

การประเมินค่าเลขออกเทนด้วยวิธีการวัดปรากฏการณ์เซอร์เฟซพลาสมอนเรโซแนนซ์



นางสาวณิชา ตำนวนรินทร์

สถาบันวิทยบริการ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า


คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2548

ISBN 974-17-4951-1

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

EVALUATION OF OCTANE NUMBER BY SURFACE PLASMON RESONANCE
PHENOMENON



Miss Nicha Danvoranan

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

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

Department of Electrical Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2005

ISBN 974-17-4951-1


หัวข้อวิทยานิพนธ์ การประเมินค่าเลขออกเทนด้วยวิธีการวัดปรากฏการณ์เซอร์เฟส
 พลาสมอนเรโซแนนซ์

โดย นางสาวณิชา ตำนวรนันท์

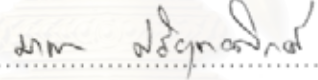
สาขาวิชา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อาภรณ์ ชีรมงคลศรีมี

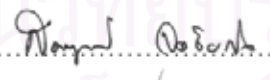
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้
เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

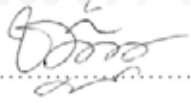

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร. ดิเรก ลาวัณย์ศิริ)

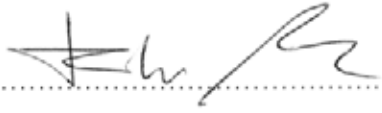
คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. มานะ ศรียุทธศักดิ์)


..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อาภรณ์ ชีรมงคลศรีมี)


..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร. สมบูรณ์ จงชัยกิจ)


..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร. ชนินทร์ วิตวินธานนท์)


..... กรรมการ
(ดร. บุญส่ง สุตะพันธ์)

ณิชา ตำนวนรินทร์ : การประเมินค่าเลขออกเทนด้วยวิธีการวัดปรากฏการณ์เซอร์เฟซพลาสมอนเรโซแนนซ์ (EVALUATION OF OCTANE NUMBER BY SURFACE PLASMON RESONANCE PHENOMENON) อาจารย์ที่ปรึกษา : ผศ.ดร.อาภรณ์ อีรัมย์คลรัศมี, 96 หน้า. ISBN 974-17-4951-1.

การออกแบบและประดิษฐ์เครื่องวัดปรากฏการณ์เซอร์เฟซพลาสมอนเรโซแนนซ์ที่มีระบบวัดแบบสแกนมุมและมีรูปแบบเครื่องมือเครื่อทขมานเพื่อประเมินค่าเลขออกเทนของน้ำมันเชื้อเพลิง โดยน้ำมันเชื้อเพลิงที่นำมาทดสอบเตรียมจากการผสมระหว่างนอร์มอลเฮปเทนและไอโซออกเทน ระบบวัดปรากฏการณ์เซอร์เฟซพลาสมอนเรโซแนนซ์ที่พัฒนาขึ้น ประกอบด้วย 2 ส่วนหลัก คือ ส่วนฮาร์ดแวร์และส่วนซอฟต์แวร์ ส่วนฮาร์ดแวร์ประกอบด้วยระบบหลัก 4 ระบบ คือ ระบบทางแสง ระบบหมุนฐานวางปริซึมและตัวตรวจหา ระบบเก็บข้อมูลและประมวลผลสัญญาณ และชุดควบคุมการไหลสาร ในส่วนซอฟต์แวร์ได้พัฒนาขึ้นเองบนพื้นฐานภาษาลัญลักษณ์ของโปรแกรม LabView 7.0 สามารถแบ่งการทำงานของโปรแกรมออกเป็น 3 ส่วนคือ ส่วนควบคุมระบบหมุนฐานวางปริซึมและตัวตรวจหา ส่วนประมวลผลสัญญาณ และส่วนของการแสดงผล ผลการทดสอบความสามารถของระบบวัดที่พัฒนาขึ้นแสดงให้เห็นว่า เมื่อทำการวัดโดยใช้สารละลายน้ำตาลพบว่า ที่ความยาวคลื่นแสง 950 นาโนเมตร ระบบมีความสามารถให้ค่าการแยกชัดที่เทียบเป็นดัชนีหักเห 2.7×10^{-5} ต่อค่าดัชนีหักเห 1 หน่วย (RIU) และค่าความไว 99.4 องศา ต่อ RIU และที่ความยาวคลื่นแสง 900 นาโนเมตร ให้ค่าการแยกชัด 3.0×10^{-5} RIU และค่าความไว 97.3 องศา ต่อ RIU ส่วนผลการทดลองวัดเลขออกเทน ของน้ำมันเชื้อเพลิงในช่วง 0 – 100 พบว่า การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิเนื่องจากอุณหภูมิห้องและการถ่ายเทความร้อนมีผลมากต่อการวัดค่ามุมเรโซแนนซ์ของน้ำมันเชื้อเพลิง ระบบวัดที่พัฒนาขึ้นสามารถแยกแยะน้ำมันเชื้อเพลิงที่มีเลขออกเทนในช่วง 91 – 100 ได้ โดยที่ความยาวคลื่นแสง 900 นาโนเมตร ได้ค่าความไว 0.0046 องศา ต่อ เลขออกเทน หรือสามารถคิดเป็นการเปลี่ยนแปลงมุม 120 องศาต่อ RIU และได้ค่าการแยกชัดอยู่ที่ 3.0×10^{-5} RIU หรือสามารถแยกแยะเลขออกเทนได้ 0.6 หน่วย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า.....

ลายมือชื่อนิสิต ณิชา ตำนวนรินทร์

สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร. อีรัมย์คลรัศมี

ปีการศึกษา.....2548.....

4570716821 : MAJOR ELECTRICAL ENGINEERING

KEY WORD : SURFACE PLASMON RESONANCE / OCTANE NUMBER / ISOCTANE /

N-HEPTANE

NICHA DANVORANAN : EVALUATION OF OCTANE NUMBER BY SURFACE

PLASMON RESONANCE PHENOMENON. THESIS ADVISOR : ASSISTANT PROF.

ARPORN TEERAMONGKONRASMEE, Ph. D., 96 pp. ISBN 974-17-4951-1.

A surface plasma resonance system (SPR) with Kretschmann configuration has been designed and constructed to evaluate octane number of gasoline. The gasoline samples with various octane number (O.N.) have been prepared from the mixtures of n-heptane and isooctane. The developed SPR system can be divided into 2 main parts; hardware and software. The hardware consists of 4 main parts: which are optical system, mechanical rotating system, data acquisition system and flow-control system. The interface software has been developed using graphical-based LabView7.0. The developed software consists of 3 main parts: motor control unit, data acquisition and analysis unit and user interface unit. Firstly, the performance of the SPR system was tested using glucose solutions. The experimental results showed that at the wavelength 950 nm, the system gave the resolution in refractive index unit (RIU) 2.7×10^{-5} refractive index unit and the sensitivity of 99.4° per RIU. At the wavelength 900 nm, the system gave the resolution of 3.0×10^{-5} RIU and the sensitivity of 97.3° per RIU. To evaluate O.N., the system was tested with synthesised gasoline with O.N. ranging from 0 to 100. It was found that the temperature change due to ambient temperature and heat transfer had a very strong effect on the measurement of the SPR angle of the tested gasoline. The SPR system has the ability to quantify the gasoline within the range of 91 – 100 at the wavelength of 900 nm, the system shows the sensitivity of 0.0046° per O.N. or equivalent to the angular change of 120° per RIU and the resolution 3.0×10^{-5} RIU or 0.6 in O.N. unit.

Department.....Electrical Engineering....

Student's signature Nicha Danvoranan

Field of study..Electrical Engineering....

Advisor's signature Arporn Teeramongkonrasmee

Academic year.....2005.....

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ ผศ. ดร. อามรณ์ อีรมงคลศรี สำหรับความช่วยเหลือในทุก ๆ ด้าน รวมทั้งให้คำปรึกษาแนะนำที่มีประโยชน์ตลอดระยะเวลาของการทำวิทยานิพนธ์เป็นอย่างดีเยี่ยม

ขอขอบคุณ คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ดังนี้ รศ. ดร. มานะ ศรียุทธศักดิ์ อ. ดร. สมบูรณ์ จงชัยกิจ อ. ดร. ชรินทร์ วิศวินธานนท์ ดร.บุญส่ง สุตะพันธ์ และ ผศ. ดร. อามรณ์ อีรมงคลศรี ที่กรุณาใช้เวลาอันมีค่าในการเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์และให้คำแนะนำที่มีค่ายิ่ง

ขอขอบคุณ ดร.บุญส่ง สุตะพันธ์ คุณอาโมทย์ สมบูรณ์แก้ว คุณรัฐศาสตร์ อัมฤทธิ คุณสถาพร จันท์หอม คุณจริยาณี ประสงค์ชัยกิจ และบุคลากรสังกัดงานวิจัยอิเล็กทรอนิกส์ ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติทุกท่านที่ช่วยสนับสนุนและให้คำปรึกษาแนะนำและช่วยเหลือในการทำวิทยานิพนธ์เป็นอย่างดี

ขอขอบคุณ รศ. ดร. วิบูลย์ แสงวีระพันธุ์ศิริ คุณทวี งามวิไล คุณกรรมมันต์ ชูประเสริฐ จากภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่เสียสละเวลาสำหรับการให้คำปรึกษาและความช่วยเหลือในเรื่องการออกแบบและความร่วมมือในด้านการออกแบบและทำชิ้นงานวิทยานิพนธ์

ขอขอบคุณ คณาจารย์ นิสิต และบุคลากรของห้องปฏิบัติการไบโออิเล็กทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยทุกท่านที่ช่วยสนับสนุนและให้ความช่วยเหลือเป็นอย่างดี

ขอขอบคุณ พี่ ๆ เพื่อน ๆ ทั้งในสถาบัน นอกสถาบัน และภาคเอกชน ที่ให้คำแนะนำและช่วยเหลือในการทำวิจัยครั้งนี้

ท้ายที่สุดนี้ ข้าพเจ้าขอขอบคุณ คุณแม่ และญาติพี่น้องทุกคน ที่ช่วยเหลือ ให้กำลังใจ และคอยสนับสนุนทั้งร่างกายแรงใจให้แก่ข้าพเจ้าตลอดมา

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดีด้วยความช่วยเหลือและสนับสนุนจากทุกท่านดังกล่าวข้างต้น ตลอดจนบุคคลที่ข้าพเจ้าไม่ได้กล่าวถึงในที่นี้ ขอขอบคุณไว้ ณ โอกาสนี้ด้วย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง	ฌ
สารบัญภาพ	ญ

บทที่

1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	3
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	3
1.4 ขั้นตอนในการดำเนินงาน.....	3
1.5 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย.....	4
2 หลักการและทฤษฎีพื้นฐาน.....	5
2.1 เลขออกเทน.....	5
2.2 ปฏิกิริยาการเกิดไฮดรอกซีเพนทิลแอลกอฮอล์.....	6
2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างมุมไฮดรอกซีเพนทิลแอลกอฮอล์กับเลขออกเทน	21
3 โครงสร้างระบบวัดปฏิกิริยาการเกิดไฮดรอกซีเพนทิลแอลกอฮอล์	25
3.1 ระบบทางแสง	27
3.2 ระบบหมุนฐานวางปริซึมและตัวตรวจหา	33
3.3 ระบบควบคุมการไหลสาร	42
3.4 ระบบเก็บข้อมูล	47
4 ซอฟต์แวร์และการประมวลผลสัญญาณ	49
4.1 ส่วนควบคุมการทำงานของมอเตอร์	50
4.2 ส่วนประมวลผล	55
4.3 ส่วนการแสดงผล	61

บทที่	หน้า
5 การทดลองและการวิเคราะห์ผล	65
5.1 การทดสอบความสามารถของระบบวัด	65
5.2 การทดลองวัดเลขออกเทนของน้ำมันเชื้อเพลิงอ้างอิงปฐมภูมิด้วยปรากฏการณ์ เซอร์เฟซพลาสมอนเรโซแนนซ์	72
6 สรุปผลและข้อเสนอแนะ	90
6.1 สรุปผล.....	90
6.2 ปัญหาและข้อเสนอแนะ.....	91
รายการอ้างอิง.....	93
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	96



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
ตารางที่ 2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างเลขออกเทนกับค่าดัชนีหักเหเมื่อวัดที่อุณหภูมิ 21 และ 25 องศาเซลเซียส ที่ความยาวคลื่นแสง 589.3 นาโนเมตร.....	19
ตารางที่ 5.1 ตารางความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีหักเหของสารละลายน้ำตาลกับความเข้มข้นโดยน้ำหนักในช่วงอุณหภูมิ 25.6 – 26 องศาเซลเซียส	66
ตารางที่ 5.2 ความสัมพันธ์ระหว่างเลขออกเทนกับสัดส่วนโดยปริมาตรของนอร์มอล เฮปเทนและไอโซออกเทนที่ใช้ในการทดลอง.....	73
ตารางที่ 5.3 ค่าดัชนีหักเหของปริซึม BK-7 และฟิล์มทอง ที่ความยาวคลื่นแสง 900 และ 950 นาโนเมตร	74
ตารางที่ 5.4 ผลการจำลองค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ความยาวคลื่นแสง 900 และ 950 นาโนเมตร.....	77



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

ภาพประกอบ	หน้า
รูปที่ 2.1 การสั้นของกลุ่มอิเล็กตรอน	7
รูปที่ 2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กของเซอร์เฟซพลาสมอน	8
รูปที่ 2.3 เวกเตอร์คลื่นเซอร์เฟซพลาสมอนบนผิวรอยต่อระหว่างโลหะกับตัวกลางไดอิเล็กทริก.....	8
รูปที่ 2.4 สนามไฟฟ้าทั้งแกน x และ z ของคลื่นเซอร์เฟซพลาสมอนที่ผิวรอยต่อระหว่างโลหะและ ตัวกลางไดอิเล็กทริกมีค่าลดลงตามระยะทางการเคลื่อนที่.....	11
รูปที่ 2.5 รูปแบบวิธีการกระตุ้น (ก) grating coupler (ข) ATR coupler	13
รูปที่ 2.6 เวกเตอร์คลื่นโพตอนของแสงที่เดินทางในปริซึม	13
รูปที่ 2.7 การเกิดคลื่นจางหายภายใต้ปรากฏการณ์สะท้อนกลับหมด	14
รูปที่ 2.8 การกระตุ้นเซอร์เฟซพลาสมอนด้วยวิธี ATR coupler (ก) รูปแบบเครื่องมืออัตโนมัติ และ (ข) รูปแบบเครื่องมือเครทชมาน	15
รูปที่ 2.9 การเกิดคลื่นจางหายภายใต้ปรากฏการณ์สะท้อนกลับหมดในรูปแบบเครื่องมือ เครทชมาน.....	16
รูปที่ 2.10 รูปแบบเครื่องมือเครทชมาน	17
รูปที่ 2.11 ผลการจำลองเส้นโค้งปรากฏการณ์เซอร์เฟซพลาสมอนเรโซแนนซ์	18
รูปที่ 2.12 ผลการจำลองการเปลี่ยนรูปร่างเส้นโค้งปรากฏการณ์เซอร์เฟซพลาสมอน เรโซแนนซ์ของอากาศ ที่ความยาวคลื่นแสง 633, 670, 900 และ 950 นาโนเมตร	20
รูปที่ 2.13 ผลการจำลองผลกระทบความหนาชั้นทองต่อเส้นโค้งปรากฏการณ์เซอร์เฟซ พลาสมอนเรโซแนนซ์ของอากาศ	21
รูปที่ 2.14 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีหักเหประสิทธิผลกับเลขออกเทนของน้ำมัน	22
รูปที่ 2.15 ผลการจำลองเส้นโค้งปรากฏการณ์เซอร์เฟซพลาสมอนเรโซแนนซ์ของนอร์มอล เฮปแทนและไอโซออกเทน ที่ความยาวคลื่นแสง 670, 900 และ 950 นาโนเมตร.....	23
รูปที่ 2.16 ผลการจำลองความสัมพันธ์ระหว่างมุมเรโซแนนซ์กับเลขออกเทนของน้ำมัน เชื้อเพลิงที่ความยาวคลื่นแสง 670, 900 และ 950 นาโนเมตร	23
รูปที่ 2.17 ผลการจำลองการเปลี่ยนแปลงมุมเรโซแนนซ์กับเลขออกเทนของน้ำมันเชื้อเพลิง ที่ความยาวคลื่นแสง 670, 900 และ 950 นาโนเมตร	24
รูปที่ 3.1 แผนภาพแสดงลำดับขั้นตอนโครงสร้างระบบวัดส่วนฮาร์ดแวร์	26
รูปที่ 3.2 โครงสร้างส่วนฮาร์ดแวร์ของระบบทางแสงในภาคส่ง	27
รูปที่ 3.3 อุปกรณ์ในระบบทางแสงส่วนภาคส่ง ก่อนเข้าเส้นใยนำแสง	28

รูปที่ 3.4 อุปกรณ์ในระบบทางแสงในภาคส่ง หลังออกจากเส้นใยนำแสง	28
รูปที่ 3.5 โครงสร้างชุดปริซึมและกระจกสไลด์ เมื่อแสดง (ก) ด้านบน และ (ข) ด้านข้าง	29
รูปที่ 3.6 สเปกตรัมการส่งผ่านทางแสงของตัวกรองความยาวคลื่นแสง (ก) 900 นาโนเมตร และ (ข) 950 นาโนเมตร	30
รูปที่ 3.7 ซิลิกอนโฟโตไดโอด	31
รูปที่ 3.8 ผลการตอบสนองของทางความยาวคลื่นแสงของตัวตรวจหา	31
รูปที่ 3.9 วงจรแปลงกระแสเป็นแรงดันกับบัพเพอร์	32
รูปที่ 3.10 อุปกรณ์ในระบบทางแสงในส่วนภาครับ	32
รูปที่ 3.11 การออกแบบโครงสร้างฐานวางปริซึมและตัวตรวจหา	34
รูปที่ 3.12 เซอร์โวมอเตอร์รุ่น M-061.PD	34
รูปที่ 3.13 การออกแบบอุปกรณ์จับยึดปริซึม เมื่อแสดง (ก) ด้านข้าง และ (ข) ด้านหน้า.....	35
รูปที่ 3.14 โครงสร้างอุปกรณ์บนฐานหมุนปริซึม	35
รูปที่ 3.15 โครงสร้างระบบหมุนฐานวางปริซึมและตัวตรวจหา	36
รูปที่ 3.16 เส้นทางเดินของแสงเมื่อวิ่งเข้าสู่ปริซึม	37
รูปที่ 3.17 ผลการจำลองความสัมพันธ์ระหว่างมุมมอเตอร์กับมุมตกกระทบ	37
รูปที่ 3.18 ผลการจำลองความสัมพันธ์ระหว่างระยะเลี้ยวของตำแหน่งแสงตกกระทบบน ผิวทอ กับมุมตกกระทบ	39
รูปที่ 3.19 การสะท้อนกลับของปริซึมสามเหลี่ยม	40
รูปที่ 3.20 เส้นโค้งปรากฏการณ์เซอร์เฟซพลาสมอนเรโซแนนซ์เมื่อขีดเซยด้วยเส้นโค้ง ปรากฏการณ์สะท้อนกลับหมด.....	42
รูปที่ 3.21 โครงสร้างระบบควบคุมการไหลสาร	43
รูปที่ 3.22 บีมเพอริสตัดติก	43
รูปที่ 3.23 ลักษณะโพล์เซลล์	44
รูปที่ 3.24 โครงสร้างตัวประกบโพล์เซลล์ แสดง (ก) ด้านหน้า (ข) ด้านข้าง และ (ค) ด้านบน ตามลำดับ	45
รูปที่ 3.25 โครงสร้างชุดควบคุมอุณหภูมิของตัวประกบปิดโพล์เซลล์	46
รูปที่ 3.26 โครงสร้างชุดควบคุมอุณหภูมิสำหรับหลอดไส้สารทดลอง	46
รูปที่ 3.27 โครงสร้างของระบบเก็บข้อมูล	47

รูปที่ 3.28 แผนภาพแสดงลำดับขั้นตอนล็อกอินแอมพลิไฟเออร์	48
รูปที่ 4.1 โครงสร้างทางซอฟต์แวร์	49
รูปที่ 4.2 ฝั่งงานของโปรแกรมหลัก	50
รูปที่ 4.3 ฝั่งงานของการสแกนแบบหยาบ	52
รูปที่ 4.4 ตำแหน่งจุดหุบเขาหรือมุมเรโซแนนซ์ของการสแกนแบบหยาบ	53
รูปที่ 4.5 ฝั่งงานการสแกนแบบละเอียด	54
รูปที่ 4.6 การกำหนดช่วงการสแกนละเอียด	55
รูปที่ 4.7 ฝั่งงานโปรแกรมส่วนประมวลผลการสแกนแบบหยาบ	56
รูปที่ 4.8 การหาตำแหน่งมุมเรโซแนนซ์ของการสแกนแบบหยาบการปรับเส้นโค้งด้วยสมการ พหุนามอันดับที่ 2	58
รูปที่ 4.9 ขั้นตอนการประมาณค่าในช่วงเพื่อหามุมเรโซแนนซ์ของการสแกนแบบหยาบ.....	58
รูปที่ 4.10 ฝั่งงานโปรแกรมส่วนประมวลผลการสแกนแบบละเอียด	60
รูปที่ 4.11 วิธีการหามุมเรโซแนนซ์ของการสแกนแบบละเอียดแบบการปรับเส้นโค้งด้วย สมการพหุนามอันดับที่ 4	60
รูปที่ 4.12 ภาพหน้าต่างการใช้งานสำหรับการตั้งค่า (setting).....	62
รูปที่ 4.13 ภาพหน้าต่างการใช้งานหลักสำหรับการสแกน	63
รูปที่ 4.14 ภาพหน้าต่างการใช้งานสำหรับดูผลกราฟของการสแกน	64
รูปที่ 5.1 เส้นโค้งปรากฏการณ์เซอร์เฟซพลาสมอนเรโซแนนซ์ของน้ำปราศจากไอออน (ก) สแกนมุมในช่วงกว้างด้วยความละเอียด 0.050 องศา (ข) ส่วนขยายรอบ ๆ จุด เรโซแนนซ์ สแกนด้วยความละเอียด 0.010 และ 0.001 องศา	67
รูปที่ 5.2 การเปลี่ยนแปลงมุมเรโซแนนซ์ของสารละลายน้ำตาลจากความเข้มข้น ร้อยละ 0 เป็น 0.2 โดยน้ำหนัก	69
รูปที่ 5.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงมุมเรโซแนนซ์และค่าดัชนีหักเห กับความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาล	71
รูปที่ 5.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีหักเหกับเลขออกเทน	75
รูปที่ 5.5 ผลการจำลองการเปลี่ยนแปลงมุมเรโซแนนซ์กับการเปลี่ยนแปลงค่าดัชนีหักเห ที่ความยาวคลื่นแสง 900 และ 950 นาโนเมตร	76

รูปที่ 5.6 เส้นโค้งปรากฏการณ์เซอร์เฟซพลาสมอนเรโซแนนซ์ เมื่อวัดกับเอทิลแอลกอฮอล์ และน้ำมันเชื้อเพลิงช่วงเลขออกเทน 0 – 100 ตามลำดับ	79
รูปที่ 5.7 การเปลี่ยนแปลงมุมเรโซแนนซ์ของน้ำมันเชื้อเพลิงที่เลขออกเทนต่าง ๆ เมื่อเทียบกับเวลา	79
รูปที่ 5.8 ตัวอย่างของการบวมและบิดเบี้ยวของแผ่นซิลิโคนหลังจากที่ได้นำไปแช่ใน นอร์มอลเฮปเทนและไอโซออกเทน.....	80
รูปที่ 5.9 ความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงมุมเรโซแนนซ์กับเลขออกเทนที่วัดได้จาก ระบบวัดเมื่อโฟลว์เซลล์ใช้แผ่นซิลิโคนเป็นวัสดุ	81
รูปที่ 5.10 เส้นโค้งปรากฏการณ์เซอร์เฟซพลาสมอนเรโซแนนซ์ของเอทิลแอลกอฮอล์และ น้ำมันเชื้อเพลิงที่มีเลขออกเทนค่าต่าง ๆ	82
รูปที่ 5.11 การเปลี่ยนแปลงมุมเรโซแนนซ์ที่มีเลขออกเทนต่าง ๆ กันและอุณหภูมิของ โฟลว์เซลล์เทียบกับเวลา	83
รูปที่ 5.12 ความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงมุมเรโซแนนซ์กับเลขออกเทนเมื่อคำนวณ เพื่อชดเชยผลของอุณหภูมิ	84
รูปที่ 5.13 การเปลี่ยนแปลงมุมเรโซแนนซ์ที่เลขออกเทนต่าง ๆ โดยเทียบกับเวลา	85
รูปที่ 5.14 การแกว่งของมุมเรโซแนนซ์เมื่อวัดกับน้ำมันเชื้อเพลิงเลขออกเทน 0	86
รูปที่ 5.15 ความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงมุมเรโซแนนซ์กับเลขออกเทนเมื่อคำนวณ เพื่อชดเชยผลของอุณหภูมิ	86
รูปที่ 5.16 การเปลี่ยนแปลงมุมเรโซแนนซ์ของน้ำมันเชื้อเพลิงเลขออกเทน 95 และ 97	87
รูปที่ 5.17 ผลการทดลองสภาวะการทำซ้ำของระบบวัด.....	88

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การดำเนินชีวิตของมนุษย์ในอดีตจนถึงปัจจุบัน จำเป็นต้องใช้พลังงานในการขับเคลื่อนพลังงานที่ใช้ในยุคแรก ๆ ได้แก่ พลังงานจากแรงงานมนุษย์และสัตว์ ต่อมาได้นำเอาพลังงานที่ได้จากธรรมชาติ อาทิ พลังงานลม พลังงานน้ำ และพลังงานที่ได้จากการเผาไหม้ของฟืนและถ่านหินมาใช้เพื่อขับเคลื่อนเครื่องจักรเครื่องยนต์ให้ทำงานอย่างมีประสิทธิภาพสูงขึ้น เพื่อพัฒนาชีวิตความเป็นอยู่ให้ดีขึ้น ลักษณะการใช้มิได้มีการพัฒนาหรือปรับปรุงรูปแบบอะไรมากนัก จากเดิมที่เคยใช้เครื่องจักรไอน้ำ ซึ่งเป็นเครื่องยนต์สันดาปภายนอก ขับเคลื่อนขบวนรถไฟไปยังเมืองต่าง ๆ ด้วยความเร็วที่จำกัด ด้วยวิวัฒนาการทางด้านวิชาการในสมัยต่อมามนุษย์สามารถค้นคว้านำเอาพลังงานในรูปแบบต่าง ๆ ที่สะดวกกว่าและมีประโยชน์มากกว่ามาใช้มากขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งปิโตรเลียมหรือน้ำมันและก๊าซ เมื่อมนุษย์ได้ประดิษฐ์เครื่องยนต์สันดาปภายในที่มีพลังงานสูงกว่าและใช้พลังงานที่สะดวกกว่า เช่น น้ำมันเชื้อเพลิงขึ้นมาทดแทน การใช้พลังงานหรือน้ำมันเป็นเชื้อเพลิงหลักในการขับเคลื่อนจึงมีบทบาทและมีความสำคัญอย่างมากจนแทบจะถือได้ว่าเป็นปัจจัยที่ 5 หรือ 6 ของการดำรงชีพ พลังงานจากผลิตภัณฑ์น้ำมันมีบทบาทโดยตรงที่สำคัญยิ่งต่อการคมนาคมทั้งทางบก ทางน้ำ และทางอากาศ เพราะให้พลังขับเคลื่อนได้ดีกว่าพลังงานอย่างอื่น ยิ่งในปัจจุบันซึ่งเป็นยุคเสรีไร้พรมแดนที่มีการพัฒนาภาคเกษตรกรรม อุตสาหกรรม และการค้าเสรี ยิ่งต้องเร่งให้ภาคการขนส่งเข้มแข็งขึ้นเพื่อสนองตอบการเคลื่อนย้ายสินค้าและบุคคลให้มีความสะดวกและคล่องตัวยิ่งขึ้น [1] ถึงแม้ว่าจะเกิดปรากฏการณ์วิกฤตน้ำมันจนทั่วโลกพยายามศึกษาค้นคว้าวิจัยหาพลังงานทดแทนน้ำมันเชื้อเพลิงมาเป็นเวลาหลายปี แต่พลังงานทดแทนที่ได้มานั้นยังได้ไม่ถึง 1 ใน 4 ของปริมาณการใช้ น้ำมันเชื้อเพลิงที่ต้องการในแต่ละวันซึ่งขยับตัวสูงขึ้น พลังงานที่ใช้ น้ำมันเชื้อเพลิงจึงเป็นสิ่งจำเป็นต่อชีวิตความเป็นอยู่และเป็นส่วนสำคัญของเศรษฐกิจโลก หากปราศจากพลังงานเราคงจะไม่สามารถดำรงชีวิตอยู่ได้อย่างสะดวกสบายเช่นทุกวันนี้

ผลิตภัณฑ์น้ำมันเชื้อเพลิงที่ได้จากกระบวนการกลั่นน้ำมันปิโตรเลียมมีหลายชนิด สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้อย่างกว้างขวางทั้งทางตรงและทางอ้อม น้ำมันเชื้อเพลิงที่คุ้นเคยและเป็นที่นิยมใช้ในปัจจุบันมี 2 ชนิดได้แก่น้ำมันเบนซินและน้ำมันดีเซล น้ำมันเบนซินเป็นน้ำมันเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์เบนซิน เช่นรถยนต์หรือจักรยานยนต์ เป็นของเหลวระเหยง่ายและไวไฟ ใสสีอ่อน

ซึ่งอาจมีการเติมสีตามเกรดของผลิตภัณฑ์ มีกลิ่นแบบปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอน ส่วนน้ำมันดีเซล เป็นน้ำมันเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์ดีเซล เช่น รถยนต์ เป็นของเหลวติดไฟได้ง่าย ใส มีสีอ่อนๆ มีกลิ่นแบบน้ำมันปิโตรเลียม [2] คุณภาพของน้ำมันเชื้อเพลิงมีความสำคัญที่ไม่อาจมองข้ามได้เพราะหากคุณภาพของน้ำมันไม่ได้มาตรฐานจะส่งผลกระทบต่อระบบการทำงานของเครื่องยนต์ เครื่องจักร จนอาจก่อให้เกิดความเสียหายต่อชีวิตหรือทรัพย์สินหรือประเทศชาติตามมาได้ คุณภาพของน้ำมันเชื้อเพลิงจึงได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่องตลอดเวลาเพื่อให้ทันกับวิวัฒนาการของเครื่องยนต์ที่เจริญก้าวหน้าอย่างไม่หยุดยั้ง หลักการกำหนดคุณภาพของน้ำมันเบนซินกำหนดมาตรฐานเป็นเลขออกเทน โดยเปรียบเทียบกับคุณสมบัติการเผาไหม้ของไอโซออกเทนและนอร์มอลเฮปเทน ซึ่งจะดูจากอัตราการnockและเสียงที่เกิดจากการnockของเครื่องยนต์มาตรฐาน ตามมาตรฐาน ASTM D2699 และ D2700 น้ำมันเบนซินใดมีคุณสมบัติการเผาไหม้เหมือนกับไอโซออกเทนจะถือได้ว่ามีเลขออกเทนเท่ากับ 100 แต่ถ้ามีคุณสมบัติการเผาไหม้เหมือนกับนอร์มอลเฮปเทนก็จะถือว่ามีเลขออกเทนเท่ากับ 0 โดยปกติกำหนดให้มาตรฐานของน้ำมันเบนซินธรรมดาจะต้องมีเลขออกเทนไม่ต่ำกว่า 87 ซึ่งจะเติมสารบางอย่าง เช่น สารตะกั่ว เป็นต้น เพื่อเพิ่มเลขออกเทนให้กับน้ำมันเบนซิน แต่เมื่อมีการเผาไหม้ของน้ำมันเบนซินเหล่านั้นจะก่อให้เกิดไอเสียของสารตะกั่วออกไซด์และตะกั่วคาร์บอนเนต ออกไปสู่บรรยากาศก่อให้เกิดสารพิษต่อมนุษย์และสิ่งมีชีวิตอื่น ๆ ได้ [3] ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการควบคุมลักษณะและคุณภาพของน้ำมันเชื้อเพลิงให้เป็นไปตามมาตรฐานที่กฎหมายกำหนดไว้ รูปแบบการวัดคุณภาพน้ำมันมีอยู่ 2 รูปแบบ คือ การวัดโดยใช้เครื่องยนต์ และการวัดโดยการวิเคราะห์ทางเคมี ในแต่ละแบบมีหลักการวัดที่แตกต่างกันดังนี้ [4]

การวัดโดยใช้เครื่องยนต์ อาศัยหลักการวัดความเร็วรอบของเครื่องยนต์ CFR F-1 และ F-2 เมื่อใส่น้ำมันที่ต้องการวัดเข้าไปในเครื่อง โดยอ้างอิงเลขออกเทนตามมาตรฐาน ASTM [5] วิธีการวัดแบบนี้มีข้อเสียหลายประการ [4] อาทิ เสียค่าใช้จ่ายสูงในการบำรุงรักษา ก่อให้เกิดเสียงรบกวน และเกิดแก๊สพิษทำให้เกิดมลพิษ อีกทั้งใช้เวลาในการวัดต่อน้ำมันตัวอย่างค่อนข้างนานอย่างน้อย 30 นาทีต่อการวัดน้ำมัน 1 ชนิด

การวัดโดยการวิเคราะห์ทางเคมี อาศัยหลักการวิเคราะห์องค์ประกอบของน้ำมันที่นำมาวัดแล้วนำค่าที่ได้ไปเข้าสมการทางคณิตศาสตร์เพื่อคำนวณเป็นเลขออกเทนออกมา การวิเคราะห์โดยหลักการทางเคมีมีหลายวิธีได้แก่ การวัดแบบแก๊สโครมาโทกราฟี (gas chromatography) [6] สเปกโทรสโกปีด้วยแสงอินฟราเรดใกล้ (near infrared spectroscopy) [4] เป็นต้น ข้อเสียของวิธีเหล่านี้คือ จำเป็นต้องให้ผู้เชี่ยวชาญเฉพาะทางมาทำการวัด เพราะข้อมูลที่ได้จากการวัดเป็นสเปกตรัมขององค์ประกอบต่าง ๆ ในน้ำมันเชื้อเพลิง แล้วนำไปคำนวณทางคณิตศาสตร์ที่มีความยุ่งยากซับซ้อนในการวิเคราะห์หาเลขออกเทน

จากวิธีการวัดเลขออกเทนของน้ำมันเชื้อเพลิงที่กล่าวข้างต้นยังมีข้อเสียบางประการ งานวิทยานิพนธ์นี้จึงได้ทำการศึกษา ออกแบบ และประดิษฐ์เครื่องวัดปรากฏการณ์เซอร์เฟซพลาสมอนเรโซแนนซ์ (surface plasmon resonance: SPR) เพื่อประเมินเลขออกเทนของน้ำมันเชื้อเพลิงด้วยวิธีใหม่โดยอาศัยหลักการวัดค่าดัชนีหักเหของน้ำมัน จุดเด่นของวิธีการนี้คือ มีค่าความไวในการตรวจวัดสูง การคำนวณวิเคราะห์ผลการวัดไม่ยุ่งยากซับซ้อน ใช้เวลาในการตรวจวัดและวิเคราะห์ผลน้อยกว่า ปริมาณสารตัวอย่างที่นำมาใช้ไม่มาก และเสียค่าใช้จ่ายน้อย จึงประหยัดทั้งเวลาและค่าใช้จ่าย อีกทั้งไม่ส่งผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมและมลพิษอีกด้วย

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. ศึกษา ออกแบบ และประดิษฐ์เครื่องวัดปรากฏการณ์เซอร์เฟซพลาสมอนเรโซแนนซ์ (surface plasmon resonance: SPR) เพื่อประเมินเลขออกเทน (octane number) ของน้ำมันเชื้อเพลิง
2. ทดสอบระบบวัดและทดลองวัดน้ำมันเชื้อเพลิงด้วยเครื่องมือที่ประดิษฐ์ และบันทึกเลขออกเทนของน้ำมันเชื้อเพลิง

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1. ออกแบบ และประดิษฐ์เครื่องวัดปรากฏการณ์เซอร์เฟซพลาสมอนเรโซแนนซ์
2. เขียนโปรแกรมควบคุมระบบการทำงานของเครื่องวัดปรากฏการณ์เซอร์เฟซพลาสมอนเรโซแนนซ์
3. หาความสัมพันธ์ระหว่างค่าเลขออกเทนของน้ำมันเชื้อเพลิงอ้างอิงปฐมภูมิกับมุมเรโซแนนซ์

1.4 ขั้นตอนในการดำเนินงาน

1. ศึกษาหลักการทำงานของระบบการวัดปรากฏการณ์เซอร์เฟซพลาสมอนเรโซแนนซ์
2. ศึกษาสารประกอบและปัจจัยที่ส่งผลต่อเลขออกเทนของน้ำมันเชื้อเพลิงและสมการสำหรับคำนวณเลขออกเทนจากสารประกอบของน้ำมันเชื้อเพลิง
3. ออกแบบระบบการทำงานและรูปแบบโครงสร้างของเครื่องวัดปรากฏการณ์เซอร์เฟซพลาสมอนเรโซแนนซ์

4. ประดิษฐ์เครื่องวัดปรากฏการณ์เซอร์เฟซพลาสมอนเรโซแนนซ์
5. ทดลองวัดเพื่อหาข้อมูลอ้างอิงโดยวัดหาค่ามุมเรโซแนนซ์ของน้ำมันเชื้อเพลิงอ้างอิง ปฐมภูมิที่มีเลขออกเทนต่างกัน
6. สรุปผลและวิเคราะห์ผลการวัดด้วยเครื่องวัดปรากฏการณ์เซอร์เฟซพลาสมอนเรโซแนนซ์

1.5 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย

1. เครื่องวัดปรากฏการณ์เซอร์เฟซพลาสมอนเรโซแนนซ์ ในการวัดเลขออกเทนของน้ำมันเชื้อเพลิง
2. เป็นการพัฒนาระบบวัดเลขออกเทนด้วยวิธีการใหม่ ซึ่งจะนำไปสู่วิธีการวัดคุณภาพของน้ำมันเชื้อเพลิงกว้างขวางยิ่งขึ้น



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

หลักการและทฤษฎีพื้นฐาน

วิทยานิพนธ์นี้เป็นแนวทางเริ่มต้นสำหรับการศึกษาค่าเลขออกเทนของน้ำมันเชื้อเพลิงโดยใช้คุณสมบัติทางแสงของน้ำมันเหล่านั้นมาวิเคราะห์ด้วยวิธีการวัดปรากฏการณ์เซอร์เฟซพลาสมอนเรโซแนนซ์ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องเข้าใจถึงคุณสมบัติทางแสงของน้ำมันเชื้อเพลิงที่เลขออกเทนค่าต่าง ๆ กับทฤษฎีพื้นฐานของการเกิดปรากฏการณ์เซอร์เฟซพลาสมอนเรโซแนนซ์ ซึ่งเนื้อหาในบทนี้แบ่งออกเป็น 3 ส่วนใหญ่ คือ ส่วนแรกต้องการอธิบายความหมายและวิธีการคำนวณเลขออกเทนของน้ำมันเชื้อเพลิง ส่วนที่สองจะอธิบายถึงทฤษฎีพื้นฐานของปรากฏการณ์เซอร์เฟซพลาสมอนเรโซแนนซ์ และส่วนสุดท้ายเป็นผลการจำลองปรากฏการณ์เซอร์เฟซพลาสมอนเรโซแนนซ์ของน้ำมันเชื้อเพลิง

2.1 เลขออกเทน (octane number: ON)

เลขออกเทน คือ ค่าดัชนีที่แสดงถึงความสามารถของน้ำมันเชื้อเพลิงสำหรับการต้านทานการจุดระเบิดก่อนเวลาที่กำหนดในเครื่องยนต์เบนซิน หรือ ค่าดัชนีที่แสดงถึงความต้านทานการน็อคของน้ำมันเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์เบนซิน จากมาตรฐาน ASTM (American Society for Testing and Materials) เลขออกเทนของน้ำมัน จะถูกกำหนดตามอัตราส่วนการผสมโดยปริมาตรของสารประกอบในน้ำมันเชื้อเพลิงอ้างอิงปฐมภูมิ (Primary Reference Fuels: PRF) และได้แบ่งน้ำมันเชื้อเพลิงอ้างอิงปฐมภูมิ ตามช่วงเลขออกเทน ไว้ 2 แบบ คือ น้ำมันเชื้อเพลิงอ้างอิงปฐมภูมิที่มีเลขออกเทนต่ำกว่า 100 และน้ำมันเชื้อเพลิงอ้างอิงปฐมภูมิที่มีเลขออกเทนสูงกว่า 100 น้ำมันเชื้อเพลิงอ้างอิงปฐมภูมิที่มีเลขออกเทนต่ำกว่า 100 คือ น้ำมันที่เกิดจากการผสมระหว่างนอร์มอลเฮปเทน (n-heptane) ที่มีเลขออกเทน 0 กับไอโซออกเทน (isooctane หรือ 2,2,4-trimethylpentane) ที่มีเลขออกเทน 100 ส่วนน้ำมันเชื้อเพลิงอ้างอิงปฐมภูมิที่มีเลขออกเทนสูงกว่า 100 คือ น้ำมันที่เกิดจากการผสมระหว่างเตตระเอทิลเลด (tetraethyl lead) หรือ ทีอีแอล ด้วยปริมาณมิลลิกรัมต่อแกลลอนในไอโซออกเทน [6] เนื่องจากน้ำมันเชื้อเพลิงที่ใช้อยู่ทั่วไปเป็นน้ำมันที่มีเลขออกเทน 91 และ 95 ในงานวิทยานิพนธ์จึงเลือกใช้น้ำมันเชื้อเพลิงอ้างอิงปฐมภูมิที่มีเลขออกเทนต่ำกว่า 100 ในการศึกษาเพื่อประเมินค่าเลขออกเทนด้วยวิธีการวัดปรากฏการณ์เซอร์เฟซพลาสมอนเรโซแนนซ์ในเบื้องต้น

เนื่องจากเลขออกเทนของน้ำมันเชื้อเพลิง (ในที่นี้ใช้ “น้ำมันเชื้อเพลิง” แทน “น้ำมันเชื้อเพลิงอ้างอิงปฐมภูมิ”) ขึ้นอยู่กับสัดส่วนการผสมโดยปริมาตรระหว่างนอร์มอลเฮปเทนและไอโซออกเทน ซึ่งมีสมการสำหรับการคำนวณหาเลขออกเทนของน้ำมันเชื้อเพลิงที่เกิดจากการผสมกันของนอร์มอลเฮปเทนและไอโซออกเทน [7]

$$\text{O.N.} = \frac{\text{O.N.}_{n\text{-hep tan } e} \cdot X_{n\text{-hep tan } e} + \text{O.N.}_{\text{isooctan } e} \cdot X_{\text{isooctan } e}}{X_{n\text{-hep tan } e} + X_{\text{isooctan } e}} \quad (2.1)$$

เมื่อ O.N. คือ เลขออกเทน ในที่นี้กำหนดให้ $\text{O.N.}_{n\text{-heptane}} = 0$ และ $\text{O.N.}_{\text{isooctane}} = 100$

$X_{n\text{-heptane}}$ คือ ปริมาตรของนอร์มอลเฮปเทน

$X_{\text{isooctane}}$ คือ ปริมาตรของไอโซออกเทน

2.2 ปรากฏการณ์เซอร์เฟสพลาสมอนเรโซแนนซ์

ปรากฏการณ์เซอร์เฟสพลาสมอนเรโซแนนซ์ เป็นกระบวนการทางกายภาพ ซึ่งเกิดขึ้นเมื่อแสงในทิศโพลาไรซ์ (p-polarized) ตกกระทบฟิล์มโลหะภายใต้เงื่อนไขของการสะท้อนกลับหมด คือ เมื่อเวกเตอร์คลื่นโพตอนของแสงและเวกเตอร์คลื่นเซอร์เฟสพลาสมอนที่มีความถี่เดียวกัน จะเกิดการถ่ายเทพลังงานจากคลื่นแสงไปกระตุ้นให้เกิดเซอร์เฟสพลาสมอน ทำให้พลังงานของแสงที่สะท้อนออกจากผิวโลหะมีค่าลดลงจนเกือบเป็นศูนย์ ซึ่งทำให้ค่าความสะท้อนกลับของแสงที่มุมนั้นมีค่าใกล้เคียงศูนย์

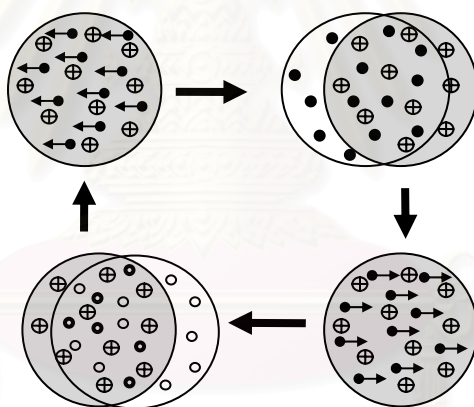
ในหัวข้อนี้ได้แบ่งเนื้อหาออกเป็น 3 ส่วนด้วยกัน คือ ส่วนแรกเป็นการอธิบายความหมายของเซอร์เฟสพลาสมอนและเงื่อนไขของการเกิดเซอร์เฟสพลาสมอน ซึ่งจะนำไปสู่เงื่อนไขและการเลือกใช้เทคนิคการกระตุ้นเพื่อให้เกิดเซอร์เฟสพลาสมอนในส่วนที่สอง จากนั้นเป็นส่วนของการอธิบายรูปแบบเครื่องมือที่ใช้สำหรับกระตุ้นให้เกิดปรากฏการณ์เซอร์เฟสพลาสมอนเรโซแนนซ์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.2.1 เซอร์เฟซพลาสมอน (surface plasmons)

