ระบบตรวจวัดคุณภาพน้ำยางพาราแบบอัตโนมัติโดยใช้หัวตรวจวัดก๊าซและระบบโครงข่ายประสาท

นางสาวประทุมพร หินเธาว์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2543

ISBN 974-13-0281-9

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I 19969934

LATEX QUALITY AUTO-MEASURING SYSTEM USING GAS SENSORS AND NEURAL NETWORK

Miss Pratoomporn Hinthao

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering in Electrical Engineering

Department of Electrical Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2000

ISBN 974-13-0281-9

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ระบบตรวจวัดคุณภาพน้ำยางพาราแบบอัตโนมัติโดยใช้หัวตรวจวัดก๊าซและระบบโครงข่ายประสาท
โดย	นางสาว ประทุมพร หินเธาว์
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร.มานะ ศรียุทธศักดิ์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(ศาสตราจารย์ ดร.สมศักดิ์ ปัญญาแก้ว)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.ชุมพล อันตรเสน)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(รองศาสตราจารย์ ดร.มานะ ศรียุทธศักดิ์)

..... กรรมการ

(อาจารย์ ดร. อาภรณ์ ธีรมงคลรัศมี)

ประทุมพร หินเธาว์ : ระบบตรวจวัดคุณภาพน้ำยางพาราแบบอัตโนมัติโดยใช้หัวตรวจวัดก๊าซและระบบโครงข่ายประสาท. (LATEX QUALITY AUTO-MEASURING SYSTEM USING GAS SENSORS AND NEURAL NETWORKS) อ. ที่ปรึกษา : รศ.ดร.มานะ ศรียุทธศักดิ์, 90 หน้า. ISBN 974-13-0281-9.

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอการออกแบบและประดิษฐ์ระบบวัดก๊าซแบบอัตโนมัติที่ควบคุมการทำงานโดยคอมพิวเตอร์ และนำระบบดังกล่าวมาใช้ทดสอบน้ำยางพาราว่าเป็นน้ำยางพาราที่มาจากแหล่งใด ระบบวัดประกอบด้วยหัวตรวจวัดก๊าซชนิดสารกึ่งตัวนำดีบุกออกไซด์ (SnO_2) จำนวน 4 ตัวและสามารถเลือกวัดสารตัวอย่างได้ 5 ชนิดในการทดลองครั้งเดียวกัน ได้ใช้ก๊าซผสมของไนโตรเจนและออกซิเจนเป็นก๊าซพาห์ จากการทดลองหาเงื่อนไขสำหรับระบบวัดที่ได้ประดิษฐ์ขึ้นพบว่า อัตราการไหลของก๊าซพาห์ที่เหมาะสมคือ ไนโตรเจน 400 มิลลิลิตรต่อนาที และออกซิเจน 100 มิลลิลิตรต่อนาที โดยทำการเปิดวาล์วเป็นเวลา 15 วินาทีและปิดวาล์ว 240 วินาที และได้ทำการทดลองวัดน้ำยางพาราที่มาจาก 3 แหล่งคือ น้ำยางพารายี่ห้อ Juki น้ำยางพาราจากระยองและภูเก็ต ในการวิเคราะห์ได้นำค่าผลตอบสนองสูงสุดที่ได้จากหัวตรวจวัดก๊าซทั้งสี่ที่มีต่อน้ำยางพาราทั้งสามชนิดมาวิเคราะห์แหล่งที่มาของน้ำยางพาราด้วยระบบโครงข่ายประสาท (Neural networks) โดยใช้วิธีการเรียนรู้แบบ backpropagation และ radial basis ที่มีอินพุตจำนวน 4 โหนด และกำหนดเอาท์พุตจำนวน 2 โหนด ระบบโครงข่ายประสาทได้รับการสอนด้วยข้อมูล 15 ชุด และทำการทดสอบด้วยข้อมูลอีก 30 ชุดที่ไม่เคยเรียนรู้มาก่อน พบว่าวิธีการเรียนรู้แบบ backpropagation ให้ผลการวิเคราะห์ที่มีความถูกต้องสูงกว่าวิธีการเรียนรู้แบบ radial basis โดยสามารถวิเคราะห์แยกแหล่งที่มาของน้ำยางพารายี่ห้อ Juki ได้ถูกต้อง 80% น้ำยางพาราจากระยองได้ถูกต้อง 100% และน้ำยางพาราจากภูเก็ตได้ถูกต้อง 100% นอกจากนี้ยังได้ทำการศึกษาความเป็นไปได้ในการวิเคราะห์หาปริมาณส่วนประกอบต่างๆ ที่มีในน้ำยาง โดยใช้สมการเชิงเส้นทางคณิตศาสตร์ จากการศึกษาพบว่าระบบสามารถที่จะบอกปริมาณส่วนประกอบต่างๆ ได้ถูกต้องประมาณ 70%

ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

ปีการศึกษา 2543

4170689121 : MAJOR ELECTRICAL ENGINEERING

KEYWORD: Automatic-gas measuring system /Rubber latex / Gas sensors /Artificial neural network./Backpropagation /Radial Basis

PRATOOMPORN HINTHAO : LATEX QUALITY AUTO-MEASURING SYSTEM USING GAS SENSORS AND NEURAL NETWORK. THESIS ADVISER : ASSOC. PROF. MANA SRIYUDTHSAK, Dr. Eng., 90 pp. ISBN 974-13-0281-9.

This thesis presents a design and construction of an automatic-gas measuring system, which is controlled by a computer. The system consists of 4-semiconductor tin oxide (SnO_2) gas sensors. It could measure 5 samples in one experiment. Mixture of nitrogen and oxygen was used as carrier gas. Optimal flow rate of nitrogen and oxygen for this system were 400 and 100 ml/min respectively. The sample valves were opened for 15 seconds and closed for 240 seconds. The system was used to identify rubber latex. In this research, three types of rubber latex from JUKI, RAYONG and PHUKET have been distinguished. The peak value of the responses from 4 gas sensors to the three rubber latex were used to analyze using artificial neural networks with 4 input nodes and 2 output nodes. Backpropagation and radial basis algorithms were used to characterize the system. The neural networks were trained with 15 data sets and then tested with 30 unknown data sets. The results showed that the backpropagation algorithm could distinguish the source of latex better than the radial basis algorithm. The backpropagation algorithm could identify the source of JUKI latex, RAYONG latex and PHUKET latex with accuracy of 80, 100 and 100% respectively. Moreover, the feasibility study in qualitative analyze the latex ingredients have been also investigated using mathematical linear equation. It was found that the system could specify the quantity of the ingredients with accuracy of 70%.

Department Electrical Engineering Student's signature Pratoomporn Hinthao

Field of study Electrical Engineering Advisor's signature Mana Sriyudthsak

Academic year 2000

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ระดับปริญญามหาบัณฑิตเรื่องนี้ได้ทำการวิจัยที่ห้องปฏิบัติการวิจัยไบโออิเล็กทรอนิกส์ (BERL) ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ด้วยความช่วยเหลือทั้งด้านวิชาการและด้านปฏิบัติการจาก รศ.ดร.มานะ ศรียุทธศักดิ์ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

ขอบพระคุณ รศ.ดร.มานะ ศรียุทธศักดิ์ เป็นอย่างสูงสำหรับความกรุณาต่างๆ ที่มอบให้แก่ข้าพเจ้าตลอดระยะเวลาที่ได้ศึกษาอยู่ ณ ห้องปฏิบัติการวิจัยแห่งนี้ สิ่งที่ข้าพเจ้าได้รับเป็นสิ่งที่มีค่ายิ่งในการนำไปประกอบวิชาชีพและดำรงชีวิตในสังคมต่อไปในอนาคต

ขอบพระคุณ อ.ดร.อาภรณ์ ธีรมงคลรัศมี ที่ได้ให้ความช่วยเหลือในด้านต่างๆ เป็นอย่างดี รวมทั้งเอื้อเฟื้อตำราและคำแนะนำทั้งเชิงวิชาการและวิธีในการทำงาน

