



การตรวจหาปริมาณน้ำมันในผลปาล์มโดยใช้คลื่นอัลตราโซนิก
Oil Content Determination of Oil Palm Fruit by Using Ultrasonic

สุทธีวีร์ สุวรรณรัตน์
Sutthawee Suwannarat

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of
Master of Engineering in Computer Engineering
Prince of Songkla University

2555

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ชื่อวิทยานิพนธ์ การตรวจหาปริมาณน้ำมันในผลปาล์มโดยใช้คลื่นอัลตราโซนิก
ผู้เขียน นายสุทธีร์ สุวรรณรัตน์
สาขาวิชา วิศวกรรมคอมพิวเตอร์

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

คณะกรรมการสอบ

.....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชเนศ เคารพพงศ์)

.....ประธานกรรมการ
(ดร.นิคม สุวรรณวร)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชเนศ เคารพพงศ์)

.....
(รองศาสตราจารย์ ดร.มิตรชัย จงเชื้อวานานู)

.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.มิตรชัย จงเชื้อวานานู)

.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.วัฒน์พงศ์ เกิดทองมี)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็น
ส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรม
คอมพิวเตอร์

.....
(ศาสตราจารย์ ดร.อมรรัตน์ พงศ์ดารา)
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ชื่อวิทยานิพนธ์ การตรวจหาปริมาณน้ำมันในผลปาล์มโดยใช้คลื่นอัลตราโซนิก
ผู้เขียน นายสุทธีวีร์ สุวรรณรัตน์
สาขาวิชา วิศวกรรมคอมพิวเตอร์
ปีการศึกษา 2554

บทคัดย่อ

ในงานวิจัยฉบับนี้นำเสนอเทคนิคของคลื่นอัลตราโซนิกเพื่อใช้ในการทำนายปริมาณน้ำมันปาล์มในผลปาล์มสด โดยการวัดอัตราการลดทอนของคลื่นอัลตราโซนิกในโหมดส่งผ่าน ตัวอย่างผลปาล์มสดซึ่งทราบปริมาณน้ำมัน โดยการสกัดแบบซอกท์เลตได้ถูกทดสอบกับเครื่องมือวัดอัลตราโซนิก ผลลัพธ์ข้อมูลการลดทอนแอมพลิจูดของตัวอย่างทั้งหมดได้ถูกเก็บรวบรวม ระบบเครือข่ายประสาทเทียมแบบไปข้างหน้า สมการถดถอยแบบโพลิโนเมียลและสมการถดถอยแบบเส้นตรงได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้ในการทำนายปริมาณน้ำมัน โดยระบบเครือข่ายประสาทเทียมให้ประสิทธิภาพที่ดีที่สุดเมื่อเทียบกับวิธีการอื่นๆ ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด ค่าความผิดพลาดเฉลี่ยรากกำลังสอง ค่าความผิดพลาดเฉลี่ยสัมบูรณ์และค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์สำหรับการทำนายเปอร์เซ็นต์ของปริมาณน้ำมันในช่วง 20-60 เปอร์เซ็นต์ โดยระบบเครือข่ายประสาทเทียมคือ 4.7654 3.1938 2.1004 และ 0.9461

Thesis Title Oil content determination of oil palm fruit by using ultrasonic
Author Mr.Sutthawee Suwannarat
Major Program Computer Engineering
Academic Year 2011

ABSTRACT

In this research, an ultrasonic technique is proposed to predict oil content in a fresh palm fruit. This is accomplished by measuring the attenuation based on ultrasonic transmission mode. Several palm fruit samples with known oil content by Soxhlet extraction (ISO9001:2008) were tested with our ultrasonic measurement. Amplitude attenuation data results for all palm samples were collected. The Feedforward Neural Networks (FNNs), polynomial regression and linear regression are applied to predict the oil content for the samples. The FNNs have the best performance over all methods. The mean of percentage error, Root Mean Square Error (RMSE) and Mean Absolute Error (MAE) of the FNN model for predicting oil content percentage in range 20-60 % are 4.7654, 3.1938 and 2.1004 with the correlation coefficient (R) of 0.9461.

กิตติกรรมประกาศ

สำหรับการดำเนินการวิจัยและจัดทำวิทยานิพนธ์นี้ ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชเนศ เคารพพงศ์ และ รองศาสตราจารย์ ดร.มิตรชัย จงเขียวชำนาญ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่ได้ให้คำปรึกษา ชี้แนะแนวทางในการทำงาน ทั้งยังให้กำลังใจและการเอาใจใส่กับข้าพเจ้าเป็นอย่างมาก กระตุ้นให้ข้าพเจ้าได้มีความมุ่งมั่นในการทำงานให้สำเร็จลุล่วงไปได้เป็นอย่างดีเรื่อยมา รวมถึงการตรวจและแก้ไขเนื้อหาวิทยานิพนธ์ให้สำเร็จสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่กรุณาให้ทุนการศึกษาแก่ข้าพเจ้าระหว่างการศึกษา

ขอขอบพระคุณ คณาจารย์ และบุคลากรทุกท่านในภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือในระหว่างการทำวิทยานิพนธ์

ขอขอบพระคุณ พี่สากล จุฬรัตน์ พี่นักศึกษาปริญญาเอก ที่คอยให้คำปรึกษา แนวคิด และกำลังใจที่ดีตลอดมา

ขอขอบพระคุณพี่ๆเพื่อน ๆ และน้องๆ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ทุกท่านที่คอยให้คำแนะนำและคอยให้ความช่วยเหลือด้วยดีตลอดมา

สุดท้ายนี้ ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดาและญาติพี่น้องทุกคน ซึ่งเป็นผู้มีพระคุณสูงสุดที่ให้กำลังใจ และให้การสนับสนุนทุกสิ่งทุกอย่างด้วยดีตลอดมาในชีวิตของข้าพเจ้า

ศุภชวีร์ สุวรรณรัตน์

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ.....	(6)
รายการรูปภาพ.....	(8)
รายการตาราง.....	(10)
บทที่ 1 บทนำ.....	11
1.1. ความสำคัญและที่มาของการวิจัย	11
1.2. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	11
1.3. วัตถุประสงค์	13
1.4. ขอบเขตงานวิจัย	14
1.5. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	14
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	15
2.1. ปาล์มน้ำมัน	15
2.2. คลื่นอัลตราโซนิกสำหรับการเกษตร.....	22
2.3. ระบบเครือข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Network, ANN)	27
2.4. สูตร	33
บทที่ 3 การออกแบบการทดลอง.....	34
3.1. การออกแบบการทดลอง	34
3.2. การสกัดน้ำมันด้วยตัวทำละลาย	35
3.3. การหาความหนาแน่นของผลปาล์ม.....	38
3.4. สูตร	39
บทที่ 4 ผลลัพธ์การทดลองและแบบจำลองทางคณิตศาสตร์.....	40
4.1. ผลลัพธ์ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำมันกับตัวแปรอิสระต่างๆ	40
4.2. การวิเคราะห์ตัวอย่างช่วงปริมาณน้ำมันทั้งหมด.....	47
4.3. การวิเคราะห์ตัวอย่างช่วงปริมาณน้ำมัน 20-60 เปอร์เซ็นต์.....	56

4.4. สรุป	63
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	64
5.1. สรุปผล	64
5.2. ข้อเสนอแนะ	66
บรรณานุกรม	68
ภาคผนวก	70
ภาคผนวก ก. กราฟสัญญาณผลลัพธ์ของตัวอย่างทั้งหมด.....	71
ภาคผนวก ข. ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่จากวิทยานิพนธ์.....	109
ประวัติผู้เขียน	124

รายการรูปภาพ

ภาพประกอบ	หน้า
1-1 ปริมาณน้ำมันกับการลดทอนของสัญญาณในผลอาโวคาโด.....	13
2-1 ส่วนปาล์มน้ำมัน	15
2-2 ประโยชน์ของปาล์มน้ำมัน	17
2-3 ผลผลิตน้ำมันต่อหน่วยพื้นที่	18
2-4 ส่วนประกอบของทะเลาะปาล์มสด.....	19
2-5 ปาล์มน้ำมันพันธุ์สุราษฎร์ธานี 2	20
2-6 ระบบอัลตราโซนิกแบบสัมผัสเดียวสำหรับการวัดเนื้อเยื่อ	25
2-7 ปริมาณน้ำมันและน้ำตาลในผลปาล์ม	26
2-8 การแบ่งชนิดเครือข่ายตาม โครงสร้างสถาปัตยกรรม.....	28
2-9 ตัวอย่างการประมาณค่าฟังก์ชัน จุดในรูปคือข้อมูลรูปแบบสำหรับการเรียนรู้	29
2-10 ตัวอย่างเครือข่ายสำหรับการประมาณค่าฟังก์ชันแบบ 2 ชั้น	32
3-1 ระบบอัลตราโซนิก	34
3-2 ผลปาล์มและตำแหน่งในการวัดคลื่นอัลตราโซนิกบนผลปาล์ม	35
3-3 บดละเอียด	35
3-4 ผสมตัวอย่างด้วยตัวทำละลายในตัวดูดควัน	36
3-5 เขย่าตัวอย่างด้วยเครื่องเขย่าแนวนอน	36
3-6 ที่กรองและโซเดียมซัลเฟต.....	37
3-7 เครื่องกลั่นแยกสาร	37
3-8 ตู้อบและเครื่องกำจัดความชื้น	38
3-9 ถ้วยยูเรก้า	39
4-1 น้ำหนักของผลปาล์มที่ปริมาณน้ำมันต่างๆ	40
4-2 ปริมาตรของผลปาล์มที่ปริมาณน้ำมันต่างๆ	41
4-3 ความหนาแน่นของผลปาล์มที่ปริมาณน้ำมันต่างๆ.....	42
4-4 น้ำหนักเนื้อเยื่อที่ปริมาณน้ำมันต่างๆ	43
4-5 การลดทอนของคลื่นอัลตราโซนิกที่ซึ่งผ่านผลปาล์มที่ปริมาณน้ำมันต่างๆ	44
4-6 เฟสของคลื่นอัลตราโซนิกที่ปริมาณน้ำมันต่าง ๆ.....	45
4-7 หน้าต่างฟังก์ชันสำหรับระบบเครือข่ายหลายชั้นของโปรแกรม weka 3.6.1	49

4-8	ระบบเครือข่ายที่ถูกเลือกโดยโครงสร้างแบบ 1 อินพุต 2 เซลล์ประสาทในชั้นซ่อนเร้นและ 1 เซลล์ประสาทในชั้นเอาต์พุต	51
4-9	กราฟระบบเครือข่ายที่ถูกเลือกโดยโครงสร้างแบบ 1 อินพุต 2 เซลล์ประสาทในชั้นซ่อนเร้นและ 1 เซลล์ประสาทในชั้นเอาต์พุตบนกลุ่มตัวอย่างและกลุ่มทดสอบ.....	51
4-10	กราฟสมการถดถอยแบบโพลีโนเมียลกำลังสองบนกลุ่มตัวอย่างและกลุ่มทดสอบ	53
4-11	ประสิทธิภาพของระบบเครือข่ายประสาทเทียมบนกลุ่มตัวอย่างและกลุ่มทดสอบ.....	54
4-12	ประสิทธิภาพของสมการถดถอยแบบโพลีโนเมียลกำลังสองบนกลุ่มตัวอย่างและกลุ่มทดสอบ	55
4-13	การลดทอนของคลื่นอัลตราโซนิกที่ซึ่งผ่านผลปาส์ที่มีปริมาณน้ำมันช่วง 20-60 เปอร์เซ็นต์..	56
4-14	กราฟระบบเครือข่ายที่ถูกเลือกโดยโครงสร้างแบบ 1 อินพุต 4 เซลล์ประสาทในชั้นซ่อนเร้นและ 1 เซลล์ประสาทในชั้นเอาต์พุตบนกลุ่มตัวอย่างและกลุ่มทดสอบ.....	58
4-15	กราฟสมการถดถอยแบบโพลีโนเมียลกำลังสองบนกลุ่มตัวอย่างและกลุ่มทดสอบ	59
4-16	กราฟสมการถดถอยแบบเส้นตรงบนกลุ่มตัวอย่างและกลุ่มทดสอบ.....	60
4-17	ประสิทธิภาพของระบบเครือข่ายประสาทเทียมบนกลุ่มตัวอย่างและกลุ่มทดสอบ.....	61
4-18	ประสิทธิภาพของสมการถดถอยแบบโพลีโนเมียลกำลังสองบนกลุ่มตัวอย่างและกลุ่มทดสอบ	62
4-19	ประสิทธิภาพของสมการถดถอยแบบเส้นตรงบนกลุ่มตัวอย่างและกลุ่มทดสอบ	62

รายการตาราง

ตารางที่	หน้า
2-1 ลักษณะทั่วไปของปาล์มน้ำมัน.....	16
2-2 พันธุ์ปาล์มน้ำมันลูกผสมสุราษฎร์ธานี 2 เดลิ x ลามี	21
2-3 ความเกี่ยวเนื่องระหว่างคุณสมบัติทางเคมีฟิสิกส์ของฝักและผลไม้ต่อพารามิเตอร์ของคลื่นอัลตราโซนิค	23
2-4 อัลกอริทึมต่างๆของระบบเครือข่ายประสาทเทียม.....	30
2-5 ประสิทธิภาพของเครือข่ายบนพารามิเตอร์แบบต่างๆ.....	32
4-1 คุณสมบัติของตัวอย่างที่ถูกต้องทดสอบ	45
4-2 ค่าความผิดพลาดเฉลี่ยรากกำลังสอง ค่าความผิดพลาดเฉลี่ยสัมบูรณ์และค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของเครือข่ายที่มีจำนวนนิเวรอนตั้งแต่ 1-15 ในชั้นซ่อนเร้น.....	50
4-3 ประสิทธิภาพของระบบเครือข่ายประสาทเทียมและสมการถดถอยแบบโพลีโนเมียลอันดับที่สองบนกลุ่มทดสอบ	54
4-4 ค่าความผิดพลาดเฉลี่ยรากกำลังสอง ค่าความผิดพลาดเฉลี่ยสัมบูรณ์และค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของเครือข่ายที่มีจำนวนนิเวรอนตั้งแต่ 1-15 ในชั้นซ่อนเร้น.....	57
4-5 ประสิทธิภาพของระบบเครือข่ายประสาทเทียม ผลลัพธ์ของสมการถดถอยแบบโพลีโนเมียลและผลลัพธ์ของสมการถดถอยแบบเส้นตรง.....	61
5-1 ประสิทธิภาพของระบบเครือข่ายประสาทเทียม บนกลุ่มทดสอบในช่วงปริมาณน้ำมัน 20-60 เปอเซ็นต์.....	66

บทที่ 1

บทนำ

1.1. ความสำคัญและที่มาของการวิจัย

ปาล์มน้ำมันจัดเป็นพืชยืนต้น และเป็นพืชน้ำมันอุตสาหกรรมที่สามารถให้ผลผลิตน้ำมันต่อหน่วยพื้นที่สูงกว่าพืชน้ำมันทุกชนิด ซึ่งนิยมปลูกกันมากในภาคใต้และภาคกลางบางส่วนของประเทศไทย โดยในปีพ.ศ.2551 ประเทศไทยมีผลผลิตของปาล์มน้ำมันกว่า 8 ล้านตัน ซึ่งคิดเป็นมูลค่ากว่า 39,000 ล้านบาท [1] ดังนั้นการเพิ่มผลผลิตและการจัดชั้นคุณภาพของผลปาล์มจึงมีความสำคัญมาก จากการศึกษาระบบตลาดปาล์มน้ำมันพบว่า เกณฑ์การรับซื้อตามคุณภาพหรือจัดชั้นคุณภาพผลปาล์มยังไม่มีการนำมาใช้อย่างเป็นทางการ เป็นการตรวจสอบด้วยสายตาของผู้ซื้อ (ลานเทหรือโรงสกัด) เท่านั้น และการให้ราคาที่เพิ่มขึ้นเป็นดุลยพินิจของลานเทและโรงสกัด นอกจากนี้ลานเทบางแห่งเกิดแรงจูงใจที่จะแสวงหากำไรเพิ่มจากการขายผลปาล์มในรูปแบบผลร่วง โดยการพรมน้ำและบ่มปาล์มให้มีน้ำหนักมากขึ้น อันส่งผลให้คุณภาพปาล์มของลานเทมีคุณภาพด้อยลง และเปอร์เซ็นต์น้ำมันที่โรงสกัดได้รับลดลง นอกจากนี้เกษตรกรจำนวนมาก ยังขาดความมั่นใจในความเที่ยงตรงของตาชั่งของลานเทในบางครั้ง [2] ซึ่งจากที่กล่าวมาปัญหาดังกล่าวเกิดขึ้นเพราะระบบตลาดปาล์มน้ำมันยังขาดเครื่องมือที่จะเป็นตัวกำหนดมาตรฐานการซื้อขายปาล์มน้ำมันระหว่างผู้ซื้อและเกษตรกร

ระบบอัลตราโซนิกเป็นระบบที่ไม่ทำลายผลผลิต เร็วและมีความแม่นยำสูงจึงเป็นที่นิยมในการนำมาตรวจสอบคุณภาพผลผลิตทางการเกษตร โดยหลักการในงานวิจัยชิ้นนี้เป็นการเก็บข้อมูลจากผลตอบสนองของสัญญาณที่ผ่านผลปาล์ม ซึ่งสามารถนำข้อมูลที่ได้นี้ไปวิเคราะห์การลดทอนของสัญญาณ ข้อมูลนี้เป็นลักษณะเฉพาะเมื่อนำมาพิจารณาแล้วควรจะบอกถึงปริมาณน้ำมันที่มีอยู่ในผลปาล์มได้ เนื่องจากปริมาณน้ำมันเป็นมาตรฐานการจัดชั้นคุณภาพของปาล์มสำหรับการซื้อขายในระบบตลาดปาล์มน้ำมัน

งานวิจัยสำหรับวิทยานิพนธ์นี้จึงนำเสนอระบบอัลตราโซนิกที่ใช้ในการหาปริมาณน้ำมันของผลปาล์ม เพื่อมุ่งเน้นให้เป็นตัวกำหนดมาตรฐานการซื้อขายระหว่างผู้ซื้อและเกษตรกรได้

1.2. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

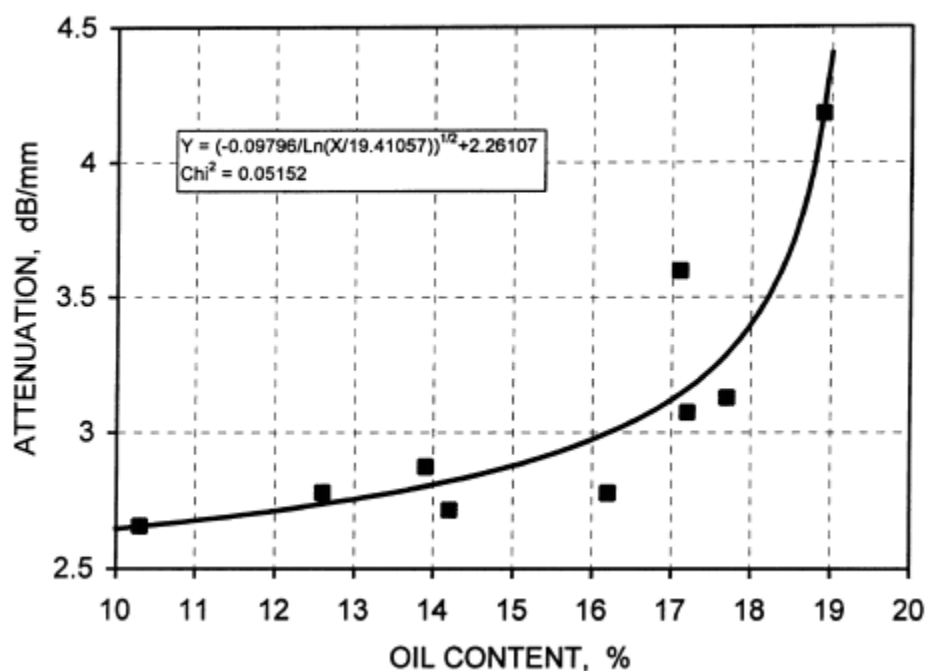
ในปัจจุบันมีวิธีการมากมายในการตรวจวัดหาปริมาณน้ำมันในผลปาล์มเพื่อการจัดชั้นคุณภาพของผลผลิต การตรวจสอบคุณภาพของผลผลิตถูกแบ่งออกเป็นสองกลุ่มใหญ่ ๆ คือการตรวจสอบ

แบบทำลายและไม่ทำลายผลผลิต Flingoh และคณะ [3] ได้นำเสนอวิธีการสั้นพ้องของคลื่นสนามแม่เหล็กนิวเคลียร์ (Nuclear Magnetic Resonance, NMR) และการสกัดแบบ ซอกซ์เลต (Soxhlet extraction) มาทำการหาค่าปริมาณน้ำมันในผลปาล์ม อย่างไรก็ตามวิธีดังกล่าวเป็นการตรวจสอบแบบทำลายผลผลิต

ในส่วนของการตรวจสอบแบบไม่ทำลายผลผลิต McGlaone และคณะ [4] ได้นำเสนอการใช้การตรวจสอบด้วยแสงเลเซอร์ในการวัดความแข็งแรงของผลกีวี อย่างไรก็ตามพบว่ามันยากมากในการใช้งาน ต่อมา Hung และคณะ [5] ได้ใช้วิธีคล้าย ๆ กันแต่นำไปใช้กับลูกพีช และค้นพบระบบที่ดีมากในการหาค่าความแข็งแรงของลูกพีช นอกจากนี้ Peleg และคณะ [6] ได้พัฒนาวิธีการในการหาความแข็งแรงของผลไม้โดยอยู่บนพื้นฐานของการตรวจสอบด้วยเสียง ใช้วิธีการตรวจวัดพลังงานของเสียงจากผลตอบสนอง ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้มีความแม่นยำและความแข็งแรงสูงพอในการใช้งานในเชิงธุรกิจ อย่างไรก็ตามวิธีการเหล่านี้ไม่ได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้กับผลปาล์ม จากนั้น Schatzki และคณะ [7] ได้นำเสนอการวิเคราะห์โดยใช้รังสีเอ็กซ์ (X-ray) กับลูกแอปเปิ้ลและ Clark และคณะ [8] ได้นำเสนอระบบสร้างภาพจากการสั้นพ้องของคลื่นสนามแม่เหล็ก (Magnetic Resonance Imaging, MRI) ในการศึกษาผักและผลไม้เพื่อก่อนและหลังการเก็บเกี่ยว อย่างไรก็ตามการวิเคราะห์โดยใช้รังสีเอ็กซ์และระบบสร้างภาพจากการสั้นพ้องของคลื่นสนามแม่เหล็กทั้งสองต้องการผู้เชี่ยวชาญในการวิเคราะห์

Butz และคณะ [9] ได้ทำการสำรวจเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับการตรวจสอบอาหารพบว่ากว่า 20 เปอร์เซนต์ ใช้เสียงในการตรวจสอบ การตรวจสอบโดยใช้คลื่นอัลตราโซนิกเป็นการตรวจสอบโดยใช้เสียงประเภทหนึ่ง ปัจจุบันระบบอัลตราโซนิกก็ได้เข้ามาแทนที่เทคโนโลยีการตรวจสอบโดยใช้เสียงแบบเดิม และวิธีการนี้ก็ได้นำมาใช้อย่างกว้างขวางในทางด้านการเกษตรในเชิงการประเมินคุณภาพของผลไม้ในช่วงเวลาก่อนและหลังการเก็บเกี่ยว [10] ในส่วนของงานวิจัยอื่น ๆ ในด้านการประยุกต์ใช้คลื่นอัลตราโซนิกเพื่อการเกษตร Mizrach และคณะ [11] ได้ใช้คลื่นอัลตราโซนิกศึกษาคุณสมบัติทางเคมีฟิสิกส์ของมะม่วง ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้สามารถบอกถึงความแข็งแรง ปริมาณน้ำตาล ช่วงเวลาที่เก็บ มวลและความเป็นกรด การประมวลผลได้ใช้การวิเคราะห์ในโดเมนความถี่เพื่อให้ได้ซึ่งคุณสมบัติเหล่านี้ของมะม่วงและผลลัพธ์ดังกล่าวถูกยืนยันด้วยการทดสอบแบบทำลาย

Mizrach และคณะ [12] ได้นำเสนอการใช้คลื่นอัลตราโซนิกในการวัดความอ่อนนุ่มของผลอาโวคาโดเพื่อตรวจสอบคุณภาพสำหรับเกษตรกรและลูกค้า ซึ่งวิธีการที่ใช้อยู่บนพื้นฐานของการวัดความเร็วและการลดทอนของสัญญาณของคลื่นอัลตราโซนิก ซึ่งองค์ประกอบที่ทำการวัดคือความแก่อ่อน ความแข็งแรง ปริมาณน้ำมันและน้ำหนักแห้งของอาโวคาโด



ภาพประกอบ 1-1 ปริมาณน้ำมันกับการลดทอนของสัญญาณในผลอาโวคาโด [12]

ภาพประกอบ 1-1 เป็นความสัมพันธ์ระหว่างการลดทอนของสัญญาณของคลื่นอัลตราโซนิกและปริมาณน้ำมันของผลอาโวคาโดซึ่งถูกวัดค่าในวันแรก การลดทอนของสัญญาณถูกค้นพบว่าการลดลงด้วยอัตราที่ต่ำสำหรับปริมาณน้ำมันที่มีค่าน้อยและการลดทอนสูงมากขึ้นเมื่อปริมาณน้ำมันเพิ่มมากขึ้น ดังจะเห็นได้จากกราฟ ซึ่งสมการเอกซ์โพเนนเชียลได้ถูกเลือกสำหรับการอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำมันและการลดทอนของสัญญาณ [12]

จากลักษณะพิเศษของการใช้คลื่นอัลตราโซนิกในการตรวจหาปริมาณน้ำมันกับผลอาโวคาโดสามารถเห็นผลการทดลองอย่างชัดเจนว่าการลดทอนของสัญญาณมีค่าสูงขึ้น เมื่อปริมาณน้ำมันมีค่าสูงขึ้น งานวิจัยชิ้นนี้จึงนำองค์ความรู้นี้เสนอการประยุกต์การใช้คลื่นอัลตราโซนิกเพื่อตรวจวัดปริมาณน้ำมันสำหรับผลปาล์มจากการตรวจวัดการลดทอนของสัญญาณตอบสนองของคลื่นอัลตราโซนิก

1.3. วัตถุประสงค์

สร้างระบบและเครื่องมือในการวิเคราะห์หาปริมาณน้ำมันในผลปาล์ม รวมถึงความเที่ยงตรงและแม่นยำของระบบที่จัดทำขึ้น เพื่อเป็นมาตรฐานการซื้อขายระหว่างผู้ซื้อและเกษตรกร

1.4. ขอบเขตงานวิจัย

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นกรณีศึกษา 2 กรณี ได้แก่

- 1.4.1 ปาล์มที่ใช้ทดสอบเป็นพันธุ์เทเนอรา สุราษฎร์ธานี 2
- 1.4.2 ตรวจสอบปริมาณน้ำมันในผลปาล์มชั้นเมโซคาร์พและเอกโซคาร์พเท่านั้น ไม่รวมถึงการตรวจวัดทั้งทะลายปาล์ม

1.5. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.5.1 ได้ระบบและเครื่องมือที่ใช้ตรวจสอบปริมาณน้ำมันในผลปาล์ม สามารถเป็นมาตรฐานการซื้อขายระหว่างผู้ซื้อและเกษตรกร
- 1.5.2 เพิ่มคุณภาพของผลผลิตปาล์มน้ำมันในประเทศไทย

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการ

2.1. ปาล์มน้ำมัน

2.1.1. ลักษณะทั่วไปของปาล์มน้ำมัน

ปาล์มน้ำมันเป็นพืชน้ำมันอุตสาหกรรมชนิดหนึ่งที่ให้ผลผลิตน้ำมันสูงมาก นิยมปลูกกันมากในภาคใต้และภาคกลางบางส่วนของประเทศไทย มีชื่อทางพฤกษศาสตร์ว่าอีเลอิสโกเวนเนซิสแจค (*Elaeis guineensis* Jacq) มีถิ่นกำเนิดอยู่ที่ทวีปแอฟริกา ให้ผลผลิตน้ำมัน 640–800 กิโลกรัมต่อไร่ มีอายุการเก็บเกี่ยวตลอดการปลูก 20–30 ปี ดังข้อมูลในตารางที่ 2-1 [13]



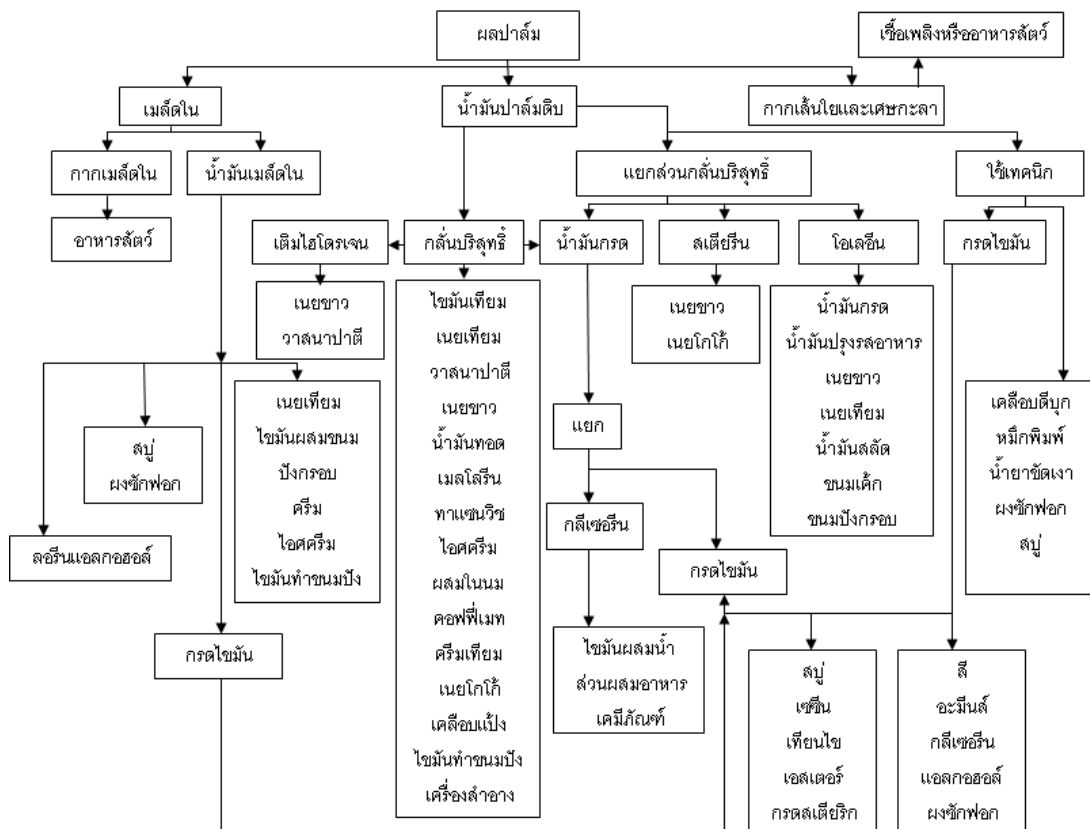
ภาพประกอบ 2-1 สวนปาล์มน้ำมัน

ตารางที่ 2-1 ลักษณะทั่วไปของปาล์มน้ำมัน

ชื่อสามัญ	ปาล์มน้ำมัน
ชื่อทางพฤกษศาสตร์	<i>Elaeis guineensis</i> Jacq.
ถิ่นกำเนิด	แอฟริกา
สายพันธุ์ปลูกเป็นการค้า	ลูกผสมเทเนอรา (คูรา × ฟิลีเฟอรา)
จำนวนโครโมโซม	$2n = 2x = 32$
ความสูง	15 – 18 เมตร
ขนาดลำต้น	45 – 60 เซนติเมตร
สีผลสุก	แดงอมม่วง – ส้ม
อายุเก็บเกี่ยวหลังปลูกแปลง	30 เดือน
ช่วงเวลาเก็บเกี่ยว	ทุก 7-10 วัน
จำนวนทะลาย	10 – 12 ทะลายต่อต้นต่อปี
น้ำหนักต่อทะลาย	10 – 30 กิโลกรัม
จำนวนผลต่อทะลาย	1000 – 3000 ผล
รูปร่างของผล	กลม – รูปไข่
ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของผล	2 – 5 เซนติเมตร
น้ำหนักต่อผล	3 – 30 กรัม
เนื้อปาล์มชั้นในเมล็ดต่อผล	3 – 8 เปอร์เซ็นต์
เนื้อปาล์มชั้นนอกต่อผล	60 – 96 เปอร์เซ็นต์
น้ำมันต่อเนื้อชั้นนอก	20 – 50 เปอร์เซ็นต์
น้ำมันต่อทะลาย	22 – 24 เปอร์เซ็นต์
ผลผลิตน้ำมัน	640 -800 กิโลกรัมต่อไร่
ความหนาแน่นของประชากร	22 – 25 ต้นต่อไร่
อายุการเก็บเกี่ยวตลอดการปลูก	20 – 30 ปี

2.1.2. ประโยชน์ของปาล์มน้ำมัน

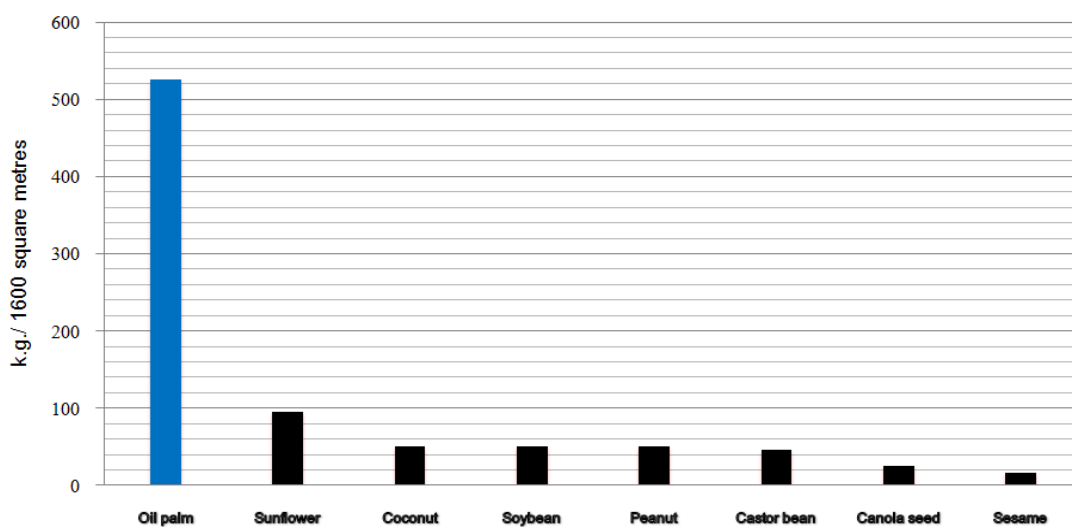
ปาล์มน้ำมันจัดเป็นพืชน้ำมันที่สามารถแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ทั้งที่เป็นอาหาร (Food) และมีใช้ อาหาร (Non-food) หรือมีประโยชน์ทั้งทางด้านอุปโภค และบริโภคนั่นเอง ความหลากหลายของ การใช้ประโยชน์ดังกล่าวสามารถสรุปเป็นภาพรวมได้ดังภาพประกอบ 2-2 เช่น ในด้านบริโภค สามารถนำไปผลิตไขมันเทียม เนยเทียม ครีมเทียม และไอศกรีม ในด้านของอุปโภคสามารถนำไปผลิตสบู่ ผงซักฟอกและแอลกอฮอล์สำหรับใช้เป็นพลังงาน นอกจากนี้กากเส้นใยและเศษกะลา ก็ สามารถนำไปสร้างเป็นเชื้อเพลิงหรืออาหารสัตว์ได้ เป็นต้น [13]



ภาพประกอบ 2-2 ประโยชน์ของปาล์มน้ำมัน

2.1.3. ความสำคัญของปาล์มน้ำมันเปรียบเทียบกับพืชน้ำมันชนิดอื่น

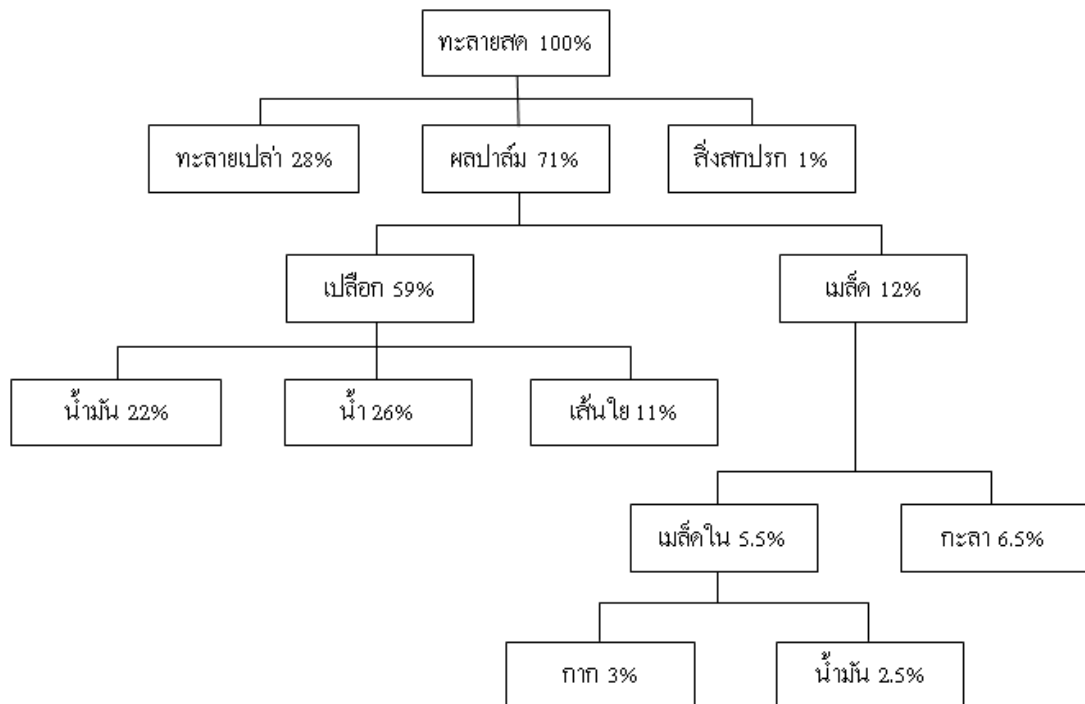
ปาล์มน้ำมันจัดเป็นพืชน้ำมันที่ให้ผลผลิตน้ำมันต่อหน่วยพื้นที่สูงกว่าพืชน้ำมันทุกชนิด ดังในภาพประกอบ 2-3 นำเสนอผลผลิตน้ำมันต่อหน่วยพื้นที่ โดยแกนนอนคือพืชผลชนิดต่างๆ แกนตั้งคือผลผลิตต่อหน่วยพื้นที่ จากภาพกราฟแท่งสีฟ้าแสดงผลผลิตน้ำมันมากกว่า 500 กิโลกรัมต่อไร่ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับลำดับที่สองน้ำมันจากดอกทานตะวัน (ซึ่งให้ผลผลิตน้ำมันน้อยกว่า 100 กิโลกรัมต่อไร่) แล้วสูงกว่ามาก [13]



ภาพประกอบ 2-3 ผลผลิตน้ำมันต่อหน่วยพื้นที่

2.1.4. ส่วนประกอบของทะลายปาล์มสด

ทะลายปาล์มสด (Fresh fruit bunch) ส่วนใหญ่จะประกอบไปด้วยผลปาล์ม 71 เปอเซ็นต์ ทะลายเปล่า 21 เปอเซ็นต์ ส่วนที่เหลือเป็นสิ่งสกปรก ในผลปาล์มสามารถแยกส่วนประกอบออกได้เป็น 2 ส่วนคือส่วนเปลือกและเมล็ด ส่วนเปลือกเป็นส่วนที่งานวิจัยชิ้นนี้สนใจซึ่งจะประกอบไปด้วยน้ำมัน น้ำและเส้นใย โดยที่ตัวเลขในภาพประกอบ 2-4 อาจแปรผันได้บ้างตามลักษณะพันธุ์ปาล์ม สภาพดินฟ้าอากาศและการดูแลรักษา



ภาพประกอบ 2-4 ส่วนประกอบของทะลายปาล์มสด

2.1.5. ปาล์มน้ำมันพันธุ์สุราษฎร์ธานี 2

ประเทศไทยไม่สามารถผลิตต้นกล้าปาล์มได้เพียงพอกับความต้องการทำให้ต้องสั่งซื้อเพิ่มจากต่างประเทศซึ่งมีราคาแพง หรือสั่งซื้อจากแหล่งเพาะชำกล้าที่ขาดคุณภาพทำให้ได้ผลผลิตต่อไร่ต่ำ ศูนย์วิจัยปาล์มน้ำมันสุราษฎร์ธานี กรมวิชาการเกษตรจึงได้ทำการศึกษาวิจัยในเรื่องการปรับปรุงพันธุ์ปาล์มน้ำมันจนได้พันธุ์ปาล์มน้ำมันลูกผสมที่มีศักยภาพดีเด่นได้ตามเกณฑ์มาตรฐานสากล ซึ่งได้รับการรับรองเป็นพันธุ์แนะนำของกรมวิชาการเกษตร ตั้งชื่อว่า **พันธุ์ปาล์มน้ำมันลูกผสมสุราษฎร์ธานี 1 - 6** ทั้งนี้เพื่อลดการนำเข้าจากต่างประเทศ นอกจากนี้เพื่อให้เกษตรกรรายย่อยได้มีโอกาสซื้อต้นกล้า (Seedling) ที่ได้มาตรฐาน จากแหล่งที่เชื่อถือได้ และมีราคาถูกไปปลูกเพื่อลดต้นทุนการผลิตและเพิ่มผลผลิต

สำหรับในงานวิจัยชิ้นนี้ทางผู้วิจัยได้เลือกปาล์มน้ำมันพันธุ์สุราษฎร์ธานี 2 (ภาพประกอบ 2-5) จากศูนย์วิจัยปาล์มน้ำมันสุราษฎร์ธานี กรมวิชาการเกษตร ทำการทดลองเนื่องจากเป็นพันธุ์ที่ได้มาตรฐาน ให้น้ำมันต่อหน่วยพื้นที่สูงที่สุดและยังมีลักษณะลำต้นที่เตี้ยอีกด้วย รายละเอียดดังตารางที่ 2-2 ปาล์มน้ำมันพันธุ์สุราษฎร์ธานี 2 เป็นพันธุ์ผสมระหว่างเคล็ดูรา (Deli dura) และลามี่ (La me)



ภาพประกอบ 2-5 ปาล์มน้ำมันพันธุ์สุราษฎร์ธานี 2

เคลิคูราเป็นพันธุ์คูรา (Dura) ที่แหล่งปรับปรุงพันธุ์ปาล์มทั่วโลกนิยมใช้เป็นแม่พันธุ์ แหล่งพันธุ์นี้มีประวัติว่าได้นำมาจากแอฟริกาเมื่อปี 1848 ปลูกที่สวนพฤกษศาสตร์ที่เมืองเดลี (Delhi) ประเทศอินโดนีเซีย จึงเรียกชื่อว่าเคลิคูรา ตามชื่อเมืองในปี 1922 ลักษณะสำคัญ คือให้ผลผลิตน้ำมันสูง

ลามิมีการปรับปรุงพันธุ์ที่เมืองลามิ ประเทศไอวอรี โคสต์ ลักษณะของลูกผสมที่มีพ่อพันธุ์เป็นกลุ่มลามิ จะมีต้นเตี้ย ผลเล็ก มีลักษณะเป็นรูปหยดน้ำ ทะลายมีขนาดเล็ก กะลาหนากว่าลูกผสมอื่นๆ ขนาดเมล็ดในเล็กแต่เปอร์เซ็นต์น้ำมันสูง ลักษณะเด่น คือ ก้านทะลายยาว ทำให้การเก็บเกี่ยวง่าย ประเทศไอวอรี โคสต์ผลิตลูกผสม เดลี x ลามิ จำนวน [15]

ตารางที่ 2-2 พันธุ์ปาล์มน้ำมันลูกผสมสุราษฎร์ธานี 2 เคลี x ลามี

ผลผลิตทะลายสดเฉลี่ย (กก. ต่อไร่ต่อปี)	3,617
ผลผลิตทะลายสดสูงสุด (กก.ต่อไร่ต่อปี)	5,020
ผลผลิตทะลายสดต่ำสุด (กก. ต่อไร่ต่อปี)	2,681
น้ำมันต่อทะลาย (เปอร์เซ็นต์)	23
ผลผลิตน้ำมันดิบ (กก. ต่อไร่ต่อปี)	839
เปลือกนอกสดต่อผล (เปอร์เซ็นต์)	76
กะลาต่อผล (เปอร์เซ็นต์)	13
เนื้อในต่อผล (เปอร์เซ็นต์)	10
ความยาวทางใบอายุ 9 ปี (ซม.)	48
ลักษณะเด่น	ให้ผลผลิตสม่ำเสมอ ก้านทะลายยาวและ เก็บเกี่ยว ง่าย

2.1.6. ระบบตลาดปาล์มน้ำมัน : จังหวัดสุราษฎร์ธานี

จังหวัดสุราษฎร์ธานีเป็นจังหวัดที่มีพื้นที่ปลูกปาล์มมากเป็นลำดับที่ 2 ของประเทศรองจากจังหวัดกระบี่ จากการศึกษาระบบตลาดปาล์มน้ำมันของจังหวัดสุราษฎร์ธานีพบว่าเกี่ยวข้องกับ 4 ฝ่ายหลักคือเกษตรกรผู้ผลิตปาล์มสด ลานเท โรงสกัดน้ำมันปาล์มดิบ และโรงกลั่นน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์

การศึกษาระบบตลาดปาล์มน้ำมันของจังหวัดสุราษฎร์ธานีครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสำรวจวิถีการตลาดและต้นทุนการตลาดปาล์มน้ำมันของเกษตรกร ลานเท และโรงสกัด จากการเก็บรวบรวมข้อมูลโดยการสัมภาษณ์เกษตรกร เจ้าของลานเท และโรงสกัดที่ตั้งอยู่ใน 3 อำเภอหลัก ได้แก่อำเภอพระแสง พุนพิน และท่าชนะ ประกอบด้วยเกษตรกรจำนวน 289 ราย (ประมาณ 1 เปอร์เซ็นต์ ของประชากร) ลานเทจำนวน 29 ราย (ประมาณ 15 เปอร์เซ็นต์ ของประชากร) และผู้ประกอบการโรงสกัดน้ำมันปาล์มจำนวนตัวอย่าง 9 ราย (ประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ ของประชากร) มีประเด็นผลการศึกษาน่าสนใจดังนี้

หลังจากเก็บเกี่ยวผลปาล์มสดแล้ว เกษตรกรต้องนำส่งโรงงานสกัดเพื่อแปรรูปเป็นน้ำมันโดยมีทางเลือกเพียง 2 ช่องทางเท่านั้นในการขายผลผลิตคือ 1) การขายผ่านลานเท (73 เปอร์เซ็นต์ ของประชากร) เหมาะกับเกษตรกรรายเล็กที่ไม่มีรถของตนเองเนื่องจากความสะดวกในการขนส่ง หรือ

2) ขายตรงให้โรงงานสกัด (27 เปอร์เซ็นต์ ของประชากร) เกษตรกรรายใหญ่นิยมขายตรงให้โรงงานสกัดเนื่องจากความน่าเชื่อถือ และราคาที่สูงกว่า

ราคาซื้อขายปาล์มสดจะถูกกำหนดโดยลานเทและโรงสกัด การอ้างอิงราคามาจากหลาย ๆ ปัจจัยเช่น ราคาของกลุ่มแข่ง ราคาน้ำมันปาล์มดิบที่โรงกลั่นรับซื้อ ความสุกของผลปาล์ม ขนาดทะลาย ความสดและพันธุ์ปาล์ม เป็นต้น ทั้งนี้พบว่าเกษตรกรส่วนใหญ่ (72 เปอร์เซ็นต์) จะได้รับราคาขายปาล์มเท่ากับราคาประกาศหน้าสถานที่รับซื้อ เกษตรกร 7 เปอร์เซ็นต์ ได้ราคาสูงกว่าราคาประกาศ เนื่องจากเป็นลูกค้าประจำและมีปาล์มคุณภาพดี ส่วนเกษตรกรที่ได้รับราคาขายต่ำกว่าราคาประกาศ (1 เปอร์เซ็นต์) มักเป็นเกษตรกรรายเล็กที่มีปัญหาคุณภาพปาล์มไม่ดี

ระบบตลาดปาล์มน้ำมันจังหวัดสุราษฎร์ธานีและระบบตลาดปาล์มน้ำมันของทั้งประเทศใช้มาตรฐานการรับซื้อผลปาล์มแบบเดียวกันนั่นคือการให้ราคาขึ้นกับน้ำหนักปาล์มเป็นหลัก รายได้ที่ผู้ขายได้รับจึงไม่ผูกพันกับคุณภาพปาล์มที่ขาย เกษตรกรและผู้ประกอบการลานเทจึงไม่เกิดแรงจูงใจในการพัฒนาหรือรักษาคุณภาพปาล์มสด เพื่อส่งต่อไปให้โรงงานสกัดน้ำมัน การศึกษาเพื่อกำหนดขึ้นคุณภาพปาล์มและและราคาซื้อขายตามขึ้นคุณภาพที่เหมาะสมจะเป็นแรงจูงใจที่สำคัญในการพัฒนาคุณภาพปาล์มทั้งระบบทั้งในส่วนเกษตรกรที่จะพัฒนาคุณภาพผลผลิต แรงงานจ้างเก็บเกี่ยวที่จะเก็บเกี่ยวผลปาล์มอย่างเหมาะสมไม่เก็บปาล์มดิบ ตลอดจนลดปัญหาการบ่มปาล์มในระดับลานเทเพื่อให้ได้รับราคาขายที่สูงขึ้น [2]

2.2. คลื่นอัลตราโซนิคสำหรับการเกษตร

2.2.1. คลื่นอัลตราโซนิคสำหรับการเกษตร

การนำคลื่นอัลตราโซนิคไปประยุกต์ใช้งานทางด้านการเกษตรมีความแตกต่างจากทางด้านการแพทย์และวัสดุอุตสาหกรรมอยู่ไม่น้อย สาเหตุหลักของการลดลงของสัญญาณเมื่อใช้กับผักผลไม้คือการเลี้ยวเบน และเนื้อเยื่อที่มีช่องว่างทำให้ยากในการตีความข้อมูลของสัญญาณ การลดลงของสัญญาณและข้อมูลของโดเมนความถี่ถูกใช้บ่อยทางด้าน โรงงานและด้านการแพทย์ นิยมใช้ในช่วงความถี่ 0.5-30 MHz ซึ่งยากในการนำไปประยุกต์ใช้ทางด้านการเกษตร [10]

2.2.2. คุณสมบัติของผลไม้ที่เกี่ยวข้องกับคุณสมบัติของคลื่นอัลตราโซนิค

การเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของผัก และผลไม้เป็นกระบวนการทางธรรมชาติที่เกิดขึ้นในระหว่างการเจริญเติบโต หลากๆคุณสมบัติทางด้านฟิสิกส์และเคมีฟิสิกส์จะปรากฏในช่วงเวลาเหล่านี้ เช่น ความแข็งถูกกำหนดเป็นตัวแปรหลักในการกำหนดความแก่อ่อนของผัก และผลไม้ นอกจากนี้การเปลี่ยนแปลงทางเคมีก็เป็นตัวแปรที่สำคัญในการบอกระดับความแก่อ่อนของผัก และผลไม้เช่นกัน

เมื่อกระบวนการตรวจวัดทางเสียงถูกใช้ร่วมกับการวัดทางเคมีฟิสิกส์อื่นๆ เช่น ความแข็ง เปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้ง ปริมาณน้ำมัน และความเป็นกรด ความเชื่อมโยงระหว่างพารามิเตอร์เสียง และคุณสมบัติทางเคมีฟิสิกส์จะช่วยประเมินผลทางอ้อมของเวลาเก็บเกี่ยว และระยะเวลาการเก็บรักษาที่เหมาะสม [10] ตัวอย่างดังในตารางที่ 2-3

ตารางที่ 2-3 ความเกี่ยวเนื่องระหว่างคุณสมบัติทางเคมีฟิสิกส์ของผักและผลไม้ต่อพารามิเตอร์ของคลื่นอัลตราโซนิก

Fruit	Fruit-quality	ultrasonic parameter
อาโวคาโด	ช่วงเวลาเก็บ (Shelf-life) ความแข็ง (Firmness) เปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้ง(Dry weight percentage) ปริมาณน้ำมัน (Oil content) และความสุก (Ripeness)	การลดทอนและความเร็ว
แอปเปิ้ล	ความเป็นแป้ง (Mealiness) การตรวจสอบความเสียหาย และรอยช้ำ(Damage detection and bruising)	การลดทอน
มะม่วง	ความสุก ความแข็ง ของแข็งละลายน้ำ (Total soluble solid) ความเป็นกรด (Acidity) และความเสียหายของผักและผลไม้ของการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ (Chilling injury)	การลดทอน
มะเขือเทศ	ความแข็ง ของแข็งละลายน้ำ และความเสียหายของผักและผลไม้ของการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ	การลดทอน
แตงโม	ความสุก และของแข็งละลายน้ำ	การลดทอนและความเร็ว
แครอท	การเก็บรักษา และการสูญเสีย ^{น้ำ} (Water loss and storage)	การลดทอนและความเร็ว
ส้ม	ความชุ่มชื้น ^{น้ำ} และความบวมของผิวส้ม (Turgidity and hydration of the orange peel)	การลดทอนและความเร็ว
ลูกแพร์	ความสุก	การลดทอน

