รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

กาญจนา นาคสกุล. 2524. ระบบเสียงภาษาไทย. กรุงเทพ ฯ : โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ทวิ ประทุมทาน. 2530. การตรวจรู้เสียงพูดภาษาไทย โดยใช้หน่วยพยางค์.
วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ธนานันท์ ตรงดี. 2530. การวิเคราะห์พยัญชนะกักในภาษาไทยเชิงกลสัทศาสตร์.
วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ประสิทธิ์ กาพย์กลอน. 2523. การศึกษาภาษาไทยตามแนวภาษาศาสตร์. พิมพ์ครั้งที่ 3.
กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์ไทยวัฒนาพานิช.

ปิยฉัตร ปานโรจน์. 2534. ลักษณะเชิงกลสัทศาสตร์ของวรรณยุกต์ในภาษาไทยกรุงเทพ ฯ :
การแปรตามกลุ่มอายุ. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต บัณฑิตวิทยาลัย
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ไพศาล ธรรมโพธิทอง. 2533. ระบบการรู้จำคำพูดแบบต่างบุคคล.
วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ยืน ภู่วรวรรณ. 2536. การประมวลผลธรรมชาติ (ภาษาไทย) ศาสตร์ที่รอการพัฒนา.
วารสารไมโครคอมพิวเตอร์ 97 : 227-236

ราชบัณฑิตยสถาน. 2537. พจนานุกรมศัพท์สัทศาสตร์. กรุงเทพมหานคร: บริษัทเพื่อนพิมพ์.

วิบูลย์ ธานสกุล. 2531. การวิเคราะห์พยัญชนะกักในภาษาไทยเชิงกลสัทศาสตร์.
วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

วิสิทธิ์ ลีลาศิริวงศ์. 2535. การศึกษาลักษณะเฉพาะเชิงสวนศาสตร์ของสระ ี, า, ู ในภาษาไทย
และประโยชน์ในการบ่งชี้ผู้พูด. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต บัณฑิตวิทยาลัย
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

สุโขทัยธรรมาธิราช, มหาวิทยาลัย. 2534. ภาษาไทย 3 เล่ม 1 หน่วย 1-6. พิมพ์ครั้งที่ 5.
กรุงเทพมหานคร: มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช.

สุจินตนา บุญช่วง, สุพัฒน์ พสุภา, และ สุรวี น้ำหอม. 2535. การรู้จำเสียงพูด.
ปริญญานิพนธ์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร-
ลาดกระบัง.

สุดาพร ลักษณียนาวิน. 2529. สัทศาสตร์ และภาษาศาสตร์. พระนคร:
ห้างหุ้นส่วนเทคเพรสเซอร์วิส.

อมร ทวีศักดิ์. 2536. สัทศาสตร์. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร: บริษัท สหธรรมมิก จำกัด.

อรุณี อรุณเรือง. 2533. การแปรของวรรณยุกต์โทในภาษาไทยกรุงเทพ ฯ ตามระดับอายุผู้พูด. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ภาษาอังกฤษ

Abramson, A.S. 1962. The vowels and tones of standard thai : acoustical measurements and experiments. International Journal of American Linguistics, 28, pp. 30-36.

Bunge, E. 1977. Speaker Recognition by Computer, Philips Tech., Rev 37, No.8, pp. 207-219.

Embree, P.M., and Kimble, B. 1981. C Language Algorithms for Digital Signal Processing. New Jersey: Prentice-Hall,Inc.

Deller, J.R., Proakis, J.G., and Hansen, J.H.L. 1993. Discrete-Time Processing of Speech Signals. New York: Macmillan Publishing Company.

Flanagan, J.L. 1972. Speech Analysis Synthesis and Perception. 2nd ed. New York: Springer-Verlag.

Ladefoged, P. 1975. A Course in Phonetics. New York: Harcourt Brace Jovanovich, Inc.

_____. 1962. Elements of Acoustic Phonetics. Chicago: The University of Chicago Press.

Lamel, L., Rabiner, L., Rosenberg, A., and Wilpon, J. 1981. An improved endpoint detector for isolated word recognition. IEEE Trans. ASSP,ASSP-29, pp. 777-785.

O'Shaughnessy, D. 1987. Speech Communication Human and Machine. Addison-Wesley Publishing Company.

Parsons, T.W. 1986. Voice and Speech Processing. McGraw-Hill,Inc.

Pickett, J.M. 1980. The Sound and Speech Communication. University Park Press.

Press, W.H., Teukolsky,S.A., Vetterling,W.,T., and Flannery,B.,P. 1982. Numerical Recipes in C. 2nd ed. New York: Cambridge University Press.

Rabiner,L.W., and Schafer,R.W. 1978. Digital Processing of Speech Singnals. New Jersey: Prentice-Hall,Inc.

Reid, C.E. and Passin, T.B. 1992. Signal Processing in C. New York: John Wiley & Sons, Inc.

Sudaporn Luksaneeyanawin. 1993. Speech computing and speech technology in Thailand. In Sudaporn Luksaneeyanawin, et al., Processdings of the Symposim on Natural Language Processing in Thailand, pp. 276-321. Bangkok: Chulalongkorn University Press.

Sutherland, A.M., Jack,M.A., and Laver,J. 1988. Improved pitch detection algorithm employing temporal structure investigation of the speech waveform. In Laver,J., Centre for Speech Technology Research Published Paper. ,227-232.

Veissiere, J. 1983. Speech recognition: a tutorial. In Fallside,F. and Woods,W.,A., Computer Speech Processing, pp. 191-242. Prentice-Hall, Inc.

Veltri, S.J. 1985. How to make your computer talk. New York: McGraw-Hill.

Wang, P.S.-P. 1988. Intelligent Chinese Language Pattern and Spech Processing. Singapore: World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd.

Witten, I.H. 1982. Principles Computer Speech. London: Academic Press Inc.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

เครื่องวิเคราะห์สัญญานเสียง DSP Sona-Graph

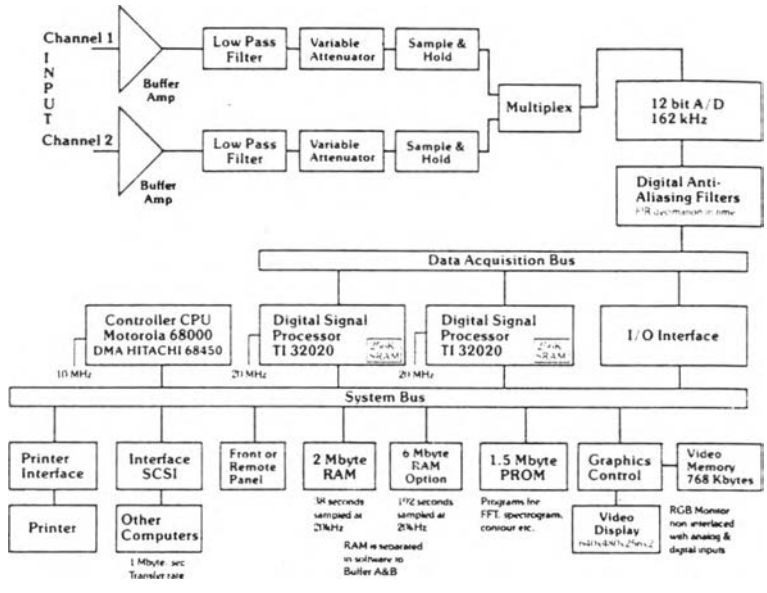
(DSP Sona-Graph Instruction Manual อ้างถึงใน วิสิทธิ์ ลีลาศิริวงศ์,2535)

เครื่องวิเคราะห์สัญญานเสียง ที่ใช้มีชื่อว่า Digital Signal Processing Sona-Graph (DSP Sona-graph) รุ่น 5500 ผลิตโดยบริษัท Kay Elemetrics ซึ่งมีส่วนประกอบ ในการทำงานของระบบคือ ส่วนรับและวิเคราะห์สัญญาณ ส่วนจอภาพแสดงผล และส่วนแสดงผลทางเครื่องพิมพ์ ดังรูปที่ ก.1

รูปที่ ก.1 เครื่องวิเคราะห์ความถี่ DSP Sona-Graph รุ่น 5500

เมื่อเครื่องวิเคราะห์ความถี่รับสัญญาณเสียงต่อเนื่องจะแปลงเป็นสัญญาณเชิงตัวเลข 12 บิต และเก็บสัญญาณไว้ในหน่วยความจำขนาด 2 เมกะไบต์ หรือ 38 วินาที ที่อัตราการชักตัวอย่าง 20 กิโลเฮิรตซ์ สามารถรับสัญญาณได้สองชุด คือ channel 1 และ channel 2 โดยมีช่วงตอบสนองความถี่ 0 - 32 กิโลเฮิรตซ์ ใช้หน่วยประมวลผลกลาง Motorola 68000 ควบคุมการทำงานตามฟังก์ชันต่าง ๆ ของเครื่อง และใช้ตัวประมวลผลสัญญาณเชิงตัวเลข Texas Instruments TI32020 ดัง แผนภูมิโครงสร้างของเครื่องที่แสดงไว้ในรูปที่ ก.2 อัตราการชักตัวอย่างแปรตามความถี่สูงสุดของสัญญาณที่ต้องการวิเคราะห์ และมีผลต่อช่วงความยาวของสัญญาณที่นำไปเก็บไว้ในหน่วยความจำ เนื่องจากจำนวนตัวอย่างเพิ่มขึ้นตามอัตราการชัก แสดงดังตารางที่ ก.1

รูปที่ ก.2 แผนภูมิโครงสร้างเครื่อง DSP Sona-Graph



ตารางที่ ก.1 ช่วงเวลาสัญญาณและอัตราการชักตัวอย่างที่สอดคล้องตามความถี่สูงสุดของสัญญาณ

Frequency Range	**Sampling Rate**
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-31.25 HZ	90 Hertz (Optional)

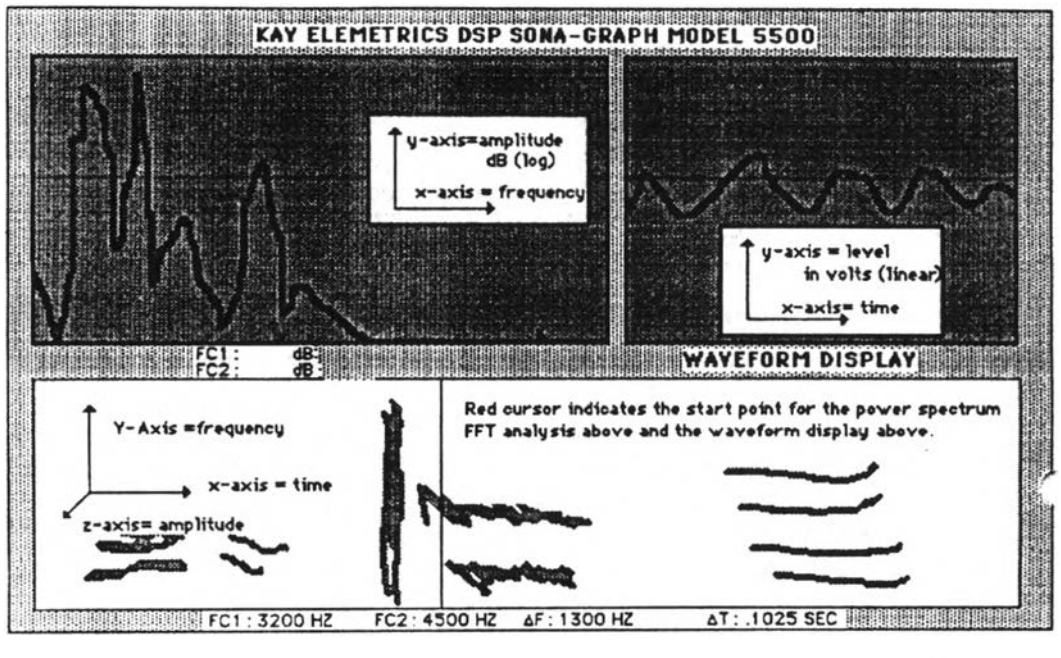
การวิเคราะห์สัญญาณเชิงตัวเลขจะต้องกำหนดจำนวนข้อมูลของสัญญาณที่ถูกชักตัวอย่างไว้ เพื่อนำไปคำนวณค่าผลแปลงฟูเรียร์ไม่ต่อเนื่อง จำนวนข้อมูลที่กำหนดและอัตราการชักตัวอย่างมีผลต่อความกว้างแถบในการวิเคราะห์ความถี่ของเครื่องวิเคราะห์สัญญาณเชิงตัวเลข ดังแสดงใน ตารางที่ ก.2

ตารางที่ ก.2 จำนวนข้อมูลที่กำหนด อัตราการชักตัวอย่างและความกว้างแถบ ในการวิเคราะห์ความถี่

