การวิเคราะห์ที่ราลือของเกาะเกาะสันนาท
FEATURE ANALYSIS OF THE RANAD

ณัฏฐินันท์ มีแสง
NUTTINUN MEESANG
ทัพพากรณ์ พุ่งไพบูลย์
TUPPAPORN PUMPAIBOON

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมสารสนเทศ
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2556

การวิเคราะห์หาลักษณะเด่นเสียงระนาด
FEATURE ANALYSIS OF THE RANAD

ณัฐฐินันท์ มีแสง
NUTTINUN MEESANG

ทัพพาภรณ์ พุ่มไพบูลย์
TUPPAPORN PUMPAIBOON

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมสารสนเทศ
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2556

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FEATURE ANALYSIS OF THE RANAD

NUTTINUN MEESANG

TUPPAPORN PUMPAIBOON

THIS THESIS IS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF ENGINEERING IN INFORMATION ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAR 2013

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์ การวิเคราะห์หาลักษณะเด่นเสียงระนาด

รายชื่อนักศึกษา นางสาวณัฐฐินันท์ มีแสง รหัสนักศึกษา รหัสนักศึกษา 53010453

นางสาวทัพพาภรณ์ พุ่มไพบูลย์ รหัสนักศึกษา รหัสนักศึกษา 53010588

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชา วิศวกรรมสารสนเทศ

พ.ศ. 2556

อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์ ผศ.ดลชัย สุขเจริญผล

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ ได้รับการอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง

.....

(ผศ.ดลชัย สุขเจริญผล)

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์	การวิเคราะห์หาลักษณะเด่นเสียงระนาด
รายชื่อนักศึกษา	นางสาวณัฐฐินันท์ มีแสง รหัสนักศึกษา 53010453
	นางสาวทัพพาภรณ์ พุ่มไพบูลย์ รหัสนักศึกษา 53010588
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมสารสนเทศ
พ.ศ.	2556
อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์	ผศ.ดลชัย สุขเจริญผล

บทคัดย่อ

โครงงานนี้ศึกษาลักษณะเด่นของสัญญาณเสียงระนาดเอกและระนาดทุ้ม โดยอาศัยหลักการประมวลผลสัญญาณดิจิตอลและการแปลงฮิลเบิร์ต ในการวิเคราะห์แถบความถี่ ลักษณะกรอบโทนเสียง และการกระจายสเปคตรัม 3 มิติของสัญญาณระนาดที่มีความชัดเจนของเสียงสูง โดยใช้วิธีการสังเคราะห์สัญญาณเสียงระนาดด้วยวิธีการแอดดิทีฟบนโปรแกรมแม็กซ์/เอ็มเอสพี รวมไปถึง การสร้างส่วนติดต่อผู้ใช้งานกับระบบด้วยกราฟฟิกให้สามารถเล่นระนาดเสมือนจริงผ่านคอมพิวเตอร์ได้ด้วยโปรแกรมและผู้ใช่สามารถเลือกเล่นเสียงของระนาดรวมทั้งเลือกเสียงของไม้ตีได้ อีกทั้งยังเป็นการรักษาเอกลักษณ์ของเสียงระนาดเอกและระนาดทุ้ม และใช้เป็นเสียงอ้างอิงในการปรับแต่งเสียงโน้ตระนาดให้ได้สัญญาณเสียงที่มีความผิดเพี้ยนจากลักษณะไม่สมมาตรเชิงขนาดลดลง และสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับเครื่องดนตรีไทยชนิดอื่นๆ ในอนาคต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	Feature Analysis of the Ranad	
Student	Miss Nuttinun Meesang	Student ID. 53010453
	Miss Tuppaporn Pumpaiboon	Student ID. 53010588
Degree	Bachelor of Engineering	
Program	Information Engineering	
Year	2013	
Thesis Advisor	Asst.Prof. Dolchai Sookcharoenpol	

ABSTRACT

This project is studied about sound signals of Ranad-Eak and Ranad-Tum by using the principles of digital signal processing, and Hilbert transform for analyses of frequency, envelope, and three- dimension spectrum to synthesize sound signals with additive technique on Max/MSP, and to create graphic user interface. The advantages of this project are conservation of the unique sounds of Ranad-Eak, and using these analyzed sounds to customize Ranad-Eak and Ranad-Tum sound notes for its better efficiencies and apply to other types of Thai musical instruments in the future.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี ด้วยความเมตตากรุณาและความอนุเคราะห์เป็นอย่างดีจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ดลชัย สุขเจริญผล ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์ ที่คอยให้คำปรึกษาและได้ให้การสนับสนุนในด้านต่างๆเป็นอย่างดี คณะผู้จัดทำรู้สึกซาบซึ้งเป็นอย่างยิ่งและกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ ที่นี้ด้วย

ขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์บุณย์ชนะ ภู่ระหงษ์ ที่ให้คำแนะนำและให้ความอนุเคราะห์ในการให้ยืมใช้อุปกรณ์การทำโครงงาน คือ เครื่องบันทึกเสียง ตลอดระยะเวลาการทำโครงงาน คณะผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ ชมรมดนตรีไทยบ้านพรตพิสุทธิ์ โรงเรียนพรตพิทยพยัตที่ให้ความอนุเคราะห์ในการบันทึกเสียงระนาดเพื่อใช้ในการทำโครงงาน ตลอดจนให้คำแนะนำช่วยเหลือทุกๆด้าน คณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ญาติพี่น้อง ที่อบรม สั่งสอน ให้กำลังใจ ตลอดจนให้การสนับสนุนในทุกๆด้านเป็นอย่างดี คณะผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบคุณ พี่ๆ เพื่อนๆ ภาควิชาวิศวกรรมสารสนเทศ ที่ให้คำแนะนำและกำลังใจในยามท้อแท้ ให้มีแรงที่จะทำโครงงานต่อไป ตลอดจนให้คำแนะนำและการช่วยเหลือทุกๆด้านด้วยดีมาตลอด

ขอขอบคุณ ทุกท่านที่ไม่ได้กล่าวถึงและมีส่วนร่วมที่ทำให้โครงงานฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

สุดท้ายนี้ คุณค่าและประโยชน์อันพึงได้รับจากปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ คณะผู้จัดทำขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

ณัฐฐินันท์ มีแสง
ทัพพาภรณ์ พุ่มไพบูลย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ II
กิตติกรรมประกาศ III
สารบัญ IV
สารบัญตาราง VI
สารบัญรูป VII
บทที่ 1 บทนำ 1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา 1
1.2 จุดประสงค์ 2
1.3 ขอบเขตของโครงงาน 2
1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ 2
1.5 อุปกรณ์ที่ต้องใช้ 2
บทที่ 2 ลักษณะเด่นของระนาด 3
2.1 โครงสร้างทางกายภาพของระนาด 3
2.1.1 ระนาดเอก 3
2.1.2 ระนาดทุ้ม 6
2.2 โครงสร้างที่วัดได้จริง 8
2.3 พื้นฐานของเสียงดนตรี 14
2.3.1 ระดับเสียง (Pitch) 14
2.3.2 ความสั้นยาวของเสียง (Duration) 14
2.3.3 ความเข้มของเสียง (Sound Intensity) 14
2.3.4 สีสันเสียง (Timbre or Tone Color) 15
2.4 วิเคราะห์ลักษณะของเสียง 16
2.4.1 ลักษณะกรอบของเสียง (Envelop characterization) 16
2.4.2 คุณภาพของเสียง (Quality) 17
2.5 การแปลงฮิลเบิร์ต 17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 3 การออกแบบการทดลอง 18
3.1 การเก็บบันทึกเสียงโน้ตของระนาด (Record) 19
3.2 การวิเคราะห์เสียงด้วยโปรแกรม Adobe Audition CS6 19
3.3 การวิเคราะห์เสียงด้วยโปรแกรม MATLAB 21
3.3.1 วิเคราะห์หาองค์ประกอบของเสียง 21
3.3.2 การเลื่อนความถี่และการแปลงฮิลเบิร์ต 46
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง 50
4.1 การเปรียบเทียบลักษระของเสียงต้นฉบับและเสียงที่ผ่านการเลื่อนความถี่ด้วย HBFS 51
บทที่ 5 การทดลองและผลการทดลองด้วยเทคนิคแอดดิทีฟบน MAX/MSP 91
5.1 เกี่ยวกับ MAX/MSP 91
5.2 ขอบเขตการใช้งาน MAX/MSP 92
5.3 ผลการใช้งานวงจรสังเคราะห์เสียงด้วยเทคนิคแอดดิทีฟบน MAX/MSP 110
บทที่ 6 ส่วนติดต่อผู้ใช้งาน (Graphic User Interface) 111
6.1 รูปแบบและดีไซน์ของหน้าจอโปรแกรมเล่นระนาดบนคอมพิวเตอร์ 118
บทที่ 7 สรุปผลการทดลอง 120
7.1 สรุปผลการทดลอง 120
7.2 ปัญหาและอุปสรรค 121
7.3 แนวทางการพัฒนาต่อ 121
บรรณานุกรม 121
ภาคผนวก 122
ภาคผนวก ก. คู่มือการติดตั้งโปรแกรม MAX/MSP 123

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2.1 ขนาดความกว้างและความยาวของระนาดเอกชิงชัน 10
2.2 ขนาดความกว้างและความยาวของระนาดทุ้ม 11
2.3 ขนาดความกว้างและความยาวของระนาดเอกเหล็ก 12
2.4 ขนาดความกว้างและความยาวของระนาดทุ้มเหล็ก 13
3.1 ค่าความถี่ของเสียงโน้ตระนาดเอก 22 เสียงที่ได้จากเสียงต้นฉบับ 21
5.1 เครื่องมือภายในโปรแกรมแม็กซ์/เอ็มเอสพี (MAX/MSP) 94
5.2 คำสั่งต่างๆที่กำหนดให้กับเครื่องมือ Object Box 95
5.3 ค่าความถี่ของเสียงโน้ตระนาดเอกชิงชันที่ตีด้วยไม้รักที่ได้จากการเลื่อนความถี่จากเสียงโน้ตอ้างอิง 98
5.4 ค่าความถี่ของเสียงโน้ต**ระนาดเอกชิงชันที่ตีด้วยไม้x10**ที่ได้จากการเลื่อนความถี่จากเสียงโน้ตอ้างอิง 99
5.5 ค่าความถี่ของเสียงโน้ตระนาดเอกชิงชันที่ตีด้วยไม้นวมเขียวที่ได้จากการเลื่อนความถี่จากเสียงโน้ตอ้างอิง 100
5.6 ค่าความถี่ของเสียงโน้ตระนาดเอกชิงชันที่ตีด้วยไม้นวมเหลืองที่ได้จากการเลื่อนความถี่จากเสียงโน้ตอ้างอิง.. 101
5.7 ตารางค่าความถี่ของเสียงโน้ตระนาดเอกประดู่ที่ตีด้วยไม้รักที่ได้จากการเลื่อนความถี่จากเสียงโน้ตอ้างอิง..... 102
5.8 ค่าความถี่ของเสียงโน้ตระนาดเอกประดู่ที่ตีด้วยไม้x10ที่ได้จากการเลื่อนความถี่จากเสียงโน้ตอ้างอิง..... 103
5.9 ค่าความถี่ของเสียงโน้ตระนาดเอกประดู่ที่ตีด้วยไม้นวมเขียวที่ได้จากการเลื่อนความถี่จากเสียงโน้ตอ้างอิง 104
5.10 ค่าความถี่ของเสียงโน้ตระนาดเอกประดู่ที่ตีด้วยไม้นวมเหลืองที่ได้จากการเลื่อนความถี่จากเสียงโน้ตอ้างอิง 105
5.11 ค่าความถี่ของเสียงโน้ตระนาดทุ้มชิงชันที่ตีด้วยไม้นวมแดงที่ได้จากการเลื่อนความถี่จากเสียงโน้ตอ้างอิง 106
5.12 ค่าความถี่ของเสียงโน้ตระนาดทุ้มชิงชันที่ตีด้วยไม้นวมเหลืองที่ได้จากการเลื่อนความถี่จากเสียงโน้ตอ้างอิง 107
5.13 ค่าความถี่ของเสียงโน้ตระนาดทุ้มไผ่บงที่ตีด้วยไม้นวมเหลืองที่ได้จากการเลื่อนความถี่จากเสียงโน้ตอ้างอิง . 108

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

2.1 ส่วนประกอบของระนาด 3
2.2 ผืนระนาด 4
2.3 รางระนาด 5
2.4 ไม้ตีระนาด 5
2.5 ระนาดเอกเหล็ก 6
2.6 ระนาดทุ้มไม้ 7
2.7 ระนาดทุ้มเหล็ก 7
2.8 การวัดความยาวจากโขนถึงโขนแนวตรง 8
2.9 การวัดความยาวจากโขนถึงโขนแนวโค้ง 8
2.10 การวัดความยาวของรางระนาดในแนวโค้ง 8
2.11 การวัดความยาวจากใต้ผืนระนาดถึงเท้าระนาด 9
2.12 การวัดความยาวจากกระพุ้งระนาดถึงเท้าระนาด 9
2.13 สัญญาณเสียงที่เกิดจากแหล่งกำเนิดเสียงที่มีสีสันเสียงต่างกันในโดเมนเวลา 15
2.14 ลักษณะกรอบของเสียง (Envelop characterization) 16
2.15 บล็อกไดอะแกรมของการแปลงฮิลเบิร์ต 17
3.1 การออกแบบขั้นตอนการทดลอง 18
3.2 อุปกรณ์บันทึกเสียงโน้ตของระนาด(Digital Sound Recorder) 19
3.3 ขั้นตอนการเก็บบันทึกเสียงโน้ตของระนาด 19
3.4 รูปคลื่นของสัญญาณเสียง (Waveform) ก่อนตัดเสียงที่ต้องการ 20
3.5 รูปคลื่นของสัญญาณเสียง (Waveform) หลังตัดเสียงที่ต้องการ 20
3.6 สเปคโตรแกรมของสัญญาณเสียงก่อนตัดเสียงที่ต้องการ 20
3.7 สเปคโตรแกรมของสัญญาณเสียงหลังตัดเสียงที่ต้องการ 20
3.8 ขั้นตอนการวิเคราะห์หาเสียงโน้ตจากเสียงโน้ตอ้างอิง 21
3.9 องค์ประกอบของเสียงระนาดเอกชิงชันโน้ตที่ 4 (โด) ที่ตีด้วยไม้ x10
ที่ความถี่มูลฐาน (fo) = 236.9 Hz. (เสียงเพราะที่สุด) 22
3.10 องค์ประกอบของเสียงระนาดเอกชิงชันโน้ตที่ 18 (โด) ที่ตีด้วยไม้ x10
ที่ความถี่มูลฐาน (fo) = 944.8 Hz. (เสียงเพี้ยนที่สุด) 23
3.11 องค์ประกอบของเสียงระนาดเอกชิงชันโน้ตที่ 7 (ฟา) ที่ตีด้วยไม้รัก
ที่ความถี่มูลฐาน (fo) = 320.3 Hz. (เสียงเพราะที่สุด) 24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

3.12 องค์ประกอบของเสียงระนาดเอกชิงชันโน้ตที่ 19 (เร) ที่ตีด้วยไม้รัก
ที่ความถี่มูลฐาน (fo) = 1044 Hz. (เสียงเพี้ยนที่สุด) 25
3.13 องค์ประกอบของเสียงระนาดเอกชิงชันโน้ตที่8 (ซอล) ที่ตีด้วยไม้นวมเหลือง
ที่ความถี่มูลฐาน (fo) = 347.2 Hz. (เสียงเพราะที่สุด) 26
3.14 องค์ประกอบของเสียงระนาดเอกชิงชันโน้ตที่1 (ซอล) ที่ตีด้วยไม้นวมเหลือง
ที่ความถี่มูลฐาน (fo) = 175 Hz. (เสียงเพี้ยนที่สุด) 27
3.15 องค์ประกอบของเสียงระนาดเอกชิงชันโน้ตที่12 (เร) ที่ตีด้วยไม้นวมเขียว
ที่ความถี่มูลฐาน (fo) = 524.9 Hz. (เสียงเพราะที่สุด) 28
3.16 องค์ประกอบของเสียงระนาดเอกชิงชันโน้ตที่ 3 (ที) ที่ตีด้วยไม้นวมเขียว
ที่ความถี่มูลฐาน (fo) = 209.9 Hz. (เสียงเพี้ยนที่สุด) 29
3.17 องค์ประกอบของเสียงระนาดเอกประดูโน้ตที่ 10 (ที) ที่ตีด้วยไม้ x10
ที่ความถี่มูลฐาน (fo) = 433.4 Hz. (เสียงเพราะที่สุด) 30
3.18 องค์ประกอบของเสียงระนาดเอกประดูโน้ตที่ 2 (ลา) ที่ตีด้วยไม้ x10
ที่ความถี่มูลฐาน (fo) = 188.4 Hz. (เสียงเพี้ยนที่สุด) 31
3.19 องค์ประกอบของเสียงระนาดเอกประดูโน้ตที่ 5 (เร) ที่ตีด้วยไม้รัก
ที่ความถี่มูลฐาน (fo) = 266.5 Hz. (เสียงเพราะที่สุด) 32
3.20 องค์ประกอบของเสียงระนาดเอกประดูโน้ตที่ 1 (ซอล) ที่ตีด้วยไม้รัก
ที่ความถี่มูลฐาน (fo) = 175 Hz. (เสียงเพี้ยนที่สุด) 33
3.21 องค์ประกอบของเสียงระนาดเอกประดูโน้ตที่ 8 (ซอล) ที่ตีด้วยไม้นวมเหลือง
ที่ความถี่มูลฐาน (fo) = 347.2 Hz. (เสียงเพราะที่สุด) 34
3.22 องค์ประกอบของเสียงระนาดเอกประดูโน้ตที่ 22 (ซอล) ที่ตีด้วยไม้นวมเหลือง
ที่ความถี่มูลฐาน (fo) = 1,392 Hz. (เสียงเพี้ยนที่สุด) 35
3.23 องค์ประกอบของเสียงระนาดเอกประดูโน้ตที่ 6 (มี) ที่ตีด้วยไม้นวมเขียว
ที่ความถี่มูลฐาน (fo) = 293.4 Hz. (เสียงเพราะที่สุด) 36
3.24 องค์ประกอบของเสียงระนาดเอกประดูโน้ตที่ 1 (ซอล) ที่ตีด้วยไม้นวมเขียว
ที่ความถี่มูลฐาน (fo) = 175 Hz. (เสียงเพี้ยนที่สุด) 37
3.25 องค์ประกอบของเสียงระนาดทุ้มไผ่บงโน้ตที่ 7 (ฟา) ที่ตีด้วยไม้นวมเหลือง
ที่ความถี่มูลฐาน (fo) = 320.3 Hz. (เสียงเพราะที่สุด) 38
3.26 องค์ประกอบของเสียงระนาดทุ้มไผ่บงโน้ตที่ 17 (ที) ที่ตีด้วยไม้นวมเหลือง
ที่ความถี่มูลฐาน (fo) = 850.6 Hz. (เสียงเพี้ยนที่สุด) 39

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

3.27 องค์ประกอบของเสียงระนาดทุ้มไผ่บงโน้ตที่ 9 (ลา) ที่ตีด้วยไม้นวมแดง
ที่ความถี่มูลฐาน (fo) = 382.2 Hz. (เสียงเพราะที่สุด) 40
3.28 องค์ประกอบของเสียงระนาดทุ้มไผ่บงโน้ตที่ 1 (ซอล) ที่ตีด้วยไม้นวมแดง
ที่ความถี่มูลฐาน (fo) = 175 Hz. (เสียงเพี้ยนที่สุด) 41
3.29 องค์ประกอบของเสียงระนาดทุ้มชิงชันโน้ตที่ 10 (ที) ที่ตีด้วยไม้นวมเหลือง
ที่ความถี่มูลฐาน (fo) = 433.4 Hz. (เสียงเพราะที่สุด) 42
3.30 องค์ประกอบของเสียงระนาดทุ้มชิงชันโน้ตที่ 17 (ที) ที่ตีด้วยไม้นวมเหลือง
ที่ความถี่มูลฐาน (fo) = 850.6 Hz. (เสียงเพี้ยนที่สุด) 43
3.31 องค์ประกอบของเสียงระนาดทุ้มชิงชันโน้ตที่ 10 (ที) ที่ตีด้วยไม้นวมแดง
ที่ความถี่มูลฐาน (fo) = 433.4 Hz. (เสียงเพราะที่สุด) 44
3.32 องค์ประกอบของเสียงระนาดทุ้มชิงชันโน้ตที่ 1 (ซอล) ที่ตีด้วยไม้นวมแดง
ที่ความถี่มูลฐาน (fo) = 175 Hz. (เสียงเพี้ยนที่สุด) 45
3.33 สเปกตรัมความถี่ของเสียงระนาดเอกชิงชัน ที่ตีด้วยไม้ x10
โดยความถี่อ้างอิง = 236.9 Hz. (เสียงเพราะที่สุด) 46
3.34 สเปกตรัมความถี่ของเสียงระนาดเอกประดู่ ที่ตีด้วยไม้รัก
โดยความถี่อ้างอิง = 266.5 Hz. (เสียงเพราะที่สุด) 47
3.35 สเปกตรัมความถี่ของเสียงระนาดทุ้มไผ่บง ที่ตีด้วยไม้นวมเหลือง
โดยความถี่อ้างอิง = 320.3 Hz. (เสียงเพราะที่สุด) 48
3.36 สเปกตรัมความถี่ของเสียงระนาดทุ้มชิงชัน ที่ตีด้วยไม้นวมแดง
โดยความถี่อ้างอิง = 433.4 Hz. (เสียงเพราะที่สุด) 49
4.1 การเลื่อนความถี่ด้วย HBFS (Hilbert Transform Frequency Shifter) 50
4.2 คลื่นของสัญญาณของเสียงระนาดเอกชิงชัน โน้ตที่ 1 ที่ตีด้วยไม้ x10 51
4.3 กราฟการกระจายสเปกตรัม 3มิติ ของเสียงระนาดเอกชิงชันโน้ตที่ 1 ตีด้วยไม้นวม x10 51
4.4 คลื่นของสัญญาณของเสียงระนาดเอกชิงชัน โน้ตที่ 4 ที่ตีด้วยไม้ x10 52
4.5 กราฟการกระจายสเปกตรัม 3มิติ ของเสียงระนาดเอกชิงชันโน้ตที่ 4 ตีด้วยไม้ x10 52
4.6 คลื่นของสัญญาณของเสียงระนาดเอกชิงชัน โน้ตที่ 18 ที่ตีด้วยไม้ x10 53
4.7 กราฟการกระจายสเปกตรัม 3มิติ ของเสียงระนาดเอกชิงชันโน้ตที่ 18 ตีด้วยไม้ x10 53
4.8 คลื่นของสัญญาณของเสียงระนาดเอกชิงชัน โน้ตที่ 22 ที่ตีด้วยไม้ x10 54
4.9 กราฟการกระจายสเปกตรัม 3มิติ ของเสียงระนาดเอกชิงชันโน้ตที่ 22 ตีด้วยไม้ x10 54
4.10 คลื่นของสัญญาณของเสียงระนาดเอกชิงชัน โน้ตที่ 1 ที่ตีด้วยไม้รัก 55

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.11 กราฟการกระจายสเปกตรัม 3มิติ ของเสียงระนาดเอกชิงชันโน้ตที่1 ตีด้วยไม้รัก 55
4.12 คลื่นของสัญญาณของเสียงระนาดเอกชิงชัน โน้ตที่ 7 ที่ตีด้วยไม้รัก.....56
4.13 กราฟการกระจายสเปกตรัม 3มิติ ของเสียงระนาดเอกชิงชันโน้ตที่ 7 ตีด้วยไม้รัก 56
4.14 คลื่นของสัญญาณของเสียงระนาดเอกชิงชัน โน้ตที่ 19 ที่ตีด้วยไม้รัก 57
4.15 กราฟการกระจายสเปกตรัม 3มิติ ของเสียงระนาดเอกชิงชันโน้ตที่ 19 ตีด้วยไม้รัก.....57
4.16 คลื่นของสัญญาณของเสียงระนาดเอกชิงชัน โน้ตที่ 22 ที่ตีด้วยไม้รัก 58
4.17 กราฟการกระจายสเปกตรัม 3มิติ ของเสียงระนาดเอกชิงชันโน้ตที่ 22 ตีด้วยไม้รัก.....58
4.18 คลื่นของสัญญาณของเสียงระนาดเอกชิงชัน โน้ตที่ 1ที่ตีด้วยไม้นวมเหลือง.....59
4.19 กราฟการกระจายสเปกตรัม 3มิติ ของเสียงระนาดเอกชิงชันโน้ตที่ 1 ตีด้วยไม้นวมเหลือง 59
4.20 คลื่นของสัญญาณของเสียงระนาดเอกชิงชัน โน้ตที่ 8 ที่ตีด้วยไม้นวมเหลือง.....60
4.21 กราฟการกระจายสเปกตรัม 3มิติ ของเสียงระนาดเอกชิงชันโน้ตที่ 8 ตีด้วยไม้นวมเหลือง 60
4.22 คลื่นของสัญญาณของเสียงระนาดเอกชิงชัน โน้ตที่ 22 ที่ตีด้วยไม้นวมเหลือง 61
4.23 กราฟการกระจายสเปกตรัม 3มิติ ของเสียงระนาดเอกชิงชันโน้ตที่22 ตีด้วยไม้นวมเหลือง 61
4.24 คลื่นของสัญญาณของเสียงระนาดเอกชิงชัน โน้ตที่ 1 ที่ตีด้วยไม้นวมขียว 62
4.25 กราฟการกระจายสเปกตรัม 3มิติ ของเสียงระนาดเอกชิงชันโน้ตที่ 1 ตีด้วยไม้นวมเขียว.....62
4.26 คลื่นของสัญญาณของเสียงระนาดเอกชิงชัน โน้ตที่ 3 ที่ตีด้วยไม้นวมขียว 63
4.27 กราฟการกระจายสเปกตรัม 3มิติ ของเสียงระนาดเอกชิงชันโน้ตที่ 3 ตีด้วยไม้นวมเขียว.....63
4.28 คลื่นของสัญญาณของเสียงระนาดเอกชิงชัน โน้ตที่ 12 ที่ตีด้วยไม้นวมขียว 64
4.29 กราฟการกระจายสเปกตรัม 3มิติ ของเสียงระนาดเอกชิงชันโน้ตที่ 12 ตีด้วยไม้นวมเขียว 64
4.30 คลื่นของสัญญาณของเสียงระนาดเอกชิงชัน โน้ตที่ 22 ที่ตีด้วยไม้นวมขียว 65
4.31 กราฟการกระจายสเปกตรัม 3มิติ ของเสียงระนาดเอกชิงชันโน้ตที่ 22 ตีด้วยไม้นวมเขียว 65
4.32 คลื่นของสัญญาณของเสียงระนาดเอกประดู่ โน้ตที่ 1 ที่ตีด้วยไม้ x10 66
4.33 กราฟการกระจายสเปกตรัม 3มิติ ของเสียงระนาดเอกประดู่ โน้ตที่ 1 ที่ตีด้วยไม้ x10.....66
4.34 คลื่นของสัญญาณของเสียงระนาดเอกประดู่ โน้ตที่ 10 (เสียงเพราะที่สุด) ที่ตีด้วยไม้ x10 67
4.35 กราฟการกระจายสเปกตรัม 3มิติ ของเสียงระนาดเอกประดู่ โน้ตที่ 10 ที่ตีด้วยไม้ x10.....67
4.36 คลื่นของสัญญาณของเสียงระนาดเอกประดู่ โน้ตที่ 18 ตีด้วยไม้ X10.....68
4.37 กราฟการกระจายสเปกตรัม 3มิติ ของเสียงระนาดเอกประดู่ โน้ตที่ 18 ตีด้วยไม้ x10 68
4.38 คลื่นของสัญญาณของเสียงระนาดเอกประดู่ โน้ตที่ 22 ตีด้วยไม้ X10.....69
4.39 กราฟการกระจายสเปกตรัม 3มิติ ของเสียงระนาดเอกประดู่ โน้ตที่ 22 ตีด้วยไม้ x10 69
4.40 คลื่นของสัญญาณของเสียงระนาดเอกประดู่ โน้ตที่ 1 ตีด้วยไม้รัก.....70

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.41 กราฟการกระจายสเปกตรัม 3มิติ ของเสียงระนาดเอกประดู่ โน้ตที่ 1 ตีด้วยไม้รัก....70
4.42 คลื่นของสัญญาณของเสียงระนาดเอกประดู่ โน้ตที่ 5 ตีด้วยไม้รัก....71
4.43 กราฟการกระจายสเปกตรัม 3มิติ ของเสียงระนาดเอกประดู่ โน้ตที่ 5 ตีด้วยไม้รัก....71
4.44 คลื่นของสัญญาณของเสียงระนาดเอกประดู่ โน้ตที่ 22 ตีด้วยไม้รัก....72
4.45 กราฟการกระจายสเปกตรัม 3มิติ ของเสียงระนาดเอกประดู่ โน้ตที่ 22 ตีด้วยไม้รัก....72
4.46 คลื่นของสัญญาณของเสียงระนาดเอกประดู่ โน้ตที่ 1 ตีด้วยไม้นวมเหลือง....73
4.47 กราฟการกระจายสเปกตรัม 3มิติ ของเสียงระนาดเอกประดู่ โน้ตที่ 1 ตีด้วยไม้นวมเหลือง....73
4.48 คลื่นของสัญญาณของเสียงระนาดเอกประดู่ โน้ตที่ 7 ตีด้วยไม้นวมเหลือง....74
4.49 กราฟการกระจายสเปกตรัม 3มิติ ของเสียงระนาดเอกประดู่ โน้ตที่ 7 ตีด้วยไม้นวมเหลือง....74
4.50 คลื่นของสัญญาณของเสียงระนาดเอกประดู่ โน้ตที่ 22 ตีด้วยไม้นวมเหลือง....75
4.51 กราฟการกระจายสเปกตรัม 3มิติ ของเสียงระนาดเอกประดู่ โน้ตที่ 22 ตีด้วยไม้นวมเหลือง....75
4.52 คลื่นของสัญญาณของเสียงระนาดเอกประดู่ โน้ตที่ 1 ตีด้วยไม้นวมเขียว....76
4.53 กราฟการกระจายสเปกตรัม 3มิติ ของเสียงระนาดเอกประดู่ โน้ตที่ 1 ตีด้วยไม้นวมเขียว....76
4.54 คลื่นของสัญญาณของเสียงระนาดเอกประดู่ โน้ตที่ 6 ตีด้วยไม้นวมเขียว....77
4.55 กราฟการกระจายสเปกตรัม 3มิติ ของเสียงระนาดเอกประดู่ โน้ตที่ 6 ตีด้วยไม้นวมเขียว....77
4.56 คลื่นของสัญญาณของเสียงระนาดเอกประดู่ โน้ตที่ 22 ตีด้วยไม้นวมเขียว....78
4.57 กราฟการกระจายสเปกตรัม 3มิติ ของเสียงระนาดเอกประดู่ โน้ตที่ 22 ตีด้วยไม้นวมเขียว....78
4.58 คลื่นของสัญญาณของเสียงระนาดทุ้มไผ่บง โน้ตที่ 1 ตีด้วยไม้นวมเหลือง....79
4.59 กราฟการกระจายสเปกตรัม 3มิติ ของเสียงระนาดทุ้มไผ่บง โน้ตที่ 1 ตีด้วยไม้นวมหลือง....79
4.60 คลื่นของสัญญาณของเสียงระนาดทุ้มไผ่บง โน้ตที่ 7 ตีด้วยไม้นวมเหลือง....80
4.61 กราฟการกระจายสเปกตรัม 3มิติ ของเสียงระนาดทุ้มไผ่บง โน้ตที่ 7 ตีด้วยไม้นวมหลือง....80
4.62 คลื่นของสัญญาณของเสียงระนาดทุ้มไผ่บง โน้ตที่ 17 ตีด้วยไม้นวมเหลือง....81
4.63 กราฟการกระจายสเปกตรัม 3มิติ ของเสียงระนาดทุ้มไผ่บงโน้ตที่ 17 ตีด้วยไม้นวมหลือง....81
4.64 คลื่นของสัญญาณของเสียงระนาดทุ้มไผ่บง โน้ตที่ 1 ตีด้วยไม้นวมแดง....82
4.65 กราฟการกระจายสเปกตรัม 3มิติ ของเสียงระนาดทุ้มไผ่บงโน้ตที่ 1 ตีด้วยไม้นวมแดง....82
4.66 คลื่นของสัญญาณของเสียงระนาดทุ้มไผ่บง โน้ตที่ 9 ตีด้วยไม้นวมแดง....83
4.67 กราฟการกระจายสเปกตรัม 3มิติ ของเสียงระนาดทุ้มไผ่บงโน้ตที่ 9 ตีด้วยไม้นวมแดง....83
4.68 คลื่นของสัญญาณของเสียงระนาดทุ้มไผ่บง โน้ตที่ 17 ตีด้วยไม้นวมแดง....84
4.69 กราฟการกระจายสเปกตรัม 3มิติ ของเสียงระนาดทุ้มไผ่บงโน้ตที่ 17 ตีด้วยไม้นวมแดง....84
4.70 คลื่นของสัญญาณของเสียงระนาดทุ้มชิงชัน โน้ตที่ 1 ตีด้วยไม้นวมแดง....85

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.71 กราฟการกระจายสเปกตรัม 3มิติ ของเสียงระนาดทุ้มชิงชันโน้ตที่ 1 ตีด้วยไม้นวมแดง 85
4.72 คลื่นของสัญญาณของเสียงระนาดทุ้มชิงชัน โน้ตที่ 10 ตีด้วยไม้นวมแดง 86
4.73 กราฟการกระจายสเปกตรัม 3มิติ ของเสียงระนาดทุ้มชิงชันโน้ตที่ 10 ตีด้วยไม้นวมแดง 86
4.74 คลื่นของสัญญาณของเสียงระนาดทุ้มชิงชัน โน้ตที่ 17 ตีด้วยไม้นวมแดง 87
4.75 กราฟการกระจายสเปกตรัม 3มิติ ของเสียงระนาดทุ้มชิงชันโน้ตที่ 17 ตีด้วยไม้นวมแดง 87
4.76 คลื่นของสัญญาณของเสียงระนาดทุ้มชิงชัน โน้ตที่ 1 ตีด้วยไม้นวมเหลือง 88
4.77 กราฟการกระจายสเปกตรัม 3มิติ ของเสียงระนาดทุ้มชิงชันโน้ตที่ 1 ตีด้วยไม้นวมเหลือง 88
4.78 คลื่นของสัญญาณของเสียงระนาดทุ้มชิงชัน โน้ตที่ 10 ตีด้วยไม้นวมเหลือง 89
4.79 กราฟการกระจายสเปกตรัม 3มิติ ของเสียงระนาดทุ้มชิงชันโน้ตที่ 10 ตีด้วยไม้นวมเหลือง 89
4.80 คลื่นของสัญญาณของเสียงระนาดทุ้มชิงชัน โน้ตที่ 17 ตีด้วยไม้นวมเหลือง 90
4.81 กราฟการกระจายสเปกตรัม 3มิติ ของเสียงระนาดทุ้มชิงชันโน้ตที่ 7 ตีด้วยไม้นวมเหลือง 90
5.1 หน้าต่างสำหรับต่อบล็อกวงจร 92
5.2 แถบเครื่องมือบนหน้าต่างสำหรับต่อบล็อกวงจร 93
5.3 หน้าต่างเครื่องมือที่นำมาต่อวงจร 93
5.4 หน้าบล็อกการเชื่อมต่อหลักของระนาดเอกภายในโปรแกรม MAX/MSP 95
5.5 หน้าบล็อกการเชื่อมต่อหลักของระนาดทุ้มภายในโปรแกรม MAX/MSP 96
5.6 ตัวอย่างหน้าบล็อกการเชื่อมต่อย่อยของวงจร (sub patcher) 96
5.7 หน้าต่างการเชื่อมต่อวงจรสังเคราะห์เสียงด้วยเทคนิคแอดดิทีฟ 97
5.8 หน้าบล็อกการเชื่อมต่อย่อยของวงจร (sub patcher) 97
5.9 ปุ่มบนคีย์บอร์ดที่แทนเสียงแต่ละโน้ตของระนาดเอกสำหรับผู้ใช้ 109
5.10 ปุ่มบนคีย์บอร์ดที่แทนเสียงแต่ละโน้ตของระนาดเอกสำหรับผู้ใช้ 109
5.11 ปุ่มบนคีย์บอร์ดที่แทนเสียงแต่ละโน้ตของระนาดทุ้มสำหรับผู้ใช้ 110
6.1 หน้าจอหลักของโปรแกรมเล่นระนาดบนคอมพิวเตอร์ 111
6.2 (a) (b) (c) แสดงหน้าจอแนะนำวิธีใช้โปรแกรมเล่นระนาดบนคอมพิวเตอร์ 112
6.2 (d) หน้าจอแนะนำวิธีใช้โปรแกรมเล่นระนาดบนคอมพิวเตอร์ 113
6.3 หน้าจอเพื่อให้ผู้ใช้เลือกชนิดของระนาดที่จะเล่นบนโปรแกรมเล่นระนาดบนคอมพิวเตอร์ 113
6.4 หน้าจอเพื่อให้ผู้ใช้เลือกผืนไม้ของระนาดเอก 114
6.5 หน้าจอเพื่อให้ผู้ใช้เลือกผืนไม้ของระนาดทุ้ม 114
6.6 หน้าจอเพื่อให้ผู้ใช้เลือกไม้ตีระนาดที่ต้องการ 115
6.7 หน้าจอของผืนระนาดเอกประดู่ ที่ตีด้วยไม้รัก 115

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

6.8 หน้าจอของผืนระนาดเอกประดู่ ที่ตีด้วยไม้นวม 116
6.9 หน้าจอของผืนระนาดเอกประดู่ ที่ตีด้วยไม้อเนกเสียงทิพย์ 116
6.10 หน้าจอของผืนระนาดเอกชิงชัน ที่ตีด้วยไม้รัก 117
6.11 หน้าจอของผืนระนาดเอกชิงชัน ที่ตีด้วยไม้นวม 117
6.12 หน้าจอของผืนระนาดเอกชิงชัน ที่ตีด้วยไม้อเนกเสียงทิพย์ 118
6.13 หน้าจอของผืนระนาดทุ้มไผ่บง ที่ตีด้วยไม้นวม 118
6.14 หน้าจอของผืนระนาดทุ้มชิงชัน ที่ตีด้วยไม้นวม 119
6.15 หน้าจอคณะผู้จัดทำ 119
ก.1 หน้าต่างเพื่อเลือกลักษณะการติดตั้งโปรแกรม 124
ก.2 หน้าต่างเริ่มต้นการติดตั้งโปรแกรม 124
ก.3 หน้าต่างเพื่อยอมรับการติดตั้งโปรแกรม 125
ก.4 หน้าต่างเพื่อเลือกลักษณะการติดตั้งโปรแกรม 125
ก.5 หน้าต่างเพื่อติดตั้งโปรแกรม 126
ก.6 หน้าต่างระหว่างการติดตั้งโปรแกรม 126
ก.7 หน้าต่างรายงานการติดตั้งโปรแกรมสำเร็จ 127
ก.8 ไอคอนโปรแกรม Max 6.0 127

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 แนวคิดและที่มาของปัญหา

ปัจจุบันเครื่องดนตรีไทยเป็นที่รู้จักอย่างแพร่หลาย ซึ่งเครื่องดนตรีไทยนั้นมีหลายประเภท ทั้งเครื่องดีด เครื่องสี เครื่องตี และเครื่องเป่า ซึ่ง ผู้เล่นหรือผู้ฟังเองนั้น อาจไม่ทราบอย่างแท้จริงว่าเสียงดนตรีที่มีความไพเราะเหล่านั้น เกิดขึ้นได้อย่างไร และเกี่ยวข้องกับศาสตร์ใดบ้าง ถึงจะมาได้มาซึ่งเสียงอันไพเราะ ซึ้งคำถามเหล่านี้มีน้อยคนนักที่จะสนใจ และต้องการทราบคำตอบอย่างจริงจัง

ทั้งนี้จึงทำให้มีความคิดที่จะวิเคราะห์เสียงของระนาด ซึ่งเป็นเครื่องดนตรีไทยประเภทเครื่องตี ระนาดจะมีองค์ประกอบความถี่หลักและความถี่ฮาร์โมนิกส์จำนวนไม่มาก ทำให้ง่ายต่อการทีจะนำมาศึกษาและวิเคราะห์ เช่น ระนาดเอก ระนาดทุ้ม เป็นต้น ซึ่งการเก็บบันทึกเสียงของระนาดเพื่อนำมาวิเคราะห์นั้น ทำให้เกิดประโยชน์หลากหลายด้านอาทิเช่น นำมาประยุกต์ใช้ในการปรับเสียงให้ไพเราะและได้โทนเสียงตามที่ต้องการ โดยที่ผ่านมาได้ทราบมาว่าเครื่องดนตรีสากลบางประเภทได้มีการวิเคราะห์คุณลักษณะทางกายภาพของเสียง มีการเก็บข้อมูลอย่างครบวงจร ซึ่งแตกต่างจากเครื่องดนตรีไทยบางประเภทที่ขาดความเอาใจใส่และสนใจศึกษาอย่างถ่องแท้

จากความคิดเหล่านี้จึงเกิดการตั้งคำถามหลากหลายขึ้น ว่าระนาดที่ตีกันอยู่ในปัจจุบัน มีหลักการทำจากเกณฑ์ใด การเลือกไม้ การปรับโทนเสียง และวิธีการต่าง ๆนั้น เกิดขึ้นจากเหตุผลใด จึงได้เสียงอันไพเราะของระนาดนั้นออกมา หากได้คำตอบที่ถูกต้องและครบถ้วนแล้ว จะสามารถนำไปพัฒนาวงการดนตรีไทย และประยุกต์ใช้กับเครื่องดนตรีชนิดอื่นได้ เพื่อให้เกิดการปรับปรุงแก้ไขและเป็นความรู้สืบต่อไป

1.2 จุดประสงค์

1.2.1 เพื่อศึกษาคุณลักษณะของสัญญาณเสียงของระนาด

1.2.2 เพื่อศึกษาการแทนสัญญาณเสียงด้วยสมการทางคณิตศาสตร์

1.2.3 เพื่อศึกษาการสังเคราะห์เสียงด้วยโปรแกรม MAX/MSP

1.2.4 เพื่อศึกษาความแตกต่างทางเสียงของระนาดแต่ละชนิด

1.2.5 สามารถนำผลที่ได้ไปประยุกต์ใช้กับการดัดแปลงและพัฒนาเสียงของระนาดชนิดต่างๆ ให้ดีขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 ขอบเขตของโครงงาน

1.3.1 รวบรวมเสียงของระนาดแต่ละชนิด และชนิดของไม้ที่นำมาทำระนาด เพื่อนำไปวิเคราะห์สัญญาณเสียง

1.3.2 สามารถสังเคราะห์เสียงแต่ละฮาร์โมนิกส์ได้

1.3.3 ศึกษาวิธีการนำสมการไปประยุกต์ใช้ใน โปรแกรม Math lab

1.3.4 สังเคราะห์เสียงจากโปรแกรม MAX/MSP

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 สามารถ Generate เสียงของระนาด ตามฮาร์โมนิกส์ที่ต้องการได้

1.4.2 สามารถนำผลที่ได้ไปพัฒนาเสียงของเครื่องดนตรีไทยให้มีคุณภาพมากยิ่งขึ้น

1.5 อุปกรณ์ที่ต้องใช้

1.5.1 ฮาร์ดแวร์

1.5.1.1 ระนาดเอกสำหรับศึกษาคุณลักษณะของเสียง
1.5.1.2 เครื่องคอมพิวเตอร์สำหรับวิเคราะห์และสังเคราะห์เสียง
1.5.1.3 เครื่องบันทึกเสียงสำหรับบันทึกเสียงเพื่อศึกษา

1.5.2 ซอฟต์แวร์

1.5.2.1 MATHLAB

1.5.2.2 ADOBE AUDITION CS6

1.5.2.3 MAX/MSP

1.5.2.4 VISUAL BASIC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ลักษณะเด่นเสียงระนาด

2.1 โครงสร้างทางกายภาพของระนาด

โครงสร้างทางกายภาพนี้จะนำมาเพื่อใช้วิเคราะห์เสียงของระนาดเอก ระนาดทุ้ม และความแตกต่างของไม้ตีแต่ละไม้ ว่าได้เสียงเป็นอย่างไร

2.1.1 ระนาดเอก

2.1.1.1 ระนาดเอกไม้

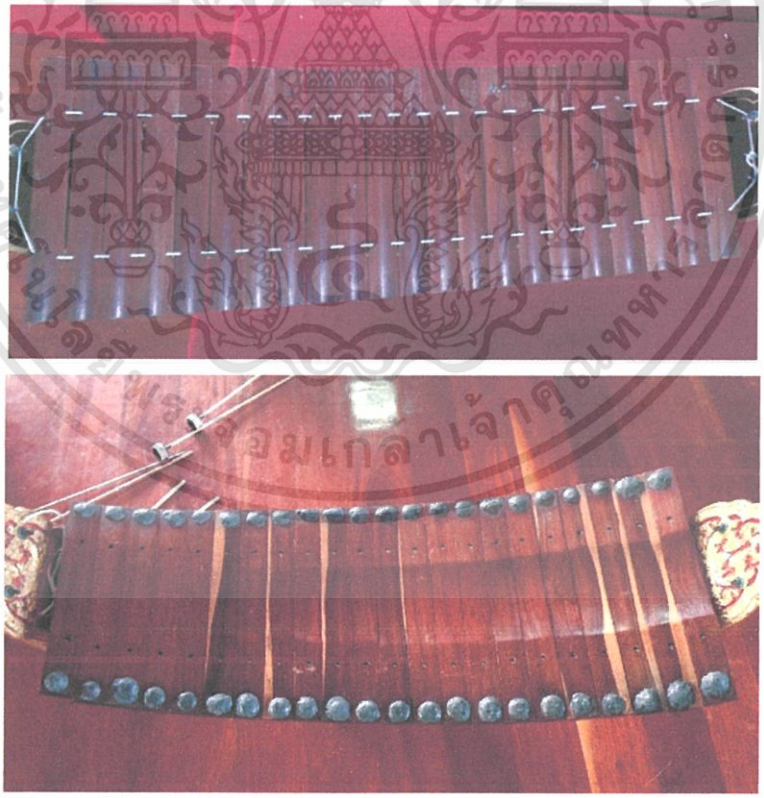
ระนาดเอกเป็นเครื่องตีชนิดหนึ่ง ที่วิวัฒนาการมาจากกรับ แต่เดิมคงใช้กรับสอง อันตีเป็นจังหวะ ต่อมาก็เกิดความคิดว่า ถ้าเอากรับหลาย ๆ อันวางเรียงราดลงไป แล้วแก้ไขประดิษฐ์ให้มีขนาด ลดหลั่นกัน แล้วทำรางรองอุ้มเสียง และใช้เชือกร้อยไม้กรับขนาดต่าง ๆ กันนั้นให้ติดกัน และขึงไว้บนรางใช้ไม้ตีให้เกิดเสียง นำตะกั่วผสมกับขี้ผึ้งมาถ่วงเสียงโดยนำมาติดหัวท้ายของไม้กรับนั้น ให้เกิดเสียง ไพเราะยิ่งขึ้น เรียกไม้กรับที่ประดิษฐ์เป็นขนาดต่างๆกันนั้นว่า ลูกระนาด เรียกลูกระนาดที่ผูกติดกันเป็น แผ่นเดียวกันว่าลูกระนาดนี้ทำด้วยหรือไม้แก่น เช่น ไม้ไผ่บง ไม้มะหาด ไม้พะยุงก็ได้ โดยนำมาเหลาให้ได้ตามขนาดที่ต้องการ แล้วทำรางเพื่ออุ้มเสียงเป็นรูปคล้ายลำเรือ ให้หัวและท้ายโค้งขึ้น เรียกว่า รางระนาด แผ่นไม้ที่ปิดหัวท้ายรางระนาดเราเรียกว่า โขน ระนาดเอกในปัจจุบันมีจำนวน 21 ลูก ลูกต้นมีขนาด 39 ซม กว้างราว 5 ซม และหนา 1.5 ซม มีขนาดลดหลั่นลงไปจนถึงลูกที่ 21 หรือลูกยอดที่มีขนาด 29 ซม เมื่อนำ ผืนระนาด มาแขวนบนรางแล้ว หากวัดจากโขนหัวรางข้างหนึ่งไปยังโขนหัวรางอีกข้างหนึ่ง จะมีความยาว ประมาณ 120 ซม มีเท้ารองรางเป็นเท้าเดี่ยว รูปคล้ายกับพานแว่นฟ้า

รูปที่ 2.1 ส่วนประกอบของระนาด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระนาดเอกที่ให้เสียงนุ่มนวล นิยมทำด้วยไม้ไผ่บง ถ้าต้องการ ให้ได้เสียงเกรียวกราวนิยมทำด้วย ไม้แก่น ลูกระนาดมี 21 ลูก ลูกที่ 21 หรือลูกยอด จะมีขนาดสั้นที่สุด ลูกระนาด จะร้อยไว้ด้วยเชือก ติดกันเป็นผืนแขวนไว้บนราง ซึ่งทำด้วย ไม้เนื้อแข็งรูปร่างคล้ายเรือ ด้ามหัวและท้ายโค้งขึ้นเพื่อให้อุ้มเสียง มีแผ่นไม้ปิดหัวและท้ายรางเรียกว่า "โขน" ฐานรูปสี่เหลี่ยมเรียกว่า " ปี่พาทย์ไม้แข็ง" ไม้ตีอีกชนิดหนึ่งทำ ด้วยวัสดุที่ นุ่มกว่า ใช้ผ้าพัน แล้วถักด้ายสลับ เวลาตีจะให้เสียงนุ่มนวล เมื่อผสมเข้าวงเรียกว่า "ปีพาทย์ไม้นวม" ส่วนประกอบของระนาดเอก มี 3 ส่วน ได้แก่ ผืน ราง และไม้ตี

ผืน ประกอบด้วยลูกระนาด ซึ่งทำด้วย ไม้**ชิงชัน** หรือไม้แก่น เช่น ไม้ไผ่บง ไม้มะหาด ไม้พะยูง ผืนระนาดไม้เนื้อแข็ง เสียงจะแกร่ง และดังคมชัดเหมาะสำหรับบรรเลงในวงปี่พาทย์ไม้แข็ง ส่วนผืนระนาดที่ทำจากไม้ไผ่จะให้เสียงที่นุ่มนวล เหมาะสำหรับวงปี่พาทย์ไม้นวมและวงปี่พาทย์ผสมเครื่องสาย ลูกระนาดมีทั้งหมด 21-22 ลูก โดยลูกที่ 22 มีชื่อเรียกว่า ลูกหลีก หรือ ลูกหลิบ ที่ท้องของลูกระนาดจะคว้านและใช้ขี้ผึ้งผสมกับตะกั่วถ่วงเพื่อให้เกิดความแตกต่างระหว่างเสียง โดยเสียงจากผืนระนาดขึ้นอยู่กับส่วนประกอบ 3 ส่วนด้วยกันคือ ส่วนแรก ขึ้นอยู่กับขนาดใหญ่-เล็ก ของไม้ที่ใช้ทำ ส่วนที่สอง ขึ้นอยู่กับการคว้านท้องไม้ลูกระนาดว่ามาก-น้อยเพียงใด ส่วนที่สามขึ้นกับปริมาณมาก-น้อยของตะกั่วที่ถ่วงใต้ลูกระนาดแต่ละลูก ลูกระนาดทั้งหมดจะถูกเจาะรูเพื่อร้อยเชือก และแขวนบนรางระนาด



รูปที่ 2.2 ผืนระนาด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ราง เป็นส่วนที่เป็นกล่องเสียงของระนาด ทำให้หน้าที่อุ้มเสียง นิยมทำด้วยไม้สักและทาด้วยน้ำมันขัดเงา ปัจจุบันการใช้ระนาดที่ทำด้วยไม้และทาด้วยน้ำมันลดความนิยมลง นักดนตรีนิยมใช้รางระนาดที่แกะสลักลวดลายไทยและลงรักปิดทองเพื่อความสวยงาม บางโอกาส อาจมีการฝังมุก ประกอบงา ซึ่งราคาก็จะสูงตามไปด้วย จากการรณรงค์พิทักษ์สัตว์ป่าที่มีอยู่ทั่วไป รางประกอบงาจึงไม่ได้รับความนิยม รูปร่างระนาดเอกคล้ายเรือบดแต่โค้งเรียวกว่า ตรงกลางของส่วนโค้งมีเท้าที่ใช้สำหรับตั้ง เป็นเท้าเดียวคล้ายพานแว่นฟ้า ปลายทั้งสองข้างของส่วนโค้งเรียกว่า โขน จะมีขอสำหรับห้อยผืนระนาดข้างละ 2 อัน

รูปที่ 2.3 รางระนาด

ไม้ระนาด เป็นส่วนที่เกี่ยวข้องกับการให้เกิดเสียงโดยตรง มี 2 ชนิด คือ ไม้แข็ง และไม้นวม ไม้แข็งพันด้วยผ้าอย่างแน่น และชุบด้วยรักจนเกิดความแข็งเวลาตีจะมีเสียงดัง และคมชัด เหมาะกับวงปี่พาทย์ไม้แข็ง วงปี่พาทย์มอญ และวงปี่พาทย์นางหงส์ ส่วนไม้นวม เป็นไม้ตีระนาดที่พันจากผ้า และใช้ด้ายรัดหลาย ๆ รอบเพื่อความสวยงาม มีเสียงนุ่มนวม บรรเลงในวงปี่พาทย์ไม้นวม วงมโหรี วงปี่พาทย์ผสมเครื่องสาย และวงปี่พาทย์ดึกดำบรรพ์

รูปที่ 2.4 ไม้ตีระนาด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.1.2 ระนาดเอกเหล็ก

ระนาดเอกเหล็ก หรือ ระนาดทองเป็นเครื่องดนตรีที่เกิดขึ้นในสมัยรัชกาลที่ 4 แห่งกรุงรัตนโกสินทร์ สาเหตุที่เรียกว่า ระนาดทอง ก็เพราะว่าแต่เดิมลูกระนาดทำด้วยเหล็กและทำด้วยทองเหลืองจึงเรียกว่าระนาดทอง ต่อมาภายหลังมีผู้ทำลูกระนาดด้วยเหล็กและทำตามอย่างระนาดเอกไม้ ดังนั้นระนาดทองที่เรียกกันอยู่เดิมจึงเรียกว่า ระนาดเอกเหล็กในที่สุด รางระนาดเอกเหล็กจะมีลักษณะตรง มี 4 เท้า ลูกระนาดไม่ต้องเจาะรูร้อยเชือกอย่างระนาดเอก (ไม้) จะวางเรียงบนรางและมีหมอนที่ทำด้วยไม้ระกำ หรือยางรถยนต์หนุนเพื่อรองลูกเหล็ก ลูกระนาดเอกเหล็กมีทั้งหมด 21 ลูก ไม้ตีระนาดเหล็กทำด้วยหนังตัดเป็นรูปวงกลมขนาดประมาณ 5 – 6 เซนติเมตร ระนาดเอกเหล็กใช้ผสมอยู่ในวงปี่พาทย์ไม้แข็งเครื่องใหญ่ วงปี่พาทย์ไม้นวมเครื่องใหญ่ และวงมโหรีเครื่องใหญ่ การดำเนินทำนองเพลงมีลักษณะคล้ายกับระนาดเอก แต่ทำนองจะห่างกว่าระนาดเอกเล็กน้อย ระนาดเอกเหล็กจะตั้งอยู่ด้านขวามือของระนาดเอก

รูปที่ 2.5 ระนาดเอกเหล็ก

2.1.2 ระนาดทุ้ม

2.1.2.1 ระนาดทุ้มไม้

ระนาดทุ้มกำเนิดในสมัยพระบาทสมเด็จพระนั่งเกล้าเจ้าอยู่หัวรัชกาลที่ 3 แห่งกรุงรัตนโกสินทร์ โดยประดิษฐ์ขึ้นให้เป็นเครื่องดนตรีที่มีระดับเสียงทุ้มต่ำ ทั้งนี้เพื่อคู่กับระนาดเอก ซึ่งเป็นเครื่องดนตรีที่มีเสียงสูง รางระนาดทุ้มมีรูปร่างคล้ายหีบไม้ยาว แต่เว้าตรงกลางให้โค้งมีโขนปิดหัวท้ายรางเพื่อเป็นที่แขวนผืนระนาด โดยประดิษฐ์เลียนแบบระนาดเอก แตกต่างกันที่รูปทรง แต่ลูกระนาดมีขนาดใหญ่และยาวกว่า เพื่อให้เกิดความแตกต่างในเรื่องของความสูงต่ำของเสียง ลักษณะ ของรางระนาดทุ้มมีความยาวประมาณ 125 เซนติเมตร และจะแตกต่างจากระนาดเอก คือ รางระนาดทุ้ม ด้านบนจะเว้า ส่วนด้านล่างจะตรง แต่รางของระนาดเอกขอบของ รางระนาดเอกจะขนานกันทั้งด้านบน และด้านล่าง ระนาดทุ้มมีเท้ารอง 4 เท้า ผืนระนาดทุ้มทำด้วยไม้ไผ่ ต่อมาได้มีผู้นำไม้ จริงมาทำผืนระนาดทุ้ม แต่ไม่ค่อยได้รับความนิยมเหมือนทำด้วยไม้ไผ่ ลูกระนาดทุ้มมีจำนวน 17 – 18 ลูก ลูกที่ 17 ตรงกับเสียง “ ซอล” และเรียกลูกที่ 17 นี้ว่า ลูกหลิบ หรือ ลูกหลีก ไม้ตีระนาดทุ้มมีอยู่ชนิดเดียว มีลักษณะคล้ายกับ ไม้ตีระนาดเอกชนิดไม้นวม แต่มีความอ่อนนุ่ม และใหญ่กว่าระนาดทุ้ม ใช้ผสมอยู่ในวงปี่พาทย์ไม้แข็งปี่พาทย์ไม้นวม ปี่พาทย์มอญ ปี่พาทย์นางหงส์ วงมโหรี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รางระนาดทุ้มทำด้วยไม้ เช่น ไม้สัก ไม้ประดู่ ไม้มะเกลือ ไม้มะริด เป็นต้น โดยที่ส่วนประกอบต่างๆ คล้ายคลึงกับระนาดเอก ส่วนที่มีลักษณะแตกต่างออกไป คือ ตัวรางนั้นมีลักษณะคล้ายรางข้าวหมู ปลายผายออก โค้งเล็กน้อย ด้านในเจาะรูเพื่อ ติดตะขอ ซึ่ง ทำด้วยโลหะ ด้านหัวเป็นตะของอ ด้านปลายตีเกลียวแหลม มีแผ่นเหล็กกลมกั้นยึดเพื่ออุ้มเสียงให้ดังก้องกัง

โขนระนาดทุ้มทั้งสองข้างติดยึดไว้กับไม้ฝาประกบ 2 อัน และมีไม้แผ่นอีกอันหนึ่งปิดใต้ท้องรางโดยตลอด เพื่ออุ้มเสียงให้ดังก้องกังวาน ที่ไม้ปิดท้องรางด้านล่างมีไม้ทำเป็นขารองรับตัวราง 4 เท้า ติดอยู่ที่มุมทั้ง 4 ด้าน ที่ไม้ฝาประกบด้านบนและล่างมีไม้ทำเป็นคิ้วขอบรางประกบติดโดยตลอด และบนคิ้วขอบรางตอนบน ใช้หวายต้นเล็กๆ พันด้วยผ้าตอกติดเพื่อรองรับผืน เรียกว่า หมอน และนอกจากจะทาน้ำมันลงแล็กเกอร์แล้ว ยังตีเส้นสีดำหรือสีขาวเดินตามขอบคิ้วตลอดถึงโขนทุ้มทั้งสองด้วย

รูปที่ 2.6 ระนาดทุ้มไม้

2.1.2.2 ระนาดทุ้มเหล็ก

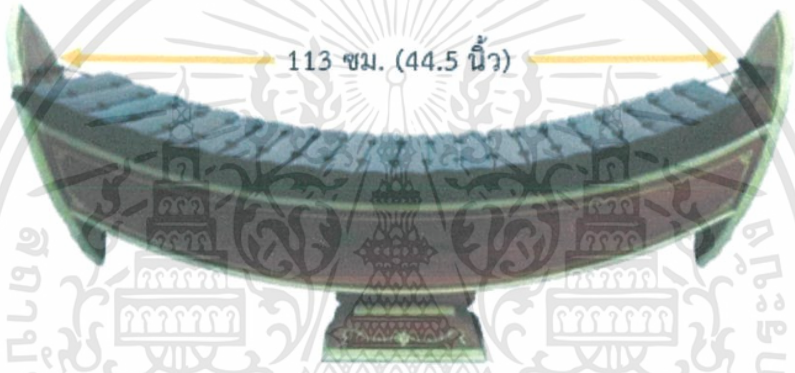
ระนาดทุ้มเหล็กระนาดทุ้มเหล็กเป็นเครื่องดนตรีที่พระบาทสมเด็จพระปิ่นเกล้าเจ้าอยู่หัว ในรัชกาลที่ 4 มีพระราชดำริให้สร้างขึ้น ลูกระนาดทำอย่างเดียวกับระนาดเอกเหล็ก ระนาดทุ้มเหล็กมีจำนวน 16 หรือ 17 ลูก ลูกต้นยาวประมาณ 35 ซม กว้างประมาณ 6 ซมและลดหลั่นลง ไปจนถึงลูกยอด ซึ่งยาว ประมาณ 29 ซม กว้างประมาณ 5.5 ซม ตัวรางระนาดยาวประมาณ 1 เมตร ปากราง กว้างประมาณ 20 ซม มีชานยื่นออกไปสองข้างราง ถ้านับส่วนกว้างรวมทั้งชานทั้งสองข้างด้วย รางระนาดทุ้มเหล็กจะกว้าง ประมาณ 36 ซม มีเท้ารองติดลูกล้อ 4 เท้า เพื่อให้เคลื่อนที่ไปมาได้สะดวก ตัวรางสูงจากพื้นถึงขอบบน ประมาณ 26 ซมระนาด ทุกชนิดที่กล่าวมานั้น จะใช้ไม้ตี 2 อัน

สำหรับระนาดเอกทำไม้ตีเป็น 2 ชนิด ชนิดหนึ่งทำหัวไม้ตีให้แข็ง เมื่อตีจะมีเสียงดังเกรียวกราว เมื่อนำเข้าผสมวงจะเรียกว่า “วงปี่พาทย์ไม้แข็ง” อีกชนิดหนึ่ง ซึ่งเกิดขึ้นในสมัยรัชกาลที่ 5 ประดิษฐ์ไม้ตีให้ อ่อนนุ่ม เมื่อตีจะเกิด เสียงนุ่มนวล เวลานำระนาดเอกที่ใช้ไม้ตีชนิดนี้มาผสมวง จะเรียกว่า “วงปี่พาทย์ไม้นวม”

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.7 ระนาดทุ้มเหล็ก

2.2 โครงสร้างที่วัดได้จริง

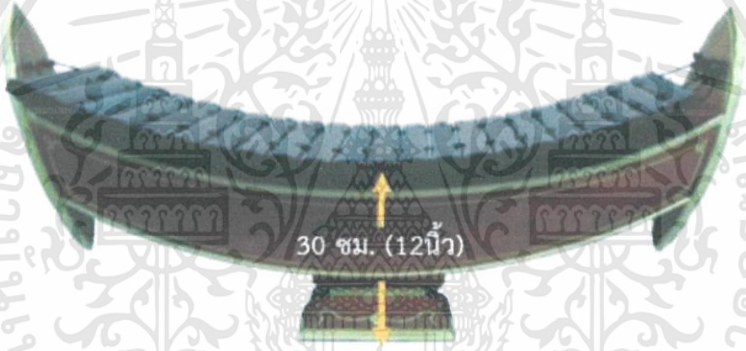


รูปที่ 2.8 การวัดความยาวจากโขนถึงโขนแนวตรง

รูปที่ 2.9 การวัดความยาวจากโขนถึงโขนแนวโค้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.10 การวัดความยาวของรางระนาดในแนวโค้ง



รูปที่ 2.11 การวัดความยาวจากใต้ผืนระนาดถึงเท้าระนาด

รูปที่ 2.12 แสดงการวัดความยาวจากกระพุ้งระนาดถึงเท้าระนาด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 ความกว้างและความยาวของระนาดเอกชิงชัน

ชนิดเครื่องดนตรี	ความกว้าง mm	ความยาว cm
ระนาดเอก (ไม้ชิงชัน)	1.ซ=46.60	1.ซ=40.70
มีทั้งหมด 22 ลูก	2.ล=50.00	2.ล=40.80
	3.ท=49.50	3.ท=40.80
	4.ด=47.50	4.ด=40.80
	5.ร=49.20	5.ร=40.60
	6.ม=48.60	6.ม=40.50
	7.ฟ=48.80	7.ฟ=40.20
	8.ซ=49.10	8.ซ=40.10
	9.ล=48.70	9.ล=39.90
	10.ท=50.10	10.ท=39.50
	11.ด=49.70	11.ด=39.00
	12.ร=47.70	12.ร=38.50
	13.ม=47.40	13.ม=38.00
	14.ฟ=46.80	14.ฟ=38.00
	15.ซ=47.60	15.ซ=36.70
	16.ล=47.00	16.ล=36.00
	17.ท=46.30	17.ท=35.30
	18.ด=45.70	18.ด=34.50
	19.ร=44.00	19.ร=37.00
	20.ม=45.50	20.ม=33.00
	21.ฟ=49.40	21.ฟ=32.10
	22.ซ=45.60	22.ซ=31.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 ความกว้างและความยาวของระนาดทุ้ม

ชนิดเครื่องดนตรี	ความกว้าง mm	ความยาว cm
ระนาดทุ้ม	1.ม=58.90	1.ม=45.50
มีทั้งหมด 17 ลูก	2.ฟ=58.90	2.ฟ=47.00
	3.ซ=58.10	3.ซ=45.50
	4.ล=58.10	4.ล=44.70
	5.ท=58.70	5.ท=44.30
	6.ด=58.80	6.ด=44.00
	7.ร=58.80	7.ร=43.50
	8.ม=59.20	8.ม=43.00
	9.ฟ=58.20	9.ฟ=42.20
	10.ซ=58.50	10.ซ=41.50
	11.ล=57.90	11.ล=41.00
	12.ท=58.00	12.ท=40.50
	13.ด=58.20	13.ด=39.60
	14.ร=58.40	14.ร=38.70
	15.ม=56.00	15.ม=37.70
	16.ฟ=56.10	16.ฟ=36.90
	17.ซ=55.30	17.ซ=36.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.3 ความกว้างและความยาวของระนาดเอกเหล็ก

ชนิดเครื่องดนตรี	ความกว้าง mm	ความยาว cm
ระนาดเอก (เหล็ก)มีทั้งหมด 21 ลูก	1.ช=44.00	1.ช=27.50
	2.ล=46.00	2.ล=27.00
	3.ท=46.50	3.ท=26.50
	4.ด=43.50	4.ด=26.50
	5.ร=44.50	5.ร=26.30
	6.ม=47.00	6.ม=26.00
	7.ฟ=45.00	7.ฟ=25.80
	8.ช=45.50	8.ช=25.50
	9.ล=45.50	9.ล=25.40
	10.ท=45.00	10.ท=25.20
	11.ด=38.00	11.ด=25.00
	12.ร=39.00	12.ร=24.70
	13.ม=39.00	13.ม=24.50
	14.ฟ=38.50	14.ฟ=24.40
	15.ช=38.00	15.ช=24.30
	16.ล=37.00	16.ล=24.10
	17.ท=38.00	17.ท=24.00
	18.ด=37.00	18.ด=23.80
	19.ร=37.50	19.ร=23.70
	20.ม=39.00	20.ม=23.50
	21.ฟ=38.00	21.ฟ=23.20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.4 แสดงขนาดความกว้างและความยาวของระนาดทุ้มเหล็ก

ชนิดเครื่องดนตรี	ความกว้าง mm	ความยาว cm
ระนาดทุ้ม (เหล็ก)	1.ม=56.30	1.ม=32.10
มีทั้งหมด 17 ลูก	2.ฟ=55.70	2.ฟ=31.50
	3.ซ=54.30	3.ซ=31.20
	4.ล=52.40	4.ล=30.90
	5.ท=55.90	5.ท=30.60
	6.ด=54.60	6.ด=33.00
	7.ร=48.00	7.ร=29.90
	8.ม=51.30	8.ม=29.50
	9.ฟ=48.50	9.ฟ=29.40
	10.ซ=49.80	10.ซ=29.10
	11.ล=49.00	11.ล=28.80
	12.ท=48.50	12.ท=28.30
	13.ด=50.00	13.ด=28.10
	14.ร=50.20	14.ร=28.00
	15.ม=48.60	15.ม=27.90
	16.ฟ=49.00	16.ฟ=27.70
	17.ซ=49.80	17.ซ=27.40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 พื้นฐานของเสียงดนตรี

เสียงสูงต่ำตามธรรมชาติของเครื่องดนตรีถูกจำแนกออกมาในรูปแบบของความถี่ ระยะของคลื่นเสียง ของเครื่องดนตรีเสียงสูงต่ำนั้นจะแสดงส่วนสูงสุดของคลื่นที่ ฮาร์โมนิกส์ โดยเสียงประกอบไปด้วยคุณสมบัติสำคัญ 4 ประการคือ ระดับเสียง ความสั้นยาวของเสียง ความเข้มของเสียง และสีสันของเสียง

2.3.1 ระดับเสียง (Pitch)

ระดับเสียง เกิดจากความถี่ของการสั่นสะเทือนของวัตถุ วัตถุที่สั่นสะเทือนเร็วกกว่าทำให้เกิดเสียงระดับสูงกว่า ในขณะที่วัตถุที่สั่นสะเทือนช้ากว่าทำให้เกิดระดับเสียงต่ำกว่า ซึ่งความถี่เป็นตัวกำหนดระดับเสียงได้มาจากการวัดความสั่นสะเทือนของวัตถุ โดยมีหน่วยเป็นรอบต่อวินาที หรือเฮิรตซ์ (Hz) ของโน้ตแต่ละตัว ถ้าความถี่มากขึ้นเท่าตัว ระดับเสียงจะสูงขึ้น 1 ช่วงคู่แปด เช่น โน้ตที่มีความถี่ 220 Hz จะมีระดับเสียงสูงกว่าโน้ตที่มีความถี่ 110 Hz อยู่ 1 ช่วงคู่แปด และเช่นเดียวกันในกรณีที่ความถี่น้อยลง 1 เท่าตัว ระดับเสียงจะต่ำลง 1 ช่วงคู่แปด เช่น โน้ตที่มีความถี่ 440 Hz จะมีระดับเสียงต่ำกว่าโน้ตที่มีความถี่ 880 Hz เป็นระยะ 1 ช่วงคู่แปด เช่น ความถี่เสียงเปียโน

2.3.2 ความสั้นยาวของเสียง (Duration)

ความยาวสั้นยาวของเสียง เป็นพื้นฐานของดนตรีที่เกี่ยวข้องกับระยะเวลา เสียงแต่ละเสียงที่เกิดขึ้นต้องมีระยะเวลา ซึ่งทำให้เกิดเสียงยาว เสียงสั้น เสียงไม่ว่าจะมีกี่ระดับเสียงที่แน่นอนหรือไม่ ก็ต้องมีความยาวเข้ามาเกี่ยวข้อง ความยาวเสียงที่มาของจังหวะ ซึ่งมีส่วนสำคัญอย่างยิ่งในดนตรีของทุกชาติ ทุกภาษา ความยาวเสียงในที่นี้ หมายรวมถึง ความเงียบของตัวหยุดด้วย เนื่องจากดนตรีเป็นผลของกระบวนการเกิดเสียง (Sound) สลับกับความเงียบ (Silence) ไม่ว่าจะเป็นเสียงหรือความเงียบ ย่อมต้องมีความยาวหรือระยะเวลาทั้งสิ้น

2.3.3 ความเข้มของเสียง (Sound Intensity)

ความดัง-เบาในทางดนตรีเรียกว่า “Dynamic” เป็นองค์ประกอบที่สำคัญในทางดนตรี มีความสัมพันธ์กับช่วงกว้างของคลื่นเสียง (Amplitude) ในการสั่นสะเทือนที่ทำให้เกิดเสียงนั้น ๆ ช่วงกว้างมากเสียงจะดัง และช่วงกว้างน้อยเสียงจะเบา เช่น ถ้าดีดสายกีตาร์แรงเท่าใดเสียงที่ออกมาก็จะดังในทางตรงกันข้าม หากดีดสายกีตาร์เบาเสียงที่ออกมาก็จะเบา เป็นต้น

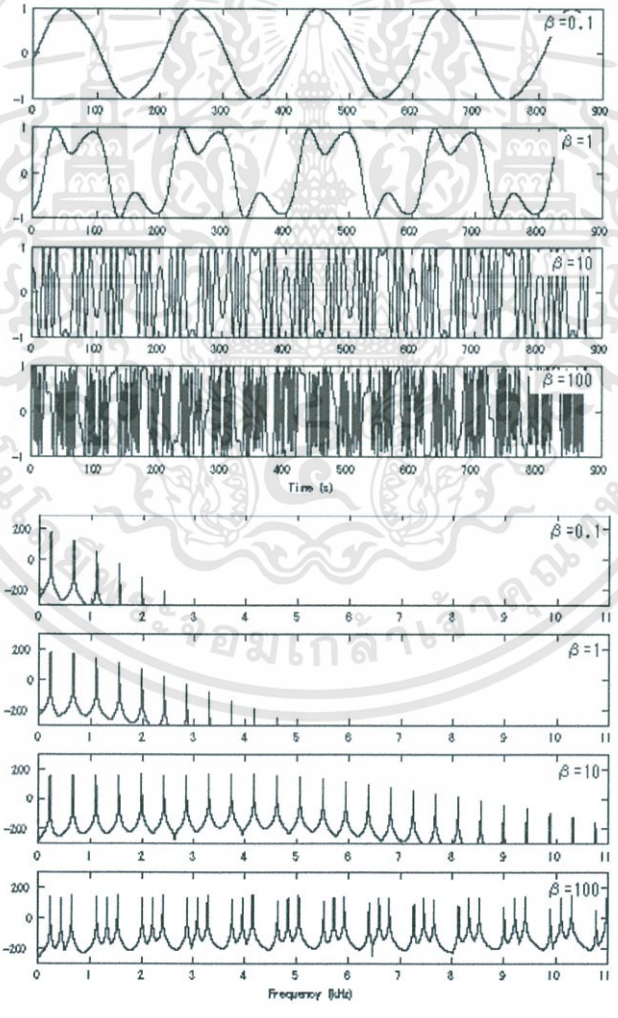
ในระหว่างที่นักดนตรีบรรเลงดนตรีในวงให้มีความดังมากแล้วเบาลงหรือมีการเปลี่ยนแปลงจำนวนชิ้นของเครื่องดนตรีที่เล่นให้น้อยลงผลที่ตามมาก็คือมีการเปลี่ยนแปลงของความดัง-เบา (Dynamic) การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวนี้สามารถทำให้เกิดได้โดยทันทีทันใดหรือให้เกิดทีละน้อยก็ได้การทำให้เกิดเสียงที่เป็นลักษณะของความดัง-เบาของเสียงนี้มีผลทำให้เกิดความตื่นเต้น (excitement) โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อมีระดับเสียง (pitch) สูงขึ้น และถ้าหากค่อยๆลดความดังของเสียงลงทีละน้อย ๆ เสียงต่ำลงก็สามารถทำให้เกิดความรู้สึกสงบ (sense of calm) เช่นกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.4 สีสันเสียง (Timbre or Tone Color)

สีสันเสียง หมายถึง เสียงที่มาจากแหล่งกำเนิดเสียงต่างๆกัน เช่น เสียงระนาด เสียงกีต้าร์ เสียงร้อง เสียงสัตว์ เสียงลม ฯลฯ คลื่นเสียงที่เกิดจากแหล่งกำเนิดที่มีสีสันเสียงแตกต่างกันจะมีรูปร่างลักษณะต่างกัน เช่น คลื่นเสียงของไวโอลิน จะมีรูปร่างต่างจากคลื่นของทรัมเป็ต สื่อดนตรีที่ต่างกันทำให้เกิดสีสันเสียงต่างกัน สื่อดนตรี ก็คือเครื่องดนตรีหรือเส้นเสียงดนตรีในกรณีของการขับร้อง เครื่องดนตรีต่างชนิดกันจะทำให้เกิดสีสันเสียงต่างกัน เพลงเดียวที่บรรเลงโดยเครื่องดนตรีต่างชนิดกันจะทำให้เกิดรสชาติต่างกันเพราะสีสันเสียงต่างกัน

สิ่งที่สำคัญที่สุดที่เป็นตัวกำหนดเสียง ก็คือ พาร์เชียล(Partials) ซึ่งเป็นระดับเสียงจำนวนหนึ่งที่ประกอบกันเป็นเสียงที่เราได้ยิน เพราะฉะนั้น จำนวนระดับเสียงของพาร์เชียล ความเข้มเสียงของพาร์เชียล และการกระจายของพาร์เชียล จะเป็นตัวกำหนดสีสันเสียงทั้งสิ้น เสียงที่มีจำนวนพาร์เชียลน้อยจะมีเสียงใส เช่น เสียงของฟรุตที่เล่นโน้ตสูงๆ ส่วนเสียงที่มีจำนวนพาร์เชียลมากจะมีเสียงที่หนักแน่นกว่า เช่น เสียงของเชลโล เสียงที่ไม่มีจำนวนพาร์เชียลเลย หรือเสียงบริสุทธิ์เกิดขึ้นได้จากเครื่องเสียงดนตรีไฟฟ้า และจะเป็นช่วงเสียงสูงมากๆ ไม่ไพเราะสำหรับหูคนทั่วไป



รูปที่ 2.13 สัญญาณเสียงที่เกิดจากแหล่งกำเนิดเสียงที่มีสีสันเสียงต่างกันในโดเมนเวลา (Time Domain) และโดเมนความถี่ (Frequency Domain)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 วิเคราะห์ลักษณะของเสียง

2.4.1 ลักษณะกรอบของเสียง (Envelop characterization)

ADSR เป็นเรื่องเกี่ยวกับการกำหนดปริมาณและเวลา เกิดจากการศึกษาและเลียนเสียงในธรรมชาติ เป็นคุณสมบัติที่ทำให้เกิดเสียงที่มีลักษณะที่แตกต่างกัน เช่นเสียงระฆังหรือเสียงแคช จะมี Release time ที่ยาวมากๆ ส่วนเสียงเครื่องเคาะจะมี Attack และ Decay time ที่เร็ว มี Release time เล็กน้อย และพวกเครื่องสาย หรือออแกนจะมี sustain ยาวได้ตามการสีหรือกด

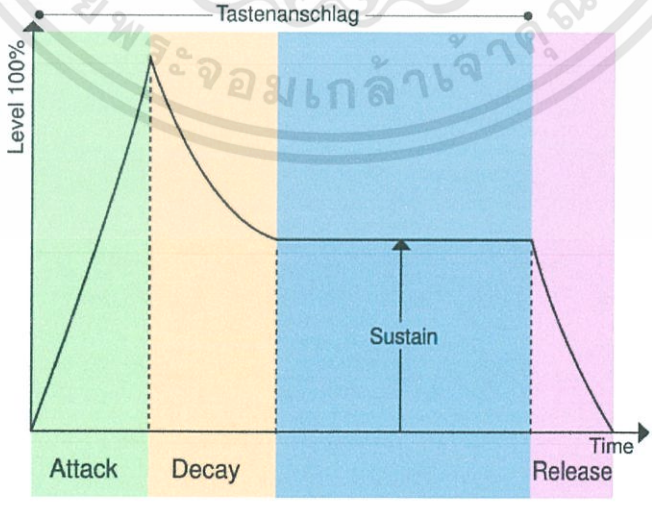
ในการสังเคราะห์เสียง ADSR จะมีบทบาทเป็นอย่างมาก ตั้งแต่การกำหรดรูปความดัง แอมพลิจูด ที่เกี่ยวพันกับเวลา

2.4.1.1 Attack (A) คือช่วงเวลาเปลี่ยนแปลงระหว่างช่วงที่เสียงเงียบไปหาช่วงเวลาที่เสียงดังที่สุดครั้งแรก ในธรรมชาติเสียงที่เกิดจากการตีหรือดีด จะมี Attack ที่เร็วมาก คือเกิดทันทีที่มีวัตถุ 2 ชิ้นกระทบกัน

2.4.1.2 Decay (D) หลังจากเสียงเคลื่อนที่ผ่านจุดที่แอมพลิจูดสูงสุด ความดังก็จะลดลงมาเทียบได้กับการคืนตัวครั้งแรกหลังจากการกระทบกันของวัตถุ

2.4.1.3 Sustain (S) คือส่วนที่เรากำหนดการค้างของเสียง เทียบได้กับการค้างของเสียง ออแกน ในช่วงที่มือของเรายังกดอยู่บนลิ่ม

2.4.1.4 Release (R) คือหางเสียงที่ค้างอยู่ก่อนจนกระทั่งเงียบดูได้จากรูปคลื่น



รูปที่ 2.14 ลักษณะกรอบของเสียง (Envelop characterization)

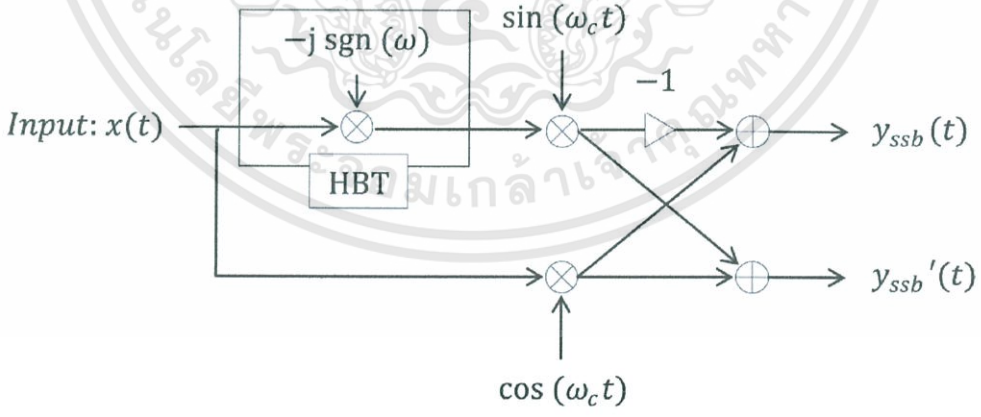
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.2 คุณภาพของเสียง (Quality)

คุณภาพของเสียง หมายถึง ลักษณะเฉพาะตัวของเสียงจากแหล่งกำเนิดเสียงแต่ละชนิดเช่น เสียงจากปี่หรือเสียงจากไวโอลินจะแตกต่างกัน ทั้ง ๆ ที่เล่นดนตรีโน้ตตัวเดียวกันแต่เสียงที่เกิดขึ้นจะต่างกัน เสียงพูดของมนุษย์แต่ละคนจะไม่เหมือนกันเพราะมีคุณภาพของเสียงหรือลักษณะเฉพาะต่างกัน ปัจจัยที่ทำให้คุณภาพของเสียงจากแหล่งกำเนิดต่างกันก็คือชนิด ขนาดและลักษณะของวัสดุที่เป็นต้นกำเนิดเสียง รวมไปถึงลักษณะและขนาดของ "กล่องเสียง" ที่ทำให้เสียงที่เกิดขึ้นมีความชัดเจนกังวานด้วย

2.5 การแปลงฮิลเบิร์ต (Hilbert Transform)

เมื่อพิจารณาในเชิงความถี่ของสัญญาณมอดูเลต (Modulated Signal) แล้วปรากฏว่า ความถี่ของสัญญาณจะมีองค์ประกอบ 3 ส่วนด้วยกัน ได้แก่ ความถี่กลาง (Central Frequency) มีความถี่เท่ากับสัญญาณคลื่นพาห์และความถี่แถบข้าง (Side band) ซึ่งมีอีกสองความถี่ คือ สัญญาณความถี่ที่สูงกว่าความถี่กลางเป็น fc+fm และสัญญาณความถี่ที่ต่ำกว่าความถี่กลางเป็น fc-fm โดยองค์ประกอบความถี่แถบข้างด้านที่มีความถี่สูงกว่าความถี่กลางรวมกันทั้งหมด เรียกว่า แถบข้างบน (Upper Sideband : USB) และองค์ประกอบความถี่แถบข้างด้านที่มีความถี่ต่ำกว่าความถี่กลางรวมกันทั้งหมด เรียกว่า แถบข้างล่าง (Lower Sideband : LSB) ซึ่งรูปแบบของการส่งสัญญาณมอดูเลตที่ได้สัญญาณที่มีองค์ประกอบทั้ง 3 ส่วนจะเรียกว่า “การส่งสองสัญญาณแถบข้าง (Double-Sideband : DSB)” แต่สัญญาณมอดูเลตเพียงแถบข้างเดียว ก็สามารถสื่อความหมายของสัญญาณมอดูเลตที่ต้องการส่งได้อย่างครบถ้วน ดังนั้น “การส่งสัญญาณเพียงแถบข้างเดียว (Single-Sideband : SSB)” ก็เพียงพอแล้ว โดยการแปลงสองสัญญาณแถบข้างเป็นสัญญาณแถบข้างเดียวจะใช้ การแปลงฮิลเบิร์ต (Hilbert Transform)

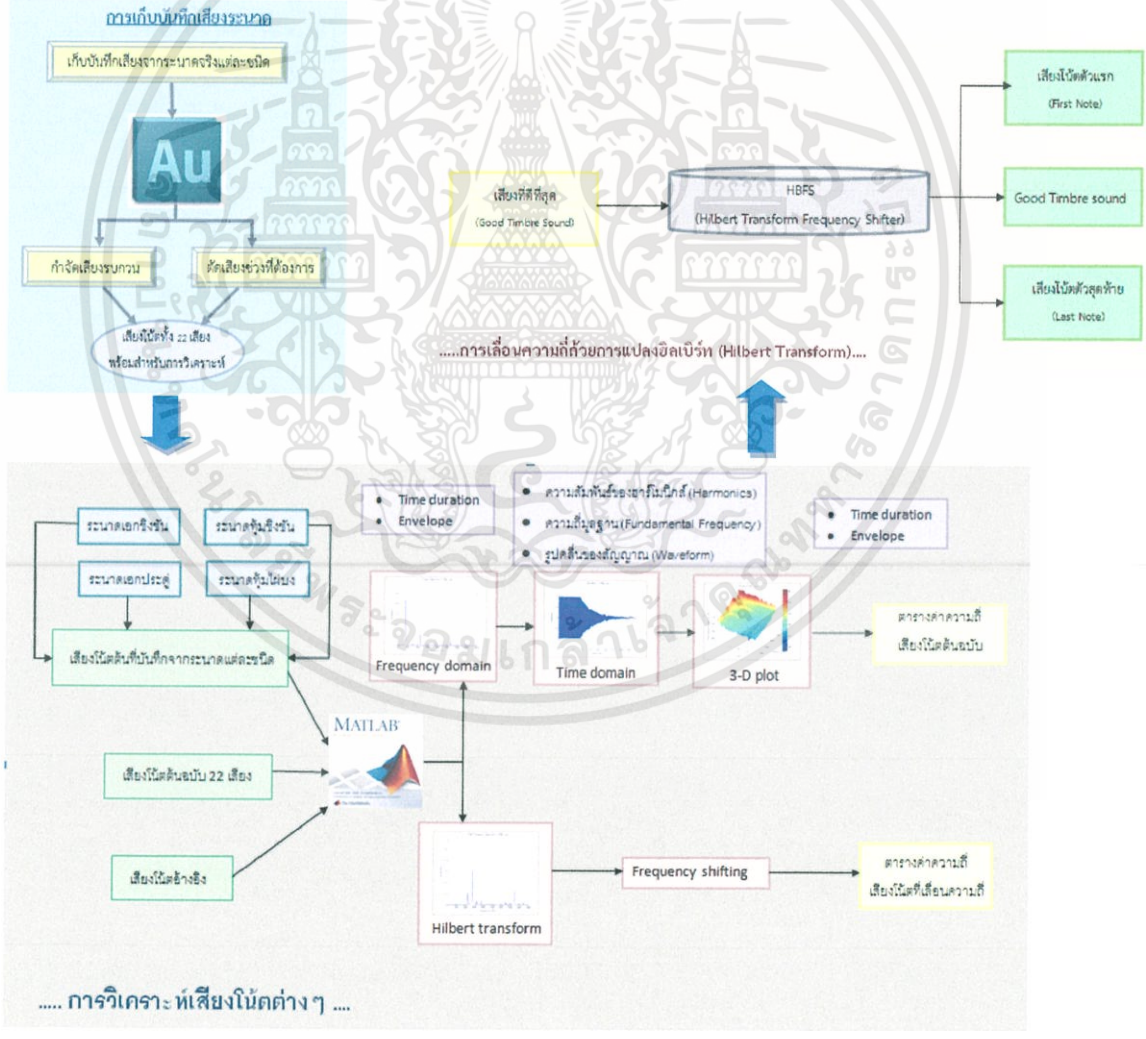


รูปที่ 2.15 บล็อกไดอะแกรมของการแปลงฮิลเบิร์ต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
การออกแบบการทดลอง

บทนี้จะกล่าวถึงขั้นตอนการวิเคราะห์เสียงโน้ตของระนาดทั้ง 22 เสียง แล้วเลือกโน้ตเพียง 1 เสียงที่เพราะที่สุด และมีฮาร์โมนิกส์ที่สอดคล้องกันมาเป็นความถี่อ้างอิง จากนั้นเลือกโน้ตเสียงที่เพี้ยนที่สุด โน้ตตัวแรก และโน้ตตัวสุดท้าย มาทำการเลื่อนความถี่โดยยึดที่ความถี่อ้างอิง เพื่อทำให้ได้เสียงเพราะเหมือนกับเสียงโน้ตที่เพราะที่สุดที่ได้เลือกไว้ โดยจะใช้โปรแกรม Adobe Audition CS6 และโปรแกรม MATLAB ในการเปรียบเทียบเสียงที่ได้จากการเก็บบันทึกกับเสียงที่ได้จากการเลื่อนความถี่ ซึ่งจะพิจารณากรอบของโทนเสียง (Envelope) จากรูปคลื่นของสัญญาณ (Waveform), ความถี่มูลฐาน (Fundamental Frequency) องค์ประกอบแต่ละฮาร์โมนิกส์ และความสัมพันธ์ของฮาร์โมนิกส์ (Harmonics) จากภาพสเปคโตรแกรม (Spectrogram) และกราฟการกระจายสเปคตรัม 3 มิติ (3-D Spectrum)



รูปที่ 3.1 การออกแบบขั้นตอนการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1 การเก็บบันทึกเสียงโน้ตของระนาด (Record)

การเริ่มต้นการทดลองนั้นจะเริ่มจากการเก็บบันทึกเสียงโน้ตของระนาดทั้ง 22 เสียง ด้วยอุปกรณ์บันทึกเสียง ดังรูปที่ 3.1 จากนั้นก่อนจะนำไฟล์เสียงของโน้ตทุกไปทำการวิเคราะห์ จะต้องทำการตัดไฟล์เสียงแต่ละโน้ตให้อยู่ในช่วงที่ต้องการ และนำสัญญาณที่ตัดแล้วไปกำจัดสัญญาณรบกวน เพื่อให้ได้รูปคลื่นสัญญาณที่มีความชัดเจน สามารถนำมาวิเคราะห์ได้ง่าย ด้วยโปรแกรม Adobe Audition CS6 ดังรูปที่ 3.2

รูปที่ 3.3 ขั้นตอนการเก็บบันทึกเสียงโน้ตของระนาด

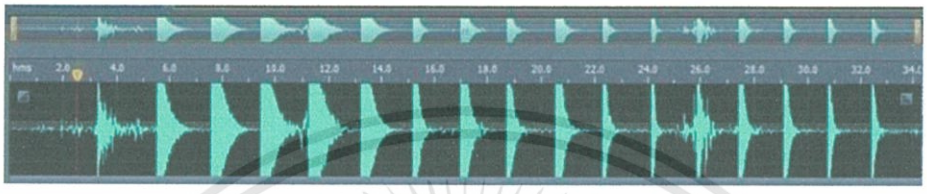
(Digital Sound Recorder)

รูปที่ 3.2 อุปกรณ์บันทึกเสียงโน้ตของระนาด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 การวิเคราะห์เสียงด้วยโปรแกรม Adobe Audition CS6

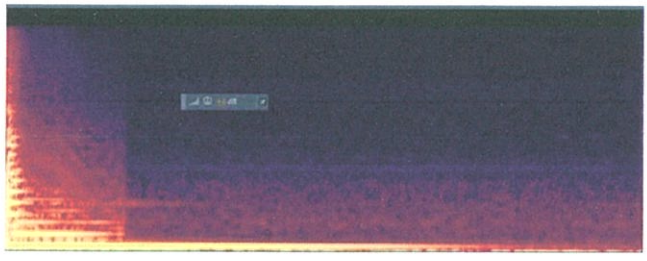
เมื่อได้สัญญาณเสียงโน้ตทั้ง 22 เสียงที่ผ่านการกำจัดสัญญาณรบกวนแล้วจะนำสัญญาณทั้งหมดมาวิเคราะห์ลักษณะกรอบของโทนเสียงจากรูปคลื่นของสัญญาณ (Waveform), สเปคโตรแกรม (Spectrogram) , ดูค่าความถี่มูลฐาน (Fundamental Frequency) องค์ประกอบฮาร์โมนิกส์ และความสัมพันธ์ของฮาร์โมนิกส์ (Harmonics) สำหรับสัญญาณเสียงแต่ละโน้ต



รูปที่ 3.4 แสดงรูปคลื่นของสัญญาณเสียง (Waveform) ก่อนตัดเสียงที่ต้องการ

รูปที่ 3.5 แสดงรูปคลื่นของสัญญาณเสียง (Waveform) หลังตัดเสียงที่ต้องการ

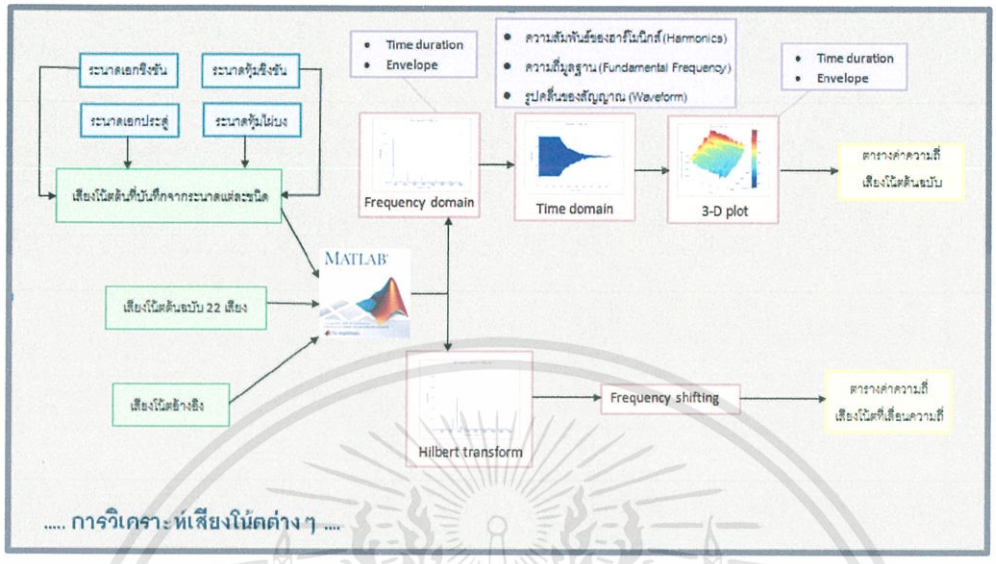
รูปที่ 3.6 แสดงสเปคโตรแกรมของสัญญาณเสียงก่อนตัดเสียงที่ต้องการ



รูปที่ 3.7 แสดงสเปคโตรแกรมของสัญญาณเสียงหลังตัดเสียงที่ต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การวิเคราะห์เสียงด้วยโปรแกรม MATLAB



รูปที่ 3.8 ขั้นตอนการวิเคราะห์หาเสียงโน้ตจากเสียงโน้ตอ้างอิง

3.3.1 วิเคราะห์หาองค์ประกอบของเสียง

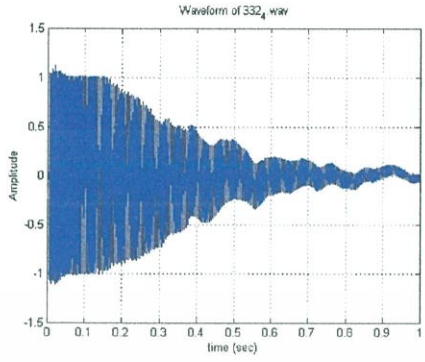
ในขั้นตอนนี้จะนำเสียงโน้ตทั้งหมดที่เก็บบันทึกได้จากระนาด 4 ชนิด คือ ระนาดเอกชิงชัน ระนาดเอกประดู่ ระนาดทุ้มไผ่บง และระนาดทุ้มชิงชัน มาวิเคราะห์ลักษณะกรอบของโทนเสียงจากรูปคลื่นของสัญญาณ (Waveform), ดูค่าความถี่มูลฐาน (Fundamental Frequency) องค์ประกอบฮาร์โมนิกส์ และความสัมพันธ์ของฮาร์โมนิกส์ (Harmonics) ที่มีความละเอียด และชัดเจนยิ่งขึ้นด้วยโปรแกรม MATLAB ทำให้ได้ค่าความถี่ของเสียงโน้ตที่เก็บบันทึก ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 แสดงค่าความถี่ของเสียงโน้ตระนาดเอก 22 เสียงที่ได้จากเสียงต้นฉบับ

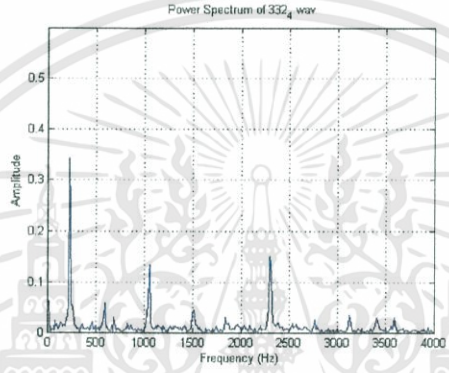
ลูกที่	โน้ต	ความถี่มูลฐาน (Hz)	ลูกที่	โน้ต	ความถี่มูลฐาน (Hz)
1	ซอล	175	12	เร	524.9
2	ลา	188.4	13	มี	573.3
3	ที	209.9	14	ฟา	670.2
4	โด	236.9	15	ซอล	707.9
5	เร	266.5	16	ลา	772.5
6	มี	293.4	17	ที	850.6
7	ฟา	320.3	18	โด	944.8
8	ซอล	347.2	19	เร	1044
9	ลา	382.2	20	มี	1163
10	ที	433.4	21	ฟา	1287
11	โด	473.3	22	ซอล	1392

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

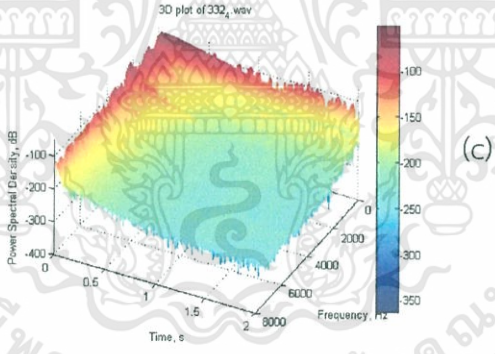
3.3.1.1) วิเคราะห์เสียงระนาดเอกชิงชัน (เสียงเพราะที่สุด – เสียงเพี้ยนที่สุด) ใช้ไม้ตีทั้งหมด 4 ชนิด



(a)



(b)



(c)

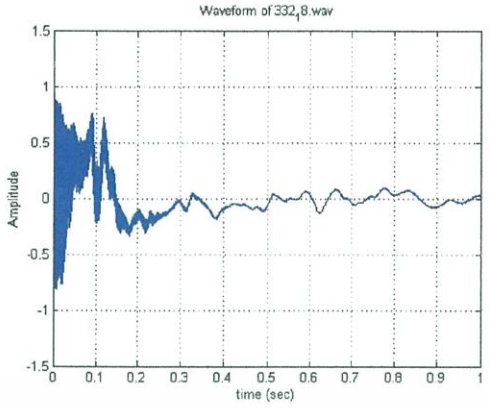
รูปที่ 3.9 องค์ประกอบของเสียงระนาดเอกชิงชันโน้ตที่ 4 (โด) ที่ตีด้วยไม้ x10 ที่ความถี่มูลฐาน (fo) = 236.9 Hz. (เสียงเพราะที่สุด)

(a) รูปคลื่นของเสียงระนาด (waveform)

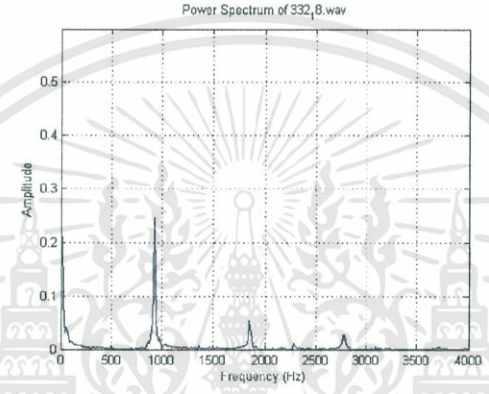
(b) รูปสเปกตรัมของเสียงระนาด

(c) สเปกตรัม 3 มิติ มีตัวแปร 3 ตัว ได้แก่ แกน z คือ ขนาดกำลังของสเปกตรัม, แกน x คือ ช่วงเวลาของแต่ละฮาร์โมนิกส์, แกน y คือ ความถี่ของแต่ละฮาร์โมนิกส์

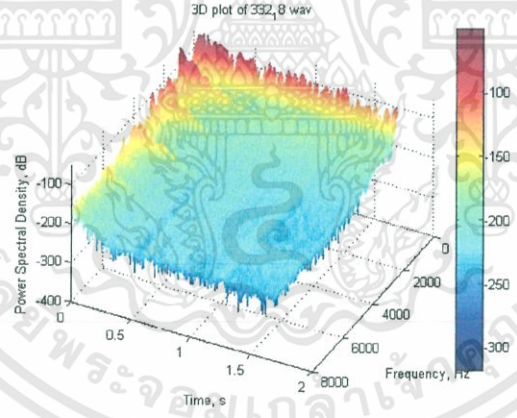
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(a)



(b)



(c)

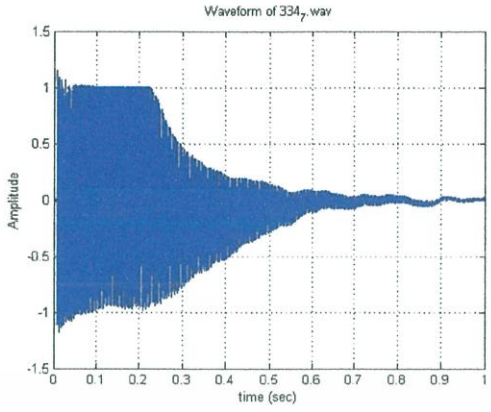
รูปที่ 3.10 องค์ประกอบของเสียงระนาดเอกชิงชันโน้ตที่ 18 (โด) ที่ตีด้วยไม้ x10
ที่ความถี่มูลฐาน (fo) = 944.8 Hz. (เสียงเพี้ยนที่สุด)

(a) รูปคลื่นของเสียงระนาด (waveform)

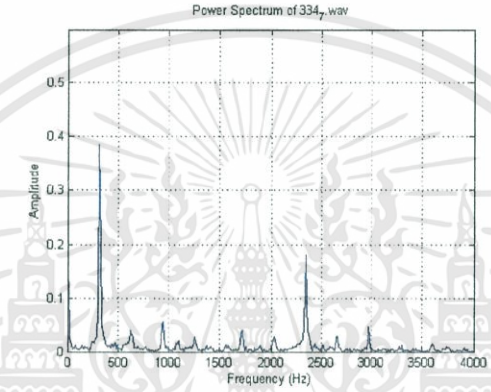
(b) รูปสเปกตรัมของเสียงระนาด

(c) สเปกตรัม 3 มิติ มีตัวแปร 3 ตัว ได้แก่ แกน z คือ ขนาดกำลังของสเปกตรัม, แกน x คือ ช่วงเวลาของแต่ละฮาร์โมนิกส์, แกน y คือ ความถี่ของแต่ละฮาร์โมนิกส์

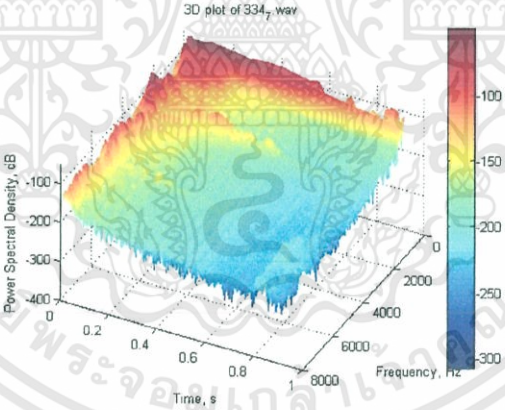
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(a)



