |   | หน้า |
|----------|---|------|
| 3.1      | โปรแกรมการเผาถ่านไผ่และทิวาเนียมไผ่<br>ที่อุณหภูมิ 600° C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง .....  | 17   |
| 3.2      | พื้นที่ผิวผกถ่านไผ่และผกทิวาเนียมไผ่ที่ได้จากการเผา<br>ที่อุณหภูมิต่างๆเป็นเวลา 3 ชั่วโมง .....   | 21   |
| 4.1      | ผลการทดสอบของตัวจ่ายความร้อนภายในเตาความร้อน .....  | 38   |
| 4.2      | ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับเตาความร้อน .....   | 46   |
| 4.3      | ผลของความเร็วก๊าซพาห้และปริมาณสารตัวอย่างต่อความไวในการตอบสนอง<br>ของหัววัดก๊าซชนิดถ่านไผ่ที่เผาที่อุณหภูมิ 300° C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ... | 56   |
| 4.4      | ผลของความเร็วก๊าซพาห้และปริมาณสารตัวอย่างต่อเวลาคืนตัว<br>ของหัววัดก๊าซชนิดถ่านไผ่ที่เผาที่อุณหภูมิ 300° C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ...         | 57   |
| 5.1      | เงื่อนไขการทดลอง .....  | 59   |
| 5.2      | ผลการทดสอบเสถียรภาพการตอบสนองของหัววัดก๊าซชนิดถ่านไผ่<br>ต่อเมทิลแอลกอฮอล์ ความเข้มข้น 1% โดยปริมาตร .....                                | 85   |
| 5.3      | ผลการทดสอบเสถียรภาพการตอบสนองของหัววัดก๊าซชนิดถ่านไผ่<br>ต่อแอมโมเนีย ความเข้มข้น 1% โดยปริมาตร .....                                     | 85   |
| 5.4      | เงื่อนไขการทดลอง .....  | 86   |
| 5.5      | ผลการทดสอบเสถียรภาพการตอบสนองของหัววัดก๊าซชนิดทิวาเนียมไผ่<br>ต่อเมทิลแอลกอฮอล์ ความเข้มข้น 1% โดยปริมาตร .....                           | 110  |
| 5.6      | ผลการทดสอบเสถียรภาพการตอบสนองของหัววัดก๊าซชนิดทิวาเนียมไผ่<br>ต่อแอมโมเนีย ความเข้มข้น 1% โดยปริมาตร .....                                | 111  |
| 6.1      | เงื่อนไขการทดลอง .....  | 113  |

## สารบัญญภาพ

| รูปที่ |   | หน้า |
|--------|---|------|
| 1.1    | แผนภูมิขอบเขตงานวิจัย .....   | 5    |
| 2.1    | โครงสร้างของผลึก $\text{SnO}_{2-x}$ .....   | 6    |
| 2.2    | แถบพลังงานของสารกึ่งตัวนำ $\text{SnO}_{2-x}$ .....  | 8    |
| 2.3    | (ก) ระดับพลังงานระหว่างเกรนของ $\text{SnO}_{2-x}$ .....   | 9    |
| 2.3    | (ข) โครงสร้างระหว่างเกรนของ $\text{SnO}_{2-x}$ ในระดับจุลภาค .....  | 9    |
| 3.1    | ผงของดีบุกไฮดรอกไซด์และทิตาเนียมไฮดรอกไซด์ .....  | 13   |
| 3.2    | (ก) เตาเผาสาร (ภายนอก) .....  | 15   |
| 2.3    | (ข) เตาเผาสาร (ภายใน) .....   | 16   |
| 3.3    | ขั้นตอนการเผาสารที่อุณหภูมิ $600^\circ\text{C}$ เป็นเวลา 3 ชั่วโมง .....  | 17   |
| 3.4    | ผงดีบุกออกไซด์ที่ได้จากการเผาดีบุกไฮดรอกไซด์ ที่อุณหภูมิการเผา<br>200, 300, 400, 500 และ $600^\circ\text{C}$ เป็นเวลา 3 ชั่วโมง .....       | 18   |
| 3.5    | ทิตาเนียมออกไซด์ที่ได้จากการเผาทิตาเนียมไฮดรอกไซด์ ที่อุณหภูมิการเผา<br>200, 300, 400, 500 และ $600^\circ\text{C}$ เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ..... | 19   |
| 3.6    | แผนผังสรุปกระบวนการเตรียมผงดีบุกออกไซด์และผงทิตาเนียมออกไซด์ .....  | 20   |
| 3.7    | กราฟความสัมพันธ์ของพื้นที่ผิวผงดีบุกออกไซด์และผงทิตาเนียมออกไซด์<br>กับอุณหภูมิที่ใช้ในการเผาเป็นเวลา 3 ชั่วโมง .....                       | 21   |
| 3.8    | เครื่องระเหยโลหะแบบถ้ำอิเล็กทรอนิกส์ .....  | 23   |
| 3.9    | แผ่นกระจกสไลด์ที่ผ่านการระเหยชั้นโลหะ พลาตินัม/ทิตาเนียม<br>และที่ผ่านการตัดแล้ว .....  | 24   |
| 3.10   | หัววัดก๊าซชนิดดีบุกออกไซด์ .....  | 25   |
| 3.15   | หัววัดก๊าซชนิดทิตาเนียมออกไซด์ .....  | 26   |

