บทที่ 3

ขั้นตอนการวิเคราะห์และสังเคราะห์เสียง

ในบทนี้จะกล่าวถึงรายละเอียดของขั้นตอนการสังเคราะห์เสียง ซึ่งประกอบด้วยการบันทึกเสียง การวิเคราะห์หาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับการกระตุ้นซึ่งมีตัวกำหนดเป็นค่าความถี่หลักมูลของเสียง การวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ในการควบคุมแบบจำลองในส่วนของช่องทางเดินเสียง ซึ่งพารามิเตอร์ประกอบด้วยพื้นที่หน้าตัดของช่องทางเดินเสียง และสัมประสิทธิ์การสะท้อนตัวที่ p ที่เป็นผลมาจากพื้นที่หน้าตัดค่าสุดท้าย หลังจากนั้นจะกล่าวถึงวิธีการสังเคราะห์เสียงเพื่อให้ได้เสียงสังเคราะห์มีพลังงานเหมือนกับเสียงต้นแบบโดยหากรอบคลื่นแอมปลิจูดซึ่งเป็นพลังงานของเสียงเพิ่มเข้าไปในขั้นตอนการสังเคราะห์เสียง ประกอบไปด้วยการสังเคราะห์เสียงสระเดี่ยวและการสังเคราะห์ประสมโดยการเลื่อนช่องทางเดินเสียงตามเสียงวรรณยุกต์

3.1 การบันทึกเสียง

ทำการบันทึกเสียงสระภาษาไทยต้นแบบของสระเสียงเดี่ยวและเสียงประสมทั้งเสียงยาวและเสียงสั้นจำนวน 24 เสียง โดยบันทึกเป็นวรรณยุกต์สามัญสำหรับเสียงยาว และวรรณยุกต์เอกของเสียงสั้น ในห้องวิจัยของระบบควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์ทางด้านซอร์ฟแวร์ โดยควบคุมสภาพแวดล้อมให้มีเสียงรบกวนน้อยที่สุด เพื่อหาค่าฟอร์แมนท์เฉลี่ยของสระเดี่ยวและดูการเปลี่ยนแปลงของฟอร์แมนท์ของสระประสมตลอดช่วงของเสียง ส่วนการบันทึกเสียงวรรณยุกต์ทำการบันทึกเสียงต้นแบบเพียงเสียงเดียวคือสระอะและสระอา เพื่อนำค่าความถี่ของเสียงวรรณยุกต์เป็นค่าตั้งต้นสำหรับทุกเสียงสระตามเสียงวรรณยุกต์ สามัญ เอก โท ตรี และจัตวา ทำการบันทึกด้วยตัวอย่างขนาด 16 บิต และใช้อัตราการชักตัวอย่าง 10 kHz สำหรับหาค่าฟอร์แมนท์ ส่วนการบันทึกเพื่อหาความถี่ของวรรณยุกต์บันทึกด้วยอัตราการชักตัวอย่าง 22 kHz

3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้

1. เครื่องคอมพิวเตอร์รุ่น Pentium II 850 หน่วยความจำ 128 MB
2. การ์ดเสียง SoundMAX Integrated Digital Audio
3. ไมโครโฟน Jiafen รุ่น JF - 750M.V.
4. โปรแกรม MATLAB version 5.2
5. โปรแกรม Praat version 4.0.38 เพื่อวิเคราะห์เสียง

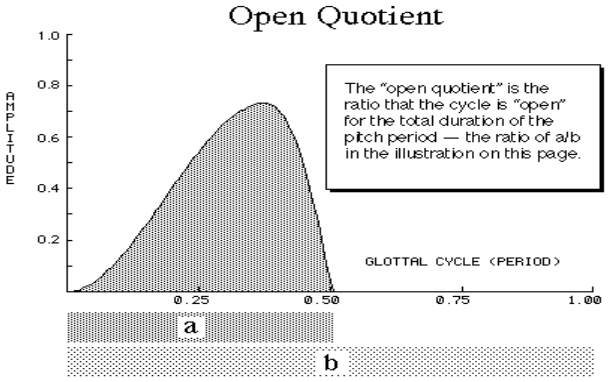
3.3 การวิเคราะห์แบบจำลองเพื่อการสังเคราะห์เสียง

3.3.1 การหาพารามิเตอร์ของกลอททัลพัลส์ (glottal pulse)

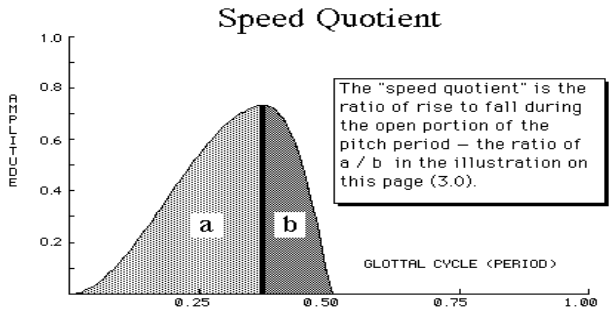
กลอททัลพัลส์กำหนดโดยลักษณะที่ได้จากแบบจำลองของมวลสองชิ้นดังที่ได้กล่าวไปแล้วนั้น จากงานวิจัยของเฮสกินส์แล็ป พบว่าพัลส์สามเหลี่ยมไม่สมมาตรมีตัวกำหนดลักษณะอยู่ 2 ลักษณะคือ

1. อัตราส่วนความกว้างของพัลส์ (open quotient)
2. อัตราส่วนช่วงการขึ้นลงของพัลส์ (speed quotient)

ดังภาพประกอบ 3-1 (ก) ค่า open quotient ซึ่งเป็นอัตราส่วนระหว่าง ระยะเปิด a และระยะคาบ b ในภาพประกอบมีค่าเป็น 0.5 และ (ข) speed quotient ซึ่งเป็นอัตราส่วนโดยประมาณระหว่างพื้นที่ส่วนขึ้น a และส่วนลดลง b มีค่าประมาณ 3.0 เพราะตามรูปเป็นการนำเวลาของการขึ้นหารด้วยเวลาของการลงเท่านั้น



(ก)



(ข)

ภาพประกอบ 3-1 ค่าของพัลส์ที่เหมาะสม

(http://www.haskins.yale.edu/Haskins/MISC/ASY/GLOTTAL/glottal.html)

(ก) อัตราส่วนความกว้างของพัลส์ (open quotient)

(ข) อัตราส่วนช่วงการขึ้นลงของพัลส์ (speed quotient)

เพราะฉะนั้นเราจะสร้างพัลส์ขึ้นโดยอาศัยค่าพื้นฐานเหล่านี้คือ ค่าของ open quotient ให้มีค่าเป็น 0.5 และ speed quotient ให้มีค่าประมาณ 3 เนื่องจากว่าหลักสำคัญก็คือระยะขึ้นต้องช้ากว่าระยะลดลงเสมอ นอกจากนี้ควรที่จะสร้างพัลส์ขึ้นในโดเมนเวลาเพราะจะได้ผลลัพธ์ของการสังเคราะห์เสียงที่ดีกว่า (Deller, 2000)

สามารถสร้างได้โดยอาศัยค่าคอนโวลูชั่นของฟังก์ชันในสมการ (3.1)

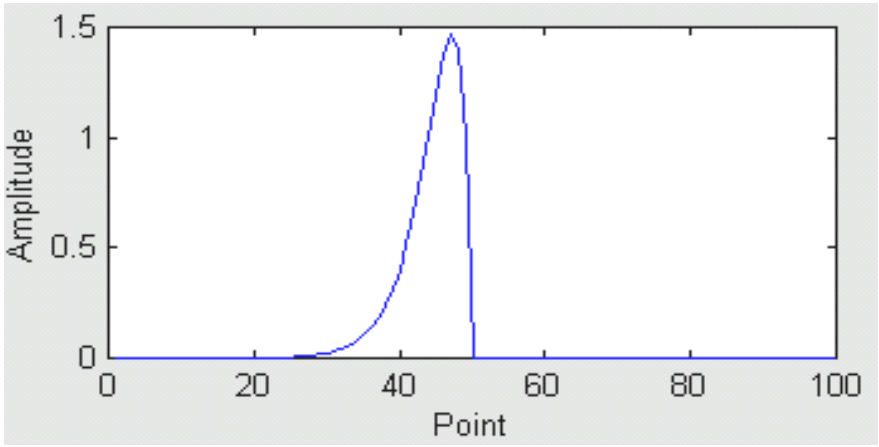
$$g(n) = \beta^{n}, \qquad \beta < 1 \qquad (3.1)$$

ตัวอย่างเช่น ต้องการพัลส์ที่ความถี่ 100 Hz โดยข้อมูลที่จะสร้างเป็นสัญญาณซึ่งมีความถี่ของการแซมปลิงที่ 10000 Hz เพราะฉะนั้นแต่ละพัลส์จะประกอบด้วย 100 หน่วยจุด (point) เป็นคลื่นสามเหลี่ยมไม่สมมาตรประมาณ 50 หน่วยจุดเนื่องจาก open quotient มีค่า 0.5 และเราไม่สามารถที่กำหนดการคอนโวลูชันให้ลงที่ 50 หน่วยจุดได้ดังนั้นอาจจะมีความผิดพลาดได้เป็นจำนวน 1 หน่วยจุด ซึ่งวิธีการสังเคราะห์เป็นไปโดยขั้นตอนดังต่อไปนี้

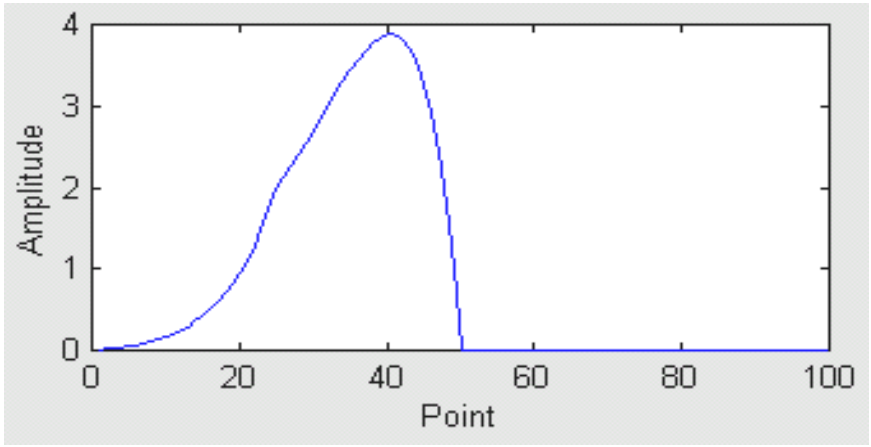
1. กำหนด n = 24:-1:0;
2. กำหนดฟังก์ชันเลขชี้กำลังตามสมการ (3.1)
3. สร้างพัลส์รูปสามเหลี่ยมไม่สมมาตร p(n) = conv (g(n), g(n)) จะได้พัลส์สามเหลี่ยมไม่สมมาตร 49 หน่วยจุด
4. ที่เหลืออีก 51 หน่วยจุดกำหนดให้เป็น 0
5. แต่ละพัลส์สร้างได้ตามวิธีการนี้ พัลส์ต่อ ๆ ไปสร้างได้ด้วยวิธีเดียวกันตามความถี่ของเสียงที่ต้องการสังเคราะห์

ทดลองสร้างพัลส์ตามขั้นตอนที่ 1 - 5 ด้วยค่า β เป็นจำนวนต่าง ๆ กันตามข้อกำหนดในสมการ (3.1) จากน้อยไปมาก โดยทดลองสร้างขึ้นเพียงพัลส์เดียว ได้คัดเลือกผลลัพธ์ออกมา 3 ตัวอย่างซึ่งแสดงลักษณะการเปลี่ยนแปลงของค่า β ได้ชัดเจน คือเลือก β เป็น 0.7, 0.9, และ 0.96 ตามลำดับ แสดงได้ในภาพประกอบ 3-2

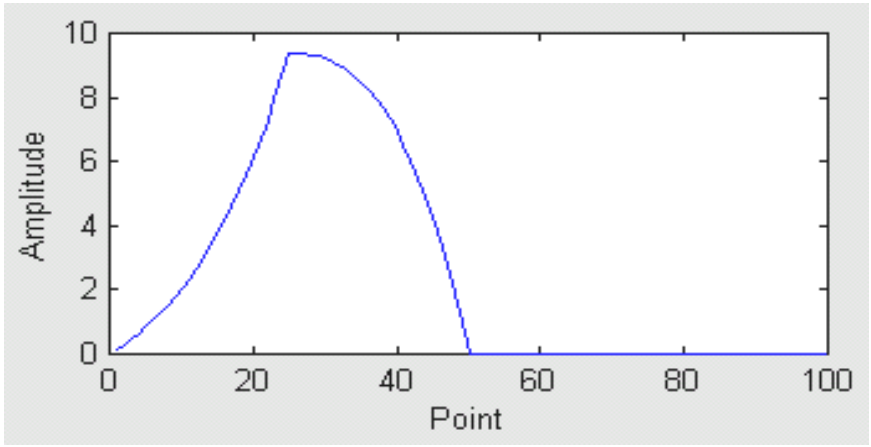
จากภาพประกอบ 3-2 จะเห็นได้ว่าค่าของ β ที่เหมาะสมจะอยู่ที่ 0.9 ถ้าน้อยกว่านี้ระยะขึ้นจะช้าเกินไป ถ้ามากกว่าค่านี้และมีค่าเข้าใกล้ 1 จะทำให้ขึ้นเร็วทำให้รูปพัลส์ที่ได้ค่อนข้างที่จะสมมาตร อย่างไรก็ตามค่า β ดังกล่าวนี้เป็นเพียงแนวทางการสังเคราะห์ทางหนึ่งเท่านั้น สามารถที่จะแปรเปลี่ยนไปได้ในช่วงที่ใกล้เคียงกับ 0.9 เพราะจากการทดสอบยังคงให้เสียงที่เหมือนกัน



(ก.)



(ข.)