TRANSFORM	INPUT FREQUENCY RANGE							
Size	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2kHz	4 kHz	8 kHz	16 kHz	32 kHz
50	18.75	37.50	75.00	150.00	300.00	600.00	1200.00	2400.00
75	14.06	28.13	56.25	112.50	225.00	450.00	900.00	1800.00
100	9.38	18.75	37.50	75.00	150.00	300.00	600.00	1200.00
125	7.31	14.63	29.25	58.50	117.00	234.00	468.00	936.00
200	4.69	9.38	18.75	37.50	75.00	150.00	300.00	600.00
256	3.66	7.31	14.63	29.25	58.50	117.00	234.00	468.00
512	1.84	3.69	7.38	14.75	29.50	59.00	118.00	236.00
600	1.56	3.13	6.25	12.50	25.00	50.00	100.00	200.00
1024	0.91	1.81	3.63	7.25	14.50	29.00	58.00	116.00
512 Zoom	0.23	0.46	0.93	1.85	3.70	7.40	14.80	29.60
1024 Zoom	0.11	0.23	0.45	0.90	1.80	3.60	7.20	14.40

เครื่องมือในการวิเคราะห์สัญญาณสามารถแสดงรูปคลื่น (wave form) และสเปกตรัมของสัญญาณในช่วงเวลาที่ต้องการตามคำสั่งเรียกว่า เพาเวอร์สเปกตรัม (power spectrum) อยู่บริเวณส่วนบนของจอภาพ ส่วนล่างของจอภาพแสดงสเปกตรัมของสัญญานที่แปรตามเวลาซึ่ง เรียกสเปกโทรกราฟ (spectrograph) ดังรูปที่ ก.3

รูปที่ ก.3 จอภาพส่วนบนแสดงรูปคลื่นและสเปกตรัมของสัญญาณ จอภาพล่างแสดงสเปกโทรแกรม



เครื่องมือนี้จะวิเคราะห์สัญญาณตามชุดคำสั่ง ที่เลือกไว้โดยผู้ใช้ คุณสมบัติที่กำหนดไว้สำหรับการทดลองครั้งนี้คือ

1. ช่วงความถี่รับสัญญาณ (input frequency range) 0-4 กิโลเฮิรตซ์

2. ขนาดการแปลงสัญญาณ (transform size) 1024 จุดสำหรับจอภาพส่วนบน และ 50 จุดสำหรับจอภาพส่วนล่าง

3. แกนเวลา 25 มิลลิวินาทีต่อหนึ่งจอภาพ (ส่วนล่าง)

4. กรอบการวิเคราะห์ (analysis window) หรือทรังเคซันฟังก์ชัน (Hamming)

5. ช่วงพลวัต (dynamic range) 72 เดซิเบลสำหรัลเพาเวอร์สเปกตรัม และ 42 เดซิเบล สำหรับสเปกโทรแกรม

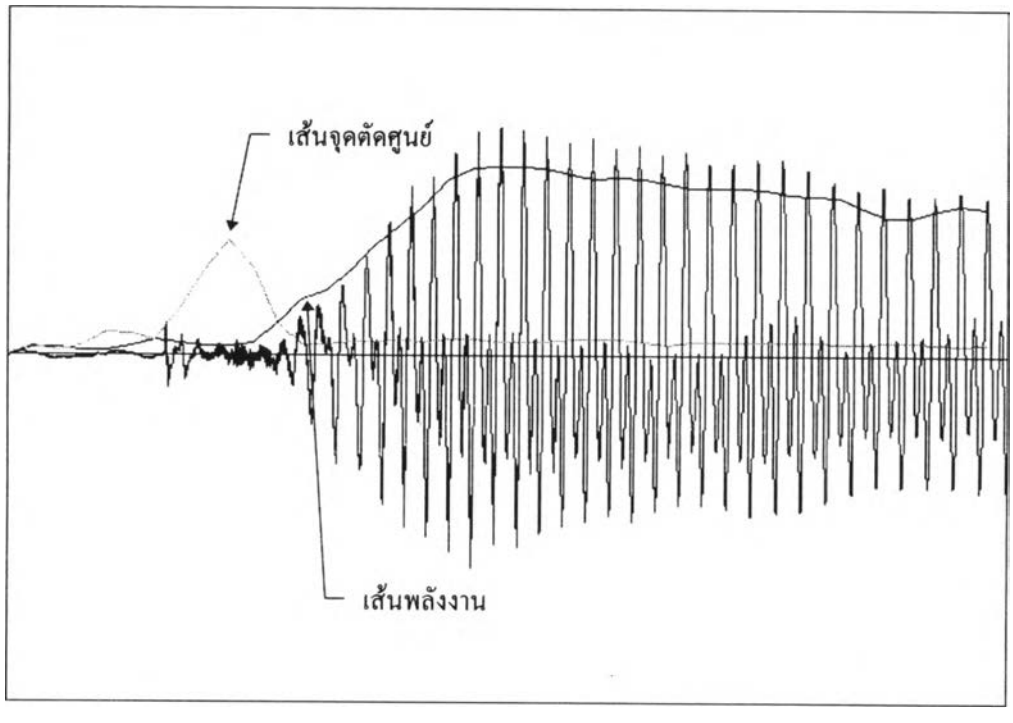
6. การลดสัญญาณ (analysis attenuation) 10 เดซิเบล