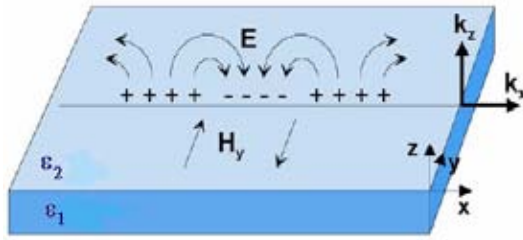
พลาสมา คือ กลุ่มของประจุ ซึ่งประกอบด้วยประจุบวกและลบในจำนวนที่เท่ากันจึงเป็นกลางทางไฟฟ้า แต่สถานะอนุภาคในพลาสมาถูกสันนิษฐานว่าแรงลัพท์ซึ่งเกิดจากแต่ละอนุภาคกระทำต่อกันมีค่าเป็นศูนย์ ตัวอย่างของพลาสมาที่สามารถพบได้ เช่น ไอออนที่ชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ที่พื้นผิวของดวงอาทิตย์ หรือ กลุ่มอิเล็กตรอนอิสระและแลตทิซ (lattice) ของอะตอมในโลหะตัวนำ เป็นต้น

การสั่นของพลาสมา หมายถึง กลุ่มเคลื่อนตามยาวของการกระจัดของกลุ่มอิเล็กตรอน เกิดขึ้นเมื่อตำแหน่งของอิเล็กตรอนซึ่งกำลังเคลื่อนที่อย่างอิสระเคลื่อนออกจากสมดุลของมัน แสดงดังรูปที่ 2.1 กลุ่มอิเล็กตรอนจะเคลื่อนที่ไปเป็นกลุ่มเมื่อเทียบกับประจุบวกก่อให้เกิดแรงคูลอมบ์ระหว่างกลุ่มอิเล็กตรอนกับประจุบวก โดยเรียกการสั่นของพลาสมาว่า พลาสมอน ซึ่งเป็นอนุภาคเชิงควอนตัมที่เกิดจากการสั่นของกลุ่มอิเล็กตรอนในตัวกลางที่นำไฟฟ้า

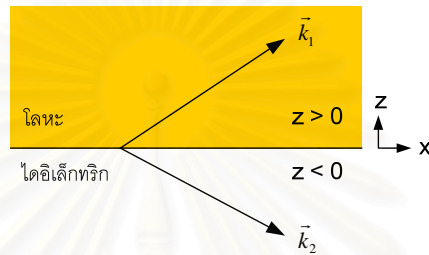


รูปที่ 2.1 การสั่นของกลุ่มอิเล็กตรอน

เซอร์เฟซพลาสมอน คือ พลาสมอนที่ถูกจำกัดอยู่บริเวณผิวของตัวนำซึ่งเกิดจากการสั่นของกลุ่มอิเล็กตรอนในพลาสมาที่ผิวรอยต่อระหว่าง 2 ตัวกลางที่มีค่าคงตัวไดอิเล็กทริกที่เป็นบวกและเป็นลบ เช่น รอยต่อระหว่างตัวกลางไดอิเล็กทริกและโลหะ โดยปกติแล้วเรามักจะเรียกการสั่นของพลาสมาที่ผิวว่า คลื่นเซอร์เฟซพลาสมา ในรูปที่ 2.2 แสดงคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่เกิดจากการสั่นของอิเล็กตรอนซึ่งเคลื่อนที่ไปบนผิวรอยต่อในแกน x และมีทิศทางของสนามไฟฟ้าอยู่ในแนวเดียวกับระนาบของการตกกระทบ จึงทำให้คลื่นเซอร์เฟซพลาสมามีสมบัติเป็นคลื่นพีโพลาไรซ์ (p-polarized) หรือ คลื่นโหมด TM (transversal magnetic mode)



รูปที่ 2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กของเซอร์เฟซพลาสมอน



รูปที่ 2.3 เวกเตอร์คลื่นเซอร์เฟซพลาสมอนผิวรอยต่อระหว่างโลหะกับตัวกลางไดอิเล็กทริก

เมื่อพิจารณาคคลื่นเซอร์เฟซพลาสมอนที่เคลื่อนที่บนผิวรอยต่อระหว่างตัวกลางโลหะและตัวกลางไดอิเล็กทริกในระนาบ xy แสดงดังรูปที่ 2.3 เมื่อกำหนดให้ค่าคงตัวไดอิเล็กทริกสำหรับโลหะ เท่ากับ $\epsilon_1 = \epsilon'_1 + i\epsilon''_1$ และสำหรับตัวกลางไดอิเล็กทริกมีค่าคงตัวไดอิเล็กทริก เท่ากับ $\epsilon_2 = \epsilon'_2$

ในตัวกลางโลหะ เมื่อ $Z < 0$

$$\begin{aligned} E_1 &= (E_{x1}, 0, E_{z1})e^{i(k_{x1}x - k_{z1}z - \omega t)} \\ H_1 &= (0, H_{y1}, 0)e^{i(k_{x1}x - k_{z1}z - \omega t)} \end{aligned} \quad (2.2)$$

ในตัวกลางไดอิเล็กทริก เมื่อ $Z > 0$

$$\begin{aligned} E_2 &= (E_{x2}, 0, E_{z2})e^{i(k_{x2}x + k_{z2}z - \omega t)} \\ H_2 &= (0, H_{y2}, 0)e^{i(k_{x2}x + k_{z2}z - \omega t)} \end{aligned} \quad (2.3)$$

เมื่อ E คือ เวกเตอร์สนามไฟฟ้า

H คือ เวกเตอร์สนามแม่เหล็ก

k_x และ k_z คือ เลขคลื่น (wave number) ในแกน x และแกน z ตามลำดับ

ω คือ ความถี่เชิงมุม

เงื่อนไขของสมการแมกซ์เวลล์เมื่อพิจารณาที่ผิวรอยต่อ [8]

$$\begin{aligned}\nabla \cdot \mathbf{H} &= 0, \\ \nabla \cdot \epsilon_0 \epsilon_r \mathbf{E} &= 0, \\ \nabla \times \mathbf{E} + \mu_0 \mu_r \frac{\partial \mathbf{H}}{\partial t} &= 0, \\ \nabla \times \mathbf{H} - \epsilon_0 \epsilon_r \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t} &= 0,\end{aligned}\tag{2.4}$$

เงื่อนไขที่ผิวรอยต่อระหว่างสองตัวกลาง คือ สนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กในทิศทางขนานกับผิวรอยต่อมีค่าเท่ากัน

$$E_{x1} = E_{x2} \quad \text{และ} \quad H_{y1} = H_{y2}\tag{2.5}$$

จากสมการที่ 2.4 และ 2.5 เมื่อพิจารณาที่ $Z=0$ จะได้ว่า

$$k_{x1} = k_{x2} = k_x\tag{2.6}$$

$$k_{z1} H_{y1} = \omega \epsilon_0 \epsilon_1 E_{x1} \quad \text{และ} \quad k_{z2} H_{y2} = -\omega \epsilon_0 \epsilon_2 E_{x2}\tag{2.7}$$

จากสมการที่ 2.5 – 2.7 ได้ความสัมพันธ์ระหว่าง k_{z1} และ k_{z2}

$$\frac{k_{z1}}{k_{z2}} = -\frac{\epsilon_1}{\epsilon_2}\tag{2.8}$$

จากสมการ 2.8 แสดงให้เห็นว่า คลื่นเซอร์เฟซพลาสมาจะเกิดขึ้นได้ที่ผิวรอยต่อของตัวกลางทั้งสองที่มีค่าคงตัวไดอิเล็กทริกตรงข้ามกันเท่านั้น โดยที่ค่าคงตัวไดอิเล็กทริกของตัวกลางไดอิเล็กทริก $\epsilon_2 > 0$ และตัวกลางโลหะมีค่า $\epsilon_1' < 0$ และ $|\epsilon_1'| > |\epsilon_1''|$ เสมอ ซึ่ง ϵ_1'' เป็นค่าการลดทอนของสนามไฟฟ้าแบบเอกซ์โพเนนเชียลของคลื่นเซอร์เฟซพลาสมา [8]

$$k = \frac{2\pi}{\lambda} = \frac{\omega}{v} = \frac{n\omega}{c} = \frac{\sqrt{\epsilon_r} \omega}{c}; \quad \text{เมื่อ} \quad n \approx \sqrt{\epsilon_r}^1\tag{2.9}$$

¹ ตัวกลางทั่วไปโดยปกติ ยกเว้นวัสดุเฟอร์โรแมกเนติก (ferromagnetic material) มีค่ายอมรับได้ทางแม่เหล็ก (relative permeability) $\mu_r \approx 1$ เพราะฉะนั้นจะได้ $n = \sqrt{\epsilon_r \mu_r} \approx \sqrt{\epsilon_r}$ [11]

เมื่อพิจารณาเลขคลื่นในตัวกลางโลหะ (k_1) และตัวกลางไดอิเล็กทริก (k_2) จะได้ว่า

$$k_i^2 = k_x^2 + k_{zi}^2 = \varepsilon_i \left(\frac{\omega}{c} \right)^2 \quad (2.10)$$

จะได้

$$k_x = \sqrt{\varepsilon_i \left(\frac{\omega}{c} \right)^2 - k_{zi}^2} \quad (2.11)$$

เมื่อ $i = 1, 2$ สำหรับตัวกลางโลหะและตัวกลางไดอิเล็กทริกตามลำดับ

จากเงื่อนไขที่ 2.6, 2.8 และ 2.11 คำนวณหา k_{zi} ในตัวกลางทั้งสอง จะได้

$$k_{z1}^2 = \left(\frac{\omega}{c} \right)^2 \left(\frac{\varepsilon_1^2}{\varepsilon_1 + \varepsilon_2} \right) \quad \text{และ} \quad k_{z2}^2 = \left(\frac{\omega}{c} \right)^2 \left(\frac{\varepsilon_2^2}{\varepsilon_1 + \varepsilon_2} \right) \quad (2.12)$$

จากสมการที่ 2.11 และ 2.12 จะได้เลขคลื่นเซอร์เฟซพลาสมาในแนวขนานกับระนาบผิวรอยต่อระหว่างตัวกลางโลหะกับตัวกลางไดอิเล็กทริก (k_x) ดังสมการที่ 2.13

$$k_x = \left(\frac{\omega}{c} \right) \sqrt{\left(\frac{\varepsilon_1 \varepsilon_2}{\varepsilon_1 + \varepsilon_2} \right)} \quad (2.13)$$

เนื่องจากค่าคงตัวไดอิเล็กทริกของโลหะ ε_1 เป็นจำนวนเชิงซ้อน ดังนั้นเลขคลื่นเซอร์เฟซพลาสมา จึงเป็นเลขคลื่นที่เป็นจำนวนเชิงซ้อน $k_x = k'_x + ik''_x$ เมื่อ k'_x คือ ค่าคงที่ของการเคลื่อนที่ของคลื่นบนผิวรอยต่อ ส่วน k''_x คือ ดัชนีที่บ่งบอกถึงการลดทอนของคลื่น
ได้ว่า

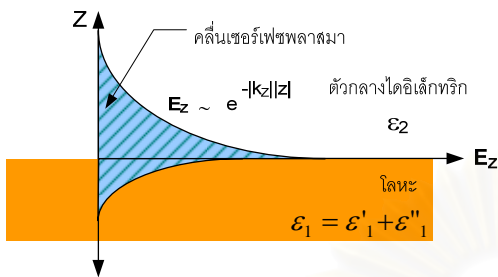
$$\begin{aligned} k_x &= \left(\frac{\omega}{c} \right) \sqrt{\left(\frac{(\varepsilon'_1 + i\varepsilon''_1)\varepsilon_2}{(\varepsilon'_1 + i\varepsilon''_1) + \varepsilon_2} \right)} \\ &= \left(\frac{\omega}{c} \right) \sqrt{\varepsilon_2 \left(\frac{\varepsilon'_1(\varepsilon'_1 + \varepsilon_2) + (\varepsilon''_1)^2 + i[\varepsilon''_1(\varepsilon'_1 + \varepsilon_2) - \varepsilon'_1\varepsilon''_1]}{(\varepsilon'_1 + \varepsilon_2)^2 + (\varepsilon''_1)^2} \right)} \end{aligned} \quad (2.14)$$

จากเงื่อนไข $|\varepsilon'_1| > |\varepsilon''_1|$ ทำให้ได้

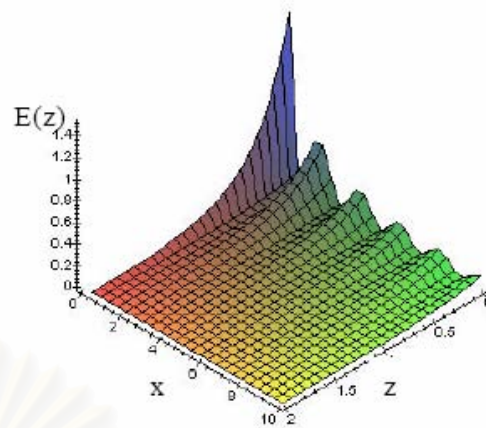
$$k'_x = \text{Re}(k_x) = \frac{\omega}{c} \sqrt{\frac{\varepsilon'_1 \varepsilon_2}{\varepsilon'_1 + \varepsilon_2}} \quad (2.15)$$

$$k''_x = \text{Im}(k_x) = \frac{\omega}{c} \frac{\varepsilon''_1}{2\varepsilon_1'^2} \left(\frac{\varepsilon'_1 \varepsilon_2}{\varepsilon'_1 + \varepsilon_2} \right)^{3/2} \quad (2.16)$$

เนื่องจาก k''_x มีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับ k'_x ดังนั้นจึงพิจารณาเลขคลื่นเซอร์เฟซพลาสมา (k_x^{SP}) เฉพาะ k'_x เท่านั้น [10]



(ก)



(ข)

รูปที่ 2.4 สนามไฟฟ้าทั้งแกน x และ z ของคลื่นเซอร์เฟซพลาสมาที่ผิวรอยต่อระหว่างโลหะและตัวกลางไดอิเล็กทริกมีค่าลดลงตามระยะทางการเคลื่อนที่

จากรูปที่ 2.4 (ก) สนามไฟฟ้าของคลื่นเซอร์เฟซพลาสมาขยายออกไปทั้งในตัวกลางไดอิเล็กทริกและโลหะในทิศตั้งฉากกับพื้นผิวและมีค่าสูงสุดที่ผิวรอยต่อ ($z=0$) และค่อย ๆ ลดลงแบบเอกซ์โพเนนเชียลทั้งในตัวกลางโลหะและไดอิเล็กทริกตามระยะทางในแกน z ด้วยพจน์ $e^{-|k_{zi}|z}$ ซึ่งระยะทางที่สนามไฟฟ้ามีความเข้มลดลงเป็น $1/e$ เรียกว่า ระยะประสิทธิผล (penetration depth : \hat{z}_i) แสดงดังสมการที่ 2.17 [8]

$$\hat{z}_i = \frac{1}{|k_{zi}|} \quad (2.17)$$

จากสมการ 2.17 จะได้ระยะประสิทธิผลในตัวกลางโลหะ

$$\hat{z}_1 = \frac{c}{\omega} \sqrt{\frac{\epsilon_1' + \epsilon_2}{\epsilon_1'^2}} = \frac{\lambda}{2\pi} \sqrt{\frac{\epsilon_1' + \epsilon_2}{\epsilon_1'^2}} \quad (2.18)$$

และในตัวกลางไดอิเล็กทริก

$$\hat{z}_2 = \frac{c}{\omega} \sqrt{\frac{\epsilon_1' + \epsilon_2}{\epsilon_2^2}} = \frac{\lambda}{2\pi} \sqrt{\frac{\epsilon_1' + \epsilon_2}{\epsilon_2^2}} \quad (2.19)$$

เมื่อ λ คือ ความยาวคลื่นแสง

จากสมการที่ 2.18 และ 2.19 คำนวณระยะประสิทธิผลระหว่างอากาศ $\epsilon_2=1$ กับทอง $\epsilon'_1 = -11.6[8]$ เมื่อใช้ความยาวคลื่นแสง 632.8 นาโนเมตร จะได้ $\hat{z}_1 = 7.49$ นาโนเมตร และ $\hat{z}_2 = 226.575$ นาโนเมตร จากผลการคำนวณทำให้ทราบว่าสนามไฟฟ้าในตัวกลางไดอิเล็กทริกมีระยะประสิทธิผลในระดับนาโนเมตร จึงทำให้คุณสมบัติของคลื่นมีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงของตัวกลางไดอิเล็กทริกเฉพาะที่ใกล้กับผิวโลหะเท่านั้น [8,10]

จากรูปที่ 2.3 (ข) จะเห็นได้ว่าสนามไฟฟ้าในแกน x ที่เดินทางไปตามผิวรอยต่อจะลดลงแบบเอกซ์โพเนนเชียลในเทอมของ $e^{-2k_x x}$ ซึ่งพลังงานที่หายไปจะถูกเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อนบนฟิล์มโลหะ [8]

การกระตุ้นให้เกิดคลื่นเซอร์เฟซพลาสมาทำได้โดยการใส่แสงยิงเข้าไปในตัวกลางไดอิเล็กทริก [8] และเนื่องจากคลื่นเซอร์เฟซพลาสมาเป็นคลื่นทิสทีโพลาไรซ์ ดังนั้นแสงที่ใช้ในการกระตุ้นจะต้องเป็นแสงในทิสทีโพลาไรซ์เช่นกัน เมื่อฉายแสงเข้าไปในตัวกลางไดอิเล็กทริก (ϵ_2) เกิดคลื่นโฟตอนของแสงที่เดินทางในตัวกลางไดอิเล็กทริก ซึ่งมีเลขคลื่น k^{ph} ดังสมการที่ 2.20 [10]

$$k^{ph} = \frac{\omega}{c} \sqrt{\epsilon_2} \quad (2.20)$$

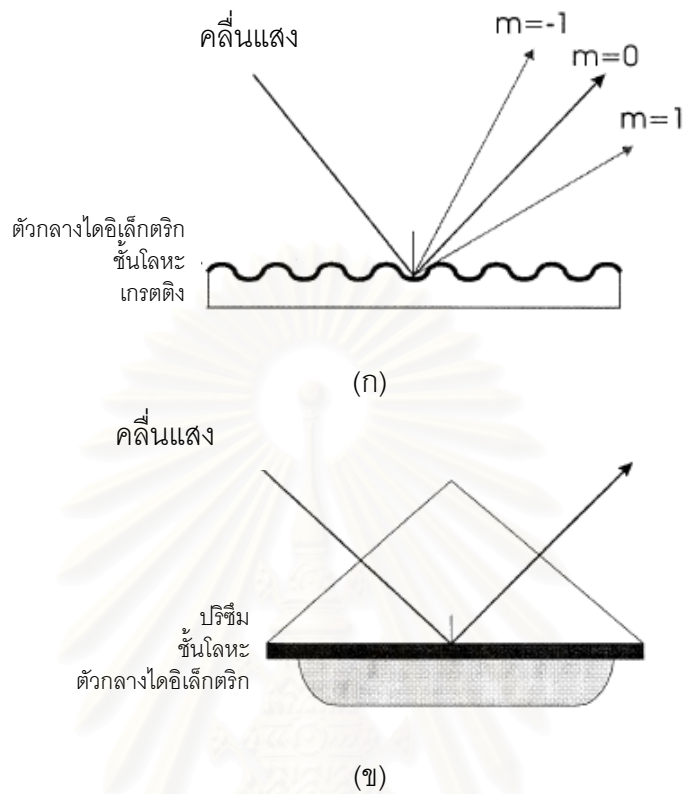
จากสมการที่ 2.15 และ 2.20 จะได้ความสัมพันธ์ระหว่างเลขคลื่นเซอร์เฟซพลาสมากับเลขคลื่นโฟตอนของแสงในทิสชันานกับผิวรอยต่อระหว่างโลหะและตัวกลางไดอิเล็กทริก (k_x^{ph}) ดังนี้

$$k_x^{ph} < k_x^{SP}$$

$$\frac{\omega}{c} \sqrt{\epsilon_2} \sin \theta < \frac{\omega}{c} \sqrt{\frac{\epsilon'_1 \epsilon_2}{\epsilon'_1 + \epsilon_2}} \quad (2.21)$$

เมื่อ $\epsilon'_1 < 0$ ซึ่งจะทำให้พจน์ $\frac{\epsilon'_1 \epsilon_2}{\epsilon'_1 + \epsilon_2} > \epsilon_2$ และจากสมการที่ 2.21 จะเห็นได้ว่าการกระตุ้นให้เกิดเซอร์เฟซพลาสมอนด้วยแสงที่เดินทางจากไดอิเล็กทริก เมื่อใช้ตัวกลางเพียง 2 ตัวไม่สามารถกระตุ้นได้ เพราะเลขคลื่นโฟตอนของแสงที่อยู่ในทิสเดียวกับเลขคลื่นเซอร์เฟซพลาสมาน้อยกว่าเลขคลื่นเซอร์เฟซพลาสมาเสมอ [10] ดังนั้นจึงต้องเพิ่มขนาดของเวกเตอร์คลื่นโฟตอนของแสงให้เท่ากับขนาดของเวกเตอร์คลื่นเซอร์เฟซพลาสมาเพื่อที่จะทำให้เกิดปรากฏการณ์เซอร์เฟซพลาสมอนเรโซแนนซ์ โดยวิธีการยิงแสงผ่านตัวกลางหนึ่งไปตกกระทบบนผิวโลหะ ซึ่งมี 2 วิธี ได้แก่ grating coupler และ attenuated total reflection (ATR) coupler โดยใช้ปริซึม [12] ดังแสดงในรูปที่ 2.5 แต่เนื่องจากวิธีการ ATR coupler มีวิธีการคำนวณทางคณิตศาสตร์เพื่อหามุม

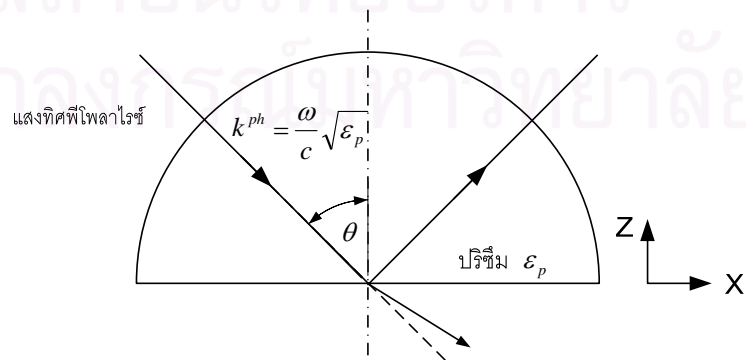
เรโซแนนซ์ได้ง่ายกว่าวิธีการ grating coupler [13] ดังนั้นงานวิทยานิพนธ์นี้เลือกใช้การกระตุ้นด้วยวิธีการ ATR coupler



รูปที่ 2.5 รูปแบบวิธีการกระตุ้น (ก) grating coupler (ข) ATR coupler

2.2.2 เทคนิคการกระตุ้นด้วยวิธี ATR coupler

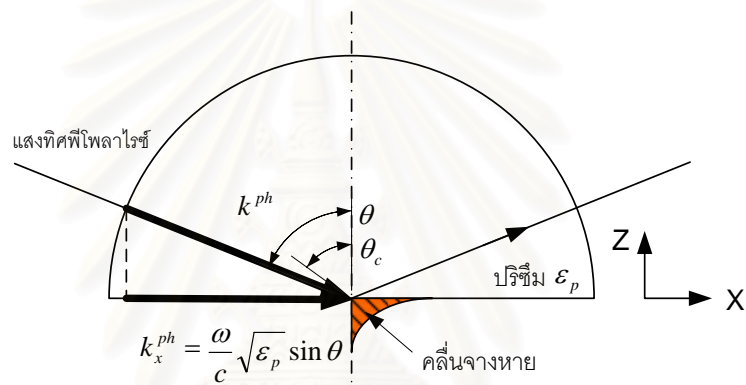
รูปที่ 2.6 แสดงเทคนิคการกระตุ้นด้วยวิธี ATR coupler โดยให้แสงเดินทางผ่านปริซึม ($\epsilon_p > \epsilon_2$) ซึ่งมีเลขคลื่นโฟตอนของแสงที่เดินทางในปริซึม ดังสมการที่ 2.20 [10]



รูปที่ 2.6 เวกเตอร์คลื่นโฟตอนของแสงที่เดินทางในปริซึม

$$k^{ph} = \frac{\omega}{c} \sqrt{\epsilon_p} \quad (2.22)$$

การกระตุ้นให้เกิดเซอร์เฟซพลาสมอนด้วยคลื่นแสงที่เดินทางในปริซึมนั้น จะต้องอยู่ภายใต้ของการเกิดปรากฏการณ์การสะท้อนกลับหมด (total internal reflection) หรือมุมตกกระทบ (θ) ของแสงจะต้องมากกว่าหรือเท่ากับมุมวิกฤติ (θ_c) ซึ่งจะทำให้เกิดคลื่นจางหาย² (evanescent wave) [8,13] ดังแสดงในรูปที่ 2.7 และคลื่นจางหายจะไปกระตุ้นให้เกิดเซอร์เฟซพลาสมอนระหว่างผิวรอยต่อของโลหะและตัวกลางไดอิเล็กทริก ซึ่งรูปแบบเครื่องมือสำหรับการกระตุ้นด้วยวิธีการ ATR coupler มี 2 รูปแบบคือ รูปแบบเครื่องมือออกโตโต (Otto configuration) ดังแสดงในรูปที่ 2.8 (ก) และรูปแบบเครื่องมือเครทชมาน (Kretschmann configuration) ดังรูปที่ 2.8 (ข)



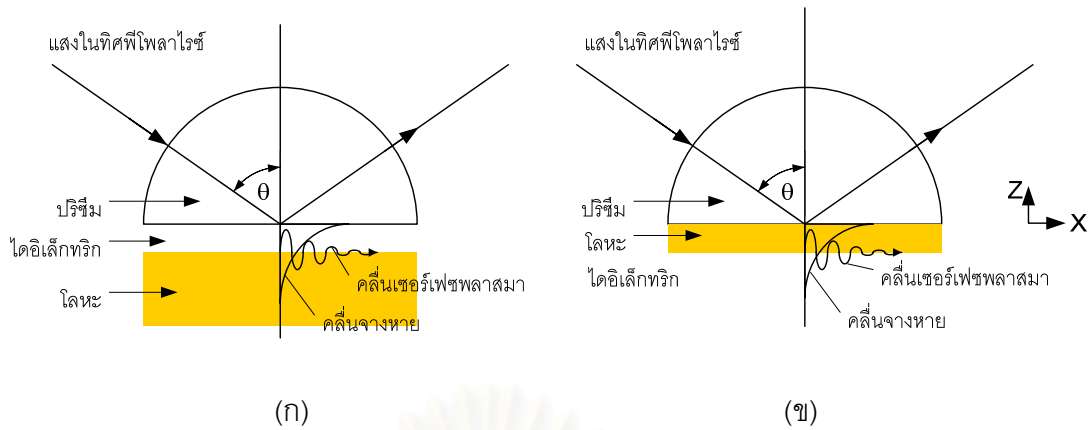
รูปที่ 2.7 การเกิดคลื่นจางหายภายใต้ปรากฏการณ์สะท้อนกลับหมด

จากรูปที่ 2.7 จะได้เลขคลื่นโพตอนของแสงในทิศทางกับผิวรอยต่อ k_x^{ph}

$$k_x^{ph} = \frac{\omega}{c} \sqrt{\epsilon_p} \sin \theta \quad (2.23)$$

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

² คลื่นจางหาย เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่เดินทางในทิศทางกับพื้นผิวรอยต่อและมีสนามไฟฟ้าในทิศตั้งฉากกับผิวรอยต่อ โดยที่ขนาดของสนามไฟฟ้าในแกน z จะลดลงด้วยเทอมของเอกซ์โพเนนเชียล $e^{-k_z z}$

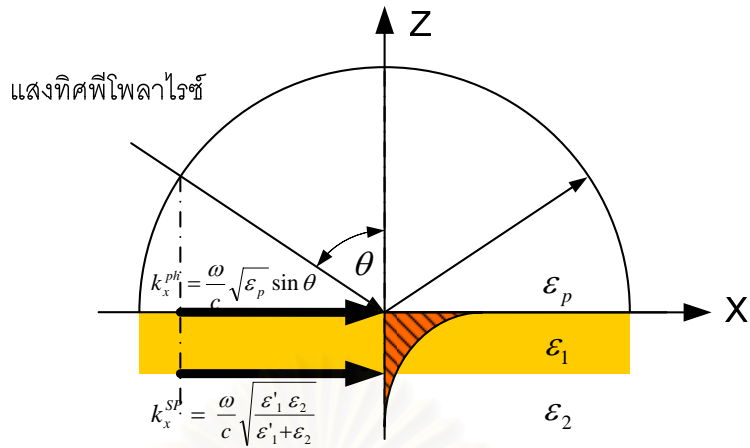


รูปที่ 2.8 การกระตุ้นเซออร์เฟซพลาสมาอนด้วยวิธี ATR coupler เมื่อ (ก) รูปแบบเครื่องมือออตโต และ (ข) รูปแบบเครื่องมือเครทชมาน

รูปแบบเครื่องมือของออตโต ปริซึมจะถูกวางจากผิวโลหะด้วยช่องว่างที่มีค่าดัชนีหักเหอยู่ระหว่างปริซึมและโลหะ เนื่องจากช่องว่างระหว่างปริซึมและโลหะทำให้ประสิทธิภาพของการเกิดปรากฏการณ์เซออร์เฟซพลาสมาอนเรโซแนนซ์มีค่าลดลง และนอกจากนี้การจัดวางอุปกรณ์มีความยุ่งยากจึงไม่เหมาะสมกับการประยุกต์ใช้งานกับการวัดที่มีสารละลายเป็นตัวกลางไดอิเล็กทริก [8, 10] ส่วนรูปแบบเครื่องมือเครทชมานจะมีความสะดวกและง่ายกว่าในการนำมาทดลองเพราะชั้นโลหะวางอยู่บนผิวปริซึมโดยตรงทำให้มีประสิทธิภาพดีกว่าสำหรับการทำให้เกิดปรากฏการณ์เซออร์เฟซพลาสมาอนเรโซแนนซ์ จึงได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายในการศึกษาปรากฏการณ์เซออร์เฟซพลาสมาอนเรโซแนนซ์ [12-14] ดังนั้นในงานวิทยานิพนธ์นี้จึงเลือกใช้รูปแบบเครื่องมือเครทชมานสำหรับการศึกษาปรากฏการณ์เซออร์เฟซพลาสมาอนเรโซแนนซ์

2.2.3 การเกิดปรากฏการณ์เซออร์เฟซพลาสมาอนเรโซแนนซ์ด้วยรูปแบบเครื่องมือเครทชมาน

รูปแบบเครื่องมือเครทชมานมีการจัดวางอุปกรณ์ดังนี้ ปริซึม ฟิล์มบางของโลหะและตัวกลางไดอิเล็กทริก ดังได้แสดงในรูปที่ 2.8 (ข) เมื่อแสงเดินทางผ่านปริซึมไปตกกระทบฟิล์มบางของโลหะที่เคลือบอยู่บนผิวหน้าปริซึมภายใต้ปรากฏการณ์สะท้อนกลับหมดทำให้เกิดคลื่นจางหาย สนามไฟฟ้าของคลื่นจางหายจะไปกระตุ้นอิเล็กตรอนบริเวณผิวรอยต่อระหว่างโลหะและตัวกลางไดอิเล็กทริกให้เกิดการสั่น หรือเกิดเซออร์เฟซพลาสมาอนขึ้น แสดงอยู่ในรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 การเกิดคลื่นจางหายภายใต้ปรากฏการณ์การสะท้อนกลับหมด
ในรูปแบบเครื่องมือเครทชมาน

เมื่อแสงตกกระทบบนผิวโลหะที่มุมตกกระทบค่าหนึ่ง ทำให้เวกเตอร์คลื่นโฟตอนของแสงและเวกเตอร์คลื่นเซอร์เฟซพลาสมามีค่าเท่ากัน นั่นคือ เวกเตอร์ทั้งสองมีขนาดและทิศทางที่เท่ากัน ทำให้คลื่นทั้งสองเกิดการควบ³ (couple) กัน ซึ่งพลังงานของคลื่นโฟตอนของแสงจะถูกถ่ายเทเพื่อไปกระตุ้นให้เกิดคลื่นเซอร์เฟซพลาสมาที่ผิวโลหะ ทำให้พลังงานหรือค่าความเข้มของแสงที่สะท้อนออกจากผิวโลหะมีค่าลดลงจนเกือบเป็นศูนย์ เรียกปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นนี้ว่าปรากฏการณ์เซอร์เฟซพลาสมอนเรโซแนนซ์ และมุมที่ทำให้เกิดปรากฏการณ์เรียกว่า มุมเรโซแนนซ์ (resonance angle : θ_{SPR}) ซึ่งเงื่อนไขของการเกิดปรากฏการณ์เซอร์เฟซพลาสมอนเรโซแนนซ์ แสดงดังสมการที่ 2.24 [10]

$$k_x^{ph} = k_x^{SP}$$

$$\frac{\omega}{c} \sqrt{\epsilon_p} \sin \theta = \frac{\omega}{c} \sqrt{\frac{\epsilon_1 \epsilon_2}{\epsilon_1 + \epsilon_2}} \quad (2.24)$$

จากสมการที่ 2.22 สามารถประมาณค่ามุมเรโซแนนซ์ได้ ดังนี้

$$\theta_{SPR} = \sin^{-1} \left(\frac{1}{\sqrt{\epsilon_p}} \sqrt{\frac{\epsilon_1 \epsilon_2}{\epsilon_1 + \epsilon_2}} \right) \quad (2.25)$$

³ควบ (Couple) คือ ปรากฏการณ์ที่คลื่นทั้งสองจะเคลื่อนที่ไปด้วยกันและสามารถถ่ายโอนพลังงานให้แก่กันได้

เนื่องจากงานวิทยานิพนธ์สนใจถึงการเปลี่ยนแปลงค่าดัชนีหักเหของสารตัวอย่าง ดังนั้น จึงเขียนสมการที่ 2.23 ใหม่ให้อยู่ในรูปของค่าดัชนีหักเหได้ว่า

$$\theta_{SPR} \approx \sin^{-1} \left(\frac{1}{n_p} \sqrt{\frac{\epsilon'_1 n_2^2}{\epsilon'_1 + n_2^2}} \right) \quad (2.26)$$

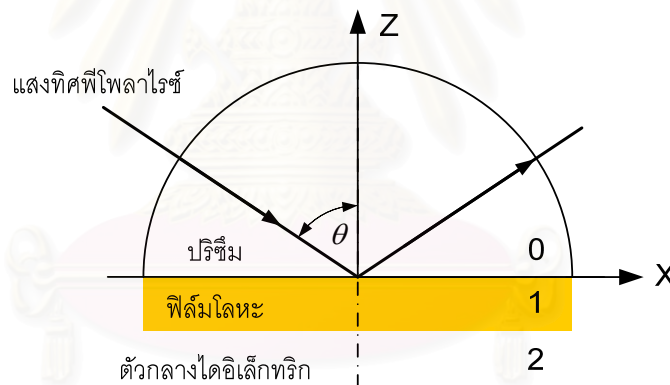
เมื่อ n_p คือ ค่าดัชนีหักเหของปริซึม

n_2 คือ ค่าดัชนีหักเหของตัวกลางไดอิเล็กทริก

2.2.4 การวิเคราะห์ปรากฏการณ์เซอร์เฟซพลาสมอนเรโซแนนซ์

ในส่วนนี้อธิบายถึงการคำนวณหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มแสงกับมุมตกกระทบ ค่าต่าง ๆ เพื่อใช้ในการจำลองเส้นโค้งปรากฏการณ์เซอร์เฟซพลาสมอนเรโซแนนซ์

สำหรับรูปแบบเครื่องมือเครทชมานที่มีตัวกลาง 3 ชั้น ดังแสดงในรูปที่ 2.10 จะได้เห็นค่าความสะท้อน (reflectance, R) สำหรับแสงทีศพิโลาไรซ์ โดยใช้สมการของเฟรเนล (Fresnel) [10]



รูปที่ 2.10 รูปแบบเครื่องมือเครทชมาน

$$R = |r_{012}|^2 = \left| \frac{r_{01} + r_{12} \exp(2ik_z d_1)}{1 + r_{01} r_{12} \exp(2ik_z d_1)} \right|^2 \quad (2.27)$$

เมื่อ

$$r_{ij} = \frac{\epsilon_j k_i - \epsilon_i k_j}{\epsilon_j k_i + \epsilon_i k_j} \quad \text{และ} \quad k_i = \frac{2\pi}{\lambda} (\epsilon_i - \epsilon_0 \sin^2 \theta_i)^{1/2}$$

$i, j = 0, 1, 2$. เป็นชั้นของปริซึม, ผิวทองและตัวกลางไดอิเล็กทริกตามลำดับ

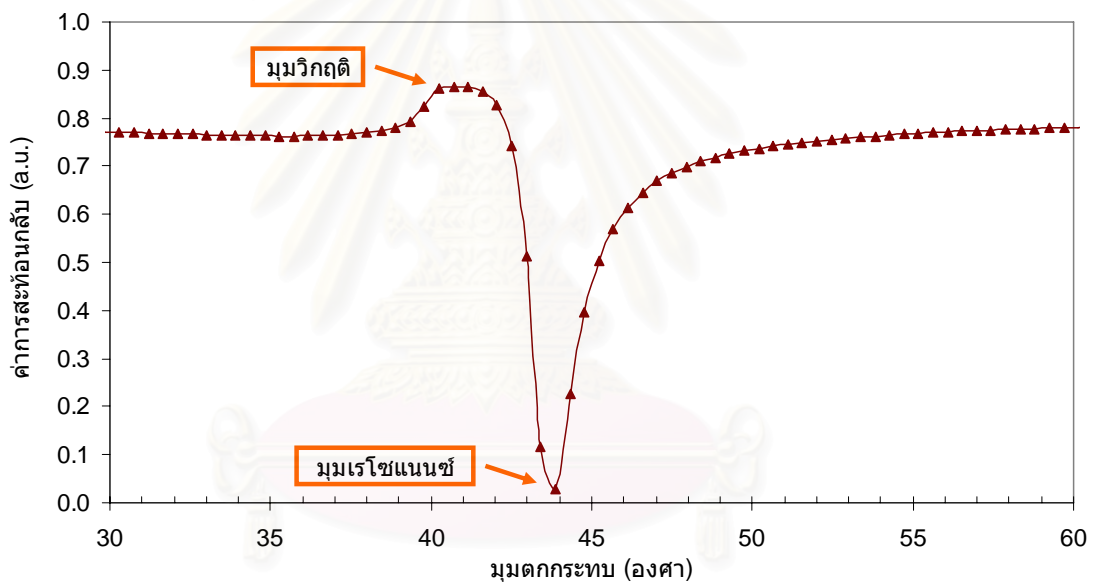
โดยที่ R คือ ค่าความสะท้อนของแสงทุกชั้น

d_1 คือ ความหนาของฟิล์มโลหะบาง

r_{ij} คือ สัมประสิทธิ์การสะท้อนของแสงที่เกิดระหว่างตัวกลางที่ i และ j
 ε_i คือ ค่าคงตัวไดอิเล็กทริกของตัวกลางที่ i

ค่าการสะท้อนกลับของแสงเป็นค่าที่แสดงถึงจำนวนเท่าของค่าความเข้มแสงที่สะท้อนออกมา กับค่าความเข้มของแสงที่ตกกระทบ ถ้าค่าการสะท้อนกลับมีค่าเป็น 0 แสดงว่าไม่มีแสงที่สะท้อนออกมา แต่ถ้าค่าการสะท้อนกลับมีค่าเท่ากับ 1 แสดงว่าแสงเกิดการสะท้อนกลับหมด เพราะฉะนั้นการหามุมเรโซแนนซ์จะพิจารณาถึงมุมที่ทำให้เกิดค่าการสะท้อนกลับของแสงต่ำที่สุด

จากสมการที่ 2.27 จำลองเส้นโค้งปรากฏการณ์เซอร์เฟซพลาสมอนเรโซแนนซ์ ดังแสดงในรูปที่ 2.11 ที่ความยาวคลื่นแสง 633 นาโนเมตร กำหนดให้ค่าดัชนีหักเหของปริซึม $n_p = 1.5153$, พิล์มทอง $n_1 = 0.1726 + i3.4218$ หนา $d_2 = 50$ นาโนเมตรและอากาศ $n_2 = 1$ ตามลำดับ



รูปที่ 2.11 ผลการจำลองเส้นโค้งปรากฏการณ์เซอร์เฟซพลาสมอนเรโซแนนซ์

จากผลการจำลองจะเห็นได้ว่ามุมเรโซแนนซ์จะเกิดขึ้นหลังจากมุมวิกฤติและค่าการสะท้อนกลับของแสงที่มุมเรโซแนนซ์มีค่าเกือบเป็นศูนย์

2.2.5 ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดปรากฏการณ์เซอร์เฟซพลาสมอนเรโซแนนซ์

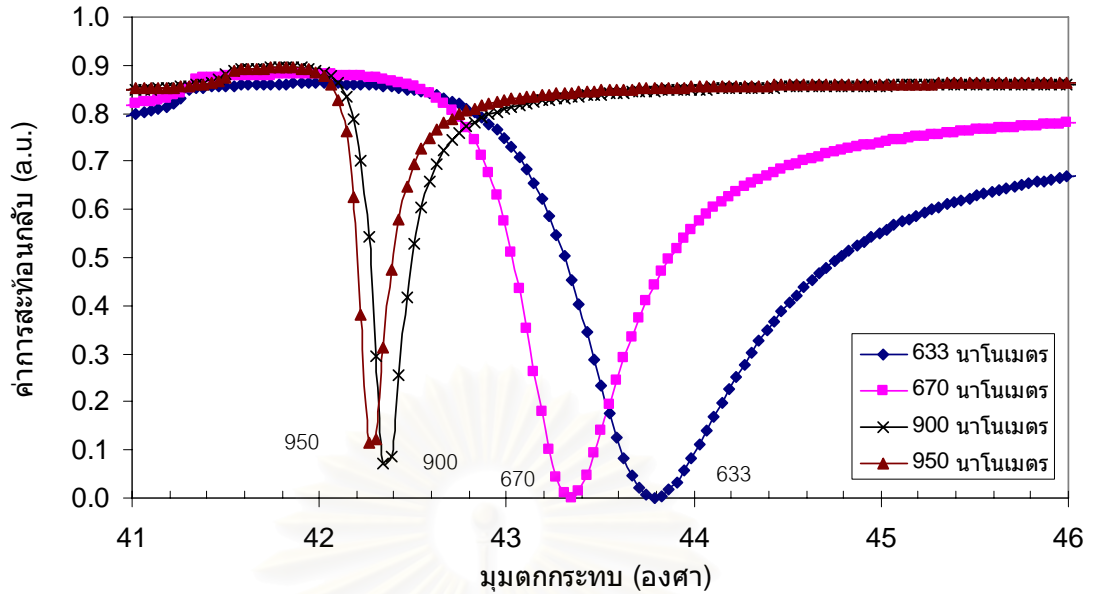
จากสมการที่ 2.26 และ 2.27 พบว่าปัจจัยที่มีผลต่อเส้นโค้งปรากฏการณ์เซอร์เฟซพลาสมอนเรโซแนนซ์ที่ได้รับความสนใจเพื่อศึกษา ได้แก่ ความยาวคลื่นของแสง (λ) ชนิดของชั้นโลหะ (ϵ_1) ความหนาของชั้นโลหะ (d_1) และค่าดัชนีหักเหของตัวกลางไดอิเล็กทริก (n_2) ในส่วนนี้เป็น การอธิบายถึงปัจจัยที่กล่าวมาข้างต้น ที่มีผลต่อการวัดปรากฏการณ์เซอร์เฟซพลาสมอนเรโซแนนซ์อย่างย่อ ๆ

1. ความยาวคลื่นแสง เนื่องจากตัวกลางทุกตัวมีค่าดัชนีหักเหที่ขึ้นอยู่กับความยาวคลื่นแสง [11] เมื่อความยาวคลื่นแสงเปลี่ยนทำให้ค่าดัชนีหักเหของตัวกลางเหล่านั้นเปลี่ยนไปด้วย แสดงดังตารางที่ 2.1 ซึ่งค่าดัชนีของตัวกลางโดยทั่วไปจะมีค่าลดลงเมื่อความยาวคลื่นแสงมากขึ้น ดังนั้นแสงที่มีความยาวคลื่นแสงยาวจะให้ค่ามุมเรโซแนนซ์ที่ต่ำกว่าแสงที่มีความยาวคลื่นแสงสั้นกว่าและมีรูปร่างเส้นโค้งปรากฏการณ์เซอร์เฟซพลาสมอนเรโซแนนซ์ที่แหลมกว่า [15] ดังแสดงในรูปที่ 2.12 แสดงการจำลองเส้นโค้งปรากฏการณ์เซอร์เฟซพลาสมอนเรโซแนนซ์ของอากาศที่ความยาวคลื่นแสงค่าต่าง ๆ

