



การศึกษาเพื่อการพัฒนาอุปกรณ์วัดปริมาณเนื้อยางแห้งในน้ำยาง
**The Study for the Development of the Device for Measuring of the
Dry Rubber Content in Latex**

นุชนาฏ สุชาติพงศ์
Nutchanat Suchatpong

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา
วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

**A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science in Physics**

Prince of Songkla University

2553

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ชื่อวิทยานิพนธ์ การศึกษาเพื่อการพัฒนาอุปกรณ์วัดปริมาณเนื้อเยื่ออย่างแม่นยำ
ผู้เขียน นางสาวนุชนาฏ สุชาติพงศ์
สาขาวิชา ฟิสิกส์

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

คณะกรรมการสอบ

.....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภัทร อัยรักษ์)

.....ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์บุญเหลือ พงศ์ดารา)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

.....กรรมการ
(ดร.ประจักษ์ แซ่อึ้ง)

.....
(รองศาสตราจารย์บุญเจริญ วงศ์กิตติศึกษา)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภัทร อัยรักษ์)

.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์บุญเจริญ วงศ์กิตติศึกษา)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อนุมัติให้บัณฑิตวิทยานิพนธ์ฉบับนี้
เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์

.....
(รองศาสตราจารย์ ดร.เกริกชัย ทองหนู)
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ชื่อวิทยานิพนธ์	การศึกษาเพื่อการพัฒนาอุปกรณ์วัดปริมาณเนื้องอกแห้งในน้ำยาง
ผู้เขียน	นางสาวนุชนาฏ สุชาติพงศ์
สาขาวิชา	ฟิสิกส์
ปีการศึกษา	2552

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาวิธีการหาปริมาณเนื้องอกแห้งในน้ำยางโดยใช้คลื่นไมโครเวฟ อุปกรณ์ที่ใช้เป็นแหล่งกำเนิดคลื่นไมโครเวฟคือออสซิลเลเตอร์ 2 รุ่นคือ รุ่น ZX95-1600s+ และ รุ่น ZX95-2800s+ ซึ่งครอบคลุมคลื่นไมโครเวฟช่วงความถี่ 1.0 GHz – 2.5 GHz โดยใช้ตัวรับสัญญาณคลื่นไมโครเวฟ รุ่น ZX47-40s+ ซึ่งสัญญาณส่งออกในรูปความต่างศักย์ไฟฟ้า กระแสตรง โดยส่งสัญญาณคลื่นไมโครเวฟผ่านน้ำยางตัวอย่างที่มีปริมาณเนื้องอกแห้ง 20% - 60% ปริมาตร 150ml, 200ml, 250ml และ 300ml โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาหาความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณคลื่นไมโครเวฟกับปริมาณเนื้องอกแห้งในน้ำยาง

ผลการศึกษาพบว่าที่ความถี่ 2.4 GHz สัญญาณคลื่นไมโครเวฟหลังถูกส่งผ่านน้ำยางตัวอย่างปริมาตร 300ml มีการตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณเนื้องอกแห้งในน้ำยางเป็นแบบเชิงเส้น มีค่า R^2 อยู่ที่ 0.997 และเมื่อนำวิธีการหาปริมาณเนื้องอกแห้งในน้ำยางโดยใช้คลื่นไมโครเวฟไปเปรียบเทียบกับวิธีการอบแห้ง โดยเลือกสุ่มตัวอย่างน้ำยางจากเกษตรกรชาวสวนยางจำนวน 10 ตัวอย่าง พบว่าค่าความผิดพลาดเฉลี่ยของวิธีการหาปริมาณเนื้องอกแห้งในน้ำยางโดยใช้คลื่นไมโครเวฟมีค่าเท่ากับ 0.20% และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.32%

ดังนั้นจากผลการศึกษาวิธีการหาปริมาณเนื้องอกแห้งในน้ำยางโดยใช้คลื่นไมโครเวฟจึงมีความเป็นไปได้ว่าที่ความถี่ 2.4 GHz สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการพัฒนาเป็นอุปกรณ์สำหรับวัดหาปริมาณเนื้องอกแห้งในน้ำยางที่มีความถูกต้องแม่นยำมากกว่าวิธีการวัดโดยใช้เมโทรแลคและรวดเร็วกว่าวิธีการอบแห้ง ทั้งนี้เพื่อเป็นการตอบสนองต่อความต้องการของเกษตรกรชาวสวนยาง พ่อค้าและโรงงานอุตสาหกรรมได้เป็นอย่างดีอีกด้วย

Thesis Title	The Study for the Development of the Device for Measuring of the Dry Rubber Content in latex.
Author	Miss. Nuchanat Suchatpong
Major Program	Physics
Academic Year	2009

ABSTRACT

This work was aimed to study of a method for measuring the dry rubber content (DRC) in latex using microwave. Two voltage controlled oscillators were used to generate the microwave signal at frequencies ranging from 1.0 GHz to 2.5 GHz by oscillators ZX95-1600W-s+ and ZX95-2800s+. The detector, ZX47-40s+ converts the microwave signal into the DC voltage. The latex samples were diluted with distilled water to make the DRC ranging from 20% to 60%. Various volume of latex samples were examined at 150ml, 200ml, 250ml and 300ml. The objective of this work was aimed to find the relationship between the microwave signal and the DRC in the latex samples.

The results have shown a good linear relationship between the microwave signal and the DRC at the frequency of 2.4 GHz in the latex sample of 300ml. The coefficient of determination, R^2 , between the DRC's and the DC voltage outputs is 0.997. The result from the microwave determination method was compared with the drying method by sampling 10 latex samples from the field. The result shows 0.20% error with 0.32% of standard deviation.

Therefore, there is a high possibility to produce a device measuring the DRC in latex using the microwave at the frequency of 2.4GHz. The result brings the rapidness and fairness to the farmers, middle persons and ultimately the rubber industry.

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(6)
รายการตาราง	(8)
รายการภาพประกอบ	(9)
บทที่	
1 บทนำ	1
1.1 บทนำต้นเรื่อง	1
1.2 การตรวจเอกสาร	3
1.3 วัตถุประสงค์	8
1.4 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์	8
2 ทฤษฎี	9
2.1 ทฤษฎีเกี่ยวกับน้ำยางธรรมชาติ	9
2.2 การหาปริมาณเนื้อยางแห้งในน้ำยาง	14
2.3 ทฤษฎีคลื่นไมโครเวฟ	22
2.4 สายนำสัญญาณ	27
3 วิธีการวิจัย	29
3.1 วัสดุ	29
3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือ	29
3.3 วิธีการดำเนินงาน	30
4 ผลและการอภิปรายผลการทดลอง	35
4.1 ผลการปรับ Tune หาความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ไฟฟ้ากับความถี่ของตัวส่งสัญญาณคลื่นไมโครเวฟ	35
4.2 การศึกษาหาความถี่ที่ตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณเนื้อยางแห้งในน้ำยาง	36
4.3 ศึกษาหาความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงสัญญาณคลื่นไมโครเวฟกับปริมาณเนื้อยางแห้งในน้ำยาง	44
4.4 การเปรียบเทียบผลการวัดหาปริมาณเนื้อยางแห้งในน้ำยางโดยใช้คลื่นไมโครเวฟกับวิธีอบแห้ง	50
	(6)

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
5 บทสรุป	54
5.1 สรุปผล	54
5.2 ข้อเสนอแนะ	55
บรรณานุกรม	56
ภาคผนวก	60
ภาคผนวก (ก)	61
ภาคผนวก (ข)	63
ภาคผนวก (ค)	65
ภาคผนวก (ง)	102
ภาคผนวก (จ)	111
ประวัติผู้เขียน	120

รายการตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 ส่วนประกอบต่างๆ ในน้ำยาง	2
1.2 การเปรียบเทียบค่าความแม่นยำและความเที่ยงตรงของสมการทำนายค่าความเข้มข้นน้ำยางพารา	7
2.1 ส่วนประกอบของน้ำยางสด	10
2.2 เปรียบเทียบค่าของเปอร์เซ็นต์เนื้อยางแห้งกับความถ่วงจำเพาะ	18
2.3 ค่าการดูดกลืนคลื่นไมโครเวฟของโมเลกุลสสาร	24
4.1 ผลการปรับ Tune หาค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ความถี่ต่างๆ ของตัวส่งสัญญาณคลื่นไมโครเวฟ รุ่น ZX95-1600-s+	35
4.2 ผลการปรับ Tune หาค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ความถี่ต่างๆ ของตัวส่งสัญญาณคลื่นไมโครเวฟ รุ่น ZX95-2800-s+	36
4.3 ผลการเปรียบเทียบการหาปริมาณเนื้อยางแห้งในน้ำยางระหว่างวิธีการวัดโดยใช้คลื่นไมโครเวฟกับวิธีอบแห้งที่ความถี่ 2.2 GHz	51
4.4 ผลการเปรียบเทียบการหาปริมาณเนื้อยางแห้งในน้ำยางระหว่างวิธีการวัดโดยใช้คลื่นไมโครเวฟกับวิธีอบแห้งที่ความถี่ 2.4 GHz	52
5.1 การเปรียบเทียบความแม่นยำในการวัดหาปริมาณเนื้อยางแห้งในน้ำยาง	54

รายการภาพประกอบ

ภาพประกอบที่	หน้า
1.1 เมโทรแลค	3
1.2 อุปกรณ์วัดปริมาณเนื้อเยื่อแห้งในน้ำยาง MTR-Latexometer	4
1.3 โครงสร้างของระบบวัดความชื้นของถ่านหินโดยใช้คลื่นไมโครเวฟ	5
1.4 โครงสร้างของเครื่องวัดความชื้นในข้าวโดยใช้คลื่นไมโครเวฟที่ความถี่ 10.5 GHz	6
1.5 (ก) โครงสร้างหัวตรวจสำหรับวัดค่าการส่งผ่านแสง (ข) แผนภาพการทำงานของเครื่องมือสำหรับวัดค่าการส่งผ่าน	7
2.1 น้ำยางสดที่ได้จากการกรีดยาง	10
2.2 ลักษณะที่เป็นไปได้ของอนุภาคยางธรรมชาติ	11
2.3 การแยกชั้นของน้ำยางหลังถูก Centrifuge	13
2.4 เมโทรแลคหรือลาแทคโซมิเตอร์	14
2.5 เมโทรแลคและการคำนวณเปอร์เซ็นต์เนื้อเยื่อแห้ง	15
2.6 ลักษณะเมโทรแลคขณะทำการวัดหาค่าปริมาณเนื้อเยื่อแห้งในน้ำยาง	17
2.7 ตัวอย่างอย่างง่าย	20
2.8 สเปกตรัมแสดงความถี่ของคลื่นไมโครเวฟ	22
2.9 ออสซิลเลเตอร์ความถี่ไมโครเวฟ	23
2.10 แบบจำลองการดูดกลืนคลื่นไมโครเวฟ	24
2.11 โครงสร้างสายนำสัญญาณแบบคู่ขนาน	27
2.12 โครงสร้างสายนำสัญญาณแบบโคแอกเซียล	28
3.1 ลักษณะของกล่องภาชนะกั้นการกระจายของคลื่นที่สร้างขึ้น	30
3.2 ระบบและอุปกรณ์ที่ใช้ทำการทดลอง	31
3.3 น้ำยางตัวอย่างที่ใช้ทำการทดลอง	32
3.4 น้ำยางตัวอย่างที่อยู่ในบีกเกอร์เพื่อใช้ในการทดลอง	33
4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณคลื่นไมโครเวฟกับความถี่	37
4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณคลื่นไมโครเวฟที่ความถี่ต่างๆ น้ำยางตัวอย่างปริมาตร 150 ml	37

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบที่	หน้า
4.17 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณคลื่นไมโครเวฟกับปริมาณเนื้อ ยางแห้งในน้ำยางปริมาตร 200 ml ที่ความถี่ 2.2 GHz	46
4.18 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณคลื่นไมโครเวฟกับปริมาณเนื้อ ยางแห้งในน้ำยางตัวอย่างปริมาตร 300 ml	47
4.19 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณคลื่นไมโครเวฟกับปริมาณเนื้อ ยางแห้งในน้ำยางปริมาตร 300 ml ที่ความถี่ 2.2 GHz	48
4.20 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณคลื่นไมโครเวฟกับปริมาณเนื้อ ยางแห้งในน้ำยางปริมาตร 300 ml ที่ความถี่ 2.4 GHz	48
4.21 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณคลื่นไมโครเวฟกับปริมาณเนื้อ ยางแห้งในน้ำยางปริมาตร 300 ml ที่ความถี่ 2.2 GHz	49
4.22 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณคลื่นไมโครเวฟกับปริมาณเนื้อ ยางแห้งในน้ำยางปริมาตร 300 ml ที่ความถี่ 2.4 GHz	50
4.23 กราฟแสดงการเปรียบเทียบผลการหาปริมาณเนื้อยางแห้งในน้ำยาง ระหว่างวิธีการวัดโดยใช้คลื่นไมโครเวฟกับวิธีอบแห้ง ที่ความถี่ 2.2 GHz	51
4.24 กราฟแสดงการเปรียบเทียบผลการหาปริมาณเนื้อยางแห้งในน้ำยาง ระหว่างวิธีการวัดโดยใช้คลื่นไมโครเวฟกับวิธีอบแห้ง ที่ความถี่ 2.4 GHz	52
4.25 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการหาปริมาณเนื้อยางแห้งในน้ำยางโดย ใช้วิธีอบแห้งและวิธีการวัดโดยใช้คลื่นไมโครเวฟ	53

บทที่ 1

บทนำ

1.1 บทนำตั้งเรื่อง

ในอดีต ผลผลิตยางของประเทศไทยเพิ่มขึ้นจาก 1.20 ล้านตันในต้นปี พ.ศ. 2533 เป็น 1.34 ล้านตันในปี พ.ศ. 2534 มูลค่าเพิ่มขึ้นประมาณ 3,000 ล้านบาท เป็น 26,000 ล้านบาท ทำให้ประเทศไทยกลายเป็นผู้ผลิตอันดับหนึ่งของโลกเป็นปีแรก โดยผลผลิตยางแผ่นรมควันมากที่สุดประมาณ 75.7% รองลงมาคือ ยางแท่งที่อาร์ ยางน้ำชั้น ยางเครพ ยางแผ่นฝั่กแห้งและอื่นๆ ตามลำดับ จากการพัฒนาทางด้านอุตสาหกรรมยางทำให้โรงงานอุตสาหกรรมยางชนิดต่าง ๆ เพิ่มขึ้นจาก 132 โรงงานในปี พ.ศ. 2530 เป็น 167 โรงงานในปี พ.ศ. 2531 หรือประมาณ 27% ในระยะ 4 ปี ที่ผ่านมา คือ ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2532 ปริมาณน้ำยางชั้นที่ผลิตได้ 14,334 เมตตริกตัน เป็น 21,743 เมตตริกตันในปี พ.ศ. 2534 ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ทำจากน้ำยางชั้นโดยเฉพาะถุงมือยางเพิ่มขึ้นจาก 11,825 เมตตริกตัน ในปี พ.ศ. 2532 เป็น 15,342 เมตตริกตัน ในปี พ.ศ. 2534 หรือเพิ่มประมาณ 29.74% (สถิติยางประเทศไทย, 1993)

ปัจจุบันประเทศไทยผลิตยางพารามากที่สุดอันดับหนึ่งของโลก คือประมาณปีละ 2.5 ล้านตัน คิดเป็น 1 ใน 3 ของผลผลิตทั่วโลก อย่างไรก็ตามยางพาราที่ผลิตได้ส่วนใหญ่จะถูกส่งออกในรูปแบบของน้ำยางข้นและยางดิบ ซึ่งส่วนที่สำหรับใช้ในประเทศนั้นมีประมาณเพียง 10 % ของปริมาณทั้งหมด โดยส่วนใหญ่จะส่งให้แก่โรงงานอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ เช่น อุตสาหกรรมผลิตยางรถยนต์ อุตสาหกรรมผลิตถุงมือ เป็นต้น (สุฤกษ์ คงทอง , 2546) ดังนั้นเกษตรกรชาวสวนยางจึงนิยมขายน้ำยางสดเป็นส่วนใหญ่ทั้งที่ใช้สำหรับรับส่งออกและใช้เองภายในประเทศ ทั้งนี้ราคาน้ำยางสดที่ขายได้นั้นขึ้นอยู่กับปริมาณเนื้อยางแห้ง (Dry Rubber Content, DRC) ที่มีอยู่ในน้ำยางสด (T. Janyanthy and P.E. Sankaranarayanan, 2005)

น้ำยางพาราเมื่อเก็บมาจากต้นจะมีเนื้อยางแห้งอยู่ประมาณร้อยละ 25-45 ขึ้นอยู่กับชนิดของพันธุ์ยาง การหาปริมาณเนื้อยางแห้งในน้ำยางที่นิยมใช้กันทั่วไปมี 2 วิธีคือวิธีการอบแห้งและวิธีการวัดความหนาแน่นของน้ำยางโดยใช้เครื่องมือแบบไฮโดรมิเตอร์ที่มีชื่อเรียกทางการค้าว่า เมโทรแลค (Metrolac) หรือ ลาเทกโซมิเตอร์ (Latexometer) วิธีการอบแห้งทำโดยนำน้ำยางสดมาชั่งน้ำหนักแล้วเติมกรดแอซิติค (Acetic acid, C₂H₄O₂) ลงไปในน้ำยางสด

เพื่อให้ยางจับตัวแล้วรีดให้เป็นแผ่นบาง นำแผ่นยางที่ได้ไปอบจนแห้งแล้วจึงนำไปชั่งน้ำหนัก วิธีดังกล่าวเป็นวิธีที่ได้มาตรฐานแต่ต้องใช้เวลานานมาก (ประมาณ 8-16 ชั่วโมง) ส่วนการวัดโดยใช้เครื่องมือแบบไฮโดรมิเตอร์นั้นทำได้โดยเครื่องมือลงไปใต้น้ำยาง จากความหนาแน่นของน้ำยางจะสามารถบอกได้ว่ามีความเข้มข้นของน้ำยางเท่าใดทันที ดังนั้นการวัดโดยใช้เมโทรแลค นั้นรวดเร็วมากกว่าการวัดโดยวิธีอบแห้งมาก อย่างไรก็ตามวิธีการวัดด้วยเมโทรแลคนี้จะให้ผลลัพธ์ที่ไม่เที่ยงตรงเสมอไปแต่เพราะความเสถียรรวดเร็วดังกล่าวข้างต้นจึงเป็นที่นิยมใช้ วิธีนี้ในการหาความเข้มข้นเพื่อใช้ในการซื้อขายและแปรรูปกันเป็นส่วนใหญ่ (พรพรรณ นิธิอุทัย , 2530).

น้ำยางพารานอกจากจะมีเนื้อยางแห้งเป็นส่วนประกอบแล้วก็ยังมีส่วนประกอบอื่นๆ ดังแสดงในตารางที่ 1.1 ซึ่งจะเห็นได้ว่าองค์ประกอบส่วนใหญ่ของน้ำยางคือน้ำ ดังนั้นการวัดหาปริมาณเนื้อยางแห้งในน้ำยางโดยวิธีการอบแห้งซึ่งต้องใช้เวลานานและการวัดความเข้มข้นของน้ำยางโดยใช้เครื่องวัดเมโทรแลคแล้ว ยังสามารถหาเนื้อยางแห้งโดยใช้หลักการวัดปริมาณน้ำที่มีอยู่ในน้ำยางได้อีกวิธีหนึ่งโดยอาศัยคุณสมบัติทางไฟฟ้า (Dielectric properties) ของน้ำที่มีในน้ำยาง (Kaida Khalid *et. Al.*, 1997) เป็นปัจจัยในการหาปริมาณเนื้อยางแห้งในน้ำยาง.

ตารางที่ 1.1 ส่วนประกอบต่างๆ ในน้ำยาง

ส่วนประกอบ	ร้อยละ (โดยน้ำหนัก)
เนื้อยางแห้ง	25.0 – 45.0
สารกลุ่มโปรตีน	2.0 – 3.0
สารกลุ่มคาร์โบไฮเดรต	1.5 – 3.5
เถ้า	0.5 – 1.0
น้ำ	55.0 – 65.0

ดังนั้นโครงการวิจัยนี้จึงเป็นการศึกษาวิธีการหาปริมาณเนื้อยางแห้งในน้ำยางเพื่อนำไปพัฒนาในการสร้างเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดหาปริมาณเนื้อยางแห้งในน้ำยางที่มีความถูกต้องแม่นยำกว่าอุปกรณ์ที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน อีกทั้งยังเป็นการตอบสนองความต้องการของชาวสวนยาง ผู้รับซื้อน้ำยางและโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ ได้เป็นอย่างดี

1.2 การตรวจเอกสาร

ปริมาณเนื้อยางแห้งในน้ำยาง (Dry Rubber Content, DRC) เป็นส่วนประกอบหนึ่งในน้ำยางซึ่งเป็นส่วนสำคัญในการกำหนดราคาน้ำยาง สำหรับวิธีการหาปริมาณเนื้อยางแห้งในน้ำยางได้มีการศึกษากันอย่างกว้างขวางตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบันดังนี้

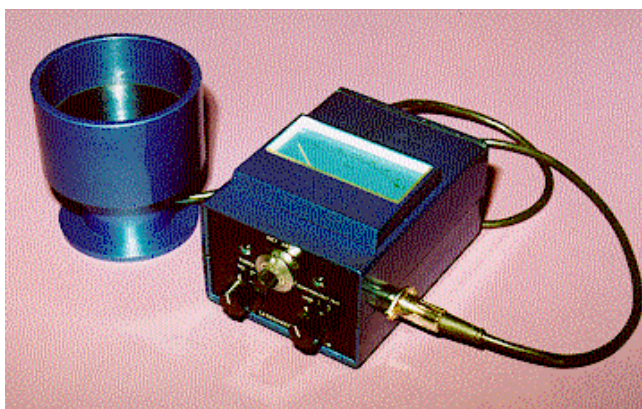
พรพรรณ นิธิอุทัย (2530) ได้ศึกษาหาความสัมพันธ์ระหว่างสองวิธีในการหาเนื้อยางในน้ำยาง โดยการหาความเข้มข้นของน้ำยางที่นิยม ใช้กันทั่วไปมี 2 วิธีคือ วิธี การอบแห้งและการวัดโดยใช้เมโทรแลค การหาเนื้อยางโดยวิธีการอบแห้งเป็นวิธีที่ได้มาตรฐานแต่ใช้เวลานานมาก ในขณะที่วิธีวัดโดยใช้เมโทรแลคใช้เวลาสั้นแต่ไม่เป็นมาตรฐาน โดยการเปรียบเทียบความน่าเชื่อถือของการวัดโดยใช้เมโทรแลคเพื่อนำมาเป็นเกณฑ์ในการกำหนดค่าความเข้มข้นที่วัดโดยวิธีอบแห้ง พบว่าถ้าใช้ความเชื่อถือในเกณฑ์ร้อยละ 50 ค่าของการวัดเมโทรแลคที่ถูกต้องจะอยู่ในช่วงความเข้มข้นร้อยละ 29-31 เท่านั้น แต่ที่ความเข้มข้นสูงกว่าหรือต่ำกว่านี้ ค่าความเชื่อถือว่าทั้งสองวิธีจะให้ค่าใกล้เคียงกันนั้นกระจายและต่ำมาก



ภาพประกอบที่ 1.1 เมโทรแลค (ที่มา พิมล ผลพฤกษา, 2551)

ในปี ค.ศ. 1982 Kaida Khalid ได้ศึกษาวิธีการหาปริมาณเนื้อยางแห้งในน้ำยางโดยใช้คลื่นไมโครเวฟที่ความถี่ 10.7 GHz เปรียบเทียบความถูกต้องโดยใช้วิธีอบแห้ง พบว่าค่าสัมประสิทธิ์ความแม่นยำมีค่าเท่ากับ 0.998 และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.7% จากผลการ

ทดลองดังกล่าวจึงได้มีการสร้างอุปกรณ์วัดปริมาณเนื้อยางแห้งในน้ำยางชื่อ MRT-Latexometer โดยใช้คลื่นไมโครเวฟขึ้นในปี ค.ศ. 1990 ด้วยการส่งคลื่นไมโครเวฟผ่านไปยังของเหลวและวัดความเข้มของคลื่นที่สะท้อนกลับ มาเทียบกับค่าที่ได้จากวิธีการอบแห้ง จากนั้นได้ทดลองหาปริมาณเนื้อยางในน้ำยางแล้ววัดค่ากระแสไฟฟ้าเพื่อนำมาปรับให้เป็นค่าที่สามารถอ่านได้โดยมิเตอร์ เมื่อทราบว่าปริมาณเนื้อยางสัมพันธ์กับกระแสไฟฟ้าอย่างไรแล้วจึงได้นำมาปรับเทียบเป็นค่าความชื้นที่วัดได้ ดังนั้นจึงได้สร้างเป็นอุปกรณ์วัดปริมาณเนื้อยางในน้ำยางซึ่งอุปกรณ์นี้สามารถวัดปริมาณเนื้อยางได้ในช่วง 0-60% ความผิดพลาด $\pm 1\%$ และสามารถวัดความชื้นของของเหลวได้ 40-100% ความผิดพลาด $\pm 0.5\%$ โดยที่ใช้เวลาในการวัด 5 นาที

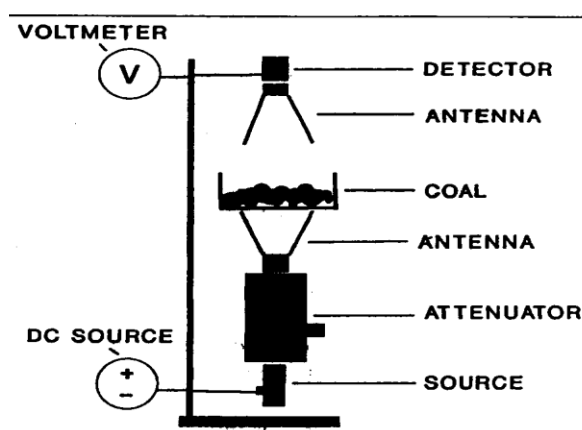


ภาพประกอบที่ 1.2 อุปกรณ์วัดปริมาณเนื้อยางแห้งในน้ำยาง MTR-Latexometer (ที่มา Kaida Khalid, 1990)

ต่อมาในปี 1997 Kaida Khalid, Jumiah Hassan and Wan Daud Wan Yusof ได้ศึกษาคุณสมบัติไดอิเล็กทริกในน้ำยางพันธุ์เฮเวียร์ ซึ่งโดยปกติส่วนประกอบพื้นฐานของน้ำยางธรรมชาติที่เก็บมาใหม่คือ น้ำ 50-80%, เนื้อยาง 18-45% และอื่นๆ 2-5% ได้แก่ โปรตีน, ของเหลว และ สารอินทรีย์ต่างๆ ศึกษาโดยการวัดความชื้นที่มีความเข้มข้นค่าต่างๆกัน ที่อุณหภูมิตั้งแต่ -30°C ถึง 50°C และความถี่ตั้งแต่ 10^{-3} Hz ถึง 20 GHz ผลการทดลองพบว่า ในสถานะของเหลวที่ความถี่น้อยกว่า 2 GHz สภาพความนำไฟฟ้าในของเหลวมีค่าลดลงในขณะที่ความถี่มากกว่า 2 GHz สภาพความนำไฟฟ้าจะขึ้นอยู่กับโมเลกุลน้ำ ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่าความถี่ที่เหมาะสมสำหรับการใช้วัดความชื้นในน้ำยางพันธุ์เฮเวียร์คือช่วงความถี่ที่มากกว่า 2 GHz และในสถานะของเหลวความถี่ที่เหมาะสมสำหรับวัดสภาพนำไฟฟ้าคือความถี่ที่ต่ำกว่า 2 GHz จากผลการทดลองนี้เหมาะสำหรับการวิเคราะห์และการออกแบบมิเตอร์ความชื้นโดยใช้ไมโครเวฟ และการวิเคราะห์การดูดกลืนของคลื่นไมโครเวฟให้ความร้อนเป็นอย่างดี

จากนั้น T. Janyanthy and P.E. Sankaranarayanan (2005) ได้ศึกษาวิธีการหาปริมาณเนื้อเยื่อแห้งโดยอาศัยคุณสมบัติไดอิเล็กทริกของน้ำที่มีอยู่ในน้ำยางโดยใช้คลื่นไมโครเวฟทำการทดลองที่อุณหภูมิห้องและได้เปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของน้ำยางโดยการเติมน้ำในปริมาณที่ต่างกัน ซึ่งจากการทดลองพบว่าค่าคงที่ไดอิเล็กทริกในน้ำยางจะแปรผันตรงกับปริมาณน้ำในน้ำยาง กล่าวคือถ้าน้ำยางมีปริมาณน้ำอยู่มากค่าคงที่ไดอิเล็กทริกก็จะมีค่ามากด้วย เพราะฉะนั้นน้ำยางที่มีน้ำอยู่มากแสดงว่ามีปริมาณเนื้อเยื่ออยู่น้อย ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าค่าคงที่ไดอิเล็กทริกในน้ำยางจะแปรผกผันกับปริมาณเนื้อเยื่อในน้ำยาง

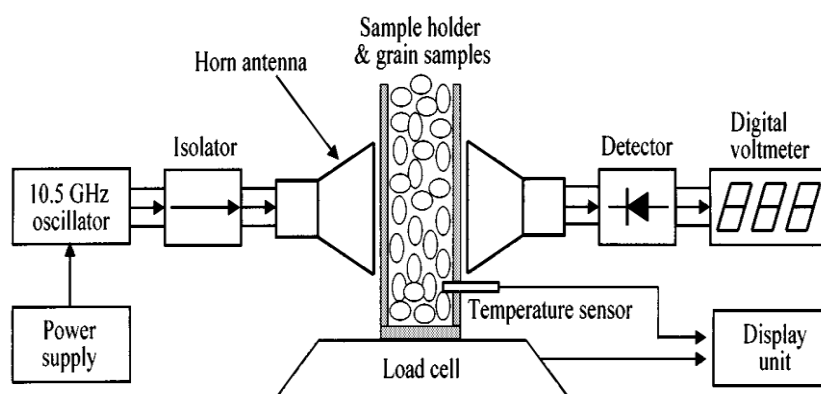
การประยุกต์ใช้คลื่นไมโครเวฟในการวัดหาความชื้นโดยอาศัยคุณสมบัติไดอิเล็กทริกของน้ำได้มีการศึกษาอย่างกว้างขวางทั้งด้านการเกษตรกรรมและอุตสาหกรรม โดยในปี 1991 C. Vermeulen and G.P. Hancke ได้ศึกษาปริมาณความชื้นในถ่านหินโดยใช้ไมโครเวฟ ซึ่งหลักการของการดูดกลืนพลังงานคลื่นไมโครเวฟโดยโมเลกุลของน้ำเป็นปัจจัยสำคัญในการนำมาใช้ประยุกต์สำหรับการหาปริมาณความชื้นในถ่านหิน โดยถ่านหินที่ต้องการหาปริมาณความชื้นนั้นกำลังถูกลำเลียงอยู่บนสายพานที่กำลังวิ่ง ปริมาณน้ำคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ในถ่านหินที่วัดได้จะสัมพันธ์กับคลื่นไมโครเวฟที่สามารถวัดได้ ดังนั้นจึงนำซอฟต์แวร์ที่ใช้ในคอมพิวเตอร์ร่วมกับอุปกรณ์ตรวจวัดความถี่ไมโครเวฟ และอุปกรณ์ตรวจวัดอื่นๆโดยสัญญาณของคลื่นไมโครเวฟที่วัดได้จะแสดงผลที่คอมพิวเตอร์ จากนั้นคอมพิวเตอร์ทำการแปรค่าความสัมพันธ์นี้คำนวณให้เป็นความชื้น



ภาพประกอบที่ 1.3 โครงสร้างของระบบวัดความชื้นของถ่านหินโดยใช้คลื่นไมโครเวฟ (ที่มา C. Vermeulen *et.al*, 1991)

ต่อมา Ki-Bok Kim and *et.al.*(2002) ได้ศึกษาคุณสมบัติไดอิเล็กทริกของข้าว 3 ชนิดในประเทศเกาหลีคือข้าวรุท ข้าวบราวน์ และข้าวบาร์เลย์ ซึ่งมีความชื้นมาตรฐานเปียกอยู่

ในช่วง 11-27 % , 11-18 % และ 11-21 % ตามลำดับ จากข้อมูลดังกล่าวจึงได้พัฒนาเครื่องต้นแบบสำหรับวัดความชื้นและความหนาแน่นของความชื้นโดยใช้คลื่นไมโครเวฟที่ความถี่ 10.5 GHz จากความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติไดอิเล็กทริกกับความหนาแน่น ความชื้น โดยเครื่องวัดความชื้นนี้ประกอบด้วยเครื่องส่งคลื่นความถี่ 10.5 GHz, เสาอากาศ, กล้องใส่ตัวอย่างทรงสี่เหลี่ยม, ฐานสำหรับรองรับน้ำหนัก, เครื่องตรวจวัดอุณหภูมิ, เครื่องตรวจวัดความถี่ และโวลต์มิเตอร์แบบดิจิตอล โดยค่าที่อ่านได้จากโวลต์มิเตอร์นั้นได้มีการปรับเปลี่ยนจากความเข้มของคลื่นที่วัดได้มาเป็นค่าของความชื้นเรียบร้อยแล้ว ค่าสัมประสิทธิ์ของความหนาแน่น ค่าความผิดพลาดมาตรฐานของการวัด, และค่าความคลาดเคลื่อน คือ 0.986, 0.52% และ 0.07% ตามลำดับ

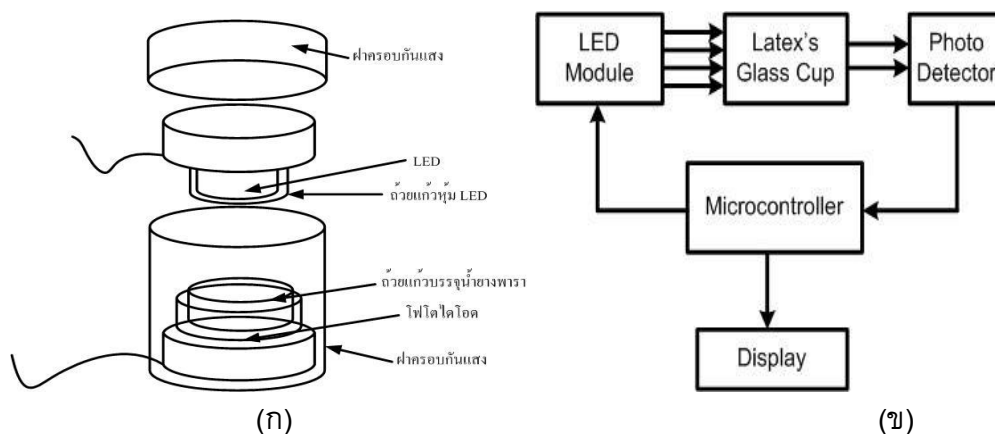


ภาพประกอบที่ 1.4 โครงสร้างของเครื่องวัดความชื้นในข้าวโดยใช้คลื่นไมโครเวฟที่ความถี่ 10.5 GHz (ที่มา Ki-Bok Kim and *et.al.*(2002))

จากการศึกษาของ Ki-Bok Kim and *et.al* ดั้งนั้นในปี 2002 Stuart O. Nelson, Samir Trabelsi and Andrzej W. Kraszewski ได้ศึกษาหลักการของการวัดความชื้นในเมล็ดข้าวโดยใช้คลื่นไมโครเวฟ เนื่องจากความชื้นในข้าวมีส่วนสำคัญต่อการกำหนดระยะเวลาที่เหมาะสมสำหรับการเก็บเกี่ยวและง่ายต่อการรักษาคุณภาพของข้าว ซึ่งเทคนิคของเครื่องวัดความชื้นที่สำคัญคือ มิเตอร์ความชื้นอิเล็กทรอนิกส์ โดยส่วนที่ต้องการให้มีประสิทธิภาพดีขึ้นคือตัววัดสัญญาณความชื้นที่ไวกว่าเดิมเพื่อให้เหมาะสมกับเกษตรกรรมสมัยใหม่ ดังนั้นการที่จะใช้ความถี่ของคลื่นไมโครเวฟให้เหมาะสมกับตัวอย่างที่จะวัดจึงมีความสำคัญ งานวิจัยนี้ได้เสนอหลักการในการวัดความชื้นโดยใช้ไมโครเวฟในช่องว่างเพื่อลดความยุ่งยากในการลดทอนความถี่คลื่นและไม่จำกัดรูปร่างของเมล็ดพืช อีกทั้งยังไม่ขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของเมล็ดพืชและยังสามารถวัดความชื้นในขณะที่เมล็ดพืชมีการเคลื่อนที่โดยค่าที่วัดได้มีความน่าเชื่อถือพอ การเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นของความชื้นยังมีผลต่อค่าคงที่ไดอิเล็กทริกและแฟกเตอร์การ

สูญเสีย จากความสำคัญของข้อดีดังกล่าวจึงควรมีการ สนับสนุนให้มีการพัฒนาเพื่อนำมาใช้ประโยชน์ได้จริงในระบบอุตสาหกรรม

การศึกษาวิธีการหาปริมาณเนื้อเยื่อแห้งในน้ำยางนอกจากจะใช้คลื่นไมโครเวฟในการหาได้แล้วยังสามารถหาได้โดยใช้การส่งผ่านแสง จากงานวิจัยของ พิมล ผลพุกษา (2551) ซึ่งได้ใช้แสงสองความยาวคลื่นในการส่งผ่านน้ำยางเพื่อหาปริมาณเนื้อเยื่อแห้งในน้ำยาง โดยอาศัยสมการ Beer's Law ของการส่งผ่าน ผลการทดลองสามารถทำนายค่าความเข้มข้นน้ำยางพาราได้ดังตารางที่ 1.2



ภาพประกอบที่ 1.5 (ก) โครงสร้างหัวตรวจสำหรับวัดค่าการส่งผ่านแสง (ข) แผนภาพการทำงานของเครื่องมือสำหรับวัดค่าการส่งผ่าน

ตารางที่ 1.2 การเปรียบเทียบค่าความแม่นยำและความเที่ยงตรงของสมการทำนายค่าความเข้มข้นน้ำยางพารา

