การศึกษาการลดการออกเสียงสระอะในการจำแนกสระด้วยความถี่ฟอร์แมนต์ของเสียงพูดต่อเนื่องภาษาไทย

นายธีระ สุริย์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2555

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย
The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR)
are the thesis authors' files submitted through the Graduate School.

STUDYING OF REDUCED /a/ VOWEL ON VOWEL CLASSIFICATION USING FORMANT FREQUENCIES IN THAI CONTINUOUS SPEECH

Mr. Teera Suri

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering Program in Computer Engineering

Department of Computer Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2012

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การศึกษาการลดการออกเสียงสระอะในการจำแนกสระด้วยความถี่ฟอร์แมนต์ของเสียงพูดต่อเนื่องภาษาไทย
โดย	นายธีระ สุริย์
สาขาวิชา	วิศวกรรมคอมพิวเตอร์
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อติวงศ์ สุชาโต
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.โปรดปราน บุณยพุกกณะ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร.บุญสม เลิศหิรัญวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(ศาสตราจารย์ ดร.บุญเสริม กิจศิริกุล)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อติวงศ์ สุชาโต)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.โปรดปราน บุณยพุกกณะ)

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ดร.ชัย วุฒิวิวัฒน์ชัย)

ธีระ สุริย์ : การศึกษาการลดการออกเสียงสระอะในการจำแนกสระด้วยความถี่ฟอร์แมนต์ของเสียงพูดต่อเนื่องภาษาไทย. (STUDYING OF REDUCED /a/ VOWEL ON VOWEL CLASSIFICATION USING FORMANT FREQUENCIES IN THAI CONTINUOUS SPEECH) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : ผศ.ดร.อติวงศ์ สุชาโต, อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม : ผศ.ดร.โปรดปราน บุณยพุกกณะ, 71 หน้า.

ในการศึกษาความถี่ฟอร์แมนต์ของเสียงสระจากทดลองจำแนกเสียงสระในเสียงพูดต่อเนื่องภาษาไทยพบว่าความถี่ฟอร์แมนต์ที่สกัดได้นั้นมิได้เกาะกลุ่มกันมากดังเช่นที่ปรากฏในทางทฤษฎีโดยเฉพาะในเสียง อะ (/a/) ซึ่งมีการกระจายตัวมาก งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการลดการออกเสียงของเสียงสระอะ โดยดูผลจากค่าความถี่ฟอร์แมนต์ในรูปแบบของกลุ่มหน่วยเสียงต่าง ๆ ที่อยู่ติดกับสระอะ รวมทั้งผลกระทบของการเปลี่ยนการกำกับหน่วยเสียงในการจำแนกเสียงสระและการรู้จำเสียง โดยในวิทยานิพนธ์นี้จะแบ่งการทดลองเป็นสองส่วน

ส่วนแรกเป็นการศึกษาของผลกระทบจากหน่วยเสียงรอบข้างที่ติดกับสระอะ พบว่ากลุ่มที่มีหน่วยเสียงรอบข้างที่เป็นเสียงกึ่งสระจะมีผลกระทบต่อค่าความถี่ฟอร์แมนต์ที่ 2 (F2) อย่างชัดเจน โดยพบว่า กลุ่มของรูปแบบที่มีหน่วยเสียง /ย/ (/j/) อยู่ติดกับสระอะจะพบค่าความถี่ฟอร์แมนต์ที่สองในช่วงสูงสุด ในขณะที่กลุ่มของรูปแบบที่มีหน่วยเสียง /ว/ (/w/) อยู่ติดกับสระอะจะพบค่าความถี่ฟอร์แมนต์ที่สองในช่วงต่ำสุด