ตารางที่ 2.1 ค่าดัชนีหักเหของปริซึม BK-7 และฟิล์มทอง ที่ความยาวคลื่นแสง 633, 670, 900 และ 950 นาโนเมตร

ความยาวคลื่นแสง (นาโนเมตร)	ค่าดัชนีหักเห	
	ปริซึม BK-7	ฟิล์มทอง
633	1.5153	0.1726+j3.4218
670	1.5141	0.1372+j3.7852
900	1.5088	0.1807+j5.7123
950	1.5080	0.203+j6.0966

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

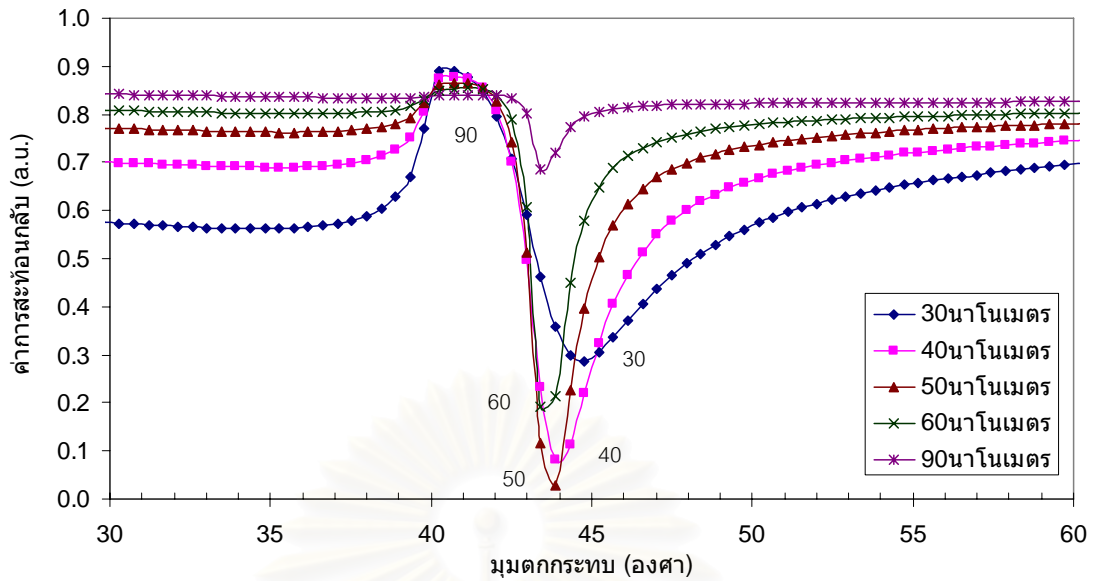


รูปที่ 2.12 ผลการจำลองการเปลี่ยนรูปร่างเส้นโค้งปรากฏการณ์เซอร์เฟซพลาสมอนเรโซแนนซ์ของอากาศ ที่ความยาวคลื่นแสง 633, 670, 900 และ 950 นาโนเมตร ตามลำดับ

จากรายงานการวิจัยพบว่าค่าความไวในการวัดปรากฏการณ์เซอร์เฟซพลาสมอนเรโซแนนซ์ จะมีค่าลดลง เมื่อวัดที่ความยาวคลื่นแสงมากขึ้น [12, 16]

2. ชนิดของชั้นโลหะ โลหะที่นำมาศึกษาปรากฏการณ์เซอร์เฟซพลาสมอนเรโซแนนซ์จะต้องไม่เป็นสารประกอบออกไซด์หรือซัลไฟด์เมื่อผิวโลหะสัมผัสกับอากาศ ซึ่งทำให้มีผลรบกวนต่อสัญญาณปรากฏการณ์เซอร์เฟซพลาสมอนเรโซแนนซ์ ซึ่งจากรายงานวิจัยพบว่าโลหะเงินให้ความไวในการวัดสูงที่สุด แต่มีข้อเสียคือโลหะเงินง่ายต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันและมีความทนทานต่อสารเคมีต่ำ [17] ส่วนโลหะทองเป็นโลหะที่ไม่เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันและไม่ทำปฏิกิริยากับสารปนเปื้อนต่าง ๆ ในอากาศ ดังนั้นโลหะทองจึงที่ได้รับความนิยมมากที่สุด [18-19]

3. ความหนาของชั้นทอง จากรายงานการวิจัยที่ผ่านมา พบว่าความหนาของชั้นทองมีผลต่อรูปร่างของเส้นโค้งปรากฏการณ์เซอร์เฟซพลาสมอนเรโซแนนซ์ [20] แสดงผลการจำลองเส้นโค้งปรากฏการณ์เซอร์เฟซพลาสมอนเรโซแนนซ์ ที่ความยาวคลื่นแสง 633 นาโนเมตร เมื่อมีความหนาของชั้นทองคำต่าง ๆ ดังแสดงในรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 ผลการจำลองผลกระทบความหนาชั้นของต่อเส้นโค้งปรากฏการณ์เซอร์เฟซพลาสมอนเรโซแนนซ์ของอากาศ

จากผลการจำลองพบว่าที่ความหนาชั้นของ 50 นาโนเมตร ให้รูปร่างของเส้นโค้งปรากฏการณ์เซอร์เฟซพลาสมอนเรโซแนนซ์ที่แหลมมากที่สุด ซึ่งจะทำให้มีความแม่นยำในการวัดได้ดีที่สุด [18-20]

2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างมุมเรโซแนนซ์กับเลขออกเทน

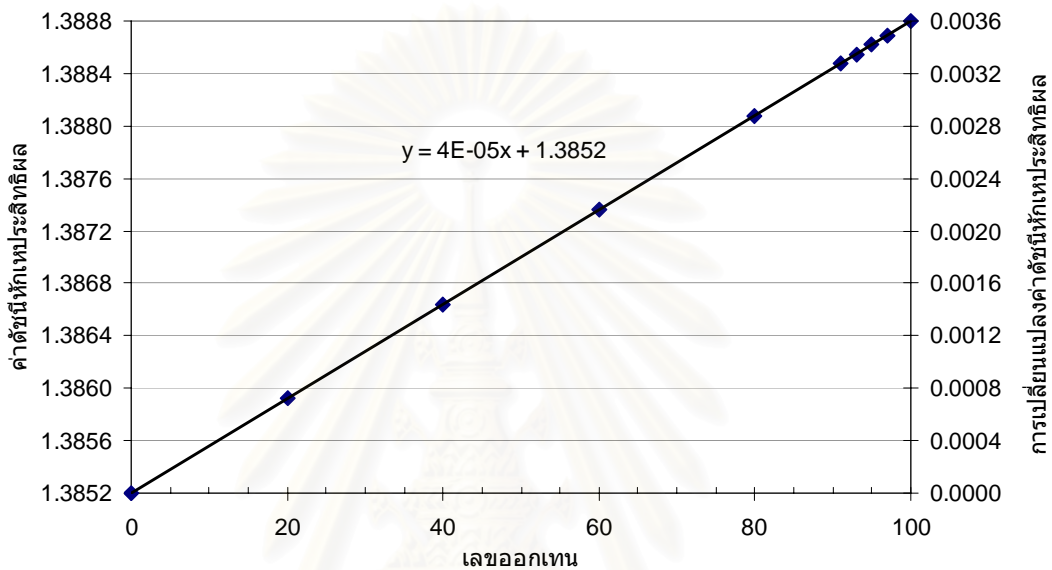
จากที่กล่าวมาข้างต้นวิธีการวัดปรากฏการณ์เซอร์เฟซพลาสมอนเรโซแนนซ์เป็นการวัดถึงการเปลี่ยนแปลงค่าดัชนีหักเหของสารที่อยู่ในชั้นไดอิเล็กทริก โดยให้ผลการวัดออกมาเป็นค่าการเปลี่ยนแปลงทางมุมเรโซแนนซ์ และจากการศึกษาพบว่าอนุกรมอลเฮปแทนและไอโซออกเทนไม่ทำปฏิกิริยากัน จึงทำให้สามารถอนุมานความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีหักเหของน้ำมันเชื้อเพลิงกับเลขออกเทนได้ อย่างไรก็ตาม ค่าดัชนีหักเหที่เกิดจากการผสมกันของสารประกอบหลายชนิดที่ไม่ทำปฏิกิริยากัน เรียกว่า ค่าดัชนีหักเหประสิทธิผล (effective refractive index : n_{eff}) สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 2.28

$$n_{\text{eff}} = \frac{\sum_i n_i v_i}{\sum_i v_i} \quad (2.28)$$

เมื่อ n_i คือ ค่าดัชนีหักเหของสารประกอบตัวที่ i

v_i คือ ปริมาตรของสารประกอบตัวที่ i

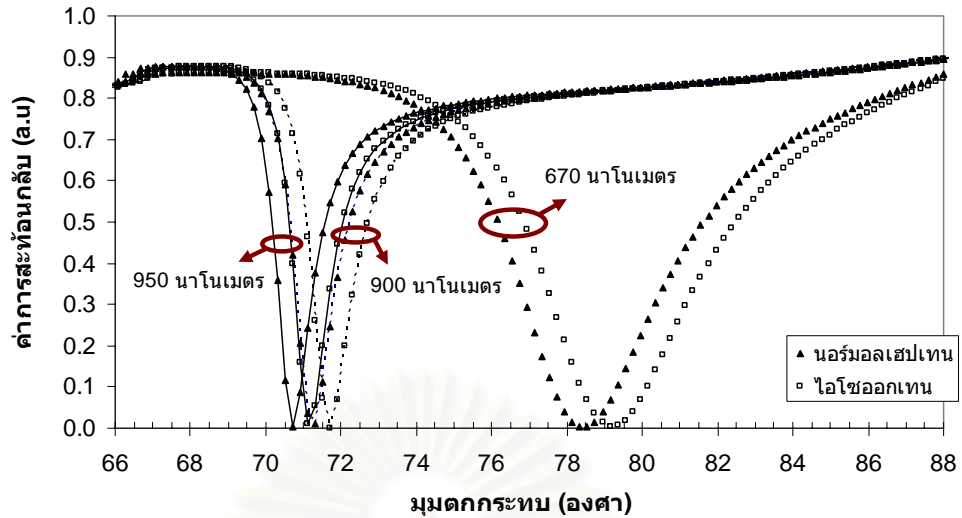
เพื่อเป็นการยืนยันงานวิทยานิพนธ์สามารถใช้วิธีการประเมินค่าเลขออกเทนด้วยวิธีการวัดปรากฏการณ์เซอร์เฟซพลาสมอนเรโซแนนซ์ได้ จึงได้นำสมการที่ 2.1 และ 2.28 มาคำนวณเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีหักเหประสิทธิภาพกับเลขออกเทนของน้ำมัน แสดงกราฟความสัมพันธ์ดังแสดงในรูปที่ 2.14 เมื่อกำหนดให้ค่าดัชนีหักเหของนอร์มอลเฮปเทนและไอโซออกเทน เท่ากับ 1.3852 และ 1.3888 [21] ตามลำดับ



รูปที่ 2.14 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีหักเหประสิทธิภาพกับเลขออกเทนของน้ำมัน

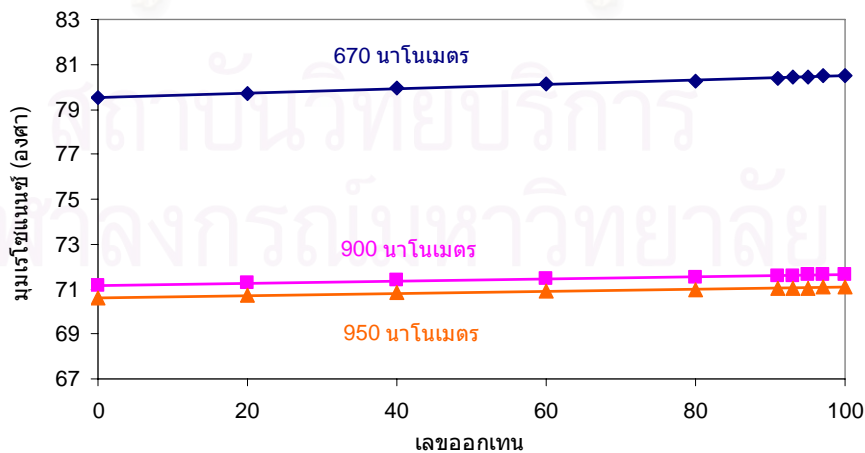
จากรูปที่ 2.14 จะเห็นได้ว่า กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าการเปลี่ยนแปลงค่าดัชนีหักเหประสิทธิภาพกับเลขออกเทนของน้ำมันมีลักษณะการเปลี่ยนแปลงที่เป็นเชิงเส้น จากนั้นจำลองเส้นโค้งปรากฏการณ์เซอร์เฟซพลาสมอนเรโซแนนซ์ของนอร์มอลเฮปเทนและไอโซออกเทน ที่ความยาวคลื่นแสง 670, 900 และ 950 นาโนเมตร ตามลำดับ และกำหนดให้ชั้นทองหนา 50 นาโนเมตร ดังแสดงในรูปที่ 2.15

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



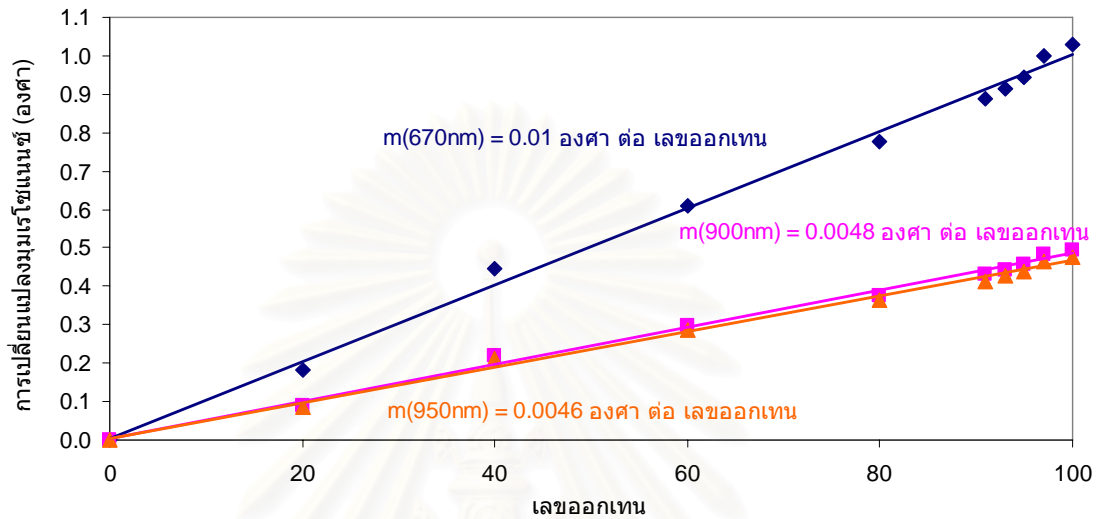
รูปที่ 2.15 ผลการจำลองเส้นโค้งปรากฏการณ์เซอร์เฟซพลาสมอนเรโซแนนซ์ของนอร์มอลเฮปเทน และไอโซออกเทน ที่ความยาวคลื่นแสง 670, 900 และ 950 นาโนเมตร

จากรูปที่ 2.15 จะเห็นได้ว่า มีการเปลี่ยนแปลงเส้นโค้งปรากฏการณ์เซอร์เฟซพลาสมอน เรโซแนนซ์ของไอโซออกเทนไปยังตำแหน่งมุมที่สูงขึ้นเมื่อเทียบกับของนอร์มอลเฮปเทนของความยาวคลื่นแสงทั้ง 3 ค่า นอกจากนี้เมื่อดูการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งของเส้นโค้งปรากฏการณ์เซอร์เฟซพลาสมอนเรโซแนนซ์ระหว่างนอร์มอลเฮปเทนและไอโซออกเทน ที่ความยาวคลื่นแสง 670 นาโนเมตรจะมีการเปลี่ยนแปลงมากที่สุด ซึ่งได้จำลองความสัมพันธ์ระหว่างมุมเรโซแนนซ์กับเลขออกเทน ดังแสดงในรูปที่ 2.16 ที่ความยาวคลื่นแสง 670, 900 และ 950 นาโนเมตร ตามลำดับ



รูปที่ 2.16 ผลการจำลองความสัมพันธ์ระหว่างมุมเรโซแนนซ์กับเลขออกเทนของน้ำมันเชื้อเพลิงที่ความยาวคลื่นแสง 670, 900 และ 950 นาโนเมตร ตามลำดับ

จากรูปที่ 2.16 จะเห็นได้ว่า ผลการจำลองมุมเรโซแนนซ์ของน้ำมันเลขออกเทน 0 ถึง 100 ของความยาวคลื่นแสง 670, 900 และ 950 นาโนเมตร มีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงไปในทิศทางเดียวกัน นั่นคือ การเปลี่ยนแปลงมุมเรโซแนนซ์ของน้ำมันเชื้อเพลิงจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเลขออกเทนสูงขึ้น จากนั้นพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงมุมเรโซแนนซ์กับเลขออกเทน



รูปที่ 2.17 ผลการจำลองการเปลี่ยนแปลงมุมเรโซแนนซ์กับเลขออกเทนของน้ำมันเชื้อเพลิง ที่ความยาวคลื่นแสง 670, 900 และ 950 นาโนเมตร

จากรูปที่ 2.17 พบว่า ผลการจำลองการเปลี่ยนแปลงค่ามุมเรโซแนนซ์ของน้ำมันเชื้อเพลิง ที่มีเลขออกเทน 0 ถึง 100 ที่ความยาวคลื่นแสงสั้นกว่าจะให้ค่าการเปลี่ยนแปลงที่มากกว่า นั่นคือ ที่ความยาวคลื่นแสง 670 นาโนเมตร จะให้ค่าการเปลี่ยนแปลง 1.0 องศา ในขณะที่ความยาวคลื่นแสง 900 และ 950 นาโนเมตร จะให้ค่าการเปลี่ยนแปลงประมาณ 0.5 องศา ดังนั้นเครื่องวัด จะต้องมีความสามารถในการแยกมุมได้ดีกว่า 0.005 องศา เพื่อให้สามารถประเมินค่าเลขออกเทน ของน้ำมันเชื้อเพลิงที่มีความแตกต่างกันเพียงเล็กน้อยได้

โครงสร้างระบบวัดปรากฏการณ์เซอร์เฟซพลาสมอนเรโซแนนซ์

เนื้อหาในบทนี้จะอธิบายถึงโครงสร้างโดยรวมของระบบวัดที่ใช้ในวิทยานิพนธ์ หลักการการทำงานเบื้องต้นของแต่ละส่วนในโครงสร้าง จากนั้นจะกล่าวถึงรายละเอียดทางด้านฮาร์ดแวร์ที่นำมาใช้ ส่วนรายละเอียดทางด้านซอฟต์แวร์สำหรับควบคุมระบบฮาร์ดแวร์จะกล่าวถึงในบทต่อไป

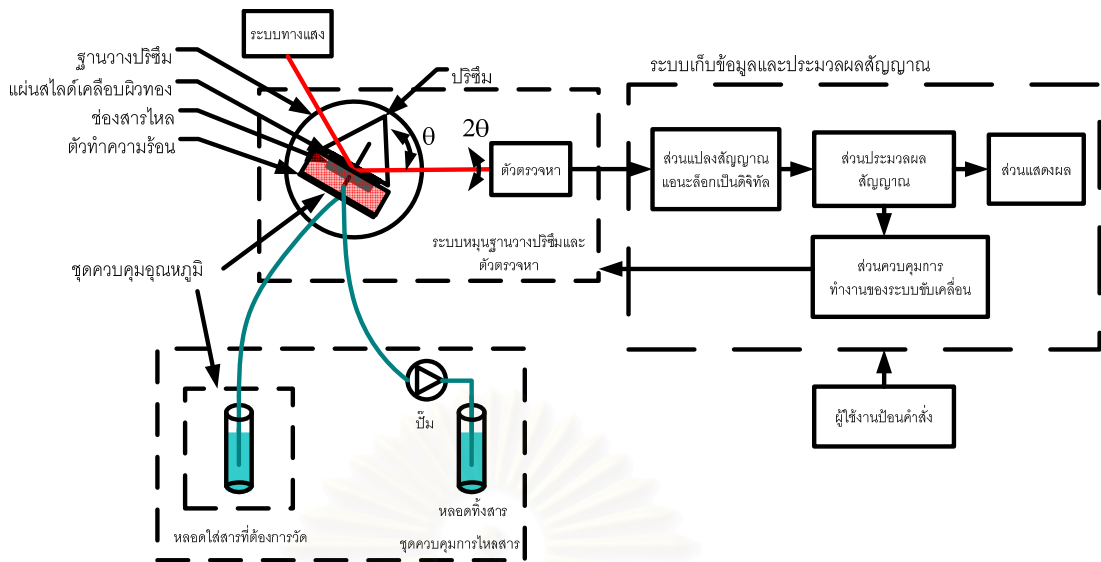
วิทยานิพนธ์นี้เลือกใช้วิธีการวัดแบบสแกนมุม (angular scanning) เพื่อหาค่ามุมเรโซแนนซ์ของปรากฏการณ์เซอร์เฟซพลาสมอนเรโซแนนซ์ โครงสร้างทางฮาร์ดแวร์ประกอบด้วยส่วนหลัก 4 ส่วนสำคัญ ดังแสดงในรูปที่ 3.1

1. ระบบทางแสง แบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ ภาควงส่ง ชุดปริซึมและกระจกสไลด์เคลือบชั้นผิวทอง และภาควัดรับ ภาควงส่งเป็นส่วนของแหล่งกำเนิดแสงและชุดอุปกรณ์ในการจัดแสงก่อนเข้าปริซึม และภาควัดรับเป็นส่วนของชุดอุปกรณ์ในการรับแสงที่สะท้อนออกมาจากปริซึม แล้วนำสัญญาณแสงที่วัดได้ไปเข้าระบบเก็บข้อมูลและประมวลผลสัญญาณ

2. ระบบหมุนฐานวางปริซึมและตัวตรวจหา (detector)

3. ระบบเก็บข้อมูลและประมวลผลสัญญาณ ประกอบด้วยส่วนแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลและคอมพิวเตอร์ ในส่วนของคอมพิวเตอร์ มีหน้าที่ในการติดต่อรับคำสั่งการทำงานจากผู้ใช้งาน ควบคุมการทำงานของระบบหมุนฐานวางปริซึมและตัวตรวจหา รับข้อมูลจากส่วนแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลแล้วนำมาประมวลผล จากนั้นแสดงผลออกทางจอคอมพิวเตอร์

4. ชุดควบคุมการไหลสารตัวอย่าง เพื่อควบคุมการไหลสารเข้าและออกจากโฟลว์เซลล์ และในชุดควบคุมการไหลสารจะประกอบด้วยชุดควบคุมอุณหภูมิ ใช้ควบคุมอุณหภูมิของสารที่ต้องการวัดในโฟลว์เซลล์ให้คงที่ เพื่อลดผลกระทบของอุณหภูมิที่มีต่อการวัดมุมเรโซแนนซ์ของปรากฏการณ์เซอร์เฟซพลาสมอนเรโซแนนซ์



รูปที่ 3.1 แผนภาพแสดงลำดับขั้นตอนโครงสร้างระบบวัดส่วนฮาร์ดแวร์

ในวิทยานิพนธ์นี้ ใช้รูปแบบการหามุมที่เกิดปรากฏการณ์เซอร์เฟซพลาสมอนเรโซแนนซ์ โดยวิธีการสแกนหามุม มีหลักการทำงานอย่างคร่าว ๆ ดังนี้ เริ่มต้นจากการจัดปริซึมให้อยู่ในตำแหน่งมุมเริ่มต้นค่าหนึ่ง จากนั้นให้แสงจากแหล่งกำเนิดส่องผ่านตัวทำแสงโพลาไรซ์ (polarizer) เพื่อกรองแสงให้ได้แสงในทิศพีโพลาไรซ์ (p-polarized) ก่อนเข้าไปยังปริซึม และตกกระทบลงบนผิวทอง ในขณะที่อีกด้านหนึ่งของชั้นผิวทองจะสัมผัสกับสารที่ต้องการวัดที่อยู่ในโพลวีเซลล์ สารที่ไหลผ่านผิวทองจะเป็นตัวกำหนดมุมเรโซแนนซ์ที่เกิดจากปรากฏการณ์เซอร์เฟซพลาสมอนเรโซแนนซ์ ตำแหน่งมุมของมุมเรโซแนนซ์ คือ ตำแหน่งมุมที่ให้ค่าความเข้มแสงที่สะท้อนออกจากผิวทองมีค่าน้อยที่สุด จากนั้นใช้ตัวกรองความยาวคลื่นแสง (narrowband interference filter) เลือกเอาเฉพาะแสงที่มีความยาวคลื่นตามที่ต้องการให้ผ่านเข้าไปยังตัวตรวจหาเพื่อแปลงความเข้มแสงออกมาเป็นสัญญาณไฟฟ้า และสัญญาณไฟฟ้าที่ได้จะถูกจัดเก็บเข้าไปในคอมพิวเตอร์โดยใช้การ์ดแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัล แล้วจึงหมุนปริซึมกับตัวตรวจหาไปยังค่ามุมต่าง ๆ ในช่วงที่ต้องการวัดเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มแสงกับมุมที่ตกกระทบ และข้อมูลทั้งหมดจะถูกนำไปประมวลผลด้วยคอมพิวเตอร์เพื่อหาค่ามุมตกกระทบที่ให้ความเข้มแสงต่ำสุดหรือมุมเรโซแนนซ์ของปรากฏการณ์เซอร์เฟซพลาสมอนเรโซแนนซ์

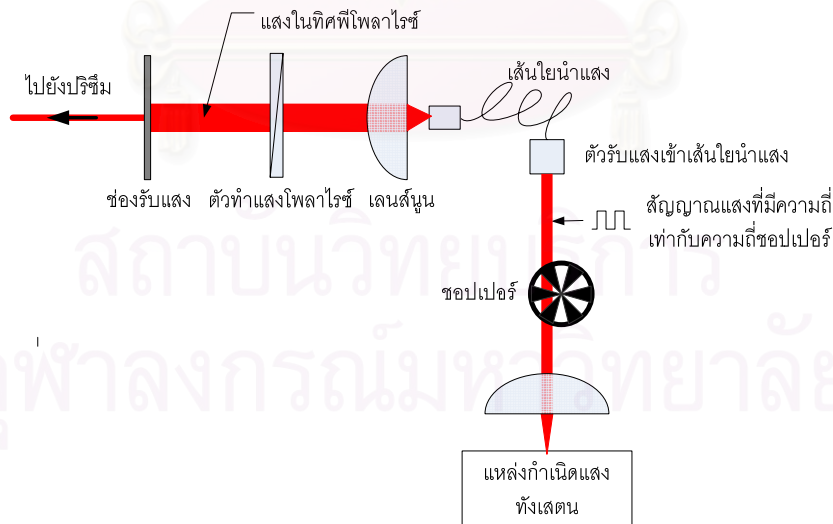
3.1 ระบบทางแสง

งานวิทยานิพนธ์นี้ได้แบ่งระบบทางแสงออกเป็น 3 ส่วนด้วยกัน คือ ภาควง ขูดปริซึมและกระจกสไลด์เคลือบชั้นผิวทอง และภาควงรับ เนื้อหาในหัวข้อนี้จะอธิบายถึงหน้าที่และขั้นตอนการทำงานของแต่ละระบบ ดังนี้

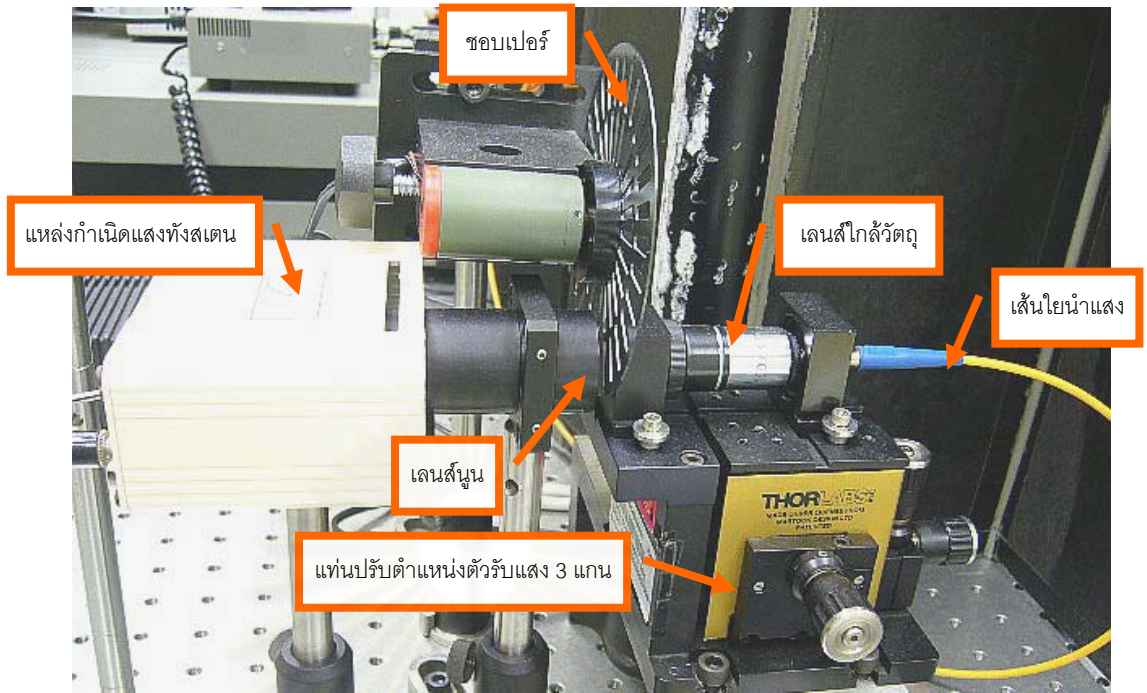
3.1.1 ภาควง

ระบบทางแสงของภาควงมีหน้าที่ในการจัดรูปแบบแสงก่อนเข้าปริซึมให้มีลักษณะเป็นแสงขนานที่มีลำแสงขนาดเล็ก และอยู่ในทิศโพลาไรซ์ โดยโครงสร้างทางฮาร์ดแวร์ของระบบทางแสงส่วนภาควง ดังแสดงในรูปที่ 3.2

สำหรับหลักการการทำงานของภาควงนี้เริ่มจากแหล่งกำเนิดแสงจากหลอดทังสเตนฉายแสงผ่านเลนส์นูนและชอปเปอร์ ก่อนเข้าไปยังเลนส์ใกล้วัตถุ (objective) สำหรับเปลี่ยนเข้าเส้นใยนำแสง (fiber optic) เมื่อแสงเดินทางออกมาจึงปลายเส้นใยนำแสงอีกด้านหนึ่ง แสงที่ออกมาจะถูกบีบลำแสงให้เป็นแสงขนานด้วยเลนส์นูนและผ่านตัวทำแสงโพลาไรซ์เพื่อกรองแสงให้อยู่ทิศโพลาไรซ์ จากนั้นแสงผ่านช่องรับแสง (aperture) เพื่อกันขอบของลำแสงออกให้เหลือลำแสงที่มีขนาดเล็กก่อนวิ่งเข้าสู่ปริซึม

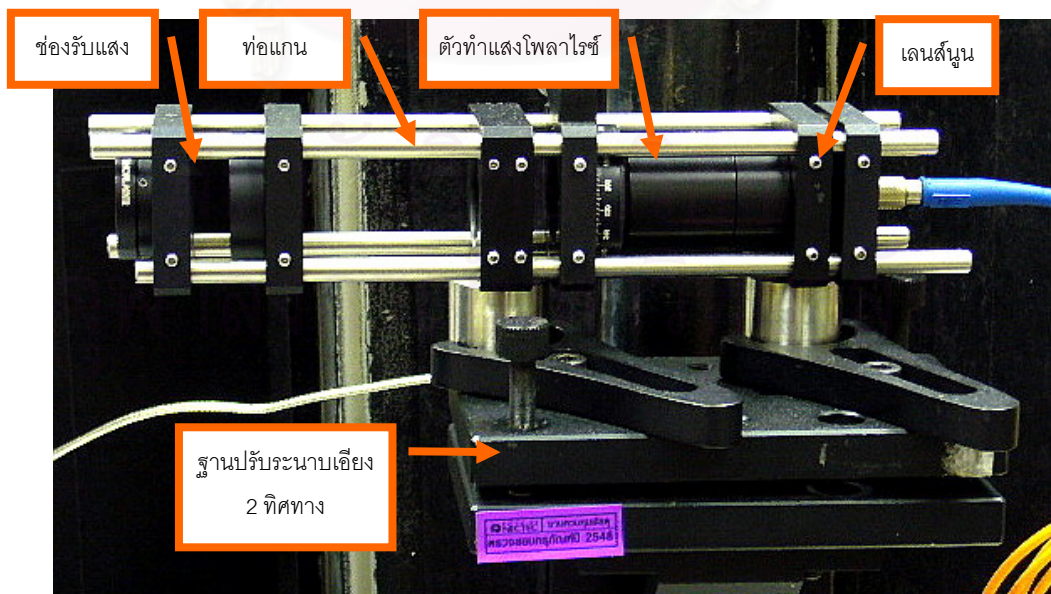


รูปที่ 3.2 โครงสร้างส่วนฮาร์ดแวร์ของระบบทางแสงในภาควง



รูปที่ 3.3 อุปกรณ์ในระบบทางแสงส่วนภาคส่ง ก่อนเข้าเส้นใยนำแสง

รูปที่ 3.3 แสดงการจัดวางอุปกรณ์ในระบบทางแสงส่วนภาคส่งก่อนเข้าเส้นใยนำแสง จากรูปจะเห็นว่าแท่นของหัวต่อเส้นใยนำแสงถูกวางอยู่บนแท่นปรับตำแหน่งตัวรับแสง 3 แกน ทั้งนี้เพื่อต้องการปรับตำแหน่งของหัวรับเส้นใยนำแสง ให้สามารถรับแสงที่ถูกรวมแสงจากเลนส์ใกล้วัตถุให้เข้าเส้นใยนำแสงให้มากที่สุด

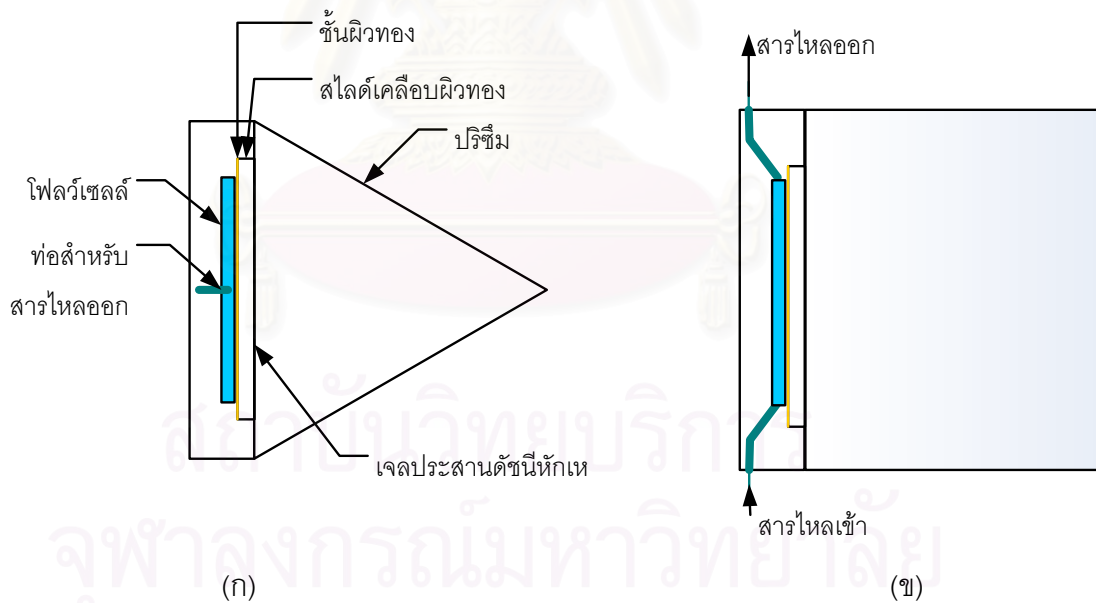


รูปที่ 3.4 อุปกรณ์ในระบบทางแสงในภาคส่ง หลังออกจากเส้นใยนำแสง

รูปที่ 3.4 แสดงอุปกรณ์ในระบบทางแสงส่วนภาคส่งหลังจากเส้นใยนำแสง ซึ่งอุปกรณ์ทั้งหมดจะถูกจัดวางอยู่บนฐานปรับระนาบเอียง 2 ทิศทาง สำหรับปรับมุมกัมเมตและแนวเอียงของชุดอุปกรณ์ได้และท่อแกนเป็นตัวกำหนดตำแหน่งของอุปกรณ์ให้อยู่ในแนวเดียวกัน

3.1.2 ชุดปริซึมและกระจกสไลด์เคลือบชั้นผิวทอง

งานวิทยานิพนธ์นี้ใช้รูปแบบจัดวางปริซึมและชั้นของผิวทองสัมผัสตามรูปแบบเครื่องมือเครทชมาน ซึ่งมีลำดับการจัดวางของปริซึม ชั้นสัมผัสผิวทองและโพลีซิลล์ ดังแสดงในรูปที่ 3.5 ปริซึมแก้ว BK-7 มีรูปทรงแบบสามเหลี่ยมด้านเท่ามุม 60 องศา มีความยาวด้านละ 30 มิลลิเมตร และมีความหนา 30 มิลลิเมตร และแผ่นกระจกสไลด์วงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 นิ้ว หนา 1 มิลลิเมตร มีชั้นของผิวทองเคลือบไว้หนึ่งด้าน ซึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 นิ้ว หนา 50 นาโนเมตร ทั้งปริซึมและกระจกสไลด์ทำจากกระจกที่มีค่าดัชนีหักเหประมาณ 1.5 เมื่อนำมาทดลองปริซึมกับสไลด์ด้านที่ไม่ได้เคลือบผิวทองจะถูกเชื่อมให้ติดกันโดยเจลประสานดัชนีหักเห (index matching gel)



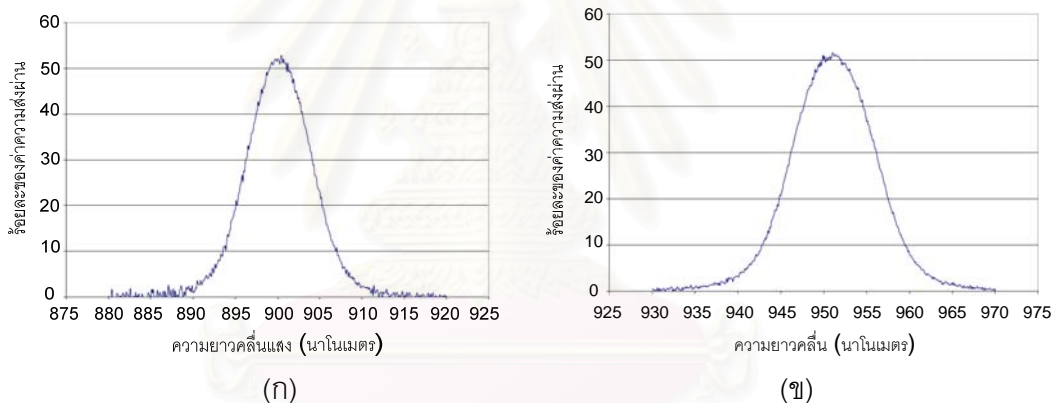
รูปที่ 3.5 โครงสร้างชุดปริซึมและกระจกสไลด์ เมื่อแสดง (ก) ด้านบน และ (ข) ด้านข้าง

3.1.3 ภาครับ

หน้าที่ของระบบทางแสงในภาครับ คือ กรองแสงให้ได้แสงในความยาวคลื่นที่ต้องการด้วยตัวกรองความยาวคลื่นแสง (narrowband interference filter) และวัดความเข้มของสัญญาณแสงที่สะท้อนออกมาจากปริซึม

3.1.3.1 ตัวกรองความยาวคลื่นแสง

ทำหน้าที่กรองแสงให้มีเพียงความยาวคลื่นเดียวเพื่อส่งต่อไปยังตัวตรวจหา ซึ่งในงานวิทยานิพนธ์นี้สนใจที่จะวัดปรากฏการณ์เซอร์เฟซพลาสมอนเรโซแนนซ์ที่มีความยาวคลื่นแสง 900 และ 950 นาโนเมตร (ซึ่งจะกล่าวรายละเอียดในหัวข้อ 3.2.4) ดังนั้นจึงเลือกใช้ตัวกรองที่มีความถี่กลาง (f_c) 900 และ 950 นาโนเมตร และมี Full Width Half Max : FWHM 10 นาโนเมตร โดยมีสเปกตรัมการส่งผ่านทางแสง ดังแสดงในรูปที่ 3.6

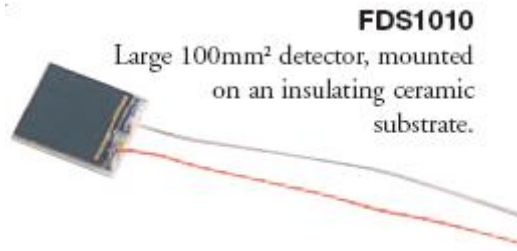


รูปที่ 3.6 สเปกตรัมการส่งผ่านทางแสงของตัวกรองความยาวคลื่นแสง

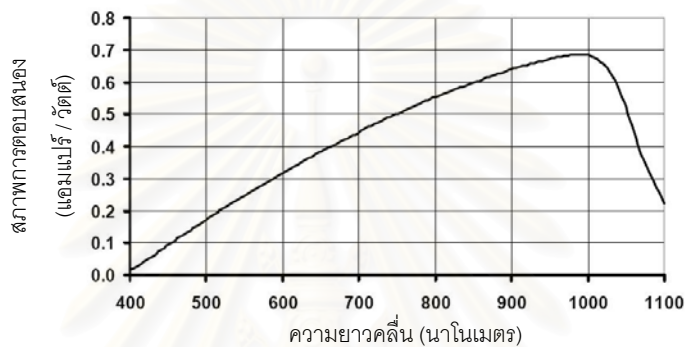
(ก) 900 และ (ข) 950 นาโนเมตร

3.1.3.2 ตัวตรวจหา

ทำหน้าที่แปลงกำลังของสัญญาณแสงเป็นรูปของสัญญาณทางไฟฟ้าเพื่อส่งต่อไปยังวงจรแปลงกระแสเป็นแรงดัน ในที่นี้ใช้ซิลิกอนโฟโตไดโอด (Si photodiode) รุ่น FDS1010 ดังแสดงในรูปที่ 3.7 มีพื้นที่รับแสง เท่ากับ 100 ตารางมิลลิเมตร และสามารถตอบสนองต่อแสงได้ในช่วงความยาวคลื่น 400 – 1,100 นาโนเมตร ดังรูปที่ 3.8 แสดงกราฟสภาพการตอบสนองของตัวตรวจหาต่อความยาวคลื่นแสง



รูปที่ 3.7 ซีลิคอนโฟโตไดโอด

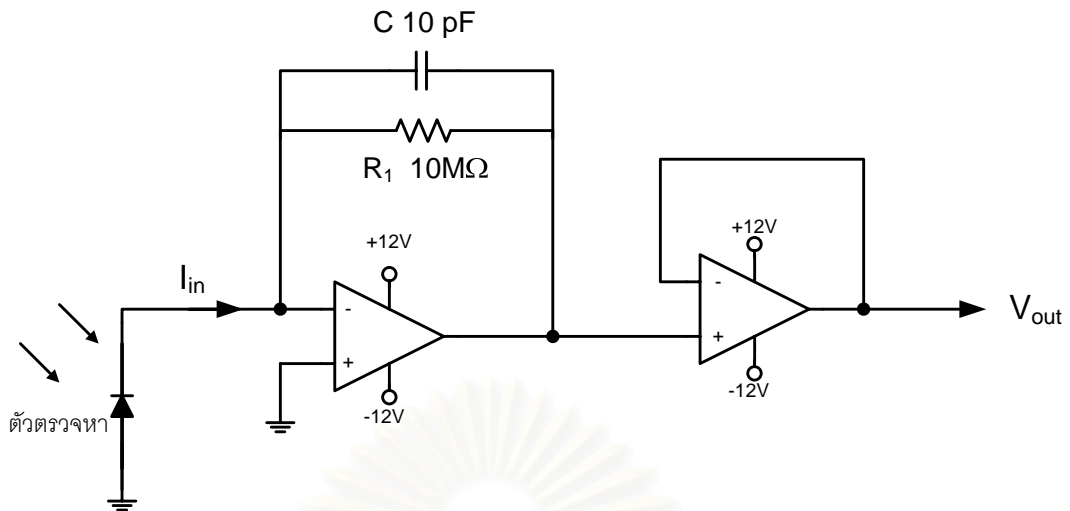


รูปที่ 3.8 สภาพการตอบสนองทางความยาวคลื่นแสงของตัวตรวจหา

หลักการทํางานของซีลิคอนโฟโตไดโอด คือ แปลงกำลังของสัญญาณแสงหรือค่าความเข้มของแสงให้อยู่ในรูปของกระแสไฟฟ้า โดยกระแสไฟฟ้าที่ได้จะขึ้นอยู่กับกำลังและความยาวคลื่นของแสงที่มากกระทบบ จากรูปที่ 3.8 พบว่าซีลิคอนโฟโตไดโอดมีการตอบสนองต่อแสงในช่วงความยาวคลื่นแสง 900 – 1,030 นาโนเมตรได้ดี

3.1.3.3 วงจรแปลงกระแสเป็นแรงดัน (transimpedance amplifier current transformer)