ข้อมูลทางสถิติ	400 / 630 nm	400 / 645 nm
ค่าความผิดพลาดเฉลี่ย (%)	0.243	0.279
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (%)	4.82%	4.84%
ระดับความเชื่อมั่น 95 %	5.1	5.2
ค่า T-Test (%)	0.63	0.58

จากงานวิจัยต่างๆ เหล่านี้ทำให้เกิดแนวคิดที่จะศึกษาวิธีการหาปริมาณเนื้อเยื่อ
 แห่งในน้ำยางโดยใช้คลื่นไมโครเวฟที่ความถี่เหมาะสม เพื่อ นำไปพัฒนาเป็นอุปกรณ์วัดปริมาณ
 เนื้อเยื่อในน้ำยางที่มีความถูกต้องแม่นยำมากกว่าอุปกรณ์ที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันต่อไป

1.3 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางกายภาพของคลื่นไมโครเวฟเมื่อ
 ผ่านของเหลว
2. เพื่อศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อการหาปริมาณเนื้อเยื่อในน้ำยาง
3. เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของคลื่นไมโครเวฟ
 กับปริมาณเนื้อเยื่อในน้ำยาง
4. ออกแบบเพื่อการพัฒนาอุปกรณ์วัดปริมาณเนื้อเยื่อในน้ำยาง

1.4 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์

1. หาสมาการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความถี่กับการเปลี่ยนแปลงของ คลื่น
 ไมโครเวฟ
2. ทำการทดลองเพื่อหาความถี่ในน้ำยางเปรียบเทียบกับสมการโดยใช้คลื่น
 ไมโครเวฟที่ความถี่ 1 GHz -2.5 GHz
3. หาสมาการความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเนื้อเยื่อในน้ำยางกับการ
 เปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของคลื่นไมโครเวฟ สำหรับนำไปออกแบบอุปกรณ์วัดปริมาณเนื้อเยื่อ
 ในน้ำยาง
4. เขียนโครงสร้างอุปกรณ์วัดปริมาณเนื้อเยื่อในน้ำยาง
5. หาความถี่ที่เหมาะสมสำหรับนำไปพัฒนาเป็นอุปกรณ์วัดปริมาณเนื้อเยื่อ
 ในน้ำยาง

บทที่ 2

ทฤษฎี

การศึกษาวิธีการหาปริมาณเนื้องอกในน้ำยางโดยใช้คลื่นไมโครเวฟนั้นต้องอาศัยความรู้เกี่ยวกับลักษณะทั่วไป องค์ประกอบและคุณสมบัติของน้ำยาง วิธีการหาปริมาณเนื้องอกในน้ำยางที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน รวมถึงทฤษฎี หลักการทำงานและคุณสมบัติของคลื่นไมโครเวฟโดยมีรายละเอียดดังนี้

2.1 ทฤษฎีเกี่ยวกับน้ำยางธรรมชาติ

2.1.1 ลักษณะทั่วไปของน้ำยางธรรมชาติ

น้ำยางสดมีลักษณะเป็นของเหลวสีขาว ชุ่น มีสถานะเป็นสารคอลลอยด์หรือแขวนลอยอยู่ในตัวกลางที่เป็นน้ำ มีความหนาแน่นอยู่ระหว่าง 0.975-0.980 กรัมต่อมิลลิลิตร มีค่า pH ประมาณ 6.5-7.0 ความหนืดมีค่าประมาณ 12-15 เซนติพอยส์ (Centipoise) และอาจมีค่าแปรปรวนขึ้นอยู่กับปริมาณของส่วนประกอบในน้ำยาง นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับปัจจัยอื่นๆ เช่น พันธุ์ยาง อายุยาง ฤดูกาลที่ยาง เป็นต้น น้ำยางสดอยู่ในสภาวะแขวนลอยและมีประจุที่เป็นลบจึงผลักรันตลอดเวลาทำให้คงสภาพอยู่ได้ จนกว่าสภาพแวดล้อมและปัจจัยต่างๆ ที่มารบกวน เช่น อุณหภูมิ ความเป็นกรด ซึ่งทำให้เกิดการจับตัวเป็นก้อนของน้ำยาง (Blackley, 1997)



ภาพประกอบที่ 2.1 น้ำยางสดที่ได้จากการกรีดยาง (ที่มา ศิริลักษณ์และคณะ, 2552)

2.1.2 ส่วนประกอบต่างๆ ในน้ำยาง

น้ำยาง (Latex) มีสถานะ เป็น สาร คอลลอยด์หรือสารแขวนลอย (Dispersion) ที่ประกอบด้วยส่วนที่กระจัดกระจาย (Dispersion phase) ได้แก่ อนุภาคขนาดเล็กๆ ของสารพอลิเมอร์ที่มีขนาด 0.05-5 ไมครอน และส่วนของสารที่เป็นตัวกลาง (Dispersion medium) โดยทั่วไปเรียกว่า ซีรัม (Serum)

ตารางที่ 2.1 ส่วนประกอบของน้ำยางสด (Blackley, 1997)

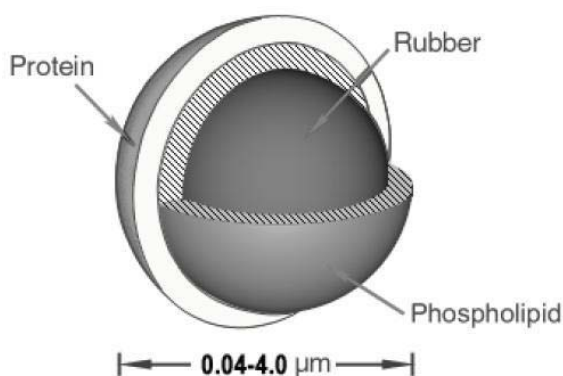
ส่วนประกอบ	เปอร์เซ็นต์ (โดยน้ำหนัก)
สารที่เป็นของแข็งทั้งหมด(Total Solid Content; TSC)	27 - 48
เนื้อยางแห้ง (Dry Rubber Content; DRC)	25 - 45
สารพวกโปรตีน	1 - 1.5
สารพวกเรซิน	1 - 1.25
ซีเถ้า	สูงถึง 1
น้ำตาล	1
น้ำ	ส่วนที่เหลือจนครบ100

2.1.3 ส่วนประกอบของน้ำยาง (เสาวนีย์, 2546)

2.1.3.1 ส่วนของเนื้อยาง (เนื้อยางแห้ง)

ปริมาณเนื้อยางแห้ง หมายถึงปริมาณของเนื้อยางที่อยู่ในน้ำยาง ตามปกติในน้ำยางจะมีเนื้อยางแห้งประมาณ 25-45% ซึ่งองค์ประกอบของเนื้อยางมีดังนี้

2.1.3.1.1 อนุภาคยาง ถูกห่อหุ้มด้วยสารจำพวกไขมันและโปรตีนโดยโปรตีนจะอยู่ชั้นนอกและอาจมีโลหะบางชนิด เช่น แมกนีเซียม โปแตสเซียม และทองแดงปะปนอยู่ปริมาณเล็กน้อยประมาณ 0.5 % โดยปกติอนุภาคยางจะแขวนลอยในน้ำ ประกอบด้วยสารประกอบพวกไฮโดรคาร์บอน มีชื่อโครงสร้างทางเคมีว่า ไอโซพรีน (*cis*-1,4 polyisoprene) มีความหนาแน่น 0.92 กรัมต่อมิลลิเมตร มีน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยอยู่ในช่วง 200,000-400,000 กรัมต่อโมล ลักษณะอนุภาคยางเป็นรูปค่อนข้างกลมคล้ายลูกแพร มีขนาดอนุภาคแตกต่างกันมากอยู่ระหว่าง 0.04-4 ไมครอน แสดงดัง ภาพประกอบที่ 2.2 อนุภาคยางส่วนใหญ่จะมีขนาดไม่เกิน 0.4 ไมครอน ขนาดอนุภาคเฉลี่ยประมาณ 1 ไมครอน เมื่อนำน้ำยางสดมาปั่นด้วยความเร็วสูง พบว่าอนุภาคยางที่มีขนาดใหญ่จะแยกตัวออกจากชั้นน้ำขึ้นมาอยู่ด้านบนซึ่งสามารถแยกออกได้เป็นน้ำยาง ชั้น ส่วนอนุภาคยางที่มีขนาดเล็กจะปะปนอยู่กับหางน้ำยาง (Skim latex)



ภาพประกอบที่ 2.2 ลักษณะที่เป็นไปได้ของอนุภาคยางธรรมชาติ (ที่มา กนกวรรณ, 2543)

2.1.3.1.2 โปรตีน (Protein) โปรตีนที่ห่อหุ้มอยู่ตรงผิวรอบนอกของอนุภาคยางมีอยู่ประมาณ 25 เปอร์เซ็นต์ของโปรตีนทั้งหมดที่มีอยู่ในน้ำยาง โปรตีนที่อยู่ในน้ำยางส่วนใหญ่เป็นชนิด แอลฟาглоบูลิน และฮีวิน (α -Globulin และ Hevein) ส่วนนอกสุดของ

อนุภาคยางมีโปรตีนห่อหุ้มอยู่ประมาณ 1 % ของอนุภาคยาง ส่วนใหญ่เป็นพวก แอลฟาไกลูบูลิน ซึ่งไม่ละลายในน้ำกลั่นแต่ละลายในกรด ต่าง หรือ เบส มีค่า Isoelectric point ที่ pH = 4.8 ดังนั้นอนุภาคยางจะรวมตัวกันอย่างรวดเร็วที่ pH ของแอลฟาไกลูบูลินละลายน้อยที่สุด สำหรับโปรตีนที่ห่อหุ้มผิวรอบนอกของอนุภาคยางซึ่งเป็นโปรตีนพวกฮีวิน สามารถละลายในน้ำได้ มีค่า Isoelectric point ที่ pH = 4.5 จะป้องกันอนุภาคยางมารวมตัวกัน ส่วนประกอบของฮีวินมีกำมะถันอยู่ประมาณ 5 % และเป็นประเภท crystalline disulphide linkage ดังนั้นขณะที่น้ำยางเกิดการสูญเสียสภาพจะเกิดการบดเน่าโดยโปรตีนส่วนนี้จะสลายตัวให้สารประกอบพวก ไฮโดรซัลไฟด์และสารเมอร์แคปแทนทำให้มีกลิ่นเหม็น

2.1.3.1.3 ไขมัน (Lipid) ไขมันอยู่ระหว่างผิวของอนุภาคยางและโปรตีน ส่วนใหญ่เป็นสารพวกฟอสโฟไลปิด ชนิด α -Lecithin ทำหน้าที่ยึดโปรตีนให้เกาะอยู่บนผิวของอนุภาคยาง น้ำยางในสภาวะที่เป็นต่าง เช่น มีแอมโมเนียอยู่ (ประมาณ 0.6 % ขึ้นไป) ฟอสโฟไลปิดจะถูกไฮโดรไลซ์เป็นกรดไขมันที่มีโมเลกุลยาวซึ่งจะรวมตัวกับแอมโมเนียกลายเป็นสบู่ ทำให้น้ำยางมีความเสถียรยิ่งขึ้น แต่กรณีที่มีแอมโมเนียปริมาณน้อย (ประมาณ 0.2 % ในน้ำยาง) การไฮโดรไลซิสจะเกิดขึ้นน้อย การเพิ่มความเสถียรของน้ำยางจึงจำเป็นต้องเพิ่มสบู่หรือสารอื่นที่ช่วยในการเก็บรักษาน้ำยางเพิ่มลงไป

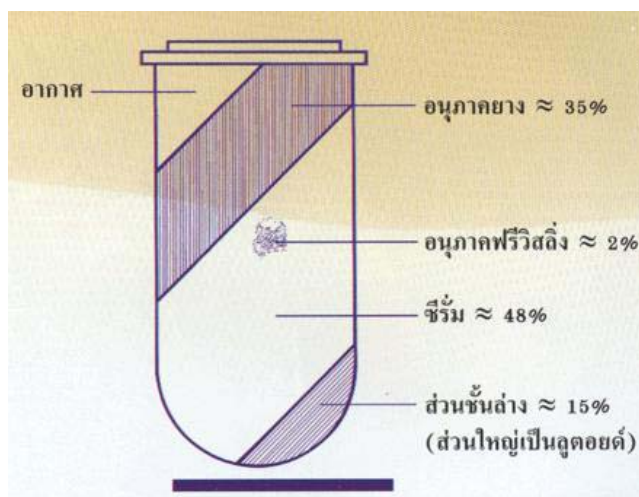
2.1.3.2 ส่วนที่ไม่ใช่น้ำยาง

ส่วนนี้ประกอบด้วย ส่วนสำคัญ 3 ส่วน คือ ส่วนที่เป็นน้ำหรือที่เรียกว่าซีรัม (Serum) โปรตีนและกรดอะมิโน และส่วนของลูตอยด์ (Lutoid) มีรายละเอียดดังนี้

2.1.3.2.1 ส่วนที่เป็นน้ำหรือซีรัม ซีรัมของน้ำยางมีความหนาแน่นประมาณ 1.02 กรัมต่อมิลลิลิตร ประกอบด้วยสารชนิดต่างๆ คือ คาร์โบไฮเดรตเป็นสารพวกแป้งและน้ำตาลมีอยู่ในน้ำยางประมาณ 1% น้ำตาลส่วนใหญ่เป็นชนิดคิวบาชิทอล (Quebrachitol)

2.1.3.2.2 โปรตีนและ กรดอะมิโน เป็นส่วนที่อยู่ในซีรัมของน้ำยาง มีค่า isoelectric point หลายค่า โปรตีนที่มีค่า isoelectric point สูงสามารถสลายตัวให้ประจุบวกได้เป็นสาเหตุให้น้ำยางสูญเสียสภาพ

2.1.3.2.3 ส่วนของลูทอยด์และสารอื่นๆ ลูทอยด์ (Lutoids) เป็นอนุภาคที่ค่อนข้างกลม ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 0.5–3 ไมครอน ห่อหุ้มด้วยเยื่อบางๆ ภายในเยื่อบางๆ นี้มีทั้งสารละลายและสารที่แขวนลอย มีค่า pH = 5.5 ส่วนใหญ่ประกอบด้วยโปรตีน โดยมีโปรตีนที่ละลายน้ำอยู่ประมาณ 3 % และมีส่วนของโปรตีนที่ไม่ละลายน้ำอยู่ประมาณ 2 % นอกจากนี้ยังมีส่วนของสารพวกฟอสโฟไลปิดแขวนลอยอยู่ประมาณ 0.5 % และมีสารโพลีฟีนอลออกซิเดส ซึ่งเป็นส่วนสำคัญที่ทำให้ยางมีสีเหลืองหรือสีคล้ำเมื่อสัมผัสกับออกซิเจนในอากาศ ลูทอยด์ห่อหุ้มด้วยเนื้อเยื่อชั้นเดียวสามารถเกิดการออสโมซิสได้ง่าย ดังนั้นการเติมน้ำลงในน้ำยางสดจะทำให้ลูทอยด์บวมและแตกง่าย ขณะที่ลูทอยด์เกิดการพองตัวมีผลทำให้น้ำยางมีความหนืดเพิ่มขึ้นและเมื่อลูทอยด์แตกความหนืดก็จะลดลง หากเติมแอมโมเนียลงในน้ำยางสด พบว่า ส่วนของลูทอยด์และสารพวกโลหะแมกนีเซียมจะรวมตัวกับแอมโมเนีย เกิดการตกตะกอนเป็นตะกอนสีน้ำตาลและสีม่วงแยกตัวออกจากเนื้อยางและเกาะรวมกันอยู่ด้านล่าง สามารถแยกออกได้ สารอื่นๆ โดยมากเป็นอนุภาคเฟรย์-วิสลิง (Frey wysling) เป็นสารที่ไม่ใช่ยางมีอนุภาคใหญ่กว่ายาง แต่ความหนาแน่นน้อยกว่า มีรูปร่างค่อนข้างกลม มีผนังล้อมรอบสองชั้น มีปริมาณไม่มากนัก ประกอบด้วย สารเม็ดสีพวกคาโรทีนอยด์ ซึ่งทำให้ยางมีสีเหลืองเข้ม สามารถรวมตัวกับแอมโมเนียและแยกตัวออกจากยาง มาอยู่ในส่วนของเซรุ่ม ถ้านำน้ำยางไปปั่นด้วยเครื่องปั่น (Centrifuge) โดยใช้ความเร็วสูงน้ำยางจะแยกออกเป็นชั้นๆ 4 ชั้น ดังภาพประกอบที่ 2.3



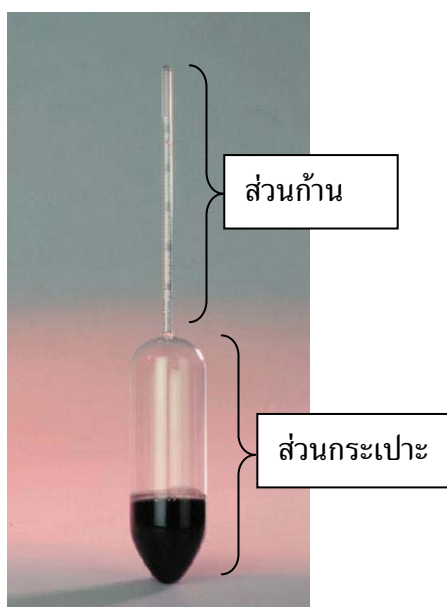
ภาพประกอบที่ 2.3 การแยกชั้นของน้ำยางหลังถูก Centrifuge (ที่มา กรมส่งเสริมการเกษตร, <http://contact.doae.go.th/cts/resultDtl.jsp?id=1682>)

2.2 การหาปริมาณเนื้อมะพร้าวแห้งในน้ำยาง (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2008)

การหาปริมาณเนื้อมะพร้าวแห้งในน้ำยาง จะหาเป็นค่าของเปอร์เซ็นต์เนื้อมะพร้าวแห้งในน้ำยาง โดยคิดเทียบจากน้ำยาง 100 ส่วน ว่าจะมีเนื้อมะพร้าวแห้งอยู่ที่ส่วน ซึ่งวิธีการหาสามารถกระทำได้หลายวิธี แต่ที่นิยมปฏิบัติกันอยู่ในปัจจุบัน มี 2 วิธี คือ วัดโดยใช้เมโทรแลคหรือลาแทคโซมิเตอร์และวิธีมาตรฐานในห้องปฏิบัติการหรือวิธีการอบแห้ง

2.2.1 การใช้เมโทรแลควัดความถ่วงจำเพาะ

เครื่องมือวัดความถ่วงจำเพาะของน้ำยาง เรียกว่า เมโทรแลคหรือลาแทคโซมิเตอร์ เป็นเครื่องมือที่ใช้วัดหาปริมาณเนื้อมะพร้าวแห้งในน้ำยางโดยอาศัยค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำยาง มีส่วนประกอบที่สำคัญ 2 ส่วน คือ ส่วนก้านและส่วนกระเปาะ ดังภาพประกอบที่ 2.4 ที่ก้านจะมีขีดกำหนดค่าเนื้อมะพร้าวแห้งไว้ โดยจะมี 2 ระบบ คือ ระบบอังกฤษ ซึ่งจะบอกค่าเป็นปอนด์ต่อ แกลลอน และระบบเมตริกซึ่งจะบอกค่าเป็นกรัมต่อลิตร ดังภาพประกอบที่ 2.5 โดยค่าปริมาณเนื้อมะพร้าวแห้งต่ำจะอยู่ด้านล่างค่าสูงจะอยู่ด้านบน ซึ่งหมายความว่า เมโทรแลคจะจมลงไปในน้ำยางที่มีเปอร์เซ็นต์เนื้อมะพร้าวแห้งต่ำ ทั้งนี้เพราะยางที่มีเปอร์เซ็นต์เนื้อมะพร้าวแห้งสูงจะมีค่าความถ่วงจำเพาะต่ำกว่าน้ำยางที่มีเปอร์เซ็นต์เนื้อมะพร้าวแห้งต่ำ



ภาพประกอบที่ 2.4 เมโทรแลคหรือลาแทคโซมิเตอร์ (ที่มา พิมล ผลพฤกษา, 2551)

การใช้ไมโครแลควัดหาปริมาณเนื้องานแห้งในน้ำยางนั้น ส่วนใหญ่โรงงานแปรรูปยางจะใช้วัดหาค่า ปริมาณเนื้องานแห้งในน้ำยางที่ทางโรงงานรวบรวมได้ เพื่อผลประโยชน์ในการคิด คำนวณน้ำและน้ำกรดที่จะผสมใส่ลงไป ในน้ำยาง เพื่อให้ยางจับตัวกันอย่างสมบูรณ์ และมีคุณสมบัติเหมาะสมตามที่โรงงานต้องการ ค่าปริมาณเนื้องานแห้งที่วัดได้จึงไม่ถูกต้องนักเมื่อเทียบกับวิธีชั่งน้ำหนักยางตัวอย่างหรือวิธีมาตรฐานในห้องปฏิบัติการ อย่างไรก็ตามการหาปริมาณเนื้องานแห้งในน้ำยางโดยใช้ไมโครแลคนี้ทำได้ง่ายสะดวก รู้ผลทันที จึงเป็นที่นิยมนำมาประยุกต์ใช้ในการซื้อขายน้ำยาง ซึ่งผู้ซื้อและผู้ขายสามารถหาค่าเปอร์เซ็นต์เนื้องานแห้งได้ และรับจ่ายเงินได้ทันทีที่มีการซื้อขาย

2.2.1.1 ขั้นตอนการหาปริมาณเนื้องานแห้งในน้ำยางโดยใช้ไมโครแลค

การใช้ไมโครแลคในการวัดหาปริมาณเนื้องานแห้งในน้ำยาง ต้องเตรียมอุปกรณ์ที่จะใช้วัดให้พร้อม ซึ่งได้แก่ ไมโครแลค กระจกบดวางสำหรับใส่น้ำยางเพื่อใช้วัด โดยไมโครแลค ถาดหรือตะแกรงสำหรับรองกระจกบดวางเพื่อรับน้ำยางที่ล้นจากกระจกบดวางเมื่อใส่ไมโครแลค และน้ำสะอาด จากนั้นนำไมโครแลค แฉ่งลงในกระจกบดวางที่เตรียมไว้ เพื่อควบคุมอุณหภูมิให้คงที่และลดแรงตึงผิว แล้วจึงใช้วัดค่าเปอร์เซ็นต์เนื้องานแห้งตามขั้นตอนดังนี้

2.2.1.1.1 ตักตัวอย่างน้ำยางที่ต้องการวัด 1 ส่วน (ประมาณ 250-300 ซี.ซี.) ผสมกับน้ำสะอาด 2 ส่วน คนให้เข้ากัน แล้วเทใส่ในกระจกบดวางให้เต็มจนล้น

2.2.1.1.2 เป่าฟองอากาศที่ลอยอยู่บนผิวน้ำยางในกระจกบดวาง ออกให้หมด แล้วค่อย ๆ หย่อนไมโครแลคลงไป ในกระจกบดวาง ปล่อยให้ลอยเป็นอิสระ

2.2.1.1.3 อ่านค่าที่ก้านของไมโครแลค บริเวณที่ผิวน้ำยางตัดกับก้าน ไมโครแลค หลังจากที่ไมโครแลคลอยตัวนิ่งแล้วดังภาพประกอบที่ 2.6



ภาพประกอบที่ 2.6 ลักษณะเมโทรแลคขณะทำการวัดหาค่าปริมาณเนือยงแห้งในน้ำยง
(ที่มา <http://aopdr01.doae.go.th/DRC%201.htm>)

2.2.1.1.4 นำค่าที่อ่านได้ไปคูณด้วย 3 ก็จะได้เปอร์เซ็นต์เนือยงแห้งในน้ำยงตัวอย่างที่ใช้วัดออกมาหรือนำไปเปรียบเทียบค่าปริมาณเนือยงแห้งในน้ำยงกับความถ่วงจำเพาะดังตารางที่ 2.2

ตัวอย่าง

เมโทรแลคระบบอังกฤษ

$$\begin{aligned} \text{ค่าที่อ่านได้ ระหว่าง 1 กับ } 1\frac{1}{2} &= 1.5 \\ \text{ปริมาณเนือยงแห้ง} &= 1.5 * 3 \\ &= 4.5 \end{aligned}$$

หมายความว่า

ในน้ำยง 1 แกลลอน มีเนือยงแห้ง 4.5 ปอนด์ หรือ 45 %

เมโทรแลคระบบเมตริก

$$\begin{aligned} \text{ค่าที่อ่านได้} &= 150 \\ \text{ปริมาณเนือยงแห้ง} &= 150 * 3 \\ &= 450 \end{aligned}$$

หมายความว่า

ในน้ำยง 1 ลิตร มีเนือยงแห้ง 450 กรัม หรือ 45 %

ตารางที่ 2.2 เปรียบเทียบค่าของเปอร์เซ็นต์เนื้อมะพร้าวแห้งกับความ
ถ่วงจำเพาะ (<http://aopdr01.doae.go.th/DRC%201.htm>)

ปริมาณเนื้อมะพร้าวแห้ง	ความถ่วงจำเพาะ
25	0.992
26	0.990
27	0.989
28	0.988
29	0.987
30	0.986
31	0.984
32	0.983
33	0.982
34	0.981
35	0.980
36	0.979
37	0.978
38	0.976
39	0.975
40	0.974

2.2.1.2 ข้อควรระวังในการหาปริมาณเนื้อมะพร้าวแห้งในน้ำยางด้วยวิธีการ วัดโดยใช้ไมโครแลค

เนื่องจากการใช้ไมโครแลควัดหาปริมาณเนื้อมะพร้าวแห้งในน้ำยางนั้นจำเป็นต้องให้ความสำคัญกับทุกขั้นตอนของการดำเนินงาน เพราะหากเกิดผิดพลาดขึ้นในขั้นตอนใดขั้นตอนหนึ่ง อาจทำให้ค่าเปอร์เซ็นต์เนื้อมะพร้าวแห้งที่วัดได้ผิดพลาดมากกว่าที่ควรจะเป็น ข้อควรระวังในการใช้ไมโครแลค มีดังนี้

2.2.1.2.1 น้ำยางที่ใช้วัดต้องเป็นน้ำยางที่สด สะอาด ไม่มี สิ่งเจือปนใด ๆ ในน้ำยาง

2.2.1.2.2 ตักตัวอย่างน้ำยาง ให้ได้ตัวอย่างน้ำยางที่แท้จริง อย่า ตักน้ำยางเฉพาะด้านบนหรือด้านล่างของถังหรือภาชนะใส่น้ำยาง ควรคนน้ำยางให้เข้ากันดีก่อน ตักตัวอย่างน้ำยางไปวัดหาค่าเปอร์เซ็นต์เนื้อยางแห้ง

2.2.1.2.3 ผสมน้ำสะอาดลงในตัวอย่างน้ำยางในอัตราส่วน 2 : 1 (น้ำสะอาด 2 ส่วน น้ำยาง 1 ส่วน) คนให้เข้าเป็นเนื้อเดียวกัน แล้วเทใส่กระบอกตวงให้เต็มจน ล้น และไม่มีฟองอากาศ

2.2.1.2.4 น้ำสะอาดที่ใช้ผสมควรมีอุณหภูมิใกล้เคียงกับน้ำยาง ไม่ร้อนเกินไปหรือเย็นเกินไป

2.2.1.2.5 ก่อนใช้เมโทรแลค ควรล้างเมโทรแลคให้สะอาด และ แช่วเมโทรแลคไว้ในน้ำสะอาด เพื่อควบคุมอุณหภูมิให้คงที่และลดแรงตึงผิว

2.2.1.2.6 อ่านค่าเมื่อเมโทรแลคหยุดนิ่ง และอ่านตรงบ ริเวณที่ ผิวน้ำยางตัดกับก้านเมโทรแลค

2.2.1.2.7 คำนวณค่าที่อ่านได้และบันทึกเปอร์เซ็นต์เนื้อยางแห้ง ให้ถูกต้อง

2.2.2 วิธีมาตรฐานในห้องปฏิบัติการหรือวิธีการอบแห้ง

วิธีนี้เป็นวิธีวัดหาปริมาณเนื้อยางแห้งในน้ำยางได้อย่างถูกต้องแม่นยำ โดยใช้หลักความจริงในการดำเนินงาน คือ นำน้ำยางไปทำให้แห้งให้เหลือแต่เฉพาะเนื้อยาง แล้วนำไปชั่งน้ำหนักเปรียบเทียบระหว่างน้ำยางก่อนที่จะนำไปทำให้แห้งกับเนื้อยางที่แห้งแล้ว นำมาคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ยางก็จะได้ปริมาณเนื้อยางแห้งในน้ำยาง โดยอุปกรณ์ที่จำเป็นในการหา ปริมาณเนื้อยางแห้งในน้ำยางด้วยวิธีนี้ได้แก่ ตู้อบตัวอย่างยาง เครื่องชั่ง จักรรีดยาง ถ้วย พลาสติก ถ้วยอลูมิเนียม กรดอะซิติก และน้ำกลั่นหรือน้ำสะอาด



ภาพประกอบที่ 2.7 ตู้อบตัวอย่างยาง (ที่มา กรมส่งเสริมการเกษตร,
<http://contact.doae.go.th/cts/resultDtl.jsp?id=1682>)

2.2.2.1 ขั้นตอนการหาปริมาณเนื้อยางแห้งในน้ำยางโดยวิธีมาตรฐานในห้องปฏิบัติการหรือวิธีการอบแห้ง มีขั้นตอนการดำเนินงาน 10 ขั้นตอน ดังนี้

2.2.2.1.1 สุ่มตัดตัวอย่างน้ำยางที่ต้องการหาเปอร์เซ็นต์เนื้อยางแห้งโดยตัดตัวอย่างน้ำยางจากในถังใส่ถ้วยพลาสติก

2.2.2.1.2 ชั่งตัวอย่างน้ำยางในถ้วยพลาสติก ถ้วย ละ 10 กรัม (ชั่งถ้วยพลาสติกก่อนใส่น้ำยางลงไปชั่ง)

2.2.2.1.3 เติมน้ำกลั่นหรือน้ำสะอาดผสมลงในตัวอย่างน้ำยางประมาณ 20 ซี.ซี.

2.2.2.1.4 เติมน้ำกรดอะซีติก ความเข้มข้น 2% ลงไปอีกประมาณ 15 - 20 ซี.ซี. คนให้เข้ากัน

2.2.2.1.5 ตั้งทิ้งไว้ให้ยางจับตัวประมาณ 30 นาที

2.2.2.1.6 นำยางที่จับตัวสมบูรณ์แล้ว ไปรีดให้เป็นแผ่นบาง ๆ ความหนาไม่เกิน 2 มม.

2.2.2.1.7 ล้างแผ่นยางที่รีดจนบางได้ที่แล้วให้สะอาด

2.2.2.1.8 นำแผ่นยางที่ล้างสะอาดแล้ว ไปอบให้แห้งในตู้อบที่ อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ระยะเวลาอบ 16 ชั่วโมง

2.2.2.1.9 นำแผ่นยางที่อบแห้งแล้วออกจากตู้อบ ตั้งทิ้งไว้ให้ เย็น แล้วนำไปชั่งน้ำหนัก พร้อมบันทึกน้ำหนักแห้งไว้

2.2.2.1.10 กำหนดหาปริมาณเนื้อยางแห้งในน้ำยาง

$$\text{เปอร์เซ็นต์เนื้อยางแห้ง} = \frac{\text{น้ำหนักแผ่นยางแห้ง}}{\text{น้ำหนักน้ำยางสด}} \times 100 \quad (2.1)$$

ข้อดีของการหาค่าเปอร์เซ็นต์เนื้อยางแห้งโดยวิธีนี้ คือ มีความถูกต้อง แม่นยำสูง วิธีการไม่ยุ่งยาก เกษตรกรสามารถเรียนรู้และเข้าใจได้ง่าย และสามารถปฏิบัติด้วย ตนเองได้ แต่มีข้อเสียคือ ใช้เวลานานจึงจะสามารถทราบค่าเปอร์เซ็นต์เนื้อยางแห้งที่แท้จริงได้

2.2.2.2 ข้อควรระวังในการหาปริมาณเนื้อยางแห้งในน้ำยางโดยวิธี มาตรฐานในห้องปฏิบัติการหรือวิธีการอบแห้ง

2.2.2.2.1 น้ำยางที่ใช้วัดต้องเป็นน้ำยางที่สด สะอาด ไม่มี สิ่งเจือปนใด ๆ ในน้ำยาง

2.2.2.2.2 ตักตัวอย่างน้ำยางให้ได้ตัวอย่างน้ำยางที่แท้จริง อย่า ตักน้ำยางเฉพาะด้านบนหรือด้านล่างของภาชนะใส่น้ำยาง คนน้ำยางให้เข้ากันดีก่อนตักตัวอย่าง น้ำยางไปหาค่าเปอร์เซ็นต์เนื้อยางแห้ง

2.2.2.2.3 ชั่งตัวอย่างน้ำยางให้ได้ 10 กรัมพอดี อย่าให้ขาด หรือเกินเพราะตัวอย่างมี ปริมาณน้อยมากเมื่อเทียบกับ ปริมาณน้ำยางที่กรีดได้ทั้งหมด ดังนั้น โอกาสผิดพลาดจึงมีสูง

2.2.2.2.4 ทำเครื่องหมายภาชนะบรรจุตัวอย่างให้ชัดเจน อย่าให้ สลับกัน

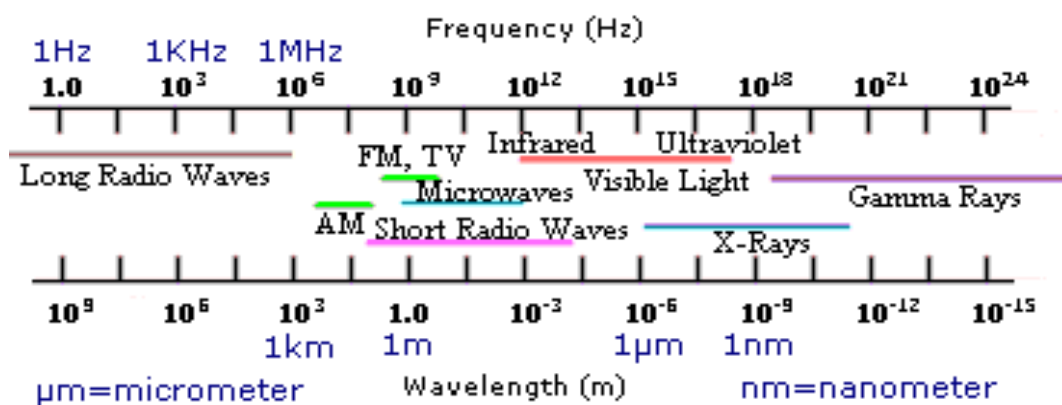
2.2.2.2.5 ยางที่จับตัวเป็นก้อน ก่อนรีดให้เลาะออกจากถ้วยให้ หมด อย่าให้ติดอยู่ที่ถ้วย เพราะจะทำให้ น้ำหนักยางแห้งที่ชั่งได้น้อยกว่าที่ควรจะเป็น

2.2.2.2.6 อบยงตัวอย่างให้แห่งสนิท แล้วทิ้งไว้ให้เย็น ก่อนชั่งน้ำหนัก

2.2.2.2.7 คำนวณหาค่าปริมาณเนื้อยงแห่งให้ถูกต้อง

2.3 ทฤษฎีคลื่นไมโครเวฟ

ไมโครเวฟเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า มีลักษณะเหมือนแสงที่เคลื่อนที่เป็นเส้นตรง และเจาะทะลุผ่านสสารซึ่งมีคุณสมบัติโปร่งใส ไม่มีการแผ่รังสีอนุภาคหรือรังสีอะตอมจึงไม่กระจายและไม่สะสมในร่างกายมนุษย์ คลื่นไมโครเวฟเป็นคลื่นวิทยุ ที่มีความถี่สูงและปัจจุบันความถี่ย่านนี้มีบทบาทสำคัญในการใช้งานของระบบสื่อสารและการประยุกต์ใช้งานในด้านอื่นๆ อีกมากมาย ไมโครเวฟเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความถี่อยู่ระหว่าง 300 MHz – 300 GHz ดังแสดงในภาพประกอบที่ 2.8 โดยมีการเริ่มต้นใช้งานในปี พ.ศ. 2487 เป็นครั้งแรกในการส่งระบบเรดาร์ในสงครามโลกครั้งที่ 2 และต่อมามีการใช้งานไมโครเวฟเพิ่มจำนวนมากขึ้นเรื่อยๆ โดยเฉพาะงานวิจัยและการวิเคราะห์พลาสมา

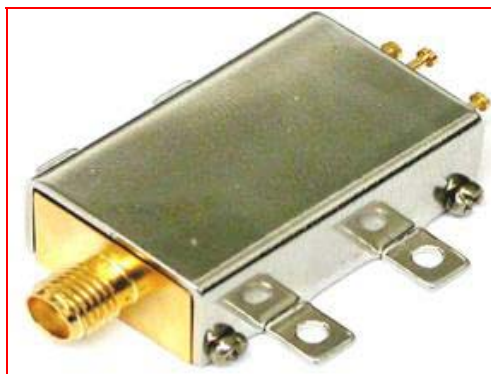


ภาพประกอบที่ 2.8 สเปกตรัมแสดงความถี่ของคลื่นไมโครเวฟ (ที่มา

http://kosmoi.com/Pictures/Science/Electromagnetic_Spectrum.gif)

จากนั้นมาไมโครเวฟได้มีความสำคัญเพิ่มมากขึ้นในงานหลายด้านที่เกี่ยวข้องกับความถี่สูง โดยเฉพาะกับวิศวกรและนักวิทยาศาสตร์ที่ทำงานเกี่ยวข้องกับสาขานี้ ซึ่งจะเป็นการใช้ความรู้แบบผสมผสานที่ตอบสนองต่อการวิจัย ปัจจุบันออสซิลเลเตอร์ (Oscillator) ความถี่

ไมโครเวฟประเภทสารกึ่งตัวนำมีราคาถูก ทำให้การขยายงานในสาขานี้มีการประยุกต์ไปอย่างกว้างขวาง โดยอุปกรณ์นี้มีขนาดเล็ก น้ำหนักเบา ดังภาพประกอบที่ 2.9



ภาพประกอบที่ 2.9 ออสซิลเลเตอร์ความถี่ไมโครเวฟ (ที่มา <http://www.minicircuits.com/>)