ส่วนที่สองเป็นวิทยานิพนธ์นี้นำเสนอการเปลี่ยนการกำกับหน่วยเสียงใหม่ โดยแยกหน่วยเสียงที่เป็นอะกึ่งเสียง ออกมาจากหน่วยเสียงที่เป็นเสียง อะ ธรรมดาจากการดูรูปการเขียน เมื่อทำการทดลองการจำแนกสระด้วยการใช้ค่าฟอร์แมนต์ในการเรียนรู้และทดสอบ พบว่าเมื่อทำการเปลี่ยนการกำกับเสียงของหน่วยเสียงเดิมที่เป็น /a/ ที่ออกเสียงเป็นสระอะกึ่งเสียงใหม่ให้เป็น /ə/ ซึ่งมีค่าความถี่ฟอร์แมนต์ใกล้เคียงกว่า ความถูกต้องสูงที่ได้ขึ้นจากเดิม 80.46% เป็น 82.15% ในเสียงผู้ชาย และ 82.12% เป็น 83.92% ในเสียงผู้หญิงของกลุ่มตัวอย่าง ในขณะที่เมื่อทดสอบการรู้จำเสียงพูดด้วย HTK พบว่าหน่วยเสียงที่เป็นอะกึ่งเสียงซึ่งเปลี่ยนแปลงการกำกับหน่วยเสียงใหม่ ถูกรู้จำเป็นหน่วยเสียงอะแบบปรกติน้อยกว่า 10% ในขณะที่หน่วยเสียงอะแบบปรกตินั้นจะถูกรู้จำเป็นหน่วยเสียงอะกึ่งเสียงอยู่ในช่วง 25-29%

ภาควิชา	วิศวกรรมคอมพิวเตอร์	ลายมือชื่อนิสิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมคอมพิวเตอร์	ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
ปีการศึกษา	2555	ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

5170711521 : MAJOR COMPUTER ENGINEERING

KEYWORDS : FORMANT / THAI VOWEL / REDUCED VOWEL / SCHWA

TEERA SURI : STUDYING OF REDUCED /a/ VOWEL ON VOWEL CLASSIFICATION USING FORMANT FREQUENCIES IN THAI CONTINUOUS SPEECH. ADVISOR : ASST. PROF. ATIWONG SUCHATO, Ph.D., CO-ADVISOR : ASST. PROF. PROADPRAN PUNYABUKKANA, Ph.D., 71 pp.

The study of formant frequencies from the experimental classification of the Thai vowels from the Thai continuous speech revealed that the extracted formants were not clustered into groups as they were mentioned in the theory. The formant values were much scattered particularly in the /a/ sound. This research performed the study of the reduced /a/ vowel of the Thai language from the values of formant frequencies in phone patterns surrounding the /a/ vowel and the study of the effects of the new labeling on vowel classification and phone recognition. The research had two parts as follows.

The first part was the study of the effects of the surrounding phone around /a/ phone. The groups of unit sounds around reduced /a/ showed the distinct effects to the second formant frequencies. The results revealed that the group of unit sound /j/ adhered to /a/ had the highest second formant frequencies. While the group of unit sound /w/ adhered to /a/ had the lowest second formant frequencies.

The second part proposed the new labeling method by separating the reduced /a/ sound from the normal /a/ sound by using the writing of the words in Thai. The reduced /a/ sound is a shorter form of the /a/ vowel (schwa-like vowel). The shorter form of the /a/ vowel was labeled as /ə/ which had closer values of formant frequencies. The classification of the vowels demonstrated that the total corrections were increased from 80.46% to 82.15% in male voice and from 82.12% to 83.92% in female voice. In the recognition using HTK, the shorter form of the /a/ vowel was recognized as the /a/ vowel less than 10% while the normal /a/ vowel was recognized as the shorter form of the /a/ vowel between 25 – 29%.

Department : Computer Engineering Student's Signature .....

Field of Study : Computer Engineering Advisor's Signature .....

Academic Year : 2012 Co-advisor's Signature .....

