4 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง

ผลการทดลองจะแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ

1) ผลการทดสอบชุดทดลองการหาสเปกตรัมความถี่ของเสียง

2) ผลที่ได้จากการศึกษาสเปกตรัมความถี่ของเสียงเครื่องดนตรีไทย

4.1 ผลการทดสอบชุดทดลองการหาสเปกตรัมความถี่ของเสียง

4.1.1 ผลการทดสอบรับคลื่นเสียงความถี่เดียวจากเครื่องกำเนิดสัญญาณ

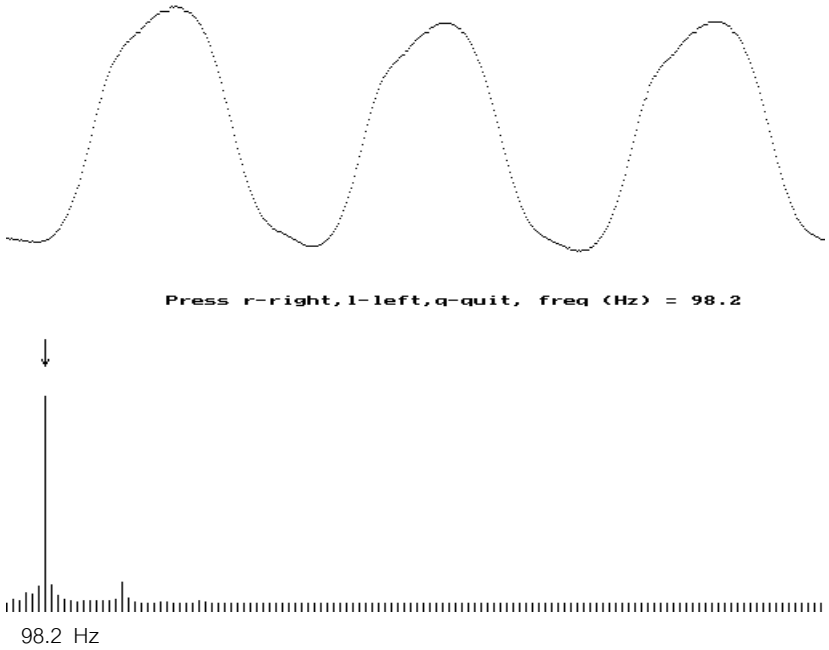
4.1.1.1 ผลสเปกตรัมความถี่ของเสียง ที่ได้จากเครื่องกำเนิดสัญญาณรูปไซน์ความถี่ 100 Hz ขนาด 5 V_{p-p} ใช้เวลาหน่วงของการสุ่มข้อมูล 60 ไมโครวินาที หรืออัตราการสุ่ม 16,667 Hz ดูรูปที่ 18

4.1.1.2 ผลสเปกตรัมความถี่ของเสียง ที่ได้จากเครื่องกำเนิดสัญญาณรูปไซน์ความถี่ 100 Hz ขนาด 5 V_{p-p} ใช้เวลาหน่วงของการสุ่มข้อมูล 570 ไมโครวินาที หรืออัตราการสุ่ม 1,754 Hz ดูรูปที่ 19

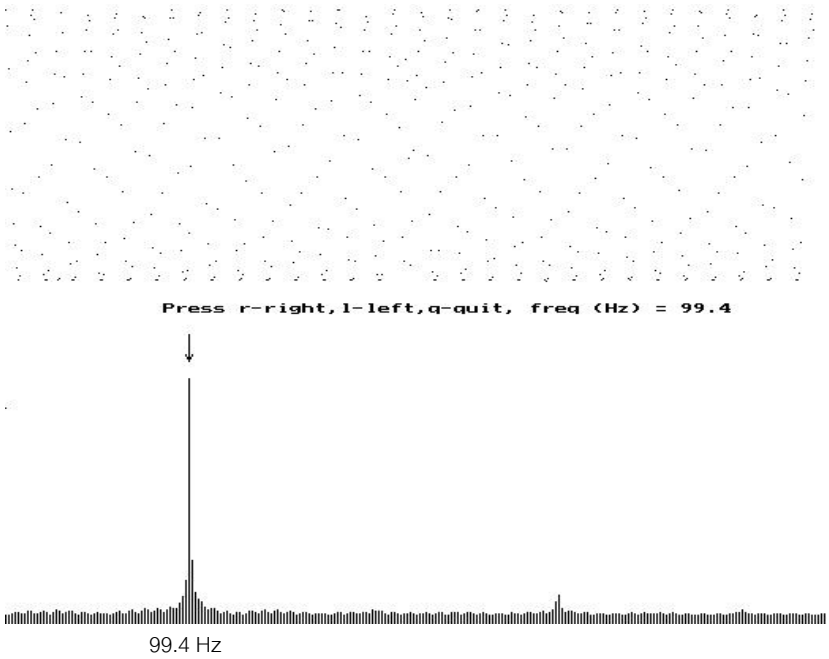
4.1.1.3 ผลสเปกตรัมความถี่ของเสียง ที่ได้จากเครื่องกำเนิดสัญญาณรูปไซน์ความถี่ 200 Hz ขนาด 5 V_{p-p} ใช้เวลาหน่วงของการสุ่มข้อมูล 60 ไมโครวินาที หรืออัตราการสุ่ม 16,667 Hz ดูรูปที่ 20

4.1.1.4 ผลสเปกตรัมความถี่ของเสียง ที่ได้จากเครื่องกำเนิดสัญญาณรูปไซน์ความถี่ 200 Hz ขนาด 5 V_{p-p} ใช้เวลาหน่วงของการสุ่มข้อมูล 570 ไมโครวินาที หรืออัตราการสุ่ม 1,754 Hz ดูรูปที่ 21

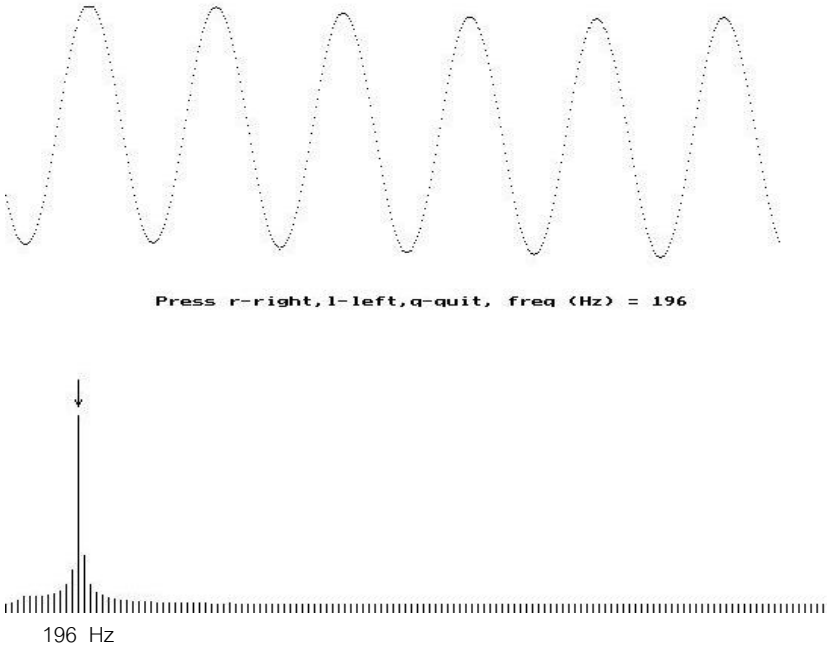
รูปที่ 18 รูปแบบคลื่น(waveform) และสเปกตรัมความถี่ของเสียงจากเครื่องกำเนิดสัญญาณรูปไซน์ ความถี่ 100 Hz ขนาด 5 V_{p-p} อัตราการสุ่ม 16,667 Hz



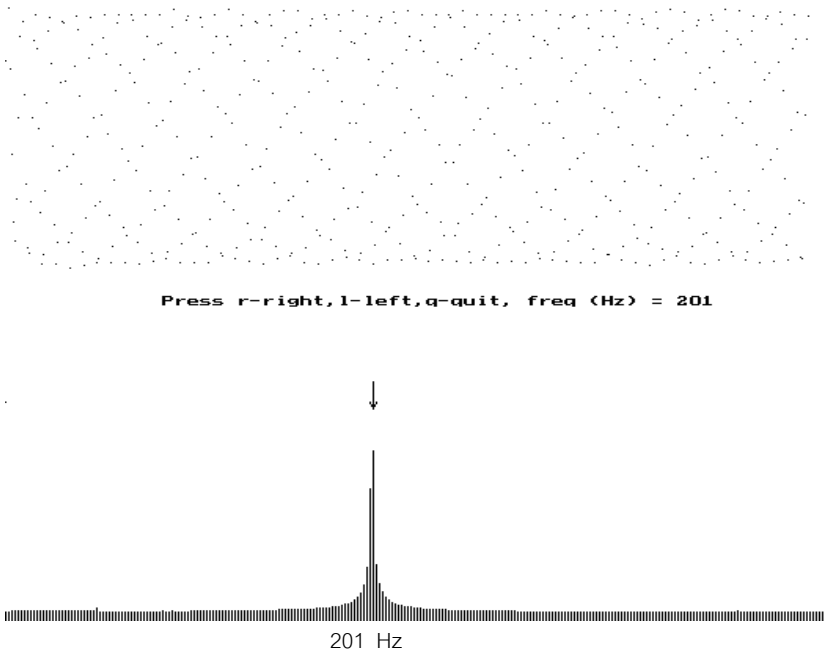
รูปที่ 19 รูปแบบคลื่น(waveform) และสเปกตรัมความถี่ของเสียงจากเครื่องกำเนิดสัญญาณรูปไซน์ ความถี่ 100 Hz ขนาด 5 V_{p-p} อัตราการสุ่ม 1,754 Hz



รูปที่ 20 รูปแบบคลื่น(waveform) และสเปกตรัมความถี่ของเสียงจากเครื่องกำเนิดสัญญาณรูปไซน์ความถี่ 200 Hz ขนาด 5 V_{p-p} อัตราการสุ่ม 16,667 Hz



รูปที่ 21 รูปแบบคลื่น(waveform) และสเปกตรัมความถี่ของเสียงจากเครื่องกำเนิดสัญญาณรูปไซน์ความถี่ 200 Hz ขนาด 5 V_{p-p} อัตราการสุ่ม 1,754 Hz



4.1.2 ผลการทดสอบรับคลื่นเสียงความถี่เดียวจากส้อมเสียง

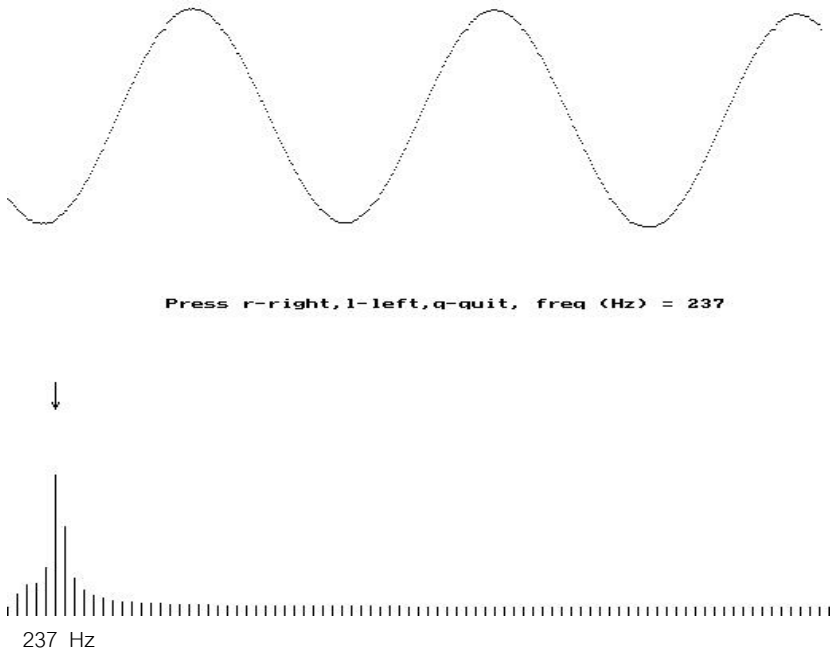
4.1.2.1 ผลสเปกตรัมความถี่ของเสียง ที่ได้จากส้อมเสียงความถี่ 256 Hz ใช้เวลาหน่วงของการสุ่มข้อมูล 20 ไมโครวินาที หรืออัตราการสุ่ม 50,000 Hz ดูรูปที่ 22