ทำหน้าที่แปลงกระแสไฟฟ้าจากซีลิคอนโฟโตไดโอดให้อยู่ในรูปของแรงดันไฟฟ้า โดยใช้โอปแอมป์เป็นตัวแปลงกระแสเป็นแรงดันผ่านตัวต้านทานป้อนกลับ แสดงอยู่ในรูปที่ 3.9 ขนาดของแรงดันออกที่ได้แปรผันตามกับขนาดของกระแสโฟโตไดโอด ที่ขึ้นอยู่กับค่าความเข้มแสงที่มากกระทบบโฟโตไดโอด ดังสมการที่ 3.1 และตัวเก็บประจุถูกนำมาใช้เป็นตัวกรองสัญญาณรบกวนความถี่สูงออกไป ดังสมการที่ 3.2 นอกจากนี้ได้เพิ่มวงจรมัฟเฟอ์เข้าไป เพื่อทำการแยกวงจรออกจากโหลด การต่อวงจรดังกล่าว



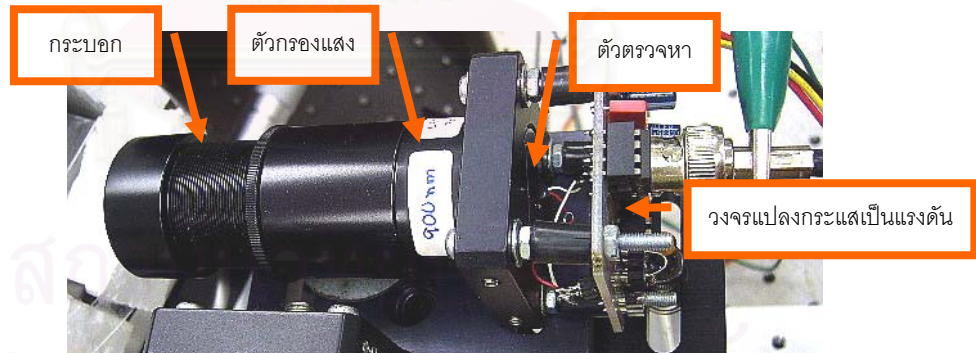
รูปที่ 3.9 วงจรแปลงกระแสเป็นแรงดันกับบัพเฟอร์

สมการของวงจรแปลงกระแสเป็นแรงดันกับบัพเฟอร์

$$V_{out} = -I_{in} \cdot R_1 \quad (3.1)$$

และช่วงตัดความถี่ของวงจรรองความถี่ต่ำ f_c (cut-off frequency)

$$f_c = \frac{1}{R_1 C} = \frac{1}{(10 \times 10^6)(10 \times 10^{-12})} = 10\text{ kHz} \quad (3.2)$$



รูปที่ 3.10 อุปกรณ์ในระบบทางแสงในส่วนภาครับ

อุปกรณ์ระบบทางแสงในส่วนภาครับ ดังแสดงในรูปที่ 3.10 ประกอบด้วยครอบบอกยาวเพื่อกันไม่ให้แสงจากภายนอกเข้ามารบกวน ตัวกรองความยาวคลื่นแสงและซิลิกอนโฟโตไดโอด ซึ่งมีวงจรแปลงกระแสเป็นแรงดันแปลงสัญญาณจากซิลิกอนโฟโตไดโอดเพื่อนำสัญญาณไฟฟ้าเข้าไปยังล็อกอินแอมพลิไฟเออร์

3.2 ระบบหมุนฐานวางปริซึมและตัวตรวจหา

สำหรับงานวิทยานิพนธ์นี้ ใช้รูปแบบวิธีการวัดปรากฏการณ์เซอร์เฟซพลาสมอนเรโซแนนซ์แบบสแกนมุม ซึ่งเป็นวิธีการวัดความเข้มแสงที่สะท้อนออกมาจากผิวของที่มุมตกกระทบค่าต่าง ๆ เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงกับมุมตกกระทบในช่วงมุมที่ต้องการวัด และเนื่องจากตำแหน่งของแหล่งกำเนิดแสงถูกกำหนดให้อยู่กับที่ ไม่มีการเคลื่อนที่ ดังนั้นฐานวางปริซึมและฐานวางตัวตรวจหาจะถูกทำให้หมุนเพื่อวัดความสัมพันธ์ดังกล่าวมาข้างต้น ซึ่งการหมุนฐานวางทั้งสองจะต้องหมุนให้มีความสัมพันธ์ในแกนหมุนเดียวกัน นั่นคือ เมื่อฐานวางปริซึมหมุนไป θ องศา ฐานวางตัวตรวจหาจะต้องหมุนไป 2θ องศาพร้อมกัน และหยุดหมุนเพื่อวัดความเข้มแสง ณ ตำแหน่งนั้น ๆ และจากผลการจำลองความสัมพันธ์ระหว่างมุมเรโซแนนซ์กับค่าเลขออกเทนของน้ำมัน ในบทที่ 2 ทำให้ทราบว่า มุมเรโซแนนซ์ของน้ำมันที่มีเลขออกเทน 0 ถึง 100 จะมีความแตกต่างกัน 0.5 องศา ที่ความยาวคลื่นแสง 950 นาโนเมตร เพราะฉะนั้นหากต้องการแยกแยะความแตกต่างระหว่างเลขออกเทน 1 หน่วย จะต้องใช้มอเตอร์ที่มีความละเอียดดีกว่า 0.005 องศา ที่ความยาวคลื่นแสง 950 นาโนเมตร ดังนั้นมอเตอร์ที่นำมาใช้ในวิทยานิพนธ์จะต้องเป็นมอเตอร์ที่ให้ความละเอียดและความแม่นยำสูงสำหรับการเคลื่อนที่ด้วยมุมมองศาน้อย

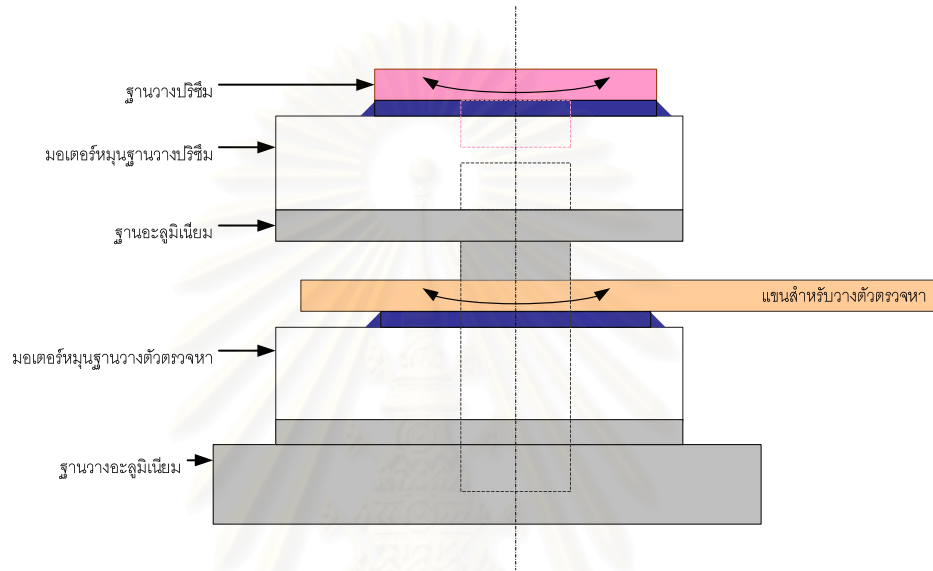
ต่อไปเป็นการอธิบายถึงการออกแบบโครงสร้างและรายละเอียดเบื้องต้นของฮาร์ดแวร์ในแต่ละส่วนของระบบหมุนฐานวางปริซึมและตัวตรวจหา

3.2.1 โครงสร้างระบบหมุนฐานวางปริซึมและตัวตรวจหา

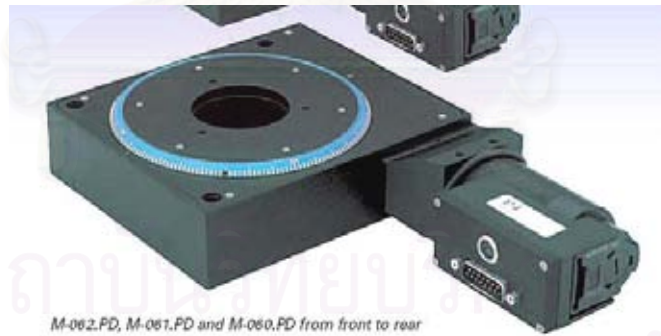
จากข้อกำหนดของการหมุนปริซึมและตัวตรวจหาที่ว่าค่ามุมของการหมุนฐานวางตัวตรวจหาจะต้องเป็น 2 เท่าของมุมการหมุนของฐานวางปริซึม สามารถออกแบบระบบทางกลได้หลายวิธี เช่น ใช้มอเตอร์ 2 ตัวตั้งอยู่ในแนวแกนเดียวกัน ซึ่งวิธีนี้ต้องใช้มอเตอร์ที่มีความแม่นยำและความละเอียดในการควบคุมตำแหน่งสูงทั้ง 2 ตัวเพื่อให้ได้ความผิดพลาดจากการหมุนมีค่าต่ำหรือใช้มอเตอร์ 1 ตัวพร้อมกับระบบเฟืองทดในอัตราทดเฟือง 2:1 ซึ่งวิธีนี้มีข้อจำกัดในการออกแบบระบบเฟืองทดและระยะคลอน (backlash) ของชุดเฟืองที่ใช้

ในงานวิทยานิพนธ์นี้เลือกใช้ระบบที่มีมอเตอร์ 2 ตัว ซึ่งโครงสร้างของระบบหมุนฐานวางปริซึมและตัวตรวจหา ดังแสดงในรูปที่ 3.11 ระบบหมุนฐานวางปริซึมและตัวตรวจหาประกอบด้วยมอเตอร์แยกกัน 2 ตัวมีแกนกลางร่วมสำหรับหมุนฐานวางทั้งสอง โดยที่มอเตอร์ตัวล่างจะยึดอยู่กับฐานอะลูมิเนียมและใช้สำหรับหมุนแกนที่ใช้วางตัวตรวจหา และมอเตอร์ตัวบนวางอยู่บนฐานอะลูมิเนียมที่ยกสูงขึ้นมาและใช้สำหรับหมุนฐานวางปริซึม สำหรับมอเตอร์ที่นำมาใช้

เป็นเซอร์โวมอเตอร์ของบริษัท PI รุ่น M-061.PD ดังแสดงในรูปที่ 3.12 ประกอบด้วยมอเตอร์กระแสตรงขนาด 30 วัตต์ ใช้แรงดัน 0 ถึง ± 24 โวลต์ สามารถให้แรงได้มากที่สุด ± 550 นิวตันและแรงบิดได้ ± 6 นิวตันเมตร และมีเอ็นโคเดอร์ (encoder) ที่มีความละเอียดในการจับตำแหน่งได้ 4,000 ครั้งต่อรอบซึ่งต่ออยู่กับเฟืองตัวหนอนด้วยอัตราทด (worm gear ratio) 90:1 ทำให้ได้ความละเอียด 0.001 องศา ความคุมการหมุนผ่านอินเทอร์เฟซบอร์ดที่ติดตั้งอยู่ในเครื่องคอมพิวเตอร์



รูปที่ 3.11 การออกแบบโครงสร้างฐานวางปริซึมและตัวตรวจหา

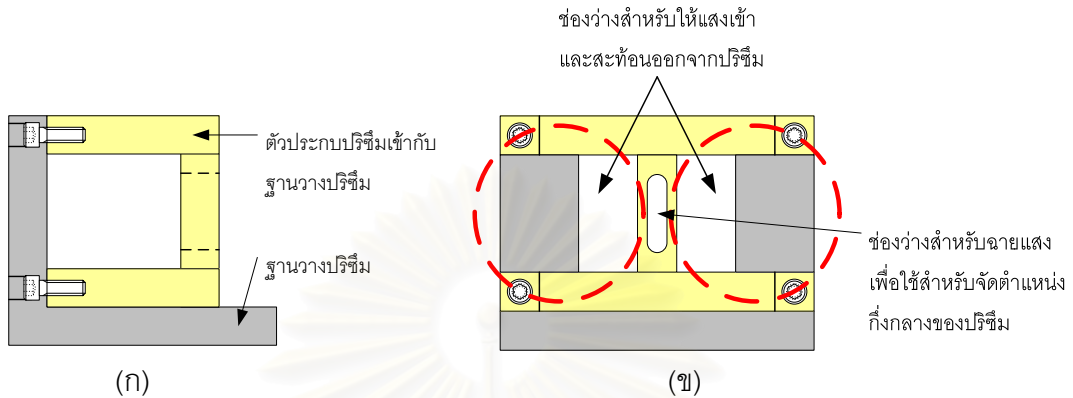


รูปที่ 3.12 เซอร์โวมอเตอร์รุ่น M-061.PD

3.2.2 อุปกรณ์จับยึดปริซึม

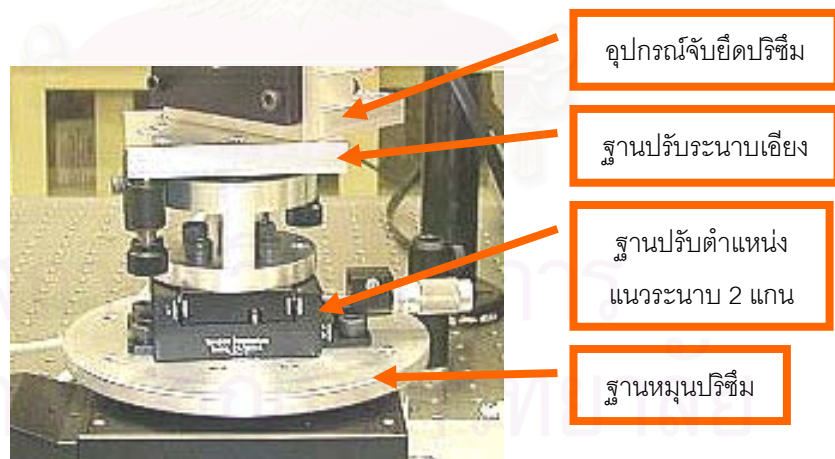
ในส่วนของอุปกรณ์จับยึดปริซึมซึ่งวางอยู่บนฐานหมุนปริซึม จะถูกออกแบบให้มีช่องว่างสำหรับให้แสงเข้าไปยังปริซึมและสะท้อนออกมาได้ เมื่อเอาปริซึมประกบเข้าไปใหม่หลังจากที่ถอดออกไปแล้ว ตำแหน่งครั้งใหม่จะยังคงอยู่ที่เดิม อุปกรณ์จับยึดปริซึมที่ใช้ในวิทยานิพนธ์นี้

ประกอบด้วย 2 ส่วนคือ ฐานวางปริซึมและตัวประกบปริซึม ส่วนของฐานวางปริซึมถูกออกแบบให้ยึดติดกับฐานหมุนปริซึมและตัวประกบปริซึมจะถูกถอดมาเพียงชิ้นเดียวเมื่อต้องการถอดปริซึมออกเพื่อนำมาทำความสะอาด โครงสร้างการออกแบบดังแสดงในรูปที่ 3.13



รูปที่ 3.13 การออกแบบอุปกรณ์จับยึดปริซึม เมื่อแสดง (ก) ด้านข้าง และ (ข) ด้านหน้า

ในวิทยานิพนธ์ได้จัดวางให้อุปกรณ์จับยึดปริซึมวางอยู่บนฐานปรับระนาบ 3 แกนได้แก่ฐานปรับระนาบแนวอน 2 ทิศทาง (XY stage) และฐานปรับระนาบเอียง เพื่อให้มีความยืดหยุ่นและง่ายในการจัดระบบทางแสง รูปโครงสร้างดังกล่าวแสดงในรูปที่ 3.14



รูปที่ 3.14 โครงสร้างอุปกรณ์บนฐานหมุนปริซึม

หน้าที่ของฐานปรับระนาบ 3 แกน คือ สำหรับปรับตำแหน่งให้ระนาบของผิวทองที่สัมผัสกับสารตัวอย่างอยู่แนวเดียวกับจุดหมุนของมอเตอร์ เพื่อให้ง่ายต่อการนำไปพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างมุมตกกระทบกับความเข้มแสง เพราะมุมที่นำไปศึกษาเป็นมุมที่ตกกระทบ

ลงบนผิวทอง ซึ่งจะอธิบายวิธีการคำนวณหาความสัมพันธ์ระหว่างมุมมอเตอร์กับมุมตกกระทบในหัวข้อต่อไป

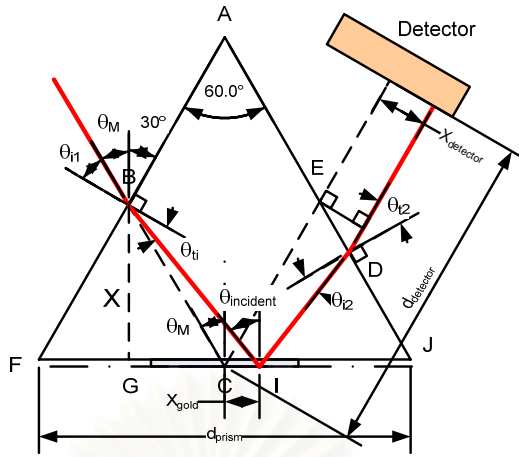
จากส่วนประกอบข้างต้นนำมาแสดงโครงสร้างของรวมระบบหมุนฐานวางปริซึมและตัวตรวจหา ดังแสดงในรูปที่ 3.15



รูปที่ 3.15 โครงสร้างระบบหมุนฐานวางปริซึมและตัวตรวจหา

3.2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างมุมมอเตอร์กับมุมตกกระทบ

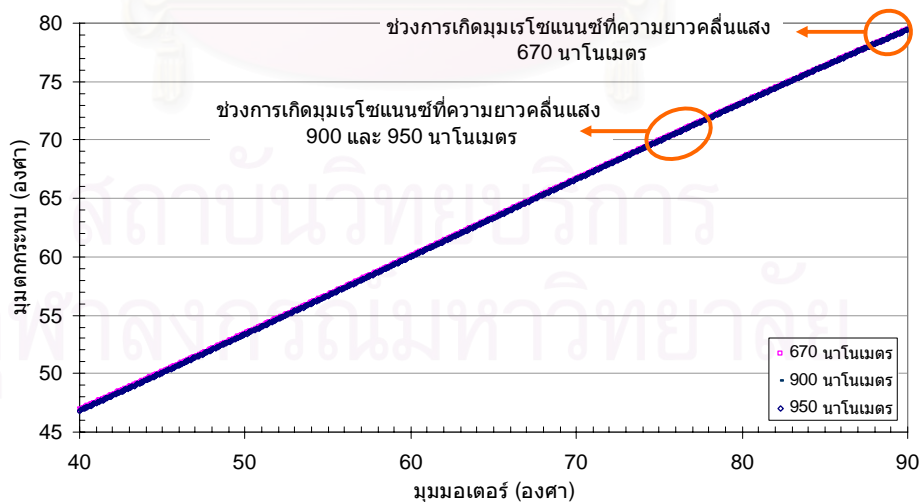
เมื่อแสงเดินทางจากอากาศเข้าสู่ปริซึมที่มีค่าดัชนีหักเหมากกว่า ทำให้เส้นทางของแสงที่เดินทางเข้าสู่ปริซึมเกิดการหักเหออกจากแนวเดิม มุมตกกระทบบนผิวทอง (θ_{inc}) จึงไม่เท่ากับมุมมอเตอร์ (θ_M) แสดงเส้นทางเดินของแสงดังรูปที่ 3.16 เพื่อคำนวณหาสมการสำหรับชดเชยเพื่อหาค่ามุมตกกระทบ ดังสมการที่ 3.2 เป็นสมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมของมอเตอร์กับมุมของปริซึม



รูปที่ 3.16 เส้นทางเดินของแสงเมื่อวิ่งเข้าสู่ปริซึม

$$\theta_{inc} = 60 - \sin^{-1} \left(\frac{\sin(60 - \theta_M)}{n_{prism}} \right) \quad (3.3)$$

จากสมการที่ 3.2 จะเห็นได้ว่ามุมตกกระทบขึ้นอยู่กับมุมมอเตอร์และค่าดัชนีหักเหของปริซึม เมื่อคำนวณความสัมพันธ์จากสมการที่ 3.5 จะได้กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมมอเตอร์กับมุมตกกระทบที่ความยาวคลื่นแสง โดยใช้ค่าดัชนีหักเหของปริซึมที่ความยาวคลื่นแสงต่าง ๆ จากตารางที่ 2.1 ดังแสดงในรูปที่ 3.17



รูปที่ 3.17 ผลการจำลองความสัมพันธ์ระหว่างมุมมอเตอร์กับมุมตกกระทบ

จากรูปที่ 3.17 เป็นการแสดงการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างมุมมอดเตอร์กับมุมตกกระทบที่ความยาวคลื่นแสง 670, 900 และ 950 นาโนเมตร ซึ่งจะเห็นได้เห็นว่าผลของความยาวคลื่นแสงมีผลกระทบต่อความสัมพันธ์ระหว่างมุมทั้งสองน้อยมาก และเมื่อพิจารณาช่วงการเกิดมุมเรโซแนนซ์ที่ความยาวคลื่นแสงทั้ง 3 ค่าจากผลการจำลองในบทที่ 2 ได้ว่ามุมเรโซแนนซ์จะอยู่ในช่วงของมุมตกกระทบ 70 – 80 องศา ในขณะที่ช่วงของมุมมอดเตอร์จะอยู่ระหว่าง 75 – 90 องศา ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเมื่อมุมมอดเตอร์ไป 15 องศาจะทำให้มุมของแสงตกกระทบเปลี่ยนแปลงไปประมาณ 10 องศา สำหรับการใช้ปริซึมสามเหลี่ยม

จากนั้นคำนวณหาระยะเลื่อนของตำแหน่งแสงที่ตกกระทบบนผิวทองออกจากตำแหน่งกึ่งกลางของผิวทอง (X_{gold}) แสดงอยู่ในรูปที่ 3.16 ดังต่อไปนี้

พิจารณา ΔBGC จะได้

$$\frac{\overline{GC}}{X} = \frac{0.5d_{prism} - X/\tan 60}{X} = \tan \theta_M$$

$$X = \frac{0.5d_{prism}}{\tan \theta_M + \tan^{-1} 60} \quad (3.4)$$

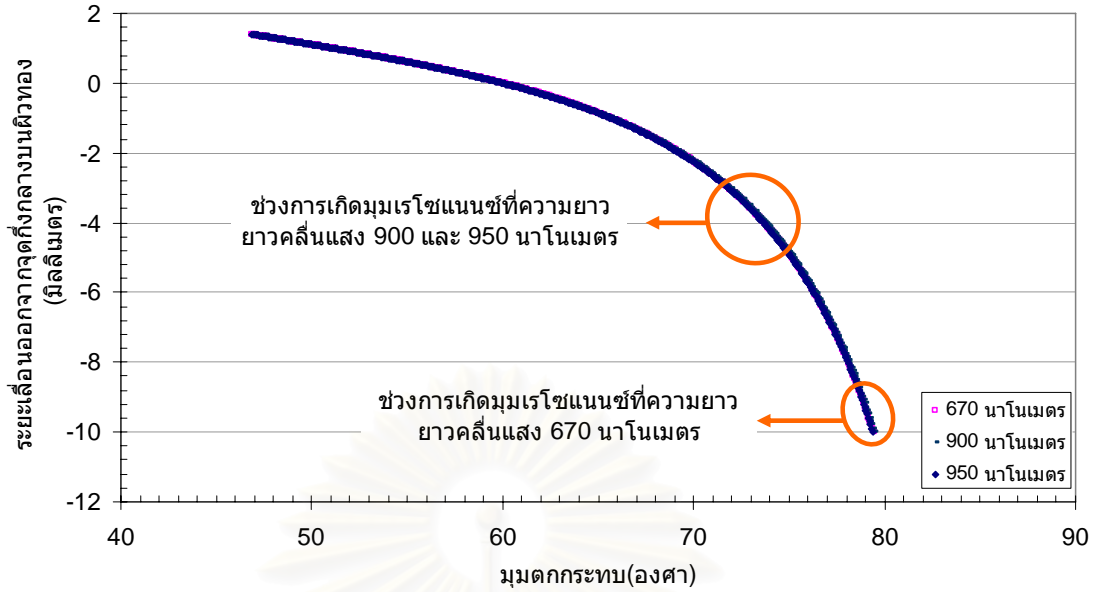
เมื่อ d_{prism} คือ ขนาดของปริซึม

จากนั้นหา X_{gold} จะได้

$$X_{gold} = \overline{GI} - \overline{GC}$$

$$= X(\tan \theta_{incident} - \tan \theta_M) \quad (3.5)$$

จากสมการที่ 3.3 – 3.5 สามารถคำนวณหาระยะเลื่อนของแสงที่ตกกระทบบนผิวทองออกจากตำแหน่งกึ่งกลางกับมุมของมอดเตอร์ รูปที่ 3.18 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะเลื่อนของแสงที่ตกกระทบบนผิวทองกับมุมของมอดเตอร์ ที่ความยาวคลื่นแสง 670, 900 และ 950 นาโนเมตร และปริซึมมีขนาด 30 มิลลิเมตร

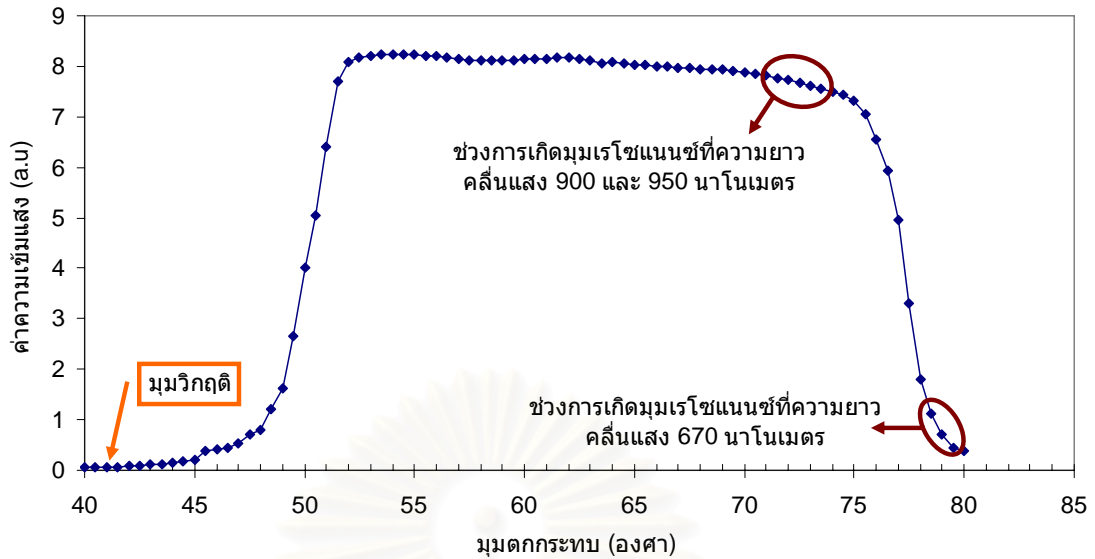


รูปที่ 3.18 ผลการจำลองความสัมพันธ์ระหว่างระยะเลื่อนของตำแหน่งแสงตกกระทบ บนผิวทองกับมุมตกกระทบ

เมื่อเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างระยะเลื่อนบนผิวทองกับมุมตกกระทบของแสงที่มีความยาวคลื่นแตกต่างกัน จากรูปที่ 3.18 พบว่าระยะเลื่อนบนผิวทองของความยาวคลื่นแสงทั้ง 3 ค่ามีความแตกต่างกันน้อยมาก และมีแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงของระยะเลื่อนมากขึ้นที่มุมตกกระทบมากขึ้น นอกจากนี้สามารถนำความสัมพันธ์ในรูปที่ 3.18 มาใช้ในการกำหนดขนาดความกว้างของโฟลว์เซลล์เพื่อให้จุดตกกระทบของแสงยังคงอยู่บนโฟลว์เซลล์ สำหรับการวัดปรากฏการณ์เซอร์เฟสพลาสมอนเรโซแนนซ์ที่มีความยาวคลื่นแสงค่าต่าง ๆ

3.2.4 การชดเชยเพื่อปรับปรุงร่างเส้นโค้งปรากฏการณ์เซอร์เฟสพลาสมอนเรโซแนนซ์

ในส่วนนี้เราได้ทดลองวัดการสะท้อนแสงชุดปริซึมและกระจกสไลด์ที่ไม่มีการเคลือบผิวทองที่มุมตกกระทบต่าง ๆ เพื่อนำค่าความเข้มแสงที่วัดได้ไปชดเชยเพื่อปรับปรุงร่างเส้นโค้งที่วัดได้จากปรากฏการณ์เซอร์เฟสพลาสมอนเรโซแนนซ์ รูปที่ 3.19 แสดงผลการทดลองวัดหาความสัมพันธ์ระหว่างมุมตกกระทบกับค่าความเข้มแสงที่สะท้อนออกจากปริซึมโดยใช้โฟโตไดโอดเป็นตัวตรวจหา



รูปที่ 3.19 การสะท้อนกลับของปริซึมสามเหลี่ยม

จากรูปที่ 3.19 ได้แบ่งช่วงการพิจารณาของกราฟออกเป็น 3 ช่วง ได้แก่ ช่วงแรกเป็นช่วงหลังจากมูมิวิกฤติ จะพบว่ามีความโน้มการเพิ่มขึ้นของค่าความเข้มแสงอย่างช้า ๆ และเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วที่มูมตกกระทบ 50 องศา เกิดขึ้นเนื่องจากตำแหน่งของแสงสะท้อนที่ไปตกกระทบบนหน้ารับแสงของตัวตรวจหาในช่วงมูมตกกระทบค่าต่ำ ๆ ไม่อยู่บนหน้ารับแสงของตัวตรวจหาทั้งหมดทำให้ค่าที่วัดได้น้อยกว่าที่ควรจะเป็น และเมื่อมูมตกกระทบมากขึ้นตำแหน่งตกกระทบของแสงจะเริ่มวิ่งเข้าสู่หน้ารับแสงของตัวตรวจหามากขึ้น ดังนั้นจึงเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้กราฟไม่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วหลังจากเกิดปรากฏการณ์สะท้อนกลับหมด ช่วงที่ 2 เป็นช่วงของมูมตกกระทบระหว่าง 50 – 75 องศา ซึ่งเป็นช่วงที่ตำแหน่งตกกระทบของแสงบนหน้ารับแสงของตัวตรวจหาตกลงบนหน้ารับแสงทั้งหมด จึงทำให้วัดได้ค่าความเข้มแสงที่มีค่าสูง แต่พบว่ามีความโน้มลดลงเมื่อมูมตกกระทบมากขึ้น เกิดขึ้นเนื่องจากข้อจำกัดทางรูปร่างของปริซึมมีผลทำให้เกิดการสะท้อนที่ผิวของปริซึมกับอากาศ นั่นคือ เมื่อแสงเดินทางจากอากาศไปตกกระทบบนผิวของปริซึมจะเกิดการสะท้อนและการส่งผ่านของแสง และเมื่อมูมตกกระทบของแสงบนผิวปริซึมมากขึ้นจะทำให้ค่าความเข้มแสงที่ผ่านเข้ามาในปริซึมมีค่าลดลง สำหรับช่วงสุดท้ายเป็นช่วงที่มูมตกกระทบมากกว่า 75 องศา ซึ่งมีค่าความเข้มแสงลดลงอย่างรวดเร็ว เกิดขึ้นเนื่องจากข้อจำกัดของขนาดกระจกสไลด์ซึ่งอาจทำให้เกิดการบังแสงของขอบกระจกสไลด์เมื่อมูมตกกระทบสูงขึ้น และจากรูปจะเห็นได้ว่าช่วงที่เกิดมูมิเรชันแสงของน้ำมันเชื้อเพลิงที่ความยาวคลื่นแสง 670 นาโนเมตร เป็นช่วงที่เกิดค่าความเข้มแสงลดลงอย่างรวดเร็วทำให้ไม่สามารถวัดปรากฏการณ์เซอร์เฟซพลาสมอนเรโซแนนซ์ได้ แต่ช่วงมูมิเรชันแสงของน้ำมันเชื้อเพลิงที่ความยาวคลื่นแสง 900 และ 950 นาโนเมตร เกิดในช่วงที่ค่าความเข้มแสงมีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย ดังนั้นในงานวิทยานิพนธ์นี้จึงเลือกวัดที่ความ

ยาวคลื่นแสง 900 และ 950 นาโนเมตร และจากผลการทดลองทำให้เราทราบว่าค่าความเข้มแสงลดลงเมื่อมุมตกกระทบมากขึ้น จะทำให้ได้รูปร่างของเส้นโค้งปรากฏการณ์เซอร์เฟซพลาสมอนเรโซแนนซ์มีลักษณะที่เอียงลงไปที่ยมุตกกระทบมากขึ้น ซึ่งจะทำให้ได้ค่าความไวของการวัดปรากฏการณ์เซอร์เฟซพลาสมอนเรโซแนนซ์ลดลง ดังนั้นจึงใช้การปรับเทียบ (normalize) เส้นโค้งปรากฏการณ์เซอร์เฟซพลาสมอนเรโซแนนซ์ด้วยเส้นโค้งการสะท้อนกลับ เมื่อต้องการเพิ่มค่าความไวของการวัดปรากฏการณ์เซอร์เฟซพลาสมอนเรโซแนนซ์ [22]

ค่าความสะท้อน (Reflectance : R) คือ อัตราส่วนของกำลังของแสงตกกระทบ (reflected power) ต่อกำลังของแสงสะท้อน (incident power) [11]

$$R \equiv \frac{I_r}{I_i}, \text{ โดยที่ } \theta_i = \theta_r \quad (3.6)$$

เมื่อ R คือ ค่าความสะท้อนแสง

I_r คือ ค่าความเข้มของแสงสะท้อน (reflected intensity)

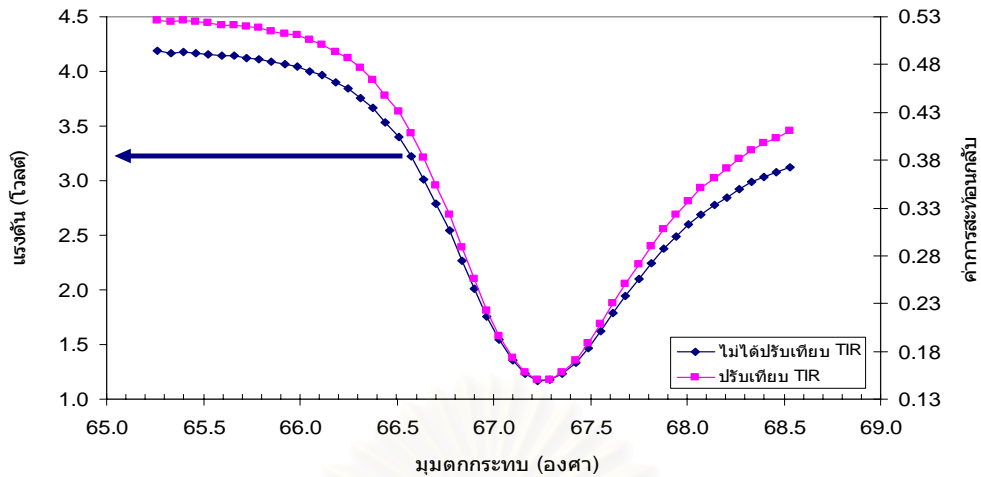
I_i คือ ค่าความเข้มของแสงตกกระทบ (incident intensity)

θ_r คือ มุมของแสงสะท้อน

θ_i คือ มุมของแสงตกกระทบ

สำหรับขั้นตอนการทำปรับเทียบเส้นโค้งปรากฏการณ์เซอร์เฟซพลาสมอนเรโซแนนซ์ทำได้โดยใช้วิธีการคำนวณ คือ ข้อมูลจากปรากฏการณ์สะท้อนกลับที่มุมตกกระทบใด ๆ ถูกกำหนดให้เป็น $I_i(\theta)$ เมื่อ θ คือ ค่ามุมตกกระทบ และข้อมูลจากเส้นโค้งปรากฏการณ์เซอร์เฟซพลาสมอนเรโซแนนซ์กำหนดให้เป็น $I_r(\theta)$ จากนั้นนำข้อมูลทั้ง 2 หาค่าการสะท้อนกลับหมดที่มุมใด ๆ แทนในสมการที่ 3.6 ซึ่งจะได้เส้นโค้งปรากฏการณ์เซอร์เฟซพลาสมอนเรโซแนนซ์เมื่อถูกปรับปรุงด้วยเส้นโค้งการสะท้อนกลับ ดังแสดงในรูปที่ 3.20

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

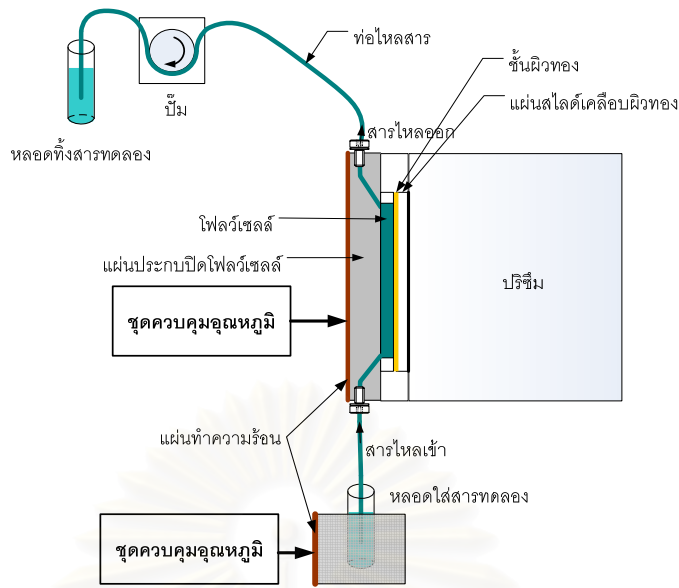


รูปที่ 3.20 เส้นโค้งปรากฏการณ์เซอร์เฟซพลาสมอนเรโซแนนซ์เมื่อชดเชยด้วยเส้นโค้งปรากฏการณ์สะท้อนกลับหมด

จากรูปที่ 3.20 จะเห็นได้ว่าเส้นโค้งปรากฏการณ์เซอร์เฟซพลาสมอนเรโซแนนซ์ เมื่อได้ทำการปรับเทียบเส้นโค้งปรากฏการณ์สะท้อนกลับหมดจะมีรูปร่างของเส้นโค้งที่ดีขึ้น ซึ่งวิธีการปรับปรุงเส้นโค้งปรากฏการณ์เซอร์เฟซพลาสมอนเรโซแนนซ์ที่ชดเชยด้วยเส้นโค้งปรากฏการณ์สะท้อนกลับหมดทำให้การคำนวณหามุมเรโซแนนซ์มีความแม่นยำมากขึ้น [22]

3.3 ระบบควบคุมการไหลสาร

ระบบควบคุมการไหลสารนำมาใช้สำหรับไหลสารตัวอย่างเข้าโฟลว์เซลล์เพื่อให้สารตัวอย่างผ่านหน้าสัมผัสผิวทอง โครงสร้างของระบบควบคุมการไหลสาร ดังแสดงในรูปที่ 3.21 ระบบไหลสารประกอบด้วยปั๊มสำหรับปั๊มดูตสารที่ต้องการวัดจากหลอดใส่สารทดลองให้เข้าไปในโฟลว์เซลล์ที่ประกบติดกับกระจกสไลด์เคลือบผิวทอง และอีกด้านหนึ่งของโฟลว์เซลล์จะถูกปิดช่องด้วยตัวประกบปิดโฟลว์เซลล์ ซึ่งตัวประกบโฟลว์เซลล์จะถูกเจาะรูขนาดเล็กสำหรับไหลสารเข้าไปในโฟลว์เซลล์ จากรายงานของบทความวิจัยที่ผ่านมาพบว่า คุณสมบัติของระบบวัดมีผลต่อตำแหน่งของการเกิดมูเรโซแนนซ์และลักษณะของเส้นโค้งของปรากฏการณ์เซอร์เฟซพลาสมอนเรโซแนนซ์ [23-24] ดังนั้นชุดควบคุมอุณหภูมิจึงถูกนำมาใช้ในระบบควบคุมการไหลสารในวิทยานิพนธ์นี้ เพื่อควบคุมอุณหภูมิของสารที่ต้องการวัดให้คงที่



รูปที่ 3.21 โครงสร้างระบบควบคุมการไหลสาร

3.3.1 ปั๊ม

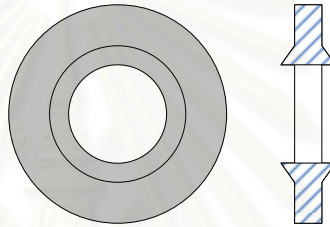
ปั๊มมีหน้าที่ในการนำสารที่ต้องการวัดเข้าไปในโฟลว์เซลล์จากหลอดใส่สารทดลองและปั๊มสารออกจากโฟลว์เซลล์นำไปทิ้งในหลอดทิ้งสารทดลอง สำหรับรูปแบบการไหลสารเข้าโฟลว์เซลล์เพื่อวัดการเปลี่ยนแปลงมุมเรโซแนนซ์ของสารในโฟลว์เซลล์มี 2 แบบ ได้แก่ แบบไหลสารต่อเนื่อง (continuous flow) และแบบหยุดไหลสาร (stop flow) ในขณะที่ทำการวัดกับสารตัวอย่าง ดังนั้นปั๊มที่นำมาใช้ในระบบจะต้องมีอัตราการไหล (flow rate) คงที่และสามารถปรับระดับอัตราการไหลได้ นอกจากนี้เมื่อหยุดไหลสารหรือหยุดการทำงานของปั๊ม สารในโฟลว์เซลล์และในท่อไหลสารยังคงค้างอยู่ข้างในได้ ในวิทยานิพนธ์เลือกใช้ปั๊มเพอริสตัลติก (peristaltic pump) ดังแสดงในรูปที่ 3.22 ซึ่งใช้หลักการบีบอัดท่อเพื่อดูดสารเข้ามาตามทิศทางการหมุนของลูกกลิ้งและสามารถเปลี่ยนทิศทางการหมุนของลูกกลิ้งได้ โดยที่อัตราการไหลของสารขึ้นอยู่กับขนาดของท่อที่ใช้และความเร็วในการหมุนของลูกกลิ้ง



รูปที่ 3.22 ปั๊มเพอริสตัลติก

3.3.2 โพล์เซลล์

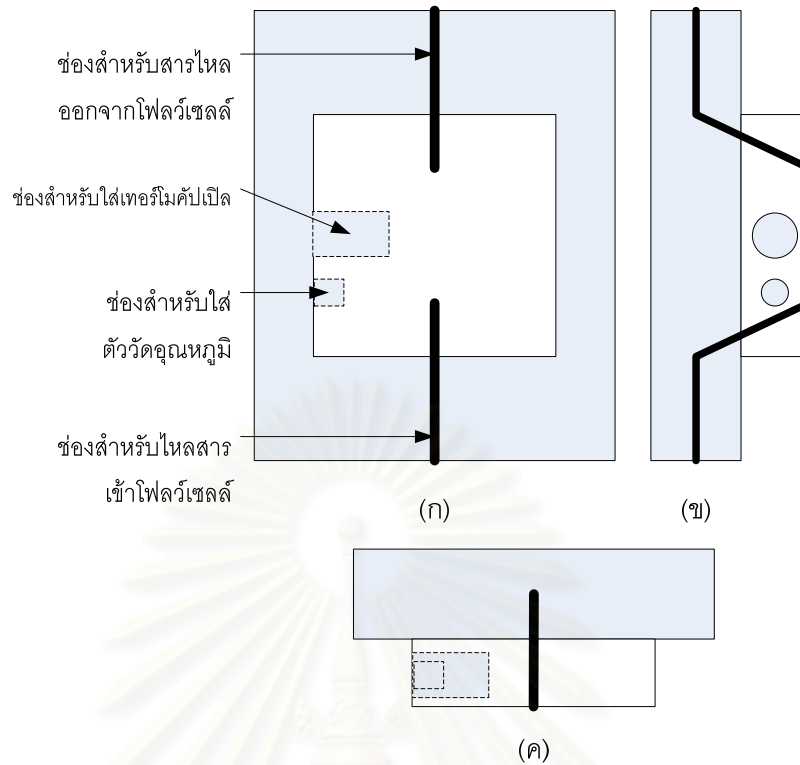
ในส่วนของโพล์เซลล์ที่มีลักษณะเป็นช่องว่างสำหรับให้สารไหลผ่านผิวสัมผัสหน้าทองจะวางให้อยู่ติดกับผิวทองซึ่งเคลือบอยู่บนแผ่นสไลด์กลมเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 1 นิ้ว (25.4 มิลลิเมตร) วัสดุที่นำมาทำเป็นโพล์เซลล์จะต้องมีความทนทานต่อการกัดกร่อนและไม่ทำปฏิกิริยากับสารที่ต้องการวัด สำหรับวิทยานิพนธ์นี้เลือกใช้วัสดุที่นำมาเป็นโพล์เซลล์ 2 ชนิด ได้แก่ ซิลิโคนกับ เทฟลอน แต่จากผลการทดลองพบว่าซิลิโคนที่นำมาใช้เกิดปัญหาในเรื่องการดูดซับน้ำมัน (ดูผลการทดลองได้จากบทที่ 5) ดังนั้นจึงเลือกใช้เทฟลอนมาใช้ในการทดลอง ซึ่งได้ออกแบบโพล์เซลล์ที่ทำจากเทฟลอนให้มีลักษณะเหมือนวงแหวน (o-ring) ดังแสดงในรูปที่ 3.23 โดยเจาะรูให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 มิลลิเมตร และมีความหนาของช่องประมาณ 3 มิลลิเมตร