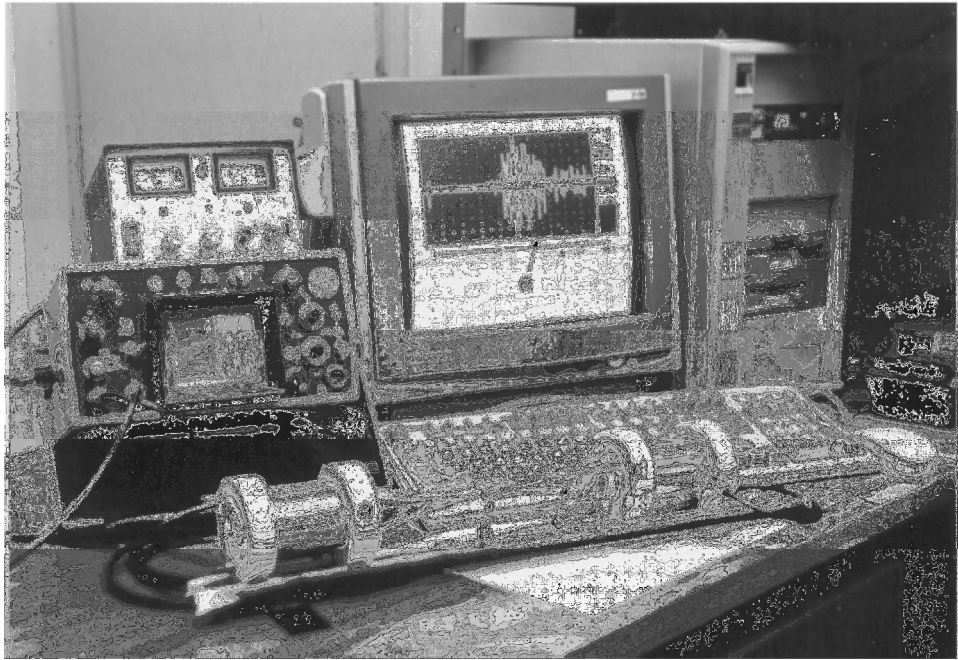
2.2.3. ระบบอัลตราโซนิกที่ใช้ในการวัด

วิธีการวัดโดยใช้คลื่นอัลตราโซนิกได้รับการพัฒนา แก้ไขและใช้ตามลักษณะของกระบวนการก่อนและหลังการเก็บเกี่ยวที่ซึ่งคุณสมบัติที่ต้องการทำการวัดต้องมีความเกี่ยวเนื่องกัน การศึกษาต่างๆมีอย่างต่อเนื่องเพื่อปรับปรุงระบบอัลตราโซนิกให้สามารถประเมินการตอบสนองทางชีวภาพของวัสดุได้ อย่างไรก็ตามแต่ละระบบก็จะมีองค์ประกอบพื้นฐานดังนี้คือ เครื่องกำเนิดสัญญาณ (Pulser) หัวส่ง (Transducer) และหน่วยประมวลผล (Microprocessor)

ในรายงานนี้นำเสนอระบบแบบสัมผัสเดียว (Single-touch) โดยต้นแบบของระบบนี้ถูกใช้ในด้านอุตสาหกรรมและการแพทย์และถูกออกแบบให้วางไว้บนโต๊ะ ต่อมาได้ถูกแก้ไขให้สามารถตรวจวัดเนื้อเยื่อจากผักและผลไม้ อย่างไรก็ตามการวัดเหล่านั้นได้ถูกพิจารณาว่าเป็นตรวจสอบแบบทำลาย โดยระบบนี้ประกอบไปด้วย 2 หัวส่ง โดยตัวแรกจะเป็นตัวส่งสัญญาณ ตัวที่สองจะเป็นตัวรับสัญญาณในโหมดส่งผ่าน (Through-transmission mode) การใช้งานของโหมดนี้จะเป็นการแตะเพียงครั้งเดียว ในขณะที่มีการทำงานของระบบ สัญญาณทางไฟฟ้าจะถูกสร้างจากเครื่องกำเนิดสัญญาณอัลตราโซนิกส่งต่อไปยังหัวส่งซึ่งสัมผัสกับวัตถุที่ต้องการทดสอบ และทำหน้าที่แปลงคลื่นไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดสัญญาณอัลตราโซนิกให้กลายเป็นคลื่นกลส่งผ่านเข้าไปในวัตถุที่ต้องการทดสอบ การสะท้อนจากการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติเชิงกายภาพของวัตถุ การหลบ การหักเหภายในหรืออีกฟากของวัตถุจะถูกตรวจพบโดยหัวส่งตัวที่สอง (ในวิธีการคลื่นสะท้อนหรือส่งผ่านตามลำดับ) และจะถูกส่งต่อไปยังหน่วยประมวลผลเพื่อกำหนดคุณสมบัติทางเสียงของวัตถุ

การศึกษาจำนวนในงานประยุกต์ทางด้านเกษตรได้ใช้ระบบเหล่านั้นเหมือนกับที่ใช้ทางด้านอุตสาหกรรมและการแพทย์ ระบบก็ได้ทำการปรับแก้ไขระบบให้เหมาะในการใช้งานกับผักและผลไม้ที่มีการลดทอนสูงมากกว่า ตัวอย่างของระบบอัลตราโซนิกแบบสัมผัสเดียวดังภาพประกอบ 2-6

จากภาพประกอบ 2-6 (a) และ (d) คือหัวส่งตัวส่งและตัวรับที่มีการใช้งานกันอย่างทั่วไปในการศึกษาเนื้อเยื่อของผักและผลไม้ ฮอร์น (c) แบบเอกโพเนนเชียล (exponential) ได้ถูกนำมาใช้งานในระบบส่วนใหญ่แทนเพื่อลดขนาดของพื้นผิวในการปล่อยและรับคลื่นอัลตราโซนิกในแต่ละหัวส่งเพื่อให้เหมาะสมกับผิวสัมผัสของผลไม้ (b) และสัญญาณตอบสนองคลื่นอัลตราโซนิกถูกนำไปวิเคราะห์บนคอมพิวเตอร์ (e)



ภาพประกอบ 2-6 ระบบอัลตราโซนิกแบบสัมผัสเดียวสำหรับการวัดเนื้อเยื่อ

อย่างที่ได้อธิบายไปแล้วว่า มันเป็นไปได้ในการตรวจสอบผิวก และผลไม้อย่างไม่ทำลายผลผลิตจากระบบทางอุตสาหกรรมและการแพทย์ที่มีอยู่เดิม การศึกษาต่อมาค้นพบว่าความถี่เป็นปัจจัยสำคัญในการทดสอบเนื้อเยื่อผลไม้ มีรายงานว่าการใช้ความถี่ที่ต่ำกว่าเดิม (100-500 kHz) ด้วยพลังงานที่สูงในการปล่อยคลื่นอัลตราโซนิกจะเป็นประโยชน์ในการทดสอบผิวกและผลไม้อย่างไม่ทำลายผลผลิต ต่อมาได้มีการนำอุปกรณ์อัลตราโซนิกความถี่ต่ำพลังงานสูงเพื่อแก้ปัญหาการลดทอนที่สูงสำหรับเนื้อเยื่อของผิวกและผลไม้อย่างบนโหมคส่งผ่าน โหมคนี้แนะนำให้ใช้ความถี่ต่ำกว่า 100 kHz เนื่องจากโหมคคลื่นสะท้อนจะสร้างสัญญาณรบกวนจำนวนมาก โดยงานวิจัยชิ้นนี้สามารถวัดค่าพารามิเตอร์ของเสียงทั้งสามค่าดังนี้การสูญเสียของคลื่นสะท้อน (Reflective loss) ความเร็ว (Velocity) และการลดทอน (Attenuation) ได้ [10]

2.2.4. สมการแรงดันของคลื่นอัลตราโซนิกภายในวัสดุ

จากการรวมสมการการลดทอนของคลื่นภายในวัสดุลงในโมเดลของการกระจายแรงดันเชิงมุมดั้งเดิมเราจะได้ (2.1) [15]

$$P(r, \alpha, \theta) = \frac{\rho_0 \pi^2 D^2 f^2 A_0 J_1(\beta \sin(\theta))}{r \beta \sin(\theta)} e^{-\alpha r} \quad (2.1)$$

เมื่อ $P(r, \alpha, \theta)$ คือแรงดันของคลื่นอัลตราโซนิกภายในวัสดุในจุดไกล r θ และ α คือระยะทาง มุมและการลดทอนของคลื่นในวัสดุในระบบอ้างอิงแกนแบบโพลาคออดิเนต ρ_0 และ

A_0 คือความหนาแน่นของวัสดุและการกระจัดของคริสตัลตามลำดับ $J_1(\beta \sin(\theta))$ คือเบสเซลฟังก์ชัน β คือไดเร็กทิวิตีพารามิเตอร์ของวัสดุ

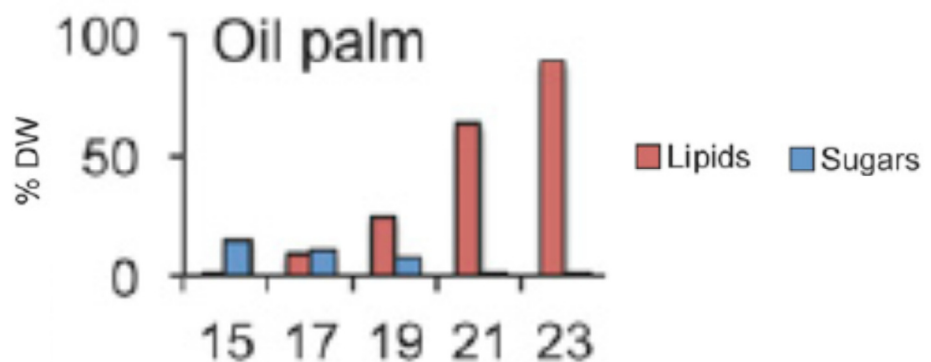
$$\beta = \pi\left(\frac{D}{\lambda}\right) = \pi\left(\frac{Df}{c}\right) \quad (2.2)$$

D คือเส้นผ่านศูนย์กลางกลางของคริสตัล λ f และ c คือความยาวคลื่นเสียง ความถี่ของคริสตัลและความเร็วคลื่นในวัสดุตามลำดับ

สมการการลดทอนของคลื่นภายในวัสดุ (2.1) จะถูกใช้สำหรับการออกแบบการทดลองและการวิเคราะห์ผลลัพธ์

2.2.5. แรงดันของคลื่นอัลตราโซนิกและปริมาณน้ำมันในผลปาล์ม

เมื่อผลปาล์มมีอายุมากขึ้นปริมาณน้ำมันจะมีค่ามากขึ้นเนื่องจากกระบวนการทางเคมีในผลปาล์มดังในภาพประกอบ 2-7 แกนตั้งคือเปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้ง แกนนอนคือจำนวนสัปดาห์หลังการผสมเกสร กล่าวคือเอนไซม์ในผลปาล์มจะทำการย่อยหมู่คาร์บอนในผลปาล์มให้เปลี่ยนเป็นน้ำมัน [16] ซึ่งเมื่อปริมาณน้ำมันในผลปาล์มมีค่ามากขึ้นค่าความหนาแน่นและความเร็วคลื่นเสียงที่ผ่านผลปาล์มจะมีค่าเปลี่ยนแปลง ซึ่งส่งผลต่อแรงดันเสียงตามสมการที่ (2.1) นอกจากนี้ปริมาณน้ำมันที่มากขึ้นในผลปาล์มยังส่งผลให้คลื่นที่เดินทางผ่านผลปาล์มมีแรงดันที่ลดลงตามกฎการสะท้อนของคลื่นที่เคลื่อนที่ผ่านตัวกลาง 2 ชนิด [17]



ภาพประกอบ 2-7 ปริมาณน้ำมันและน้ำตาลในผลปาล์ม [16]

2.3. ระบบเครือข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Network, ANN)

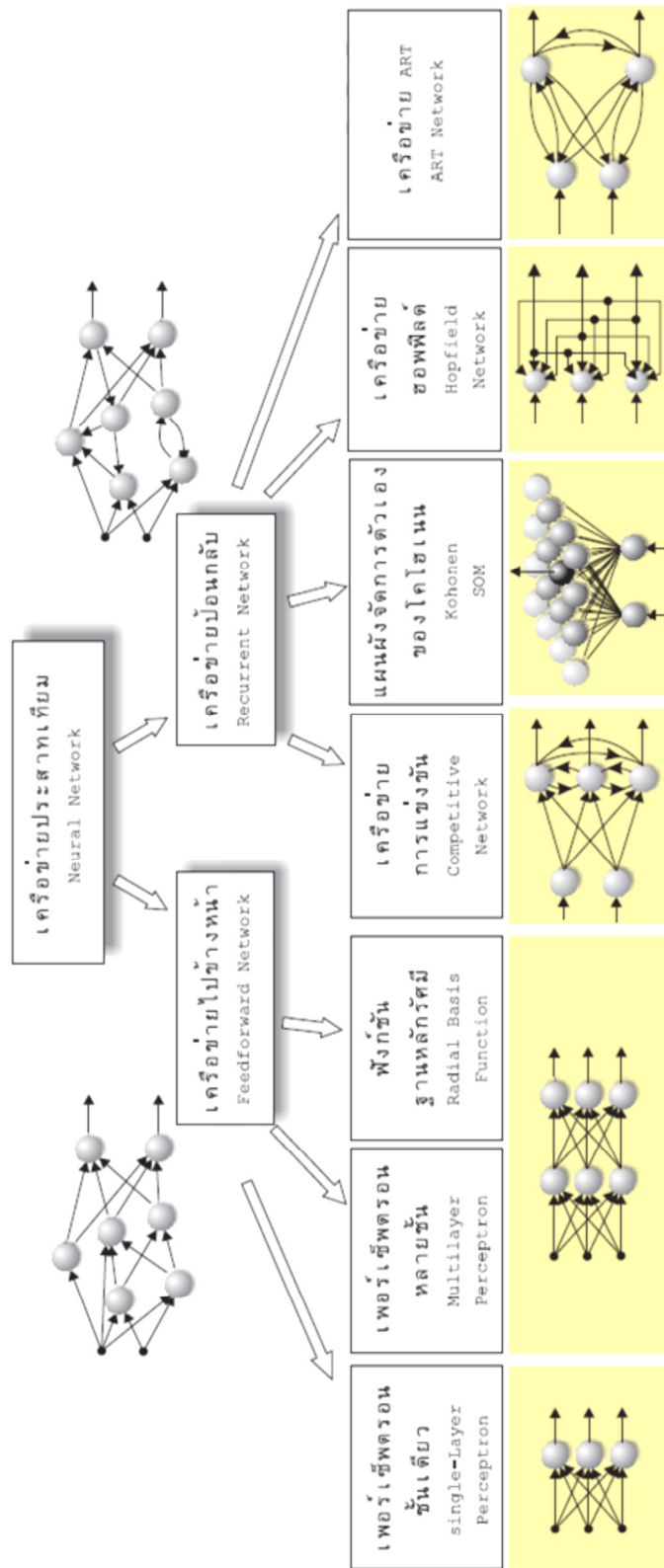
เป็นเครือข่ายที่ได้ถูกพัฒนาคิดค้นจากการทำงานของสมองมนุษย์ ซึ่งมีความสามารถในการปรับตัวเอง (Adaptive) ไม่เป็นเชิงเส้น (Nonlinear) และทำงานแบบขนาน (Parallel) ได้ [18]

2.3.1. ชนิดของเครือข่ายประสาทเทียม

นอกเหนือไปจากสถาปัตยกรรมของเครือข่ายประสาทเทียมแล้ว การแบ่งชนิดของเครือข่ายประสาทเทียมสามารถทำได้หลายวิธี เช่น วิธีการฝึกสอน วิธีการเรียนรู้การประยุกต์ใช้งาน และชนิดของอินพุต ฯลฯ ดังนั้นจึงไม่มีวิธีที่แน่นอนในการจัดกลุ่มชนิดของเครือข่ายประสาทเทียม เมื่อพิจารณาสถาปัตยกรรมเครือข่ายประสาทเทียมแล้ว จะสามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภทคือ (ภาพประกอบ 2-8)

เครือข่ายไปข้างหน้า (Feed-forward network) ที่เป็นที่รู้จักและนิยมนำใช้กันมากที่สุดคือเครือข่ายเพอร์เซ็ปตรอนแบบหลายชั้น (Multi-layer perceptron) ซึ่งมีการเชื่อมต่อระหว่างชั้นเป็นแบบทิศทางเดียว คือมีทิศทางจากอินพุตไปยังเอาต์พุต

เครือข่ายป้อนกลับ (Recurrent network) เป็นเครือข่ายที่มีการเชื่อมต่อภายในระหว่างนิวรอนในรูปแบบป้อนกลับหรือวงรอบ



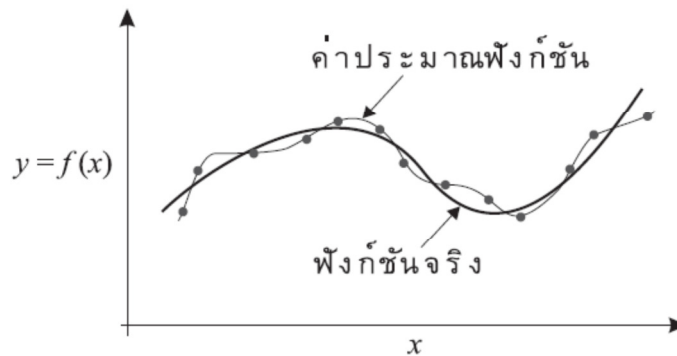
ภาพประกอบ 2-8 การแบ่งชนิดเครือข่ายตามโครงสร้างสถาปัตยกรรม

2.3.2. ตัวอย่างการประยุกต์ใช้งานระบบเครือข่ายประสาทเทียม

การจดจำรูปแบบ (Pattern recognition) งานของการจดจำรูปแบบคือการกำหนดรูปแบบ อินพุตให้อยู่ในรูปของเวกเตอร์ลักษณะ เช่นการจดจำลายมือตัวอักษร การจดจำเสียง เป็นต้น

การจัดกลุ่ม (Clustering) เป็นการเรียนรู้แบบไม่มีการฝึกสอน โดยระบบจะทำการค้นหาความ คล้ายระหว่างข้อมูลและทำการจับกลุ่มรูปแบบที่คล้ายกันให้อยู่ในกลุ่มเดียวกัน

การประมาณค่าฟังก์ชัน (Function approximation) คือการหาค่าประมาณ $y' = f'(x)$ ของ ฟังก์ชัน $f(x)$ ที่ซึ่งให้อาตัพุดตามข้อมูลรูปแบบสำหรับการเรียนรู้ดังแสดงในภาพประกอบ 2-9 ใน การสร้างแบบจำลองของหลายๆ ระบบในงานทางด้านวิศวกรรมจำเป็นจะต้องใช้การประมาณค่า ฟังก์ชันนี้



ภาพประกอบ 2-9 ตัวอย่างการประมาณค่าฟังก์ชัน จุดในรูปคือข้อมูลรูปแบบสำหรับการเรียนรู้

การทำนาย (Prediction) การทำนายผลล่วงหน้าคือการทำนายค่าของ $y(t+1)$ ซึ่งเป็นค่า ณ เวลา ในอนาคต ตัวอย่างการประยุกต์ใช้งานเช่นการทำนายผลดัชนีตลาดหุ้น หรือการพยากรณ์อากาศ ล่วงหน้า

การหาค่าที่เหมาะสมที่สุด (Optimization) คือการหาค่าตอบที่เป็นไปตามเงื่อนไขข้อบังคับ และให้ ค่าการประเมินจากฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ดีที่สุด (สูงสุดหรือต่ำสุด)

ระบบควบคุม (Control system) ระบบควบคุมถือเป็นงานที่นำเอาระบบเครือข่ายประสาท เทียมมาประยุกต์ใช้งานมากที่สุดงานหนึ่ง เช่นระบบควบคุมแบบปรับตัวได้

2.3.3. วิเคราะห์อัลกอริทึมของระบบเครือข่ายประสาทเทียม

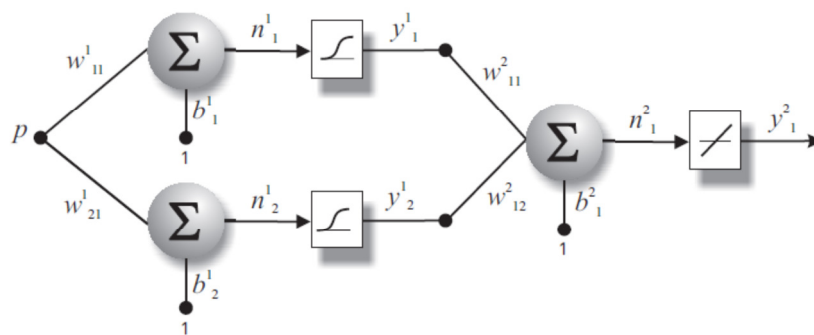
ตารางที่ 2-4 อัลกอริทึมต่างๆของระบบเครือข่ายประสาทเทียม

วิธีการ	คำอธิบาย	ข้อดี	ข้อเสีย	การประยุกต์ใช้งาน	กฎการเรียนรู้
เพอร์เซ็ปตรอนชั้นเดียว	เครือข่ายประสาทเทียมแบบชั้นเดียวจะมีกันิวรอนก็ได้	ง่าย	เส้นแบ่งพื้นที่เป็นแบบเส้นตรง ใช้กับ เอ็กซ์คลูซิฟออร์ (xor) ไม่ได้	ด้านการจดจำรูปแบบและจำนวนกลุ่มที่เพอร์เซพตรอน S นิวรอนสามารถแยกได้คือ 2^S	เฮบบเบียน (Hebbian) และวิดรอวฮอฟฟ์ (Widrow Hoff)
เพอร์เซ็ปตรอนหลายชั้น	เครือข่ายประสาทเทียมแบบหลายชั้น	สามารถสร้างเส้นแบ่งพื้นที่แบบไม่เป็นเส้นตรงได้	ต้นแบบที่นำมาสอนต้องเหมาะสม	ด้านการจดจำรูปแบบและการประมาณค่าฟังก์ชัน	การแพร่กลับ (Back-Propagation)
ฟังก์ชันฐานหลักตรีศมี	เครือข่ายฟังก์ชันฐานตรีศมีคล้ายเครือข่ายเพอร์เซ็ปตรอนแบบหลายชั้น แต่มีชั้นซ่อนเริ่มเพียงชั้นเดียว	โครงสร้างไม่ซับซ้อนเร็วกว่าเครือข่ายเพอร์เซ็ปตรอนแบบหลายชั้น และมีความแม่นยำสูงมาก	ใช้จำนวนนิวรอนมากกว่าเครือข่ายเพอร์เซ็ปตรอนแบบหลายชั้น	การประมาณค่าฟังก์ชัน	จุดศูนย์กลางคงที่และเกรเดียนต์เฟ้นดุ่ม
เครือข่ายการแข่งขัน	การเรียนรู้แบบแข่งขันไม่ต้องมีผู้ฝึกสอนเป็น	ไม่ต้องมีผู้สอน	การเลือกขนาดของค่าการเรียนรู้ที่เหมาะสม, การเรียนรู้	การจัดกลุ่ม	การเรียนรู้แบบแข่งขัน

	เครือข่ายประเภทจัดการตัวเอง		ของนิเวรอนที่อยู่ห่างจากอินพุตเกินไปจะมีโอกาสน้อยที่จะชนะการแข่งขันจำนวนกลุ่มของการคัดแยกจะมีจำนวนเท่ากับนิเวรอนและไวต่อสัญญาณรบกวน		
เครือข่ายเออาที	เป็นเครือข่ายแบบที่สามารถปรับปรุงน้ำหนักประสาทไปตามสถานะแวดล้อมได้หรือเรียกว่าสภาพพลาสติก	สามารถคัดแยกอินพุตใหม่ๆที่ไม่เหมือนต้นแบบได้รองรับความไม่เสถียรภาพและไม่มีผลต่ออินพุตที่มีความหลากหลายหรือกระจาย	ค่าพารามิเตอร์สอดคล้องที่ทำให้อาจมีผลต่อความไวต่อสัญญาณรบกวนและปัญหาเสถียรภาพ	การติดตาม (Tracking) และการคัดแยกลักษณะเด่น (Feature extracting)	-

2.3.4. การประมาณค่าฟังก์ชันด้วยเครือข่ายแบบแพร่กลับ

ในการประมาณค่าฟังก์ชัน $y=f(x)$ เมื่อ x และ y คืออินพุตและเป้าหมายที่ต้องการตามลำดับ เครือข่ายสามารถมีอินพุตได้มากกว่า 1 อินพุต โดยปกติแล้วเครือข่ายที่ไปข้างหน้า 2 ชั้น ก็เพียงพอในการประมาณค่าฟังก์ชันหากมีการเลือกจำนวนนิวรอนและฟังก์ชันถ่ายโอนที่เหมาะสมดังในภาพประกอบ 2-10 ซึ่งเป็นเครือข่ายแบบ 2 ชั้น ในชั้นแรกมี 2 นิวรอนซึ่งใช้ฟังก์ชันถ่ายโอนแบบซิกมอยด์ล็อก และในชั้นเอาต์พุตมีเพียง 1 นิวรอนซึ่งใช้ฟังก์ชันถ่ายโอนแบบเส้นตรง



ภาพประกอบ 2-10 ตัวอย่างเครือข่ายสำหรับการประมาณค่าฟังก์ชันแบบ 2 ชั้น

อย่างไรก็ตามจำนวนชั้นและจำนวนของนิวรอนมีผลโดยตรงต่อประสิทธิภาพของเครือข่าย โดยทั่วไปแล้วเครือข่ายที่มีจำนวน 1 ชั้นซ่อนเร้นสามารถใช้ประมาณค่าฟังก์ชันต่อเนื่อง (Continuous function) ใดๆได้ ในขณะที่เครือข่ายที่มี 2 ฟังก์ชันซ่อนเร้นสามารถใช้ประมาณค่าฟังก์ชันที่ไม่ต่อเนื่อง (Discontinuous function) ใดๆได้ ดังในตารางที่ 2-5

ตารางที่ 2-5 ประสิทธิภาพของเครือข่ายบนพารามิเตอร์แบบต่างๆ

เครือข่าย	จำนวนรอบ	ค่าความผิดพลาดกำลังสองเฉลี่ย	ค่าเกรเดียน
1-2-1	27	0.00244106	$1.44814e^{-010}$
1-4-1	500	0.00239661	$2.61261e^{-006}$
1-6-1	500	0.000711534	$2.61261e^{-006}$
1-10-1	500	0.000394703	$3.05478e^{-005}$
1-5-3-1	500	$6.03452e^{-005}$	0.00448673
1-6-4-1	500	$2.7649e^{-008}$	0.000107267

2.3.5. การวิเคราะห์การใช้งานเครือข่ายแบบแพร่กลับ

สิ่งที่จำเป็นในการวิเคราะห์การใช้งานเครือข่ายแบบแพร่กลับคือการเลือกพารามิเตอร์ของเครือข่าย การลู่เข้าของการฝึกสอน (Convergence) และการทำให้เป็นกรณีทั่วไป (Generalization) พารามิเตอร์ของเครือข่ายเป็นสิ่งแรกที่ใช้ต้องคำนึงถึง ถ้ากระบวนการฝึกสอนไม่มีแนวโน้มการลู่เข้าสู่เป้าหมายที่ต้องการ สามารถกล่าวได้ว่าเครือข่ายไม่มีการเรียนรู้ และการฝึกสอนที่มีข้อมูลจำกัดให้สามารถใช้งานกับข้อมูลชุดอื่นได้นั้นคือสิ่งที่เราคาดหวัง

การเลือกพารามิเตอร์ของเครือข่าย

โครงสร้างของเครือข่ายมีผลโดยตรงต่อการประมาณค่าฟังก์ชันซึ่งขึ้นอยู่กับความซับซ้อนของฟังก์ชันที่ต้องการประมาณค่า เราสามารถเลือกที่จะปรับพารามิเตอร์ของเครือข่ายนั้นคือการหาจำนวนชั้นซ่อนเร้นและจำนวนนิวรอนให้เหมาะสม

การลู่เข้า

ในระหว่างการฝึกสอนค่าเกรเดียนต์จะมีค่าลดลง และสิ้นสุดเมื่อค่าเกรเดียนต์มีค่าประมาณศูนย์ ผลลัพธ์ที่ได้อาจไม่ใช่ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดก็ได้ เนื่องจากเกรเดียนต์เป็นศูนย์ ณ จุดที่เป็นคำตอบแบบวงแคบเฉพาะถิ่น สามารถแก้ไขได้โดยการกำหนดค่าโมเมนตัมให้สูงขึ้น สำหรับการกำหนดค่าคงที่การเรียนรู้จะแปรผันตรงกับความเร็และความผิดพลาด

การทำให้เป็นกรณีทั่วไป

ความสามารถในการทำให้เป็นกรณีทั่วไปได้นั้นคือการฝึกสอนด้วยจำนวนตัวอย่างที่จำกัด และสามารถครอบคลุมกรณีพิเศษเป้าหมายที่ไม่ใช่ตัวอย่างในชุดข้อมูลที่ฝึกสอนได้อย่างถูกต้อง จำนวนข้อมูลที่ใช้ในการฝึกสอนมีปริมาณที่แตกต่างกันไปตามความซับซ้อนของปัญหา

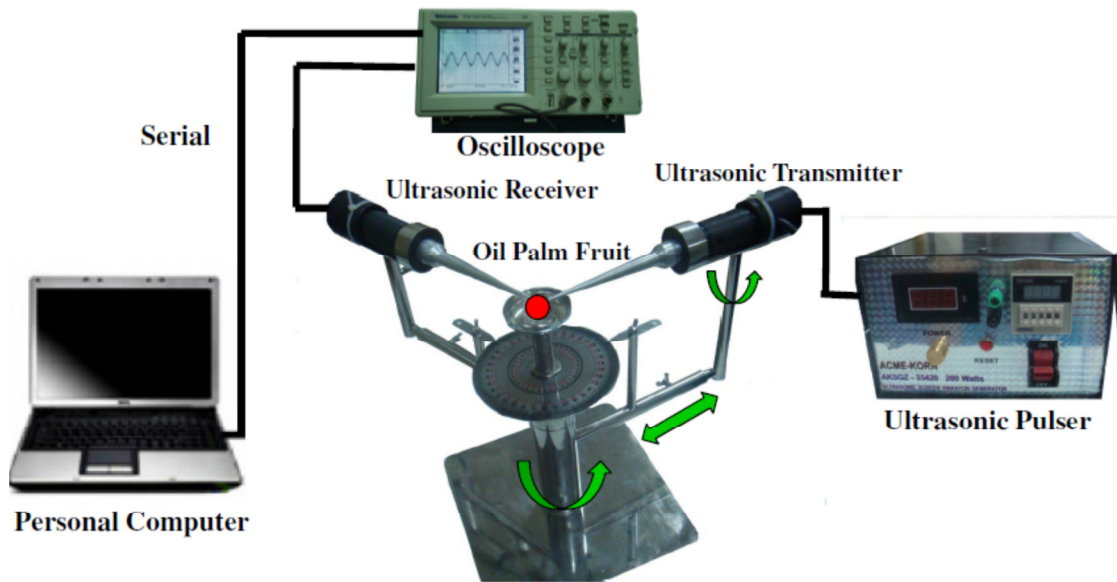
2.4. สรุป

ดังที่ได้กล่าวไปในเนื้อหาในบทนี้แนะนำเกี่ยวกับเรื่องปาล์มน้ำมันเพื่อเป็นพื้นฐานในการรู้จักปาล์ม น้ำมันในเบื้องต้น ในเพิ่มเติมยังได้กล่าวถึงเรื่องคลื่นอัลตราโซนิกสำหรับการเกษตรซึ่งได้รวบรวมเนื้อหาทางด้านการเตรียมอุปกรณ์การทดลองสำหรับการตรวจสอบน้ำมันปาล์มโดยใช้คลื่นอัลตราโซนิกและคุณสมบัติทางเคมีฟิสิกส์ของผลปาล์มที่ส่งผลกระทบต่อผลตอบสนองเชิงคลื่น สุดท้ายคือเรื่องระบบเครือข่ายประสาทเทียมซึ่งจะถูกนำไปใช้สร้างโมเดลความสัมพันธ์ระหว่างผลตอบสนองเชิงคลื่นอัลตราโซนิกกับปริมาณน้ำมันในผลปาล์ม

บทที่ 3

การออกแบบการทดลอง

3.1. การออกแบบการทดลอง



ภาพประกอบ 3-1 ระบบอัลตราโซนิก

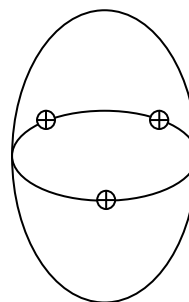
ในการศึกษาครั้งนี้หัวสั้น 40 kHz 1 คู่ถูกเลือกมาใช้ในการสร้างและรับสัญญาณ อัลตราโซนิก ที่ซึ่งป้อนให้กับระบบเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนของสัญญาณและมุมเฟส มุมระหว่างโพรบ (Probe) ทั้งคู่ถูกกำหนดคงที่ไว้ที่ค่า 120 องศา ระหว่างโพรบ ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนของสัญญาณและมุมเฟสถูกวัดที่ระยะ 15 มิลลิเมตรของระยะห่างระหว่างโพรบทั้งคู่ ระยะห่างระหว่างโพรบถูกวัดโดยคาลิปเปอร์ (Caliper) ในโหมดส่งผ่าน หัวสั้นตัวแรกทำหน้าที่เป็นตัวส่งสัญญาณ อัลตราโซนิกอีกตัวทำหน้าที่เป็นหัวสั้นตัวรับ สัญญาณอัลตราโซนิกจะถูกปล่อยไปที่เนื้อเยื่อปาล์ม และถูกวัด 3 ครั้งโดยมีตำแหน่งในการวัดดังในภาพประกอบ 3-2 สัญญาณอัลตราโซนิกที่ผ่านเนื้อเยื่อผลไม้จะถูกจับด้วยดิจิตอลออสซิลโลสโคป (Tektronix TDS210) และจากการใช้โปรแกรมของออสซิลโลสโคปจะสามารถแปลงสัญญาณให้อยู่ในรูปแบบเอกซ์เซล (Excel format) เพื่อนำไปประมวลผลในไมโครโปรเซสเซอร์ สัญญาณที่ได้รับจะถูกนำไปวิเคราะห์ที่ตอนบนซอร์ฟแวร์แมทแลบ (Matlab) ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนของสัญญาณจะถูกคำนวณจากสมการที่ (3.1) [17]

$$A = A_0 e^{-\alpha d} \quad (3.1)$$

เมื่อ A_0 และ A คือสัญญาณเข้าและออกตามลำดับ d คือระยะระหว่างโพรมและ α คือค่าสัมประสิทธิ์การลดทอน



(ก)



(ข)

ภาพประกอบ 3-2 (ก) ผลปาล์ม และ (ข) ตำแหน่งในการวัดคลื่นอัลตราโซนิกบนผลปาล์ม

3.2. การสกัดน้ำมันด้วยตัวทำละลาย

3.2.1. หลักการของการสกัดด้วยตัวทำละลาย

การสกัดด้วยตัวทำละลาย (Soxhlet extraction) เป็นวิธีการแยกสารโดยอาศัยสมบัติการละลายของสารในตัวทำละลาย หรือการใช้ตัวทำละลายที่เหมาะสมในการสกัดสารที่ต้องการออกจากของผสม หลักการคือการเลือกตัวทำละลายให้เหมาะสมกับสารที่ต้องการแยกนั้นคือตัวทำละลายสามารถละลายสารที่ต้องการสกัดได้ ไม่ละลายสารอื่นๆที่เราไม่ต้องการสกัด ทำปฏิกิริยากับสารที่เราต้องการสกัด สามารถแยกออกจากสารที่เราต้องการสกัดได้ง่าย ไม่เป็นพิษ และมีราคาถูก

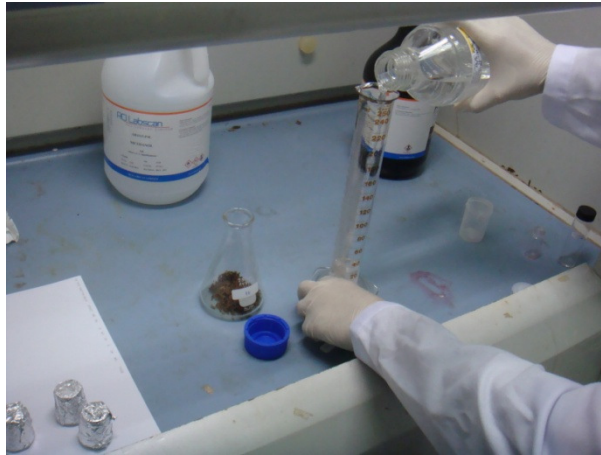
3.2.2. ขั้นตอนของการหาปริมาณไขมัน (Fat) รวมของผลปาล์มน้ำมัน

เตรียมตัวทำละลายไดคลอโรมีเทนต่อเมทานอล สัดส่วน 2 ต่อ 1 ปริมาตร 100 มล. จากนั้นทำการบดละเอียดและร่อนตัวอย่าง (ผลปาล์มน้ำมัน) ซึ่งน้ำหนักจะได้ น้ำหนักเนื้อเยื่อ (Tissue weight) และใส่ในขวดรูปชมพู่ จำนวน 1 ซ้ำ (เนื่องจากสารตัวอย่างมีปริมาณน้อย) ดังในภาพประกอบ 3-3



ภาพประกอบ 3-3 บดละเอียด

ผสมตัวอย่างด้วยตัวทำละลายปริมาตร 100 มล. ขั้นตอนนี้กระทำในตู้ดูดควันดังในภาพประกอบ 3-4



ภาพประกอบ 3-4 ผสมตัวอย่างด้วยตัวทำละลายในตู้ดูดควัน

ทำการเขย่าตัวอย่างที่มีตัวทำละลายผสมอยู่ด้วยเครื่องเขย่าแนวนอน (Horizontal shaker) ที่ความเร็ว 230 rpm เป็นเวลา 48 ชม. ดังในภาพประกอบ 3-5



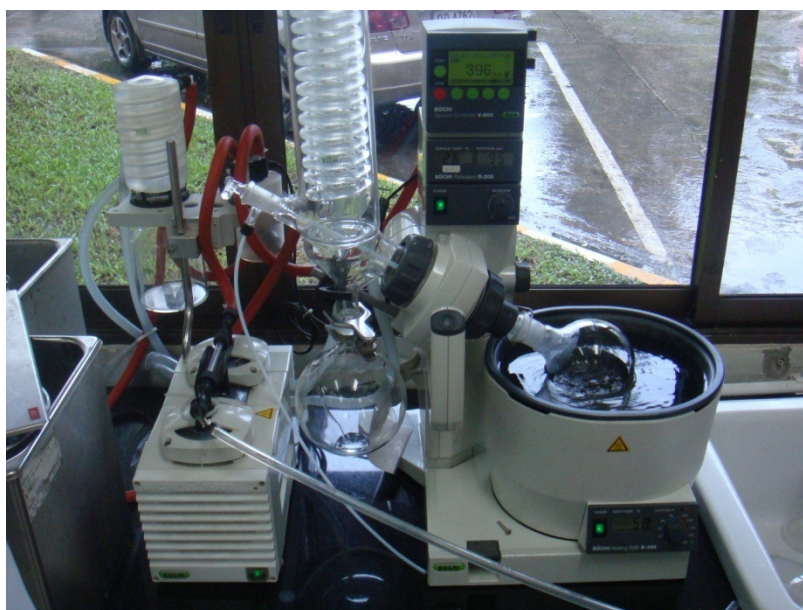
ภาพประกอบ 3-5 เขย่าตัวอย่างด้วยเครื่องเขย่าแนวนอน

เทส่วนสกัดที่ได้และนำไปกำจัดน้ำด้วยโซเดียมซัลเฟต (Na_2SO_4) แล้วกรองใส่ขวดกั้นกลมที่ทราบน้ำหนักแล้วดังในภาพประกอบ 3-6



ภาพประกอบ 3-6 ที่กรองและ โซเดียมซัลเฟต

นำไประเหยจนตัวทำละลายระเหยทั้งหมดด้วยเครื่องกลั่นแยกสาร (Rotary Evaporator) ที่อุณหภูมิ 40 °C จะได้ไขมันเหลือค้างในขวดดังในภาพประกอบ 3-7



ภาพประกอบ 3-7 เครื่องกลั่นแยกสาร

นำไขมันที่ได้ไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 80°C ทำให้เย็นในเครื่องกำจัดความชื้น (Desiccator) ดังในภาพประกอบ 3-8



(ก)

(ข)

ภาพประกอบ 3-8 (ก) ตู้อบ และ (ข) เครื่องกำจัดความชื้น

นำขวดที่ตัวทะเลาะระเหยหมดไปชั่งน้ำหนักน้ำน้ำหนักที่ได้มาคำนวณเปอร์เซ็นต์ไขมันดังสมการที่ (3.2)

$$\% \text{ Fat} = \frac{\text{Fat weight}}{\text{Tissue weight}} \times 100 \quad (3.2)$$

3.3. การหาความหนาแน่นของผลปาล์ม

ความหนาแน่น (Density, ρ) ของสารใด ๆ หมายถึงอัตราส่วนระหว่างมวล (Mass, M) และปริมาตร (Volume, V) ของสารนั้น โดยจะหาความหนาแน่นของสารใด ๆ ได้นั้นต้องทำการหามวลและปริมาตรก่อน มวลเป็นปริมาณเนื้อสารที่มีอยู่จริงและมวลของวัตถุจะมีค่าคงที่เสมอ มวลมีหน่วยได้หลายหน่วยเช่น กรัม และกิโลกรัม เป็นต้น การหามวลสามารถทำได้โดยการชั่ง

ปริมาตรมีหน่วยได้หลายหน่วย เช่น cm^3 m^3 เป็นต้น สำหรับการหาปริมาตรของวัสดุที่มีรูปทรงไม่เป็นเรขาคณิต สามารถทำได้โดยการนำวัตถุชนิดนั้นไปแทนที่น้ำในถ้วยเรก้าแล้วตวงหาปริมาตรของน้ำที่ล้นออกมา ซึ่งจะมีค่าเท่ากับปริมาตรของวัตถุนั้นตามหลักของอาร์คิมิดีสนั่นเอง หลักของอาร์คิมิดีสกล่าวว่า “ปริมาตรของของเหลวที่ถูกแทนที่จะมีค่าเท่ากับปริมาตรของวัตถุที่แทนที่ของเหลวนั้นเสมอ”

ขั้นตอนการหาความหนาแน่นของผลปาล์มน้ำมัน

ชั่งน้ำหนักของตัวอย่าง (ผลปาล์มน้ำมัน) ด้วยเครื่องชั่งดิจิตอล 3 ตำแหน่ง จากนั้นทำการวัดปริมาตรของน้ำที่ล้นออกจากถ้วยยูเรก้าหลังจากที่ใส่ตัวอย่างลงไป วัดปริมาตรของน้ำที่ไหลออกจากถ้วยยูเรก้า (ภาพประกอบ 3-9) ด้วยกระบอกตวง ทำซ้ำ 3 ซ้ำ สามารถคำนวณหาปริมาตรของผลปาล์มจากหลักการที่ว่าปริมาตรของของเหลวที่ถูกแทนที่จะมีค่าเท่ากับปริมาตรของวัตถุที่แทนที่ของเหลวนั้นเสมอ



ภาพประกอบ 3-9 ถ้วยยูเรก้า

ทำการคำนวณความหนาแน่นด้วยสมการที่ (3.3)

$$\rho = \frac{M}{V} \quad (3.3)$$

3.4. สรุป

เนื้อหาในบทนี้กล่าวถึงการหาค่าความสัมพันธ์ระหว่างการลดทอนของคลื่นอัลตราโซนิคที่ผ่านผลปาล์มจากเนื้อหาตอนที่ 3.1 และปริมาณน้ำมันของผลปาล์มที่ซึ่งถูกสกัดโดยการสกัดแบบซอกซ์เลตจากเนื้อหาตอนที่ 3.2 ซึ่งผลลัพธ์ของความสัมพันธ์ทั้งสองนี้ (ตอนที่ 4.1) ถูกนำไปสร้างโมเดลความสัมพันธ์โดยใช้ระบบเครือข่ายประสาทเทียมและวิธีการอื่นๆในบทที่ 4 ต่อไป

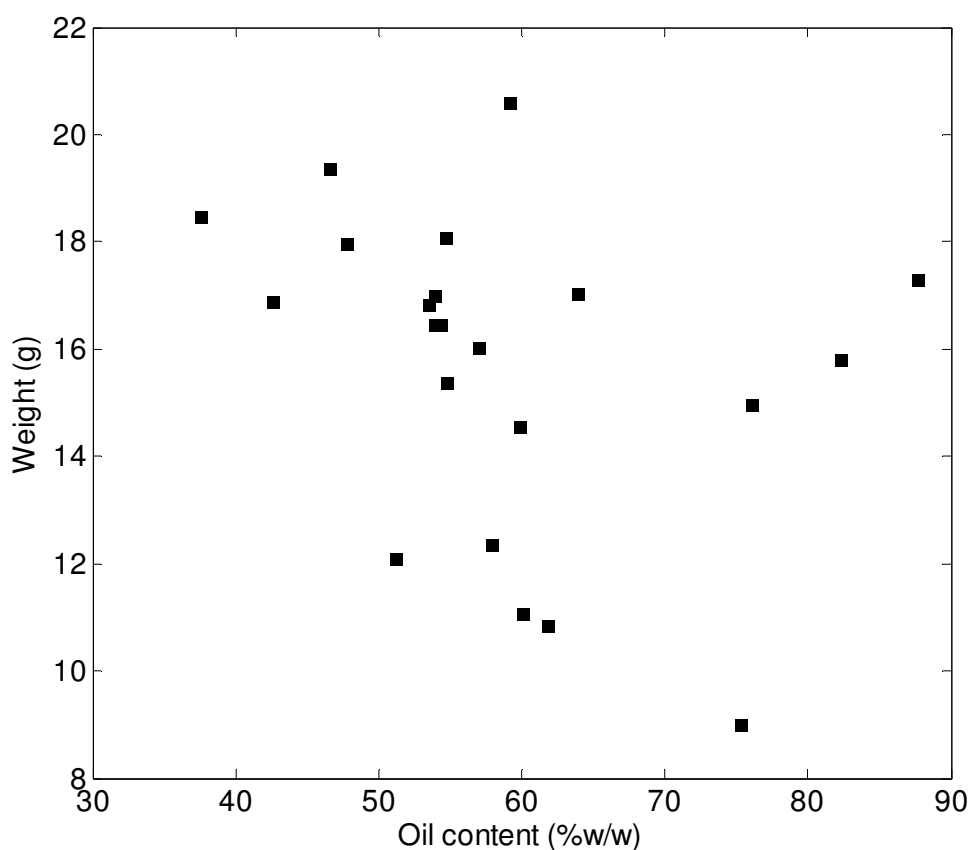
บทที่ 4

ผลลัพธ์การทดลองและแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

4.1. ผลลัพธ์ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำมันกับตัวแปรอิสระต่างๆ

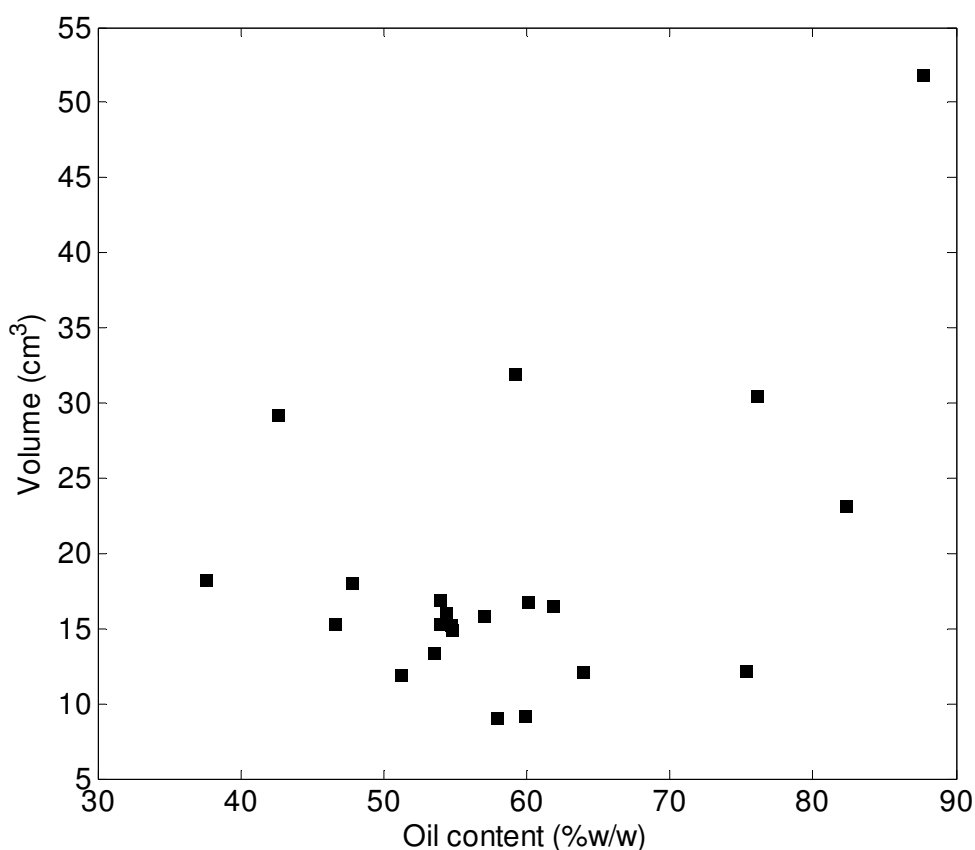
งานวิจัยชิ้นนี้ทางผู้วิจัยได้ทำการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำมันที่มีในผลปาล์มกับตัวแปรอิสระอื่นๆ อันได้แก่น้ำหนัก ปริมาตร ความหนาแน่น การลดทอนและเฟสของคลื่นอัลตราโซนิกที่ผ่านผลปาล์ม เพื่อวิเคราะห์หาตัวแปรที่มีความสัมพันธ์อย่างสูงและเหมาะสมกับปริมาณน้ำมันในผลปาล์ม เพื่อที่จะได้นำตัวแปรดังกล่าวนี้ไปใช้ในการทำนายปริมาณน้ำมันในผลปาล์มต่อไป

ในงานวิจัยครั้งนี้จะศึกษาโดยเริ่มจากความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักของผลปาล์มกับปริมาณน้ำมันในผลปาล์ม ซึ่งสมมติฐานการทดลองคือน้ำหนักของผลปาล์มมีความสัมพันธ์กับปริมาณน้ำมันของผลปาล์ม



