

การพัฒนากระบวนการตรวจสอบการไม่ยึดติดกันของแผ่นโพลีไวนิลคลอไรด์ ฝ้ายคาร์บอนและฝ้าย
แก้วใน ผลิตภัณฑ์วินเซิร์ฟโดยการประยุกต์ใช้เซนเซอร์เสียงและเทคนิคการรู้จำแบบ



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2562
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Development of delaminated inspection process between polyvinyl chloride, biaxial carbon reinforced fabric and fiber glass reinforced fabric by sound sensor and pattern recognition



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

Department of Industrial Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2019

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การพัฒนากระบวนการตรวจสอบการไม่ยึดติดกันของแผ่น
โพลีไวนิลคลอไรด์ ผ่าคาร์บอนและผ้าใยแก้วใน ผลิตภัณฑ์
วินเทิร์ฟโดยการประยุกต์ใช้เซนเซอร์เสียงและเทคนิคการ
รู้จำแบบ

โดย

น.ส.นภาพรณ สุขประเสริฐ

สาขาวิชา

วิศวกรรมอุตสาหการ

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

รองศาสตราจารย์ ดร.สมเกียรติ ตั้งจิตสิตเจริญ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

()

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์จรัสพัฒน์ เงามประเสริฐวงศ์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(รองศาสตราจารย์ ดร.สมเกียรติ ตั้งจิตสิตเจริญ)

..... กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.วิภาวี ธรรมาภรณ์พิลาศ)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมชาย พัวจินดาเนตร)

นภาพรรณ สุขประเสริฐ : การพัฒนากระบวนการตรวจสอบการไม่ยึดติดกันของแผ่นโพลีไวนิลคลอไรด์ ผ้าคาร์บอนและผ้าใยแก้วใน ผลิตภัณฑ์วินเซิร์ฟโดยการประยุกต์ใช้เซนเซอร์เสียงและเทคนิคการรู้จำแบบ. (Development of delaminated inspection process between polyvinyl chloride, biaxial carbon reinforced fabric and fiber glass reinforced fabric by sound sensor and pattern recognition) อ.ที่ปรึกษาหลัก : รศ. ดร.สมเกียรติ ตั้งจิตสิตเจริญ

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ เพื่อพัฒนาการตรวจสอบการยึดติดกันของแผ่นโพลีไวนิลคลอไรด์กับผ้าใยแก้วหรือผ้าคาร์บอนในผลิตภัณฑ์วินเซิร์ฟ ซึ่งกระบวนการตรวจสอบในปัจจุบันใช้คนในการเคาะและฟังเสียงเพื่อตัดสินชิ้นงานที่มีการยึดติดหรือไม่มีการยึดติด และเกิดความผิดพลาดจากการตัดสินโดยพนักงานที่ไม่มีทักษะ จึงมีการพัฒนาการตรวจสอบโดยการประยุกต์ใช้เซนเซอร์เสียงและการแปลงฟูเรียร์แบบเร็วเพื่อแปลงสัญญาณเสียงให้อยู่ในรูปของโดเมนความถี่ จากนั้นระบุความถี่การยึดติดและคำนวณพื้นที่ได้กราฟ และใช้เทคนิคการรู้จำแบบและการแบ่งแบบอาบิทารีในการจำแนกชิ้นงานที่ไม่มีการยึดติดออกจากชิ้นงานที่มีการยึดติด โดยทำการทดลองกับวินเซิร์ฟทั้งหมด 4 ชนิด ได้แก่วินเซิร์ฟ 1, วินเซิร์ฟ 2, วินเซิร์ฟ 3 และ วินเซิร์ฟ 4 ที่ประกอบด้วยแผ่นโพลีไวนิลคลอไรด์ที่มีความหนาเท่ากันแต่มีความหนาแน่นแตกต่างกัน ผ้าใยแก้วและผ้าคาร์บอนที่มีความหนาแน่นแตกต่างกัน โดยผลการทดลองพบว่า ความหนาแน่นของแผ่นโพลีไวนิลคลอไรด์ ผ้าใยแก้วและผ้าคาร์บอนมีผลต่อความถี่การยึดติด โดยวินเซิร์ฟที่ประกอบด้วยแผ่นโพลีไวนิลคลอไรด์ ผ้าใยแก้วและผ้าคาร์บอนที่มีความหนาแน่นสูงจะมีความถี่การยึดติดสูงกว่าวินเซิร์ฟที่ประกอบด้วยแผ่นโพลีไวนิลคลอไรด์ ผ้าใยแก้วและผ้าคาร์บอนที่มีความหนาแน่นต่ำ และ ความเข้มพาวเวอร์สเปกตรัมที่ความถี่การยึดติดนี้เองที่บ่งบอกการยึดติดของแผ่นโพลีไวนิลคลอไรด์กับผ้าใยแก้วหรือผ้าคาร์บอน โดยความเข้มพาวเวอร์สเปกตรัมที่มากจะแปรผันตรงกับพื้นที่ได้กราฟ ซึ่งพื้นที่ได้กราฟที่มากหมายถึงการยึดติดที่ดีด้วย ผลการทดลองพบว่าจุดที่มีการยึดติดมีพื้นที่ได้กราฟมากกว่าจุดที่มีการยึดติดบางส่วนและมากกว่าจุดที่ไม่มีการยึดติด โดยรูปแบบพื้นที่จำแนกการไม่ยึดติดของวินเซิร์ฟ 1 มีค่า $\leq 0.23 \text{ dB}^2$ วินเซิร์ฟ 2 $\leq 0.25 \text{ dB}^2$ วินเซิร์ฟ 3 $\leq 0.36 \text{ dB}^2$ วินเซิร์ฟ 4 $\leq 0.26 \text{ dB}^2$ และผลการทดสอบความแม่นยำของรูปแบบพื้นที่จำแนกการยึดติดของวินเซิร์ฟ 1 วินเซิร์ฟ 2 และ วินเซิร์ฟ 4 มีค่าเท่ากับ 80% และ วินเซิร์ฟ 3 มีค่าเท่ากับ 90% จากผลการทดลองพบว่า การพัฒนาการตรวจสอบการยึดติดด้วยการใช้เซนเซอร์เสียงนี้ สามารถนำไปใช้ตรวจสอบการไม่ยึดติดได้ โดยไม่ต้องอาศัยทักษะการตรวจสอบของพนักงาน

สาขาวิชา วิศวกรรมอุตสาหการ

ลายมือชื่อนิสิต

ปีการศึกษา 2562

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก

6070929221 : MAJOR INDUSTRIAL ENGINEERING

KEYWORD: Fast Fourier Transform Sound sensor Pattern recognition technique

Napaphan Sukprasert : Development of delaminated inspection process between polyvinyl chloride, biaxial carbon reinforced fabric and fiber glass reinforced fabric by sound sensor and pattern recognition. Advisor: Assoc. Prof. Somkiat Tangjitsitcharoen, D.Eng.

Windsurf manufacturing and inspection process have high influence for product quality. Recently windsurf manufacturer faced high nonconformity cost with delaminate problem. Current inspection process is performed by inspector skill which depends on the experience. The inspection method is proposed by using sound sensor and applying the Fast Fourier Transform to monitor the ranges of laminate and delaminate frequency. The pattern recognition technique is purposed to classify noise frequency in order to identify the laminate windsurf from the delaminate ones. This research investigates the delaminate among the 4 type of windsurf which have different density of polyvinyl chloride sheet, the biaxial carbon reinforced fabric and the fiber glass reinforced fabric. These windsurf are identify as windsurf 1, windsurf 2, windsurf 3 and windsurf 4. The area of laminate frequency in frequency domain shows the laminate point has high power spectrum density than the one from the delaminate point. The algorithm to detect the delaminate has been developed and proved by real windsurf. It's proved that the method proposed can be identified the delaminate windsurf. Laminate pattern area of windsurf 1 is $\leq 0.23\text{dB}^2$, windsurf 2 is $\leq 0.25\text{dB}^2$, windsurf 3 is $\leq 0.36\text{dB}^2$ and windsurf 4 is $\leq 0.26\text{dB}^2$. These laminate parttern area have accuracy windsurf 1, windsurf 2 and windsurf 4 are 80%. Windsurf 3 is 90%. Experiment result can be proved that sound sensor is able to use for delaminate inspection without inspector skill.

Field of Study: Industrial Engineering

Student's Signature

Academic Year: 2019

Advisor's Signature

กิตติกรรมประกาศ

กราบขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมเกียรติ ตั้งจิตสิตเจริญ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่ให้คำแนะนำในการประยุกต์ใช้เซนเซอร์เสียงในการพัฒนาการตรวจสอบการไม่ยึดติดและให้คำแนะนำตลอดระยะเวลาของการจัดทำวิทยานิพนธ์ และชี้แนะแนวทางในการเขียนบทความเพื่อนำเสนองานวิจัยในต่างประเทศ

ขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมชาย พัวจินดาเนตร กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ให้คำแนะนำและชี้แนะการแก้ไขข้อบกพร่อง ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความถูกต้องและสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอบคุณครอบครัวที่ให้การสนับสนุน และขอบคุณเพื่อนๆ ปริญญาโทภาคในเวลา และภาคนอกเวลาราชการที่ให้คำปรึกษาและคอยช่วยเหลือในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

นภาพรรณ สุขประเสริฐ



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ค
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ง
กิตติกรรมประกาศ.....	จ
สารบัญ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ฎ
สารบัญรูปภาพ.....	ฏ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ.....	1
1.2 กระบวนการผลิตวินเซิร์ฟ	8
1.2.1 กระบวนการตัดโฟม.....	8
1.2.2 กระบวนการบีบอัดโฟม	9
1.2.3 กระบวนการตรวจสอบคุณภาพหลังกระบวนการบีบอัดโฟม	10
1.2.4 กระบวนการขัดแต่ง.....	11
1.2.5 กระบวนการตบผ้า.....	11
1.2.6 กระบวนการโป้วและขัดแต่งรูปทรง	12
1.2.7 กระบวนการเคลือบผิว.....	12
1.2.8 กระบวนการขัดเคลือบผิว	12
1.2.9 กระบวนการตรวจสอบคุณภาพหลังขัดแต่ง.....	12
1.2.10 กระบวนการพ่นสี	13
1.2.11 กระบวนการขัดน้ำ.....	13
1.2.12 กระบวนการสำเร็จรูป.....	13

1.2.13	กระบวนการตรวจสอบขั้นตอนสุดท้าย	14
1.2.14	กระบวนการบรรจุภัณฑ์	15
1.3	การตรวจติดตามประสิทธิภาพของส่วนประกอบของเครื่องจักรด้วยการใช้เซนเซอร์.....	16
1.4	แนวคิดในการทำงานวิจัย	22
1.5	วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	24
1.6	ขอบเขตงานวิจัย	24
1.7	ขั้นตอนในการศึกษาและวิจัย	24
1.8	ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	25
บทที่ 2	ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	26
2.1	ประเภทของวินเซิร์ฟ.....	26
2.2	โครงสร้างของวินเซิร์ฟ	26
2.2.1	ด้าน Deck.....	27
2.2.2	ด้าน Bottom.....	28
2.3	ความถี่ (Frequency).....	28
2.4	แอมพลิจูด (Amplitude).....	29
2.5	สเปกตรัมความถี่ (Frequency spectrum).....	30
2.6	ฮาร์โมนิกส์ (Harmonic)	31
2.7	โดเมนเวลา (Time domain).....	32
2.8	โดเมนความถี่ (Frequency domain)	32
2.9	วัสดุคอมโพสิต.....	33
2.9.1	กระบวนการ Hand Lay up	36
2.9.2	กระบวนการ vacuum bagging	36
2.9.3	กระบวนการ Filament winding.....	37
2.10	ระดับเสียง	38

2.11 การแปลงฟูเรียร์ (Fourier transform : FT).....	38
2.12 การแปลงฟูเรียร์แบบไม่ต่อเนื่อง (Discrete Fourier Transform :DFT).....	40
2.13 การแปลงฟูเรียร์แบบเร็ว (Fast Fourier Transform : FFT)	41
2.14 ความถี่การสุ่มตัวอย่าง (Sampling Frequency).....	42
2.15 การรู้จำแบบ (Pattern Recognition).....	43
2.16 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	46
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	53
3.1 การออกแบบการทดลอง.....	53
3.1.1 รุ่นเรือและจำนวนเรือที่ใช้ในการทดลอง	53
3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	54
3.3 ขั้นตอนการดำเนินการทดลอง.....	58
3.4 การจัดทำมาตรฐานคัดแยกของดีและของเสียของเรือแต่ละรุ่น.....	61
บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล.....	62
4.1 ช่วงความถี่การยึดติดและความถี่ไม่ยึดติด	62
4.2 การบ่งชี้ความถี่จากสิ่งแวดล้อมและความถี่จากระบบการข้างเคียง	65
4.2.1 ความถี่ของสัญญาณเสียงจากสิ่งแวดล้อมซึ่งเป็นสภาวะที่มีเสียงจากหลายแหล่งกำเนิด	65
4.2.2 ความถี่ของเสียงจากสิ่งแวดล้อมที่ไม่ได้เกิดขึ้นตลอดเวลา สามารถบ่งชี้ได้เป็น	66
4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณเสียงกับการยึดติด	68
4.3.1 ความถี่การยึดติดและความถี่การไม่ยึดติดของวินเซิร์ฟ 1	69
4.3.2 ความถี่การยึดติดและความถี่การไม่ยึดติดของวินเซิร์ฟ 2	71
4.3.3 ความถี่การยึดติดและความถี่การไม่ยึดติดของวินเซิร์ฟ 3	74
4.3.4 ความถี่การยึดติดและความถี่การไม่ยึดติดของวินเซิร์ฟ 4	76
4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ใต้กราฟกับลักษณะทางกายภาพของพื้นผิว.....	81

4.4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ได้กราฟกับลักษณะทางกายภาพของพื้นผิวของวินเซิร์ฟ	1 82
4.4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ได้กราฟกับลักษณะทางกายภาพของพื้นผิวของวินเซิร์ฟ	2 83
4.4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ได้กราฟกับลักษณะทางกายภาพของพื้นผิวของวินเซิร์ฟ	3 84
4.4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ได้กราฟกับลักษณะทางกายภาพของพื้นผิวของวินเซิร์ฟ	4 85
4.5 ความถี่การยึดติดและความถี่การไม่ยึดติด	87
4.5.1 อัลกอริทึมแสดงการตัดสินใจการยึดติดของวินเซิร์ฟ 1	88
4.5.2 อัลกอริทึมแสดงการตัดสินใจการยึดติดของวินเซิร์ฟ 2	88
4.5.3 อัลกอริทึมแสดงการตัดสินใจการยึดติดของวินเซิร์ฟ 3	89
4.5.4 อัลกอริทึมแสดงการตัดสินใจการยึดติดของวินเซิร์ฟ 4	89
4.6 ผลความความหนาแน่นของวัสดุต่อความถี่การยึดติด	89
4.6.1 อิทธิพลของความหนาแน่นของผ้าใยแก้ว	90
4.6.2 อิทธิพลของความหนาแน่นของแผ่นโพลีไวนิลคลอไรด์	90
4.6.3 อิทธิพลของความหนาแน่นของผ้าคาร์บอน	90
4.7 รูปแบบพื้นที่แสดงการยึดติดของวินเซิร์ฟแต่ละชนิด	92
4.8 การทดสอบความแม่นยำของพื้นที่รูปแบบการยึดติด	95
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ	99
5.1 สรุปผลการวิจัย	99
5.2 อภิปรายผลการวิจัย	100
5.3 อุปสรรคในการวิจัย	102
5.4 ข้อเสนอแนะ	103
บรรณานุกรม	105
ภาคผนวก	111
ภาคผนวก ก ตารางแสดงผลการทดลองพื้นที่ได้กราฟและลักษณะทางกายภาพของวินเซิร์ฟทั้ง 4 ชนิด	112

ภาคผนวก ข โปรแกรม Matlab สำหรับการแปลงฟูเรียร์อย่างรวดเร็ว.....	129
ภาคผนวก ค แสดงโดเมนความถี่.....	138
ภาคผนวก ง ลักษณะการยึดติดของจุดทดสอบความแม่นยำ.....	187
ประวัติผู้เขียน.....	196



สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1.1 แสดงจำนวนต้นทุนของเสียที่เกิดจากของเสียแต่ละประเภท	2
ตารางที่ 1.2 แสดงข้อมูลต้นทุนของเสียของข้อบกพร่องแต่ละชนิดในหมวดหมู่ Construction.....	3
ตารางที่ 1.3 แสดงปริมาณของข้อบกพร่องแต่ละชนิดในช่วงเดือน มกราคม-พฤศจิกายน 2018.....	5
ตารางที่ 1.4 แสดงข้อมูลต้นทุนของเสีย delaminate จากแต่ละสายการผลิต	6
ตารางที่ 3.1 แสดงชนิดของวินเซิร์ฟที่ใช้ในการทดลอง	54
ตารางที่ 4.1 แสดงลักษณะทางกายภาพของพื้นผิวและพื้นที่ได้กราฟของวินเซิร์ฟ 1	83
ตารางที่ 4.2 แสดงลักษณะทางกายภาพของพื้นผิวและพื้นที่ได้กราฟของวินเซิร์ฟ 2	84
ตารางที่ 4.3 แสดงลักษณะทางกายภาพของพื้นผิวและพื้นที่ได้กราฟของวินเซิร์ฟ 3	85
ตารางที่ 4.4 แสดงลักษณะทางกายภาพของพื้นผิวและพื้นที่ได้กราฟของวินเซิร์ฟ 4	86
ตารางที่ 4.5 แสดงความถี่การยึดติดและความถี่การไม่ยึดติดของวินเซิร์ฟแต่ละชนิด	87
ตารางที่ 4.6 แสดงพื้นที่ได้กราฟจากการคำนวณเพื่อทดสอบความแม่นยำของวินเซิร์ฟ 1	95
ตารางที่ 4.7 แสดงพื้นที่ได้กราฟจากการคำนวณเพื่อทดสอบความแม่นยำของวินเซิร์ฟ 2	96
ตารางที่ 4.8 แสดงพื้นที่ได้กราฟจากการคำนวณเพื่อทดสอบความแม่นยำของวินเซิร์ฟ 3	97
ตารางที่ 4.9 แสดงพื้นที่ได้กราฟจากการคำนวณเพื่อทดสอบความแม่นยำของวินเซิร์ฟ 4.....	98

สารบัญรูปภาพ

	หน้า
รูปที่ 1.1 กราฟแสดงต้นทุนของเสียที่เกิดจากข้อบกพร่องแต่ละประเภท	2
รูปที่ 1.2 กราฟแสดงข้อมูลต้นทุนของเสียของข้อบกพร่องในกลุ่ม Construction.....	3
รูปที่ 1.3 กราฟแสดงปริมาณข้อบกพร่องแต่ละชนิดในปี 2018	4
รูปที่ 1.4 กราฟแสดงข้อมูลต้นทุนของเสีย delaminate จากแต่ละสายการผลิต.....	6
รูปที่ 1.5 แสดงกระบวนการบีบอัดโฟม	10
รูปที่ 1.6 แสดงกระบวนการเคาะเรือ.....	11
รูปที่ 1.7 แสดงการวางตำแหน่งของไมโครโฟนและ Accelerometer.....	16
รูปที่ 1.8 แสดงสเปกตรัมของสัญญาณเสียงของมอเตอร์ปกติ(a) และ two broken rotor bar (b)	17
รูปที่ 1.9 แสดงสเปกตรัมของสัญญาณสั่นของมอเตอร์ปกติ (a) และ two broken rotor bar (b)..	17
รูปที่ 1.10 แสดงสัญญาณแรงตัด (a) และสัญญาณความตรงของเศษโลหะแบบแตกหัก (b).....	18
รูปที่ 1.11 แสดงความถี่ความตรงและสัญญาณแรงตัด	19
รูปที่ 1.12 แสดงการแปลงเวฟเล็ดในรูปของโดเมนเวลาของ Fy ที่ความเร็วตัด 200 m/min, อัตรา ป้อนตัด 0.25 mm/rev, ความลึกตัด 0.8 mm., รัศมีจุมุมมีด 0.8 และมุมคายเศษโลหะ 11°	20
รูปที่ 1.13 แสดงการแปลงเวฟเล็ดในรูปของโดเมนความถี่ของ Fy ที่ความเร็วตัด 200 m/min, อัตรา ป้อนตัด 0.25 mm/rev, ความลึกตัด 0.8 mm., รัศมีจุมุมมีด 0.8 และมุมคายเศษโลหะ 11°	21
รูปที่ 1.14 แสดงขั้นตอนการวิเคราะห์สัญญาณเสียง.....	23
รูปที่ 1.15 แสดงสัญญาณเสียงในรูปของโดเมนความถี่ของชิ้นงาน OK (a) และชิ้นงาน NOK (b)	23
รูปที่ 2.1 แสดง layup ของด้าน Deck.....	27
รูปที่ 2.2 แสดง layup ของด้าน Bottom.....	28
รูปที่ 2.3 แสดงความถี่ของคลื่นเสียง	29
รูปที่ 2.4 แสดงแอมพลิจูด	30
รูปที่ 2.5 แสดงสเปกตรัมความถี่	30

รูปที่ 2.6 แสดงฮาร์โมนิกส์.....	31
รูปที่ 2.7 แสดงโดเมนเวลา (แสดง Sinusoidal signal ที่มี amplitude และ frequency ต่างกัน แสดงการเปลี่ยนแปลงความเข้ม (amplitude) เทียบกับเวลา).....	32
รูปที่ 2.8 แสดงโดเมนความถี่ (โดเมนเวลาทางด้านซ้ายและโดเมนความถี่ทางด้านขวา) ของสัญญาณที่มีความถี่ต่างกัน	33
รูปที่ 2.9 แสดงสมบัติเชิงกลของวัสดุเชิงประกอบพอลิเมอร์	34
รูปที่ 2.10 แสดงองค์ประกอบของวัสดุเชิงประกอบ.....	35
รูปที่ 2.11 แสดงน้ำยาเรซินบนผิวของวัสดุ	35
รูปที่ 2.12 แสดงกระบวนการผลิตแบบ Hand Layup.....	36
รูปที่ 2.13 แสดงกระบวนการ vacuum bagging	37
รูปที่ 2.14 แสดงกระบวนการ filament winding	37
รูปที่ 2.15 แสดงการแปลงฟูเรียร์	39
รูปที่ 2.16 แสดงการเกิดแซตเตอร์ที่ความเร็วตัด 6000 รอบต่อนาที ความลึกตัด 2 mm. และอัตราป้อนตัด 0.02 mm.....	41
รูปที่ 2.17 แสดงการ sampling สัญญาณ สัญญาณต่อเนื่องแสดงในเส้นสีเขียวและจำนวนตัวอย่างแสดงในเส้นสีน้ำเงินแนวตั้ง	43
รูปที่ 2.18 แสดงการจำแนกพื้นผิวออกเป็นประเภท D (rhombs) และ N(circles) ในพื้นที่สองฝั่งด้วยเส้นตรง	45
รูปที่ 3.1 แสดงแผ่นโพลีไวนิลคลอไรด์ขนาด 3 มิลลิเมตร.....	54
รูปที่ 3.2 แสดงผ้าใยแก้ว	54
รูปที่ 3.3 แสดงภาพไมโครโฟน USB Digital Noise Cancelling Speech Mic.....	55
รูปที่ 3.4 แสดงด้ามเคาะ	56
รูปที่ 3.5 แสดงโต๊ะวางเรื่อ และเรื่อ	56
รูปที่ 3.6 แสดงกระบวนการเคาะเรื่อ.....	57
รูปที่ 3.7 แสดงโปรแกรม Audacity ขณะบันทึกเสียง	57

รูปที่ 3.8 แสดงโปรแกรม Matlab.....	57
รูปที่ 3.9 แสดงการยึดติดกันของแผ่นโพลีไวนิลคลอไรด์และผ้าใยแก้ว (a) และการไม่ยึดติดของแผ่นโพลีไวนิลคลอไรด์และผ้าใยแก้ว (b) การยึดติดกันของแผ่นโพลีไวนิลคลอไรด์และผ้าใยแก้ว	59
รูปที่ 3.10 แสดงการแปลงสัญญาณเสียงให้อยู่ในรูปของโดเมนเวลา.....	59
รูปที่ 3.11 แสดงการแปลงสัญญาณเสียงให้อยู่ในรูปของโดเมนความถี่	59
รูปที่ 3.12 แสดงสัญญาณเสียงในรูปของโดเมนความถี่ของจุดที่มีการยึดติด	60
รูปที่ 3.13 แสดงสัญญาณเสียงในรูปของโดเมนความถี่ของจุดที่ไม่มีการยึดติด	60
รูปที่ 4.1 แสดงช่วงความถี่การยึดติดของวินเซิร์ฟ 1	63
รูปที่ 4.2 แสดงช่วงความถี่การยึดติดของวินเซิร์ฟ 2	63
รูปที่ 4.3 แสดงช่วงความถี่การยึดติดของวินเซิร์ฟ 3	64
รูปที่ 4.4 แสดงช่วงความถี่การยึดติดของวินเซิร์ฟ 4	64
รูปที่ 4.5 แสดงความถี่ของเสียงจากกระบวนการซัดวินเซิร์ฟและระบบปรับอากาศ.....	66
รูปที่ 4.6 แสดงความถี่ของเสียงที่เกิดจากการพันเทปการอบโมลด์	66
รูปที่ 4.7 แสดงความถี่ของเสียงที่เกิดจากเครื่องปั่นน้ำยา	66
รูปที่ 4.8 แสดงความถี่ของเสียงที่เกิดจากการเคาะโมลด์	67
รูปที่ 4.9 แสดงความถี่ของเสียงที่เกิดจากกระบวนการเจาะรูแอร์วาล์ว	67
รูปที่ 4.10 แสดงความถี่ของเสียงที่เกิดจากจากการกระบวนการแม่ผ้ากับโม่	68
รูปที่ 4.11 แสดงความถี่ของเสียงที่เกิดจากจากการยกโมลด์ขึ้นและลงจากเครื่องสุญญากาศ	68
รูปที่ 4.12 แสดงความถี่การยึดติดของวินเซิร์ฟ 1	69
รูปที่ 4.13 แสดงลักษณะทางกายภาพของจุดที่มีการยึดติดของวินเซิร์ฟ 1	70
รูปที่ 4.14 แสดงความถี่การยึดติดและความถี่การไม่ยึดติดของวินเซิร์ฟ 1	70
รูปที่ 4.15 แสดงลักษณะทางกายภาพของจุดที่มีการยึดติดบางส่วนของวินเซิร์ฟ 1	70
รูปที่ 4.16 แสดงความถี่การไม่ยึดติดของวินเซิร์ฟ 1	71

รูปที่ 4.17 แสดงลักษณะทางกายภาพของจุดที่ไม่ยึดติดของวินเซิร์ฟ 1	71
รูปที่ 4.18 แสดงความถี่การยึดติดของวินเซิร์ฟ 2	72
รูปที่ 4.19 แสดงลักษณะทางกายภาพของจุดที่มีการยึดติดของวินเซิร์ฟ 2	72
รูปที่ 4.20 แสดงความถี่การยึดติดและความถี่การไม่ยึดติดของวินเซิร์ฟ 2.....	72
รูปที่ 4.21 แสดงลักษณะทางกายภาพจุดที่มีการยึดติดบางส่วนของวินเซิร์ฟ 2.....	73
รูปที่ 4.22 แสดงความถี่การไม่ยึดติดของวินเซิร์ฟ 2	73
รูปที่ 4.23 แสดงลักษณะทางกายภาพของจุดที่ไม่ยึดติดของวินเซิร์ฟ 2	74
รูปที่ 4.24 แสดงความถี่การยึดติดของวินเซิร์ฟ 3	74
รูปที่ 4.25 แสดงลักษณะทางกายภาพของจุดที่มีการยึดติดของวินเซิร์ฟ 3	75
รูปที่ 4.26 แสดงความถี่การยึดติดและความถี่การไม่ยึดติดของวินเซิร์ฟ 3.....	75
รูปที่ 4.27 แสดงลักษณะทางกายภาพจุดที่มีการยึดติดบางส่วนของวินเซิร์ฟ 3.....	75
รูปที่ 4.28 แสดงความถี่การไม่ยึดติดของวินเซิร์ฟ 3	76
รูปที่ 4.29 แสดงลักษณะทางกายภาพจุดที่ไม่มีการยึดติดของวินเซิร์ฟ 3.....	76
รูปที่ 4.30 แสดงความถี่การยึดติดของวินเซิร์ฟ 4	77
รูปที่ 4.31 แสดงลักษณะทางกายภาพของจุดที่มีการยึดติดของวินเซิร์ฟ 4	77
รูปที่ 4.32 แสดงความถี่การยึดติดและความถี่การไม่ยึดติดของวินเซิร์ฟ 4.....	77
รูปที่ 4.33 แสดงลักษณะทางกายภาพของจุดที่มีการยึดติดบางส่วนของวินเซิร์ฟ 4	78
รูปที่ 4.34 แสดงความถี่การไม่ยึดติดของวินเซิร์ฟ 4	78
รูปที่ 4.35แสดงลักษณะทางกายภาพของจุดที่ไม่มีการยึดติดของวินเซิร์ฟ 4.....	79
รูปที่ 4.36 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มพาวเวอร์สเปกตรัมกับลักษณะทางกายภาพ (a) จุดที่มีการยึดติด (b) จุดที่มีการยึดติดบางส่วน (c) จุดที่ไม่มีการยึดติด.....	80
รูปที่ 4.37 แสดงอัลกอริทึมการจัดทำมาตรฐานการตัดสินใจการยึดติด	81
รูปที่ 4.38 แสดงความถี่การยึดติดและความถี่การไม่ยึดติดของวินเซิร์ฟ 1	90
รูปที่ 4.39 แสดงความถี่การยึดติดและความถี่การไม่ยึดติดของวินเซิร์ฟ 2	91

รูปที่ 4.40 แสดงความถี่การยึดติดและความถี่ไม่ยึดติดของวินเซิร์ฟ 3	91
รูปที่ 4.41 แสดงความถี่การยึดติดและความถี่ไม่ยึดติดของวินเซิร์ฟ 4	91
รูปที่ 4.42 แสดงรูปแบบพื้นที่การยึดติดของวินเซิร์ฟ 1	92
รูปที่ 4.43 แสดงรูปแบบพื้นที่การยึดติดของวินเซิร์ฟ 2	93
รูปที่ 4.44 แสดงรูปแบบพื้นที่การยึดติดของวินเซิร์ฟ 3	93
รูปที่ 4.45 แสดงรูปแบบพื้นที่การยึดติดของวินเซิร์ฟ 4	94



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

กีฬาวินเซิร์ฟเป็นกีฬาทางน้ำชนิดหนึ่งที่ได้รับคามนิยมจากผู้คนทั่วโลก เนื่องจากเป็นกีฬาที่ให้ความสนุกสนาน ท้าทาย และสามารถฝึกฝนได้ง่าย ด้วยเหตุนี้ตามภูมิภาคที่มีชายฝั่งติดทะเลหรือทะเลสาบ จึงมีวินเซิร์ฟเป็นหนึ่งในอุปกรณ์กีฬาทางน้ำที่มีการให้บริการ ประกอบกับเศรษฐกิจโลกในด้านการท่องเที่ยว มีการเติบโตอย่างต่อเนื่อง จึงทำให้วินเซิร์ฟ ยิ่งเป็นที่รู้จักมากขึ้น นอกจากนี้วินเซิร์ฟ ยังเป็นกีฬาที่ถูกบรรจุไว้ในกีฬาโอลิมปิกอีกด้วย ทั้งสองอย่างนี้จึงเป็นสิ่งดึงดูดให้มีผู้คนสนใจฝึกฝนกีฬาวินเซิร์ฟอย่างต่อเนื่อง เมื่อวินเซิร์ฟได้รับความนิยมสูงขึ้น จึงทำให้คุณภาพและรูปลักษณ์ของวินเซิร์ฟถูกให้ความสำคัญ ทำให้การแข่งขันในกลุ่มผู้ผลิตวินเซิร์ฟมีมากขึ้นด้วย เพราะฉะนั้นคุณภาพและรูปลักษณ์ที่สวยงามของวินเซิร์ฟที่ส่งถึงมือลูกค้า นั้นจึงเป็นที่จับตามอง การเล่นวินเซิร์ฟนั้นใช้เวลาอยู่ในน้ำหลายชั่วโมง ซึ่งผู้เล่นต้องอาศัยทักษะและความชำนาญและความชอบส่วนบุคคล ซึ่งส่งผลต่อความปลอดภัยของผู้เล่นด้วย ดังนั้น นอกจากรูปลักษณ์ของวินเซิร์ฟจะมีความสำคัญต่อการตัดสินใจซื้อแล้ว โครงสร้างและความแข็งแรงยังเป็นสิ่งที่ผู้ผลิตต้องให้ความสำคัญ ดังนั้นการผลิตผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพจึงส่งผลต่อชื่อเสียงของบริษัทและความไว้วางใจจากลูกค้า

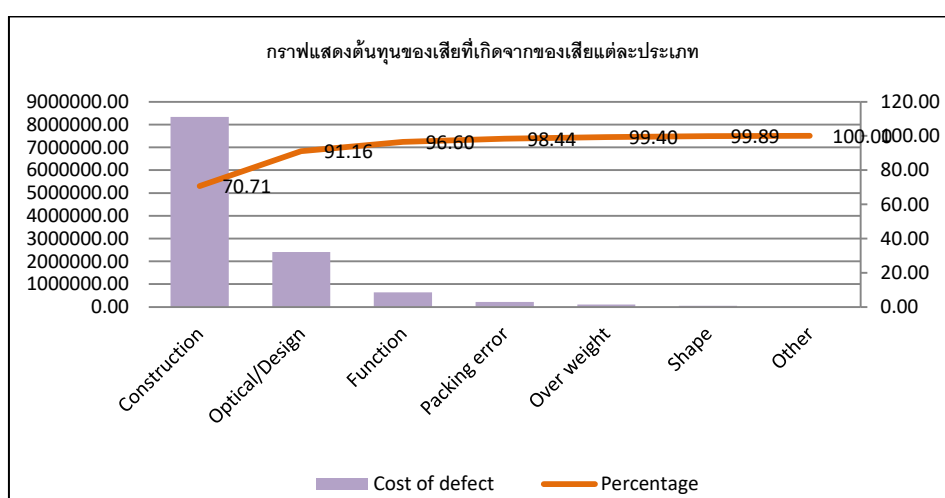
รายละเอียดของโรงงานกรณีศึกษา

โรงงานที่ทำการศึกษานั้นเป็นโรงงานผลิตวินเซิร์ฟที่ตั้งอยู่ในนิคมอุตสาหกรรมอมตะซิตี้ชลบุรี ซึ่งเป็นโรงงานผลิตวินเซิร์ฟที่ได้รับความนิยมไว้วางใจจากเจ้าของวินเซิร์ฟแบรนด์ดังจากทั่วทุกมุมโลก บริษัทคอบร้า อินเตอร์เนชั่นแนล จำกัด ผลิตวินเซิร์ฟตามแบบความต้องการจากลูกค้า โดยมีการร่วมออกผลิตภัณฑ์กับลูกค้าและทำการผลิตจริงเพื่อให้ได้วินเซิร์ฟ ที่มีคุณภาพ สวยงาม เหมาะแก่การใช้งาน

บริษัทคอบร้า อินเตอร์เนชั่นแนล จำกัด ก่อตั้งขึ้นเมื่อปี พ.ศ. 2528 ที่นิคมอุตสาหกรรมอมตะซิตี้ชลบุรี ด้วยทุนจดทะเบียน 120 ล้านบาท บนเนื้อที่ 70 ไร่ โดยมีอาคารจำนวน 12 อาคาร มี

พนักงานประมาณ 3,000 คน และมียอดขายเฉลี่ยที่ 1,000 ล้านบาท/ปี เริ่มผลิตวินเซิร์ฟและส่งออกไปยังเจ้าของวินเซิร์ฟแบรนด์ดังทั่วโลก

แต่อย่างไรก็ตามบริษัท ก็มีต้นทุนของเสียเกิดขึ้นจำนวนมากเป็นจำนวนเงิน 11,778,018 บาท ในปี 2018 ซึ่งเป็นต้นทุนของเสียที่เกิดจากข้อร้องเรียนของลูกค้า อย่างไรก็ตามบริษัทมีความต้องการที่จะลดต้นทุนของเสียเหล่านี้ จึงต้องมีการระบุชนิดของของเสียที่มีต้นทุนของเสียมากที่สุด แล้วนำไปปรับปรุง โดยมีการแยกประเภทของเสียตามข้อมูลดังต่อไปนี้

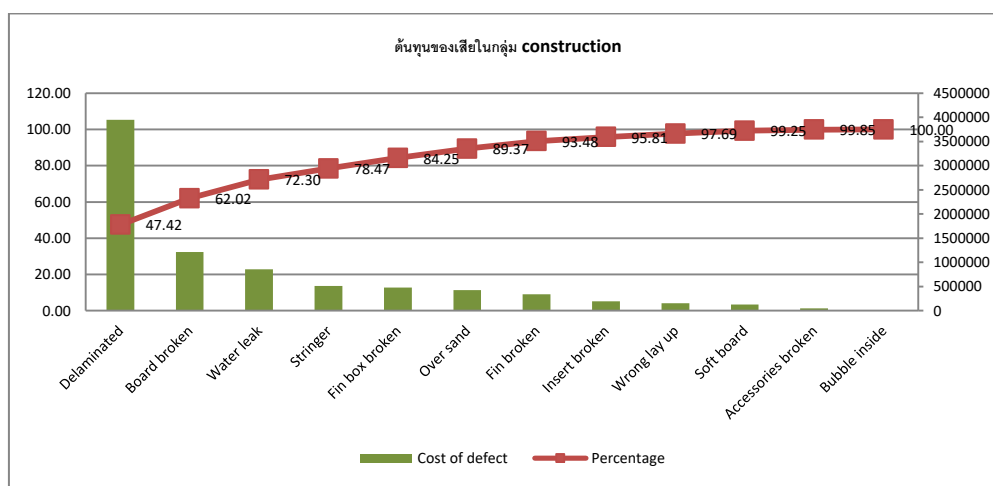


รูปที่ 1.1 กราฟแสดงต้นทุนของเสียที่เกิดจากข้อบกพร่องแต่ละประเภท

Type of defect	Cost of defect	Percentage
Construction	8328681.98	70.71
Optical/Design	2408665.45	20.45
Function	640228.94	5.44
Packing error	217214.61	1.84
Over weight	112095.59	0.95
Shape	58003.12	0.49
Other	13128.75	0.11
Total	11778018.44	100

ตารางที่ 1.1 แสดงจำนวนต้นทุนของเสียที่เกิดจากของเสียแต่ละประเภท

จากข้อมูลในกราฟและตารางพบว่า ต้นทุนของเสียที่สูงที่สุดอยู่ในหมวดหมู่ของ Construction เป็นจำนวนเงิน 8,328,681 บาท ซึ่งเท่ากับ 70.71% ของต้นทุนของเสียทั้งหมด (11,778,018 บาท) เราจึงพิจารณาข้อบกพร่องในกลุ่มของ construction จากนั้นจึงทำการศึกษารายละเอียดของข้อบกพร่องที่อยู่ในหมวดหมู่นี้ และแยกชนิด defect ที่อยู่ในหมวดหมู่ของ construction ออกดังแสดงในกราฟและตารางที่ 1.2

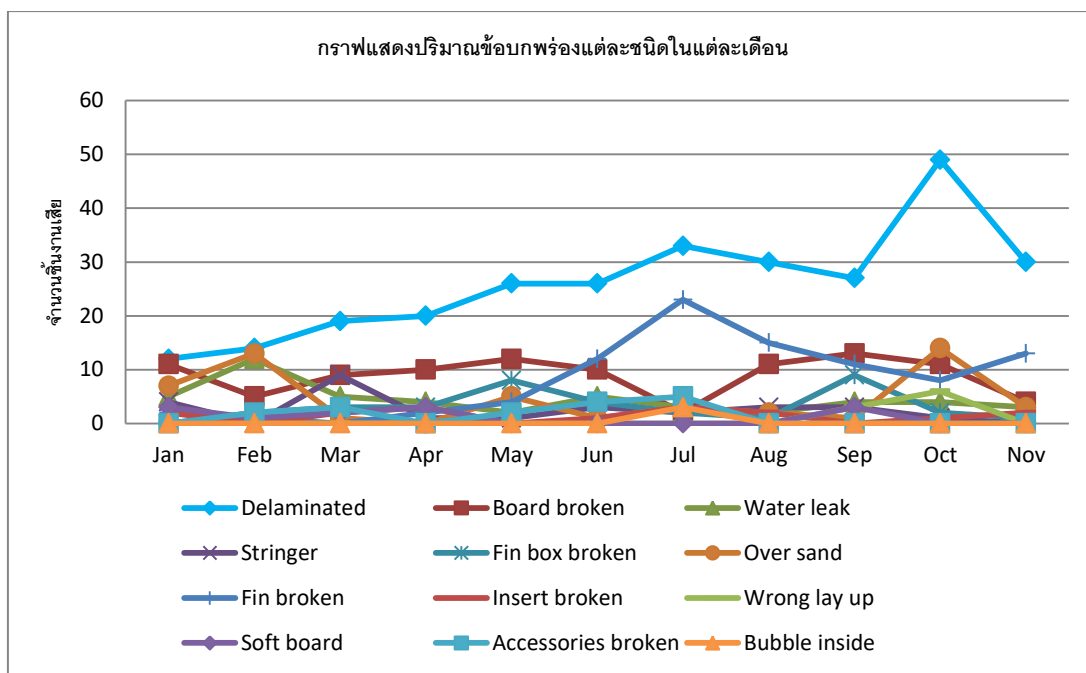


รูปที่ 1.2 กราฟแสดงข้อมูลต้นทุนของเสียของข้อบกพร่องในกลุ่ม Construction

Type of defect	Cost of defect	Percentage
Delaminated	3949865	47.42
Board broken	1215498	14.59
Water leak	856073	10.28
Stringer	513881	6.17
Fin box broken	481716	5.78
Over sand	426164	5.12
Fin broken	342856	4.12
Insert broken	193734	2.33
Wrong lay up	156890	1.88
Soft board	129549	1.56
Accessories broken	49876	0.60
Bubble inside	12579	0.15
Total	8328681	100

ตารางที่ 1.2 แสดงข้อมูลต้นทุนของเสียของข้อบกพร่องแต่ละชนิดในหมวดหมู่ Construction

จากรูปที่ 1.2 และตารางที่ 1.2 ซึ่งแสดงต้นทุนของเสียของข้อบกพร่องแต่ละชนิดในหมวดหมู่ Construction จากข้อมูลพบว่าปัญหา Delaminate มีต้นทุนของเสียสูงที่สุดคิดเป็นเงิน 3,949,865 บาท หรือเท่ากับ 47.42% ของต้นทุนของเสียในหมวดหมู่ Construction จากนั้นจึงต้องระบุประเภทของเสียในกลุ่ม construction ที่มีต้นทุนของเสียมากที่สุด



รูปที่ 1.3 กราฟแสดงปริมาณข้อบกพร่องแต่ละชนิดในปี 2018

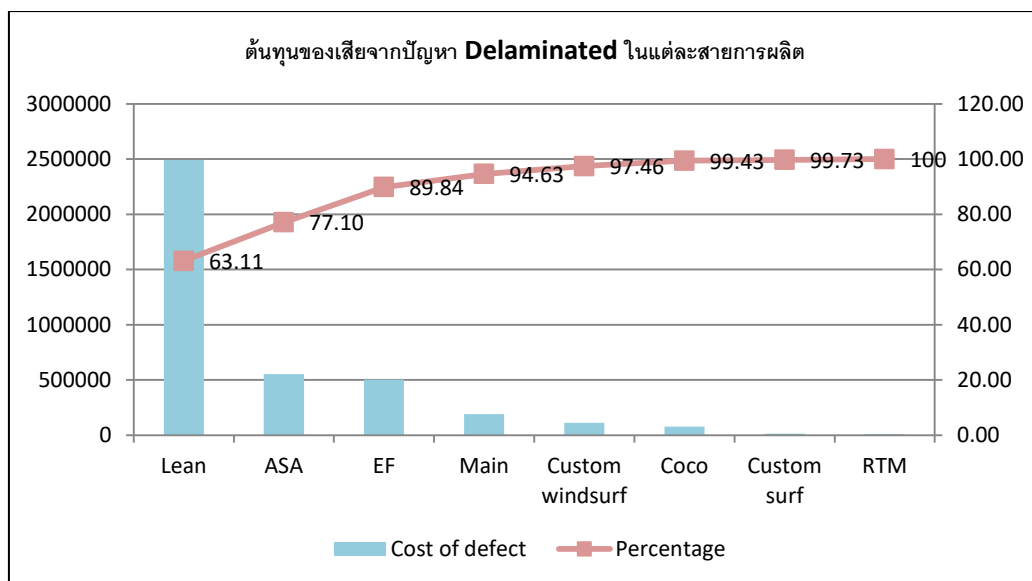
พิจารณากราฟที่ 1.3 พบว่า ข้อบกพร่อง “Delaminate” เป็นข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นสูงที่สุดตั้งแต่เดือนมกราคมและเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนถึงเดือนพฤศจิกายน โดยข้อบกพร่องชนิดอื่นที่มีปริมาณสูงสุดเป็นอันดับสองคือ “Fin box broken” นอกจากนี้จากกราฟยังพบว่า ปัญหา delaminate มีจำนวนต่างจากข้อบกพร่องชนิดอื่นอย่างชัดเจน

Type of defect	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Total
Delaminated	12	14	19	20	26	26	33	30	27	49	30	286
Board broken	11	5	9	10	12	10	2	11	13	11	4	98
Water leak	5	12	5	4	2	5	3	2	4	4	3	49
Stringer	4	0	9	1	1	3	2	3	3	1	0	27
Fin box broken	0	2	3	3	8	4	2	1	9	2	1	35
Over sand	7	13	1	0	5	1	3	2	1	14	3	50
Fin broken	2	1	0	2	4	12	23	15	11	8	13	91
Insert broken	2	0	2	3	0	1	3	2	0	1	2	16
Wrong lay up	0	0	0	0	0	0	0	0	3	6	0	9
Soft board	3	1	2	3	0	0	0	0	3	0	0	12
Accessories broken	0	2	3	0	2	4	5	0	0	0	0	16
Bubble inside	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	3

ตารางที่ 1.3 แสดงปริมาณของข้อบกพร่องแต่ละชนิดในช่วงเดือน มกราคม-พฤศจิกายน 2018

จากตารางจะเห็นได้ว่าข้อบกพร่อง “Delaminate” มีจำนวนสูงที่สุดคือ 286 ลำ ซึ่งคิดเป็น 41.32 % ของจำนวนเรือที่ข้อบกพร่องทั้งหมดในกลุ่ม Construction คือ 692 ลำ

จากข้อมูลข้างต้นจึงสามารถสรุปได้ว่าปัญหา Delaminate เป็นปัญหาที่ก่อให้เกิดต้นทุนของเสียมากที่สุด แต่เนื่องจากสายการผลิตนั้นมีหลายสาย ซึ่งแต่ละสายมีการผลิตเรือที่มีโครงสร้างและรูปลักษณะที่ต่างกัน จึงต้องเลือกสายการผลิตที่ทำให้เกิดต้นทุนของเสียในเรื่อง Delaminate มากที่สุด



รูปที่ 1.4 กราฟแสดงข้อมูลต้นทุนของเสีย delaminate จากแต่ละสายการผลิต

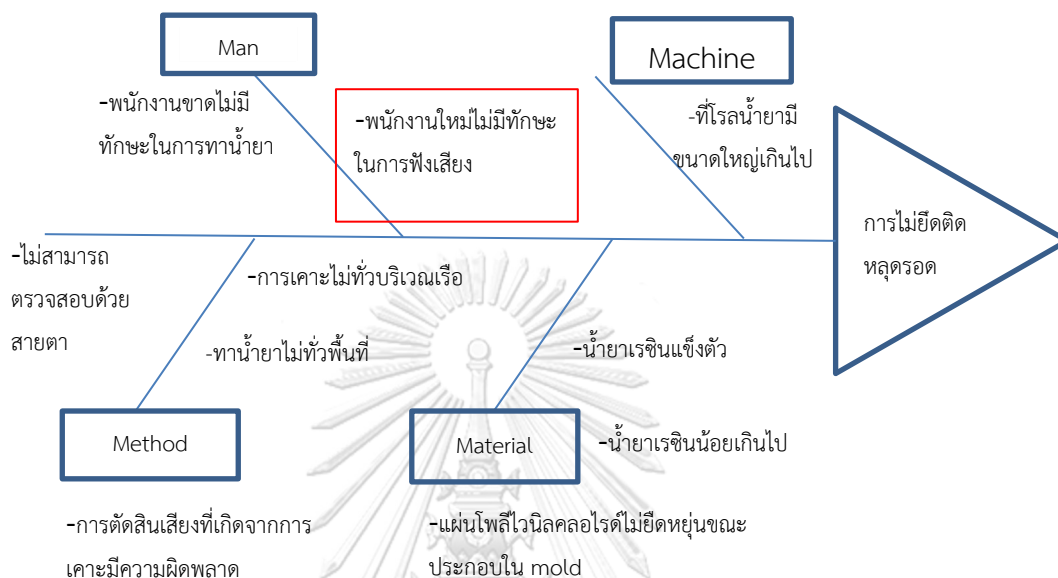
Line	Cost of defect	Percentage
Lean	2492629	63.11
ASA	552625	77.10
EF	503146	89.84
Main	189298	94.63
Custom windsurf	111659	97.46
Coco	78098	99.43
Custom surf	11839	99.73
RTM	10571	100

ตารางที่ 1.4 แสดงข้อมูลต้นทุนของเสีย delaminate จากแต่ละสายการผลิต

จากกราฟที่ 1.4 และตารางที่ 1.4 พบว่าสายการผลิต Lean เป็นสายการผลิตที่ก่อให้เกิดต้นทุนของเสียในเรื่อง delaminated มากที่สุด จากการอธิบายสภาพปัจจุบันที่ได้กล่าวไปข้างต้นแล้วพบว่า ต้นทุนของเสียจำนวน 11,778,018 บาท ในปี 2018 นั้น เกิดจากปัญหาโครงสร้างจำนวน 8,328,681 บาท ซึ่งคิดเป็น 70.71% ของต้นทุนของเสียทั้งหมด โดยต้นทุนดังกล่าวแบ่งเป็นต้นทุนของเสียที่เกิดจากปัญหา Delaminated จำนวน 3,949,865 ซึ่งคิดเป็น 47.42% ของต้นทุนของเสียที่เกิดจากส่วนโครงสร้างโดยสายการผลิตที่ก่อให้เกิดปัญหา Delaminated มากที่สุดคือสายการผลิต

Lean เพราะฉะนั้นจึงเลือกปัญหา delaminate จากสายการผลิต Lean มาปรับปรุงเพื่อลดต้นทุนของเสีย

การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา



Why 1 : การตัดสินการยึดติดมีความผิดพลาด

Why 2 : พนักงานที่ตัดสินการยึดติดไม่มีทักษะในการฟังเสียง

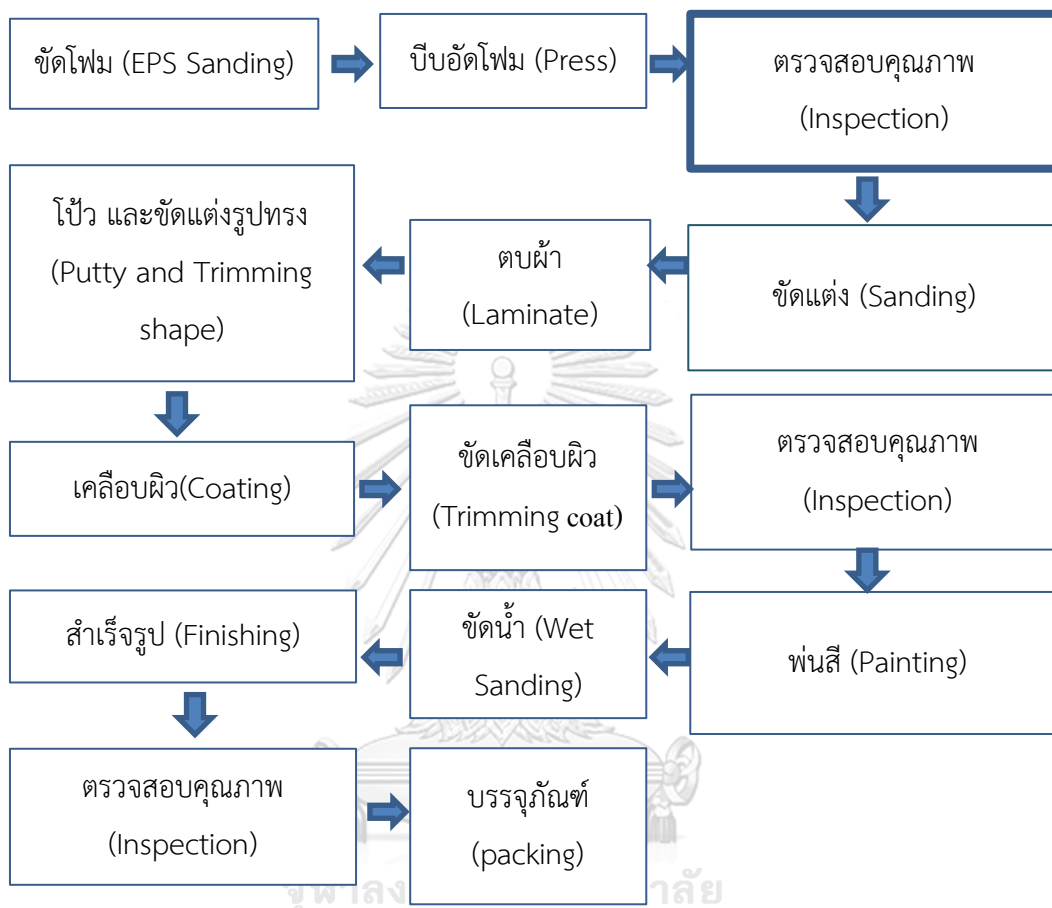
Why 3 : พนักงานไม่มีประสบการณ์

Why 4 : พนักงานไม่ได้รับการฝึกฝนให้ชำนาญ

Why 5 : พนักงานใหม่

1.2 กระบวนการผลิตวินเซิร์ฟ [1]

ผังกระบวนการผลิตวินเซิร์ฟ



1.2.1 กระบวนการตัดโฟม [1]

เป็นกระบวนการปรับแต่งรูปทรงของโฟมหลังจากกระบวนการฉีดโฟมให้ได้ตามสเปคที่ระบุไว้ โดยนำโฟมที่มีอายุมากกว่า 6 วัน นับตั้งแต่กระบวนการฉีดโฟมมาขัดด้วยกระดาษทราย แผ่นขัดและอลูมิเนียมขัด และเลื่อยลันดา โดยมีการควบคุมคุณภาพของรูปทรงที่ได้โดยใช้ ฟุตเหล็ก ไม้เสียบขอบ ฉากสามเหลี่ยม และไม้จับเคิร์ฟ ซึ่งโฟมที่ได้จะต้องไม่แตกหัก ผิวโฟมต้องเรียบ ไม่เป็นคลื่น และที่สำคัญจะต้องเซฟขอบรอบลำเท่ากับความหนาของ PVC หรือแผ่นเสริมแรงอื่นๆ กระบวนการตัดโฟมมีความสำคัญอย่างยิ่งสำหรับกระบวนการถัดไป เพราะหากไม่ได้โฟมที่มีรูปทรงตามที่กำหนดไว้ จะทำให้กระบวนการติตวัสดุเสริมแรงยากขึ้น โดยอาจทำให้วัสดุเสริมแรงไม่ติดกับตัวโฟมเนื่องจาก

รูปทรงไม่เป็นไปตามที่กำหนด เมื่อจบขั้นตอนการขัดโคมให้ได้รูปทรงที่ต้องการแล้ว ต้องเจาะโคมตามตำแหน่งต่างๆเพื่อการใส่อุปกรณ์ตามที่ระบุไว้ใน lay up ได้แก่ ตำแหน่งพุก รางสไลด์, กล่องพิน, แอร์วาล์ว, และร่องที่สตรีงเกอร์ โดยจุดสำคัญในการเจาะรูที่ตำแหน่งต่าง ๆ นั้น ต้องไม่สูงหรือต่ำกว่าผิวโคม และมีขนาดพอดีกับอุปกรณ์ ไม่ใหญ่ และไม่เล็กจนเกินไป หลังจากนั้นใช้ผ้าห่อโคมและเย็บขอบด้วยแม็ก โดยผ้าต้องเรียบติดผิวโคม และชายผ้าที่ประกบกันด้านบนและด้านล่างต้องเหลื่อมกัน 2-3 เซนติเมตร

1.2.2 กระบวนการบิ้อัดโคม [1]

เป็นกระบวนการตีวัสดุเสริมแรงลงบนโคมตาม lay up ของวินเซิร์ฟแต่ละรุ่น ซึ่งการเลือกใช้วัสดุในแต่ละชนิดและการทาน้ำยาเรซินลงบนวัสดุคอมโพสิตนั้นมีความสำคัญ เนื่องจากส่งผลโดยตรงต่อความแข็งแรงของกระดานโต้คลื่นหากทั้งสองอย่างไม่สามารถยึดติดกันอย่างสมบูรณ์ จะส่งผลให้อายุการใช้งานของกระดานโต้คลื่นสั้นลง หรือทำให้กระดานโต้คลื่นหักในระหว่างการใช้งาน ซึ่งส่งผลโดยตรงต่อการใช้งานของลูกค้า โดยในกระบวนการนี้นั้นเป็นกระบวนการทำมือ โดยใช้ น้ำยาเรซินเป็นตัวผสมและใช้ลูกกลิ้งทาน้ำยาให้ทั่ว โดย น้ำยามักจะกระจายไม่ทั่วบริเวณของชั้นผ้า และทำให้ชั้นผ้าแยกออกจากกัน ซึ่งทำให้ผลิตภัณฑ์ไม่สามารถนำไปใช้งานได้ โดยใช้น้ำยาเรซินเป็นตัวผสมระหว่างโคม กับวัสดุเสริมแรงต่างๆเช่น ผ้า, แผ่นโพลีไวนิลคลอไรด์, ไม้ และ ผ้าคาร์บอน ซึ่งจะนำโคมที่ผ่านการขัดแต่งรูปทรงแล้วมาวางวัสดุเสริมแรงที่ระบุไว้ใน lay up ลงบนโคม จากนั้นโรลด้วย น้ำยาเรซินที่ถูกผสมไว้ตามสัดส่วนและใช้ปริมาณตามน้ำหนักที่กำหนด โดยจุดสำคัญของกระบวนการนี้คือผ้าต้องเรียบและน้ำยาซึมเข้าไปในผ้าจนทั่ว โดยใช้เวลาในการโรลน้ำยาไม่เกิน 20 นาที

จากนั้นเริ่มการใส่อุปกรณ์ลงบนโคม เช่น พุก, กล่องพิน โดยการวางอุปกรณ์ดังกล่าวลงบนโคมลัด และบิบน้ำยาให้รอบชิ้นงานเพื่อให้ชิ้นงานติดกับโคมได้แนบสนิท หลังจากนั้นประกอบโคมลัดเป็นแวคคัมโดยใช้แรงดูดแวคคัมที่ 55-65 CmHg โดยการประกอบโคมลัดและการเดินเทปฟิล์มนั้นต้องไม่มีแผ่นโพลีไวนิลคลอไรด์ โพลีเอทิลีนและไม่มีลมรั่วรอบๆโคมลัด โดยใช้เวลาในการดูดแวคคัม 120-150 นาที เมื่อเวลาผ่านไปครบตามกำหนด ให้แกะโคมลัดนำบอร์ดออกมา และใช้อลูมิเนียมขัด หรือ เครื่องเจียร ตัดขอบโพลีไวนิลคลอไรด์ส่วนเกินออก โดยผิวเรือจะต้องเรียบ



รูปที่ 1.5 แสดงกระบวนการบีบอัดโฟม [1]

1.2.3 กระบวนการตรวจสอบคุณภาพหลังกระบวนการบีบอัดโฟม [1]

มีรายการตรวจสอบดังนี้

- น้ำหนักตรงตามที่ spec น้ำหนักกำหนด
- การยึดเกาะของชั้นผ้า, แผ่นโพลีไวนิลคลอไรด์ และโฟม ชั้นผ้าทุกชั้นต้องติดกันแนบสนิท , แผ่นโพลีไวนิลคลอไรด์ ต้องติด ไม่แตง,ไม่พอง และไม่นิ่ม ,มีการตรวจสอบโดยใช้ด้ามเคาะ เคาะลงบนพื้นผิวแล้วฟังเสียงที่ดังออกมาจากพื้นผิวแต่ละจุดเพื่อคัดแยกงานดีและงานเสีย
- Rocker line ต้องถูกต้องตาม spec out line และมีค่าเผื่อตรงตาม spec ที่กำหนด
- เรือต้องไม่มีรอยแตกหัก
- ความหนากลางลำ ,รูปทรงเรือ,เคิร์ฟเรือ, ขอบเรือ,หัวเรือและท้ายเรือ ต้องถูกต้องตาม spec out line และมีค่าเผื่อตรงตาม spec ที่กำหนด
- ระยะของอุปกรณ์ ได้แก่ พุก,รางสไลด์,กล่องฟิน, แอร์วาล์ว ตรงตาม spec out line และมีค่าเผื่อตรงตามที่กำหนด
- ชนิดและอุปกรณ์เรือ ครบถ้วนและมีจำนวนถูกต้องตามที่ระบุใน spec
- การเจาะพุก รูพุกต้องตรง ไม่เอียง ไม่เป็นรูปไข่ และมีค่าเผื่อตรงตาม spec ที่กำหนด
- องศาฟินต้องตั้งฉากกับเรือ และมีค่าเผื่อตรงตาม spec ที่กำหนด
- Scoop ถูกต้องตาม spec out line และมีค่าเผื่อตรงตาม spec ที่กำหนด



รูปที่ 1.6 แสดงกระบวนการเคาะเรือ [1]

1.2.4 กระบวนการขัดแต่ง [1]

ขัดแต่งผิวเรือโดยใช้ลูมิเนียมติดกระดาษทราย, หินเจียร และเครื่องขัด โดยจุดสำคัญของกระบวนการคือ ผิวเรือต้องไม่เป็นมันเงา รูปทรงเรือถูกต้องตาม spec out line และชั้นผ้าถูกต้องตาม spec lay up หลังจากนั้นไปปรับรูปทรงเรือให้สวยงามตามด้วยการขัดแต่งรูปทรงเรืออีกครั้งให้ได้ตาม spec out line

1.2.5 กระบวนการตบผ้า [1]

นำเรือที่ผ่านกระบวนการขัดแต่งมาตัดโดยใช้ไม้อัดที่อุณหภูมิ 40-50 องศาเซลเซียส และวางผ้าเสริมแรงตาม lay up ลงบนเรือทั้งด้าน deck โดยมีการโรลน้ำยาเพื่อให้ผ้าติดกับเรือ หลังจากนั้นนำเรือห่อด้วยถุงสุญญากาศเป็นเวลา 60-120 นาที และแรงดูดแวกคัมอยู่ที่ 55-65 CmHg เมื่อทำด้าน deck เสร็จแล้ว จึงทำด้าน bottom ด้วยขั้นตอนเดียวกัน หลังจากเสร็จสิ้นกระบวนการตบผ้าแล้ว จึงนำเรือไปตัดขอบเพื่อกำจัดผ้าส่วนเกินออก จากนั้นเจาะรูทุกตามตำแหน่งของ spec out line

1.2.6 กระบวนการไปิวและขัดแต่งรูปทรง [1]

เป็นกระบวนการแต่งรูปทรงเรือให้ตรงตาม Spec out line โดยารใช้น้ำยาไปิว ซึ่งจุดสำคัญของกระบวนการนี้คือผิวต้องเรียบและรูปทรงตามที่กำหนดไว้ โดยมีระยะเวลารอแห้งอยู่ที่ 90-120 นาที หลังจากเรือแห้งแล้ว จึงนำเรือไปขัดแต่งรูปทรง โดยใช้เครื่องขัดกระดาษทราย เพื่อให้ได้เรือที่มีรูปทรงตรงตาม spec out line มีผิวเรียบ ไม่เป็นคลื่น, ไม่มีรูตามด, และผ้าไม่ขาด ไม่ทะลุ

1.2.7 กระบวนการเคลือบผิว [1]

กระบวนการนี้เริ่มต้นด้วยการอัดกล่องอุปกรณ์ โดยตรวจสอบกล่องอุปกรณ์ให้ตรงตาม spec out line หลังจากนั้นติดปั๊มเปอร์ตาม spec out line โดยใช้กาวเหลือง และรอแห้ง 10-15 นาที เมื่อติดปั๊มเปอร์เสร็จแล้วนำเรือไปเคลือบผิวโดยใช้น้ำยา ที่ได้อัตราส่วนตามที่กำหนดไว้ โดยผิวเรือต้องไม่มีรูตามด หลังจากเคลือบผิวแล้ว นำเรือไปอบที่อุณหภูมิ 40-55 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 90-120 นาที

1.2.8 กระบวนการขัดเคลือบผิว [1]

หลังจากเรือผ่านกระบวนการเคลือบผิวแล้ว ต้องนำเรือมาขัดอีกครั้งโดยใช้เครื่องขัดกระดาษทราย เพื่อให้ได้รูปทรงเรือ และขนาด ตรงตาม spec out line โดยผิวเรือต้องเรียบ ไม่มีคลื่น ผิวเรือไม่มีรอยตามด ละผ้าไม่ขาด

1.2.9 กระบวนการตรวจสอบคุณภาพหลังขัดแต่ง [1]

- น้ำหนัก ตรงตามที่ spec น้ำหนักกำหนด
- ต้องไม่พบรอยร้าวรอบลำเรือ
- Rocker line ต้องถูกต้องตาม spec out line และมีค่าเพื่อตรงตาม spec ที่กำหนด
- ตรวจสอบต้องไม่พบรอบแตกหัก บนลำเรือ
- ความหนากลางลำ, รูปทรงเรือ, เคิร์ฟเรือ , และขอบวี ต้องถูกต้องตาม spec out line และมีค่าเพื่อตรงตาม spec ที่กำหนด

-ตรวจสอบผิวเรือต้องไม่มีตามด, ฝ้าไม่ขาด

1.2.10 กระบวนการพ่นสี [1]

เป็นกระบวนการพ่นสีเรือตาม design โดยเริ่มจากการพ่นสีรองพื้น ใช้สีที่ผสมตามอัตราส่วน และพ่นสีลงบนเรือ โดยสีต้องไม่เป็นเม็ด และไม่มีฟองอากาศ โดยใช้แรงดันลมอยู่ที่ 5-7 บาร์ มีระยะห่างระหว่างหัวกากับชิ้นงาน 15-20 เซนติเมตร หลังจากพ่นสีเสร็จแล้ว นำเรือไปอบที่อุณหภูมิ 50-55 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 120-150 นาที หลังจากอบเรือเสร็จแล้วนำเรือมาขัดสีรองพื้นและเก็บตามโดยใช้เครื่องขัดและไม้ขัดกระดาษทราย หลังจากนั้นนำเรือไปอบที่อุณหภูมิ 40-55 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30-60 นาที เมื่ออบเรือเสร็จแล้ว ตรวจสอบ ระยะการเดินเส้นและขนาดของเส้น ดีไซน์ให้ตรงตาม spec design เมื่อเสร็จสิ้นกระบวนการนี้แล้ว นำเรือไปพ่นสีจริง โดยมีการผสมสีตามสเปค และพ่นสีตาม design โดยสีต้องเรียบ ไม่เป็นเม็ด ไม่ย้อย และไม่มีฟองอากาศ แรงดันลมอยู่ที่ 5-7 บาร์ มีระยะห่างระหว่างหัวกากับชิ้นงาน 15-20 เซนติเมตร ขนาดของหัวกาพ่นสีอยู่ที่ 1.4-1.6 มิลลิเมตร หลังจากพ่นสีเสร็จแล้ว นำเรือไปอบที่อุณหภูมิ 40-55 องศาเซลเซียส หากเป็นสี PU อบเป็นเวลา 120-150 นาที หากเป็นสี Epoxy ให้อบเป็นเวลา 180-210 นาที เมื่ออบเรือเสร็จแล้วนำเรือไปขัดถึงสำเร็จ โดยใช้กระดาษทรายน้ำเพื่อปรับผิวเรือให้ได้ตาม spec design และผิวเรือต้องไม่มีรูตามด หลังจากนั้นนำเรือไปพ่นสี design เพื่อให้มีความสวยงามตาม spec design แรงดันลมอยู่ที่ 5-7 บาร์ มีระยะห่างระหว่างหัวกากับชิ้นงาน 15-20 เซนติเมตร มิลลิเมตร หลังจากพ่นสีเสร็จแล้ว นำเรือไปอบที่อุณหภูมิ 40-55 องศาเซลเซียส

1.2.11 กระบวนการขัดน้ำ [1]

นำเรือเข้ากระบวนการขัดน้ำ โดยใช้กระดาษทรายน้ำ(ใช้กระดาษทรายขัดผิวเรือที่เปียกน้ำ) เพื่อให้ได้ผิวเรือที่ไม่มีรูตามด และได้รูปทรงเรือตาม spec out line จากนั้นนำเรือไปปั่นเงาด้านขอบ เพื่อให้ได้ผิวเรือที่เรียบและเงา

1.2.12 กระบวนการสำเร็จรูป [1]

กระบวนการสำเร็จรูปเป็นกระบวนการเก็บรายละเอียดของเรือ โดยมีรายละเอียดดังนี้

-การติดสติ๊กเกอร์ตาม spec design โดยสติ๊กเกอร์ต้องเรียบติดผิวเรือ ไม่มีฟองอากาศและผิวไม่ย่น หลังจากติดสติ๊กเกอร์เสร็จแล้ว นำเรือไปเป่าและอบที่อุณหภูมิ 40-55 องศาเซลเซียส โดยมีระยะเวลาการเป่าที่ 10-15 นาที และระยะเวลาการอบอยู่ที่ 30-40 นาที เมื่อติดสติ๊กเกอร์เสร็จแล้ว นำเรือไปเข้าสู่กระบวนการพ่นเคลือบ

-กระบวนการพ่นเคลือบมีการควบคุมสีผิวเรือให้ถูกต้องตาม spec design ผิวเรือต้องเรียบ สีไม่เป็นเม็ด ไม่ย้อยและไม่มีฟองอากาศ โดยใช้แรงดันลมอยู่ที่ 5-7 บาร์ มีระยะห่างระหว่างหัวกากับชิ้นงาน 15-20 เซนติเมตร ขนาดของหัวกาพ่นสีอยู่ที่ 1.4-1.6 มิลลิเมตร หลังจากพ่นสีเสร็จแล้ว นำเรือไปอบที่อุณหภูมิ 40-55 องศาเซลเซียส และใช้เวลาในการอบ 40-60 นาที ในกรณีเรือดำน และ 4-6 ชั่วโมงในกรณีเรือเงา เมื่ออบเรือเสร็จแล้ว นำเรือออกมาติดแผ่นเหยียบ

-กระบวนการติดแผ่นเหยียบ มีการติดแผ่นเหยียบตามลักษณะและตำแหน่งที่กำหนดไว้ใน spec design โดยต้องขัดผิวเรือด้วยกระดาษทรายก่อนติดเพื่อไม่ให้ผิวมันวาว หลังจากนั้นติดแผ่นเหยียบให้แนบชิดสนิทกับเรือ หลังจากนั้นนำเรือไอดูดแวกคัมที่แรงดูด 50-60 CmHg ใช้เวลา 30-40 นาที กรณีแผ่นเหยียบชิ้นใหญ่ และใช้ค้อนยางหรือลูกกลิ้ง กลิ้งให้ทั่วแผ่น กรณีแผ่นเหยียบชิ้นเล็ก เมื่อติดแผ่นเหยียบเสร็จแล้ว นำเรือไปเข้าสู่กระบวนการพ่นลายกันสนิม

-กระบวนการพ่นลายกันสนิม ใช้เม็ดลายกันสนิมพ่นลงบนเรือตามตำแหน่งที่ระบุไว้ใน spec design โดยในขั้นตอนการพ่นนั้น ลายกันสนิมต้องไม่หนาและไม่บางจนเกินไป รวมทั้งต้องเกาะอยู่บนผิวเรือเสมอกันทั่วทั้งลำ มีการควบคุมระยะห่างระหว่างหัวกากับชิ้นงาน 15-20 เซนติเมตร ขนาดของหัวเข็มอยู่ที่ 2.0-2.5 มิลลิเมตร ใช้แรงดันลมอยู่ที่ 5-7 บาร์ หลังจากพ่นลายกันสนิมเสร็จแล้ว นำเรือไปอบที่อุณหภูมิ 40-55 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที และใช้เวลารอแห้งที่ 10-15 นาที สำหรับเรือเคลือบ peel ply

1.2.13 กระบวนการตรวจสอบขั้นตอนสุดท้าย [1]

เป็นกระบวนการตรวจสอบเรือขั้นตอนสุดท้ายของกระบวนการผลิต โดยมีรายการตรวจสอบดังนี้

-รุ่นที่ผลิต ตรงตาม production card

- รูปแบบเรือถูกต้องตาม spec design และมีค่าเผื่อตามที่กำหนด
- มีแอร์วาล์วถูกต้องตาม spec insert และ accessory, ค่าเผื่อ ตรงตาม spec
- รางสไลด์ต้องพอดีกับ Jig และเลื่อนได้สะดวก ไม่ฝืดหรือติด
- ถ้ายึดสกรูพิน ต้องมีสีดำสม่ำเสมอและไม่เลอะออกนอกบริเวณ, มีรูปแบบถูกต้องตาม spec design, สะอาด และไม่มีคราบสกปรก , มีชั้นผ้าครบ ไม่ขาด
- กล่องพินถูกวางในตำแหน่งที่ตรงตาม spec out line และมีค่าเผื่อตรงตาม spec , กล่องพินต้องไม่มีฟองอากาศ, ใส่พินได้พอดี, พินต้องตั้งฉากกับเรือและมีค่าเผื่อตรงตาม spec, สกรูต้องยึดพินได้พอดีตามที่ spec กำหนด
- น้ำหนักเรือตรงตาม spec น้ำหนัก
- Logo ถูกต้องตาม spec design
- เรือไม่มีฝุ่นและคราบสกปรก
- มีการใช้บรรจุภัณฑ์ตรงตาม spec packing
- ต้องไม่พบรอยร้าวรอบลำเรือ
- ผิว peel ply ต้องหยาบยึดเกาะกับมือ

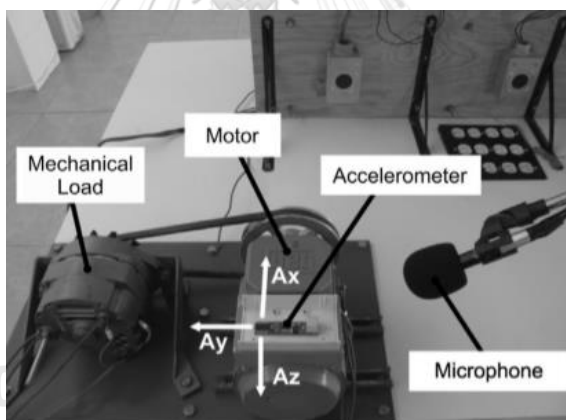
1.2.14 กระบวนการบรรจุภัณฑ์ [1]

ต้องมีขนาดกล่องถูกต้องตามที่กำหนด, ฉลากกล่องถูกต้อง สภาพกล่องสมบูรณ์ ไม่ฉีกขาด และไม่สกปรก มีวิธีการบรรจุตรงตาม spec packing.