รูปที่ 3.23 ลักษณะโพล์เซลล์

3.3.3 ตัวประกบปิดโพล์เซลล์

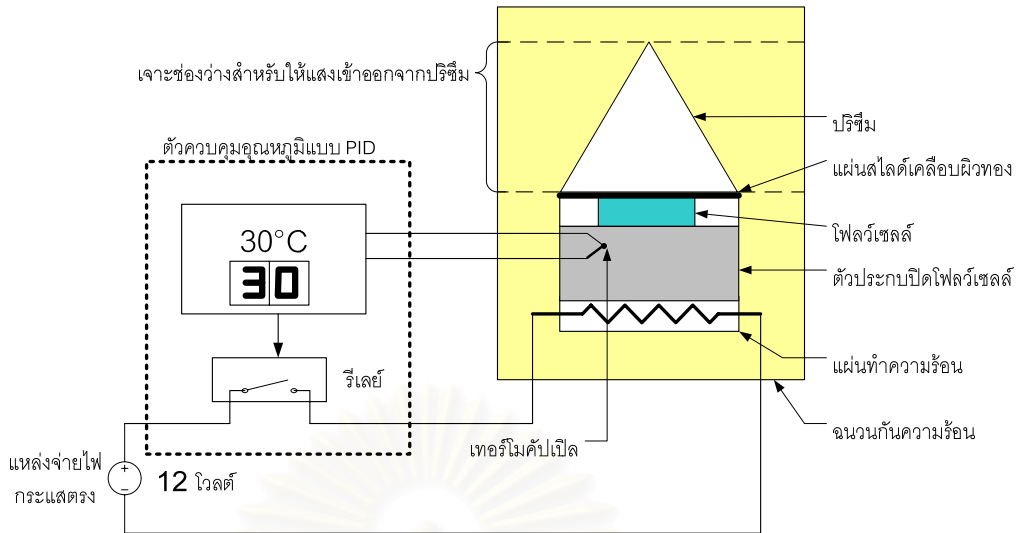
ตัวประกบปิดโพล์เซลล์สำหรับงานวิทยานิพนธ์นี้จะทำหน้าที่ประกบปิดโพล์เซลล์และควบคุมอุณหภูมิของสารที่อยู่ในโพล์เซลล์ ดังนั้นวัสดุที่เลือกใช้จะต้องมีความทนทานต่อการกัดกร่อนของน้ำมันได้ดี ไม่เป็นสนิมง่ายและนำความร้อนได้ จึงเลือกใช้วัสดุเป็นสแตนเลส จากนั้นออกแบบให้มีโครงสร้างตัวประกบปิดโพล์เซลล์ ดังแสดงในรูปที่ 3.24 และมีเส้นทางการไหลของสารจากล่างขึ้นบน เพื่อให้สารที่ไหลเข้าโพล์เซลล์สามารถเข้าไปอยู่จนเต็มโพล์เซลล์ได้



รูปที่ 3.24 โครงสร้างตัวประกอบไฟลว์เซลล์ แสดง (ก) ด้านหน้า (ข) ด้านข้าง และ (ค) ด้านบน ตามลำดับ

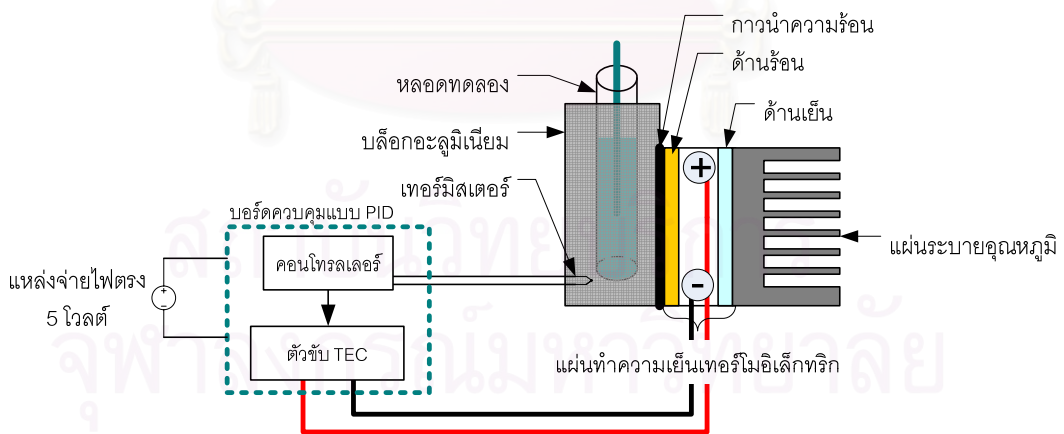
3.3.4 ชุดควบคุมอุณหภูมิ

ชุดควบคุมอุณหภูมิจะถูกนำมาควบคุมอุณหภูมิของสารตัวอย่างที่ต้องการวัด โดยควบคุมผ่านส่วนประกอบในระบบไหลสาร 2 ส่วนด้วยกัน ได้แก่ ส่วนของในไฟลว์เซลล์และส่วนของหลอดใส่สารก่อนไหลเข้าไฟลว์เซลล์ สำหรับการควบคุมอุณหภูมิของสารในไฟลว์เซลล์ เพื่อต้องการควบคุมอุณหภูมิของสารตัวอย่างขณะวัดให้คงที่ แต่เนื่องจากไม่สามารถให้ความร้อนกับสารที่ใช้ในการวัดได้โดยตรง ดังนั้นจึงให้ความร้อนกับตัวประกอบปิดไฟลว์เซลล์ แล้วถ่ายเทความร้อนจากตัวประกอบไฟลว์เซลล์ไปยังสารในไฟลว์เซลล์แทน จากรูปที่ 3.25 แสดงโครงสร้างของชุดควบคุมอุณหภูมิในส่วนของสารในไฟลว์เซลล์ ในงานวิทยานิพนธ์ใช้ตัวควบคุมอุณหภูมิของบริษัท Omron รุ่น E5CS ที่ตั้งการควบคุมแบบสัดส่วน ปริพันธ์ อนุพันธ์ (proportional integral and derivative: PID) ที่มีความแม่นยำ ± 0.5 องศาเซลเซียส ต่อวงจรการใช้งานโดยป้อนแรงดันไฟตรง 12 โวลต์ให้กับรีเลย์ของตัวควบคุมอุณหภูมิ เพื่อทำการตัดต่อวงจรจ่ายไฟให้กับแผ่นทำความร้อนแบบตัวต้านทาน และใช้เทอร์โมคัปเปิลแบบ เค เป็นตัววัดอุณหภูมิสำหรับคอนโทรลเลอร์



รูปที่ 3.25 โครงสร้างชุดควบคุมอุณหภูมิของตัวประกอบปิดโฟลว์เซลล์

ชุดควบคุมอุณหภูมิหลอดใส่สารตัวอย่างก่อนไหลเข้าโฟลว์เซลล์ ในงานวิทยานิพนธ์นี้เลือกใช้ชุดควบคุมอุณหภูมิแบบสัดส่วนปริพันธ์-อนุพันธ์ ของบริษัท Analog Technologies รุ่น TEC6A101-DN ประกอบด้วยแผ่นทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริก (thermoelectric cooler: TEC) ซึ่งแผ่นทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริกสามารถให้ทั้งความร้อนและความเย็นพร้อมกัน 2 ด้านได้ และใช้เทอร์มิสเตอร์เป็นตัวตรวจวัดอุณหภูมิสำหรับคอนโทรลเลอร์ของชุดควบคุม โดยแสดงโครงสร้างของชุดควบคุมอุณหภูมิหลอดใส่สารทดลอง ดังแสดงในรูปที่ 3.26



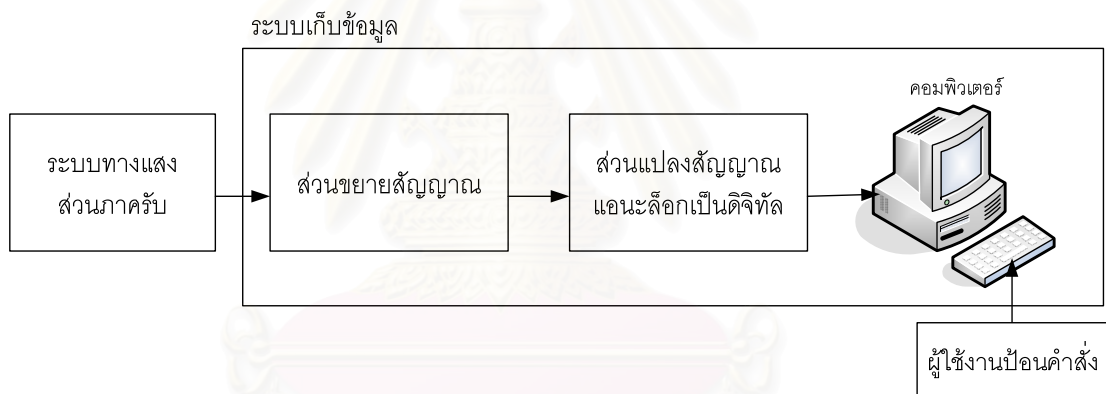
รูปที่ 3.26 โครงสร้างชุดควบคุมอุณหภูมิสำหรับหลอดใส่สารทดลอง

โครงสร้างชุดควบคุมอุณหภูมิสำหรับหลอดใส่สารทดลองประกอบด้วยบล็อกอะลูมิเนียมสำหรับใส่หลอดใส่สารทดลอง ด้านหนึ่งของบล็อกถูกเชื่อมติดด้วยจาระบีความร้อน (thermal grease) กับด้านร้อนของแผ่นทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริก ส่วนด้านเย็นของแผ่นทำความเย็น

เทอร์โมอิเล็กทริกจะถูกเชื่อมติดด้วยช่องระบายอุณหภูมิเพื่อช่วยระบบความเย็นออกให้เร็วขึ้น นอกจากนี้เทอร์มิสเตอร์จะถูกติดให้อยู่กับบล็อกเพื่อวัดอุณหภูมิของบล็อกอะลูมิเนียมให้กับคอนโทรลเลอร์ของบอร์ดควบคุมอุณหภูมิ

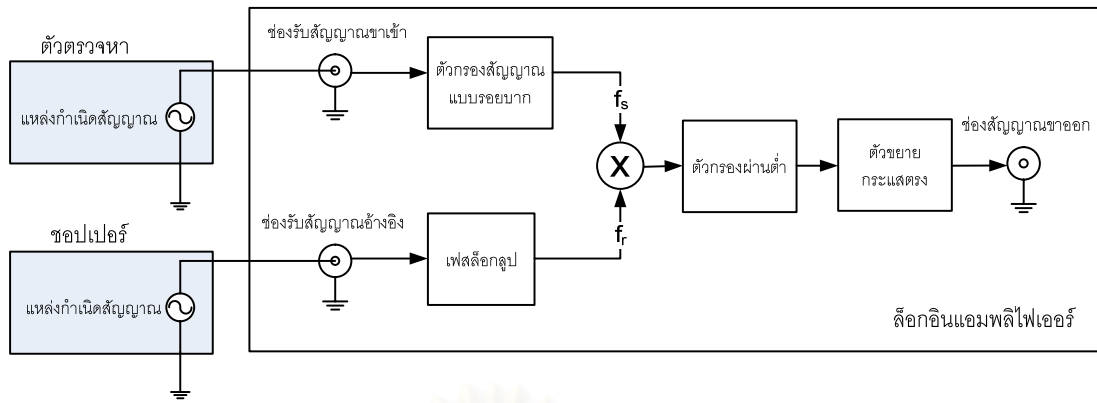
3.4 ระบบเก็บข้อมูล

ระบบเก็บข้อมูลมีหน้าที่ในการเก็บข้อมูลที่อ่านได้จากตัวตรวจหา เมื่อตัวตรวจหาวัดค่าความเข้มแสงแล้วแปลงค่าความเข้มแสงออกมาเป็นแรงดัน จากนั้นนำแรงดันที่ได้มาขยายในส่วนของขยายสัญญาณ แล้วแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลเพื่อนำข้อมูลไปเข้าคอมพิวเตอร์ สำหรับประมวลผลทางซอฟต์แวร์เพื่อหามุมเรโซแนนซ์ และนำไปแสดงผลออกทางจอคอมพิวเตอร์ ซึ่งในส่วนของระบบการประมวลผลทางซอฟต์แวร์จะขออธิบายในบทที่ 4 สามารถแสดงโครงสร้างของระบบเก็บข้อมูล ดังแสดงในรูปที่ 3.27



รูปที่ 3.27 โครงสร้างของระบบเก็บข้อมูล

ส่วนขยายสัญญาณในวิทยานิพนธ์นี้ใช้ลิกอินแอมพลิไฟเออร์ รุ่น SR530 ของบริษัท Stanford Research Systems ทำหน้าที่ขยายสัญญาณไฟฟ้าจากวงจรแปลงกระแสเป็นแรงดันในระบบทางแสงภาครับและตัดสัญญาณรบกวนที่มาจากแสงรบกวนภายนอกขนาด 50 เฮิรตซ์ จากนั้นลิกอินแอมพลิไฟเออร์ที่มีความถี่ตรงกับสัญญาณอ้างอิงที่ได้มาจากชอปเปอร์ เพื่อนำไปผ่านตัวกรองผ่านต่ำ แล้วนำสัญญาณที่ได้เข้าตัวขยายกระแสตรง (DC amplifier) โดยแสดงบล็อกไดอะแกรมของลิกอินแอมพลิไฟเออร์ในรูปที่ 3.28 สัญญาณจากลิกอินแอมพลิไฟเออร์จะถูกแปลงให้สัญญาณดิจิทัลด้วยการ์ดแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลที่มีความละเอียด 16 บิต โดยแปลงสัญญาณในช่วงแรงดัน 10 โวลต์ ซึ่งต่อเชื่อมกับเครื่องคอมพิวเตอร์ผ่านทางพอร์ต USB



รูปที่ 3.28 แผนภาพแสดงลำดับขั้นตอนล็อกอินแอมพลีไฟเออร์

สำหรับโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการควบคุมการทำงานของระบบพัฒนาขึ้นมาจากโปรแกรม LabView7.1 และแบ่งการทำงานออกเป็น 3 ส่วนใหญ่ คือ

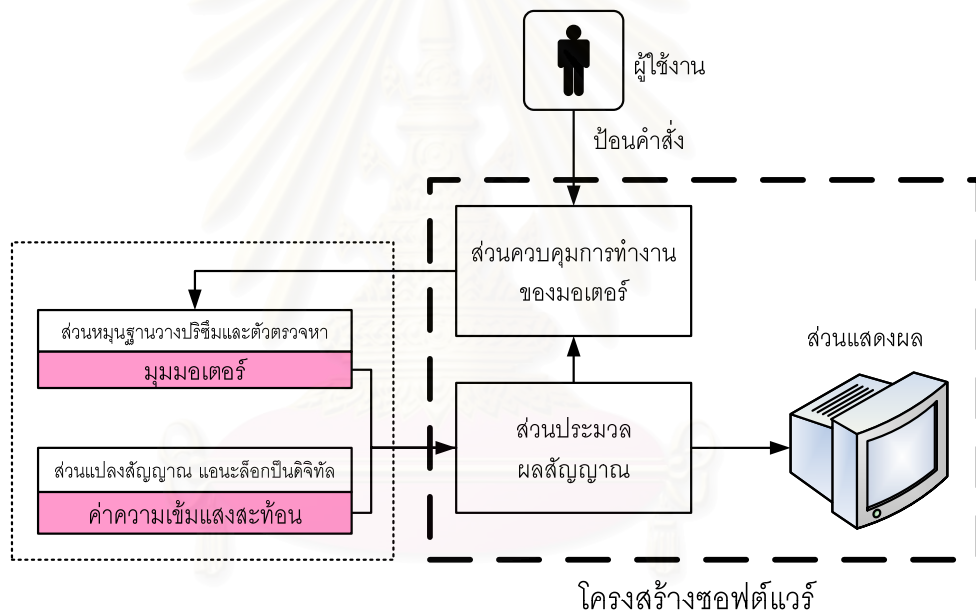
1. ส่วนควบคุมการทำงานของส่วนหมุนฐานวางปริซึมและตัวตรวจหา ทำหน้าที่ควบคุมการหมุนของมอเตอร์
2. ส่วนประมวลผลสัญญาณ ทำหน้าที่ นำข้อมูลที่ได้อ่านมาคำนวณเพื่อหามุมเรโซแนนซ์และนำค่ามุมเรโซแนนซ์ไปพล็อตกราฟแสดงผลการเปลี่ยนแปลงมุมเรโซแนนซ์ออกทางส่วนแสดงผลหรือจอคอมพิวเตอร์
3. ส่วนแสดงผล ในส่วนนี้จะแสดงกราฟความเข้มแสงและมุมที่สแกนหรือเส้นโค้งปรากฏการณ์เซอร์เฟซพลาสมอนเรโซแนนซ์ เพื่อวัดการเกิดปรากฏการณ์เซอร์เฟซพลาสมอนเรโซแนนซ์และแสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างมุมเรโซแนนซ์กับเวลา เพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถสังเกตปฏิกิริยาหรือการเปลี่ยนแปลงของสารตัวอย่างในขณะวัดได้

ซึ่งรายละเอียดทางด้านซอฟต์แวร์สำหรับการควบคุมระบบวัดจะอธิบายในบทที่ 4

บทที่ 4

ซอฟต์แวร์และการประมวลผลสัญญาณ

เนื้อหาในบทนี้ เป็นการอธิบายถึงส่วนของซอฟต์แวร์ทั้งหมดที่ใช้ในงานวิทยานิพนธ์ โดยจะอธิบายถึงการควบคุมจังหวะการทำงานของระบบฮาร์ดแวร์ต่าง ๆ การนำสัญญาณที่ได้มาประมวลผลเพื่อหาค่ามุมเรโซแนนซ์และการแสดงผล การแสดงผังงานของโปรแกรม ลำดับการทำงาน of ซอฟต์แวร์ เพื่อแสดงความสัมพันธ์ของการทำงานของแต่ละส่วนตามลำดับ โครงสร้างทางซอฟต์แวร์ ดังแสดงในรูปที่ 4.1 ได้แบ่งส่วนการทำงานของซอฟต์แวร์ไว้ 3 ส่วนหลัก ได้แก่ ส่วนควบคุมการทำงานของมอเตอร์ ส่วนประมวลผลสัญญาณ และส่วนแสดงผล

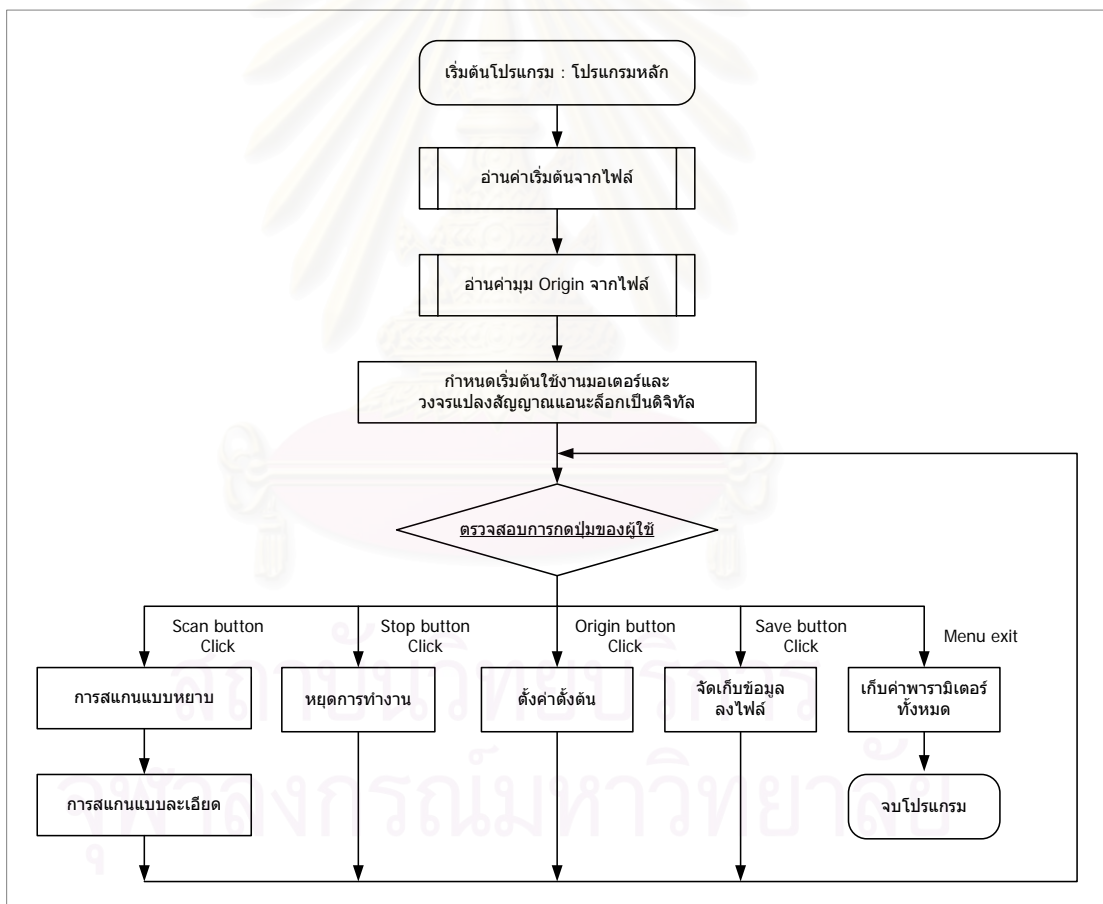


รูปที่ 4.1 โครงสร้างทางซอฟต์แวร์

งานวิทยานิพนธ์นี้ เลือกใช้วิธีการเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ในรูปแบบภาษาสัญลักษณ์ (symbolic language) ด้วยโปรแกรม LabView 7.0 ของบริษัท National Instrument ที่มีลักษณะภาษาเป็นเครื่องมือเสมือน (virtual instrument) ที่สามารถติดต่อและควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ต่าง ๆ ได้อย่างสะดวก เช่น ตัวควบคุมมอเตอร์ (motor controller) ในส่วนหมุนฐานวางปริซึมและตัวตรวจหา มุมมอเตอร์ ส่วนแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัล เป็นต้น นอกจากนี้โปรแกรมมีความสามารถในการแสดงผลออกมาในรูปแบบของกราฟและการคำนวณทางคณิตศาสตร์รูปแบบวิธีการต่าง ๆ ด้วยฟังก์ชันที่จัดเตรียมไว้ในโปรแกรม

4.1 ส่วนควบคุมการทำงานของมอเตอร์

ส่วนควบคุมการทำงานของมอเตอร์เป็นส่วนหลักของโปรแกรม แสดงผังงานในรูปที่ 4.2 เป็นลำดับการทำงานของโปรแกรมหลักสำหรับการติดต่อกับผู้ใช้งาน การทำงานของโปรแกรมเริ่มต้นด้วยการอ่านค่าตั้งต้นของตัวแปรต่าง ๆ เช่น ค่ามุมตั้งต้นที่ใช้ปรับตั้งมุมมอเตอร์ให้ตรงกับมุมของระบบแสง (origin angle) รูปแบบตัวควบคุมมอเตอร์ (motor configuration) และวงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัล จากนั้นตรวจสอบการสั่งทำงานจากผู้ใช้งานปุ่มกดสั่งทำงานในโปรแกรม ได้แก่ ปุ่มสแกน (scan button) ปุ่มหยุดสแกน (stop button) ปุ่มตั้งค่าตั้งต้น (set origin button) ปุ่มสั่งเก็บข้อมูล (save button) และปุ่มออกจากโปรแกรม (exit program button) ตามลำดับ



รูปที่ 4.2 ผังงานของโปรแกรมหลัก

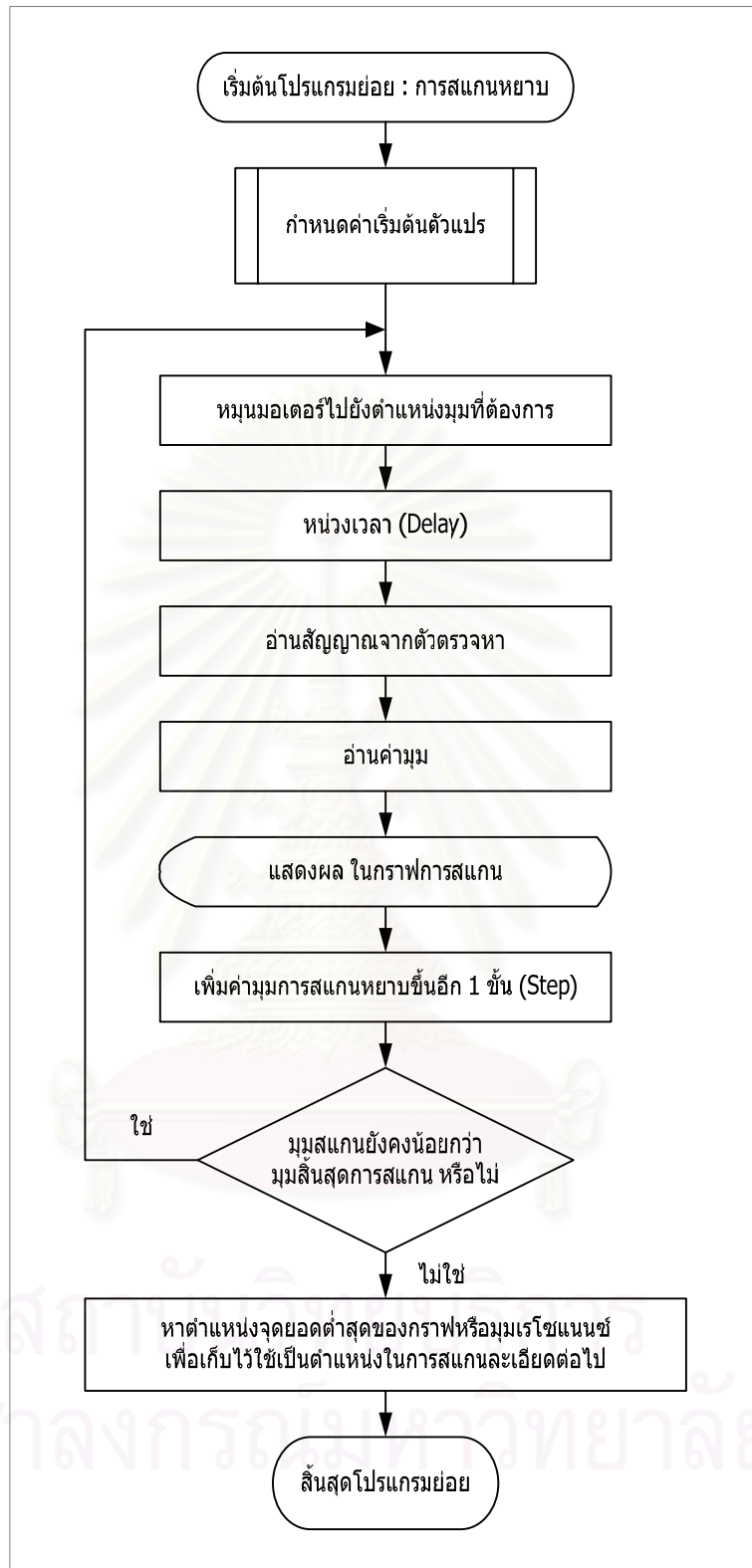
รูปแบบการสแกนในงานวิทยานิพนธ์มี 2 แบบ คือ การสแกนแบบหยาบและการสแกนแบบละเอียด เมื่อโปรแกรมถูกสั่งให้ทำการสแกน โปรแกรมจะอ่านค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ผู้ใช้ได้กำหนดไว้ เริ่มสแกนแบบหยาบที่มีความละเอียดของการสแกนต่ำพร้อมกับเก็บข้อมูลที่อ่านได้

จากตัวควบคุมมอเตอร์และวงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลในตัวแปรแถว (array) แบบ 2 มิติ จนครบช่วงมุมมองที่กำหนด จากนั้นนำข้อมูลตัวแปรแถวเข้าไปยังส่วนประมวลผลการสแกนแบบหยาบเพื่อหาค่ามุมเรโซแนนซ์ แล้วนำมาใช้เป็นตัวกำหนดตำแหน่งช่วงของการสแกนแบบละเอียดที่มีช่วงการสแกนแคบ ๆ และมีความละเอียดของการสแกนสูงขึ้น จากนั้นเริ่มสแกนแบบละเอียด พร้อมกับเก็บข้อมูลที่อ่านได้จากตัวควบคุมมอเตอร์และวงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลในตัวแปรแถวจนครบช่วงมุมมองที่กำหนด จากนั้นนำข้อมูลตัวแปรแถวเข้าไปยังส่วนประมวลผลการสแกนแบบละเอียดเพื่อหาค่ามุมเรโซแนนซ์ ต่อไปเป็นการอธิบายขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมในส่วนของการสแกนแบบหยาบ

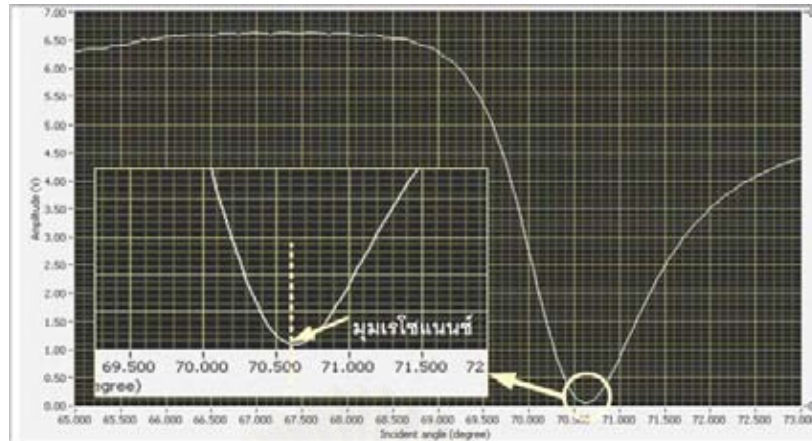
4.1.1 การสแกนแบบหยาบ

การสแกนแบบหยาบ เป็นการสแกนเพื่อหาเส้นโค้งปรากฏการณ์เซอร์เฟซพลาสมอนเรโซแนนซ์ของสารตัวอย่างที่กำลังวัด โดยมีค่าพารามิเตอร์ที่ใช้สำหรับการสแกนแบบหยาบ ได้แก่ ค่ามุมเริ่มต้นการสแกน (start angle) มุมสิ้นสุดการสแกน (stop angle) ความละเอียดการสแกน (scanning step size) เวลาหน่วง (delay time) และจำนวนรอบของการสแกน (number of scanning) เป็นต้น

ผังงานโปรแกรมของการสแกนแบบหยาบ เริ่มจากการอ่านค่า พารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ใช้สำหรับการสแกน จากนั้นหมุนมอเตอร์ไปยังตำแหน่งมุมเริ่มต้นที่ต้องการสแกน แล้วจึงหยุดหมุนมอเตอร์เพื่อรับข้อมูลจากวงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลในระบบเก็บข้อมูลและตำแหน่งมุมมอเตอร์จากตัวควบคุมมอเตอร์ นำค่าดังกล่าวมาวาดบนหน้าต่างแสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างมุมมอเตอร์กับข้อมูลจากวงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลในขณะนั้น จากนั้นหมุนไปที่มุมต่อไปด้วยช่วงองศาการหมุนเท่ากับองศาของความละเอียดการสแกนแบบหยาบ และทำซ้ำกับการทำงานเบื้องต้น จนกระทั่งถึงตำแหน่งมุมสิ้นสุดการสแกนแบบหยาบ ดังแสดงในรูปที่ 4.3 จากนั้นนำผลการสแกนหรือกราฟที่ได้เข้าไปยังส่วนประมวลผลของการสแกนแบบหยาบเพื่อหาจุดหุบเขาหรือมุมเรโซแนนซ์ของการสแกนแบบหยาบ ดังแสดงในรูปที่ 4.4 เพื่อนำไปใช้กำหนดตำแหน่งช่วงการสแกนแบบละเอียดต่อไป



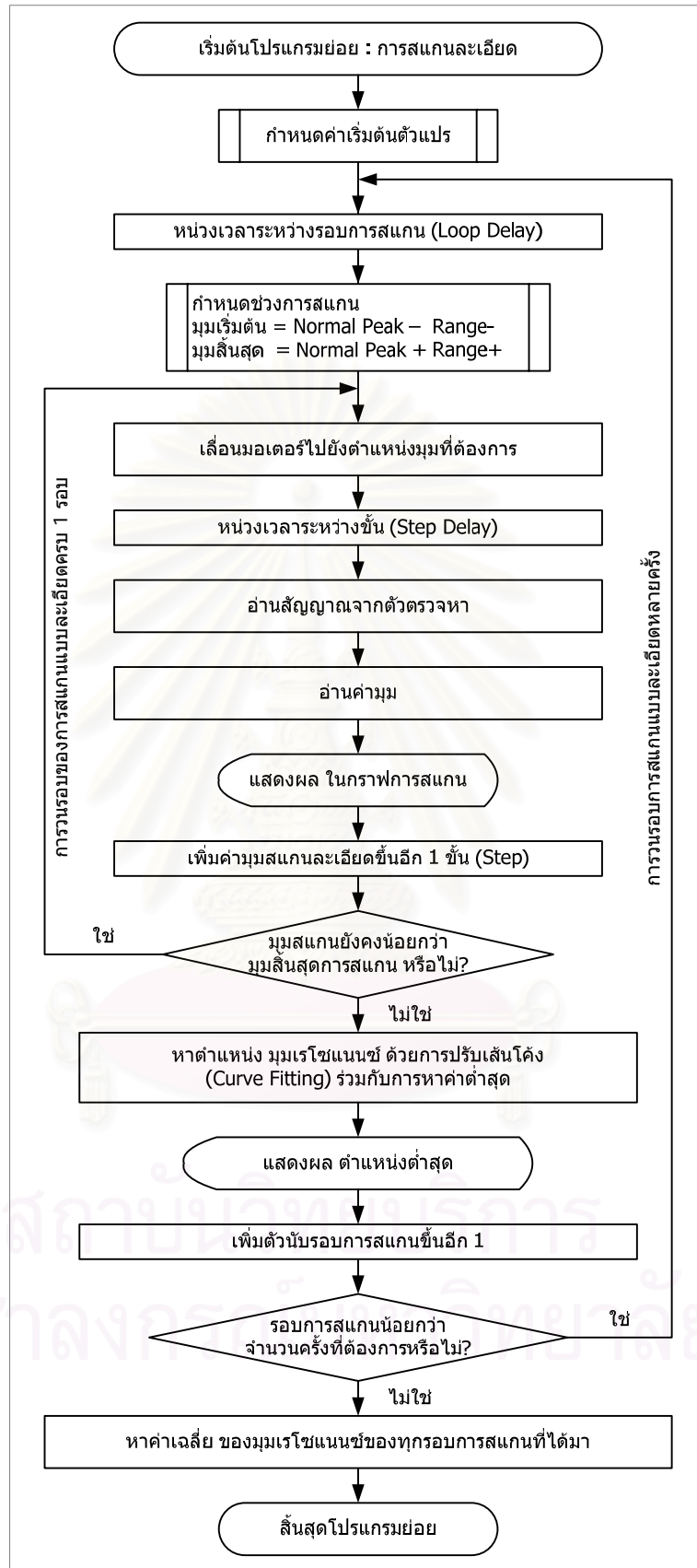
รูปที่ 4.3 ผังงานของการสแกนแบบหยาบ



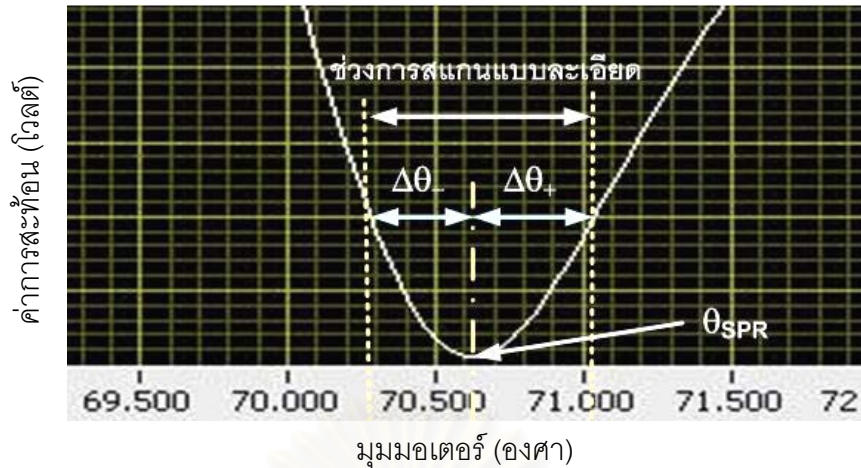
รูปที่ 4.4 ตำแหน่งจุดหุบเขาหรือมุมเรโซแนนซ์ของการสแกนแบบหยาบ

4.1.2 การสแกนแบบละเอียด

ส่วนโปรแกรมย่อยสำหรับการสแกนละเอียดเป็นการสแกนในช่วงแคบ ๆ ที่อยู่บริเวณมุมเรโซแนนซ์ ช่วยเพิ่มความแม่นยำในการหาค่ามุมเรโซแนนซ์ ซึ่งค่ามุมเรโซแนนซ์ที่ได้จะแสดงกราฟที่หน้าต่างแสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างมุมเรโซแนนซ์กับจำนวนครั้งของการสแกน แสดงผังงานในรูปที่ 4.5 เริ่มต้นการทำงานด้วยการอ่านค่าพารามิเตอร์ต่างๆ เช่น ช่วงสแกนด้านลบ ($\Delta\theta_-$) ช่วงสแกนด้านบวก ($\Delta\theta_+$) ความละเอียดการสแกน (fine scanning step size) เวลาหน่วง (delay time) เวลาหน่วงของรอบ (loop delay time) และจำนวนรอบของการสแกน (number of fine scanning) เป็นต้น และมีขั้นตอนการสแกนเหมือนการสแกนแบบหยาบ แต่ต่างกันตรงที่การกำหนดตำแหน่งมุมเริ่มต้นและมุมสิ้นสุด ซึ่งในงานวิทยานิพนธ์ใช้วิธีการกำหนดมุมเริ่มต้นและมุมสิ้นสุดของการสแกนแบบละเอียด ด้วยการนำค่ามุมเรโซแนนซ์ที่ได้จากการสแกนหยาบมาใช้เป็นตำแหน่งกึ่งกลางของช่วงการสแกน และกำหนดให้มุมเริ่มต้นเท่ากับตำแหน่งมุมเรโซแนนซ์ที่ได้มาจากการสแกนหยาบลบด้วยค่าช่วงสแกนด้านลบ $\theta_{SPR} - \Delta\theta_-$ และมุมสิ้นสุดเท่ากับมุมเรโซแนนซ์ที่ได้มาจากการสแกนหยาบบวกด้วยค่าช่วงสแกนด้านบวก $\theta_{SPR} + \Delta\theta_+$ ดังแสดงในรูปที่ 4.6 นอกจากนี้การกำหนดตำแหน่งของช่วงการสแกนแบบละเอียดจะขึ้นอยู่กับมุมเรโซแนนซ์ที่ได้จากการสแกนแบบละเอียดในครั้งก่อนหน้า เมื่อกำหนดให้มีการสแกนแบบละเอียดหลายรอบเพื่อต้องการดูการเปลี่ยนแปลงมุมเรโซแนนซ์เมื่อเทียบกับเวลา



รูปที่ 4.5 ฟังก์ชันการสแกนแบบละเอียด



รูปที่ 4.6 การกำหนดช่วงการสแกนแบบละเอียด

เนื้อหาต่อไปจะเป็นการอธิบายถึงส่วนประมวลผลในโครงสร้างซอฟต์แวร์ ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ ส่วนประมวลผลของการสแกนแบบหยาบ และส่วนประมวลผลการสแกนแบบละเอียด

4.2 ส่วนประมวลผล

โดยปกติทั่วไปผลการทดลองวัดเส้นโค้งปรากฏการณ์เซอร์เฟซพลาสมอนเรโซแนนซ์มักจะถูกจำกัดลักษณะของเส้นโค้งด้วยสัญญาณรบกวนของแหล่งกำเนิดแสงและตัวตรวจหาทำให้ลักษณะของเส้นโค้งที่ได้ไม่เรียบและทำให้มีผลต่อการหามุมเรโซแนนซ์ ดังนั้นโครงสร้างซอฟต์แวร์จึงต้องมีส่วนประมวลผลของสัญญาณปรากฏการณ์เซอร์เฟซพลาสมอนเรโซแนนซ์เพื่อหามุมเรโซแนนซ์ โดยใช้วิธีการคำนวณทางคณิตศาสตร์เข้ามาช่วยเพื่อเพิ่มความแม่นยำในการหามุมเรโซแนนซ์ [25-29] ซึ่งวิธีการคำนวณทางคณิตศาสตร์ที่ใช้กันโดยทั่วไป ได้แก่ วิธีการคำนวณแบบการปรับเส้นโค้งด้วยสมการพหุนาม (polynomial curve fitting method) และวิธีการแบบเซนทรอยด์ (centroid method) เป็นต้น ในวิทยานิพนธ์นี้เลือกใช้วิธีการคำนวณแบบการปรับเส้นโค้งด้วยสมการพหุนามในการคำนวณหามุมเรโซแนนซ์เพราะเป็นวิธีการคำนวณที่ง่ายและสะดวกกว่าวิธีการแบบเซนทรอยด์

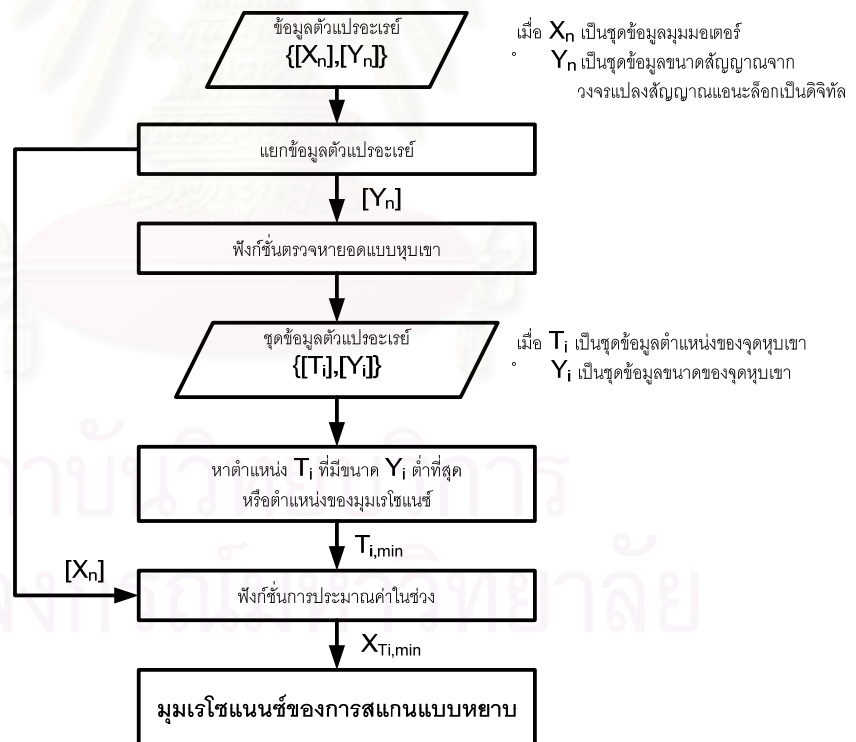
4.2.1 ส่วนประมวลผลของการสแกนแบบหยาบ

ส่วนประมวลผลของการสแกนแบบหยาบในงานวิทยานิพนธ์นี้ เลือกใช้ฟังก์ชันตรวจหายอด (peak detector) ของโปรแกรม LabView สำหรับการคำนวณแบบการปรับเส้นโค้งด้วยสมการพหุนามอันดับที่ 2 (quadratic polynomial) [28] ดังสมการที่ 4.1

$$y = a_2x^2 + a_1x + a_0 \quad (4.1)$$

- เมื่อ x คือ ตัวชี้ตำแหน่ง (index location)
- y คือ ขนาดของสัญญาณ
- a_0, a_1, a_2 คือ ค่าสัมประสิทธิ์ของสมการการปรับเส้นโค้ง

รูปที่ 4.7 แสดงผังงานโปรแกรมส่วนประมวลผลของการสแกนแบบหยาบเพื่อหามุมเรโซแนนซ์



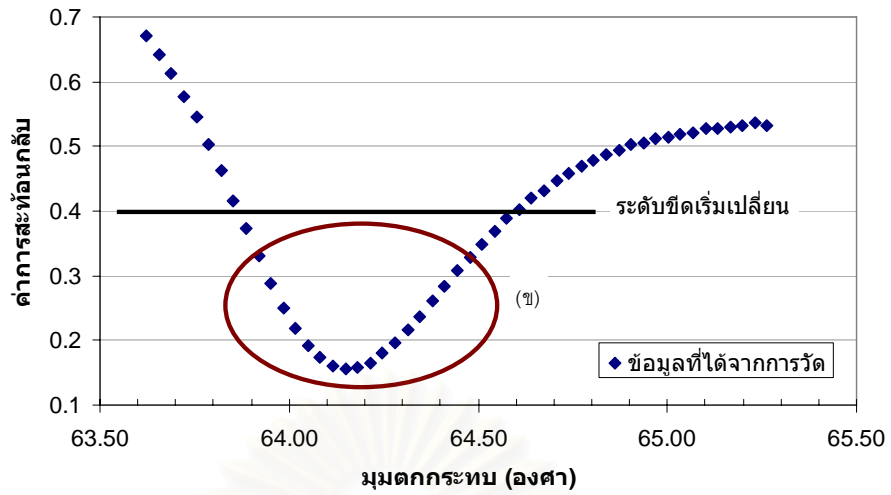
รูปที่ 4.7 ผังงานโปรแกรมส่วนประมวลผลการสแกนแบบหยาบ