ภาพประกอบ 4-1 น้ำหนักของผลปาล์มที่ปริมาณน้ำมันต่างๆ

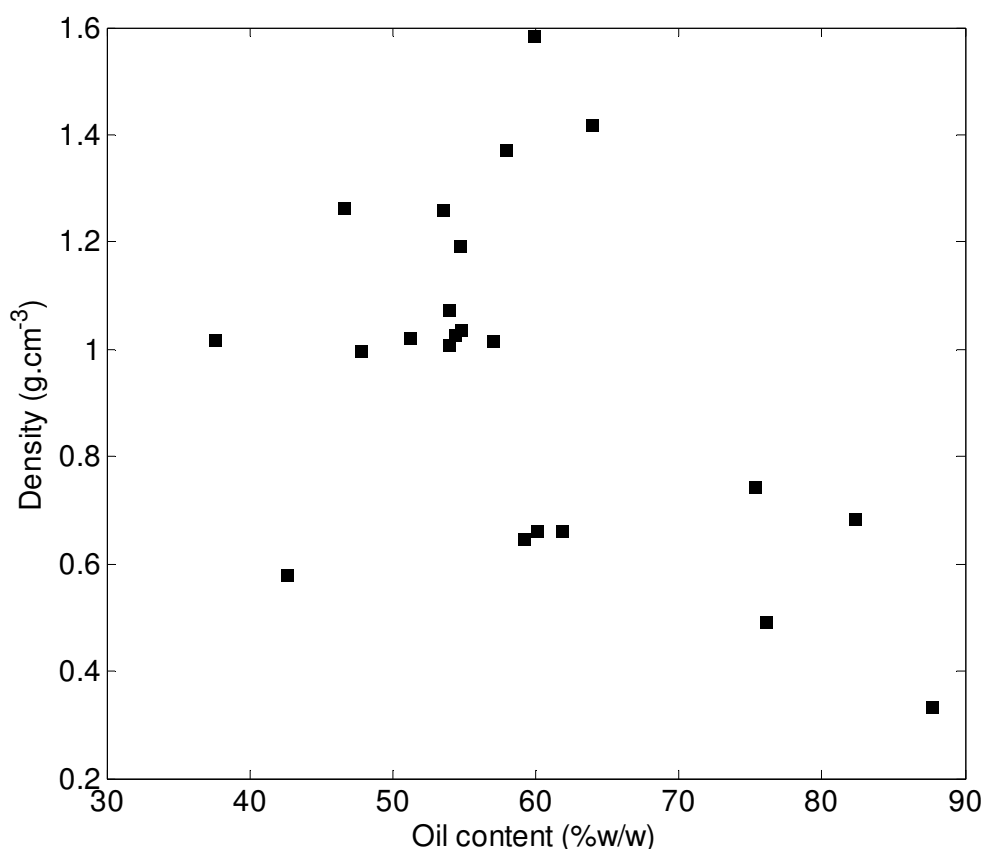
จากภาพประกอบ 4-1 แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างแกนตั้งคือน้ำหนักของผลปาล์ม และ แกนนอนคือปริมาณน้ำมันที่ได้รับจากการสกัดโดยตัวทำละลาย (ไดคลอโรมีเทน) ซึ่งสามารถช่วย ยืนยันได้ว่าน้ำหนักของผลปาล์มไม่มีความสัมพันธ์ที่เห็นได้อย่างชัดเจนกับปริมาณน้ำมันในผล ปาล์มและไม่เป็นไปตามสมมติฐานการทดลอง ตัวอย่างเช่น ผลปาล์มผลหนึ่งมีน้ำหนักประมาณ 9 กรัมแต่กลับมีปริมาณน้ำมันสูงถึง 75 เปอร์เซ็นต์ อีกผลหนึ่งผลปาล์มมีน้ำหนักประมาณ 21 กรัมแต่ กลับมีปริมาณน้ำมันแค่ 60 เปอร์เซ็นต์ เท่านั้น นั่นคือแม้ว่าผลปาล์มจะมีน้ำหนักเยอะก็สามารถมี ปริมาณน้ำมันที่น้อยกว่าผลปาล์มน้ำหนักน้อยได้ ดังนั้นตัวแปรนี้ (น้ำหนักของผลปาล์ม) จึงไม่ สามารถนำไปใช้ในการทำนายปริมาณน้ำมันในผลปาล์มได้



ภาพประกอบ 4-2 ปริมาตรของผลปาล์มที่ปริมาณน้ำมันต่างๆ

จากนั้นทำการศึกษาเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรของผลปาล์มที่มีต่อปริมาณน้ำมันใน ผลปาล์ม โดยสมมติฐานการทดลองคือปริมาตรของผลปาล์มมีความสัมพันธ์กับปริมาณน้ำมันของ ผลปาล์ม ดังนั้นจากภาพประกอบ 4-2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแกนตั้งคือปริมาตรของผลปาล์ม และแกนนอนคือปริมาณน้ำมันที่ได้รับจากการสกัดโดยตัวทำละลาย (ไดคลอโรมีเทน) ซึ่งจากภาพ

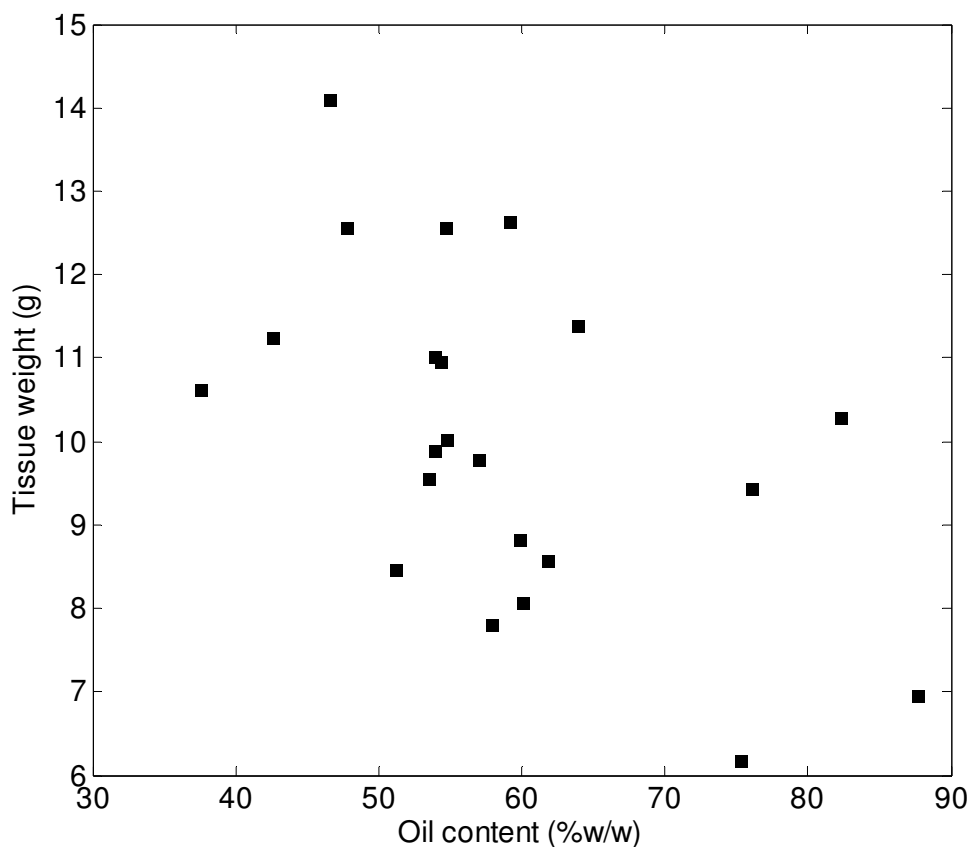
จะเห็นได้ว่าระหว่างปริมาตรของผลปาล์มและปริมาณน้ำมันของผลปาล์มไม่มีความสัมพันธ์กันอย่างชัดเจนซึ่งไม่สอดคล้องกับสมมติฐานการทดลอง ตัวอย่างเช่น ผลปาล์มผลหนึ่งมีปริมาตรประมาณ 13 ลูกบาศก์เซนติเมตร แต่กลับมีปริมาณน้ำมันสูงถึง 75 เปอร์เซ็นต์ อีกผลหนึ่งผลปาล์มมีปริมาตรประมาณ 17 ลูกบาศก์เซนติเมตร แต่กลับมีปริมาณน้ำมันแค่ 35 เปอร์เซ็นต์ เท่านั้น นั่นคือ แม้ว่าผลปาล์มจะมีปริมาตรต่ำก็สามารถมีปริมาณน้ำมันที่สูงกว่าผลปาล์มที่มีปริมาตรสูงได้



ภาพประกอบ 4-3 ความหนาแน่นของผลปาล์มที่ปริมาณน้ำมันต่างๆ

อีกทั้งยังได้ทำการศึกษาเพิ่มเติมในส่วนของการสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นของผลปาล์มกับปริมาณน้ำมันในผลปาล์ม ซึ่งสมมติฐานการทดลองคือความหนาแน่นของผลปาล์มมีความสัมพันธ์กับปริมาณน้ำมันของผลปาล์ม เนื่องจากหากผลปาล์มสุกมากขึ้นสัดส่วนปริมาณน้ำมันควรมากขึ้น และคาดว่าจะทำให้ผลปาล์มมีความหนาแน่นลดลง ด้วยเหตุที่ว่าปริมาณน้ำมันมีความหนาแน่นน้อยกว่าเส้นใยของผลปาล์ม จากภาพประกอบ 4-3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแกนตั้งความหนาแน่นของผลปาล์ม และแกนนอนปริมาณน้ำมันที่ได้รับจากการสกัดโดยตัวทำละลาย ซึ่งจากภาพจะเห็นได้ว่าความหนาแน่นมีแนวโน้มที่จะลดลงเมื่อปริมาณน้ำมันมีค่าสูงขึ้นซึ่งเป็นไป

ตามสมมติฐานการทดลอง อย่างไรก็ตามมันมีการกระจายตัวที่มากเกินไปทำให้มองเห็นแนวโน้มความสัมพันธ์ได้ไม่ชัดเจน ทำให้ยากที่จะนำความหนาแน่นของผลปาล์มไปใช้ในการทำนายปริมาณน้ำมันในผลปาล์มให้ได้อย่างแม่นยำ

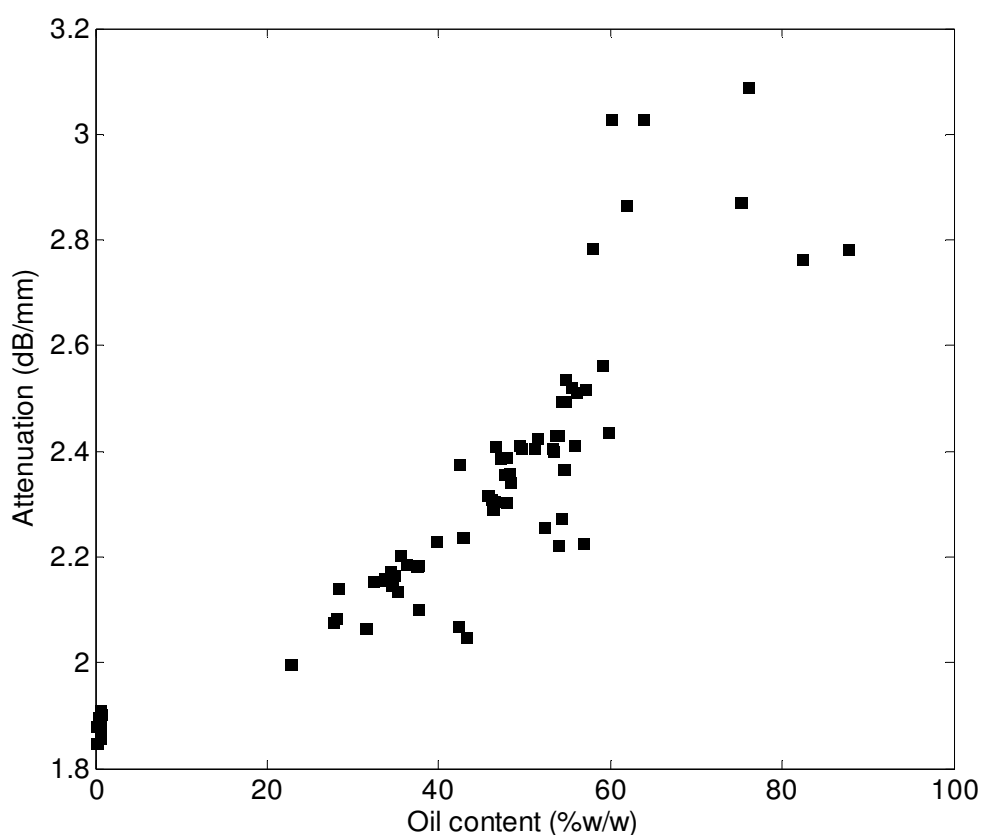


ภาพประกอบ 4-4 น้ำหนักเนื้อเยื่อที่ปริมาณน้ำมันต่างๆ

และอีกสมมติฐานการทดลองคือน้ำหนักเนื้อเยื่อของผลปาล์มมีความสัมพันธ์กับปริมาณน้ำมันของผลปาล์ม จากภาพประกอบ 4-4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแกนตั้งน้ำหนักเนื้อเยื่อ (น้ำหนักของผลปาล์มที่ไม่รวมส่วนกะลาและภายในกะลา) และแกนนอนปริมาณน้ำมันที่ได้รับจากการสกัดโดยตัวทำละลาย ซึ่งจากภาพจะเห็นได้ว่าไม่มีความสัมพันธ์กันที่เห็นได้อย่างชัดเจนซึ่งไม่เป็นไปตามสมมติฐานการทดลอง นอกจากนี้การหาน้ำหนักของเนื้อเยื่อยังเป็นการทดสอบแบบทำลายผลผลิตอีกด้วย

จากผลการทดลองเบื้องต้นจากสมมติฐานทั้งหมด คือ น้ำหนัก ปริมาตร ความหนาแน่นและน้ำหนักเนื้อเยื่อของผลปาล์มพบว่าไม่มีความสัมพันธ์กันอย่างชัดเจนกับปริมาณน้ำมันในผลปาล์ม จึงไม่นำสมมติฐานข้างต้นมาพิจารณาในการทำนายปริมาณน้ำมันในผลปาล์มแบบไม่ทำลายผลผลิต

ดังในบทที่ 1 บทนำได้กล่าวไว้ Mizrach และคณะ [12] ได้นำเสนอการใช้คลื่นอัลตราโซนิกในการวัดความอ่อนนุ่มของผลอาโวคาโดเพื่อตรวจสอบคุณภาพสำหรับเกษตรกร ซึ่งวิธีการที่ใช้อยู่บนพื้นฐานของการวัดการลดทอนของสัญญาณของคลื่นอัลตราโซนิกได้ค้นพบว่า การลดลงของสัญญาณคลื่นอัลตราโซนิกมีอัตราที่เพิ่มขึ้นเมื่อมีปริมาณน้ำมันเพิ่มมากขึ้น [12] ทำให้ได้สมมติฐานการทดลองคือเมื่อปริมาณน้ำมันในผลปาล์มมีค่ามากขึ้นค่าความหนาแน่นและความเร็วคลื่นเสียงที่ผ่านผลปาล์มจะมีค่าเปลี่ยนแปลง ซึ่งส่งผลต่อแรงดันเสียงตามสมการที่ (2.1) ทำให้แรงดันเสียงมีค่าลดลง (การลดทอนสัญญาณมีค่าสูงขึ้น)



ภาพประกอบ 4-5 การลดทอนของคลื่นอัลตราโซนิกที่ซึ่งผ่านผลปาล์มที่ปริมาณน้ำมันต่างๆ

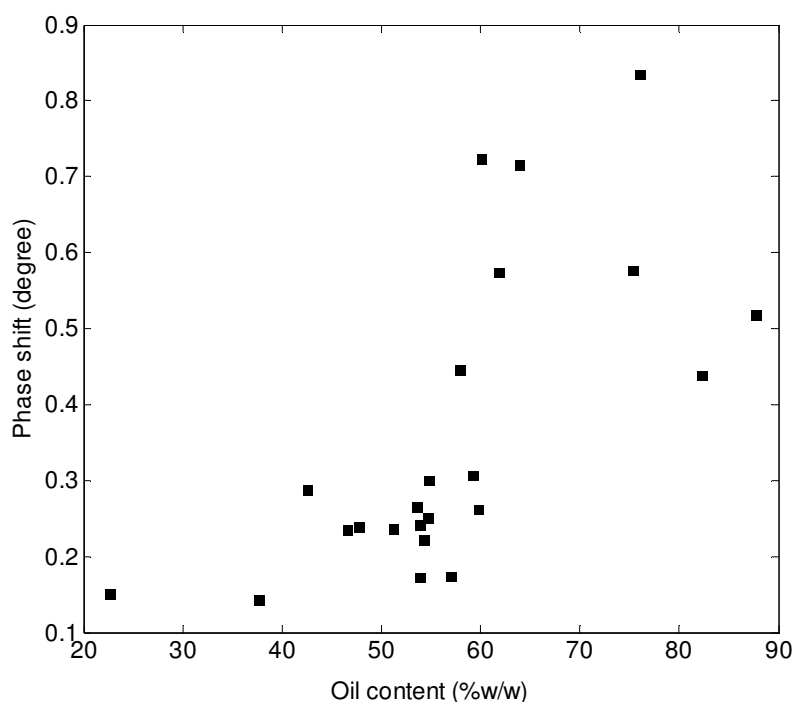
ภาพประกอบ 4-5 แสดงถึงการลดทอนของคลื่นอัลตราโซนิกที่แพร่ผ่านตัวอย่าง 73 ตัวอย่าง ตัวแปรการลดทอนของคลื่นนี้ถูกคำนวณจากช่วงของคลื่นจากโดเมนเวลา คลื่นจากโดเมนเวลานี้ถูกแปลงให้อยู่ในโดเมนความถี่โดยการแปลงฟูริเยร์แบบเร็ว และแอมพลิจูดจากสเปกตรัมของคลื่น ภาพประกอบ 4-5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแกนตั้งพารามิเตอร์ของคลื่นอัลตราโซนิก (การลดทอนของคลื่น) และแกนนอนปริมาณน้ำมันที่ได้รับจากการสกัดโดยตัวทำละลาย ซึ่งจากผลการ

ทดลองพบว่าการลดทอนของคลื่นอัลตราโซนิกมีค่ามากขึ้นเมื่อปริมาณน้ำมันมีค่าสูงขึ้นและมีแนวโน้มที่เห็นได้อย่างชัดเจนในช่วงปริมาณน้ำมัน 20-60เปอร์เซ็นต์ ซึ่งการที่การลดทอนของคลื่นอัลตราโซนิกมีความสัมพันธ์ที่เห็นได้อย่างชัดเจนกับปริมาณน้ำมันในผลไม้ นั้นสอดคล้องกับผลการทดลองในอดีตของอาโวคาโด [12] และสมมติฐานการทดลอง

คุณสมบัติต่างๆ ของผลปาล์มพันธุ์เทเนอรา (*Elaeis guineensis* Jacq) 73 ผล (ภาพประกอบ 4-5) ได้ถูกเก็บมาจากสวน ตัวอย่างผลไม้ทั้งหมดถูกได้ถูกควบคุมว่ามีรูปร่าง (ทรงรี) แบบเดียวกัน ค่าน้ำหนักต่ำสุด สูงสุด ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานมีค่า 8.98 20.57 14.65 และ 3.07 กรัม ตามลำดับ ดังที่แสดงในตารางที่ 4-1 โดยผลไม้ถูกเก็บในห้องปฏิบัติการในอุณหภูมิเครื่องปรับอากาศที่ 20 องศาเซลเซียสสำหรับการทดสอบ

ตารางที่ 4-1 คุณสมบัติของตัวอย่างที่ถูกทดสอบ

คุณสมบัติ	ค่าเฉลี่ย	เบี่ยงเบนมาตรฐาน	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด
สัมประสิทธิ์การลดทอน, α (dB/mm)	2.30	0.28	3.08	1.84
ปริมาณน้ำมัน (เปอร์เซ็นต์w/w)	41.91	20.44	87.72	0.24
น้ำหนัก (g)	14.65	3.07	20.57	8.98



ภาพประกอบ 4-6 เฟสของคลื่นอัลตราโซนิกที่ปริมาณน้ำมันต่างๆ

จากผลการทดลองที่ผ่านมาเราพบว่าการลดทอนสัญญาณคลื่นอัลตราโซนิกมีค่าสูงขึ้นเมื่อปริมาณน้ำมันในผลปาล์มมีค่ามากขึ้น เราจึงได้คาดคะเนต่อไปว่าปริมาณน้ำมันที่มากขึ้นจะส่งผลให้ระยะเวลาที่คลื่นเดินทางผ่านผลปาล์มมีค่าแตกต่างตามคุณสมบัติของผลปาล์มที่เปลี่ยนไปเมื่อมีน้ำมันมากขึ้น จึงตั้งสมมติฐานการทดลองคือเฟส (เวลาที่คลื่นเดินทางผ่านผลปาล์ม) ของคลื่นอัลตราโซนิกที่ผ่านผลปาล์มมีความสัมพันธ์กับปริมาณน้ำมันของผลปาล์ม จากภาพประกอบ 4-6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแกนตั้งเฟสของคลื่นอัลตราโซนิก และแกนนอนปริมาณน้ำมันที่ได้รับจากการสกัดโดยตัวทำละลาย ซึ่งจากภาพจะเห็นได้ว่าเมื่อปริมาณน้ำมันมีค่าเพิ่มขึ้นเฟสของคลื่นอัลตราโซนิกมีค่าเพิ่มขึ้นตามซึ่งเป็นไปตามสมมติฐานการทดลอง อย่างไรก็ตามช่วงค่าของเฟสมีช่วงค่าที่แคบ และต่ำจนเกินกว่าจะนำมาใช้ในการทำนายปริมาณน้ำมันได้

4.2. การวิเคราะห์ตัวอย่างช่วงปริมาณน้ำมันทั้งหมด

จากผลการทดลองในตอนต้นที่ 4.1 พบว่าน้ำหนัก ปริมาตร ความหนาแน่นและน้ำหนักเนื้อเชื้อของผลปาล์มไม่มีความสัมพันธ์กับปริมาณน้ำมันของผลปาล์ม สำหรับเฟสของคลื่นอัลตราโซนิก แม้ว่าจะมีความสัมพันธ์กับปริมาณน้ำมันของผลปาล์มซึ่งเป็นไปตามสมมติฐานการทดลอง อย่างไรก็ตาม ช่วงค่าของเฟสมีช่วงค่าที่แคบ และต่ำจนเกินกว่าจะนำมาใช้ในการทำนายปริมาณน้ำมันได้ แต่สำหรับการลดทอนของคลื่นอัลตราโซนิกกลับความสัมพันธ์กันอย่างสูงกับปริมาณน้ำมันในผลปาล์ม ดังนั้นงานในส่วนนี้นำเสนอโมเดลทางคณิตศาสตร์ระหว่างการลดทอนของคลื่นและปริมาณน้ำมันของผลปาล์มในช่วงปริมาณน้ำมันทั้งหมด โดยโมเดลที่นำเสนอคือระบบเครือข่ายประสาทเทียมและสมการถดถอยเพื่อใช้ในการทำนายความสัมพันธ์ระหว่างการลดทอนของคลื่นและปริมาณน้ำมันของผลปาล์ม

4.2.1. การหาค่าโครงสร้างที่เหมาะสมของเครือข่ายประสาทเทียม

ในการที่จะหาระบบเครือข่ายที่เหมาะสมที่สุดสำหรับประสิทธิภาพที่ดีที่สุดกับตัวอย่างอื่น ๆ ขั้นตอนแรกทำการแบ่งตัวอย่างออกเป็น 2 เซตตัวอย่าง นั่นคือกลุ่มตัวอย่าง (Training set) และกลุ่มทดสอบ (Test set) ขั้นตอนที่สองทำการฝึกสอนระบบจากข้อมูลในกลุ่มตัวอย่าง ขั้นตอนที่สามเป็นการประเมินประสิทธิภาพของระบบบนกลุ่มตัวอย่าง ระบบเครือข่ายที่มีความผิดพลาดน้อยที่สุดบนกลุ่มตัวอย่างจะถูกเลือกมาใช้งาน และขั้นตอนสุดท้ายประสิทธิภาพของระบบที่เลือกจะถูกวัดจากกลุ่มทดสอบ

ข้อมูลตัวอย่างของปริมาณน้ำมันและพารามิเตอร์ของคลื่นอัลตราโซนิกทั้งหมด 73 ตัวอย่างถูกทำการสุ่มแบ่งออกเป็น 2 ส่วน นั่นคือกลุ่มตัวอย่างและกลุ่มทดสอบ ในการกำหนดจำนวนข้อมูลที่เหมาะสมในแต่ละเซตไม่มีวิธีการใดที่ดีที่สุด บางงานวิจัยเสนอให้สัดส่วนข้อมูลบน กลุ่มตัวอย่างและกลุ่มทดสอบเป็น 70 และ 30 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับจากข้อมูลทั้งหมด จำนวนข้อมูลใน กลุ่มตัวอย่างจะถูกเลือกมากกว่ากลุ่มทดสอบ เพื่อเพิ่มความสามารถในการเรียนรู้ของเครือข่าย งานวิจัยในตอนต้นทำการแบ่งจำนวนข้อมูลในแต่ละเซตออกเป็น 51 (69.86 เปอร์เซ็นต์) และ 22 (30.14 เปอร์เซ็นต์) ตัวอย่างสำหรับกลุ่มตัวอย่างและกลุ่มทดสอบตามลำดับ

จำนวนนิวรอนในชั้นซ่อนเร้นจะถูกเลือกเพื่อที่จะกำหนดโครงสร้างของเครือข่ายที่เหมาะสมสำหรับระบบเครือข่ายแบบ 1 อินพุต ฟังก์ชันถ่ายโอนในชั้นซ่อนเร้น และชั้นเอาต์พุตคือไฮเพอร์โบลิกแทนเจนต์ซิกมอยด์ (Hyperbolic tangent sigmoid) และเส้นตรง (Linear) ตามลำดับ เครือข่ายที่มีเพียง 1 ชั้นซ่อนเร้นก็เพียงพอสำหรับการประมาณค่าฟังก์ชัน จำนวนชั้นซ่อนเร้นที่มากขึ้นจะทำให้การประมาณค่าฟังก์ชันเหมาะสมมากขึ้นแต่ต้องใช้ระยะเวลาฝึกสอนที่มากขึ้นตามไปด้วย การกำหนดจำนวนนิวรอนในชั้นซ่อนเร้นให้เหมาะสมเป็นสิ่งจำเป็น หากน้อยเกินไปหรือมากเกินไปจะ

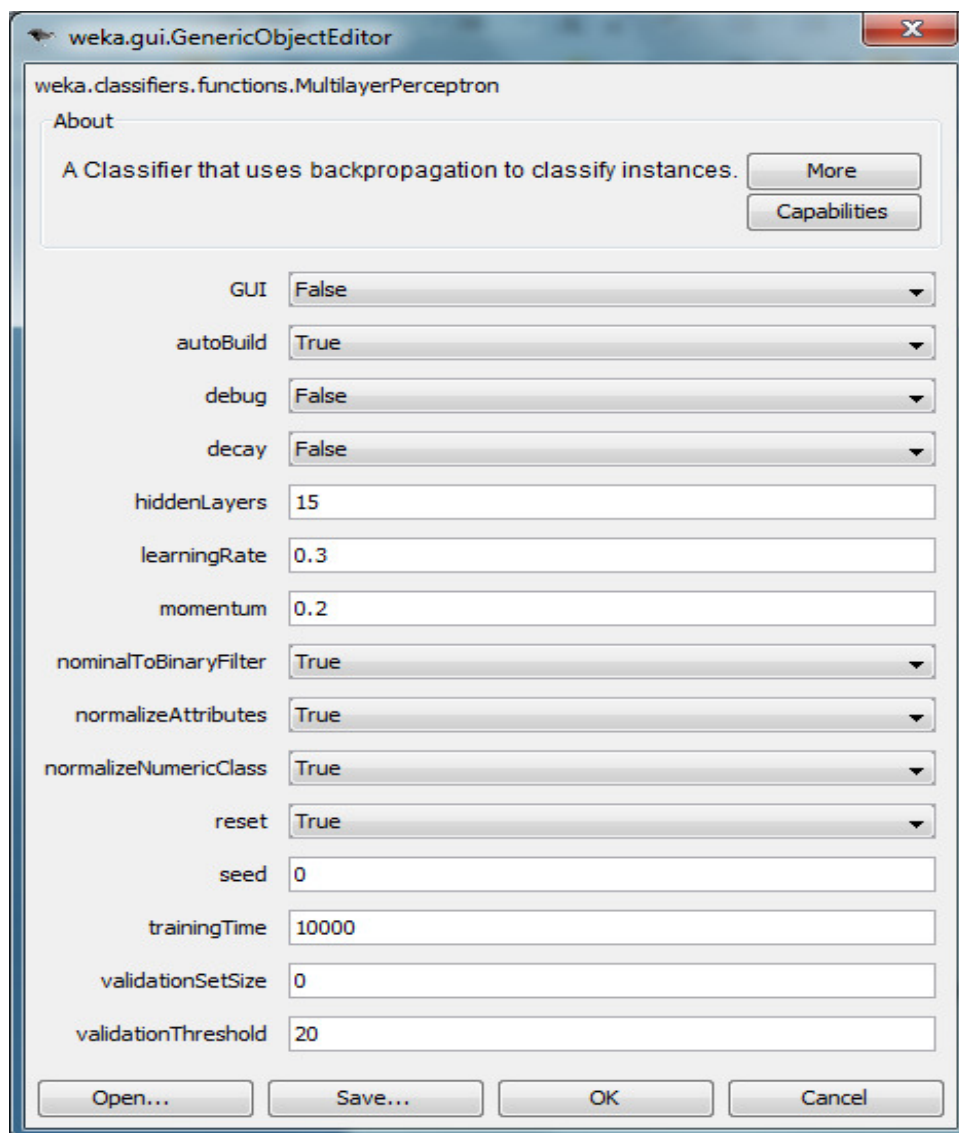
ทำให้เกิดประมาณการต่ำเกินไป (Under-fitting) หรือสูงเกินไป (Over-fitting) ตามลำดับ ในงานวิจัยในตอนนี้จำนวนนิเวรอนในชั้นซ่อนเร้นถูกเลือกโดยวิธีการลองผิดลองถูกในระหว่างจำนวน 1-15 ค่า ค่าความผิดพลาดเฉลี่ยรากกำลังสอง (Root Mean Square Error, RMSE) ค่าความผิดพลาดเฉลี่ยสัมบูรณ์ (Mean Absolute Error, MAE) และค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation Coefficient, R) ถูกเลือกใช้ในการประเมิน โครงสร้างเครือข่ายแบบใดที่ให้ค่าความผิดพลาดเฉลี่ยรากกำลังสองต่ำที่สุด (เข้าไปสี่ศูนย์) ค่าความผิดพลาดเฉลี่ยสัมบูรณ์ต่ำที่สุด (เข้าไปสี่ศูนย์) และค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์สูงที่สุด (เข้าไปสี่หนึ่ง) จะถูกเลือกใช้ สมการการคำนวณค่าความผิดพลาดเฉลี่ยรากกำลังสอง ค่าความผิดพลาดเฉลี่ยสัมบูรณ์และค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ถูกแสดงดังในสมการที่ 4.1 4.2 และ 4.3 ตามลำดับ [18]

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N [Actual_i - Predict_i]^2} \quad (4.1)$$

$$MAE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |Actual_i - Predict_i| \quad (4.2)$$

$$R = \sqrt{1 - \frac{\sum_{i=1}^N [Actual_i - Predict_i]^2}{\sum_{i=1}^N [Actual_i]^2}} \quad (4.3)$$

เมื่อ Actual คือค่าปริมาณน้ำมันที่ได้รับจากการสกัดแบบซอกท์เลดและ Predict คือค่าทำนายปริมาณน้ำมันจากโมเดลที่เป็นผลจากพารามิเตอร์การลดทอนของคลื่นอัลตราโซนิก โปรแกรม weka 3.6 ถูกเลือกใช้ในการพัฒนา ระยะเวลาในการฝึกสอนถูกกำหนดไว้ที่ 10000 รอบ รายละเอียดการกำหนดค่าต่างๆ ของโปรแกรมถูกแสดงดังในภาพประกอบ 4-7

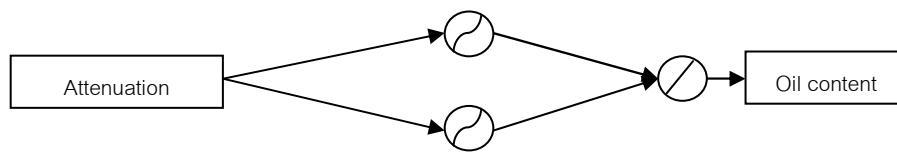


ภาพประกอบ 4-7 หน้าต่างฟังก์ชันสำหรับระบบเครือข่ายหลายชั้นของโปรแกรม weka 3.6.1

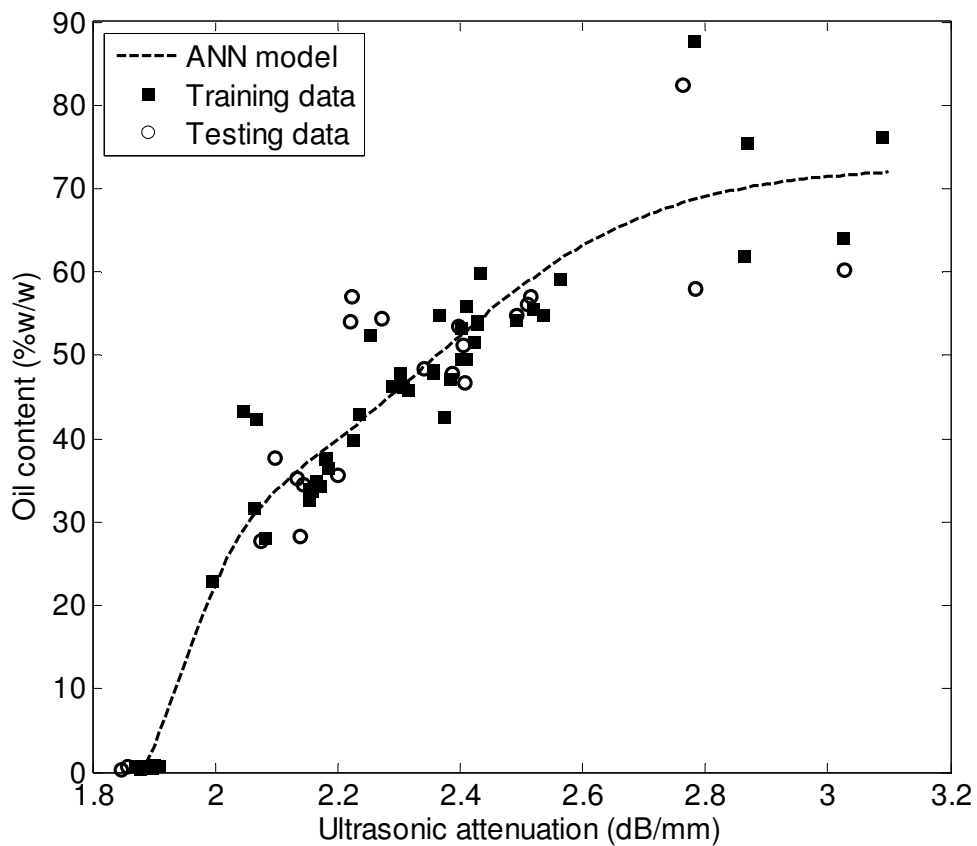
ตารางที่ 4-2 ค่าความผิดพลาดเฉลี่ยรากล้างสอง, ค่าความผิดพลาดเฉลี่ยสัมบูรณ์และค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของเครือข่ายที่มีจำนวนนิวรอนตั้งแต่ 1-15 ในชั้นซ่อนเร้น

จำนวนนิวรอนในชั้น ซ่อนเร้น	ค่าความผิดพลาดเฉลี่ย รากล้างสอง	ค่าความผิดพลาดเฉลี่ย สัมบูรณ์	ค่าสัมประสิทธิ์ สหสัมพันธ์
1	5.9766	4.3316	0.9590
2	5.1130	3.6343	0.9699
3	5.1193	3.6438	0.9698
4	5.1710	3.7143	0.9692
5	5.1643	3.7063	0.9693
6	5.1781	3.7235	0.9691
7	5.2076	3.7538	0.9688
8	5.2013	3.7483	0.9689
9	5.1541	3.6949	0.9694
10	5.2123	3.7569	0.9687
11	5.2637	3.7982	0.9681
12	5.5079	3.9974	0.9653
13	5.5216	4.0054	0.9651
14	5.4089	3.9002	0.9664
15	5.3268	3.8360	0.9674

จากตารางที่ 4-2 ระบบเครือข่ายแบบ 1 อินพุต 2 เซลล์ประสาทในชั้นซ่อนเร้นและ 1 เซลล์ประสาทในชั้นเอาต์พุต (ภาพประกอบ 4-8) ให้ค่าความผิดพลาดเฉลี่ยรากล้างสอง (5.1130) ต่ำที่สุด ค่าความผิดพลาดเฉลี่ยสัมบูรณ์ (3.6343) ต่ำที่สุดและค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (0.9699) สูงที่สุด



ภาพประกอบ 4-8 ระบบเครือข่ายที่ถูกเลือกโดยโครงสร้างแบบ 1 อินพุต, 2 เซลล์ประสาทในชั้นซ่อนเร้นและ 1 เซลล์ประสาทในชั้นเอาต์พุต



ภาพประกอบ 4-9 กราฟระบบเครือข่ายที่ถูกเลือกโดยโครงสร้างแบบ 1 อินพุต 2 เซลล์ประสาทในชั้นซ่อนเร้น และ 1 เซลล์ประสาทในชั้นเอาต์พุตบนกลุ่มตัวอย่างและกลุ่มทดสอบ

ภาพประกอบ 4-9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการลดทอนของคลื่นอัลตราโซนิคที่ปริมาณน้ำมันต่างๆ ของผลปาล์มจากการสกัดแบบซอท์กเค็ดโดยอยู่บนโมเดลของระบบเครือข่ายประสาทเทียม ซึ่งจะเห็นได้ว่าเมื่อปริมาณน้ำมันมีค่าสูงขึ้นการลดทอนจะมีค่าเพิ่มขึ้นตาม และจากโมเดลของระบบเครือข่ายประสาทเทียมจะเห็นได้ว่าในช่วงปริมาณน้ำมัน 0-30 เปอร์เซ็นต์ ค่าความชันมี

ค่าสูงมาก จากนั้นค่าความชันลดลงในช่วงปริมาณน้ำมัน 30-60 เปอร์เซ็นต์ และค่าความชันเกือบจะเป็นศูนย์ในช่วงปริมาณน้ำมัน 60-90 เปอร์เซ็นต์

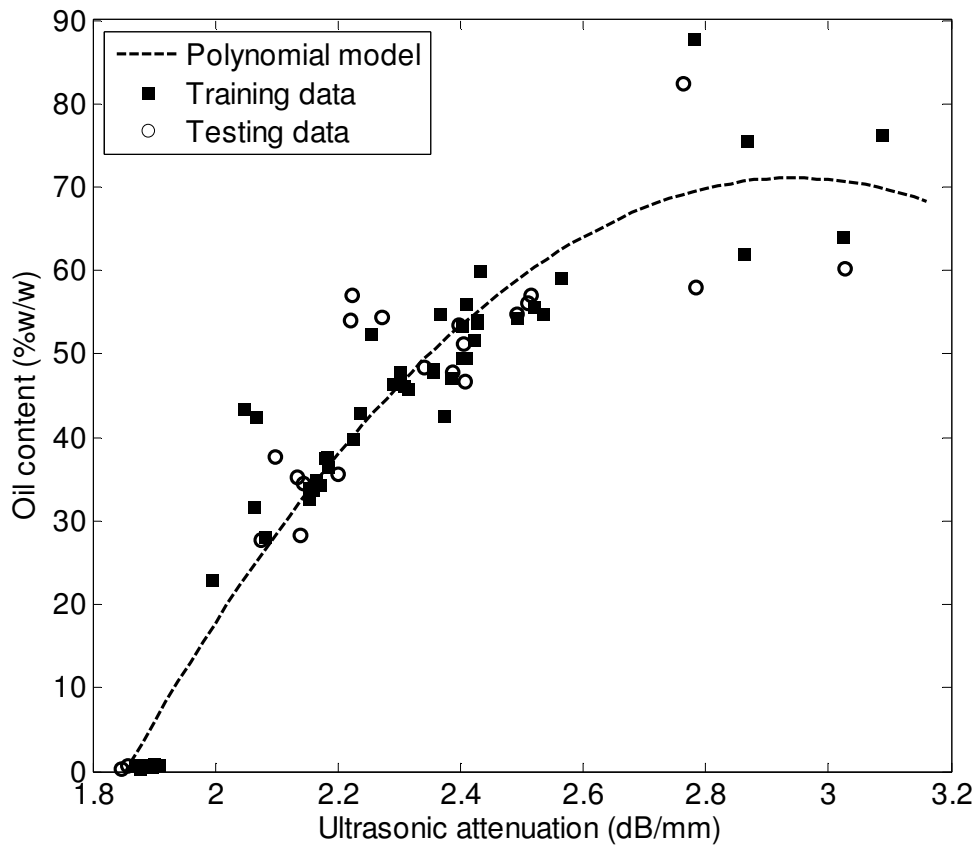
4.2.2. การโมเดลด้วยการวิเคราะห์การถดถอย (Regression analysis)

การวิเคราะห์การถดถอยเป็นกระบวนการทางสถิติเพื่อให้ได้สมการถดถอยสำหรับทำนายปริมาณน้ำมันในผลปาล์ม โดยตัวแปรอิสระที่ใช้ในการทำนายคือการลดทอนของคลื่นอัลตราโซนิกที่ผ่านผลปาล์ม

จากผลลัพธ์ในตอนต้นที่ 3.3 พบว่าการลดทอนของคลื่นอัลตราโซนิกมีค่าสูงมากขึ้นเมื่อปริมาณน้ำมันมีค่ามากขึ้น ในช่วงของน้ำมันน้อยๆ มีการลดทอนเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ และมีการลดทอนเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงที่มีปริมาณน้ำมันมีค่าสูง เพราะฉะนั้นสมการถดถอยแบบพหุนาม (Polynomial Regression) จึงได้ถูกเลือกมาใช้สร้างโมเดลเพื่อทำนายความสัมพันธ์ระหว่างการลดทอนของคลื่นอัลตราโซนิก และปริมาณน้ำมันของผลปาล์ม

ในงานวิจัยตอนนี้สมการถดถอยแบบพหุนามอันดับที่สองถูกเลือกมาใช้สร้างโมเดลและเปรียบเทียบประสิทธิภาพกับระบบเครือข่ายประสาทเทียม โดยทำการแบ่งจำนวนข้อมูลในแต่ละกลุ่มออกเป็น 51 (69.86 เปอร์เซ็นต์) และ 22 (30.14 เปอร์เซ็นต์) ตัวอย่างสำหรับกลุ่มตัวอย่างและกลุ่มทดสอบตามลำดับ โดยสมการถดถอยแบบพหุนามอันดับที่สองซึ่งถูกสร้างจากกลุ่มตัวอย่างให้ค่าความผิดพลาดเฉลี่ยรากกำลังสอง (6.0656) ค่าความผิดพลาดเฉลี่ยสัมบูรณ์ (4.2129) และค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (0.9570) ตามลำดับ สมการถดถอยแบบพหุนามอันดับที่สองที่ได้รับถูกแสดงในสมการ 4.4

$$y = -59.81x^2 + 352.2x - 447.4 \quad (4.4)$$



ภาพประกอบ 4-10 กราฟสมการถดถอยแบบ โพลีโนเมียลอันดับที่สองบนกลุ่มตัวอย่างและกลุ่มทดสอบ

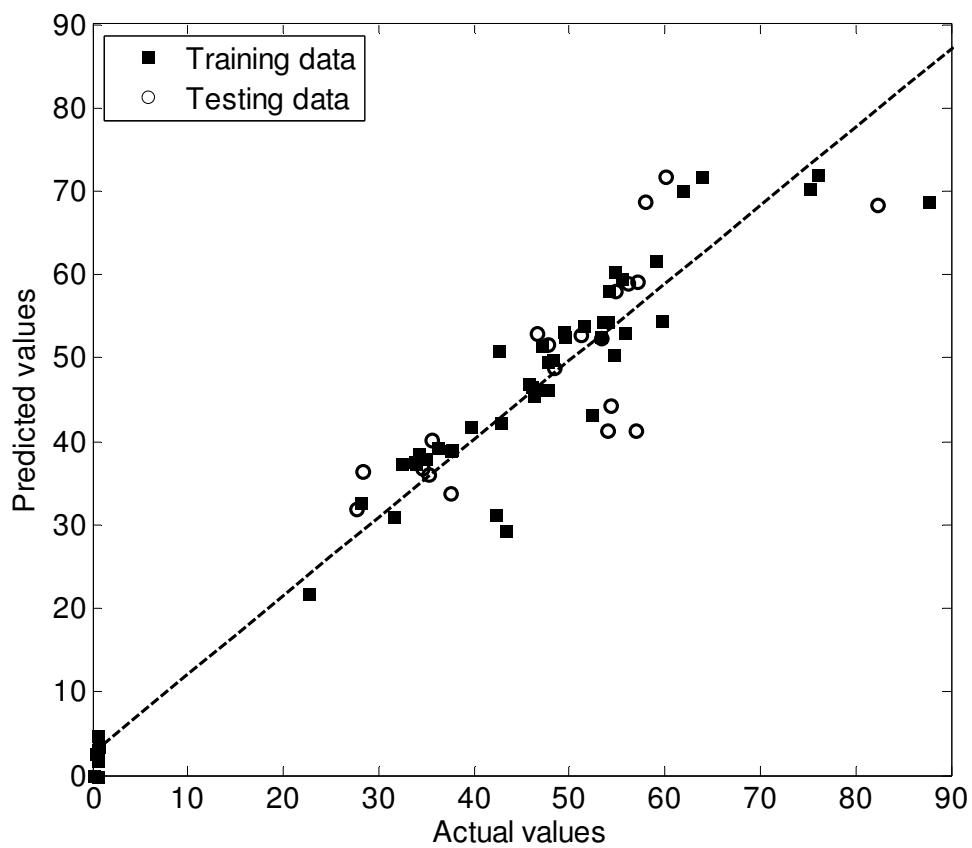
ภาพประกอบ 4-10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการลดทอนของคลื่นอัลตราโซนิคที่ปริมาณน้ำมันต่างๆ ของผลปาล์มจากการสกัดแบบซอท์กเคิลโดยอยู่บน โมเดลของสมการถดถอยแบบโพลีโนเมียลกำลังสอง ซึ่งจะเห็นได้ว่าเมื่อปริมาณน้ำมันมีค่าสูงขึ้นการลดทอนจะมีค่าเพิ่มขึ้นตาม โดยที่เมื่อค่าปริมาณน้ำมันในช่วง 0-60 เปอร์เซ็นต์ เพิ่มขึ้นค่าการลดทอนจะสูงขึ้นและค่อยๆ คงที่เมื่อปริมาณน้ำมันมีค่ามากถึง 70 เปอร์เซ็นต์

4.2.3. ประสิทธิภาพของระบบเครือข่ายประสาทเทียมและสมการถดถอยแบบโพลีโนเมียลอันดับที่สอง

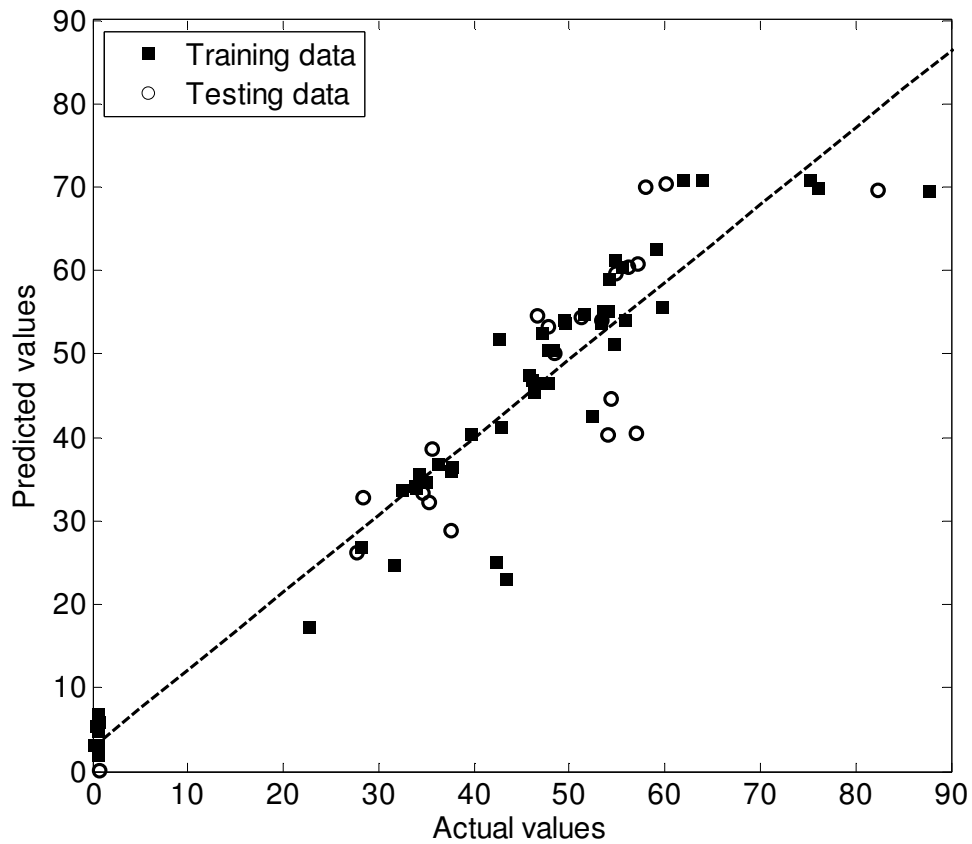
ผลลัพธ์ที่ได้รับมาจากโครงสร้างที่ดีที่สุดของเครือข่ายประสาทเทียมและผลลัพธ์ของสมการถดถอยแบบโพลีโนเมียลบนกลุ่มทดสอบถูกเปรียบเทียบบนตารางที่ 4-2 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าโครงสร้างที่ดีที่สุดของเครือข่ายประสาทเทียมให้ประสิทธิภาพที่ดีกว่าสมการถดถอยแบบโพลีโนเมียลอันดับที่สอง

ตารางที่ 4-3 ประสิทธิภาพของระบบเครือข่ายประสาทเทียมและสมการถดถอยแบบโพลีโนเมียล
อันดับที่สองบนกลุ่มทดสอบ

โมเดลทางคณิตศาสตร์	ค่าความผิดพลาดเฉลี่ย รากกำลังสอง	ค่าความผิดพลาด เฉลี่ยสัมบูรณ์	ค่าสัมประสิทธิ์ สหสัมพันธ์
ระบบเครือข่ายประสาท เทียม	7.3425	5.7357	0.9226
สมการถดถอยแบบโพลีโน เมียลอันดับที่สอง	7.5907	5.7858	0.9197



ภาพประกอบ 4-11 ประสิทธิภาพของระบบเครือข่ายประสาทเทียมบนกลุ่มตัวอย่างและกลุ่ม
ทดสอบ



ภาพประกอบ 4-12 ประสิทธิภาพของสมการถดถอยแบบโพลีโนเมียลกำลังสองบนกลุ่มตัวอย่าง และกลุ่มทดสอบ

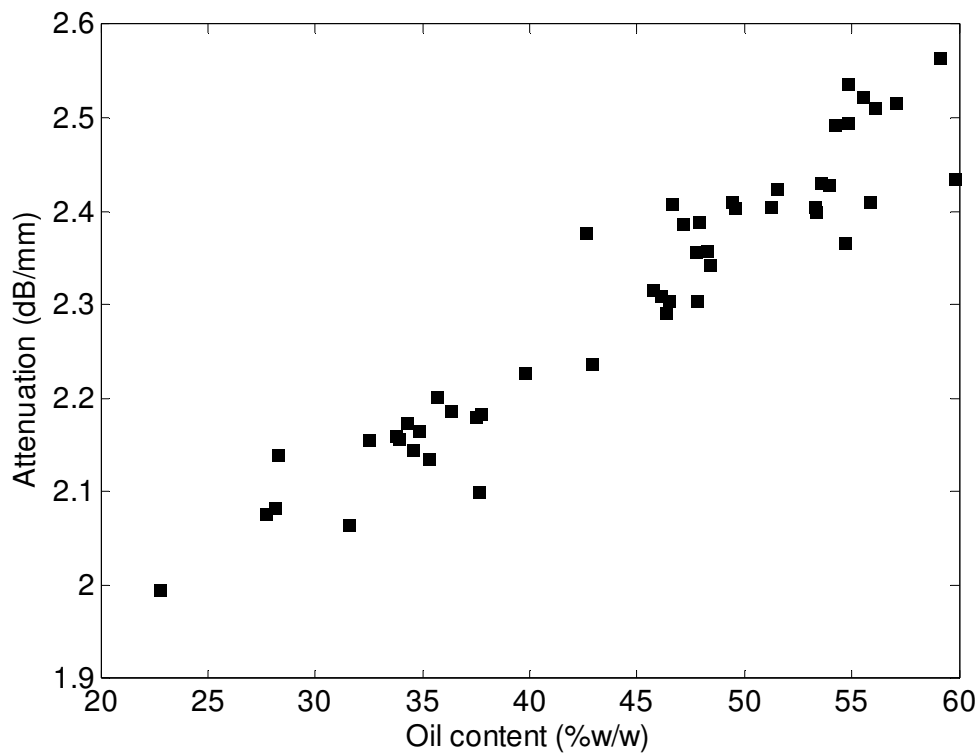
ภาพประกอบ 4-11 และ 4-12 แสดงถึงประสิทธิภาพการทำนายปริมาณน้ำมัน (แกนตั้ง) ของระบบเครือข่ายประสาทเทียมและสมการถดถอยแบบโพลีโนเมียลกำลังสองกับปริมาณน้ำมันที่วัดได้โดยวิธีการสกัดแบบซอท์กัลด (แกนนอน) สัญลักษณ์สี่เหลี่ยมและสามเหลี่ยมหมายถึงกลุ่มตัวอย่างและกลุ่มทดสอบตามลำดับ สมการเส้นตรง (Fit line equation) ของระบบเครือข่ายประสาทเทียมและสมการถดถอยโพลีโนเมียลกำลังสองที่ได้รับคือสมการที่ 4.5 และ 4.6 ตามลำดับ โดยสมการเส้นตรงจะอยู่ในรูปของ $y = ax + b$ จากสมการที่ 4.5 จะเห็นได้ว่าค่าความชัน a จากสมการเส้นตรงของระบบเครือข่ายประสาทเทียมมีค่าเข้าใกล้ 1 มากกว่าค่าความชัน a ของสมการถดถอยแบบโพลีโนเมียลกำลังสอง (สมการที่ 4.6) ซึ่งมีความสอดคล้องกับค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของระบบเครือข่ายประสาทเทียมที่ซึ่งมีค่าสูงกว่าสมการถดถอยแบบโพลีโนเมียลกำลังสอง

$$y = 0.936x - 2.808 \quad (4.5)$$

$$y = 0.924x - 2.908 \quad (4.6)$$

4.3. การวิเคราะห์ตัวอย่างช่วงปริมาณน้ำมัน 20-60 เปอร์เซ็นต์

จากภาพประกอบ 4-5 จะเห็นว่าตัวอย่างของปาล์มน้ำมันในช่วง 20 เปอร์เซ็นต์ และ 60 เปอร์เซ็นต์ มีแนวโน้มความสัมพันธ์ที่เห็นได้ชัดและข้อมูลมีการเกาะกลุ่มกันอย่างชัดเจน จึงได้ทำการวิเคราะห์ตัวอย่างเฉพาะในช่วงปริมาณน้ำมัน 20-60 เปอร์เซ็นต์ ดังในภาพประกอบ 4-13 นำเสนอการลดทอนของคลื่นอัลตราโซนิกที่ซึ่งผ่านผลปาล์มที่ปริมาณน้ำมันต่างๆ ในช่วงปริมาณน้ำมัน 20-60 เปอร์เซ็นต์