## สารบัญญภาพ(ต่อ)

| รูปที่ | หน้า   |
|--------|--|
| 4.1    | ไดอะแกรมของระบบวัดการตอบสนอง ..... 27  |
| 4.2    | ระบบนำพาก๊าซ ..... 28  |
| 4.3    | แผนผังทางเดินของก๊าซในระบบนำพาก๊าซ ..... 29  |
| 4.4    | ท่อทองเหลืองแบบสามทาง และยางเชปตรัม ..... 31   |
| 4.5    | ตัวจ่ายความร้อนที่หัวฉีดก๊าซ ..... 32  |
| 4.6    | โครงสร้างของระบบหัวฉีดก๊าซ ..... 33  |
| 4.7    | ฉนวนใยเซรามิก ..... 34   |
| 4.8    | ระบบหัวฉีดก๊าซที่ประกอบเสร็จ ..... 35  |
| 4.9    | โครงสร้างของเตาความร้อนที่ออกแบบ ..... 36  |
| 4.10   | ลักษณะการพันลวดความร้อน ..... 37   |
| 4.11   | กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแส แรงดัน กำลัง ที่จ่ายให้แก่<br>ตัวจ่ายความร้อนกับอุณหภูมิที่ได้ ..... 39               |
| 4.12   | ตัวจ่ายความร้อนที่อยู่ระหว่างระบบวัดและระบบหัวฉีดก๊าซ ..... 40   |
| 4.13   | ขั้นตอนที่ต้องทำหลังจากหล่อคอนกรีตทนไฟ ..... 42  |
| 4.14   | ท่อคอนกรีตทนไฟ ..... 43  |
| 4.15   | เตาความร้อนที่ประกอบเสร็จ ..... 45   |
| 4.16   | วงจรวัด ..... 47   |
| 4.17   | วงจรจ่ายแรงดันคงที่ 5 โวลต์ ..... 47   |
| 4.18   | วงจรรขยาย ..... 48   |
| 4.19   | เครื่องควบคุมอุณหภูมิเตาความร้อนและวงจรวัด(ซ้ายบน)<br>เครื่องขยายสัญญาณ(ซ้ายล่าง) และแหล่งจ่ายแรงดัน(ขวา) ..... 49 |
| 4.20   | แกนฐานหัววัดก๊าซ ..... 51  |
| 4.21   | โครงสร้างระบบวัดก๊าซรวม ..... 52   |