1.3 การตรวจติดตามประสิทธิภาพของส่วนประกอบของเครื่องจักรด้วยการใช้เซนเซอร์

มีงานวิจัยเกี่ยวกับการตรวจติดตามความสึกหรอของส่วนประกอบมอเตอร์ไฟฟ้าทางอ้อม [2] ซึ่งมีอยู่หลายวิธี เนื่องจากการตรวจติดตามโดยตรงหรือการแกะชิ้นส่วนมอเตอร์ออกมาดูนั้น เป็นเรื่องที่ยุ่งยาก เสียเวลาและเครื่องจักรต้องหยุดทำงาน จึงมีการคิดวิธีการตรวจติดตามทางอ้อม หรือ Indirect monitoring process โดยการใช้เซนเซอร์เสียง และ อะคูสติคเซนเซอร์ โดยการใช้ความสัมพันธ์ระหว่างความถี่เสียงและความถี่อะคูสติค กับลักษณะของชิ้นส่วนมอเตอร์เพื่อบ่งชี้การสึกหรอของชิ้นส่วนมอเตอร์ โดยยกตัวอย่างการตรวจติดตามการสึกหรอของ two broken rotor bar, mechanical unbalance และ bearing defect

การตรวจติดตามสถานะของชิ้นส่วนมอเตอร์นั้นทำได้โดยการใช้ไมโครโฟนเพื่อรับสัญญาณเสียงของมอเตอร์โดยวางไว้ในตำแหน่งที่ไม่ได้รับผลกระทบจากการสั่น และใช้ accelerometer ในการรับสัญญาณสั่น

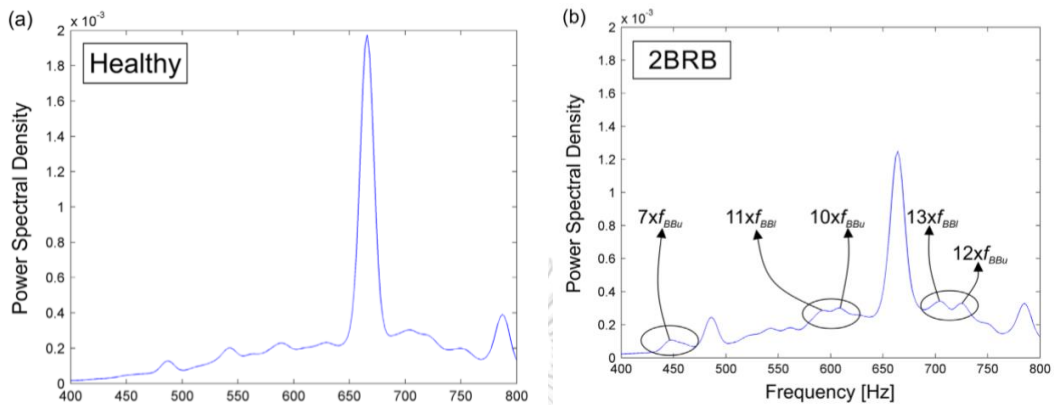


รูปที่ 1.7 แสดงการวางตำแหน่งของไมโครโฟนและ Accelerometer [2]

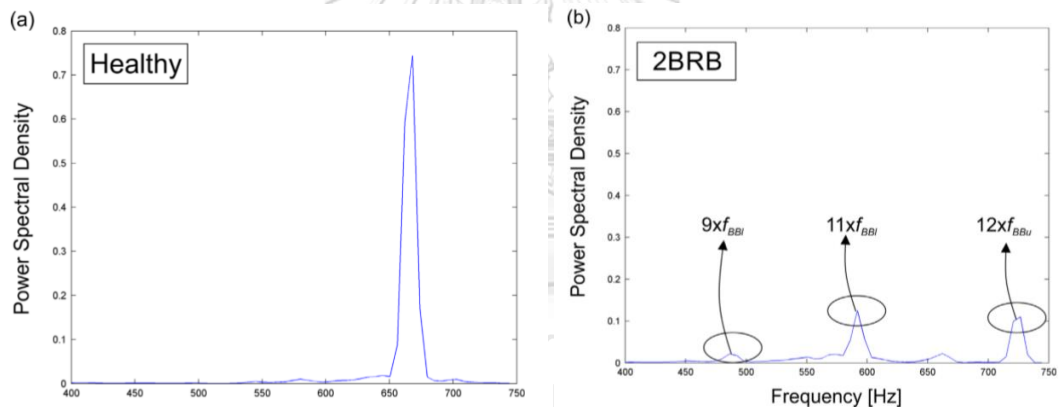
สัญญาณเสียงและสัญญาณการสั่นจะถูกแปลงให้อยู่ในรูปของโดเมนความถี่ด้วยวิธีการ CEEMD และนำโดเมนความถี่ที่ได้มาวิเคราะห์หาสถานะของชิ้นส่วนมอเตอร์ โดยสำหรับสัญญาณเสียงนั้นพบว่า first three IMFมีความสามารถในการบ่งชี้ความบกพร่อง และสำหรับสัญญาณสั่นพบว่ามีการใช้ first four IMF

โดยพบว่าสัญญาณการสั่นและสัญญาณเสียงของมอเตอร์ที่มีสถานะของชิ้นส่วนปกติมีความแตกต่างจากสัญญาณการสั่นของมอเตอร์ที่ประกอบด้วย two broken rotor bar, mechanical

unbalance และ bearing defect พบว่าความถี่สัญญาณเสียงของ two broken rotor bar ไม่มีปรากฏอยู่ในสเปกตรัมของมอเตอร์ที่มีสถานะของชิ้นส่วนปกติ ซึ่งสเปกตรัมของมอเตอร์ที่มีสถานะของชิ้นส่วนปกติปรากฏอยู่ที่ 435 Hz, 588.5 Hz, 621 Hz, 695 Hz และ 745 Hz



รูปที่ 1.8 แสดงสเปกตรัมของสัญญาณเสียงของมอเตอร์ปกติ (a) และ two broken rotor bar (b) [2]



รูปที่ 1.9 แสดงสเปกตรัมของสัญญาณสั้นของมอเตอร์ปกติ (a) และ two broken rotor bar (b) [2]

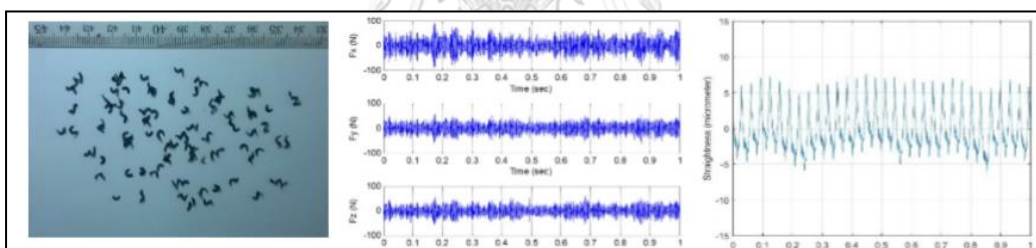
พบว่าความถี่ของมอเตอร์ที่ประกอบด้วย two broken rotor bar ไม่ปรากฏอยู่ในสเปกตรัมของมอเตอร์ที่มีสถานะของชิ้นส่วนปกติ โดยมีสเปกตรัมปรากฏอยู่ที่ 489, 592 และ 724 Hz นั้น แสดงให้เห็นถึงความบกพร่องของ two broken rotor bar โดยสเปกตรัมของมอเตอร์ที่มีสถานะของชิ้นส่วนปกติจะปรากฏอยู่ที่ 668 Hz โดยความถี่ที่สอดคล้องกับมอเตอร์ที่มีสถานะของชิ้นส่วนปกติคือ 668 Hz

จะเห็นว่าสเปกตรัมของสัญญาณเสียงและสัญญาณสั้นของมอเตอร์ที่มีสถานะของชิ้นส่วนบกพร่องจะไม่แสดงอยู่ในสเปกตรัมของมอเตอร์ที่มีสถานะของชิ้นส่วนปกติ ด้วยเหตุนี้จึงสามารถใช้

บ่งชี้สถานะของชิ้นส่วนมอเตอร์ได้ ซึ่งเป็นประโยชน์ในการตรวจติดตามสถานะของมอเตอร์โดยที่ไม่ต้องหยุดเครื่อง และสามารถแก้ไขปัญหาการสึกหรอของชิ้นส่วนได้ทันเวลา

ในอีกงานวิจัยหนึ่งที่ได้มีการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความตรง, การเกิดเศษโลหะ และแรงตัดในกระบวนการกลึงกับเงื่อนไขการตัดต่างๆ ได้แก่ สัญญาณแรงตัด ความเร็วตัด ความลึกตัด อัตราป้อนตัด มุมคายเศษโลหะ และ รัศมีจุ่มกมิต [3] โดยพบว่าปัจจัยเหล่านี้ส่งผลต่อคุณภาพชิ้นงานในกระบวนการกลึง นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับความสัมพันธ์ของการสึกหรอของมีดกลึงที่เงื่อนไขการตัดต่างกัน[4] ได้แก่ ความเร็วตัด ความลึกตัด อัตราป้อนตัด และการแยกสัญญาณแรงตัด โดยพบว่าปัจจัยเหล่านี้ส่งผลต่อการสึกหรอของมีดกลึง ซึ่งแรงตัดพลวัตจะถูกแยกออกเพื่อระบุสัญญาณความตรงและสัญญาณการแตกหักของเศษโลหะ หรือการแยกสัญญาณแรงตัดเพื่อแยกการสึกหรอของมีดกลึงออกจากสัญญาณการแตกหักของเศษโลหะโดยอาศัยความถี่ที่แตกต่างกันโดยการแปลงสัญญาณแรงตัดในรูปของโดเมนเวลาให้อยู่ในรูปของโดเมนความถี่ด้วยวิธีการ

Fast Fourier Transform (FFT)

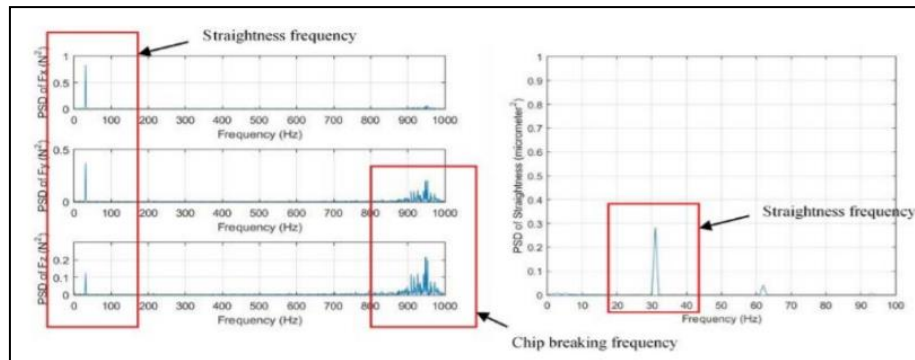


(a)

(b)

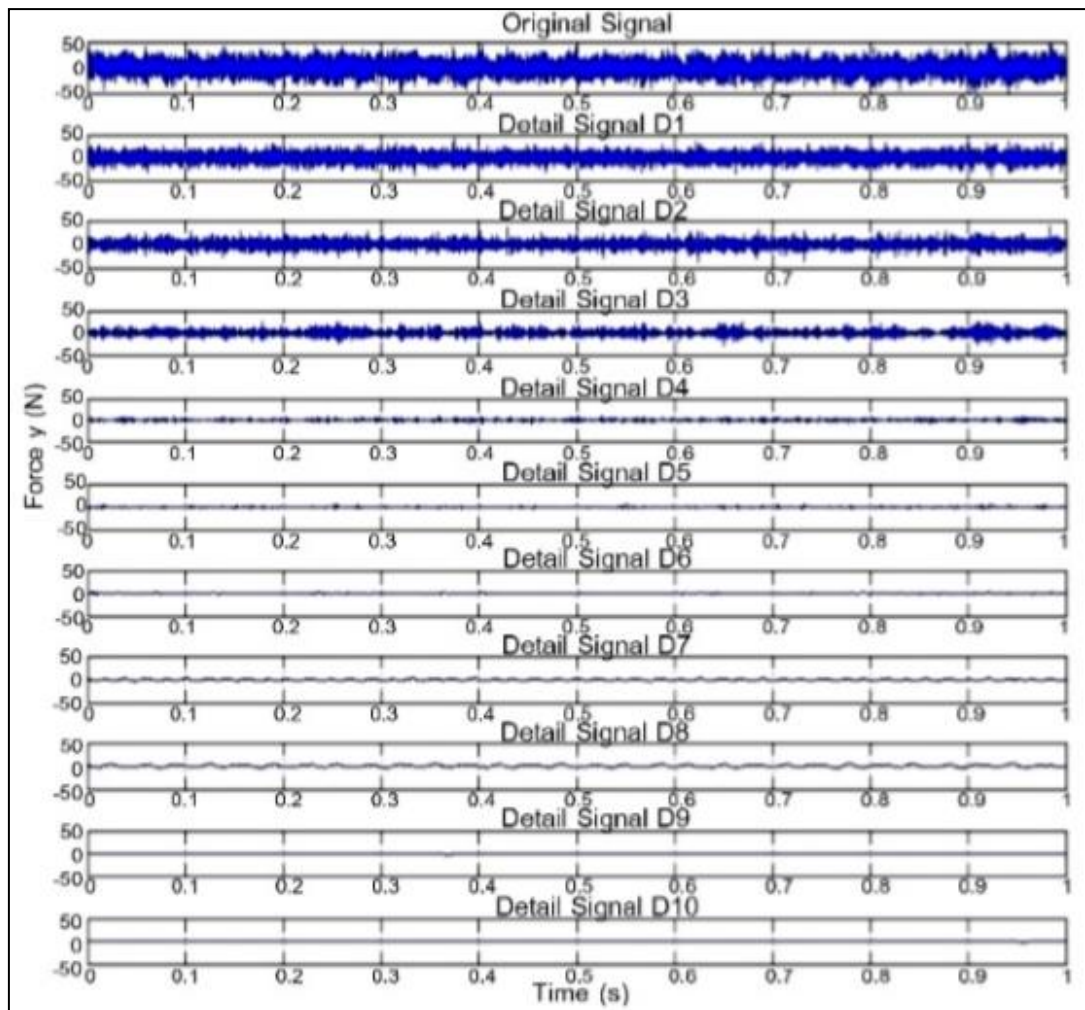
รูปที่ 1.10 แสดงสัญญาณแรงตัด (a) และสัญญาณความตรงของเศษโลหะแบบแตกหัก (b)

จากภาพจะสังเกตเห็นได้ว่าสัญญาณแรงตัดและสัญญาณความตรงมีลักษณะรูปคลื่นที่คล้ายคลึงกัน และปรากฏในช่วงความถี่เดียวกัน

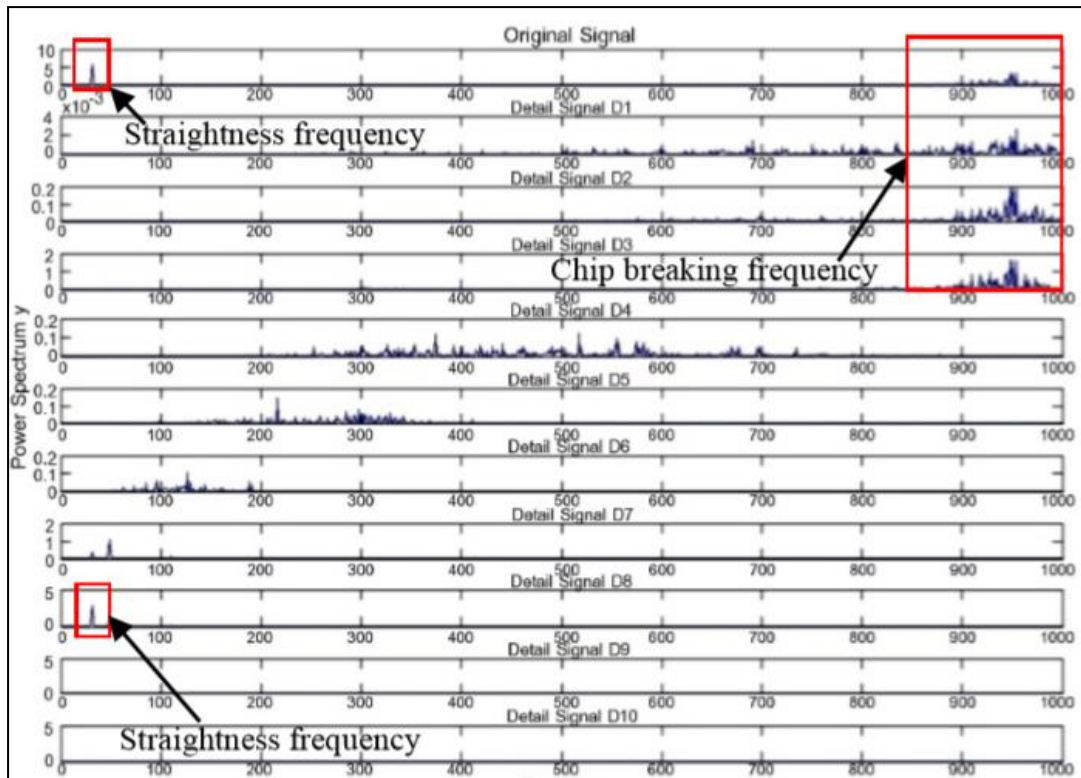


รูปที่ 1.11 แสดงความถี่ของความตรงและสัญญาณแรงตัด

พบว่าความถี่ของแรงตัดพลวัตมีความสอดคล้องกันกับความถี่ความตรง โดยความถี่ความตรงจะปรากฏในช่วงความถี่ที่ต่ำกว่า และความถี่ของเศษโลหะแบบแตกหักจะปรากฏในช่วงความถี่ที่สูงกว่า (900 Hz ถึง kHz) แต่การใช้ FFT ในการแปลงสัญญาณในรูปโดเมนเวลาให้อยู่ในรูปของโดเมนความถี่นั้นไม่สามารถแยกสัญญาณรบกวนหรือสัญญาณที่เกิดจากการแตกหักของเศษโลหะได้ จึงทำให้การนำแรงตัดพลวัตไปคำนวณในสมการทำนายความตรงมีความคลาดเคลื่อน จึงได้มีการใช้วิธีการแปลงเวฟเล็ต ซึ่งมีการใช้ Daubechies wavelet transform เพื่อแยกสัญญาณรบกวนเหล่านี้ออกไปให้เหลือเพียงสัญญาณแรงตัดพลวัตเท่านั้น



รูปที่ 1.12 แสดงการแปลงเวฟเล็ตในรูปของโดเมนเวลาของ F_y ที่ความเร็วตัด 200 m/min, อัตราป้อนตัด 0.25 mm/rev, ความลึกตัด 0.8 mm., รัศมีจุมุมมีด 0.8 และมุมคายเศษโลหะ 11°



รูปที่ 1.13 แสดงการแปลงเวฟเล็ตในรูปของโดเมนความถี่ของ F_y ที่ความเร็วตัด 200 m/min, อัตราป้อนตัด 0.25 mm/rev, ความลึกตัด 0.8 mm., รัศมีจุ่มมีด 0.8 และมุมคายเศษโลหะ 11°

จะเห็นได้ว่าการแปลงสัญญาณแรงตัดด้วยการแปลงเวฟเล็ตสามารถแยกสัญญาณความตรงและสัญญาณการแตกหักของเศษโลหะได้อย่างชัดเจน จากนั้นจึงใช้อัตราส่วนความแปรปรวนของแรงตัดพลวัตที่แยกได้ในระดับที่ 8 ไปคำนวณในสมการทำนายความตรงขณะตัด

โดยมีรูปแบบสมการคือ

$$S_t = e^{6.099} \cdot V^{-0.3303} \cdot f^{1.0736} \cdot D^{0.2380} \cdot R_n^{-0.6270} \cdot e^{-0.00958\gamma} \cdot \left(\frac{F_{y(max)} - F_{y(min)}}{F_{y(s)}} \right)^{0.1021}$$

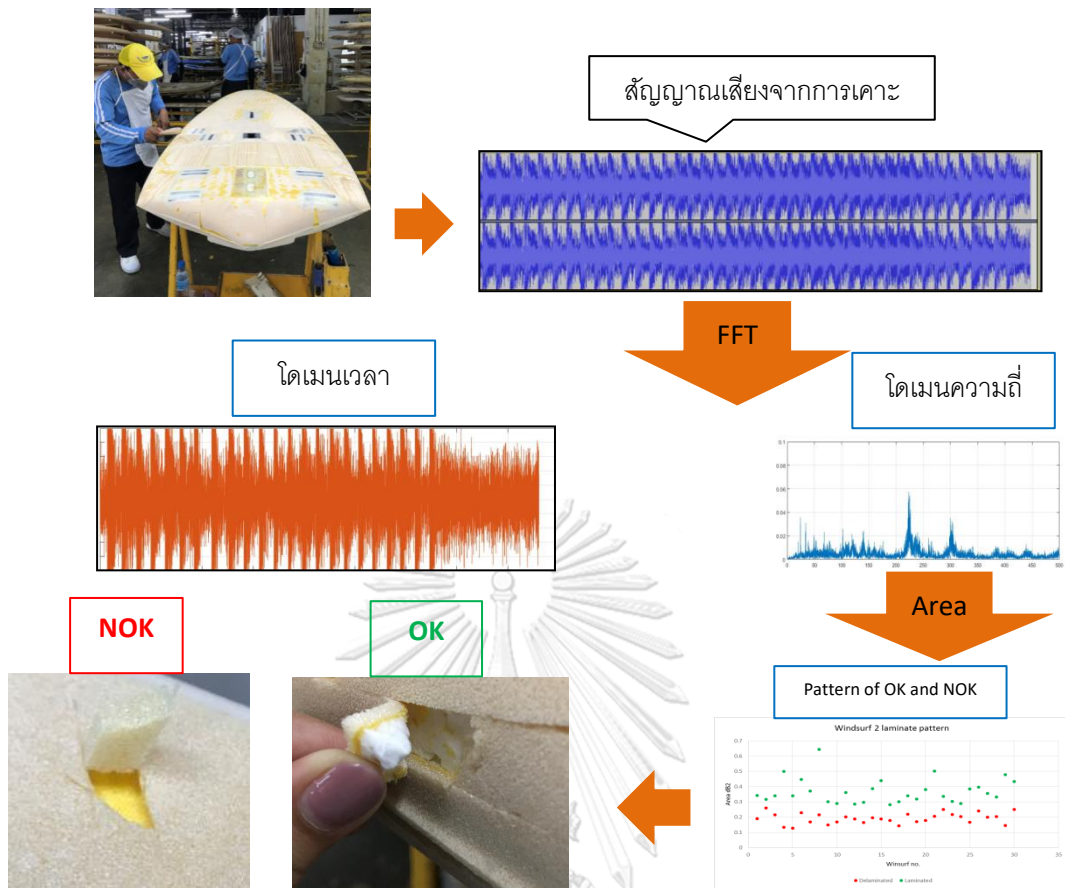
ซึ่งสมการนี้สามารถนำไปใช้ทำนายความตรงของชิ้นงานได้และมีความแม่นยำถึง 92.14%

1.4 แนวคิดในการทำงานวิจัย

เนื่องจากการตรวจสอบคุณภาพการยึดติดกันของวัสดุคอมโพสิตของกระดานโต้คลื่นในปัจจุบันใช้วิธีการเคาะด้วยด้ามเคาะโดยพนักงาน โดยพนักงานผู้ตรวจสอบใช้หูในการฟังเสียงที่เกิดขึ้นจากการเคาะ เพื่อจำแนกจุดที่มีการยึดติด หรือไม่ยึดติดบนพื้นผิวของผลิตภัณฑ์ ซึ่งในขั้นตอนนี้ต้องอาศัยทักษะและความชำนาญของผู้ปฏิบัติงานเป็นอย่างยิ่ง เนื่องจากโครงสร้างวัสดุคอมโพสิตที่ต่างกัน จะให้เสียงที่แตกต่างกัน หากไม่มีทักษะและความชำนาญก็จะไม่สามารถจำแนกความแตกต่างของการยึดติดกันอย่างสมบูรณ์หรือไม่สมบูรณ์ของวัสดุได้ ซึ่งในกระบวนการนี้เองเป็นกระบวนการที่ก่อให้เกิดของเสียมากที่สุด เนื่องจากความแม่นยำของผู้ตรวจสอบที่ไม่สามารถควบคุมได้ และไม่มีมาตรฐานในการคัดแยกที่วัดค่าได้

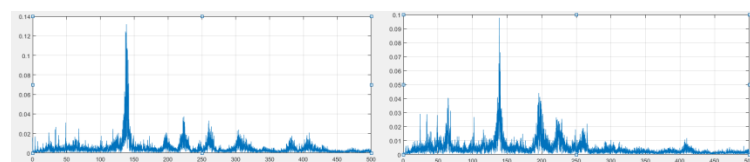
จึงได้นำวิธีการจากงานวิจัยที่กล่าวมาข้างต้นมาประยุกต์ใช้ในการทำงานวิจัย โดยนำวิธีการแปลงฟูเรียร์แบบเร็ว (Fast Fourier Transform : FFT) มาประยุกต์ใช้ในการแปลงสัญญาณเสียงที่เกิดจากการเคาะ และวิเคราะห์ความถี่, ความเข้มของพาวเวอร์สเปกตรัม และพื้นที่ใต้กราฟที่แตกต่างกันของชิ้นงานดีและเสีย





รูปที่ 1.14 แสดงขั้นตอนการวิเคราะห์สัญญาณเสียง

เมื่อพิจารณาความเข้มของพาวเวอร์สเปกตรัมของงาน OK และ NOK พบว่าชิ้นงาน OK มีพาวเวอร์สเปกตรัมเข้มกว่าชิ้นงาน NOK ในช่วงความถี่ของการยึดติดที่ความถี่ 300 Hz และในชิ้นงาน NOK จะมีสเปกตรัมความถี่ของจุดที่ไม่มีการยึดติดปรากฏขึ้นที่ความถี่ 200 Hz และพบว่าพื้นที่ใต้กราฟในช่วงความถี่ 300 Hz ของชิ้นงาน OK มีค่ามากกว่าพื้นที่ใต้กราฟของชิ้นงาน NOK. โดยพื้นที่ใต้กราฟที่ได้จากการคำนวณด้วยกฎสี่เหลี่ยมคางหมูของงาน OK เท่ากับ 0.31 dB^2 และพื้นที่ใต้กราฟของงาน NOK เท่ากับ 0.19 dB^2



(a)

(b)

รูปที่ 1.15 แสดงสัญญาณเสียงในรูปของโดเมนความถี่ของชิ้นงาน OK (a) และชิ้นงาน NOK (b)

1.5 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อตรวจสอบการยึดติดกันระหว่างผ้าใยแก้ว, ผ้าคาร์บอน และแผ่นโพลีไวนิลคลอไรด์ โดยใช้เทคนิคการรู้จำแบบ (Pattern recognition) จากการประยุกต์ใช้พื้นที่ได้กราฟของเสียง ด้วยการแปลงฟูเรียร์แบบเร็ว (Fast Fourier Transform : FFT)
2. เพื่อลดความผิดพลาดของการตัดสินใจการยึดติดโดยพนักงานใหม่

1.6 ขอบเขตงานวิจัย

1. ศึกษากระบวนการตรวจสอบการแยกจากกันของแผ่นโพลีไวนิลคลอไรด์และผ้าใยแก้ว, ผ้าคาร์บอน โดยมีนายาเรชินเป็นตัวประสานด้วยวิธีการเคาะ และใช้เซนเซอร์เสียงในการตรวจวัดเสียงของงานดีและงานเสีย
2. ผลลัพธ์ที่ใช้ในการทดลองคือ เรือวินเซิร์ฟ ที่มีโครงสร้างประกอบด้วยแผ่นโพลีไวนิลคลอไรด์ผ้าคาร์บอนและผ้าใยแก้ว โดยใช้โพลีไวนิลคลอไรด์ที่มีความหนาและความหนาแน่นแตกต่างกัน, ผ้าใยแก้วที่มีความหนาและความหนาแน่นแตกต่างกัน
3. วัดเสียงที่เกิดจากการเคาะโดยใช้ไมโครโฟนรุ่น USB Digital Noise Cancelling Speech Mic.
4. ใช้เทคนิคการแปลงฟูเรียร์แบบเร็ว (Fast Fourier Transform : FFT) ในการแปลงสัญญาณให้อยู่ในรูปของโดเมนความถี่และวิเคราะห์ความแตกต่างของพื้นที่ได้กราฟระหว่างงานดีและงานเสีย
5. ใช้เทคนิคการรู้จำแบบ (Pattern recognition) ในการจัดทำมาตรฐานคัดแยกงานดีและงานเสีย

1.7 ขั้นตอนในการศึกษาและวิจัย

1.ศึกษาข้อมูลต้นทุนของเสียที่เกิดขึ้นจากผลิตภัณฑ์วินเซิร์ฟและเลือกปัญหาที่ทำให้เกิดต้นทุนของเสียสูงที่สุด และเป็นปัจจุบันมาปรับปรุง โดยเลือกใช้ข้อมูลต้นทุนของเสียที่เกิดขึ้นในปี 2018.

2.ศึกษากระบวนการตรวจสอบการแยกจากกันของของแผ่นโพลีไวนิลคลอไรด์, ผ้าใยแก้ว และผ้าคาร์บอน

3. ศึกษาชนิดของไมโครโฟนที่ใช้ในการตรวจวัดเสียงที่เกิดขึ้นในสิ่งแวดล้อมที่มีเสียงรบกวน และใช้ไมโครโฟนชนิดดังกล่าวในการวิจัย โดยเลือกใช้ไมโครโฟนรุ่น USB Digital Noise Cancelling Speech Mic.

4. ระบุโครงสร้างเรือที่ต้องการทำการทดลองเก็บคลื่นเสียงจากการเคาะ

5. ศึกษาการใช้โปรแกรมคำนวณทางคณิตศาสตร์ (Matlab) ในการแปลงคลื่นเสียงให้อยู่ในรูปของโดเมนความถี่ด้วยวิธีการแปลงฟูเรียร์แบบเร็ว (Fast Fourier Transform : FFT)

6. ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างการยึดติดกันกับความถี่เสียงและพื้นที่ได้กราฟ

7. ศึกษาและทดลองหาความสัมพันธ์ของพื้นที่ได้กราฟจากโดเมนความถี่ของงานดีและงานเสีย

8. ทำมาตรฐานในการคัดแยกงานดีและงานเสียด้วยเทคนิคการรู้จำแบบ

9. สรุปผลการดำเนินงานวิจัยและข้อเสนอแนะ

1.8 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถตรวจพบวินเซิร์ฟที่มีปัญหาการไม่ยึดติดได้โดยไม่ต้องอาศัยทักษะของพนักงาน

2. สามารถตรวจสอบการไม่ยึดติดที่มีความแม่นยำมากกว่า 80%

3. สามารถนำไปพัฒนาชุดตรวจสอบการเคาะเพื่อตรวจสอบการยึดติด

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ประเภทของวินเซิร์ฟ [1]

วินเซิร์ฟแบ่งออกเป็น 3 ประเภทได้แก่

1.บอร์ดสั้น (short board) - จะมีขนาดอยู่ในช่วง 5'-7' ฟุต โดยจะมีลักษณะปลายแหลมเพรียว ทำให้คล่องตัว แต่ว่าจะควบคุมบาลานซ์ได้ยากกว่าบอร์ดทุกประเภท ลักษณะการเล่นจะเอนเฉี่ยวคล่องตัว และเป็นชนิดที่ใช้ในการแข่งขันโดยส่วนใหญ่

2.บอร์ดยาว (long board) - จะมีขนาดยาวตั้งแต่ 9' ฟุตขึ้นไป มีความยาวมากที่สุดในบรรดาประเภทของกระดาน มีปลายมน มีเสถียรภาพและปล่อยความเร็วได้ดีกว่า ประเภทซอร์ตบอร์ด ลักษณะการเล่นจะไม่พาดโพน ใช้วิธีการก้าวเท้า อยู่บนบอร์ดโซว์ลวดลาย

3.ฟินบอร์ด (Fun Board) – จะมีขนาดความยาวอยู่ในช่วง 7'-8'11" ซึ่งมีขนาดความยาวอยู่ในช่วงระหว่าง ซอร์ตบอร์ดกับลองบอร์ด มีปลายมน เนื่องจากมีความยาวที่เหมาะสมทำให้มีเสถียรภาพและคล่องตัวมากกว่าลองบอร์ดแต่ก็ไม่คล่องไปกว่าซอร์ตบอร์ด เหมาะสำหรับผู้เริ่มเล่น เพราะสามารถจะทำการ Take Off (ยืนขึ้นบนบอร์ดแล้วไต่คลื่น) ได้ง่ายจึงได้ชื่อว่า Fun Board เพราะฝึกหัดเล่นได้ง่ายทำให้มีความสุขในการเล่น

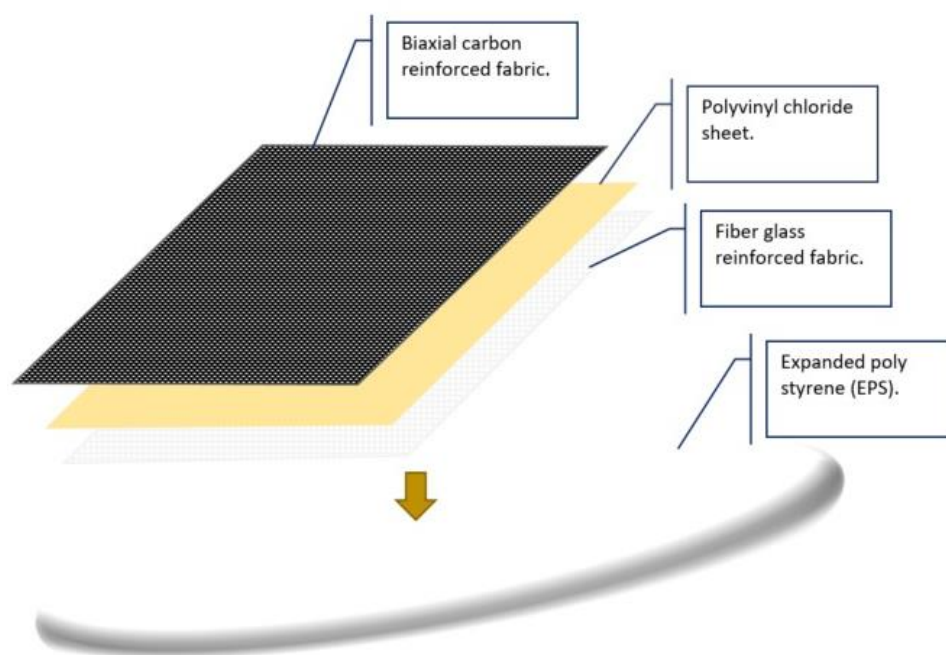
สำหรับบอร์ดสั้นนั้น สามารถแบ่งชนิดได้อีกมากมายตามลักษณะของตัวกระดานไต่คลื่นเอง หรือตามวิธีการเล่น เช่น บอร์ดแบบหางปลา (fish tail), บอร์ดแบบกัน (gun board) เป็นต้น

2.2 โครงสร้างของวินเซิร์ฟ [1]

วินเซิร์ฟมีแกนกลางเป็นโฟม EPS (Expanded polystyrene) และเสริมด้วยวัสดุเสริมแรงที่ตำแหน่งต่างๆ เพื่อเพิ่มความแข็งแรงซึ่งขึ้นอยู่กับการออกแบบและความต้องการของลูกค้า โดยโครงสร้างแบ่งออกเป็น 2 ด้าน ได้แก่ ด้านบน หรือ Deck และด้านล่างหรือ bottom โดยกล่าวได้ว่าวินเซิร์ฟเป็นวัสดุคอมโพสิตชนิดหนึ่ง เนื่องจากประกอบด้วยวัสดุมากกว่า 2 ชนิด และทำให้คุณสมบัติของวินเซิร์ฟดีขึ้น

2.2.1 ด้าน Deck

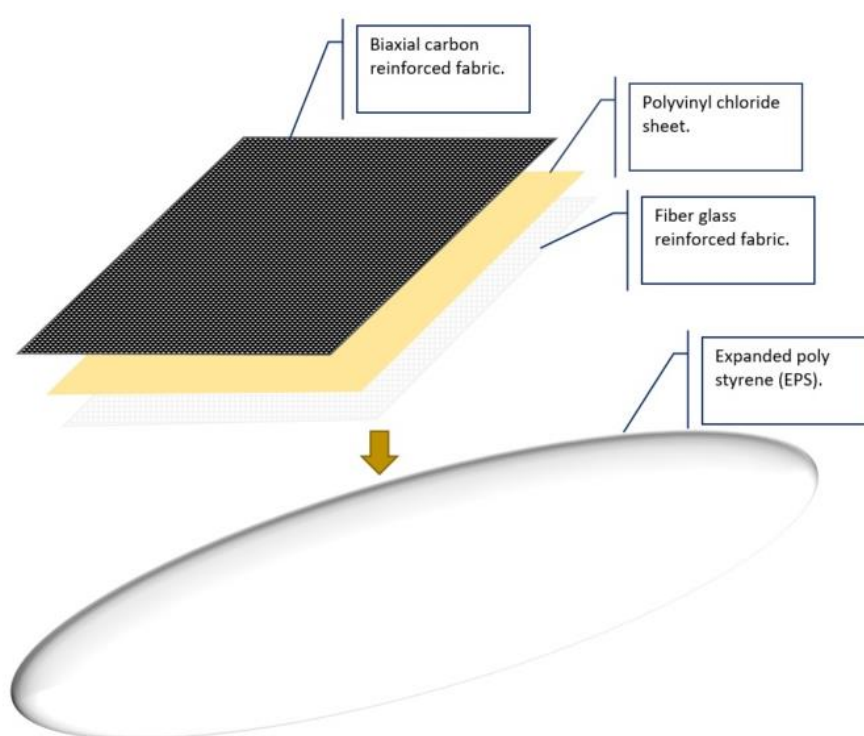
Lay up แสดงโครงสร้างของวินเซิร์ฟด้าน deck ซึ่งประกอบด้วยวัสดุเสริมแรงชนิดต่างๆตามความต้องการของลูกค้า ได้แก่ ผ้าคาร์บอน, ผ้าใยแก้ว และแผ่นโพลีไวนิลคลอไรด์ โดยจุดที่มีการติดวัสดุเสริมแรง เป็นจุดที่ต้องรับน้ำหนักของผู้เล่นคือจุดที่เหยียบ และจุดที่ต้องใส่อุปกรณ์ที่ต้องรับแรง เช่น ก่อ่งPU ซึ่งเป็นจุดติดตั้งใบเรือ หรือก่อกองฟินที่เป็นจุดใส่ฟิน



รูปที่ 2.1 แสดง layup ของด้าน Deck

2.2.2 ด้าน Bottom

Lay up แสดงโครงสร้างของ Windsurf ด้าน Bottom ซึ่งประกอบด้วยวัสดุเสริมแรงต่างๆ โดยมีหลักการเดียวกันกับด้าน Deck แต่จะมีจำนวนชนิดของวัสดุเสริมแรงไม่เยอะเท่าด้าน Deck เนื่องจากไม่ต้องรับน้ำหนักของผู้เล่น โดยจุดที่มีการติดวัสดุเสริมแรงคือจุดที่เป็นตำแหน่งของกล่องฟิน ด้านท้ายของเรือ

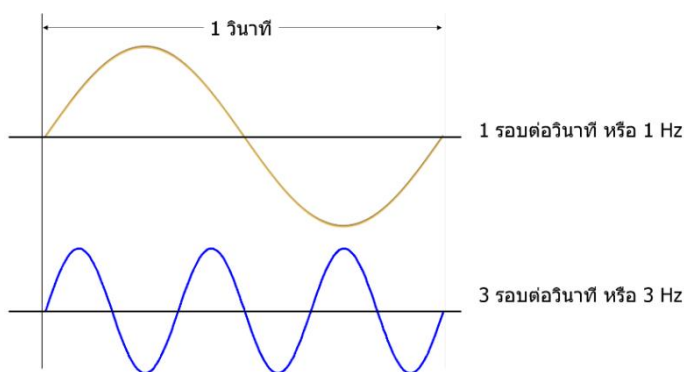


รูปที่ 2.2 แสดง layup ของด้าน Bottom

2.3 ความถี่ (Frequency) [5]

ความถี่คือจำนวนการเกิดเหตุการณ์ซ้ำในหนึ่งหน่วยของเวลา ความถี่อาจเรียกว่าความถี่เชิงเวลา (temporal frequency) หมายถึงแสดงให้เห็นว่าต่างจากความถี่เชิงพื้นที่ (spatial) และความถี่เชิงมุม (angular) คาบคือระยะเวลาของหนึ่งวงจรในเหตุการณ์ที่เกิดซ้ำ ดังนั้นคาบจึงเป็นส่วนกลับของความถี่ ตัวอย่างเช่น ถ้าหัวใจของทารกเกิดใหม่เต้นที่ความถี่ 120 ครั้งต่อนาที คาบ (ช่วงเวลา

ระหว่างจังหวะหัวใจ) คือครั้งวินาที (นั่นคือ 60 วินาทีหารจาก 120 จังหวะ) โดยความถี่เป็นตัวแปรสำคัญในวิทยาศาสตร์และวิศวกรรม สำหรับระบุอัตราของปรากฏการณ์การแกว่งและการสั่น เช่น การสั่นของเครื่องจักร โสตสัญญาณ (เสียง) คลื่นวิทยุ และแสง

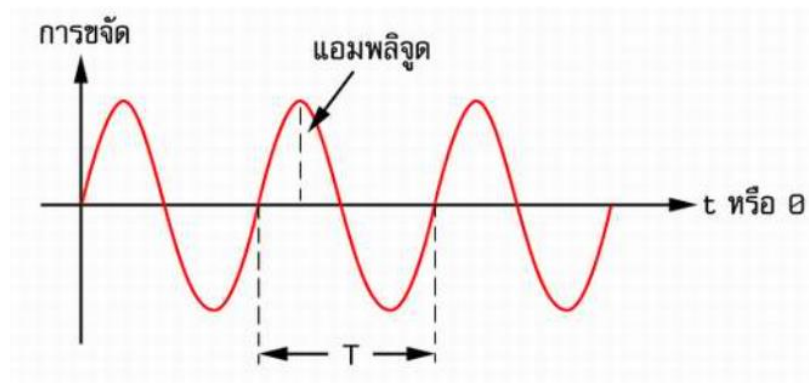


รูปที่ 2.3 แสดงความถี่ของคลื่นเสียง [6]

จากรูปด้านบนหากคลื่นเคลื่อนที่จากทางซ้ายไปขวาครบ 1 รอบ โดยใช้เวลา 1 วินาทีเรียกว่าความถี่ 1 Hz ส่วนรูปล่างคลื่นเคลื่อนที่จากทางซ้ายไปทางขวาครบ 3 รอบใน 1 วินาทีเท่ากับความถี่ 3 Hz ครับ คลื่นเสียงที่มีความถี่มากจะให้เสียงสูง และคลื่นเสียงที่มีความถี่น้อยจะให้เสียงต่ำ

2.4 แอมพลิจูด (Amplitude) [7]

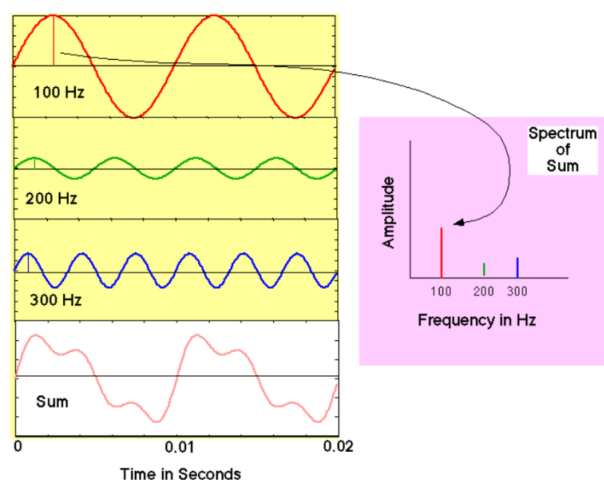
แอมพลิจูดคือขนาดของการเปลี่ยนแปลงของค่าต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นจากการแกว่งตัวในระบบ ตัวอย่างเช่น คลื่นเสียง คือการแกว่งตัวของแรงดันในบรรยากาศ แอมพลิจูดของมันคือการเปลี่ยนแปลงของแรงดันในแต่ละรอบ ถ้าการเปลี่ยนแปลงนี้อยู่ในคาบการแกว่งตัวปกติ จะสามารถวาดเส้นกราฟของระบบออกมาโดยให้ค่าการเปลี่ยนแปลงเป็นแกนตั้ง และเส้นเวลาเป็นแกนนอน แสดงให้เห็นภาพของแอมพลิจูดเป็นการเปลี่ยนแปลงขนาดขึ้นลงในแนวตั้งระหว่างจุดสูงสุดและจุดต่ำสุด หรือหมายถึง ความสูงระหว่างยอดคลื่นและท้องคลื่นของคลื่นเสียง ที่แสดงถึงความเข้มของเสียง (Intensity) หรือความดังของเสียง (Loudness) ยิ่งแอมพลิจูดมีค่ามาก ความเข้มหรือความดังของเสียงก็ยิ่งเพิ่มขึ้น



รูปที่ 2.4 แสดงแอมพลิจูด [8]

2.5 สเปกตรัมความถี่ (Frequency spectrum) [9]


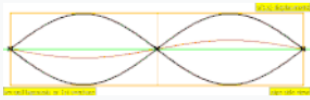
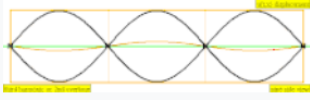
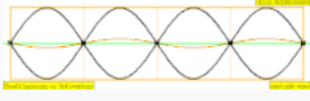
คือสเปกตรัมความถี่ของสัญญาณอิเล็กทรอนิกส์ที่แปรเปลี่ยนตามเวลา คือการแสดงค่าสัญญาณในโดเมนของความถี่ สามารถสร้างสเปกตรัมความถี่ได้โดยอาศัยการแปลงสัญญาณแบบฟูเรียร์ ผลลัพธ์ที่ได้มักจะแสดงเป็นแอมพลิจูดและเฟส โดยพล็อตอ้างอิงกับความถี่ สัญญาณทุกชนิดที่สามารถแสดงค่าแอมพลิจูดที่แปรตามเวลาจะมีสเปกตรัมความถี่ที่เกี่ยวข้องเสมอ ซึ่งรวมไปถึงแสงที่ตามองเห็น (สี) โน้ตดนตรี ช่องสัญญาณโทรทัศน์หรือวิทยุ แม้แต่การหมุนของโลก เมื่อสามารถแสดงปรากฏการณ์ทางกายภาพเหล่านี้ในรูปแบบของสเปกตรัมความถี่ได้ ก็จะสามารถอธิบายถึงลักษณะทางกายภาพได้โดยง่าย โดยมากองค์ประกอบของฮาร์มอนิกในสัญญาณที่มีความซับซ้อนจะสามารถแสดงให้เห็นในสเปกตรัมความถี่ ซึ่งทำให้สามารถวิเคราะห์ถึงกลไกภายในที่สร้างสัญญาณชนิดนั้นขึ้นมาได้ โดยในรูปภาพแสดงสเปกตรัมความถี่ของสัญญาณที่ประกอบด้วยความถี่ 100 Hz, 200 Hz และ 300 Hz.



รูปที่ 2.5 แสดงสเปกตรัมความถี่ [10]

2.6 ฮาร์โมนิกส์ (Harmonic) [11]

ฮาร์โมนิกส์คือสมาชิกอันใดอันหนึ่งในอนุกรมฮาร์โมนิกส์ (harmonic series) ซึ่งเป็นอนุกรมแบบอนันต์และลู่ออก (divergent infinite series) โดยปรากฏอยู่ในหลายแหล่งกำเนิดเช่น เสียง, ระบบส่งกำลังไฟฟ้า, เทคโนโลยีวิทยุ และในสาขาอื่นๆ โดยฮาร์โมนิกส์มักจะนำมาใช้กับสัญญาณที่มีการเกิดซ้ำๆ เช่นสัญญาณคลื่นรูปไซน์ (Sine wave) ฮาร์โมนิกส์เป็นคลื่นที่มีความถี่ใดๆ ซึ่งมีความถี่เป็นจำนวนเต็มเท่าที่เป็นค่าบวกของความถี่มูลฐาน (Fundamental Frequency) หรือที่เรียกว่า original wave หรือ ฮาร์โมนิกส์แรก โดยคลื่นที่มีความถี่สูงยิ่งๆ กว่านั้นจะเป็นฮาร์โมนิกที่สูงกว่า (higher harmonic) ยกตัวอย่างเช่นความถี่มูลฐานของไฟฟ้ากระแสสลับมีค่าเท่ากับ 50 Hz จะมีความถี่ฮาร์โมนิกส์ได้แก่ 100 Hz (ฮาร์โมนิกส์ที่สอง), 150 Hz (ฮาร์โมนิกส์ที่สาม) และ 200 Hz (ฮาร์โมนิกส์ที่สี่) ซึ่งการเกิดฮาร์โมนิกส์มักเกิดจากการทำงานของโหลดที่มีลักษณะไม่เป็นเชิงเส้น (Nonlinear Load) โดยเมื่อ ฮาร์โมนิกส์ เกิดขึ้นจากโหลดที่มีลักษณะไม่เป็นเชิงเส้น ฮาร์โมนิกส์จะไปรวมกับสัญญาณคลื่นไซน์ความถี่มูลฐาน ทำให้สัญญาณคลื่นไซน์มีลักษณะผิดเพี้ยนไป

Frequency	Order	Name 1	Name 2	Name 3	Wave Representation
$1 \times f = 440 \text{ Hz}$	$n = 1$	1st partial	fundamental tone	1st harmonic	
$2 \times f = 880 \text{ Hz}$	$n = 2$	2nd partial	1st overtone	2nd harmonic	
$3 \times f = 1320 \text{ Hz}$	$n = 3$	3rd partial	2nd overtone	3rd harmonic	
$4 \times f = 1760 \text{ Hz}$	$n = 4$	4th partial	3rd overtone	4th harmonic	

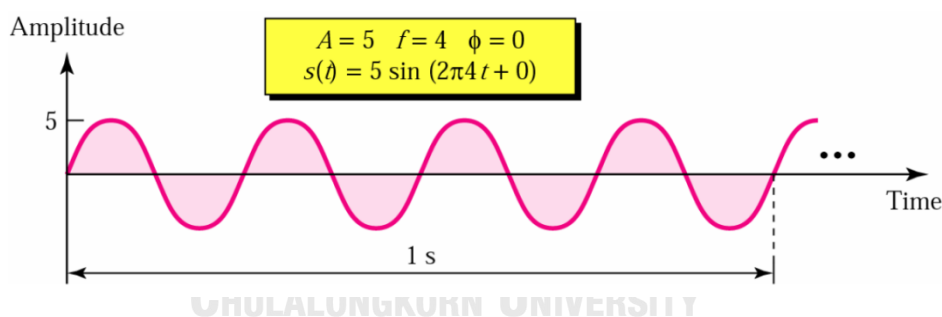
รูปที่ 2.6 แสดงฮาร์โมนิกส์ [11]

2.7 โดเมนเวลา (Time domain) [12]

Sinusoidal Signal หนึ่งประกอบด้วยสมบัติ 3 ประการ ได้แก่ Amplitude Frequency และ Phase การนำเสนอสัญญาณดังกล่าวด้วยแผนภาพ เพื่อเปรียบเทียบระหว่างสัญญาณ สามารถทำได้ 2 วิธี ได้แก่

การแสดงผลในโดเมนเวลา (Time-domain Plots) และในโดเมนความถี่ (Frequency-domain Plots)

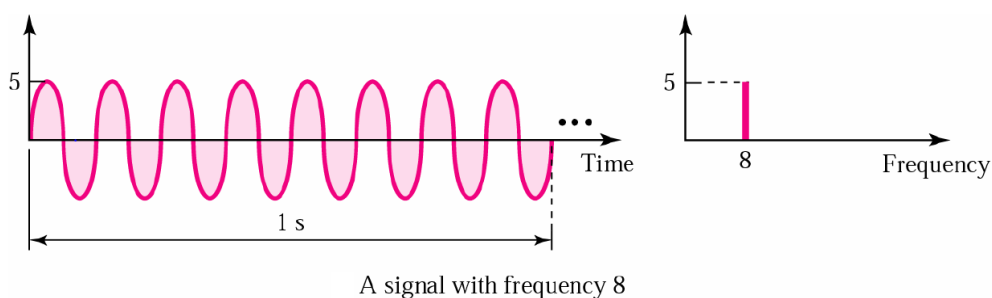
โดเมนเวลาคือการอ้างถึงการวิเคราะห์ในรูปแบบของฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์, สัญญาณทางกายภาพหรืออนุกรมเวลาทางเศรษฐศาสตร์ หรือข้อมูลทางสิ่งแวดล้อมที่อ้างถึงเวลาในโดเมนเวลา สัญญาณหรือค่าของฟังก์ชันจะมีค่าเป็นจำนวนจริง สำหรับกรณีที่มีความต่อเนื่องทางเวลาหรือช่วงเวลาที่แตกต่างกันในกรณีของความไม่ต่อเนื่องทางเวลา ออสซิลโลสโคป เป็นเครื่องมือทั่วไปที่ใช้ในการวิเคราะห์สัญญาณที่เกิดขึ้นในโดเมนเวลา กราฟในโดเมนเวลาแสดงการเปลี่ยนแปลงของความเข้ม (Amplitude Frequency) เทียบกับเวลา (t) โดยที่สำหรับความถี่ (f) และเฟส (ϕ) นั้นถึงแม้จะมีการแสดงอย่างชัดเจนแต่สามารถวัดได้ ดังตัวอย่าง



รูปที่ 2.7 แสดงโดเมนเวลา (แสดง Sinusoidal signal ที่มี amplitude และ frequency ต่างกัน แสดงการเปลี่ยนแปลงความเข้ม (amplitude) เทียบกับเวลา) [12]

2.8 โดเมนความถี่ (Frequency domain) [12]

โดเมนความถี่เป็นการแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Amplitude และ Frequency ของสัญญาณดังตัวอย่างเปรียบเทียบ โดเมนเวลาและโดเมนความถี่ของสัญญาณที่สมมูลกันต่อไปนี้



รูปที่ 2.8 แสดงโดเมนความถี่ (โดเมนเวลาทางด้านซ้ายและโดเมนความถี่ทางด้านขวา) ของสัญญาณที่มีความถี่ต่างกัน [12]

เมื่อพิจารณาจากรูปที่ 2.8 จะเห็นว่าเราสามารถอธิบายคุณสมบัติด้าน amplitude และ frequency ของสัญญาณในโดเมนความถี่ด้วยแท่งตรง (Spike) เพียง 1 แท่ง ซึ่งกระชับกว่าการแสดงด้วย โดเมนเวลาของสัญญาณที่สมมูลกัน ดังนั้นโดเมนเวลาจึงเหมาะสมสำหรับใช้อธิบายสัญญาณอะนาล็อกชนิดซ้ำคาบ

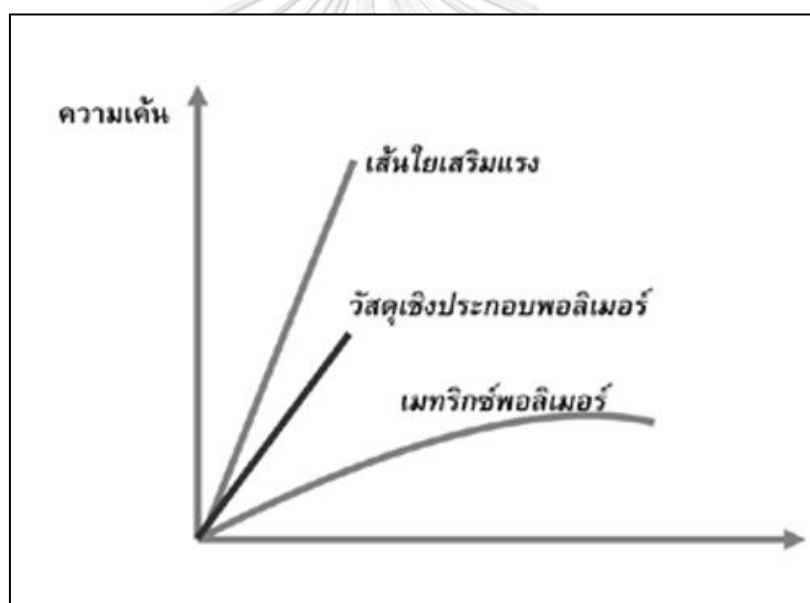
2.9 วัสดุคอมโพสิต [13]

วัสดุองค์ประกอบ หรือวัสดุคอมโพสิตนั้น เป็นวัสดุที่ประกอบด้วยวัสดุมากกว่าหนึ่งชนิดขึ้นไปแล้วทำให้คุณสมบัติของวัสดุรวมดีขึ้น หรือความหมายทางวิศวกรรมคือวัสดุที่ประกอบขึ้นจากวัสดุ ที่มีสมบัติแตกต่างกันตั้งแต่ 2 ชนิดขึ้นไปโดยไม่เกิดการรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกันทำให้สมบัติของวัสดุเชิงประกอบที่เกิดขึ้นมีสมบัติร่วมกันของวัสดุที่เป็นองค์ประกอบดังนั้นการทำนายหรือคาดคะเนสมบัติของวัสดุเชิงประกอบจึงไม่สามารถ ทำนายได้จากวัสดุที่เป็นองค์ประกอบชนิดใดเพียงชนิดเดียว โดยองค์ประกอบของวัสดุเชิงประกอบได้แก่วัสดุที่เป็นเนื้อหลักและเป็นเฟสต่อเนื่องเรียกว่าเมทริกซ์ (Matrix) และวัสดุส่วนเหลือที่กระจายตัวอยู่ในวัสดุเนื้อหลักนั้นเรียกว่าสารเสริมแรง (Reinforcement) โดยเมทริกซ์จะทำหน้าที่ห่อหุ้มสารเสริมแรงและทำให้วัสดุเชิงประกอบเป็นรูปร่างขึ้นส่วนสารเสริมแรง จะทำหน้าที่เสริมสมบัติให้เมทริกซ์และทำให้วัสดุเชิงประกอบมีสมบัติตามต้องการ

โดยมีการจำแนกวัสดุเชิงประกอบตามชนิดของวัสดุที่เป็นเมทริกซ์เป็น 3 ประเภทได้แก่วัสดุเชิงประกอบพอลิเมอร์ (Polymer matrix composite, PMC) วัสดุเชิงประกอบ โลหะ (Metal

matrix composite, MMC) และ วัสดุเชิงประกอบเซรามิก (Ceramic matrix composite, CMC) โดย วัสดุเชิงประกอบที่ผลิตวินิเล็กซ์เป็นวัสดุเชิงประกอบพอลิเมอร์

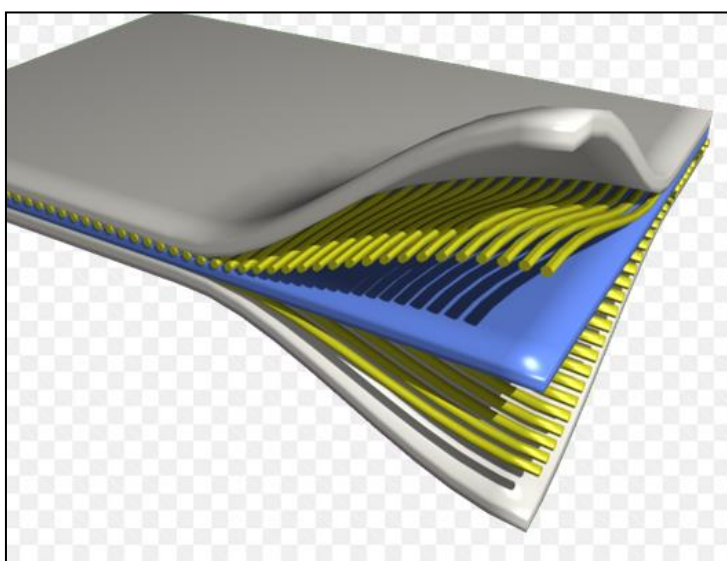
โดยธรรมชาติพอลิเมอร์เป็นสารประกอบอินทรีย์ขนาดใหญ่ที่มีโครงสร้างเป็นหน่วยซ้ำ เชื่อมต่อกันเป็นสายยาวทำให้พอลิเมอร์มีความแข็งแรงไม่สูงนักมีความหนาแน่นต่ำและมีความ ทนทานต่อการกัดกร่อน การเสริมแรงให้พอลิเมอร์ทำได้โดยการเติมเส้นใยเสริมแรงลงในพอลิเมอร์ให้ เกิดเป็นวัสดุเชิงประกอบที่มีความแข็งแรงมากขึ้นโดยทั่วไปเส้นใยเสริมแรงสำหรับวัสดุเชิงประกอบพอลิเมอร์มักเป็น เส้นใยที่มีความแข็งแรงสูงเพื่อทำหน้าที่ในการรับและกระจายแรงกระทำโดยวัสดุเชิง ประกอบจะมี ความแข็งแรงสูงที่สุดตามแนวการเรียงตัวของเส้นใย เสริม-แรงการเสริมแรงนี้ทำให้เมทริกซ์พอลิเมอร์ สามารถรับแรงกระทำที่สูงขึ้นโดยไม่เปลี่ยนรูปร่าง



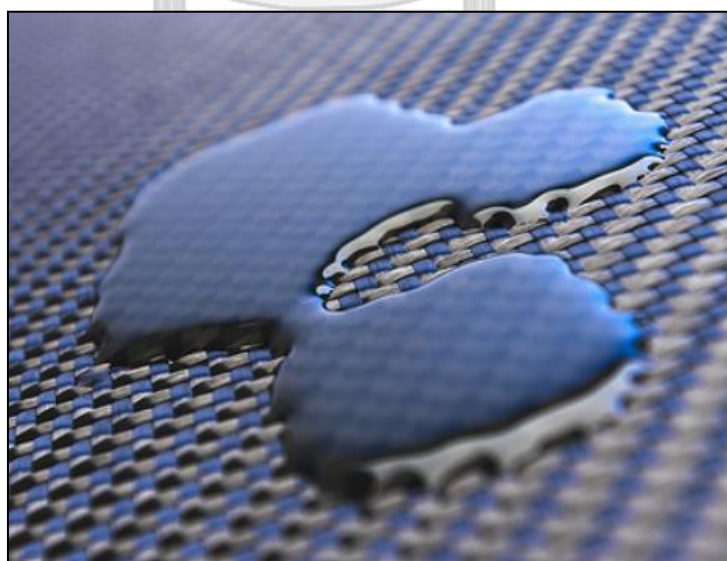
รูปที่ 2.9 แสดงสมบัติเชิงกลของวัสดุเชิงประกอบพอลิเมอร์ [13]

สมบัติเชิงกลนี้จะเป็นสมบัติร่วมที่เกิดจากสมบัติของเมทริกซ์พอลิเมอร์และสมบัติของเส้นใย เสริมแรงประกอบกันทำให้วัสดุเชิงประกอบมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้นมากกว่า วัสดุพอลิเมอร์เนื่องจาก เส้นใยเสริมแรงทำหน้าที่รับแรงกระทำแต่สำหรับระยะยืดสูงสุด นั้นวัสดุเชิงประกอบจะมี ความสามารถในการ ยืดสูงสุดได้ไม่เกินระยะยืดสูงสุดของเส้นใย เสริมแรงสำหรับเมทริกซ์พอลิเมอร์ ควรมีความเหนียวทนทานมากพอที่จะห่อหุ้มเส้นใยเสริมแรงไว้สารเสริมแรงในรูปอนุภาคมีส่วนเสริม ความแข็งแรงได้ไม่ดีเท่ากับรูป เส้นใยเนื่องจากความไม่ต่อเนื่องของสารเสริมแรงส่งผลต่อการกระจาย

แรงจึงนิยมเรียกสารเสริมแรงในรูปอนุภาคว่าสารเติม (Filler) วัสดุเชิงประกอบจะมีความแข็งแรงมากขึ้นอย่างมากเมื่อเปรียบเทียบกับ ความหนาแน่นที่เพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยทำให้ ความแข็งแรงจำเพาะ (Specific strength) ซึ่งเป็นอัตราส่วนระหว่างความแข็งแรงต่อความหนาแน่นของวัสดุเพิ่มสูงขึ้นจึงทำให้สามารถนำวัสดุเชิงประกอบมาใช้สำหรับงาน โครงสร้างบางชนิดที่ต้องรับแรงกระทำที่ไม่สูงมากนักได้



รูปที่ 2.10 แสดงองค์ประกอบของวัสดุเชิงประกอบ [14]

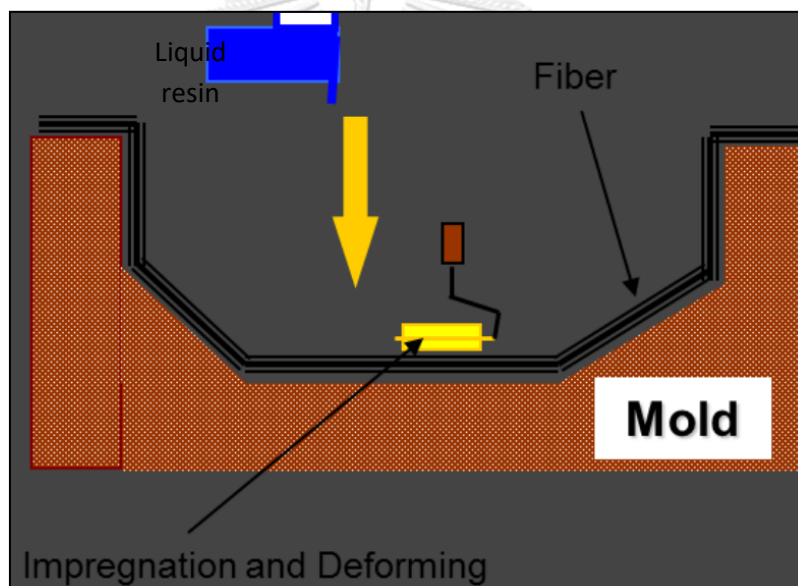


รูปที่ 2.11 แสดงน้ำยาเรซินบนผิวของวัสดุ [14]

กระบวนการผลิตวัสดุคอมโพสิต

2.9.1 กระบวนการ Hand Lay up [15]

Hand lay up เป็นกระบวนการที่ง่ายและเก่าแก่ที่สุดในกระบวนการผลิตวัสดุคอมโพสิต เป็นกระบวนการที่ใช้แรงงานคนมาก เหมาะกับงานที่มีลักษณะพิเศษที่มีขนาดใหญ่เช่นเรือ อ่างอาบน้ำ และใบพัดกังหันลม โดยปกติเส้นใยแก้วเสริมแรงจะถูกวางบนแม่พิมพ์และถูกทาด้วยเรซินจนชุ่ม จากนั้นชิ้นงานจะถูกรีดด้วยแปรงสำหรับไล่ฟองอากาศ โดยทำเช่นนี้เป็นชั้นๆจนกระทั่งได้ความหนาตามที่ต้องการ จากนั้นทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องจนแห้งสนิทจึงแกะชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์ เพื่อให้ได้ผิวของชิ้นงานที่สวยงาม ก่อนที่จะเริ่ม Lay up ชิ้นงาน ผิวของแม่พิมพ์จะถูก coat ด้วยสี gel coat

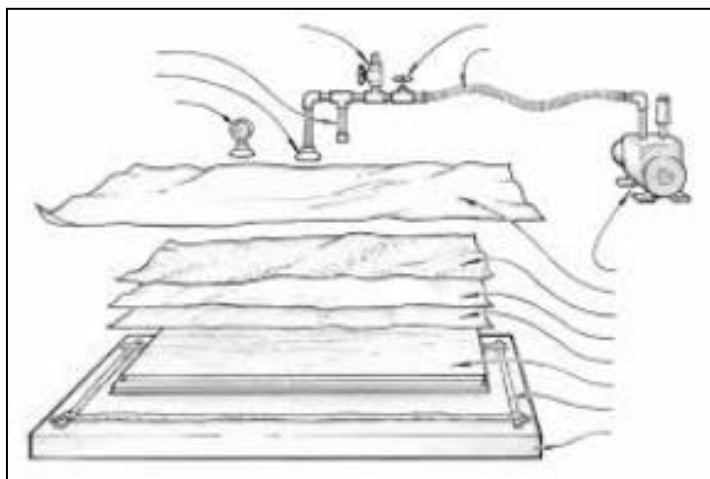


รูปที่ 2.12 แสดงกระบวนการผลิตแบบ Hand Layup [15]

2.9.2 กระบวนการ vacuum bagging [16]