4.1.2.2 ผลสเปกตรัมความถี่ของเสียง ที่ได้จากส้อมเสียงความถี่ 256 Hz ใช้เวลาหน่วงของการสุ่มข้อมูล 570 ไมโครวินาที หรืออัตราการสุ่ม 1,754 Hz ดูรูปที่ 23

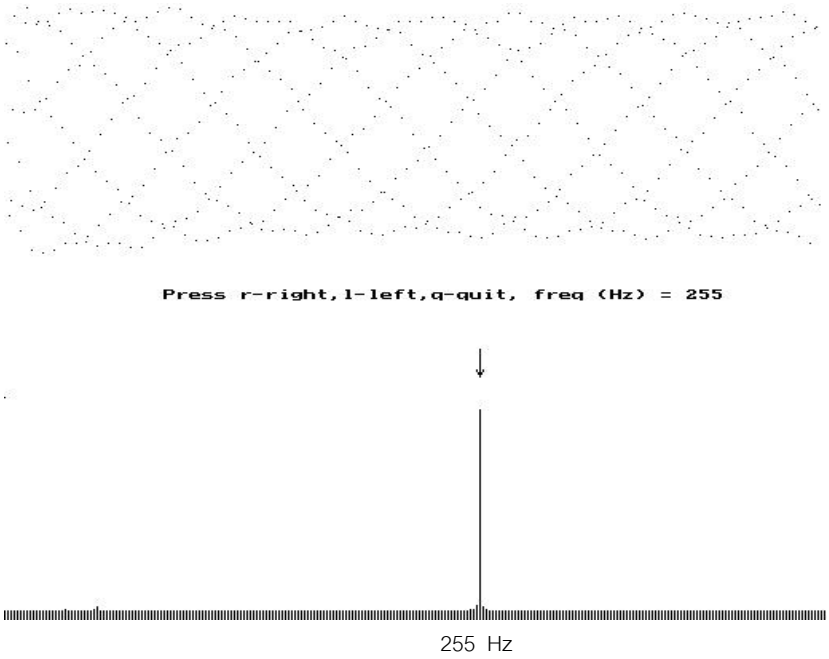
4.1.2.3 ผลสเปกตรัมความถี่ของเสียง ที่ได้จากส้อมเสียงความถี่ 512 Hz ใช้เวลาหน่วงของการสุ่มข้อมูล 20 ไมโครวินาที หรืออัตราการสุ่ม 50,000 Hz ดูรูปที่ 24

4.1.2.4 ผลสเปกตรัมความถี่ของเสียง ที่ได้จากส้อมเสียงความถี่ 512 Hz ใช้เวลาหน่วงของการสุ่มข้อมูล 570 ไมโครวินาที หรืออัตราการสุ่ม 1,754 Hz ดูรูปที่ 25

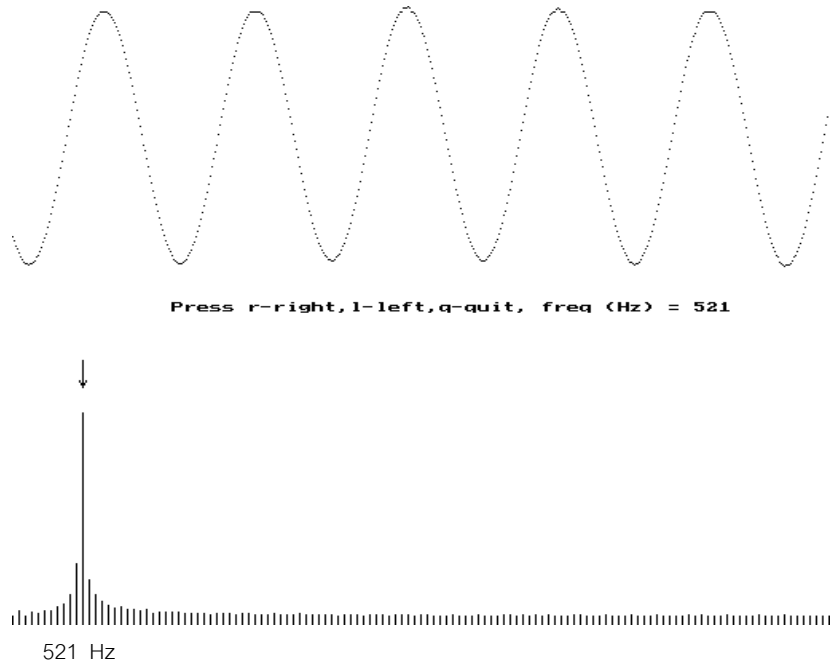
รูปที่ 22 รูปแบบคลื่น(waveform) และสเปกตรัมความถี่ของเสียงจากส้อมเสียงความถี่ 256 Hz อัตราการสุ่ม 50,000 Hz



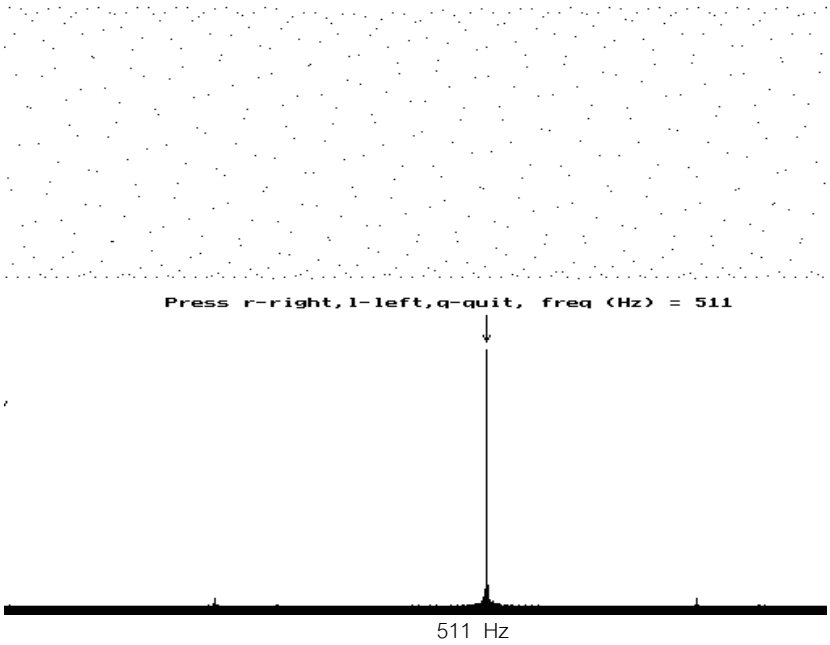
รูปที่ 23 รูปแบบคลื่น(waveform) และสเปกตรัมความถี่ของเสียงจากส้อมเสียงความถี่ 256 Hz อัตราการสุ่ม 1,754 Hz



รูปที่ 24 รูปแบบคลื่น(waveform) และสเปกตรัมความถี่ของเสียงจากส้อมเสียงความถี่ 512 Hz อัตราการสุ่ม 50,000 Hz



รูปที่ 25 รูปแบบคลื่น(waveform) และสเปกตรัมความถี่ของเสียงจากส้อมเสียงความถี่ 512 Hz อัตราการสุ่ม 1,754 Hz



4.1.3 ผลการทดสอบรับคลื่นเสียงสองความถี่จากเครื่องกำเนิดสัญญาณ

จากการวิเคราะห์ผลการทดลอง 4.1.1 และ 4.1.2 ผลที่จะแสดงในการทดสอบรับคลื่นเสียงสองความถี่จากเครื่องกำเนิดสัญญาณ จะนำรูปแบบคลื่นที่วัดโดยใช้อัตราการสุ่มสูง และนำเส้นสเปกตรัมความถี่ของเสียงที่วัดโดยใช้อัตราการสุ่มต่ำมาแสดง ในการวัดความถี่ในกรณีเดียวกัน เพื่อที่จะได้เห็นทั้งรูปแบบคลื่นและสเปกตรัมความถี่ที่ถูกต้อง พร้อมกัน

4.1.3.1 ผลสเปกตรัมความถี่ของเสียง ที่ได้จากเครื่องกำเนิดสัญญาณเครื่องที่ 1 กำเนิดสัญญาณคลื่นรูปไซน์ ค่าความถี่ 100 Hz 5 V_{p-p} เครื่องที่ 2 กำเนิดสัญญาณคลื่นรูปไซน์ ค่าความถี่ 200 Hz 5 V_{p-p} ดูรูปที่ 26

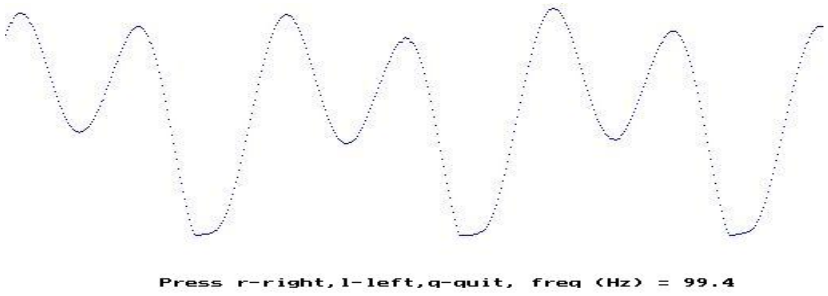
4.1.3.2 ผลสเปกตรัมความถี่ของเสียง ที่ได้จากเครื่องกำเนิดสัญญาณเครื่องที่ 1 กำเนิดสัญญาณคลื่นรูปไซน์ ค่าความถี่ 100 Hz 5 V_{p-p} เครื่องที่ 2 กำเนิดสัญญาณคลื่นรูปไซน์ ค่าความถี่ 300 Hz 5 V_{p-p} ดูรูปที่ 27

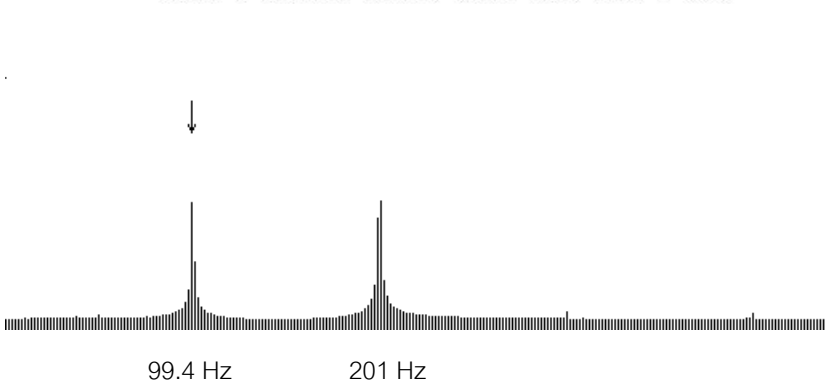
4.1.3.3 ผลสเปกตรัมความถี่ของเสียง ที่ได้จากเครื่องกำเนิดสัญญาณเครื่องที่ 1 กำเนิดสัญญาณคลื่นรูปไซน์ ค่าความถี่ 100 Hz 5 V_{p-p} เครื่องที่ 2 กำเนิดสัญญาณคลื่นรูปไซน์ ค่าความถี่ 400 Hz 5 V_{p-p} ดูรูปที่ 28

4.1.3.4 ผลสเปกตรัมความถี่ของเสียง ที่ได้จากเครื่องกำเนิดสัญญาณเครื่องที่ 1 กำเนิดสัญญาณคลื่นรูปไซน์ ค่าความถี่ 100 Hz 5 V_{p-p} เครื่องที่ 2 กำเนิดสัญญาณคลื่นรูปไซน์

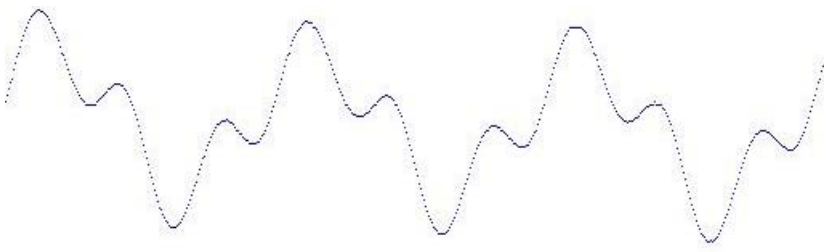
ค่าความถี่ 500 Hz 5 V_{p-p} ดูรูปที่ 29

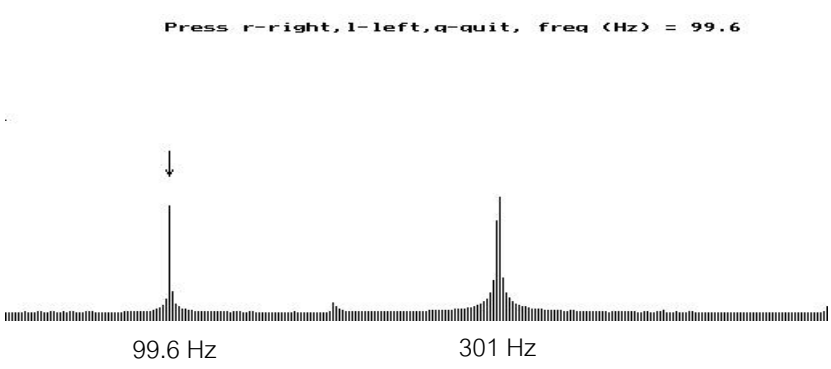
รูปที่ 26 รูปแบบคลื่น(waveform) และสเปกตรัมความถี่ของเสียงจากเครื่องกำเนิดสัญญาณเครื่องที่ 1 สัญญาณคลื่นรูปไซน์ ความถี่ 100 Hz 5 V_{p-p} และเครื่องที่ 2 สัญญาณคลื่นรูปไซน์ ความถี่ 200 Hz 5 V_{p-p} ผสมกัน



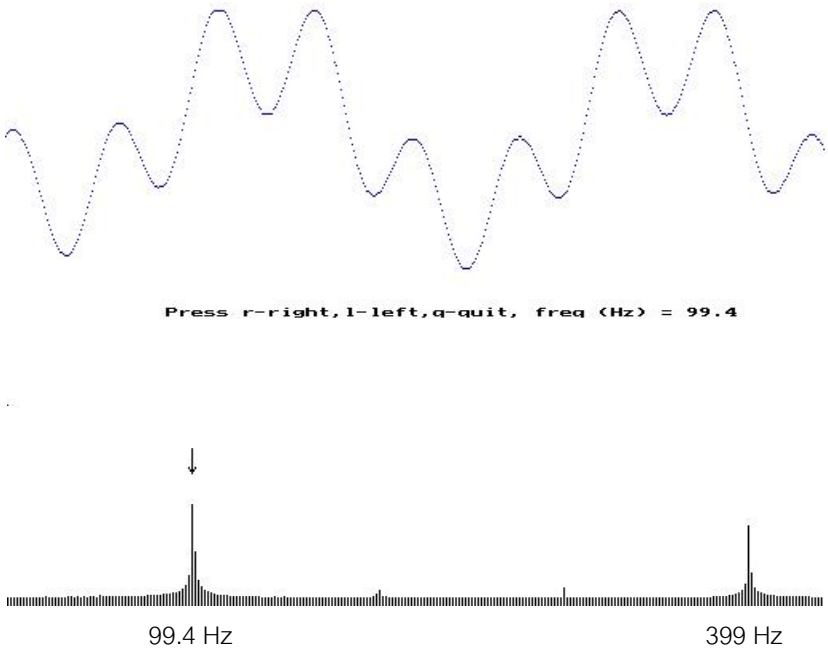


รูปที่ 27 รูปแบบคลื่น(waveform) และสเปกตรัมความถี่ของเสียงจากเครื่องกำเนิดสัญญาณเครื่องที่ 1 สัญญาณคลื่นรูปไซน์ ความถี่ 100 Hz 5 V_{p-p} และเครื่องที่ 2 สัญญาณคลื่นรูปไซน์ ความถี่ 300 Hz 5 V_{p-p} ผสมกัน

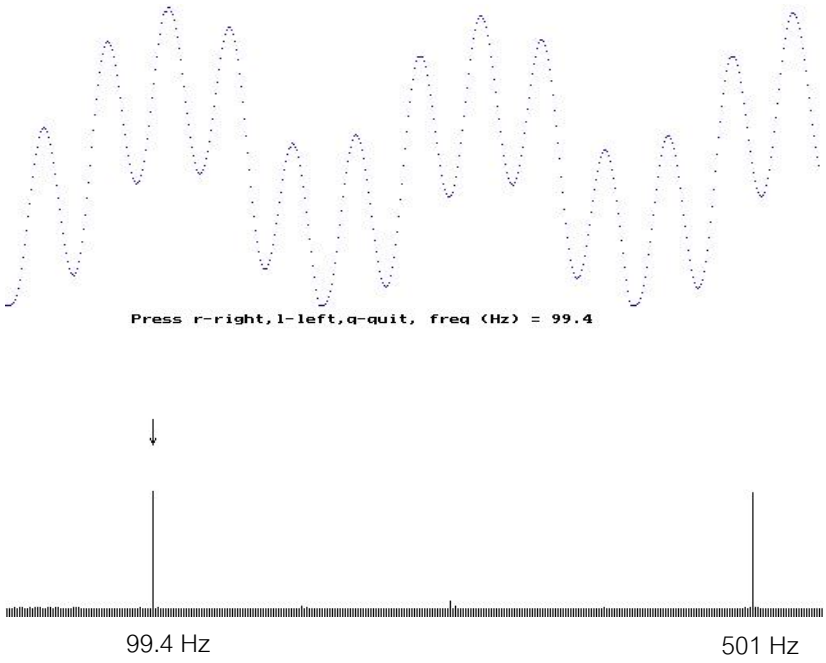




รูปที่ 28 รูปแบบคลื่น(waveform) และสเปกตรัมความถี่ของเสียงจากเครื่องกำเนิดสัญญาณเครื่องที่ 1 สัญญาณคลื่นรูปไซน์ ความถี่ 100 Hz 5 V_{p-p} และเครื่องที่ 2 สัญญาณคลื่นรูปไซน์ ความถี่ 400 Hz 5 V_{p-p} ผสมกัน



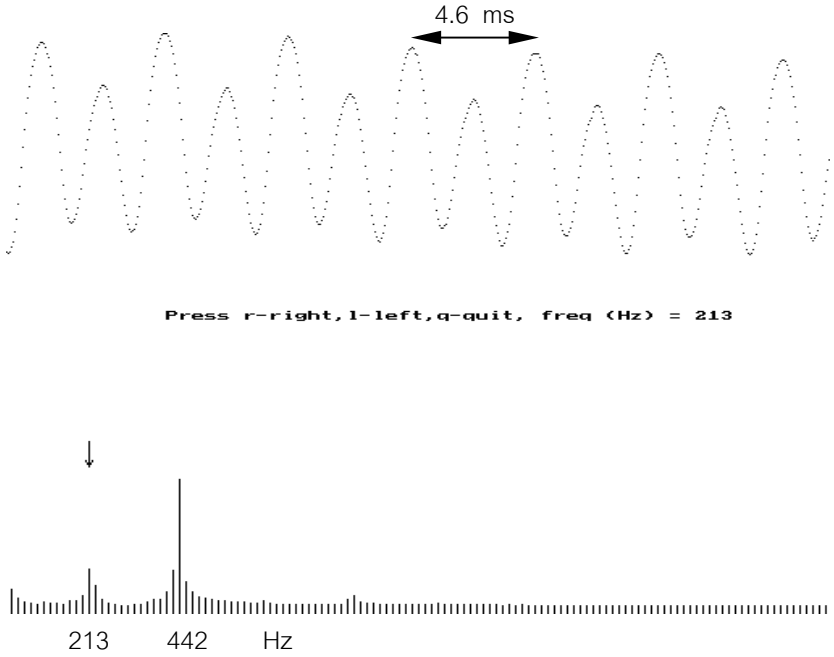
รูปที่ 29 รูปแบบคลื่น(waveform) และสเปกตรัมความถี่ของเสียงจากเครื่องกำเนิดสัญญาณเครื่องที่ 1 สัญญาณคลื่นรูปไซน์ ความถี่ 100 Hz 5 V_{p-p} และเครื่องที่ 2 สัญญาณคลื่นรูปไซน์ ความถี่ 500 Hz 5 V_{p-p} ผสมกัน



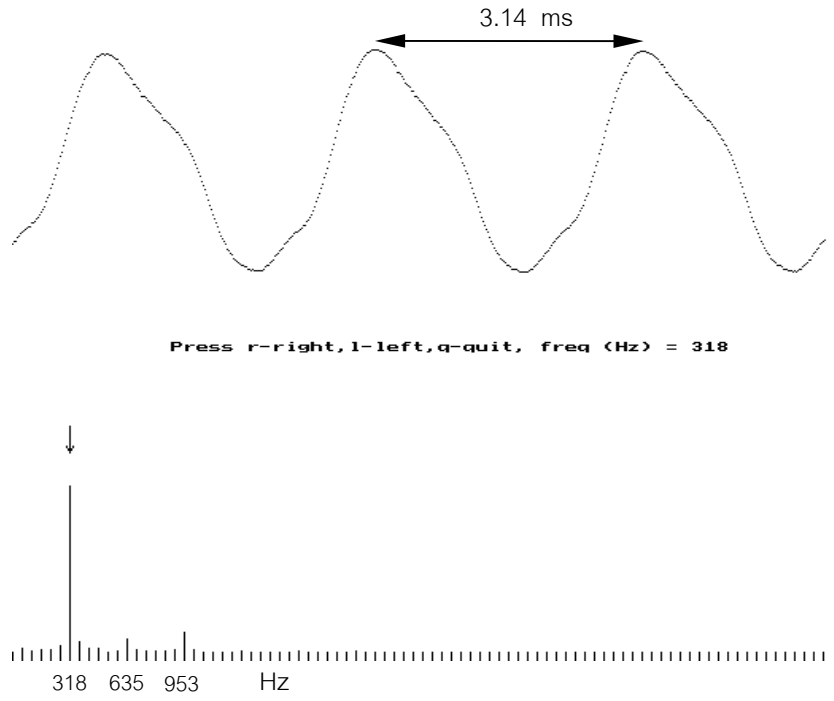
4.2 ผลที่ได้จากการศึกษาสเปกตรัมความถี่ของเสียงเครื่องดนตรีไทย

4.2.1 ผลที่ได้จากการศึกษาสเปกตรัมความถี่ของเสียงเครื่องดนตรีไทยประเภทเครื่องสาย ได้แก่ ซออู้คันที่ 1 ถึง คันที่ 4 และ ซอด้วงคันที่ 1 ถึง คันที่ 4

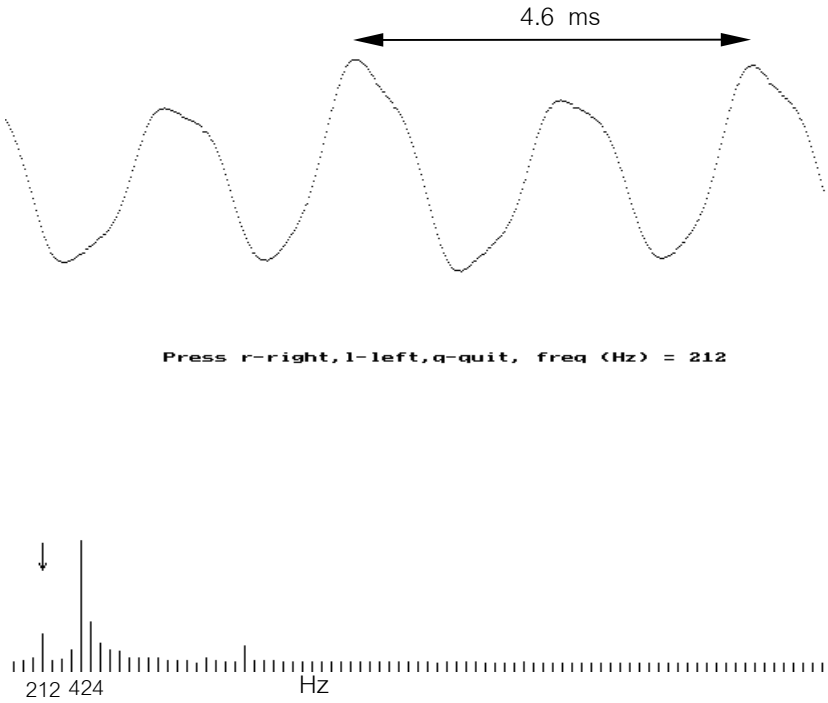
รูปที่ 30 รูปแบบคลื่น(waveform) และสเปกตรัมความถี่ของเสียงซออู้คันที่ 1 สายทุ้ม อัตราการสุ่ม 16,667 Hz



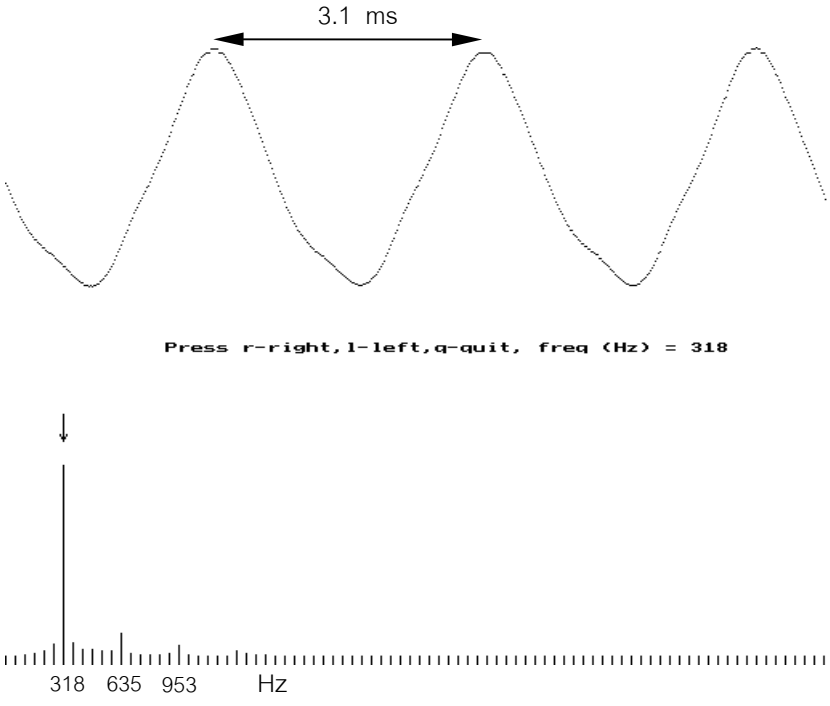
รูปที่ 31 รูปแบบคลื่น(waveform) และสเปกตรัมความถี่ของเสียงซออู้คันที่ 1 สายเอก อัตราการสุ่ม 54,347 Hz



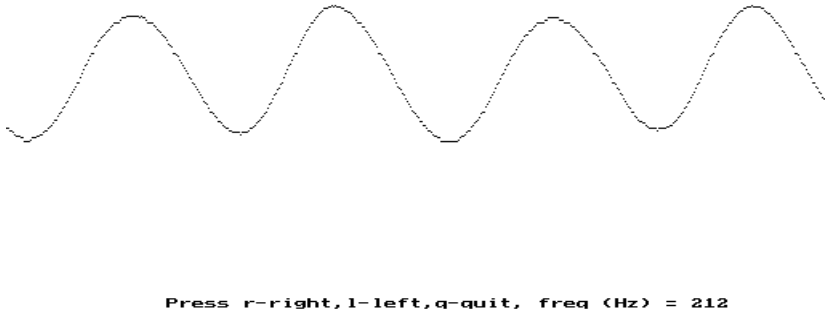
รูปที่ 32 รูปแบบคลื่น(waveform) และสเปกตรัมความถี่ของเสียงซออู้คันที่ 2 สายทุ้ม อัตราการสุ่ม 54,347 Hz



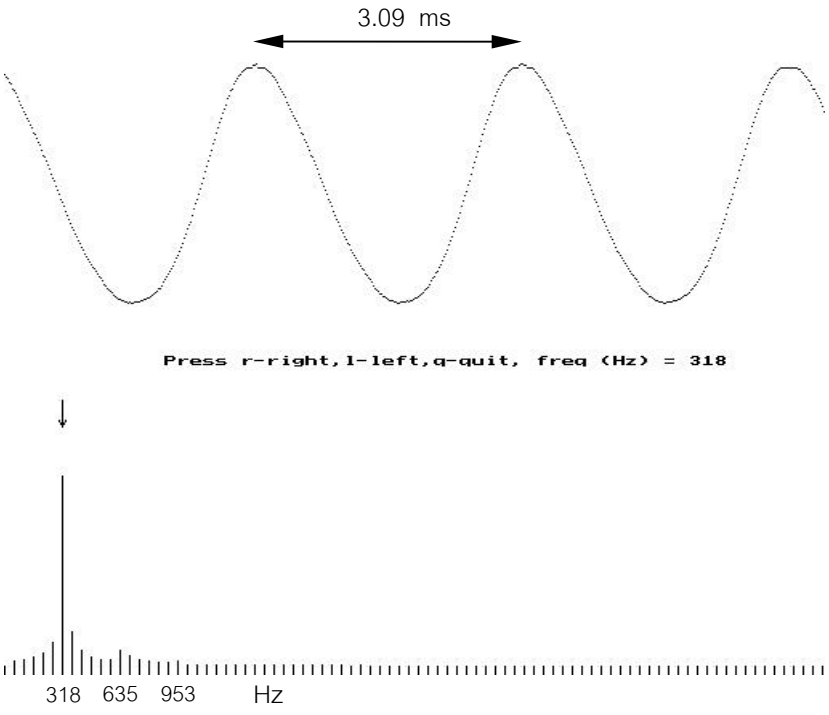
รูปที่ 33 รูปแบบคลื่น(waveform) และสเปกตรัมความถี่ของเสียงซออู้คันที่ 2 สายเอก อัตราการสุ่ม 54,347 Hz



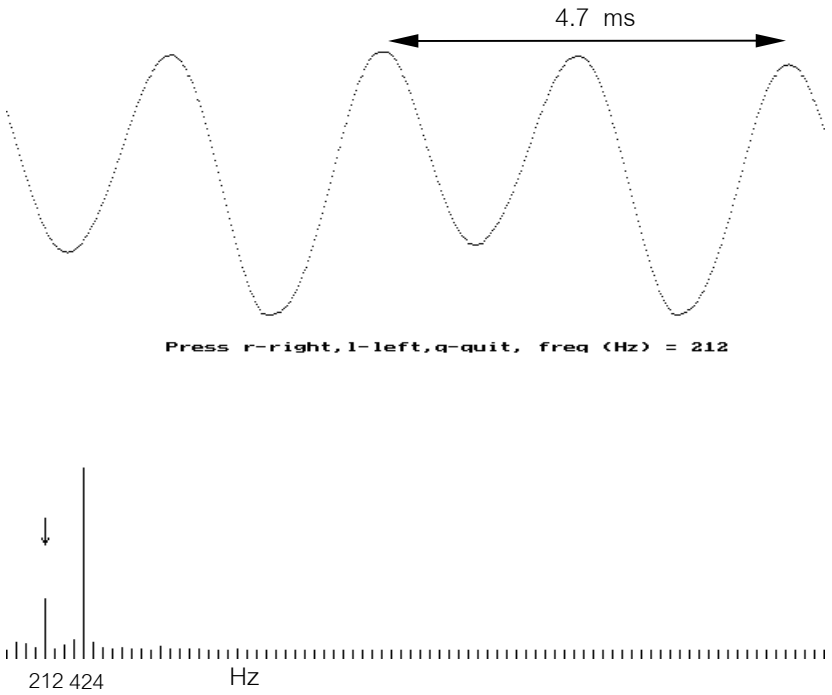
รูปที่ 34 รูปแบบคลื่น(waveform) และสเปกตรัมความถี่ของเสียงซออู้คันที่ 3 สายทุ้ม อัตราการสุ่ม 54,347 Hz



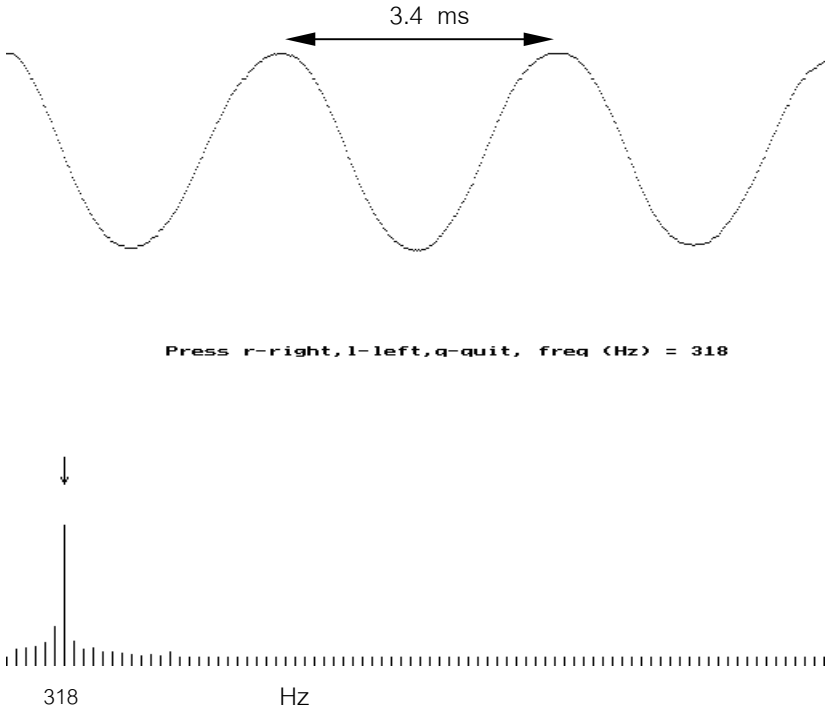
รูปที่ 35 รูปแบบคลื่น(waveform) และสเปกตรัมความถี่ของเสียงซออู้คันที่ 3 สายเอก อัตราการสุ่ม 54,347 Hz



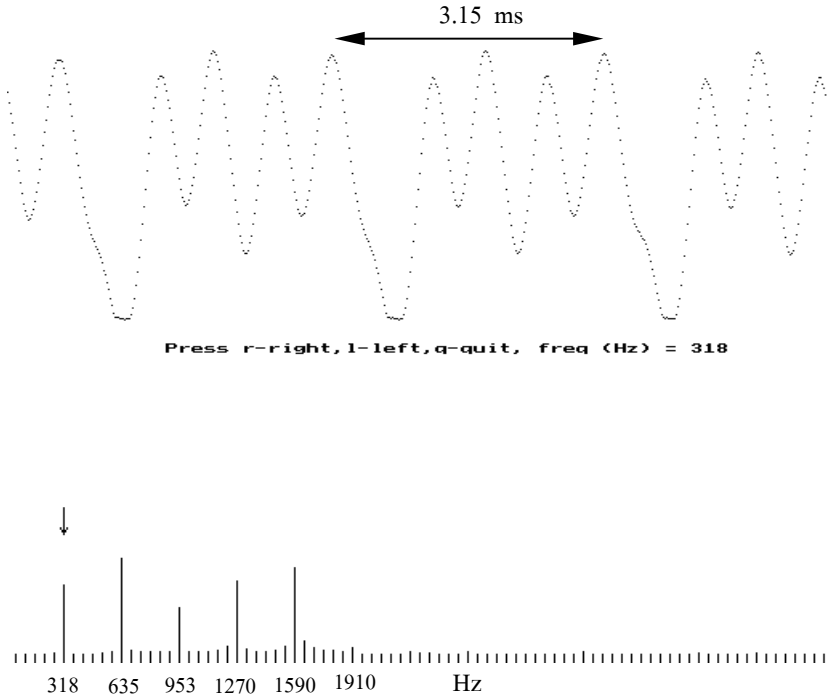
รูปที่ 36 รูปแบบคลื่น(waveform) และสเปกตรัมความถี่ของเสียงซออู้คันที่ 4 สายทุ้ม อัตราการสุ่ม 54,347 Hz



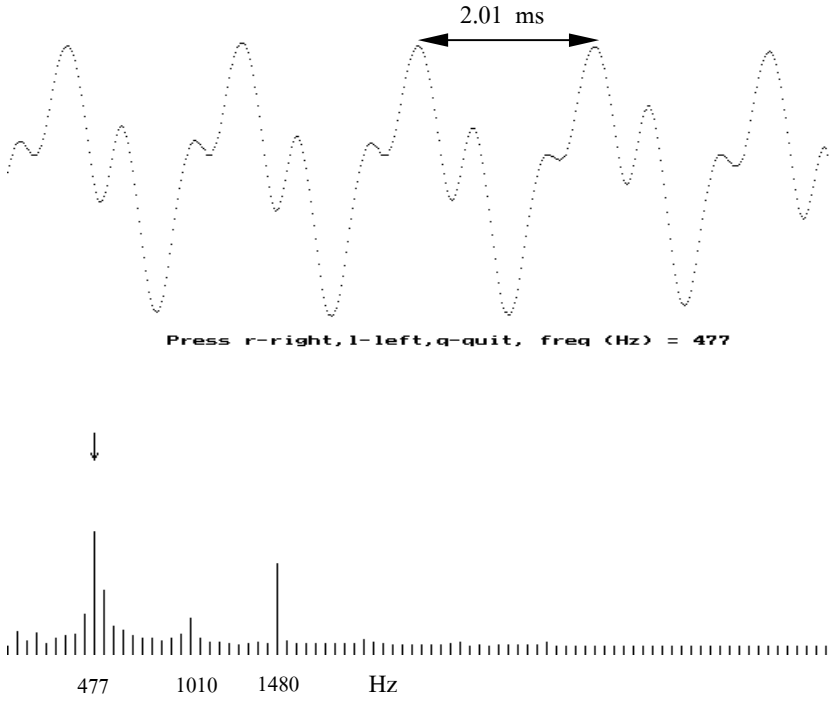
รูปที่ 37 รูปแบบคลื่น(waveform) และสเปกตรัมความถี่ของเสียงซออู้คันที่ 4 สายเอก อัตราการสุ่ม 54,347 Hz



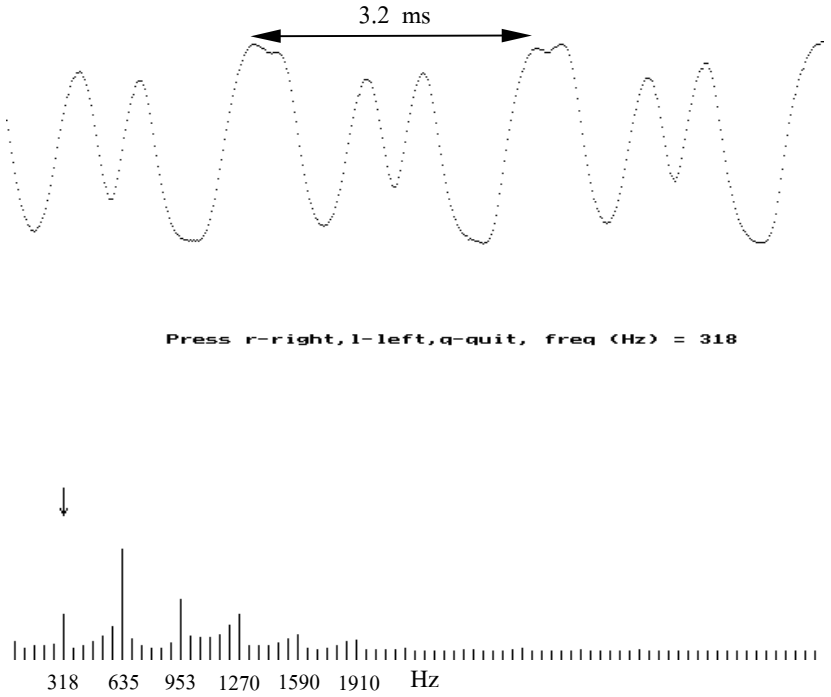
รูปที่ 38 รูปแบบคลื่น(waveform) และสเปกตรัมความถี่ของเสียงซอด้วงคันที่ 1 สายทุ้ม อัตราการสุ่ม 54,347 Hz



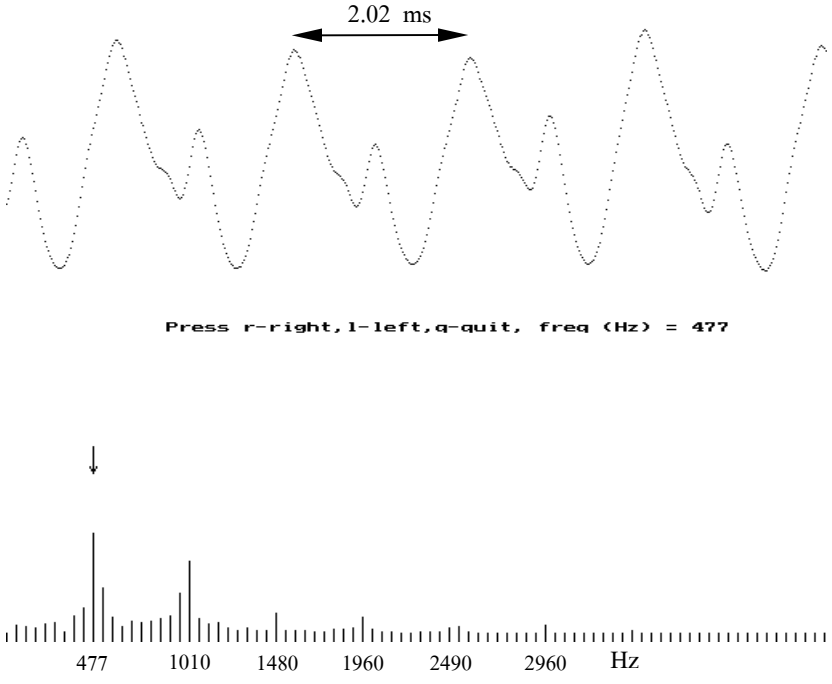
รูปที่ 39 รูปแบบคลื่น(waveform) และสเปกตรัมความถี่ของเสียงซอด้วงคันที่ 1 สายเอก อัตราการสุ่ม 54,347 Hz



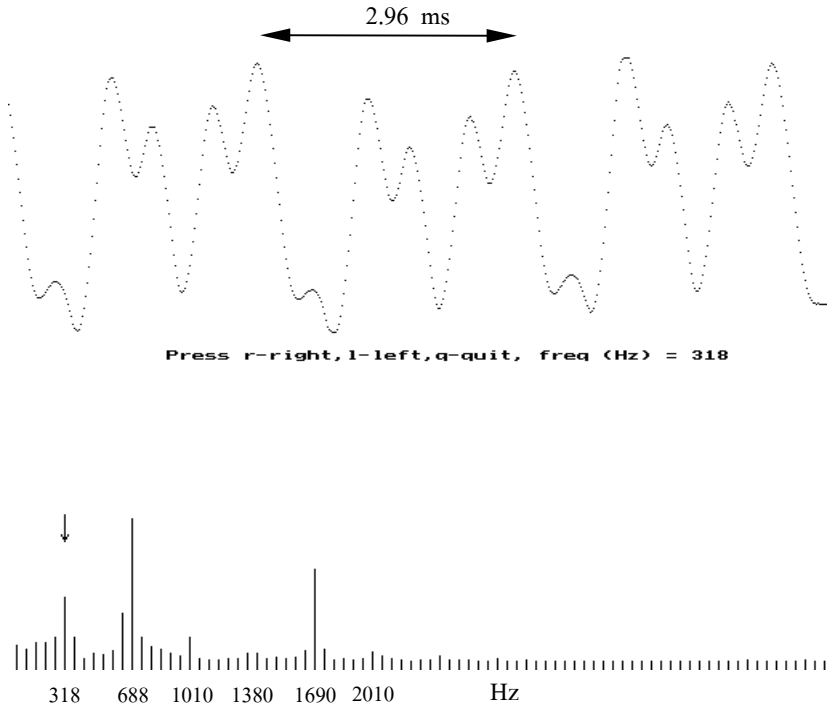
รูปที่ 40 รูปแบบคลื่น(waveform) และสเปกตรัมความถี่ของเสียงซอด้วงคันที่ 2 สายทุ้มอัตราการสุ่ม 54,347 Hz



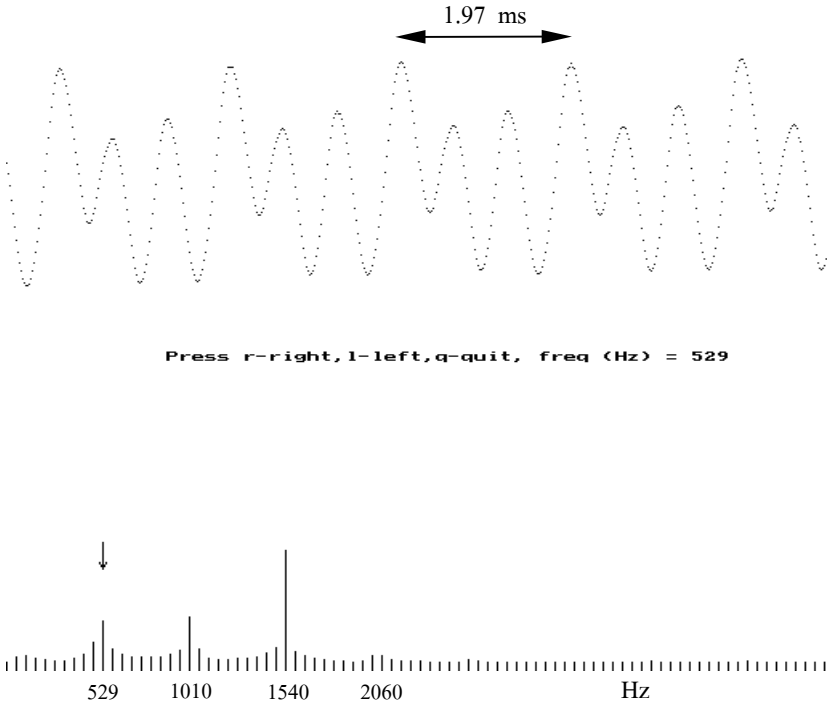
รูปที่ 41 รูปแบบคลื่น(waveform) และสเปกตรัมความถี่ของเสียงซอด้วงคันที่ 2 สายเอกอัตราการสุ่ม 54,347 Hz



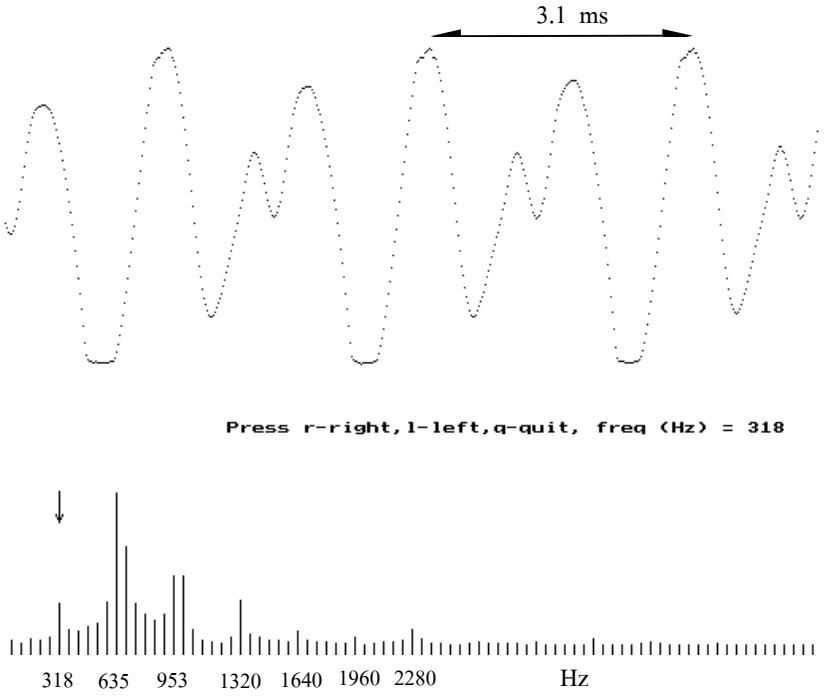
รูปที่ 42 รูปแบบคลื่น(waveform) และสเปกตรัมความถี่ของเสียงซอด้วงคันที่ 3 สายทุ้มอัตราการสุ่ม 54,347 Hz



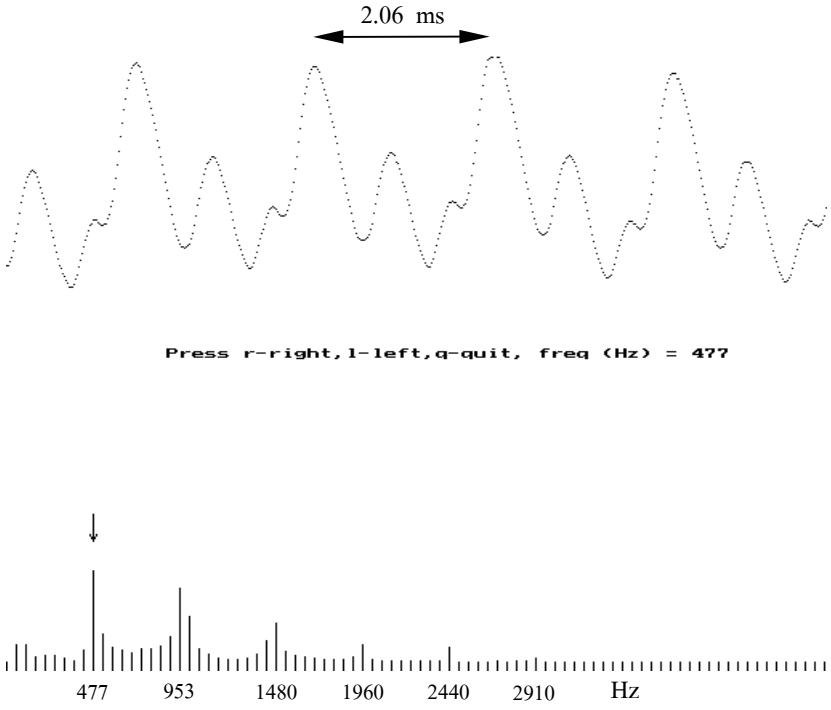
รูปที่ 43 รูปแบบคลื่น(waveform) และสเปกตรัมความถี่ของเสียงซอด้วงคันที่ 3 สายเอกอัตราการสุ่ม 54,347 Hz



รูปที่ 44 รูปแบบคลื่น(waveform) และสเปกตรัมความถี่ของเสียงซอด้วงคันที่ 4 สายทุ้มอัตราการสุ่ม 54,347 Hz



รูปที่ 45 รูปแบบคลื่น(waveform) และสเปกตรัมความถี่ของเสียงซอด้วงคันที่ 4 สายเอกอัตราการสุ่ม 54,347 Hz



4.3 วิเคราะห์ผลการทดสอบชุดทดลองการหาสเปกตรัมความถี่ของเสียง

จากรูปที่ 18,20,22 และ 24 จะเห็นรูปแบบคลื่น(waveform) ชัดเจนถูกต้อง แต่จะแสดงสเปกตรัมความถี่ไม่ละเอียดพอ ดังนั้นการที่จะเพิ่มความละเอียดของการแสดงเส้นสเปกตรัมความถี่มี 2 วิธี คือ

1) ลดอัตราการสุ่มตัวอย่าง
2) เพิ่มจำนวนตัวอย่างที่สุ่ม

ตามความสัมพันธ์ของความถี่ f= อัตราการสุ่ม x (i / n) โดย i คือดัชนีประจำค่าความถี่ และ n คือ จำนวนตัวอย่างของการสุ่ม

การเพิ่มจำนวนของการสุ่มสูงสุดที่สามารถทำได้ในการสร้างชุดทดลองนี้คือ 1,024 ตัวอย่าง (ขึ้นอยู่กับขีดจำกัดของหน่วยความจำ RAM)

ส่วนการลดอัตราการสุ่มนั้นสามารถทำได้โดยโปรแกรม ซึ่งสามารถลดได้น้อยที่สุด คือ 1,754 Hz หรือการใส่ค่าเวลาหน่วงในโปรแกรมเป็น 570 ไมโครวินาที ซึ่งดูได้จากรูปที่ 19,21,23 และ 25 การลดอัตราการสุ่มลงในขณะที่จำนวนตัวอย่างเท่าเดิมจะทำให้ระยะเวลาในการเก็บข้อมูลยาวขึ้น ตามสมการที่ 3.1

ในทางกลับกันถ้าต้องการให้เห็นรูปแบบคลื่นชัดเจนถูกต้อง อัตราการสุ่มจะต้องสูง ถ้าให้จำนวนของการสุ่มเท่าเดิม

จากผลการทดลอง 4.1.1 และ 4.1.2 จะเห็นว่าชุดทดลองการหาสเปกตรัมความถี่ของเสียงสามารถคำนวณหาความถี่อันเนื่องมาจากสัญญาณเสียงความถี่เดียวได้ถูกต้อง โดยสัญญาณเสียงที่ได้จากเครื่องกำเนิดสัญญาณ(function generator) อาจมีสัญญาณรบกวนบ้าง อันเนื่องมาจากคุณภาพของลำโพง ส่วนสเปกตรัมของเสียงที่ได้จากส้อมเสียงมีสัญญาณรบกวนน้อยมาก

4.4 วิเคราะห์ผลการทดสอบชุดทดลองการหาสเปกตรัมความถี่ของเสียง (หัวข้อ 4.1.3)

จากรูปที่ 26,27,28 และ 29 แสดงว่าชุดทดลองและโปรแกรมหาสเปกตรัมความถี่ของเสียงสามารถแยกเสียงที่มีสองความถี่หรือฮาร์มอนิกของเสียงได้ถูกต้อง จึงเหมาะสมที่จะใช้ชุดทดลองนี้ไปวิเคราะห์เสียงของเครื่องดนตรีไทยแต่ละชนิดได้

4.5 วิเคราะห์สเปกตรัมความถี่ของเสียงเครื่องดนตรีไทย

4.5.1 วิเคราะห์รูปแบบคลื่น(waveform) และสเปกตรัมความถี่ของเสียงของซออู้ พบว่า เนื่องจากซออู้นั้นทำจากกะละมะพร้าว ซึ่งมีลักษณะเป็นโพรงโดยมีอากาศอยู่ภายในทำให้เกิดการกำทอน (resonance) เมื่อสีคันชักบนสายซอแล้วทำให้สายซอสั่นแล้วส่งพลังงานของการสั่นไปยัง

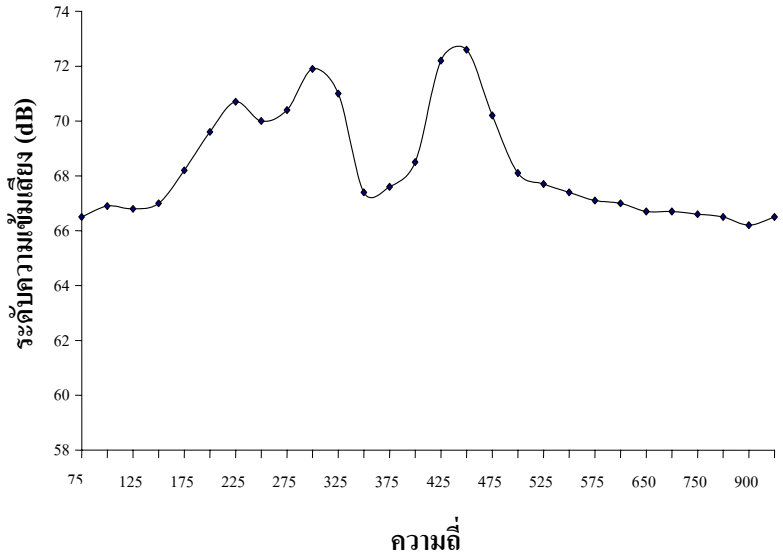
หย่อง (มีลักษณะเป็นไม้ชิ้นเล็กที่วางตั้งรับสายซอทั้งสองเส้น) และส่งพลังงานของการสั่นไปยังหนังหน้าซอ แล้วทำให้อากาศภายในกะลาซอสั่น และจุดกำทอนของซออู้มีสองช่วงคือประมาณ 300 Hz และ 450 Hz (ดูรูปที่ 46)

โดยทั่วไปความถี่มูลฐานของเสียงจากสายทุ้มของซออู้มีค่าประมาณ 206-219 Hz และค่าความถี่ฮาร์มอนิกที่ 2 มีค่าอยู่ในช่วง 413-441 Hz

ซึ่งช่วงความถี่มูลฐานของสายทุ้มไม่ตรงกับค่าความถี่กำทอนของซออู้ แต่ค่าความถี่ฮาร์มอนิกที่ 2 ไปตรงกับย่านความถี่กำทอนของซออู้ช่วงที่สอง เพราะฉะนั้นจึงเห็นว่าลักษณะของสเปกตรัมความถี่ของเสียงจากสายทุ้มของซออู้ ค่าแอมพลิจูดของความถี่มูลฐานจะมีค่าน้อย แต่แอมพลิจูดของค่าความถี่ฮาร์มอนิกที่ 2 มีค่ามาก

ในส่วนของความถี่มูลฐานของเสียงจากสายเอกของซออู้นั้นอยู่ในช่วง 293-326 Hz ซึ่งไม่ตรงกับค่าความถี่กำทอนของซออู้ ส่วนค่าความถี่ฮาร์มอนิกที่ 2 ซึ่งมีค่าประมาณ 635 Hz นั้นเกินจุดกำทอนของซออู้ไปแล้ว เพราะฉะนั้นสเปกตรัมความถี่ของเสียงจากสายเอกของซออู้จึงเห็นชัดเฉพาะแอมพลิจูดของค่าความถี่มูลฐาน

รูปที่ 46 ความถี่กำทอนของซออู้



4.5.2 วิเคราะห์รูปแบบคลื่น(waveform) และสเปกตรัมความถี่ของเสียงของซอด้วง เนื่องจากซอด้วงทำจากไม้ชนิดต่างๆ เช่น ไม้มะเกลือ ไม้ประดู่ ไม้ลำเจียก ไม้ชิงชัง ซึ่งกระบอกซอยาวประมาณ

13 เซนติเมตร เส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 5 เซนติเมตร ซึ่งมีลักษณะเป็นโพรงโดยมีโมเลกุลของอากาศอยู่ภายใน เมื่อสีคันชักบนสายซอแล้วทำให้สายซอสั่นแล้วส่งพลังงานของการสั่นไปยังหย่องและส่งพลังงานของการสั่นไปยังหนังหน้าซอ (ทำจากหนังของงูเหลือม) แล้วทำให้อากาศภายในกระบอกซอสั่น และจุดกำทอนของซอด้วงมีสองช่วงคือประมาณ 630 Hz และ 1,400-1,700 Hz (ดูรูปที่ 47)

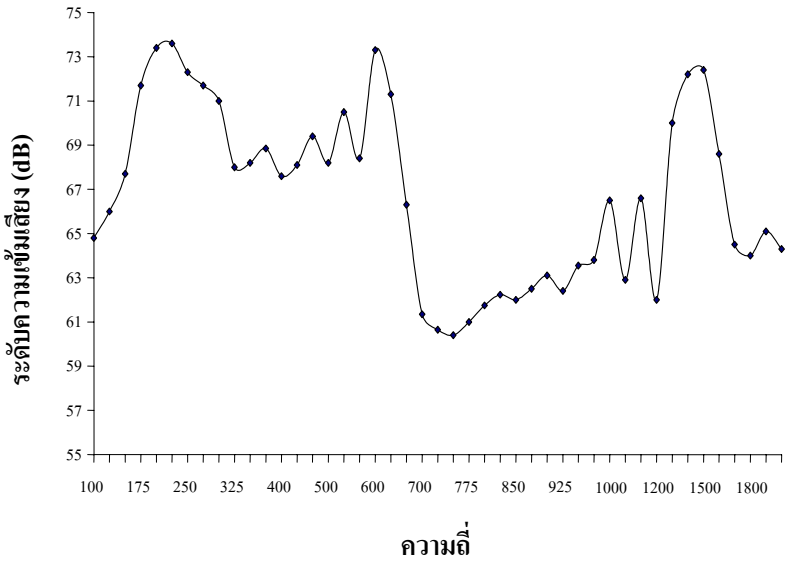
โดยทั่วไปความถี่มูลฐานของเสียงจากสายทุ้มของซอด้วงมีค่าประมาณ 317-338 Hz และค่าความถี่ฮาร์มอนิกที่ 2 มีค่าอยู่ในช่วง 635-688 Hz ค่าความถี่ฮาร์มอนิกที่ 3 มีค่าประมาณ 953 Hz ค่าความถี่ฮาร์มอนิกที่ 4 มีค่าประมาณ 1,270Hz ค่าความถี่ฮาร์มอนิกที่ 5 มีค่าประมาณ 1,590 Hz

ซึ่งค่าความถี่ฮาร์มอนิกที่ 2 และฮาร์มอนิกที่ 5 จะตรงกับจุดความถี่กำทอนของซอด้วง จึงทำให้เห็นว่าในสเปกตรัมความถี่ค่าแอมพลิจูดของค่าความถี่ฮาร์มอนิกที่ 2 และ 5 จะมีค่ามากเมื่อเทียบกับค่าแอมพลิจูดของค่าความถี่ฮาร์มอนิกอื่น แต่ในซอด้วงบางคันจะไม่เห็นแอมพลิจูดของค่าความถี่ฮาร์มอนิกที่ 5 นั่นเป็นเพราะการทำซอด้วงที่แตกต่างกันแต่ละคัน

ในส่วนของเสียงจากสายเอกของซอด้วงนั้น มีค่าความถี่มูลฐานประมาณ 477-529 Hz ค่าความถี่ฮาร์มอนิกที่ 2 มีค่าประมาณ 1,010 Hz ค่าความถี่ฮาร์มอนิกที่ 3 มีค่าประมาณ 1,480 Hz

ซึ่งค่าความถี่ฮาร์มอนิกที่ 3 จะตรงกับจุดความถี่กำทอนของซอด้วง จึงเห็นว่าในสเปกตรัมความถี่ค่าแอมพลิจูดของค่าความถี่ฮาร์มอนิกที่ 3 มีค่ามากกว่าฮาร์มอนิกที่ 2 แต่ในซอด้วงบางคันค่าแอมพลิจูดของค่าความถี่ฮาร์มอนิกที่ 3 (ของเสียงจากสายเอก) มีค่าน้อย นั่นเป็นเพราะการทำซอด้วงที่แตกต่างกันแต่ละคัน

รูปที่ 47 ความถี่กำทอนของซอด้วง



4.5.3 วิเคราะห์รูปแบบคลื่น(waveform) และสเปกตรัมความถี่ของเสียงซอสามสาย พบว่า เสียงของสายทุ้มของซอสามสาย มีคาบเวลาของสัญญาณคลื่นเสียงประมาณ 5.68 มิลลิวินาที

- หาค่าความถี่มูลฐานได้เท่ากับ 177 Hz โดยมีค่าแอมพลิจูดน้อยมาก
- ค่าความถี่ฮาร์มอนิกที่ 2 เท่ากับ 345 Hz มีค่าแอมพลิจูดน้อยมาก
- ค่าความถี่ฮาร์มอนิกที่ 3 เท่ากับ 530 Hz มีค่าแอมพลิจูดมากเป็นลำดับที่ 1
- ค่าความถี่ฮาร์มอนิกที่ 4 เท่ากับ 705 Hz มีค่าแอมพลิจูดมากเป็นลำดับที่ 2
- ค่าความถี่ฮาร์มอนิกที่ 5 ประมาณ 885Hz มีค่าแอมพลิจูดมีค่าน้อย
- ค่าความถี่ฮาร์มอนิกที่ 6 ประมาณ 1,062 Hz มีค่าแอมพลิจูดมีค่ามากเป็นลำดับที่ 3

เสียงของสายกลางของซอสามสาย มีคาบเวลาของสัญญาณคลื่นเสียงประมาณ 3.82 มิลลิวินาที

- หาค่าความถี่มูลฐานได้เท่ากับ 261 Hz โดยมีค่าแอมพลิจูดน้อย
- ค่าความถี่ฮาร์มอนิกที่ 2 เท่ากับ 523 Hz มีค่าแอมพลิจูดเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อเทียบกับค่าแอมพลิจูดของค่าความถี่มูลฐาน
- ค่าความถี่ฮาร์มอนิกที่ 3 เท่ากับ 783 Hz มีค่าแอมพลิจูดมากที่สุด
- ค่าความถี่ฮาร์มอนิกที่ 4 ประมาณ 1,044 Hz มีค่าแอมพลิจูดใกล้เคียงกับค่าแอมพลิจูดของค่าความถี่มูลฐาน

เสียงของสายเอกของซอสามสาย มีคาบเวลาของสัญญาณคลื่นเสียงประมาณ 2.85 มิลลิวินาที

- หาค่าความถี่มูลฐานได้เท่ากับ 351 Hz โดยมีค่าแอมพลิจูดมากเป็นลำดับที่ 2
- ค่าความถี่ฮาร์มอนิกที่ 2 เท่ากับ 703 Hz มีค่าแอมพลิจูดมากเป็นลำดับที่ 1
- ค่าความถี่ฮาร์มอนิกที่ 3 ประมาณ 1,053 Hz มีค่าแอมพลิจูดมากเป็นลำดับที่ 3
- ค่าความถี่ฮาร์มอนิกที่ 4 ประมาณ 1,404 Hz มีค่าแอมพลิจูดมากเป็นลำดับที่ 4

4.5.4 จากรูปแบบคลื่น(waveform) และสเปกตรัมความถี่ของเสียงจะเข้ พบว่า เสียงของสายลวดของจะเข้ มีคาบเวลาของสัญญาณคลื่นเสียงประมาณ 8.57 มิลลิวินาที

- หาค่าความถี่มูลฐานได้เท่ากับ 117 Hz โดยมีค่าแอมพลิจูดมากเป็นลำดับที่ 2
- ค่าความถี่ฮาร์มอนิกที่ 2 เท่ากับ 233 Hz มีค่าแอมพลิจูดมากเป็นลำดับที่ 1
- ค่าความถี่ฮาร์มอนิกที่ 3 เท่ากับ 350 Hz มีค่าแอมพลิจูดมากเป็นลำดับที่ 3
- ค่าความถี่ฮาร์มอนิกที่ 4 เท่ากับ 466 Hz มีค่าแอมพลิจูดมากเป็นลำดับที่ 4

ส่วนเสียงของสายทุ้มของจะเข้ มีคาบเวลาของสัญญาณคลื่นเสียงประมาณ 5.75 มิลลิวินาที

- หาค่าความถี่มูลฐานได้เท่ากับ 173 Hz โดยมีค่าแอมพลิจูดมากเป็นลำดับที่ 1

- ค่าความถี่ฮาร์มอนิกที่ 2 เท่ากับ 348Hz มีค่าแอมพลิจูดมากเป็นลำดับที่ 2

- ค่าความถี่ฮาร์มอนิกที่ 3 เท่ากับ 519 Hz มีค่าแอมพลิจูดมากเป็นลำดับที่ 3

- ค่าความถี่ฮาร์มอนิกที่ 4 เท่ากับ 691 Hz มีค่าแอมพลิจูดมากเป็นลำดับที่ 4

โดยค่าแอมพลิจูดของค่าความถี่ฮาร์มอนิกที่ 2 ถึง 4 มีค่าน้อยกว่าแอมพลิจูดของค่าความถี่ฮาร์มอนิกที่ 1 มาก

ส่วนเสียงของสายเอกของจะเข้ มีคาบเวลาของสัญญาณคลื่นเสียงประมาณ 4.32 มิลลิวินาที

- หาค่าความถี่มูลฐานได้เท่ากับ 231 Hz โดยไม่มีความถี่ฮาร์มอนิกอื่นเลย หรือกล่าวได้ว่าเสียงของสายเอกของจะเข้เป็นเสียงเดี่ยว (pure tone)

4.5.5 จากรูปแบบคลื่น(waveform) และสเปกตรัมความถี่ของเสียงปี่ในพบว่า มีคาบเวลาของสัญญาณคลื่นเสียงประมาณ 4.98 มิลลิวินาที

- หาค่าความถี่มูลฐานได้เท่ากับ 192 Hz โดยมีค่าแอมพลิจูดมากเป็นลำดับที่ 2

- ค่าความถี่ฮาร์มอนิกที่ 2 เท่ากับ 386 Hz มีค่าแอมพลิจูดมากเป็นลำดับที่ 3

- ค่าความถี่ฮาร์มอนิกที่ 3 เท่ากับ 578 Hz มีค่าแอมพลิจูดมากเป็นลำดับที่ 1

- ค่าความถี่ฮาร์มอนิกที่ 4 เท่ากับ 770 Hz มีค่าแอมพลิจูดใกล้เคียงกับค่าแอมพลิจูดของความถี่ฮาร์มอนิกที่ 2

- ค่าความถี่ฮาร์มอนิกที่ 5 ประมาณ 960 Hz (5 เท่าของความถี่มูลฐาน) มีค่าแอมพลิจูดใกล้เคียงกับค่าแอมพลิจูดของความถี่ฮาร์มอนิกที่ 4

- ค่าความถี่ฮาร์มอนิกที่ 6 ประมาณ 1,152 Hz (6 เท่าของความถี่มูลฐาน) มีค่าแอมพลิจูดใกล้เคียงกับค่าแอมพลิจูดของความถี่ฮาร์มอนิกที่ 5

- ค่าความถี่ฮาร์มอนิกที่ 7 ประมาณ 1,344 Hz (7 เท่าของความถี่มูลฐาน) มีค่าแอมพลิจูดมากกว่าค่าแอมพลิจูดของความถี่ฮาร์มอนิกที่ 6 เล็กน้อย

- ค่าความถี่ฮาร์มอนิกที่ 8 ประมาณ 1,536 Hz (8 เท่าของความถี่มูลฐาน) มีค่าแอมพลิจูดใกล้เคียงกับค่าแอมพลิจูดของความถี่ฮาร์มอนิกที่ 5

- ค่าความถี่ฮาร์มอนิกที่ 9 ประมาณ 1,728 Hz (9 เท่าของความถี่มูลฐาน) มีค่าแอมพลิจูดใกล้เคียงกับค่าแอมพลิจูดของความถี่ฮาร์มอนิกที่ 7

จากลักษณะของสเปกตรัมของเสียงปี่ในจะเห็นว่ามีส่วนคล้ายกับสเปกตรัมของเสียงบาสซูน(Bassoon) ซึ่งเป็นเครื่องดนตรีสากลประเภทเครื่องเป่า ซึ่งมีลิ้นคู่(double-reed) มีลักษณะเป็นท่อปลายเปิด(open ends) ยาวประมาณ 2.79 เมตร

จากลักษณะของสเปกตรัมของเสียงปี่ในจะเห็นว่ามีส่วนยอดเล็กๆถัดไปทางด้านขวาของยอดของค่าความถี่มูลฐานและยอดของค่าความถี่ฮาร์มอนิกที่ 2,3 และ 4 ไปเรื่อยๆ ซึ่งยอดของค่าความถี่เหล่านี้อาจจะเกิดจากการสั่นหรือกำทอนภายในลำของปี่ในหรือการสั่นอันเนื่องมาจากลิ้นของปี่ใน ซึ่งทำให้ลักษณะเฉพาะของสเปกตรัมของเสียงปี่ใน

4.5.6 จากรูปแบบคลื่น(waveform) และสเปกตรัมความถี่ของเสียงปี่กลางพบว่า มีคาบเวลาของสัญญาณคลื่นเสียงประมาณ 3.6 มิลลิวินาที