จากรูปที่ 4.7 เมื่อรับข้อมูลตัวแปรแถวของค่ามมมมมมมมมมมม (แกน x) กับค่าความเข้มแสงสะท้อน (แกน y) ที่อ่านจากวงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัล เริ่มต้นโปรแกรมจะแยกข้อมูลออกเป็น 2 ส่วน ดังนี้ ส่วนที่หนึ่งเป็นชุดข้อมูลค่ามมมมมมมมมมมมถูกแยกไปเพื่อนำไปใช้สำหรับการคำนวณการประมาณค่าในช่วง (interpolate) กับตำแหน่งจุดหุบเขาที่มีค่าต่ำที่สุดจากฟังก์ชันตัวตรวจหายอด และส่วนที่สองที่เป็นชุดข้อมูลค่าความเข้มแสงจะถูกนำเข้าไปคำนวณในฟังก์ชันตรวจหายอดที่มีการกำหนดค่าพารามิเตอร์สำหรับฟังก์ชันไว้ดังนี้

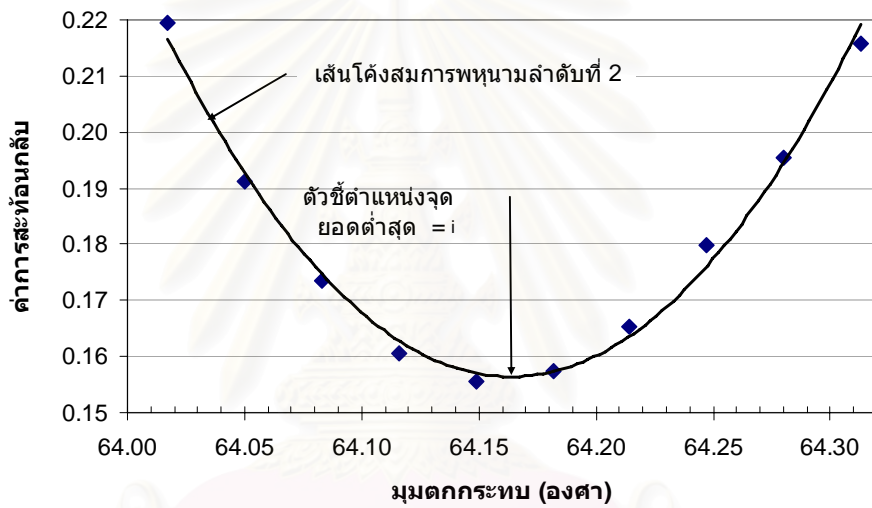
- ฟังก์ชันจุดยอดเขาหรือจุดหุบเขา ใช้สำหรับเลือกให้หาค่าสูงสุด (peak) หรือ ค่าต่ำสุด (valley)
- ระดับขีดเริ่มเปลี่ยน (threshold) กำหนดให้กำจัดจุดหุบเขาที่มีขนาดสูงกว่าระดับขีดเริ่มเปลี่ยน (สำหรับการเลือกใช้งานฟังก์ชันจุดหุบเขา)
- ความกว้าง (width) กำหนดจำนวนของข้อมูลที่จะนำไปคำนวณด้วยสมการพหุนามลำดับที่ 2 ในแต่ละชุดข้อมูล

หลักการทำงานของฟังก์ชันตัวตรวจหายอดจุดหุบเขา เริ่มจากเลือกจุดหุบเขาที่มีขนาดต่ำกว่าขนาดของระดับขีดเริ่มเปลี่ยน ดังแสดงในรูปที่ 4.8 (ก) จากนั้นแบ่งชุดข้อมูลรอบข้างจุดหุบเขาให้มีจำนวนเท่ากับค่าความกว้างแล้วนำข้อมูลเหล่านั้นไปคำนวณในสมการ 4.1 เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์ โดยกำหนดให้ y คือ ชุดข้อมูลค่าความเข้มแสงสะท้อนที่อ่านจากวงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัล และ x คือ ตัวชี้ตำแหน่ง ซึ่งมีค่าตั้งแต่ 0, 1, 2, ... n จากนั้นนำค่าสัมประสิทธิ์ที่ได้ไปเข้าสมการ 4.1 อีกครั้ง เพื่อวาดเส้นโค้งของสมการแล้วหาตัวชี้ตำแหน่ง (T_i) และขนาด (Y_i) ของจุดหุบเขาในแต่ละชุดข้อมูล ดังแสดงในรูปที่ 4.8 (ข)

จากรูปที่ 4.8 (ข) จะเห็นได้ว่า ตำแหน่งของตัวชี้ตำแหน่งจุดหุบเขาของเส้นโค้งสมการพหุนามลำดับที่ 2 ($T_{i,min}$) อยู่ระหว่างค่ามมมมมมมมมมมมที่ได้จากการสแกนแบบหยาบ จากนั้นนำค่าตำแหน่งของตัวชี้ตำแหน่งของจุดหุบเขาไปประมาณค่าในช่วงกับชุดข้อมูลค่ามมมมมมมมมมมมที่แยกไว้ก่อนหน้านี้นี้ ดังแสดงในรูปที่ 4.9 ซึ่งเป็นขั้นตอนสุดท้ายสำหรับการคำนวณหามุมเรโซแนนซ์ของการสแกนแบบหยาบ

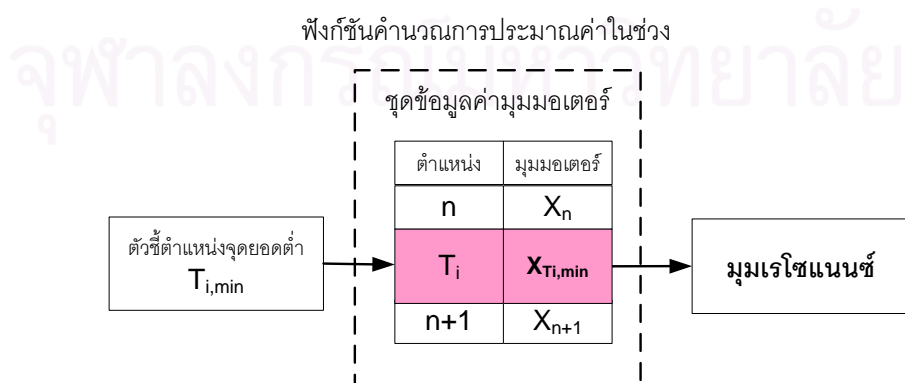


(ก)



(ข)

รูปที่ 4.8 การหาตำแหน่งมุมเรโซแนนซ์ของการสแกนแบบหยาบแบบการปรับเส้นโค้งด้วยสมการพหุนามอันดับที่ 2



รูปที่ 4.9 ขั้นตอนการประมาณค่าในช่วงเพื่อหามุมเรโซแนนซ์ของการสแกนแบบหยาบ

4.2.2 ส่วนประมวลผลของการสแกนแบบละเอียด

ส่วนประมวลผลของการสแกนแบบละเอียดในงานวิทยานิพนธ์นี้ เลือกใช้ฟังก์ชันการปรับเส้นโค้ง (curve fitting) สำหรับวิธีการคำนวณแบบการปรับเส้นโค้งด้วยสมการพหุนามอันดับที่ 4 (fourth order polynomial fitting curve) [29] แสดงดังสมการที่ 4.2 ด้วย

$$y = a_4x^4 + a_3x^3 + a_2x^2 + a_1x + a_0 \quad (4.2)$$

เมื่อ x คือ ค่ามุมมอเตอร์

y คือ ขนาดของสัญญาณ

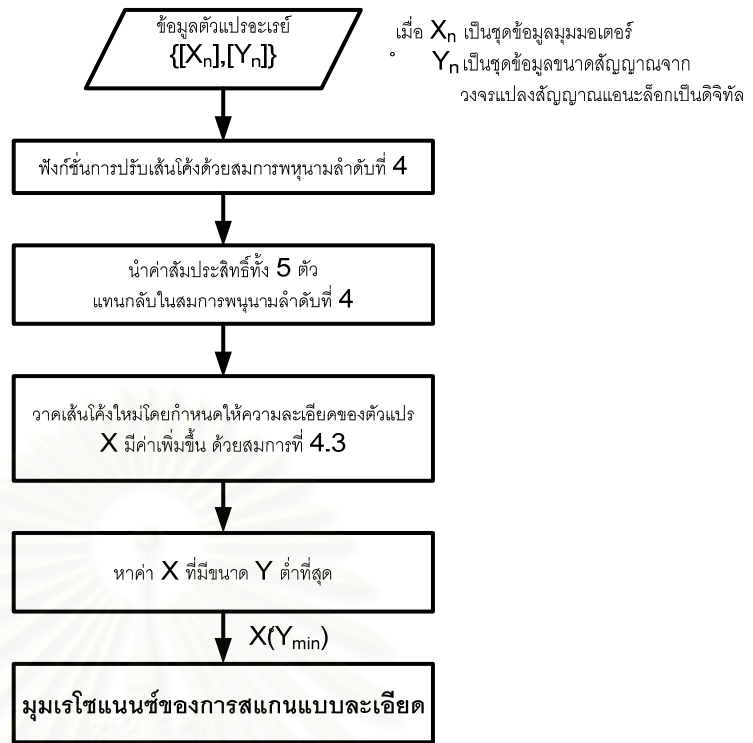
a_0, a_1, \dots, a_4 คือ ค่าสัมประสิทธิ์ของสมการการปรับเส้นโค้ง

จากรูปที่ 4.10 แสดงขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมคำนวณแบบการปรับเส้นโค้งด้วยสมการพหุนามอันดับที่ 4 ของส่วนประมวลผลของการสแกนแบบละเอียด นำข้อมูลทั้งหมดที่ได้จากการสแกนแบบละเอียดไปคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ทั้ง 5 ตัวจากสมการที่ 4.2 ด้วยฟังก์ชันการปรับเส้นโค้ง เมื่อได้ค่าสัมประสิทธิ์ทั้ง 5 ตัวออกมาก็ทำการสร้างสมการใหม่ขึ้นมาใหม่ ด้วยการแทนค่า x หรือค่ามุมมอเตอร์ที่มีความละเอียดเพิ่มขึ้น (Δx_{cal}) ในงานวิทยานิพนธ์นี้กำหนดให้ความละเอียดของช่วงค่า x มีข้อมูล 10,000 จำนวนจากช่วงของการสแกนแบบละเอียด จากสมการที่ 4.3 แล้วหาตำแหน่ง x ที่มีค่า y ต่ำที่สุด ซึ่งก็คือ ตำแหน่งของมุมเรโซแนนซ์ ดังแสดงในรูปที่ 4.11

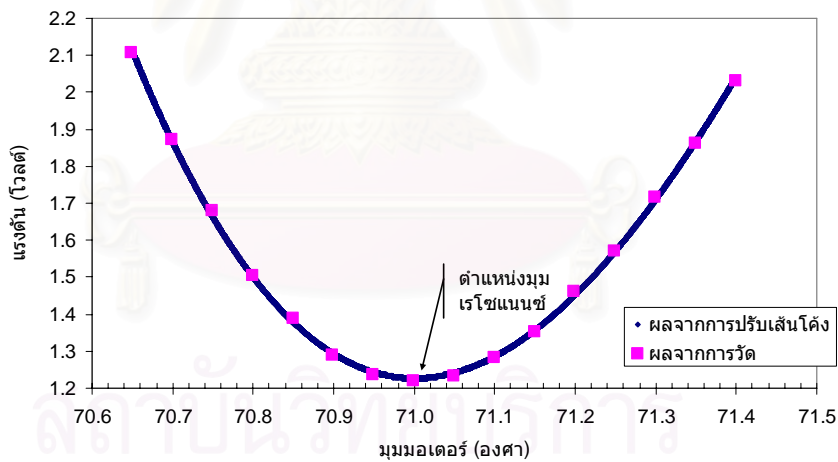
$$\Delta x_{cal} = \frac{\Delta \theta_- + \Delta \theta_+}{10000} \quad (4.3)$$

เมื่อ Δx_{cal} คือ ความละเอียดของค่า x ที่จะนำกลับไปแทนในพหุนามอันดับที่ 4

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.10 ผังงานโปรแกรมส่วนประมวลผลผลการสแกนแบบละเอียด



รูปที่ 4.11 วิธีการหามุมเรโซแนนซ์ของการสแกนแบบละเอียดแบบการปรับเส้นโค้ง
 ด้วยสมการพหุนามอันดับที่ 4

4.3 ส่วนการแสดงผล

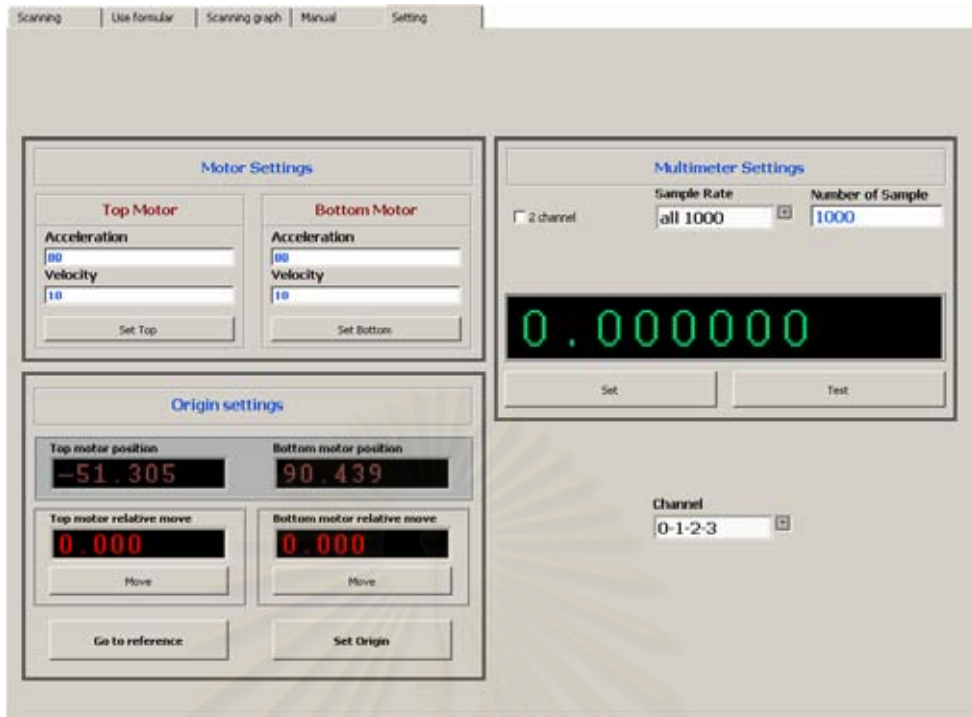
ในการใช้งานซอฟต์แวร์ของงานวิทยานิพนธ์นี้มีหน้าต่างแสดงผลที่สำคัญ 3 ส่วนคือ หน้าต่างสำหรับการกำหนดค่า (setting window) หน้าต่างหลักสำหรับการสแกน (main scanning window) และหน้าต่างการแสดงผลเส้นโค้งปรากฏการณ์เซอร์เฟซพลาสมอนเรโซแนนซ์ (display SPR curve window) ดังรายละเอียดต่อไปนี้

4.3.1 หน้าต่างสำหรับการกำหนดค่า

ภาพหน้าต่างสำหรับกำหนดค่าพารามิเตอร์ การใช้งานเริ่มต้นจากการกำหนดค่าต่าง ๆ ดังแสดงในรูปที่ 4.12 มีรูปแบบดังนี้

1. การตั้งค่าให้กับมอเตอร์ตัวบนและตัวล่าง ประกอบด้วยการกำหนดความเร็ว (acceleration) และความเร็ว (velocity) ที่ต้องการ เมื่อป้อนค่าดังกล่าวแล้วให้ทำการกดปุ่ม set top สำหรับมอเตอร์ตัวบน และ set bottom สำหรับมอเตอร์ตัวล่างค่าดังกล่าวจะถูกบันทึกไว้ในไฟล์ข้อมูลสำหรับอ่านมาใช้งานในครั้งต่อไป โดยไม่ต้องเข้ามาป้อนทุกครั้งเข้าสู่โปรแกรม
2. การตั้งค่าให้วงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัล ประกอบด้วยอัตราการสุ่มตัวอย่าง (sampling rate) ใน 1 วินาทีและจำนวนของตัวอย่าง (number of samples) ที่ต้องการนำมาใช้ในการวัดสัญญาณ 1 ครั้ง เมื่อป้อนค่าดังกล่าวแล้วให้ทำการกดปุ่ม set ซึ่งจะทำการบันทึกค่าดังกล่าวไว้ และให้กดปุ่ม test สำหรับทดสอบการวัดสัญญาณจากวงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัล ว่าทำงานได้ถูกต้องหรือไม่และมีสัญญาณรบกวนมากน้อยเพียงใด
3. การกำหนดตำแหน่ง origin เพื่อตั้งค่ามุมตั้งต้นที่ใช้ปรับตั้งมุมมอเตอร์ให้ตรงกับมุมของระบบแสง (origin angle) ส่วนในการใช้งานเพื่อทำการบันทึกค่าดังกล่าวนั้นจะประกอบไปด้วยการเลื่อนมอเตอร์ตัวที่ต้องการด้วยการกดปุ่ม move การไปยังตำแหน่งศูนย์โดยการกดปุ่ม go to reference และการบันทึกเป็นค่ามุม origin ด้วยการกดปุ่ม set origin

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.12 ภาพหน้าต่างการใช้งานสำหรับการตั้งค่า (setting)

4.3.2 หน้าต่างหลักสำหรับการสแกน

เมื่อกำหนดค่าเริ่มต้นต่างๆ เรียบร้อยแล้ว ก็สามารถทำการสแกนเพื่อหาค่ามุมเรโซแนนซ์ได้ โดยสั่งการทำงานที่หน้าต่างหลักสำหรับการสแกน ดังแสดงในรูปที่ 4.13 จะมีส่วนสำหรับการใส่ค่าพารามิเตอร์สำหรับการทำงานของโปรแกรมทั้งหมด ดังนี้

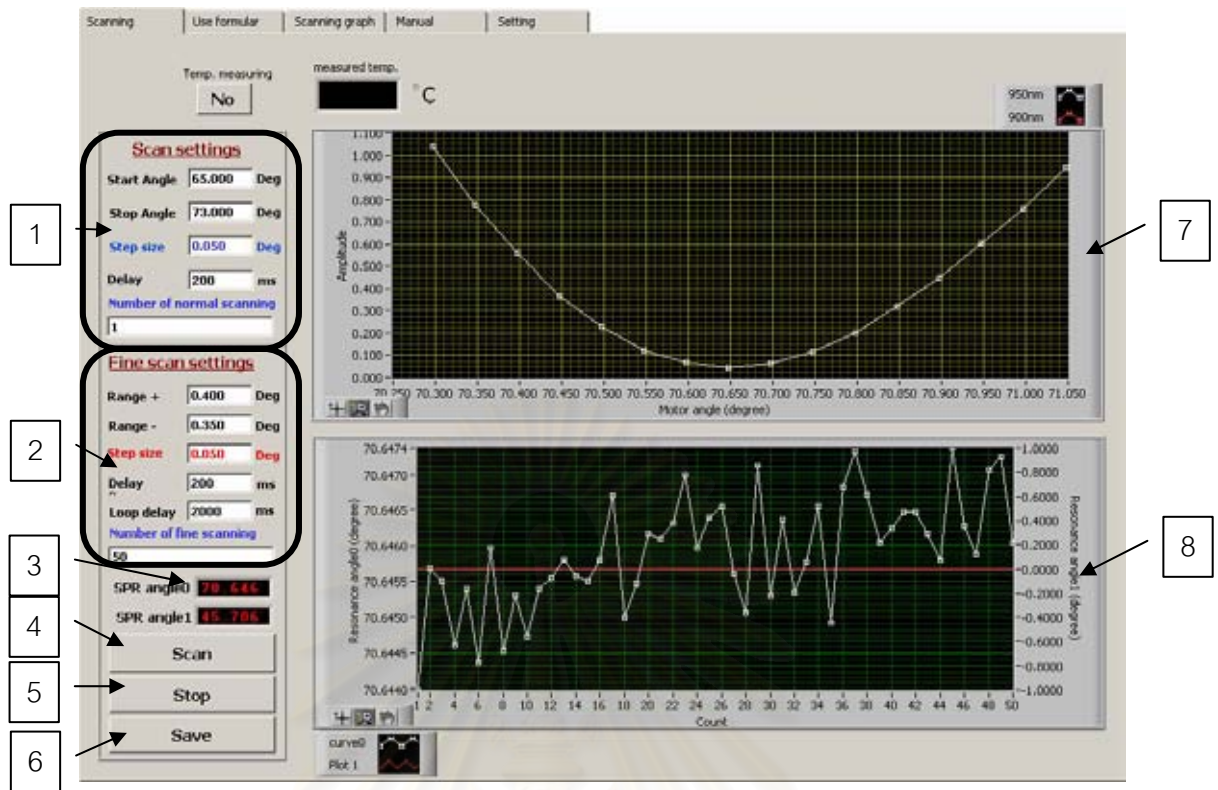
1. การกำหนดค่าพารามิเตอร์สำหรับการสแกนแบบหยาบ (scan settings)

- ช่วงการสแกนแบบหยาบ โดยป้อนค่าเพื่อกำหนดตำแหน่งมุมเริ่มต้นและมุมสุดท้ายของการสแกน

- ความละเอียดในการสแกนหยาบ (step size)

- เวลาในการหน่วง (delay) เพื่อให้แน่ใจว่ามอเตอร์หยุดตรงตำแหน่งที่ต้องการและไม่มีการสั่นสะเทือนเชิงกลขณะที่วัดค่าความเข้มแสงของตัวตรวจหา จึงสามารถกำหนดค่าเวลาหน่วงดังกล่าวได้ตามต้องการ

- จำนวนครั้งในการสแกนหยาบ สำหรับผู้ใช้ที่ต้องการหามุมเรโซแนนซ์ในการสแกนหยาบที่เฉลี่ยหลายครั้ง เพื่อให้มั่นใจก่อนผ่านเข้าสู่กระบวนการของการสแกนละเอียด โดยสามารถกำหนดได้ในช่องจำนวนครั้งในการสแกนแบบหยาบ (number of normal scanning)



รูปที่ 4.13 ภาพหน้าต่างการใช้งานหลักสำหรับการสแกน

2. การกำหนดค่าพารามิเตอร์สำหรับการสแกนแบบละเอียด (fine scan setting)

สำหรับการสแกนละเอียด

- ช่วงสแกนแบบละเอียด สามารถใช้ช่วงการสแกนได้ทั้งด้านบวกและด้านลบ โดยใช้ค่ามุมเรโซแนนซ์ที่ได้จากการสแกนแบบหยาบเป็นจุดอ้างอิง

- ความละเอียดในการสแกนแบบละเอียด (fine step size)

- เวลาในการหน่วงระหว่างขั้น (delay) เป็นเวลาในการหน่วงก่อนการอ่านระดับ

สัญญาณจากตัวตรวจหา

- เวลาในการหน่วงระหว่างรอบการสแกน (loop delay) เป็นเวลาในการหน่วงในกรณีที่มีการสแกนหลาย ๆ รอบเพื่อหาค่าเฉลี่ย

- จำนวนครั้งในการสแกนละเอียด ในกรณีที่ต้องการหามุมเรโซแนนซ์แบบเฉลี่ยหลายครั้ง โดยสามารถกำหนดได้ในช่องจำนวนครั้งในการสแกนแบบละเอียด (number of fine scanning)

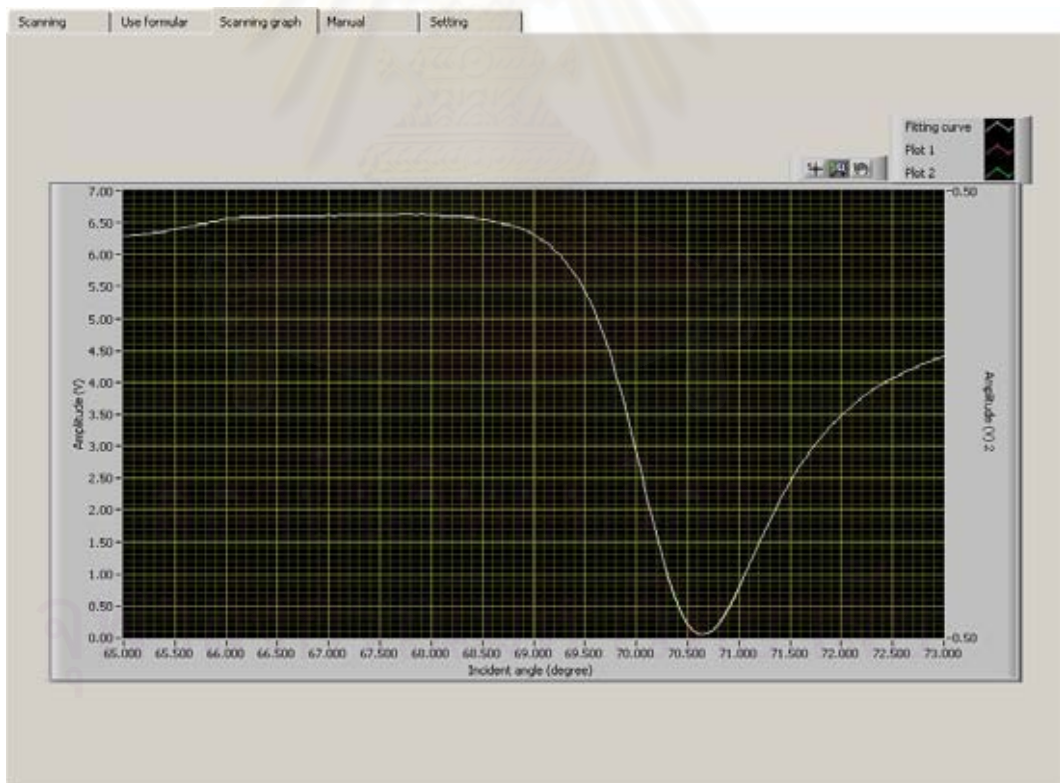
3. ช่องแสดงค่ามุมเรโซแนนซ์ของการสแกนทั้งสองแบบที่ได้จากการคำนวณ

4. ปุ่มเริ่มต้นการสแกน (scan) ที่จะทำการสแกน โดยเริ่มต้นจากการสแกนหยาบเพื่อหาค่าตำแหน่งมุมเรโซแนนซ์โดยประมาณก่อน จากนั้นนำจุดที่ได้ไปทำการสแกนละเอียดต่อไป เพื่อหาตำแหน่งที่ถูกต้องและแม่นยำมากขึ้น ค่ามุมที่ได้จะแสดงผลในช่อง SPR Angle0

5. ปุ่มหยุดการสแกน (stop)
6. ปุ่มบันทึกผลการสแกน (save) ลงไฟล์เพื่อนำไปใช้ในโปรแกรมอื่นๆ ต่อไป
7. หน้าต่างแสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างมุมมอเตอร์กับสัญญาณที่วัดได้ขณะนั้น
8. หน้าต่างแสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างมุมเรโซแนนซ์ที่ได้จากการสแกนแบบละเอียดกับจำนวนครั้ง

4.3.3 หน้าต่างการแสดงผลเส้นโค้งปรากฏการณ์เซอร์เฟซพลาสมอนเรโซแนนซ์

เมื่อต้องการดูผลการสแกนหยาบที่แสดงเส้นโค้งครบทั้งช่วงกว้างของการสแกน สามารถดูได้ที่หน้าต่างการแสดงผลเส้นโค้งปรากฏการณ์เซอร์เฟซพลาสมอนเรโซแนนซ์ ดังแสดงในรูปที่ 4.14 การทำงานของหน้าต่างส่วนนี้จะแสดงเส้นโค้งปรากฏการณ์เซอร์เฟซพลาสมอนเรโซแนนซ์ที่ได้จากการสแกนหยาบและแสดงเส้นโค้งที่ได้จากการสแกนแบบละเอียดพร้อมทั้งเส้นโค้งของการปรับเส้นโค้ง



รูปที่ 4.14 ภาพหน้าต่างการใช้งานสำหรับดูผลกราฟของการสแกน

บทที่ 5

การทดลองและการวิเคราะห์ผล

ในบทนี้แบ่งเนื้อหาออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ ส่วนแรกเป็นการอธิบายขั้นตอนการทดสอบและผลการทดสอบความสามารถของระบบวัดปรากฏการณ์เซอร์เฟซพลาสมอนเรโซแนนซ์ ซึ่งมี 3 ส่วน ได้แก่ ทดสอบการแยกชัด (resolution) สภาวะทำซ้ำได้ (repeatability) และความไว (sensitivity) เป็นต้น และส่วนที่สองเป็นการแสดงผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการวัดมุมเรโซแนนซ์ของน้ำมันเชื้อเพลิง เพื่อประเมินค่าเลขออกเทนของน้ำมันเชื้อเพลิงที่ใช้ในการทดลอง โดยให้ความสนใจในแง่ความสามารถของระบบวัดปรากฏการณ์เซอร์เฟซพลาสมอนที่พัฒนาขึ้น จะแยกแยะน้ำมันเชื้อเพลิงที่มีเลขออกเทนต่างกันในช่วง 91 – 100 ในงานวิทยานิพนธ์แบ่งผลการทดลองตามรูปแบบของระบบไหลสาร 2 แบบ คือ ระบบไหลสารแบบช่องสารไหลซิลิโคน และระบบไหลสารแบบช่องสารไหลเทฟลอน

5.1 การทดสอบความสามารถของระบบวัด

การทดสอบความสามารถของระบบวัดปรากฏการณ์เซอร์เฟซพลาสมอนเรโซแนนซ์ในงานวิทยานิพนธ์นี้ เป็นการทดลองวัดปรากฏการณ์เซอร์เฟซพลาสมอนเรโซแนนซ์ด้วยวิธีการสแกนมุม และจัดอุปกรณ์ตามรูปแบบเครื่องมือเครทชมาน เพื่อสังเกตการเปลี่ยนแปลงมุมเรโซแนนซ์ (shift of resonance angle)

ค่าการเปลี่ยนแปลงมุมเรโซแนนซ์ ($\Delta\theta_{SPR,i}$) คำนวณจากการนำมุมเรโซแนนซ์ที่ผ่านการชดเชยผลของมุมตกกระทบของสารตัวอย่างที่ i ($\theta_{SPR,i}$) เทียบกับมุมเรโซแนนซ์ที่ผ่านการชดเชยผลของมุมตกกระทบของสารตัวอย่างที่ใช้เพื่อเปรียบเทียบ ($\theta_{SPR,0}$) ตัวอย่างเช่น น้ำปราศจากไอออน (de-ionized water) เอทิลแอลกอฮอล์ (ethyl alcohol) เป็นต้น

$$\Delta\theta_{SPR,i} = \theta_{SPR,i} - \theta_{SPR,0} \quad (5.1)$$

ในส่วนของการทดลองระบบวัดปรากฏการณ์เซอร์เฟซพลาสมอนเรโซแนนซ์ได้ทำการทดลองวัดกับสารละลายน้ำตาลที่มีความเข้มข้นโดยน้ำหนักค่าต่าง ๆ ที่ความยาวคลื่นแสง 900 และ 950 นาโนเมตร และเป็นความยาวคลื่นแสงที่จะนำมาใช้ทดลองวัดกับน้ำมันเชื้อเพลิง พบความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีหักเหกับสารละลายน้ำตาลที่มีความเข้มข้นค่าต่าง ๆ โดยที่ค่าดัชนี

หักเหวัดจากเครื่องวัดค่าดัชนีหักเหของบริษัท Atago Abbe ซึ่งแหล่งกำเนิดแสงโซเดียม (sodium D ray) ความยาวคลื่นแสง 589.3 นาโนเมตร ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส และให้ความเที่ยงตรงในการวัด ± 0.0001 ดังตารางที่ 5.1 จะเห็นได้ว่าค่าดัชนีหักเหของสารละลายน้ำตาลแสดงแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นเมื่อค่าความเข้มข้นร้อยละโดยน้ำหนักมีค่าเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 5.1 ตารางความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีหักเหของสารละลายน้ำตาลกับความเข้มข้นโดยน้ำหนักในช่วงอุณหภูมิ 25.6 – 26 องศาเซลเซียส

สารละลายที่	ความเข้มข้น (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	ค่าดัชนีหักเห
1	0	1.3325
2	0.2	1.3328
3	1.0	1.3339
4	10.0	1.3464
5	20.0	1.3577
6	30.0	1.3684
7	40.0	1.3782

ในหัวข้อนี้จะอธิบายถึงผลการทดสอบความสามารถของระบบวัดปรากฏการณ์เซอร์เฟซพลาสมอนเรโซแนนซ์ที่ได้สร้างขึ้น ในงานวิทยานิพนธ์ แบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ ส่วนที่หนึ่งเป็นผลการทดสอบการแยกชัด มี 2 แบบ คือ การแยกชัดเชิงกลของมอเตอร์ (angular resolution) และการแยกชัดของระบบ (system resolution) ส่วนที่สองเป็นผลการทดสอบสภาวะทำซ้ำได้ของการวัด และส่วนสุดท้ายเป็นผลการทดสอบความไวของระบบวัด

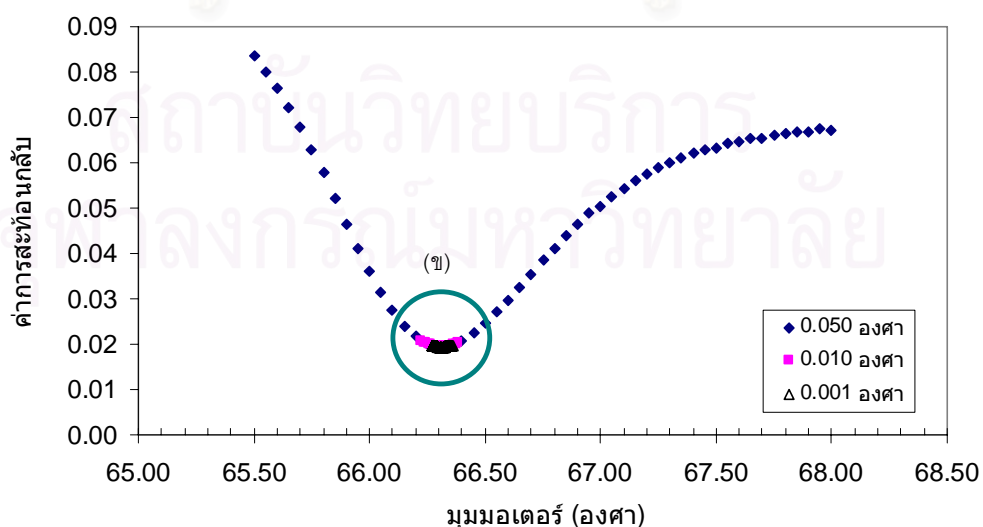
5.1.1 การแยกชัด (resolution)

การบอกค่าการแยกชัดของระบบวัดปรากฏการณ์เซอร์เฟซพลาสมอนเรโซแนนซ์ด้วยวิธีการสแกนมุม ในงานวิทยานิพนธ์นี้ได้แบ่งไว้เป็น 2 แบบ คือ การแยกชัดเชิงกลของมอเตอร์เป็นการแยกชัดที่มอเตอร์สามารถหมุนได้ในช่วงองศาการหมุนที่น้อยที่สุด และการแยกชัดของระบบวัดปรากฏการณ์เซอร์เฟซพลาสมอนเรโซแนนซ์ คือ ความสามารถของระบบวัดที่วัดการเปลี่ยนแปลงค่าดัชนีหักเหของสารตัวอย่างได้น้อยที่สุด (Δn_{\min}) [12, 30] จากรายงานการวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาถึงปรากฏการณ์เซอร์เฟซพลาสมอนเรโซแนนซ์โดยส่วนใหญ่ นิยมแทน

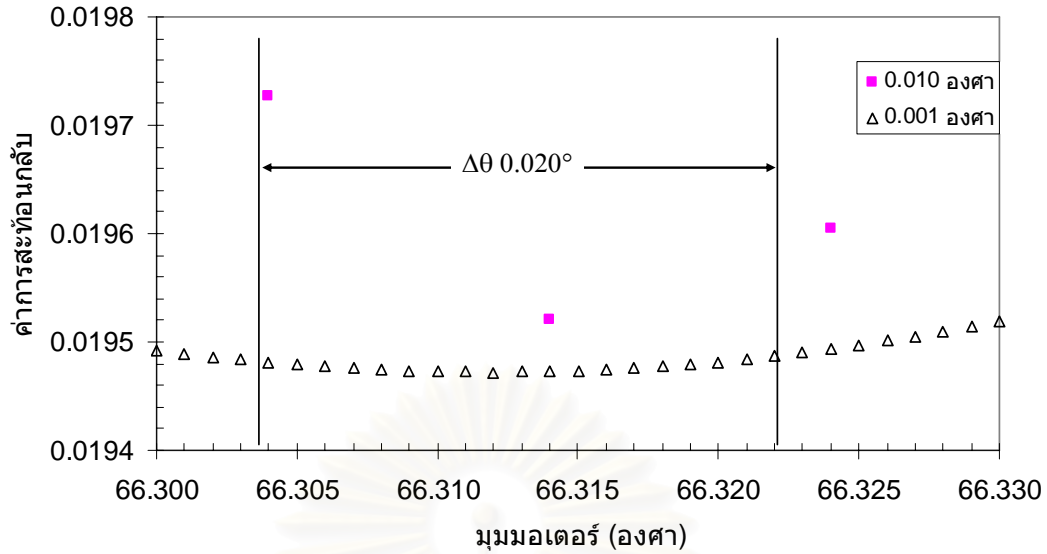
หน่วยของการเปลี่ยนแปลงค่าดัชนีหักเหด้วยหน่วย RIU (Refractive Index Unit) เป็นหน่วยที่ใช้ในการบอกถึงค่าการเปลี่ยนแปลงค่าดัชนีหักเหของสารตัวอย่าง ซึ่งนำมาใช้เป็นข้อมูลในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของระบบวัดปรากฏการณ์เซอร์เฟซพลาสมอนเรโซแนนซ์ ค่าการแยกชัดของระบบวัดได้มาจากผลการทดลองวัดปรากฏการณ์เซอร์เฟซพลาสมอนเรโซแนนซ์กับสารตัวอย่าง แต่เนื่องจากผลการทดลองวัดจะอยู่ในรูปของการเปลี่ยนแปลงมุมเรโซแนนซ์ ดังนั้นจึงต้องทำการคำนวณเพื่อเปลี่ยนค่ามุมให้อยู่ในรูปของการเปลี่ยนแปลงค่าดัชนีหักเห โดยค่าที่ได้จะขึ้นอยู่กับความยาวคลื่นแสงที่ใช้ในการวัด เช่น ระบบที่มีการแยกชัดมุมเรโซแนนซ์ของระบบ $10^{-2} - 10^{-3}$ องศา จะเทียบเท่าการแยกชัดของค่าดัชนีหักเห $10^{-5} - 10^{-6}$ RIU ที่ความยาวคลื่นแสง 630 นาโนเมตร [30]

5.1.1.1 การแยกชัดเชิงกลของมอเตอร์

ในงานวิทยานิพนธ์ใช้ขั้นตอนวิธีการทดลองเพื่อหาค่าการแยกชัดเชิงกลของมอเตอร์ โดยทดลองวัดปรากฏการณ์เซอร์เฟซพลาสมอนเรโซแนนซ์กับสารละลายน้ำตาลเข้มข้นร้อยละ 0 โดยน้ำหนัก หรือน้ำปราศจากไอออน ที่ความยาวคลื่นแสง 950 นาโนเมตร ในช่วงการสแกนที่เท่ากันได้แบ่งความละเอียดไว้ 2 ค่า คือ 0.010 และ 0.001 องศา จากนั้นนำจำนวนข้อมูลมาเปรียบเทียบกัน ทำให้ได้ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการสะท้อนกับมุมตกกระทบค่าต่าง ๆ เส้นโค้งของปรากฏการณ์เซอร์เฟซพลาสมอนเรโซแนนซ์ที่ได้จากวัดน้ำปราศจากไอออน เมื่อสแกนมุมด้วยความละเอียด 0.050 องศาในช่วงกว้าง ดังแสดงในรูปที่ 5.1 (ก) และส่วนขยายของบริเวณรอบ ๆ มุมเรโซแนนซ์ ที่สแกนมุมด้วยความละเอียด 0.010 และ 0.001 องศา ดังแสดงในรูปที่ 5.1 (ข)



(ก)



(ข)

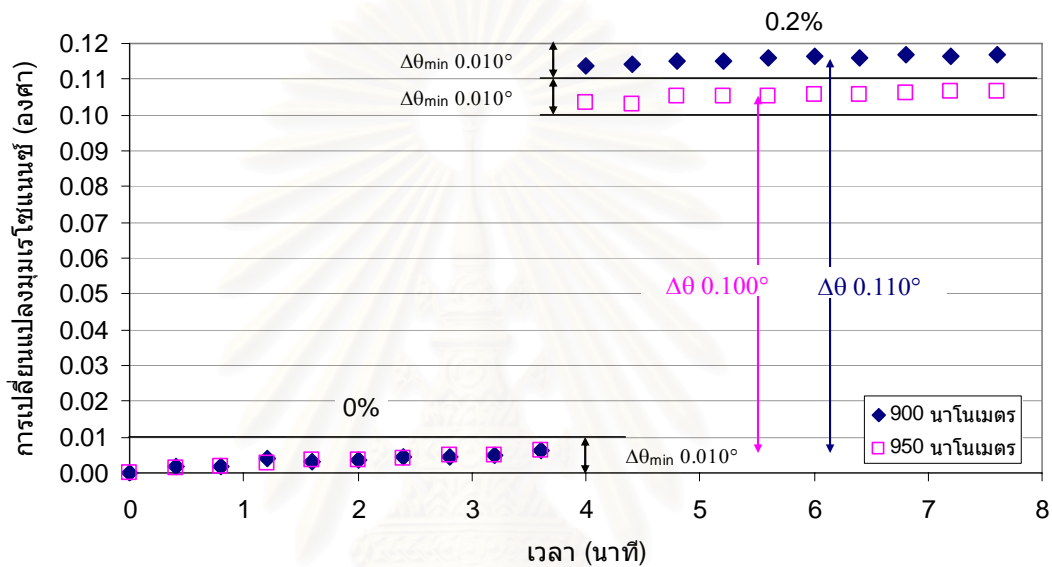
รูปที่ 5.1 เส้นโค้งปรากฏการณ์เซอร์เฟซพลาสมอนเรโซแนนซ์ของน้ำปราศจากไอออน สแกนมุมในช่วงกว้างด้วยความละเอียด 0.050 องศา (ข) ส่วนขยายรอบ ๆ จุดเรโซแนนซ์ (ก) สแกนด้วยความละเอียด 0.010 และ 0.001 องศา

จากผลการทดลองวัดค่ามุมเรโซแนนซ์ของน้ำปราศจากไอออนที่ความละเอียด 0.010 องศา และ 0.001 องศา ของทั้ง 2 ได้ที่ 66.314 องศา เท่ากัน พิจารณาช่วงการสแกนมุมรอบ ๆ มุมเรโซแนนซ์ในช่วง 0.020 องศา พบว่าจำนวนข้อมูลของการสแกนครั้งละ 0.010 องศา มีจำนวน 2 ค่าและของการสแกนครั้งละ 0.001 องศา มีจำนวน 20 ค่า จึงทราบว่า ระบบสามารถหมุนหรือสแกนมุมได้ละเอียดถึง 0.001 องศา

5.1.1.2 การแยกขีดของระบบวัด

ค่าการแยกขีดของระบบวัดเป็นค่าที่บอกถึงความสามารถของระบบวัดที่จะแยกความแตกต่างของค่าดัชนีหักเหของสารตัวอย่างได้น้อยที่สุด สำหรับวิธีการทดสอบเพื่อหาค่าการแยกขีดของระบบวัด คือการทดลองวัดปรากฏการณ์เซอร์เฟซพลาสมอนเรโซแนนซ์กับสารตัวอย่างที่มีค่าดัชนีหักเหที่แตกต่างกันน้อยที่สุดที่เครื่องสามารถวัดแยกได้ โดยมีขั้นตอนการทดสอบดังนี้ คือ ทดลองวัดกับสารตัวอย่างที่ถูกเจือจางให้มีความเข้มข้นน้อยลงเรื่อย ๆ จนระบบวัดไม่สามารถวัดแยกได้ ซึ่งทำได้ยากในทางปฏิบัติ ดังนั้นในวิทยานิพนธ์นี้จึงใช้วิธีการทดสอบโดยการทดลองวัดปรากฏการณ์เซอร์เฟซพลาสมอนเรโซแนนซ์กับสารละลายน้ำตาลที่มีความเข้มข้นต่างกัน 2 ค่า โดยเลือกวัดกับสารละลายน้ำตาลที่มีความเข้มข้นต่างกันอย่างน้อยที่สุดที่ได้เตรียมไว้ จากนั้นนำผลการทดลองที่ได้ไปคำนวณเพื่อประมาณค่าการแยกขีดของการวัด