## สารบัญญภาพ(ต่อ)

| รูปที่  | หน้า |
|---|------|
| 4.22 (ก) ระบบวัดก๊าซรวมที่ประดิษฐ์ขึ้น .....  | 53   |
| 4.22 (ข) ระบบวัดก๊าซรวมที่ประดิษฐ์ขึ้น .....  | 54   |
| 4.23 ผลของความเร็วก๊าซพาห้และปริมาณสารตัวอย่างต่อความไวในการตอบสนอง<br>ของหัววัดก๊าซชนิดดีบุกออกไซด์ที่เผาที่อุณหภูมิ 300° C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ..... | 56   |
| 4.24 ผลของความเร็วก๊าซพาห้และปริมาณสารตัวอย่างต่อเวลาคืนตัว<br>ของหัววัดก๊าซชนิดดีบุกออกไซด์ที่เผาที่อุณหภูมิ 300° C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง .....         | 57   |
| 5.1 ผลการวัดก๊าซเมทิลแอลกอฮอล์ความเข้มข้น 1% และ10% โดยปริมาตรตามลำดับ<br>ของหัววัดก๊าซชนิดดีบุกออกไซด์ที่เผาอุณหภูมิ 300 °C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ..... | 60   |
| 5.2 ผลการวัดก๊าซแอมโมเนียความเข้มข้น 0.5% 1% และ10% โดยปริมาตรตามลำดับ<br>ของหัววัดก๊าซชนิดดีบุกออกไซด์ที่เผาอุณหภูมิ 300 °C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ..... | 60   |
| 5.3 ผลการตอบสนองของหัววัดก๊าซชนิดดีบุกออกไซด์ต่อก๊าซเมทิลแอลกอฮอล์<br>ที่ความเข้มข้นตั้งแต่ 0.01 ถึง 10 % โดยปริมาตร ที่อุณหภูมิการวัด 100 °C .....   | 63   |
| 5.4 ผลการตอบสนองของหัววัดก๊าซชนิดดีบุกออกไซด์ต่อก๊าซเมทิลแอลกอฮอล์<br>ที่ความเข้มข้นตั้งแต่ 0.01 ถึง 10 % โดยปริมาตร ที่อุณหภูมิการวัด 200 °C .....   | 63   |
| 5.5 ผลการตอบสนองของหัววัดก๊าซชนิดดีบุกออกไซด์ต่อก๊าซเมทิลแอลกอฮอล์<br>ที่ความเข้มข้นตั้งแต่ 0.01 ถึง 10 % โดยปริมาตร ที่อุณหภูมิการวัด 300 °C .....   | 64   |
| 5.6 ผลการตอบสนองของหัววัดก๊าซชนิดดีบุกออกไซด์ต่อก๊าซเมทิลแอลกอฮอล์<br>ที่ความเข้มข้นตั้งแต่ 0.01 ถึง 10 % โดยปริมาตร ที่อุณหภูมิการวัด 400 °C .....   | 64   |
| 5.7 ผลการตอบสนองของหัววัดก๊าซชนิดดีบุกออกไซด์ต่อก๊าซเมทิลแอลกอฮอล์<br>ที่ความเข้มข้นตั้งแต่ 0.01 ถึง 10 % โดยปริมาตร ที่อุณหภูมิการวัด 500 °C .....   | 65   |
| 5.8 ผลการตอบสนองของหัววัดก๊าซชนิดดีบุกออกไซด์ต่อก๊าซเมทิลแอลกอฮอล์<br>ที่ความเข้มข้นตั้งแต่ 0.01 ถึง 10 % โดยปริมาตร ที่อุณหภูมิการวัด 600 °C .....   | 65   |
| 5.9 หัววัดก๊าซชนิดดีบุกออกไซด์หลังจากทดลองวัดที่อุณหภูมิการวัด 600 °C .....   | 66   |
| 5.10 ผลการตอบสนองของหัววัดก๊าซชนิดดีบุกออกไซด์ต่อก๊าซแอมโมเนีย<br>ที่ความเข้มข้นตั้งแต่ 0.01 ถึง 10 % โดยปริมาตร ที่อุณหภูมิการวัด 100 °C .....       | 68   |