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร. อติวงศ์ สุชาโต และ ผศ.ดร. โปรดปราน บุณยพุกกณะ ที่ให้ความเมตตา คอยชี้แนะแนวทางการทำวิจัย ให้ความเห็น และให้ข้อคิดต่าง ๆ มากมาย จนการทำวิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณ ศ.ดร. บุณเสริม กิจสิริกุล และ ดร. ชัย วุฒิวิวัฒน์ชัย ที่สละเวลาอันมีค่าเพื่อเป็นคณะกรรมการในการสอบ ซึ่งให้การชี้แนะ แนวทางและความเห็น ทั้งในขั้นตอนของการสอบและภายนอกห้องสอบ

ขอขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่าน ในภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ ที่ให้ความรู้ตั้งแต่สมัยศึกษาอยู่ในระดับปริญญาตรีจวบจนถึงปัจจุบัน รวมทั้งความรู้สำหรับแนวทางในการทำวิจัย

ขอขอบคุณนิสิตบัณฑิตศึกษาห้องปฏิบัติการ SLS ทุกคน ที่ใช้ความช่วยเหลือ และเปิดโอกาสให้ได้พัฒนาความรู้ในเรื่องอื่น ๆ นอกเหนือจากหัวข้อวิจัยของข้าพเจ้าเอง รวมถึงขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ของห้องปฏิบัติการ SLS ทุกท่านที่ใช้ความสะดวกและความช่วยเหลือในเรื่องต่าง ๆ

ขอขอบพระคุณ ศ.ดร. ธีระพันธ์ เหลืองทองคำ แห่งคณะอักษรศาสตร์ สำหรับความรู้ทางด้านสัทศาสตร์ และได้ให้คำแนะนำดี ๆ มากมาย รวมถึงขอบคุณน้อง ๆ ในห้องปฏิบัติการของอาจารย์ ที่ให้มุมมองของสัทศาสตร์ในเชิงอักษรศาสตร์

ขอขอบพระคุณ คุณ วิชัย ปฏิภาภรณ์ และ คุณ ศิริวัฒน์ วงศ์จารุกร แห่งบริษัท เอ็ม เอฟ อี ซี จำกัด มหาชน ที่เล็งเห็นความสำคัญของการศึกษา โดยเป็นแรงผลักดัน รวมทั้งได้ให้โอกาสข้าพเจ้าในการศึกษาต่อในครั้งนี้

ขอขอบคุณทีมงานแห่งบริษัท เอ็ม เอฟ อี ซี จำกัด มหาชน โดยเฉพาะ ทีมงานในแผนก วิจัยและพัฒนา (R&D) และแผนกพัฒนาผลิตภัณฑ์ (PS. PD.) รวมถึงพนักงานท่านอื่น ๆ ที่รวมงานด้วยที่ให้ความเป็นห่วงเป็นใย และความช่วยเหลือด้วยดีตลอดมา

ขอขอบคุณ ผศ.นพ. ณัฐ ตันศรีสวัสดิ์ ที่ช่วยอ่าน ตรวจทาน และให้ความเห็นในเชิงวิชาการกับงานวิทยานิพนธ์นี้

ท้ายนี้ขอขอบคุณ คุณพ่อ คุณแม่ พี่ น้อง และทุกๆ คนในครอบครัว ที่ให้ความสนับสนุน กำลังใจ และความห่วงใยเสมอมา

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ จ

กิตติกรรมประกาศ ฉ

สารบัญ ช

สารบัญตาราง ฌ

สารบัญรูป ญ

บทที่ 1 บทนำ 1

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1

วัตถุประสงค์ของการวิจัย 1

ขอบเขตการวิจัย 2

ขั้นตอนการวิจัย 2

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 3

โครงสร้างวิทยานิพนธ์ 3

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 4

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง 4

1. เสียงพูดและอวัยวะในการออกเสียง (Speech and Organs of Speech) 4
2. สัทอักษรและการจำแนกเสียง 5
3. การจำแนกเสียงในภาษาไทยเทียบกับ IPA 9
4. การกำกับหน่วยเสียงที่ใช้ในฐานข้อมูลเสียง LOTUS 13
5. แบบจำลอง Source–Filter และความถี่ฟอร์แมนต์ 15
6. ความถี่ฟอร์แมนต์จากแบบจำลองท่อปลายเปิด 16
7. ความถี่ฟอร์แมนต์ในเสียงสระกับแบบจำลองท่อสองส่วน 18
8. แผ่นภาพเสียง (Spectrogram) 20
9. การรับรู้ความถี่ของหูมนุษย์กับความถี่ในช่วงต่าง ๆ 21
10. Linear Discriminant Analysis (LDA) 22
11. Leave-One-Out Cross Validation (LOOCV) 23
12. สระอะกึ่งเสียงและการประวิสรรชนีย์ 24