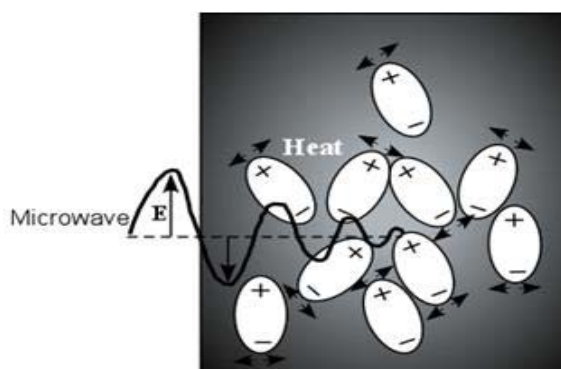
การส่งคลื่นไมโครเวฟแบบมีทิศทางได้มีความสำคัญมากขึ้น โดยย่านความถี่สูงได้มีการนำมาใช้งานแทนย่านความถี่ต่ำที่มีการใช้งานอย่างแออัด เทคโนโลยีด้านไมโครเวฟได้เข้ามามีบทบาทในสังคมของมนุษย์มากขึ้น เช่น เรดาร์ เต้าไมโครเวฟ เครื่องมือแพทย์ในระบบการวัดคุมและการให้ความร้อน เป็นต้น (ประสิทธิ์, 2549)

2.3.1 หลักการทำงานของไมโครเวฟ (Darrington, 1986)

วัตถุโดยทั่วไปจะประกอบด้วยอนุภาคประจุไฟฟ้าบวกและอนุภาคประจุไฟฟ้าลบจำนวนเท่าๆ กัน จึงทำให้วัตถุนั้นมีลักษณะเป็นกลาง ถ้าวัตถุไม่มีคุณสมบัติการนำไฟฟ้านั้นคือเป็นพวกฉนวนหรือไดอิเล็กทริก (Dielectric) เมื่อนำไปวางในสนามแม่เหล็กไฟฟ้า โมเลกุลของวัตถุจะเคลื่อนที่ไปในทิศทางต่างๆ และพยายามเรียงตัวตามสนามแม่เหล็กไฟฟ้า พบว่าในสนามแม่เหล็กไฟฟ้านั้น โมเลกุลจะทำตัวเหมือนมี 2 ขั้ว และหมุนรอบตัวตามแกนโมเลกุลเหล่านี้จะจัดเรียงตัวตามแนวขั้วบวกและขั้วลบ เกิดการเสียดสีภายในระหว่างโมเลกุลทำให้เกิดความร้อนขึ้น

โดยหลักการแล้วคลื่นไมโครเวฟจะก่อให้เกิดความร้อนได้ก็ต่อเมื่อคลื่นไมโครเวฟถูกดูดกลืน และสสารที่มีคุณสมบัติในการดูดกลืนคลื่นไมโครเวฟได้ดีจะเป็นพวกโมเลกุลที่มีขั้ว เช่น น้ำ เกลือ เป็นต้น โดยคลื่นไมโครเวฟจะชนกับประจุบวกและประจุลบของโมเลกุลของน้ำในวัตถุ ทำให้โมเลกุลของน้ำเคลื่อนที่ เกิดการหมุนตัวในสนามแม่เหล็ก ด้วยแรงดึงดูดดังภาพประกอบที่ 2.10 และการแยกตัวออกจากกันของประจุของน้ำ ทำให้มีผลต่อพันธะ

ไฮโดรเจนแล้วเกิดความร้อนจากการเสียดสีกันของโมเลกุล ส่วนพวกโมเลกุลที่ไม่มีขั้ว เช่น น้ำมัน เนื้อเยื่อไขมัน เป็นต้น จะได้รับสนามแม่เหล็กไฟฟ้าอย่างทั่วถึงประจุบวกเกิดแรงในทิศทางเดียวกับสนามแม่เหล็กไฟฟ้า ส่วนประจุลบเกิดแรงในทิศทางตรงกันข้าม ทำให้เกิดกระบวนการโพลาไรซ์ (Polarized) เนื่องจากประจุเกิดการเปลี่ยนแปลงไปจากเดิมทำให้เกิดความร้อนจากการเสียดสีของโมเลกุลเช่นกัน ซึ่งคุณสมบัติการดูดกลืนคลื่นไมโครเวฟของโมเลกุลสารแต่ละชนิดจะแตกต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 2.3



ภาพประกอบที่ 2.10 แบบจำลองการดูดกลืนคลื่นไมโครเวฟ

(ที่มา <http://www.vcharkarn.com/uploads/138/138943.png>)

ตารางที่ 2.3 ค่าการดูดกลืนคลื่นไมโครเวฟของโมเลกุลสาร
(Darrington, 1991)

โมเลกุลสาร	ค่าการดูดกลืนคลื่นไมโครเวฟของโมเลกุลสาร
น้ำมันพืชและไขมัน	0.06
น้ำกลั่น	0.12 - 0.15
เนื้อและผัก	0.25 - 0.35
น้ำเกลือ 2%	0.9
น้ำเกลือ 8%	1.3

วัตถุบางชนิดจะมีการเคลือบ อนุที่ภายในโมเลกุลมากกว่าวัตถุอีกชนิดหนึ่ง เรียกลักษณะนี้ว่าความหลวม ระดับ ความหลวมจะแปรผันตามคลื่นความถี่ อุณหภูมิ และ คุณสมบัติของวัตถุ ถ้าวัตถุมีความหลวมมากวัตถุนั้นจะสามารถดูดกลืนพลังงานไมโครเวฟได้มาก นั่นคือวัตถุนั้นจะมีพลังงานความร้อนเกิดขึ้นได้มาก (Glodblith, 1996) พลังงานไมโครเวฟสามารถเขียนในรูปสมการได้ดังนี้

$$E = hf \quad (2.2)$$

เมื่อ E คือ พลังงาน
 h คือ ค่าคงที่ของพลังค์ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 6.25×10^{27} เฮิร์ตซ์ต่อวินาที
 f คือ ความถี่

เมื่อคลื่นมีความถี่สูง พลังงานที่ได้จะมีค่ามาก เนื่องจากพลังงานไมโครเวฟจะแสดงในเทอมพลังงาน จึงควรที่จะแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังไฟฟ้ากับพลังงานความร้อน แต่เนื่องจาก 1 KW สามารถทำให้วัตถุที่มีน้ำหนัก 1 Kg มีอุณหภูมิสูงขึ้น 14.4°C ต่อนาที ดังนั้นพลังงานความร้อนที่ได้จากกำลังไฟฟ้า 1 KW มีค่าเท่ากับ 57 BTU ต่อนาทีต่อ KW หรือ 3,420 BTU ต่อชั่วโมงต่อ KW

2.3.2 คุณสมบัติของคลื่นไมโครเวฟ (Decareau, 1985)

2.3.2.1 การสะท้อนกลับ (Reflection)

คลื่นไมโครเวฟเมื่อไปกระทบกับภาชนะที่เป็นโลหะหรือมีส่วนผสมของโลหะซึ่งเป็นตัวนำไฟฟ้าที่ดีจะสะท้อนกลับหมด เนื่องจากคลื่นไมโครเวฟไม่สามารถทะลุผ่านภาชนะดังกล่าวได้ จากคุณสมบัติดังกล่าวคลื่นไมโครเวฟจึงถูกนำไปใช้ในเตาอบไมโครเวฟ โดยภายในเตาอบไมโครเวฟประกอบด้วย ฝาผนัง เพดาน พื้น ประตู จะมีการสะท้อนของคลื่นไมโครเวฟ ขณะเดียวกันใบพัดซึ่งทำด้วยโลหะที่อยู่ในเตาอบจะหมุนเมื่อมีการทำงานของเตาอบไมโครเวฟ ทำหน้าที่สะท้อนคลื่นไมโครเวฟให้กระจายอย่างทั่วถึง

2.3.2.2 การส่งผ่าน (Transmission)

คลื่นไมโครเวฟสามารถทะลุผ่านภาชนะที่ทำด้วยแก้ว กระดาษ พลาสติก ไม้ กระเบื้องและพอลิ เมอร์ได้โดยไม่มีการดูดซับเข้าไป เนื่องจากภาชนะดังกล่าวจะดูดกลืนคลื่นไมโครเวฟได้น้อยมากและยอมให้คลื่นไมโครเวฟผ่านได้

2.3.2.3 การดูดซึม (Absorption)

คลื่นไมโครเวฟสามารถดูดซึมเข้าไปในวัตถุได้โดยความชื้นที่มีอยู่ในวัตถุและแพร่กระจายเข้าไปในวัตถุได้ลึกประมาณ $3/4$ นิ้ว – $3/2$ นิ้ว โดยคลื่นไมโครเวฟจะทำให้โมเลกุลของของเหลวในวัตถุ เช่น น้ำ ไขมันและน้ำตาล เป็นต้น เกิดการสั่นด้วยความเร็วสูง

2.3.3 คุณลักษณะเฉพาะและประโยชน์ของคลื่นไมโครเวฟ (ประสิทธิ์, 2549)

คลื่นไมโครเวฟเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีคุณสมบัติเดินทางเป็นเส้นตรง และเคลื่อนที่ในอากาศด้วยความเร็วเท่ากับแสง นอกจากนี้ไมโครเวฟยังมีคุณสมบัติที่ดีหลายประการที่แตกต่างจากคลื่นความถี่ต่ำ จึงทำให้มีการนำคลื่น ไมโครเวฟไปใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ มากมายด้วยกัน คุณสมบัติเหล่านี้คือ

2.3.3.1 ด้วยความถี่สูงกว่า 1 GHz ทำให้มีความยาวคลื่นต่ำกว่า 30 ซม. ลงมา ทำให้อุปกรณ์สื่อสารที่ใช้งานมีขนาดเล็ก น้ำหนักเบา

2.3.3.2 ด้วยความถี่พาหะที่สูงทำให้สามารถบรรจุข่าวสารได้จำนวนมากกว่า คือมีแบนด์วิดท์ (Bandwidth) กว้าง ทำให้คลื่นไมโครเวฟสามารถส่งสัญญาณได้พร้อมๆ กันหลายครั้ง

2.3.3.3 ในย่านคลื่นไมโครเวฟสัญญาณจะถูกรบกวนจากสัญญาณรบกวนที่มนุษย์สร้างขึ้น (Man-Mad-Noise) น้อยกว่าเมื่อเทียบกับย่านความถี่ต่ำ

2.3.3.4 โครงสร้างโมเลกุลของวัสดุหลายๆ ชนิด สามารถดูดกลืนคลื่นไมโครเวฟได้เป็นอย่างดี สามารถนำหลักการข้อนี้มาประยุกต์ใช้ประโยชน์ได้หลายด้าน เช่น เตาไมโครเวฟ การวิเคราะห์ตัวอย่างของแร่ธาตุและสารประกอบต่างๆ โดยอาศัยหลักการที่วัสดุแต่ละชนิดจะดูดกลืนคลื่นไมโครเวฟที่ความถี่ต่างกัน เป็นต้น

2.4 สายนำสัญญาณ

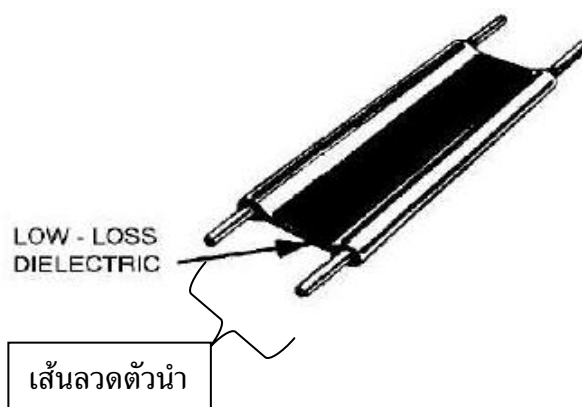
สายนำสัญญาณคือ อุปกรณ์สื่อสารที่ใช้ในการเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์สื่อสาร 2 ส่วน โดยทำหน้าที่นำกำลังงานที่เป็นความถี่วิทยุจากอุปกรณ์หนึ่งไปยังอีกอุปกรณ์หนึ่ง เช่น จากเครื่องส่งวิทยุไปยังสายอากาศ เป็นต้น โดยการนำสัญญาณความถี่วิทยุผ่านสายนำสัญญาณนี้ จะต้องจัดองค์ประกอบให้มีประสิทธิภาพการส่งผ่านกำลังงานสูงสุดและมีการสูญเสียที่น้อยที่สุด สายนำสัญญาณมี โครงสร้างได้หลายรูปแบบซึ่งโครงสร้างจะเปลี่ยนไปตามความเหมาะสมกับความถี่วิทยุที่ใช้งาน (ประสิทธิ์, 2549)

2.4.1 โครงสร้างสายนำสัญญาณ

โครงสร้างของสายนำสัญญาณที่ใช้ในการส่งผ่านกำลังงานวิทยุแบบ พื้นฐานมีอยู่ 2 แบบ คือ แบบสายคู่ขนาน และแบบสายโคแอกเชียล ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

2.4.1.1 สายนำสัญญาณแบบคู่ขนาน (Twin Lead Line)

สายนำสัญญาณแบบคู่ขนานประกอบด้วยสายนำสัญญาณที่เป็น เส้นลวดตัวนำ 2 เส้น วางขนานกันและห่างกันด้วยความกว้างค่าหนึ่งซึ่งเมื่อเทียบกับความยาวคลื่นแล้วต้องมีระยะสั้นกว่า ามากๆ ดังแสดงในภาพประกอบที่ 2.11 ตามโครงสร้างจะมีการกระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าออกไปรอบสายได้ และมีค่าความต้านทานประมาณ 300 โอห์ม ไม่นิยมใช้งานมากนักเนื่องจาก ไม่มีชิลด์ป้องกันสัญญาณรบกวน ติดตั้งหรือเดินสายยากเพราะโค้งงอลำบาก

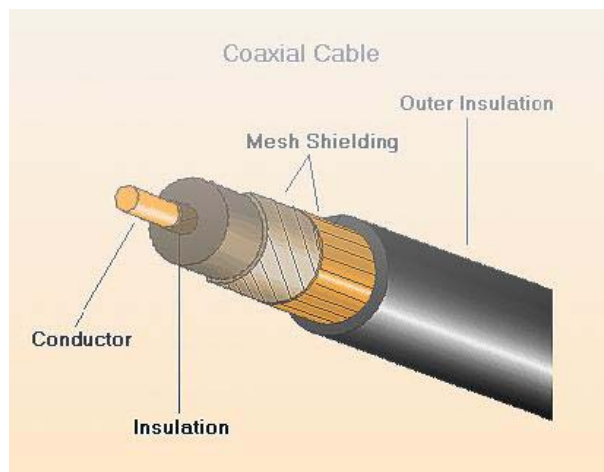


ภาพประกอบที่ 2.11 โครงสร้างสายนำสัญญาณแบบคู่ขนาน

(ที่มา <http://www.hs8jyx.com/images/article/34.gif>)

2.4.1.2 สายนำสัญญาณแบบโคแอกเชียล (Coaxial Line)

สายนำสัญญาณแบบโคแอกเชียลประกอบด้วย ตัวนำสัญญาณด้านในและตัวนำสัญญาณด้านนอก และเนื่องจากรัศมีของตัวนำด้านนอกต้องมีขนาดเล็กกว่าความยาวคลื่นมากๆ และต้องมีสารไดอิเล็กทริก คั่นระหว่างตัวนำด้านในกับตัวนำด้านนอก ดังภาพประกอบที่ 2.11 สายนำสัญญาณแบบโคแอกเชียลสามารถปิดกั้นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าได้ดี และมีค่าความต้านทานประมาณ 75 โอห์ม ดังนั้นจึงเหมาะแก่การใช้งานในช่วงความยาวสั้นๆ เช่น ใช้เชื่อมต่อระหว่างโมดูลต่างๆ ในอุปกรณ์ไมโครเวฟ เป็นต้น



ภาพประกอบที่ 2.12 โครงสร้างสายนำสัญญาณแบบโคแอกเชียล (ที่มา

http://www.nrru.ac.th/learning/science/sc_007/03/unit8/network3.html)

จากทฤษฎีที่กล่าวมาทั้งหมดข้างต้นผู้วิจัยจึงได้เกิดแนวคิดในการออกแบบระบบที่จะใช้ทำการทดลองและวิธีการทดลองโดยอาศัยหลักการดังกล่าว เพื่อให้สามารถตอบโจทย์สำหรับการวิจัยซึ่งรายละเอียดจะได้กล่าวในบทต่อไป

บทที่ 3

วัสดุและวิธีการวิจัย

ในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาการหาปริมาณเนื้อเยื่อแห้งในน้ำยางโดยอาศัยหลักการดูดกลืนคลื่นไมโครเวฟของน้ำซึ่งเป็นองค์ประกอบส่วนใหญ่ในน้ำยางดังที่ได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 2 ซึ่งเนื้อหาในบทนี้จะกล่าวถึงระบบที่ใช้ทำการทดลอง วิธีการทดลอง รวมถึงวิธีการวิเคราะห์ผลและการทดสอบความถูกต้องแม่นยำของผลการทดลอง ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.1 วัสดุ

- 3.1.1 น้ำยาง
- 3.1.2 น้ำกลั่น
- 3.1.3 แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์
- 3.1.4 แผ่นอลูมิเนียม
- 3.1.5 แอมโมเนีย

3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือ

- 3.2.1 อุปกรณ์สำหรับการทดลอง
 - 3.2.1.1 ปีกเกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตร จำนวน 3 ใบ
 - 3.2.1.2 กระบอกตวงขนาด 50 มิลลิลิตร จำนวน 1 ใบ
 - 3.2.1.3 มัลติมิเตอร์ จำนวน 2 เครื่อง ยี่ห้อ Sanwa รุ่น CD800a
 - 3.2.1.4 แหล่งจ่ายไฟกระแสตรงที่ปรับค่าได้ (DC) 27 V
 - 3.2.1.5 ตัวส่งสัญญาณคลื่นไมโครเวฟ รุ่น ZX95-1600-S+ และรุ่น ZX95-2800-S+
 - 3.2.1.6 ตัวรับสัญญาณคลื่นไมโครเวฟ รุ่น ZX47-40-S+
 - 3.2.1.7 สายนำสัญญาณชนิด Low loss-High Performance Coax ขนาด RG-174
 - 3.2.1.8 Spectrum Analyzer

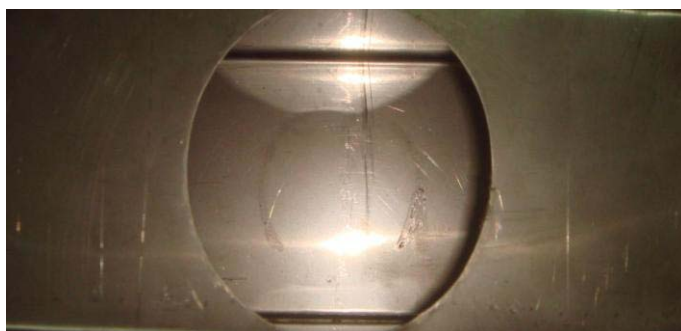
3.3 วิธีดำเนินการ

3.3.1 การออกแบบและสร้างภาชนะกั้นการกระจายของคลื่น

ภาชนะกั้นการกระจายของคลื่นไมโครเวฟสร้างจากท่อสแตนเลส มีความหนา 2 mm จำนวน 4 กล่อง โดยความกว้างและความยาวมีขนาดเท่ากันคือ 9 cm และ 18 cm แต่เนื่องจากการทดลองใช้น้ำอย่างตัวอย่างปริมาณต่างกัน ดังนั้นกล่องภาชนะที่ใช้จึงมีความสูงต่างกันคือ 5.5 cm, 6.5 cm, 7.5 cm และ 8.5 cm ด้านบนของกล่องจะมีช่องสำหรับใส่บีกเกอร์ที่บรรจุน้ำอย่างตัวอย่างที่ใช้ทำการทดลองมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 cm สำหรับด้านข้างของกล่องได้เจาะรูสำหรับใส่สายอากาศ เนื่องจากสายอากาศเชื่อมต่อกับตัวส่งและตัวรับคลื่นซึ่งอยู่ภายนอกกล่องดังภาพประกอบที่ 3.1



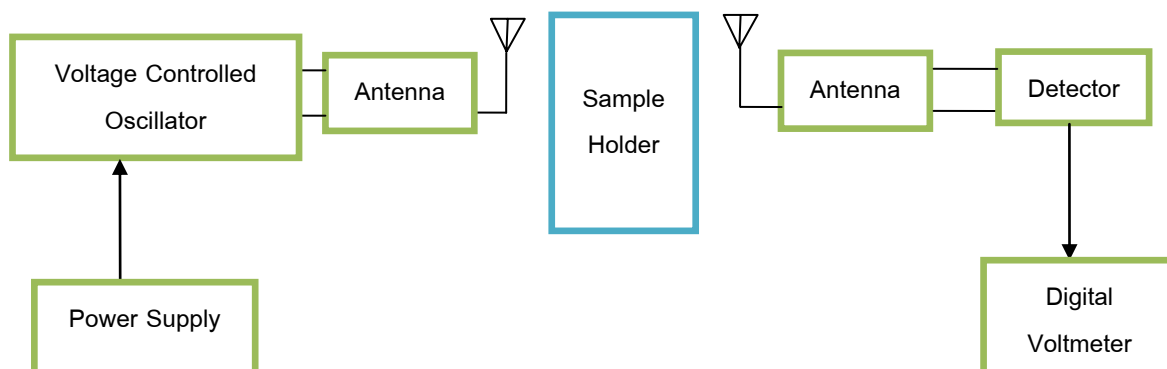
(ก) ด้านข้าง



(ข) ด้านบน

ภาพประกอบที่ 3.1 ลักษณะของกล่องภาชนะกั้นการกระจายของคลื่นที่สร้างขึ้น

3.3.2 ออกแบบระบบการทดลอง



ภาพประกอบที่ 3.2 ระบบและอุปกรณ์ที่ใช้ทำการทดลอง

3.3.3 การศึกษาหาความถี่ที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของน้ำในน้ำยาง

3.3.3.1 ปรับ Tune ตัวส่งสัญญาณคลื่นไมโครเวฟเพื่อให้ทราบค่าแต่ละความถี่ต้องจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงค่าใด โดยนำตัวส่งสัญญาณต่อเข้ากับเครื่อง Spectrum Analyzer พร้อมกับบันทึกค่าระหว่างความต่างศักย์ไฟฟ้ากับความถี่

3.3.3.2 ทำการทดลองวัดหาช่วงความถี่ที่น้ำสามารถดูดกลืนพลังงานคลื่นไมโครเวฟได้มากที่สุดโดยใช้น้ำเปล่า

3.3.3.3 เตรียมน้ำยางตัวอย่างให้มีปริมาณเนื้อยางแห้ง 20% - 60% โดยการเจือจางด้วยน้ำกลั่นที่เตรียมไว้แล้วใส่ลงในบีกเกอร์ที่ปริมาตร 150 ml, 200 ml, 250 ml และ 300 ml ดังภาพประกอบที่ 3.3 จากนั้นนำน้ำยางที่เตรียมได้ไปใส่ในกล่องภาชนะกั้นการกระจายของคลื่นดังภาพประกอบที่ 3.4

3.3.3.4 ทำการทดลองโดยส่งสัญญาณคลื่นไมโครเวฟที่ความถี่ 1 GHz – 2.5 GHz ผ่านน้ำยางตัวอย่างที่เตรียมไว้ตามข้อ 3.3.2.1

3.3.3.5 บันทึกผลการวัดโดยอ่านค่าจากมัลติมิเตอร์

3.3.3.6 วิเคราะห์หาความถี่ที่ตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณเนื้อยางแห้งในน้ำยางมากที่สุดเพื่อนำไปศึกษาหาความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงสัญญาณคลื่นไมโครเวฟกับปริมาณเนื้อยางแห้งในน้ำยางต่อไป



ภาพประกอบที่ 3.3 น้ียงตัวอย่างที่ใช้ทำการทดลอง



(ก) ด้านบน



(ข) ด้านข้าง

ภาพประกอบที่ 3.4 น้ียงตัวอย่างที่อยู่ในบีกเกอร์เพื่อใช้ในการทดลอง

3.3.4 การศึกษาหาความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงสัญญาณคลื่นไมโครเวฟกับปริมาณเนื้อเยื่อแห้งในน้ำยาง

3.3.4.1 ปรับระบบการทดลองโดยทำการวัดหาตำแหน่งตัวรับสัญญาณที่สามารถรับสัญญาณคลื่นไมโครเวฟให้ได้ค่าสูงสุด (DC Output ต่ำสุด)

3.3.4.2 ทดลองวัดน้ำยางตัวอย่างโดยใช้คลื่นความถี่ที่ได้จากหัวข้อ 3.3.2 จำนวน 5 ครั้ง บันทึกผลและหาค่าเฉลี่ย

3.3.4.3 นำข้อมูลที่ได้จากข้อ 3.3.4.2 ไปเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงสัญญาณคลื่นไมโครเวฟกับปริมาณเนื้อเยื่อแห้งในน้ำยาง

3.3.4.4 วิเคราะห์กราฟความสัมพันธ์ที่ได้จากข้อ 3.3.4.3 เพื่อหาสมการความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงสัญญาณคลื่นไมโครเวฟกับปริมาณเนื้อเยื่อแห้งในน้ำยาง

3.3.5 เปรียบเทียบวิธีการหาปริมาณเนื้อเยื่อแห้งโดยใช้คลื่นไมโครเวฟกับวิธีอบแห้ง

3.3.5.1 นำน้ำยางตัวอย่างที่จะใช้วัดหาปริมาณเนื้อเยื่อแห้งในน้ำยางจากสหกรณ์พิจิตรซึ่งเป็นสถานที่รับซื้อน้ำยางสดจากชาวสวนยาง

3.3.5.2 สุ่มเลือกน้ำยางตัวอย่าง จำนวน 10 ตัวอย่าง มาทำการทดลองวัดหาปริมาณเนื้อเยื่อแห้งในน้ำยางโดยใช้คลื่นไมโครเวฟ บันทึกผลจากการวัด

3.3.5.3 วิเคราะห์และคำนวณหาค่าปริมาณเนื้อเยื่อแห้งในน้ำยางจากสมการความสัมพันธ์ที่ได้จากข้อ 3.3.4

3.3.5.4 นำค่าปริมาณเนื้อเยื่อแห้งในน้ำยางที่ได้จากการคำนวณไปเขียนกราฟเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการอบแห้ง ซึ่งค่าปริมาณเนื้อเยื่อแห้งที่ได้จากการอบแห้งนั้นได้ข้อมูลจากสหกรณ์พิจิตร

3.3.5.5 วิเคราะห์หาค่าความผิดพลาดและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน โดยใช้สมการที่ 3.1 และ สมการที่ 3.2 ตามลำดับ

$$\text{ค่าความผิดพลาด} = \text{ค่าที่ได้จากการอบแห้ง} - \text{ค่าที่ได้จากการคำนวณ} \quad (3.1)$$

$$S.D. = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (3.2)$$

- โดย S.D. คือค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของปริมาณ DRC ที่วัดได้
 x_i คือค่า DRC ที่วัดได้แต่ละครั้ง
 \bar{x} คือค่า DRC เฉลี่ยที่วัดได้
 n คือจำนวนครั้งที่ของการวัดซ้ำที่ DRC ต่างๆ

3.3.5.6 วิเคราะห์ผลการทดลองและสรุปผลการทดลอง

จากระบบและอุปกรณ์ที่ออกแบบสำหรับการทดลองรวมถึงวิธีทำการทดลองที่กล่าวมาข้างต้น หลังจากทำการทดลองสามารถเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์และวิเคราะห์ผลการทดลองซึ่งจะกล่าวในบทต่อไป

บทที่ 4

ผลการทดลอง

งานวิจัยนี้ อาศัยหลักการดูคลื่นพลังงานคลื่นไมโครเวฟของน้ำซึ่งเป็นองค์ประกอบส่วนใหญ่ในน้ำยาง สามารถอ่านค่าของผลการทดลองได้โดยใช้มัลติมิเตอร์ จากนั้นนำมาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์และวิเคราะห์ผลที่ได้โดยการเปรียบเทียบกับวิธีการอบแห้งซึ่งได้ผลการทดลองแสดงในรายละเอียดต่อไปนี้

4.1 ผลการปรับ Tune หาความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ไฟฟ้ากับความถี่ของตัวส่งสัญญาณคลื่นไมโครเวฟ

จากการปรับ Tune เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ไฟฟ้ากับความถี่ของตัวส่งสัญญาณทั้ง 2 รุ่น โดยใช้เครื่อง Spectrum Analyzer แสดงผลดังตารางที่ 4.1 และ 4.2

ตารางที่ 4.1 ผลการปรับ Tune หาค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ความถี่ต่างๆ ของตัวส่งสัญญาณคลื่นไมโครเวฟ รุ่น ZX95-1600-s+

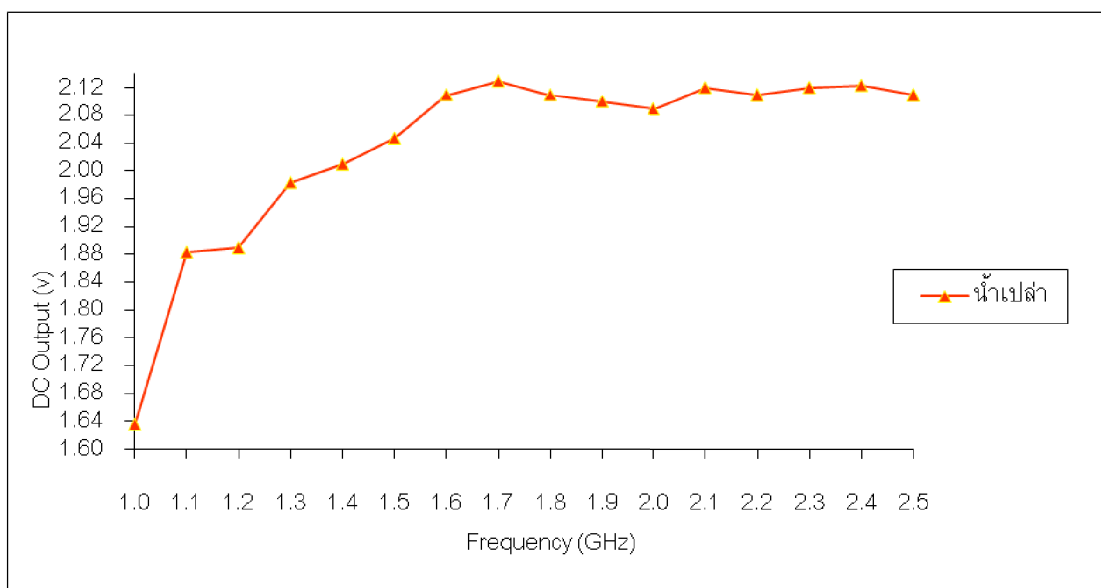
V Tune (v)	Frequency (GHz)
6	1.0
7.5	1.1
9	1.2
11.5	1.3

ตารางที่ 4.2 ผลการปรับ Tune หาค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ความถี่ต่างๆ ของ
ตัวส่งสัญญาณคลื่นไมโครเวฟ รุ่น ZX95-2800-s+

V Tune (v)	Frequency (GHz)
2.5	1.4
4.0	1.5
5.0	1.6
6.5	1.7
7.5	1.8
8.5	1.9
9.5	2.0
10.5	2.1
11.5	2.2
12.5	2.3
14.5	2.4
15.5	2.5

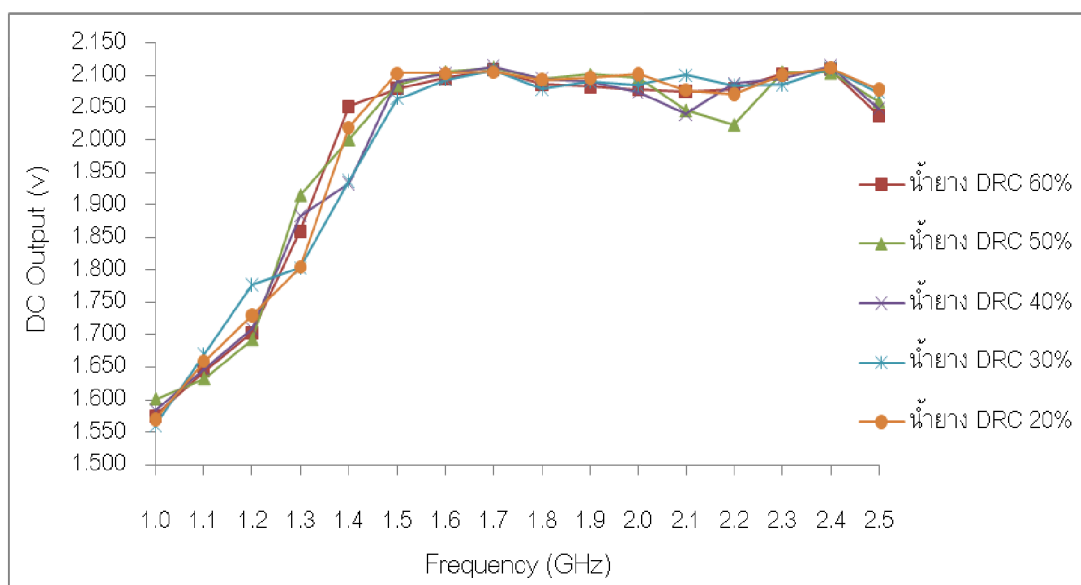
4.2 การศึกษาหาความถี่ที่ตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณเหนี่ยวนำในหน้ายาง

จากการทดลอง วัตถุประสงค์ที่น้ำสามารถดูดกลืนพลังงานคลื่นไมโครเวฟ
ได้มากที่สุดโดยใช้น้ำเปล่าแสดงผลดังภาพประกอบที่ 4.1 พบว่าที่ความถี่ตั้งแต่ 1.6 GHz – 2.5
GHz คลื่นไมโครเวฟถูกน้ำดูดกลืนพลังงานได้มากที่สุด

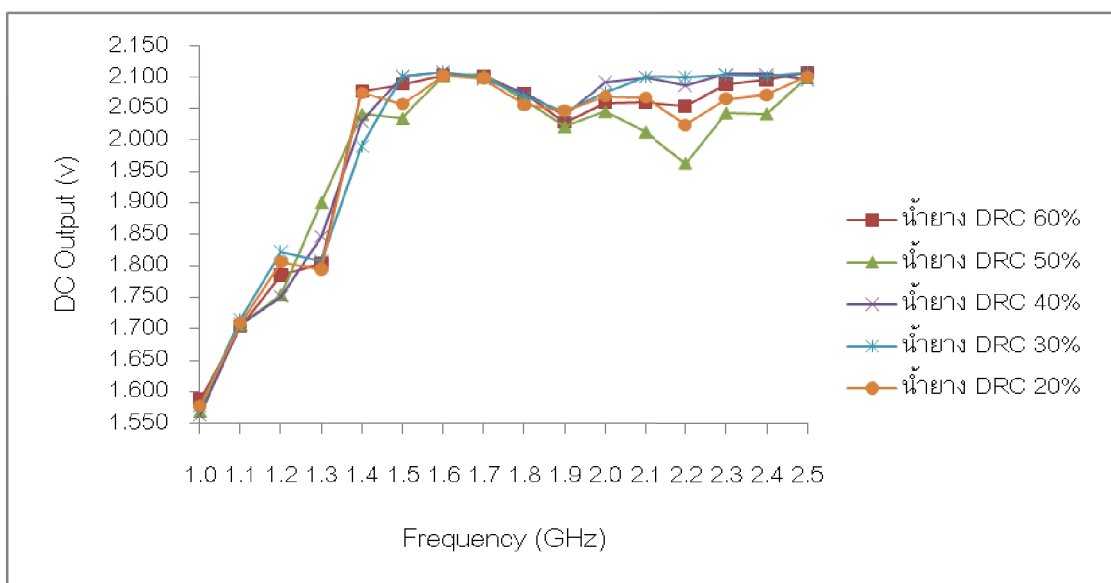


ภาพประกอบที่ 4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณคลื่นไมโครเวฟกับความถี่

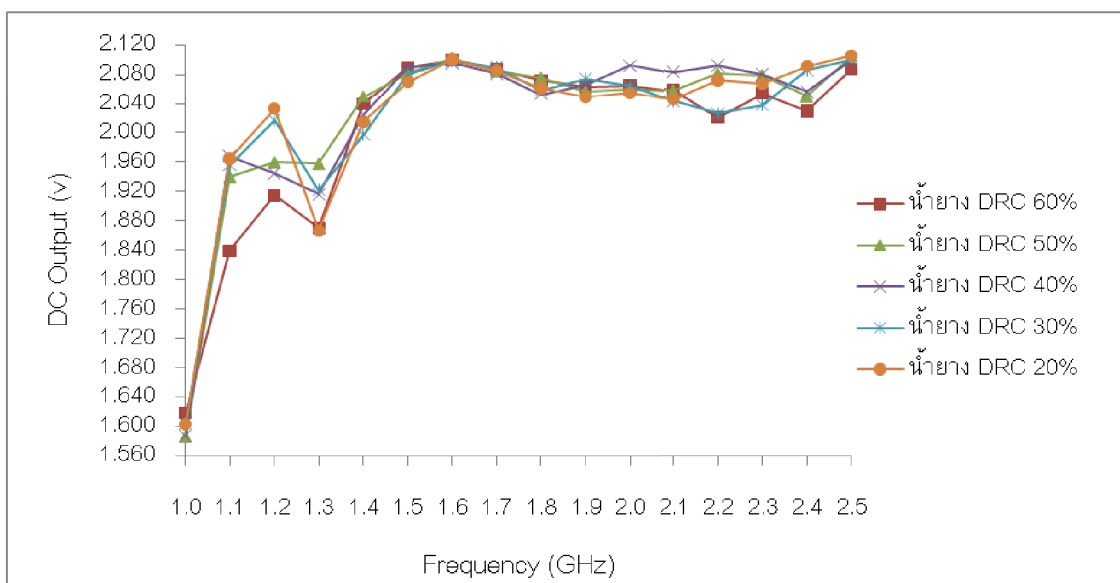
จากการนำน้ำยางตัวอย่างซึ่งบรรจุอยู่ในบี กเกอร์ที่ปริมาตร 150 ml, 200 ml, 250 ml และ 300 ml ไปทำการทดลองวัดโดยการส่งผ่านคลื่นไมโครเวฟที่ความถี่ 1.0 GHz – 2.5 GHz แสดงผลได้ดังภาพประกอบที่ 4.2 – 4.5



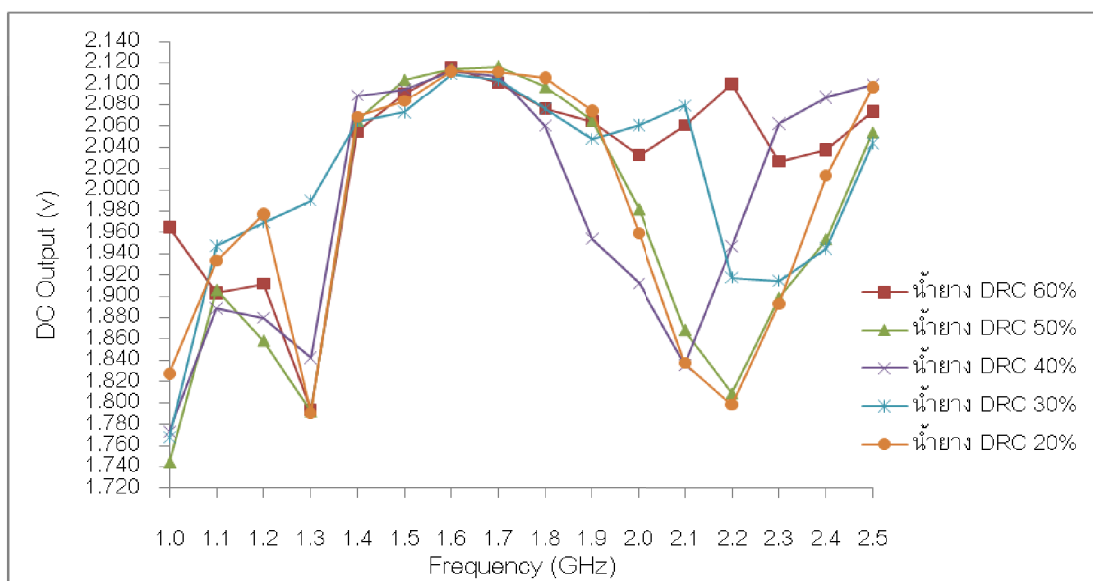
ภาพประกอบที่ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณคลื่นไมโครเวฟที่ความถี่ต่างๆ น้ำยางตัวอย่างปริมาตร 150 ml.