## สารบัญภาพ(ต่อ)

| รูปที่  | หน้า |
|---|------|
| 5.11 ผลการตอบสนองของหัววัดก๊าซชนิดดีบุกออกไซด์ต่อก๊าซแอมโมเนีย<br>ที่ความเข้มข้นตั้งแต่ 0.01 ถึง 10 % โดยปริมาตร ที่อุณหภูมิการวัด 200 °C .....   | 68   |
| 5.12 ผลการตอบสนองของหัววัดก๊าซชนิดดีบุกออกไซด์ต่อก๊าซแอมโมเนีย<br>ที่ความเข้มข้นตั้งแต่ 0.01 ถึง 10 % โดยปริมาตร ที่อุณหภูมิการวัด 300 °C .....   | 69   |
| 5.13 ผลการตอบสนองของหัววัดก๊าซชนิดดีบุกออกไซด์ต่อก๊าซแอมโมเนีย<br>ที่ความเข้มข้นตั้งแต่ 0.01 ถึง 10 % โดยปริมาตร ที่อุณหภูมิการวัด 400 °C .....   | 69   |
| 5.14 ผลการตอบสนองของหัววัดก๊าซชนิดดีบุกออกไซด์ต่อก๊าซแอมโมเนีย<br>ที่ความเข้มข้นตั้งแต่ 0.01 ถึง 10 % โดยปริมาตร ที่อุณหภูมิการวัด 500 °C .....   | 70   |
| 5.15 ผลการตอบสนองของหัววัดก๊าซชนิดดีบุกออกไซด์ต่อก๊าซแอมโมเนีย<br>ที่ความเข้มข้นตั้งแต่ 0.01 ถึง 10 % โดยปริมาตร ที่อุณหภูมิการวัด 600 °C .....   | 70   |
| 5.16 ผลการตอบสนองของหัววัดก๊าซชนิดดีบุกออกไซด์ต่อน้ำ<br>ที่อุณหภูมิการทำงาน 100, 200, 300, 400, 500 และ 600 °C .....  | 72   |
| 5.17 ผลการตอบสนองของหัววัดก๊าซชนิดดีบุกออกไซด์ต่อเมทิลแอลกอฮอล์ ความเข้มข้น<br>1 % โดยปริมาตร ที่อุณหภูมิการทำงาน 100, 200, 300, 400, 500 และ 600 °C .....                                    | 73   |
| 5.18 ผลการตอบสนองของหัววัดก๊าซชนิดดีบุกออกไซด์ต่อแอมโมเนีย ความเข้มข้น 1 %<br>โดยปริมาตร ที่อุณหภูมิการทำงาน 100, 200, 300, 400, 500 และ 600 °C .....   | 73   |
| 5.19 ความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ผิวของเกรนกับความไวในการตอบสนองของ<br>หัววัดก๊าซชนิดดีบุกออกไซด์ต่อเมทิลแอลกอฮอล์ความเข้มข้น 1 %<br>ที่อุณหภูมิการวัด 100, 200, 300, 400, 500 และ 600 °C ..... | 75   |
| 5.20 ความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ผิวของเกรนกับความไวในการตอบสนองของ<br>หัววัดก๊าซชนิดดีบุกออกไซด์ต่อแอมโมเนียความเข้มข้น 1 %<br>ที่อุณหภูมิการวัด 100, 200, 300, 400, 500 และ 600 °C .....      | 75   |

สารบัญภาพ(ต่อ)