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 25
1. ความถี่ฟอร์แมนต์ในสระ 25
2. ความถี่ฟอร์แมนต์ในพยัญชนะ 27
3. Acoustic Features หรือ Distinctive Features 30
4. การลดการออกของเสียงสระ (Vowel Reduction), เสียง Schwa และการเกิดร่วมกันของเสียง (Coarticulation) 31
5. Acoustic Realization of Vowels 32
6. Nasalized Vowel 32
7. ฐานข้อมูลเสียงพูดต่อเนื่องภาษาไทย (LOTUS) 33
บทที่ 3 การสกัดค่าความถี่ฟอร์แมนต์จากหน่วยเสียงสระ 34
เครื่องมือที่ใช้ในการสกัดค่าความถี่ฟอร์แมนต์ 34
วิธีการหาค่าตัวแทนของค่าความถี่ฟอร์แมนต์ของสระ 34
การกระจายตัวของค่าความถี่ฟอร์แมนต์ในสระเสียงยาวและสระเสียงสั้น 36
การแก้ไขค่าฟอร์แมนต์ 37
บทที่ 4 การเปรียบเทียบค่าความถี่ฟอร์แมนต์ระหว่างรูปแบบของหน่วยเสียงที่ติดกันแบบต่าง ๆ และในระดับคำที่มีรูปแบบเดียวกัน 40
ความถี่ฟอร์แมนต์ในกลุ่มรูปแบบของหน่วยเสียงสามหน่วยเสียงที่ติดกัน 40
ความถี่ฟอร์แมนต์ของเสียงสระ อะ จำแนกตามกลุ่มคำ 42
บทที่ 5 การเปลี่ยนแปลงการกำกับหน่วยเสียงและการวัดผล 45
เสียงอะกึ่งเสียงกับคำในพจนานุกรม 45
การจำแนกเสียงสระเปรียบเทียบก่อนและหลังการเปลี่ยนการกำกับคำ 45
การรู้จำหน่วยเสียงจาก HTK กับการเปลี่ยนการกำกับหน่วยเสียง 47
บทที่ 6 ข้อสรุปและข้อเสนอแนะ 49
ข้อสรุป 49
1. ข้อสรุปจากการศึกษาผลการลดรูปของสระจากหน่วยเสียงรอบข้าง 49
2. ข้อสรุปจากการเปลี่ยนแปลงการกำกับเสียง 49
ข้อเสนอแนะ 50
รายการอ้างอิง 52
ภาคผนวก 55
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 71

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 สัทอักษรสากลสำหรับเสียงพยัญชนะตามมาตรฐานของ IPA 6
ตารางที่ 2.2 การแจกแจงของสัทอักษรของเสียงพยัญชนะในภาษาไทย 10
ตารางที่ 2.3 การแจกแจงของสัทอักษรของเสียงสระในภาษาไทย 11
ตารางที่ 2.4 การกำกับหน่วยของเสียงสระในภาษาไทยในฐานข้อมูลเสียง LOTUS 14
ตารางที่ 5.1 การเปรียบเทียบผลของการจำแนกสระเสียงสั้นจาก F1, F2 ในตัวอย่างเพศหญิง 46
ตารางที่ 5.2 การเปรียบเทียบผลของการจำแนกสระเสียงสั้นจาก F1, F2 ในตัวอย่างเพศชาย 46
ตารางที่ 5.3 เปรียบเทียบผลของการรู้จำหน่วยเสียงจาก HTK ก่อนและหลังการเปลี่ยนการกำกับหน่วเสียง 47
ตารางที่ 5.4 HTK Confusion Matrix ของผลลัพธ์การรู้จำที่มีการเปลี่ยนการกำกับหน่วยเสียง 48

