

บรรณานุกรม

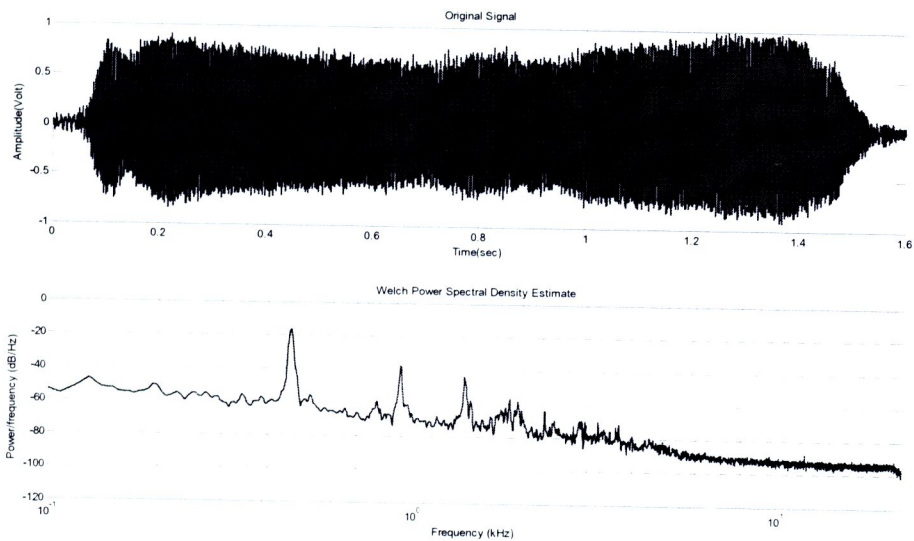
- กรกช แสงรัตนกุล, จรัญ กาญจนประดิษฐ์, และกิตติพงษ์ มีสวัสดิ์. (2552). ความสำคัญขององค์ประกอบฮาร์โมนิกส์ของเสียงขลุ่ยเพียงออ. *Proceedings of the Thaksin University Annual Conference*, 19(1), 69–77.
- กิตติพงษ์ มีสวัสดิ์, จรัญ กาญจนประดิษฐ์, และภาคภูมิ โชคชัยรุ่งโรจน์. (2549). การประเมินระบบเสียงธรรมชาติของขลุ่ยเพียงออ. *Proceedings of the EECON*, 29(2), 1053–1056.
- กิตติพงษ์ มีสวัสดิ์ และภาคภูมิ โชคชัยรุ่งโรจน์. (2550). การวิเคราะห์และสังเคราะห์และสังเคราะห์เครื่องดนตรีไทยโดยใช้กรรมวิธีจำลองสภาพทางกายภาพ กรณีศึกษา : พิณพื้นบ้าน. ขอนแก่น: มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- ธัญญลักษณ์ ดิษฐ์สูงเนิน, จีรสุตา โกษิยาภรณ์, และปราโมทย์ วาดเขียน. (2552). การปรับปรุงการประมาณค่าเชิงเส้นแบบด้อย. *Proceedings of the EECON*, 32(2), 1055–1058.
- รุ่งกานต์ ศิริเจริญไชย. (2544). การสังเคราะห์เสียงขลุ่ยไทยโดยใช้ Sinusoidal Plus Noise Model. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- ลัญฉกร วุฒิลิทธิกุลกิจ, ธงชัย ไรจน์กังสดาล, พิลิฐ วนิชานันท์, กำพล วรดิษฐ์, กำพล วรดิษฐ์, วรากร ศรีเชวงทรัพย์, และคณะ. (2549). การใช้งานโปรแกรม MATLAB เบื้องต้น. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- วีระ ทองไพบูลย์. (2550). ขั้นตอนวิธีสำหรับการรู้จำระดับเสียงและชนิดของเครื่องดนตรีไทย. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- สรวิชัย สัจจิตจร. (2545). การวิเคราะห์เสียงดนตรีไทย. นครราชสีมา: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
- ฤดีรัตน์ ชินเวทกิจวานิชย์. (2547). การวิเคราะห์เสียงโน้ตหลักของขลุ่ยเพียงออ. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
- Chu, W.C. (2003). *Speech Coding Algorithms*. New Jersey: John Wiley & Sons.
- Cook, P.R. (2004). *Real Sound Synthesis for Interactive Applications*. Wellesley: A K Peters.
- Dodge C., and Jerse T.A. (1997). *Computer Music*. New York: Schirmer Books.

- Makhoul, J. (1975). Linear Prediction : A Tutorial Review. **Proceeding of the IEEE**, 63(4), 561-580.
- Moore, B.J.C. (1997). **An Introduction of the Psychology of Hearing**. 4th ed.
Great Britain: Academic Press.
- Proakis, J. G., and Manolakis, D.G. (1996). **Digital Signal Processing**. 3th ed.
New Jersey: Prentice-Hall.
- Sturdivant, S.R. (2004). **Subtractive Synthesis of B^b Clarinet Based On Empirical Data**.
The Degree of Master of Science, Department of Electrical Engineering,
University of Rochester, U.S.A.

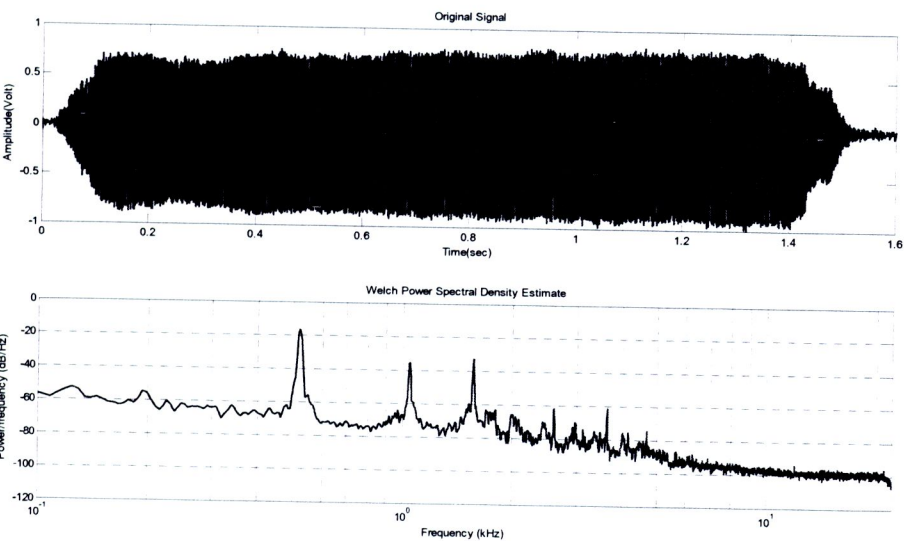
ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

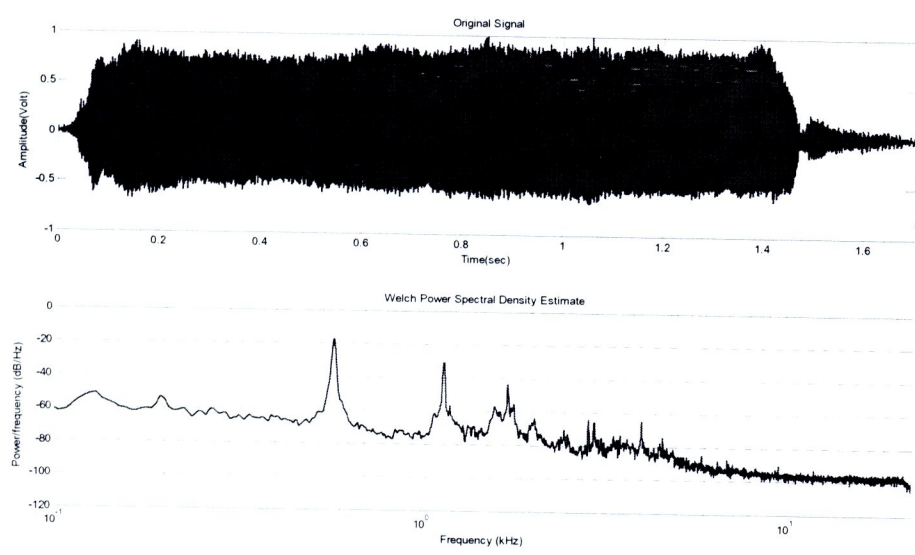
สัญญาณเสียงขลุ่ยเพียงออต้นฉบับและการคำนวณสเปกตรัมกำลังโดยกรรมวิธีของเวลช์



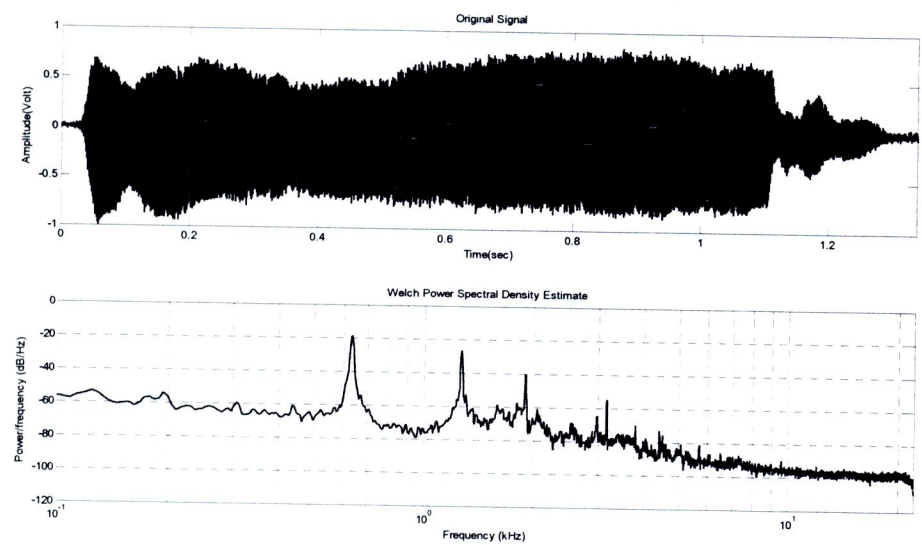
ภาพที่ ก.1 สัญญาณเสียงโดต่ำต้นฉบับ และสเปกตรัมที่วิเคราะห์ด้วยฟังก์ชันความหนาแน่นสเปกตรัมกำลัง



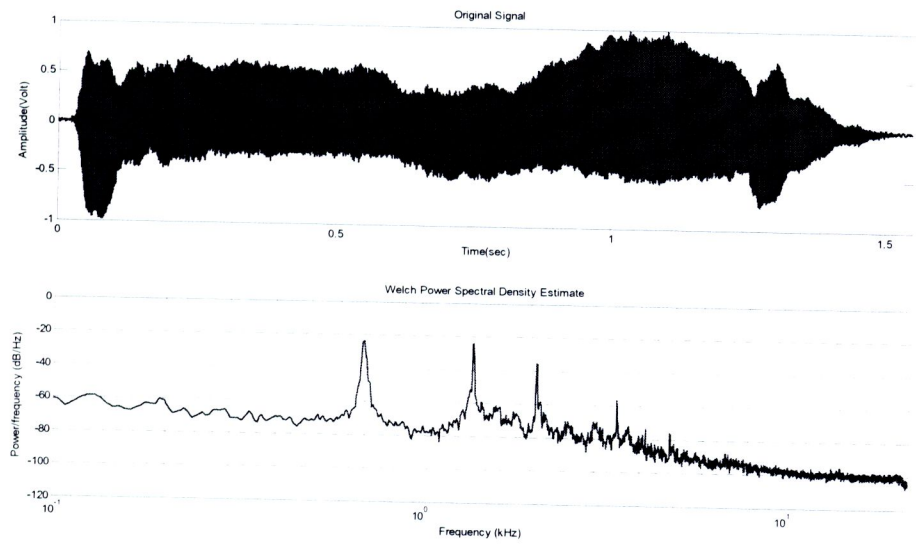
ภาพที่ ก.2 สัญญาณเสียงเรตต้นฉบับ และสเปกตรัมที่วิเคราะห์ด้วยฟังก์ชันความหนาแน่นสเปกตรัมกำลัง



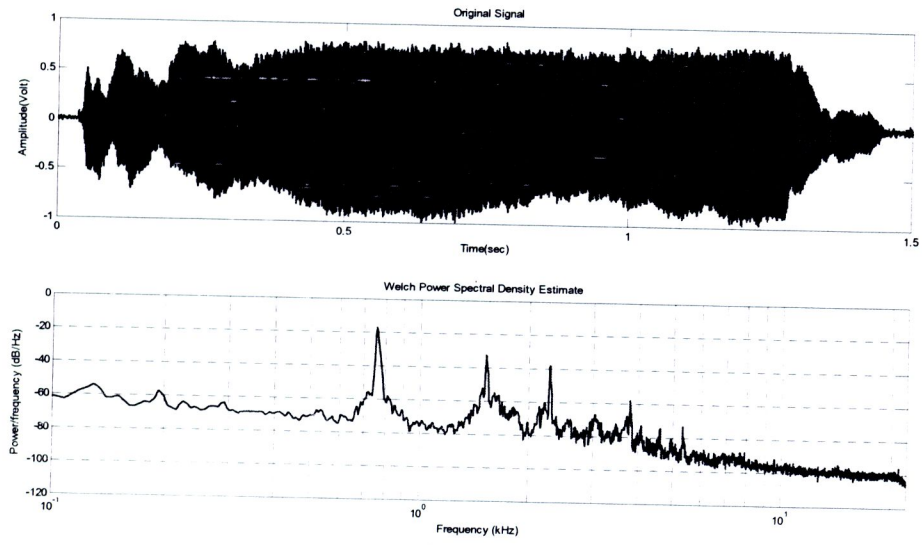
ภาพที่ ก.3 สัญญาณเสียงมีต้นฉบับ และสเปกตรัมที่วิเคราะห์ด้วยฟังก์ชันความหนาแน่นสเปกตรัมกำลัง



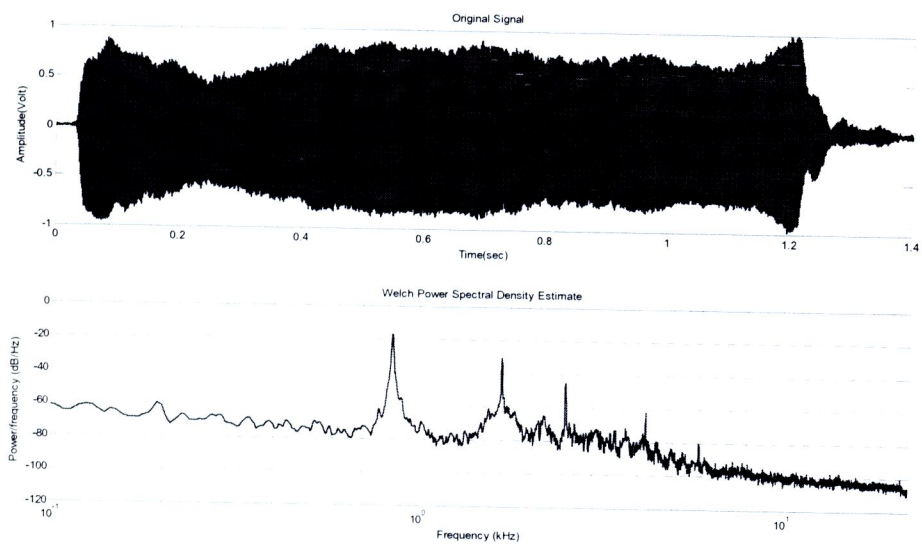
ภาพที่ ก.4 สัญญาณเสียงฟ้าต้นฉบับ และสเปกตรัมที่วิเคราะห์ด้วยฟังก์ชันความหนาแน่นสเปกตรัมกำลัง



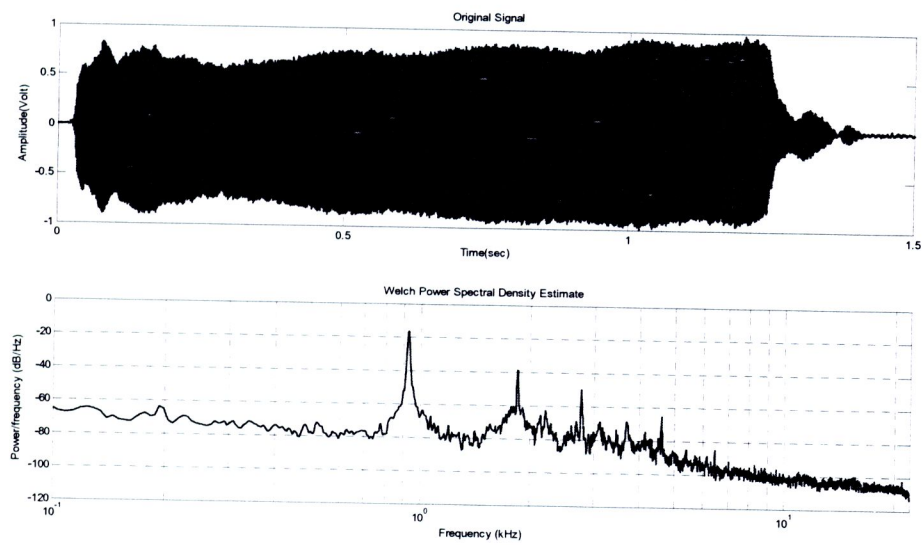
ภาพที่ ก.5 สัญญาณเสียงซอลตันฉบับ และสเปกตรัมที่วิเคราะห์ด้วยฟังก์ชันความหนาแน่นสเปกตรัมกำลัง



ภาพที่ ก.6 สัญญาณเสียงลาตันฉบับ และสเปกตรัมที่วิเคราะห์ด้วยฟังก์ชันความหนาแน่นสเปกตรัมกำลัง



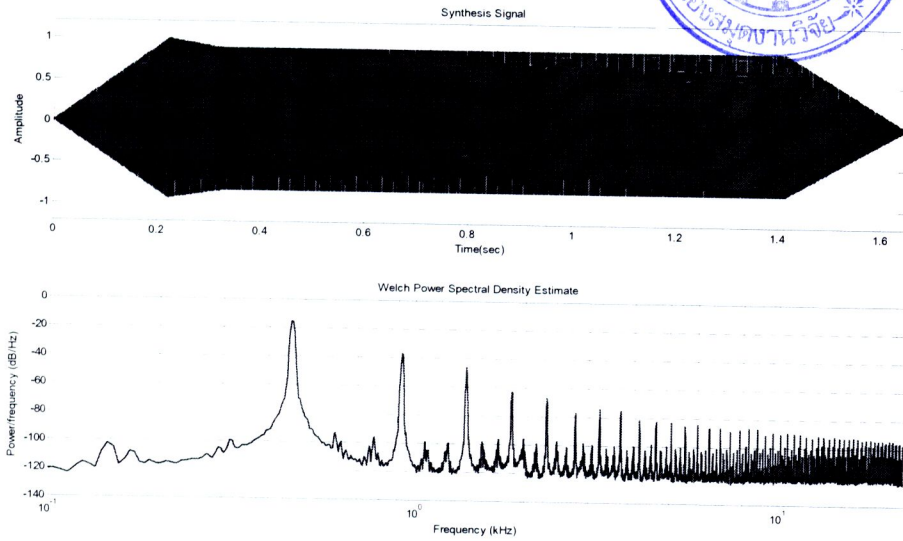
ภาพที่ ก.7 สัญญาณเสียงที่ต้นฉบับ และสเปกตรัมที่วิเคราะห์ด้วยฟังก์ชันความหนาแน่นสเปกตรัมกำลัง



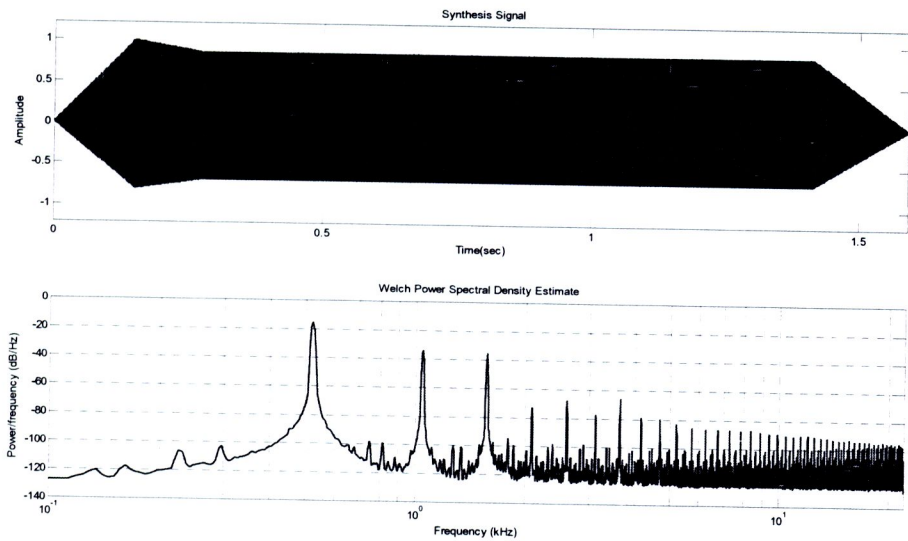
ภาพที่ ก.8 สัญญาณเสียงโดสูงต้นฉบับ และสเปกตรัมที่วิเคราะห์ด้วยฟังก์ชันความหนาแน่นสเปกตรัมกำลัง

ภาคผนวก ข

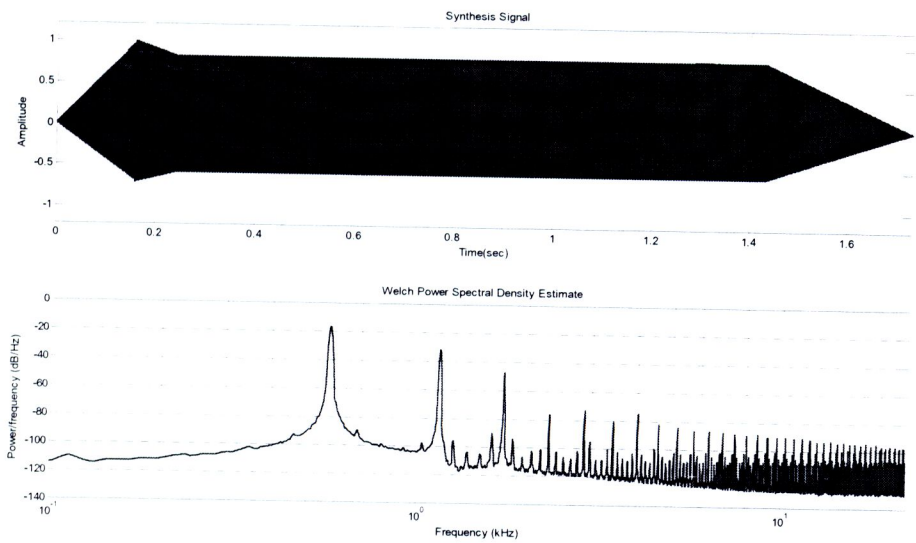
สัญญาณเสียงขลุ่ยเพียงออสังเคราะห์ด้วยกรรมวิธี Subtractive Synthesis โดยใช้การประมาณ
ค่าเชิงเส้นและการคำนวณสเปกตรัมกำลังโดยกรรมวิธีของเวลช์



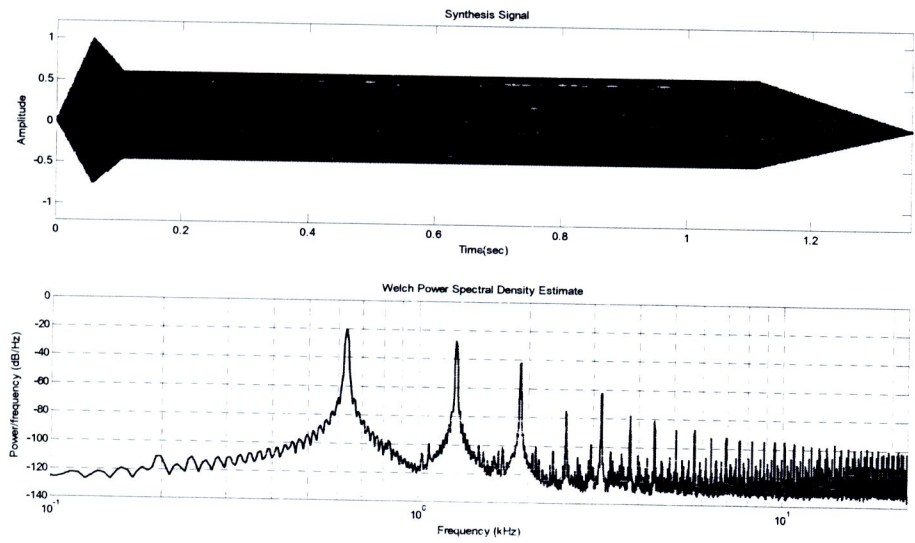
ภาพที่ ข.1 สัญญาณเสียงโดต่ำสังเคราะห์ด้วยกรรมวิธี Subtractive Synthesis โดยใช้การประมาณค่าเชิงเส้น และสเปกตรัมที่วิเคราะห์ด้วยฟังก์ชันความหนาแน่นสเปกตรัมกำลัง



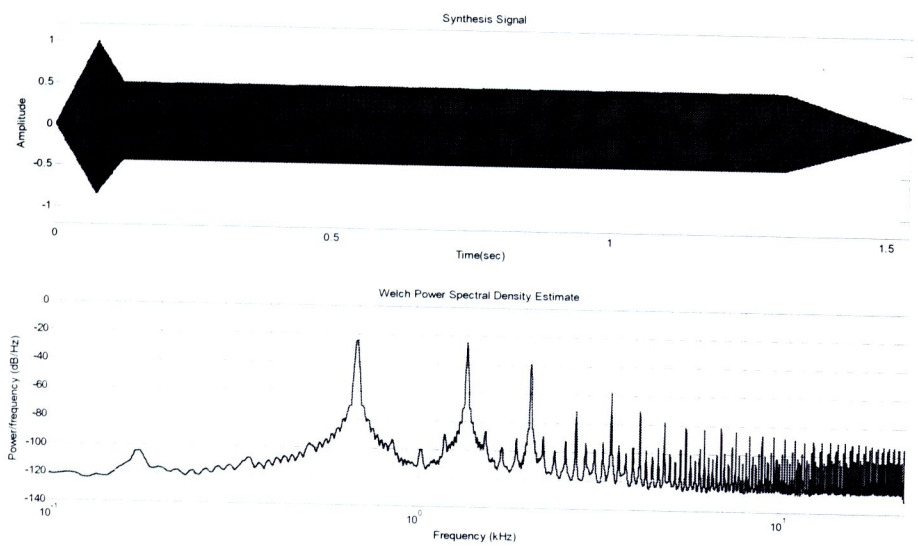
ภาพที่ ข.2 สัญญาณเสียงเรสังเคราะห์ด้วยกรรมวิธี Subtractive Synthesis โดยใช้การประมาณค่าเชิงเส้น และสเปกตรัมที่วิเคราะห์ด้วยฟังก์ชันความหนาแน่นสเปกตรัมกำลัง



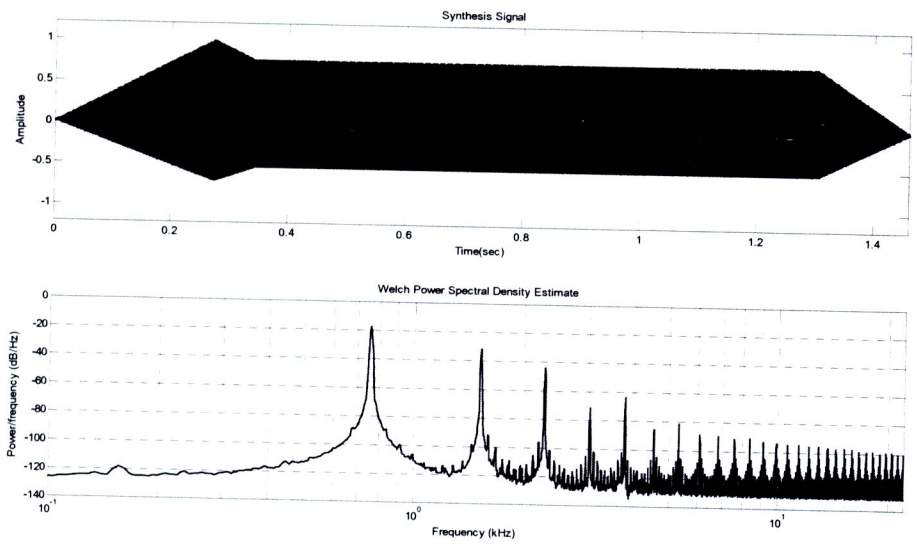
ภาพที่ ข.3 สัญญาณเสียงมีสังเคราะห์ด้วยกรรมวิธี Subtractive Synthesis โดยใช้การประมาณค่าเชิงเส้น และสเปกตรัมที่วิเคราะห์ด้วยฟังก์ชันความหนาแน่นสเปกตรัมกำลัง



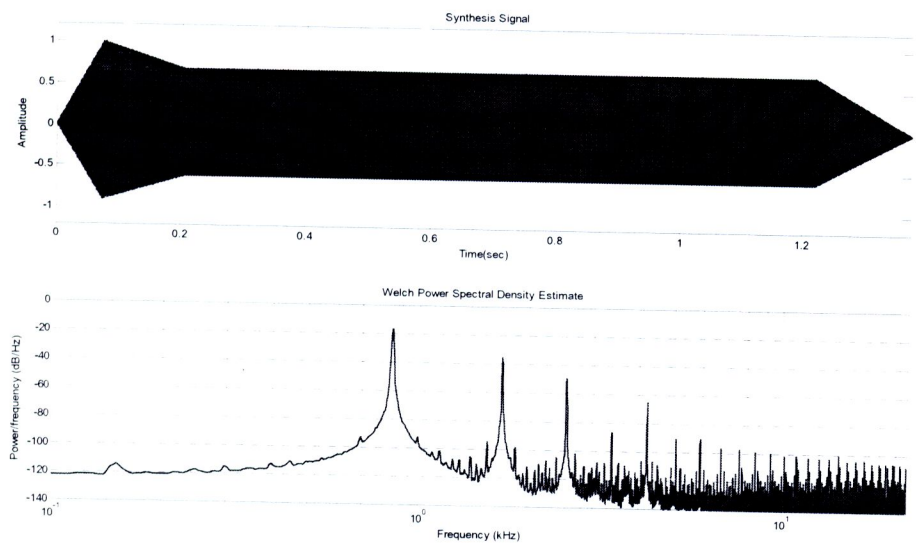
ภาพที่ ข.4 สัญญาณเสียงฟาส์เคราะห์ด้วยกรรมวิธี Subtractive Synthesis โดยใช้การประมาณค่าเชิงเส้น และสเปกตรัมที่วิเคราะห์ด้วยฟังก์ชันความหนาแน่นสเปกตรัมกำลัง



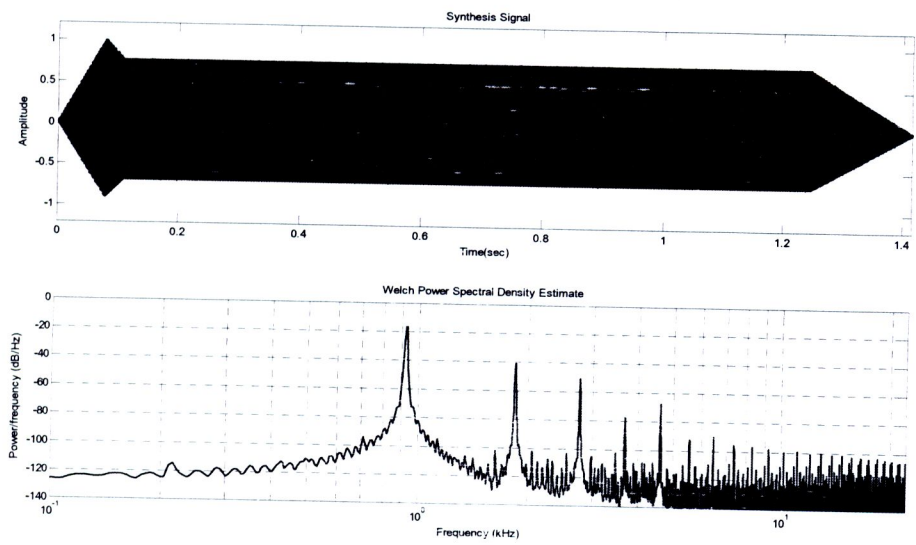
ภาพที่ ข.5 สัญญาณเสียงซอลสังเคราะห์ด้วยกรรมวิธี Subtractive Synthesis โดยใช้การประมาณค่าเชิงเส้น และสเปกตรัมที่วิเคราะห์ด้วยฟังก์ชันความหนาแน่นสเปกตรัมกำลัง



ภาพที่ ข.6 สัญญาณเสียงลาสังเคราะห์ด้วยกรรมวิธี Subtractive Synthesis โดยใช้การประมาณค่าเชิงเส้น และสเปกตรัมที่วิเคราะห์ด้วยฟังก์ชันความหนาแน่นสเปกตรัมกำลัง



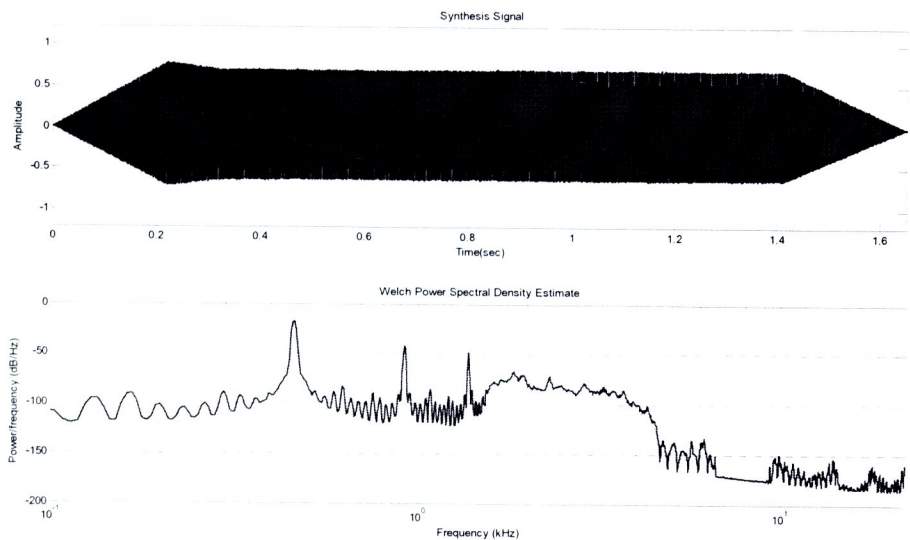
ภาพที่ ข.7 สัญญาณเสียงที่สังเคราะห์ด้วยกรรมวิธี Subtractive Synthesis โดยการใช้การประมาณค่าเชิงเส้น และสเปกตรัมที่วิเคราะห์ด้วยฟังก์ชันความหนาแน่นสเปกตรัมกำลัง



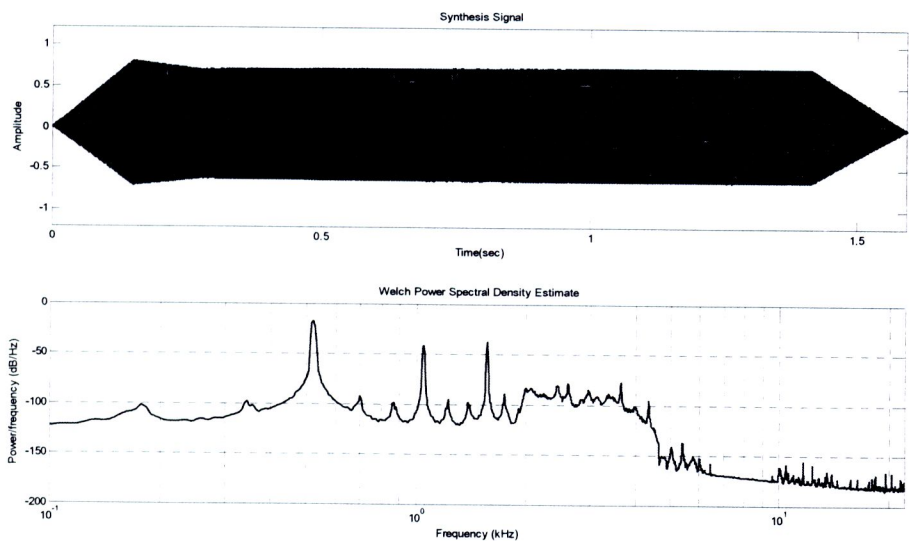
ภาพที่ ข.8 สัญญาณเสียงโดสูงสังเคราะห์ด้วยกรรมวิธี Subtractive Synthesis โดยการใช้การประมาณค่าเชิงเส้น และสเปกตรัมที่วิเคราะห์ด้วยฟังก์ชันความหนาแน่นสเปกตรัมกำลัง

ภาคผนวก ค

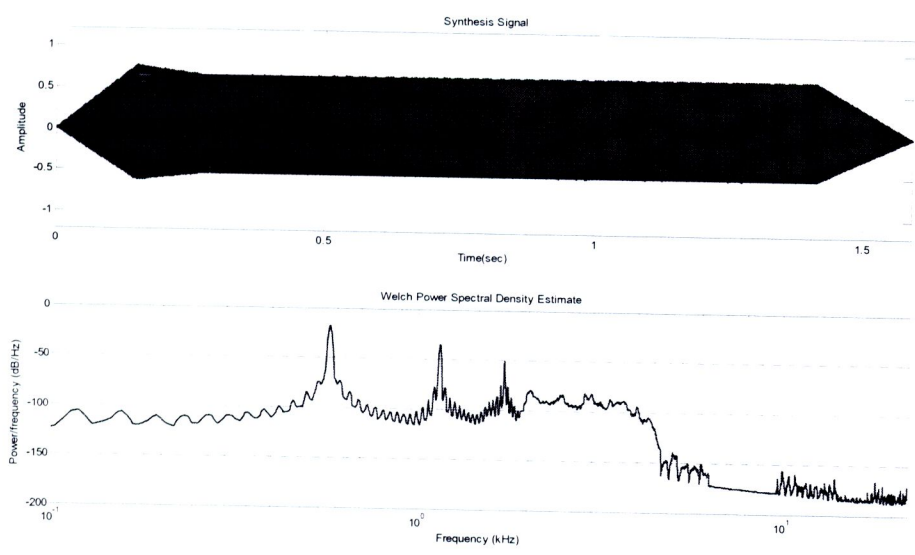
สัญญาณเสียงขลุ่ยเพียงออสังเคราะห์ด้วยกรรมวิธี Subtractive Synthesis โดยใช้การประมาณ
ค่าเชิงเส้นแบบด้อยและการคำนวณสเปกตรัมกำลังโดยกรรมวิธีของเวลช์



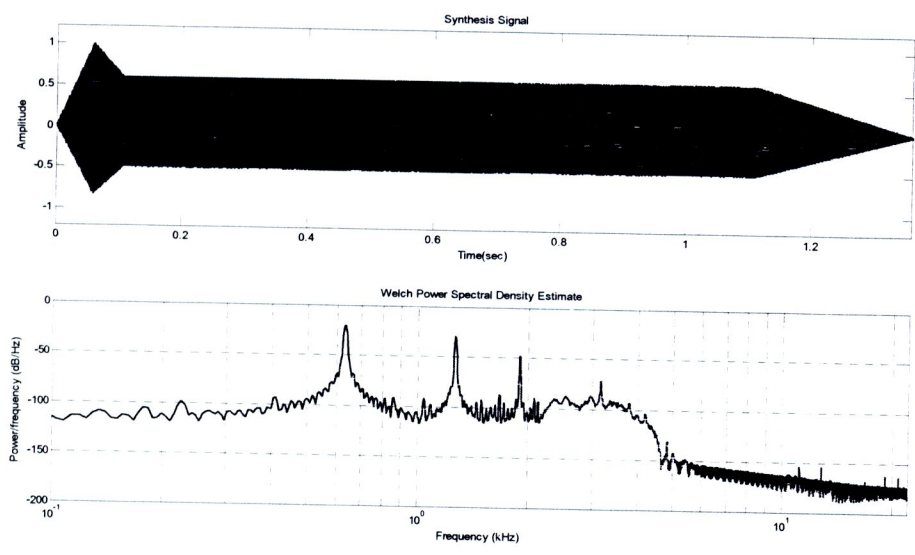
ภาพที่ ค.1 สัญญาณเสียงโดต่ำสังเคราะห์ด้วยกรรมวิธี Subtractive Synthesis โดยใช้การประมาณค่าเชิงเส้นแบนด์ย่อย และสเปกตรัมที่วิเคราะห์ด้วยฟังก์ชันความหนาแน่นสเปกตรัมกำลัง



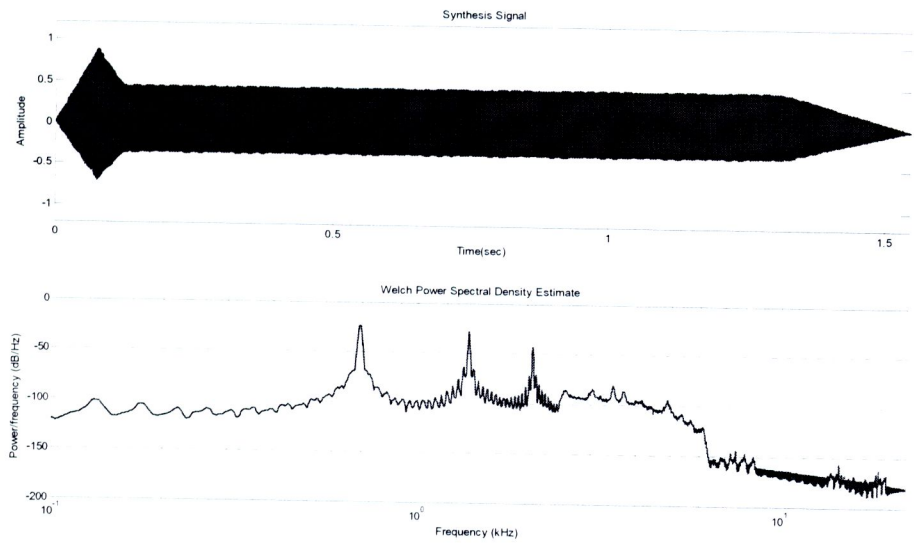
ภาพที่ ค.2 สัญญาณเสียงเรสังเคราะห์ด้วยกรรมวิธี Subtractive Synthesis โดยใช้การประมาณค่าเชิงเส้นแบนด์ย่อย และสเปกตรัมที่วิเคราะห์ด้วยฟังก์ชันความหนาแน่นสเปกตรัมกำลัง



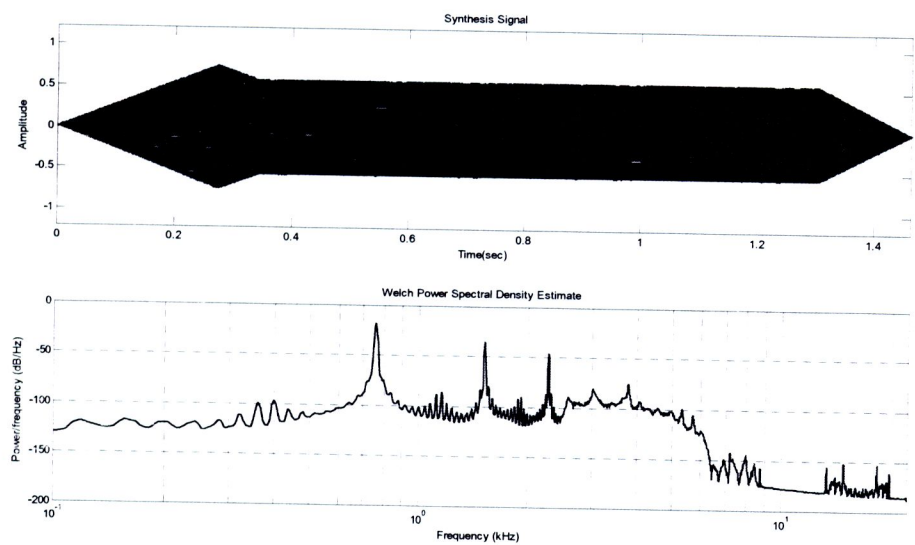
ภาพที่ ค.3 สัญญาณเสียงมีสังเคราะห์ด้วยกรรมวิธี Subtractive Synthesis โดยใช้การประมาณค่าเชิงเส้นแบนด์ย่อย และสเปกตรัมที่วิเคราะห์ด้วยฟังก์ชันความหนาแน่นสเปกตรัมกำลัง



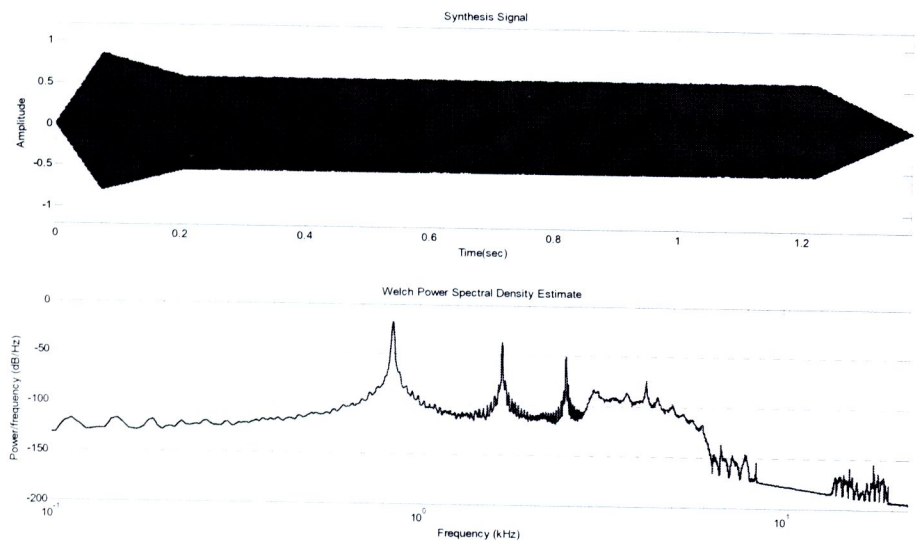
ภาพที่ ค.4 สัญญาณเสียงฟ้าสังเคราะห์ด้วยกรรมวิธี Subtractive Synthesis โดยใช้การประมาณค่าเชิงเส้นแบนด์ย่อย และสเปกตรัมที่วิเคราะห์ด้วยฟังก์ชันความหนาแน่นสเปกตรัมกำลัง



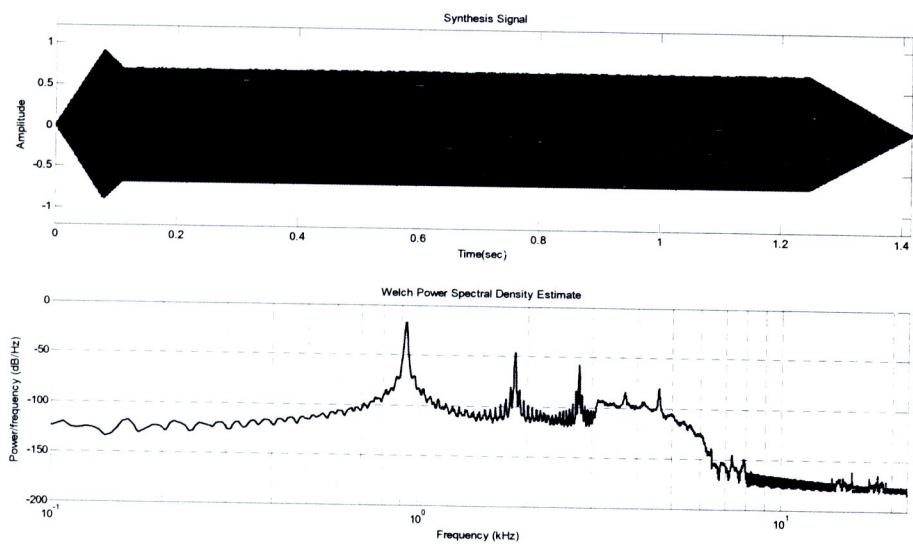
ภาพที่ ค.5 สัญญาณเสียงซอลสังเคราะห์ด้วยกรรมวิธี Subtractive Synthesis โดยการใช้การประมาณค่าเชิงเส้นแบนด์ย่อย และสเปกตรัมที่วิเคราะห์ด้วยฟังก์ชันความหนาแน่นสเปกตรัมกำลัง



ภาพที่ ค.6 สัญญาณเสียงลาสังเคราะห์ด้วยกรรมวิธี Subtractive Synthesis โดยการใช้การประมาณค่าเชิงเส้นแบนด์ย่อย และสเปกตรัมที่วิเคราะห์ด้วยฟังก์ชันความหนาแน่นสเปกตรัมกำลัง



ภาพที่ ค.7 สัญญาณเสียงที่สังเคราะห์ด้วยกรรมวิธี Subtractive Synthesis โดยใช้การประมาณค่าเชิงเส้นแบนด์ย่อย และสเปกตรัมที่วิเคราะห์ด้วยฟังก์ชันความหนาแน่นสเปกตรัมกำลัง



ภาพที่ ค.8 สัญญาณเสียงโดสูงสังเคราะห์ด้วยกรรมวิธี Subtractive Synthesis โดยใช้การประมาณค่าเชิงเส้นแบนด์ย่อย และสเปกตรัมที่วิเคราะห์ด้วยฟังก์ชันความหนาแน่นสเปกตรัมกำลัง

การเผยแพร่ผลงานวิทยานิพนธ์

บทความที่ 1

กรกช แสงรัตนกุล, จรรย์ กาญจนประดิษฐ์ และกิตติพงษ์ มีสวัสดิ์. (2552). ความสำคัญขององค์ประกอบฮาร์โมนิกส์ของเสียงขลุ่ยเพียงออ. การประชุมวิชาการและเสนอผลงานวิจัยมหาวิทยาลัยทักษิณ ครั้งที่ 19.

บทความที่ 2

กรกช แสงรัตนกุล และกิตติพงษ์ มีสวัสดิ์. (2553). การออกแบบแบบจำลองตัวกำหนดสำหรับขลุ่ยเพียงออโดยใช้การประมาณค่าเชิงเส้น. การประชุมเครือข่ายวิชาการวิศวกรรมไฟฟ้ามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 2. หน้า 461-464.

ความสำคัญขององค์ประกอบฮาร์โมนิกของเสียงขลุ่ยเพียงออ

Significance of Harmonics of Klui-Piang-Aw Sounds

กรเกษมแสงรัตนกุล¹ จริญญา กาญจนประดิษฐ์² กิตติพงษ์ มีสวัสดิ์³

Korakoch Saengrattanakun¹, Jaron Kanjanapadit² and Kittipong Meesawat³

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการทดลองและผลการทดลองเพื่อประเมินความสำคัญขององค์ประกอบฮาร์โมนิกของเสียงขลุ่ยเพียงออโดยใช้การทดสอบโดยการฟัง การทดลองใช้การทดลองแบบบังคับเลือก 3 ตัวเลือก ทำการทดสอบกับอาสาสมัครที่มีความเชี่ยวชาญด้านดนตรีไทยจำนวนทั้งสิ้น 15 คน ให้อาสาสมัครตรวจจับความแตกต่างระหว่างเสียงต้นฉบับเทียบกับเสียงที่คัดองค์ประกอบฮาร์โมนิกที่ลำดับต่าง ๆ วิเคราะห์ผลการทดลองทางสถิติด้วยกรรมวิธีไคกำลังสอง ผลการวิเคราะห์สรุปได้ว่าองค์ประกอบฮาร์โมนิกที่ 2 ถึงองค์ประกอบฮาร์โมนิกที่ 5 มีความสำคัญต่อคุณภาพเสียงขลุ่ยเพียงออ และองค์ประกอบฮาร์โมนิกที่ 6 เป็นต้นไปไม่มีความสำคัญต่อคุณภาพเสียงขลุ่ยเพียงออ

คำสำคัญ: ฮาร์โมนิก ขลุ่ยเพียงออ การทดสอบด้วยการฟัง

Abstract

This paper is presented a set of experiments and their results to evaluate the significance of the harmonic components of Klui-Piang-Aw sound. The experiments are conducted by mean of listening test using three alternative forced choice (3-AFC). There are 15 subjects who are expert in Thai music involve in the listening test. The statistical analysis of the experimental results reveals that the second harmonic up to the fifth harmonic are significant to the sound quality of Klui-Piang-Aw. While the harmonic components from sixth order and higher are not significant to the quality of Klui-Piang-Aw.

Keywords: Harmonics Klui-Piang-Aw Listening Test

¹นักศึกษาคณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏวชิรเวศน์ จังหวัดบุรีรัมย์ คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น 40002

²อาจารย์ประจำภาควิชาดนตรีไทย คณะศิลปกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น 40002

³อาจารย์ประจำภาควิชาศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏวชิรเวศน์ จังหวัดบุรีรัมย์ คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น 40002

* Corresponding author : Email-nutty_ee38@gmail.com

คำนำ

การสังเคราะห์เสียงดนตรีไทยเป็นวิทยาการที่มีประโยชน์แก่วงการดนตรีไทยในหลายด้านเช่น ด้านการเรียนการสอนดนตรีไทย และด้านการประพันธ์เพลงไทย เป็นต้น เป้าหมายของการสังเคราะห์เสียงก็คือการสร้างสัญญาณเสียงที่เมื่อพิจารณาจากมุมมองของผู้ฟังแล้วมีลักษณะไม่แตกต่างจากเสียงต้นฉบับ โดยที่ลักษณะทางกายภาพของเสียงสังเคราะห์อาจจะเหมือนหรือต่างจากเสียงต้นฉบับก็ได้ ลักษณะทางกายภาพของเสียงที่สำคัญประการหนึ่งก็คือองค์ประกอบความถี่ (Frequency Components) โดยปกติแล้วเสียงดนตรีเสียงหนึ่งจะประกอบไปด้วยองค์ประกอบความถี่มูลฐาน (Fundamental Frequency) หนึ่งความถี่ และองค์ประกอบความถี่ฮาร์โมนิกส์ (Harmonics) อีกจำนวนหนึ่ง ซึ่งหากการสังเคราะห์เสียงจะต้องสังเคราะห์สัญญาณให้ครบทุกองค์ประกอบความถี่ก็จะใช้ทรัพยากรในการคำนวณมาก หากสามารถสังเคราะห์องค์ประกอบความถี่ของสัญญาณเสียงดนตรีเท่าที่จำเป็นได้ ก็จะลดความต้องการทรัพยากรในการสังเคราะห์เสียงได้ ซึ่งก็จะทำให้การนำเทคโนโลยีในการสังเคราะห์เสียงไปใช้ประโยชน์เป็นไปโดยสะดวก

บทความนี้นำเสนอการทดลองและผลการทดลองเพื่อวัดความสำคัญต่อการได้ยินฮาร์โมนิกส์ของเสียงขลุ่ยเพียงออ ซึ่งเป็นการศึกษาต่อเนื่องมาจากการวัดขึ้นเสียงของขลุ่ยเพียงออ (สราวุธ, 2545 ; ฤทธิรัตน์และคณะ, 2547 ; กิตติพงษ์และคณะ, 2549) และการใช้เทคนิคการกระจายเชิงโหนดในการวิเคราะห์สัญญาณเสียงขลุ่ยเพียงออ (ฤทธิรัตน์และคณะ, 2547 ; ภาณุภูมิและคณะ, 2551) การทดลองใช้การทดสอบด้วยการฟัง (Listening Test) แบบบังคับเลือกร้อยละ 3 ตัวเลือก (Three Alternative Force Choices – 3AFC) แต่ละตัวเลือกคือเสียงขลุ่ยเพียงออที่ขึ้นเสียงเดียวกัน แต่จะมี 1 ใน 3 ของตัวเลือกที่มีจำนวนองค์ประกอบความถี่แตกต่างจากตัวเลือกที่เหลือ อาสาสมัครมีหน้าที่ฟังเสียงตัวเลือกเหล่านี้และเลือกเสียงแตกต่างจากตัวเลือกอื่น หากอาสาสมัครสามารถเลือกเสียงที่แตกต่างจากตัวเลือกอื่นได้อย่างถูกต้อง แสดงว่าอาสาสมัครได้ยินความแตกต่างขององค์ประกอบความถี่ของตัวเลือกเหล่านี้ กลุ่มตัวอย่างอาสาสมัครประกอบด้วยนักศึกษาจากสาขาดนตรีไทย คณะศิลปกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น จำนวนทั้งสิ้น 15 คน สำหรับหัวข้อที่จะนำเสนอในบทความนี้ประกอบด้วย 4 หัวข้อหลัก ได้แก่ บทนำ อุปกรณ์และวิธีการทดลอง ผลการทดลองและการอภิปรายผลการทดลอง และสรุปผลการวิจัยเป็นลำดับสุดท้าย

อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

1. การบันทึกเสียง

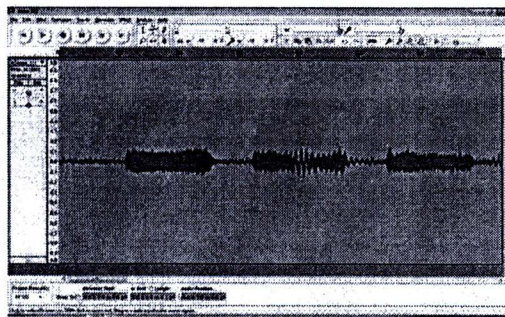
การบันทึกเสียงใช้เสียงจากขลุ่ยเพียงออ ชนิดไม้รวก 1 เล้า บรรเลงโดยผู้เชี่ยวชาญด้านการบรรเลงขลุ่ย ซึ่งสถานที่ในการบันทึกเสียงกระทำในห้องทำงานสภาพปกติที่มีขนาด $3.9 \times 3.9 \times 2.9$ ตารางเมตร

ในการเริ่มต้นบันทึกเสียงจะอยู่ห่างจากไมโครโฟน 1 เมตร กำหนดให้บรรเลงให้ระดับจากเสียงโดต่ำไปจนถึงเสียงโดสูง โดยบรรเลงเสียงละ 3 รอบ ซึ่งเสียงขลุ่ยที่บรรเลงจะถูกส่งผ่านไปยังไมโครโฟนรับเสียงรอบทิศทาง (Omni-Directional Microphone) PCB Piezotronics™ 130D20 ซึ่งมีความกว้างแบนความถี่ที่รับได้ 15 kHz จากนั้นสัญญาณเสียงจะถูกส่งต่อไปยังวงจรแปลงสัญญาณ (24-Bit Data Acquisition Card) Nation Instruments™ NI PCI-4474 กำหนดอัตราการสุ่มตัวอย่างที่ 44.1 kHz ควบคุมการบันทึก และจัดเก็บสัญญาณที่บันทึกได้ในรูปแบบไฟล์ WAV ด้วยโปรแกรม Labview™

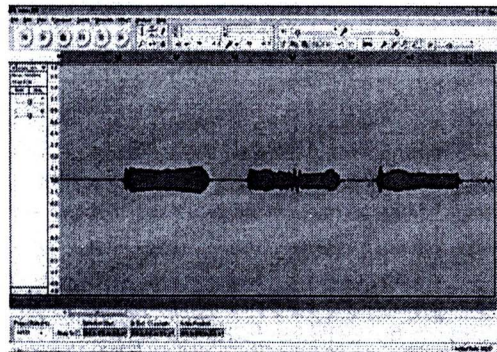


2. การกำจัดสัญญาณรบกวน

เนื่องจากสัญญาณเสียงที่ทำการบันทึกนั้น กระทำในสภาพห้องทำงานปกติที่ไม่ไร้ห้องสำหรับบันทึกเสียงโดยตรงจึงมีส่วนของสัญญาณรบกวนรวมอยู่ด้วยเสียงที่บันทึกด้วยดังแสดงในรูปที่ 1 เพื่อไม่ให้สัญญาณรบกวนเหล่านี้มีอิทธิพลต่อการทดลองจึงต้องทำการกรองสัญญาณรบกวนออกเสียก่อนโดยใช้โปรแกรม Audacity ซึ่งผลการกรองสัญญาณรบกวนนี้แสดงในรูปที่ 2



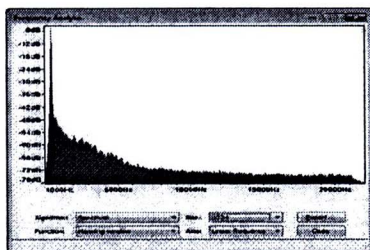
รูปที่ 1 แสดงตัวอย่างจุดสัญญาณเสียงโคต้าที่มีสัญญาณรบกวน



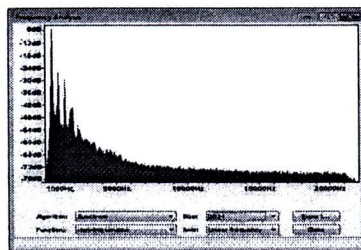
รูปที่ 2 แสดงตัวอย่างจุดสัญญาณเสียงโคต้าที่ผ่านการกรองสัญญาณรบกวนเรียบร้อยแล้ว

3. การเตรียมตัวอย่างเสียงที่ใช้ในการทดลอง

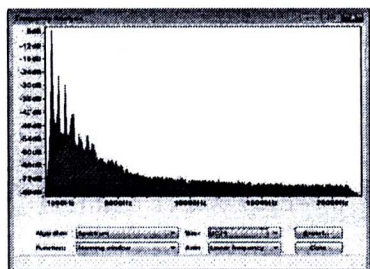
สัญญาณเสียงที่ผ่านการกรองสัญญาณรบกวนออกแล้วจะถูกนำมาเตรียมตัวอย่างเสียง แต่ละตัวอย่างจะถูกตัดองค์ประกอบความถี่ฮาร์โมนิกต่าง ๆ กัน โดยจะมีตัวอย่างเสียง 4 ตัวอย่างสำหรับเสียงชุดหนึ่งซึ่งออกหนึ่งขึ้นเสียงประกอบด้วย 1) เสียงที่ถูกตัดองค์ประกอบตั้งแต่ฮาร์โมนิกที่สองขึ้นไป 2) เสียงที่ถูกตัดองค์ประกอบตั้งแต่ฮาร์โมนิกที่หกขึ้นไป 3) เสียงที่ถูกตัดองค์ประกอบตั้งแต่ฮาร์โมนิกที่แปดขึ้นไป และ 4) เสียงต้นฉบับ ซึ่งสรุปพร้อมของแต่ละเสียงแสดงตามรูปที่ 3(a), 3(b), 3(c), 3(d) ตามลำดับ



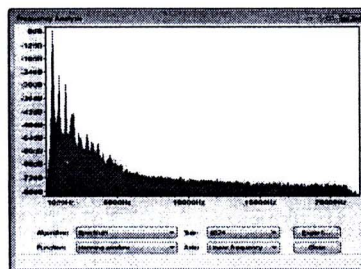
3(a)



3(b)



3(c)



3(d)

รูปที่ 3 แสดงตัวอย่างสเปกตรัมของสัญญาณเสียงโคต้าที่ผ่านการตัด
องค์ประกอบความถี่ที่ฮาร์โมนิกส์ลำดับต่าง ๆ กัน

ดำเนินการตัดองค์ประกอบฮาร์โมนิกส์ต่างๆ โดยใช้ Notch Filter ในโปรแกรม Audacity โดยในลำดับแรก จะต้องทำการพล็อตสเปกตรัมเพื่อดูความถี่ว่าอยู่ในย่านไหนบ้าง ลำดับถัดมาจึงทำการตัดความถี่ในย่านที่ไม่ต้องการ ออก

จากนั้นนำเสียงที่ได้มาจัดรูปแบบเพื่อเตรียมทดสอบด้วยการฟังตั้งแต่เสียงโคต้าจนถึงเสียงโคตสูง โดย กำหนดให้ใช้สัญลักษณ์ต่อไปนี้ในการอธิบาย

- 1 แทนสัญญาณเสียงที่ตัดองค์ประกอบตั้งแต่ฮาร์โมนิกส์ที่สองขึ้นไป
- 5 แทนสัญญาณเสียงที่ตัดองค์ประกอบตั้งแต่ฮาร์โมนิกส์ที่หกขึ้นไป
- 7 แทนสัญญาณเสียงที่ตัดองค์ประกอบตั้งแต่ฮาร์โมนิกส์ที่แปดขึ้นไป
- เต็ม แทนสัญญาณเสียงต้นฉบับ

รูปแบบที่ใช้ในการทดลองมีทั้งหมด 3 รูปแบบ ดำเนินการจัดรูปแบบเพื่อทดสอบความสามารถในการได้ยิน องค์ประกอบฮาร์โมนิกส์ที่ฮาร์โมนิกส์ลำดับต่าง ๆ รวม 3 รูปแบบดังต่อไปนี้

รูปแบบที่ 1 ให้อาสาสมัครฟังเสียงที่ตัดองค์ประกอบตั้งแต่ฮาร์โมนิกส์ที่ 2 เป็นต้นไปเทียบกับเสียงต้นฉบับ รวม 3 ครั้งเพื่อวัดความสามารถในการได้ยินองค์ประกอบฮาร์โมนิกส์ที่ 2 เป็นต้นไป โดยจัดรูปแบบดังตารางที่ 1

	เสียงลำดับที่ 1	เสียงลำดับที่ 2	เสียงลำดับที่ 3
ชุดทดสอบที่ 1	1	เต็ม	1
ชุดทดสอบที่ 2	1	1	เต็ม
ชุดทดสอบที่ 3	เต็ม	1	1

ตารางที่ 1 ชุดทดสอบที่ใช้ในการทดลองรูปแบบที่ 1 เพื่อทดสอบความสามารถในการได้ยินเสียงองค์ประกอบฮาร์โมนิกส์ลำดับที่ 2 เป็นต้นไป

รูปแบบที่ 2 ให้อาสาสมัครฟังเสียงที่ติดองค์ประกอบตั้งแต่ฮาร์โมนิกส์ที่ 6 เป็นต้นไปเทียบกับเสียงต้นฉบับรวม 3 ครั้งเพื่อวัดความสามารถในการได้ยินองค์ประกอบฮาร์โมนิกส์ที่ 6 เป็นต้นไป โดยจัดรูปแบบดังตารางที่ 2

	เสียงลำดับที่ 1	เสียงลำดับที่ 2	เสียงลำดับที่ 3
ชุดทดสอบที่ 1	5	เต็ม	5
ชุดทดสอบที่ 2	5	5	เต็ม
ชุดทดสอบที่ 3	เต็ม	5	5

ตารางที่ 2 ชุดทดสอบที่ใช้ในการทดลองรูปแบบที่ 2 เพื่อทดสอบความสามารถในการได้ยินเสียงองค์ประกอบฮาร์โมนิกส์ลำดับที่ 6 เป็นต้นไป

รูปแบบที่ 3 ให้อาสาสมัครฟังเสียงที่ติดองค์ประกอบตั้งแต่ฮาร์โมนิกส์ที่ 8 เป็นต้นไปเทียบกับเสียงต้นฉบับรวม 3 ครั้งเพื่อวัดความสามารถในการได้ยินองค์ประกอบฮาร์โมนิกส์ที่ 8 เป็นต้นไป โดยจัดรูปแบบดังตารางที่ 3

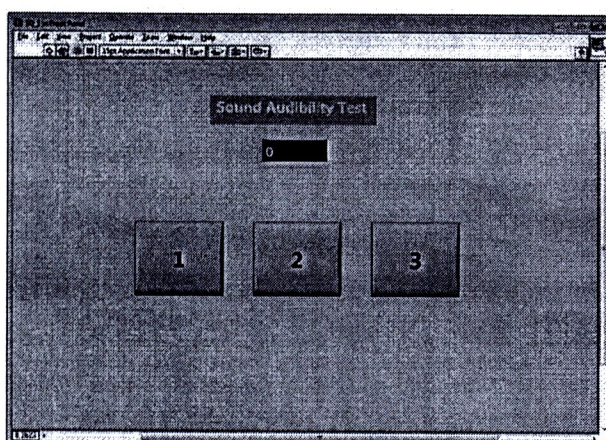
	เสียงลำดับที่ 1	เสียงลำดับที่ 2	เสียงลำดับที่ 3
ชุดทดสอบที่ 1	7	เต็ม	7
ชุดทดสอบที่ 2	7	7	เต็ม
ชุดทดสอบที่ 3	เต็ม	7	7

ตารางที่ 3 ชุดทดสอบที่ใช้ในการทดลองรูปแบบที่ 3 เพื่อทดสอบความสามารถในการได้ยินเสียงองค์ประกอบฮาร์โมนิกส์ลำดับที่ 8 เป็นต้นไป

เมื่อได้รูปแบบในแต่ละขั้นเสียงแล้ว นำแต่ละรูปแบบมาทำการสุ่มเลือกตัวอย่างเสียงออกมาหนึ่งชุดทดสอบให้ครบทั้ง 3 รูปแบบ ทำซ้ำจนครบทุกขั้นเสียงจะได้ตัวอย่างเสียงทั้งหมด 24 ชุดทดสอบ จากนั้นทำการสลับลำดับของชุดทดสอบแบบสุ่ม จะได้รายการตัวอย่างเสียงสำหรับการทดสอบครั้งที่ 1 จากนั้นทำซ้ำ อีก 2 ครั้ง โดยชุดทดสอบที่ถูกสุ่มเลือกออกมาแล้วจะไม่นำมาสุ่มซ้ำ รวมจะได้รายการชุดทดสอบที่ใช้ในการทดสอบต่ออาสาสมัคร 1 คน รวม 3 รายการ ๆ ละ 24 ชุดทดสอบ เก็บไฟล์ข้อมูลรายการนี้ไว้ในคอมพิวเตอร์

4. การทดลองตรวจจับฮาร์โมนิกส์ด้วยการฟัง

ให้อาสาสมัครฟังเสียงจากรายการที่บันทึกไว้จากคอมพิวเตอร์โดยใช้หูฟัง (Headphone) ควบคุมการเล่นเสียง (Playback) และบันทึกการตอบสนองของอาสาสมัครโดยใช้โปรแกรม Labview™ ดังแสดงในรูปแบบที่ 4



รูปที่ 4 หน้าต่างโปรแกรมที่ใช้ทดสอบ

อาสาสมัครจะต้องฟังเสียงที่ละชุดเสียง ๆ ละ 3 ตัวอย่างเสียง จากนั้นจึงทำการกดเลือกเสียงอาสาสมัครคิดว่ามีความแตกต่างจากเสียงอื่นโดยใช้เมาส์ หากอาสาสมัครไม่สามารถจำแนกได้ว่าเสียงใดมีความแตกต่างจากเสียงอื่นให้อาสาสมัครเลือกคำตอบโดยใช้การเดา โปรแกรมจะจัดเก็บผลตอบสนองจากอาสาสมัครไว้ในรูปของค่าความจริง (True) ในกรณีที่ตอบถูก และเท็จ (False) ในกรณีที่ตอบผิด

ผลการทดสอบและอภิปรายผลการทดลอง

ตารางที่ 4 แสดงผลการทดลองทั้ง 3 รูปแบบ โดยแสดงจำนวนครั้งที่อาสาสมัครเลือกเสียงที่แตกต่างจากพวกได้ถูกต้อง และจำนวนที่อาสาสมัครเลือกเสียงที่แตกต่างได้ไม่ถูกต้อง

หนึ่ง รูปแบบที่ 1 คือการเปรียบเทียบระหว่างเสียงต้นฉบับกับเสียงที่ตัดองค์ประกอบสาร์โมนิกส์ที่ 2 ขึ้นไป ออก รูปแบบที่ 2 คือการเปรียบเทียบระหว่างเสียงต้นฉบับกับเสียงที่ตัดองค์ประกอบสาร์โมนิกส์ที่ 6 ขึ้นไปออก และรูปแบบที่ 3 คือการเปรียบเทียบระหว่างเสียงต้นฉบับกับเสียงที่ตัดองค์ประกอบสาร์โมนิกส์ที่ 8 ขึ้นไปออก

จากตารางที่ 4 สังเกตได้ว่าจำนวนครั้งที่อาสาสมัครเลือกเสียงที่แตกต่างได้ถูกต้องในรูปแบบที่ 1 จะสูงกว่าจำนวนครั้งที่อาสาสมัครเลือกเสียงที่แตกต่างได้ถูกต้องในรูปแบบที่ 2 และรูปแบบที่ 3

ตารางที่ 4 แสดงคะแนนการแยกแยะความแตกต่างของเสียง

เสียง	รูปแบบที่ 1		รูปแบบที่ 2		รูปแบบที่ 3	
	ตอบถูก	ตอบผิด	ตอบถูก	ตอบผิด	ตอบถูก	ตอบผิด
โคต่ำ	29	16	14	31	19	26
เร	32	13	16	29	8	37
บี	33	12	11	34	20	25
ฟา	37	8	12	33	15	30
ซอล	40	5	16	29	14	31
ลา	28	17	14	31	20	25
ที	20	25	19	26	17	28
โคสูง	16	29	15	30	13	32

ในการทดลองแบบ 3-AFC นี้ เมื่ออาสาสมัครไม่สามารถจำแนกได้ว่าเสียงใดมีความแตกต่างจากเสียงอื่นจะให้อาสาสมัครเดาคำตอบได้ ซึ่งโอกาสที่อาสาสมัคร 15 คนจะเดาถูกคิดเป็น 1 ใน 3 หรือโอกาสที่จำนวนครั้งที่ตอบถูกของอาสาสมัครทุกคนรวมกันได้ 15 ครั้ง และตอบผิด 30 ครั้งในหนึ่งเสียง ดังนั้นจะทำการทดสอบโดยใช้การทดสอบแบบไคกำลังสอง (Chi-Square : χ^2) (เจ้าวิชาลย์, 2544) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 จากนั้นตั้งสมมติฐานของการทดลองได้ดังต่อไปนี้

กำหนดให้

H_0 : จำนวนครั้งที่ตอบถูกมาจากการเดา

H_1 : จำนวนครั้งที่ตอบถูกไม่ได้มาจากการเดา

คำนวณค่า χ^2 จากจำนวนครั้งที่ตอบถูกและตอบผิดจากตารางที่ 4 และแสดงค่าที่ได้ในตารางที่ 5

เสียง \ รูปแบบที่			
	1	2	3
โคต่ำ	19.6	0.1	1.6
เร	28.9	0.1	4.9
บี	30.07	1.6	2.5
ฟา	48.4	0.9	0
ซอล	62.5	0.1	0.1
ลา	16.9	0.1	2.5
ที	2.5	1.6	0.4
โคสูง	0.1	0	0.4

ตารางที่ 5 แสดงค่า χ^2 ของเสียงในแต่ละรูปแบบ

ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และ df เท่ากับ 1 ค่า $\chi^2_{(0.05,1)}$ จะเท่ากับ 3.84 ซึ่งจากตารางที่ 5 จะเห็นว่าเสียงในรูปแบบที่ 1 เสียงส่วนใหญ่ตั้งแต่เสียงโคต่ำจนถึงเสียงลามิค่า χ^2 ที่มากกว่า 3.84 นั่นคือ ปฏิเสธ H_0 ซึ่งในรูปแบบที่ 1 มีเพียงเสียงที่และโคสูงเท่านั้นที่ยอมรับ H_0 ทั้งนี้อาจเป็นไปได้ว่าเสียงที่มีความถี่สูงขึ้นอาจส่งผลต่อการแยกแยะเสียงก็เป็นได้ สำหรับเสียงในรูปแบบที่ 2 และ 3 ค่า χ^2 น้อยกว่า 3.84 นั่นคือยอมรับ H_0 ยกเว้นเสียงรูปแบบที่ 3 เท่านั้น เนื่องจากอาสาสมัครตอบถูกน้อยกว่าปกติ

ดังนั้นจากผลการทดลองจะได้ว่าเสียงรูปแบบที่ 1 จะปฏิเสธสมมติฐาน H_0 นั่นคือจำนวนครั้งที่ตอบถูกไม่ได้มาจากการเดา หรืออีกนัยหนึ่งคืออาสาสมัครสามารถแยกแยะความแตกต่างของเสียงได้ถูกต้อง สำหรับเสียงในรูปแบบที่ 2 และ 3 นั้นยอมรับ H_0 นั่นคือจำนวนครั้งที่ตอบถูกมาจากการเดา หรืออีกนัยหนึ่งคืออาสาสมัครไม่สามารถแยกแยะความแตกต่างของเสียงได้ถูกต้องซึ่งหมายความว่าองค์ประกอบฮาร์โมนิกส์ที่ถูกตัดออกไปนั้น ไม่มีความสำคัญต่อคุณภาพเสียงของขลุ่ยเพียงออ

สรุปผลการวิจัย

การศึกษานี้เป็นการศึกษาความสำคัญขององค์ประกอบฮาร์โมนิกส์ของเสียงขลุ่ยเพียงออ โดยใช้การทดสอบโดยการฟัง ชุดทดสอบที่จัดเตรียมให้อาสาสมัครฟังนั้นประกอบด้วยเสียงต้นฉบับ และเสียงที่ถูกตัดองค์ประกอบฮาร์โมนิกส์ที่ลำดับต่าง ๆ กันออก โดยให้อาสาสมัครพยายามตรวจจับความแตกต่างของตัวอย่างเสียงทั้ง 2 นี้โดยการฟัง จากผลการทดลองสามารถสรุปได้ว่าองค์ประกอบฮาร์โมนิกส์ลำดับที่ 2 - ถึงลำดับที่ 5 มีความสำคัญต่อคุณภาพของเสียงขลุ่ยเพียงออ ในขณะที่องค์ประกอบฮาร์โมนิกส์ที่ 6 ขึ้นไปไม่มีความสำคัญต่อคุณภาพเสียงของขลุ่ยเพียงออ นั้นหมายความว่าเราสามารถสังเคราะห์เสียงขลุ่ยเพียงออได้ โดยให้เสียงสังเคราะห์ประกอบด้วยองค์ประกอบความถี่มูลฐานและองค์ประกอบฮาร์โมนิกส์ที่ 2 ถึงฮาร์โมนิกส์ที่ 5 เท่านั้น ก็เพียงพอแล้วทำให้ประหยัดพื้นที่ในการจัดเก็บข้อมูลและทรัพยากรในการคำนวณ

เอกสารอ้างอิง

- จั่ววัลย์ เรืองประพันธ์. (2544). การวิเคราะห์ข้อมูลด้วยโปรแกรม SPSS for Windows. (พิมพ์ครั้งที่ 1). ขอนแก่น : มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- สราวุธ สุจิตจร. (2545). การวิเคราะห์เสียงดนตรีไทย. (พิมพ์ครั้งที่ 1). นครราชสีมา : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
- ฤดีรัตน์ จินนวกิจวานิชย์ สราวุธ สุจิตจร กิตติ อัครกิจมงคล และ เพียร โคท่าโรง. (2547,กรกฎาคม). “การวิเคราะห์ระดับเสียงดนตรีไทย,” วารสารเทคโนโลยีสุรนารี. 11(3), 179-192.
- กิตติพงษ์ มีสวัสดิ์ จริญญาจนประดิษฐ์ และ ภาคภูมิ โชคชัยรุ่งโรจน์. (2549). “การประเมินระบบเสียงธรรมชาติของขลุ่ยเพียงออ,” ใน การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 29, 2549. (1053-1056). พฤศจิกายน 2549. กรุงเทพฯ.
- ภาคภูมิ โชคชัยรุ่งโรจน์ จริญญาจนประดิษฐ์ และกิตติพงษ์ มีสวัสดิ์. (2551). “การเปรียบเทียบเสียงขลุ่ยแบบเสียงทวนกับแบบเสียงปกติโดยใช้การกระจายเชิงโหมค,” ใน การประชุมวิชาการ วิทยาการคอมพิวเตอร์และวิศวกรรมคอมพิวเตอร์แห่งชาติ ครั้งที่ 12, 2551. (394-397). พฤศจิกายน 2551. กรุงเทพฯ.

การออกแบบแบบจำลองตัวกำทอนสำหรับขลุ่ยเพียงออโดยใช้การประมาณค่าเชิงเส้น A Design of a Rasonator model of Klui-Phiang-Aw using Linear Predictive Coding

กรกช แสงรัตนกุล¹ และ กิตติพงษ์ มีสวัสดิ์²

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

ณ.มิตรภาพ ค.โนเมือง อ.เมือง จ.ขอนแก่น 40002 โทรศัพท์ : 084-0300502 E-mail: nutty ee38@msn.com¹, ktphong@elec.kku.ac.th²

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการออกแบบแบบจำลองตัวกำทอนสำหรับขลุ่ยเพียงออโดยใช้การประมาณค่าเชิงเส้นเพื่อสร้างตัวกรองผลตอบสนองอิมพัลส์ไม่จำกัดและการวิเคราะห์เพื่อหาอันดับการประมาณค่าเชิงเส้นที่เหมาะสม โดยเลือกใช้การคำนวณค่าความผิดพลาดกำลังสอง (Sum Square Error - SSE) เฉลี่ยของความถี่โคเคนของผลตอบสนองความถี่ที่สังเคราะห์เทียบกับสัญญาณขลุ่ยเพียงออในการตัดสินใจ ดำเนินการทดสอบที่อันดับ 200 250 300 350 และ 400 ผลการทดลองพบว่าค่า SSE มีค่าน้อยที่สุดที่อันดับ 350

คำสำคัญ: การประมาณค่าเชิงเส้น, การสังเคราะห์เสียง, ขลุ่ยเพียงออ

Abstract

This article presents a method of designing Klui-Phiang-Aw using Linear Predictive Coding (LPC). The method consists of frequency analysis of Klui-Phiang-Aw sounds, LPC analysis of Klui-Phiang-Aw sounds, design in finite impulse response (IIR) filters using the obtained LPC coefficients, and determine the quality of the filter using sum square error (SSE). The LPC analysis was done at the order of 200, 250, 300, 350, and 400. The IIR filter of the corresponding orders were constructed. Their quality were tested by means of SSE which is the sum of the square of the different between the measured frequency components and the dominant frequency of the filter. The experiment shows that the minimum SSE was achieved at the LPC order of 350.

Keywords: Linear Predictive Coding, Synthesis, Klui-Phiang-Aw

1. คำนำ

การสังเคราะห์เสียงดนตรีไทยมีประโยชน์แก่วงการดนตรีในหลาย ๆ ด้านด้วยกัน อาทิเช่น การประพันธ์เพลงไทยโดยไม่ต้องทำการเล่นเครื่องดนตรีจริง การนำเสียงดนตรีไทยสังเคราะห์ที่สามารถปรับเปลี่ยนพารามิเตอร์ต่าง ๆ มาผสมผสานกับดนตรีตะวันตกเพื่อให้เกิดความหลากหลายในการบรรเลงมากยิ่งขึ้น โดยกรรมวิธีการสังเคราะห์เสียงดนตรีสมัยใหม่จะอยู่ในระบบดิจิทัลแบบทั้งชิ้น ซึ่ง

กรรมวิธีที่ใช้ในการสังเคราะห์เสียงดนตรีจะใช้เทคนิคการประมวลผลสัญญาณดิจิทัล (Digital Signal Processing - DSP) มาช่วยในการสร้างเสียงดนตรี

บทความนี้นำเสนอการสังเคราะห์เสียงดนตรีด้วยกรรมวิธี Subtractive Synthesis [1] ซึ่งเป็นกรรมวิธีการสังเคราะห์เสียงอีกกรรมวิธีหนึ่งที่ให้คุณภาพเสียงใกล้เคียงกับที่ตี แต่มีข้อเสียคือมีความซับซ้อนในการวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ที่จะใช้ในการสังเคราะห์ ซึ่งกรรมวิธีนี้จะอาศัยการวิเคราะห์เพื่อหาความสัมพันธ์การประมาณค่าเชิงเส้นจากสัญญาณเสียงต้นฉบับ จากนั้นนำผลลัพธ์ที่ได้มาใช้สร้างตัวกรองสัญญาณที่มีผลตอบสนองอิมพัลส์ไม่จำกัด (Infinite Impulse Response - IIR) ซึ่งจะทำหน้าที่เป็นตัวกำทอน โดยในการออกแบบตัวกำทอนนั้นเป็นส่วนที่สำคัญที่จะบ่งบอกถึงคุณภาพเสียงสังเคราะห์ที่สร้างขึ้น สำหรับเครื่องดนตรีไทยที่จะนำมาใช้งานวิจัยนี้คือ ขลุ่ยเพียงออ ซึ่งเป็นเครื่องดนตรีไทยที่มีเสียงระดับเสียงปานกลางและให้เทียบเสียงเครื่องสายในวงดนตรีไทย [3] อีกทั้งยังเป็นการศึกษาต่อเนื่องมาจากการวิเคราะห์และสังเคราะห์เสียงขลุ่ยเพียงออที่ผ่านมา [2-4]

งานวิจัยจะเป็นการออกแบบตัวกำทอนสำหรับขลุ่ยเพียงออให้มีผลตอบสนองเชิงความถี่ที่ประกอบไปด้วยความถี่มูลฐานและความถี่ฮาร์โมนิกตั้งแต่ 2 ถึง 5 เนื่องจากองค์ประกอบเชิงความถี่ที่สูงกว่าฮาร์โมนิกที่ 5 ไม่มีผลต่อคุณภาพเสียงของขลุ่ยเพียงออที่มนุษย์ได้ยิน [5]

สำหรับหัวข้อที่จะนำเสนอในบทความนี้จะประกอบไปด้วย 5 หัวข้อหลักด้วยกัน ได้แก่ คำนำ ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง อุปกรณ์และกรรมวิธีการทดลอง ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง และสรุปผลการทดลองเป็นหัวข้อสุดท้าย

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 การวิเคราะห์สัญญาณด้วยฟังก์ชันความหนาแน่นสเปกตรัมกำลังด้วยกรรมวิธีของเวลล์

กรรมวิธีที่ใช้ในการประมาณค่าสเปกตรัมในมัลติเพล็กซ์หลายวิธี ซึ่งหนึ่งในกรรมวิธีที่เป็นที่นิยมและใช้กันอย่างกว้างขวางก็คือ Average Modified Periodogram [6] หรือเรียกสั้น ๆ ว่า กรรมวิธีของเวลล์ (Welch's Method) สำหรับการคำนวณหาค่าเฉลี่ยสเปกตรัมกำลัง P_{avg} สามารถแสดงได้ดังสมการที่ (1)

$$P_{avg}(f) = \frac{1}{K} \sum_{i=1}^K P_{x_i}(f) \quad (1)$$

โดยที่ K คือ จำนวนบล็อกที่ใช้ในการแบ่งสัญญาณก่อนทำการวิเคราะห์ P_x คือ ค่าแปรผันกำลังในแต่ละบล็อก

ซึ่งหลักการของกรรมวิธีนี้คือลำดับแรกนำสัญญาณที่จะนำมาวิเคราะห์มาแบ่งเป็นบล็อกจากนั้นนำแต่ละบล็อกมาคูณด้วยฟังก์ชันหน้าต่าง (Window Function) และคำนวณหาค่าแปรผันกำลังในแต่ละบล็อกด้วยการหาผลรวมค่าสัมบูรณ์ของการแปลงฟูเรียร์แบบรวดเร็ว (Fast Fourier Transform - FFT) ยกกำลังสองหารด้วยจำนวนข้อมูลในแต่ละบล็อก จากนั้นทำการเลื่อนจุดให้มีการเหลื่อมล้ำ (Overlap) ตามที่กำหนดและทำการคำนวณซ้ำตามวิธีการที่กล่าวมาจนครบทุกบล็อก และขั้นตอนสุดท้ายจึงนำค่าแปรผันกำลังในแต่ละบล็อกมาคำนวณเพื่อหาค่าเฉลี่ย ซึ่งพหามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ใช้ในการวิเคราะห์ในงานวิจัยนี้จะอยู่ในหัวข้ออุปกรณ์และกรรมวิธีการทดลอง

2.2 การประมาณค่าเชิงเส้น (Linear Predictive Coding - LPC)

การประมาณค่าเชิงเส้น [6] เป็นกรรมวิธีที่มีนิยามใช้ในการจำกัดการประมาณค่าสัญญาณเชิงสุ่ม ซึ่งในส่วนของการวิจัยนี้จะเป็นการประยุกต์ในอีกแนวทางหนึ่งคือนำมาใช้ในการออกแบบตัวกรองสำหรับขลุ่ยเพียงออ โดยกำหนดให้สัญญาณที่ได้จากการประมาณค่าแทนด้วย $\hat{x}(n)$ ซึ่งได้มาจากการนำสัญญาณเชิงก่อนหน้า $x(n-i)$ มาใช้ในการประมาณเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์ประสิทธิภาพการประมาณค่าเชิงเส้น a_i สำหรับใช้ในการจำลองสัญญาณนั้นๆ ซึ่งกรรมวิธีการคำนวณแสดงดังสมการที่ (2) ถึง (6)

$$\hat{x}(n) = -\sum_{i=1}^p a_i x(n-i) \quad (2)$$

โดยที่ p คือ อันดับของการประมาณค่าเชิงเส้น

จากสมการที่ (2) สามารถหาค่าความผิดพลาดจากการประมาณได้ตามสมการที่ (3)

$$e(n) = x(n) + \sum_{i=1}^p a_i x(n-i) \quad (3)$$

โดยที่ $x(n)$ คือ สัญญาณเชิงที่นำมาทำการประมาณค่าเชิงเส้น

ในการประมาณค่าเชิงเส้นสัญญาณที่ได้จากการประมาณขึ้นมาจะยังมีลักษณะใกล้เคียงกับสัญญาณต้นฉบับมากที่สุด ดังนั้นจึงต้องการประมาณให้มีค่าผลรวมของค่าผิดพลาดกำลังสองให้น้อยที่สุด ซึ่งแสดงให้ดังสมการที่ (4)

$$\mathcal{E} = e^2(n) = \left[x(n) + \sum_{i=1}^p a_i x(n-i) \right]^2 \quad (4)$$

จากสมการที่ (4) สามารถคำนวณหาค่า a_i ได้จากเงื่อนไข

$$\frac{d\mathcal{E}}{da_i} = 0 \quad \text{ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้แสดงให้ดังสมการที่ (5)}$$

$$\sum_{i=1}^p a_i R(m-i) = -R(m); m=1, 2, \dots, p \quad (5)$$

จากสมการที่ (5) สามารถจัดให้อยู่ในรูปของเมทริกซ์ได้ดังสมการที่ (6)

$$R\vec{a} = -\vec{r} \quad (6)$$

โดยที่ R คือ เมทริกซ์รีเลชั่นเมทริกซ์

$\vec{r}$ คือ เวกเตอร์รีเลชั่นเวกเตอร์

$\vec{a}$ คือ เวกเตอร์ของค่าสัมประสิทธิ์การประมาณค่าเชิงเส้น

จากสมการที่ (6) สามารถแก้สมการเพื่อหาค่า a_i โดยอาศัยอัลกอริทึมของ Levinson และ Durbin [6]

ในส่วนแบบจำลองของสัญญาณที่ได้จากการประมาณสามารถแสดงให้ดังสมการที่ (7)

$$H(z) = \frac{1}{1 + \sum_{i=1}^p a_i z^{-i}} \quad (7)$$

จากสมการที่ (7) แบบจำลองที่ได้จะนำไปใช้สำหรับการออกแบบแบบจำลองตัวกรองสำหรับขลุ่ยเพียงออ โดยผลการออกแบบจะอยู่ในหัวข้อผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง

3. อุปกรณ์และกรรมวิธีการทดลอง

3.1 การบันทึกเสียง

การบันทึกเสียงใช้เสียงจากขลุ่ยเพียงออชนิดไม้รวก 1 เล้าบรรเลงโดยผู้เชี่ยวชาญด้านการบรรเลงขลุ่ย ซึ่งสถานที่ในการบันทึกเสียงกระทำในห้องทำงานสถาปัตยกรรมที่มีขนาด $3.9 \times 3.9 \times 2.9$ ตารางเมตร

ในการเริ่มต้นบันทึกเสียงบรรเลงจะอยู่ห่างจากไมโครโฟน 1 เมตร กำหนดให้บรรเลงได้ระดับจากเสียงต่ำไปจนถึงเสียงสูง โดยบรรเลงเสียงละ 3 รอบ ซึ่งเสียงขลุ่ยที่บรรเลงจะถูกส่งผ่านไปยังไมโครโฟนรับเสียงรอบทิศทาง (Omni-Directional Microphone) PCB Piezotronics™ 130D20 ซึ่งมีความกว้างแบนความถี่ที่รับได้ 15 กิโลเฮิรตซ์ จากนั้นสัญญาณเสียงจะถูกส่งต่อไปยังวงจรแปลงสัญญาณ (24-Bit Data Acquisition Card) Nation Instruments™ NI PCI-4474 กำหนดอัตราซีกตัวอย่างที่ 44.1 กิโลเฮิรตซ์ ทวนถามการบันทึก และ

จัดเก็บสัญญาณที่บันทึกได้ในรูปแบบไฟล์ Wav ด้วยโปรแกรม Labview™ และเนื่องจากก่อนบันทึกเสียงได้ทำการตรวจวัดสัญญาณรบกวนพบว่าสัญญาณรบกวนอยู่ในค่าความถี่ต่ำกว่า 100 เฮิรตซ์ จึงได้ทำการกรองสัญญาณโดยตัวกรองความถี่สูงผ่านแบบบิดเคอร์วีร์อันดับ 4 ที่มีค่าความถี่ตัดที่ 100 เฮิรตซ์ เพื่อลดทอนสัญญาณรบกวนที่แฝงอยู่ในการบันทึกเสียง

3.2 การวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงความถี่ของเสียงขลุ่ยเพียงออ

การวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงความถี่ของเสียงขลุ่ยเพียงออใช้การวิเคราะห์ความหนาแน่นสเปกตรัมกำลัง โดยกำหนดพารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ ได้แก่

- 1. อัตราการสุ่มตัวอย่าง 44.1 กิโลเฮิรตซ์ ซึ่งเป็นมาตรฐานของอัตราการสุ่มสัญญาณเสียงออกดีโอ (Audio) โดยทั่วไป
- 2. จำนวนจุดที่ใช้ในการแปลงฟูริเออร์แบบรวดเร็วเท่ากับ 8,192 จุด หรือเท่ากับ 185.76 msec ซึ่งใกล้เคียงกับช่วงเวลาที่มีมนุษย์สามารถตรวจจับได้ (Duration of Unity Detectability : 15-150 msec) [7] และมีการเหลื่อมซ้ำ (Overlap) ที่ 50 เปอร์เซ็นต์ หรือ 4,096 จุด
- 3. การเลือกฟังก์ชันหน้าต่างได้เลือกใช้นาฬิกาลูกตุ้มหน้าต่างชนิดแบล็กแมน (Blackman Window) ซึ่งเมื่อนำมาใช้วิเคราะห์เสียงขลุ่ยไทยแล้วได้ค่าความถี่และค่าแอมพลิจูดที่ถูกต้องมากกว่าฟังก์ชันหน้าต่างชนิดอื่นๆ [2]

ในเบื้องต้นได้ทดลองวิเคราะห์สัญญาณไซนัสบริสุทธิ์ด้วยกรรมวิธีที่กล่าวมาข้างต้น ทางคณะผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์ในย่านความถี่ 100 – 1000 เฮิรตซ์ เพื่อตรวจสอบความถูกต้อง โดยผลการทดลองที่ได้พบมีความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย 1.36 เฮิรตซ์ และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.77 เฮิรตซ์

สำหรับผลการวิเคราะห์เพื่อหาองค์ประกอบเชิงความถี่ของสัญญาณเสียงขลุ่ยเพียงออจะอยู่ในหัวข้อผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง

3.3 การออกแบบแบบจำลองตัวกำหนดสำหรับขลุ่ยเพียงออ

ในเบื้องต้นได้ทำการทดสอบแนวทางการจำลองตัวกำหนดโดยสร้างสัญญาณที่มีองค์ประกอบของสัญญาณไซนัสบริสุทธิ์ขนาดแอมพลิจูดเท่ากับ 1 หน่วยที่ความถี่ 125 250 500 1000 และ 2000 เฮิรตซ์ รวมกัน ด้วยอัตราการสุ่มตัวอย่างเท่ากับ 44.1 กิโลเฮิรตซ์ จากนั้นจึงทำการวิเคราะห์หาสัมประสิทธิ์การประมาณค่าเชิงเส้นที่อันดับ 100 150 200 250 300 350 และ 400 ตามลำดับเพื่อหาอันดับที่เหมาะสม

จากการทดลองเบื้องต้นพบว่าอันดับที่ 100 ไม่เหมาะที่จะนำมาใช้ในการจำลองเนื่องจากแบบจำลองตัวกำหนดให้ความถี่โคตเด่นของผลตอบสนองเชิงความถี่ไม่ครบทุกความถี่ และอันดับที่ 150 ยังมีความคลาดเคลื่อนอยู่บ้าง ดังนั้นจึงได้เลือกใช้การประมาณค่าเชิงเส้นที่

อันดับ 200 – 400 ซึ่งมีความคลาดเคลื่อนน้อยกว่าเพื่อใช้ในการจำลองตัวกำหนดสำหรับขลุ่ยเพียงออต่อไป

ลำดับถัดมาวิเคราะห์สัญญาณเสียงต้นฉบับเพื่อหาความสัมพันธ์การประมาณค่าเชิงเส้นที่อันดับ 200 250 300 350 และ 400 ตามลำดับ โดยใช้ช่วงสัญญาณคงที่ (Sustain) ขนาด 8,192 จุด ซึ่งเท่ากับการวิเคราะห์ด้วยฟังก์ชันความหนาแน่นสเปกตรัมกำลัง จากนั้นนำสัมประสิทธิ์การประมาณค่าเชิงเส้นมาสร้างตัวกรองสัญญาณที่มีผลตอบสนองอินพุตที่ไม่จำกัดที่อันดับเท่ากันเพื่อจำลองตัวกำหนดสำหรับขลุ่ยเพียงออ

สังเกตผลตอบสนองเชิงความถี่ในแต่ละอันดับและบันทึกค่าความถี่โคตเด่นของผลตอบสนองเชิงความถี่เพื่อเปรียบเทียบกับองค์ประกอบเชิงความถี่ของสัญญาณเสียงต้นฉบับ วิเคราะห์ภาพของแบบจำลองด้วยค่าผิดพลาดกำลังสอง (Sum Square Error – SSE) ซึ่งคำนวณได้จากผลรวมของผลต่างระหว่างองค์ประกอบเชิงความถี่ของสัญญาณเสียงต้นฉบับกับความถี่โคตเด่นของผลตอบสนองเชิงความถี่ที่ได้จากแบบจำลองตัวกำหนดออกกำลังสอง ซึ่งผลการทดลองจะอยู่ในหัวข้อผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง

4. ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง

ผลการวิเคราะห์สัญญาณเสียงขลุ่ยเพียงออโดยใช้ฟังก์ชันความหนาแน่นสเปกตรัมกำลัง แสดงได้ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงความถี่ของเสียงขลุ่ยเพียงออ

ความถี่ โคตเด่น	ความถี่ ที่ 1	ความถี่ ที่ 2	ความถี่ ที่ 3	ความถี่ ที่ 4	ความถี่ ที่ 5
โดต่ำ	463	920.5	1,384	1,846	2,309
เร	522.2	1,044	1,567	-	2,606
มี	576	1,147	1,723	-	2,875
ฟา	635.2	1,265	1,895	-	3,165
ซอล	694.4	1,389	2,078	-	3,467
ลา	759	1,518	2,283	3,042	3,801
ที	845.2	1,690	2,536	-	4,226
โดสูง	925.9	1,846	2,767	3,698	4,613

จากตารางที่ 1 จะเห็นว่าสเปกตรัมที่ 4 ของสัญญาณเสียงเร มี ฟา ซอล และเสียงที มีองค์ประกอบเชิงความถี่หลายไป ซึ่งในการจำลองที่ถูกต้องผลตอบสนองเชิงความถี่จะต้องมีความถี่ที่ขาดหายไปตามสัญญาณเสียงต้นฉบับ โดยตัวอย่างผลตอบสนองเชิงความถี่ของตัวกำหนดของเสียงโดต่ำที่อันดับต่างๆ สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลการจำลองตัวกำหนดโดยใช้การประมาณค่าเชิงเส้นของเสียงโคต้าที่อันดับต่างๆ

อันดับที่	ความถี่ที่ 1	ความถี่ที่ 2	ความถี่ที่ 3	ความถี่ที่ 4	ความถี่ที่ 5	SSE
200	463	923.2	1,386	1,836	2,307	115.29
250	460.3	923.2	1,389	1,822	2,304	633.29
300	460.3	923.2	1,386	1,838	2,307	79.29
350	460.3	923.2	1,386	1,841	2,309	43.58
400	460.3	923.2	1,386	1,841	2,307	47.58

ซึ่งค่า SSE ของเสียงโคต้าจนถึงโดสูงในและอันดับของสัมประสิทธิ์การประมาณค่าเชิงเส้นแสดงได้ดังตารางที่ 3

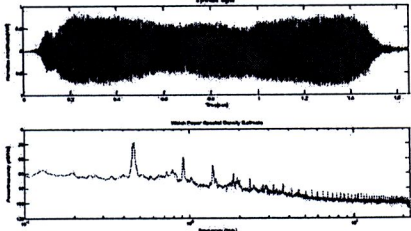
ตารางที่ 3 ผลการคำนวณค่า SSE ของเสียงโคต้าถึงโดสูง						
อันดับที่	200	250	300	350	400	
โคต้า	115.29	633.29	79.29	43.58	47.58	
ร	109	73	34	13	13	
มี	1,314	491	33	29	33	
ฟา	9	25	34	34	25	
ชอท	24.76	24.76	15.76	15.76	15.76	
ตา	466.29	113	73	38	38	
ที	68	29	25	9	9	
โดสูง	495.29	207.29	7.29	25.29	52.29	

เมื่อได้ค่า SSE ของเสียงโคต้าถึงโดสูงแล้ว ลำดับถัดมาที่ทำได้ค่านวณหาค่าเฉลี่ย SSE ของอันดับต่างๆจนครบทุกเสียง ซึ่งผลของค่าเฉลี่ยแสดงได้ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ผลการคำนวณค่าเฉลี่ย SSE ของเสียงโคต้าถึงโดสูง	
อันดับที่	ค่าเฉลี่ย SSE
200	325.20
250	199.54
300	37.67
350	25.95
400	29.24

จากตารางที่ 4 จะเห็นว่าค่าเฉลี่ย SSE ของเสียงโคต้าถึงโดสูงที่อันดับ 350 ของสัมประสิทธิ์การประมาณค่าเชิงเส้นมีค่าที่ต่ำที่สุด

สำหรับแบบจำลองตัวกำหนดสามารถนำมาสร้างเสียงสังเคราะห์ได้ ซึ่งตัวอย่างผลการสังเคราะห์เสียงโคต้าสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 สัญญาณเสียงสังเคราะห์และผลการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงความถี่

5. สรุปผลการทดลอง

การออกแบบตัวกำหนดสำหรับขลุ่ยเพียงออโดยใช้การประมาณค่าเชิงเส้นที่อันดับเท่ากับ 350 เหมาะสมที่จะนำมาใช้จำลองตัวกำหนดสำหรับขลุ่ยเพียงออบนโปรแกรมคอมพิวเตอร์เนื่องจากมีค่า SSE เท่ากับ 25.95 ซึ่งเป็นค่าที่ต่ำสุด แต่อย่างไรก็ตามในการนำไปสร้างเป็นเครื่องสังเคราะห์เสียงคนตรีไทยนั้นยังไม่สามารถกระทำได้หรือกระทำได้ยากมากเนื่องจากอันดับที่สูง ซึ่งส่งผลให้ตัวประมวลผลที่จะต้องมีความเร็วเป็นอย่างมากและมีพื้นที่ในการจัดเก็บข้อมูลจำนวนมาก

เอกสารอ้างอิง

[1] Perry R. Cook, " Real Sound Synthesis for Interactive Applications ", AK Peters, 2004.

[2] รุ่งกานต์ ศิริเจริญไชย และคณะ, " การวิเคราะห์และสังเคราะห์เสียงขลุ่ยไทยโดยใช้โมเดลแบบ Sinusoidal Plus Noise", วารสารเนกเทค 36, กันยายน – ตุลาคม 2543.

[3] สราวุธ สุจิตธร, " การวิเคราะห์เสียงคนตรีไทย ", นรราชเทิมา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, 2545.

[4] กิตติพงษ์ มีสวาสดี และคณะ, " การประเมินระบบเสียงธรรมชาติของขลุ่ยเพียงออ ", การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้าครั้งที่ 29, หน้า 1053-1056, 9-10 พ.ย. 2549.

[5] กรกษ แสงรัตนกุล และคณะ, " ความสำคัญของการประกอบฮาร์โมนิกของเสียงขลุ่ยเพียงออ ", การประชุมวิชาการและเสนอผลงานวิจัยมหาวิทยาลัยทักษิณ ครั้งที่ 19, 24-25 ก.ย. 2552.

[6] John G. Proakis and Dimitris G. Manolakis, "Digital Signal Processing, Principles, Algorithm, and Applications", Prentice-Hall, New Jersey, 1996.

[7] B.J.C. Moore, " An Introduction to the Psychology of Hearing ", Academic Press, Great Britain, 1997.

ประวัติผู้เขียน



นายกรกช แสงรัตนกุล เกิดเมื่อวันที่ 8 ตุลาคม พ.ศ. 2526 สำเร็จปริญญาตรีจาก ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น เมื่อปี พ.ศ. 2549 และในปีเดียวกัน ได้เข้าศึกษาต่อในระดับบัณฑิตศึกษา สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะ วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