ภาพประกอบที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณคลื่นไมโครเวฟที่ความถี่ต่างๆ น้ำยางตัวอย่างปริมาตร 200 ml.

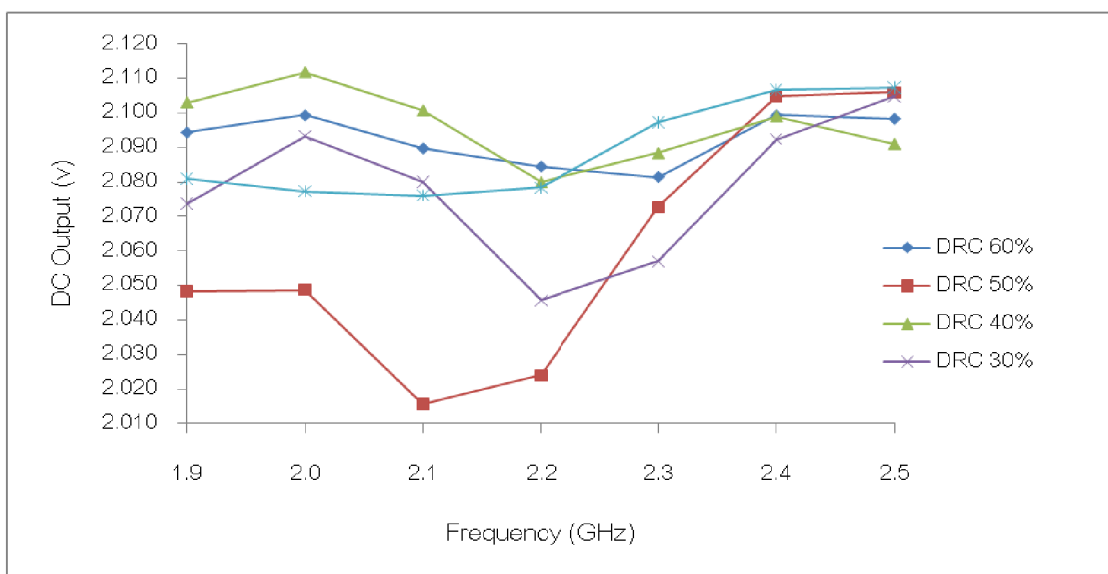


ภาพประกอบที่ 4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณคลื่นไมโครเวฟที่ความถี่ต่างๆ น้ำยางตัวอย่างปริมาตร 250 ml.

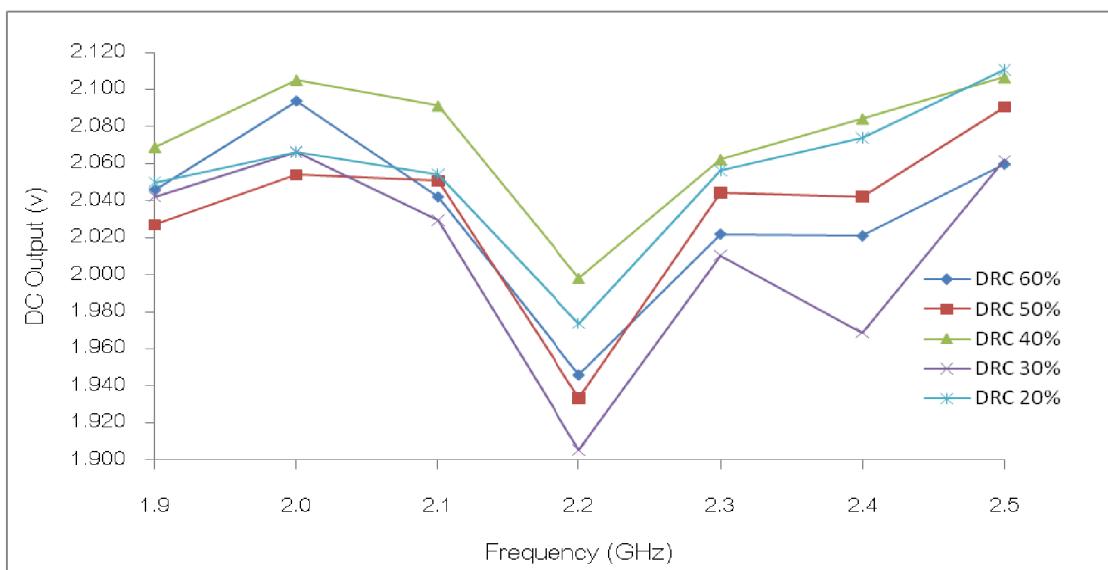


ภาพประกอบที่ 4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณคลื่นไมโครเวฟที่ความถี่ต่างๆ น้ำยางตัวอย่างปริมาตร 300 ml.

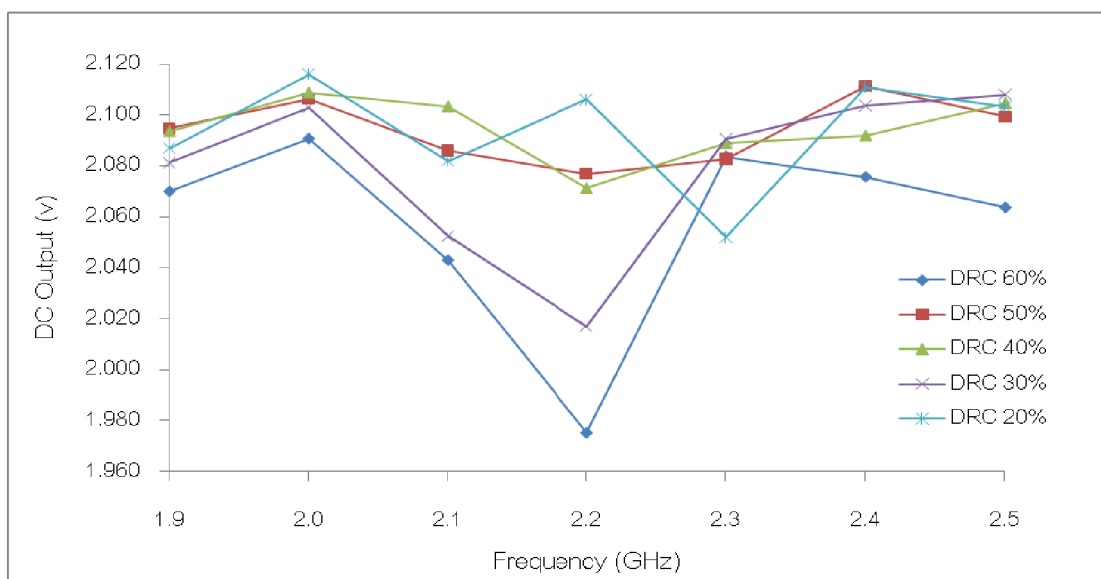
จากผลการ ทดลองวัดหาความถี่ที่ตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณเนื้อ ยางแห้งในน้ำยางตัวอย่างที่ปริมาตรต ่างๆ กัน พบว่าในช่วงความถี่ 1.9 GHz – 2.5 GHz ตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณเนื้อยางแห้งใ นน้ำยางชัดเจน กล่าวคือในช่วงความถี่ ดังกล่าวปริมาณน้ำที่แตกต่างกันในน้ำยางตัวอย่างมีผลทำให้พลังงานคลื่นไมโครเวฟถูกดูดกลืน ต่างกันซึ่งสามารถเห็นได้จากระยะห่างของเส้นกราฟของน้ำยางตัวอย่างแต่ละความเข้มข้น ประกอบกับ กราฟ ผลของการทดลองวัดหาช่วงความถี่ที่น้ำสามารถดู ดกลืนพลังงานคลื่น ไมโครเวฟดังภาพประกอบที่ 4.1 ดังนั้นจึงได้เลือกช่วงความถี่ดังกล่าวมาทำการทดลองต่อ โดย การปรับระบบสายอากาศให้เหมาะกับช่วงความถี่ดังกล่าว เพื่อหาความถี่ที่ตอบสนองต่อการ เปลี่ยนแปลงปริมาณเนื้อยางแห้งในน้ำยางมากที่สุด แสดงผลได้ดังภาพประกอบที่ 4.6 - 4.9



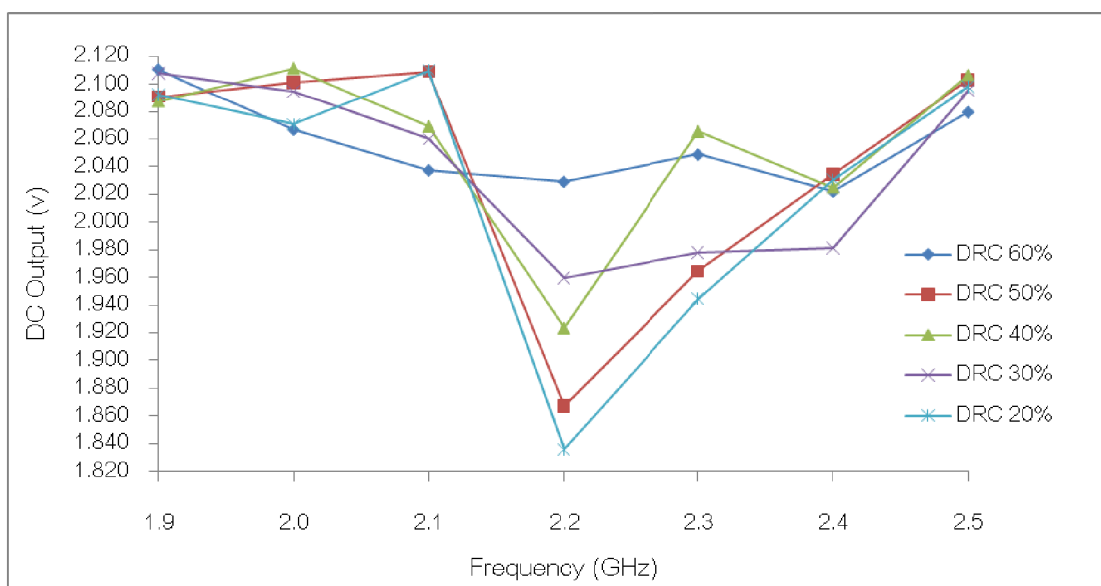
ภาพประกอบที่ 4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณคลื่นไมโครเวฟที่ความถี่ต่างๆ
น้ำยางตัวอย่างปริมาตร 150 ml.



ภาพประกอบที่ 4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณคลื่นไมโครเวฟที่ความถี่ต่างๆ
น้ำยางตัวอย่างปริมาตร 200 ml.

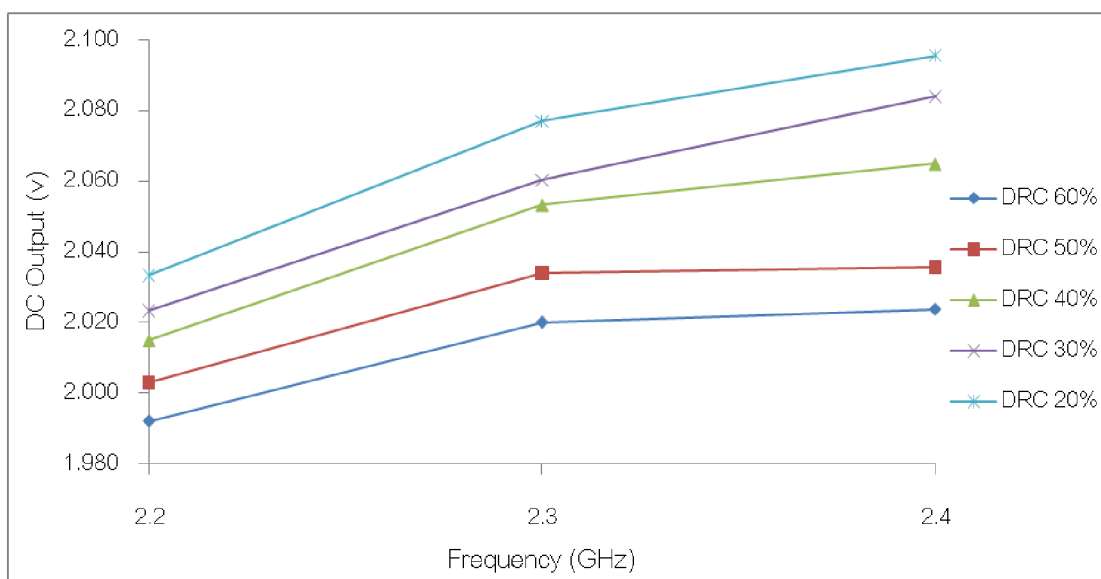


ภาพประกอบที่ 4.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณคลื่นไมโครเวฟที่ความถี่ต่างๆ
น้ำยงตัวอย่างปริมาตร 250 ml.

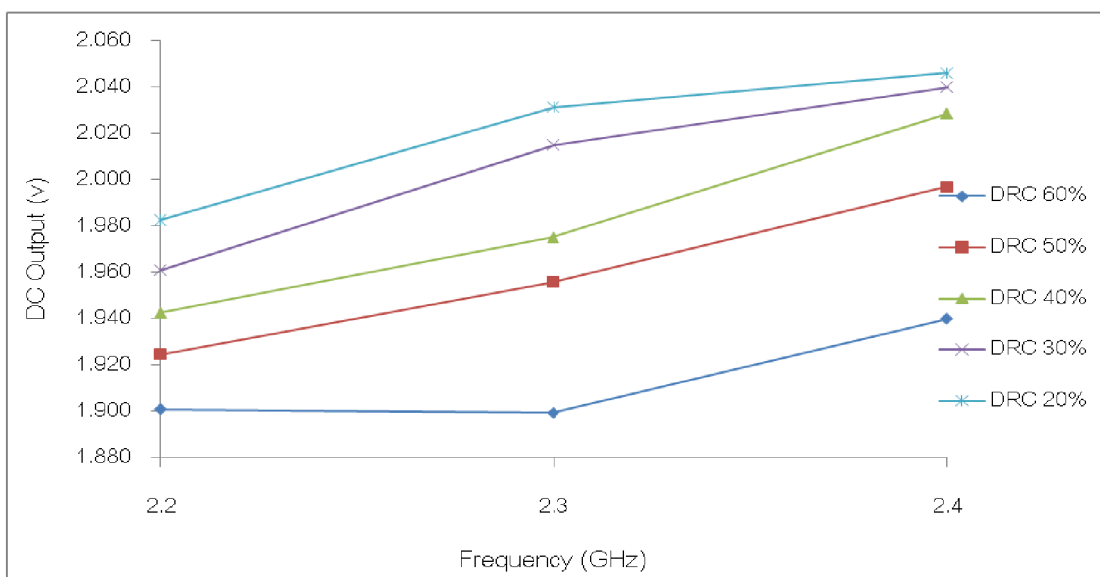


ภาพประกอบที่ 4.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณคลื่นไมโครเวฟที่ความถี่ต่างๆ
น้ำยงตัวอย่างปริมาตร 300 ml.

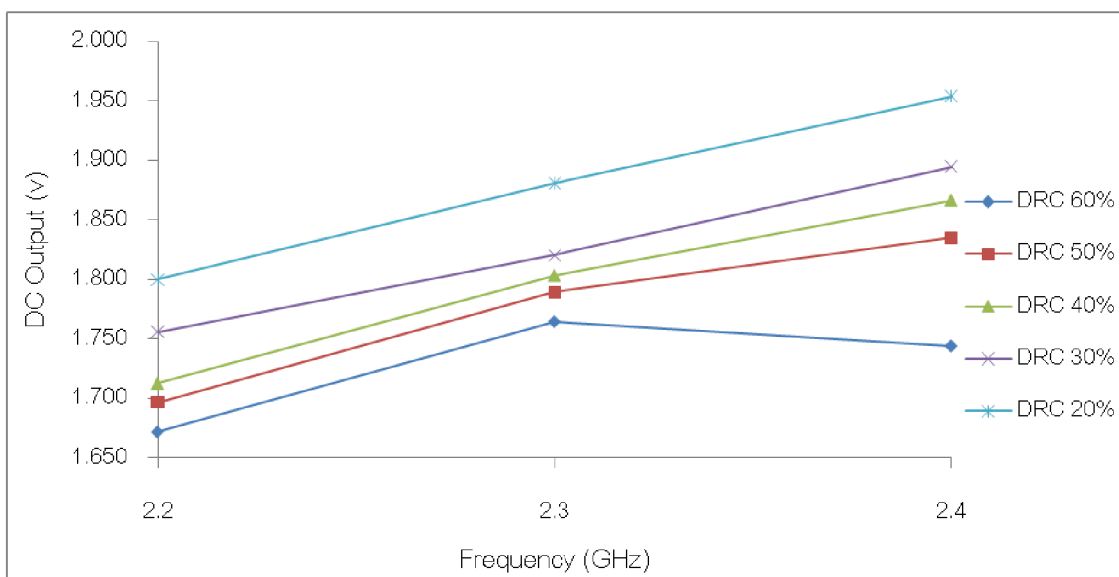
จากการทดลองวัดหาความถี่ที่ตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำอย่าง
 แห่งในน้ำอย่างตัวอย่างที่ปริมาตรต่างๆ กัน หลังจากปรับระบบสายอากาศ พบว่าในช่วงความถี่
 2.2 GHz – 2.4 GHz ตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำอย่างหนึ่งในน้ำอย่างชัดเจนมาก
 ที่สุด ดังนั้นจึงได้ต่อโดยการปรับระบบ ทหาระยะที่สามารถรับสัญญาณคลื่นไมโครเวฟได้ค่าสูงสุด
 แสดงผลได้ดังภาพประกอบที่ 4.10 - 4.13



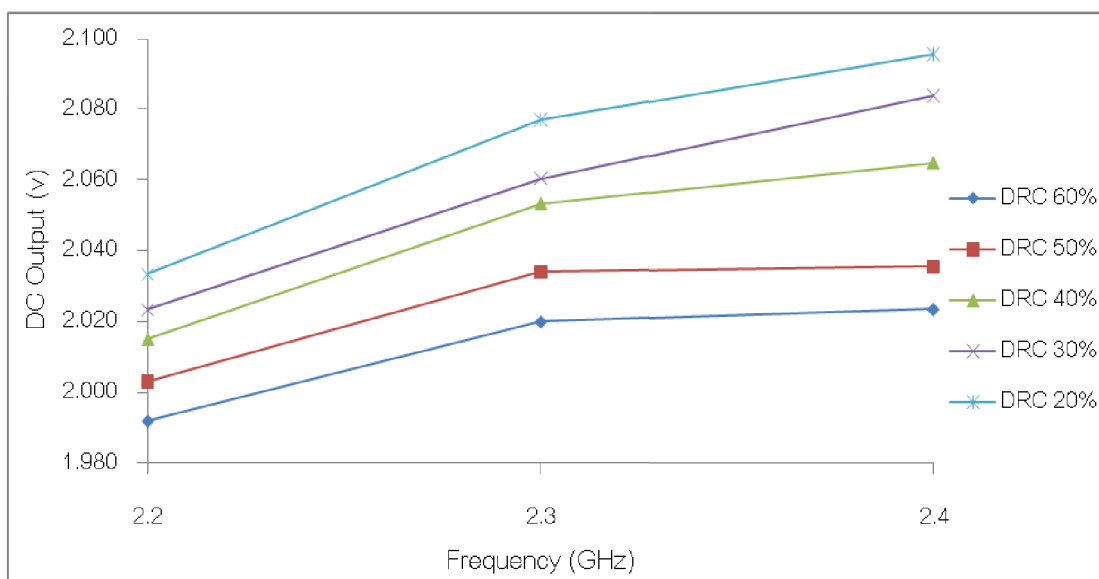
ภาพประกอบที่ 4.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณคลื่นไมโครเวฟที่ความถี่ต่างๆ
 น้ำอย่างตัวอย่างปริมาตร 150 ml.



ภาพประกอบที่ 4.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณคลื่นไมโครเวฟที่ความถี่ต่างๆ
น้ำยางตัวอย่างปริมาตร 200 ml.



ภาพประกอบที่ 4.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณคลื่นไมโครเวฟที่ความถี่ต่างๆ
น้ำยางตัวอย่างปริมาตร 250 ml.

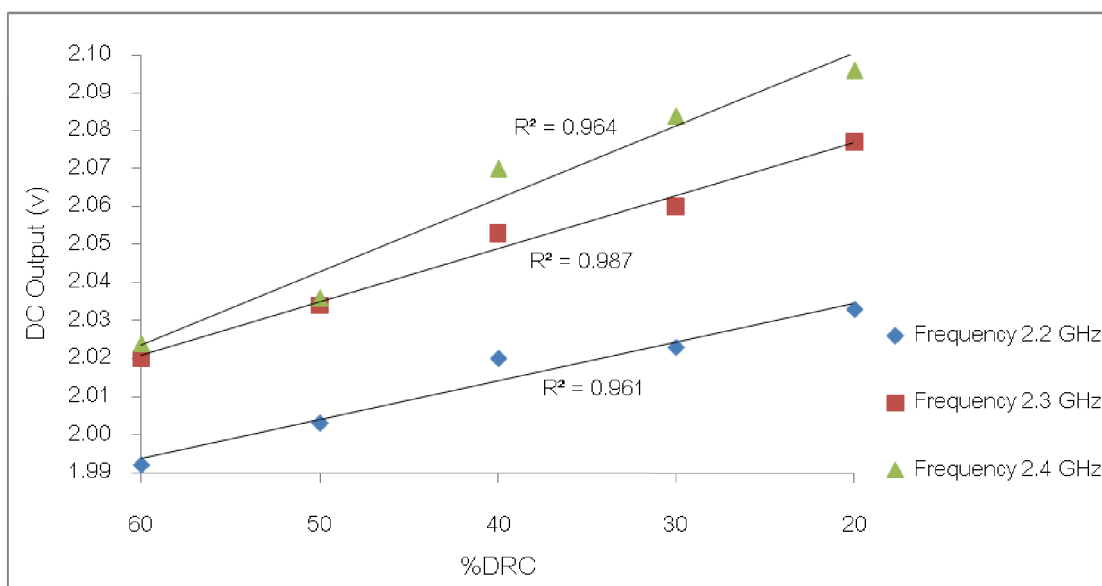


ภาพประกอบที่ 4.13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณคลื่นไมโครเวฟที่ความถี่ต่างๆ
น้ำยางตัวอย่างปริมาตร 300 ml.

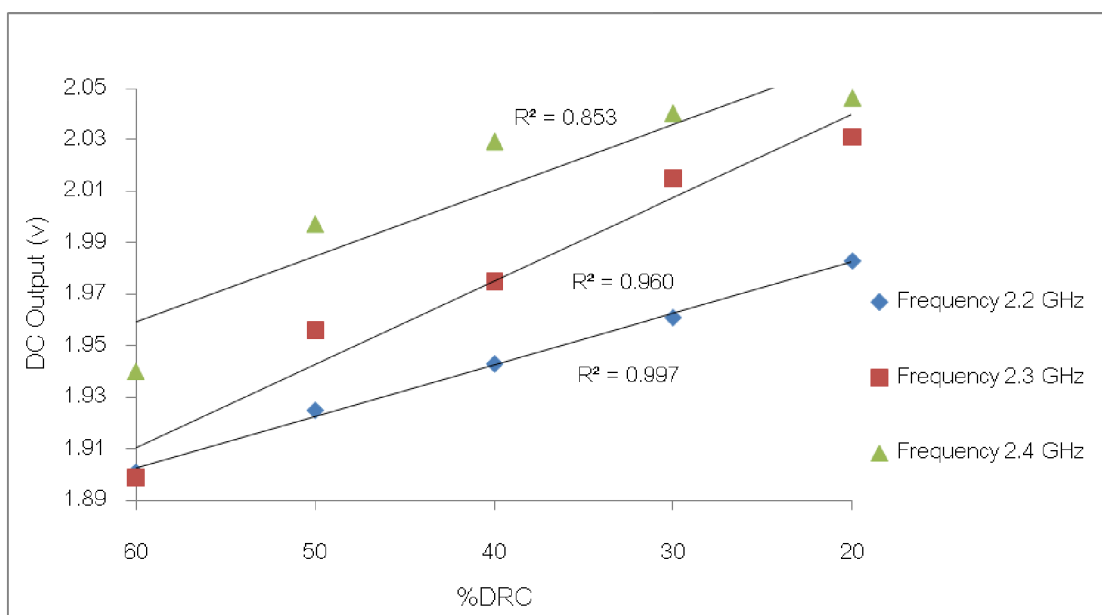
จากการทดลองวัดหาความถี่ที่ตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณนี้ อย่าง
หนึ่งในน้ำยางตัวอย่างที่ปริมาตรต่างๆ กันในช่วงความถี่ 2.2 GHz – 2.4 GHz ดังภาพประกอบที่
4.10 – 4.13 พบว่าในช่วงความถี่ดังกล่าวมีการตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณนี้
อย่างหนึ่งในน้ำยางอย่างเป็นสัดส่วนกัน ดังนั้นจึงเลือกช่วงความถี่ 2.2 GHz – 2.4 GHz เพื่อนำไป
ศึกษาหาความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงสัญญาณคลื่นไมโครเวฟกับปริมาณนี้
ในน้ำยางต่อไป

4.3 ศึกษาหาความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงสัญญาณคลื่นไมโครเวฟกับปริมาณ นี้ในน้ำยาง

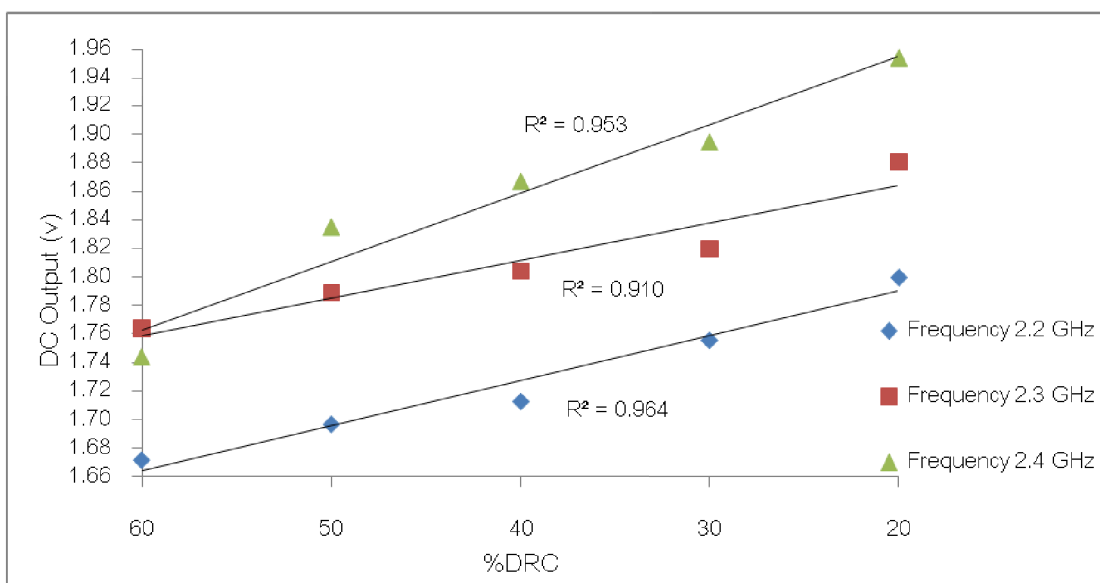
จากการศึกษาหาความถี่ที่ตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณนี้ใน
น้ำยางตัวอย่าง พบว่าที่ความถี่ 2.2 GHz – 2.4 GHz ตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณนี้
อย่างหนึ่งในน้ำยางอย่างเป็นสัดส่วนกันและเมื่อเลือกช่วงความถี่ดังกล่าวมาหาความสัมพันธ์
ระหว่างการเปลี่ยนแปลงสัญญาณคลื่นไมโครเวฟกับปริมาณนี้ในน้ำยาง ผลที่ได้แสดง
ดังภาพประกอบที่ 4.14 – 4.17



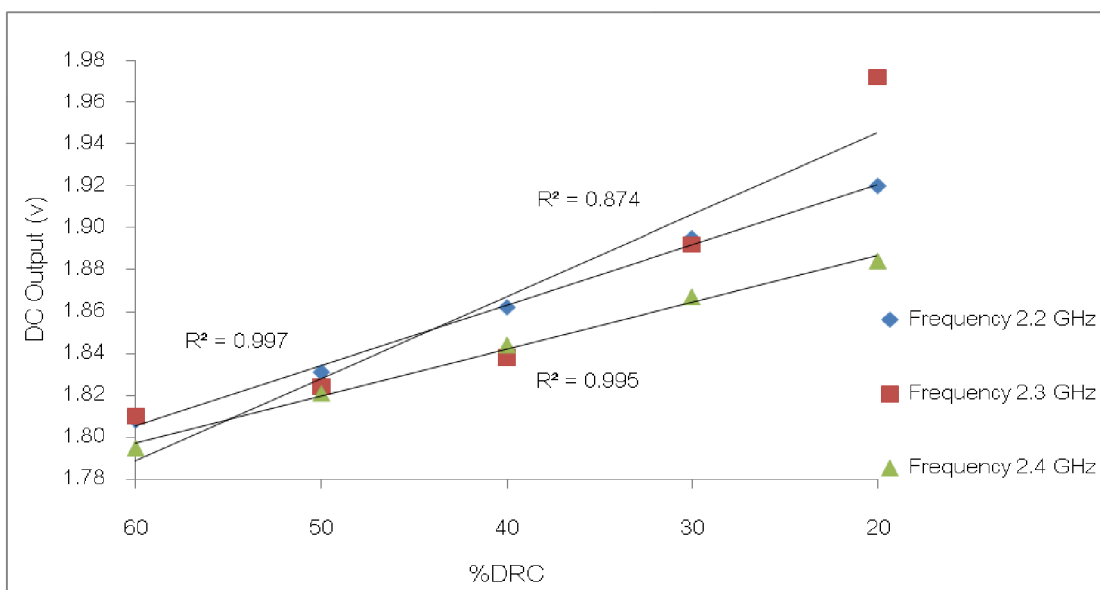
ภาพประกอบที่ 4.14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณคลื่นไมโครเวฟกับปริมาณเนื้อ
ยางแห้งในน้ำยางตัวอย่างปริมาตร 150 ml.



ภาพประกอบที่ 4.15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณคลื่นไมโครเวฟกับปริมาณเนื้อ
ยางแห้งในน้ำยางตัวอย่างปริมาตร 200 ml.

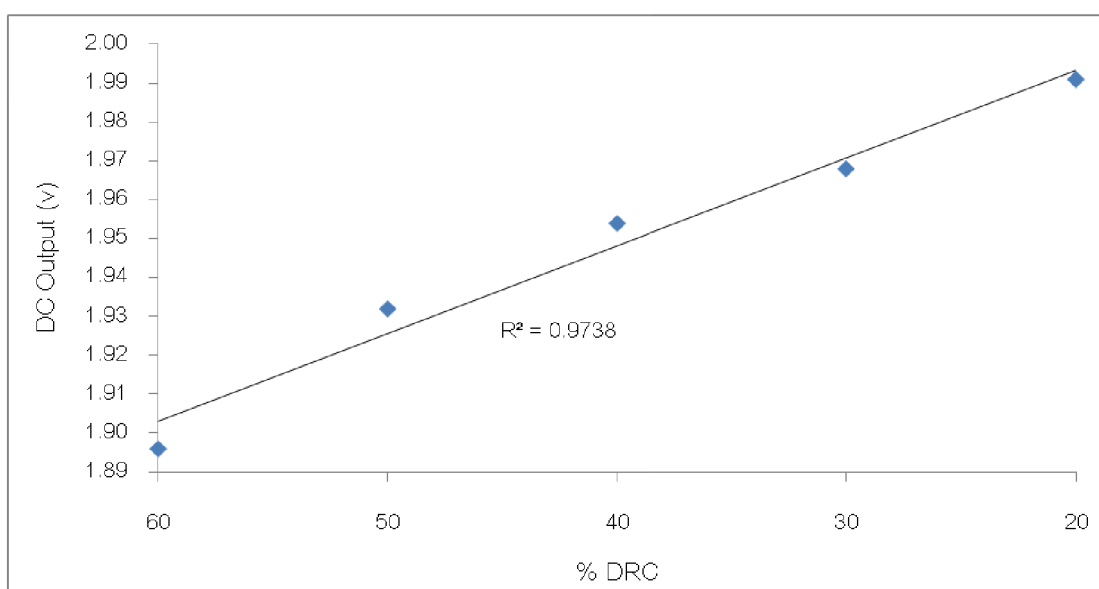


ภาพประกอบที่ 4.16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณคลื่นไมโครเวฟกับปริมาณเนื้อยางแห้งในน้ำยางตัวอย่างปริมาตร 250 ml.

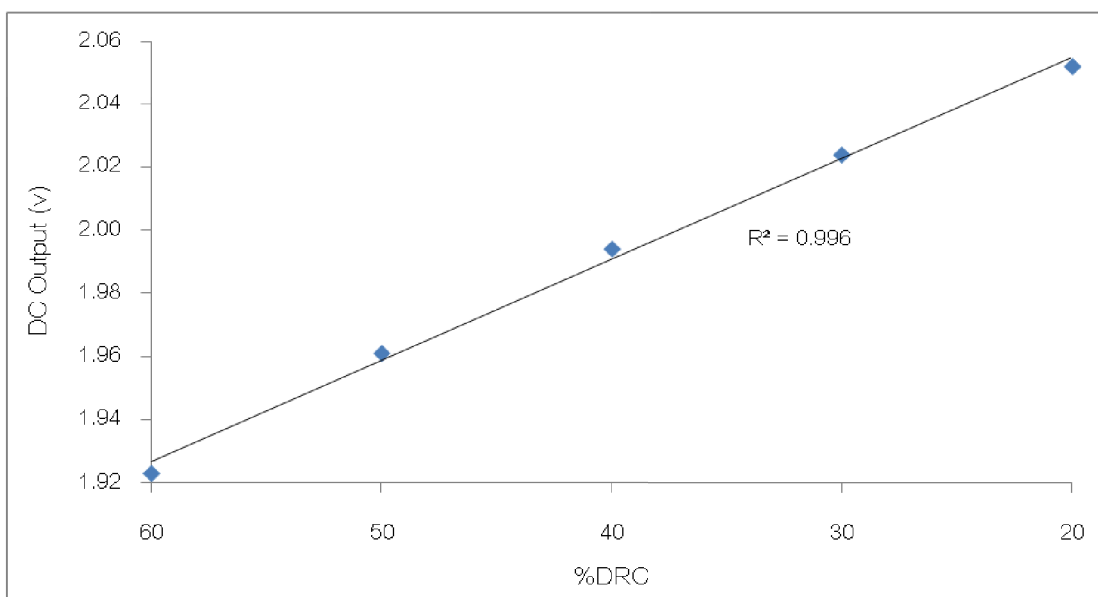


ภาพประกอบที่ 4.17 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณคลื่นไมโครเวฟกับปริมาณเนื้อยางแห้งในน้ำยางตัวอย่างปริมาตร 300 ml.