ภาคผนวก ข

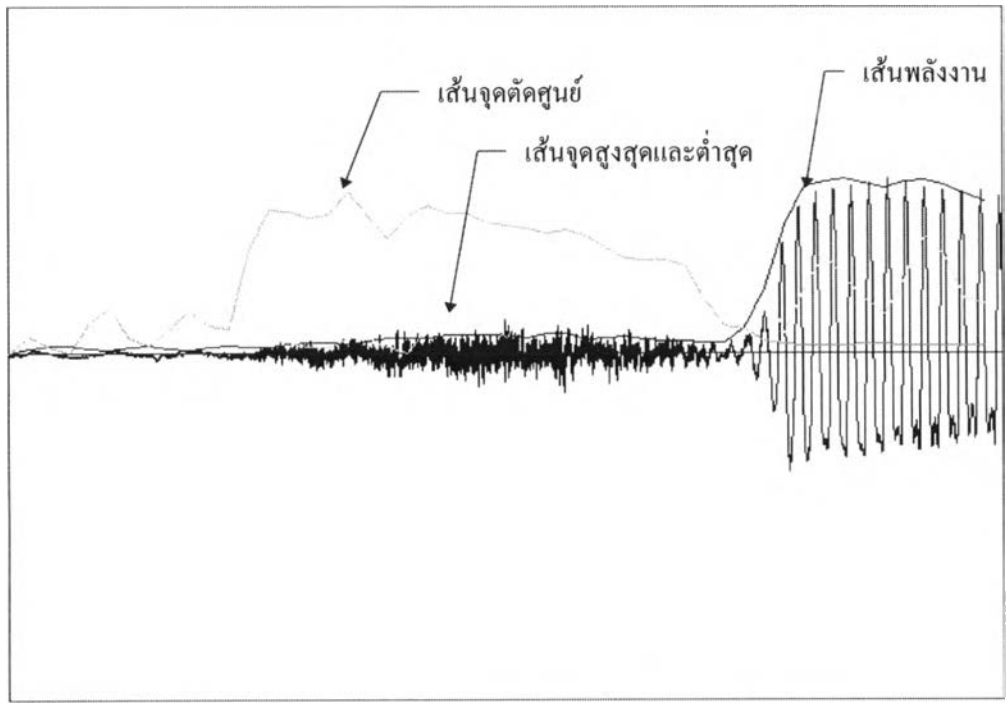
คลื่นเสียง และภาพสเปกโทรกราฟ

คลื่นเสียง พลังงาน จุดตัดศูนย์ และจุดสูงสุดและต่ำสุด ของหน่วยเสียงพยัญชนะ

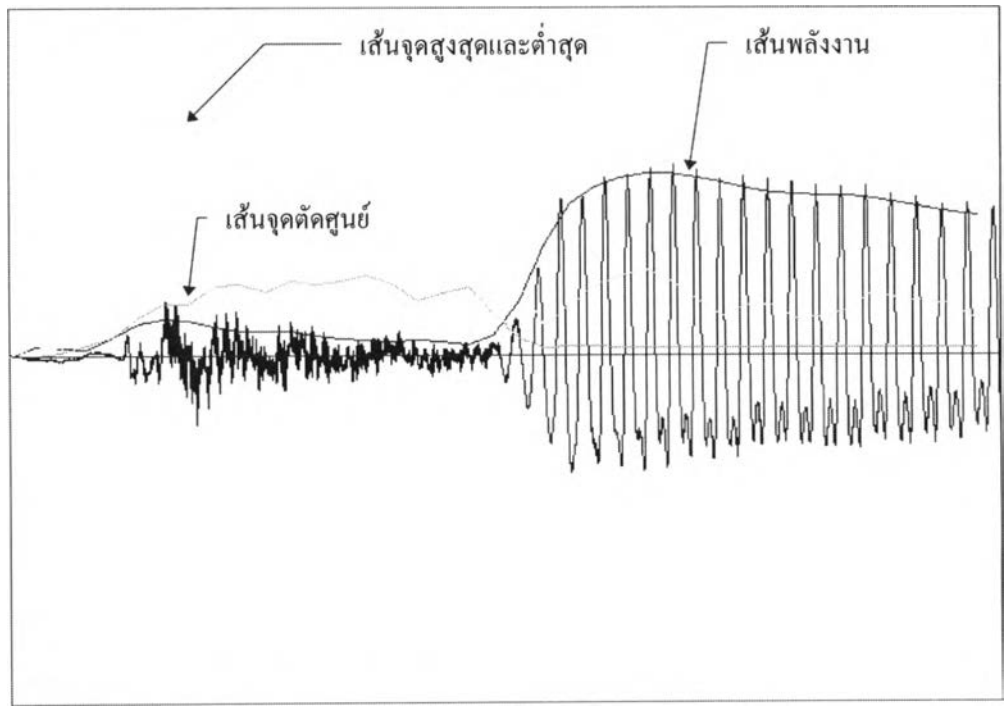
/c/



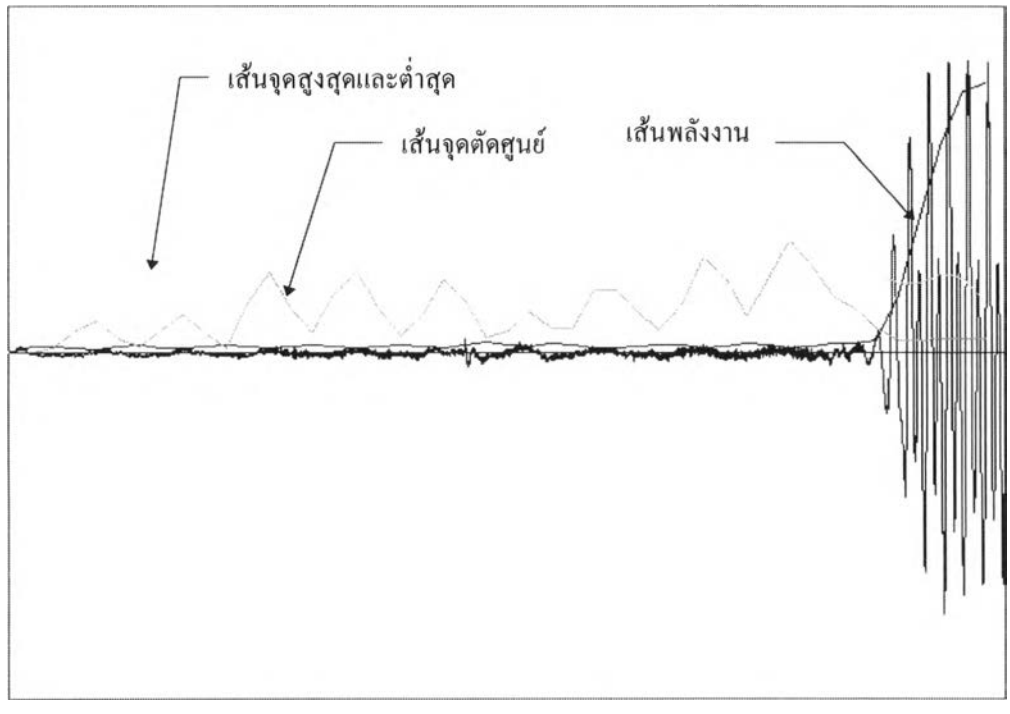
/ch/


เส้นจุดตัดศูนย์
เส้นจุดสูงสุดและต่ำสุด
เส้นพลังงาน

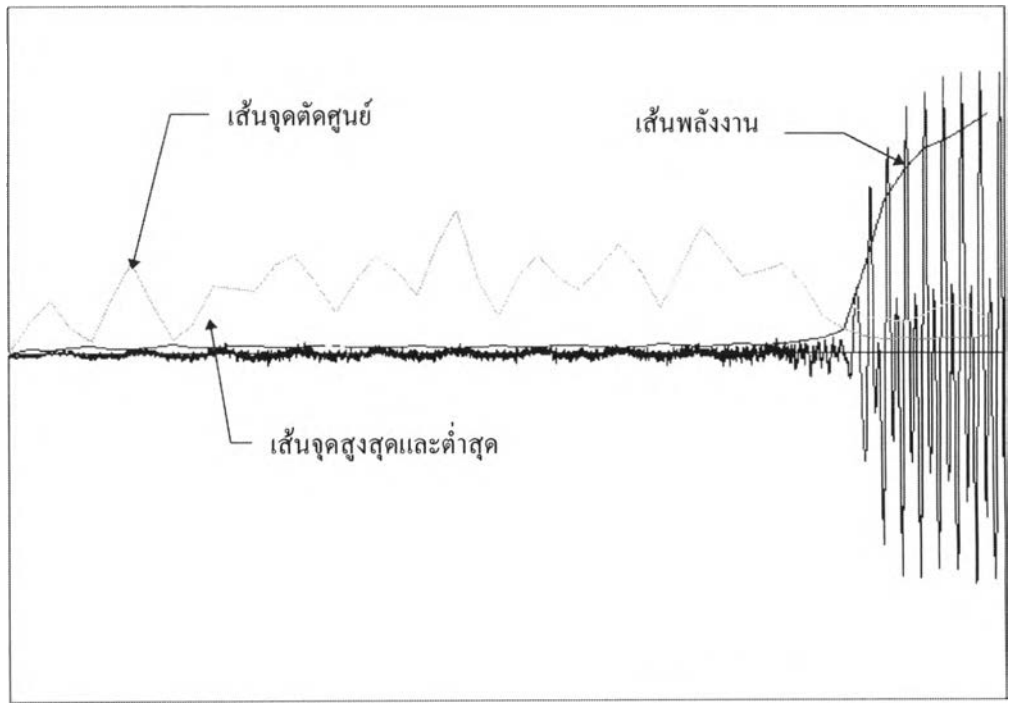
/ph/


เส้นจุดสูงสุดและต่ำสุด
เส้นพลังงาน
เส้นจุดตัดศูนย์

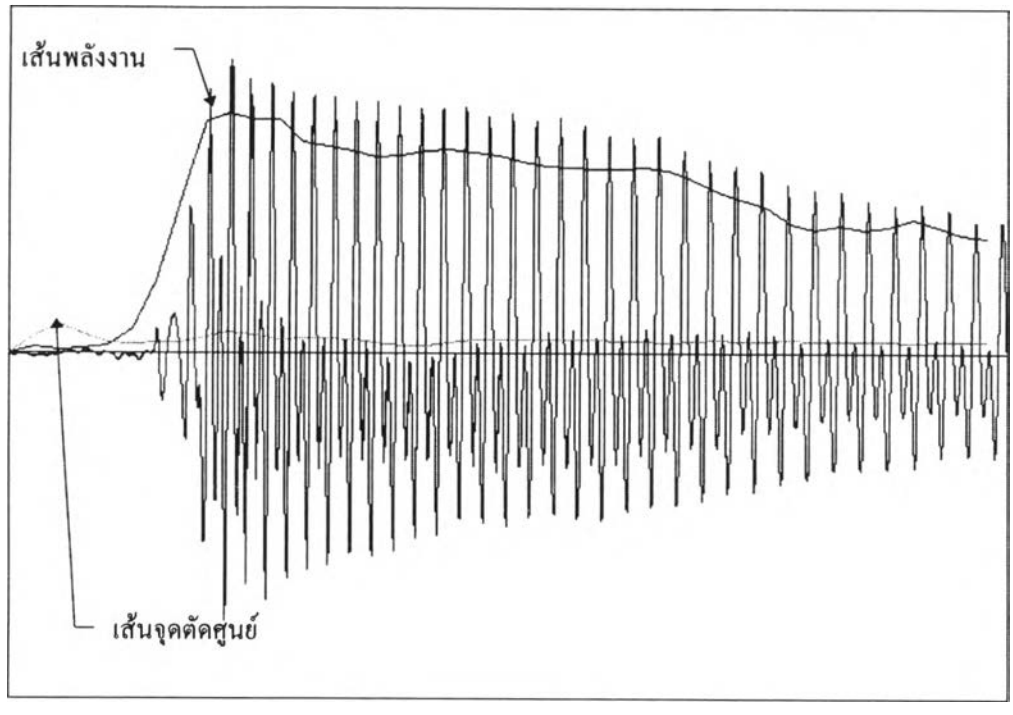
/f/


เส้นจุดสูงสุดและต่ำสุด
เส้นจุดตัดศูนย์
เส้นพลังงาน

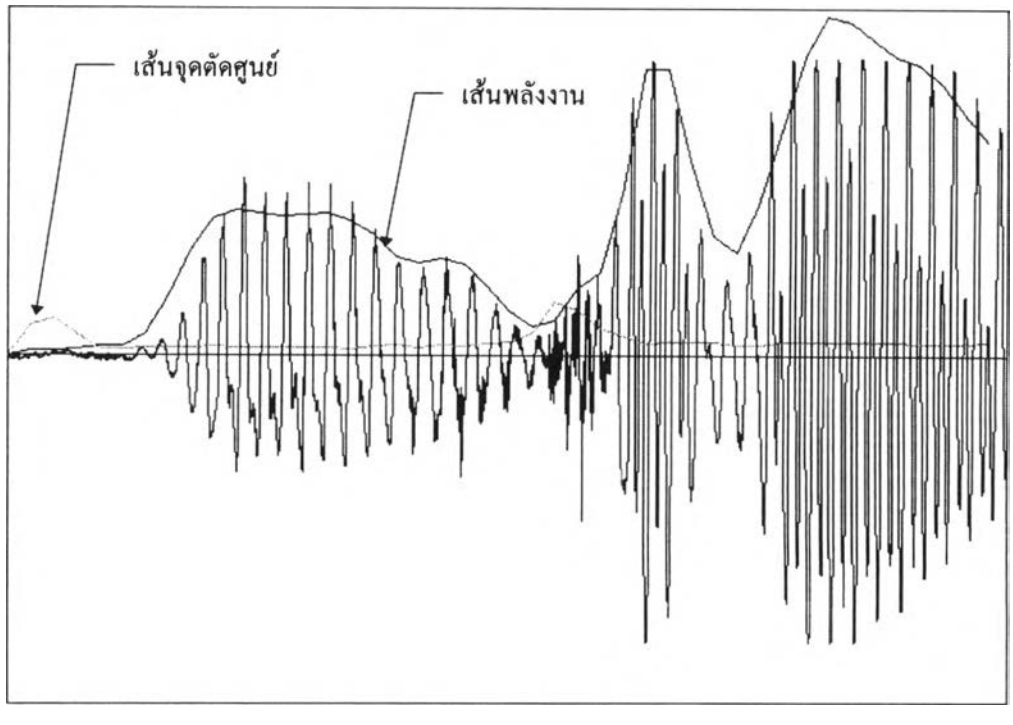
/s/


เส้นจุดตัดศูนย์
เส้นพลังงาน
เส้นจุดสูงสุดและต่ำสุด

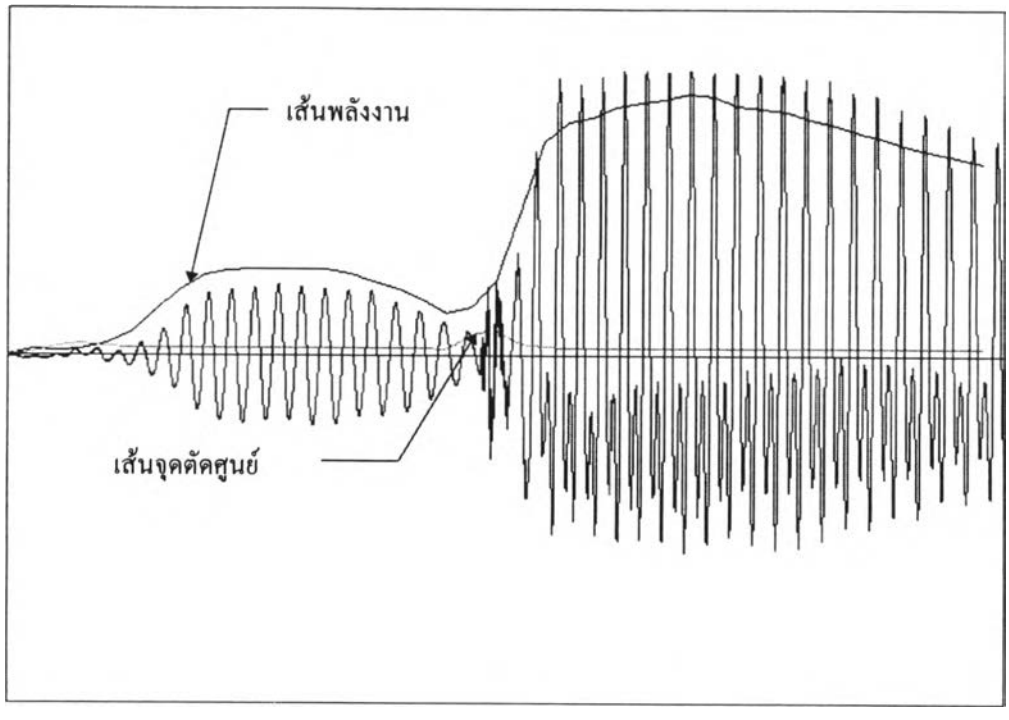
/p/



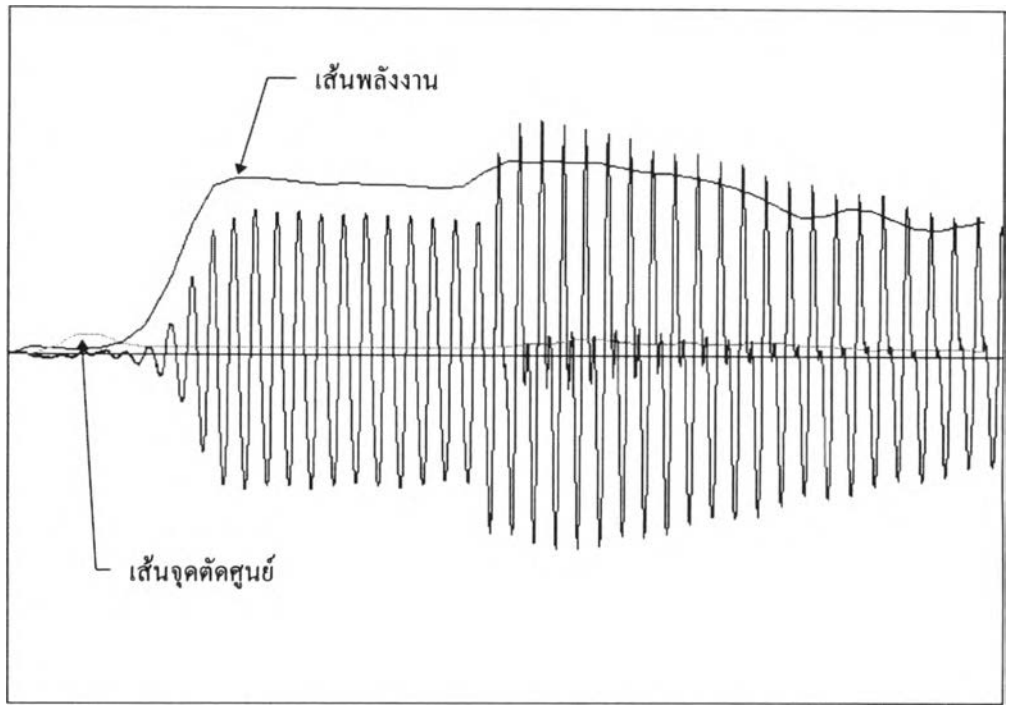
/r/



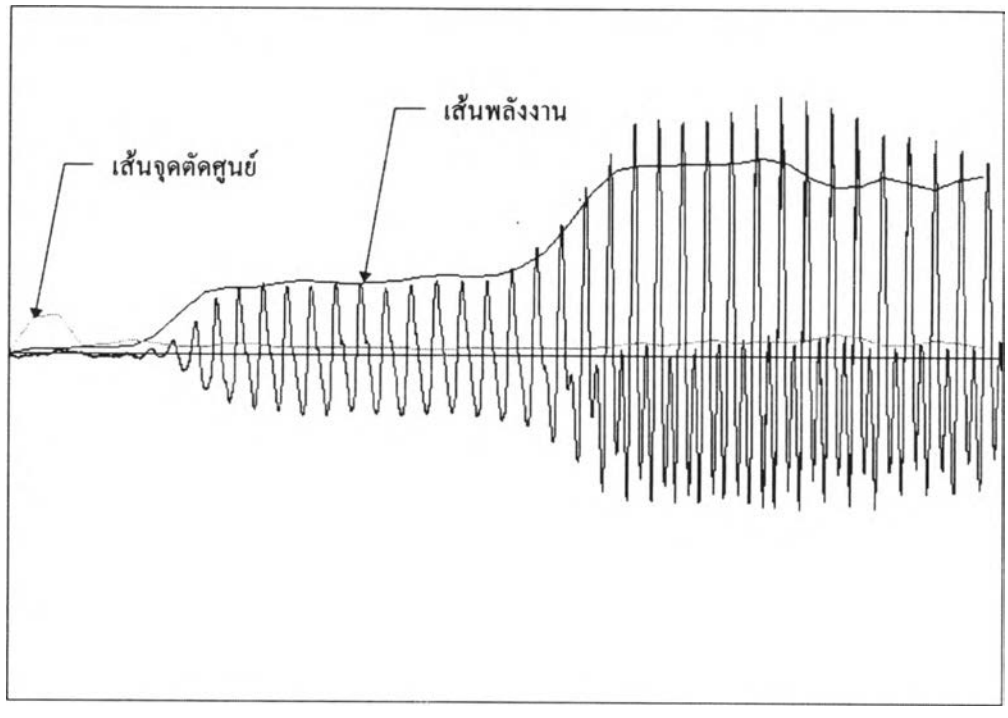
/d/



/n/

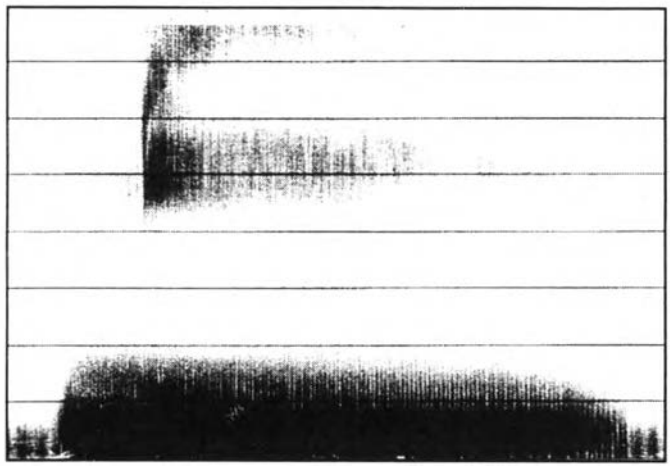


/w/

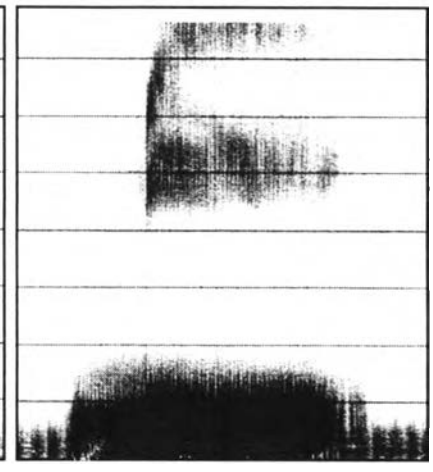


ภาพสเปกโทรกราฟของหน่วยเสียงสระ

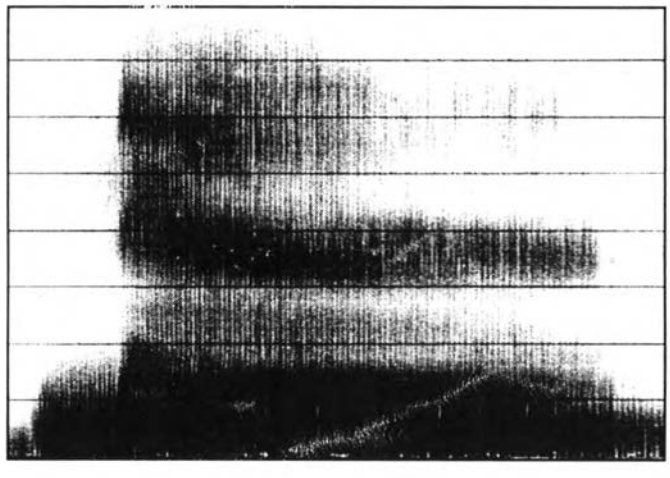
/ii/



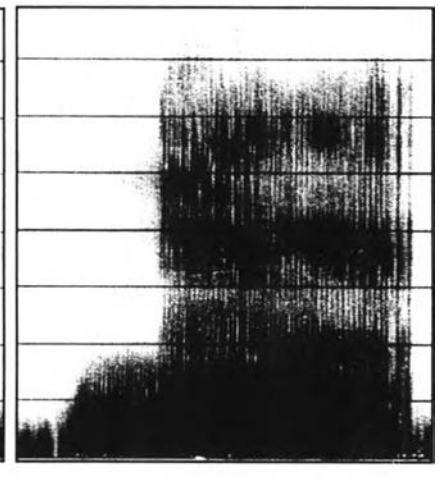
/i/



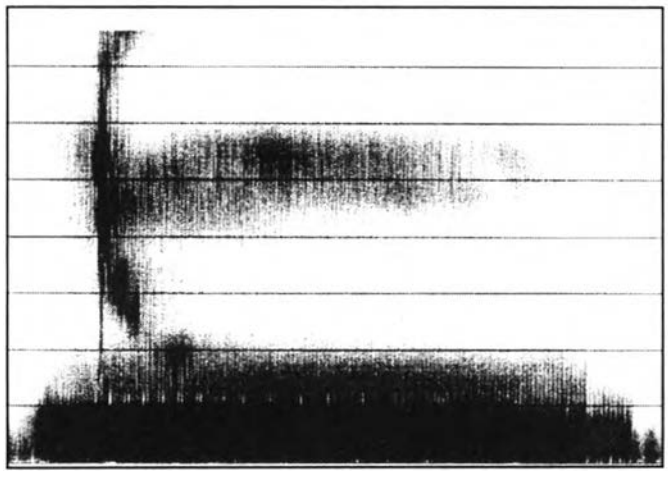
/aa/



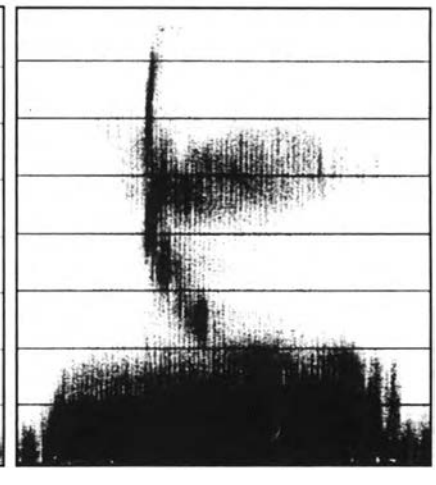
/a/



/uu/



/u/



ภาคผนวก ค

การทดลองการรู้จำหน่วยเสียงพยัญชนะ

ขั้นตอนการรู้จำหน่วยเสียงพยัญชนะ

การรู้จำหน่วยเสียงพยัญชนะ จากบทที่ 6 มีขั้นตอนการแยกหน่วยเสียง 9 ข้อ ดังนี้

1. ใช้ค่าจุดตัดศูนย์แยกหน่วยเสียงออกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่มีเสียงซ่า ซึ่งมีค่าจุดตัดศูนย์มาก ได้แก่ /c/, /ch/, /ph/, /f/ และ /s/ และกลุ่มที่ไม่มีเสียงซ่า ซึ่งมีค่าจุดตัดศูนย์น้อย ได้แก่ /p/, /d/, /n/, /r/ และ /w/

2. ใช้ค่าระยะเวลาในช่วงที่มีเสียงซ่า แยก /c/ ซึ่งมีค่าระยะเวลาน้อยมาก ออกจากกลุ่ม

3. ใช้ค่าพลังงานสัมพัทธ์เฉลี่ยแยก /ch/ และ /ph/ ซึ่งมีค่าพลังงานสัมพัทธ์เฉลี่ยมากออกจาก /f/ และ /s/ ซึ่งมีค่าพลังงานสัมพัทธ์เฉลี่ยน้อย

4.,5. ใช้ค่าจุดตัดศูนย์ และค่าจุดสูงสุดและต่ำสุด แยก /ch/ ออกจาก /ph/ และแยก /f/ และ /s/ ออกจากกัน

6. ใช้ค่าระยะเวลาในการระเบิด แยก /p/ ออกจาก /d/, /n/, /r/ และ /w/

7. ใช้ลักษณะเด่นของ /r/ ได้แก่ ลักษณะช่วงเงียบเชิงกล แยก /r/ ออกจากกลุ่ม

8. ใช้ค่า F2-Trans แยก /w/ ซึ่งมีค่า F2-Trans น้อย ออกจาก /d/ และ /n/ ซึ่งมีค่า F2-Trans มาก

9. ใช้ค่าพลังงานสัมพัทธ์เฉลี่ยแยก /d/ ซึ่งมีค่าพลังงานสัมพัทธ์เฉลี่ยน้อย ออกจาก /n/ ซึ่งมีค่าพลังงานสัมพัทธ์เฉลี่ยมาก

การทดลอง

ในการทดลอง ใช้ชุดคำ ข และ ค โดยแต่ละชุดคำใช้ผู้พูดเพศชาย 1 คน และหญิง 1 คน จำนวนคำทั้งหมดของชุดคำ ข เท่ากับ 100 คำ และชุด ค เท่ากับ 120 คำ ต่อไปนี้จะแสดงรายละเอียดของการรู้จำหน่วยเสียงพยัญชนะโดยใช้ขั้นตอน 6 ขั้น ดังนี้

1. ชุดคำ ข

1) การแยกกลุ่มพยัญชนะที่มีเสียงซ่าออกจากกลุ่มพยัญชนะที่ไม่มีเสียงซ่า โดยใช้ค่าจุดตัดศูนย์

ตารางที่ ค.1 แสดงค่าทางสถิติของค่าจุดตัดศูนย์ เมื่อพิจารณาค่าต่ำสุดของกลุ่มที่มีเสียงซ่า กับค่าสูงสุดของกลุ่มที่ไม่มีเสียงซ่า ค่าต่ำสุดของกลุ่มที่มีเสียงซ่าในเพศชายมีค่า 0.08 และในเพศหญิงมีค่า 0.12 ส่วนค่าสูงสุดของกลุ่มที่ไม่มีเสียงซ่าในเพศชาย และเพศหญิงมีค่าเท่ากัน คือ 0.07 ค่าต่ำสุดของกลุ่มแรกมีค่ามากกว่าค่าสูงสุดของกลุ่มที่สอง แสดงให้เห็นว่าค่าจุดตัดศูนย์สามารถใช้แยกหน่วยเสียงทั้ง 2 กลุ่ม ออกจากกันได้ทุกคำคิดเป็นร้อยละ 100 แต่ในเพศชายมีบางคำจากกลุ่มแรกที่มีค่าจุดตัดศูนย์ใกล้เคียงกันคำบางคำของกลุ่มที่สอง คือคำที่มาจาก /f/ และ /r/

ตารางที่ ค.1 ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าต่ำสุด ค่าสูงสุด และพิสัยของค่าจุดตัดศูนย์ จากคำทดสอบชุด ข

หน่วยเสียง	ค่าทางสถิติของค่าจุดตัดศูนย์									
	เพศชาย					เพศหญิง				
	mean	sd	min	max	range	mean	sd	min	max	range
/c/	0.18	0.01	0.16	0.20	0.04	0.21	0.02	0.20	0.23	0.03
/ch/	0.23	0.02	0.20	0.25	0.05	0.34	0.01	0.32	0.35	0.03
/ph/	0.15	0.02	0.12	0.17	0.05	0.13	0.01	**0.12**	0.13	0.01
/f/	0.11	0.03	**0.08**	0.14	0.06	0.14	0.02	**0.12**	0.17	0.05
/s/	0.31	0.02	0.28	0.33	0.05	0.26	0.04	0.20	0.31	0.11
/p/	0.04	0.01	0.03	0.05	0.02	0.05	0.01	0.04	0.06	0.02
/d/	0.02	0.00	0.02	0.03	0.01	0.02	0.00	0.02	0.03	0.01
/n/	0.02	0.00	0.02	0.03	0.01	0.03	0.00	0.02	0.03	0.01
/r/	0.05	0.02	0.03	**0.07**	0.04	0.05	0.01	0.04	**0.07**	0.03
/w/	0.02	0.00	0.02	0.02	0.00	0.03	0.01	0.02	0.04	0.02

2) การแยก /c/ ออกจากกลุ่มพยัญชนะที่มีเสียงซ่า โดยใช้ค่าระยะเวลาในช่วงที่มีเสียงซ่า

เมื่อพิจารณาค่าสูงสุดของ /c/ กับค่าต่ำสุดของหน่วยเสียงที่เหลือ จากตารางที่ ค.2 พบว่าค่าสูงสุดของ /c/ ในเพศชายมีค่า 35 ms และในเพศหญิงมีค่า 40 ms ส่วนค่าต่ำสุดของหน่วยเสียงที่เหลือในเพศชายมีค่า 60 ms และในเพศหญิงมีค่า 75 ms ค่าดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า ค่าระยะเวลาในช่วงที่เป็นเสียงซ่าสามารถใช้แยก /c/ ออกจากกลุ่มได้ คิดเป็นร้อยละ 100 ทั้งในเพศหญิงและเพศชาย

ตารางที่ ค.2 ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าต่ำสุด ค่าสูงสุด และพิสัย ของค่าระยะเวลาช่วงที่มีเสียงซ่า จากคำทดสอบชุด ข