ขอบพระคุณ รศ.ดร.มานะ ศรียุทธศักดิ์, คณะวิศวกรรมศาสตร์ และบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้การสนับสนุนทุนการศึกษา

ขอบคุณเพื่อนๆ พี่ๆ และน้องๆ ร่วมห้องปฏิบัติการวิจัยทุกคนที่ให้คำแนะนำและกำลังใจเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

สุดท้ายนี้ ขอกราบขอบพระคุณบิดามารดา รวมทั้งน้องทั้งสองคน ซึ่งเป็นทุกสิ่งทุกอย่างที่ทำให้ข้าพเจ้าได้เดินทางมาถึง ณ จุดนี้ได้

สารบัญ

บทที่ หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ จ

กิตติกรรมประกาศ ฉ

สารบัญตาราง ญ

สารบัญภาพ ฏ

บทที่

1. บทนำ 1

    1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1

    1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย 4

    1.3 ขอบเขตของการวิจัย 4

    1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 4

2. หลักการและทฤษฎีพื้นฐาน 5

    2.1 หลักการทำงานของหัวตรวจวัดก๊าซ 5

    2.2 การเกิดออกซิเดชันที่ผิวสัมผัสของหัวตรวจวัดก๊าซ 5

    2.3 การเปลี่ยนแปลงความต้านทานของหัวตรวจวัดก๊าซ 6

    2.4 หลักการของระบบโครงข่ายประสาท 7

3. ระบบตรวจวัดก๊าซ 10

    3.1 ระบบนำพาก๊าซ 11

    3.2 ระบบวาล์วและวงจรควบคุม 11

    3.3 เซลล์วัดและหัวตรวจวัดก๊าซ 15

    3.4 วงจรวัดและวงจรขยาย 17

    3.5 โปรแกรมควบคุมการทำงานของระบบ 18

    3.6 สรุป 22

4. การทดลองและผลการทดลอง 24

บทที่ หน้า

4.1 การทดสอบระบบวัด 24

4.1.1 ความสม่ำเสมอในการนำพาก๊าซ 24

4.1.2 ผลของเซลล์วัดที่แตกต่างกันที่มีต่อผลตอบสนองของหัวตรวจวัดก๊าซ 25

4.1.3 ผลของการแพร่มารวมกันของไอของสารตัวอย่าง 29

4.2 การทดลองเพื่อหาเงื่อนไขที่เหมาะสมสำหรับระบบวัด 29

4.2.1 เวลาในการวัดสารตัวอย่าง 29

4.2.2 อัตราการไหลของก๊าซพาห์ 31

4.3 การทดลองเพื่อศึกษาผลตอบสนองของหัวตรวจวัดก๊าซ 35

4.3.1 ผลตอบสนองต่อน้ำยางพาราความเข้มข้นต่างๆ 35

4.3.2 ผลตอบสนองต่อสารละลายแอมโมเนียความเข้มข้นต่างๆ 37

4.3.3 ศึกษารูปแบบผลตอบสนองของน้ำยางพาราจากแหล่งต่างกัน 39

4.3.4 ศึกษาผลของแอมโมเนียในน้ำยางพาราที่มีต่อผลตอบสนองของหัวตรวจวัดก๊าซ 41

4.3.5 ศึกษารูปแบบผลตอบสนองต่อสารตัวอย่างหลายชนิด 47

4.3.6 ผลตอบสนองเมื่อกำหนดให้มีปริมาณแอมโมเนียคงที่ 50

4.4 สรุป 54

5. การวิเคราะห์น้ำยางพาราในเชิงคุณภาพและปริมาณ 55

5.1 การวิเคราะห์น้ำยางพาราเชิงคุณภาพ 55

5.1.1 วิเคราะห์น้ำยางพาราจากแหล่งที่แตกต่างกัน 2 แหล่ง 55

5.1.2 วิเคราะห์น้ำยางพาราจากแหล่งที่แตกต่างกัน 3 แหล่ง 58

5.1.3 การทดสอบความเสถียรภาพของระบบด้วยการวิเคราะห์ด้วยระบบโครงข่ายประสาท 64