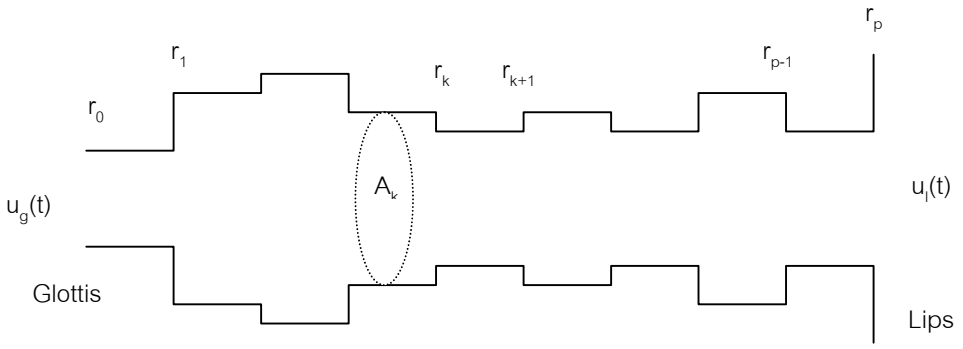
(ค.)

ภาพประกอบ 3-2 พัลส์สร้างขึ้นด้วยค่า β เป็น (ก) 0.7 (ข) 0.9 (ค) 0.96

3.3.2 การวิเคราะห์และหาพารามิเตอร์ช่องทางเดินเสียง

3.3.2.1 ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อน

พิจารณาช่องทางเดินเสียงที่ตัดออกเป็น p เซกเมนต์ตามภาพประกอบ 3-3 อีกครั้งคราวนี้เราจะพิจารณาเทอมของสัมประสิทธิ์การสะท้อน (r_k) นิยามตามสมการ (2.15) สังเกตเห็นว่าค่าสัมประสิทธิ์ r_1 ถึง r_{p-1} สามารถหาได้จากพื้นที่หน้าตัดโดยตรงจาก A_1 ถึง A_p แต่ค่าสัมประสิทธิ์ของ r_0 และ r_p จำเป็นต้องทราบพื้นที่หน้าตัดของ A_0 นั่นก็คือพื้นที่หน้าตัดของส่วนก่อนที่จะเป็นช่องทางเดินเสียง และ A_{p+1} ซึ่งก็คือพื้นที่หน้าตัดของส่วนถัดไปจากริมฝีปาก



ภาพประกอบ 3-3 การพิจารณาสัมประสิทธิ์การสะท้อนของช่องทางเดินเสียง p เซกเมนต์

1. สัมประสิทธิ์การสะท้อนตัวที่ p (p^{th} reflection coefficient ; r_p)

ถ้าพิจารณาตามภาพประกอบ 3-3 ค่าของ A_{p+1} เข้าใกล้ค่าอนันต์ทำให้หาค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนโดยประมาณออกมาเป็น 1 (เข้าใกล้ 1 ด้านซ้าย) นั่นคือคิดเป็นอุดมคติแต่ในทางปฏิบัติเราจะแทนค่าของสัมประสิทธิ์ตัวนี้ด้วยค่าที่เข้าใกล้ 1 แล้วทำการทดลองสังเคราะห์เสียงดูเพื่อหาว่าค่าไหนที่ทำให้เสียงออกมารับฟังได้ดี เนื่องจากในความเป็นจริงเราไม่สามารถทราบได้ว่าการกำทอนของเสียงในช่องสุดท้ายใช้พื้นที่หน้าตัดเป็นเท่าไร และค่านี้มีผลต่อเสียงสังเคราะห์เป็นอย่างยิ่งถ้ากำหนดค่าตัวนี้ผิดไปก็จะทำให้เสียงสังเคราะห์ไม่ได้ตามที่ต้องการ เพราะฉะนั้นจะอาศัยการทดลองโดยให้ค่าตั้งแต่ 0.9 แล้วลดลงมาทีละ 0.1 ในแต่ละครั้งได้ทดสอบการฟังเป็นการตัดสินใจเบื้องต้นว่าค่าที่ทำการทดสอบในช่วง 0.9 - 0.1 ค่าไหนได้เสียงที่ฟังออกมาได้ชัดเจนบ้าง ซึ่งพบว่ามีด้วยกันหลายค่า ดังนั้นการตัดสินใจขั้นสุดท้ายว่าควรจะเป็นค่าไหน ใช้วิธีเขียนโปรแกรมเพื่อหาฟอร์แมนท์ 1 และ 2 ของเสียงด้วยโปรแกรม MATLAB จากทรานเฟอร์ฟังก์ชันของแบบจำลอง

ขั้นตอนต่อไปคือนำฟอร์แมนท์ที่ได้ไปเปรียบเทียบกับค่าฟอร์แมนท์มาตรฐานของเสียงสระภาษาไทย ซึ่งวิจัยโดย Abramson, 1962 (อ้างอิงโดย ปฏิมากร กิ้มสวัสดิ์) ด้วยการหาค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างไปจากค่ามาตรฐาน ในสมการที่ (3.2)

$$\% \text{ ความแตกต่าง} = ((F_c - F_s) / F_s)*100 \qquad (3.2)$$

F_c คือค่าฟอร์แมนท์ที่ต้องการเปรียบเทียบ

F_s คือค่าฟอร์แมนท์มาตรฐาน

หลังจากนั้นนำค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของฟอร์แมนท์ทั้ง 2 ค่ามาหาค่าเฉลี่ยแล้วเลือกค่าต่ำสุดก็จะได้ค่าของสัมประสิทธิ์การสะท้อนตัวที่ p ในที่สุด ซึ่งผลการทดสอบกับสระเดี่ยวเสียงยาวแสดงได้ด้วยตาราง 3-1 ส่วนรายละเอียดของค่าทางสถิติดูได้ในภาคผนวก ก ซึ่งจะประกอบไปด้วยค่าของสัมประสิทธิ์การสะท้อนตัวที่ p ที่อยู่ในช่วงของการพิจารณา ฟอร์แมนท์ของเสียงสังเคราะห์ และค่ามาตรฐานของฟอร์แมนท์จากการวิจัยดังกล่าว

ตาราง 3-1 ผลการทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนตัวที่ p

สระ	ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนตัวที่ p (r_p)
อี	0.5
เอ	0.9
แอ	0.8
อือ	0.9
เออ	0.5
อา	0.9
อู	0.9
โอ	0.9
ออ	0.9

2. สัมประสิทธิ์การสะท้อนตัวที่ 0 (r_0)

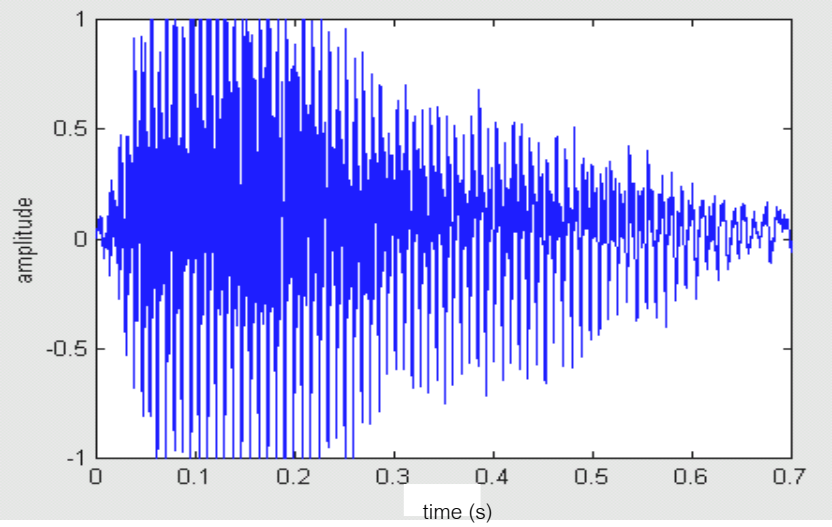
พื้นที่หน้าตัด A_0 เราสามารถที่จะหาได้แต่เมื่อพิจารณาจากแบบจำลองพบว่าค่าตัวนี้สามารถจัดให้เป็นค่าคงที่ได้โดยที่ไม่มีส่วนร่วมในทรานเฟอร์ฟังก์ชันของช่องทางเดินเสียงนั่นคือตามสมการ (2.19) ค่าของ ($1-r_0$) พิจารณาเป็นอัตราการขยายของสัญญาณ เพราะฉะนั้นค่าสัมประสิทธิ์ตัวนี้เราจะไม่พิจารณาในแบบจำลองของช่องทางเดินเสียงแต่จะพิจารณาเป็นอัตราการขยายสัญญาณ (gain) ของทรานเฟอร์ฟังก์ชัน ซึ่งค่าอัตราขยายของสัญญาณจะเป็นตัวกำหนดค่า พลังงานของเสียง ถ้าอัตราขยายมีค่ามากจะมีผลทำให้มีพลังงานของเสียงมากและได้เสียงที่ดังขึ้น

การหากรอบคลื่นแอมปลิจูด

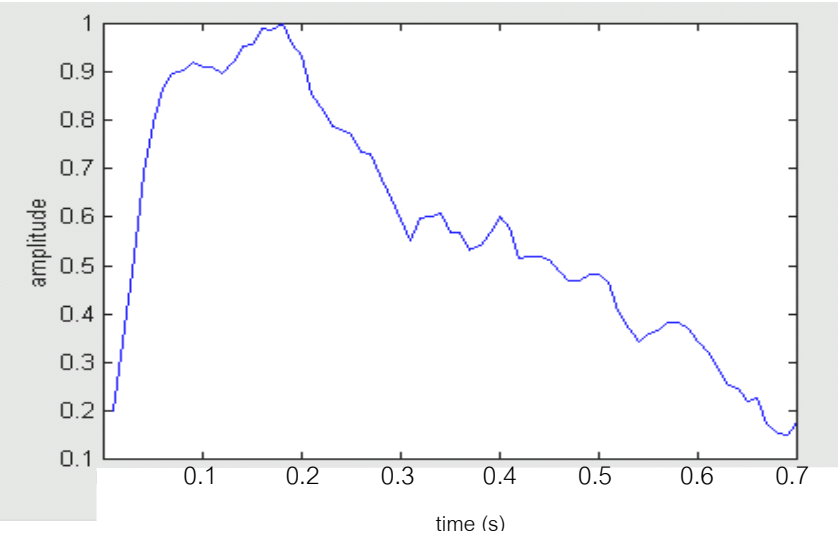
สัมประสิทธิ์ตัวนี้เป็นส่วนประกอบสำคัญตัวหนึ่งที่จะกำหนดคุณลักษณะของเสียงนั่นก็คือการเน้นเสียงหรือการลงน้ำหนักของพยางค์เพื่อที่จะแสดงอารมณ์ของผู้พูด กรอบคลื่นแอมปลิจูดจะถูกใช้ในการเปลี่ยนแปลงให้แอมปลิจูดของพยางค์เป็นไปตามเสียงต้นแบบ โดยการวิจัยครั้งนี้กระทำโดยหากรอบคลื่นแอมปลิจูดของเสียงสระที่ได้ทำการบันทึกไว้เพียงสระเดียวคือสระอา ทั้งเสียงสั้น (อะ) และเสียงยาว (อา) ตามเสียงสามัญ เอก โท ตรี และจัตวา รวมทั้งสิ้น 10 ชุด เพื่อเป็นค่าต้นแบบให้กับวรรณยุกต์ เพราะแต่ละวรรณยุกต์จะมีคุณลักษณะของพลังงานเสียงเฉพาะตัว เช่นในวรรณยุกต์จัตวาจะมีความถี่หลักมูลในช่วงท้ายพยางค์เพิ่มขึ้นค่อนข้างสูงมีผลทำให้พลังงานเพิ่มขึ้นในช่วงท้ายพยางค์ซึ่งในวรรณยุกต์ตัวอื่นจะไม่มีคุณลักษณะเช่นนี้ เป็นต้น

ในการหากรอบคลื่นแอมปลิจูดนี้ทำได้โดยแบ่งเสียงพูดออกเป็นกรอบลักษณะเดียวกันกับที่ใช้ในการหาค่าความถี่หลักมูล (ดูหัวข้อ 3.4) ในส่วนของการแบ่งกรอบเสียงพูด หลังจากนั้นนำแต่ละกรอบเสียงพูดมาหาผลรวมของค่าสัมบูรณ์ของสัญญาณก็จะได้แอมปลิจูดตรงกรอบนั้น จนสิ้นสุดสัญญาณ

เมื่อได้กรอบคลื่นแอมปลิจูดมาแล้วก็จะนำมาทำให้เป็นบรรทัดฐาน (normalized) ด้วยการทำให้พลังงานสูงสุดมีค่าเป็น 1 เนื่องจากการทดลองสังเคราะห์เสียงที่ผ่านมาพบว่าค่าอัตราขยายมีค่าเป็น 1 จะทำให้ค่าสมบูรณ์ของแอมปลิจูดมีค่าอยู่ประมาณ 1 ด้วย และในการบันทึกเสียงต้นแบบครั้งนี้ได้พยายามบันทึกเสียงให้ได้ค่าสมบูรณ์ของแอมปลิจูดมีค่าไม่เกิน 1 เพื่อให้สัญญาณไม่โดนตัดออกไปเมื่อทำการชักตัวอย่างดังนั้นค่านอร์มอลไลซ์ของแอมปลิจูดสามารถนำมาใช้งานได้ทันที ซึ่งผลของโปรแกรมหาค่ากรอบคลื่นแอมปลิจูดแสดงในภาพประกอบ 3-4



(ก) สัญญาณต้นแบบ



(ข) กรอบคลื่นแอมปลิจูด

ภาพประกอบ 3-4 สัญญาณเสียงต้นแบบและสัญญาณที่ผ่านการหาค่ากรอบคลื่นแอมปลิจูดของสระอาเสียงสามัญซึ่งผ่านการทำให้เป็นบรรทัดฐานแล้ว

3.3.2.2 พื้นที่หน้าตัดของช่องทางเดินเสียง (A_1 - A_p)