เริ่มต้นการทดสอบด้วยการวัดปรากฏการณ์เซอร์เฟซพลาสมอนเรโซแนนซ์กับสารละลายน้ำตาลที่ความเข้มข้นร้อยละ 0 และ 0.2 โดยน้ำหนักตามลำดับ ที่ความยาวคลื่นแสง 900 และ 950 นาโนเมตร ใช้ความละเอียดในการสแกนครั้งละ 0.010 องศา และทดลองวัดค่ามุมเรโซแนนซ์ที่แต่ละความเข้มข้นซ้ำกัน 10 รอบ ในรูปที่ 5.2 แสดงการเปลี่ยนแปลงมุมเรโซแนนซ์ของสารละลายน้ำตาลเข้มข้นร้อยละ 0 ไปที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.2 โดยพิจารณาค่าการเปลี่ยนแปลงของมุมเรโซแนนซ์เทียบกับค่ามุมเรโซแนนซ์เทียบกับของสารละลายน้ำตาลเข้มข้นร้อยละ 0 โดยน้ำหนัก



รูปที่ 5.2 การเปลี่ยนแปลงมุมเรโซแนนซ์ของสารละลายน้ำตาลจากความเข้มข้นร้อยละ 0 เป็น 0.2 โดยน้ำหนัก

จากผลการทดลองพบว่า ระบบวัดสามารถวัดความแตกต่างมุมเรโซแนนซ์ของสารละลายทั้งสองได้ โดยให้ค่าการเปลี่ยนแปลงมุมเรโซแนนซ์ของสารละลายน้ำตาลประมาณ 0.110 องศา เมื่อวัดที่ความยาวคลื่นแสง 900 นาโนเมตร ซึ่งมีค่าการเปลี่ยนแปลงมากกว่าค่าที่วัดที่ความยาวคลื่นแสง 950 นาโนเมตรที่ให้ค่าการเปลี่ยนแปลง 0.100 องศา และมีช่วงการแกว่งของมุมเรโซแนนซ์ของสารละลายน้ำตาลประมาณ 0.010 องศา จากตารางที่ 5.1 ค่าดัชนีหักเหของสารละลายน้ำตาลเข้มข้นร้อยละ 0 และ 0.2 โดยน้ำหนัก เท่ากับ 1.3325 และ 1.3328 ตามลำดับ นั่นคือ ระบบวัดสามารถวัดแยกสารตัวอย่างที่มีค่าดัชนีหักเหแตกต่างกัน 3.0×10^{-4} RIU ได้ จากนั้นนำผลการทดลองวัดที่อยู่ในรูปของการเปลี่ยนแปลงมุมเรโซแนนซ์มาคำนวณหาค่าการแยกชัดของระบบและเปลี่ยนให้อยู่ในรูปของการเปลี่ยนแปลงค่าดัชนีหักเห

ในงานวิทยานิพนธ์นี้ กำหนดให้ค่าการเปลี่ยนแปลงมุมเรโซแนนซ์ที่น้อยที่สุด ($\Delta\theta_{\min}$) ที่ระบบวัดสามารถวัดแยกได้มีค่าเท่ากับ 1 เท่าของช่วงการแกว่งดังแสดงในรูปที่ 5.2 ทำการคำนวณค่าการแยกชัดของระบบวัด ดังสมการที่ 5.2

$$\frac{\Delta n_{\min}}{\Delta\theta_{\min}} = \frac{\Delta n}{\Delta\theta} \quad (5.2)$$

เมื่อ Δn_{\min} คือ ค่าการเปลี่ยนแปลงค่าดัชนีหักเหที่น้อยที่สุด และ $\Delta\theta_{\min}$ คือ ค่าการเปลี่ยนแปลงมุมเรโซแนนซ์ที่ระบบวัดสามารถวัดแยกได้น้อยที่สุด

วิธีการคำนวณหาค่าการแยกชัด ที่ความยาวคลื่นแสง 900 นาโนเมตร โดยคำนวณจากผลการทดลองวัด เมื่อค่าดัชนีหักเหเปลี่ยนแปลง (Δn) 3.0×10^{-4} RIU จะให้ค่าการเปลี่ยนแปลงของมุมเรโซแนนซ์ ($\Delta\theta$) ที่วัดได้มีค่าเท่ากับ 0.110 องศา และกำหนดให้ระบบวัดสามารถวัดแยกการเปลี่ยนแปลงของมุมเรโซแนนซ์ได้น้อยที่สุด ($\Delta\theta_{\min}$) เท่ากับ 0.010 องศา เพราะฉะนั้นจากสมการที่ 5.2 เมื่อคำนวณหาค่าการเปลี่ยนแปลงค่าดัชนีหักเหที่น้อยที่สุด (Δn_{\min}) หรือค่าการแยกชัดของระบบวัดได้ประมาณ 2.7×10^{-5} RIU และในการทำงานเดียวกันที่ความยาวคลื่นแสง 950 นาโนเมตร สามารถคำนวณค่าการแยกชัดของระบบวัดได้ 3.0×10^{-5} RIU

5.1.2 สภาวะทำซ้ำได้ของการวัด

สภาวะทำซ้ำได้ของการวัดสำหรับงานวิทยานิพนธ์นี้ หมายถึง ช่วงการแกว่งมุมเรโซแนนซ์ของสารละลายที่มีความเข้มข้นค่าหนึ่ง เมื่อวัดซ้ำกันหลายครั้ง นำข้อมูลจากผลการทดลอง ดังแสดงในรูปที่ 5.2 มาพิจารณา จะได้ช่วงการแกว่งมุมเรโซแนนซ์ของสารละลายทั้งหมดมีค่าประมาณ 0.010 องศา

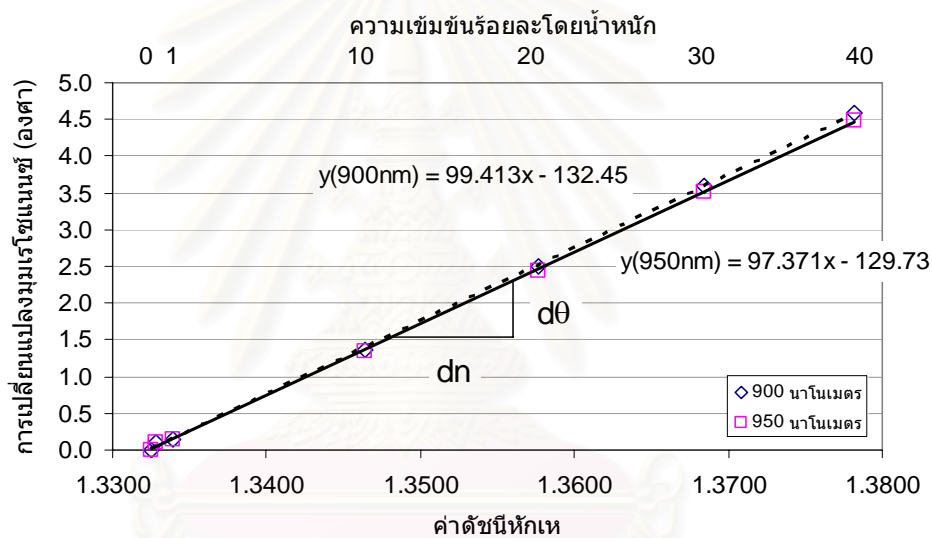
5.1.3 ความไวของเครื่องวัด

ความไวของเครื่องวัดปรากฏการณ์เซอร์เฟซพลาสมอนเรโซแนนซ์ คือ ค่าการเปลี่ยนแปลงของมุมเรโซแนนซ์ต่อการเปลี่ยนแปลงค่าดัชนีหักเห 1 หน่วย (1 RIU) [12]

$$\text{ค่าความไวของเครื่องวัด} = \frac{d\theta}{dn} \quad (5.3)$$

ในรายงานการวิจัยได้ค้นพบว่าค่าความไวของระบบวัดปรากฏการณ์เซอร์เฟซพลาสมอนเรโซแนนซ์แบบสแกนมุม จะให้ค่าความไวเพิ่มขึ้นเมื่อวัดที่ความยาวคลื่นแสงสั้นลง [12,16]

ในงานวิทยานิพนธ์นี้มีขั้นตอนการทดลองเพื่อหาค่าความไวของเครื่องวัด โดยเรียงลำดับการทดลองวัดกับสารละลายน้ำตาลเข้มข้นร้อยละ 0, 0.2, 1, 10, 20, 30 และ 40 โดยน้ำหนัก และวัดที่ความยาวคลื่นแสง 900 และ 950 นาโนเมตร นำค่าการเปลี่ยนแปลงมุมเรโซแนนซ์ที่ได้การทดลองมาวาดกราฟเพื่อแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงมุมเรโซแนนซ์กับค่าดัชนีหักเหและความเข้มข้นร้อยละโดยน้ำหนักของสารละลายค่าต่าง ๆ ซึ่งในที่นี้ใช้น้ำปราศจากไอออนเป็นสารมาตรฐานที่ใช้ในการคำนวณค่าการเปลี่ยนแปลงมุมเรโซแนนซ์ จากกราฟในรูปที่ 5.3 เส้นกราฟที่ได้จากการวัดที่ความยาวคลื่น 900 นาโนเมตรจะมีความชันกว่าเส้นกราฟที่วัดที่ความยาวคลื่น 950 นาโนเมตร



รูปที่ 5.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงมุมเรโซแนนซ์กับค่าดัชนีหักเห และความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาล

การคำนวณหาค่าความไวของเครื่องวัดสามารถพิจารณาได้จากค่าความชันของเส้นแนวโน้มดังแสดงในรูปที่ 5.3 ที่ความยาวคลื่นแสง 900 และ 950 นาโนเมตร มีค่าเท่ากับ 99.4 องศา ต่อ RIU และ 97.4 องศา ต่อ RIU ตามลำดับ

จากผลการทดสอบความสามารถของระบบวัดทั้ง 3 ส่วน ได้สรุปแบ่งความสามารถของระบบวัดโดยแบ่งตามความยาวคลื่นแสงที่วัด ดังนี้ ที่ความยาวคลื่นแสง 900 นาโนเมตร ระบบวัดจะให้ค่าการแยกชัดเชิงมุมประมาณ 2.7×10^{-5} RIU และค่าความไวประมาณ 99.4 องศา ต่อ RIU และเมื่อวัดที่ความยาวคลื่นแสง 950 นาโนเมตร ระบบวัดจะให้ค่าการแยกชัดเชิงมุมประมาณ

3×10^{-5} RIU และค่าความไวประมาณ 97.4 องศา ต่อ RIU และส่วนค่าสภาวะทำซ้ำได้ของการวัด ที่ความยาวคลื่นแสงทั้งสองจะให้ค่าเท่ากันคือ 0.010 องศา

5.2 การทดลองวัดเลขออกเทนของน้ำมันเชื้อเพลิงอ้างอิงปฐมภูมิด้วยปรากฏการณ์เซอร์เฟซพลาสมอนเรโซแนนซ์

ในส่วนนี้ได้แบ่งเนื้อหาออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ ส่วนแรกจะอธิบายถึงขั้นตอนการเตรียมน้ำมันเชื้อเพลิงที่ให้เลขออกเทนค่าต่าง ๆ และอธิบายถึงความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีหักเหกับเลขออกเทนของน้ำมันเชื้อเพลิง และส่วนที่สองจะอธิบายถึงผลการทดลองวัดและวิเคราะห์ผลเมื่อวัดปรากฏการณ์เซอร์เฟซพลาสมอนเรโซแนนซ์กับน้ำมันเชื้อเพลิงที่มีเลขออกเทนค่าต่าง ๆ

5.2.1 การเตรียมน้ำมันเชื้อเพลิงที่มีเลขออกเทนค่าต่าง ๆ

ขั้นตอนการเตรียมน้ำมันเชื้อเพลิงที่มีเลขออกเทนค่าต่าง ๆ สำหรับใช้ในการทดลองในงานวิทยานิพนธ์เตรียมได้จากการผสมนอร์มอลเฮปเทนและไอโซออกเทน โดยใช้อัตราส่วนการผสมโดยปริมาตรเพื่อให้ได้เลขออกเทนตามที่ต้องการ ตามสมการที่ 2.1

ตารางที่ 5.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเลขออกเทนกับปริมาตรของนอร์มอลเฮปเทนและไอโซออกเทนสำหรับผสมให้น้ำมันเชื้อเพลิงที่ปริมาตร 100 มิลลิลิตร โดยผสมสารที่อุณหภูมิห้อง 25 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 5.2 ความสัมพันธ์ระหว่างเลขออกเทนกับสัดส่วนโดยปริมาตรของนอร์มอลเฮปเทนและไอโซออกเทนที่ใช้ในการทดลอง

เลขออกเทน	ปริมาตร (มิลลิลิตร)	
	นอร์มอลเฮปเทน	ไอโซออกเทน
0	100	0
20	80	20
40	60	40
60	40	60
80	20	80
91	9	91
93	7	93
95	5	95
97	3	97
100	0	100

นำน้ำมันเชื้อเพลิงที่ได้เตรียมไว้ไปวัดค่าดัชนีหักเหด้วยเครื่องวัดค่าดัชนีหักเหของบริษัท Atago Abbe ที่ความยาวคลื่นแสง 589.3 นาโนเมตร เมื่อควบคุมอุณหภูมิขณะวัดที่ 21 องศาเซลเซียส และ 25 องศาเซลเซียส ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเลขออกเทนกับค่าดัชนีหักเหที่อ่านได้จากเครื่องวัดในตารางที่ 5.3

ตารางที่ 5.3 ความสัมพันธ์ระหว่างเลขออกเทนกับค่าดัชนีหักเหเมื่อวัดที่อุณหภูมิ 21 และ 25 องศาเซลเซียส ที่ความยาวคลื่นแสง 589.3 นาโนเมตร

เลขออกเทน	ค่าดัชนีหักเหที่อุณหภูมิ	
	21 องศาเซลเซียส	25 องศาเซลเซียส
0	1.3873	1.3853
20	1.3880	1.3860
40	1.3888	1.3870
60	1.3897	1.3876
80	1.3903	1.3882
91	1.3907	1.3886
93	1.3908	1.3887
95	1.3909	1.3888
97	1.3909	1.3890
100	1.3910	1.3891

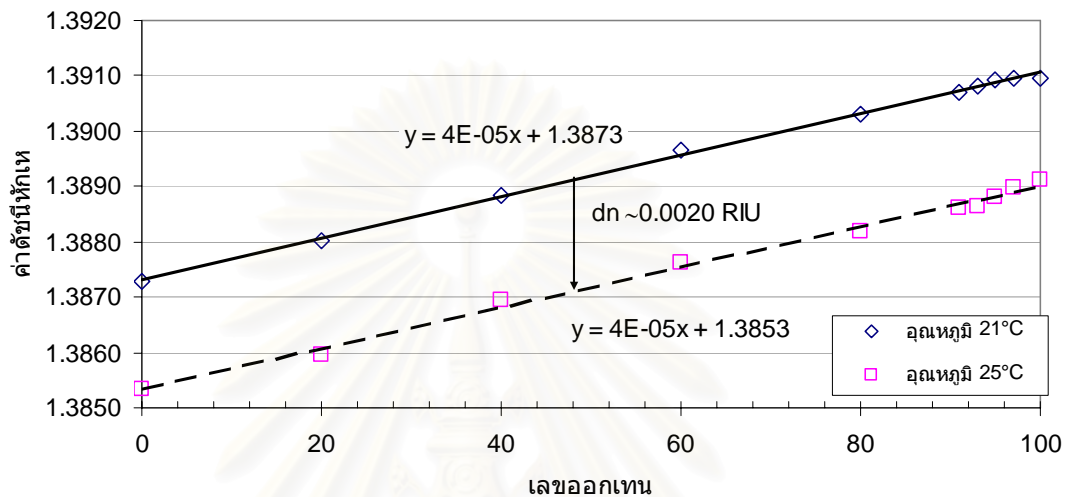
จากผลการวัดค่าดัชนีหักเหพบว่า ค่าดัชนีหักเหของน้ำมันเชื้อเพลิงมีค่าเพิ่มขึ้นตามเลขออกเทน แต่ก็แสดงแนวโน้มลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ซึ่งค่าที่บอกถึงความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนแปลงค่าดัชนีต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ (dn/dT) เรียกว่า ค่าสัมประสิทธิ์เชิงอุณหภูมิ (temperature coefficient) โดยมีสมการสำหรับการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์เชิงอุณหภูมิระหว่างค่าดัชนีหักเหของสารตัวอย่างที่วัดค่าดัชนีหักเหจากแหล่งกำเนิดแสงโซเดียมที่มีความยาวคลื่นแสง 589.3 นาโนเมตร (n_D) ในอุณหภูมิที่ต่างกัน ดังสมการที่ 5.4 [31]

$$\text{ค่าสัมประสิทธิ์เชิงอุณหภูมิ} = \frac{n_{D1} - n_{D2}}{T_1 - T_2} \quad (5.4)$$

- เมื่อ n_{D1} คือ ค่าดัชนีหักเหของสารตัวอย่างในอุณหภูมิที่ 1
 n_{D2} คือ ค่าดัชนีหักเหของสารตัวอย่างในอุณหภูมิที่ 2
 T_1 และ T_2 เป็นอุณหภูมิที่ 1 และ 2 ตามลำดับ

โดยปกติ ค่าสัมประสิทธิ์เชิงอุณหภูมิส่วนใหญ่มีค่าเป็นลบ หรืออีกนัยหนึ่งค่าดัชนีหักเหจะมีค่าลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์เชิงอุณหภูมิของสารประกอบไฮโดร คาร์บอนส่วนใหญ่จะมีค่าประมาณ -3×10^{-4} หรือ -5×10^{-4} [32]

นำข้อมูลจากตารางที่ 5.3 วาดกราฟเพื่อดูความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีหักเหของน้ำมันเชื้อเพลิงกับเลขออกเทนที่ช่วงอุณหภูมิทั้งสอง ดังแสดงในรูปที่ 5.4



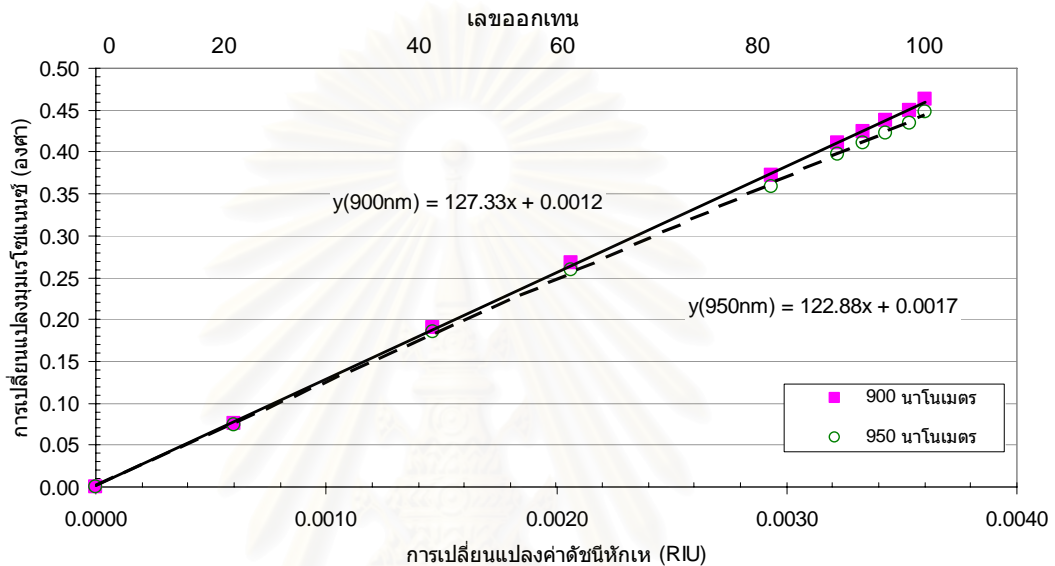
รูปที่ 5.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีหักเหกับเลขออกเทน

จากรูปที่ 5.4 จะเห็นได้ว่ากราฟเส้นแนวโน้มเพิ่มขึ้นประมาณ 2×10^{-3} RIU เมื่ออุณหภูมิลดลง 4 องศาเซลเซียส เมื่อนำไปคำนวณในสมการที่ 5.4 จะได้สัมประสิทธิ์เชิงอุณหภูมิของน้ำมันที่มีเลขออกเทนในช่วง 0 ถึง 100 โดยประมาณ ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{ค่าสัมประสิทธิ์เชิงอุณหภูมิ} &= \frac{dn}{dT} \\ &= \frac{0.0020}{21 - 25} = -5 \times 10^{-4} \text{ RIU ต่อ องศาเซลเซียส} \end{aligned}$$

อย่างไรก็ตามค่าสัมประสิทธิ์เชิงอุณหภูมิที่จะนำมาใช้ในการวิเคราะห์เพื่อชดเชยผลต่ออุณหภูมิต่อการเปลี่ยนแปลงมุมเรโซแนนซ์ ดังนั้นจึงใช้วิธีการคำนวณทางคณิตศาสตร์เพื่อแปลงหน่วยของค่าสัมประสิทธิ์เชิงอุณหภูมิสำหรับนำมาใช้ในงานวิทยานิพนธ์นี้ให้อยู่ในหน่วยขององศาต่อ องศาเซลเซียส ($\frac{d\theta_{SPR}}{dT}$)

นำข้อมูลในตารางที่ 5.3 ไปจำลองหาความสัมพันธ์ระหว่างมุมเรโซแนนซ์กับค่าดัชนีหักเหของน้ำมันเชื้อเพลิง โดยกำหนดให้ค่าดัชนีหักเหของปริซึมและฟิล์มทองจากตารางที่ 2.1 จะได้ความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงมุมเรโซแนนซ์จากผลการจำลองกับเลขออกเทนและการเปลี่ยนแปลงของค่าดัชนีหักเหที่ความยาวคลื่นแสง 900 และ 950 นาโนเมตร โดยกำหนดให้มุมเรโซแนนซ์ของน้ำมันเชื้อเพลิงที่มีเลขออก 0 ใช้เป็นค่าอ้างอิง ดังแสดงในรูปที่ 5.5



รูปที่ 5.5 ผลการจำลองการเปลี่ยนแปลงมุมเรโซแนนซ์กับการเปลี่ยนแปลงค่าดัชนีหักเหที่ความยาวคลื่นแสง 900 และ 950 นาโนเมตร

พิจารณาความชันของเส้นแนวโน้มทั้งสองในรูปที่ 5.5 ได้ความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงมุมเรโซแนนซ์เมื่อค่าดัชนีหักเหเปลี่ยนแปลงไป 1 RIU ที่ความยาวคลื่นแสง 900 และ 950 นาโนเมตร เท่ากับ 127.3 องศาต่อ RIU และ 122.9 องศาต่อ RIU ตามลำดับ เมื่อคำนวณค่าสัมประสิทธิ์เชิงอนุกรมในหน่วยขององศา ต่อองศาเซลเซียส ที่ความยาวคลื่นแสง 900 นาโนเมตร ดังนี้ $(-5 \times 10^{-4}$ RIU ต่อ องศาเซลเซียส) (127.3 องศา ต่อ RIU) จะได้ค่าสัมประสิทธิ์เชิงอนุกรมประมาณ -0.0637 องศา ต่อ องศาเซลเซียส และที่ความยาวคลื่นแสง 950 นาโนเมตร $(-5 \times 10^{-4}$ RIU ต่อ องศาเซลเซียส) (122.9 องศา ต่อ RIU) มีค่าประมาณ -0.0614 องศา ต่อ องศาเซลเซียส

จากผลการวัดค่าดัชนีหักเห เมื่อเลขออกเทนเพิ่มขึ้นจาก 0 ถึง 100 ให้ค่าการเปลี่ยนแปลงค่าดัชนีหักเหประมาณ 3.8×10^{-3} RIU (ค่าดัชนีหักเหของน้ำมันเชื้อเพลิงที่มีเลขออกเทน 0 และ 100 มีค่าเท่ากับ 1.3853 และ 1.3891 ตามลำดับ ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส) และจากการจำลองมุมเรโซแนนซ์ของน้ำมันเชื้อเพลิงที่เลขออกเทนค่าต่าง ๆ ให้ค่าการเปลี่ยนแปลงมุมเรโซแนนซ์ที่ความยาวคลื่นแสง 900 นาโนเมตร เท่ากับ (127.3 องศา ต่อ RIU) (0.0038 RIU)

ประมาณ 0.4838 องศา หรือ 0.0048 องศา ต่อ การเปลี่ยนแปลงของเลขออกเทน 1 หน่วย และที่ ความยาวคลื่นแสง 950 นาโนเมตร (122.9 องศา ต่อ RIU)(0.0038 RIU) ประมาณ 0.4669 องศา หรือ 0.0047 องศา ต่อ การเปลี่ยนแปลงของเลขออกเทน 1 หน่วย จากการเปรียบเทียบผลของ อุณหภูมิที่มีต่อมุมเรโซแนนซ์และการเปลี่ยนแปลงมุมเรโซแนนซ์ตามเลขออกเทนแสดงให้เห็นว่า อุณหภูมิน่าจะมีผลอย่างมากต่อการประเมินค่าเลขออกเทนของน้ำมันเชื้อเพลิงที่มีเลขออกเทน ในช่วง 91 - 100

จากผลของการจำลองเพื่อคำนวณหาความสัมพันธ์ต่าง ๆ สำหรับนำไปใช้ในการวิเคราะห์ ผลการทดลองวัดปรากฏการณ์เซอร์เฟซพลาสมอนเรโซแนนซ์ สามารถสรุปความสัมพันธ์ทั้งหมด โดยแยกตามความยาวคลื่นแสง แสดงดังในตารางที่ 5.4

ตารางที่ 5.4 ผลการจำลองค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ความยาวคลื่นแสง 900 และ 950 นาโนเมตร

ค่าพารามิเตอร์		ความยาวคลื่นแสง (นาโนเมตร)	
		900	950
ค่าสัมประสิทธิ์เชิงอุณหภูมิ (องศา ต่อ องศาเซลเซียส)		-0.0637	-0.0614
ค่าความไว	(องศา ต่อ RIU)	127.3	122.9
	(องศา ต่อ เลขออกเทน)	0.0048	0.0047

5.2.2 ผลการทดลองวัดและวิเคราะห์เลขออกเทนด้วยการวัดปรากฏการณ์เซอร์เฟซพลาสมอนเรโซแนนซ์

ในงานวิทยานิพนธ์นี้เป็นการทดลองวัดเพื่อหาค่าการเปลี่ยนแปลงมุมเรโซแนนซ์น้ำมันเชื้อเพลิงที่มีเลขออกเทนค่าต่าง ๆ โดยเทียบกับมุมเรโซแนนซ์ของน้ำมันเชื้อเพลิงที่มีเลขออกเทน 0 ในการนำไปประเมินค่าการเปลี่ยนแปลงเลขออกเทนของน้ำมันเชื้อเพลิงที่เลขออกเทนอื่น ๆ ได้

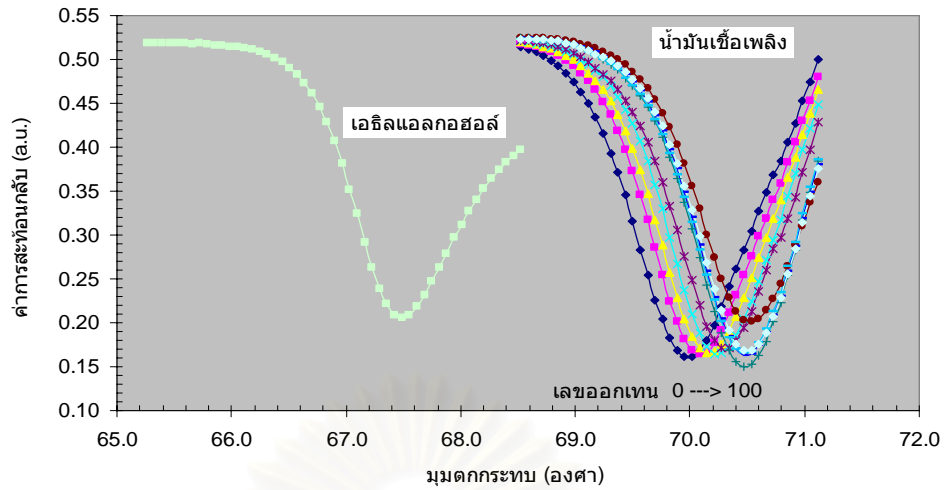
ในส่วนนี้ได้แบ่งผลการทดลองวัดปรากฏการณ์เซอร์เฟซพลาสมอนเรโซแนนซ์กับน้ำมันเชื้อเพลิงและวิเคราะห์ผล ออกเป็นส่วนหลัก 2 ส่วน โดยแบ่งตามรูปแบบของโพลีเชลล์ในระบบไหลสารคือ โพลีเชลล์ที่ใช้แผ่นซิลิคอนเป็นวัสดุและโพลีเชลล์ที่ใช้เทฟลอนเป็นวัสดุ

5.2.2.1 การทดลองวัดเลขออกเทนเมื่อใช้โพลีเซลล์ที่ใช้แผ่นซิลิโคนเป็น

วัสดุ

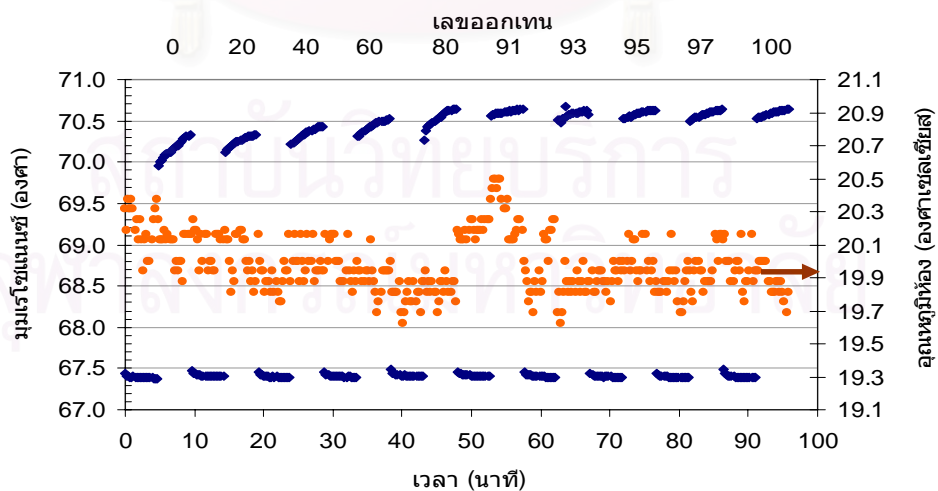
การทดลองในส่วนนี้เป็นการทดลองวัดปรากฏการณ์เซอร์เฟซพลาสมอนเรโซแนนซ์กับน้ำมันเชื้อเพลิงที่มีเลขออกเทนค่าต่าง ๆ ที่ความยาวคลื่นแสง 950 นาโนเมตร มีขั้นตอนการทดลองดังนี้ เริ่มต้นด้วยการทำความสะอาดระบบไหลสารโดยใช้เอทิลแอลกอฮอล์ แล้วจึงใส่น้ำมันเชื้อเพลิงเลขออกเทน 0 ผ่านโพลีเซลล์ทิ้งไว้เป็นระยะเวลาหนึ่งเพื่อให้มั่นใจว่าได้เอทิลแอลกอฮอล์ที่ค้างอยู่ในโพลีเซลล์ก่อนหน้านี้จนหมดแล้วหยุดไหล จากนั้นเริ่มทดลองวัดด้วยการสแกนแบบหยาบในช่วงองศาการสแกนที่กำหนดขึ้นเอง เพื่อหาเส้นโค้งปรากฏการณ์เซอร์เฟซพลาสมอนเรโซแนนซ์ โดยใช้ความละเอียดที่ในการสแกน 0.100 องศา จนครบช่วงการสแกนนำข้อมูลที่ได้ทั้งหมดไปคำนวณในโปรแกรมด้วยวิธีการทางคณิตศาสตร์เพื่อหามุมที่ทำให้เกิดค่าความเข้มแสงที่สะท้อนออกจากปริซึมต่ำสุดหรือมุมเรโซแนนซ์ (θ_{SPR}) จากนั้นเข้าสู่การสแกนแบบละเอียด โดยใช้ค่ามุมเรโซแนนซ์ที่ได้จากการสแกนแบบหยาบเป็นมุมที่กำหนดตำแหน่งของช่วงการสแกนแบบละเอียด โดยที่ขนาดของช่วงการสแกนแบบละเอียดจะถูกกำหนดโดยผู้ใช้งาน ซึ่งในที่นี้กำหนดขนาดให้ช่วงสแกนด้านลบ -0.4 องศา และช่วงสแกนด้านบวก +0.35 องศา ตามลำดับ เพราะเป็นค่าที่ทำให้การปรับเส้นโค้งสำหรับงานวิทยานิพนธ์นี้ใกล้เคียงกับข้อมูลที่ได้จากการวัดมากที่สุดและใช้ความละเอียดในการสแกนแบบละเอียดครั้งละ 0.020 องศา เมื่อสแกนจนครบช่วงการสแกนข้อมูลทั้งหมดจะถูกนำไปคำนวณด้วยวิธีทางคณิตศาสตร์เพื่อหามุมเรโซแนนซ์ ในงานวิทยานิพนธ์นี้เลือกใช้วิธีการวิเคราะห์ผลด้วยวิธีการปรับเส้นโค้งด้วยสมการพหุนามอันดับที่ 4 จากนั้นสังเกตการเปลี่ยนแปลงมุมเรโซแนนซ์ของน้ำมันเชื้อเพลิงเทียบกับเวลา โดยสแกนแบบละเอียดซ้ำกันประมาณ 20 ครั้ง จากนั้นใส่น้ำมันเชื้อเพลิงตัวใหม่เข้าไปแล้วทดลองวัดโดยใช้ขั้นตอนการทดลองเหมือนเดิม ซึ่งเรียงน้ำมันเชื้อเพลิงที่ต้องการทดลอง ดังนี้ 0, 20, 40, 60, 80, 91, 93, 95, 97 และ 100 ตามลำดับ ในรูปที่ 5.6 แสดงเส้นโค้งปรากฏการณ์เซอร์เฟซพลาสมอนเรโซแนนซ์ของน้ำมันเชื้อเพลิงที่มีเลขออกเทนต่าง ๆ กัน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5.6 เส้นโค้งปรากฏการณ์เซอร์เฟซพลาสมอนเรโซแนนซ์ เมื่อวัดกับเอธิลแอลกอฮอล์และน้ำมันเชื้อเพลิงช่วงเลขออกเทน 0 – 100 ตามลำดับ

จากผลการทดลองพบว่า มุมเรโซแนนซ์แสดงแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเมื่อเลขออกเทนของน้ำมันเชื้อเพลิงมีค่าเพิ่มขึ้น แต่มีข้อสังเกตว่า เส้นโค้งปรากฏการณ์เซอร์เฟซพลาสมอนเรโซแนนซ์แสดงลักษณะที่ผิดปกติไปจากการจำลอง คือ การเปลี่ยนแปลงค่าต่ำสุดของค่าการสะท้อนกลับ หรือ มุมเรโซแนนซ์แบบไม่เป็นระบบ เมื่อทดลองเป็นระยะเวลาานาน ซึ่งโดยปกติค่าการสะท้อนแสงที่จุดต่ำสุดหรือจุดเรโซแนนซ์น่าจะมีค่าคงที่ซึ่งถูกกำหนดด้วยค่าสัญญาณรบกวนพื้นหลัง (background noise) เช่น แสงที่เป็นเอส-โพลาไรซ์ หรือแสงรบกวนจากภายนอก และเมื่อดูการเปลี่ยนแปลงมุมเรโซแนนซ์ของน้ำมันเชื้อเพลิงที่เลขออกเทนต่าง ๆ เมื่อเทียบกับเวลา ดังแสดงในรูปที่ 5.7



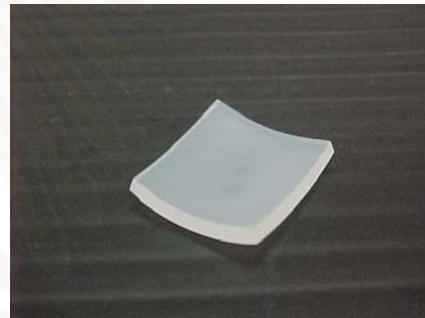
รูปที่ 5.7 การเปลี่ยนแปลงมุมเรโซแนนซ์ของน้ำมันเชื้อเพลิงที่เลขออกเทนต่าง ๆ เมื่อเทียบกับเวลา

ในขณะที่อุณหภูมิมีการเปลี่ยนแปลงในช่วง 20 ± 0.3 องศาเซลเซียส พบว่า มุมเรโซแนนซ์ของน้ำมันเชื้อเพลิงในการวัดแต่ละครั้งมีลักษณะที่เพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ตามเวลาและเมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงมุมเรโซแนนซ์ของเอทิลแอลกอฮอล์ในการวัดแต่ละครั้งมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงที่ค่อนข้างคงที่ ในขณะที่อุณหภูมิขณะวัดของน้ำมันเชื้อเพลิงและเอทิลแอลกอฮอล์ในแต่ละครั้งมีการเปลี่ยนแปลงที่ค่อนข้างคงที่ ซึ่งอาจเกิดจากสาเหตุ ดังนี้

1. การดูดซึมน้ำมันเชื้อเพลิงของแผ่นซิลิโคนที่ใช้ในโฟลว์เซลล์ ซึ่งผลของการดูดซึมน้ำมันเชื้อเพลิงของแผ่นซิลิโคนจะทำให้เกิดการบวมของแผ่นซิลิโคนได้ ดังรูปที่ 5.8 แสดงลักษณะการบวมหรือการบิดเบี้ยวของแผ่นซิลิโคนหลังจากที่ได้นำไปแช่ในนอร์มอลเฮปเทนและไอโซออกเทน เป็นเวลา 15 นาที การดูดซึมของน้ำมันเชื้อเพลิงในแผ่นซิลิโคนอาจทำให้เกิดปัญหาของสารตกค้างในโฟลว์เซลล์ นอกจากนี้การขยายตัวของแผ่นซิลิโคนอาจส่งผลกระทบต่อกระจกสไลด์ทองในแง่แรงกดที่กระจายบนแผ่นกระจกสไลด์ด้วย



(ก)



(ข)

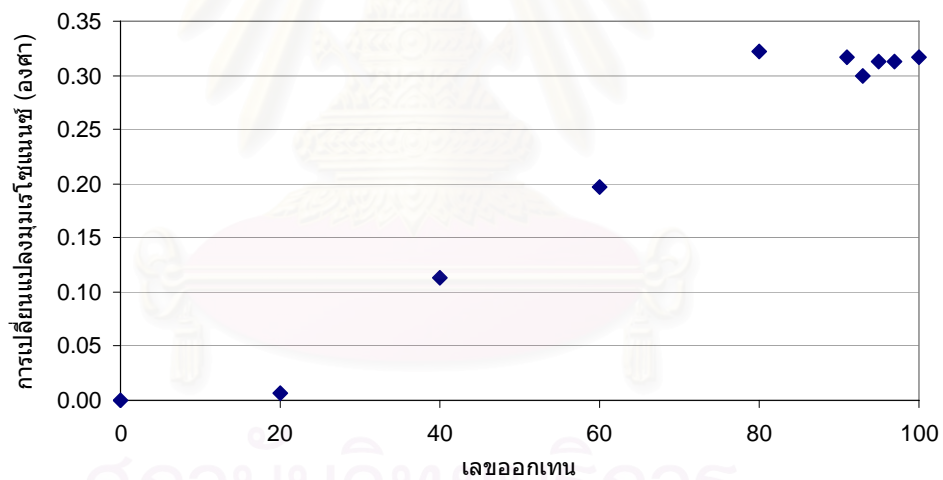
รูปที่ 5.8 ตัวอย่างของการบวมและบิดเบี้ยวของแผ่นซิลิโคนหลังจากที่ได้นำไปแช่ในนอร์มอลเฮปเทนและไอโซออกเทน

ซึ่งจากผลการทดลองในรูปที่ 5.7 น้ำมันเชื้อเพลิงที่มีเลขออกเทนค่าต่ำ จะแสดงแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงมุมเรโซแนนซ์มากกว่าในกรณีของน้ำมันเชื้อเพลิงที่มีเลขออกเทนค่าสูง ซึ่งอาจจะสันนิษฐานได้ว่า แผ่นซิลิโคนที่ใช้สามารถดูดซับนอร์มอลเฮปเทนได้ดีกว่าไอโซออกเทน ทำให้สัดส่วนนอร์มอลเฮปเทนและไอโซออกเทนของน้ำมันเชื้อเพลิงในโฟลว์เซลล์มีการเปลี่ยนแปลงตามเวลา จนกระทั่งเกิดการดูดซับจนเกิดการอิมตัวในแผ่นซิลิโคน และเมื่อได้ทำการทดลองไหลน้ำมันที่มีเลขออกเทนค่าต่ำแบบต่อเนื่องจะได้ว่าต้องใช้เวลาในการไหลมากกว่า 10 นาที มุมเรโซแนนซ์ของน้ำมันเชื้อเพลิงจึงจะเริ่มคงที่

2. การตกค้างหรือสะสมของน้ำมันเชื้อเพลิงบนผิวชั้นทอง ซึ่งจะทำให้สภาพของผิวทองมีการเปลี่ยนแปลงไปเมื่อทำการทดลองเป็นระยะเวลาาน ซึ่งได้มีการเพิ่มขึ้นตอนของการทำความสะอาดผิวทองด้วยการล้างด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริกและสารละลายเบสโซเดียมไฮดรอกไซด์ทุกครั้งที่ทำกรทดลองน้ำมันเชื้อเพลิงที่มีเลขออกเทนค่าใหม่ แต่ผลที่ได้ยังไม่ได้แสดงการปรับปรุงของลักษณะของเส้นโค้งที่เด่นชัดจึงอาจจะไม่ใช่สาเหตุหลัก

3. ผลของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิรอบข้าง เมื่อพิจารณาถึงค่าสัมประสิทธิ์เชิงอุณหภูมิของน้ำมันที่ได้จากการคำนวณในหัวข้อที่ 5.2.1 พบว่าการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิจะมีผลอย่างมากต่อค่ามุมเรโซแนนซ์ของน้ำมันเชื้อเพลิงที่มีค่าเลขออกเทนค่าต่าง ๆ

นอกจากนี้เมื่อพิจารณารูปที่ 5.9 ซึ่งเป็นกราฟเปรียบเทียบระหว่างเลขออกเทนกับการเปลี่ยนแปลงค่ามุมเรโซแนนซ์โดยใช้น้ำมันเชื้อเพลิงที่มีเลขออกเทน เท่ากับ 0 เป็นตัวอ้างอิงพบว่า เราสามารถที่จะบอกความแตกต่างของน้ำมันเชื้อเพลิงที่มีเลขออกเทนต่างกันในช่วงกว้างได้ คือ ช่วง 0 -80 (เลขออกเทนต่างกัน เท่ากับ 20 หน่วย) แต่ไม่สามารถบอกถึงความแตกต่างได้เมื่อเลขออกเทนต่างกันเพียงเล็กน้อยในช่วงเลขออกเทน 91 – 100 (เลขออกเทนต่างกัน เท่ากับ 2 หน่วย)



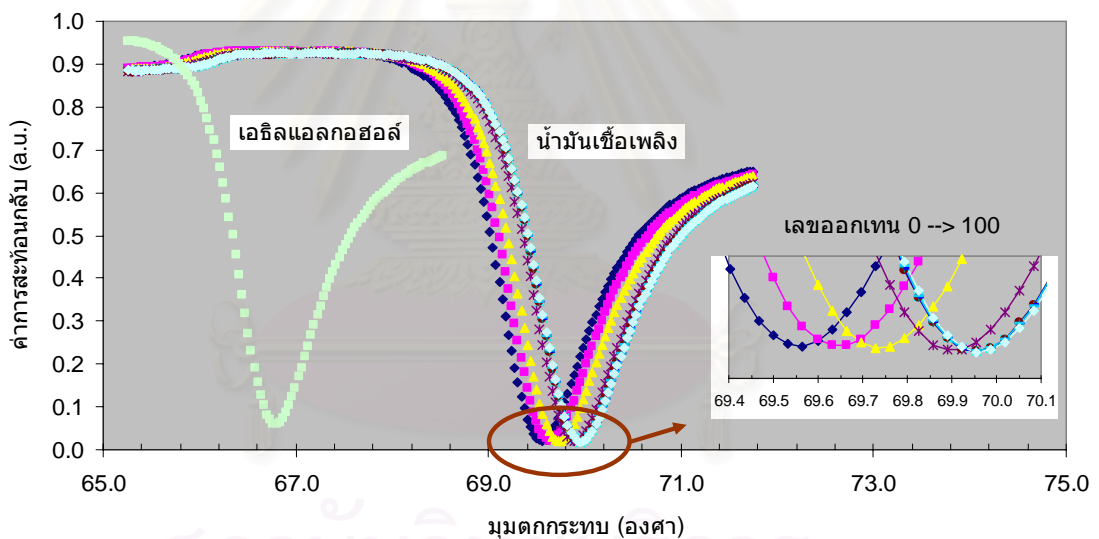
รูปที่ 5.9 ความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงมุมเรโซแนนซ์กับเลขออกเทนที่วัดได้จากระบบวัดเมื่อโพล์เซลล์ใช้แผ่นซิลิโคนเป็นวัสดุ