5.2 การศึกษาความเป็นไปได้ในการวิเคราะห์น้ำยางพาราเชิงปริมาณ 69

5.3 สรุป 76

6. สรุป 77

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
รายการอ้างอิง	79
บรรณานุกรม	80
รายชื่อการเผยแพร่ผลงานวิจัย	81
ภาคผนวก	82
เอกสารที่เผยแพร่ในงานการประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 39 ณ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพ (7 กุมภาพันธ์ 2544) : วศ.37/o81	83
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์	90

สารบัญตาราง

ตาราง หน้า

1.1 ตัวอย่างส่วนประกอบของน้ำยางธรรมชาติ 2

3.1 ข้อมูลทั่วไปของวาล์วที่ใช้ในระบบ 13

3.2 ตารางความจริงของวงจรควบคุมวงจรสวิตช์รีเลย์ 14

3.3 ข้อมูลของหัวตรวจวัดก๊าซที่ใช้ในระบบ 16

3.4 คุณสมบัติทั่วไปของวงจรแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นดิจิตอล (A/D converter) 20

3.5 หน้าที่ของรีจิสเตอร์ต่างๆ ที่จำเป็นในการควบคุมการทำงานของวงจรแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นดิจิตอลด้วยโปรแกรม 22

4.1 ค่าเฉลี่ยผลตอบสนองสูงสุดของน้ำยางพารายี่ห้อ Juki ในแต่ละช่องเพื่อทดสอบความสม่ำเสมอในการนำพาก๊าซ 25

4.2 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยผลตอบสนองสูงสุดของสารตัวอย่างในแต่ละช่องเมื่อทดลองวัดด้วยเซลล์วัดแบบที่ 1 และแบบที่ 2 27

4.3 ปริมาณของส่วนผสมในน้ำยางพาราความเข้มข้น 50%,60%,70%,80% และ 90% 35

4.4 ปริมาณของส่วนผสมในสารละลายแอมโมเนียความเข้มข้น 1.56%, 3.12%, 6.25%, 12.5% และ 25% 37

4.5 ปริมาณของส่วนผสมในสารละลายแอมโมเนียความเข้มข้น 0.1%, 0.3%, 0.5%, 0.7% และ 0.9% 39

4.6 ปริมาณของส่วนผสมน้ำยางพาราจากภูเก็ตที่เติมแอมโมเนียเพิ่มอีก 1%,2%,3% และ 4% ตามลำดับ 44

4.7 ปริมาณของส่วนผสมน้ำยางพาราจากภูเก็ตที่เติมแอมโมเนียเพิ่มอีก 5%,10%,15% และ 20% ตามลำดับ 44

4.8 ปริมาณส่วนประกอบของสารตัวอย่างแต่ละชนิด 47

4.9 ปริมาณส่วนประกอบทางทฤษฎีที่มีในสารตัวอย่างแต่ละชนิด 48

4.10 ปริมาณของส่วนผสมในสารตัวอย่างที่กำหนดให้ปริมาณแอมโมเนียคงที่ 5% 52

4.11 ปริมาณทางทฤษฎีของส่วนผสมที่มีอยู่ในสารตัวอย่างที่กำหนดปริมาณแอมโมเนียคงที่ 5% 52

ตาราง หน้า

5.1 ค่าของตัวแปรต่างๆ ที่กำหนดให้กับวิธีการเรียนรู้แบบ backpropagation 56

5.2 (ก) ผลการวิเคราะห์น้ำยางพาราจากระยองและภูเก็ตเมื่อทดสอบด้วยข้อมูล 10 ชุดหลัง ด้วยวิธีการเรียนรู้แบบ Backpropagation 58

5.2 (ข) ผลการวิเคราะห์น้ำยางพาราจากระยองและภูเก็ตเมื่อทดสอบด้วยข้อมูล 10 ชุดหลัง ด้วยวิธีการเรียนรู้แบบ Radial Basis 58

