

การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติเชิงไฟฟ้าของน้ำยางพาราและปริมาณเนื้อยางแห้งในน้ำ
ยางพารา

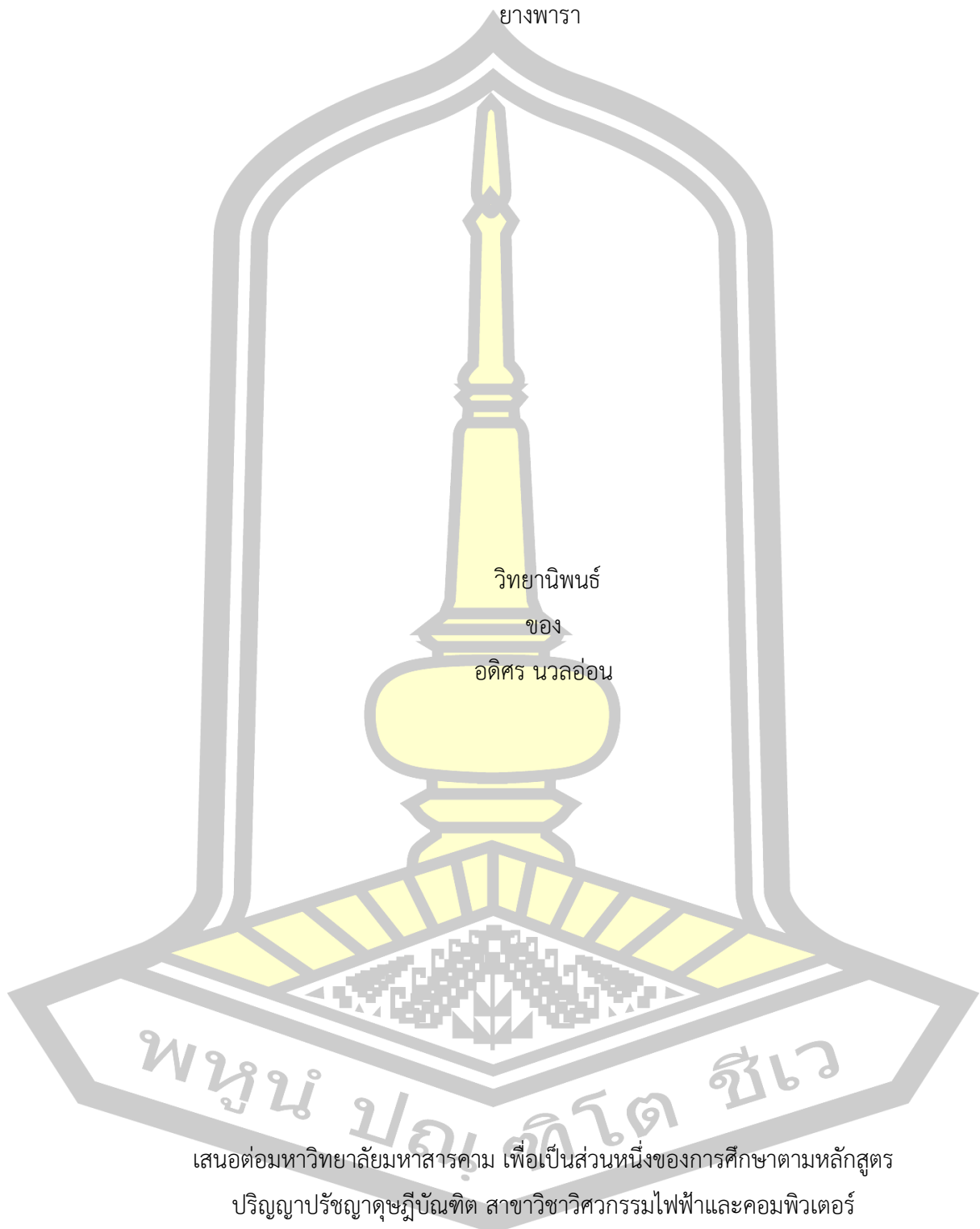
วิทยานิพนธ์
ของ
อดิศร นวลอ่อน

เสนอต่อมหาวิทยาลัยมหาสารคาม เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์
มิถุนายน 2564

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติเชิงไฟฟ้าของน้ำยารักษาและปริมาณเนื้อเยื่อในน้ำ

ยารักษา



วิทยานิพนธ์

ของ

อติสร นวลอ่อน

เสนอต่อมหาวิทยาลัยมหาสารคาม เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

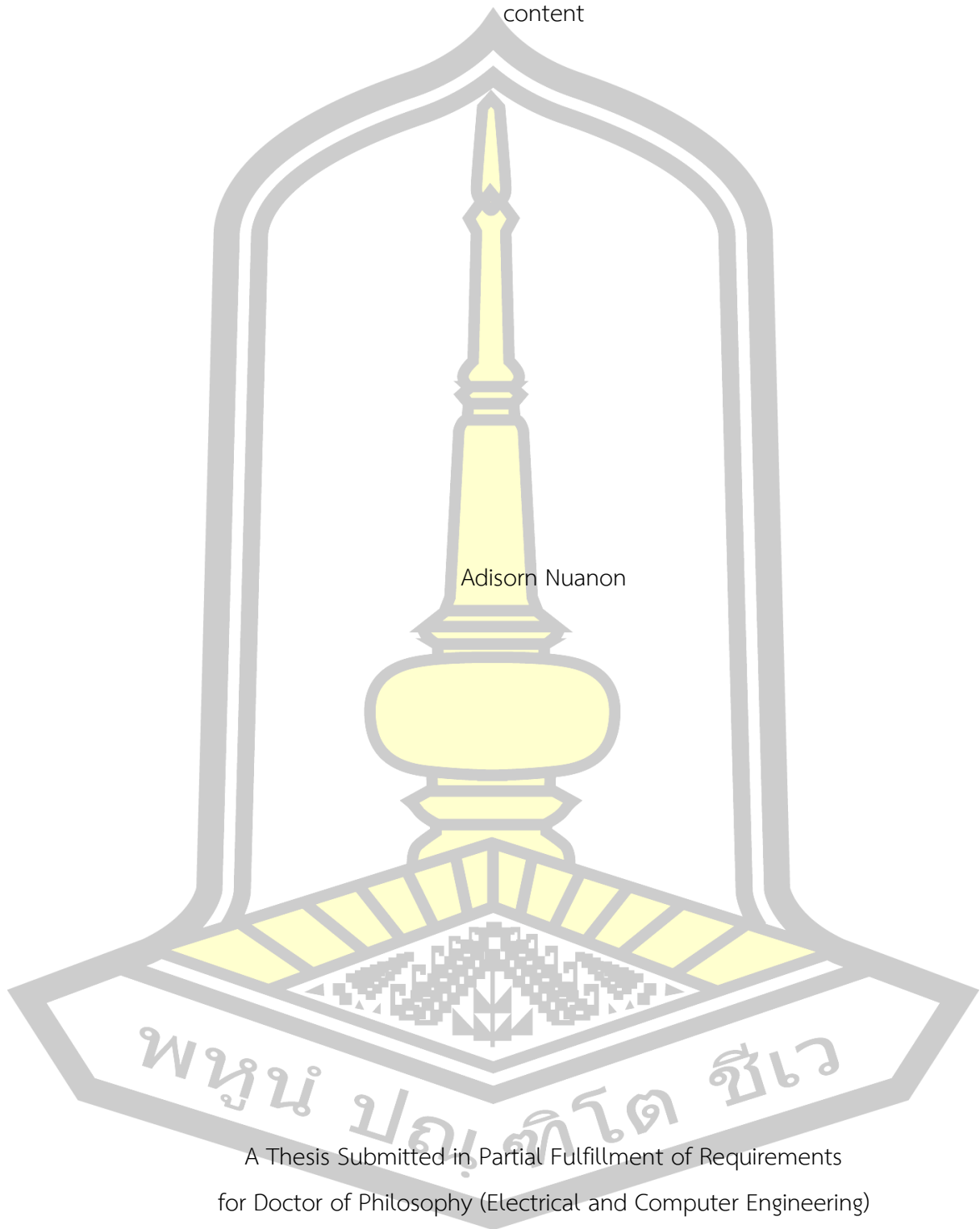
ปริญญาปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์

มิถุนายน 2564

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

The study of relationship between the electrical properties of latex and dry rubber

content



Adisorn Nuanon

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of Requirements
for Doctor of Philosophy (Electrical and Computer Engineering)

June 2021

Copyright of Mahasarakham University



คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ได้พิจารณาวิทยานิพนธ์ของนายอดิศร นวลอ่อน แล้ว เห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ ของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ

(ผศ. ดร. ศุภฤกษ์ จันทร์จรัสจิตต์)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(ผศ. ดร. นิวัตร อังควิศิษฐพันธ์)

.....กรรมการ

(รศ. ดร. วรวัฒน์ เสงี่ยมวิบูล)

.....กรรมการ

(รศ. ดร. ชลธิ์ โพธิ์ทอง)

.....กรรมการ

(ผศ. ดร. ญัฐฉิ สุวรรณทา)

มหาวิทยาลัยขอนแก่นให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร ปริญญา ปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ ของมหาวิทยาลัย มหาสารคาม

.....
(รศ. ดร. เกียรติศักดิ์ ศรีประทีป)

คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

.....
(รศ. ดร. กริสน์ ชัยมูล)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ชื่อเรื่อง	การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติเชิงไฟฟ้าของน้ำยางพาราและปริมาณ เนื้อยางแห้งในน้ำยางพารา		
ผู้วิจัย	อดิสร นวลอ่อน		
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. นิวัตร อังควิศิษฐพันธ์		
ปริญญา	ปรัชญาดุษฎีบัณฑิต	สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์
มหาวิทยาลัย	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม	ปีที่พิมพ์	2564

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นการศึกษาและทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติเชิงไฟฟ้าของน้ำยางพารากับปริมาณเนื้อยางแห้งในน้ำยางพารา โดยใช้เซนเซอร์ตัวเก็บประจุแบบแกนร่วมในการวัดค่าพารามิเตอร์แบบกระจายตัวของตัวอย่างน้ำยางพารา ที่เตรียมโดยการเติมน้ำผสมลงไป เพื่อให้ค่าปริมาณเนื้อยางแห้งในน้ำยางพาราแตกต่างกันในแต่ละตัวอย่างแบบคงที่ แล้วนำค่าที่ได้มาคำนวณหาค่าคุณสมบัติเชิงไฟฟ้าของน้ำยางพารา 4 คุณสมบัติ ได้แก่ ค่าสภาพยอมทางไฟฟ้า ค่าสภาพการนำไฟฟ้า ค่าคงที่การลดทอน และค่าคงที่เฟส ผลการศึกษาและทดลองพบว่า ส่วนจริงของค่าสภาพยอมทางไฟฟ้า ค่าสภาพการนำไฟฟ้า และค่าคงที่เฟส มีความสัมพันธ์แบบแปรผกผันกับค่าปริมาณเนื้อยางแห้งในน้ำยางพาราตลอดช่วงความถี่ 0.5 – 6 กิกะเฮิรตซ์ และส่วนจินตภาพของค่าสภาพยอมทางไฟฟ้า และค่าคงที่การลดทอน มีการเปลี่ยนแปลงความสัมพันธ์ไปมาเมื่อเทียบกับค่าปริมาณเนื้อยางแห้งในน้ำยางพาราตลอดช่วงความถี่ที่ทดลอง และมีการเปลี่ยนแปลงค่าน้อยกว่า เมื่อเทียบกับค่าคุณสมบัติเชิงไฟฟ้าอื่นๆ ทำให้ค่าส่วนจินตภาพของค่าสภาพยอมทางไฟฟ้า และค่าคงที่การลดทอน จึงไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้ตรวจสอบคุณภาพของน้ำยางพารา ส่วนค่าคุณสมบัติเชิงไฟฟ้าที่เหลือนั้นเหมาะสมในการนำมาตรวจสอบคุณภาพของน้ำยางพารา ดังนั้นคือ ส่วนจริงของค่าสภาพยอมทางไฟฟ้ามีการเปลี่ยนแปลงแบบคงที่ เมื่อค่าปริมาณเนื้อยางแห้งในน้ำยางพาราเปลี่ยนแปลงคงที่ จึงสามารถเลือกได้ทุกความถี่ในช่วงที่ใช้ในการทดลองเพื่อนำมาใช้ในการตรวจสอบคุณภาพของน้ำยางพารา ในส่วนของค่าสภาพการนำไฟฟ้า และค่าคงที่เฟส มีค่าเปลี่ยนแปลงมากที่สุดที่ความถี่สูงสุด คือที่ความถี่ 6 กิกะเฮิรตซ์ เหมือนกัน ความถี่นี้จึงเหมาะสมที่จะนำมาใช้ในการตรวจสอบคุณภาพของน้ำยางพารา

คำสำคัญ : คุณสมบัติเชิงไฟฟ้าของน้ำยางพารา, ปริมาณเนื้อยางแห้งในน้ำยางพารา, เซนเซอร์ตัวเก็บประจุแบบแกนร่วม, พารามิเตอร์แบบกระจาย

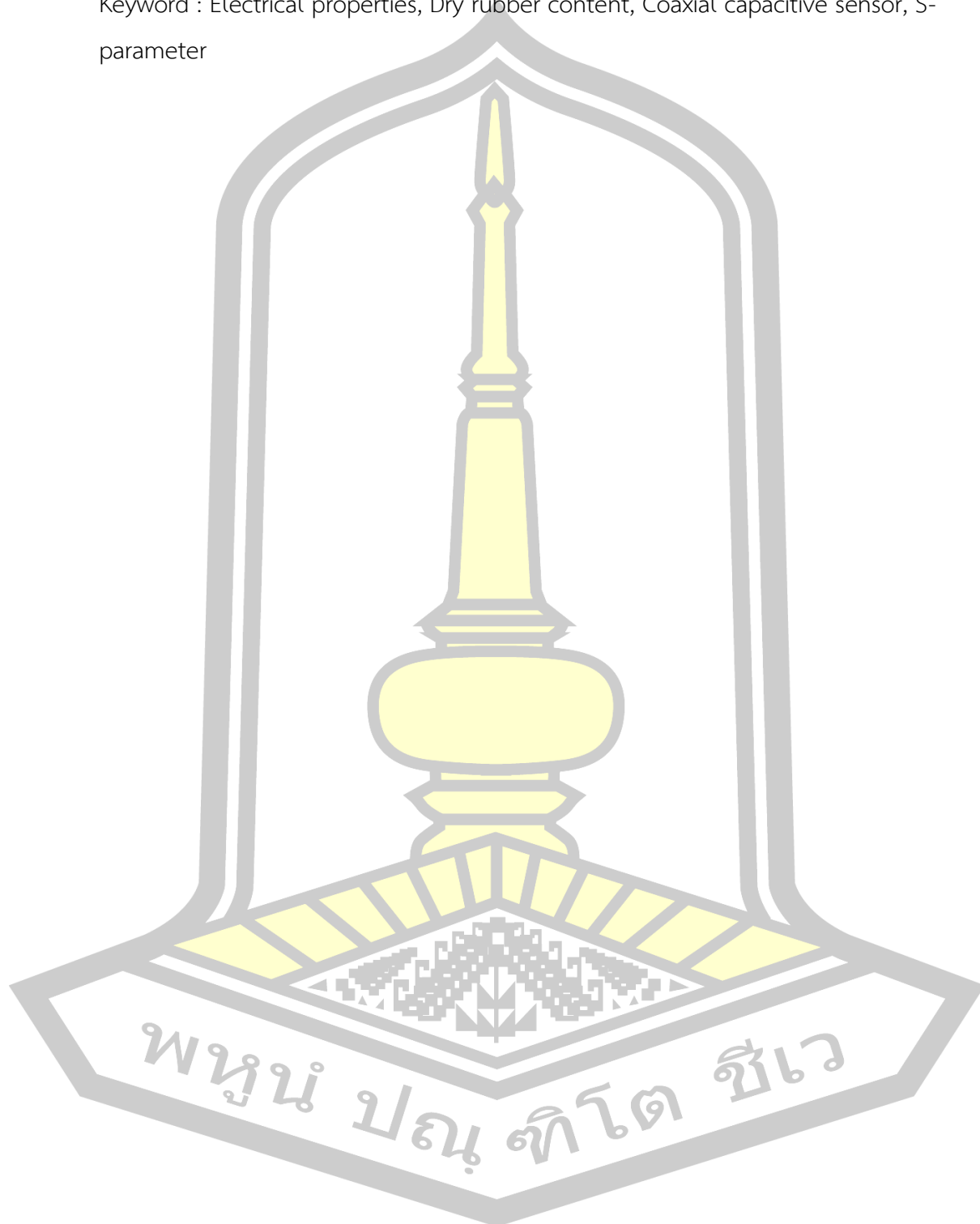


TITLE	The study of relationship between the electrical properties of latex and dry rubber content		
AUTHOR	Adisorn Nuanon		
ADVISORS	Assistant Professor Niwat Angkawisittpan , Ph.D.		
DEGREE	Doctor of Philosophy	MAJOR	Electrical and Computer Engineering
UNIVERSITY	Maharakham University	YEAR	2021

ABSTRACT

This thesis is a study and experiment to find the relationship between the electrical properties of latex and the dry rubber content. The coaxial capacitor sensor was used to measure the s-parameter of the latex sample. Prepared by adding water to the mixture So that the dry rubber content was different for each sample constant. Then, this value is to calculate the electrical properties of the 4 properties, as follows electrical permittivity, electrical conductivity attenuation constant and phase constant. The study and experiment results showed that the real part of the electrical permittivity, electrical conductivity and phase constant were an inverse variation with dry rubber content throughout the frequency range of 0.5 – 6 GHz. The imaginary part of the electrical permittivity and attenuation constant were changed in relation to the dry rubber content throughout the experimental frequency range. And the rate of change was minimal when dry rubber content changed. The imaginary part of the electrical permittivity and attenuation constant are unsuitable for determine the quality of latex. But the real part of the electrical permittivity is static change when the dry rubber content static change. Therefore, all frequencies can be selected to be used to determine the quality of the latex. Electrical conductivity and phase constant were the most variable at the same frequency at 6 GHz. This frequency can be selected to be used to determine the quality of the latex.

Keyword : Electrical properties, Dry rubber content, Coaxial capacitive sensor, S-parameter



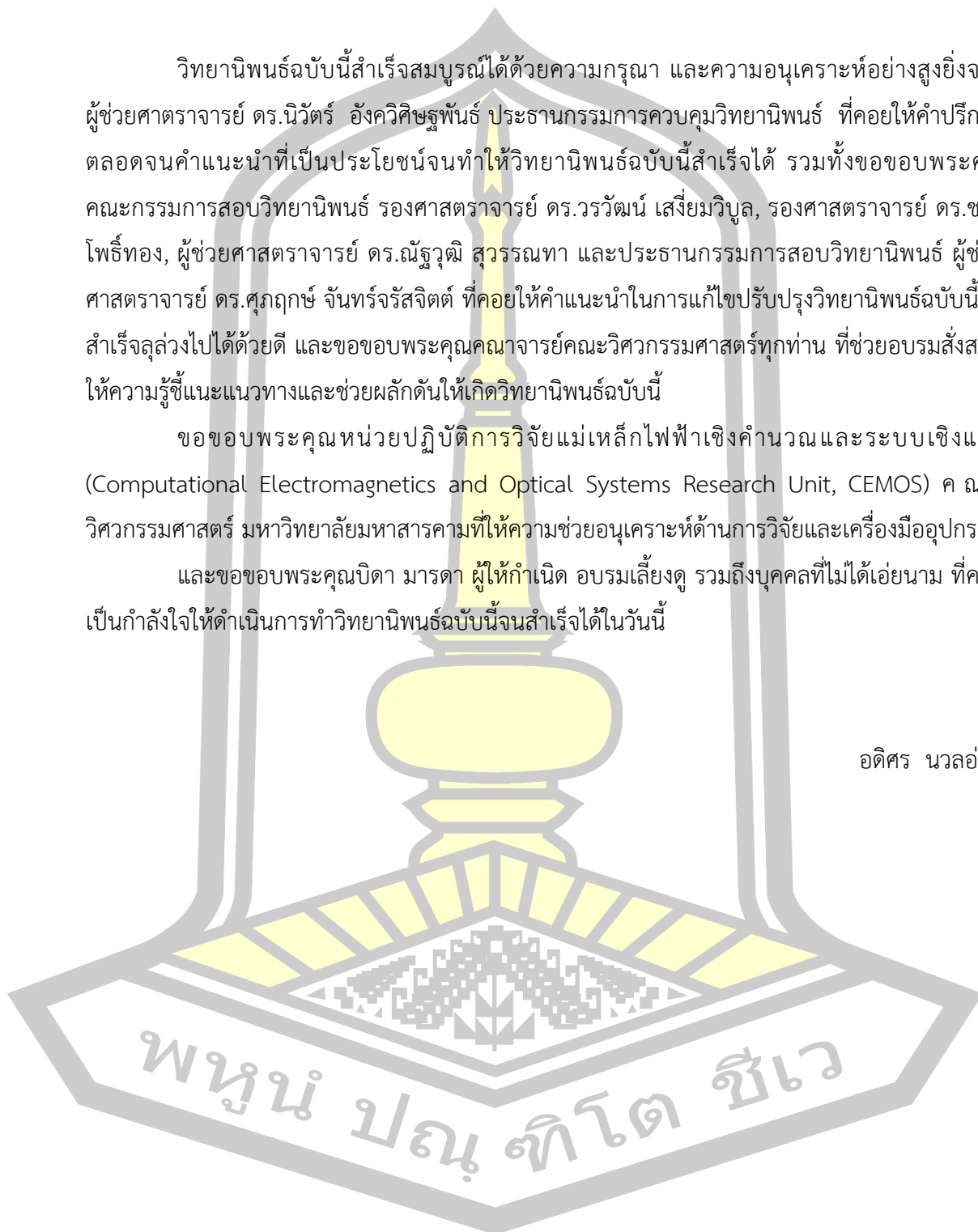
กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จสมบูรณ์ได้ด้วยความกรุณา และความอนุเคราะห์อย่างสูงยิ่งจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นิวัติ อังควิศิษฐพันธ์ ประธานกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์ ที่คอยให้คำปรึกษา ตลอดจนคำแนะนำที่เป็นประโยชน์จนทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ รวมทั้งขอขอบพระคุณ คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร.วรวัฒน์ เสงี่ยมวิบูล, รองศาสตราจารย์ ดร.ชลธิ โพร้ทอง, ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐวุฒิ สุวรรณทา และประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วย ศาสตราจารย์ ดร.ศุภฤกษ์ จันทร์จรส์จิตต์ ที่คอยให้คำแนะนำในการแก้ไขปรับปรุงวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จน สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี และขอขอบพระคุณคณาจารย์คณะวิศวกรรมศาสตร์ทุกท่าน ที่ช่วยอบรมสั่งสอน ให้ความรู้ชี้แนะแนวทางและช่วยผลักดันให้เกิดวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ขอขอบพระคุณหน่วยปฏิบัติการวิจัยแม่เหล็กไฟฟ้าเชิงคำนวณและระบบเชิงแสง (Computational Electromagnetics and Optical Systems Research Unit, CEMOS) คณ ะ วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคามที่ให้ความช่วยอนุเคราะห์ด้านการวิจัยและเครื่องมืออุปกรณ์

และขอขอบพระคุณบิดา มารดา ผู้ให้กำเนิด อบรมเลี้ยงดู รวมถึงบุคคลที่ไม่ได้เอ่ยนาม ที่คอย เป็นกำลังใจให้ดำเนินการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนสำเร็จได้ในวันนี้

อดิศร นวลอ่อน



สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ฉ
กิตติกรรมประกาศ.....	ช
สารบัญ.....	ฌ
สารบัญตาราง.....	ฉ
สารบัญภาพประกอบ.....	ฉ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 ความมุ่งหมายของงานวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	2
1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
บทที่ 2 ปรีทัศน์เอกสารข้อมูล.....	4
2.1 ยางพารา.....	4
2.2 น้ำยางพารา.....	9
2.3 การผสมสารต่างๆ ในน้ำยางพาราในการการผลิตผลิตภัณฑ์ยางพารา.....	12
2.4 คุณสมบัติของวัสดุของเหลวที่มีน้ำเป็นองค์ประกอบหลัก.....	15
2.5 การหาปริมาณเนื้อยางแห้งในน้ำยางพาราในปัจจุบัน.....	18
2.6 คุณสมบัติเชิงไฟฟ้าของวัสดุ.....	24
2.7 พารามิเตอร์แบบกระจาย.....	26
2.8 เทคนิคและวิธีในการวัดคุณสมบัติเชิงไฟฟ้าของวัสดุโดยการวัดพารามิเตอร์แบบกระจาย.....	27

2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับยางพารา	34
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	36
3.1 การออกแบบวิธีการวัดค่าคุณสมบัติเชิงไฟฟ้าของน้ำยางพารา.....	36
3.2 การแปลงค่าพารามิเตอร์แบบกระจายตัวเป็นค่าคุณสมบัติเชิงไฟฟ้า	38
3.3 การค่าปริมาณเนื้อยางแห้งในน้ำยางพารา.....	39
บทที่ 4 ผลการวิจัยและการอภิปราย.....	44
4.1 ผลการวัดค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับของตัวอย่างน้ำยางพาราด้วยเซนเซอร์ตัวเก็บประจุ ไฟฟ้าแบบแกนร่วม	44
บทที่ 5 สรุปผล อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ.....	56
5.1 สรุปผล และอภิปรายผล	56
5.2 ข้อเสนอแนะ	58
บรรณานุกรม.....	59
ประวัติผู้เขียน.....	69



สารบัญตาราง

	หน้า
ตาราง 1 ส่วนประกอบของน้ำยางพารา.....	10
ตาราง 2 ข้อดีของเทคนิคการวัดค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าในแต่ละเทคนิค	32
ตาราง 3 ข้อเสียของเทคนิคการวัดค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าในแต่ละเทคนิค	33
ตาราง 4 แสดงส่วนประกอบในตัวอย่างน้ำยางพาราทั้ง 6 ตัวอย่าง.....	40



สารบัญภาพประกอบ

	หน้า
ภาพประกอบ 1 ลักษณะโดยทั่วไปของต้นยางพารา หรือยางชนิดฮีเวียบราซิลไธเอ็นซิส.....	5
ภาพประกอบ 2 ลักษณะรากของต้นยางพารา.....	5
ภาพประกอบ 3 ลักษณะต้นยางพาราที่อยู่ในช่วงที่สามารถกรีดยางได้.....	6
ภาพประกอบ 4 ลักษณะของเปลือกของต้นยางพารา.....	7
ภาพประกอบ 5 ลักษณะใบของยางพารา.....	7
ภาพประกอบ 6 ลักษณะช่อดอกและดอกของยางพารา.....	8
ภาพประกอบ 7 ลักษณะผลและเมล็ดยางพารา.....	8
ภาพประกอบ 8 โครงสร้างโมเลกุลของน้ำยางพารา.....	10
ภาพประกอบ 9 อนุภาคยาง.....	11
ภาพประกอบ 10 ลักษณะโปรตีนที่ห่อหุ้มอยู่ตรงผิวรอบนอกของอนุภาคยาง.....	11
ภาพประกอบ 11 พฤติกรรมของวัสดุของเหลวที่มีน้ำเป็นองค์ประกอบหลัก.....	17
ภาพประกอบ 12 แสดงเครื่องมือวัดเมโทรแล็ค และวิธีใช้.....	20
ภาพประกอบ 13 ตัวอย่างการแพร่กระจายของสารผ่านเยื่อ.....	20
ภาพประกอบ 14 แคลอริมิเตอร์ และการวัดค่าความร้อนจำเพาะของสาร.....	21
ภาพประกอบ 15 การวัดค่าความสามารถในการดูดกลืนคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในช่วงความถี่วิทยุ NMR.....	22
ภาพประกอบ 16 ตัวอย่างการไทเทรตสาร.....	23
ภาพประกอบ 17 การวัดด้วยคลื่นอุลตราโซนิก.....	23
ภาพประกอบ 18 การวัดด้วยคลื่นไมโครเวฟ.....	24
ภาพประกอบ 19 แสดงการเกิดค่าพารามิเตอร์แบบการจัดกระจาย.....	27
ภาพประกอบ 20 ตัวอย่างโพรบแกนร่วมแบบปลายเปิดโดยการออกแบบของ สมพร ศรีวัฒนพล ...	28

ภาพประกอบ 21 ตัวอย่างเทคนิคการวัดแบบท่อนำคลื่นและแกนร่วมของ Y. Wang และ M.N. Afsar	29
ภาพประกอบ 22 ตัวอย่างวิธีการวัดด้วยเทคนิคการส่งผ่านอวกาศว่างของ D.K. Ghodgaonkar V.V. Varadanand และ V.K. Varadan	30
ภาพประกอบ 23 แสดงตัวอย่างสายส่งสัญญาณชนิดแผ่นเรียบเปรียบเทียบ.....	30
ภาพประกอบ 24 a) วิธีเรโซเนเตอร์ (b) เทคนิคการกำธรรูปทรงกรวย (c) เทคนิคการกำธรรูปแบบการสะท้อนท่อนำคลื่น	31
ภาพประกอบ 25 เทคนิคการวัดแบบการรวมการกำธรรูป.....	32
ภาพประกอบ 26 ขั้นตอนการวัดค่าคุณสมบัติเชิงไฟฟ้าของน้ำยางพารา.....	36
ภาพประกอบ 27 ลักษณะของเซนเซอร์ตัวเก็บประจุแบบแกนร่วมที่ดัดแปลงมาจากคอนเน็คเตอร์สำหรับยึดบนแผ่นวงจรพิมพ์ความถี่สูงแบบ SMA.....	37
ภาพประกอบ 28 ขั้นตอนการหาค่าคุณสมบัติเชิงไฟฟ้าของน้ำยางพารา	39
ภาพประกอบ 29 ตัวอย่างน้ำยางพารา 6 ตัวอย่าง	40
ภาพประกอบ 30 การเตรียมน้ำยางพาราเพื่อนำไปหาเปอร์เซ็นต์เนื้อยางแห้ง	41
ภาพประกอบ 31 น้ำยางพาราที่เริ่มจับตัวกันหลังจากเทใส่ถาด	41
ภาพประกอบ 32 แผ่นยางที่ได้จากการรีดยางให้เป็นแผ่น	42
ภาพประกอบ 33 การอบแผ่นยางด้วยตู้อบอากาศร้อน ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 16 ชั่วโมง.....	42
ภาพประกอบ 34 หม้อดูดความชื้นที่ใช้ไล่ความชื้นออกจากแผ่นยางแห้ง.....	43
ภาพประกอบ 35 แผ่นยางแห้งที่พร้อมชั่งน้ำหนัก.....	43
ภาพประกอบ 36 ค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าน้ำยางพาราสด.....	44
ภาพประกอบ 37 ค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าน้ำยางพาราสด จากการนำมาหาเส้นโค้งที่เหมาะสมที่สุด 45	
ภาพประกอบ 38 ความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ในช่วงความถี่ 0.5 – 6 กิกะเฮิรตซ์ ที่เปลี่ยนแปลงไป กับค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าที่ค่าปริมาณเนื้อยางแห้งในน้ำยางพาราต่างๆ	48

ภาพประกอบ 39 ความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ในช่วงความถี่ 0.5 – 6 กิกะเฮิรตซ์ ที่เปลี่ยนแปลงไป กับค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าที่ค่าปริมาณน้อย่างหนึ่งในน้ำยางพาราต่างๆ จากการนำมาหาเส้นโค้งที่ เหมาะสมที่สุด	50
ภาพประกอบ 40 ความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ในช่วงความถี่ 0.5 – 6 กิกะเฮิรตซ์ที่เปลี่ยนแปลงไปกับ ค่าสภาพการนำไฟฟ้าที่ค่าปริมาณน้อย่างหนึ่งในน้ำยางพาราต่างๆ	52
ภาพประกอบ 41 ความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ในช่วงความถี่ 0.5 – 6 กิกะเฮิรตซ์ที่เปลี่ยนแปลงไปกับ ค่าคงที่การลวดทองที่ค่าปริมาณน้อย่างหนึ่งในน้ำยางพาราต่างๆ	53
ภาพประกอบ 42 ความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ในช่วงความถี่ 0.5 – 6 กิกะเฮิรตซ์ที่เปลี่ยนแปลงไปกับ ค่าคงที่เฟสที่ค่าปริมาณน้อย่างหนึ่งในน้ำยางพาราต่างๆ	54



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

น้ำยางพาราเป็นหนึ่งในพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทย สร้างรายได้ให้แก่ประเทศจากการส่งออกปีละเกือบๆ 200 ล้านบาทต่อปี ในช่วง 4 - 5 ปี ที่ผ่านมา โดยมีประเทศคู่ค้ายางพาราที่สำคัญของไทยคือจีน และรองลงมาคือสหรัฐอเมริกา และอียู จากการที่ไทยมีจีนเป็นประเทศคู่ค้ายางพาราที่สำคัญ กอปรกับแผนพัฒนาเศรษฐกิจสังคมฉบับที่ 13 (พ.ศ. 2559 - 2563) ที่จะสร้างเส้นทางการค้าที่ทำให้ภูมิภาคอาเซียนเชื่อมต่อกันทำให้มีการสร้างความร่วมมือทางการค้ากับจีนมากขึ้น และนโยบายของกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ เรื่องการลดพื้นที่ปลูกยางพาราเพื่อสร้างสมดุลของปริมาณยางพารา รวมถึงเพื่อควบคุมคุณภาพของยางพาราในตลาด ทำให้อัตราในการส่งออกยางพาราของประเทศไทยมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นในอนาคต (1) จากที่กล่าวมาจะเห็นว่าแนวโน้มนโยบายเกี่ยวกับยางพาราในประเทศไทยส่งผลทำให้ทั้งเกษตรกร และพ่อค้าผู้รับซื้อยางพาราจะต้องสนใจในคุณภาพของผลิตผลและผลิตภัณฑ์ของยางพารากันมากขึ้นในปัจจุบันและจะยิ่งเข้มข้นขึ้นในอนาคต ดังนั้นการวิจัยและพัฒนาการเพิ่มคุณภาพของยางพารารวมถึงวิธีการตรวจสอบคุณภาพของยางพาราจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่ง ที่จะทำให้ศักยภาพในการส่งออกผลิตผลและผลิตภัณฑ์ยางพาราของไทยในตลาดโลกเพิ่มสูงขึ้น

ในประเทศไทยมีพื้นที่ในการเพาะปลูกยางพาราหลักๆอยู่ 3 ภูมิภาค คือภาคใต้ ภาคเหนือ และภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ซึ่งมีพื้นที่เพาะปลูกรวมกันราวๆ 12 ล้านไร่ สร้างผลผลิตยางพาราประมาณ 2.6 ล้านตัน (1) ซึ่งเป็นผลผลิตชั้นปฐมภูมิ ที่ส่งขายในรูปของน้ำยางพาราสด ยางแท่ง ยางแผ่น และยางแผ่นรมควัน ในตลอดระยะเวลา 5 ปี ที่ผ่านมา น้ำยางพาราสดและยางแท่ง มีอัตราการเพิ่มขึ้นของผลผลิตและการส่งออกมากกว่า ยางอีกสองแบบหลังคือยางแผ่นและยางแผ่นรมควัน เนื่องจากมีวิธีการผลิต การตรวจสอบคุณภาพ และขายได้ง่ายกว่า อีกทั้งในภาคอุตสาหกรรมแปรรูปยางพารายังมีแนวโน้มที่จะรับซื้อผลผลิตยางพาราประเภทน้ำยางพาราสดมาแปรรูปมากกว่าเพราะเป็นประเภทที่นำไปแปรรูปได้ง่ายที่สุด (2) ดังนั้นการพัฒนาวิธีการตรวจสอบคุณภาพ รวมถึงการศึกษาคุณลักษณะของน้ำยางพาราสดย่อมส่งผลดีต่อทั้งเกษตรกรที่จะสร้างความมั่นใจในคุณภาพน้ำยางพาราสดของตนเพื่อไม่ให้โดนพ่อค้าผู้รับซื้อโก่งราคาได้ และพ่อค้าผู้รับซื้อเองก็จะสามารถเชื่อมั่นในคุณภาพของน้ำยางพาราสดจากเกษตรกรได้มากขึ้นเช่นกัน

หนึ่งในวิธีการตรวจสอบคุณภาพน้ำยางพาราที่นิยมกันคือการวัดปริมาณเนื้อยางแห้งในน้ำยางพาราสด (Dry rubber content, DRC) ซึ่งมีกรรมวิธีในการวัดหลายวิธี เช่น การหาเปอร์เซ็นต์

เนื้องาหงั้โดยวิธีการอบตัวอย่างให้แห้งตามข้อกำหนดมาตรฐาน การหาค่าความหนาแน่นของน้ำ ยางด้วยเครื่องมือวัดเรียกว่า เมโทรแล็ค (Metrolac) การแยกสารผ่านเยื่อของแผ่นยางเพื่อหาความ หนาแน่นของแผ่นยาง ใช้คลื่นไมโครเวฟวัดค่าปริมาณเนื้องาหงั้ในน้ำยาพารา วิธีการทางเคมีใน ห้องปฏิบัติการ และการวัดค่าไดอิเล็กตริกของน้ำยาพาราสด ซึ่งสองวิธีการแรกที่กล่าวมาเป็นที่ยอมรับ ในประเทศไทย แต่วิธีการแรกมีปัญหาในเรื่องเวลาที่ใช้ในการตรวจวัดที่ใช้เวลานาน 1 – 2 วัน และ วิธีการที่สองมีค่าสัมประสิทธิ์ความเป็ยงเบนถึงร้อยละ 14.2 (3)

น้ำยาพาราสดเป็นสารคอลลอยด์สีขาว มีองค์ประกอบ 2 ส่วนหลักๆ คือส่วนที่เป็นเนื้องาหงั้ ประกอบด้วยอนุภาคยาง และสารประกอบอื่นๆ เช่น โพรตีน ไขมัน เป็นต้น และส่วนที่ไม่ใช่เนื้องาหงั้ ที่ประกอบไปด้วยน้ำและคาร์โบไฮเดรตเป็นหลักจะเห็นว่าน้ำยาพาราสดมีน้ำเป็นองค์ประกอบหลัก และมีสารอื่นรวมเป็นคอลลอยด์อยู่ (4) สารประกอบที่มีน้ำเป็นองค์ประกอบหลักนั้นจะมีค่า สภาพยอมทางไฟฟ้าขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำ และจะเปลี่ยนแปลงไปเมื่อองค์ประกอบอื่นๆที่อยู่ในน้ำ เปลี่ยนแปลงไป (5) ดังนั้นการตรวจวัดค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าและค่าคุณสมบัติทางไฟฟ้าอื่นๆของน้ำ ยาพารา สามารถบอกคุณลักษณะบางประการของน้ำยาพาราได้ แล้วนำไปหาความสัมพันธ์ระหว่าง คุณสมบัติเชิงไฟฟ้าของน้ำยาพารากับค่าปริมาณเนื้องาหงั้ในน้ำยาพารา ซึ่งค่าความสัมพันธ์ ดังกล่าวจะมีประโยชน์ในการประเมินคุณภาพของน้ำยาพาราสดแก่เกษตรกรและผู้รับซื้อดังที่ได้กล่าว มาข้างต้น

1.2 ความมุ่งหมายของงานวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษา ออกแบบ และพัฒนาวิธีการวัดค่าสภาพยอมทางไฟฟ้า ค่าสภาพการนำ ไฟฟ้า ค่าคงที่การลดทอน และค่าคงที่เฟส ของน้ำยาพารา

1.2.2 เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าสภาพยอมทางไฟฟ้า ค่าสภาพการนำไฟฟ้า ค่าคงที่การ ลดทอน และค่าคงที่เฟส ของน้ำยาพารากับปริมาณเนื้องาหงั้ในน้ำยาพารา

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1.3.1 กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในงานวิจัย

น้ำยาพาราสดได้จากสวนยางพาราในพื้นที่ อ.กันทรวิชัย จ.มหาสารคาม เป็นน้ำยาพาราสดจากพันธุ์ยางในกลุ่มพันธุ์ยางผลผลิตน้ำยางสูง พันธุ์ยางพันธุ์เฉลิมพระเกียรติ 984 (RRIT408)

1.3.2 ตัวแปรที่ใช้ในการศึกษา

ตัวแปรต้น ได้แก่ น้ำยางพาราสดที่ผสมน้ำกลั่นในอัตราส่วนร้อยละโดยน้ำหนักของน้ำในน้ำยางพาราสด 6 อัตราส่วน เพื่อให้ได้ค่าปริมาณเนื้อยางแห้งในน้ำยางพารา ดังนี้ 35 32 29 26 23 และ 20

ตัวแปรตาม ได้แก่ ค่าพารามิเตอร์แบบกระจาย ค่าสภาพยอมทางไฟฟ้า ค่าสภาพการนำไฟฟ้า ค่าคงที่การลดทอน และค่าคงที่เฟส

1.3.3 ระยะเวลาในการดำเนินการวิจัย

เริ่มตั้งแต่เดือน สิงหาคม 2560 – เดือน เมษายน 2561

ศึกษาและเก็บรวบรวมข้อมูลในช่วงเดือน สิงหาคม – ตุลาคม 2560

ออกแบบการทดลองและทดลองในช่วงเดือน พฤศจิกายน 2560 – เมษายน 2561 (เป็นช่วงที่ต้นยางพาราให้น้ำยางพาราสูงสุด)

วิเคราะห์ผลและสรุปผลในช่วงเดือน พฤษภาคม 2561 – พฤษภาคม 2563

1.3.4 เนื้อหาที่ใช้ในการทดลอง

ใช้เซนเซอร์ตัวเก็บประจุแบบแกนร่วมวัดค่าพารามิเตอร์แบบกระจายของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในน้ำยางพาราในแต่ละตัวอย่าง ตัวอย่างละ 3 ซ้ำ โดยวัดผ่านเครื่องวิเคราะห์เครือข่ายสเปกตรัม ในช่วงความถี่ 0.5 – 6 กิกะเฮิรตซ์ ที่อุณหภูมิของตัวอย่าง 25 องศาเซลเซียส แล้วนำค่าที่ได้ไปประมวลผลเป็นคุณสมบัติเชิงไฟฟ้าของน้ำยางพารา แล้วหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าคุณสมบัติเชิงไฟฟ้าของน้ำยางพารากับปริมาณเนื้อยางแห้งในน้ำยางพารา

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ได้วิธีการวัดค่าสภาพยอมทางไฟฟ้า ค่าสภาพการนำไฟฟ้า ค่าคงที่การลดทอน และค่าคงที่เฟส ของน้ำยางพารา

1.4.2 ได้ค่าสภาพยอมทางไฟฟ้า ค่าสภาพการนำไฟฟ้า ค่าคงที่การลดทอน และค่าคงที่เฟสของน้ำยางพารา

1.4.3 ได้ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสภาพยอมทางไฟฟ้า ค่าสภาพการนำไฟฟ้า ค่าคงที่การลดทอน และค่าคงที่เฟส ของน้ำยางพารากับค่าปริมาณเนื้อยางแห้งในน้ำยางพารา

บทที่ 2

ปริทัศน์เอกสารข้อมูล

ในบทนี้จะกล่าวถึง ยางพารา น้ำยางพารา การผสมสารต่างๆในน้ำยางพาราในการการผลิตผลิตภัณฑ์ยางพารา การหาค่าปริมาณเนื้อยางแห้งในน้ำยางพาราในปัจจุบัน คุณสมบัติเชิงไฟฟ้าของวัสดุ พารามิเตอร์แบบกระจายกระจาย เทคนิคและวิธีในการวัดคุณสมบัติเชิงไฟฟ้าของวัสดุโดยการวัดพารามิเตอร์แบบกระจายกระจาย และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับยางพารา

2.1 ยางพารา

2.1.1 ประวัติยางพารา

ยางพาราเป็นไม้พื้นเมืองในแถบลุ่มแม่น้ำแอมะซอน ในประเทศบราซิลและประเทศเปรู มีชื่อเดิมตามชื่อพื้นเมืองเรียกว่า “เกาซู (Coa tcho)” ซึ่งแปลว่า “ต้นไม้ร้องไห้” แล้วในปี ค.ศ. 1770 นายโจเซฟ 프리สตีลีย์ นักวิทยาศาสตร์ชาวอังกฤษ ได้ค้นพบว่าน้ำยางที่ทำให้แห้งแล้วของยางชนิดนี้สามารถลบรอยดำจากดินสอได้ จึงตั้งชื่อต้นยางชนิดนี้ว่า “ยางลบ (Rubber)” เริ่มต้นใช้ชื่อนี้ก่อนในประเทศอังกฤษและเนเธอร์แลนด์ และต่อมาก็ใช้ทั่วโลก (6) ส่วนชื่อในภาษาไทยที่เรียกต้นยางชนิดนี้ว่า “ยางพารา” นั้นมีที่มาจากชื่อ ซึ่งเป็นศูนย์กลางการปลูกและค้าขายยางชนิดนี้ในยุคแรกเริ่ม ยางพารามีประวัติในการปลูกในประเทศเทศที่ไม่แน่นอน แต่คาดว่าเริ่มต้นจากการที่พระยารัษฎานุประดิษฐ์ เจ้าเมืองตรัง ในตอนนั้น ได้นำต้นยางชนิดนี้เข้ามาปลูกในเขต อ.กันตัง จ.ตรัง ในช่วงปี พ.ศ. 2442 -2444 และชาวบ้านในแถบนั้นเรียกต้นยางชนิดนี้ว่า “ต้นยางเทศา” จนในปี พ.ศ. 2454 ก็เกิดการขยายตัวของ การปลูกยางพาราไปทั่วทั้ง 14 จังหวัดในภาคใต้ และอีก 3 จังหวัดในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และขยายต่อไปยังภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคเหนือ และภาคตะวันตกของประเทศไทย ในปัจจุบัน (7)

2.1.2 ลักษณะทั่วไปของต้นยางพารา

เป็นพืชในวงศ์ยูฟอร์เบียซีอี (Family euphorb iaceae) ในสกุลฮีเวีย (Genus Hevea) ชนิดบราซิลไอน์ซิส (Species brasiliensis) ต้นยางในสกุลฮีเวียที่จริงแล้วมีประมาณ 20 ชนิด แต่ปรากฏว่ามีเพียง ชนิดฮีเวียบราซิลไอน์ซิส (Hevea brasiliensis) เท่านั้นที่ให้น้ำยางมากที่สุด และเนื้อยางก็มีคุณสมบัติทางวิทยาศาสตร์ดีกว่ายางชนิดอื่นๆในสกุลนี้ จึงมีการนิยมปลูกเฉพาะพันธุ์นี้ ทำให้เมื่อพูดถึงยางพาราจะหมายถึงเฉพาะต้นยางชนิดฮีเวียบราซิลไอน์ซิส ในสกุลฮีเวีย เท่านั้น แสดงลักษณะโดยทั่วไปของต้นยางพารา หรือยางชนิดฮีเวียบราซิลไอน์ซิส (8) แสดงดังภาพประกอบ 1



ภาพประกอบ 1 ลักษณะโดยทั่วไปของต้นยางพารา หรืออย่างชนิดฮีเวียบราซิลไคเอ็นซิส สามารถแบ่งอธิบายส่วนประกอบต่างๆของต้นยางพาราได้ ดังนี้

1. ราก

เป็นพืชยืนต้นที่มีระบบรากแก้ว เมื่ออายุได้ประมาณ 3 ปี จะมีรากแก้วที่ยังลึกลงไปดินด้วยความลึกประมาณ 2.5 เมตร และมีรากแขนงและรากฝอยแผ่ขยายออกไปประมาณ 7 – 10 เมตร รอบโคนต้น (8) ลักษณะรากของต้นยางพาราแสดงดังภาพประกอบ 2



ภาพประกอบ 2 ลักษณะรากของต้นยางพารา

2. ลำต้น

ยางพาราเป็นไม้ยืนต้นที่มีรูปร่างลำต้นสองลักษณะตามวิธีการปลูกคือ ถ้าปลูกด้วยการเพาะเมล็ดลำต้นจะมีลักษณะเป็นรูปกรวย แต่ถ้าปลูกด้วยวิธีการติดาลำต้นจะมีลักษณะเป็นทรงกระบอก และทั้งสองรูปร่างมีความสูงเฉลี่ยเท่าๆกัน อยู่ประมาณ 30 - 40 เมตร ในช่วงที่เป็นต้นอ่อนหรือต้นกล้าที่มีอายุประมาณ 6 - 8 เดือน จะเจริญเติบโตเร็วมาก ทำให้ลำต้นมีลักษณะเป็นปล้องยาว และเป็นสีเขียว แต่พอผ่านช่วงดังกล่าวไป ลักษณะลำต้นจะเป็นปล้องที่สั้นลง และเปลี่ยนสีลำต้นเป็นสีน้ำตาลอ่อน เทาดำ หรือน้ำตาล ลักษณะต้นยางพาราที่อยู่ในช่วงที่สามารถกรีดยางได้ (8) แสดงดังภาพประกอบ 3



ภาพประกอบ 3 ลักษณะต้นยางพาราที่อยู่ในช่วงที่สามารถกรีดยางได้
เปลือกของต้นยางพาราแบ่งออกเป็น 3 ชั้น ดังนี้

1. Cork เป็นส่วนที่เป็นเปลือกแข็งชั้นนอกสุด
2. Hard bark เป็นชั้นถัดเข้ามา ประกอบด้วย Parenchyma cell และ Disorganized sieve tube มีท่อน้ำยาง (Latex vessel) ซึ่งท่อน้ำเลี้ยงนี้เมื่อต้นยางมีอายุมากๆ จะกระจัดกระจายอย่างไม่ต่อเนื่องตามเปลือกในชั้นนี้
3. Soft bark เป็นส่วนในสุดของเปลือกติดกับเนื้อเยื่อ Cambium ประกอบด้วย Parenchyma cell และ Sieve tube มีท่อน้ำยางซึ่งเวียนขึ้นจากซ้ายไปขวาทำมุม 30 - 35 องศา กับแนวตั้ง ดังนั้นในการกรีดยางเพื่อเอาน้ำยาง จึงต้องกรีดยางลงจากซ้ายไปขวา เพื่อตัดท่อน้ำยางให้ได้ปริมาณมากที่สุด

เปลือกของลำต้นยางพาราส่วนที่ให้น้ำยางคือ Hard bark และ Soft bark สองส่วนนี้มีความหนารวมกันประมาณ 10 - 11 มิลลิเมตร ดังนั้นการกรีดยางจึงควรกรีดยางด้วยความลึกประมาณเท่านี้ น้ำยางที่ได้จากการกรีดยางจะเป็น Cytoplasm ที่อยู่ในท่อของเปลือกทั้ง 2 ชั้นนี้ หลังจากกรีดยางแล้วเปลือกจะเจริญขึ้นมาได้เหมือนเดิมโดยใช้เวลาประมาณ 7 - 8 ปี (8) ลักษณะของเปลือกของต้นยางพาราแสดงดังภาพประกอบ 4



ภาพประกอบ 4 ลักษณะของเปลือกของต้นยางพารา

3. ใบ

ลักษณะใบของยางพาราจะเกิดเวียนเป็นเกลียว เป็นกลุ่มและท่อกกลุ่มเรียกว่า ฉัตรใบ (Leaf storey) เป็นประเภทใบประกอบ ประกอบด้วยใบย่อย 3 ใบ มีต่อมน้ำหวานที่โคนก้านใบ แต่ละใบรูปร่างแบบ Ovate หรือ Elliptical ยางพาราเป็นพืชผลัดใบจะผลัดใบในช่วงต้นฤดูแล้ง ในภาคใต้จะผลัดใบในเดือนมีนาคมถึงเดือนพฤษภาคม ส่วนภาคตะวันออก และภาคตะวันออกเฉียงเหนือจะผลัดใบในเดือนกุมภาพันธ์ถึงเดือนเมษายน (8) ลักษณะใบของยางพาราแสดงดังภาพประกอบ 5



ภาพประกอบ 5 ลักษณะใบของยางพารา

4. ช่อดอกและดอก

ยางพารามีช่อดอกเกิดตามปลายกิ่ง เป็นแบบ Panicle มีกิ่งแขนงมาก ช่อดอกเกิดขึ้นพร้อมกับใบใหม่ที่ผลิหลังจากผลัดใบ มีดอกตัวผู้และดอกตัวเมียแยกกันแต่อยู่บนช่อเดียวกัน (8) ลักษณะช่อดอกและดอกของยางพาราแสดงดังภาพประกอบ 6



ภาพประกอบ 6 ลักษณะช่อดอกและดอกของยางพารา

5. ผลและเมล็ด

ผลเป็นแบบ Capsule โดยทั่วไปมี 3 เมล็ด เมื่อแก่ผลจะแตกออก เกิดเสียงดัง เปลือกหุ้มเมล็ดจะมีลาย เมล็ดมีทั้งส่วนของเอนโดสเปิร์มและใบเลี้ยง ใบเลี้ยงมีโปรตีนประมาณ 18 เปอร์เซ็นต์ และมีน้ำมันสูงถึง 40 เปอร์เซ็นต์ (8) ลักษณะผลและเมล็ดยางพารา แสดงดังภาพประกอบ 7



ภาพประกอบ 7 ลักษณะผลและเมล็ดยางพารา

2.1.2 พันธุ์ยางพารา

พันธุ์ยางพาราสามารถแบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม ตามวัตถุประสงค์ในการปลูก ได้ดังนี้

1. กลุ่มที่ 1 พันธุ์ยางผลผลิตน้ำยางสูง

คือ กลุ่มของพันธุ์ยางที่ให้ผลผลิตน้ำยางเป็นหลัก เป็นกลุ่มพันธุ์ยางที่เหมาะสมสำหรับปลูกเพื่อนำผลผลิตของน้ำยางไปใช้ประโยชน์ ซึ่งในประเทศไทยพันธุ์ยางในกลุ่มนี้ที่ส่งเสริมให้เกษตรกรปลูกมี 3 พันธุ์หลักๆ ดังนี้ คือ พันธุ์สถาบันวิจัยยาง 251, สถาบันวิจัยยาง 226, BPM 24, และ RRIM 600 พันธุ์ยางในกลุ่มนี้จะให้ผลผลิตน้ำยางเฉลี่ยประมาณ 300 กิโลกรัมต่อไร่ต่อปี ขึ้นไป (8)

2. กลุ่มที่ 2 พันธุ์ยางผลผลิตน้ำยางและเนื้อไม้สูง

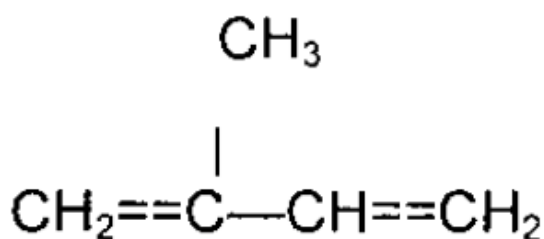
คือ กลุ่มพันธุ์ยางที่ให้ทั้งผลผลิตน้ำยางและเนื้อไม้ โดยให้ ผลผลิตน้ำยางสูงและมีการเจริญเติบโตดี ลักษณะลำต้นตรง ให้ปริมาณเนื้อไม้ในส่วนลำต้นสูง พันธุ์ยางในกลุ่มนี้ที่นิยมปลูก ได้แก่ พันธุ์ PB 235, PB 255, PB 260 และ RRIC 110 พันธุ์ยางในกลุ่มนี้จะมีผลผลิตน้ำยางเฉลี่ยประมาณ 300 กิโลกรัมต่อไร่ต่อปีขึ้นไป คล้ายๆกับกลุ่มที่ 1 และในช่วง 6 ปี จะให้ผลผลิตเนื้อไม้ในส่วนลำต้นประมาณ 0.1 ลูกบาศก์เมตรต่อต้น (8)

3. กลุ่มที่ 3 พันธุ์ยางผลผลิตเนื้อไม้สูง

คือ กลุ่มพันธุ์ยางที่ให้ผลผลิตเนื้อไม้สูงเป็นหลัก มีการเจริญเติบโตดีมาก ลักษณะลำต้นตรง ให้ปริมาณเนื้อไม้ในส่วนลำต้นสูงมาก ผลผลิตน้ำยางจะอยู่ในระดับต่ำกว่าพันธุ์ยางในกลุ่มที่ 1 และ 2 เหมาะสำหรับการปลูกเป็นสวนป่าเพื่อการผลิตเนื้อไม้ พันธุ์ยางในกลุ่มนี้ที่นิยมปลูก ได้แก่ พันธุ์เช็งเทรา 50, AVPOS 2037 และ BPM 1 พันธุ์ยางในกลุ่มนี้จะเจริญเติบโตของลำต้นได้อย่างดีในช่วง 6 ปี โดยจะมีขนาดเส้นรอบวงประมาณ 50 เซนติเมตร และให้ผลผลิตเนื้อไม้ในส่วน ลำต้นมาก 0.1 ลูกบาศก์เมตรต่อต้น และมีลักษณะการปลัดใบแบบปลัดใบเร็ว (8)

2.2 น้ำยางพารา

ยางพาราเป็นวัสดุพอลิเมอร์ มีลักษณะเป็นของเหลวมีสีขาว ที่ได้จากต้นยางพารา มีสมบัติเป็นสารคอลลอยด์ชนิดซอล (Sol) ที่มีอนุภาคขององค์ประกอบต่างกระจายตัวอยู่ในตัวกลางที่เป็นน้ำ ซึ่งเรียกของเหลวลักษณะนี้ว่า ซีรัม (Serum) มีความหนาแน่นอยู่ระหว่าง 0.975-0.980 กรัมต่อมิลลิลิตร มีความหนืดประมาณ 12-15 เซนติพอยส์ (Centipoise) และมีลักษณะเป็นกรดอ่อนๆ มีค่า pH อยู่ที่ 6.5-7.0 มีองค์ประกอบของธาตุหลัก คือ ไฮโดรเจน (H) และคาร์บอน (C) มีสูตรทางเคมี คือ C_5H_8 มีโครงสร้างโมเลกุลเป็นลักษณะที่เรียกว่า ไอโซพรีน (cis-1,4 polyisoprene) (9) ดังแสดงในภาพประกอบ 8



ภาพประกอบ 8 โครงสร้างโมเลกุลของน้ำยางพารา

คุณสมบัติและองค์ประกอบต่างๆในน้ำยางพารานั้นอาจแปรปรวนได้ขึ้นอยู่กับปริมาณของส่วนประกอบอื่นๆในน้ำยาง พันธุ์ยาง อายุยาง วิธีการและความถี่ในการกรีดยาง ฤดูกาลในการกรีดยาง และสภาพดินที่ใช้ในการปลูกยาง ฯลฯ แต่โดยทั่วไปแล้วน้ำยางพารามีส่วนประกอบ (9) แสดงดัง ตาราง 1

ตาราง 1 ส่วนประกอบของน้ำยางพารา

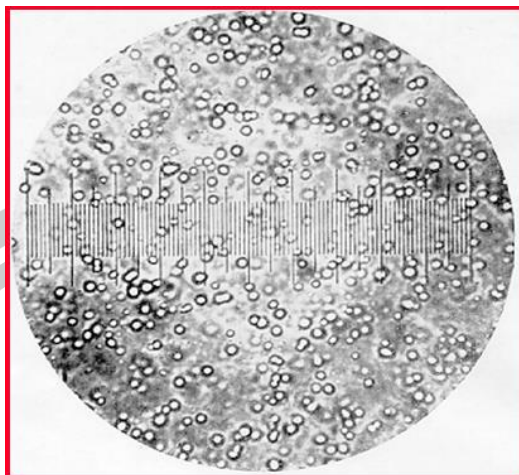
ส่วนประกอบ	ร้อยละโดยน้ำหนัก
เนื้อยางแห้ง	25-45
สารจำพวกโปรตีน	1-1.5
สารจำพวกเรซิน	1-1.25
ขี้เถ้า	สูงเกือบถึง 1
น้ำตาล	1
น้ำ	จำนวนที่เหลือ

จากตาราง 1 สามารถจำแนกส่วนประกอบหลักของน้ำยางพาราออกได้เป็น 2 ส่วน คือส่วนที่เป็นเนื้อยาง และส่วนที่ไม่ใช่เนื้อยาง (9)

2.2.1 ส่วนของเนื้อยาง

1. อนุภาคยาง

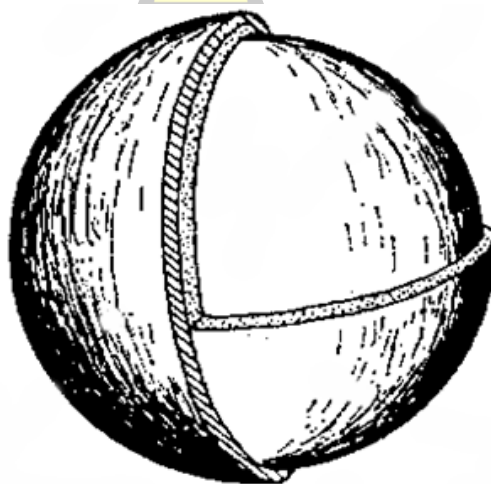
มีลักษณะเป็นทรงกลม และอาจจะเป็นรูปไข่ หรือลูกแพร์ และมีสารจำพวกไขมันและโปรตีนห่อหุ้มผิวของอนุภาคนี้นี้ไว้ อาจมีโลหะบางชนิด เช่น แมกนีเซียม โปแตสเซียม ทองแดง ฯลฯ ปนอยู่ในปริมาณเล็กน้อย ปกติอนุภาคยางจะแขวนลอยในน้ำ ซึ่งมีความหนาแน่น 0.92 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร มีขนาดอนุภาคแตกต่างกันมาก และจะมีขนาดเพิ่มขึ้นตามอายุของต้นยางที่เก็บน้ำยางมาได้ ซึ่งมีขนาดอนุภาคเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 0.04 - 4 ไมโครเมตร แสดงดังภาพประกอบ 9



ภาพประกอบ 9 อนุภาคยาง

2. โปรตีน (Protein)

โปรตีนที่ห่อหุ้มอยู่ตรงผิวรอบนอกของอนุภาคยางมีอยู่ประมาณร้อยละ 25 ของโปรตีนทั้งหมดที่มีอยู่ในน้ำยาง โปรตีนส่วนใหญ่เป็นชนิด แอลฟาไกลบูลิน และฮีวิน (α -Globulin และ Hevein) ส่วนด้านนอกสุดจะมีโปรตีนอยู่ประมาณร้อยละ 1 ของอนุภาคยาง ลักษณะโปรตีนที่ห่อหุ้มอยู่ตรงผิวรอบนอกของอนุภาคยาง แสดงดังภาพประกอบ 10



ภาพประกอบ 10 ลักษณะโปรตีนที่ห่อหุ้มอยู่ตรงผิวรอบนอกของอนุภาคยาง

3. ไขมัน (Lipid)

ไขมันจะอยู่ระหว่างผิวของอนุภาคยางกับโปรตีน แต่อยู่ชั้นในมากกว่า ส่วนใหญ่จะเป็นสารพวกฟอสโฟไลปิด ชนิด เลซิทีน (α -Lecithin) ซึ่งทำหน้าที่ยึดโปรตีนให้เกาะอยู่บนผิวของอนุภาคยาง เนื่องจากโมเลกุลเลซิทีนแสดงประจุบวกที่ pH ของน้ำยาง ในขณะที่โปรตีนแสดงประจุลบ ทำให้เกิดพันธะไอออนิกระหว่างกัน แสดงดังภาพประกอบ 10

2.2.2 ส่วนที่ไม่ใช่เนื้อเยื่อ

1. ส่วนที่เป็นน้ำหรือเซรัม

มีความหนาแน่น 1.02 กรัมต่อมิลลิลิตร ประกอบด้วยสารประกอบ 3 ชนิด คือ

1. คาร์โบไฮเดรต

ซึ่งจะอยู่ในรูปสารพวกแป้งและน้ำตาล มีอยู่ในน้ำยางประมาณร้อยละ 1 ส่วนใหญ่จะเป็นน้ำตาลชนิดควิบาซิทอล (Quebrachitol)

2. โปรตีนและกรดอะมิโน

โดยมีค่า Isoelectric point หลายค่า โปรตีนที่มีค่า Isoelectric point สูงสามารถสลายตัวให้ประจุบวกได้ เป็นสาเหตุให้น้ำยางสูญเสียสภาพได้ง่าย

3. ลูทอยด์ (Lutoids)

เป็นอนุภาคที่ค่อนข้างกลม ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 0.5 - 3 ไมโครเมตร ห่อหุ้มด้วยเยื่อบาง ๆ ภายในเยื่อบาง ๆ มีทั้งสารละลายและสารที่แขวนลอย เกิดการออสโมซิสได้ง่าย ทำให้ลูทอยด์สามารถเกิดการบวมตัวและแตกง่าย ขณะที่ลูทอยด์เกิดการพองตัวมีผลทำให้น้ำยางมีความหนืดเพิ่มขึ้น แต่เมื่อลูทอยด์แตกความหนืดก็จะลดลง

2. อนุภาคเพรย์-วิสลิง

เป็นสารที่ไม่ใช่ยาง มีอยู่ประมาณร้อยละ 2 ขนาดอนุภาคใหญ่กว่ายางแต่ความหนาแน่นน้อยกว่า ประกอบด้วยสารเม็ดสีพวก คาโรทีนอยด์ และไขมัน สามารถรวมตัวกับแอมโมเนียและแยกตัวออกจากยางมาอยู่ในส่วนของเซรัมได้

2.3 การผสมสารต่างๆ ในน้ำยางพาราในการการผลิตผลิตภัณฑ์ยางพารา

น้ำยางพาราเป็นสารคอลลอยด์ ชนิดซอล ซึ่งเป็นคอลลอยด์ที่ประกอบด้วยอนุภาคสารที่เป็นของแข็ง (เนื้อยางพารา, โปรตีน, คาร์โบไฮเดรต, ไขมัน และเกลือแร่ เป็นต้น) แทรกตัวอยู่ในตัวกลางที่เป็นของเหลว (น้ำที่มีลักษณะเป็น ซีรัม) โดยที่ไม่ได้ละลายในของเหลวนั้น แต่อยู่ในลักษณะแขวนลอย และไม่ตกตะกอนเหมือนสารแขวนลอยปกติเพราะอนุภาคมีขนาดเล็กกว่า สารส่วนใหญ่ที่ใช้ผสมลงในน้ำยางพารา จะมีคุณลักษณะเป็นของแข็งหรือผงที่ไม่ละลายในน้ำหรือน้ำยางพารา ทำให้ไม่สามารถผสมเข้าไปในน้ำยางพาราได้โดยตรง จึงต้องเตรียมสารให้อยู่ในรูปของสารคอลลอยด์ โดยมีอนุภาคคอลลอยด์และส่วนที่ทำให้คอลลอยด์กระจายตัวอยู่ได้ ที่เรียกว่า Dispersion medium สารที่ผสมลงไปในน้ำยางพาราแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือสารที่ผสมลงไปในน้ำยางเพื่อป้องกันการสูญเสียสภาพของน้ำยางพารา และสารที่ผสมลงไปเพื่อทำให้น้ำยางพาราแข็งตัว (8)

2.3.1 สารที่ผสมลงไปใต้น้ำยาเพื่อป้องกันการสูญเสียสภาพของน้ำยาพารา

น้ำยาสามารถคงสภาพความเป็นน้ำยาพาราได้ไม่เกิน 3 - 6 ชั่วโมง เนื่องจากแบคทีเรียในอากาศ และจากเปลือกของต้นยางจะลงไปใต้น้ำยาพารา และกินสารอาหารจำพวก โปรตีน และน้ำตาล ที่อยู่ในน้ำยาพารา แล้วเจริญเติบโตขึ้นอย่างรวดเร็ว สิ่งที่เกิดขึ้นจากการย่อยอาหารของแบคทีเรียคือ ก๊าซชนิดต่าง ๆ เช่น ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซมีเทน และกรดไขมันระเหยได้ (Volatile fatty acid) เมื่อปริมาณกรดที่ระเหยง่ายใต้น้ำยาเพิ่มมากขึ้น น้ำยาจะเกิดการสูญเสียสภาพ (เนื่องจากปกติแล้วน้ำยาพาราจะมีสภาพเป็นกรดอ่อนๆ) สังเกตได้จากการที่น้ำยาพาราจะค่อยๆ มีความหนืดมากขึ้น อนุภาคยางเริ่มจับตัวเป็นเม็ดเล็กๆ คล้ายๆ เม็ดพริก และค่อยขยายเป็นก้อนใหญ่ขึ้น จนน้ำยาสูญเสียสภาพ เกิดการบูดเน่า และมีกลิ่นเหม็น ซึ่งอัตราการเกิดกระบวนการทั้งหมดจะช้าหรือเร็วขึ้นอยู่กับปัจจัยหลาย เช่น อุณหภูมิ สภาพแวดล้อม ความคงตัวของน้ำยาพารา พันธุ์ยาง ฯลฯ ดังนั้นเพื่อให้น้ำยาพารารักษาเสถียรภาพอยู่ได้จึงต้องมีการผสมสารบางอย่างลงใต้น้ำยาพารา ซึ่งสารที่จะเติมลงไปต้องมีคุณสมบัติดังต่อไปนี้ คือ สามารถขัดขวางปฏิกิริยาของแบคทีเรียได้, ช่วยเพิ่มประจุและเพิ่มพลังงานระหว่างอนุภาคยางกับส่วนที่เป็นน้ำได้ เพื่อส่งเสริมสภาพการเป็นสารคอลลอยด์ของน้ำยาพารา, มีสภาพเป็นต่าง, สามารถทำให้อนุผลของพวกโลหะไม่ก่อให้เกิดปฏิกิริยา สารที่นิยมใช้ในการป้องกันการสูญเสียสภาพของน้ำยาพารา มีดังนี้

1. แอมโมเนีย

มีลักษณะเป็นก๊าซ มีฤทธิ์เป็นด่าง ทำให้เกิดการระคายเคืองจมูก เตรียมใช้งานโดยการละลายในน้ำ ทำให้น้ำยาพารา มีความเสถียรมากขึ้น และช่วยกำจัดแมงน้ำในน้ำยาพารา โดยใช้ปริมาณ 0.01 - 0.05 เปอร์เซ็นต์ ต่อน้ำหนักน้ำยาพารา สามารถเก็บรักษาน้ำยาได้ 3 - 10 ชั่วโมง หากต้องการเก็บนาน 1 - 2 วัน ต้องใช้ปริมาณ 0.15 เปอร์เซ็นต์ ต่อน้ำหนักน้ำยาพารา

2. พอร์มัลดีไฮด์

มีลักษณะเป็นก๊าซ เตรียมใช้งานในรูปของก๊าซละลายน้ำ เรียกว่า พอร์มาลิน เข้มข้น 38 - 40 เปอร์เซ็นต์ ระหว่างการเก็บสามารถเปลี่ยนรูปเป็นกรดพอร์มิกได้ ดังนั้น ก่อนใช้งานต้องทำให้เป็นกลางด้วยโซเดียมคาร์บอเนต หรือโซเดียมซัลไฟท์ โดยใช้งานเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์ ก็มีความสามารถในการทำลายแบคทีเรียได้

3. โซเดียมซัลไฟท์

เตรียมให้อยู่ในรูปสารละลายเข้มข้น 3 - 5 เปอร์เซ็นต์ น้ำหนักต่อปริมาตร โดยใช้ใต้น้ำยาพารา 0.02 - 0.08 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก (เทียบกับเนื้อยางแห้ง) แนะนำให้ใช้ที่ 0.05 เปอร์เซ็นต์ ต่อน้ำหนักน้ำยาพารา โดยส่วนแรกให้หยดลงไปใต้น้ำยาพารา และส่วนที่เหลือให้ใส่ลงในถังรวบรวมน้ำยาพารา และให้เตรียมใช้งานวันต่อวัน

4. โซเดียมคาร์บอเนต

มีลักษณะเป็นผลสีขาว มีฤทธิ์เป็นด่างอ่อนๆ สามารถลดปริมาณกรดที่เกิดขึ้นในน้ำ ยางพาราได้ สามารถเก็บรักษาน้ำยางพาราได้ในระยะเวลาช่วงสั้นๆ 1 - 2 ชั่วโมง ถ้าใช้ปริมาณสูงเกินไป จะเก็บรักษาได้นานขึ้น

5. บอแรกซ์

มีลักษณะเป็นผงสีขาว มีฤทธิ์เป็นด่างอ่อนๆ สามารถทำลายเชื้อแบคทีเรียได้ และสามารถเก็บรักษาน้ำยางพาราโดยไม่ทำให้น้ำยางมีสีเข้ม

สารที่ผสมลงไปในน้ำยางเพื่อป้องกันการสูญเสียสภาพของน้ำยางพารา ทั้ง 5 ชนิดที่กล่าวมา มีทั้งที่อยู่ในสถานะก๊าซและของแข็ง ซึ่งไม่สามารถผสมลงไปในน้ำยางพาราที่เป็นสารคอลลอยด์ประเภทของเหลวได้ จึงต้องมีการเตรียมให้อยู่ในรูปของสารคอลลอยด์ประเภทของเหลว จะเห็นว่าในการเตรียมสารนั้นต้องเตรียมของเหลวที่เป็นน้ำ ดังที่กล่าวมา ดังนั้นการผสมน้ำลงไป ในน้ำยางพาราจึงเป็นเรื่องปกติในกระบวนการป้องกันการสูญเสียสภาพของน้ำยางพารา

2.3.2 สารที่ผสมลงไปเพื่อทำให้น้ำยางแข็งตัว

การทำให้น้ำยางพาราแข็งตัว คือ การทำให้น้ำยางสูญเสียสภาพน้ำยาง โดยการเร่งปฏิกิริยาบักเตรีของน้ำยาง ทำให้เกิดการแยกส่วนกันของส่วนที่เป็นน้ำยางพาราและส่วนที่เป็นชีรัม โดยปกติแล้วจะใช้สารที่มีสภาพเป็นกรด อันได้แก่

1. กรดฟอร์มิก

กรดฟอร์มิกหรือกรดมต เป็นกรดอินทรีย์ ประเภทกรดคาร์บอกซิลิก ที่โครงสร้างไม่ซับซ้อน มีสูตรโมเลกุลว่า CH_2O_2 และเรียกตามระบบ IUPAC ว่า กรดเมทาโนอิก (Methanoic acid) สามารถพบตามธรรมชาติในสัตว์จำพวกมดและผึ้ง และสามารถสังเคราะห์ได้โดยจุลินทรีย์ในกระบวนการหมัก และการเผาไหม้ไม้เพื่อการรมควัน

2. กรดอะซิติก

กรดอะซิติกหรือกรดน้ำส้ม เป็นกรดอินทรีย์ ประเภท กรดคาร์บอกซิลิก มีสูตรโมเลกุลว่า CH_3COOH กรดอะซิติกเกิดจากกระบวนการหมักเอทิลแอลกอฮอล์ ด้วยแบคทีเรียแอซิโตแบคเตอร์ (Acetobacter) หรือจากการสังเคราะห์ทางเคมี

3. น้ำกรดชีวภาพ

กรดฟอร์มิก หรือกรดอะซิติก ที่ผสมลงไปเพื่อทำให้น้ำยางพาราแข็งตัวนั้น เมื่อเสร็จกระบวนการแล้ว จะต้องใช้น้ำจำนวนมากเพื่อล้างกรดออก เพราะหากมีกรดเหลือตกค้างอยู่ จะทำให้ผิวยางมีสีคล้ำ และยางเยิ้มเหนียวหลังอบแห้ง รวมถึงอาจทำให้เกิดอาการคันบริเวณผิวหนังที่สัมผัสกับกรด นอกจากนี้ น้ำที่มีกรดเจือปนที่ปล่อยทิ้งยังเป็นมลพิษต่อสิ่งแวดล้อมด้วย ดังนั้นการเลือกใช้ น้ำกรดชีวภาพ คือกรดที่ได้จากธรรมชาติ ก็จะช่วยลดผลกระทบต่างๆที่กล่าวมาได้ กรดที่เกิดขึ้นเอง

ตามธรรมชาติ เช่น กรดจากผลไม้ หรือพืชสวนครัว สามารถนำมาใช้เป็นสารช่วยในการทำให้น้ำ ยางพาราแข็งตัวได้ แต่กรดที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาตินั้นมีอายุการเก็บรักษาค่อนข้างสั้น ดังนั้นการ แปรรูปกรดที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติให้อยู่ในรูปของกรดชีวภาพ จะทำให้สามารถยืดอายุการเก็บ รักษา น้ำกรดจากผลไม้หรือพืชสวนครัวได้นานยิ่งขึ้น กรดชีวภาพสามารถทำให้น้ำยางแข็งตัวได้ เนื่องจากกรดชีวภาพมีความเป็นกรด เมื่อผสมลงในน้ำยางแล้วไม่มีกลิ่น และไม่ทำให้แสบตาหรือ ระคายเคืองผิวหนัง และยังเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม

2.4 คุณสมบัติของวัสดุของเหลวที่มีน้ำเป็นองค์ประกอบหลัก

วัสดุของเหลวที่มีน้ำเป็นองค์ประกอบหลัก คือวัสดุที่อยู่ในสถานะของเหลว โดยมี องค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นน้ำ และมีสารอื่นที่อาจจะเป็นของเหลว ของแข็ง หรือก๊าซ ปนอยู่ ซึ่งจะอยู่ ใน 2 รูปหลักๆ คือ สารละลาย และสารคอลลอยด์ (15)

2.4.1 ประเภทของวัสดุของเหลวที่มีน้ำเป็นองค์ประกอบหลัก

1. สารละลาย

สารละลายคือ ของผสมระหว่างสาร 2 ชนิด หรือ มากกว่า ที่มีความเป็นเนื้อ เดียวกัน ปริมาณของส่วนประกอบไม่คงที่ เปลี่ยนแปลงได้ในขอบเขตจำกัด ส่วนประกอบที่มีปริมาณ มาก หรือมีสถานะเดียวกันกับสารละลาย เรียกว่า ตัวทำละลาย (Solvent) ส่วนประกอบที่มีปริมาณ น้อยเรียกว่า ตัวถูกละลาย (Solute) สารละลายอาจมีตัวถูกละลาย มากกว่าหนึ่งชนิด ซึ่งอาจมีสถานะ เดียวกันหรือแตกต่างกันกับสารละลายก็ได้ เช่น อากาศเป็นสารละลายของแก๊สหลายชนิด แก๊สที่มีปริมาณ มากที่สุดคือ ไนโตรเจน (N_2) จึงจัดเป็น ตัวทำละลาย ส่วนแก๊สอื่น ๆ เช่น ออกซิเจน (O_2) คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และอื่น ๆ จัดเป็นตัวถูกละลาย สารละลายที่มี องค์ประกอบ 2 ชนิดเรียกว่า ทวิภาค (Binary solution) ส่วนสารละลายที่มีน้ำเป็นตัวทำละลาย เรียกว่า aqueous solution ซึ่งเราสามารถแยกส่วนประกอบของสารละลายออกจากกันได้โดยวิธี การกลั่น การระเหย การตกผลึก และการแพร่ของแก๊ส เป็นต้น ชนิดของสารละลาย (Types of solution) สารละลายแบ่งตามสถานะของสารได้เป็น 3 ชนิด คือ สารละลายแก๊ส (Gaseous solution) สารละลายของเหลว (Liquid solution) และสารละลายของแข็ง (Solid solution) (15)

2. สารคอลลอยด์

คอลลอยด์ เป็นสารผสมที่อนุภาคมีขนาดใหญ่กว่าขนาดอนุภาคของตัวถูกละลาย ในสารละลายแต่เล็กกว่าขนาดอนุภาคของสารแขวนลอย ขนาดอนุภาคคอลลอยด์ประมาณ 10^{-7} ถึง 10^{-4} เซนติเมตร (ขนาดอนุภาคของตัวถูกละลายในสารละลายเล็กกว่า 10^{-7} เซนติเมตร) ไม่ สามารถแยกอนุภาคคอลลอยด์ด้วยกระดาษกรองธรรมดาได้ แม้จะตั้งทิ้งไว้นานเท่าใดก็ไม่ตกนอนก้น ภาชนะ คอลลอยด์มีสมบัติกระเจิงแสงได้ เรียกปรากฏการณ์นี้ว่า ปรากฏการณ์ทินดอลล์ (Tyndall

effect) ในเวลากลางคืนถ้าเราขับรถไปในถนนที่มีฝุ่นละอองมาก จะมองเห็นแสงจากไฟหน้ารถพุ่งเป็นลำออกไป นั่นคือปรากฏการณ์ทินดอลล์ ของฝุ่นละอองที่ลอยอยู่ในอากาศ ตัวอย่างของคอลลอยด์ในชีวิตประจำวัน เช่น นมสดซึ่งประกอบไปด้วยอนุภาคของไขมัน โปรตีน แร่ธาตุ น้ำตาลนม อนุภาคเหล่านี้รวมตัวอยู่ในของเหลวซึ่งเป็นน้ำ และไม่สามารถรอดผ่านรูของกระดาษกรองธรรมดาได้ คอลลอยด์มีการเคลื่อนไหวอย่างไม่สม่ำเสมอ ไม่เป็นเส้นตรง เนื่องจากการชนกันตลอดเวลา เรียกว่า การเคลื่อนไหวแบบบราวเนียน สาเหตุที่อนุภาคคอลลอยด์เคลื่อนที่ชนกัน แต่ไม่รวมกัน เพราะอนุภาคเหล่านี้มีประจุไฟฟ้าชนิดเดียวกัน (15)

1. ชนิดของคอลลอยด์

อนุภาคคอลลอยด์อาจเป็นของแข็ง ของเหลว หรือแก๊ส แต่ระบบคอลลอยด์ที่มีตัวกลางเป็นแก๊สกับแก๊สไม่มีเพราะแก๊สสามารถผสมกับแก๊สได้เป็นสารละลาย ไม่ใช่คอลลอยด์ ระบบคอลลอยด์แบ่งได้ดังนี้

1. โซลส์ (Sols) เป็นระบบคอลลอยด์ซึ่งมีอนุภาคคอลลอยด์เป็นของแข็งแขวนลอยในของเหลว เช่น น้ำแป้ง (แป้งในน้ำ) โปรตีนในน้ำ

2. อิมัลชัน (Emulsion) เป็นระบบคอลลอยด์ซึ่งอนุภาคคอลลอยด์เป็นของเหลว แขวนลอยในของเหลว เช่น น้ำมันแขวนลอยในน้ำส้มสายชู นมสด (ประกอบด้วย ไขมัน โปรตีน แขวนลอยในน้ำ)

3. เจล (Gel) เป็นระบบคอลลอยด์ ซึ่งอนุภาคคอลลอยด์เป็นของแข็งแขวนลอยในของเหลว แต่อนุภาคคอลลอยด์มีขนาดใหญ่ เช่น โปรตีน เจลาติน (Gelatin) อนุภาคเหล่านี้เมื่อผสมกับน้ำจะพองตัวมีลักษณะเหมือนกาว เช่น เยลลี่ แป้งเปียก

4. แอโรโซล (Aerosol) เป็นระบบคอลลอยด์ ซึ่งอนุภาคคอลลอยด์อาจเป็นของแข็งหรือของเหลวก็ได้แขวนลอยในแก๊ส เช่น ควัน หมอก สเปรย์ต่าง ๆ

1. โฟมของเหลว เป็นระบบคอลลอยด์ที่มีอนุภาคแก๊สแขวนลอยในของเหลว เช่น ฟองสบู่

2. โฟมของแข็ง เป็นระบบคอลลอยด์ที่มีอนุภาคแก๊สแขวนลอยในของแข็ง เช่น ฟองน้ำ สบู่ก้อน

2. เสถียรภาพของคอลลอยด์

การที่อนุภาคคอลลอยด์สามารถแขวนลอยในตัวกลางได้อย่างเสถียรนั้น มีเหตุมาจากปัจจัยหลายปัจจัยที่มีผลต่อเสถียรภาพของคอลลอยด์ ซึ่งอาจจำแนกได้เป็น 2 ประเภท คือ

1. ระบบคอลลอยด์ที่มีเสถียรภาพในตัวเอง (Self-stabilization) ตัวอย่างระบบคอลลอยด์ประเภทนี้ ได้แก่ กาว แป้งเปียก และสบู่ ซึ่งเกิดระบบคอลลอยด์ที่เสถียรในตัวกลางที่เป็นน้ำได้ สบู่เป็นเกลือโซเดียมของกรดคาร์บอกซิลิก ซึ่งอะตอมของคาร์บอนจับกันเป็นโซ่ยาว

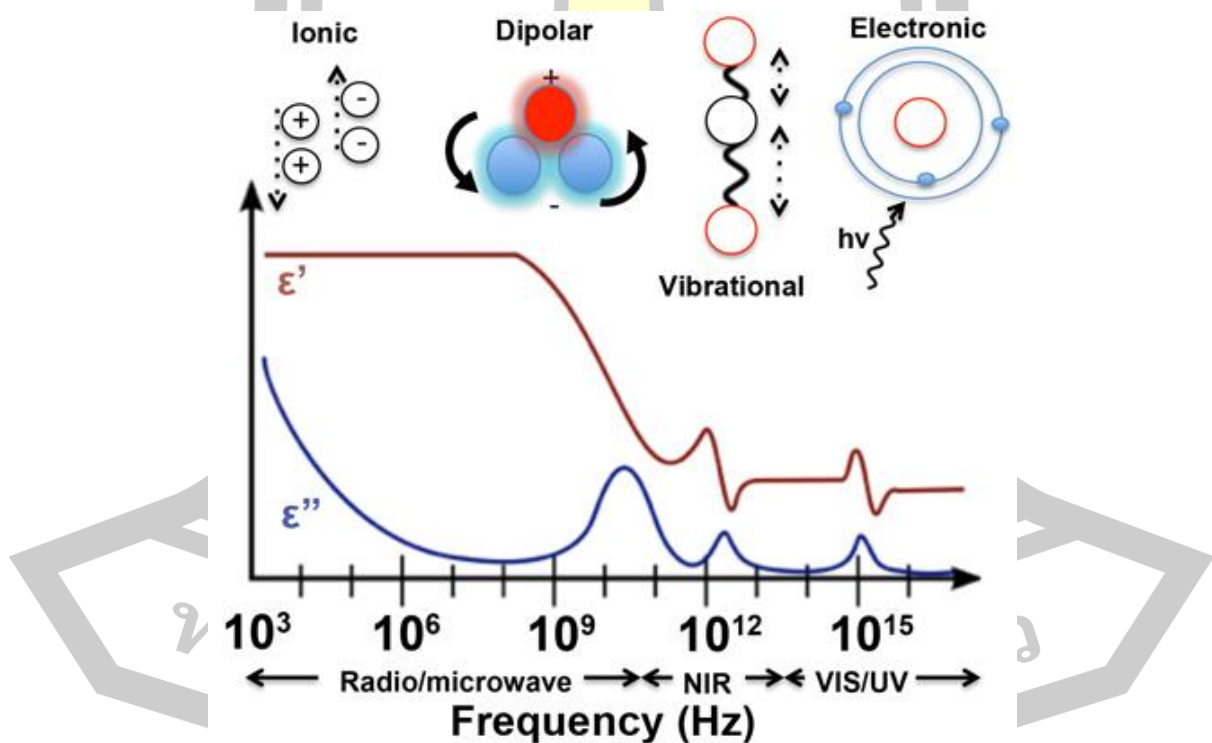
2. ระบบคอลลอยด์ที่มีเสถียรภาพเนื่องจากสารอื่น ระบบคอลลอยด์ประเภทนี้ยังแบ่งออกได้ดังนี้

1. คอลลอยด์ที่มีสารอื่นป้องกัน (Protective colloids) ตัวอย่างเช่น หยดน้ำมันไม่สามารถเกิดสถานะคอลลอยด์ในน้ำได้ แต่ถ้าเติมสบู่ลงไปแล้วคนให้ผสมเป็นเนื้อเดียวกัน โมเลกุลของสบู่จะเกิดสถานะคอลลอยด์ ขณะเดียวกันส่วนที่ไม่มีหัวของสบู่จะละลายหยดน้ำมันได้ ทำให้หยดน้ำมันสามารถกระจายตัวอยู่ในน้ำได้อย่างถาวร และเป็นระบบคอลลอยด์ ลักษณะเช่นนี้เรียกสบู่ว่าเป็น โพรเทกทิพคอลลอยด์

2. คอลลอยด์ที่ดูดซับไอออน (Absorbed ion) การดูดซับเป็นปรากฏการณ์ที่ไอออน อะตอม หรือโมเลกุลไปเกาะติดกับผิวของของแข็ง หรือของเหลว

2.4.2 พฤติกรรมของวัสดุของเหลวที่มีน้ำเป็นองค์ประกอบหลัก เมื่อคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าส่งผ่าน

พฤติกรรมเหล่านั้นสามารถอธิบายได้ในรูปคุณสมบัติทางไฟฟ้าของวัสดุ (5) แสดงดังภาพประกอบ 11



ภาพประกอบ 11 พฤติกรรมของวัสดุของเหลวที่มีน้ำเป็นองค์ประกอบหลัก
เมื่อคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าส่งผ่าน

จากภาพประกอบ 11 จะเห็นว่าในช่วงความถี่ที่ต่ำกว่าความถี่ของสัญญาณไมโครเวฟ ส่วนจริงของค่าสภาพยอมทางไฟฟ้า ซึ่งเป็นหนึ่งในคุณสมบัติทางไฟฟ้าของวัสดุจะไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง เนื่องจากอนุภาคที่อยู่ในวัสดุที่มีน้ำเป็นองค์ประกอบหลักจะจับตัวกันอยู่ในรูปพันธะไอออนิก (Ionic bond) เมื่อมีสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่ส่งผ่านวัสดุเหล่านี้ ขั้วไฟฟ้าแต่ละขั้วของพันธะไอออนิก จะถูกดูดไปยังขั้วตรงข้ามของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่ตกค่อมวัสดุอยู่ ดังนั้นเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าขึ้นมากขนาดไหนพลังงานที่สะสมอยู่ในรูปพลังงานพันธะของวัสดุนั้นก็จะคงที่ และพลังงานที่เพิ่มขึ้นจากความเข้มข้นของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่เหล็กก็จะแพร่กระจายออกจากวัสดุ ในรูปแบบที่เรียกว่า ส่วนจินตภาพของค่าสภาพยอมทางไฟฟ้า (5)

ส่วนในช่วงของความถี่ต่ำของความถี่ไมโครเวฟ ในช่วงความถี่ประมาณ $10^9 - 10^{10}$ เฮิรตซ์ นั้นอนุภาคที่อยู่ในวัสดุที่มีน้ำเป็นองค์ประกอบหลักจะจับตัวกันในรูปแบบพันธะไดโพลาร์ (Dipolar bond) ซึ่งเป็นพันธะที่มีสองขั้วจับกันอยู่ และสามารถทำให้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเกิดการเปลี่ยนแปลงการโพลาไรเซชัน อันเกิดจากกาหมุนเปลี่ยนขั้วของไดโพลาร์ตามสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่ส่งผ่านวัสดุนั้น ทำให้การสะสมและการสูญเสียพลังงานในวัสดุนั้นมีการเปลี่ยนแปลงในทิศทางตรงกันข้ามกันตามที่แสดงในภาพประกอบ 10 ซึ่งเป็นช่วงกราฟที่อธิบายการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติเชิงไฟฟ้าของวัสดุของเหลวที่มีน้ำเป็นองค์ประกอบหลักได้ดีที่สุด (5)

และในช่วงความถี่ส่วนท้าย ที่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ส่งผ่านวัสดุมีความถี่สูงกว่า 10^{10} เฮิรตซ์ นั้นอนุภาคที่อยู่ในวัสดุที่มีน้ำเป็นองค์ประกอบหลักจะจับตัวกันในรูปแบบพันธะไวเบรชันนอล (Vibrational bond) และอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic bond) ต่อไป ซึ่งในช่วงดังกล่าวเป็นช่วงที่พันธะของขั้วของอนุภาคจะเริ่มขาดออกจากกัน และขาดออกจากกันตามลำดับ ทำให้กราฟที่อธิบายพฤติกรรมของวัสดุของเหลวที่มีน้ำเป็นองค์ประกอบหลักในช่วงนี้จะเกิดการแปลงแปลงตลอดเวลา และอย่างรวดเร็วเมื่อเทียบกับช่วงความถี่อื่นๆ (5) ดังแสดงในภาพประกอบ 11

2.5 การหาปริมาณเนื้อเยื่อแห้งในน้ำยางพาราในปัจจุบัน

การวัดค่าปริมาณเนื้อเยื่อแห้งในน้ำยางพาราในปัจจุบัน มีอยู่ด้วยกันหลายวิธี ดังต่อไปนี้

2.5.1 การหาเปอร์เซ็นต์เนื้อเยื่อแห้งโดยวิธีการอบตัวอย่างให้แห้งตามข้อกำหนดมาตรฐาน (The standard laboratory method)

วิธีการนี้ให้ความแม่นยำสูง และใช้เวลา 1 - 2 วัน จึงจะทราบผล ซึ่งมีวิธีการวัดคือ ชั่งน้ำยางพารา 10 กรัม หยดกรดอะซิติก 2 เปอร์เซ็นต์ จนยางจับตัว รีดยางให้เป็นแผ่นบางหนา 2 มิลลิเมตร นำไปล้างน้ำให้สะอาด แล้วอบที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 16 ชั่วโมง นำมาทำให้แผ่นยางแห้ง และชั่งน้ำหนักหาเปอร์เซ็นต์ยางแห้ง จากสูตร

$$\text{เปอร์เซ็นต์ยางแห้ง (\%)} = \frac{\text{น้ำหนักของเนื้อยางแห้ง (กรัม)}}{\text{น้ำหนักของน้ำยางพารา (กรัม)}} \times 100 \% \quad (1)$$

วิธีการวัดวิธีนี้มีความถูกต้องแม่นยำสูง เพราะได้รับมาตรฐานในการวัดจาก British Standard, BS 1672:1972, American Society for Testing and Materials, ASTM D 1076:77 และ International Standard ISO 126-1972 (E) แต่ก็มีข้อเสียคือใช้ระยะเวลาานานเพื่อที่จะทราบผลการวัด (3)

2.5.2 การวัดค่าปริมาณเนื้อยางแห้งในน้ำยางพาราโดยการหาค่าความหนาแน่นของน้ำยางพารา ด้วยเครื่องมือวัดที่เรียกว่า เมโทรแล็ค (Metrolac)

เมโทรแล็ค ประกอบด้วย ส่วนที่เป็นกระเปาะแก้วที่บรรจุปรอทเป็นตัวน้ำหนักไว้ข้างใน และส่วนที่เป็นก้านเป็นส่วนที่มีสเกลบอกค่าเปอร์เซ็นต์เนื้อยางแห้ง ในหน่วยกรัมต่อลิตร เมโทรแล็คจะใช้หลักการการวัดค่าถ่วงจำเพาะของน้ำยางพาราเพื่อหาค่าความหนาแน่นของน้ำยางพาราและแปลงมาเป็นสเกลวัดค่าเปอร์เซ็นต์เนื้อยางแห้งในส่วนก้าน ซึ่งเปอร์เซ็นต์เนื้อยางแห้งจะมีค่าแปรผกผันกับค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำยางพารา หมายถึง ค่าเปอร์เซ็นต์เนื้อยางแห้งจะสูงขึ้น แต่ค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำยางพาราจะลดลง ในทางกลับกันค่าเปอร์เซ็นต์เนื้อยางแห้งจะต่ำลง แต่ค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำยางพาราจะเพิ่มขึ้น ดังนั้นถ้า เมโทรแล็คจมลงในน้ำยางพารามาก ก็หมายความว่าน้ำยางมีเปอร์เซ็นต์เนื้อยางแห้งมาก จะเห็นว่าวิธีนี้มีกระบวนการวัดที่รวดเร็ว ใช้เวลาในการวัดต่อ 1 ตัวอย่างน้ำยางพาราเพียง 10 – 15 นาที แต่มีค่าสัมประสิทธิ์ความเบี่ยงเบนสูงถึงร้อยละ 14.2 เพราะหาค่าความถ่วงจำเพาะที่วัดได้อาจเปลี่ยนแปลงได้ง่าย ตามปัจจัยอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง ที่ไม่ได้เกิดจากค่าปริมาณเนื้อยางในน้ำยางพาราเพียงอย่างเดียว ดังต่อไปนี้ (3)

- อุณหภูมิ
- องค์ประกอบอื่น ๆ ที่ไม่ใช่ยาง
- สารอื่น ๆ ที่มีการเติมแต่งเข้าไปโดยเจตนาหรือไม่เจตนา

ภาพประกอบ 12 แสดงเครื่องมือวัดเมโทรแล็ค และวิธีการวัดค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำ

ยางพารา

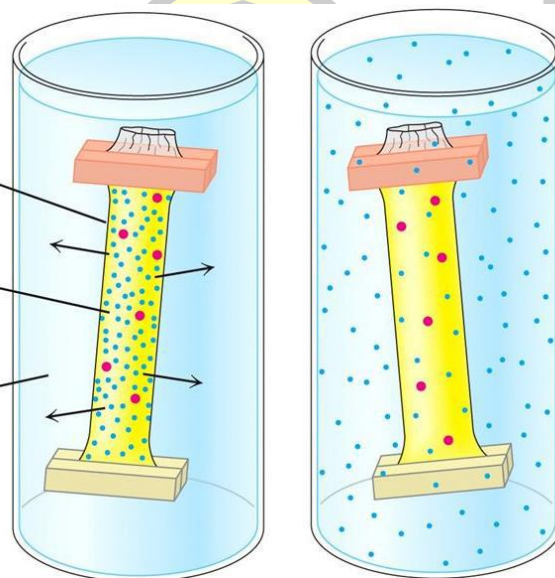
พหุ ประถมศึกษา



ภาพประกอบ 12 แสดงเครื่องมือวัดเมโทรแล็ค และวิธีใช้

2.5.3 การวัดค่าปริมาณเนื้อยางแห้งในน้ำยางพาราด้วยวิธีการแพร่กระจายของสารผ่านเยื่อ (The latex film dialysis)

วิธีการนี้จะหาค่าปริมาณเนื้อยางแห้งในน้ำยางพาราโดยการเติมน้ำในน้ำยางพาราแล้วหาแยกอนุภาคขนาดใหญ่ที่เป็นอนุภาคของยาง ของจากอนุภาคอื่นๆ โดยการให้อนุภาคอื่นๆ แพร่กระจายผ่านเยื่อเมมเบรน ที่จำกัดขนาดของอนุภาคที่สามารถผ่านได้ เนื่องจากการวัดด้วยวิธีนี้เป็นกระบวนการวัดด้วยวิธีเคมีชีวภาพ ดังนั้นความแม่นยำในการวัดขึ้นอยู่กับ การเลือกชนิดของเยื่อเมมเบรน เพราะน้ำยางที่เก็บในช่วงเวลาที่ต่างกัน อายุของต้นยางที่เก็บน้ำยางพาราต่างกัน และจากพื้นที่ปลูกยางที่ต่างกัน จะให้ขนาดของอนุภาคยางที่ต่างกัน (3) ดังอธิบายในหัวข้อ 2.2.1 ภาพตัวอย่างการแพร่กระจายของสารผ่านเยื่อแสดงดังภาพประกอบ 13



ภาพประกอบ 13 ตัวอย่างการแพร่กระจายของสารผ่านเยื่อ

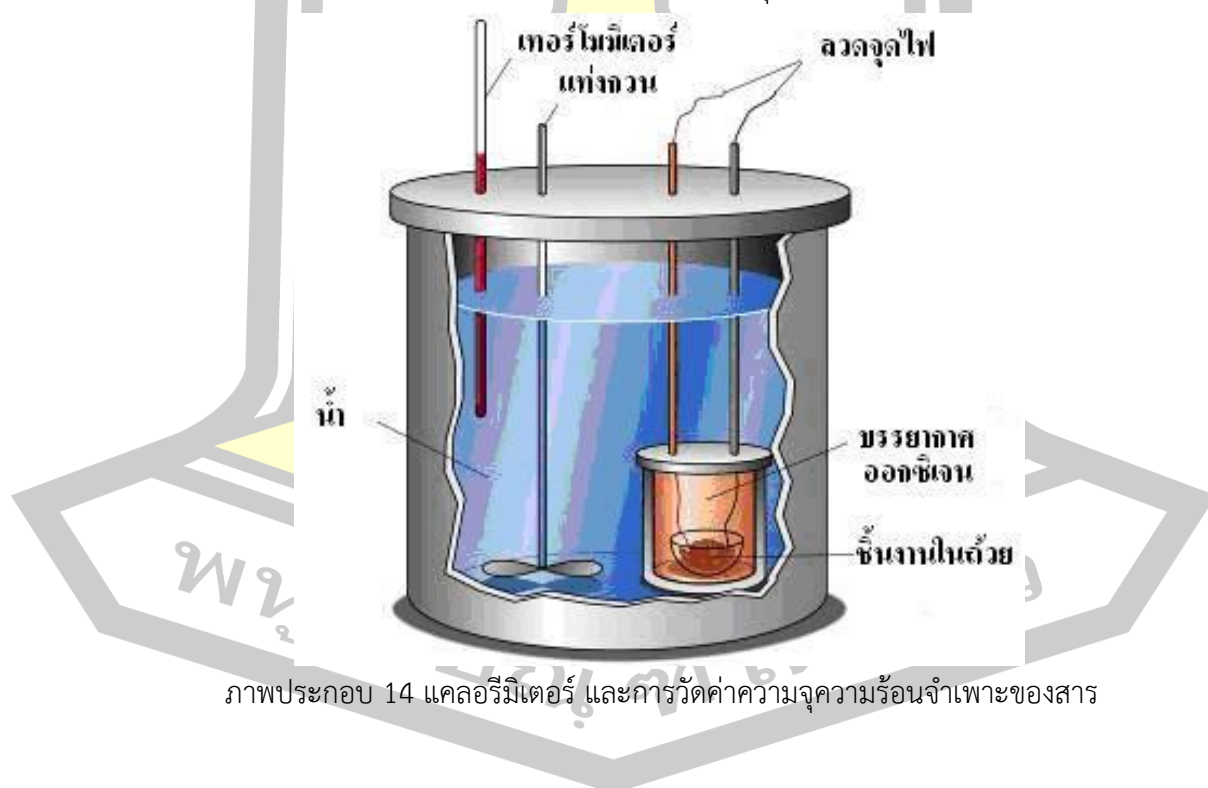
2.5.4 การวัดค่าปริมาณเนื้อยางแห้งในน้ำยางพาราด้วยวิธีการวัดค่าความจุความร้อนจำเพาะของน้ำยางพารา (The specific heat method)

การวัดค่าความจุความร้อนจำเพาะของสารเป็นวิธีการวัดทางเคมี โดยใช้เครื่องมือที่วัดที่เรียกว่า แคลอรีมิเตอร์ แสดงดังภาพประกอบ 14 ค่าความจุความร้อนจำเพาะของสาร (c) คือ สัดส่วนระหว่างพลังงานที่ต้องใช้ไป ΔQ แคลอรี เพื่อให้มวลในจำนวน m กรัม เปลี่ยนแปลงอุณหภูมิใน ΔT องศาเซลเซียส ดังสมการ

$$c = \frac{\Delta Q}{m\Delta T} \quad (2)$$

เมื่อ ΔQ คือ พลังงานที่ใช้ไป
 m คือ มวลของสารนั้น
 ΔT คือ อุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไป

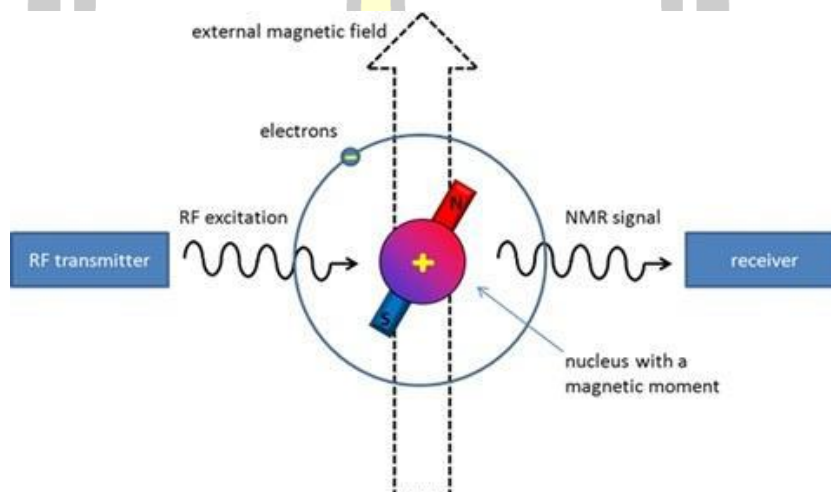
ซึ่งวิธีการวัดนี้จะแปลงค่าความจุความร้อนจำเพาะที่ได้มาเป็นค่าปริมาณเนื้อยางแห้งในน้ำยางพาราวิธีการนี้ต้องผ่านกระบวนการในห้องแล็บที่มีความยุ่งยากและซับซ้อน (3)



ภาพประกอบ 14 แคลอรีมิเตอร์ และการวัดค่าความจุความร้อนจำเพาะของสาร

2.5.5 การวัดค่าปริมาณเนื้อเยื่อแห้งในน้ำยางพาราด้วยวิธีการวัดค่าเรโซแนนซ์จากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีผลต่อคุณสมบัติเชิงนิวเคลียร์ของน้ำยางพารา (Nuclear Magnetic Resonance Spectroscopy, NMR)

วิธีนี้เป็นการวัดค่าความสามารถในการดูดกลืนคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในช่วงความถี่วิทยุ แล้วนำค่าที่ได้มาหาค่าความสัมพันธ์กับค่าปริมาณเนื้อเยื่อแห้งในน้ำยางพารา โดยหลักการของวิธีนี้คือ ส่งสัญญาณ NMR เข้าไปยังน้ำยางพารา แล้วดูผลการสปีนเปลี่ยนระดับพลังงานของอนุภาครอบๆ นิวเคลียสของยาง ซึ่งตอนเกิดการสปีนของอนุภาคก็จะเกิดเรโซแนนซ์ของการสั่นของอนุภาคขึ้น จากนั้นก็วัดความถี่เรโซแนนซ์ที่เกิดขึ้น ก็จะรู้องค์ประกอบต่างๆของน้ำยางพารา ซึ่งทำให้หาค่าปริมาณเนื้อเยื่อแห้งในน้ำยางพาราได้ (3) การทำ NMR กับสาร แสดงตัวอย่างดังภาพประกอบ 15



ภาพประกอบ 15 การวัดค่าความสามารถในการดูดกลืนคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในช่วงความถี่วิทยุ NMR

2.5.6 การวัดค่าปริมาณเนื้อเยื่อแห้งในน้ำยางพาราด้วยวิธีการไทเทรตสาร (The titration method)

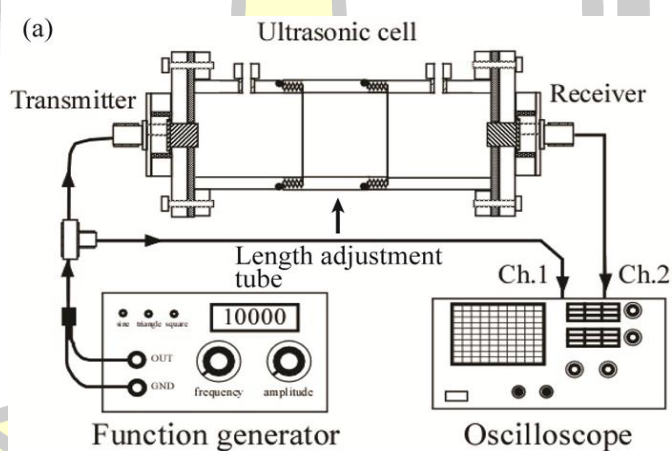
วิธีการนี้เป็นการหาค่าองค์ประกอบทางเคมีของน้ำยางพาราผ่านวิธีการไทเทรต แล้วนำมาหาค่าปริมาณเนื้อเยื่อแห้งในน้ำยางพารา การไทเทรต คือ คือ วิธีการทางปริมาณวิเคราะห์ ใช้ในการหาปริมาณของสารละลายมาตรฐาน (สารละลายที่เราทราบความเข้มข้นที่แน่นอนแล้ว) ที่ทำปฏิกิริยาพอดีกับสารละลายอื่นซึ่งทราบปริมาณ แต่ยังไม่ทราบความเข้มข้น เพื่อนำค่าปริมาตรที่ได้มาคำนวณหาความเข้มข้นของสารละลายอื่นนั้น ซึ่งในที่นี้คือการหาความเข้มข้นของน้ำยางพารา (3) ตัวอย่างการไทเทรตแสดงดังภาพประกอบ 16



ภาพประกอบ 16 ตัวอย่างการไทเทรตสาร

2.5.7 การวัดค่าปริมาณเนื้อย่างแห้งในน้ำยารพาราโดยเทคนิคการวัดด้วยคลื่นอัลตราโซนิค (The ultrasonic technique)

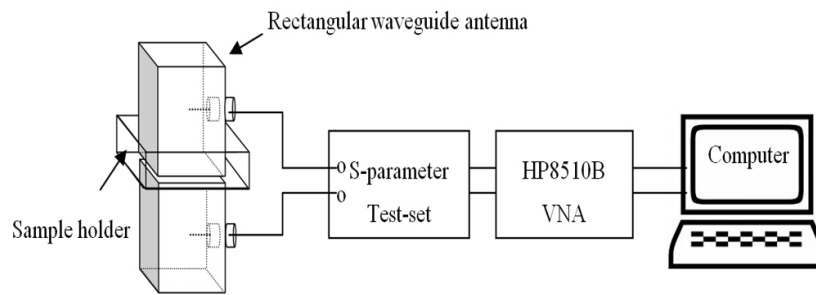
เทคนิคนี้จะใช้การวัดการส่งผ่านหรือการสะท้อนกลับของคลื่นอัลตราโซนิคในน้ำยารพารา แล้วหาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการลดทอนของคลื่นกับค่าปริมาณเนื้อย่างแห้งในน้ำยารพารา (3) แสดงดังภาพประกอบ 17



ภาพประกอบ 17 การวัดด้วยคลื่นอัลตราโซนิค

2.5.8 การวัดค่าปริมาณเนื้อย่างแห้งในน้ำยารพาราโดยเทคนิคการวัดด้วยคลื่นไมโครเวฟ (The microwave technique)

เทคนิคนี้จะใช้การวัดค่าพารามิเตอร์แบบกระจายจากการส่งคลื่นไมโครเวฟไปยังน้ำยารพารา แล้วหาความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์แบบกระจายกับค่าปริมาณเนื้อย่างแห้งในน้ำยารพารา (3) แสดงดังภาพประกอบ 18



ภาพประกอบ 18 การวัดด้วยคลื่นไมโครเวฟ

2.6 คุณสมบัติเชิงไฟฟ้าของวัสดุ

คุณสมบัติเชิงไฟฟ้าของสสารที่น่าสนใจ ประกอบไปด้วย ค่าสภาพยอมทางไฟฟ้า ค่าสภาพการนำไฟฟ้า และค่าคงที่เฟส

2.6.1 ค่าสภาพยอมทางไฟฟ้า (Permittivity, ϵ_r)

ค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าเป็นคุณสมบัติที่ใช้อธิบายพฤติกรรมของวัสดุอย่างหนึ่งค่าสภาพยอมทางไฟฟ้า คือค่าความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานที่ถูกเก็บกักไว้ในวัสดุและค่าพลังงานสูญเสียของวัสดุ อันเนื่องมาจากสนามแม่เหล็กไฟฟ้าจากภายนอกที่กระทำกับวัสดุนั้น (5)

ซึ่งค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าสามารถเขียนอยู่ในรูปสมการค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าสัมพัทธ์เชิงซ้อน (Complex Relative Permittivity,) ของวัสดุได้ดังนี้

$$\epsilon_r = \epsilon_r' + \epsilon_r'' \quad (3)$$

เมื่อ ϵ_r' คือ ส่วนจริงของค่าสภาพยอมทางไฟฟ้า ซึ่งจะบอกถึงพลังงานที่สะสมอยู่ในวัสดุ อันเนื่องมาจากสนามแม่เหล็กไฟฟ้าจากภายนอก

ϵ_r'' คือ ส่วนจินตภาพของค่าสภาพยอมทางไฟฟ้า หรือเรียกว่า ตัวประกอบการสูญเสียของไดอิเล็กตริก (Dielectric loss factor) เป็นค่าที่แสดงการสูญเสียพลังงานของวัสดุ อันเนื่องมาจากสนามแม่เหล็กไฟฟ้าจากภายนอก

2.6.2 ค่าสภาพการนำไฟฟ้า (Conductivity, σ)

ค่าสภาพการนำไฟฟ้าเป็นคุณสมบัติที่ใช้อธิบายพฤติกรรมการยอมให้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าส่งผ่านวัสดุไปได้ มีหน่วยเป็น ซีเมนส์ต่อเมตร (S/m) ซึ่งมีความสัมพันธ์กับส่วนจินตภาพของค่าสภาพยอมไฟฟ้า (5) ดังสมการ

$$\sigma = \omega \epsilon_r'' \quad (4)$$

เมื่อ σ คือ สภาพการนำไฟฟ้า

ω คือ ความถี่เชิงมุมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่กระทำต่อวัสดุ

2.6.3 ค่าคงที่การแพร่กระจาย (Propagation constant, γ)

ค่าคงที่การแพร่กระจาย คือ คือ คุณสมบัติเชิงไฟฟ้าอย่างหนึ่งที่บอกลักษณะการเป็นเปลี่ยนแปลงของแอมพลิจูดและเฟสของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เมื่อส่งผ่านวัสดุ ปริมาณที่วัดได้อาจเป็นแรงดันไฟฟ้า หรือกระแสไฟฟ้า ค่าคงที่การแพร่กระจายจะวัดการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนของแอมพลิจูดเชิงซ้อนของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าก่อนส่งผ่านวัสดุต่อแอมพลิจูดเชิงซ้อนของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเมื่อส่งผ่านวัสดุ ในรูปแบบลอการิทึม แสดงดังสมการ

$$\gamma = \frac{1}{X} \log \left(\frac{A_o}{A_x} \right) \quad (5)$$

เมื่อ X คือ ระยะทางในการเคลื่อนที่ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในวัสดุ
 A_o คือ แอมพลิจูดของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าก่อนส่งผ่านวัสดุ
 A_x คือ แอมพลิจูดของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเมื่อส่งผ่านวัสดุไปได้ระยะทาง X

เขียนในรูปความสัมพันธ์กับค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าได้

$$\gamma = \frac{\omega}{c} \sqrt{\frac{\epsilon_r}{\epsilon_0}} \quad (6)$$

c คือ ความเร็วของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า
 ϵ_0 คือ ค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าของสุญญากาศ
 และเขียนในรูปเชิงซ้อนได้

$$\gamma = \alpha + j\beta \quad (7)$$

เมื่อ α คือ ค่าคงที่การลดทอน
 β คือ ค่าคงที่เฟส

2.6.4 ค่าคงที่การลดทอน (Attenuation constant, α)

ค่าคงที่การลดทอน คือ ลักษณะการเป็นเปลี่ยนแปลงในทางแอมพลิจูดของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเมื่อส่งผ่านวัสดุ และเป็นส่วนจริงของค่าคงที่การแพร่กระจาย (Propagation constant) มีหน่วยเป็นเนเปอร์ต่อเมตร (Np/m) โดยที่ 1 เนเปอร์ มีค่าประมาณ 8.686 เดซิเบล ค่าคงที่การลดทอนสามารถหาได้จากอัตราส่วนของแอมพลิจูดของคลื่นก่อนส่งผ่านวัสดุต่อแอมพลิจูดของคลื่นเมื่อส่งผ่านวัสดุไประยะทางหนึ่งหน่วยในรูปแบบลอการิทึม แสดงดังสมการ

$$\alpha = \frac{1}{x} \log \left| \frac{A_o}{A_x} \right| \quad (8)$$

เมื่อ x คือ ระยะทางในการเคลื่อนที่ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในวัสดุ
 A_o คือ แอมพลิจูดของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าก่อนส่งผ่านวัสดุ
 A_x คือ แอมพลิจูดของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเมื่อส่งผ่านวัสดุไปได้ระยะทาง x

2.6.5 ค่าคงที่เฟส (Phase constant, β)

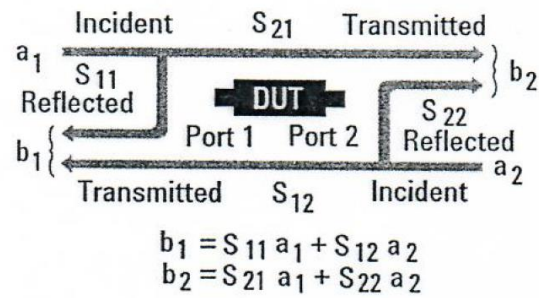
ค่าคงที่เฟส คือ ลักษณะการเป็นเปลี่ยนแปลงในทางเฟสของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเมื่อส่งผ่านวัสดุ อันเนื่องมาจากคุณสมบัติความไม่ต่อเนื่องในตัววัสดุทำให้ความยาวคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงไป และส่งผลทำให้เฟสเป็นแปลงไปด้วย ซึ่งแสดงถึงการเปลี่ยนแปลงของเฟสต่อระยะทางในการเดินทางของคลื่นในวัสดุในช่วงเวลาใดๆ ค่าคงที่เฟสมีหน่วยเป็น เรเดียนต่อเมตร (rad/m) และเป็นส่วนจินตภาพของค่าคงที่การแพร่กระจาย (Propagation constant) (10) แสดงดังสมการ

$$\beta = \frac{1}{x} \log \angle \left(\frac{A_o}{A_x} \right) \quad (9)$$

เมื่อ x คือ ระยะทางในการเคลื่อนที่ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในวัสดุ
 A_o คือ แอมพลิจูดของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าก่อนส่งผ่านวัสดุ
 A_x คือ แอมพลิจูดของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเมื่อส่งผ่านวัสดุไปได้ระยะทาง x

2.7 พารามิเตอร์แบบกระจัดกระจาย

การวัดค่าคุณสมบัติเชิงไฟฟ้าของวัสดุโดยใช้เทคนิคทางคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า โดยส่วนใหญ่จะใช้การวิเคราะห์เครือข่ายงานสื่อสารแบบหนึ่งช่องทาง (One-port network) และแบบสองช่องทาง (Two-port network) ขึ้นอยู่กับเทคนิคที่นำมาใช้ในการวัด โดยการวิเคราะห์เครือข่ายงานสื่อสารนี้เป็นการคำนวณค่าพารามิเตอร์แบบอิมพีแดนซ์ (z - parameters) ในรูปแบบของความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันที่ช่องทางที่ 1 และช่องทางที่ 2 ค่าพารามิเตอร์แบบกระจัดกระจาย (s - parameters) ที่มีความสำคัญต่อการวัดค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าสัมพันธ์ คือ S_{11} และ S_{21} (11) ค่าพารามิเตอร์แบบกระจัดกระจายสามารถแสดงได้ดังภาพประกอบ 19



ภาพประกอบ 19 แสดงการเกิดค่าพารามิเตอร์แบบกระจัดกระจาย

S_{11} คือ สัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับ (Reflection coefficients) เป็นค่าที่แสดงกำลังงานที่สะท้อนกลับจากวัสดุทดสอบของแต่ละความถี่ จากแหล่งกำเนิดในตำแหน่งที่ 1 กลับมายังตัวรับในตำแหน่งที่ 1

S_{21} คือ สัมประสิทธิ์การส่งผ่าน (Forward transmission coefficients) เป็นกำลังงานที่สามารถส่งผ่านวัสดุทดสอบของแต่ละความถี่จากแหล่งกำเนิดในตำแหน่งที่ 1 ไปยังตัวรับในตำแหน่งที่ 2

2.8 เทคนิคและวิธีในการวัดคุณสมบัติเชิงไฟฟ้าของวัสดุโดยการวัดพารามิเตอร์แบบกระจัดกระจาย

การวัดคุณสมบัติเชิงไฟฟ้าของวัสดุมี 2 วิธี และแต่ละวิธี ก็มีหลายเทคนิคซึ่งก็มีข้อดีข้อเสียแตกต่างกันไป ดังนี้

2.8.1 วิธีการแบบไม่ก้ำกร

วิธีการแบบไม่ก้ำกร (Non-resonant methods) คือ วิธีการวัดโดยใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ในการส่งไปยังวัสดุ แล้วใช้การวัดพารามิเตอร์แบบกระจัดกระจาย แทนการวัดการก้ำกรของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้านี้ ซึ่งมีเทคนิคในการวัดอยู่ 5 เทคนิค ดังนี้

1. เทคนิคสายส่งแบบปลายเปิด

เทคนิคนี้ถูกพัฒนาขึ้นในปี ค.ศ. 1982 โดย Maria A. Stuchly ซึ่งทำการวัดวัสดุทางชีวภาพในย่านความถี่สัญญาณวิทยุ หลักการของการวัดด้วยวิธีนี้จะอาศัยการวัดค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับ (S_{11}) โดยต้องต่อโพรบชนิดนี้เข้ากับเครื่องวิเคราะห์เครือข่ายงานสื่อสาร แล้วนำค่าที่ได้ไปคำนวณหาค่าสภาพยอมทางไฟฟ้า (12) เทคนิคนี้ได้มีการพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อนำมาวิเคราะห์มากมาย ตัวอย่างเช่น แบบจำลองแบบสายอากาศ และแบบจำลองแบบตัวเก็บประจุ เป็นต้น ซึ่งวงจรสมมูล และสมการของแบบจำลองตัวเก็บประจุ จะกล่าวในบทที่ 3 ต่อไป ตัวอย่างโพรบที่ใช้เทคนิคสายส่งแบบปลายเปิด คือโพรบแกนร่วมแบบปลายเปิด (13) ดังแสดงในภาพประกอบ



ภาพประกอบ 20 ตัวอย่างโพรบแกนร่วมแบบปลายเปิดโดยการออกแบบของ สมพร ศรีวิวัฒนพล

2. เทคนิคสายส่งแบบท่อนำคลื่นและแกนร่วม

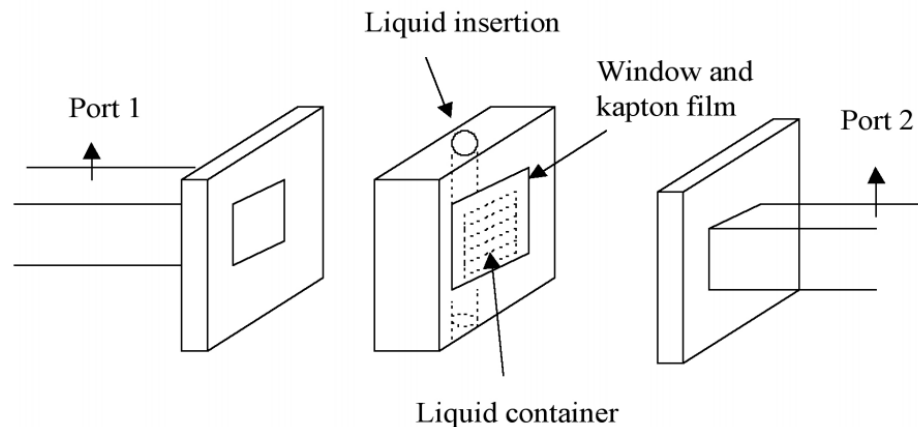
เทคนิคการวัดนี้ปรากฏครั้งแรกในปี ค.ศ. 1970 โดย A.M. Nicolson และ G.F. Ross โดยใช้เทคนิคนี้วัดคุณสมบัติของวัสดุในโดเมนของเวลา หลักการในการวัดค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าของเทคนิคนี้คือ ต้องนำวัสดุตัวอย่างใส่ไว้ในท่อนำคลื่นจากนั้นจะส่งผ่านคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากปลายท่อด้านหนึ่งแล้ววัดค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับ (S11) ที่กลับยังปลายท่อด้านนั้น และวัดค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่าน (S21) ยังปลายท่ออีกด้านหนึ่ง แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของเทคนิคนี้คือ Nicolson-Ross-Weir algorithm ซึ่งเป็นสมการหาค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าจากสัมประสิทธิ์การสะท้อน และสัมประสิทธิ์การส่งผ่าน (14) ดังสมการ

$$\epsilon_r = \frac{\Lambda \lambda_0^2 (1-\Gamma) \sqrt{(1/\lambda_0^2) - (1/\lambda_c^2)}}{(1+\Gamma)[(1/\lambda_0^2) - (1/\Lambda^2)]} \quad (10)$$

เมื่อ λ_0 คือ ความยาวคลื่นในอวกาศว่าง
 λ_c คือ ความยาวคลื่นคัทออฟ
 D คือ ความหนาของตัวอย่างที่ใส่เข้าไปในสายส่ง

$$\text{และ } \frac{1}{\Lambda^2} = - \left[\frac{1}{2\pi D} \ln \left(\frac{1}{\Gamma} \right) \right]^2 \quad (11)$$

แสดงตัวอย่างเทคนิคการวัดแบบท่อนำคลื่นและแกนร่วม (15) ดังภาพประกอบ 21



ภาพประกอบ 21 ตัวอย่างเทคนิคการวัดแบบท่อนำคลื่นและแกนร่วมของ Y. Wang และ M.N. Afsar

3. เทคนิคการส่งผ่านอวกาศว่าง

เทคนิคการวัดนี้ปรากฏเห็นในปี ค.ศ. 1990 โดย D.K. Ghodgaonkar V.V. Varadanand และ V.K. Varadan หลักการในการวัดด้วยเทคนิคนี้ คือต้องเตรียมวัสดุตัวอย่างให้มีลักษณะเป็นแผ่นแบนเรียบขนาดใหญ่มากกว่าปากแตรหรือปากท่อรับและส่งสัญญาณ หลังจากนั้นนำไปวางระหว่างปากท่อด้านส่งและด้านรับ ปรับระยะและตำแหน่งให้เหมาะสม แล้วทำการวัดค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับ (S11) ที่กลับยังปากท่อด้านส่งสัญญาณ และวัดค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่าน (S21) ยังปากท่ออีกด้านหนึ่ง คล้ายกลับเทคนิคการวัดแบบท่อนำคลื่นและแกนร่วม ดังแสดงในภาพประกอบ 22 ดังนั้นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของ Nicolson-Ross-Weir algorithm จึงใช้ได้กับวิธีนี้เช่นกัน (16) ซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

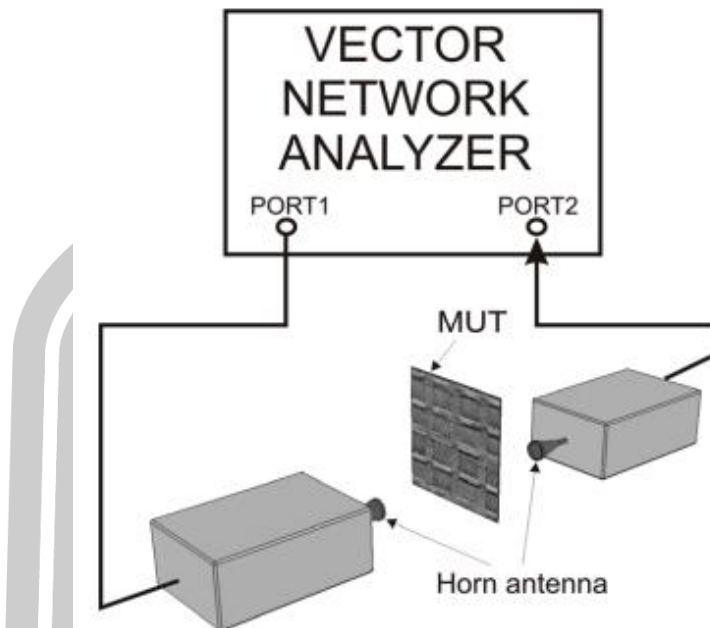
$$\epsilon_r = \frac{\ln(1/T)}{D\gamma_0} \left(\frac{1 - \Gamma}{1 + \Gamma} \right) \quad (12)$$

เมื่อ γ คือ ค่าคงที่การแพร่กระจายของตัวกลาง

γ_0 คือ ค่าคงที่การแพร่กระจายในอวกาศว่าง

D คือ ความหนาของวัสดุตัวอย่าง

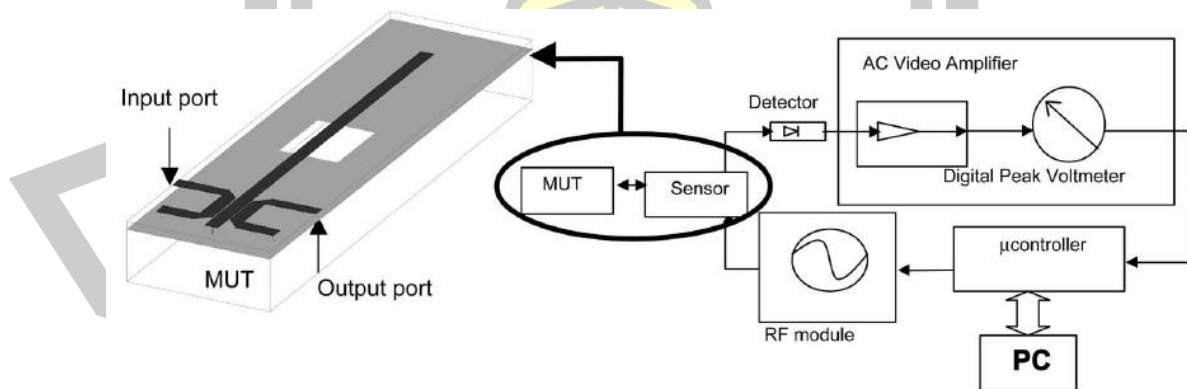
พหุ ประถม ๓๖



ภาพประกอบ 22 ตัวอย่างวิธีการวัดด้วยเทคนิคการส่งผ่านอวกาศว่างของ D.K. Ghodgaonkar V.V. Varadanand และ V.K. Varadan

4. เทคนิคสายส่งสัญญาณชนิดแผ่นเรียบ

เทคนิคการวัดแบบนี้เป็นเทคนิคที่ใหม่ล่าสุดที่ได้รับการพัฒนาขึ้นในศตวรรษที่ 21 นี้เอง โดยหลักการคือการดัดแปลงโพรบแกนร่วมแบบปลายเปิด ให้มาอยู่ในรูปของสายส่งสัญญาณชนิดแผ่นเรียบ โดยที่ตัวครอบด้านนอกในสายส่งสัญญาณชนิดแผ่นเรียบเปรียบเสมือนท่อแกนร่วมด้านนอกของโพรบแกนร่วมแบบปลายเปิด และไม่โครสตีปในสายส่งสัญญาณชนิดแผ่นเรียบเปรียบเสมือนกับท่อแกนร่วมด้านในของโพรบแกนร่วมแบบปลายเปิด (17) ดังแสดงในภาพประกอบ 23



ภาพประกอบ 23 แสดงตัวอย่างสายส่งสัญญาณชนิดแผ่นเรียบเปรียบ

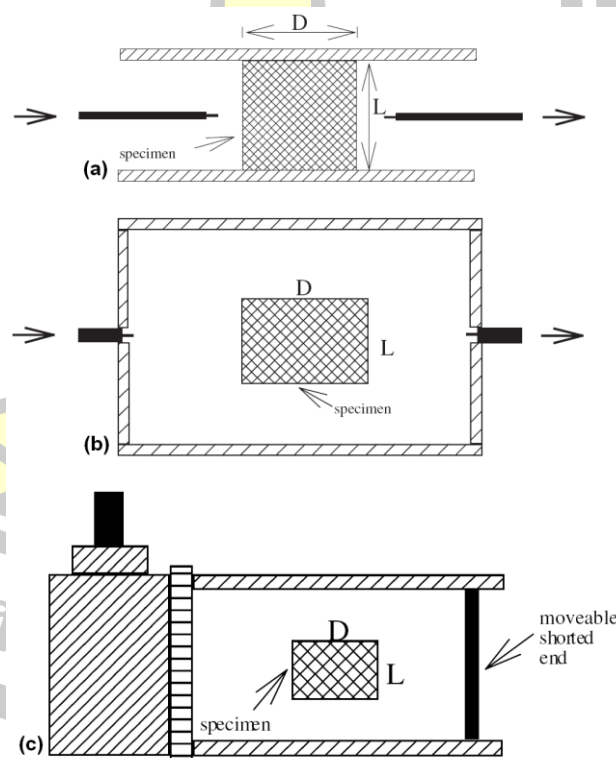
หลักการวัดด้วยเทคนิคนี้ก็เหมือนกับเทคนิคการวัดแบบสายส่งแบบปลายเปิด แต่ต่างกันตรงที่เทคนิคนี้สามารถวัดวัสดุตัวอย่างจำพวกของเหลวในปริมาณน้อยๆได้ ส่วนแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ก็เช่นเดียวกันเหมือนกับเทคนิคการวัดแบบสายส่งแบบปลายเปิด

2.8.2 วิธีการวัดแบบก้ำจร

สำหรับวิธีการก้ำจร (Resonant methods) อาศัยค่าของความถี่ก้ำจร (Resonant frequency) ที่เกิดจากการส่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าไปยังวัสดุ ความถี่ก้ำจรที่เกิดอาจเกิดที่ตัววัสดุเอง หรือเกิดที่ภาชนะที่ใส่วัสดุตัวอย่าง ซึ่งวิธีนี้ประกอบด้วย 2 เทคนิค ดังต่อไปนี้

1. เรโซเนเตอร์

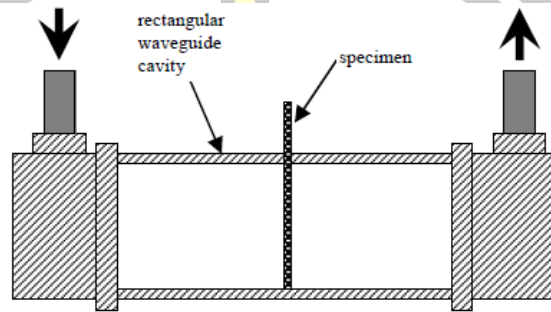
วิธีนี้จะใช้วัสดุที่นำมาทดสอบเป็นตัวเรโซเนเตอร์ นั่นคือความถี่ก้ำจรที่เกิดจะเป็นความถี่ก้ำจรของวัสดุตัวอย่าง เมื่อทำการวัดค่าพารามิเตอร์แบบกระจายจะได้อาจจากการวัดที่ความถี่ก้ำจรแต่ต่างจากความถี่อื่นๆ ซึ่งเทคนิคการวัดแบบเรโซเนเตอร์ก็สามารถแบ่งเป็นเทคนิคย่อยได้อีก 3 แบบ คือ แบบเรโซเนเตอร์ธรรมดา สามารถวัดได้โดยการนำวัสดุตัวอย่างแบบทรงกระบอกไปวางไว้ระหว่างแผ่นตัวนำ 2 แผ่น แล้วหาสมบัติของวัสดุตัวอย่างได้จากสมบัติของเรโซเนเตอร์ที่เกิดขึ้นแบบการก้ำจรในโพรงทรงกระบอก และแบบการก้ำจรโดยการสะท้อนท่อนำคลื่น ซึ่งทั้งสองแบบนี้จะใส่วัสดุตัวอย่างเข้าไว้ข้างโพรงโดยที่วัสดุตัวอย่างจะต้องไม่สัมผัสกับตัวป้องกันแบบโลหะ แล้วหาสมบัติของวัสดุตัวอย่างได้จากสมบัติของเรโซเนเตอร์ที่เกิดขึ้น เทคนิคการวัดทั้ง 3 แบบ (18) นี้แสดงดังภาพประกอบ 24



ภาพประกอบ 24 a) วิธีเรโซเนเตอร์ (b) เทคนิคการก้ำจรแบบโพรงทรงกระบอก (c) เทคนิคการก้ำจรแบบการสะท้อนท่อนำคลื่น

2. การรบกวนการกำธร

เทคนิคนี้ต่างจากเทคนิคเรโซเนเตอร์ตรงที่วัสดุตัวอย่างไม่ได้เป็นตัวเรโซเนเตอร์ แต่วัสดุตัวอย่างนั้นถูกใส่เข้าไปในภาชนะที่เป็นเรโซเนเตอร์ทำให้เกิดการเลื่อนของความถี่กำธรจากตำแหน่งเดิม ซึ่งการวัดค่าก็เป็นกรวัดค่าพารามิเตอร์แบบกระจาย (19) ดังแสดงในภาพประกอบ 25



ภาพประกอบ 25 เทคนิคการวัดแบบการรบกวนการกำธร

วิธีการและเทคนิคในการวัดคุณสมบัติเชิงไฟฟ้าของวัสดุจากที่กล่าว มีข้อดี-ข้อเสีย แตกต่างกันไป สามารถสรุปได้ดังตาราง 2 และ 3

ตาราง 2 ข้อดีของเทคนิคการวัดค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าในแต่ละเทคนิค

เทคนิคการวัด	วิธีการวัดไม่ซับซ้อน	ความแม่นยำสูง	ตรวจวัดแบบไม่ทำลาย	วัดได้หลายสถานะ	ช่วงความถี่กว้าง	ใช้ปริมาณตัวอย่างน้อย
สายส่งแบบปลายเปิด	/	/	/	/	/	/
สายส่งแบบท่อนำคลื่น				/	/	
การส่งผ่านอวกาศว่าง				/	/	
สายส่งสัญญาณชนิดแผ่นเรียบ	/	/	/	/	/	/
เรโซเนเตอร์		/		/		
การรบกวนการกำธร		/		/		/

จากตารางจะเห็นว่า มีเทคนิคในการวัดอยู่ 2 เทคนิค ที่มีข้อดีมาก นั่นคือ เทคนิคการวัดแบบสายส่งแบบปลายเปิด และเทคนิคการวัดแบบสายส่งสัญญาณชนิดแผ่นเรียบ

ตาราง 3 ข้อเสียของเทคนิคการวัดค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าในแต่ละเทคนิค

เทคนิคการวัด	การออกแบบสร้างชั้นซ้อน	วิธีการวัดชั้นซ้อน	ความแม่นยำต่ำ	ตรวจวัดแบบทำลาย	ความคลาดเคลื่อนในการวัด
สายส่งแบบปลายเปิด	/				/ (เกิดจากเกิดช่องว่างระหว่างพื้นที่ผิวสัมผัสของวัสดุตัวอย่างที่สัมผัสกับปลายเปิดของ โพรบ)
สายส่งแบบท่อนำคลื่น		/	/	/	/ (ถ้าขนาดของตัวอย่างที่เตรียมไว้เมื่อใส่เข้าไปในท่อนำคลื่นไม่พอดีกับหน้าตัดของท่อ)
การส่งผ่านอวกาศว่าง	/	/	/	/	/ (โอกาสในการเกิดความคลาดเคลื่อนในการวัดมีมากที่สุด เนื่องจากอาจเกิดการกระเจิงของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ขอบของวัสดุตัวอย่าง)
สายส่งสัญญาณชนิดแผ่นเรียบ	/				/ (เกิดจากเกิดช่องว่างระหว่างพื้นที่ผิวสัมผัสของวัสดุตัวอย่างที่สัมผัสกับปลายเปิดของ โพรบ)
เรโซเนเตอร์		/		/	/ (วัดได้ที่ละความถี่ และต้องเป็นวัสดุที่มีการสูญเสียเล็กน้อย)
การรบกวนการกำธร		/		/	/ (วัดได้ที่ละความถี่ และต้องเป็นวัสดุที่มีการสูญเสียเล็กน้อย)

จากตารางจะเห็นว่า มีเทคนิคในการวัดอยู่ 2 เทคนิค ที่มีข้อเสียน้อย นั่นคือ เทคนิคการวัดแบบสายส่งแบบปลายเปิด และเทคนิคการวัดแบบสายส่งสัญญาณชนิดแผ่นเรียบ

ดังนั้นผู้วิจัยจะเลือกเทคนิคใดเทคนิคหนึ่งจากสองเทคนิคนี้ ไปใช้ในการวัดคุณสมบัติเชิงไฟฟ้าของวัสดุ เพื่อนำไปหาความสัมพันธ์กับค่าปริมาณเนื้อเยื่อในน้ำยางพารา

2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับยางพารา

Jayanthi และคณะ ใช้ระบบคลื่นไมโครเวฟมาช่วยในการหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าของน้ำยางพารากับค่าปริมาณเนื้อยางแห้งในน้ำยางพารา อุปกรณ์ไมโครเวฟ ได้แก่ แหล่งจ่ายคลื่นไมโครเวฟ เครื่องวัดความถี่ ตัวเชื่อมต่อทิศทางเดียว (Directional Coupler) ท่อนำคลื่นแบบมีสล๊อต ระบบนี้ได้ทำการวัดระยะห่างระหว่างตำแหน่งที่เกิดค่าแรงดันต่ำสุดและแรงดันสูงสุดเพื่อนำมาคำนวณค่าสภาพยอมทางไฟฟ้า ระบบนี้มีความผิดพลาดสูง เนื่องจากความผิดพลาดจากการวัดระยะห่างระหว่างตำแหน่งที่เกิดค่าแรงดันต่ำสุดและแรงดันสูงสุด และเป็นที่ยอมรับกันว่าอุปกรณ์ไมโครเวฟมีราคาค่อนข้างสูง จึงไม่เหมาะสมนำมาใช้งานจริง (9)

สมพร ศรีวัฒนพล และคณะทำการวัดค่าคงที่ไดอิเล็กตริกของน้ำยางพาราโดยใช้ไมโครสตริปเรโซเนเตอร์วงแหวน และสร้างระบบการวัดสำหรับใช้งานภาคสนามในการวัดน้ำยางพาราสดสำหรับทดสอบความสัมพันธ์ของค่าคงที่ไดอิเล็กตริกกับปริมาณเนื้อยางแห้งในน้ำยางพารา (% DRC) โดยอ้างอิงมาตรฐาน ISO126:1995 ผลทดสอบพบมีความสัมพันธ์กันแบบแปรผกผันกันระหว่างค่าคงที่ไดอิเล็กตริก และค่าปริมาณเนื้อยางแห้งในน้ำยางพารา ระบบการวัดแบบนี้ทำให้ได้ระบบที่มีความถูกต้อง รวดเร็ว แต่มีความซับซ้อนของระบบ และอุปกรณ์ยังมีราคาแพงอีกด้วย (13)

Pattara Aiyarak และ Piti Sunheem ได้ออกแบบ และสร้างไมโครเวฟเซนเซอร์ เพื่อวัดพารามิเตอร์แบบกระจาย เพื่อหาความสัมพันธ์ของค่าการลดทอนของสัญญาณกับค่าปริมาณเนื้อยางแห้งในน้ำยางพารา ซึ่งได้ความสัมพันธ์ คือ ค่าการลดทอนของสัญญาณเป็นผกผันกับค่าปริมาณเนื้อยางแห้งในน้ำยางพาราในเชิงเส้น ที่ $R^2 = 0.9996$ (20)

Somwong Sahapong และคณะได้ออกแบบและสร้างตัวตรวจจับการปนเปื้อนของแป้งมันสำปะหลังในน้ำยางพารา โดยการวัดค่าปริมาณเนื้อยางแห้งในน้ำยางพารา โดยใช้เครื่องสะท้อนไมโครเวฟกับโพรบแกนร่วมแบบปลายเปิด ที่ความถี่ 1 กิกะเฮิร์ตซ์ (21)

Rejikumar และคณะ ได้ใช้ Differential Scanning Calorimeter ในการศึกษาค่าเอนทัลปี (Enthalpy) ของน้ำยางพาราสดที่เปลี่ยนแปลงไปภายใต้อุณหภูมิที่ถูกควบคุมไว้ โดยเปรียบเทียบค่านี้กับปริมาณเนื้อยางแห้งในน้ำยางพารา ระบบนี้มีความถูกต้อง รวดเร็ว แต่ด้วยเครื่องมือที่จะต้องอาศัยความชำนาญในการใช้งาน กอปรกับเครื่องมือมีราคาแพงจึงไม่เหมาะสมกับการนำมาใช้งานจริง (22)

Ikha Rasti Julia Sari และคณะใช้วิธีการวัดกระเจิงของแสงเมื่อส่งผ่านน้ำยางพารา ด้วยวิธี Full Width at Half Maximum (FWHM) เพื่อนำมาหาปริมาณเนื้อยางแห้งในน้ำยางพารา โดยพบว่าค่า FWHM มีความสัมพันธ์แบบเชิงเส้น เมื่อเทียบกับค่าปริมาณเนื้อยางแห้งในน้ำยางพารา ที่มีค่า $R = 0.9$ (23)

จากผลงานวิจัยที่ได้กล่าวมาแล้ว จะเห็นได้ว่า มีหลากหลายเทคนิคในการวัดเพื่อหาค่าปริมาณเนื้องอกในน้ำยางพารา และเทคนิคที่มีความแม่นยำ รวดเร็ว และใช้ปริมาณน้ำยางพาราที่นำมาวัดน้อย คือ เทคนิคการวัดโดยใช้คลื่นไมโครเวฟ แล้ววัดค่าพารามิเตอร์แบบกระจายกระจาย ซึ่งสามารถนำค่าพารามิเตอร์แบบกระจายกระจายนี้ไปหาค่าคุณสมบัติเชิงไฟฟ้าต่างๆได้ เช่น ค่าสภาพยอมทางไฟฟ้า ค่าสภาพการนำไฟฟ้า และค่าคงที่เฟส จากนั้นก็นำค่าคุณสมบัติเชิงไฟฟ้าต่างๆเหล่านี้มาหาความสัมพันธ์กับค่าปริมาณเนื้องอกในน้ำยางพารา โดยค่าความสัมพันธ์ดังกล่าวจะมีประโยชน์ในการประเมินคุณภาพของน้ำยางพาราสดแก่เกษตรกรและผู้รับซื้อ



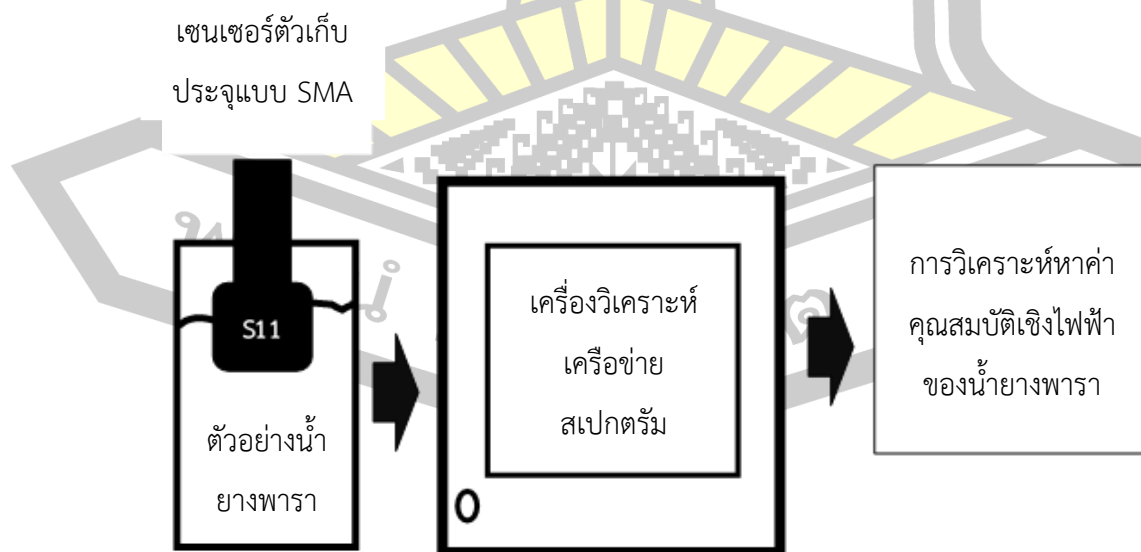
บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

ในบทนี้จะกล่าวถึงวิธีดำเนินการวิจัย ซึ่งประกอบด้วย การออกแบบวิธีการวัดค่าคุณสมบัติเชิงไฟฟ้าของน้ำยางพารา การแปลงค่าพารามิเตอร์แบบกระจายตัวเป็นค่าคุณสมบัติเชิงไฟฟ้า และการหาค่าปริมาณเนื้อยางแห้งในน้ำยางพารา ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.1 การออกแบบวิธีการวัดค่าคุณสมบัติเชิงไฟฟ้าของน้ำยางพารา

จากที่กล่าวมาในหัวข้อ 2.1 เรื่องน้ำยางพารา จะเห็นว่าน้ำยางพาราอยู่ในรูปสารคอลลอยด์ที่มีองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นเนื้อยาง และซีรัม ซึ่งทั้ง 2 ส่วนไม่ได้ละลายอยู่เป็นเนื้อเดียวกัน แต่ส่วนที่เป็นเนื้อยางจะเป็นลักษณะอนุภาคที่เกาะกลุ่มกันอยู่ มองไม่เห็นกลุ่มอนุภาคนั้นด้วยตาเปล่า และกลุ่มอนุภาคเหล่านี้จะเคลื่อนที่แบบบราวน์ (Brownian motion) ภายในซีรัม ดังนั้นเมื่อส่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในย่านความถี่ไมโครเวฟเข้าไปภายในน้ำยางพารา จะทำให้การไหลเวียนของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้างดงกล่าวมาในน้ำยางพารามีการเปลี่ยนแปลงไปเนื่องจากช่วงความถี่ดังกล่าว เป็นช่วงความถี่ที่ทำให้วัสดุของเหลวที่มีน้ำเป็นองค์ประกอบหลักอย่างน้ำยางพาราจะมีการจัดเรียงตัวกันของอนุภาคในรูปแบบไดโพล่าซึ่งมีผลต่อการไหลเวียนมากที่สุด แล้ววัดค่าพารามิเตอร์แบบกระจายกระจายของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ส่งไปยังน้ำยางพาราได้ ก็จะสามารถหาคุณสมบัติเชิงไฟฟ้าของน้ำยางพาราได้โดยใช้สมการทางคณิตศาสตร์ในการแปลง ดังที่กล่าวไว้ในหัวข้อ 2.5 และ 2.6 ขั้นตอนการวัดค่าคุณสมบัติเชิงไฟฟ้าของน้ำยางพารา แสดงดังภาพประกอบ 26



ภาพประกอบ 26 ขั้นตอนการวัดค่าคุณสมบัติเชิงไฟฟ้าของน้ำยางพารา

วิธีการและเทคนิคในการวัดคุณสมบัติเชิงไฟฟ้าของวัสดุโดยใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าวัดค่าพารามิเตอร์แบบกระจายได้กล่าวไว้แล้วในหัวข้อ 2.7 ซึ่งจะเห็นว่าแต่ละวิธีการและเทคนิควิธีก็มีข้อดีข้อเสียเล็กน้อยแตกต่างกันไป แต่มีอยู่ 2 เทคนิคในการวัดที่มีข้อดีมากที่สุด และข้อเสียที่น้อยที่สุดคือ เทคนิคการวัดแบบสายส่งแบบปลายเปิด และเทคนิคการวัดแบบสายส่งสัญญาณชนิดแผ่นเรียบ แต่การวัดน้ำยาพารานี้การใช้เทคนิคการวัดแบบสายส่งแบบปลายเปิดจะเหมาะสมมากกว่าเนื่องจากน้ำยาพารามีลักษณะเป็นคอลลอยด์เหนียวข้น ถ้าใช้วิธีการหยดลงบนปลายท่อของสายส่งสัญญาณชนิดแผ่นเรียบอาจทำให้การกระจายตัวของน้ำยาพาราไม่เต็มพื้นที่ของปลายท่อของสายส่งสัญญาณชนิดแผ่นเรียบ แต่ถ้าใช้เทคนิคการวัดแบบสายส่งแบบปลายเปิดสามารถนำเอาโพรบที่ออกแบบไปจุ่มวัดในตัวอย่างน้ำยาพาราที่ต้องการวัดได้เลย โพรบที่นำมาใช้วัดค่าพารามิเตอร์แบบกระจายโดยเทคนิคการวัดแบบสายส่งแบบปลายเปิด จะใช้โพรบแบบเซนเซอร์ตัวเก็บประจุแบบแกนร่วมที่ดัดแปลงมาจากคอนเน็คเตอร์สำหรับยึดบนแผ่นวงจรพิมพ์ความถี่สูงแบบ SMA (24) ลักษณะของเซนเซอร์ตัวเก็บประจุแบบแกนร่วมที่ดัดแปลงมาจากคอนเน็คเตอร์สำหรับยึดบนแผ่นวงจรพิมพ์ความถี่สูงแบบ SMA แสดงดังภาพประกอบ 27



ภาพประกอบ 27 ลักษณะของเซนเซอร์ตัวเก็บประจุแบบแกนร่วมที่ดัดแปลงมาจากคอนเน็คเตอร์สำหรับยึดบนแผ่นวงจรพิมพ์ความถี่สูงแบบ SMA

โดยเซนเซอร์ตัวเก็บประจุแบบแกนร่วมที่ดัดแปลงมาจากคอนเน็คเตอร์สำหรับยึดบนแผ่นวงจรพิมพ์ความถี่สูงแบบ SMA มีคุณสมบัติดังนี้ (24)

1. เป็นขั้วต่อสายนำสัญญาณที่มีขนาดเล็กทำจากทองเหลือง
2. ค่าอิมพีแดนซ์ภายใน 50 โอห์ม
3. หุ้มฉนวนด้วยเทฟลอนมีค่า ϵ เท่ากับ 2.08
4. ใช้งานได้ในย่านความถี่ ตั้งแต่ 0 – 23.76 กิกะเฮิรตซ์ (ย่านความถี่คลื่นไมโครเวฟ)
5. เส้นผ่านศูนย์กลางของพินเชื่อมต่อ 1.27 มิลลิเมตร
6. เส้นผ่านศูนย์กลางภายในของแกนนอก 4.30 มิลลิเมตร
7. ยาว 9.53 มิลลิเมตร

3.2 การแปลงค่าพารามิเตอร์แบบกระจายเป็นค่าคุณสมบัติเชิงไฟฟ้า

ค่าคุณสมบัติทางไฟฟ้าที่ต้องการหา มี 3 ค่า คือ ค่าสภาพยอมทางไฟฟ้า ค่าสภาพการนำไฟฟ้า และค่าคงที่เฟส โดยที่ ค่าพารามิเตอร์แบบกระจายที่วัดได้จากเซนเซอร์ตัวเก็บประจุแบบแกนร่วมที่ดัดแปลงมาจากคอนเน็คเตอร์สำหรับยึดบนแผ่นวงจรพิมพ์ความถี่สูงแบบ SMA สามารถแปลงเป็นค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าได้โดยใช้สมการ (24) ดังต่อไปนี้

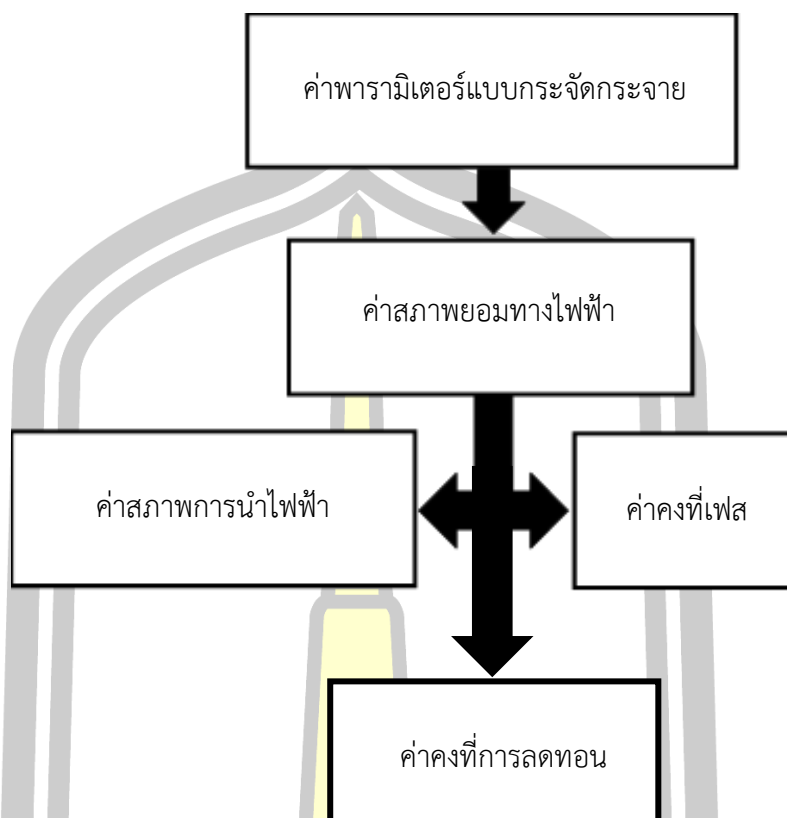
$$\frac{(\epsilon_D - \epsilon_A)(\epsilon_B - \epsilon_C)}{(\epsilon_D - \epsilon_B)(\epsilon_C - \epsilon_A)} = \frac{(S_{11b} - S_{11a})(S_{11b} - S_{11c})}{(S_{11b} - S_{11b})(S_{11c} - S_{11a})} \quad (13)$$

เมื่อ $S_{11a}, S_{11b}, S_{11c}, S_{11d}$ คือ ค่าพารามิเตอร์แบบกระจายที่วัดได้จาก อากาศ ,น้ำ ,เมทานอล และตัวอย่างน้ำยางพารา ตามลำดับ

$\epsilon_{11a}, \epsilon_{11b}, \epsilon_{11c}$ คือ ค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าของสารอ้างอิงที่ทราบค่า ได้แก่ อากาศ ,น้ำ และเมทานอลตามลำดับ

ϵ_{11b} คือ ค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าของตัวอย่างน้ำยางพาราที่ต้องการทราบค่า

จากนั้นนำค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าที่ได้ไปคำนวณหาค่าสภาพการนำไฟฟ้า และค่าคงที่เฟสตามสมการที่ 4 และ 5 ตามลำดับ ขั้นตอนการหาค่าคุณสมบัติเชิงไฟฟ้าของน้ำยางพารา แสดงดังภาพประกอบ 28



ภาพประกอบ 28 ขั้นตอนการหาค่าคุณสมบัติเชิงไฟฟ้าของน้ำยางพารา

3.3 การค่าปริมาณเนื้อยางแห้งในน้ำยางพารา

การหาปริมาณเนื้อยางแห้งในน้ำยางพารา ได้กล่าวมาแล้วในหัวข้อ 2.2 ซึ่งวิธีการที่ได้มาตรฐานที่สุดคือ การหาเปอร์เซ็นต์เนื้อยางแห้งโดยวิธีการอบตัวอย่างให้แห้งตามข้อกำหนดมาตรฐาน (The standard laboratory method) ผู้วิจัยจะใช้วิธีการนี้ในการหาค่าปริมาณเนื้อยางแห้งในน้ำยางพารา เพื่อนำไปเปรียบเทียบกับค่าคุณสมบัติเชิงไฟฟ้าที่วัดได้

ซึ่งมีกระบวนการดำเนินการอยู่ 2 ขั้นตอนดังนี้ คือเริ่มจากการเตรียมตัวอย่างน้ำยางพารา และขั้นตอนการหาเปอร์เซ็นต์เนื้อยางแห้งโดยวิธีการอบตัวอย่างให้แห้งตามข้อกำหนดมาตรฐาน (3)

3.3.1 การเตรียมตัวอย่างน้ำยางพารา

น้ำยางพารามีองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นเนื้อยาง และซีรัม ดังกล่าวมาแล้วในหัวข้อ 2.1 ดังนั้นการหาปริมาณเนื้อยางแห้งในน้ำยางพารา ยางพารา ก็คือการแยกส่วนที่เนื้อยางพารา ออกจากส่วนที่เป็นซีรัม ดังนั้นการหาโดยวิธีการอบตัวอย่างให้แห้งตามข้อกำหนดมาตรฐาน จึงทำโดยการชั่งน้ำหนักของน้ำยางพาราที่มีองค์ประกอบอยู่ครบทั้งสองส่วน และชั่งน้ำหนักของแผ่นยางพาราที่เกิดจากการนำส่วนที่เป็นซีรัมของน้ำยางพาราออกจากวิธีการรีดและอบแห้ง แล้วเอาน้ำหนักทั้ง 2 มาหา

อัตราส่วนของน้ำหนักของแผ่นยางพารา (ปริมาณเนื้อยางที่เหลืออยู่ในแผ่นยางพารา) ต่อน้ำหนักของน้ำยางพารา แสดงดังสมการ 1 ในหัวข้อ 2.2 จากที่กล่าวมาเมื่อมีการเติมน้ำผสมเข้าไปในน้ำยางพารา ย่อมทำให้ค่าปริมาณเนื้อยางแห้งในน้ำยางพาราลดลงเป็นอัตราส่วนตามอัตราส่วนน้ำที่ผสมในน้ำยางพารา

ดังนั้นการเตรียมตัวอย่างน้ำยางพารา จึงทำโดยการนำน้ำยางพาราสดจากสวนยางพาราที่กล่าวไว้ในขอบเขตงาน บทที่ 1 มาผสมน้ำกลั่นในอัตราส่วนโดยน้ำหนัก โดยเตรียมทั้งหมด 6 ตัวอย่าง ตัวอย่างละ 200 กรัม แต่ละตัวอย่างมีส่วนประกอบ แสดงดังตาราง 4 ตาราง 4 แสดงส่วนประกอบในตัวอย่างน้ำยางพาราทั้ง 6 ตัวอย่าง

ตัวอย่างที่	น้ำยางพาราสด (กรัม)	น้ำกลั่น (กรัม)	ค่า %DRC จากการคำนวณ (%)
1	200	0	35
2	183	17	32
3	166	34	29
4	149	51	26
5	131	69	23
6	114	86	20

ตัวอย่างน้ำยางพาราแสดงดังภาพประกอบ 29

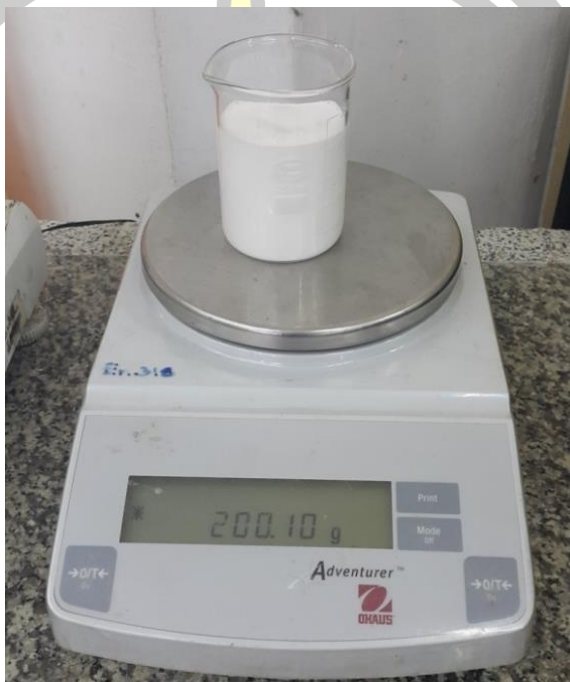


ภาพประกอบ 29 ตัวอย่างน้ำยางพารา 6 ตัวอย่าง

3.3.2 ขั้นตอนการค่าปริมาณเนื้อเยื่อแห้งในน้ำยางพาราโดยวิธีการอบตัวอย่างให้แห้งตาม
ข้อกำหนดมาตรฐาน

มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. เริ่มจากการเตรียมแผ่นยางพารา โดยนำตัวอย่างน้ำยางพารามาซึ่งให้ได้ประมาณ 200 กรัม
ใส่ในลงบีกเกอร์ ดังภาพประกอบ 30



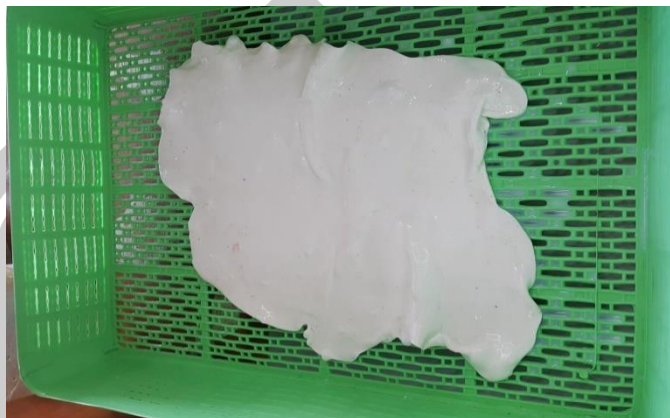
ภาพประกอบ 30 การเตรียมน้ำยางพาราเพื่อนำไปหาเปอร์เซ็นต์เนื้อเยื่อแห้ง

2. จากนั้นเติมกรดฟอร์มิกเข้มข้น 2 % พร้อมกับคนให้เข้ากัน จนยางจับตัว แล้วเทลงในถาด
ดังภาพประกอบ 31



ภาพประกอบ 31 น้ำยางพาราที่เริ่มจับตัวกันหลังจากเทใส่ถาด

3. แล้วทำการรีดยางให้เป็นแผ่นบางหนา 2 มิลลิเมตร และนำไปล้างน้ำให้สะอาด ดังภาพประกอบ 32



ภาพประกอบ 32 แผ่นยางที่ได้จากการรีดยางให้เป็นแผ่น

4. จากนั้นนำแผ่นยางที่ได้ไปอบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 16 ชั่วโมง ด้วยตู้อบอากาศร้อน ดังภาพประกอบ 33



ภาพประกอบ 33 การอบแผ่นยางด้วยตู้อบอากาศร้อน ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 16 ชั่วโมง

พหุ ประถมศึกษา

5. จากนั้นนำแผ่นยางแห้งไปไล่ความชื้นออกด้วยหม้อดูดความชื้น เป็นเวลา 30 นาที
ดังภาพประกอบ 34



ภาพประกอบ 34 หม้อดูดความชื้นที่ใช้ไล่ความชื้นออกจากแผ่นยางแห้ง

6. แล้วนำแผ่นยางแห้งที่ได้ไปชั่งน้ำหนักเพื่อหาน้ำหนักของแผ่นยางแห้ง โดยแผ่นยางแห้ง
แสดงดังภาพประกอบ 35



ภาพประกอบ 35 แผ่นยางแห้งที่พร้อมชั่งน้ำหนัก

7. แล้วคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ยางแห้ง ดังสมการที่ 2.1 ในหัวข้อ 2.2

บทที่ 4

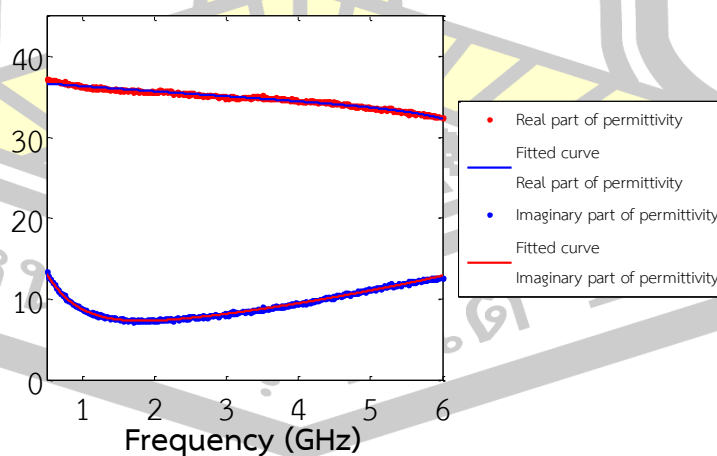
ผลการวิจัยและการอภิปราย

ในบทนี้จะกล่าวถึงผลการวัดค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับของตัวอย่างน้ำยางพาราด้วยเซนเซอร์ตัวเก็บประจุไฟฟ้าแบบแกนร่วม แล้วแปลงมาเป็นคุณสมบัติเชิงไฟฟ้าของตัวอย่างน้ำยางพารา และหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าคุณสมบัติเชิงไฟฟ้ากับค่าปริมาณเนื้อยางแห้งในน้ำยางพารา พร้อมทั้งวิเคราะห์และวิจารณ์ผลการทดลองที่ได้

4.1 ผลการวัดค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับของตัวอย่างน้ำยางพาราด้วยเซนเซอร์ตัวเก็บประจุไฟฟ้าแบบแกนร่วม

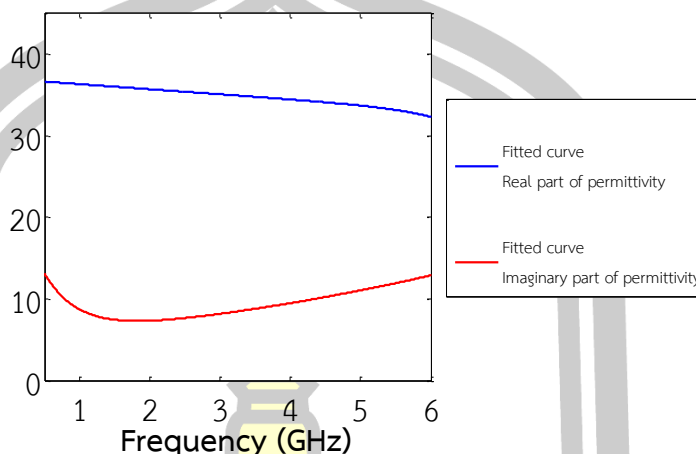
เมื่อวัดค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับของตัวอย่างน้ำยางพาราด้วยเซนเซอร์ตัวเก็บประจุไฟฟ้าแบบแกนร่วม ตัวอย่างละ 3 ซ้ำ แล้วแปลงมาเป็นค่าคุณสมบัติเชิงไฟฟ้าของตัวอย่างน้ำยางพาราทั้งหมด และหาความสัมพันธ์ของค่าคุณสมบัติเชิงไฟฟ้า กับค่าปริมาณเนื้อยางแห้งในน้ำยางพารา ตามหัวข้อดังต่อไปนี้

4.1.1 ผลการแปลงค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนเป็นค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าของน้ำยางพาราสด การทดสอบวัดค่าคุณสมบัติทางไฟฟ้าของน้ำยางพาราสด โดยทำการวัด 3 ซ้ำ ขั้นตอนการวัดค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับ และแปลงค่ามาเป็นค่าสภาพยอมทางไฟฟ้า เพื่อมาหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าสภาพยอมทางไฟฟ้ากับค่าปริมาณเนื้อยางแห้งในน้ำยางพารานั้น ได้กล่าวมาแล้วในหัวข้อ 3.1 – 3.2 ซึ่งได้ผลการวัดค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าน้ำยางพาราสด ดังภาพประกอบ 36



ภาพประกอบ 36 ค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าน้ำยางพาราสด

จากนั้นนำทั้งส่วนจริงและส่วนจินตภาพของค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าที่วัดของน้ำยางพาราสด นำมาหาเส้นโค้งที่เหมาะสมที่สุด เพื่อเป็นตัวแทนของค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าของน้ำยางพาราสด ได้ ดังภาพประกอบ 37



ภาพประกอบ 37 ค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าน้ำยางพาราสด จากการนำมาหาเส้นโค้งที่เหมาะสมที่สุด

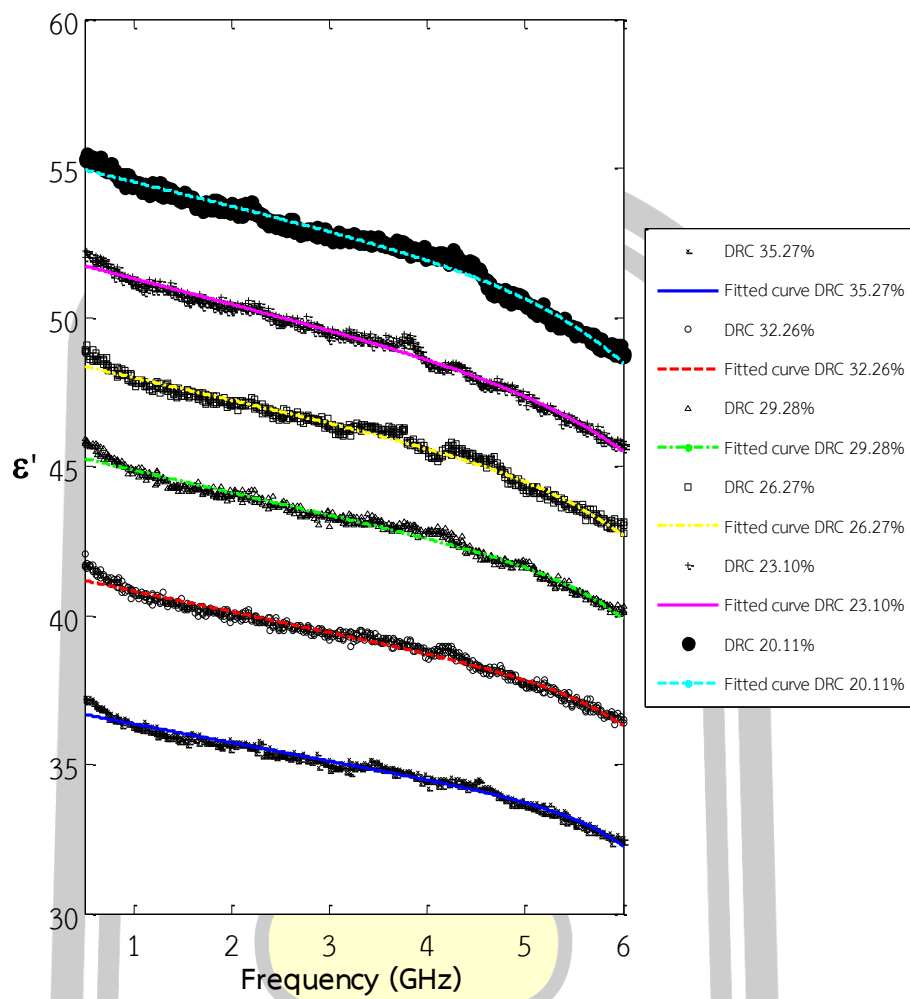
จากภาพประกอบ 37 จะเห็นว่า ส่วนจริงของค่าสภาพยอมทางไฟฟ้า จะมีค่าอยู่ในช่วง 32 – 38 ซึ่งน้อยกว่าส่วนจริงของค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าของน้ำ ที่มีค่าประมาณ 72 – 78 ในช่วงความถี่ 0.5 – 6 กิกะเฮิร์ตซ์ เนื่องจากยางพาราสดมีส่วนที่เป็นน้ำอยู่ประมาณร้อยละ 63 ทำให้ได้ส่วนจริงของค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าลดลง และส่วนจริงของค่าสภาพยอมทางไฟฟ้ามีค่าลดลงเมื่อความถี่เพิ่มขึ้นตลอดช่วงความถี่ 0.5 – 6 กิกะเฮิร์ตซ์ เนื่องจากเมื่อความถี่เพิ่มขึ้นพลังงานไฟฟ้าจะถูกส่งผ่านวัสดุของเหลวที่มีน้ำเป็นองค์ประกอบหลักได้มากขึ้นทำให้ส่วนจริงของค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าที่บ่งบอกถึงพลังงานที่สะสมในวัสดุลดน้อยลง ส่วนจินตภาพของค่าสภาพยอมทางไฟฟ้า จะอยู่ในช่วง 8 – 14 ตลอดช่วงความถี่ 0.5 – 6 กิกะเฮิร์ตซ์ ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับส่วนจินตภาพของสภาพยอมทางไฟฟ้าของน้ำ ที่มีค่าประมาณ 4 – 20 เนื่องจากส่วนจินตภาพคือค่าที่บ่งบอกการสูญเสียพลังงานของวัสดุอันเนื่องมาจากสนามแม่เหล็กไฟฟ้าจากภายนอก ซึ่งวัสดุของเหลวที่มีน้ำเป็นองค์ประกอบหลัก การสูญเสียพลังงานของวัสดุนั้นไม่ได้ขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำที่เปลี่ยนแปลงไปในวัสดุ แต่ถ้าปริมาณน้ำในวัสดุของเหลวที่มีน้ำเป็นองค์ประกอบหลักลดลงจะส่งผลให้การเปลี่ยนแปลงการสูญเสียพลังงานจะน้อยลงเมื่อความถี่ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ส่งผ่านเปลี่ยนแปลงไป จากภาพประกอบ 37 จะเห็นว่าส่วนจินตภาพของสภาพยอมทางไฟฟ้าของน้ำยางพาราสดจะเปลี่ยนแปลงประมาณ 6 หน่วย ในขณะที่ส่วนจินตภาพของสภาพยอมทางไฟฟ้าของน้ำเปลี่ยนแปลงไปถึงประมาณ 16 หน่วย ตลอดช่วงความถี่ที่เปลี่ยนแปลงไปตั้งแต่ 0.5 – 6 กิกะเฮิร์ตซ์ และส่วนจินตภาพของค่าสภาพยอมทางไฟฟ้ามีค่าลดลงเมื่อความถี่เพิ่มขึ้น ในช่วงความถี่ 0.5 – 1.8 กิกะเฮิร์ตซ์ เนื่องจากในช่วงความถี่ดังกล่าวอนุภาคที่อยู่ในน้ำยางจะอยู่ในรูปแบบอนุภาคไอออนิก ซึ่งเมื่อความถี่สูงขึ้นความเป็นประจุของอนุภาคไอออนิกจะ

แข็งแรงขึ้นและจะกักเก็บพลังงานไว้ในพันธะได้มากขึ้นทำให้การสูญเสียพลังงานน้อยลง และส่วนจินตภาพของค่าสภาพยอมทางไฟฟ้ามีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อความถี่เพิ่มขึ้น ในช่วงความถี่มากกว่า 1.8 – 6 กิกะเฮิร์ตซ์ เนื่องจากในช่วงความถี่นี้ อนุภาคที่อยู่ในน้ำยางพาราจะอยู่ในรูปแบบอนุภาคไดโพลาร์ โดยอนุภาคในรูปแบบนี้จะไม่กักเก็บพลังงานไว้ที่พันธะ แต่พลังงานจะเรียงตัวของอนุภาคนี้ให้มีทิศทางตามสนามไฟฟ้าที่ส่งผ่านเท่านั้น ทำให้พลังงานส่วนใหญ่จึงสูญเสียออกจากวัสดุ ยิ่งความถี่ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ส่งผ่านวัสดุมากขึ้นการจัดเรียงตัวยิ่งเป็นไป得更เร็วขึ้น และยังทำให้เกิดการสูญเสียพลังงานมากขึ้น ซึ่งค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าน้ำยางพาราสดทั้งส่วนจริง และส่วนจินตภาพ ในช่วงความถี่ 0.5 – 6 กิกะเฮิร์ตซ์ มีลักษณะเป็นไปตามกราฟค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าของวัสดุของเหลวที่มีน้ำเป็นองค์ประกอบหลักในช่วงความถี่ไมโครเวฟช่วงที่อนุภาคในของเหลวอยู่ในรูปอนุภาคไดโพลาร์ คล้ายกับภาพประกอบ 11

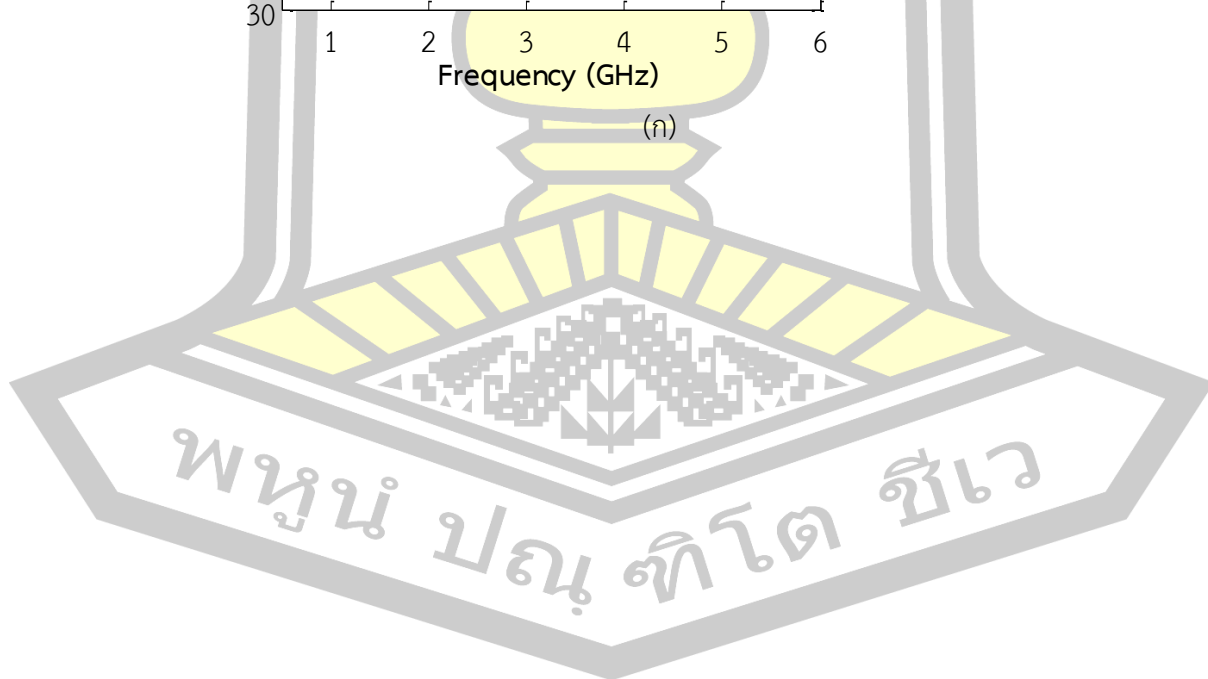
4.1.2 ผลการแปลงค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับเป็นค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าของตัวอย่างน้ำยางพารา

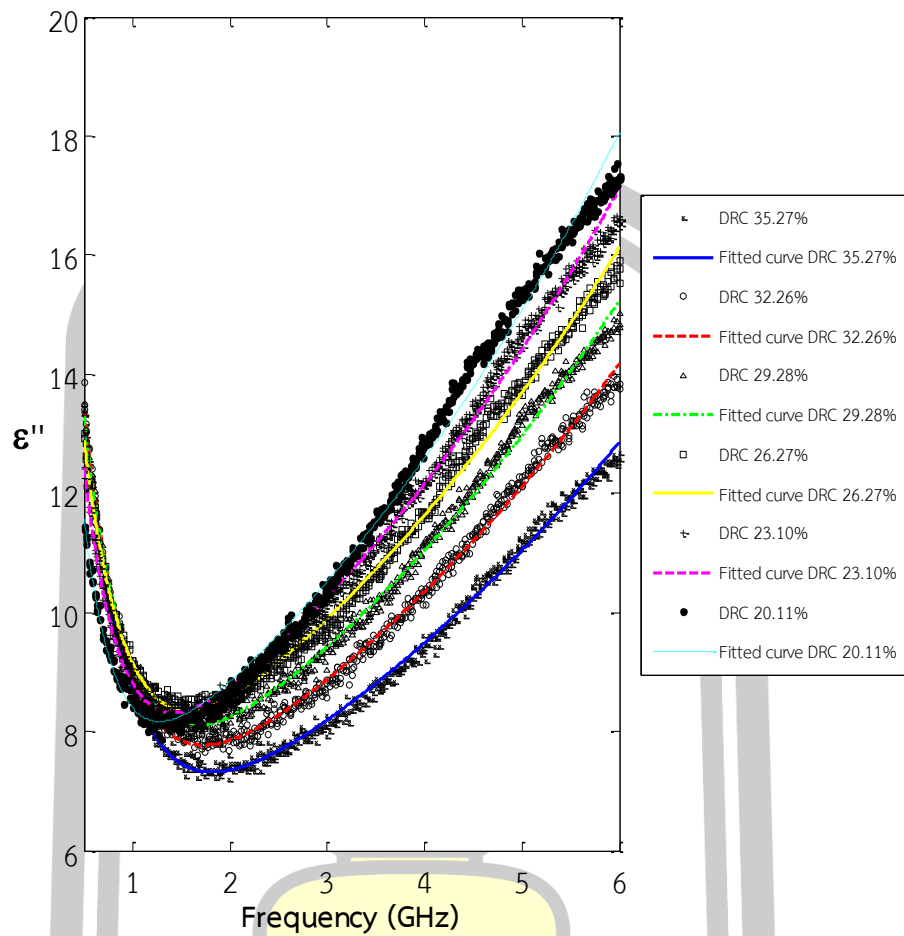
จากการเตรียมตัวอย่างน้ำยางพาราโดยการเติมน้ำผสมลงไปตามอัตราส่วนในตาราง 4 แล้วนำมาวัดค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับด้วยเซนเซอร์ตัวเก็บประจุไฟฟ้าแบบแกนร่วม ตัวอย่างละ 3 ซ้ำ แล้วนำมาแปลงเป็นค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าของตัวอย่างน้ำยางพารา แสดงดังภาพประกอบ





(ก)





(ข)

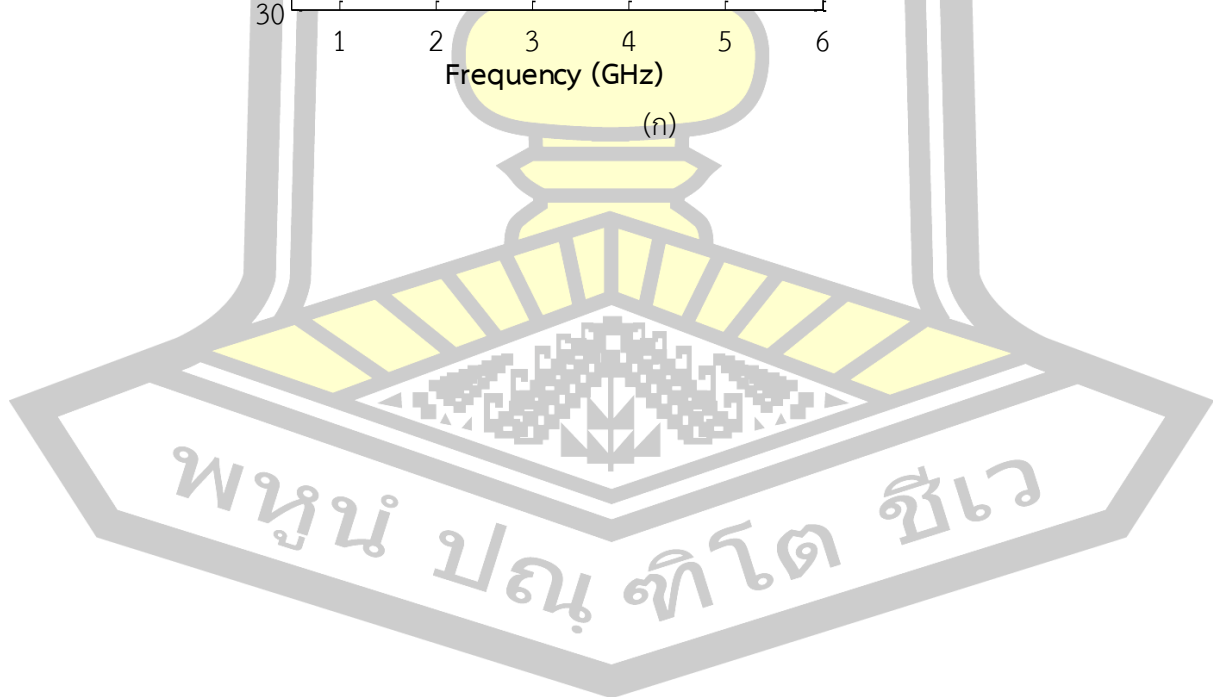
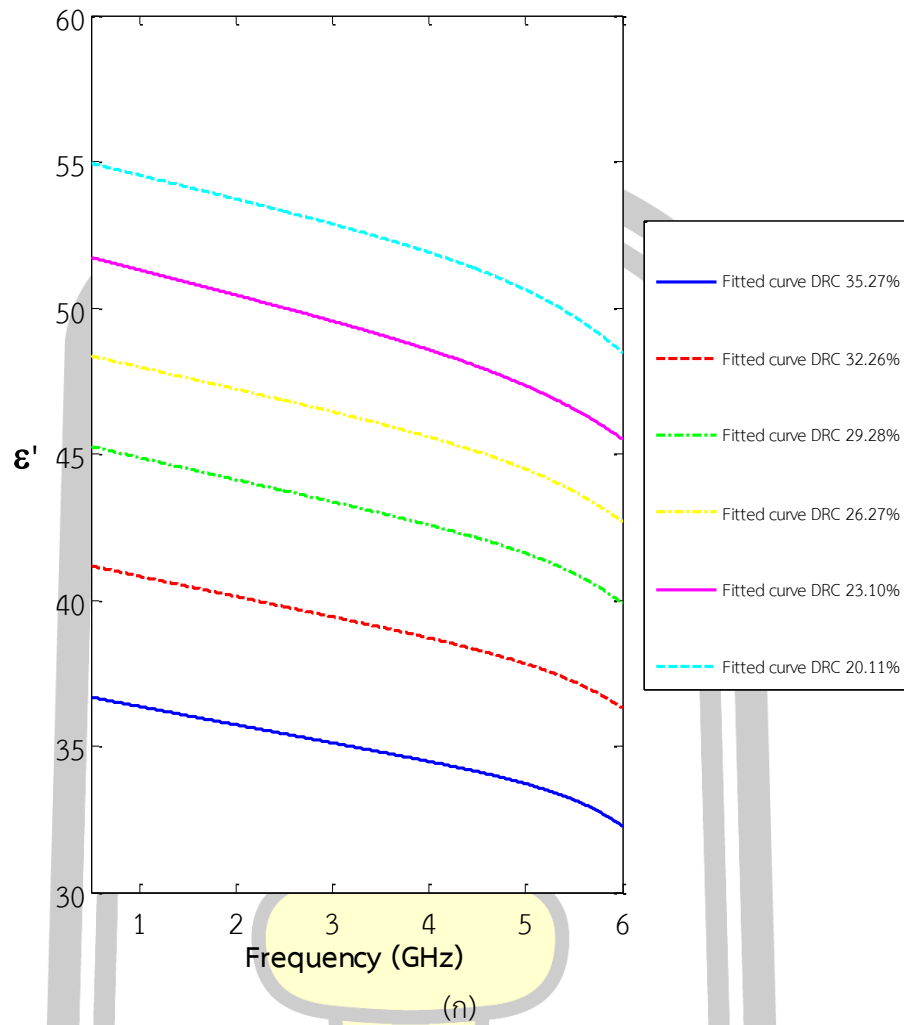
ภาพประกอบ 38 ความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ในช่วงความถี่ 0.5 – 6 กิกะเฮิรตซ์ ที่เปลี่ยนแปลงไป กับค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าที่ค่าปริมาณเนื้ออย่างแห้งในน้ำยางพาราต่างๆ

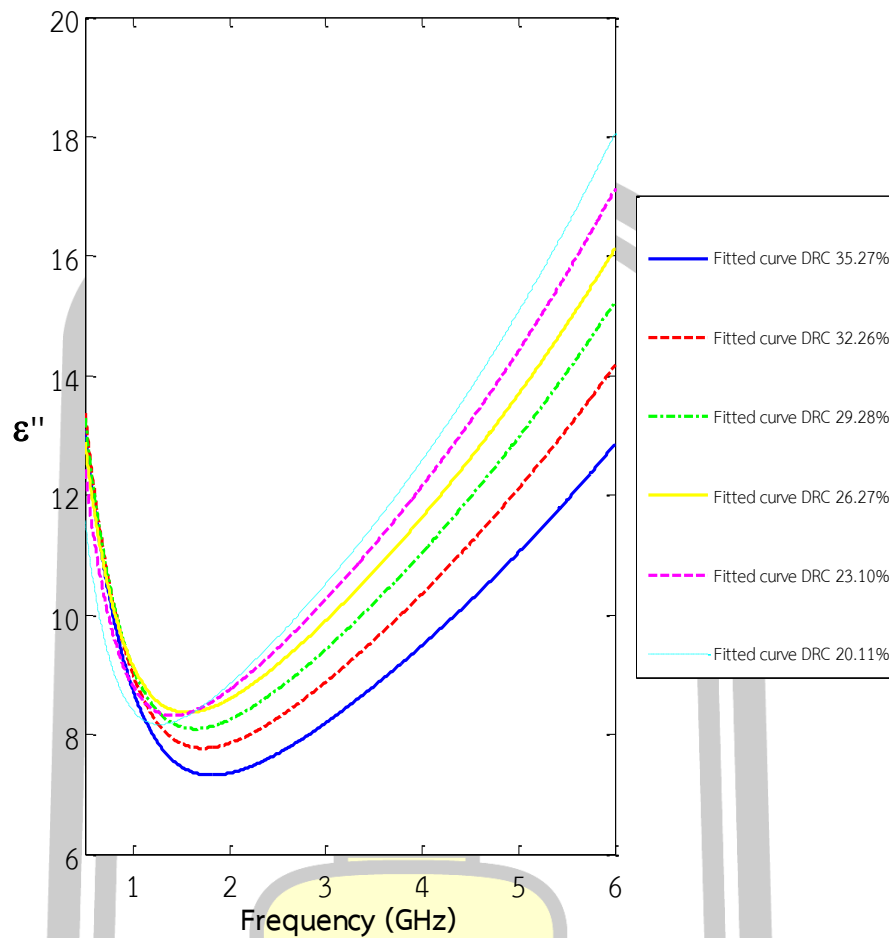
(ก) ส่วนจริงค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าของตัวอย่างน้ำยางพารา

(ข) ส่วนจินตภาพค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าของตัวอย่างน้ำยางพารา

จากนั้นนำทั้งส่วนจริงและส่วนจินตภาพของค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าที่วัดของแต่ละตัวอย่าง นำมาหาเส้นโค้งที่เหมาะสมที่สุด เพื่อเป็นตัวแทนของแต่ละตัวอย่าง แสดงดังภาพประกอบ 39

พหุ ประถม ศึกษาศาสตร์





(ข)

ภาพประกอบ 39 ความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ในช่วงความถี่ 0.5 – 6 กิกะเฮิร์ตซ์ ที่เปลี่ยนแปลงไป กับค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าที่ค่าปริมาณเนื้ออย่างแห้งในน้ำยางพาราต่างๆ จากการนำมาหาเส้นโค้งที่เหมาะสมที่สุด

(ก) ส่วนจริงค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าของตัวอย่างน้ำยางพารา จากการนำมาหาเส้นโค้งที่เหมาะสมที่สุด

(ข) ส่วนจินตภาพค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าของตัวอย่างน้ำยางพารา จากการนำมาหาเส้นโค้งที่เหมาะสมที่สุด

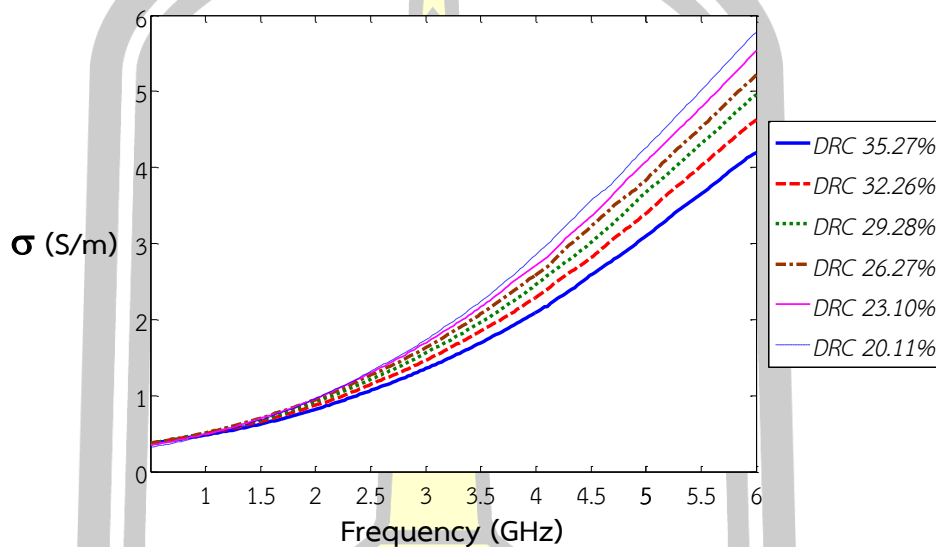
จากภาพประกอบ 39 (ก) เมื่อค่าปริมาณเนื้ออย่างแห้งในน้ำยางพารามีค่าลดลง ส่วนจริงของค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าจะมีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากส่วนจริงของค่าสภาพยอมทางไฟฟ้า มีค่าอยู่ในช่วงประมาณ 32 – 38 ตามที่แสดงในภาพประกอบ 39 (ก) เมื่อเติมน้ำซึ่งมีส่วนจริงของค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าสูงประมาณ 72 – 78 ในช่วงความถี่ 0.5 – 6 กิกะเฮิร์ตซ์ ลงไปในน้ำยางพาราสด มีผลทำให้ส่วนจริงของค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าเพิ่มขึ้นตามอัตราส่วนน้ำที่เติมลงไปช่วงความถี่ 0.5 – 6 กิกะเฮิร์ตซ์ และส่วนจริงของค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าของตัวอย่างน้ำยางพาราในแต่ละตัวอย่างมีค่า

แตกต่างกันมีนัยสำคัญประมาณ 5 หน่วย เท่าๆกัน ตลอดช่วงความถี่ 0.5 – 6 กิกะเฮิรตซ์ แสดงว่า ปริมาณน้ำในน้ำยางพาราส่งผลให้ค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงไปแบบแปรผกผัน กับค่า ปริมาณเนื้อยางแห้งในน้ำยางพารา และการเปลี่ยนแปลงความถี่ส่งผลต่ออัตราการเปลี่ยนแปลงของ ส่วนจริงของค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าของแต่ละตัวอย่างน้ำยางพาราน้อยมาก เนื่องจากเมื่อความถี่ เปลี่ยนแปลงไปก็ไม่ได้ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงอัตราการสะสมพลังงานในวัสดุของเหลวที่มีน้ำเป็น องค์ประกอบหลัก เพราะอัตราการสะสมพลังงานขึ้นอยู่กับอัตราการเปลี่ยนแปลงของอนุภาคต่างๆที่ อยู่ในแต่ละตัวอย่างน้ำยาง ซึ่งมีอัตราการเปลี่ยนแปลงคงที่ (แต่ละตัวอย่างมีอัตราการเปลี่ยนแปลงค่า ปริมาณเนื้อยางแห้งในน้ำยางพาราคงที่ ที่ประมาณ 3 หน่วย)

ส่วนภาพประกอบ 39 (ข) แสดงถึงส่วนจินตภาพของค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าของตัวอย่างน้ำ ยางพาราในแต่ละตัวอย่าง ในช่วงความถี่ 0.5 – 6 กิกะเฮิรตซ์ โดยที่เมื่อค่าปริมาณเนื้อยางแห้งในน้ำ ยางพารามีค่าเพิ่มขึ้น ส่วนจินตภาพของค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าจะมีค่าเพิ่มขึ้น ในช่วงความถี่ 0.5 – 1 กิกะเฮิรตซ์ เนื่องจากช่วงความถี่นี้ น้ำยางพาราอยู่ในรูปพันธะไอออนิก ค่าปริมาณเนื้อยางแห้งในน้ำ ยางพาราเพิ่มขึ้นหมายถึงปริมาณน้ำในน้ำยางพาราลดลงทำให้เกิดการสูญเสียพลังงานได้ง่ายขึ้น เพราะพันธะไอออนิกของน้ำที่ช่วยกักเก็บพลังงานไว้ที่พันธะลดลง และเมื่อค่าปริมาณเนื้อยางแห้งใน น้ำยางพารามีค่าลดลง ส่วนจินตภาพของค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าจะมีค่าเพิ่มขึ้น ในช่วงความถี่ 2 – 6 กิกะเฮิรตซ์ เนื่องจากในช่วงความถี่นี้อนุภาคในน้ำยางพาราจะอยู่ในรูปแบบอนุภาคไดโพลาร์ เมื่อค่า ปริมาณเนื้อยางแห้งในน้ำยางพารามีค่าลดลงหมายถึงปริมาณน้ำในน้ำยางพารามีค่าเพิ่มขึ้น ทำให้ สูญเสียพลังงานน้อยลงเพราะพลังงานต้องถูกกักเก็บไว้เพื่อใช้ในการกำหนดที่ทางขั้วของอนุภาค ไดโพลาร์ให้ไปในทิศทางเดียวกัน ส่วนในช่วงความถี่ระหว่าง 1 – 2 กิกะเฮิรตซ์ นั้นเป็นช่วง เปลี่ยนแปลงความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาณเนื้อยางแห้งในน้ำยางพารา และส่วนจินตภาพของค่า สภาพยอมทางไฟฟ้าจากความสัมพันธ์แบบแปรผันตรงเป็นแปรผกผัน การเปลี่ยนแปลงของส่วนจินต ภาพของค่าสภาพยอมทางไฟฟ้ากับค่าปริมาณเนื้อยางแห้งในน้ำยางพาราเปลี่ยนแปลงมีค่าน้อยกว่า เมื่อเทียบกับส่วนจริงของค่าสภาพยอมทางไฟฟ้า เนื่องจากส่วนจินตภาพของค่าสภาพยอมทางไฟฟ้า ของน้ำมีค่าประมาณ 4 – 20 ตลอดช่วงความถี่ 0.5 – 6 กิกะเฮิรตซ์ ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับส่วนจินตภาพ ของค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าของน้ำยางพาราสด จากภาพประกอบ 35 นอกจากนี้แล้วในแต่ละค่า ปริมาณเนื้อยางแห้งในน้ำยางพารา ส่วนจินตภาพของค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าไม่แตกต่างกัน ในช่วง ความถี่ 0.5 – 1.5 กิกะเฮิรตซ์ แต่จะมีความแตกต่างกันเล็กน้อยตั้งแต่ช่วงความถี่มากกว่า 1.5 – 6 กิกะเฮิรตซ์ และมีค่ามากที่สุดที่ความถี่ 6 กิกะเฮิรตซ์ โดยที่มีค่าแตกต่างกันประมาณ 1 หน่วย อีกทั้ง ยังมีแนวโน้มมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ เมื่อความถี่เพิ่มขึ้น

4.1.3 ผลการแปลงค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนเป็นค่าสภาพการนำไฟฟ้าของตัวอย่างน้ำยางพารา

ค่าสภาพการนำไฟฟ้าของแต่ละตัวอย่างน้ำยางพารา คำนวณมาจากค่าจากเส้นโค้งที่เหมาะสมที่สุดของส่วนจินตภาพของค่าสภาพยอมทางไฟฟ้า ตามสมการที่ 4 แสดงดังภาพประกอบ 40

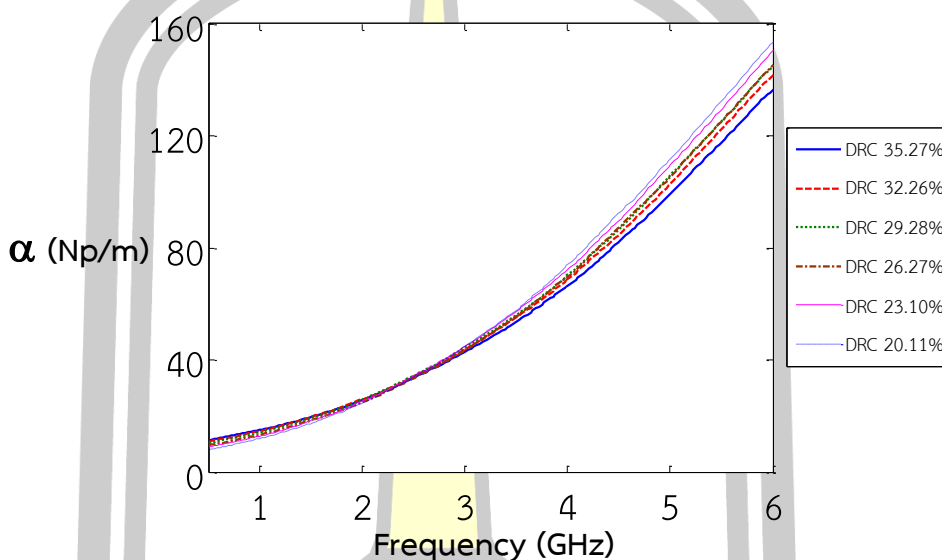


ภาพประกอบ 40 ความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ในช่วงความถี่ 0.5 – 6 กิกะเฮิร์ตซ์ที่เปลี่ยนแปลงไปกับค่าสภาพการนำไฟฟ้าที่ค่าปริมาณเนื้อยางแห้งในน้ำยางพาราต่างๆ

จากภาพประกอบ 40 เมื่อค่าปริมาณเนื้อยางแห้งในน้ำยางพารามีค่าลดลง ค่าสภาพการนำไฟฟ้าจะมีค่ามากขึ้น ตลอดช่วงความถี่ 0.5 – 6 กิกะเฮิร์ตซ์ เนื่องจากเมื่อปริมาณน้ำในน้ำยางพาราเพิ่มขึ้น ค่าสภาพการนำไฟฟ้าก็จะเพิ่มขึ้น เพราะน้ำเป็นตัวนำที่ดีกว่าน้ำยางพาราสด นอกจากนี้ค่าสภาพการนำไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นตามความถี่ที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากเมื่อความถี่สูงขึ้นความสามารถของสนามไฟฟ้าในการจัดเรียงอนุภาคไดโพลาร์ของน้ำยางจะเพิ่มมากขึ้นทำให้น้ำยางนำไฟฟ้าได้มากขึ้น และค่าสภาพการนำไฟฟ้าจะมีค่าแตกต่างกันมากขึ้นเรื่อยๆ เมื่อความถี่สูงขึ้น จนแตกต่างกันมากที่สุดที่ความถี่ 6 กิกะเฮิร์ตซ์ ซึ่งมีค่าแตกต่างกันประมาณ 0.4 ซีเมนส์ต่อเมตร และมีแนวโน้มที่จะมีค่าแตกต่างกันเพิ่มมากขึ้นอีกเมื่อความถี่เพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากค่าสภาพการนำไฟฟ้าแปรผันตรงกับความถี่และแปรผันตรงกับส่วนจินตภาพของค่าสภาพยอมทางไฟฟ้า ตามสมการที่... ทำให้ลักษณะกราฟของค่าสภาพการนำไฟฟ้าคล้ายกับกราฟส่วนจินตภาพของค่าสภาพยอมทางไฟฟ้า แต่จะมีการเปลี่ยนแปลงที่เร็วกว่าเมื่อความถี่เปลี่ยนแปลงไป เพราะค่าดังกล่าวเกิดจากการคูณกันของส่วนจินตภาพของค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าและความถี่

4.1.4 ผลการแปลงค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนเป็นค่าคงที่การลดทอนของตัวอย่างน้ำ
ยางพารา

ค่าคงที่การลดทอนของแต่ละตัวอย่างน้ำยางพารา คำนวณมาจากค่าจากเส้นโค้งที่เหมาะสมที่สุดของส่วนจริงและส่วนจินตภาพของค่าสภาพยอมทางไฟฟ้า ตามสมการที่ 6 และ 7 แสดงดัง
ภาพประกอบ 41



ภาพประกอบ 41 ความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ในช่วงความถี่ 0.5 – 6 กิกะเฮิรตซ์ที่เปลี่ยนแปลงไปกับ
ค่าคงที่การลดทอนที่ค่าปริมาณเนื้อยางแห้งในน้ำยางพาราต่างๆ

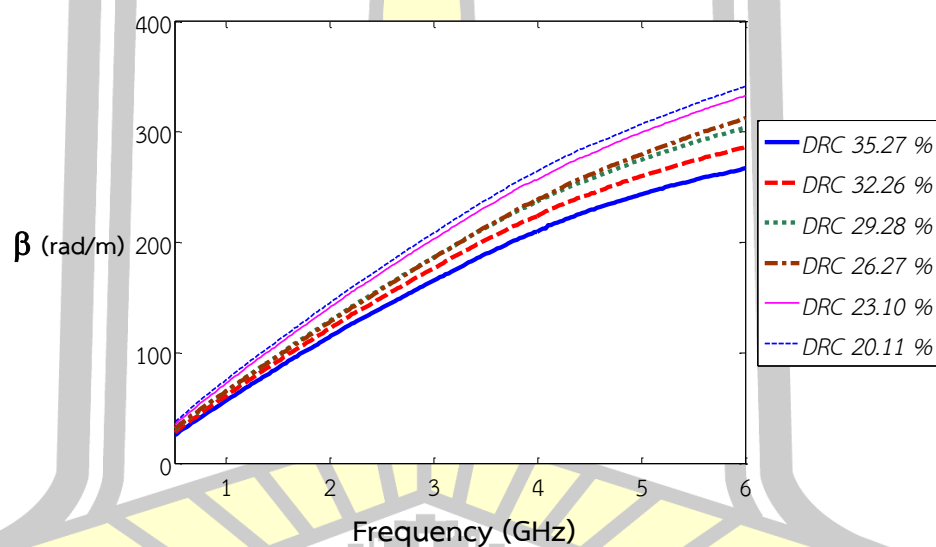
จากภาพประกอบที่ 41 แสดงถึงค่าคงที่การลดทอนของตัวอย่างน้ำยางพาราในแต่ละตัวอย่าง
ในช่วงความถี่ 0.5 – 6 กิกะเฮิรตซ์ โดยที่เมื่อค่าปริมาณเนื้อยางแห้งในน้ำยางพารามีค่าลดลง ค่าคงที่
การลดทอนจะมีค่าลดลง ในช่วงความถี่ 0.5 – 2 กิกะเฮิรตซ์ เนื่องจากในช่วงความถี่ดังกล่าวอนุภาค
ของน้ำยางจะอยู่ในรูปแบบอนุภาคไอออนิก เมื่อปริมาณเนื้อยางแห้งลดลง หมายถึงอัตราส่วนของ
ปริมาณน้ำในน้ำยางเพิ่มขึ้น ทำให้ขั้วไอออนิกเพิ่มขึ้น ทำให้สนามแม่เหล็กไฟฟ้าเคลื่อนที่ไปในเนื้อของ
น้ำยางได้ดียิ่งขึ้นและเคลื่อนที่ไปได้ไกลยิ่งขึ้น ทำให้ค่าคงที่การลดทอนลดลง และเมื่อค่าปริมาณเนื้อยาง
แห้งในน้ำยางพารามีค่าลดลง ค่าคงที่การลดทอนจะมีค่าเพิ่มขึ้น ในช่วงความถี่ 3 – 6 กิกะเฮิรตซ์
เนื่องจากในช่วงความถี่นี้อนุภาคของน้ำยางจะอยู่ในรูปแบบอนุภาคไดโพลาร์ เมื่อปริมาณเนื้อยางแห้ง
ลดลงส่วนที่เป็นอนุภาคไดโพลาร์จะเพิ่มขึ้น ซึ่งทำให้สนามแม่เหล็กไฟฟ้าสามารถเคลื่อนที่ผ่านน้ำยาง
ได้ลดลงเนื่องจากต้องใช้พลังงานในส่วนหนึ่งในการจัดเรียงขั้วของอนุภาคไดโพลาร์ให้ทิศทางขั้ว
เป็นไปตามสนามแม่เหล็กไฟฟ้า ส่วนในช่วงความถี่ระหว่าง 2 – 3 กิกะเฮิรตซ์ นั้นเป็นช่วง
เปลี่ยนแปลงความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาณเนื้อยางแห้งในน้ำยางพาราและค่าคงที่การลดทอน จาก
ความสัมพันธ์แบบแปรผันตรงเป็นแปรผกผัน การเปลี่ยนแปลงของค่าคงที่การลดทอนกับค่าปริมาณ
เนื้อยางแห้งในน้ำยางพาราเปลี่ยนแปลงมีค่าน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับค่าคุณสมบัติเชิงไฟฟ้าอื่นๆ

เนื่องจากปริมาณน้ำในวัสดุที่เป็นของเหลวส่งผลต่อค่าคงที่การลดทอนน้อยมา นอกจากนี้แล้วในแต่ละค่าปริมาณเนื้ออย่างแห้งในน้ำยางพารา ค่าคงที่การลดทอนแตกต่างกันน้อยมาก ในช่วงความถี่ 0.5 – 2 กิกะเฮิร์ตซ์ แต่จะมีความแตกต่างกันมากขึ้นเล็กน้อยตั้งแต่ช่วงความถี่มากกว่า 3 – 6 กิกะเฮิร์ตซ์ และแตกต่างกันมากที่สุดที่ความถี่ 6 กิกะเฮิร์ตซ์ โดยที่มีค่าแตกต่างกันประมาณ 5 เนเปอร์ต่อเมตร นอกจากนี้เมื่อความถี่สูงขึ้นค่าคงที่การลดทอนจะมีค่าสูงขึ้นในรูปแบบฟังก์ชันเอกซ์โพเนนเชียล เนื่องจากเมื่อความถี่ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ส่งผ่านวัสดุที่เป็นของเหลวที่มีน้ำเป็นองค์ประกอบหลักสูงขึ้น ขนาดของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจะโดนลดทอนขนาดลงได้เยอะกว่าคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความถี่ต่ำกว่า ทำให้ค่าคงที่การลดทอนจึงมีค่าสูงขึ้นเมื่อความถี่สูงขึ้น

4.1.5 ผลการแปลงค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนเป็นค่าคงที่เฟสของตัวอย่างน้ำยางพารา

ค่าคงที่เฟสของแต่ละตัวอย่างน้ำยางพารา คำนวณมาจากค่าจากเส้นโค้งที่เหมาะสมที่สุดของส่วนจริงและส่วนจินตภาพของค่าสภาพยอมทางไฟฟ้า ตามสมการที่ 6 และ 7 แสดงดังภาพประกอบ

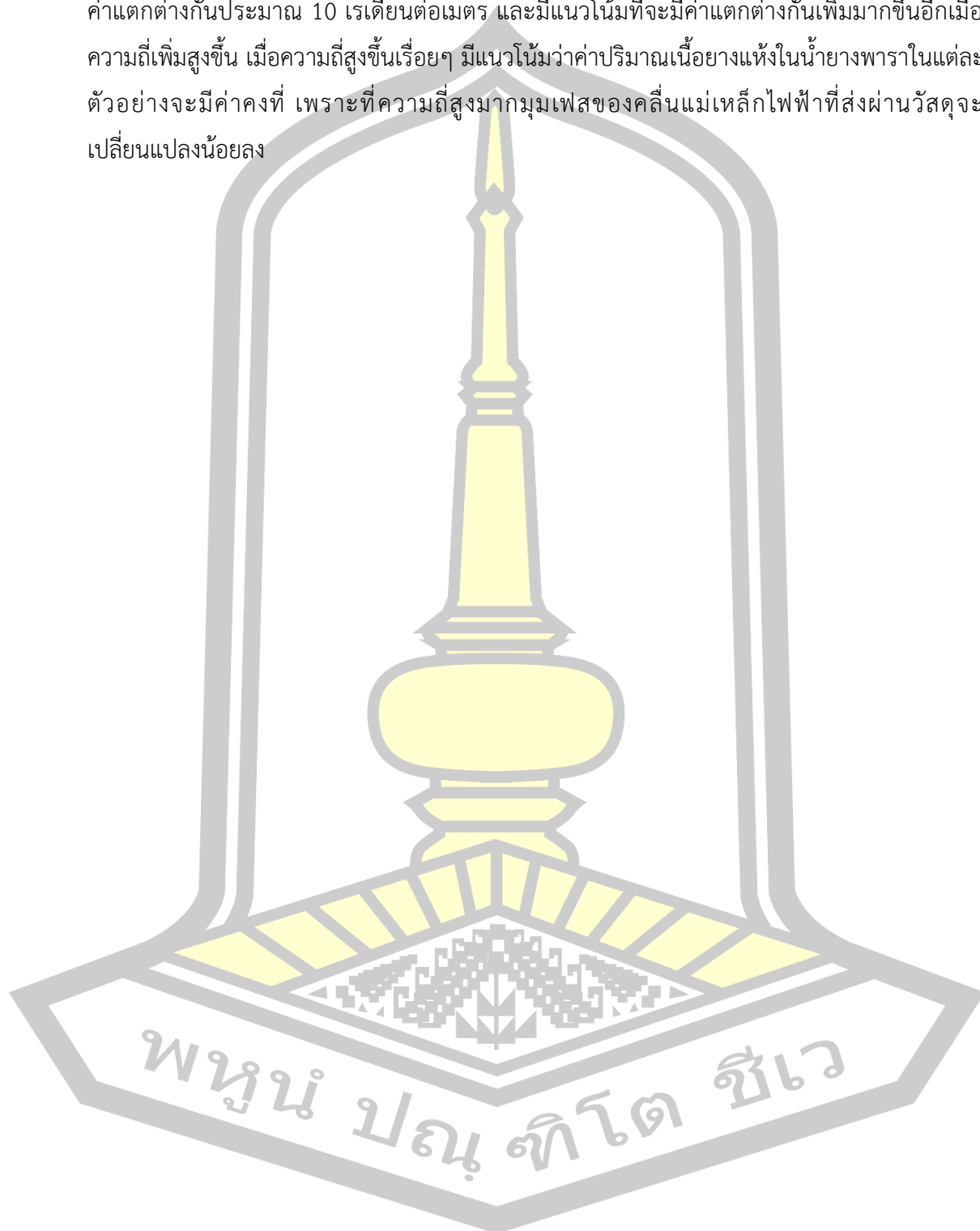
42



ภาพประกอบ 42 ความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ในช่วงความถี่ 0.5 – 6 กิกะเฮิร์ตซ์ที่เปลี่ยนแปลงไปกับค่าคงที่เฟสที่ค่าปริมาณเนื้ออย่างแห้งในน้ำยางพาราต่างๆ

จากภาพประกอบ 42 เมื่อค่าปริมาณเนื้ออย่างแห้งในน้ำยางพารามีค่าลดลง ค่าคงที่เฟสจะมีค่ามากขึ้น ตลอดช่วงความถี่ 0.5 – 6 กิกะเฮิร์ตซ์ เนื่องจากเมื่อค่าปริมาณเนื้ออย่างแห้งในน้ำยางพารามีค่าลดลง เกิดจากการเติมน้ำที่มีขนาดโมเลกุลเล็กกว่าโมเลกุลของน้ำยางพาราลงไปในน้ำยางพาราเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ โมเลกุลของน้ำที่มีขนาดเล็กกว่าจะยอมให้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความยาวคลื่นที่สั้นกว่าผ่านไปได้ ซึ่งความยาวคลื่นที่สั้นกว่าส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของเฟสในแต่ละตัวอย่างเร็วกว่าค่าให้ค่าคงที่เฟสเพิ่มมากขึ้น ตามนิยามของค่าคงที่เฟส ในหัวข้อ 2.6.5 และค่าสภาพค่าคงที่เฟสจะมีค่า

แตกต่างกันมากขึ้นเรื่อยๆ เมื่อความถี่เพิ่มสูงขึ้น จนแตกต่างกันมากที่สุดที่ความถี่ 6 กิกะเฮิรตซ์ ซึ่งมีค่าแตกต่างกันประมาณ 10 เรเดียนต่อเมตร และมีแนวโน้มที่จะมีค่าแตกต่างกันเพิ่มมากขึ้นอีกเมื่อความถี่เพิ่มสูงขึ้น เมื่อความถี่สูงขึ้นเรื่อยๆ มีแนวโน้มว่าค่าปริมาณเนื้อยางแห้งในน้ำยางพาราในแต่ละตัวอย่างจะมีค่าคงที่ เพราะที่ความถี่สูงมากมูฟเฟสของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ส่งผ่านวัสดุจะเปลี่ยนแปลงน้อยลง



บทที่ 5

สรุปผล อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ทำการศึกษา ออกแบบ และพัฒนาวิธีการวัดค่าสภาพยอมทางไฟฟ้า ค่าสภาพการนำไฟฟ้า ค่าคงที่การลดทอน และค่าคงที่เฟส ของน้ำยางพารา โดยการวัดค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับของน้ำยางพาราด้วยเซนเซอร์ตัวเก็บประจุไฟฟ้าแบบแกนร่วม เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าสภาพยอมทางไฟฟ้า ค่าสภาพการนำไฟฟ้า ค่าคงที่การลดทอน และค่าคงที่เฟส ของน้ำยางพารากับค่าปริมาณเนื้อยางแห้งในน้ำยางพารา

5.1 สรุปผล และอภิปรายผล

วิทยานิพนธ์นี้ได้ทำการศึกษา ออกแบบและพัฒนาวิธีการวัดค่าคุณสมบัติเชิงไฟฟ้าของน้ำยางพารา เพื่อนำมาหาความสัมพันธ์กับค่าปริมาณเนื้อยางแห้งในน้ำยางพารา ที่เป็นตัวบ่งชี้คุณภาพของน้ำยางพารา โดยผู้วิจัยได้ใช้วิธีการวัดค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับของน้ำยางพาราด้วยเซนเซอร์ตัวเก็บประจุไฟฟ้าแบบแกนร่วม วัดตัวอย่างน้ำยางพาราที่เติมน้ำผสมลงไปปริมาณตามที่ต้องการไว้ เพื่อให้ได้ตัวอย่างน้ำยางพาราที่มีค่าปริมาณเนื้อยางแห้งในน้ำยางพาราของแต่ละตัวอย่างต่างกันคงที่ 3% จำนวน 6 ตัวอย่าง แล้วนำค่าที่ได้มาคำนวณหาค่าคุณสมบัติเชิงไฟฟ้า ดังต่อไปนี้ คือ ค่าสภาพยอมทางไฟฟ้า ค่าสภาพการนำไฟฟ้า ค่าคงที่การลดทอน และค่าคงที่เฟส โดยใช้สมการทางคณิตศาสตร์ แล้วหาความสัมพันธ์ของค่าสมบัติเชิงไฟฟ้ากับค่าปริมาณเนื้อยางแห้งในน้ำยางพารา พบว่า ในส่วนของค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าแบ่งนั้นแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือส่วนจริงของค่าสภาพยอมทางไฟฟ้ามีความสัมพันธ์แบบแปรผกผันกับค่าปริมาณเนื้อยางแห้งในน้ำยางพารา และส่วนจริงของค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าของตัวอย่างน้ำยางพารามีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญประมาณ 5 หน่วย เท่าๆกัน ตลอดช่วงความถี่ 0.5 – 6 กิกะเฮิรตซ์ (ช่วงความถี่ไมโครเวฟ) นอกจากนี้แล้วการเปลี่ยนแปลงความถี่ส่งผลต่ออัตราการเปลี่ยนแปลงของส่วนจริงของค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าของแต่ละตัวอย่างน้ำยางพาราน้อยมาก ส่วนจินตภาพของค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าของตัวอย่างน้ำยางพารานั้น จะมีความสัมพันธ์แบบแปรผันตรงกัน ในช่วงความถี่ 0.5 – 1 กิกะเฮิรตซ์ แปรผกผันกัน ในช่วงความถี่ 2 – 6 กิกะเฮิรตซ์ และมีการเปลี่ยนแปลงความสัมพันธ์ ในช่วง 1 – 2 กิกะเฮิรตซ์ การเปลี่ยนแปลงของส่วนจินตภาพของค่าสภาพยอมทางไฟฟ้ากับค่าปริมาณเนื้อยางแห้งในน้ำยางพาราเปลี่ยนแปลงมีค่าน้อยกว่า เมื่อเทียบกับส่วนจริงของค่าสภาพยอมทางไฟฟ้า ในส่วนของค่าสภาพการนำไฟฟ้านั้นมีความสัมพันธ์แบบแปรผกผันกับค่าปริมาณเนื้อยางแห้งในน้ำยางพารา ตลอดช่วงความถี่ 0.5 – 6 กิกะเฮิรตซ์ ค่าสภาพการนำไฟฟ้าจะมีค่าแตกต่างกันมากขึ้นเรื่อยๆ เมื่อความถี่สูงขึ้น และมีแนวโน้มที่จะมีค่าแตกต่างกันเพิ่มมากขึ้นอีกเมื่อความถี่เพิ่มสูงขึ้น จนแตกต่างกันมากที่สุดที่ความถี่ 6

กิกะเฮิร์ตซ์ ซึ่งมีค่าแตกต่างกันประมาณ 0.4 ซีเมนส์ต่อเมตร ส่วนค่าคงที่การลดทอนของตัวอย่างน้ำ ยางพารานั้น จะมีความสัมพันธ์แบบแปรผันตรงกัน ในช่วงความถี่ 0.5 – 2 กิกะเฮิร์ตซ์ แปรผกผันกัน ในช่วงความถี่ 3 – 6 กิกะเฮิร์ตซ์ ส่วนในช่วงความถี่ระหว่าง 2 – 3 กิกะเฮิร์ตซ์ นั้นเป็นช่วง เปลี่ยนแปลงความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาณเนื้อยางแห้งในน้ำยางพารา จากความสัมพันธ์แบบแปรผันตรงเป็นแปรผกผัน แต่ละค่าปริมาณเนื้อยางแห้งในน้ำยางพารา ค่าคงที่การลดทอนแตกต่างกัน น้อยมาก ในช่วงความถี่ 0.5 – 2 กิกะเฮิร์ตซ์ แต่จะมีความแตกต่างกันมากขึ้นเล็กน้อยตั้งแต่ช่วง ความถี่มากกว่า 3 – 6 กิกะเฮิร์ตซ์ และแตกต่างกันมากที่สุดที่ความถี่ 6 กิกะเฮิร์ตซ์ โดยที่มีค่า แตกต่างกันประมาณ 5 เนเปอร์ต่อเมตร นอกจากนี้แล้วค่าคงที่การลดทอนมีความสัมพันธ์แบบแปรผันตรงในรูปแบบฟังก์ชันเอกซ์โพเนนเชียล และในส่วนค่าสมบัติทางไฟฟ้าค่าสุดท้ายนั้น คือ ค่าคงที่ เฟส ก็มีความสัมพันธ์แบบแปรผกผันกับค่าปริมาณเนื้อยางแห้งในน้ำยางพารา ตลอดช่วงความถี่ 0.5 – 6 กิกะเฮิร์ตซ์ และค่าสภาพค่าคงที่เฟสจะมีค่าแตกต่างกันมากขึ้นเรื่อยๆ เมื่อความถี่เพิ่มสูงขึ้น จนแตกต่างกันมากที่สุดที่ความถี่ 6 กิกะเฮิร์ตซ์ ซึ่งมีค่าแตกต่างกันประมาณ 10 เรเดียนต่อเมตร และมีแนวโน้มที่จะมีค่าแตกต่างกันเพิ่มมากขึ้นอีกเมื่อความถี่เพิ่มสูงขึ้น เมื่อความถี่สูงขึ้น เช่นเดียวกับค่า สภาพการนำไฟฟ้า

จากการอภิปรายผลการทดลองสรุปได้ว่า ส่วนจริงของค่าสภาพยอมทางไฟฟ้า ค่าสภาพการ นำไฟฟ้า และค่าคงที่เฟส มีความสัมพันธ์แบบแปรผกผันกับค่าปริมาณเนื้อยางแห้งในน้ำยางพาราโดย ที่ตลอดช่วงความถี่ 0.5 – 6 กิกะเฮิร์ตซ์ ส่วนจริงของค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าของแต่ละตัวอย่างที่มีค่า ปริมาณเนื้อยางแห้งในน้ำยางพาราแตกต่างกันคงที่ จะแตกต่างกันคงที่เช่นกัน ดังนั้นจึงสามารถ เลือกใช้ค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าได้ทุกความถี่ตลอดช่วงความถี่ที่ใช้ในการทดลองเพื่อนำไปหาค่า ปริมาณเนื้อยางแห้งในน้ำยางพารา ส่วนค่าสภาพการนำไฟฟ้า และค่าคงที่เฟส มีแนวโน้มที่จะ แตกต่างกันมากขึ้นเมื่อความถี่สูงขึ้น ดังนั้นควรเลือกใช้ค่าสภาพการนำไฟฟ้า และค่าคงที่เฟส ที่ ความถี่ที่สูงที่สุด คือ 6 กิกะเฮิร์ตซ์ เพื่อนำไปหาค่าปริมาณเนื้อยางแห้งในน้ำยางพารา ไปใช้ในการ ตรวจสอบคุณภาพของน้ำยางพารา ในส่วนของส่วนจินตภาพของค่าสภาพยอมทางไฟฟ้า และค่าคงที่ การลดทอน นั้นมีการเปลี่ยนแปลงความสัมพันธ์กับค่าปริมาณเนื้อยางแห้งในน้ำยางพารากลับไป กลับมา และมีการเปลี่ยนแปลงน้อยมากทั้งสองค่า เมื่อค่าปริมาณเนื้อยางแห้งในน้ำยางพารา เปลี่ยนแปลงไป ตลอดช่วงความถี่ 0.5 – 6 กิกะเฮิร์ตซ์ ดังนั้น ส่วนจินตภาพของค่าสภาพยอมทาง ไฟฟ้า และค่าคงที่การลดทอน จึงไม่เหมาะสมในการนำไปหาค่าปริมาณเนื้อยางแห้งในน้ำยางพารา และไม่เหมาะสมในการใช้ตรวจสอบคุณภาพของน้ำยางพารา

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้วัดค่าคุณสมบัติเชิงไฟฟ้าของน้ำยางพาราเพียง 5 คุณสมบัติ ดังนั้นสามารถศึกษา และออกแบบการวัดค่าคุณสมบัติเชิงไฟฟ้าอื่นๆของน้ำยางพาราได้ในอนาคต

5.2.2 วิทยานิพนธ์ฉบับนี้วัดค่าคุณสมบัติเชิงไฟฟ้าของน้ำยางพารา เฉพาะในช่วงความถี่ 0.5 – 6 กิกะเฮิรตซ์ ตามศักยภาพของเครื่องวิเคราะห์เครือข่ายสเปกตรัมที่ใช้ ดังนั้นสามารถออกแบบ และวัดค่าคุณสมบัติเชิงไฟฟ้าในย่านความถี่อื่นได้ตามความเหมาะสมของเครื่องมือที่ใช้วัดได้ต่อไป

5.2.3 วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ยังไม่ได้กล่าวถึงการสร้างระบบตรวจวัดค่าปริมาณเนื้อยางแห้งในน้ำยางพาราด้วยค่าคุณสมบัติเชิงไฟฟ้าในเชิงการนำไปใช้งานจริง ดังนั้นสามารถพัฒนาต่อยอด เพื่อสร้างระบบตรวจวัดค่าปริมาณเนื้อยางแห้ง ด้วยกระบวนการวัดที่ไม่ซับซ้อน ได้ต่อไปในอนาคต

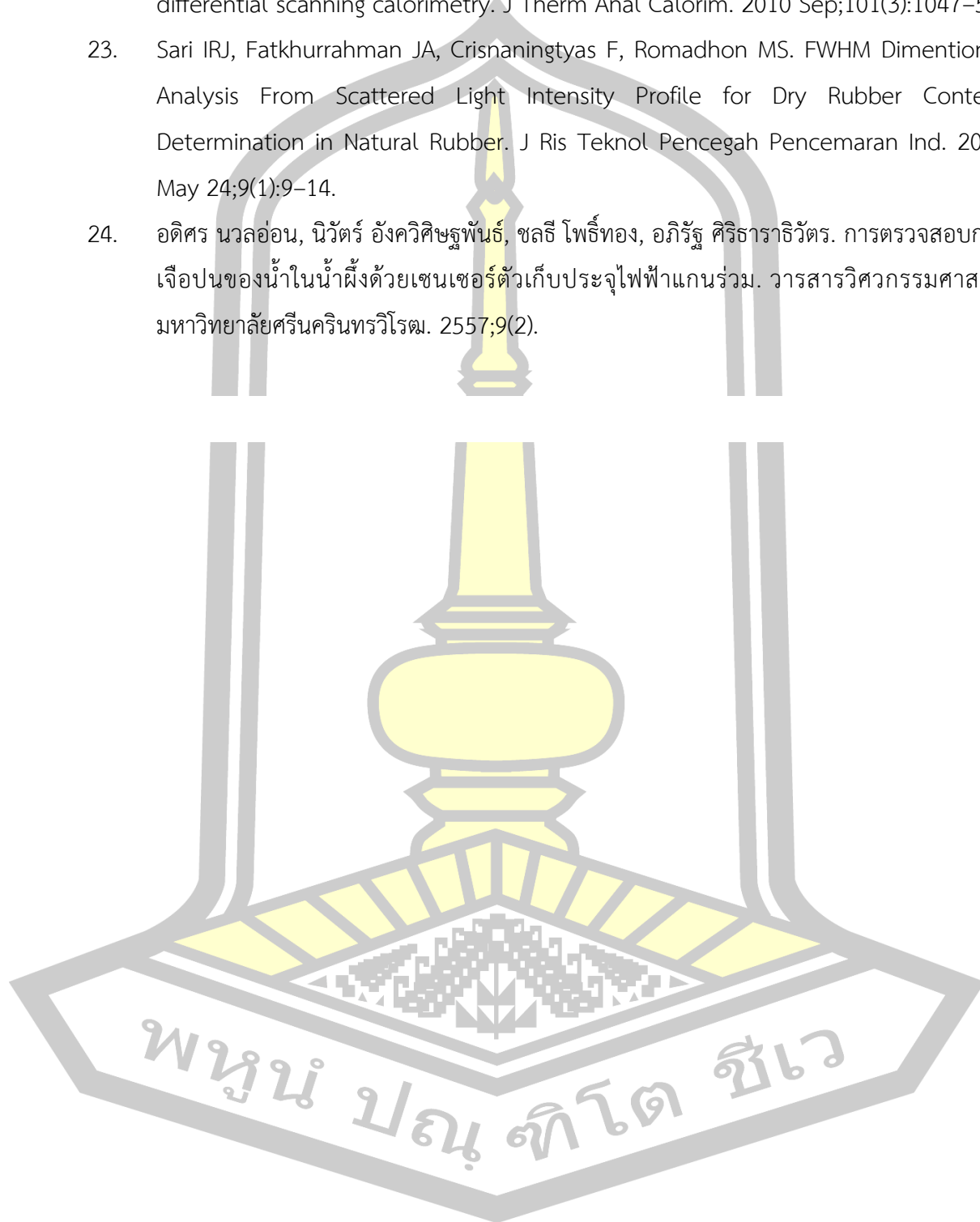


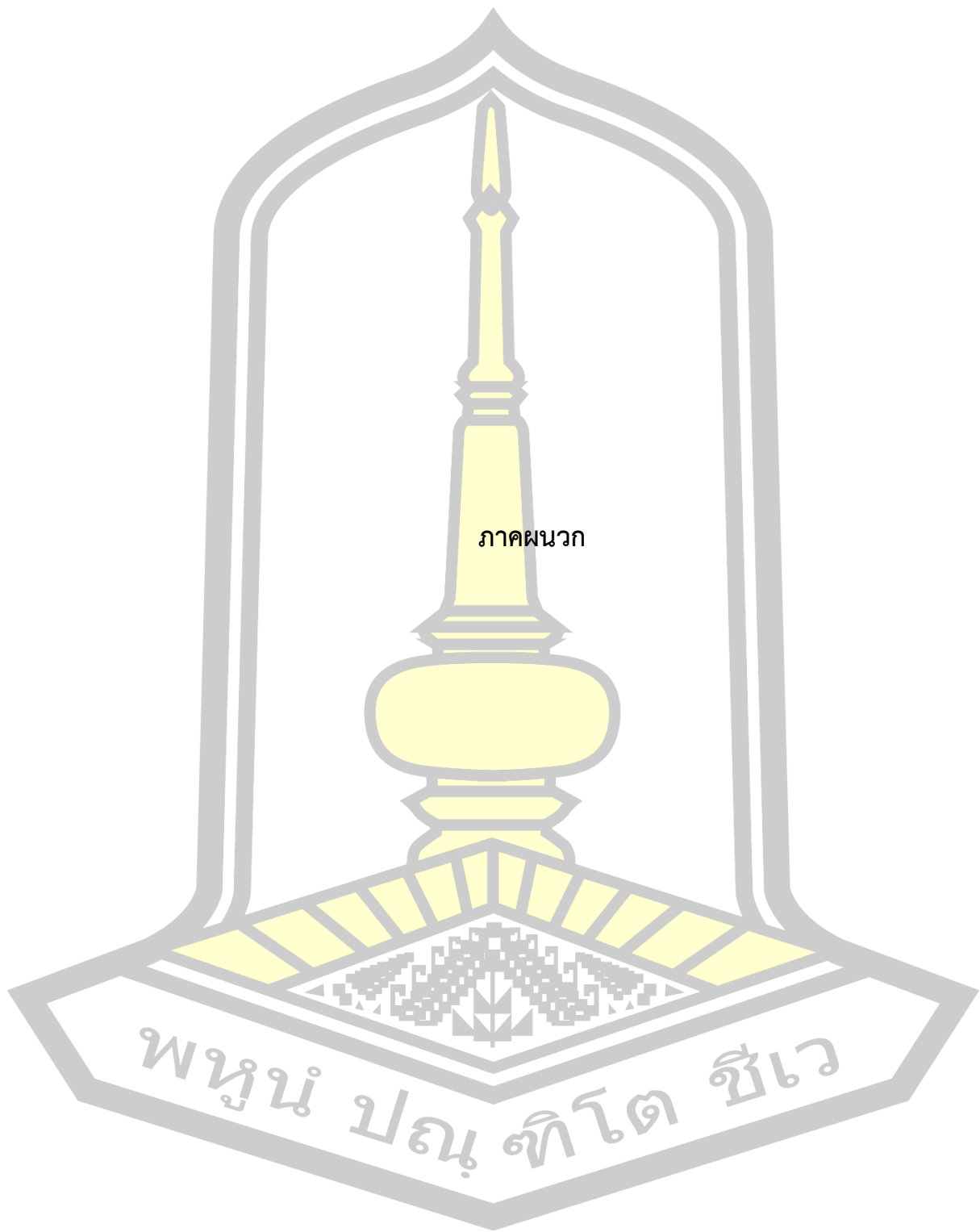
บรรณานุกรม

1. Somboonsuke B, Kongmanee C, Thongtrai N, Phitthayaphinant P. Potential of para-rubber production in Thailand: Production technology management, problems and suggestions for yield improvement. *Kasetsart J Soc Sci.* 2018;39(1):645–59.
2. Pyay S, Thanungkano W, Mungkalasiri J, Musikavong C. A life cycle assessment of intermediate rubber products in Thailand from the product environmental footprint perspective. *J Clean Prod.* 2019 Nov 10;237.
3. R RK, Philip J. Design and Development of Instrumentation Systems to determine the Dry Rubber Content in Natural Rubber Latex Thesis submitted to. 2009;(December).
4. Bottier C. Biochemical composition of *Hevea brasiliensis* latex: A focus on the protein, lipid, carbohydrate and mineral contents. *Adv Bot Res.* 2020 Jan 1;93:201–37.
5. Agilent. Basics of Measuring the Dielectric Properties of Materials Application Note. *Meas Tech.* 2005;2007:1–32.
6. Morawetz H. History of rubber research. *Rubber Chem Technol.* 2000;73(3):405–26.
7. Penot E, Chambon B, Wibawa G. HISTORY OF RUBBER AGROFORESTRY SYSTEMS DEVELOPMENT IN INDONESIA AND THAILAND AS ALTERNATIVES FOR SUSTAINABLE AGRICULTURE AND INCOME STABILITY. Vol. 1, International Proceedings of IRC 2017. 2017.
8. สำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร, (องค์กรมหาชน). ยางพารา Para Rubber (ลักษณะทางพฤกษศาสตร์). คลังข้อมูลสารสนเทศระดับภูมิภาค (ภาคใต้). 2018.
9. T J, P.E. S. Measurement of Dry Rubber Content in Latex Using Microwave Technique. *Meas Sci Rev.* 2005;5(3):50–4.
10. Faktorová D. Temperature Dependence of Biological Tissues Complex Permittivity At Microwave Frequencies. :354–7.

11. Gustavsen B, De Silva HMJ. Inclusion of rational models in an electromagnetic transients program: Y-Parameters, Z-Parameters, S-parameters, transfer functions. *IEEE Trans Power Deliv.* 2013;28(2):1164–74.
12. Stuchly MA, Stuchly MA, Athey TW, Samaras GM, Taylor GE. Measurement of Radio Frequency Permittivity of Biological Tissues with an Open-Ended Coaxial Line: Part II—Experimental Results. *IEEE Trans Microw Theory Tech.* 1982;30(1):87–92.
13. Seewattanapon S, Akkaraekthalin P. A Broadband Complex Permittivity Probe Using Stepped Coaxial Line. *J Electromagn Anal Appl.* 2011;03(08):312–8.
14. Nicolson AM, Ross GF. Measurement of the Intrinsic Properties Of Materials by Time-Domain Techniques. *IEEE Trans Instrum Meas.* 1970;19(4):377–82.
15. Wang Y, Afsar MN. Liquids Using Waveguide Techniques. *Measurement.* 2003;131–42.
16. Ghodgaonkar DK, Varadan V V., Varadan VK. Free-Space Measurement of Complex Permittivity and Complex Permeability of Magnetic Materials at Microwave Frequencies. *IEEE Trans Instrum Meas.* 1990;39(2):387–94.
17. Yahaya NZ, Abbas Z, Ismail MA, Mohd Ali B. Determination of moisture content of hevea rubber latex using a microstrip patch antenna. *Prog Electromagn Res Symp.* 2012;2(1):1290–3.
18. Sheen J. Study of microwave dielectric properties measurements by various resonance techniques. *Meas J Int Meas Confed.* 2005;37(2):123–30.
19. Sheen J. Microwave measurements of dielectric properties using a closed cylindrical cavity dielectric resonator. *IEEE Trans Dielectr Electr Insul.* 2007;14(5):1139–44.
20. Aiyarak P, Sunheem P. Design and implementation of microwave attenuation measurements to estimate the dry rubber content of natural rubber latex. *Songklanakarin J Sci Technol.* 2015;37(6):713–8.
21. Somwong S, Wouchoum P, Chongcheawchamnan M. Contamination detection in fresh natural rubber latex by a dry rubber content measurement system using microwave reflectometer. *Biosyst Eng.* 2017 Dec 1;164:181–8.

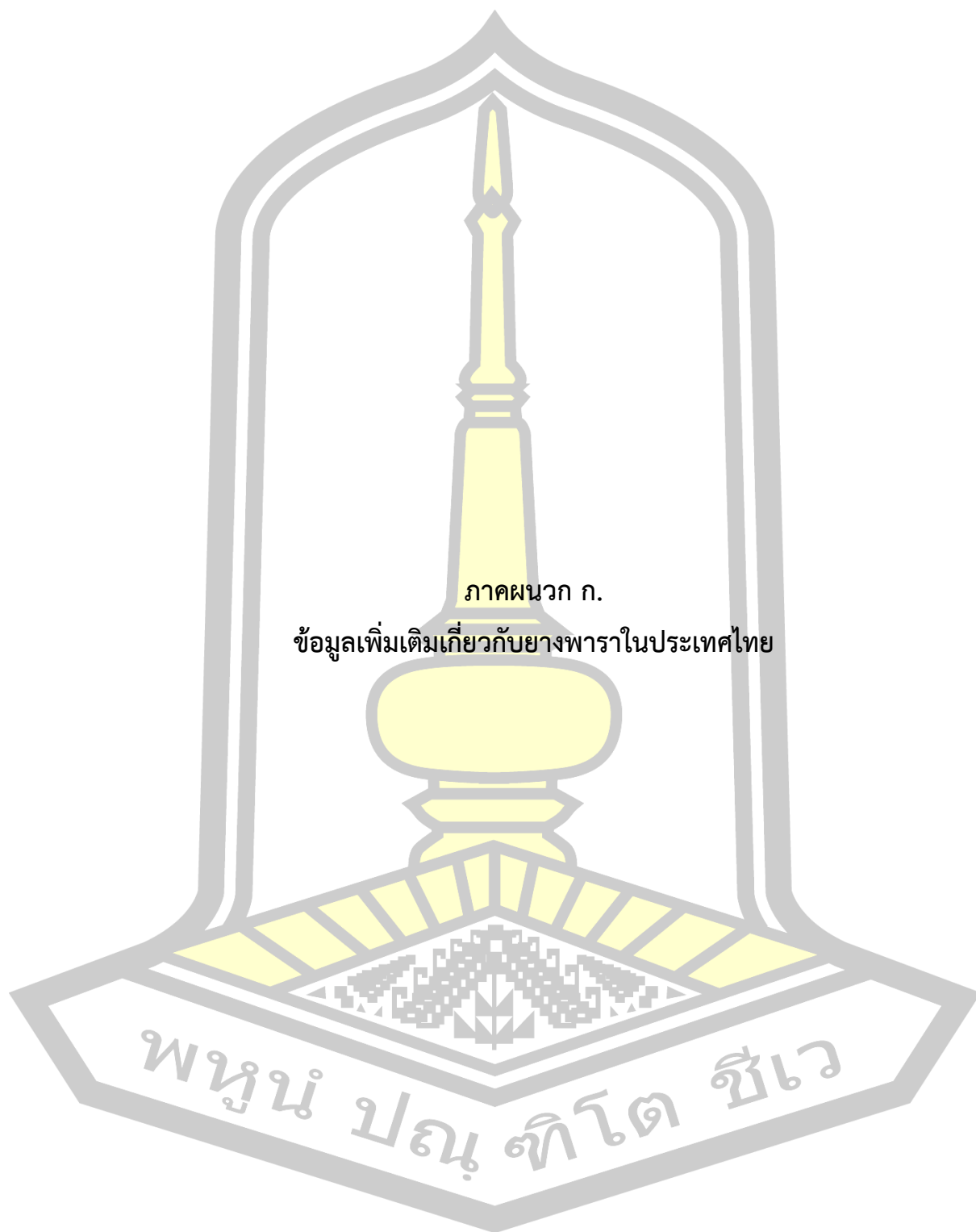
22. Rejikumar R, Philip J. Estimation of dry rubber content in natural rubber latex by differential scanning calorimetry. *J Therm Anal Calorim.* 2010 Sep;101(3):1047–50.
23. Sari IRJ, Fatkhurrahman JA, Crisnaningtyas F, Romadhon MS. FWHM Dimensional Analysis From Scattered Light Intensity Profile for Dry Rubber Content Determination in Natural Rubber. *J Ris Teknol Pencegah Pencemaran Ind.* 2018 May 24;9(1):9–14.
24. อติศร นวลอ่อน, นิวัตร อังควิศิษฐพันธ์, ชลธิ์ โพธิ์ทอง, อภิรัฐ ศิริธาราธิวัตร. การตรวจสอบการเจือปนของน้ำในน้ำผึ้งด้วยเซนเซอร์ตัวเก็บประจุไฟฟ้าแกนร่วม. *วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.* 2557;9(2).





ภาคผนวก

พหุณํ ปณฺ ทิโต ชีเว



ภาคผนวก ก.

ข้อมูลเพิ่มเติมเกี่ยวกับข่างพาราในประเทศไทย

พหุ ประทีป วิทยา

1. พันธุ์ยางพาราที่ปลูกในประเทศไทย

ตาราง ก.1 ลักษณะของพันธุ์ยางพาราแต่ละสายพันธุ์ที่ปลูกในประเทศไทย

พันธุ์ยาง	ผลผลิต น้ำยาง (กก./ไร่/ปี) ¹	ผลผลิต น้ำยาง (กก./ไร่/ปี) ²	ผลผลิต เนื้อไม้ (ลบ.ม./ไร่) ³	ผลผลิต เนื้อไม้ (ลบ.ม./ไร่) ⁴	ความต้านทานโรค					การปลูกในพื้นที่ที่มีข้อจำกัด		
					ใบร่วง ไฟทอปทรา	ราแป้ง	ใบจุดนูน	เส้นดำ	ราสีชมพู	ลาดชัน	หน้าดินตื้น	ระดับ น้ำใต้ดินสูง
พันธุ์ยางให้ผลผลิตน้ำยางสูง												
RRIT 251	462 (10 ปี)	333 (5 ปี)	-	-	3	3	3	2	3	ไม่แนะนำ	ไม่แนะนำ	ไม่แนะนำ
RRIT 226	425 (9 ปี)	284 (9 ปี)	-	-	3	3	3	3	3	ได้	ไม่แนะนำ	ไม่แนะนำ
BPM 24	344 (10 ปี)	258 (9 ปี)	-	-	2	3	3	2	3	ได้	ได้	ได้
RRIM 600	297 (10 ปี)	240 (9 ปี)	-	-	3	3	3	4	5	ได้	ไม่แนะนำ	ไม่แนะนำ
พันธุ์ยางให้ผลผลิตทั้งน้ำยางและเนื้อไม้สูง												
PB 235	329 (10 ปี)	300 (9 ปี)	24.1 (19 ปี)	24.0 (18 ปี)	4	4	4	3	2	ไม่แนะนำ	ไม่แนะนำ	ไม่แนะนำ
PB 255	324 (10 ปี)	ไม่แนะนำ	24.7 (19 ปี)	-	3	3	4	3	4	ได้	ได้	ได้
PB 260	330 (10 ปี)	ไม่แนะนำ	24.1 (19 ปี)	-	2	3	3	2	2	ได้	ได้	ได้
RRIC 110	341 (10 ปี)	289 (9 ปี)	27.3 (21 ปี)	22.2 (18 ปี)	2	4	3	3	4	ไม่แนะนำ	ไม่แนะนำ	ไม่แนะนำ
พันธุ์ยางให้ผลผลิตเนื้อไม้สูง												
จะชิงเทรา 50	-	-	18.4 (6 ปี)	12.0 (9 ปี)	3	3	2	-	2	-	-	-
AVROS 2037	-	-	31.0 (20 ปี)	12.6 (10 ปี)	4	3	2	-	3	ไม่แนะนำ	ไม่แนะนำ	ไม่แนะนำ
BPM 1	-	-	30.3 (20 ปี)	22.1 (18 ปี)	3	3	3	-	-	ได้	ได้	ได้

2. การปลูกยางพาราในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

แบ่งตามปริมาณน้ำฝนดังนี้

พื้นที่ที่มีปริมาณน้ำฝนมากกว่า 1,600 มิลลิเมตรต่อปี (ค่าเฉลี่ยปริมาณน้ำฝน 1,600-2,400 มิลลิเมตรต่อปี) พันธุ์ยางที่แนะนำส่วนใหญ่สามารถปลูกได้ ยกเว้นพันธุ์ PB 255 และ PB 260

พื้นที่ที่มีปริมาณน้ำฝนต่ำกว่า 1,600 มิลลิเมตรต่อปี (ค่าเฉลี่ยปริมาณน้ำฝน 1,056-1,599 มิลลิเมตรต่อปี) พันธุ์ยางที่แนะนำส่วนใหญ่สามารถปลูกได้ ยกเว้น พันธุ์ PB 255 และ PB 260

แต่ถ้าพื้นที่ปลูกมีการระบาดของโรคราแป้งไม่ควรปลูกยางพันธุ์ RRIT 226 และ PB 235 และถ้าพื้นที่ปลูกเป็นดินลูกรัง ดินมีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ ไม่ควรปลูกยางพันธุ์ RRIT 251 และ BPM 24

พันธุ์ยางพาราที่ได้รับการส่งเสริมให้ปลูกมากที่สุดในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ คือ พันธุ์เฉลิมพระเกียรติ 984 หรือเรียกอีกชื่อ คือ RRIT 408

พันธุ์ยาง RRIT 408 เป็นยางสายพันธุ์ใหม่ ที่เป็นผลงานล่าสุดของสถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร ซึ่งเป็นหน่วยงานที่ทำงานวิจัยให้กับ สกย. ซึ่งใช้เวลากว่า 25 ปี ซึ่งเป็นสวนของทดลองปลูกในแปลง ประมาณ 15 ปี และกว่าจะเปิดกรีดอีกประมาณ 6 ปี และขณะนี้ได้เปิดกรีดเป็นที่เรียบร้อยแล้ว ณ แปลงทดลองของศูนย์วิจัยยางฉะเชิงเทรา ดังนั้นสถาบันวิจัยยาง จึงตั้งชื่อใหม่เป็น “พันธุ์เฉลิมพระเกียรติ 984” เพื่อเป็นการฉลองพระเกียรติ เนื่องในวาระครบรอบพระชนมพรรษา 84 พรรษา ของพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว

พ่อ x แม่ : PB 5/51 x RRIC 101

แหล่งกำเนิด : ราชอาณาจักรไทย

ลักษณะเด่น : RRIT 408 สายพันธุ์นี้ปลูกง่าย โตไว ให้ผลผลิตน้ำยางสูงที่สำคัญ

สามารถทนความแห้งแล้งได้ดีกว่าพันธุ์อื่น ต้านทานลม ระดับปานกลาง เหมาะปลูกในภาคอีสานที่สุด

การแตกกิ่ง และทรงพุ่ม : แตกกิ่งมากทั้งขนาดใหญ่ และขนาดกลาง การแตกกิ่งสมดุลกัน (ดีกว่า 600 และ 251) พุ่มใบไม้ทึบมาก ทรงพุ่มมีขนาดใหญ่เป็นรูปกรวย

ความต้านทานโรค : ต้านทานโรคใบร่วงไฟทอปธอรา, ใบจุดก้างปลา, ต้านทานระดับปานกลางต่อราแป้ง, ใบจุดคอลเลโทตริกัม, โรคเส้นดำ และราสีชมพู

อาการเปลือกแห้ง : เปลือกแห้งปานกลาง

พื้นที่ปลูก : RRIT 408 พื้นที่ลาดชัน สามารถปลูกได้ สามารถปลูกในพื้นที่ซึ่งมีน้ำใต้ดินสูง

ผลผลิตน้ำยาง : ให้ปริมาณน้ำยางสูง เฉลี่ย 352 กก./ไร่/ปี

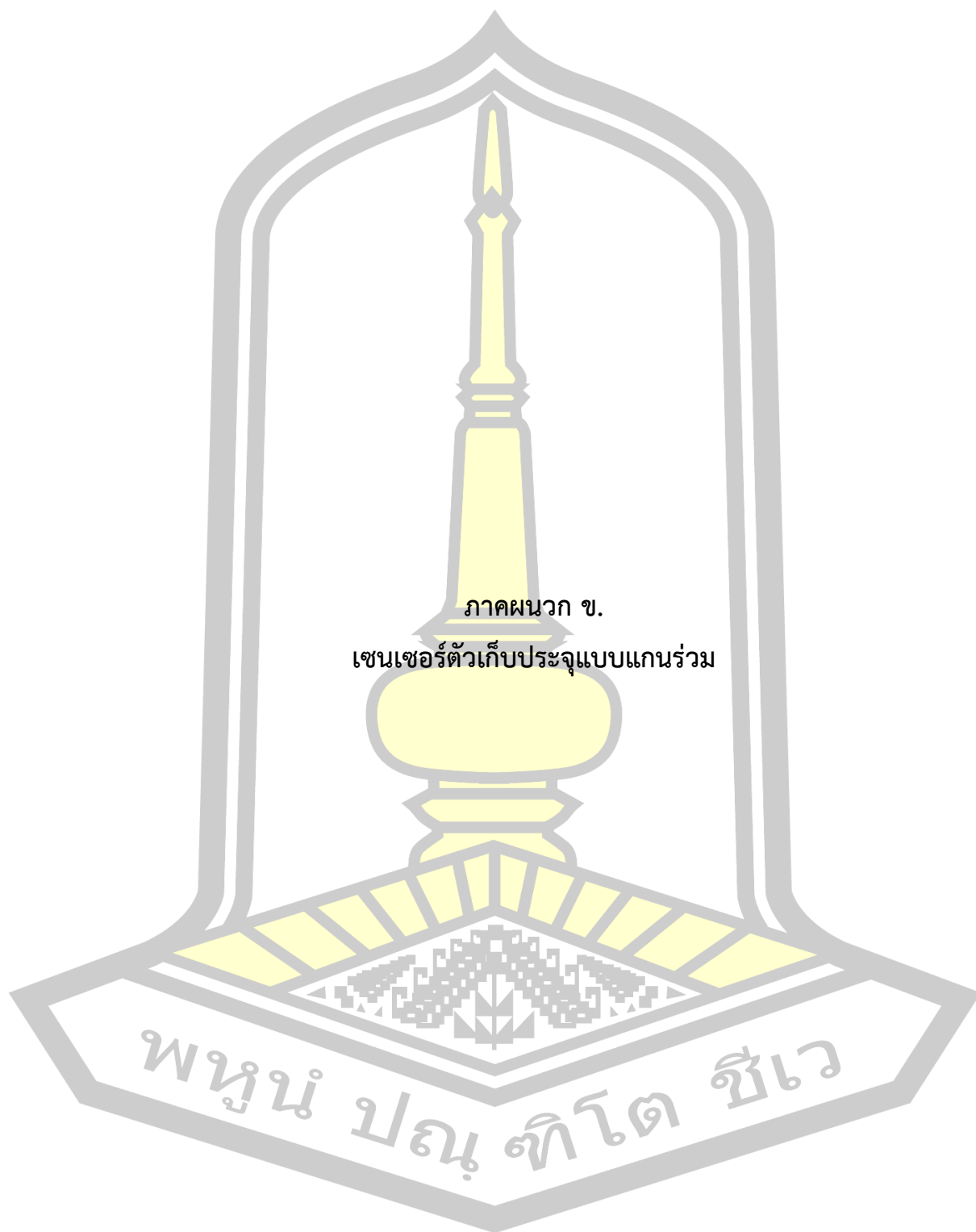
ข้อสังเกต : RRIT 408 ไม่แนะนำให้ปลูกในพื้นที่ที่มีน้ำดินตื้น

ลักษณะพันธุ์ยาง RRIT 408 แสดงดังภาพประกอบ ก.1



ภาพประกอบ ก.1 ยางพาราพันธุ์เฉลิมพระเกียรติ 984 หรือเรียกอีกชื่อ คือ RRIT 408

พหุ ประถมศึกษา ชีวะ



ภาคผนวก ข.

เซนเซอร์ตัวเก็บประจุแบบแกนร่วม

พหุ ประทีป ชีวะ

1. การทดสอบการทำงานเซนเซอร์ตัวเก็บประจุแบบแกนร่วม

โพรบแกนร่วมแบบปลายเปิดที่ออกแบบและสร้างขึ้นนั้นต้องนำมาทดสอบความถูกต้องและความแม่นยำในการวัดก่อน โดยนำโพรบที่ได้ไปวัดค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนของวัสดุตัวอย่างที่ทราบค่าสภาพยอมทางไฟฟ้า 3 ชนิด ได้แก่

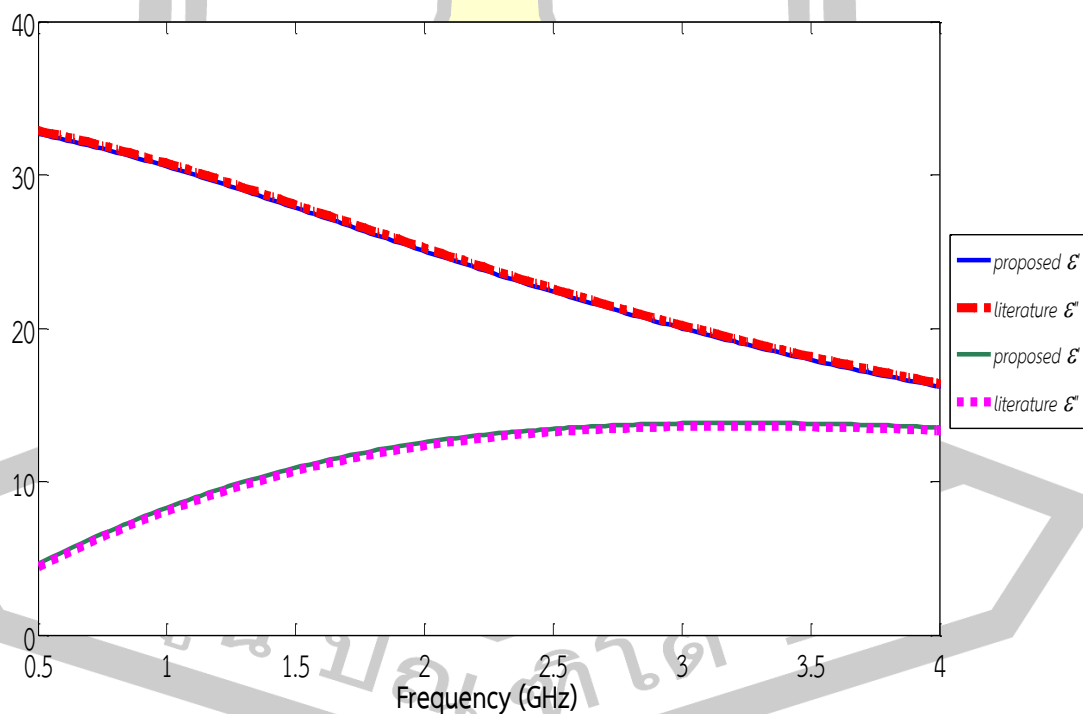
วัสดุ A คืออากาศ

วัสดุ B คือน้ำ

วัสดุ C คือสารละลายเอทานอลและ

วัสดุ UN ที่สมมุติว่าไม่ทราบค่าสภาพยอมทางไฟฟ้า นั่นคือสารละลายเมทานอล

โดยจะทำการวัดในช่วงความถี่ไมโครเวฟ ตั้งแต่ 0.5 – 6 กิกะเฮิร์ตซ์ ควบคุมอุณหภูมิตลอดการทดลองที่ 25 องศาเซลเซียส ทำการวัดค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนโดยใช้เครื่องวิเคราะห์เครือข่ายสเปกตรัมรุ่น E571B ENA series ที่สามารถสร้างความถี่ได้ตั้งแต่ 300 กิโลเฮิร์ตซ์ – 8.5 กิกะเฮิร์ตซ์ แล้วนำไปคำนวณและวาดกราฟโดยใช้โปรแกรม MATLAB โดยกราฟที่ได้คือค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าของสารละลายเมทานอลที่วัดได้ในช่วงความถี่ดังกล่าว เทียบกับกราฟค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าของสารละลายเมทานอลที่ทราบค่าอยู่แล้วได้กราฟ ดังภาพประกอบ ข.1



ภาพประกอบ ข.1 ค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าของเมทานอลจากการวัดและจากค่ามาตรฐาน

จากกราฟในภาพประกอบ ข.1 เส้นทึบ คือ ค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าของเมทานอลที่ทราบค่าอยู่แล้ว ส่วนเส้นประ คือ ค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าที่ได้จากการวัดด้วยโพรบแกนร่วมแบบปลายเปิดที่

ออกแบบได้ โดยกราฟจะพล็อตแยกเป็น 2 ส่วน คือ กราฟรูปบนเป็นส่วนจริงของค่าสภาพยอมทางไฟฟ้า กราฟรูปล่าง คือ ส่วนจินตภาพของค่าสภาพยอมทางไฟฟ้า กราฟที่ได้พล็อตในแบบจำลองของติบาย ซึ่งจะเห็นว่ากราฟทั้ง 2 โกล้เคียงกันมากจนเกือบจะทับกันในช่วงความถี่ 0.5 – 6 กิกะเฮิร์ตซ์ ดังนั้นโพรบแชนแนลร่วมแบบปลายเปิดที่ทำจากคอนเน็คเตอร์สำหรับยึดบนแผ่นวงจรพิมพ์ความถี่สูงแบบ SMA สามารถใช้งานเป็นเซนเซอร์ตัวเก็บประจุไฟฟ้าแบบแชนแนลร่วมที่ใช้วัดค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าได้



ประวัติผู้เขียน

ชื่อ	นายอดิศร นวลอ่อน
วันเกิด	วันที่ 4 มีนาคม พ.ศ. 2531
สถานที่เกิด	โรงพยาบาลมุกดาหาร อำเภอเมือง จังหวัดมุกดาหาร
สถานที่อยู่ปัจจุบัน	82 หมู่ 1 ตำบลคำชะอี อำเภอคำชะอี จังหวัดมุกดาหาร 49110
ตำแหน่งหน้าที่การงาน	อาจารย์ ประจำสาขาวิศวกรรมไฟฟ้า
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ตำบลขามเรียง อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม 44150
ประวัติการศึกษา	พ.ศ. 2554 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วศ.บ.) สาขาวิศวกรรมไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี พ.ศ. 2558 วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วศ.ม.) วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

พูน ปณ ทิโต ชีเว