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2.1 อวัยวะในการออกเสียง 5
รูปที่ 2.2 การแจงแจงสัทอักษรสากลของเสียงสระตามมาตรฐานของ IPA 8
รูปที่ 2.3 ส่วนประกอบของ Source-Filter 15
รูปที่ 2.4 ความถี่มูลฐาน (F0), ความถี่ฟอร์แมนต์ที่ 1-3 (F1-F3), และฮาร์โมนิกต่างๆ (Hn) 16
รูปที่ 2.5 แบบจำลองท่อปลายเปิดเพื่อจำลองการทำงานของช่องทางเดินเสียงที่อยู่ในสถานะไม่ถูกรบกวนใด ๆ 16
รูปที่ 2.6 กำทอนรูปแบบต่าง ๆ ที่เกิดในท่อปลายเปิด 17
รูปที่ 2.7 แบบจำลองท่อปลายเปิด 2 ส่วนสำหรับเสียงสระ 18
รูปที่ 2.8 กราฟแสดงกลุ่มของความถี่กำทอน (หรือความถี่ฟอร์แมนต์) ที่ได้จากแบบจำลองท่อปลายเปิดที่แยกเป็นท่อส่วนหน้าและท่อส่วนหลัง 18
รูปที่ 2.9 ตำแหน่งการแจกแจงเสียงสระในภาษาอังกฤษสำเนียงอเมริกัน (ค่าเฉลี่ย) จากความถี่ฟอร์แมนต์ที่ 1 และ 2 19
รูปที่ 2.10 Spectrogram ของเสียงในภาษาอังกฤษของคำว่า /a bab/ 20
รูปที่ 2.11 ความถี่ฟอร์แมนต์ที่ 1 และ 2 ของสระเสียงสั้นในภาษาไทย 25
รูปที่ 2.12 ความถี่ฟอร์แมนต์ที่ 1 และ 2 ของสระเสียงสั้นในภาษาไทย 26
รูปที่ 2.13 กราฟแสดงการเบี่ยนเบนความถี่ฟอร์แมนต์ที่ 1 และ 2 ของเสียงกักโฆษะใน 3 ฐานกรณ์จากเสียงสระต่าง ๆ 27
รูปที่ 2.14 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างพยัญชนะและสระในรูปแบบสมการจุดร่วมเมื่อพยัญชนะต้นเป็นพยัญชนะกักริมฝีปาก ปุ่มเหงือก และเพดานอ่อน ในภาษาม้ง เมี่ยน และมัล 28
รูปที่ 3.1 ค่า F1, F2, F3 ที่สกัดได้ที่มีการสวิงไปมาตามช่วงเวลา ของเสียงที่ตัดออก 35
รูปที่ 3.2 พื้นที่แสดงการกระจายตัวของค่า F1 และ F2 ของสระเสียงยาวที่วัดได้ ในตัวอย่างเพศหญิง 36
รูปที่ 3.3 พื้นที่แสดงการกระจายตัวของค่า F1 และ F2 ของสระเสียงสั้นที่วัดได้ในตัวอย่างเพศหญิง 36
รูปที่ 3.4 ค่า F1 และ F2 ของสระเสียงสั้นในตัวอย่างเพศชาย ที่แสดงส่วนค่าที่ผิดพลาดจากการสกัด 37