เพื่อให้สามารถแยกแยะมุมเรโซแนนซ์ของน้ำมันเชื้อเพลิงที่เลขออกเทนช่วง 91 – 100 ได้ จึงปรับปรุงระบบไหลสารใหม่โดยแก้ไขปัญหาในประเด็นที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น คือปรับปรุงระบบไหลสารใหม่ให้มีในส่วนของกรควบคุมอุณหภูมิของระบบไหลสารและเปลี่ยนวัสดุที่ใช้เป็นโพล์เซลล์และท่อไหลสารสำหรับไหลสารเข้าโพล์เซลล์ใหม่เป็นเทฟลอนแทน ซึ่งเนื้อหาในหัวข้อต่อไปเป็นการแสดงผลการทดลองและวิเคราะห์ผลเมื่อโพล์เซลล์ใช้เทฟลอนเป็นวัสดุ

5.2.2.2 การทดลองวัดเลขออกเทนเมื่อใช้โพลีเมอร์ที่ใช้เทฟลอนเป็น

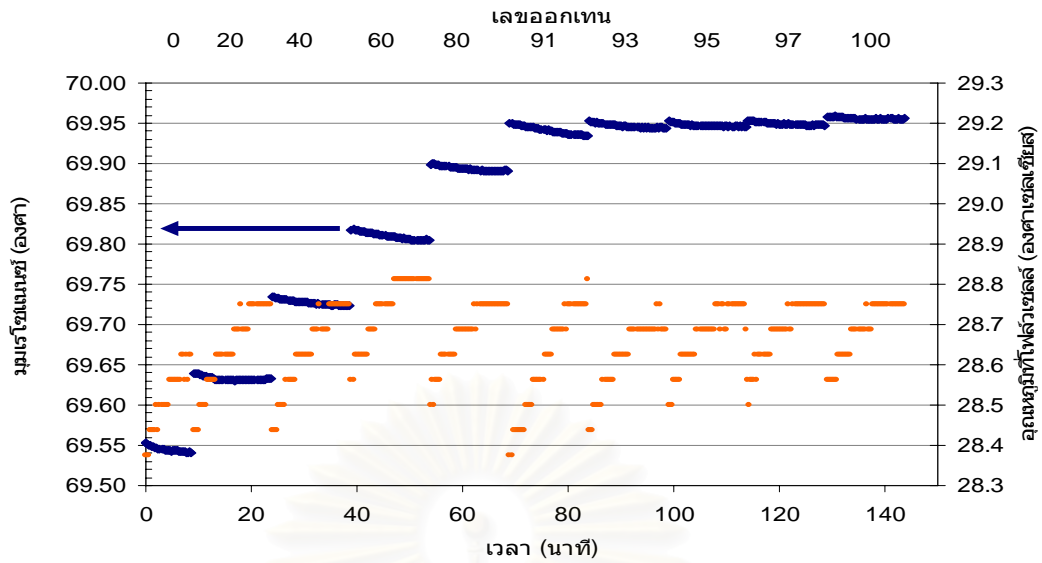
วัสดุ

จากปัญหาที่เกิดขึ้นกับระบบไหลสารเมื่อใช้แผ่นซิลิโคน ได้ปรับปรุงระบบไหลสารใหม่ ตามลำดับดังนี้ เพิ่มชุดควบคุมอุณหภูมิในส่วนของโพลีเมอร์โดยใช้แผ่นทำความร้อนประกบติดกับตัวประกบปิดโพลีเมอร์สแตนเลส ใช้ตัวควบคุมอุณหภูมิแบบสัดส่วนอินทิกรัล อนุพันธ์ และวัดอุณหภูมิจากตัวเทอร์โมคัปเปิลที่ได้มีการฝังในตัวโพลีเมอร์ ดังแสดงในรูปที่ 3.23 จากนั้นเริ่มการทดลองโดยมีขั้นตอนการทดลองดังนี้ หลังจากที่ได้ทำความสะอาดระบบด้วยเอทิลแอลกอฮอล์ แล้วได้ทำวัดน้ำมันเชื้อเพลิงที่มีเลขออกเทนค่าต่างๆ ดังนี้ 0, 20, 40, 60, 80, 91, 93, 95, 97 และ 100 ในรูปที่ 5.10 แสดงรูปเส้นโค้งของปรากฏการณ์เซอร์เฟซพลาสมอนเรโซแนนซ์ที่ได้จากวัดน้ำมันเชื้อเพลิงที่มีเลขออกเทนค่าต่าง ๆ ด้วยโพลีเมอร์ที่ทำจากเทฟลอน ทำการวัดที่ความยาวคลื่นแสง 950 นาโนเมตร โดยควบคุมอุณหภูมิของโพลีเมอร์ไว้ที่ 30 องศาเซลเซียส ในขณะที่อุณหภูมิห้องประมาณ 21 องศาเซลเซียส



รูปที่ 5.10 เส้นโค้งปรากฏการณ์เซอร์เฟซพลาสมอนเรโซแนนซ์ของเอทิลแอลกอฮอล์และน้ำมันเชื้อเพลิงที่มีเลขออกเทนค่าต่าง ๆ

จากรูปที่ 5.10 พบว่าลักษณะเส้นโค้งของปรากฏการณ์เซอร์เฟซพลาสมอนเรโซแนนซ์เมื่อวัดกับน้ำมันเชื้อเพลิงที่มีเลขออกเทนค่าต่าง ๆ ไม่ได้แสดงลักษณะที่ผิดปกติแต่อย่างใด และมุมเรโซแนนซ์จะมีค่าเพิ่มขึ้นตามเมื่อเลขออกเทนมีค่าเพิ่มขึ้น จากผลการทดลองวัดมุมเรโซแนนซ์ของน้ำมันเชื้อเพลิงที่มีเลขออกเทนจาก 0 ถึง 100 เปลี่ยนแปลงจาก 69.54 องศา เป็น 69.96 องศา ซึ่งในรูปที่ 5.11 แสดงการเปลี่ยนแปลงมุมเรโซแนนซ์ที่เลขออกเทนค่าต่าง ๆ และอุณหภูมิที่โพลีเมอร์โดยเทียบกับเวลา

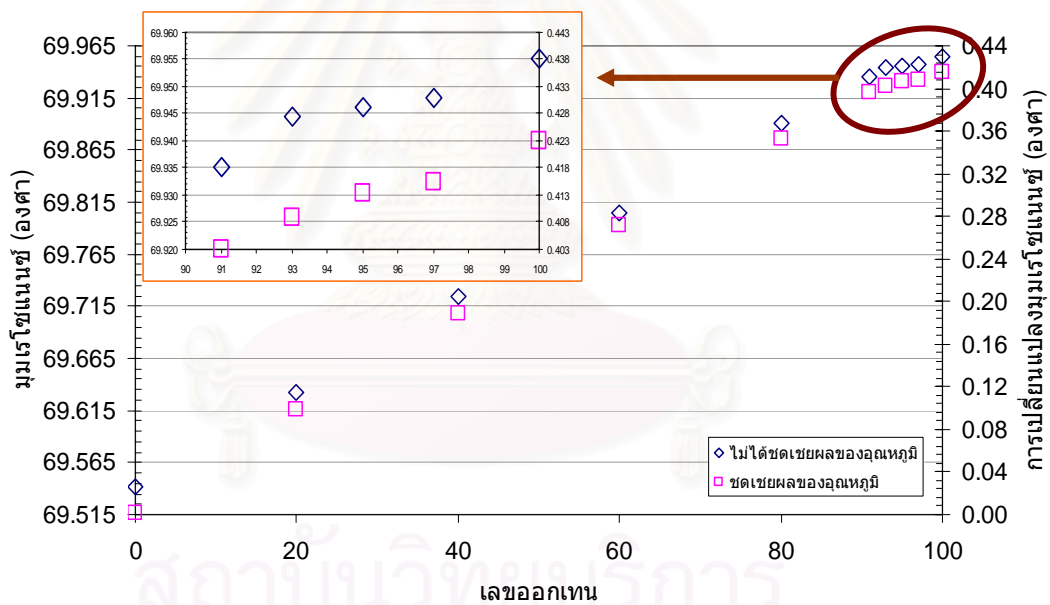


รูปที่ 5.11 การเปลี่ยนแปลงมูมเรโซแนนซ์ที่มีเลขออกเทนต่าง ๆ กันและอุณหภูมิของโพลีเอทิลีน เทียบกับเวลา

จากรูปที่ 5.11 แสดงให้เห็นว่าระบบวัดสามารถแยกแยะความแตกต่างของน้ำมันเชื้อเพลิงที่มีเลขออกเทนค่าต่าง ๆ อย่างชัดเจน แต่มีข้อสังเกตว่า เมื่อมีการไหลน้ำมันเชื้อเพลิงเข้าไปในโพลีเอทิลีน มูมเรโซแนนซ์มีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงที่ลดลงตามเวลาแล้วจึงเริ่มคงที่ และเมื่อสังเกตอุณหภูมิในช่วงการวัดน้ำมันแต่ละครั้งจะเห็นว่าอุณหภูมิมีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นประมาณ 0.4 องศาเซลเซียส ซึ่งสอดคล้องกับการลดลงของมูมเรโซแนนซ์เนื่องจากสัมประสิทธิ์เชิงอุณหภูมิของค่าดัชนีหักเหมีค่าเป็นลบเมื่อเทียบกับอุณหภูมิการเปลี่ยนแปลงของโพลีเอทิลีน ดังนั้นฐานว่า น่าจะเกิดจากการถ่ายเทความร้อนระหว่างสารที่ใช้ทดสอบกับโพลีเอทิลีน เนื่องจากปริมาตรของโพลีเอทิลีนที่ค่อนข้างมาก โดยมีปริมาตรประมาณ 530 ไมโครลิตร และอุณหภูมิของสารตัวอย่างก่อนไหลเข้าโพลีเอทิลีนที่ถูกตั้งทิ้งไว้ให้อยู่ในอุณหภูมิห้อง (ประมาณ 21 องศาเซลเซียส) ต่ำกว่าอุณหภูมิของโพลีเอทิลีนประมาณ 6 องศาเซลเซียส ทำให้ต้องใช้เวลาค่อนข้างนานในการถ่ายเทความร้อนเพื่อปรับให้อุณหภูมิของโพลีเอทิลีนเข้าสู่สมดุลอีกครั้ง จากผลการทดลองจึงสรุปได้ว่า การควบคุมอุณหภูมิที่โพลีเอทิลีนเพียงอย่างเดียวไม่สามารถถ่ายเทความร้อนให้กับน้ำมันเชื้อเพลิงที่อยู่ในโพลีเอทิลีนได้เร็วพอ ทำให้มูมเรโซแนนซ์ที่วัดกับน้ำมันเชื้อเพลิงในแต่ละครั้งมีแนวโน้มลดลงเรื่อย ๆ และใช้ระยะเวลาหนึ่งเพื่อให้มูมเรโซแนนซ์เริ่มคงที่ ดังนั้นจึงได้ปรับปรุงระบบไหลสารโดยเพิ่มในส่วนของการควบคุมอุณหภูมิหลอดใส่สารก่อนไหลเข้าโพลีเอทิลีน สำหรับอุณหภูมิของโพลีเอทิลีนก่อนเข้าโพลีเอทิลีน ทำให้อุณหภูมิของโพลีเอทิลีนเข้าสู่สมดุลได้เร็วขึ้น

เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงมุมเรโซแนนซ์กับเลขออกเทน นำไปคำนวณเพื่อชดเชยเรื่องผลของอุณหภูมิ ซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์เชิงอุณหภูมิของน้ำมันเชื้อเพลิง จากการจำลองผลในหัวข้อ 5.1 เท่ากับ -0.0614 องศา ต่อ องศาเซลเซียส ดังแสดงในรูปที่ 5.12

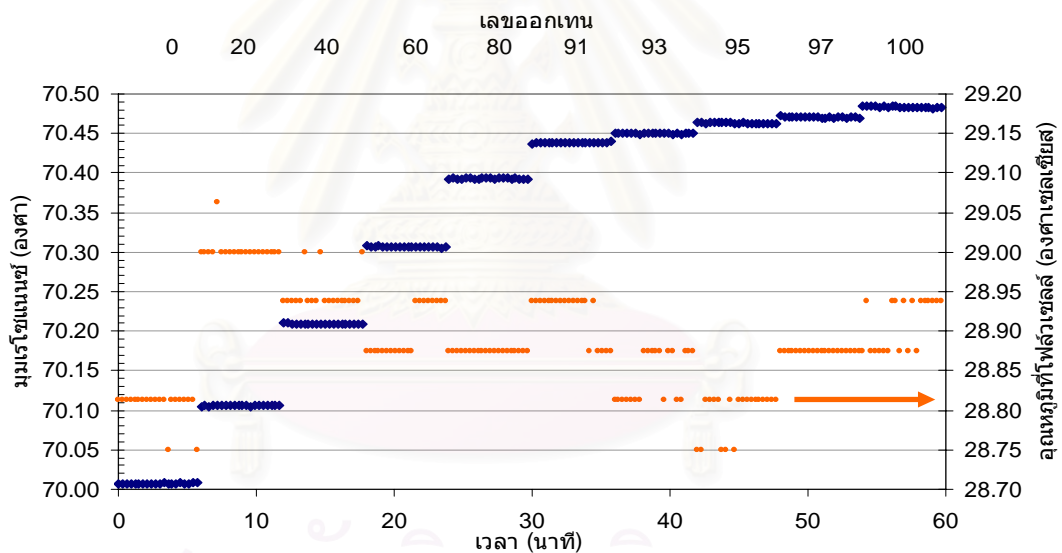
จากกราฟจะเห็นว่าเมื่อคำนวณเพื่อชดเชยผลของอุณหภูมิจะเห็นการเปลี่ยนแปลงมุมเรโซแนนซ์ของน้ำมันเชื้อเพลิงในช่วงเลขออกเทน 91 – 100 ที่ชัดเจนขึ้น และเมื่อเลขออกเทนเพิ่มขึ้นจาก 0 ถึง 100 หรือค่าดัชนีหักเหเพิ่มขึ้น 3.8×10^{-4} RIU จะได้ค่าการเปลี่ยนแปลงมุมเรโซแนนซ์ประมาณ 0.423 องศา และเมื่อคำนวณหาค่าความไวของระบบวัดจะได้ค่าเท่ากับ 0.00423 องศา ต่อ เลขออกเทน หรือ 111.32 องศา ต่อ RIU เมื่อวัดที่ความยาวคลื่นแสง 950 นาโนเมตร ซึ่งค่าความไวที่ได้ยังมีค่าไม่สูงนักเมื่อเทียบกับการคำนวณเพื่อชดเชยผลของอุณหภูมิจะช่วยเพิ่มค่าความไวของระบบวัดและเพื่อต้องการปรับปรุงให้ค่าความไวของระบบวัดมากขึ้นจึงเปลี่ยนไปวัดที่ความยาวคลื่นแสง 900 นาโนเมตร



รูปที่ 5.12 ความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงมุมเรโซแนนซ์กับเลขออกเทนเมื่อคำนวณเพื่อชดเชยผลของอุณหภูมิ

เพื่อเป็นการชดเชยผลของอุณหภูมิที่แตกต่างกันระหว่างสารที่ใช้ทดสอบกับอุณหภูมิของโพลีเมอร์ ระบบการไหลสารสำหรับการทดลองวัดกับน้ำมันเชื้อเพลิงในครั้งนี้ได้ถูกปรับปรุงใหม่โดยเพิ่มเติมในส่วนของการอุ่นน้ำมันเชื้อเพลิงก่อนไหลเข้าโพลีเมอร์ ซึ่งในส่วนของการชดเชยอุณหภูมิการอุ่นน้ำมันเชื้อเพลิง ดังแสดงในรูปที่ 3.24

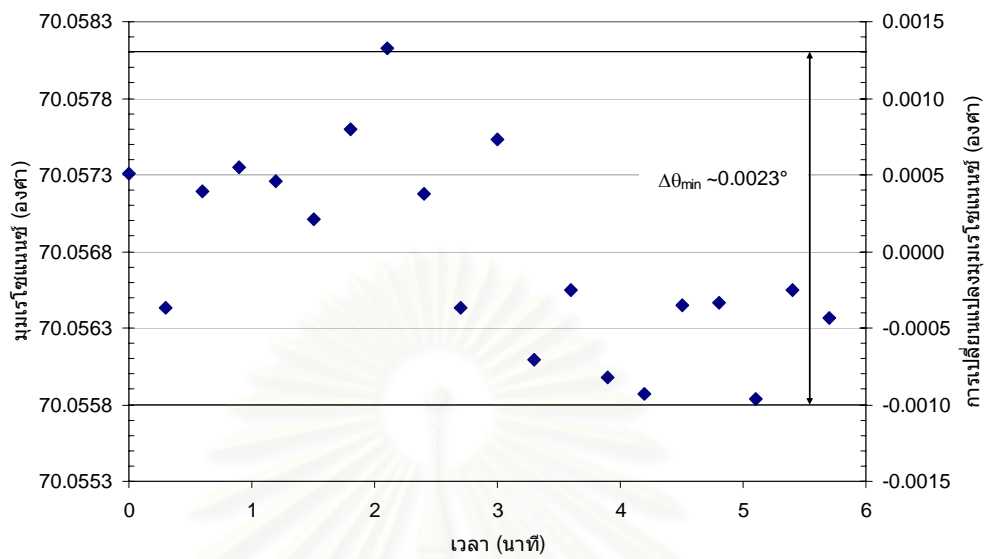
จากผลการทดสอบความสามารถในการควบคุมอุณหภูมิปลอกใส่หลอดทดลอง จะมีช่วงการแกว่งของอุณหภูมิประมาณ ± 0.1 องศาเซลเซียส จากนั้นเริ่มทดลองวัดกับน้ำมันเชื้อเพลิงที่มีความยาวคลื่นแสง 900 นาโนเมตร ซึ่งมีขั้นตอนการทดลอง ดังนี้ เริ่มต้นการทดลองโดยอุ่นหลอดทดลองที่ใส่น้ำมันเชื้อเพลิงที่ต้องการวัดทิ้งไว้ระยะหนึ่ง จากนั้นเริ่มวัดปรากฏการณ์เซอร์เฟซพลาสมอนเรโซแนนซ์ซึ่งในครั้งแรกเป็นการวัดกับเอทิลแอลกอฮอล์เพื่อเปรียบเทียบกับผลการทดลองครั้งอื่น ๆ นำผลการทดลองมาวาดกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงมุมเรโซแนนซ์ ของน้ำมันเชื้อเพลิงที่เลขออกเทนค่าต่าง ๆ และผลจากการคำนวณโดยชดเชยผลของอุณหภูมิเมื่อเทียบกับเวลา ดังแสดงในรูปที่ 5.13



รูปที่ 5.13 การเปลี่ยนแปลงมุมเรโซแนนซ์ที่เลขออกเทนต่าง ๆ โดยเทียบกับเวลา

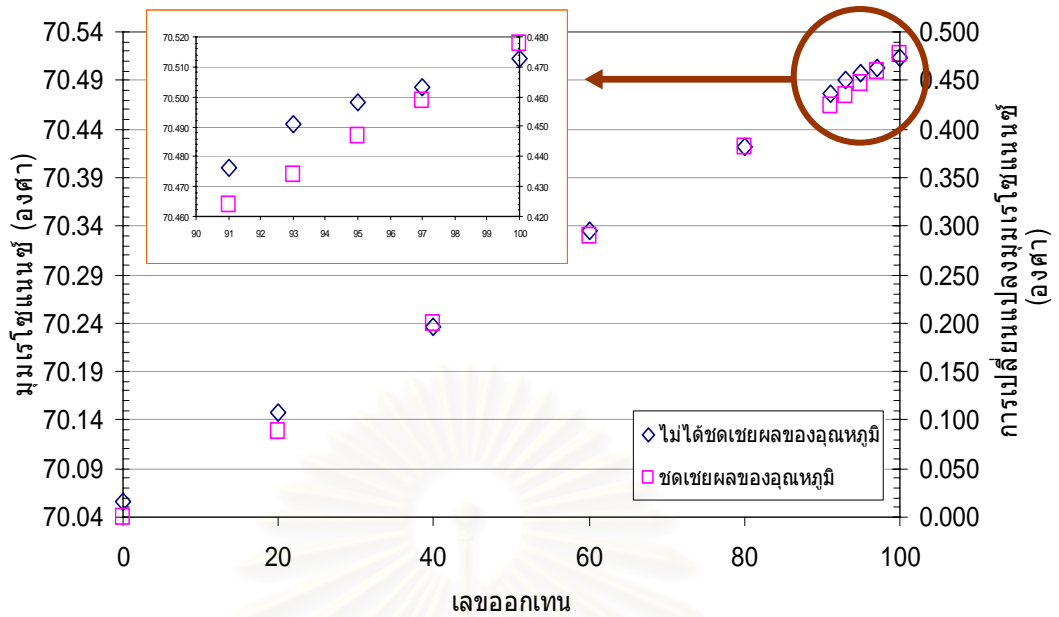
จากรูปที่ 5.13 จะเห็นว่าอุณหภูมิที่โพลีเมอร์ขณะวัดน้ำมันเชื้อเพลิงแต่ละค่าออกเทนมีความคงที่มากขึ้นเนื่องมาจากการอุ่นน้ำมันเชื้อเพลิงก่อนไหลเข้าโพลีเมอร์ ทำให้ผลการวัดมุมเรโซแนนซ์ของน้ำมันเชื้อเพลิงมีค่าค่อนข้างคงที่เมื่อมีการไหลสารเข้าไปในโพลีเมอร์ และอุณหภูมิของโพลีเมอร์ตลอดการทดลองวัดอยู่ในช่วงประมาณ 28.9 ± 0.2 องศาเซลเซียส เมื่อพิจารณากราฟมุมเรโซแนนซ์ของน้ำมันเชื้อเพลิงเทียบกับเวลาพบว่า ช่วงการแกว่งของมุมเรโซแนนซ์ของน้ำมันเชื้อเพลิงแต่ละตัว จะได้ค่ามากที่สุดประมาณ 0.0023 องศา เมื่อวัดกับน้ำมัน

เชื้อเพลิงที่เลขออกเทน 0 ซึ่งแสดงการแกว่งของมุมเรโซแนนซ์เมื่อวัดกับน้ำมันเชื้อเพลิงที่เลขออกเทน 0 ดังแสดงในรูปที่ 5.14



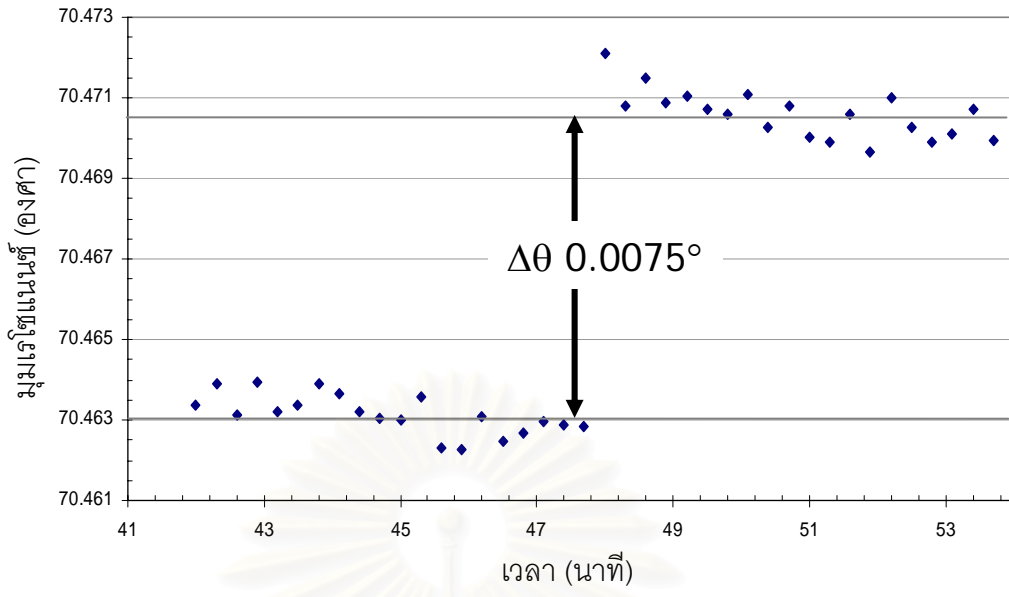
รูปที่ 5.14 การแกว่งของมุมเรโซแนนซ์เมื่อวัดกับน้ำมันเชื้อเพลิงเลขออกเทน 0

จากนั้นเมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงมุมเรโซแนนซ์กับเลขออกเทนเมื่อชดเชยผลของอุณหภูมิด้วยการคำนวณที่อุณหภูมิ 29 องศาเซลเซียส ค่าสัมประสิทธิ์เชิงอุณหภูมิของน้ำมันเชื้อเพลิงจากการคำนวณในหัวข้อ 5.1.1 มีค่าเท่ากับ -0.0637 องศาต่อองศาเซลเซียส ซึ่งแสดงกราฟความสัมพันธ์ในรูปที่ 5.15 จะพบว่า การนำค่าสัมประสิทธิ์เชิงอุณหภูมิมานำใช้ในการคำนวณเพื่อชดเชยผลของอุณหภูมิจะทำให้ความเป็นเชิงเส้นของเส้นกราฟดีขึ้นโดยเฉพาะในช่วงเลขออกเทน 91 - 100



รูปที่ 5.15 ความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงมุมเรโซแนนซ์กับเลขออกแทนเมื่อคำนวณเพื่อชดเชยผลของอุณหภูมิ

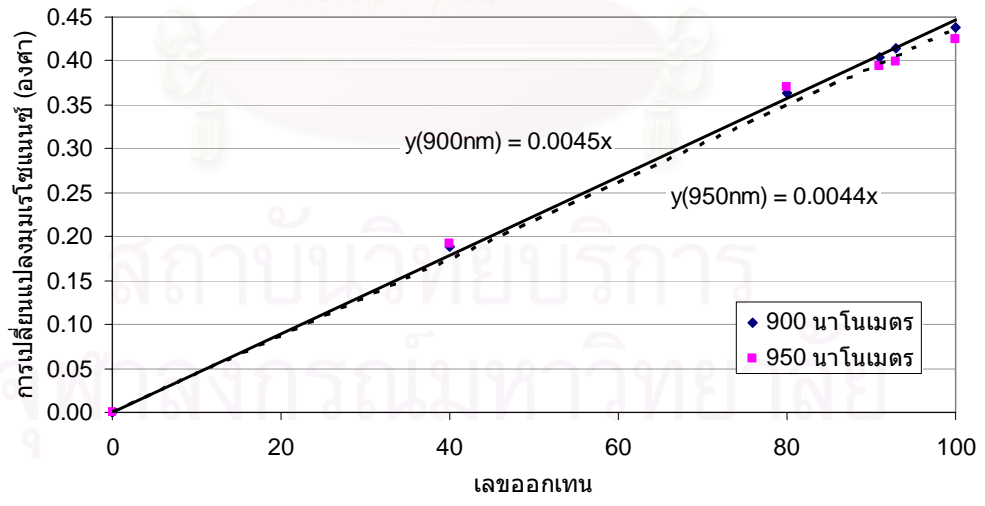
ค่าการแยกชัดของระบบวัดเมื่อวัดกับน้ำมันเชื้อเพลิง คือ ความสามารถของระบบวัดที่สามารถวัดแยกเลขออกแทนของน้ำมันได้ค่าน้อยที่สุด ซึ่งในวิทยานิพนธ์หาค่าการแยกชัดเชิงมุมของระบบวัดโดยใช้วิธีการประมาณค่าทางคณิตศาสตร์ด้วยสมการที่ 5.2 เมื่อ $\Delta n = 0.0001$ RIU และกำหนดให้ระบบวัดสามารถวัดแยกการเปลี่ยนแปลงมุมเรโซแนนซ์เมื่อวัดกับน้ำมันได้น้อยที่สุด $\Delta\theta_{\min} = 0.0023$ องศา จากนั้นพิจารณาการเปลี่ยนแปลงมุมเรโซแนนซ์ของน้ำมันเชื้อเพลิงที่มีเลขออกแทนต่างกันค่าน้อย ซึ่งในที่นี้พิจารณาการเปลี่ยนแปลงมุมเรโซแนนซ์ของน้ำมันที่มีค่าเลขออกแทนจาก 95 ถึง 97 ดังแสดงในรูปที่ 5.16



รูปที่ 5.16 การเปลี่ยนแปลงมุมเรโซแนนซ์ของน้ำมันเชื้อเพลิงเลขออกเทน 95 และ 97

จะได้ค่าการแยกชัดเชิงมุมของระบบวัด เท่ากับ 3.0×10^{-5} RIU หรือสามารถวัดแยกเลขออกเทนของน้ำมันได้ตั้งแต่ 0.6 เลขออกเทน

จากนั้นทดลองวัดกับน้ำมันเลขออกเทน 0 – 100 เพื่อดูความสัมพันธ์ค่าความไวของระบบวัดกับความยาวคลื่นแสงที่แตกต่างกัน ซึ่งได้ทดลองวัดที่ความยาวคลื่นแสง 900 และ 950 นาโนเมตร แสดงผลการทดลองดังรูปที่ 5.17



รูปที่ 5.17 ความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงมุมเรโซแนนซ์กับเลขออกเทน ที่ความยาวคลื่นแสง 900 และ 950 นาโนเมตร

ผลของความยาวคลื่นที่มีต่อการวัดค่ามุมเรโซแนนซ์ของน้ำมันเชื้อเพลิงที่มีเลขออกเทนค่าต่าง ๆ ดังแสดงในรูปที่ 5.17 จะเห็นว่าความชันของกราฟซึ่งวัดที่ความยาวคลื่นแสง 900 นาโนเมตรมีค่ามากกว่ากับค่าที่วัดที่ความยาวคลื่นแสง 950 นาโนเมตรเพียงเล็กน้อย แต่ก็แสดงแนวโน้มให้เห็นว่าการวัดค่ามุมเรโซแนนซ์ที่ค่าความยาวคลื่นสั้นจะให้ความไวที่ดีกว่า



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 6

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปผล

วิทยานิพนธ์นี้ได้นำเสนอวิธีการประเมินค่าเลขออกเทนของน้ำมันเชื้อเพลิงด้วยวิธีการวัดค่ามูเมอเรโซแนนซ์ของปรากฏการณ์เซอร์เฟซพลาสมอนเรโซแนนซ์ โดยนำน้ำมันเชื้อเพลิงที่นำมาทดสอบเตรียมจากการผสมระหว่างนอร์มอลเฮปเทนและไอโซออกเทนในปริมาณค่าต่าง ๆ เพื่อให้ได้น้ำมันเชื้อเพลิงที่มีเลขออกเทนค่าต่าง ๆ ระบบวัดปรากฏการณ์เซอร์เฟซพลาสมอนเรโซแนนซ์ที่ได้พัฒนาขึ้นในวิทยานิพนธ์นี้เป็นระบบวัดแบบสแกนมุมด้วยรูปแบบเครื่องมือเครทชมาน โดยแบ่งระบบวัดปรากฏการณ์เซอร์เฟซพลาสมอนเรโซแนนซ์ ออกเป็น 2 ส่วนหลักคือ ส่วนฮาร์ดแวร์ และส่วนซอฟต์แวร์

ส่วนฮาร์ดแวร์ประกอบด้วยระบบหลัก 4 ส่วน คือ ระบบทางแสง ระบบหมุนฐานวางปริซึมและตัวตรวจหา ระบบเก็บข้อมูลและประมวลผลสัญญาณ และชุดควบคุมการไหลสารตัวอย่าง ระบบที่หนึ่งเป็นระบบทางแสงประกอบด้วย 3 ส่วนหลักได้แก่ ส่วนที่หนึ่งภาคส่งประกอบแหล่งกำเนิดแสงหลอดทังสเตนและชุดอุปกรณ์ทางแสงสำหรับจัดแสงก่อนเข้าปริซึมให้มีลักษณะเป็นลำแสงขนานขนาดเล็กและมีทิศของแสงในทิศพีโพลาไรซ์ด้วยตัวทำแสงโพลาไรซ์ ส่วนที่สองชุดปริซึมและกระจกสไลด์เคลือบชั้นผิวทอง ส่วนสุดท้ายภาครับประกอบด้วยตัวกรองความยาวคลื่นแสง 900 และ 950 นาโนเมตร ตัวตรวจหาและวงจรแปลงกระแสเป็นแรงดัน ระบบที่สองเป็นระบบหมุนฐานวางปริซึมและตัวตรวจหาประกอบด้วยมอเตอร์ที่มีความละเอียดในการหมุน 0.001 องศา จำนวน 2 ตัว สำหรับหมุนฐานวางปริซึมและตัวตรวจหา โดยมอเตอร์จะถูกควบคุมผ่านอินเทอร์เฟซบอร์ดที่ใส่ในเครื่องคอมพิวเตอร์ ระบบที่สามเป็นระบบเก็บข้อมูลและประมวลผลสัญญาณ ซึ่งจะเก็บค่าตำแหน่งมุมของมอเตอร์ที่ขับฐานวางปริซึมและสัญญาณทางไฟฟ้าจากภาครับในระบบทางแสงผ่านล็อกอินแอมพลิไฟเออร์ และวงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลขนาด 16 บิต เข้าไปยังคอมพิวเตอร์เพื่อนำไปวิเคราะห์ข้อมูลซึ่งอยู่ในส่วนของซอฟต์แวร์ ระบบที่ดีคือ ชุดควบคุมการไหลสารตัวอย่าง ประกอบด้วยปั๊มเพอร์ซิสต์เล็กสำหรับควบคุมการไหลสารตัวอย่างที่ต้องการวัดเข้าไปในโฟลว์เซลล์ โดยที่โฟลว์เซลล์ทำจากวัสดุเทฟลอนเพื่อให้มีความทนทานต่อน้ำมันเชื้อเพลิง นอกจากนี้ได้เพิ่มเติมอุปกรณ์ในส่วนของการควบคุมอุณหภูมิในระบบวัดไว้ 2 ส่วนได้แก่ ส่วนของโฟลว์เซลล์และส่วนของหลอดทดลองไหลสารตัวอย่างก่อนที่จะไหลสารตัวอย่างเข้าโฟลว์เซลล์

ส่วนซอฟต์แวร์ที่ใช้ในงานวิทยานิพนธ์นี้เป็นซอฟต์แวร์ที่พัฒนาขึ้นโดยใช้ภาษาสัญลักษณ์ด้วยโปรแกรม LabView 7.0 การทำงานของโปรแกรมแบ่งออกเป็น 3 ส่วนหลักคือ ส่วนควบคุมระบบหมุนฐานวางปริซึมและตัวตรวจหา ส่วนประมวลผลสัญญาณและส่วนของการแสดงผล ส่วนที่หนึ่งเป็นส่วนควบคุมมอเตอร์ในระบบหมุนฐานวางปริซึมและตัวตรวจหา ส่วนที่สองเป็นส่วนประมวลผลสัญญาณ จะนำสัญญาณที่วัดได้จากภาครับแสงมาวิเคราะห์หามุมเรโซแนนซ์ของปรากฏการณ์เซอร์เฟซพลาสมอนเรโซแนนซ์ และส่วนสุดท้ายเป็นส่วนของการแสดงผลมี 2 แบบ ดังนี้ แสดงผลเส้นโค้งปรากฏการณ์เซอร์เฟซพลาสมอนเรโซแนนซ์ และแสดงผลการเปลี่ยนแปลงมุมเรโซแนนซ์ที่ได้จากสารตัวอย่างในเวลาจริง

ผลการทดสอบแยกเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนของผลการทดสอบความสามารถของระบบวัดและ ส่วนของผลการทดลองวัดกับน้ำมันเชื้อเพลิง ผลการทดสอบความสามารถของระบบวัดพบว่าที่ความยาวคลื่นแสงวัดได้ 950 นาโนเมตร ระบบวัดจะให้ค่าการแยกขีดเชิงมุมประมาณ 2.7×10^{-5} RIU และค่าความไวประมาณ 99.4 องศา ต่อ RIU และที่ความยาวคลื่นแสงวัดได้ 900 นาโนเมตร ระบบวัดจะให้ค่าการแยกขีดเชิงมุมประมาณ 3.0×10^{-5} RIU และค่าความไวประมาณ 97.4 องศา ต่อ RIU ส่วนค่าสภาวะการทำซ้ำของการวัดทั้งสองความยาวคลื่นจะให้ค่าเท่ากันคือ 0.010 องศา สำหรับผลการทดลองวัดกับน้ำมันเชื้อเพลิง ได้มีการทดลองระบบวัดที่ได้พัฒนาขึ้นกับน้ำมันเชื้อเพลิงที่มีเลขออกเทน 0, 20, 40, 60, 80, 91, 93, 95, 97 และ 100 โดยผลการทดลองแสดงผลให้เห็นว่า ระบบวัดที่ใช้โพลีซิลิคอนใช้เทฟลอนเป็นวัสดุ สามารถแยกแยะน้ำมันเชื้อเพลิงที่มีเลขออกเทนทั้งในช่วงกว้าง 0 -100 และในช่วงแคบ 91 - 100 ได้ดี โดยที่ผลของอุณหภูมิเนื่องจากบรรยากาศรอบข้างและการถ่ายเทความร้อนระหว่างสารตัวอย่างและโพลีซิลิคอนจะมีผลต่อการวัดค่ามุมเรโซแนนซ์ค่อนข้างมาก จึงจำเป็นต้องมีการควบคุมอุณหภูมิของโพลีซิลิคอนและที่หลอดใส่สารตัวอย่าง จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าระบบวัดที่พัฒนาขึ้นมีความไวของการเปลี่ยนแปลงมุมเรโซแนนซ์ เท่ากับ 0.0046 องศา ต่อ เลขออกเทน หรือสามารถคิดเป็นการเปลี่ยนแปลงมุม 120 องศา ต่อ RIU ที่ความยาวคลื่นแสง 900 นาโนเมตร และมีค่าการแยกขีดเชิงมุม 3×10^{-5} RIU หรือสามารถวัดแยกความแตกต่างของเลขออกเทนได้ตั้งแต่ 0.6 เลขออกเทน

6.2 ปัญหาและข้อเสนอแนะ

1. เสถียรภาพของกำลังแสงจากแหล่งกำเนิดแสง เนื่องจากแหล่งกำเนิดทั่วไปจะให้กำลังแสงที่มีการแกว่งขึ้นลงไปมาเป็นผลให้กำลังของแสงที่ใช้วัดปรากฏการณ์เซอร์เฟซพลาสมอนเรโซแนนซ์ไม่คงที่ สามารถชดเชยผลด้วยการเพิ่มตัวตรวจหาสำหรับวัดแสงโดยตรงจากแหล่งกำเนิดแสงแล้วนำมาเพื่อเปรียบเทียบกับกำลังแสงที่วัดได้จากปรากฏการณ์เซอร์เฟซพลาสมอน

มอโนเรโซแนนซ์ โดยใช้ตัวแยกลำแสง (beam splitter) เพื่อแบ่งแสงออกเป็น 2 ส่วนจากแหล่งกำเนิดแสง ส่วนหนึ่งจะถูกวัดกำลังแสงโดยตรง และอีกส่วนหนึ่งจะนำไปเข้าระบบวัดปรากฏการณ์เซอ์เฟซพลาสมอนเรโซแนนซ์ จากนั้นนำสัญญาณที่ได้จากแหล่งกำเนิดแสงโดยตรงมาปรับปรุงรูปร่างของเส้นโค้งปรากฏการณ์เซอ์เฟซพลาสมอนเรโซแนนซ์เพื่อช่วยเพิ่มความแม่นยำของการวัดได้

2. การเพิ่มเสถียรภาพทางอุณหภูมิของระบบวัดปรากฏการณ์เซอ์เฟซพลาสมอนเรโซแนนซ์ได้นอกจากการใช้ตัวควบคุมอุณหภูมิของระบบการไหลสารแล้ว แนวทางหนึ่งซึ่งสามารถทำได้ คือ การทำให้ระบบไหลสารมีช่องไหลสาร 2 ช่อง กำหนดให้ช่องหนึ่งเป็นช่องสำหรับไหลสารตัวอย่างที่ต้องการวัด และอีกช่องหนึ่งเป็นช่องสำหรับไหลสารอ้างอิงเพื่อเปรียบเทียบ เพราะเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลงจะทำให้มุมเรโซแนนซ์ที่วัดได้จากทั้ง 2 ช่อง มีแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงไปในทิศเดียวกัน จากนั้นนำค่าส่วนต่างมุมเรโซแนนซ์ของสารตัวอย่างและสารอ้างอิงที่วัดได้มาวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงมุมเรโซแนนซ์ของสารตัวอย่าง



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

1. <http://www.ptit.org/oilbusiness/history/history02.html#index01>
2. <http://web.ku.ac.th/schoolnet/snet5/topic8/octane.html>
3. <http://202.183.216.176/chemis/petro/paeg6.html>
4. Dr. Bothell. Rating octane of gasoline by near infrared spectroscopy. Infometrix Inc. Chemometrics application note (1993) : 11 – 16.
5. American Society for Testing and Materials, Annual Book of ASTM Standards. Vol. 05.04 (1994). ASTM, Philadelphia, D2699.
6. American Society for Testing and Materials, Annual Book of ASTM Standards. (1998). ASTM, Philadelphia, D2268.
7. Chorng H.Twu and John E. Coon, A generalized Interaction Method for the Prediction of Octane Numbers for Gasoline Blends, Simulation Sciences Inc., USA.
8. Heinz Reather. Surface Plasmon on Smooth and Rough Surface and on Gratings. Spring-Verlag, Berlin, 1988.
9. <http://en.wikipedia.org/wiki/Dielectric>
10. Suntak Park, Grating-Assisted Emission of surface plasma wave, Ph.D. Thesis, Department of physics, Hanyang University, Korea, 2000.
11. Eugene Hecht. Optics. 2nd edition. United States of America : Addison-Wesley Publishing Company, Inc. 1990.
12. Jiri Homola, Sinclair S. Yee and Gunter Gauglitz. Surface plasmon resonance sensors: review. Sensors and Actuators B. 54 (1999) : 3 – 15.
13. B.A. Snopok, K.V. Kostyukevich, S.I. Lysenko, P.M. Lytvyn, O.S. Lytvyn, S.V. Mamykin, S.A. Zynyo, P.E. Shepeliavyi, S.A. Kostyukevich, Yu.M. Shirshov and E.F. Venger. Optical biosensor based on the surface Plasmon resonance phenomenon: optimization of the metal layer parameters. Semiconductor Physics, Quantum Electronics & Optoelectronics. 4, No.1 (2001) : 56 - 69.
14. Jiri Homola. Present and future of surface plasmon resonance biosensors. Anal Bioanal Chem. 377 (July 2003) : 528 – 539

15. Bryce P. Nelson, Anthony G. Frutos, Jennifer M. Brockman and Robert M. Corn.
Near-Infrared Surface Plasmon Resonance Measurements of Ultrathin Films. 1.
Angle Shift and SPR Imaging Experiments. Anal. Chem. 71 (1999) : 3928 -
3934.
16. Jiri. Homola, Ivo Koudela, Sinclair S. Yee. Surface plasmon resonance sensors
based on diffraction gratings and prism couplers: sensitivity comparison.
Sensors and Actuators B 54 (1999) : 16 – 24.
17. S. Y. Wu and H. P. Ho. Sensitivity improvement of the surface Plasmon resonance
optical sensor by using a gold-silver transducing layer. IEEE (2002) : 63 - 68.
18. Francis Markey. What is SPR anyway?. BIA journal. No. 1 (1999) : 14 – 17.
19. www.biacore.com
20. Xiao Caide and Sen-Feng Sui. Characterization of surface plasmon resonance
biosensor, Sensors and Actuators B 66 (Jan 2000) : 174 - 177.
21. www.chemfinder.com
22. <http://www.freshpatents.com/Apparatus-and-method-for-total-internal-reflection-spectroscopy-dt20050324ptan20050062974.php?type=description>
23. Sahin Kaya Ozdemir and Gonul Turhan-Sayan. Temperature effects on surface
Plasmon resonance: Design considerations for an optical temperature sensor.
Journal of lightwave technology 21, No. 3 (March 2003) : 805 – 814.
24. H.-P. Chiang, Y.-C. Wang, P.T. Leung and W.S. Tse. A theoretical model for the
temperature-dependent sensitivity of the optical sensor based on surface
Plasmon resonance. Optics Communications. 188 (Feb 2001) : 283 – 289.
25. C. Thirstrup and W. Zong. Data analysis for surface plasmon resonance sensors
using dynamic baseline algorithm. Sensors and Actuators B. 106
(March 2005) : 796 – 802
26. Petr. Tobiska, Jir. Homola. Advanced data processing for SPR biosensors. Sensors
and Actuators B. 107 (2005) : 162 – 169.
27. T.M. Chinowsky, J.G. Quinn, D.U. Bartholomew, R. Kaiser and J.L. Elkind.
Performance of the Spreeta 2000 integrated surface plasmon resonance
affinity sensor. Sensors and Actuators B 6954 (2003) : 1 – 9.
28. www.nomadics.com.

29. A. A. Kolomenskii, P. D. Gershon, and H. A. Schuessler. Sensitivity and detection limit of concentration and adsorption measurements by laser-induced surface-plasmon resonance. Appl. Optics. 36 (Sep 1997) : 6539 – 6547.
30. N. J. Tao, S. Boussaad, W. L. Huang, R. A. Arechabaleta, and J. D'Agnese. High resolution surface Plasmon resonance spectroscopy. Review of scientific instruments 70, No.12 (Dec 1999) : 4656 – 4660.
31. www.reichert.com
32. American Society for Testing and Materials, Annual Book of ASTM Standards. (2002) ASTM, Philadelphia, D1218 - 02.



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวณิชา ตำนวนรนนท์ เกิดเมื่อวันที่ 1 เดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2524 ที่จังหวัดสงขลา สำเร็จการศึกษาปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ในปีการศึกษา 2544 และเข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาโทมหาบัณฑิต หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปีการศึกษา 2545



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย