

บทที่ 4

ค่าความถี่ฟอร์เมนต์ของสระ พื้นที่สระ และบริเวณเสียงสระ

ในบทนี้จะเสนอผลการวิเคราะห์และเปรียบเทียบค่าความถี่ฟอร์เมนต์ พื้นที่สระ และบริเวณเสียงสระ ซึ่งแสดงให้เห็นคุณสมบัติของเสียงสระที่ออกเสียงโดยผู้พูดปกติและผู้พูดที่ใช้หลอดลม-หลอดอาหาร ตามลำดับดังนี้ คือ สระสั้น สระยาว และสระประสม

ในการวิเคราะห์คุณสมบัติของเสียงสระ ผู้วิจัยได้วัดค่าความถี่ฟอร์เมนต์ที่ 1 (F1) ค่าความถี่ฟอร์เมนต์ที่ 2 (F2) และ ค่าความถี่ฟอร์เมนต์ที่ 3 (F3) ตามลำดับ โดยวัดจากแผนภาพคลื่นเสียงแบบช่วงกรอกกว้าง (Wide-band spectrograms) มีหน่วยวัดเป็น เฮิรตซ์ (Hertz) ในการวัดเพื่อหาค่าดังกล่าว ผู้วิจัยได้พิจารณาคลื่นเสียง (Waveforms) และความเข้ม (Intensity) ควบคู่กันไปด้วย นอกจากนี้ยังอาศัยการฟังเพื่อช่วยในการตัดแบ่ง (segment) คำหรือถ้อยความออกเป็น ส่วนของเสียงพยัญชนะและเสียงสระ

ตอนแรกนั้น สำหรับสระเดี่ยว ผู้วิจัยตั้งใจจะวัดที่จุดกึ่งกลางของช่วงเวลา คือ ที่จุด 50% ของการออกเสียงเท่านั้น แต่ได้รับคำแนะนำจากนักวิจัยสายวิศวกรรมศาสตร์¹ ว่าควรจะทำมากกว่า 1 จุด เพื่อให้ได้ค่าเฉลี่ยที่น่าเชื่อถือมากขึ้น รวมทั้งเมื่อนำมาแสดงบริเวณเสียงสระจะทำให้ได้บริเวณเสียงสระที่ชัดเจนขึ้นด้วย จึงได้เปลี่ยนจากวัดค่าที่ 1 จุดเป็นวัดค่าที่ 5 จุด โดยใช้จุดที่ 50% เป็นหลักและวัดไปทางซ้ายและขวาก็ข้างละ 2 จุด คือที่จุด 30% และ 40% กับ 60% และ 70% ส่วนสระประสมตอนแรกจะวัดที่จุด 25% และ 75% ของการออกเสียงสระประสม ได้เปลี่ยนมาเป็นวัดที่จุดที่ 50% ของแต่ละส่วน คือ ส่วนสระส่วนที่ 1 ส่วนช่วงเชื่อมต่อ และส่วนสระส่วนที่ 2²

จากนั้นจึงนำค่าความถี่ฟอร์เมนต์ที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมพราท (Praat) มาคำนวณหาค่าความถี่ฟอร์เมนต์เฉลี่ยของผู้พูดแต่ละกลุ่ม และนำมาแสดงเป็นกราฟที่แสดงค่าความถี่ฟอร์เมนต์ที่ 1 และค่าความถี่ฟอร์เมนต์ที่ 2 อยู่บนแกนตั้งเดียวกัน (ดูตัวอย่างในภาพที่ 4.1) ผู้วิจัยได้วัดค่าความถี่ฟอร์เมนต์ที่ 3 ด้วย แต่ผลปรากฏว่าค่าความถี่ฟอร์เมนต์ที่ 3 ไม่ได้มีบทบาทสำคัญในการจำแนกความแตกต่างคุณสมบัติของสระในภาษาไทย อย่างไรก็ตามได้

¹ ดร. วิศรุต อาชุนทร (ขณะทำวิทยานิพนธ์ยังเป็นนิสิตปริญญาเอก คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย)

² วิธีการวัดค่าความถี่ฟอร์เมนต์และค่าระยะเวลาในบทที่ 3

แสดงค่าเฉลี่ยของค่าความถี่ฟอร์เมนต์ที่ 3 ไว้ในตารางด้วย (ดูตัวอย่างในตารางที่ 4.1) ค่าที่นำมาใช้ในการสร้างกราฟ คือ ค่าความถี่ฟอร์เมนต์ที่ 1 และค่าความถี่ฟอร์เมนต์ที่ 2 เท่านั้น

ในบทนี้ นอกจากจะแสดงค่าความถี่ฟอร์เมนต์ พื้นที่สระ และบริเวณเสียงสระ ที่ออกเสียงโดยผู้พูดทั้ง 2 กลุ่มแล้ว ผู้วิจัยยังได้เปรียบเทียบค่าดังกล่าวข้างต้นของผู้พูดทั้งสองกลุ่ม เพื่อให้เห็นว่าความแตกต่างมีนัยสำคัญหรือไม่ ในการนี้ผู้วิจัยได้เลือกใช้สถิติ t-Test เพื่อทดสอบความน่าเชื่อถือของข้อค้นพบ เนื่องจากการเปรียบเทียบความต่างค่าเฉลี่ยของกลุ่มประชากร 2 กลุ่ม

4.1 สระสั้น

4.1.1 ค่าความถี่ฟอร์เมนต์

เมื่อทำการวัดค่าความถี่ฟอร์เมนต์ที่ออกเสียงโดยผู้บอกภาษาทั้ง 2 กลุ่มแล้ว ก็นำค่าที่วัดได้มาคำนวณหาค่าเฉลี่ย (\bar{X}) และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) และแสดงค่าดังกล่าวลงในตาราง หลังจากแสดงตารางค่าความถี่ฟอร์เมนต์พร้อมคำอธิบายแล้ว จะได้แสดงค่าความถี่ฟอร์เมนต์ในลักษณะแผนภูมิ

4.1.1.1 ค่าความถี่ฟอร์เมนต์ของสระสั้นที่ออกเสียงโดยผู้พูดปกติ

ตารางที่ 4.1 ค่าความถี่ฟอร์เมนต์ที่ 1 ที่ 2 และที่ 3 ของสระสั้น (ผู้พูดปกติ 3 คน)

| | | i | e | ɛ | ɪ | ə | a | u | o | ɔ |
|----|-----------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| F1 | \bar{X} | 396.92 | 557.28 | 737.12 | 471.76 | 611.45 | 865.47 | 431.98 | 558.66 | 698.06 |
| | S.D. | 39.79 | 36.50 | 40.79 | 43.98 | 35.15 | 52.84 | 35.80 | 45.83 | 33.80 |
| F2 | \bar{X} | 2294.16 | 2054.19 | 1880.42 | 1431.78 | 1471.82 | 1491.23 | 829.88 | 932.42 | 1034.05 |
| | S.D. | 149.92 | 157.25 | 170.13 | 247.32 | 166.26 | 100.41 | 100.60 | 79.60 | 47.19 |
| F3 | \bar{X} | 2885.13 | 2686.67 | 2584.00 | 2593.01 | 2708.60 | 2688.06 | 2608.83 | 2659.13 | 2776.94 |
| | S.D. | 207.64 | 105.99 | 138.41 | 93.18 | 148.58 | 162.56 | 322.29 | 143.22 | 162.26 |

ตารางที่ 4.1 แสดงค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความถี่ฟอร์เมนต์ที่ 1 ที่ 2 และที่ 3 ของสระสั้นที่ออกเสียงโดยผู้พูดปกติ จำนวน 3 คน จากค่าทดสอบทั้งสิ้น 135 ค่า (45 ค่าตัวอย่าง x 3 คน) ดังรายละเอียดต่อไปนี้

สระ /i/ ค่าความถี่ฟอร์เมนที่ 1 คือ 396.92 เฮิร์ตซ์ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 39.79 ค่าความถี่ฟอร์เมนที่ 2 คือ 2294.16 เฮิร์ตซ์ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 149.92 และค่าความถี่ฟอร์เมนที่ 3 คือ 2885.13 เฮิร์ตซ์ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 207.64

สระ /e/ ค่าความถี่ฟอร์เมนที่ 1 คือ 557.28 เฮิร์ตซ์ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 36.50 ค่าความถี่ฟอร์เมนที่ 2 คือ 2054.19 เฮิร์ตซ์ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 157.25 และค่าความถี่ฟอร์เมนที่ 3 คือ 2686.67 เฮิร์ตซ์ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 105.99

สระ /ɛ/ ค่าความถี่ฟอร์เมนที่ 1 คือ 737.12 เฮิร์ตซ์ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 40.79 ค่าความถี่ฟอร์เมนที่ 2 คือ 1880.42 เฮิร์ตซ์ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 170.13 และค่าความถี่ฟอร์เมนที่ 3 คือ 2584.00 เฮิร์ตซ์ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 138.41

สระ /ɪ/ ค่าความถี่ฟอร์เมนที่ 1 คือ 471.76 เฮิร์ตซ์ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 43.98 ค่าความถี่ฟอร์เมนที่ 2 คือ 1431.78 เฮิร์ตซ์ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 247.32 และค่าความถี่ฟอร์เมนที่ 3 คือ 2593.01 เฮิร์ตซ์ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 93.18

สระ /ə/ ค่าความถี่ฟอร์เมนที่ 1 คือ 611.45 เฮิร์ตซ์ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 35.15 ค่าความถี่ฟอร์เมนที่ 2 คือ 1471.82 เฮิร์ตซ์ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 166.26 และค่าความถี่ฟอร์เมนที่ 3 คือ 2708.60 เฮิร์ตซ์ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 148.58

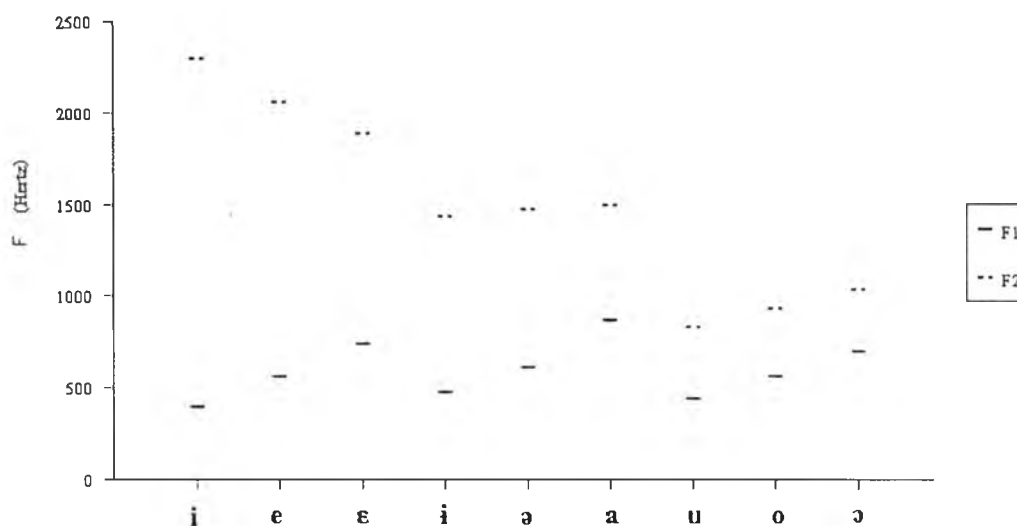
สระ /a/ ค่าความถี่ฟอร์เมนที่ 1 คือ 865.47 เฮิร์ตซ์ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 52.84 ค่าความถี่ฟอร์เมนที่ 2 คือ 1491.23 เฮิร์ตซ์ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 100.41 และค่าความถี่ฟอร์เมนที่ 3 คือ 2688.06 เฮิร์ตซ์ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 162.56

สระ /u/ ค่าความถี่ฟอร์เมนที่ 1 คือ 431.98 เฮิร์ตซ์ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 35.80 ค่าความถี่ฟอร์เมนที่ 2 คือ 829.88 เฮิร์ตซ์ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 100.60 และค่าความถี่ฟอร์เมนที่ 3 คือ 2608.83 เฮิร์ตซ์ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 322.29

สระ /o/ ค่าความถี่ฟอร์เมนที่ 1 คือ 558.66 เฮิร์ตซ์ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 45.83 ค่าความถี่ฟอร์เมนที่ 2 คือ 932.42 เฮิร์ตซ์ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 79.60 และค่าความถี่ฟอร์เมนที่ 3 คือ 2659.13 เฮิร์ตซ์ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 143.22

สระ /ɔ/ ค่าความถี่ฟอร์เมนที่ 1 คือ 698.06 เฮิร์ตซ์ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 33.80 ค่าความถี่ฟอร์เมนที่ 2 คือ 1034.05 เฮิร์ตซ์ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 47.19 และค่าความถี่ฟอร์เมนที่ 3 คือ 2776.94 เฮิร์ตซ์ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 162.26

เมื่อนำค่าความถี่ฟอร์เมนที่ 1 และค่าความถี่ฟอร์เมนที่ 2 มาแสดงร่วมกัน จะทำให้เห็นลักษณะความสัมพันธ์ดังที่ปรากฏในภาพที่ 4.1



ภาพที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความถี่ฟอร์เมนต์ที่ 1 และที่ 2 ของสระสั้น (ผู้พูดปกติ 3 คน)

จากภาพที่ 4.1 เห็นได้ว่าผลที่ได้เป็นไปตามกฎของค่าความถี่ฟอร์เมนต์ คือ สระหน้า (Front vowel) ค่าความถี่ฟอร์เมนต์ที่ 1 จะต่ำ และค่าความถี่ฟอร์เมนต์ที่ 2 จะสูง หากเป็นสระหลัง (Back vowel) ค่าความถี่ฟอร์เมนต์ที่ 1 และค่าความถี่ฟอร์เมนต์ที่ 2 จะต่ำ ดังนั้นจะเห็นได้ว่าค่าที่ทำให้เกิดความแตกต่างของสระหน้าและสระหลังนี้ คือ ค่าความถี่ฟอร์เมนต์ที่ 2 ซึ่งเกี่ยวข้องกับตำแหน่งของลิ้นในแนวนอน (Tongue advancement) ว่าเป็นส่วนหน้าหรือส่วนหลังที่เข้าไปใกล้กับเพดานปาก เช่น ในการออกเสียงสระ /i/ และ /u/ นั้นระดับความสูงของลิ้น (Tongue height) จะไม่ต่างกัน ในขณะที่ตำแหน่งของลิ้นในแนวนอนของสระ /i/ จะเป็นลิ้นส่วนหน้า และถ้าเป็นสระ /u/ จะเป็นลิ้นส่วนหลัง นั่นคือเมื่อออกเสียงสระหน้า จะเกิดการเข้ามาใกล้กันของช่องทางเดินเสียงส่วนหน้าหรือบริเวณช่องปาก (Oral cavity) ส่วน การออกเสียงสระหลัง จะเกิดการเข้ามาใกล้กันของช่องทางเดินเสียงส่วนหลังหรือบริเวณช่องคอ (Pharyngeal cavity) นั่นเอง ส่วนสระกลาง (Central vowel) ค่าความถี่ฟอร์เมนต์ที่ 1 จะต่ำ และค่าความถี่ฟอร์เมนต์ที่ 2 จะอยู่ระดับกลาง ๆ เมื่อเทียบกับของสระหน้าและสระหลัง

4.1.1.2 ค่าความถี่ฟอร์เมนต์ของสระสั้นที่ออกเสียงโดยผู้พูดที่ใช้หลอดลม - หลอดอาหาร

ตารางที่ 4.2 ค่าความถี่ฟอร์เมนทที่ 1 ที่ 2 และที่ 3 ของสระสั้น (ผู้พูดที่ใช้หลอดลม - หลอดอาหาร 3 คน)

| | | i | e | ɛ | ɪ | ə | a | u | o | ɔ |
|----|-----------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| F1 | \bar{X} | 497.99 | 652.78 | 843.45 | 557.37 | 698.24 | 989.52 | 500.92 | 626.96 | 804.12 |
| | S.D. | 79.66 | 79.99 | 123.94 | 104.08 | 93.84 | 119.42 | 71.14 | 120.79 | 122.95 |
| F2 | \bar{X} | 2311.60 | 2176.62 | 2024.57 | 1566.10 | 1599.64 | 1653.78 | 903.85 | 1042.14 | 1243.26 |
| | S.D. | 194.71 | 223.47 | 174.64 | 194.62 | 122.58 | 163.84 | 111.12 | 171.76 | 232.12 |
| F3 | \bar{X} | 2924.90 | 2811.01 | 2811.89 | 2736.18 | 2653.12 | 2707.67 | 2449.04 | 2475.67 | 2614.25 |
| | S.D. | 222.46 | 298.23 | 274.24 | 285.99 | 243.63 | 264.58 | 191.92 | 252.38 | 198.57 |