| รูปที่   | หน้า |
|--|------|
| 5.21 ค่าความต้านทานของหัววัดก๊าซชนิดทิตานเนียมออกไซด์ที่เผาที่อุณหภูมิ 200 °C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ตามลำดับ ในสภาวะระบบที่มี อากาศ, เมทิลแอลกอฮอล์ ความเข้มข้น 1% โดยปริมาตร และ แอมโมเนีย ความเข้มข้น 1% โดยปริมาตร ที่อุณหภูมิการวัด 100, 200, 300, 400, 500 และ 600 °C .....                                      | 77   |
| 5.22 ค่าความต้านทานของหัววัดก๊าซชนิดทิตานเนียมออกไซด์ที่เผาที่อุณหภูมิ 300 °C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ตามลำดับ ในสภาวะระบบที่มี อากาศ, เมทิลแอลกอฮอล์ ความเข้มข้น 1% โดยปริมาตร และ แอมโมเนีย ความเข้มข้น 1% โดยปริมาตร ที่อุณหภูมิการวัด 100, 200, 300, 400, 500 และ 600 °C .....                                      | 77   |
| 5.23 ค่าความต้านทานของหัววัดก๊าซชนิดทิตานเนียมออกไซด์ที่เผาที่อุณหภูมิ 400 °C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ตามลำดับ ในสภาวะระบบที่มี อากาศ, เมทิลแอลกอฮอล์ ความเข้มข้น 1% โดยปริมาตร และ แอมโมเนีย ความเข้มข้น 1% โดยปริมาตร ที่อุณหภูมิการวัด 100, 200, 300, 400, 500 และ 600 °C .....                                      | 78   |
| 5.24 ค่าความต้านทานของหัววัดก๊าซชนิดทิตานเนียมออกไซด์ที่เผาที่อุณหภูมิ 500 °C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ตามลำดับ ในสภาวะระบบที่มี อากาศ, เมทิลแอลกอฮอล์ ความเข้มข้น 1% โดยปริมาตร และ แอมโมเนีย ความเข้มข้น 1% โดยปริมาตร ที่อุณหภูมิการวัด 100, 200, 300, 400, 500 และ 600 °C .....                                      | 78   |
| 5.25 ค่าความต้านทานของหัววัดก๊าซชนิดทิตานเนียมออกไซด์ที่เผาที่อุณหภูมิ 600 °C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ตามลำดับ ในสภาวะระบบที่มี อากาศ, เมทิลแอลกอฮอล์ ความเข้มข้น 1% โดยปริมาตร และ แอมโมเนีย ความเข้มข้น 1% โดยปริมาตร ที่อุณหภูมิการวัด 100, 200, 300, 400, 500 และ 600 °C .....                                      | 79   |
| 5.26 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาคืนตัวของหัววัดก๊าซชนิดทิตานเนียมออกไซด์ที่ประดิษฐ์ขึ้น ด้วยเงื่อนไขอุณหภูมิการเผาที่ 200 °C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง กับอุณหภูมิการวัด 100, 200, 300, 400, 500 และ 600 °C ตามลำดับ ในการตอบสนองต่อก๊าซเมทิลแอลกอฮอล์ ความเข้มข้น 1% โดยปริมาตร และ แอมโมเนียความเข้มข้น 1% โดยปริมาตร ..... | 81   |

สารบัญภาพ(ต่อ)

