

การทดลองและผลการทดลอง

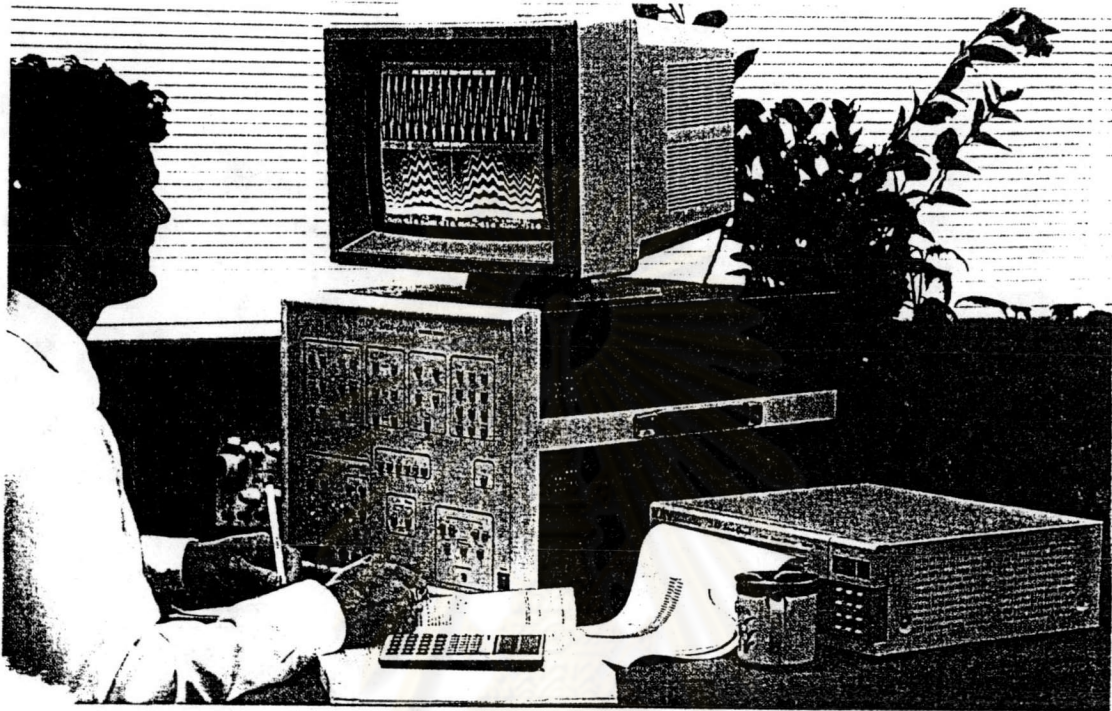
4.1 การเตรียมข้อมูล

ข้อมูลที่ใช้คือเสียงของผู้พูดจำนวน 20 คนเป็นชาย 10 คน หญิง 10 คน โดยให้ผู้พูดบรรยายสภาพห้องอัดเสียงหน่วยปฏิบัติการวิจัยภาษาศาสตร์ คณะอักษรศาสตร์ โดยมีคำสำคัญที่ต้องการให้ผู้พูดกล่าวถึงในขณะอัดเสียง เช่น สีเหลือง , ม่าน , สีเนื้อ ฯลฯ เพื่อชักนำให้เนื้อความที่พูดออกมาใกล้เคียงกัน ผู้พูดต้องสร้างประโยคขึ้นเชื่อมต่อดีขึ้นเพื่อให้ได้เนื้อความกลมกลืนต่อเนื่อง ทั้งนี้เพื่อให้เสียงพูดเป็นแบบบรรยายเหมือนกันและมีความเป็นธรรมชาติแม้จะมีการควบคุมการแปรทางภาษาไว้ ตัวอย่างของคำบรรยายแสดงไว้ในภาคผนวก ก. การเตรียมความพร้อมของผู้พูดได้ให้ผู้พูดสร้างความคุ้นเคยต่อสภาพห้องอัดเสียง โดยการแนะนำถึงสภาพของห้องอัดเสียง เมื่อผู้พูดพร้อมแล้วจะบันทึกเสียงลงเครื่องบันทึกเสียงด้วยไมโครโฟน AKG D330BT และเครื่องบันทึกเทป TASCAM 32 โดยปรับเครื่องบันทึกเทปให้สัญญาณเสียงที่บันทึกมีความดังที่เหมาะสมตามที่ปรากฏบนมาตรแสดงระดับความเข้มสัญญาณเข้า (input level meter) ของเครื่องบันทึกเทป ในการบันทึกนี้จะให้ความเข้มสัญญาณเข้าไม่เกิน -3 เดซิเบลโดยประมาณ และใช้อัตราเร็วในการบันทึก 7.5 นิ้วต่อวินาที ใช้แถบบันทึกเสียงชนิดรีล SONY ULH-5-275-BL

4.2 การเตรียมเครื่องวิเคราะห์เสียง

เครื่องวิเคราะห์ความถี่ของสัญญาณเสียงพูดที่ใช้คือ Digital Signal Processing Sona-Graph (DSP Sona-graph) รุ่น 5500 ผลิตโดยบริษัท Kay Elemetrics ซึ่งมีส่วนประกอบในการทำงานของระบบคือ

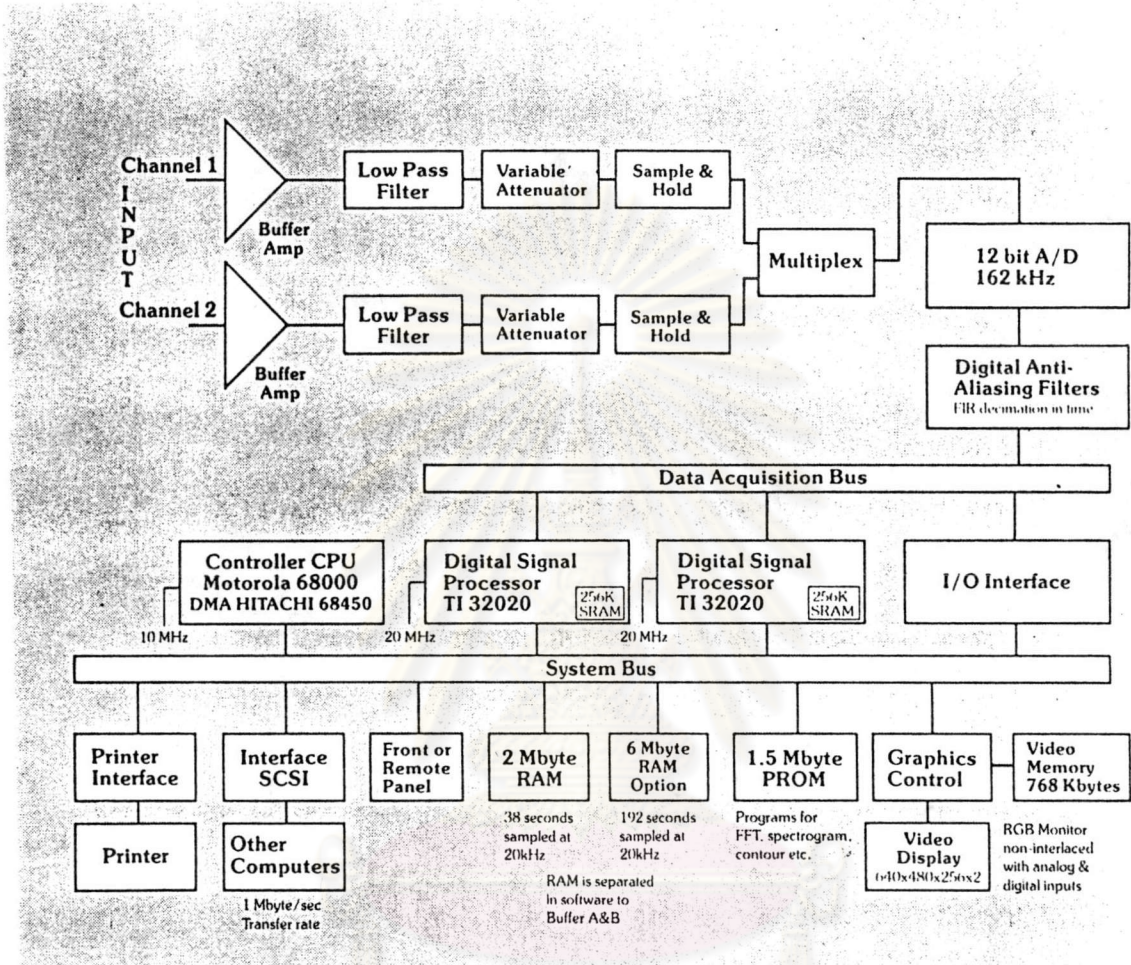
- (1) ส่วนรับและวิเคราะห์สัญญาณ
- (2) ส่วนจอภาพแสดงผล
- (3) ส่วนแสดงผลทางเครื่องพิมพ์ ดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 เครื่องวิเคราะห์ความถี่ DSP Sona-Graph รุ่น 5500

เมื่อเครื่องวิเคราะห์ความถี่รับสัญญาณเสียงต่อเนื่องจะแปลงเป็นสัญญาณเชิงตัวเลข 12 บิต และเก็บสัญญาณไว้ในหน่วยความจำขนาด 2 เมกกะไบต์หรือ 38 วินาทีที่อัตราการซีกตัวอย่าง 20 กิโลเฮิร์ตซ์ สามารถรับสัญญาณได้สองชุดคือ channel 1 และ channel 2 โดยมีช่วงตอบสนองความถี่ 0 - 32 กิโลเฮิร์ตซ์ ใช้หน่วยประมวลผลกลาง Motorola 68000 ควบคุมการทำงานตามฟังก์ชันต่างๆของเครื่อง และใช้ตัวประมวลผลสัญญาณเชิงตัวเลข Texas Instruments TI32020 ดังแผนภูมิโครงสร้างของเครื่องที่แสดงไว้ในรูปที่ 4.2