หน่วยเสียง	ค่าทางสถิติของค่าระยะเวลาช่วงที่มีเสียงซ่า (ms)									
	เพศชาย					เพศหญิง				
	mean	sd	min	max	range	mean	sd	min	max	range
/c/	28	4	25	**35**	10	32	6	25	**40**	15
/ch/	119	21	95	140	45	114	11	95	125	30
/ph/	85	23	**60**	115	55	87	14	**75**	110	35
/f/	152	40	120	220	100	115	21	80	135	55
/s/	155	37	115	195	80	171	16	145	185	40

3) การแยกคู่ /ch/ - /ph/ และ คู่ /f/ - /s/ ออกจากกันโดยใช้ค่าค่าพลังงานสัมพัทธ์เฉลี่ย

จากตารางที่ ค.3 เมื่อพิจารณาค่าต่ำสุดของคู่ /ch/ - /ph/ ซึ่งในเพศชายมีค่า 8.54 และเพศหญิงมีค่า 9.10 กับค่าสูงสุดของคู่ /f/ - /s/ ซึ่งในเพศชายมีค่า 6.40 และเพศหญิงมีค่า 6.89 จากค่าดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า ค่าพลังงานสัมพัทธ์เฉลี่ยสามารถใช้แยกคู่ /ch/ - /ph/ และ คู่ /f/ - /s/ ออกจากกันได้ คิดเป็นร้อยละ 100 ทั้งในเพศหญิงและเพศชาย

ตารางที่ ค.3 ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าต่ำสุด ค่าสูงสุด และพิสัย ของค่าพลังงานสัมพัทธ์เฉลี่ย จากคำทดสอบชุด ข

หน่วยเสียง	ค่าทางสถิติของค่าพลังงานสัมพัทธ์เฉลี่ย									
	เพศชาย					เพศหญิง				
	mean	sd	min	max	range	mean	sd	min	max	range
/ch/	13.39	3.94	**8.54**	18.56	10.02	11.07	1.61	**9.10**	13.42	4.33
/ph/	15.25	3.17	12.06	20.40	8.34	21.26	3.38	16.27	25.37	9.11
/f/	3.34	0.44	2.92	4.03	1.11	3.40	0.64	2.33	3.99	1.67
/s/	5.56	0.54	5.08	**6.40**	1.32	5.46	0.87	4.58	**6.89**	2.32

4) การแยก /ch/ และ /ph/ ออกจากกัน จะใช้ค่าจุดตัดศูนย์ และค่าจุดสูงสุดและต่ำสุด ร่วมในการพิจารณา

จากตารางที่ ค.4 แสดงค่าทางสถิติของจุดตัดศูนย์ เมื่อพิจารณาค่าต่ำสุดของ /ch/ ซึ่งในเพศชายมีค่า 0.20 และเพศหญิงมีค่า 0.32 และค่าสูงสุดของ /ph/ ซึ่งในเพศชายมีค่า 0.17 และเพศหญิงมีค่า 0.13 ค่าดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าค่าจุดตัดศูนย์สามารถแยก /ch/ และ /ph/ ออกจากกันได้คิดเป็นร้อยละ 100 ทั้งในเพศหญิงและเพศชาย แต่สำหรับในเพศชายนั้น

ค่าดังกล่าวต่างกันไม่มากนัก จึงควรพิจารณาลักษณะอื่นเพิ่มเติมเพื่อเพิ่มความน่าเชื่อถือให้มากขึ้น

ตารางที่ ค.4 ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าต่ำสุด ค่าสูงสุด และพิสัย ของค่าจุดตัดศูนย์ จากคำทดสอบชุด ข

หน่วยเสียง	ค่าทางสถิติของค่าจุดตัดศูนย์									
	เพศชาย					เพศหญิง				
	mean	sd	min	max	range	mean	sd	min	max	range
/ch/	0.23	0.02	**0.20**	0.25	0.05	0.34	0.01	**0.32**	0.35	0.03
/ph/	0.15	0.02	0.12	**0.17**	0.05	0.13	0.01	0.12	**0.13**	0.01

จากตารางที่ ค.5 แสดงค่าทางสถิติของจุดสูงสุดและต่ำสุด เมื่อพิจารณาค่าสูงสุดของ /ch/ ซึ่งในเพศชายมีค่า 0.40 และเพศหญิงมีค่า 0.17 และค่าต่ำสุดของ /ph/ ซึ่งในเพศชายมีค่า 0.31 และเพศหญิงมีค่า 0.42 พบว่าในเพศชายไม่สามารถแยก /ch/ และ /ph/ ออกจากกันได้เลย แต่สำหรับในเพศหญิงนั้นสามารถแยกออกจากกันได้ร้อยละ 100

ตารางที่ ค.5 ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าต่ำสุด ค่าสูงสุด และพิสัย ของค่าจุดสูงสุดและต่ำสุด จากคำทดสอบชุด ข

หน่วยเสียง	ค่าทางสถิติของค่าจุดสูงสุดและต่ำสุด									
	เพศชาย					เพศหญิง				
	mean	sd	min	max	range	mean	sd	min	max	range
/ch/	0.37	0.04	0.31	**0.40**	0.09	0.11	0.04	0.07	**0.17**	0.10
/ph/	0.37	0.05	**0.31**	0.44	0.12	0.46	0.03	**0.42**	0.49	0.07

ในการแยกหน่วยเสียงทั้งสองออกจากกัน จำเป็นต้องพิจารณาทั้งค่าจุดตัดศูนย์และค่าจุดสูงสุดและต่ำสุด โดยให้ความสำคัญในการพิจารณาเป็นสัดส่วนที่พอเหมาะ ได้ทดลองโดยให้ความสำคัญกับค่าจุดตัดศูนย์มากเป็น 2 เท่าของค่าจุดสูงสุดและต่ำสุด พบว่าจะสามารถแยกหน่วยเสียงทั้งสองได้ถูกต้องคิดเป็นร้อยละ 100 ทั้งในเพศชายและเพศหญิง

5) การแยก /f/ และ /s/ ออกจากกัน จะใช้ค่าจุดตัดศูนย์ และค่าจุดสูงสุดและต่ำสุด ร่วมในการพิจารณา เช่นเดียวกับการแยก /ch/ และ /ph/

จากตารางที่ ค.6 แสดงค่าทางสถิติของจุดตัดศูนย์ เมื่อพิจารณาค่าสูงสุดของ /f/ ซึ่งในเพศชายมีค่า 0.14 และเพศหญิงมีค่า 0.17 และค่าต่ำสุดของ /s/ ซึ่งในเพศชายมีค่า 0.28 และเพศหญิงมีค่า 0.20 ค่าดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าค่าจุดตัดศูนย์สามารถแยก /f/ และ /s/ ออกจากกันได้คิดเป็นร้อยละ 100 ทั้งในเพศหญิงและเพศชาย แต่สำหรับในเพศหญิงนั้น

ค่าดังกล่าวต่างกันไม่มากนัก จึงควรพิจารณาลักษณะอื่นเพิ่มเติมเพื่อเพิ่มความน่าเชื่อถือให้มากขึ้น

ตารางที่ ค.6 ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าต่ำสุด ค่าสูงสุด และพิสัยของค่าจุดตัดศูนย์ จากคำทดสอบชุด ข

หน่วยเสียง	ค่าทางสถิติของค่าจุดตัดศูนย์									
	เพศชาย					เพศหญิง				
	mean	sd	min	max	range	mean	sd	min	max	range
/f/	0.11	0.03	0.08	0.14	0.06	0.14	0.02	0.12	0.17	0.05
/s/	0.31	0.02	0.28	0.33	0.05	0.26	0.04	0.20	0.31	0.11

จากตารางที่ ค.7 แสดงค่าทางสถิติของจุดสูงสุดและต่ำสุด เมื่อพิจารณาค่าต่ำสุดของ /f/ ซึ่งในเพศชายมีค่า 0.17 และเพศหญิงมีค่า 0.16 และค่าสูงสุดของ /s/ ซึ่งในเพศชายมีค่า 0.03 และเพศหญิงมีค่า 0.05 พบว่าสามารถแยก /f/ และ /s/ ออกจากกันได้ร้อยละ 100 และแยกได้ชัดเจนกว่าค่าจุดตัดศูนย์ด้วย

ตารางที่ ค.7 ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าต่ำสุด ค่าสูงสุด และพิสัยของค่าจุดสูงสุดและต่ำสุด จากคำทดสอบชุด ข

หน่วยเสียง	ค่าทางสถิติของค่าจุดสูงสุดและต่ำสุด									
	เพศชาย					เพศหญิง				
	mean	sd	min	max	range	mean	sd	min	max	range
/f/	0.21	0.04	0.17	0.28	0.11	0.25	0.07	0.16	0.34	0.18
/s/	0.02	0.01	0.01	0.03	0.02	0.04	0.01	0.03	0.05	0.02

ในการแยก /f/ และ /s/ ออกจากกัน จึงควรพิจารณาค่าทั้งสองประกอบกันเพื่อให้เกิดความน่าเชื่อถือยิ่งขึ้น โดยให้ความสำคัญกับค่าจุดสูงสุดและต่ำสุดมากกว่าค่าจุดตัดศูนย์ ได้ทดลองโดยให้ความสำคัญกับค่าจุดสูงสุดและต่ำสุดเป็น 2 เท่า ของจุดตัดศูนย์ พบว่าจะสามารถแยกหน่วยเสียงทั้งสองได้ถูกต้องคิดเป็นร้อยละ 100 ทั้งในเพศชายและเพศหญิง

6) การแยก /p/ ออกจาก /d/, /n/, /r/ และ /w/ โดยใช้ค่าระยะเวลาการระเบิด

ตารางที่ ค.8 แสดงค่าทางสถิติของค่าระยะเวลาช่วงการระเบิด เมื่อพิจารณาค่าสูงสุดของ /p/ ซึ่งในเพศชายมีค่า 30 และเพศหญิงมีค่า 20 และค่าต่ำสุดของ หน่วยเสียงที่เหลือซึ่งในเพศชายมีค่า 45 และเพศหญิงมีค่า 40 ค่าสูงสุดของ /p/ มีค่าน้อยกว่าค่าต่ำสุดในหน่วยเสียงที่เหลือ แสดงให้เห็นว่าค่าระยะเวลาในการระเบิดสามารถแยก /p/ ออกจากหน่วยเสียงทีเหลือได้คิดเป็นร้อยละ 100 ทั้งในเพศหญิงและเพศชาย

ตารางที่ ค.8 ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าต่ำสุด ค่าสูงสุด และพิสัยของค่าระยะเวลาการระเบิด จากคำทดสอบชุด ข

หน่วยเสียง	ค่าทางสถิติของค่าระยะเวลาการระเบิด									
	เพศชาย					เพศหญิง				
	mean	sd	min	max	range	mean	sd	min	max	range
/p/	24	5.4	15	30	15	19	2.2	15	20	5
/d/	112	15.6	95	135	40	84	13.4	70	100	30
/n/	104	3๔.5	75	165	90	59	13.9	40	75	35
/r/	91	45.6	45	160	115	75	25.3	45	115	70
/w/	135	14.6	125	160	35	53	11.5	40	70	30

7) การแยก /r/ ออกจาก /d/, /n/ และ /w/ โดยพิจารณาลักษณะช่วงเงียบเชิงกล

เมื่อดูจากภาพสเปกโตรกราฟ พบว่า /r/ ในเพศหญิงมีลักษณะของช่วงเงียบเชิงกลทุกคำ แต่ในเพศชายมีบางคำที่ไม่มีลักษณะนี้ โดยมีคำที่มีลักษณะนี้คิดเป็นร้อยละ 80 จากคำทั้งหมด สำหรับหน่วยเสียงอื่นจะไม่มีลักษณะช่วงเงียบเชิงกลเลย

อาจสรุปได้ว่า ถ้าต้องการแยก /r/ ออกจาก /d/, /n/ และ /w/ โดยพิจารณาลักษณะช่วงเงียบเชิงกลอย่างเดียว จะได้ผลถูกต้องในเพศชายร้อยละ 80 และในเพศหญิงร้อยละ 100

ตารางที่ ค.9 ร้อยละของคำทดสอบที่มีลักษณะช่วงเงียบเชิงกล จากคำทดสอบชุด ข

หน่วยเสียง	ร้อยละของคำทดสอบที่มีลักษณะช่วงเงียบเชิงกล	
	ชาย	หญิง
/r/	80.00	100.00
/d/	0.00	0.00
/n/	0.00	0.00
/w/	0.00	0.00

8) การแยก /w/ ออกจาก /d/ และ /n/ โดยใช้ค่า F2-Trans

จากตารางที่ ค.10 แสดงค่าทางสถิติของ F2-Trans เมื่อพิจารณาค่าสูงสุดของ /w/ มีค่า 940 ในเพศชาย และ 1140 ในเพศหญิง ส่วนค่าต่ำสุดของหน่วยเสียงที่เหลือมีค่า 1580 ในเพศชาย และ 2060 ในเพศหญิง พบว่าค่าสูงสุดของ /w/ มีค่าน้อยกว่าค่าต่ำสุดของหน่วยเสียงที่เหลืออย่างมาก แสดงให้เห็นว่า ค่า F2-Trans สามารถใช้แยก /w/ ออกจาก /d/ และ /n/ ได้คิดเป็นร้อยละ 100

ตารางที่ ค.10 ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าต่ำสุด ค่าสูงสุด และพิสัย ของ F2-Trans จากคำทดสอบชุด ข

หน่วยเสียง	ค่าทางสถิติของค่าระยะเวลาการระเบิด									
	เพศชาย					เพศหญิง				
	mean	sd	min	max	range	mean	sd	min	max	range
/d/	1860	31.6	1820	1900	80	2216	43.4	2160	2280	120
/n/	1676	92.1	1580	1780	200	2120	54.8	2060	2200	140
/w/	892	4ค.0	840	940	100	1092	64.2	980	1140	160

9) การแยก /d/ และ /n/ ออกจากัน โดยใช้ค่าพลังงานสัมพัทธ์เฉลี่ย

เมื่อพิจารณาจากพลังงานสัมพัทธ์เฉลี่ยเฉลี่ยพบว่า ค่าพลังงานสัมพัทธ์เฉลี่ยของ /d/ มีค่าน้อยกว่าค่าพลังงานสัมพัทธ์เฉลี่ยของ /n/ ดูได้จากตารางที่ ค.11 ถ้านำค่าสูงสุดของ /d/ ซึ่งมีค่า 24.64 ในเพศชาย และ 38.80 ในเพศหญิง มาเปรียบเทียบกับค่าต่ำสุดของ /n/ ซึ่งมีค่า 51.58 ในเพศชาย และ 58.88 ในเพศหญิง พบว่าค่าสูงสุดของ /d/ มีค่าน้อยกว่าค่าต่ำสุดของ /n/ ทั้งในเพศชายและเพศหญิง แสดงให้เห็นว่า ค่าพลังงานสัมพัทธ์เฉลี่ยสามารถใช้แยก /d/ และ /n/ ออกจากกันได้คิดเป็น ร้อยละ 100

ตารางที่ ค.11 ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าต่ำสุด ค่าสูงสุด และพิสัย ของค่าพลังงานสัมพัทธ์เฉลี่ย จากคำทดสอบชุด ข

หน่วยเสียง	ค่าทางสถิติของค่าพลังงานสัมพัทธ์เฉลี่ย									
	เพศชาย					เพศหญิง				
	mean	sd	min	max	range	mean	sd	min	max	range
/d/	20.96	3.99	15.72	24.64	8.92	26.05	7.74	18.71	38.80	20.09
/n/	62.43	9.29	51.58	74.59	23.01	67.12	ค.41	58.88	74.34	15.46

2. คำชุด ค

การอธิบายผลการทดลองในหัวข้อนี้จะเหมือนกับในหัวข้อที่ผ่านมา แต่ข้อมูลที่นำมาใช้อธิบายแตกต่างกัน รายละเอียดมีดังนี้

1) การแยกกลุ่มพยัญชนะที่มีเสียงซ่าออกจากกลุ่มพยัญชนะที่ไม่มีเสียงซ่า โดยใช้ค่าจุดตัดศูนย์

ตารางที่ ค.12 ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าต่ำสุด ค่าสูงสุด และพิสัย ของค่าจุดตัดศูนย์ จากคำทดสอบชุด ค

หน่วยเสียง	ค่าทางสถิติของค่าจุดตัดศูนย์									
	เพศชาย					เพศหญิง				
	mean	sd	min	max	range	mean	sd	min	max	range
/c/	0.27	0.15	0.15	0.46	0.31	0.24	0.06	0.16	0.33	0.17
/ch/	0.23	0.05	0.17	0.30	0.13	0.27	0.05	0.21	0.33	0.12
/ph/	0.15	0.07	0.06	0.23	0.17	0.11	0.05	0.05	0.15	0.10
/f/	0.14	0.02	0.10	0.15	0.05	0.13	0.04	0.09	0.20	0.11
/s/	0.19	0.06	0.12	0.28	0.16	0.24	0.05	0.19	0.32	0.13
/p/	0.03	0.00	0.03	0.04	0.01	0.04	0.01	0.03	0.06	0.03
/d/	0.02	0.00	0.02	0.03	0.01	0.02	0.00	0.02	0.02	0.00
/n/	0.02	0.00	0.02	0.03	0.01	0.02	0.00	0.02	0.02	0.00
/r/	0.03	0.01	0.02	0.03	0.01	0.04	0.02	0.02	0.07	0.05
/w/	0.02	0.00	0.02	0.02	0.01	0.04	0.02	0.02	0.07	0.05

ตารางที่ ค.12 แสดงค่าทางสถิติของค่าจุดตัดศูนย์ เมื่อพิจารณาค่าต่ำสุดของกลุ่มที่มีเสียงซ่า กับค่าสูงสุดของกลุ่มที่ไม่มีเสียงซ่า ค่าต่ำสุดของกลุ่มที่มีเสียงซ่าในเพศชายมีค่า 0.06 และในเพศหญิงมีค่า 0.05 ส่วนค่าสูงสุดของกลุ่มที่ไม่มีเสียงซ่าในเพศชายมีค่า 0.04 และ

เพศหญิงมีค่าเท่ากัน คือ 0.07 ในเพศหญิงมี 2 คำ จากกลุ่มที่มีเสียงซ่าที่มีค่าจุดต่ำมาก คือ /pul/ และ /puul/ ซึ่งทำให้จัดกลุ่มผิดพลาด โดยความผิดพลาดคิดเป็นร้อยละ 3.3 ส่วนเพศชาย คำ /pul/ และ /puul/ ก็มีค่าน้อยมากเช่นกัน แต่เพราะว่าทุกหน่วยเสียงในกลุ่มที่ไม่มีเสียงซ่ามีค่าจุดตัดศูนย์น้อยกว่า จึงทำให้สามารถแยกทั้ง 2 กลุ่มออกจากกันได้คิดเป็นร้อยละ 100

2) การแยก /c/ ออกจากกลุ่มพยัญชนะที่มีเสียงซ่า โดยใช้ค่าระยะเวลาในช่วงที่มีเสียงซ่า

เมื่อพิจารณาค่าสูงสุดของ /c/ กับค่าต่ำสุดของหน่วยเสียงที่เหลือ จากตารางที่ ค.13 พบว่าค่าสูงสุดของ /c/ ในเพศชายมีค่า 40 ms และในเพศหญิงมีค่า 45 ms ส่วนค่าต่ำสุดของหน่วยเสียงที่เหลือในเพศชายมีค่า 95 ms และในเพศหญิงมีค่า 75 ms ค่าดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า ค่าระยะเวลาในช่วงที่เป็นเสียงซ่าสามารถใช้แยก /c/ ออกจากกลุ่มได้ คิดเป็นร้อยละ 100 ทั้งในเพศหญิงและเพศชาย

ตารางที่ ค.13 ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าต่ำสุด ค่าสูงสุด และพิสัย ของค่าระยะเวลาในช่วงที่มีเสียงซ่า จากคำทดสอบชุด ค

หน่วยเสียง	ค่าทางสถิติของค่าระยะเวลาในช่วงที่มีเสียงซ่า (ms)									
	เพศชาย					เพศหญิง				
	mean	sd	min	max	range	mean	sd	min	max	range
/c/	32	6	25	40	15	34	7	25	45	20
/ch/	142	15	125	170	45	168	31	125	220	95
/ph/	119	18	95	140	45	93	14	75	110	35
/f/	205	57	145	275	130	159	60	80	225	145
/s/	193	40	145	250	105	202	24	155	215	60

3) การแยกคู่ /ch/-/ph/ และ คู่ /f/-/s/ ออกจากกันโดยใช้ค่าค่าพลังงานสัมพัทธ์เฉลี่ย

จากตารางที่ ค.14 เมื่อพิจารณาค่าต่ำสุดของคู่ /ch/-/ph/ ซึ่งในเพศชายมีค่า 9.13 และเพศหญิงมีค่า 6.14 กับค่าสูงสุดของคู่ /f/-/s/ ซึ่งในเพศชายมีค่า 6.29 และเพศหญิงมีค่า 4.38 จากค่าดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า ค่าพลังงานสัมพัทธ์เฉลี่ยสามารถใช้แยกคู่ /ch/-/ph/ และ คู่ /f/-/s/ ออกจากกันได้ คิดเป็นร้อยละ 100 ทั้งในเพศหญิงและเพศชาย

ตารางที่ ค.14 ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าต่ำสุด ค่าสูงสุด และพิสัย ของค่าพลังงานสัมพัทธ์เฉลี่ย จากคำทดสอบชุด ค

หน่วยเสียง	ค่าทางสถิติของค่าพลังงานสัมพัทธ์เฉลี่ย									
	เพศชาย					เพศหญิง				
	mean	sd	min	max	range	mean	sd	min	max	range
/ch/	13.60	2.93	9.97	18.56	8.59	9.28	1.60	7.77	11.64	3.88
/ph/	12.65	2.13	**9.13**	14.88	5.75	15.72	8.87	**6.22**	26.80	20.59
/f/	3.35	0.58	2.59	4.07	1.48	3.14	0.33	2.53	3.44	0.91
/s/	3.78	1.31	2.66	**6.29**	3.63	3.54	0.70	2.40	**4.38**	1.98

4) การแยก /ch/ และ /ph/ ออกจากกัน จะใช้ค่าจุดตัดศูนย์ และค่าจุดสูงสุดและต่ำสุด ร่วมในการพิจารณา

จากตารางที่ ค.15 แสดงค่าทางสถิติของจุดตัดศูนย์ เมื่อพิจารณาค่าต่ำสุดของ /ch/ ซึ่งในเพศชายมีค่า 0.17 และเพศหญิงมีค่า 0.21 และค่าสูงสุดของ /ph/ ซึ่งในเพศชายมีค่า 0.23 และเพศหญิงมีค่า 0.15 ค่าดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าค่าจุดตัดศูนย์สามารถแยก /ch/ และ /ph/ ในเพศหญิงออกจากกันได้คิดเป็นร้อยละ 100 แต่ในเพศชายนั้นไม่สามารถแยกออกจากกันทั้งหมด จึงควรพิจารณาลักษณะอื่นเพิ่มเติม

ตารางที่ ค.15 ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าต่ำสุด ค่าสูงสุด และพิสัย ของค่าจุดตัดศูนย์ จากคำทดสอบชุด ค

หน่วยเสียง	ค่าทางสถิติของค่าจุดตัดศูนย์									
	เพศชาย					เพศหญิง				
	mean	sd	min	max	range	mean	sd	min	max	range
/ch/	0.23	0.05	**0.17**	0.30	0.13	0.27	0.05	**0.21**	0.33	0.12
/ph/	0.15	0.07	0.06	**0.23**	0.17	0.11	0.05	0.05	**0.15**	0.10

จากตารางที่ ค.16 แสดงค่าทางสถิติของจุดสูงสุดและต่ำสุด เมื่อพิจารณาค่าสูงสุดของ /ch/ ซึ่งในเพศชายมีค่า 0.36 และเพศหญิงมีค่า 0.56 และค่าต่ำสุดของ /ph/ ซึ่งในเพศชายมีค่า 0.41 และเพศหญิงมีค่า 0.16 พบว่าทั้งในเพศชายและเพศหญิงไม่สามารถแยก /ch/ และ /ph/ ออกจากกันได้ทุกคำ เช่นกัน

ตารางที่ ค.16 ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าต่ำสุด ค่าสูงสุด และพิสัย ของค่าจุดสูงสุดและต่ำสุด จากคำทดสอบชุด ค

หน่วยเสียง	ค่าทางสถิติของค่าจุดสูงสุดและต่ำสุด									
	เพศชาย					เพศหญิง				
	mean	sd	min	max	range	mean	sd	min	max	range
/ch/	0.36	0.07	0.29	**0.47**	0.18	0.25	0.20	0.10	**0.56**	0.46
/ph/	0.41	0.16	**0.21**	0.59	0.38	0.39	0.18	**0.16**	0.56	0.40

ในการแยกหน่วยเสียงทั้งสองออกจากกัน ได้พิจารณาทั้งค่าจุดตัดศูนย์และค่าจุดสูงสุดและต่ำสุด โดยให้ความสำคัญในการพิจารณาเป็นสัดส่วนที่พอเหมาะ ได้ทดลองโดยให้ความสำคัญกับค่าจุดตัดศูนย์เป็น 2 เท่า ของค่าจุดสูงสุดและต่ำสุด พบว่าจะสามารถแยกหน่วยเสียงทั้งสองได้ถูกต้องคิดเป็นร้อยละ 66.7 สำหรับเพศชาย และ 91.7 สำหรับเพศหญิง

5) การแยก /f/ และ /s/ ออกจากกัน จะใช้ค่าจุดตัดศูนย์ และค่าจุดสูงสุดและต่ำสุด ร่วมในการพิจารณา เช่นเดียวกับการแยก /ch/ และ /ph/

จากตารางที่ ค.17 แสดงค่าทางสถิติของจุดตัดศูนย์ เมื่อพิจารณาค่าสูงสุดของ /f/ ซึ่งในเพศชายมีค่า 0.15 และเพศหญิงมีค่า 0.20 และค่าต่ำสุดของ /s/ ซึ่งใน เพศชายมีค่า 0.12 และเพศหญิงมีค่า 0.19 ค่าดังกล่าวไม่สามารถแยก /f/ และ /s/ ออกจากกันได้ทุกคำ จำเป็นต้องพิจารณาลักษณะอื่นเพิ่มเติม