| รูปที่   | หน้า |
|--|------|
| 5.27 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาคืนตัวของหัววัดก๊าซชนิดทิตาเนียมออกไซด์ที่ประดิษฐ์ขึ้นด้วยเงื่อนไขอุณหภูมิการเผาที่ 300 °C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง กับอุณหภูมิการวัด 100, 200, 300, 400, 500 และ 600 °C ตามลำดับ ในการตอบสนองต่อก๊าซเมทิลแอลกอฮอล์ ความเข้มข้น 1% โดยปริมาตร และ แอมโมเนียความเข้มข้น 1% โดยปริมาตร ..... | 81   |
| 5.28 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาคืนตัวของหัววัดก๊าซชนิดทิตาเนียมออกไซด์ที่ประดิษฐ์ขึ้นด้วยเงื่อนไขอุณหภูมิการเผาที่ 400 °C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง กับอุณหภูมิการวัด 100, 200, 300, 400, 500 และ 600 °C ตามลำดับ ในการตอบสนองต่อก๊าซเมทิลแอลกอฮอล์ ความเข้มข้น 1% โดยปริมาตร และ แอมโมเนียความเข้มข้น 1% โดยปริมาตร ..... | 82   |
| 5.29 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาคืนตัวของหัววัดก๊าซชนิดทิตาเนียมออกไซด์ที่ประดิษฐ์ขึ้นด้วยเงื่อนไขอุณหภูมิการเผาที่ 500 °C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง กับอุณหภูมิการวัด 100, 200, 300, 400, 500 และ 600 °C ตามลำดับ ในการตอบสนองต่อก๊าซเมทิลแอลกอฮอล์ ความเข้มข้น 1% โดยปริมาตร และ แอมโมเนียความเข้มข้น 1% โดยปริมาตร ..... | 82   |
| 5.30 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาคืนตัวของหัววัดก๊าซชนิดทิตาเนียมออกไซด์ที่ประดิษฐ์ขึ้นด้วยเงื่อนไขอุณหภูมิการเผาที่ 600 °C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง กับอุณหภูมิการวัด 100, 200, 300, 400, 500 และ 600 °C ตามลำดับ ในการตอบสนองต่อก๊าซเมทิลแอลกอฮอล์ ความเข้มข้น 1% โดยปริมาตร และ แอมโมเนียความเข้มข้น 1% โดยปริมาตร ..... | 83   |
| 5.31 ผลการวัดก๊าซเมทิลแอลกอฮอล์ความเข้มข้น 0.1%, 0.5% และ 1% โดยปริมาตร ตามลำดับของหัววัดก๊าซชนิดทิตาเนียมออกไซด์ที่เผาอุณหภูมิ 300 °C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง .....  | 87   |
| 5.32 ผลการวัดก๊าซแอมโมเนียความเข้มข้น 5%, 10% และ 10% โดยปริมาตรตามลำดับของหัววัดก๊าซชนิดทิตาเนียมออกไซด์ที่เผาอุณหภูมิ 300 °C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง .....  | 87   |
| 5.33 ผลการตอบสนองของหัววัดก๊าซชนิดทิตาเนียมออกไซด์ต่อก๊าซเมทิลแอลกอฮอล์ ที่ความเข้มข้นตั้งแต่ 0.01 ถึง 10 % โดยปริมาตร ที่อุณหภูมิการวัด 100 °C .....  | 89   |
| 5.34 ผลการตอบสนองของหัววัดก๊าซชนิดทิตาเนียมออกไซด์ต่อก๊าซเมทิลแอลกอฮอล์ ที่ความเข้มข้นตั้งแต่ 0.01 ถึง 10 % โดยปริมาตร ที่อุณหภูมิการวัด 200 °C .....  | 89   |





สารบัญภาพ(ต่อ)

| รูปที่   | หน้า |
|--|------|
| 5.47 ผลการตอบสนองของหัววัดก๊าซชนิดทิตาเนียมออกไซด์ต่อแอมโมเนีย<br>ความเข้มข้น 1 %โดยปริมาตร ที่อุณหภูมิการทำงาน 100 200 300 400 500<br>และ 600 °C .....  | 98   |
| 5.48 ความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ผิวของเกรนกับความไวในการตอบสนองของ<br>หัววัดก๊าซชนิดทิตาเนียมออกไซด์ต่อเมทิลแอลกอฮอล์ความเข้มข้น 1 %<br>ที่อุณหภูมิการวัด 100, 200, 300, 400, 500 และ 600 °C .....  | 99   |
| 5.49 ความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ผิวของเกรนกับความไวในการตอบสนองของ<br>หัววัดก๊าซชนิดทิตาเนียมออกไซด์ต่อแอมโมเนียความเข้มข้น 1 %<br>ที่อุณหภูมิการวัด 100, 200, 300, 400, 500 และ 600 °C .....   | 100  |
| 5.50 ค่าความต้านทานของหัววัดก๊าซชนิดทิตาเนียมออกไซด์ที่เผาที่อุณหภูมิ 200 °C<br>เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ตามลำดับ ในสภาวะระบบที่มี อากาศ, เมทิลแอลกอฮอล์<br>ความเข้มข้น 1%โดยปริมาตร และ แอมโมเนีย ความเข้มข้น 1% โดยปริมาตร<br>ที่อุณหภูมิการวัด 100, 200, 300, 400, 500 และ 600 °C ..... | 102  |
| 5.51 ค่าความต้านทานของหัววัดก๊าซชนิดทิตาเนียมออกไซด์ที่เผาที่อุณหภูมิ 300 °C<br>เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ตามลำดับ ในสภาวะระบบที่มี อากาศ, เมทิลแอลกอฮอล์<br>ความเข้มข้น 1%โดยปริมาตร และ แอมโมเนีย ความเข้มข้น 1% โดยปริมาตร<br>ที่อุณหภูมิการวัด 100, 200, 300, 400, 500 และ 600 °C ..... | 102  |
| 5.52 ค่าความต้านทานของหัววัดก๊าซชนิดทิตาเนียมออกไซด์ที่เผาที่อุณหภูมิ 400 °C<br>เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ตามลำดับ ในสภาวะระบบที่มี อากาศ, เมทิลแอลกอฮอล์<br>ความเข้มข้น 1%โดยปริมาตร และ แอมโมเนีย ความเข้มข้น 1% โดยปริมาตร<br>ที่อุณหภูมิการวัด 100, 200, 300, 400, 500 และ 600 °C ..... | 103  |
| 5.53 ค่าความต้านทานของหัววัดก๊าซชนิดทิตาเนียมออกไซด์ที่เผาที่อุณหภูมิ 500 °C<br>เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ตามลำดับ ในสภาวะระบบที่มี อากาศ, เมทิลแอลกอฮอล์<br>ความเข้มข้น 1%โดยปริมาตร และ แอมโมเนีย ความเข้มข้น 1% โดยปริมาตร<br>ที่อุณหภูมิการวัด 100, 200, 300, 400, 500 และ 600 °C ..... | 103  |