ตารางที่ 4.2 แสดงค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความถี่ฟอร์เมนทที่ 1 ที่ 2 และที่ 3 ของสระสั้นที่ออกเสียงโดยผู้พูดที่ใช้หลอดลม - หลอดอาหาร จำนวน 3 คน จากคำทดสอบทั้งสิ้น 135 คำ (45 คำตัวอย่าง x 3 คน) ดังนี้

สระ /i/ ค่าความถี่ฟอร์เมนทที่ 1 คือ 497.99 เฮิร์ตซ์ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 79.66 ค่าความถี่ฟอร์เมนทที่ 2 คือ 2311.60 เฮิร์ตซ์ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 194.71 และ ค่าความถี่ฟอร์เมนทที่ 3 คือ 2924.90 เฮิร์ตซ์ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 222.46

สระ /e/ ค่าความถี่ฟอร์เมนทที่ 1 คือ 652.78 เฮิร์ตซ์ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 79.99 ค่าความถี่ฟอร์เมนทที่ 2 คือ 2176.62 เฮิร์ตซ์ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 223.47 และค่าความถี่ฟอร์เมนทที่ 3 คือ 2811.01 เฮิร์ตซ์ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 298.23

สระ /ɛ/ ค่าความถี่ฟอร์เมนทที่ 1 คือ 843.45 เฮิร์ตซ์ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 123.94 ค่าความถี่ฟอร์เมนทที่ 2 คือ 2024.57 เฮิร์ตซ์ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 174.64 และค่าความถี่ฟอร์เมนทที่ 3 คือ 2811.89 เฮิร์ตซ์ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 274.24

สระ /ɪ/ ค่าความถี่ฟอร์เมนทที่ 1 คือ 557.37 เฮิร์ตซ์ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 104.08 ค่าความถี่ฟอร์เมนทที่ 2 คือ 1566.10 เฮิร์ตซ์ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 194.62 และค่าความถี่ฟอร์เมนทที่ 3 คือ 2736.18 เฮิร์ตซ์ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 285.99

สระ /ə/ ค่าความถี่ฟอร์เมนทที่ 1 คือ 698.24 เฮิร์ตซ์ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 93.84 ค่าความถี่ฟอร์เมนทที่ 2 คือ 1599.64 เฮิร์ตซ์ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 122.58 และค่าความถี่ฟอร์เมนทที่ 3 คือ 2653.12 เฮิร์ตซ์ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 243.63

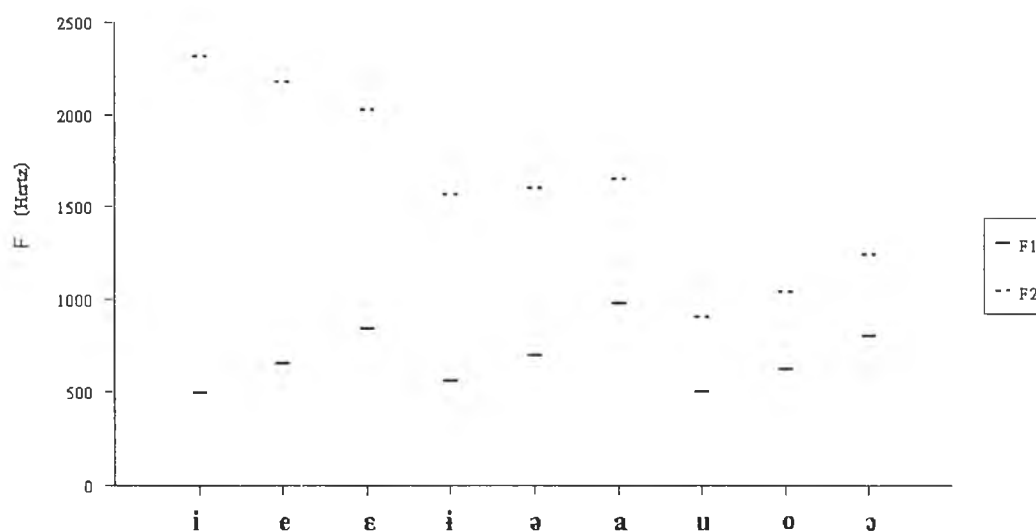
สระ /a/ ค่าความถี่ฟอร์เมนทที่ 1 คือ 989.52 เฮิร์ตซ์ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 119.42 ค่าความถี่ฟอร์เมนทที่ 2 คือ 1653.78 เฮิร์ตซ์ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 163.84 และค่าความถี่ฟอร์เมนทที่ 3 คือ 2707.67 เฮิร์ตซ์ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 264.58

สระ /w/ ค่าความถี่ฟอร์เมนทที่ 1 คือ 500.92 เฮิร์ตซ์ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 71.14 ค่าความถี่ฟอร์เมนทที่ 2 คือ 903.85 เฮิร์ตซ์ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 111.12 และค่าความถี่ฟอร์เมนทที่ 3 คือ 2449.04 เฮิร์ตซ์ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 191.92

สระ /o/ ค่าความถี่ฟอร์เมนทที่ 1 คือ 626.96 เฮิร์ตซ์ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 120.79 ค่าความถี่ฟอร์เมนทที่ 2 คือ 1042.14 เฮิร์ตซ์ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 171.76 และค่าความถี่ฟอร์เมนทที่ 3 คือ 2475.67 เฮิร์ตซ์ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 252.38

สระ /v/ ค่าความถี่ฟอร์เมนทที่ 1 คือ 804.12 เฮิร์ตซ์ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 122.95 ค่าความถี่ฟอร์เมนทที่ 2 คือ 1243.26 เฮิร์ตซ์ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 232.12 และค่าความถี่ฟอร์เมนทที่ 3 คือ 2614.25 เฮิร์ตซ์ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 198.57

เมื่อนำค่าความถี่ฟอร์เมนทที่ 1 และที่ 2 มาแสดงร่วมกัน จะทำให้เห็นลักษณะความสัมพันธ์ดังที่ปรากฏในภาพที่ 4.2



ภาพที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความถี่ฟอร์เมนทที่ 1 และที่ 2 ของสระสั้น
(ผู้พูดที่ใช้หลอดลม-หลอดอาหาร 3 คน)

สำหรับค่าความถี่ฟอร์เมนทที่ 1 และค่าความถี่ฟอร์เมนทที่ 2 ของสระสั้นที่ออกเสียงโดยผู้พูดที่ใช้หลอดลม-หลอดอาหารนั้น เมื่อพิจารณาตามกฎของค่าความถี่ฟอร์เมนท จะพบว่าเป็นไปในทางเดียวกันกับผู้พูดปกติ นั่นคือ หากเป็นสระหน้า ค่าความถี่ฟอร์เมนทที่ 1 จะต่ำ และค่าความถี่ฟอร์เมนทที่ 2 จะสูง หากเป็นสระหลัง ค่าความถี่ฟอร์เมนทที่ 1 และค่าความถี่ฟอร์เมนทที่ 2 จะต่ำ เช่นเดียวกัน ส่วนสระกลาง (Central vowel) ค่าความถี่ฟอร์เมนทที่ 1 จะต่ำ และค่าความถี่ฟอร์เมนทที่ 2 จะอยู่ระดับกลาง ๆ เมื่อเทียบกับของสระหน้าและสระหลัง

เมื่อนำค่าความถี่ฟอร์เมนทของสระสั้นที่ออกเสียงโดยผู้พูดสองกลุ่มมาเปรียบเทียบกันอย่างละเอียด จะได้ผลดังที่แสดงในตารางที่ 4.3 และภาพที่ 4.3

4.1.1.3 เปรียบเทียบค่าความถี่ฟอร์เมนทของสระสั้นที่ออกเสียงโดยผู้พูดปกติกับผู้พูดที่ใช้หลอดลม-หลอดอาหาร

ในการนำเสนอจะเปรียบเทียบค่าความถี่ฟอร์เมนทที่ 1 และค่าความถี่ฟอร์เมนทที่ 2 โดยใช้ F1-N แทนค่าความถี่ฟอร์เมนทที่ 1 ของสระที่ออกเสียงโดยผู้พูดปกติ F2-N แทนค่าความถี่ฟอร์เมนทที่ 2 ของสระที่ออกเสียงโดยผู้พูดปกติ F1-TE แทนค่าความถี่ฟอร์เมนทที่ 1 ของสระที่ออกเสียงโดยผู้พูดที่ใช้หลอดลม-หลอดอาหาร และ F2-TE แทนค่าความถี่ฟอร์เมนทที่ 2 ของสระที่ออกเสียงโดยผู้พูดที่ใช้หลอดลม-หลอดอาหาร Dif. คือ ความแตกต่างทางสถิติว่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญหรือไม่ หากแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 0.05 จะแสดงด้วยคำว่า "Sig."

ตารางที่ 4.3 เปรียบเทียบค่าความถี่ฟอร์เมนทที่ 1 และที่ 2 ของสระสั้น (ผู้พูดปกติ 3 คน กับผู้พูดที่ใช้หลอดลม-หลอดอาหาร 3 คน)

| | i | e | ɛ | ɪ | ə | a | u | o | ɔ |
|-------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|--------|---------|---------|
| F1-N | 396.92 | 557.28 | 737.12 | 471.76 | 611.45 | 865.47 | 431.98 | 558.66 | 698.06 |
| F1-TE | 497.99 | 652.78 | 843.45 | 557.37 | 698.24 | 989.52 | 500.92 | 626.96 | 804.12 |
| Dif. | - | Sig. | - | - | - | - | Sig. | - | - |
| F2-N | 2294.16 | 2054.19 | 1880.42 | 1431.78 | 1471.82 | 1491.23 | 829.88 | 932.42 | 1034.05 |
| F2-TE | 2311.60 | 2176.62 | 2024.57 | 1566.10 | 1599.64 | 1653.78 | 903.85 | 1042.14 | 1243.26 |
| Dif. | - | - | - | - | - | - | Sig. | - | - |

จากตารางที่ 4.3 สามารถอธิบายความแตกต่างของค่าความถี่ฟอร์เมนทที่ 1 และค่าความถี่ฟอร์เมนทที่ 2 ของสระสั้นที่ออกเสียงโดยผู้พูดปกติและผู้พูดที่ใช้หลอดลม-หลอดอาหารได้ดังนี้

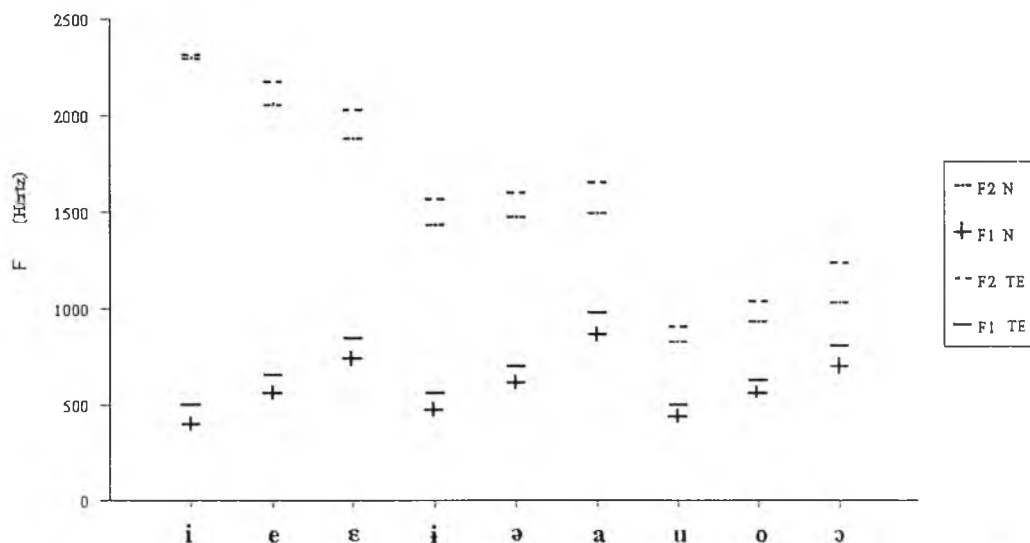
ค่าความถี่ฟอร์เมนทที่ 1 ของสระ /i/ ที่ออกเสียงโดยผู้พูดปกติ คือ 396.92 เฮิรตซ์ ผู้พูดที่ใช้หลอดลม-หลอดอาหาร คือ 497.99 เฮิรตซ์ และค่าความถี่ฟอร์เมนทที่ 2 ของสระ /i/ ที่

ออกเสียงโดยผู้พูดปกติ คือ 932.42 เฮิรตซ์ ผู้พูดที่ใช้หลอดลม-หลอดอาหาร คือ 1042.14 เฮิรตซ์ ความแตกต่างไม่มีนัยสำคัญทั้งค่าความถี่ฟอร์เมนท์ที่ 1 และที่ 2

ค่าความถี่ฟอร์เมนท์ที่ 1 ของสระ /o/ ที่ออกเสียงโดยผู้พูดปกติ คือ 698.06 เฮิรตซ์ ผู้พูดที่ใช้หลอดลม-หลอดอาหาร คือ 804.12 เฮิรตซ์ และค่าความถี่ฟอร์เมนท์ที่ 2 ของสระ /o/ ที่ออกเสียงโดยผู้พูดปกติ คือ 1034.05 เฮิรตซ์ ผู้พูดที่ใช้หลอดลม-หลอดอาหาร คือ 1243.26 เฮิรตซ์ ความแตกต่างไม่มีนัยสำคัญทั้งค่าความถี่ฟอร์เมนท์ที่ 1 และที่ 2

โดยสรุปแล้ว เมื่อนำค่าทางสถิติมาช่วยทดสอบว่าความแตกต่างกันนี้มีนัยสำคัญหรือไม่นั้น ผลปรากฏว่าค่าความถี่ฟอร์เมนท์ที่ 1 ของสระ /e/ และ /u/ และค่าความถี่ฟอร์เมนท์ที่ 2 ของสระ /u/ ระหว่างผู้พูดปกติและผู้พูดที่ใช้หลอดลม-หลอดอาหารมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05 โดยเฉพาะสระ /u/ อาจกล่าวได้ว่าความแตกต่างที่เกิดขึ้น มีสาเหตุมาจากความสามารถในการควบคุมอวัยวะในการออกเสียงขณะออกเสียงสระ /u/ ของผู้พูดที่ใช้หลอดลม-หลอดอาหารดีกว่าสระหลังอื่น ทำให้ค่าความถี่ฟอร์เมนท์ที่เกิดการแปรมากในการออกเสียงสระแต่ละครั้ง ในขณะที่ค่าความถี่ฟอร์เมนท์ที่ 1 และที่ 2 ของสระอื่น ๆ แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ ดูลักษณะความสัมพันธ์ในภาพที่ 4.3

จากตารางที่ 4.3 มาแสดงโดยใช้แกนตั้งจะทำให้เห็นลักษณะความสัมพันธ์ที่ปรากฏในภาพที่ 4.3



ภาพที่ 4.3 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ของค่าความถี่ฟอร์เมนท์ที่ 1 และที่ 2 ของสระสั้น (ผู้พูดปกติ 3 คน กับผู้พูดที่ใช้หลอดลม-หลอดอาหาร 3 คน)

จากภาพที่ 4.3 จะเห็นความสัมพันธ์ของค่าความถี่ฟอร์เมนทของสระสั้นได้ชัดเจนไม่ว่าจะเป็นค่าความถี่ฟอร์เมนทของสระที่ออกเสียงโดยผู้พูดปกติหรือผู้พูดที่ใช้หลอดลม-หลอดอาหาร คือ สระสูงหรือสระสั้นยกสูง ซึ่งได้แก่สระ /i/, /ɪ/ และ /u/ ค่าความถี่ฟอร์เมนทที่ 1 จะต่ำ ในทางกลับกันหากเป็นสระล่างหรือสระสั้นลดต่ำ ซึ่งได้แก่สระ /e/, /a/ และ /o/ ค่าความถี่ฟอร์เมนทที่ 1 จะสูง หากเป็นสระหน้าซึ่งได้แก่สระ /i/, /e/ และ /ɛ/ ค่าความถี่ฟอร์เมนทที่ 2 จะสูง และถ้าเป็นสระหลัง ซึ่งได้แก่สระ /u/, /o/ และ /ɔ/ ค่าความถี่ฟอร์เมนทที่ 2 ก็จะต่ำ ส่วนสระกลาง ค่าความถี่ฟอร์เมนทที่ 1 จะต่ำ ในขณะที่ค่าความถี่ฟอร์เมนทที่ 2 จะอยู่ในระดับกลาง ๆ

หากนำค่าเฉลี่ยของค่าความถี่ฟอร์เมนทที่ 1 และค่าความถี่ฟอร์เมนทที่ 2 ของผู้พูดปกติและผู้พูดที่ใช้หลอดลม-หลอดอาหารมาเปรียบเทียบกัน พบว่าค่าเฉลี่ยของค่าความถี่ฟอร์เมนทที่ 1 และค่าความถี่ฟอร์เมนทที่ 2 ของสระสั้นที่ออกเสียงโดยผู้พูดที่ใช้หลอดลม-หลอดอาหารสูงกว่า ค่าความถี่ฟอร์เมนทที่ออกเสียงโดยผู้พูดปกติ ถึงแม้ว่าความต่างนี้จะไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ยกเว้นค่าความถี่ฟอร์เมนทที่ 1 ของสระ /e/ และ /u/ และค่าความถี่ฟอร์เมนทที่ 2 ของสระ /u/ โดยค่าความถี่ฟอร์เมนทที่ 1 ของกลุ่มผู้พูดที่ใช้หลอดลม-หลอดอาหารจะสูงกว่ากลุ่มผู้พูดปกติประมาณ 91.92 เฮิรตซ์ ส่วนค่าความถี่ฟอร์เมนทที่ 2 ของกลุ่มผู้พูดที่ใช้หลอดลม-หลอดอาหารจะสูงกว่ากลุ่มผู้พูดปกติประมาณ 126.10 เฮิรตซ์ สาเหตุที่ค่าความถี่ฟอร์เมนทของเสียงสระที่ออกเสียงโดยผู้พูดที่ใช้หลอดลม-หลอดอาหารสูงกว่าผู้พูดปกติ น่าจะเกิดขึ้นจากความยาวของช่องทางเดินเสียงที่สั้นลง เนื่องมาจากการผ่าตัดเอากล่องเสียงออกและมีการเย็บเพื่อปรับแต่งช่องทางเดินเสียงซึ่งทำให้ความยาวของช่องทางเดินเสียงสั้นลงและช่องทางเดินเสียงมีขนาดแคบลงกว่าคนปกติ³

หลังจากที่ได้แสดงค่าความถี่ฟอร์เมนทของเสียงสระโดยใช้ตารางและแผนภูมิดังเสนอมานี้แล้ว ผู้วิจัยจะนำเสนอพื้นที่สระเพื่อให้เห็นความสัมพันธ์ระหว่างค่าความถี่ฟอร์เมนทที่ 1 และค่าความถี่ฟอร์เมนทที่ 2 ได้ชัดเจนยิ่งขึ้น

4.1.2 พื้นที่สระ

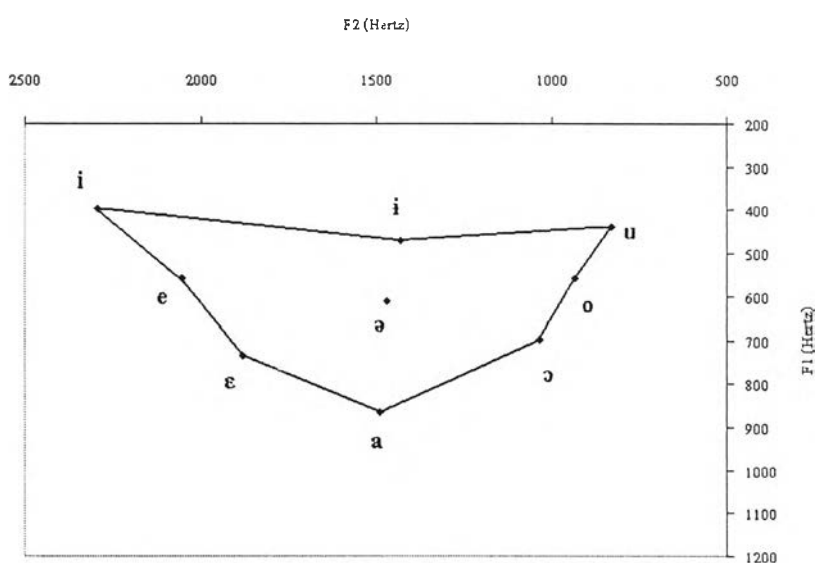
ในการแสดงพื้นที่สระ ผู้วิจัยเลือกใช้แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์แบบ F2 กับ F1 คือ แกนตั้งจะแสดงค่าความถี่ฟอร์เมนทที่ 1 ส่วนแกนนอนจะแสดงค่าความถี่ฟอร์เมนทที่ 2 สาเหตุที่ผู้วิจัยเลือกใช้แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์แบบ F2 กับ F1 เนื่องจากได้ทดลองแสดงพื้นที่สระโดย

³ จากกรรณการบรรยายของ นายแพทย์วีระชัย ศิริกาญจนณรงค์ ในการประชุมรายงานความก้าวหน้าครั้งที่ 1 เมื่อวันที่ 4 – 5 ตุลาคม 2544

ใช้กราฟแสดงความสัมพันธ์แบบ F_2-F_1 กับ F_1^4 ปรากฏว่าลักษณะของกราฟที่ได้ไม่สามารถสะท้อนให้เห็นพื้นที่สระภาษาไทยตามที่ควรจะเป็นได้ดีเท่ากับแบบ F_2 กับ F_1

การแสดงพื้นที่สระเป็นการแสดงให้เห็นความเชื่อมโยงระหว่างค่าทางกลศาสตร์กับสรีรศาสตร์ เนื่องจากในการเปล่งเสียงสระนั้น ค่าความถี่ฟอร์เมนทที่วัดได้ ก็คือค่าของความถี่จากการกำทอนของอวัยวะในช่องทางเดินเสียง ดังนั้นค่าความถี่ฟอร์เมนทจึงสะท้อนให้เห็นรูปร่างและขนาดของช่องทางเดินเสียงของผู้เปล่งเสียงนั่นเอง

4.1.2.1 พื้นที่สระสั้นที่ออกเสียงโดยผู้พูดปกติ

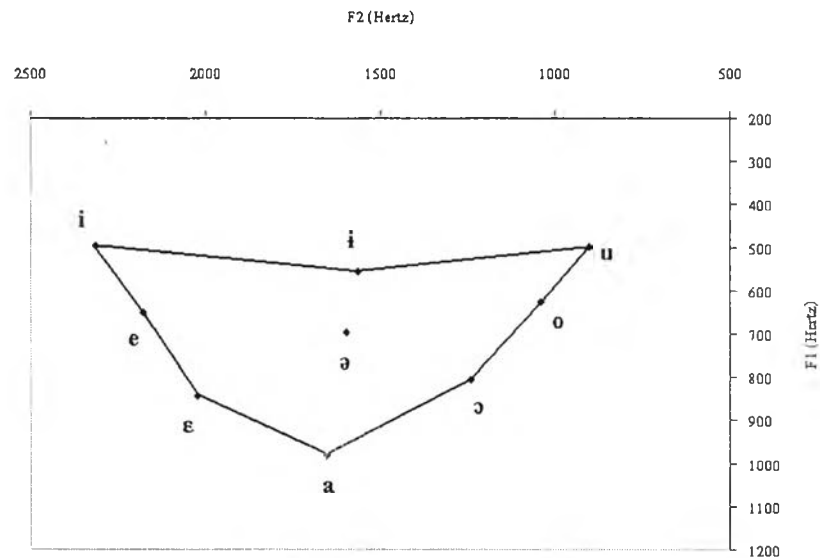


ภาพที่ 4.4 พื้นที่สระสั้น (ผู้พูดปกติ 3 คน)

เมื่อนำค่าเฉลี่ยของค่าความถี่ฟอร์เมนทที่ 1 และค่าความถี่ฟอร์เมนทที่ 2 ของสระสั้นที่ออกเสียงโดยผู้พูดปกติ 3 คน มาแสดงเป็นพื้นที่สระ จะเห็นได้ว่าพิสัยของค่าความถี่ฟอร์เมนทที่ 1 ของสระสั้นที่ออกเสียงโดยผู้พูดปกติจะอยู่ระหว่าง 400 – 870 เฮิร์ตซ์ ส่วนพิสัยของค่าความถี่ฟอร์เมนทที่ 2 จะอยู่ระหว่าง 830 – 2300 เฮิร์ตซ์

⁴ ดูภาพกราฟแสดงความสัมพันธ์แบบ F_2-F_1 กับ F_1 ได้ในภาคผนวก ข

4.1.2.2 พื้นที่สระสั้นที่ออกเสียงโดยผู้พูดที่ใช้หลอดลม-หลอดอาหาร

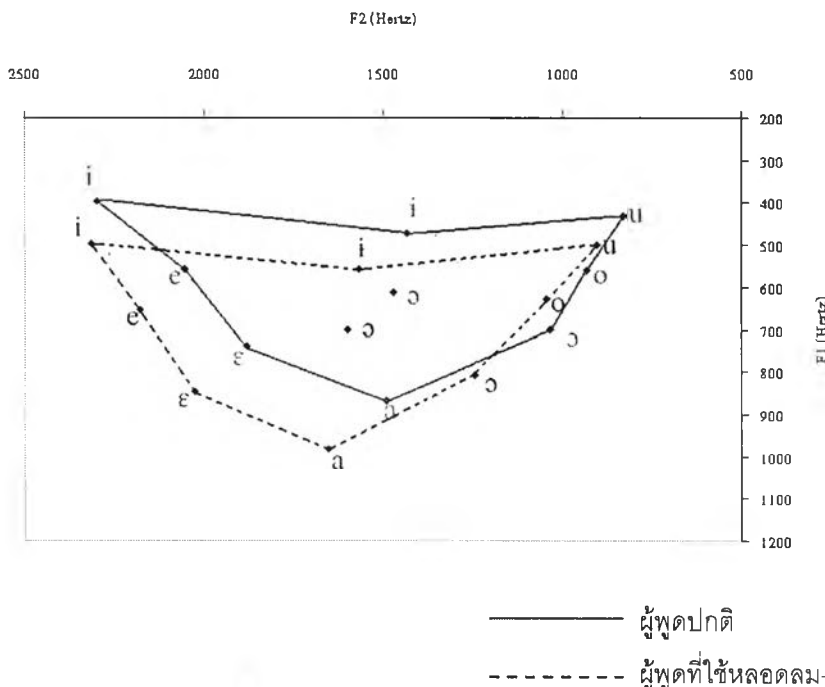


ภาพที่ 4.5 พื้นที่สระสั้น (ผู้พูดที่ใช้หลอดลม-หลอดอาหาร 3 คน)

จากพื้นที่สระสั้นของผู้พูดที่ใช้หลอดลม-หลอดอาหาร จะเห็นได้ว่าพิสัยของค่าความถี่ฟอร์เมนท์ที่ 1 ของสระสั้นที่ออกเสียงโดยผู้พูดที่ใช้หลอดลม-หลอดอาหารจะอยู่ระหว่าง 500 – 990 เฮิร์ตซ์ ส่วนพิสัยของค่าความถี่ฟอร์เมนท์ที่ 2 จะอยู่ระหว่าง 900 – 2320 เฮิร์ตซ์ เมื่อพิจารณาจากความกว้างและความแคบของพื้นที่สระสั้นของผู้พูดที่ใช้หลอดลม-หลอดอาหารแล้ว จะเห็นว่าไม่ต่างจากของผู้พูดปกติมากนัก

4.1.2.3 เปรียบเทียบพื้นที่สระสั้นที่ออกเสียงโดยผู้พูดปกติกับผู้พูดที่ใช้หลอดลม-หลอดอาหาร

การแสดงผลการเปรียบเทียบพื้นที่สระสั้นของผู้พูด 2 กลุ่มด้วยแผนภูมิ ช่วยให้เห็นความแตกต่างที่ชัดเจนมากยิ่งขึ้น



ภาพที่ 4.6 เปรียบเทียบพื้นที่สระสั้น (ผู้พูดปกติ 3 คน และผู้พูดที่ใช้หลอดลม-หลอดอาหาร 3 คน)

จะเห็นได้ว่าเมื่อนำพื้นที่สระสั้นของผู้พูด 2 กลุ่มมาเปรียบเทียบกัน ทั้งขนาดและรูปร่างของพื้นที่สระสั้นของผู้บอภาษาทั้งสองกลุ่มไม่แตกต่างกันมากนัก คือ ค่าความต่างของพิสัยค่าความถี่ฟอร์เมนท์ที่ 1 ของสระสั้นที่ออกเสียงโดยผู้พูดปกติคือ 470 เฮิร์ตซ์ ส่วนของผู้พูดที่ใช้หลอดลม-หลอดอาหาร คือ 490 เฮิร์ตซ์ ต่างกัน 20 เฮิร์ตซ์ และค่าความต่างของพิสัยค่าความถี่ฟอร์เมนท์ที่ 2 ของสระสั้นที่ออกเสียงโดยผู้พูดปกติคือ 1470 เฮิร์ตซ์ ส่วนของผู้พูดที่ใช้หลอดลม-หลอดอาหาร คือ 1420 เฮิร์ตซ์ ต่างกัน 50 เฮิร์ตซ์

ค่าความถี่ฟอร์เมนท์ของสระสั้นที่ออกเสียงโดยผู้พูดที่ใช้หลอดลม-หลอดอาหารที่มากกว่าของผู้พูดปกติเป็นเหตุให้พื้นที่สระของผู้พูดที่ใช้หลอดลม-หลอดอาหารเยื้องต่ำลงมาทางซ้ายของแผนภูมิ นั่นคือ นอกจากสระ /i/, /e/, /ε/ และ /a/ จะต่ำลงแล้ว (ค่าความถี่ฟอร์เมนท์ที่ 1 สูงขึ้น) ยังเป็นสระหน้ามากยิ่งขึ้นด้วย (ค่าความถี่ฟอร์เมนท์ที่ 2 สูงขึ้น) นอกจากนี้แล้วจากภาพที่ 4.6 ยังแสดงให้เห็นถึงความแตกต่างทางกลศาสตร์ของเสียงสระสั้นที่ออกเสียงโดยผู้พูดปกติและผู้พูดที่ใช้หลอดลม-หลอดอาหารได้ชัดเจน อันเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงทางสรีระของผู้พูดที่ใช้หลอดลม-หลอดอาหาร ที่เกิดจากการผ่าตัดทำให้ขนาดของช่องทางเดินเสียงเล็กลงและสั้นลง

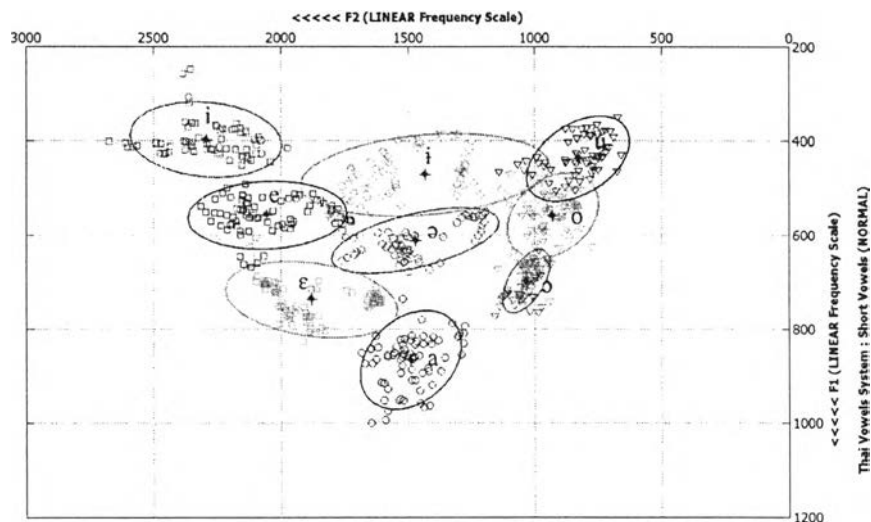
อย่างไรก็ตาม หากคำอธิบายเบื้องต้นที่กล่าวว่าค่าความถี่ฟอร์เมนท์ของผู้พูดที่ใช้หลอดลม-หลอดอาหารสูงกว่าผู้พูดปกติ โดยที่เมื่อพิจารณาภาพที่ 4.3 ประกอบ จะเห็นได้ว่าค่าความถี่ฟอร์เมนท์ที่ 1 ของสระหน้าเสียงสั้นที่ออกเสียงโดยผู้พูดทั้ง 2 กลุ่มใกล้เคียงกันมากกว่าของสระ

หลัง ในขณะที่ค่าความถี่ฟอร์เมนทที่ 2 จะแตกต่างกันมากกว่า (ยกเว้นคู่สระ /i/) โดยเฉพาะคู่สระ /o/ อย่างไรก็ดี หากพิจารณารูปแบบความสัมพันธ์ของสระสั้นทั้ง 9 หน่วยเสียงในพื้นที่สระสั้น ที่ออกเสียงโดยผู้พูดทั้ง 2 กลุ่ม จะเห็นได้ว่ามีลักษณะใกล้เคียงกันมาก

4.1.3 บริเวณเสียงสระ

เมื่อพิจารณาแต่เพียงพื้นที่สระ อาจทำให้ผลการวิเคราะห์ไม่ละเอียดเท่าที่ควร เนื่องจากค่าที่นำมาแสดงพื้นที่สระเป็นค่าเฉลี่ยจากผู้บอกภาษากลุ่มละ 3 คน แต่หากนำข้อมูลทั้งหมดมาแสดงบริเวณเสียงสระ ซึ่งเป็นขอบเขตการกระจายของเสียงสระแต่ละเสียง จะช่วยให้เห็นภาพชัดเจนมากยิ่งขึ้น และสามารถเห็นคุณลักษณะเสียงสระแต่ละเสียงเมื่อผู้พูดทั้งสองกลุ่มเปล่งเสียงแต่ละครั้ง การแสดงความสัมพันธ์ของค่าความถี่ฟอร์เมนทที่ 1 และค่าความถี่ฟอร์เมนทที่ 2 ใช้แผนภูมิเช่นเดียวกับที่แสดงพื้นที่สระ

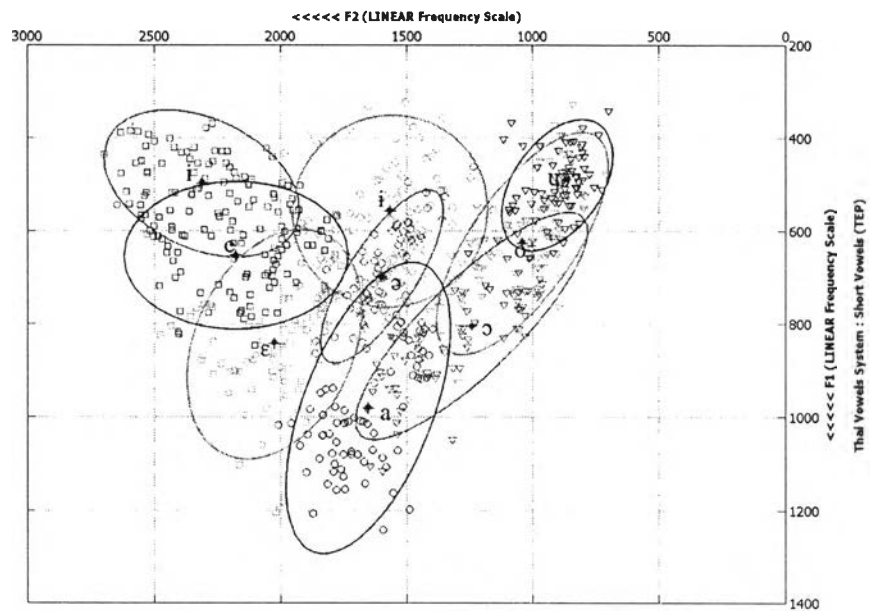
4.1.3.1 บริเวณเสียงสระสั้นที่ออกเสียงโดยผู้พูดปกติ



ภาพที่ 4.7 บริเวณเสียงสระสั้น (ผู้พูดปกติ 3 คน)

บริเวณเสียงสระสั้นแต่ละเสียงของผู้พูดปกติมีการกระจายที่ค่อนข้างเกาะกลุ่มกัน และขนาดของบริเวณเสียงสระแต่ละเสียงนั้นใกล้เคียงกัน ซึ่งสระที่มีการเกาะกลุ่มมากที่สุดได้แก่ สระ /o/ ส่วนสระที่มีการกระจายมากที่สุดได้แก่ สระ /i/ และสระที่มีการเหลื่อมกัน (overlapping) คือ /e/ กับ /i/, /u/ กับ /o/, /o/ กับ /o/ ส่วน /i/ กับ /o/ เกิดการเหลื่อมกันเล็กน้อย

4.1.3.2 บริเวณเสียงสระสั้นของผู้พูดที่ใช้หลอดลม-หลอดอาหาร

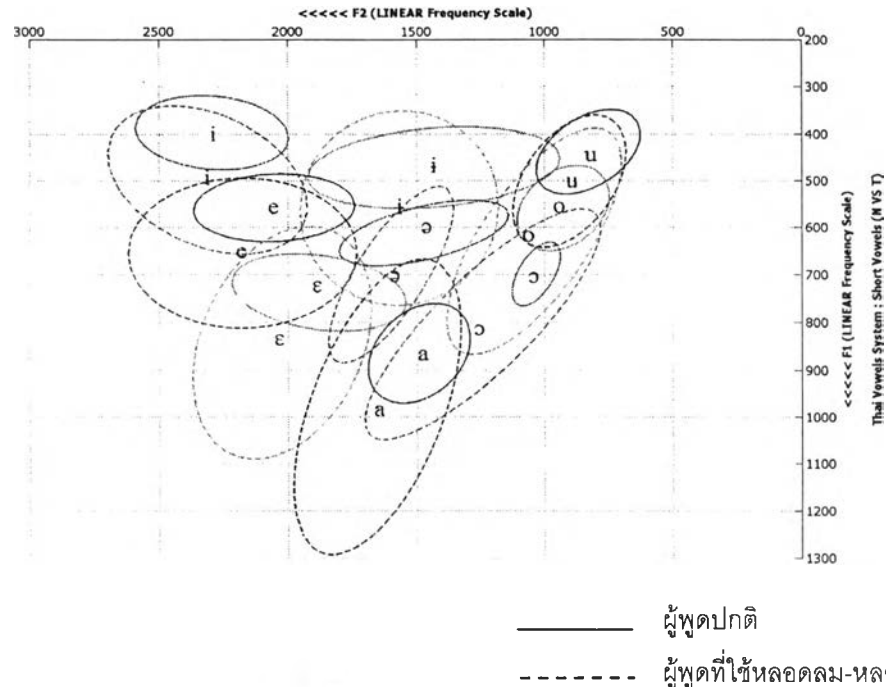


ภาพที่ 4.8 บริเวณเสียงสระสั้น (ผู้พูดที่ใช้หลอดลม-หลอดอาหาร 3 คน)

บริเวณเสียงสระสั้นแต่ละเสียงของผู้พูดหลอดลม-หลอดอาหารมีการกระจายมาก ทำให้ขนาดของบริเวณเสียงสระสั้นแต่ละเสียงกว้างกว่าของผู้พูดปกติ นอกจากนี้ยังทำให้เกิดการเหลื่อมกันของบริเวณเสียงสระทุกเสียง โดยเฉพาะสระหลังที่เกิดการเหลื่อมกันมากที่สุด คือบริเวณเสียงสระ /u/ เหลื่อมกับบริเวณเสียงสระ /o/ และบริเวณเสียงสระ /o/ เองนั้นก็เหลื่อมกับของสระ /ɔ/ เกินครึ่งหนึ่งของบริเวณเสียงสระ /ɔ/ ทั้งหมด สาเหตุเนื่องมาจากช่องทางเดินเสียงส่วนหลังของผู้พูดที่ใช้หลอดลม-หลอดอาหารเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างมากหลังการผ่าตัด อันมีผลต่อการกำทอนเมื่อผู้พูดที่ใช้หลอดลม-หลอดอาหารออกเสียงสระหลังแต่ละครั้ง การควบคุมบริเวณจุดกำทอนของสระหลังแต่ละเสียงทำได้ไม่ดีเท่าผู้พูดปกติ จึงเป็นเหตุให้เกิดการเหลื่อมกันเป็นบริเวณกว้าง

การกระจายของข้อมูลในบริเวณเสียง สระ /e/ /ə/ /a/ /u/ /o/ และ /ɔ/ นั้น เป็นการกระจายในทิศทางของค่าความถี่ฟอร์แมนท์ที่ 1 ซึ่งสัมพันธ์กับระดับสูง-ต่ำของลิ้น แสดงให้เห็นว่าเมื่อผู้พูดที่ใช้หลอดลม-หลอดอาหารเปล่งเสียงสระ การควบคุมการเคลื่อนที่ของลิ้นในแนวตั้งมีปัญหามากกว่าการเคลื่อนที่ของลิ้นในแนวนอน อย่างไรก็ตาม การเคลื่อนที่ของลิ้นในแนวนอนก็ยังมีปัญหาอยู่บ้าง เช่น กรณีสระ /i/ /e/ และ /i/ ที่มีการกระจายของข้อมูลทั้งในทิศทางที่สะท้อนให้เห็นจากค่าความถี่ฟอร์แมนท์ที่ 1 และค่าความถี่ฟอร์แมนท์ที่ 2

4.1.3.3 เปรียบเทียบบริเวณเสียงสระสั้นที่ออกเสียงโดยผู้พูดปกติกับผู้พูดที่ใช้หลอดลม-หลอดอาหาร



ภาพที่ 4.9 เปรียบเทียบบริเวณเสียงสระสั้น (ผู้พูดปกติ 3 คนกับผู้พูดที่ใช้หลอดลม-หลอดอาหาร 3 คน)

เมื่อนำบริเวณเสียงสระแต่ละเสียงของผู้พูดทั้งสองกลุ่มมาเปรียบเทียบกัน จะเห็นได้อย่างชัดเจนว่า ขนาดของบริเวณเสียงสระแต่ละเสียงที่ออกเสียงโดยผู้พูดหลอดลม-หลอดอาหารกว้างกว่าของผู้พูดปกติมาก ซึ่งแสดงให้เห็นว่าผู้พูดที่ใช้หลอดลม-หลอดอาหารไม่สามารถควบคุมการทำงานของอวัยวะในการออกเสียงได้ดีเท่าผู้พูดปกติ จึงเกิดการแปรของเสียงสระมาก

4.2 สระเสียงยาว

4.2.1 ค่าความถี่ฟอร์แมนท์

4.2.1.1 ค่าความถี่ฟอร์แมนท์ของสระยาวที่ออกเสียงโดยผู้พูดปกติ

ตารางที่ 4.4 ค่าความถี่ฟอร์เมนทที่ 1 ที่ 2 และที่ 3 ของสระยาว (ผู้พูดปกติ 3 คน)

| | | i: | e: | ɛ: | ɪ: | ə: | a: | u: | o: | ɔ: |
|----|-----------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| F1 | \bar{X} | 372.46 | 510.88 | 704.39 | 410.59 | 561.49 | 908.82 | 413.22 | 510.88 | 663.53 |
| | S.D | 27.98 | 22.70 | 34.29 | 36.83 | 32.61 | 62.94 | 44.35 | 31.72 | 28.06 |
| F2 | \bar{X} | 2351.36 | 2164.29 | 1945.92 | 1451.97 | 1465.90 | 1449.22 | 685.17 | 781.09 | 978.78 |
| | S.D | 130.08 | 95.71 | 180.01 | 182.81 | 174.26 | 97.25 | 72.64 | 40.81 | 60.18 |
| F3 | \bar{X} | 2968.43 | 2717.05 | 2672.81 | 2627.69 | 2642.59 | 2763.98 | 2582.75 | 2762.83 | 2781.47 |
| | S.D | 224.06 | 127.45 | 141.98 | 91.90 | 194.89 | 234.83 | 417.85 | 185.53 | 145.63 |

ตาราง 4.4 แสดงค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความถี่ฟอร์เมนทที่ 1 ที่ 2 และที่ 3 ของสระยาวที่ออกเสียงโดยผู้พูดปกติ จำนวน 3 คน จากคำทดสอบทั้งสิ้น 135 คำ (45 คำตัวอย่าง x 3 คน) ดังนี้

สระ /i:/ ค่าความถี่ฟอร์เมนทที่ 1 คือ 372.46 เฮิร์ตซ์ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 27.98 ค่าความถี่ฟอร์เมนทที่ 2 คือ 2351.36 เฮิร์ตซ์ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 130.08 และค่าความถี่ฟอร์เมนทที่ 3 คือ 2968.43 เฮิร์ตซ์ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 224.06

สระ /e:/ ค่าความถี่ฟอร์เมนทที่ 1 คือ 510.88 เฮิร์ตซ์ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 22.70 ค่าความถี่ฟอร์เมนทที่ 2 คือ 2164.29 เฮิร์ตซ์ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 95.71 และค่าความถี่ฟอร์เมนทที่ 3 คือ 2717.05 เฮิร์ตซ์ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 127.45

สระ /ɛ:/ ค่าความถี่ฟอร์เมนทที่ 1 คือ 704.39 เฮิร์ตซ์ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 34.29 ค่าความถี่ฟอร์เมนทที่ 2 คือ 1945.92 เฮิร์ตซ์ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 180.01 และค่าความถี่ฟอร์เมนทที่ 3 คือ 2672.81 เฮิร์ตซ์ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 141.98

สระ /ɪ:/ ค่าความถี่ฟอร์เมนทที่ 1 คือ 410.59 เฮิร์ตซ์ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 36.83 ค่าความถี่ฟอร์เมนทที่ 2 คือ 1451.97 เฮิร์ตซ์ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 182.81 และค่าความถี่ฟอร์เมนทที่ 3 คือ 2627.69 เฮิร์ตซ์ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 91.90

สระ /ə:/ ค่าความถี่ฟอร์เมนทที่ 1 คือ 561.49 เฮิร์ตซ์ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 32.61 ค่าความถี่ฟอร์เมนทที่ 2 คือ 1465.90 เฮิร์ตซ์ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 174.26 และค่าความถี่ฟอร์เมนทที่ 3 คือ 2642.59 เฮิร์ตซ์ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 194.89

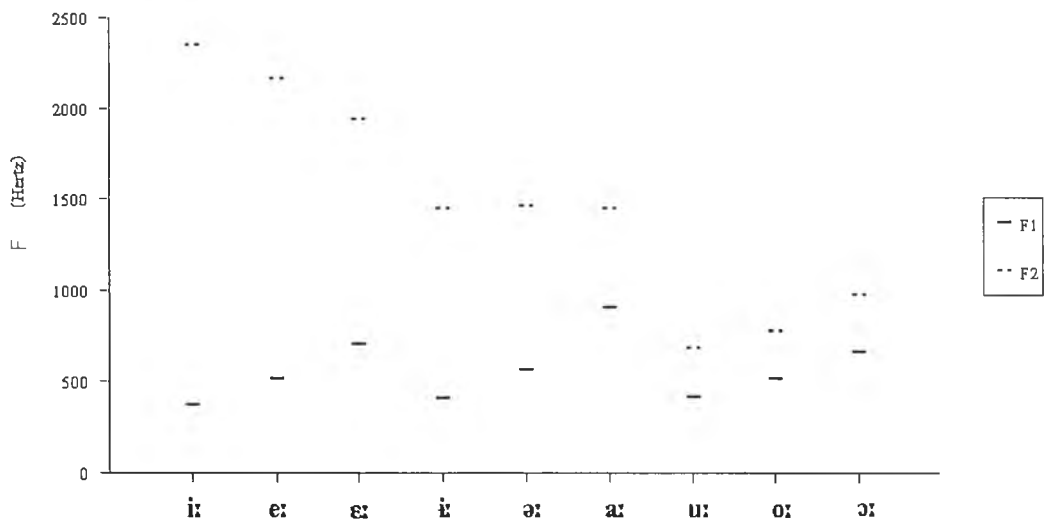
สระ /a:/ ค่าความถี่ฟอร์เมนทที่ 1 คือ 908.82 เฮิร์ตซ์ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 62.94 ค่าความถี่ฟอร์เมนทที่ 2 คือ 1449.22 เฮิร์ตซ์ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 97.25 และค่าความถี่ฟอร์เมนทที่ 3 คือ 2763.98 เฮิร์ตซ์ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 234.83

สระ /u:/ ค่าความถี่ฟอร์เมนทที่ 1 คือ 413.22 เฮิร์ตซ์ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 44.35 ค่าความถี่ฟอร์เมนทที่ 2 คือ 685.17 เฮิร์ตซ์ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 72.64 และค่าความถี่ฟอร์เมนทที่ 3 คือ 2582.75 เฮิร์ตซ์ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 417.85

สระ /o:/ ค่าความถี่ฟอร์เมนทที่ 1 คือ 510.88 เฮิร์ตซ์ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 31.72 ค่าความถี่ฟอร์เมนทที่ 2 คือ 781.09 เฮิร์ตซ์ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 40.81 และค่าความถี่ฟอร์เมนทที่ 3 คือ 2762.83 เฮิร์ตซ์ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 185.53

สระ /v:/ ค่าความถี่ฟอร์เมนทที่ 1 คือ 663.53 เฮิร์ตซ์ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 28.06 ค่าความถี่ฟอร์เมนทที่ 2 คือ 978.78 เฮิร์ตซ์ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 60.18 และค่าความถี่ฟอร์เมนทที่ 3 คือ 2781.47 เฮิร์ตซ์ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 145.63

เมื่อนำค่าความถี่ฟอร์เมนทที่ 1 และค่าความถี่ฟอร์เมนทที่ 2 มาแสดงร่วมกัน จะทำให้เห็นลักษณะความสัมพันธ์ดังที่ปรากฏในภาพที่ 4.10



ภาพที่ 4.10 ความสัมพันธ์ของค่าความถี่ฟอร์เมนทที่ 1 และที่ 2 ของสระยาว (ผู้พูดปกติ 3 คน)

จะเห็นได้ว่าค่าความถี่ฟอร์เมนทที่ 1 และค่าความถี่ฟอร์เมนทที่ 2 ของสระยาวที่ออกเสียงโดยผู้พูดปกติ นั้น เป็นไปตามกฎของค่าความถี่ฟอร์เมนท ไม่ว่าจะ เป็นสระหน้า สระกลาง หรือสระหลัง นั่นคือ สระหน้า ค่าความถี่ฟอร์เมนทที่ 1 จะต่ำ และค่าความถี่ฟอร์เมนทที่ 2 จะสูง ส่วนสระกลาง ค่าความถี่ฟอร์เมนทที่ 1 จะต่ำ และค่าความถี่ฟอร์เมนทที่ 2 จะอยู่ในระดับกลาง ๆ ในขณะที่สระหลัง ค่าความถี่ฟอร์เมนทที่ 1 และค่าความถี่ฟอร์เมนทที่ 2 จะต่ำ และหากพิจารณาในส่วนของ การเคลื่อนเข้ามาหากันของอวัยวะในช่องทางเดินเสียง หากบริเวณช่องปากส่วนหน้า แคบลง ค่าความถี่ฟอร์เมนทที่ 1 จะต่ำ และค่าความถี่ฟอร์เมนทที่ 2 จะสูง ดังในกรณีของสระหน้า

/i/, /e/ และ /ε/ ในทางกลับกัน หากบริเวณช่องปากส่วนหลังและบริเวณโคนลิ้นกับผนังคอแคบลง ค่าความถี่ฟอร์เมนที่ 1 และค่าความถี่ฟอร์เมนที่ 2 จะต่ำ ดังในกรณีของสระหลังปากห่อ /u/, /o/ และ /ɔ/

4.2.1.2 ค่าความถี่ฟอร์เมนที่ของสระยาวที่ออกเสียงโดยผู้พูดที่ใช้หลอดลม-หลอดอาหาร

ตารางที่ 4.5 ค่าความถี่ฟอร์เมนที่ 1 ที่ 2 และที่ 3 ของสระยาว (ผู้พูดที่ใช้หลอดลม-หลอดอาหาร 3 คน)

| | | i: | e: | ε: | ɪ: | ə: | a: | u: | o: | ɔ: |
|----|-----------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| F1 | \bar{X} | 423.26 | 595.41 | 787.44 | 515.96 | 667.28 | 1027.10 | 488.94 | 581.35 | 759.06 |
| | S.D | 52.97 | 51.79 | 82.88 | 61.73 | 72.13 | 106.12 | 82.22 | 86.30 | 87.00 |
| F2 | \bar{X} | 2336.60 | 2235.87 | 2002.58 | 1763.93 | 1618.12 | 1598.20 | 821.74 | 931.45 | 1156.78 |
| | S.D | 207.93 | 250.54 | 167.91 | 183.79 | 143.90 | 143.65 | 105.95 | 121.52 | 176.60 |
| F3 | \bar{X} | 2956.63 | 2848.13 | 2825.96 | 2708.58 | 2572.05 | 2722.77 | 2456.86 | 2469.01 | 2546.25 |
| | S.D | 180.76 | 269.76 | 247.53 | 238.90 | 250.09 | 165.26 | 238.94 | 195.61 | 193.79 |

ตารางที่ 4.5 แสดงค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความถี่ฟอร์เมนที่ 1 ที่ 2 และที่ 3 ของสระยาวที่ออกเสียงโดยผู้พูดที่ใช้หลอดลม-หลอดอาหาร จำนวน 3 คน จากคำทดสอบทั้งสิ้น 135 คำ (45 คำตัวอย่าง x 3 คน) ดังนี้

สระ /i:/ ค่าความถี่ฟอร์เมนที่ 1 คือ 423.26 เฮิร์ตซ์ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 52.97 ค่าความถี่ฟอร์เมนที่ 2 คือ 2336.60 เฮิร์ตซ์ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 207.93 และค่าความถี่ฟอร์เมนที่ 3 คือ 2956.63 เฮิร์ตซ์ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 180.76

สระ /e:/ ค่าความถี่ฟอร์เมนที่ 1 คือ 595.41 เฮิร์ตซ์ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 51.79 ค่าความถี่ฟอร์เมนที่ 2 คือ 2235.87 เฮิร์ตซ์ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 250.54 และค่าความถี่ฟอร์เมนที่ 3 คือ 2848.13 เฮิร์ตซ์ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 269.76

สระ /ε:/ ค่าความถี่ฟอร์เมนที่ 1 คือ 787.44 เฮิร์ตซ์ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 82.88 ค่าความถี่ฟอร์เมนที่ 2 คือ 2002.58 เฮิร์ตซ์ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 167.91 และค่าความถี่ฟอร์เมนที่ 3 คือ 2825.96 เฮิร์ตซ์ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 247.53

สระ /i:/ ค่าความถี่ฟอร์เมนทที่ 1 คือ 515.96 เฮิร์ตซ์ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 61.73 ค่าความถี่ฟอร์เมนทที่ 2 คือ 1763.93 เฮิร์ตซ์ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 183.79 และค่าความถี่ฟอร์เมนทที่ 3 คือ 2708.58 เฮิร์ตซ์ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 238.90

สระ /o:/ ค่าความถี่ฟอร์เมนทที่ 1 คือ 667.28 เฮิร์ตซ์ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 72.13 ค่าความถี่ฟอร์เมนทที่ 2 คือ 1618.12 เฮิร์ตซ์ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 143.90 และค่าความถี่ฟอร์เมนทที่ 3 คือ 2572.05 เฮิร์ตซ์ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 250.09

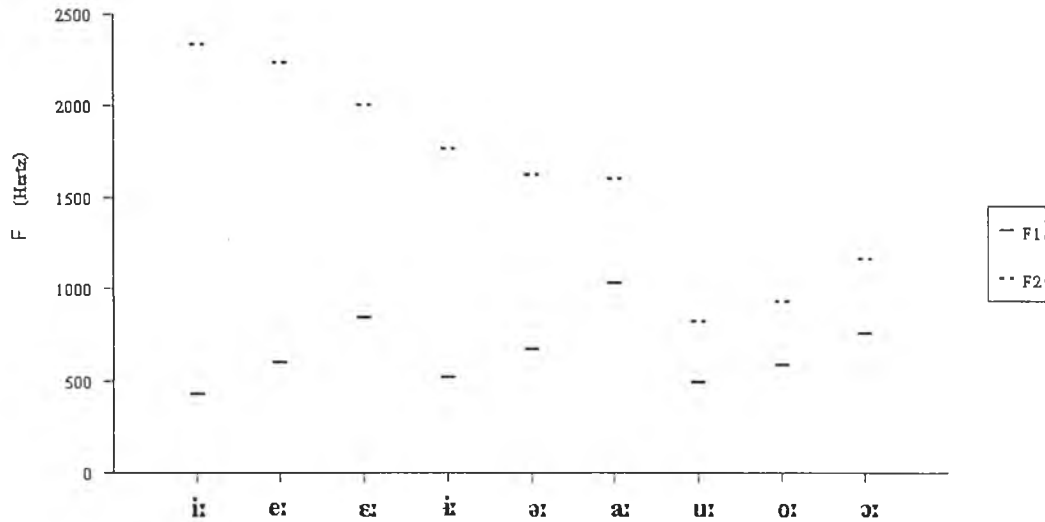
สระ /a:/ ค่าความถี่ฟอร์เมนทที่ 1 คือ 1027.10 เฮิร์ตซ์ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 106.12 ค่าความถี่ฟอร์เมนทที่ 2 คือ 1598.20 เฮิร์ตซ์ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 143.65 และค่าความถี่ฟอร์เมนทที่ 3 คือ 2722.77 เฮิร์ตซ์ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 165.26

สระ /u:/ ค่าความถี่ฟอร์เมนทที่ 1 คือ 488.94 เฮิร์ตซ์ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 82.22 ค่าความถี่ฟอร์เมนทที่ 2 คือ 821.74 เฮิร์ตซ์ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 105.95 และค่าความถี่ฟอร์เมนทที่ 3 คือ 2456.86 เฮิร์ตซ์ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 238.94

สระ /o:/ ค่าความถี่ฟอร์เมนทที่ 1 คือ 581.35 เฮิร์ตซ์ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 86.30 ค่าความถี่ฟอร์เมนทที่ 2 คือ 931.45 เฮิร์ตซ์ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 121.52 และค่าความถี่ฟอร์เมนทที่ 3 คือ 2469.01 เฮิร์ตซ์ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 195.61

สระ /o:/ ค่าความถี่ฟอร์เมนทที่ 1 คือ 759.06 เฮิร์ตซ์ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 87.00 ค่าความถี่ฟอร์เมนทที่ 2 คือ 1156.78 เฮิร์ตซ์ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 176.60 และค่าความถี่ฟอร์เมนทที่ 3 คือ 2546.25 เฮิร์ตซ์ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 193.79

เมื่อนำค่าความถี่ฟอร์เมนทที่ 1 และที่ 2 มาแสดงร่วมกัน จะทำให้เห็นลักษณะความสัมพันธ์ดังที่ในภาพที่ 4.11



ภาพที่ 4.11 ความสัมพันธ์ของค่าความถี่ฟอร์เมนทที่ 1 และที่ 2 ของสระยาว
(ผู้พูดที่ใช้หลอดลม-หลอดอาหาร 3 คน)

ค่าความถี่ฟอร์เมนทที่ 1 และค่าความถี่ฟอร์เมนทที่ 2 ของสระยาวที่ออกเสียงโดยผู้พูดที่ใช้หลอดลม-หลอดอาหารก็เป็นไปในทำนองเดียวกันกับของสระสั้นที่ออกเสียงโดยผู้พูดหลอดลม-หลอดอาหาร นอกจากนี้ เมื่อพิจารณาจากค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของผู้พูดทั้งสองกลุ่ม จะเห็นได้ว่าค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของสระยาวที่ออกเสียงโดยผู้พูดที่ใช้หลอดลม-หลอดอาหารมากกว่าค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของผู้พูดปกติกว่าเท่าตัว อันเป็นสาเหตุของการแปรของค่าความถี่ฟอร์เมนท ส่งผลถึงการเหลื่อมกันของบริเวณเสียงสระ

และเมื่อนำค่าความถี่ฟอร์เมนทของสระยาวที่ออกเสียงโดยผู้พูดทั้งสองกลุ่มจากตารางที่ 4.4 และภาพที่ 4.10 กับตารางที่ 4.5 และภาพที่ 4.11 มาเปรียบเทียบกันจะเห็นความเหมือน/ความแตกต่างดังตารางที่ 4.6 และภาพที่ 4.12

4.2.1.3 เปรียบเทียบค่าความถี่ฟอร์เมนทของสระยาวที่ออกเสียงโดยผู้พูดปกติกับผู้พูดที่ใช้หลอดลม-หลอดอาหาร

ในการนำเสนอ จะเปรียบเทียบค่าความถี่ฟอร์เมนทที่ 1 และค่าความถี่ฟอร์เมนทที่ 2 โดยใช้ F1-N แทนค่าความถี่ฟอร์เมนทที่ 1 ของสระที่ออกเสียงโดยผู้พูดปกติ F2-N แทนค่าความถี่ฟอร์เมนทที่ 2 ของสระที่ออกเสียงโดยผู้พูดปกติ F1-TE แทนค่าความถี่ฟอร์เมนทที่ 1 ของสระที่ออกเสียงโดยผู้พูดที่ใช้หลอดลม-หลอดอาหาร F2-TE แทนค่าความถี่ฟอร์เมนทที่ 2 ของสระที่ออกเสียงโดยผู้พูดที่ใช้หลอดลม-หลอดอาหาร และ Dif. คือ ความแตกต่างทางสถิติว่าแตกต่าง

กันอย่างมีนัยสำคัญหรือไม่ หากแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05 จะแสดงด้วยคำว่า "Sig."

ตารางที่ 4.6 เปรียบเทียบค่าความถี่ฟอร์เมนทที่ 1 และที่ 2 ของสระยาว (ผู้พูดปกติ 3 คนกับผู้พูดที่ใช้หลอดลม-หลอดอาหาร 3 คน)

| | i: | e: | ɛ: | ɪ: | ɔ: | a: | u: | o: | ɔ: |
|-------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|--------|--------|---------|
| F1-N | 372.46 | 510.88 | 704.39 | 410.59 | 561.49 | 908.82 | 413.22 | 510.88 | 663.53 |
| F1-TE | 423.26 | 595.41 | 787.44 | 515.96 | 667.28 | 1027.10 | 488.94 | 581.35 | 759.06 |
| Dif. | Sig. | Sig. | - | - | - | - | - | - | - |
| F2-N | 2351.36 | 2164.29 | 1945.92 | 1451.97 | 1465.90 | 1449.22 | 685.17 | 781.09 | 978.78 |
| F2-TE | 2336.60 | 2235.87 | 2002.58 | 1763.93 | 1618.12 | 1598.20 | 821.74 | 931.45 | 1156.78 |
| Dif. | - | - | - | - | - | - | - | - | - |

จากตารางที่ 4.6 สามารถอธิบายได้ดังนี้ คือ

ค่าความถี่ฟอร์เมนทที่ 1 ของสระ /i:/ ที่ออกเสียงโดยผู้พูดปกติคือ คือ 372.46 เฮิร์ตซ์ ผู้พูดที่ใช้หลอดลม-หลอดอาหาร คือ 423.26 เฮิร์ตซ์ และค่าความถี่ฟอร์เมนทที่ 2 ของสระ /i:/ ที่ออกเสียงโดยผู้พูดปกติคือ คือ 2351.36 เฮิร์ตซ์ และผู้พูดที่ใช้หลอดลม-หลอดอาหาร คือ 2336.60 เฮิร์ตซ์ **ความแตกต่างมีนัยสำคัญในค่าความถี่ฟอร์เมนทที่ 1** และไม่มีนัยสำคัญในค่าความถี่ฟอร์เมนทที่ 2

ค่าความถี่ฟอร์เมนทที่ 1 ของสระ /e:/ ที่ออกเสียงโดยผู้พูดปกติคือ คือ 510.88 เฮิร์ตซ์ ผู้พูดที่ใช้หลอดลม-หลอดอาหาร คือ 595.41 เฮิร์ตซ์ และค่าความถี่ฟอร์เมนทที่ 2 ของสระ /e:/ ที่ออกเสียงโดยผู้พูดปกติคือ คือ 2164.29 เฮิร์ตซ์ และผู้พูดที่ใช้หลอดลม-หลอดอาหาร คือ 2235.87 เฮิร์ตซ์ **ความแตกต่างมีนัยสำคัญในค่าความถี่ฟอร์เมนทที่ 1** และไม่มีนัยสำคัญในค่าความถี่ฟอร์เมนทที่ 2

ค่าความถี่ฟอร์เมนทที่ 1 ของสระ /ɛ:/ ที่ออกเสียงโดยผู้พูดปกติคือ คือ 704.39 เฮิร์ตซ์ ผู้พูดที่ใช้หลอดลม-หลอดอาหาร คือ 787.44 เฮิร์ตซ์ และค่าความถี่ฟอร์เมนทที่ 2 ของสระ /ɛ:/ ที่ออกเสียงโดยผู้พูดปกติคือ คือ 1945.92 เฮิร์ตซ์ และผู้พูดที่ใช้หลอดลม-หลอดอาหาร คือ 2002.58 เฮิร์ตซ์ **ความแตกต่างไม่มีนัยสำคัญทั้งในค่าความถี่ฟอร์เมนทที่ 1 และที่ 2**

ค่าความถี่ฟอร์เมนทที่ 1 ของสระ /ɪ:/ ที่ออกเสียงโดยผู้พูดปกติคือ คือ 410.59 เฮิร์ตซ์ ผู้พูดที่ใช้หลอดลม-หลอดอาหาร คือ 515.96 เฮิร์ตซ์ และค่าความถี่ฟอร์เมนทที่ 2 ของสระ

/i:/ ที่ออกเสียงโดยผู้พูดปกติคือ คือ 1451.97 เฮิร์ตซ์ และผู้พูดที่ใช้หลอดลม-หลอดอาหาร คือ 1763.93 เฮิร์ตซ์ ความแตกต่างไม่มีนัยสำคัญทั้งในค่าความถี่ฟอร์เมนที่ 1 และที่ 2

ค่าความถี่ฟอร์เมนที่ 1 ของสระ /o:/ ที่ออกเสียงโดยผู้พูดปกติคือ คือ 561.49 เฮิร์ตซ์ ผู้พูดที่ใช้หลอดลม-หลอดอาหาร คือ 667.28 เฮิร์ตซ์ และค่าความถี่ฟอร์เมนที่ 2 ของสระ /o:/ ที่ออกเสียงโดยผู้พูดปกติคือ คือ 1465.90 เฮิร์ตซ์ และผู้พูดที่ใช้หลอดลม-หลอดอาหาร คือ 1618.12 เฮิร์ตซ์ ความแตกต่างไม่มีนัยสำคัญทั้งในค่าความถี่ฟอร์เมนที่ 1 และที่ 2

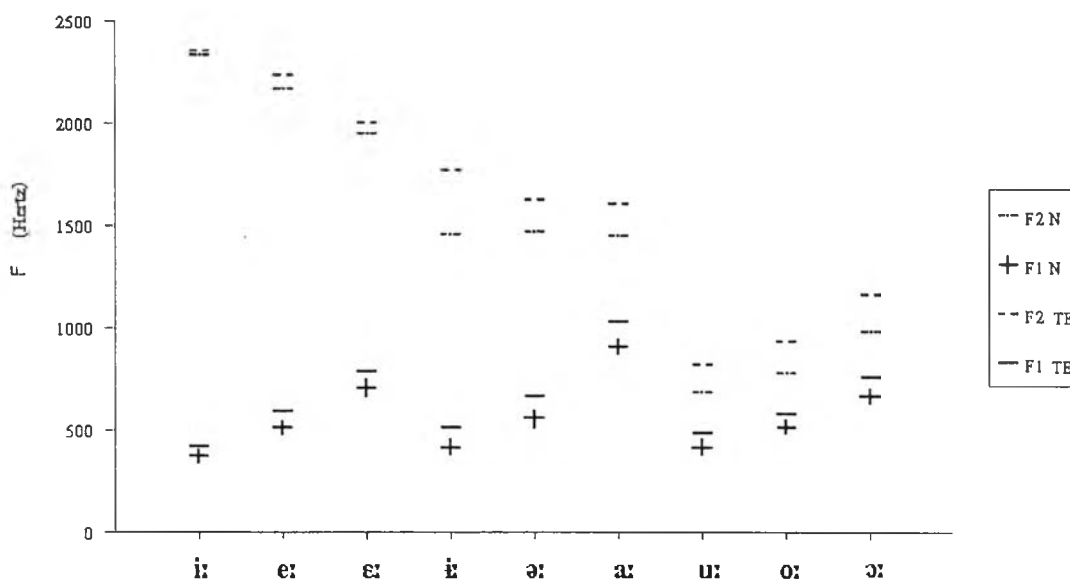
ค่าความถี่ฟอร์เมนที่ 1 ของสระ /a:/ ที่ออกเสียงโดยผู้พูดปกติคือ คือ 908.82 เฮิร์ตซ์ ผู้พูดที่ใช้หลอดลม-หลอดอาหาร คือ 1027.10 เฮิร์ตซ์ และค่าความถี่ฟอร์เมนที่ 2 ของสระ /a:/ ที่ออกเสียงโดยผู้พูดปกติคือ คือ 1449.22 เฮิร์ตซ์ และผู้พูดที่ใช้หลอดลม-หลอดอาหาร คือ 1598.20 เฮิร์ตซ์ ความแตกต่างไม่มีนัยสำคัญทั้งในค่าความถี่ฟอร์เมนที่ 1 และที่ 2

ค่าความถี่ฟอร์เมนที่ 1 ของสระ /u:/ ที่ออกเสียงโดยผู้พูดปกติคือ คือ 413.22 เฮิร์ตซ์ ผู้พูดที่ใช้หลอดลม-หลอดอาหาร คือ 488.94 เฮิร์ตซ์ และค่าความถี่ฟอร์เมนที่ 2 ของสระ /u:/ ที่ออกเสียงโดยผู้พูดปกติคือ คือ 685.17 เฮิร์ตซ์ และผู้พูดที่ใช้หลอดลม-หลอดอาหาร คือ 821.74 เฮิร์ตซ์ ความแตกต่างไม่มีนัยสำคัญทั้งในค่าความถี่ฟอร์เมนที่ 1 และที่ 2

ค่าความถี่ฟอร์เมนที่ 1 ของสระ /o:/ ที่ออกเสียงโดยผู้พูดปกติคือ คือ 510.88 เฮิร์ตซ์ ผู้พูดที่ใช้หลอดลม-หลอดอาหาร คือ 581.35 เฮิร์ตซ์ และค่าความถี่ฟอร์เมนที่ 2 ของสระ /o:/ ที่ออกเสียงโดยผู้พูดปกติคือ คือ 781.09 เฮิร์ตซ์ และผู้พูดที่ใช้หลอดลม-หลอดอาหาร คือ 931.45 เฮิร์ตซ์ ความแตกต่างไม่มีนัยสำคัญทั้งในค่าความถี่ฟอร์เมนที่ 1 และที่ 2

ค่าความถี่ฟอร์เมนที่ 1 ของสระ /ɔ:/ ที่ออกเสียงโดยผู้พูดปกติคือ คือ 663.53 เฮิร์ตซ์ ผู้พูดที่ใช้หลอดลม-หลอดอาหาร คือ 759.06 เฮิร์ตซ์ และค่าความถี่ฟอร์เมนที่ 2 ของสระ /ɔ:/ ที่ออกเสียงโดยผู้พูดปกติคือ คือ 978.78 เฮิร์ตซ์ และผู้พูดที่ใช้หลอดลม-หลอดอาหาร คือ 1156.78 เฮิร์ตซ์ ความแตกต่างไม่มีนัยสำคัญทั้งในค่าความถี่ฟอร์เมนที่ 1 และที่ 2

โดยสรุปแล้ว เมื่อนำค่าทางสถิติมาทดสอบผลปรากฏว่าที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05 มีเพียงค่าความถี่ฟอร์เมนที่ 1 ของสระ /i:/ และ /e:/ เท่านั้นที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ดูลักษณะความสัมพันธ์ในภาพที่ 4.12



ภาพที่ 4.12 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ของค่าความถี่ฟอร์เมนทที่ 1 และที่ 2 ของสระยาว (ผู้พูดปกติ 3 คนกับผู้พูดที่ใช้หลอดลม-หลอดอาหาร 3 คน)

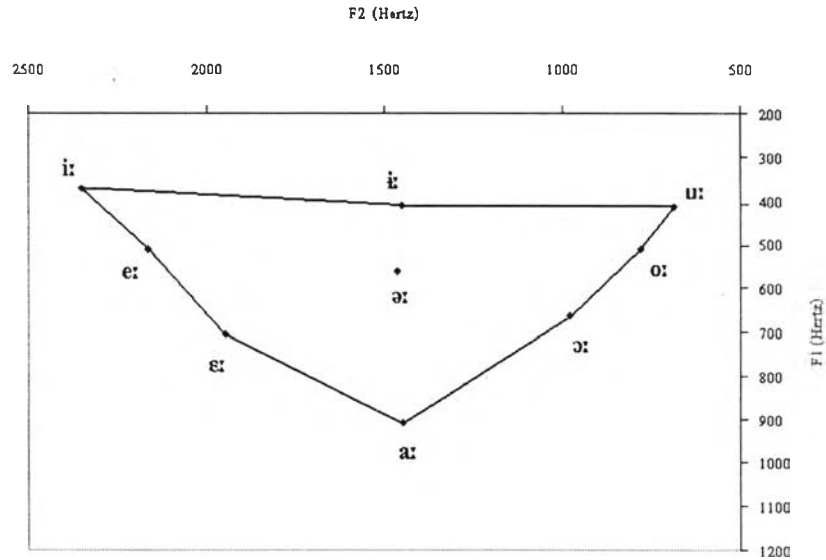
ค่าความถี่ฟอร์เมนทที่ 1 และค่าความถี่ฟอร์เมนทที่ 2 ของสระยาวที่ออกเสียงโดยผู้พูดที่ใช้หลอดลม-หลอดอาหาร สูงกว่า ค่าความถี่ฟอร์เมนทของสระยาวที่ออกเสียงโดยผู้พูดปกติ โดยที่ค่าความถี่ฟอร์เมนทที่ 1 ของทุกสระโดยเฉลี่ยจะสูงกว่ากันประมาณ 81.09 เฮิรตซ์ ส่วนค่าความถี่ฟอร์เมนทที่ 2 สูงกว่ากันประมาณ 100 – 300 เฮิรตซ์ ยกเว้น ค่าความถี่ฟอร์เมนทที่ 2 ของสระ /i:/ ที่ออกเสียงโดยผู้พูดที่ใช้หลอดลม-หลอดอาหารเท่านั้นที่ใกล้เคียงกับของผู้พูดปกติ

สิ่งที่น่าสนใจ คือ เมื่อได้พิจารณาค่าความถี่ฟอร์เมนทของทั้งสระสั้นและสระยาว ค่าความถี่ฟอร์เมนทที่ 2 ของสระ /i/ และ /i:/ ที่ออกเสียงโดยผู้พูดทั้งสองกลุ่มไม่แตกต่างกันเช่นสระอื่น ๆ สาเหตุน่าจะมาจากลักษณะการออกเสียงสระ /i:/ ซึ่งเป็นสระหน้าสูง ซึ่งลิ้นส่วนหน้าจะเข้าใกล้เพดานแข็ง หรือเกิดการคอดตัวในช่องปากบริเวณลิ้นส่วนหน้า ในผู้ไร้กล่องเสียง บริเวณช่องทางเดินเสียงส่วนหน้าไม่ได้เกิดการเปลี่ยนแปลงจากการผ่าตัด ต่างจากบริเวณช่องทางเดินเสียงส่วนหลัง คือ บริเวณช่องคอที่เกิดการเปลี่ยนแปลงไปหลังการผ่าตัด ดังนั้นเมื่อช่องทางเดินเสียงบริเวณที่ใช้ออกเสียงสระ /i:/ ไม่ได้มีการเปลี่ยนแปลงทางสรีระ ค่าความถี่ฟอร์เมนทของเสียงสระที่ออกเสียงโดยผู้พูดที่ใช้หลอดลม-หลอดอาหารจึงใกล้เคียงกับของผู้พูดปกติ

หากพิจารณาจากภาพที่ 4.12 จะเห็นความแตกต่างเพียงในแง่ของค่าความถี่ฟอร์เมนทของผู้บอภาษาทั้งสองกลุ่มว่าสูงกว่ากันอย่างไร และเป็นไปตามกฎของค่าความถี่ฟอร์เมนทหรือไม่ นอกจากนี้แล้ว ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความถี่ฟอร์เมนทที่ 1 และค่าความถี่ฟอร์เมนทที่ 2 ยังสามารถแสดงให้เห็นดังแผนภูมิในภาพที่ 4.13

4.2.2 พื้นที่สระ

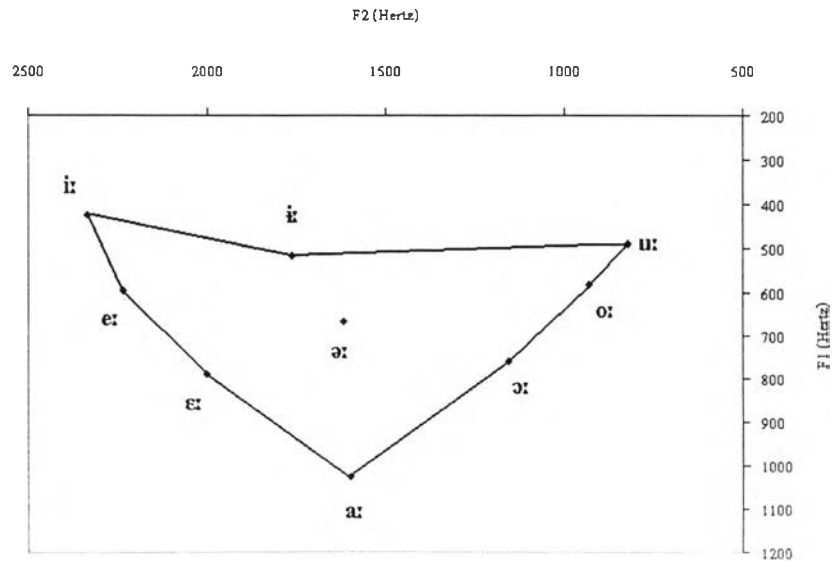
4.2.2.1 พื้นที่สระยาวของผู้พูดปกติ



ภาพที่ 4.13 พื้นที่สระยาว (ผู้พูดปกติ 3 คน)

หากเปรียบเทียบกับพื้นที่สระสั้นที่ออกเสียงโดยผู้พูดปกติ พื้นที่สระยาวมีลักษณะใกล้เคียงกับพื้นที่สระสั้น โดยพิสัยของค่าความถี่ฟอร์เมนทที่ 1 อยู่ระหว่าง 380 – 910 เฮิร์ตซ์ และพิสัยของค่าความถี่ฟอร์เมนทที่ 2 จะอยู่ระหว่าง 670 – 2350 เฮิร์ตซ์ แต่นำมาเปรียบเทียบกัน จะเห็นได้ว่า พื้นที่สระสั้นจะมีขนาดแคบกว่าพื้นที่สระยาวเล็กน้อย

4.2.2.2 พื้นที่สระยาวของผู้พูดที่ใช้หลอดลม-หลอดอาหาร

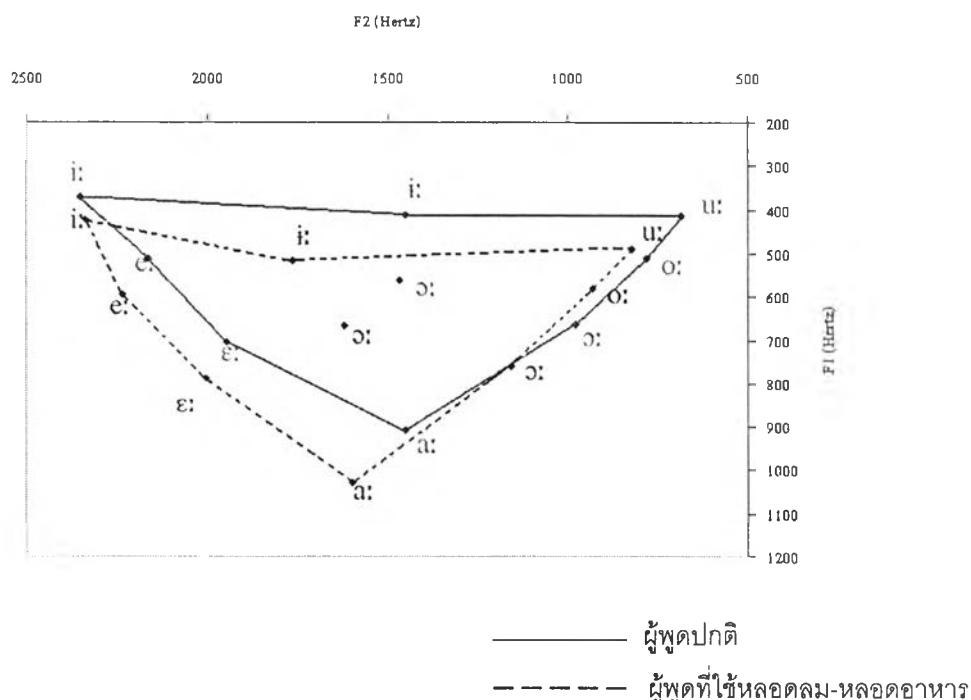


ภาพที่ 4.14 พื้นที่สระยาว (ผู้พูดที่ใช้หลอดลม-หลอดอาหาร 3 คน)

พื้นที่สระยาวของผู้พูดที่ใช้หลอดลม-หลอดอาหารมีลักษณะคล้ายกับพื้นที่สระสั้น โดยพิสัยของค่าความถี่ฟอร์เมนที่ 1 อยู่ระหว่าง 420 – 1000 เฮิรตซ์ และพิสัยของค่าความถี่ฟอร์เมนที่ 2 จะอยู่ระหว่าง 820 – 2340 เฮิรตซ์ พื้นที่สระยาวมีขนาดกว้างกว่าพื้นที่สระสั้นเล็กน้อย เพราะอวัยวะมีเวลาทำงานหรือเคลื่อนสู่เป้าหมายเต็มที่นั่นเอง และตำแหน่งของสระในพื้นที่สระก็ใกล้เคียงกับสระสั้น มีเพียงสระ /i:/ เท่านั้นที่มีตำแหน่งแตกต่างไป คือมีตำแหน่งที่เยื้องไปใกล้กับสระหน้ามาก

เพื่อแสดงให้เห็นความแตกต่าง จะนำพื้นที่สระยาวของผู้พูดทั้ง 2 กลุ่มมาเปรียบเทียบกัน (ดูภาพที่ 4.15)

4.2.2.3 เปรียบเทียบพื้นที่สระยาวของผู้พูดปกติกับผู้พูดที่ใช้หลอดลม-หลอดอาหาร



ภาพที่ 4.15 เปรียบเทียบพื้นที่สระยาว (ผู้พูดปกติ 3 คนกับผู้พูดที่ใช้หลอดลม-หลอดอาหาร 3 คน)

เมื่อนำพื้นที่สระยาวของผู้พูดปกติและผู้พูดที่ใช้หลอดลม-หลอดอาหารมาเปรียบเทียบกันจะเห็นได้ว่าขนาดและรูปร่างของพื้นที่สระของผู้พูดทั้งสองกลุ่มใกล้เคียงกัน และหากพิจารณาประกอบกับภาพที่ 4.12 จะเห็นได้ว่าค่าความถี่ฟอร์เมนที่ 1 ของสระยาวที่ออกเสียงโดยผู้พูดทั้ง 2 กลุ่มไม่แตกต่างกันมากนักยกเว้นคู่ /a:/ ในขณะที่ค่าความถี่ฟอร์เมนที่ 2 จะแตกต่างกัน

มากกว่า (ยกเว้นคู่ /i:/) และที่ต่างกันมากที่สุดคือคู่สระ /i:/ การที่พื้นที่สระยาวของผู้พูดที่ใช้หลอดลม-หลอดอาหารเยื้องต่ำลงมาทางซ้ายของแผนภูมิ สามารถอธิบายได้จากการเปลี่ยนแปลงทางสรีระของผู้พูดที่ใช้หลอดลม-หลอดอาหารซึ่งเกิดจากการผ่าตัด ทำให้ความยาวของช่องทางเดินเสียงสั้นลงและขนาดของช่องทางเดินเสียงมีขนาดแคบลงกว่าคนปกติด้วย

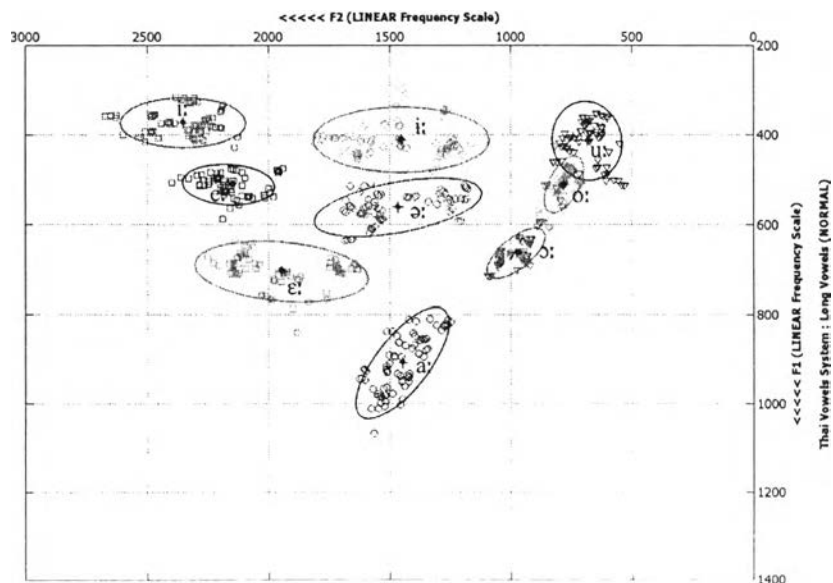
อย่างไรก็ดีหากพิจารณารูปแบบความสัมพันธ์ของสระยาวทั้ง 9 หน่วยเสียงในพื้นที่ที่สระแล้ว พบว่าพื้นที่สระยาวที่ออกเสียงโดยผู้พูดที่ใช้หลอดลม-หลอดอาหารใกล้เคียงกับของผู้พูดปกติมาก

อย่างไรก็ตาม การแสดงให้เห็นการกระจายของข้อมูล ซึ่งหมายถึงค่าความถี่ฟอร์เมนต์ของเสียงสระแต่ละครั้งที่ผู้บอกภาษาออกเสียง จะช่วยให้เห็นขอบเขตของบริเวณสระแต่ละเสียง ที่แสดงถึงประสิทธิภาพในการออกเสียงแต่ละครั้งของผู้พูดแต่ละกลุ่มได้ดีกว่า

4.2.3 บริเวณเสียงสระ

4.2.3.1 บริเวณเสียงสระยาวที่ออกเสียงโดยผู้พูดปกติ

เช่นเดียวกับสระสั้น หากพิจารณาเฉพาะพื้นที่สระ จะทำให้ไม่เห็นปัญหาการเปล่งเสียงสระของผู้พูดที่ใช้หลอดลม-หลอดอาหาร ผู้วิจัยจึงนำข้อมูลทั้งหมดมาแสดงการกระจายของสระแต่ละเสียงเพื่อให้เห็นบริเวณเสียงสระ ในการออกเสียงของผู้พูดทั้ง 2 กลุ่ม

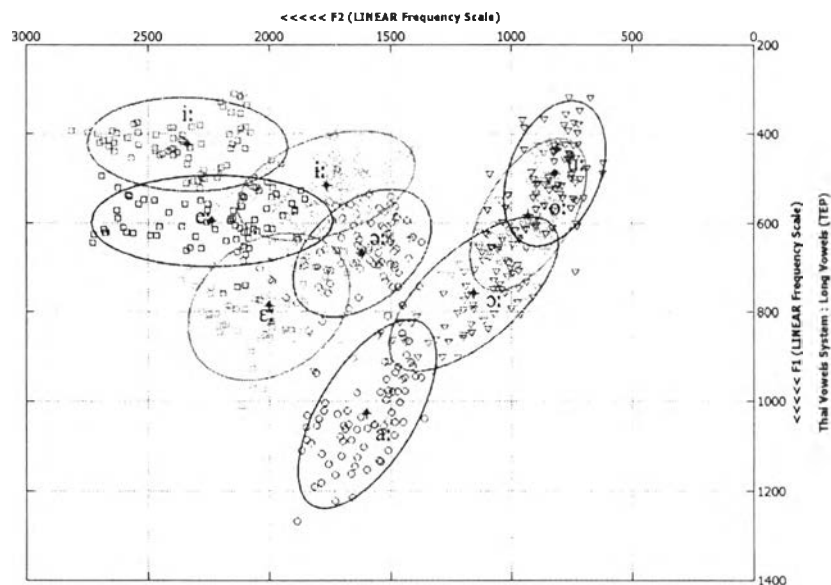


ภาพที่ 4.16 บริเวณเสียงสระยาว (ผู้พูดปกติ 3 คน)

บริเวณเสียงสระยาวที่ออกเสียงโดยผู้พูดปกติมีการกระจายที่เกาะกลุ่มกันมาก ดังนั้นบริเวณเสียงสระแต่ละเสียงจึงมีขนาดเล็กกว่าบริเวณเสียงสระสั้น เนื่องมาจากการออกเสียงสระยาวนั้น อวัยวะมีเวลาได้ทำงานเต็มที่ อวัยวะในการออกเสียงจึงไปถึงจุดเป้าหมาย (target) ได้เต็มที่ก่อนที่จะสิ้นสุดการออกเสียงนั้น ๆ แต่อย่างไรก็ตาม ยังมีการเหลื่อมกันเล็กน้อยระหว่างสระ /u:/ กับ /o:/ ส่วนสระอื่นที่เหลือไม่มีการเหลื่อมกันเลย

เมื่อพิจารณาการกระจายของข้อมูลแล้วจะเห็นได้ว่า ทิศทางการกระจายของข้อมูลของบริเวณเสียงสระยาวที่ออกเสียงโดยผู้พูดปกติส่วนใหญ่เป็นการกระจายของข้อมูลในทิศทางที่สะท้อนให้เห็นจากค่าความถี่ฟอร์เมนทที่ 2 ของ สระ /i:/, /e:/, /ɛ:/, /ɨ:/ และ /ɔ:/

4.2.3.2 บริเวณเสียงสระยาวของผู้พูดที่ใช้หลอดลม-หลอดอาหาร



ภาพที่ 4.17 บริเวณเสียงสระยาว (ผู้พูดที่ใช้หลอดลม-หลอดอาหาร 3 คน)

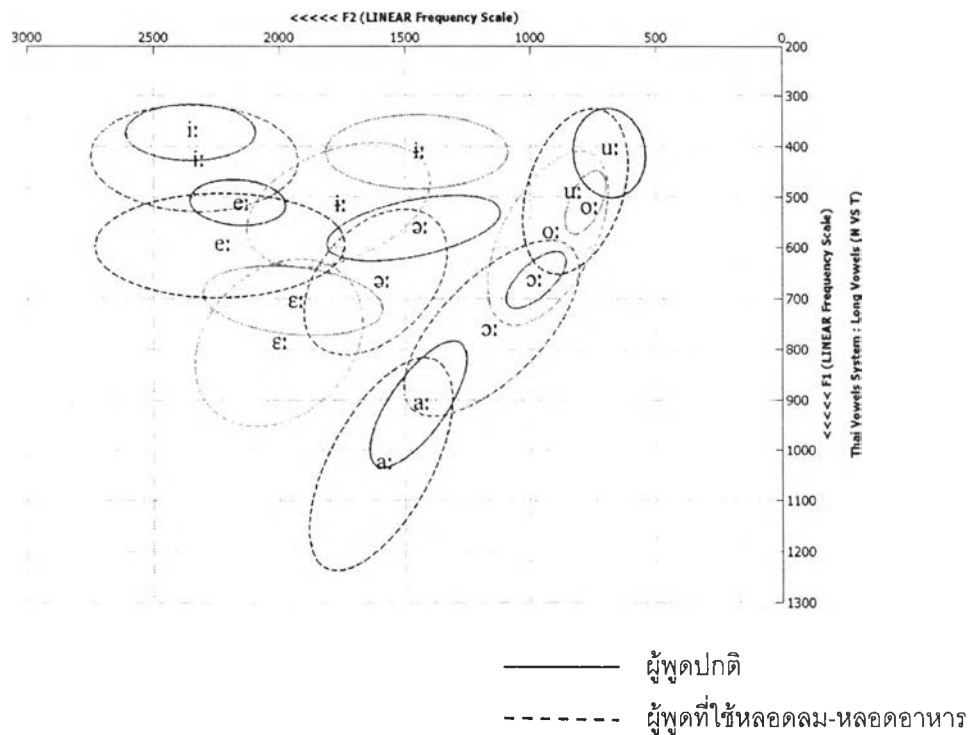
บริเวณเสียงสระยาวที่ออกเสียงโดยผู้พูดที่ใช้หลอดลม-หลอดอาหารมีการกระจายมาก ทำให้ขนาดของบริเวณเสียงสระแต่ละเสียงนั้นกว้างกว่าของผู้พูดปกติ แต่เมื่อเปรียบเทียบกับบริเวณเสียงสระสั้นที่ออกเสียงโดยผู้พูดหลอดลม-หลอดอาหารเองแล้ว จะเห็นได้ว่าบริเวณเสียงสระยาวมีขนาดเล็กกว่า อย่างไรก็ตาม ยังเกิดการเหลื่อมกันในสระเกือบทุกเสียง และมากที่สุดโนสระหลัง

ถึงแม้ปรากฏการณ์การกระจายของข้อมูลจะใกล้เคียงกับบริเวณเสียงสระสั้น แต่ประเด็นที่น่าสนใจคือบริเวณเสียงสระ /ɨ:/ ที่เอียงไปใกล้กับสระหน้ามาก ในขณะที่สระ /ɔ:/ และ

/a:/ อยู่ในแนวเดียวกัน กล่าวได้ว่าการออกเสียงสระ /i:/ นั้น ตำแหน่งของลิ้นส่วนที่เคลื่อนเข้าไปหาเพดานปากเป็นตำแหน่งลิ้นส่วนกลางที่ค่อนข้างหน้า จึงทำให้สระ /i:/ ซึ่งเป็นสระกลางสูง มีบริเวณเสียงสระใกล้กับสระหน้า /i:/ และ /e:/ มาก ซึ่งปรากฏการณ์นี้ไม่เกิดกับการออกเสียงสระกลางสั้น /i/

4.2.3.3 เปรียบเทียบบริเวณเสียงสระยาวของผู้พูดปกติกับผู้พูดที่ใช้หลอดลม-หลอดอาหาร

เพื่อให้เห็นความแตกต่างของบริเวณเสียงสระยาวแต่ละเสียงของผู้พูดปกติและผู้พูดที่ใช้หลอดลม-หลอดอาหารชัดเจนยิ่งขึ้น จึงได้นำบริเวณเสียงสระยาวของผู้พูดทั้ง 2 กลุ่มมาแสดงในภาพเดียวกัน ดังภาพที่ 4.18



ภาพที่ 4.18 เปรียบเทียบบริเวณเสียงสระยาว (ผู้พูดปกติ 3 คนกับผู้พูดที่ใช้หลอดลม - หลอดอาหาร 3 คน)

ในผู้พูดที่ใช้หลอดลม-หลอดอาหาร ถึงแม้บริเวณเสียงสระยาวจะมีขนาดแคบลงกว่าบริเวณเสียงสระสั้น แต่ก็ยังมีขนาดกว้างกว่าบริเวณเสียงสระยาวของผู้พูดปกติ สะท้อนให้เห็นว่าผู้พูดที่ใช้หลอดลม-หลอดอาหารสามารถออกเสียงสระยาวได้ดีกว่าสระสั้นในแง่ของคุณสมบัติของเสียงสระ แต่ก็ยังได้ไม่ดีเท่ากับผู้พูดปกติ

4.3 สระประสม

ในการแสดงลักษณะทางกลศาสตร์ของสระประสม ได้ใช้แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ของค่าความถี่ฟอร์เมนที่ 1 และค่าความถี่ฟอร์เมนที่ 2 ผู้วิจัยจะไม่แสดงบริเวณเสียงสระประสมเหมือนสระเดี่ยวเสียงสั้นและสระเดี่ยวเสียงยาว เนื่องจากจำนวนจุดที่วัดค่าความถี่ฟอร์เมนที่ของสระประสมมีเพียง 15 จุด ซึ่งข้อมูลไม่มากพอที่จะช่วยให้เห็นการกระจายของการออกเสียงสระประสมแต่ละเสียง

4.3.1 ค่าความถี่ฟอร์เมนที่ของสระประสม

4.3.1.1 ค่าความถี่ฟอร์เมนที่ของสระประสมที่ออกเสียงโดยผู้พูดปกติ

ตารางที่ 4.7 ค่าความถี่ฟอร์เมนที่ของสระประสม (ผู้พูดปกติ 3 คน)

| สระ | สระส่วนที่ 1 | | | ช่วงเชื่อมต่อ | | | สระส่วนที่ 2 | | |
|-----|--------------|---------|---------|---------------|---------|---------|--------------|---------|---------|
| | F1 | F2 | F3 | F1 | F2 | F3 | F1 | F2 | F3 |
| ia | 378.91 | 2246.94 | 2839.35 | 576.47 | 2039.57 | 2608.75 | 724.58 | 1617.86 | 2564.96 |
| ia | 424.15 | 1572.72 | 2618.50 | 566.29 | 1566.18 | 2584.04 | 704.28 | 1582.25 | 2563.56 |
| ua | 411.79 | 688.89 | 2633.28 | 547.10 | 962.30 | 2579.27 | 693.39 | 1310.21 | 2497.58 |

ตารางที่ 4.7 แสดงค่าความถี่ฟอร์เมนที่ 1 ที่ 2 และที่ 3 ของสระประสมที่ออกเสียงโดยผู้พูดปกติจำนวน 3 คน ที่วัดจากคำทดสอบทั้งสิ้น 15 คำ (5 คำตัวอย่าง x 3 คน)

สระ /ia/

สระส่วนที่ 1: ค่าความถี่ฟอร์เมนที่ 1 คือ 378.91 เฮิร์ตซ์ ค่าความถี่ฟอร์เมนที่ 2 คือ 2246.94 เฮิร์ตซ์ และค่าความถี่ฟอร์เมนที่ 3 คือ 2839.35 เฮิร์ตซ์

ช่วงเชื่อมต่อ: ค่าความถี่ฟอร์เมนที่ 1 คือ 576.47 เฮิร์ตซ์ ค่าความถี่ฟอร์เมนที่ 2 คือ 2039.57 เฮิร์ตซ์ และค่าความถี่ฟอร์เมนที่ 3 คือ 2608.75 เฮิร์ตซ์

สระส่วนที่ 2: ค่าความถี่ฟอร์เมนที่ 1 คือ 724.58 เฮิร์ตซ์ ค่าความถี่ฟอร์เมนที่ 2 คือ 1617.86 เฮิร์ตซ์ และค่าความถี่ฟอร์เมนที่ 3 คือ 2564.96 เฮิร์ตซ์

สระ /ia/

สระส่วนที่ 1: ค่าความถี่ฟอร์เมนที่ 1 คือ 424.15 เฮิร์ตซ์ ค่าความถี่ฟอร์เมนที่ 2 คือ 1572.72 เฮิร์ตซ์ และค่าความถี่ฟอร์เมนที่ 3 คือ 2618.50 เฮิร์ตซ์

ช่วงเชื่อมต่อ: ค่าความถี่ฟอร์เมนทที่ 1 คือ 566.29 เฮิร์ตซ์ ค่าความถี่ฟอร์เมนทที่ 2 คือ 1566.18 เฮิร์ตซ์ และค่าความถี่ฟอร์เมนทที่ 3 คือ 2584.04 เฮิร์ตซ์

สระส่วนที่ 2: ค่าความถี่ฟอร์เมนทที่ 1 คือ 704.28 เฮิร์ตซ์ ค่าความถี่ฟอร์เมนทที่ 2 คือ 1582.25 เฮิร์ตซ์ และค่าความถี่ฟอร์เมนทที่ 3 คือ 2563.56 เฮิร์ตซ์

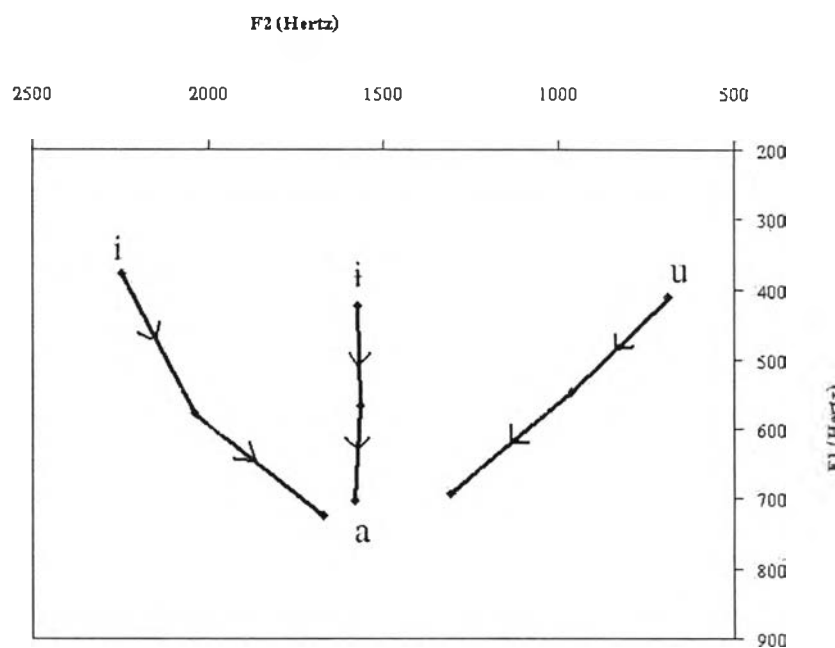
สระ /ua/

สระส่วนที่ 1: ค่าความถี่ฟอร์เมนทที่ 1 คือ 411.79 เฮิร์ตซ์ ค่าความถี่ฟอร์เมนทที่ 2 คือ 688.89 เฮิร์ตซ์ และค่าความถี่ฟอร์เมนทที่ 3 คือ 2633.28 เฮิร์ตซ์

ช่วงเชื่อมต่อ: ค่าความถี่ฟอร์เมนทที่ 1 คือ 547.10 เฮิร์ตซ์ ค่าความถี่ฟอร์เมนทที่ 2 คือ 962.30 เฮิร์ตซ์ และค่าความถี่ฟอร์เมนทที่ 3 คือ 2579.27 เฮิร์ตซ์

สระส่วนที่ 2: ค่าความถี่ฟอร์เมนทที่ 1 คือ 693.39 เฮิร์ตซ์ ค่าความถี่ฟอร์เมนทที่ 2 คือ 1310.21 เฮิร์ตซ์ และค่าความถี่ฟอร์เมนทที่ 3 คือ 2497.58 เฮิร์ตซ์

จากค่าความถี่ฟอร์เมนทที่ 1 ที่ 2 และที่ 3 ดังกล่าวข้างต้นสามารถแสดงเป็นแผนภูมิโดยใช้ค่าความถี่ฟอร์เมนทที่ 1 และที่ 2 ได้ดังนี้



ภาพที่ 4.19 ค่าความถี่ฟอร์เมนทที่ 1 และที่ 2 ของสระประสม (ผู้พูดปกติ 3 คน)

จากภาพที่ 4.19 อธิบายได้ว่า ค่าความถี่ฟอร์เมนทของสระประสมที่ออกเสียงโดยผู้พูดปกติ จากจุดที่เป็นสระส่วนที่ 1 มาถึงสระส่วนที่ 2 จะผ่านบริเวณที่เรียกว่า ช่วงเชื่อมต่อ เป็นที่น่าสังเกตว่าระยะเวลาการเปล่งเสียงสระประสมทุกเสียง จากสระส่วนที่ 1 ถึงช่วงเชื่อมต่อจะค่อนข้าง

ข้างยาวกว่าจากช่วงเชื่อมต่อไปยังสระส่วนที่ 2 (ดูรายละเอียดการวัดค่าระยะเวลาได้ในบทที่ 5) นอกจากนี้สระส่วนที่ 2 คือ สระ /a/ ในสระประสม /ia/, /ia/ และ /ua/ มีคุณสมบัติคล้ายกับคุณสมบัติของสระ /o/ ข้อค้นพบนี้ทำให้ผู้วิจัยคิดว่า การถ่ายถอดเสียงสระประสมในภาษาไทยเป็น /io/, /io/ และ /uo/ น่าจะเหมาะสมและใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากกว่า ในกรณีทีวิเคราะห์ให้สระ /i/ และสระ /o/ ในภาษาไทยเป็นสระกลางในระบบสระ

4.3.1.2 ค่าความถี่ฟอร์เมนต์ของสระประสมที่ออกเสียงโดยผู้พูดที่ใช้หลอดลม-หลอดอาหาร

ตารางที่ 4.8 ค่าความถี่ฟอร์เมนต์ของสระประสม (ผู้พูดที่ใช้หลอดลม-หลอดอาหาร 3 คน)

| สระ | สระส่วนที่ 1 | | | ช่วงเชื่อมต่อ | | | สระส่วนที่ 2 | | |
|-----|--------------|---------|---------|---------------|---------|---------|--------------|---------|---------|
| | F1 | F2 | F3 | F1 | F2 | F3 | F1 | F2 | F3 |
| ia | 461.52 | 2425.14 | 3018.73 | 598.11 | 2189.23 | 2835.94 | 770.64 | 1958.83 | 2706.49 |
| ia | 534.72 | 1765.87 | 2633.74 | 673.83 | 1676.98 | 2573.77 | 759.81 | 1648.24 | 2597.79 |
| ua | 469.43 | 840.18 | 2347.93 | 627.12 | 1060.88 | 2370.86 | 769.45 | 1340.95 | 2374.95 |

ตารางที่ 4.8 แสดงค่าความถี่ฟอร์เมนต์ของสระประสมที่ออกเสียงโดยผู้พูดหลอดลม-หลอดอาหาร จำนวน 3 คน จากค่าทดสอบทั้งสิ้น 15 ค่า (5 ค่าตัวอย่าง x 3 คน)

สระ /ia/

สระส่วนที่ 1: ค่าความถี่ฟอร์เมนต์ที่ 1 คือ 461.52 เฮิร์ตซ์ ค่าความถี่ฟอร์เมนต์ที่ 2 คือ 2425.14 เฮิร์ตซ์ และค่าความถี่ฟอร์เมนต์ที่ 3 คือ 3018.73 เฮิร์ตซ์

ช่วงเชื่อมต่อ: ค่าความถี่ฟอร์เมนต์ที่ 1 คือ 598.11 เฮิร์ตซ์ ค่าความถี่ฟอร์เมนต์ที่ 2 คือ 2189.23 เฮิร์ตซ์ และค่าความถี่ฟอร์เมนต์ที่ 3 คือ 2835.94 เฮิร์ตซ์

สระส่วนที่ 2: ค่าความถี่ฟอร์เมนต์ที่ 1 คือ 770.64 เฮิร์ตซ์ ค่าความถี่ฟอร์เมนต์ที่ 2 คือ 1958.83 เฮิร์ตซ์ และค่าความถี่ฟอร์เมนต์ที่ 3 คือ 2706.49 เฮิร์ตซ์

สระ /ia/

สระส่วนที่ 1: ค่าความถี่ฟอร์เมนต์ที่ 1 คือ 534.72 เฮิร์ตซ์ ค่าความถี่ฟอร์เมนต์ที่ 2 คือ 1765.87 เฮิร์ตซ์ และค่าความถี่ฟอร์เมนต์ที่ 3 คือ 2633.74 เฮิร์ตซ์

ช่วงเชื่อมต่อ: ค่าความถี่ฟอร์เมนต์ที่ 1 คือ 673.83 เฮิร์ตซ์ ค่าความถี่ฟอร์เมนต์ที่ 2 คือ 1676.98 เฮิร์ตซ์ และค่าความถี่ฟอร์เมนต์ที่ 3 คือ 2573.77 เฮิร์ตซ์

สระส่วนที่ 2: ค่าความถี่ฟอร์เมนทที่ 1 คือ 759.81 เฮิร์ตซ์ ค่าความถี่ฟอร์เมนทที่ 2 คือ 1648.24 เฮิร์ตซ์ และค่าความถี่ฟอร์เมนทที่ 3 คือ 2597.79 เฮิร์ตซ์

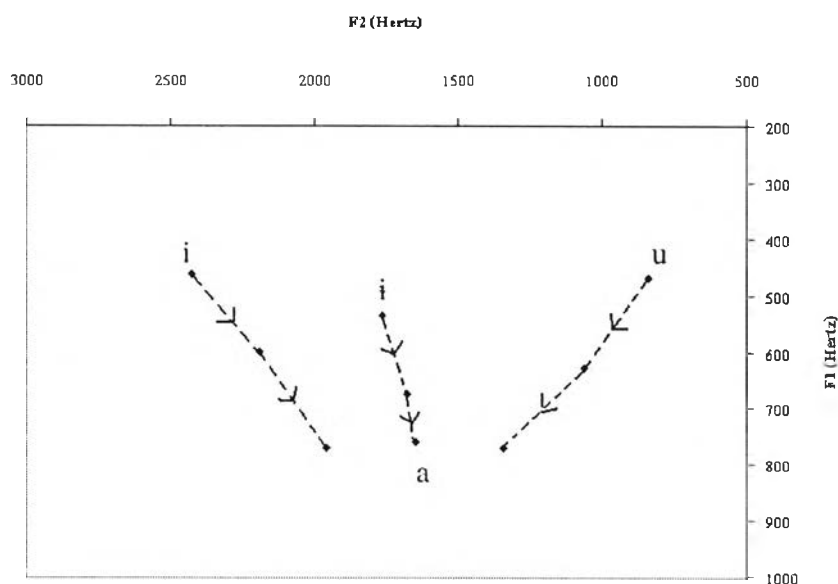
สระ /ua/

สระส่วนที่ 1: ค่าความถี่ฟอร์เมนทที่ 1 คือ 469.43 เฮิร์ตซ์ ค่าความถี่ฟอร์เมนทที่ 2 คือ 840.18 เฮิร์ตซ์ และค่าความถี่ฟอร์เมนทที่ 3 คือ 2347.93 เฮิร์ตซ์

ช่วงเชื่อมต่อ: ค่าความถี่ฟอร์เมนทที่ 1 คือ 627.12 เฮิร์ตซ์ ค่าความถี่ฟอร์เมนทที่ 2 คือ 1060.88 เฮิร์ตซ์ และค่าความถี่ฟอร์เมนทที่ 3 คือ 2370.86 เฮิร์ตซ์

สระส่วนที่ 2: ค่าความถี่ฟอร์เมนทที่ 1 คือ 769.45 เฮิร์ตซ์ ค่าความถี่ฟอร์เมนทที่ 2 คือ 1340.95 เฮิร์ตซ์ และค่าความถี่ฟอร์เมนทที่ 3 คือ 2374.95 เฮิร์ตซ์

จากค่าความถี่ฟอร์เมนทข้างต้นสามารถแสดง ด้วยแผนภูมิดังปรากฏในภาพที่ 4.20

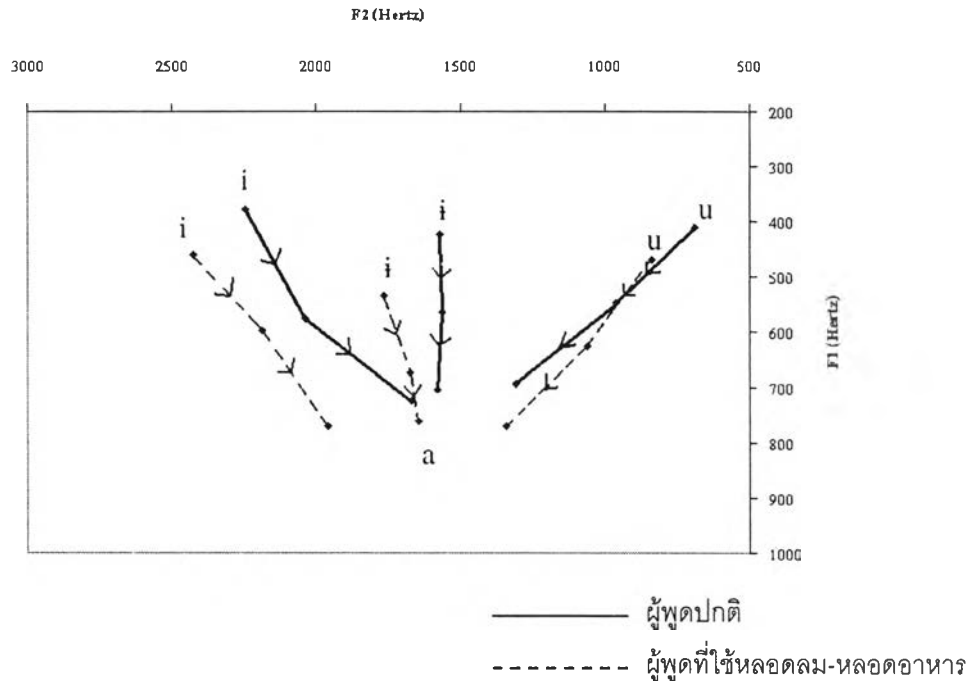


ภาพที่ 4.20 ค่าความถี่ฟอร์เมนทของสระประสม (ผู้พูดที่ใช้หลอดลม-หลอดอาหาร 3 คน)

เมื่อนำค่าความถี่ฟอร์เมนทของสระประสม /ia/, /ia/ และ /ua/ ที่ออกเสียงโดยผู้พูดที่ใช้หลอดลม-หลอดอาหารมาแสดงความสัมพันธ์ของค่าความถี่ฟอร์เมนทที่ 1 และค่าความถี่ฟอร์เมนทที่ 2 ผลที่ได้ใกล้เคียงกับการออกเสียงของผู้พูดปกติ คือ สระส่วนที่ 2 ของสระประสมคล้ายกับสระ /a/ มากกว่าสระ /a/ น่าสังเกตว่าในสระ /ia/ และ /ua/ ระยะระหว่างสระส่วนที่ 1 ถึงช่วงเชื่อมต่อ และจากช่วงเชื่อมต่อไปยังสระส่วนที่ 2 ค่อนข้างใกล้เคียงกัน ในขณะที่สระ /ia/ ระยะจากสระส่วนที่ 1 ถึงช่วงเชื่อมต่อ จะยาวกว่าจากช่วงเชื่อมต่อไปยังสระส่วนที่ 2 นอกจากนี้ยังเกิดปรากฏการณ์เหมือนกับในสระยาวคือ สระส่วนที่ 1 ของสระ /ia/ และ /ia/ ในการเปล่งเสียงของผู้

พูดที่ใช้หลอดลม-หลอดอาหาร มีค่าความถี่ฟอร์เมนที่ 2 มากกว่า ซึ่งแสดงให้เห็นว่าสระส่วนที่ 1 ของสระประสมทั้ง 2 เสียงได้ถูกแปลงเสียงเป็นสระหน้ามากกว่าเมื่อปรากฏเป็นสระเดี่ยว

4.3.1.3 เปรียบเทียบค่าความถี่ฟอร์เมนของสระประสมที่ออกเสียงโดยผู้พูดปกติกับผู้พูดที่ใช้หลอดลม- หลอดอาหาร



ภาพที่ 4.21 เปรียบเทียบค่าความถี่ฟอร์เมนที่ 1 และที่ 2 ของสระประสม (ผู้พูดปกติ 3 คน กับผู้พูดที่ใช้หลอดลม-หลอดอาหาร 3 คน)

ลักษณะทางกลศาสตร์ของสระประสมที่ออกเสียงโดยผู้พูดทั้งสองกลุ่มค่อนข้างใกล้เคียงกัน อย่างไรก็ตาม ค่าความถี่ฟอร์เมนของสระประสม /ia/ และ /ia/ ที่ออกเสียงโดยผู้พูดที่ใช้หลอดลม-หลอดอาหารจะสูงกว่าของผู้พูดปกติ โดยเฉพาะค่าความถี่ฟอร์เมนที่ 2 ซึ่งเป็นปรากฏการณ์ทำนองเดียวกับของสระเดี่ยว สำหรับสระ /ia/ ระยะจากสระส่วนที่ 1 มาถึงช่วงเชื่อมต่อจะยาวกว่าระยะจากช่วงเชื่อมต่อมายังสระส่วนที่ 2 ขณะที่ใน สระ /ia/ และ /ua/ ระยะจากสระส่วนที่ 1 มาถึงช่วงเชื่อมต่อ และจากช่วงเชื่อมต่อถึงสระส่วนที่ 2 ค่อนข้างใกล้เคียงกัน