ภาพประกอบ 4-13 การลดทอนของคลื่นอัลตราโซนิกที่ซึ่งผ่านผลปาล์ม
ที่ปริมาณน้ำมันช่วง 20-60 เปอร์เซ็นต์

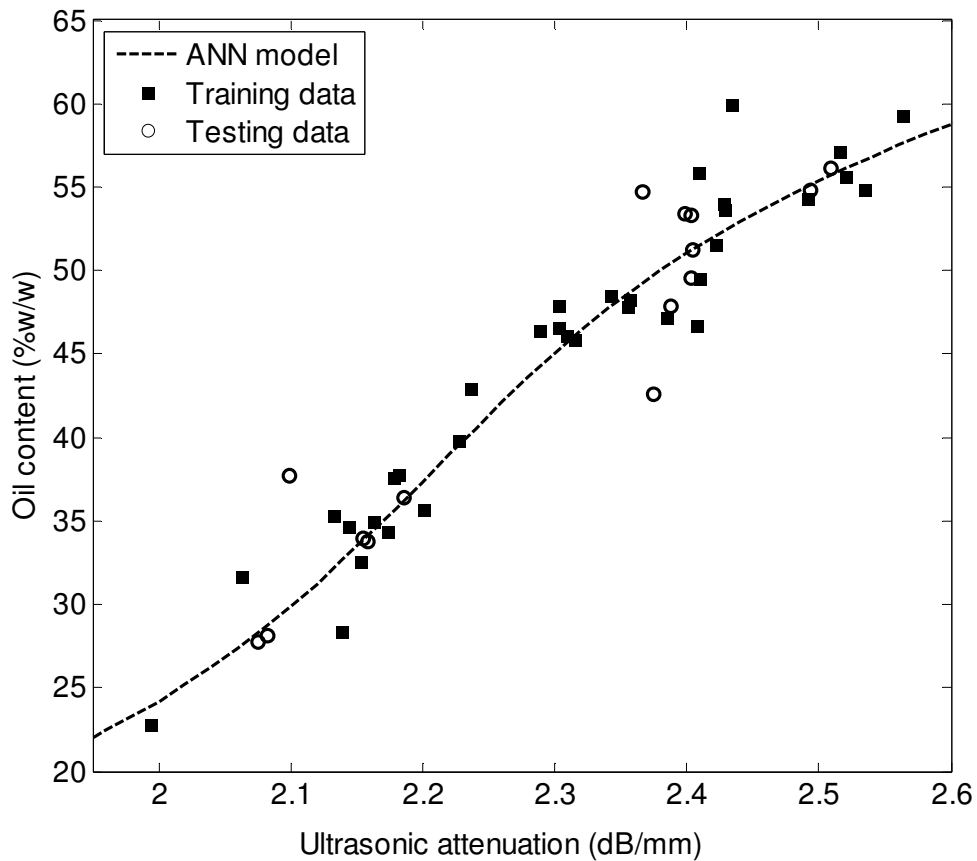
4.3.1. การหาค่าโครงสร้างที่เหมาะสมของเครือข่ายประสาทเทียม

งานวิจัยในตอนนี้ทำการแบ่งจำนวนข้อมูลในแต่ละเซ็ทออกเป็น 34 (69.38 เปอร์เซ็นต์) และ 15 (30.62 เปอร์เซ็นต์) ตัวอย่างสำหรับกลุ่มตัวอย่างและกลุ่มทดสอบตามลำดับ

ตารางที่ 4-4 ค่าความผิดพลาดเฉลี่ยรากล้างสอง ค่าความผิดพลาดเฉลี่ยสัมบูรณ์และค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของเครือข่ายที่มีจำนวนนิวรอนตั้งแต่ 1-15 ในชั้นซ่อนเร้น

จำนวนนิวรอนในชั้นซ่อนเร้น	ค่าความผิดพลาดเฉลี่ยรากล้างสอง	ค่าความผิดพลาดเฉลี่ยสัมบูรณ์	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์
1	2.4768	1.9445	0.9667
2	2.4735	1.9341	0.9667
3	2.4700	1.9318	0.9668
4	2.4658	1.9276	0.9667
5	2.4664	1.9288	0.9667
6	2.4584	1.9160	0.9667
7	2.4295	1.8891	0.9670
8	2.4684	1.9292	0.9668
9	2.4293	1.8877	0.9671
10	2.4333	1.8898	0.9669
11	2.4723	1.9333	0.9667
12	2.4309	1.8885	0.9671
13	2.4327	1.8912	0.9671
14	2.4750	1.9359	0.9667
15	2.4345	1.8931	0.9671

จากตารางที่ 4-4 ระบบเครือข่ายแบบ 1 อินพุต 9 เซลล์ประสาทในชั้นซ่อนเร้น และ 1 เซลล์ประสาทในชั้นเอาต์พุตให้ค่าความผิดพลาดเฉลี่ยรากล้างสอง (2.4293) ต่ำที่สุด ค่าความผิดพลาดเฉลี่ยสัมบูรณ์ (1.8877) ต่ำที่สุด และค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (0.9671) สูงที่สุด



ภาพประกอบ 4-14 กราฟระบบเครือข่ายที่ถูกเลือกโดยโครงสร้างแบบ 1 อินพุต 9 เซลล์ประสาทในชั้นซ่อนเร้น และ 1 เซลล์ประสาทในชั้นเอาต์พุตบนกลุ่มตัวอย่าง และกลุ่มทดสอบ

ภาพประกอบ 4-14 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการลดทอนของคลื่นอัลตราโซนิกของผลปาล์มในช่วงปริมาณน้ำมัน 30-60 เปอร์เซ็นต์ จากการสกัดแบบซอห้กเล็ดโดยอยู่บนโมเดลของระบบเครือข่ายประสาทเทียม ซึ่งจะเห็นได้ว่าเมื่อปริมาณน้ำมันมีค่าสูงขึ้นการลดทอนจะมีค่าเพิ่มขึ้นตามแม้ว่าโมเดลมีลักษณะกระพุ่มเล็กน้อยในจุดที่ปริมาณน้ำมันมีค่า 35 และ 50 เปอร์เซ็นต์

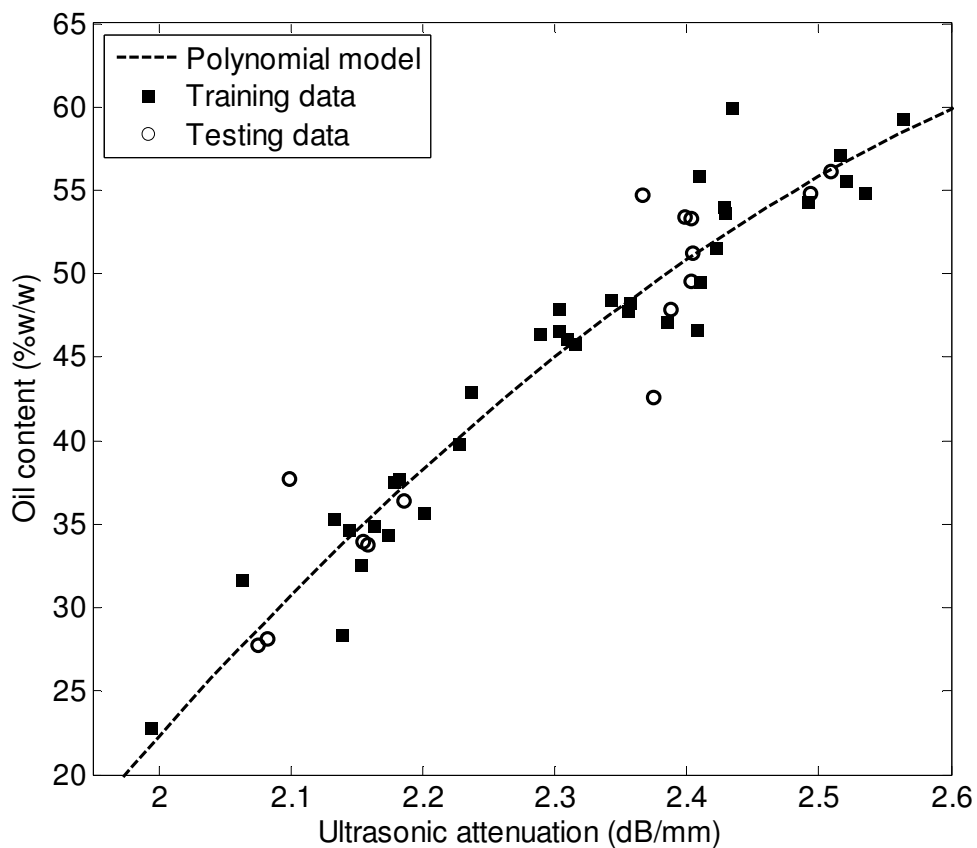
4.3.2. การโมเดลด้วยการวิเคราะห์การถดถอย (Regression analysis)

ในงานวิจัยตอนนี้สมการถดถอยแบบโพลีโนเมียลอันดับที่สอง และสมการถดถอยแบบเส้นตรงถูกเลือกมาใช้สร้างโมเดลเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพกับระบบเครือข่ายประสาทเทียม โดยทำการแบ่งจำนวนข้อมูลในแต่ละกลุ่มออกเป็น 34 (69.38 เปอร์เซ็นต์) และ 15 (30.62 เปอร์เซ็นต์) ตัวอย่างสำหรับกลุ่มตัวอย่างและกลุ่มทดสอบตามลำดับ โดยสมการถดถอยแบบโพลีโนเมียลอันดับที่สองซึ่งถูกสร้างจากกลุ่มตัวอย่างให้ค่าความผิดพลาดเฉลี่ยรากกำลังสอง (2.4702)

ค่าความผิดพลาดเฉลี่ยสัมบูรณ์ (1.8642) และค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (0.9648) ตามลำดับ สำหรับสมการถดถอยแบบเส้นตรงซึ่งถูกสร้างจากกลุ่มตัวอย่างให้ค่าความผิดพลาดเฉลี่ยรากกำลังสอง (2.6438) ค่าความผิดพลาดเฉลี่ยสัมบูรณ์ (2.0856) และค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (0.9591) ตามลำดับ สมการถดถอยแบบโพลิโนเมียลอันดับที่สอง และสำหรับสมการถดถอยแบบเส้นตรงที่ได้รับถูกแสดงในสมการ 4.7 และ 4.8 ตามลำดับ

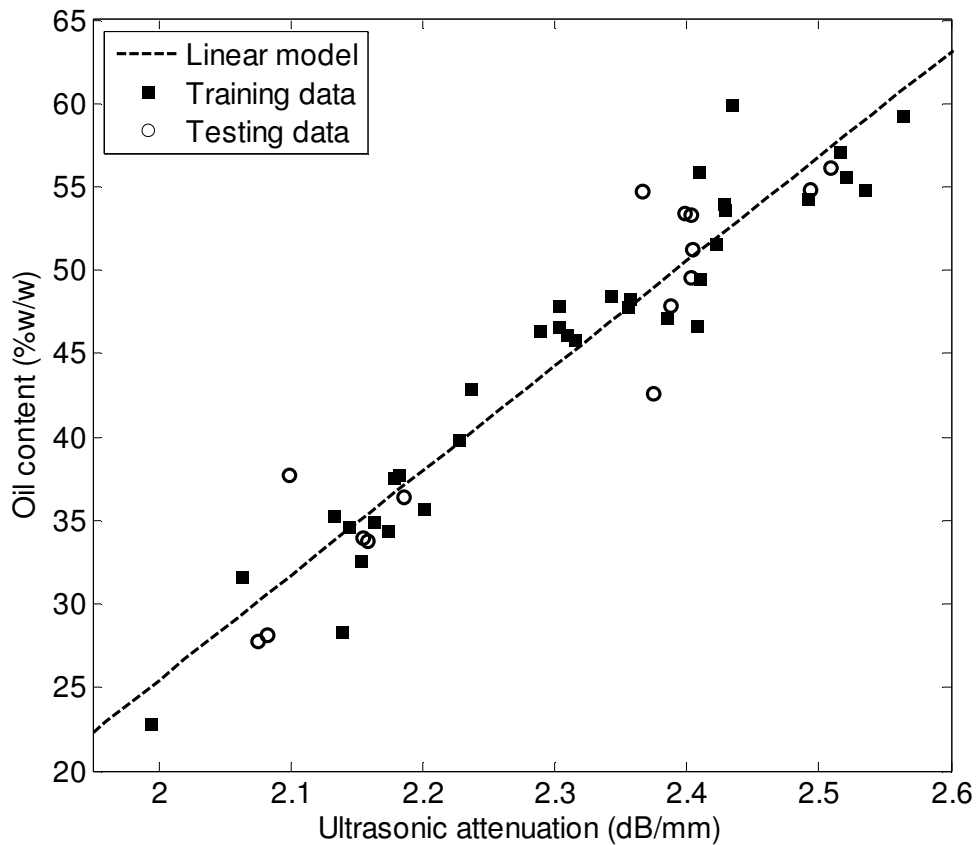
$$y = -43.48x^2 + 262.7x - 329.2 \quad (4.7)$$

$$y = 62.77x - 100.1 \quad (4.8)$$



ภาพประกอบ 4-15 กราฟสมการถดถอยแบบโพลิโนเมียลกำลังสองบนกลุ่มตัวอย่างและกลุ่มทดสอบ

ภาพประกอบ 4-15 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการลดทอนของคลื่นอัลตราโซนิกของผลปาล์มในช่วงปริมาณน้ำมัน 30-60 เปอร์เซ็นต์ จากการสกัดแบบซอท์กั๊ด โดยอยู่บนโมเดลของสมการถดถอยแบบโพลีโนเมียลกำลังสอง ซึ่งจะเห็นได้ว่าเมื่อปริมาณน้ำมันมีค่าสูงขึ้นการลดทอนจะมีค่าเพิ่มขึ้นตามโดยที่ลักษณะของโมเดลมีความคล้ายกับเส้นตรงมาก



ภาพประกอบ 4-16 กราฟสมการถดถอยแบบเส้นตรงบนกลุ่มตัวอย่างและกลุ่มทดสอบ

ภาพประกอบ 4-16 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการลดทอนของคลื่นอัลตราโซนิกของผลปาล์มในช่วงปริมาณน้ำมัน 30-60 เปอร์เซ็นต์ จากการสกัดแบบซอท์กั๊ด โดยอยู่บนโมเดลของสมการถดถอยแบบเส้นตรง ซึ่งจากผลการทดลองได้แสดงให้เห็นว่าในช่วงปริมาณน้ำมัน 30-60 เปอร์เซ็นต์ เครื่องมือชิ้นนี้สามารถทำนายปริมาณน้ำมันด้วยพารามิเตอร์การลดทอนของคลื่นอัลตราโซนิกโดยใช้ความสัมพันธ์ของสมการถดถอยแบบเส้นตรงได้

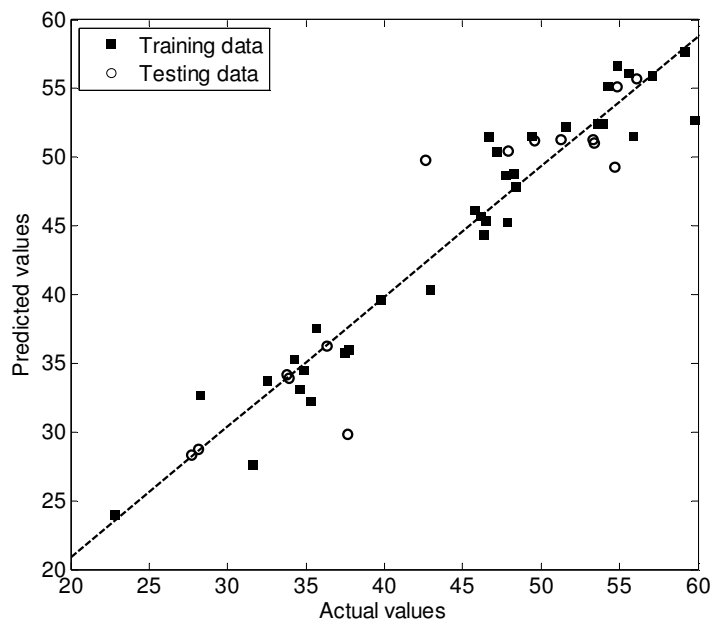
4.3.3. ประสิทธิภาพของระบบเครือข่ายประสาทเทียม, สมการถดถอยแบบโพลีโนเมียล

อันดับที่สองและสมการถดถอยแบบเส้นตรง

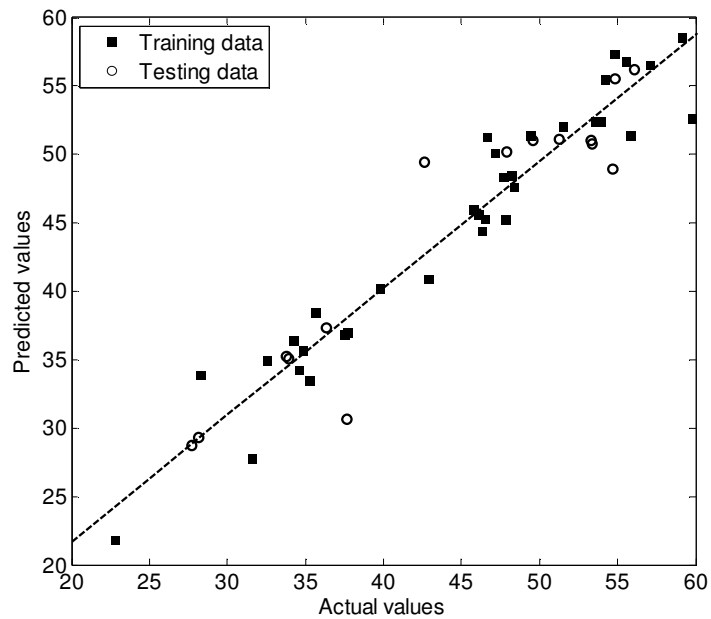
ผลลัพธ์ที่ได้รับมาจากโครงสร้างที่ดีที่สุดของเครือข่ายประสาทเทียม ผลลัพธ์ของสมการถดถอยแบบโพลีโนเมียล และผลลัพธ์ของสมการถดถอยแบบเส้นตรงบนกลุ่มทดสอบถูกเปรียบเทียบบนตารางที่ 4-5 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าระบบเครือข่ายประสาทเทียมมีประสิทธิภาพที่ดีที่สุด

ตารางที่ 4-5 ประสิทธิภาพของระบบเครือข่ายประสาทเทียม ผลลัพธ์ของสมการถดถอยแบบโพลีโนเมียลและผลลัพธ์ของสมการถดถอยแบบเส้นตรงบนกลุ่มทดสอบ

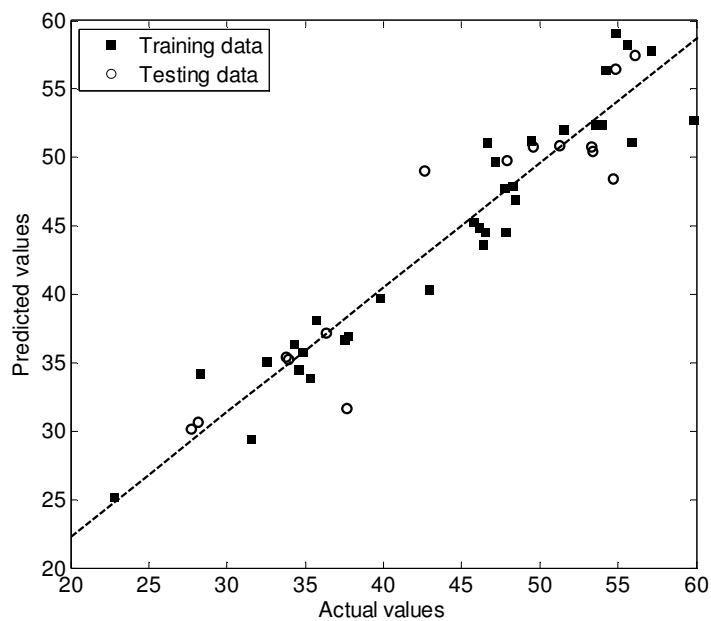
โมเดลทางคณิตศาสตร์	ค่าความผิดพลาดเฉลี่ย รากกำลังสอง	ค่าความผิดพลาด เฉลี่ยสัมบูรณ์	ค่าสัมประสิทธิ์ สหสัมพันธ์
ระบบเครือข่ายประสาท เทียม	3.1938	2.1004	0.9461
สมการถดถอยแบบโพลีโน เมียลอันดับที่สอง	3.2238	2.3310	0.9460
สมการถดถอยแบบเส้นตรง	3.2428	2.6096	0.9449



ภาพประกอบ 4-17 ประสิทธิภาพของระบบเครือข่ายประสาทเทียมบนกลุ่มตัวอย่างและกลุ่มทดสอบ



ภาพประกอบ 4-18 ประสิทธิภาพของสมการถดถอยแบบพหุนามกำลังสองบนกลุ่มตัวอย่าง และกลุ่มทดสอบ



ภาพประกอบ 4-19 ประสิทธิภาพของสมการถดถอยแบบเส้นตรงบนกลุ่มตัวอย่างและกลุ่มทดสอบ

ภาพประกอบ 4-17 4-18 และ 4-19 แสดงถึงประสิทธิภาพการทำนายปริมาณน้ำมัน (แกนตั้ง) ของระบบเครือข่ายประสาทเทียม สมการถดถอยแบบพหุนามกำลังสอง และสมการถดถอยแบบเส้นตรงกับปริมาณน้ำมันที่วัดได้โดยวิธีการสกัดแบบซอท์กัลด (แกนนอน) สมการเส้นตรง

ของระบบเครือข่ายประสาทเทียม สมการถดถอยแบบพหุนามกำลังสองและสมการถดถอยแบบเส้นตรงที่ได้รับคือสมการที่ 4.9 4.10 และ 4.11 ตามลำดับ โดยสมการเส้นตรงจะอยู่ในรูปของ $y = ax + b$ จากสมการที่ 4.9 จะเห็นได้ว่าค่าความชัน a จากสมการเส้นตรงของระบบเครือข่ายประสาทเทียมมีค่าเข้าใกล้ 1 มากกว่าค่าความชัน a ของสมการถดถอยแบบพหุนามกำลังสองและสมการถดถอยแบบเส้นตรง (สมการที่ 4.10 และ 4.11) ซึ่งมีความสอดคล้องกับค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของระบบเครือข่ายประสาทเทียมที่มีค่าสูงกว่าสมการถดถอยแบบพหุนามกำลังสองและสมการถดถอยแบบเส้นตรง (ตารางที่ 4-5)

$$y = 0.947x - 1.969 \quad (4.9)$$

$$y = 0.927x - 3.150 \quad (4.10)$$

$$y = 0.910x - 4.064 \quad (4.11)$$

4.4. สรุป

เนื้อหาในตอนนี้นำเสนอผลลัพธ์ความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ของคลื่นอัลตราโซนิก (การลดทอนและความเร็วของคลื่น) กับผลปาล์มที่ปริมาณน้ำมันต่างๆ นำเสนอโมเดลต่างๆ ทางคณิตศาสตร์ของความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ของคลื่นอัลตราโซนิก (การลดทอนของคลื่น) ที่ปริมาณน้ำมันต่างๆของผลปาล์ม ซึ่งพบว่าระบบเครือข่ายประสาทเทียมให้ความแม่นยำที่สูงที่สุดในช่วงปริมาณน้ำมันทั้งหมดและในช่วงปริมาณน้ำมัน 20-60 เปอร์เซ็นต์

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1. สรุปผล

ในงานวิจัยครั้งนี้จะมุ่งเน้นไปทางการศึกษาเพื่อหาระบบวิเคราะห์ และทำนายปริมาณน้ำมันในผลปาล์ม ซึ่งทำการศึกษาโดยการทำการทดลองจากการศึกษาคุณสมบัติต่าง ๆ ของผลปาล์ม เพื่อที่จะหาตัวแปรที่มีความสัมพันธ์ในระบบการทำนายปริมาณน้ำมันผลปาล์ม นอกจากนี้ยังนำเสนอระบบการทำนายปริมาณน้ำมันที่ไม่ให้เกิดการทำลายผลผลิต นั่นก็คือ ระบบอัลตราโซนิก ซึ่งปาล์มที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้คือ พันธุ์เทเนอรา (*Elaeis guineensis* Jacq) สุราษฎร์ธานี 2 ซึ่งจัดเป็นพันธุ์ปาล์มที่ให้ปริมาณผลผลิตปริมาณน้ำมันใน 1 ไร่สูง และเป็นที่ยอมรับปลูกเมื่อเทียบกับปาล์มสุราษฎร์ธานีพันธุ์อื่นๆ

จากการศึกษาองค์ความรู้และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับระบบตรวจหาปริมาณน้ำมันในผลปาล์มกับตัวแปรต่าง ๆ พบว่าน้ำหนัก ปริมาตร ความหนาแน่น และน้ำหนักเนื้อเยื่อของผลปาล์มนั้นไม่มีความสัมพันธ์กับปริมาณน้ำมันของผลปาล์ม สำหรับเฟสของคลื่นอัลตราโซนิกนั้นแม้ว่าจะมีความสัมพันธ์กับปริมาณน้ำมันของผลปาล์มซึ่งเป็นไปตามสมมติฐานการทดลอง อย่างไรก็ตามช่วงค่าของเฟสมีช่วงค่าที่แคบ และต่ำจนเกินกว่าจะนำมาใช้ในการทำนายปริมาณน้ำมันได้ แต่สำหรับพารามิเตอร์ของคลื่นอัลตราโซนิก (การลดทอนของคลื่น) มีความเกี่ยวเนื่องกับคุณสมบัติทางเคมีของผลไม้ (ปริมาณน้ำมัน)

5.1.1. ผลการทดลองการหาความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติต่าง ๆ กับปริมาณน้ำมันในผลปาล์ม

จากสมมติฐานการทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติต่าง ๆ ของผลปาล์ม (น้ำหนัก ปริมาตร ความหนาแน่น และน้ำหนักของเนื้อเยื่อของผลปาล์ม) กับปริมาณน้ำมันในผลปาล์ม ซึ่งจากการทดลองก็พบว่าคุณสมบัติเหล่านี้ไม่มีความสัมพันธ์อย่างชัดเจนกับปริมาณน้ำมันในผลปาล์มเนื่องมาจากเหตุผลต่าง ๆ ดังนี้

ในส่วนของคุณสมบัติของน้ำหนักของผลปาล์ม เนื่องจากน้ำหนักของผลปาล์มมีความสัมพันธ์ที่น้อยกับปริมาณน้ำมันในผลปาล์ม และไม่เป็นไปตามสมมติฐานการทดลองที่ว่า น้ำหนักของผลปาล์มมีความสัมพันธ์กับปริมาณน้ำมันของผลปาล์มซึ่งจากทฤษฎีปริมาณน้ำมันจะสูงขึ้นอยู่กับระดับความสุกของผลปาล์ม โดยผลปาล์มจะสุกมากขึ้นตามระยะเวลาของผลปาล์มเช่นกัน เพราะฉะนั้นหากผลปาล์มมีอายุยังน้อย (ไม่สุก) แต่น้ำหนักเยื่อจะมีปริมาณน้ำมันที่น้อยกว่าผลปาล์มอายุเยอะแต่น้ำหนักน้อย

ปริมาตรของผลปาล์ม โดยสมมติฐานการทดลองคือปริมาตรของผลปาล์มนั้นมีความสัมพันธ์กับปริมาณน้ำมันของผลปาล์ม โดยพบว่าผลปาล์มมีปริมาณน้ำมันเพิ่มตามอายุ ถึงผลปาล์มนั้นจะมีขนาดเล็กแต่ถ้าอายุมากก็จะมีปริมาณน้ำมันสูง ซึ่งก็พบว่าไม่สอดคล้องกับสมมติฐานการทดลองที่ว่าปริมาตรของผลปาล์มและปริมาณน้ำมันของผลปาล์มมีความสัมพันธ์กัน

ในส่วนความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นของผลปาล์มกับปริมาณน้ำมันในผลปาล์ม ซึ่งสมมติฐานการทดลองคือความหนาแน่นของผลปาล์มมีความสัมพันธ์กับปริมาณน้ำมันของผลปาล์ม จากการที่ผลปาล์มมีปริมาณน้ำมันมากขึ้นและทำให้ผลปาล์มมีความหนาแน่นลดลง ซึ่งในการทดลองนี้พบว่าความหนาแน่นของผลปาล์มมีแนวโน้มแต่ไม่ชัดเจนกับปริมาณน้ำมันในผลปาล์มเนื่องจากการกระจายของข้อมูล ทำให้ไม่สามารถนำความหนาแน่นไปทำนายปริมาณน้ำมันในผลปาล์มได้

และการศึกษาน้ำหนักของเนื้อเยื่อของผลปาล์มกับปริมาณน้ำมันในผลปาล์ม ก็พบว่าไม่เป็นไปตามสมมติฐานที่ว่าน้ำหนักเนื้อเยื่อของผลปาล์มมีความสัมพันธ์กับปริมาณน้ำมันของผลปาล์ม อีกทั้งตัวแปรนี้ยังไม่เหมาะสมในการนำไปใช้ เนื่องจากจะต้องมีการทำลายผลผลิตด้วย

5.1.2. ผลการทดลองการหาปริมาณน้ำมันในผลปาล์มโดยการหาค่าการลดทอนของคลื่น

ผลการทดลองศึกษาหาความสัมพันธ์ระหว่างการลดทอนของคลื่นกับปริมาณของน้ำมันในผลปาล์ม ซึ่งเป็นอีกตัวแปรหนึ่งในงานวิจัยครั้งนี้ จากการทดลองพบว่า การลดทอนของแอมพลิจูดของคลื่นมีความสัมพันธ์กันอย่างสูงกับปริมาณน้ำมันในผลปาล์ม คือเมื่อปริมาณน้ำมันมีค่ามากขึ้นอัตราการลดทอนของคลื่นก็จะมีค่าสูงขึ้นไปด้วย ดังนั้นจึงนำเสนอการลดทอนของคลื่นเพื่อนำมาใช้เป็นตัวแปรในการทำนายปริมาณน้ำมันในผลปาล์ม

ระบบเครือข่ายประสาทเทียม สมการถดถอยแบบโพลีโนเมียลอันดับที่สองและสมการถดถอยแบบเส้นตรงได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้ในการสร้างโมเดลเพื่ออธิบายความสัมพันธ์ระหว่างการลดทอนของคลื่นและปริมาณน้ำมันในผลปาล์มสด โดยจากการศึกษาพบว่าระบบเครือข่ายประสาทเทียมให้ประสิทธิภาพสูงที่สุดเมื่อเทียบกับโมเดลอื่น ๆ โดยผลการทำนายค่าปริมาณน้ำมันในผลปาล์มโดยระบบเครือข่ายประสาทเทียมในช่วงปริมาณน้ำมัน 20-60 เปอร์เซ็นต์ มีความแม่นยำมากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับการทำนายในช่วงปริมาณน้ำมันทั้งหมด โดยมีความถูกต้องโดยเฉลี่ยอยู่ที่ 95.2346 เปอร์เซ็นต์ มีค่าสูงสุดและค่าต่ำสุดของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดอยู่ที่ 20.7990 และ 0.0897 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับดังในตารางที่ 5-1

ตารางที่ 5-1 ประสิทธิภาพของระบบเครือข่ายประสาทเทียมบนกลุ่มทดสอบในช่วงปริมาณน้ำมัน 20-60เปอร์เซ็นต์

ช่วง ตัวอย่าง	ค่าความ ผิดพลาด เฉลี่ยราก กำลังสอง	ค่าความ ผิดพลาด เฉลี่ย สัมบูรณ์	ค่า สัมประสิทธิ์ สหสัมพันธ์	ค่าเฉลี่ย เปอร์เซ็นต์ ความ ผิดพลาด	ค่าสูงสุด เปอร์เซ็นต์ ความ ผิดพลาด	ค่าต่ำสุด เปอร์เซ็นต์ ความ ผิดพลาด
ตัวอย่าง ในช่วง ปริมาณ น้ำมัน 20- 60 เปอร์เซ็นต์	3.1938	2.1004	0.9461	4.7654	20.7990	0.0897

5.2. ข้อเสนอแนะ

5.2.1. ข้อเสนอแนะผลการทดลองการหาปริมาณน้ำมันในผลปาล์มโดยการหาค่าการลดทอนของคลื่น

งานวิจัยในครั้งนี้ได้ทดสอบผลปาล์มที่มีรูปร่างเป็นทรงรี ซึ่งหากรูปร่างผลปาล์มไม่เป็นไปตามนี้อาจจะส่งผลให้ผลลัพธ์มีความผิดพลาดได้ อย่างไรก็ตามในการใช้งานจริงควรเลือกใช้เครื่องมือวัดคลื่นในด้านผลปาล์มที่มีรูปร่างทรงรี เพื่อช่วยลดความผิดพลาดจากกรณีนี้

วัสดุอุปกรณ์สำหรับการพัฒนาตรวจสอบด้วยคลื่นอัลตราโซนิกเป็นวัสดุที่ต้องใช้เทคโนโลยีสูงในการผลิต ทำให้ความถี่ที่จะเลือกใช้ได้มีจำกัด โดยความถี่ที่ใช้ในการทดลองนี้คือ 40 กิโลเฮิรท์ ซึ่งยังไม่อาจบอกได้ว่าเป็นความถี่ที่เหมาะสมที่สุดในการตรวจสอบปริมาณน้ำมันในผลปาล์ม หากเป็นไปได้ควรทดลองความถี่อื่นๆด้วยเพื่อหาความถี่ที่เหมาะสม

เนื่องด้วยการพัฒนาเครื่องมือขึ้นนี้จำเป็นต้องหาความสัมพันธ์ระหว่างการลดทอนของคลื่นและปริมาณน้ำมันที่แท้จริงในผลปาล์ม โดยวิธีการสกัดแบบชอกท์เลต ซึ่งวิธีการสกัดแบบชอกท์เลตนี้มีค่าใช้จ่ายในการดำเนินการที่สูงมาก ทำให้การได้จำนวนตัวอย่างที่ปริมาณสูงจำเป็นต้องใช้งบประมาณที่สูงตามไปด้วย

พันธุ์ปาล์มที่ใช้ทดสอบคือเทเนอรา สุราษฎร์ธานี 2 เป็นพันธุ์ปาล์มที่ให้ผลผลิตสูงและเป็นที่นิยมปลูก นอกจากนี้ยังถูกพัฒนาโดยศูนย์วิจัยปาล์มน้ำมันสุราษฎร์ธานี ซึ่งทำให้ได้ปาล์มที่มีคุณภาพและราคาถูกลงกว่าการนำเข้าปาล์มน้ำมันจากต่างประเทศ อย่างไรก็ตามหากนำอุปกรณ์ชิ้นนี้ไปใช้วัดปาล์มน้ำมันพันธุ์อื่นอาจต้องทำการหาความสัมพันธ์เพื่อใช้ในการทำนายปริมาณน้ำมันในผลปาล์มใหม่

บรรณานุกรม

- [1] สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, “สถานการณ์และแนวโน้มสินค้าเกษตรที่สำคัญ ปี 2551” กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2551.
- [2] สุทธิจิตต์ เจริญทอง, เสาวลักษณ์ จันทร์ประสิทธิ์, สุชาติ เจริญทอง และ วิศิษฐ์ ลิ้มพัฒนศิริ, “ระบบตลาดปาล์มน้ำมัน : จังหวัดสุราษฎร์ธานี” ประชาคมวิจัยฉบับที่ 82, 2551.
- [3] C.O. Flingoh, Z. Kamarudin, “Wideline nuclear magnetic resonance for measuring the oil content of palm mesocarp,” *Nuclear Magnetic Resonance. ELAEIS*, Vol. 3(1), pp. 311-316, 1991.
- [4] V. McGlone, S. Ko, R. Jordan, “Non-contact fruit firmness measurement by the laser air-puff method,” *Transaction of the ASAE*, Vol. 42, pp. 1391-1397, 1999.
- [5] Y.-C. Hung, S.E. Prussia, G.O.I. Ezeike, “Nondestructive firmness sensing using laser a air-puff detector,” *Postharvest Biology and Technology*, vol. 16, pp. 15-25, 1999.
- [6] K. Peleg, “Development of commercial fruit firmness sorter,” *Journal of Agricultural Engineering Research*, Vol. 72, pp. 231-238, 1999.
- [7] T.F. Schatzki, R.P. Ha, R. Young, I. Can, L.C. Lee, “Defect detection in apples by means of x-ray imaging sensors for nondestructive testing,” *Proceeding Sensors for Nondestructive Testing International Conference*, Orlando, FL, pp. 18-21, 1997.
- [8] C.J. Clark, P.D. Hocking, D.C. Joyce, R.A. Mazucco, “Application of magnetic resonance imaging to pre- and post-harvest studies of fruit and vegetables,” *Postharvest Biol.Techno*, vol. 11, (1), pp. 1-21, 1997.
- [9] P. Butz, C. Hofmann, B. Tauscher, “Recent developments in noninvasive techniques for fresh fruit and vegetable internal quality analysis,” *Journal of Food Science*, vol. 70, (9), pp. 131–R141, 2005.
- [10] A. Mizrach, “Ultrasonic technology for quality evaluation of fresh fruit and vegetables in pre- and postharvest processes,” *Postharvest Biology and Technology*, vol. 48, pp. 315-330, 2008
- [11] A. Mizrach, “Determination of avocado and mango fruit properties by ultrasonic technique,” *Ultrasonics*, Vol. 38, pp. 717–722, 2000.

- [12]A. Mizrach, U. Flitsanov, “Nondestructive ultrasonic determination of avocado softening process,” *Journal of Food Engineering*, Vol. 40, pp. 139–144, 1999.
- [13]ธีระ เอกสมทราเมษฐ์, ชัยรัตน์ นิตนนท์, ธีระพงศ์ จันทรมิขม, ประกิจ ทองคำ, วรณา เลี้ยววาริณ, *คู่มือปาล์ม น้ำมัน และวิธีจัดการสวน*, คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, 2546.
- [14]ศูนย์วิจัยปาล์มน้ำมันสุราษฎร์ธานี, “ประวัติและลักษณะกลุ่มพันธุ์ปาล์มน้ำมัน” [ออนไลน์], เข้าถึงได้จาก: <http://it.doa.go.th/palm/linkTechnical/varity.html>, 2011.
- [15]A. Mizrach, N. Galili, G. Rosenhouse, “3-D Model of sound pressure field in a meridional section plane of fruit,” *Ultrasonic*, Vol. 49, no. 1, pp. 83–88, 2009.
- [16]F. Bourgis, A. Kilaru, X. Cao, G. Ngando-Ebongue, N. Driraf, J. B. Ohlrogge, V. Arondel, “Comparative transcriptome and metabolite analysis of oil palm and date palm mesocarp that differ dramatically in carbon partitioning,” *PNAS* June 27, 2011.
- [17]J. Krautkramer, H. Krautkramer, *Ultrasonic testing of materials.*, Springer-Verlag, Heidelberg, Germany, 1990.
- [18]อาทิตย์ ศรีแก้ว, *ปัญหาเชิงคำนวณ*, คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, 2009
- [19]G. Cakmak, C. Yildiz, “The prediction of seedy grape drying rate using a neural network method,” *Computer and Electronics in Agriculture*, Vol. 75, pp. 132-138, 2011.

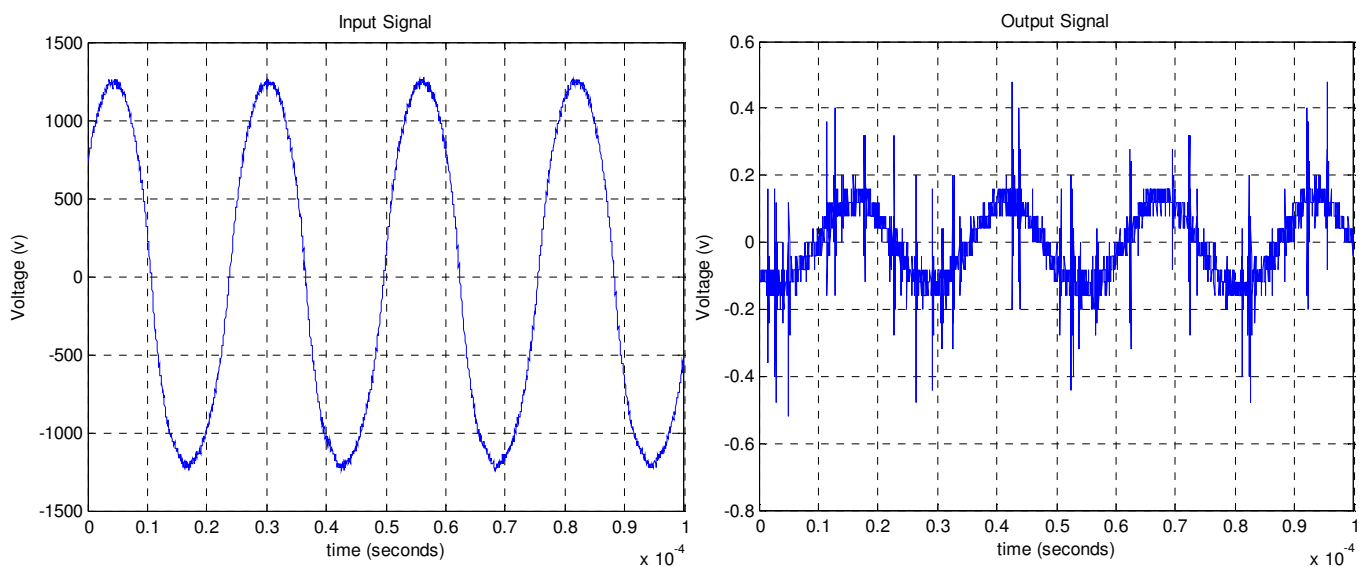
ภาคผนวก

ภาคผนวก ก.

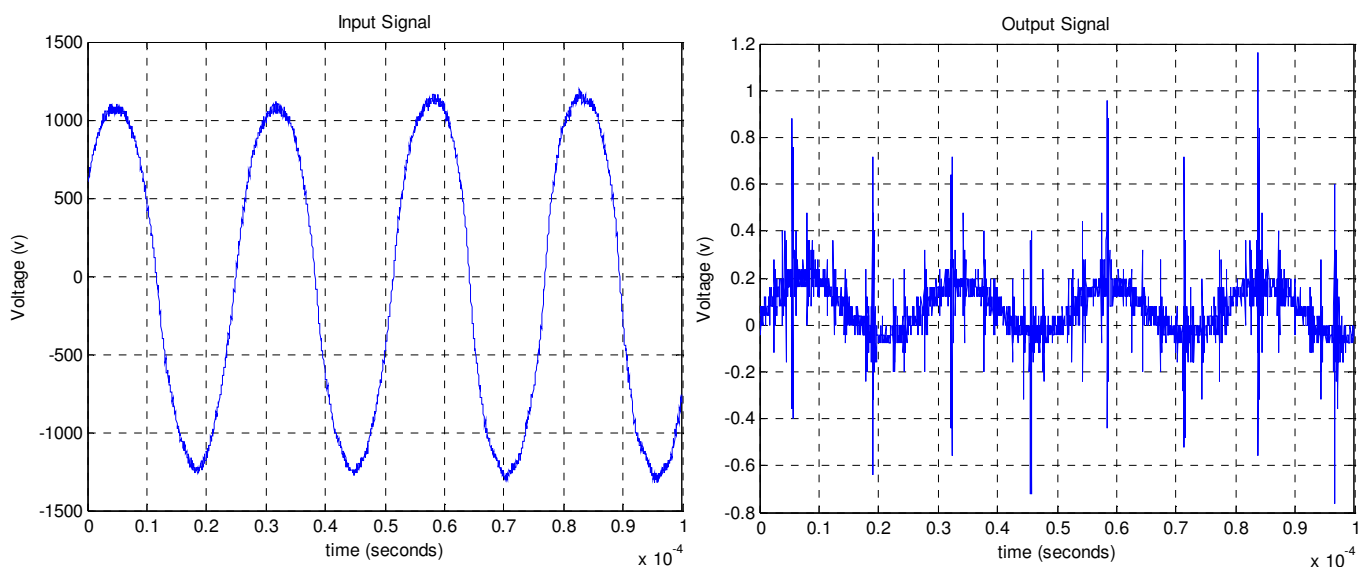
กราฟสัญญาณผลลัพธ์ของตัวอย่างทั้งหมด

กราฟสัญญาณผลลัพธ์ของตัวอย่างทั้งหมด

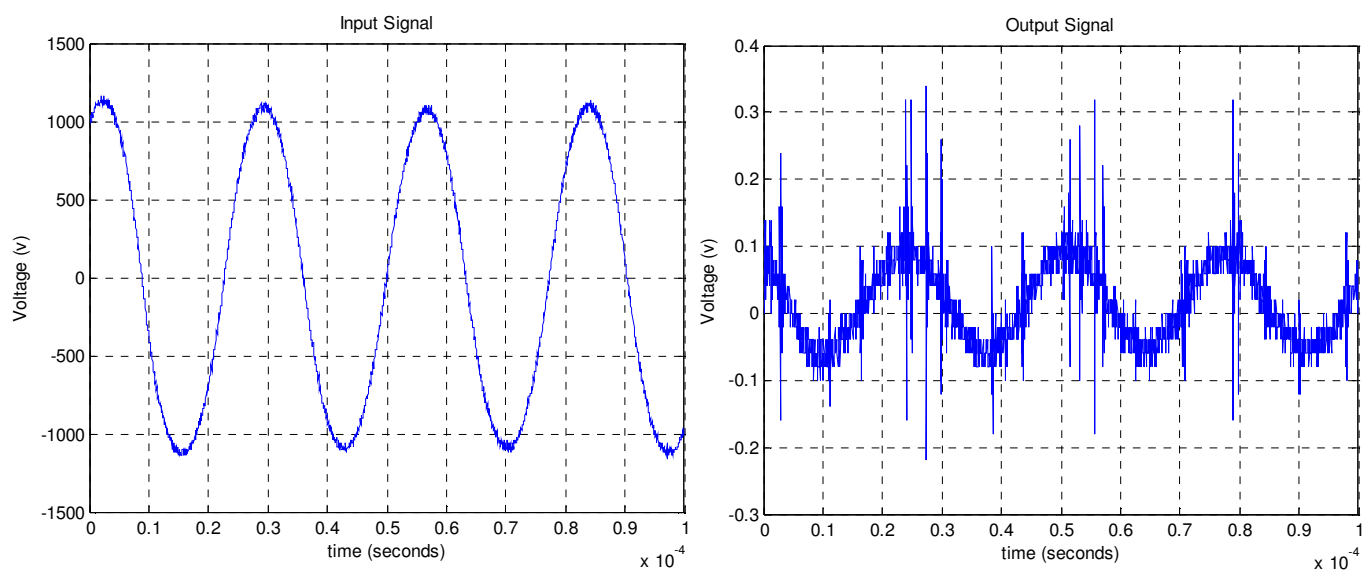
ตัวอย่างที่ (1)



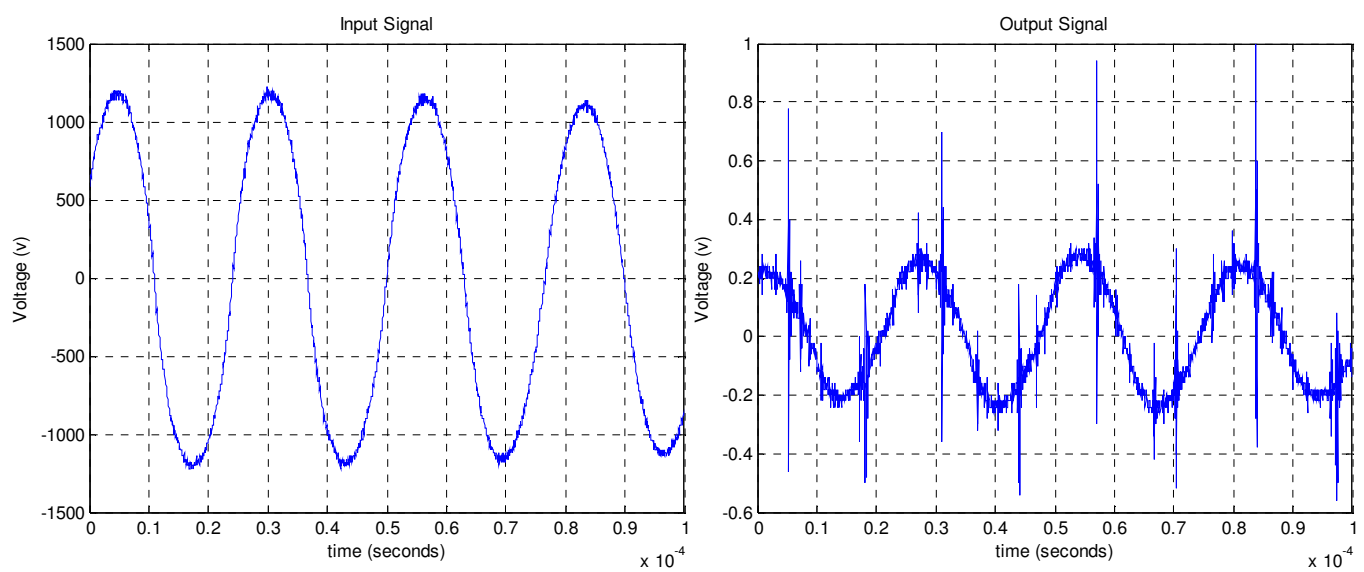
ตัวอย่างที่ (2)



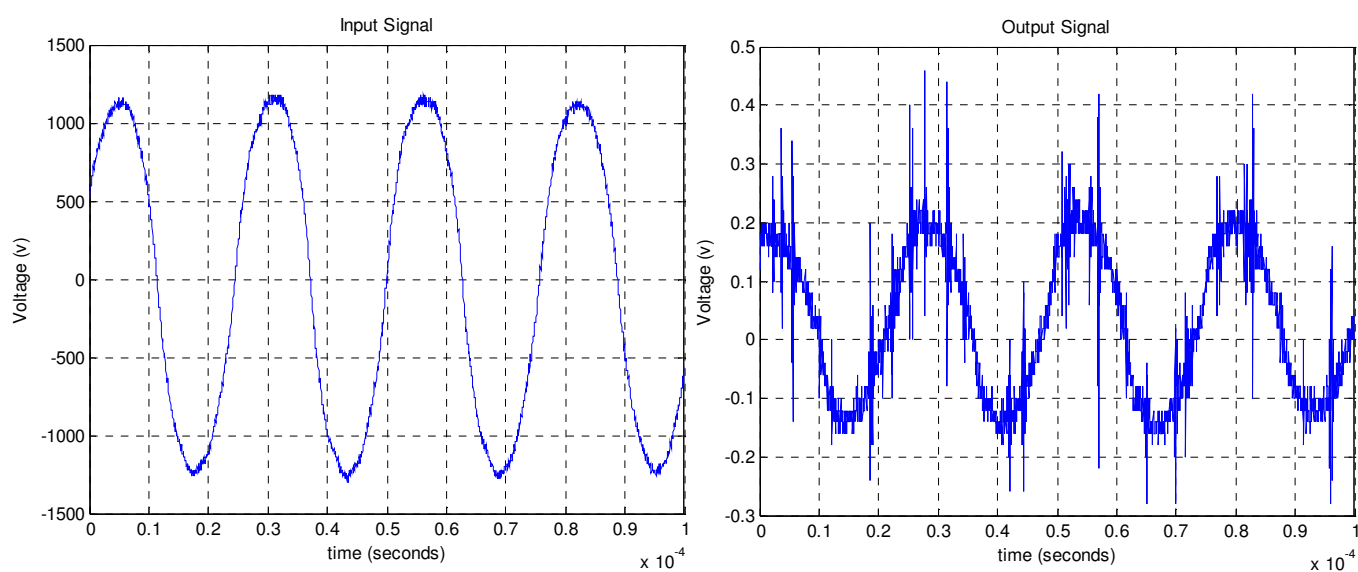
ตัวอย่างที่ (3)