## สารบัญญภาพ(ต่อ)

| รูปที่ | หน้า   |
|--------|--|
| 5.54   | ค่าความต้านทานของหัววัดก๊าซชนิดทิตาเนียมออกไซด์ที่เผาที่อุณหภูมิ 600 °C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ตามลำดับ ในสภาวะระบบที่มี อากาศ, เมทิลแอลกอฮอล์ ความเข้มข้น 1% โดยปริมาตร และ แอมโมเนีย ความเข้มข้น 1% โดยปริมาตร ที่อุณหภูมิการวัด 100, 200, 300, 400, 500 และ 600 °C ..... 104                                      |
| 5.55   | ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาคืนตัวของหัววัดก๊าซชนิดทิตาเนียมออกไซด์ที่ประดิษฐ์ขึ้น ด้วยเงื่อนไขอุณหภูมิการเผาที่ 200 °C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง กับอุณหภูมิการวัด 100, 200, 300, 400, 500 และ 600 °C ตามลำดับ ในการตอบสนองต่อก๊าซเมทิลแอลกอฮอล์ ความเข้มข้น 1% โดยปริมาตร และ แอมโมเนียความเข้มข้น 1% โดยปริมาตร ..... 106 |
| 5.56   | ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาคืนตัวของหัววัดก๊าซชนิดทิตาเนียมออกไซด์ที่ประดิษฐ์ขึ้น ด้วยเงื่อนไขอุณหภูมิการเผาที่ 300 °C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง กับอุณหภูมิการวัด 100, 200, 300, 400, 500 และ 600 °C ตามลำดับ ในการตอบสนองต่อก๊าซเมทิลแอลกอฮอล์ ความเข้มข้น 1% โดยปริมาตร และ แอมโมเนียความเข้มข้น 1% โดยปริมาตร ..... 106 |
| 5.57   | ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาคืนตัวของหัววัดก๊าซชนิดทิตาเนียมออกไซด์ที่ประดิษฐ์ขึ้น ด้วยเงื่อนไขอุณหภูมิการเผาที่ 400 °C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง กับอุณหภูมิการวัด 100, 200, 300, 400, 500 และ 600 °C ตามลำดับ ในการตอบสนองต่อก๊าซเมทิลแอลกอฮอล์ ความเข้มข้น 1% โดยปริมาตร และ แอมโมเนียความเข้มข้น 1% โดยปริมาตร ..... 107 |
| 5.58   | ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาคืนตัวของหัววัดก๊าซชนิดทิตาเนียมออกไซด์ที่ประดิษฐ์ขึ้น ด้วยเงื่อนไขอุณหภูมิการเผาที่ 500 °C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง กับอุณหภูมิการวัด 100, 200, 300, 400, 500 และ 600 °C ตามลำดับ ในการตอบสนองต่อก๊าซเมทิลแอลกอฮอล์ ความเข้มข้น 1% โดยปริมาตร และ แอมโมเนียความเข้มข้น 1% โดยปริมาตร ..... 107 |
| 5.59   | ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาคืนตัวของหัววัดก๊าซชนิดทิตาเนียมออกไซด์ที่ประดิษฐ์ขึ้น ด้วยเงื่อนไขอุณหภูมิการเผาที่ 600 °C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง กับอุณหภูมิการวัด 100, 200, 300, 400, 500 และ 600 °C ตามลำดับ ในการตอบสนองต่อก๊าซเมทิลแอลกอฮอล์ ความเข้มข้น 1% โดยปริมาตร และ แอมโมเนียความเข้มข้น 1% โดยปริมาตร ..... 108 |