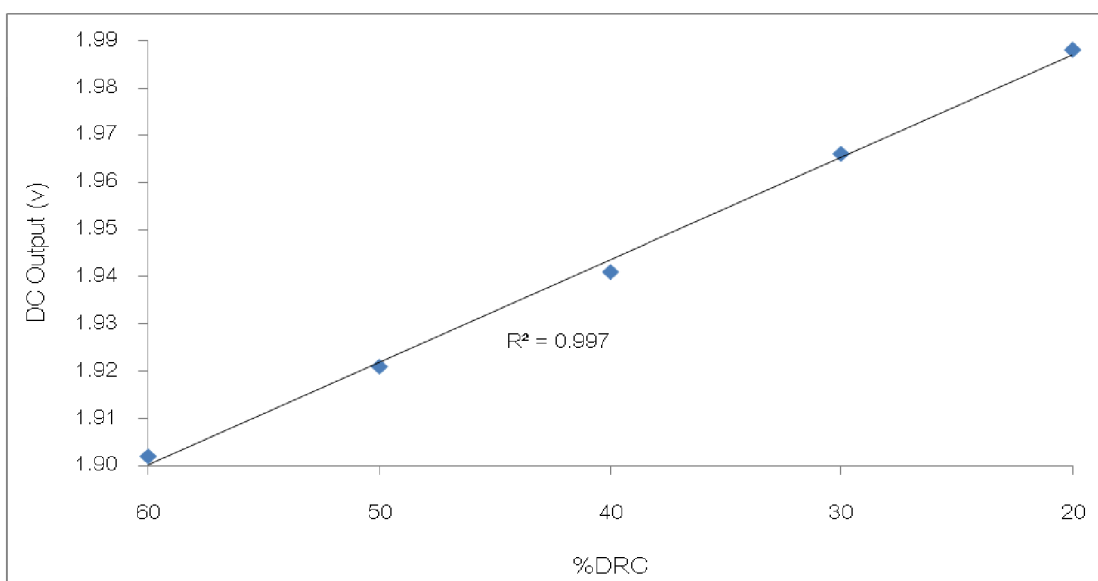
จากการทดลองพบว่าในน้ำยงตัวอย่างปริมาตร 200 ml ที่ความถี่ 2.2 GHz การตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณเนื้อยางแห้งในน้ำยงมีความสัมพันธ์เป็นแบบเชิงเส้น มีค่า R^2 เท่ากับ 0.997 ดังภาพประกอบที่ 4.15 สำหรับในน้ำยงตัวอย่างปริมาตร 300 ml ที่ความถี่ 2.2 GHz และ 2.4 GHz การตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณเนื้อยางแห้งในน้ำยงมีความสัมพันธ์เป็นแบบเชิงเส้น มีค่า R^2 เท่ากับ 0.997 และ 0.995 ดังภาพประกอบที่ 4.17 ตามลำดับ ดังนั้นจึงได้เลือกความถี่และปริมาตรดังกล่าวในการศึกษาหาความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงสัญญาณคลื่นไมโครเวฟกับปริมาณเนื้อยางแห้งในน้ำ ยาง แสดงผลดังภาพประกอบที่ 4.18 – 4.20



ภาพประกอบที่ 4.18 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณคลื่นไมโครเวฟกับปริมาณเนื้อยางแห้งในน้ำยงปริมาตร 200 ml ที่ความถี่ 2.2 GHz.

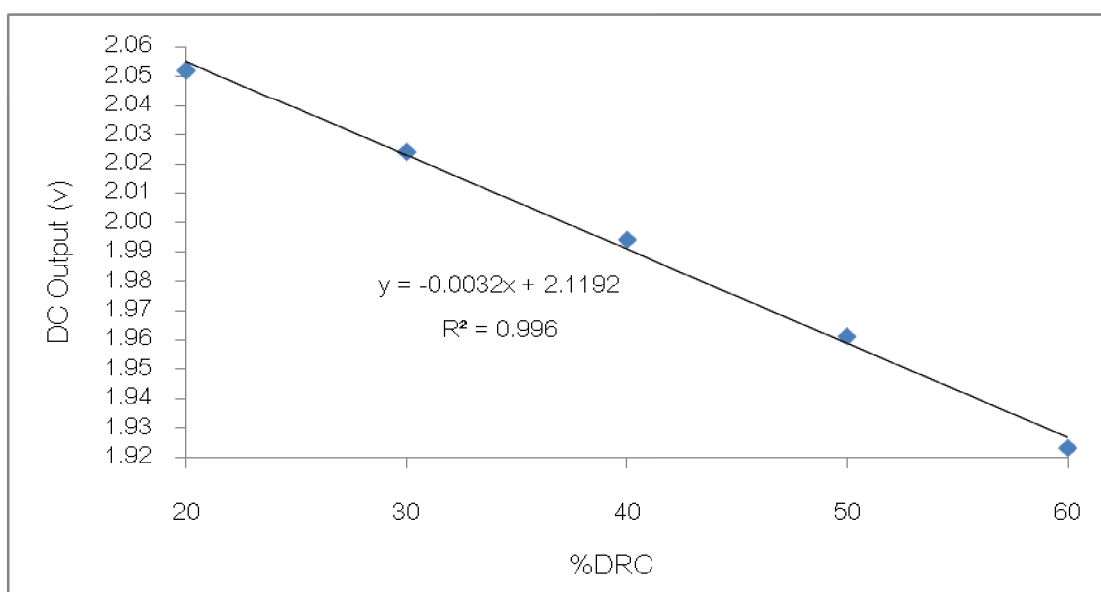


ภาพประกอบที่ 4.19 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณคลื่นไมโครเวฟกับปริมาณเนื้อยางแห้งในน้ำยางปริมาณ 300 ml ที่ความถี่ 2.2 GHz.

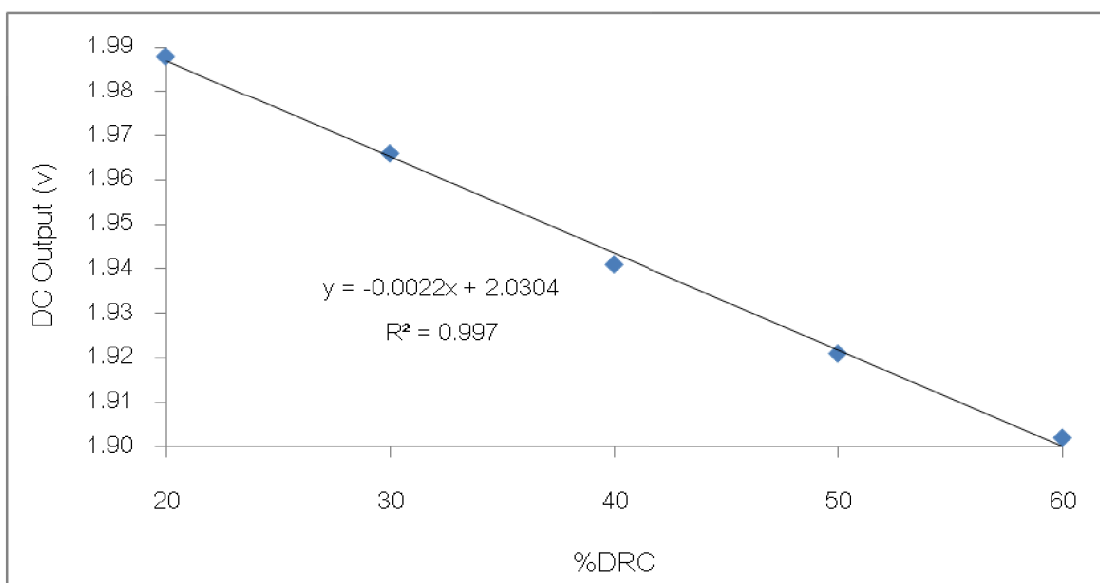


ภาพประกอบที่ 4.20 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณคลื่นไมโครเวฟกับปริมาณเนื้อยางแห้งในน้ำยางปริมาณ 300 ml ที่ความถี่ 2.4 GHz.

จากการ ศึกษาหาความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงสัญญาณ ทัศนไมโครเวฟกับปริมาณเนือย่างแห้งในน้ำยาง พบว่าที่ความถี่ 2.2 GHz และ 2.4 GHz ในน้ำยาง ปริมาตร 300 ml ตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณเนือย่างแห้งในน้ำยางแบบเชิงเส้น มากที่สุดคือ ให้ค่า R^2 เท่ากับ 0.996 และ 0.997 ดังนั้นจึงเลือกความถี่และปริมาตรดังกล่าวในการศึกษาเพื่อหาสมการความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงสัญญาณทัศนไมโครเวฟกับ ปริมาณเนือย่างแห้งในน้ำยาง แสดงผลดังภาพประกอบที่ 4.21 – 4.22



ภาพประกอบที่ 4.21 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณทัศนไมโครเวฟกับปริมาณเนือย่างแห้งในน้ำยางปริมาตร 300 ml ที่ความถี่ 2.2 GHz.



ภาพประกอบที่ 4.22 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณคลื่นไมโครเวฟกับปริมาณเนือย่างแห้งในน้ำยางปริมาตร 300 ml ที่ความถี่ 2.4 GHz.

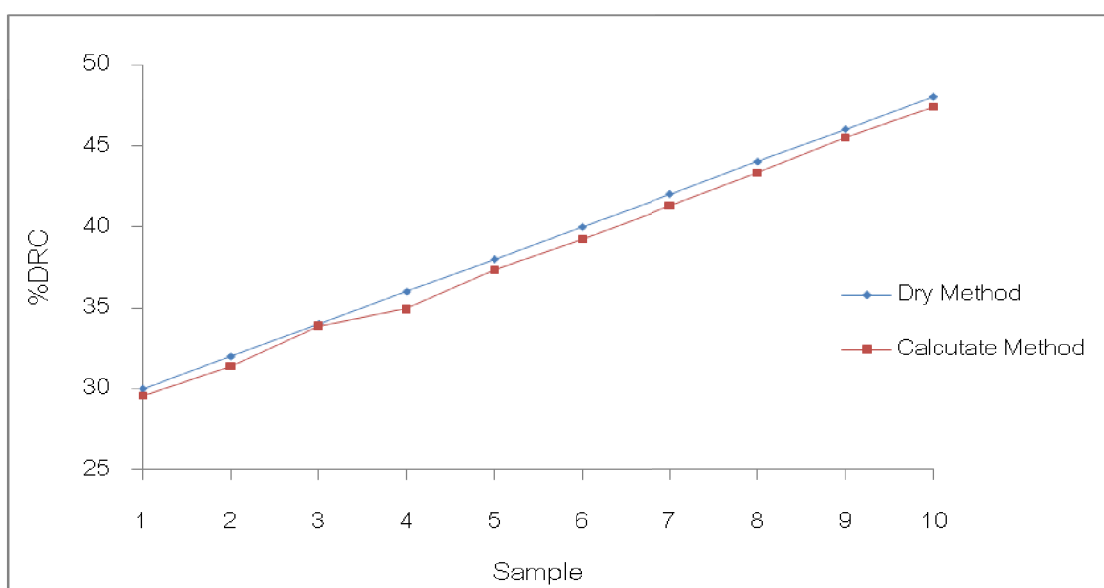
จากการศึกษาหาสมการความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงสัญญาณคลื่นไมโครเวฟกับปริมาณเนือย่างแห้งในน้ำยาง พบว่า ที่ความถี่ดังกล่าว ตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณเนือย่างแห้งในน้ำยาง และได้สมการความสัมพันธ์ดังแสดงในภาพประกอบที่ 4.21 – 4.22 ให้ค่า R^2 เท่ากับ 0.996 และ 0.997 ตามลำดับ ดังนั้นจึงเลือกความถี่และปริมาตรดังกล่าวในการศึกษาผลการวัดหาปริมาณเนือย่างแห้งในน้ำยางโดยใช้คลื่นไมโครเวฟที่ความถี่ 2.2 GHz และ 2.4 GHz น้ำยางปริมาตร 300 ml ด้วยสมการความสัมพันธ์เปรียบเทียบกับวิธีอบแห้งต่อไป

4.4 การเปรียบเทียบผลการวัดหาปริมาณเนือย่างแห้งในน้ำยางโดยใช้คลื่นไมโครเวฟกับวิธีอบแห้ง

การศึกษาค้นหาปริมาณเนือย่างแห้งในน้ำยางโดยใช้คลื่นไมโครเวฟเปรียบเทียบกับวิธีอบแห้งในตัวอย่างน้ำยางสดจากเกษตรกรชาวสวนยางจำนวน 10 ตัวอย่าง แสดงผลดังตารางที่ 4.3 – 4.4 และภาพประกอบที่ 4.23 – 4.24

ตารางที่ 4.3 ผลการเปรียบเทียบการหาปริมาณเนื้อยางแห้ง ในน้ำยางระหว่างวิธีการวัดโดยใช้คลื่นไมโครเวฟกับวิธีอบแห้งที่ความถี่ 2.2 GHz

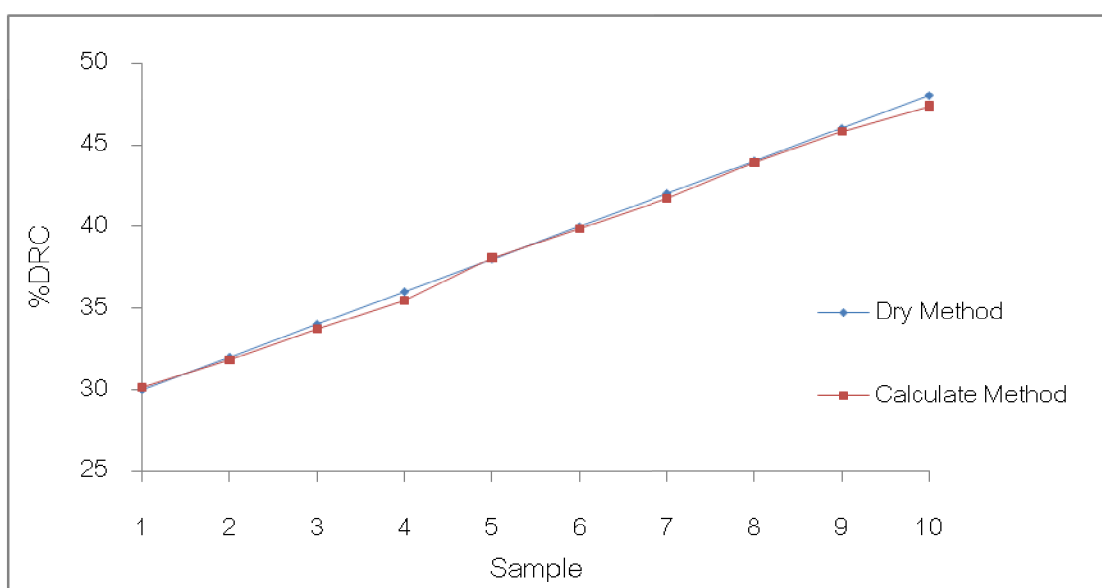
ลำดับตัวอย่าง	%DRC อบแห้ง	%DRC คำนวณ	error
1 นายจิรวัดน์	30	29.56	0.44
2 นายจ่านง	32	31.38	0.62
3 นายฉ้าย	34	33.88	0.12
4 นางมณีไรรัตน์	36	34.94	1.06
5 นายสภนธ์	38	37.38	0.62
6 นาวอุษา	40	39.25	0.75
7 นางเจียม	42	41.31	0.69
8 นายทวีศักดิ์	44	43.31	0.69
9 นายกระจำง	46	45.5	0.50
10 นายผล	48	47.38	0.63



ภาพประกอบที่ 4.23 กราฟแสดงการเปรียบเทียบผลการหาปริมาณเนื้อยางแห้งในน้ำยางระหว่างวิธีการวัดโดยใช้คลื่นไมโครเวฟกับวิธีอบแห้ง ที่ความถี่ 2.2 GHz.

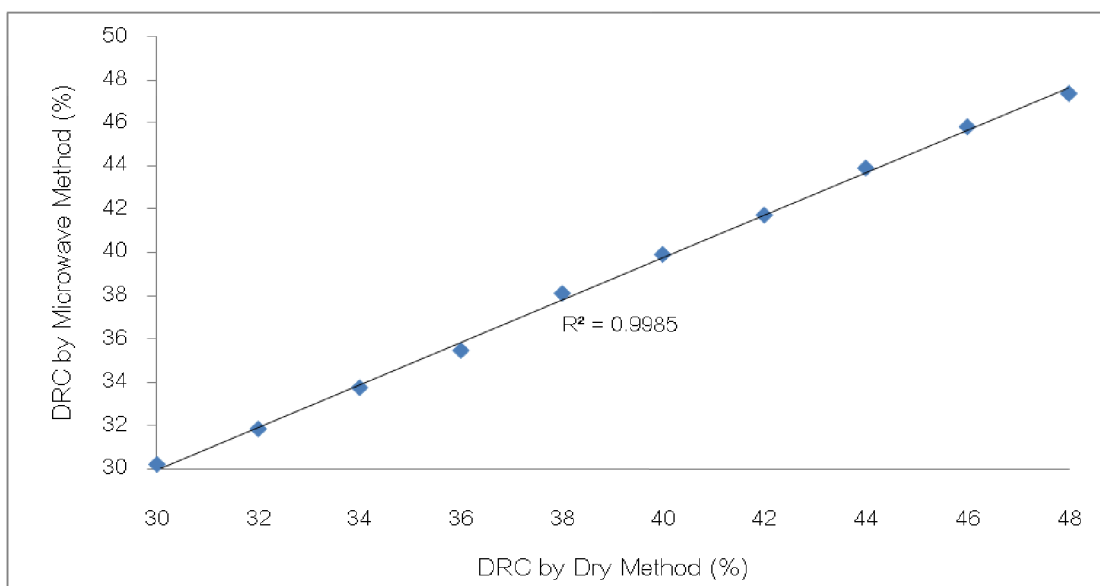
ตารางที่ 4.4 ผลการเปรียบเทียบการหาปริมาณเนื้อยางแห้งในน้ำยางระหว่างวิธีการวัดโดยใช้คลื่นไมโครเวฟกับวิธีอบแห้งที่ความถี่ 2.4 GHz

ลำดับตัวอย่าง	%DRC อบแห้ง	%DRC คำนวณ	error
1 นายจิรวัดน์	30	30.18	-0.18
2 นายจ่านง	32	31.82	0.18
3 นายฉ้าย	34	33.73	0.27
4 นางมณีรัตน์	36	35.45	0.55
5 นายสกันธ์	38	38.09	-0.09
6 นาวอุษา	40	39.91	0.09
7 นางเจียม	42	41.73	0.27
8 นายทวีศักดิ์	44	43.91	0.09
9 นายกระจ่าง	46	45.82	0.18
10 นายผล	48	47.36	0.64



ภาพประกอบที่ 4.24 กราฟแสดงการเปรียบเทียบผลการหาปริมาณเนื้อยางแห้งในน้ำยางระหว่างวิธีการวัดโดยใช้คลื่นไมโครเวฟกับวิธีอบแห้ง ที่ความถี่ 2.4 GHz.

จากการศึกษาการหาปริมาณเนื้อยางแห้งในน้ำยางโดยใช้คลื่นไมโครเวฟเปรียบเทียบกับวิธีอบแห้งในตัวอย่างน้ำยางสดจากเกษตรกรชาวสวนยางจำนวน 10 ตัวอย่างผลที่ได้พบว่าที่ความถี่ 2.2 GHz มีค่าความผิดพลาดเฉลี่ยเท่ากับ 0.61 และที่ความถี่ 2.4 GHz มีค่าความผิดพลาดเฉลี่ยเท่ากับ 0.20 และเมื่อนำผลการทดลองวัดหาปริมาณเนื้อยางแห้งในน้ำยางโดยใช้คลื่นไมโครเวฟเปรียบเทียบกับวิธีการอบแห้งแสดงผลดังภาพประกอบที่ 4.25



ภาพประกอบที่ 4.25 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการหาปริมาณเนื้อยางแห้งในน้ำยางโดยใช้วิธีอบแห้งและวิธีการวัดโดยใช้คลื่นไมโครเวฟ

ดังนั้นจากผลการทดลองจึงมีความเป็นไปได้ ว่าที่ความถี่ 2.4 GHz มีความเหมาะสมในการนำมาประยุกต์ใช้ในการพัฒนาอุปกรณ์วัดปริมาณเนื้อยางแห้งในน้ำยางมากที่สุด อีกทั้งความถี่ 2.4 GHz ยังเป็นช่วงความถี่ที่สามารถหาออสซิลเลเตอร์ในการส่งสัญญาณคลื่นความถี่ได้ง่าย และมีราคาถูกกว่าที่ความถี่อื่นๆ เนื่องจากเป็นความถี่ที่นิยมใช้งานอยู่อย่างแพร่หลายทั้งการสื่อสารและประยุกต์ใช้กับงานวิจัยในปัจจุบัน

บทที่ 5

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอวิธีการหาปริมาณเนือยงแห้งในน้ำยงโดยใช้คลื่นไมโครเวฟ อาศัยหลักการดูดกลืนพลังงานคลื่นไมโครเวฟของน้ำซึ่งเป็นวิธีที่สามารถหาปริมาณเนือยงแห้งในน้ำยงได้รวดเร็วกว่ววิธีการอบแห้งเพื่อตอบสนองความต้องการของเกษตรกรผู้รับซื้อน้ำยงและโรงงานอุตสาหกรรม ผลการทดลองสามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้

5.1 สรุปผลการทดลอง

5.1.1 จากการศึกษาค้นหาความถี่ที่เหมาะสมต่อการใช้หาปริมาณเนือยงแห้งในน้ำยงพบว่าที่ความถี่ 2.2 GHz และ 2.4 GHz ในน้ำยงปริมาตร 300 ml มีการตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณเนือยงแห้งในน้ำยงมากที่สุด

5.1.2 จากการศึกษาค้นหาสมการความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงสัญญาณคลื่นไมโครเวฟกับปริมาณเนือยงแห้งในน้ำยงพบว่าที่ความถี่ 2.2 GHz และ 2.4 GHz มีความสัมพันธ์เป็นแบบเชิงเส้นกัน มีสมการความสัมพันธ์คือ $y = -0.0032x + 2.1192$ และ $y = -0.0022x + 2.0304$ และค่า R^2 เท่ากับ 0.996 และ 0.997 ตามลำดับ

5.1.3 จากการเปรียบเทียบผลการหาปริมาณเนือยงแห้งในน้ำยงโดยใช้คลื่นไมโครเวฟกับวิธีอบแห้งในน้ำยงตัวอย่างจำนวน 10 ตัวอย่าง พบว่าที่ความถี่ 2.2 GHz และ 2.4 GHz มีค่าความผิดพลาดเฉลี่ยเท่ากับ 0.61 และ 0.20 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.24% และ 0.32% ตามลำดับ

ตารางที่ 5.1 แสดงการเปรียบเทียบความแม่นยำในการวัดหาปริมาณเนือยงแห้งในน้ำยง

ข้อมูลทางสถิติ	2.2 GHz	2.4 GHz
ค่าความผิดพลาด	0.61	0.20
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (%)	0.24	0.32

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ระบบสายอากาศที่ใช้ในการทดลองนี้ไม่ใช่สายอากาศแบบบังคับทิศทาง จึงทำให้ประสิทธิภาพในการรับ-ส่งสัญญาณคลื่นไมโครเวฟยังไม่ดีพอ ดังนั้นจึงควรมีการนำสายอากาศแบบมีทิศทางประเภท Directional Patch Antenna หรือ Grid Antenna มาใช้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการส่งสัญญาณมากขึ้น

5.2.2 ภาชนะที่ใช้สำหรับกั้นการกระจายคลื่นไมโครเวฟที่ใช้ทำการทดลองยังมีช่องว่าง ควรมีการปรับและจัดให้เป็นระบบปิดมากที่สุดเพื่อให้เกิดการสูญเสียกำลังของคลื่นไมโครเวฟน้อยที่สุด

5.2.3 อุปกรณ์ที่ใช้รับสัญญาณคลื่นไมโครเวฟในการทดลองนี้ไม่สามารถใช้วิเคราะห์ส่วนประกอบต่างๆ ในน้ำยา่างได้ทุกองค์ประกอบ ดังนั้นจึงควรมีการปรับปรุงในส่วนของอุปกรณ์รับสัญญาณคลื่นไมโครเวฟเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการวิเคราะห์ข้อมูลมากขึ้น

บรรณานุกรม

- กรมส่งเสริมการเกษตร. 2552. น้ํายาง และการหาค่าเปอร์เซ็นต์น้ํายาง
[ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก: <http://k-center.doae.go.th/getKnowledge.jsp?id=274>.
(วันที่สืบค้น 19 ธันวาคม 2552)
- กรมส่งเสริมการเกษตร. 2552. การแยกชั้นของน้ํายางหลังถูก Centrifuge [ออนไลน์]
เข้าถึงได้จาก: <http://contact.doae.go.th/cts/resultDtl.jsp?id=1682>.
(วันที่สืบค้น 19 ธันวาคม 2552).
- ประสิทธิ์ ทีทพุมิ และประพจน์ จิระสกุลพร. 2549. ไมโครเวฟพื้นฐานและการประยุกต์ใช้งาน .
โครงการไอซีที-เทเลคอมออนไลน์. สำนักพิมพ์ดอกหญ้ากรู๊ป. กรุงเทพฯ.
- พิมล ผลพฤษา. 2551. การตรวจวัดปริมาณน้ํายางแห้งจากน้ํายางสดโดยใช้การส่งผ่านแสง.
โครงการวิจัยเงินงบประมาณแผ่นดินประจำปีงบประมาณ 2551 สถาบันเทคโนโลยีพระ
จอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. ชุมพร.
- พรพรรณ นิธิอุทัย. 2530. ความสัมพันธ์ระหว่างสองวิธีการในการหาน้ํายาง . รายงาน
การวิจัย ,มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. ปัตตานี.
- ศิริลักษณ์ เลี้ยงประยูร. 2552. อิทธิพลของสารกลุ่มไขมันในยางแผ่นดิบจากยางพาราต่อ
โครงสร้างและสมบัติ. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก:
http://www.rdi.ku.ac.th/kasetresearch52/11-excellence/sirirak_lapid/excellence_00.html.
(วันที่สืบค้น 20 พฤศจิกายน 2552).
- สถิติยางประเทศไทย. 1993. กรมวิชาการเกษตร. กรุงเทพฯ.
- สุกฤษ คงทอง. 2546. ผลิตภัณฑ์ยางจากน้ํายางสด. สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย
(สกว). มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์. นครศรีธรรมราช.
- สมดูล พวกเกาะ. 2552. วิธีการหาเปอร์เซ็นต์ยาง. กรมส่งเสริมการเกษตร. [ออนไลน์] เข้าถึงได้
จาก: <http://aopdr01.doae.go.th/DRC%201.htm>. (วันที่สืบค้น 15 พฤศจิกายน 2552).

เสาวนีย์ ก่อวุฒิกุลรังสี . 2540. ยางธรรมชาติเบื้องต้น . ภาควิชาเทคโนโลยียางและพอลิเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. ปัตตานี.

เสาวนีย์ ก่อวุฒิกุลรังสี. 2546. การผลิตยางธรรมชาติ. ภาควิชาเทคโนโลยียางและพอลิเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. สงขลา.

Blackley, D.C. (1997a). Polymer Latices Science and Technology. Volume 3. Application of Latices, 2nd ed. London.

Blackley, D.C. (1997b). Polymer Latices Science and Technology. Volume 3. Types of Latices, 2nd ed. London.

Blackley, D.C. (1997c). Polymer Latices Science and Technology. Volume 1. Fundamental Principles. 2nd ed. London.

Darrington, H. 1991. Coatings: the microwave challenge. Food Manufacture 66 (7). 21. 23.

Dean Brian. 1993. Microwave Moisture Content Meter. Patent No. GB2260408. 1993.

Decareau, R.V. 1985. Microwave in the food processing industry. Academic Press Inc.

Drink, S.J. and Dipling, W.B. 1990. Microwave Probe for Moisture Content Measurement Contains Material of Dielectric Constant Similar to Material to be Measured, to Increase Accuracy. Patent No. DE3929922. 1990.

Herumusu, D.A. and *et.al.* 1993. Moisture Content Measuring Means and Method by Double-Frequency Microwave. Japanese Patent JP5113412. 1993.

<http://contact.doae.go.th/cts/resultDtl.jsp?id=1682>. (วันที่สืบค้น 17 พฤศจิกายน 2552).

<http://www.hs8jyx.com/images/article/34.gif>. (วันที่สืบค้น 20 ธันวาคม 2552).

http://kosmoi.com/Pictures/Science/Electromagnetic_Spectrum.gif (วันที่สืบค้น 18 ธันวาคม 2548).

<http://www.minicircuits.com/>. (วันที่สืบค้น 10 กรกฎาคม 2550).

http://www.nrru.ac.th/learning/science/sc_007/03/unit8/network3.html. (วันที่สืบค้น 12 ธันวาคม 2552).

<http://www.vcharkarn.com/uploads/138/138943.png>. (วันที่สืบค้น 9 สิงหาคม 2550).

Janyanthy, T and Sankaranarayanan, P.E. 2005. Measurement of Dry Rubber Content in Latex Using Microwave Technique. *Measurement Science Review*. 5. 3.

Khalid, K. 1982. Determination of Dry Rubber Content of *Hevea* Latex by Microwave Technique. *Pertanika*. 5(2): 192-195.

Khalid, K. 1990. Apparatus and Method for the Determination of the Dry Rubber Content of Rubber Latex. Malaysian Patent MY-106441-A.

Khalid, K. and *et.al.* 1997. Dielectric Phenomena in *Hevea* Rubber Latex and Its Applications. Proceedings of the 5th International Conference on Properties and Applications of Dielectric Materials.

Kim, K.B., Kim, J.H., Lee, S.S. and Noh, S.H. (2002). Measurement of Grain Moisture Content Using Microwave Attenuation at 10.5 GHz and Moisture Density. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*. 1(51): 72-77.

Kodama Kemji. 2004. Moisture Content Measuring Method for Rubber. Japanese Patent JP-2004-020192. 2004.

- Nelson, S.O., Bartley, P.G., and Lawrence, K.C. (1997). Measuring RF and Microwave Permittivities of Adult Rice Weevils. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*. 4(46): 941-946.
- Nelson, S.O. and *et.al.* 2002. Principles of Microwave Moisture Measurement in Grain. *IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference*. Anchorage. AK. USA. 21-23 May 2002.
- Nelson, S.O. 2003. Frequency and Temperature Dependent Permittivities of Fresh Fruits and Vegetables from 0.01 to 1.8 GHz. *Transactions of the ASAE*. 46(2): 567-574.
- Ray, J., Karl, V. and Woo, K. 1992. Microwave Moisture Measurement of Grains. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*. 1(41): 111-115.
- Rose Michell. 1993. Microwave Moisture Content Analyzer. United State Patent US5256978. 1993.
- Thompson Frank and Westwood Gerald. 2001. Measurement of Moisture Content Using Microwave Radiation. Patent No. GB2359630. 2001.
- Vermeulen, C. and Hancke, G.P. 1991. Moisture Determination in Coal Using Microwave Techniques. Department of Electrical Engineering University of Pretoria, Pretoria. Republic of South Africa. pp 2565-2568.
- Zhang Yuewu and *et.al.* 2005. Microwave Cavity Resonator in Detector for Detecting Material Quality and Moisture Content. China Patent CN2703255Y. 2005.
- Zhiqiang Han and Xu Youlong. 1991. Microwave Detecting Instrument for Moisture Content. China Patent CN1056748. 1991.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

การวิเคราะห์หาความชื้น

การปริมาณความชื้นในส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์สามารถแสดงได้ในรูปของความชื้นมาตรฐานเปียกหรือมาตรฐานแห้งและแสดงผลออกมาในรูปของทศนิยมหรือเปอร์เซ็นต์ ความจุความชื้นมาตรฐานเปียก น้ำหนักของเปอร์เซ็นต์ความชื้นในผลิตภัณฑ์ต่อหน่วยร้อยละของน้ำหนักส่วนประกอบที่เปียก ดังนี้

$$M_{wb} = \frac{W_o - W_d}{W_o}$$

เมื่อ M_{wb} คือ ความชื้นมาตรฐานเปียก
 W_o คือ น้ำหนักก่อนอบแห้ง
 W_d คือ น้ำหนักหลังอบแห้ง

ขณะที่ความจุความชื้นบนมาตรฐานแห้งมีค่าของเป็นเปอร์เซ็นต์ความชื้นของผลิตภัณฑ์ต่อหน่วยน้ำหนักแห้งของผลิตภัณฑ์คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ แสดงได้ดังนี้

$$M_{db} = \frac{W_o - W_d}{W_d}$$

เมื่อ M_{db} คือ ความชื้นมาตรฐานแห้ง
 W_o คือ น้ำหนักก่อนอบแห้ง
 W_d คือ น้ำหนักหลังอบแห้ง

เปอร์เซ็นต์ความชื้นมาตรฐานเปียก

$$M_{wb} = M_{wb} \times 100$$

เมื่อ M_{wb} คือ ความชื้นมาตรฐานเปียก

เปอร์เซ็นต์ความชื้นมาตรฐานแห้ง

$$M_{db} = M_{db} \times 100$$

เมื่อ M_{db} คือ ความชื้นมาตรฐานแห้ง

ความจุความชื้นมาตรฐานเปียกและความจุความชื้นมาตรฐานแห้งมีความสัมพันธ์ดังสมการต่อไปนี้

$$M_{wb} = 1 - \left[\frac{1}{(M_{db} + 1)} \right]$$

และ

$$M_{db} = \left[\frac{1}{(1 - M_{wb})} \right] - 1$$

เมื่อ M_{wb} คือ ความชื้นมาตรฐานเปียก

M_{db} คือ ความชื้นมาตรฐานแห้ง

ภาคผนวก ข

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง



ภาพประกอบที่ 1 ตู้อบ



ภาพประกอบที่ 2 เครื่องชั่งดิจิทัล 3 ตำแหน่ง ของ Mettler Toledo รุ่น PG503S



ภาพประกอบที่ 2 Digital Multimeter ของ Sanwa รุ่น CD800a



ภาพประกอบที่ 3 High voltage power supply

ภาคผนวก ค

ผลการทดลอง

1. ตารางผลการวัดหาความสัมพันธ์ระหว่างความถี่กับความต่างศักย์ไฟฟ้ากระแสตรงของตัวส่งสัญญาณคลื่นไมโครเวฟ รุ่น ZX95-1600W-S+

V Tune (v)	Frequency			เฉลี่ย (MHz)
	(MHz)			
5	970	970	975	972
5.5	995	995	995	995
6	1025	1025	1025	1025
6.5	1060	1060	1060	1060
7	1095	1095	1095	1095
7.5	1120	1120	1120	1120
8	1145	1145	1145	1145
8.5	1170	1170	1170	1170
9	1205	1200	1200	1202
9.5	1230	1230	1230	1230
10	1255	1255	1255	1255
10.5	1275	1275	1275	1275
11	1295	1295	1295	1295
11.5	1320	1320	1320	1320

2. ตารางผลการวัดหาความสัมพันธ์ระหว่างความถี่กับความต่างศักย์ไฟฟ้ากระแสตรง
ของตัวส่งสัญญาณคลื่นไมโครเวฟ รุ่น ZX95-2800-S+

V Tune (v)	Frequency (MHz)			เฉลี่ย(MHz)
2.5	1438	1438	1438	1438
3	1473	1473	1473	1473
3.5	1512	1508	1508	1509
4	1552	1548	1552	1551
4.5	1596	1596	1592	1595
5	1631	1631	1627	1630
5.5	1671	1671	1671	1671
6	1715	1719	1715	1716
6.5	1759	1759	1759	1759
7	1803	1803	1798	1801
7.5	1847	1847	1842	1845
8	1886	1886	1891	1888
8.5	1930	1930	1926	1929
9	1988	1988	1983	1986
9.5	2040	2045	2040	2042
10	2084	2084	2080	2083
10.5	2128	2128	2133	2130
11	2177	2181	2181	2180
11.5	2216	2216	2216	2216
12	2256	2265	2256	2259
12.5	2309	2309	2309	2309
13	2344	2348	2348	2347
13.5	2379	2379	2379	2379
14	2414	2419	2414	2416
14.5	2454	2454	2454	2454
15	2485	2485	2485	2485
15.5	2516	2516	2511	2514

3. ตารางผลการวัดหาความสัมพันธ์ระหว่างความถี่กับการเปลี่ยนแปลงปริมาณเนื้อเยื่อของแท่งใยพลาสมาตัวอย่างปริมาตร 150 ml

F (GHz)	DRC 60%			DRC 50%			DRC 40%					
	1	2	3	เฉลี่ย	1	2	3	เฉลี่ย	1	2	3	เฉลี่ย
1.0	1.575	1.570	1.580	1.575	1.600	1.597	1.605	1.601	1.588	1.579	1.581	1.583
1.1	1.651	1.647	1.634	1.644	1.640	1.638	1.620	1.633	1.643	1.647	1.654	1.648
1.2	1.702	1.704	1.704	1.703	1.687	1.700	1.693	1.693	1.708	1.712	1.706	1.709
1.3	1.840	1.860	1.878	1.859	1.910	1.914	1.920	1.915	1.885	1.880	1.885	1.883
1.4	2.042	2.046	2.065	2.051	2.004	2.000	2.000	2.001	1.968	1.916	1.916	1.933
1.5	2.080	2.087	2.075	2.081	2.088	2.091	2.080	2.086	2.094	2.090	2.091	2.092
1.6	2.092	2.100	2.099	2.097	2.103	2.110	2.105	2.106	2.104	2.103	2.102	2.103
1.7	2.108	2.111	2.108	2.109	2.113	2.114	2.111	2.113	2.115	2.113	2.113	2.114
1.8	2.089	2.091	2.080	2.087	2.093	2.103	2.090	2.095	2.095	2.093	2.097	2.095
1.9	2.085	2.080	2.087	2.084	2.107	2.092	2.107	2.102	2.092	2.085	2.098	2.092
2.0	2.085	2.080	2.073	2.079	2.093	2.101	2.097	2.097	2.073	2.073	2.077	2.074
2.1	2.085	2.068	2.071	2.075	2.048	2.047	2.042	2.046	2.047	2.038	2.036	2.040
2.2	2.078	2.082	2.076	2.079	2.027	2.020	2.025	2.024	2.093	2.084	2.085	2.087
2.3	2.095	2.105	2.107	2.102	2.102	2.104	2.108	2.105	2.085	2.099	2.100	2.095
2.4	2.113	2.110	2.103	2.109	2.102	2.110	2.100	2.104	2.115	2.112	2.114	2.114
2.5	2.040	2.044	2.030	2.038	2.062	2.052	2.065	2.060	2.021	2.065	2.060	2.049

ตารางผลการวัดหาความสัมพันธ์ระหว่างความถี่กับการเปลี่ยนแปลงปริมาณเพื่อขยายพื้นที่ขยายในตู้ขยายตัวอย่างปริมาตร 150 ml (ต่อ)

F (GHz)	DRC 30%			DRC 20%				
	1	2	3	เฉลี่ย	1	2	3	เฉลี่ย
1.0	1.564	1.559	1.560	1.561	1.590	1.561	1.560	1.570
1.1	1.682	1.665	1.663	1.670	1.668	1.655	1.655	1.659
1.2	1.773	1.780	1.778	1.777	1.730	1.733	1.726	1.730
1.3	1.803	1.807	1.800	1.803	1.800	1.803	1.810	1.804
1.4	1.943	1.932	1.936	1.937	2.026	2.020	2.010	2.019
1.5	2.057	2.067	2.068	2.064	2.075	2.082	2.086	2.104
1.6	2.092	2.094	2.095	2.094	2.107	2.105	2.101	2.104
1.7	2.109	2.109	2.110	2.109	2.109	2.108	2.100	2.106
1.8	2.084	2.075	2.082	2.080	2.090	2.095	2.097	2.094
1.9	2.100	2.087	2.085	2.091	2.102	2.094	2.096	2.097
2.0	2.088	2.083	2.088	2.086	2.102	2.105	2.102	2.103
2.1	2.098	2.098	2.104	2.100	2.080	2.080	2.070	2.077
2.2	2.084	2.083	2.085	2.084	2.070	2.070	2.072	2.071
2.3	2.081	2.094	2.082	2.086	2.100	2.101	2.102	2.101
2.4	2.110	2.107	2.113	2.110	2.109	2.111	2.113	2.111
2.5	2.064	2.076	2.078	2.073	2.088	2.084	2.062	2.078

ตารางผลการวัดหาความสัมพันธ์ระหว่างความถี่กับการเปลี่ยนแปลงปริมาณเพื่ออย่างเห็นภาพในหน่วยตาราง 150 ml (ต่อ)

Frequency (GHz)	DRC 60%			DRC 50%			DRC 40%					
	1	2	3	เฉลี่ย	1	2	3	เฉลี่ย	1	2	3	เฉลี่ย
1.9	2.093	2.097	2.093	2.094	2.048	2.052	2.045	2.048	2.101	2.105	2.103	2.103
2.0	2.097	2.1	2.101	2.099	2.05	2.046	2.05	2.049	2.112	2.11	2.113	2.112
2.1	2.088	2.09	2.091	2.090	2.018	2.014	2.015	2.016	2.102	2.1	2.1	2.101
2.2	2.084	2.088	2.081	2.084	2.026	2.022	2.024	2.024	2.08	2.08	2.08	2.080
2.3	2.087	2.077	2.08	2.081	2.067	2.076	2.075	2.073	2.09	2.085	2.09	2.088
2.4	2.102	2.103	2.093	2.099	2.104	2.102	2.108	2.105	2.098	2.099	2.1	2.099
2.5	2.102	2.1	2.093	2.098	2.102	2.103	2.113	2.106	2.09	2.093	2.09	2.091
2.6	2.085	2.086	2.083	2.085	2.096	2.098	2.09	2.095	2.101	2.103	2.102	2.102

ตารางผลการวัดหาความสัมพันธ์ระหว่างความถี่กับการเปลี่ยนแปลงปริมาณเชื้อยากล่องในตู้ยากล่องอย่างปริมาตร 150 ml (ต่อ)

Frequency (GHz)	DRC 30%			DRC 20%		
	1	2	เฉลี่ย	1	2	เฉลี่ย
1.9	2.076	2.07	2.074	2.078	2.085	2.081
2.0	2.097	2.092	2.093	2.08	2.076	2.077
2.1	2.08	2.08	2.080	2.08	2.075	2.076
2.2	2.048	2.046	2.046	2.085	2.076	2.078
2.3	2.051	2.06	2.057	2.097	2.095	2.097
2.4	2.095	2.092	2.092	2.106	2.107	2.107
2.5	2.105	2.105	2.105	2.104	2.107	2.107
2.6	2.062	2.066	2.063	2.084	2.086	2.085

ตารางผลการวัดหาความสัมพันธ์ระหว่างความถี่กับการเปลี่ยนแปลงปริมาณเพื่อหาปริมาณในหน่วยวัตต์อย่างปริมาตร 150 ml (ต่อ)

Frequency (GHz)	DRC 60%			DRC 50%			DRC 40%					
	1	2	3	เฉลี่ย	1	2	3	เฉลี่ย	1	2	3	เฉลี่ย
2.2	1.99	1.994	1.992	1.992	2	2.007	2.002	2.003	2.01	2.015	2.02	2.015
2.3	2.018	2.02	2.022	2.020	2.034	2.032	2.036	2.034	2.05	2.056	2.054	2.053
2.4	2.021	2.024	2.026	2.024	2.039	2.036	2.032	2.036	2.06	2.065	2.07	2.065

Frequency (GHz)	DRC 30%			DRC 20%				
	1	2	3	เฉลี่ย	1	2	3	เฉลี่ย
2.2	2.028	2.018	2.024	2.023	2.032	2.038	2.03	2.033
2.3	2.057	2.061	2.063	2.060	2.073	2.078	2.08	2.077
2.4	2.082	2.084	2.086	2.084	2.091	2.096	2.1	2.096

4. ตารางผลการวัดหาความสัมพันธ์ระหว่างความถี่กับการเปลี่ยนแปลงปริมาณเนื้อเยื่อของแท่งใยข่ายใหม่ใยข่ายตัวอย่างปริมาตร 200 ml

F (GHz)	DRC 60%			DRC 50%			DRC 40%					
	1	2	3	เฉลี่ย	1	2	3	เฉลี่ย	1	2	3	เฉลี่ย
1.0	1.590	1.582	1.593	1.588	1.572	1.567	1.566	1.568	1.565	1.562	1.565	1.564
1.1	1.701	1.705	1.706	1.704	1.702	1.708	1.708	1.706	1.710	1.707	1.703	1.707
1.2	1.790	1.782	1.785	1.786	1.752	1.757	1.752	1.754	1.740	1.756	1.758	1.751
1.3	1.803	1.805	1.804	1.804	1.900	1.895	1.905	1.900	1.835	1.850	1.854	1.846
1.4	2.066	2.085	2.083	2.078	2.040	2.032	2.050	2.041	2.022	2.036	2.027	2.028
1.5	2.093	2.085	2.091	2.090	2.032	2.032	2.038	2.034	2.108	2.103	2.096	2.102
1.6	2.103	2.105	2.104	2.104	2.099	2.104	2.107	2.103	2.108	2.109	2.108	2.108
1.7	2.099	2.104	2.106	2.103	2.101	2.105	2.108	2.105	2.100	2.097	2.095	2.097
1.8	2.074	2.075	2.073	2.074	2.060	2.066	2.066	2.064	2.080	2.075	2.076	2.077
1.9	2.034	2.026	2.022	2.027	2.027	2.022	2.013	2.021	2.025	2.040	2.050	2.038
2.0	2.054	2.058	2.063	2.058	2.044	2.044	2.046	2.045	2.089	2.096	2.094	2.093
2.1	2.068	2.053	2.057	2.059	2.010	2.012	2.016	2.013	2.098	2.107	2.097	2.101
2.2	2.065	2.045	2.052	2.054	1.967	1.964	1.960	1.964	2.084	2.090	2.087	2.087
2.3	2.086	2.090	2.091	2.089	2.051	2.040	2.040	2.044	2.108	2.103	2.103	2.105
2.4	2.100	2.094	2.095	2.096	2.040	2.052	2.035	2.042	2.109	2.102	2.103	2.105
2.5	2.108	2.108	2.107	2.108	2.100	2.105	2.095	2.100	2.097	2.091	2.100	2.096

ตารางผลการวัดหาความสัมพันธ์ระหว่างความถี่กับการเปลี่ยนแปลงปริมาณเพื่อหาตำแหน่งในหน่วยองศาอย่างปริมาตร 200 ml (ต่อ)

F (GHz)	DRC 30%			DRC 20%		
	1	2	เฉลี่ย	1	2	เฉลี่ย
1.0	1.579	1.576	1.577	1.593	1.570	1.572
1.1	1.714	1.720	1.715	1.706	1.711	1.710
1.2	1.805	1.825	1.835	1.804	1.809	1.805
1.3	1.810	1.808	1.807	1.797	1.791	1.795
1.4	1.987	1.990	1.989	2.085	2.071	2.075
1.5	2.097	2.103	2.102	2.052	2.053	2.057
1.6	2.110	2.110	2.110	2.107	2.102	2.104
1.7	2.100	2.099	2.100	2.100	2.098	2.099
1.8	2.062	2.080	2.070	2.054	2.060	2.055
1.9	2.047	2.042	2.043	2.045	2.044	2.046
2.0	2.075	2.075	2.077	2.072	2.070	2.070
2.1	2.100	2.101	2.101	2.068	2.065	2.068
2.2	2.098	2.102	2.100	2.030	2.020	2.024
2.3	2.100	2.103	2.104	2.060	2.072	2.066
2.4	2.105	2.094	2.101	2.089	2.060	2.072
2.5	2.107	2.107	2.107	2.103	2.105	2.101

ตารางผลการวัดหาความสัมพันธ์ระหว่างความถี่กับการเปลี่ยนแปลงปริมาณเพื่ออย่างหนึ่งให้ได้อย่างน้อยอย่างปริมาณ 200 ml (ต่อ)

Frequency (GHz)	DRC 60%			DRC 50%			DRC 40%					
	1	2	3	เฉลี่ย	1	2	3	เฉลี่ย	1	2	3	เฉลี่ย
1.9	2.036	2.055	2.047	2.046	2.03	2.026	2.025	2.027	2.056	2.076	2.075	2.069
2.0	2.092	2.096	2.093	2.094	2.06	2.05	2.052	2.054	2.106	2.105	2.105	2.105
2.1	2.041	2.043	2.042	2.042	2.058	2.05	2.044	2.051	2.091	2.097	2.086	2.091
2.2	1.946	1.948	1.944	1.946	1.93	1.93	1.94	1.933	2	1.997	1.997	1.998
2.3	2.017	2.024	2.025	2.022	2.046	2.045	2.042	2.044	2.058	2.064	2.065	2.062
2.4	2.015	2.03	2.018	2.021	2.025	2.054	2.047	2.042	2.088	2.08	2.085	2.084
2.5	2.041	2.075	2.063	2.060	2.087	2.095	2.09	2.091	2.106	2.107	2.107	2.107
2.6	2.115	2.112	2.112	2.113	2.075	2.082	2.086	2.081	2.093	2.095	2.092	2.093

ตารางผลการวัดหาความสัมพันธ์ระหว่างความถี่กับการเปลี่ยนแปลงปริมาณเพื่ออย่างหนึ่งให้ได้อย่างน้อยอย่างปริมาณ 200 ml (ต่อ)

Frequency (GHz)	DRC 30%			DRC 20%		
	1	2	3	1	2	3
1.9	2.049	2.04	2.038	2.042	2.056	2.044
2.0	2.064	2.071	2.064	2.066	2.069	2.064
2.1	2.027	2.031	2.03	2.029	2.063	2.047
2.2	1.906	1.91	1.9	1.905	1.996	1.965
2.3	2.015	2.013	2.003	2.010	2.054	2.058
2.4	1.96	1.975	1.971	1.969	2.087	2.064
2.5	2.065	2.068	2.052	2.062	2.107	2.12
2.6	2.114	2.11	2.103	2.109	2.08	2.048

ตารางผลการวัดหาความสัมพันธ์ระหว่างความถี่กับการเปลี่ยนแปลงปริมาณเชื้อยาส่งในน้ำยางแห้งในน้ำยางตัวอย่างปริมาตร 200 ml (ต่อ)

Frequency (GHz)	DRC 60%			DRC 50%			DRC 40%					
	1	2	3	เฉลี่ย	1	2	3	เฉลี่ย	1	2	3	เฉลี่ย
2.2	1.898	1.903	1.902	1.901	1.92	1.926	1.928	1.925	1.946	1.94	1.942	1.943
2.3	1.89	1.908	1.9	1.899	1.96	1.952	1.956	1.956	1.97	1.98	1.976	1.975
2.4	1.936	1.938	1.946	1.940	1.993	1.998	2	1.997	2.026	2.028	2.032	2.029

Frequency (GHz)	DRC 30%			DRC 20%				
	1	2	3	เฉลี่ย	1	2	3	เฉลี่ย
2.2	1.958	1.96	1.965	1.961	1.986	1.982	1.98	1.983
2.3	2.01	2.02	2.015	2.015	2.026	2.036	2.032	2.031
2.4	2.046	2.036	2.038	2.040	2.043	2.045	2.05	2.046

5. ตารางผลการวัดหาความสัมพันธ์ระหว่างความถี่กับการเปลี่ยนแปลงปริมาณเนื้อเยื่อของแท่งใยข่ายในใยข่ายตัวอย่างปริมาตร 250 ml

F (GHz)	DRC 60%			DRC 50%			DRC 40%					
	1	2	3	เฉลี่ย	1	2	3	เฉลี่ย	1	2	3	เฉลี่ย
1.0	1.615	1.616	1.623	1.618	1.583	1.587	1.589	1.586	1.589	1.587	1.588	1.588
1.1	1.721	1.858	1.938	1.839	1.988	1.900	1.931	1.940	1.970	1.972	1.962	1.968
1.2	1.846	1.960	1.938	1.915	1.975	1.956	1.948	1.960	1.948	1.940	1.946	1.945
1.3	1.875	1.865	1.870	1.870	1.960	1.973	1.940	1.958	1.915	1.914	1.920	1.916
1.4	2.042	2.040	2.037	2.040	2.052	2.058	2.040	2.050	2.020	2.030	2.024	2.025
1.5	2.076	2.094	2.097	2.089	2.080	2.080	2.085	2.082	2.091	2.086	2.090	2.089
1.6	2.099	2.103	2.096	2.099	2.101	2.101	2.103	2.102	2.095	2.095	2.095	2.095
1.7	2.084	2.090	2.087	2.087	2.085	2.085	2.085	2.085	2.082	2.080	2.083	2.082
1.8	2.061	2.078	2.076	2.072	2.073	2.076	2.078	2.076	2.073	2.036	2.050	2.053
1.9	2.050	2.060	2.080	2.063	2.050	2.057	2.065	2.057	2.083	2.062	2.055	2.067
2.0	2.063	2.063	2.070	2.065	2.056	2.060	2.065	2.060	2.086	2.094	2.095	2.092
2.1	2.060	2.061	2.050	2.057	2.045	2.064	2.063	2.057	2.087	2.080	2.079	2.082
2.2	2.024	2.014	2.024	2.021	2.064	2.090	2.087	2.080	2.083	2.100	2.090	2.091
2.3	2.048	2.048	2.063	2.053	2.075	2.076	2.082	2.078	2.087	2.070	2.078	2.078
2.4	2.011	2.017	2.060	2.029	2.060	2.060	2.028	2.049	2.060	2.040	2.065	2.055
2.5	2.077	2.080	2.100	2.086	2.108	2.108	2.095	2.104	2.107	2.098	2.090	2.098

ตารางผลการวัดหาความสัมพันธ์ระหว่างความถี่กับการเปลี่ยนแปลงปริมาณเพื่อหาปริมาณในหน่วยปริมาตร 250 ml (ต่อ)

F (GHz)	DRC 30%			DRC 20%		
	1	2	เฉลี่ย	1	2	เฉลี่ย
1.0	1.606	1.605	1.604	1.606	1.601	1.602
1.1	1.960	1.955	1.952	1.983	1.960	1.950
1.2	2.010	2.011	2.029	2.030	2.038	2.030
1.3	1.918	1.928	1.920	1.856	1.867	1.877
1.4	1.993	2.000	1.999	2.018	2.010	2.017
1.5	2.074	2.081	2.085	2.067	2.070	2.072
1.6	2.097	2.100	2.097	2.100	2.100	2.100
1.7	2.091	2.090	2.087	2.085	2.086	2.085
1.8	2.064	2.060	2.050	2.066	2.058	2.060
1.9	2.071	2.070	2.080	2.040	2.050	2.057
2.0	2.064	2.065	2.064	2.054	2.056	2.054
2.1	2.048	2.041	2.040	2.043	2.048	2.045
2.2	2.025	2.026	2.026	2.067	2.070	2.075
2.3	2.041	2.042	2.030	2.065	2.066	2.068
2.4	2.100	2.052	2.102	2.108	2.061	2.100
2.5	2.095	2.107	2.094	2.096	2.109	2.108

ตารางผลการวัดหาความสัมพันธ์ระหว่างความถี่กับการเปลี่ยนแปลงปริมาณเพื่ออย่างหนึ่งให้ได้อย่างน้อยอย่างปริมาตร 250 ml (ต่อ)

Frequency (GHz)	DRC 60%			DRC 50%			DRC 40%					
	1	2	3	เฉลี่ย	1	2	3	เฉลี่ย	1	2	3	เฉลี่ย
1.9	2.071	2.069	2.07	2.070	2.092	2.097	2.095	2.095	2.095	2.093	2.093	2.094
2.0	2.095	2.09	2.087	2.091	2.108	2.104	2.107	2.106	2.108	2.109	2.109	2.109
2.1	2.043	2.05	2.036	2.043	2.087	2.09	2.081	2.086	2.107	2.095	2.108	2.103
2.2	1.976	1.988	1.962	1.975	2.068	2.083	2.08	2.077	2.081	2.07	2.063	2.071
2.3	2.085	2.081	2.085	2.084	2.089	2.082	2.077	2.083	2.09	2.092	2.085	2.089
2.4	2.073	2.076	2.078	2.076	2.105	2.114	2.115	2.111	2.09	2.096	2.09	2.092
2.5	2.052	2.069	2.07	2.064	2.101	2.107	2.09	2.099	2.103	2.104	2.107	2.105
2.6	2.04	2.054	2.041	2.045	2.058	2.061	2.06	2.060	2.1	2.091	2.085	2.092

ตารางผลการวัดหาความสัมพันธ์ระหว่างความถี่กับการเปลี่ยนแปลงปริมาณเพื่อวางพื้นที่วางตัวอย่างปริมาตร 250 ml (ต่อ)

Frequency (GHz)	DRC 30%			DRC 20%		
	1	2	เฉลี่ย	1	2	เฉลี่ย
1.9	2.09	2.084	2.081	2.087	2.089	2.087
2.0	2.103	2.104	2.103	2.116	2.117	2.116
2.1	2.015	2.067	2.052	2.074	2.091	2.082
2.2	2.024	2.022	2.017	2.1	2.113	2.106
2.3	2.093	2.099	2.091	2.046	2.06	2.052
2.4	2.102	2.104	2.104	2.115	2.111	2.111
2.5	2.112	2.105	2.108	2.104	2.102	2.103
2.6	2.056	2.052	2.054	2.092	2.088	2.081

ตารางผลการวัดหาความสัมพันธ์ระหว่างความถี่กับการเปลี่ยนแปลงปริมาณเนื้อเยื่อไขมันในหน้าอกด้วยวิธีปริมาตร 250 ml (ต่อ)

Frequency (GHz)	DRC 60%			DRC 50%			DRC 40%					
	1	2	3	เฉลี่ย	1	2	3	เฉลี่ย	1	2	3	เฉลี่ย
2.2	1.665	1.682	1.67	1.672	1.698	1.708	1.685	1.697	1.706	1.71	1.723	1.713
2.3	1.765	1.76	1.768	1.764	1.783	1.798	1.787	1.789	1.798	1.81	1.803	1.804
2.4	1.736	1.742	1.754	1.744	1.846	1.824	1.835	1.835	1.86	1.872	1.868	1.867

Frequency (GHz)	DRC 30%			DRC 20%				
	1	2	3	เฉลี่ย	1	2	3	เฉลี่ย
2.2	1.752	1.746	1.77	1.756	1.808	1.794	1.798	1.800
2.3	1.818	1.823	1.82	1.820	1.887	1.876	1.88	1.881
2.4	1.895	1.902	1.887	1.895	1.944	1.952	1.966	1.954

6. ตารางผลการวัดหาความสัมพันธ์ระหว่างความถี่กับการเปลี่ยนแปลงปริมาณเนื้อเยื่อของแท่งใยข่ายในใยข่ายตัวอย่างปริมาตร 300 ml

F (GHz)	DRC 60%			DRC 50%			DRC 40%					
	1	2	3	เฉลี่ย	1	2	3	เฉลี่ย	1	2	3	เฉลี่ย
1.0	1.960	1.967	1.968	1.965	1.728	1.750	1.754	1.744	1.760	1.779	1.780	1.773
1.1	1.908	1.897	1.904	1.903	1.904	1.904	1.910	1.906	1.917	1.875	1.874	1.889
1.2	1.918	1.911	1.906	1.912	1.858	1.861	1.856	1.858	1.877	1.876	1.887	1.880
1.3	1.786	1.795	1.800	1.794	1.793	1.792	1.790	1.792	1.843	1.838	1.846	1.842
1.4	2.047	2.058	2.058	2.054	2.056	2.063	2.075	2.065	2.092	2.083	2.092	2.089
1.5	2.092	2.091	2.090	2.091	2.105	2.104	2.103	2.104	2.102	2.090	2.093	2.095
1.6	2.113	2.117	2.116	2.115	2.113	2.114	2.115	2.114	2.113	2.114	2.111	2.113
1.7	2.090	2.106	2.108	2.101	2.117	2.117	2.116	2.117	2.107	2.109	2.106	2.107
1.8	2.052	2.093	2.083	2.076	2.097	2.098	2.097	2.097	2.060	2.063	2.057	2.060
1.9	2.065	2.060	2.068	2.064	2.066	2.065	2.064	2.065	1.953	1.953	1.956	1.954
2.0	2.025	2.042	2.030	2.032	1.981	1.981	1.983	1.982	1.911	1.913	1.912	1.912
2.1	2.052	2.080	2.051	2.061	1.869	1.870	1.867	1.869	1.835	1.836	1.837	1.836
2.2	2.087	2.106	2.107	2.100	1.806	1.815	1.806	1.809	1.960	1.946	1.936	1.947
2.3	2.027	2.026	2.028	2.027	1.898	1.896	1.903	1.899	2.077	2.065	2.047	2.063
2.4	2.034	2.044	2.036	2.038	1.961	1.954	1.947	1.954	2.094	2.080	2.089	2.088
2.5	2.065	2.070	2.088	2.074	2.067	2.043	2.053	2.054	2.108	2.100	2.090	2.099

ตารางผลการวัดหาความสัมพันธ์ระหว่างความถี่กับการเปลี่ยนแปลงปริมาณเพื่อหาปริมาณในหน่วยปริมาตร 300 ml (ต่อ)

F (GHz)	DRC 30%			DRC 20%		
	1	2	เฉลี่ย	1	2	เฉลี่ย
1.0	1.762	1.768	1.773	1.840	1.820	1.823
1.1	1.936	1.952	1.954	1.917	1.938	1.945
1.2	1.972	1.967	1.969	1.976	1.978	1.977
1.3	2.000	1.982	1.988	1.783	1.787	1.802
1.4	2.066	2.050	2.077	2.068	2.071	2.069
1.5	2.073	2.072	2.074	2.080	2.090	2.084
1.6	2.108	2.107	2.114	2.112	2.111	2.112
1.7	2.107	2.100	2.105	2.113	2.110	2.112
1.8	2.063	2.098	2.068	2.107	2.108	2.103
1.9	2.045	2.068	2.030	2.080	2.065	2.074
2.0	2.046	2.076	2.060	1.963	1.960	1.955
2.1	2.077	2.080	2.083	1.831	1.840	1.838
2.2	1.868	1.958	1.928	1.800	1.799	1.799
2.3	1.919	1.913	1.913	1.893	1.895	1.893
2.4	1.947	1.949	1.940	2.023	2.005	2.013
2.5	2.048	2.063	2.022	2.086	2.096	2.108

ตารางผลการวัดหาความสัมพันธ์ระหว่างความถี่กับการเปลี่ยนแปลงปริมาณเพื่อหาพื้นที่ว่างในตู้ห้ำยงตู้วออย่างปริมาตร 300 ml (ต่อ)

Frequency (GHz)	DRC 60%			DRC 50%			DRC 40%					
	1	2	3	เฉลี่ย	1	2	3	เฉลี่ย	1	2	3	เฉลี่ย
1.9	2.111	2.111	2.111	2.111	2.089	2.09	2.094	2.091	2.092	2.083	2.087	2.087
2.0	2.064	2.066	2.071	2.067	2.101	2.102	2.101	2.101	2.11	2.112	2.111	2.111
2.1	2.04	2.034	2.039	2.038	2.107	2.107	2.113	2.109	2.077	2.066	2.064	2.069
2.2	2.032	2.024	2.032	2.029	1.87	1.864	1.867	1.867	1.921	1.926	1.924	1.924
2.3	2.042	2.054	2.05	2.049	1.965	1.963	1.965	1.964	2.059	2.07	2.066	2.065
2.4	2.028	2.01	2.028	2.022	2.042	2.038	2.022	2.034	2.024	2.02	2.03	2.025
2.5	2.087	2.078	2.073	2.079	2.105	2.095	2.106	2.102	2.108	2.103	2.105	2.105
2.6	2.112	2.11	2.102	2.108	2.109	2.109	2.107	2.108	2.112	2.111	2.111	2.111

ตารางผลการวัดหาความสัมพันธ์ระหว่างความถี่กับการเปลี่ยนแปลงปริมาณเพื่ออย่างหนึ่งให้ได้อย่างน้อยอย่างปริมาณ 300 ml (ต่อ)

Frequency (GHz)	DRC 30%						DRC 20%					
	1	2	3	เฉลี่ย	1	2	3	เฉลี่ย	1	2	3	เฉลี่ย
1.9	2.108	2.108	2.108	2.108	2.094	2.087	2.096	2.092	2.094	2.087	2.096	2.092
2.0	2.092	2.095	2.097	2.095	2.081	2.083	2.048	2.071	2.081	2.083	2.048	2.071
2.1	2.049	2.064	2.067	2.060	2.105	2.109	2.115	2.110	2.105	2.109	2.115	2.110
2.2	1.96	1.963	1.956	1.960	1.832	1.84	1.835	1.836	1.832	1.84	1.835	1.836
2.3	1.976	1.977	1.98	1.978	1.942	1.945	1.946	1.944	1.942	1.945	1.946	1.944
2.4	2.008	1.97	1.965	1.981	2.035	2.03	2.026	2.030	2.035	2.03	2.026	2.030
2.5	2.095	2.092	2.096	2.094	2.095	2.097	2.1	2.097	2.095	2.097	2.1	2.097
2.6	2.112	2.113	2.113	2.113	2.108	2.107	2.107	2.107	2.108	2.107	2.107	2.107

ตารางผลการวัดหาความสัมพันธ์ระหว่างความถี่กับการเปลี่ยนแปลงปริมาณเพื่อหาปริมาณในหน่วยวัตต์อย่างปริมาณ 300 ml (ต่อ)

Frequency (GHz)	DRC 60%			DRC 50%			DRC 40%					
	1	2	3	เฉลี่ย	1	2	3	เฉลี่ย	1	2	3	เฉลี่ย
2.2	1.808	1.808	1.805	1.808	1.832	1.824	1.838	1.831	1.852	1.863	1.871	1.862
2.3	1.807	1.809	1.814	1.810	1.822	1.825	1.826	1.824	1.836	1.84	1.838	1.838
2.4	1.798	1.79	1.796	1.795	1.816	1.824	1.822	1.821	1.838	1.841	1.854	1.844

Frequency (GHz)	DRC 30%			DRC 20%				
	1	2	3	เฉลี่ย	1	2	3	เฉลี่ย
2.2	1.911	1.885	1.89	1.895	1.914	1.918	1.92	1.917
2.3	1.893	1.888	1.896	1.892	1.968	1.976	1.971	1.972
2.4	1.869	1.86	1.871	1.867	1.881	1.88	1.89	1.884

7. ตารางผลการวัดหาความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงปริมาณเนื้อเยื่อแห้งใน
 น้ำยางกับสัญญาณคลื่นไมโครเวฟในน้ำยางตัวอย่างปริมาตร 150 ml

2.2 GHz	%DRC	DC Output (v)
	60	1.992
	50	2.003
	40	2.02
	30	2.023
	20	2.033
2.3 GHz	%DRC	DC Output (v)
	60	2.02
	50	2.034
	40	2.053
	30	2.06
	20	2.077
2.4 GHz	%DRC	DC Output (v)
	60	2.024
	50	2.036
	40	2.07
	30	2.084
	20	2.096

8. ตารางผลการวัดหาความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงปริมาณเนื้อเยื่อแห้งใน
 น้ำยางกับสัญญาณคลื่นไมโครเวฟในน้ำยางตัวอย่างปริมาตร 200 ml

2.2 GHz	%DRC	DC Output (v)
	60	1.901
	50	1.925
	40	1.943
	30	1.961
	20	1.983
2.3 GHz	%DRC	DC Output (v)
	60	1.899
	50	1.956
	40	1.975
	30	2.015
	20	2.031
2.4 GHz	%DRC	DC Output (v)
	60	1.94
	50	1.997
	40	2.029
	30	2.04
	20	2.046

9. ตารางผลการวัดหาความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงปริมาณเนื้อเยื่อแห้งใน
 น้ำยางกับสัญญาณคลื่นไมโครเวฟในน้ำยางตัวอย่างปริมาตร 250 ml

2.2 GHz	%DRC	DC Output (v)
	60	1.672
	50	1.697
	40	1.713
	30	1.756
	20	1.8
2.3 GHz	%DRC	DC Output (v)
	60	1.764
	50	1.789
	40	1.804
	30	1.82
	20	1.881
2.4 GHz	%DRC	DC Output (v)
	60	1.744
	50	1.835
	40	1.867
	30	1.895
	20	1.954

10. ตารางผลการวัดหาความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงปริมาณเนื้อเยื่อแห้งใน
น้ำยางกับสัญญาณคลื่นไมโครเวฟในน้ำยางตัวอย่างปริมาตร 250 ml

2.2 GHz	%DRC	DC Output (v)
	60	1.808
	50	1.831
	40	1.862
	30	1.895
	20	1.92
2.3 GHz	%DRC	DC Output (v)
	60	1.81
	50	1.824
	40	1.838
	30	1.892
	20	1.972
2.4 GHz	%DRC	DC Output (v)
	60	1.795
	50	1.821
	40	1.844
	30	1.867
	20	1.884

11. ตารางผลการวัดหาความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงปริมาณเพื่อแย่งกับสัญญาณคลื่นไมโครเวฟที่ความถี่ 2.2 GHz
ในน้ำยาด่างตัวอย่าง 200 ml

ครั้งที่	DRC 60%		เฉลี่ย	DRC 50%		เฉลี่ย	DRC 40%	
	1	2		1	2		1	2
1	1.900	1.899	1.900	1.930	1.932	1.931	1.950	1.952
2	1.898	1.893	1.896	1.932	1.933	1.933	1.952	1.955
3	1.892	1.891	1.892	1.933	1.932	1.933	1.954	1.954
4	1.890	1.893	1.892	1.931	1.931	1.931	1.953	1.953
5	1.892	1.891	1.892	1.935	1.932	1.934	1.950	1.956
6	1.889	1.892	1.891	1.932	1.931	1.932	1.954	1.954
7	1.902	1.904	1.903	1.933	1.930	1.932	1.958	1.956
8	1.902	1.905	1.904	1.931	1.934	1.933	1.956	1.955
9	1.897	1.903	1.900	1.930	1.933	1.932	1.952	1.956
10	1.895	1.902	1.899	1.932	1.934	1.933	1.953	1.954
11	1.894	1.899	1.897	1.935	1.935	1.935	1.952	1.953
12	1.896	1.900	1.898	1.934	1.932	1.933	1.950	1.952
13	1.896	1.898	1.897	1.932	1.933	1.933	1.950	1.951
14	1.893	1.890	1.892	1.931	1.931	1.931	1.954	1.950
15	1.894	1.891	1.893	1.935	1.930	1.933	1.956	1.951

ครั้งที่	DRC 60%		เฉลี่ย	DRC 50%		เฉลี่ย	DRC 40%	
	1	2		1	2		1	2
16	1.890	1.893	1.892	1.933	1.932	1.933	1.957	1.956
17	1.901	1.895	1.898	1.934	1.931	1.933	1.954	1.952
18	1.903	1.897	1.900	1.931	1.932	1.932	1.958	1.950
19	1.897	1.896	1.897	1.932	1.934	1.933	1.958	1.953
20	1.901	1.902	1.902	1.931	1.933	1.932	1.957	1.956
เฉลี่ย	1.896	1.897	1.896	1.932	1.932	1.932	1.954	1.953

ครั้งที่	DRC 30%		เฉลี่ย	DRC 20%		เฉลี่ย
	1	2		1	2	
1	1.967	1.966	1.967	1.989	1.990	1.990
2	1.966	1.967	1.967	1.992	1.993	1.993
3	1.968	1.965	1.967	1.994	1.991	1.993
4	1.972	1.968	1.970	1.986	1.990	1.988
5	1.968	1.967	1.968	1.988	1.989	1.989
6	1.966	1.964	1.965	1.993	1.991	1.992
7	1.973	1.969	1.971	1.992	1.989	1.991
8	1.968	1.970	1.969	1.989	1.990	1.990
9	1.970	1.964	1.967	1.993	1.990	1.992

คำสั่งที่	DRC 30%		เฉลี่ย	DRC 20%		เฉลี่ย
	1	2		1	2	
10	1.966	1.968	1.967	1.994	1.989	1.992
11	1.968	1.966	1.967	1.992	1.991	1.992
12	1.967	1.968	1.968	1.991	1.994	1.993
13	1.966	1.964	1.965	1.989	1.989	1.989
14	1.968	1.971	1.970	1.991	1.992	1.992
15	1.969	1.966	1.968	1.990	1.993	1.992
16	1.967	1.969	1.968	1.989	1.994	1.992
17	1.970	1.968	1.969	1.986	1.993	1.990
18	1.969	1.968	1.969	1.988	1.991	1.990
19	1.967	1.967	1.967	1.991	1.985	1.988
20	1.972	1.969	1.971	1.995	1.994	1.995
เฉลี่ย	1.968	1.967	1.968	1.991	1.991	1.991

12. ตารางผลการวัดหาความสัมพัทธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงปริมาณแห้งของแก๊บสัญญาณคลื่นไมโครเวฟที่ความถี่ 2.2 GHz
ในน้ำยาดัวอย่าง 300 ml

ครั้งที่	DRC 60%		DRC 50%		DRC 40%	
	1	2	1	2	1	2
1	1.923	1.924	1.965	1.962	1.992	1.995
2	1.925	1.923	1.964	1.961	1.995	1.992
3	1.924	1.923	1.963	1.960	1.993	1.991
4	1.923	1.923	1.962	1.959	1.996	1.990
5	1.925	1.924	1.960	1.960	1.995	1.994
6	1.926	1.925	1.961	1.958	1.996	1.995
7	1.921	1.923	1.962	1.960	1.997	1.993
8	1.923	1.922	1.960	1.961	1.994	1.994
9	1.922	1.923	1.961	1.963	1.992	1.993
10	1.921	1.924	1.964	1.960	1.995	1.994
11	1.923	1.923	1.962	1.958	1.996	1.992
12	1.921	1.924	1.960	1.960	1.994	1.994
13	1.924	1.922	1.958	1.962	1.993	1.995
14	1.925	1.923	1.960	1.958	1.995	1.993
15	1.924	1.922	1.962	1.964	1.994	1.990

บัญชี ครั้งที่	DRC 60%			DRC 50%			DRC 40%		
	1	2	เฉลี่ย	1	2	เฉลี่ย	1	2	เฉลี่ย
16	1.922	1.923	1.923	1.960	1.963	1.962	1.996	1.995	1.996
17	1.923	1.922	1.923	1.961	1.961	1.961	1.993	1.992	1.993
18	1.921	1.923	1.922	1.962	1.960	1.961	1.994	1.990	1.992
19	1.922	1.921	1.922	1.963	1.962	1.963	1.993	1.991	1.992
20	1.922	1.923	1.923	1.962	1.960	1.961	1.994	1.992	1.993
เฉลี่ย	1.923	1.923	1.923	1.962	1.961	1.961	1.994	1.993	1.994

บัญชี ครั้งที่	DRC 30%			DRC 20%		
	1	2	เฉลี่ย	1	2	เฉลี่ย
1	2.026	2.024	2.025	2.052	2.053	2.053
2	2.023	2.026	2.025	2.050	2.052	2.051
3	2.025	2.024	2.025	2.048	2.051	2.050
4	2.023	2.023	2.023	2.050	2.052	2.051
5	2.027	2.025	2.026	2.051	2.054	2.053
6	2.026	2.026	2.026	2.052	2.052	2.052
7	2.027	2.024	2.026	2.051	2.050	2.051
8	2.025	2.022	2.024	2.050	2.051	2.051
9	2.026	2.023	2.025	2.051	2.052	2.052

บัญชี ครุภัณฑ์	DRC 30%			DRC 20%		
	1	2	เฉลี่ย	1	2	เฉลี่ย
10	2.023	2.024	2.024	2.052	2.055	2.054
11	2.024	2.025	2.025	2.053	2.050	2.052
12	2.023	2.023	2.023	2.051	2.053	2.052
13	2.024	2.022	2.023	2.053	2.051	2.052
14	2.026	2.024	2.025	2.054	2.053	2.054
15	2.025	2.026	2.026	2.052	2.052	2.052
16	2.026	2.025	2.026	2.050	2.051	2.051
17	2.024	2.022	2.023	2.051	2.050	2.051
18	2.023	2.021	2.022	2.053	2.052	2.053
19	2.024	2.022	2.023	2.052	2.053	2.053
20	2.026	2.024	2.025	2.054	2.052	2.053
เฉลี่ย	2.025	2.024	2.024	2.052	2.052	2.052

13. ตารางผลการวัดหาความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงปริมาณของแท่งกับสัญญาณคลื่นไมโครเวฟที่ความถี่ 2.4 GHz
ในน้ำยาล้างถ้วยอย่าง 300 ml

ครั้งที่	DRC 60%		เฉลี่ย	DRC 50%		เฉลี่ย	DRC 40%	
	1	2		1	2		1	2
1	1.901	1.900	1.901	1.922	1.921	1.922	1.942	1.941
2	1.900	1.903	1.902	1.921	1.920	1.921	1.941	1.942
3	1.901	1.900	1.901	1.920	1.919	1.920	1.943	1.941
4	1.903	1.902	1.903	1.919	1.920	1.920	1.944	1.940
5	1.902	1.903	1.903	1.920	1.922	1.921	1.942	1.942
6	1.904	1.902	1.903	1.922	1.923	1.923	1.940	1.941
7	1.902	1.903	1.903	1.923	1.920	1.922	1.941	1.942
8	1.903	1.902	1.903	1.922	1.921	1.922	1.943	1.940
9	1.902	1.901	1.902	1.923	1.920	1.922	1.940	1.941
10	1.901	1.900	1.901	1.920	1.923	1.922	1.941	1.942
11	1.902	1.903	1.903	1.919	1.924	1.922	1.940	1.941
12	1.901	1.902	1.902	1.920	1.922	1.921	1.941	1.940
13	1.900	1.903	1.902	1.921	1.920	1.921	1.940	1.941
14	1.902	1.902	1.902	1.900	1.921	1.911	1.943	1.940
15	1.903	1.901	1.902	1.921	1.920	1.921	1.942	1.942

ครั้งที่	DRC 60%		เฉลี่ย	DRC 50%		เฉลี่ย	DRC 40%	
	1	2		1	2		1	2
16	1.901	1.902	1.902	1.922	1.923	1.923	1.940	1.943
17	1.900	1.901	1.901	1.920	1.922	1.921	1.941	1.941
18	1.901	1.903	1.902	1.922	1.920	1.921	1.942	1.942
19	1.900	1.904	1.902	1.924	1.921	1.923	1.943	1.943
20	1.902	1.903	1.903	1.922	1.922	1.922	1.942	1.942
เฉลี่ย	1.902	1.902	1.902	1.920	1.921	1.921	1.942	1.941

ครั้งที่	DRC 30%		DRC 20%	
	1	2	1	2
1	1.942	1.965	1.986	1.987
2	1.942	1.968	1.985	1.988
3	1.942	1.969	1.987	1.989
4	1.942	1.970	1.988	1.987
5	1.942	1.967	1.987	1.989
6	1.941	1.966	1.989	1.988
7	1.942	1.965	1.988	1.987
8	1.942	1.964	1.989	1.988
9	1.941	1.965	1.988	1.989

ตัวชี้วัด	เฉลี่ย	DRC 30%		เฉลี่ย	DRC 20%	
		1	2		1	2
10	1.942	1.964	1.967	1.966	1.987	1.987
11	1.941	1.965	1.968	1.967	1.989	1.988
12	1.941	1.967	1.966	1.967	1.988	1.989
13	1.941	1.966	1.965	1.966	1.989	1.988
14	1.942	1.964	1.968	1.966	1.988	1.987
15	1.942	1.965	1.967	1.966	1.990	1.988
16	1.942	1.964	1.968	1.966	1.988	1.987
17	1.941	1.966	1.965	1.966	1.986	1.988
18	1.942	1.968	1.967	1.968	1.987	1.988
19	1.943	1.966	1.968	1.967	1.988	1.989
20	1.942	1.965	1.964	1.965	1.986	1.989
เฉลี่ย	1.941	1.966	1.967	1.966	1.988	1.988

14. ตารางผลการวัดหาความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงปริมาณเหี่ยวแห้งกับ สัญญาณคลื่นไมโครเวฟที่ความถี่ 2.2 GHz ในน้ำยงตัวอย่าง 300 ml

%DRC	DC Output		
	1	2	เฉลี่ย
60	1.923	1.923	1.923
50	1.962	1.961	1.961
40	1.994	1.993	1.994
30	2.025	2.024	2.024
20	2.052	2.052	2.052

15. ตารางผลการวัดหาความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงปริมาณเหี่ยวแห้งกับ สัญญาณคลื่นไมโครเวฟที่ความถี่ 2.4 GHz ในน้ำยงตัวอย่าง 300 ml

%DRC	DC Output		
	1	2	เฉลี่ย
60	1.902	1.902	1.902
50	1.92	1.921	1.921
40	1.942	1.941	1.941
30	1.966	1.967	1.966
20	1.988	1.988	1.988

**16. ตารางผลการวัดสัญญาณคลื่นไมโครเวฟเพื่อหาปริมาณเนื้อยางแห้งในน้ำยางที่
ความถี่ 2.2 GHz ในน้ำยางตัวอย่าง 300 ml**

ชื่อ ตัวอย่าง	DC Output					เฉลี่ย	%DRC
	1	2	3	4	5		
อุษา	1.993	1.993	1.994	1.993	1.995	1.994	40.06
เจียม	1.987	1.987	1.986	1.987	1.988	1.987	42.23
น้าย	2.01	2.011	2.011	2.012	2.01	2.011	34.79
สกันท์	2	2.001	2	1.998	1.999	2.000	38.20
มณีรัตน์	2.008	2.007	2.007	2.008	2.007	2.007	36.03
ทวิศักดิ์	1.98	1.982	1.98	1.981	1.98	1.981	44.10
จิรวัดณ์	2.025	2.024	2.024	2.025	2.025	2.025	30.44
จำนง	2.018	2.019	2.02	2.018	2.019	2.019	32.30
กระจำง	1.973	1.974	1.974	1.973	1.974	1.974	46.27
ผล	1.968	1.967	1.968	1.967	1.968	1.968	48.13

**17. ตารางผลการวัดสัญญาณคลื่นไมโครเวฟเพื่อหาปริมาณเนื้อยางแห้งในน้ำยางที่
ความถี่ 2.4 GHz ในน้ำยางตัวอย่าง 300 ml**

ชื่อ ตัวอย่าง	DC Output					เฉลี่ย	%DRC
	1	2	3	4	5		
อุษา	1.943	1.942	1.942	1.943	1.943	1.943	40.20
เจียม	1.938	1.939	1.939	1.939	1.938	1.939	42.04
น้าย	1.956	1.955	1.956	1.957	1.957	1.956	34.22
สกันท์	1.947	1.946	1.947	1.946	1.947	1.947	38.36
มณีรัตน์	1.953	1.952	1.952	1.953	1.952	1.952	36.06
ทวิศักดิ์	1.933	1.934	1.935	1.933	1.934	1.934	44.33
จิรวัดณ์	1.964	1.965	1.964	1.963	1.964	1.964	30.55
จำนง	1.961	1.96	1.96	1.96	1.961	1.960	32.38
กระจำง	1.929	1.93	1.928	1.93	1.931	1.930	46.17
ผล	1.925	1.926	1.926	1.927	1.927	1.926	48.01

ภาคผนวก ง

ข้อมูลเกี่ยวกับอุปกรณ์รับ-ส่งสัญญาณ

งานวิจัยนี้ใช้ Oscillator ในการส่งสัญญาณคลื่นไมโครเวฟในช่วงความถี่ 1.0 GHz-2.5 GHz จำนวน 2 รุ่นคือ ZX95-1600W+ และ ZX95-2800+ สำหรับอุปกรณ์รับสัญญาณที่ใช้คือ Detector รุ่น ZX47-40+ โดยมีข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับการใช้งานของอุปกรณ์ดังกล่าวข้างต้นดังเอกสารแนบนี้

Coaxial Voltage Controlled Oscillator

ZX95-1600W+ ZX95-1600W

Linear Tuning 800 to 1600 MHz

Features

- Wide Bandwidth
- High Power Output, +9 dBm typ.
- Low Phase Noise
- Low Pushing
- Protected by US Patent 6,790,049

Applications

- R & D
- Lab
- Instrumentation
- Test Equipment



CASE STYLE: GB956

Connectors	Model	Price	Qty.
SMA	ZX95-1600W-S+	\$44.95 ea.	(1-9)
SMA	ZX95-1600W-S	\$44.95 ea.	(1-9)

+ RoHS compliant in accordance with EU Directive (2002/95/EC)

The +Suffix identifies RoHS Compliance. See our web site for RoHS Compliance methodologies and qualifications.

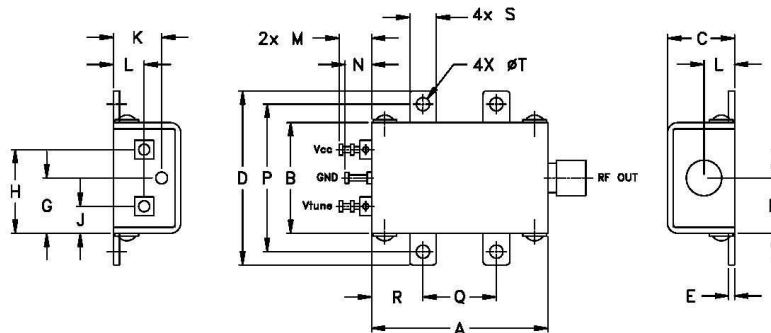
Electrical Specifications

MODEL NO.	FREQ. (MHz)		POWER OUTPUT (dBm)	PHASE NOISE dBc/Hz SSB at offset frequencies, kHz				TUNING					NON HARMONIC SPURIOUS (dBc)		HARMONICS (dBc)		PULLING pk-pk @ 12 dB (MHz)	PUSHING (MHz/V)	DC OPERATING POWER	
	Min.	Max.		Typ.	1	10	100	1000	VOLTAGE RANGE (V)	SENSI- TIVITY (MHz/V)	PORT CAP (pF)	3 dB MODULATION BANDWIDTH (MHz)	Typ.	Max.	Typ.	Max.			Vcc (volts)	Current (mA)
ZX95-1600W(+)	800	1600	+9	-72	-99	-122	-143	0.5	24	35	58	210	90	-90	-22	-15	10	0.3	11.5	35

Maximum Ratings

Operating Temperature	-55°C to 85°C
Storage Temperature	-55°C to 100°C
Absolute Max. Supply Voltage (Vcc)	12V
Absolute Max. Tuning Voltage (Vtune)	24V
All specifications	50 ohm system

Outline Drawing



Outline Dimensions (inches/mm)

A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	L	M	N	P	Q	R	S	T	wt.
1.20	.75	.46	1.18	.04	.38	.45	.57	.18	.33	.21	.22	.18	1.00	.50	.35	.18	.09	grams
30.48	19.05	11.68	29.97	1.02	9.65	11.43	14.48	4.57	8.38	5.33	5.59	4.57	25.40	12.70	8.89	4.57	2.29	35.0



P.O. Box 350166, Brooklyn, New York 11235-0003 (718) 934-4500 Fax (718) 332-4661 For detailed performance specs & shopping online see Mini-Circuits web site
 The Design Engineers Search Engine Provides ACTUAL Data Instantly From MINI-CIRCUITS AT: www.minicircuits.com



RF/IF MICROWAVE COMPONENTS



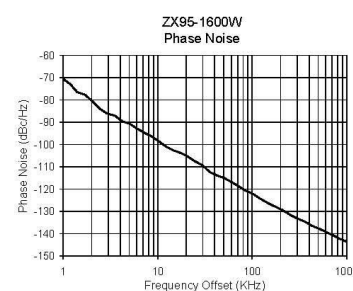
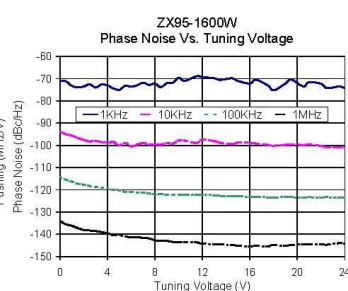
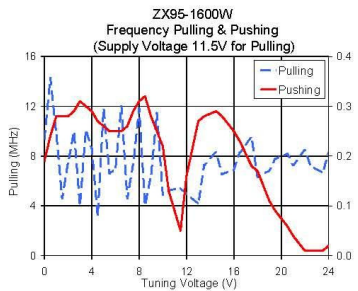
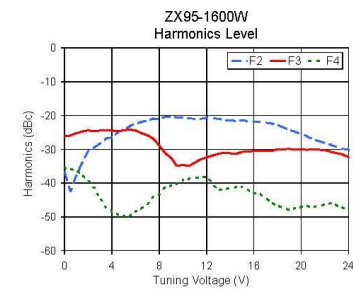
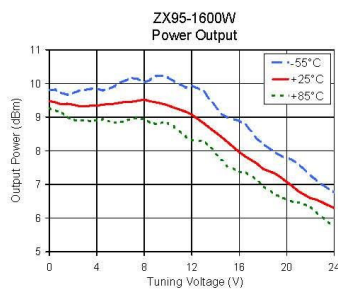
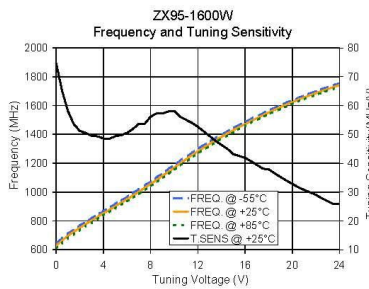
REV. A
M38896
EDR 73078
ZX95-1600W
RAVJUFJ
070604
page 1 of 2

Performance Data & Curves*

ZX95-1600W+
ZX95-1600W

V TUNE	TUNE SENS (MHz/V)	FREQUENCY (MHz)			POWER OUTPUT (dBm)			Icc (mA)	HARMONICS (dBc)			FREQ. PUSH (MHz/V)	FREQ. PULL (MHz)	PHASE NOISE (dBc/Hz) at offsets				FREQ OFFSET (KHz)	PHASE NOISE at 1200 MHz (dBc/Hz)
		-55°C	+25°C	+85°C	-55°C	+25°C	+85°C		F2	F3	F4			1KHz	10KHz	100KHz	1MHz		
0.00	74.62	645.6	627.3	607.1	9.80	9.48	9.27	25.79	-36.7	-26.1	-35.5	0.19	9.36	-70.9	-88.9	-114.2	-134.1	1.0	-70.60
0.50	65.03	681.8	664.6	646.9	9.82	9.44	9.20	25.80	-42.4	-25.9	-35.9	0.24	14.26	-71.2	-95.0	-115.5	-135.5	2.0	-80.36
1.00	57.95	713.0	697.1	680.3	9.72	9.38	9.15	25.82	-37.8	-25.2	-36.2	0.28	9.86	-73.3	-95.6	-116.3	-136.2	3.5	-87.03
2.00	51.19	768.0	752.8	737.4	9.71	9.37	8.92	25.85	-30.7	-24.4	-39.3	0.28	7.48	-73.6	-97.5	-117.7	-138.1	6.0	-92.78
3.00	49.54	818.7	803.6	788.2	9.81	9.32	8.90	25.88	-28.1	-24.4	-44.6	0.31	4.04	-74.0	-98.0	-118.7	-138.5	8.5	-96.22
4.00	48.56	868.3	853.0	837.9	9.85	9.34	8.91	25.92	-26.4	-24.4	-48.5	0.29	8.63	-73.0	-98.8	-119.4	-139.6	10.0	-98.19
5.00	49.33	917.5	901.6	886.4	9.84	9.30	8.88	25.97	-24.2	-24.4	-49.8	0.26	11.82	-75.0	-100.0	-120.2	-140.1	20.8	-105.38
6.00	50.53	967.4	951.1	935.6	10.03	9.43	8.85	26.03	-22.4	-24.4	-48.5	0.25	6.96	-73.7	-100.5	-121.0	-141.3	35.5	-112.36
7.00	53.68	1019.3	1002.3	986.5	10.16	9.46	8.95	26.09	-21.5	-25.8	-46.1	0.26	4.60	-71.8	-98.9	-121.2	-141.6	60.7	-116.90
8.00	56.17	1073.6	1056.0	1039.9	10.03	9.52	8.93	26.17	-21.0	-28.9	-43.2	0.31	11.82	-72.3	-99.5	-122.1	-142.7	86.7	-120.92
10.00	58.16	1188.8	1170.3	1154.1	10.18	9.35	8.82	26.32	-20.7	-34.6	-39.1	0.22	4.90	-69.6	-97.9	-122.2	-143.5	100.0	-122.01
12.00	52.65	1300.1	1282.7	1267.6	9.94	9.07	8.32	26.40	-20.6	-32.4	-38.2	0.16	4.98	-69.3	-97.5	-122.1	-144.2	148.1	-126.40
13.00	49.39	1350.5	1334.4	1320.5	9.77	8.82	8.29	26.40	-21.0	-31.3	-42.1	0.27	4.15	-69.9	-98.1	-122.4	-144.4	211.6	-129.53
15.00	43.16	1443.5	1429.0	1416.2	8.99	8.26	7.55	26.37	-21.4	-30.8	-41.1	0.28	6.53	-71.1	-98.8	-122.9	-145.2	361.5	-134.62
16.00	41.89	1486.4	1472.0	1459.5	8.89	7.96	7.38	26.33	-21.8	-30.5	-43.1	0.25	6.92	-72.2	-98.9	-123.3	-145.3	432.2	-136.57
18.00	37.87	1565.8	1551.9	1539.7	8.21	7.46	6.95	26.26	-22.7	-30.0	-46.7	0.17	6.33	-75.3	-100.1	-123.6	-144.8	507.5	-137.73
19.00	35.22	1602.7	1589.3	1577.1	7.95	7.33	6.71	26.23	-24.3	-29.9	-48.1	0.11	6.85	-72.2	-99.8	-123.2	-145.2	600.0	-139.22
21.00	30.75	1699.7	1686.2	1644.3	7.61	6.79	6.47	26.19	-27.0	-30.0	-47.1	0.04	7.26	-71.6	-99.6	-123.3	-144.6	712.4	-140.72
22.00	29.05	1699.9	1686.7	1674.6	7.27	6.59	6.34	26.16	-28.2	-30.2	-46.4	0.01	8.49	-72.4	-100.3	-123.5	-144.4	851.6	-142.39
24.00	25.85	1754.6	1741.4	1729.6	6.76	6.30	5.75	26.13	-30.2	-32.3	-47.6	0.02	8.26	-74.2	-101.0	-123.5	-144.2	1000.0	-143.61

*at 25°C unless mentioned otherwise



P.O. Box 350166, Brooklyn, New York 11235-0003 (718) 934-4500 Fax (718) 332-4661 For detailed performance specs & shopping online see Mini-Circuits web site



The Design Engineers Search Engine Provides ACTUAL Data Instantly From MINI-CIRCUITS At: www.minicircuits.com

RF/MICROWAVE COMPONENTS

Coaxial

Voltage Controlled Oscillator

ZX95-2800+

Wide Band 1400 to 2800 MHz

Features

- Low Phase Noise
- Low Pushing
- Low Pulling
- Protected by US patent 6,790,049



CASE STYLE: GB956

Connectors	Model	Price	Qty.
SMA	ZX95-2800-S+	\$49.95 ea.	(1-9)

+ RoHS compliant in accordance with EU Directive (2002/95/EC)

The +Suffix has been added in order to identify RoHS Compliance. See our web site for RoHS Compliance methodologies and qualifications.

Applications

- R & D
- LAB
- Instrumentation
- Test equipment

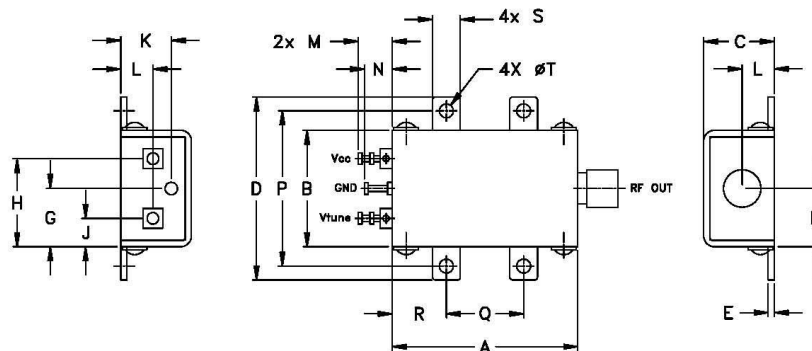
Electrical Specifications

MODEL NO.	FREQ. (MHz)		POWER OUTPUT (dBm)	PHASE NOISE dBc/Hz SSB at offset frequencies, KHz				TUNING				NON HARMONIC SPURIOUS (dBc)	HARMONICS (dBc)		PULLING pk-pk @ 12 dB (MHz)	PUSHING (MHz/V)	DC OPERATING POWER			
								VOLTAGE RANGE (V)	SENSI-TIVITY (MHz/V)	PORT CAP (pF)	3 dB MODULATION BANDWIDTH (MHz)								V _{cc} (volts)	Current (mA)
ZX95-2800+	1400	2800	+3.5	-69	-95	-116	-137	0.5	25	42	-107	80	130	-90	-15	-	6	2.5	5	30

Maximum Ratings

Operating Temperature -55°C to 85°C
 Storage Temperature -55°C to 100°C
 Absolute Max. Supply Voltage (V_{cc}) 7V
 Absolute Max. Tuning Voltage (V_{tune}) 27V
 All specifications 50 ohm system

Outline Drawing



Outline Dimensions (in/mm)

A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	L	M	N	P	Q	R	S	T	wt.
1.20	.75	.46	1.18	.04	.38	.45	.57	.18	.33	.21	.22	.18	1.00	.50	.35	.18	.09	grams
30.48	19.05	11.68	29.97	1.02	9.65	11.43	14.48	4.57	8.38	5.33	5.59	4.57	25.40	12.70	8.89	4.57	2.29	35.0



P.O. Box 350166, Brooklyn, New York 11235-0063 (718) 934-4500 Fax (718) 332-4661 For detailed performance specs & shopping online see Mini-Circuits web site



The Design Engineers Search Engine Provides ACTUAL Data Instantly From MINI-CIRCUITS At: www.minicircuits.com

RF/IF MICROWAVE COMPONENTS



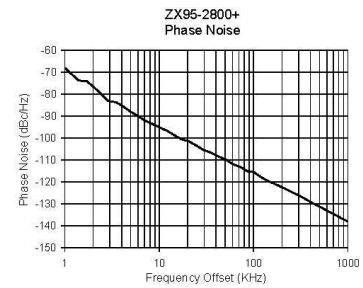
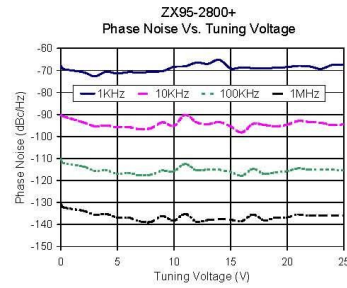
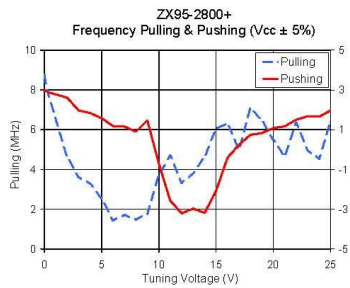
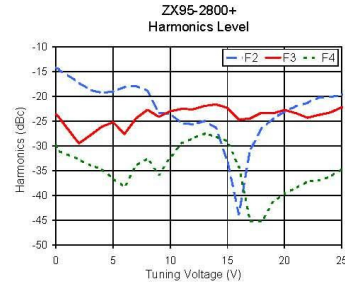
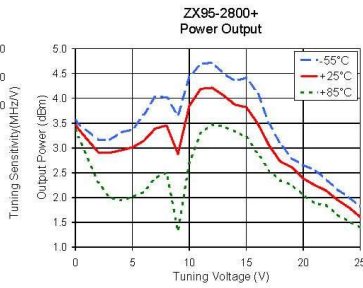
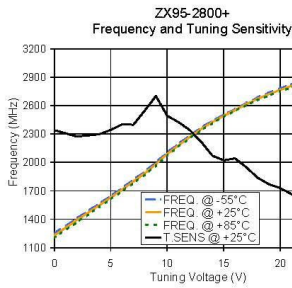
REV. CR
 M100616
 ED05-2332
 ZX95-2800+
 RAV
 061218
 page 1 of 2

Performance Data & Curves*

ZX95-2800+

V TUNE	TUNE SENS (MHz/V)	FREQUENCY (MHz)			POWER OUTPUT (dBm)			Icc (mA)	HARMONICS (dBc)			FREQ. PUSH (MHz/V)	FREQ. PULL (MHz)	PHASE NOISE (dBc/Hz) at offsets				FREQ OFFSET (KHz)	PHASE NOISE at 2050 MHz (dBc/Hz)
		-55°C	+25°C	+85°C	-55°C	+25°C	+85°C		F2	F3	F4			1kHz	10kHz	100kHz	1MHz		
0.00	82.57	1248.7	1227.9	1203.9	3.56	3.47	3.37	24.32	-14.2	-23.5	-30.0	2.99	8.76	-67.8	-90.2	-110.2	-130.2	1.0	-68.01
0.25	82.17	1269.2	1248.5	1224.6	3.49	3.38	3.22	24.26	-14.6	-24.2	-31.0	2.90	7.96	-69.4	-90.9	-112.1	-132.2	2.0	-76.59
2.00	78.25	1409.8	1391.5	1368.9	3.16	2.91	2.30	23.99	-17.2	-29.5	-32.7	2.61	4.61	-70.8	-93.6	-113.7	-133.8	3.5	-83.69
3.00	79.00	1488.4	1469.7	1449.6	3.16	2.90	2.00	23.95	-18.7	-27.9	-34.0	1.97	3.62	-72.7	-95.3	-115.6	-135.5	6.0	-89.97
4.00	79.86	1566.8	1548.7	1530.3	3.31	2.95	1.94	23.96	-19.3	-26.2	-34.7	1.84	3.27	-70.6	-95.0	-115.4	-135.2	8.5	-93.58
6.00	86.85	1730.0	1711.5	1695.3	3.67	3.14	2.11	24.08	-18.1	-27.6	-38.3	1.18	1.43	-70.8	-95.7	-116.6	-136.8	10.0	-95.06
8.00	96.45	1902.3	1884.9	1868.9	4.02	3.45	2.50	24.29	-18.9	-22.7	-32.6	0.90	1.47	-70.7	-96.2	-117.4	-138.8	20.8	-101.54
9.00	106.80	2002.0	1981.3	1965.3	3.65	2.88	1.32	23.91	-23.3	-24.1	-35.9	1.47	1.77	-70.3	-93.6	-115.5	-136.1	35.5	-106.89
10.00	92.86	2105.6	2088.1	2072.3	4.43	3.85	2.70	24.35	-23.5	-23.0	-32.3	-0.70	3.72	-68.4	-95.2	-115.8	-138.3	60.7	-111.96
12.00	82.73	2284.7	2269.3	2256.8	4.72	4.21	3.47	24.73	-25.7	-22.6	-28.4	-3.21	3.31	-66.5	-93.6	-115.4	-138.8	86.7	-115.12
14.00	64.74	2441.0	2426.6	2414.6	4.35	3.87	3.33	24.79	-26.4	-21.6	-28.1	-3.19	4.63	-65.2	-93.5	-115.1	-137.6	100.0	-115.41
16.00	62.84	2562.4	2552.9	2545.0	4.11	3.49	2.89	24.79	-43.8	-24.7	-34.2	-0.41	6.32	-68.6	-98.2	-117.8	-138.5	148.1	-119.85
18.00	49.21	2685.9	2672.3	2658.3	3.08	2.72	2.34	24.77	-26.5	-23.3	-45.3	0.74	7.09	-69.2	-94.8	-117.0	-138.1	177.0	-121.31
19.00	44.68	2736.9	2721.5	2707.2	2.79	2.61	2.25	24.77	-24.5	-23.4	-41.4	0.83	6.47	-68.7	-95.4	-116.2	-136.9	211.6	-122.91
20.00	41.93	2782.7	2766.2	2750.9	2.65	2.38	2.05	24.73	-23.1	-22.7	-39.6	1.08	5.49	-68.5	-94.7	-115.8	-136.8	302.4	-126.10
21.00	37.68	2824.3	2808.1	2792.6	2.56	2.25	1.88	24.71	-22.0	-23.4	-38.5	1.17	4.66	-67.9	-93.0	-114.5	-135.4	361.5	-127.96
22.00	36.37	2863.0	2845.8	2830.7	2.37	2.14	1.85	24.66	-21.3	-24.3	-37.2	1.50	6.36	-68.2	-93.5	-115.1	-136.0	507.5	-131.34
23.00	33.99	2899.1	2882.1	2866.6	2.16	1.95	1.65	24.64	-20.2	-23.8	-37.0	1.68	4.97	-69.3	-93.8	-115.1	-135.8	606.7	-133.16
24.00	31.69	2932.6	2916.1	2900.9	2.01	1.80	1.52	24.62	-20.1	-23.3	-36.2	1.65	4.53	-67.5	-94.8	-115.0	-135.9	851.6	-136.48
25.00	31.06	2964.8	2947.8	2931.6	1.82	1.61	1.39	24.57	-19.7	-22.2	-34.7	1.97	6.41	-67.6	-94.5	-115.5	-135.9	1000.0	-138.00

*at 25°C unless mentioned otherwise



P.O. Box 350166, Brooklyn, New York 11235-0003 (718) 934-4500 Fax (718) 332-4661 For detailed performance specs & shopping online see Mini-Circuits web site



The Design Engineers Search Engine Provides ACTUAL Data Instantly From MINI-CIRCUITS At www.minicircuits.com

RF/IF MICROWAVE COMPONENTS

Coaxial Power Detector

ZX47-40+

50Ω - 40dBm to +20dBm, 10 - 8000 MHz

Maximum Ratings

Operating Temperature	-40°C to 85°C
Storage Temperature	-55°C to 100°C
DC Power:	
Max. voltage	5.7V
Max. current	120mA
Internal Power Dissipation	0.73W
Input Power	+27dBm

Coaxial Connections

RF IN	1
DC OUT	5
Vcc (+5V)	2
TEMPERATURE SENSOR	4
GROUND	3

Features

- High Dynamic Range
- Wide Bandwidth
- Single Supply Voltage: +5V
- Stability Over Temperature
- Built-in Temperature Sensor
- Protected by US patent 6,790,049

Applications

- RF/IF Power Measurements
- Low Cost Power Monitoring System
- RF Leakage Monitors
- Fast feedback Levelling Circuits
- RF Power Control
- Receiver RF/IF Gain Control
- RSSI measurements



CASE STYLE: HN1173

Connectors	Model	Price	Qty.
SMA	ZX47-40-S+	\$89.95 ea.	(1-9)

+ RoHS compliant in accordance with EU Directive (2002/95/EC)

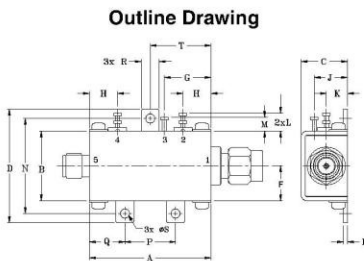
The +Suffix has been added in order to identify RoHS Compliance. See our web site for RoHS Compliance methodologies and qualifications.

Electrical Specifications (T_{AMB} = 25°C)

FREQ. (MHz)	DYNAMIC RANGE @ ±1 dB ERROR (dBm) Typ.	OUTPUT VOLTAGE RANGE (V) Typ.	SLOPE (note 1) (mV/dB) Typ.	VSWR Typ.	PULSE RESPONSE TIME		TEMPERATURE SENSOR OUTPUT SLOPE (note 2) (mV/°C) Typ.	DC OPERATING POWER (note 3)	
					Rise (nsec) Typ.	Fall (nsec) Typ.		Vcc (volts) Min. Typ. Max.	Current (mA) Typ.
10 1000	-40 to +20			1.03					
1000 5000	-40 to +15			1.10	400	10	2.00	4.5	5.0 5.5 100
5000 6000	-35 to +20	0.50 - 2.10	-25	1.20					
6000 8000	-30 to +20			1.40					

Notes:

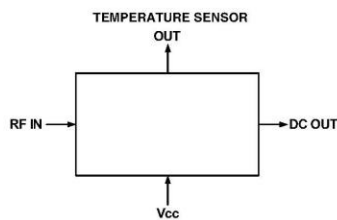
1. The negative slope indicates that Output Voltage decreases as Input Power increases. See "Output Voltage vs Input Power" graph below.
2. Temperature sensor output provides a DC Output Voltage which increases linearly with temperature rise. Recommended minimum load for this port is 2 kΩ.
3. Recommended minimum load at DC out port is 100 Ω. See maximum ratings for no damage.



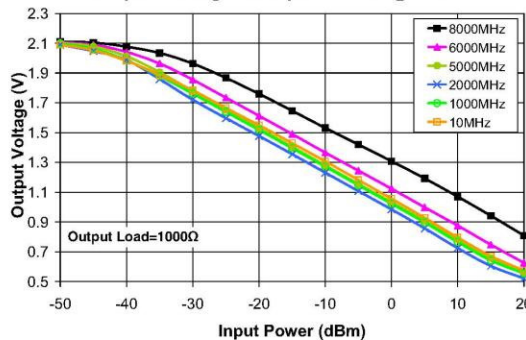
Outline Dimensions (inch/mm)

A	B	C	D	E	F	G	H	J	K
1.20	.69	.46	1.12	.04	.34	.46	.28	.33	.21
30.5	17.5	11.6	28.4	1.0	8.7	11.7	7.1	8.3	5.3
L	M	N	P	Q	R	S	T	wt.	
.18	.14	.94	.50	.35	.18	.09	.60	grams	
4.5	3.5	23.8	12.7	8.9	4.6	2.3	15.2	51.8	

Simplified Functional Diagram



Output Voltage Vs Input Power @ +25°C



ISO 9001 ISO 14001 CERTIFIED

P.O. Box 350166, Brooklyn, New York 11235-0003 (718) 934-4500 Fax (718) 332-4661 For detailed performance specs & shopping online see Mini-Circuits web site



The Design Engineers Search Engine Provides ACTUAL Data Instantly From MINI-CIRCUITS At: www.minicircuits.com

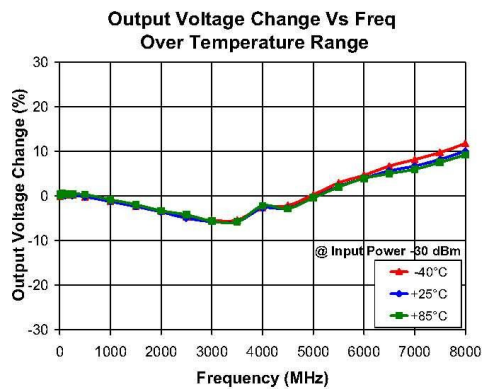
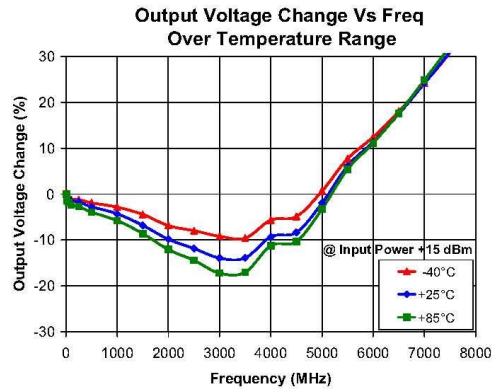
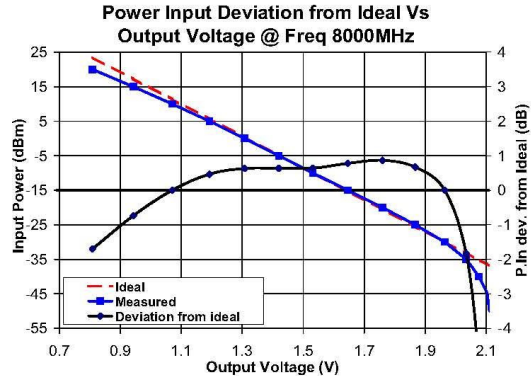
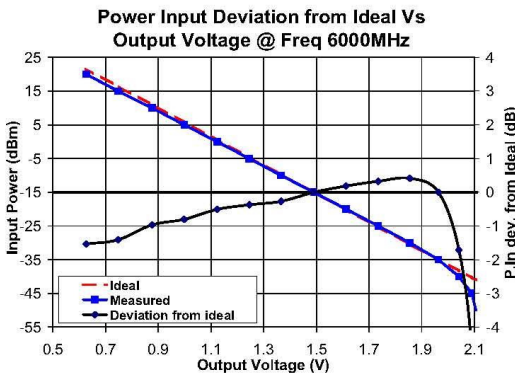
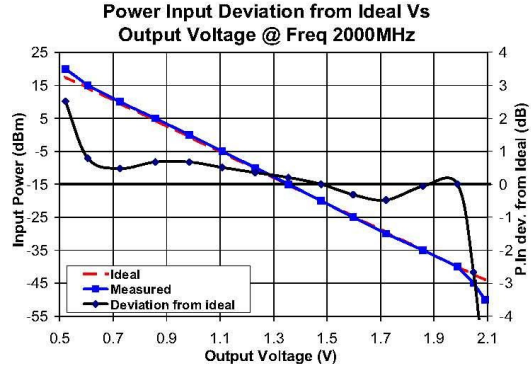
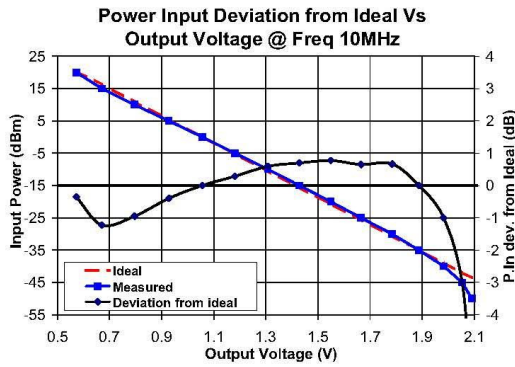
RF/IF MICROWAVE COMPONENTS



REV. A
M106737
ZX47-40+
EDR-7800U
URL:RAV
070595
Page 1 of 4

Performance Curves

ZX47-40+



P.O. Box 350166, Brooklyn, New York 11235-0003 (718) 934-4500 Fax (718) 332-4661 For detailed performance specs & shopping online see Mini-Circuits web site

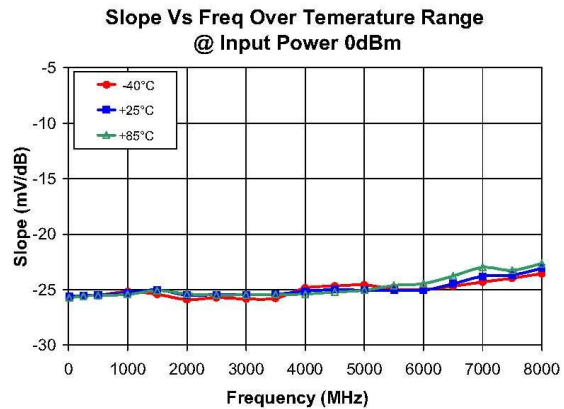
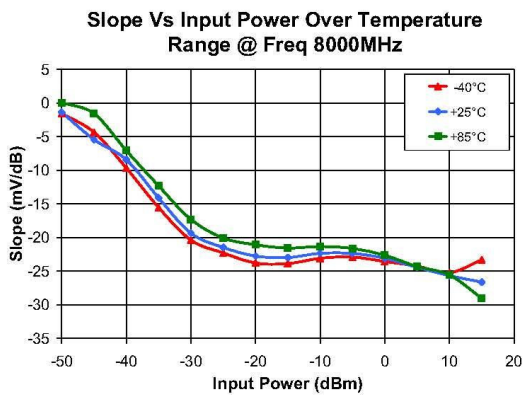
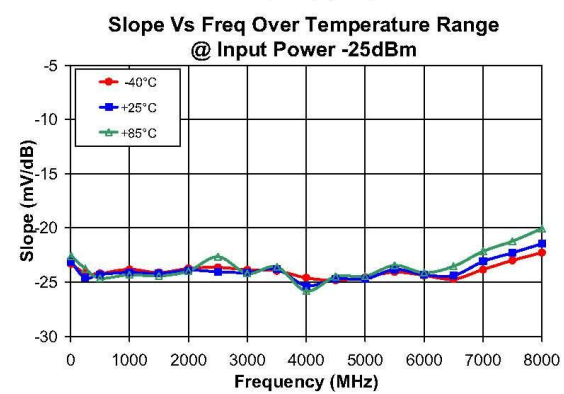
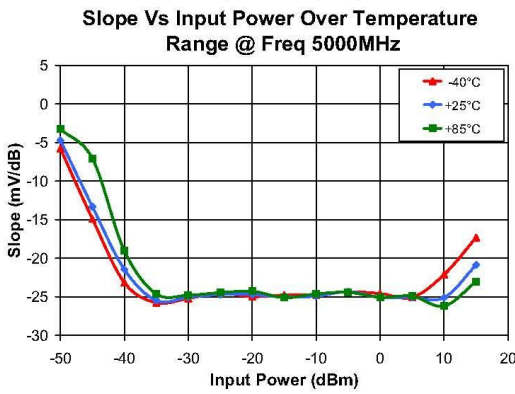
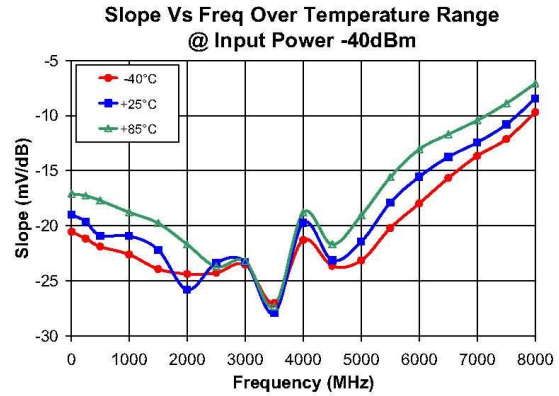
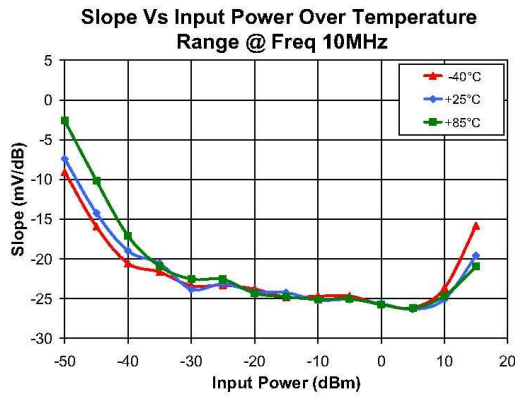


The Design Engineers Search Engine Provides ACTUAL Data Instantly From MINI-CIRCUITS AT www.minicircuits.com

RF/MICROWAVE COMPONENTS

Performance Curves

ZX47-40+



P.O. Box 350166, Brooklyn, New York 11235-0003 (718) 934-4500 Fax (718) 332-4661 For detailed performance specs & shopping online see Mini-Circuits web site



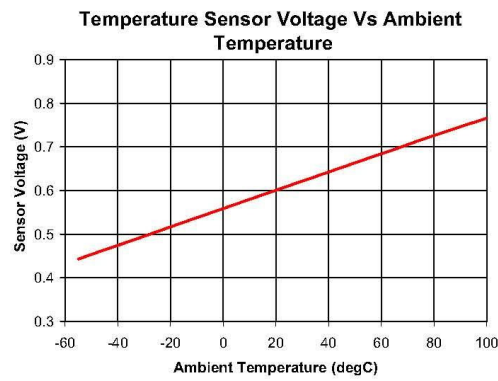
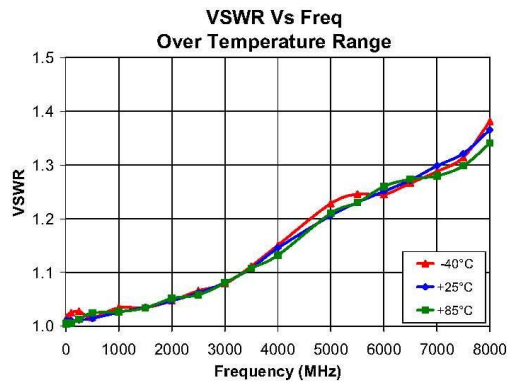
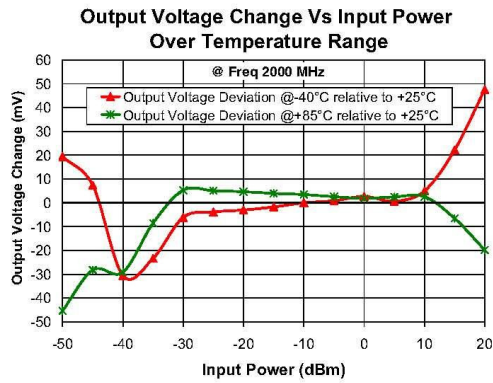
The Design Engineers Search Engine Provides ACTUAL Data Instantly From MINI-CIRCUITS AT: www.minicircuits.com

RF/IF MICROWAVE COMPONENTS



Performance Curves

ZX47-40+



P.O. Box 350166, Brooklyn, New York 11235-0003 (718) 934-4500 Fax (718) 332-4661 For detailed performance specs & shopping online see Mini-Circuits web site
 The Design Engineers Search Engine Provides ACTUAL Data Instantly From MINI-CIRCUITS AT www.minicircuits.com



RF/IF MICROWAVE COMPONENTS

ภาคผนวก จ

ผลงานเผยแพร่จากวิทยานิพนธ์

นุชนาฏ สุชาติพงศ์, ภัทร อัยรักษ์ และบุญเจริญ วงศ์กิตติศึกษา. “การศึกษาเพื่อการพัฒนาอุปกรณ์วัดปริมาณเนื้อยางแห้งในน้ำยางโดยใช้คลื่นไมโครเวฟ ” ศรีนครินทรวิโรฒวิชาการครั้งที่ 4 วันที่ 29-30 มกราคม 2553 ณ อาคารวิจัยและการศึกษาต่อเนื่อง สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี , มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร , ประเทศไทย. หน้า 730-736.



มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ร่วมกับ สภาคุณบัณฑิตบัณฑิตวิทยาลัยแห่งประเทศไทย
และ เครือข่ายวิจัยเครือข่ายอุดมศึกษาภาคกลางตอนบน

PROCEEDINGS

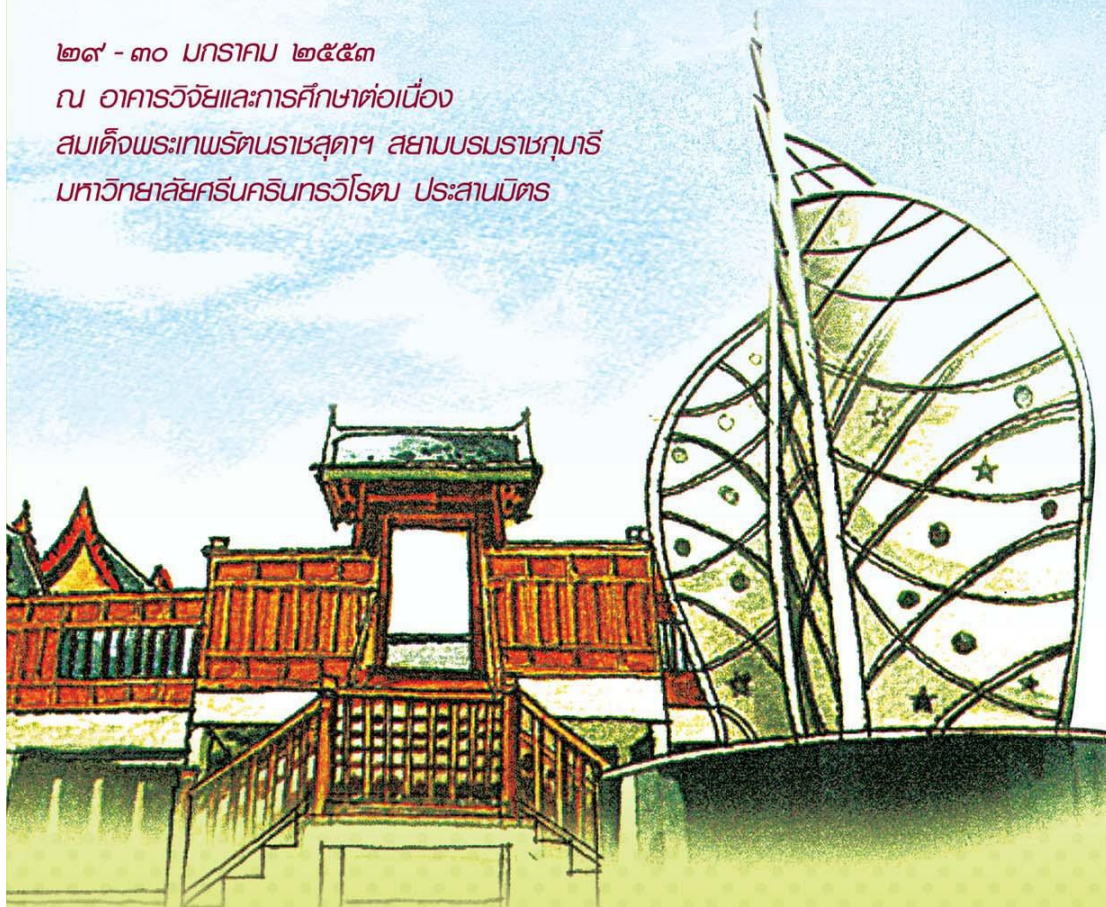
ศรีนครินทรวิโรฒวิชาการครั้งที่ ๔

๒๙ - ๓๐ มกราคม ๒๕๕๓

ณ อาคารวิจัยและการศึกษาต่อเนื่อง

สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี

มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร



ISBN : 978-616-7299-14-3



มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
SRINAKHARINWIROT UNIVERSITY



การศึกษาเพื่อพัฒนาอุปกรณ์วัดปริมาณเนื้อยางแห้งในน้ำยางโดยใช้คลื่นไมโครเวฟ
 The Study for the Development of the Device for Measuring of the Dry Rubber
 Content in Latex Using Microwave

113

นุชนาฏ สุชาติพงศ์¹, ภัทร อัยรักษ์¹, บุญเจริญ วงศ์กิตติศึกษา²

¹ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ จังหวัดสงขลา

²ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ จังหวัดสงขลา

บทคัดย่อ

การศึกษาเพื่อพัฒนาอุปกรณ์วัดปริมาณเนื้อยางแห้ง (Dry Rubber Content, DRC) ในน้ำยางโดยใช้คลื่นไมโครเวฟที่ความถี่ 1.0 GHz – 2.5 GHz วัดผ่านน้ำยางตัวอย่างที่มี DRC เท่ากับ 20% - 60% โดยอาศัยหลักการดูดกลืนคลื่นไมโครเวฟของน้ำ พบว่าที่ความถี่ 2.2 GHz - 2.4 GHz น้ำดูดกลืนคลื่นไมโครเวฟมากที่สุด สัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงปริมาณเนื้อยางแห้งในน้ำยางตัวอย่างแบบเป็นสัดส่วนกัน กล่าวคือสัญญาณที่ถูกส่งผ่านน้ำยางจะแปรผกผันกับปริมาณเนื้อยางแห้งในน้ำยาง ดังนั้นคลื่นไมโครเวฟที่ความถี่ 2.2 GHz - 2.4 GHz สามารถนำไปพัฒนาและสร้างเป็นอุปกรณ์วัดปริมาณเนื้อยางแห้งในน้ำยางที่มีความถูกต้องแม่นยำกว่าอุปกรณ์ที่ใช้อยู่ในท้องตลาดได้

คำสำคัญ: ปริมาณเนื้อยางแห้ง, คลื่นไมโครเวฟ, อุปกรณ์วัด

Abstract

This work aims to study for the development of the device for measuring the dry rubber content (DRC) in rubber latex using microwave at frequencies ranging from 1.0 GHz to 2.5 GHz. The measurement were performed using the principle of microwave absorption of water and the DRC of the samples ranged from 20%-60%. The results have shown the inverse relationship between the dry rubber content and the signal passing through the latex at the frequencies from 2.2 GHz to 2.4 GHz in latex. The results could lead to the development of a better device for measuring the DRC.

Keywords: dry rubber content, microwave, device

บทนำ

ประเทศไทยเป็นประเทศที่ผลิตยางพาราได้มากเป็นอันดับหนึ่งของโลกติดต่อกันมาเป็นระยะเวลาหลายปี อย่างไรก็ตามยางพาราที่ผลิตได้ส่วนใหญ่จะถูกส่งออกไปในรูปแบบของน้ำยางข้นและยางดิบ โดยส่วนใหญ่จะส่งให้แก่โรงงานอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ เช่น อุตสาหกรรมผลิตยางรถยนต์ อุตสาหกรรมผลิตถุงมือ เป็นต้น ดังนั้นเกษตรกรชาวสวนยางจึงนิยมขายน้ำยางสดเป็นส่วนใหญ่ ทั้งที่ใช้สำหรับส่งออกและใช้เองภายในประเทศ ทั้งนี้ราคาน้ำยางสดที่ขายได้นั้นขึ้นอยู่กับปริมาณเนื้อยางแห้ง (Dry Rubber Content, DRC) ที่มีอยู่ในน้ำยางสด น้ำยางพาราเมื่อเก็บมาจากต้นจะมีเนื้อยางแห้งอยู่ประมาณร้อยละ 30-40 ขึ้นอยู่กับชนิดของพันธุ์ยาง การหาปริมาณเนื้อยางแห้งที่นิยมใช้กันทั่วไปมี 2 วิธีคือ วิธีการอบแห้งและวิธีการวัดโดยใช้เครื่องมือแบบไฮโดรมิเตอร์หรือมีชื่อเรียกทางการค้าว่า เมโทรแลค (Metrolac) หรือ ลาเทกโซมิเตอร์ (Latexometer) การวัดโดยใช้เครื่องมือแบบไฮโดรมิเตอร์นั้นรวดเร็วกว่าการวัดโดยวิธีอบแห้ง ซึ่งวิธีอบแห้งนั้นต้องใช้เวลาประมาณ 8-16 ชั่วโมง ในขณะที่การวัดโดยใช้เครื่องวัดจะสามารถทราบผลได้ทันที แต่การวัดด้วยเมโทรแลคนี้จะให้ผลลัพธ์ที่ไม่ถูกต้องเสมอไปแต่เพราะความสะดวกรวดเร็วจึงเป็นที่นิยมใช้กันเป็นส่วนใหญ่ อย่างไรก็ตามน้ำยางพารานอกจากจะมีเนื้อยางแห้งเป็นส่วนประกอบแล้วก็ยังมีส่วนประกอบอื่นๆ ดังนี้

ตาราง 1 ส่วนประกอบต่างๆ ในน้ำยาง

ส่วนประกอบ	ร้อยละ)โดยน้ำหนัก(
เนื้อยางแห้ง	30.0 – 40.0
สารกลุ่มโปรตีนและไขมัน	2.0 – 3.5
สารกลุ่มคาร์โบไฮเดรต	1.5 – 3.5
เถ้า	0.5 – 1.0
น้ำ	55.0 – 65.0

จะเห็นได้ว่าองค์ประกอบส่วนใหญ่ของน้ำยางคือ น้ำ ดังนั้นการวัดหาเนื้อยางในน้ำยางโดยวิธีการอบแห้งซึ่งต้องใช้เวลาและกระบวนการวัดความเข้มข้นของน้ำยางโดยใช้เครื่องวัดเมโทรแลคแล้ว ยังสามารถหาเนื้อยางแห้งโดยใช้หลักการวัดปริมาณน้ำที่มีอยู่ในน้ำยางได้อีกวิธีหนึ่งโดยอาศัยคุณสมบัติทางไฟฟ้า (Dielectric properties) ของน้ำที่มีในน้ำยางเป็นปัจจัยในการหาปริมาณเนื้อยางแห้งในน้ำยาง ทั้งนี้การหาปริมาณเนื้อยางแห้งในน้ำยางโดยใช้คลื่นไมโครเวฟได้เคยมีการศึกษาที่ความถี่ 10.7GHz ซึ่งผลการทดลองที่ได้มีค่าสัมประสิทธิ์ความแม่นยำ 0.998 และค่าการเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.7% นอกจากนี้คลื่นไมโครเวฟยังได้ถูกนำไปประยุกต์ใช้ในการหาความชื้นในวัสดุต่างๆ มากมาย เช่น การหาความชื้นในเมล็ดธัญพืชที่ความถี่ 10.5GHz, 10-2GHz และ 20-0.2GHz การหาปริมาณความชื้นในผักและผลไม้ที่คลื่นความถี่ 1.8-0.01 GHz เพื่อกำหนดเวลาการเก็บเกี่ยว และการหาความชื้นในถ่านหินที่ความถี่ 8.5GHz และ 10.5GHz เป็นต้น.

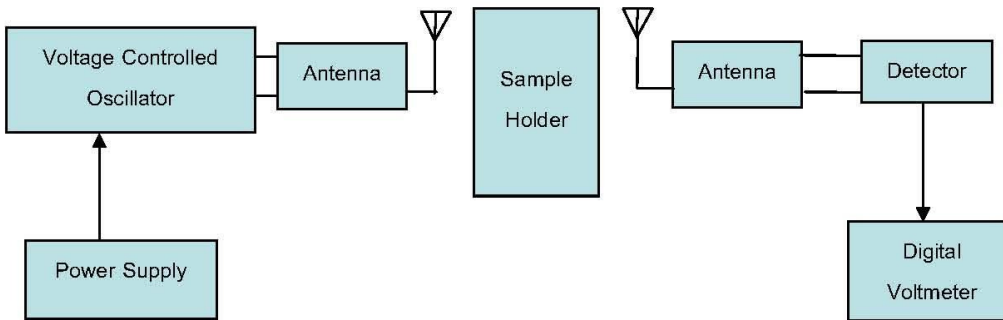
ดังนั้นผู้วิจัยจึงสนใจศึกษาวิธีการหาปริมาณเนื้อยางแห้งในน้ำยางที่ให้ผลถูกต้องและแม่นยำ และรวดเร็วเพื่อนำไปพัฒนาอุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดหาปริมาณเนื้อยางแห้งในน้ำยาง เพื่อสร้างความเป็นธรรมให้กับชาวสวนยางผู้รับซื้อน้ำยาง และโรงงานอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้อง

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อศึกษาวิธีการหาปริมาณเนื้อยางแห้งในน้ำยางที่มีความแม่นยำสูงและสามารถนำไปพัฒนาเป็นอุปกรณ์วัดปริมาณเนื้อยางแห้งในน้ำยางได้

วิธีดำเนินการวิจัย

การทดลอง เริ่มโดยจัดระบบการทดลองดังภาพประกอบที่ 1 โดยตัวส่งสัญญาณคลื่นไมโครเวฟ (Voltage Controlled Oscillator) ที่ใช้ในงานวิจัยนี้มี 2 รุ่น คือรุ่น ZX95-1600+ ส่งคลื่นความถี่ 1.0 GHz – 1.6 GHz ที่ความต่างศักย์ไฟฟ้า 5 – 24 โวลต์ และรุ่น ZX95-2800+ ส่งคลื่นความถี่ 1.7 GHz – 2.5 GHz ที่ความต่างศักย์ไฟฟ้า 6 – 15 โวลต์



ภาพ 1 ระบบและอุปกรณ์ที่ใช้ทำการทดลอง

การทดลองหาช่วงความถี่ที่น้ำดูดกลืนคลื่นไมโครเวฟได้มากที่สุด ทำโดยการส่งสัญญาณคลื่นไมโครเวฟที่มีความถี่ 1.0GHz – 2.5 GHz ผ่านน้ำเปล่าที่บรรจุอยู่ในบีกเกอร์ นำผลการทดลองที่ได้เขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มของสัญญาณที่รับได้กับความถี่

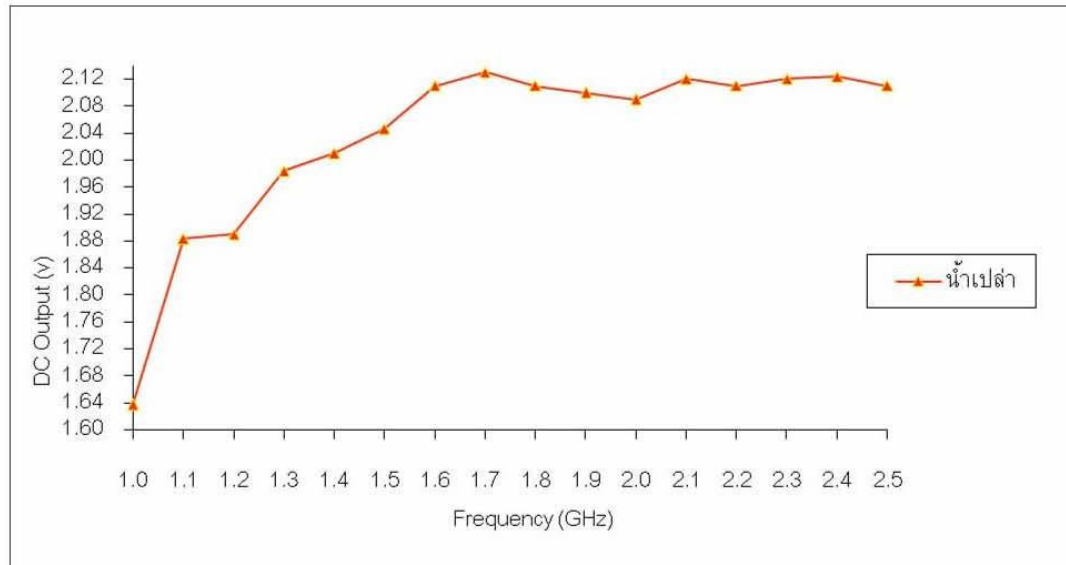
เตรียมตัวอย่างน้ำยางที่จะใช้ทดลองโดยนำน้ำยางที่มี DRC 60% ไปเจือจางด้วยน้ำเปล่าในอัตราส่วนต่างๆ ตามที่คำนวณจนได้น้ำยางตัวอย่างที่มี DRC 20%-60% จากนั้นทดลองวัดน้ำยางตัวอย่างโดยการส่งคลื่นไมโครเวฟที่มีความถี่ 1.0 GHz – 2.5 GHz ผ่านน้ำยางตัวอย่างที่บรรจุอยู่ในบีกเกอร์ สัญญาณคลื่นไมโครเวฟหลังจากผ่านน้ำยางตัวอย่างจะถูกรับด้วยเครื่องรับสัญญาณ (Detector) รุ่น ZX47-40+ ซึ่งตัวรับสัญญาณนี้จะแสดงผลออกมาในรูปของค่าความต่างศักย์ไฟฟ้ากระแสตรง (DC Output) ซึ่งสามารถอ่านค่าได้ด้วยมัลติมิเตอร์ (Multimeter) โดยความเข้มของสัญญาณจะแปรผกผันกับความต่างศักย์ที่วัดได้กล่าวคือถ้าค่าสัญญาณคลื่นไมโครเวฟถูกดูดกลืนมาก DC Output ที่วัดได้จะมีค่าสูง ในขณะที่ถ้าคลื่นไมโครเวฟถูกดูดกลืนน้อย DC Output ที่วัดได้จะมีค่าน้อย ซึ่งปริมาณคลื่นไมโครเวฟจะถูกดูดกลืนมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำในน้ำยางตัวอย่าง คือถ้าในน้ำยางตัวอย่างปริมาณน้ำอยู่มาก DRC ก็จะมีปริมาณน้อย แต่ถ้าในน้ำยางตัวอย่างมีปริมาณน้ำอยู่น้อย DRC ก็จะมีปริมาณมาก ดังนั้นน้ำยางที่มี DRC มาก ค่า DC Output ที่วัดได้จะมีค่าน้อยกว่าเมื่อเทียบกับค่า DC Output ที่วัดได้จากน้ำยางที่มี DRC น้อย จากนั้นนำผลการทดลองที่ได้ไปเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ไฟฟ้ากระแสตรงกับความถี่ เปรียบเทียบผลการทดลองจากการวัดน้ำเปล่ากับผลการทดลองวัดน้ำยางที่มี DRC ในน้ำยางค่าต่างๆ เพื่อหาความถี่ที่น้ำดูดกลืนคลื่นไมโครเวฟมากที่สุดและตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลง DRC ในน้ำยางชัดเจน

การวิเคราะห์ผลการทดลอง ทำได้โดยการหาความสัมพันธ์ของความต่างศักย์ไฟฟ้ากระแสตรงกับปริมาณเนื้อยางแห้งในน้ำยางจากกราฟ โดยเลือกความถี่ที่ตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลง DRC ในน้ำยางแต่ละปริมาตร ซึ่งความต่างศักย์ไฟฟ้ากระแสตรงที่วัดได้จะแปรผันตรงกับปริมาณน้ำที่มีอยู่ในน้ำยางตัวอย่างแต่ละปริมาตรเนื้อยางแห้งในน้ำยาง

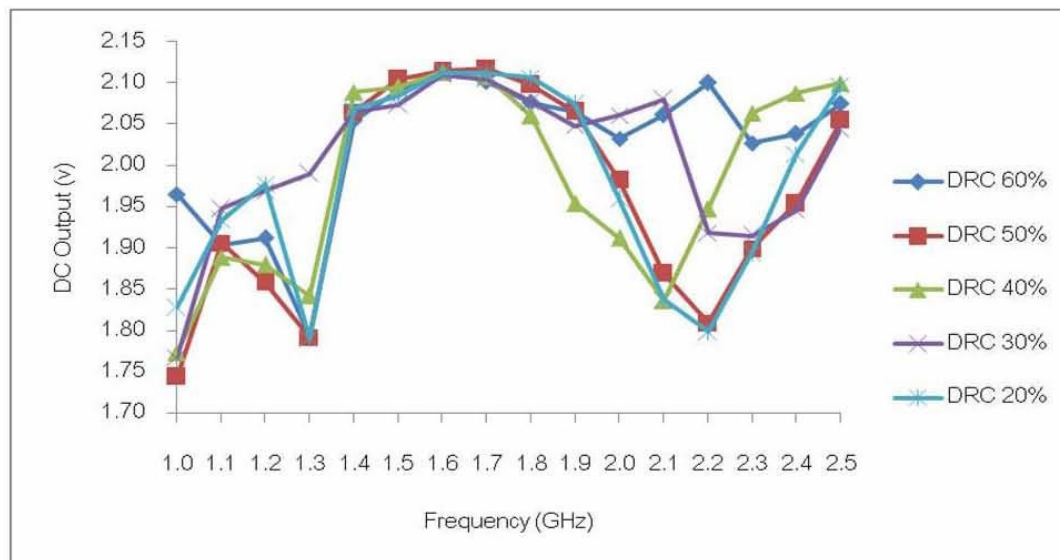
เมื่อได้ความถี่ที่ตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลง DRC ในน้ำยางแล้ว นำข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์เพื่อพัฒนาเป็นอุปกรณ์วัดปริมาณเนื้อยางแห้งในน้ำยางต่อไป

ผลการวิจัย

จากการทดลองหาช่วงความถี่ที่น้ำดูดกลืนคลื่นไมโครเวฟมากที่สุดพบว่าที่ความถี่ตั้งแต่ 1.6 GHz – 2.5 GHz คลื่นไมโครเวฟถูกน้ำดูดกลืนพลังงานได้มากที่สุดดังภาพประกอบที่ 2 และเมื่อทดลองวัดน้ำยางตัวอย่างที่มี DRC ต่างๆกัน พบว่าที่ความถี่ 1.9 GHz – 2.5 GHz ตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลง DRC ในน้ำยางชัดเจนดังภาพ 3 โดยที่ความต่างศักย์ไฟฟ้ากระแสตรงจะแปรผันตรงกับพลังงานคลื่นไมโครเวฟที่ถูกน้ำดูดกลืน



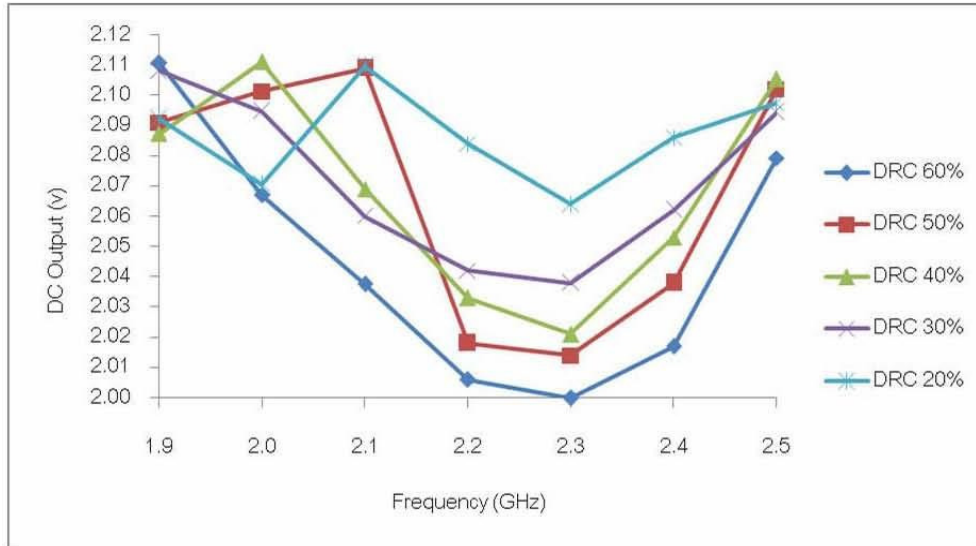
ภาพ 2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ไฟฟ้ากระแสตรงกับความถี่จากการวัดน้ำเปล่า



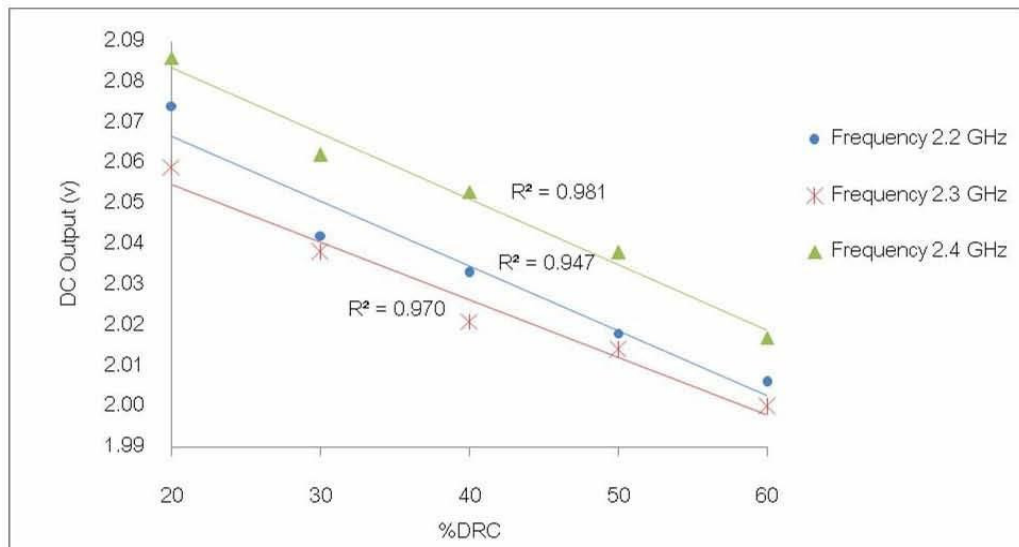
ภาพ 3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ไฟฟ้ากระแสตรงกับความถี่จากการวัดน้ำยางตัวอย่าง

จากผลการทดลองข้างต้นจะเห็นว่าช่วงความถี่ที่ตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลง DRC ในน้ำยางมีความสอดคล้องกับช่วงความถี่ที่น้ำสามารถดูดกลืนพลังงานของคลื่นไมโครเวฟ ดังนั้นจึงได้เลือกศึกษาการหา DRC ในน้ำยางโดยใช้คลื่นไมโครเวฟที่ช่วงความถี่ 1.9 GHz – 2.5 GHz ทำการทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต่างศักย์ไฟฟ้ากระแสตรงกับปริมาณเนื้อยางแห้งในน้ำยางตัวอย่างซึ่งได้ทำการปรับระบบการทดลองในส่วนของสายอากาศเพื่อให้เหมาะสมกับช่วงความถี่ข้างต้น พบว่าที่ความถี่ 2.2 GHz -2.4 GHz การเปลี่ยนแปลงของความต่างศักย์ไฟฟ้ากระแสตรงกับปริมาณเนื้อยางแห้งในน้ำยางมีความแตกต่างกันมากที่สุดดังภาพ 4 และสามารถเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ได้ดังภาพ 5

117



ภาพ 4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ไฟฟ้ากระแสตรงกับความถี่จากการวัดน้ำยางตัวอย่าง



ภาพ 5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ไฟฟ้ากระแสตรงกับปริมาณเนื้อยางแห้งในน้ำยางจากการวัดน้ำยางตัวอย่าง

จากผลการทดลองสามารถอธิบายได้ว่าคลื่นไมโครเวฟที่ความถี่ 2.2 GHz – 2.4 GHz มีความสัมพันธ์แบบ 118 เป็นสัดส่วนกันระหว่างความต่างศักย์ไฟฟ้ากระแสตรงกับปริมาณเนื้อยางแห้งในน้ำยาง โดยที่ DRC ในน้ำยางจะแปรผกผันกับความต่างศักย์ไฟฟ้ากระแสตรงกล่าวคือ ถ้าความต่างศักย์ไฟฟ้ากระแสตรงมีค่าเพิ่มขึ้น DRC ในน้ำยางจะมีค่าลดลง

สรุปและอภิปรายผล

การศึกษาเพื่อหาความสัมพันธ์ของความต่างศักย์ไฟฟ้ากระแสตรงกับปริมาณเนื้อยางแห้งในน้ำยางโดยใช้คลื่นไมโครเวฟที่ความถี่ 1.0 GHz – 2.5 GHz ส่งผ่านน้ำยางตัวอย่างที่มีปริมาณ DRC 20% - 60% พบว่าคลื่นไมโครเวฟในช่วงความถี่ 1.9 GHz – 2.5 GHz มีการตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลง DRC ในน้ำยาง และเมื่อทำการศึกษาเพิ่มเติมพบว่าที่ความถี่ 2.2 GHz – 2.4 GHz มีการตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลง DRC ในน้ำยางมากที่สุดโดยมีความสัมพันธ์เป็นแบบเชิงเส้นและมีความเป็นไปได้ที่จะนำไปพัฒนาเป็นอุปกรณ์วัดปริมาณเนื้อยางแห้งในน้ำยาง เนื่องจากความต่างศักย์ไฟฟ้ากระแสตรงกับปริมาณเนื้อยางแห้งในน้ำยางมีความสัมพันธ์แบบเป็นสัดส่วนกัน อย่างไรก็ตามระบบที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้ยังไม่สามารถบอกความแตกต่างระหว่างผลของ DRC กับผลของ Non-Rubber Content ในน้ำยางต่อคลื่นไมโครเวฟได้จึงควรมีการพัฒนากระบวนการทดลองและทำการศึกษาต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัยที่ให้ทุนสนับสนุนงานวิทยานิพนธ์ และหน่วยวิจัยนวัตกรรมทางฟิสิกส์ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่ได้อนุญาตให้ใช้สถานที่และเครื่องมือที่จำเป็นในการทำวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- พรพรรณ นิธิอุทัย. (2530). ความสัมพันธ์ระหว่างสองวิธีการในการหาเนื้อยางในน้ำยาง. รายงานการวิจัย. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี.
- สุฤกษ์ ทองทอง. (2548). ผลิตภัณฑ์ยางจากน้ำยางสด. กรุงเทพมหานคร: สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.).
- Jayanthi, T., Sankaranarayanan, P.E. (2005). Measurement of Dry Rubber Content in Latex Using Microwave Technique. Measurement Science Review. 3(5). 50-53.
- Kemji, K. (2004). Moisture Content Measuring Method for Rubber. Japanese Patent JP-2004-020192.
- Khalid, K. (1990). Apparatus and Method for the Determination of the Dry Rubber Content of Rubber Latex. Malaysian Patent MY-106441-A.
- Khalid, K. and et.al. (1997). Dielectric Phenomena in Hevea Rubber Latex and Its Applications. Proceedings of the 5th International Conference on Properties and Applications of Dielectric Materials.
- Khalid, K. (1982). Determination of Dry Rubber Content of Hevea Latex by Microwave Technique. Pertanika. 5(2),192-195.
- Kim, K.B., Kim, J.H., Lee, S.S. and Noh, S.H. (2002). Measurement of Grain Moisture Content Using Microwave Attenuation at 10.5 GHz and Moisture Density. IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement. 1(51), 72-77.
- Nelson, S.O., Bartley, P.G., and Lawrence, K.C. (1997). Measuring RF and Microwave Permittivities of Adult Rice Weevils. IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement. 4(46), 941-946.

- [11] Nelson, S.O. (2003). Frequency and Temperature Dependent Permittivities of Fresh Fruits and Vegetables from 0.01 to 1.8 GHz. *Transactions of the ASAE*. 46(2). 567-574.
- [12] Vermeulen, C. and Hancke, G.P. (1991). Moisture Determination in Coal Using Microwave Techniques. / *ECON'91*. pp. 2565-2568.

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ สกุล	นางสาวนุชนาฏ สุชาติพงศ์	
รหัสประจำตัวนักศึกษา	4910220047	
วุฒิการศึกษา	ชื่อสถาบัน	ปีที่สำเร็จการศึกษา
วุฒิ วท.บ. (ฟิลิกส์)	มหาวิทยาลัยทักษิณ	2549

ทุนการศึกษา (ที่ได้รับในระหว่างการศึกษา)

ปีการศึกษา 2549 – 2550 ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยเพื่อวิทยานิพนธ์ จากคณะ
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

การตีพิมพ์เผยแพร่ผลงาน

นุชนาฏ สุชาติพงศ์, ภัทร อัยรักษ์ และบุญเจริญ วงศ์กิตติศึกษา. "การศึกษา
เพื่อการพัฒนาอุปกรณ์วัดปริมาณเนื้อเยื่อแห้งในน้ำยางโดยใช้คลื่นไมโครเวฟ" ศรีนครินทร์วิ
โรฒวิชาการครั้งที่ 4 วันที่ 29-30 มกราคม 2553 ณ อาคารวิจัยและการศึกษาต่อเนื่อง สมเด็จพระ
เทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี, มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร,
ประเทศไทย.