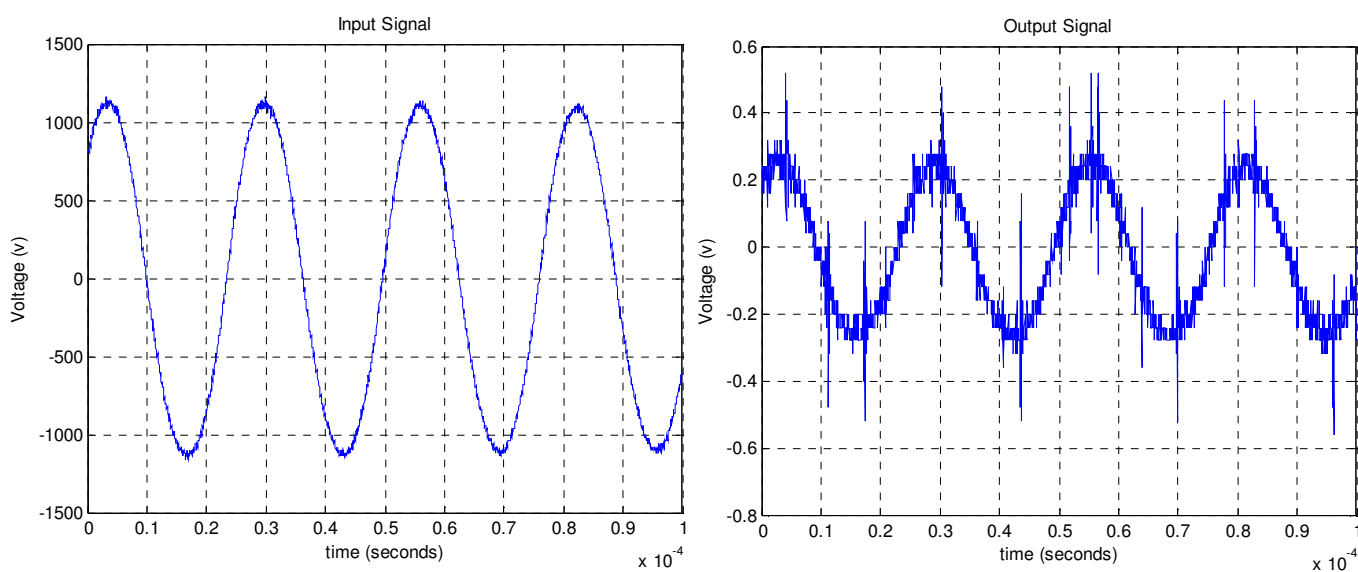
ตัวอย่างที่ (4)



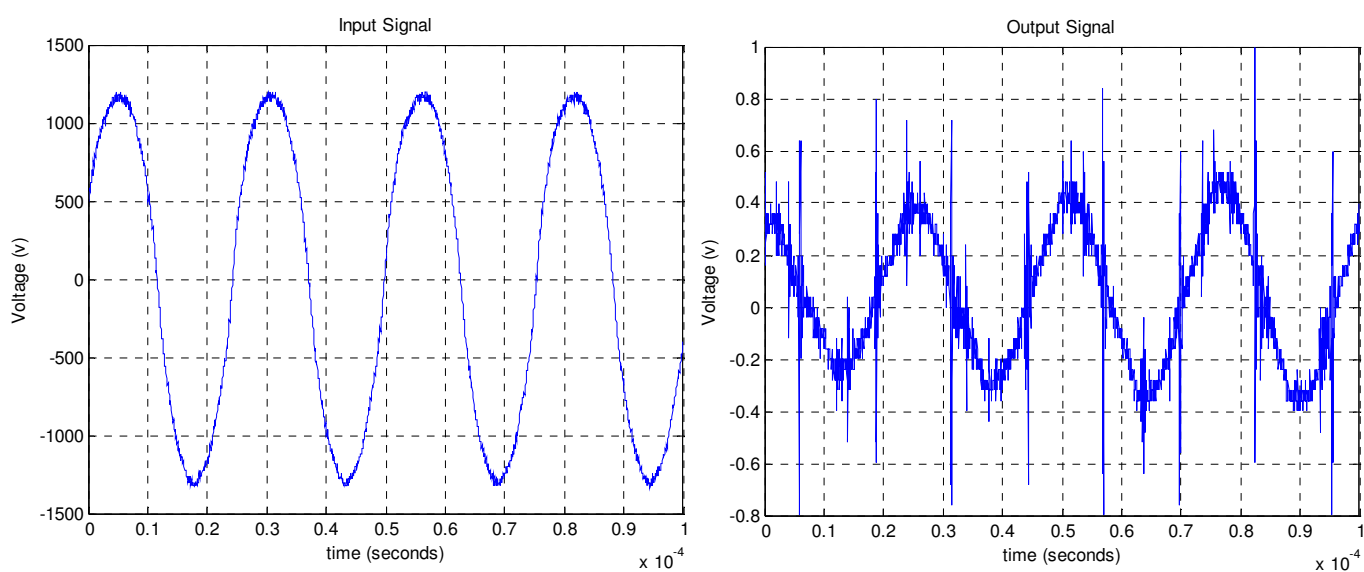
ตัวอย่างที่ (5)



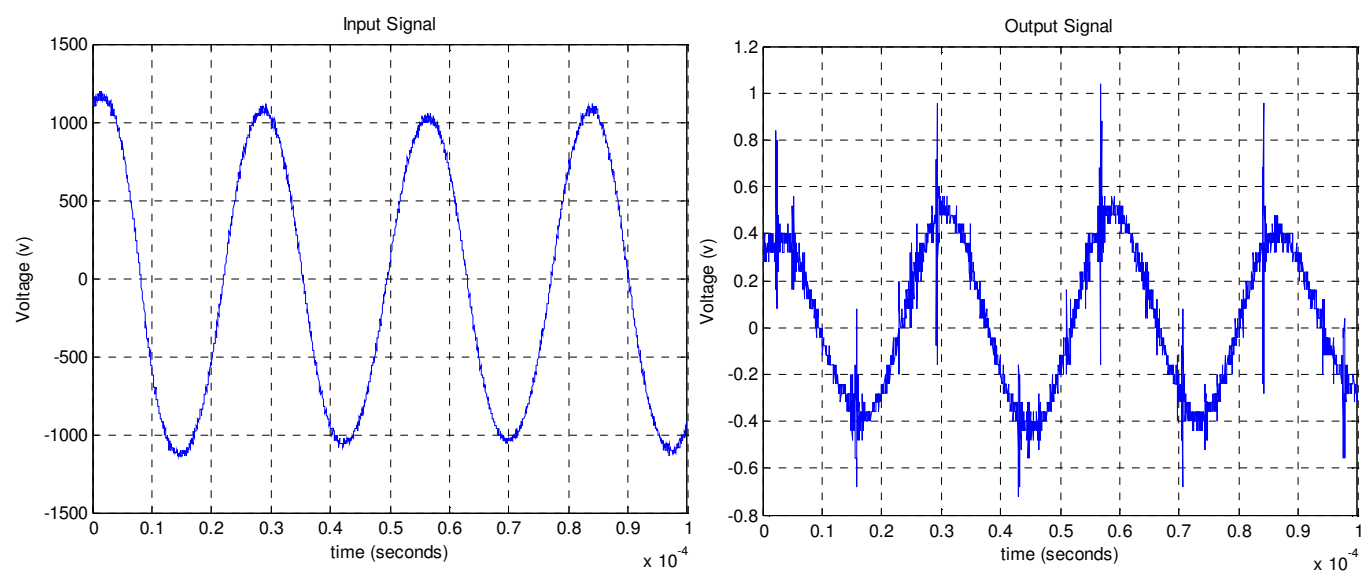
ตัวอย่างที่ (6)



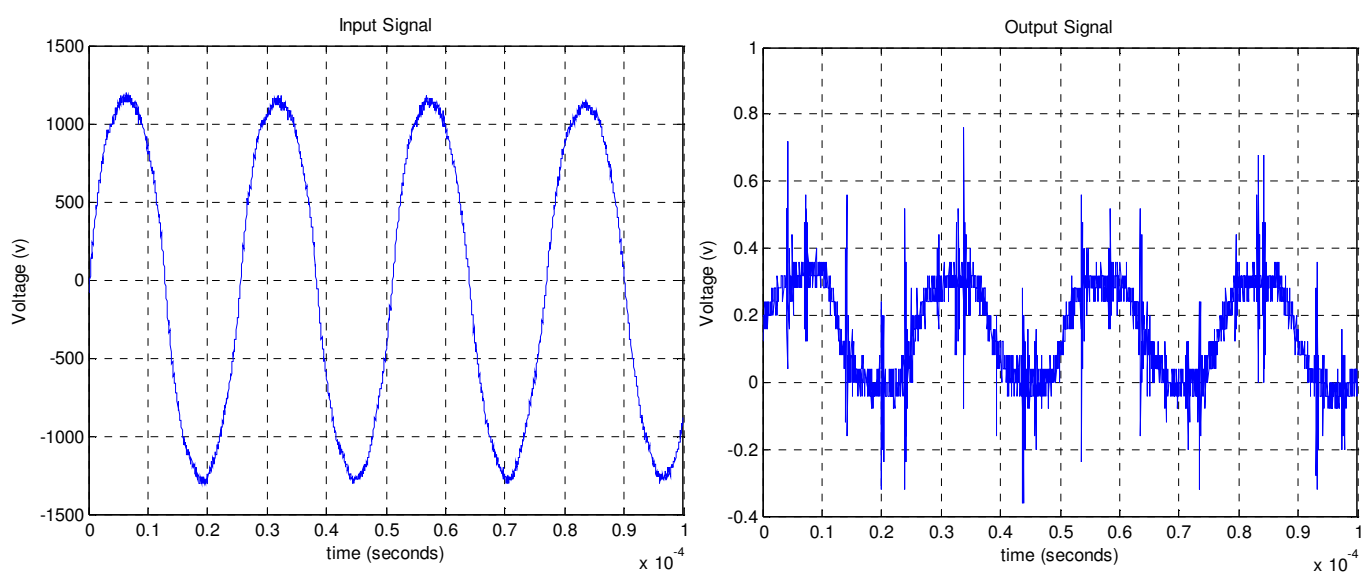
ตัวอย่างที่ (7)



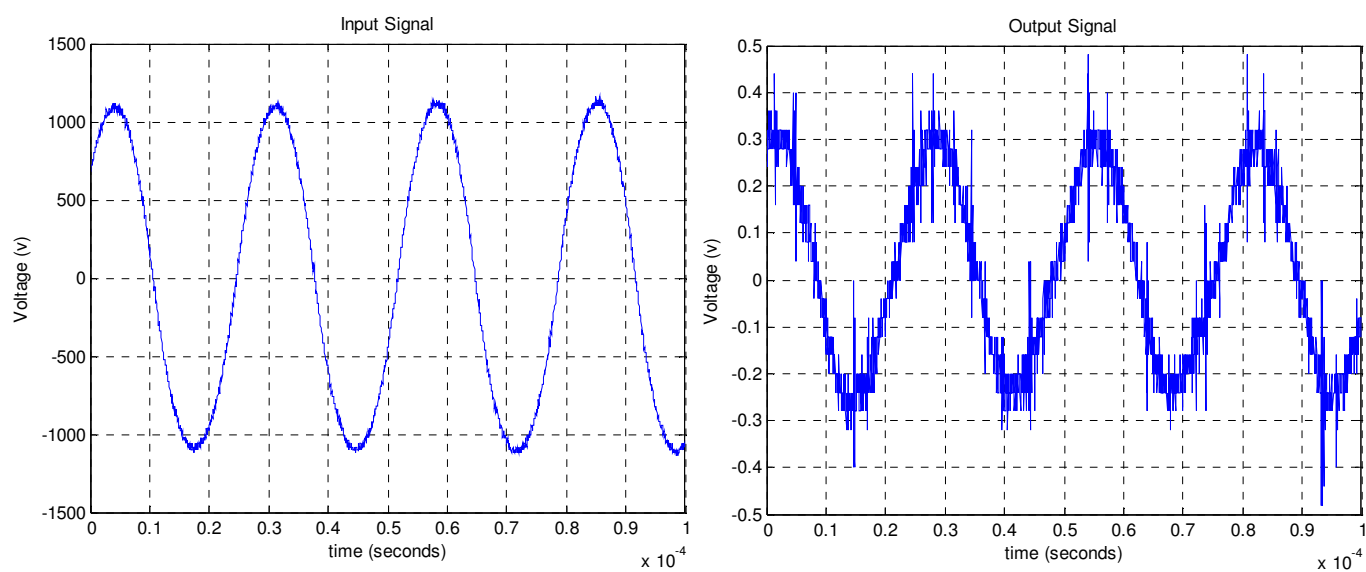
ตัวอย่างที่ (8)



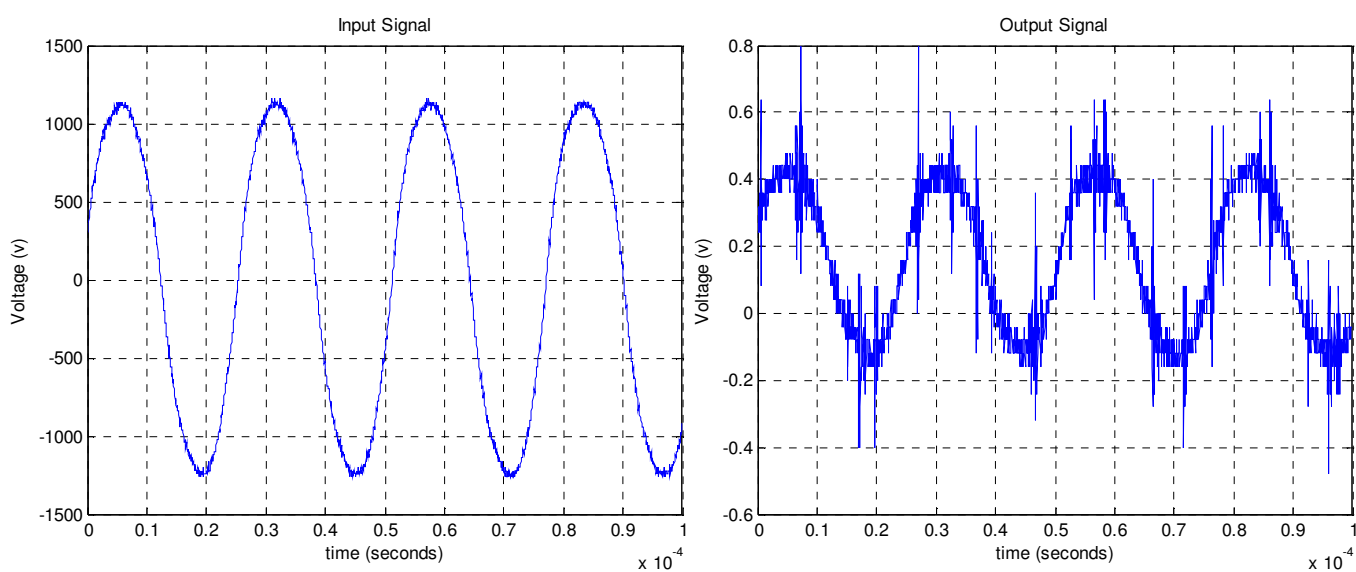
ตัวอย่างที่ (9)



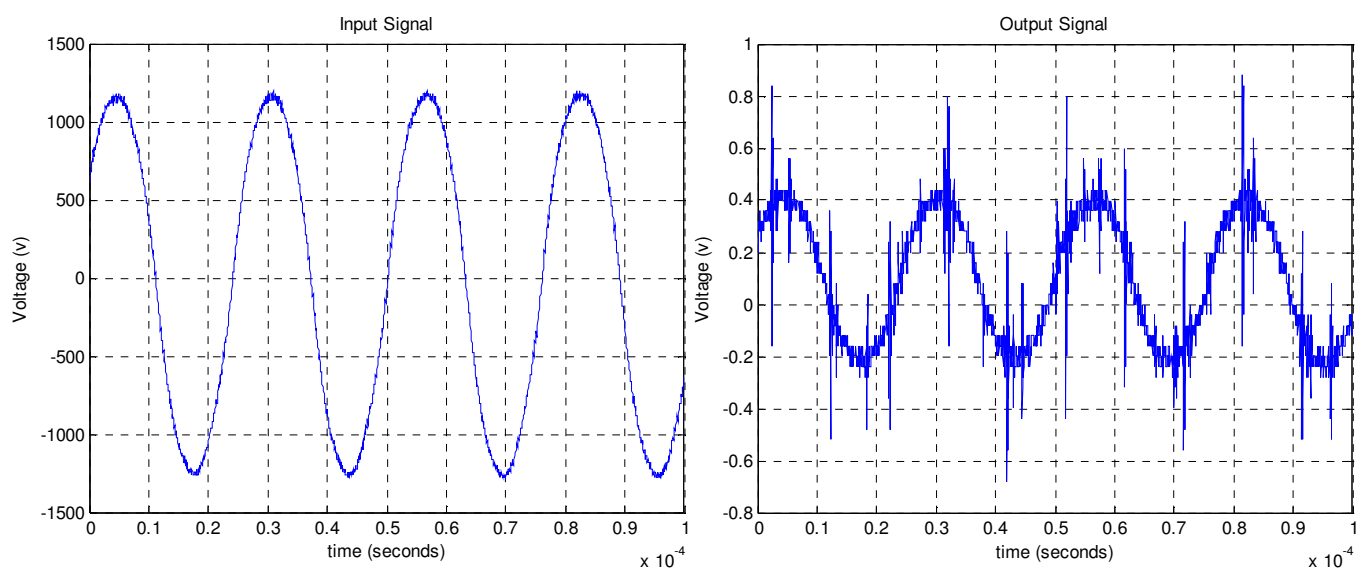
ตัวอย่างที่ (10)



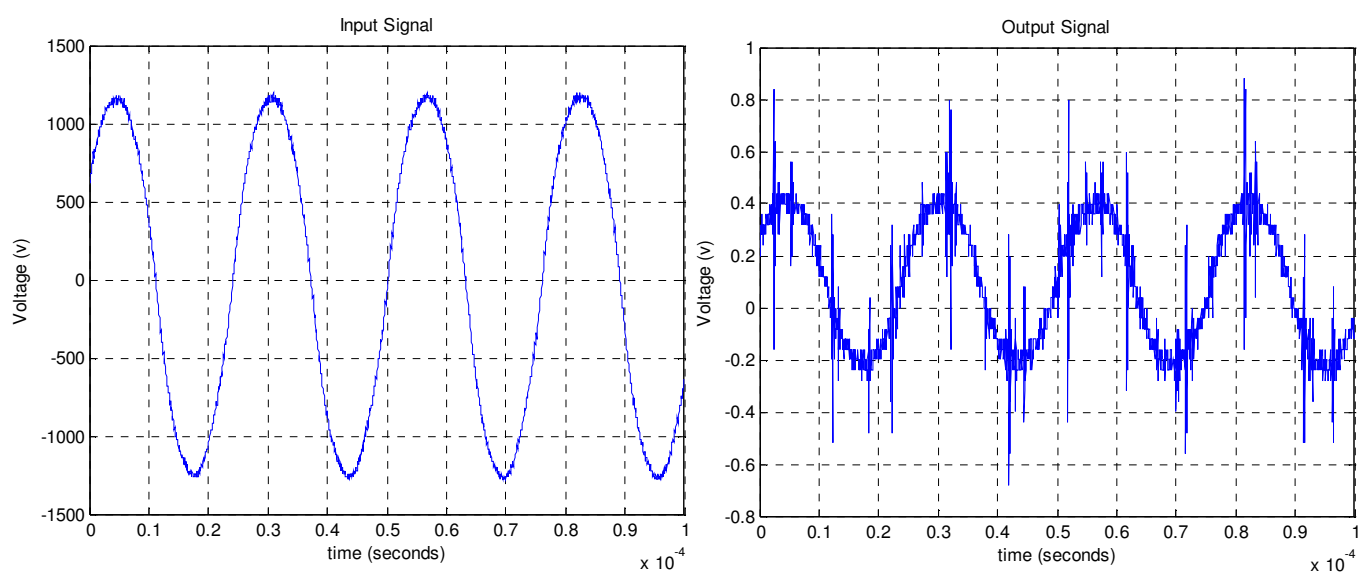
ตัวอย่างที่ (11)



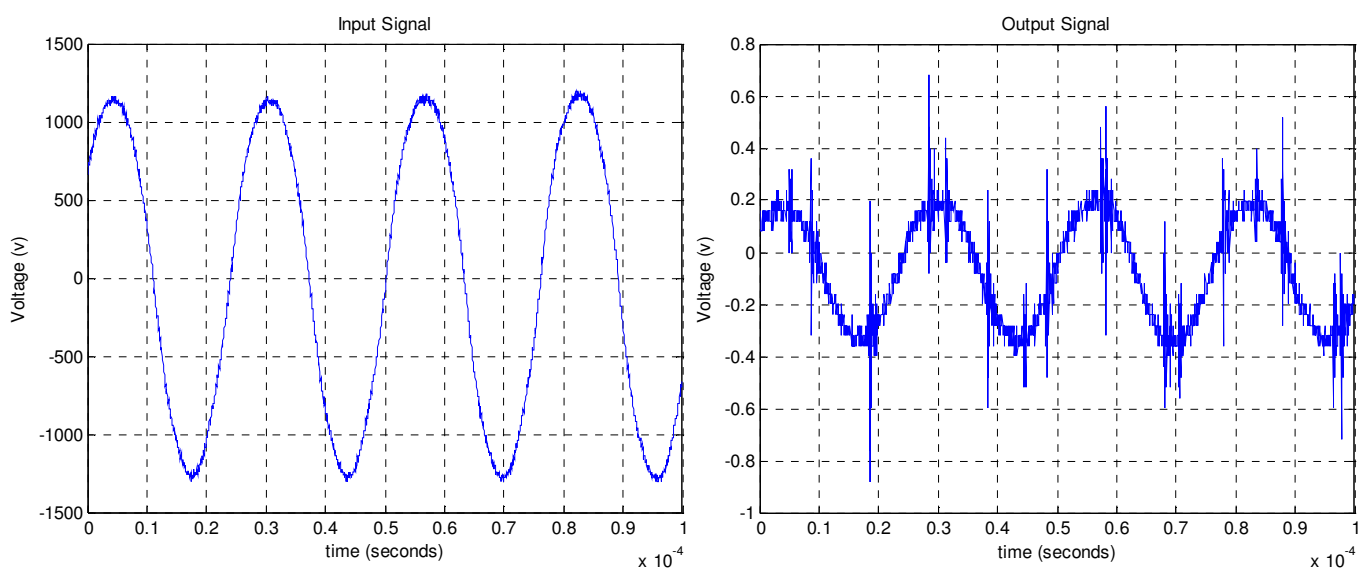
ตัวอย่างที่ (12)



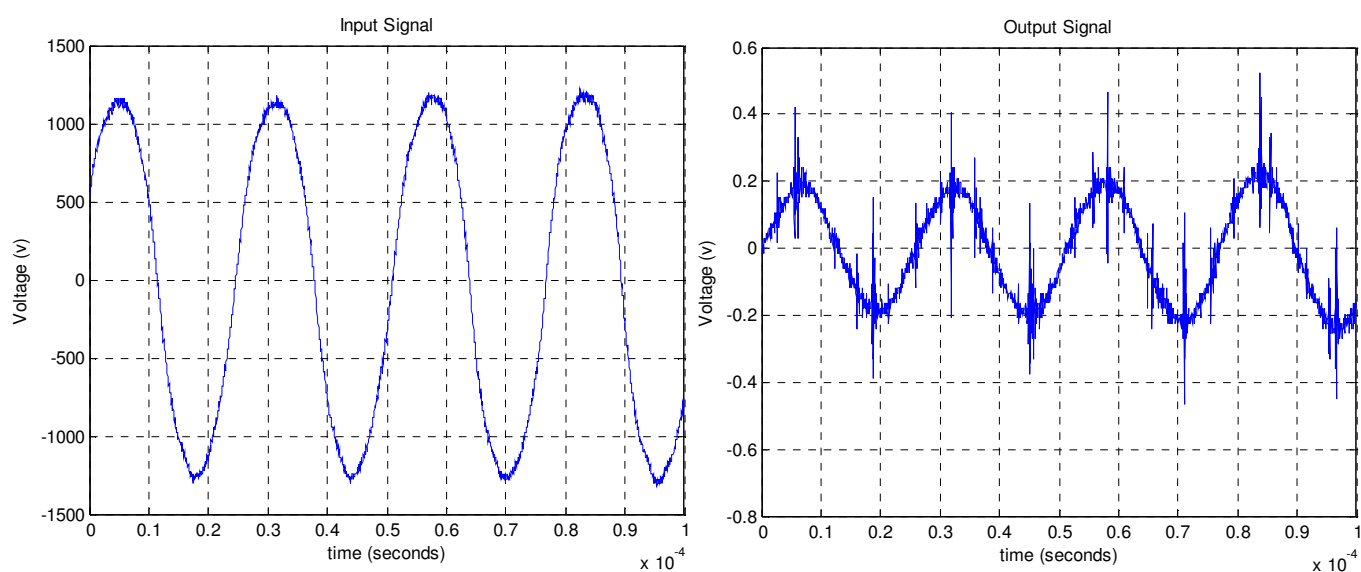
ตัวอย่างที่ (13)



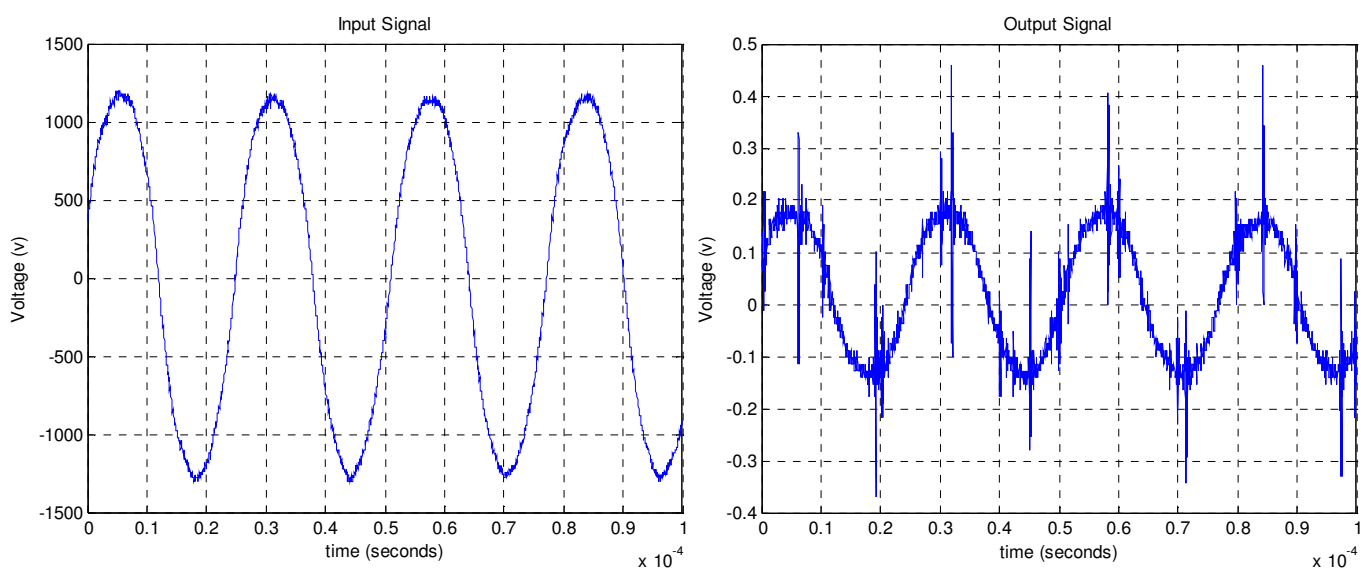
ตัวอย่างที่ (14)



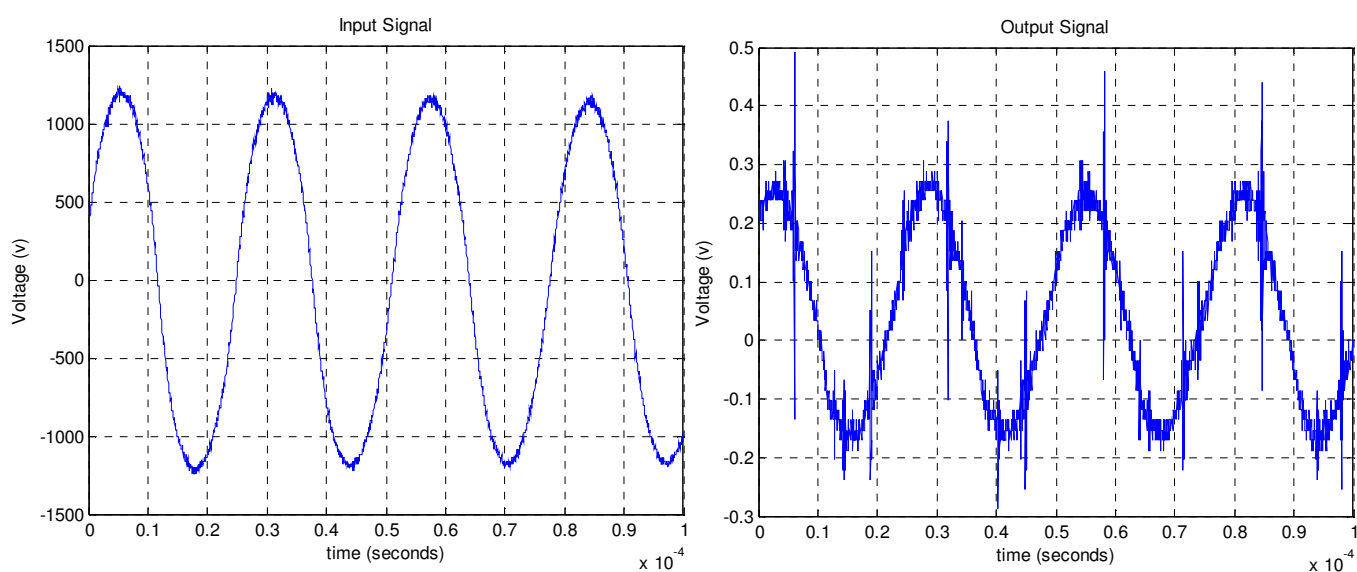
ตัวอย่างที่ (15)



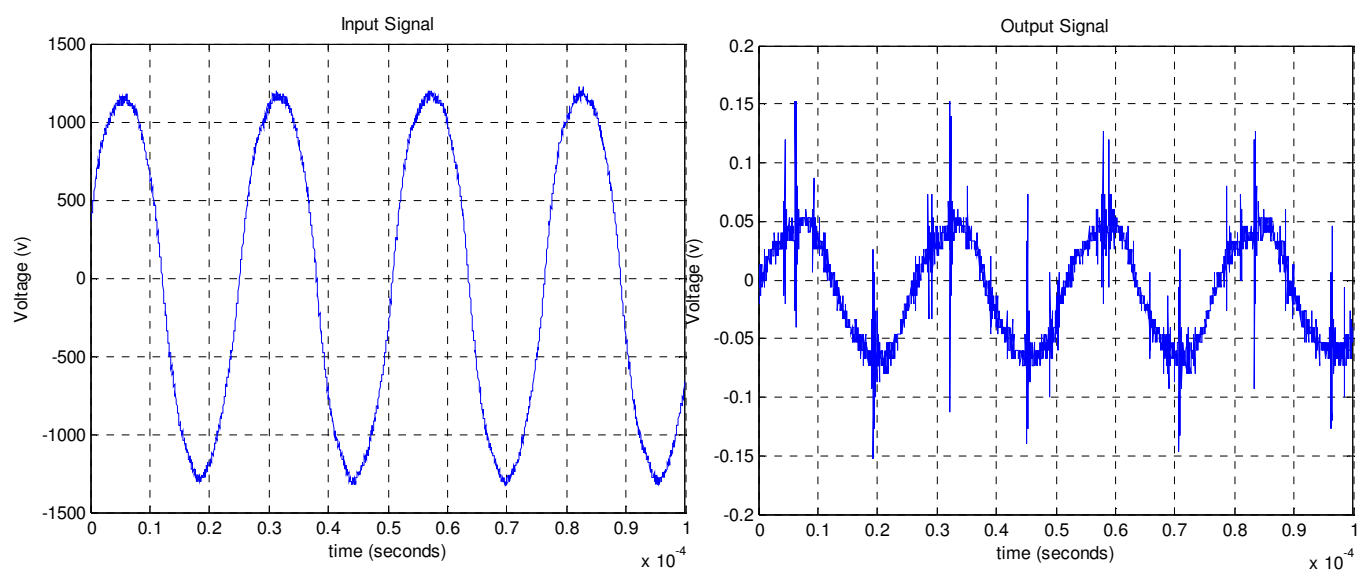
ตัวอย่างที่ (16)



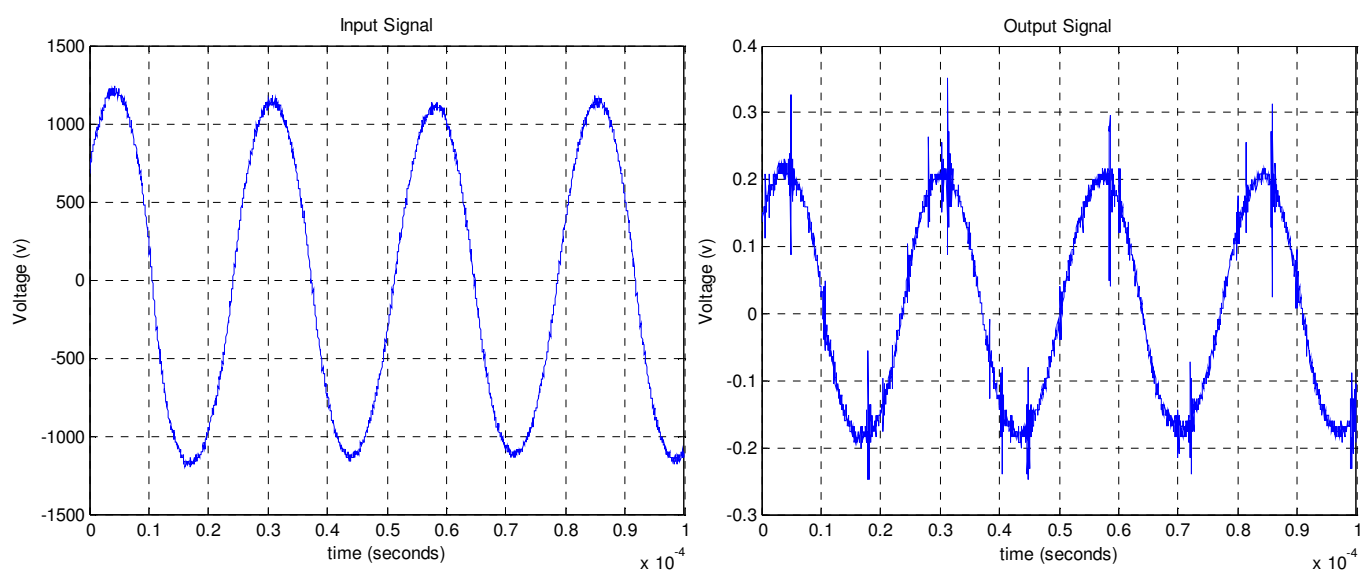
ตัวอย่างที่ (17)



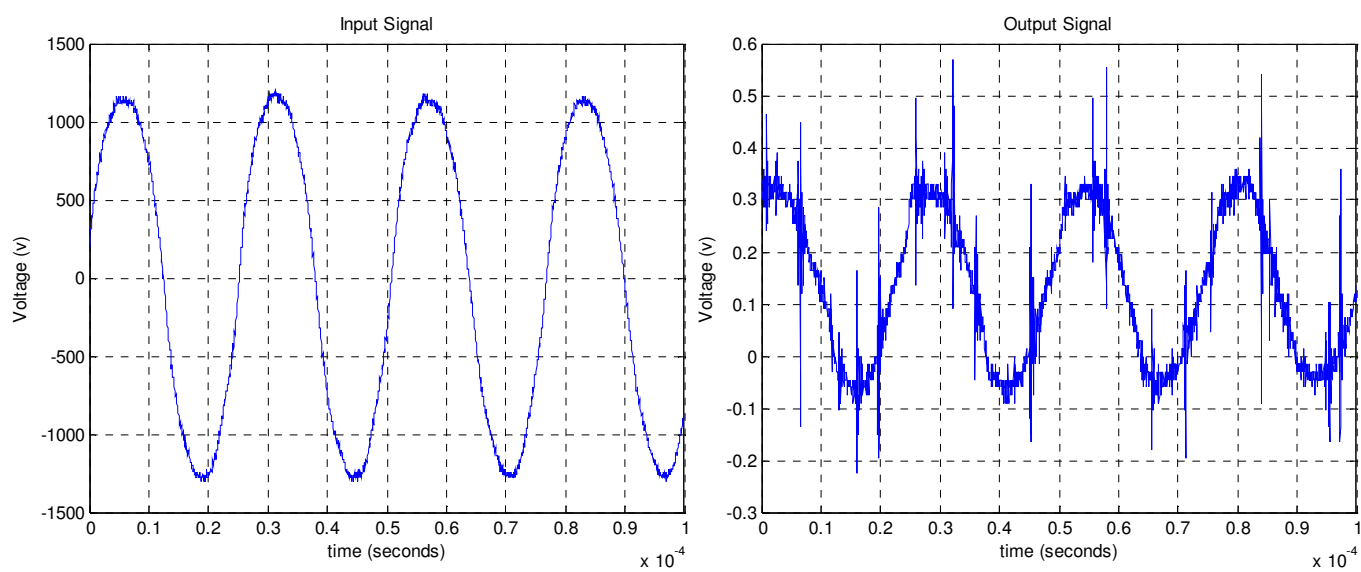
ตัวอย่างที่ (18)



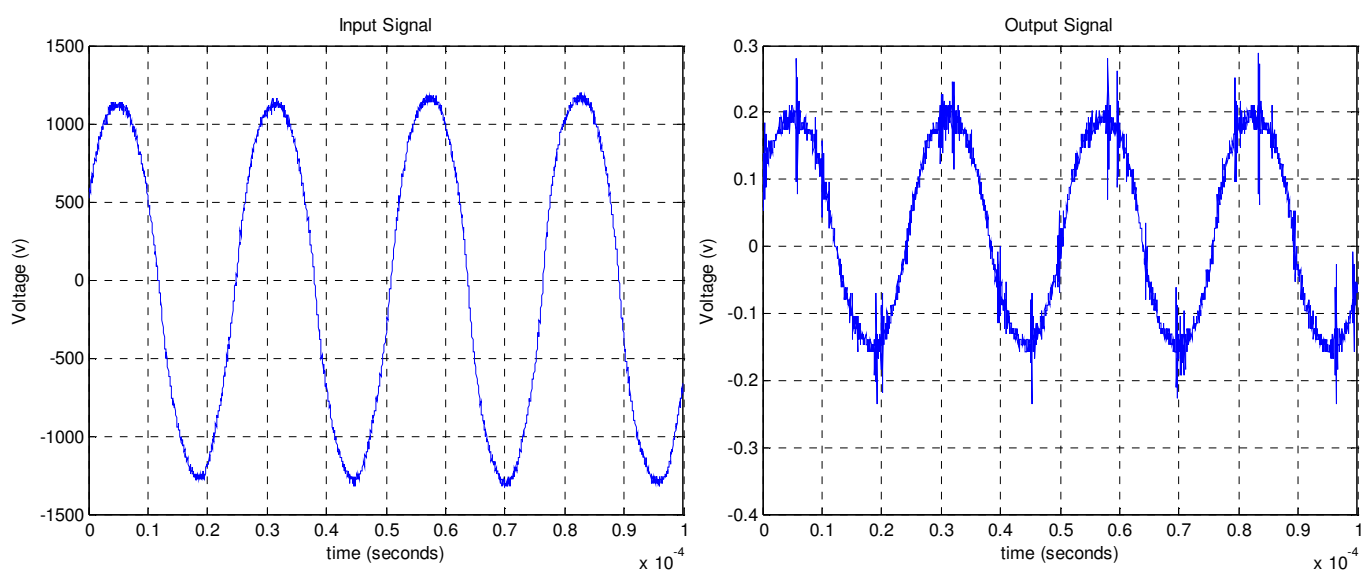
ตัวอย่างที่ (19)



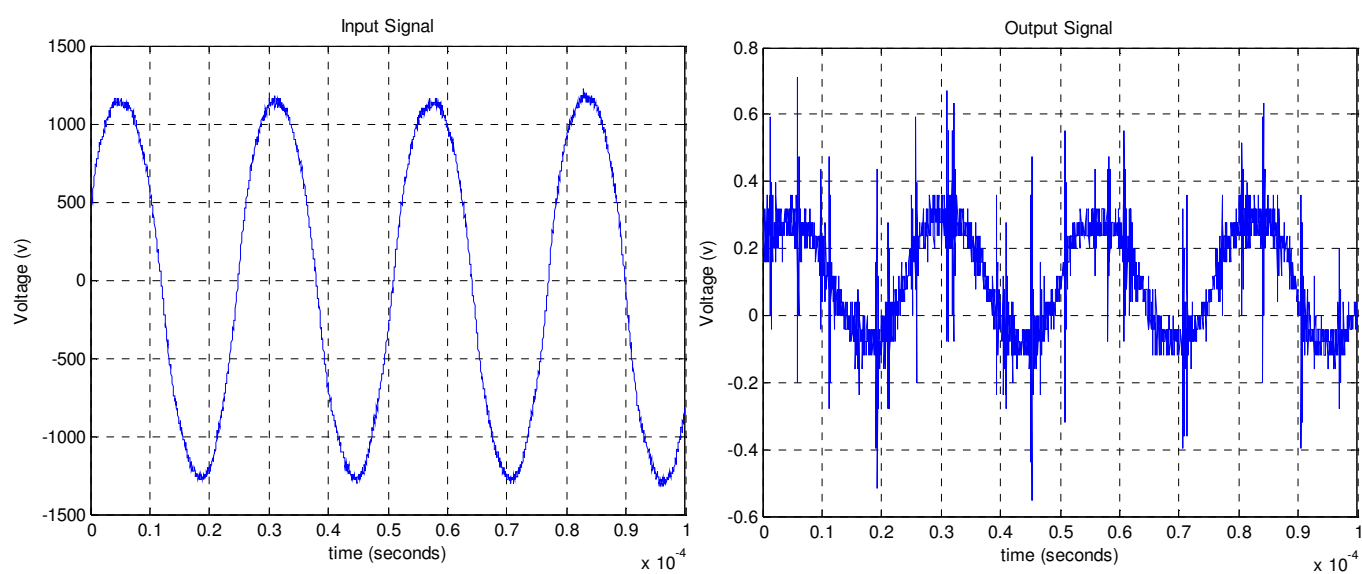
ตัวอย่างที่ (20)



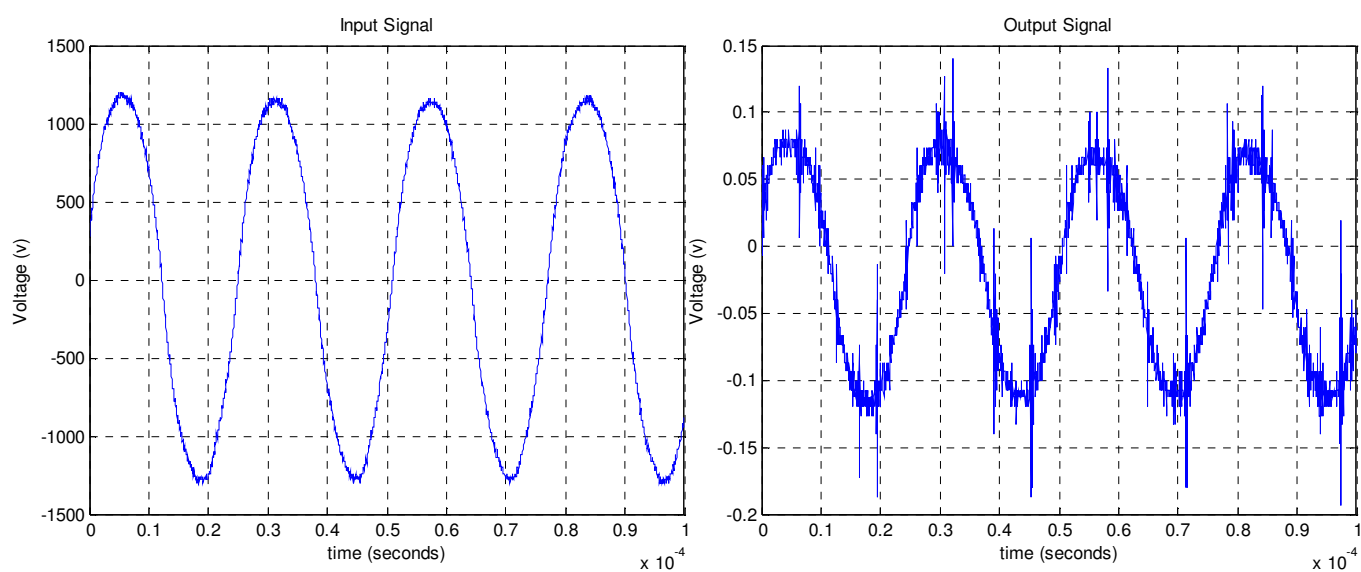
ตัวอย่างที่ (21)



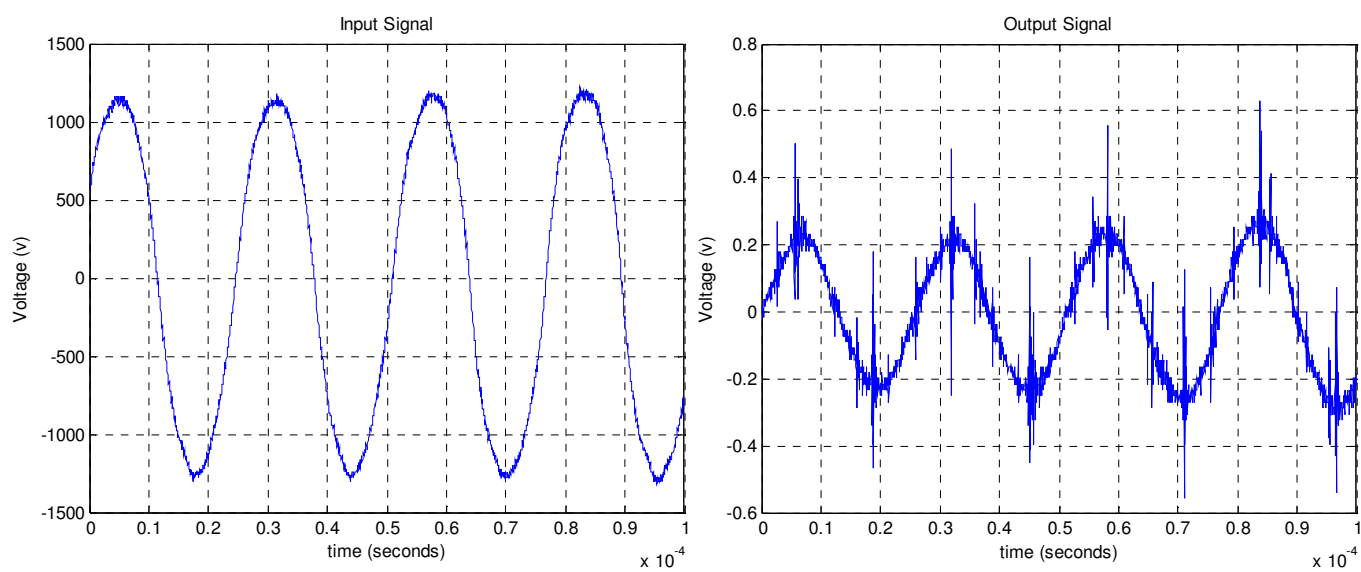
ตัวอย่างที่ (22)



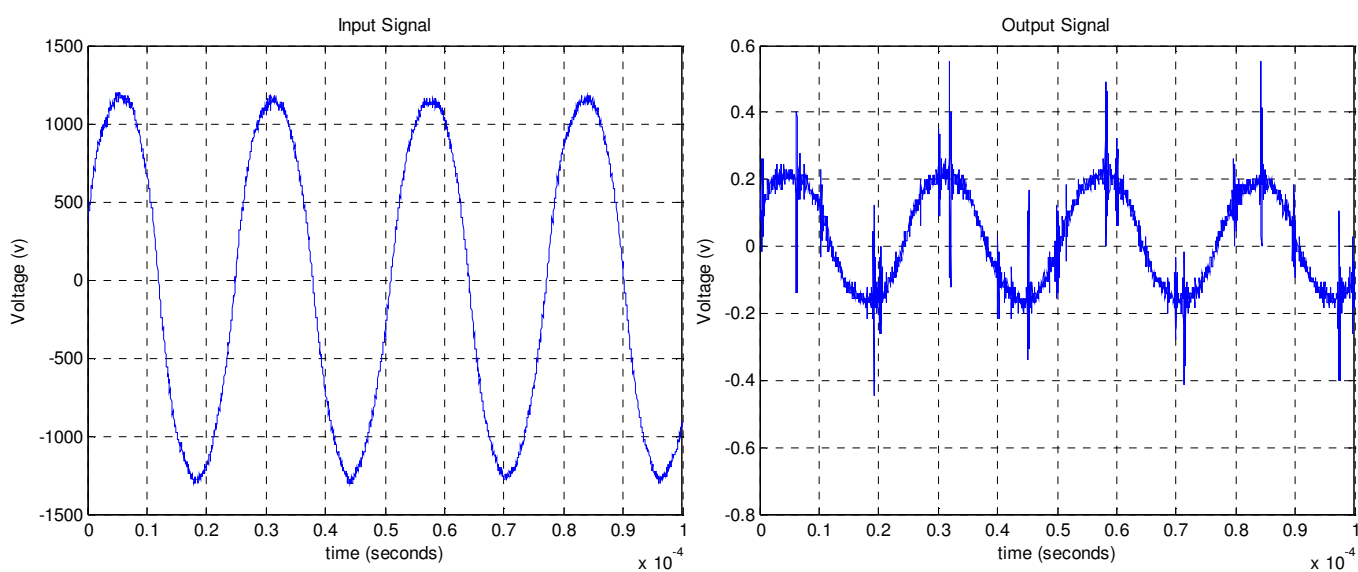
ตัวอย่างที่ (23)



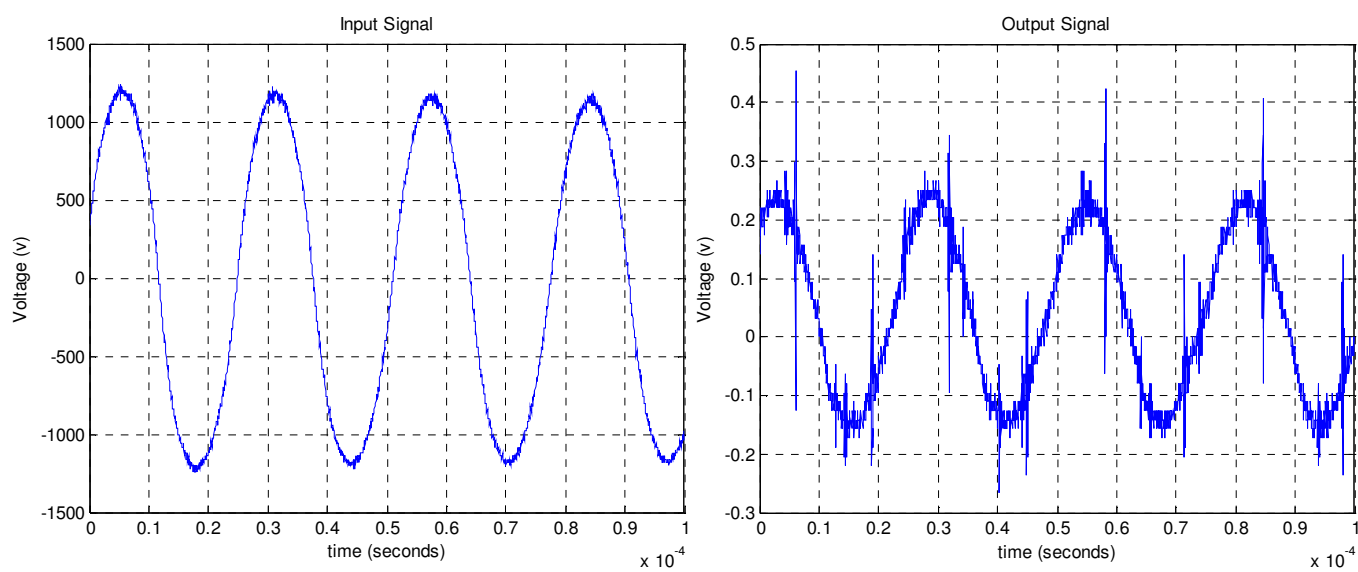
ตัวอย่างที่ (24)



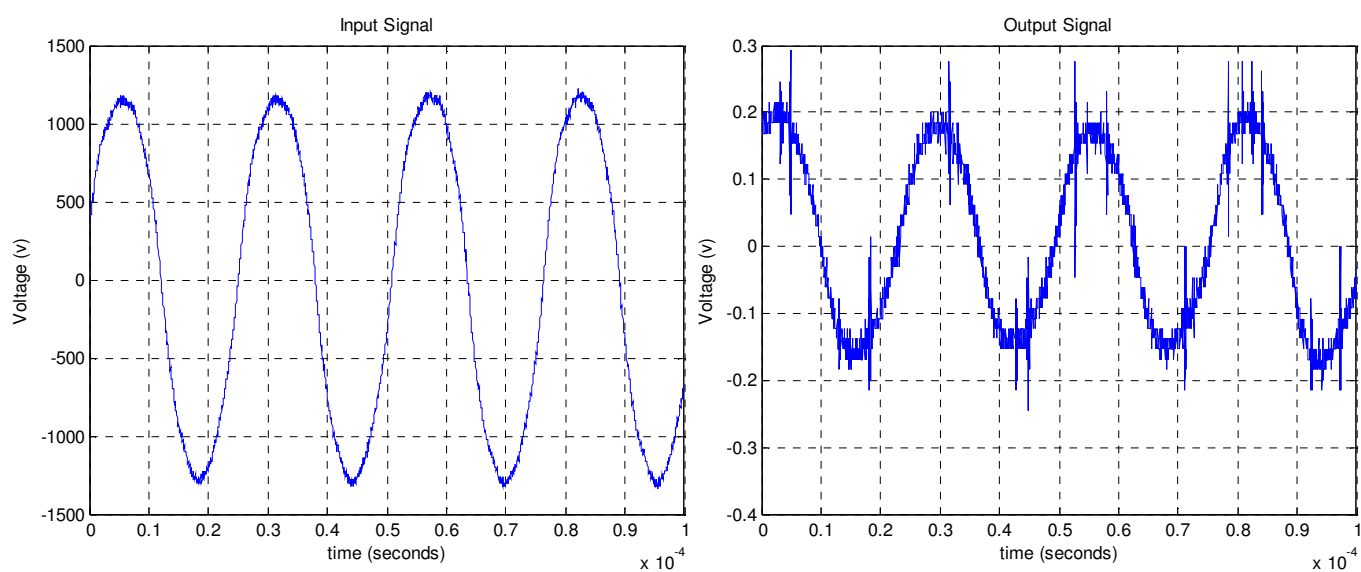
ตัวอย่างที่ (25)



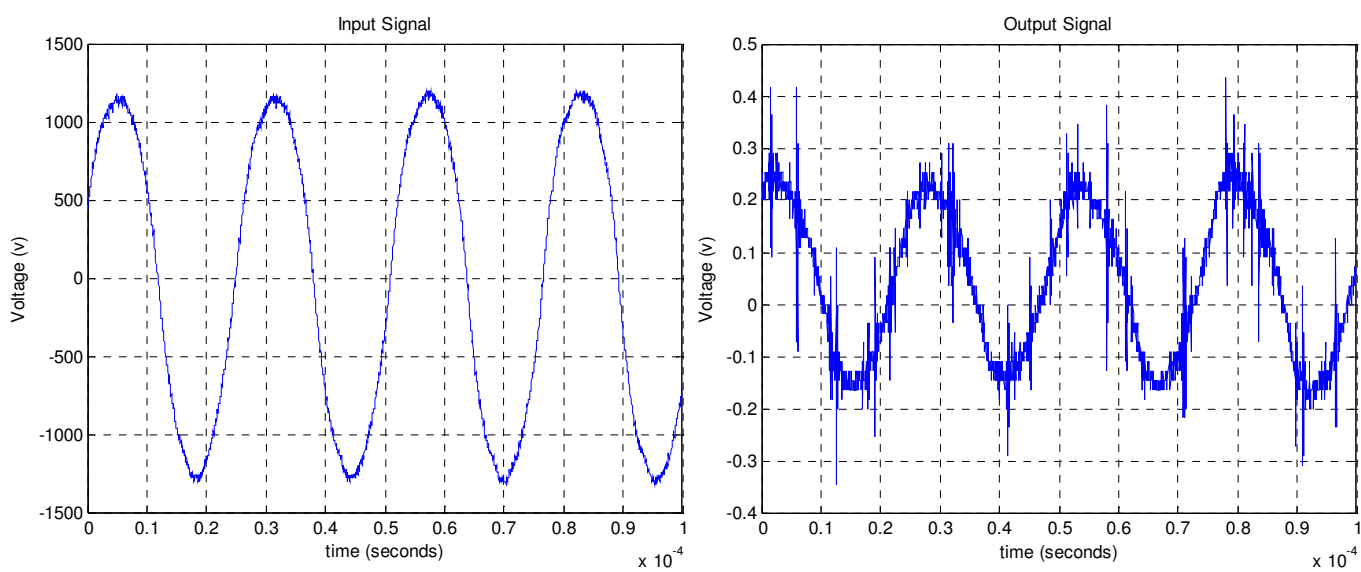
ตัวอย่างที่ (26)



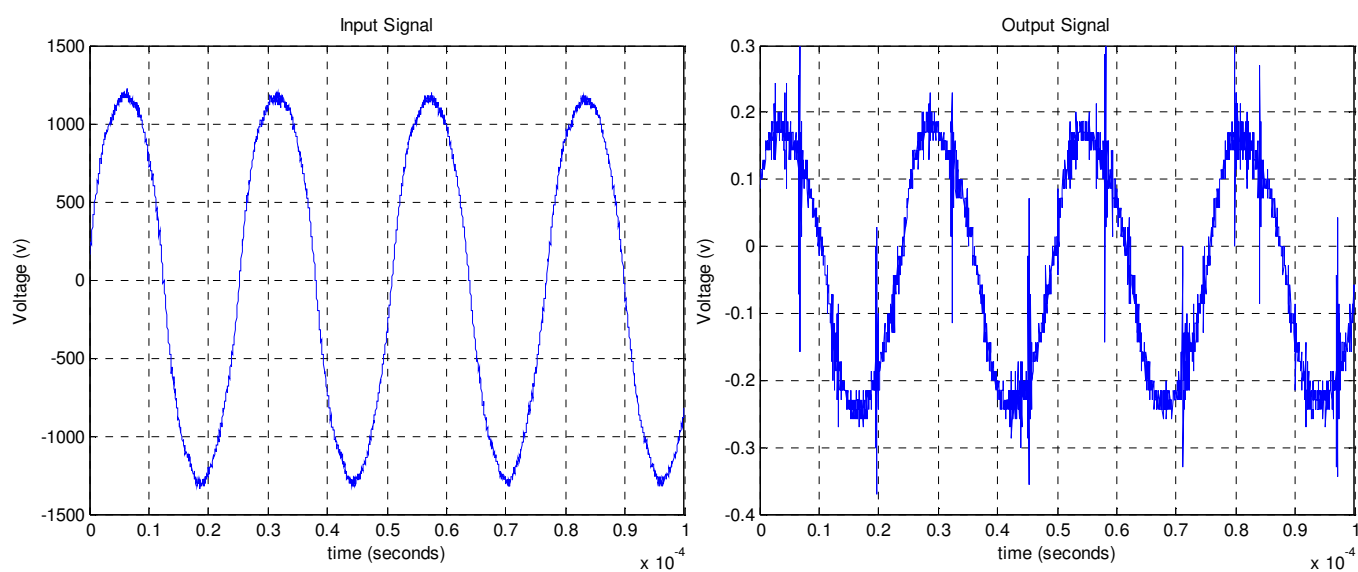
ตัวอย่างที่ (27)



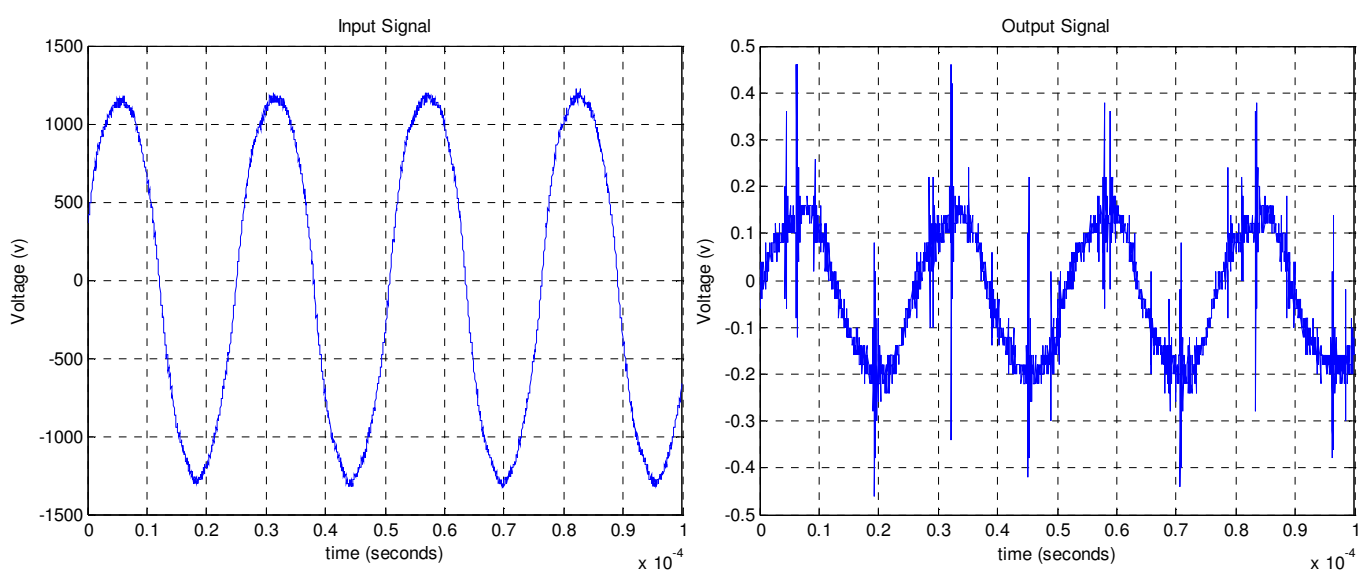
ตัวอย่างที่ (28)



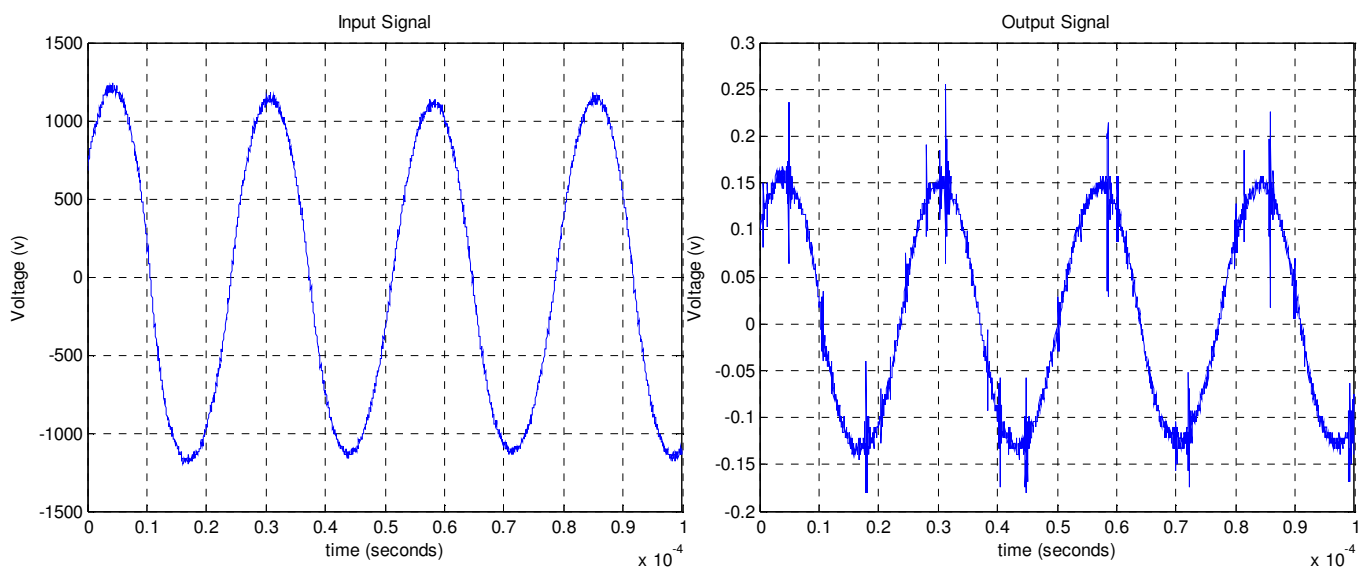
ตัวอย่างที่ (29)



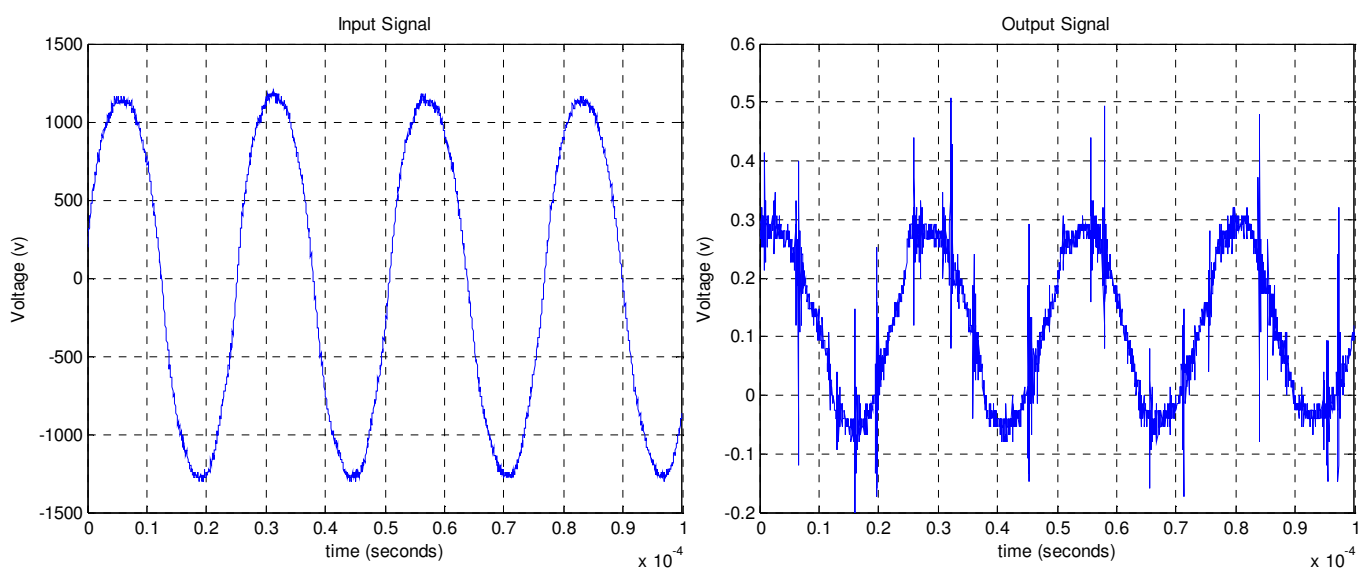
ตัวอย่างที่ (30)



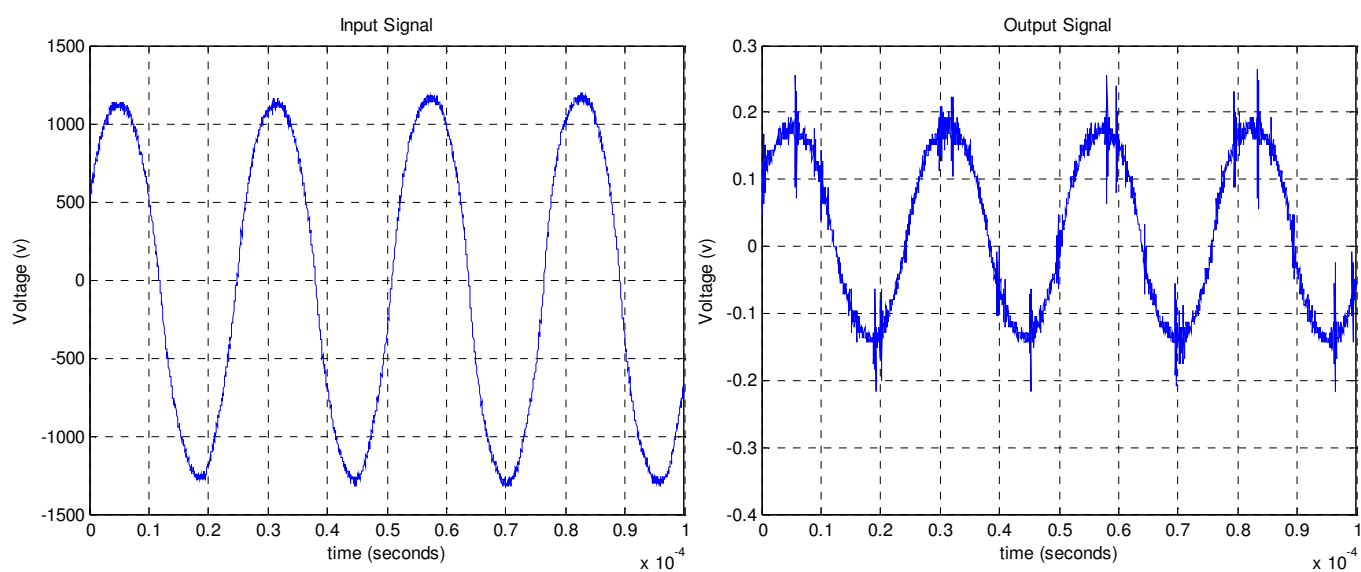
ตัวอย่างที่ (31)



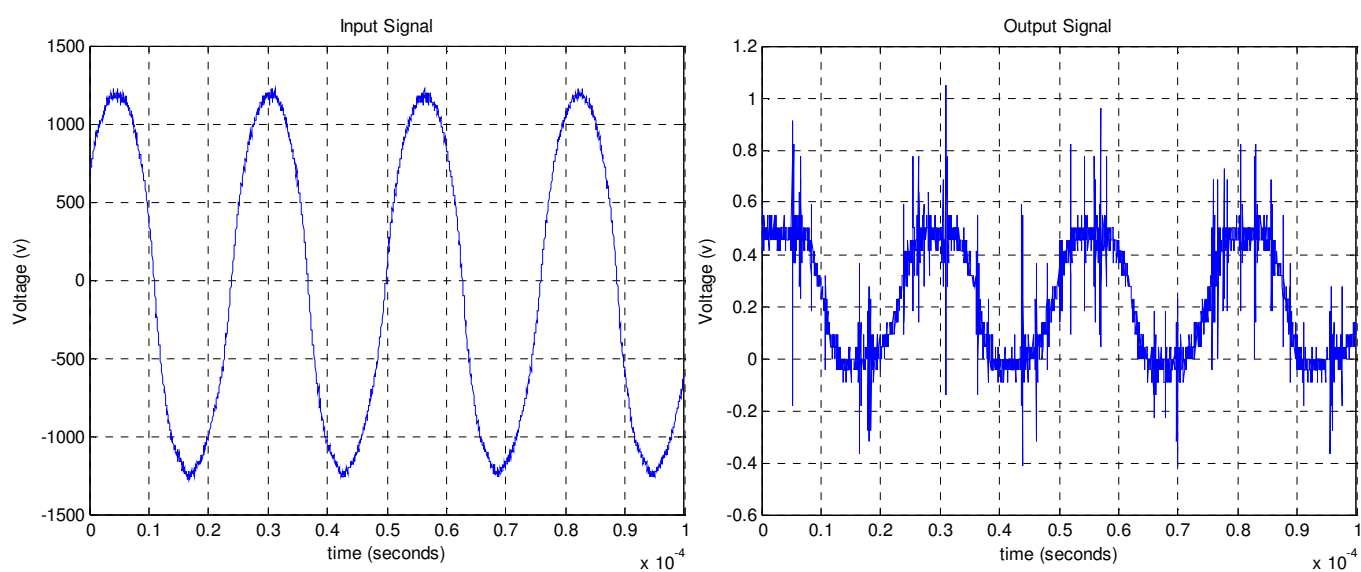
ตัวอย่างที่ (32)



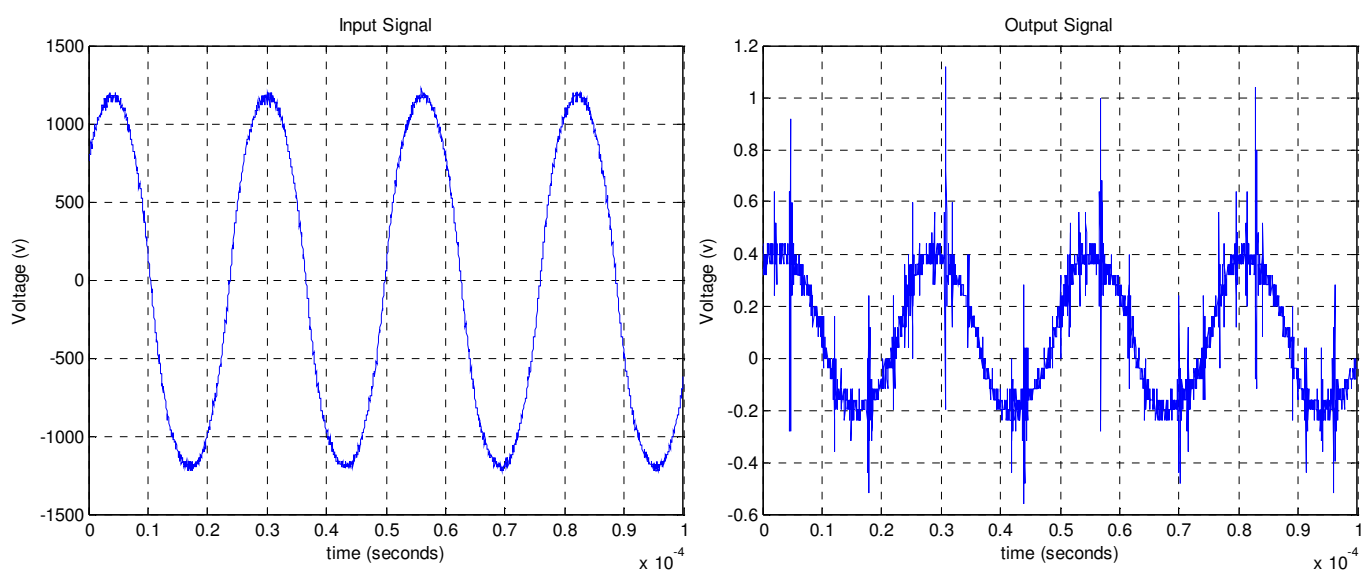
ตัวอย่างที่ (33)



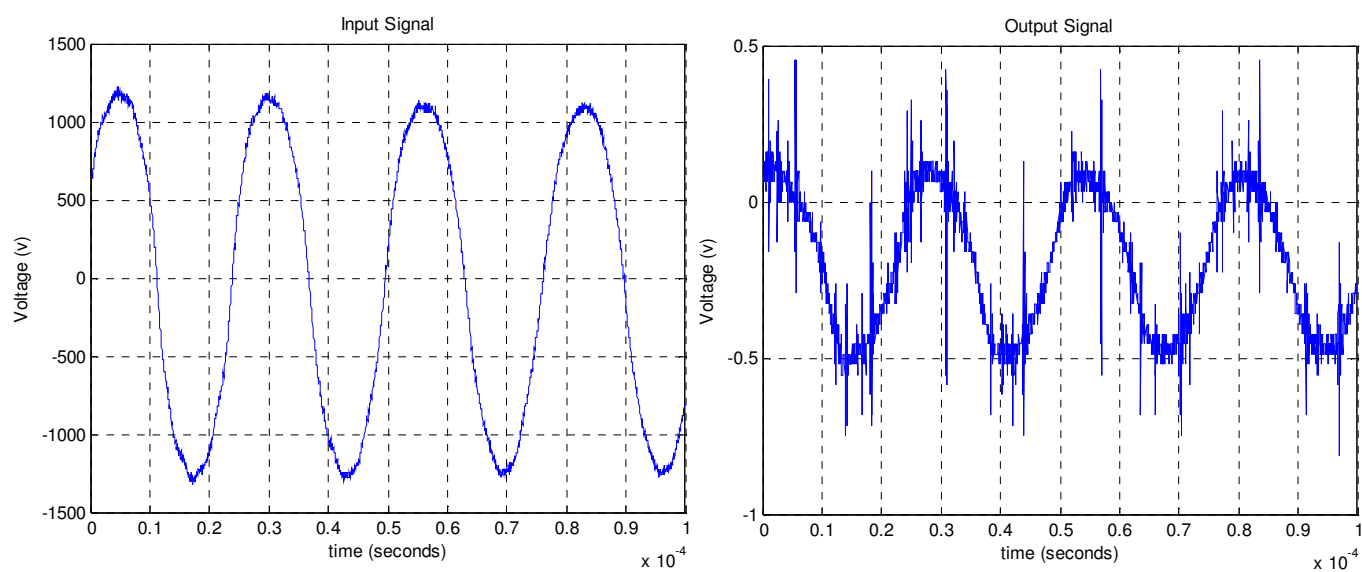
ตัวอย่างที่ (34)



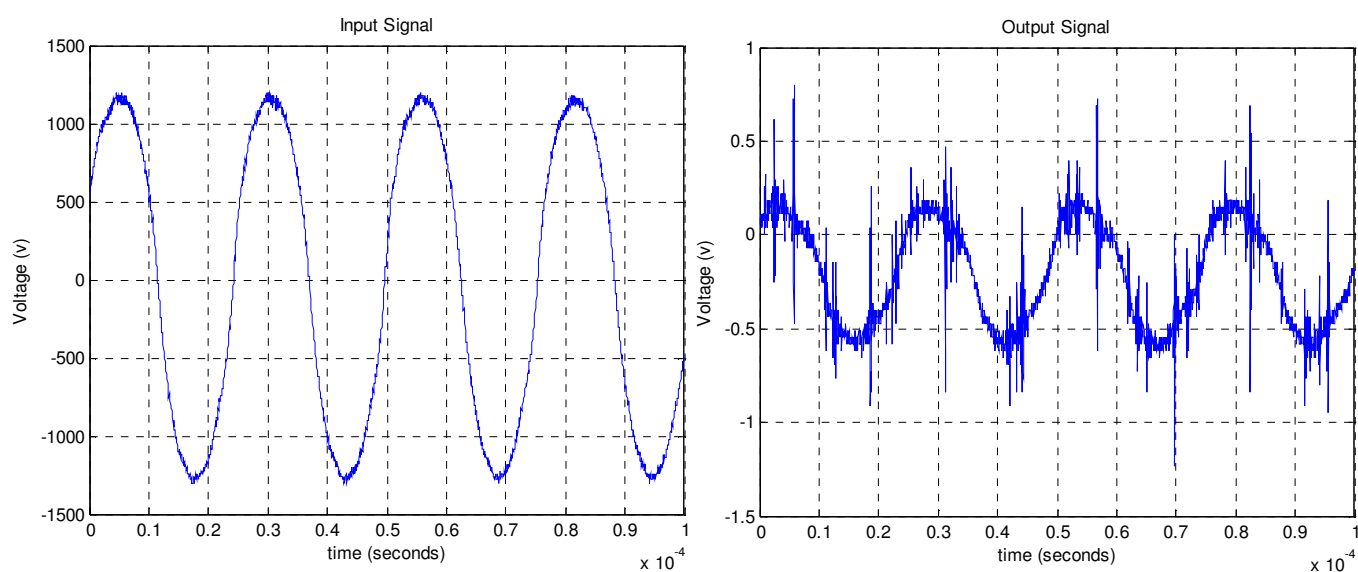
ตัวอย่างที่ (35)



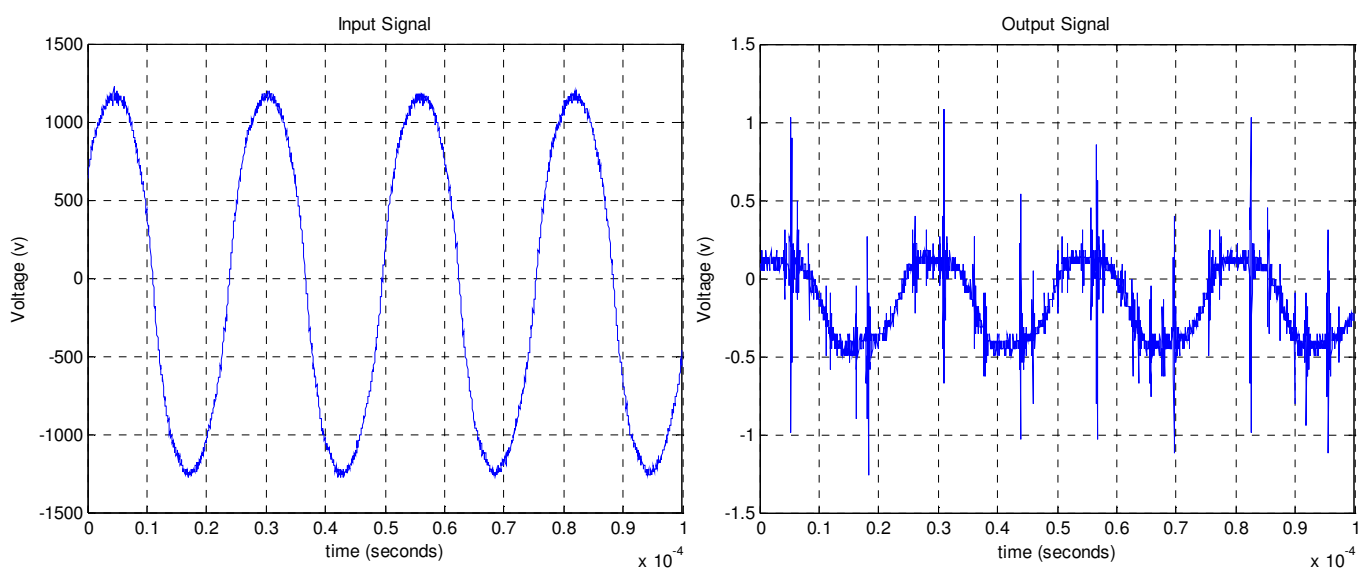
ตัวอย่างที่ (36)



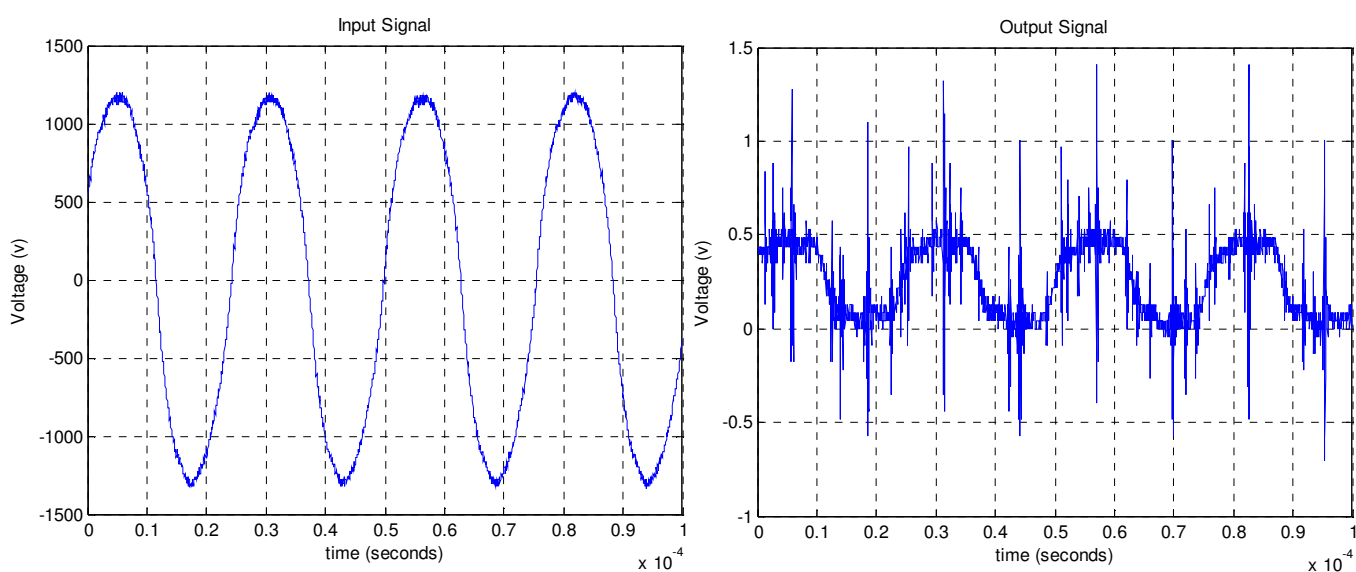
ตัวอย่างที่ (37)



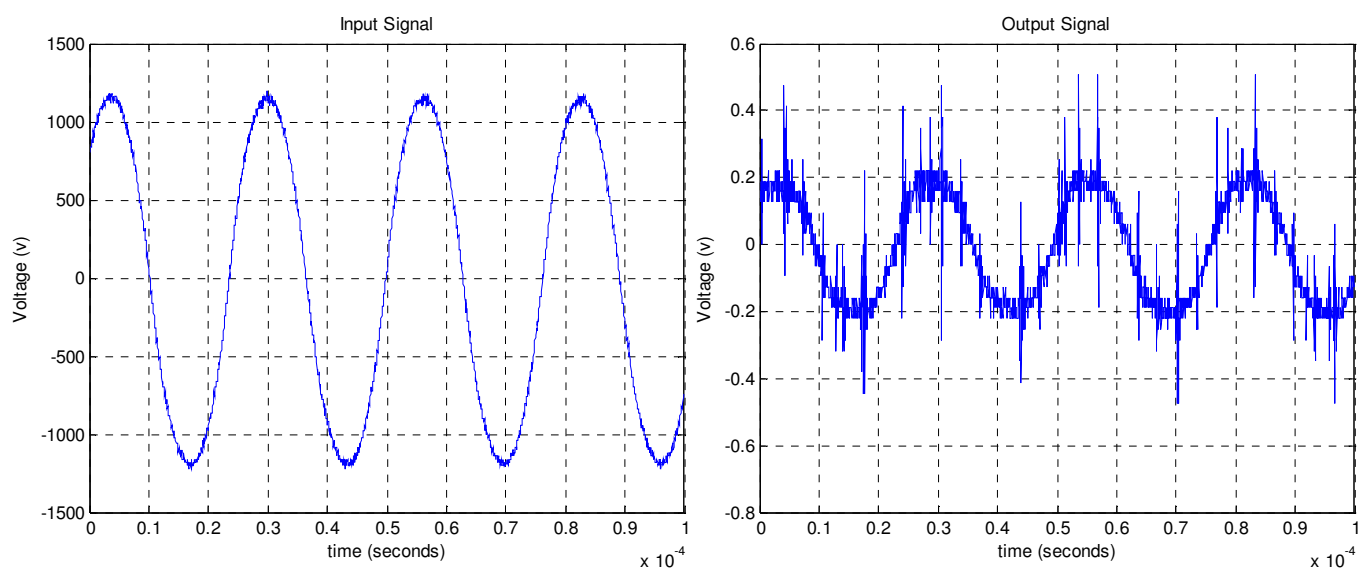
ตัวอย่างที่ (38)



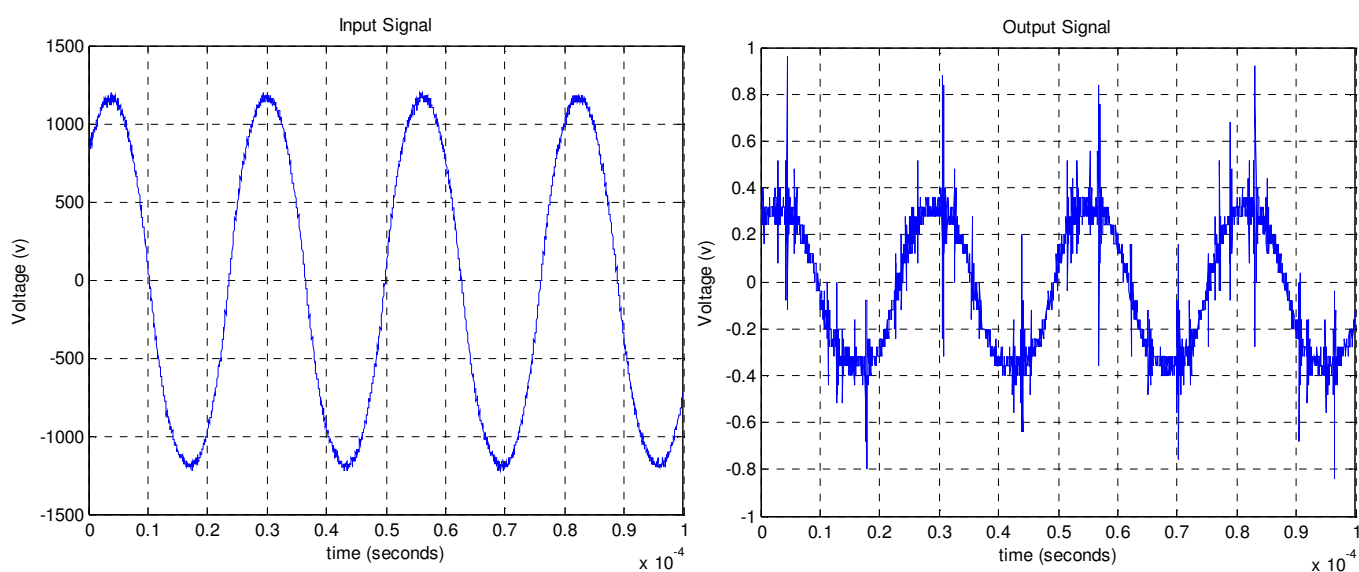
ตัวอย่างที่ (39)



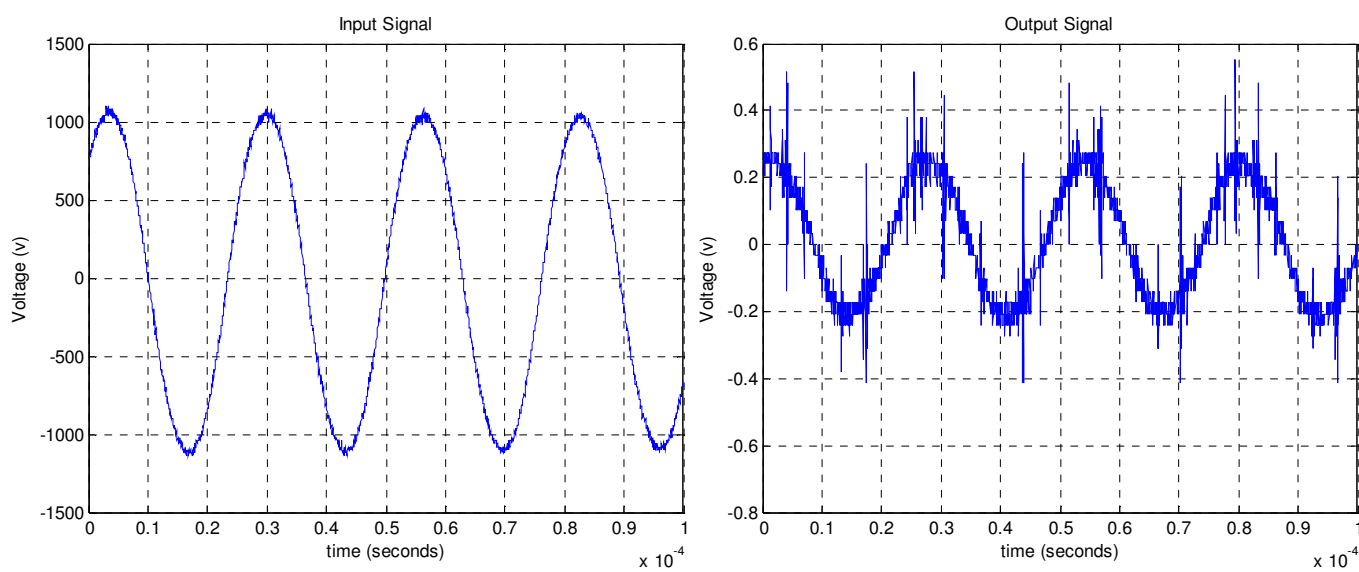
ตัวอย่างที่ (40)



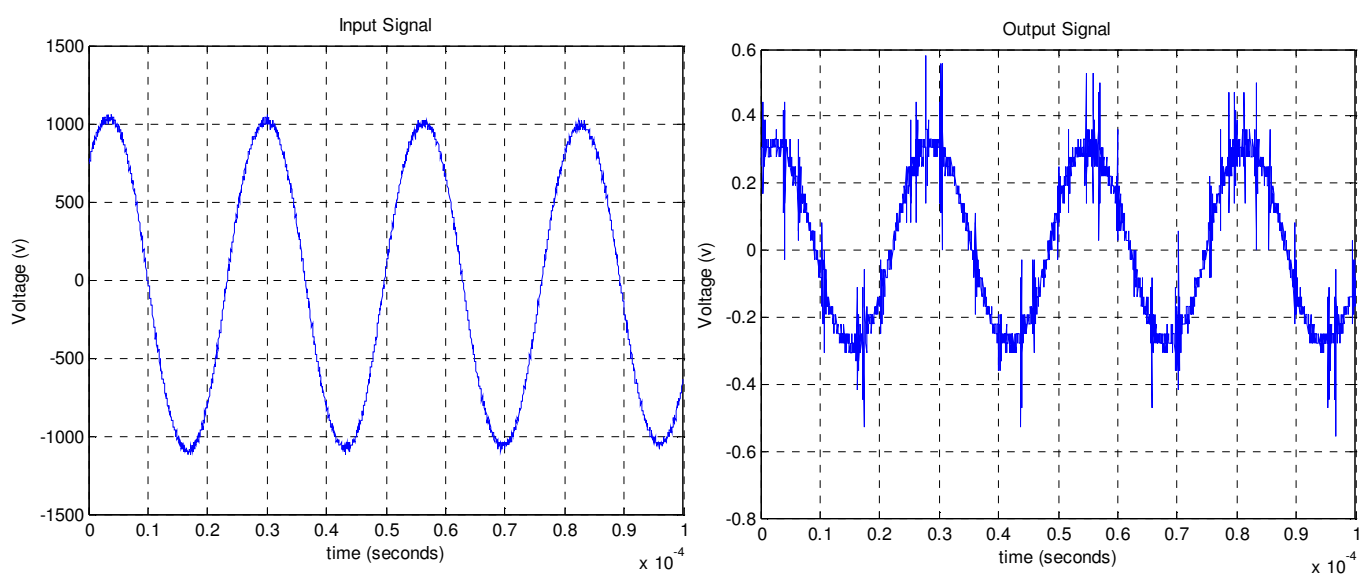
ตัวอย่างที่ (41)



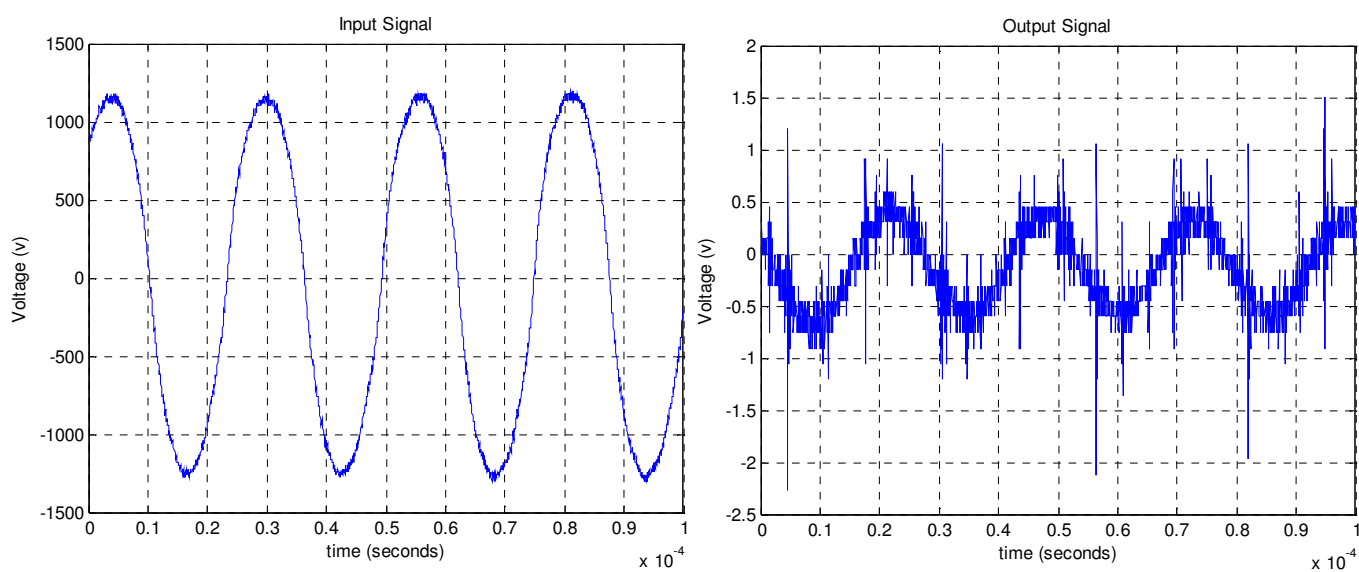
ตัวอย่างที่ (42)



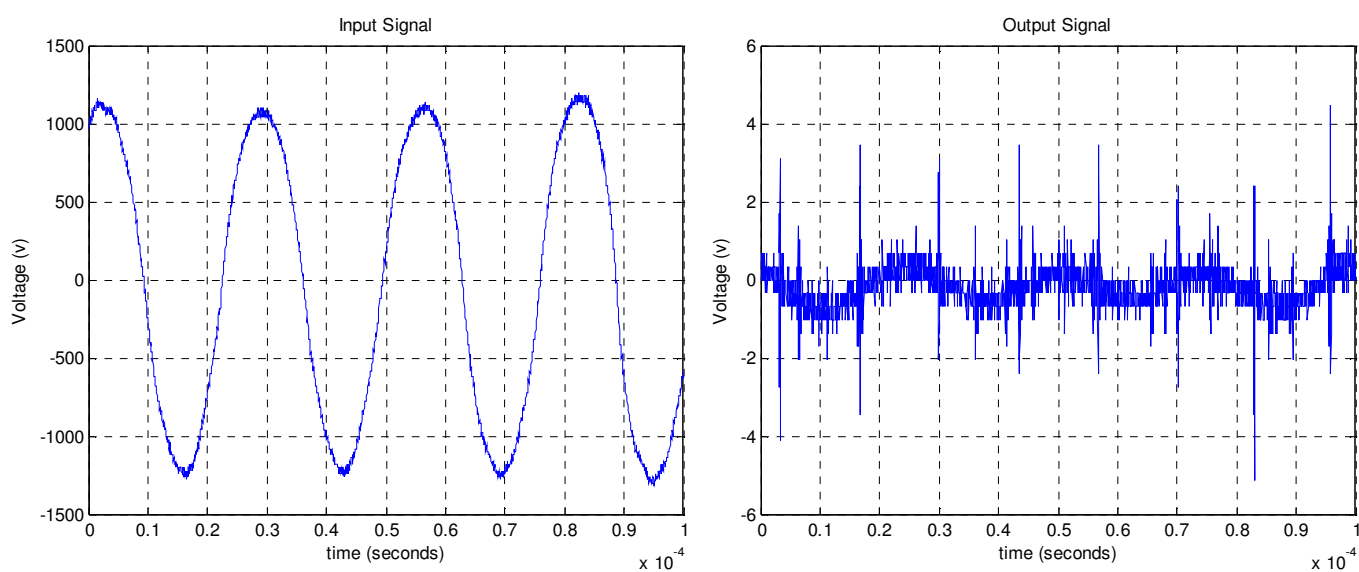
ตัวอย่างที่ (43)



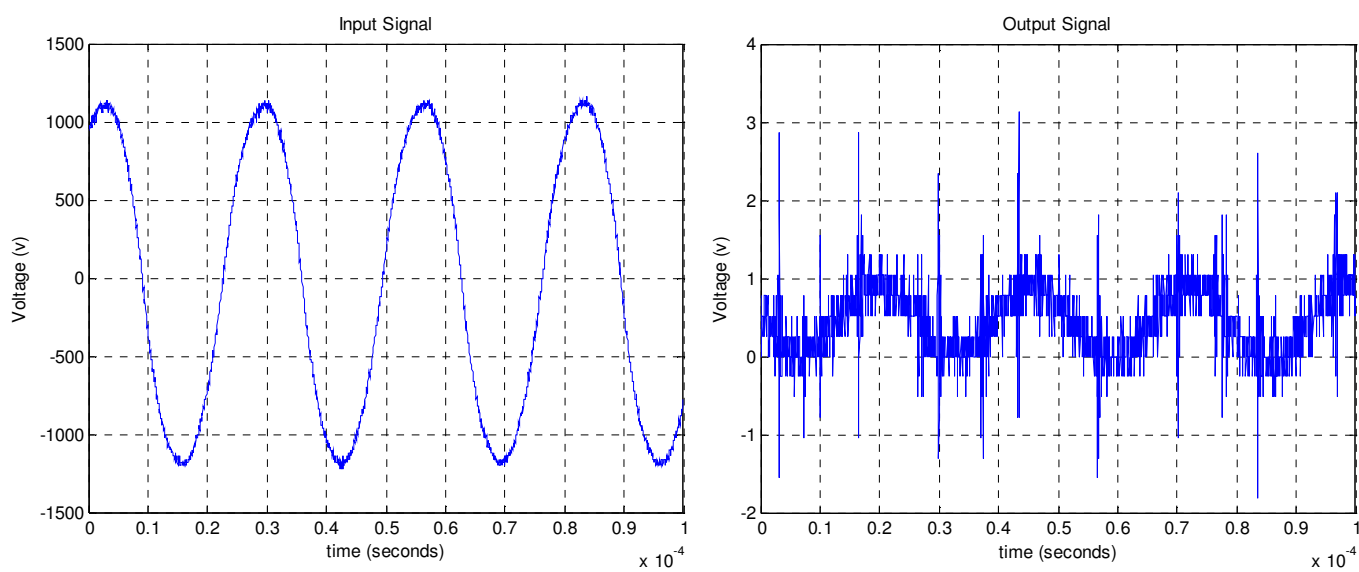
ตัวอย่างที่ (44)



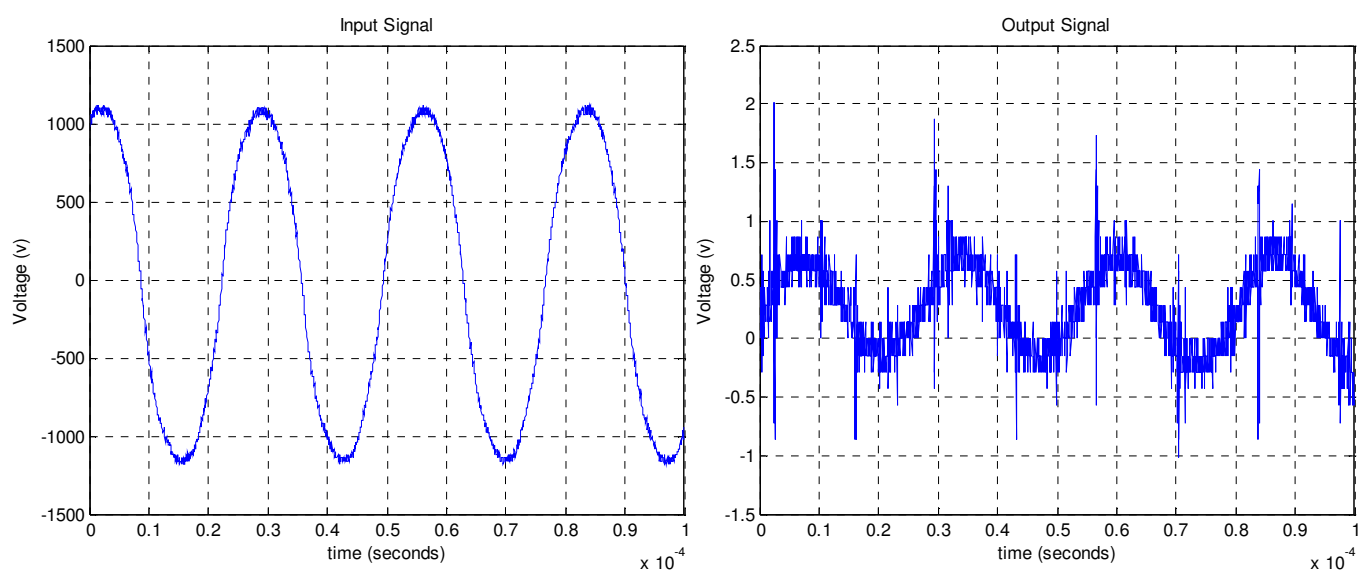
ตัวอย่างที่ (45)