รูปที่ 4.2 แผนภูมิโครงสร้างเครื่อง DSP Sona-Graph

อัตราการชักตัวอย่างแปรตามความถี่สูงสุดของสัญญาณที่ต้องการวิเคราะห์และมีผลต่อช่วงความยาวของสัญญาณที่จะนำไปเก็บไว้หน่วยความจำ เนื่องจากจำนวนตัวอย่างเพิ่มขึ้นตามอัตราการชักตัวอย่างดังตารางที่ 4.1.1

ตารางที่ 4.1.1 ช่วงเวลาสัญญาณและอัตราการซีกตัวอย่างที่สอดคล้องตามความถี่สูงสุด  
ของสัญญาณ

<u>Frequency Range</u>	<u>Sampling Rate</u>	
DC-32 KHZ	81,920 Hertz	
DC-16 KHZ	40,960 Hertz	
DC- 8 KHZ	20,480 Hertz	
DC- 4 KHZ	10,240 Hertz	
DC- 2 KHZ	5,120 Hertz	
DC- 1 KHZ	2,560 Hertz	
DC- 500 HZ	1,280 Hertz	
DC- 250 HZ	640 Hertz	
DC- 125 HZ	320 Hertz	(Optional)
DC- 62.5 HZ	180 Hertz	(Optional)
DC- 31.25HZ	90 Hertz	(Optional)

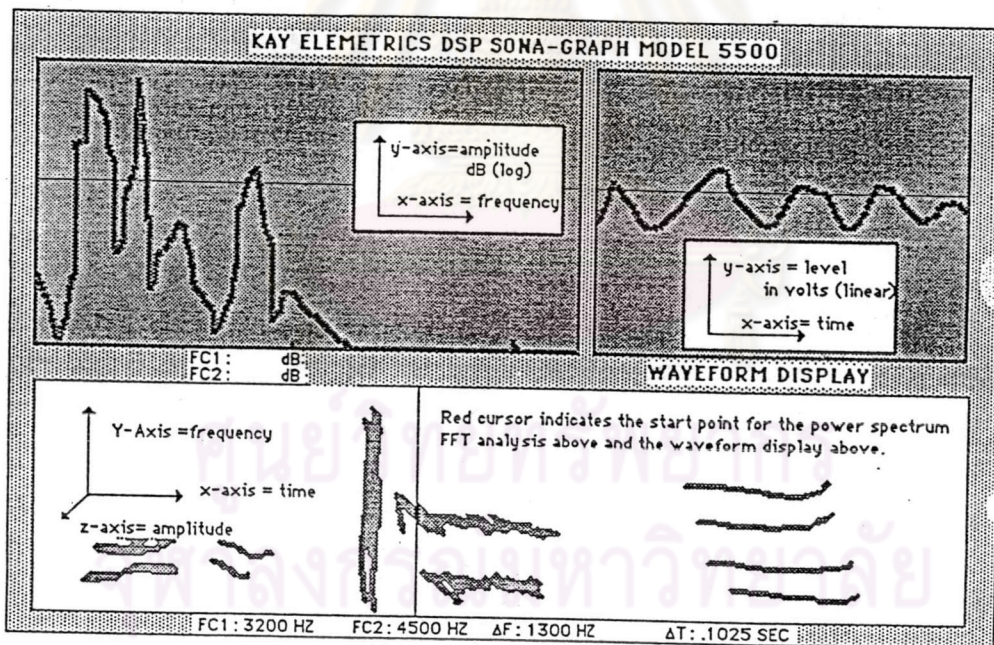
การวิเคราะห์สัญญาณเชิงตัวเลขจะต้องกำหนดจำนวนข้อมูลของสัญญาณที่ถูกซีกตัวอย่างไว้เพื่อนำไปคำนวณหาค่าผลแปลงฟูเรียร์ไม่ต่อเนื่อง จำนวนข้อมูลที่กำหนดและอัตราการซีกตัวอย่างมีผลต่อความกว้างแถบในการวิเคราะห์ความถี่ของเครื่องวิเคราะห์สัญญาณเชิงตัวเลขดังแสดงในตารางที่ 4.1.2

ตารางที่ 4.1.2 จำนวนข้อมูลที่กำหนด, อัตราการซีกตัวอย่างและความกว้างแถบในการวิเคราะห์ความถี่

TRANSFORM	INPUT FREQUENCY RANGE							
	250Hz	500Hz	1kHz	2kHz	4kHz	8kHz	16kHz	32kHz
50	18.75	37.50	75.00	150.00	300.00	600	1200	2400
75	14.06	28.13	56.25	112.50	225.00	450	900	1800
100	9.38	18.75	37.50	75.00	150.00	300	600	1200
125	7.31	14.63	29.25	58.50	117.00	234	468	936
200	4.69	9.38	18.75	37.50	75.00	150	300	600
256	3.66	7.31	14.63	29.25	58.50	117	234	468
512	1.84	3.69	7.38	14.75	29.50	59	118	236
600	1.56	3.13	6.25	12.50	25.00	50	100	200
1024	0.91	1.81	3.63	7.25	14.50	29	58	116
512 Zoom	0.23	0.46	0.93	1.85	3.70	7.4	14.8	29.6
1024 Zoom	0.11	0.23	0.45	0.90	1.80	3.6	7.2	14.4



เครื่องมือในการวิเคราะห์ที่สัญญาณสามารถแสดงรูปคลื่น (wave form) และสเปกตรัมของสัญญาณในช่วงเวลาที่ต้องการตามคำสั่งเรียกว่า เพาเวอร์สเปกตรัม (power spectrum) อยู่บริเวณส่วนบนของจอภาพ ส่วนล่างของจอภาพแสดงสเปกตรัมของสัญญาณที่แปรตามเวลา ซึ่งเรียกว่าสเปกโตรแกรม (spectrogram) ดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 จอภาพบนส่วนบนแสดงรูปคลื่นและสเปกตรัมของสัญญาณ

จอภาพส่วนล่างแสดงสเปกโตรแกรม

เครื่องมือนี้จะวิเคราะห์สัญญาณตามชุดคำสั่งที่เลือกไว้โดยผู้ใช้ คุณสมบัติสำคัญที่กำหนดไว้สำหรับการทดลองครั้งนี้คือ

- 4.2.1 ช่วงความถี่รับสัญญาณ (input frequency range) 0-4 กิโลเฮิรตซ์
- 4.2.2 ขนาดการแปลงสัญญาณ (transform size) 1024 จุดสำหรับจภาพส่วนบน และ 50 จุดสำหรับจภาพส่วนล่าง
- 4.2.3 แกนเวลา 500 มิลลิวินาทีต่อหนึ่งจภาพ (ส่วนล่าง)
- 4.2.4 กรอบการวิเคราะห์ (analysis window) หรือทริงเคซิน ฟังก์ชัน (ดูบทที่ 3) แบบแฮมมิง (Hamming)
- 4.2.5 ช่วงพลวัต (dynamic range) 72 เดซิเบลสำหรับเพาเวอร์สเปกตรัม และ 42 เดซิเบลสำหรับสเปกโตรแกรม
- 4.2.6 การลดสัญญาณ (analysis attenuation) 0 เดซิเบล

#### 4.3 การวิเคราะห์สัญญาณ

นำแถบบันทึกเสียงมาเปิดเพื่อป้อนสัญญาณเข้าเครื่อง DSP Sona-graph โดยปรับการลดสัญญาณเข้า (input attenuation) ให้เหมาะสมจนได้ภาพสเปกโตรแกรมที่ชัดเจน เครื่องดีเอสพีสามารถเก็บสัญญาณไว้ในหน่วยความจำ เมื่อป้อนสัญญาณเรียบร้อยแล้วจะต้องเลือกช่วงสัญญาณที่เป็นเสียง / i:, a:, u: / ในคำพูดประโยคต่อเนื่องเพื่อหาสเปกตรัมจากผลแปลงฟูเรียร์ของสัญญาณช่วงที่เลือกไว้ จากสเปกตรัมของสัญญาณจะสามารถหาความถี่หลักมูลได้จากฮาร์โมนิกที่หนึ่ง และหาความถี่ฟอร์แมนท์ที่หนึ่ง, สอง, สาม ได้จากฮาร์โมนิกที่มีระดับความเข้มสูงสุดในกลุ่มสเปกตรัมของฮาร์โมนิกต่าง ๆ เรียงจากความถี่ต่ำไปสู่ความถี่ที่สูงขึ้น โดยความถี่ของฮาร์โมนิกที่มีระดับความเข้มสูงสุดในกลุ่มแรกคือฟอร์แมนท์ที่หนึ่ง ฮาร์โมนิกที่มีระดับความเข้มสูงสุดของกลุ่มถัดไปคือฟอร์แมนท์ที่สองและสามตามลำดับ ดังรูปที่ 4.4 ค่าความถี่ฟอร์แมนท์เสียงสระในคำพูดต่อเนื่องมีการเปลี่ยนแปลงไปตามลักษณะโครงสร้างประโยคและโครงสร้างของคำที่ประกอบด้วยสระตัวที่ต้องการวัด ผลกระทบจากโครงสร้างของคำเกิดจากพยัญชนะต้นหรือตัวสะกดทำให้เกิดช่วงเชื่อมต่อ (transitional stage) ของเสียง ความถี่ฟอร์แมนท์ในช่วงเชื่อมต่ออาจสูงขึ้นหรือต่ำลงจากค่าความถี่



ฟอร์แมนซ์ของเสียงสระโดดๆเพียงเสียงเดียว โครงสร้างประโยคจะก่อให้เกิดจังหวะการเน้นคำ เสียงของคำเดียวกันอาจมีการลงเสียงหนักเบาแตกต่างกันไปในประโยคต่างกัน นอกจากนี้รูปแบบการพูดและอารมณ์ของแต่ละบุคคลมีผลกระทบต่อเสียงที่เปล่งออกมา เช่น เมื่อพูดเร็วช่วงเวลาการออกเสียงแต่ละหน่วยพยางค์สั้นมาก ความถี่ฟอร์แมนซ์เดิมจากการพูดปกติจะปรับตัวเปลี่ยนค่าให้เหมาะสมในช่วงเชื่อมต่อนเสียงแต่ละหน่วยพยางค์ที่ถูกเปล่งออกมาอย่างรวดเร็วหรืออาจข้ามเสียงบางหน่วยไป เมื่อนำเสียงไปวิเคราะห์ด้วยสเปกโตรแกรมจะพบเพียงช่วงเชื่อมต่อนของเสียงเท่านั้น ในการทดลองนี้จะศึกษาสระในระยะคงที่ (steady stage) โดยเลือกช่วงระยะสัญญาณเสียงสระที่ยาวและความถี่ฟอร์แมนซ์ที่มีค่าคงที่ แล้ววัดค่าความถี่ฟอร์แมนซ์ในช่วงความถี่คงที่มากที่สุดของเสียงสระที่ต้องการ เหตุที่เลือกศึกษาสระในระยะคงที่คือ

- (1) เพื่อหลีกเลี่ยงลักษณะการแปรอันเกิดจากปริบททางเสียงซึ่งจะพบในสัญญาณของเสียงสระในช่วงเชื่อมต่อกับเสียงข้างเคียง
- (2) ต้องการศึกษาลักษณะที่แปรไปตามความแตกต่างระหว่างบุคคลมิใช่การแปรตามปริบททางเสียง

รูปที่ 4.5 เป็นตัวอย่างเสียงของคำโดดสามคำคือ " มี ทาง ปู " สามารถสังเกตผลกระทบต่อความถี่ฟอร์แมนซ์ช่วงเริ่มต้นและปลายเสียงสระเนื่องจากพยัญชนะต้นหรือตัวสะกดทำให้เกิดช่วงเชื่อมต่อกับค่าความถี่ฟอร์แมนซ์มีการเปลี่ยนอย่างชัดเจน ส่วนช่วงกลางค่าความถี่ฟอร์แมนซ์ที่มีค่าคงที่สามารถกำหนดขอบเขตสัญญาณที่ต้องการวัดได้ชัดเจน

#### 4.4 ผลการทดลอง

ผลจากการวิเคราะห์ในข้อ 4.3 จะได้ค่าความถี่หลักมูล ( $f_0$ ), ความถี่ฟอร์แมนซ์ที่หนึ่ง ( $F1$ ), ฟอร์แมนซ์ที่สอง ( $F2$ ) และฟอร์แมนซ์ที่สาม ( $F3$ ) ของเสียงสระ / i:, e:, u: / ซึ่งเป็นหน่วยเสียงของพยางค์ในคำพูดต่างๆ โดยผู้พูดแต่ละคนอาจพูดจำนวนพยางค์ไม่เท่ากัน จึงต้องเลือกเฉพาะคำหรือพยางค์ที่ผู้พูดทุกคนออกเสียงและมีโครงสร้างเดียวกันคือ พยัญชนะต้น, สระ, ตัวสะกด และวรรณยุกต์เดียวกัน ค่าความถี่ของคำต่างๆโดยละเอียดได้แสดงไว้ในภาคผนวก ข. ตารางที่ 4.4.1 แสดงค่าเฉลี่ยของความถี่ต่างๆ, ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน, พิสัยความถี่ และค่าสูงสุด-ต่ำสุดของเสียงสระทั้งสามตัว

จำแนกตามกลุ่มเพศ ตารางที่ 4.4.2, 4.4.3 และ 4.4.4 แสดงค่าเฉลี่ยของความถี่ต่างๆ และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของเสียงสระทั้งสามตัวของผู้พูดทั้งชายและหญิง จำแนกเป็นรายบุคคล



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



KAY ELEMENTRICS CORP. MODEL 5500  
SIGNAL ANALYSIS WORKSTATION

Date: 3F 19FF  
Analysis by:

Time: 12:7F:20 AM

INPUT SETTINGS

Source Channel 1  
LEFT CONNECTORS  
DC - 4 KHz.  
HI-SHAPE  
38 SECONDS  
Buffer Size

Source Channel 2  
LEFT CONNECTORS  
DC - 4 KHz.  
FLAT  
38 SECONDS

ANALYSIS SETTINGS

Signal Analyzed Lower Screen  
CHANNEL 1  
SPECTROGRAPHIC  
50 pts. ( 300 Hz)  
Transform Size  
200ms (4sec)  
Time Axis  
FULL SCALE  
Analysis Axis  
Analysis Window  
Averaging Set Up  
NO AVERAGING

Upper Screen  
CHANNEL 2  
POWER AT CURSORS  
1024 pts. ( 15 Hz)  
FULL SCALE  
3.12ms (62.5ms)  
HAMMING  
NO AVERAGING

DISPLAY SETTINGS

Time Divisions Lower Screen  
2000 Sec.  
Freq. Divisions 250.0 Hz.  
Dynamic Range 42 dB  
Analysis Atten. 0 dB  
Set Up Options Set to: #00

Upper Screen  
003124 Sec.  
250.0 Hz.  
72 dB  
0 dB

CURSOR READINGS:

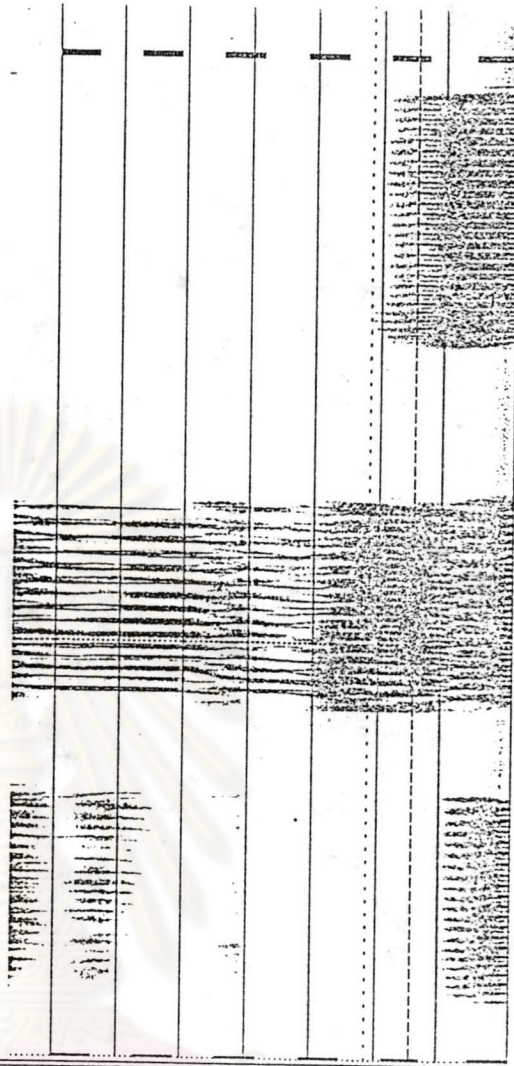
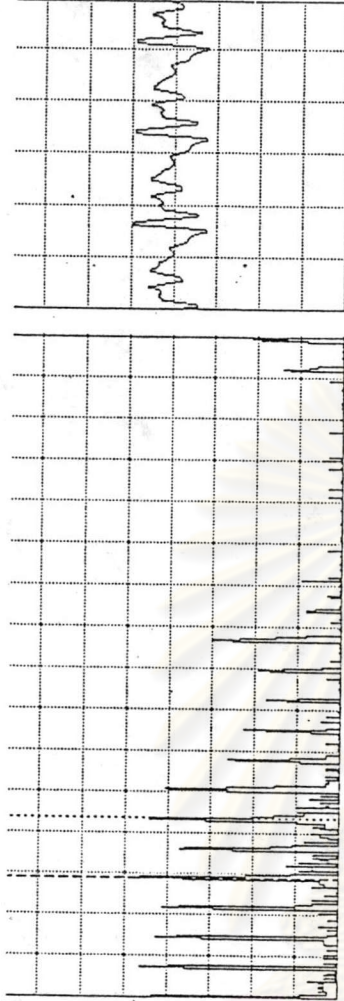
FC1: 720.0 Hz  
FC1: -27 dB, FC2: -31 dB, ^F: 4 dB  
^R1: 35.75 Sec.  
^R2:

^F: 370.0 Hz.

PITCH TC1: Hz.  
AMPLITUDE TC1: dB

TC2: Hz.  
TC2: dB

SUBJECT MATTER



รูปที่ 4.4 เพาเวอร์สเปกตรัมและสเปกโตรแกรมของสัญญาณการวิเคราะห์



KAY ELEMETRICS CORP. MODEL 5500  
SIGNAL ANALYSIS WORKSTATION

Date: 3F 19FF  
Analysis by:

Time: 12:7F:33 AM

INPUT SETTINGS

Source Channel 1  
LEFT CONNECTORS  
DC - 4 KHz.  
Input Shaping HI-SHAPE  
Buffer Size 38 SECONDS

ANALYSIS SETTINGS

Signal Analyzed Channel 2  
Analysis Format LEFT CONNECTORS  
Transform Size SPECTROGRAPHIC  
Time Axis 50 pts. (300 Hz)  
Frequency Axis 50ms (1sec)  
Analysis Window FULL SCALE  
Averaging Set Up HAMPING  
NO AVERAGING

DISPLAY SETTINGS

Time Divisions Lower Screen  
Freq. Divisions 05000 Sec.  
Dynamic Range 250.0 Hz.  
Analysis Atten. 42 dB  
Set Up Options Set to: #00

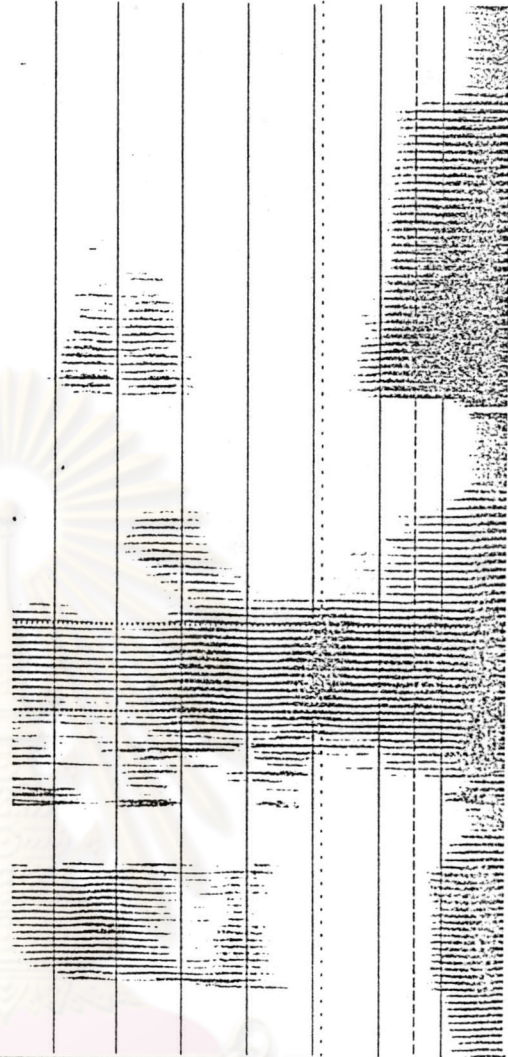
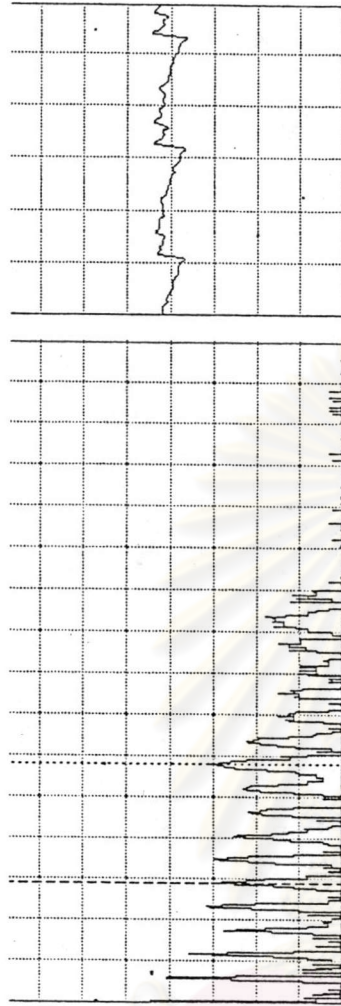
CURSOR READINGS:

FC1: 720.0 Hz, FC2: 1450. Hz, ^F: 730.0 Hz.  
FC1: -44 dB, FC2: -43 dB, ^F: 1 dB  
^R1: 37.32 Sec. ^R2: 37.40 Sec.

PITCH

TC1: Hz.  
TC2: Hz.  
AMPLITUDE TC1: dB  
TC2: dB

SUBJECT MATTER



รูปที่ 4.5 สเปกโตรแกรมของค่า " มี ทาง ปู " แสดงผลการทับต่อความถี่พอร์แมทที่ว่าง เริ่มต้นและปลายเสียงสระ

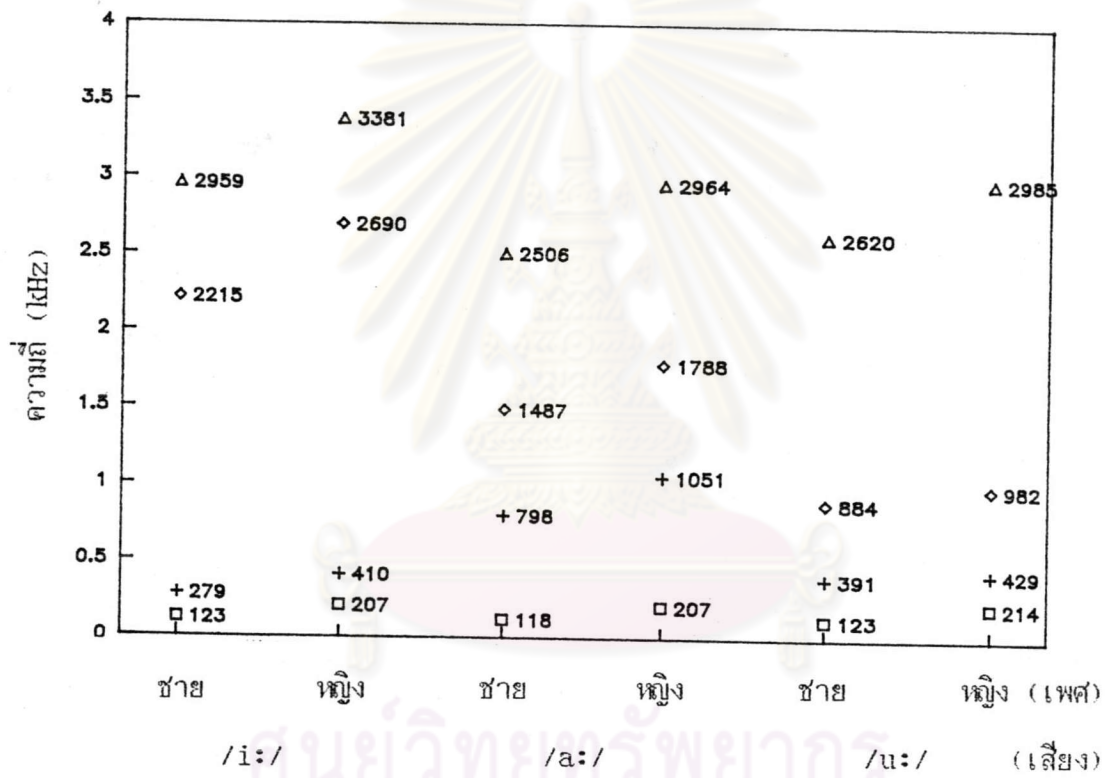


ตารางที่ 4.4.1 ค่าเฉลี่ย, ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน, จำนวนข้อมูล, พิสัย, ค่าต่ำสุดและสูงสุด  
ของความถี่หลักมูลและฟอร์แมนที่ต่างๆของเสียงชายและหญิง  
(หน่วย: เฮิรตซ์)

เสียง		f0 (Hz)		F1 (Hz)		F2 (Hz)		F3 (Hz)	
		ชาย	หญิง	ชาย	หญิง	ชาย	หญิง	ชาย	หญิง
-๕	mean	123	207	279	410	2215	2690	2959	3381
	sd	20	29	59	63	128	164	208	183
	n	97	105	97	105	97	105	97	105
	range	100	140	210	340	570	740	950	980
	min	90	140	190	210	1920	2330	2490	2820
	max	190	280	400	550	2490	3070	3440	3800
-๗	mean	118	207	798	1051	1487	1788	2506	2964
	sd	21	33	92	108	112	144	238	216
	n	86	82	86	82	86	82	86	82
	range	140	180	370	450	470	620	1150	1060
	min	90	150	620	820	1220	1450	2010	2420
	max	230	330	990	1270	1690	2070	3160	3480
-๖	mean	123	214	391	429	884	982	2620	2985
	sd	14	25	43	50	92	139	167	189
	n	20	20	20	20	20	20	20	15
	range	50	100	140	190	340	510	610	690
	min	110	170	320	350	720	690	2290	2650
	max	160	270	460	540	1060	1200	2900	3340
รวม -, -๗ และ -๖	mean	121	208						
	sd	20	30						
	n	203	207						
	range	140	190						
	min	90	140						
	max	230	330						



จากตารางที่ 4.4.1 ค่าเฉลี่ยของความถี่ต่างๆของเสียงสระทั้งสามตัวจำแนกตามกลุ่มเพศสามารถสรุปได้ดังรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 ค่าเฉลี่ยของความถี่ต่างๆของเสียงสระทั้งสามตัวจำแนกตามกลุ่มเพศ

ตารางที่ 4.4.2 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของควมถี่หลักมูลและฟอร์แมนที่ต่างๆ  
ของเสียงชายจำแนกตามบุคคล (หน่วย: เฮิรตซ์)

เสียง	ชื่อ	f0		F1		F2		F3	
		mean	sd	mean	sd	mean	sd	mean	sd
ด	บ.ร.	163	18	323	34	2303	103	2970	137
	ก.	123	8	354	38	2062	77	2656	95
	ป.พ.	113	10	348	31	2169	49	3098	137
	ศ.ส.	112	12	266	25	2109	54	2739	74
	ส.ร.	114	5	237	34	2275	46	2972	80
	ธ.น.	109	9	248	59	2044	43	2971	221
	ว.ช.	112	10	226	27	2237	112	2959	196
	ว.ร.	128	9	267	51	2255	82	2970	90
	ว.จ.	126	10	272	42	2352	70	2969	100
	ส.ก.	111	8	233	22	2324	59	3313	107
ด	บ.ร.	156	29	759	57	1417	50	2330	141
	ก.	122	6	744	17	1296	65	2104	74
	ป.พ.	120	18	863	24	1511	102	2673	118
	ศ.ส.	107	12	696	16	1438	42	2332	61
	ส.ร.	114	10	902	66	1560	62	2498	41
	ธ.น.	106	14	656	26	1494	50	2511	188
	ว.ช.	106	13	783	35	1529	108	2503	166
	ว.ร.	122	14	881	45	1496	53	2573	103
	ว.จ.	124	14	906	41	1546	131	2911	152
	ส.ก.	103	7	766	24	1583	86	2589	45
ด	บ.ร.	160	0	325	5	810	0	2435	145
	ก.	130	0	395	5	845	65	2475	5
	ป.พ.	115	5	350	10	810	90	2705	5
	ศ.ส.	110	0	440	10	830	40	2575	15
	ส.ร.	120	0	355	5	900	40	2555	15
	ธ.น.	110	0	450	10	910	120	2375	15
	ว.ช.	120	0	405	55	935	115	2758	68
	ว.ร.	125	5	390	10	900	20	2685	85
	ว.จ.	128	2	375	5	870	10	2900	0
	ส.ก.	110	0	425	5	1025	35	2740	10

ตารางที่ 4.4.3 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของความถี่หลักมูลและฟอร์แมนที่ต่างๆ  
ของเสียงหญิงจำแนกตามบุคคล (หน่วย: เฮิรตซ์)

เสียง	ชื่อ	f0		F1		F2		F3	
		mean	sd	mean	sd	mean	sd	mean	sd
- a	ส.พ.	206	17	411	35	2750	71	3498	96
	ว.น.	226	26	447	50	2485	98	3395	162
	ว.ล.	201	15	399	31	2814	89	3367	199
	ญ.จ.	175	16	353	29	2537	88	3195	187
	น.ธ.	226	20	451	40	2569	73	3394	157
	อ.จ.	201	23	398	46	2897	96	3448	211
	ช.	217	17	435	35	2681	96	3352	138
	ร.ย.	254	18	512	36	2588	116	3294	136
	ช.ม.	183	15	367	30	2819	140	3421	171
	พ.ช.	193	21	341	80	2717	67	3444	122
- a	ส.พ.	204	23	1053	51	1863	59	3062	42
	ว.น.	221	27	1059	48	1760	130	2576	137
	ว.ล.	201	21	1158	48	1786	57	3221	122
	ญ.จ.	182	23	893	36	1764	155	2909	69
	น.ธ.	227	25	1101	85	1900	80	2940	94
	อ.จ.	194	35	1064	43	1740	74	2928	177
	ช.	226	22	1058	40	1719	80	2909	199
	ร.ย.	251	33	1148	87	1696	55	2904	214
	ช.ม.	181	17	987	156	1821	270	3073	170
	พ.ช.	192	19	1017	100	1802	153	3082	151
- b	ส.พ.	215	15	430	30	980	170	3340	0
	ว.น.	230	0	455	5	1040	130	2770	20
	ว.ล.	215	5	435	5	985	145	-	-
	ญ.จ.	185	5	375	5	950	20	2755	105
	น.ธ.	240	0	485	5	1090	110	2865	45
	อ.จ.	200	0	400	10	910	70	3175	85
	ช.	215	5	440	10	1100	20	2965	55
	ร.ย.	260	10	525	15	1055	25	3015	65
	ช.ม.	195	5	380	10	985	5	3170	30
	พ.ช.	180	10	365	15	725	35	-	-



ตารางที่ 4.4.4 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของความถี่กลุ่มจำแนกตามบุคคล  
(หน่วย: เฮิร์ตซ์)

	ชื่อ	mean	sd		ชื่อ	mean	sd
f0	ส.พ.	206	20	f0	บ.ร.	160	22
รวม	ว.น.	225	25	รวม	ก.	123	7
	ว.ล.	203	18		ป.พ.	116	14
	ญ.จ.	179	19		ศ.ศ.	110	12
	น.ธ.	228	22		ศ.ร.	115	8
	อ.จ.	198	27		ธ.น.	108	11
	ช.	220	19		ว.ช.	110	11
	ร.ย.	254	25		ว.ร.	125	12
	ช.ม.	183	15		ว.จ.	125	12
	พ.ช.	192	20		ศ.ก.	107	8

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

#### 4.5 การวิเคราะห์ข้อมูลด้วยสถิติ

4.5.1 การทดสอบความเป็นอิสระของตารางการแจกแจง (contingency test) เมื่อต้องการทราบความสัมพันธ์ระหว่างวิธีการจำแนกข้อมูลสองวิธี เมื่อข้อมูลที่รวบรวมมาจากการนับแล้วถูกจำแนกในตารางสองมิติซึ่งเรียกตารางนี้ว่า ตารางการแจกแจง โดยมีจำนวน  $r$  แถวและ  $c$  สดมภ์หรืออาจเขียนเป็น  $(r \times c)$  ในแถวแสดงระดับต่างๆของเกณฑ์หนึ่งสดมภ์แสดงระดับต่างๆของอีกเกณฑ์หนึ่ง การทดสอบความเป็นอิสระของการจำแนกตามแถวต่อการจำแนกตามสดมภ์จะตั้งสมมติฐานหลักคือ

$H_0$  : การจำแนกสองทางเป็นอิสระต่อกัน

สมมติฐานแย้ง

$H_1$  : การจำแนกสองทางไม่เป็นอิสระต่อกัน

สถิติที่ใช้ทดสอบคือ Chi-Square โดยใช้สัญลักษณ์

$$X^2 = \left[ \frac{(O_{ij} - E_{ij})^2}{E_{ij}} \right]$$

มีองศาเสรีคือ

$$d.f. = (r-1)(c-1)$$

โดยที่  $E_{ij}$  คือ อัตราส่วนของผลคูณของเหตุการณ์ที่เกิดในแถวที่  $i$  และ สดมภ์ที่  $j$  ต่อจำนวนนับของเหตุการณ์ทั้งหมด

$O_{ij}$  คือ จำนวนนับของเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นในแถวที่  $i$  และสดมภ์  $j$

บริเวณวิกฤตคือ

$$X^2 > X^2_{\alpha, (r-1)(c-1)} \quad \text{โดย } \alpha \text{ คือ ระดับนัยสำคัญ}$$

เมื่อค่า  $X^2$  ที่คำนวณได้ตกอยู่ในบริเวณวิกฤตจะปฏิเสธ  $H_0$  ยอมรับ  $H_1$  แต่ถ้า  $X^2$  ไม่อยู่ในบริเวณวิกฤตสามารถยอมรับ  $H_0$  ได้ แสดงว่าการแจกแจงของข้อมูลด้วยเกณฑ์หนึ่งจะไม่ส่งผลกระทบต่อในการแจกแจงของข้อมูลด้วยอีกเกณฑ์หนึ่ง ด้วยระดับความเชื่อมั่น  $(1-\alpha) \times 100 \%$

#### 4.5.2 การทดสอบความแปรปรวนของประชากรปกติสองกลุ่ม (F-test)

ประชากรสองกลุ่มถูกเก็บข้อมูลตัวอย่างมาจำนวนกลุ่มละ  $n_1$  และ  $n_2$  ค่า สามารถหาส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูลได้  $s_1$  และ  $s_2$  เมื่อต้องการทดสอบว่าความแปรปรวนของประชากร ( $\sigma^2$ ) สองกลุ่มมีค่าเท่ากันหรือไม่ โดยตั้งสมมติฐานหลักคือ  $H_0$  ดังนี้

$$H_0 : \sigma_1^2 / \sigma_2^2 = 1$$

สมมติฐานแย้ง

$$H_1 : \sigma_1^2 / \sigma_2^2 \neq 1$$

สถิติที่ใช้ทดสอบคือ

$$F = s_1^2 / s_2^2 \quad \text{มีองศาเสรี (d.f.)} = (n_1 - 1, n_2 - 1)$$

บริเวณวิกฤตคือ

$$F > F_{\alpha/2} (n_1 - 1, n_2 - 1)$$

หรือ

$$F < F_{1-\alpha/2}(n_1-1, n_2-1)$$

เมื่อค่า  $F$  ที่คำนวณได้ตกอยู่ในบริเวณวิกฤตจะปฏิเสธ  $H_0$  ยอมรับ  $H_1$  แต่ถ้า  $F$  ไม่อยู่ในบริเวณวิกฤตสามารถยอมรับ  $H_0$  ได้ แสดงว่าความแปรปรวนของประชากรสองกลุ่มไม่แตกต่างกัน ด้วยระดับความเชื่อมั่น  $(1-\alpha) \times 100\%$

#### 4.5.3 การทดสอบค่าเฉลี่ยประชากรสองกลุ่ม (Student t-test)

ประชากรสองกลุ่มมีค่าเฉลี่ยเลขคณิตของข้อมูลตัวอย่างที่เก็บมาได้  $x_1$  และ  $x_2$  ตามลำดับ เมื่อจำนวนของข้อมูลแต่ละชุดที่เก็บมีค่าไม่เกิน 30 และไม่ทราบค่าความแปรปรวนของประชากรแต่สามารถสันนิษฐานได้ว่า

##### 4.5.3.1 ความแปรปรวนของประชากรสองกลุ่มเท่ากัน

หรือ

$$\sigma_1^2 = \sigma_2^2$$

สถิติที่ใช้ทดสอบคือ

$$t = \frac{(x_1 - x_2)}{s_p [1/n_1 + 1/n_2]^{1/2}}$$

เมื่อ

$$s_p^2 = \frac{(n_1-1)s_1^2 + (n_2-1)s_2^2}{n_1+n_2-2}$$

โดยมีองศาเสรี

$$d.f. = n_1 + n_2 - 2$$

##### 4.5.3.2 ความแปรปรวนของประชากรสองกลุ่มไม่เท่ากัน

หรือ

$$\sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$$

สถิติที่ใช้ทดสอบคือ

$$t = \frac{(x_1 - x_2)}{[s_1^2/n_1 + s_2^2/n_2]^{1/2}}$$

โดยมีองศาเสรีคือ

$$d.f. = \frac{(w_1 + w_2)^2}{w_1^2/(n_1-1) + w_2^2/(n_2-1)}$$

เมื่อ

$$w_1 = s_1^2/n_1 ; w_2 = s_2^2/n_2$$

บริเวณวิกฤตคือ

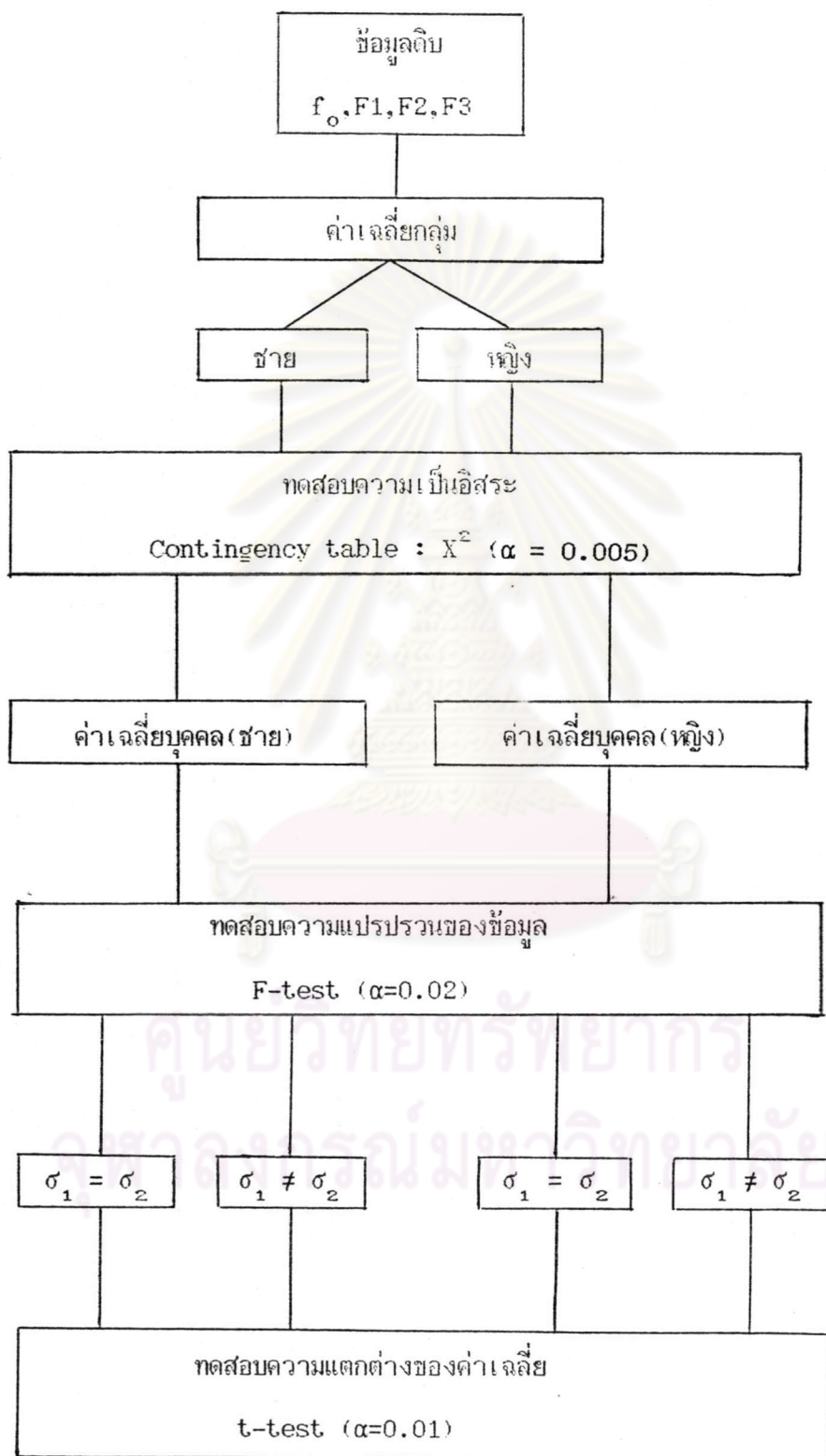
$$|t| > t_{\alpha/2}$$



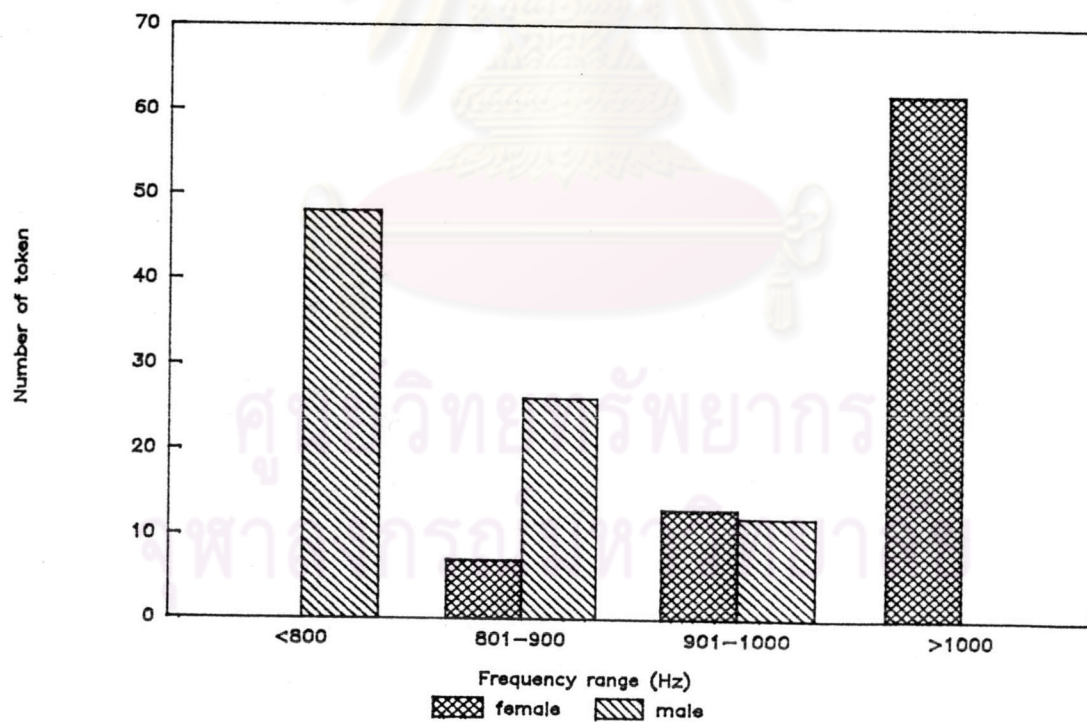
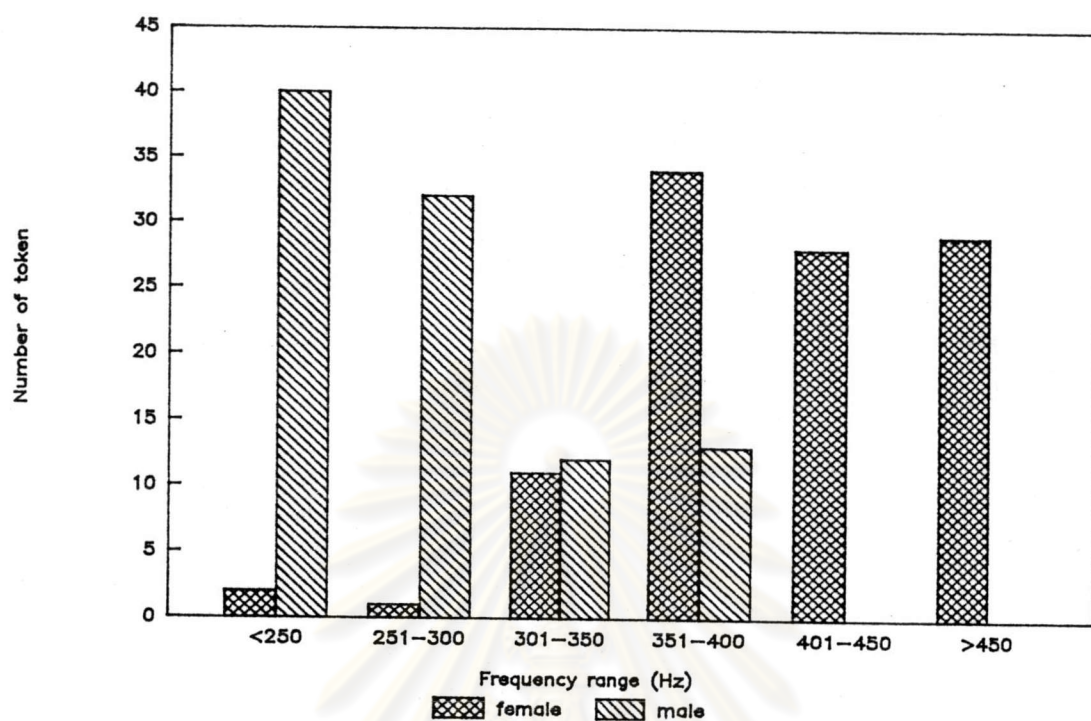
4.5.4 การคำนวณค่าสถิติของข้อมูล ค่าเฉลี่ยของความถี่ต่างๆในตารางที่ 4.4.2 และ 4.4.3 นำมาวิเคราะห์ด้วยกระบวนการทางสถิติตามทฤษฎีที่กล่าวมาข้างต้น จุดประสงค์คือต้องการทราบว่าค่าความถี่ของกลุ่มผู้พูดต่างเพศและค่าความถี่เฉลี่ยแต่ละบุคคลมีความแตกต่างกันหรือไม่โดยแยกข้อมูลออกเป็นสองกลุ่มใหญ่ คือ เพศชายและหญิง ในกลุ่มเพศเดียวกันจะแยกข้อมูลออกเป็นสี่กลุ่มย่อยคือ ความถี่เฉลี่ยของความถี่หลักมูล, พอร์แมนท์ที่หนึ่ง, สองและสามของผู้พูดแต่ละบุคคล ฝั่งงานแสดงขั้นตอนในการวิเคราะห์ทางสถิติแสดงด้วยรูปที่ 4.7 โดยมีรายละเอียดดังนี้คือ

1. ทดสอบความเป็นอิสระของเพศผู้พูดต่อการแจกแจงความถี่ของผู้พูด โดยใช้ตารางการแจกแจงที่มีการแจกแจงเพศผู้พูดตามแถว และแจกแจงความถี่ตามสดมภ์ สมมติฐานหลักที่ตั้งไว้คือ การจำแนกสองทางเป็นอิสระต่อกัน ซึ่งหมายถึงเพศของผู้พูด ไม่มีผลต่อความถี่ที่วัดได้ สมมติฐานแย้งคือ การจำแนกสองทางไม่เป็นอิสระต่อกัน การทดสอบหาค่าสถิติ ( $X^2$ ) ตามทฤษฎีในหัวข้อ 4.5.1 โดยกำหนดระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.005 ค่าสถิติที่คำนวณได้และผลสรุปในการยอมรับหรือปฏิเสธสมมติฐานหลักของข้อมูลโดยละเอียดได้แสดงไว้ในภาคผนวก ค. รูปที่ 4.8 ถึง 4.10 แสดงการแจกแจงความถี่ของข้อมูลระหว่างผู้พูดเพศชายและหญิงของเสียง /i:/ และ /a:/ ตามลำดับ
2. ทดสอบหาความแปรปรวนข้อมูลแต่ละบุคคล เท่ากันหรือแตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญหรือไม่ เพื่อเลือกใช้สถิติที่เหมาะสมในการวิเคราะห์ขั้นต่อไป ข้อสมมติฐานหลักที่ตั้งไว้คือ ความแปรปรวนของข้อมูลจากผู้พูดสองคนมีค่าเท่ากัน สมมติฐานแย้งคือ ความแปรปรวนของข้อมูลจากผู้พูดสองคนไม่เท่ากัน การทดสอบใช้วิธีจับคู่ข้อมูลจากผู้พูดทั้งหมดในข้อมูลกลุ่มย่อยหาค่าสถิติ (F) ตามทฤษฎีในหัวข้อ 4.5.2 โดยกำหนดระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.02
3. ทดสอบค่าเฉลี่ยของข้อมูล เมื่อทราบข้อมูลที่วัดได้ของบุคคลคู่ใดมีความแปรปรวนเท่ากันจะใช้สถิติ (t) ตามสมการในหัวข้อ 4.5.3.1 ถ้าความแปรปรวนไม่เท่ากันจะใช้สถิติตามสมการในหัวข้อ 4.5.3.2 โดยมีสมมติฐานหลักคือ ค่าเฉลี่ยของข้อมูลจากผู้พูดสองคนเท่ากัน สมมติฐานแย้งคือ ค่าเฉลี่ยของข้อมูลนั้นไม่เท่ากัน การทดสอบใช้ระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.01 ค่าสถิติที่คำนวณได้และผลสรุปในการยอมรับหรือปฏิเสธสมมติฐานหลักของข้อมูลโดยละเอียดได้แสดงไว้ในภาคผนวก ง. ตารางที่ 4.5.1 และ

ตารางที่ 4.5.2 เป็นผลสรุปการวิเคราะห์ทางสถิติ โดยแสดงเฉพาะค่าความถี่เฉลี่ยของผู้พูดที่ไม่เท่ากันอย่างมีนัยสำคัญ

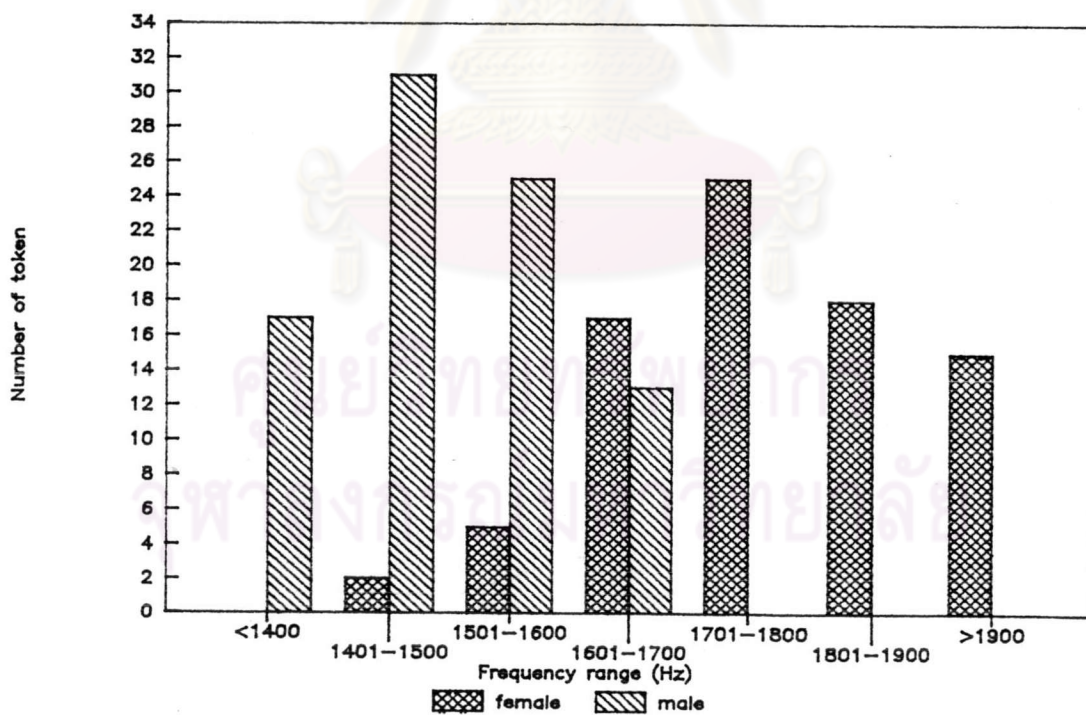
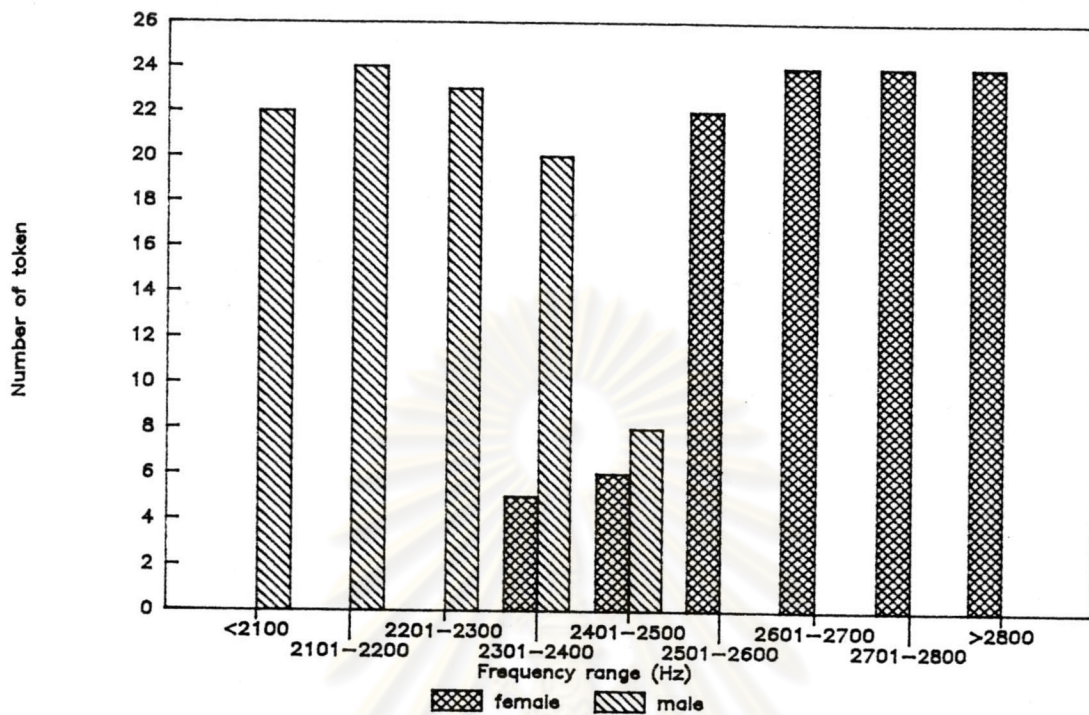


รูปที่ 4.7 ผลงานในการวิเคราะห์ทางสถิติ

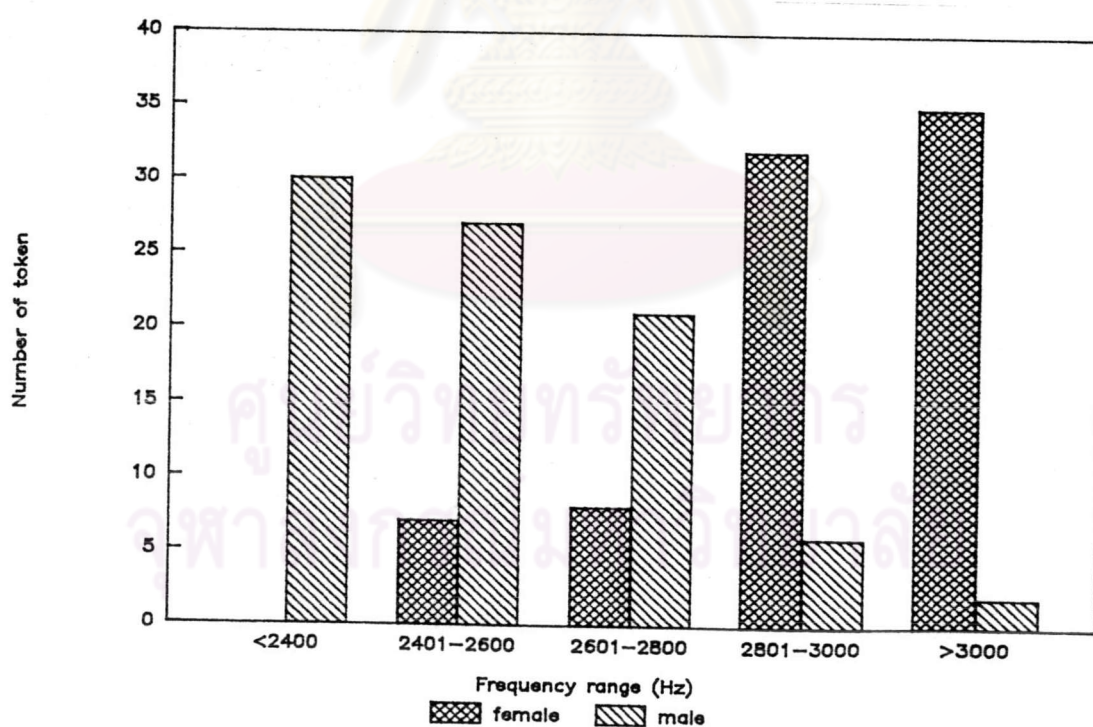
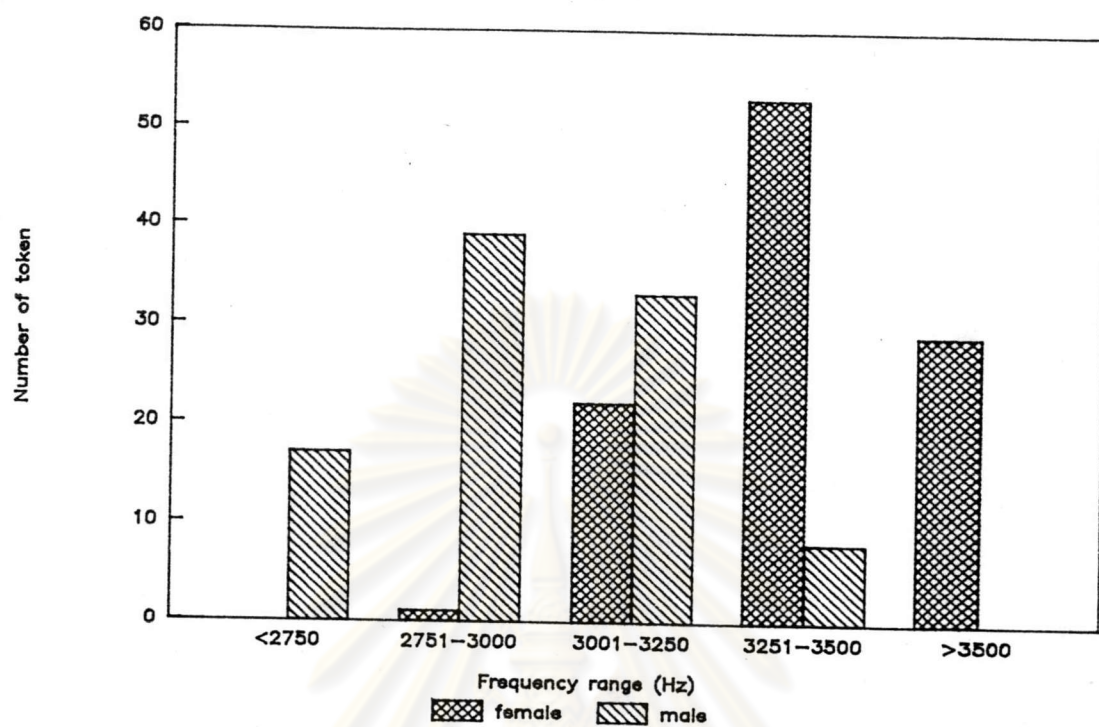


รูปที่ 4.8 การแจกแจงความถี่ฟอร์แมนท์ที่หนึ่งระหว่างผู้พูดเพศชาย ( ▨ ) และหญิง ( ▩ ) ของเสียง /i:/ (รูปบน) และเสียง /a:/ (รูปล่าง)





รูปที่ 4.9 การแจกแจงความถี่ฟอร์แมนท์ที่สองระหว่างผู้พูดเพศชาย ( ▨ ) และหญิง ( ▩ ) ของเสียง /i:/ (รูปบน) และเสียง /a:/ (รูปล่าง)



รูปที่ 4.10 การแจกแจงความถี่ฟอร์แมนท์ที่สามารถหาของผู้พูดเพศชาย ( ▨ ) และหญิง ( ▩ ) ของเสียง /i:/ (รูปบน) และเสียง /a:/ (รูปล่าง)



ตารางที่ 4.5.1 สรุปค่าความถี่เฉลี่ยของผู้พูดที่ไม่เท่ากันอย่างมีนัยสำคัญในกลุ่มผู้พูดเพศชาย

	บ.ว.	ก.	ป.ท.	ศ.ส.	ส.ว.	ฉ.น.	ว.ช.	ว.ร.	ว.จ.	ส.ก.
บ.ว.	0 2 3	0 2 3	0 2	0 1 2 3	0 1	0 1 2	0 1	0 1	0 1	0 1 3
	0 2 3	0 2 3	0 1 3	0	0 1 2 3	0 1 2	0	0 1 2 3	0 1 3	0 2 3
ก.	0 2 3		2 3	1	1 2 3	0 1 3	0 1 2 3	1 2 3	1 2 3	0 1 2 3
	0 2 3		1 2 3	0 1 2 3	1 2 3	0 1 2 3	0 1 2 3	1 2 3	2 3 0	2 3
ป.ท.	0 2 3	2 3		1 3	1 2	1 2	1	0 1	1 2	1 2 3
	0 1 3	1 2 3		1 3		3 1	1	2	3 1	1
ศ.ส.	0 1 2 3	1	1 3		2 3	2 3	1 2 3	0 2 3	2 3	2 3
	0 1 2 3	0 1 2 3	1 3		1 2 3	1	1	1 3	1 3	1 2 3
ส.ว.	0 1	1 2 3	1 2	2 3		2		0	0	3
	0 1 2 3	1 2 3	3	1 2 3		1	1		3 1	3
ฉ.น.	0 1 2	0 1 3	1 2	2 3	2		2	0 2	0 2	2 3
	0 1 2	0 1 2 3	1	1	1		1	1	1 3	1
ว.ช.	0 1	0 1 2 3	1	1 2 3	1	2		0 1	0 1	3
	0 1 2 3	0 1 2 3	1	1	1	1	1	1	1 3	
ว.ร.	0 1	1 2 3	0 1	0 2 3	0	0 2	0		2 0	3
	0 1 2 3	1 2 3	2	1 3		1	1		3 0 1	
ว.จ.	0 1	1 2 3	1 2	2 3	0	0 2	0 1	2		3
	0 1 3	1 2 3	3	1 3	3	1 3	1 3	3		0 1 3
ส.ก.	0 1 3	0 1 2 3	1 2 3	2 3	3	2 3	3 0	3 0	3	
	0 2 3	0 2 3	1	1 2 3	1 3	1	0 1	0 1	0 1 3	

( แสดงเฉพาะค่าความถี่เฉลี่ยของผู้พูดที่ไม่เท่ากันอย่างมีนัยสำคัญด้วยระดับความเชื่อมั่น 99 %  
ในแต่ละช่องของตารางประกอบด้วยเลข 0, 1, 2 หรือ 3 หมายถึง ค่าเฉลี่ยของความถี่ทั้งหมด,

ความถี่ฟอร์แมนทั้งหมด, สองและสามตามลำดับ ตัวเลขภายในแต่ละช่องคือความถี่เสียง /i:/

แถวข้างต่อเสียง /a:/ )



ตารางที่ 4.5.2 สรุปค่าความถี่เฉลี่ยของผู้พูดที่ไม่เท่ากันอย่างมีนัยสำคัญในกลุ่มผู้พูดเพศหญิง

ส.พ.	ว.น.	ว.ล.	ญ.จ.	น.ด.	อ.จ.	น.	ว.ย.	ช.ม.	พ.ด.
ส.พ.	2	0 1 2 3	2	3	0 1 2 3	0 1			
ว.น.	3	1 3 0 1 3	3	2	2	0 2			
ว.ล.	2	0 1 3 1 3	3	3	3	3 0 3			
ญ.จ.	1 3 0 1 3	0 1 2	0 1 2	2 3 0 1 3	0 1 2 3	0			1
น.ด.	0 1 2 3 0 1 3 1 3	0 1 2	0 1	0 1	0 1 2 3 0 1 2	0 1	2 3	1 3	2 3
อ.จ.	2	0 1 2	0 1	2	2	2 0			
น.	3	1 3 0 1	2 3 0 1	1 2	2	0 1 2			2
ว.ย.	2	0 1 2	0 1 2	2	2	0 1	0 1	0 1	0 1
ช.ม.	0 1 2 3	0 1 2 3 0 1	0 1 2 3 0 1	0 1 2	0 1 2	0 1 2	0	0 1 2	0
พ.ด.	0 1 2	0 1 2	2 3 0 1 2	0	2 0 1 2	0	1		

( แสดงเฉพาะค่าความถี่เฉลี่ยของผู้พูดที่ไม่เท่ากันอย่างมีนัยสำคัญด้วยระดับความเชื่อมั่น 99 %

ในแต่ละช่องของตารางประกอบด้วยเลข 0, 1, 2 หรือ 3 หมายถึง ค่าเฉลี่ยของความถี่ทั้งหมด,

ความถี่ฟอร์แมนทั้งที่นิ่ง, สองและสามตามลำดับ ตัวเลขภายในแต่ละช่องคือความถี่เสียง /i:/

แถวล่างคือเสียง /a:/ )