5.3 (ก) ผลการวิเคราะห์น้ำยางพารายี่ห้อ Juki น้ำยางพาราจากระยอง และน้ำยางพาราจากภูเก็ตเมื่อทดสอบด้วยข้อมูล 10 ชุดหลัง ด้วยวิธีการเรียนรู้แบบ Backpropagation 62

5.3 (ข) ผลการวิเคราะห์น้ำยางพารายี่ห้อ Juki น้ำยางพาราจากระยอง และน้ำยางพาราจากภูเก็ตเมื่อทดสอบด้วยข้อมูล 10 ชุดหลัง ด้วยวิธีการเรียนรู้แบบ Radial Basis 62

5.4 ผลการวิเคราะห์แยกแหล่งที่มาของน้ำยางพาราจากสามแหล่งด้วยระบบโครงข่ายประสาทเพื่อทดสอบความมีเสถียรภาพของระบบ 69

5.5(ก) ผลการคำนวณหาปริมาณของส่วนประกอบในน้ำยางพารา เมื่อนำค่าเมตริกซ์ A_1 ไปทดสอบข้อมูลของการทดลองชุดเดียวกัน 73

5.5(ข) ผลการคำนวณหาปริมาณของส่วนประกอบในน้ำยางพารา เมื่อนำค่าเมตริกซ์ A_1 ไปทดสอบข้อมูลของการทดลองชุดที่ 2 74

5.5(ค) ผลการคำนวณหาปริมาณของส่วนประกอบในน้ำยางพารา เมื่อนำค่าเมตริกซ์ A_1 ไปทดสอบข้อมูลของการทดลองชุดที่ 3 75

สารบัญภาพ

ภาพประกอบ หน้า

2.1 ขนาดของกำแพงพลังงานศักย์ที่ขอบเกรนของ SnO_{2-x} 6

2.2 โครงสร้างของนิวรอล 1 อินพุต 7

2.3 โครงสร้างของนิวรอลที่มีค่าอินพุตหลายค่า 7

2.4 ฟังก์ชันถ่ายโอน logsigmoid 8

2.5 ระบบโครงข่ายประสาท 3 เลเยอร์ 9

3.1 แผนผังของระบบวัด 10

3.2 ระบบวาล์ว 12

3.3 วงจรควบคุมการเปิดปิดวาล์ว 14

3.4 เซลล์วัดและลักษณะการวางหัวตรวจวัดก๊าซ 15

3.5 หัวตรวจวัดก๊าซดีบุกออกไซด์ (SnO_2) รุ่น TGS813 ของบริษัท Figaro Engineering 16

3.6 วงจรวัด 17

3.7 วงจรขยาย 18

3.8 หน้าจอแผงควบคุม (Control panel) ระบบ 18

3.9 ลำดับการแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิตอล 21

4.1 ตัวจ่าย (Distributor) 24

4.2 ผลตอบสนองของหัวตรวจวัดก๊าซเพื่อทดสอบความสม่ำเสมอในการนำพาก๊าซของแต่ละช่อง 26

4.3 เซลล์วัดแบบที่ 2 : มีช่องระบาย 5 ช่อง 27

4.4 ผลตอบสนองของหัวตรวจวัดก๊าซ TGS800 เมื่อใช้เซลล์วัดแบบที่ 1 และแบบที่ 2 28

4.5 ผลตอบสนองของหัวตรวจวัดก๊าซเพื่อทดสอบการแพร่มารวมกันของไอของสารตัวอย่าง 30

4.6 ผลตอบสนองของหัวตรวจวัดก๊าซ TGS822 เมื่อเปิดวาล์วเป็นเวลา 15, 30 และ 45 วินาที ปิดวาล์วเป็นเวลา 240 วินาที 32

4.7 ผลตอบสนองของหัวตรวจวัดก๊าซ TGS822 เมื่อเปิดวาล์วเป็นเวลา 15 วินาที ปิดวาล์วเป็นเวลา 180, 240 และ 300 วินาที 33

