การศึกษาฟิสิกส์ของเสียงขิมโดยวิธีการแปลงฟูเรียร์

The Study in Physics of KHIM Sound Using Fourier Transform Method

สุขสันต์ สุวรรณรัตน์[1] และ นิพนธ์ ตั้งประเสริฐ[2]

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาคุณสมบัติที่สำคัญของเสียงจากขิมผีเสื้อ 7 หย่อง เช่น ความถี่ พาร์เชียล และการสลายตัวของเสียง และการสร้างบันไดเสียงดนตรีจากความถี่เหล่านี้ แล้วเปรียบเทียบบันไดเสียงที่ได้กับบันไดเสียงแบ่งเท่าและบันไดเสียงสากล พบว่า ความถี่พื้นฐานของบันไดเสียงขิมมีค่า 4 คู่แปด ซึ่งมีความถี่อยู่ระหว่าง 190.40 - 766.16 Hz โน้ตส่วนใหญ่ (18 โน้ต) ประกอบด้วยหลายความถี่รวมกันเป็นทั้งอนุกรมฮาร์มอนิกและไม่เป็นฮาร์มอนิก อย่างไรก็ตามมีบางโน้ตที่มีเฉพาะอนุกรมฮาร์มอนิกเท่านั้น ยังพบว่าเสียงที่มีพาร์เชียลหลักอย่างน้อย 5 ตัว จะมีฮาร์มอนิกมากกว่า 8 ตัว หลังจากที่ตีขิมแอมพลิจูดของเสียงจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจนถึงจุดสูงสุดแล้วมีค่าลดลงแบบเอกซ์โพเนนเชียลสู่ระดับปกติ ช่วงเวลาที่ทำให้เกิดเสียง (ตี-สลายตัว-คงตัว-กลับสู่ระดับปกติ) น้อยกว่า 1.5 วินาที ช่วงเวลานี้จะมีผลต่อคุณสมบัติของเสียงเครื่องดนตรี บันไดเสียงขิมของโน้ตหลัก 15 ตัว มีค่าใกล้เคียงกับบันไดเสียงแบ่งเท่า ซึ่งหูของคนปกติไม่สามารถบอกความแตกต่างนี้ได้ แต่บันไดเสียงสากลมีความแตกต่างของความถี่อยู่ในช่วง 1.12 - 24.8 Hz งานวิจัยนี้จะเป็นประโยชน์ต่อนักดนตรีและบุคคลทั่วไปที่สนใจสำหรับการพัฒนาและปรับแต่งความถี่เสียงของขิม

คำสำคัญ: แอมพลิจูด พาร์เชียล บันไดเสียง ขิมผีเสื้อ 7 หย่อง ความถี่เสียง

ABSTRACT

In this research, we studied the main characteristics of the sound from the seven bridges butterfly KHIM such as the frequencies, the partials and the decay of these sounds and creating the musical scale from these frequencies. The comparisons of this scale with the equal temperament scale and the standard international equal temperament scale were made. The results showed that the fundamental frequencies of the sound scale from KHIM was 4 octave which had the range 190.40-766.16 Hz. Most of the notes (18 notes) consisted of several frequencies to form the harmonic series and no harmonic. However, some of the notes had the only harmonic series. We also found that the sounds that had at least five main partials had more than eight harmonics. After we struck the strings on KHIM, the amplitude of the sound rapidly raised to its peak and then dropped exponentially to the quiet level. The sound duration or envelope time (attack-decay-sustain-release) was less than 1.5 second. This period of time affected the sound quality of the

[1] อาจารย์ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง

[2] รองศาสตราจารย์ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง

instrument. The scale of the 15 notes normally used in KHIM was nearly equals to the equal temperament scale in which the ears of normal people could not distinguish the difference. But the standard international equal temperament scale has the difference in the frequencies of the range 1.12-24.83 Hz. This research will be useful for musicians and people who are interested in developing and adjusting the frequency of the sound of KHIM.

Keywords: amplitude, partials, scale, seven bridges butterfly KHIM, sound frequencies

บทนำ

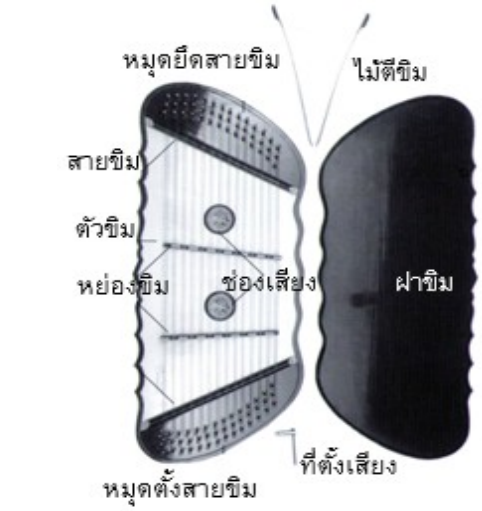
ขิมเป็นเครื่องดนตรีที่เป็นที่นิยมในการบรรเลง เนื่องจากมีเสียงที่ไพเราะและเป็นเอกลักษณ์ เสียงขิมเกิดจากการตีเส้นลวด 3 เส้นพร้อมกัน ซึ่งแตกต่างจากเครื่องดนตรีอื่น ๆ เช่น จะเข้ ระนาด และฆ้อง โดยเสียงเกิดจากการดีดเส้นลวด 1 เส้น การตีแท่งไม้ และการตีโลหะทองเหลือง ตามลำดับ มนุษย์สามารถแยกเสียงของเครื่องดนตรี ต่าง ๆ ได้ เช่น เสียงจะเข้และระนาดเมื่อ ทั้งสอง บรรเลงโ น้ตตัวเดียวกัน เสียงที่ได้ยินจะรู้ว่าเสียงมาจากเครื่องดนตรีชนิดใด เอกลักษณ์หรือลักษณะของเสียงที่ได้ยินจะขึ้นอยู่กับคุณภาพของเสียงซึ่งเกิดจาก การรวมกันข องหลาย ความถี่เสียงที่มีความเข้มต่าง ๆ ที่เป็นคุณสมบัติเฉพาะของเครื่องดนตรีนั้น คุณภาพของเสียงมี ทั้งความถี่ บริสุทธิ์และ หลายความถี่ ซึ่งเป็นอนุกรมฮาร์มอนิกหรือไม่เป็นฮาร์มอนิกหรือทั้งสองรวมกัน (Fletcher, 1998) เครื่องดนตรีบางชนิดยังมีการสลายตัวของเสียงที่ส่ง ผลกระทบต่อคุณภาพเสียง เช่น ขิม และระฆัง เป็นต้น ดังนั้น คุณสมบัติเหล่านี้จะ เป็นตัวบ่งชี้คุณ ลักษณะ เสียงของเครื่องดนตรี นั้นได้ (William and Hibbert 2008) นอกจากนี้ เสียงดนตรียังสามารถนำไปใช้ประโยชน์อื่นได้แก่ ด้านจิตเวช (Montánchez, 2011) ด้านการศึกษา (Skoe and Beskow 2012) และด้านการแพทย์ (Ikonomidou et al., 2004)

ขิมผีเสื้อ 7 หย่อง เป็นขิม ไทย ดังเดิม และใช้บรรเลงตั้งแต่ในช่วงต้นสมัยรัตนโกสินทร์ต่อเนื่องมาจนถึงปัจจุบัน โดย นักดนตรีไทยได้ดัดแปลงแก้ไขขิมจีนให้เหมาะสมกับดนตรีไทย ได้แก่ เปลี่ยนขนาดตัวขิมและสายลวดทอง เหลืองให้มีขนาดโตขึ้น เสียงคู่แปดมือซ้ายกับมือขวามีระดับเกือบเท่ากัน เปลี่ยนไม้ตีให้ใหญ่และก้านแข็งขึ้น หย่องที่หนุนสายมีความหนากว่าของเดิมเพื่อให้เกิดเสียงดังขึ้น (ไมตรี และคณะ, 2549; ชนก, ม.ม.ป. ; เจนจิรา, 2555) ปัจจุบันขิมไทยมีการเปลี่ยนแปลงไปมาก แต่ขิม ชนิดมาตรฐาน ก็ยังคงเป็นที่นิยม เนื่องจาก มีคุณภาพ เสียงที่ไพเราะ น่าฟัง และเป็นเอกลักษณ์ นักดนตรีรุ่นใหม่หลายกลุ่มได้นำขิมไปบรรเลงเพลงสากล ซึ่งจะทำให้เสียงดนตรีจากขิม ที่เป็นเครื่องดนตรีไทย ได้รับความสนใจแพร่หลายมากขึ้น

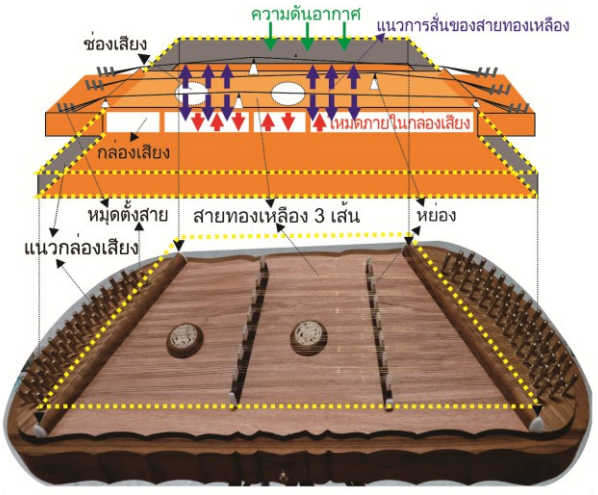
การศึกษาก่อนหน้านี้ ที่บ่งชี้คุณ ลักษณะ เสียงขิม ผีเสื้อ 7 หย่อง ได้แก่ ความถี่ปีศาจในขิม (Suwanarat and Thangprasert, 2015) และเสียงกระด้างในขิม (สุขสันต์ และนิพนธ์, 2560) โดยทั่วไปเสียงจากเครื่องดนตรีจะเกิดจากการรวมกันของหลายความถี่เป็นอนุกรมฮาร์มอนิกหรือ มีความถี่เดียวอนุกรมฮาร์มอนิกมักถูกใช้เป็นตัวบ่งชี้คุณภาพเสียง แต่เสียงดนตรีที่มีหลายความถี่ทั้งอนุกรมฮาร์มอนิกและไม่เป็นฮาร์มอนิก การวิเคราะห์อนุกรมฮาร์มอ - นิกอย่างเดียวอาจไม่เพียงพอ สำหรับงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาคุณลักษณะของเสียงขิม เช่น ความถี่ การสลายตัว และพาร์เชียลของเสียงขิม เนื่องจากเสียง ขิมมีหลายความถี่เป็นทั้งอนุกรม ฮาร์มอนิก และไม่เป็นฮาร์มอนิก และมีการสลายตัว ซึ่งแตกต่างจากการศึกษาเครื่องดนตรีไทยส่วนใหญ่ที่เป็นอนุกรมฮาร์มอนิกอย่างเดียว นอกจากนี้ยังอาศัยการวิเคราะห์แบบเครื่องดนตรีสากล เพื่อบ่งชี้พาร์เชียลหลักของเครื่องดนตรีไทย ได้แก่ ฮัม ไพร์มเทียร์ ควินท์ นอร์มินอล ซูเปอร์ควินซ์ และ อ๊อกเตปนอมมินอล (William and Hibbert 2008) โดยทั่วไปเสียง

ที่มีความไพเราะอย่างน้อยจะประกอบด้วยพาร์เชียลหลัก 5 ตัวแรก หลังจากนั้น วิเคราะห์บันไดเสียงขิมเปรียบเทียบกับบันไดเสียงในระบบ แบ่งเท่าและบันไดเสียงดนตรีสาก ล รวมทั้ง ลักษณะ เสียงที่เกิดจากการตีขิมที่ความ แรงต่าง ๆ และระยะห่างจากหย่อง สำหรับการ บันทึกเสียง ใช้ไมโครโฟนความละเอียดสูง การวิเคราะห์เสียง ใช้วิธีการแปลงฟูเรียร์แบบเร็ว และการแปลงฟูเรียร์ระยะสั้น ซึ่งจะสามารถสกัดคุณลักษณะของเสียง ได้แก่ ความถี่ สเปคตรัม สเปค โตรแกรม การสลายตัว อนุกรม ฮาร์มอนิก และพาร์เชียล (Alm and Walker, 2002; Bracewell, 2000; Boashash, 1988; Dörfler, 2001; Gröchenig, 2001 ; Pielemeier et al., 1996) การศึกษาลักษณะเสียงขิมที่เป็นเครื่องดนตรีไทยโดยอาศัยอ้างอิงจากเหตุผลทางด้านวิทยาศาสตร์ให้เป็นไ ปตามหลักสากลที่ใช้ในการศึกษาเครื่องดนตรีสากลจะช่วยจัดระเบียบของการปรับเทียบเสียง และใช้เป็นแหล่งข้อมูลอ้างอิง เพื่อช่วยในการพัฒนาและปรับปรุงขิม ซึ่งเป็นประโยชน์กับคนทั่วไปที่สนใจและบริษัทผู้ผลิตขิม อีกทั้งยังช่วยอนุรักษ์ขิมที่เป็นภูมิปัญญาของคนไทย

ขิมผีเสื้ อ 7 หย่อง ดัง ภาพ ที่ 1(ก) ประกอบด้วย ฝาขิม เป็นไม้สักแผ่นขึ้นขอบโดยรอบ ตัวขิม ผลิตจากไม้สัก เป็นกล่องไม้ ภายใน กลวงเพื่อใช้ขยายเสียงคล้ายลำโพง หมุดยึดสายขิมเป็นแท่งโลหะทองเหลือง ตอกลงบนตัวขิม เพื่อใช้ผูกปลายสายขิมด้านซ้าย หมุดตั้งสายเป็นแท่งโลหะ ทองเหลือง เกลียวเพื่อใช้ผูกปลายสายขิมด้านขวาสามารถหมุนขึ้นลงได้สำหรับ ปรับความตรึงของสาย หย่องหนุนสายด้านซ้ายและขวา เป็นแท่งไม้รูปทรงสามเหลี่ยมยาว และ วาง บนหน้าขิม ตามขวางมี สัน โลหะทองเหลืองเสริมฝังอยู่ด้านบนในเนื้อไม้อีกชั้นหนึ่ง หย่องขิมเป็นไม้ฉลุเซาะร่องวางสลับ เสริมด้วย สามเหลี่ ยมพลาสติกแข็งอีกชั้นหนึ่งและ มีสัน โลหะทองเหลืองเสริมฝังอยู่ด้านบนในเนื้อพลาสติกอีกชั้นหนึ่ง ช่องเสียงเป็นรูเชื่อมกับโพรงภายใน เพื่อให้เสียงเข้า -ออก สายขิมเป็นสายทองเหลืองมีทั้งหมด 42 เส้น ขึงเป็นแถวในแนวนอน 14 แถว ๆ ละ 3 เส้น ไม้ตีขิมเป็นไม้ไผ่เหลาให้เรียว แบนส่วน หัวไม้ หนาบุด้วยหนัง เพื่อให้เสียงมีความนุ่ม และที่ตั้งเสียงเป็นแท่งคล้ายประแจใช้ในการปรับหมุนหมุดตั้งความตึงสายขิม การบรรเลงขิมจะต้องวางขิมบนพื้นที่เรียบหรือวางบนฝาขิม นั่งตีห่างจากตัวขิมในระยะที่พอดีกับช่วงแขนโดยประมาณ การตีที่ตำแหน่งบนสุดและล่างสุด ให้มีความคล่องตัว การจับไม้ให้วางไม้บนข้อนิ้วชี้ให้หัวไม้ ด้านนูนคว่ำลง นิ้วก้อยอยู่ที่ ปลายไม้ หัวแม่มือกดไม้ทางด้านบนขอ ง นิ้วชี้ให้แน่น กำมือด้ามไม้ไว้แค่พอหลวม ๆ ไม่เกรงมือ เพื่อให้ด้ามไม้ขิมที่อยู่ในอุ้งมือสามารถกระดกขึ้นลงได้สะดวก วิธีการตีขิมใช้ข้อมือบั งคับคล้าย ๆ การเคาะไม้ไปที่สายขิมที่ระยะห่างหย่องประมาณ 1.5 ซม. (ไมตรี และคณะ, 2549)



(ก)



(ข)

ภาพที่ 1 (ก) ส่วนประกอบ ขิมผีเสื้อ 7 หย่อง และ (ข) ส่วนประกอบภายในและคลื่นเชิงกลของขิม

คลื่นเสียงของขิม เป็นคลื่นเชิงกล ที่เกิดจากการตีสายทองเหลืองและมี การสั่นสะเทือนของสายขิม ดังรูปที่ 1(ข) โดยคลื่นเสียงจาก แหล่งกำเนิดเชิงกลทำให้เกิดการสั่นสะเทือนและการอัด-ขยายของตัวกลาง อากาศ แล้ว ถ่ายโอนพลังงาน ส่งผ่าน ตัวกลาง อากาศไปยังหู แล้วถูกแปลงเป็นพัลส์ประสาทส่งไปยังสมอง ทำให้สามารถรับรู้และจำแนกเสียงต่ าง ๆ ได้ (Savage et al., 1992 และ Fletcher, 1977; Fletcher and Rossing 1998) โดย ปกติหูมนุษย์จะรับรู้เสียงที่มีความถี่ต่ำสุด ของอนุกรมฮาร์มอนิก ก่อน จึง สามารถใช้ความถี่พื้นฐานเป็นตัวแทนของ เสียงโน้ต นั้น เสียงขิม เกิดจาก การตีสายขิมถูกตรึงปลายทั้งสองด้านผ่านหย่องไปยังหมุดยึดและหมุดตั้งสาย ดังนั้นคลื่นนิ่งของสายขิมจะ คล้ายกับคลื่นนิ่งในเส้นเชือกตรึงปลายสองด้าน คือ $f_n = (n/2L).(T/\mu)^{1/2}$ เมื่อ f_n เป็นความถี่ ของฮาร์มอนิกที่ n, L เป็นระยะห่างระหว่างหย่องของขิม , T เป็นความตรึงของสายขิม และ μ เป็นความหนาแน่นของสายขิม ดังนั้นความถี่ของเสียงจะขึ้นอยู่กับความตรึงและความหนาแน่นของสาย เช่น การตั้งสายขิมตรึงมากจะทำให้ได้เสียงสูง ขิมมี ระยะห่าง ระหว่างหย่อง ของแต่ละตัวโน้ตแตกต่างกัน ทำให้ขิมมีระดับ เสียง หลากหลายถึง 21 เสียง เมื่อเสียง มีหลายความถี่เป็นจำนวนเท่าของความถี่พื้นฐาน ($f_n = nf_1$) เรียกว่า อนุกรมฮาร์มอนิก โดยความถี่ต่ำสุด (n=1) เรียกว่า ความถี่พื้นฐานหรือฮาร์มอ -นิกที่ 1 ความถี่ที่ 2 (n=2) เรียกว่า ฮาร์มอนิกที่ 2 และลำดับถัดไป เรียกว่า ฮาร์มอนิกที่ 3, 4, 5, ...n เมื่อ n คือเลขจำนวนเต็ม เช่น อนุกรมฮาร์มอนิก ของความถี่ 100, 200, 300, 400 ... Hz โดย ความถี่พื้นฐาน 100 Hz และความถี่ถัดไปจะเป็นจำนวนเท่าของความถี่พื้นฐาน (Fletcher and Rossing 1998; Gröchenig, 2001 ; Pielemeier et al., 1996)

สำหรับเสียงที่มีหลายความถี่ทั้งฮาร์มอนิกและไม่เป็นฮาร์มอนิก พาร์เชียล จะช่วย บ่งบอกลักษณะและคุณภาพ ของเสี ยงได้มาก ยิ่งขึ้น พาร์เชียล สามารถคำนวณโดยใช้อัตราส่วนของความถี่ ทั้งหมด เริ่มต้นสุ่มเลือกความถี่ หนึ่ง จาก หลาย ความถี่ของ โน้ต เสียง เรียกว่า นอร์มินอล (Nominal) แล้วนำความถี่อื่น ๆ หารด้วยความถี่นอร์มินอล ($f_n/f_{Nominal}$) ถ้าอัตราส่วน คือ 0.25: 0.5 : 0.60 : 0.75: 1 : 1.5 : 2 จะบ่งชี้ว่าเสียงมีพาร์เชียลประกอบด้วย ฮัม (Hum), ไพร์ม (Prime), เทียร์ (Tierce), ควินท์ (Quint), นอร์มินอล (Nominal), ซูเปอร์ควินซ์ (Superquint) และอ๊อกเตปนอมมินอล (Octave Nominal) ตามลำดับ ถ้าการคำนวณไม่พบอัตราส่วนดังกล่าวให้สุ่มเลือกความถี่นอร์ มินอลใหม่ (William and Hibbert 2008)

บันไดเสียง คือ ระดับของเสีย งใน 1 คู่แปด การปรับเทียบเสียงของดนตรีสากล โดยการประชุมระดับนานาชาติ (International Conference) ณ กรุงลอนดอน ที่ประเทศสมาชิกที่ร่วมประชุม ได้แก่ ฝรั่งเศส เยอรมนี ฮอลแลนด์ อิตาลี และอังกฤษ ตกลงให้ ใช้ระดับเสียง A มีความถี่ 440 เฮริตซ์ จนถึงปัจจุบัน บันไดเสียง ของเค รื่องดนตรีสากล ได้ กำหนดช่วงความถี่เสียงด้วย ระยะพิตช์ (c) ในหน่วยเซนต์ (cents) ใน 1 คู่แปด เช่น 1 คู่แปด มีความถี่ 440-880 Hz เท่ากับ 1200 cents ดังสมการ $f_2 / f_1 = 2^{c/1200}$ หรือ $c = 1200 \times \ln (f_2 / f_1)/\ln 2$ เมื่อ f_1 และ f_2 คือความถี่เสียงระหว่างระยะพิตช์ บันไดเสียงจะประกอบด้วย เสียงเต็ม 7 เสียง เช่น C – D – E – F – G – A – B – C มีระยะพิตช์ 200-200-100-200-200-200-100 cents ตามลำดับ เมื่อระยะพิตช์แบ่งเท่าเป็นช่วง ๆ ละ 100 cents จะมีครึ่งเสียงเพิ่ มขึ้นอีก 5 เสียง ดังนั้นบันไดเสียง จะมีระดับเสียงทั้งหมด 12 เสียง เรียกว่า บันไดเสียงสากล เช่น บันไดเสียงหนึ่งประกอบด้วยโน้ต C – C#,Db – D – D#,Eb – E – F – F#,Gb – G – G#,Ab – A – A#,Bb – B เมื่อ # คือระดับเสียงสูงกว่าครึ่งเสียง และ b คือระดับเสียงสูงกว่าครึ่งเสียง (Fletcher and Rossing 1998)

สำหรับ ดนตรีไทย ระดับเสียง ใน 1 คู่แปด จะถูกแบ่งเท่ากันเป็น 7 เสียง เรียกว่า บันไดเสียง แบ่งเท่า (Helmonoltz, 1954; David, 1976) อย่างไรก็ตามในปัจจุบันดนตรีไทยยังนิยมการตั้งเสียงโดยใช้ความชำนาญในการฟังเป็นหลัก ซึ่ง แตก ต่างจากดนตรีตะวันตก (สุกรี, 2540) ลักษณะ บันไดเสียง แบ่งเท่าใน 1 คู่แปด เมื่อคำนวณโดยใช้หลักการของดนตรีสากล เช่น บันไดเสียงมีโน้ต โด เร มี ฟา ซอล ลา ที โดสูง ซึ่งมีความถี่ของโน้ตโดสูง -โด คือ 880 - 440 Hz ความถี่ต่างกัน 440 Hz เท่ากับ 1200 cents เมื่อ

แบ่งเป็น 7 เสียงเท่าในหน่วยเซนต์ (cents) โดยใช้สมการ $f_n = f_1 \times 2^{(n-1)x(1200/7)/1200}$ จะได้ความถี่ของระดับเสียงที่ n = 1 - 7 คือ 440.00 485.80 536.37 592.20 653.84 721.90 797.04 Hz และ n = 8 คือ 880.00 Hz (1 คู่แปด) ระยะพิตช์ของแต่ละช่วงตัวโน้ตสามารถคำนวณจากสมการ $c = 1200 \ln(f_{n+1}/f_n)/\ln 2 = 171.42857$ cents ดังนั้นระบบบันไดเสียงแบ่งเท่าของดนตรีไทยมีระยะพิตช์ 171.42857 cents และอัตราส่วนระหว่างความถี่ $f_{n+1}/f_n = 1.10409$ เรียกว่า บันไดเสียงแบ่งเท่า

วิธีดำเนินการวิจัย

สำหรับงานวิจัยนี้ เริ่มต้นโดยการจัดหาขิมผีเสื้อ 7 หย่อง ดังภาพ ที่ 2(ก) ตัวขิมทำจากไม้สักโดยช่างผู้ชำนาญ สายขิมทำด้วยลวดทองเหลืองสปริงเบอร์ 24 มีจำนวน 42 เส้น (14 แถว ๆ ละ 3 เส้น) การบันทึกเสียงใช้ไมโครโฟนแบบคอนเดนเซอร์ ยี่ห้อ Audio-Technica รุ่น AT2020USB+ เอาท์พุทเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ การแปลงสัญญาณอน าล็อกเป็นดิจิตอล 16 บิต อัตราการสุ่ม 44.1/48 kHz การตอบสนองความถี่ 20-20,000 Hz ซึ่งเป็นช่วงความถี่ที่หูมนุษย์สามารถได้ยินทำให้แน่ใจในคุณภาพเสียง การติดตั้งไมโครโฟนในห้องบันทึกเสียงวางในแนวระดับห่างจากด้านบนของตัวขิม 15 ซม. สัญญาณเสียงที่บันทึกโดยใช้คอมพิว เตอร์มีรูปแบบของความสัมพันธ์ระหว่างความดัง (dB) กับเวลา (s) ในนามสกุลเวฟ (WAV) การวิเคราะห์เสียงขิมใช้วิธีการแปลงฟูเรียร์แบบเร็ว และการแปลงฟูเรียร์ระยะสั้น ที่อัตราสุ่ม 1024 ข้อมูล จะได้ความถี่ สเปกตรัม สเปกโตรแกรม และการสลายตัว หลังจากนั้นวิเคราะห์อนุกรมฮา ร์มอนิกและพาร์เชียลของเสียงขิมทุก โน้ต เสียง (Hibbert, 2017 และ Sjölander and Beskow, 2016)

(ก)

(ข)

ภาพที่ 2 (ก) ขิมผีเสื้อไม้สัก (ข) โน้ตของขิม และลำดับการปรับเทียบสียง

การปรับเทียบเสียง ของขิม โดยใช้ เสียงขลุ่ยเพียงออโน้ตโด (เมื่อเป่าขลุ่ยปิดรูทั้งหมด) ซึ่งเทียบกับเสียงดนตรีสากลโน้ตบีแฟลต (Bb) มีความถี่ 466.16 Hz โดยทั่วไปการปรับเทียบเสียง ดนตรีไทยจะใช้เครื่องดนตรีประเภทที่ไม่สามารถปรับเสียงได้โดยง่าย เช่น ขลุ่ยเพียงออ และระนาดเหล็ก เป็นหลักในการเทียบเสียง ภาพที่ 2(ข) แสดงตำแหน่งของโน้ตขิม กรอบสีเทาคือเสียงซ้ำกันและมีการใช้น้อยและตำแหน่งโน้ตอื่น ๆ แบ่งตามระดับเสียงได้ 3 ช่วงเสียง คือ ◇ เสียงสูง □ เสียงกลาง และ ○ เสียงต่ำ ตำแหน่งของโน้ตขิมเกิดจากการตีขิมทางด้านซ้าย ตรงกลาง และด้านขวาอย่างละ 7 เสียง ดังนั้น เสียง ขิมมี ทั้งหมด 21 เสียง (ไมตรี และคณะ , 2549) เพื่อความสะดวกในศึกษาเสียงขิม กำหนดการเรียกตัวโน้ตแต่ละโน้ตที่สอดคล้องกับโน้ตเดิม (สัญลักษณ์ของโน้ตเดิม คือ ด ร ม ฟ ซ ล ท) โดยเพิ่มเติมลำดับตัวโน้ต คือ ลต(1), ทต(2), ดต(3), รก (4), มก(5), ฟก(6), ซก(7), มก(8), ฟก(9), ซก(10), ลก (11), ทก(12), ดส(13), รส(14), ทก(15), ดส(16), รส (17), มส(18), ฟส(19), ซส(20) และ ลส(21) การเทียบ

เสียงตามลำดับเนื่องจากเสียงโน้ตขิมมีความสัมพันธ์กัน เริ่มต้นด้วยการเทียบเสียงลำดับที่ 3, ดส(13) และดส (16) เท่ากับ 466.16 Hz จะได้เสียงลำดับที่ 2, ซส(20) แล้วเทียบกับเสียงลำดับที่ 1, ซก(10) แต่ความถี่จะต่ำกว่า 1 คู่แปด จะได้เสียงลำดับที่ 9, รส(17) แล้วเทียบกับเสียงลำดับที่ 10, รส(14) (เสียงเดียวกัน) จะได้เสียงลำดับที่ 11, ลส(21) แล้วเทียบกับเสียงลำดับที่ 12, ลก (11) แต่ความถี่จะต่ำกว่า 1 คู่แปด แล้วเทียบกับเสียงลำดับที่ 20, ลต (1) แต่ความถี่ จะต่ำกว่า 1 คู่แปด หลังจากนั้นเทียบเสียงลำดับที่ 3,ดส(13) กับเสียงลำดับที่ 4, ดส(16) (เสียงเดียวกัน) จะได้เสียงลำดับที่ 5, ฟก (9) แล้วเทียบเสียงกับเสียงลำดับที่ 6, ฟส(19) แต่ความถี่จะสูงกว่า 1 คู่แปด จะได้เสียงลำดับที่ 7, ทก(12) แล้วเทียบเสียงกับลำดับที่ 8, ทก(15) (เสียงเดียวกัน) แล้วเทียบเสียงกับลำดับที่ 14,ทต(2) แต่ความถี่จะต่ำกว่า 1 คู่แปด หลังจากนั้นเทียบเสียงลำดับที่ 4, ดส(16) กับเสียงลำดับที่ 15, ดก(3) แต่ความถี่จะต่ำกว่า 1 คู่แปด แล้วเทียบเสียงลำดับที่ 9, รส(17) กับเสียงลำดับที่ 16, รก(4) แต่ความถี่จะต่ำกว่า 1 คู่แปด จากเสียงลำดับที่ 12, ลก(11) จะได้เสียงลำดับที่ 13, มส(18) แล้วเทียบเสียงกับเสียงลำดับที่ 17, มก(5) แต่ความถี่จะต่ำกว่า 1 คู่แปด แล้วเทียบเสียงกับ มก (8) แล้วเทียบเสียงลำดับที่ 6, ฟส(19) กับเสียงลำดับที่ 18, ฟก(6) แต่ความถี่จะต่ำกว่า 1 คู่แปด แล้วเทียบเสียงลำดับที่ 2, ซส(20) กับเสียงลำดับที่ 19, ซก(7) แต่ความถี่จะต่ำกว่า 1 คู่แปด ขั้นตอนการเทียบเสียงขิมจะเห็นได้ว่า เมื่อรู้ความถี่ของโน้ตตัวใดตัวหนึ่ง เช่น ดส(13) มีความถี่ 466.16 Hz จะทำให้สามารถปรับเทียบเสียงโน้ตตัวอื่น ๆ ได้ทั้งหมด (ไมตรี และคณะ , 2549)

ผลการวิจัย

การศึกษาลักษณะเสียงขิมผีเสื้อ 7 หย่อง ที่ถูกประดิษฐ์โดยครูและช่างดนตรีไทย โดยอาศัยความรู้ทางวิทยาศาสตร์ให้เป็นไปตามหลักสากลที่ใช้กับการศึกษาเครื่องดนตรีสากล ทำให้สามารถสกัดคุณลักษณะเฉพาะของเสียงขิมที่เป็นตัวบ่งชี้คุณลักษณะเสียงขิม สำหรับการทดลองเริ่มต้นด้วยการปรับเทียบเสียงของโน้ต ดส(16) ให้มีความถี่ 466.16 Hz พบว่าเสียงโน้ต ดส(16) มีความถี่ 463.79 Hz มีความแตกต่างจากเสียงหลัก 2.37 Hz เนื่องจากหมุดเกลียวตั้งเสียงมีความละเอียด ไม่เพียงพอและไม่สามารถปรับ แบบละเอียดได้ อย่างไรก็ตาม ความแตกต่างของความถี่ทั้งสองไม่เกิน 3 Hz ซึ่งหูของมนุษย์จะได้ยินเหมือนเสียงเดียวกัน หลังจากนั้นการปรับเทีย บเสียงโน้ตทั้งหมดตามลำดับ ดังภาพที่ 2(ข) จะได้เสียงโน้ตขิม 21 เสียง สำหรับใช้ในการศึกษาคุณลักษณะเสียงขิม

คลื่นเสียง สเปคโตรแกรม การสลายตัว สเปคตรัมของฮาร์มอนิกและพาร์เชียล (เส้นสีแดง) ของโน้ต ลต(1) ดังภาพที่ 3 คลื่นเสียงมีแอมพลิจูดลดลงตามเวลามีลักษณะการสั่นของเสียงแบบสมมาตร แรงตีทำให้แอมพลิจูดของเสียงเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว หลังจากนั้นจะสลายตัวลดลงจนหยุดนิ่ง สเปคโตรแกรมแสดงลักษณะความถี่ของเสียงที่เปลี่ยนแ ปลงตามเวลา สีเข้มที่ปรากฏ เป็นความเข้มสัมพัทธ์ (สีเหลืองทองคือค่าสูงสุด) พบว่า เสียงมีหลายความถี่ประกอบกันและไม่ปรากฏความถี่พื้นฐานเป็นความถี่ปีศาจ เมื่อคำนวณความถี่พื้นฐานจากฮาร์มอนิกที่ 2-10 จะได้ความถี่พื้นฐาน 190.40 Hz (สุขสันต์ และคณะ, 2560) ในช่วงเวลาเริ่มต้นที่ตีขิมความเข้มสัมพัทธ์มีค่ าสูงสุดปรากฏหลายความถี่อย่างชัดเจน เมื่อเวลาผ่านไปความเข้มของแต่ละความถี่จะค่อย ๆ ลดลง โดยความถี่สูงจะสลายตัวไปในเวลารวดเร็ว ส่วนความถี่ต่ำสุดจะสลายตัวช้ากว่า เสียงที่ความถี่สูงกว่าฮาร์มอนิกที่ 10 มีลักษณะไม่เป็นระเบียบ หรือไม่เป็นจำนวนเท่าของความถี่พื้นฐาน ดังภาพที่ 3(ก)

สเปคตรัมแสดง ความถี่ ของโน้ต ลต (1) ดังภาพที่ 3(ค) เส้นสีแดงบ่ง ชี้ความถี่ ของเสียงมี ความถี่ต่ำสุด 380.80 Hz และความถี่อื่น ๆ คือ 573.64, 778.68, 959.31, 1149.71, 1366.96, 1540.27, 1735.55, 1967.45, Hz และมีอัตราส่วนระหว่างความถี่พื้นฐาน (ความถี่พื้นฐาน 190.40 Hz) คือ 2.00, 3.01, 4.09, 5.04, 6.04, 7.18, 8.09, 9.12, 10.33, เมื่อทำให้เป็นจำนวนเต็ม คือ 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 เป็นอนุกรม ฮาร์มอนิกที่ 1-10 โดยฮาร์มอนิกที่ 1 คือ 190.40 Hz, ฮาร์มอนิกที่ 2 คือ 380.80Hz, ฮาร์มอนิกที่ 3 คือ 573.64 Hz และอื่น ๆ ตามลำดับ พาร์เชียลหลักมีความถี่นอร์มินอล 1366.96 Hz และอัตราส่วนของความถี่ต่อความถี่นอร์มินอล ($f_n/f_{nominal}$) มีค่าประมาณ

0.25 : 0.5 : 0.75 : 1 : 1.5 : 2 บ่งชี้ว่าเสียงมีพาร์เชียลหลัก ประกอบด้วย ฮัม ไพร์ม ควินท์ นอร์มินอล ซูเปอร์ควินซ์ และอ๊อกเตป -นอมมินอล และ มีความถี่ 380.80, 573.64, 778.68, 1149.71, 1366.96, 1967.45, 2787.62 Hz ตามลำดับ

การสลาย ตัวที่โดดเด่น คือ ฮัม (เส้นสีดำ) ความถี่ 380.80 Hz ดังรูป 3(ข) การตีขิมทำให้แอมพลิจูดเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วใ นช่วงเวลาประมาณ 0.05 วินาที แล้วเกิดการสลายตัวของแอมพลิจูดอย่างรวดเร็วในช่วงเวลา 0.05-0.60 วินาที แล้วเพิ่มขึ้น เกือบคงที่ในช่วงเวลา 0.60-1.5 วินาที หลังจากนั้นแอมพลิจูด จะลดลงแล้วเพิ่มขึ้นเล็กน้อยแล้วลดลงจนหยุด , ฮาร์มอนิกที่ 3 (เส้นสีแดง) ความถี่ 573.64 Hz การสลายตัวของแอมพลิจูดลดลง รวดเร็วในช่วงเวลา 0.05-0.10 วินาที แล้วลดลงเกือบคงที่ในช่วงเวลา 0.01-1.5 วินาที แล้วจะลดลงจนหยุด , ฮาร์มอนิกที่ 4-10 การสลายตัวอย่างรวดเร็วในช่วงเวลา 0.05-0.10 วินาที แล้วคงที่ในช่วงเวลาประมาณ 0.10-1.5 วินาที แล้วจะลดลงจนเป็นศูนย์ และความถี่อื่นจะ สลายตัวอย่างรวดเร็วที่เวลาประมาณ 0.1 วินาที

ตัวบ่งชี้ทั้งหมดดังกล่าวแสดงให้เห็นถึงลักษณะเฉพาะของเสียงโน้ต ลต (1) เกิดจากหลายความถี่ประกอบกันไม่ปรากฏความถี่พื้นฐานและความถี่มีทั้งอนุกรมฮาร์มอนิกและไม่เป็นฮาร์มอนิก โดยเสียงมีฮาร์มอนิกที่ 1-10 ส่วนความถี่อื่นไม่เป็นจำนวนเท่าของความถี่พื้นฐาน เสียงมีพาร์เชียลหลัก ได้แก่ ฮัม ไพร์ม ควินท์ นอร์มินอล ซูเปอร์ควินซ์ และอ๊อกเตปนอมมินอล การตีขิมจะทำให้แอมพลิจูดของเสียงเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว หลังจากนั้นความถี่สูงจะสลายตัวอย่างรวดเร็ว แต่ความถี่ต่ำที่จะค่อย ๆ สลายตัวโดยเฉ พาะความถี่ต่ำสุด ความถี่สูงที่หายไปจะทำให้คุณภาพเสียงเปลี่ยนแปลงตามเวลาของการสลายตัว การสลายตัวอย่างรวดเร็วของความถี่สูง เกิดจากการตี สายขิม และการสั่นของส่วนประกอบ เพราะในช่วงเวลาหลังจากการตี สายขิมยังสั่นอยู่แต่ความถี่ สูงไม่ปรากฏ แต่อนุกรมฮาร์มอนิกปรากฏอย่างชัดเจนเนื่องจาก การสั่นของสายขิมเท่านั้น

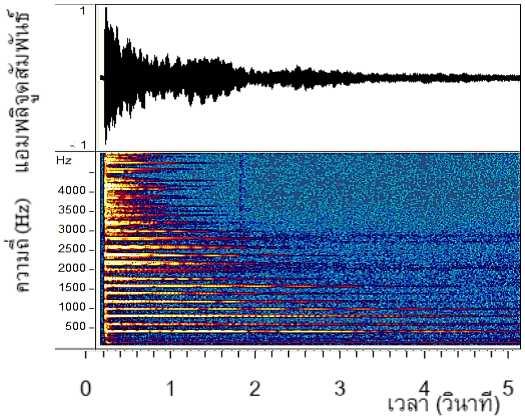
ภาพที่ 4 -23 แสดงคลื่นเสียง สเปคโตรแกรม การสลายตัว สเปคตรัมของฮาร์มอนิกและพาร์เชียล (เส้นสีแดง) ของโน้ต ทต(2), ดต(3), รก(4), มก(5), ฟก(6), ซก(7), มก(8), ฟก(9), ซก(10), ลก(11), ทก(12), ดส(13), รส(14), ทก(15), ดส(16), รส(17), มส(18), ฟส(19), ซส(20) และ ลส(21) โดยฮาร์มอนิกของโน้ต ลต(1), ทต(2), ดต(3), รก(4), มก(5), ฟก(6), ซก(7), มก(8), ฟก(9), ซก(10), ลก(11), ทก(12), ดส(13), ทก(15), และ ดส(16) มีสเปคตรัมปรากฏ ความถี่เป็นจำนวนเท่าของความถี่พื้นฐานใกล้เคียงกับเลขจำนวนเต็มบวก 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 และ 10 แต่เสียงโน้ต ลต(1) ทต(2) และ ดต(3) ไม่ปรากฏความถี่พื้นฐานเป็นความถี่ปีศาจ (Phantom Frequency) โน้ต ลก (11) สเปคตรัม ไม่ปราก ฏฮาร์มอนิกที่ 9 แต่สเปคโตแกรมปราก ฏความถี่ ในช่วง เวลาเริ่มต้นมี แอมพลิจูด ต่ำและสลายตัวอย่างรวดเร็ว ฮาร์มอนิกที่ 9 มีความถี่ 3584 Hz ดังนั้นเสียงของตัวโน้ตทั้งหมดดังกล่าวจะ มีฮาร์มอนิกที่ 1-10 ส่วนโน้ต รส(14), รส(17) และ มส(18) มีสเปคตรัมปราก ฏความถี่เป็นจำนวนเท่าของความถี่พื้นฐานใกล้เคียงกับเลขจำนวนเต็มบวก 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, และ 8 ดังนั้นเสียงของโ นัตทั้งสาม มีฮาร์มอนิกที่ 1-8 และโน้ต ฟส(19), ซส(20) และ ลส(21) มีสเปคตรัมปราก ฏความถี่เป็นจำนวนเท่าของความถี่พื้นฐานใกล้เคียงกับเลขจำนวนเต็มบวก 1, 2, 3, 4 และ 5 ดังนั้นเสียงของโน้ตทั้งสาม มีฮาร์มอนิกที่ 1-5 ส่วนความถี่สูงที่มีค่ามากกว่าความถี่อนุกรมฮาร์มอนิก ของแต่ละโน้ต ส่วนมากจะไม่เป็นจำนวนเท่าของความถี่พื้นฐานหรือไม่เป็นฮาร์มอนิกจะสลายตัวอย่างรวดเร็วหลักจากการตี ซึ่งแตกต่างจากความถี่พื้นฐาน ที่ใช้เวลาในการสลายตัวมากกว่า ดังภาพที่ 4(ค) -23(ค)

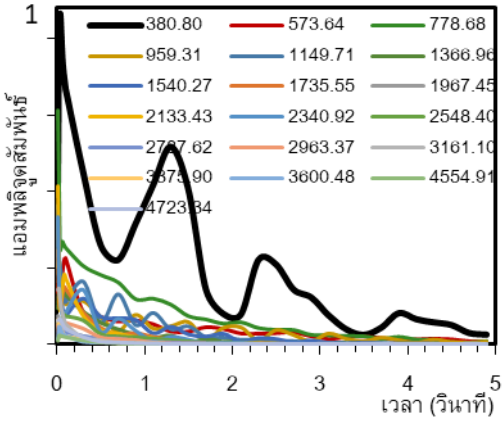
พาร์เชียลหลัก ได้แก่ ฮัม ไพร์ม เทียร์ ควินท์ นอร์มินอล ซูเปอร์ควินซ์ และอ๊อกเตปนอมมินอล ซึ่งมีอัตราส่วนความถี่ต่อความถี่นอร์มินอล ($f_n/f_{nominal}$) มีค่าประมาณ 0.25 : 0.5 : 0.75 : 1 : 1.5 : 2 เสียงโน้ต ทต(2), มก(5), ฟก(6), มก(8), ฟก(9), และทก(15) มีพาร์เชียลหลัก 7 ตัวแรก ส่วนโน้ต ดต(3), รก(4), ซก(10), ลก(11), และ ดส(16) และ รส(17), ซก(7), ทก(12), ดส(13), มส(18) มีพาร์เชียลหลัก 6 ตัวแรก แต่เสียงของโน้ต ฟส(19), ซส(20), ลส(21) ไม่มี พาร์เชียลดังรูปที่ 4(ค)-23(ค) ดังนั้นโน้ตของขิม 18 ตัว มีพาร์เชียลหลักอย่างน้อย 5-7 ตัว และมีโน้ต 3 ตัว ที่เป็น

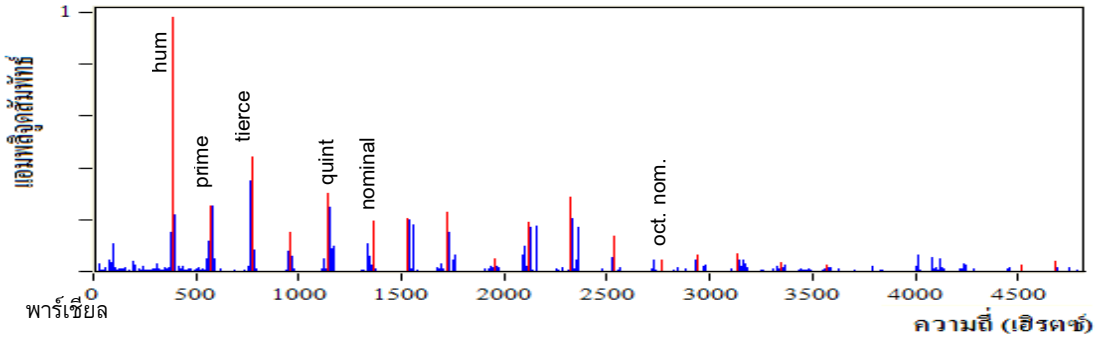
เสียงสูงไม่มีพาร์เชียล อย่างไรก็ตามพาร์เชียลเดียวกันของแต่ละโน้ตมีความถี่ต่างกัน เช่น พาร์เชียลฮัมของโน้ต รก(4) และ มก(5) มีความถี่ 778.68 และ 576.08 Hz ตามลำดับ และสังเกตได้ว่าโน้ตที่มีพาร์เชียลหลักอย่างน้อย 5 ตัว จะมีจำนวนฮาร์มอนิกมาก กว่า 8 ตัว เช่น โน้ต มก(5) มีพาร์เชียล 7 ตัว มีฮาร์มอนิกที่ 1-10 ซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะของโน้ตขิมในแต่ละตัว อย่างไรก็ตามในส่วนของโน้ตที่ไม่มีพาร์เชียล ฟส(19), ซส(20), ลส(21) จะมีฮาร์มอนิกที่ 1-5

การสลายตัวของโน้ตแต่ละตัวจะมีลักษณะการสลายตัวคล้ายกัน เมื่อตีขิมแอมพลิจูดจะ เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว หลังจากนั้น แอมพลิจู ดของแต่ละความถี่จะลดลงตามเวลาและ มีระยะเวลาแตกต่างกัน โดยความถี่สูงจะสลายตัวเร็วกว่าความถี่ต่ำ และความถี่ไม่เป็นฮาร์มอนิกจะสลายตัวอย่างรวดเร็ว การสลายตัวอย่างรวดเร็วของความถี่สูงเกิดจากการตีสายขิม และการสั่นของส่วนประกอบขิม เนื่องจากหลังจากตีขิมในช่วงเวลา 0.05-1 วินาที สายของขิมจะยังคงสั่นอยู่แต่ความถี่สูงไม่ปรากฏ ซึ่งแตกต่างจ ากความถี่อนุกรมฮาร์มอนิกที่ปรากฏอย่างชัดเจน โดยการสลายตัวของความถี่สูงจะใช้ระยะเวลามากกว่าความถี่ต่ำและความถี่พื้นฐานใช้เวลาในการสลายตัวนานกว่าความถี่อื่น ๆ ดังภาพที่ 4 (ข)-23(ข)

สเปคตรัมและสเปคโตแกรมบ่งชี้ว่าเสียงโน้ตขิมทั้งหมดมีลักษณะเฉพาะตัว เสียงมีหลายความถี่ประกอบกัน เสียงส่วนใหญ่ (18 โน้ต) มีความถี่เป็นอนุกรมฮาร์มอนิกและไม่เป็นฮาร์มอนิก โดยโน้ตเสียงต่ำ เสียงกลาง และเสียงสูง มีฮาร์มอนิกที่ 1-10, 1-8 และ 1-5 ตามลำดับ เสียงโน้ตเกือบทั้งหมดมีพาร์เชียลหลักอย่างน้อย 5 ตัว ได้แก่ ฮัม ไพร์ม ควินท์ นอร์มินอล และซูเปอร์ควินซ์ ยกเว้นโน้ตเสียงสูง ฟส(19), ซส(20), ลส(21) ไม่มีพาร์เชียล การตีขิมจะทำให้แอม-พลิจูดของเสียงเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว หลังจากนั้นความถี่สูงจะสลายตัวอย่างรวดเร็ว แต่ความถี่ต่ำที่ จะค่อย ๆ สลายตัว โดยเฉพาะความถี่ต่ำสุดจะใช้ระยะเวลาในการสลายตัวมากที่สุด การสลายตัวทำให้ความถี่บางตัวหายไปส่งผลกระทบต่อคุณภาพเสียง การสลายตัวของความถี่สูงอย่างรวดเร็วเกิดจากการตีสายขิมและการสั่นของส่วนประกอบขิมเนื่องจากในช่วงเวลาหลังจากการตีสายขิมยังสั่นอยู่แต่ความถี่สูงไม่ปรากฏ ซึ่งแตกต่างจากความถี่อนุกรมฮาร์มอนิกที่ปรากฏอย่างชัดเจน โดยการสลายตัวของความถี่ต่ำจะใช้ระยะเวลามากกว่าความถี่สูง และความถี่พื้นฐานใช้เวลาในการสลายตัวนานกว่าความถี่อื่น ๆ

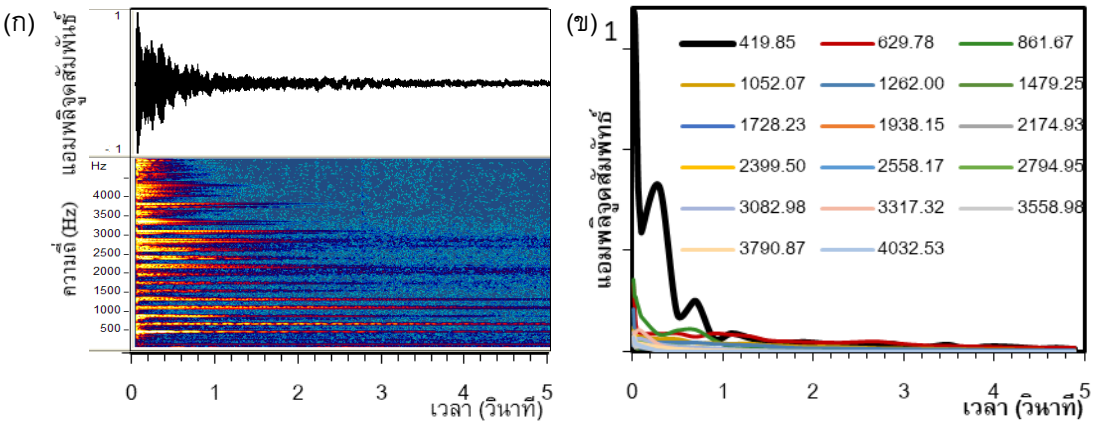


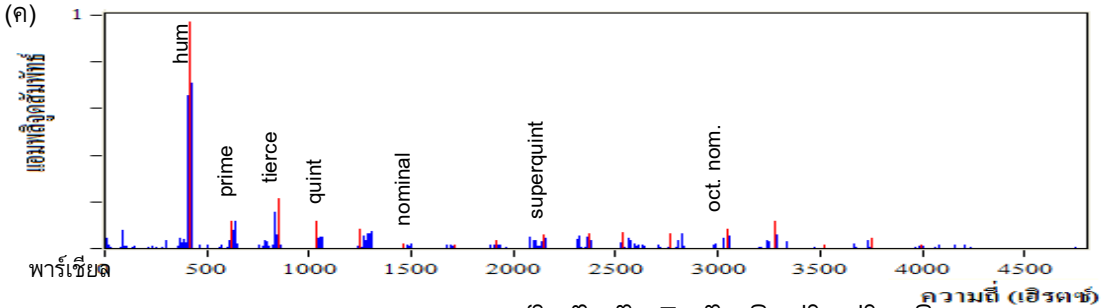




f_n/f_1	1.00	2.00	3.01	4.09	5.04	6.04	7.18	8.09	9.12	10.33	11.21	12.29	13.38	14.64	15.56	16.60	17.73	18.91	23.92	24.81
ความถี่ (Hz)	190.40	380.80	573.64	778.68	959.31	1149.71	1366.96	1540.27	1735.55	1967.45	2133.43	2340.92	2548.40	2787.62	2963.37	3161.10	3375.90	3600.48	4554.91	4723.34
ลำดับ n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20

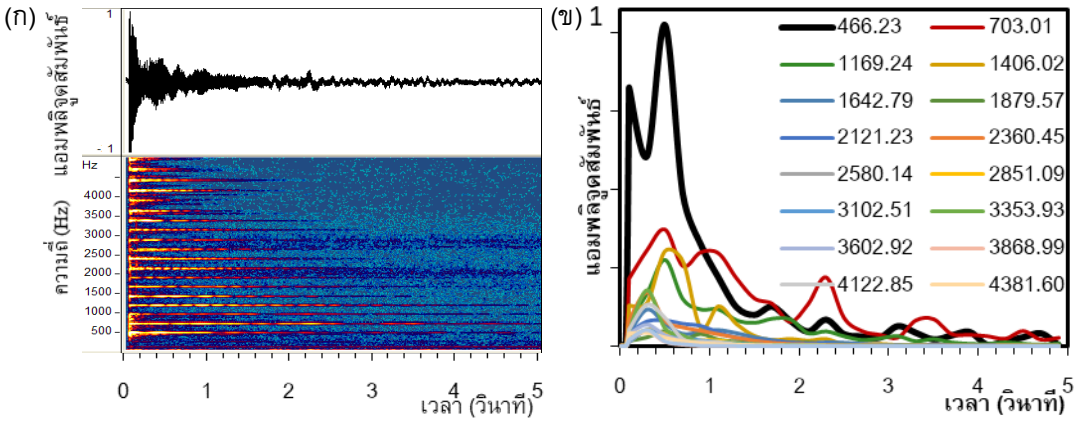
ภาพที่ 3 คลื่นเสียง สเปคโตรแกรม การสลายตัวของเสียง และสเปคตรัมของฮาร์มอนิกและพาร์เชียล ของโน้ต ลต(1)



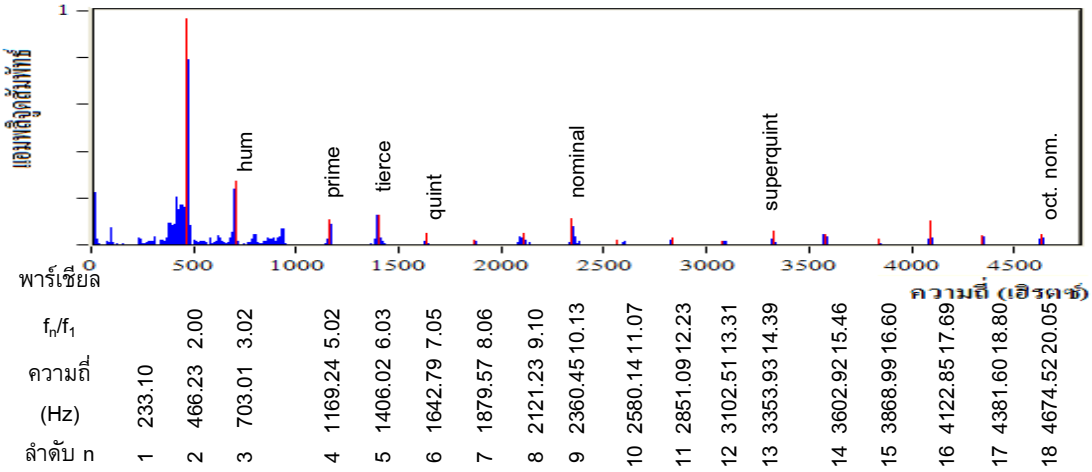


f_n/f_1	1.00	2.00	3.00	4.10	5.01	6.01	7.04	8.23	9.23	10.36	11.43	12.18	13.31	14.68	15.80	16.95	18.05	19.20
ความถี่ (Hz)	210.00	419.85	629.78	861.67	1052.07	1262.00	1479.25	1728.23	1938.15	2174.93	2399.50	2558.17	2794.95	3082.98	3317.32	3558.98	3790.87	4032.53
ลำดับ n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18

ภาพที่ 4 คลื่นเสียง สเปคโตรแกรม การสลายตัวของเสียง และสเปคตรัมของฮาร์มอนิกและพาร์เชียล ของโน้ต ทต(2)

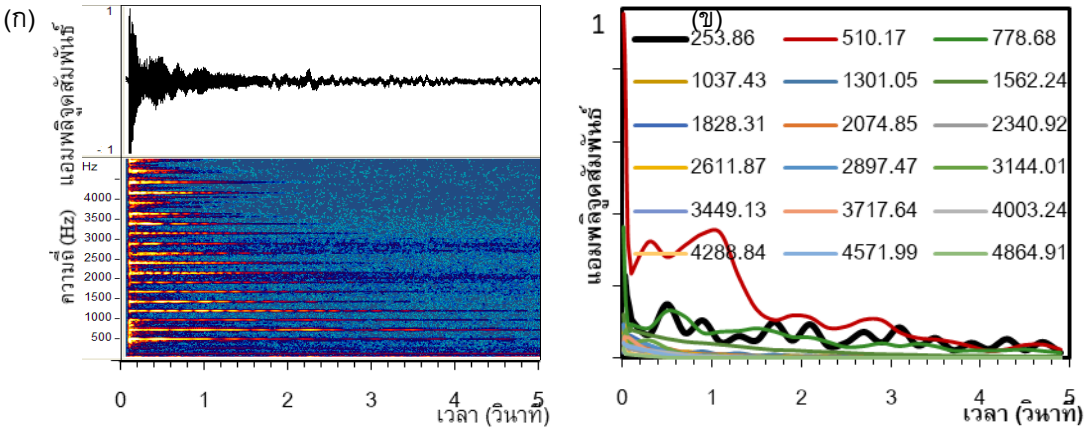


(ค)

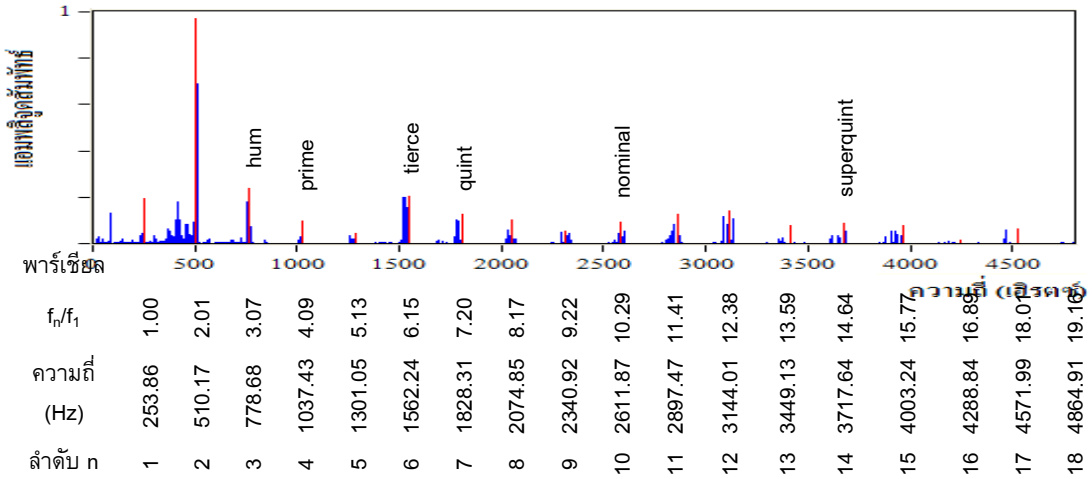


ลำดับ n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
ความถี่ (Hz)	233.10	466.23	703.01	1169.24	1406.02	1642.79	1879.57	2121.23	2360.45	2580.14	2851.09	3102.51	3353.93	3602.92	3868.99	4122.85	4381.60	4674.52
f_n/f_1		2.00	3.02	5.02	6.03	7.05	8.06	9.10	10.13	11.07	12.23	13.31	14.39	15.46	16.60	17.69	18.80	20.05

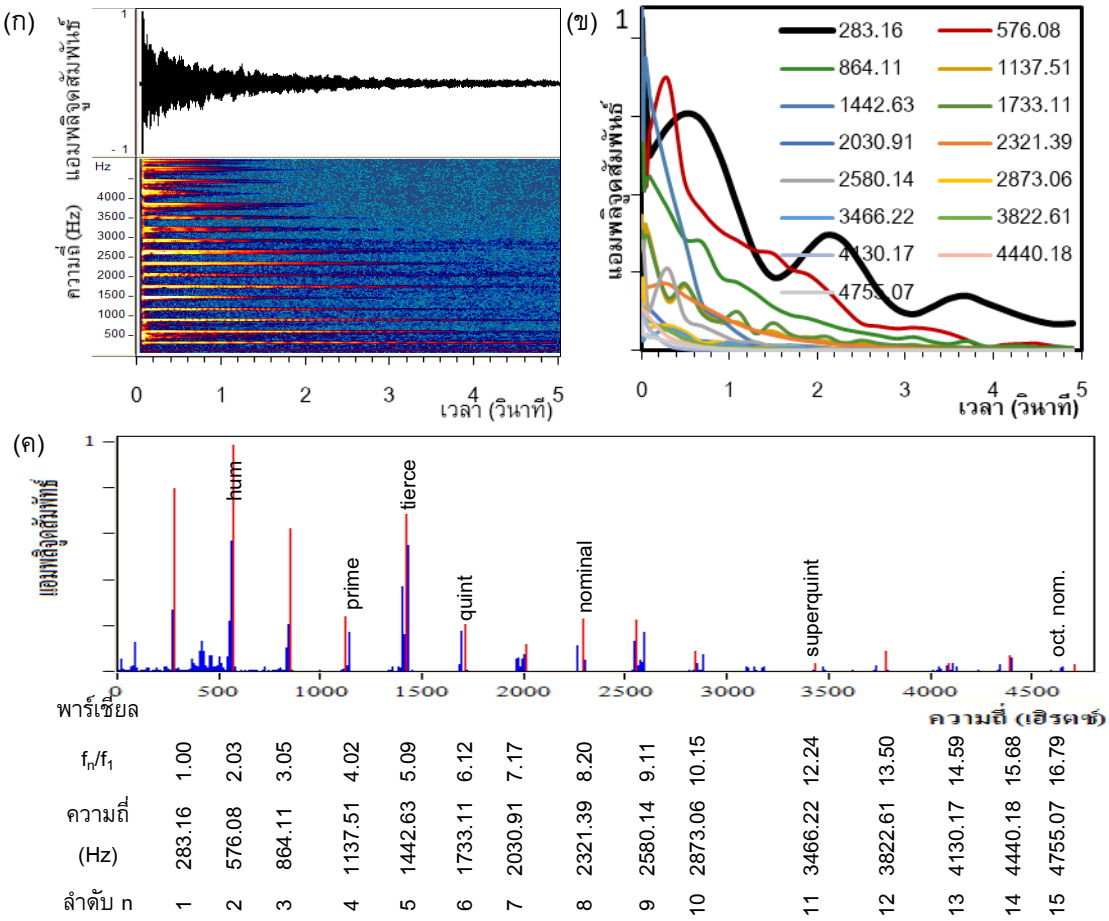
ภาพที่ 5 คลื่นเสียง สเปคโตรแกรม การสลายตัวของเสียง และสเปคตรัมของฮาร์มอนิกและพาร์เชียล ของโน้ต ดต(3)



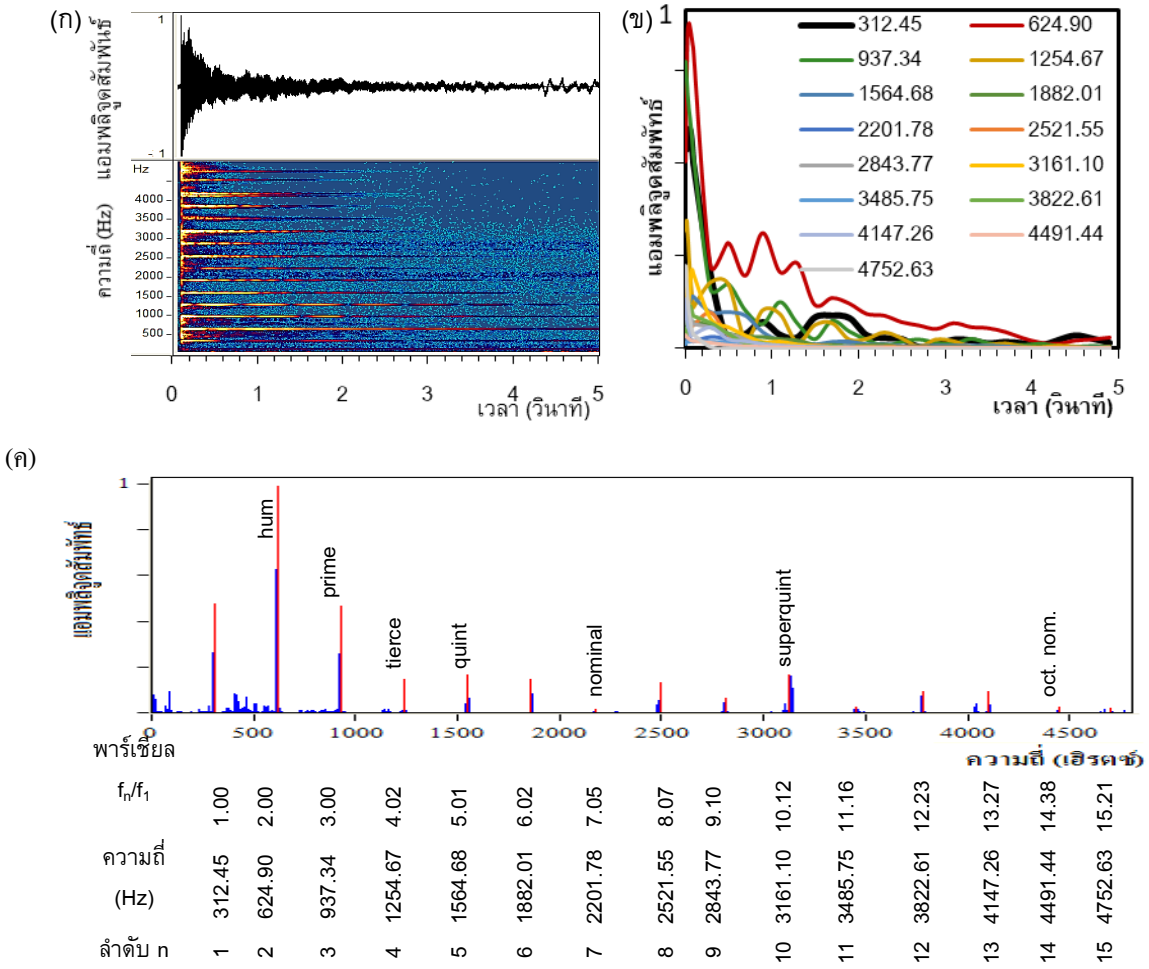
(ค)



ภาพที่ 6 คลื่นเสียง สเปคโตรแกรม การสลายตัวของเสียง และสเปคตรัมของฮาร์มอนิกและพาร์เชียล ของโน้ต รก(4)

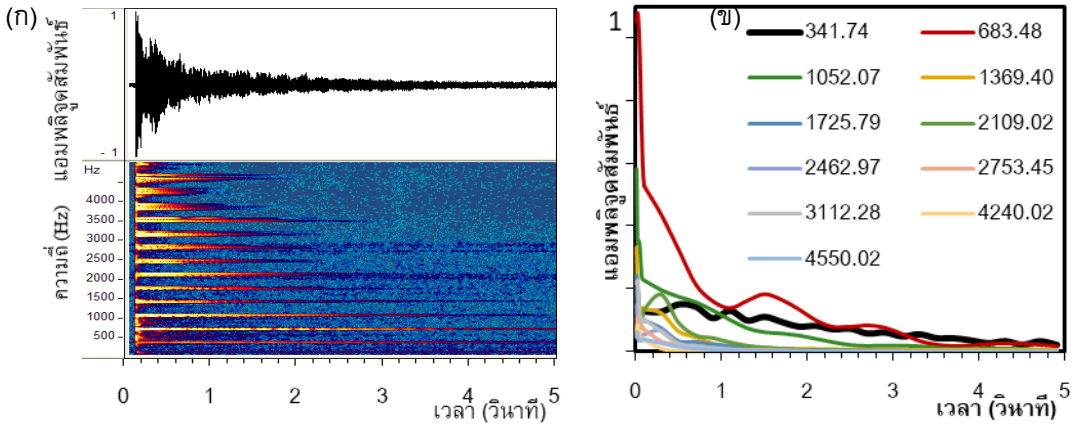


ภาพที่ 7 คลื่นเสียง สเปคโตรแกรม การสลายตัวของเสียง และสเปคตรัมของฮาร์มอนิกและพาร์เชียล ของโน้ต มก(5)

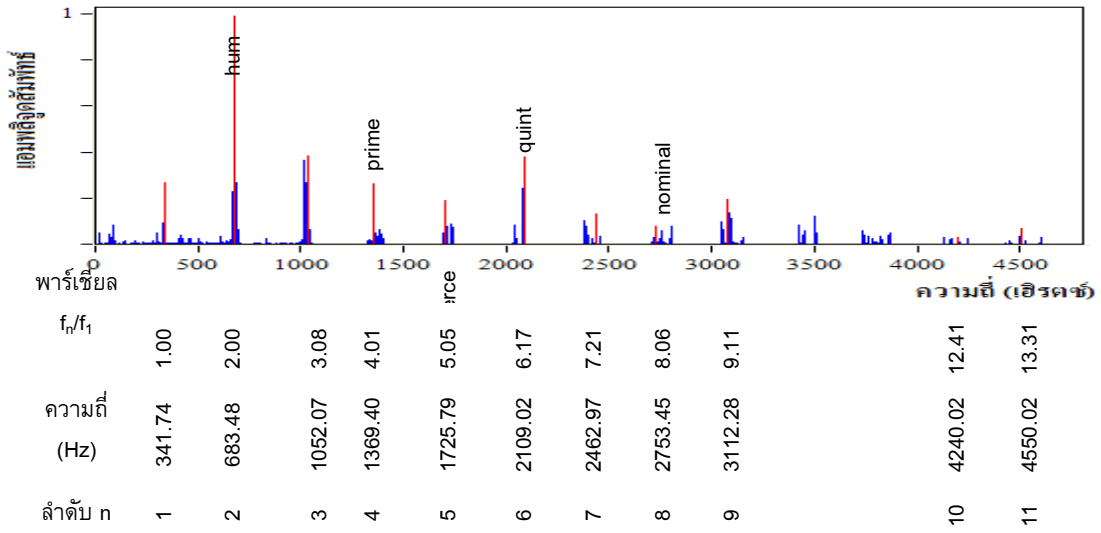


ลำดับ n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
f_n/f_1	1.00	2.00	3.00	4.02	5.01	6.02	7.05	8.07	9.10	10.12	11.16	12.23	13.27	14.38	15.21
ความถี่ (Hz)	312.45	624.90	937.34	1254.67	1564.68	1882.01	2201.78	2521.55	2843.77	3161.10	3485.75	3822.61	4147.26	4491.44	4752.63

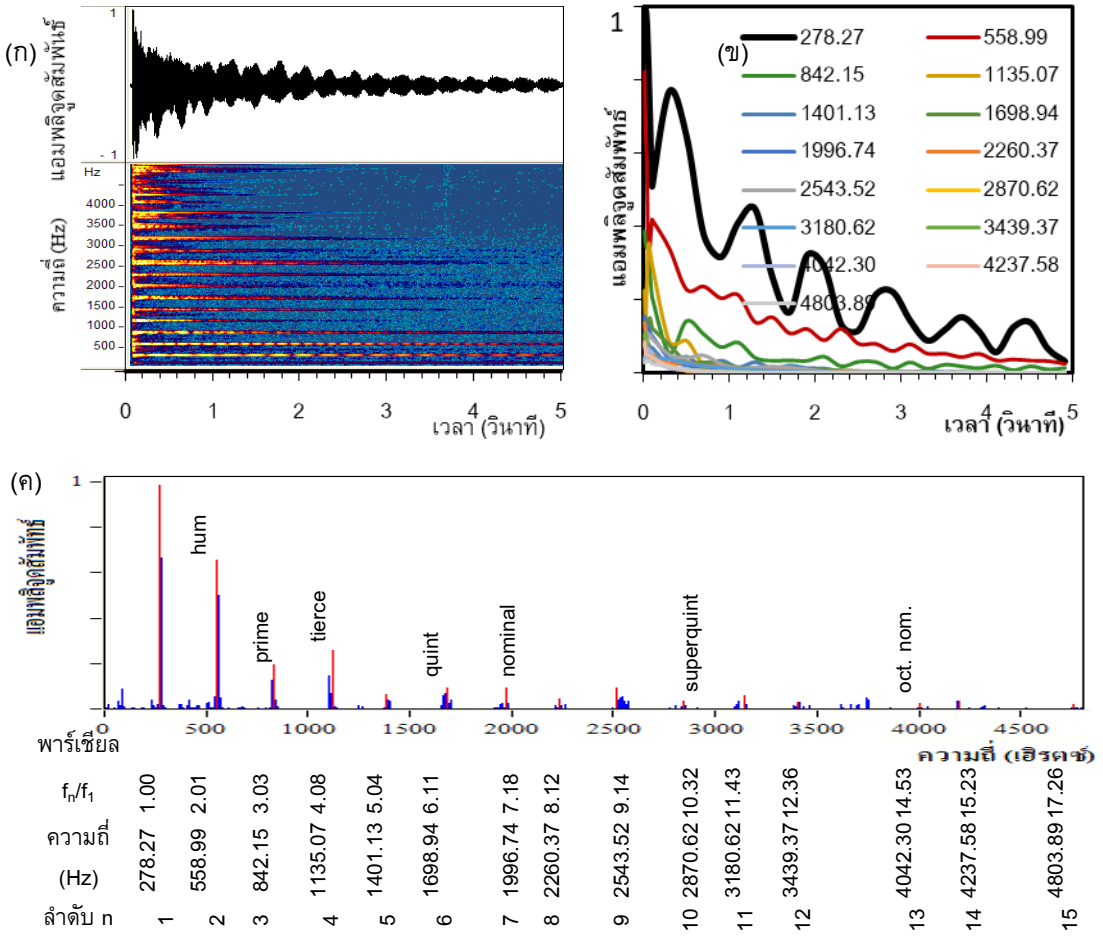
ภาพที่ 8 คลื่นเสียง สเปคโตรแกรม การสลายตัวของเสียง และสเปคตรัมของฮาร์มอนิกและพาร์เชียล ของโน้ต ฟก(6)



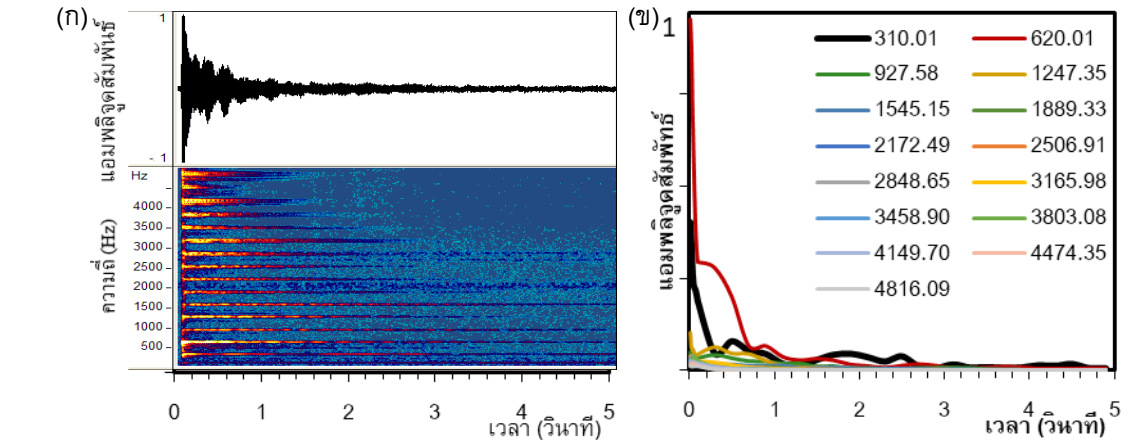
(ค)

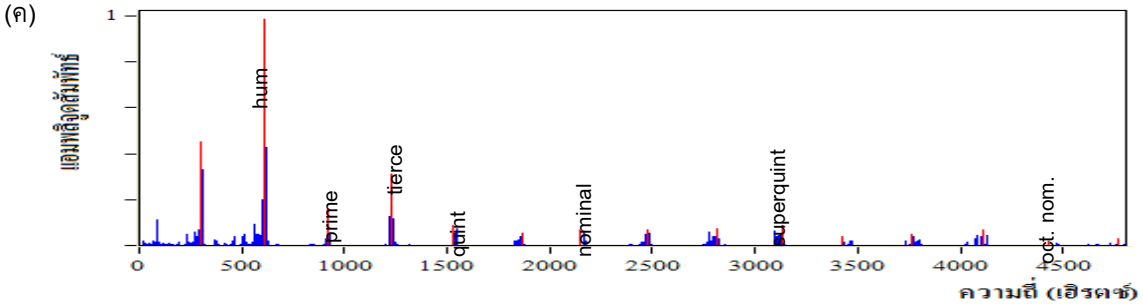


ภาพที่ 9 คลื่นเสียง สเปคโตรแกรม การสลายตัวของเสียง และสเปคตรัมของฮาร์มอนิกและพาร์เชียล ของโน้ต ซก(7)



ภาพที่ 10 คลื่นเสียง สเปคโตรแกรม การสลายตัวของเสียง และสเปคตรัมของฮาร์มอนิกและพาร์เชียล ของโน้ต มก(8)

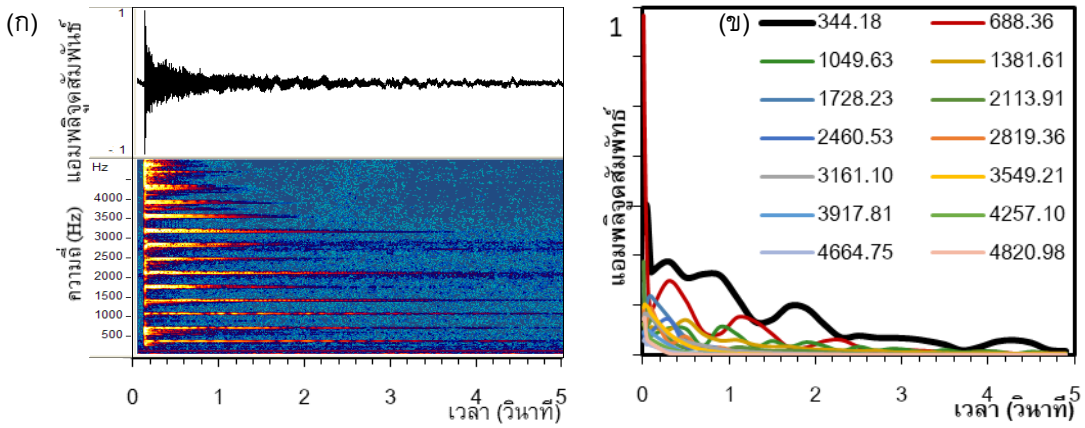




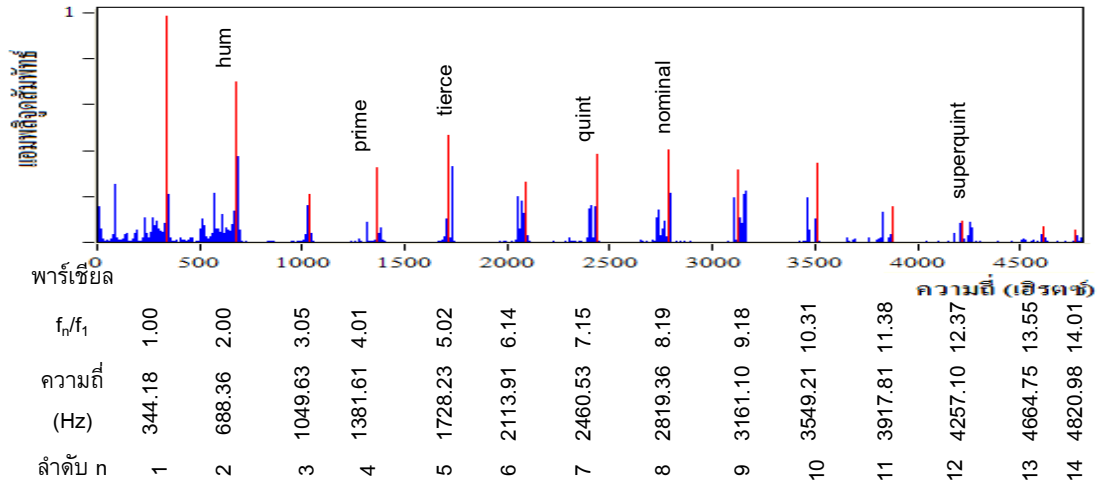
พาร์เชียล

f_n/f_1	1.00	2.00	2.99	4.02	4.98	6.09	7.01	8.09	9.19	10.21	11.16	12.27	13.39	14.43	15.54
ความถี่ (Hz)	310.01	620.01	927.58	1247.35	1545.15	1889.33	2172.49	2506.91	2848.65	3165.98	3458.90	3803.08	4149.70	4474.35	4816.09
ลำดับ n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15

ภาพที่ 11 คลื่นเสียง สเปคโตรแกรม การสลายตัวของเสียง และสเปคตรัมของฮาร์มอนิกและพาร์เชียล ของโน้ต ฟก(9)

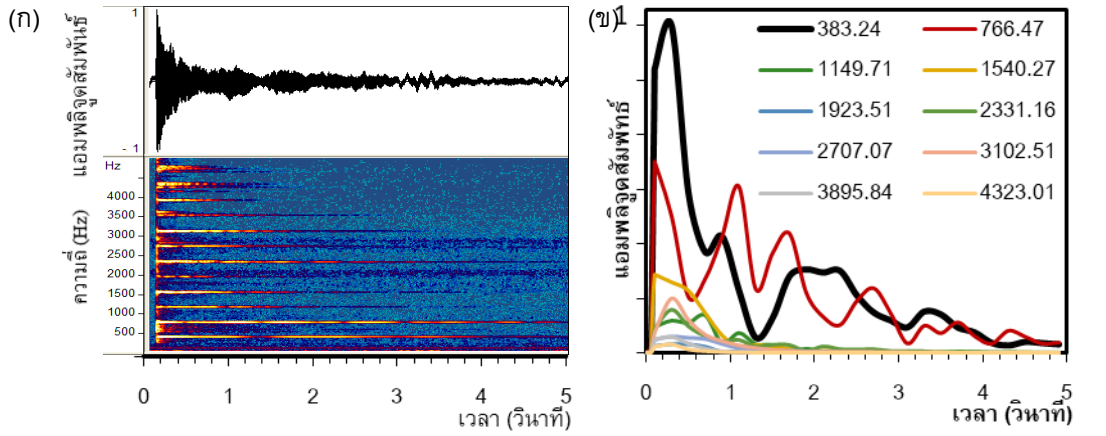


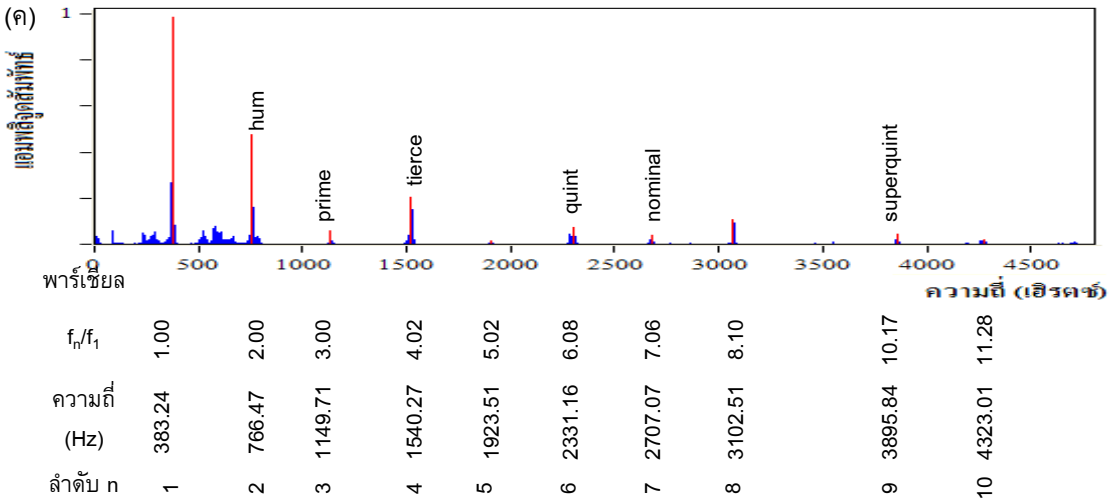
(ค)



พาร์เชียล ลำดับ n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
f_n/f_1	1.00	2.00	3.05	4.01	5.02	6.14	7.15	8.19	9.18	10.31	11.38	12.37	13.55	14.01
ความถี่ (Hz)	344.18	688.36	1049.63	1381.61	1728.23	2113.91	2460.53	2819.36	3161.10	3549.21	3917.81	4257.10	4664.75	4820.98

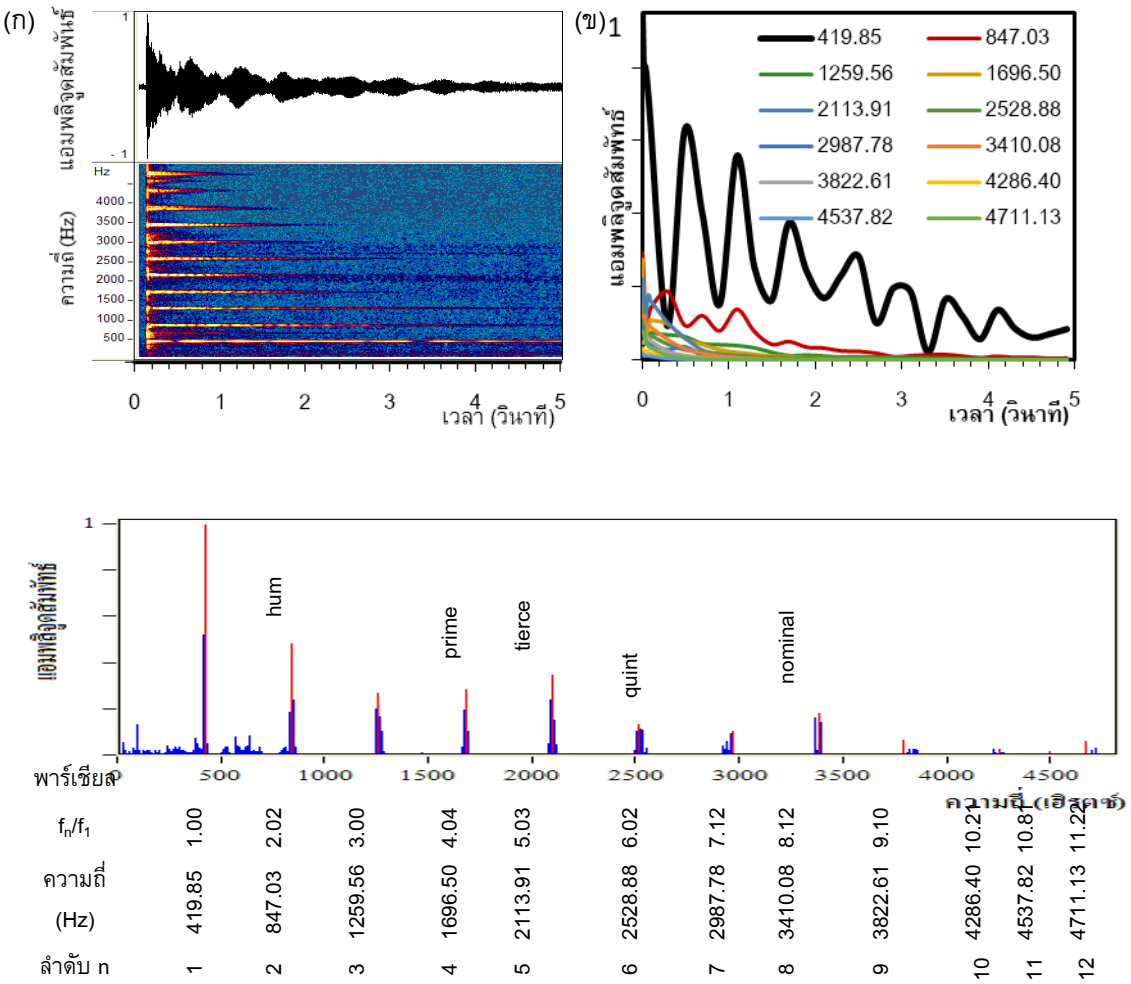
ภาพที่ 12 คลื่นเสียง สเปคโตรแกรม การสลายตัวของเสียง และสเปคตรัมของฮาร์มอนิกและพาร์เชียล ของโน้ต ซก(10)



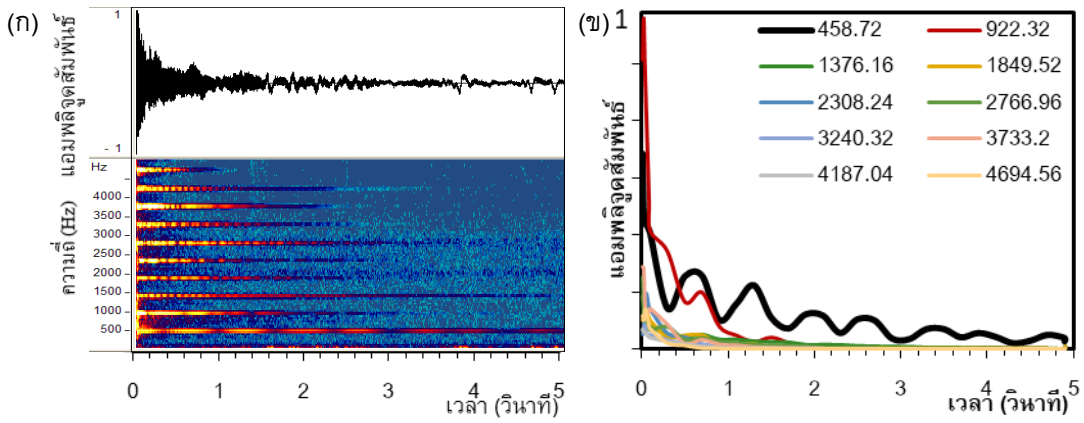


พาร์เชียล ลำดับ n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
f_n/f_1	1.00	2.00	3.00	4.02	5.02	6.08	7.06	8.10	10.17	11.28
ความถี่ (Hz)	383.24	766.47	1149.71	1540.27	1923.51	2331.16	2707.07	3102.51	3895.84	4323.01

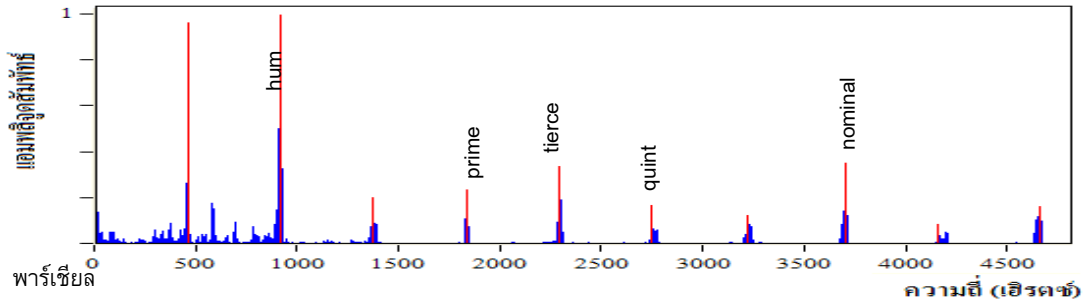
ภาพที่ 13 คลื่นเสียง สเปคโตรแกรม การสลายตัวของเสียง และสเปคตรัมของฮาร์มอนิกและพาร์เชียล ของโน้ต ลก(11)



ภาพที่ 14 คลื่นเสียง สเปคโตรแกรม การสลายตัวของเสียง และสเปคตรัมของฮาร์มอนิกและพาร์เชียล ของโน้ต ทก(12)



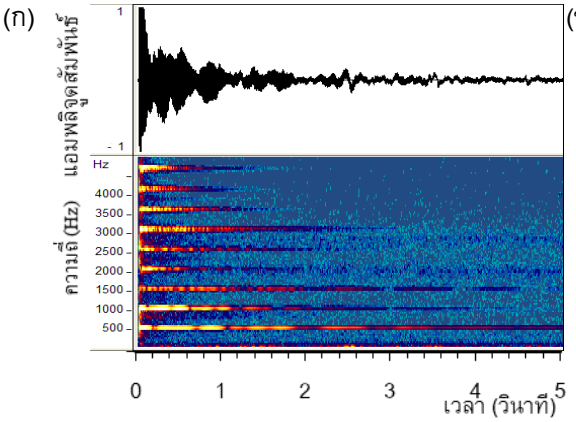
(ค)



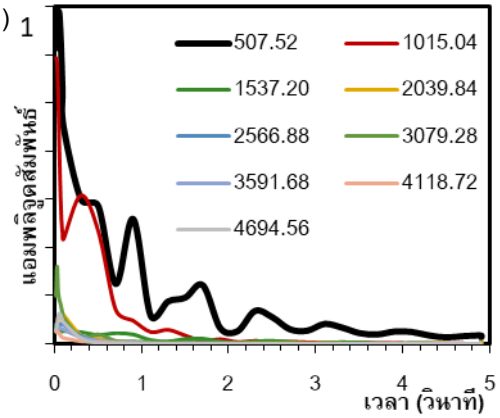
พาร์เชียล										
f_n/f_1	1.00	2.01	3.00	4.03	5.03	6.03	7.06	8.14	9.13	10.23
ความถี่ (Hz)	458.72	922.32	1376.16	1849.52	2308.24	2766.96	3240.32	3733.20	4187.04	4694.56
ลำดับ n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

ภาพที่ 15 คลื่นเสียง สเปคโตรแกรม การสลายตัวของเสียง และสเปคตรัมของฮาร์มอนิกและพาร์เชียล ของโน้ต ดก(13)

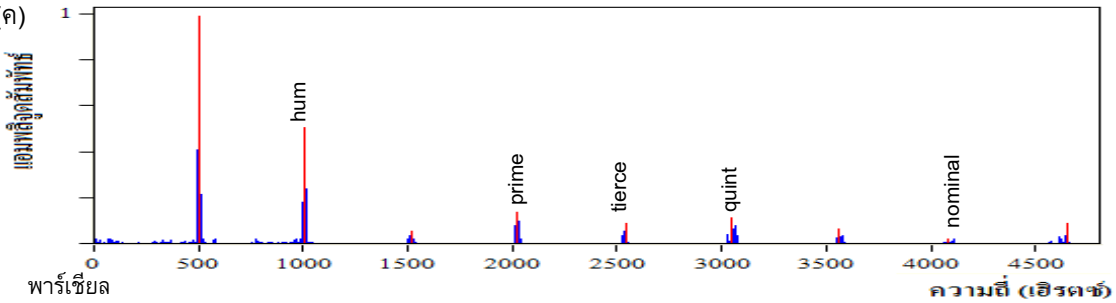
(ก)



(ข)

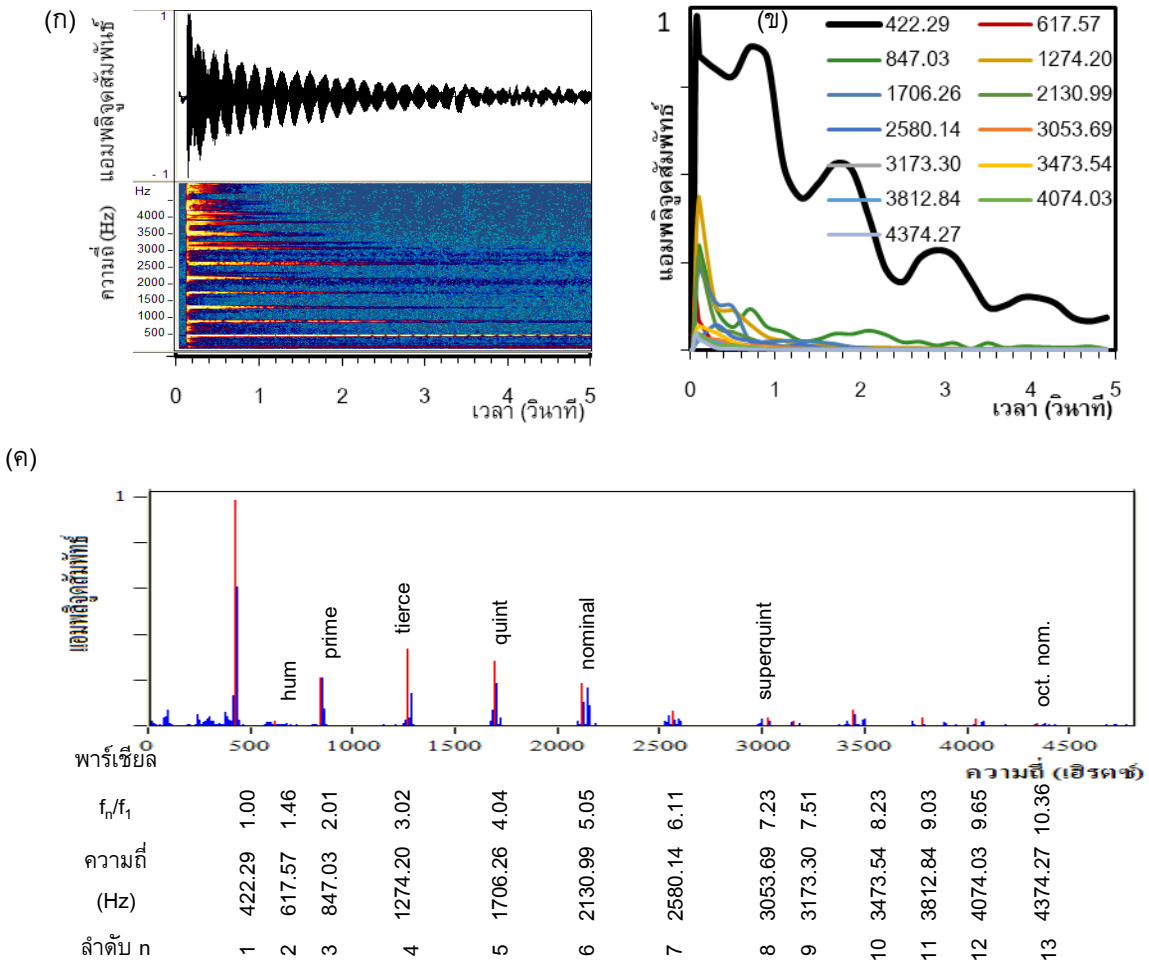


(ค)



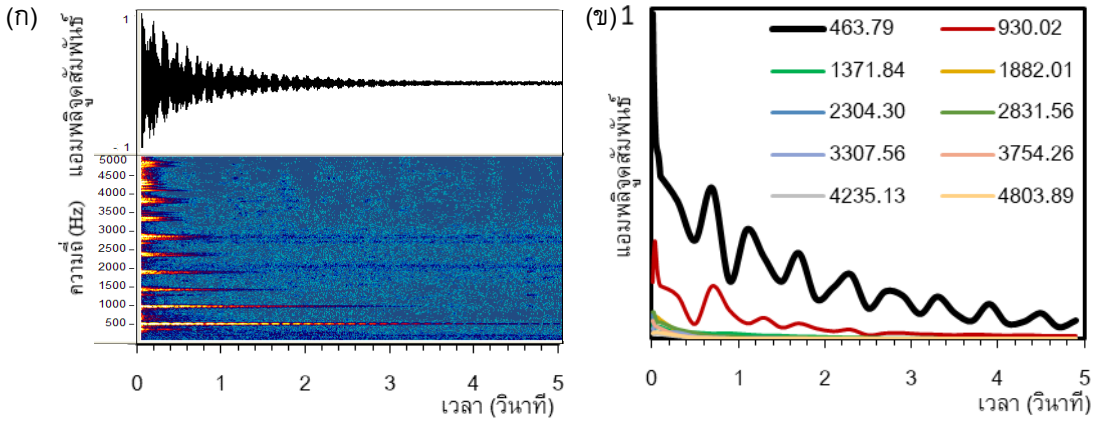
พาร์เชียล									
f_n/f_1	1.00	2.00	3.03	4.02	5.06	6.07	7.08	8.12	9.25
ความถี่ (Hz)	507.52	1015.04	1537.20	2039.84	2566.88	3079.28	3591.68	4118.72	4694.56
ลำดับ n	1	2	3	4	5	6	7	8	9

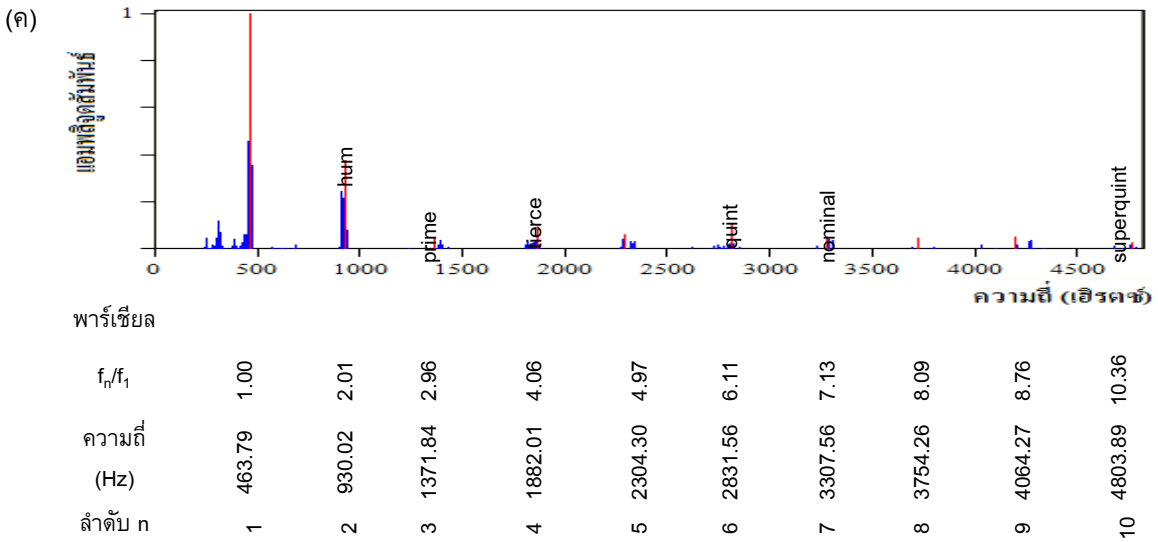
ภาพที่ 16 คลื่นเสียง สเปคโตรแกรม การสลายตัวของเสียง และสเปคตรัมของฮาร์มอนิกและพาร์เชียล ของโน้ต รส(14)



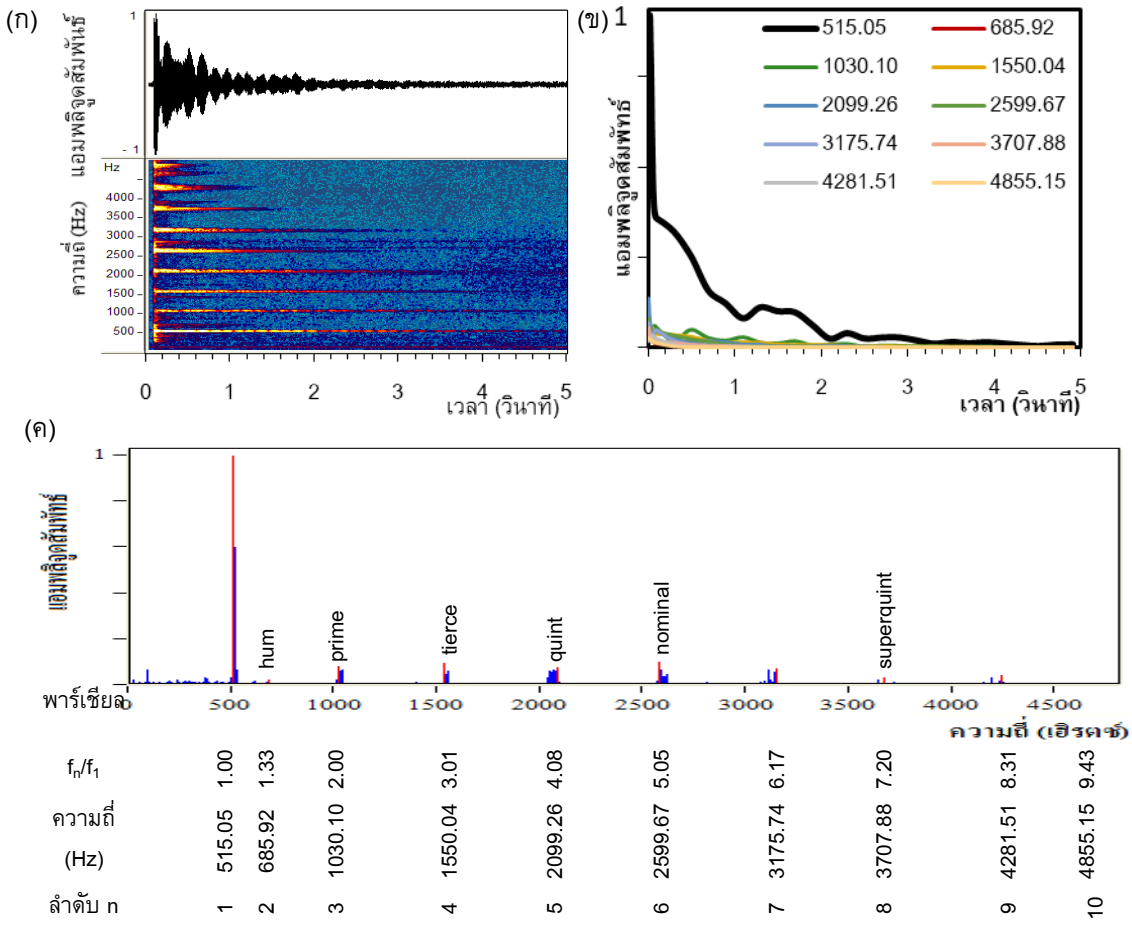
ลำดับ n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
ความถี่ (Hz)	422.29	617.57	847.03	1274.20	1706.26	2130.99	2580.14	3053.69	3173.30	3473.54	3812.84	4074.03	4374.27
f_n/f_1	1.00	1.46	2.01	3.02	4.04	5.05	6.11	7.23	7.51	8.23	9.03	9.65	10.36

ภาพที่ 17 คลื่นเสียง สเปคโตรแกรม การสลายตัวของเสียง และสเปคตรัมของฮาร์มอนิกและพาร์เชียล ของโน้ต ทก(15)

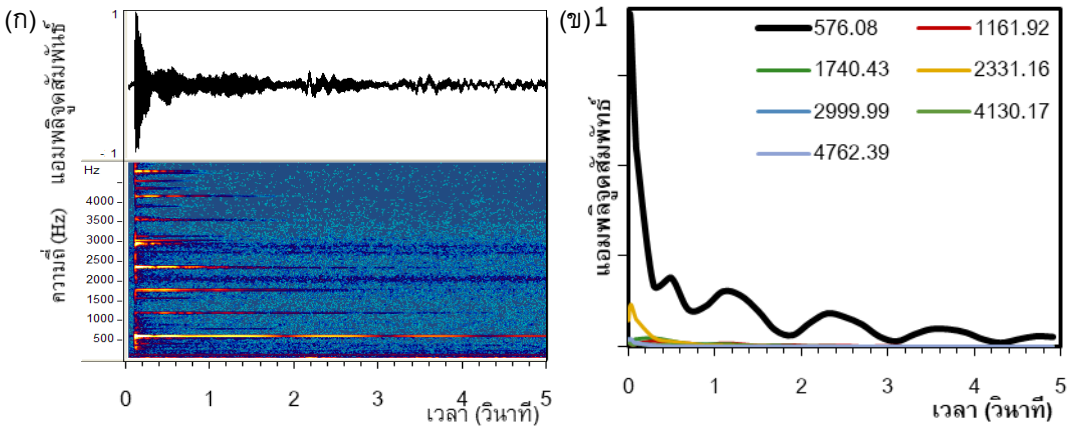




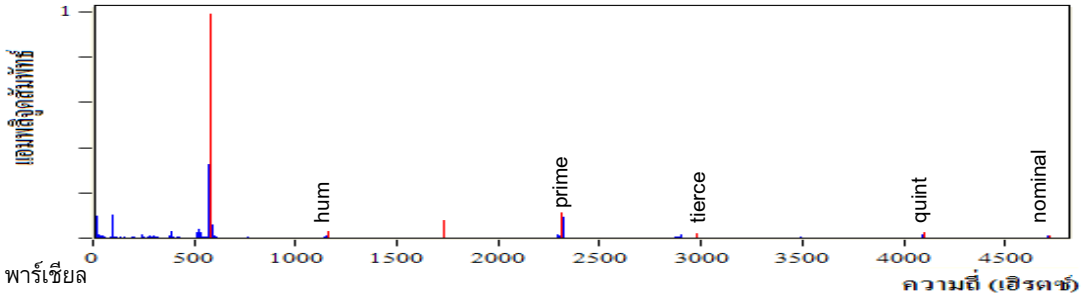
ภาพที่ 18 คลื่นเสียง สเปคโตรแกรม การสลายตัวของเสียง และสเปคตรัมของฮาร์มอนิกและพาร์เชียล ของโน้ต ดส(16)



ภาพที่ 19 คลื่นเสียง สเปคโตรแกรม การสลายตัวของเสียง และสเปคตรัมของฮาร์มอนิกและพาร์เชียล ของโน้ต รส(17)

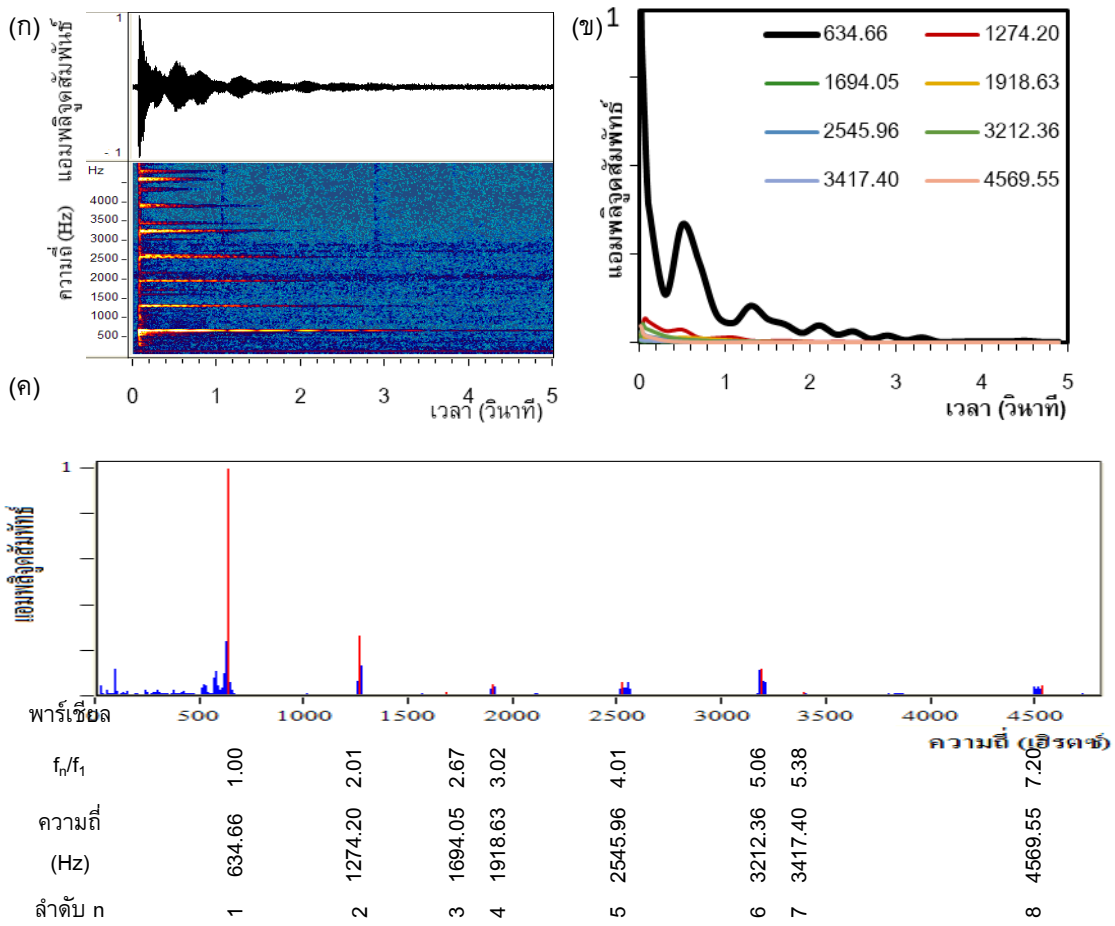


(ค)

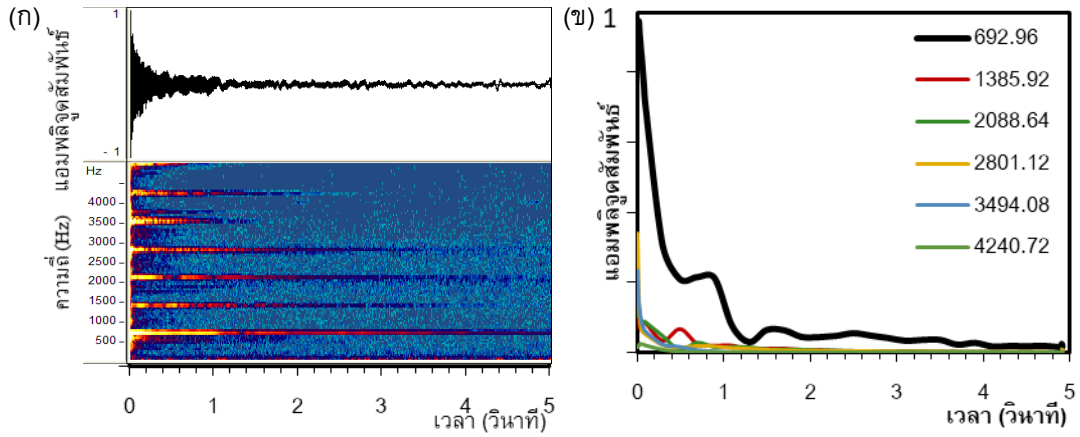


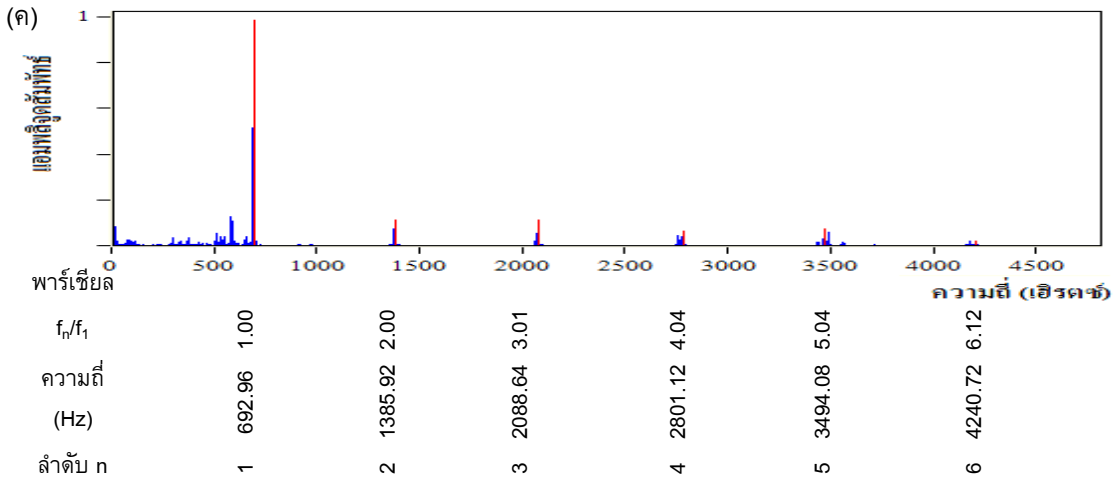
พาร์เชียล							
f_n/f_1	1.00	2.02	3.02	4.05	5.21	7.17	8.27
ความถี่ (Hz)	576.08	1161.92	1740.43	2331.16	2999.99	4130.17	4762.39
ลำดับ n	1	2	3	4	5	6	7

ภาพที่ 20 คลื่นเสียง สเปคโตรแกรม การสลายตัวของเสียง และสเปคตรัมของฮาร์มอนิกและพาร์เชียล ของโน้ต มส(18)

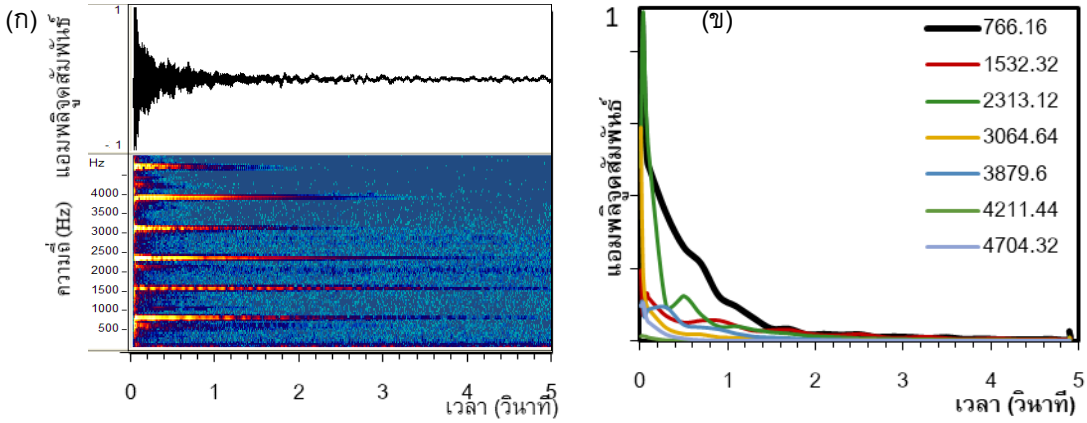


ภาพที่ 21 คลื่นเสียง สเปคโตรแกรม การสลายตัวของเสียง และสเปคตรัมของฮาร์มอนิกและพาร์เชียล ของโน้ต ฟส(19)

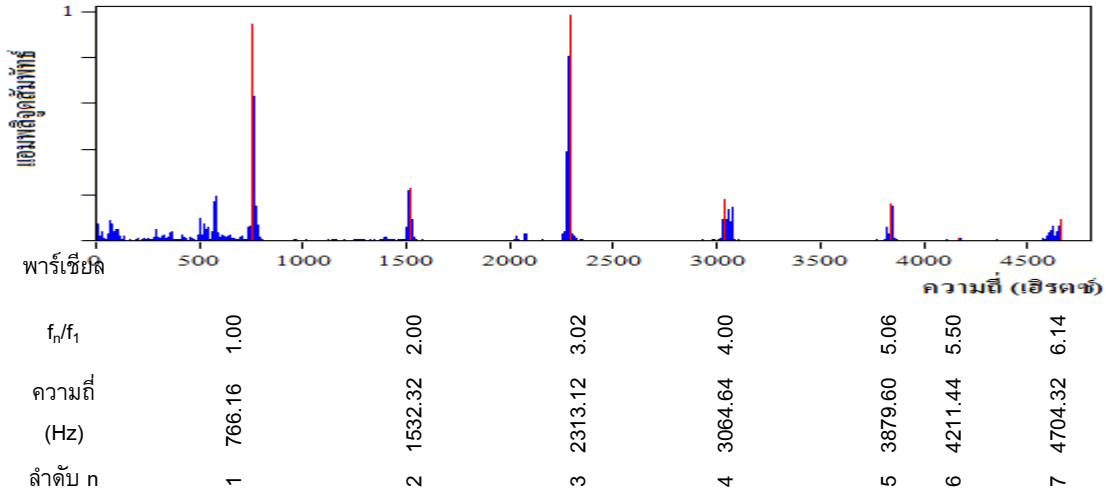




ภาพที่ 22 คลื่นเสียง สเปคโตรแกรม การสลายตัวของเสียง และสเปคตรัมของฮาร์มอนิกและพาร์เชียล ของโน้ต ซส(20)



(ค)



ภาพที่ 23 คลื่นเสียง สเปคโตรแกรม การสลายตัวของเสียง และสเปคตรัมของฮาร์มอนิกและพาร์เชียล ของโน้ต ลส(21)

ตารางที่ 1 การเปรียบเทียบบันไดเสียงขิมกับบันไดเสียงระบบเสียงแบ่งเท่า 7 เสียงใน 1 คู่แปด

n	โน้ตขิม	เสียงขิมที่ทดลอง			เสียงขิมระบบเสียงแบ่งเท่าจากการคำนวณ				บันไดเสียงดนตรีสากล			
		ความถี่ (Hz)	fn/fn+1	ระยะพิตช์ (cents)	ความถี่ (Hz)	fn/fn+1	ระยะพิตช์ (cents)	$f_{ระบบแบ่งเท่า} - f_{ทดลอง}$ (Hz)	โน้ต	ความถี่ (Hz)	ระยะพิตช์ (cents)	$f_{สากล} - f_{ทดลอง}$ (Hz)
1	ลส(21)	766.16	1.106	151.601	764.822	1.104	171.429	1.34	F#(5)	739.989	100	-26.17
2	ซส(20)	692.96	1.092	128.298	692.717	1.104	171.429	0.24	F(5)	698.456	100	5.50
3	ฟส(19)	634.66	1.102	167.658	627.410	1.104	171.429	-7.25	D#(5)	622.254	100	-12.41
4	มส(18)	576.08	1.118	193.868	568.260	1.104	171.429	-7.82	D(5)	587.330	100	11.25
5	รส(17)	515.05	1.111	181.489	514.687	1.104	171.429	-0.36	C(5)	523.251	100	8.20
6	ดส(16)	463.79	1.105	172.317	466.164	1.104	171.429	2.37	Bb(4)	466.164	100	2.37
	ทก(15)	422.29	-	-	422.216	-	-	0.07	-	-	-	-
	รส(14)	507.52	-	-	514.687	-	-	7.18	-	-	-	-
	ดส(13)	458.72	-	-	466.164	-	-	7.44	-	-	-	-
7	ทก(12)	419.85	1.096	157.951	422.216	1.104	171.429	2.37	G#(4)	415.305	100	-4.55
8	ลก(11)	383.24	1.113	186.102	382.411	1.104	171.429	-0.83	G(4)	391.995	100	8.76
9	ซก(10)	344.18	1.110	181.018	346.359	1.104	171.429	2.18	F(4)	349.228	100	5.05
10	ฟก(9)	310.01	1.095	156.837	313.705	1.104	171.429	3.70	D#(4)	311.127	100	1.12
	มก(8)	278.27	-	-	284.130	-	-	5.86	-	-	-	-
	ซก(7)	341.74	-	-	346.359	-	-	4.62	-	-	-	-
	ฟก(6)	312.45	-	-	313.705	-	-	1.26	-	-	-	-
11	มก(5)	283.16	1.115	189.101	284.130	1.104	171.429	0.97	C#(4)	277.183	100	-5.98
12	รก(4)	253.86	1.089	147.701	257.343	1.104	171.429	3.48	B(3)	246.942	100	-6.92
13	ดต(3)	233.10	1.110	180.672	233.082	1.104	171.429	-0.02	A#(3)	220.000	100	-13.10
14	ทต(2)	210.00	1.103	169.627	211.108	1.104	171.429	1.11	G#(3)	207.652	100	-2.35
15	ลต(1)	190.40	-	-	191.205	-	-	0.81	F#(3)	184.997	-	-5.40

การบรรเลงเพลงให้มีความไพเราะนั้นระดับเสียงต้องปรับเทียบให้ได้บันไดเสียงที่ถูกต้องและไม่มีความเพี้ย น โดยทั่วไปการปรับเทียบเสียงจะใช้เครื่องดนตรีประเภทที่ไม่สามารถปรับเสียงได้โดยง่าย เป็นหลักในการ ปรับเทียบเสียง เสียงขิมประกอบด้วยโน้ตทั้งหมด 21 ตัว ดังรูปที่ 2(ข) โดยเสียงของโน้ตขิมทางด้านขวาซ้ำกับเสียงของโน้ตขิมตรงกลาง 3 เสียง คือ มก(8) ฟก(6) และ ซก(7) และเสียงของโน้ตขิมตรงกลางซ้ำกับเสียงของโน้ตขิมทางด้านซ้าย 3 เสียง คือ ทก(15) ดก(13) และ รก(14) ซึ่งเป็นเสียงที่มีการใช้น้อย ตำแหน่งเสียงที่อยู่ในกรอบสีดำเป็นตำแหน่งที่ใช้บ่อย จึงทำให้ได้ระดับเสียงขิมที่แตกต่างกันทั้งหมด 15 เสียง คือ ลต(1), ทต(2), ดต(3), รก(4), มก(5), ฟก(9), ซก(10), ลก(11), ทก(12), ดส(16), รส(17), มส(18), ฟส(19), ซส(20) และ ลส(21) เรียกว่า บันไดเสียงขิม (เป็นโน้ตที่นิยมใช้ในการบรรเลง) พบว่า บันไดเสียงขิมผีเสื้อ 7 หย่อง มีระดับเสียง 4 คู่แปด ความถี่อยู่ในช่วง 190.40 -766.16 Hz (ลต(1)-ลส(21)) บันไดเสียงขิมมีค่าใกล้เคียงกับระบบเสียงแบ่งเท่าใน 1 คู่แปด (จากการคำนวณ) มีความแตกต่างเพียงเล็กน้อย เนื่องจากเสียงโน้ตบางตัวไม่เป็นอิสระต่อกัน เมื่อปรับเสียงหนึ่งจะมีผลกระทบต่ออีกเสียงหนึ่ง ซึ่งเป็นคุณสมบัติของขิมที่ใช้สายเส้นเดียวกันแต่อยู่คนละด้านของหย่อ ง โดยเสียงโน้ต ดส(16) เสียงขึ้นกับ ฟก (9), รส(17) เสียงขึ้นกับ ซก(10), มส(18) เสียงขึ้นกับ ลก(11) และ ฟส(19) เสียง

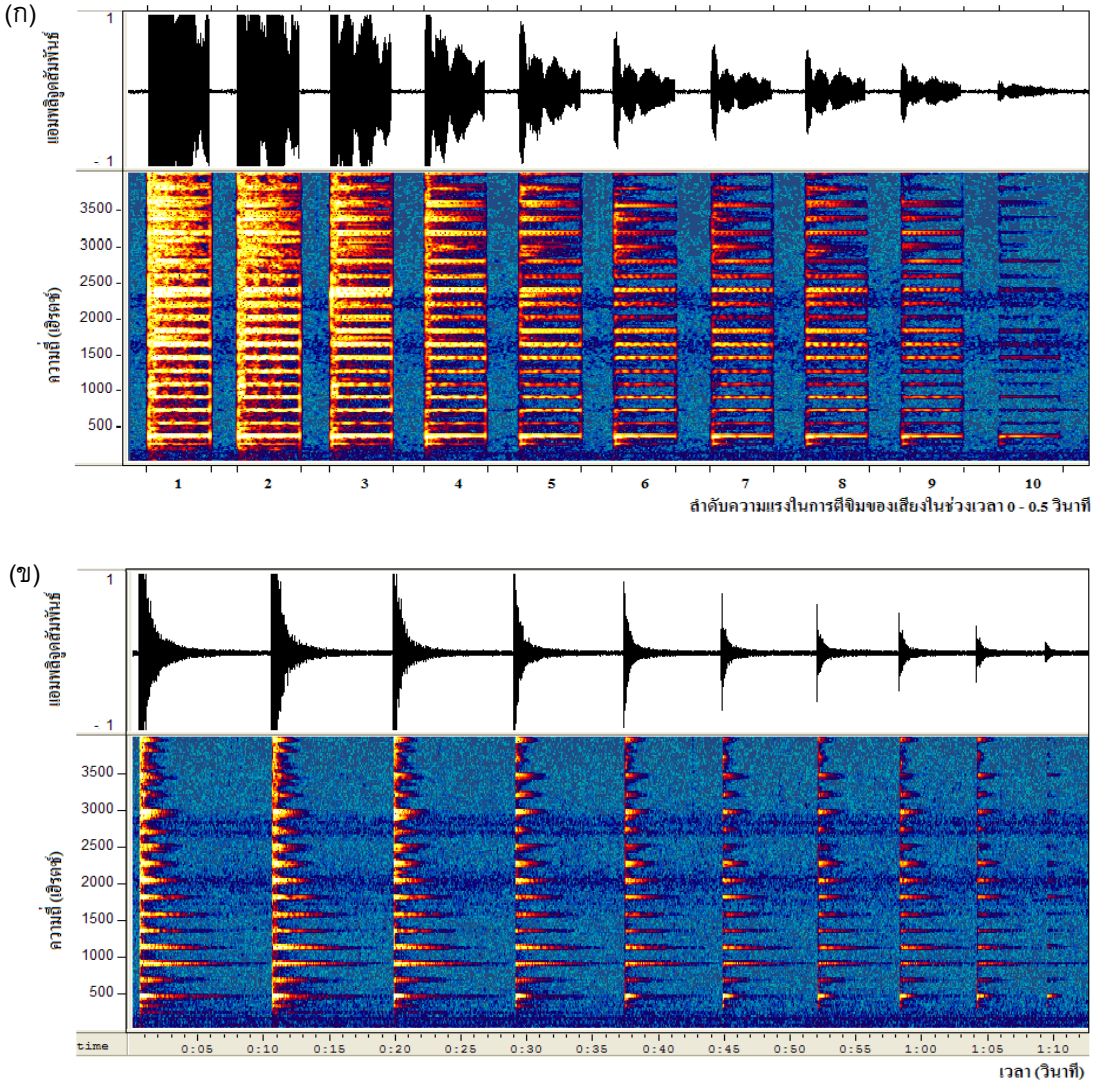
ขึ้นกับ ทก(12) เมื่อเปรียบเทียบกับระบบเสียงแบ่งเท่าจากการคำนวณ โน้ต ดส(16), ฟก(9), รส(17), ซก(10), มส(18) ลก(11), ฟส(19) และ ทก(12) มีความแตกต่างของความถี่ +2.37, +3.70, -0.36, +2.18, -7.82, -0.83, -7.25 และ +2.37 Hz ตามลำดับ (– คือมีความถี่สูงกว่าระบบเสียงแบ่งเท่า , + คือมีความถี่ต่ำกว่าระบบเสียงแบ่งเท่า) เมื่อพิจารณาคู่ของโน้ตเสียงที่ขึ้นต่อกันจะสามารถปรับให้มีความแตกต่างประมาณ 3 Hz โดยการตรึงสายเล็กน้อยของโน้ต ดส(16) กับ ฟก(9) และ รส(17) กับ ซก(10) จะทำให้ความถี่สูงขึ้น และ โน้ต มส(18) กับ ลก(11) หย่อนสายเล็กน้อยจะทำให้ความถี่ต่ำลง ส่วนโน้ต ฟส(19) กับ ทก(12) มีความแตกต่างกัน 9.62 Hz เมื่อหย่อนสายโน้ต ฟส(19) มีความถี่ต่ำลง แต่โน้ต ทก(12) มีความถี่สูงขึ้น ซึ่งสามารถปรับได้เท่ากับค่าเฉลี่ย 4.81 Hz ส่วนโน้ตตัวอื่นของเสียง หลักเป็นเสียงที่เป็นอิสระสามารถปรับเทียบให้มีค่าตรงกับระบบเสียงแบ่งเท่าได้ อย่างไรก็ตามขิมที่ใช้ในการทดลองนี้สามารถปรับให้ใกล้เคียงกับระบบเสียงแบ่งเท่าเท่านั้น เนื่องจากหมุดเกลียวปรับเสียงของขิมมีความละเอียดไม่เพียงพอ ดังนั้นบันไดเสียงขิมที่ใช้ในการทดลองมีบันไดเสียงใกล้เคียงกับบันไดเสียงแบ่งเท่า

สำหรับโน้ตที่มีเสียงซ้ำและมีการใช้บรรเลงน้อยดังตารางที่ 1 (พื้นสีเทา) คือ โน้ต ฟก(6) และ ซก(7) เป็นเสียงที่อยู่ทางด้านซ้ายของขิมและมีความเป็นอิสระในการปรับแต่งเสียงไม่มีผลต่อเสียงอื่น พบว่า ขิมที่ใช้ในการทดลองมีความถี่แตกต่างจากระบบเสียงแบ่งเท่า 1.26 และ 4.62 Hz ตามลำดับ มีค่าใกล้เคียงกับระบบเสียงแบ่งเท่า เนื่องจากความเป็นอิสระในการปรับแต่งเสียงจึงทำให้สามารถปรับเทียบเสียงได้ตามต้องการ สำหรับโน้ต มก (8) เสียงขึ้นกับ ทก(15) ความถี่มีความแตกแต่งกับระบบเสียงแบ่งเท่า 5.86 และ 0.07 Hz จะเห็นได้ว่าเมื่อปรับ ทก(15) ให้ตรงกับระบบเสียงแบ่งเท่าจะทำให้ มก(8) มีความถี่แตกต่างไป 5.86 Hz อย่างไรก็ตามสามารถที่จะปรับโดยการหย่อนสายลงเล็กน้อยก็จะทำให้ความถี่ทั้งสองมีค่าใกล้เคียงมากขึ้น สำหรับโน้ต รส(14) และ ดส(13) เป็นโน้ตที่อยู่ตรงกลางมีความถี่แตกต่างจากระบบเสียงแบ่งเท่า 7.18 และ 7.44 Hz การปรับความถี่ให้ลดลงจะส่งผลกระทบต่อเสียงหลักของโน้ต ซส(20) และ ลส(21) ผลของความแตกต่างนี้อาจจะเป็นเหตุผลว่าทำไมโน้ตเหล่านี้จึงไม่นิยมใช้บรรเลง

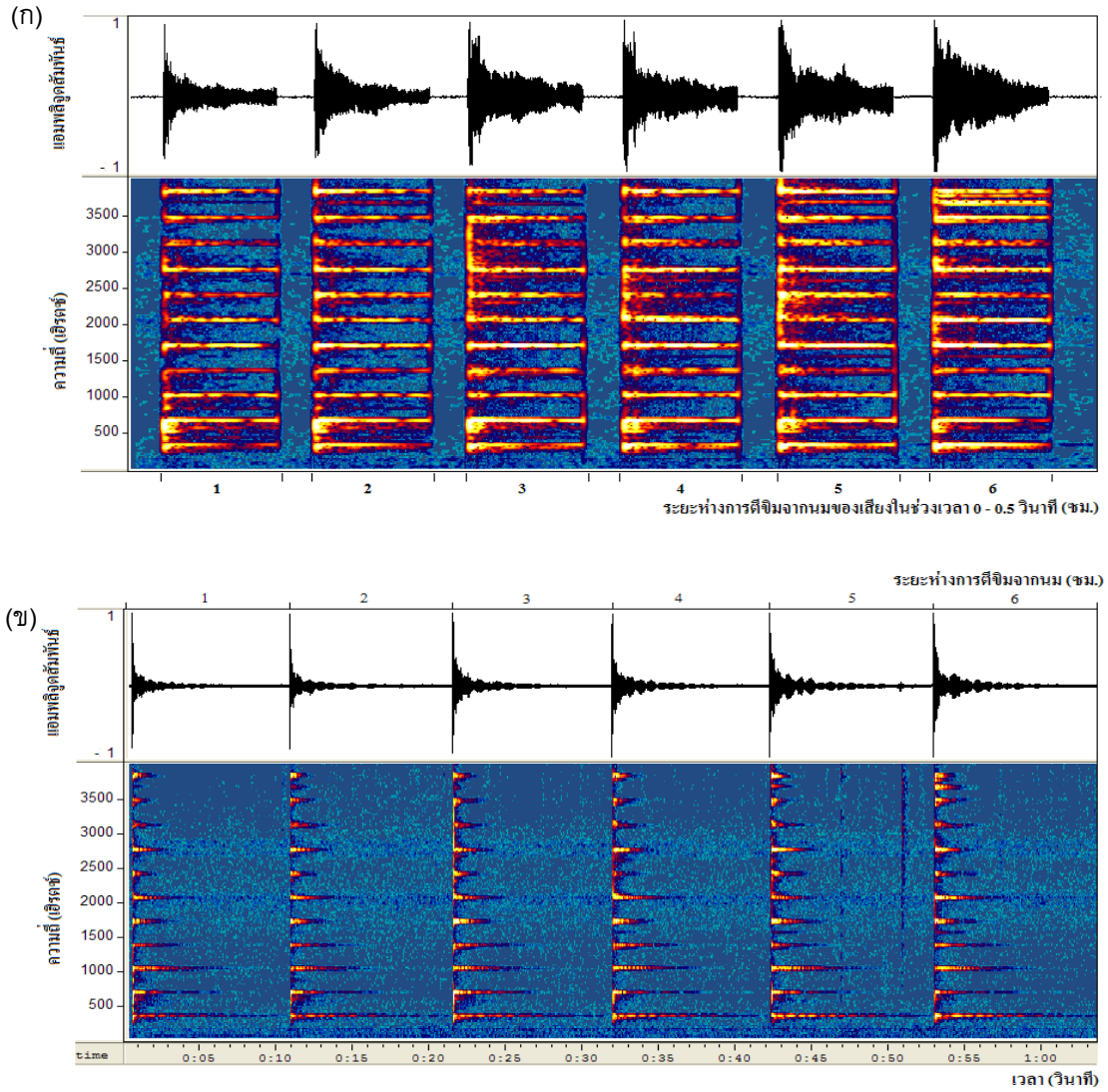
การเปรียบเทียบบันไดเสียงขิมกับบันไดเสียงดนตรีสากลดังตารางที่ 1 พบว่า โน้ตที่มีความถี่ใกล้เคียงกับบันไดเสียงสากล 4 ตัว ได้แก่ ทต(2) ฟก(9) ซก(10) และ ดส(16) ซึ่งไม่ครบบันไดเสียงหลัก และความถี่ของโน้ตทั้งหมดมีความแตกต่างกันอยู่ในช่วง 1.12-24.83 Hz ซึ่งเป็นค่าที่สูงและหูของคนทั่วไปสามารถแยกความแตกต่างได้ ถ้านำขิม นี้ไปบรรเลงร่วมกับเครื่องดนตรีตะวันตกจะทำให้เสียงไม่กลมกลืนกัน ดังนั้นควรจะปรับเทียบบันไดเสียงขิมให้ตรงกับบันไดเสียงสากลก่อนใช้บรรเลงร่วมกับดนตรีสากล

ความแรง ของการ ตีขิม ที่ทำ ให้เ กิดเสียงดัง ค่อย ส่งผล กระทบ ต่อ ลักษณะ เสียงขิมอย่างไร การศึกษานี้เริ่มต้นจากการตีที่ระดับเสียงปกติ (ไม่เกร็งมือหรือเบามือ) ปรับแอมพลิจูดสูงสุดในการบันทึก เสียงที่ระดับสูงสุดของสเกล เพื่อใช้เป็นความแรงอ้างอิง หรือแรงตีระดับปกติที่นักดนตรีใช้ในการบรรเลง ถ้าความแรง ในการตีที่ มากกว่าระดับอ้างอิงช่วงเวลาที่สัญญาณเสียงเต็มสเกลจะเพิ่มขึ้น รูปที่ 25(ก) พบว่าความแรงในการตีขิมมีผลกระทบต่อเสียงในช่วงแรงตีที่มากกว่าแรงตีปกติ (ระดับที่ 5 คือแรงตีปกติ) ลำดับการตีที่ 1-4 แอมพลิจูดของคลื่น เสียงมีค่ามากกว่าระดับอ้างอิง เสียง ปรากฏ ความถี่ฮาร์มอนิกและในช่วงระหว่างความถี่ฮาร์มอนิก จะปรากฏความถี่แทรกเป็นเสียงรบกวน ที่เกิดจากแรง ตี เนื่องจากหลังจากการตีความถี่ดังกล่าวจะสลายตัวอย่างรวดเร็ว เสียงรบกวนนี้จะทำให้เสียงมีลักษณะไม่ชัดเจนหรือเสียงไม่ใส ลำดับการตีที่ 7-9 แอมพลิจูดของ เสียงมีค่าใกล้ระดับอ้างอิง เสียงปรากฏความถี่ฮาร์มอนิกอย่างชัดเจนและมีความถี่แทรกน้อยหรือเสียงรบกวน ต่ำ ทำให้ได้ยินเสียงอย่างชัดเจน และระดับการตีที่ 10 ความเข้มเสียงจะมีเสียงเบาที่สุดเทียบกับระดับอ้างอิง เสียงปรากฏความถี่ฮาร์มอนิกปรากฏอย่างชัดเจนบางความถี่ มีระดับเสียงรบกวนต่ำ ความถี่ที่หายไปส่งผลให้คุณภาพของเสียง อย่างไรก็ตามการตีขิมที่ระดับเบานี้นักดนตรีจะไม่ใช้ในการบรรเลง ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่าความแรงในการตีขิมที่ระดับ ความแรงน้อยกว่า ระดับอ้างอิงจะไม่มีผลต่อคุณภาพเสียง แต่การตีที่ระดับความแรงมากกว่าปกติจะ

มีเสียงรบกวนมาก การสลายตัวของเสียงจากความแรงในการตี ดังรูปที่ 25(ข) พบว่า แรงตีขิม ที่ลำดับความแรงมากกว่าระดับเสียงอ้างอิง (ลำดับที่ 5) เวลาในการสลายตัวใช้เวลานานขึ้น ลำดับการตีที่ 1-3 จะมีช่วงเวลาการสลายตัวประมาณ 7.1 วินาที ลำดับการตีที่ 4-5 จะมีช่วงเวลาการสลายตัวประมาณ 5 วินาที ลำดับการตีที่ 6-9 จะมีช่วงเวลาการสลายตัวประมาณ 2 วินาที และลำดับการตีที่ 10 จะมีช่วงเวลาการสลายตัวประมาณ 1 วินาที สำหรับการบรรเลงของนักดนตรีโดยทั่วไปจะมีจังหวะบรรเลงไม่เกิน 1 วินาที ทำให้การสลายตัวของเสียง ขิมไม่มีผล กระทบ ต่อคุณภาพเสียง ในช่วงเวลาดังกล่าว ดังนั้นควรจะตีที่ระดับความแรงปกติ (ไม่เกร็งมือหรือเบามือ) จะทำให้ได้เสียงที่มีคุณภาพและเสียงใส



ภาพที่ 25 ความแรงในการตีและการสลายตัวที่ความแรงในการตีของคลื่นเสียงและสเปคโตรแกมของโน้ต ดด(3)



ภาพที่ 26 การตีขิมที่ระยะห่างจากหย่อง (ก) และการสลายตัวที่ระยะห่างจากหย่อง (ข) ของโน้ต ซก(10)

การตีขิมที่ระยะห่างจากหย่อง 1, 2, 3, 4, 5 และ 6 ซม. ดังภาพที่ 26(ก) พบว่า ความถี่เสียงที่เป็นฮาร์มอนิกจะปรากฏอย่างชัดเจน แต่ความถี่ ที่ไม่เป็นฮาร์มอนิกที่ ปรากฏในช่วงระหว่างความถี่ฮาร์มอนิกจะสลายไปอย่างรวดเร็วหลังจากการตี แต่การตีที่ระยะ 3-6 ซม. ในช่วงความถี่สูงจะปรากฏความถี่แทรกมากกว่าช่วงอื่น ๆ การสลายตัวดัง ภาพที่ 26(ข) จำนวนความถี่ฮาร์มอนิก และระยะเวลาในการสลายตัวมีค่าใกล้เคียงกัน เมื่อ คำนึงถึง ความหนาของไม้ตีขิมที่ใช้ทั่วไปมีความหนา 0.5 ซม. อาจทำให้การตีมีความคลาดเคลื่อนจากตำแหน่งศูนย์กลางในการตีแต่ละครั้ง ดังนั้นระยะที่เหมาะสมในการตีขิมควรให้ขอบทั้งสองด้านของไม้ขิมมีระยะห่างจากหย่องในช่วง 1.5-2.5 ซม. จะทำให้ได้เสียงขิมที่ ได้ยินมีคุณภาพเสียงที่ดีและเสียงใส ซึ่งสอดคล้องกับคำแนะนำในคู่มือการฝึกตีขิมควร ตีขิมให้ห่างจากหย่อง 1.5-2.5 ซม. (ไมตรี และคณะ 2549)

สรุปและวิจารณ์ผล

การศึกษาคุณลักษณะเสียงขิมผีเสื้อ 7 หย่อง ได้แก่ ความถี่ การสลายตัว และพาร์เชียลของเสียงขิม โดยอาศัยการศึกษาที่ใช้กับเครื่องดนตรีสากล พบว่า เสียงขิมเกิดจากการรวมกันของหลายความถี่ที่ เป็นทั้งอนุกรมฮาร์มอนิกและไม่เป็นฮาร์มอนิก เสียงขิมมีช่วงระดับเสียง 4 คู่แปด ซึ่งมีความถี่ อยู่ในช่วง 190.40 - 766.16 Hz คุณลักษณะเสียงบ่งชี้ว่า โน้ต ลต(1), ทต(2), ดต(3), รก(4), มก(5), ฟก(6), ซก(7), มก(8), ฟก(9), ซก(10), ลก(11), ทก(12), ดส(13), ทก(15),และ ดส(16) มีอนุกรมฮาร์มอนิกที่ 1-10 และมีพาร์เชียลหลัก 7 ตัว โน้ต รส(14), รส(17) และ มส(18) มีอนุกรมฮาร์มอนิกที่ 1-8 และมีพาร์เชียลหลัก 6 ตัว และโน้ต ฟส(19), ซส(20) และ ลส(21) มีอนุกรมฮาร์มอนิกที่ 1-5 และไม่มีพาร์เชียล การสลายตัวของเสียงโน้ตทุกตัวจะมีลักษณะคล้ายกัน การตีสายขิมทำให้แอมพลิจูด เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว หลังจากนั้นแอมพลิจูดจะ ลดลง โดยความถี่สูงของโน้ตแต่ละตัว จะสลายตัวอย่างรวดเร็ว ซึ่งแตกต่างจาก ความถี่ ต่ำที่เป็นอนุกรมฮาร์มอนิกจะใช้เวลาสลายตัวมากกว่า การสลายตัวของความถี่สูง อย่างรวดเร็วนี้เกิดจากการตีสายและการสั่นของส่วนประกอบขิม เนื่องจากหลังจากตีสายขิมจะยังสั่นอยู่และความถี่อนุกรมฮาร์มอนิกก็ยังปรากฏอย่างชัดเจน แต่ความถี่สูงกว่าอนุกรมฮาร์มอนิกไม่ปรากฏ บันไดเสียง ของขิมจากทดลองมีค่าใกล้เคียงกับบันไดเสียง แบ่งเท่า เนื่องจากหูของมนุษย์ไม่สามารถแยกความแตกต่างนี้ ได้ แต่เมื่อเปรียบเทียบกับ บันไดเสียงสากล ความ แตกต่างอยู่ในช่วง 1.12 – 24.83 Hz ซึ่งไม่ครบบันไดเสียงหลัก การตีขิมควรตีโดยใช้ข้อมือบังคับคล้าย ๆ การเคาะไม้ และไม่เกร็งมือหรือเบามือ และขอบของไม้ตีขิมควรห่างจากหย่อง อยู่ในช่วง 1.5-2.5 ซม. จะทำให้ได้เสียงมีคุณภาพและเสียงใส การศึกษาเสียงขิมโดยอาศัยอ้างอิงจากเหตุผลทางด้านวิทยาศาสตร์ให้เป็นไปตามหลักสากลที่ใช้ในการศึกษาเครื่องดนตรีสากล จะช่วย จัดระเบียบของการปรับเทียบเสียง และเป็นข้อมูลในการอ้างอิง ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อการพัฒนาขิมและผลิตขิม อีกทั้งยังช่วย อนุรักษ์ขิมแบบดั งเดิมที่เป็นเครื่องดนตรีไทยที่เกิดจากภูมิปัญญาของครูและช่างดนตรีไทยที่แสดงถึงศิลปะทางวัฒนธรรมของคนไทย

กิตติกรรมประกาศ

ขอบคุณมหาวิทยาลัยรามคำแหง สถาบันวิจัยและพัฒนามหาวิทยาลัยรามคำแหงที่ให้ทุนสำหรับโครงการวิจัยนี้ อาจารย์ตั้งปณิธาน อารีย์ ภาควิชาดนตรีศึกษา คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา ที่ให้คำแนะนำคัดเลือกขิมที่มีคุณภาพสูง และผู้ที่เกี่ยวข้องทุกคน

เอกสารอ้างอิง

เจนจิรา เบญจพงศ์ 2555. ขิมไทย ขิมจีน ขิมเปอร์เซีย. สยามรัฐสัปดาห์วิจารณ์ . ฉบับวันที่ 27 มกราคม – 2 กุมภาพันธ์ 2555. จาก http://www.sujitwongthes.com/suvarnabhumi/2012/01/27012555/

ชนก สาคริก ม.ม.ป.. ประวัติขิม ตอน "จากอาณาจักรเปอร์เซีย - ผ่านเส้นทางสายไหม – สู่ลุ่มน้ำเจ้าพระยา". จาก http://www.thaikids.com/kimhis/kimhis.htm

ไมตรี เลิศประดิษฐ์ จรัญ กาญจนประดิษฐ์ วนิดา พรหมบุตร และ เมทินี จันทร์ส่งเสริม 2549. คู่มือเรียนดนตรีไทยแนว -ใหม่ ชุด ฝึกตีขิม . สำนักพิมพ์ บริษัท โรงพิมพ์ตะวันออก จำกัด (มหาชน). กรุงเทพมหานคร.

สุขสันต์ สุวรรณรัตน์, นิพนธ์ ตั้งประเสริฐ 2560. เสียงกระด้างในขิมเนื่องจากความถี่บี ตส์. รายงานสืบเนื่องจากการประชุมวิชาการ “วิทยาศาสตร์วิจัย” ครั้งที่ 9. มหาวิทยาลัยบูรพา: PY81-88.

สุกรี เจริญสุข. 2540. การวิจัยเพื่อตั้งระดับเสียงและบันไดเสียงมาตรฐานของดนตรีไทย . กรุงเทพมหานคร: มหาวิทยาลัยมหิดล.

Alm J.F. and Walker J.S. 2002. Time-Frequency Analysis of Musical Instrument, Society for industrial and Appiled Mathematics. 44(3): 457-476.

Hibbert B. 2017. Software available at http://www.hibberts.co.uk

Boashash B. 1988. Note on the use of the wigner distribution for time-frequency signal

analysis", IEEE Trans. on ASSP. 36:1518-1521.

Bracewell R.N. 2000. The Fourier Transform and its Applications. 3rd ed. Boston. McGraw-Hill.

David M. 1976. Thai Traditional Music of Thailand. LA: University of California Press.

Dörfler M. 2001. Time-frequency analysis for music signals: a mathematical approach. Journal of New Music Research, 30(1): 3–12.

Fletcher, N.H. 1977. Analysis of the design and performance of harpsichords. Acustica 37(2): 139-147(9).

Fletcher N.H. and Rossing T.D. 1998. The Physics of Musical Instruments. 2nd ed. New York. Springer.

Gröchenig K. 2001. Foundations of time-frequency analysis. Applied and numerical harmonic analysis. Birkh¨auser, Boston.

Helmholtz H. 1954. On the sensations of tone. NewYork. Dover Publication

Ikonomidou E., Rehnstrom A. and Naesh O. 2004. Effect of music on vital signs and postoperative pain. AORN J. 80(2): 269–274.

Sjölander K. and Beskow J. 2016. Software available at http://www.speech.kth.se/wave surfer/

Montánchez ML. 2011. Music therapy in patients with chronic mental illness: study group and individual case. Master's thesis, non-Catholic University of Valencia, Spain.

Pielemeier W.J., Wakefield G.H., and Simoni M.H. 1996. Time-frequency analysis of musical signals. Proceedings of the IEEE. 84(9): 1216-1230.

Savage W.R., Kottick E.L., Hendrickson T.J. and Marshall K.D. 1992. Air and structural modes of a harpsichord. J. Acoust. Soc. Am. 91(4): 2180-2189.

Skoe E. and Kraus N. 2012. A Little Goes a Long Way: How the Adult Brain Is Shaped by Musical Training in Childhood, J. Neuroscience, 32(34): 11507-11510.

Suwanarat S. and Thangprasert N. 2015. Missing of Fundamental Frequency in KIM, A Traditional Thai Musical Instrument. The 41st Congress on Science and Technology of Thailand (STT41): 67-77.

William A. and Hibbert M.A. 2008. The Quantification of Strike Pitch and Pitch Shifts in Church Bells. *M.Sc.* for the degree of Doctor of Philosophy. Faculty of Mathematics, Computing and Technology. The Open University.