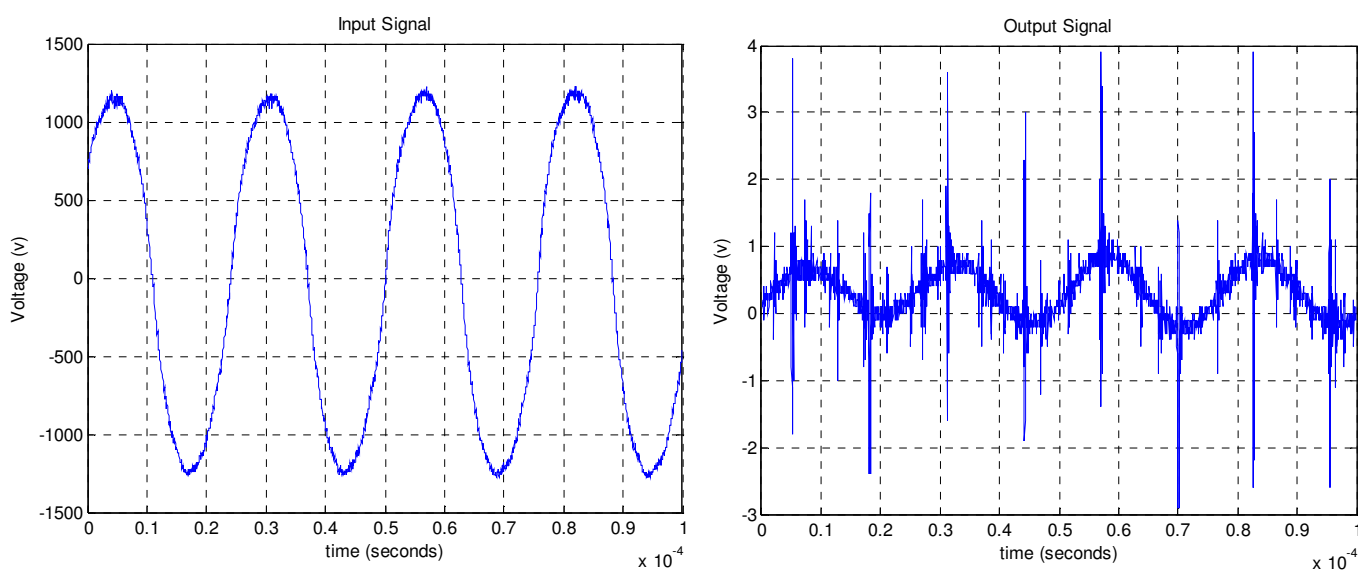
ตัวอย่างที่ (46)



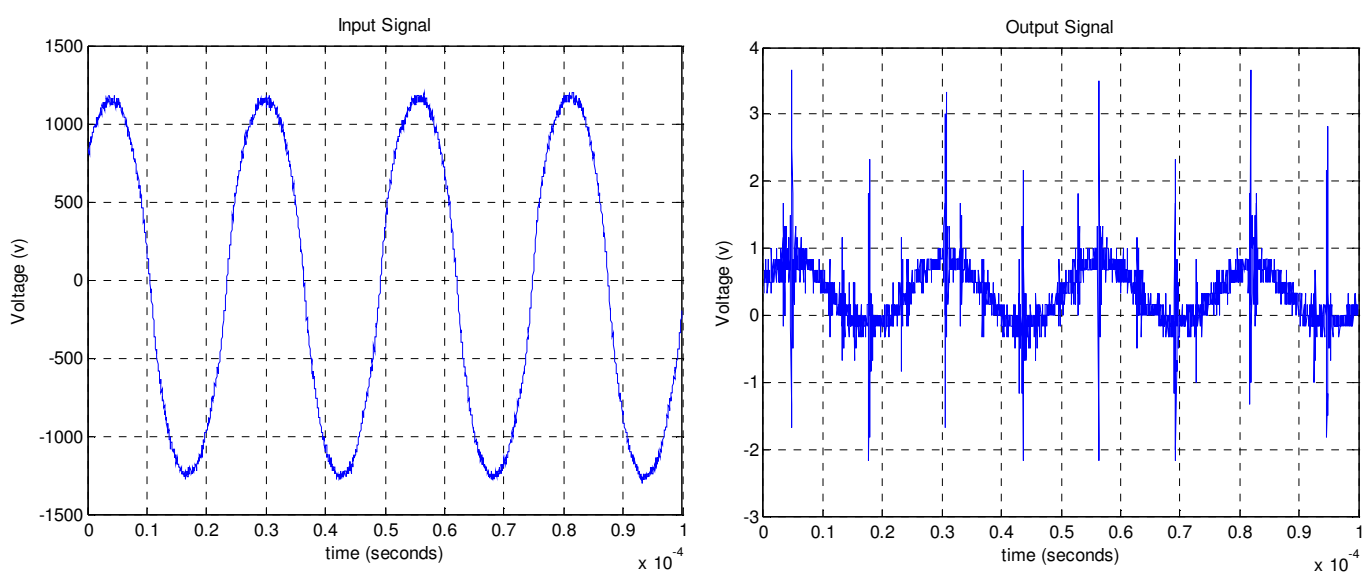
ตัวอย่างที่ (47)



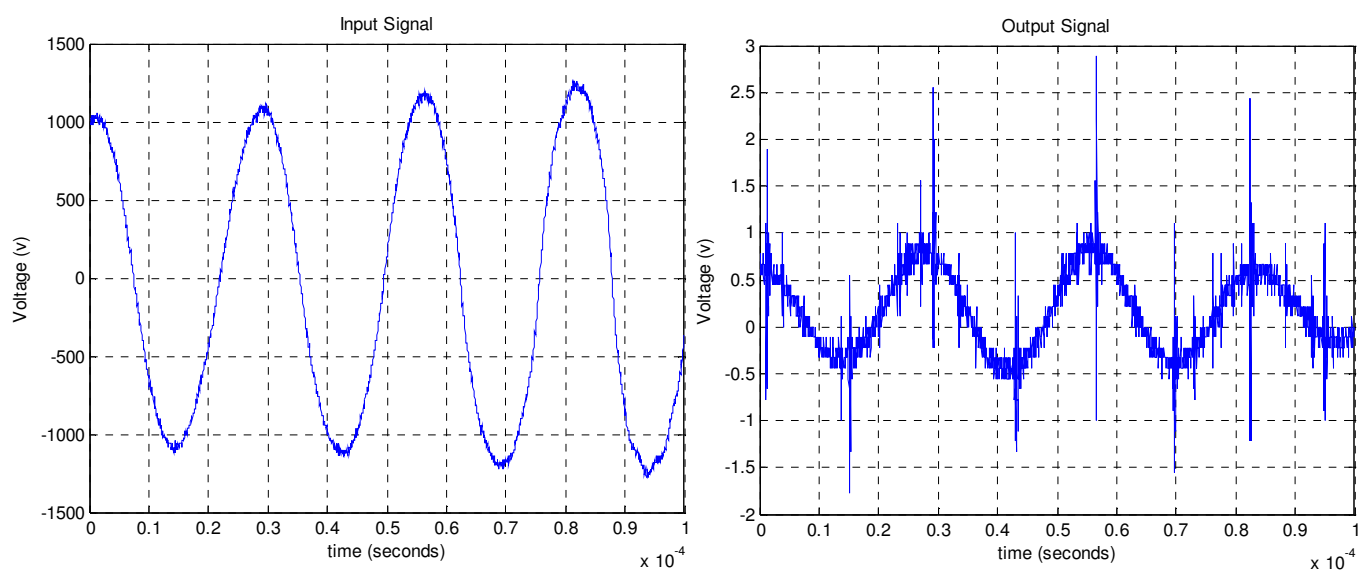
ตัวอย่างที่ (48)



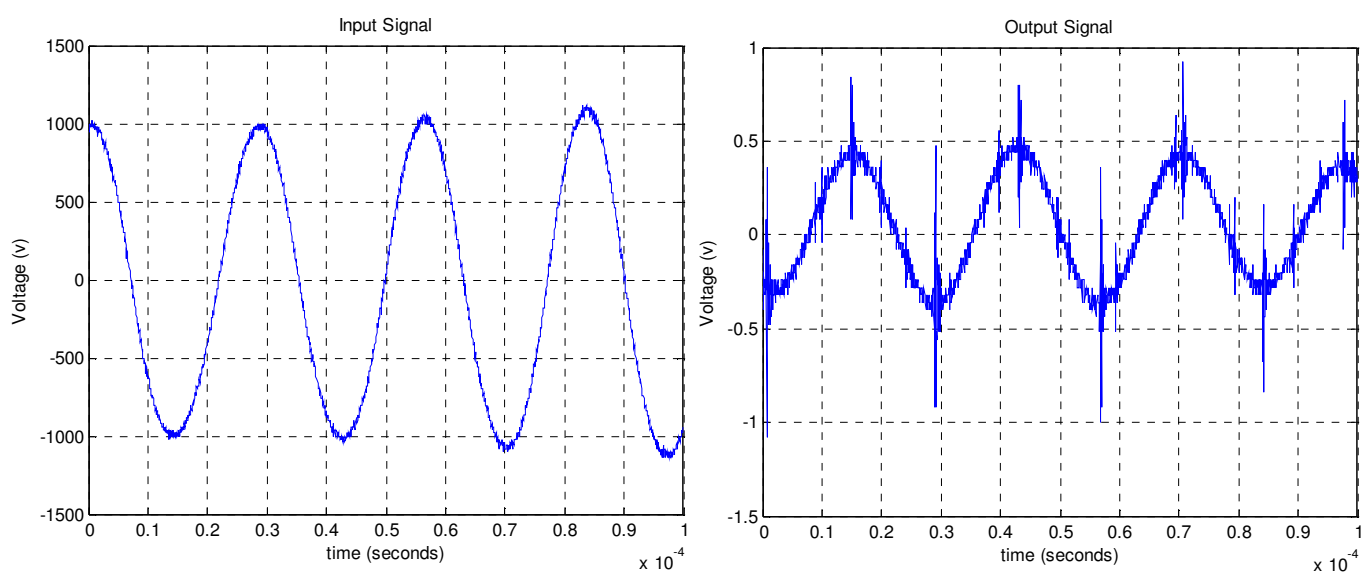
ตัวอย่างที่ (49)



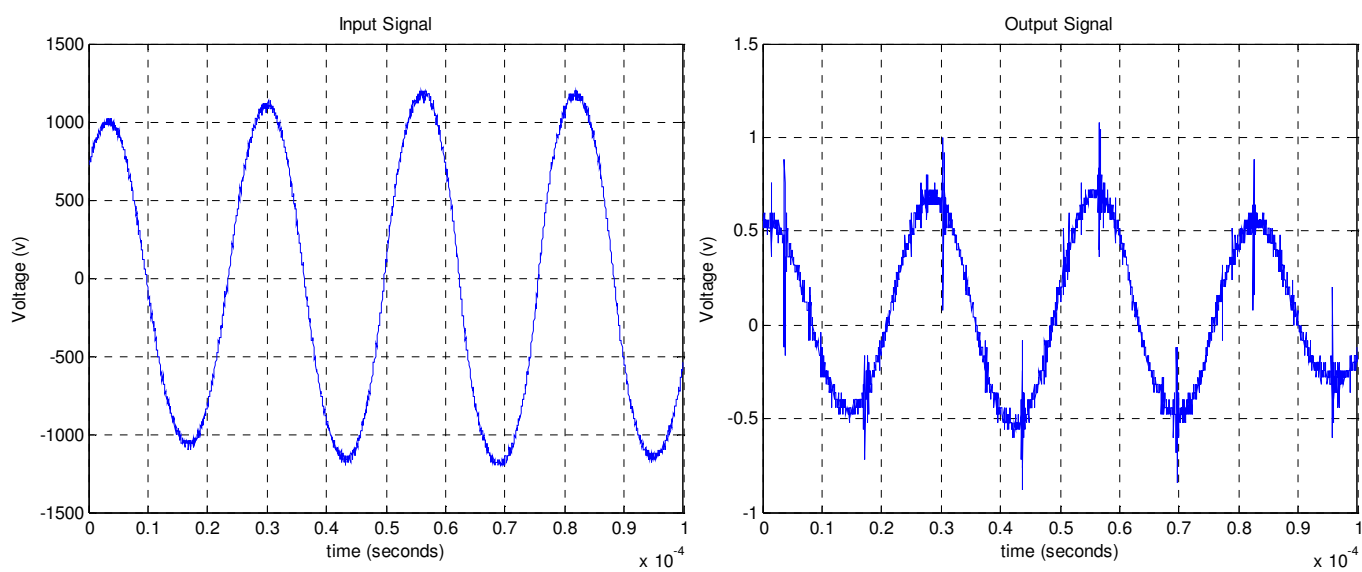
ตัวอย่างที่ (50)



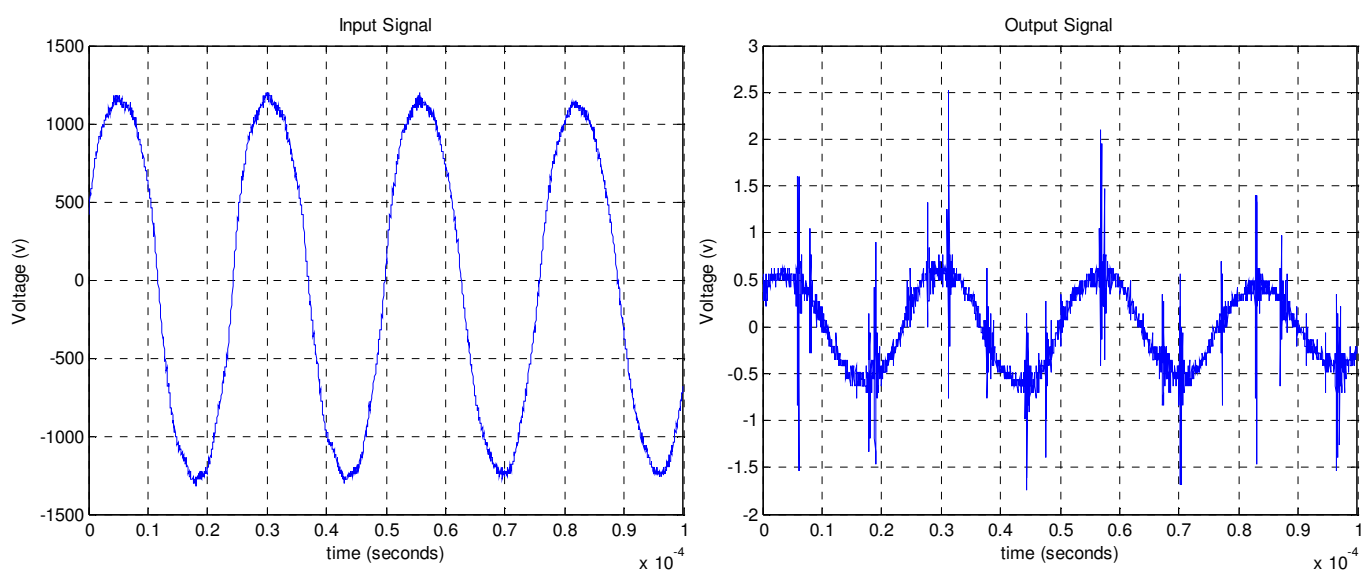
ตัวอย่างที่ (51)



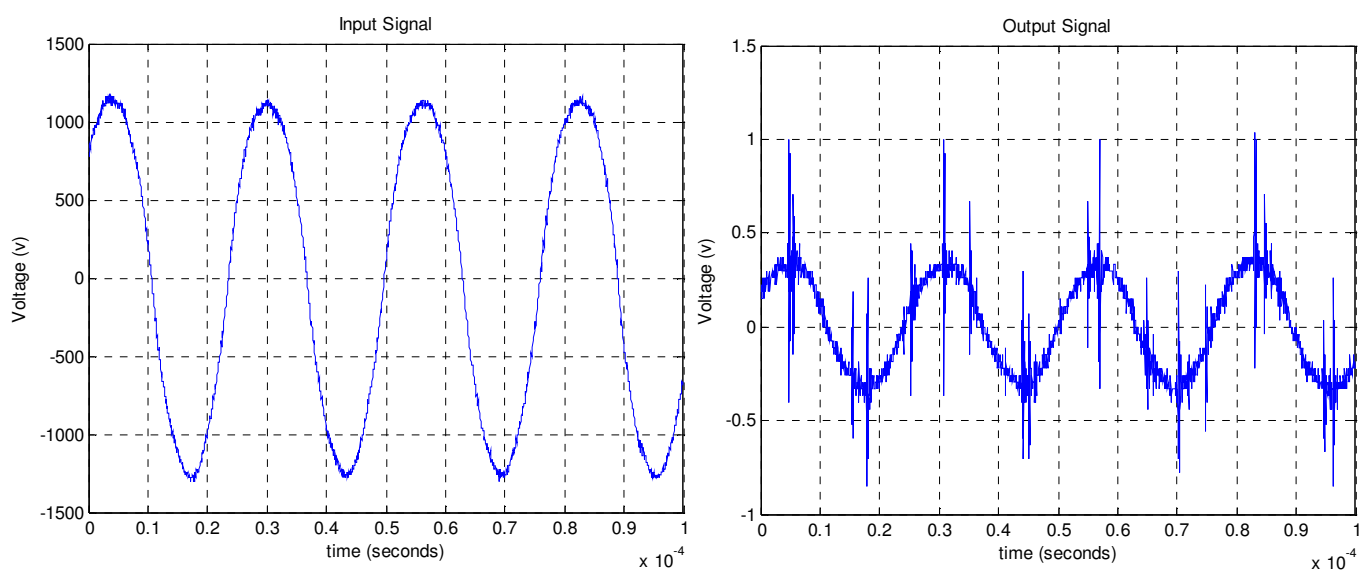
ตัวอย่างที่ (52)



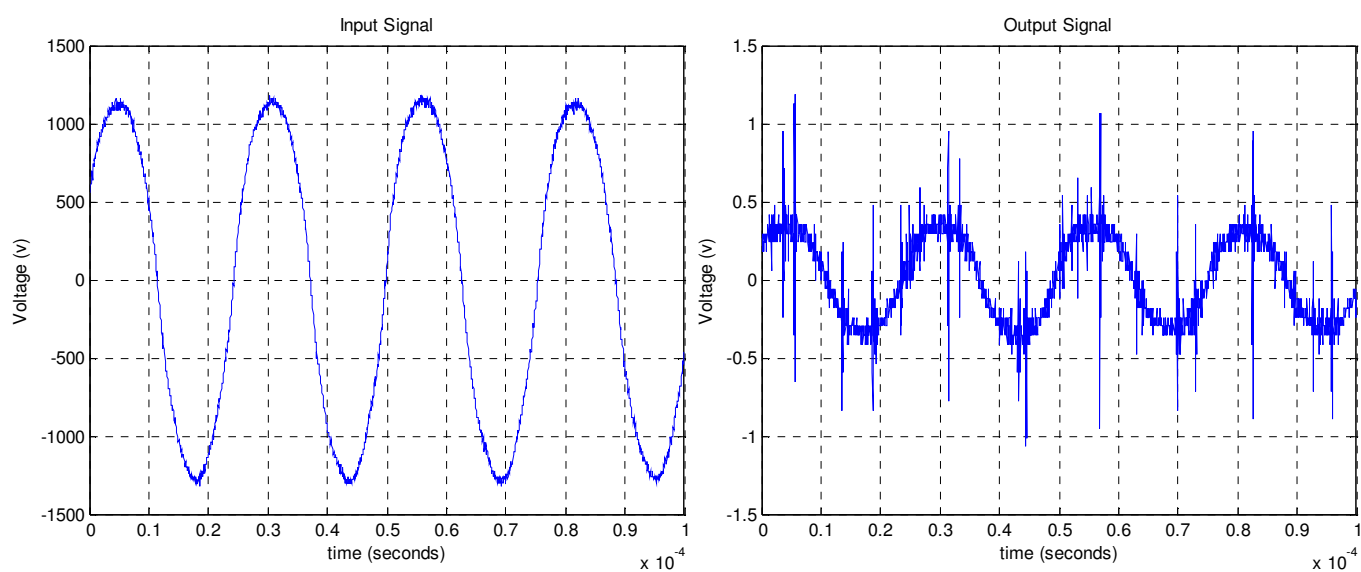
ตัวอย่างที่ (53)



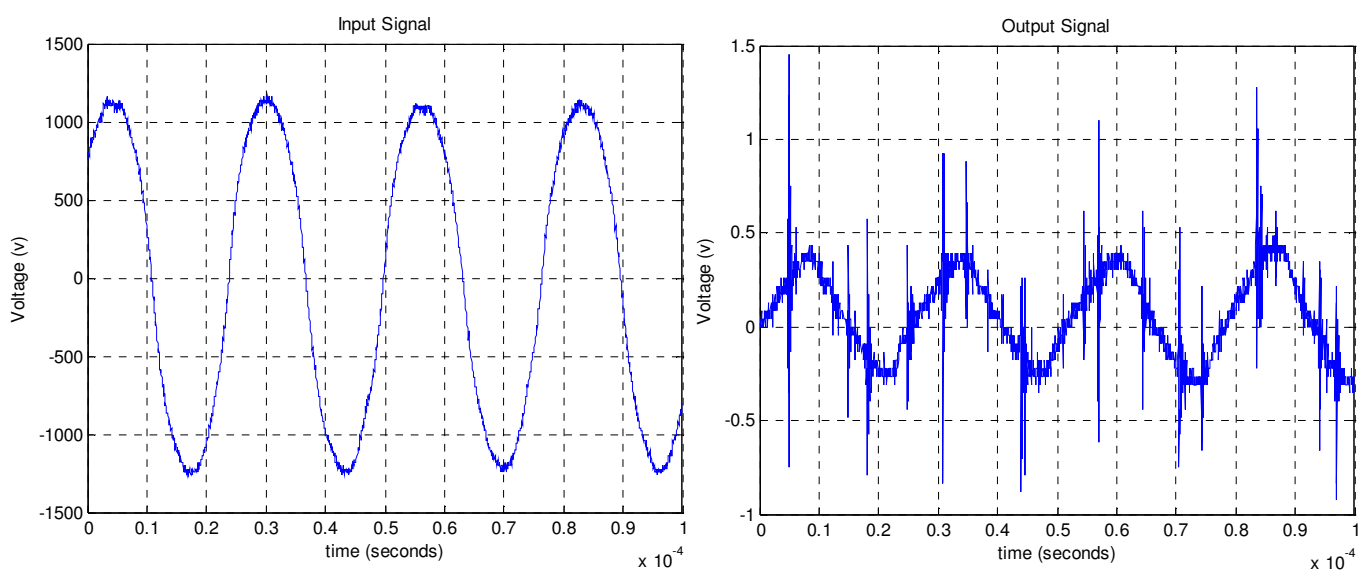
ตัวอย่างที่ (54)



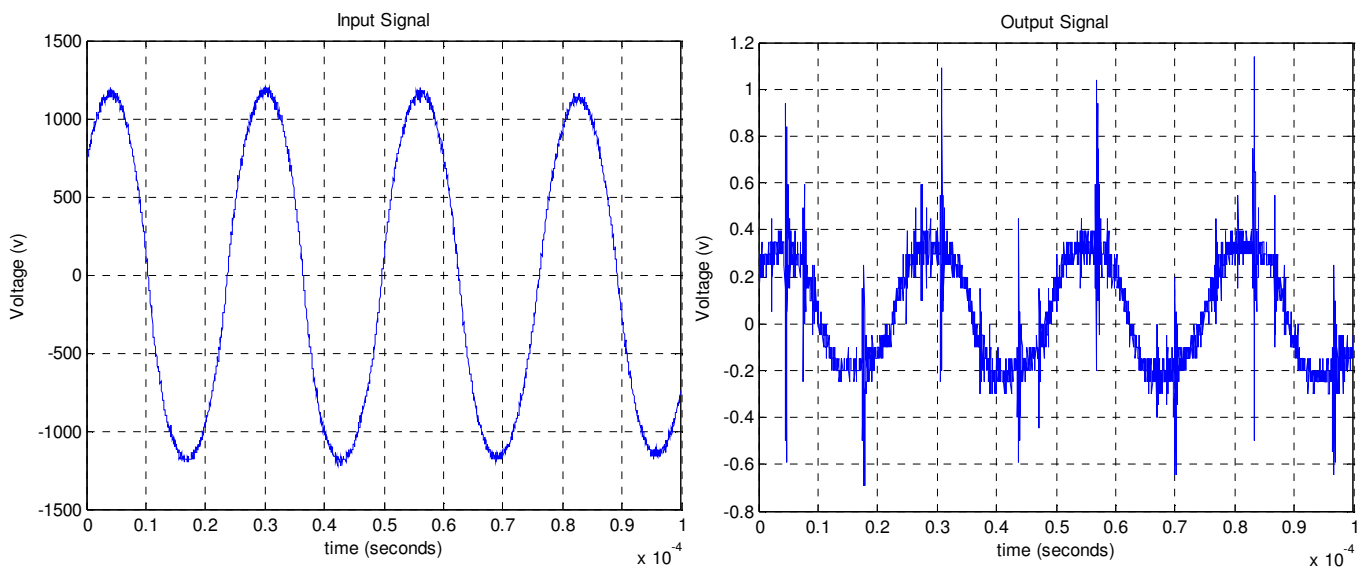
ตัวอย่างที่ (55)



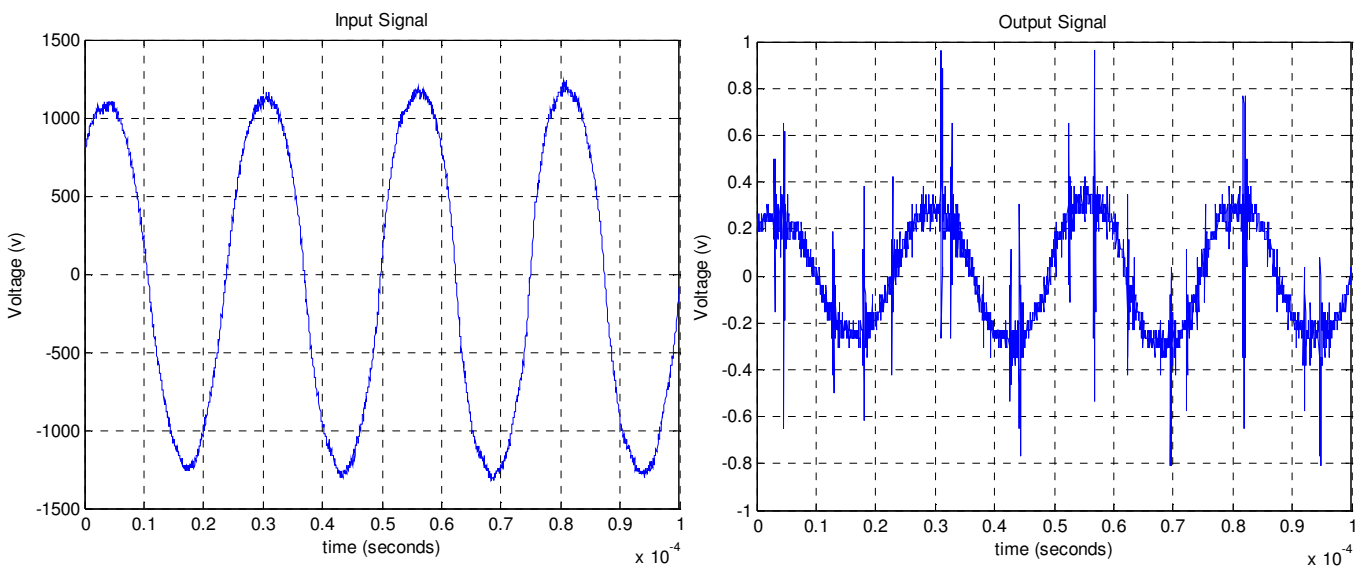
ตัวอย่างที่ (56)



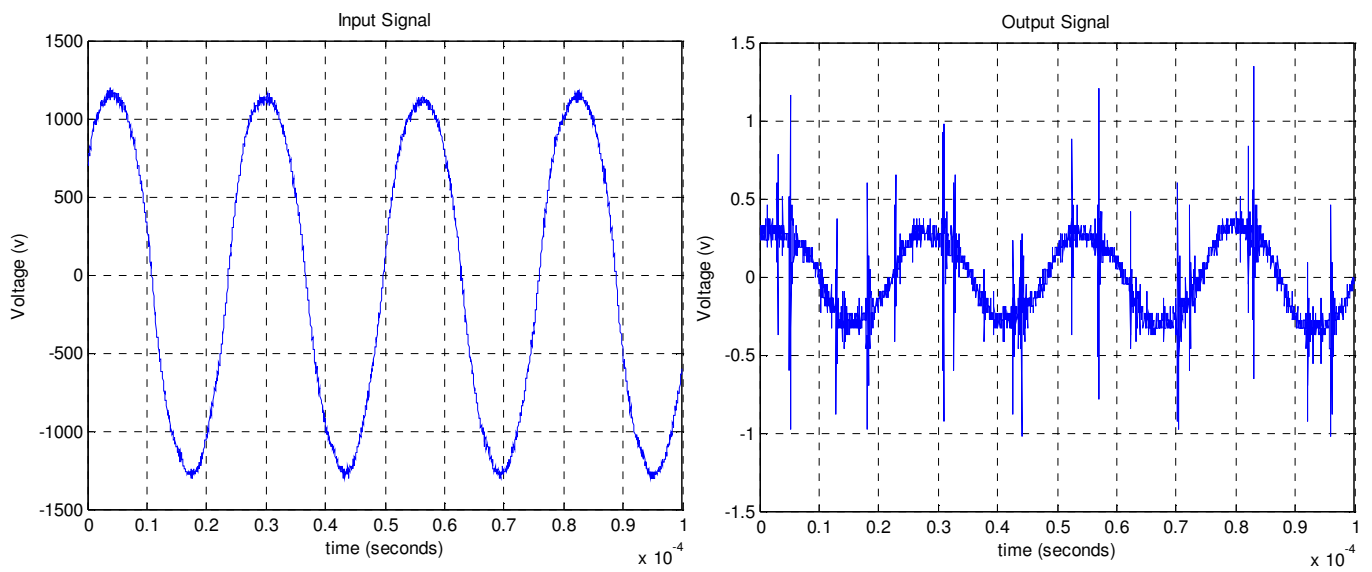
ตัวอย่างที่ (57)



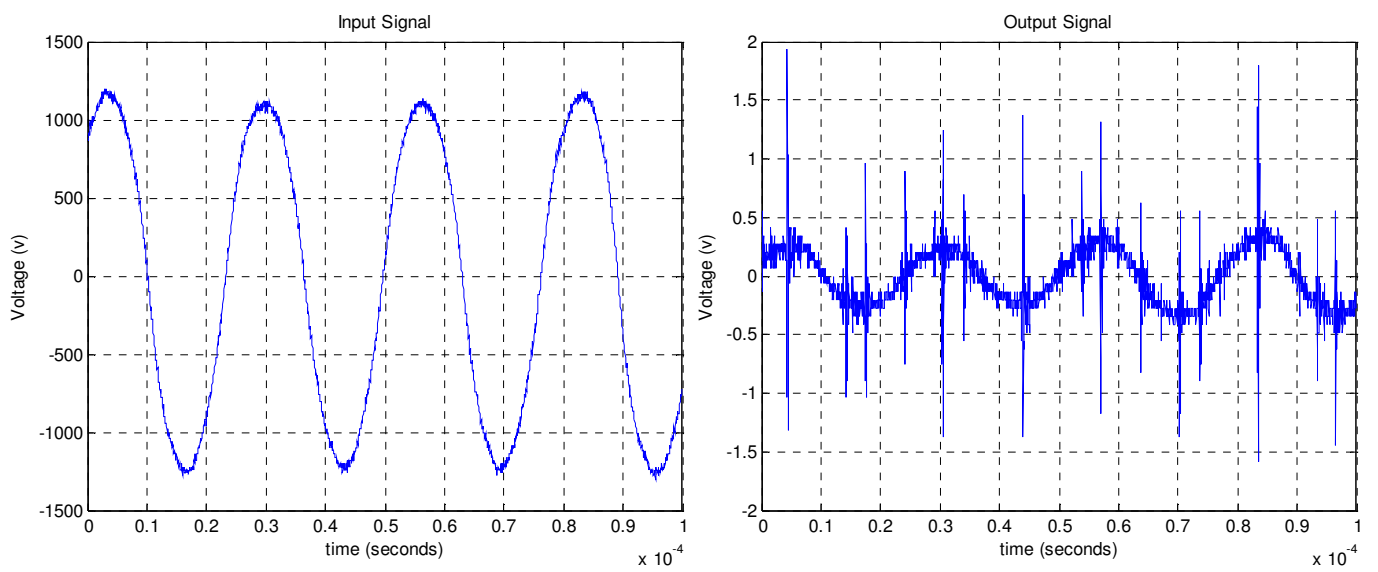
ตัวอย่างที่ (58)



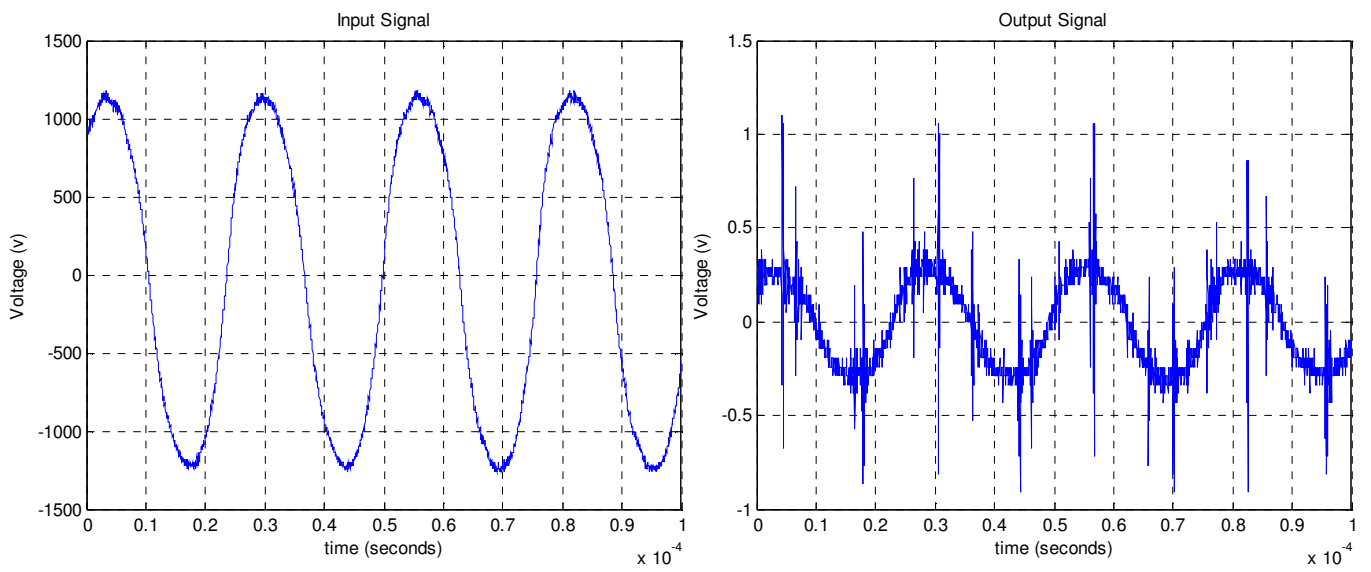
ตัวอย่างที่ (59)



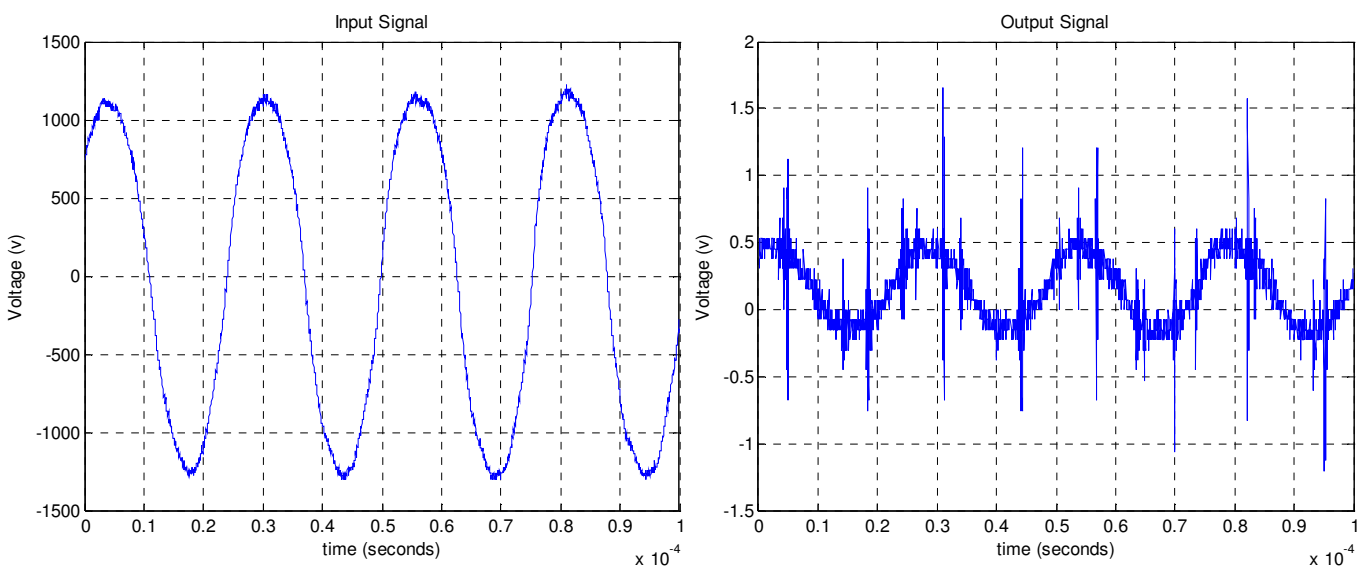
ตัวอย่างที่ (60)



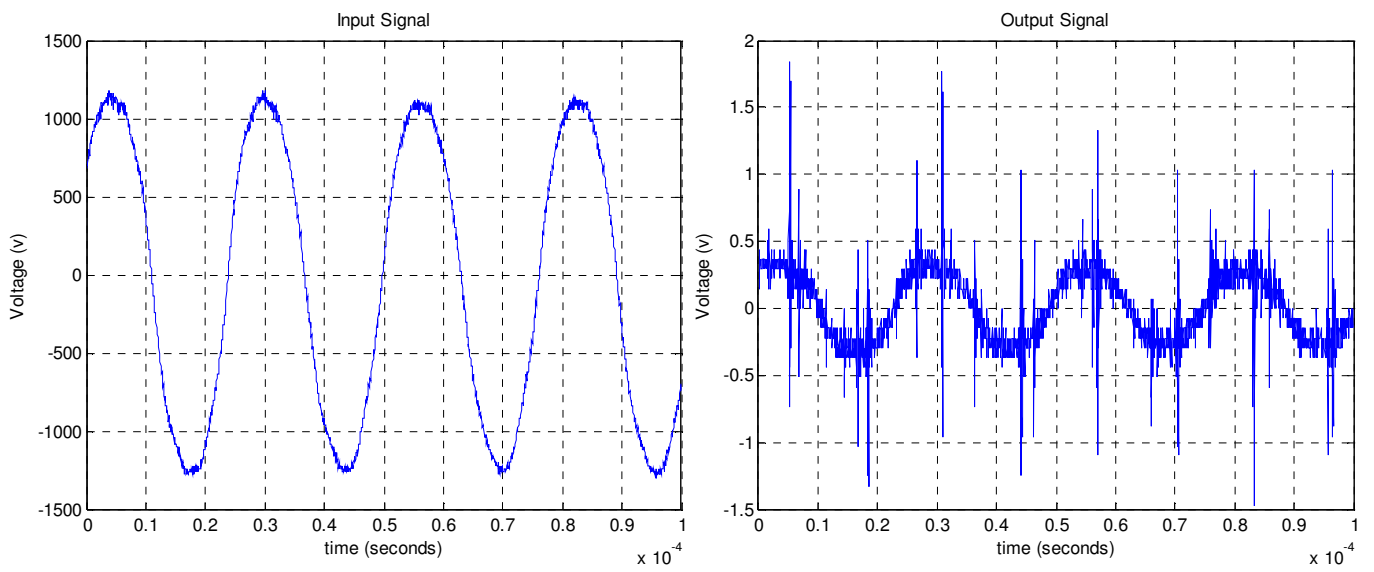
ตัวอย่างที่ (61)



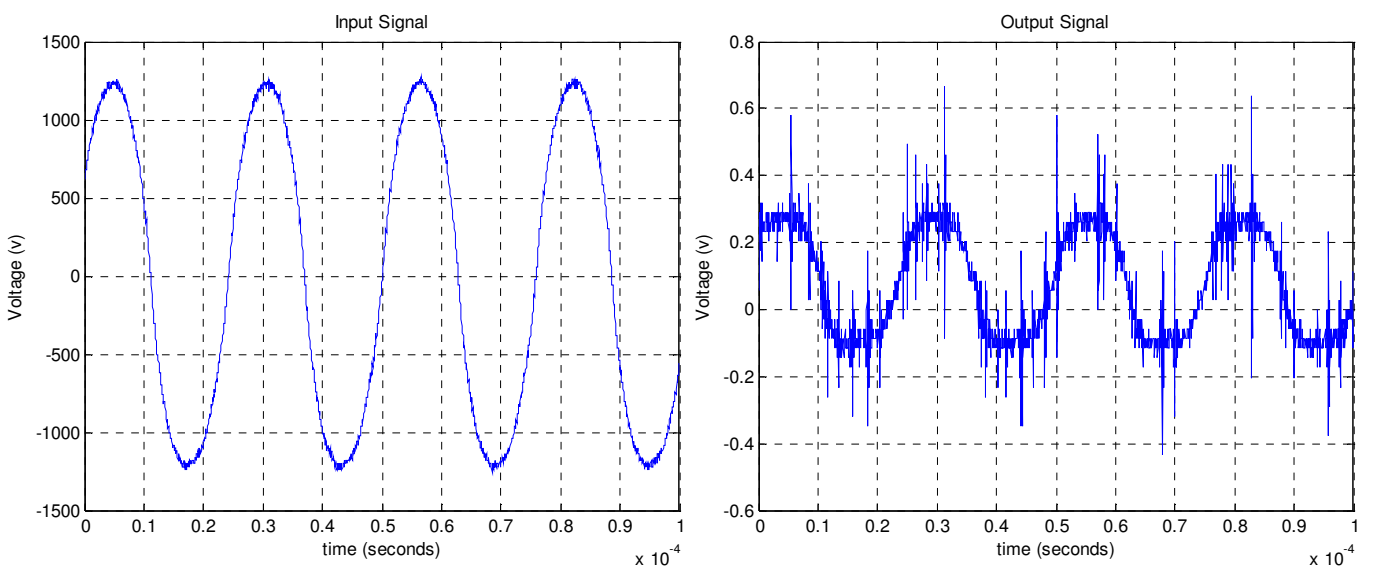
ตัวอย่างที่ (62)



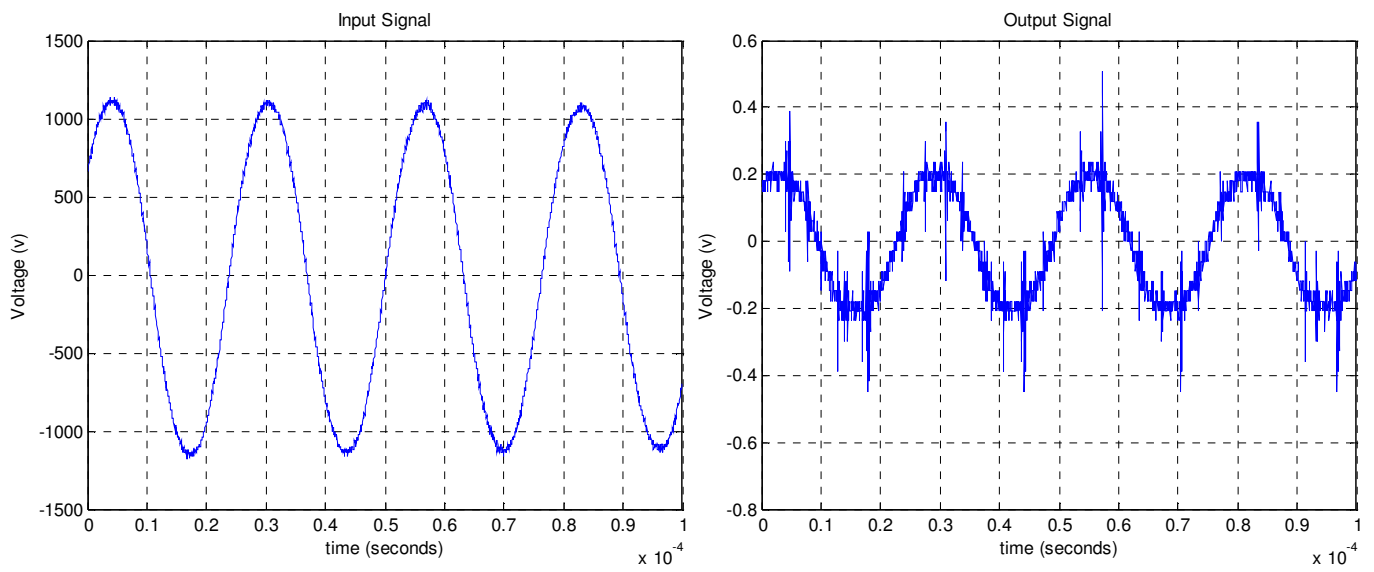
ตัวอย่างที่ (63)



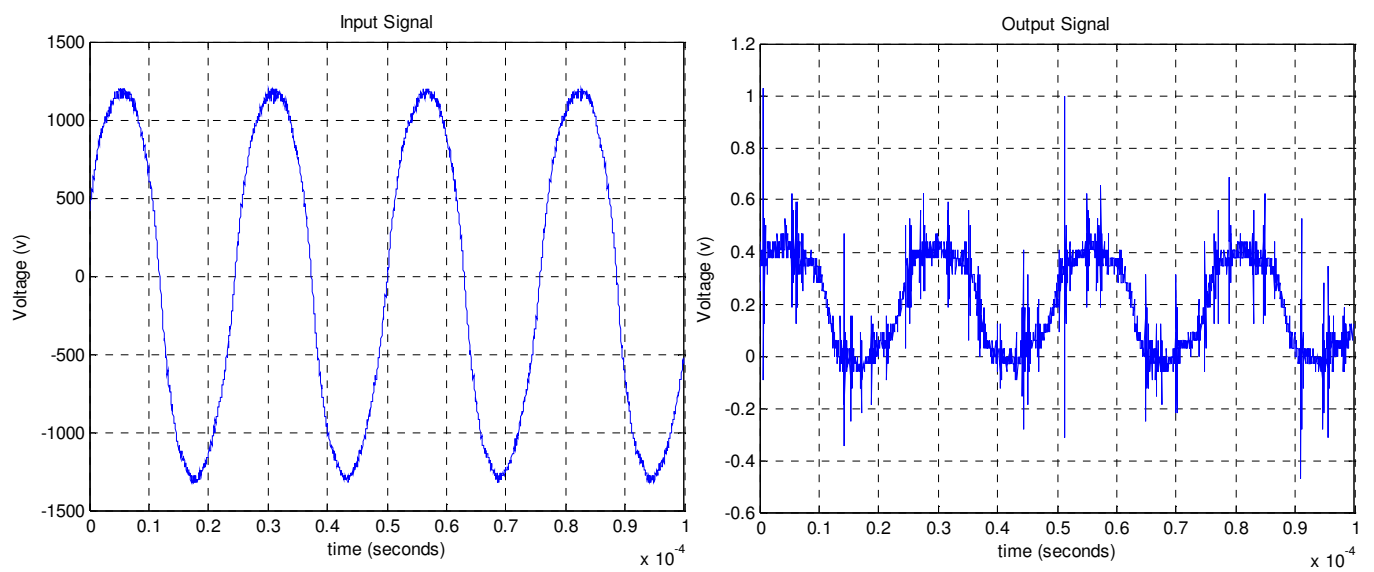
ตัวอย่างที่ (64)



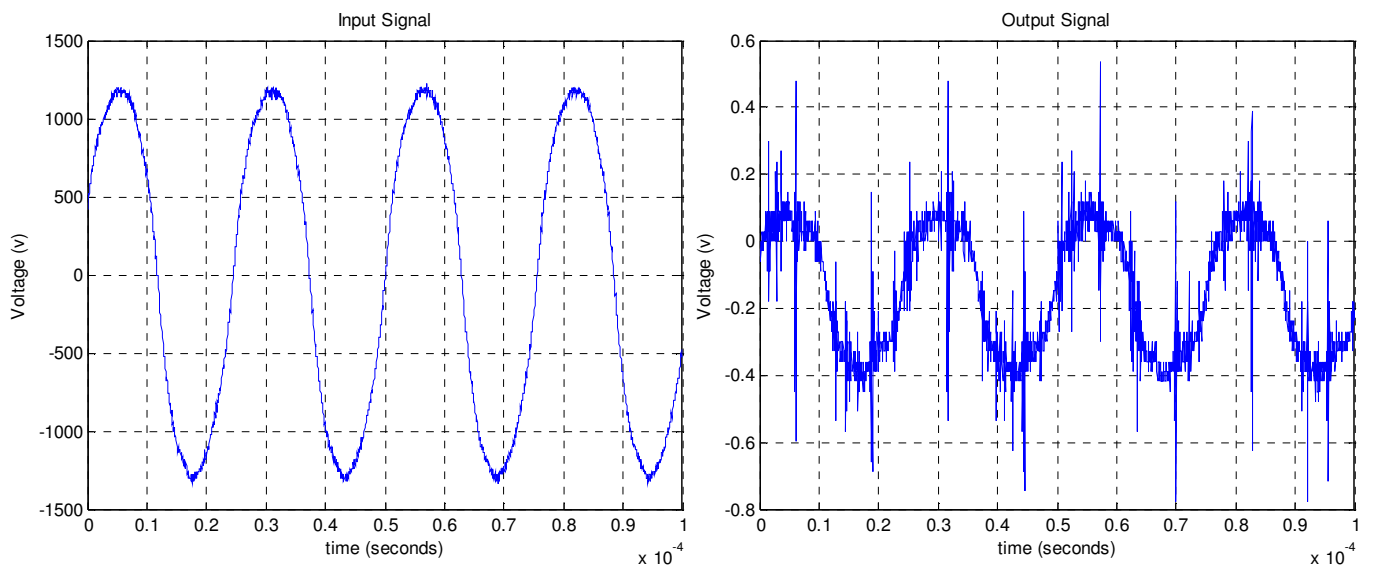
ตัวอย่างที่ (65)



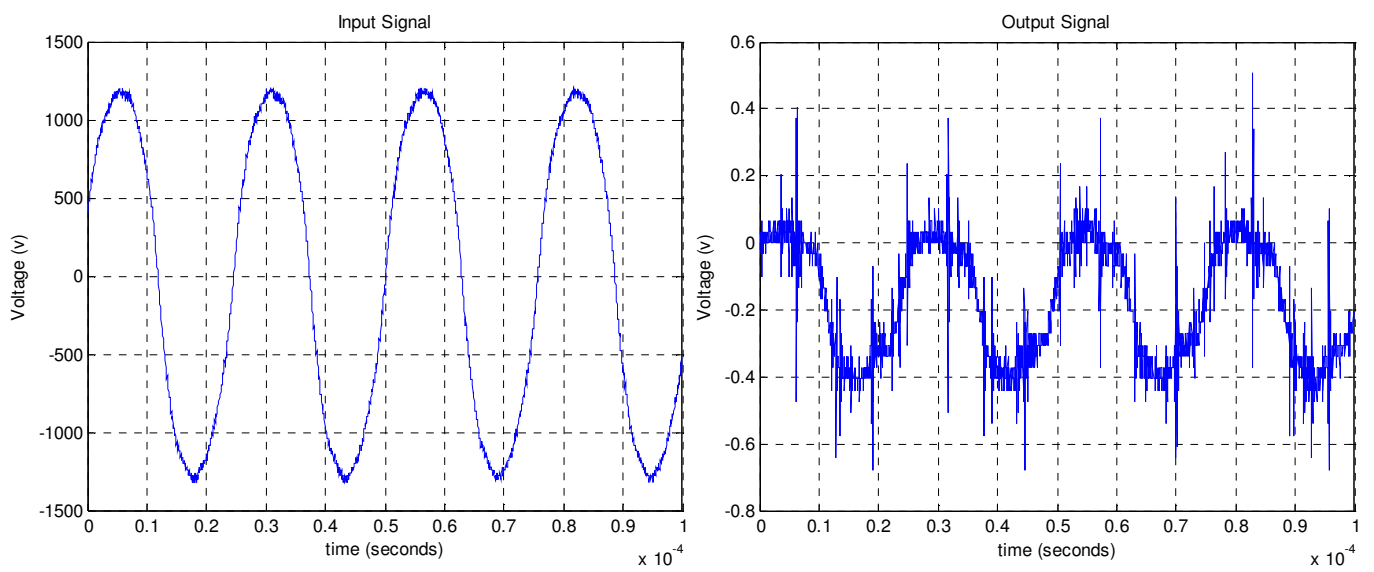
ตัวอย่างที่ (66)