4.8 ผลตอบสนองของหัวตรวจวัดก๊าซ TGS822 ที่อัตราการไหลของก๊าซพาห์แตกต่างกัน 34

4.9 ผลตอบสนองของหัวตรวจวัดก๊าซต่อน้ำยางพารายี่ห้อ JUKI ความเข้มข้นต่างๆ 36

ภาพประกอบ หน้า

4.10 ผลตอบสนองของหัวตรวจวัดก๊าซต่อแอมโมเนียความเข้มข้น 1.5625, 3.125, 6.25, 12.5 และ 25% โดยปริมาตร 38
4.11 ผลตอบสนองของหัวตรวจวัดต่อแอมโมเนียความเข้มข้น 0.1, 0.3, 0.5, 0.7 และ 0.9% โดยปริมาตร 40
4.12 ผลตอบสนองของหัวตรวจวัดก๊าซ TGS800 ที่มีต่อน้ำยางพาราจากแหล่งต่างๆ (วงจรวัดใช้ R5k) 42
4.13 รูปแบบผลตอบสนองของหัวตรวจวัดก๊าซต่อน้ำยางพาราจาก 3 แหล่ง (วงจรวัดใช้ R 5k) .. 43
4.14 ผลตอบสนองของหัวตรวจวัดก๊าซต่อน้ำยางพาราจากภูเก็ตที่เติมแอมโมเนียเพิ่มอีก 1%, 2%, 3% และ 4% ตามลำดับ 45
4.15 ผลตอบสนองของหัวตรวจวัดก๊าซต่อน้ำยางพาราจากภูเก็ตที่เติมแอมโมเนียเพิ่มอีก 5%, 10%, 15% และ 20% ตามลำดับ 46
4.16 ผลตอบสนองของหัวตรวจวัดก๊าซที่มีต่อสารตัวอย่างชนิดต่างๆ 49
4.17 ผลตอบสนองของหัวตรวจวัดก๊าซที่มีต่อน้ำยางพาราที่กำหนดให้มีปริมาณแอมโมเนียคงที่ 5% โดยปริมาตร 53

5.1 ผลตอบสนองของหัวตรวจวัดก๊าซที่มีต่อ (1) น้ำยางพาราจากระยอง (2) น้ำปราศจากอิออน (3) น้ำยางพาราจากภูเก็ต (4) สารละลายแอมโมเนียเข้มข้น 0.5% โดยปริมาตร และ (5) สารละลายแอมโมเนียเข้มข้น 1.0% โดยปริมาตร 57
5.2 ผลการวิเคราะห์ด้วยระบบโครงข่ายประสาทเพื่อแยกแหล่งที่มาของน้ำยางพาราจากระยองและภูเก็ต 59
5.3 ผลตอบสนองของหัวตรวจวัดก๊าซที่มีต่อ (1) น้ำยางพารายี่ห้อ JUKI (2) น้ำปราศจากอิออน (3) น้ำยางพาราจากระยอง (4) น้ำยางพาราจากภูเก็ต และ (5) สารละลายแอมโมเนียเข้มข้น 5.0% โดยปริมาตร 61
5.4 ผลการวิเคราะห์ด้วยระบบโครงข่ายประสาทเพื่อแยกแหล่งที่มาของน้ำยางพารายี่ห้อ Juki น้ำยางพาราจากระยอง และน้ำยางพาราจากภูเก็ต 63
5.5 ผลตอบสนองของหัวตรวจวัดก๊าซ TGS800 ต่อน้ำยางพาราแหล่งต่างๆ 65
5.6 รูปแบบผลตอบสนองต่อน้ำยางพาราจากสามแหล่ง ณ วินาทีที่ 10 (Rise time) 66
5.7 รูปแบบผลตอบสนองต่อน้ำยางพาราจากสามแหล่งที่ค่าผลตอบสนองสูงสุด 67
5.8 รูปแบบผลตอบสนองต่อน้ำยางพาราจากสามแหล่ง ณ วินาทีที่ 150 (Fall time) 68