- หาค่าความถี่มูลฐานได้เท่ากับ 279 Hz โดยมีค่าแอมพลิจูดมากเป็นลำดับที่ 2
- ค่าความถี่ฮาร์มอนิกที่ 2 เท่ากับ 561 Hz มีค่าแอมพลิจูดเล็กน้อย
- ค่าความถี่ฮาร์มอนิกที่ 3 เท่ากับ 840 Hz มีค่าแอมพลิจูดเล็กน้อย
- ค่าความถี่ฮาร์มอนิกที่ 4 ประมาณ 1,116 Hz (4 เท่าของค่าความถี่มูลฐาน) มีค่าแอมพลิจูดมากที่สุด
- ค่าความถี่ฮาร์มอนิกที่ 5 ประมาณ 1,395 Hz (5 เท่าของความถี่มูลฐาน) มีค่าแอมพลิจูดเล็กน้อยใกล้เคียงกับค่าแอมพลิจูดของความถี่ฮาร์มอนิกที่ 2
- ค่าความถี่ฮาร์มอนิกที่ 6 ประมาณ 1,674 Hz (6 เท่าของความถี่มูลฐาน) มีค่าแอมพลิจูดใกล้เคียงกับค่าแอมพลิจูดของความถี่ฮาร์มอนิกที่ 5
- ค่าความถี่ฮาร์มอนิกที่ 7 ประมาณ 1,953 Hz (7 เท่าของความถี่มูลฐาน) มีค่าแอมพลิจูดมากกว่าค่าแอมพลิจูดของความถี่ฮาร์มอนิกที่ 6 เล็กน้อย
- ค่าความถี่ฮาร์มอนิกที่ 8 ประมาณ 2,232 Hz (8 เท่าของความถี่มูลฐาน) มีค่าแอมพลิจูดใกล้เคียงกับค่าแอมพลิจูดของความถี่ฮาร์มอนิกที่ 6

จากลักษณะของสเปกตรัมของเสียงปี่กลางจะเห็นว่ามีส่วนคล้ายกับสเปกตรัมของเสียงบาสซูน(Bassoon) เช่นกัน

จากลักษณะของสเปกตรัมของเสียงปี่กลาง จะเห็นว่ามีส่วนยอดเล็กๆระหว่างของยอดของค่าความถี่มูลฐานและยอดของค่าความถี่ฮาร์มอนิกที่ 2 และระหว่างยอดของค่าความถี่ฮาร์มอนิกที่ 2 กับ 3 ไปเรื่อยๆ ซึ่งยอดของค่าความถี่เหล่านี้อาจจะเกิดจากการสั่นหรือกำทอนภายในลำของปี่กลางหรือการสั่นอันเนื่องมาจากลิ้นของปี่กลาง ซึ่งการกำทอนได้เกิดขึ้นมากที่ความถี่ 636 Hz ซึ่งเป็นค่าความถี่ที่อยู่ระหว่างความถี่ฮาร์มอนิกที่ 2 กับ 3 ซึ่งการกำทอนมากแบบนี้อาจเกิดขึ้นได้ตามลักษณะของการเป่าในแต่ละครั้งของนักดนตรี ซึ่งทำให้ลักษณะเฉพาะของสเปกตรัมของเสียงปี่กลาง

4.5.7 จากรูปแบบคลื่น(waveform) และสเปกตรัมความถี่ของเสียงปี่นอกพบว่า มีคาบเวลาของสัญญาณคลื่นเสียงประมาณ 3.3 มิลลิวินาที

- หาค่าความถี่มูลฐานได้เท่ากับ 302 Hz โดยมีค่าแอมพลิจูดมากเป็นลำดับที่ 3

- ค่าความถี่ฮาร์มอนิกที่ 2 เท่ากับ 602 Hz มีค่าแอมพลิจูดมากเป็นลำดับที่ 4

- ค่าความถี่ฮาร์มอนิกที่ 3 ประมาณ 906 Hz (3 เท่าของค่าความถี่มูลฐาน) มีค่าแอมพลิจูดมากที่สุด

- ค่าความถี่ฮาร์มอนิกที่ 4 ประมาณ 1,208 Hz (4 เท่าของค่าความถี่มูลฐาน) มีค่าแอมพลิจูดมากเป็นอันดับที่ 2

- ค่าความถี่ฮาร์มอนิกที่ 5 ประมาณ 1,510 Hz (5 เท่าของความถี่มูลฐาน) มีค่าแอมพลิจูดเป็นอันดับที่ 6

- ค่าความถี่ฮาร์มอนิกที่ 6 ประมาณ 1,812 Hz (6 เท่าของความถี่มูลฐาน) มีค่าแอมพลิจูดเป็นอันดับที่ 5

- ค่าความถี่ฮาร์มอนิกที่ 7 ประมาณ 2,114 Hz (7 เท่าของความถี่มูลฐาน) มีค่าแอมพลิจูดน้อยมากจนเกือบไม่เห็น

- ค่าความถี่ฮาร์มอนิกที่ 8 ประมาณ 2,416 Hz (8 เท่าของความถี่มูลฐาน) มีค่าแอมพลิจูดน้อยมากจนเกือบไม่เห็น

- ค่าความถี่ฮาร์มอนิกที่ 9 ประมาณ 2,718 Hz (9 เท่าของความถี่มูลฐาน) มีค่าแอมพลิจูดมากกว่าค่าแอมพลิจูดของค่าความถี่ฮาร์มอนิกที่ 8 เล็กน้อย

จากลักษณะของสเปกตรัมของเสียงปี่นอกจะเห็นว่ามีส่วนคล้ายกับสเปกตรัมของเสียงบาสซูน(Bassoon) เช่นเดียวกับปี่ในและปี่กลาง

จากลักษณะของสเปกตรัมของเสียงปี่นอก จะเห็นว่ามีส่วนยอดเล็กๆถัดไปทางด้านซ้ายของยอดของค่าความถี่มูลฐานและยอดของค่าความถี่ฮาร์มอนิกที่ 2 และ 3 ไปเรื่อยๆ ซึ่งยอดของค่าความถี่เหล่านี้อาจจะเกิดจากการสั่นหรือกำทอนภายในลำของปี่นอกหรือการสั่นอันเนื่องมาจากลิ้นของปี่นอก ซึ่งทำให้ลักษณะเฉพาะของสเปกตรัมของเสียงปี่นอก

4.5.8 จากรูปแบบคลื่น(waveform) และสเปกตรัมความถี่ของเสียงปี่มอญพบว่า มีคาบของสัญญาณคลื่นเสียงประมาณ 6.6 มิลลิวินาที

- หาค่าความถี่มูลฐานได้เท่ากับ 151 Hz โดยมีค่าแอมพลิจูดน้อย

- ค่าความถี่ฮาร์มอนิกที่ 2 เท่ากับ 303 Hz มีค่าแอมพลิจูดมากกว่าของค่าความถี่ฮาร์มอนิกที่ 1 เล็กน้อย

- ค่าความถี่ฮาร์มอนิกที่ 3 เท่ากับ 454 Hz มีค่าแอมพลิจูดใกล้เคียงกับค่าแอมพลิจูดของค่าความถี่ฮาร์มอนิกที่ 1

- ค่าความถี่ฮาร์มอนิกที่ 4 เท่ากับ 670 Hz มีค่าแอมพลิจูดใกล้เคียงกับค่าแอมพลิจูดของค่าความถี่ฮาร์มอนิกที่ 1

- ค่าความถี่ฮาร์มอนิกที่ 5 เท่ากับ 759 Hz มีค่าแอมพลิจูดมากที่สุด

- ค่าความถี่ฮาร์มอนิกที่ 6 ประมาณ 906 Hz (6 เท่าของความถี่มูลฐาน) มีค่าแอมพลิจูดใกล้เคียงกับค่าแอมพลิจูดของค่าความถี่ฮาร์มอนิกที่ 3 และ 4

- ค่าความถี่ฮาร์มอนิกที่ 7 ประมาณ 1,057 Hz (7 เท่าของความถี่มูลฐาน) มีค่าแอมพลิจูดใกล้เคียงกับค่าแอมพลิจูดของค่าความถี่ฮาร์มอนิกที่ 1

- ค่าความถี่ฮาร์มอนิกที่ 8 ประมาณ 1,208 Hz (8 เท่าของความถี่มูลฐาน) มีค่าแอมพลิจูดใกล้เคียงกับค่าแอมพลิจูดของค่าความถี่ฮาร์มอนิกที่ 3 และ 4

4.5.9 จากรูปแบบคลื่น(waveform) และสเปกตรัมความถี่ของเสียงขลุ่ยเพียงออพบว่า

เสียงโด (สเกลเสียงดนตรีไทย)ของขลุ่ยเพียงออ มีคาบเวลาของสัญญาณคลื่นเสียงประมาณ 2.14 มิลลิวินาที

- หาค่าความถี่มูลฐานได้เท่ากับ 466 Hz โดยไม่มีความถี่ฮาร์มอนิกอื่นเลย

เสียงเร (สเกลเสียงดนตรีไทย)ของขลุ่ยเพียงออ มีคาบเวลาของสัญญาณคลื่นเสียงประมาณ 1.93 มิลลิวินาที

- หาค่าความถี่มูลฐานได้เท่ากับ 518 Hz โดยไม่มีความถี่ฮาร์มอนิกอื่นเลย

4.5.10 จากรูปแบบคลื่น(waveform) และสเปกตรัมความถี่ของเสียงระนาดเอกพบว่า

เสียงของลูกระนาดลูกที่ 1,2,3 และ 4 จะมีค่าความถี่มูลฐานอย่างเดียว ไม่มีความถี่ฮาร์มอนิกอื่น

4.5.11 จากรูปแบบคลื่น(waveform) และสเปกตรัมความถี่ของเสียงระนาดทุ้มพบว่า

เสียงของลูกระนาดลูกที่ 1,2,3 และ 4 จะมีค่าความถี่มูลฐานอย่างเดียว ไม่มีความถี่ฮาร์มอนิกอื่น คล้ายกับสเปกตรัมของเสียงระนาดเอก

4.5.12 จากรูปแบบคลื่น(waveform) และสเปกตรัมความถี่ของเสียงฆ้องวงใหญ่พบว่า

เสียงของลูกฆ้องลูกที่ 2,3,4 และ 5 สเปกตรัมความถี่ของเสียงจะประกอบด้วยเส้นที่เห็นชัดประมาณ 2 เส้น โดยค่าความถี่ของเส้นที่สองจะไม่เป็นจำนวนเต็มเท่าของเส้นแรก ตัวอย่างเช่น เส้นสเปกตรัมของเสียงฆ้องลูกที่ 2 เส้นแรกตรงกับค่าความถี่ 306 Hz ส่วนเส้นที่ 2 ตรงกับค่าความถี่ 535 Hz ไม่เป็น 2 เท่าของ 306 Hz ถ้าเป็นสองเท่าจะตรงกับค่าความถี่ 306 Hz x 2 = 612 Hz

จากลักษณะของฆ้องที่ทำด้วยโลหะแผ่ออกไปเป็นวงกลมคล้ายกลอง ซึ่งเป็นลักษณะของรูปทรง 2 มิติ การสั่นใน 2 มิติเช่น การสั่นของหนังกลอง เสียงที่ออกมาจะไม่เป็นฮาร์มอนิก

กล่าวคือความถี่ที่ได้มาไม่เป็นจำนวนเต็มเท่ากับความถี่อื่นในสเปกตรัมความถี่ของเสียง (Serway et al., 2000)

การไม่มีรูปแบบที่แน่นอนของอนุกรมความถี่ของเสียงฆ้องวงใหญ่ดูได้จากรูปแบบคลื่น (waveform) ที่ไม่มีลักษณะเป็นคาบที่ซ้ำกันเลย

จากการวิเคราะห์สเปกตรัมของเสียงดนตรีนั้น พบว่าหูของคนทั่วไปเวลาได้ยินเสียงดนตรีจะได้ยินฮาร์มอนิกของเสียงทุกฮาร์มอนิก แต่บางคนก็แยกแยะฮาร์มอนิกของเสียงได้ บางคนก็แยกไม่ได้ การที่ได้ยินและแยกทุกฮาร์มอนิกได้ก็คือรู้ว่าเสียงนั้นเป็นเสียงดนตรีชนิดใด นอกจากรู้ว่าเป็นเสียงดนตรีชนิดใดแล้ว ยังรู้ว่าเสียงนั้นมีความไพเราะมากน้อยเพียงใดด้วย แต่การได้ยินและสามารถแยกทุกฮาร์มอนิกของเสียงจะเกิดกับผู้ที่มีความชำนาญในการฟังเสียงดนตรีเท่านั้น เพราะฉะนั้นชุดทดลองในงานวิจัยนี้จะใช้แยกฮาร์มอนิกของเสียงดนตรีได้ เปรียบเสมือนเป็นผู้เชี่ยวชาญในการฟังเสียงดนตรี

ส่วนการรับรู้ระดับเสียงหรือโน้ตนั้น ก็คือการรู้ค่าความถี่มูลฐานของเสียงนั้นหรือของชุดฮาร์มอนิกของเสียงนั้น