ในหัวข้อนี้จะเป็นการหาพื้นที่หน้าตัดของช่องทางเดินเสียงของสระเดี่ยว 9 สระหลักซึ่งแต่ละสระหลักนำไปสังเคราะห์ได้ทั้งเสียงสั้นและเสียงยาว นอกจากนั้นยังสามารถนำไปสังเคราะห์เป็นสระประสมได้อีก 3 ชุดตามเสียงสระเดี่ยวที่ประสมกัน โดยในแบบจำลองได้ทำการออกแบบให้สามารถคัดแยกเสียงที่ความถี่สูงสุดเป็น 5000 Hz เนื่องจากว่าเสียงสระนั้นฟอร์แมนต์ของเสียงที่เป็นลักษณะเด่นและบ่งบอกความแตกต่างของเสียงสระแต่ละเสียงในงานด้านการสังเคราะห์เสียงความถี่จะไม่เกิน 5000 Hz สำหรับลักษณะของเสียงสระ เพราะฉะนั้นเราจะใช้ความถี่ในการชักตัวอย่างที่ 10000 Hz ซึ่งแบบจำลองนี้ออกแบบโดยมีแนวคิดว่าเสียงที่เดินทางในแต่ละเซกเมนต์ใช้เวลาเป็นครึ่งหนึ่งของคาบการชักตัวอย่างซึ่งเรากำหนดให้ ความเร็วที่ใช้ในการเดินทางของเสียงเป็น 340 เมตร/วินาที และความถี่การชักตัวอย่างเป็น 10000 Hz ดังนั้นความยาวของแต่ละเซกเมนต์กำหนดลงไปเป็นขั้นตอนแรกดังที่ได้นำเสนอไปแล้วคือ 0.017 เมตร

สำหรับการหาพารามิเตอร์ของพื้นที่หน้าตัดพิจารณาการหาพื้นที่หน้าตัดเป็น 2 ชุด คือ ชุดที่ 1 เป็นสระเดี่ยวภาษาไทยเทียบเคียงกับภาษาอังกฤษซึ่งมีเสียงที่ใกล้เคียงกับภาษาอังกฤษและมีสัทอักษรตรงกัน จำนวน 6 สระ และชุดที่ 2 หาได้โดยใช้การประมาณจากลักษณะของการเกิดเสียงสระจำนวน 3 เสียง ดังรายละเอียดดังต่อไปนี้

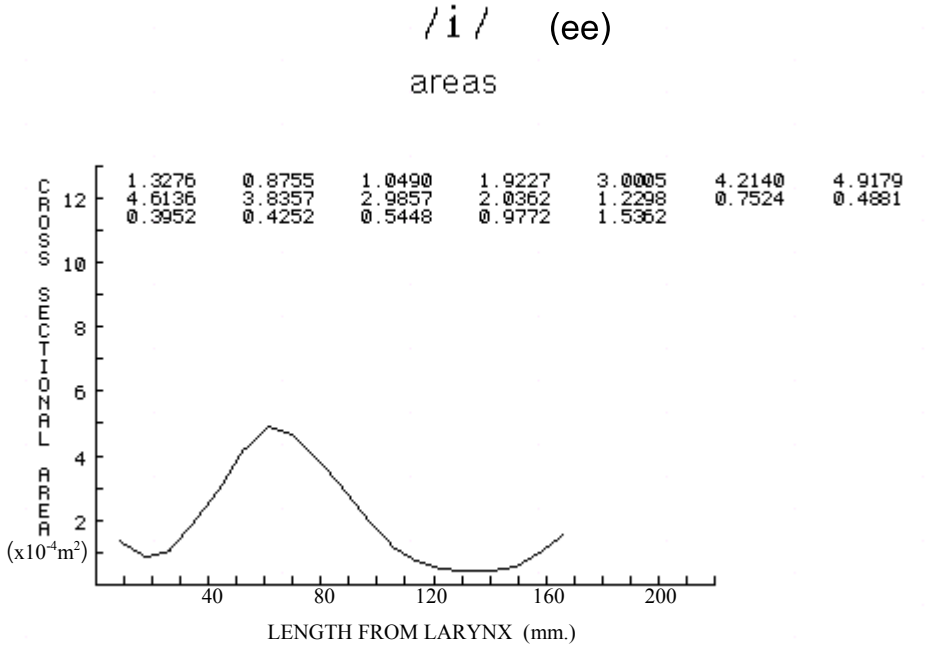
3.3.2.2.1 พื้นที่หน้าตัดเทียบเคียง

สำหรับแบบจำลองที่สร้างขึ้นนั้นรับข้อมูลเป็นพื้นที่หน้าตัดของช่องทางเดินเสียง ซึ่งข้อมูลส่วนนี้ได้มาจากการทำ MRI (Magnetic Resonance Image) ผู้วิจัยได้ค้นหาข้อมูลส่วนนี้พบว่ามีข้อมูลของพื้นที่หน้าตัดของช่องทางเดินเสียงที่ได้ทำการวิจัยมาแล้วอยู่ในศูนย์วิจัยของเฮสกินส์ (Haskins laboratory) ซึ่งเป็นช่องทางเดินเสียงของสระภาษาอังกฤษจำนวน 6 สระคือ อี /i/, เอ /e/,แอ /ae/,เออ /uh/,อา /a/ ,อู /u/ (ที่อยู่ใน / / เป็นสัทอักษรที่ตรงกับภาษาไทยได้มาจากการสังเกตช่องปากคือลักษณะของลิ้นเวลาออกเสียงพูด)

จากการศึกษาเรื่องการออกเสียงสระพบว่าเวลามนุษย์ออกเสียงสระช่องทางเดินของเสียงจะอยู่ในลักษณะคงที่และไม่มีการปิดกั้นทางลม (จินดา เฮงสมบูรณ์, 2542) เพราะฉะนั้นทำให้ทราบได้ว่าการออกเสียงของสระของภาษาต่างๆช่องทางเดินเสียงจะมีลักษณะเหมือนกันถ้าสัญลักษณ์ที่แทนเสียงสระหรือสัทอักษรตรงกัน

พื้นที่หน้าตัดของสระภาษาอังกฤษที่มีลักษณะของช่องทางเดินเสียงแบบเดียวกับสระอีในภาษาไทยที่ได้มาจาก เฮสกินส์แล็ป แสดงในภาพประกอบ 3-5 ประกอบด้วยข้อมูล 2 ส่วนคือ พื้นที่หน้าตัด จำนวน 19 ค่าซึ่งแต่ละเซกเมนต์ที่ใช้ในแบบจำลองที่ได้มานี้มีความยาว 0.00875 เมตร

เพราะฉะนั้นความยาวของช่องทางเดินเสียงคือ 19*0.00875 = 0.16625 เมตร ดังนั้นในแบบจำลองที่ได้ออกแบบไว้ควรที่จะมีจำนวนเซกเมนต์ของช่องทางเดินเสียงเป็นจำนวนเท่าไร พิจารณาได้ดังนี้



ภาพประกอบ 3-5 พื้นที่หน้าตัดของช่องทางเดินเสียงเมื่อออกเสียงสระ อี

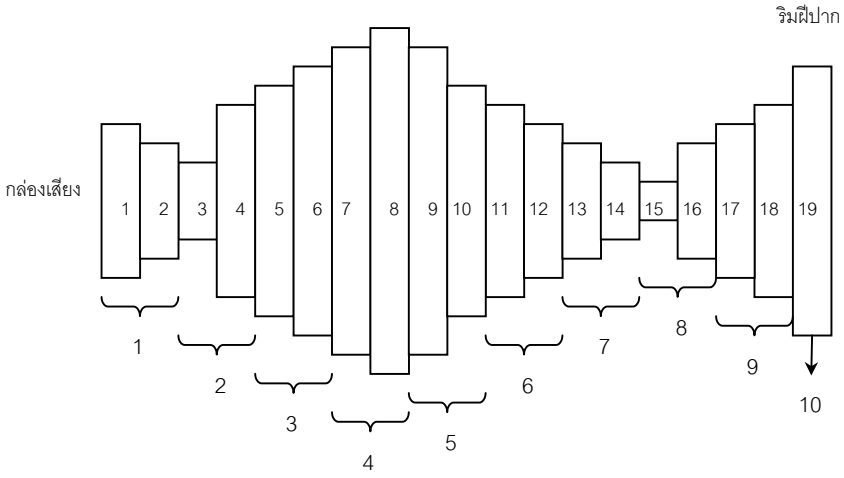
จำนวนท่อ = ความยาวของช่องทางเดินเสียง / 0.017 เมตร

= 0.168 / 0.017

= 9.8

➔ 10 ท่อ

คราวนี้เราต้องการลดพื้นที่หน้าตัดจาก 19 ค่าให้เหลือ 10 ค่า ถ้าพิจารณาเป็นค่าเฉลี่ยของพื้นที่หน้าตัดของสระภาษาอังกฤษ 2 ค่าลดเหลือ 1 ค่าโดยการหาค่าเฉลี่ยก็จะได้ 9 ค่า (ลดจากค่าที่ 1-18) เหลืออีก 1 ค่า จำเป็นต้องใช้ค่านี้เป็นค่าที่ 10 ดังแสดงในภาพประกอบ 3-6



ภาพประกอบ 3-6 การลดค่าพารามิเตอร์ของพื้นที่หน้าตัดของสระอีจาก 19 ค่า เหลือ 10 ค่า

อาจจะมีข้อสงสัยว่าทำไมไม่ใช้ค่าที่ 1 ของสระภาษาอังกฤษเป็นค่าแรก ค่าเฉลี่ยของค่าที่ 2-19 เป็นค่าของการลดที่ 2-10 ในแบบจำลองของเรา (ตามลำดับการลดเซกเมนต์จาก 2 ค่าลดเหลือ 1 ค่า) อธิบายได้ว่าการดัดแปลงลมจากปอดเริ่มตั้งแต่ท่อที่ติดกับกล่องเสียงเป็นตัวแรกและท่อที่ 2, 3 ถัดมาเรื่อย ๆ ถ้าพิจารณาจากค่าความยาวของแต่ละเซกเมนต์ ที่เราออกแบบคือ 1.7 เซนติเมตร และค่าที่ได้จากสระภาษาอังกฤษคือ 0.875 เซนติเมตร พบว่าขนาดท่อของเรามีขนาดเป็น 2 เท่าโดยประมาณ ดังนั้นถ้าเราใช้ค่าเริ่มต้นเป็นค่าพื้นที่หน้าตัดของท่อที่ 1 ในสระภาษาอังกฤษจะได้ค่าที่ไม่ถูกต้อง ดังนั้นในการดัดแปลงลมในท่อถัดไปจะพลาดไปเรื่อย ๆ ทำให้ไม่ได้เสียงที่ต้องการออกมา ในขณะที่การลดพารามิเตอร์ที่ดำเนินการในงานวิจัยชิ้นนี้อาจจะไม่ถูกต้องเหมือนกันเพียงแต่เกิดขึ้นในท่อสุดท้ายซึ่งไม่มีผลกระทบถัดไป เสียงที่ได้จึงยังคงไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก

ในทำนองเดียวกันสามารถหาจำนวนท่อของสระ เอ แอ เออ อา และอูได้ผลลัพธ์ดังนี้

เอ 9 ท่อ

แอ 9 ท่อ

เออ 11 ท่อ

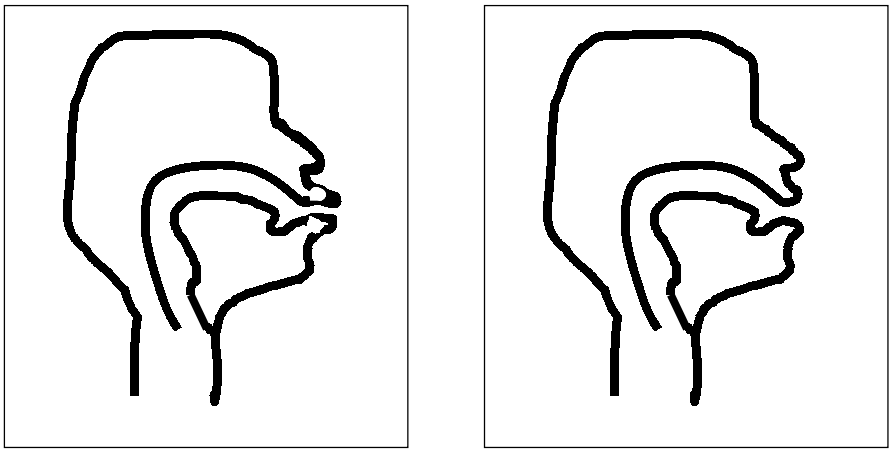
อา 9 ท่อ

อู 12 ท่อ

(รายละเอียดอยู่ในภาคผนวก ข)

3.3.2.2.2 พื้นที่หน้าตัดโดยการประมาณ

การสร้างเสียงสระนอกเหนือจากนี้คือ อือ โอ ออ นั้นอาศัยทฤษฎีด้านภาษาศาสตร์ในที่นี้เราจะพิจารณาสระอือ ซึ่งในแผนภาพของสระ ตำแหน่งของช่องทางเดินเสียงของสระอือ ลักษณะของลิ้นและความกว้างของช่องปากจะตรงกับการเปล่งเสียงของสระอู แตกต่างกันที่สระอู มีการห่อริมฝีปากทำให้ช่องทางเดินเสียงยาวกว่า ดังแสดงในภาพประกอบ 3-7 เพราะฉะนั้นเราจะลองแทนช่องทางเดินเสียงของสระอือ ด้วยช่องทางเดินเสียงของสระอู ที่ตัดให้สั้นลง 1 ท่อ หลังจากนั้นทดลองฟังเสียงที่ได้ ผลปรากฏว่าได้เสียงสระอือ ออกมาแต่ยังไม่ชัดเจน จึงได้ทำการทดลองตัดช่องทางเดินเสียงลงอีก 1 ท่อ โดยทดลองตัดที่ริมฝีปากกับ ตัดที่กล่องเสียง ผลปรากฏว่าการตัดที่กล่องเสียงจะให้เสียงออกมาดีกว่า