## สารบัญญภาพ(ต่อ)

| รูปที่  | หน้า |
|---|------|
| 6.11 ผลการวัดแอมโมเนียความเข้มข้น 1%, 5% และ 10% โดยปริมาตรตามลำดับของหัววัดก๊าซชนิดดีบุกออกไซด์-ทิทาเนียมออกไซด์ที่ผสมด้วยอัตราส่วน 1:4 .....  | 120  |
| 6.12 ผลการวัดแอมโมเนียความเข้มข้น 1%, 5% และ 10% โดยปริมาตรตามลำดับของหัววัดก๊าซชนิดดีบุกออกไซด์-ทิทาเนียมออกไซด์ที่ผสมด้วยอัตราส่วน 0:5 .....  | 120  |
| 6.13 ผลการตอบสนองของหัววัดก๊าซชนิดดีบุกออกไซด์-ทิทาเนียมออกไซด์ที่ผสมด้วยอัตราส่วน 5:0, 4:1, 3:2, 2:3, 1:4 และ 0:5 ตามลำดับ ต่อเมทิลแอลกอฮอล์ความเข้มข้น 0.01% ถึง 10% โดยปริมาตร .....     | 122  |
| 6.14 ผลการตอบสนองของหัววัดก๊าซชนิดดีบุกออกไซด์-ทิทาเนียมออกไซด์ต่อเมทิลแอลกอฮอล์ ความเข้มข้น 0.01% ถึง 10% โดยปริมาตร ที่อัตราส่วนผสม 5:0, 4:1, 3:2, 2:3, 1:4 และ 0:5 ตามลำดับ .....        | 122  |
| 6.15 ผลการตอบสนองของหัววัดก๊าซชนิดดีบุกออกไซด์-ทิทาเนียมออกไซด์ที่ผสมด้วยอัตราส่วน 5:0, 4:1, 3:2, 2:3, 1:4 และ 0:5 ตามลำดับ ต่อแอมโมเนีย ความเข้มข้น 0.01% ถึง 10% โดยปริมาตร .....         | 124  |
| 6.16 ผลการตอบสนองของหัววัดก๊าซชนิดดีบุกออกไซด์-ทิทาเนียมออกไซด์ต่อแอมโมเนียความเข้มข้น 0.01% ถึง 10% โดยปริมาตร ที่อัตราส่วนผสม 5:0, 4:1, 3:2, 2:3, 1:4 และ 0:5 ตามลำดับ .....              | 124  |
| 6.17 ผลการตอบสนองของหัววัดก๊าซชนิดดีบุกออกไซด์-ทิทาเนียมออกไซด์ชุดที่ 2 ที่ผสมด้วยอัตราส่วน 5:0, 4:1, 3:2, 2:3, 1:4 และ 0:5 ตามลำดับ ต่อแอมโมเนียความเข้มข้น 0.01% ถึง 10% โดยปริมาตร ..... | 126  |
| 6.18 ผลการตอบสนองของหัววัดก๊าซชนิดดีบุกออกไซด์-ทิทาเนียมออกไซด์ชุดที่ 2 ต่อแอมโมเนีย ความเข้มข้น 0.01% ถึง 10% โดยปริมาตร ที่อัตราส่วนผสม 5:0, 4:1, 3:2, 2:3, 1:4 และ 0:5 ตามลำดับ .....    | 126  |