(b)



(c)

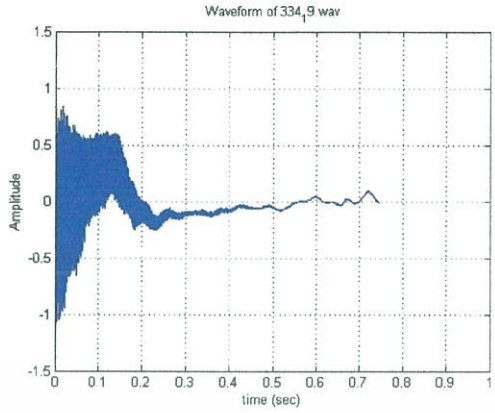
รูปที่ 3.11 องค์ประกอบของเสียงระนาดเอกชิงชันโน้ตที่7 (ฟา) ที่ตีด้วยไม้รัก ที่ความถี่มูลฐาน (fo) = 320.3 Hz. (เสียงเพราะที่สุด)

(a) รูปคลื่นของเสียงระนาด (waveform)

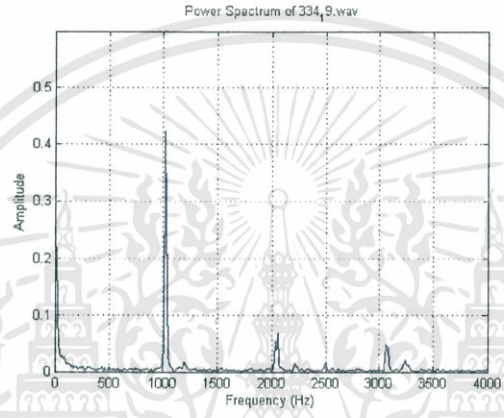
(b) รูปสเปกตรัมของเสียงระนาด

(c) สเปกตรัม 3 มิติ มีตัวแปร 3 ตัว ได้แก่ แกน z คือ ขนาดกำลังของสเปกตรัม, แกน x คือ ช่วงเวลาของแต่ละฮาร์โมนิกส์, แกน y คือ ความถี่ของแต่ละฮาร์โมนิกส์

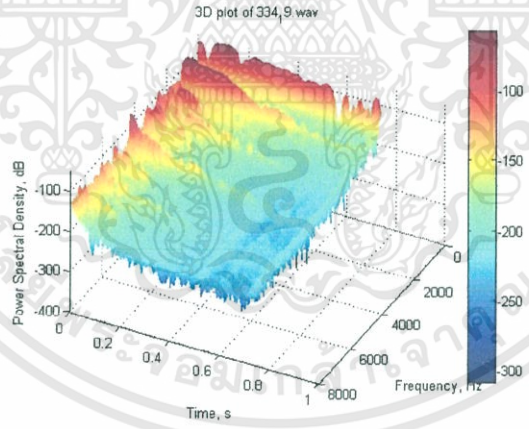
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(a)



(b)



(c)

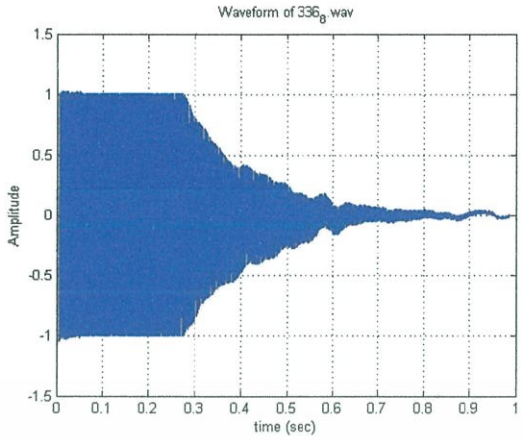
รูปที่ 3.12 องค์ประกอบของเสียงระนาดเอกชิงชันโน้ตที่19 (เร) ที่ตีด้วยไม้รัก ที่ความถี่มูลฐาน (fo) = 1044 Hz. (เสียงเพี้ยนที่สุด)

(a) รูปคลื่นของเสียงระนาด (waveform)

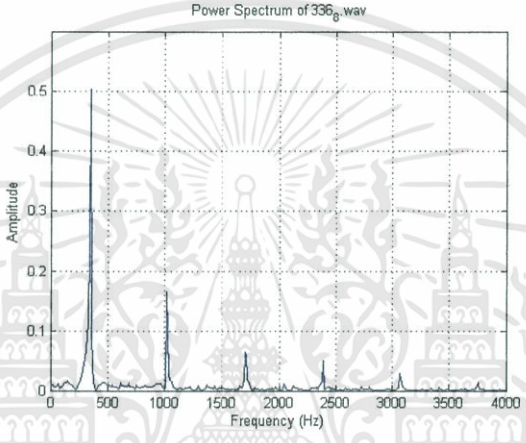
(b) รูปสเปกตรัมของเสียงระนาด

(c) สเปกตรัม 3 มิติ มีตัวแปร 3 ตัว ได้แก่ แกน z คือ ขนาดกำลังของสเปกตรัม, แกน x คือ ช่วงเวลาของแต่ละฮาร์โมนิกส์, แกน y คือ ความถี่ของแต่ละฮาร์โมนิกส์

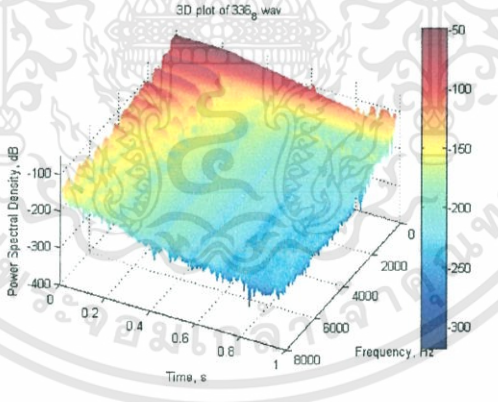
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(a)



(b)



(c)

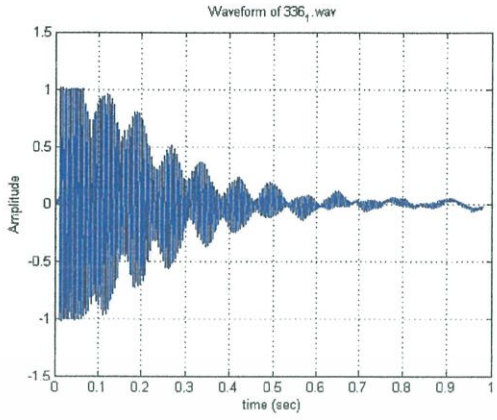
รูปที่ 3.13 องค์ประกอบของเสียงระนาดเอกชิงชันโน้ตที่ 8 (ซอล) ที่ตีด้วยไม้นวมเหลือง ที่ความถี่มูลฐาน (fo) = 347.2 Hz. (เสียงเพราะที่สุด)

(a) รูปคลื่นของเสียงระนาด (waveform)

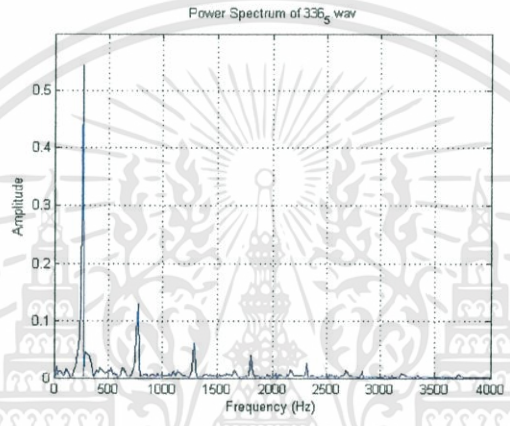
(b) รูปสเปกตรัมของเสียงระนาด

(c) สเปกตรัม 3 มิติ มีตัวแปร 3 ตัว ได้แก่ แกน z คือ ขนาดกำลังของสเปกตรัม, แกน x คือ ช่วงเวลาของแต่ละฮาร์โมนิกส์, แกน y คือ ความถี่ของแต่ละฮาร์โมนิกส์

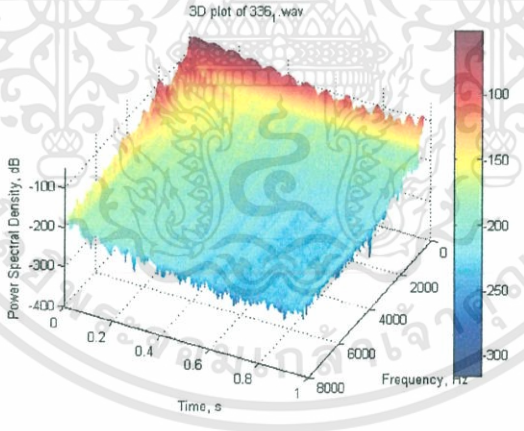
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(a)



(b)



(c)

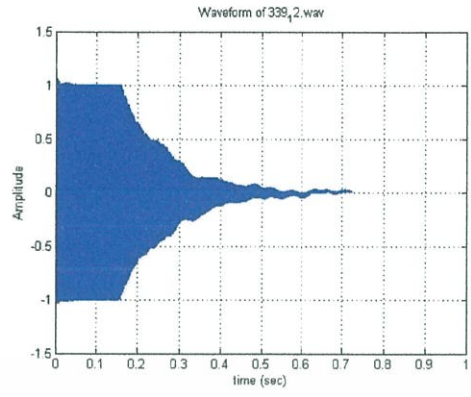
รูปที่ 3.14 องค์ประกอบของเสียงระนาดเอกชิงชันโน้ตที่1 (ซอล) ที่ตีด้วยไม้นวมเหลือง ที่ความถี่มูลฐาน (fo) = 175 Hz. (เสียงเพี้ยนที่สุด)

(a) รูปคลื่นของเสียงระนาด (waveform)

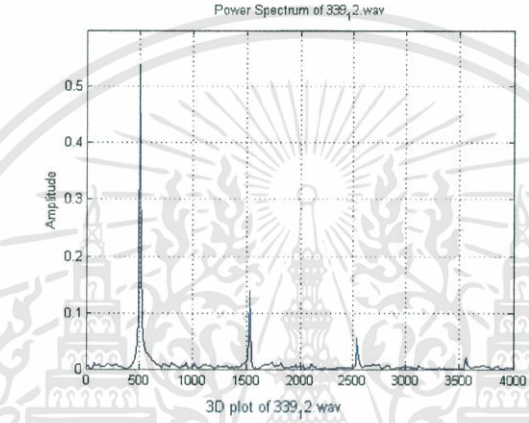
(b) รูปสเปกตรัมของเสียงระนาด

(c) สเปกตรัม 3 มิติ มีตัวแปร 3 ตัว ได้แก่ แกน z คือ ขนาดกำลังของสเปกตรัม, แกน x คือ ช่วงเวลาของแต่ละฮาร์โมนิกส์, แกน y คือ ความถี่ของแต่ละฮาร์โมนิกส์

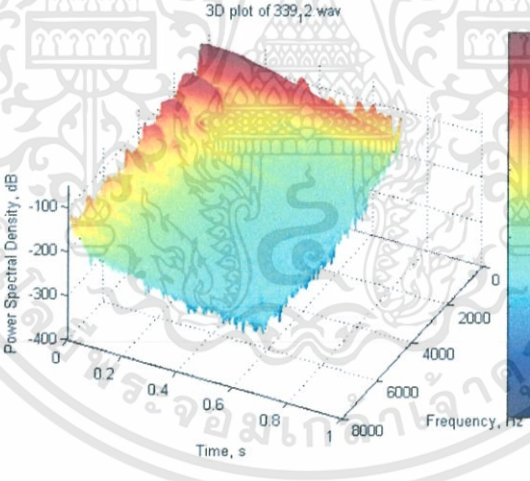
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(a)



(b)



(c)

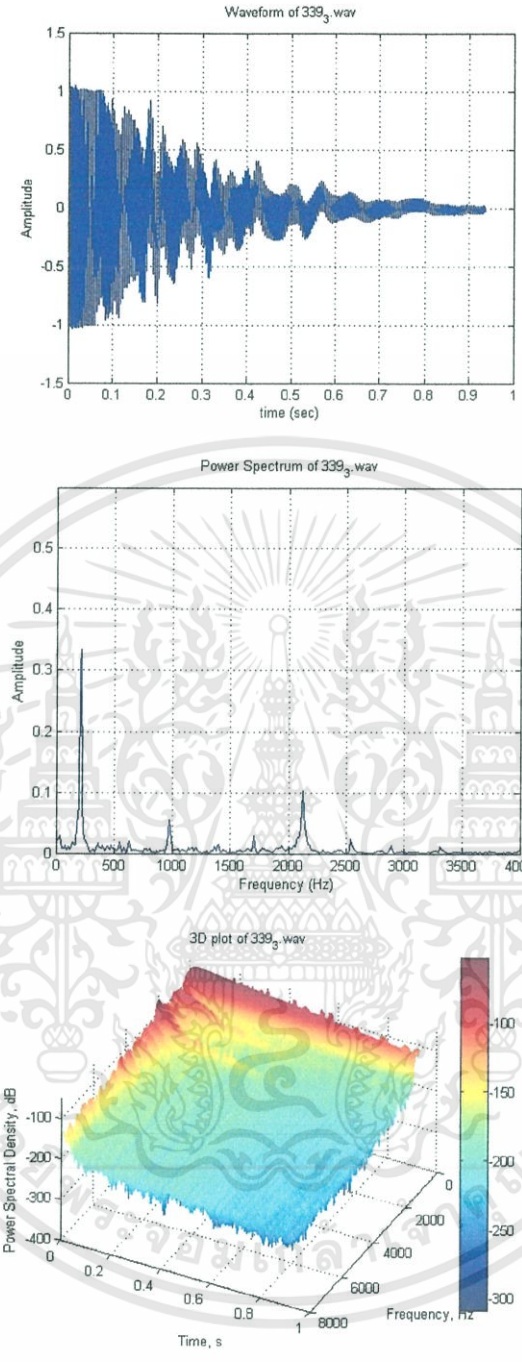
รูปที่ 3.15 องค์ประกอบของเสียงระนาดเอกชิงชันโน้ตที่12 (เร) ที่ตีด้วยไม้นวมเขียว ที่ความถี่มูลฐาน (fo) = 524.9 Hz. (เสียงเพราะที่สุด)

(a) รูปคลื่นของเสียงระนาด (waveform)

(b) รูปสเปกตรัมของเสียงระนาด

(c) สเปกตรัม 3 มิติ มีตัวแปร 3 ตัว ได้แก่ แกน z คือ ขนาดกำลังของสเปกตรัม, แกน x คือ ช่วงเวลาของแต่ละฮาร์โมนิกส์, แกน y คือ ความถี่ของแต่ละฮาร์โมนิกส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.16 องค์ประกอบของเสียงระนาดเอกชิงชันโน้ตที่ 3 (ที) ที่ตีด้วยไม้นวมเขียว ที่ความถี่มูลฐาน (fo) = 209.9 Hz. (เสียงเพี้ยนที่สุด)

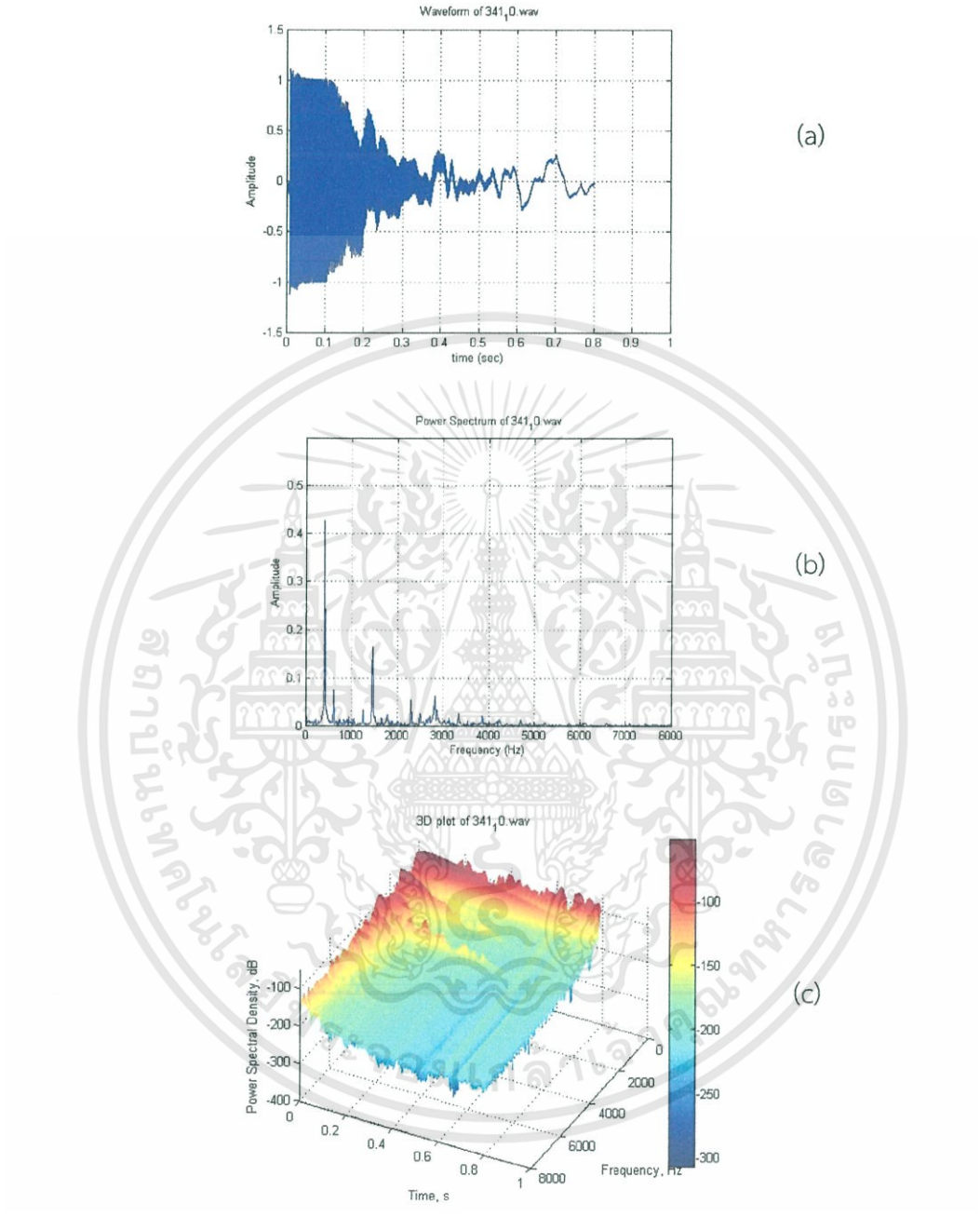
(a) รูปคลื่นของเสียงระนาด (waveform)

(b) รูปสเปกตรัมของเสียงระนาด

(c) สเปกตรัม 3 มิติ มีตัวแปร 3 ตัว ได้แก่ แกน z คือ ขนาดกำลังของสเปกตรัม, แกน x คือ ช่วงเวลาของแต่ละฮาร์โมนิกส์, แกน y คือ ความถี่ของแต่ละฮาร์โมนิกส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.1.2) วิเคราะห์เสียงระนาดเอกประดู่ (เสียงเพราะที่สุด – เสียงเพี้ยนที่สุด) ใช้ไม้ตีทั้งหมด 4 ชนิด



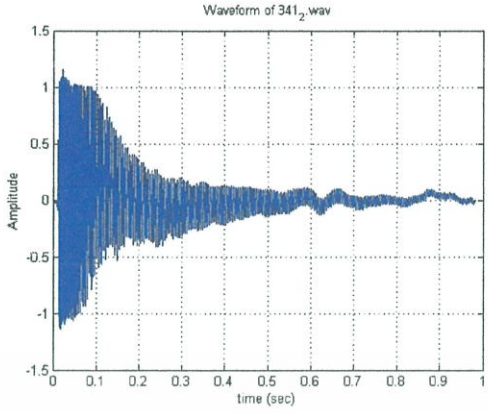
รูปที่ 3.17 องค์ประกอบของเสียงระนาดเอกประดู่โน้ตที่ 10 (ที) ที่ตีด้วยไม้ x10
ที่ความถี่มูลฐาน (fo) = 433.4 Hz. (เสียงเพราะที่สุด)

(a) รูปคลื่นของเสียงระนาด (waveform)

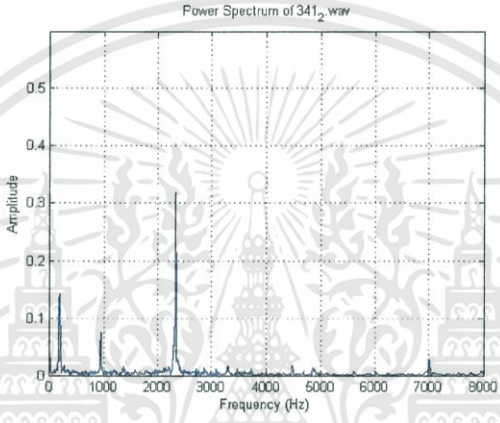
(b) รูปสเปกตรัมของเสียงระนาด

(c) สเปกตรัม 3 มิติ มีตัวแปร 3 ตัว ได้แก่ แกน z คือ ขนาดกำลังของสเปกตรัม, แกน x คือ ช่วงเวลาของแต่ละฮาร์โมนิกส์, แกน y คือ ความถี่ของแต่ละฮาร์โมนิกส์

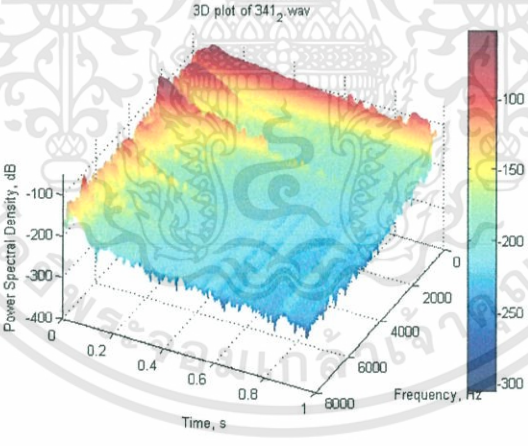
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(a)



(b)



(c)

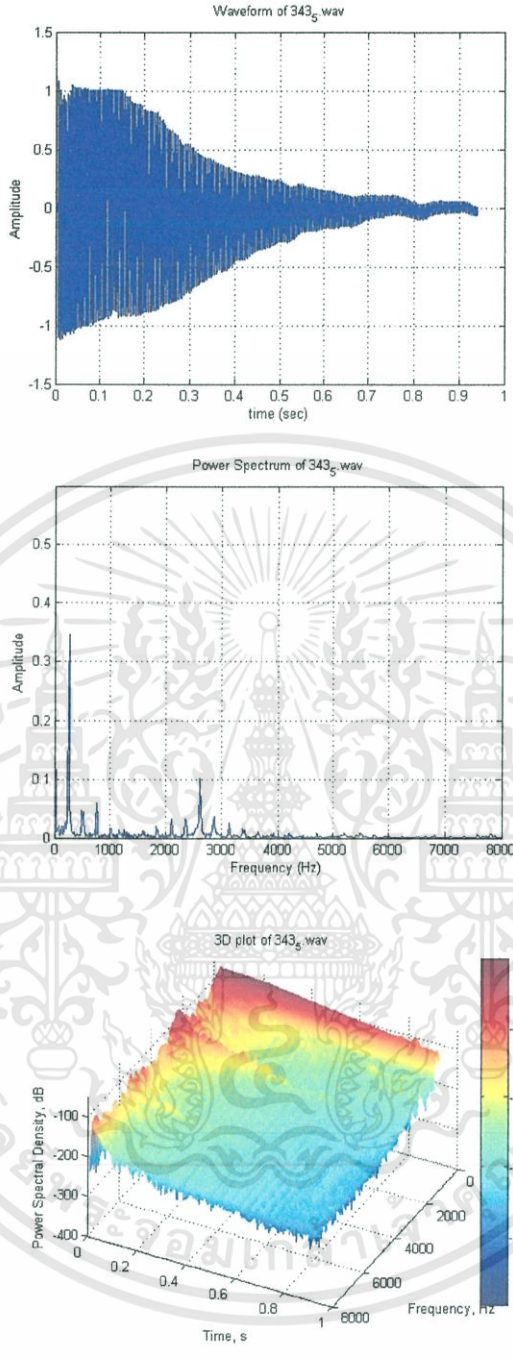
รูปที่ 3.18 องค์ประกอบของเสียงระนาดเอกประดู่โน้ตที่ 2 (ลา) ที่ตีด้วยไม้ x10 ที่ความถี่มูลฐาน (fo) = 188.4 Hz. (เสียงเพี้ยนที่สุด)

(a) รูปคลื่นของเสียงระนาด (waveform)

(b) รูปสเปกตรัมของเสียงระนาด

(c) สเปกตรัม 3 มิติ มีตัวแปร 3 ตัว ได้แก่ แกน z คือ ขนาดกำลังของสเปกตรัม, แกน x คือ ช่วงเวลาของแต่ละฮาร์โมนิกส์, แกน y คือ ความถี่ของแต่ละฮาร์โมนิกส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



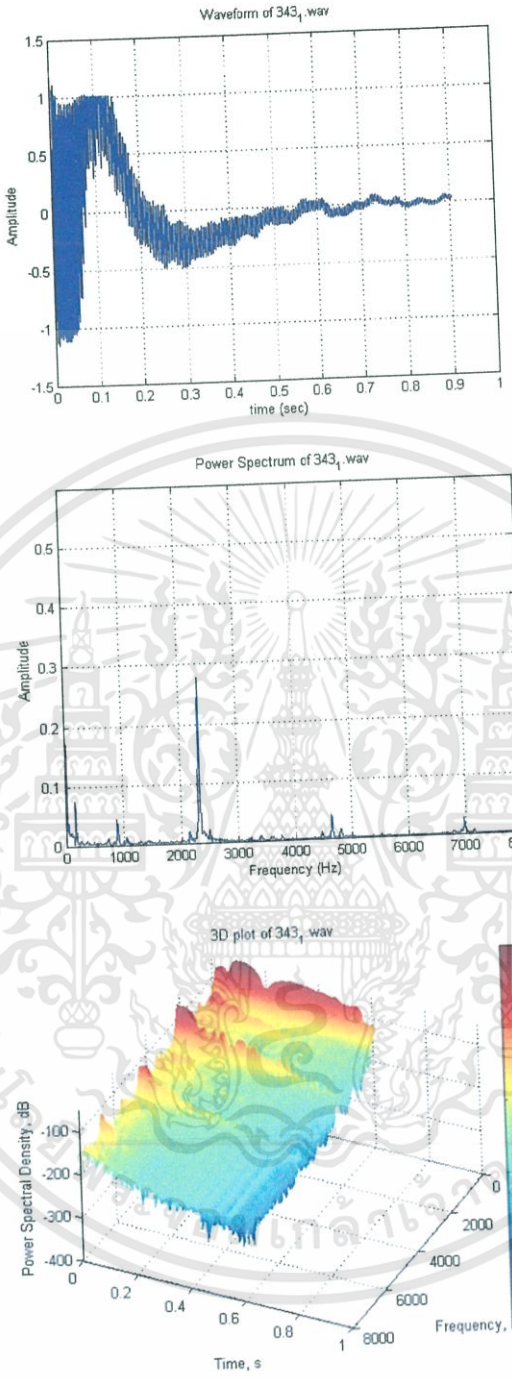
รูปที่ 3.19 องค์ประกอบของเสียงระนาดเอกประดู่โน้ตที่ 5 (เร) ที่ตีด้วยไม้รัก ที่ความถี่มูลฐาน (fo) = 266.5 Hz. (เสียงเพราะที่สุด)

(a) รูปคลื่นของเสียงระนาด (waveform)

(b) รูปสเปกตรัมของเสียงระนาด

(c) สเปกตรัม 3 มิติ มีตัวแปร 3 ตัว ได้แก่ แกน z คือ ขนาดกำลังของสเปกตรัม, แกน x คือ ช่วงเวลาของแต่ละฮาร์โมนิกส์, แกน y คือ ความถี่ของแต่ละฮาร์โมนิกส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



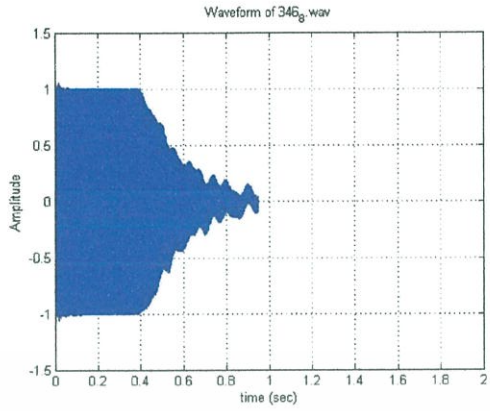
รูปที่ 3.20 องค์ประกอบของเสียงระนาดเอกประดู่โน้ตที่ 1 (ซอล) ที่ตีด้วยไม้รัก ที่ความถี่มูลฐาน (fo) = 175 Hz. (เสียงเพี้ยนที่สุด)

(a) **รูปคลื่น**ของเสียงระนาด (waveform)

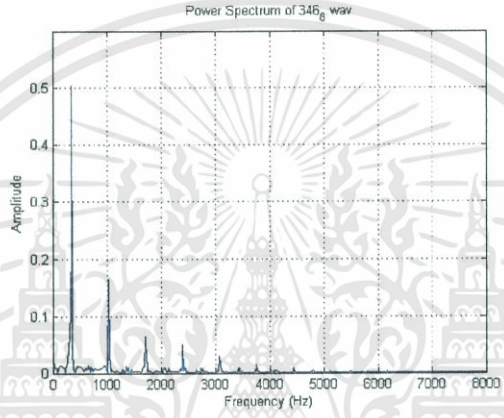
(b) **รูปสเปก**ตรัมของเสียงระนาด

(c) **สเปกตรัม** 3 มิติ มีตัวแปร 3 ตัว ได้แก่ แกน z คือ ขนาดกำลังของสเปกตรัม, แกน x คือ ช่วงเวลาของแต่ละ **ฮาร์โมนิกส์**, แกน y คือ ความถี่ของแต่ละฮาร์โมนิกส์

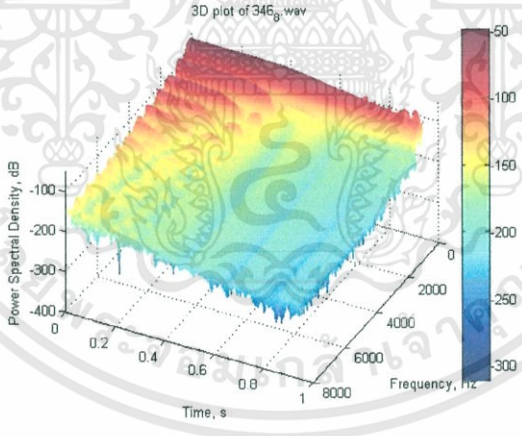
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(a)



(b)



(c)

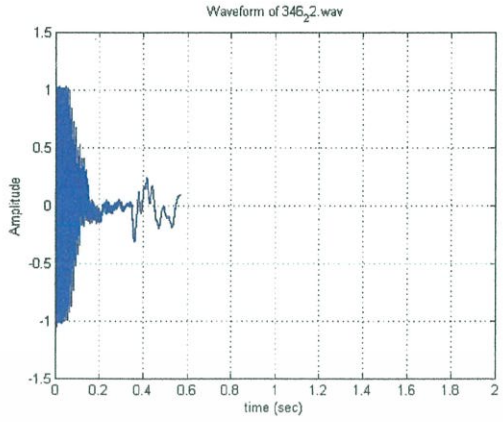
รูปที่ 3.21 องค์ประกอบของเสียงระนาดเอกประดู่โน้ตที่ 8 (ซอล) ที่ตีด้วยไม้นวมเหลือง ที่ความถี่มูลฐาน (fo) = 347.2 Hz. (เสียงเพราะที่สุด)

(a) รูปคลื่นของเสียงระนาด (waveform)

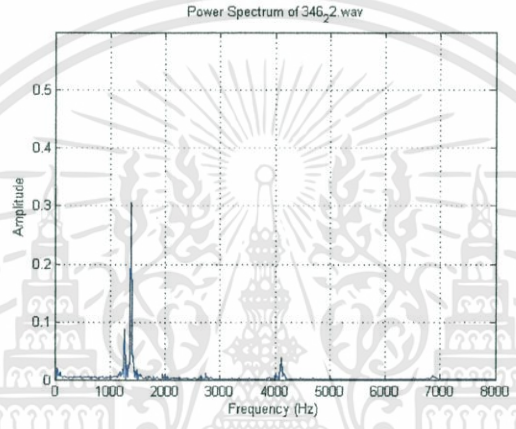
(b) รูปสเปกตรัมของเสียงระนาด

(c) สเปกตรัม 3 มิติ มีตัวแปร 3 ตัว ได้แก่ แกน z คือ ขนาดกำลังของสเปกตรัม, แกน x คือ ช่วงเวลาของแต่ละฮาร์โมนิกส์, แกน y คือ ความถี่ของแต่ละฮาร์โมนิกส์

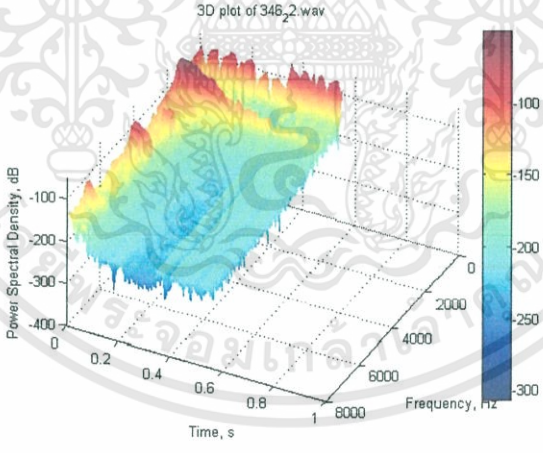
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(a)



(b)



(c)

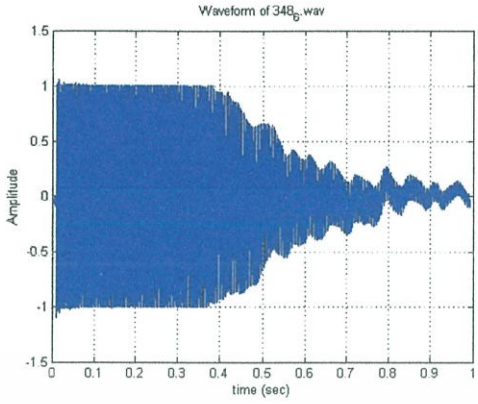
รูปที่ 3.22 องค์ประกอบของเสียงระนาดเอกประดู่โน้ตที่ 22 (ซอล) ที่ตีด้วยไม้นวมเหลือง ที่ความถี่มูลฐาน (fo) = 1,392 Hz. (เสียงเพี้ยนที่สุด)

(a) รูปคลื่นของเสียงระนาด (waveform)

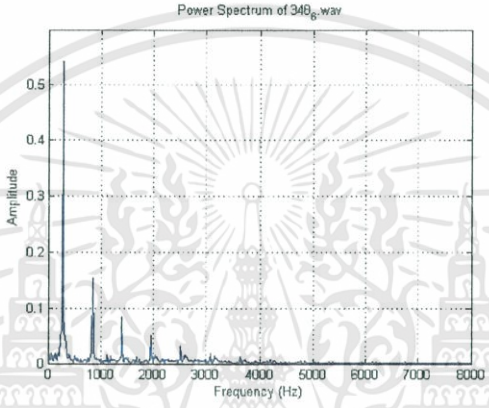
(b) รูปสเปกตรัมของเสียงระนาด

(c) สเปกตรัม 3 มิติ มีตัวแปร 3 ตัว ได้แก่ แกน z คือ ขนาดกำลังของสเปกตรัม, แกน x คือ ช่วงเวลาของแต่ละฮาร์โมนิกส์, แกน y คือ ความถี่ของแต่ละฮาร์โมนิกส์

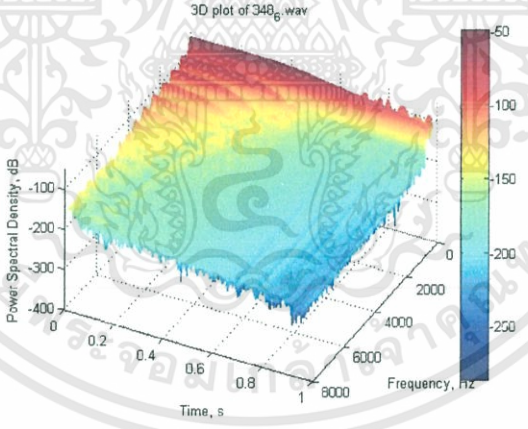
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(a)



(b)



(c)

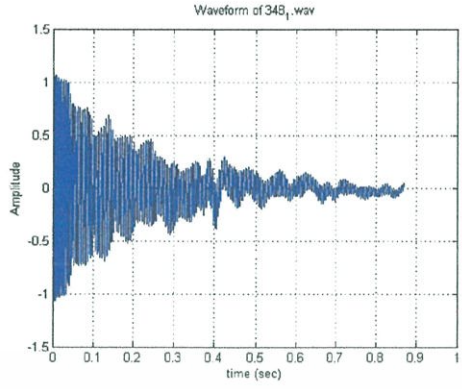
รูปที่ 3.23 องค์ประกอบของเสียงระนาดเอกประดู่โน้ตที่ 6 (มี) ที่ตีด้วยไม้นวมเขียว ที่ความถี่มูลฐาน (fo) = 293.4 Hz. (เสียงเพราะที่สุด)

(a) รูปคลื่นของเสียงระนาด (waveform)

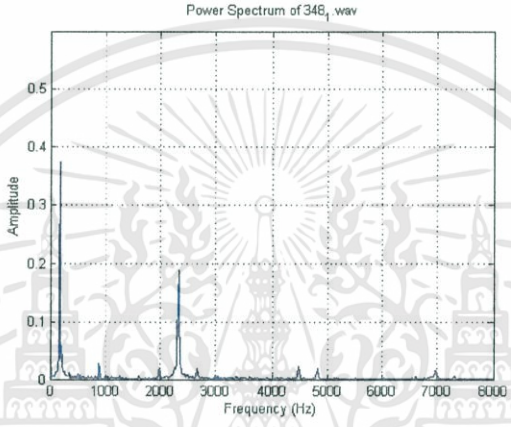
(b) รูปสเปกตรัมของเสียงระนาด

(c) สเปกตรัม 3 มิติ มีตัวแปร 3 ตัว ได้แก่ แกน z คือ ขนาดกำลังของสเปกตรัม, แกน x คือ ช่วงเวลาของแต่ละฮาร์โมนิกส์, แกน y คือ ความถี่ของแต่ละฮาร์โมนิกส์

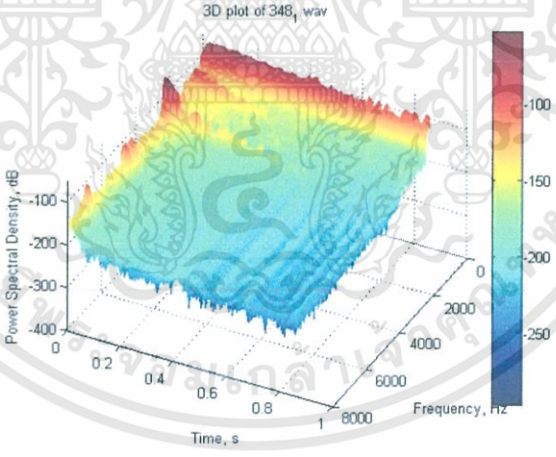
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(a)



(b)



(c)

รูปที่ 3.24 องค์ประกอบของเสียงระนาดเอกประดู่โน้ตที่ 1 (ซอล) ที่ตีด้วยไม้นวมเขียว ที่ความถี่มูลฐาน (fo) = 175 Hz. (เสียงเพี้ยนที่สุด)

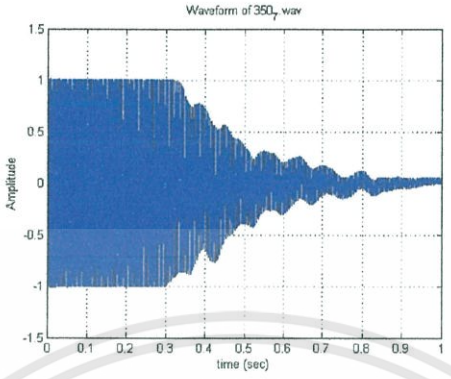
(a) รูปคลื่นของเสียงระนาด (waveform)

(b) รูปสเปกตรัมของเสียงระนาด

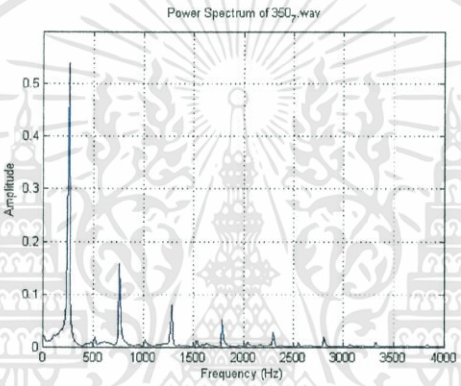
(c) สเปกตรัม 3 มิติ มีตัวแปร 3 ตัว ได้แก่ แกน z คือ ขนาดกำลังของสเปกตรัม, แกน x คือ ช่วงเวลาของแต่ละฮาร์โมนิกส์, แกน y คือ ความถี่ของแต่ละฮาร์โมนิกส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

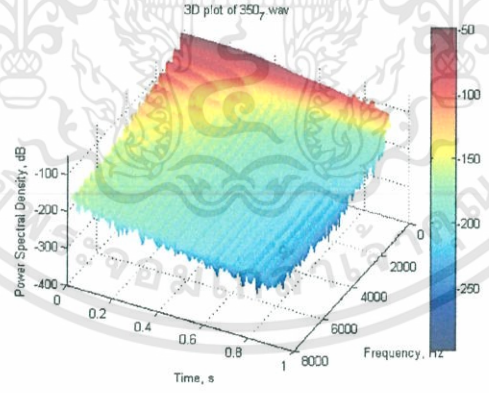
3.3.1.3) วิเคราะห์เสียงระนาดทุ้มไผ่บง (เสียงเพราะที่สุด – เสียงเพี้ยนที่สุด) ใช้ไม้ตีทั้งหมด 4 ชนิด



(a)



(b)



(c)

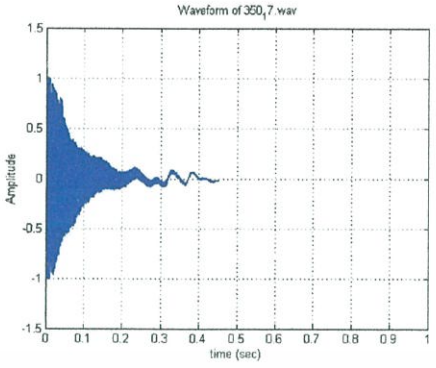
รูปที่ 3.25 องค์ประกอบของเสียงระนาดทุ้มไผ่บงโน้ตที่ 7 (ฟา) ที่ตีด้วยไม้นวมเหลือง ที่ความถี่มูลฐาน (fo) = 320.3 Hz. (เสียงเพราะที่สุด)

(a) รูปคลื่นของเสียงระนาด (waveform)

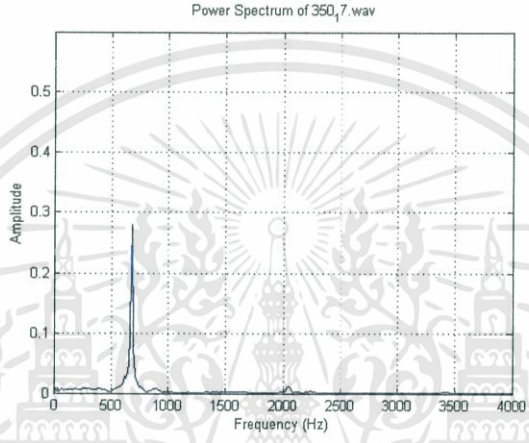
(b) รูปสเปกตรัมของเสียงระนาด

(c) สเปกตรัม 3 มิติ มีตัวแปร 3 ตัว ได้แก่ แกน z คือ ขนาดกำลังของสเปกตรัม, แกน x คือ ช่วงเวลาของแต่ละฮาร์โมนิกส์, แกน y คือ ความถี่ของแต่ละฮาร์โมนิกส์

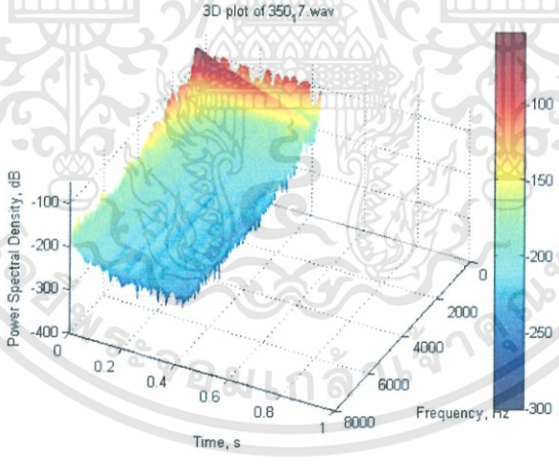
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(a)



(b)



(c)

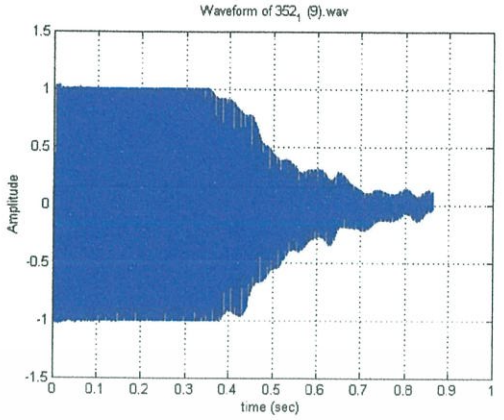
รูปที่ 3.26 องค์ประกอบของเสียงระนาดทุ้มไผ่บงโน้ตที่ 17 (ที) ที่ตีด้วยไม้นวมเหลือง ที่ความถี่มูลฐาน (fo) = 850.6 Hz. (เสียงเพี้ยนที่สุด)

(a) รูปคลื่นของเสียงระนาด (waveform)

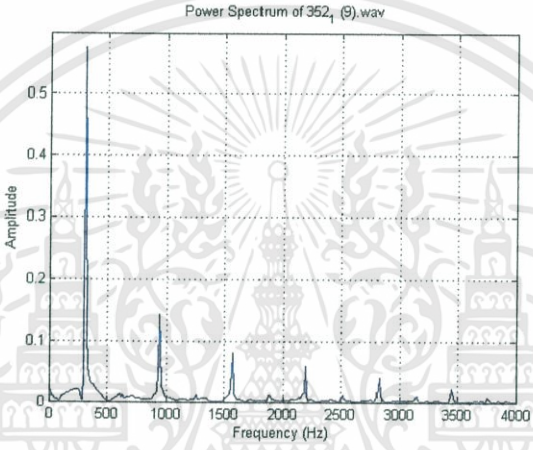
(b) รูปสเปกตรัมของเสียงระนาด

(c) สเปกตรัม 3 มิติ มีตัวแปร 3 ตัว ได้แก่ แกน z คือ ขนาดกำลังของสเปกตรัม, แกน x คือ ช่วงเวลาของแต่ละฮาร์โมนิกส์, แกน y คือ ความถี่ของแต่ละฮาร์โมนิกส์

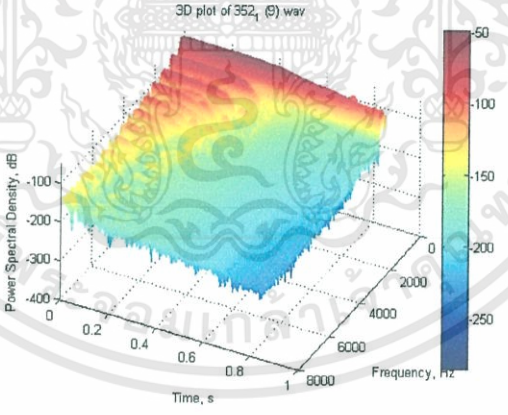
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(a)



(b)



(c)

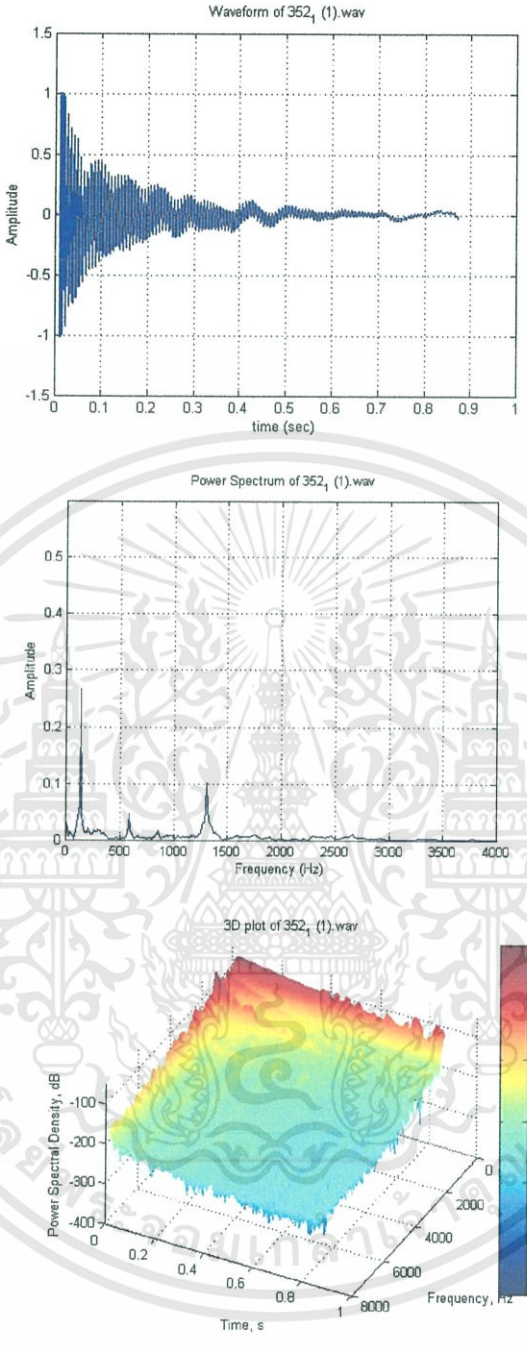
รูปที่ 3.27 องค์ประกอบของเสียงระนาดทุ้มไผ่บงโน้ตที่ 9 (ลา) ที่ตีด้วยไม้นวมแดง ที่ความถี่มูลฐาน (fo) = 382.2 Hz. (เสียงเพราะที่สุด)

(a) รูปคลื่นของเสียงระนาด (waveform)

(b) รูปสเปกตรัมของเสียงระนาด

(c) สเปกตรัม 3 มิติ มีตัวแปร 3 ตัว ได้แก่ แกน z คือ ขนาดกำลังของสเปกตรัม, แกน x คือ ช่วงเวลาของแต่ละฮาร์โมนิกส์, แกน y คือ ความถี่ของแต่ละฮาร์โมนิกส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.28 องค์ประกอบของเสียงระนาดทุ้มไผ่บงโน้ตที่ 1 (ซอล) ที่ตีด้วยไม้นวมแดง ที่ความถี่มูลฐาน (fo) = 175 Hz. (เสียงเพี้ยนที่สุด)

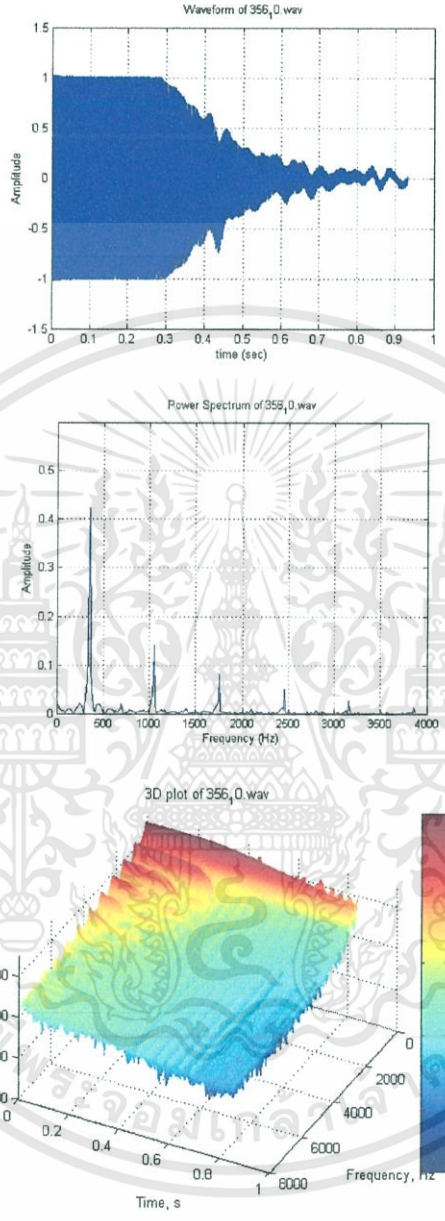
(a) รูปคลื่นของเสียงระนาด (waveform)

(b) รูปสเปกตรัมของเสียงระนาด

(c) สเปกตรัม 3 มิติ มีตัวแปร 3 ตัว ได้แก่ แกน z คือ ขนาดกำลังของสเปกตรัม, แกน x คือ ช่วงเวลาของแต่ละฮาร์โมนิกส์, แกน y คือ ความถี่ของแต่ละฮาร์โมนิกส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.1.4) วิเคราะห์เสียงระนาดทุ้มชิงชัน (เสียงเพราะที่สุด – เสียงเพี้ยนที่สุด) ใช้ไม้ตีทั้งหมด 4 ชนิด



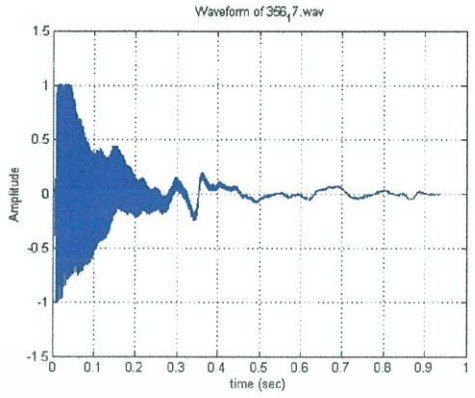
รูปที่ 3.29 องค์ประกอบของเสียงระนาดทุ้มชิงชันโน้ตที่ 10 (ที) ที่ตีด้วยไม้นวมเหลือง ที่ความถี่มูลฐาน (fo) = 433.4 Hz. (เสียงเพราะที่สุด)

(a) รูปคลื่นของเสียงระนาด (waveform)

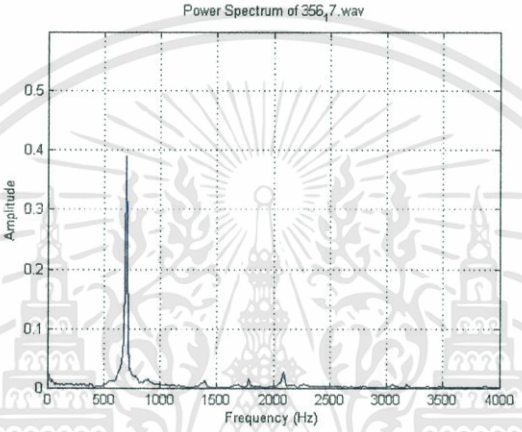
(b) รูปสเปกตรัมของเสียงระนาด

(c) สเปกตรัม 3 มิติ มีตัวแปร 3 ตัว ได้แก่ แกน z คือ ขนาดกำลังของสเปกตรัม, แกน x คือ ช่วงเวลาของแต่ละฮาร์โมนิกส์, แกน y คือ ความถี่ของแต่ละฮาร์โมนิกส์

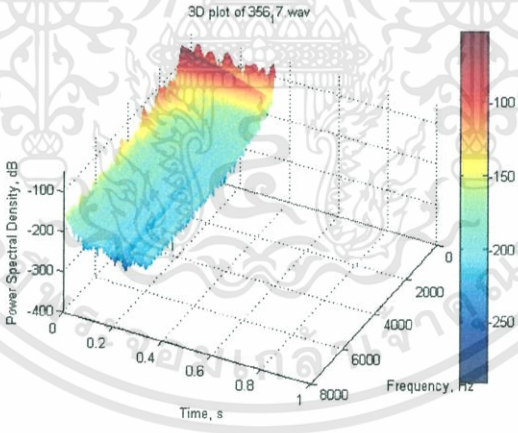
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(a)



(b)



(c)

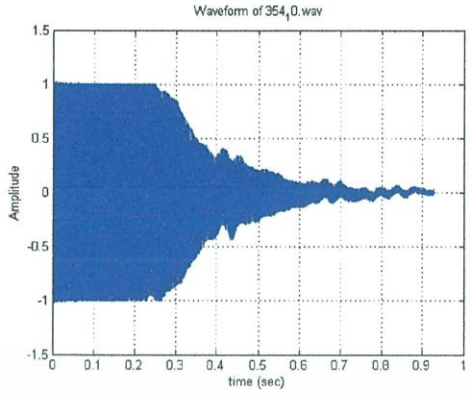
รูปที่ 3.30 องค์ประกอบของเสียงระนาดทุ้มชิงชันโน้ตที่ 17 (ที) ที่ตีด้วยไม้นวมเหลือง ที่ความถี่มูลฐาน (fo) = 850.6 Hz. (เสียงเพี้ยนที่สุด)

(a) รูปคลื่นของเสียงระนาด (waveform)

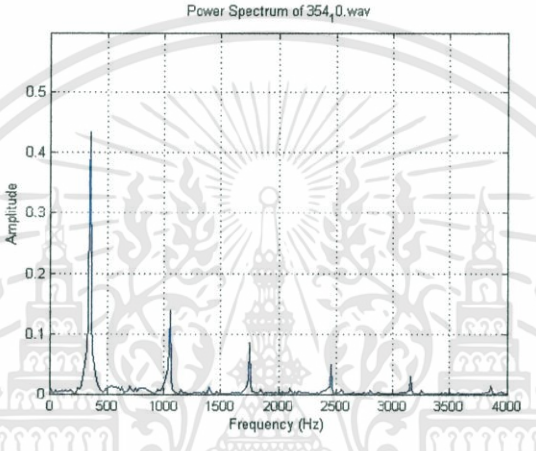
(b) รูปสเปกตรัมของเสียงระนาด

(c) สเปกตรัม 3 มิติ มีตัวแปร 3 ตัว ได้แก่ แกน z คือ ขนาดกำลังของสเปกตรัม, แกน x คือ ช่วงเวลาของแต่ละฮาร์โมนิกส์, แกน y คือ ความถี่ของแต่ละฮาร์โมนิกส์

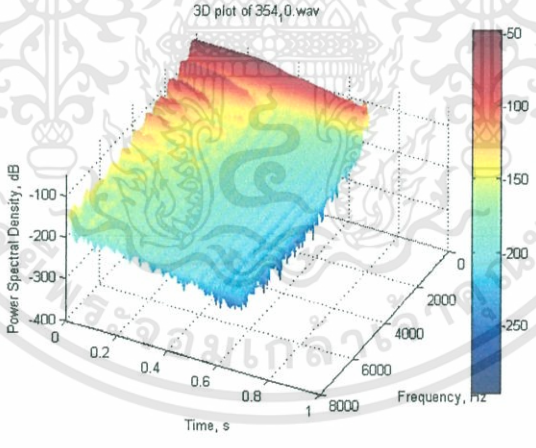
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(a)



(b)



(c)

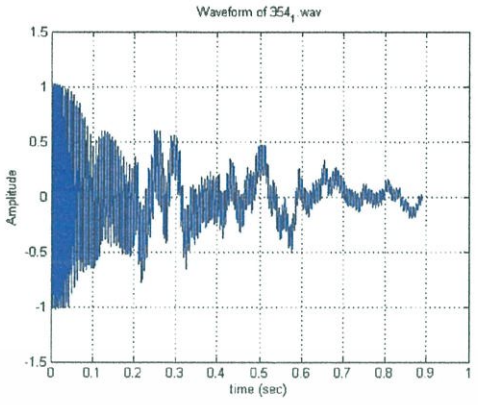
รูปที่ 3.31 องค์ประกอบของเสียงระนาดทุ้มชิงชันโน้ตที่ 10 (ที) ที่ตีด้วยไม้นวมแดง ที่ความถี่มูลฐาน (fo) = 433.4 Hz. (เสียงเพราะที่สุด)

(a) รูปคลื่นของเสียงระนาด (waveform)

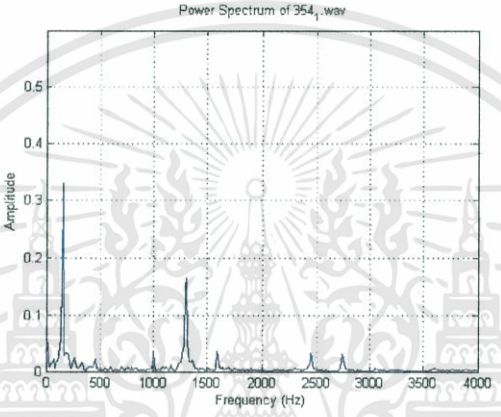
(b) รูปสเปกตรัมของเสียงระนาด

(c) สเปกตรัม 3 มิติ มีตัวแปร 3 ตัว ได้แก่ แกน z คือ ขนาดกำลังของสเปกตรัม, แกน x คือ ช่วงเวลาของแต่ละฮาร์โมนิกส์, แกน y คือ ความถี่ของแต่ละฮาร์โมนิกส์

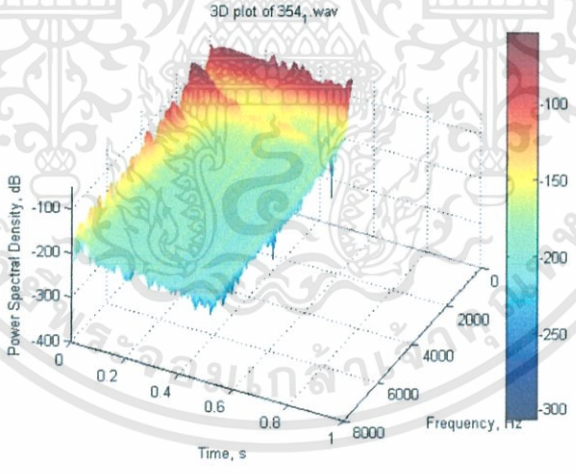
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(a)



(b)



(c)

รูปที่ 3.32 องค์ประกอบของเสียงระนาดทุ้มชิงชันโน้ตที่ 1 (ซอล) ที่ตีด้วยไม้นวมแดง ที่ความถี่มูลฐาน (fo) = 175 Hz. (เสียงเพี้ยนที่สุด)

(a) รูปคลื่นของเสียงระนาด (waveform)

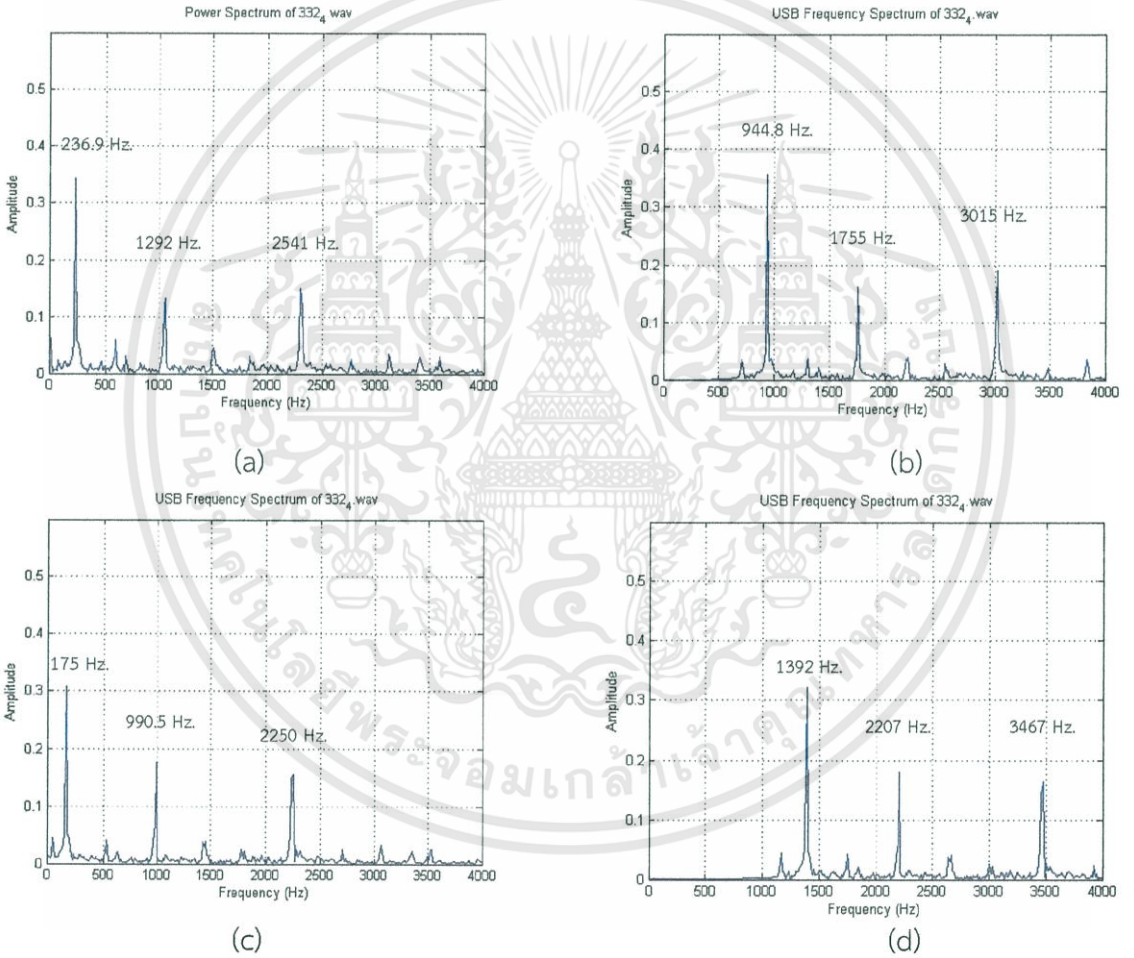
(b) รูปสเปกตรัมของเสียงระนาด

(c) สเปกตรัม 3 มิติ มีตัวแปร 3 ตัว ได้แก่ แกน z คือ ขนาดกำลังของสเปกตรัม, แกน x คือ ช่วงเวลาของแต่ละฮาร์โมนิกส์, แกน y คือ ความถี่ของแต่ละฮาร์โมนิกส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2 การเลื่อนความถี่ (Frequency Shifting) และการแปลงฮิลเบิร์ต(Hilbert Transform)

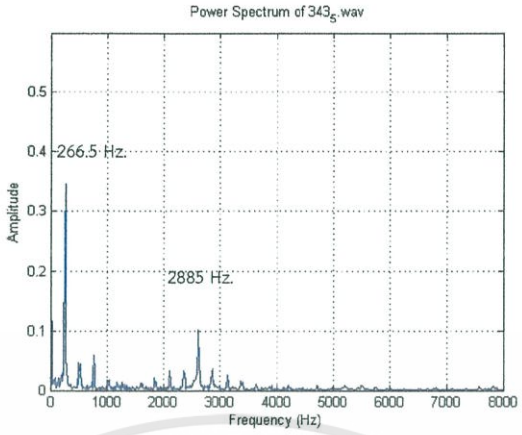
เมื่อได้ค่าความถี่ และความสัมพันธ์ของฮาร์โมนิกส์ของทุกเสียงแล้ว จะนำทฤษฎีการแปลงฮิลเบิร์ต (Hilbert Transform) เข้ามาช่วยในการกรองความถี่ของเสียงโน้ตอ้างอิง (ในที่นี้ใช้เสียงโน้ตที่เพราะที่สุดของแต่ละไม้ตี เป็นเสียงโน้ตอ้างอิง) จากสัญญาณเบสแบนด์ (Baseband) คือ มีสองแถบสัญญาณ (Double-Side Band) เหลือเพียงสัญญาณแถบด้านบน (Upper-Side Band) เท่านั้น ซึ่งเสียงที่ผ่านการแปลงฮิลเบิร์ตนั้นจะทำให้ได้ลักษณะของฮาร์โมนิกส์ และได้เสียงที่ไม่ผิดเพี้ยน โดยจะยกสเปกตรัมความถี่ของเสียงโน้ต ของระนาดแต่ละผืน ผืนละ 1 โน้ตและ 1 ไม้ตี ซึ่งจะเลือกเสียงที่เพี้ยนที่สุด เสียงโน้ตตัวแรก และโน้ตตัวสุดท้าย มาแสดงการเลื่อนความถี่และการแปลงฮิลเบิร์ด



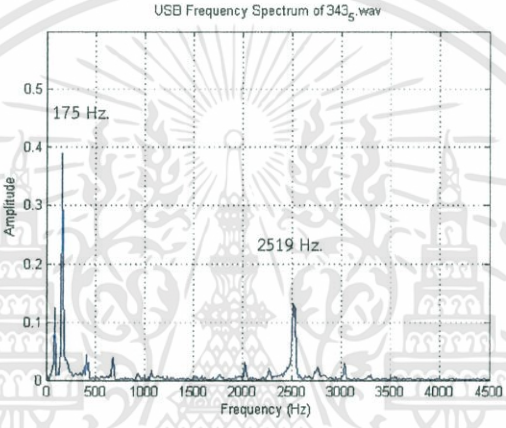
รูปที่ 3.33 สเปกตรัมความถี่ของเสียงระนาดเอกชิงชัน ที่ตีด้วยไม้ x10
โดยความถี่อ้างอิง = 236.9 Hz. (เสียงเพราะที่สุด)

(a) สเปคตรัมความถี่ของเสียงโน้ตที่ 4 (โด) ที่ความถี่มูลฐานของโน้ต = 236.9Hz. (ความถี่อ้างอิง)
(b) สเปคตรัมของเสียงโน้ตที่ถูกเลื่อนไปที่ความถี่สูง fo =944.8 Hz.โดยใช้ความถี่สำหรับการเลื่อน fc =707.9 Hz.
(c) สเปคตรัมของเสียงโน้ตที่ถูกเลื่อนไปที่ความถี่ต่ำ fo =175 Hz.โดยใช้ความถี่สำหรับการเลื่อน fc =-61.9 Hz.
(d) สเปคตรัมของเสียงโน้ตที่ถูกเลื่อนไปที่ความถี่สูง fo =1392 Hz.โดยใช้ความถี่สำหรับการเลื่อน fc=1155.1 Hz.

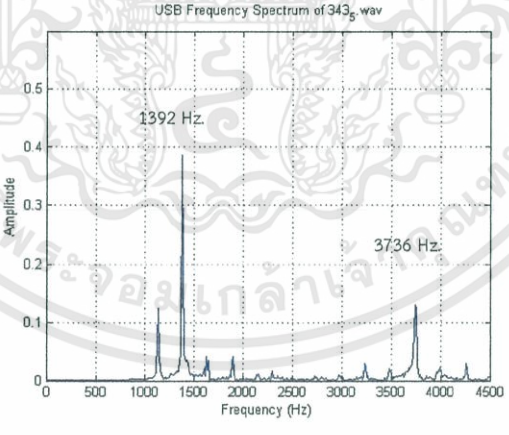
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(a)



(b)

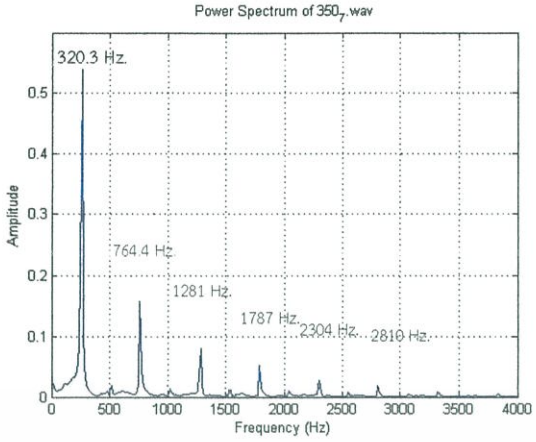


(c)

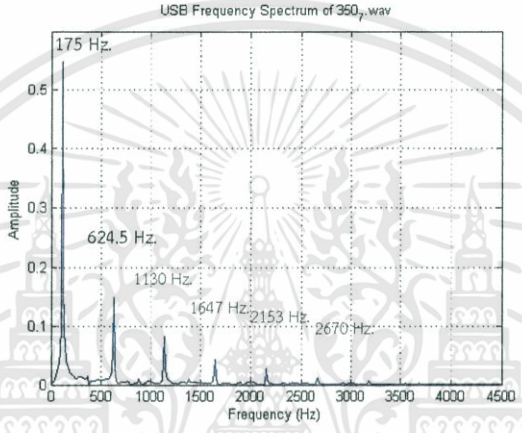
รูปที่ 3.34 สเปกตรัมความถี่ของเสียงระนาดเอกประดู่ ที่ตีด้วยไม้รัก
โดยความถี่อ้างอิง = 266.5 Hz. (เสียงเพราะที่สุด)

(a) สเปคตรัมความถี่ของเสียงโน้ตที่ 5 (เร) ที่ความถี่มูลฐานของโน้ต = 266.5 Hz. (ความถี่อ้างอิง)
(b) สเปคตรัมของเสียงโน้ตที่ถูกเลื่อนไปที่ความถี่ต่ำ fo =175 Hz.โดยใช้ความถี่สำหรับการเลื่อน fc =-91.5 Hz.
(c) สเปคตรัมของเสียงโน้ตที่ถูกเลื่อนไปที่ความถี่สูง fo=1392 Hz.โดยใช้ความถี่สำหรับการเลื่อน fc =1125.5 Hz.

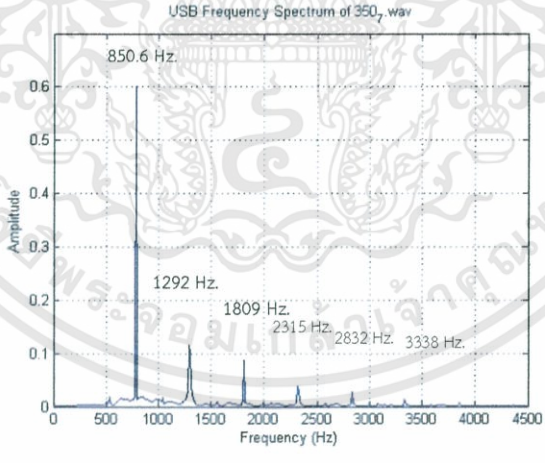
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(a)



(b)

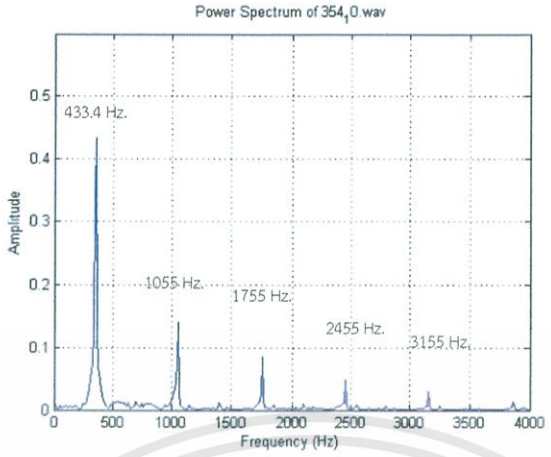


(c)

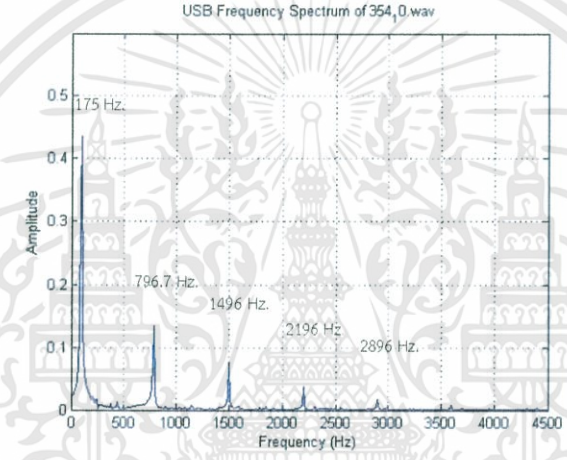
รูปที่ 3.35 สเปกตรัมความถี่ของเสียงระนาดทุ้มไผ่บง ที่ตีด้วยไม้นวมเหลือง
โดยความถี่อ้างอิง = 320.3 Hz. (เสียงเพราะที่สุด)

(a) สเปคตรัมความถี่ของเสียงโน้ตที่ 7 (ฟา) ที่ความถี่มูลฐานของโน้ต = 320.3 Hz. (ความถี่อ้างอิง)
(b) สเปคตรัมของเสียงโน้ตที่ถูกเลื่อนไปที่ความถี่ต่ำ fo =175 Hz.โดยใช้ความถี่สำหรับการเลื่อน fc =-143.5 Hz.
(c) สเปคตรัมของเสียงโน้ตที่ถูกเลื่อนไปที่ความถี่สูง fo=850.6 Hz.โดยใช้ความถี่สำหรับการเลื่อน fc =468.4 Hz

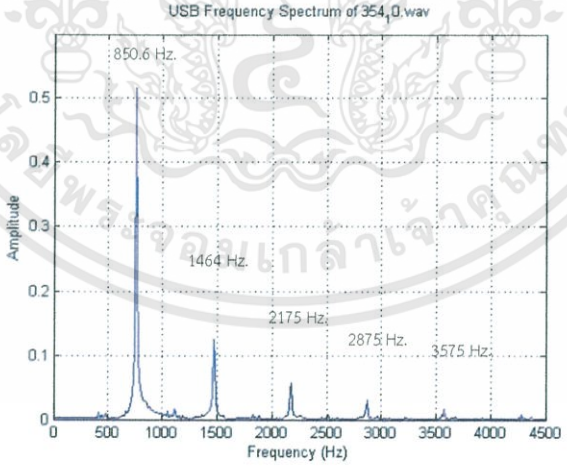
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(a)



(b)



(c)

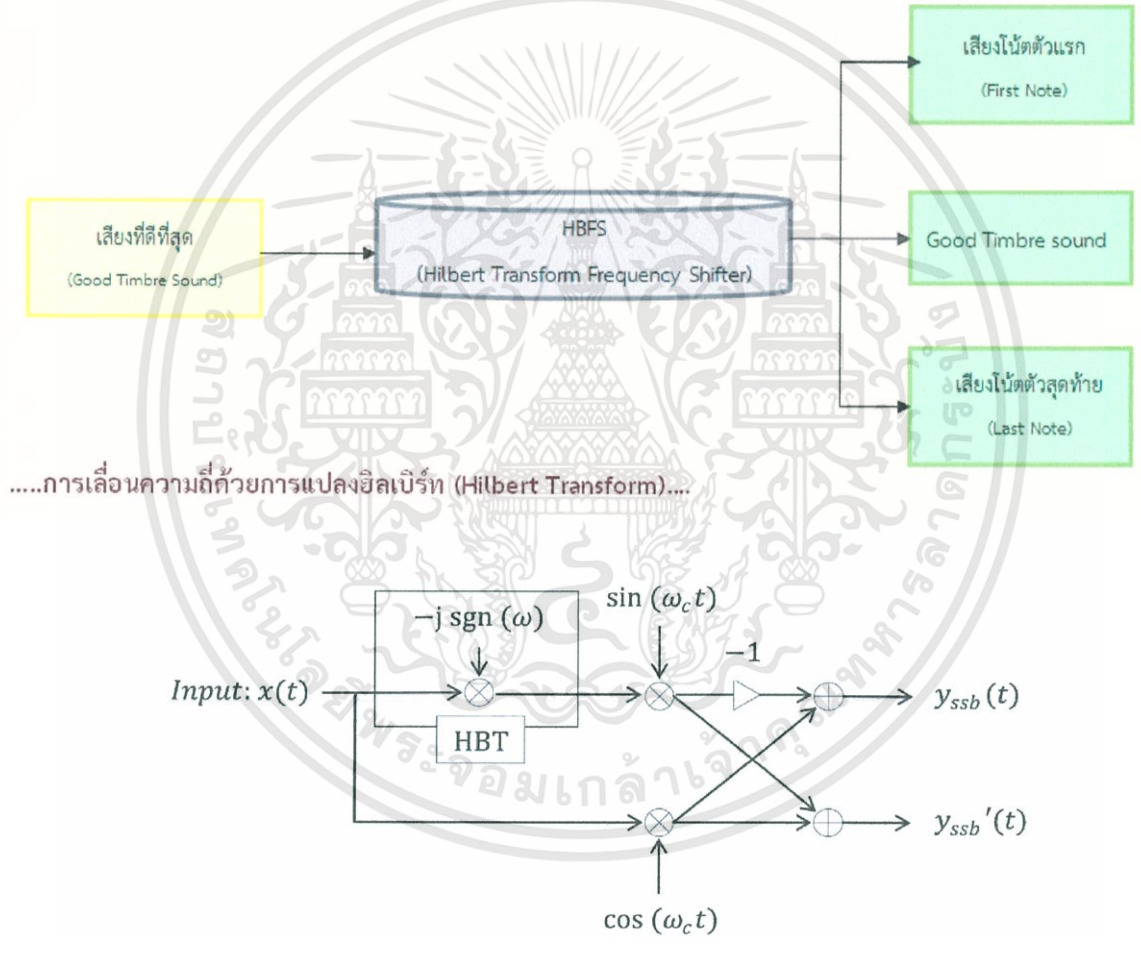
รูปที่ 3.36 สเปกตรัมความถี่ของเสียงระนาดทุ้มชิงชัน ที่ตีด้วยไม้นวมแดง
โดยความถี่อ้างอิง = 433.4 Hz. (เสียงเพราะที่สุด)

(a) สเปคตรัมความถี่ของเสียงโน้ตที่ 10 (ที) ที่ความถี่มูลฐานของโน้ต = 433.4 Hz. (ความถี่อ้างอิง)
(b) สเปคตรัมของเสียงโน้ตที่ถูกเลื่อนไปที่ความถี่ต่ำ fo =175 Hz.โดยใช้ความถี่สำหรับการเลื่อน fc =-258.4 Hz.
(c) สเปคตรัมของเสียงโน้ตที่ถูกเลื่อนไปที่ความถี่สูง fo=850.6 Hz.โดยใช้ความถี่สำหรับการเลื่อน fc =417.2 Hz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
การทดลองและผลการทดลอง

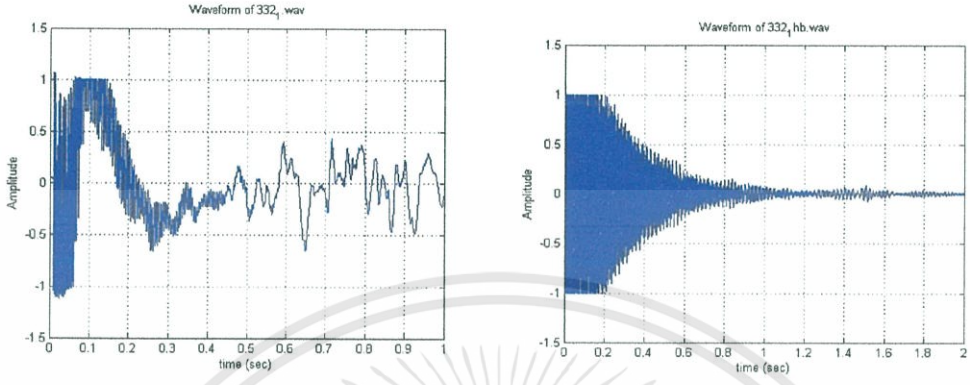
ในบทนี้จะกล่าวถึง**การ**เปรียบเทียบคุณลักษณะของสัญญาณเสียงระนาด โดยเลือกเสียงต้นฉบับที่ถูกบันทึกที่มีลักษณะของเสียงที่ดีที่สุด เทียบกับเสียงที่ผ่านเลื่อนความถี่ด้วย HBFS (Hilbert Transform Frequency Shifter) โดยพิจารณาจากคลื่นความถี่ของเสียง (waveform) และกราฟการกระจายสเปกตรัม 3 มิติ (3-D Spectrum) โดยใช้โปรแกรม MATLAB



รูปที่ 4.1 การเลื่อนความถี่ด้วย HBFS (Hilbert Transform Frequency Shifter)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1 การเปรียบเทียบลักษระของเสียงต้นฉบับและเสียงที่ผ่านการเลื่อนความถี่ด้วย HBFS

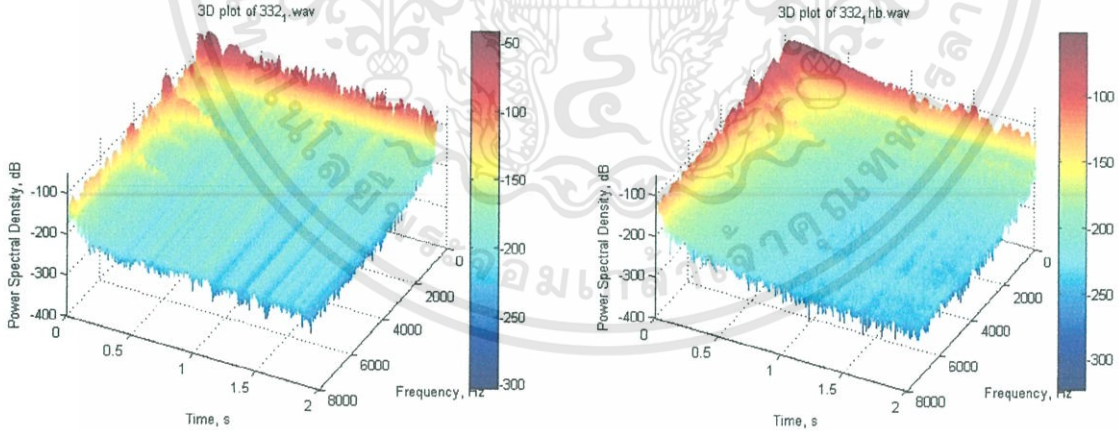


(a) (b)

รูปที่ 4.2 คลื่นของสัญญาณของเสียงระนาดเอกชิงชัน โน้ตที่ 1 ที่ตีด้วยไม้ x10

(a) คลื่นของสัญญาณของเสียงระนาดต้นฉบับโน้ตที่ 1

(b) คลื่นของสัญญาณของเสียงระนาดโน้ตที่ 1 ที่ผ่านการเลื่อนความถี่ด้วย HBFS



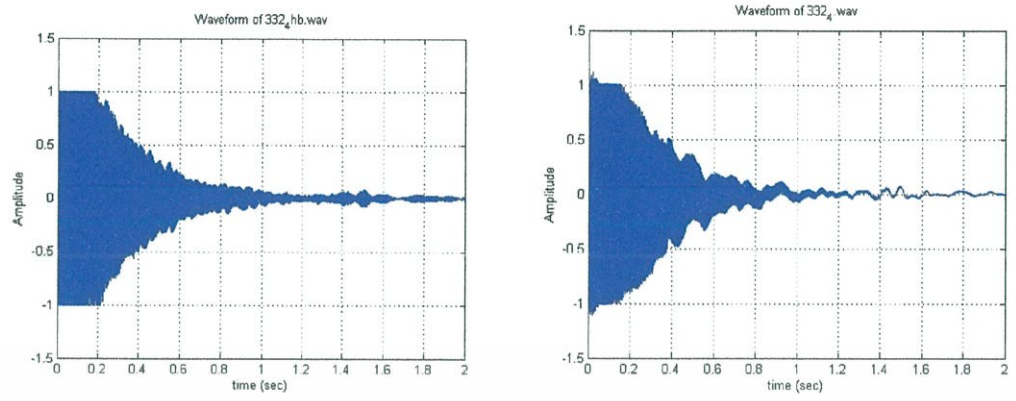
(a) (b)

รูปที่ 4.3 กราฟการกระจายสเปกตรัม 3มิติ ของเสียงระนาดเอกชิงชันโน้ตที่ 1 ตีด้วยไม้นวม x10

(a) กราฟการกระจายสเปกตรัม 3 มิติเสียงระนาดต้นฉบับโน้ตที่ 1

(b) กราฟการกระจายสเปกตรัม 3 มิติของเสียงระนาดโน้ตที่ 1 ที่ผ่านการเลื่อนความถี่ด้วย HBFS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

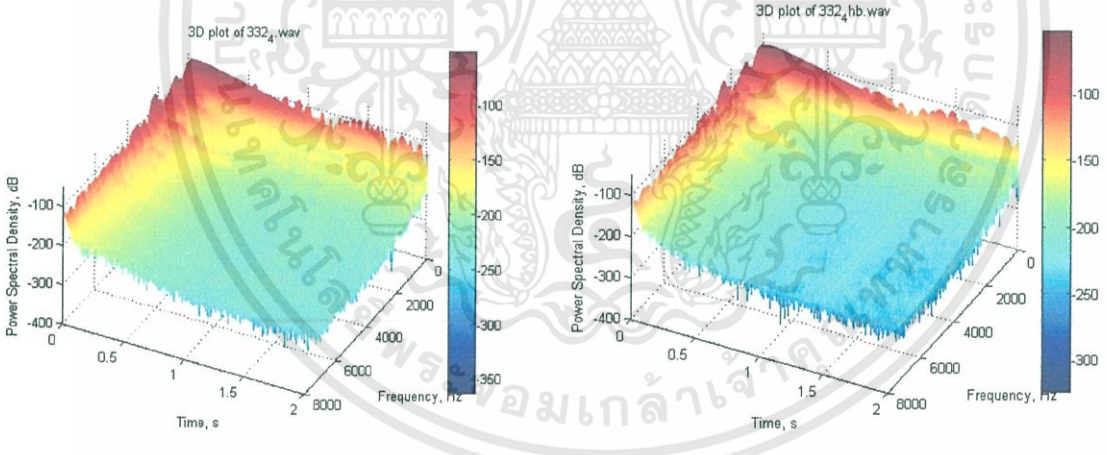


(a) (b)

รูปที่ 4.4 คลื่นของสัญญาณของเสียงระนาดเอกชิงชัน โน้ตที่ 4 ที่ตีด้วยไม้ x10

(a) คลื่นของสัญญาณของเสียงระนาดต้นฉบับโน้ตที่ 4

(b) คลื่นของสัญญาณของเสียงระนาดโน้ตที่ 4 ที่ผ่านการเลื่อนความถี่ด้วย HBFS



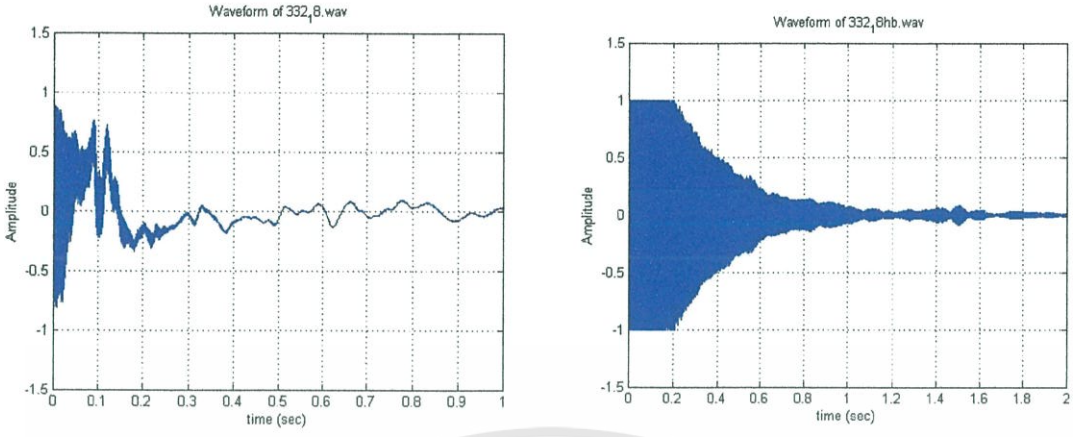
(a) (b)

รูปที่ 4.5 กราฟการกระจายสเปกตรัม 3มิติ ของเสียงระนาดเอกชิงชันโน้ตที่ 4 ตีด้วยไม้ x10

(a) กราฟการกระจายสเปกตรัม 3 มิติเสียงระนาดต้นฉบับโน้ตที่ 4

(b) กราฟการกระจายสเปกตรัม 3 มิติของเสียงระนาดโน้ตที่ 4 ที่ผ่านการเลื่อนความถี่ด้วย HBFS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

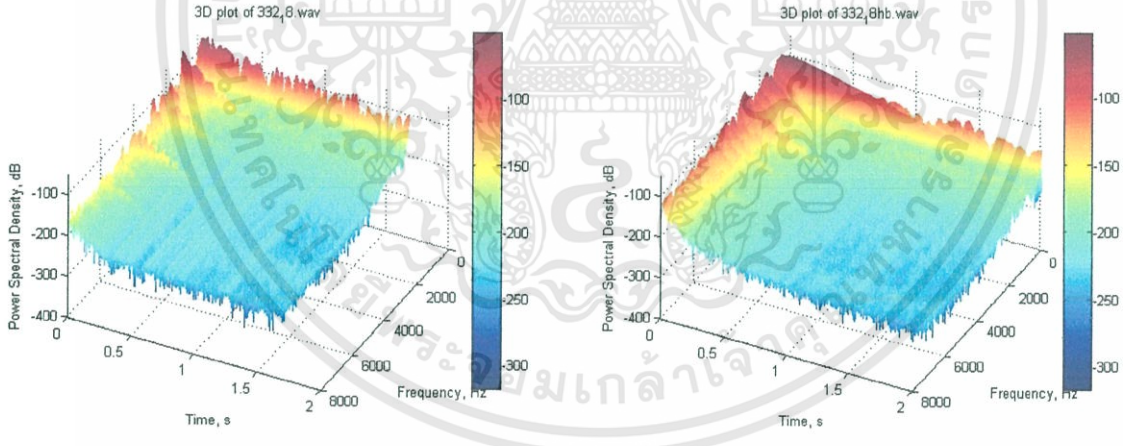


(a) (b)

รูปที่ 4.6 คลื่นของสัญญาณของเสียงระนาดเอกชิงชัน โน้ตที่ 18 ที่ตีด้วยไม้ x10

(a) คลื่นของสัญญาณของเสียงระนาดต้นฉบับโน้ตที่ 18

(b) คลื่นของสัญญาณของเสียงระนาดโน้ตที่ 18 ที่ผ่านการเลื่อนความถี่ด้วย HBFS



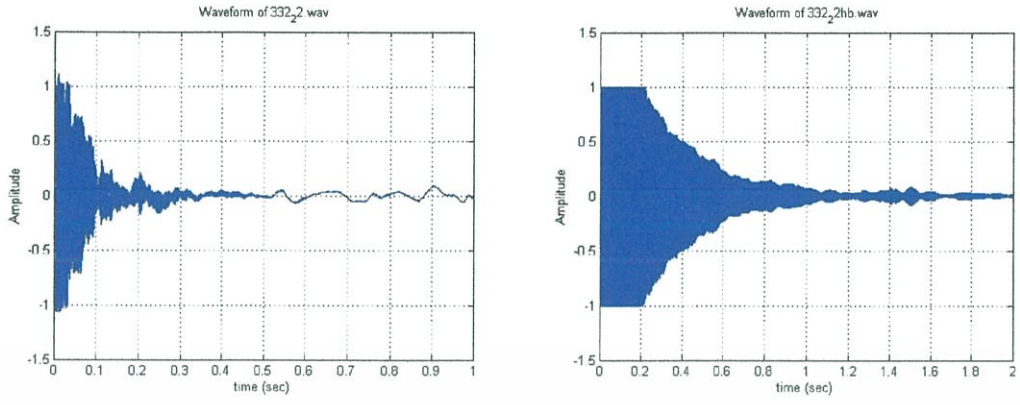
(a) (b)

รูปที่ 4.7 กราฟการกระจายสเปกตรัม 3มิติ ของเสียงระนาดเอกชิงชันโน้ตที่ 18 ตีด้วยไม้ x10

(a) กราฟการกระจายสเปกตรัม 3 มิติเสียงระนาดต้นฉบับโน้ตที่ 18

(b) กราฟการกระจายสเปกตรัม 3 มิติของเสียงระนาดโน้ตที่18 ที่ผ่านการเลื่อนความถี่ด้วย HBFS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

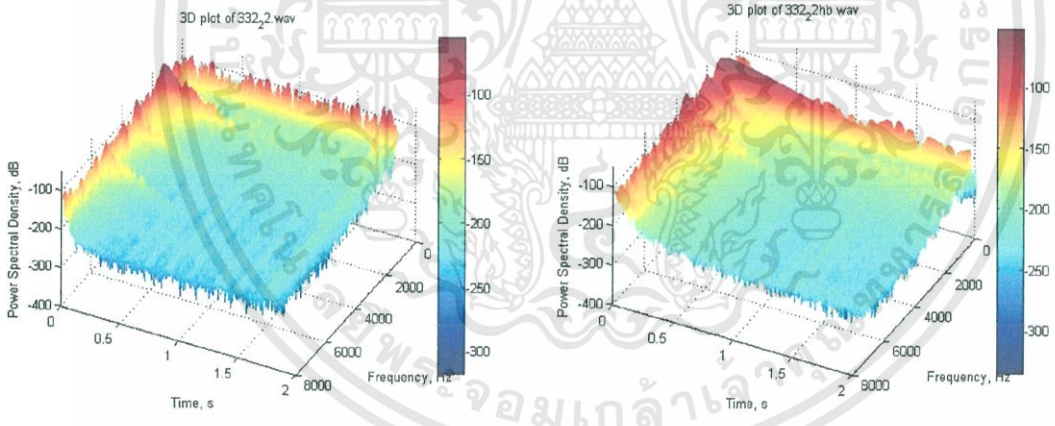


(a) (b)

รูปที่ 4.8 คลื่นของสัญญาณของเสียงระนาดเอกชิงชัน โน้ตที่ 22 ที่ตีด้วยไม้ x10

(a) คลื่นของสัญญาณของเสียงระนาดต้นฉบับโน้ตที่ 22

(b) คลื่นของสัญญาณของเสียงระนาดโน้ตที่ 22 ที่ผ่านการเลื่อนความถี่ด้วย HBFS



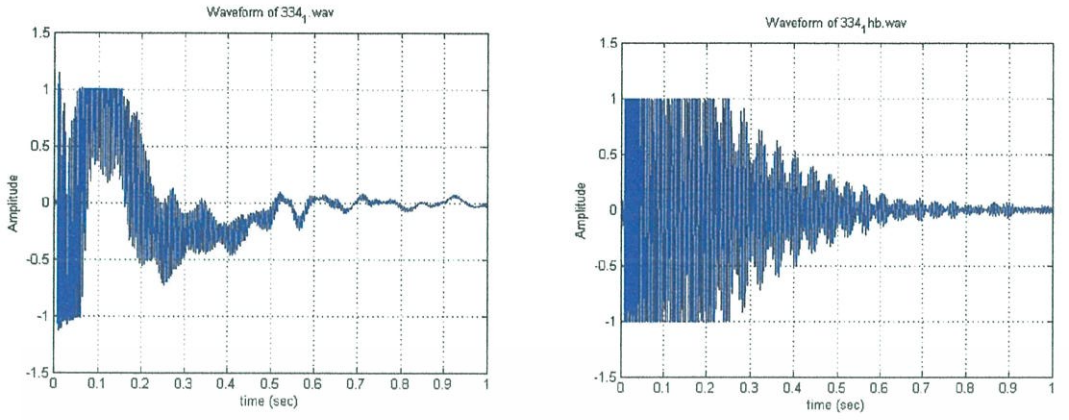
(a) (b)

รูปที่ 4.9 กราฟการกระจายสเปกตรัม 3มิติ ของเสียงระนาดเอกชิงชันโน้ตที่ 22 ตีด้วยไม้ x10

(a) กราฟการกระจายสเปกตรัม 3 มิติเสียงระนาดต้นฉบับโน้ตที่ 22

(b) กราฟการกระจายสเปกตรัม 3 มิติของเสียงระนาดโน้ตที่ 22ที่ผ่านการเลื่อนความถี่ด้วย HBFS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

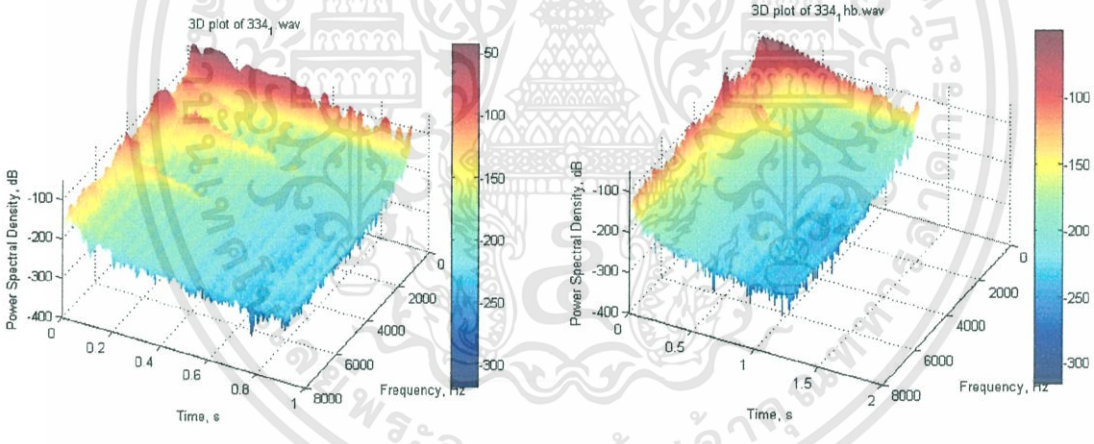


(a) (b)

รูปที่ 4.10 คลื่นของสัญญาณของเสียงระนาดเอกชิงชัน โน้ตที่ 1 ที่ตีด้วยไม้รัก

(a) คลื่นของสัญญาณของเสียงระนาดต้นฉบับโน้ตที่ 1

(b) คลื่นของสัญญาณของเสียงระนาดโน้ตที่ 1 ที่ผ่านการเลื่อนความถี่ด้วย HBFS



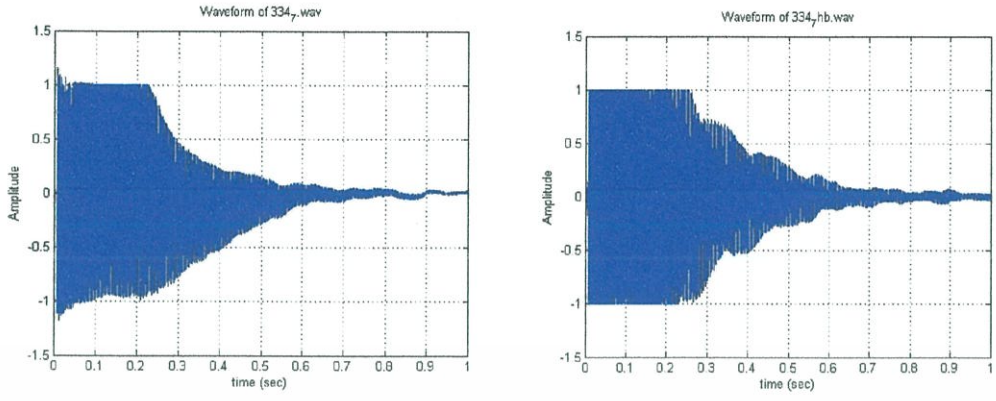
(a) (b)

รูปที่ 4.11 กราฟการกระจายสเปกตรัม 3มิติ ของเสียงระนาดเอกชิงชันโน้ตที่1 ตีด้วยไม้รัก

(a) กราฟการกระจายสเปกตรัม 3 มิติเสียงระนาดต้นฉบับโน้ตที่ 1

(b) กราฟการกระจายสเปกตรัม 3 มิติของเสียงระนาดโน้ตที่ 1 ที่ผ่านการเลื่อนความถี่ด้วย HBFS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

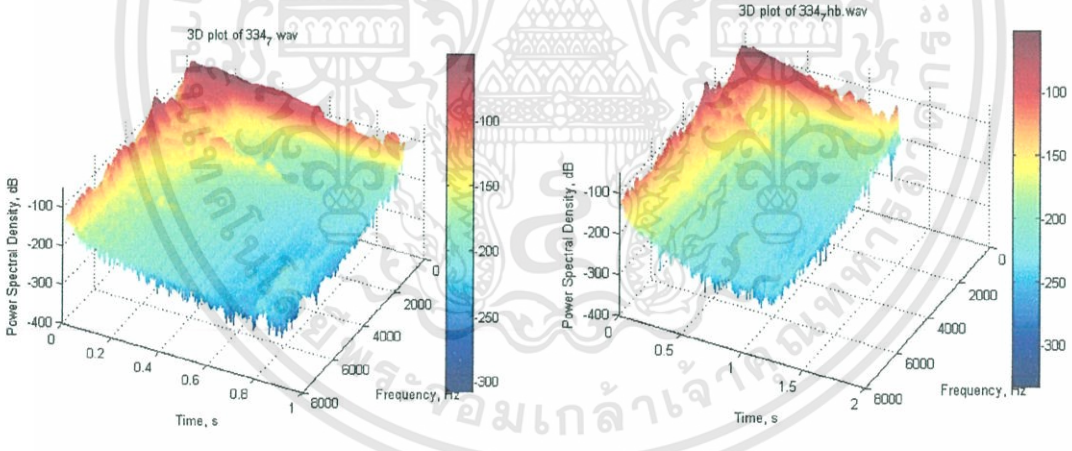


(a) (b)

รูปที่ 4.12 คลื่นของสัญญาณของเสียงระนาดเอกชิงชัน โน้ตที่ 7 ที่ตีด้วยไม้รัก

(a) คลื่นของสัญญาณของเสียงระนาดต้นฉบับโน้ตที่ 7

(b) คลื่นของสัญญาณของเสียงระนาดโน้ตที่ 7 ที่ผ่านการเลื่อนความถี่ด้วย HBFS



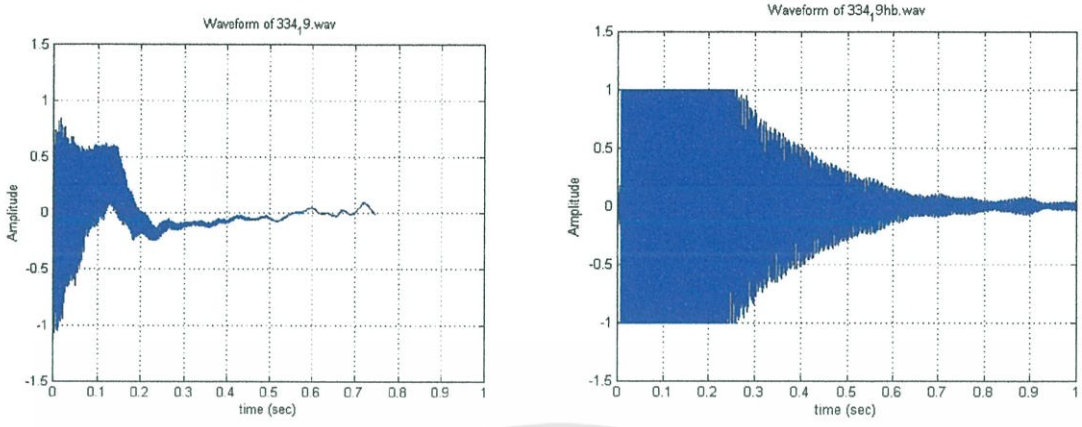
(a) (b)

รูปที่ 4.13 กราฟการกระจายสเปกตรัม 3มิติ ของเสียงระนาดเอกชิงชันโน้ตที่ 7 ตีด้วยไม้รัก

(a) กราฟการกระจายสเปกตรัม 3 มิติเสียงระนาดต้นฉบับโน้ตที่ 7

(b) กราฟการกระจายสเปกตรัม 3 มิติของเสียงระนาดโน้ตที่ 7 ที่ผ่านการเลื่อนความถี่ด้วย HBFS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

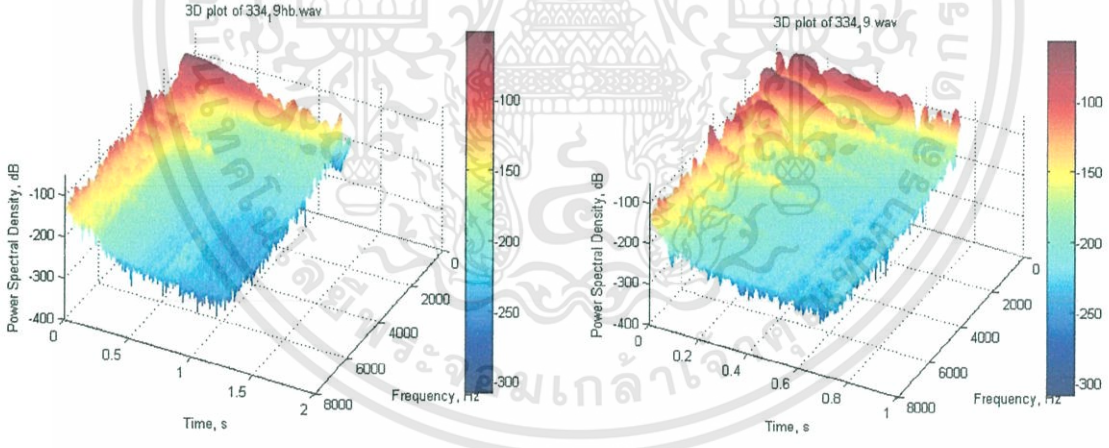


(a) (b)

รูปที่ 4.14 คลื่นของสัญญาณของเสียงระนาดเอกชิงชัน โน้ตที่ 19 ที่ตีด้วยไม้รัก

(a) คลื่นของสัญญาณของเสียงระนาดต้นฉบับโน้ตที่ 19

(b) คลื่นของสัญญาณของเสียงระนาดโน้ตที่ 19 ที่ผ่านการเลื่อนความถี่ด้วย HBFS



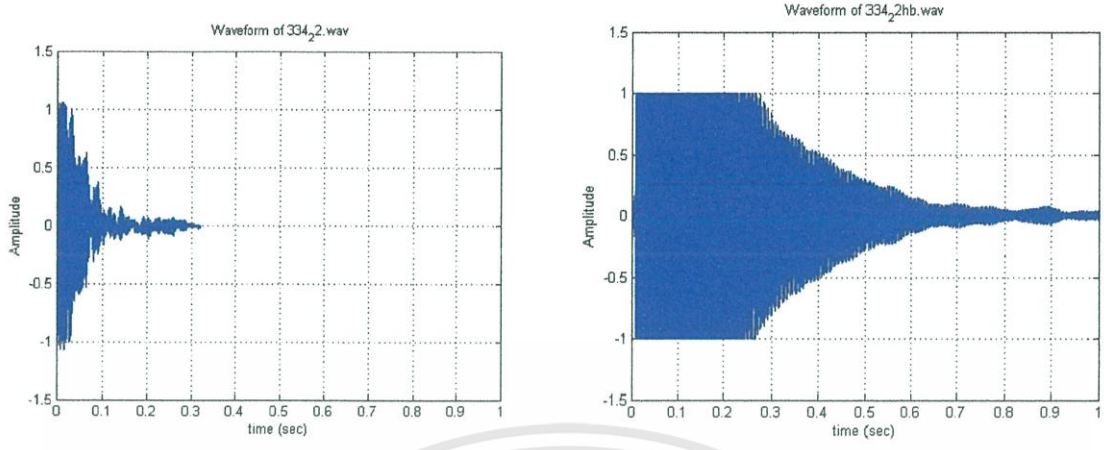
(a) (b)

รูปที่ 4.15 กราฟการกระจายสเปกตรัม 3มิติ ของเสียงระนาดเอกชิงชันโน้ตที่ 19 ตีด้วยไม้รัก

(a) กราฟการกระจายสเปกตรัม 3 มิติเสียงระนาดต้นฉบับโน้ตที่ 19

(b) กราฟการกระจายสเปกตรัม 3 มิติของเสียงระนาดโน้ตที่ 19ที่ผ่านการเลื่อนความถี่ด้วย HBFS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

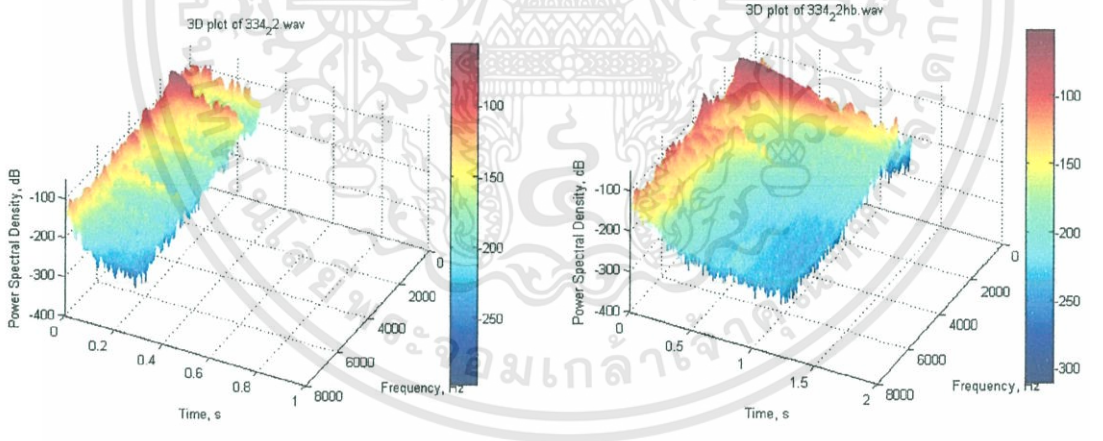


(a) (b)

รูปที่ 4.16 คลื่นของสัญญาณของเสียงระนาดเอกชิงชัน โน้ตที่ 22 ที่ตีด้วยไม้รัก

(a) คลื่นของสัญญาณของเสียงระนาดต้นฉบับโน้ตที่ 22

(b) คลื่นของสัญญาณของเสียงระนาดโน้ตที่ 22 ที่ผ่านการเลื่อนความถี่ด้วย HBFS



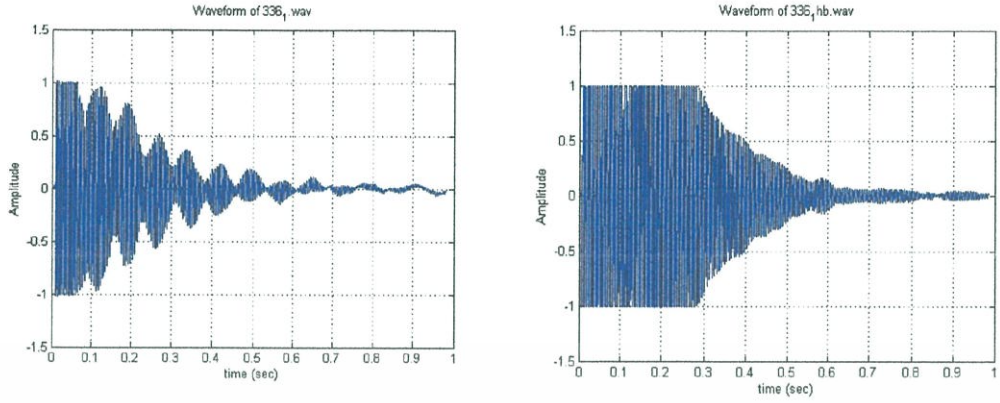
(a) (b)

รูปที่ 4.17 กราฟการกระจายสเปกตรัม 3มิติ ของเสียงระนาดเอกชิงชันโน้ตที่ 22 ตีด้วยไม้รัก

(a) กราฟการกระจายสเปกตรัม 3 มิติเสียงระนาดต้นฉบับโน้ตที่ 22

(b) กราฟการกระจายสเปกตรัม 3 มิติของเสียงระนาดโน้ตที่ 22ที่ผ่านการเลื่อนความถี่ด้วย HBFS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

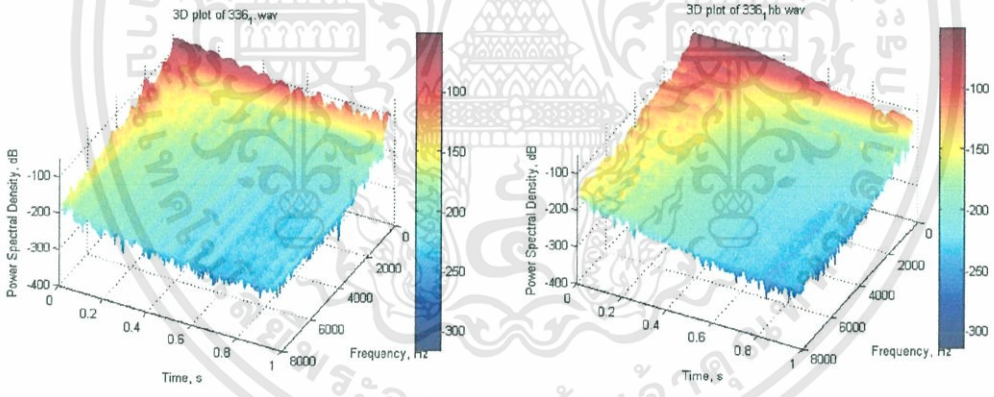


(a) (b)

รูปที่ 4.18 คลื่นของสัญญาณของเสียงระนาดเอกชิงชัน โน้ตที่ 1ที่ตีด้วยไม้นวมเหลือง

(a) คลื่นของสัญญาณของเสียงระนาดต้นฉบับโน้ตที่ 1

(b) คลื่นของสัญญาณของเสียงระนาดโน้ตที่ 1 ที่ผ่านการเลื่อนความถี่ด้วย HBFS



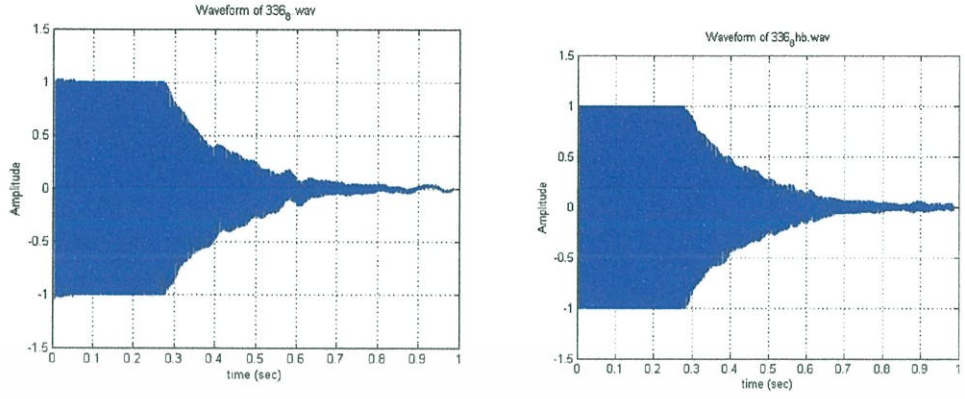
(a) (b)

รูปที่ 4.19 งกราฟการกระจายสเปกตรัม 3มิติ ของเสียงระนาดเอกชิงชันโน้ตที่ 1 ตีด้วยไม้นวมเหลือง

(a) กราฟการกระจายสเปกตรัม 3 มิติเสียงระนาดต้นฉบับโน้ตที่ 1

(b) กราฟการกระจายสเปกตรัม 3 มิติของเสียงระนาดโน้ตที่ 1 ที่ผ่านการเลื่อนความถี่ด้วย HBFS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

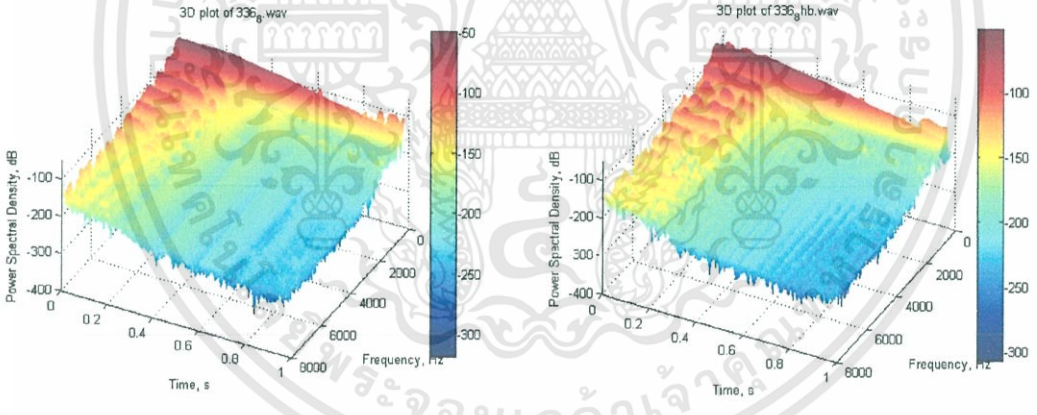


(a) (b)

รูปที่ 4.20 คลื่นของสัญญาณของเสียงระนาดเอกชิงชัน โน้ตที่ 8 ที่ตีด้วยไม้นวมเหลือง

(a) คลื่นของสัญญาณของเสียงระนาดต้นฉบับโน้ตที่ 8

(b) คลื่นของสัญญาณของเสียงระนาดโน้ตที่ 8 ที่ผ่านการเลื่อนความถี่ด้วย HBFS



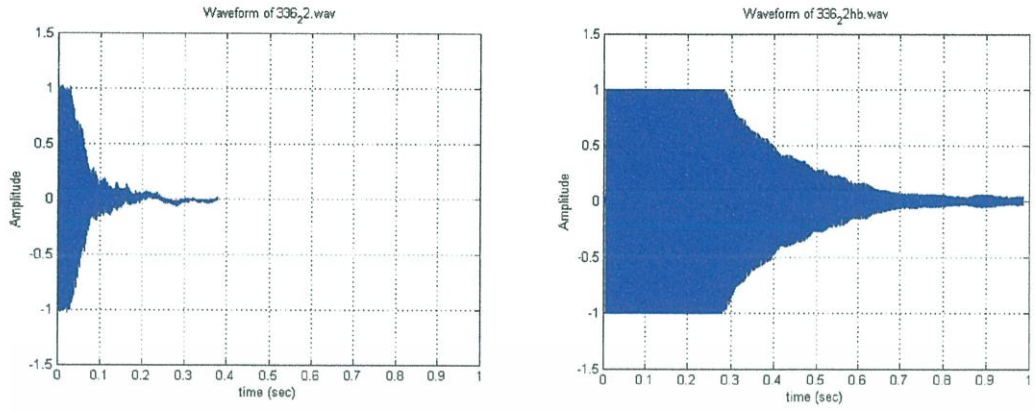
(a) (b)

รูปที่ 4.21 กราฟการกระจายสเปกตรัม 3มิติ ของเสียงระนาดเอกชิงชันโน้ตที่ 8 ตีด้วยไม้นวมเหลือง

(a) กราฟการกระจายสเปกตรัม 3 มิติเสียงระนาดต้นฉบับโน้ตที่ 8

(b) กราฟการกระจายสเปกตรัม 3 มิติของเสียงระนาดโน้ตที่ 8 ที่ผ่านการเลื่อนความถี่ด้วย HBFS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

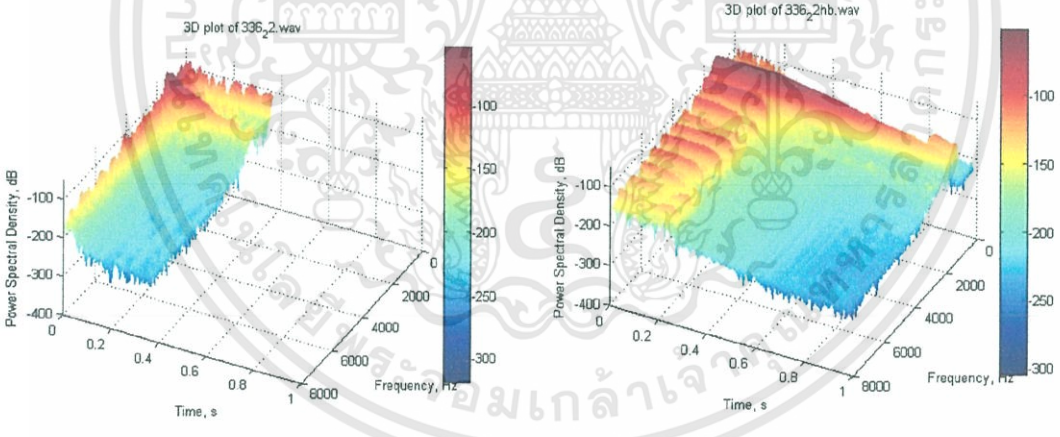


(a) (b)

รูปที่ 4.22 คลื่นของสัญญาณของเสียงระนาดเอกชิงชัน โน้ตที่ 22 ที่ตีด้วยไม้นวมเหลือง

(a) คลื่นของสัญญาณของเสียงระนาดต้นฉบับโน้ตที่ 22

(b) คลื่นของสัญญาณของเสียงระนาดโน้ตที่ 22 ที่ผ่านการเลื่อนความถี่ด้วย HBFS



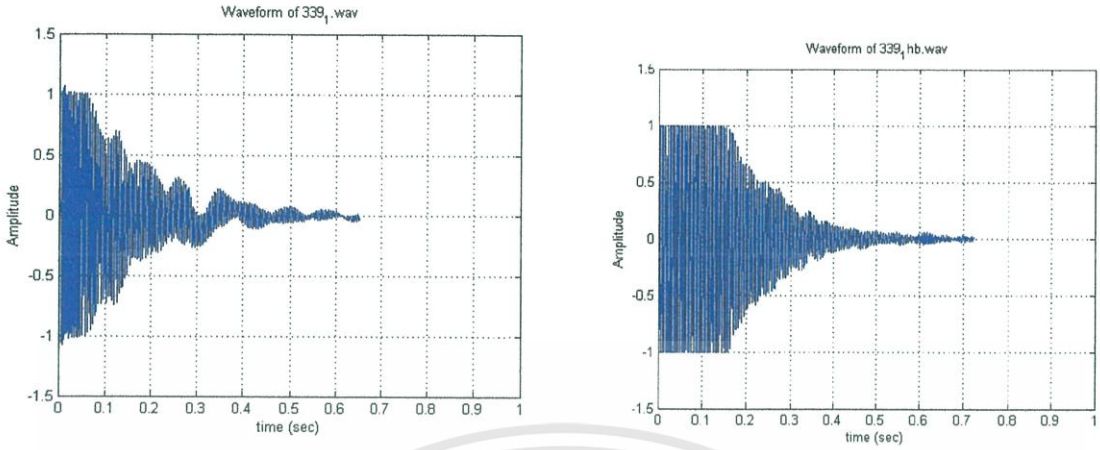
(a) (b)

รูปที่ 4.23 กราฟการกระจายสเปกตรัม 3มิติ ของเสียงระนาดเอกชิงชันโน้ตที่22 ตีด้วยไม้นวมเหลือง

(a) กราฟการกระจายสเปกตรัม 3 มิติเสียงระนาดต้นฉบับโน้ตที่ 22

(b) กราฟการกระจายสเปกตรัม 3 มิติของเสียงระนาดโน้ตที่ 22ที่ผ่านการเลื่อนความถี่ด้วย HBFS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

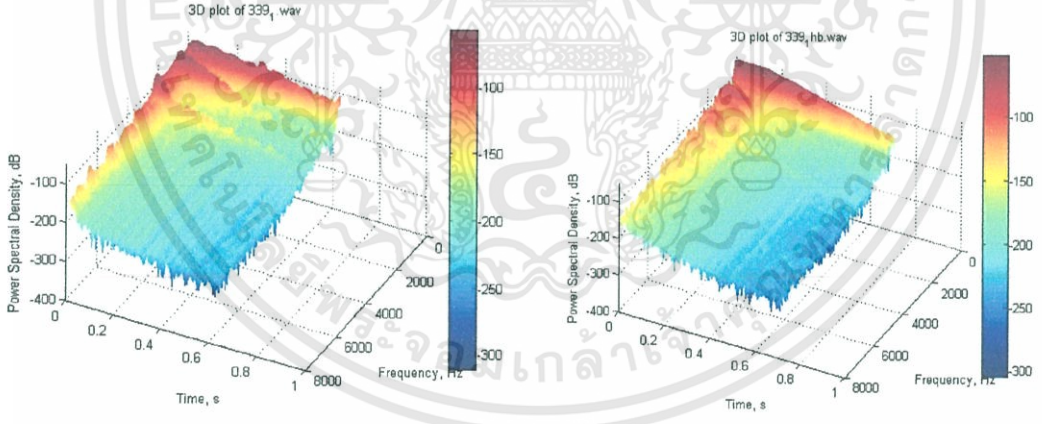


(a) (b)

รูปที่ 4.24 คลื่นของสัญญาณของเสียงระนาดเอกชิงชัน โน้ตที่ 1 ที่ตีด้วยไม้นวมขียว

(a) คลื่นของสัญญาณของเสียงระนาดต้นฉบับโน้ตที่ 1

(b) คลื่นของสัญญาณของเสียงระนาดโน้ตที่ 1 ที่ผ่านการเลื่อนความถี่ด้วย HBFS



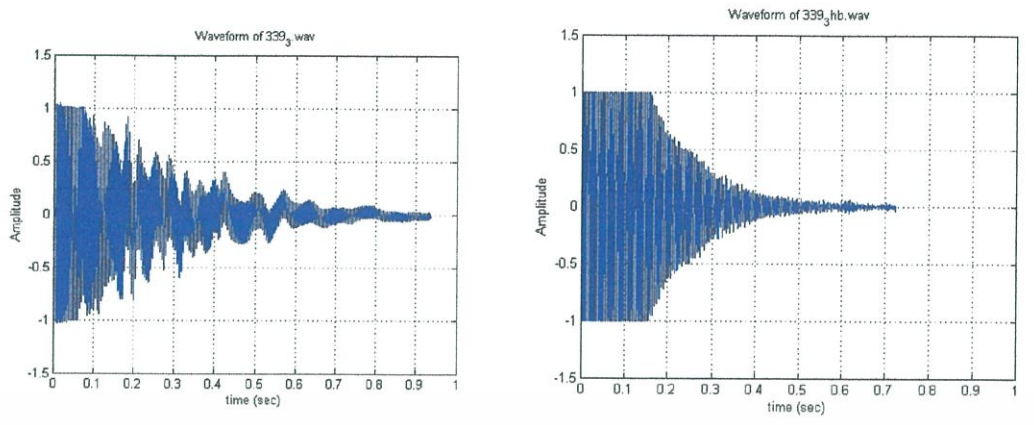
(a) (b)

รูปที่ 4.25 กราฟการกระจายสเปกตรัม 3มิติ ของเสียงระนาดเอกชิงชันโน้ตที่ 1 ตีด้วยไม้นวมเขียว

(a) กราฟการกระจายสเปกตรัม 3 มิติเสียงระนาดต้นฉบับโน้ตที่ 1

(b) กราฟการกระจายสเปกตรัม 3 มิติของเสียงระนาดโน้ตที่ 1 ที่ผ่านการเลื่อนความถี่ด้วย HBFS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

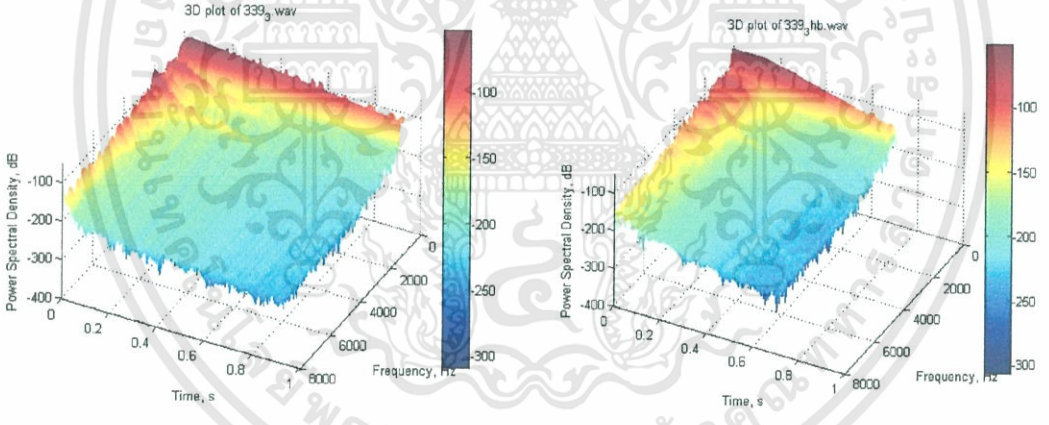


(a) (b)

รูปที่ 4.26 คลื่นของสัญญาณของเสียงระนาดเอกชิงชัน โน้ตที่ 3 ที่ตีด้วยไม้นวมขียว

(a) คลื่นของสัญญาณของเสียงระนาดต้นฉบับโน้ตที่ 3

(b) คลื่นของสัญญาณของเสียงระนาดโน้ตที่ 3 ที่ผ่านการเลื่อนความถี่ด้วย HBFS



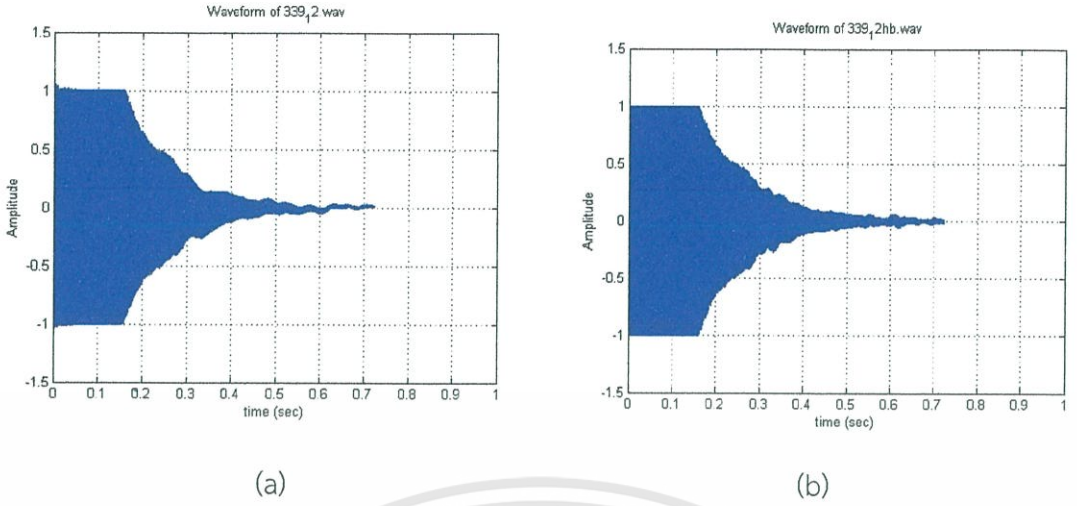
(a) (b)

รูปที่ 4.27 กราฟการกระจายสเปกตรัม 3มิติ ของเสียงระนาดเอกชิงชันโน้ตที่ 3 ตีด้วยไม้นวมเขียว

(a) กราฟการกระจายสเปกตรัม 3 มิติเสียงระนาดต้นฉบับโน้ตที่ 3

(b) กราฟการกระจายสเปกตรัม 3 มิติของเสียงระนาดโน้ตที่ 3 ที่ผ่านการเลื่อนความถี่ด้วย HBFS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

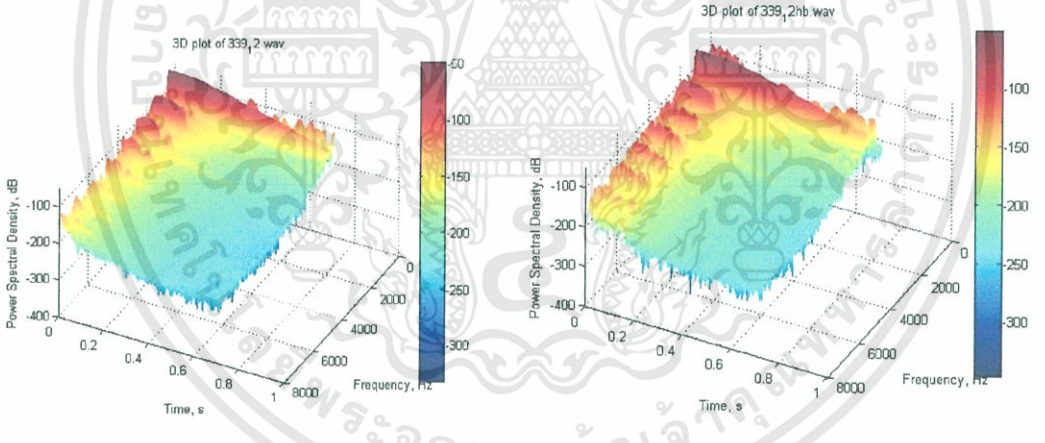


(a) (b)

รูปที่ 4.28 คลื่นของสัญญาณของเสียงระนาดเอกชิงชัน โน้ตที่ 12 ที่ตีด้วยไม้นวมขียว

(a) คลื่นของสัญญาณของเสียงระนาดต้นฉบับโน้ตที่ 12

(b) คลื่นของสัญญาณของเสียงระนาดโน้ตที่ 12 ที่ผ่านการเลื่อนความถี่ด้วย HBFS



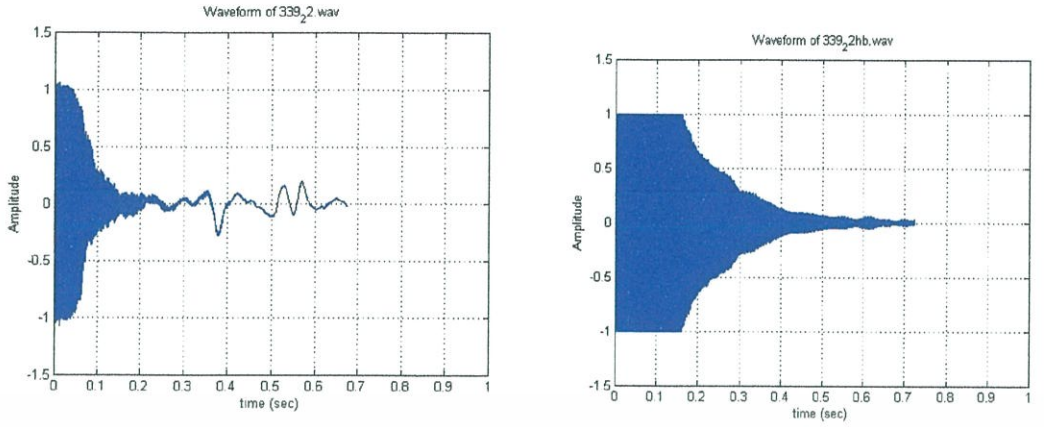
(a) (b)

รูปที่ 4.29 กราฟการกระจายสเปกตรัม 3มิติ ของเสียงระนาดเอกชิงชันโน้ตที่ 12 ตีด้วยไม้นวมเขียว

(a) กราฟการกระจายสเปกตรัม 3 มิติเสียงระนาดต้นฉบับโน้ตที่ 12

(b) กราฟการกระจายสเปกตรัม 3 มิติของเสียงระนาดโน้ตที่12 ที่ผ่านการเลื่อนความถี่ด้วย HBFS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

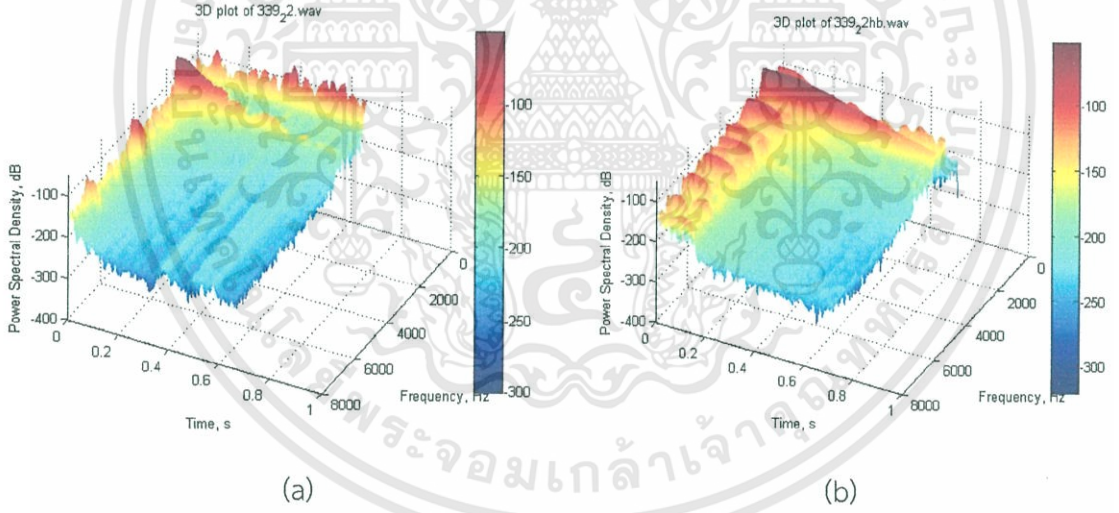


(a) (b)

รูปที่ 4.30 คลื่นของสัญญาณของเสียงระนาดเอกชิงชัน โน้ตที่ 22 ที่ตีด้วยไม้นวมขียว

(a) คลื่นของสัญญาณของเสียงระนาดต้นฉบับโน้ตที่ 22

(b) คลื่นของสัญญาณของเสียงระนาดโน้ตที่ 22 ที่ผ่านการเลื่อนความถี่ด้วย HBFS



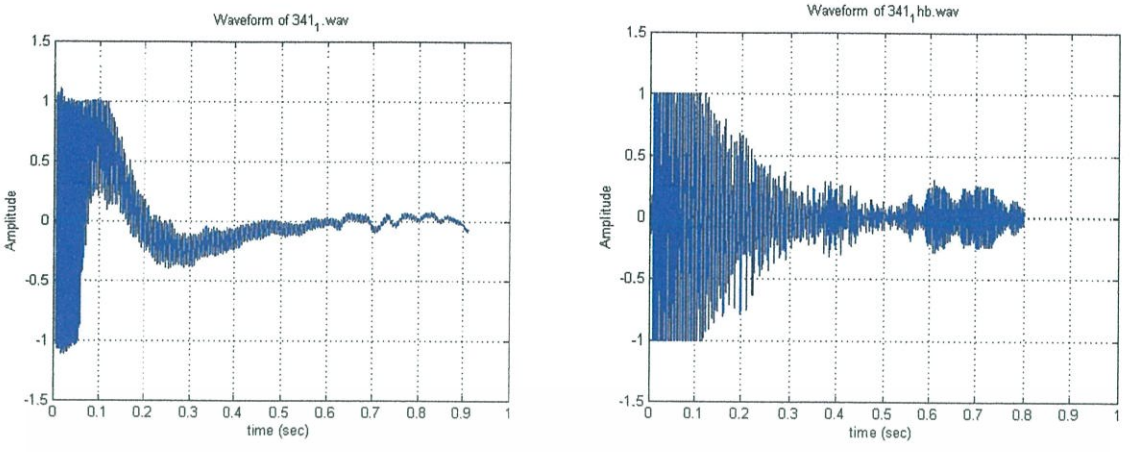
(a) (b)

รูปที่ 4.31 กราฟการกระจายสเปกตรัม 3มิติ ของเสียงระนาดเอกชิงชันโน้ตที่ 22 ตีด้วยไม้นวมเขียว

(a) กราฟการกระจายสเปกตรัม 3 มิติเสียงระนาดต้นฉบับโน้ตที่ 22

(b) กราฟการกระจายสเปกตรัม 3 มิติของเสียงระนาดโน้ตที่22 ที่ผ่านการเลื่อนความถี่ด้วย HBFS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

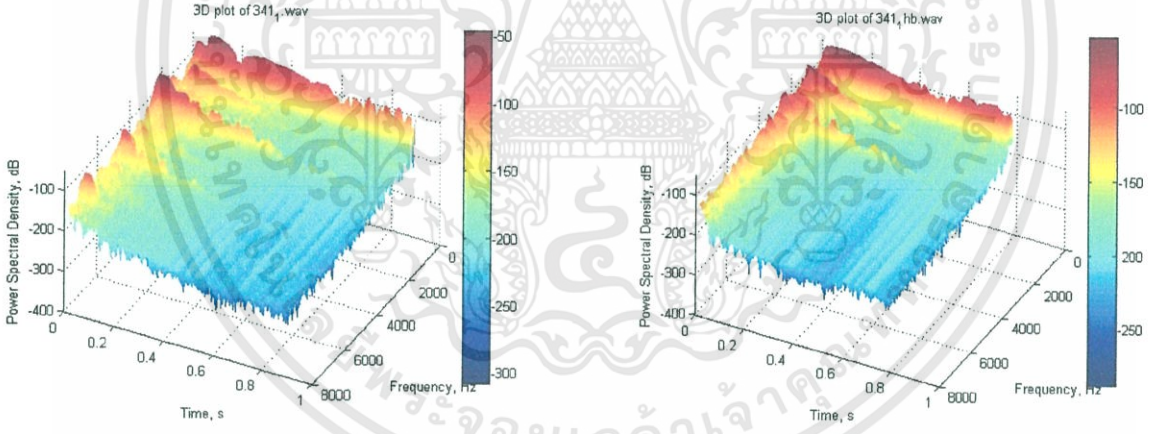


(a) (b)

รูปที่ 4.32 คลื่นของสัญญาณของเสียงระนาดเอกประดู่ โน้ตที่ 1 ที่ตีด้วยไม้ x10

(a) คลื่นของสัญญาณของเสียงระนาดต้นฉบับโน้ตที่ 1

(b) คลื่นของสัญญาณของเสียงระนาดโน้ตที่ 1 ที่ผ่านการเลื่อนความถี่ด้วย HBFS



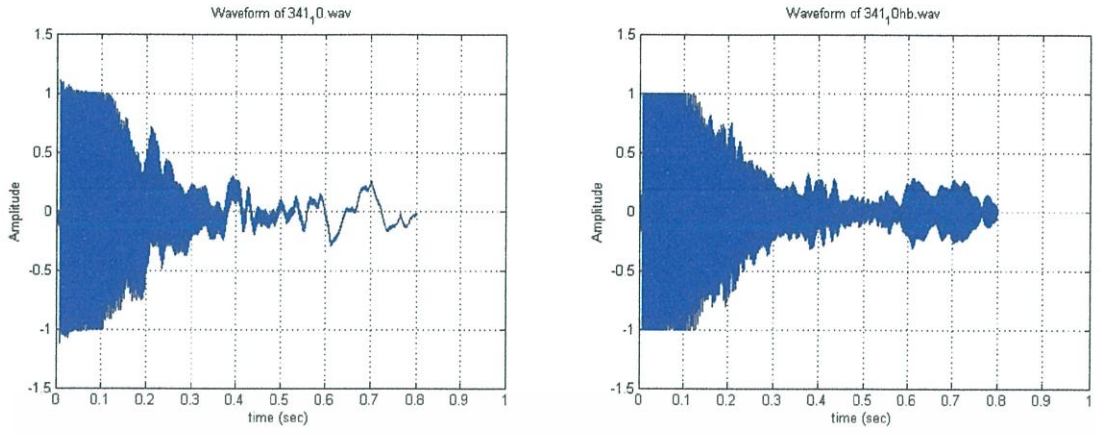
(a) (b)

รูปที่ 4.33 กราฟการกระจายสเปกตรัม 3มิติ ของเสียงระนาดเอกประดู่ โน้ตที่ 1 ที่ตีด้วยไม้ x10

(a) กราฟการกระจายสเปกตรัม 3 มิติเสียงระนาดต้นฉบับโน้ตที่ 1

(b) กราฟการกระจายสเปกตรัม 3 มิติของเสียงระนาดโน้ตที่ 1 ที่ผ่านการเลื่อนความถี่ด้วย HBFS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

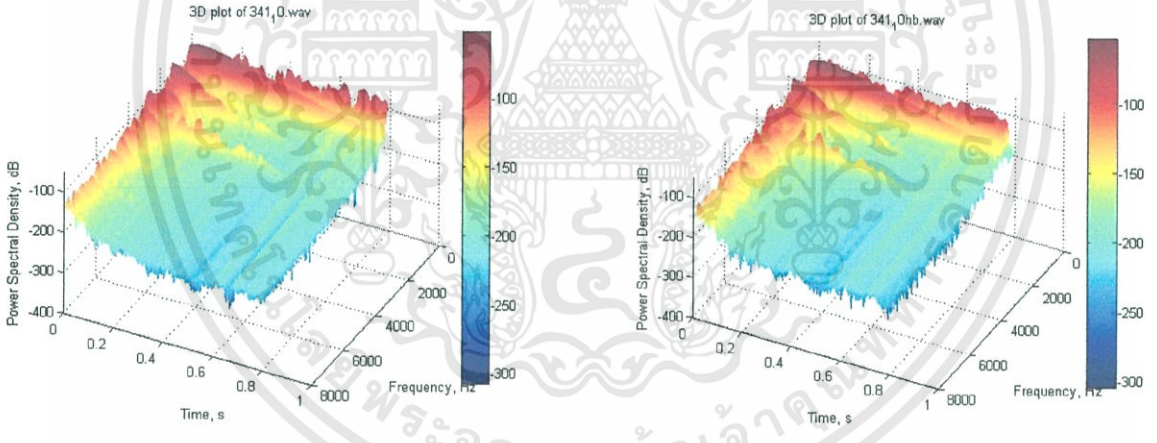


(a) (b)

รูปที่ 4.34 คลื่นของสัญญาณของเสียงระนาดเอกประดู่ โน้ตที่ 10 (เสียงเพราะที่สุด) ที่ตีด้วยไม้ x10

(a) คลื่นของสัญญาณของเสียงระนาดต้นฉบับโน้ตที่ 10

(b) คลื่นของสัญญาณของเสียงระนาดโน้ตที่ 10 ที่ผ่านการเลื่อนความถี่ด้วย HBFS



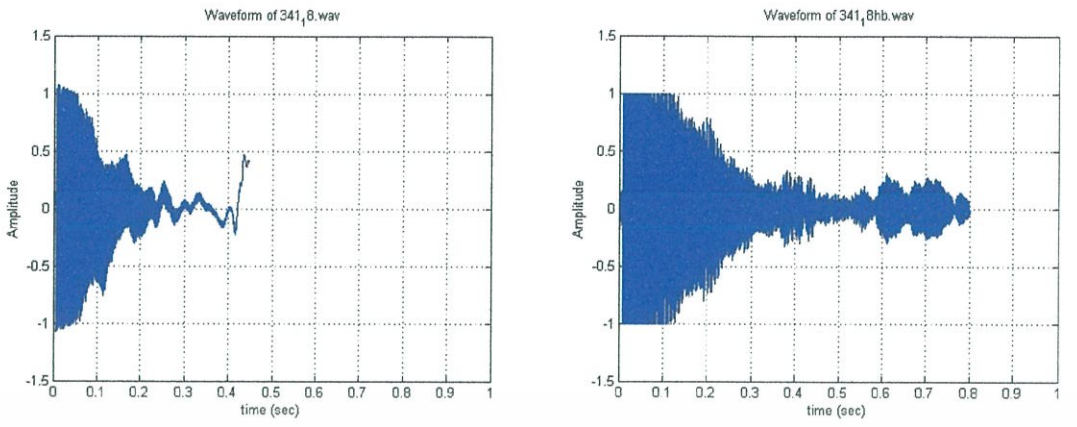
(a) (b)

รูปที่ 4.35 กราฟการกระจายสเปกตรัม 3มิติ ของเสียงระนาดเอกประดู่ โน้ตที่ 10 ที่ตีด้วยไม้ x10

(a) กราฟการกระจายสเปกตรัม 3 มิติเสียงระนาดต้นฉบับโน้ตที่ 10

(b) กราฟการกระจายสเปกตรัม 3 มิติของเสียงระนาดโน้ตที่ 10 ที่ผ่านการเลื่อนความถี่ด้วย HBFS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

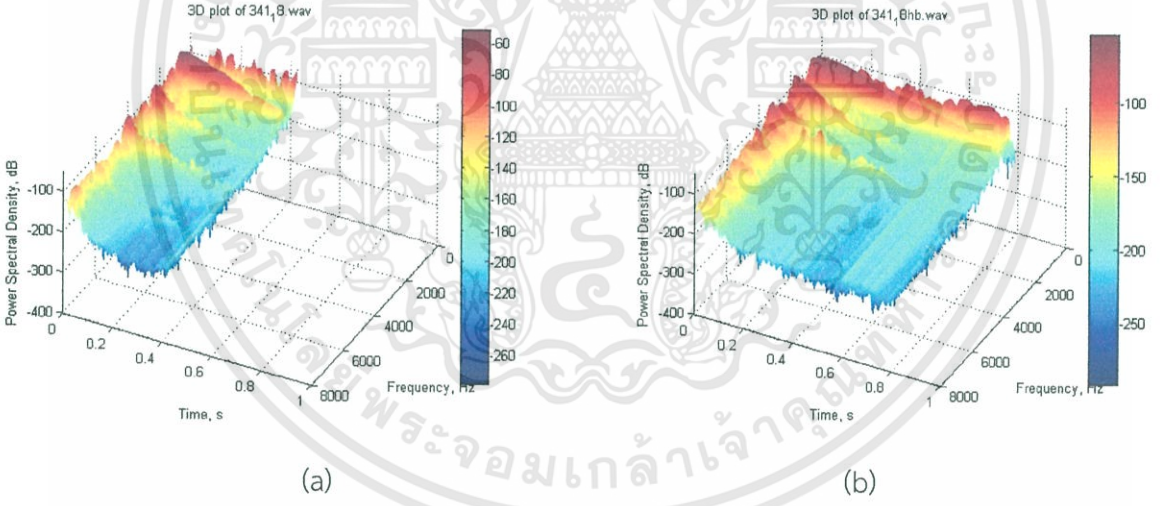


(a) (b)

รูปที่ 4.36 คลื่นของสัญญาณของเสียงระนาดเอกประดู่ โน้ตที่ 18 ตีด้วยไม้ X10

(a) คลื่นของสัญญาณของเสียงระนาดต้นฉบับโน้ตที่ 18

(b) คลื่นของสัญญาณของเสียงระนาดโน้ตที่ 18 ที่ผ่านการเลื่อนความถี่ด้วย HBFS



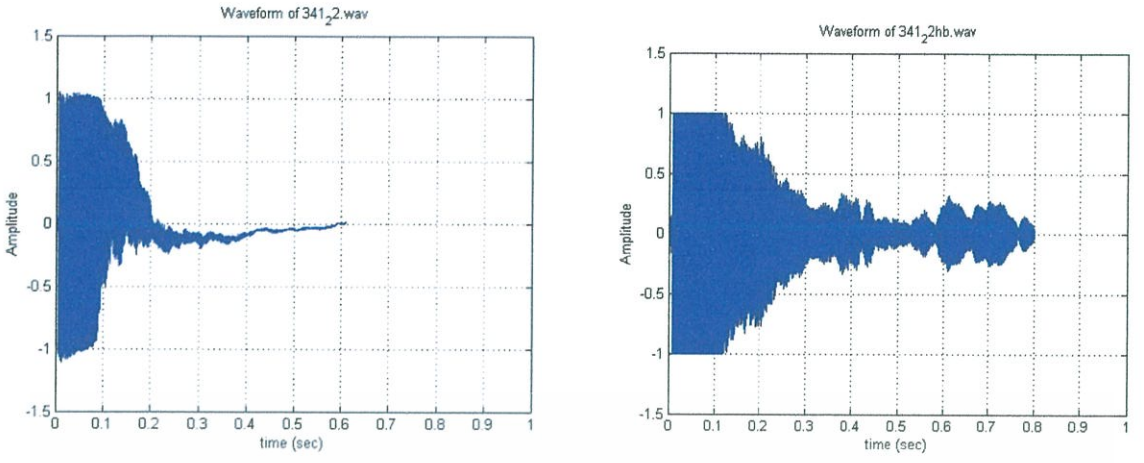
(a) (b)

รูปที่ 4.37 กราฟการกระจายสเปกตรัม 3มิติ ของเสียงระนาดเอกประดู่ โน้ตที่ 18 ตีด้วยไม้ x10

(a) กราฟการกระจายสเปกตรัม 3 มิติเสียงระนาดต้นฉบับโน้ตที่ 18

(b) กราฟการกระจายสเปกตรัม 3 มิติของเสียงระนาดโน้ตที่ 18 ที่ผ่านการเลื่อนความถี่ด้วย HBFS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

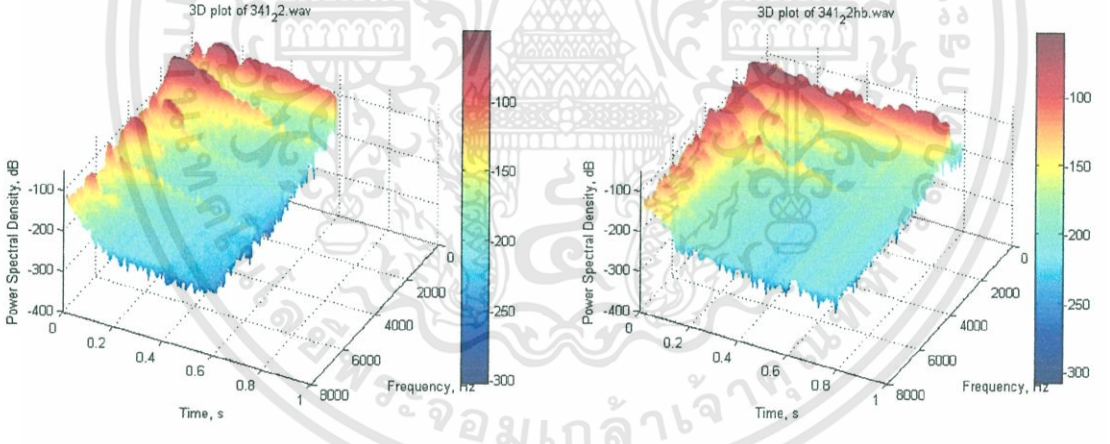


(a) (b)

รูปที่ 4.38 คลื่นของสัญญาณของเสียงระนาดเอกประดู่ โน้ตที่ 22 ตีด้วยไม้ X10

(a) คลื่นของสัญญาณของเสียงระนาดต้นฉบับโน้ตที่ 22

(b) คลื่นของสัญญาณของเสียงระนาดโน้ตที่ 22 ที่ผ่านการเลื่อนความถี่ด้วย HBFS



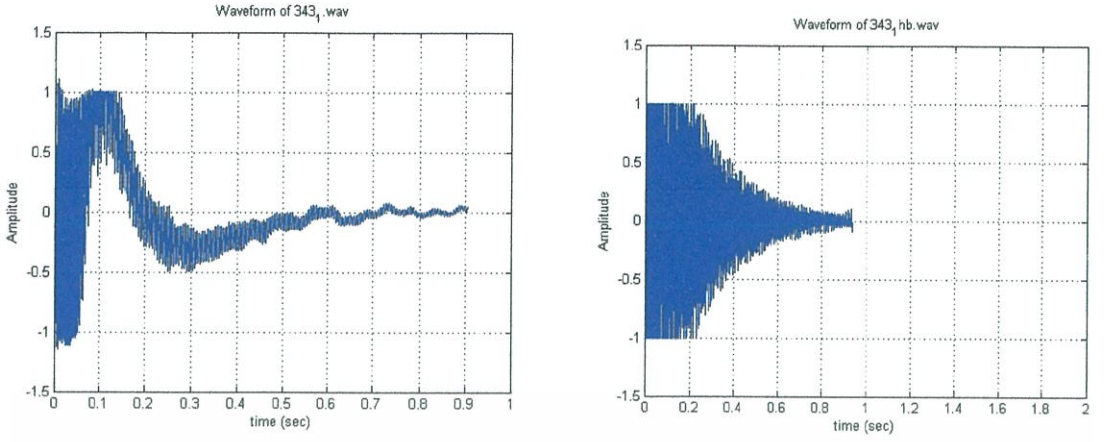
(a) (b)

รูปที่ 4.39 กราฟการกระจายสเปกตรัม 3มิติ ของเสียงระนาดเอกประดู่ โน้ตที่ 22 ตีด้วยไม้ x10

(a) กราฟการกระจายสเปกตรัม 3 มิติเสียงระนาดต้นฉบับโน้ตที่ 22

(b) กราฟการกระจายสเปกตรัม 3 มิติของเสียงระนาดโน้ตที่ 22 ที่ผ่านการเลื่อนความถี่ด้วย HBFS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

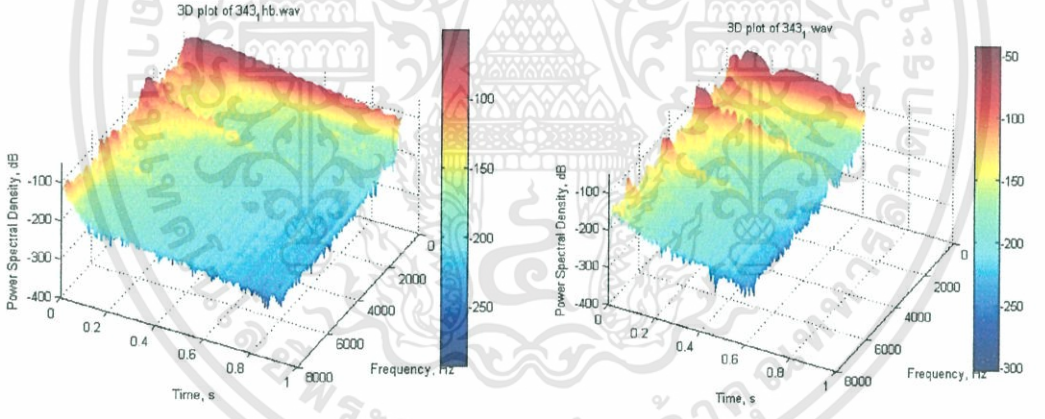


(a) (b)

รูปที่ 4.40 คลื่นของสัญญาณของเสียงระนาดเอกประดู่ โน้ตที่ 1 ตีด้วยไม้รัก

(a) คลื่นของสัญญาณของเสียงระนาดต้นฉบับโน้ตที่ 1

(b) คลื่นของสัญญาณของเสียงระนาดโน้ตที่ 1 ที่ผ่านการเลื่อนความถี่ด้วย HBFS

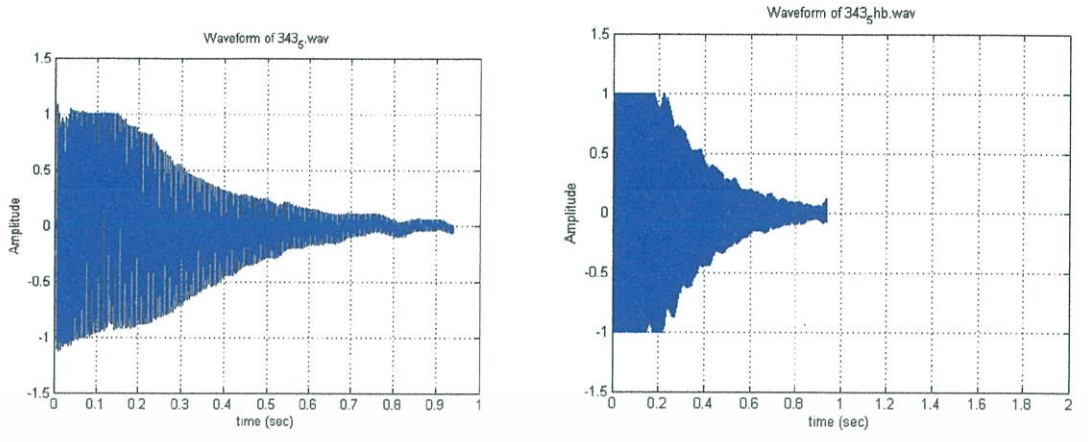


รูปที่ 4.41 กราฟการกระจายสเปกตรัม 3มิติ ของเสียงระนาดเอกประดู่ โน้ตที่ 1 ตีด้วยไม้รัก

(a) กราฟการกระจายสเปกตรัม 3 มิติเสียงระนาดต้นฉบับโน้ตที่ 1

(b) กราฟการกระจายสเปกตรัม 3 มิติของเสียงระนาดโน้ตที่ 1 ที่ผ่านการเลื่อนความถี่ด้วย HBFS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

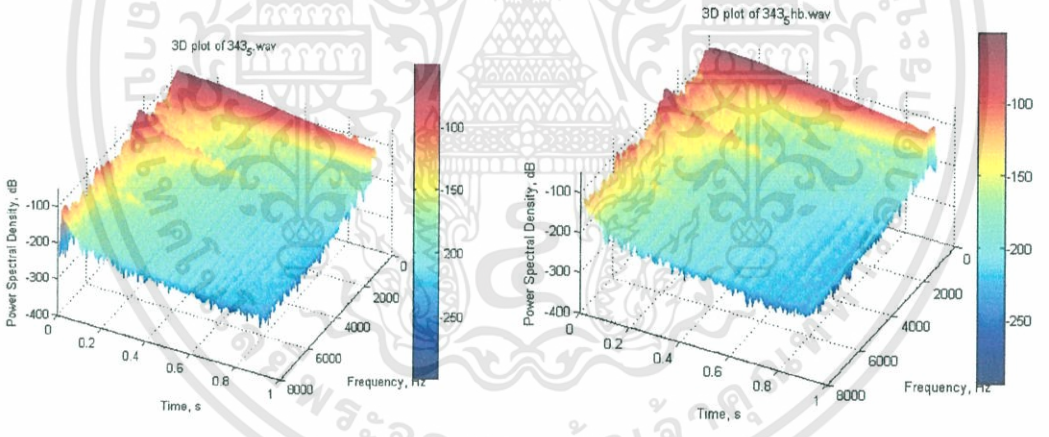


(a) (b)

รูปที่ 4.42 คลื่นของสัญญาณของเสียงระนาดเอกประดู่ โน้ตที่ 5 ตีด้วยไม้รัก

(a) คลื่นของสัญญาณของเสียงระนาดต้นฉบับโน้ตที่ 5

(b) คลื่นของสัญญาณของเสียงระนาดโน้ตที่ 5 ที่ผ่านการเลื่อนความถี่ด้วย HBFS



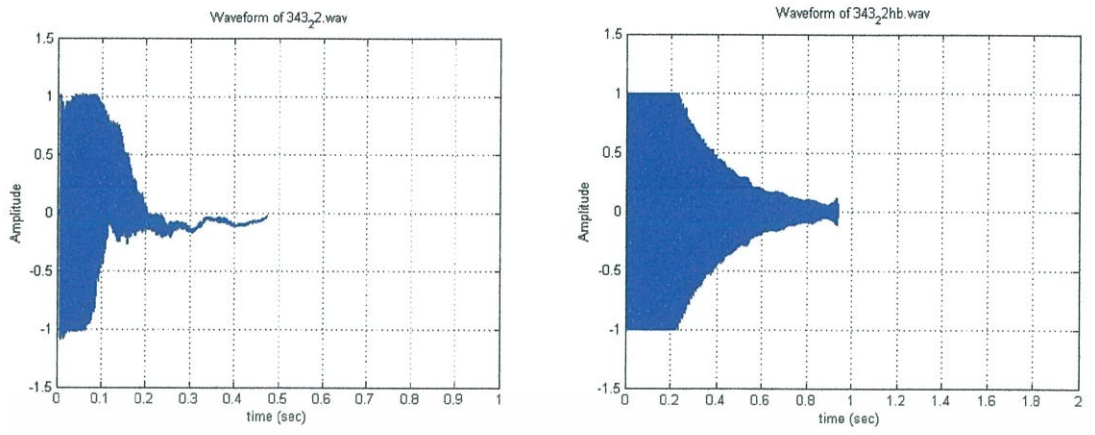
(a) (b)

รูปที่ 4.43 กราฟการกระจายสเปกตรัม 3มิติ ของเสียงระนาดเอกประดู่ โน้ตที่ 5 ตีด้วยไม้รัก

(a) กราฟการกระจายสเปกตรัม 3 มิติเสียงระนาดต้นฉบับโน้ตที่ 5

(b) กราฟการกระจายสเปกตรัม 3 มิติของเสียงระนาดโน้ตที่ 5 ที่ผ่านการเลื่อนความถี่ด้วย HBFS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

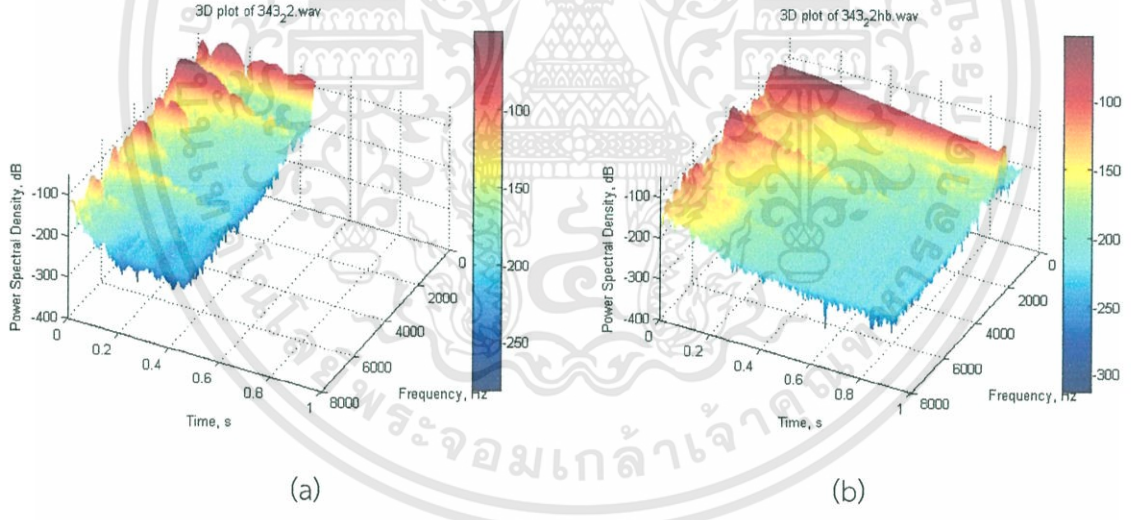


(a) (b)

รูปที่ 4.44 คลื่นของสัญญาณของเสียงระนาดเอกประดู่ โน้ตที่ 22 ตีด้วยไม้รัก

(a) คลื่นของสัญญาณของเสียงระนาดต้นฉบับโน้ตที่ 22

(a) คลื่นของสัญญาณของเสียงระนาดโน้ตที่ 22 ที่ผ่านการเลื่อนความถี่ด้วย HBFS



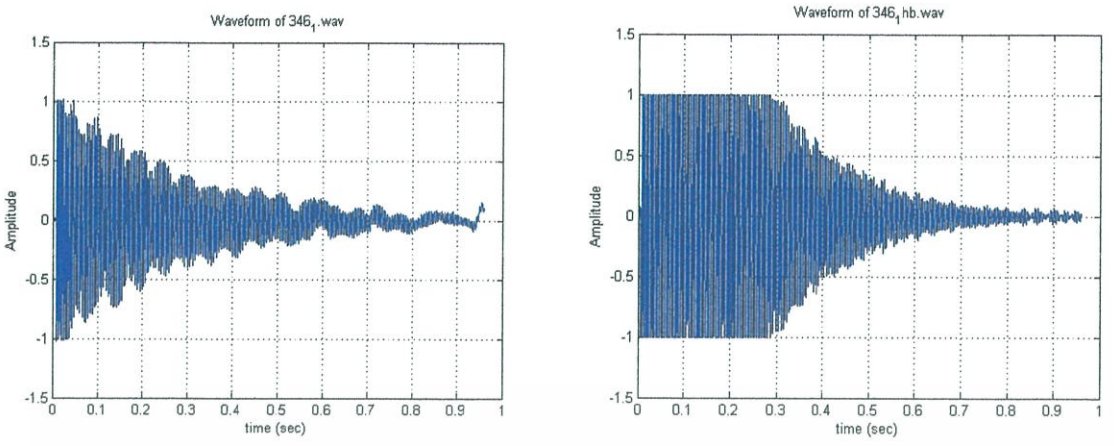
(a) (b)

รูปที่ 4.45 กราฟการกระจายสเปกตรัม 3มิติ ของเสียงระนาดเอกประดู่ โน้ตที่ 22 ตีด้วยไม้รัก

(a) กราฟการกระจายสเปกตรัม 3 มิติเสียงระนาดต้นฉบับโน้ตที่ 22

(b) กราฟการกระจายสเปกตรัม 3 มิติของเสียงระนาดโน้ตที่ 22 ที่ผ่านการเลื่อนความถี่ด้วย HBFS

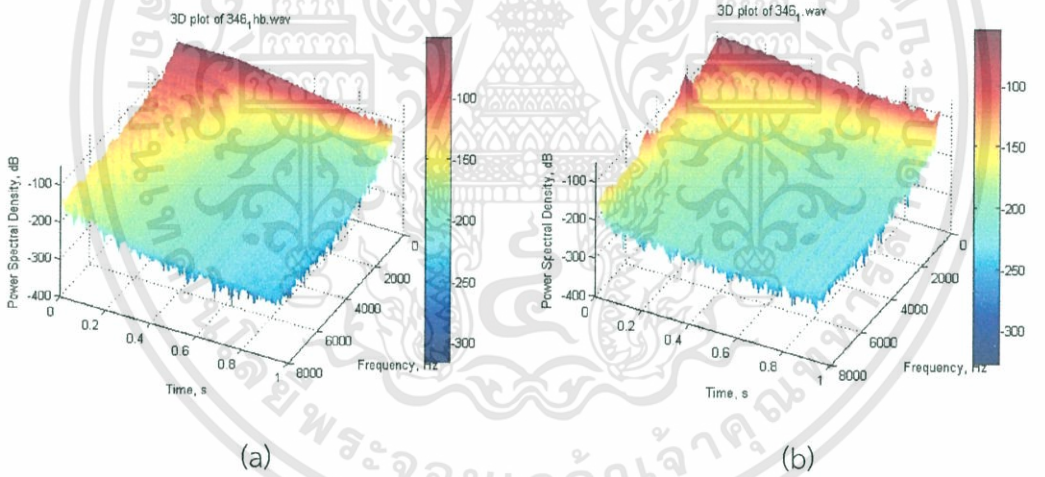
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.46 คลื่นของสัญญาณของเสียงระนาดเอกประดู่ โน้ตที่ 1 ตีด้วยไม้นวมเหลือง

(a) คลื่นของสัญญาณของเสียงระนาดต้นฉบับโน้ตที่ 1

(b) คลื่นของสัญญาณของเสียงระนาดโน้ตที่ 1 ที่ผ่านการเลื่อนความถี่ด้วย HBFS

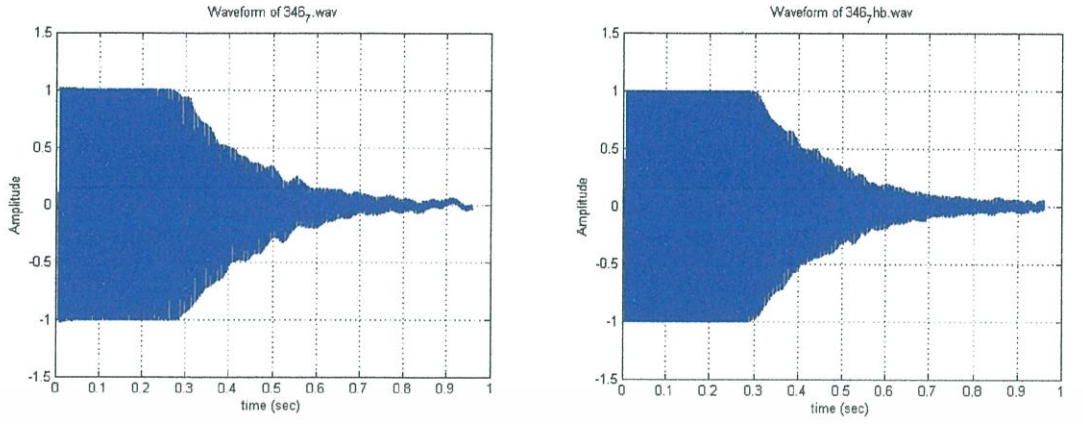


รูปที่ 4.47 กราฟการกระจายสเปกตรัม 3มิติ ของเสียงระนาดเอกประดู่ โน้ตที่ 1 ตีด้วยไม้นวมเหลือง

(a) กราฟการกระจายสเปกตรัม 3 มิติเสียงระนาดต้นฉบับโน้ตที่ 1

(b) กราฟการกระจายสเปกตรัม 3 มิติของเสียงระนาดโน้ตที่ 1 ที่ผ่านการเลื่อนความถี่ด้วย HBFS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

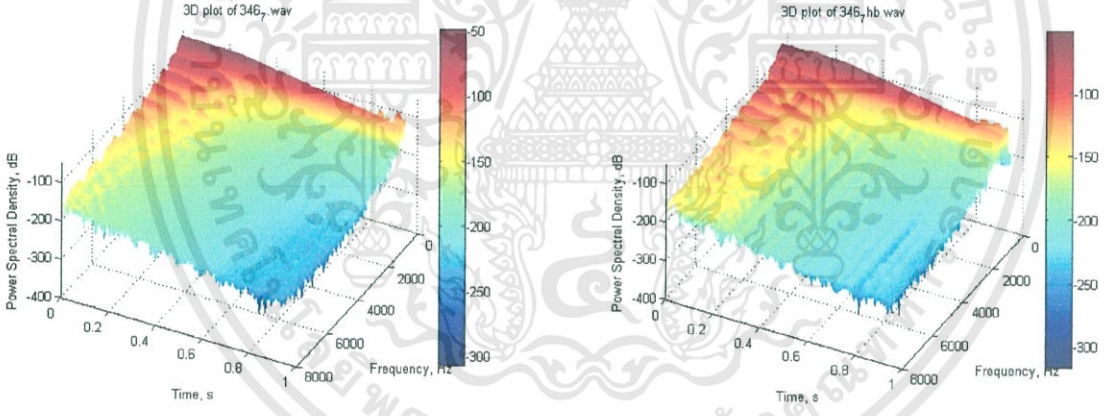


(a) (b)

รูปที่ 4.48 คลื่นของสัญญาณของเสียงระนาดเอกประดู่ โน้ตที่ 7 ตีด้วยไม้นวมเหลือง

(a) คลื่นของสัญญาณของเสียงระนาดต้นฉบับโน้ตที่ 7

(b) คลื่นของสัญญาณของเสียงระนาดโน้ตที่ 7 ที่ผ่านการเลื่อนความถี่ด้วย HBFS



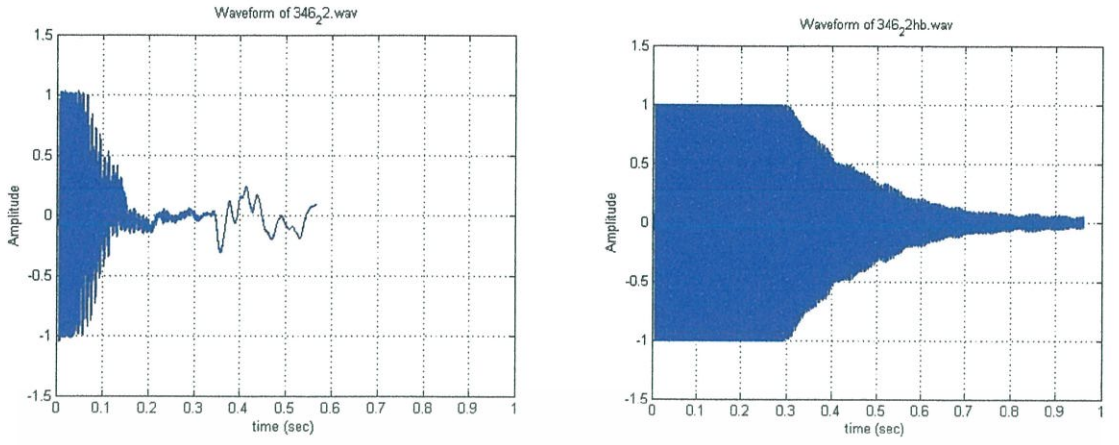
(a) (b)

รูปที่ 4.49 กราฟการกระจายสเปกตรัม 3มิติ ของเสียงระนาดเอกประดู่ โน้ตที่ 7 ตีด้วยไม้นวมเหลือง

(a) กราฟการกระจายสเปกตรัม 3 มิติเสียงระนาดต้นฉบับโน้ตที่ 7

(b) กราฟการกระจายสเปกตรัม 3 มิติของเสียงระนาดโน้ตที่ 7 ที่ผ่านการเลื่อนความถี่ด้วย HBFS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

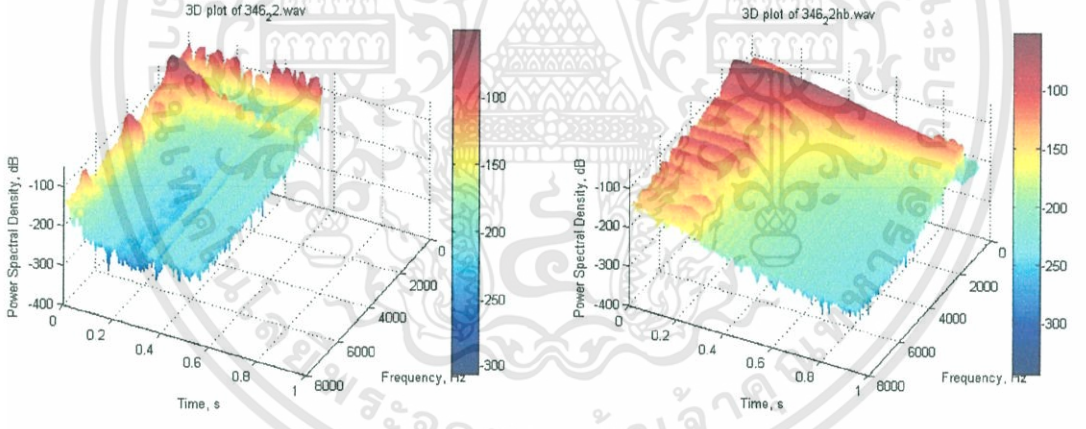


(a) (b)

รูปที่ 4.50 คลื่นของสัญญาณของเสียงระนาดเอกประดู่ โน้ตที่ 22 ตีด้วยไม้นวมเหลือง

(a) คลื่นของสัญญาณของเสียงระนาดต้นฉบับโน้ตที่ 22

(b) คลื่นของสัญญาณของเสียงระนาดโน้ตที่ 22 ที่ผ่านการเลื่อนความถี่ด้วย HBFS



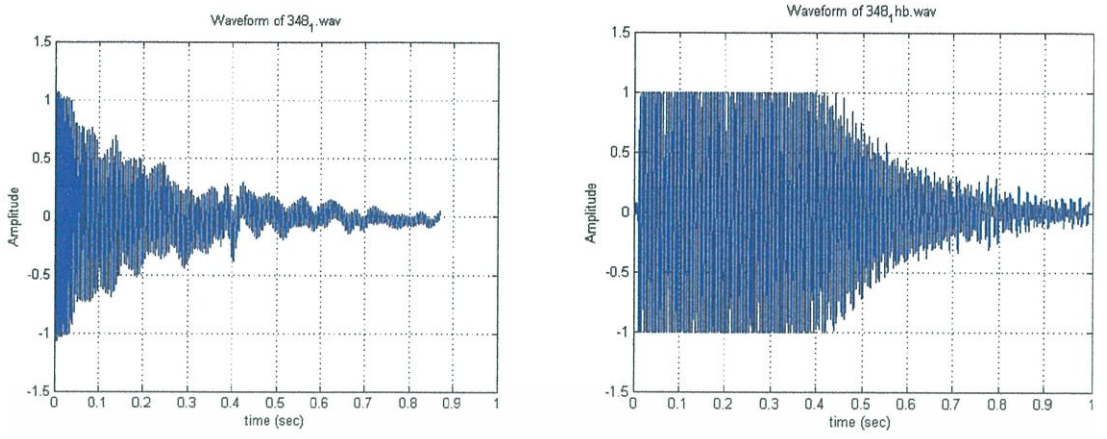
(a) (b)

รูปที่ 4.51 กราฟการกระจายสเปกตรัม 3มิติ ของเสียงระนาดเอกประดู่ โน้ตที่ 22 ตีด้วยไม้นวมเหลือง

(a) กราฟการกระจายสเปกตรัม 3 มิติเสียงระนาดต้นฉบับโน้ตที่ 22

(b) กราฟการกระจายสเปกตรัม 3 มิติของเสียงระนาดโน้ตที่ 22 ที่ผ่านการเลื่อนความถี่ด้วย HBFS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

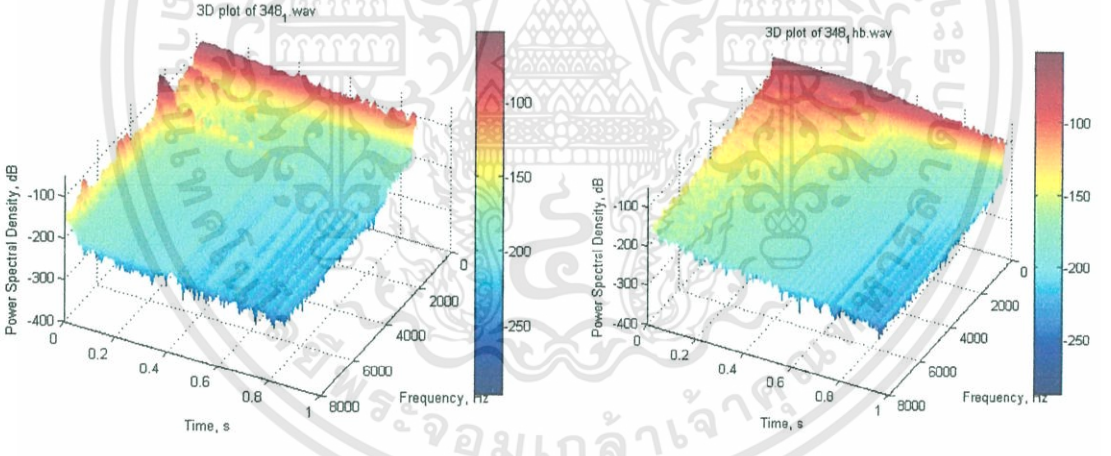


(a) (b)

รูปที่ 4.52 คลื่นของสัญญาณของเสียงระนาดเอกประดู่ โน้ตที่ 1 ตีด้วยไม้นวมเขียว

(a) คลื่นของสัญญาณของเสียงระนาดต้นฉบับโน้ตที่ 1

(b) คลื่นของสัญญาณของเสียงระนาดโน้ตที่ 1 ที่ผ่านการเลื่อนความถี่ด้วย HBFS



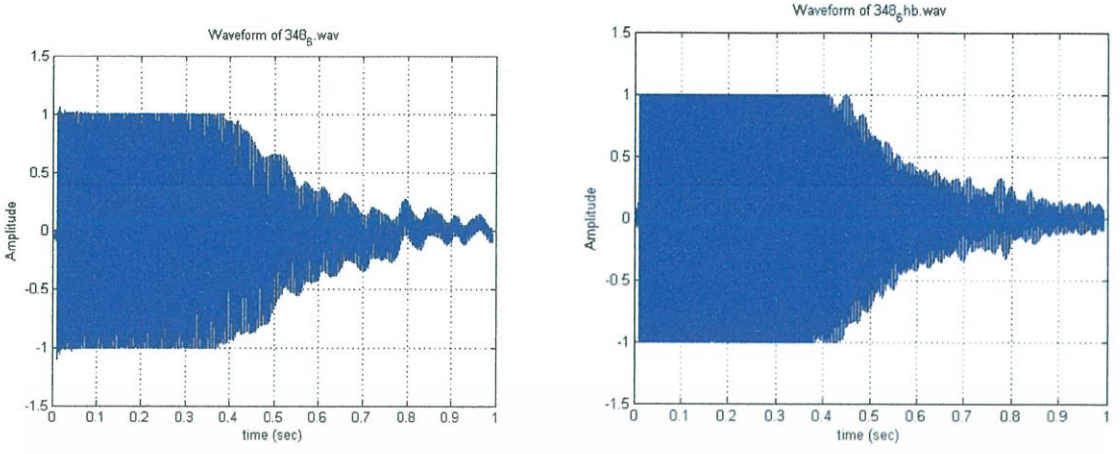
(a) (b)

รูปที่ 4.53 กราฟการกระจายสเปกตรัม 3มิติ ของเสียงระนาดเอกประดู่ โน้ตที่ 1 ตีด้วยไม้นวมเขียว

(a) กราฟการกระจายสเปกตรัม 3 มิติเสียงระนาดต้นฉบับโน้ตที่ 1

(b) กราฟการกระจายสเปกตรัม 3 มิติของเสียงระนาดโน้ตที่ 1 ที่ผ่านการเลื่อนความถี่ด้วย HBFS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

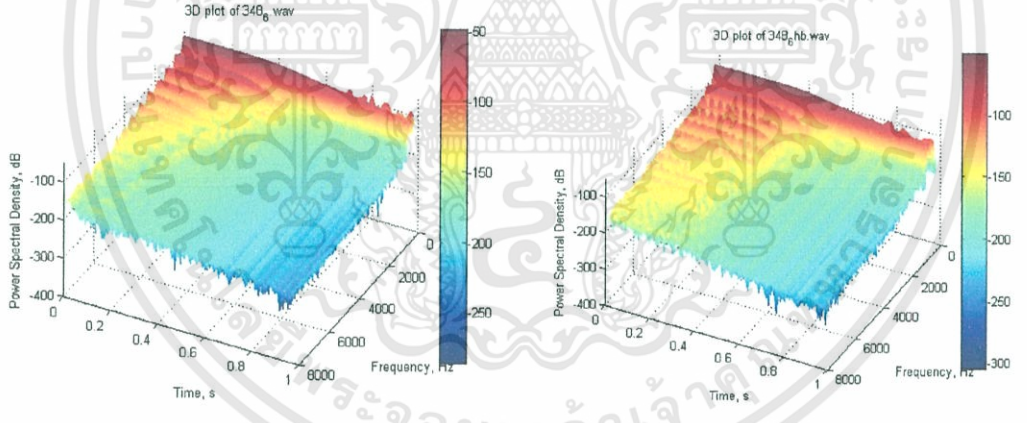


(a) (b)

รูปที่ 4.54 คลื่นของสัญญาณของเสียงระนาดเอกประดู่ โน้ตที่ 6 ตีด้วยไม้นวมเขียว

(a) คลื่นของสัญญาณของเสียงระนาดต้นฉบับโน้ตที่ 6

(b) คลื่นของสัญญาณของเสียงระนาดโน้ตที่ 6 ที่ผ่านการเลื่อนความถี่ด้วย HBFS



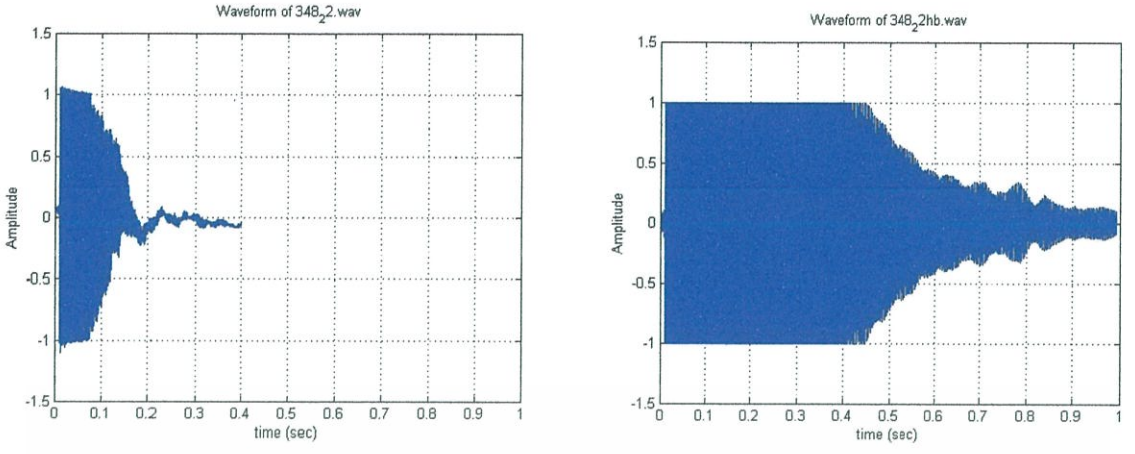
(a) (b)

รูปที่ 4.55 กราฟการกระจายสเปกตรัม 3มิติ ของเสียงระนาดเอกประดู่ โน้ตที่ 6 ตีด้วยไม้นวมเขียว

(a) กราฟการกระจายสเปกตรัม 3 มิติเสียงระนาดต้นฉบับโน้ตที่ 6

(b) กราฟการกระจายสเปกตรัม 3 มิติของเสียงระนาดโน้ตที่ 6 ที่ผ่านการเลื่อนความถี่ด้วย HBFS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

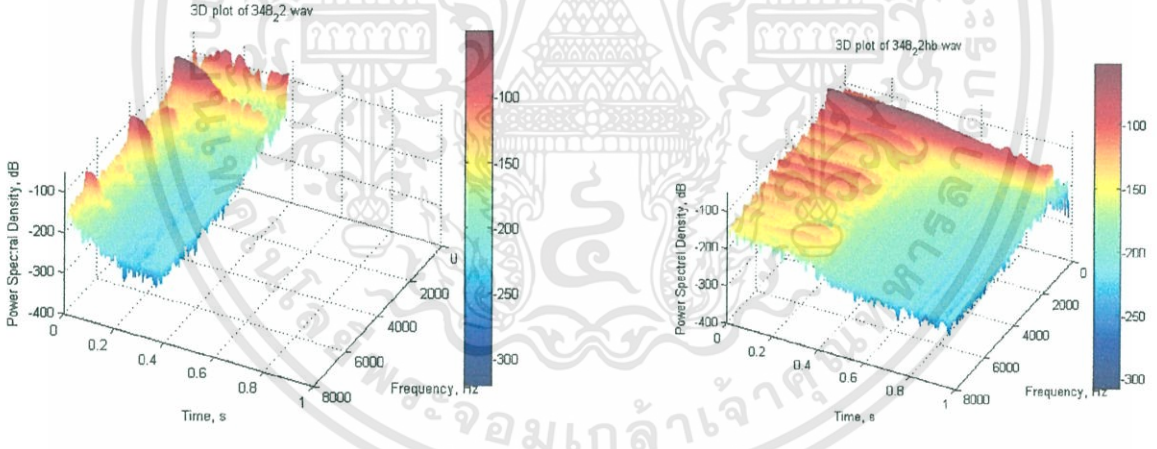


(a) (b)

รูปที่ 4.56 คลื่นของสัญญาณของเสียงระนาดเอกประดู่ โน้ตที่ 22 ตีด้วยไม้นวมเขียว

(a) คลื่นของสัญญาณของเสียงระนาดต้นฉบับโน้ตที่ 22

(b) คลื่นของสัญญาณของเสียงระนาดโน้ตที่ 22 ที่ผ่านการเลื่อนความถี่ด้วย HBFS



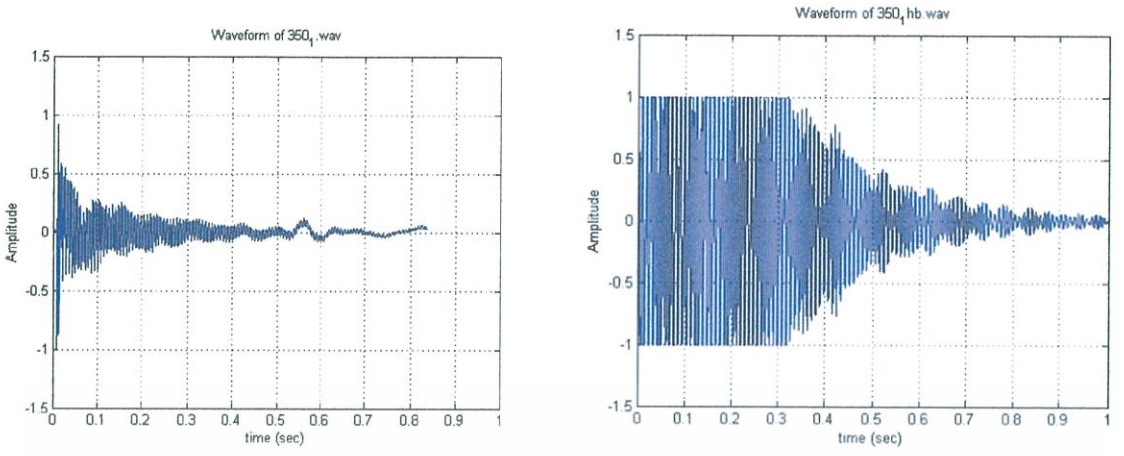
(a) (b)

รูปที่ 4.57 กราฟการกระจายสเปกตรัม 3มิติ ของเสียงระนาดเอกประดู่ โน้ตที่ 22 ตีด้วยไม้นวมเขียว

(a) กราฟการกระจายสเปกตรัม 3 มิติเสียงระนาดต้นฉบับโน้ตที่ 22

(b) กราฟการกระจายสเปกตรัม 3 มิติของเสียงระนาดโน้ตที่ 22 ที่ผ่านการเลื่อนความถี่ด้วย HBFS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

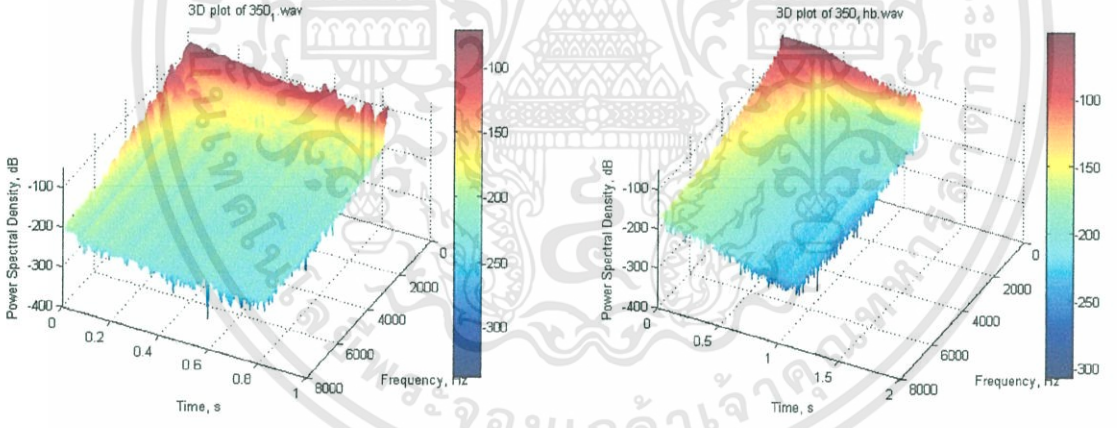


(a) (b)

รูปที่ 4.58 คลื่นของสัญญาณของเสียงระนาดทุ้มไผ่บง โน้ตที่ 1 ตีด้วยไม้นวมเหลือง

(a) คลื่นของสัญญาณของเสียงระนาดต้นฉบับโน้ตที่ 1

(b) คลื่นของสัญญาณของเสียงระนาดโน้ตที่ 1 ที่ผ่านการเลื่อนความถี่ด้วย HBFS

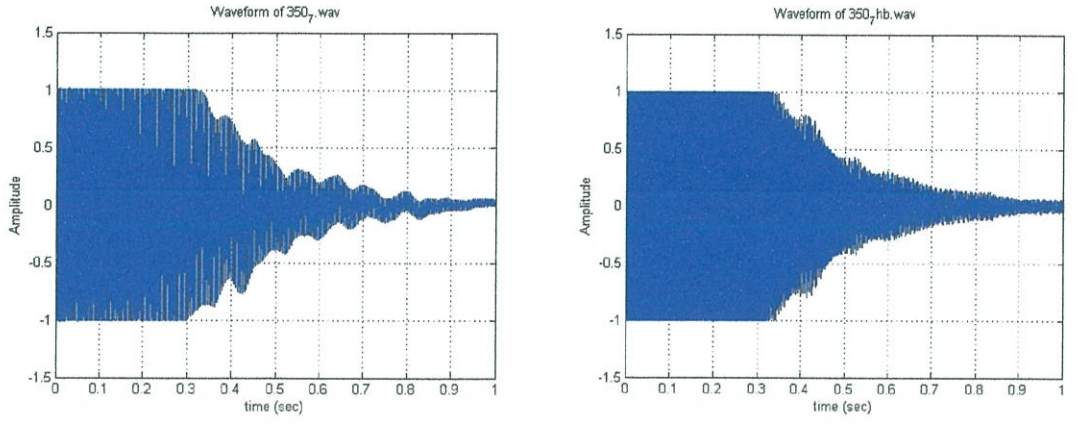


รูปที่ 4.59 กราฟการกระจายสเปกตรัม 3มิติ ของเสียงระนาดทุ้มไผ่บง โน้ตที่ 1 ตีด้วยไม้นวมหลือง

(a) กราฟการกระจายสเปกตรัม 3 มิติเสียงระนาดต้นฉบับโน้ตที่ 1

(b) กราฟการกระจายสเปกตรัม 3 มิติของเสียงระนาดโน้ตที่ 1 ที่ผ่านการเลื่อนความถี่ด้วย HBFS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

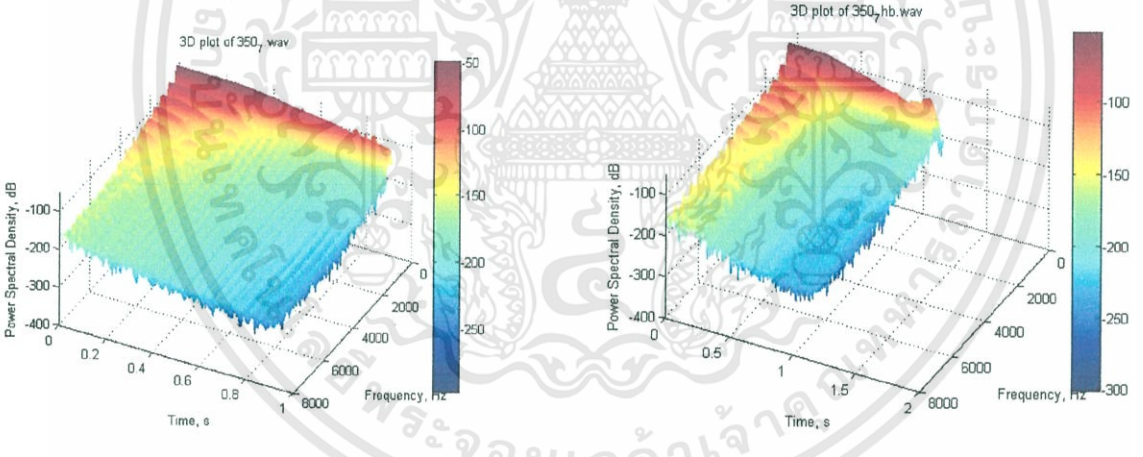


(a) (b)

รูปที่ 4.60 คลื่นของสัญญาณของเสียงระนาดทุ้มไผ่บง โน้ตที่ 7 ตีด้วยไม้นวมเหลือง

(a) คลื่นของสัญญาณของเสียงระนาดต้นฉบับโน้ตที่ 7

(b) คลื่นของสัญญาณของเสียงระนาดโน้ตที่ 7 ที่ผ่านการเลื่อนความถี่ด้วย HBFS



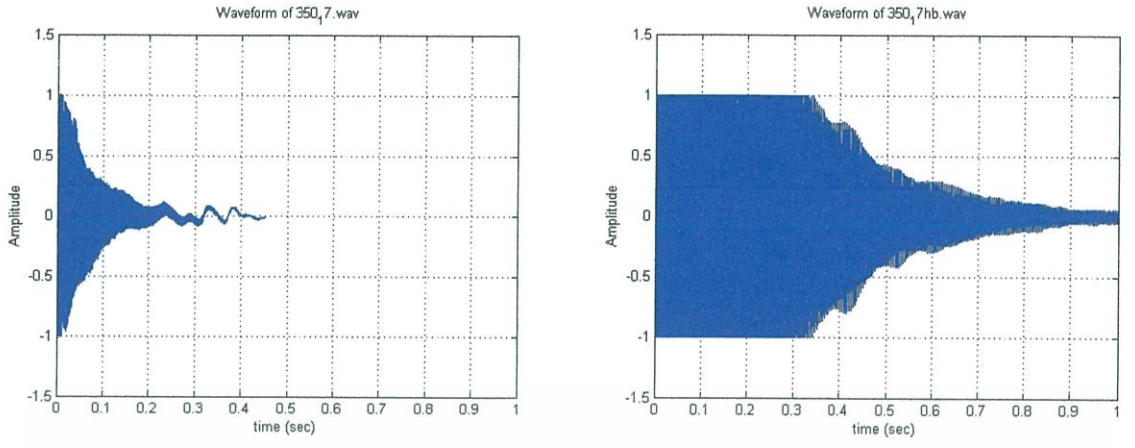
(a) (b)

รูปที่ 4.61 กราฟการกระจายสเปกตรัม 3มิติ ของเสียงระนาดทุ้มไผ่บง โน้ตที่ 7 ตีด้วยไม้นวมหลือง

(a) กราฟการกระจายสเปกตรัม 3 มิติเสียงระนาดต้นฉบับโน้ตที่ 7

(b) กราฟการกระจายสเปกตรัม 3 มิติของเสียงระนาดโน้ตที่ 7 ที่ผ่านการเลื่อนความถี่ด้วย HBF

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

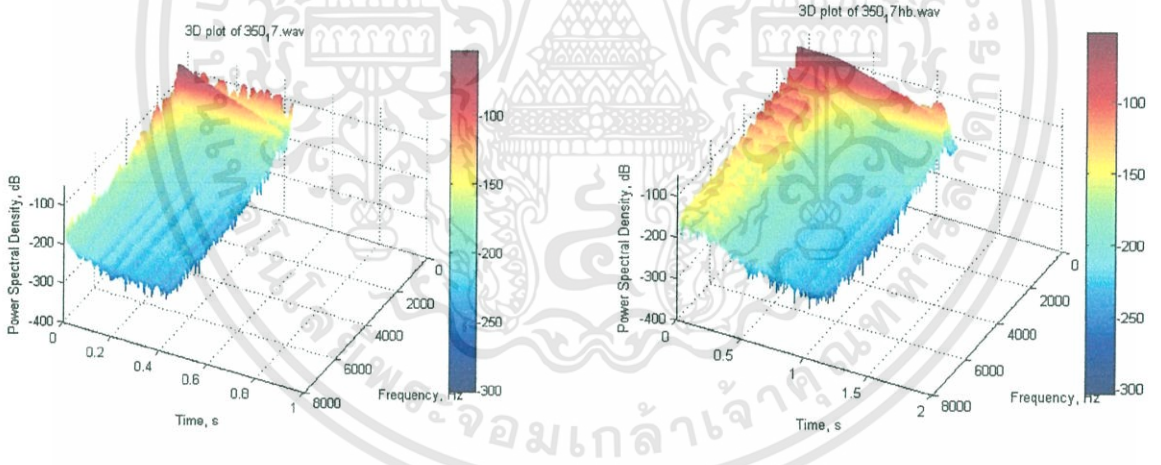


(a) (b)

รูปที่ 4.62 คลื่นของสัญญาณของเสียงระนาดทุ้มไผ่บง โน้ตที่ 17 ตีด้วยไม้นวมเหลือง

(a) คลื่นของสัญญาณของเสียงระนาดต้นฉบับโน้ตที่ 17

(b) คลื่นของสัญญาณของเสียงระนาดโน้ตที่ 17 ที่ผ่านการเลื่อนความถี่ด้วย HBFS



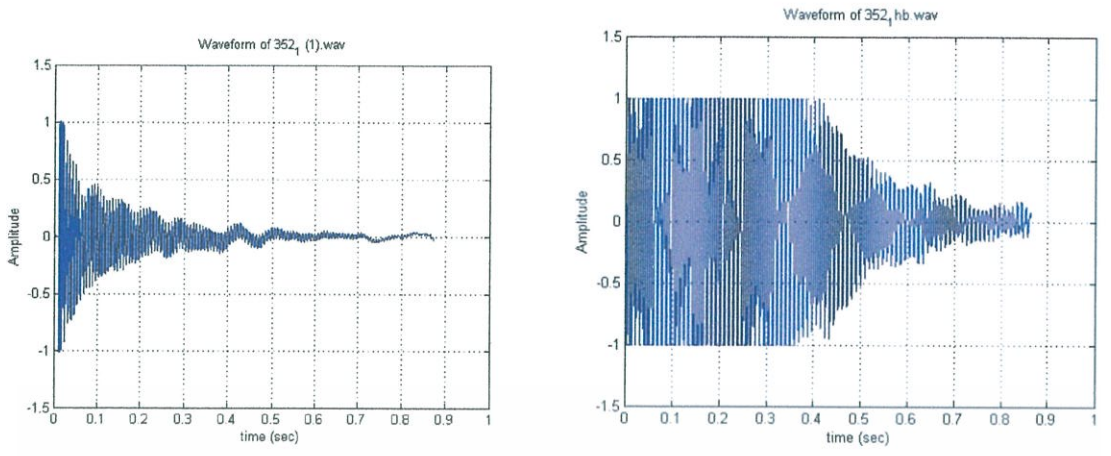
(a) (b)

รูปที่ 4.63 กราฟการกระจายสเปกตรัม 3มิติ ของเสียงระนาดทุ้มไผ่บงโน้ตที่ 17 ตีด้วยไม้นวมหลือง

(a) กราฟการกระจายสเปกตรัม 3 มิติเสียงระนาดต้นฉบับโน้ตที่ 17

(b) กราฟการกระจายสเปกตรัม 3 มิติของเสียงระนาดโน้ตที่ 17 ที่ผ่านการเลื่อนความถี่ด้วย HBFS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

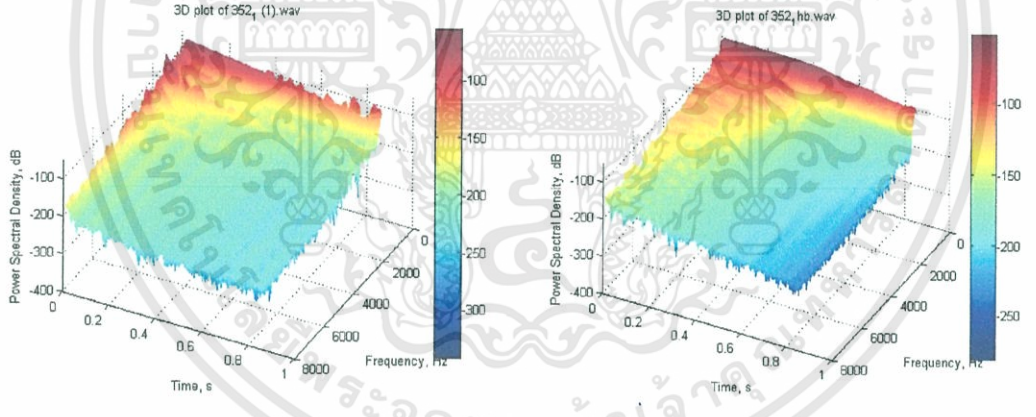


(a) (b)

รูปที่ 4.64 คลื่นของสัญญาณของเสียงระนาดทุ้มไผ่บง โน้ตที่ 1 ตีด้วยไม้นวมแดง

(a) คลื่นของสัญญาณของเสียงระนาดต้นฉบับโน้ตที่ 1

(b) คลื่นของสัญญาณของเสียงระนาดโน้ตที่ 1 ที่ผ่านการเลื่อนความถี่ด้วย HBFS



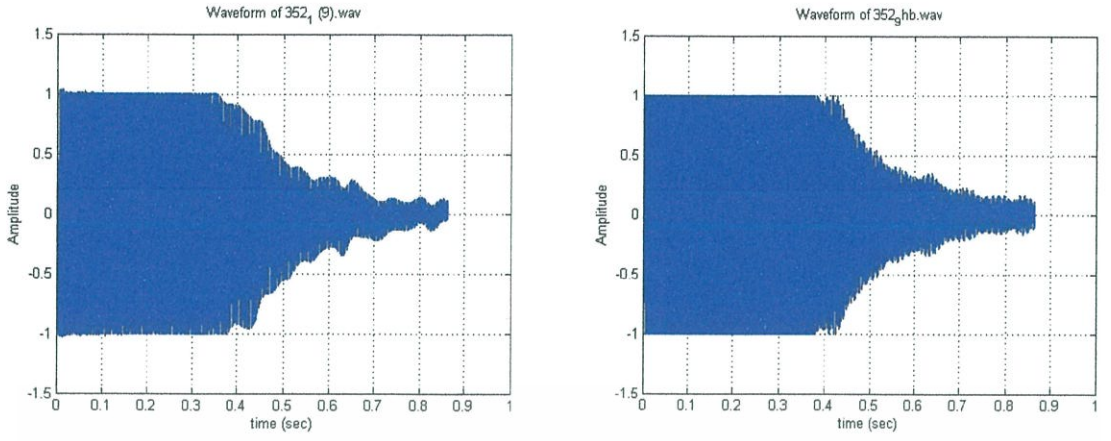
(a) (b)

รูปที่ 4.65 กราฟการกระจายสเปกตรัม 3มิติ ของเสียงระนาดทุ้มไผ่บงโน้ตที่ 1 ตีด้วยไม้นวมแดง

(a) กราฟการกระจายสเปกตรัม 3 มิติเสียงระนาดต้นฉบับโน้ตที่ 1

(b) กราฟการกระจายสเปกตรัม 3 มิติของเสียงระนาดโน้ตที่ 1 ที่ผ่านการเลื่อนความถี่ด้วย HBF

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

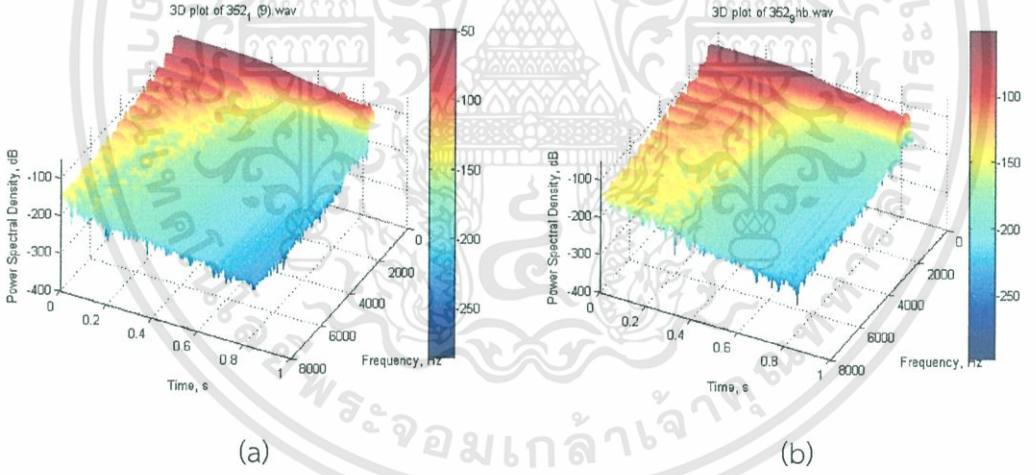


(a) (b)

รูปที่ 4.66 คลื่นของสัญญาณของเสียงระนาดทุ้มไผ่บง โน้ตที่ 9 ตีด้วยไม้นวมแดง

(a) คลื่นของสัญญาณของเสียงระนาดต้นฉบับโน้ตที่ 9

(b) คลื่นของสัญญาณของเสียงระนาดโน้ตที่ 9 ที่ผ่านการเลื่อนความถี่ด้วย HBFS



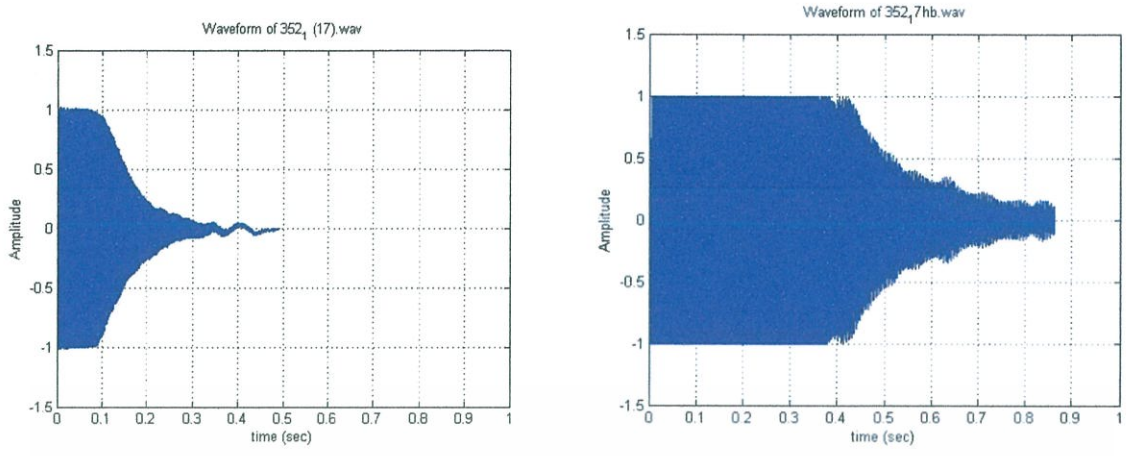
(a) (b)

รูปที่ 4.67 กราฟการกระจายสเปกตรัม 3มิติ ของเสียงระนาดทุ้มไผ่บงโน้ตที่ 9 ตีด้วยไม้นวมแดง

(a) กราฟการกระจายสเปกตรัม 3 มิติเสียงระนาดต้นฉบับโน้ตที่ 9

(b) กราฟการกระจายสเปกตรัม 3 มิติของเสียงระนาดโน้ตที่ 9 ที่ผ่านการเลื่อนความถี่ด้วย HBFS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

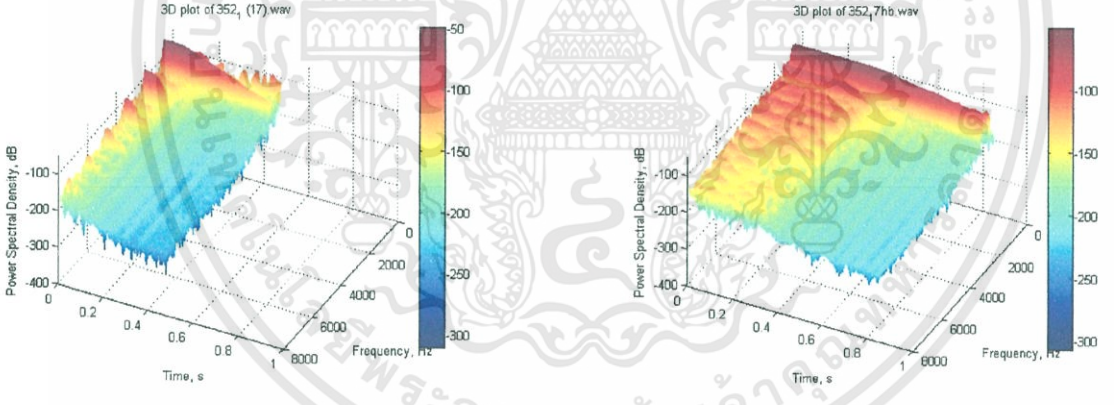


(a) (b)

รูปที่ 4.68 คลื่นของสัญญาณของเสียงระนาดทุ้มไผ่บง โน้ตที่ 17 ตีด้วยไม้นวมแดง

(a) คลื่นของสัญญาณของเสียงระนาดต้นฉบับโน้ตที่ 17

(b) คลื่นของสัญญาณของเสียงระนาดโน้ตที่ 17 ที่ผ่านการเลื่อนความถี่ด้วย HBFS



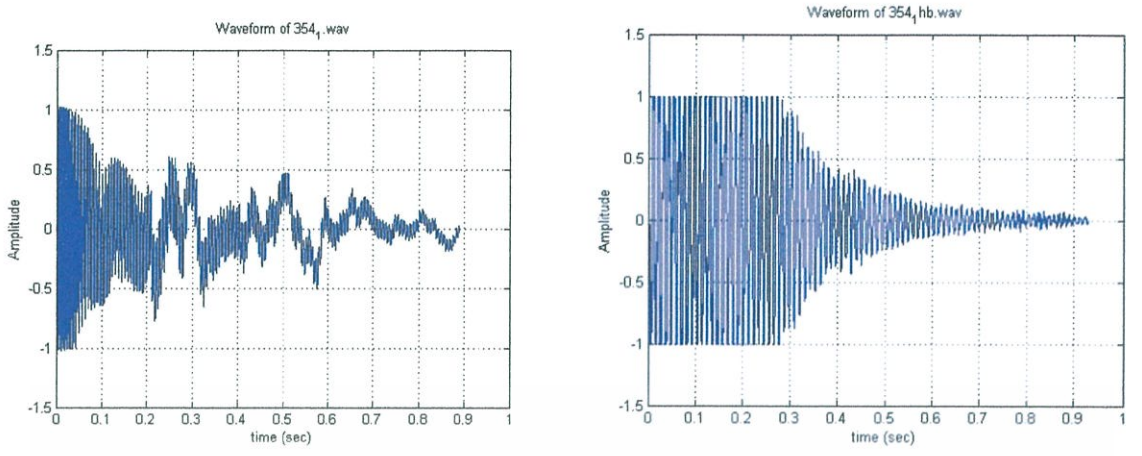
(a) (b)

รูปที่ 4.69 กราฟการกระจายสเปกตรัม 3มิติ ของเสียงระนาดทุ้มไผ่บงโน้ตที่ 17 ตีด้วยไม้นวมแดง

(a) กราฟการกระจายสเปกตรัม 3 มิติเสียงระนาดต้นฉบับโน้ตที่ 17

(b) กราฟการกระจายสเปกตรัม 3 มิติของเสียงระนาดโน้ตที่ 17 ที่ผ่านการเลื่อนความถี่ด้วย HBFS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

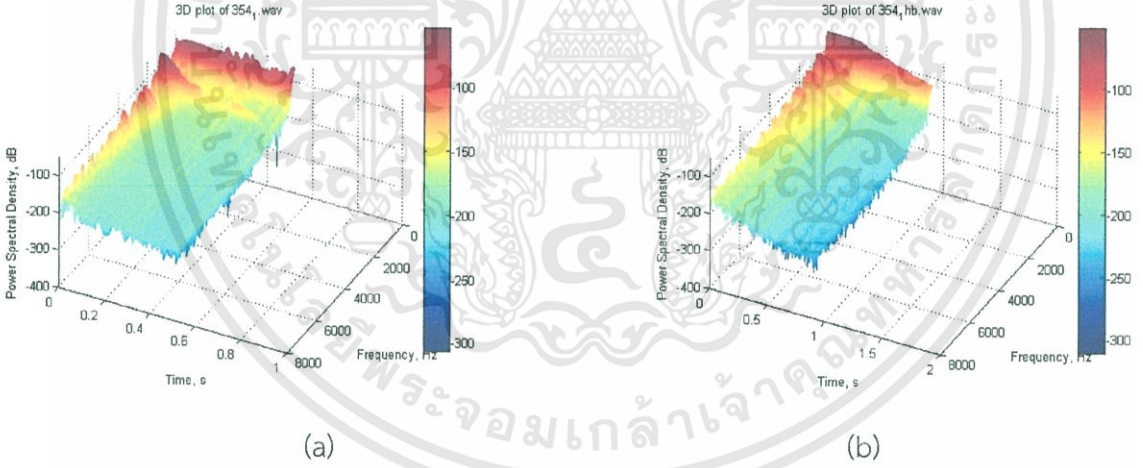


(a) (b)

รูปที่ 4.70 คลื่นของสัญญาณของเสียงระนาดทุ้มชิงชัน โน้ตที่ 1 ตีด้วยไม้นวมแดง

(a) คลื่นของสัญญาณของเสียงระนาดต้นฉบับโน้ตที่ 1

(b) คลื่นของสัญญาณของเสียงระนาดโน้ตที่ 1 ที่ผ่านการเลื่อนความถี่ด้วย HBFS



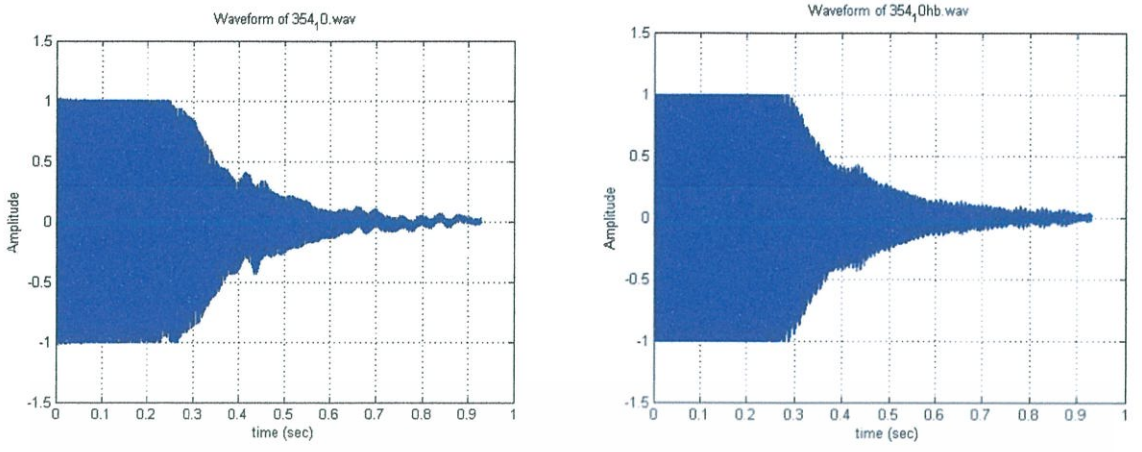
(a) (b)

รูปที่ 4.71 กราฟการกระจายสเปกตรัม 3มิติ ของเสียงระนาดทุ้มชิงชันโน้ตที่ 1 ตีด้วยไม้นวมแดง

(a) กราฟการกระจายสเปกตรัม 3 มิติเสียงระนาดต้นฉบับโน้ตที่ 1

(b) กราฟการกระจายสเปกตรัม 3 มิติของเสียงระนาดโน้ตที่ 1 ที่ผ่านการเลื่อนความถี่ด้วย HBFS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

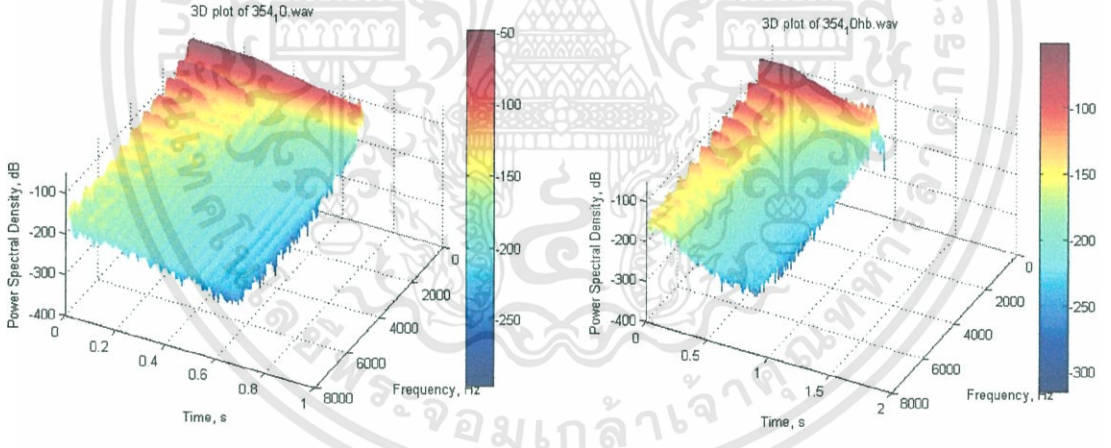


(a) (b)

รูปที่ 4.72 คลื่นของสัญญาณของเสียงระนาดทุ้มชิงชัน โน้ตที่ 10 ตีด้วยไม้นวมแดง

(a) คลื่นของสัญญาณของเสียงระนาดต้นฉบับโน้ตที่ 10

(b) คลื่นของสัญญาณของเสียงระนาดโน้ตที่ 10 ที่ผ่านการเลื่อนความถี่ด้วย HBFS



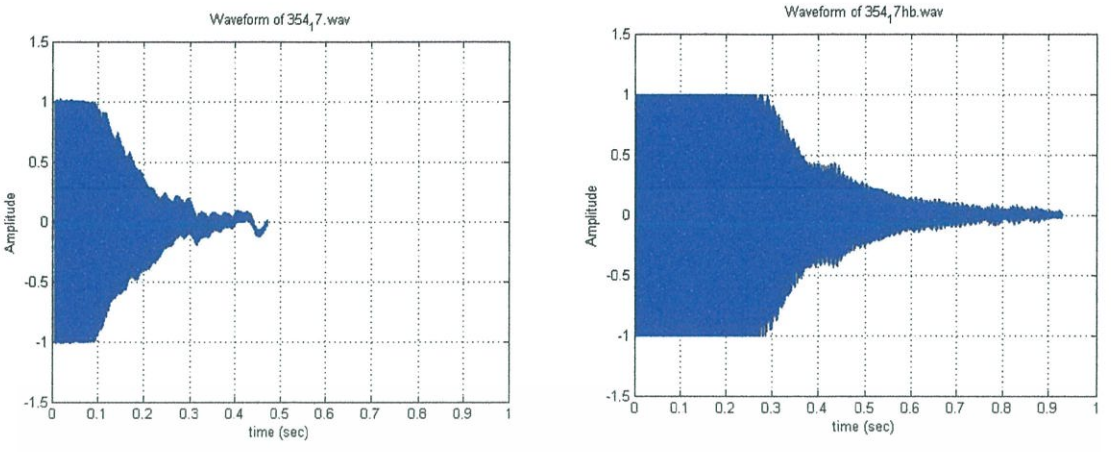
(a) (b)

รูปที่ 4.73 กราฟการกระจายสเปกตรัม 3มิติ ของเสียงระนาดทุ้มชิงชันโน้ตที่ 10 ตีด้วยไม้นวมแดง

(a) กราฟการกระจายสเปกตรัม 3 มิติเสียงระนาดต้นฉบับโน้ตที่ 10

(b) กราฟการกระจายสเปกตรัม 3 มิติของเสียงระนาดโน้ตที่ 10 ที่ผ่านการเลื่อนความถี่ด้วย HBFS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

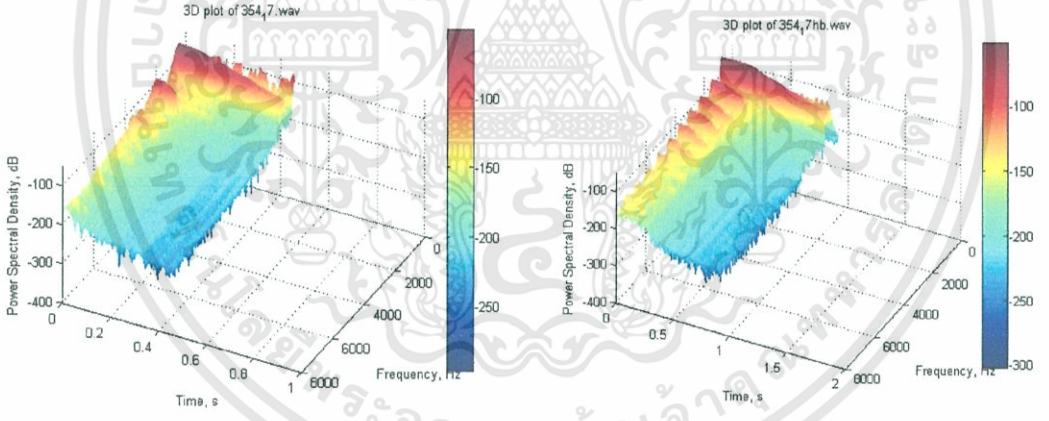


(a) (b)

รูปที่ 4.74 คลื่นของสัญญาณของเสียงระนาดทุ้มซิงซัน โน้ตที่ 17 ตีด้วยไม้นวมแดง

(a) คลื่นของสัญญาณของเสียงระนาดต้นฉบับโน้ตที่ 17

(b) คลื่นของสัญญาณของเสียงระนาดโน้ตที่ 17 ที่ผ่านการเลื่อนความถี่ด้วย HBFS



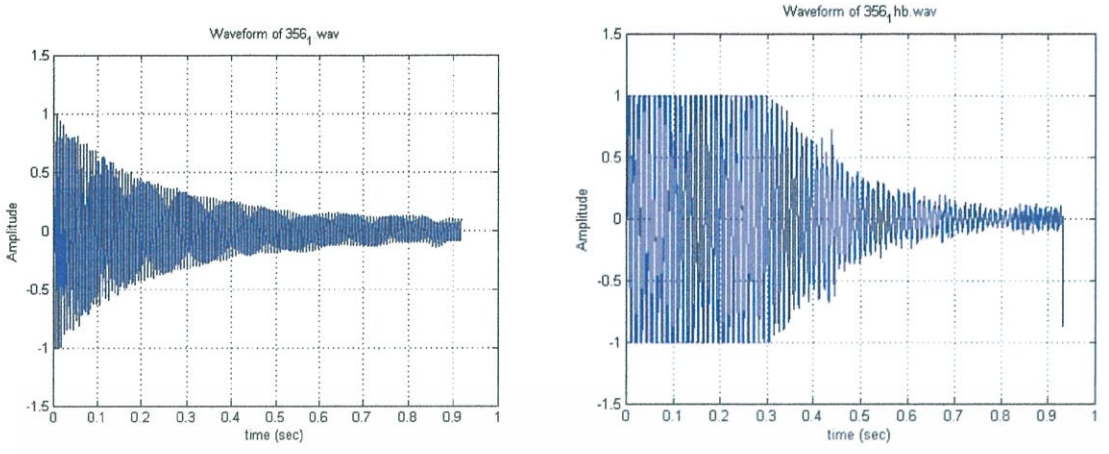
(a) (b)

รูปที่ 4.75 กราฟการกระจายสเปกตรัม 3มิติ ของเสียงระนาดทุ้มซิงซันโน้ตที่ 17 ตีด้วยไม้นวมแดง

(a) กราฟการกระจายสเปกตรัม 3 มิติเสียงระนาดต้นฉบับโน้ตที่ 17

(b) กราฟการกระจายสเปกตรัม 3 มิติของเสียงระนาดโน้ตที่ 17 ที่ผ่านการเลื่อนความถี่ด้วย HBFS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

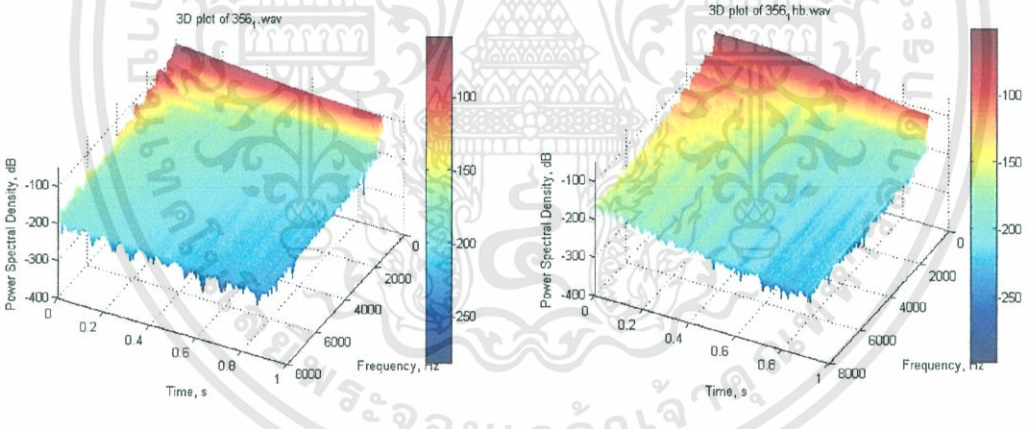


(a) (b)

รูปที่ 4.76 คลื่นของสัญญาณของเสียงระนาดทุ้มชิงชัน โน้ตที่ 1 ตีด้วยไม้นวมเหลือง

(a) คลื่นของสัญญาณของเสียงระนาดต้นฉบับโน้ตที่ 1

(b) คลื่นของสัญญาณของเสียงระนาดโน้ตที่ 1 ที่ผ่านการเลื่อนความถี่ด้วย HBFS



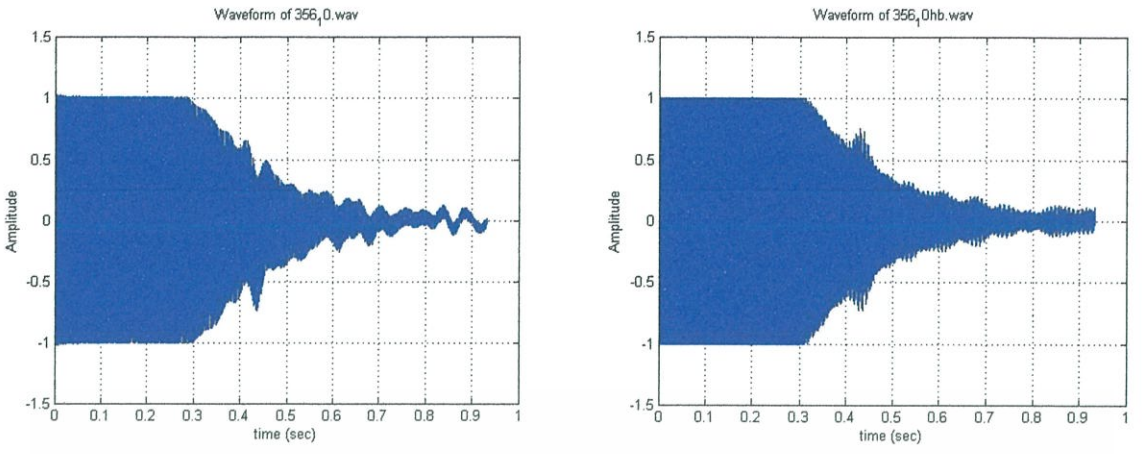
(a) (b)

รูปที่ 4.77 กราฟการกระจายสเปกตรัม 3มิติ ของเสียงระนาดทุ้มชิงชันโน้ตที่ 1 ตีด้วยไม้นวมเหลือง

(a) กราฟการกระจายสเปกตรัม 3 มิติเสียงระนาดต้นฉบับโน้ตที่ 1

(b) กราฟการกระจายสเปกตรัม 3 มิติของเสียงระนาดโน้ตที่ 1 ที่ผ่านการเลื่อนความถี่ด้วย HBFS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

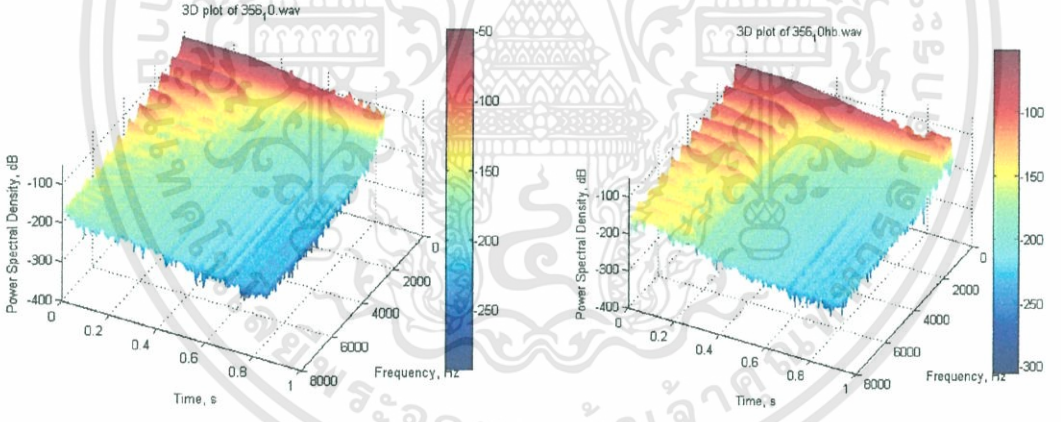


(a) (b)

รูปที่ 4.78 คลื่นของสัญญาณของเสียงระนาดทุ้มชิงชัน โน้ตที่ 10 ตีด้วยไม้นวมเหลือง

(a) คลื่นของสัญญาณของเสียงระนาดต้นฉบับโน้ตที่ 10

(b) คลื่นของสัญญาณของเสียงระนาดโน้ตที่ 10 ที่ผ่านการเลื่อนความถี่ด้วย HBFS



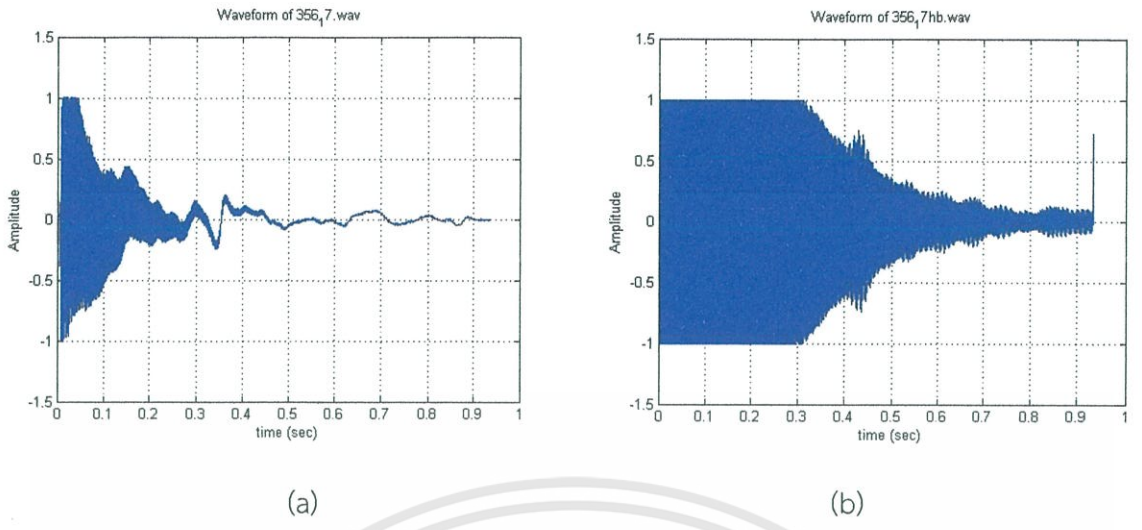
(a) (b)

รูปที่ 4.79 กราฟการกระจายสเปกตรัม 3มิติ ของเสียงระนาดทุ้มชิงชันโน้ตที่ 10 ตีด้วยไม้นวมเหลือง

(a) กราฟการกระจายสเปกตรัม 3 มิติเสียงระนาดต้นฉบับโน้ตที่ 10

(b) กราฟการกระจายสเปกตรัม 3 มิติของเสียงระนาดโน้ตที่ 10 ที่ผ่านการเลื่อนความถี่ด้วย HBFS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

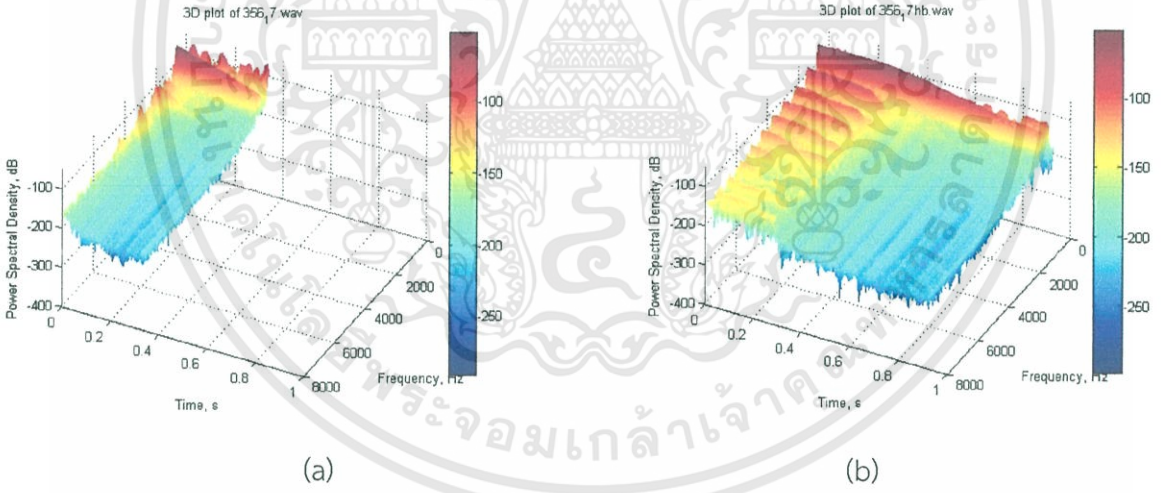


(a) (b)

รูปที่ 4.80 คลื่นของสัญญาณของเสียงระนาดทุ้มชิงชัน โน้ตที่ 17 ตีด้วยไม้นวมเหลือง

(a) คลื่นของสัญญาณของเสียงระนาดต้นฉบับโน้ตที่ 17

(b) คลื่นของสัญญาณของเสียงระนาดโน้ตที่ 17 ที่ผ่านการเลื่อนความถี่ด้วย HBFS



(a) (b)

รูปที่ 4.81 กราฟการกระจายสเปกตรัม 3มิติ ของเสียงระนาดทุ้มชิงชันโน้ตที่ 7 ตีด้วยไม้นวมเหลือง

(a) กราฟการกระจายสเปกตรัม 3 มิติเสียงระนาดต้นฉบับโน้ตที่ 17

(b) กราฟการกระจายสเปกตรัม 3 มิติของเสียงระนาดโน้ตที่ 17 ที่ผ่านการเลื่อนความถี่ด้วย HBFS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

การทดลองและผลการทดลอง ด้วยเทคนิคแอดดิทีฟบน MAX/MSP

ในบทนี้จะออกแบบการสังเคราะห์เสียงด้วยเทคนิคแอดดิทีฟ (Additive Synthesis) โดยใช้โปรแกรมแม็กซ์/เอ็มเอสพี (MAX/MSP) โดยการนำเสียงที่ได้จากการวิเคราะห์เสียงโน้ตของระนาดทั้ง 22 เสียง จากการเลือกโน้ตเพียง 1 เสียงที่เพราะที่สุด และมีฮาร์โมนิกส์ที่สอดคล้องกันมาเป็นความถี่อ้างอิง และทำตามขั้นตอนการวิเคราะห์เสียง ให้ได้มาซึ่งเสียงเพราะเหมือนกับเสียงโน้ตที่เพราะที่สุดที่ได้เลือกไว้ จากการใช้โปรแกรม Adobe Audition CS6 และโปรแกรม MATLAB ในการเปรียบเทียบเสียงที่ได้จากการเก็บบันทึกกับเสียงที่ได้จากการเลื่อนความถี่ ซึ่งได้พิจารณากรอบของโทนเสียง (Envelope) จากรูปคลื่นของสัญญาณ (Waveform), ความถี่มูลฐาน (Fundamental Frequency) องค์ประกอบแต่ละฮาร์โมนิกส์ และความสัมพันธ์ของฮาร์โมนิกส์ (Harmonics) และกราฟการกระจายสเปคตรัม 3 มิติ (3-D Spectrum) มาสังเคราะห์เพื่อให้สามารถเล่นระนาดผ่านคอมพิวเตอร์ได้

5.1 เกี่ยวกับ MAX/MSP

MAX/MSP คือเครื่องมือสำหรับการสร้างโปรแกรมโดยที่ผู้ใช้ไม่ต้องเรียนรู้ภาษา (Syntax) ใด ๆ การเขียนโปรแกรมเป็นเพียงการนำกล่อง (Object) ที่มีหน้าที่ต่าง ๆ กันตามชื่อของมัน มาเชื่อมต่อกันเพื่อให้โปรแกรมทำงานตามที่เราต้องการ ซึ่งชื่อ MAX/MSP ประกอบไปด้วย 2 ส่วนคือ MAX กับ MSP แยกกันตามหน้าที่ ซึ่งมาอยู่ในโครงสร้างเดียวกัน เลยเรียกรวมกันว่า MAX/MSP

- MAX คือชุดซอฟต์แวร์สำหรับเขียนโปรแกรมด้านดนตรี โดยใช้กราฟฟิกแทนที่การเขียนด้วยตัวอักษร (Graphical Music Programming Environment) สำหรับผู้ที่แตะขีดจำกัดของซีเควนเซอร์หรือโปรแกรมที่ใช้กับอุปกรณ์ MIDI ตามท้องตลาด"

- MSP (Max Signal Processing) คือชุดของออบเจกต์ที่เพิ่มเข้าไปบน Max สำหรับประมวลผลสัญญาณเสียง (Audio) เพื่อเพิ่มขีดจำกัดการทำงานของ Max ให้มีความสามารถด้านสัญญาณเสียงด้วย แทนที่จะมีแต่ MIDI เพียงอย่างเดียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

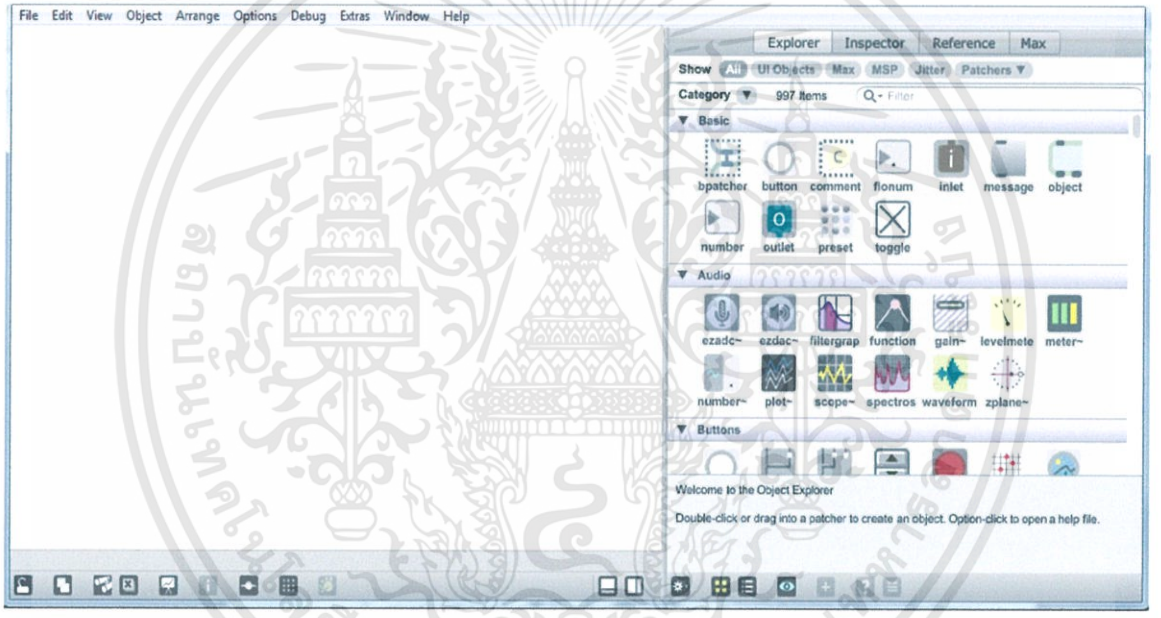
5.2 ขอบเขตการใช้งาน MAX/MSP

MAX/MSP อยู่บนพื้นฐานของภาษา C ทำให้ผู้ใช้สามารถที่จะเขียน Object ขึ้นมาใช้เองได้ และทำให้ใช้งานได้อย่างไม่มีขอบเขต (หากเรารู้ภาษา C) นอกจากนี้ MAX/MSP ยังสนับสนุน Rewire และ VST อีกด้วย ดังนั้นจึงใช้ MAX/MSP คู่กับ Reason หรืออะไรก็ตามที่สนับสนุน Rewire ทั้งยังใช้งาน Plug-in ที่เป็น VST ด้วย

5.2.1) การใช้งาน MAX/MSP เบื้องต้น

โปรแกรมแม็กซ์/เอ็มเอสพีนั้นจะมีเครื่องมือที่พร้อมให้ใช้งานอย่างสะดวก สามารถแสดงหน้าที่ทำการเชื่อมต่อบล็อกวงจร หรือแสดงหน้าที่เอาไว้เป็นการนำเสนอที่สวยงามก็ได้ ซึ่งจะมีส่วนประกอบดังนี้

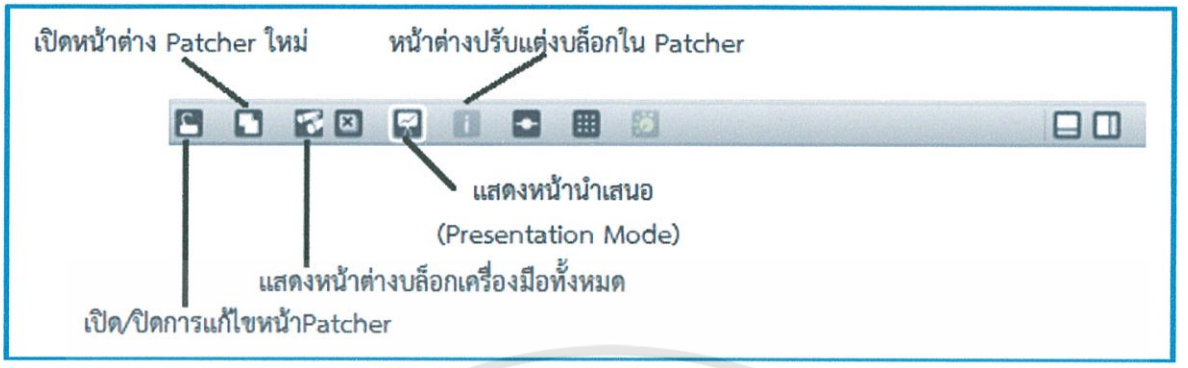
- หน้าต่างสำหรับต่อบล็อกวงจร (Patcher)



รูปที่ 5.1 หน้าต่างสำหรับต่อบล็อกวงจร

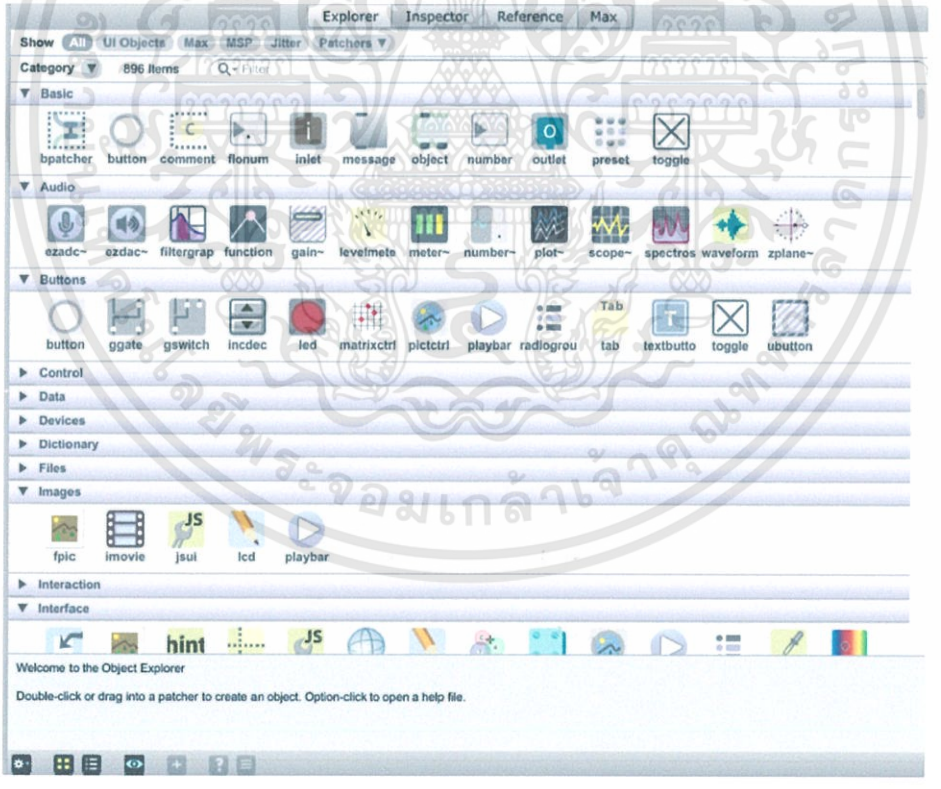
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- แถบเครื่องมือบนหน้าต่างสำหรับต่อบล็อกวงจร (Patcher Windows Toolbar)



รูปที่ 5.2 แถบเครื่องมือบนหน้าต่างสำหรับต่อบล็อกวงจร

- หน้าต่างเครื่องมือที่นำมาต่อวงจร (Explorer)



รูปที่ 5.3 หน้าต่างเครื่องมือที่นำมาต่อวงจร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในส่วนของการสังเคราะห์เสียงด้วยเทคนิคแอดดิทีฟนั้นจะใช้เครื่องมือและคำสั่งต่างๆ ดังตารางที่ 5.1 และตารางที่ 5.2

ตารางที่ 5.1 เครื่องมือภายในโปรแกรมแม็กซ์/เอ็มเอสพี (MAX/MSP)

ชื่อเครื่องมือ	สัญลักษณ์	ภาพเครื่องมือ	ลักษณะการทำงาน
Object Box			ขึ้นอยู่กับคำสั่งที่กำหนดใส่ให้ หรืออาจเลือกใช้งานได้ตามรูปแบบที่โปรแกรมมีเตรียมไว้ให้แล้ว
Message Box			ใช้สำหรับแสดง ส่ง หรือกำหนดค่าต่างๆ
Comment			แสดงคำอธิบาย
Number Box			แสดงค่าหรือป้อนค่าแบบปรับได้ในรูปของจำนวนเต็ม
Float Box			แสดงค่าหรือป้อนค่าแบบปรับได้ในรูปของทศนิยม
Audio Output			ส่งเสียงออก(ลำโพง)
Toggle			ปิด / เปิด
Bang			แสดงผลตามที่รับค่ามาจากการส่งค่าของวงจร
Inlet			รับค่าจากวงจรภายนอกที่มีการเชื่อมต่อกับวงจรภายใน
Outlet			ส่งค่าจากวงจรภายในให้แก่วงจรภายนอกที่เชื่อมต่อกัน
Function			สร้างกราฟจากการกำหนดจุดด้วยตัวผู้ใช้ได้เอง
Picture File			แสดงผลไฟล์ภาพที่นำเข้า

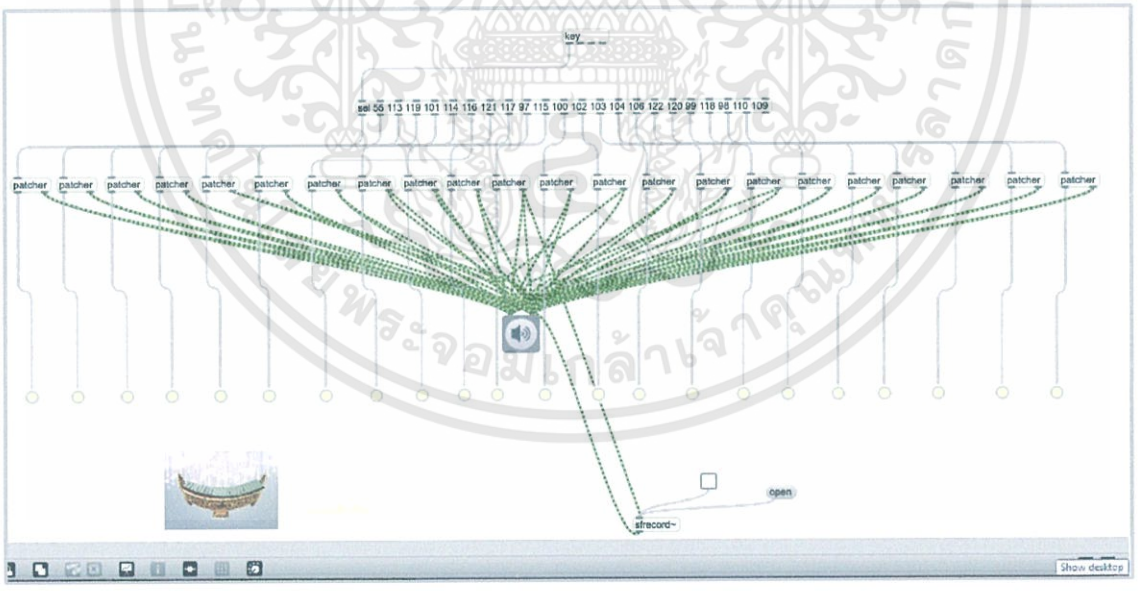
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.2 คำสั่งต่างๆที่กำหนดให้กับเครื่องมือ Object Box

คำสั่ง	ลักษณะการทำงาน
key	รับค่าแอสกี้จากคีย์บอร์ด
sfrecord~	เก็บบันทึกเสียงที่ได้จากบล๊อกวงจรที่สร้าง
patcher / partial	สร้างหน้าเชื่อมต่อย่อยที่ซ่อนบล๊อกการเชื่อมต่อกับหน้าวงจรหลัก
loadbang	ส่งค่าออกให้กับbutton เมื่อวงจรมีการประมวนผล
*~	การคูณสัญญาณ 2 สัญญาณ
*	การคูณเพิ่ม
cycle~	สร้างสัญญาณคลื่นซายน์ (sine wave)
line~	เปลี่ยนค่าสัญญาณจากค่าหนึ่งไปยังอีกค่าหนึ่งตามเวลาที่กำหนด
pass~	กำจัดสัญญาณรบกวน

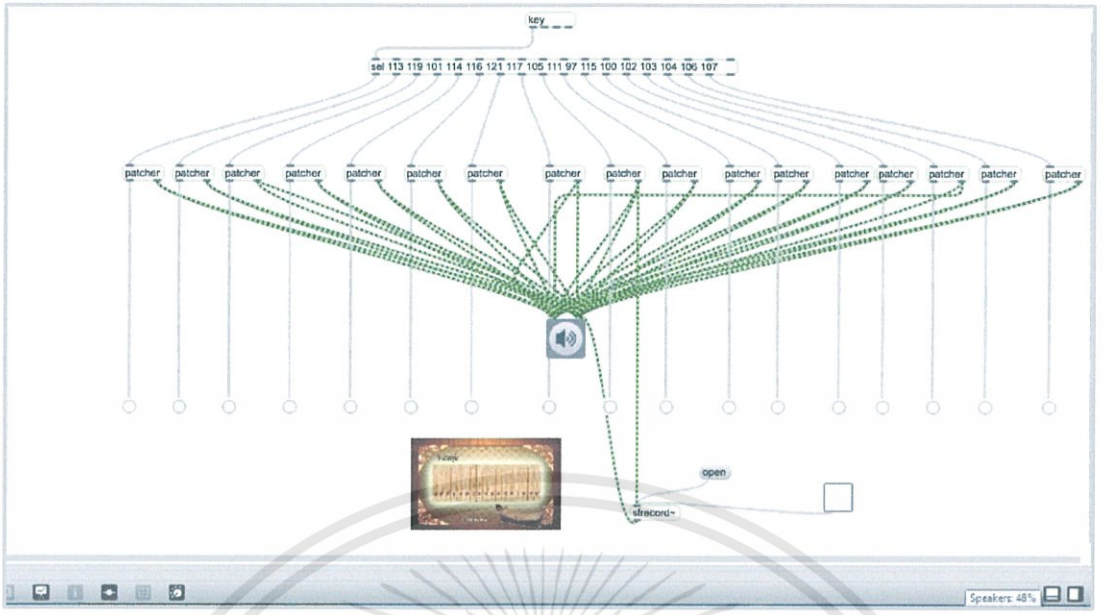
5.2.2) การใช้งานโปรแกรมสังเคราะห์เสียงด้วยเทคนิคแอดดิทีฟบน MAX/MSP