เป็นระบบการผลิตวัสดุคอมโพสิตที่ใช้ระบบแวคคัมหรือการดูดอากาศช่วยดึงอากาศออกจากชิ้นงานที่ทำการผลิตด้วยวิธีใช้มือทา โดยใช้แผ่นฟิล์มกันอากาศหรือแบ็กกิ้งฟิล์ม (Bagging Film) และแผ่นช่วยนำอากาศออกบริดเตอร์ (Breather Fabrics) และแผ่นลอกเรซินฟิลพาย (peel ply) คลุมชิ้นงานทั้งหมด และปิดขอบฟิล์มลงบนขอบโมดลล์ด้วยแผ่นกาวปิดขอบซีลแลนท์เทป (Sealant Tape) และใช้เครื่องแวคคัมดูดอากาศออก เพื่อให้ชิ้นงานไม่มีอากาศเหลืออยู่ และมีเรซินน้อยที่สุด จน

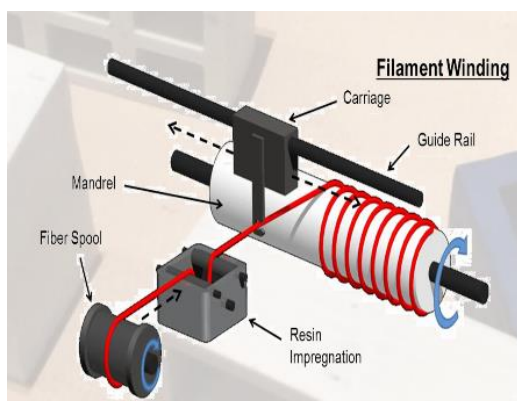
ชั้นงานแข็งตัว จึงทำให้ชั้นงานมีน้ำหนักเบาและมีความแข็งแรงมากขึ้น เนื่องจากชั้นงานไม่มีอากาศ และมีปริมาณเรซินในชั้นงานน้อยทำให้สัดส่วนใยแก้วต่อเรซินสูงขึ้น เหมาะกับชั้นงานขนาดเล็กและมีความหนาไม่มากนัก เช่น ชั้นส่วนรถ อุปกรณ์ตกแต่งรถ อุปกรณ์กีฬา



รูปที่ 2.13 แสดงกระบวนการ vacuum bagging .[16]

2.9.3 กระบวนการ Filament winding [17]

Filament winding เป็นเทคโนโลยีหลักที่ใช้ในการผลิตชิ้นงานประเภทท่อ หรือแท่งเค้เก็บสารเคมี กระบวนการนี้ เส้นใยแก้วหรือเส้นใยคาร์บอนที่ชุ่มไปด้วยเรซินจะถูกพันกับ Mandrail ที่หมุนอยู่ตลอดเวลา โดยมุมมองฯ ความยาว ความหนาของชิ้นงานและการเคลื่อนที่ไปตามแนวแกนของเส้นใย จะถูกควบคุมด้วยเครื่องจักรตามความยาวและความหนา เมื่อชิ้นงานถูกขึ้นรูปแล้วจะถูกทิ้งไว้ให้แห้งสนิท และแกะออกจาก maindrail ในเวลาต่อมา



รูปที่ 2.14 แสดงกระบวนการ filament winding [17]

2.10 ระดับเสียง [18]

เสียงที่เกิดจากการสั่นของวัตถุที่มีความแตกต่างกัน โดยวัตถุที่สั่นด้วยความถี่สูงหรือวัตถุที่สั่นเร็วจะทำให้เกิดเสียงสูง และวัตถุที่สั่นด้วยความถี่ต่ำหรือวัตถุที่สั่นช้า จะทำให้เกิดเสียงต่ำหรือเสียงทุ้ม ซึ่งเรียกเสียงสูง เสียงต่ำนี้ว่าระดับเสียง (pitch) โดยจะมีหน่วยวัดความถี่ของการสั่นสะท้อนต่อวินาที เช่น 60 รอบต่อวินาที หรือ 2,000 รอบต่อวินาที เป็นต้น

โดยปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดเสียงสูงต่ำได้แก่ ขนาดของวัตถุกำเนิดเสียง, ความยาวของวัตถุกำเนิดเสียง และความตึงของวัตถุกำเนิดเสียง เช่นวัตถุที่ตึงกำเนิดเสียง มีขนาดเล็กจะสั่นสะท้อนเร็วทำให้เกิดเสียงสูง แต่ถ้าวัตถุที่ตึงกำเนิดเสียง มีขนาดใหญ่จะสั่นสะท้อนช้าทำให้เกิดเสียงต่ำ ถ้าวัตถุที่เป็นต้นกำเนิดเสียงมีความยาวน้อยหรือสั้นจะสั่นสะท้อนเร็วทำให้เกิดเสียงสูง แต่ ถ้าวัตถุที่เป็นต้นกำเนิดเสียง มีความยาวมากจะสั่นสะท้อนช้าทำให้เกิดเสียงต่ำ ถ้าวัตถุที่เป็นต้นกำเนิดเสียงมีความตึงมากจะสั่นสะท้อนเร็วทำให้เกิดเสียงสูง แต่ ถ้าวัตถุที่เป็นต้นกำเนิดเสียงมีความตึงน้อยหรือหย่อนจะสั่นสะท้อนช้าทำให้เกิดเสียงต่ำ

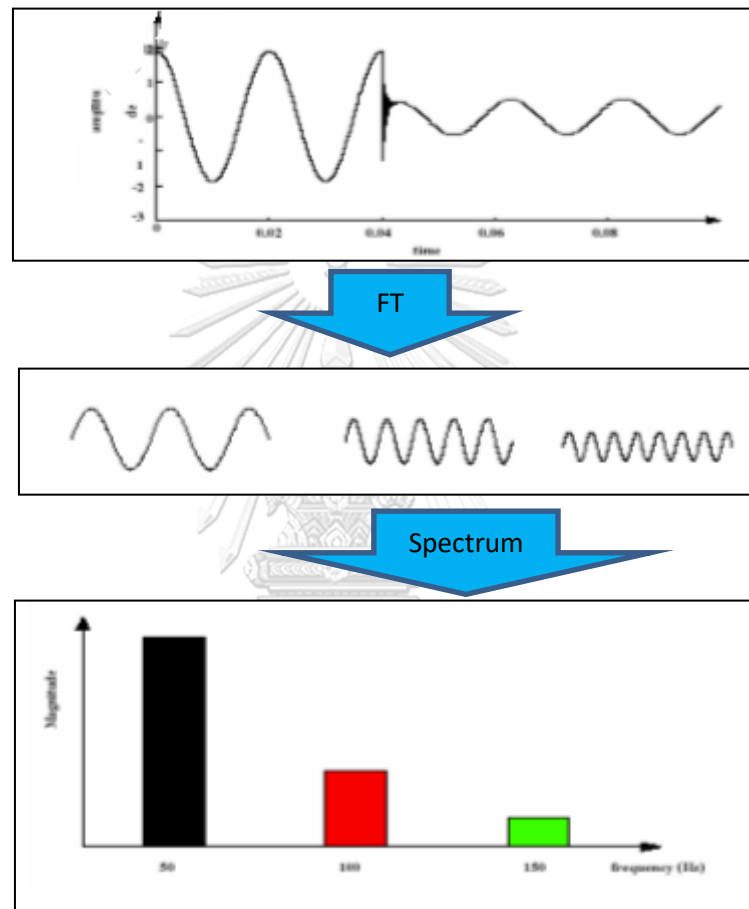
จึงได้มีการประยุกต์ใช้ความสัมพันธ์ระหว่างความตึงของวัสดุและความถี่ในการสั่นในการพัฒนาระบบการตรวจสอบการยึดติดกันของวัสดุคอมโพสิต โดยการใช้ความถี่เสียงในการแยกของดีและของเสีย

2.11 การแปลงฟูเรียร์ (Fourier transform : FT) [19]

การแปลงฟูเรียร์เป็นคณิตศาสตร์พื้นฐานในการวิเคราะห์สัญญาณในโดเมนความถี่ ในสาขาการประมวลผลสัญญาณ จึงนิยมนำการแปลงฟูเรียร์มาใช้งานกันอย่างแพร่หลาย ทั้งนี้เพราะการแปลงฟูเรียร์จะมีสัญญาณไซน์และโคไซน์เป็นองค์ประกอบ ซึ่งโดยทั่วไปแล้วสัญญาณทั้งสองจะมีความสำคัญมากเพราะเป็นสัญญาณพื้นฐานสำหรับการพิจารณาสัญญาณอื่นๆโดยจะทำการแปลงสัญญาณจากโดเมนเวลา (Time Domain) ไปเป็นโดเมนความถี่ (Frequency domain) หรือที่เรียกกันโดยทั่วไปว่าเป็นการหาสเปกตรัม (Spectrum) ของสัญญาณนั่นเอง บางครั้งสามารถกล่าวได้ว่าเป็น การวิเคราะห์สัญญาณโดยอาศัยฟังก์ชันพื้นฐาน (Basic function) ในรูปของฟังก์ชันเอกซ์โพเนนเชียล ผลการวิเคราะห์จะออกมาในรูปของการแตกองค์ประกอบของสัญญาณใดๆให้อยู่ในรูปของ

ฟังก์ชันไซน์และโคไซน์ที่มีขนาดและความถี่ที่แตกต่างกันตลอดย่านความถี่ $-\infty$ ถึง ∞ ดังแสดงในสมการ

$$F(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t)e^{-j\omega t} dt [19]$$



รูปที่ 2.15 แสดงการแปลงฟูรีเยร์ [19]

ผลการวิเคราะห์สัญญาณด้วยการแปลงฟูรีเยร์ได้แสดงอยู่ในรูปภาพที่ 2.15 ซึ่งการวิเคราะห์ด้วยการแปลงฟูรีเยร์จะมีความแม่นยำด้านความถี่ และใช้ในการวิเคราะห์สัญญาณที่ไม่เป็นคาบแต่มีพลังงานจำกัด (Finite Energy) ตลอดช่วงเวลา แต่ข้อจำกัดของการแปลงฟูรีเยร์คือ

-ในกรณีที่สัญญาณมีการเปลี่ยนแปลงไม่คงที่ (Non-Stationary signal) เช่นสัญญาณทรานเซียนต์รูปแบบต่างๆ การวิเคราะห์ด้วยการแปลงฟูรีเยร์จะมีความผิดพลาดเกิดขึ้น รวมทั้งข้อมูล

ทางด้านเวลาที่ขาดหายไป ซึ่งข้อมูลทางด้านเวลาเป็นสิ่งที่สำคัญมากในการวิเคราะห์สัญญาณในลักษณะทรานเซียนต์

-เมื่อสัญญาณเป็นสัญญาณที่ได้จากการวัด (measurement) ซึ่งจะมีลักษณะที่ไม่สามารถเขียนอยู่ในรูปของฟังก์ชันแบบปิด (closed-form function) และเป็นลักษณะที่เป็นจุด ๆ (discrete) สัญญาณลักษณะนี้จะอยู่ในรูปเป็นลำดับของตัวเลข (sequences of real number) แทนด้วย $x(n)$, $n = 0, 1, 2, \dots, N-1$ ซึ่ง เรียกว่าสัญญาณแบบไม่ต่อเนื่อง (discrete signal)

-เมื่อสัญญาณเป็นสัญญาณที่ไม่อยู่ในรูปของฟังก์ชันปิด (closed-form function) กรณีที่ 2 เป็นกรณีที่จะพบได้บ่อยในทางปฏิบัติซึ่งข้อจำกัดนี้สามารถแก้ปัญหาก็ได้โดยใช้ DFT (Discrete Fourier Transform) ในการประมาณสเปกตรัมของสัญญาณที่ได้จากการวัดที่อยู่ในรูปของลำดับของตัวเลข

2.12 การแปลงฟูเรียร์แบบไม่ต่อเนื่อง (Discrete Fourier Transform :DFT) [20,21]

DFT หรือการแปลงฟูเรียร์ไม่ต่อเนื่อง เป็นวิธีการที่ได้รับความนิยมในการวิเคราะห์สัญญาณ ซึ่งจะแปลงสัญญาณในรูปของโดเมนเวลาให้อยู่ในรูปของโดเมนความถี่ หรือที่เรียกว่าการหาสเปกตรัม โดยปกติแล้วคอมพิวเตอร์จะไม่สามารถวิเคราะห์สัญญาณที่มีความต่อเนื่องทางเวลาที่ไม่มีการจำกัดได้ จึงต้องมีการเลือกตัวอย่างข้อมูลขึ้นมา $x(t)$ และวิเคราะห์ข้อมูลเหล่านี้แทนสัญญาณต้นฉบับ $x(n)$ โดยมี $T_s = 1/f_s$ วิธีในการวิเคราะห์สัญญาณแบบนี้ เรียกว่า Discrete fourier transform (DFT) โดยมีสมการดังนี้

$$X(j\omega) = \sum_{n=0}^{N-1} x(n) e^{-j2\pi n t / N}, \quad j = \sqrt{-1} [21]$$

เรียก $X(t)$ ว่าเป็น DFT ขนาด N จุดของ X เพราะจำนวนจุดที่ใช้ในการคำนวณ DFT นั้นมีผลกับการใช้งาน DFT ในการประมาณสเปกตรัมของสัญญาณ

แต่ปัญหาของการใช้ DFT ก็คือถ้าคำนวณตามนิยามของ DFT จะใช้เวลาในการคำนวณนานเกินไป ปัญหานี้แก้ได้ด้วยการใช้อัลกอริทึมชื่อ FFT (Fast Fourier Transform) ในการคำนวณ DFT ฉะนั้นเราอาจกล่าวได้ว่า เราใช้ FFT ในการคำนวณ DFT เพื่อการประมาณสเปกตรัมของสัญญาณใด ๆ

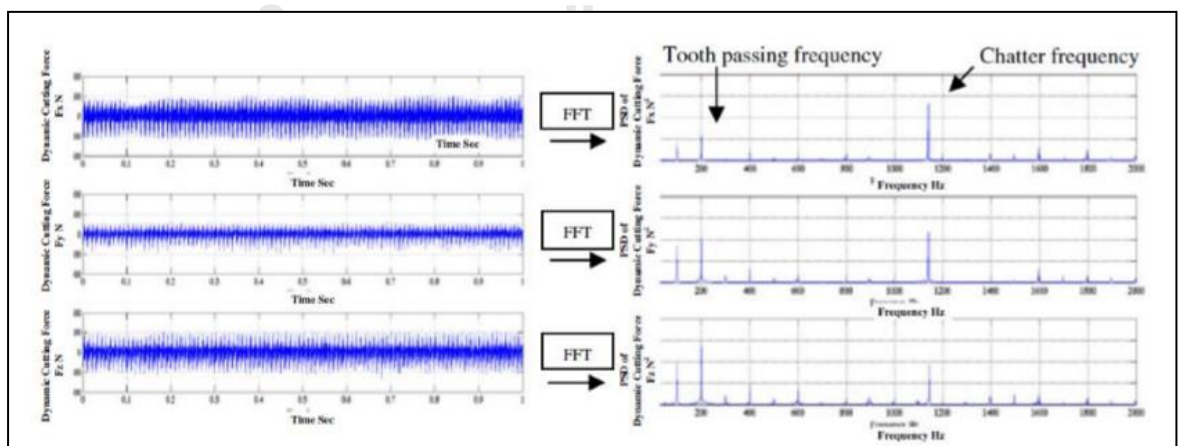
2.13 การแปลงฟูเรียร์แบบเร็ว (Fast Fourier Transform : FFT) [20,21]

โดย FFT ใช้ในการแปลงสัญญาณที่มีความถี่ไม่ต่อเนื่อง และไม่เป็นการคาบเพื่อวิเคราะห์สัญญาณ ซึ่งโดยปกติแล้วสัญญาณจะอยู่ในรูปของโดเมนเวลา ซึ่งมีการแกว่งขึ้นลงของรูปแบบข้อมูลอยู่ในลักษณะของคลื่นไซน์ โดยรูปแบบที่แกว่งขึ้นลงครบหนึ่งรอบใช้เวลา T ซึ่งเรียกว่าคาบ และจำนวนของคาบคลื่นในหนึ่งวินาทีคือความถี่ (f) ซึ่ง $f=1/T$ ซึ่งในการวิเคราะห์สัญญาณนั้นมักจะแปลงเป็นโดเมนความถี่

การแปลงฟูเรียร์แบบเร็ว นั้นถูกใช้ในการแยกสัญญาณรบกวนออกจากสัญญาณที่ต้องการ เช่นการจำแนกสถานะระหว่างการตัดโดยอาศัยความแตกต่างของสัญญาณความถี่ของแรงตัดพลวัต เนื่องจากสัญญาณแรงตัดพลวัตในโดเมนเวลาไม่สามารถแยกความแตกต่างของสัญญาณแรงตัดพลวัต และสัญญาณแชนเตอร์ได้ อาจทำให้เกิดความผิดพลาดในกระบวนการตรวจจับ ค่าความถี่ของแชนเตอร์มีค่าสูงกว่าความถี่ของสัญญาณแรงตัดพลวัต เมื่อแปลงสัญญาณเป็นโดเมนความถี่จึงเห็นความแตกต่างอย่างชัดเจนซึ่งมีสมการในเทอมของการวิเคราะห์ข้อมูลแบบสุ่ม (sampling data) ดังแสดงสมการของ FFT ด้านล่าง

$$X(t) = \sum_{n=0}^{N-1} x(n) e^{-\frac{j2\pi n t}{N}} \quad [21]$$

เมื่อ $n = 1, 2, 3, \dots, N$



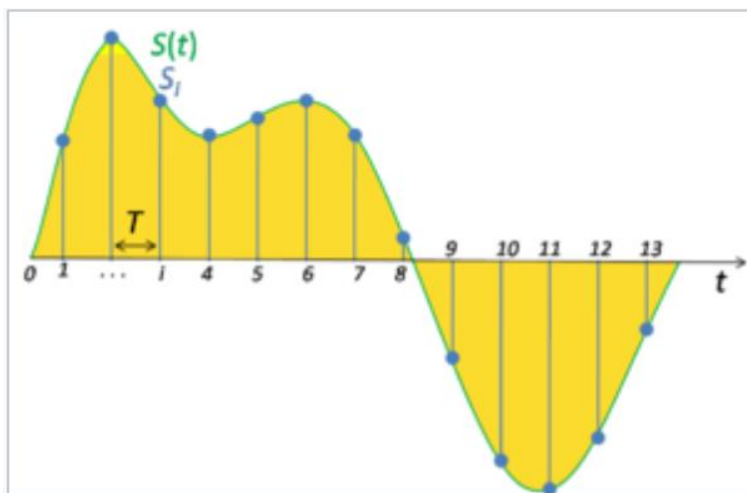
รูปที่ 2.16 แสดงการเกิดแชนเตอร์ที่ความเร็วตัด 6000 รอบต่อนาที ความลึกตัด 2 mm. และอัตราป้อนตัด 0.02 mm. [29]

2.14 ความถี่การสุ่มตัวอย่าง (Sampling Frequency) [22,23]

อัตราการสุ่มตัวอย่างหรือความถี่การสุ่มตัวอย่างกำหนดจำนวนตัวอย่างต่อวินาที (หรือต่อหน่วยอื่น) ที่นำมาจากสัญญาณต่อเนื่องเพื่อให้ได้สัญญาณไม่ต่อเนื่องหรือสัญญาณดิจิทัล สำหรับสัญญาณโดเมนเวลาเช่นรูปแบบคลื่นสำหรับเสียง (และประเภทเนื้อหาภาพและเสียงอื่น ๆ) ความถี่จะถูกวัดเป็นเฮิรตซ์ (Hz) หรือรอบต่อวินาที ทฤษฎีการสุ่มตัวอย่าง Nyquist – Shannon (หลักการ Nyquist) ระบุว่า การสร้างสัญญาณที่สมบูรณ์แบบเป็นไปไม่ได้เมื่อความถี่การสุ่มตัวอย่างมากกว่าสองเท่าของความถี่สูงสุดของสัญญาณที่ถูกสุ่มตัวอย่าง ตัวอย่างเช่น หากสัญญาณเสียงมีขีด จำกัด สูงสุด 20,000 Hz (ขีด จำกัด สูงสุดของการได้ยินของมนุษย์) ความถี่ในการสุ่มตัวอย่างที่มากกว่า 40,000 Hz (40 kHz) จะหลีกเลี่ยงการสร้างสัญญาณซ้ำและอนุญาตให้สร้างใหม่ได้อย่างสมบูรณ์แบบตามหลักเหตุผล

หน่วยงานหลายแห่งในการอนุรักษ์การบันทึกเสียงเช่นสมาคมระหว่างประเทศแห่งการเก็บเสียงและโสตทัศนูปกรณ์ (IASA) ได้แนะนำอัตราการสุ่มตัวอย่างที่เข้ารหัสเสียงนอกช่วงของการได้ยินของมนุษย์เช่นอัตราการได้ยินสูงกว่า 40 kHz เอกสาร IASA TC-04 ระบุว่าอัตราการสุ่มตัวอย่างที่สูงขึ้น "อาจเป็นประโยชน์สำหรับเนื้อหาหลายประเภท ผลสุทธิต่ออัตราการสุ่มตัวอย่างและเทคโนโลยีการแปลงที่สูงขึ้นช่วยปรับปรุงคุณภาพเสียงในช่วงที่เหมาะสมที่สุดในการรับฟังของมนุษย์ ในการบันทึกยังเป็นส่วนหนึ่งของเอกสารเสียงไม่ว่าจะเป็นโดยธรรมชาติในการผลิตการบันทึกหรือต่อมาถูกเพิ่มลงในสัญญาณดั้งเดิมโดยการจัดการที่ผิดพลาดหรือการจับที่ไม่ดีทั้งสองต้องได้รับการเก็บรักษาไว้ด้วยความแม่นยำสูงสุด อัตราการสุ่มตัวอย่างที่เกิน 48 kHz อาจเป็นประโยชน์สำหรับอัตราการสุ่มตัวอย่างใด ๆ ที่สูงขึ้น IASA แนะนำ 96 kHz "

ในกระบวนการประมวลผลสัญญาณ การสุ่มตัวอย่างคือการลดสัญญาณต่อเนื่องเป็นสัญญาณไม่ต่อเนื่อง ตัวอย่างทั่วไปคือการแปลงคลื่นเสียง (สัญญาณต่อเนื่อง) เป็นลำดับของตัวอย่าง (สัญญาณไม่ต่อเนื่อง) sampling frequency หรือ sampling rate เป็นจำนวนตัวอย่างต่อวินาทีในคลื่นเสียง หรือจำนวนจุดที่บอกตำแหน่งความถี่ในคลื่นเวฟหนึ่งๆ ยกตัวอย่างเช่น คลื่นเสียงหนึ่งมี sampling rate อยู่ที่ 44.1 kHz. นั่นหมายความว่าคลื่นลูกนี้มีจุดบอกความถี่ 44100 จุด เพราะฉะนั้นยิ่ง sampling rate มีค่ามากก็จะสามารถเก็บความถี่ได้เยอะขึ้น และส่งผลให้การบอกความถี่



รูปที่ 2.17 แสดงการ sampling สัญญาณ สัญญาณต่อเนื่องแสดงในเส้นสีเขียวและจำนวนตัวอย่างแสดงในเส้นสีน้ำเงินแนวตั้ง [23]

2.15 การรู้จำแบบ (Pattern Recognition) [24]

การรู้จำแบบ (pattern recognition) เป็นเทคนิคที่ถูกพัฒนาขึ้นอย่างรวดเร็วและมีความน่าเชื่อถือ ซึ่งการรู้จำแบบเป็นส่วนช่วยในการกำหนดในเทคนิคที่มีความคล้ายคลึงกันเช่น การมองเห็นของคอมพิวเตอร์, การประมวลผลภาพ, การวิเคราะห์ข้อความและเอกสาร และโครงข่ายประสาท ซึ่งมีความใกล้เคียงกับการเรียนรู้ของเครื่องจักร และยังพบว่ามีการใช้งานในศาสตร์ที่เกิดขึ้นใหม่อย่างเช่นไบโอเมตริกส์, ชีวสารสนเทศศาสตร์, การวิเคราะห์ข้อมูลมิติมิติเดียว และข้อมูลทางด้านวิทยาศาสตร์ ซึ่งการรู้จำแบบ เกิดขึ้นเมื่อประมาณ 50 ปีที่แล้วในขณะที่สาขาวิชาวิทยาศาสตร์คอมพิวเตอร์เริ่มขึ้นในช่วงปีแรก ๆ และมีการขยายตัวอย่างมากในช่วงหลายปีที่ผ่านมา

กล่าวได้ว่าการรู้จำแบบ (pattern recognition) เป็นสาขาย่อยหนึ่งของ วิทยาการคอมพิวเตอร์ เป็นศาสตร์ที่มีจุดประสงค์ในการจำแนก วัตถุ (objects) ออกเป็นประเภท (classes) ตาม รูปแบบของวัตถุ โดยในการคำนวณจะมีการใช้เทคนิคจากสาขาอื่น ๆ มากมาย เช่น การประมวลผลสัญญาณ ปัญญาประดิษฐ์ และสถิติ

รูปแบบ (pattern) ในที่นี้หมายถึง รูปร่าง หรือ คุณสมบัติของวัตถุ ที่เราสนใจ โดยวัตถุนั้น อาจเป็น รูปธรรม หรือ นามธรรม ก็ได้ หรือจะเป็นรูปแบบ ที่กระจายบนพื้นที่ หรือ เปลี่ยนแปลงตามเวลา ก็ได้

องค์ประกอบหลักของระบบการรู้จำแบบ

1. ลักษณะเด่น (features) เป็นข้อมูลที่ป้อนให้ ตัวแยกประเภท เพื่อที่ตัวแยกประเภททำการแยก ข้อมูล หรือ วัตถุ ออกเป็นประเภท ได้ตามที่ผู้ออกแบบได้คาดหมายเอาไว้

2. ตัวแยกประเภท (classifiers) เป็นผู้ตัดสินใจแยกกลุ่ม ของวัตถุ ตามข้อมูลลักษณะเด่น โดยทั่วไปนิยมแบ่งออกเป็น 2 ประเภทด้วยกัน ได้แก่

2.1 การแยกกลุ่มตามประเภทที่รู้ล่วงหน้าแล้ว (prior knowledge) และใช้ประโยชน์ จากข้อมูลนั้นในการออกแบบตัวแยกประเภท ซึ่งจะเรียกว่า ตัวแยกแบบมีผู้สอน (supervised classifier)

2.2 การแยกประชากรวัตถุ ออกจากกันโดยไม่มีข้อมูลของกลุ่มการแบ่งล่วงหน้า แต่จะ แบ่งโดยการใช้ลักษณะที่มีร่วมกันในกลุ่มย่อยแต่ละกลุ่มของประชากร ซึ่งจะเรียกว่า ตัวแยกแบบไม่มีผู้สอน (unsupervised classifier)

Geometrical Algorithms

ในอัลกอริทึมนี้กำหนดให้พื้นผิวในพื้นที่คือ w_1, w_2, \dots, w_m จะถูกแบ่งแยกออกให้อยู่ในหมวดหมู่ของ D และ N ดังแสดงในรูปภาพที่ 2.18

Hyperplane Algorithm เป็นตัวอย่างของ Geometrical algorithms

กำหนดให้ Hyperplane $P(w) = a_0 + a_1 w_1 + a_2 w_2 + \dots + a_m w_m = 0$ ถูกสร้างขึ้นในพื้นที่ w_1, w_2, \dots, w_m เพื่อที่จะแยกให้เป็น set ของ D_0 และ N_0 ด้วยวิธีการที่ดีที่สุด นั้นหมายความว่าบางฟังก์ชันใน hyperplane ต้องมีค่า extremum

โดยมีตัวอย่างของฟังก์ชันคือ

$$J(a_0, a_1, \dots, a_n) = \sum_{i=1}^{n_1} P(w_i) - \sum_{i=1}^{n_2} P(v_i) \Rightarrow \max [24]$$

w^1, w^2, \dots, w^{n_1} ถูกกำหนดให้เป็น D_0 และ v^1, v^2, \dots, v^{n_2} ถูกกำหนดให้เป็น N_0

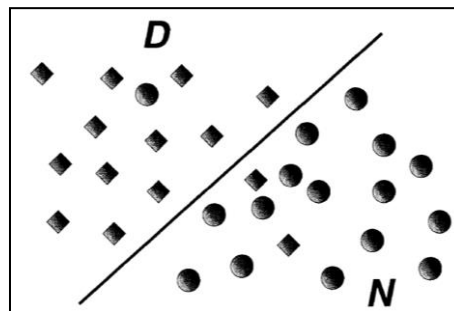
กฎการรู้จำนี้ถูกสร้างให้อยู่ในรูปของ

$$w_i \in D, \text{ if } P(w_i) \geq \varepsilon \quad [24]$$

$$w_i \in N, \text{ if } P(w_i) < -\varepsilon, \quad [24]$$

$$w_i \in U, \text{ if } -\varepsilon \leq P(w_i) < \varepsilon, \quad [24]$$

โดยที่ $\varepsilon \geq 0$ ถูกกำหนดให้เป็นค่าคงที่



รูปที่ 2.18 แสดงการจำแนกพื้นผิวออกเป็นประเภท D (rhombs) และ N(circles) ในพื้นที่สองฝั่งด้วย
เส้นตรง [24]

2.16 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Paulo Antonio Delgado-Arredondo, Daniel Morinigo-Sotelo, Roque Alfredo Osornio-Rios, Juan Gabriel Avina-Cervantes, Horacio Rostro-Gonzalez, Rene de Jesus Romero-Troncoso (2017) [2]

ได้ศึกษาการตรวจสอบความผิดพลาดของชิ้นส่วนมอเตอร์ไฟฟ้าโดยการใช้สัญญาณการสั่นสะเทือนที่ได้มาจาก accelerometer และ สัญญาณเสียงอะคูสติกจากไมโครโฟน เพื่ออธิบายเงื่อนไขจากชิ้นส่วนต่างๆของมอเตอร์ โดยในการศึกษานี้ได้ศึกษามอเตอร์ที่มีความปกติ, มอเตอร์ที่มีการแตกหักของ rotor bar 2 ชิ้น, มอเตอร์ที่มีความผิดปกติของ bearing และ มอเตอร์ที่มีความไม่สมดุลของ pulley. จากนั้นนำสัญญาณการสั่นสะเทือนและสัญญาณเสียงอะคูสติกมาวิเคราะห์ด้วยวิธีการ CEEMD (Complete ensemble empirical mode decomposition) เพื่อให้ได้ IMFs แล้วแปลงให้เป็นโดเมนความถี่ ซึ่งการแปลงให้อยู่ในรูปของโดเมนความถี่นี้ใช้การคำนวณด้วย Time-Frequency representation of Gabor (TFDG) โดย IMF ที่แปลงเป็น โดเมนความถี่ของมอเตอร์ที่มีเงื่อนไขต่างกันจะมีความแตกต่างกัน ซึ่งสเปกตรัมจะปรากฏที่ความถี่ที่แตกต่างกัน โดยสเปกตรัมของสัญญาณการสั่นสะเทือนของมอเตอร์ที่มีความปกติจะอยู่ที่ 668 Hz และสัญญาณเสียงอะคูสติกจะอยู่ที่ 230-235 Hz ซึ่งสัมพันธ์กับความถี่ในการหมุนของ Rotor ที่อยู่ที่ 231 Hz และช่วงความถี่ที่เหลืออยู่ที่ 660 Hz และ 787 Hz โดยสเปกตรัมของสัญญาณการสั่นสะเทือนของมอเตอร์ที่มีการแตกหักของ rotor bar 2 ชิ้นจะอยู่ที่ 489 Hz 592 Hz และ 724 Hz และ สัญญาณเสียงอะคูสติกของมอเตอร์ที่มีการแตกหักของ rotor bar 2 ชิ้นจะอยู่ที่ 435 Hz, 588.5 Hz และ 621 Hz. จึงสามารถสรุปได้ว่าวิธีการ CEEMD โดยการใช้สัญญาณการสั่นสะเทือนและสัญญาณเสียงอะคูสติกสามารถแยกความแตกต่างของมอเตอร์ที่มีเงื่อนไขแตกต่างกันได้

Ch.Vijaya Kumar, Vardhan H, Murthy Ch and Karmakar N (2019) [25]

ได้ทำการศึกษาการบ่งชี้คุณสมบัติของหิน โดยการใช้ความถี่เสียงที่ได้จากโดเมนเวลาที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการขุดเจาะเพชร โดยเริ่มจากการบันทึกเสียงในโดเมนเวลาและสัญญาณเสียงของความถี่เหล่านี้ จะถูกวิเคราะห์โดยการใช้การแปลงฟูเรียร์แบบเร็ว โดยทำการทดลองด้วยหินทั้งหมด 5 ชนิด ใช้เครื่อง CNC drill machine BMV45T20 ในการทดลอง และใช้ simple linear regression, สมการทางคณิตศาสตร์ ในการทำนายคุณสมบัติของหินชนิดต่างๆ โดยคุณสมบัติของหินที่ใช้คือ

uniaxial compressive strength (UCS) , Brazillian tensile strength (BTS) และ density โดยใช้ความถี่ที่เด่นชัดที่สุด 5 ความถี่จากความถี่เสียงที่เกิดขึ้นระหว่างการขุดเจาะ ไปใช้ในสมการทำนายคุณสมบัติของหิน โดยพบว่าสมการทำนายค่า UCS, BTS และ density มีความคลาดเคลื่อนน้อยกว่า 4%

Lee W, Ratnam M and Ahmad Z (2017) [26]

ได้ทำการศึกษาการตรวจสอบความเสียหายของเครื่องมือตัดเซรามิก เพื่อพัฒนาการทำนายการเกิดความเสียหายบนเครื่องมือตัดที่เกิดจากเศษเซรามิก ในระหว่างกระบวนการหมุนของชิ้นงานออกจากมิตตัด โดยการใช้รูปถ่ายของชิ้นงานด้านตรงข้ามกับด้านที่ตัด ซึ่งรูปถ่ายดังกล่าวถูกถ่ายโดยเครื่อง 18-MP DSLR ที่มี shutter speed 0.25 ms ในระหว่างกระบวนการหมุนของ AIS101 oil-hardening tool steel. รูปถ่ายจะถูกแปลงให้เป็นรูปขาวดำ และใช้ subwindowed FFT และ CWT เพื่อแปลงสัญญาณรูปภาพที่อยู่ในรูปของ sub-pixel Profile ให้เป็น Spatial frequency โดยผลการทดลองพบว่า Spatial frequency ของชิ้นงานปกติกับชิ้นงานที่ถูกกระแทกด้วยเศษเซรามิกมีความแตกต่างกัน Spatial frequency ของชิ้นงานที่ถูกกระแทกด้วยเศษเซรามิกจะปรากฏความถี่ที่ต่ำกว่า Spatial frequency ของชิ้นงานปกติ และจะมีแอมพลิจูดสูงขึ้นเมื่อผิวของชิ้นงานเสียหายมากขึ้น

Somkiat Tangjitsitcharoen, Haruetai Lohasiriwat (2018) [3]

ได้ศึกษาวิจัย CNC machine ที่มีความอัจฉริยะ โดยนำเสนอระบบการติดตามความสึกหรอของ tool เพื่อรักษาเงื่อนไขในการตัดที่ดีที่สุดไว้ โดยใช้ลักษณะของ chip ที่เกิดขึ้นในกระบวนการ CNC Turning โดยการใช้ประโยชน์จาก wavelet transform โดยความสัมพันธ์ระหว่าง อัตราการป้อน, ความเร็วตัด, ความลึกตัด และการแยกแรงตัด กับการสึกหรอของ tool ถูกนำมาศึกษา ซึ่ง Daubechies wavelet transform ถูกนำมาใช้เพื่อแยกสัญญาณการสึกหรอของ tool ออกจากสัญญาณการแตกหักของเศษโลหะและสัญญาณรบกวนอื่นๆ จากนั้นใช้ค่าเฉลี่ยความแปรปรวนของอัตราส่วนแรงป้อนตัดและแรงตัดหลัก ที่แสดงในระดับที่ 5 ของ wavelet transform มาคำนวณระดับการสึกหรอของ tool โดยการประยุกต์ใช้สมการเอกโพเนนเชียล โดยการใช้ค่าเฉลี่ยความแปรปรวนของอัตราส่วนแรงป้อนตัดเพื่อกำจัดอิทธิพลของเงื่อนไขการตัดออกไป

$$Vb = 0.0329 \cdot V^{-0.1279} \cdot f^{-0.4717} \cdot D^{-0.897} \cdot \left(\frac{dF_y}{dF_z} \right)^{-2.9372}$$

ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าเมื่อ cutting speed, feed rate และ depth of cut เพิ่มขึ้น main cutting force ก็จะเพิ่มขึ้นด้วย ซึ่งส่งผลโดยตรงต่อความสึกหรอของ tool ซึ่งเป็นสิ่งที่ยืนยันได้ว่าสมการทำนายการสึกหรอถึงแม้ว่า cutting condition จะเปลี่ยนแปลงไป โดยมีความแม่นยำมากกว่า 90%

Somkiat Tangjitsitcharoen, Mumin Sassantiwong (2017) [27]

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้คือการศึกษาการเกิดเศษโลหะ ความกลม และแรงตัดพลวัต ในกระบวนการ CNC Turning เพื่อทำนายความกลมที่เกิดจากการตัดในสถานะของเงื่อนไขการตัดที่แตกต่างกันได้แก่ รัศมีจุ่มกมิต, ความเร็วตัด, อัตราป้อนตัด, ความลึกตัด และมุมคายเศษโลหะ โดยการใช้ความสัมพันธ์ของแรงตัดพลวัตกับความกลม โดยการนำ Daubechies wavelet transform มาใช้ในการแยกแรงตัดพลวัตออกเป็น 10 ระดับ เพื่อจำแนกสัญญาณความกลมและสัญญาณการแตกหักของเศษโลหะ จากนั้นจึงนำอัตราส่วนค่าเฉลี่ยความแปรปรวนของ Radial force และ feed force (AVFx/AVFy) ที่แสดงในระดับที่ 8 ไปใช้ในการทำนายความกลมโดยอาศัยรูปแบบของสมการเอกโพเนนเชียล ที่แสดงดังสมการ

$$R0 = (V)^{-0.0937} \cdot (f)^{0.1589} \cdot (D)^{0.0568} \cdot (Rn)^{-0.0395} \cdot (e)^{2.3410} \cdot \left(\frac{AVFx}{AVFy} \right)^{0.3040}$$

ซึ่งการใช้อัตราส่วนค่าเฉลี่ยความแปรปรวนของ Radial force และ feed force (AVFx/AVFy) มาใช้ในการคำนวณนั้น เพื่อกำจัดผลของเงื่อนไขการตัดที่ต่างกันออกไป ผลการทดลองพบว่าแอมพลิจูดของแรงตัดพลวัตของเศษโลหะที่เกิดการแตกหักแบบต่อเนื่องมากกว่าแอมพลิจูดของแรงตัดพลวัตของเศษโลหะที่เกิดการแตกหักแบบไม่ต่อเนื่อง โดยสมการทำนายความกลมมีความแม่นยำถึง 95.51% ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Somkiat Tangjitsitcharoen, Haruetai Lohasiriwat (2018) [4]

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างการเกิดเศษโลหะ ความตรง และแรงตัดพลวัตในกระบวนการ CNC Turning เพื่อทำนายความตรงในสภาวะเงื่อนไขการตัดที่แตกต่างกัน ได้แก่ ความเร็วตัด, อัตราป้อนตัด, ความลึกตัด, รัศมีงูมกมิต, และมุมคายเศษโลหะ โดยการใช้ความสัมพันธ์ของแรงตัดพลวัตกับความตรง โดยการนำ Daubechies wavelet transform มาใช้ในการแยกแรงตัดพลวัตเพื่อจำแนกสัญญาณความตรงออกจากสัญญาณการแตกหักของเศษโลหะและสัญญาณรบกวนอื่นๆ โดยสัญญาณความตรงปรากฏในระดับที่ 8 ของการแปลงเวฟเล็ต จึงนำไปใช้ในการทำนายความตรงโดยอาศัยรูปแบบของสมการเอกโพเนนเชียล โดยการใช้อัตราส่วนของแรงป้อนตัดพลวัตกับแรงป้อนตัดสถิต $\left(\frac{F_y(\max) - F_y(\min)}{F_y(s)} \right)$ ดังที่แสดงในสมการ

$$S_t = e^{6.099} \cdot V^{-0.3303} \cdot f^{1.0736} \cdot D^{0.2380} \cdot R_n^{-0.6270} \cdot e^{-0.00958\gamma} \cdot \left(\frac{F_y(\max) - F_y(\min)}{F_y(s)} \right)^{0.1021}$$

ผลการทดลองพบว่าอัตราป้อนตัดและความลึกตัดที่มากส่งผลให้ความตรงแย่ง ความเร็วตัดที่มากขึ้นจะช่วยลดความคลาดเคลื่อนของความตรง มุมคายเศษโลหะที่ใหญ่ขึ้นจะช่วยลดความคลาดเคลื่อนของความตรงและลดอัตราการสึกหรอของ tool รัศมีงูมกมิตที่มากขึ้นจะช่วยลดความคลาดเคลื่อนของความตรง และอัตราส่วนของแรงป้อนตัดพลวัตกับแรงป้อนตัดสถิตสามารถกำจัดผลของเงื่อนไขการตัดที่ต่างกันได้สมการทำนายความตรงนี้มีความแม่นยำอยู่ที่ 92.14% ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Mumin Sassantiwong (2011) [28]

งานวิจัยนี้ศึกษาการทำนายความตรงและความกลมของชิ้นงานจากเงื่อนไขการตัดที่ต่างกัน ได้แก่ ความเร็วตัด อัตราป้อนตัด ความลึกตัด รัศมีงูมกมิต และมุมคายเศษโลหะ โดยใช้การแปลงเวฟเล็ตเดอเบชีส์ เพื่อแยกสัญญาณแรงตัดออกจากสัญญาณเศษโลหะและสัญญาณรบกวนอื่นๆ จากนั้นใช้สัญญาณแรงตัดที่มีความถี่ต่ำซึ่งแสดงในระดับที่ 8 ของการแปลงเวฟเล็ต มาใช้ในการสร้างสมการทำนายความกลมในรูปของฟังก์ชัน Exponential โดยที่ความตรงของชิ้นงานจะมากขึ้นเมื่อความเร็วตัด รัศมีงูมกมิต และมุมคายเศษโลหะมีค่ามาก ในขณะที่อัตราป้อนตัดและความลึกตัดที่มีค่าน้อย

ในส่วนของความกลมของชิ้นงานนั้นพบว่า อัตราส่วนค่าเฉลี่ยความแปรปรวนแรงตัดพลวัต (AVFx/AVFy) มีผลต่อพิสัยเส้นผ่านศูนย์กลางมากที่สุด โดยพิสัยเส้นผ่านศูนย์กลางจะดีขึ้นเมื่อเพิ่มความเร็วตัด ลดอัตราการป้อน ลดความลึกตัดและเพิ่มขนาดรัศมีงูมกมิต และใช้มุมคายเศษโลหะที่มีค่ามาก ผลการทดลองพบว่าสมการทำนายค่าความตรงสามารถให้ความแม่นยำได้ถึง 92.14% และสมการทำนายค่าความกลมมีความแม่นยำถึง 95.51%

Phathara Chaiyawong(2017) [29]

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาความสัมพันธ์ของขนาดการสึกหรอด้านข้างของเม็ดมีดกับอัตราส่วนแรงตัดพลวัตที่เงื่อนไขการตัดที่แตกต่างกัน โดยใช้การแปลงเวฟเล็ตเพื่อแยกสัญญาณแรงตัดพลวัตออกจากสัญญาณรบกวนอื่นๆ โดยมีเงื่อนไขการตัดคือ ความเร็วตัด อัตราการป้อนตัด ความลึกตัด และรัศมีงูมกมิต โดยใช้การออกแบบการทดลองแบบบ็อกซ์-เบห์นเคน และกำหนดระดับของแต่ละปัจจัยที่ 3 ระดับ

ผลการทดลองพบว่าอัตราส่วนแรงตัดพลวัตมีความสัมพันธ์กับขนาดการสึกหรอด้านข้างของเม็ดมีดอย่างมีนัยสำคัญ โดยอัตราส่วนแรงตัดพลวัตลดลงเมื่อเม็ดมีดมีการสึกหรอเพิ่มมากขึ้น โดยแม้จะมีการเปลี่ยนแปลงเงื่อนไขการตัด แต่อัตราส่วนแรงตัดพลวัตยังคงเหมือนเดิม

จึงนำแรงตัดพลวัตเพื่อใช้ในการพยากรณ์การสึกหรอของเม็ดมีดด้านข้างในรูปแบบของฟังก์ชันเอกโพเนนเชียลที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และสมการพยากรณ์การสึกหรอของเม็ดมีดนี้ให้ความแม่นยำเท่ากับ 93.85%

Thongphannarai Maiyachote (2015) [30]

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์คือการทำนายความขรุขระผิวของชิ้นงานจากแรงตัดพลวัต โดยอาศัยการแปลงฟูเรียร์แบบเร็วของแรงตัดพลวัต แต่พบว่าความถี่ของความขรุขระผิวและความถี่ของการแตกหักปะปนกัน จึงต้องใช้ในการแปลง wavelet จากโดเมนเวลาไปเป็นโดเมนความถี่เพื่อแยกความถี่ของความขรุขระผิวและความถี่ของการแตกหัก แล้วจึงนำสัญญาณความถี่ของความขรุขระผิวไปพัฒนาสมการทำนายความขรุขระผิวโดยใช้รูปแบบสมการเอกโพเนนเชียลแบบถดถอยพหุคูณในการหาค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย โดยพบว่า ความเร็วตัดที่มากขึ้น อัตราการป้อนตัดต่ำ ความลึก

ตัดที่ลดลง การเพิ่มขนาดของรัศมีจุมูกมิต และ มุมคายเศษโลหะที่มีค่ามากจะทำให้ค่าความขรุขระผิวชิ้นงานลดลง และพบว่าอัตราส่วนของแรงตัดพลวัตมีผลต่อค่าความขรุขระผิวมากที่สุด โดยสมการทำนายความขรุขระผิวนี้มีความแม่นยำในระดับสูงถึง 92.78% และ 93.46%

Deuanphan Chantana (2014) [31]

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างเงื่อนไขการตัด แรงตัดและความกลมของชิ้นงานในกระบวนการกลึง โดยแรงตัดนั้นขึ้นอยู่กับเงื่อนไขการตัด จึงได้มีการนำอัตราส่วนค่าเฉลี่ยความแปรปรวนของแรงตัดมาใช้ในสมการทำนายความกลม เพื่อกำจัดอิทธิพลของเงื่อนไขการตัดออกไป โดยสมการทำนายความกลมนั้นถูกนำเสนอในรูปแบบสมการเอกโพเนนเชียล 6 ตัวแปร ที่ประกอบด้วย ความเร็วตัด ความลึกตัด อัตราป้อนตัด รัศมีจุมูกมิต มุมคายเศษโลหะ และอัตราเฉลี่ยความแปรปรวนของแรงตัดพลวัต โดยใช้การวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณในการหาค่าสัมประสิทธิ์ ด้วยวิธีกำลังสองน้อยสุดที่ระดับความเชื่อมั่น 95% พบว่าอัตราเฉลี่ยความแปรปรวนของแรงตัดพลวัตมีผลต่อความกลมมากที่สุด และเมื่อเพิ่มความเร็วตัด รัศมีจุมูกมิต และมุมคายเศษโลหะ จะทำให้ความกลมดีขึ้น โดยสมการทำนายค่าความนี้มีความแม่นยำถึง 95.43%

Chaiwat Phusanapakorn (2009) [32]

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาสถานะการตัดเหล็กกล้าบนเครื่องกลึงซีเอ็นซี โดยการใช้เซนเซอร์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตในระหว่างกระบวนการตัด โดยการติดตามการสึกหรอของมีดกลึง และสถานะการตัดของเศษโลหะและการสั่นแบบซัดเตอร์ โดยการใช้เซนเซอร์ร่วมกันได้แก่ เซนเซอร์แรงตัด เซนเซอร์วัดความเร่ง เซนเซอร์เสียง และเซนเซอร์อคูสติก อิมิสชัน แล้วนำสัญญาณที่ได้มาวิเคราะห์ทั้งในโดเมนความถี่และโดเมนเวลาด้วยการแปลงฟูเรียร์แบบเร็ว เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณที่เกิดขึ้นกับการสึกหรอของมีดกลึง การแตกหักของเศษโลหะ และการเกิดการสั่นแบบซัดเตอร์ โดยสัญญาณที่ได้จะถูกประมวลผลผ่านโครงข่ายประสาทเทียม ผลของงานวิจัยนี้ปรากฏว่าระบบการตรวจติดตามภายในกระบวนการนี้สามารถประมาณค่าระดับการสึกหรอของมีดกลึง และตรวจจับสถานการณ์ตัดของเศษโลหะและซัดเตอร์ที่เกิดขึ้นได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยมีเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องมากกว่า 90%

Kanyakarn Samanmit (2013) [33]

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์คือ เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของความขรุขระผิวชิ้นงานกับอัตราส่วนแรงตัดพลวัต คืออัตราส่วนของแรงป้อนตัดพลวัตต่อแรงตัดหลักพลวัต เพื่อใช้ในการทำนายความขรุขระผิวชิ้นงานในระหว่างการตัด ด้วยเงื่อนไขการตัดที่แตกต่างกัน ได้แก่ ความเร็วตัด, อัตราป้อนตัด, ความลึกตัด, รัศมีจุมกมิต และมุมคายเศษโลหะ ด้วยวิธีการแปลงเวฟเล็ทเพื่อกำจัดสัญญาณการแตกหักของเศษโลหะและสัญญาณรบกวน เพื่อให้ได้สัญญาณความขรุขระ นำไปใช้ในการทำนายความขรุขระในรูปแบบของฟังก์ชันเอกโพเนนเชียล ผลการทดลองพบว่าความขรุขระผิวจะลดน้อยลงเมื่อใช้ความเร็วตัด รัศมีจุมกมิต และมุมคายเศษโลหะที่มาก และใช้อัตราป้อนตัดและความลึกตัดที่น้อยโดยสมการทำนายความขรุขระมีความแม่นยำถึง 91.89% สำหรับสมการทำนายความขรุขระผิวเฉลี่ย และ มีความแม่นยำ 91.97% สำหรับสมการทำนายความขรุขระผิวสูงสุด ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

$$R_a = e^{3.46} \cdot V^{-0.239} \cdot f^{1.22} \cdot D^{0.163} \cdot R_n^{-0.65} \cdot e^{-0.0158\gamma} \cdot \left(\frac{AF_y}{AF_z}\right)^{-0.82}$$

$$R_z = e^{4.99} \cdot V^{-0.249} \cdot f^{1.08} \cdot D^{0.226} \cdot R_n^{-0.612} \cdot e^{-0.0127\gamma} \cdot \left(\frac{AF_y}{AF_z}\right)^{-0.655}$$

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 การออกแบบการทดลอง

3.1.1 รุ่นเรือและจำนวนเรือที่ใช้ในการทดลอง

เนื่องจากปัญหาการไม่ยึดติดนั้นเกิดขึ้นระหว่างแผ่นโพลีไวนิลคลอไรด์กับผ้าใยแก้ว และแผ่นโพลีไวนิลคลอไรด์กับผ้าคาร์บอน ซึ่งการทดลองนี้มีจุดประสงค์เพื่อพัฒนาการตรวจสอบการยึดติดกันของแผ่นโพลีไวนิลคลอไรด์กับผ้าใยแก้ว และแผ่นโพลีไวนิลคลอไรด์กับผ้าคาร์บอน เพราะฉะนั้นการเลือกวินเซิร์ฟมาใช้ในการทดลองต้องเลือกใช้วินเซิร์ฟที่ประกอบไปด้วยแผ่นโพลีไวนิลคลอไรด์ที่มีความหนาแน่นแตกต่างกัน, ผ้าใยแก้วและผ้าคาร์บอนที่มีความหนาแน่นแตกต่างกัน แต่เนื่องจากวินเซิร์ฟที่มีการผลิตในแต่ละวันนั้นมีความหลากหลายในเรื่องของดีไซน์จึงทำให้ไม่สามารถระบุรุ่นของซึ่งเรือที่เลือกมาใช้ในการทดลองได้ แต่ด้วยวินเซิร์ฟที่มีดีไซน์แตกต่างกันนี้จะมียอดประกอบภายในได้แก่แผ่นโพลีไวนิลคลอไรด์, ผ้าใยแก้ว และผ้าคาร์บอนที่มีขนาดและความหนาแน่นไม่ต่างกัน เพราะฉะนั้นจึงเลือกที่จะแบ่งวินเซิร์ฟที่นำมาใช้ในการทดลองออกเป็นประเภทตามขนาดและความหนาแน่นของแผ่นโพลีไวนิลคลอไรด์, ผ้าใยแก้วและผ้าคาร์บอน โดยมีชนิดของวินเซิร์ฟตามตารางด้านล่าง

ชนิดของวินเซิร์ฟ	แผ่นโพลีไวนิลคลอไรด์		ผ้าใยแก้ว (g./cm ³)	ผ้าคาร์บอน (g./cm ³)
	ความหนา (mm.)	ความหนาแน่น (g./cm ³)		
Windsurf 1	3	0.1	0.1	-
Windsurf 2	3	0.1	0.06	-
Windsurf 3	3	0.08	0.06	-
Windsurf 4	3	0.08	0.06	0.15

ตารางที่ 3.1 แสดงชนิดของวินเซิร์ฟที่ใช้ในการทดลอง

3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

3.2.1 ชิ้นงาน ชิ้นงานที่ใช้ในการทดลองนั้นเป็นผลิตภัณฑ์วินเซิร์ฟที่ผลิตขึ้นตามการออกแบบของลูกค้า ซึ่งประกอบด้วย โฟมโพลีสไตรีน, ผ้าใยแก้ว, ผ้าคาร์บอน และแผ่นโพลีไวนิลคลอไรด์



รูปที่ 3.1 แสดงแผ่นโพลีไวนิลคลอไรด์ขนาด 3 มิลลิเมตร [1]



รูปที่ 3.2 แสดงผ้าใยแก้ว [1]

3.2.2 ไมโครโฟน USB Digital Noise Cancelling Speech Mic

การทำงานแบบ USB 2.0 ความเร็วเต็มรูปแบบ

ข้อกำหนดเกี่ยวกับอุปกรณ์ USB audio class V1.0

รองรับ USB suspend / resume อัตราการสุ่มตัวอย่างการบันทึก 48KHz สำหรับการใช้งาน Mic

ในโหมดบันทึกเท่านั้น Plug and Play

ช่วงความไว: $-58 + 1 \text{ dB}$ ที่ 1KHz ($0 \text{ dB} = 1\text{V} / \text{uba}$) $RL = 2.2\text{K}$ $VCC = 3.0\text{V}$

ความต้านทาน: $2.2\text{K} + 30\%$ ที่ 1KHZ ($RL = 2.2\text{K}$)

การตอบสนองต่อความถี่: ตามรูปที่ 3

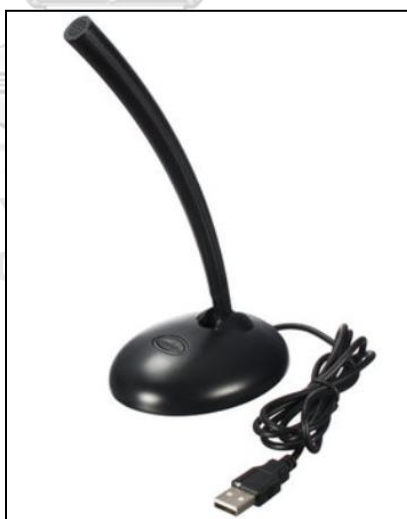
อัตราส่วน S / N: มากกว่า 58dB

อินพุตสูงสุดระดับเสียง: 115dB SPL

แรงดันไฟฟ้าที่ใช้งาน: 2.0V (1.1 ~ 10V)

ขนาด: 19.5 x 9 x 8 ซม

น้ำหนัก: ประมาณ 88 g.



รูปที่ 3.3 แสดงภาพไมโครโฟน USB Digital Noise Cancelling Speech Mic

3.2.3 ตัวยึดเคาะที่ทำจากเหล็กแล้วพ่นด้วยผ้าความหนาแน่น 100 กรัม ผสานผ้าให้ติดกันด้วย
น้ำยาเรซิน ผ่านการตัดแต่งรูปทรงให้จับถนัดมือและมีการควบคุมน้ำหนักให้อยู่ในช่วง 130-140 กรัม



รูปที่ 3.4 แสดงด้ามเคาะ [1]

3.2.4 โต้ะวางเรือ 2 ตัว ไ่ว่างเรือทางด้านหัวเรือและท้ายเรือ



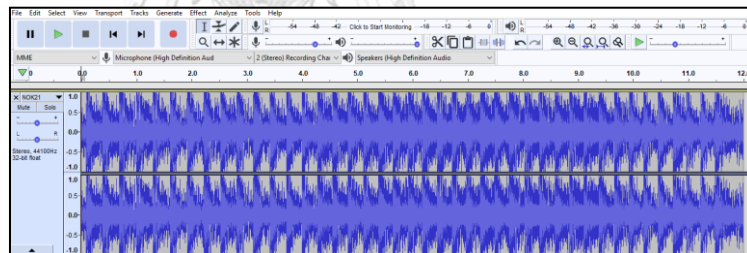
รูปที่ 3.5 แสดงโต้ะวางเรือ และเรือ [1]

3.2.5 พนักงานตรวจสอบคุณภาพที่กระบวนการเคาะเรือ



รูปที่ 3.6 แสดงกระบวนการเคาะเรือ [1]

3.2.5 โปรแกรมบันทึกเสียง Audacity



รูปที่ 3.7 แสดงโปรแกรม Audacity ขณะบันทึกเสียง

3.2.6 โปรแกรม Matlab R2018a

```

Editor - C:\Users\wan10\Documents\MATLAB\Area2.m
RealcutsoundRMSwav.m  test soundtest1.m  Untitled4.m  Untitled5.m  Untitled.m  Area1.m  Area2.m  Area4.m  Area5.m
1 -
2 -   clear all;
3 -   close all;
4 -   clear all;
5 -   Fs = 1000; %sampling frequency
6 -   [y1, Fs] = audioread('ok45.wav');
7 -   fft_data = fft(y1);
8 -
9 -   [N,n] = size(y1);
10 -   t = (0:(N-1))/N*Fs;
11 -   tt = 1/Fs;
12 -   tt = (0:tt*(N-1));
13 -   freq = f(1:N/2);
14 -   figure(3); plot(tt, y1); grid; zoom on;
15 -   fft_data = fft(y1(:,1))/N*2;
16 -   gain = abs(fft_data(1:N/2));
17 -   Fgain = gain.^2;
18 -   figure(4); plot(freq, gain); zoom on; grid;
19

```

รูปที่ 3.8 แสดงโปรแกรม Matlab

3.3 ขั้นตอนการดำเนินการทดลอง

- 3.3.1 เตรียมวินเซิร์ฟรุ่นที่ต้องการทดสอบเสียงที่เกิดจากการเคาะ วางลงบนโต๊ะสำหรับเคาะเรือที่ละลำ
- 3.3.2 วางไมโครโฟนห่างจากวินเซิร์ฟเป็นระยะประมาณ 50 เซนติเมตร โดยใช้จุดกลางลำเรือเป็น จุดอ้างอิง เพื่อให้การบันทึกเสียงเสมือนการใช้งานจริง
- 3.3.3 จำแนกประเภทของวินเซิร์ฟที่นำมาใช้ในการทดลองโดยจำแนกตามขนาดและความหนาแน่นของแผ่นโพลีไวนิลคลอไรด์, ผ้าใยแก้ว และผ้าคาร์บอน จากนั้นบันทึกหมายเลข lay up ลงในตารางของวินเซิร์ฟแต่ละประเภท
- 3.3.4 เริ่มการตรวจสอบวินเซิร์ฟด้วยการเคาะบริเวณที่มีโครงสร้างเป็นชั้นผ้าใยแก้ว, ผ้าคาร์บอน และ แผ่นโพลีไวนิลคลอไรด์ ซึ่งเป็นบริเวณที่เลือกศึกษา โดยพนักงานจะเคาะเรือด้วยน้ำหนักคงที่ตลอดการเคาะ โดยจะเริ่มเคาะที่ด้าน Deck ก่อนแล้วจึงไปเคาะด้าน Bottom โดยในแต่ละด้านจะเริ่มเคาะที่ขอบเรือแล้วสลับขึ้นลงเป็นรูปฟันปลาจนไปสุดลำเรือ
- 3.3.5 ในระหว่างการเคาะเมื่อพบจุดที่มีการไม่ยึดติดซึ่งเป็นการตัดสินจากพนักงานผู้ทำการเคาะ ให้เริ่มกดบันทึกเสียง โดยใช้โปรแกรมอัดเสียง Audacity พนักงานเคาะจุดที่พบการไม่ยึดติดต่อเนื่องกันเป็นเวลา 8 วินาที
- 3.3.6 หยุดบันทึกเสียงและเก็บไฟล์เสียงเป็นไฟล์นามสกุล .wav และถ่ายรูปชิ้นงานตรงจุดที่พบการไม่ยึดติด โดยการเคาะ 1 จุดจะถูกบันทึกเป็นผลการทดลอง 1 ไฟล์
- 3.3.7 จากนั้นพนักงานจะเริ่มเคาะวินเซิร์ฟต่อ และเมื่อพบจุดที่มีการยึดติดกันซึ่งตัดสินโดยพนักงานผู้ทำการเคาะ จะเริ่มกดบันทึกเสียง โดยเคาะต่อเนื่องกันเป็นเวลา 8 วินาที เช่นเดียวกับจุดที่มีการไม่ยึดติดหยุดบันทึกเสียงและเก็บไฟล์เสียงเป็นไฟล์นามสกุล .wav
- 3.3.8 บันทึกเสียงของจุดที่มีการยึดติด และ จุดที่มีการยึดติดบางส่วนหรือจุดที่ไม่มีการยึดติด อย่างละ 30 จุด ต่อวินเซิร์ฟ 1 ประเภท

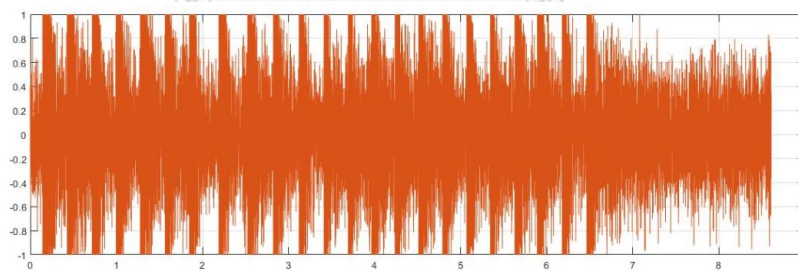


(a)

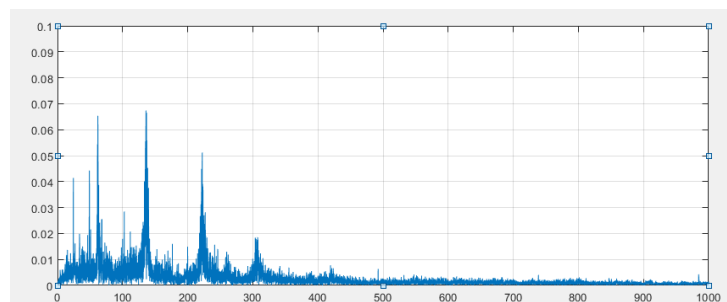
(b)

รูปที่ 3.9 แสดงการยึดติดกันของแผ่นโพลีไวนิลคลอไรด์และผ้าใยแก้ว (a) และการไม่ยึดติดของแผ่นโพลีไวนิลคลอไรด์และผ้าใยแก้ว (b) การยึดติดกันของแผ่นโพลีไวนิลคลอไรด์และผ้าใยแก้ว [1]

3.3.9 แปลงสัญญาณของไฟล์เสียงของจุดที่มีการยึดติด และจุดที่ไม่มีการยึดติด ให้อยู่รูปของโดเมนเวลา (Time Domain) และโดเมนความถี่ (Frequency domain) ด้วยวิธีการการแปลงฟูเรียร์อย่างรวดเร็ว (Fast Fourier Transform) โดยใช้โปรแกรม Matlab R2018a



รูปที่ 3.10 แสดงการแปลงสัญญาณเสียงให้อยู่ในรูปของโดเมนเวลา

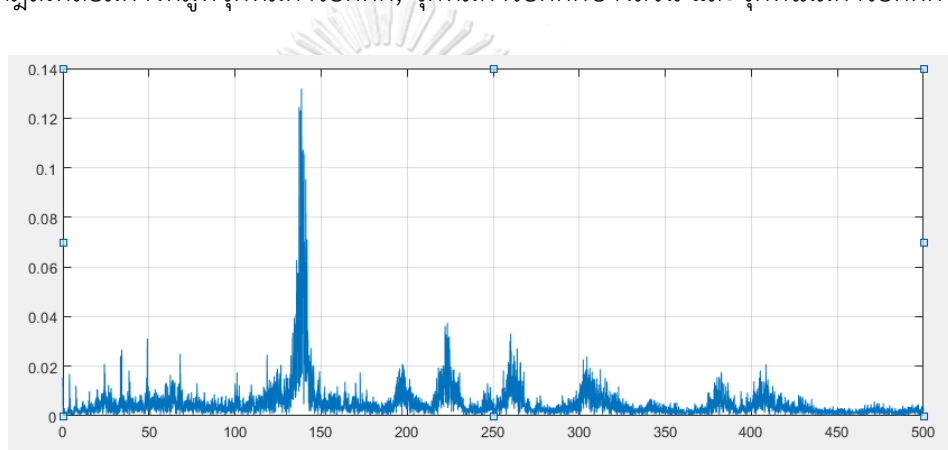


รูปที่ 3.11 แสดงการแปลงสัญญาณเสียงให้อยู่ในรูปของโดเมนความถี่

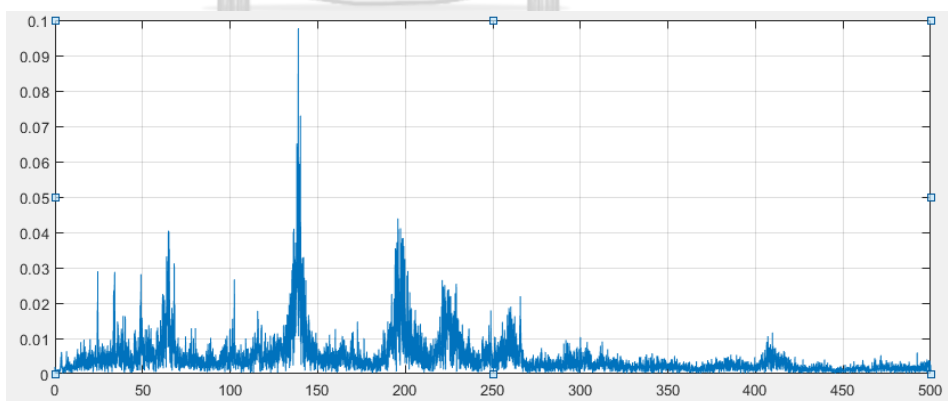
3.3.10 วิเคราะห์สัญญาณทั้งในโดเมนความถี่และโดเมนเวลา เพื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณเสียงกับประเภทการยึดติดกันของ แผ่นโพลีไวนิลคลอไรด์, ฝ้าใยแก้ว และผ่านคาร์บอน และเสียงรบกวนที่เกิดขึ้นระหว่างการเคาะ

3.3.11 วิเคราะห์หาความถี่การยึดติดจากสัญญาณที่อยู่ในรูปของโดเมนความถี่ โดยอ้างอิงจากลักษณะทางกายภาพของพื้นผิวที่ถูกตัดเพื่อดูการยึดติด

3.3.12 คำนวณพื้นที่ใต้กราฟที่ความถี่การยึดติดของสัญญาณที่อยู่ในรูปของโดเมนความถี่ โดยการใช้กฎสี่เหลี่ยมคางหมูที่จุดที่มีการยึดติด, จุดที่มีการยึดติดบางส่วน และจุดที่ไม่มีการยึดติด



รูปที่ 3.12 แสดงสัญญาณเสียงในรูปของโดเมนความถี่ของจุดที่มีการยึดติด



รูปที่ 3.13 แสดงสัญญาณเสียงในรูปของโดเมนความถี่ของจุดที่ไม่มีการยึดติด

3.3.13 หลังจากการคำนวณพื้นที่ใต้กราฟจุดที่มีการยึดติด, จุดที่มีการยึดติดบางส่วนและจุดที่ไม่มีการยึดติดแล้วจึงนำไป plot กราฟเทียบกับวินเซอร์ฟหมายเลขต่างๆ เพื่อค้นหา pattern recognition ของการยึดติด

3.4 การจัดทำมาตรฐานคัดแยกของดีและของเสียของเรือแต่ละรุ่น

เมื่อได้จำนวนจุดของจุดที่มีการยึดติด และจุดที่มีการยึดติดบางส่วนหรือจุดที่ไม่มีการยึดติด อย่างละ 30 จุดต่อวินเซอร์ฟ 1 ประเภทแล้วให้นำมาพล็อตกราฟกับจำนวนจุด จากนั้นใช้เทคนิคการรู้จำแบบโดยการลากเส้นแบ่งแบบ arbitrary ระหว่างจุดที่มีการยึดติดและจุดที่ไม่มีการยึดติดเพื่อกำหนดขอบเขตของการยึดติด และกำหนดพื้นที่ที่เริ่มมีการไม่ยึดติด โดยใช้พื้นที่ของจุดสุดท้ายที่มีการยึดติดแบบสมบูรณ์ โดยทำให้ครบทั้งวินเซอร์ฟ 4 ประเภท



บทที่ 4

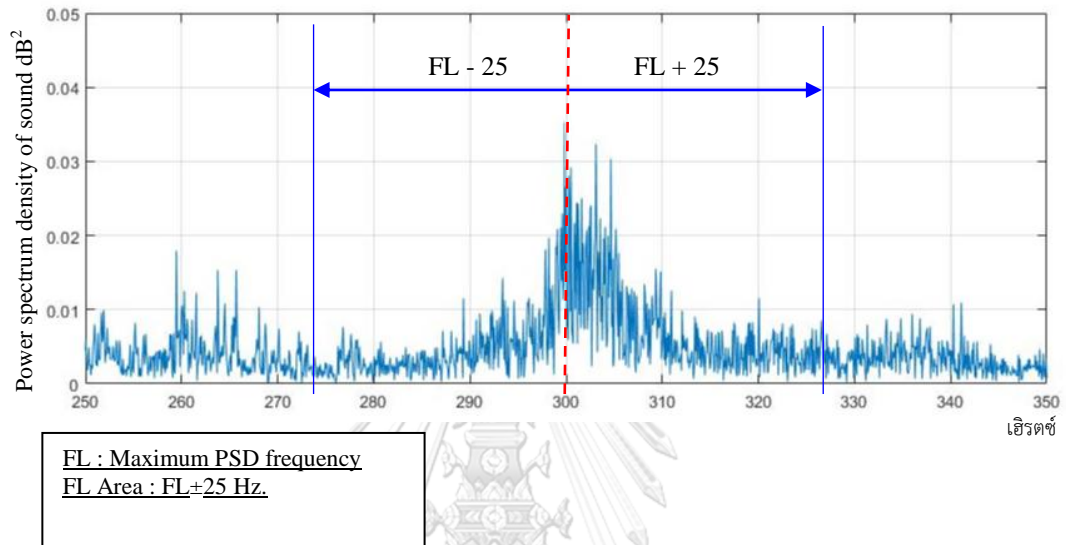
ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

ในบทนี้จะกล่าวถึงการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของสัญญาณจากเซนเซอร์เสียงที่ได้จากการเคาะ กับลักษณะการยึดติด เพื่อจำแนกลักษณะการยึดติดระหว่างผ้าใยแก้ว, ผ้าคาร์บอนและแผ่นโพลีไวนิลคลอไรด์ โดยใช้ข้อมูลเสียงที่ได้จากการเคาะทั้งจุดที่มีการยึดติด, จุดที่มีการยึดติดบางส่วน และจุดที่ไม่มีการยึดติด จากนั้นนำมาวิเคราะห์ในโดเมนความถี่โดยใช้การแปลงฟูเรียร์แบบเร็วด้วยการใช้โปรแกรม Matlab โดยใช้พื้นที่ได้กราฟที่ความถี่การยึดติดมาเป็นเกณฑ์ในการจำแนกการยึดติด และจัดทำมาตรฐานจำแนกการยึดติดโดยใช้เทคนิคการรู้จำแบบจากการแบ่งแบบ Arbitrary โดยทำการทดลองกับวินเซิร์ฟทั้งหมด 4 ชนิด ที่ประกอบด้วยแผ่นโพลีไวนิลคลอไรด์, ผ้าคาร์บอนและผ้าใยแก้ว ที่มีความหนาและความหนาแน่นแตกต่างกัน ในการจำแนกลักษณะการยึดติดโดยจะแบ่งหัวข้อการวิเคราะห์เป็นดังนี้