ตารางที่ ค.17 ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าต่ำสุด ค่าสูงสุด และพิสัย ของค่าจุดตัดศูนย์ จากคำทดสอบชุด ค

หน่วยเสียง	ค่าทางสถิติของค่าจุดตัดศูนย์									
	เพศชาย					เพศหญิง				
	mean	sd	min	max	range	mean	sd	min	max	range
/f/	0.14	0.02	0.10	**0.15**	0.05	0.13	0.04	0.09	**0.20**	0.11
/s/	0.19	0.06	**0.12**	0.28	0.16	0.24	0.05	**0.19**	0.32	0.13

จากตารางที่ ค.18 แสดงค่าทางสถิติของจุดสูงสุดและต่ำสุด เมื่อพิจารณาค่าต่ำสุดของ /f/ ซึ่งในเพศชายมีค่า 0.07 และเพศหญิงมีค่า 0.15 และค่าสูงสุดของ /s/ ซึ่งในเพศชายมีค่า 0.06 และเพศหญิงมีค่า 0.11 พบว่าสามารถแยก /f/ และ /s/ ออกจากกันได้ร้อยละ 100 เฉพาะในเพศหญิงเท่านั้น แต่ในเพศชายมีคำบางคำที่ไม่สามารถแยกได้

ตารางที่ ค.18 ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าต่ำสุด ค่าสูงสุด และพิสัย ของค่าจุดสูงสุดและต่ำสุด จากคำทดสอบชุด ค

หน่วยเสียง	ค่าทางสถิติของค่าจุดสูงสุดและต่ำสุด									
	เพศชาย					เพศหญิง				
	mean	sd	min	max	range	mean	sd	min	max	range
/f/	0.13	0.05	0.07	0.21	0.14	0.23	0.06	0.15	0.32	0.17
/s/	0.06	0.03	0.03	0.11	0.08	0.08	0.03	0.03	0.11	0.08

ในการแยก /f/ และ /s/ ออกจากกัน จึงพิจารณาค่าทั้งสองประกอบกัน โดยให้ความสำคัญกับค่าจุดสูงสุดและต่ำสุดเป็นสองเท่าของจุดตัดศูนย์ พบว่าในเพศชายสามารถแยกได้ถูกต้องร้อยละ 66.7 และในเพศหญิงถูกต้องร้อยละ 91.7

6) การแยก /p/ ออกจาก /d/, /n/, /r/ และ /w/ โดยใช้ค่าระยะเวลาช่วงการระเบิด

ตารางที่ ค.19 แสดงค่าทางสถิติของค่าระยะเวลาช่วงการระเบิด เมื่อพิจารณาค่าสูงสุดของ /p/ ซึ่งในเพศชายมีค่า 40 และเพศหญิงมีค่า 25 และค่าต่ำสุดของหน่วยเสียงที่เหลือซึ่งในเพศชายมีค่า 55 และเพศหญิงมีค่า 40 ค่าสูงสุดของ /p/ มีค่าน้อยกว่าค่าต่ำสุดในหน่วยเสียงที่เหลือ แสดงให้เห็นว่าค่าระยะเวลาในการระเบิดสามารถแยก /p/ ออกจากหน่วยเสียงที่เหลือได้คิดเป็นร้อยละ 100 ทั้งในเพศชายและเพศหญิง

ตารางที่ ค.19 ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าต่ำสุด ค่าสูงสุด และพิสัย ของค่าระยะเวลาช่วงการระเบิด จากคำทดสอบชุด ค

หน่วยเสียง	ค่าทางสถิติของค่าระยะเวลาช่วงการระเบิด									
	เพศชาย					เพศหญิง				
	mean	sd	min	max	range	mean	sd	min	max	range
/p/	28	ค.9	20	40	20	21	4.9	15	25	10
/d/	153	34.3	100	185	85	119	21.8	85	150	65
/n/	141	21.3	110	165	55	80	15.2	60	100	40
/r/	99	23.5	55	125	70	98	3ค.2	55	150	95
/w/	171	3ค.7	125	225	100	91	33.1	40	125	85

7) การแยก /r/ ออกจาก /d/, /n/ และ /w/ โดยพิจารณาลักษณะช่วงเงียบเชิงกล

เมื่อพิจารณาลักษณะช่วงเงียบเชิงกลของคำที่ประกอบด้วย /r/, /d/, /n/ และ /w/ โดยดูจากภาพสเปกโตรกราฟ ผลแสดงดังตารางที่ ค.20 พบว่าคำที่ประกอบด้วย /r/ ทุกคำทั้งในเพศชายและเพศหญิงมีลักษณะของช่วงเงียบเชิงกล แต่หน่วยเสียงอื่นจะไม่มีลักษณะช่วงเงียบเชิงกลเลย จึงสรุปได้ว่า สามารถแยก /r/ ออกจาก /d/, /n/ และ /w/ โดยพิจารณาลักษณะช่วงเงียบเชิงกลอย่างเดียว ได้ผลถูกต้องทั้งในเพศชายและเพศหญิงคิดเป็นร้อยละ 100

ตารางที่ ค.20 ร้อยละของคำทดสอบที่มีลักษณะช่วงเงียบเชิงกล จากคำทดสอบชุด ค

หน่วยเสียง	ร้อยละของคำทดสอบที่มีลักษณะช่วงเงียบเชิงกล	
	ชาย	หญิง
/r/	100.00	100.00
/d/	0.00	0.00
/n/	0.00	0.00
/w/	0.00	0.00

8) การแยก /w/ ออกจาก /d/ และ /n/ โดยใช้ค่า F2-Trans

นำค่า F2-Trans ของ /w/, /d/ และ /n/ มาค่าทางสถิติและแสดงผลดังตารางที่ ค.21 เมื่อพิจารณาค่าสูงสุดของ /w/ มีค่า 980 ในเพศชาย และ 1480 ในเพศหญิง และค่าต่ำสุดของหน่วยเสียงที่เหลือมีค่า 1420 ในเพศชาย และ 1800 ในเพศหญิง พบว่าค่าสูงสุดของ /w/ มีค่าน้อยกว่าค่าต่ำสุดในหน่วยเสียงที่เหลือ แสดงว่า ค่า F2-Trans สามารถใช้แยก /w/ ออกจาก /d/ และ/n/ ได้คิดเป็นร้อยละ 100

ตารางที่ ค.21 ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าต่ำสุด ค่าสูงสุด และพิสัย ของ F2-Trans จากคำทดสอบชุด ค

หน่วยเสียง	ค่าทางสถิติของค่าระยะเวลาการระเบิด									
	เพศชาย					เพศหญิง				
	mean	sd	min	max	range	mean	sd	min	max	range
/d/	1795	210	1500	2060	560	2180	230.6	1930	2470	540
/n/	1710	220	1420	1920	500	2203	365.0	1800	2680	880
/w/	847	74.5	780	980	200	1035	301.5	690	1480	790

9) แยก /d/ และ /n/ ออกจากัน โดยใช้ค่าพลังงานสัมพัทธ์เฉลี่ย

พิจารณาจากพลังงานสัมพัทธ์เฉลี่ยเฉลี่ยพบว่า ค่าพลังงานสัมพัทธ์เฉลี่ยของ /d/ มีค่าน้อยกว่าค่าพลังงานสัมพัทธ์เฉลี่ยของ /n/ ดูได้จากตารางที่ ค.22 และเมื่อนำค่าสูงสุดของ /d/ ซึ่งมีค่า 29.67 ในเพศชาย และ 39.73 ในเพศหญิง มาเปรียบเทียบกับค่าต่ำสุดของ /n/ ซึ่งมีค่า 50.40 ในเพศชาย และ 75.04 ในเพศหญิง พบว่าค่าสูงสุดของ /d/ มีค่าน้อยกว่าค่าต่ำสุดของ /n/ ทั้งในเพศชายและเพศหญิง แสดงให้เห็นว่า ค่าพลังงานสัมพัทธ์เฉลี่ยสามารถใช้แยก /d/ และ /n/ ออกจากันได้คิดเป็นร้อยละ 100

ตารางที่ ค.22 ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าต่ำสุด ค่าสูงสุด และพิสัยของค่าพลังงานสัมพัทธ์เฉลี่ย จากคำทดสอบชุด ค

หน่วยเสียง	ค่าทางสถิติของค่าพลังงานสัมพัทธ์เฉลี่ย									
	เพศชาย					เพศหญิง				
	mean	sd	min	max	range	mean	sd	min	max	range
/d/	25.93	2.81	21.92	29.67	7.75	25.88	8.90	16.47	39.73	23.26
/n/	59.44	5.99	50.40	67.44	17.04	78.15	2.85	75.04	82.22	7.18

สรุป

จากผลการทดลอง โดยใช้ชุดคำ ข และ ค สามารถสรุปได้ดังนี้

1. ชุดคำ ข

การรู้จำโดยใช้คำทดสอบ ข จำนวน 50 คำ จากผู้พูดเพศชาย 1 คน และ หญิง 1 คน จำนวนคำทั้งหมด 100 คำ พบว่ามีเพียง 1 คำ เท่านั้นที่รู้จำผิดพลาด คือ /raa0/ จากผู้พูดเพศชาย โดยระบบตอบว่าเป็นคำที่มีหน่วยเสียงพยัญชนะ คือ /d/ เพราะว่าคำนี้ไม่มีลักษณะช่วงเงียบเชิงกล อาจเนื่องมาจากการออกเสียงของผู้บอกภาษาผิดพลาด

ผลการจัดกลุ่มและแยกแยะหน่วยเสียงพยัญชนะ โดยใช้หลักการตัดสินใจทั้ง 9 ข้อ ซึ่งแสดงไว้ในตารางที่ ค.23 สามารถอธิบายได้ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 แยกหน่วยเสียง 100 คำ ออกเป็น 2 กลุ่ม กลุ่มแรก คือ /c/, /ch/, /ph/, /f/ และ /s/ หน่วยเสียงละ 10 คำ รวม 50 คำ และกลุ่มที่สอง คือ /p/, /r/, /w/, /d/ และ /n/ หน่วยเสียงละ 10 คำ รวม 50 คำ เช่นกัน สามารถแยกได้ถูกต้องทั้ง 100 คำ คิดเป็นร้อยละ 100

ขั้นตอนที่ 2 แยก /c/ ซึ่งมีจำนวน 10 คำ ออกจากหน่วยเสียงที่เหลือในกลุ่มที่หนึ่งซึ่งคำทั้งหมดในกลุ่มมีจำนวน 50 คำ สามารถแยกได้ถูกต้องทั้ง 50 คำ คิดเป็นร้อยละ 100

ขั้นตอนที่ 3 แยก /ch/-/ph/ และ /f/-/s/ ออกเป็น 2 กลุ่มย่อย จากคำทั้งหมด 40 คำ สามารถแยกได้ถูกต้องทั้ง 40 คำ คิดเป็นร้อยละ 100

ขั้นตอนที่ 4 แยก /ch/ และ /ph/ ออกจากกัน จากคำทั้งหมด 20 คำ สามารถแยกได้ถูกต้องทั้ง 20 คำ คิดเป็นร้อยละ 100

ขั้นตอนที่ 5 แยก /f/ และ /s/ ออกจากกัน จากคำทั้งหมด 20 คำ สามารถแยกได้ถูกต้องทั้ง 20 คำ คิดเป็นร้อยละ 100

ขั้นตอนที่ 6 แยก /p/ ซึ่งมีจำนวน 10 คำ ออกจากหน่วยเสียงที่เหลือในกลุ่มที่สองซึ่งคำทั้งหมดในกลุ่มมีจำนวน 50 คำ สามารถแยกได้ถูกต้องทั้ง 50 คำ คิดเป็นร้อยละ 100

ขั้นตอนที่ 7 แยก /r/ ซึ่งมีจำนวน 10 คำ ออกจากหน่วยเสียงที่เหลือในกลุ่มที่สองซึ่งคำทั้งหมดในกลุ่มมีจำนวน 40 คำ สามารถแยกได้ถูกต้อง 39 คำ คิดเป็นร้อยละ 97.5 คือ แยก /r/ ออกจากกลุ่มได้ 9 คำ ไม่สามารถแยกได้ 1 คำ

ขั้นตอนที่ 8 แยก /w/ ซึ่งมีจำนวน 10 คำ ออกจากหน่วยเสียงที่เหลือซึ่งมีคำทั้งหมดจำนวน 31 คำ (/w/ 10 คำ, /d/ 10 คำ, /n/ 10 คำ และ /r/ 1 คำ) สามารถแยกได้ถูกต้องทั้ง 31 คำ คิดเป็นร้อยละ 100

ขั้นตอนที่ 9 แยก /d/ และ /n/ ออกจากกัน จากคำทั้งหมดจำนวน 21 คำ (/d/ 10 คำ, /n/ 10 คำ และ /r/ 1 คำ) สามารถแยกได้ถูกต้อง 20 คำ คิดเป็นร้อยละ 95.2 คำที่ผิดพลาด 1 คำ คือ คำที่ประกอบด้วย /r/ ซึ่งหลังจากแยกแล้วได้ไปรวมอยู่ในกลุ่ม /d/