จากรูปที่ 5.4 และ 5.5 แสดงหน้าการเชื่อต่อหลักของบล็อกการสังเคราะห์เสียงด้วยเทคนิคแอดดิทีฟของระนาดเอกและระนาดทุ้ม มีการรับค่าจากคีย์บอร์ดด้วยบล็อกคำสั่งคีย์ (Key) ที่กำหนดเป็นรหัสแอสกี้ (ASCII) ไว้แล้วส่งค่าเข้าสู่วงจรแอดดิทีฟ และแสดงผลออกทางลำโพง ซึ่งวงจรการสังเคราะห์เสียงด้วยเทคนิคแอดดิทีฟนั้นจะซ่อนอยู่ภายในหน้าการเชื่อมต่อย่อย (subpatcher) ดังรูปที่ 5.6

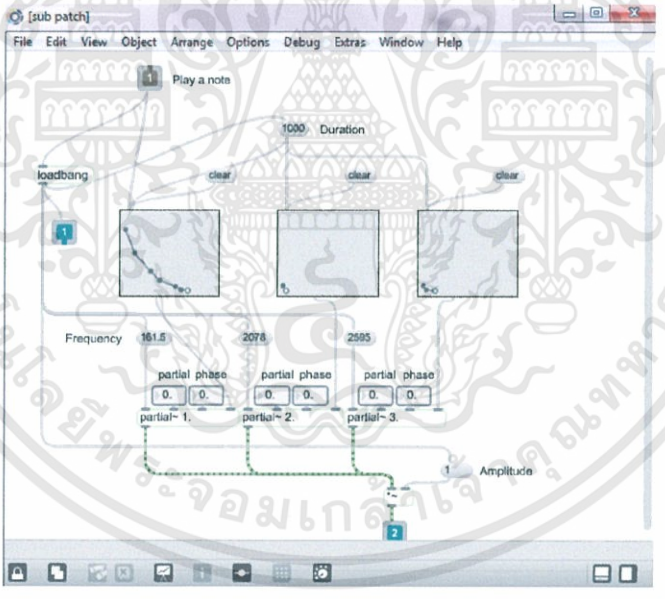


รูปที่ 5.4 หน้าบล็อกการเชื่อมต่อหลักของระนาดเอกภายในโปรแกรม MAX/MSP

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.5 หน้าบล็อกการเชื่อมต่อหลักของระนาดทุ้มภายในโปรแกรม MAX/MSP

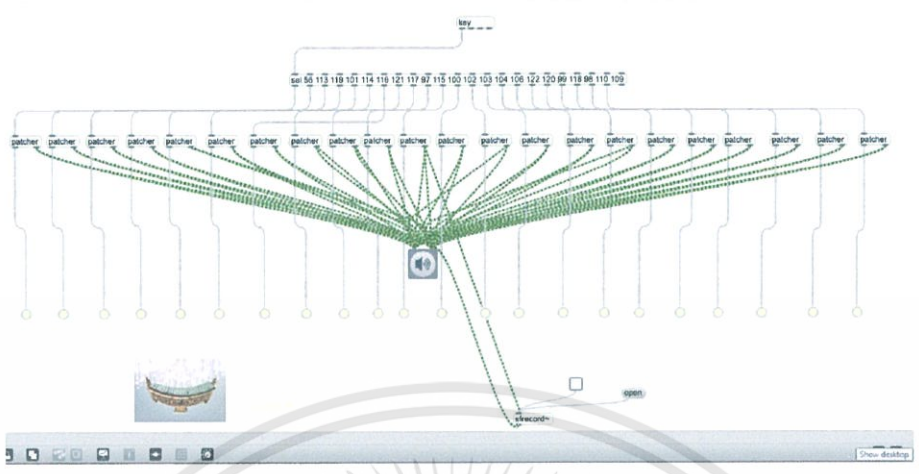


รูปที่ 5.6 ตัวอย่างหน้าบล็อกการเชื่อมต่อย่อยของวงจร (sub patcher)

การใช้งานโปรแกรมแม็กซ์/เอ็มเอสพี (MAX/MSP) ในการสังเคราะห์เสียงระนาดด้วยเทคนิคแอดดิทีฟ (Additive Synthesis) จากบล็อกของวงจรที่ได้ออกแบบแล้ว โดยเมื่อประมาณรูปกรอบของโทนเสียงและกำหนดค่าความถี่ให้กับทั้ง 3 ฟังก์ชันที่อยู่ภายในหน้าต่างการเชื่อมต่อย่อย (Sub patcher) แล้วเล่นแต่ละเสียงด้วยปุ่มบนคีย์บอร์ด ที่เราได้กำหนดให้การแสดงผลแต่ละเสียงโน้ตจากการรับค่าเป็นรหัสแอสกี้ (ASCII) บนคีย์บอร์ด จากนั้นทำการบันทึกเสียงที่ได้แล้วนำไปเปรียบเทียบสเปคโตรแกรมด้วยโปรแกรม Adobe Audition CS6 อีกครั้งหนึ่ง

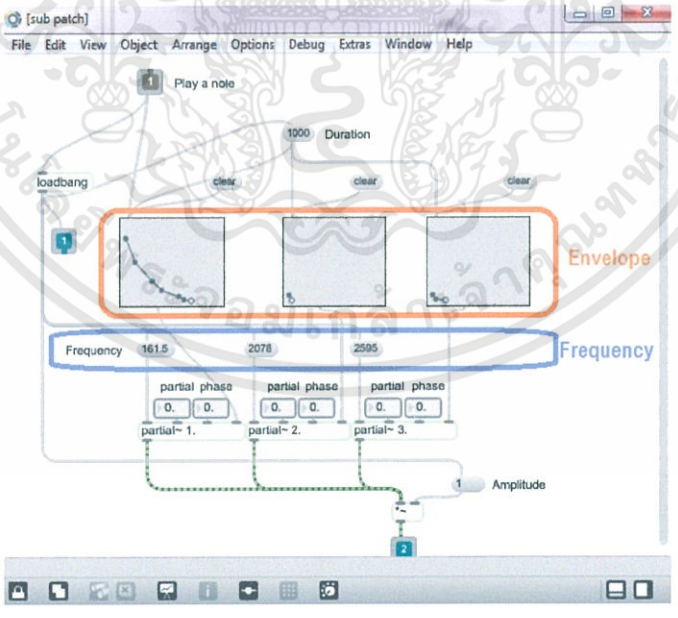
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- เปิดหน้าต่างการเชื่อมต่อวงจรสังเคราะห์เสียงด้วยเทคนิคแอดดิทีฟดังรูป



รูปที่ 5.7 หน้าต่างการเชื่อมต่อวงจรสังเคราะห์เสียงด้วยเทคนิคแอดดิทีฟ

จากนั้นทำการเปิดหน้าต่างการเชื่อมต่อย่อย (Sub patcher) ตามรูปที่ 5.16 เพื่อทำการประมาณกรอบของโทนเสียงให้กับฟังก์ชันทั้ง 3 ฟังก์ชัน โดยดูกรอบของโทนเสียง (Envelope) จากภาพกราฟการกระจายสเปคตรัม 3 มิติ กรอบฟังก์ชันซ้ายสุดแทนด้วยกรอบของโทนเสียงความถี่ (Frequency) ทั้งความถี่มูลฐาน ความถี่ฮาร์โมนิกส์ที่ 2 และความถี่ฮาร์โมนิกส์ที่ 3 ตามลำดับ และกำหนดค่าความถี่ที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยการเลื่อนความถี่ตามตารางที่ 5.3



รูปที่ 5.8 แสดงหน้าบล็อกการเชื่อมต่อย่อยของวงจร (sub patcher)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.3 ตารางค่าความถี่ของเสียงโน้ตระนาดเอกชิงชันที่ตีด้วยไม้รัก ที่ได้จากการเลื่อนความถี่จากเสียงโน้ตอ้างอิง

ลูกที่	โน้ต	ความถี่มูลฐาน (Hz)	ฮาร์โมนิกส์ที่ 2 (Hz)	ฮาร์โมนิกส์ที่ 3 (Hz)
1	ซอล	172.3	2196	2832
2	ลา	183	2218	2842
3	ที	204.6	2239	2864
4	โด	216.1	2261	2885
5	เร	258.4	2293	2918
6	มี	290.7	2315	2950
7	ฟา	312.2	2347	2972
8	ซอล	344.5	2369	2993
9	ลา	376.8	2412	3036
10	ที	430.7	2455	3090
11	โด	463	2498	3122
12	เร	516.8	2552	3176
13	มี	570.6	2595	3230
14	ฟา	667.5	2692	3327
15	ซอล	699.8	2735	3359
16	ลา	764.4	2799	3424
17	ที	839.8	2875	3499
18	โด	936.7	2972	3596
19	เร	1034	3068	3693
20	มี	1152	3187	3811
21	ฟา	1287	3316	3941
22	ซอล	1389	3413	4048

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.4 ตารางค่าความถี่ของเสียงโน้ตระนาดเอกชิงชันที่ตีด้วยไม้x10 ที่ได้จากการเลื่อนความถี่จากเสียงโน้ตอ้างอิง

ลูกที่	โน้ต	ความถี่มูลฐาน (Hz)	ฮาร์โมนิกส์ที่ 2 (Hz)	ฮาร์โมนิกส์ที่ 3 (Hz)
1	ซอล	161.5	2078	2595
2	ลา	183	2089	2606
3	ที	204.6	2110	2627
4	โด	226.1	2143	2649
5	เร	258.4	2164	2689
6	มี	279.9	2196	2702
7	ฟา	312.2	2218	2735
8	ซอล	333.8	2250	2756
9	ลา	376.8	2283	2799
10	ที	419.9	2336	2842
11	โด	463	2379	2885
12	เร	516.8	2422	2939
13	มี	559.9	2476	2982
14	ฟา	656.8	2573	3090
15	ซอล	699.8	2606	3122
16	ลา	764.4	2670	3187
17	ที	839.8	2756	3262
18	โด	936.7	2842	3359
19	เร	1034	2950	3456
20	มี	1152	3068	3575
21	ฟา	1281	3187	3704
22	ซอล	1378	3295	3811

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.5 ตารางค่าความถี่ของเสียงโน้ตระนาดเอกชิงชันที่ตีด้วยไม้นวมเขียว ที่ได้จากการเลื่อนความถี่จากเสียงโน้ตอ้างอิง

ลูกที่	โน้ต	ความถี่มูลฐาน (Hz)	ฮาร์โมนิกส์ที่ 2 (Hz)	ฮาร์โมนิกส์ที่ 3 (Hz)
1	ซอล	172.3	2250	2702
2	ลา	183	2261	2724
3	ที	204.6	2283	2745
4	โด	216.1	2304	2767
5	เร	258.4	2336	2799
6	มี	290.7	2369	2821
7	ฟา	312.2	2390	2853
8	ซอล	344.5	2422	2875
9	ลา	376.8	2455	2918
10	ที	430.7	2509	2972
11	โด	463	2541	3004
12	เร	516.8	2595	3058
13	มี	570.6	2649	3101
14	ฟา	667.5	2745	3198
15	ซอล	699.8	2778	3241
16	ลา	764.4	2842	3305
17	ที	839.8	2918	3381
18	โด	936.7	3015	3478
19	เร	1034	3112	3575
20	มี	1152	3230	3693
21	ฟา	1287	3359	3822
22	ซอล	1389	3467	3919

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.6 ตารางค่าความถี่ของเสียงโน้ตระนาดเอกชิงชันที่ตีด้วยไม้นวมเหลือง ที่ได้จากการเลื่อนความถี่จากเสียงโน้ตอ้างอิง

ลูกที่	โน้ต	ความถี่มูลฐาน (Hz)	ฮาร์โมนิกส์ที่ 2 (Hz)	ฮาร์โมนิกส์ที่ 3 (Hz)
1	ซอล	172.3	850.6	2218
2	ลา	183	861.3	2229
3	ที	204.6	882.9	1572
4	โด	216.1	915.2	1593
5	เร	258.4	947.9	1626
6	มี	290.7	969	1647
7	ฟา	312.2	1001	1680
8	ซอล	344.5	1023	1701
9	ลา	376.8	1055	1744
10	ที	430.7	1109	1787
11	โด	463	1152	1830
12	เร	516.8	1206	1884
13	มี	570.6	1249	1927
14	ฟา	667.5	1346	2024
15	ซอล	699.8	1389	2067
16	ลา	764.4	1453	2132
17	ที	839.8	1529	2207
18	โด	936.7	1626	2304
19	เร	1034	1723	2401
20	มี	1152	1841	2519
21	ฟา	1287	1960	2649
22	ซอล	1389	2067	2756

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.7 ตารางค่าความถี่ของเสียงโน้ตระนาดเอกประดู่ที่ตีด้วยไม้รัก ที่ได้จากการเลื่อนความถี่จากเสียงโน้ตอ้างอิง

ลูกที่	โน้ต	ความถี่มูลฐาน (Hz)	ฮาร์โมนิกส์ที่ 2 (Hz)	ฮาร์โมนิกส์ที่ 3 (Hz)
1	ซอล	161.5	2519	3036
2	ลา	172.3	2541	3047
3	ที	193.8	2562	3068
4	โด	226.1	2584	3101
5	เร	258.4	2616	3133
6	มี	279.9	2638	3155
7	ฟา	312.2	2670	3187
8	ซอล	333.8	2692	3208
9	ลา	366.1	2735	3241
10	ที	419.9	2728	3295
11	โด	463	2821	3338
12	เร	516.8	2875	3391
13	มี	559.9	2918	3435
14	ฟา	656.8	3015	3531
15	ซอล	699.8	3058	3375
16	ลา	764.4	3122	3639
17	ที	839.8	3198	3714
18	โด	936.7	3265	3811
19	เร	1034	3391	3908
20	มี	1152	3550	4027
21	ฟา	1270	3639	4145
22	ซอล	1378	3736	4253

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.8 ตารางค่าความถี่ของเสียงโน้ตระนาดเอกประดู่ที่ตีด้วยไม้x10 ที่ได้จากการเลื่อนความถี่จากเสียงโน้ตอ้างอิง

ลูกที่	โน้ต	ความถี่มูลฐาน (Hz)	ฮาร์โมนิกส์ที่ 2 (Hz)	ฮาร์โมนิกส์ที่ 3 (Hz)
1	ซอล	161.5	721.4	2476
2	ลา	172.3	732.1	2498
3	ที	193.8	753.7	2519
4	โด	226.1	786	2541
5	เร	247.6	818.3	2573
6	มี	279.9	839.8	2595
7	ฟา	312.2	872.1	2627
8	ซอล	333.8	893.6	2649
9	ลา	366.1	925.9	2692
10	ที	419.9	979.8	2735
11	โด	463	1023	2778
12	เร	516.8	1077	2832
13	มี	559.9	1120	2875
14	ฟา	656.8	1217	2972
15	ซอล	699.8	1260	3025
16	ลา	764.4	1324	3079
17	ที	839.8	1400	3155
18	โด	925.9	1497	3252
19	เร	1034	1593	3348
20	มี	1152	1712	3467
21	ฟา	1270	1830	3596
22	ซอล	1378	1938	3693

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.9 ตารางค่าความถี่ของเสียงโน้ตระนาดเอกประดู่ที่ตีด้วยไม้นวมเขียว ที่ได้จากการเลื่อนความถี่จากเสียงโน้ตอ้างอิง

ลูกที่	โน้ต	ความถี่มูลฐาน (Hz)	ฮาร์โมนิกส์ที่ 2 (Hz)	ฮาร์โมนิกส์ที่ 3 (Hz)
1	ซอล	172.3	549.2	2326
2	ลา	193.8	570.6	2347
3	ที	215.3	592.2	2369
4	โด	239.6	613.7	2390
5	เร	269.2	646	2422
6	มี	290.7	667.5	2444
7	ฟา	323	699.8	2476
8	ซอล	344.5	721.4	2509
9	ลา	387.6	764.4	2530
10	ที	430.7	807.5	2595
11	โด	473.7	850.6	2627
12	เร	527.6	904.4	2681
13	มี	570.6	947.5	2724
14	ฟา	667.5	1055	2821
15	ซอล	710.6	1087	2853
16	ลา	775.2	1152	2929
17	ที	880.6	1227	3015
18	โด	947.5	1324	3101
19	เร	1044	1421	3198
20	มี	1143	1540	3316
21	ฟา	1292	1669	3445
22	ซอล	1389	1746	3542

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.10 ตารางค่าความถี่ของเสียงโน้ตระนาดเอกประดู่ที่ตีด้วยไม้นวมเหลือง ที่ได้จากการเลื่อนความถี่จากเสียงโน้ตอ้างอิง

ลูกที่	โน้ต	ความถี่มูลฐาน (Hz)	ฮาร์โมนิกส์ที่ 2 (Hz)	ฮาร์โมนิกส์ที่ 3 (Hz)
1	ซอล	172.3	807.5	1443
2	ลา	183	818.3	1453
3	ที	204.6	839.8	1475
4	โด	236.9	861.3	1477
5	เร	258.4	893.6	1529
6	มี	290.7	925.9	1561
7	ฟา	376.8	1012	1647
8	ซอล	430.7	1066	1701
9	ลา	473.7	1098	1733
10	ที	516.8	1152	1787
11	โด	570.6	1206	1841
12	เร	667.5	1303	1938
13	มี	699.8	1335	1970
14	ฟา	764.4	1400	2035
15	ซอล	850.6	1486	2110
16	ลา	936.7	1572	2207
17	ที	1044	1669	2304
18	โด	1077	1792	2336
19	เร	1174	1809	2433
20	มี	1292	1927	2562
21	ฟา	1410	2046	2881
22	ซอล	1518	2153	2789

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.11 ตารางค่าความถี่ของเสียงโน้ตระนาดทุ้มชิงชันที่ตีด้วยไม้นวมแดง ที่ได้จากการเลื่อนความถี่จากเสียงโน้ตอ้างอิง

ลูกที่	โน้ต	ความถี่มูลฐาน (Hz)	ฮาร์โมนิกส์ที่ 2 (Hz)	ฮาร์โมนิกส์ที่ 3 (Hz)
1	ซอล	172.3	764.4	1357
2	ลา	193.8	775.2	1367
3	ที	215.3	796.7	1389
4	โด	236.9	829	1421
5	เร	269.2	861.3	1443
6	มี	290.7	882.9	1475
7	ฟา	323	915.2	1497
8	ซอล	344.5	936.7	1529
9	ลา	387.6	969	1561
10	ที	430.7	1023	1615
11	โด	473.7	1066	1658
12	เร	527.6	1120	1701
13	มี	570.6	1163	1755
14	ฟา	667.5	1260	1852
15	ซอล	710.6	1303	2884
16	ลา	775.2	1367	1949
17	ที	850.6	1443	2035
18	โด			
19	เร			-
20	มี			-
21	ฟา			
22	ซอล			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.12 ตารางค่าความถี่ของเสียงโน้ตระนาดทุ้มชิงชันที่ตีด้วยไม้นวมเหลือง ที่ได้จากการเลื่อนความถี่จากเสียงโน้ตอ้างอิง

ลูกที่	โน้ต	ความถี่มูลฐาน (Hz)	ฮาร์โมนิกส์ที่ 2 (Hz)	ฮาร์โมนิกส์ที่ 3 (Hz)
1	ซอล	96.9	796.7	1497
2	ลา	107.7	807.5	1507
3	ที	129.2	829	1529
4	โด	150.7	850.6	1561
5	เร	183	882.9	1583
6	มี	215.5	915.2	1615
7	ฟา	236.9	936.7	1637
8	ซอล	296.2	969	1669
9	ลา	301.5	1001	1701
10	ที	353.3	1055	1755
11	โด	387.6	1087	1798
12	เร	441.4	1141	1841
13	มี	495.3	1195	1895
14	ฟา	441.4	1292	1992
15	ซอล	624.5	1324	2024
16	ลา	689.1	1389	2089
17	ที	764.4	1475	2175
18	โด			
19	เร			-
20	มี			-
21	ฟา			
22	ซอล			

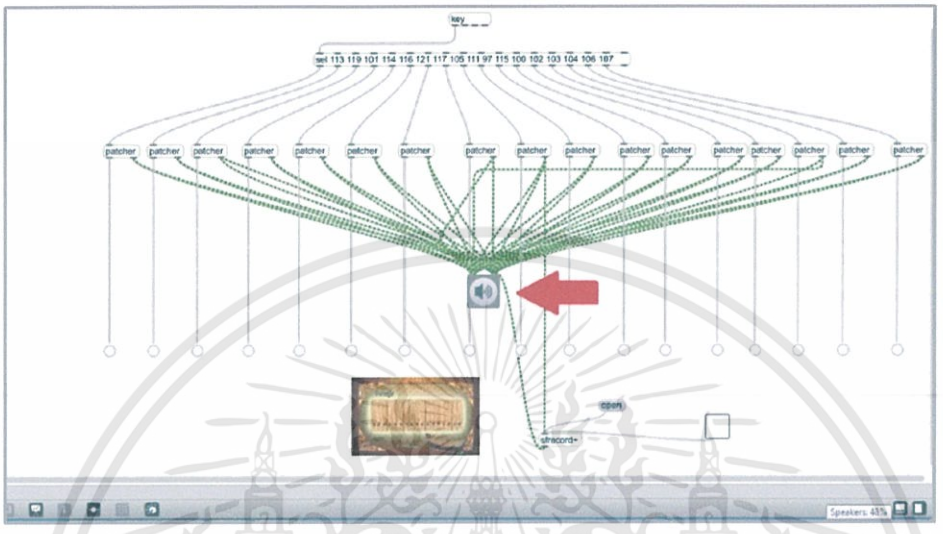
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.13 ตารางค่าความถี่ของเสียงโน้ตระนาดทุ้มไผ่บงที่ตีด้วยไม้นวมเหลือง ที่ได้จากการเลื่อนความถี่จากเสียงโน้ตอ้างอิง

ลูกที่	โน้ต	ความถี่มูลฐาน (Hz)	ฮาร์โมนิกส์ที่ 2 (Hz)	ฮาร์โมนิกส์ที่ 3 (Hz)
1	ซอล	107.7	624.5	1130
2	ลา	129.2	635.2	1152
3	ที	140	656.8	1103
4	โด	172.3	689.1	1195
5	เร	204.6	710.6	1227
6	มี	226.1	742.9	1249
7	ฟา	258.4	764.4	1281
8	ซอล	279.9	796.7	1303
9	ลา	312.2	829	1346
10	ที	366.1	882.9	1389
11	โด	409.1	915.2	1432
12	เร	463	969	1486
13	มี	506	1023	1529
14	ฟา	602.9	1120	1626
15	ซอล	646	1152	1669
16	ลา	710.6	1217	1733
17	ที	786	1292	1809
18	โด			
19	เร			-
20	มี			-
21	ฟา			
22	ซอล			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

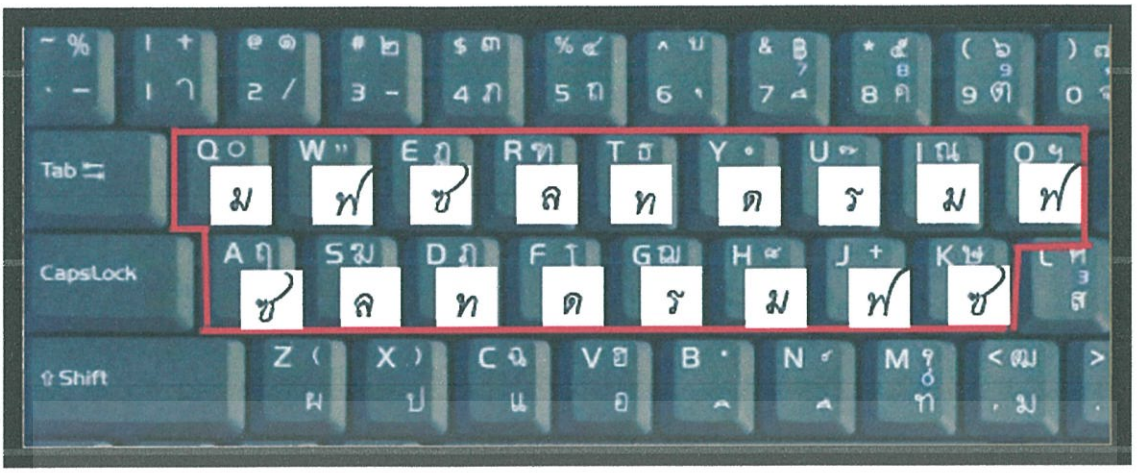
ต่อจากนั้นกลับไปที่หน้าต่างการเชื่อมต่อหลัก (Patcher) กดปุ่มเปิดเสียงลำโพง ดังรูปที่ 5.9 แล้วกดปุ่มบนคีย์บอร์ดตามที่เราได้กำหนดค่าแอสกี้ (ASCII) ไว้ ว่าปุ่มไหนได้เสียงอะไร ดังรูปที่ 5.10 และ 5.11 ค่าแอสกี้ของแต่ละปุ่มบนคีย์บอร์ดนั้นหาได้จากบล็อกคำสั่ง key ที่ได้อธิบายไว้ในตารางการใช้งานเครื่องมือ



รูปที่ 5.9 ปุ่มบนคีย์บอร์ดที่แทนเสียงแต่ละโน้ตของระนาดเอกสำหรับผู้ใช้

รูปที่ 5.10 ปุ่มบนคีย์บอร์ดที่แทนเสียงแต่ละโน้ตของระนาดเอกสำหรับผู้ใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.11 ปุ่มบนคีย์บอร์ดที่แทนเสียงแต่ละโน้ตของระนาดทุ้มสำหรับผู้ใช้

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

Graphic User Interface

ในบทนี้จะแสดงหน้าจอ Graphic User Interface ที่สร้างจากโปรแกรม Visual Basic ของโปรแกรมเล่นเสียงระนาดบนคอมพิวเตอร์ผ่านคีย์บอร์ดแบบ real-time ซึ่งผู้ใช้งานสามารถเลือกผืนระนาด และไม้ที่ใช้ตีระนาดได้ตามต้องการ ในที่นี้ได้กล่าวถึงระนาดออกเป็น 2 ชนิด คือ ระนาดเอก และระนาดทุ้ม โดยระนาดเอกนั้นแบ่งออกเป็น 2 ผืน คือ ระนาดเอกชิงชันกับระนาดเอกประดู่ แบ่งไม้ตีออกเป็น 3 ไม้ คือ ไม้นวม ไม้รัก และไม้อเนกเสียงทิพย์ ส่วนระนาดทุ้มนั้นแบ่งเป็น 2 ผืนเช่นกัน คือ ระนาดทุ้มชิงชันกับระนาดทุ้มไผ่บง ใช้ไม้นวมในการตี ซึ่งผู้ใช้งานสามารถเลือกเล่นเสียงระนาดผ่านโปรแกรมเล่นเสียงระนาดได้ อีกทั้งยังมีหน้าแนะนำวิธีการเล่นระบุไว้ให้ผู้ใช้งานศึกษา เพื่อสามารถใช้โปรแกรมได้ด้วยตนเอง

6.1 รูปแบบและดีไซน์ของหน้าจอโปรแกรมเล่นระนาดบนคอมพิวเตอร์

รูปที่ 6.1 หน้าจอหลักของโปรแกรมเล่นระนาดบนคอมพิวเตอร์

- หากผู้ใช้กดปุ่มเมนูวิธีเล่นที่หน้าหลักจะปรากฏหน้าจอคำแนะนำการเล่นระนาดต่างๆ ดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(a)

(b)

(c)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(d)

รูปที่ 6.2 (a) (b) (c) (d) หน้าจอแนะนำวิธีใช้โปรแกรมเล่นระนาดบนคอมพิวเตอร์

- เมื่อผู้ใช้กดปุ่มเมนู “เล่น” จะปรากฏหน้าจอต่อไปนี้ เพื่อให้เลือกชนิดของระนาดที่ต้องการ

รูปที่ 6.3 หน้าจอเพื่อให้ผู้ใช้เลือกชนิดของระนาดที่จะเล่นบนโปรแกรมเล่นระนาดบนคอมพิวเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ถ้าผู้ใช้เลือกระนาดเอก จะปรากฏหน้าจอให้เลือกผืนของไม้ระนาด ดังนี้

รูปที่ 6.4 หน้าจอเพื่อให้ผู้ใช้เลือกผืนไม้ของระนาดเอก

- ถ้าผู้ใช้เลือกระนาดทุ้ม จะปรากฏหน้าจอให้เลือกผืนของไม้ระนาด ดังนี้

รูปที่ 6.5 หน้าจอเพื่อให้ผู้ใช้เลือกผืนไม้ของระนาดทุ้ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- หลังจากเลือกผืนของระนาดชนิดใดชนิดหนึ่งแล้ว จะปรากฏหน้าจอให้เลือกไม้ตีระนาด

รูปที่ 6.6 หน้าจอเพื่อให้ผู้ใช้เลือกไม้ตีระนาดที่ต้องการ

- เมื่อเลือกทั้งผืนไม้ระนาดและไม้ที่ต้องกาเสร็จเรียบร้อย จะปรากฏหน้าจอของผืนไม้ระนาดและไม้ตีระนาดตามชนิดที่เลือกไว้ เพื่อให้ผู้ใช้เล่นระนาดผ่านคีย์บอร์ดได้ตามต้องการ โดยมีหน้าจอของระนาดชนิดต่างๆ ที่ตีด้วยไม้แตกต่างกันดังนี้

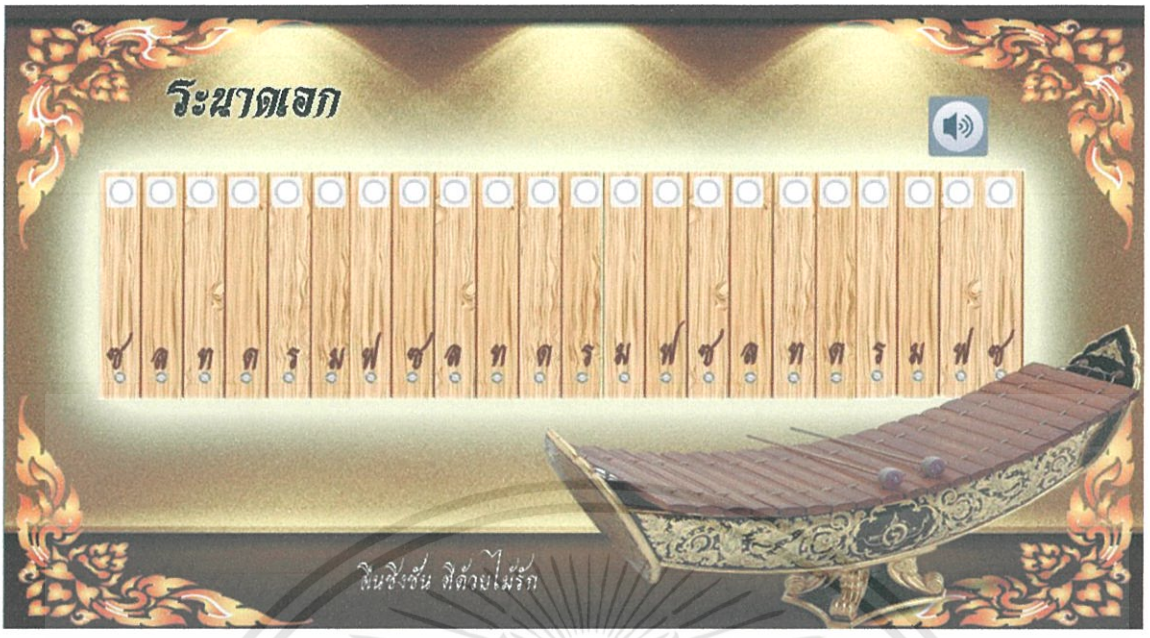
รูปที่ 6.7 หน้าจอของผืนระนาดเอกประดู่ ที่ตีด้วยไม้รัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 6.8 หน้าจอของผืนระนาดเอกประดู่ ที่ตีด้วยไม้นวม

รูปที่ 6.9 หน้าจอของผืนระนาดเอกประดู่ ที่ตีด้วยไม้อเนกเสียงทิพย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

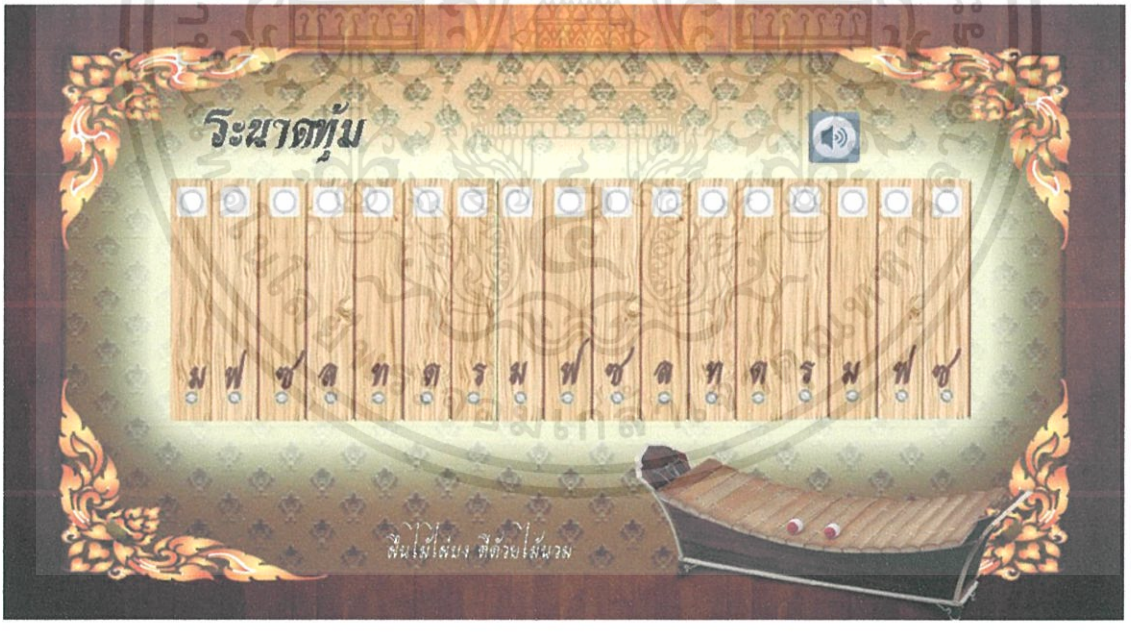


รูปที่ 6.10 หน้าจอของผืนระนาดเอกชิงชัน ที่ตีด้วยไม้รัก

รูปที่ 6.11 หน้าจอของผืนระนาดเอกชิงชัน ที่ตีด้วยไม้นวม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 6.12 หน้าจอของผืนระนาดเอกชิงชัน ที่ตีด้วยไม้อเนกเสียงทิพย์



รูปที่ 6.13 หน้าจอของผืนระนาดทุ้มไผ่บง ที่ตีด้วยไม้นวม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 6.14 หน้าจอของผืนระนาดทุ้มชิงชัน ที่ตีด้วยไม้นวม

- หากผู้ใช้กดปุ่มเลือกเมนูผู้จัดทำ จะปรากฏหน้าจอแสดงคณะผู้จัดทำ ดังนี้

รูปที่ 6.15 หน้าจอคณะผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 7

สรุปผลการทดลอง

7.1 สรุปผลการทดลอง

ADSR เป็นเรื่องเกี่ยวกับการกำหนดปริมาณและเวลา เกิดจากการศึกษาและเลียนเสียงในธรรมชาติ เป็นคุณสมบัติที่ทำให้เกิดเสียงที่มีลักษณะที่แตกต่างกัน เช่นเสียงระฆังหรือเสียงแคช จะมี Release time ที่ยาวมากๆ ส่วนเสียงเครื่องเคาะจะมี Attack และ Decay time ที่เร็ว มี Release time เล็กน้อย และพวกเครื่องสาย หรือ ออแกนจะมี sustain ยาวได้ตามการสีหรือกด

ซึ่งจากการวิเคราะห์ (Analysis) ลักษณะเสียงโน้ตของระนาด ซึ่งเป็นเครื่องดนตรีประเภทเครื่องตีที่เป็นไม้ ในแต่ละโน้ตจะเห็นว่าโดยทั่วไปแล้ว ถ้าพิจารณาในโดเมนเวลา (Time Domain) จะเห็นว่ามีลักษณะกรอบของโทนเสียง (Envelope) เป็นไปตามกรอบของโทนเสียงทั่วไป (ADSR Shape) ดังนี้

เสียงที่ออกมาจากการเลื่อนความถี่และการสังเคราะห์ด้วยเทคนิคแอดดิทีฟโดยโปรแกรม MAX/MSP นั้นมีความไพเราะมากกว่าเสียงต้นฉบับที่จัดเก็บมา และสามารถแก้ไขปัญหาเสียงที่ผิดเพี้ยนอันเกิดจากกายภาพของเครื่องดนตรี ผู้ตี รวมถึงสภาพแวดล้อมต่างๆที่ทำให้เสียงระนาดมีความผิดเพี้ยนจนทำให้ไม่เกิดความไพเราะได้ ซึ่งหลักการนี้สามารถนำไปปรับใช้กับเครื่องดนตรีไทยชนิดอื่นๆ ได้ต่อไป

7.2 ปัญหาและอุปสรรค

7.2.1 ปัญหาจากการใช้งานโปรแกรม

- โปรแกรม MAX/MSP เป็นโปรแกรมทางเสียงที่ยังไม่ค่อยนิยมนำมาใช้งานแพร่หลายมากนัก ทำให้ต้องมีการศึกษาค้นคว้าหาวิธีการใช้งานต่าง ๆ ในโปรแกรม และการสืบค้นเอกสารอ้างอิงสามารถทำได้ยาก จึงมีความยุ่งยากต่อการใช้งานในเบื้องต้น ทำให้เสียเวลาในการทำการทดลองมากขึ้น
- โปรแกรม MAX/MSP เป็นโปรแกรมที่มีราคาแพงและมีลิขสิทธิ์ เปิดให้ทดลองใช้งานในเวลาที่จำกัด ทำให้เป็นอุปสรรคต่อการศึกษา

7.2.2 ปัญหาจากการวิเคราะห์สัญญาณเสียง

- การบันทึกเสียงระนาดจริงที่จะนำมาวิเคราะห์นั้น จะมีสัญญาณเสียงอื่นรบกวน เนื่องจากไม่ได้บันทึกจากห้องอัดเสียงโดยตรง และเครื่องอัดเสียงมีประสิทธิภาพในการบันทึกเสียงที่ละเอียดมาก จึงต้องมีการตัดย่านความถี่ที่ไม่ต้องการทิ้งก่อนนำไปวิเคราะห์
- ต้องมีการบันทึกเสียงหลายครั้งจึงจะได้สัญญาณเสียงที่เหมาะสมกับการวิเคราะห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.3 แนวทางการพัฒนาต่อ

โปรแกรม MAX/MSP สามารถประยุกต์การใช้งานได้กับฮาร์ดแวร์หลายอย่าง ในอนาคตอาจพัฒนาไปประยุกต์ใช้วิเคราะห์เสียงเครื่องดนตรีไทยประเภทอื่นๆ ได้หลากหลายมากยิ่งขึ้น เพื่อก้าวทันประเทศที่ได้มีการศึกษาค้นคว้าการวิเคราะห์และสังเคราะห์เสียงของเครื่องดนตรีสากลต่างๆ อีกทั้งยังเป็นการเผยแพร่เครื่องดนตรีไทยให้นานาประเทศได้รู้จักมากขึ้นอีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

[1] ณิชารีย์ ลี้ชาญสกุล. การปรับแต่งเสียงแบบดิจิตอล. ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต. กรุงเทพฯ : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2554.

[2] http://cycling74.com/downloads/older/

[3] http://passionsound.blogspot.com/2006/12/maxmsp.html

[4] http://loadnonstop.com/developer-tools/microsoft-visual-basic-2010/

[5] https://www.google.co.th/search?q=background+line+thai&tbm=isch&tbo=u&source=univ&sa=X&ei=S-QcU471JKKFiQeR5YDgBA&ved=0CCUQsAQ&biw=1366&bih=667

[6] http://www.patid.com/forums/blogs.php?eid=44

[7] http://th.wikipedia.org/wiki/%E0%B8%A3%E0%B8%B0%E0%B8%99%E0%B8%B2%E0 % B8 %9 4%E0%B9%80%E0%B8%AD%E0 ข%B8%81

[8] http://th.wikipedia.org/wiki/%E0%B8%A3%E0%B8%B0%E0%B8%99%E0%B8%B2%E0%B8%94%E0%B8%97%E0%B8%B8%E0%B9%89%E0%B8%A1

[9] http://www.thaigoodview.com/library/teachershow/sakaew/sornchai_p/ranad/sec02p02.htht

[10] http://guicoopat.blogspot.com/2011/10/visual-basic_4791.html?m=1

[11] http://social.msdn.microsoft.com/Forums/en-US/441844fa-3f21-47c3-a998 -e9a31c01e37e/how-do-you- connect-two-or-more-forms-together-in-visual-basic?forum=vbgeneral

[12] http://www.dotnetperls.com/process-start-vbnet

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

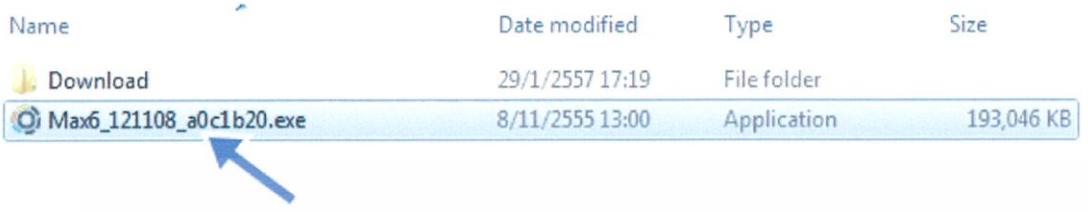
ภาคผนวก ก.

คู่มือการติดตั้งโปรแกรม MAX/MSP

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การติดตั้งโปรแกรม MAX/MSP 6.0

1. ดับเบิ้ลคลิกไฟล์ Max6_121108_a0c1b20.exe .ในโฟลเดอร์ที่ทำการบันทึกไฟล์นี้ไว้



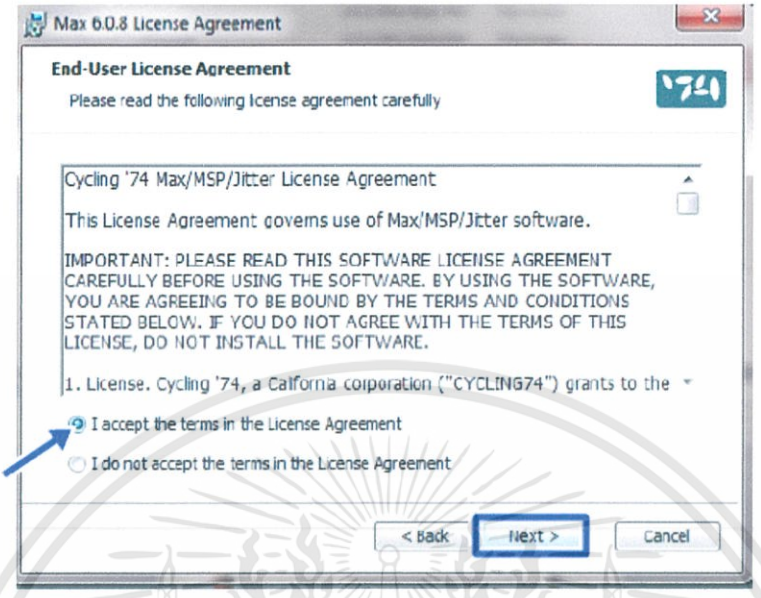
รูปที่ ก.1 ไฟล์โปรแกรม Max 6.0 ที่บันทึกไว้ในโฟลเดอร์

2. ปรากฏหน้าต่าง Max Setup เข้าสู่หน้าต่างการติดตั้งโปรแกรม คลิก Next > เพื่อดาเนินการต่อดังรูป

รูปที่ ก.2 หน้าต่างเริ่มต้นการติดตั้งโปรแกรม

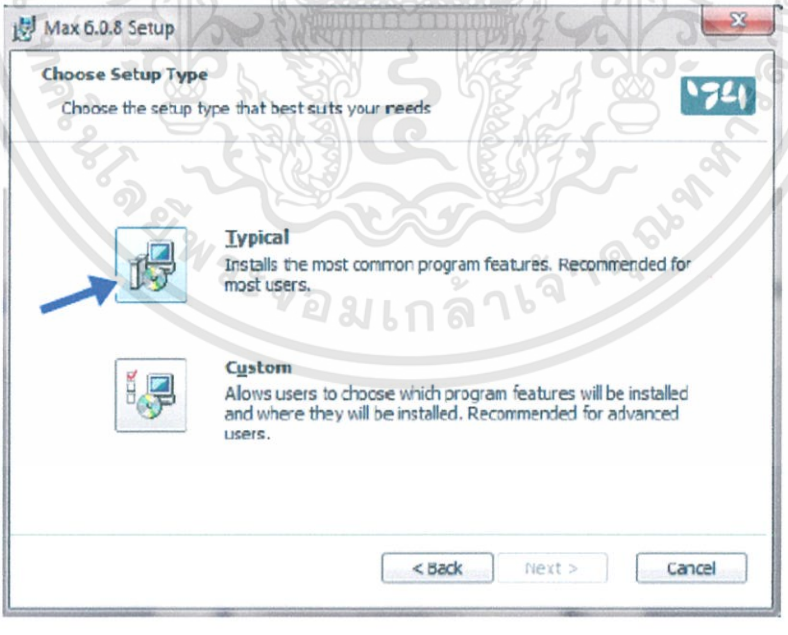
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. เลือก I accept the terms in the License Agreement เพื่อยอมรับข้อตกลงแล้วคลิก Next >



รูปที่ ก.3 หน้าต่างเพื่อยอมรับการติดตั้งโปรแกรม

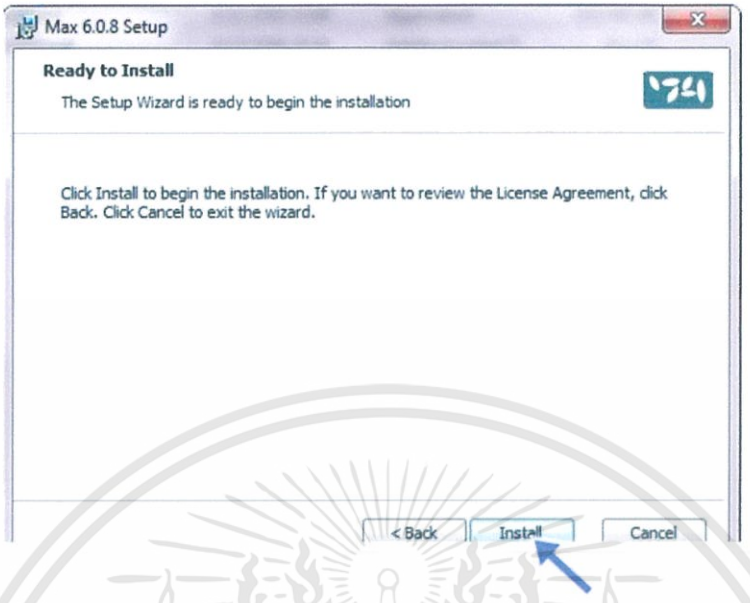
4. หน้าต่างนี้จะถามรูปแบบของการติดตั้ง ให้เลือกแบบ typical คือ ติดตั้งแบบปกติทั่วไปของโปรแกรม



รูปที่ ก.4 หน้าต่างเพื่อเลือกลักษณะการติดตั้งโปรแกรม

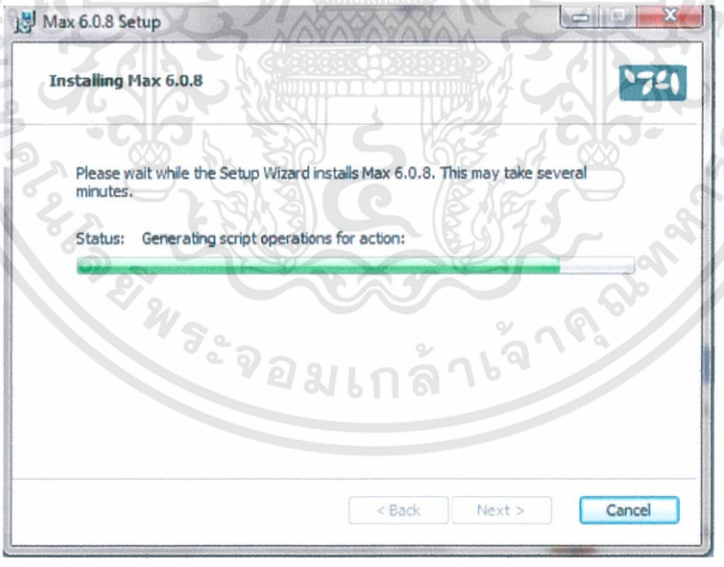
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. คลิกปุ่ม Install เพื่อติดตั้งโปรแกรม



รูปที่ ก.5 หน้าต่างเพื่อติดตั้งโปรแกรม

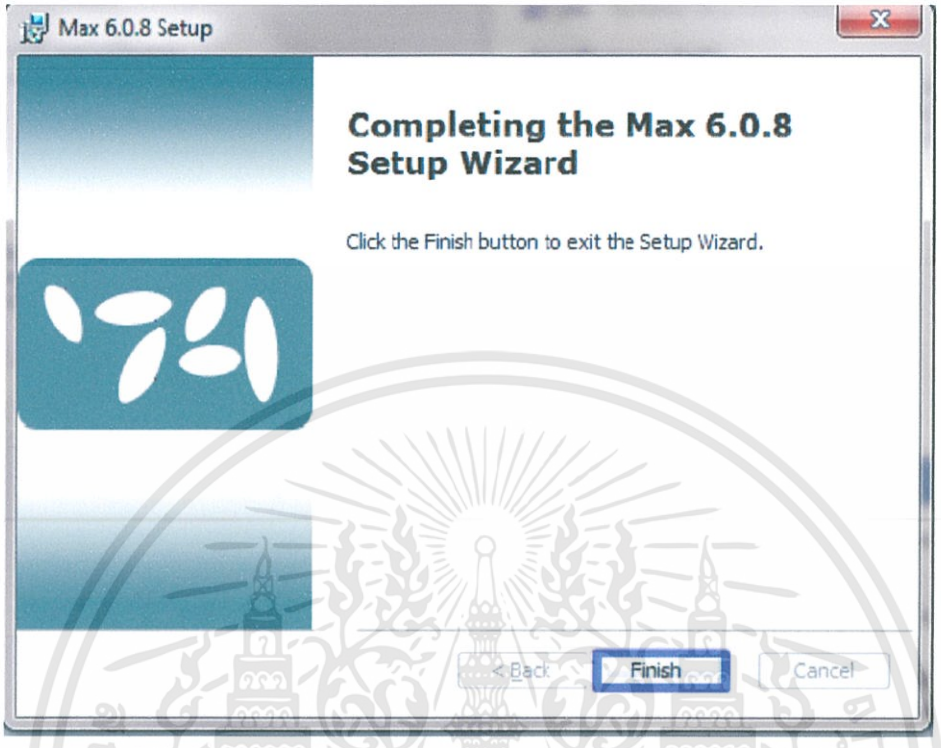
6. รอให้โปรแกรมติดตั้งจนเสร็จสมบูรณ์



รูปที่ ก.6 หน้าต่างระหว่างการติดตั้งโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. คลิกปุ่ม Finish เมื่อการติดตั้งเสร็จสมบูรณ์



รูปที่ ก.7 หน้าต่างรายงานการติดตั้งโปรแกรมสำเร็จ

8. ปรากฏไอคอนของโปรแกรม Max 6.0 ที่หน้าจอ (Desktop) และพร้อมสำหรับการใช้งาน

รูปที่ ก.8 ไอคอนโปรแกรม Max 6.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้