4.1 ช่วงความถี่การยึดติดและความถี่ไม่ยึดติด

จากผลการทดลองการเคาะเพื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณเสียงกับลักษณะการยึดติดจากวินเซิร์ฟทั้ง 4 ชนิด รวมทั้งหมด 240 จุด โดยวินเซิร์ฟแต่ละประเภทจะมีจุดที่มีการยึดติด 30 จุดข้อมูลและจุดที่มีการยึดติดบางส่วนหรือจุดที่ไม่มีการยึดติด 30 จุดข้อมูล รวมเป็น 60 จุดข้อมูลต่อวินเซิร์ฟ 1 ประเภท โดยผลการทดลองพบว่า สัญญาณเสียงที่เกิดจากการเคาะในรูปของโดเมนความถี่นั้นจะปรากฏความถี่ที่เด่นชัดค่าหนึ่ง [34] สำหรับจุดที่มีการยึดติดโดยสมบูรณ์ ซึ่งเราให้นิยามความถี่นี้ว่า “ความถี่การยึดติด” โดยวินเซิร์ฟแต่ละประเภทจะปรากฏความถี่การยึดติดที่ต่างกัน ซึ่งในการคำนวณพื้นที่ได้กราฟที่ความถี่การยึดติดนั้น จำเป็นจะต้องมีการกำหนดขอบเขตของความถี่ที่ใช้ในการคำนวณ เพราะฉะนั้นจึงต้องพิจารณาช่วงที่เริ่มเกิดความถี่การยึดติดของวินเซิร์ฟแต่ละประเภท

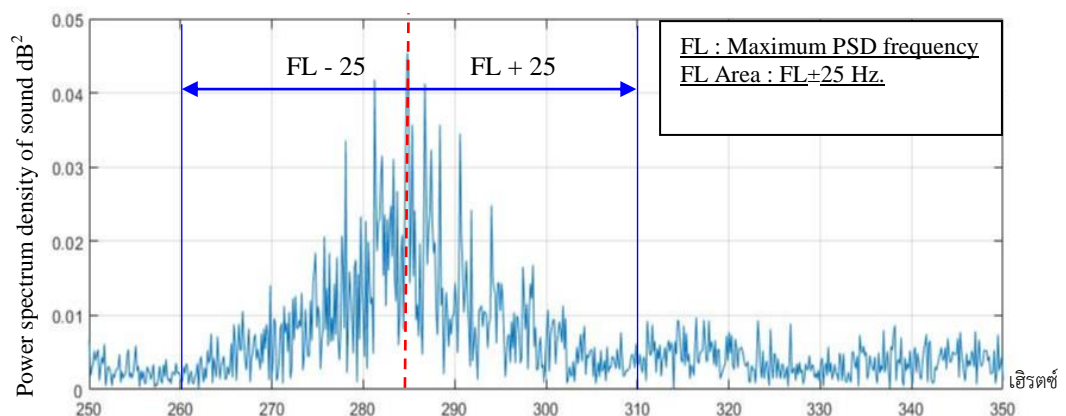
วินเซอร์ฟ 1 พิจารณาสัญญาณเสียงในโดเมนความถี่ที่จุดที่มีการยึดติดของวินเซอร์ฟ 1 พบว่า ความถี่การยึดติดปรากฏที่ 301.5 Hz โดยความถี่การยึดติดจะเริ่มต้นที่ 276.5 Hz และสิ้นสุดที่ 326.5 Hz โดยมีช่วงขอความถี่การยึดติดอยู่ที่ ± 25 Hz



รูปที่ 4.1 แสดงช่วงความถี่การยึดติดของวินเซอร์ฟ 1

วินเซอร์ฟ 2

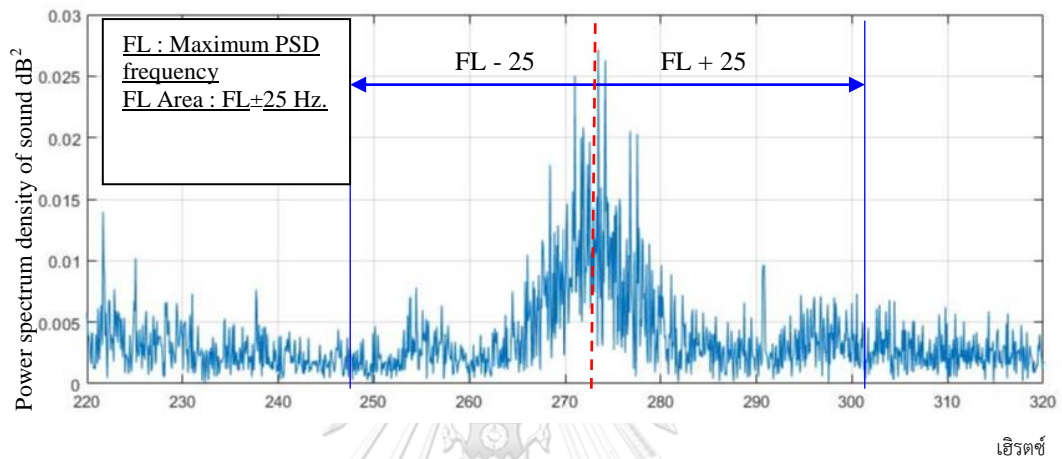
พิจารณาสัญญาณเสียงในโดเมนความถี่ที่จุดที่มีการยึดติดของวินเซอร์ฟ 2 พบว่า ความถี่การยึดติดปรากฏที่ 285.4 Hz โดยความถี่การยึดติดจะเริ่มต้นที่ 260.4 Hz และสิ้นสุดที่ 310.4 Hz โดยมีช่วงขอความถี่การยึดติดอยู่ที่ ± 25 Hz



รูปที่ 4.2 แสดงช่วงความถี่การยึดติดของวินเซอร์ฟ 2

วินเซอร์ฟ 3

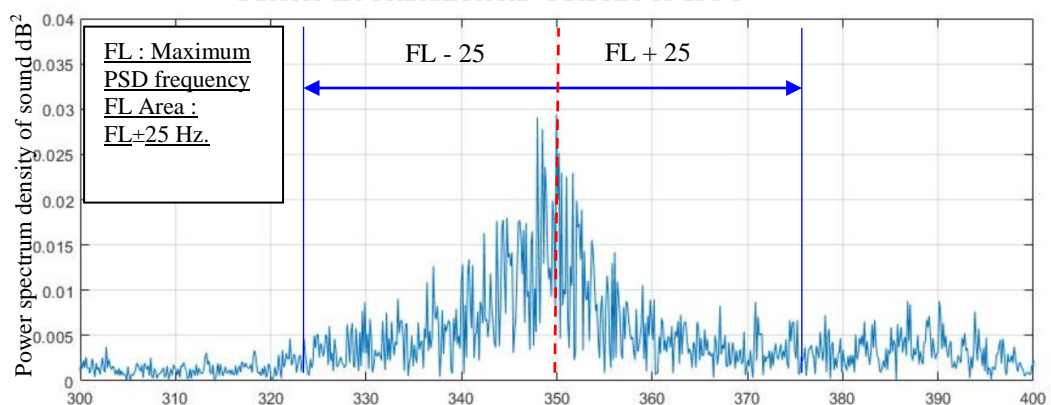
พิจารณาสัญญาณเสียงในโดเมนความถี่ที่จุดที่มีการยึดติดของวินเซอร์ฟ 3 พบว่า ความถี่การยึดติดปรากฏที่ 274.6 Hz โดยความถี่การยึดติดจะเริ่มต้นที่ 249.6 Hz และสิ้นสุดที่ 299.6 Hz โดยมีช่วงขอความถี่การยึดติดอยู่ที่ ± 25 Hz



รูปที่ 4.3 แสดงช่วงความถี่การยึดติดของวินเซอร์ฟ 3

วินเซอร์ฟ 4

พิจารณาสัญญาณเสียงในโดเมนความถี่ที่จุดที่มีการยึดติดของวินเซอร์ฟ 4 พบว่า ความถี่การยึดติดปรากฏที่ 350.0 Hz โดยความถี่การยึดติดจะเริ่มต้นที่ 325.0 Hz และสิ้นสุดที่ 375.0 Hz โดยมีช่วงขอความถี่การยึดติดอยู่ที่ ± 25 Hz



รูปที่ 4.4 แสดงช่วงความถี่การยึดติดของวินเซอร์ฟ 4

เฮิร์ตซ์

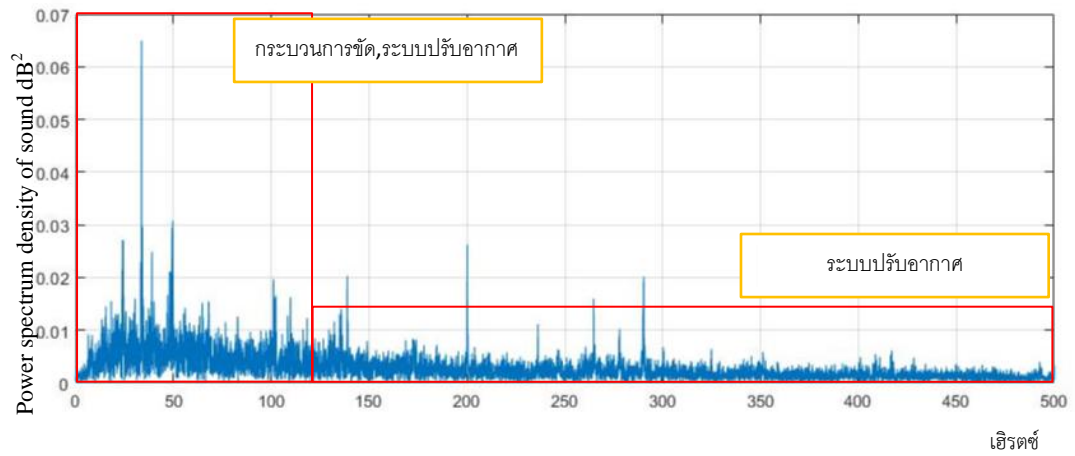
จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าวินเซอร์ฟทั้ง 4 ประเภทมีความถี่การยึดติดปรากฏอยู่ในช่วง ± 25 Hz เพราะฉะนั้นจึงเลือกช่วงความถี่นั้นมาใช้ในการคำนวณพื้นที่ใต้กราฟ

4.2 การบ่งชี้ความถี่จากสิ่งแวดล้อมและความถี่จากกระบวนการข้างเคียง

เนื่องจากกระบวนการตรวจสอบการยึดติดนี้ตั้งอยู่ในท่ามกลางกระบวนการอื่นในสายการผลิตวินเซอร์ฟ เพราะฉะนั้นจึงมีเสียงรบกวนจากกระบวนการอื่นและเสียงจากสิ่งแวดล้อมเกิดขึ้นระหว่างกระบวนการเคาะ จึงมีความจำเป็นที่จะต้องมีการบ่งชี้ความถี่จากสิ่งแวดล้อมและความถี่จากกระบวนการอื่นเหล่านี้ออกจากเสียงที่เกิดจากการเคาะ เพื่อกำจัดความคลาดเคลื่อนของผลการทดลอง ซึ่งวิธีการระบุเสียงที่เกิดจากกระบวนการอื่นนั้น ทำได้โดยการบันทึกเสียงของกระบวนการนั้นๆ แล้วนำไปแปลงให้อยู่ในรูปของโดเมนความถี่โดยใช้เทคนิคการแปลงฟูเรียร์แบบเร็ว ซึ่งพบว่าวิธีการนี้สามารถระบุความถี่ของแหล่งกำเนิดเสียงในสภาพแวดล้อมต่างๆได้ จึงสามารถแยกเสียงเหล่านี้ออกจากเสียงของการเคาะได้ โดยในการระบุความถี่ของกระบวนการต่างๆนั้น สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทคือ เสียงที่เกิดจากสิ่งแวดล้อมซึ่งเป็นเสียงที่เกิดขึ้นตลอดเวลา และเสียงที่เกิดจากกระบวนการต่างๆซึ่งเกิดขึ้นในระหว่างกระบวนการเคาะ ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

4.2.1 ความถี่ของสัญญาณเสียงจากสิ่งแวดล้อมซึ่งเป็นสถานะที่มีเสียงจากหลายแหล่งกำเนิด

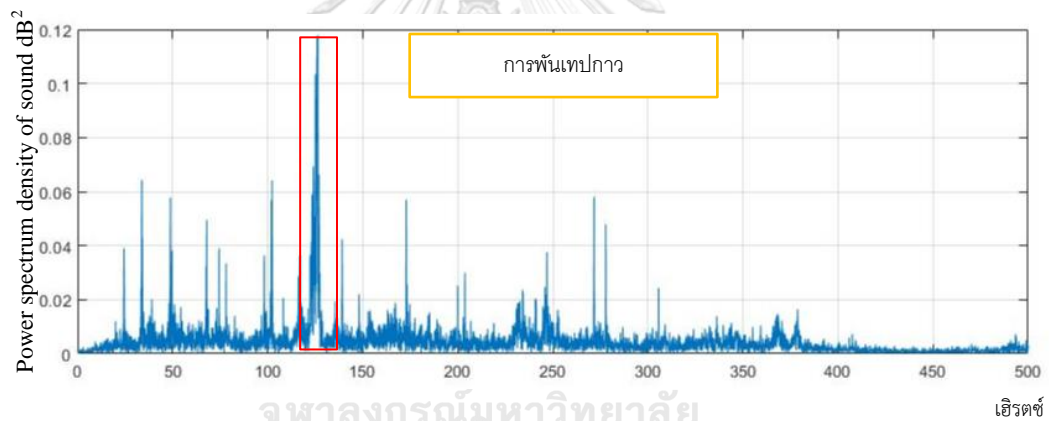
เกิดขึ้นในเวลาเดียวกัน จึงปรากฏความถี่หลายความถี่ในโดเมนความถี่ที่ได้จากการแปลงฟูเรียร์แบบเร็ว โดยสามารถระบุเป็นเสียงจากกระบวนการขัดวินเซอร์ฟ, เสียงของระบบปรับอากาศ โดยเสียงจากแหล่งกำเนิดสองแหล่งนี้จะเกิดขึ้นตลอดเวลา โดยจะปรากฏความถี่ในช่วง 0-120 Hz. ดังแสดงในภาพ โดยจะมีความถี่จากเสียงของสิ่งแวดล้อมเกิดขึ้นอยู่ตลอดเวลาดังปรากฏในภาพไปจนถึงความถี่ที่ 500 Hz.



รูปที่ 4.5 แสดงความถี่ของเสียงจากกระบวนการขัดวินเซิร์ฟและระบบปรับอากาศ

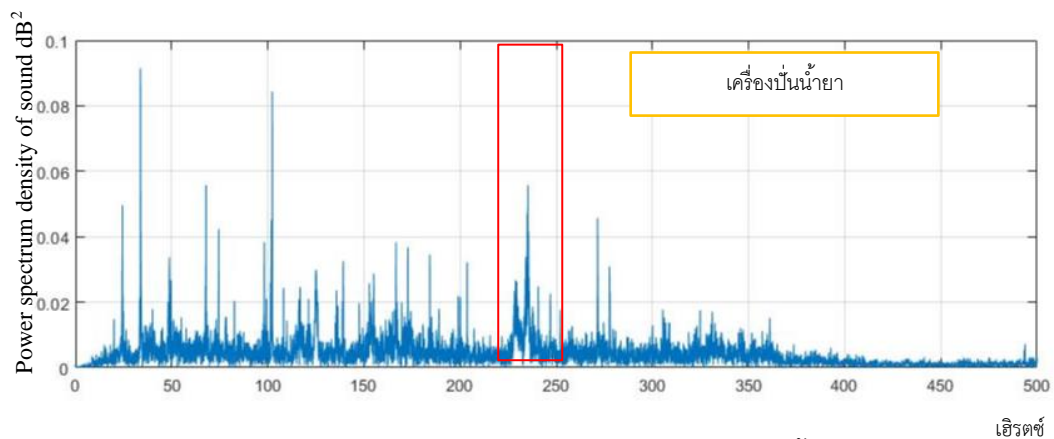
4.2.2 ความถี่ของเสียงจากสิ่งแวดล้อมที่ไม่ได้เกิดขึ้นตลอดเวลา สามารถบ่งชี้ได้เป็น

- เสียงของกระบวนการบีบอัดโฟม หรือเสียงการพันเทปกาวรอบโมลด์ ซึ่งเกิดขึ้นที่ความถี่ 127 Hz.



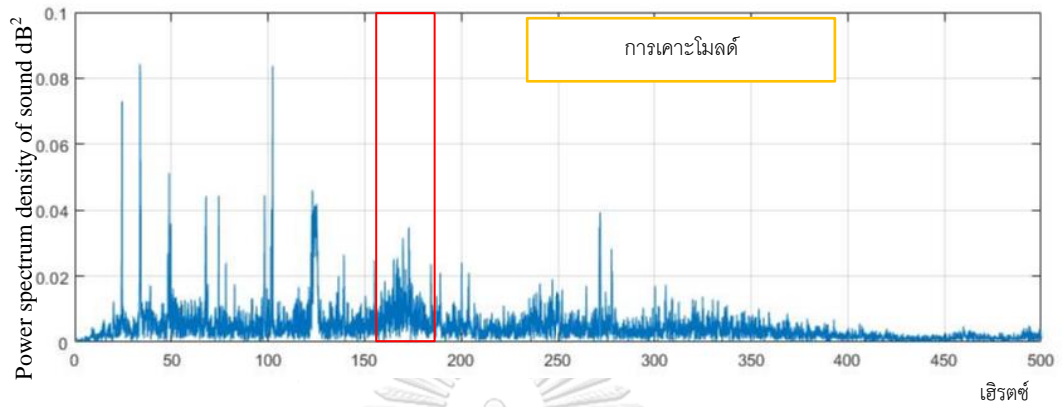
รูปที่ 4.6 แสดงความถี่ของเสียงที่เกิดจากการพันเทปกาวรอบโมลด์

- เสียงจากเครื่องปั้นน้ำยาที่ใช้ในกระบวนการบีบอัด โดยปรากฏที่ความถี่ 227 Hz.



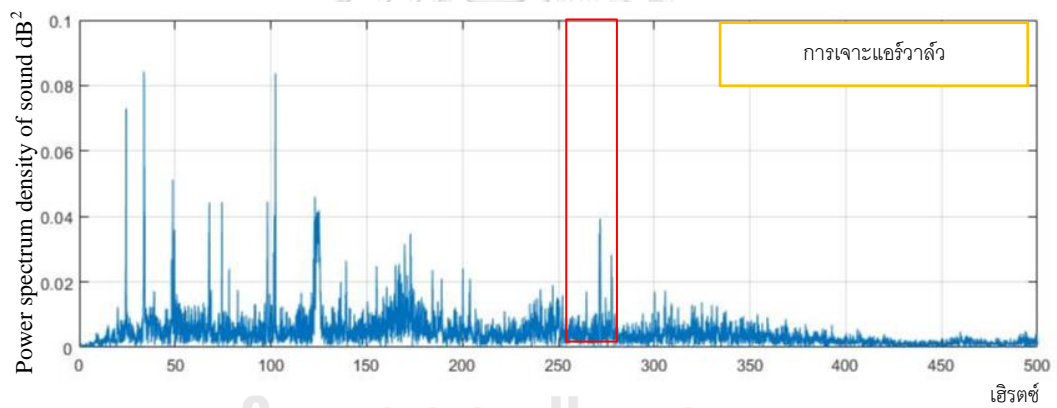
รูปที่ 4.7 แสดงความถี่ของเสียงที่เกิดจากเครื่องปั้นน้ำยา

- เสียงเคาะโมลด์เพื่อนำวินเซอร์ออกจากโมลด์หลังกระบวนการบีบอัด ซึ่งปรากฏที่ความถี่ 170 Hz.



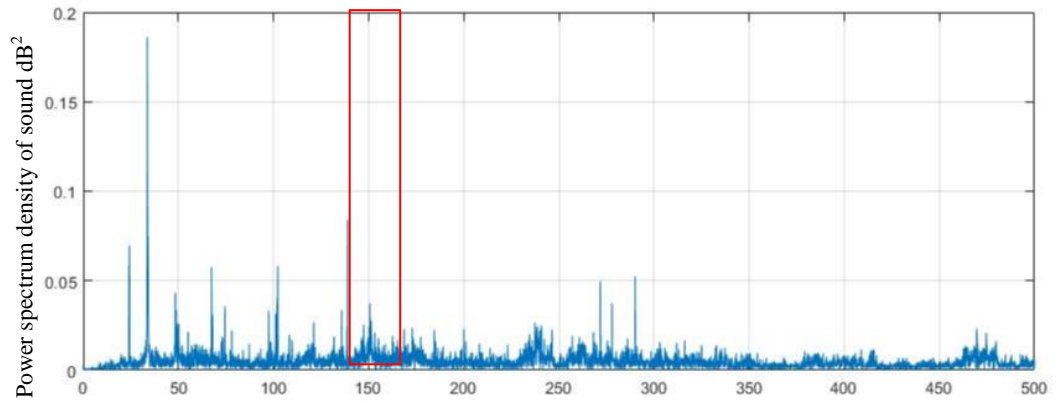
รูปที่ 4.8 แสดงความถี่ของเสียงที่เกิดจากการเคาะโมลด์

- เสียงที่เกิดจากกระบวนการเจาะรูแอร์วาล์ว ที่ ความถี่ 265 Hz.



รูปที่ 4.9 แสดงความถี่ของเสียงที่เกิดจากกระบวนการเจาะรูแอร์วาล์ว

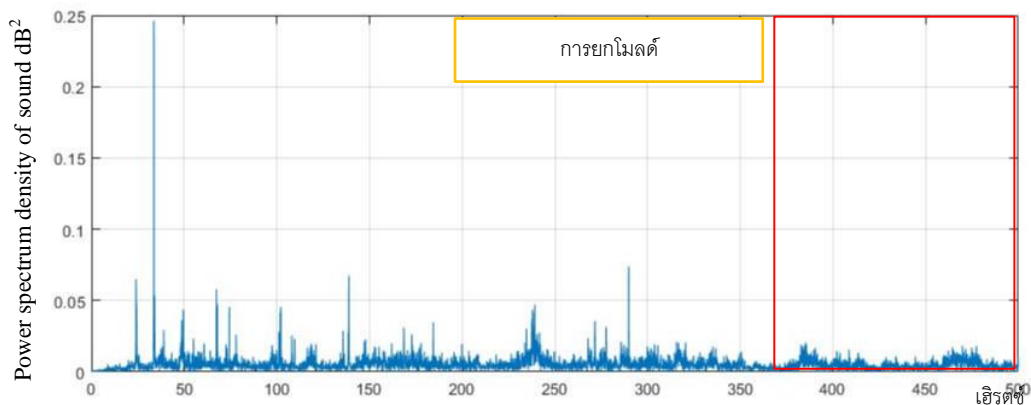
-เสียงที่เกิดจากกระบวนการแม่เหล็กกับโพลีที่ ความถี่ 150 Hz



รูปที่ 4.10 แสดงความถี่ของเสียงที่เกิดจากกระบวนการแม่เหล็กกับโพลี

เฮิร์ตซ์

-เสียงที่เกิดจากกระบวนการยกโมเลกุลขึ้นและลงจากเครื่องสูญญากาศ ที่ ความถี่ 380-500 Hz.



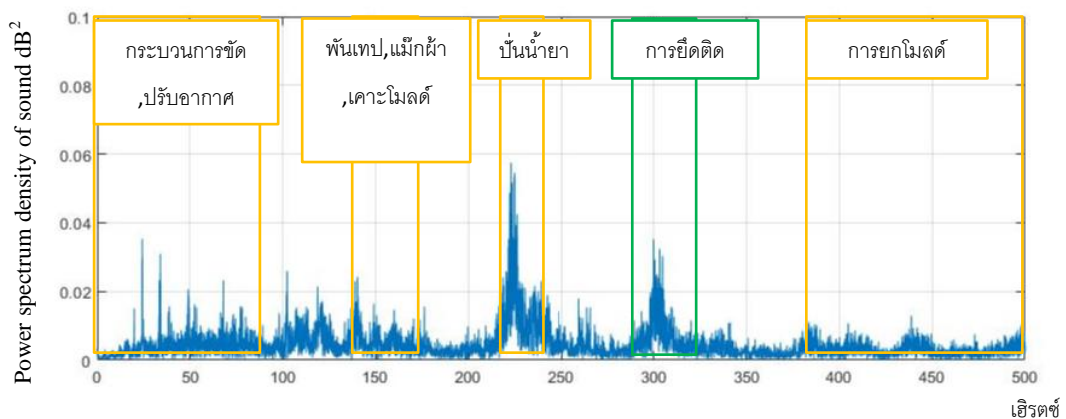
รูปที่ 4.11 แสดงความถี่ของเสียงที่เกิดจากกระบวนการยกโมเลกุลขึ้นและลงจากเครื่องสูญญากาศ

4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณเสียงกับการยึดติด

เมื่อนำสัญญาณเสียงที่ได้จากการเคาะมาวิเคราะห์ในโดเมนความถี่ พบว่ามีความถี่ที่สัมพันธ์กับการยึดติดอยู่สองความถี่ได้แก่ ความถี่การยึดติดซึ่งได้กล่าวไปแล้วในหัวข้อที่ 4.1 และความถี่การไม่ยึดติดซึ่งคือความถี่ที่ปรากฏเมื่อเกิดการไม่ยึดติดระหว่างแผ่นโพลีไวนิลคลอไรด์กับผ้าแก้วหรือผ้าคาร์บอน ส่วนความถี่อื่นที่ปรากฏเป็นความถี่ของสิ่งแวดล้อมที่อยู่รอบๆกระบวนการตรวจสอบดังที่ได้กล่าวไปในหัวข้อ 4.2 แล้ว

4.3.1 ความถี่การยึดติดและความถี่การไม่ยึดติดของวินเซิร์ฟ 1

จากโดเมนความถี่ของวินเซิร์ฟ 1 ในรูปที่ 4.12 พบว่ามีความถี่ที่ไม่ใช่ความถี่ของเสียงจากสิ่งแวดล้อม และเสียงจากกระบวนการอื่นปรากฏขึ้นอย่างเด่นชัดที่ความถี่ 301.5 Hz ซึ่งเมื่อพิจารณาลักษณะทางกายภาพของพื้นผิวแล้วพบว่า เป็นจุดที่มีการยึดติดระหว่างแผ่นโพลีไวนิลคลอไรด์และผ้าใยแก้วที่ดีเยี่ยม โดยการตัดพื้นผิวนั้นพบว่าเนื้อโฟมยังคงติดแน่นกับผ้าใยแก้ว และผ้าใยแก้วไม่แยกออกจากแผ่นโพลีไวนิลคลอไรด์ เราจึงนิยามความถี่ที่ 301.5 Hz ว่า “ความถี่การยึดติด” และเมื่อพิจารณารูปที่ 4.14 ซึ่งแสดงโดเมนความถี่ที่ปรากฏความถี่นอกเหนือจากความถี่ของสิ่งแวดล้อมและความถี่จากกระบวนการอื่นอย่างเด่นชัดอยู่สองความถี่ได้แก่ 301.5 Hz และ 202.7 Hz ซึ่งเมื่อพิจารณาลักษณะทางกายภาพจากการตัดพื้นผิวพบว่าแผ่นโพลีไวนิลคลอไรด์สามารถหลุดออกจากผ้าใยแก้วได้ แต่ก็ยังมีบางส่วนยึดติดอยู่กับแผ่นโพลีไวนิลคลอไรด์ และเมื่อพิจารณารูปที่ 4.16 ซึ่งแสดงโดเมนความถี่ที่ปรากฏความถี่นอกเหนือจากความถี่ของสิ่งแวดล้อมและความถี่จากกระบวนการอื่นอย่างเด่นชัดอยู่หนึ่งความถี่คือความถี่ที่ 202.7 Hz และเมื่อพิจารณาลักษณะทางกายภาพของพื้นผิวที่เกิดจากการตัดพื้นผิวพบว่าแผ่นโพลีไวนิลคลอไรด์แยกออกจากผ้าใยแก้วอย่างสมบูรณ์ เราจึงนิยามความถี่ที่ 202.7 Hz ว่า “ความถี่การไม่ยึดติด”

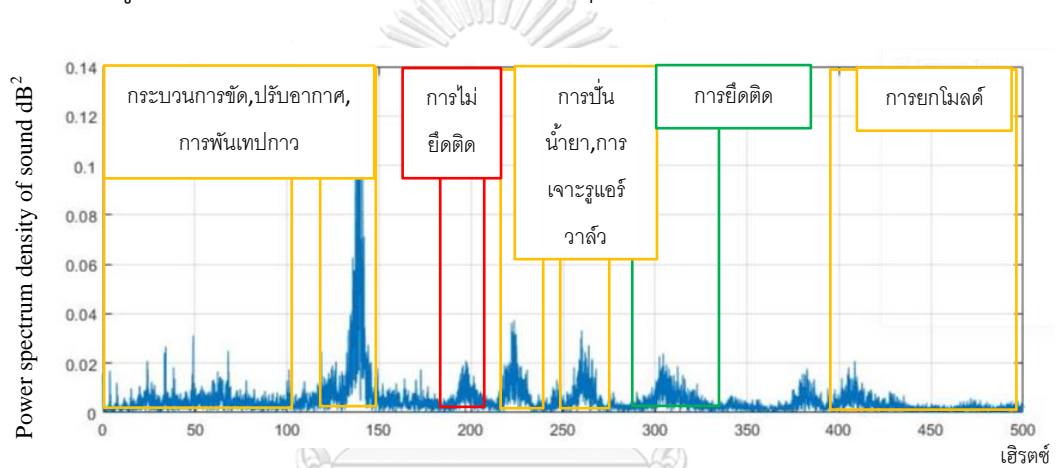


รูปที่ 4.12 แสดงความถี่การยึดติดของวินเซิร์ฟ 1

รูปที่ 4.12 แสดงความถี่การยึดติดของวินเซิร์ฟ 1 ที่ 301.5 Hz และ ความถี่จากเสียงของระบบปรับอากาศและการขัดวินเซิร์ฟที่ 0-120 Hz, ความถี่ของเสียงจากกระบวนการพื้นเทพกาวที่ 127 Hz , กระบวนการแม็กผ้ากับโฟมที่ ความถี่ 150 Hz, เสียงจากกระบวนการเคาะโมลด์ที่ 170 Hz, ความถี่ของเสียงจากกระบวนการป่นน้ำยาที่ 227 Hz และความถี่ของกระบวนการยกโมลด์ขึ้นและลงจากเครื่องสูญอากาศ ที่ ความถี่ 380-500 Hz.



รูปที่ 4.13 แสดงลักษณะทางกายภาพของจุดที่มีการยัดติดของวินเซิร์ฟ 1 [1]

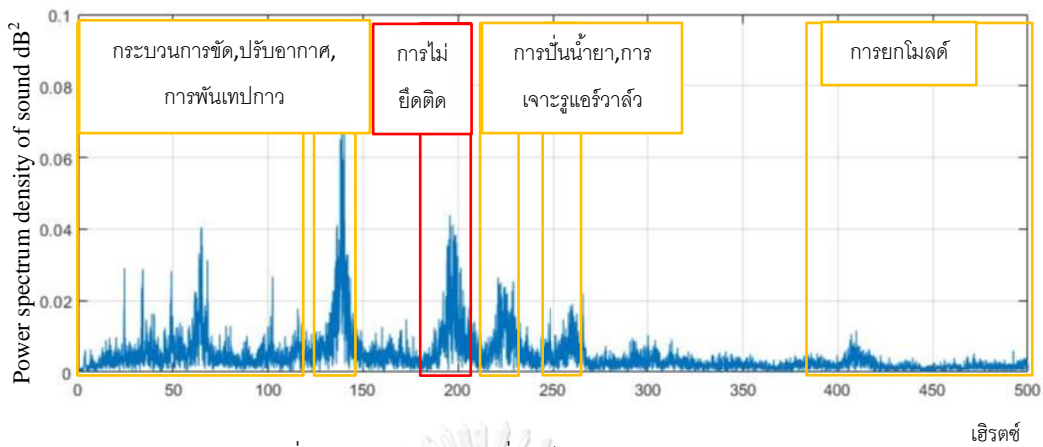


รูปที่ 4.14 แสดงความถี่การยัดติดและความถี่การไม่ยัดติดของวินเซิร์ฟ 1

รูปที่ 4.14 แสดงความถี่การยัดติดที่ 301.5 Hz และความถี่การไม่ยัดติดที่ 202.7 Hz ความถี่จากเสียงของระบบปรับอากาศที่ 0-120 Hz, ความถี่ของเสียงจากกระบวนการพันเทปกาวที่ 127 Hz, ความถี่ของเสียงจากกระบวนการปั่นน้ำยาที่ 227 Hz และความถี่ของเสียงจากกระบวนการเจาะรูแอร์วาล์วที่ 265 Hz. และความถี่ของกระบวนการยกโมลด์ขึ้นและลงจากเครื่องสูญญากาศ ที่ ความถี่ 380-500 Hz.

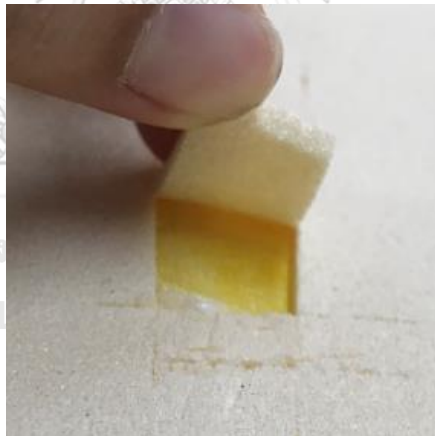


รูปที่ 4.15 แสดงลักษณะทางกายภาพของจุดที่มีการยัดติดบางส่วนของวินเซิร์ฟ 1 [1]



รูปที่ 4.16 แสดงความถี่การไม่ยึดติดของวินเซิร์ฟ 1

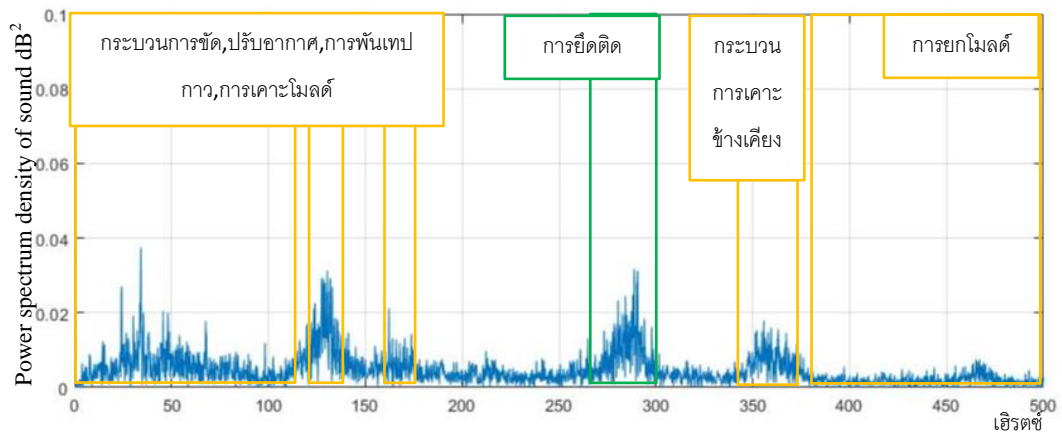
รูปที่ 4.16 แสดงความถี่การไม่ยึดติดที่ 202.7 Hz ความถี่จากเสียงของระบบปรับอากาศที่ 0-120 Hz, ความถี่ของเสียงจากกระบวนการพันเทปกาวที่ 127 Hz, ความถี่ของเสียงจากกระบวนการปั่นน้ำยาที่ 227 Hz และความถี่ของเสียงจากกระบวนการเจาะรูแอร์วาล์วที่ 265 Hz และความถี่ของกระบวนการยกโมลด์ขึ้นและลงจากเครื่องสูญอากาศ ที่ ความถี่ 380-500 Hz.



รูปที่ 4.17 แสดงลักษณะทางกายภาพของจุดที่ไม่ยึดติดของวินเซิร์ฟ 1 [1]

4.3.2 ความถี่การยึดติดและความถี่การไม่ยึดติดของวินเซิร์ฟ 2

ความถี่การยึดติดและความถี่การไม่ยึดติดของวินเซิร์ฟ 2 สามารถใช้การอธิบายเดียวกันกับวินเซิร์ฟ 1 โดยความถี่การยึดติดของวินเซิร์ฟ 2 ปรากฏที่ 285.4 Hz และความถี่การไม่ยึดติดปรากฏที่ 201.5 Hz

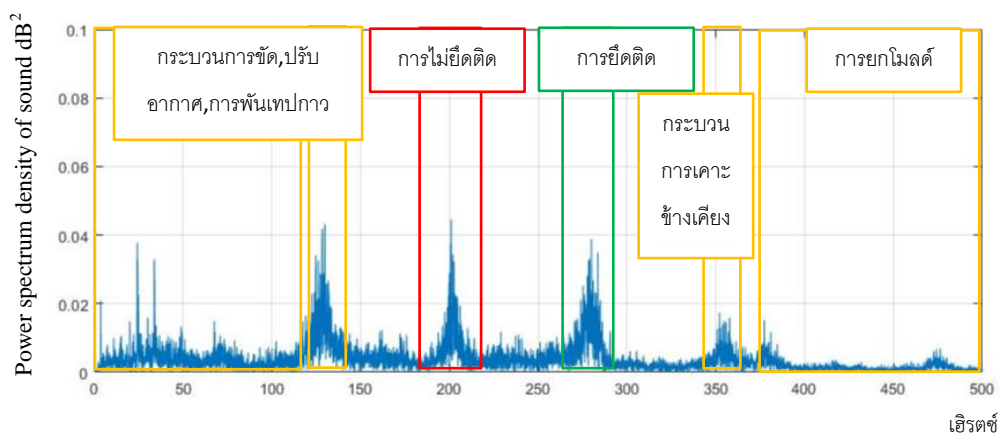


รูปที่ 4.18 แสดงความถี่การยึดติดของวินิลรีฟ 2

รูปที่ 4.18 แสดงความถี่การยึดติดของวินิลรีฟ 2 ที่ 285.4 Hz และ ความถี่จากเสียงของระบบปรับอากาศที่ 0-120 Hz, ความถี่ของเสียงจากกระบวนการพันเทปกาวที่ 127 Hz และความถี่ของเสียงจากกระบวนการเคาะโมลด์ที่ 170 Hz. และความถี่ของกระบวนการยกโมลด์ขึ้นและลงจากเครื่องสุญญากาศ ที่ ความถี่ 380-500 Hz. และความถี่ของเสียงจากกระบวนการเคาะข้างเคียงที่ 350 Hz



รูปที่ 4.19 แสดงลักษณะทางกายภาพของจุดที่มีการยึดติดของวินิลรีฟ 2 [1]

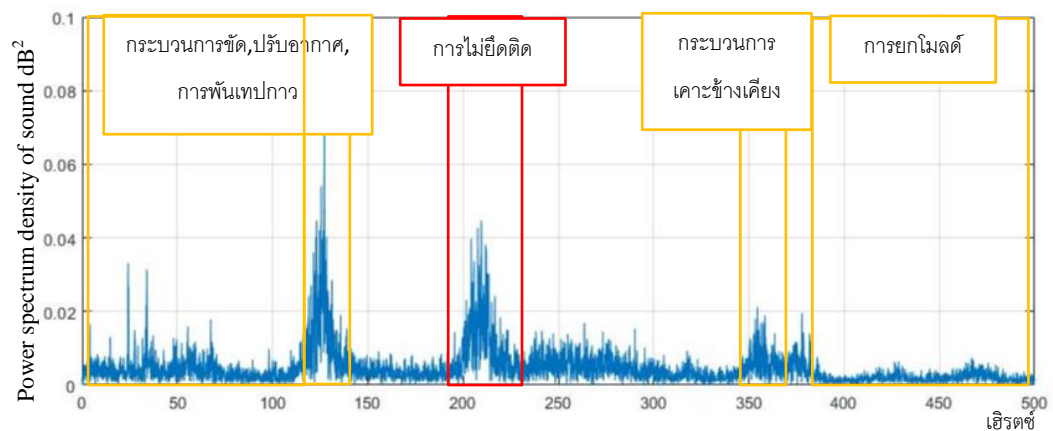


รูปที่ 4.20 แสดงความถี่การยึดติดและความถี่การไม่ยึดติดของวินิลรีฟ 2

รูปที่ 4.20 แสดงความถี่การยึดติดและความถี่การไม่ยึดติด และความถี่ของเสียงจากสิ่งแวดล้อม ที่ 0-120 Hz และความถี่จากกระบวนการพันเทปกาวที่ 127 Hz และความถี่ของกระบวนการยกโมลด์ขึ้นและลงจากเครื่องสุญญากาศ ที่ ความถี่ 380-500 Hz.และความถี่ของเสียงจากกระบวนการเคาะข้างเคียงที่ 350 Hz

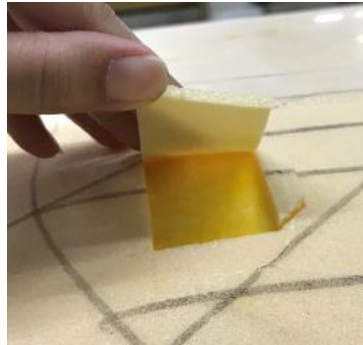


รูปที่ 4.21 แสดงลักษณะทางกายภาพจุดที่มีการยึดติดบางส่วนของวินเซิร์ฟ 2 [1]



รูปที่ 4.22 แสดงความถี่การไม่ยึดติดของวินเซิร์ฟ 2

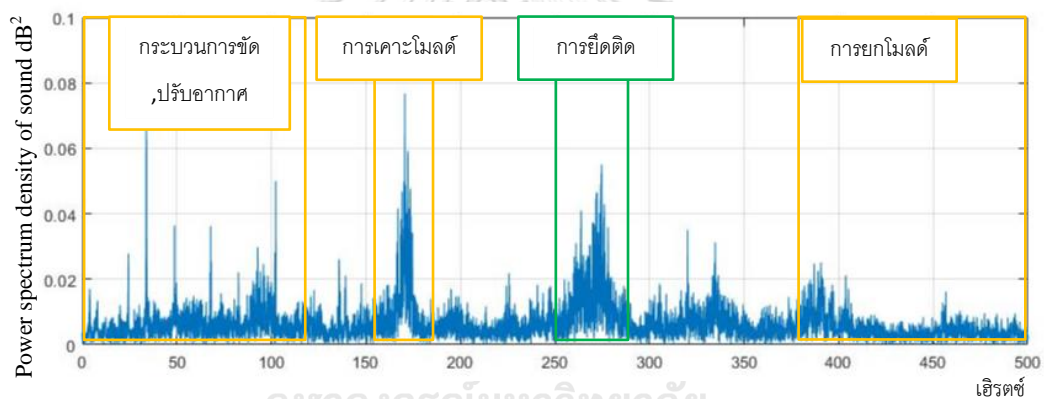
รูปที่ 4.22 แสดงความถี่การไม่ยึดติดซึ่งปรากฏอย่างเด่นชัด และความถี่ของเสียงจากสิ่งแวดล้อม 0-120 Hz, เสียงจากกระบวนการพันเทปกาว 127 Hz และความถี่ของกระบวนการยกโมลด์ขึ้นและลงจากเครื่องสุญญากาศ ที่ ความถี่ 380-500 Hz. และความถี่ของเสียงจากกระบวนการเคาะข้างเคียงที่ 350 Hz



รูปที่ 4.23 แสดงลักษณะทางกายภาพของจุดที่ไม่ยึดติดของวินเซิร์ฟ 2 [1]

4.3.3 ความถี่การยึดติดและความถี่การไม่ยึดติดของวินเซิร์ฟ 3

ความถี่การยึดติดและความถี่การไม่ยึดติดของวินเซิร์ฟ 3 สามารถใช้การอธิบายเดียวกันกับวินเซิร์ฟ 1 โดยความถี่การยึดติดของวินเซิร์ฟ 3 ปรากฏที่ 274.6 Hz และความถี่การไม่ยึดติดปรากฏที่ 201.5 Hz

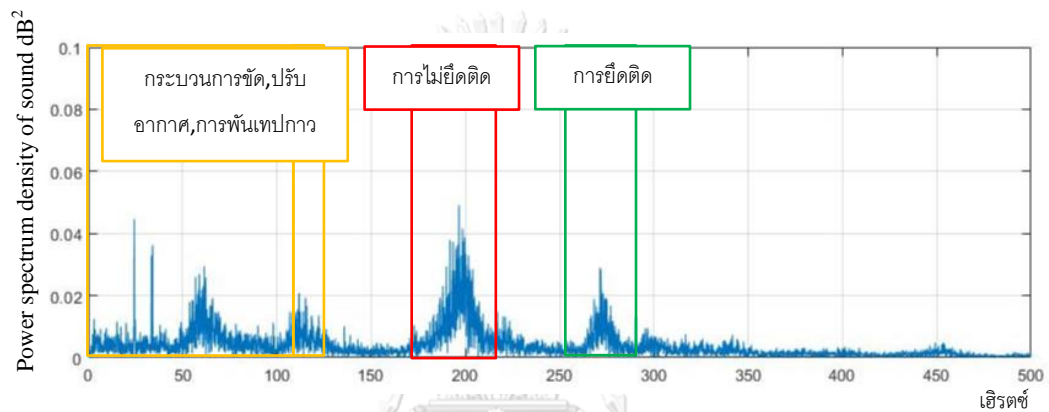


รูปที่ 4.24 แสดงความถี่การยึดติดของวินเซิร์ฟ 3

รูปที่ 4.24 แสดงความถี่การยึดติดที่ 274.6 Hz และความถี่จากเสียงของสิ่งแวดล้อมในช่วง 0-120 Hz, ความถี่จากเสียงของกระบวนการเคาะโมลด์ที่ 170 Hz และความถี่ของกระบวนการยกโมลด์ขึ้นและลงจากเครื่องสุญญากาศ ที่ ความถี่ 380-500 Hz.



รูปที่ 4.25 แสดงลักษณะทางกายภาพของจุดที่มีการยึดติดของวินเซิร์ฟ 3 [1]



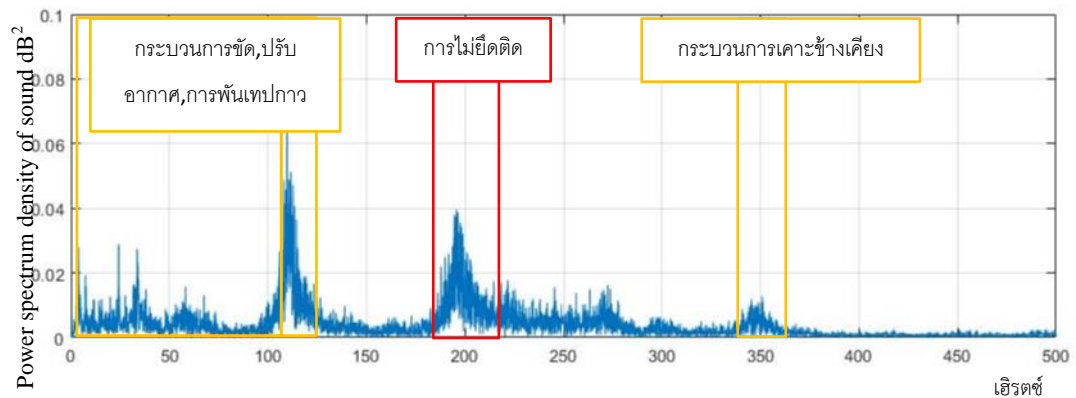
รูปที่ 4.26 แสดงความถี่การยึดติดและความถี่การไม่ยึดติดของวินเซิร์ฟ 3

รูปที่ 4.26 แสดงความถี่การยึดติดที่ 274.6 Hz และความถี่การไม่ยึดติดที่ 201.5 Hz และความถี่จากเสียงของสิ่งแวดล้อมในช่วง 0-120 Hz, ความถี่จากเสียงของกระบวนการพันเทปกาวที่ 127 Hz

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHUL



รูปที่ 4.27 แสดงลักษณะทางกายภาพจุดที่มีการยึดติดบางส่วนของวินเซิร์ฟ 3 [1]



รูปที่ 4.28 แสดงความถี่การไม่ยึดติดของวินเซิร์ฟ 3

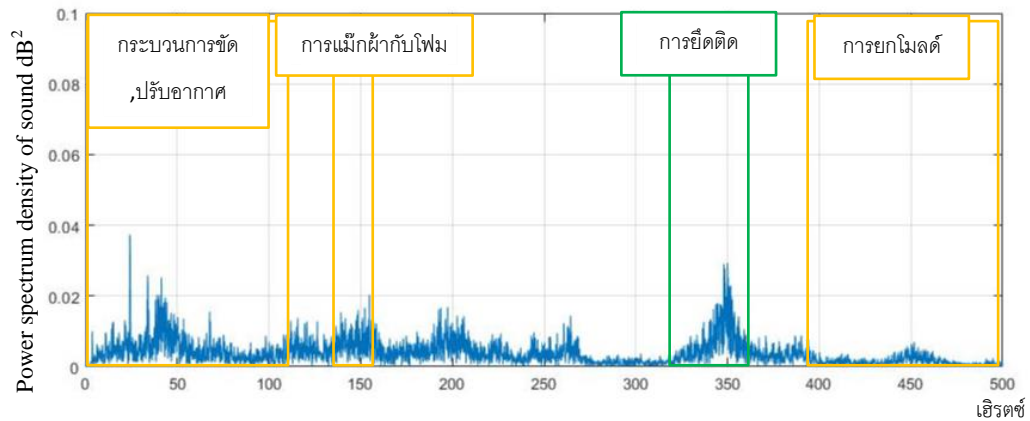
รูปที่ 4.28 แสดงความถี่การไม่ยึดติดที่ 201.5 Hz และความถี่จากเสียงของสิ่งแวดล้อมในช่วง 0-120 Hz, ความถี่จากเสียงของกระบวนการพันเทปกาวที่ 127 Hz และความถี่ของเสียงจากกระบวนการเคาะข้างเคียงที่ 350 Hz



รูปที่ 4.29 แสดงลักษณะทางกายภาพจุดที่ไม่มีการยึดติดของวินเซิร์ฟ 3 [1]

4.3.4 ความถี่การยึดติดและความถี่การไม่ยึดติดของวินเซิร์ฟ 4

ความถี่การยึดติดและความถี่การไม่ยึดติดของวินเซิร์ฟ 4 สามารถใช้การอธิบายเดียวกันกับวินเซิร์ฟ 1 โดยความถี่การยึดติดของวินเซิร์ฟ 4 ปรากฏความถี่การยึดติดที่ 350.0 Hz และปรากฏความถี่ไม่ยึดติดที่ 262 Hz.

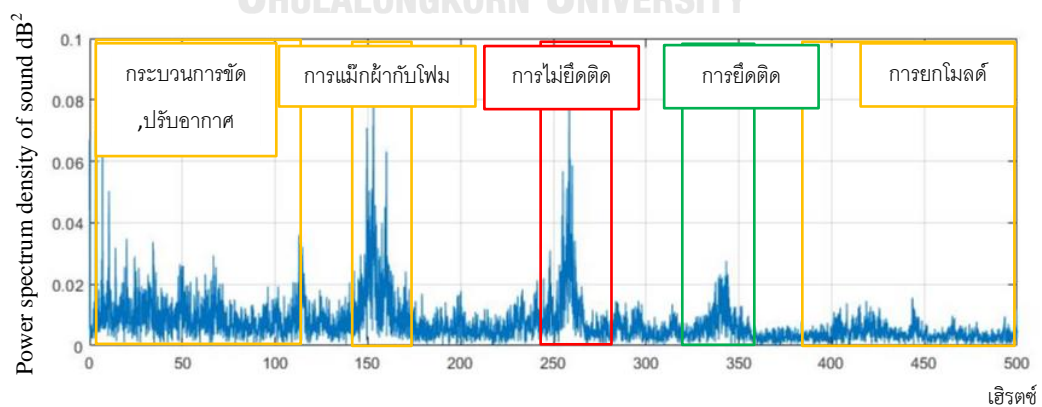


รูปที่ 4.30 แสดงความถี่การยึดติดของวินเซิร์ฟ 4

รูปที่ 4.30 แสดงความถี่การยึดติดที่ 350 Hz และความถี่จากเสียงของสิ่งแวดล้อมในช่วง 0-120 Hz, ความถี่จากเสียงของกระบวนการเม็กผ้ากับโฟมที่ 150 Hz และความถี่ของกระบวนการยกโมลด์ขึ้นและลงจากเครื่องสุญญากาศ ที่ ความถี่ 380-500 Hz.



รูปที่ 4.31 แสดงลักษณะทางกายภาพของจุดที่มีการยึดติดของวินเซิร์ฟ 4 [1]

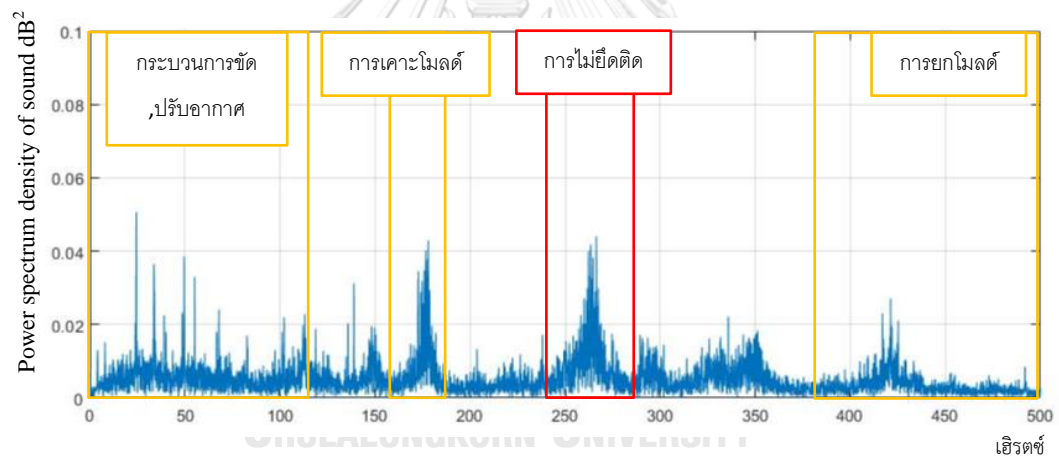


รูปที่ 4.32 แสดงความถี่การยึดติดและความถี่การไม่ยึดติดของวินเซิร์ฟ 4

รูปที่ 4.32 แสดงความถี่การยึดติดที่ 350.0 Hz และความถี่ไม่ยึดติดที่ 262 Hz และความถี่จากเสียงของสิ่งแวดล้อมในช่วง 0-120 Hz, ความถี่จากเสียงของกระบวนการแม็กผ้ากับโฟมที่ 150 Hz และความถี่ของกระบวนการยกโมลด์ขึ้นและลงจากเครื่องสุญญากาศ ที่ ความถี่ 380-500 Hz.



รูปที่ 4.33 แสดงลักษณะทางกายภาพของจุดที่มีการยึดติดบางส่วนของวินเซิร์ฟ 4 [1]



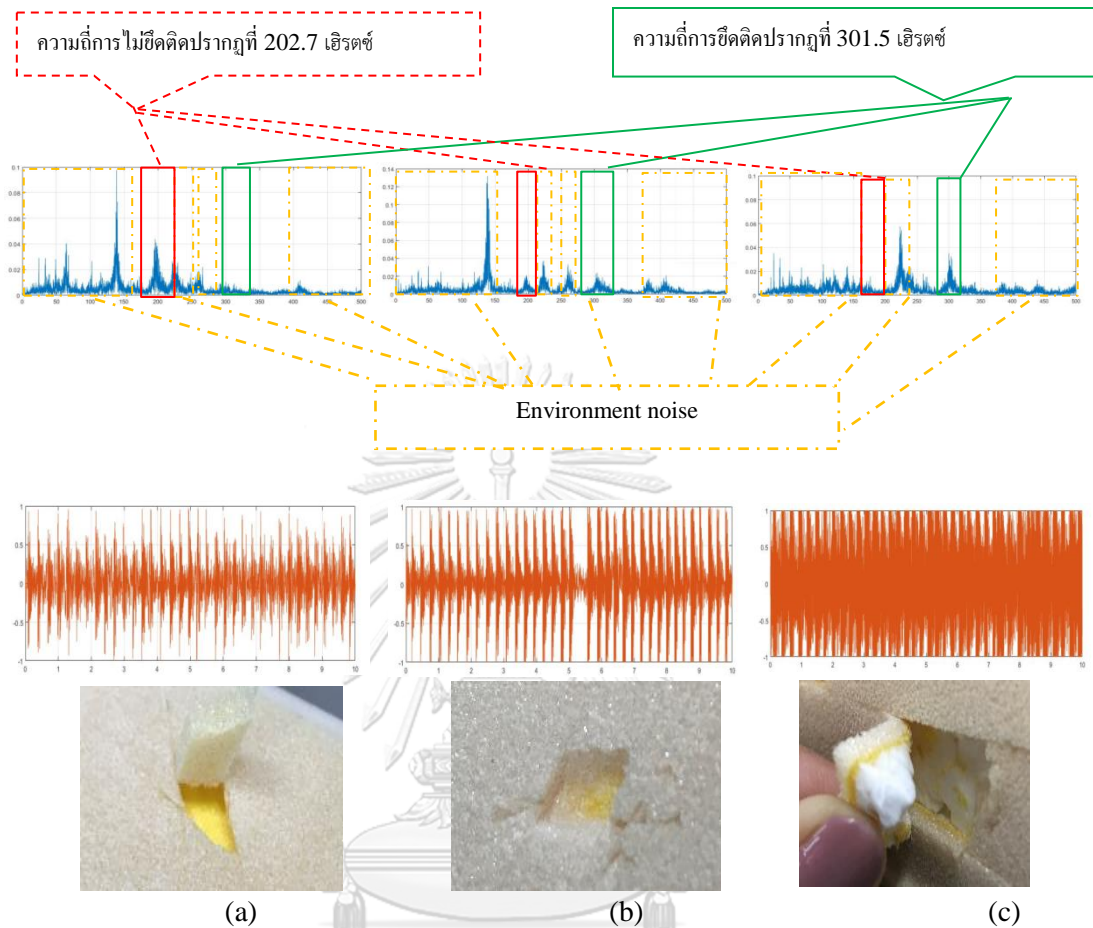
รูปที่ 4.34 แสดงความถี่การไม่ยึดติดของวินเซิร์ฟ 4

รูปที่ 4.34 แสดงความถี่การไม่ยึดติดที่ 267 Hz และความถี่จากเสียงของสิ่งแวดล้อมในช่วง 0-120 Hz, ความถี่จากเสียงของกระบวนการเคาะโมลด์ที่ 170 Hz และความถี่ของกระบวนการยกโมลด์ขึ้นและลงจากเครื่องสุญญากาศ ที่ ความถี่ 380-500 Hz.



รูปที่ 4.35 แสดงลักษณะทางกายภาพของจุดที่ไม่มีการยึดติดของวินเซิร์ฟ 4 [1]

จากการพิจารณาความถี่การยึดติดและความถี่การไม่ยึดติดของวินเซิร์ฟทั้ง 4 ชนิดสามารถอธิบายเป็นความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มพาวเวอร์สเปกตรัมที่ความถี่การยึดติดกับลักษณะทางกายภาพของพื้นผิวชนิดต่างๆได้แก่ จุดที่มีการยึดติด, จุดที่มีการยึดติดบางส่วน และจุดที่ไม่มีการยึดติด โดยจะยกตัวอย่างจากวินเซิร์ฟ 1 ดังนี้ พิจารณาสเปกตรัมที่ความถี่การยึดติดและความถี่การไม่ยึดติดของวินเซิร์ฟ 1 พบว่าความถี่การยึดติดปรากฏที่ 301.5 Hz และความถี่การไม่ยึดติดปรากฏที่ 202.7 Hz โดยความเข้มพาวเวอร์สเปกตรัมที่ความถี่การยึดติดตรงจุดที่มีการยึดติดมีค่าสูงที่สุดและจะค่อยๆ ลดลงเมื่อการยึดติดระหว่างแผ่นโพลีไวนิลคลอไรด์และผ้าใยแก้วลดลง ดังแสดงในรูปที่ ๓ จุดที่มีการยึดติดบางส่วนและจุดที่ไม่มีการยึดติด โดยความเข้มพาวเวอร์สเปกตรัมที่ความถี่การไม่ยึดติดจะเพิ่มขึ้นแทน โดยจุดที่มีการยึดติดบางส่วนจะปรากฏความเข้มพาวเวอร์สเปกตรัมทั้งที่ความถี่การยึดติดและความถี่การไม่ยึดติด



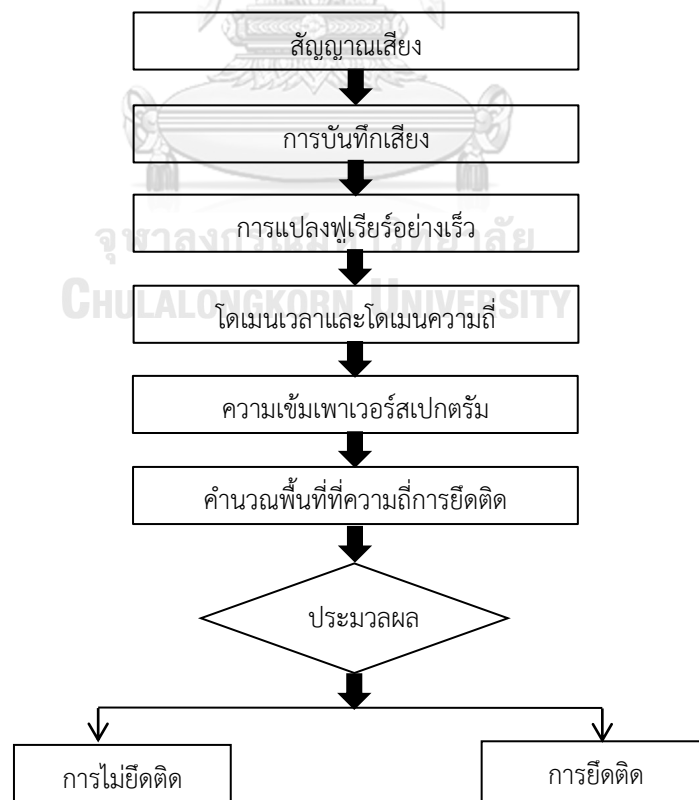
รูปที่ 4.36 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มพาวเวอร์สเปกตรัมกับลักษณะทางกายภาพ (a) จุดที่มีการยึดติด (b) จุดที่มีการยึดติดบางส่วน (c) จุดที่ไม่มีการยึดติด [1]

เมื่อเรียงลำดับความเข้มของพาวเวอร์สเปกตรัมที่ความถี่การยึดติดพบว่าจุดที่มีการยึดติดมีความเข้มพาวเวอร์สเปกตรัมสูงสุด และจุดที่มีการยึดติดบางส่วนมีความเข้มพาวเวอร์สเปกตรัมมากกว่าจุดที่ไม่มีการยึดติด ในทางกลับกันเมื่อพิจารณาความเข้มของพาวเวอร์สเปกตรัมที่ความถี่การไม่ยึดติดพบว่า จุดที่ไม่มีการยึดติดมีความเข้มของพาวเวอร์สเปกตรัมสูงสุด และจุดที่มีการยึดติดบางส่วนมีความเข้มของพาวเวอร์สเปกตรัมสูงกว่าจุดที่มีการยึดติด เมื่อพิจารณาลักษณะทางกายภาพของจุดที่มีการยึดติด, จุดที่มีการยึดติดบางส่วนและจุดที่ไม่มีการยึดติดพบว่าแผ่นโพลีไวนิลคลอไรด์ตรงจุดที่ไม่มีการยึดติดสามารถแยกออกจากผ้าใยแก้วได้อย่างง่ายดาย เมื่อใช้มีดคัตเตอร์ตัดลงบนพื้นผิว และจะไม่มีคราบน้ำยาติดอยู่บนพื้นผิวของแผ่นโพลีไวนิลคลอไรด์ นอกจากนี้แผ่นโพลีไวนิลคลอไรด์จะแยก

ออกจากผ้าใยแก้วโดยมีช่องว่างอย่างชัดเจน พิจารณาลักษณะทางกายภาพของจุดที่มีการยึดติด บางส่วนพบว่า แผ่นโพลีไวนิลคลอไรด์จะไม่แยกจากผ้าใยแก้วอย่างชัดเจนเมื่อใช้มีดตัดเตอร์ตัดลงบนพื้นผิวแต่จะหลุดออกเพียงบางส่วน โดยจะมีคราบน้ำยาติดอยู่บนพื้นผิวของแผ่นโพลีไวนิลคลอไรด์ และลักษณะทางกายภาพของจุดที่มีการยึดติดมีความแตกต่างจากจุดที่ไม่มีการยึดติดและจุดที่มีการยึดติดบางส่วนอย่างชัดเจน โดยเมื่อใช้มีดตัดเตอร์ตัดลงบนพื้นผิว พบว่าแผ่นโพลีไวนิลคลอไรด์ไม่แยกออกจากผ้าใยแก้ว แต่มีเนื้อโพลีเมอร์เกาะติดขึ้นมาในขณะที่พยายามแยกแผ่นโพลีไวนิลคลอไรด์ออก

4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ใต้กราฟกับลักษณะทางกายภาพของพื้นผิว

เมื่อทราบความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะทางกายภาพของพื้นผิวและสเปกตรัมความถี่ที่ได้จากการแปลงฟูเรียร์แบบเร็วเรียบร้อยแล้วขั้นตอนต่อไปคือการคำนวณหาพื้นที่ใต้กราฟโดยใช้ช่วงความถี่การยึดติดของวินเซิร์ฟแต่ละประเภทตามที่ได้กล่าวไปแล้วในหัวข้อที่ 4.1 ด้วยกฎสี่เหลี่ยมคางหมู เพื่อนำพื้นที่ใต้กราฟไปใช้ประโยชน์ในการจัดทำมาตรฐานคัดแยกจุดที่ไม่ยึดติดโดยอาศัยเทคนิคการรู้จำแบบ ดังแสดงในอัลกอริทึมด้านล่าง






รูปที่ 4.37 แสดงอัลกอริทึมการจัดทำมาตรฐานการตัดสินการยึดติด

เมื่อคำนวณพื้นที่ใต้กราฟจากกฎสี่เหลี่ยมคางหมูเรียบร้อยแล้ว จะเห็นได้ว่าพื้นที่ใต้กราฟของวินเซิร์ฟ ทั้งสี่ชนิดจากภาคผนวกทั้งจากจุดที่มีการยึดติดและจุดที่ไม่มีการยึดติด หรือจุดที่มีการยึดติดบางส่วน นั้นมีได้หลายค่า เนื่องมาจากความสามารถในการยึดติดระหว่างแผ่นโพลีไวนิลคลอไรด์กับผ้าใยแก้ว หรือผ้าคาร์บอนที่ต่างกัน โดยความสามารถในการยึดติดนั้นแปรผันตรงกับพื้นที่ใต้กราฟที่ความถี่การยึดติด กล่าวคือ จุดที่มีการยึดติดอย่างสมบูรณ์ก็จะมีพื้นที่มาก และพื้นที่จะลดลงเมื่อการยึดติดลดลง ซึ่งพื้นที่เหล่านี้จะถูกนำไปใช้ประโยชน์ในการจำแนกจุดที่มีการยึดติดและจุดที่ไม่มีการยึดติด

เมื่อพิจารณาพื้นที่ใต้กราฟพบว่าผลรวมของพื้นที่ใต้กราฟของจุดที่มีการยึดติดในช่วงความถี่การยึดติดมีค่ามากกว่าผลรวมพื้นที่ใต้กราฟของจุดที่มีการยึดติดบางส่วนและจุดที่ไม่มีการยึดติด (อ้างอิงสภาพการยึดติดโดยใช้ลักษณะทางกายภาพจากการตัดพื้นผิว) แสดงให้เห็นว่า พื้นที่ใต้กราฟสามารถบ่งชี้การยึดติดของแผ่นโพลีไวนิลคลอไรด์และผ้าใยแก้วได้ โดยจะใช้ประโยชน์จากพื้นที่ใต้กราฟของจุดที่มีการยึดติดเพียงบางส่วนในการแบ่งจุดที่มีการยึดติดออกจากจุดที่ไม่มีการยึดติด

4.4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ใต้กราฟกับลักษณะทางกายภาพของพื้นผิวของวินเซิร์ฟ 1



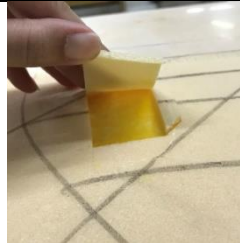
จากตารางในภาคผนวก ก ซึ่งแสดงลักษณะทางกายภาพของพื้นผิวและพื้นที่ใต้กราฟของวินเซิร์ฟ 1 พบว่าพื้นที่ใต้กราฟของจุดที่มีการยึดติด(ค่าที่น้อยที่สุดของจุดที่มีการยึดติดอย่างสมบูรณ์) อยู่ที่ 0.28 dB^2 และเมื่อลักษณะทางกายภาพของพื้นผิวเปลี่ยนเป็นการไม่ยึดติดบางส่วนพบว่ามีพื้นที่ใต้กราฟเท่ากับ 0.25 dB^2 แสดงว่าเมื่อพื้นที่ใต้กราฟลดลงจนถึง 0.25 dB^2 สภาพการยึดติดจะลดลงจนกลายเป็นการยึดติดบางส่วน และเมื่อลักษณะทางกายภาพของพื้นผิวเปลี่ยนเป็นการไม่ยึดติด พื้นที่ใต้กราฟจะลดลงเหลือ 0.23 dB^2 โดยแผ่นโพลีไวนิลคลอไรด์จะแยกออกจากผ้าใยแก้วอย่างสมบูรณ์ เพราะฉะนั้นจึงมีการกำหนดขอบเขตของพื้นที่เพื่อจำแนกการยึดติดเป็นบริเวณที่มีการยึดติดอย่างสมบูรณ์มีพื้นที่มากกว่าหรือเท่ากับ 0.28 dB^2 ,บริเวณที่มีการยึดติดบางส่วนมีพื้นที่อยู่ระหว่าง $0.24-0.27 \text{ dB}^2$ และบริเวณที่ไม่มีการยึดติดมีพื้นที่น้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.23 dB^2

Physical surface	Description	Area dB^2
	Laminate	≥ 0.28
	Partial Delaminate	0.24-0.27
	Delamiante	≤ 0.23

ตารางที่ 4.1 แสดงลักษณะทางกายภาพของพื้นผิวและพื้นที่ได้กราฟของวินเซิร์ฟ 1 [1]

4.4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ได้กราฟกับลักษณะทางกายภาพของพื้นผิวของวินเซิร์ฟ 2

จากตารางในภาคผนวก ก ซึ่งแสดงลักษณะทางกายภาพของพื้นผิวและพื้นที่ได้กราฟของวินเซิร์ฟ 2 พบว่าพื้นที่ได้กราฟของจุดที่มีการยึดติด (ค่าที่น้อยที่สุดของจุดที่มีการยึดติดอย่างสมบูรณ์) อยู่ที่ 0.29 dB^2 และเมื่อลักษณะทางกายภาพของพื้นผิวเปลี่ยนเป็นการไม่ยึดติดบางส่วนพบว่ามีพื้นที่ได้กราฟเท่ากับ 0.26 dB^2 แสดงว่าเมื่อพื้นที่ได้กราฟลดลงจนถึง 0.26 dB^2 สภาพการยึดติดจะลดลงจนกลายเป็นการยึดติดบางส่วน และเมื่อลักษณะทางกายภาพของพื้นผิวเปลี่ยนเป็นการไม่ยึดติด พื้นที่ได้กราฟจะลดลงเหลือ 0.25 dB^2 โดยแผ่นโพลีไวนิลคลอไรด์จะแยกออกจากผ้าใยแก้วอย่างสมบูรณ์ เพราะฉะนั้นจึงมีการกำหนดขอบเขตของพื้นที่เพื่อจำแนกการยึดติดเป็นบริเวณที่มีการยึดติดอย่างสมบูรณ์มีพื้นที่มากกว่าหรือเท่ากับ 0.29 dB^2 , บริเวณที่มีการยึดติดบางส่วนมีพื้นที่อยู่ระหว่าง $0.26-0.28 \text{ dB}^2$ และบริเวณที่ไม่มีการยึดติดมีพื้นที่น้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.25 dB^2




Physical surface	Description	Area dB^2
	Laminate	≥ 0.29
	Partial Delaminate	0.26-0.28
	Delamiante	≤ 0.25

ตารางที่ 4.2 แสดงลักษณะทางกายภาพของพื้นผิวและพื้นที่ได้กราฟของวินเซิร์ฟ 2 [1]

4.4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ได้กราฟกับลักษณะทางกายภาพของพื้นผิวของวินเซิร์ฟ 3

จากตารางในภาคผนวก ก ซึ่งแสดงลักษณะทางกายภาพของพื้นผิวและพื้นที่ได้กราฟของวินเซิร์ฟ 3 พบว่าพื้นที่ได้กราฟของจุดที่มีการยึดติด (ค่าที่น้อยที่สุดของจุดที่มีการยึดติดอย่างสมบูรณ์) อยู่ที่ 0.41 dB^2 และเมื่อลักษณะทางกายภาพของพื้นผิวเปลี่ยนเป็นการไม่ยึดติดบางส่วนพบว่าพื้นที่ได้กราฟเท่ากับ 0.38 dB^2 แสดงว่าเมื่อพื้นที่ได้กราฟลดลงจนถึง 0.38 dB^2 สภาพการยึดติดจะลดลงจนกลายเป็นการยึดติดบางส่วน และเมื่อลักษณะทางกายภาพของพื้นผิวเปลี่ยนเป็นการไม่ยึดติด พื้นที่ได้กราฟจะลดลงเหลือ 0.36 dB^2 โดยแผ่นโพลีไวนิลคลอไรด์จะแยกออกจากผ้าใยแก้วอย่างสมบูรณ์

เพราะฉะนั้นจึงมีการกำหนดขอบเขตของพื้นที่เพื่อจำแนกการยึดติดเป็นบริเวณที่มีการยึดติดอย่างสมบูรณ์มีพื้นที่มากกว่าหรือเท่ากับ 0.41 dB^2 ,บริเวณที่มีการยึดติดบางส่วนมีพื้นที่อยู่ระหว่าง $0.37-0.40 \text{ dB}^2$ และบริเวณที่ไม่มีการยึดติดมีพื้นที่น้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.36 dB^2

Physical surface	Description	Area dB^2
	Laminate	≥ 0.41
	Partial Delaminate	$0.37-0.40$
	Delaminate	≤ 0.36


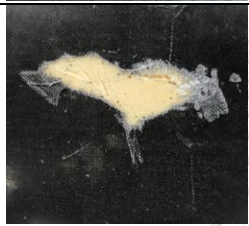

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.3 แสดงลักษณะทางกายภาพของพื้นผิวและพื้นที่ใต้กราฟของวินเซอร์ฟ 3 [1]

4.4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ใต้กราฟกับลักษณะทางกายภาพของพื้นผิวของวินเซอร์ฟ 4

จากตารางในภาคผนวก ก ซึ่งแสดงลักษณะทางกายภาพของพื้นผิวและพื้นที่ใต้กราฟของวินเซอร์ฟ 4 พบว่าพื้นที่ใต้กราฟของจุดที่มีการยึดติด(ค่าที่น้อยที่สุดของจุดที่มีการยึดติด) อยู่ที่ 0.31 dB^2 และเมื่อลักษณะทางกายภาพของพื้นผิวเปลี่ยนเป็นการไม่ยึดติดบางส่วนพบว่าพื้นที่ใต้กราฟเท่ากับ 0.28 dB^2 แสดงว่าเมื่อพื้นที่ใต้กราฟลดลงจนถึง 0.28 dB^2 สภาพการยึดติดจะลดลงจนกลายเป็นการยึดติดบางส่วน และเมื่อลักษณะทางกายภาพของพื้นผิวเปลี่ยนเป็นการไม่ยึดติด พื้นที่ใต้กราฟจะลดลงเหลือ 0.26 dB^2 โดยแผ่นโพลีไวนิลคลอไรด์จะแยกออกจากผ้าคาร์บอนอย่างสมบูรณ์ เพราะฉะนั้นจึงมีการกำหนดขอบเขตของพื้นที่เพื่อจำแนกการยึดติดเป็นบริเวณที่มีการยึดติดอย่างสมบูรณ์มีพื้นที่มากกว่า

หรือเท่ากับ 0.31 dB^2 ,บริเวณที่มีการยึดติดบางส่วนมีพื้นที่อยู่ระหว่าง $0.27-0.30 \text{ dB}^2$ และบริเวณที่ไม่มีการยึดติดมีพื้นที่น้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.26 dB^2

Physical surface	Description	Area dB^2
	Laminate	≥ 0.31
	Partial Delaminate	$0.27-0.30$
	Delamiante	≤ 0.26

ตารางที่ 4.4 แสดงลักษณะทางกายภาพของพื้นผิวและพื้นที่ใต้กราฟของวินเซิร์ฟ 4 [1]

4.5 ความถี่การยึดติดและความถี่การไม่ยึดติด

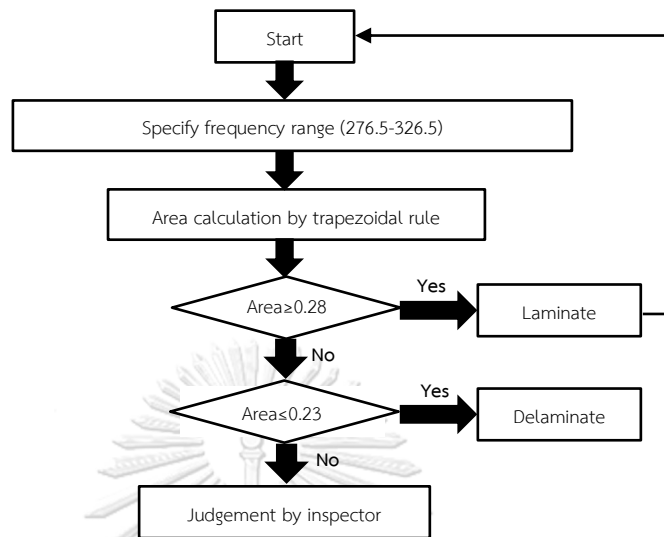
Windsurf type	Laminate frequency (Hz)	Delaminate frequency (Hz)	Laminate area (dB ²)	Delaminate area (dB ²)	Partial delaminate area (dB ²)
Windsurf 1	301.5	202.7	≥0.28	≤0.23	0.24-0.27
Windsurf 2	285.4	201.5	≥0.29	≤0.25	0.26-0.28
Windsurf 3	274.6	201.5	≥0.41	≤0.36	0.37-0.40
Windsurf 4	350.0	267.0	≥0.31	≤0.26	0.27-0.30

ตารางที่ 4.5 แสดงความถี่การยึดติดและความถี่การไม่ยึดติดของวินเซิร์ฟแต่ละชนิด

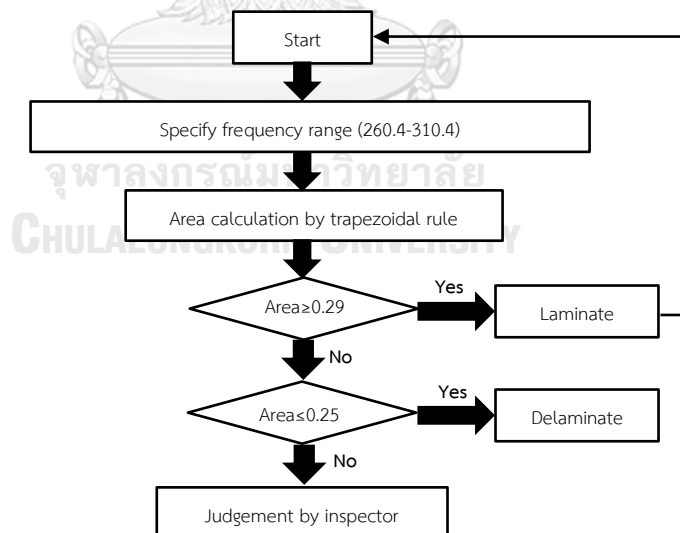
เมื่อพิจารณາตารางที่ 10 พบว่าวินเซิร์ฟทั้ง 4 ชนิดมีความถี่การยึดติดสูงกว่าความถี่การไม่ยึดติด

เนื่องจากความแน่นของวินเซิร์ฟ โดยความถี่การยึดติดเกิดจากการสั่นของวินเซิร์ฟตรงจุดที่มีการยึดติดกันระหว่างแผ่นโพลีไวนิลคลอไรด์ และผ้าคาร์บอน, ผ้าใยแก้ว จึงทำให้วินเซิร์ฟ ณ จุดนั้นที่มีการยึดติดกันของวัสดุมีความแน่นมากกว่าจุดที่เกิดการไม่ยึดติด ซึ่งที่จุดการไม่ยึดติดนี้แผ่นโพลีไวนิลคลอไรด์ แยกออกจากผ้าใยแก้ว หรือผ้าคาร์บอน และเมื่อได้รับแรงเคาะจึงทำให้แผ่นโพลีไวนิลคลอไรด์เกิดการสั่นเพียงอย่างเดียว และเกิดการสั่นที่ความถี่ต่ำกว่าจุดที่มีการยึดติด เนื่องจากความแน่นที่น้อยกว่า จึงเป็นเหตุให้ความถี่การยึดติดมากกว่าความถี่การไม่ยึดติด

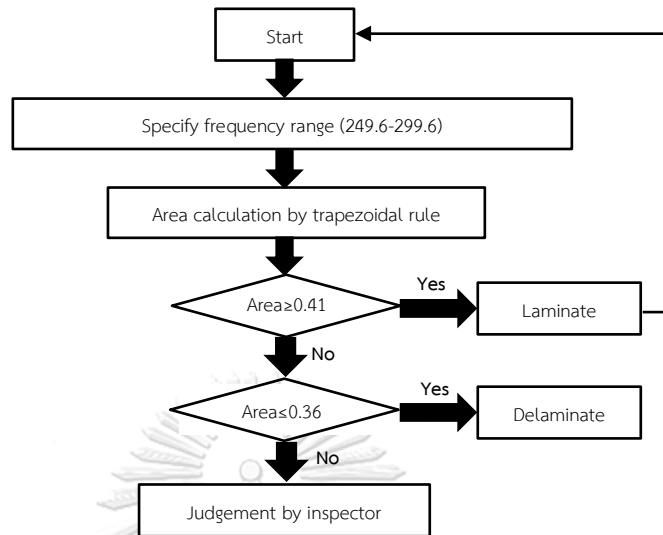
4.5.1 อัลกอริทึมแสดงการตัดสินใจการยึดติดของวินเซิร์ฟ 1



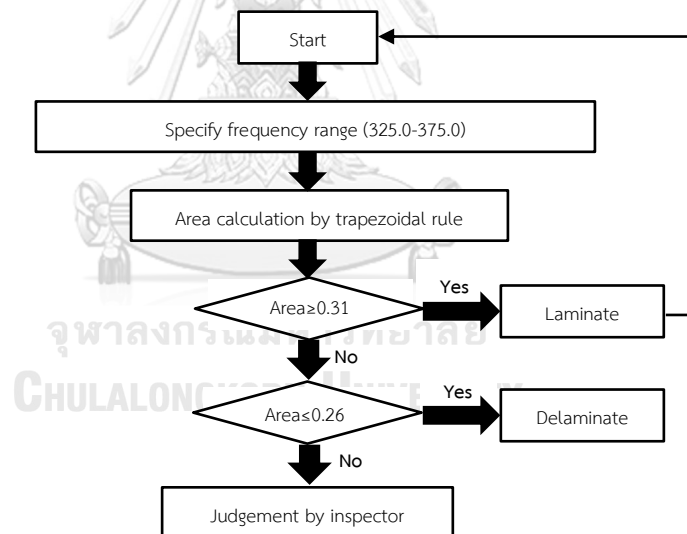
4.5.2 อัลกอริทึมแสดงการตัดสินใจการยึดติดของวินเซิร์ฟ 2



4.5.3 อัลกอริทึมแสดงการตัดสินใจการยึดติดของวินเซิร์ฟ 3



4.5.4 อัลกอริทึมแสดงการตัดสินใจการยึดติดของวินเซิร์ฟ 4



4.6 ผลความความหนาแน่นของวัสดุต่อความถี่การยึดติด

เมื่อพิจารณารายที่ 4.5 พบว่าความถี่การยึดติดของวินเซิร์ฟทั้ง 4 ชนิดมีความแตกต่างกัน เนื่องจากวินเซิร์ฟทั้ง 4 ชนิดประกอบด้วยแผ่นโพลีไวนิลคลอไรด์ความหนา 3 มิลลิเมตรเหมือนกันแต่ประกอบด้วยแผ่นโพลีไวนิลคลอไรด์, ใยแก้ว และผ้าคาร์บอน ที่มีความหนาแน่นแตกต่างกัน โดยความถี่การยึดติดที่ต่างกันั้นเป็นผลมาจากอิทธิพลของความหนาแน่นของแผ่นโพลีไวนิลคลอไรด์, ใยแก้ว และผ้าคาร์บอน จึงต้องมีการวิเคราะห์ผลของความหนาแน่นของวัสดุต่างๆดังนี้

4.6.1 อิทธิพลของความหนาแน่นของผ้าใยแก้ว

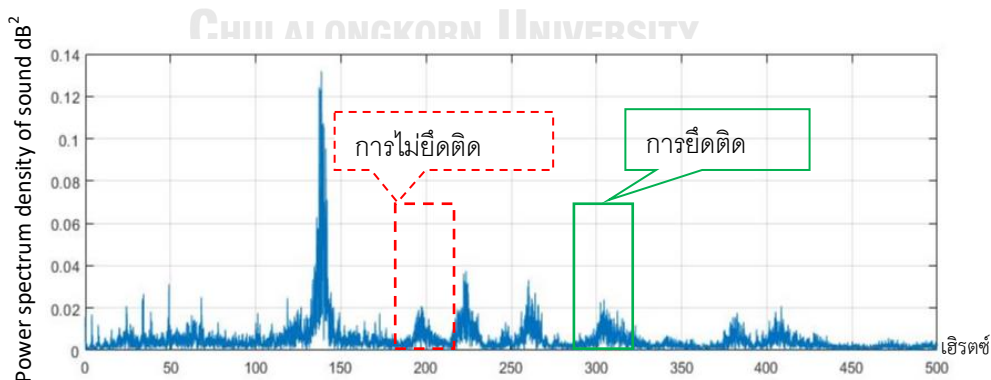
วินเซิร์ฟ 1 และวินเซิร์ฟ 2 ประกอบด้วยแผ่นโพลีไวนิลคลอไรด์ความหนาแน่น 0.1 g./cm^3 แต่วินเซิร์ฟ 1 ประกอบด้วยผ้าใยแก้วความหนาแน่น 0.1 g./cm^3 . ซึ่งมากกว่าวินเซิร์ฟ 2 ที่ประกอบด้วยผ้าใยแก้วความหนาแน่น 0.06 g./cm^3 . ด้วยเหตุนี้จึงส่งผลให้วินเซิร์ฟ 1 มีความถี่การยึดติดสูงกว่า วินเซิร์ฟ 2 เนื่องจากมีความแน่นมากกว่าจึงสั่นที่ความถี่สูงกว่าเมื่อเกิดการเคาะ

4.6.2 อิทธิพลของความหนาแน่นของแผ่นโพลีไวนิลคลอไรด์

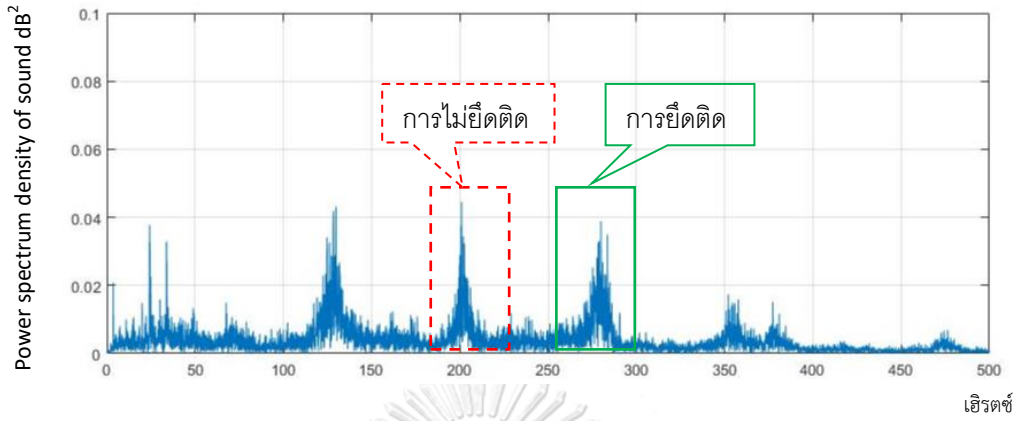
พิจารณาความถี่การยึดติดของวินเซิร์ฟ 2 และวินเซิร์ฟ 3 โดยวินเซิร์ฟ 2 ประกอบด้วยแผ่นโพลีไวนิลคลอไรด์ความหนาแน่น 0.1 g./cm^3 , วินเซิร์ฟ 3 ประกอบด้วยแผ่นโพลีไวนิลคลอไรด์ความหนาแน่น 0.08 g./cm^3 โดยวินเซิร์ฟทั้งสองชนิดประกอบด้วยผ้าใยแก้วความหนาแน่น 0.06 g./cm^3 . จึงสามารถอธิบายได้ว่าความหนาแน่นของแผ่นโพลีไวนิลคลอไรด์ส่งผลให้ความถี่การยึดติดของวินเซิร์ฟ 2 มากกว่าความถี่การยึดติดของวินเซิร์ฟ 3

4.6.3 อิทธิพลของความหนาแน่นของผ้าคาร์บอน

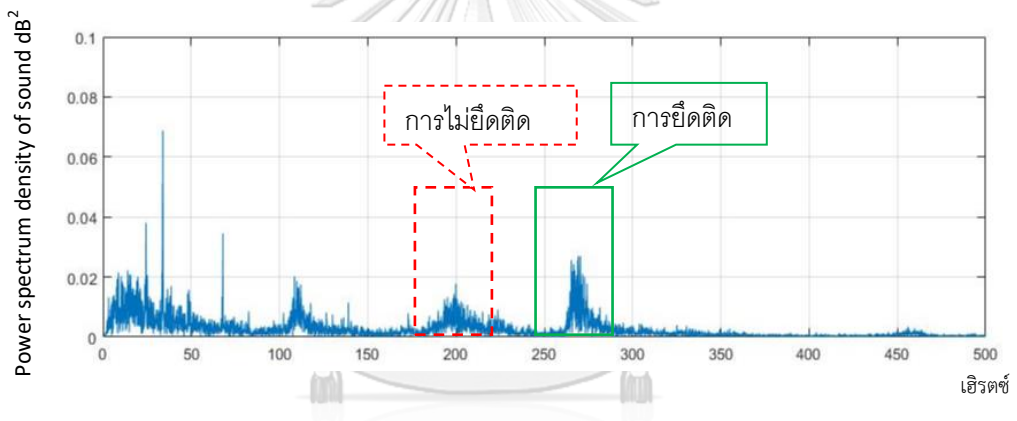
พิจารณาความถี่การยึดติดของวินเซิร์ฟ 3 และ วินเซิร์ฟ 4 โดยวินเซิร์ฟทั้งสองชนิดประกอบด้วยแผ่นโพลีไวนิลคลอไรด์รวมถึงผ้าใยแก้วที่ความหนาแน่นเท่ากัน แต่วินเซิร์ฟ 4 ประกอบด้วยผ้าคาร์บอน จึงส่งผลให้วินเซิร์ฟ 4 มีความแน่นมากกว่า และทำให้วินเซิร์ฟ 4 มีความถี่การยึดติดมากกว่าวินเซิร์ฟ 3



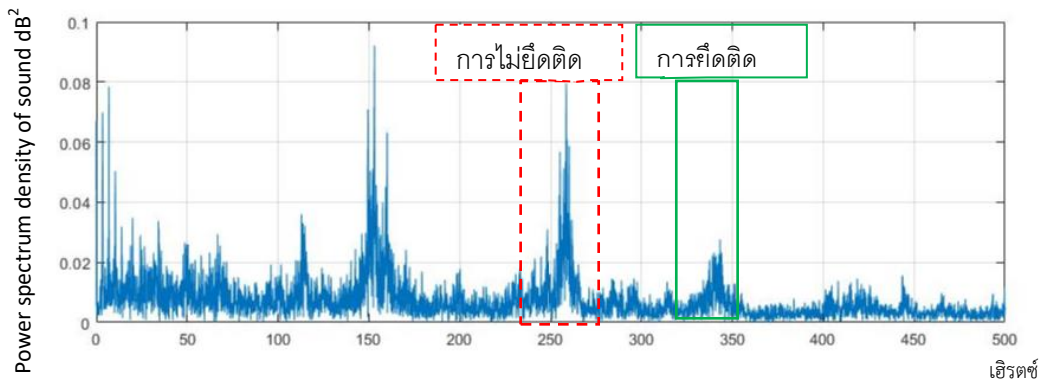
รูปที่ 4.38 แสดงความถี่การยึดติดและความถี่ไม่ยึดติดของวินเซิร์ฟ 1



รูปที่ 4.39 แสดงความถี่การยึดติดและความถี่ไม่ยึดติดของวินซ์ 2

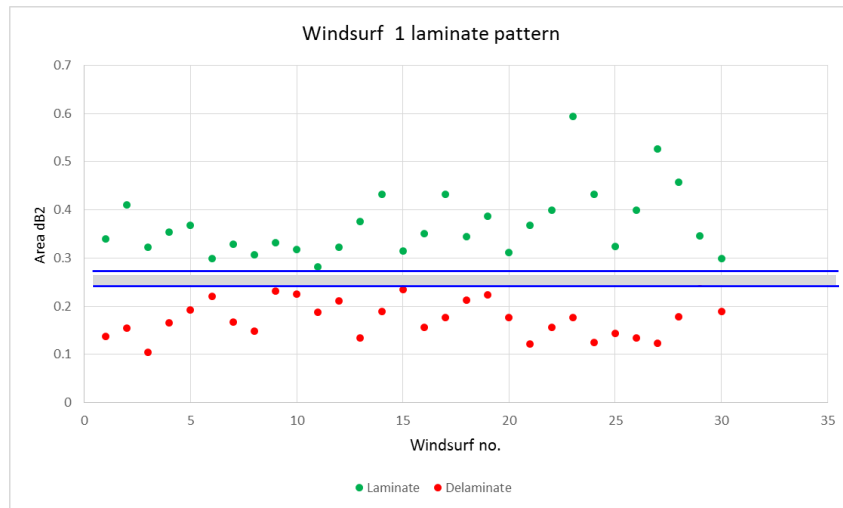


รูปที่ 4.40 แสดงความถี่การยึดติดและความถี่ไม่ยึดติดของวินซ์ 3



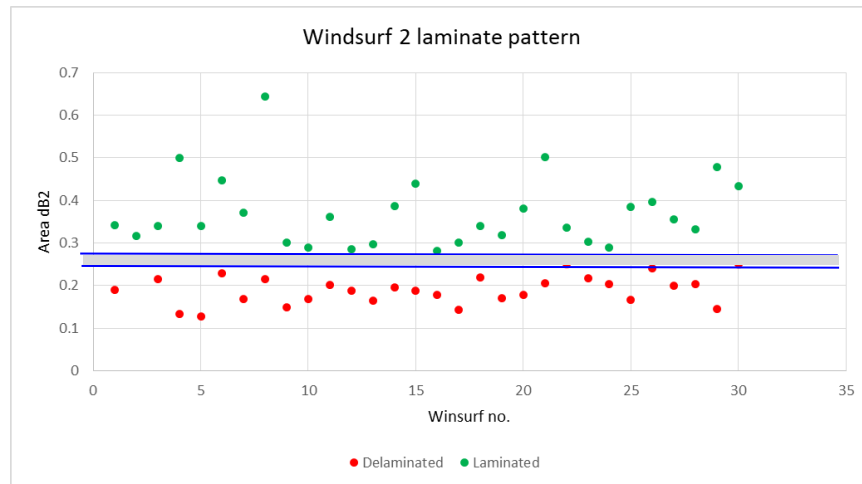
รูปที่ 4.41 แสดงความถี่การยึดติดและความถี่ไม่ยึดติดของวินซ์ 4

4.7 รูปแบบพื้นที่แสดงการยึดติดของวินเซิร์ฟแต่ละชนิด



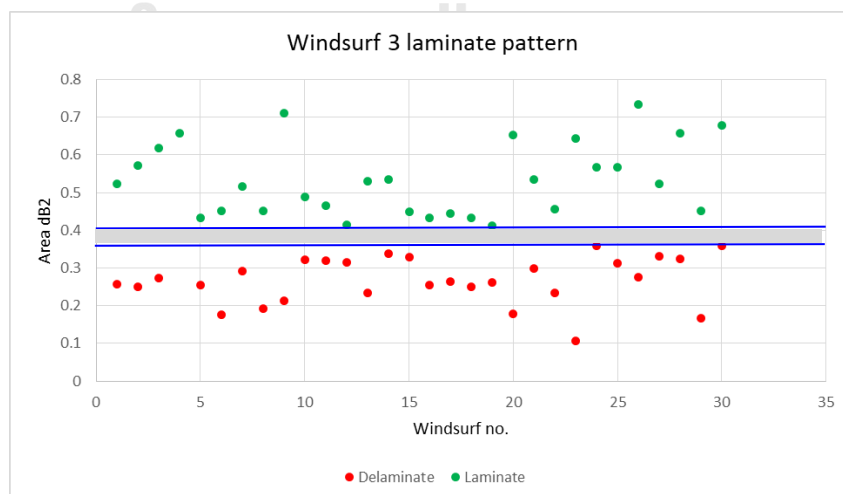
รูปที่ 4.42 แสดงรูปแบบพื้นที่การยึดติดของวินเซิร์ฟ 1

พื้นที่ได้กราฟที่ได้จากตัวอย่างทั้งหมด 60 จุด แบ่งเป็นจุดที่มีการยึดติดและจุดที่ไม่มีการยึดติดหรือจุดที่มีการยึดติดบางส่วนอย่างละ 30 จุด ได้ถูกนำมาพล็อตกราฟเพื่อดูแนวโน้มของพื้นที่ของจุดที่มีการยึดติดและจุดที่ไม่มีการยึดติด โดยพบว่าพื้นที่ได้กราฟของจุดที่มีการยึดติดอย่างสมบูรณ์มีค่าเท่ากับ 0.28 dB^2 และเมื่อพิจารณาพื้นที่ได้กราฟของจุดที่มีการยึดติดบางส่วนพบว่ามีค่าเท่ากับ 0.25 dB^2 , พื้นที่ได้กราฟของจุดที่ไม่มีการยึดติดมีค่าเท่ากับ 0.23 dB^2 เพราะฉะนั้นจึงกำหนดพื้นที่ได้กราฟระหว่าง $0.24\text{-}0.27 \text{ dB}^2$ เป็นบริเวณพื้นที่ต้องสงสัยที่จะพบการไม่ยึดติด, พื้นที่ได้กราฟที่มากกว่าหรือเท่ากับ 0.28 dB^2 เป็นจุดที่มีการยึดติด, พื้นที่ได้กราฟที่น้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.23 dB^2 เป็นจุดที่ไม่มีการยึดติด



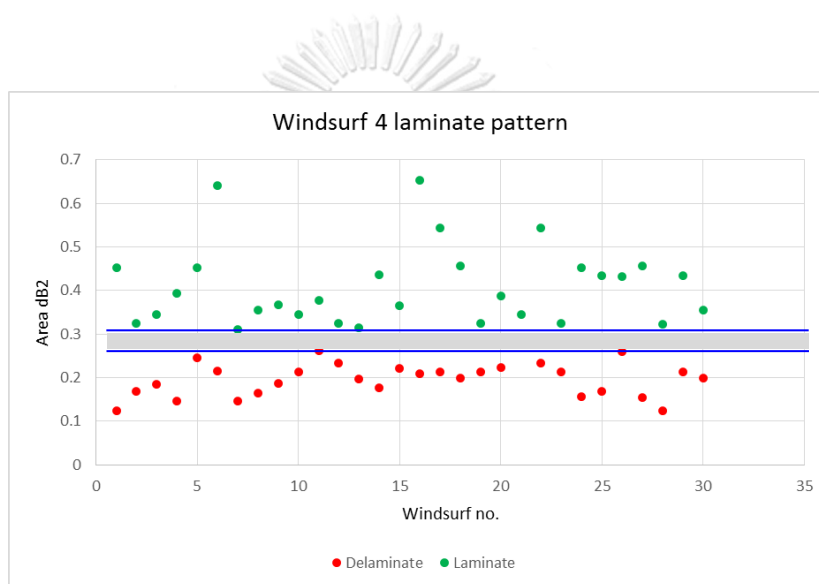
รูปที่ 4.43 แสดงรูปแบบพื้นที่การยึดติดของวินเซิร์ฟ 2

พื้นที่ได้กราฟที่ได้จากตัวอย่างทั้งหมด 60 จุด แบ่งเป็นจุดที่มีการยึดติดและจุดที่ไม่มีการยึดติดหรือจุดที่มีการยึดติดบางส่วนอย่างละ 30 จุด ได้ถูกนำมาพล็อตกราฟเพื่อดูแนวโน้มของพื้นที่ของจุดที่มีการยึดติดและจุดที่ไม่มีการยึดติด โดยพบว่าพื้นที่ได้กราฟของจุดที่มีการยึดติดอย่างสมบูรณ์มีค่าเท่ากับ 0.29 dB^2 และเมื่อพิจารณาพื้นที่ได้กราฟของจุดที่มีการยึดติดบางส่วนพบว่ามีค่าเท่ากับ 0.26 dB^2 , พื้นที่ได้กราฟของจุดที่ไม่มีการยึดติดมีค่าเท่ากับ 0.25 dB^2 เพราะฉะนั้นจึงกำหนดพื้นที่ได้กราฟระหว่าง $0.26\text{-}0.28 \text{ dB}^2$ เป็นบริเวณพื้นที่ต้องสงสัยที่จะพบการไม่ยึดติด, พื้นที่ได้กราฟที่มากกว่าหรือเท่ากับ 0.29 dB^2 เป็นจุดที่มีการยึดติด, พื้นที่ได้กราฟที่น้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.25 dB^2 เป็นจุดที่ไม่มีการยึดติด



รูปที่ 4.44 แสดงรูปแบบพื้นที่การยึดติดของวินเซิร์ฟ 3

พื้นที่ได้กราฟที่ได้จากตัวอย่างทั้งหมด 60 จุด แบ่งเป็นจุดที่มีการยึดติดและจุดที่ไม่มีการยึดติดหรือจุดที่มีการยึดติดบางส่วนอย่างละ 30 จุด ได้ถูกนำมาพล็อตกราฟเพื่อดูแนวโน้มของพื้นที่ของจุดที่มีการยึดติดและจุดที่ไม่มีการยึดติด โดยพบว่าพื้นที่ได้กราฟของจุดที่มีการยึดติดอย่างสมบูรณ์มีค่าเท่ากับ 0.41 dB^2 และเมื่อพิจารณาพื้นที่ได้กราฟของจุดที่มีการยึดติดบางส่วนพบว่ามีค่าเท่ากับ 0.38 dB^2 , พื้นที่ได้กราฟของจุดที่ไม่มีการยึดติดมีค่าเท่ากับ 0.36 dB^2 เพราะฉะนั้นจึงกำหนดพื้นที่ได้กราฟระหว่าง $0.37-0.40 \text{ dB}^2$ เป็นบริเวณพื้นที่ต้องสงสัยที่จะพบการไม่ยึดติด, พื้นที่ได้กราฟที่มากกว่าหรือเท่ากับ 0.41 dB^2 เป็นจุดที่มีการยึดติด, พื้นที่ได้กราฟที่น้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.36 dB^2 เป็นจุดที่ไม่มีการยึดติด



รูปที่ 4.45 แสดงรูปแบบพื้นที่การยึดติดของวินเซิร์ฟ 4

พื้นที่ได้กราฟที่ได้จากตัวอย่างทั้งหมด 60 จุด แบ่งเป็นจุดที่มีการยึดติดและจุดที่ไม่มีการยึดติดหรือจุดที่มีการยึดติดบางส่วนอย่างละ 30 จุด ได้ถูกนำมาพล็อตกราฟเพื่อดูแนวโน้มของพื้นที่ของจุดที่มีการยึดติดและจุดที่ไม่มีการยึดติด โดยพบว่าพื้นที่ได้กราฟของจุดที่มีการยึดติดอย่างสมบูรณ์มีค่าเท่ากับ 0.31 dB^2 และเมื่อพิจารณาพื้นที่ได้กราฟของจุดที่มีการยึดติดบางส่วนพบว่ามีค่าเท่ากับ 0.28 dB^2 , พื้นที่ได้กราฟของจุดที่ไม่มีการยึดติดมีค่าเท่ากับ 0.26 dB^2 เพราะฉะนั้นจึงกำหนดพื้นที่ได้กราฟระหว่าง $0.27-0.30 \text{ dB}^2$ เป็นบริเวณพื้นที่ต้องสงสัยที่จะพบการไม่ยึดติด, พื้นที่ได้กราฟที่มากกว่าหรือเท่ากับ 0.31 dB^2 เป็นจุดที่มีการยึดติด, พื้นที่ได้กราฟที่น้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.26 dB^2 เป็นจุดที่ไม่มีการยึดติด

4.8 การทดสอบความแม่นยำของพื้นที่รูปแบบการยึดติด

จากตารางที่ 4.6, 4.7, 4.8 และ 4.9 แสดงผลการทดสอบความแม่นยำของพื้นที่รูปแบบการยึดติดของ วินเซิร์ฟ 1, วินเซิร์ฟ 2, วินเซิร์ฟ 3 และ วินเซิร์ฟ 4 โดยทำการทดสอบที่ 10 จุดต่อวินเซิร์ฟ 1 ชนิด โดยการเคาะที่จุดที่ถูกตัดสินว่าไม่ยึดติดโดยพนักงาน และบันทึกเสียงการเคาะที่จุดนั้น จากนั้นตัดพื้นผิวเพื่อดูลักษณะทางกายภาพของการยึดติด และแปลงไฟล์เสียงให้อยู่ในรูปของโดเมนความถี่เพื่อ คำนวณพื้นที่ได้กราฟที่ความถี่การยึดติด

วินเซิร์ฟ 1

จุดที่	การตัดสินพื้นผิวโดยพนักงาน	การตัดพื้นผิวจริง	พื้นที่ได้กราฟจากการคำนวณ (dB ²)	พื้นที่การไม่ยึดติด (dB ²)
1	Delaminate	Delaminate	0.21	≤0.23
2	Delaminate	Delaminate	0.19	≤0.23
3	Delaminate	Partial Delaminate	0.26	≤0.23
4	Delaminate	Partial Delaminate	0.27	≤0.23
5	Delaminate	Delaminate	0.22	≤0.23
6	Delaminate	Delaminate	0.19	≤0.23
7	Delaminate	Delaminate	0.23	≤0.23
8	Delaminate	Delaminate	0.21	≤0.23
9	Delaminate	Delaminate	0.18	≤0.23
10	Delaminate	Delaminate	0.22	≤0.23

ตารางที่ 4.6 แสดงพื้นที่ได้กราฟจากการคำนวณเพื่อทดสอบความแม่นยำของวินเซิร์ฟ 1

จากตารางแสดงผลการทดสอบความแม่นยำของพื้นที่บ่งชี้การยึดติดพบว่า พื้นที่ของจุดที่ไม่มีการยึดติดทั้งหมด 10 จุดมีค่า $\leq 0.23 \text{ dB}^2$ ทั้งหมด 8 จุด เพราะฉะนั้นพื้นที่รูปแบบการยึดติดของวินเซิร์ฟ 1 มีค่าความแม่นยำเท่ากับ 80% โดยอีก 2 จุดนั้นมีพื้นที่อยู่ในช่วงที่ต้องตัดสินการยึดติดโดยพนักงานซึ่งมีค่าเท่ากับ $0.24-0.27 \text{ dB}^2$

วินเซิร์ฟ 2

จุดที่	การตัดสินพื้นผิวโดยพนักงาน	การตัดพื้นผิวจริง	พื้นที่ได้กราฟจากการคำนวณ (dB^2)	พื้นที่การไม่ยึดติด (dB^2)
1	Delaminate	Delaminate	0.21	≤ 0.25
2	Delaminate	Delaminate	0.24	≤ 0.25
3	Delaminate	Partial Delaminate	0.28	≤ 0.25
4	Delaminate	Delaminate	0.22	≤ 0.25
5	Delaminate	Delaminate	0.24	≤ 0.25
6	Delaminate	Partial Delaminate	0.28	≤ 0.25
7	Delaminate	Delaminate	0.24	≤ 0.25
8	Delaminate	Delaminate	0.21	≤ 0.25
9	Delaminate	Delaminate	0.23	≤ 0.25
10	Delaminate	Delaminate	0.19	≤ 0.25

ตารางที่ 4.7 แสดงพื้นที่ได้กราฟจากการคำนวณเพื่อทดสอบความแม่นยำของวินเซิร์ฟ 2

จากตารางแสดงผลการทดสอบความแม่นยำของพื้นที่บ่งชี้การยึดติดพบว่า พื้นที่ของจุดที่ไม่มีการยึดติดทั้งหมด 10 จุดมีค่า $\leq 0.25 \text{ dB}^2$ ทั้งหมด 8 จุด เพราะฉะนั้นพื้นที่รูปแบบการยึดติดของวินเซิร์ฟ 2 มีค่าความแม่นยำเท่ากับ 80% โดยอีก 2 จุดนั้นมีพื้นที่อยู่ในช่วงที่ต้องตัดสินการยึดติดโดยพนักงานซึ่งมีค่าเท่ากับ $0.26-0.28 \text{ dB}^2$

วินเซิร์ฟ 3

จุดที่	การตัดสินพื้นผิวโดยพนักงาน	การตัดพื้นผิวจริง	พื้นที่ได้กราฟจากการคำนวณ (dB ²)	พื้นที่การไม่ยึดติด (dB ²)
1	Delaminate	Delaminate	0.34	≤0.36
2	Delaminate	Delaminate	0.25	≤0.36
3	Delaminate	Delaminate	0.31	≤0.36
4	Delaminate	Delaminate	0.33	≤0.36
5	Delaminate	Delaminate	0.35	≤0.36
6	Delaminate	Delaminate	0.27	≤0.36
7	Delaminate	Partial Delaminate	0.40	≤0.36
8	Delaminate	Delaminate	0.35	≤0.36
9	Delaminate	Delaminate	0.29	≤0.36
10	Delaminate	Delaminate	0.31	≤0.36

ตารางที่ 4.8 แสดงพื้นที่ได้กราฟจากการคำนวณเพื่อทดสอบความแม่นยำของวินเซิร์ฟ 3

จากตารางแสดงผลการทดสอบความแม่นยำของพื้นที่บ่งชี้การยึดติดพบว่า พื้นที่ของจุดที่ไม่มีการยึดติดทั้งหมด 10 จุดมีค่า ≤ 0.36 dB² ทั้งหมด 9 จุด เพราะฉะนั้นพื้นที่รูปแบบการยึดติดของวินเซิร์ฟ 3 มีค่าความแม่นยำเท่ากับ 90% โดยอีก 1 จุดนั้นมีพื้นที่อยู่ในช่วงที่ต้องตัดสินการยึดติดโดยพนักงานซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.37-0.40 dB²

วินเซิร์ฟ 4

จุด ที่	การตัดสินพื้นผิวโดย พนักงาน	การตัดพื้นผิวจริง	พื้นที่ได้กราฟจาก การคำนวณ (dB ²)	พื้นที่การไม่ยึดติด (dB ²)
1	Delaminate	Partial Delaminate	0.29	≤0.26
2	Delaminate	Delaminate	0.24	≤0.26
3	Delaminate	Partial Delaminate	0.30	≤0.26
4	Delaminate	Delaminate	0.25	≤0.26
5	Delaminate	Delaminate	0.21	≤0.26
6	Delaminate	Delaminate	0.23	≤0.26
7	Delaminate	Delaminate	0.18	≤0.26
8	Delaminate	Delaminate	0.25	≤0.26
9	Delaminate	Delaminate	0.23	≤0.26
10	Delaminate	Delaminate	0.24	≤0.26

ตารางที่ 4.9แสดงพื้นที่ได้กราฟจากการคำนวณเพื่อทดสอบความแม่นยำของวินเซิร์ฟ 4

จากตารางแสดงผลการทดสอบความแม่นยำของพื้นที่บ่งชี้การยึดติดพบว่า พื้นที่ของจุดที่ไม่มีการยึดติดทั้งหมด 10 จุดมีค่า ≤0.26 ทั้งหมด 8 จุด เพราะฉะนั้นพื้นที่รูปแบบการยึดติดของวินเซิร์ฟ 4 มีค่าความแม่นยำเท่ากับ 80% โดยอีก 2 จุดนั้นมีพื้นที่อยู่ในช่วงที่ต้องตัดสินการยึดติดโดยพนักงานซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.27-0.30 dB²

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

การพัฒนาการตรวจสอบการยึดติดของแผ่นโพลีไวนิลคลอไรด์กับผ้าใยแก้ว หรือผ้าคาร์บอน ในผลิตภัณฑ์วินเซิร์ฟด้วยเซนเซอร์เสียง จากผลการวิเคราะห์พบว่าการแปลงสัญญาณเสียงให้อยู่ในรูปของโดเมนเวลา สามารถบ่งชี้ความถี่การยึดติดและความถี่การไม่ยึดติดของวินเซิร์ฟแต่ละชนิดได้ โดยจุดที่มีการยึดติดที่อ้างอิงมาจากลักษณะทางกายภาพของพื้นผิวที่ได้จากการตัด จะแสดงความถี่การยึดติดที่มากกว่าความถี่ของชิ้นงานที่มีพื้นผิวที่แสดงการไม่ยึดติด เนื่องจากความแน่นของจุดที่มีการยึดติดนั้นมีมากกว่าจุดที่มีการไม่ยึดติด โดยความถี่การยึดติดของวินเซิร์ฟทั้ง 4 ชนิดอยู่ในช่วง 274.6 Hz – 350.0 Hz และความถี่การไม่ยึดติดอยู่ในช่วง 201.5 Hz – 267.0 Hz ซึ่งพื้นที่ได้กราฟที่ความถี่การยึดติดนี้จะถูกนำไปใช้ในการจำแนกจุดที่มีการยึดติดและจุดที่ไม่มีการยึดติด โดยผลรวมของพื้นที่ได้กราฟจะถูกคำนวณที่ความถี่ ± 25 Hz ที่ความถี่การยึดติดของวินเซิร์ฟแต่ละชนิด เนื่องจากความถี่การยึดติดจะเริ่มต้นที่ความถี่การยึดติด -25 Hz และ สิ้นสุดลงที่ความถี่การยึดติด +25 Hz

ลักษณะทางกายภาพของพื้นผิวที่ได้จากการตัดถูกแบ่งออกเป็น 3 ชนิด ได้แก่ จุดที่มีการยึดติด, จุดที่มีการยึดติดบางส่วนและจุดที่ไม่มีการยึดติด จากผลการวิเคราะห์พบว่าจุดที่มีการยึดติดจะมีความเข้มพาวเวอร์สเปกตรัมที่ความถี่การยึดติดมากกว่าจุดที่มีการยึดติดบางส่วนและจุดที่ไม่มีการยึดติด และพื้นที่ได้กราฟของจุดที่มีการยึดติดจะมากกว่าพื้นที่ได้กราฟของจุดที่มีการยึดติดบางส่วนและจุดที่ไม่มีการยึดติด ด้วยความแตกต่างของพื้นที่ได้กราฟของลักษณะทางกายภาพของพื้นผิวนี้ พื้นที่ได้กราฟจึงสามารถใช้แบ่งแยกจุดที่มีการยึดติดออกจากจุดที่ไม่มีการยึดติด พื้นที่ได้กราฟที่ความถี่การยึดติดของจุดที่มีการยึดติดและจุดที่ไม่มีการยึดติดนี้ถูกนำมาพล็อตเพื่อหารูปแบบของจุดที่มีการยึดติดและจุดที่ไม่มีการยึดติดโดยพบว่าพื้นที่ได้กราฟพื้นที่ได้กราฟของจุดที่มีการยึดติดบางส่วนอยู่ระหว่างจุดที่มีการยึดติดและจุดที่ไม่มีการยึดติด โดยเมื่อพื้นที่ได้กราฟลดต่ำกว่าพื้นที่ได้กราฟของจุดที่ไม่มีการยึดติด จุดนั้นจะกลายเป็นจุดที่ไม่มีการยึดติดและเมื่อพื้นที่ได้กราฟเพิ่มสูงขึ้น จุดนั้นจะกลายเป็นจุดที่มีการยึดติด โดยพื้นที่ได้กราฟที่ใช้ในการจำแนกจุดที่ไม่มีการยึดติดของวินเซิร์ฟทั้ง 4 ชนิดได้แก่

วินเซอร์ฟ 1 $\leq 0.23 \text{ dB}^2$, วินเซอร์ฟ 2 $\leq 0.25 \text{ dB}^2$, วินเซอร์ฟ 3 น้อยกว่า $\leq 0.36 \text{ dB}^2$ และ วินเซอร์ฟ 4 $\leq 0.26 \text{ dB}^2$. โดยพื้นที่ที่พบการยึดติดอย่างสมบูรณ์ได้แก่ วินเซอร์ฟ 1 $\geq 0.28 \text{ dB}^2$, วินเซอร์ฟ 2 $\geq 0.29 \text{ dB}^2$, วินเซอร์ฟ 3 $\geq 0.41 \text{ dB}^2$ และ วินเซอร์ฟ 4 $\geq 0.31 \text{ dB}^2$ โดยพื้นที่ที่อยู่ระหว่างนี้วินเซอร์ฟ 1 0.24-0.27 dB^2 , วินเซอร์ฟ 2 0.26-0.28 dB^2 , วินเซอร์ฟ 3 0.37-0.40 dB^2 และ วินเซอร์ฟ 4 0.26-0.30 dB^2 จะมีการตัดสินการยึดติดโดยพนักงาน

ความหนาแน่นของแผ่นโพลีไวนิลคลอไรด์, ผ้าใยแก้ว และผ้าคาร์บอน ส่งผลต่อความถี่การยึดติดโดยวินเซอร์ฟ 1 มีความถี่การยึดติดสูงกว่าวินเซอร์ฟ 2 เนื่องจากความหนาแน่นผ้าใยแก้วที่มากกว่า และ วินเซอร์ฟ 2 มีความถี่การยึดติดที่สูงกว่าวินเซอร์ฟ 3 เนื่องจากมีความหนาแน่นของแผ่นโพลีไวนิลคลอไรด์มากกว่า ส่วนในวินเซอร์ฟ 4 นั้นมีความถี่การยึดติดมากกว่าวินเซอร์ฟ 3 เนื่องจากวินเซอร์ฟ 4 ประกอบด้วยผ้าคาร์บอนแทนผ้าใยแก้วซึ่งมีความแข็งมากกว่า

5.2 อภิปรายผลการวิจัย

1) เทคนิคการแปลงฟูเรียร์แบบเร็วสามารถใช้ในการแปลงสัญญาณเสียงให้อยู่ในรูปโดเมนความถี่ได้ แต่จะต้องมีการบ่งชี้ความถี่ที่เกิดจากสิ่งแวดล้อม และนำมาเปรียบเทียบกับความถี่ของสัญญาณเสียงที่เกิดจากการเคาะเพื่อคัดแยกความถี่ของสัญญาณเสียงที่เกิดจากสิ่งแวดล้อมออก โดยวิธีการจำแนกเสียงที่เกิดจากสิ่งแวดล้อมทำได้โดยการบันทึกเสียงที่เกิดจากสิ่งแวดล้อมได้แก่ เสียงจากระบบปรับอากาศ, เสียงเครื่องปั่นน้ำยา, เสียงขดวินเซอร์ฟ, เสียงเคาะโมลต์, เสียงพันเทปกาวรอบโมลต์, เสียงการเจาะรูแอร์วาล์ว, เสียงการแม็กผ้ากับโฟม, เสียงการยกโมลต์ และเสียงการเคาะวินเซอร์ฟลำอื่น และนำเสียงเหล่านี้แปลงให้อยู่ในรูปของโดเมนความถี่ เพื่อระบุความถี่ของเสียงเหล่านี้ จึงสามารถจำแนกเสียงเหล่านี้ออกจากเสียงที่เกิดจากการเคาะเพื่อตรวจสอบเร็ว แต่ต้องบันทึกเสียงที่เกิดจากสิ่งแวดล้อมให้ครบทุกประเภทของเสียงรบกวน

2) เทคนิคการรู้จำแบบสามารถใช้ในการจำแนกจุดที่มีการยึดติดออกจากจุดที่ไม่มีการยึดติดได้โดยอาศัยพื้นที่ได้กราฟ แต่การจำแนกจะมีความถูกต้องแม่นยำเมื่อพื้นที่ได้กราฟของจุดที่มีการยึดติดบางส่วนและจุดที่มีการยึดติดปรากฏค่าที่ต่อเนื่องกันเพื่อให้เห็นรอยต่อของพื้นที่ได้กราฟระหว่างจุดที่มีการยึดติดบางส่วนและจุดที่มีการยึดติด หากจำนวนของข้อมูลจุดที่มีการยึดติดและจุดที่มีการ

ยึดติดบางส่วนน้อย และไม่แสดงข้อมูลที่ต่อเนื่องกัน จะทำให้การกำหนดพื้นที่เพื่อจำแนกจุดที่มีการยึดติดออกจากจุดที่ไม่มีการยึดติดมีความผิดพลาด

3) การระบุความถี่การยึดติดและความถี่การไม่ยึดติดโดยอาศัยลักษณะทางกายภาพของพื้นผิวเป็นตัวอ้างอิงนั้น สามารถใช้ในการบ่งชี้ความถี่การยึดติดและความถี่การไม่ยึดติดได้ แต่ลักษณะทางกายภาพของพื้นผิวนั้น จะต้องเป็นแบบยึดติดกันหรือแยกจากกันอย่างสมบูรณ์เท่านั้น เพื่อให้ความถี่ที่ปรากฏในโดเมนเวลาเป็นความถี่เป็นความถี่ที่แท้จริงของจุดที่มีการยึดติดและจุดที่ไม่มีการยึดติด

4) ไมโครโฟนที่ใช้เป็นไมโครโฟนที่ใช้สำหรับบันทึกเสียงประเภทสาย USB จึงให้ความชัดของเสียงและไม่มีสัญญาณรบกวนเกิดขึ้นระหว่างการบันทึกเสียง จึงทำให้ผลการทดลองที่ได้ไม่ต้องกำจัดสัญญาณรบกวนที่เกิดจากไมโครโฟน

5) การตรวจสอบด้วยการเคาะโดยพนักงานสามารถให้สัญญาณเสียงในโดเมนความถี่ที่สามารถนำไปใช้ในการคำนวณพื้นที่ได้กราฟได้ แต่น้ำหนักการเคาะก็ส่งผลต่อพาวเวอร์สเปกตรัมด้วย หากเคาะเบาจะทำให้ความเข้มพาวเวอร์สเปกตรัมที่ความถี่ยึดติดลดลงซึ่งส่งผลต่อพื้นที่ได้กราฟลดลง ดังนั้นจึงต้องบันทึกเสียงจากพนักงานเคาะคนเดียวกัน เพื่อไม่ให้น้ำหนักในการเคาะส่งผลให้พื้นที่ได้กราฟเกิดความผิดพลาดที่ไม่ได้มาจากสภาพการยึดติด นอกจากนี้ การเคาะแบบไม่ยกไม้เคาะขึ้นทันทีทำให้เกิดเสียงสะท้อนจากไม้เคาะในขณะที่เคาะ ทำให้เกิดสเปกตรัมของเสียงสะท้อนจากการเคาะดังกล่าวในโดเมนความถี่จึงส่งผลให้พื้นที่ได้กราฟเพิ่มมากขึ้นด้วย และทำให้การคำนวณพื้นที่ได้กราฟเกิดความคลาดเคลื่อน

6) น้ำหนักที่ใช้ในการเคาะมีผลต่อความเข้มสเปกตรัมที่ความถี่การยึดติดและความถี่การไม่ยึดติด หากเคาะด้วยน้ำหนักเบาจะทำให้ได้ความเข้มพาวเวอร์สเปกตรัมน้อย แต่หากเคาะด้วยน้ำหนักที่มากจะทำให้ได้ความเข้มพาวเวอร์สเปกตรัมมาก ซึ่งในการทดลองนี้ พนักงานเคาะควบคุมน้ำหนักในการเคาะให้คงที่

5.3 อุปสรรคในการวิจัย

1) กระบวนการตรวจสอบการยึดติดไม่ได้อยู่ในห้องที่มีกระบวนการนี้เพียงอย่างเดียว แต่ตั้งอยู่ในพื้นที่เปิดที่มีกระบวนการอื่นอยู่ด้วย จึงทำให้ในขณะอัดเสียงเคาะ จะมีเสียงรบกวนจากสิ่งแวดล้อมติดมาด้วยซึ่งเสียงจากสิ่งแวดล้อมเหล่านี้เกิดจากกระบวนการบีบอัดโฟม, กระบวนการปั่นน้ำยาที่ใช้ในกระบวนการยึดติด, กระบวนการขัดเรือ ซึ่งจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องแยกเสียงที่เกิดจากกระบวนการเหล่านี้ออกจากเสียงจากการเคาะ เพื่อให้ผลการวิเคราะห์เสียงเกิดความผิดพลาด

2) กระบวนการเคาะโดยพนักงานนั้น โดยปกติแล้วจะเคาะทั่วทั้งบริเวณลำเรือโดยเริ่มจากท้ายเรือไปยังหัวเรือ ซึ่งในแต่ละจุดของลำเรือมีชั้นของวัสดุองค์ประกอบไม่เหมือนกัน ตามที่แสดงไว้ในวินเซอร์ฟลาย์อัพ เพราะฉะนั้นในขณะทำการอัดเสียงทั้งที่บริเวณจุดที่มีการยึดติด, จุดที่มีการยึดติดบางส่วน และ จุดที่ไม่มีการยึดติด จำเป็นที่จะต้องเลือกอัดเสียงที่เกิดจากจุดที่มีวัสดุองค์ประกอบตามโครงสร้างที่กำหนดไว้ตามวินเซอร์ฟลาย์อัพแต่ละชนิดเท่านั้น เพื่อป้องกันความถี่ที่เกิดจากวัสดุองค์ประกอบที่สั้นด้วยความถี่ที่สูงกว่า หรือความถี่ที่ต่ำกว่าปรากฏในโดเมนเวลาของเสียงที่ต้องการวิเคราะห์ ซึ่งทำให้การวิเคราะห์ผลการทดลองเกิดความผิดพลาด

3) ในการบันทึกเสียงแต่ละครั้งต้องควบคุมระยะเวลาที่มีการบันทึกเสียงให้เท่ากันทุกครั้ง ด้วยเวลา 8 วินาที เพื่อป้องกันไม่ให้ความเข้มของเสียงเกิดความแตกต่างกันเนื่องมาจากเวลาที่ใช้ในการบันทึก

4) ไมโครโฟนไม่สามารถติดตั้งไว้ที่โต๊ะวางเรือได้เนื่องจากปัจจัยดังต่อไปนี้

- กระบวนการตรวจสอบการยึดติดเป็นกระบวนการที่มีการเปลี่ยนวินเซอร์ฟลาย์ออกจากโต๊ะวางเรือ หลังจากกระบวนการตรวจสอบวินเซอร์ฟลาย์แต่ละลำที่มีวัสดุองค์ประกอบเหมือนกันแต่มีขนาดแตกต่างกัน

- ในระหว่างกระบวนการเคาะมีการเปลี่ยนตำแหน่งจากท้ายเรือไปยังหัวเรือ

ด้วยปัจจัยเหล่านี้จึงทำให้ต้องถือไมโครโฟนแล้วเคลื่อนที่ตามจุดที่มีการเคาะ เพื่อให้ระยะห่างระหว่างไมโครโฟนกับวินเซอร์ฟลาย์ไม่แตกต่างกันในทุกจุดของการเคาะ

5) การเคาะของพนักงานไม่มีการกำหนดรูปแบบหรือลำดับในการเคาะ ทำให้ในบางครั้ง พนักงานเคาะในจุดที่มีวัสดุองค์ประกอบแตกต่างกันโดยไม่ทันระวัง ซึ่งการเคาะลักษณะนี้ทำให้เสียงที่บันทึกไม่สามารถนำไปวิเคราะห์ได้ จึงต้องกำหนดให้การเคาะทำเฉพาะจุดที่มีวัสดุองค์ประกอบตรงตามทีระบุไว้

6) วินเซิร์ฟแต่ละลำที่เข้ามาในกระบวนการตรวจสอบ ไม่ได้ประกอบด้วยวัสดุองค์ประกอบที่เหมือนกัน และไม่มีวัสดุองค์ประกอบตามที่ต้องการทุกลำ จึงต้องใช้ระยะเวลามากในการทำการทดลอง เนื่องจากต้องบันทึกเสียงเฉพาะวินเซิร์ฟที่มีองค์ประกอบตามที่ต้องการเท่านั้น

5.4 ข้อเสนอแนะ

- 1) เพื่อความสะดวกรวดเร็วในการนำไปใช้งานจริง จะต้องมีการติดตั้งอุปกรณ์แปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัล และเพิ่มโปรแกรมในการส่งไฟล์เสียงเข้าสู่การแปลงสัญญาณเสียงให้อยู่ในรูปแบบความถี่โดยอัตโนมัติ พร้อมทั้งเพิ่มโปรแกรมการประมวลผลพื้นที่ได้กราฟโดยใช้พื้นที่ได้กราฟที่ได้จากการทดลองนี้เป็นค่าที่ใช้ในการจำแนก
- 2) หากต้องการความชัดของเสียงมากยิ่งขึ้น สามารถเปลี่ยนชนิดของไมโครโฟนที่ให้ความชัดของเสียงเพิ่มมากขึ้นได้ แต่ต้องคำนึงถึงราคาที่สูงขึ้นเช่นกัน ทั้งนี้เพื่อให้เหมาะสมกับต้นทุนการผลิต
- 3) หากมีการเปลี่ยนแปลงกระบวนการข้างเคียง และมีเสียงของสิ่งแวดล้อมจากแหล่งกำเนิดที่ไม่ได้ระบุไว้ในรายการของความถี่เสียงจากสิ่งแวดล้อมจะต้องมีการระบุความถี่ของเสียงจากแหล่งกำเนิดใหม่ทุกครั้ง เพื่อป้องกันไม่ให้เสียงจากสิ่งแวดล้อมนี้มีผลต่อพื้นที่ได้กราฟ ในกรณีที่เสียงดังกล่าวมีความถี่ตรงกันกับความถี่การยึดติด
- 4) ควรมีการจัดทำมาตรฐานการทำงานในกระบวนการเคาะ เพื่อควบคุมให้การเคาะโดยพนักงานให้เคาะเฉพาะจุดที่มีโครงสร้างของวัสดุองค์ประกอบตามที่ระบุไว้เท่านั้น เพราะการเคาะในจุดที่มีวัสดุองค์ประกอบนอกเหนือไปจากที่กำหนดไว้ จะไม่สามารถใช้พื้นที่จัดทำมาตรฐานไว้ได้
- 5) ในอนาคตอาจมีการพัฒนาการเคาะโดยพนักงานเป็นเครื่องจักรเคาะโดยอัตโนมัติ ซึ่งจะมีน้ำหนักในการเคาะคงที่และสม่ำเสมอ ส่งผลให้ข้อมูลเสียงที่ได้มีความคลาดเคลื่อนจากน้ำหนักการเคาะน้อยลง

6) พื้นที่ได้กราฟที่จัดทำเพื่อจำแนกจุดที่มีการยึดติดและจุดที่ไม่มีการยึดติด สามารถใช้ได้
เฉพาะวินเซิร์ฟที่มีวัสดุองค์ประกอบตามที่ระบุเท่านั้น



บรรณานุกรม



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

- [1] บริษัทคอבר้าอินเตอร์เนชั่นแนล จำกัด
- [2] Paulo Antonio Delgado-Arredondo, Daniel Morinigo-Sotelo, Roque Alfredo Osornio-Rios, Juan Gabriel Avina-Cervantes, Horacio Rostro-Gonzalez, Rene de Jesus Romero-Troncoso Methodology for fault detection in induction motors via sound and vibration signals. Mechanical ns signal processing 83 (2017) : 568-589
- [3] Somkiat Tangjitsitcharoen, Haruetai Lohasiriwat Hybrid monitoring of chip formation and straightness in CNC turning by utilizing daubechies wavelet transform Procedia Manufacturing 25 (2018) : 279-286.
- [4] Somkiat Tangjitsitcharoen, Haruetai Lohasiriwat Intelligent monitoring and prediction of tool wear in CNC turning by utilizing wavelet transform Journal of advanced manufacturing technology 99 (2018) :2219-2230.
- [5] Frequency วิกีพีเดีย สารานุกรมเสรี [20 มกราคม 2562] Available from : <https://th.wikipedia.org/wiki/frequency>
- [6] ZEN ACOUSTIC CO., LTD. [22 มกราคม 2562] Available from : <http://www.zen-acoustic.com/sound-frequency.html>
- [7] Amplitude วิกีพีเดีย สารานุกรมเสรี [1 มีนาคม 2562] Available from : <https://th.wikipedia.org/wiki/Amplitude>
- [8] หนังสือฟิสิกส์ราชมงคล 2546 [27 มีนาคม 2562] Available from : <http://www.atom.rmutphysics.com/charud/oldnews/0/286/1/1/product2546/Simple-Pendulum.html>

- [9] Alexander, Charles; Sadiku, Matthew (2004). Fundamentals of Electric Circuits (Second ed.). McGraw-Hill. p. 761. ISBN 0-07-249350-X. The frequency spectrum of a signal consists of the plots of the amplitudes and phases of the harmonics versus frequency.
- [10] Frequency spectrum [30 มีนาคม 2562] Available from :
https://sail.usc.edu/~lgoldste /General_Phonetics/Source_Filter/SFb.html
- [11] Harmonic วิกีพีเดีย สารานุกรมเสรี [30 มีนาคม 2562] Available from :
<https://en.wikipedia.org /wiki/Harmonic>
- [12] Computer and Communication , Signal [30 มีนาคม 2562] Available from :
<http://personal.sut.ac.th/paramate/files/compcom/compcomm03.pdf>
- [13] ภาพรวมของวัสดุเชิงประกอบ ฉบับที่ 70 ปีที่ 22 พฤศจิกายน 2552 - มกราคม 2553 18-32, [11 มีนาคม 2562] Available from : http://www.eng.ku.ac.th/e-journal_th
- [14] วารสารเทคโนโลยีขั้นสูงที่ทันสมัย 2014 เล่มที่ 2 หน้า 46-51, [12 มีนาคม 2562] Available from : <https://assz.ru/th/chto-takoe-kompozicionnye-materialy-kompozicionnye-materialy>
- [15] Hand Lay-up Method [20 เมษายน 2562] Available from :
<https://www.agcmatexthai.com /content/1718/hand-lay-up-method>
- [16] Vacuum Bagging [20 เมษายน 2562] Available from :
<https://www.epoxyworks.com/index.php/vacuum-bagging-basics/>
- [17] Filament-winding Method [20 เมษายน 2562] Available from :
<https://www.agcmatexthai .com/content/1719/filament-winding>

- [18] Audio Media Production [25 เมษายน 2562] Available from :
<https://sites.google.com/site/sound56040097/kar-phlit-sux-seiyng/seiyng-keid-khun-di-xyangri?tmpl=%2Fsystem%2Fapp%2Ftemplates%2Fprint%2F&showPrintDialog=1>
- [19] Fourier Transform [1 กุมภาพันธ์ 2562] Available from : https://en.wikipedia.org/wiki/Fourier_transform
- [20] Fast Fourier Transform [2 กุมภาพันธ์ 2562] Available from :
https://en.wikipedia.org/wiki/Fast_Fourier_transform
- [21] DFT และ FFT [30 มีนาคม 2562] Available from : http://webstaff.kmutt.ac.th/~thorin.the/ENE208/Lectures/dft_fft_pinit.pdf
- [22] Sampling rate [22 มีนาคม 2562] Available from :
<https://www.auxoutstudio.com/sampling-rate>
- [23] Sampling Frequency [2 เมษายน 2562] Available from : [https://en.wikipedia.org/wiki/Sampling_\(signal_processing\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Sampling_(signal_processing))
- [24] V. Keilis-Borok & A. Soloviev Pattern Recognition Methods & Algorithms International Institute of Earthquake Prediction Moscow, Russia Institute of Geophysics & Planetary Physics & Dept. of Earth Sciences University of California, L.A., USA (2007) : 1-21
- [25] Ch.Vijaya Kumar, Harsha Vardhan, Ch.S.N. Murthy, N.C. Karmakar Estimating rock properties using sound signal dominant frequencies during diamond core drilling operations Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering (2019).
- [26] W.K. Lee, M.M. Ratnam, Z.A. Ahmad Detection of chipping in ceramic cutting inserts from workpieceprofile during turning using fast Fourier transform (FFT)

- and continuous wavelet transform (CWT) Precision Engineering 47 (2017) : 406–423
- [27] Somkiat Tangjitsitcharoen, Mumin Sassantiwong Concurrent Monitoring of Chip Formation and Prediction of Roundness in CNC Turning Using Wavelet Transform Material science and Engineering 241 (2017)
- [28] มूर्มีน ศาสน์สันติวงศ์. การพัฒนาการทำนายค่าความตรงและความกลมของชิ้นงานในกระบวนการกลึงซีเอ็นซี สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2558.
- [29] ภัทร ไชยวงศ์. การพยากรณ์การสึกหรอของเม็ดมีดในกระบวนการกลึงซีเอ็นซีโดยใช้การแปลงเวฟเล็ต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2560.
- [30] ทองพรรณราย มัยโชติ. การทำนายความขรุขระของผิวชิ้นงานในกระบวนการกลึงโดยประยุกต์ใช้การแปลงเวฟเล็ตของแรงตัดพลวัต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2558.
- [31] เดือนพรรณ จันทนา. การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความกลมของชิ้นงานในกระบวนการกลึงกับแรงตัด สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2557.
- [32] ชัยวัฒน์ ภูษณพากร. การเฝ้าสังเกตสถานะการตัดเหล็กกล้าบนเครื่องกลึงซีเอ็นซีโดยใช้เซนเซอร์ร่วมกัน สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2552.
- [33] กัญญกานต์ สมานมิตร. การทำนายความขรุขระผิวชิ้นงานในกระบวนการโดยการประยุกต์ใช้

แรงตัดพลวัตในการกลึงเหล็กกล้าคาร์บอนเกรด S45C ด้วยใบมีดคาร์ไบด์เคลือบผิว,
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์.
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2556.

- [34] สมเกียรติ ตั้งจิตสิตเจริญ. วิศวกรรมการผลิตขั้นสูง. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์แห่ง
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2561.





ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



ภาคผนวก ก

ตารางแสดงผลการทดลองพื้นที่ได้กราฟและลักษณะทางกายภาพของวินเซิร์ฟทั้ง 4 ชนิด

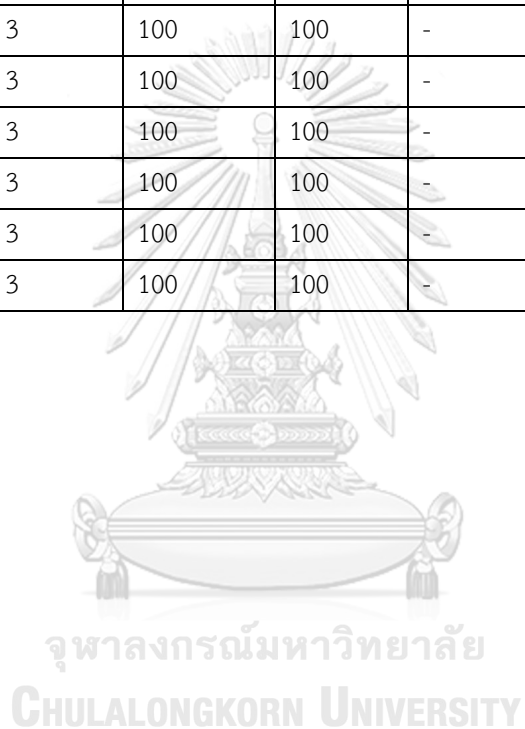
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

วินเซิร์ฟ 1

ลักษณะทางกายภาพ : จุดที่มีการยึดติด

WS no.	Layup no.	Polyvinyl chloride sheet		Fiber glass reinforced fabric 100 (g/cm ³)	Biaxial carbon reinforced fabric (g/cm ³)	Physical surface	Integration area (dB ²)
		Thickness 3 mm.	Density 100 (g/cm ³)				
1	11082454	3	100	100	-	Laminate	0.34
2	11082454	3	100	100	-	Laminate	0.41
3	11082454	3	100	100	-	Laminate	0.32
4	11082454	3	100	100	-	Laminate	0.35
5	11082454	3	100	100	-	Laminate	0.37
6	11082454	3	100	100	-	Laminate	0.30
7	11082454	3	100	100	-	Laminate	0.33
8	11082454	3	100	100	-	Laminate	0.31
9	11082454	3	100	100	-	Laminate	0.33
10	11082454	3	100	100	-	Laminate	0.32
11	11082454	3	100	100	-	Laminate	0.28
12	11082454	3	100	100	-	Laminate	0.32
13	11082456	3	100	100	-	Laminate	0.38
14	11082456	3	100	100	-	Laminate	0.43
15	11082456	3	100	100	-	Laminate	0.31
16	11082456	3	100	100	-	Laminate	0.35
17	11082456	3	100	100	-	Laminate	0.43
18	11082456	3	100	100	-	Laminate	0.35
19	11082456	3	100	100	-	Laminate	0.39
20	11082456	3	100	100	-	Laminate	0.31
21	11082456	3	100	100	-	Laminate	0.37

WS no.	Layup no.	Polyvinyl chloride sheet		Fiber glass reinforced fabric 100 (g/cm ³)	Biaxial carbon reinforced fabric (g/cm ³)	Physical Laminate surface	Integration area (dB ²)
		Thickness 3 mm.	Density 100 (kg/m ³)				
22	11082456	3	100	100	-	Laminate	0.40
23	11082456	3	100	100	-	Laminate	0.59
24	11082456	3	100	100	-	Laminate	0.43
25	11082456	3	100	100	-	Laminate	0.32
26	11082456	3	100	100	-	Laminate	0.40
27	11082456	3	100	100	-	Laminate	0.53
28	11082456	3	100	100	-	Laminate	0.45
29	11082456	3	100	100	-	Laminate	0.35
30	11082456	3	100	100	-	Laminate	0.30



วินเซิร์ฟ 1

ลักษณะทางกายภาพ : จุดที่ไม่มีการยึดติด

WS no.	Layup no.	Polyvinyl chloride sheet		Fiber glass reinforced fabric 100 (g/cm ³)	Biaxial carbon reinforced fabric (g/cm ³)	Physical surface	Integration area (dB ²)
		Thickness 3 mm.	Density 100 (g/cm ³)				
1	11082454	3	100	100	-	Delaminate	0.14
2	11082454	3	100	100	-	Delaminate	0.16
3	11082454	3	100	100	-	Delaminate	0.10
4	11082454	3	100	100	-	Delaminate	0.17
5	11082454	3	100	100	-	Delaminate	0.20
6	11082454	3	100	100	-	Delaminate	0.22
7	11082454	3	100	100	-	Delaminate	0.17
8	11082454	3	100	100	-	Delaminate	0.15
9	11082454	3	100	100	-	Delaminate	0.23
10	11082454	3	100	100	-	Delaminate	0.22
11	11082454	3	100	100	-	Delaminate	0.19
12	11082454	3	100	100	-	Delaminate	0.21
13	11082456	3	100	100	-	Delaminate	0.13
14	11082456	3	100	100	-	Delaminate	0.19
15	11082456	3	100	100	-	Delaminate	0.23
16	11082456	3	100	100	-	Delaminate	0.16
17	11082456	3	100	100	-	Delaminate	0.18
18	11082456	3	100	100	-	Delaminate	0.21
19	11082456	3	100	100	-	Delaminate	0.22
20	11082456	3	100	100	-	Delaminate	0.17
21	11082456	3	100	100	-	Delaminate	0.12

WS no.	Layup no.	Polyvinyl chloride sheet		Fiber glass reinforced fabric 100 (g/cm ³)	Biaxial carbon reinforced fabric (g/cm ³)	Physical Laminate surface	Integration area (dB ²)
		Thickness 3 mm.	Density 100 (kg/m ³)				
22	11082456	3	100	100	-	Delaminate	0.16
23	11082456	3	100	100	-	Delaminate	0.18
24	11082456	3	100	100	-	Delaminate	0.13
25	11082456	3	100	100	-	Delaminate	0.14
26	11082456	3	100	100	-	Delaminate	0.13
27	11082456	3	100	100	-	Delaminate	0.12
28	11082456	3	100	100	-	Delaminate	0.18
29	11082456	3	100	100	-	Partial Delaminate	0.25
30	11082456	3	100	100	-	Delaminate	0.19

วินเซิร์ฟ 2

ลักษณะทางกายภาพ : จุดที่มีการยึดติด

WS no.	Layup no.	Polyvinyl chloride sheet		Fiber glass reinforced fabric 60 (g/cm ³)	Biaxial carbon reinforced fabric (g/cm ³)	Physical surface	Integration area (dB ²)
		Thickness 3 mm.	Density 100 (g/cm ³)				
1	11083297	3	100	60	-	Laminate	0.34
2	11083297	3	100	60	-	Laminate	0.32
3	11083297	3	100	60	-	Laminate	0.34
4	11083297	3	100	60	-	Laminate	0.50
5	11083297	3	100	60	-	Laminate	0.34
6	11083297	3	100	60	-	Laminate	0.45
7	11083297	3	100	60	-	Laminate	0.37
8	11083297	3	100	60	-	Laminate	0.64
9	11082072	3	100	60	-	Laminate	0.30
10	11082072	3	100	60	-	Laminate	0.29
11	11082072	3	100	60	-	Laminate	0.36
12	11082072	3	100	60	-	Laminate	0.29
13	11082072	3	100	60	-	Laminate	0.30
14	11082072	3	100	60	-	Laminate	0.39
15	11082072	3	100	60	-	Laminate	0.44
16	11082072	3	100	60	-	Laminate	0.28
17	11082072	3	100	60	-	Laminate	0.30
18	11082072	3	100	60	-	Laminate	0.34
19	11082072	3	100	60	-	Laminate	0.32
20	11082072	3	100	60	-	Laminate	0.38
21	11082072	3	100	60	-	Laminate	0.50

WS no.	Layup no.	Polyvinyl chloride sheet		Fiber glass reinforced fabric 60 (g/cm ³)	Biaxial carbon reinforced fabric (g/cm ³)	Physical Laminate surface	Integration area (dB ²)
		Thickness 3 mm.	Density 100 (g/cm ³)				
22	11082072	3	100	60	-	Laminate	0.33
23	11082063	3	100	60	-	Laminate	0.30
24	11082063	3	100	60	-	Laminate	0.29
25	11082063	3	100	60	-	Laminate	0.38
26	11082063	3	100	60	-	Laminate	0.40
27	11082063	3	100	60	-	Laminate	0.36
28	11082063	3	100	60	-	Laminate	0.33
29	11082063	3	100	60	-	Laminate	0.48
30	11082063	3	100	60	-	Laminate	0.43

วินเซิร์ฟ 2

ลักษณะทางกายภาพ : จุดที่ไม่มีการยึดติด

WS no.	Layup no.	Polyvinyl chloride sheet		Fiber glass reinforced fabric 60 (g/cm ³)	Biaxial carbon reinforced fabric (g/cm ³)	Physical surface	Integration area (dB ²)
		Thickness 3 mm.	Density 100 (g/cm ³)				
1	11084292	3	100	60	-	Delaminate	0.19
2	11084292	3	100	60	-	Partial Delaminate	0.26
3	11084292	3	100	60	-	Delaminate	0.21
4	11084292	3	100	60	-	Delaminate	0.13
5	11084292	3	100	60	-	Delaminate	0.13
6	11084292	3	100	60	-	Delaminate	0.23
7	11084292	3	100	60	-	Delaminate	0.17
8	11084292	3	100	60	-	Delaminate	0.21
9	11084292	3	100	60	-	Delaminate	0.15
10	11082072	3	100	60	-	Delaminate	0.17
11	11082072	3	100	60	-	Delaminate	0.20
12	11082072	3	100	60	-	Delaminate	0.19
13	11082072	3	100	60	-	Delaminate	0.16
14	11082072	3	100	60	-	Delaminate	0.20
15	11093297	3	100	60	-	Delaminate	0.19
16	11093297	3	100	60	-	Delaminate	0.18
17	11093297	3	100	60	-	Delaminate	0.18
18	11093297	3	100	60	-	Delaminate	0.22
19	11093297	3	100	60	-	Delaminate	0.17
20	11093297	3	100	60	-	Delaminate	0.18
21	11093297	3	100	60	-	Delaminate	0.21

WS no.	Layup no.	Polyvinyl chloride sheet		Fiber glass reinforced fabric 60 (g/cm ³)	Biaxial carbon reinforced fabric (g/cm ³)	Physical surface	Integration area (dB ²)
		Thickness 3 mm.	Density 100 (g/cm ³)				
22	11082063	3	100	60	-	Delaminate	0.25
23	11093297	3	100	60	-	Delaminate	0.22
24	11093297	3	100	60	-	Delaminate	0.20
25	11093297	3	100	60	-	Delaminate	0.17
26	11093297	3	100	60	-	Delaminate	0.24
27	11093297	3	100	60	-	Delaminate	0.20
28	11093297	3	100	60	-	Delaminate	0.20
29	11093297	3	100	60	-	Delaminate	0.15
30	11093297	3	100	60	-	Delaminate	0.25



วินเซิร์ฟ 3

ลักษณะทางกายภาพ : จุดที่มีการยึดติด

WS no.	Layup no.	Polyvinyl chloride sheet		Fiber glass reinforced fabric (g/cm ³)	Biaxial carbon reinforced fabric (g/cm ³)	Physical surface	Integration area (dB ²)
		Thickness 3 mm.	Density 80 (g/cm ³)				
1	11082568	3	80	60	-	Laminate	0.52
2	11082568	3	80	60	-	Laminate	0.57
3	11082568	3	80	60	-	Laminate	0.62
4	11082568	3	80	60	-	Laminate	0.66
5	11082568	3	80	60	-	Laminate	0.43
6	11082568	3	80	60	-	Laminate	0.45
7	11082568	3	80	60	-	Laminate	0.52
8	11083775	3	80	60	-	Laminate	0.45
9	11083775	3	80	60	-	Laminate	0.71
10	11083775	3	80	60	-	Laminate	0.49
11	11083775	3	80	60	-	Laminate	0.47
12	11083775	3	80	60	-	Laminate	0.41
13	11083775	3	80	60	-	Laminate	0.53
14	11083775	3	80	60	-	Laminate	0.53
15	11083775	3	80	60	-	Laminate	0.45
16	11083775	3	80	60	-	Laminate	0.43
17	11083775	3	80	60	-	Laminate	0.44
18	11083775	3	80	60	-	Laminate	0.43
19	11083775	3	80	60	-	Laminate	0.41
20	11083942	3	80	60	-	Laminate	0.65
21	11083942	3	80	60	-	Laminate	0.53

WS no.	Layup no.	Polyvinyl chloride sheet		Fiber glass reinforced fabric 60 (g/cm ³)	Biaxial carbon reinforced fabric (g/cm ³)	Physical surface	Integrati on area (dB ²)
		Thickness 3 mm.	Density 80 (g/cm ³)				
22	11084351	3	80	60	-	Laminate	0.46
23	11084351	3	80	60	-	Laminate	0.64
24	11084351	3	80	60	-	Laminate	0.57
25	11084351	3	80	60	-	Laminate	0.57
26	11084351	3	80	60	-	Laminate	0.73
27	11084351	3	80	60	-	Laminate	0.52
28	11084351	3	80	60	-	Laminate	0.66
29	11084351	3	80	60	-	Laminate	0.45
30	11084351	3	80	60	-	Laminate	0.68

วินเซิร์ฟ 3

ลักษณะทางกายภาพ : จุดที่ไม่มีการยึดติด

WS no.	Layup no.	Polyvinyl chloride sheet		Fiber glass reinforced fabric 60 (g/cm ³)	Biaxial carbon reinforced fabric (g/cm ³)	Physical surface	Integration area (dB ²)
		Thickness 3 mm.	Density 80 (g/cm ³)				
1	11082568	3	80	60	-	Delaminate	0.26
2	11082568	3	80	60	-	Delaminate	0.25
3	11082568	3	80	60	-	Delaminate	0.27
4	11082568	3	80	60	-	Partial Delaminate	0.38
5	11082568	3	80	60	-	Delaminate	0.25
6	11082568	3	80	60	-	Delaminate	0.18
7	11082568	3	80	60	-	Delaminate	0.29
8	11083775	3	80	60	-	Delaminate	0.19
9	11083775	3	80	60	-	Delaminate	0.21
10	11083775	3	80	60	-	Delaminate	0.32
11	11083775	3	80	60	-	Delaminate	0.32
12	11083775	3	80	60	-	Delaminate	0.31
13	11083775	3	80	60	-	Delaminate	0.23
14	11083775	3	80	60	-	Delaminate	0.33
15	11083775	3	80	60	-	Delaminate	0.33
16	11083775	3	80	60	-	Delaminate	0.26
17	11083775	3	80	60	-	Delaminate	0.26
18	11083775	3	80	60	-	Delaminate	0.25
19	11083775	3	80	60	-	Delaminate	0.26
20	11083775	3	80	60	-	Delaminate	0.18
21	11083775	3	80	60	-	Delaminate	0.30

WS no.	Layup no.	Polyvinyl chloride sheet		Fiber glass reinforced fabric 60 (g/cm ³)	Biaxial carbon reinforced fabric (g/cm ³)	Physical surface	Integration area (dB ²)
		Thickness 3 mm.	Density 80 (g/cm ³)				
22	11083775	3	80	60	-	Delaminate	0.23
23	11083942	3	80	60	-	Delaminate	0.10
24	11083942	3	80	60	-	Delaminate	0.36
25	11083942	3	80	60	-	Delaminate	0.31
26	11083942	3	80	60	-	Delaminate	0.28
27	11083942	3	80	60	-	Delaminate	0.33
28	11083942	3	80	60	-	Delaminate	0.32
29	11083942	3	80	60	-	Delaminate	0.17
30	11083942	3	80	60	-	Delaminate	0.36

วินเซิร์ฟ 4

ลักษณะทางกายภาพ : จุดที่มีการยึดติด

W S no .	Layup no.	Polyvinyl chloride sheet		Fiber glass reinforce d fabric 60 (g/cm ³)	Biaxial carbon reinforce d fabric 150 (g/cm ³)	Physical surface	Integra tion area (dB ²)
		Thicknes s 3 mm.	Density 80 (g/cm ³)				
1	11078148	3	80	60	150	Laminate	0.45
2	11078148	3	80	60	150	Laminate	0.32
3	11078148	3	80	60	150	Laminate	0.35
4	11078148	3	80	60	150	Laminate	0.40
5	11078148	3	80	60	150	Laminate	0.45
6	11078148	3	80	60	150	Laminate	0.64
7	11078148	3	80	60	150	Laminate	0.31
8	11078148	3	80	60	150	Laminate	0.35
9	11078148	3	80	60	150	Laminate	0.37
10	11078148	3	80	60	150	Laminate	0.34
11	11078148	3	80	60	150	Laminate	0.38
12	11078148	3	80	60	150	Laminate	0.32
13	11078148	3	80	60	150	Laminate	0.31
14	11078148	3	80	60	150	Laminate	0.43
15	11078148	3	80	60	150	Laminate	0.37
16	11078148	3	80	60	150	Laminate	0.65
17	11078148	3	80	60	150	Laminate	0.54
18	11078148	3	80	60	150	Laminate	0.46
19	11078148	3	80	60	150	Laminate	0.32
20	11078148	3	80	60	150	Laminate	0.39
21	11084367	3	80	60	150	Laminate	0.34

WS no.	Layup no.	Polyvinyl chloride sheet		Fiber glass reinforced fabric 60 (g/cm ³)	Biaxial carbon reinforced fabric 150 (g/cm ³)	Physical surface	Integration area (dB ²)
		Thickness 3 mm.	Density 80 (kg/cm ³)				
22	11084367	3	80	60	150	Laminate	0.54
23	11084367	3	80	60	150	Laminate	0.32
24	11084367	3	80	60	150	Laminate	0.45
25	11084367	3	80	60	150	Laminate	0.43
26	11084367	3	80	60	150	Laminate	0.43
27	11084367	3	80	60	150	Laminate	0.45
28	11084367	3	80	60	150	Laminate	0.32
29	11084367	3	80	60	150	Laminate	0.43
30	11084367	3	80	60	150	Laminate	0.35

วินเซิร์ฟ 4

ลักษณะทางกายภาพ : จุดที่ไม่มีการยึดติด

WS no.	Layup no.	Polyvinyl chloride sheet		Fiber glass reinforced fabric 60 (g/cm ³)	Biaxial carbon reinforced fabric 150 (g/cm ³)	Physical surface	Integration area (dB ²)
		Thickness 3 mm.	Density 80 (g/cm ³)				
1	11078148	3	80	60	150	Delaminate	0.12
2	11078148	3	80	60	150	Delaminate	0.17
3	11078148	3	80	60	150	Delaminate	0.19
4	11078148	3	80	60	150	Delaminate	0.15
5	11078148	3	80	60	150	Delaminate	0.24
6	11078148	3	80	60	150	Delaminate	0.21
7	11078148	3	80	60	150	Delaminate	0.15
8	11078148	3	80	60	150	Delaminate	0.16
9	11078148	3	80	60	150	Delaminate	0.19
10	11078148	3	80	60	150	Delaminate	0.21
11	11084367	3	80	60	150	Delaminate	0.26
12	11084367	3	80	60	150	Delaminate	0.23
13	11084367	3	80	60	150	Delaminate	0.20
14	11084367	3	80	60	150	Delaminate	0.18
15	11084367	3	80	60	150	Delaminate	0.22
16	11084367	3	80	60	150	Delaminate	0.21
17	11084367	3	80	60	150	Delaminate	0.21
18	11084367	3	80	60	150	Delaminate	0.20
19	11084367	3	80	60	150	Delaminate	0.21
20	11084367	3	80	60	150	Delaminate	0.22
21	11084367	3	80	60	150	Partial Delaminate	0.28

WS no.	Layup no.	Polyvinyl chloride sheet		Fiber glass reinforced fabric 60 (g/cm ³)	Biaxial carbon reinforced fabric 150 (g/cm ³)	Physical surface	Integration area (dB ²)
		Thickness 3 mm.	Density 80 (g/cm ³)				
22	11084367	3	80	60	150	Delaminate	0.23
23	11084367	3	80	60	150	Delaminate	0.21
24	11084367	3	80	60	150	Delaminate	0.16
25	11084367	3	80	60	150	Delaminate	0.17
26	11084367	3	80	60	150	Delaminate	0.26
27	11084367	3	80	60	150	Delaminate	0.15
28	11084367	3	80	60	150	Delaminate	0.12
29	11084367	3	80	60	150	Delaminate	0.21
30	11084367	3	80	60	150	Delaminate	0.19





วินเซิร์ฟ 1

```
clc;
```

```
close all;
```

```
clear all;
```

```
Fs = 1000; %sampling frequency
```

```
[y1,Fs]= audioread('.wav');
```

```
fft_data = fft(y1);
```

```
[N,n]=size(y1);
```

```
f=(0:N-1)/N*Fs;
```

```
t=1/Fs;
```

```
tt=(0:t:t*(N-1));
```

```
freq=f(1:N/2);
```

```
figure(3);plot(tt,y1);grid;zoom on;
```

```
fft_data=fft(y1(:,1))/N*2;
```

```
gain=abs(fft_data(1:N/2));
```

```
Pgain=gain.^2;
```

```
figure(4);plot(freq,gain);zoom on;grid;
```

```
figure(5);plot(freq,Pgain);zoom on;grid;
```



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

```
Pa=mean(y1(:,1));  
  
Sc=trapz(abs(mean(y1)));  
  
amp = abs(max(fft_data));  
  
% Choose FFT size and calculate spectrum  
  
Nfft = N;  
  
[Pxx,f] = pwelch(y1,gausswin(Nfft),Nfft/2,Nfft,Fs);  
  
% Get frequency estimate (spectral peak)  
  
[~,loc] = max(Pxx);  
  
FREQ_ESTIMATE = f(loc);  
  
Area=trapz(abs(fft_data(276.5:326.5)))-trapz(1.5*abs(mean(y1)));
```

วินเซิร์ฟ 2

```
clc;
```

```
close all;
```

```
clear all;
```

```
Fs = 1000; %sampling frequency
```

```
[y1,Fs]= audioread('.wav');
```

```
fft_data = fft(y1);
```

```
[N,n]=size(y1);
```

```
f=(0:N-1)/N*Fs;
```

```
t=1/Fs;
```

```
tt=(0:t:t*(N-1));
```

```
freq=f(1:N/2);
```

```
figure(3);plot(tt,y1);grid;zoom on;
```

```
fft_data=fft(y1(:,1))/N*2;
```

```
gain=abs(fft_data(1:N/2));
```

```
Pgain=gain.^2;
```

```
figure(4);plot(freq,gain);zoom on;grid;
```

```
figure(5);plot(freq,Pgain);zoom on;grid;
```



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

```
Pa=mean(y1(:,1));

Sc=trapz(abs(mean(y1)));

amp = abs(max(fft_data));

% Choose FFT size and calculate spectrum

Nfft = N;

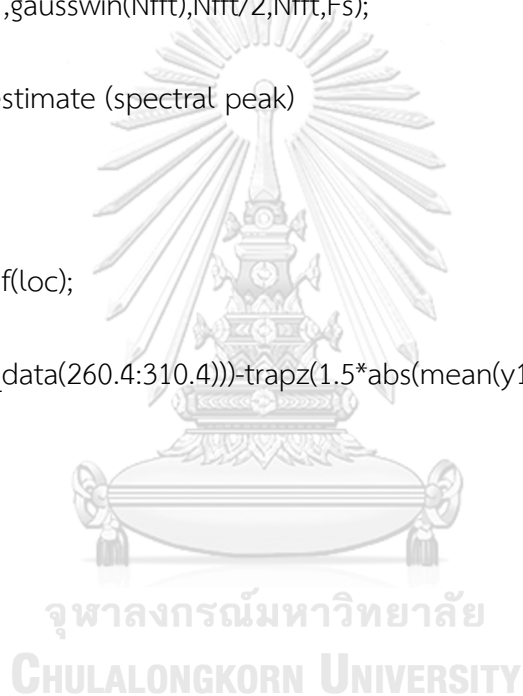
[Pxx,f] = pwelch(y1,gausswin(Nfft),Nfft/2,Nfft,Fs);

% Get frequency estimate (spectral peak)

[~,loc] = max(Pxx);

FREQ_ESTIMATE = f(loc);

Area=trapz(abs(fft_data(260.4:310.4)))-trapz(1.5*abs(mean(y1)));
```



วินเซิร์ฟ 3

```
clc;
```

```
close all;
```

```
clear all;
```

```
Fs = 1000; %sampling frequency
```

```
[y1,Fs]= audioread('.wav');
```

```
fft_data = fft(y1);
```

```
[N,n]=size(y1);
```

```
f=(0:N-1)/N*Fs;
```

```
t=1/Fs;
```

```
tt=(0:t:t*(N-1));
```

```
freq=f(1:N/2);
```

```
figure(3);plot(tt,y1);grid;zoom on;
```

```
fft_data=fft(y1(:,1))/N*2;
```

```
gain=abs(fft_data(1:N/2));
```

```
Pgain=gain.^2;
```

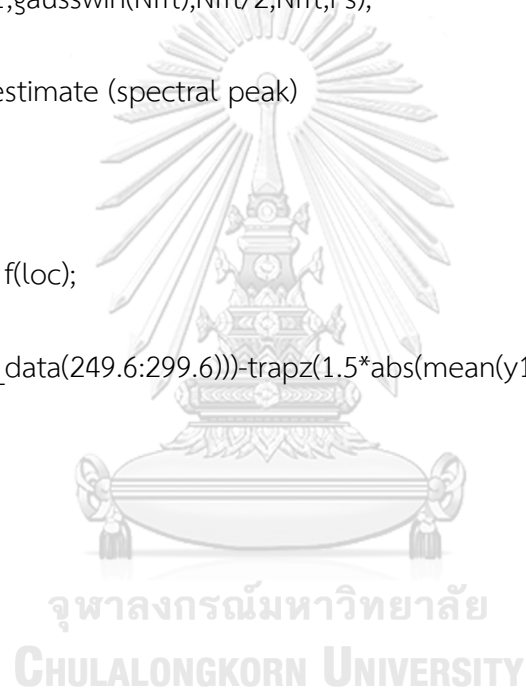
```
figure(4);plot(freq,gain);zoom on;grid;
```

```
figure(5);plot(freq,Pgain);zoom on;grid;
```



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

```
Pa=mean(y1(:,1));  
  
Sc=trapz(abs(mean(y1)));  
  
amp = abs(max(fft_data));  
  
% Choose FFT size and calculate spectrum  
  
Nfft = N;  
  
[Pxx,f] = pwelch(y1,gausswin(Nfft),Nfft/2,Nfft,Fs);  
  
% Get frequency estimate (spectral peak)  
  
[~,loc] = max(Pxx);  
  
FREQ_ESTIMATE = f(loc);  
  
Area=trapz(abs(fft_data(249.6:299.6)))-trapz(1.5*abs(mean(y1)));
```



วินเซิร์ฟ 4

```
clc;
```

```
close all;
```

```
clear all;
```

```
Fs = 1000; %sampling frequency
```

```
[y1,Fs]= audioread('.wav');
```

```
fft_data = fft(y1);
```

```
[N,n]=size(y1);
```

```
f=(0:N-1)/N*Fs;
```

```
t=1/Fs;
```

```
tt=(0:t:t*(N-1));
```

```
freq=f(1:N/2);
```

```
figure(3);plot(tt,y1);grid;zoom on;
```

```
fft_data=fft(y1(:,1))/N*2;
```

```
gain=abs(fft_data(1:N/2));
```

```
Pgain=gain.^2;
```

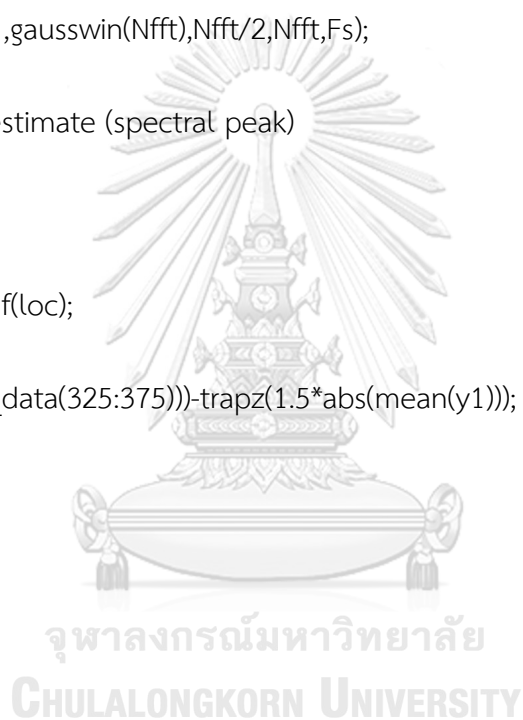
```
figure(4);plot(freq,gain);zoom on;grid;
```

```
figure(5);plot(freq,Pgain);zoom on;grid;
```

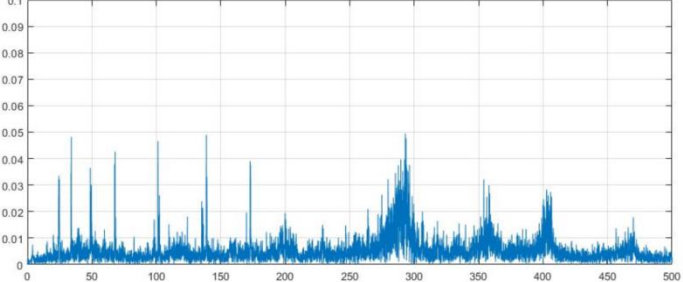
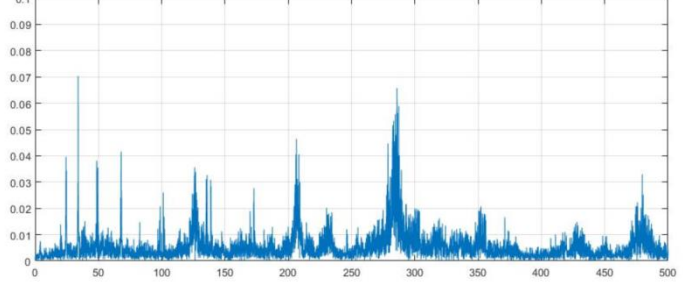
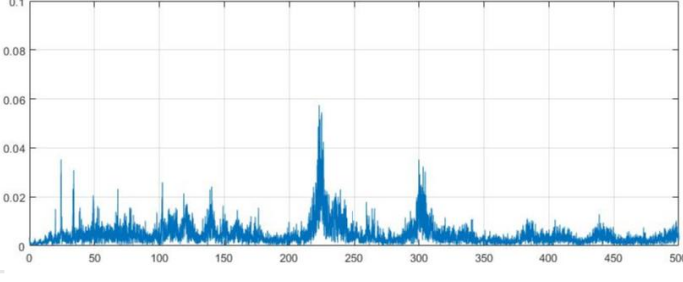
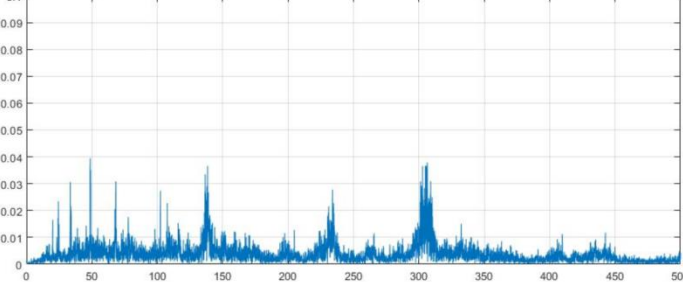
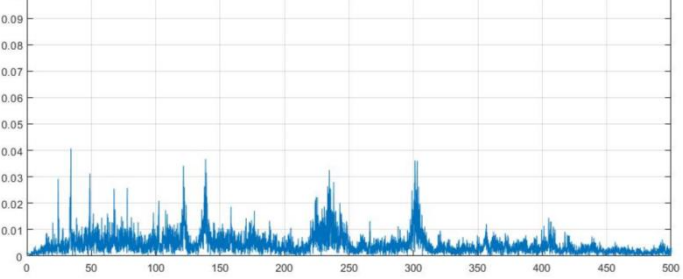


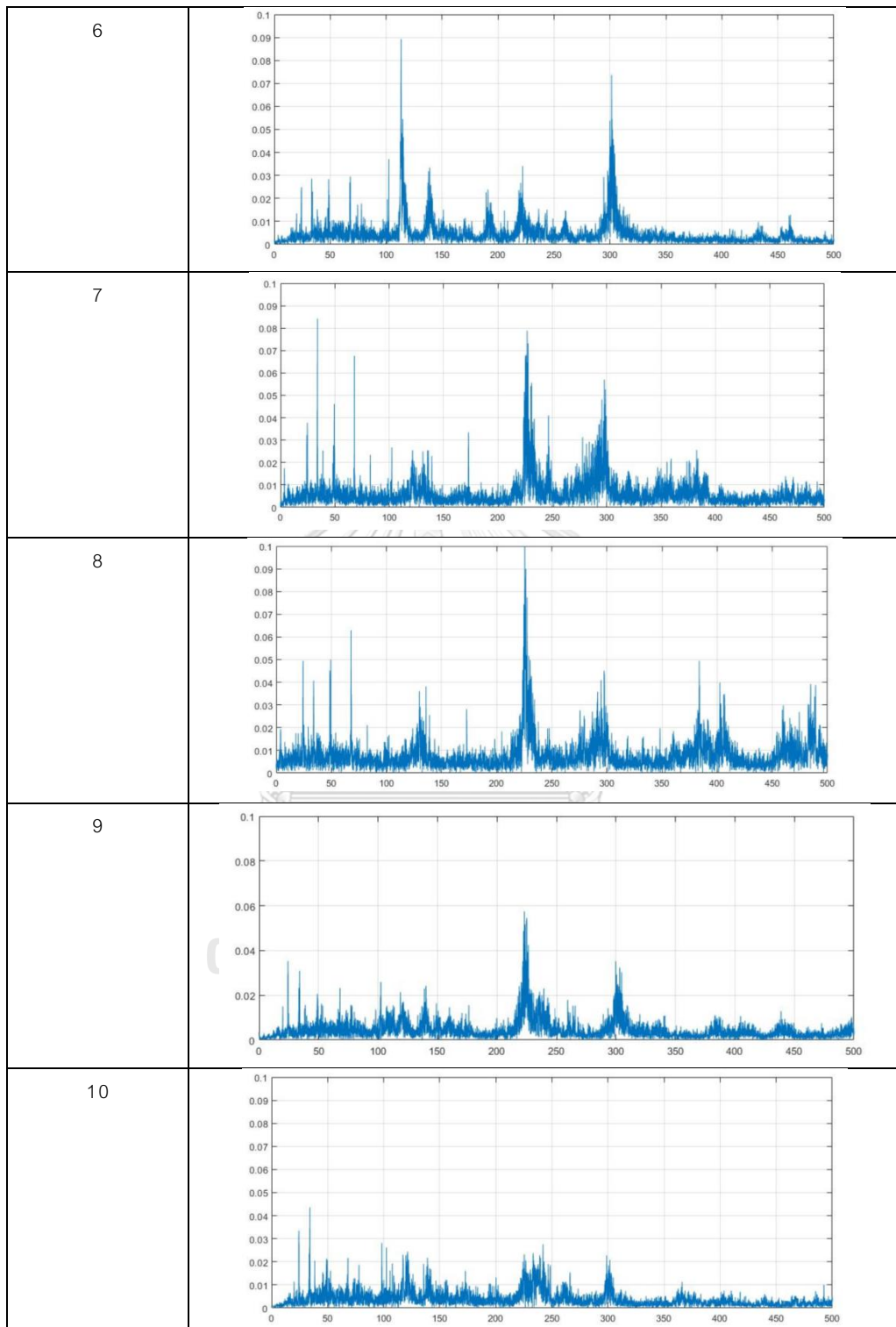
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

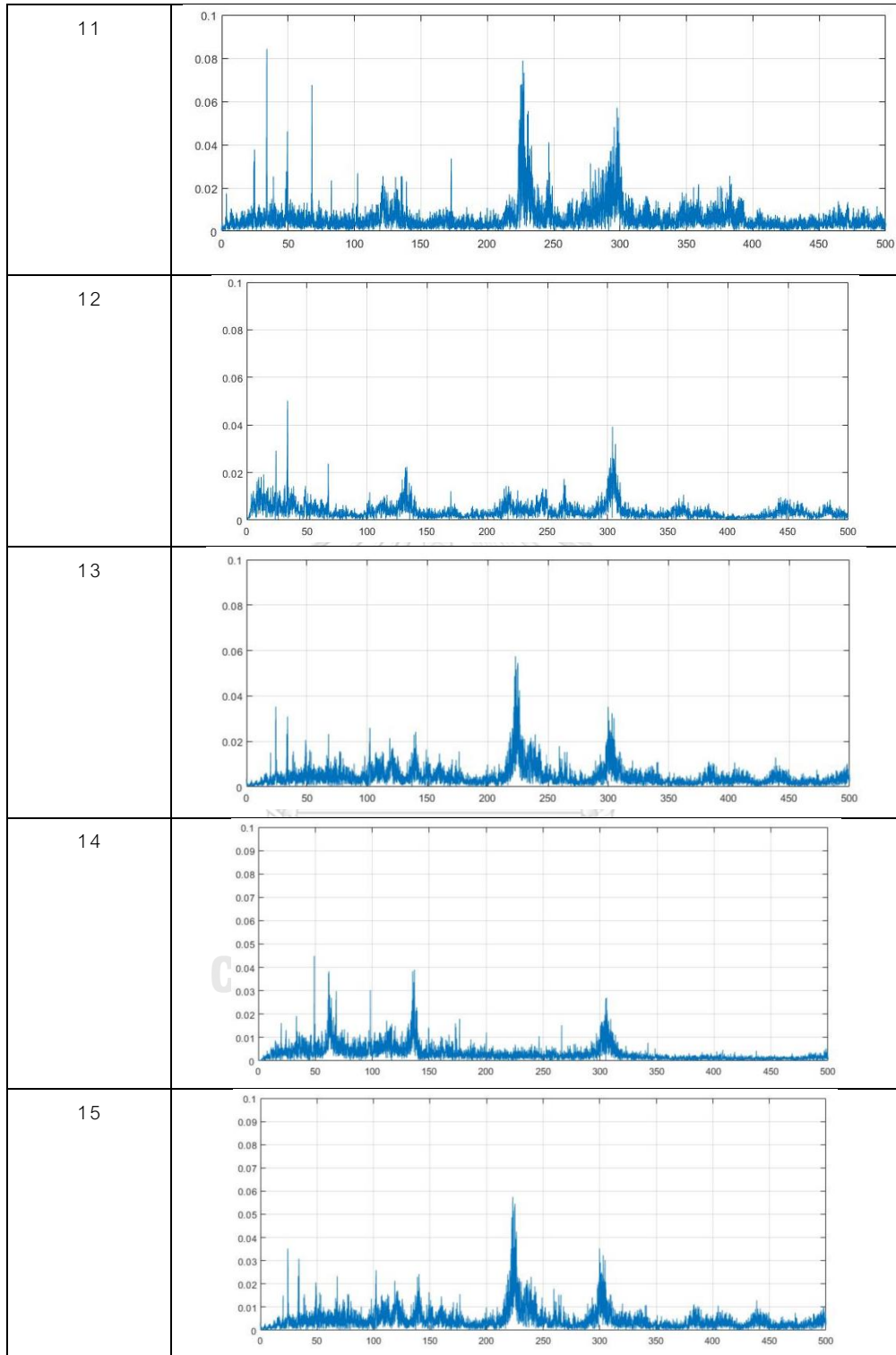
```
Pa=mean(y1(:,1));  
  
Sc=trapz(abs(mean(y1)));  
  
amp = abs(max(fft_data));  
  
% Choose FFT size and calculate spectrum  
  
Nfft = N;  
  
[Pxx,f] = pwelch(y1,gausswin(Nfft),Nfft/2,Nfft,Fs);  
  
% Get frequency estimate (spectral peak)  
  
[~,loc] = max(Pxx);  
  
FREQ_ESTIMATE = f(loc);  
  
Area=trapz(abs(fft_data(325:375)))-trapz(1.5*abs(mean(y1)));
```

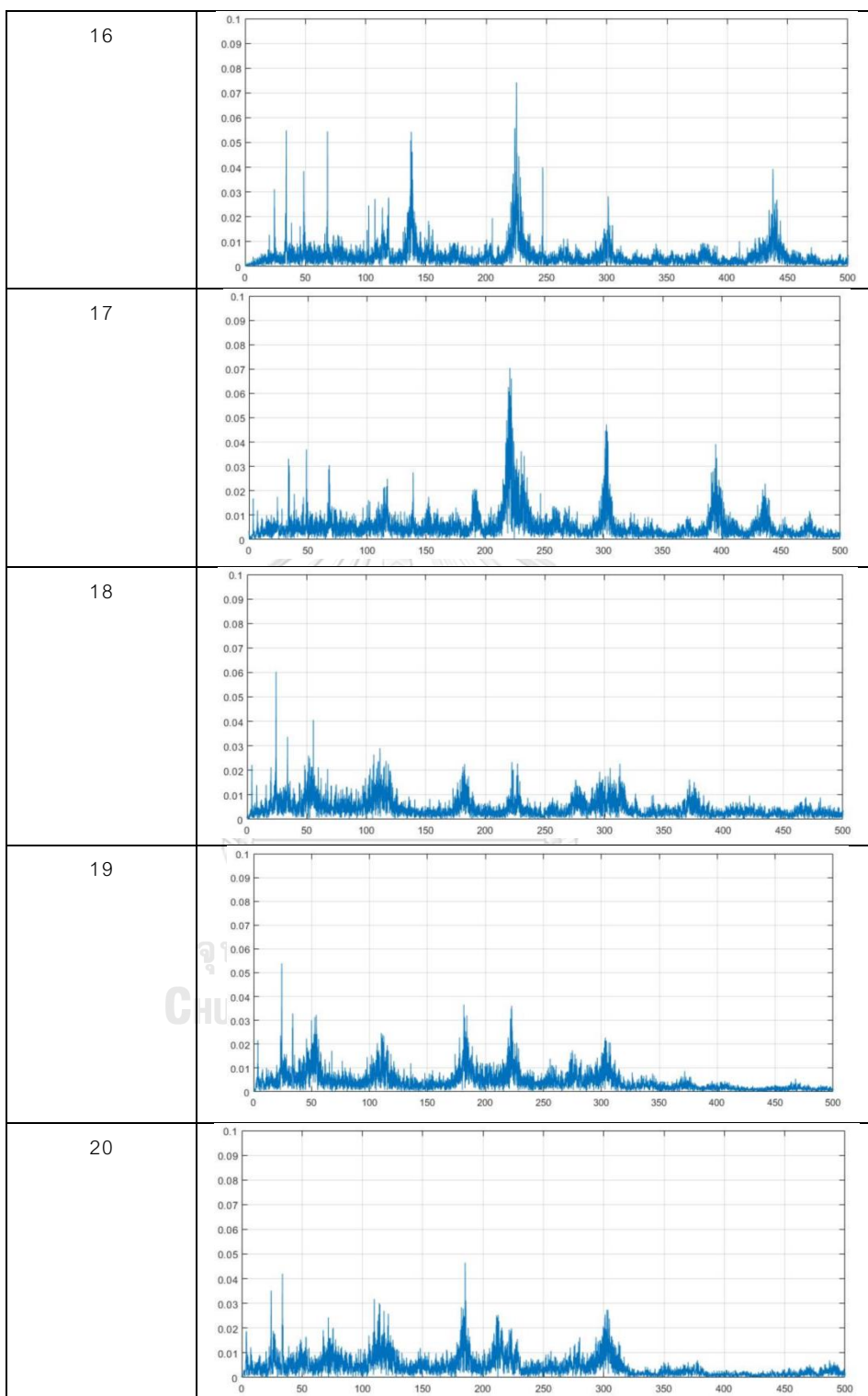


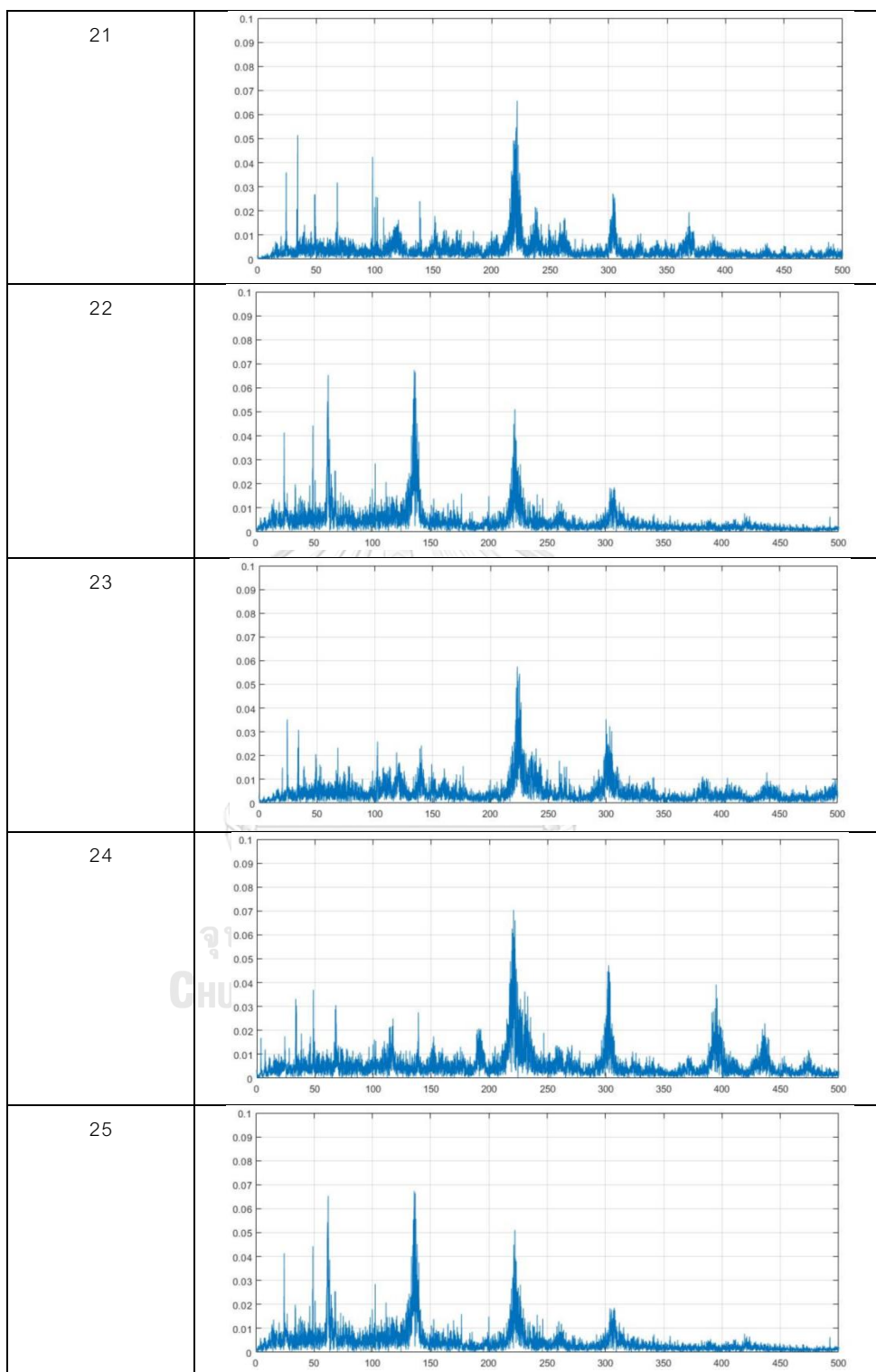


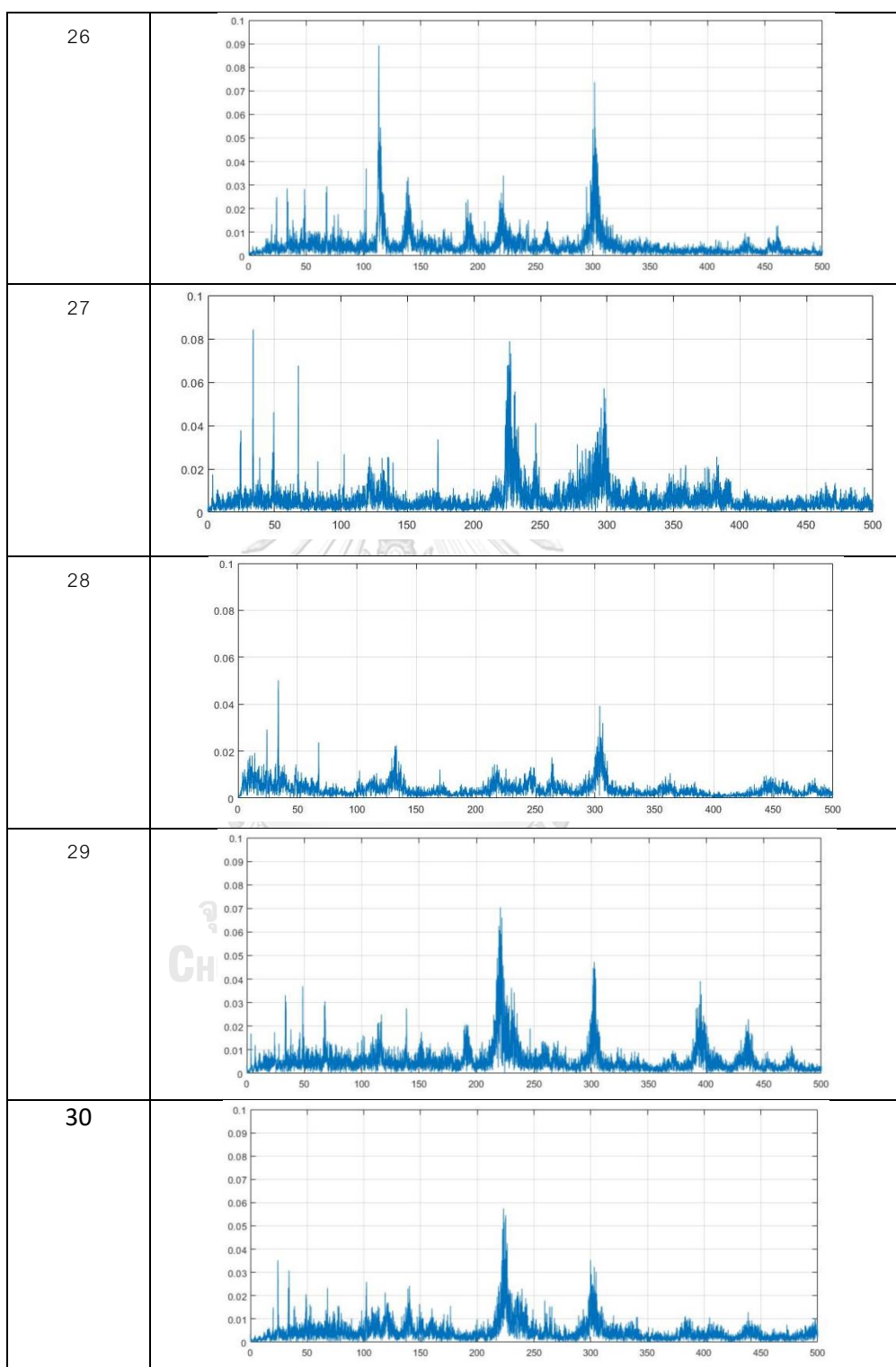
WS No.	วินเซอร์ฟ 1 จุดที่มีการยึดติด
1	 A spectrogram plot showing frequency components over time. The x-axis represents time from 0 to 500, and the y-axis represents frequency from 0 to 0.1. The plot shows a complex signal with multiple peaks, notably around 300 and 400.
2	 A spectrogram plot showing frequency components over time. The x-axis represents time from 0 to 500, and the y-axis represents frequency from 0 to 0.1. The plot shows a complex signal with multiple peaks, notably around 300 and 400.
3	 A spectrogram plot showing frequency components over time. The x-axis represents time from 0 to 500, and the y-axis represents frequency from 0 to 0.1. The plot shows a complex signal with multiple peaks, notably around 300 and 400.
4	 A spectrogram plot showing frequency components over time. The x-axis represents time from 0 to 500, and the y-axis represents frequency from 0 to 0.1. The plot shows a complex signal with multiple peaks, notably around 300 and 400.
5	 A spectrogram plot showing frequency components over time. The x-axis represents time from 0 to 500, and the y-axis represents frequency from 0 to 0.1. The plot shows a complex signal with multiple peaks, notably around 300 and 400.

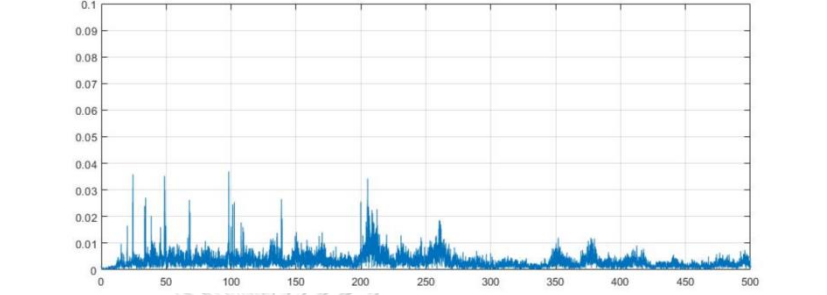
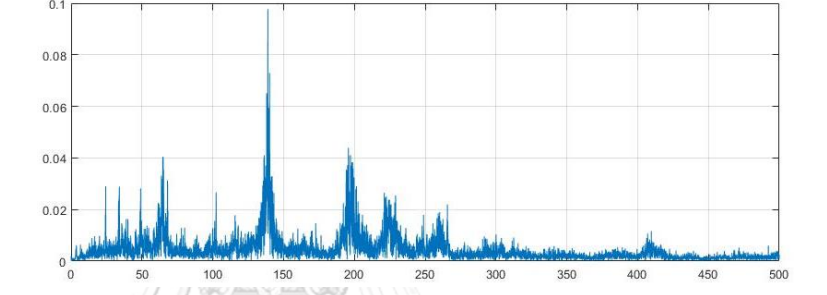
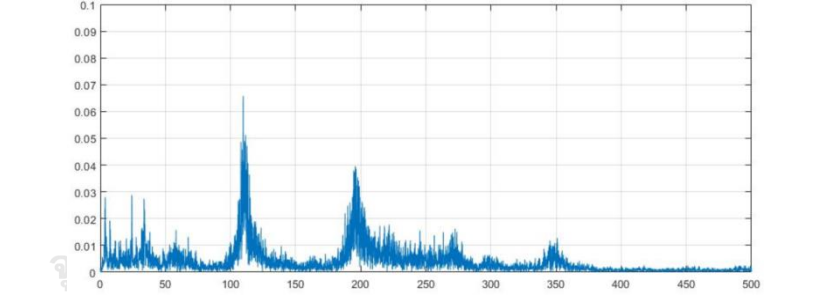
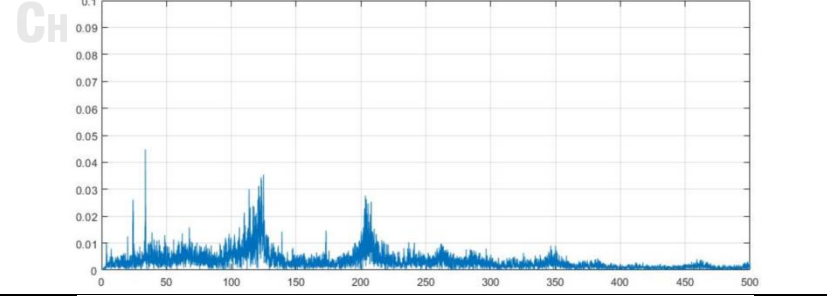
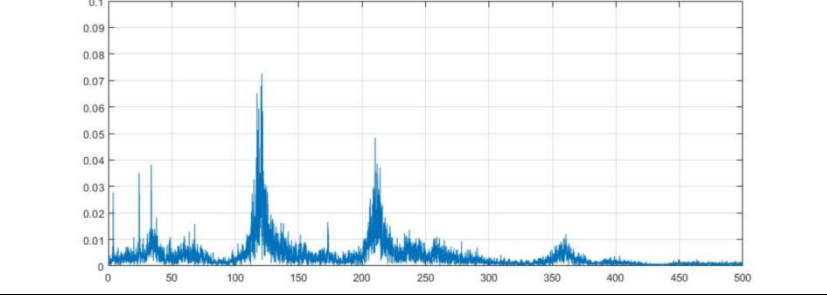


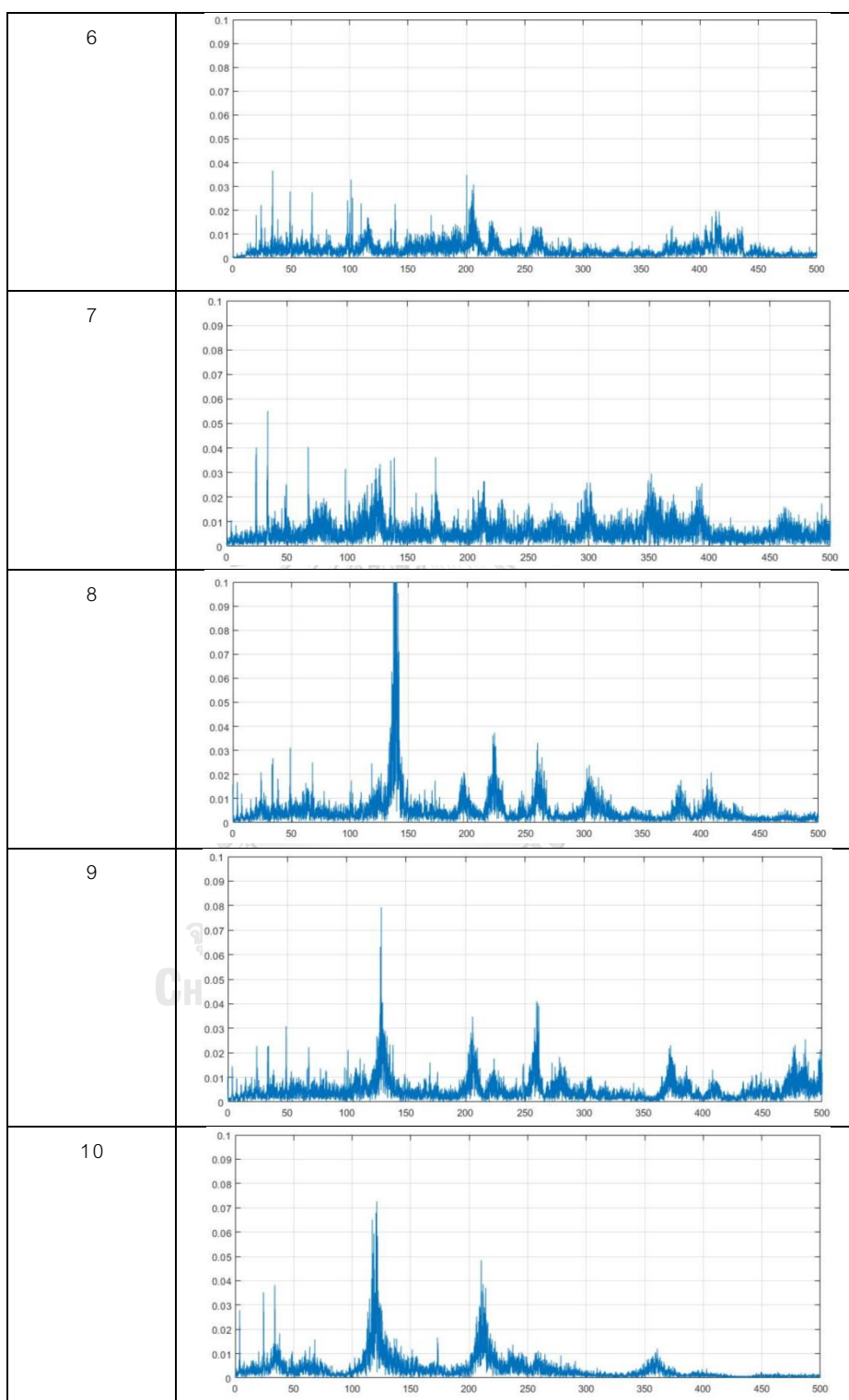


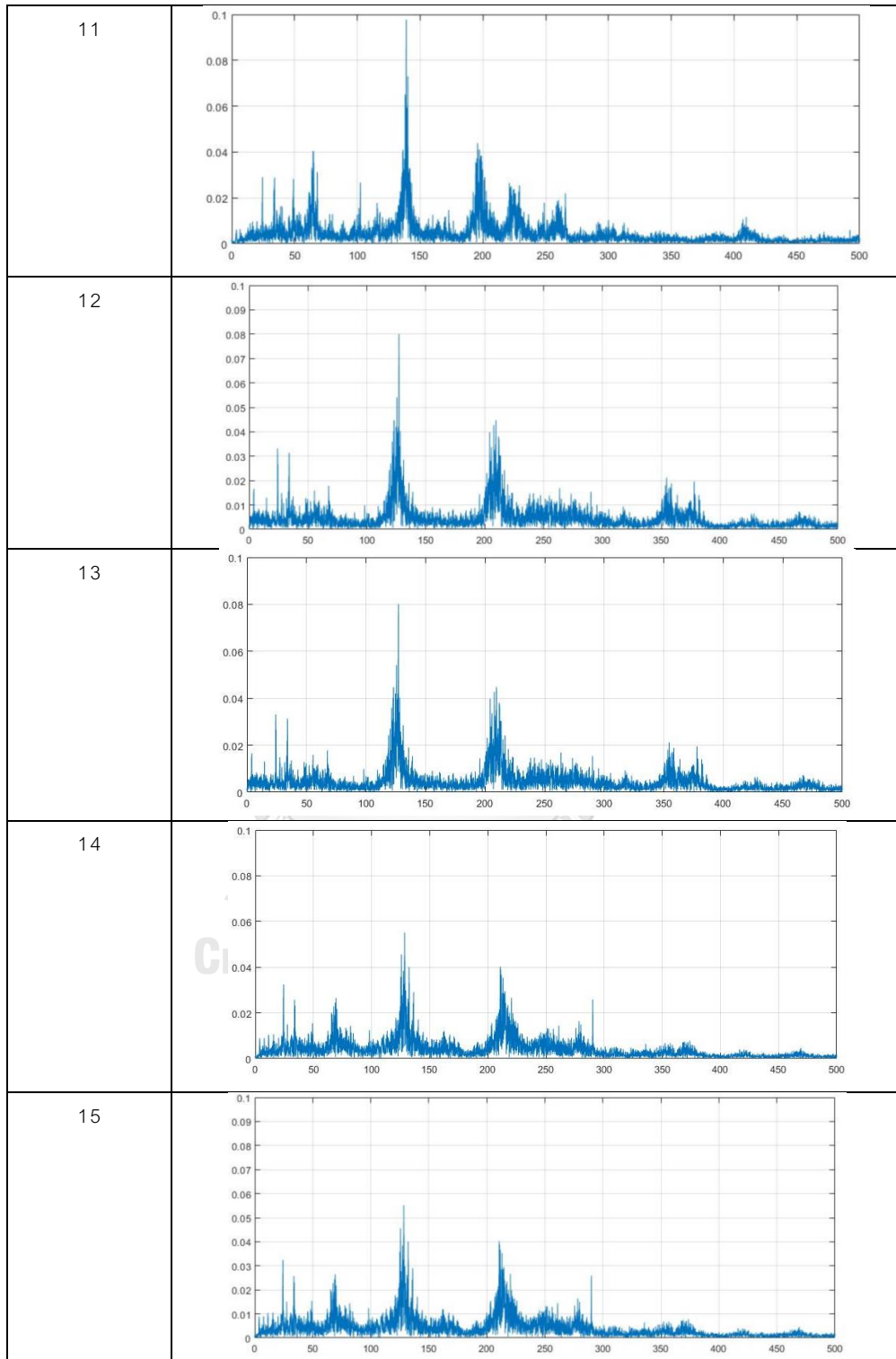


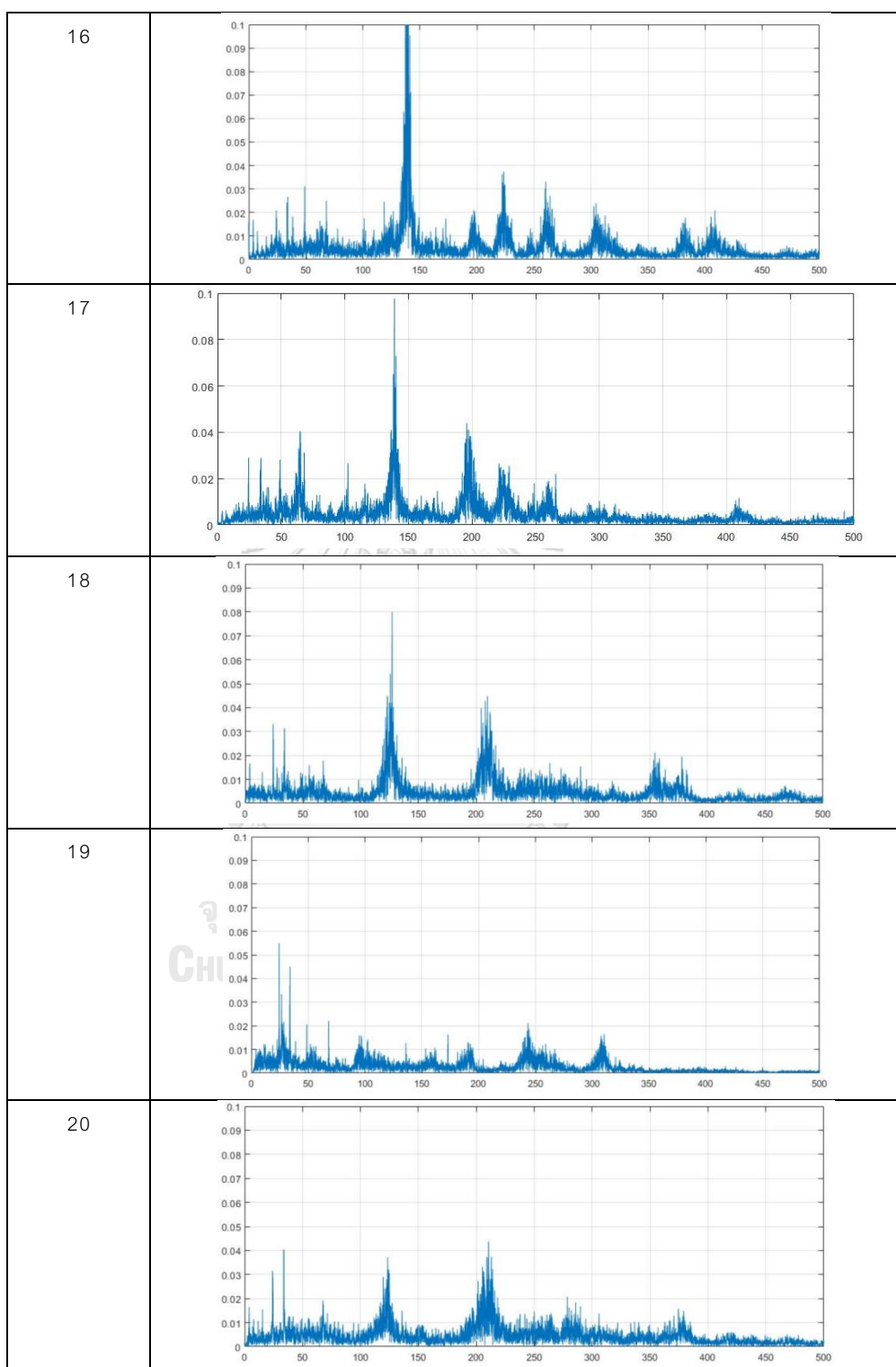


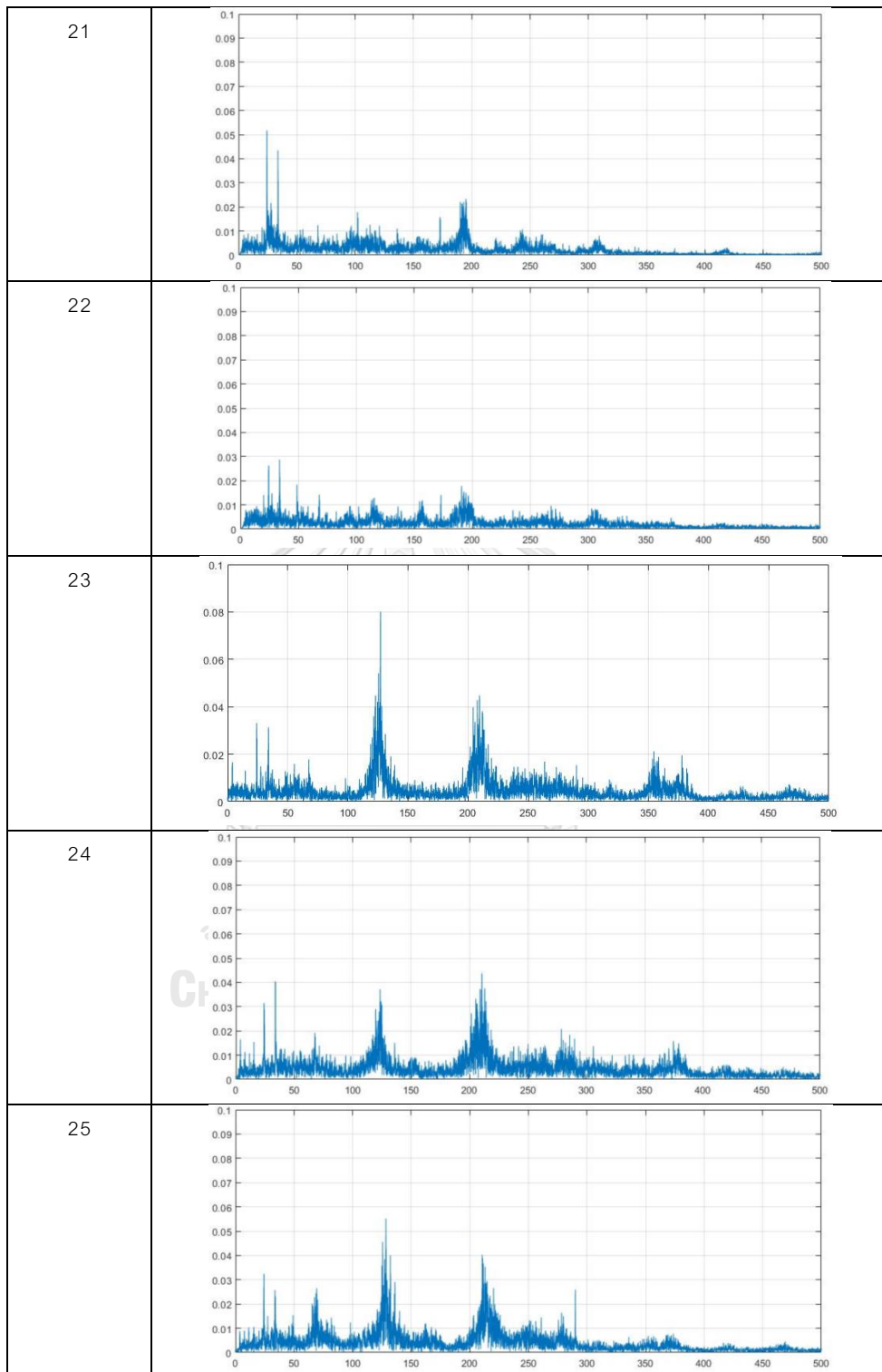


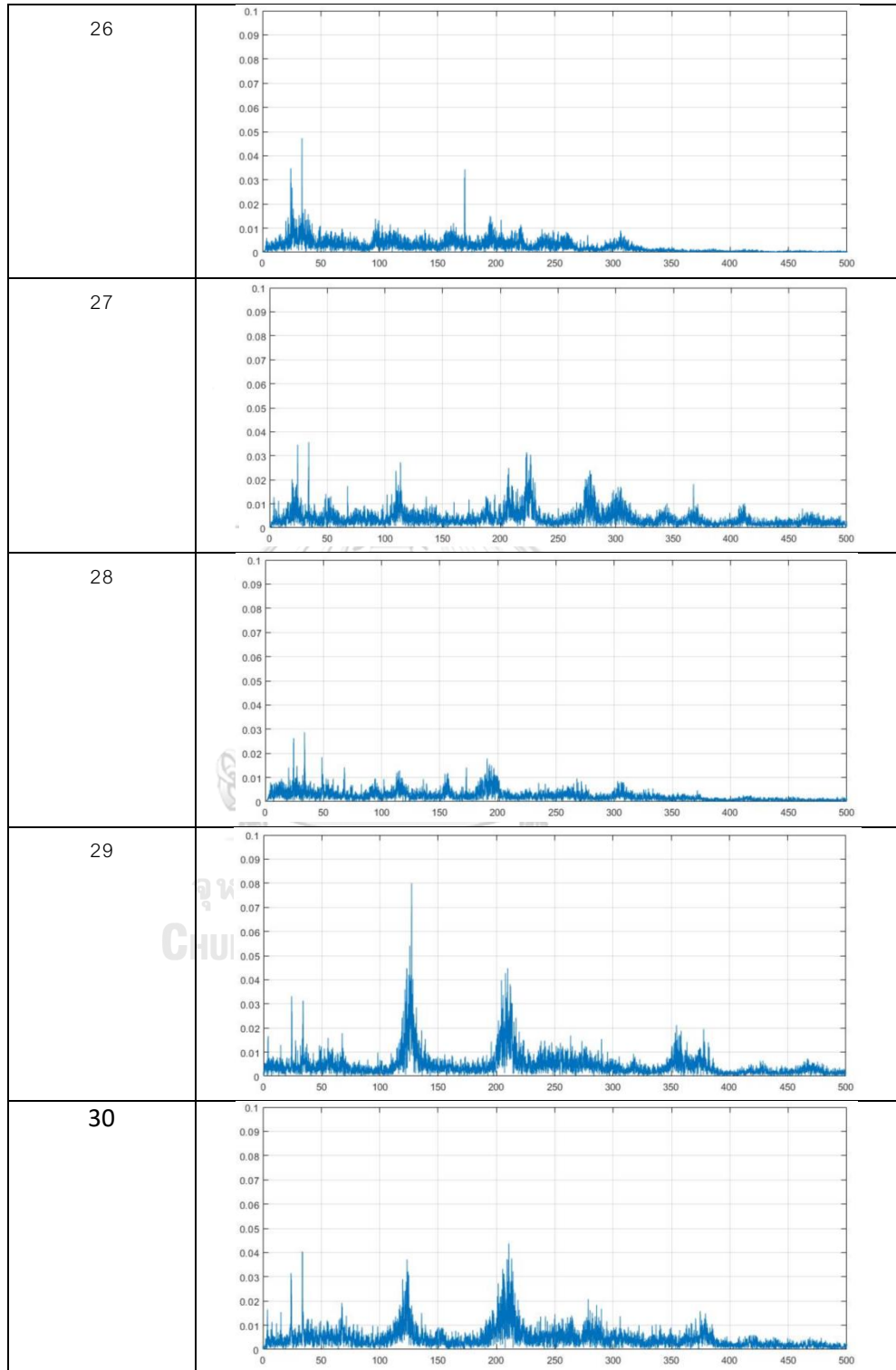
WS No.	วินเซอร์ฟ 1 จุดที่ไม่มีการยึดติด
1	 A spectrum plot showing amplitude on the y-axis (0 to 0.1) and frequency on the x-axis (0 to 500). The plot displays a noisy baseline with several small peaks, notably around 25, 50, 100, 150, 200, and 350 Hz.
2	 A spectrum plot with the same axes as plot 1. It shows a noisy baseline with a prominent peak at approximately 130 Hz and another significant peak at approximately 200 Hz.
3	 A spectrum plot with the same axes as plot 1. It shows a noisy baseline with a very sharp and tall peak at approximately 130 Hz, and a smaller peak at approximately 200 Hz.
4	 A spectrum plot with the same axes as plot 1. It shows a noisy baseline with a peak at approximately 130 Hz and a peak at approximately 200 Hz. A large, semi-transparent watermark 'CH' is visible on the left side of the plot area.
5	 A spectrum plot with the same axes as plot 1. It shows a noisy baseline with a peak at approximately 130 Hz and a peak at approximately 200 Hz. A large, semi-transparent watermark 'CH' is visible on the left side of the plot area.