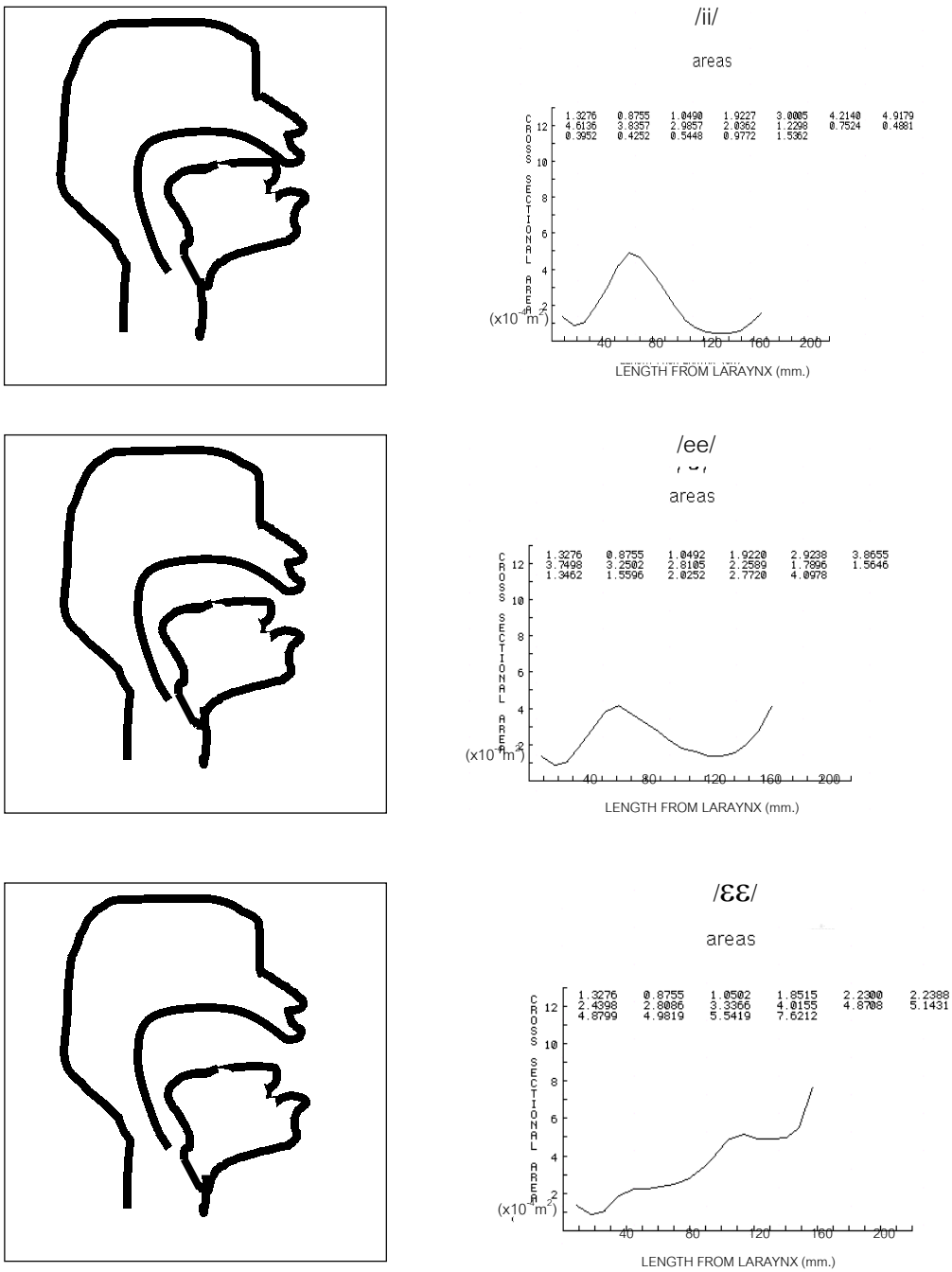


(ก) (ข)

ภาพประกอบ 3-7 (ก) และ (ข) ช่องทางเดินเสียงของสระอูและสระ อือ ตามลำดับ

จากผลที่ได้นี้ทำให้สามารถสรุปได้ว่าสามารถที่จะใช้ลักษณะของตำแหน่งของช่องทางเดินเสียงที่ได้จากลักษณะทางสัทศาสตร์ของการเปล่งเสียงสระมาหาพารามิเตอร์เพื่อสร้างเสียงสระขึ้นใหม่ได้โดยที่ไม่จำเป็นต้องใช้แผ่นภาพ MRI ซึ่งระเบียบวิธีและขั้นตอนการวิจัยเพื่อให้ได้เสียงสระ โอ และ สระ ออ จะพิจารณาเป็นขั้นตอนดังนี้

1. พิจารณาชุดสระหน้า (ตำแหน่งลิ้นส่วนหน้ายกขึ้นสูงสุด) คือสระ อี เอ แอ จากรูปวาดคร่าว ๆ (sketch) และพื้นที่หน้าตัดช่องทางเดินเสียง ในภาพประกอบ 3-8

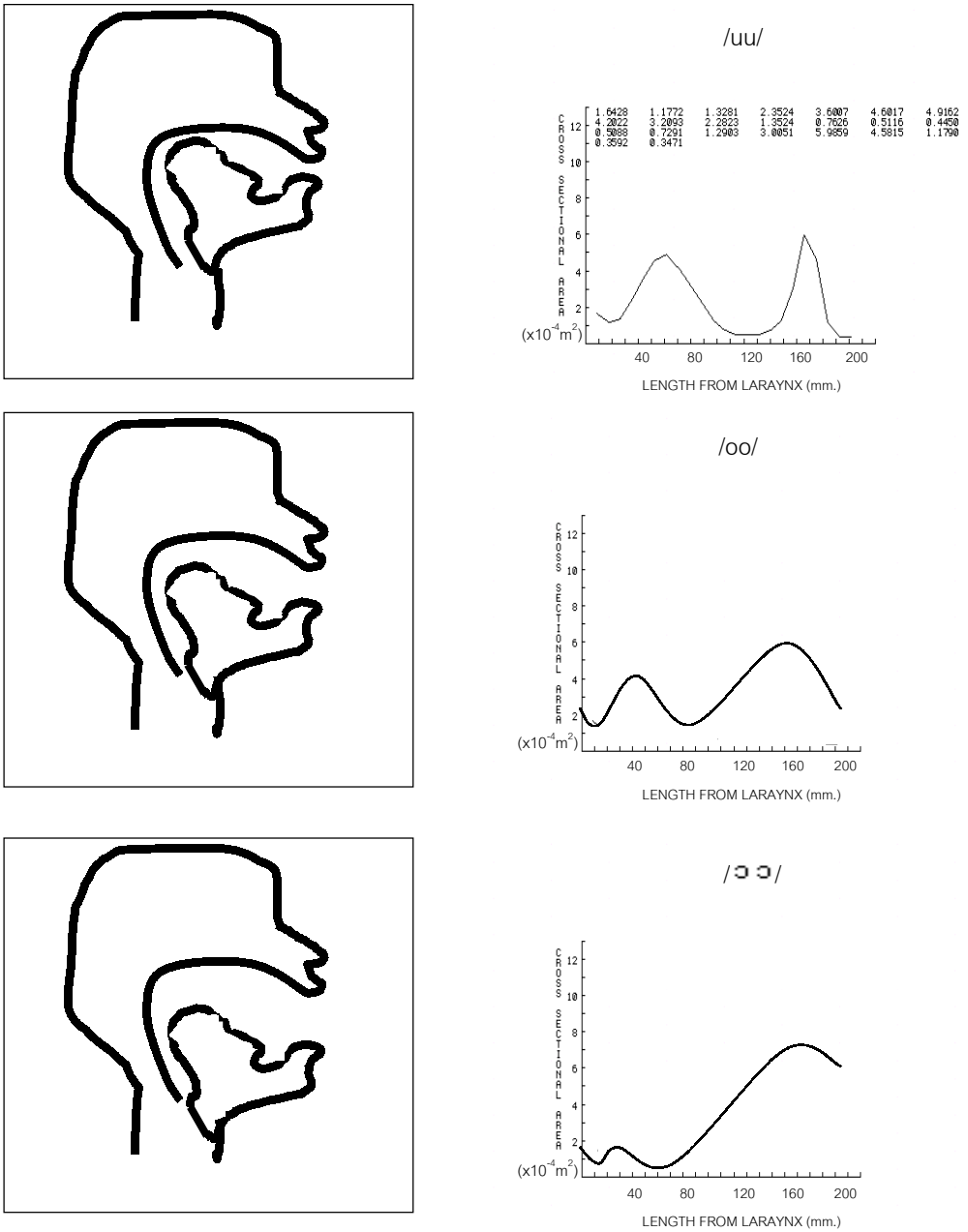


ภาพประกอบ 3-8 ช่องทางเดินเสียงและพื้นที่หน้าตัดของสระหน้า

จากภาพประกอบ 3-8 พบว่าสระหน้าตำแหน่งของลิ้นส่วนหน้าที่ยกขึ้นสูงมีผลทำให้ช่องทางเดินเสียงส่วนปลาย (บริเวณของลิ้นส่วนหน้าถึงริมฝีปาก) มีพื้นที่หน้าตัดน้อย สำหรับบริเวณส่วนหลังจะมีพื้นที่หน้าตัดมาก เมื่อเปลี่ยนเสียงสระเป็น สระกลาง และสระต่ำ โดยการลดของ

ขากรรไกรจะทำให้ช่องทางเดินเสียงส่วนหน้ามีพื้นที่หน้าตัดเพิ่มขึ้น ในขณะเดียวกันการลดต่ำของขากรรไกรจะทำให้ช่องทางเดินเสียงตั้งแต่กล่องเสียงจนถึงส่วนต่อของลิ้นและช่องคอ มีพื้นที่หน้าตัดลดลง

2. วาดรูปคร่าว ๆ ของชุดสระหลัง (ตำแหน่งลิ้นส่วนหลังยกขึ้นสูงสุด) คือสระ อู โอ ออ และพื้นที่หน้าตัดที่มีอยู่แล้วคือสระอู หลังจากนั้นทำการประมาณพื้นที่หน้าตัดของสระโอ และสระออ แสดงได้ในภาพประกอบ 3-9



ภาพประกอบ 3-9 ช่องทางเดินเสียงและพื้นที่หน้าตัดของสระหลัง

ถ้าพิจารณาภาพประกอบ 3-9 ในลักษณะเดียวกันก็สามารถที่จะประมาณลักษณะของช่องทางเดินเสียงอย่าง คร่าว ๆ ได้ พิจารณาที่สระอู สระโอ และสระออเมื่อขากรรไกรลดต่ำลงจะทำให้พื้นที่หน้าตัดบริเวณช่องปากเพิ่มขึ้นในขณะที่บริเวณช่องคอลดลง

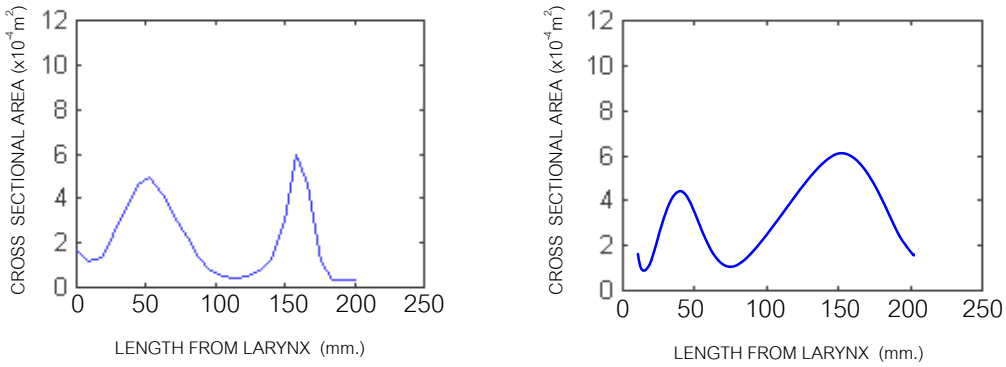
3. ทดลองสังเคราะห์เสียง

ถ้ายังไม่ได้เสียงที่น่าพอใจออกมาสามารถที่จะกลับไปขั้นตอนที่ 2 เพื่อที่จะประมาณพื้นที่หน้าตัดใหม่ได้หรืออาจจะเริ่มต้นพิจารณาตั้งแต่ขั้นตอนแรกก็ได้ ซึ่งสรุปการดำเนินการในส่วนของการหาพื้นที่หน้าตัดของสระโอ และสระออได้ดังนี้

ก. การหาพื้นที่หน้าตัดของสระโอ

เสียงสระโอ และสระออ เป็นชุดสระหลังเหมือนกันเพราะฉะนั้นการประมาณช่องทางเดินเสียงของสระ 2 ตัวนี้จะพิจารณาจากสระอู สำหรับการปรับพารามิเตอร์เพื่อหารูปร่างช่องทางเดินเสียงครั้งนี้ ได้ตัดช่องทางเดินเสียงของสระอู ออก 1 ท่อ บริเวณริมฝีปาก ตามหลักความจริงที่ว่าในการออกเสียงสระโอ และสระออ การเลื่อนต่ำของขากรรไกรจะทำให้ช่องทางเดินเสียงสั้นลง แม้ว่าการออกเสียงของสระโอ และสระออ จะมีการห่อปากลักษณะเดียวกันกับการออกเสียงสระอูก็ตามสามารถพิสูจน์โดยการทดลองออกเสียงสระ 3 ตัวนี้ได้ด้วยตนเอง

พิจารณาค่าประมาณของรูปร่างช่องทางเดินเสียงสระโอ ดังภาพประกอบ 3-10 (ข) ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับเสียงสระอู ในภาพประกอบ 3-10 (ก) จะเห็นว่าพื้นที่หน้าตัดของช่องทางเดิน

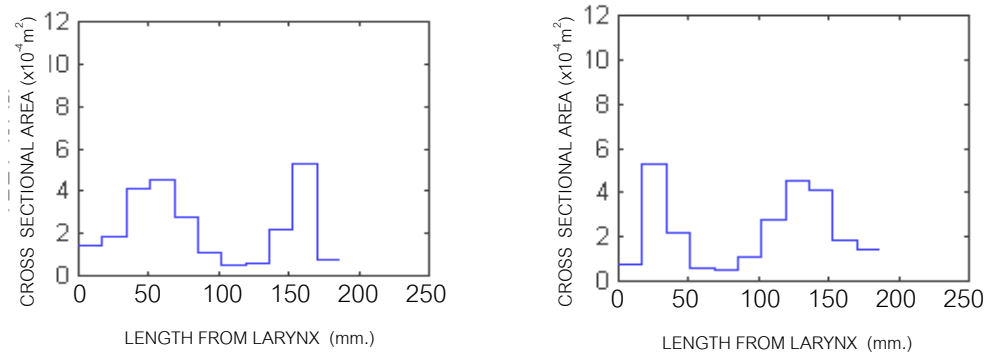


(ก) (ข)

ภาพประกอบ 3-10 พื้นที่หน้าตัดของทางเดินเสียง (ก) สระ อู (ข) สระโอที่ได้ทำการประมาณ

เสียงจะมีความคล้ายคลึงกันกล่าวคือพื้นที่หน้าตัดส่วนหน้า (ช่องปาก) ของสระอูมีค่าใกล้เคียงกับพื้นที่หน้าตัดส่วนหลัง (ช่องคอ) ของสระโอ ทำนองเดียวกันกับพื้นที่หน้าตัดส่วนหลังของสระอูมีค่าใกล้เคียงกับพื้นที่หน้าตัดส่วนหน้าของสระโอ สำหรับการหาค่าของพื้นที่หน้าตัดจะพิจารณาจากช่องทางเดินเสียงในแบบจำลอง เป็นขั้นตอนดังต่อไปนี้

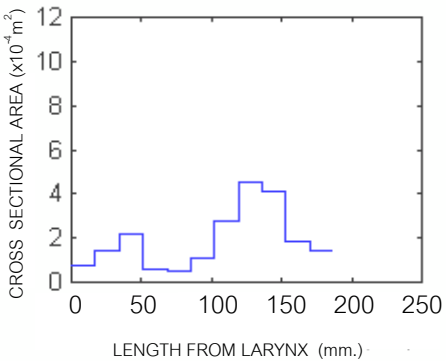
1. นำพื้นที่หน้าตัดของสระอูซึ่งตัดลง 1 ท่อเหลือ 11 ท่อในภาพประกอบ 3-11 (ก) มาพลิกซ้ายขวาเพื่อสลับพื้นที่หน้าตัดตามข้อสังเกตข้างต้นดังแสดงในภาพประกอบ 3-11 (ข)



(ก) (ข)

ภาพประกอบ 3-11 พื้นที่หน้าตัดของทางเดินเสียง (ก) สระ อู (ข) สลับซ้ายขวาของสระอู

2. เปรียบเทียบภาพประกอบ 3-11 (ข) และภาพประกอบ 3-10 (ข) ก็จะพบว่าถ้าลดพื้นที่หน้าตัดของท่อที่ 2 ลงโดยให้เป็นค่าเฉลี่ยของพื้นที่หน้าตัดของท่อที่ 1 และ 3 จะได้พื้นที่หน้าตัดของช่องทางเดินเสียงออกมาใกล้เคียงรูปร่างของช่องทางเดินเสียงที่ได้ประมาณไว้ผลที่ได้แสดงในภาพประกอบ 3-12



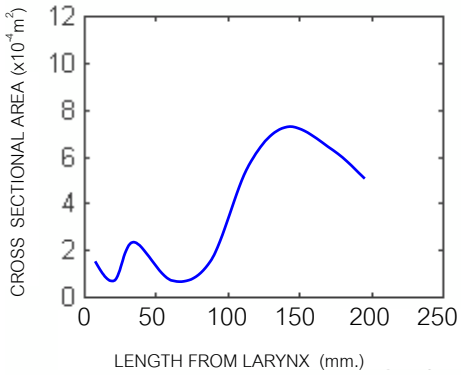
ภาพประกอบ 3-12 พื้นที่หน้าตัดช่องทางเดินเสียงของสระโอ

3. ทดลองสังเคราะห์เสียง ผลปรากฏว่าเป็นไปตามสมมติฐาน สามารถสังเคราะห์เสียงสระโอออกมาได้

ข. การหาพื้นที่หน้าตัดของสระ ออ

สำหรับพื้นที่หน้าตัดของช่องทางเดินเสียงสระออ อาศัยหลักการเช่นเดียวกันโดยนำช่องทางเดินเสียงของสระโอมาเป็นต้นแบบและทำการประมาณตามขั้นตอนต่อไปนี้

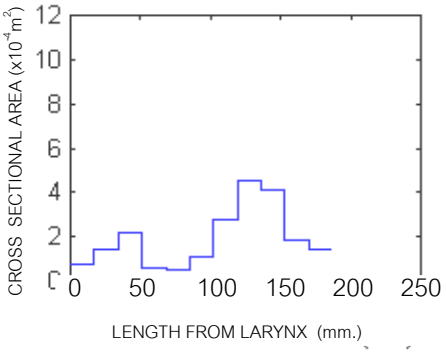
1. พิจารณารูปประมาณช่องทางเดินเสียงของสระออตามภาพประกอบ 3-13

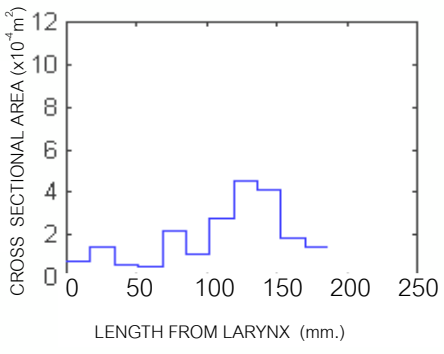


ภาพประกอบ 3-13 พื้นที่หน้าตัดของสระออ โดยการประมาณ

2. จากภาพประกอบ 3-13 ซึ่งเป็นพื้นที่หน้าตัดโดยประมาณของสระออ เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกับพื้นที่หน้าตัดของสระโอ (ภาพประกอบ 3-10) สังเกตได้ว่าพื้นที่หน้าตัดบริเวณส่วนหลังจะลดลงในขณะที่ส่วนหน้าเพิ่มขึ้นและบริเวณเส้นโค้งล่างจะขยับเข้ามาทางกล่องเสียงเพราะฉะนั้นสมมติฐานของพื้นที่หน้าตัดของสระออสามารถหาได้โดยการปรับพื้นที่หน้าตัดของสระโอที่ได้ในขั้นตอนที่ผ่านมา (ภาพประกอบ 3-12) เริ่มต้นด้วยการตัดช่องทางเดินเสียงท่อที่ 3 ของสระโอออก แล้วนำไปแทนเป็นพื้นที่หน้าตัดของท่อที่ 5 เพราะฉะนั้นพื้นที่หน้าตัดของท่อที่ 4, 5 ของสระโอจะกลายเป็นพื้นที่หน้าตัดของท่อที่ 3, 4 แสดงได้ในภาพประกอบ 3-14 (ก) พื้นที่หน้าตัดของสระโอ และ (ข) พื้นที่หน้าตัดของสระออที่ถูกปรับตามขั้นตอนนี้

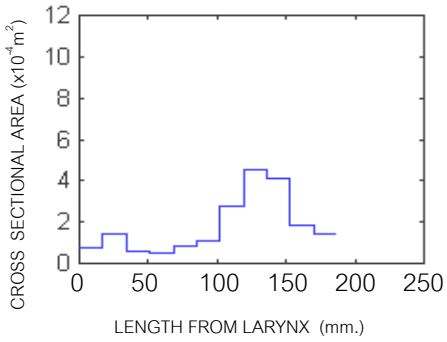
3. ปรับลดพื้นที่หน้าตัดของท่อที่ 5 โดยแทนด้วยค่าเฉลี่ยของท่อที่ 4, 6 ดังแสดงในภาพประกอบ 3-15





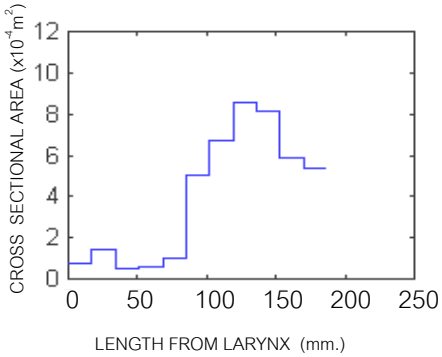
(ก) (ข)

ภาพประกอบ 3-14 (ก) ช่องทางเดินเสียงของสระโอ (ข) ช่องทางเดินเสียงที่ปรับตามขั้นตอนที่ 2



ภาพประกอบ 3-15 พื้นที่หน้าตัดของสระออตามขั้นตอนที่ 3

4. เพิ่มพื้นที่หน้าตัดส่วนหน้าของท่อที่ 6-11 ด้วยค่าคงที่เป็น 4 ตารางเซนติเมตรเพื่อให้ได้ค่าใกล้เคียงกับค่าที่ประมาณไว้ในภาพประกอบ 3-13 ผลที่ได้แสดงในภาพประกอบ 3-16

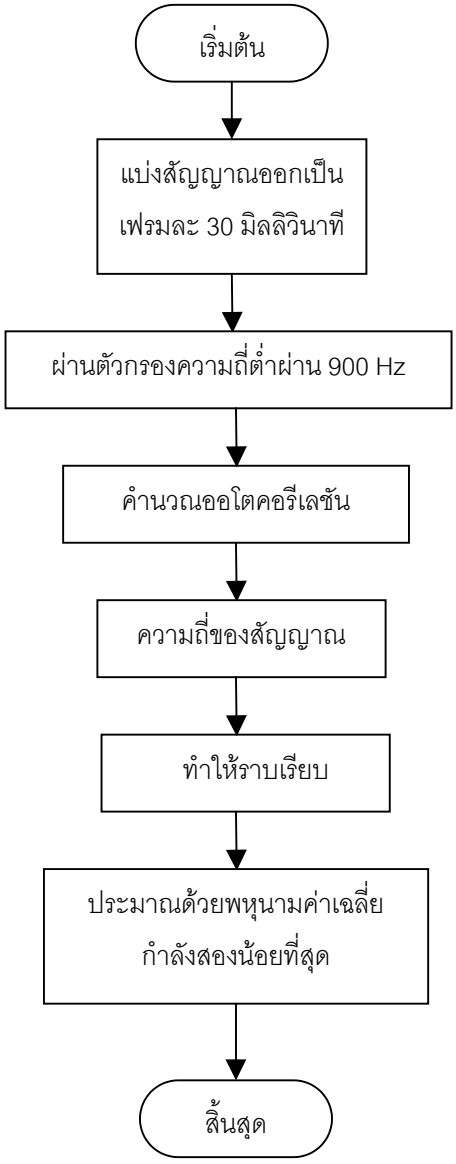


ภาพประกอบ 3-16 พื้นที่หน้าตัดของสระออตามขั้นตอนที่ 4

5. ทดลองสังเคราะห์เสียง พบว่าสามารถที่จะสังเคราะห์เสียงออกมาเป็นเสียงสระออได้

3.4 ค่าพารามิเตอร์ของวรรณยุกต์เสียงสั้นและเสียงยาว

สามารถหาความถี่หลักมูลตลอดการสังเคราะห์เสียงโดยนำเสียงสระที่ได้ทำการบันทึกไว้มาให้โปรแกรมคำนวณค่าในเสียงวรรณยุกต์ สามัญ เอก โท ตรี จัตวา ทั้งสระเสียงสั้นและสระเสียงยาว ซึ่งใช้เสียงต้นแบบเพียงสระเดียวคือสระอา เนื่องจากสามารถหาได้ง่ายเพราะว่าการเปล่งเสียงสระอา ช่องทางเดินเสียงจะเปิดกว้างที่สุดโดยไม่มีการห่อริมฝีปาก เมื่อได้ค่าความถี่หลักมูลแล้วก็สามารถนำไปใช้สังเคราะห์ให้กับเสียงสระอื่น ๆ ได้ทุกตัว การทำงานของโปรแกรมสรุปเป็นแผนภาพในภาพประกอบ 3-17



ภาพประกอบ 3-17 การทำงานของโปรแกรมตรวจจับความถี่

อธิบายการทำงานของโปรแกรมได้ดังนี้

โปรแกรมจะตรวจจับสัญญาณโดยแบ่งสัญญาณออกเป็นเฟรม ๆ ละ 30 มิลลิวินาทีและกำหนดให้มีการเลื่อนเฟรมทีละ 10 มิลลิวินาทีเพื่อความถูกต้องของการหาคาบสัญญาณ หลังจากนั้นนำสัญญาณแต่ละเฟรมไปผ่านตัวกรองแถบความถี่ต่ำที่มีความถี่ตัด (cut - off frequency) อยู่ที่ 900 Hz แล้วนำสัญญาณมาทำเซนเตอร์คลิปปิง เพื่อนำไปหาค่าออโตคอรีเลชันต่อไปโดยกำหนดให้มีการกำหนดจุดอ้างอิงของการทำออโตคอรีเลชันของสัญญาณ (lag) ที่ 2 มิลลิวินาที จนถึง 20 มิลลิวินาที เพราะเป็นช่วงที่มีค่ามากกว่าคาบของสัญญาณและไม่มากจนทำให้ทำงานล่าช้า ขั้นตอนสุดท้ายจะเป็นการทำให้สัญญาณราบเรียบและใช้วิธีการประมาณค่าโพลิโนเมียลแบบกำลังสองน้อยที่สุดด้วยการใช้ฟังก์ชันตั้งฉากช่วยในการแก้สมการ (รายละเอียดของการประมาณค่าและฟังก์ชันตั้งฉากอยู่ในภาคผนวก ค) เพื่อนำไปใช้งาน

3.4.1 การทำให้สัญญาณราบเรียบ

เนื่องจากสัญญาณความถี่ที่ได้จากขั้นตอนการทำออโตคอรีเลชันบางช่วงสัญญาณจะไม่ราบเรียบดังแสดงในภาพประกอบ 3-18 (ก) ซึ่งเป็นสัญญาณของสระอาตามเสียงสามัญที่ได้ทำการบันทึกและ (ข) เป็นสัญญาณที่ได้หลังจากทำออโตคอรีเลชันและคำควณค่าความถี่ออกมาแล้ว ซึ่งสังเกตเห็นได้ว่ามีความผิดพลาดที่ยอมรับไม่ได้อยู่เป็นบางช่วง เพราะฉะนั้นขั้นตอนแรกต้องหาวิธีที่จะประมาณสัญญาณให้ราบเรียบในเบื้องต้นเสียก่อน โดยการประมาณค่าในด้านการประมวลสัญญาณจะทำการตรวจสอบดูว่าสัญญาณตัวที่ติดกันคือสัญญาณตัวหน้าหรือตัวที่ 1 และตัวหลังหรือตัวที่ 2 มีความแตกต่างกันมากกว่า 10 Hz หรือไม่ ถ้ามีความแตกต่างเกินค่านี้แสดงว่าความถี่อาจจะไม่ถูกต้อง ให้ทำการประมาณสัญญาณตรงตำแหน่งนั้น ซึ่งในงานชิ้นนี้ใช้วิธีตรวจสอบโดยดูว่าสัญญาณที่แตกต่างกันเกินค่าที่กำหนดนั้นผิดพลาดที่สัญญาณตัวหลังหรือตัวหน้าโดยตรวจสอบกับค่าเฉลี่ยของสัญญาณทั้งหมด

กรณีที่ 1 สัญญาณตัวที่ 2 มากกว่าตัวที่ 1

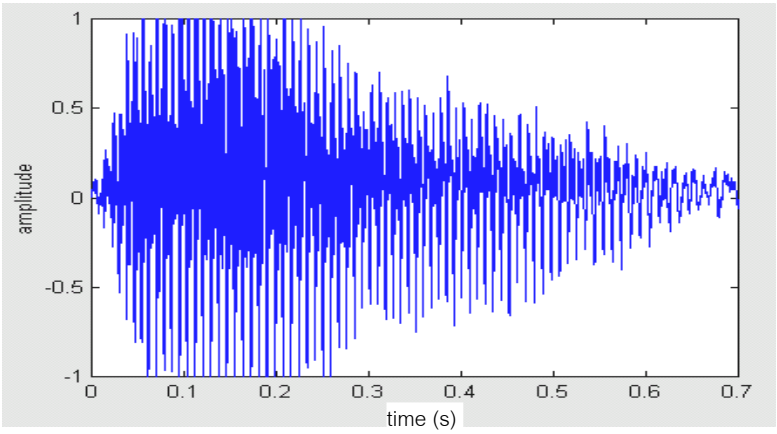
ถ้าสัญญาณตัวที่ 2 มากกว่าตัวที่ 1 ให้ลดสัญญาณตัวหลังเป็น 1/2, 1/3, 1/4 เท่าที่ละค่าแล้วนำไปตรวจสอบว่าได้ค่าความแตกต่างต่ำกว่าที่กำหนดหรือยัง ถ้าได้แล้วก็ให้ใช้ค่านั้นเป็นสัญญาณตัวใหม่

กรณีที่ 2 สัญญาณตัวที่ 2 น้อยกว่าตัวที่ 1

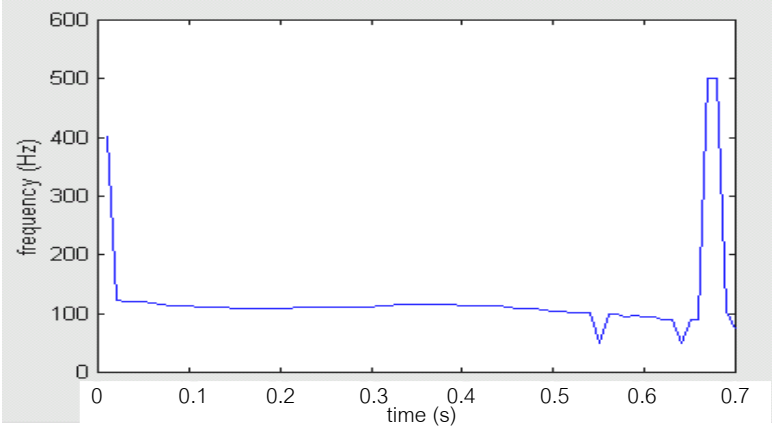
ส่วนกรณีที่สัญญาณตัวที่ 2 มีค่าน้อยกว่าให้เพิ่มสัญญาณตัวหลังเป็น 2, 3, 4 เท่าแล้วตรวจสอบเช่นเดียวกับกรณีที่ 1 ก็จะได้สัญญาณตัวใหม่

กรณีที่ 3 เมื่อทำตามกรณีที่ 1 และกรณีที่ 2 แล้วยังหาค่าที่เหมาะสมไม่ได้ให้สัญญาณตัวที่ 2 มีค่าเท่ากับสัญญาณตัวที่ 1

ทำเช่นนี้ไปเรื่อย ๆ จะได้สัญญาณที่ราบเรียบขึ้นแสดงได้ในภาพประกอบ 3-19 (ก)



(ก) สัญญาณของเสียงต้นแบบ

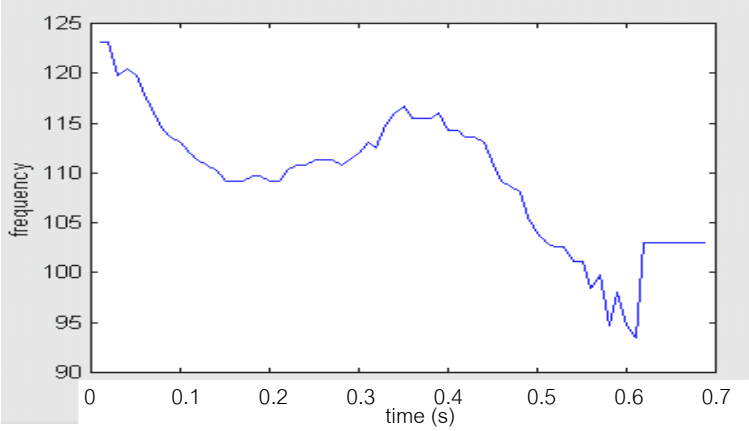


(ข) ค่าความที่ที่คำนวณจากเทคนิคออโตคอรีเลชัน

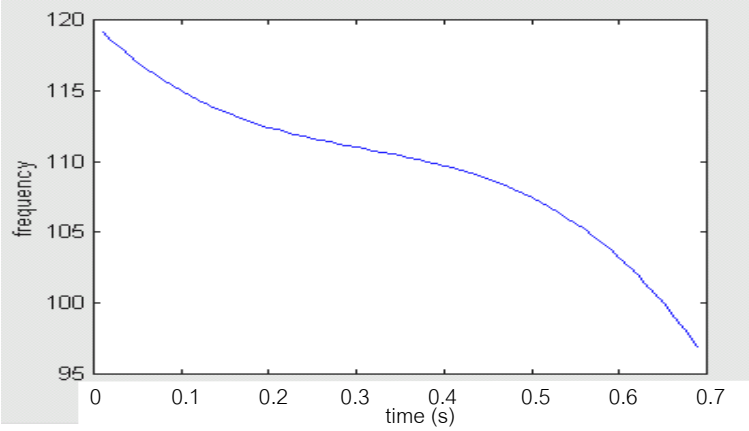
ภาพประกอบ 3-18 แสดงผลของการตรวจหาความถี่ (ก) สัญญาณของเสียงต้นแบบ
(ข) ค่าความที่ที่คำนวณจากเทคนิคออโตคอรีเลชัน

3.4.2 ประมาณโดยพหุนามแบบกำลังสองน้อยที่สุด

โดยการนำข้อมูลของสัญญาณที่ได้จากหัวข้อ 3.4.1 มาทำการหาค่าพหุนามแบบกำลังสองน้อยที่สุดโดยการสร้างพหุนามตั้งฉากตามวิธีการในภาคผนวก ค จะได้สัญญาณแสดงในภาพประกอบ 3-19 (ข)



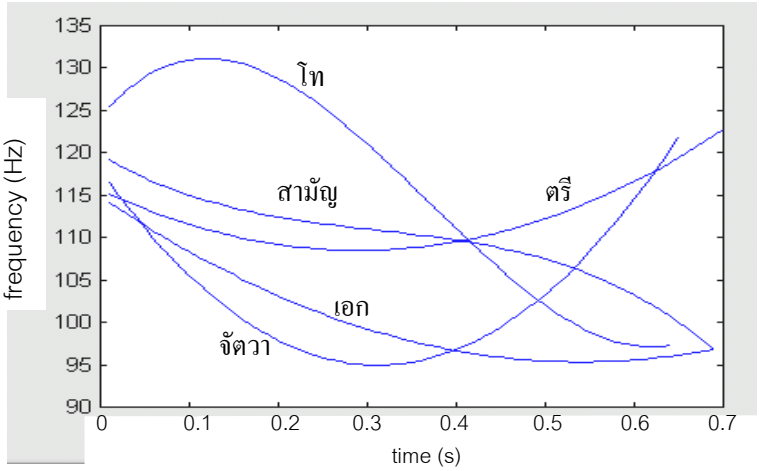
(ก) ทำให้ราบเรียบเบื้องต้น



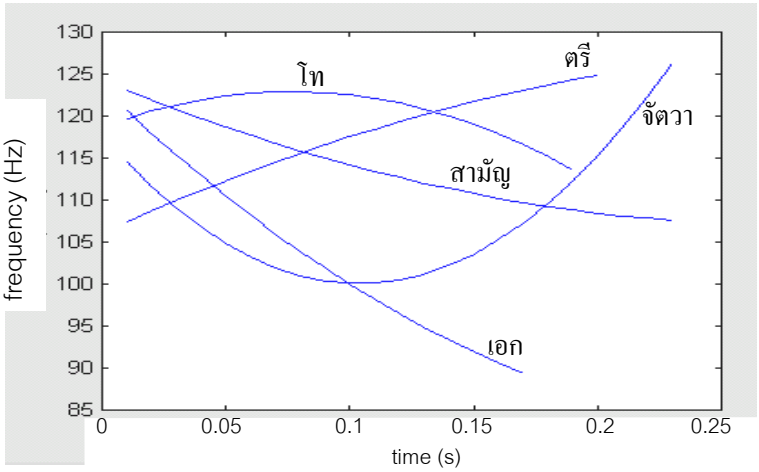
(ข) ทำให้ราบเรียบด้วยการประมาณพหุนามตั้งฉากแบบกำลังสองน้อยที่สุด

ภาพประกอบ 3-19 แสดงผลของการทำให้สัญญาณราบเรียบ

ด้วยวิธีการนี้สามารถที่จะหาพารามิเตอร์ของเสียงวรรณยุกต์ได้ 10 ชุดซึ่งประกอบด้วยเสียงสั้นและเสียงยาว 2 ชุดแต่ละชุดประกอบด้วยพารามิเตอร์ของเสียงวรรณยุกต์ สามัญ เอก โท ตรี และจัตวา แสดงในภาพประกอบ 3-20



(ก) พารามิเตอร์วรรณยุกต์ของสระเสียงยาว



(ข) พารามิเตอร์วรรณยุกต์ของสระเสียงสั้น

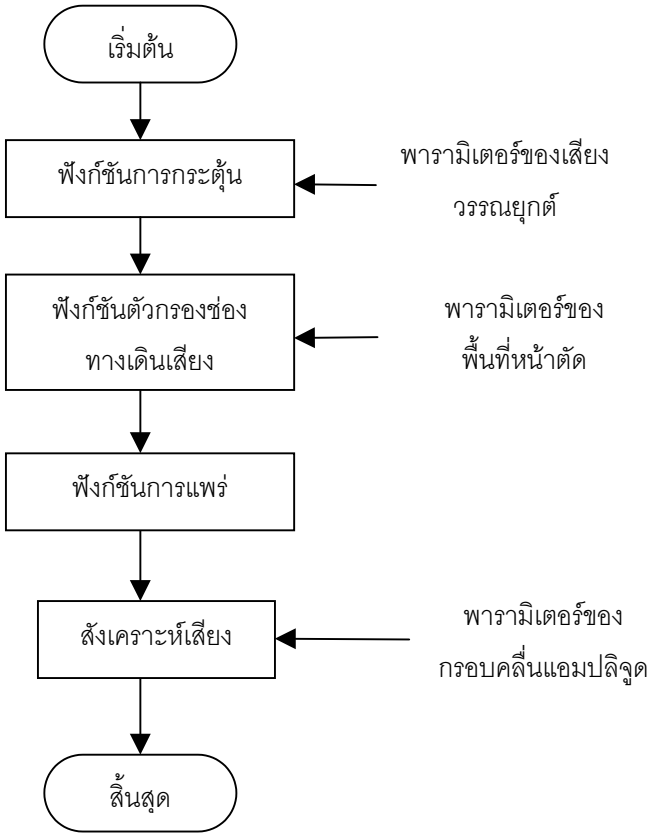
ภาพประกอบ 3-20 พารามิเตอร์ของเสียงวรรณยุกต์

3.5 การสังเคราะห์เสียง

3.5.1 การสังเคราะห์เสียงสระเดี่ยว

สำหรับขั้นตอนการสังเคราะห์จะเป็นการนำพารามิเตอร์ที่หามาได้ทั้งหมดมาทำการสังเคราะห์เสียงตามภาพประกอบ 3-21 ขั้นตอนแรกเป็นการสร้างฟังก์ชันการกระตุ้นตามรูปแบบของความถี่ของเสียงวรรณยุกต์ที่ต้องการสังเคราะห์ ส่งไปยังฟังก์ชันตัวกรองของช่องทางเดินเสียง

ของแต่ละเสียงสระ สุดท้ายเป็นฟังก์ชันการแพร่ซึ่งเป็นการชดเชยทางสเปคตรัมตามที่ได้อธิบายไปแล้วในหัวข้อ 2.5.3

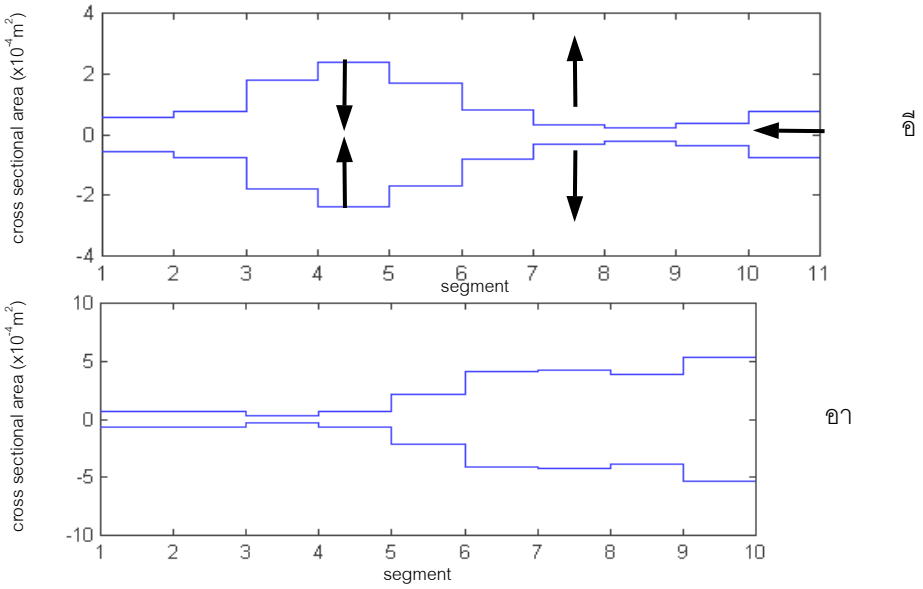


ภาพประกอบ 3-21 ขั้นตอนการสังเคราะห์เสียงสระเดี่ยว

3.5.2 การสังเคราะห์เสียงสระประสม

สำหรับเสียงของสระประสม 3 ตัวประกอบไปด้วย เอีย (อี - า), เอือ (อือ - า) และ อัว (อู - า) สามารถสังเคราะห์ขึ้นได้โดยใช้แบบจำลองแบบพลวัต (dynamic model) โดยการเพิ่มลดขนาดช่องทางเดินเสียงจากเสียงแรกไปยังเสียงที่สอง โดยป้อนพารามิเตอร์ให้กับโปรแกรม 2 ชุด (พื้นที่หน้าตัดของช่องทางเดินเสียงของสระที่ 1 และสระที่ 2 ตามลำดับ) ตามสระประสม หลังจากนั้นโปรแกรมจะทำการแบ่งช่องทางเดินเสียงออกเป็นช่วง ๆ ตามความยาวของช่องทางเดินเสียงและค่าของพื้นที่หน้าตัดที่มีการเปลี่ยนแปลง โดยกำหนดให้มีการเพิ่มลดขนาดช่องทางเดินเสียงทั้งสองแกน คือแกน x ทิศทางตามลูกศรในภาพประกอบ 3-22 ซึ่งเป็นตัวอย่างของการเพิ่มลดขนาดช่องทางเดินเสียงของสระเอียจากช่องทางเดินเสียงของสระอี จำนวน 10 ท่อ ลงมาสระอา จำนวน 9 ท่อ และการเพิ่มลดขนาดช่องทางเดินเสียงตามแกน y ซึ่งทำการเพิ่มลดขนาดทั้ง 2 ทิศทางคือจากท่อที่มีพื้นที่

หน้าตัดมากไปยังท่อที่มีพื้นที่หน้าตัดน้อยและจากพื้นที่หน้าตัดน้อยไปมากตามตำแหน่งของท่อที่ตรงกัน



อี

อา

ภาพประกอบ 3-22 การเพิ่มลดขนาดช่องทางเดินเสียงตามแกน x และ แกน y

สำหรับการสังเคราะห์เสียงสระเอีย และสระเอือนั้นนำช่องทางเดินเสียงของสระอี และสระอือ จำนวน 10 ท่อเป็นสระแรก ส่วนสระอัวใช้สระแรกเป็นสระอูจำนวน 12 ท่อแล้วเพิ่มลดขนาดช่องทางเดินเสียงจนได้เป็นช่องทางเดินเสียงของสระอาจำนวน 9 ท่อ ก็สามารถสังเคราะห์ออกมาเป็นสระประสมได้ เพราะฉะนั้นขั้นตอนการสังเคราะห์เสียงสระเอียและสระเอือจะเป็นขั้นตอนเดียวกันคือสังเคราะห์เสียงจาก 10 ท่อหลังจากนั้นลดลงมาเหลือ 9 ท่อ สำหรับการสังเคราะห์เสียงของสระอัวซึ่งประกอบด้วยเสียง อู (12 ท่อ) และ อา (9 ท่อ) จะมีการลดพารามิเตอร์จาก 12 ลงมาที่ 9 ท่อ โดยเราจะกำหนดให้การเพิ่มลดขนาดช่องทางเดินเสียงจากสระอู ลงมาเป็นสระอานั้นแบ่งการสังเคราะห์ออกเป็น 4 ช่วงคือ จาก 12 ท่อ ลงมา 11 ,10 และ 9 ท่อตามลำดับและแต่ละช่วงก็จะมีการเพิ่มลดพารามิเตอร์ในส่วนของพื้นที่หน้าตัด ซึ่งขั้นตอนต่าง ๆ เหล่านี้แสดงในภาพประกอบ 3-23 และสามารถอธิบายการสังเคราะห์เสียงของสระประสมเป็นลำดับขั้นตอนดังนี้

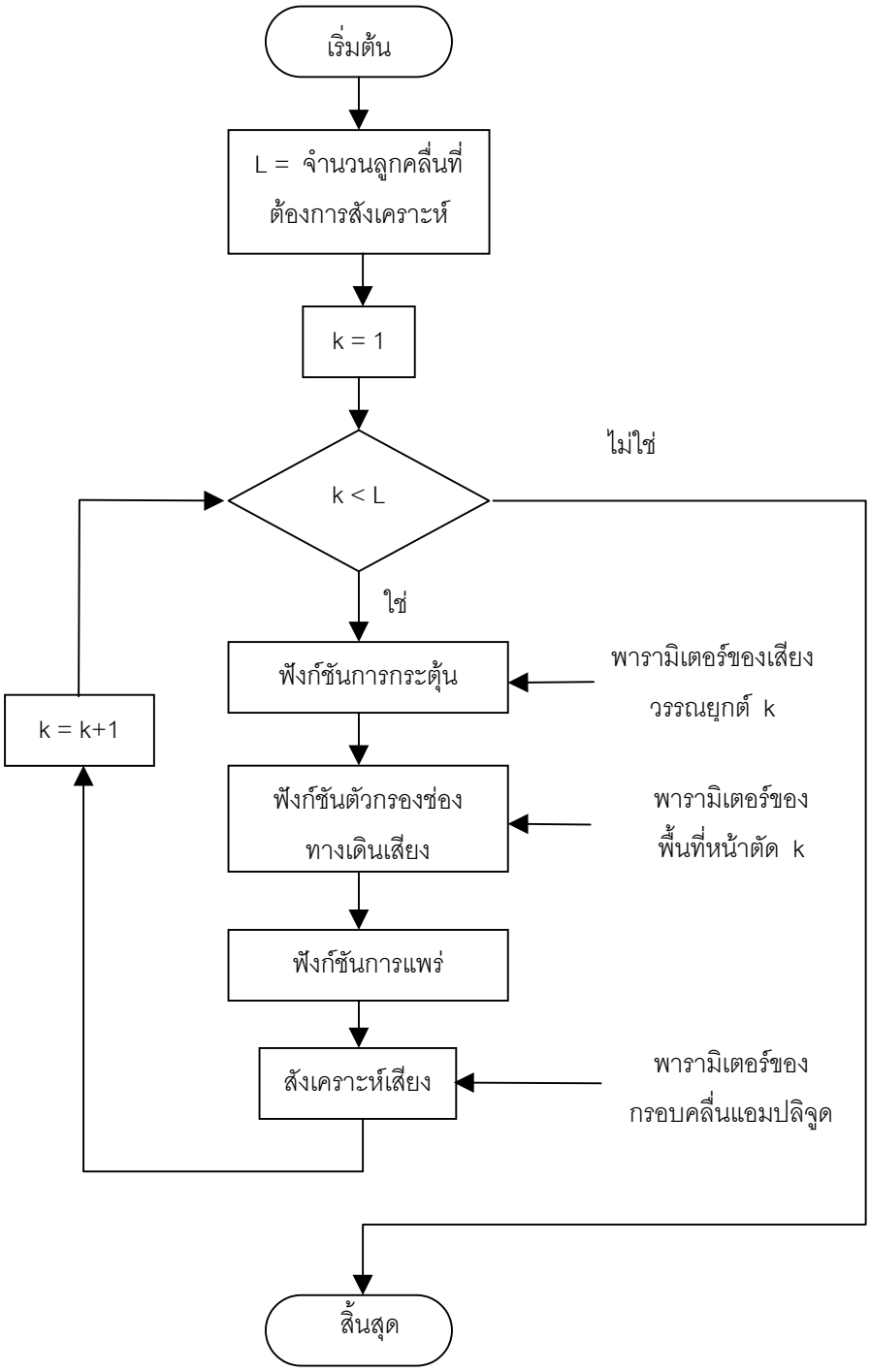
1. หาผลต่างของจำนวนท่อเพื่อใช้ในการคำนวณพารามิเตอร์ใน ไดนามิกส์โมเดล

2. นับจำนวนท่อของทั้ง 2 สระ เพื่อกำหนดเพิ่มจำนวนท่อของสระที่มีพารามิเตอร์น้อยกว่าให้มีจำนวนเท่ากันโดยนำค่าสุดท้ายของสระที่มีพารามิเตอร์น้อยกว่าใส่เข้าไปจนครบจำนวน

3. นับจำนวนลูกคลื่นที่ต้องการสังเคราะห์ออกมาเป็นเสียงเพื่อนำค่านี้ไปเป็นตัวกำหนดการเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ในแบบจำลอง

4. หาพื้นที่หน้าตัดเพื่อใช้สำหรับสังเคราะห์เสียงเป็นจำนวนชุดเท่ากับจำนวนของลูกคลื่น

5. สังเคราะห์เสียง



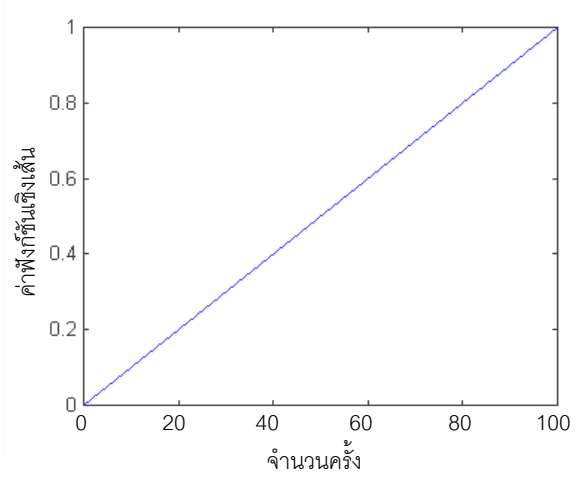
ภาพประกอบ 3-23 ขั้นตอนการสังเคราะห์เสียงสระประสม

สำหรับการสังเคราะห์เสียงของสระประสมเราไม่ทราบว่า จริง ๆ แล้วสัดส่วนประสมระหว่างสระทั้ง 2 สระมีสัดส่วนเป็นอย่างไร เพราะฉะนั้นจึงทำการทดลองโดยการเพิ่มลดขนาดช่องทางเดินเสียงเป็น 3 แบบ คือแบบที่ 1 เป็นฟังก์ชันเชิงเส้น (linear function) โดยเพิ่มลดขนาดช่องทางเดินเสียงครั้งละเท่า ๆ กันตามจำนวนของคลื่นเสียงที่ต้องการสังเคราะห์ ตีความหมายได้ว่าสัดส่วนระหว่างสระที่ 1 และสระที่ 2 เป็น ครึ่งต่อครึ่ง แบบที่ 2 เพิ่มลดขนาดช่องทางเดินเสียงแบบฟังก์ชันลอกการิธึม (logarithm function) ซึ่งเป็นการเพิ่มลดขนาดช่องทางเดินเสียงจากช่องทางเดินเสียงของสระที่ 1 ไปสระที่ 2 ในช่วงแรกเร็วกว่า ช่วงที่สองนั่นก็คือสัดส่วนของสระที่ 1 น้อยกว่าสระที่ 2 และแบบที่ 3 เป็นการเพิ่มลดขนาดช่องทางเดินเสียงโดยฟังก์ชันเลขชี้กำลัง (exponential function) ซึ่งกลับกันกับแบบที่ 2 คือช่วงแรกเพิ่มลดขนาดช่องทางเดินเสียงช้าได้ส่วนประสมของสระที่ 1 มากกว่าสระที่ 2 เพราะช่วงหลังการเพิ่มลดขนาดช่องทางเดินเสียงจะเป็นไปโดยรวดเร็ว

โดยการใช้ฟังก์ชันที่ไม่เป็นเชิงเส้นจะใช้ความชันของการขึ้นช่วงต้นและช่วงปลายเป็นค่าต่าง ๆ กันหลังจากนั้นนำคลื่นเสียงมาวิเคราะห์ทางความถี่โดยการเปรียบเทียบค่าฟอร์แมนต์ที่เปลี่ยนแปลงไปตลอดช่วงเสียงของเสียงต้นแบบที่ได้ทำการบันทึกกับเสียงสังเคราะห์ที่ได้

3.5.2.1 การเพิ่มลดขนาดช่องทางเดินเสียงแบบฟังก์ชันเชิงเส้น

สามารถทำได้โดยการแบ่งการเปลี่ยนแปลงของช่องทางเดินเสียงเป็นส่วน ๆ เท่า ๆ กันทุก ๆ ท่อ ซึ่งได้นำค่าของความแตกต่างของแต่ละท่อมาคูณด้วยฟังก์ชันเชิงเส้นที่มีการเปลี่ยนแปลงจาก 0 ถึง 1 ตลอดช่วงการสังเคราะห์เสียงดังภาพประกอบ 3-24 สมมติให้มีการเปลี่ยนแปลงเป็น N = 100 ครั้ง



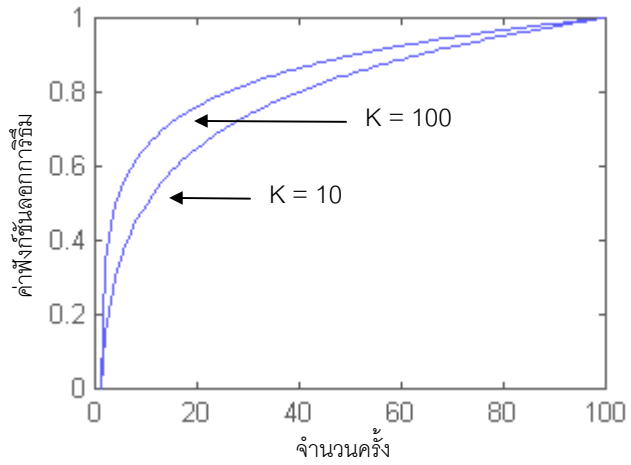
ภาพประกอบ 3-24 สัมประสิทธิ์ที่ใช้ในการเพิ่มลดพารามิเตอร์ของแต่ละท่อแบบเชิงเส้น

3.5.2.2 การเพิ่มลดขนาดช่องทางเดินเสียงแบบฟังก์ชันลอกการิธึม

ใช้การเปลี่ยนแปลงจาก 0 ถึง 1 เช่นเดียวกันโดยกำหนดการเปลี่ยนแปลงด้วยฟังก์ชันใน MATLAB ดังต่อไปนี้

```
a = [1:10*K/(N):K];
b = log10(a);
b = b/b(length(b));
```