ตารางที่ ค.23 ผลความถูกต้องของการวิเคราะห์โดยใช้หลักการตัดสินใจทั้ง 9 ข้อ จากคำทดสอบชุด ข

หลักการตัดสินใจ	จำนวนคำ	ผลการแยกถูกต้อง		ผลการแยกผิดพลาด	
		จำนวน (คำ)	ร้อยละ	จำนวน (คำ)	ร้อยละ
ข้อ 1	100	100	100.0	0	0.0
ข้อ 2	50	50	100.0	0	0.0
ข้อ 3	40	40	100.0	0	0.0
ข้อ 4	20	20	100.0	0	0.0
ข้อ 5	20	20	100.0	0	0.0
ข้อ 6	50	50	100.0	0	0.0
ข้อ 7	40	39	97.5	1	2.5
ข้อ 8	31	31	100.0	0	0.0
ข้อ 9	21	20	95.2	1	4.8

2. ชุดคำ ค

การรู้จำโดยใช้คำทดสอบ ค จำนวน 60 คำ จากผู้พูดเพศชาย 1 คน และ หญิง 1 คน จำนวนคำทั้งหมด 120 คำ พบว่าผลการรู้จำถูกต้อง 108 คำ คิดเป็น 90.0 และผลการรู้จำผิดพลาด 12 คำ คิดเป็นร้อยละ 10.0

ผลการจัดกลุ่มและแยกแยะหน่วยเสียงพยัญชนะ โดยใช้หลักการตัดสินใจทั้ง 9 ข้อ ซึ่งแสดงไว้ในตารางที่ ค.24 สามารถอธิบายได้ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 แยกหน่วยเสียง 120 คำ ออกเป็น 2 กลุ่ม กลุ่มแรก คือ /c/, /ch/, /ph/, /f/ และ /s/ หน่วยเสียงละ 12 คำ รวม 60 คำ และกลุ่มที่สอง คือ /p/, /r/, /w/, /d/ และ /n/ หน่วยเสียงละ 12 คำ รวม 60 คำ เช่นกัน สามารแยกได้ถูกต้องทั้ง 118 คำ คิดเป็นร้อยละ 98.3 ผิดพลาด 2 คำ คือ /phu1/ และ /phuu1/ ในผู้พูดเพศหญิง เนื่องจากว่าคำดังกล่าวมีค่าจุดตัดศูนย์น้อยมากทำให้ตัดสินว่าอยู่ในกลุ่มไม่มีเสียงซ่า

ขั้นตอนที่ 2 แยก /c/ ซึงมีจำนวน 12 คำ ออกจากหน่วยเสียงที่เหลือในกลุ่มที่หนึ่งซึ่งคำทั้งหมดในกลุ่มมีจำนวน 58 คำ สามารถแยกได้ถูกต้องทั้ง 58 คำ คิดเป็นร้อยละ 100

ขั้นตอนที่ 3 แยก /ch/-/ph/ และ /f/-/s/ ออกเป็น 2 กลุ่มย่อย จากคำทั้งหมด 46 คำ สามารถแยกได้ถูกต้องทั้ง 46 คำ คิดเป็นร้อยละ 100

ขั้นตอนที่ 4 แยก /ch/ และ /ph/ ออกจากกัน จากคำทั้งหมด 22 คำ สามารถแยกได้ถูกต้องทั้ง 17 คำ คิดเป็นร้อยละ 77.3 ผิดพลาด 5 คำ คิดเป็นร้อยละ 22.7

ขั้นตอนที่ 5 แยก /f/ และ /s/ ออกจากกัน จากคำทั้งหมด 24 คำ สามารถแยกได้ถูกต้องทั้ง 19 คำ คิดเป็นร้อยละ 79.2 ผิดพลาด 5 คำ คิดเป็นร้อยละ 20.8

ขั้นตอนที่ 6 แยก /p/ ซึ่งมีจำนวน 12 คำ ออกจากหน่วยเสียงที่เหลือในกลุ่มที่สองซึ่งคำทั้งหมดในกลุ่มมีจำนวน 62 คำ สามารถแยกได้ถูกต้องทั้ง 62 คำ คิดเป็นร้อยละ 100

ขั้นตอนที่ 7 แยก /r/ ซึ่งมีจำนวน 12 คำ ออกจากหน่วยเสียงที่เหลือในกลุ่มที่สองซึ่งคำทั้งหมดในกลุ่มมีจำนวน 50 คำ สามารถแยกได้ถูกต้องทั้ง 50 คำ คิดเป็นร้อยละ 100

ขั้นตอนที่ 8 แยก /w/ ซึ่งมีจำนวน 12 คำ ออกจากหน่วยเสียงที่เหลือซึ่งมีคำทั้งหมดจำนวน 38 คำ (/w/ 12 คำ, /d/ 12 คำ, /n/ 12 คำ และ /ph/ 2 คำ) สามารถแยกได้ถูกต้อง 36 คำ คิดเป็นร้อยละ 94.7 และผิดพลาด 2 คำ คือ คำที่ประกอบด้วย /ph/ ทั้ง 2 คำ โดยรวมไปอยู่ในกลุ่ม /w/ ด้วย

ขั้นตอนที่ 9 แยก /d/ และ /n/ ออกจากกัน จากคำทั้งหมดจำนวน 24 คำ สามารถแยกได้ถูกต้องทั้ง 24 คำ คิดเป็นร้อยละ 100

ตารางที่ ค.24 ผลความถูกต้องของการพิจารณาโดยใช้หลักการตัดสินใจทั้ง 9 ข้อ จากคำทดสอบชุด ค

หลักการตัดสินใจ	จำนวนคำ	ผลการแยกถูกต้อง		ผลการแยกผิดพลาด	
		จำนวน (คำ)	ร้อยละ	จำนวน (คำ)	ร้อยละ
ข้อ 1	120	118	98.3	2	1.7
ข้อ 2	58	58	100.0	0	0.0
ข้อ 3	46	46	100.0	0	0.0
ข้อ 4	22	17	77.3	5	22.7
ข้อ 5	24	19	79.2	5	20.8
ข้อ 6	62	62	100.0	0	0.0
ข้อ 7	50	50	100.0	0	0.0
ข้อ 8	38	36	94.7	2	5.3
ข้อ 9	24	24	100.0	0	0.0

ภาคผนวก ง

ข้อมูลผู้บอกภาษา

ในงานวิจัยนี้ ใช้ผู้บอกภาษา 6 คน เพศละ 3 คน ซึ่งมีรายละเอียด ดังนี้

1. อาจารย์วิสิทธิ์ ลีลาศิริวงศ์ อายุ 31 ปี อาจารย์คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2. นายกิตติพงศ์ หมอกเจริญพงศ์ อายุ 27 ปี นิสิตปริญญาโท คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3. นายณัฐกร ทับทอง อายุ 25 ปี นิสิตปริญญาโท คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4. นางสาวผุสดี วชิรอนันต์ อายุ 26 ปี นิสิตปริญญาโท คณะอักษรศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5. นางสาวกลมวดี ศิริกาญจนพงศ์ อายุ 25 ปี นิสิตปริญญาโท คณะอักษรศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

6. นางสาวกรองกาญจน์ ขาวหนู อายุ 24 ปี นิสิตปริญญาโท คณะอักษรศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก จ

สัญลักษณ์แทนเสียง และองค์ประกอบของพยางค์ที่เป็นไปได้ในภาษาไทย

พยัญชนะ

แสดงการเทียบสัญลักษณ์แทนหน่วยเสียงพยัญชนะ กับตัวอักษรในภาษาไทยได้ดังนี้

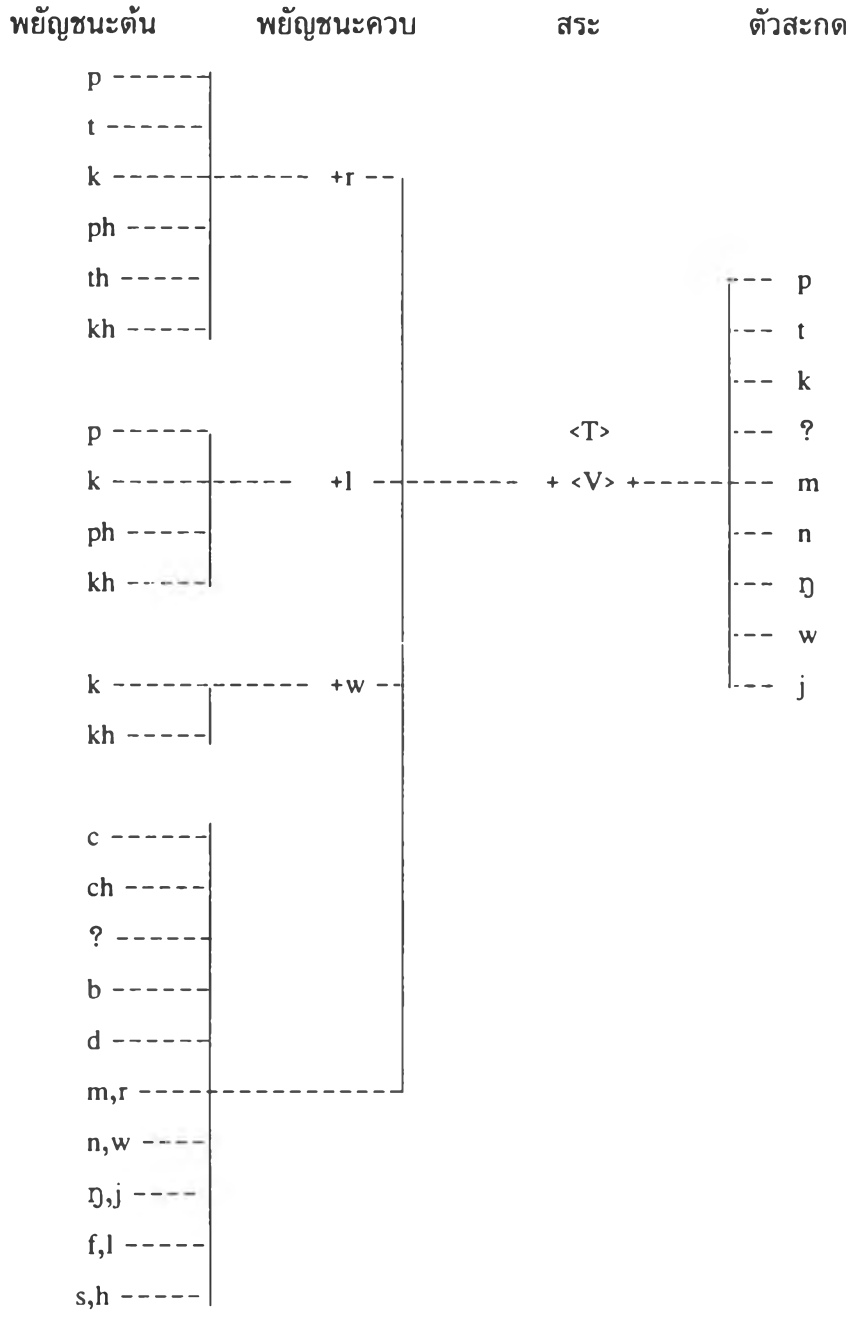
/p/	ป
/t/	ต ฏ
/c/	จ
/k/	ก
/ʔ/	อ
/ph/	พ ภ ผ
/th/	ท ธ ฒ ฑ ถ ฐ
/ch/	ช ฌ ฉ
/kh/	ข ค ฆ
/b/	บ
/d/	ด ฎ
/m/	ม หม- (หมี)
/n/	น ณ หน- (หนู)
/ŋ/	ง หง- (เหงา)
/f/	ฝ ฟ
/s/	ส ศ ษ ซ
/h/	ห ฮ
/r/	ร หร- (เหรียญ)
/l/	ล ฬ หล- (หลาน)
/w/	ว หว- (หวี)
/j/	ย ญ หย- หญ- (หย่า หญิง)

สระ

แสดงการเทียบสัญลักษณ์แทนหน่วยเสียงสระ กับสระในภาษาไทยได้ดังนี้

/i/	อิ
/ii/	อี
/e/	เอะ
/ee/	เอ
/ɛ/	แอะ
/ɛɛ/	แอ
/ɯ/	อึ
/ɯɯ/	อื
/ɤ/	เออะ
/ɤɤ/	เออ
/a/	อะ
/aa/	อา
/u/	อุ
/uu/	อู
/o/	โอะ
/oo/	โอ
/ɔ/	เอาะ
/ɔɔ/	ลอ
/ia/,/iia/	เอียะ,เอีย
/va/,/vva/	เอือะ,เอือ
/ua/,/uua/	อัวะ,อัว

องค์ประกอบของพยางค์ที่เป็นไปได้ในภาษาไทย



ประวัติผู้เขียน

นายณัฐกร ทับทอง เกิดวันที่ 23 มิถุนายน พ.ศ. 2512 ที่อำเภอบางขุนเทียน จังหวัดกรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาปริญญาตรี หลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2533 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์คอมพิวเตอร์ ที่จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อ พ.ศ. 2536