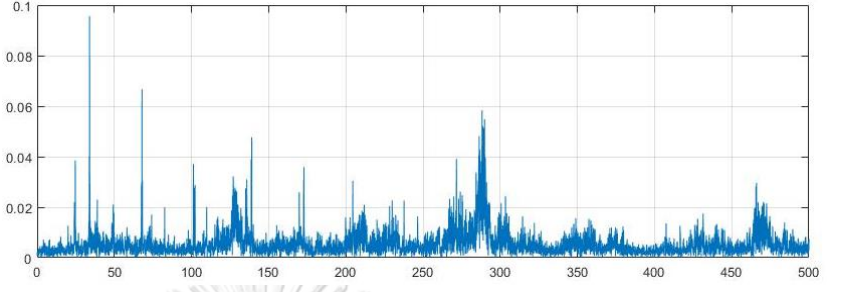
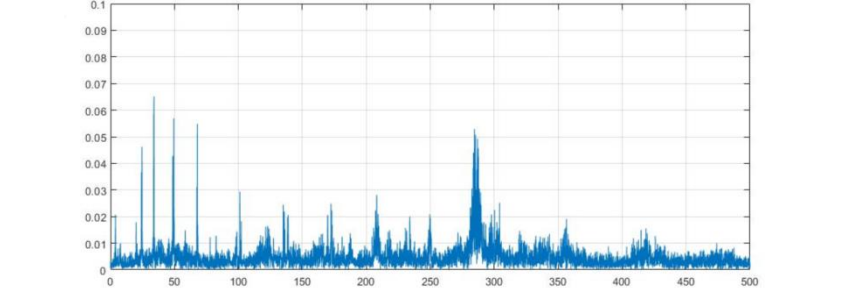
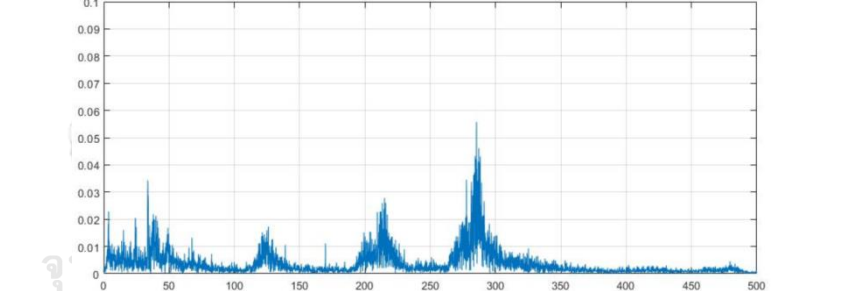
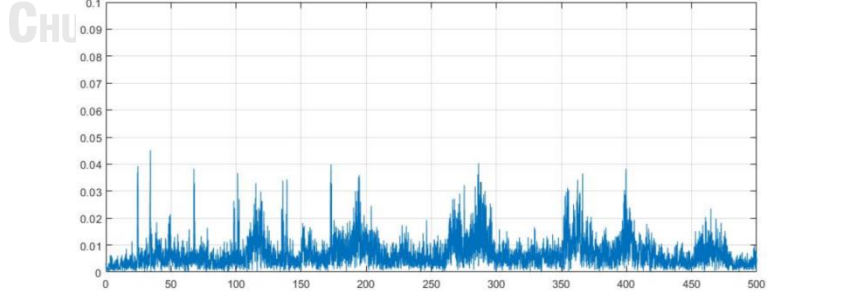
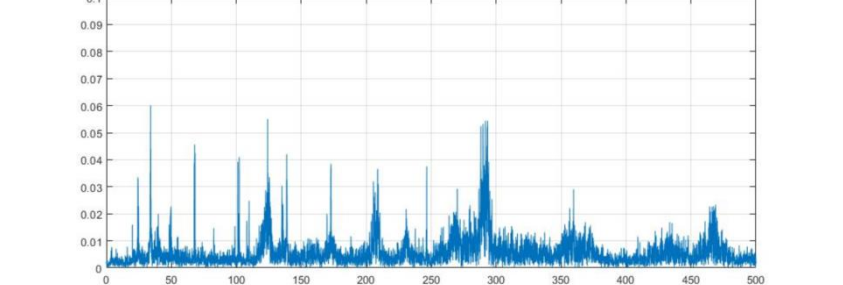


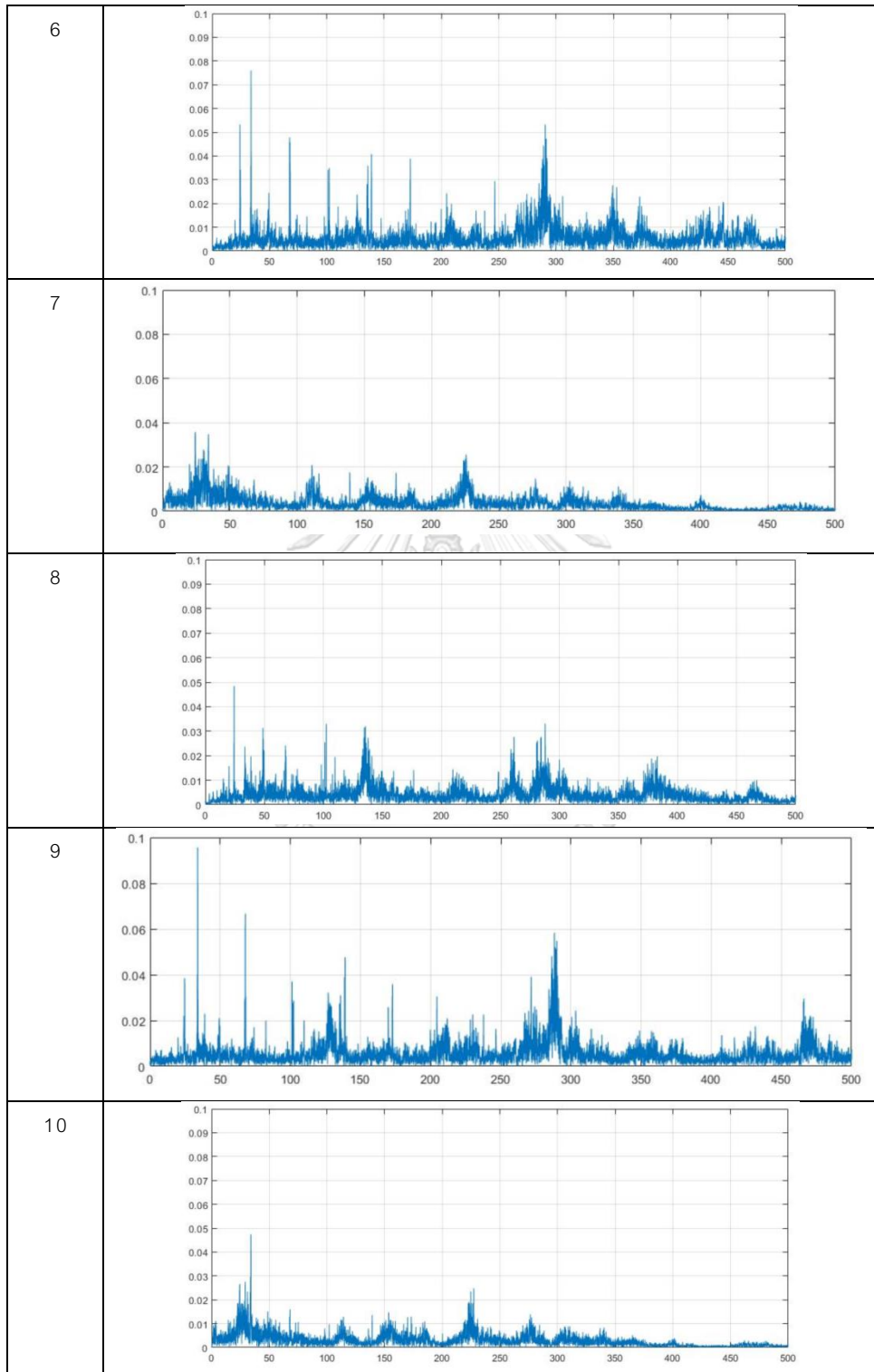


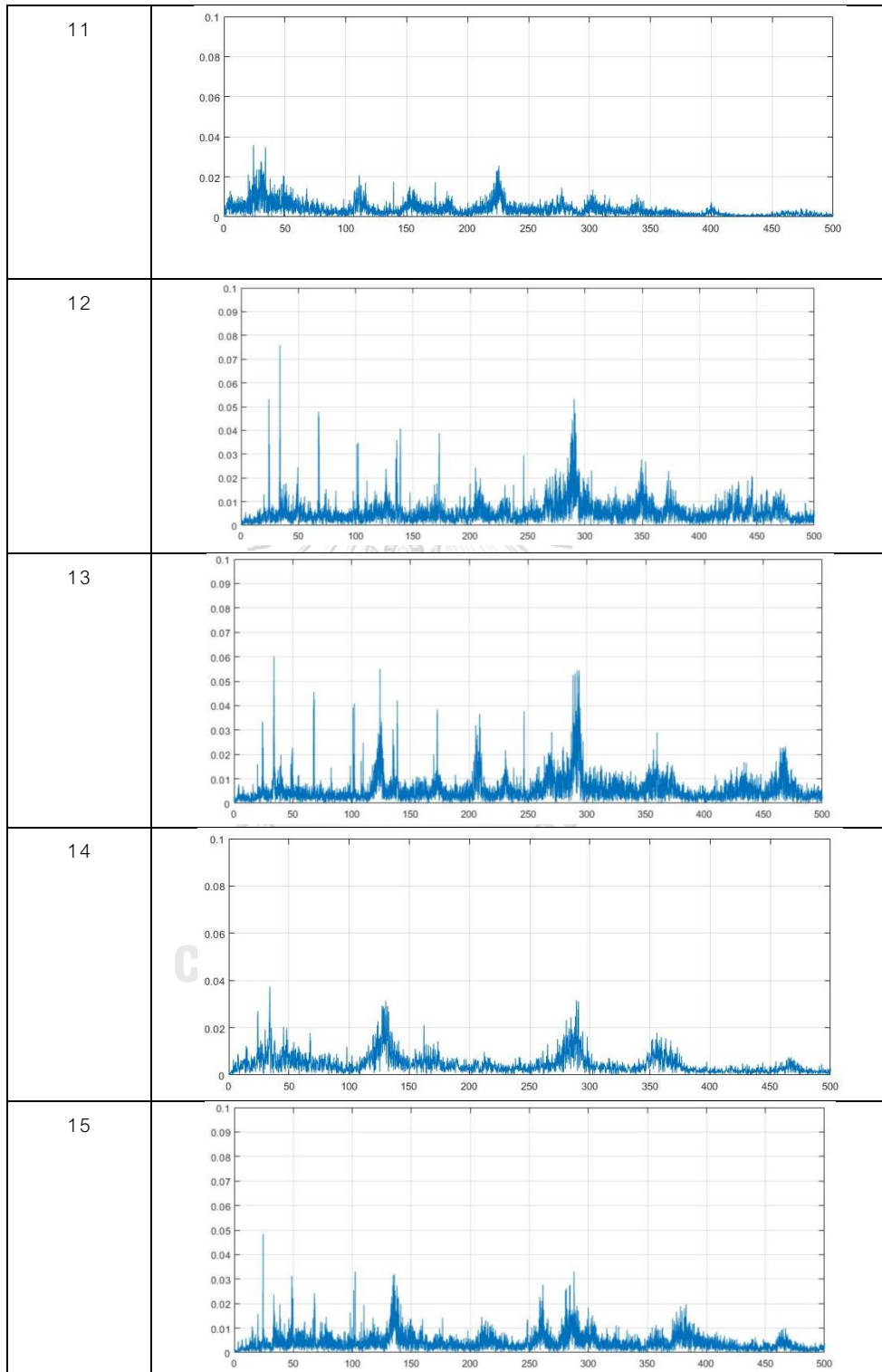


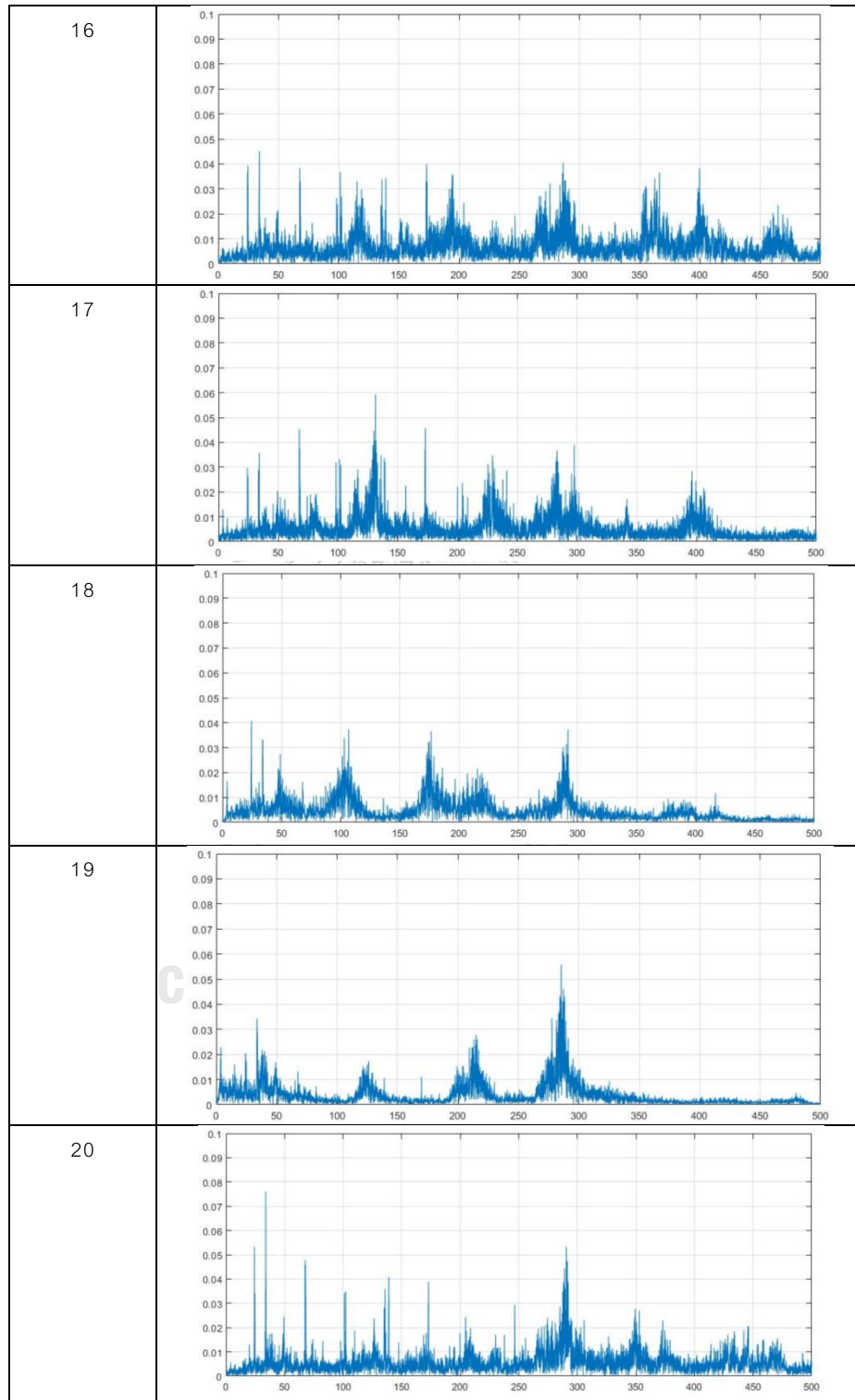


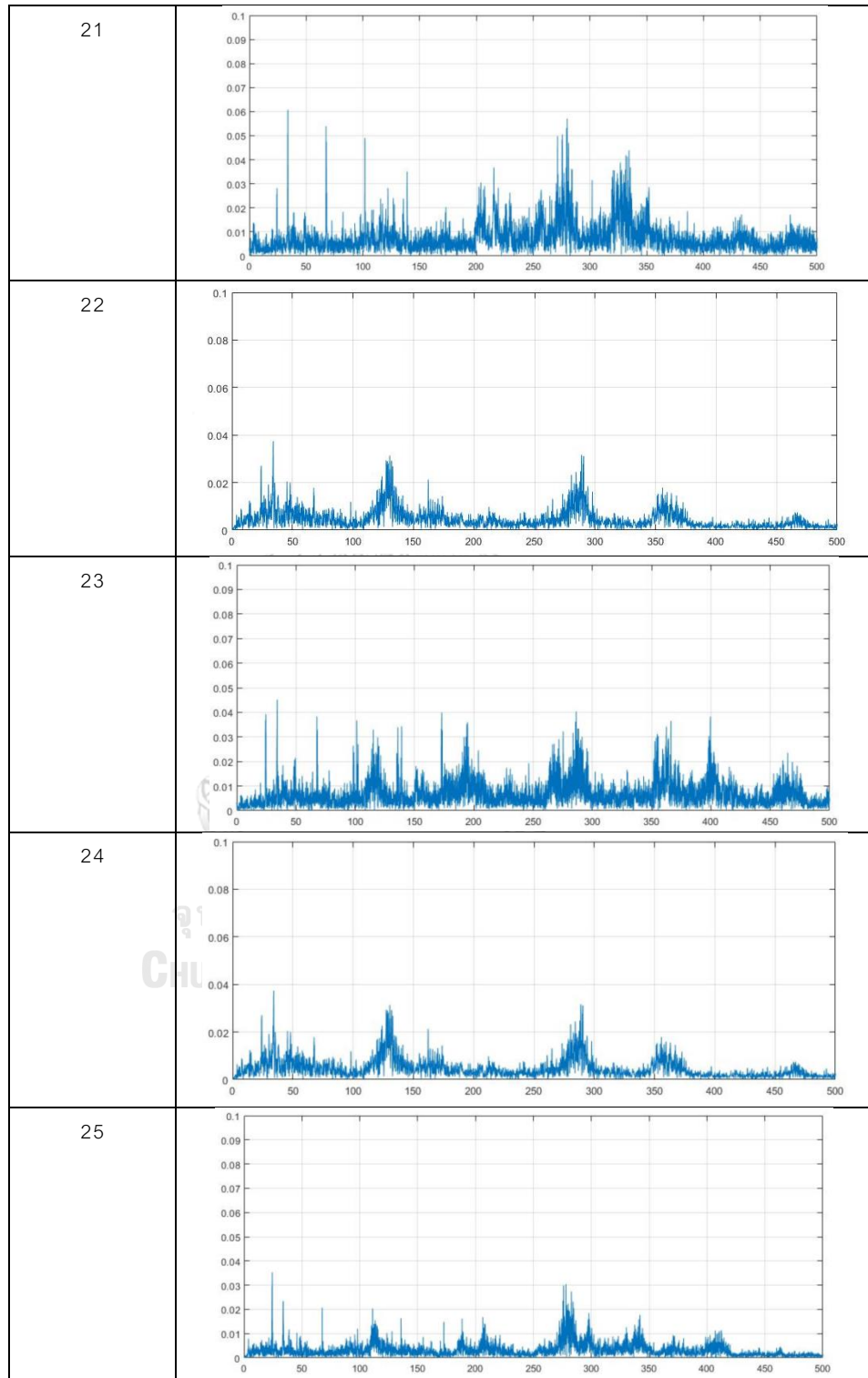


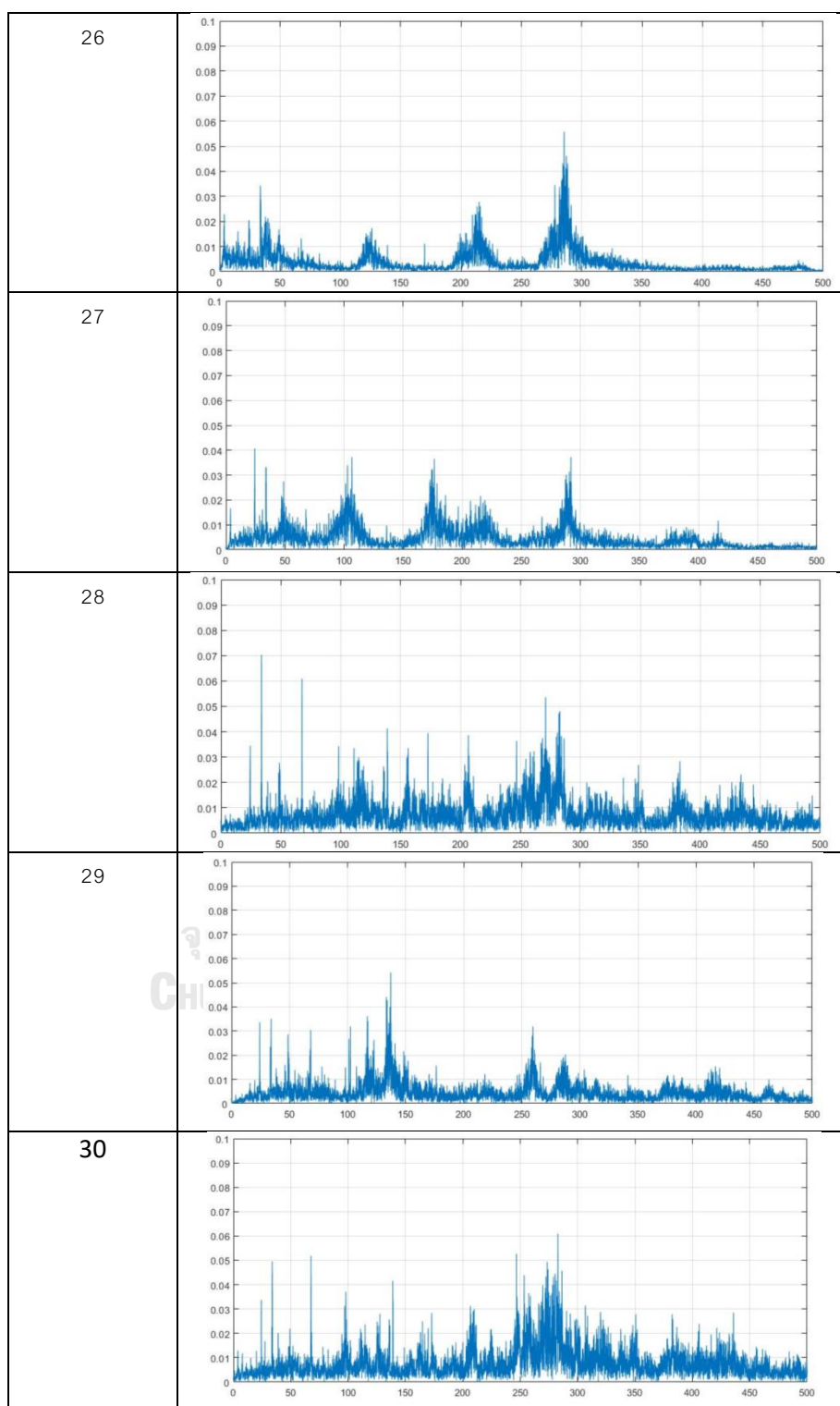
WS No.	วินเซิร์ฟ 2 จุดที่มีการยึดติด
1	 A spectrogram plot showing frequency components over time. The x-axis represents time from 0 to 500, and the y-axis represents frequency from 0 to 0.1. The plot shows a complex signal with multiple peaks, notably around 25, 75, 125, 175, 225, 275, and 325.
2	 A spectrogram plot showing frequency components over time. The x-axis represents time from 0 to 500, and the y-axis represents frequency from 0 to 0.1. The plot shows a complex signal with multiple peaks, notably around 25, 75, 125, 175, 225, 275, and 325.
3	 A spectrogram plot showing frequency components over time. The x-axis represents time from 0 to 500, and the y-axis represents frequency from 0 to 0.1. The plot shows a complex signal with multiple peaks, notably around 25, 75, 125, 175, 225, 275, and 325.
4	 A spectrogram plot showing frequency components over time. The x-axis represents time from 0 to 500, and the y-axis represents frequency from 0 to 0.1. The plot shows a complex signal with multiple peaks, notably around 25, 75, 125, 175, 225, 275, and 325.
5	 A spectrogram plot showing frequency components over time. The x-axis represents time from 0 to 500, and the y-axis represents frequency from 0 to 0.1. The plot shows a complex signal with multiple peaks, notably around 25, 75, 125, 175, 225, 275, and 325.

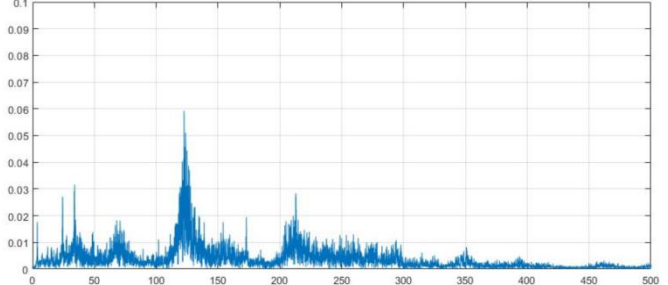
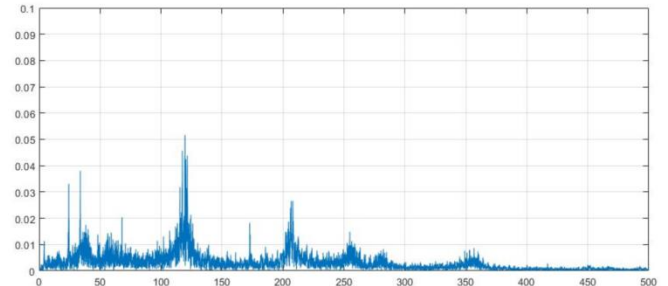
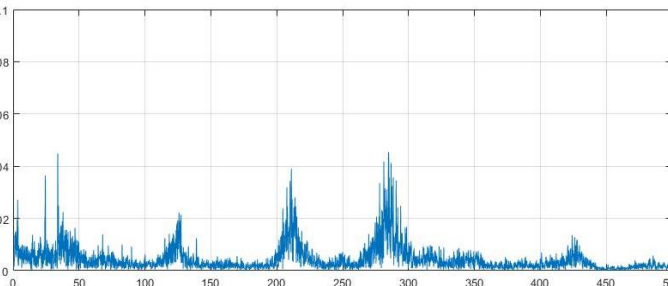
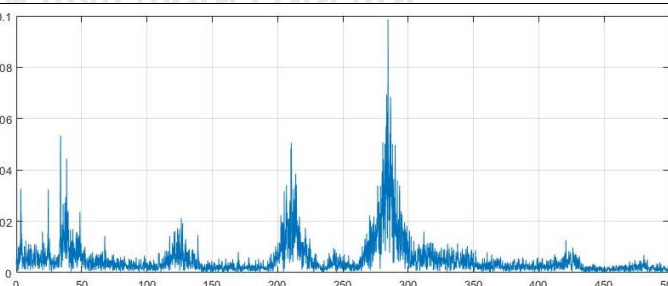
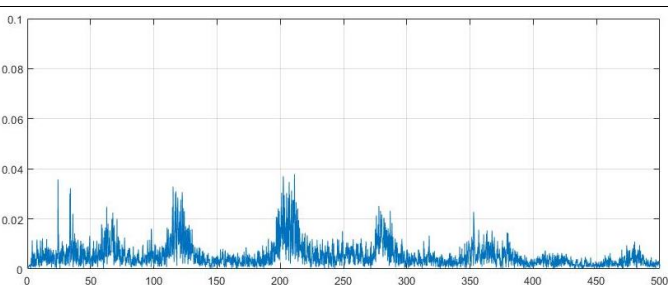


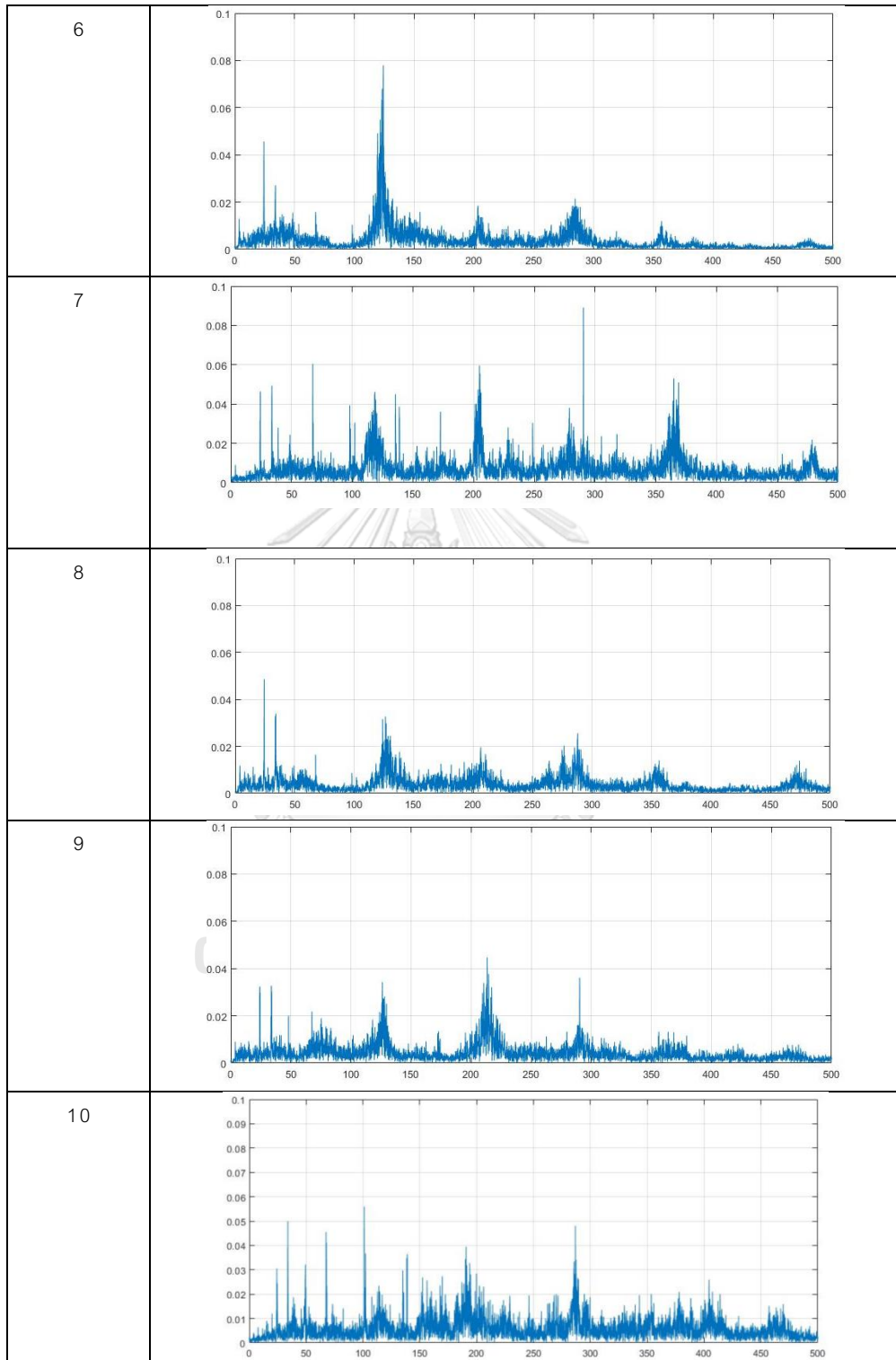


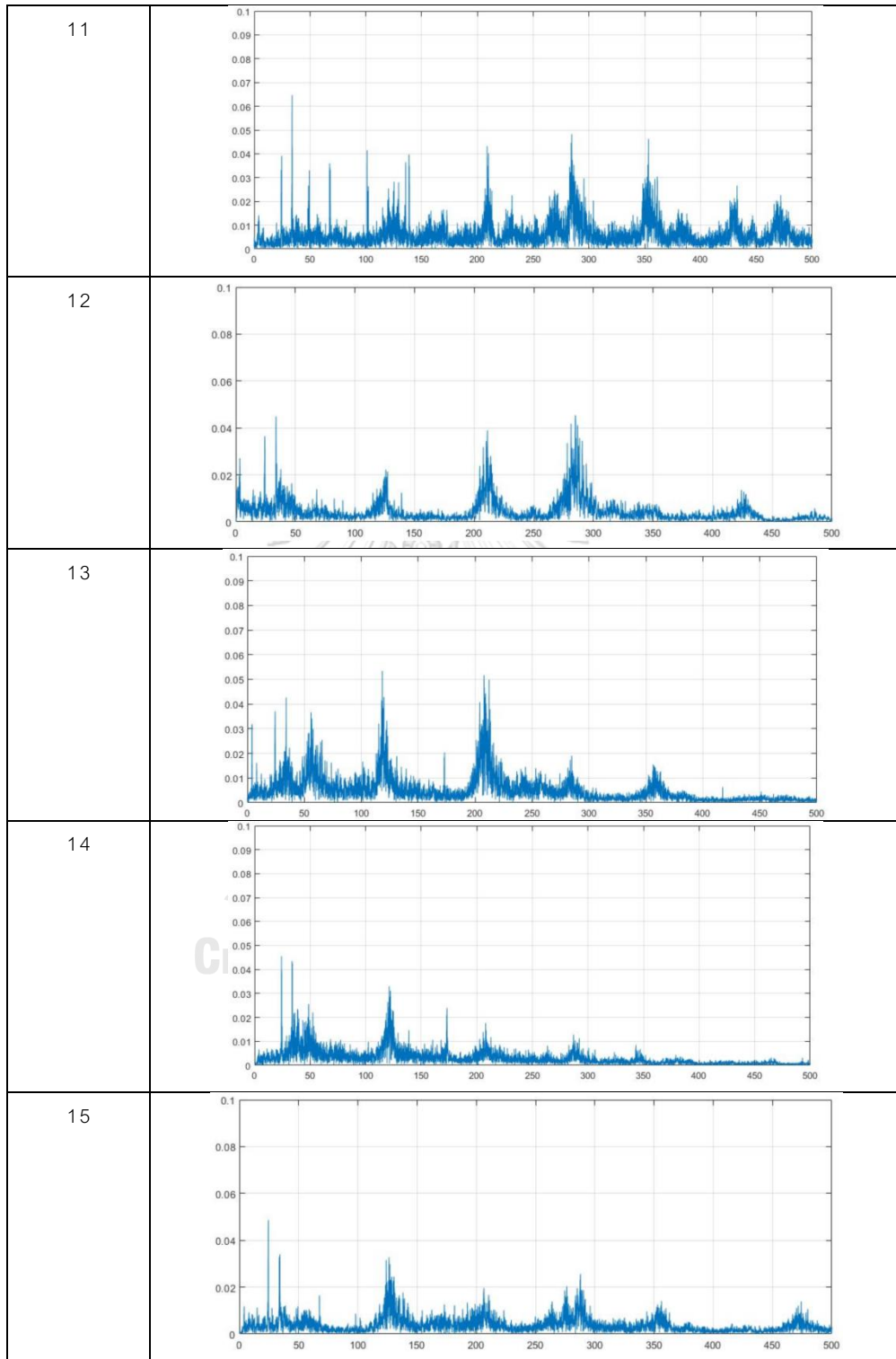


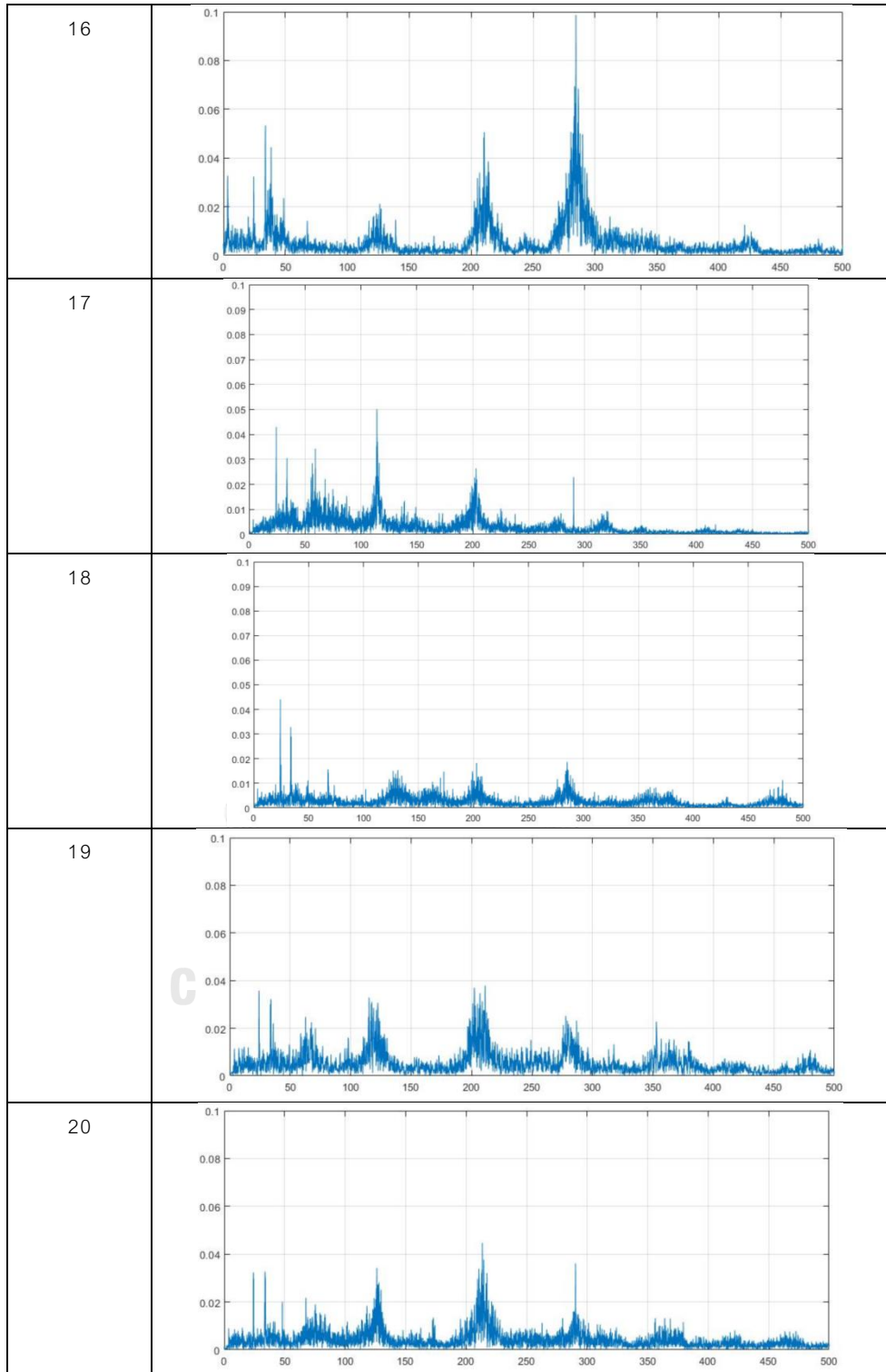


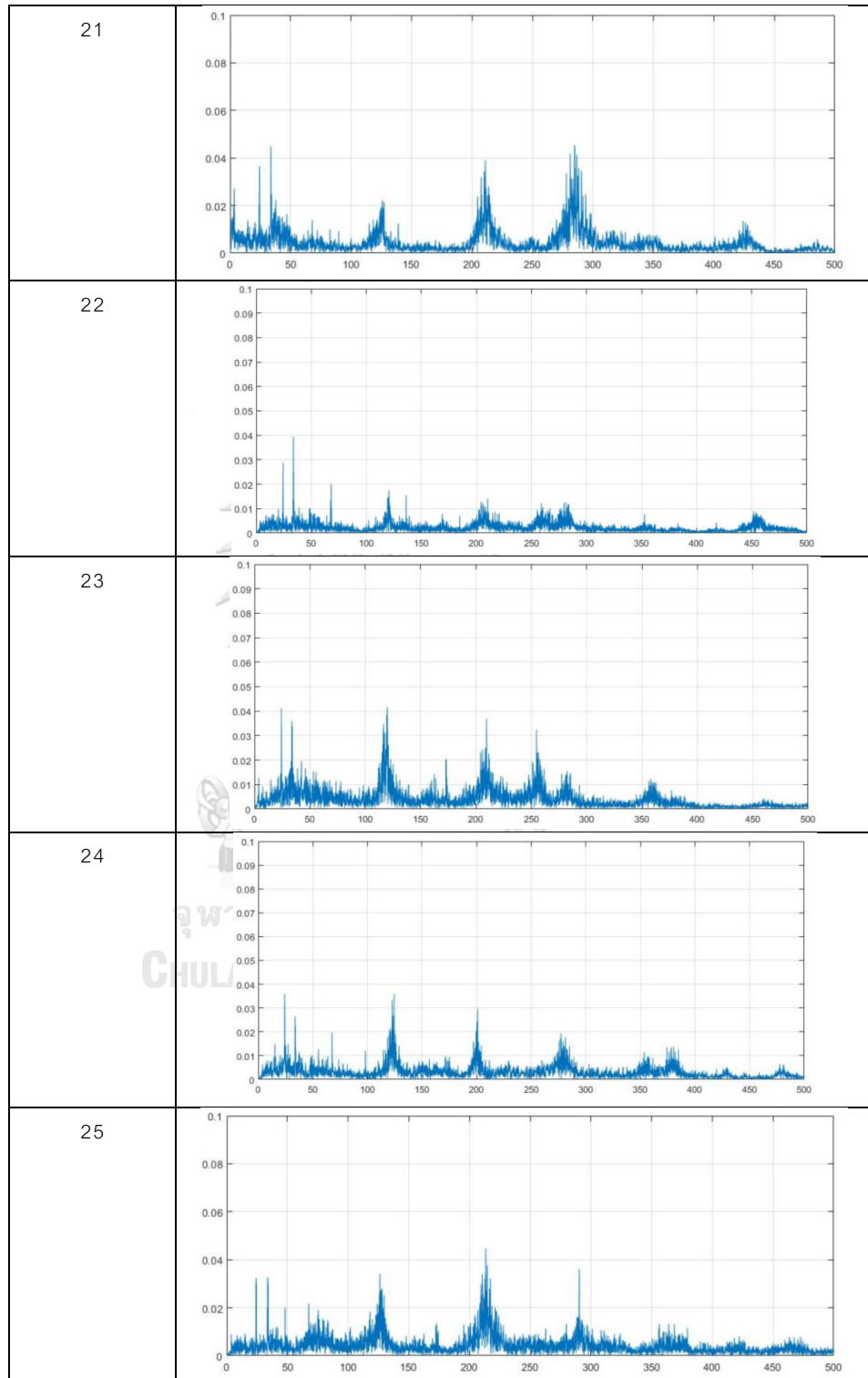


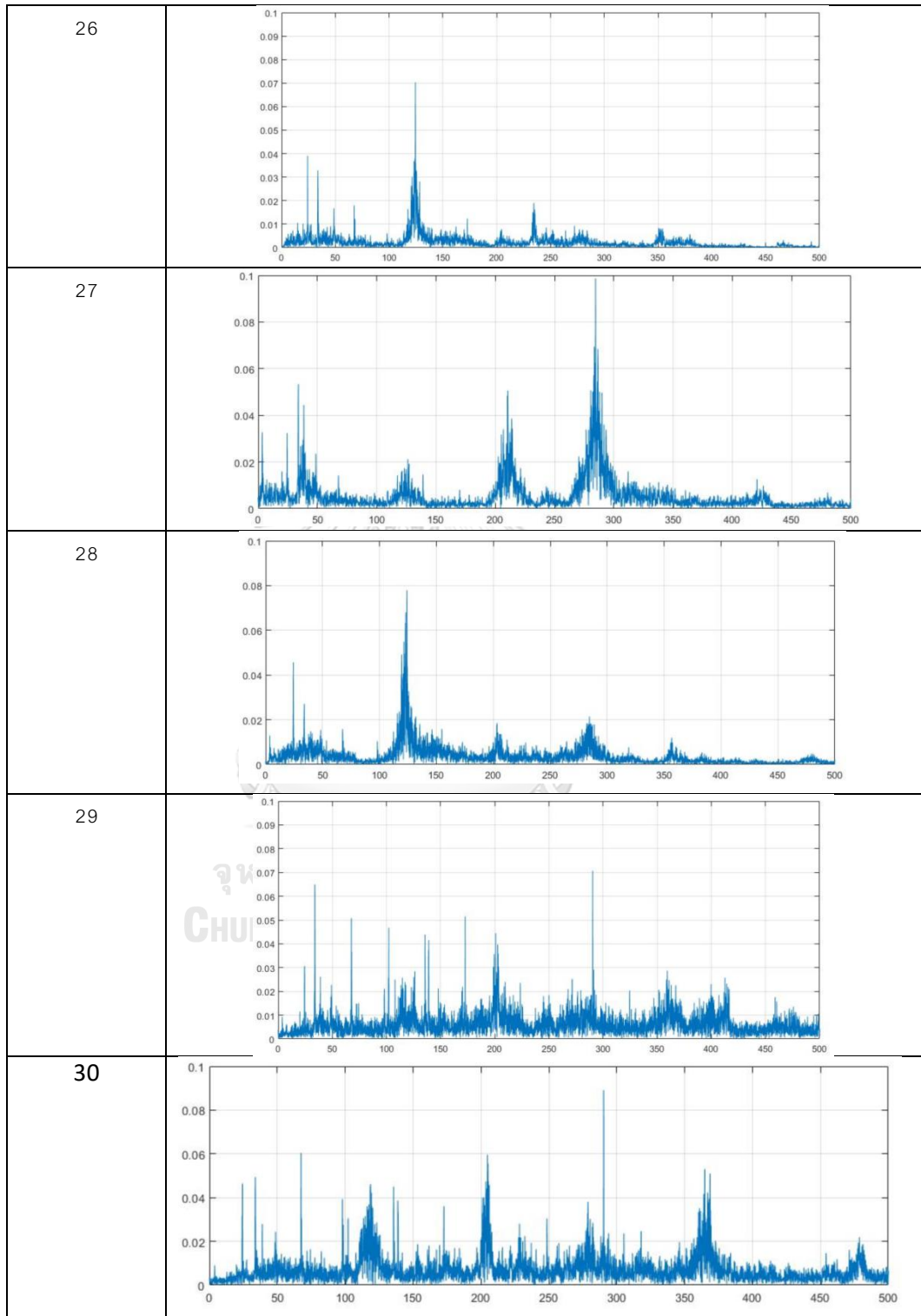
WS No.	วินเซิร์ฟ 2 จุดที่ไม่มีการยึดติด
1	 A spectrogram plot showing frequency content over time. The x-axis represents time from 0 to 500, and the y-axis represents frequency from 0 to 0.1. A prominent peak is visible around time 120, reaching a frequency of approximately 0.06.
2	 A spectrogram plot showing frequency content over time. The x-axis represents time from 0 to 500, and the y-axis represents frequency from 0 to 0.1. A prominent peak is visible around time 120, reaching a frequency of approximately 0.05.
3	 A spectrogram plot showing frequency content over time. The x-axis represents time from 0 to 500, and the y-axis represents frequency from 0 to 0.1. Multiple peaks are visible, with the highest reaching a frequency of approximately 0.045 around time 280.
4	 A spectrogram plot showing frequency content over time. The x-axis represents time from 0 to 500, and the y-axis represents frequency from 0 to 0.1. A very sharp and tall peak is visible around time 280, reaching a frequency of approximately 0.1.
5	 A spectrogram plot showing frequency content over time. The x-axis represents time from 0 to 500, and the y-axis represents frequency from 0 to 0.1. Multiple peaks are visible, with the highest reaching a frequency of approximately 0.04 around time 200.

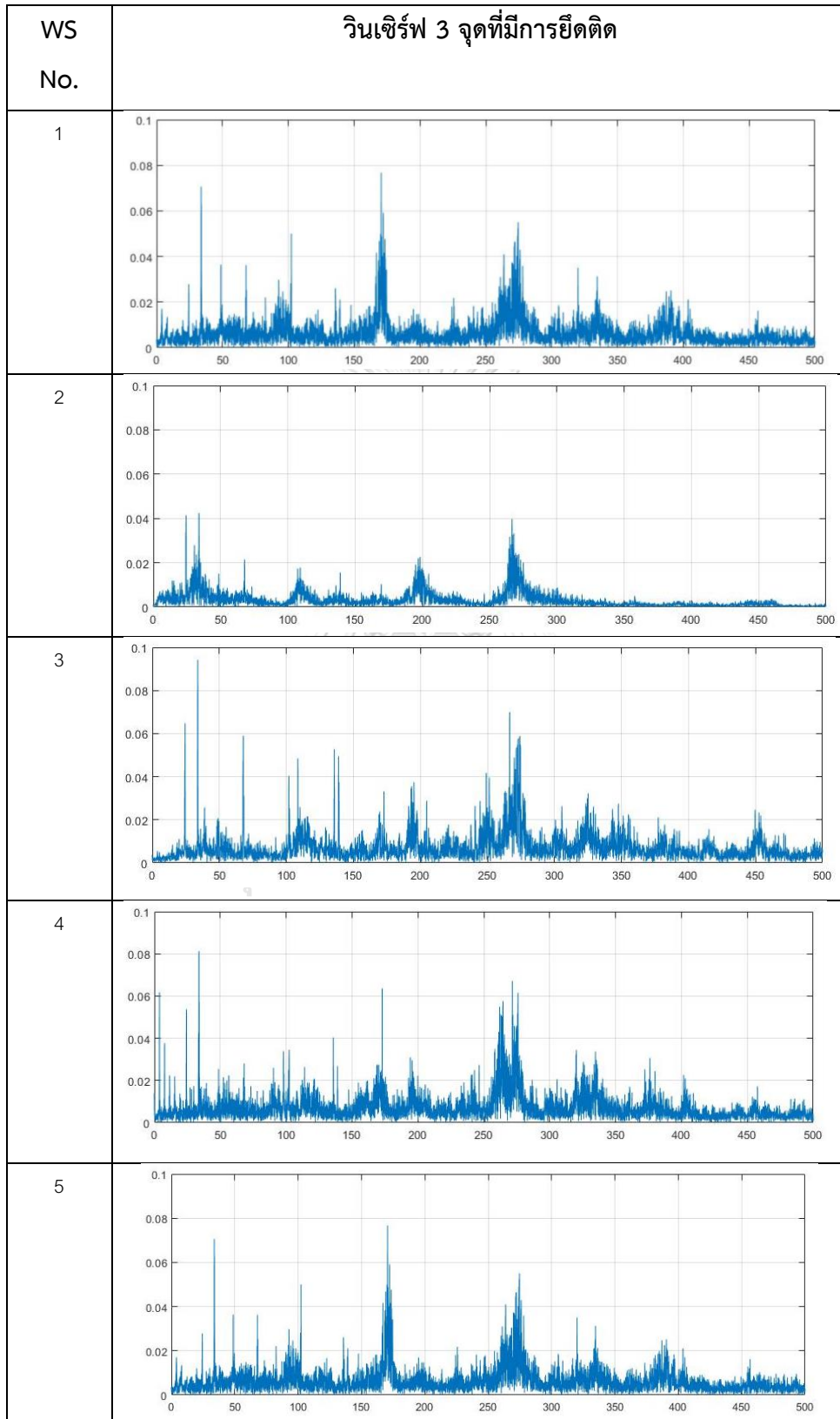


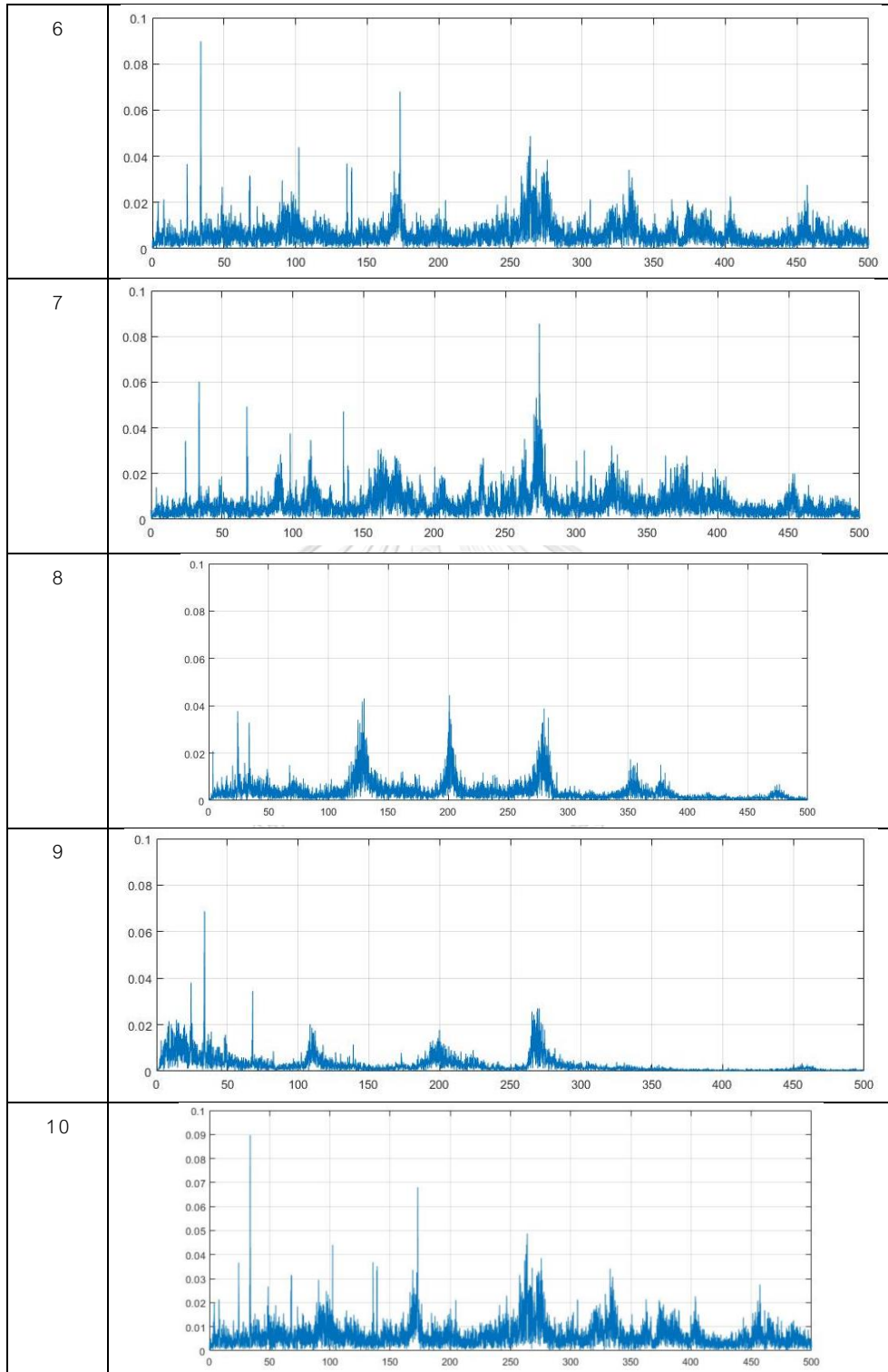


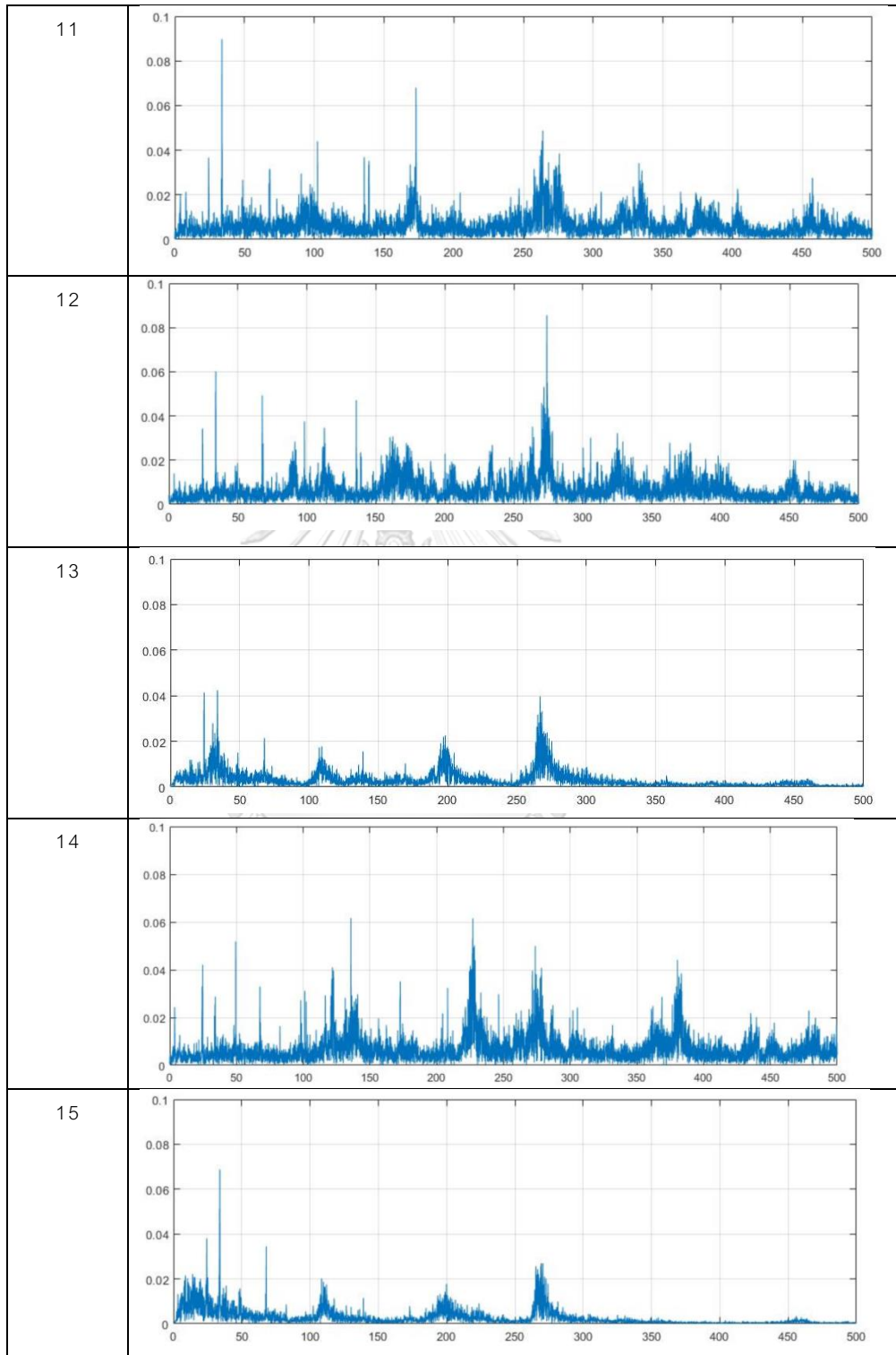


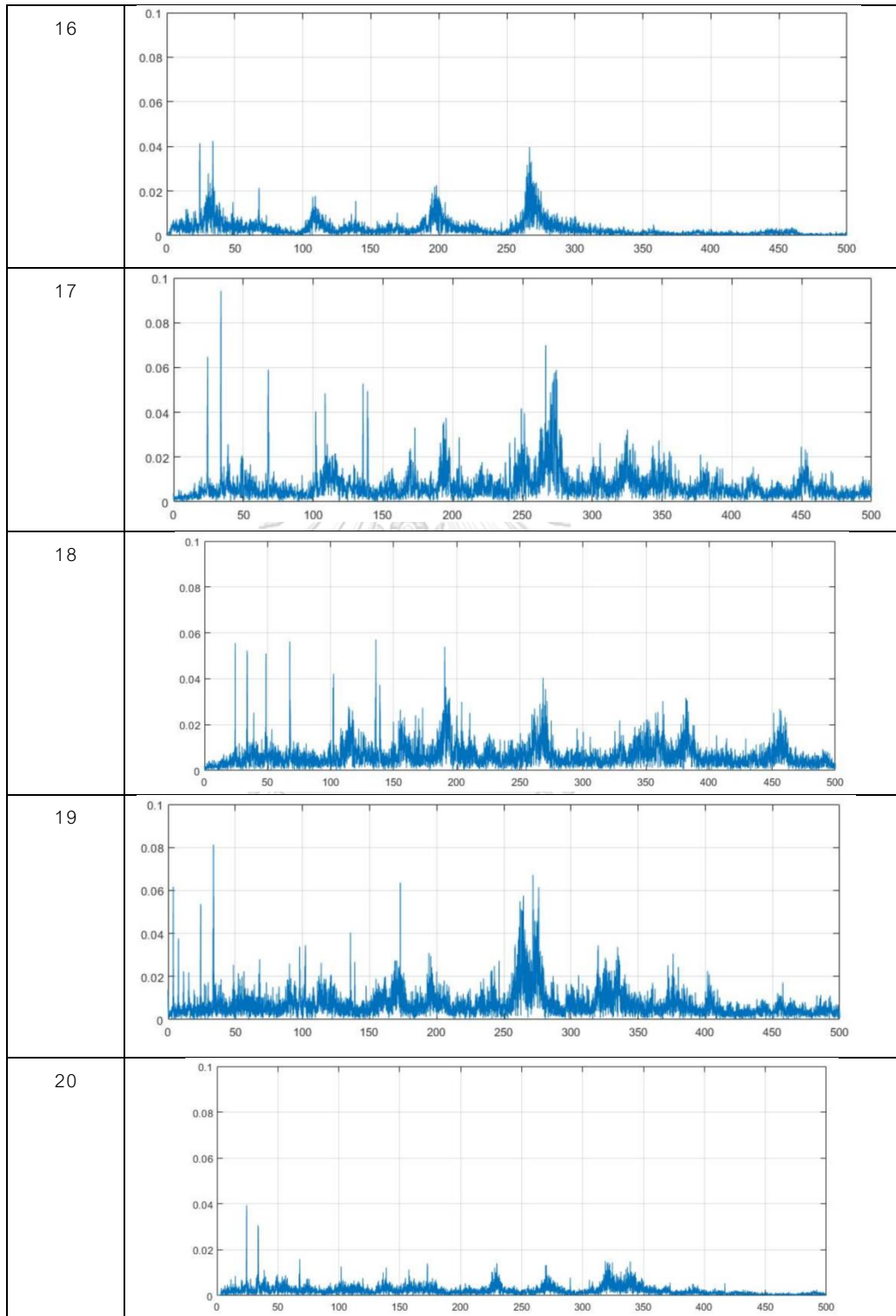


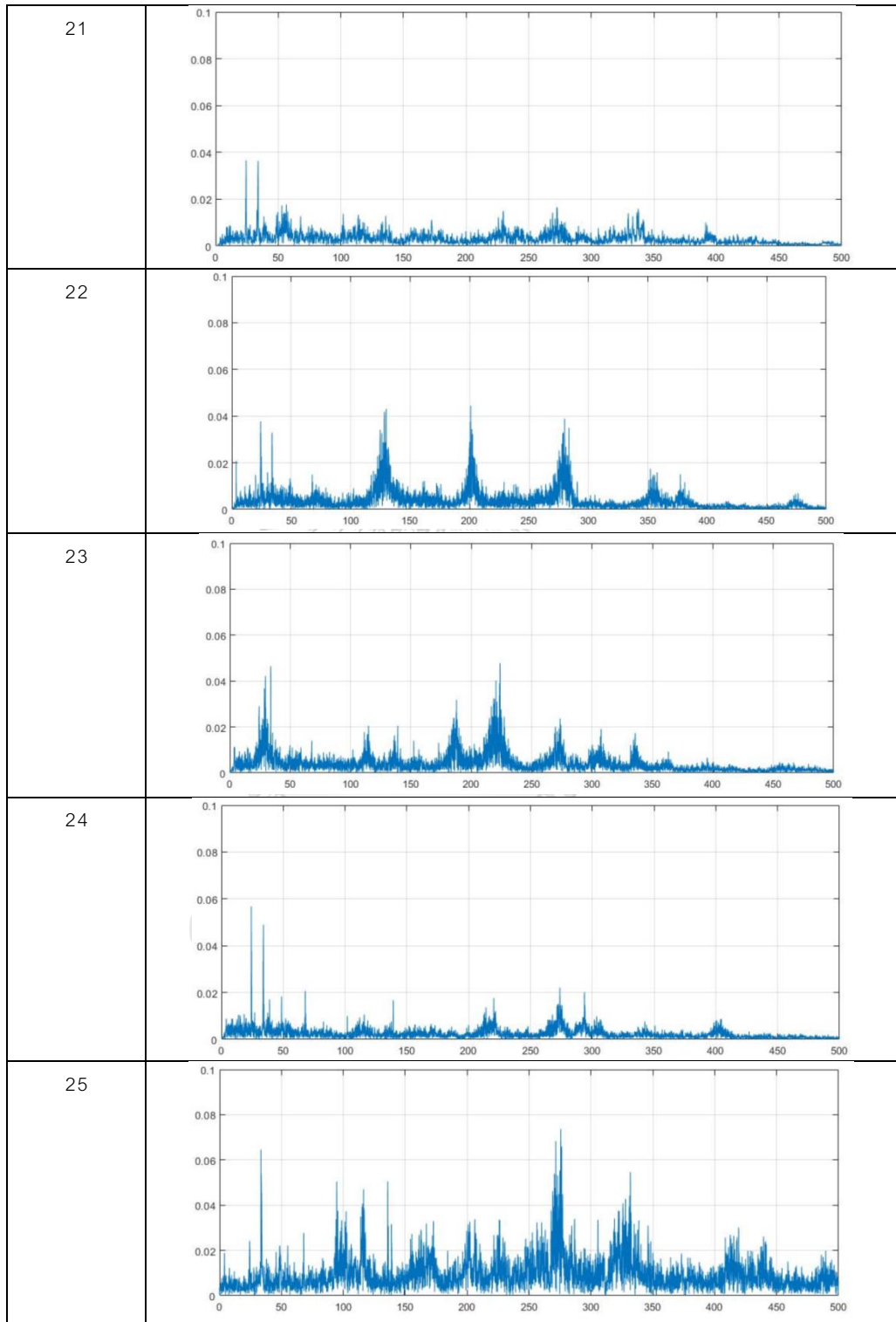


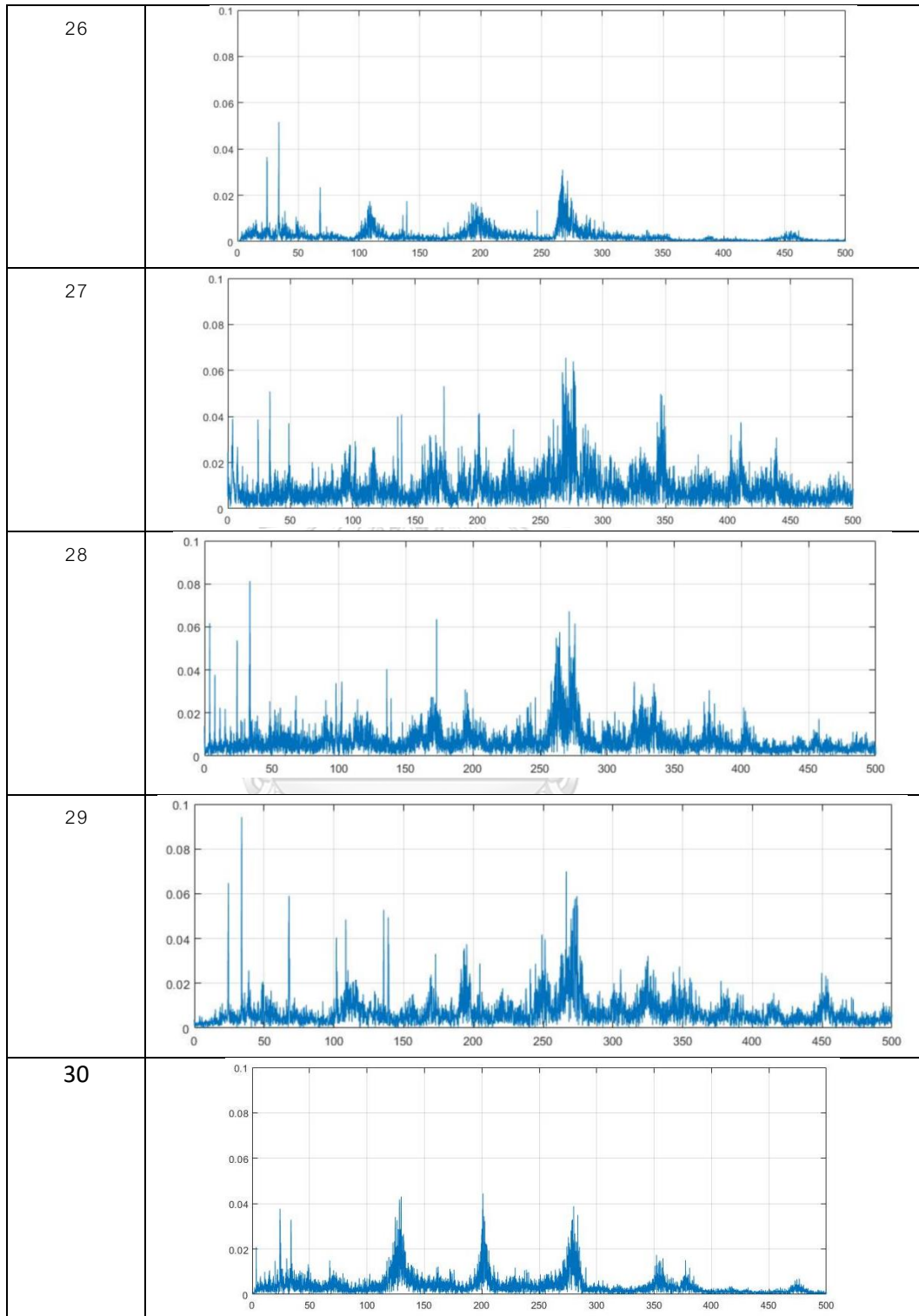


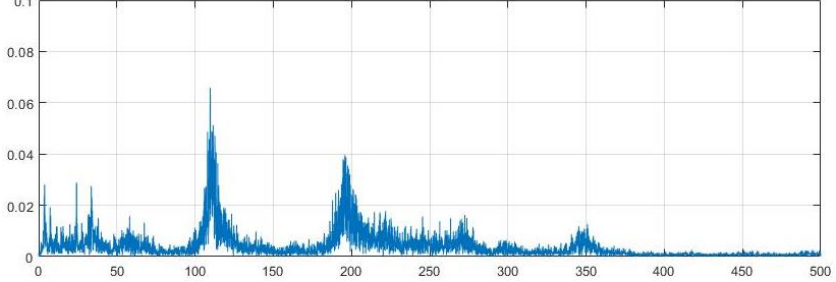
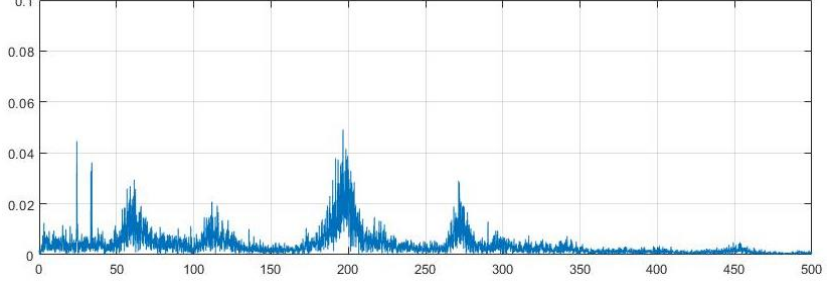
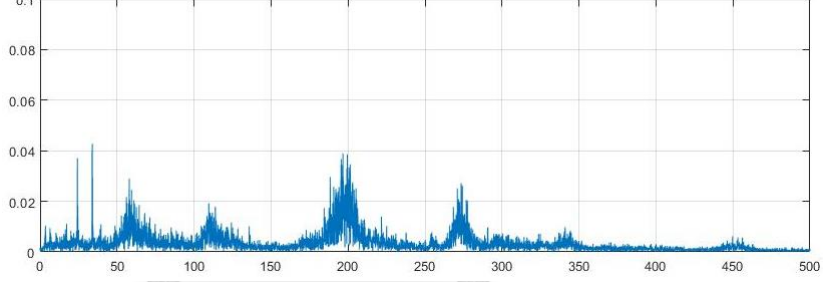
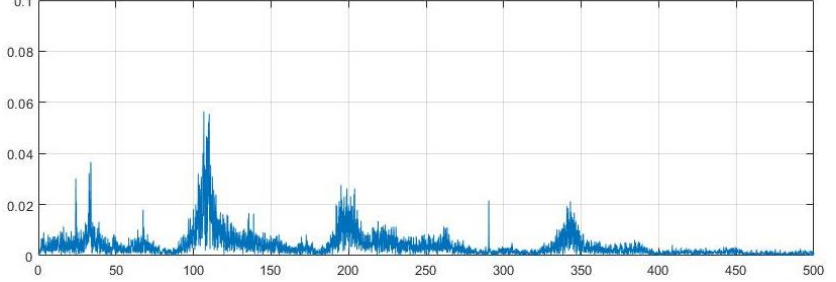
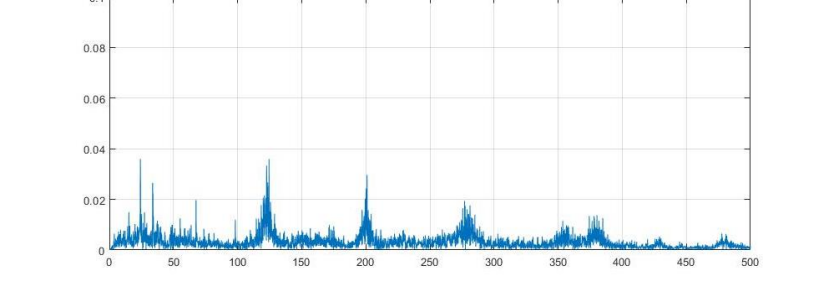