โดย N เป็นตัวกำหนดช่วงของการสังเคราะห์เสียงจำนวน N ครั้ง และสามารถกำหนดลักษณะการเปลี่ยนแปลงฟังก์ชันด้วยค่า K ถ้าค่า K มากการเปลี่ยนแปลงจะเร็วขึ้นดังตัวอย่างในภาพประกอบ 3-25 แสดงฟังก์ชันลอกการิธึมด้วยค่า K เท่ากับ 10 และ 100 จำนวน N = 100



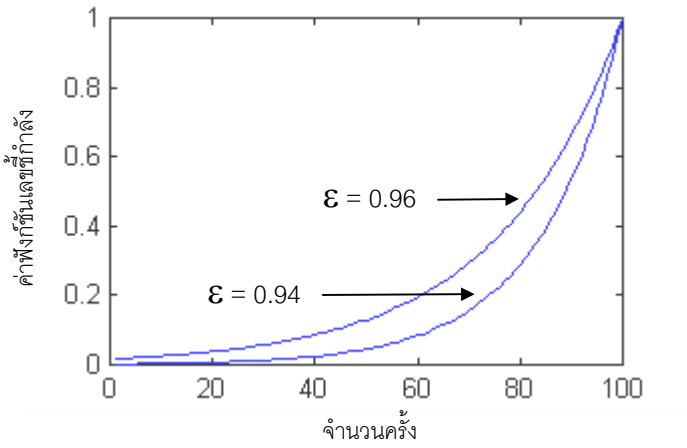
ภาพประกอบ 3-25 สัมประสิทธิ์ที่ใช้ในการเพิ่มลดพารามิเตอร์ของแต่ละท่อแบบลอกการิธึม

3.5.2.3 การเพิ่มลดขนาดช่องทางเดินเสียงแบบเลขชี้กำลัง

ใช้การเปลี่ยนแปลงจาก 0 ถึง 1 เช่นเดียวกันโดยกำหนดการเปลี่ยนแปลงด้วยฟังก์ชันใน MATLAB ดังต่อไปนี้

```
a = [N-1:-1:0] ;
b = ε.^a ;        ε < 1
```

ค่าของ ε เป็นตัวกำหนดคุณลักษณะของฟังก์ชัน ถ้ามีค่าเข้าใกล้ 1 มากจะขึ้นเร็วกว่าค่าที่ห่างออกไปจาก 1 แสดงตัวอย่างในภาพประกอบ 3-26 ε มีค่าเท่ากับ 0.94 และ 0.96

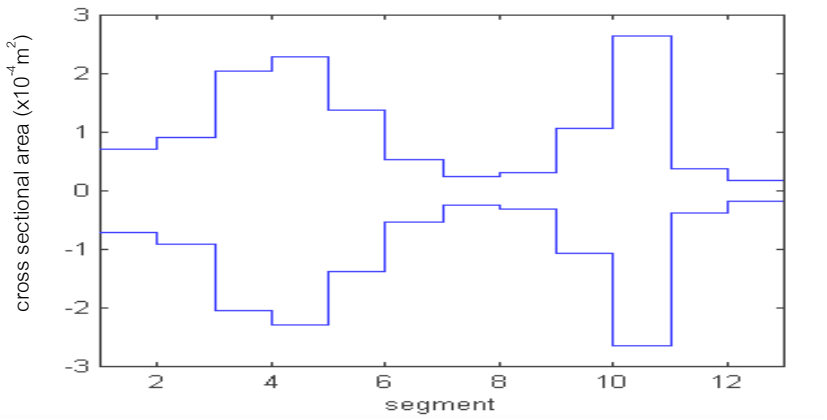


ภาพประกอบ 3-26 สัมประสิทธิ์ที่ใช้ในการเพิ่มลดพารามิเตอร์ของแต่ละท่อแบบเลขชี้กำลัง

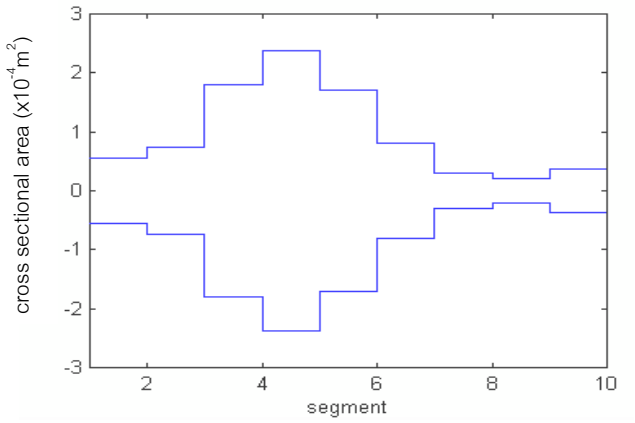
การทดลองสังเคราะห์เสียงสระประสม

ผลการทดลองปรากฏว่าสามารถสังเคราะห์เสียงสระเอียและสระเอือออกมาได้ สำหรับการสังเคราะห์เสียงของสระอัว ผลปรากฏว่าเสียงที่ได้ใกล้เคียงกับเสียงสระเอียที่สังเคราะห์ได้จากการทดลองสังเคราะห์เสียงสระเอีย ซึ่งสามารถวิเคราะห์ผลการทดลองนี้ได้ว่าเมื่อทำการเพิ่มลดขนาดช่องทางเดินเสียงของสระอู ลงมาถึงจุด จุดหนึ่งช่องทางเดินเสียงที่ได้จะไปใกล้เคียงกับสระอี เพราะสระอี และสระอูต่างเป็นสระสูงเหมือนกัน ดังนั้นเมื่อเพิ่มลดขนาดช่องทางเดินเสียงของสระอูลงมาสระอา (ความยาวของช่องทางเดินเสียงก็จะถูกปรับให้สั้นลงด้วย) จนถึงระดับหนึ่งก็จะไปใกล้กับพื้นที่หน้าตัดของสระอีแล้วเพิ่มลดลงไปที่สระอาก็จะได้เสียงเอียแทรกขึ้นมาทำให้เสียงอัวโดนลดทอนลงไป

เพื่อให้มองเห็นภาพได้ชัดเจนขึ้นเราจะทำการพิจารณาพื้นที่หน้าตัดของสระอูและสระอีในภาพประกอบ 3-27 (ก) และ (ข) ตามลำดับ สังเกตเห็นได้ว่าพื้นที่หน้าตัดของท่อที่ 1 ถึง 8 ของทั้งสองสระจะมีความใกล้เคียงกันมากทั้งรูปร่างของช่องทางเดินเสียงและพื้นที่หน้าตัด ทำให้เกิดเสียงของสระเอียแทรกออกมาตลอดเวลา ดังนั้นจึงต้องปรับพื้นที่หน้าตัดของสระตั้งต้นคือพื้นที่หน้าตัดของสระอูเพื่อลดผลกระทบนี้ โดยการแทนค่าพื้นที่หน้าตัดของท่อที่ 1 ถึง 8 ที่พิจารณาดังกล่าวข้างต้นด้วยพื้นที่หน้าตัดท่อที่ 1 ถึง 8 ของสระโอ เพราะเป็นสระชุดหลังชุดเดียวกันกับสระอู ส่วนพื้นที่หน้าตัดส่วนหน้าของสระอูคือท่อที่ 9 ถึง 12 ยังคงไว้เหมือนเดิมเพราะส่วนนี้เป็นส่วนสำคัญที่ยังคงเสียงสระอูเอาไว้ พิสูจน์ได้ด้วยการนำช่องทางเดินเสียงที่ได้นี้ไปสังเคราะห์เสียงสระอูอีกครั้งซึ่งสามารถให้เสียงสระอูออกมาได้เหมือนเดิม พื้นที่หน้าตัดที่หามาได้ด้วยวิธีการดังกล่าวข้างต้นแสดงในภาพประกอบ 3-28

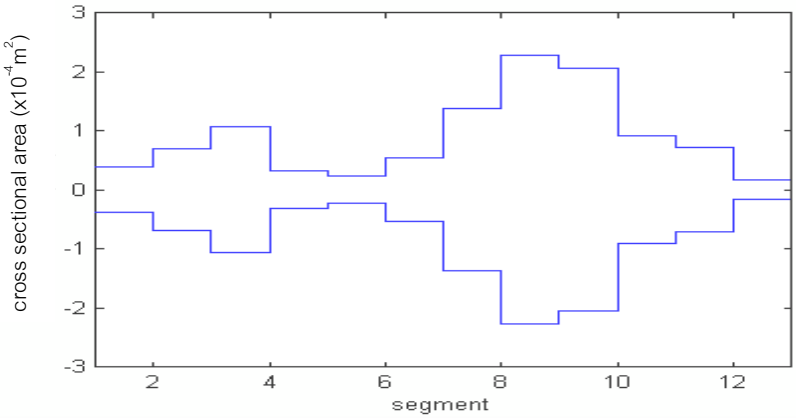


(ก)



(ข)

ภาพประกอบ 3-27 เปรียบเทียบพื้นที่หน้าตัดของสระอูและสระอี
(ก) พื้นที่หน้าตัดของสระอู (ข) พื้นที่หน้าตัดของสระอี



ภาพประกอบ 3-28 พื้นที่หน้าตัดของสระอูเพื่อสังเคราะห์เสียงสระอัว

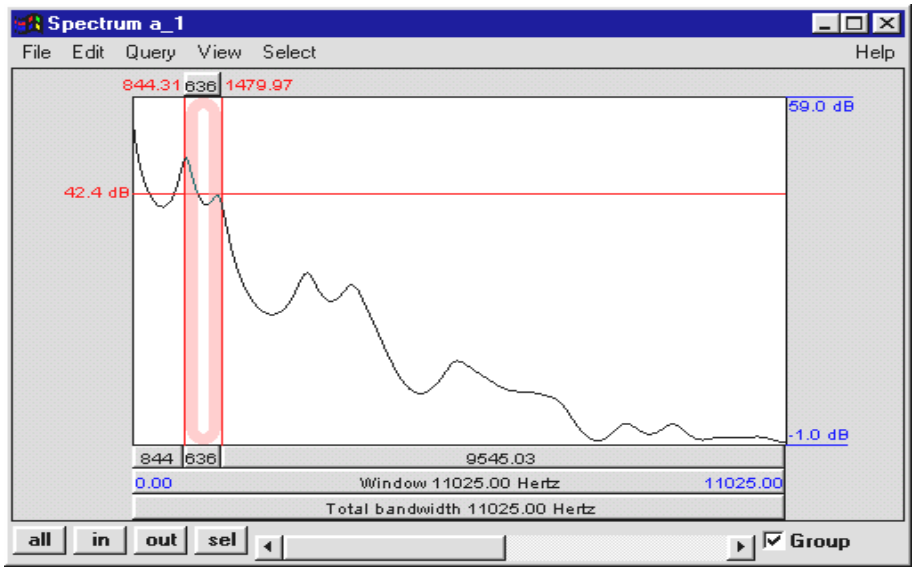
3.6 การประเมินคุณภาพเสียงสังเคราะห์

การประเมินคุณภาพของเสียงสังเคราะห์นั้นใช้วิธีทดสอบการรับฟังเป็นด้านหลัก หลังจากนั้นจึงนำสัญญาณที่ได้จากการทดสอบมาประเมินคุณภาพด้วยวิธีการทางสัญญาณ สำหรับเสียงสระดังที่ได้กล่าวไปแล้วตัวกำหนดลักษณะของเสียงสัญญาณก็คือความถี่ของการกำทอนของเสียงหรือฟอร์แมนท์ที่ 1 และที่ 2 ของเสียง ซึ่งเสียงสระเดี่ยวแต่ละเสียงจะมีฟอร์แมนท์ที่ค่อนข้างที่จะแตกต่างกันชัดเจนและเป็นตัวบ่งชี้ลักษณะเด่นของเสียงสระได้ และมักจะนำไปเป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญของระบบรู้จำเสียงในส่วนของเสียงสระ เป็นต้น ส่วนสระประสมนั้นค่อนข้างยากที่จะนำลักษณะสำคัญส่วนนี้ไปประเมินคุณภาพเพราะมีการเปลี่ยนแปลงไปตามการเปลี่ยนแปลงของเสียงสระประสมนั้น ๆ แต่จะใช้วิธีดูเส้นทางการเปลี่ยนแปลงของฟอร์แมนท์ในขณะทำการเพิ่มลดขนาดช่องทางเดินเสียงของสระประสมแทน

3.6.1 สระเดี่ยว

สำหรับการประเมินคุณภาพของสระเดี่ยวได้นำเสียงสระที่สังเคราะห์ขึ้นไปวิเคราะห์ในโดเมนความถี่และหาค่าฟอร์แมนท์ที่ 1 และฟอร์แมนท์ที่ 2 ทั้ง 9 สระ หลังจากนั้นนำมาเทียบค่ากับค่ามาตรฐาน

วิธีการหาค่าฟอร์แมนท์ของเสียงบันทึกทำได้โดยใช้โปรแกรม Praat 4.0.38 ช่วยในการหา ซึ่งให้ผลออกมาเป็นสเปคตรัมของสัญญาณดังแสดงในภาพประกอบ 3-29 จุดยอดสุดคือตำแหน่งของฟอร์แมนท์ที่ 1, 2 , 3, … ตามลำดับ



ภาพประกอบ 3-29 แสดงค่าฟอร์แมนท์ที่ 1, 2 เท่ากับ 844.3 และ 1479.97 Hz ตามลำดับ

3.6.2 สระประสม

ส่วนสระประสมใช้วิธีพิจารณาจากค่าฟอร์แมนท์ที่ 1 และ ฟอร์แมนท์ที่ 2 ที่เปลี่ยนแปลงไปในระหว่างการเปล่งเสียงของเสียงบันทึก เปรียบเทียบกับเสียงที่สังเคราะห์ขึ้นทั้ง 3 วิธีคือ การเพิ่มลดขนาดช่องทางเดินเสียงแบบเป็นเส้นตรง การเพิ่มลดขนาดช่องทางเดินเสียงแบบลอกการิธึม และการเพิ่มลดขนาดช่องทางเดินเสียงแบบเลขชี้กำลัง ซึ่งตรงจุดนี้ได้นำโปรแกรม Praat 4.0.38 มาช่วยในการวิเคราะห์เช่นเดียวกัน