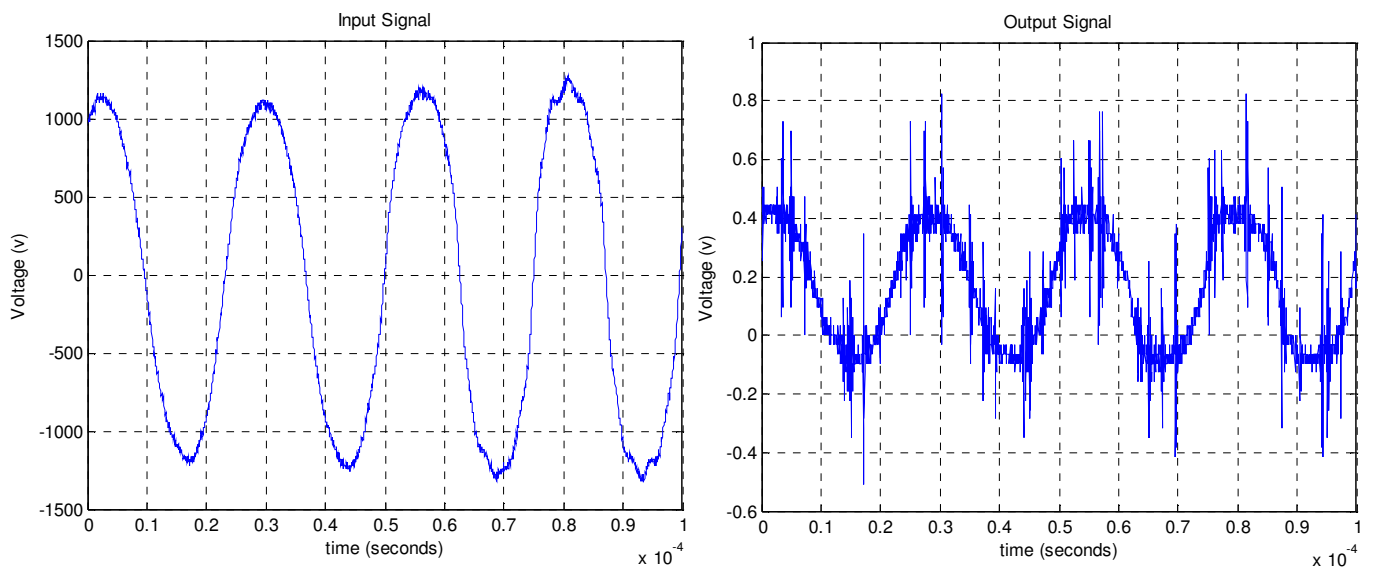
ตัวอย่างที่ (67)



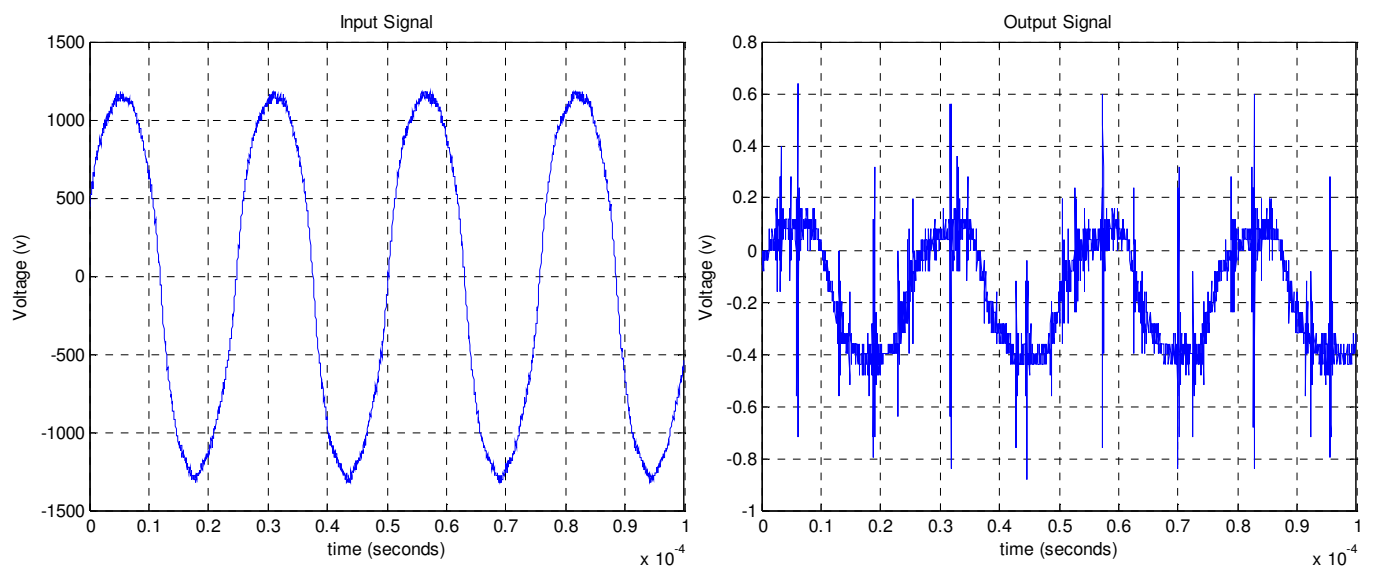
ตัวอย่างที่ (68)



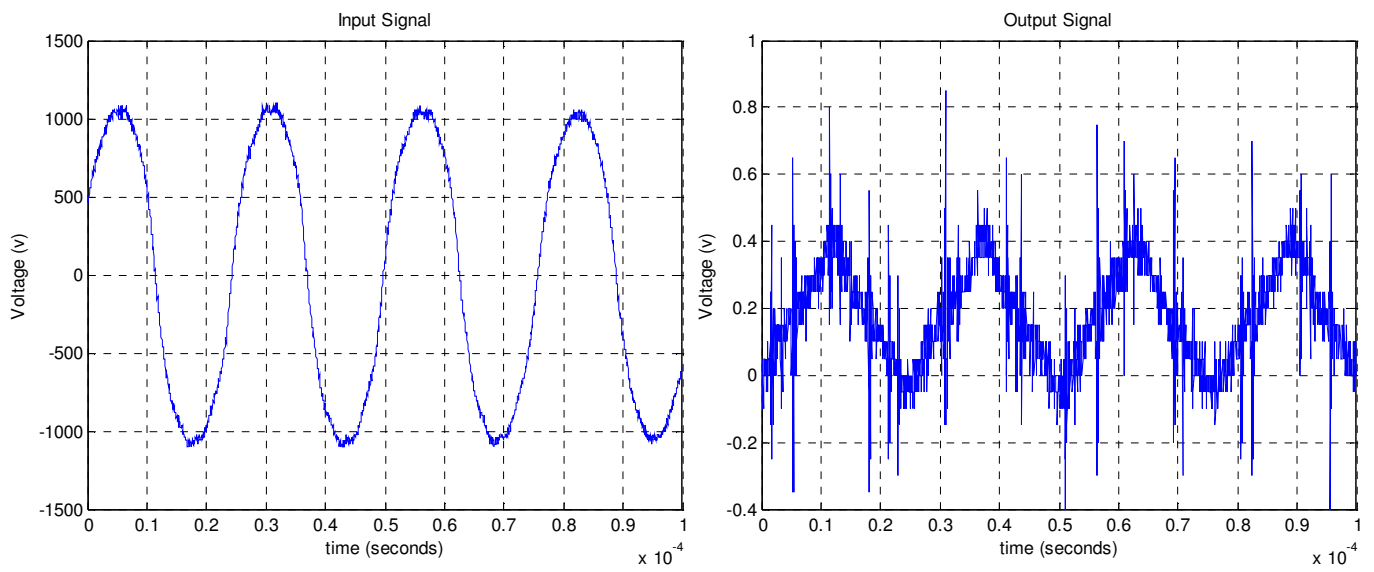
ตัวอย่างที่ (69)



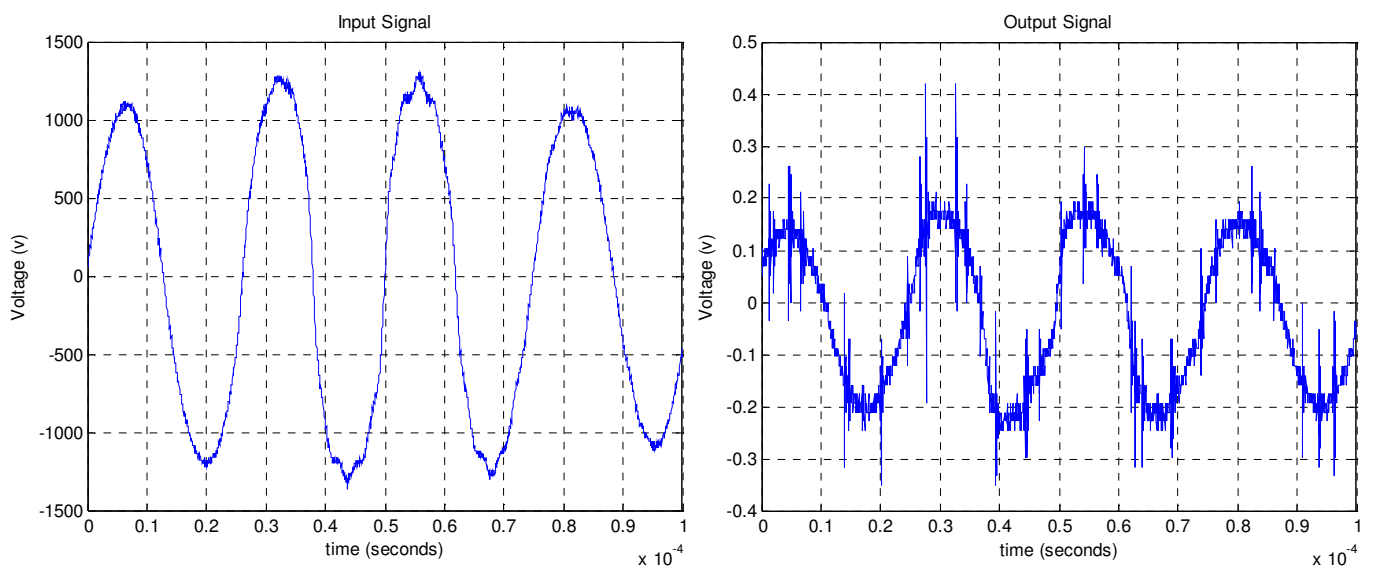
ตัวอย่างที่ (70)



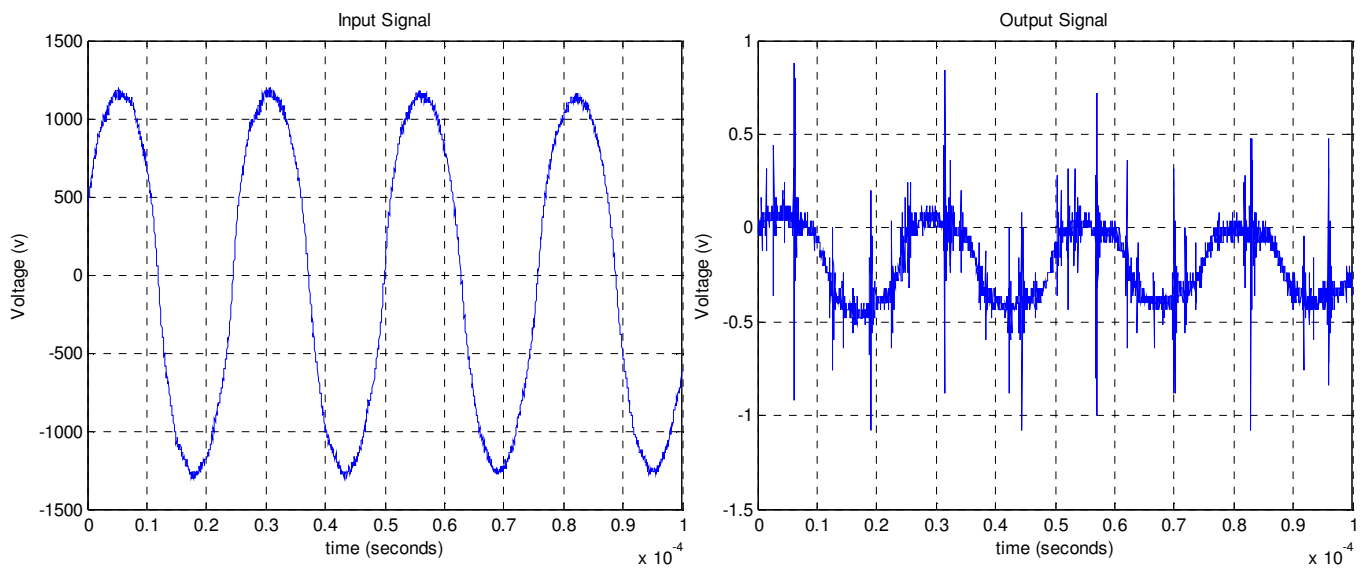
ตัวอย่างที่ (71)



ตัวอย่างที่ (72)



ตัวอย่างที่ (73)



ภาคผนวก ข.

ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่จากวิทยานิพนธ์

ICSEC 2011

The 2011 International Computer Science and
Engineering Conference

Conference Proceedings

Ubiquitous: Computing Anywhere Anytime

Bangkok, Thailand

September 7-9, 2011

<http://icsec2011.cpe.ku.ac.th>



Oil Content Determination of Oil Palm Fruit Using Ultrasonic

Sutthawee Suwannarat¹, Thanate Khaorapapong², Mitchai Chongcheawchamnan³
^{1,2,3}Intelligent Systems Laboratory

Department of Computer Engineering, Faculty of Engineering
 Prince of Songkla University, Had Yai, Songkhla, THAILAND, 90110

¹ssutthawee@gmail.com

²kthanate@coe.psu.ac.th

³mitchai@coe.psu.ac.th

Abstract

A nondestructive testing technique based on ultrasonic device is first applied to oil palm fruit to measure oil content. This oil content in oil palm fruit can be determined by measuring the attenuation in the transmitting ultrasonic signal. To validate the technique concept, several experiments are performed and difference oil content fruit are measured and analyzed. Correlation analyses among ultrasonic parameters and oil content are performed. A multiple nonlinear regression model describing the relationship between oil content and ultrasonic parameter is used. The calibration equation for oil content measurement of oil palm fruit are developed and validated.

Key Words: Non-destructive, ultrasonic testing, oil content, oil palm, quality determination.

1. Introduction

Oil palm plant is classified as a perennial plant which can yield oil per unit area than any type of oil plant. Oil palm plant is very widely planted in southern and central parts of Thailand. Furthermore, the oil palm fruit is an industrial fruit that Thailand has exported to other countries approximately 8 million tons, creating such a large economy scale of more than 500 million USD (1 USD = 30.3982 THB) [1]. In the present, the maturity indicator in fresh palm fruit is increasing oil content that can sense by trained person, but currently requires destructive method. Consumer demand for high-quality product needs a reliable, rapid and nondestructive measurement for quality determination. It is necessary to develop suitable method for harvesting as in [2].

There are many methods to determine their fruit qualities, both in destructive and non-destructive. Reference [3] proposed NMR (Nuclear Magnetic Resonance) and Soxhlet extraction for

measuring the oil content of palm mesocarp. However, this method is destructive.

Reference [4] proposed a laser air-puff firmness detector that was used to nondestructively measure the firmness of peaches and found that the system performed very well in determining peach firmness, finding very high correlation with the results of puncture testing. However, this method cannot be applied for oil content determination. Reference [5] and [6] proposed the film x-ray and MRI (Magnetic Resonance Imaging) analysis, respectively. However, both methods need an expert.

Reference [7] surveyed the literature and found that, in the context of food, about 20 เปอร์เซ็นต์ of non-destructive or non-invasive techniques used acoustic methods. Ultrasound is obviously among the acoustic methods. Reference [8] proposed review paper about ultrasonic technology for determining properties of fresh fruit and vegetable. Reference [8] included some examples of related research in their survey, quality-related physiochemical and mechanical properties that correlated with ultrasonic parameters. Furthermore, Reference [9] proposed ultrasonic for determination of ultrasonic softening process. The interesting result is good relation between oil content and attenuation coefficient of ultrasonic.

Previous studies with avocado fruit suggested that there is a good correlation between the attenuation of the ultrasonic signal and the physiological (oil content) properties of the fruit tissue as in [9]. The objectives of this paper is to develop a method and a mathematical model for analyzing ultrasonic signals, to determine oil content in palm mesocarp based on the ultrasonic measurements.

This paper is organized as follows. The model formulation, experimental setup of nondestructive test, fruit selection and destructive test are considered in section II. The results and discussion are given in section III. Finally, conclusions are drawn in section IV.

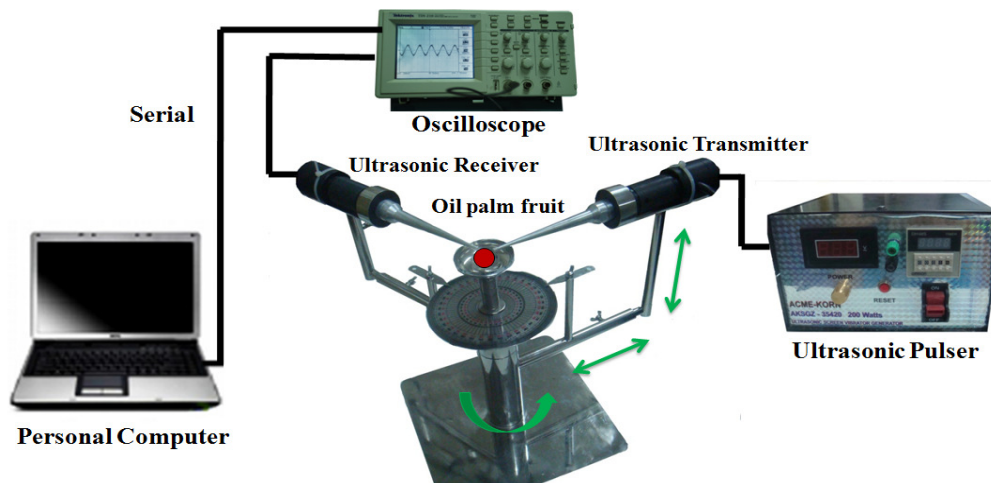


Figure 1. Ultrasonic system

2. Materials and Methods

2.1 Model Formulation

From an attempt to include the true wave attenuation of a material in the classical model of angular pressure distribution, we let (1), [10].

$$P(r, \alpha, \theta) = \frac{\rho_0 \pi^2 D^2 f^2 A_0 J_1(\beta \sin(\theta))}{r \beta \sin(\theta)} e^{-\alpha r} \quad (1)$$

Here, $P(r, \alpha, \theta)$ is the far field acoustic pressure within the material, r, θ and α are the distance, angle and true material sound attenuation at polar coordinate. ρ_0 and A_0 are the material density and the displacement amplitude of the crystal, respectively. $J_1(\beta \sin(\theta))$ is a Bessel function. β is the directivity parameter of the material.

$$\beta = \pi \left(\frac{D}{\lambda}\right) = \pi \left(\frac{Df}{c}\right) \quad (2)$$

D is a diameter of the crystal. λ, f and c are the sound wavelength, frequency of the crystal and the sound wave velocity in the material, respectively.

The directivity expression of the suggested model (1) is used for experimental design and result analysis.

2.2 Experimental Setup

The pair of 40 kHz (frequency of the crystal, f) transducers were selected for signal generating into the system, for data acquisition of ultrasonic attenuation and phase shift. The angle between the probes (θ) has been fixed at 120 degrees between the axes of probes. Ultrasonic attenuation was measured at 15 mm distance between the probes (r). The distance between the probes was measured with a

caliper. In the through-transmission mode, one is acting as a transmitter and the other as a receiver. Ultrasonic signal was emitted at oil palm fruit tissue and was measured from its (Figure 1.) 3 times. Ultrasonic signal that through the fruit tissue was captured and collected by Tektronix TDS210 digital storage oscilloscope as machine data files. By using Tektronix translation software (furnished by Tektronix Corporation), the data were converted into ASCII output and then transferred to an external microcomputer for analysis. A signal that received was analyzed on Matlab software (2010). The coefficient of attenuation was calculated from the expression equation (3) of [11].

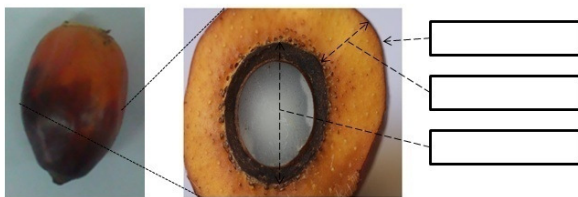
$$\alpha = \frac{-20}{d} \log_{10} \frac{|FFT_P(40k)|}{|FFT_{P_0}(40k)|} \quad (3)$$

Here $|FFT_{P_0}(40k)|$ and $|FFT_P(40k)|$ are the magnitude of fast Fourier transform (for noise removing) at 40 kHz of the input and output signal, respectively. The d is distance between probes and α is the ultrasonic attenuation. The phase shift was calculated from (4) and (5).

$$phase\ shift = \frac{180}{\pi} [angle(FFT_P(40k)) - angle(FFT_{P_0}(40k))] \quad (4)$$

$$angle(FFT_x(f)) = \tan^{-1} \left(\frac{Im(FFT_x(f))}{Re(FFT_x(f))} \right) \quad (5)$$

Where phase shift is the phase delay of output when compared with input signal.



(b)

Figure 2. (a) Oil palm bunch (b) Oil palm fruit

2.3 Fruit Description and Selection

The oil palm fruit is a drupe that forms in a tight bunch see as figure 2(a). The pericarp composes of 3 layers (Figure 2(b)): the exocarp is a skin, mesocarp is a tissue that contains palm oil and endocarp is a hard shell that encloses the kernel. The kernel contains oil and stores carbohydrate for the embryo [12].

The 18 tenera oil palm fruits (*Elaeis guineensis* Jacq) were taken from an oil palm garden during the rainy season 2010. All oil palm samples were inspected to ensure that fruit were uniform. The minimum and maximum weights, average weights and standard deviation of the oil palm samples were 8.98, 20.57, 14.54 and 3.16 g, respectively as shown in Table 1. The fruits were stored in an air-conditioned laboratory at 20°C, for ultrasonic and oil content tests.

2.4 Destructive Test: Oil Content

Destructive tests were conducted after the ultrasonic tests, to determine some of the quality-related parameters of the fruit. These included physiological properties (oil content). The relevant test procedures are presented below. All the oil palm fruits were subjected to both ultrasonic nondestructive test and destructive tests.

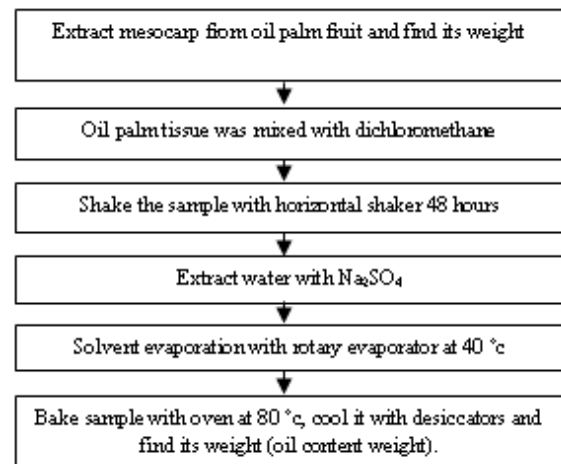


Figure 3. Procedure of oil content measurement

The oil content of the oil palm fruit was determined by solvent extraction. Oil palm tissue was ground with dichloromethane to determine the oil content. The procedure of oil content measurement can be seen from figure 3. The oil content was calculated from (6). The test results were confirmed by Scientific Equipment Center (ISO9001:2008) that located at Prince of Songkla University (Thailand).

$$\text{เปอร์เซ็นต์ Oil content} = \frac{\text{Oil content weight (g)}}{\text{Oil palm tissue weight (g)}} \times 100 \quad (6)$$

3. Result and Discussion

Results obtained from ultrasonic nondestructive testing and destructive tests in previous studies in an air-conditioned laboratory at 20°C, involving oil palm fruits after harvest ranged between 1.99 and 3.09 dB/mm for attenuation, 0.12 and 0.83 degree for phase shift. The oil content of oil palm fruits harvest ranges from the minimum of 20.19เปอร์เซ็นต์ up to 87.72เปอร์เซ็นต์. The mean standard deviation, and the minimum and maximum values obtained in the ultrasonic nondestructive test and destructive tests, which were measured in the oil palm received from the garden, are shown in Table 1.

Table 1. Properties of oil palm fruits.

Properties	No. of fruit	Mean	STD	Max	Min
Attenuation coef., α (dB/mm)	18	2.46	0.35	3.09	1.99
Phase shift (degree)	18	0.33	0.22	0.83	0.12
Oil content (เปอร์เซ็นต์ w/w)	18	51.21	21.51	87.72	20.19
Weight (g)	18	14.54	3.16	20.57	8.98

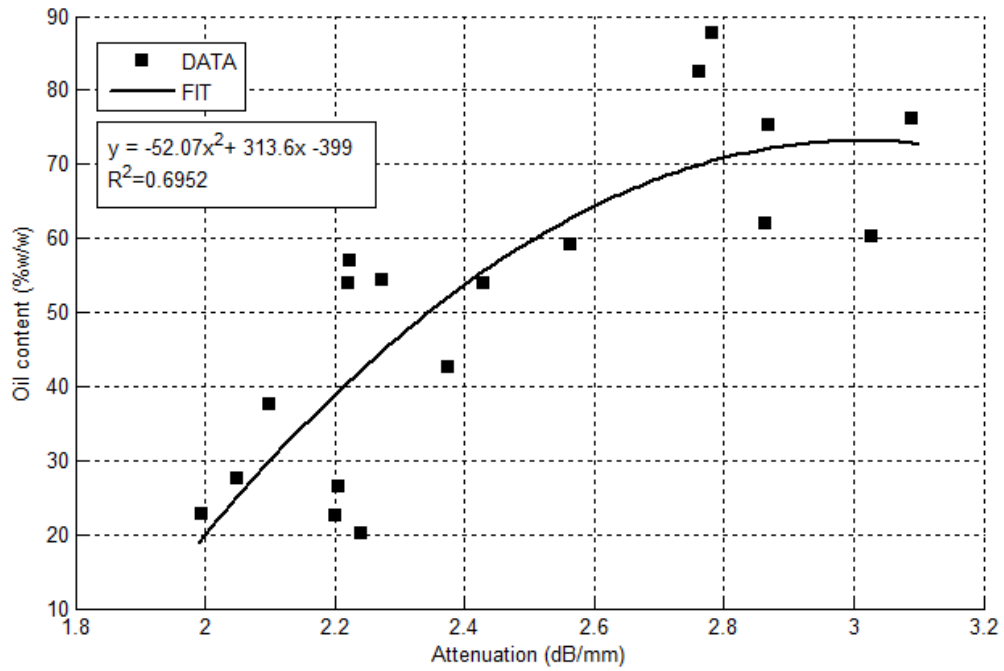


Figure 4. The ultrasonic attenuation in oil palm fruit versus their oil content

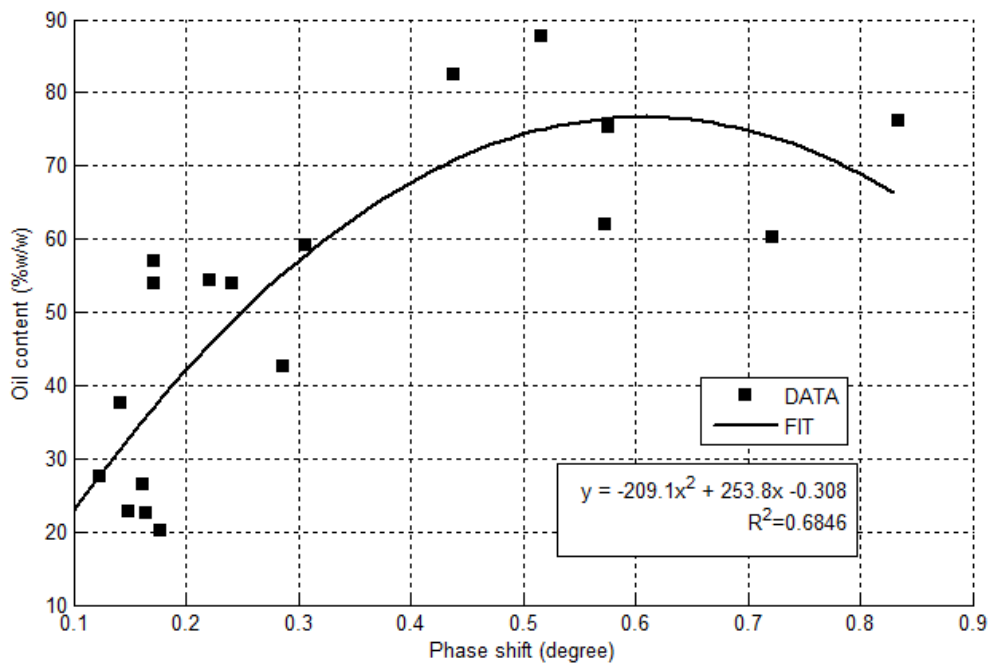


Figure 5. The phase shift in oil palm fruit versus their oil content

When the results measured of the present study are compared with those obtained in the previous studies, attenuation and oil content values are found. The measured attenuation corresponds to the oil content of the fruit. Figure 4 relates to the attenuation and oil content measurements: the measured attenuation was found to be greater at low than at high oil content. As can be seen from the graph, a second order polynomial expression was selected for describing the relation between ultrasonic attenuation and oil content as (7). The correlation coefficient between ultrasonic attenuation and oil content were 0.6952. Where x parameter is the ultrasonic attenuation of the received signal. It may be possible to estimate the oil content of oil palm fruit by measurement of ultrasonic attenuation.

$$y = -52.07x^2 + 313.6x - 399 \quad (7)$$

The change in ultrasonic phase shift of the received ultrasonic signals according to the oil content of oil palm fruit are shown in Figure 5. The ultrasonic phase shift of oil palm fruit increased with oil content and decreased slightly at high oil content. A second order polynomial expression was selected to describing the relation between phase shift and oil content as (8). The correlation coefficient between phase shift and oil content were 0.6846. However, the phase shift value on x-axis was too small; it cannot be used for prediction the oil content of the oil palm fruit.

$$y = -209.1x^2 + 253.8x - 0.308 \quad (8)$$

4. Conclusions

The objectives of the present study were to devise a method and a mathematical model for analyzing ultrasonic signals, to determine oil content in palm mesocarp based on the ultrasonic measurements. The acoustic nondestructive test results were compared with those of destructive test.

The measured phase shift was found to be related to the oil content of the oil palm fruit. However, with narrow degree value range on the x-axis of Figure 5, the ultrasonic phase shift is not used for estimate the oil content of the oil palm fruit.

The oil content determination by using ultrasonic testing technique was successfully, as can be seen from the relation result between ultrasonic attenuation and oil content (Figure 4), the attenuation increase with advancing oil content. The correlation

coefficient between ultrasonic attenuation and oil content were 0.6952. From this result, it was shown that by using the nondestructive ultrasonic transmission system to measure the ultrasonic attenuation of the oil palm fruit, it might be possible to assess its oil content. The technique for oil content measurement based on ultrasonic attenuation may provide a promising method for the development of practical instrument in measuring the oil content of the oil palm fruit.

5. References

- [1] Office of Agricultural Economics, *Situation and trends in key agricultural year 2551*, Ministry of Agriculture, Thailand, 2008.
- [2] S. Chengtong, S. Janprasit, S. Chengtong, W. Limpattanasiri, "Palm oil market: Suratthanee province," *Community Research*, Thailand, no. 82, 2008.
- [3] C.O. Flingoh, Z. Kamarudin, "Wideline nuclear magnetic resonance for measuring the oil content of palm mesocarp," *Nuclear Magnetic Resonance. ELAEIS*, vol. 3(1), pp. 311-316, June 1991.
- [4] Y.-C. Hung, S.E. Prussia, G.O.I. Ezeike, "Nondestructive firmness sensing using laser a air-puff detector," *Postharvest Biology and Technology*, vol. 16, pp. 15-25, 1999.
- [5] T.F. Schatzki, R.P. Ha, R. Young, I. Can, L.C. Lee, "Defect detection in apples by means of x-ray imaging sensors for nondestructive testing," *Proceeding Sensors for Nondestructive Testing International Conference*, Orlando, FL, pp. 18-21, February 1997.
- [6] C.J. Clark, P.D. Hocking, D.C. Joyce, R.A. Mazucco, "Application of magnetic resonance imaging to pre- and post-harvest studies of fruit and vegetables," *Postharvest Biol.Techno*, vol. 11, no. 1, pp. 1-21, 1997.
- [7] P. Butz, C. Hofmann, B. Tauscher, "Recent developments in noninvasive techniques for fresh fruit and vegetable internal quality analysis," *J. FoodSci*, vol. 70, no. 9, pp. 131-R141, November 2005.
- [8] A. Mizrach, "Ultrasonic technology for quality evaluation of fresh fruit and vegetables in pre- and postharvest processes," *Postharvest Biology and Technology*, vol. 48, pp. 315-330, 2008
- [9] A. Mizrach, U. Flitsanov, "Nondestructive ultrasonic determination of avocado softening process," *Journal of Food Engineering*, vol. 40, pp. 139-144, 1999.
- [10] A. Mizrach, N. Galili, G. Rosenhouse, "3-D Model of sound pressure field in a meridional section plane of fruit," *Ultrasonic*, vol. 49, no. 1, pp. 83-88, 2009.
- [11] J. Krautkramer, H. Krautkramer, *Ultrasonic testing of materials.*, Springer-Verlag, Heidelberg, Germany, 1990.
- [12] R. Sambantamurthi, K. Sundram, Y.-A. Tan, "Chemistry and biochemistry of palm oil," *Progress in Lipid Research*, vol. 39, pp. 507-558, 2000.

Prediction Oil Content in Fresh Palm Fruit based Ultrasonic Technique

Sutthawee Suwannarat*, Thanate Khaorapapong
and Mitchai Chongcheawchamnan

ABSTRACT

In this paper, an ultrasonic technique is proposed to predict oil content in a fresh palm fruit. This is accomplished by measuring the attenuation based on ultrasonic transmission mode. Several palm fruit samples with known oil content by Soxhlet extraction (ISO9001:2008) were tested with our ultrasonic measurement. Amplitude attenuation data results for all palm samples were collected. The Feedforward Neural Networks (FNNs) are applied to predict the oil content for the samples. The Root Mean Square Error (RMSE) and Mean Absolute Error (MAE) of the FNN model for predicting oil content percentage are 5.8672 and 3.4731 with the correlation coefficient (R) of 0.8891.

Keywords: ultrasonic testing, oil content, palm fruit, polynomial regression, neural network

INTRODUCTION

Oil palm plant is classified as a perennial plant which can yield oil per unit area than any type of oil plants (Sambantamurthi *et al.*, 2000). Oil palm plant is very widely planted around the world, these are some parts of ASEAN, Africa, Australia and South America. There is a huge demand for palm oil globally which is witnessed from the statistic data relating to the oil palm consumption. In 2010, the world total of palm oil production was approximately 45 million tons, creating such a large economy scale of more than 3.8 billion USD (Office of Agricultural Economics, 2010). In addition, with the global crisis of fuel nowadays and the ever increasing need for alternative energy, it is believed that this increase trend of the palm oil demand will be prolonged. Many countries promote in palm plant production by launching several policies to facilitate and create many activities to stakeholders. One of the main policies is to promote a fair fresh palm fruit trading system.

The price value of a palm fruit currently is determined by oil content in the fruit. Numerous reports claim that oil content of a palm fruit relates to fruit ripeness and the fruit species. The Tenera specie has been the most chosen one for planting since it is more productive than other species. Several researchers reported that the ripeness condition of a Tenera palm fruit is related to the fruit color. Since there is no available reliable and rapid measurement method for oil content determination, trading fresh palm fruit in the current market is not based on the actual product quality. Hence to create a fair trading market, it is necessary to develop a rapid, reliable as well as accurate oil content determination system.

Intelligent Systems Laboratory, Department of Computer Engineering,
Prince of Songkla University, Songkhla, 90110, Thailand.

* Corresponding author, e-mail: ssutthawee@gmail.com

The conventional method to determine the oil content is a Soxhlet extraction. This method is a long established, well known and widely accepted for analyzing oil content of a fresh palm fruit. The method process begins by extracting mesocarp from fresh palm fruit and grounding with solvent. The whole process from preparation to extraction takes at least 48 hours per sample. This method is not yet suitable for oil content determination in the trading market because it is slow and destructive.

Generally there are various methods be classified in nondestructive technique. It was reported in (Butz *et al.*, 2005) that ultrasonic is one of the mostly used methods for analyzing fruit and vegetable internal quality. The method can provide high accurate and rapid measurement. It was claimed that ultrasonic parameters from a sample are correlated to the quality-related physiochemical and mechanical properties (Mizrach, 2008). Laterally attenuation parameter from ultrasonic measurement on Avocado fruit samples was reported to be relating to the oil content of the Avocado samples (Mizrach and Flitsanov, 1999). From this knowledge, we will apply an ultrasonic measurement based on the transmission mode to determine oil content in a fresh palm fruit. Suwannarat *et al.* (2011) proposed the oil content determination of oil palm fruit using ultrasonic. The ultrasonic attenuation increases with advancing oil content. The second order polynomial is used for describing the relation between their parameters. Furthermore, this paper proposes the neural network method that is compared with previous polynomial regression method and the performances of all method are shown on this paper.

This paper is organized as follows. The experimental setup and the experimental results are presented in experimental setup and results section. Detail of applying a neural network and polynomial regression method for determining oil content in palm fruit samples based on the measured attenuation parameters will be discussed in mathematical models section. The performance prediction will also be and the paper will be concluded in conclusions.

EXPERIMENTAL SETUP AND RESULTS

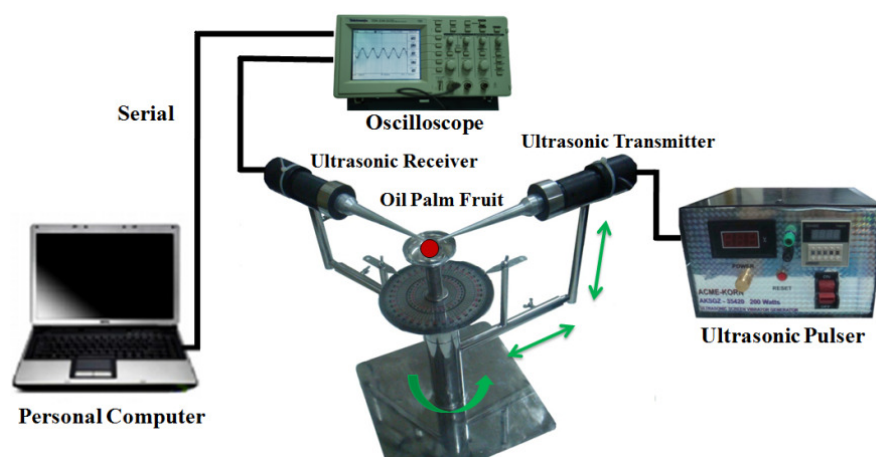


Figure 1 Ultrasonic system

Experimental setup

Several Ternara oil palm fruits were sampled from several palm bunches collected from several crop areas around Songkhla province. From the experimental setup shown in Figure 1, a pair of 40 kHz (f) ultrasonic transducers composed of an ultrasonic transmitter

and receiver was selected. These transducers are positioned at angle of 120 degree as shown in Figure 1. The distance between these probes (d) measured with a caliper is 15 mm. A test sample was firmly held with a sample holder. For the ultrasonic transmission mode, ultrasonic signal is emitted from an ultrasonic pulser through the probe, propagates through the oil palm sample and, is collected by a receiving probe. The electrical parameters of this collected ultrasonic signal are changed according to the physical parameter of the test sample.

To collect the signal from the received probe, a digital storage oscilloscope (TDS210) sampled, digitized and finally transferred the received waveform to a personal computer using Tektronix translation software (furnished by Tektronix Corporation). A waveform in digital format of 2500 samples for each measurement was preprocessed for noise removal and subsequently analyzed with the developed program running on computer. The attenuation parameter (α) can be calculated from (1) as shown (Krautkramer and Krautkramer, 1990), Where A_0 and A are the amplitude of the transmitted and received waveform data, respectively.

$$A = A_0 e^{-\alpha d} \quad (1)$$

After the ultrasonic measurement, some physical parameters and oil content of all test oil palm fruits were brought to measure immediately at Scientific Equipment Center (ISO9001:2008), Prince of Songkla University. It should be noted that a standard Soxhlet extraction method was performed for oil content determination.

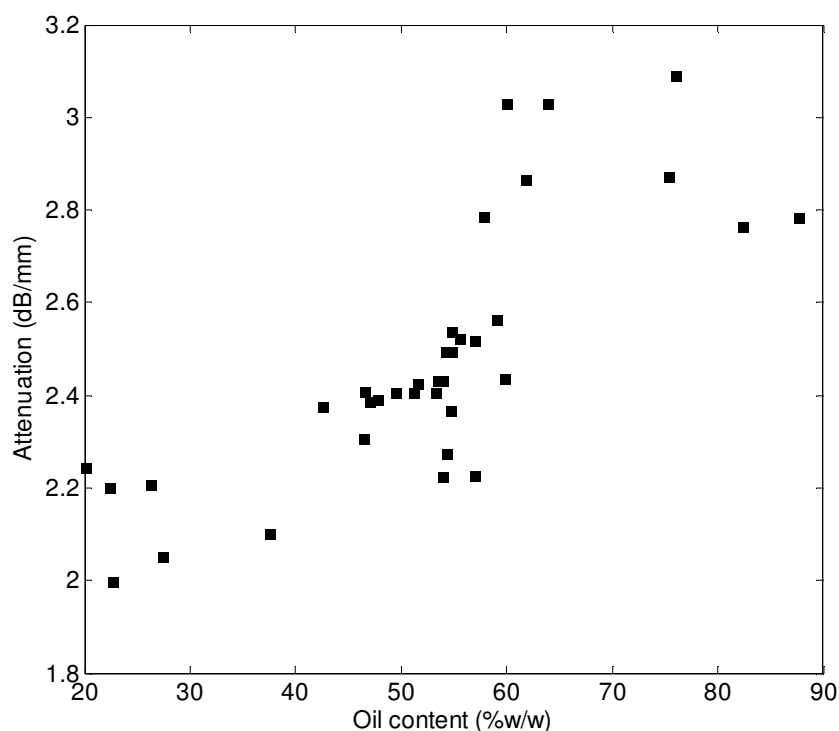
Physical and electrical results

Ultrasonic measurement was performed on several fresh palm fruits at temperature controlled laboratory. Thirty-six palm fruit of different ripeness conditions were our test samples. Table 1 summarizes statistical calculation results of some physical and electrical parameters of the test samples. Four statistical calculations (mean, standard deviation, minimum and maximum) are reported. The oil content of samples ranges from 20.19เปอร์เซ็นต์ up to 87.72เปอร์เซ็นต์. Where the sample weight range from 8.98 g up to 20.57 g.

Figure 2 show the attenuation parameters of the propagated ultrasonic signals from 36 samples. This parameter of each test sample was computed from the collected time-domain waveforms. These waveforms were transformed to frequency domain by Fast Fourier algorithm and the amplitude of each waveform is obtained from the waveform spectrum. From Figure 2, graphs plot of the ultrasonic signal parameters defined in (1) against the oil contents obtained from the Soxhlet extraction method.

Table 1 Properties of fresh palm fruits.

Properties	No. of fruit	Mean	STD	Max	Min
Attenuation coef., α (dB/mm)	36	2.47	0.26	3.08	1.99
Oil content (เปอร์เซ็นต์w/w)	36	52.39	15.18	87.72	20.19
Weight (g)	36	15.00	2.99	20.57	8.98

**Figure 2** The ultrasonic attenuation in fresh palm fruit versus their oil content

The ultrasonic signal is transferred through fresh palm fruit, the output will have difference amplitude related to their oil content. Figure 2 show the attenuation that increase with advancing oil content.

MATHEMATICS MODELS

Neural network topology

In this research, Feedforward Neural Network (FNN) with back-propagation learning rule is proposed to apply for our model. This section describes the most appropriate network topology that provides the best prediction performance. Here, we divide 36 test samples to two sets which are the training and testing sets of attenuation parameters with known oil content percentages. In this paper: 24 (66.67เปอร์เซ็นต์) and 12 (33.33เปอร์เซ็นต์) samples are defined for training and the testing sets, respectively. The same training data set is applied to several network topologies for training network. The network topology that provides minimum error during the training process is chosen. Finally the testing set data will apply to validate the selected network topology.

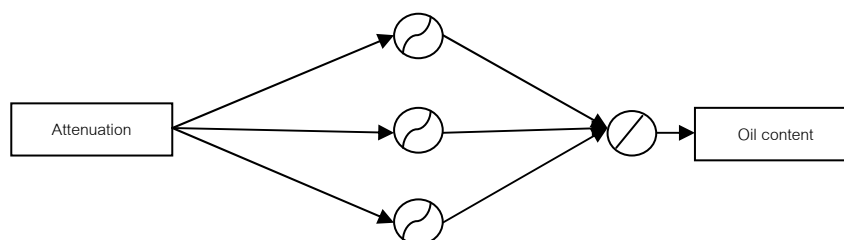


Figure 3 A selected FNN structure with 1 neuron in the input layer, 3 neurons in the hidden layer and 1 neuron in the output layer.

Table 2 The RMSE, MAE and R statistic of the FNN model.

Number of hidden nodes	RMSE	MAE	R
1	10.0688	7.7702	0.8049
2	9.9750	7.9322	0.8112
3	9.6323	7.7479	0.8241
4	9.8925	7.9653	0.8145
5	9.6688	7.8023	0.8233
6	9.9857	7.9259	0.8118
7	9.6624	7.7907	0.8238
8	9.9920	7.9265	0.8120
9	10.0123	7.9491	0.8111
10	9.7303	7.9037	0.8221
11	10.0161	7.9442	0.8115
12	9.7501	7.9223	0.8219
13	10.0233	8.3206	0.8214
14	10.0441	8.2964	0.8212
15	10.0467	8.3119	0.8214

We choose a single hidden layer for approximating function. During the testing process, the neuron number in the hidden layer is thoroughly investigated to determine the appropriate number that provides the minimum error. For our single input network, the activation functions in the hidden and output layers are the hyperbolic tangent sigmoid and linear respectively.

In this paper, Root Mean Square Error (RMSE), Mean of Absolute Error (MAE) and correlation coefficient (R) are used to evaluate the performance of each network topology. These statistical parameters are listed in Table 2. It is shown that the FNN topology 3 neurons in the hidden layer offer the lowest RMSE (9.6323), the lowest MAE (7.7479) and the highest R (0.8241). Hence the network topology with 3 neurons in the hidden layer shown in Figure 3 is selected in this paper.

Polynomial regression

Suwannarat *et al.* (2011) proposed the predicting oil content of oil palm fruit and second order polynomial regression was used for describe relation between ultrasonic attenuation and their oil content. In this paper second order polynomial regression is used

for modeling and compared with FNN model. The 24 (66.67เปอร์เซ็นต์) and 12 (33.33เปอร์เซ็นต์) samples are defined for training and the testing sets. The obtained RMSE, MAE and R results of the proposed polynomial on training data are 9.6591, 7.4105 and 0.8049 respectively. The second order polynomial equation is given by,

$$y = -43.21x^2 + 266.1x - 336.5 \quad (2)$$

Neural network and polynomial regression performances

The statistical parameters indicating the prediction performance of the model from the FNN model and polynomial regression model are summarized in Table 3. As can be seen from this table, The FNN model has the better performance more than polynomial regression method. Figure 4 and 5 shows the scatterplot of the predicted oil content from the FNN and polynomial regression model versus their actual oil content from the Soxhlet extraction. The square and circle symbolize the data obtained from training set and testing set. The line equation for the plot of FNN and polynomial regression model are given by (3) and (4).

$$y = 0.683x + 15.43 \quad (3)$$

$$y = 0.68x + 18.52 \quad (4)$$

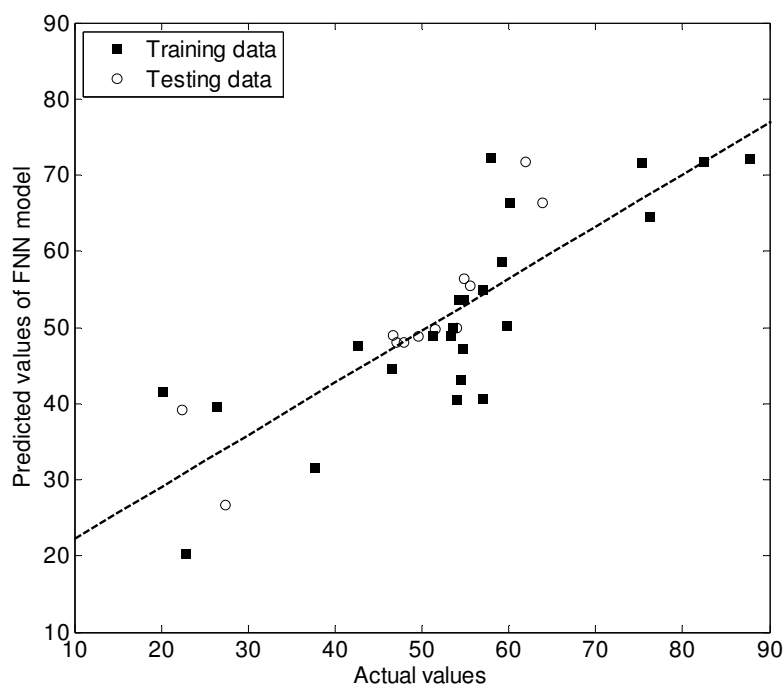


Figure 4 The scatterplots of the FNN model performances with the testing and training data

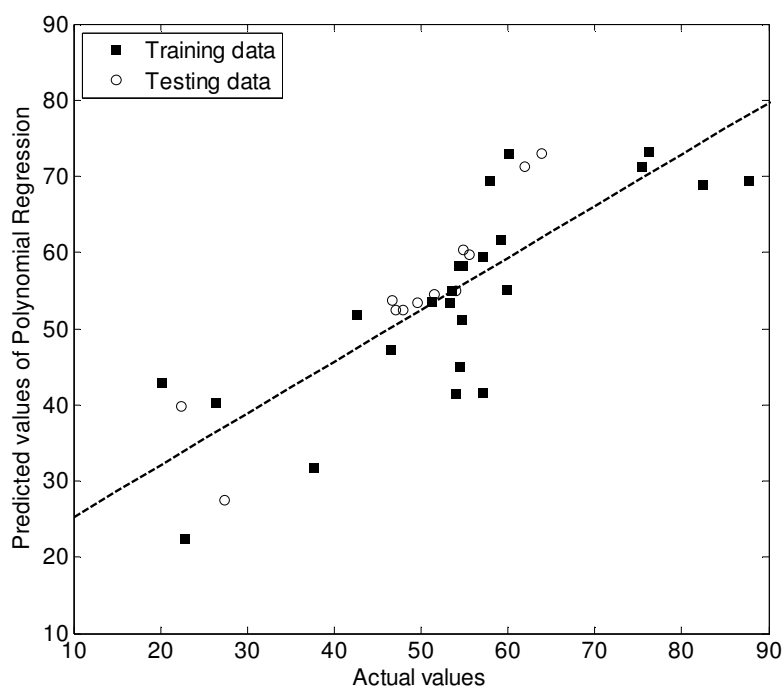


Figure 5 The scatterplots of the polynomial regression model performances with the testing and training data

Table 3 The RMSE, MAE and R statistic of the FNN model and polynomial regression model for testing data.

Model	RMSE	MAE	R
FNN of testing set	5.8672	3.4731	0.8891
polynomial of testing set	7.3253	5.8565	0.9295

CONCLUSION

The main objective of the paper is to show the feasibility of applying transmission-mode ultrasonic approach for predicting oil content in fresh palm fruits. To predict the oil content from the attenuation data, FNN topology with three neurons in the hidden layer has been proposed to model.

The oil content determination by using ultrasonic testing technique with FNN was promising. The obtained RMSE, MAE and R results of the proposed FNN on testing data are 5.8672, 3.4731 and 0.8891 respectively. From this result, it has been shown that by using the nondestructive ultrasonic operated in transmission mode can predict oil content in a fresh palm fruit. This leads to conclude that the proposed technique can be highly possibly used for oil content prediction system for oil-plam trading market.

LITERATURE CITED

- Butz, P., C. Hofmann and B. Tauscher. 2005. Recent developments in noninvasive techniques for fresh fruit and vegetable internal quality analysis. **J. Food Sci.** 70(9): R131–R141.
- Mizrach, A. 2008. Ultrasonic technology for quality evaluation of fresh fruit and vegetables in pre- and postharvest processes. **Postharvest Biol. Tec.** 48: 315–330.
- Mizrach, A. and U. Flitsanov. 1999. Nondestructive ultrasonic determination of avocado softening process. **J. Food Eng.** 40: 139–144.
- Krautkramer, J. and H. Krautkramer. 1990. **Ultrasonic Testing of Materials**. Springer-Verlag, Heidelberg, Germany. 521 pp.
- Office of Agricultural Economics. 2010. Situation and trends in key agricultural year 2010, **Ministry of Agriculture**. Thailand.
- Sambantamurthi, R., K. Sundram and Y.-A. Tan. 2000. Chemistry and biochemistry of palm oil. **Prog. Lipid Res.** 39: 507–558.
- Suwannarat, S., T. Khaorapapong and M. Chongcheawchamnan. 2011. Oil content determination of oil palm fruit using ultrasonic. **The 15th International Computer Science and Engineering Conference**. Bangkok, Thailand.

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ สกุล	นายสุทธีวีร์ สุวรรณรัตน์		
รหัสประจำตัวนักศึกษา	5210120100		
วุฒิการศึกษา			
วุฒิ	ชื่อสถาบัน	ปีที่สำเร็จการศึกษา	
วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมคอมพิวเตอร์)	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์	2554	

การตีพิมพ์เผยแพร่ผลงาน

- S. Suwannarat, T. Khaorapong and M. Chongcheawchamnan. "Oil content determination of oil palm fruit using ultrasonic," *The 15th International Computer Science and Engineering Conference*, Thailand, 2011, pp.73-77.
- S. Suwannarat, T. Khaorapong and M. Chongcheawchamnan. "Prediction Oil Content in Fresh Palm Fruit based on an Ultrasonic Technique," *Kasetsart J. (Nat.Sci.)* 46:318-324 (2012).