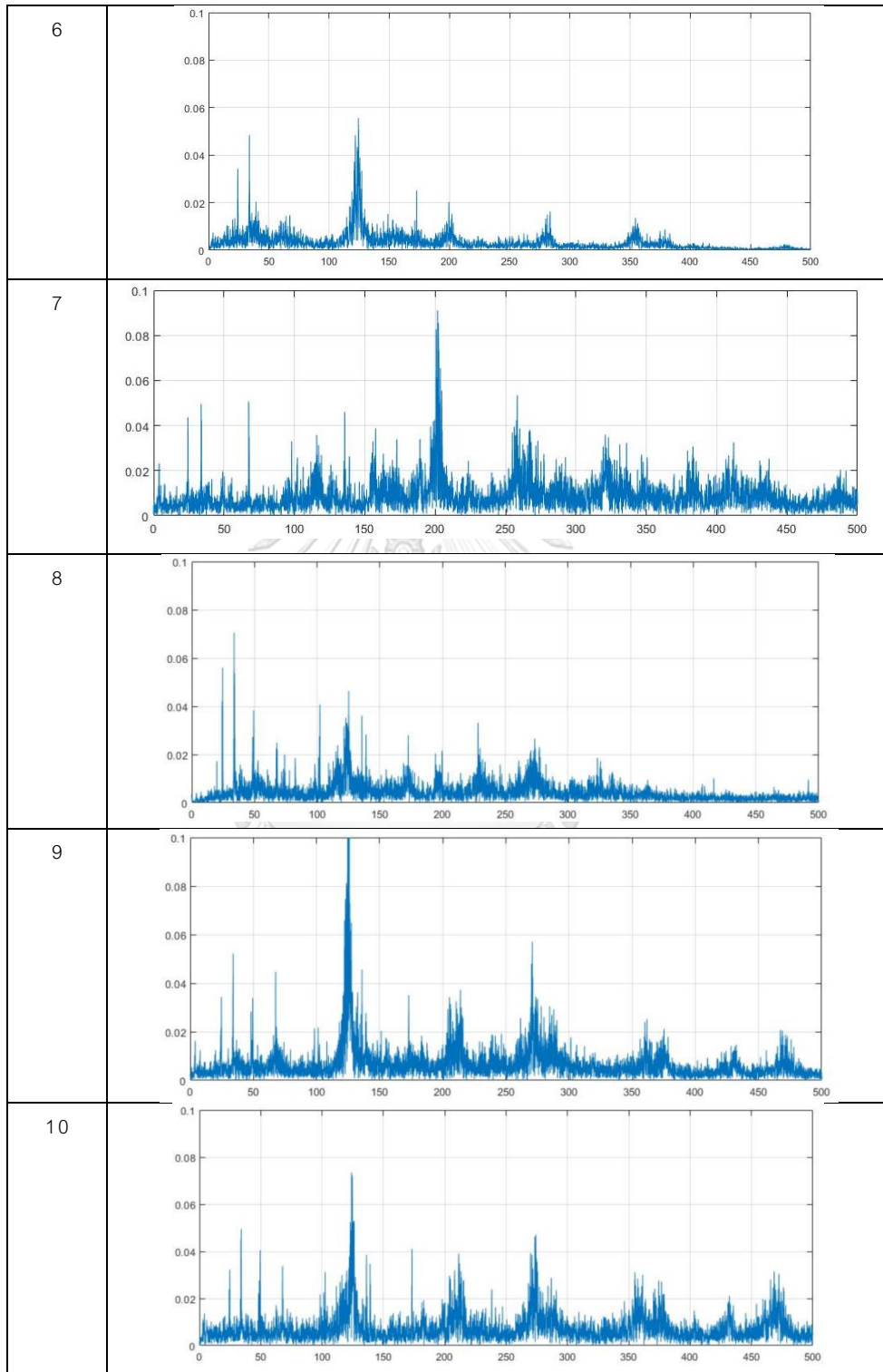


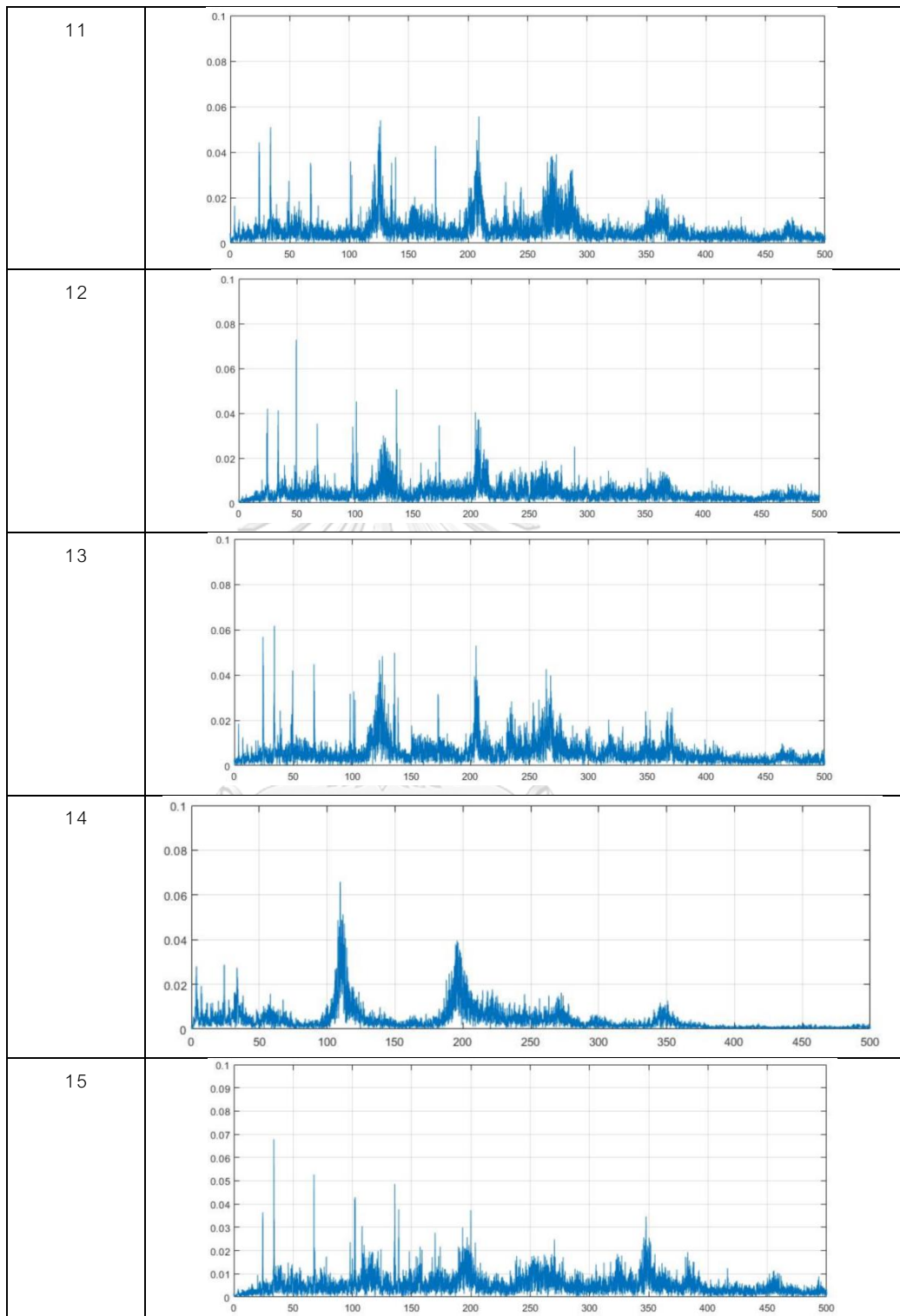


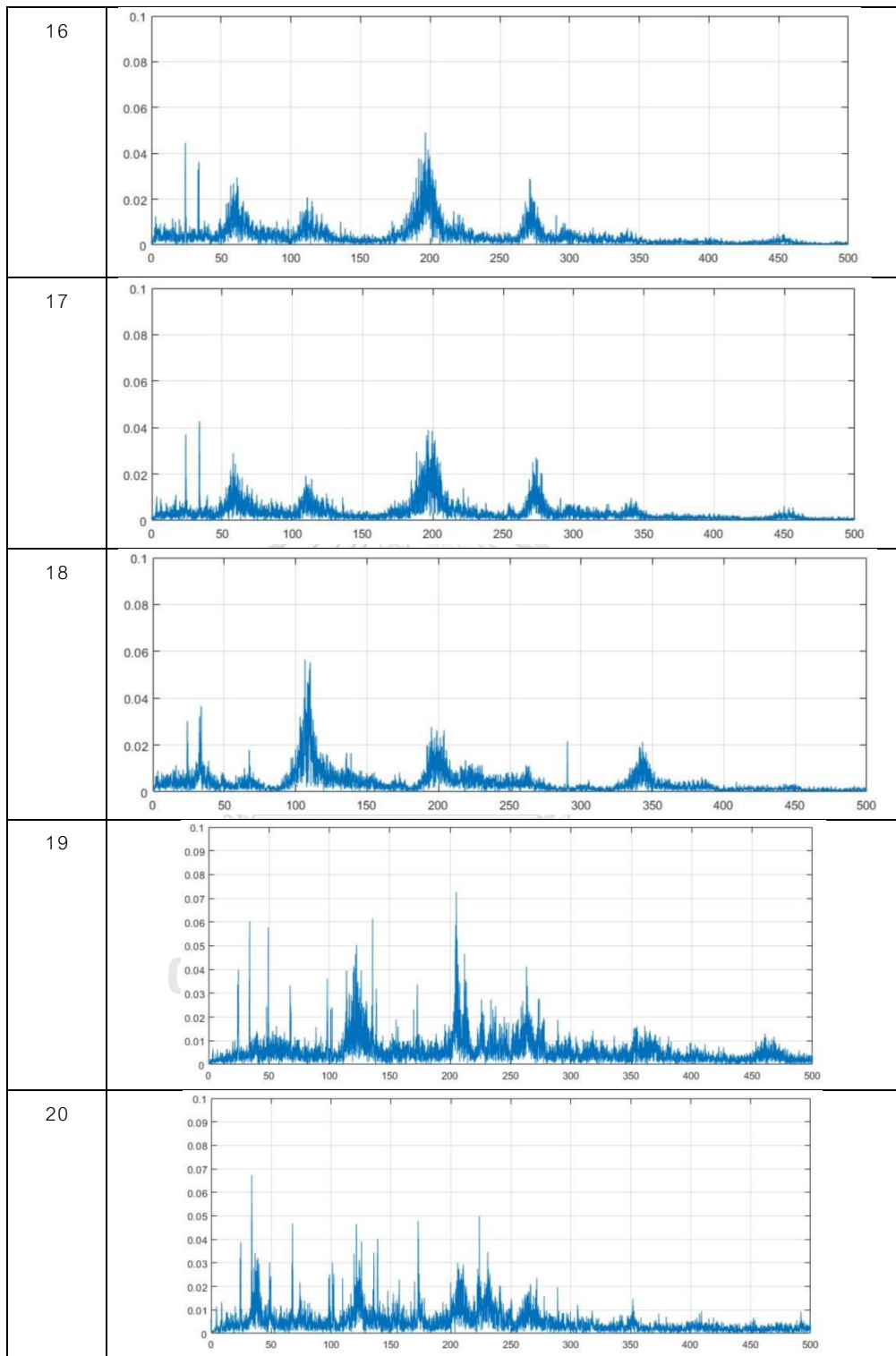


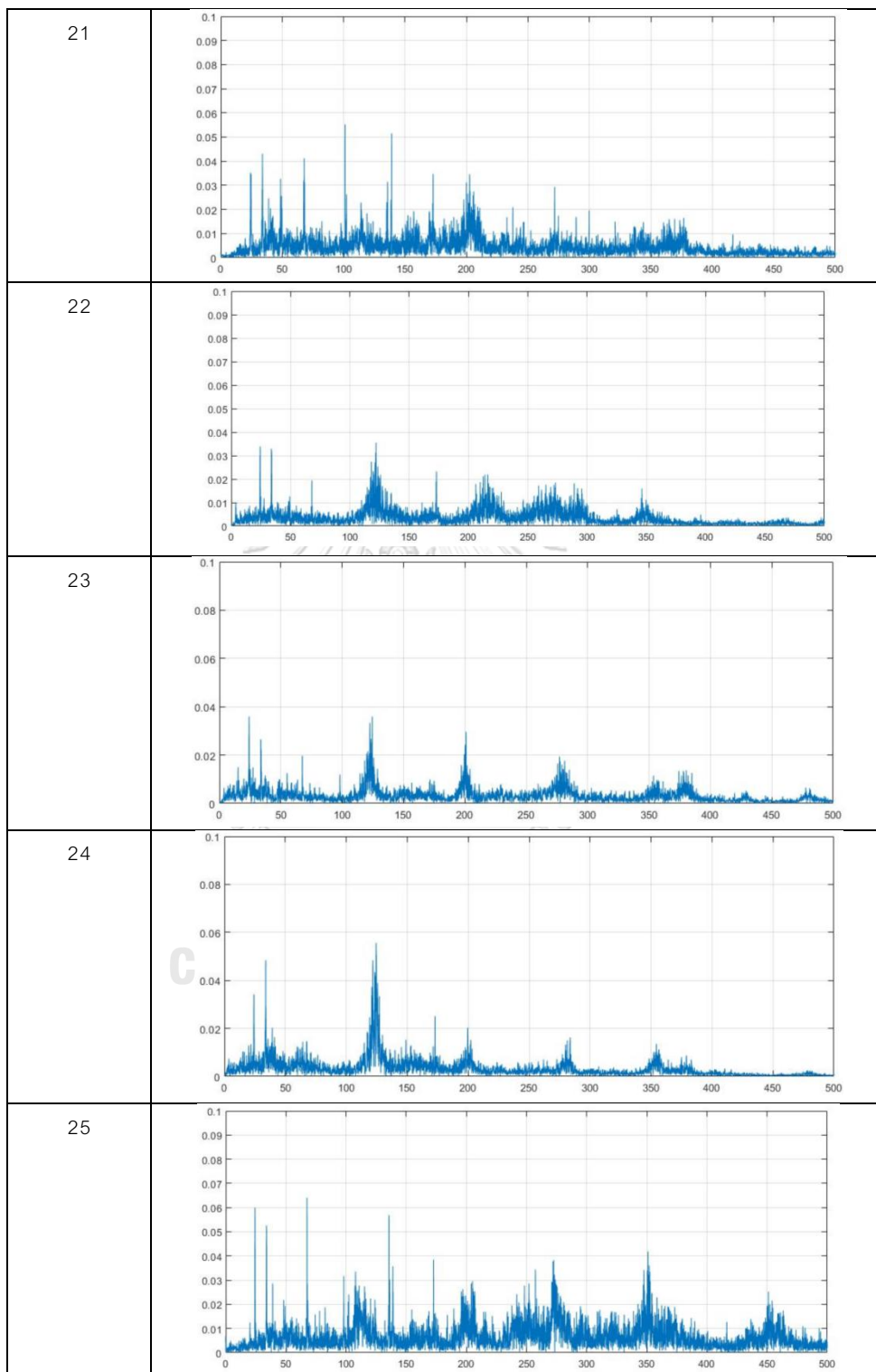


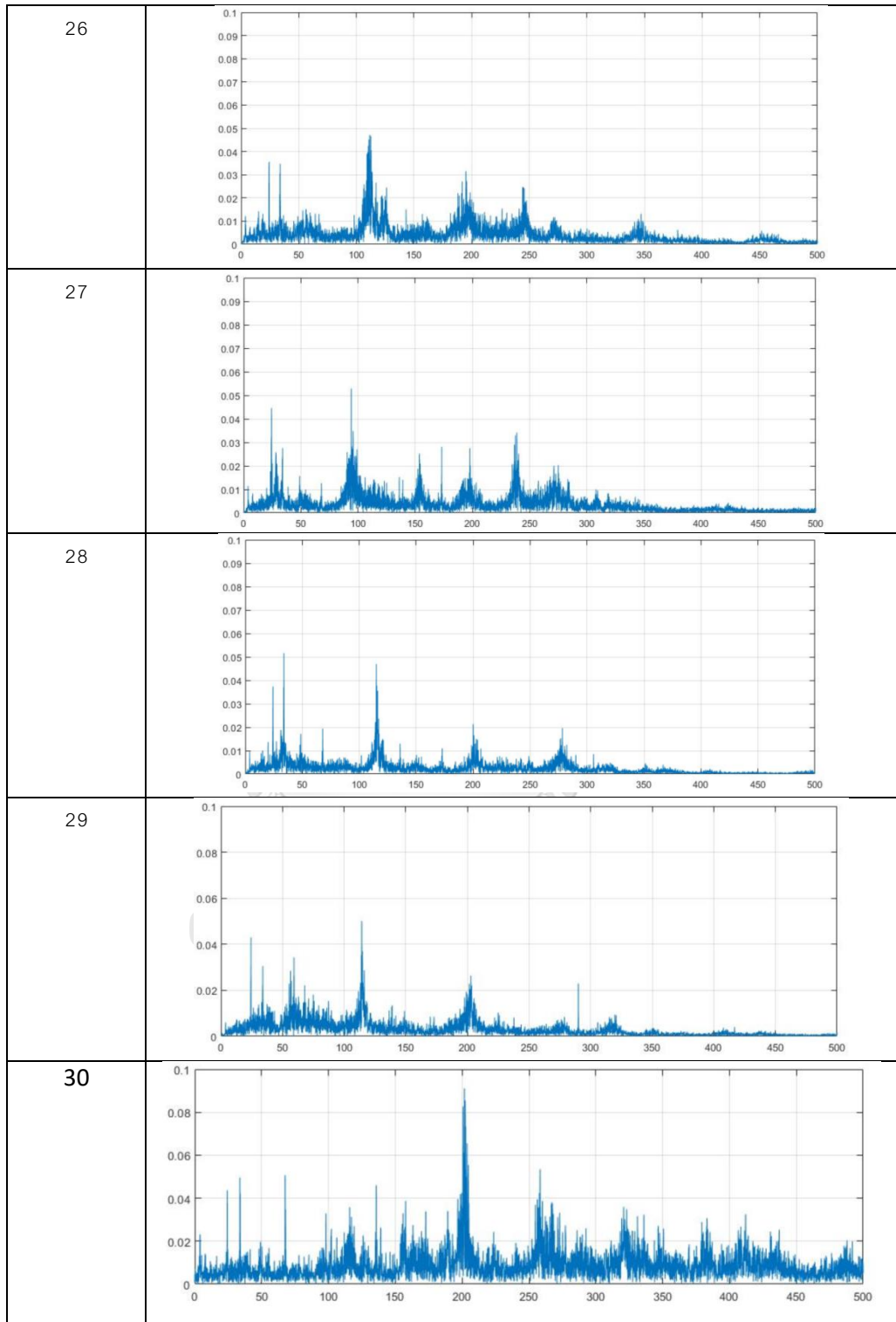
WS No.	วินเซิร์ฟ 3 จุดที่ไม่มีการยึดติด
1	 A spectrogram plot showing frequency content over time. The x-axis represents time from 0 to 500, and the y-axis represents frequency from 0 to 0.1. The plot shows a noisy signal with several distinct peaks. The most prominent peaks are located at approximately 110, 190, and 270 on the x-axis, with the peak at 110 being the highest, reaching a frequency of about 0.07.
2	 A spectrogram plot showing frequency content over time. The x-axis represents time from 0 to 500, and the y-axis represents frequency from 0 to 0.1. The plot shows a noisy signal with several distinct peaks. The most prominent peaks are located at approximately 30, 190, and 270 on the x-axis, with the peak at 190 being the highest, reaching a frequency of about 0.05.
3	 A spectrogram plot showing frequency content over time. The x-axis represents time from 0 to 500, and the y-axis represents frequency from 0 to 0.1. The plot shows a noisy signal with several distinct peaks. The most prominent peaks are located at approximately 30, 190, and 270 on the x-axis, with the peak at 190 being the highest, reaching a frequency of about 0.04.
4	 A spectrogram plot showing frequency content over time. The x-axis represents time from 0 to 500, and the y-axis represents frequency from 0 to 0.1. The plot shows a noisy signal with several distinct peaks. The most prominent peaks are located at approximately 110, 190, and 340 on the x-axis, with the peak at 110 being the highest, reaching a frequency of about 0.06.
5	 A spectrogram plot showing frequency content over time. The x-axis represents time from 0 to 500, and the y-axis represents frequency from 0 to 0.1. The plot shows a noisy signal with several distinct peaks. The most prominent peaks are located at approximately 110, 190, and 270 on the x-axis, with the peak at 110 being the highest, reaching a frequency of about 0.04.

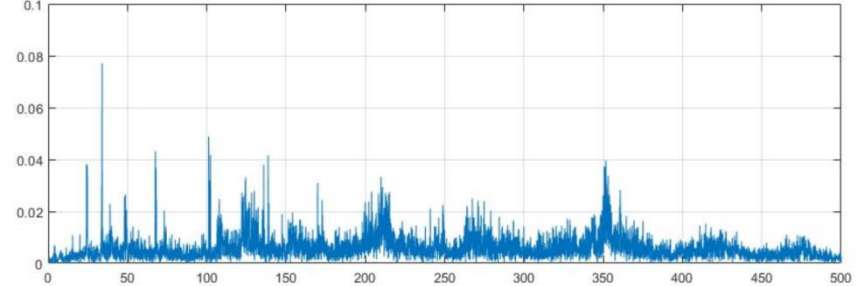
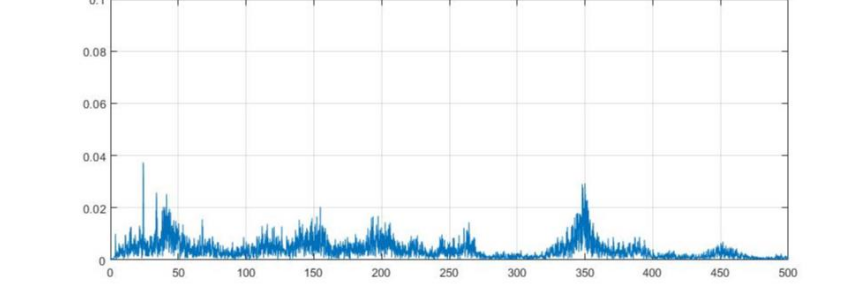
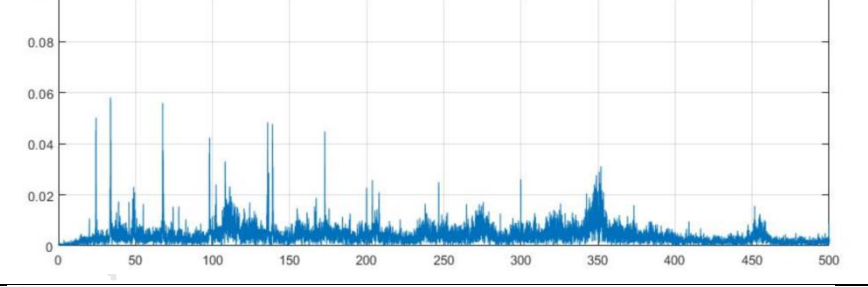
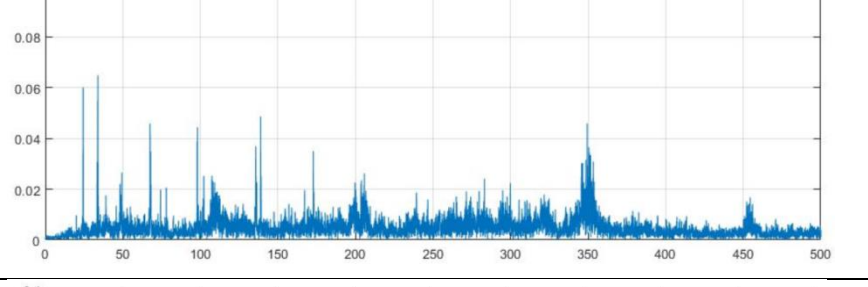
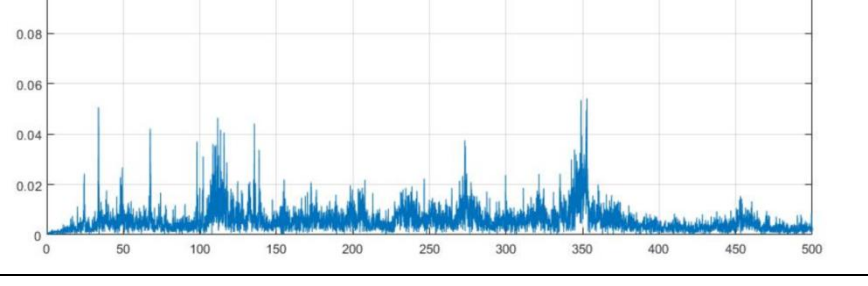


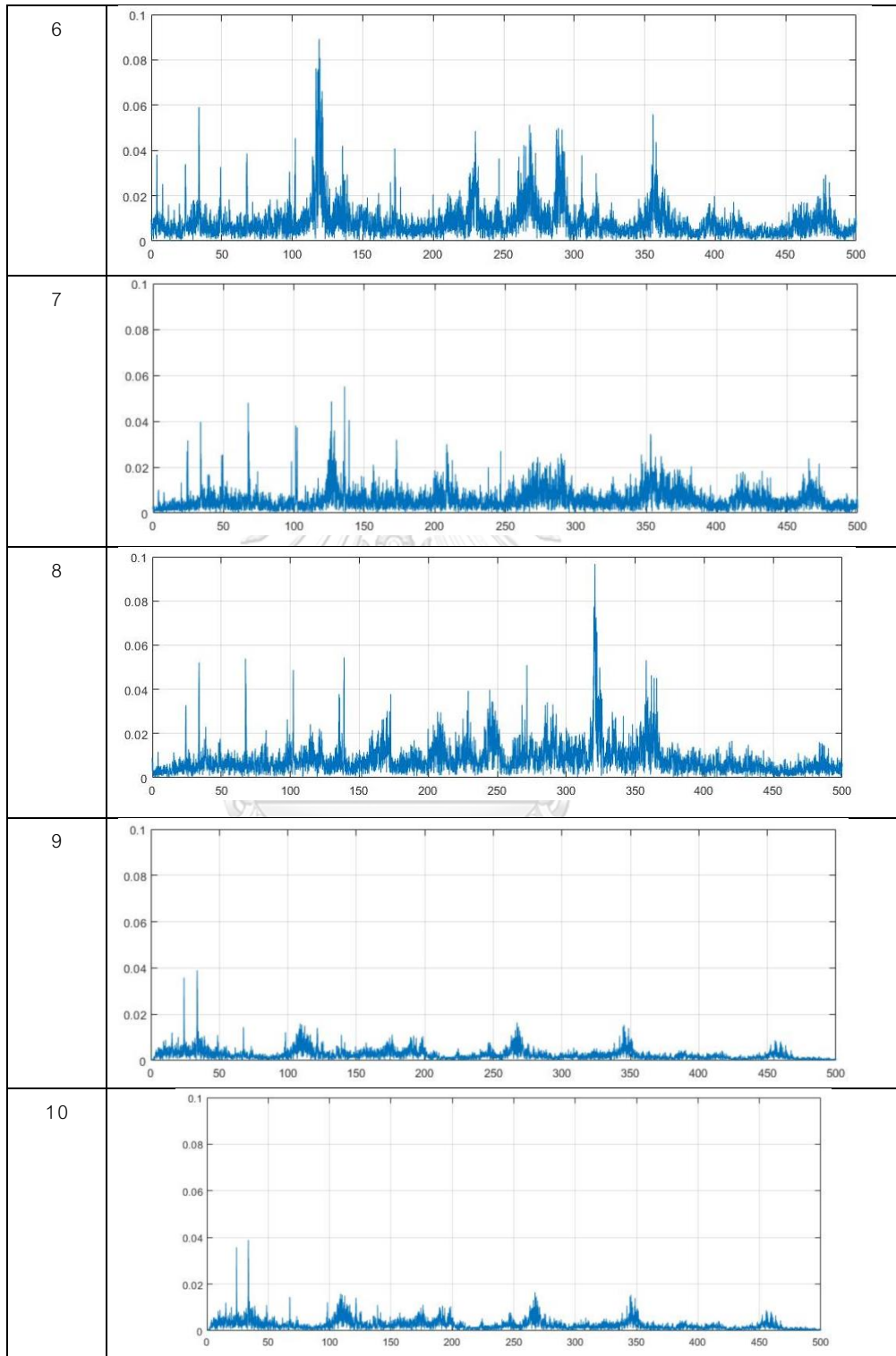


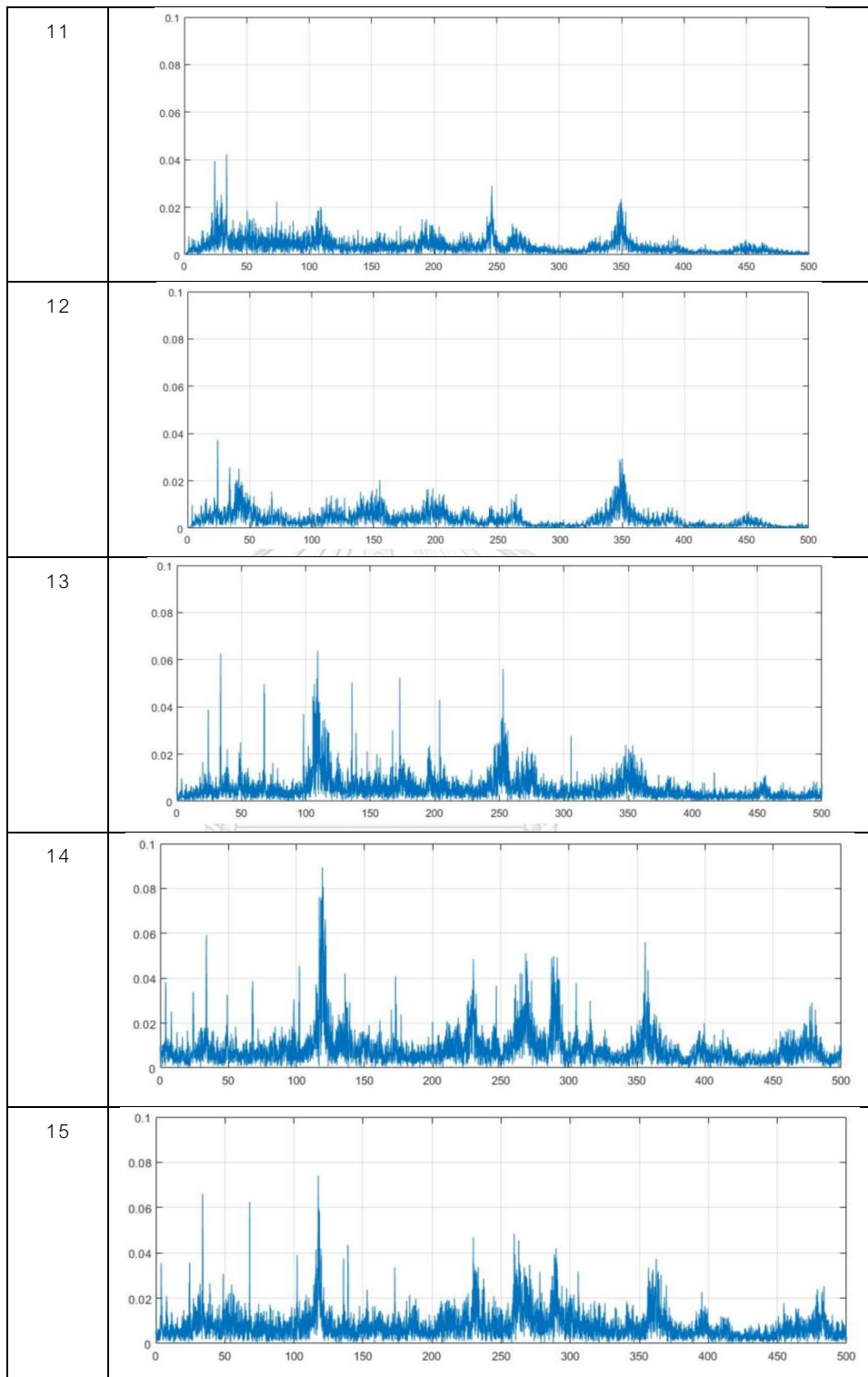


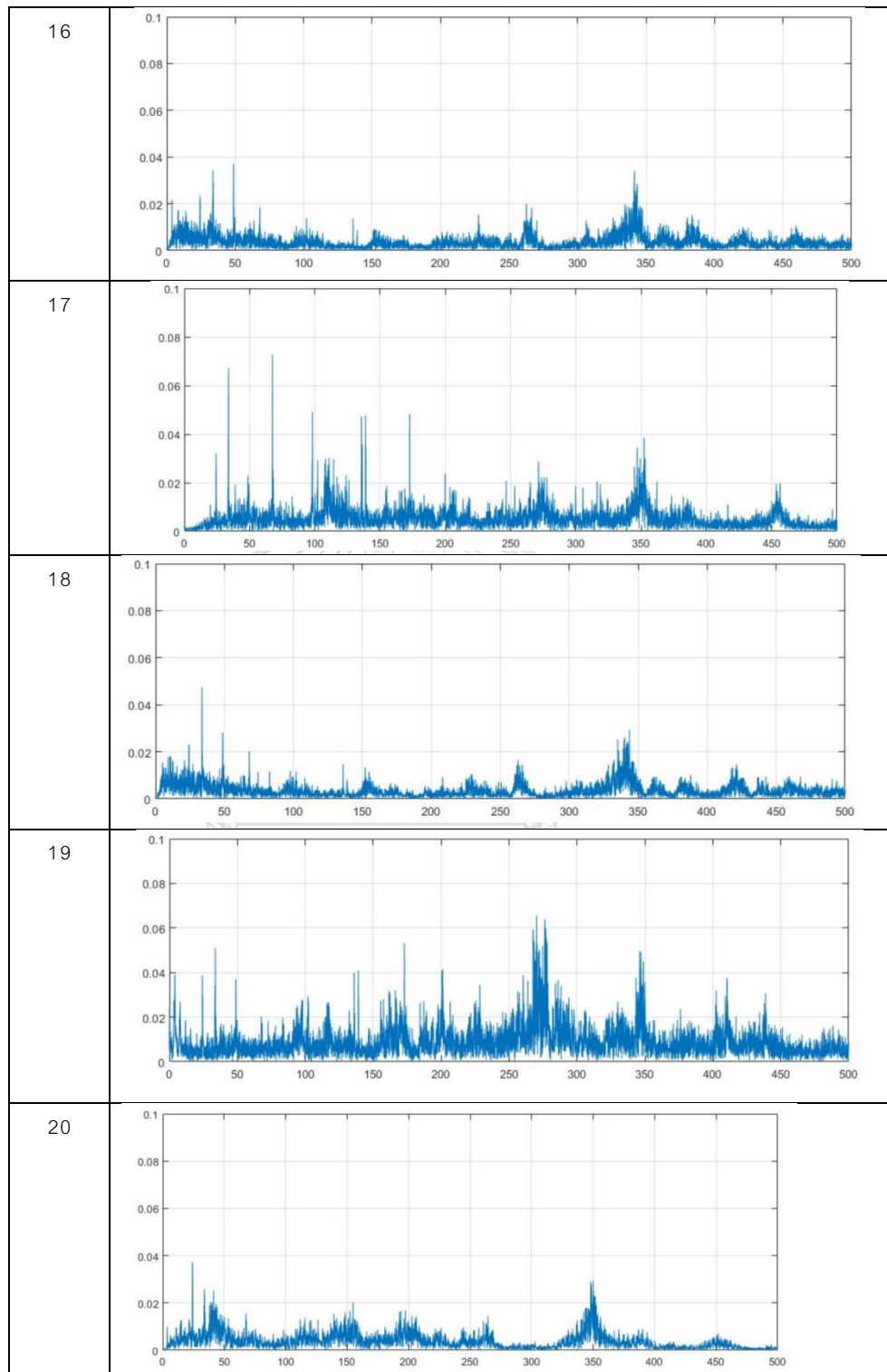


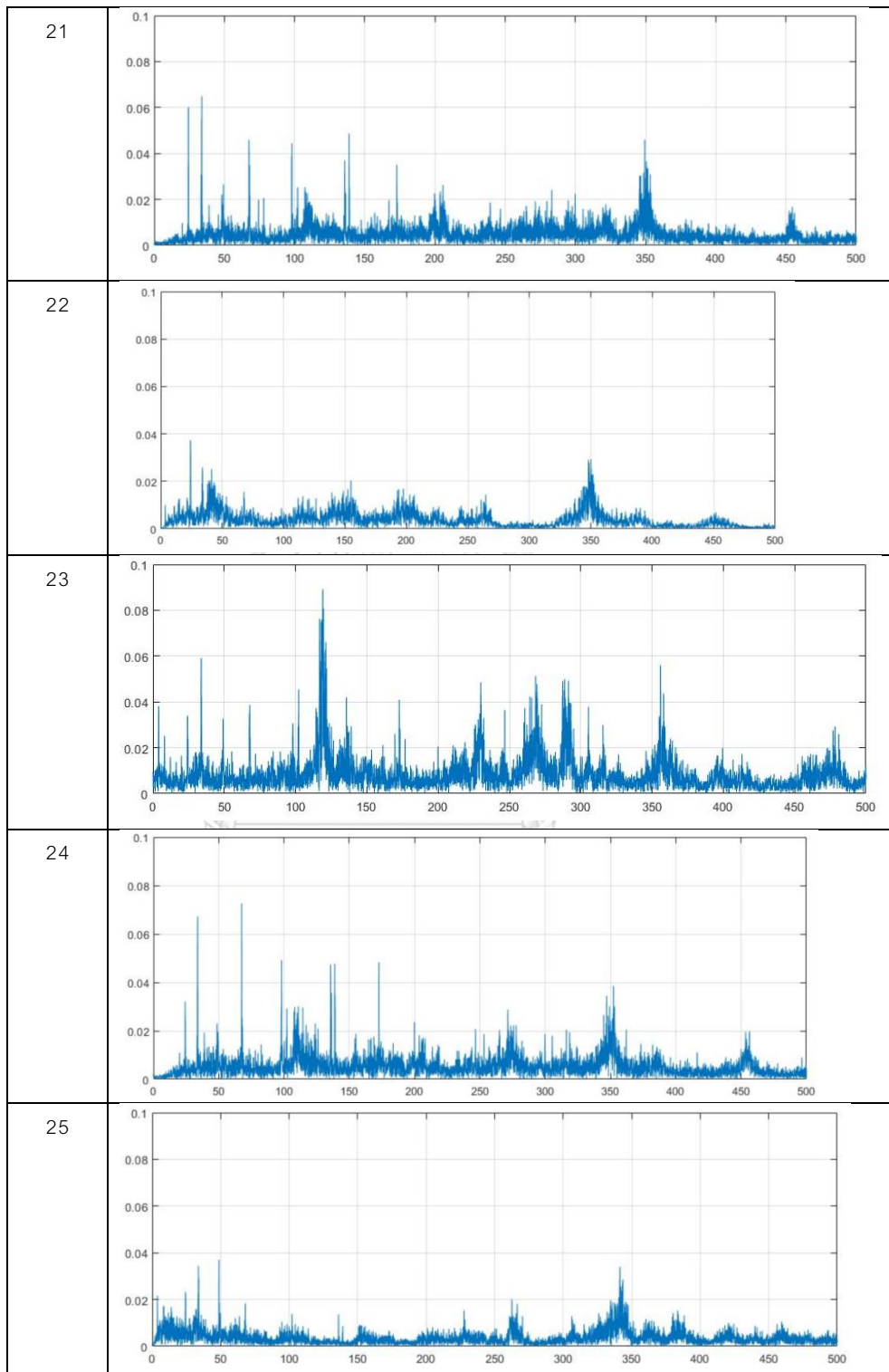


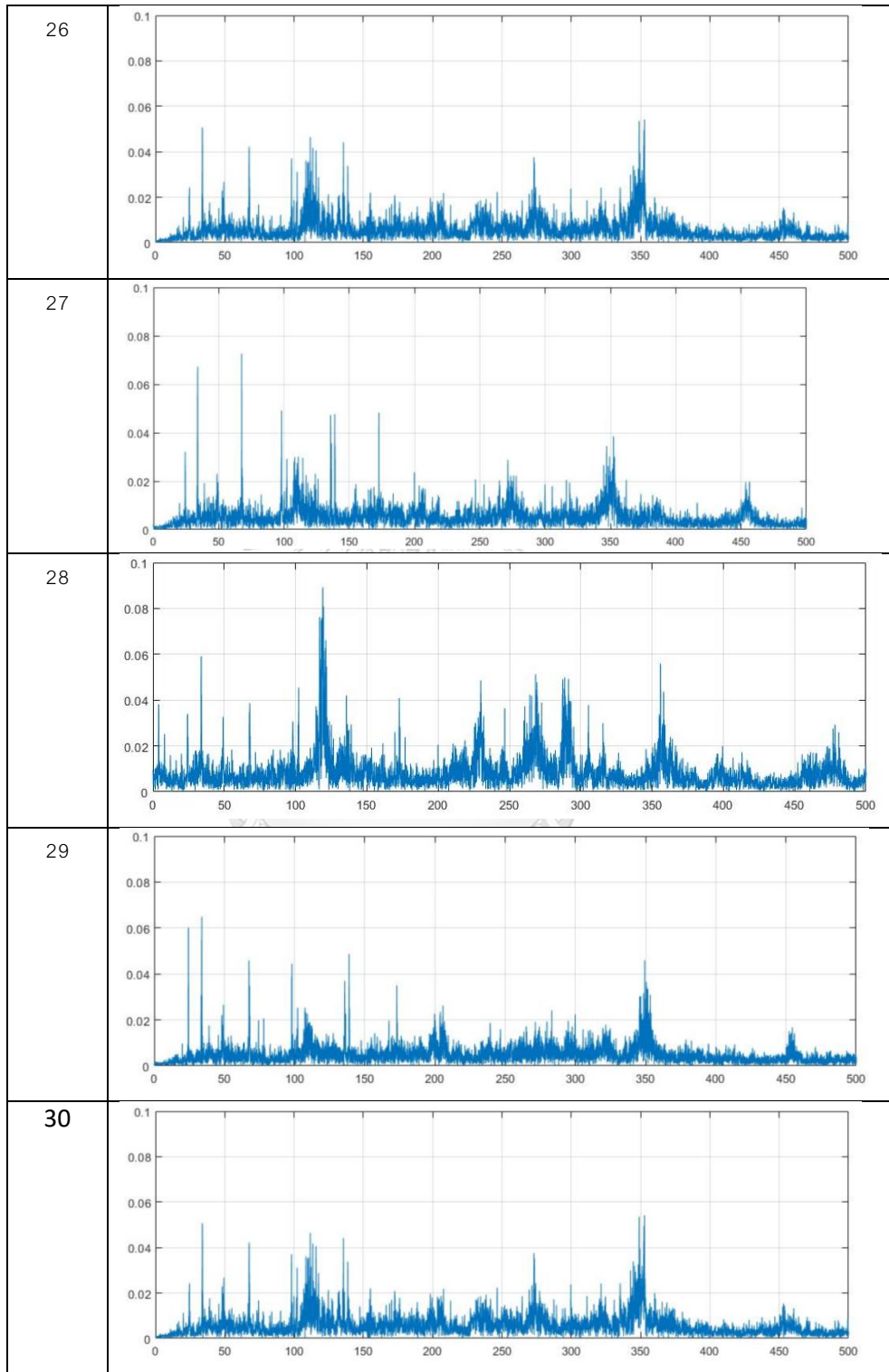
WS No.	วินเซิร์ฟ 4 จุดที่มีการยึดติด
1	 A spectrogram plot showing frequency components over time. The x-axis represents time from 0 to 500, and the y-axis represents frequency from 0 to 0.1. The plot shows a dense spectrum of components, with a notable peak around time 350.
2	 A spectrogram plot showing frequency components over time. The x-axis represents time from 0 to 500, and the y-axis represents frequency from 0 to 0.1. The plot shows a sparse spectrum with a prominent peak around time 350.
3	 A spectrogram plot showing frequency components over time. The x-axis represents time from 0 to 500, and the y-axis represents frequency from 0 to 0.1. The plot shows a dense spectrum with several peaks, including a significant one around time 350.
4	 A spectrogram plot showing frequency components over time. The x-axis represents time from 0 to 500, and the y-axis represents frequency from 0 to 0.1. The plot shows a dense spectrum with a peak around time 350.
5	 A spectrogram plot showing frequency components over time. The x-axis represents time from 0 to 500, and the y-axis represents frequency from 0 to 0.1. The plot shows a dense spectrum with a peak around time 350.

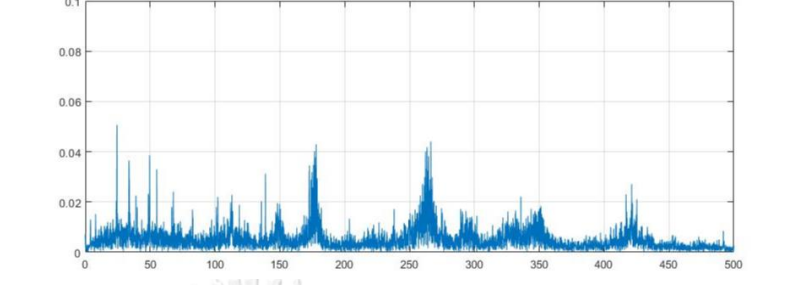
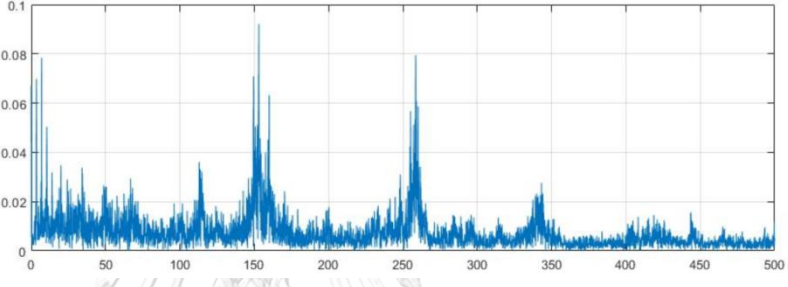
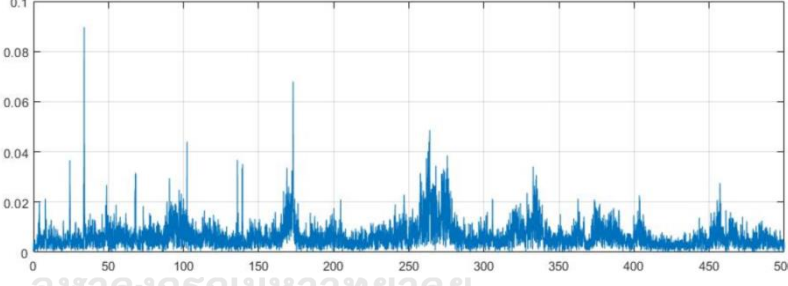
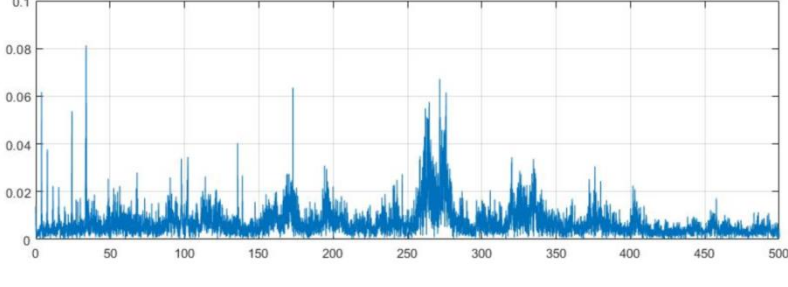
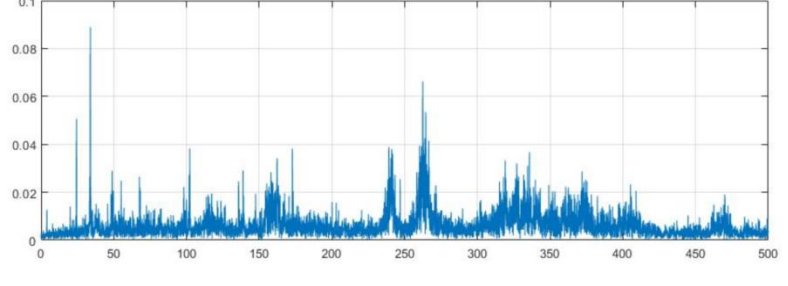


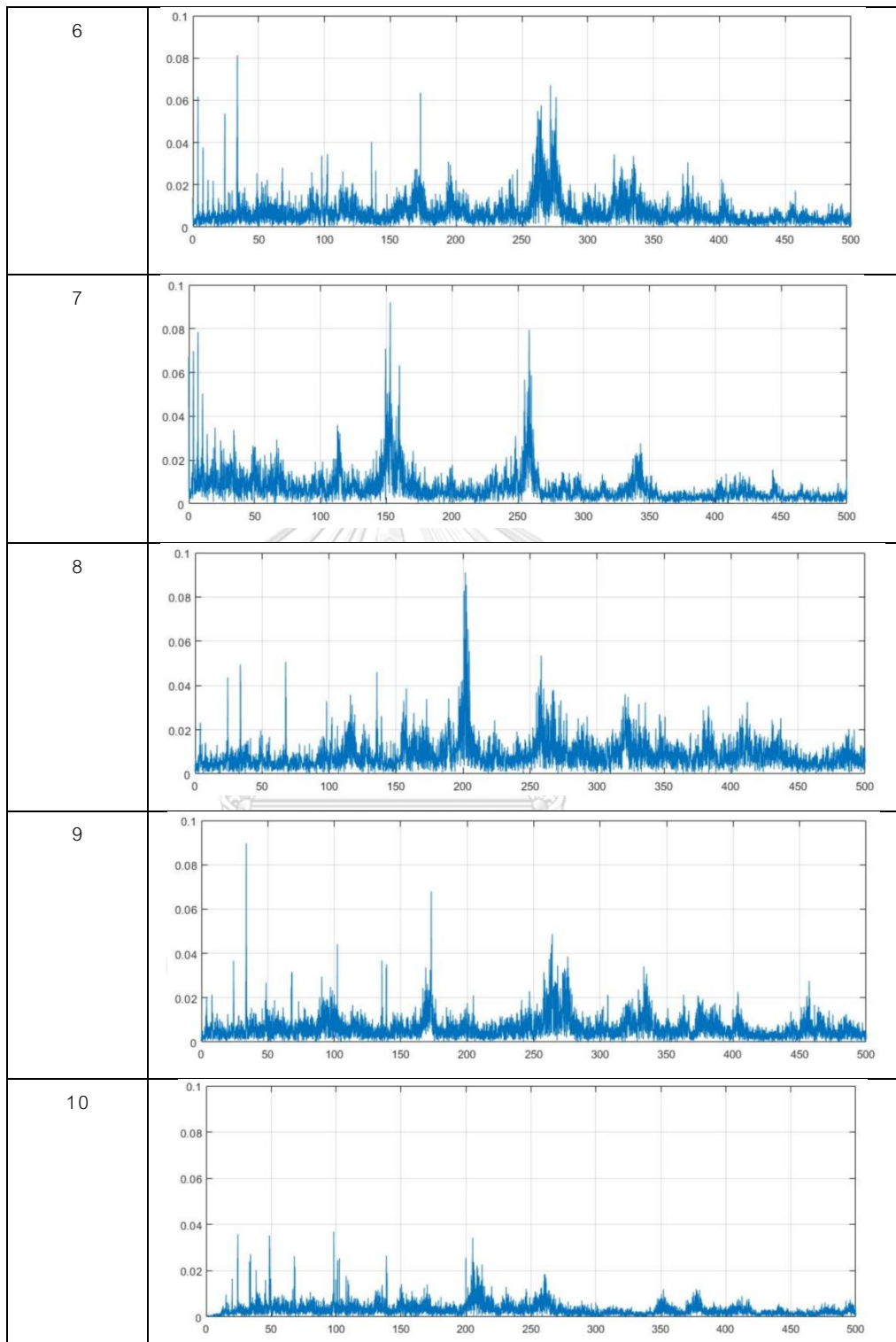


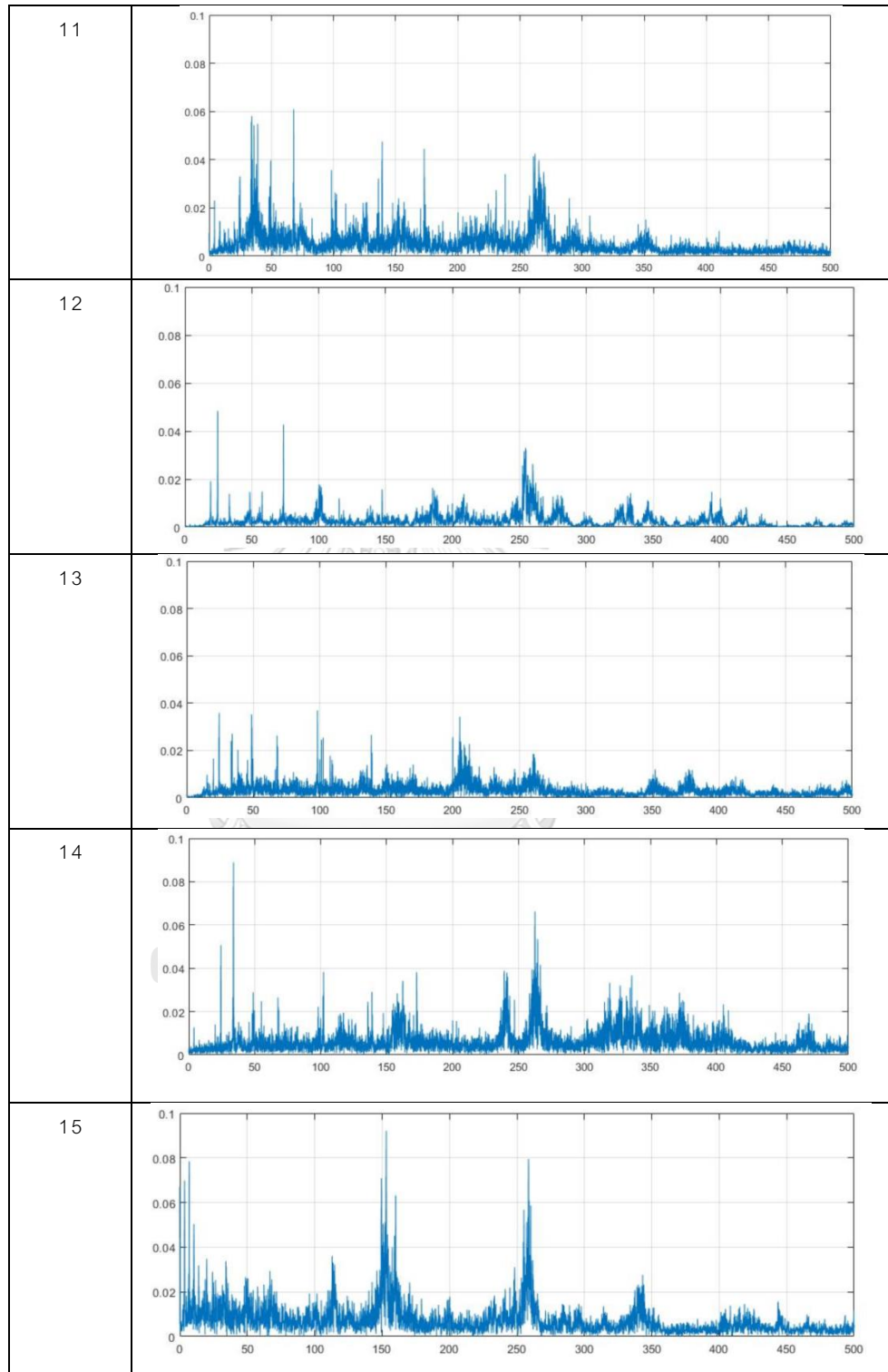


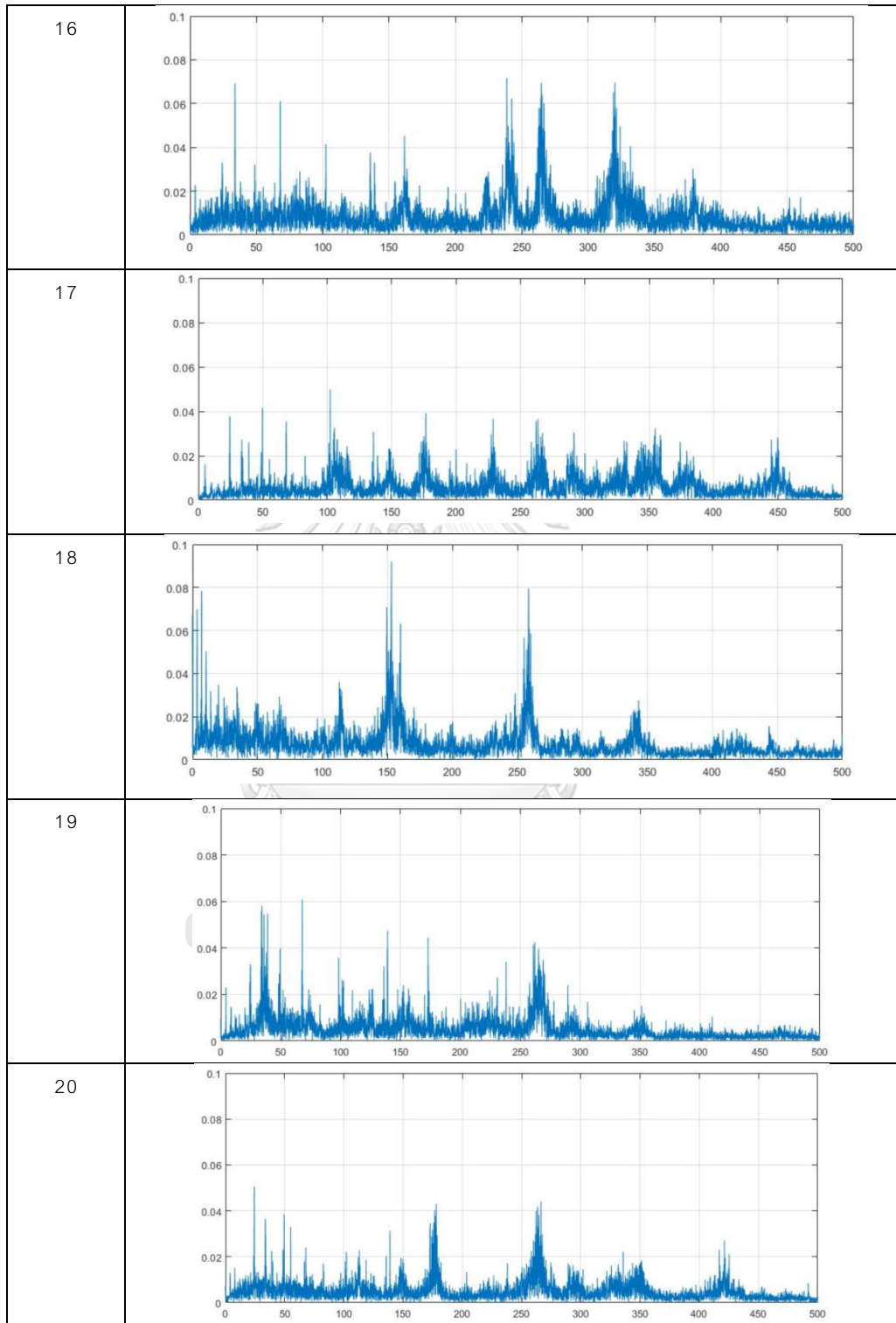


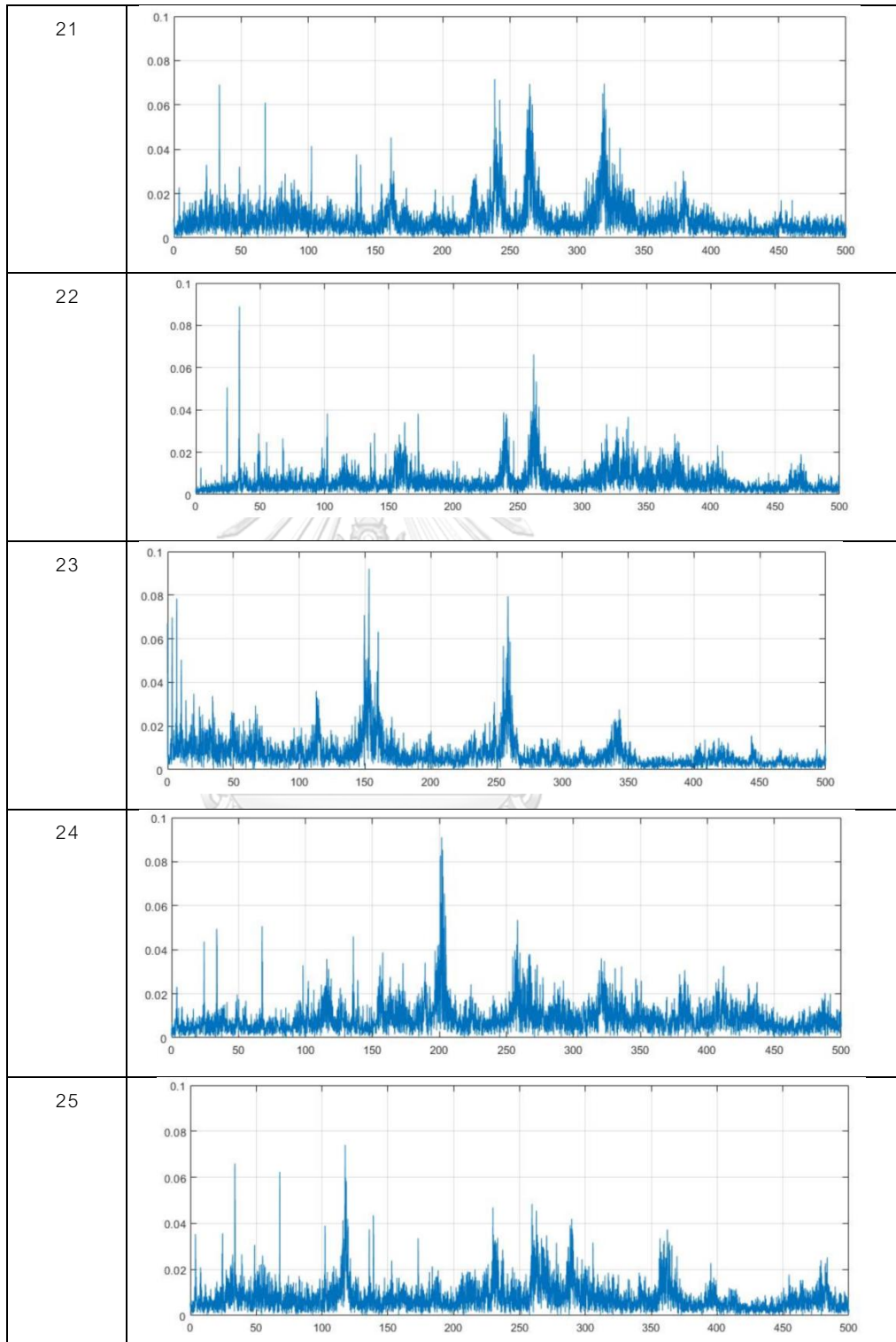


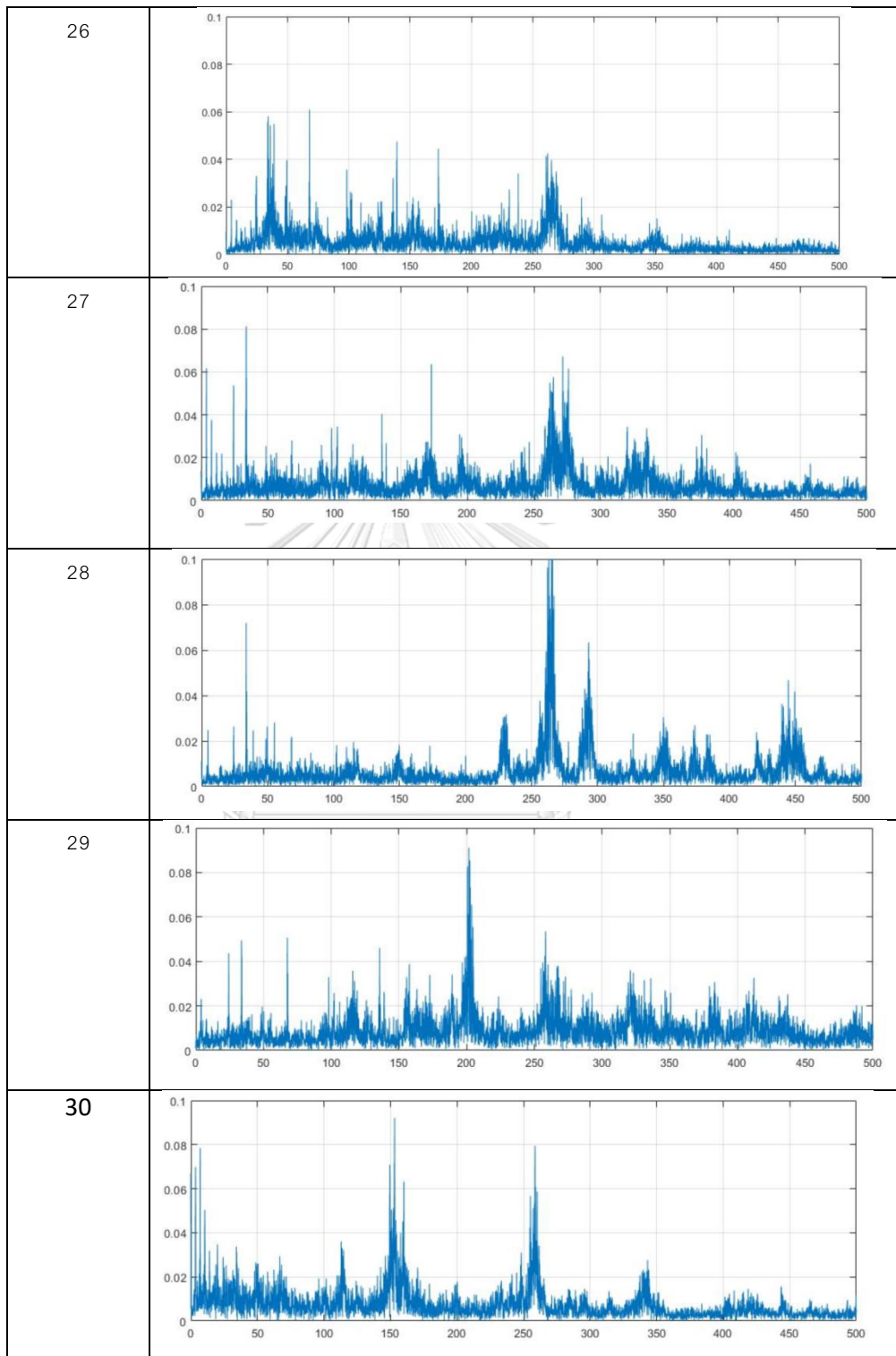
WS No.	วินเซอร์ฟ 4 จุดที่ไม่มีการยึดติด
1	
2	
3	
4	
5	





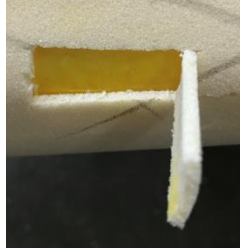

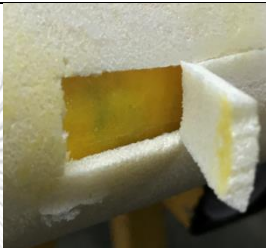





















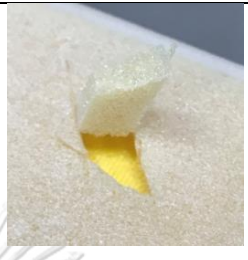





วินเซิร์ฟ 1

1		
2		
3		
4	<p data-bbox="539 1355 863 1467">จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย CHULALONGKORN U</p>	
5		






6		
7		
8		
9		
10		


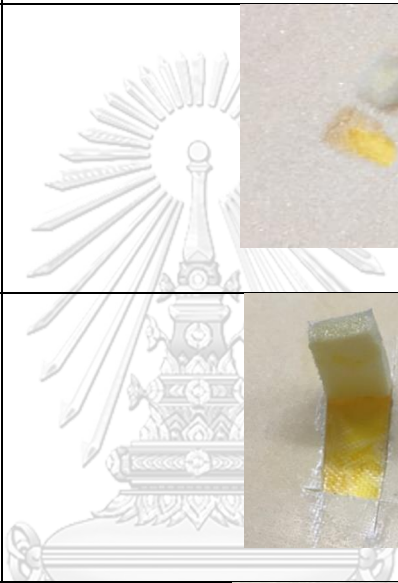


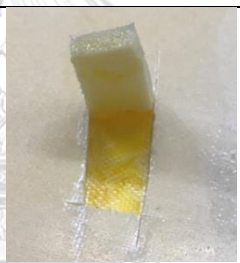
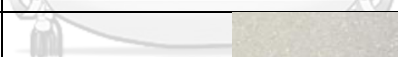


วินเซิร์ฟ 2

1		
2		
3		
4		
5		

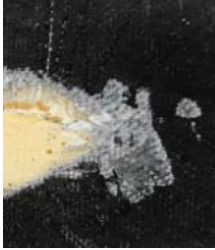


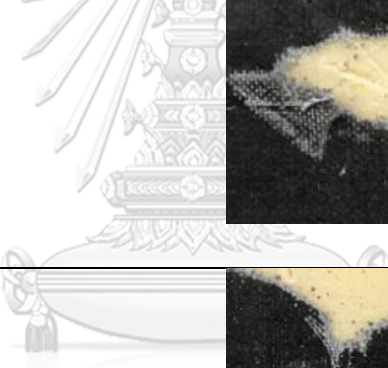
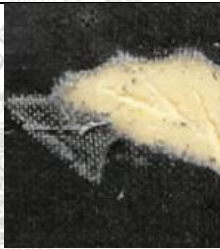



6		
7		
8		
9	 <p data-bbox="582 1355 837 1400">จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย CHULALONGKORN UNIVERSITY</p>	
10		


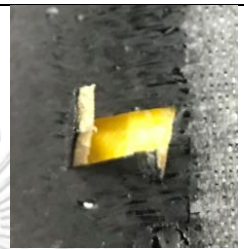
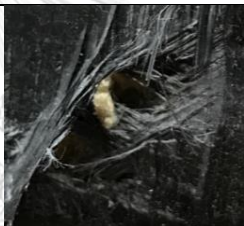


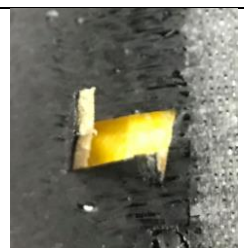
วินเซิร์ฟ 3

1		
2		
3		
4	จุฬาลงกรณ์ CHULALONGKOR	
5		

6		
7		
8		
9	 <p data-bbox="539 1355 837 1467">จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย CHULALONGKORN</p>	
10		

วินเซิร์ฟ 4

1		
2		
3		
4	 <p>จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย CHULALONGKORN</p>	
5		

6		
7		
8		
9		
10		

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	Napaphan Sukprasert
วัน เดือน ปี เกิด	23 Nov 1990
สถานที่เกิด	Chiangrai
วุฒิการศึกษา	Chulalongkorn university
ที่อยู่ปัจจุบัน	189/135 Moo.5 Road Khaolarm Sub-district Huaikapi Amphoe Muang Chonburi
ผลงานตีพิมพ์	สำเร็จการศึกษาปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาปิโตรเคมีและ วัสดุพอลิเมอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร ปีการศึกษา 2556 ต่อมาได้เข้าทำงานที่บริษัท Cobra international ในตำแหน่ง QA Engineer และในปี 2557 ได้เริ่มงานที่ บริษัท Thai NOK ในตำแหน่ง QA Engineer จากนั้นในปี 2559 ได้เริ่ม ทำงานที่บริษัท Valeo Comfort and Driving Assistance ในตำแหน่ง Quality Engineer จากนั้น ในปี 2561 ได้เริ่มงานที่บริษัท BMW Manufacturing Co., Ltd ในตำแหน่ง Quality Control Specialist และ ได้เข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอุต สาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยในปีการศึกษา 2560