หน้า

รูปที่ 3.5 ความที่ F1 ที่หายไปจากการสกัดค่าฟอร์แมนใน /u/ ของคำว่า /m-u-n^/ (หมุน) 38
รูปที่ 3.6 ความที่ F1 ที่หายไปจากการสกัดค่าฟอร์แมนใน /oo/ ของคำว่า /d-oo-j^/ (โดย) 38
รูปที่ 3.7 Spectral Slice แสดง Spectral Peak ของ F1 และ F2 39
รูปที่ 4.1 Box Plot แสดงค่า F1 และ F2 โดยเรียงลำดับจากค่า mean ของ F2 จากน้อยไปมาก ในกลุ่ม F2 ต่ำ 40
รูปที่ 4.2 Box Plot แสดงค่า F1 และ F2 โดยเรียงลำดับจากค่า mean ของ F2 จากน้อยไปมาก ในกลุ่ม F2 สูง 41
รูปที่ 4.3 Box Plot แสดงค่า F1 และ F2 ของเสียง /a/ ในรูปแบบ /th-a-j/ และ /th-a-j^/ 42
รูปที่ 4.4 Box Plot แสดงค่า F1 และ F2 ของเสียง /a/ ในรูปแบบ /f-a-j^/ ของคำต่าง ๆ 43
รูปที่ 4.5 Box Plot แสดงค่า F1 และ F2 ของเสียง /a/ ในรูปแบบ /b-a-n^/ ของคำต่าง ๆ 44
รูปที่ 6.1 Spectrogram ของคำว่า น้อยน้อย 51

บทที่ 1
บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

งานวิจัยนี้เริ่มต้นจากการศึกษารูปแบบของฟอร์แมนต์ในเสียงพูดต่อเนื่องภาษาไทย เพื่อนำไปสู่การจำแนกหน่วยเสียงด้วยรูปแบบของฟอร์แมนต์ โดยเมื่อมีการทดลองทำการสกัดค่าความถี่ฟอร์แมนต์ของเสียงสระพบว่ามีการกระจายของค่าความถี่ฟอร์แมนต์ในเสียงสระมากกว่าตัวอย่างในทางทฤษฎีในตำราหรืองานวิจัยอื่นที่อ้างอิง เช่นที่ปรากฏในงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับภาษาไทยใน [1], [2], และ [3] มาก โดยเฉพาะที่เกิดกับสระอะ งานวิจัยนี้จึงเน้นการทดลองไปที่สระอะ

การเกิดร่วมกันของเสียงรอบข้าง (Co-articulation) ในเสียงพูดต่อเนื่องมีผลต่อการลดการออกเสียงของสระ (Vowel Reduction) ดังตัวอย่างงานวิจัย [4] และ [5] งานวิจัยนี้จึงออกแบบการทดลองเพื่อหารูปแบบของการเกิดการลดการออกเสียงจากหน่วยเสียงรอบข้าง เพื่อใช้ในการจัดกลุ่มรูปแบบของความถี่ฟอร์แมนต์ที่เกิดขึ้น

และจากการที่เราทราบว่าเสียงสระอะกึ่งเสียงที่สามารถจำแนกได้จากรูปเขียนนั้นมีการออกเสียงที่แตกต่างจากการออกเสียงอะเต็มเสียงอย่างชัดเจน และสระอะกึ่งเสียงนั้นมีการออกเสียงที่คล้ายกับ Schwa ในภาษาอังกฤษ งานวิจัยนี้จึงทำการทดลองการกำกับเสียงใหม่ โดยแยกกลุ่มของสระอะกึ่งเสียงและสระเต็มเสียงออกจากกัน แล้วทำการทดลองกับการจำแนกเสียงสระและการรู้จำหน่วยเสียงต่างๆ ว่าจะให้ผลดีขึ้นหรือไม่อย่างไร

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษารูปแบบของการลดรูปของสระจากหน่วยเสียงรอบข้าง โดยเน้นไปที่เสียง อะ เป็นหลัก
2. เพื่อศึกษาผลของการกำกับเสียงภาษาไทย ที่แตกต่างจากวิธีที่ใช้ในปัจจุบัน

ขอบเขตการวิจัย

1. ในการศึกษาและทดลอง ทำการศึกษาเฉพาะกับเสียงในภาษาไทยสำเนียงกรุงเทพ ฯ (และเสียงคำทับศัพท์จากภาษาอื่นในสำเนียงไทย) โดยใช้ฐานข้อมูลเสียง LOTUS [6] ของศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ (NECTEC) และเลือกใช้ชุดหน่วยเสียงสมดุล (PD) ที่มีการกำกับหน่วยเสียงไว้แล้ว
2. งานวิจัยนี้ไม่ได้มุ่งเน้นไปที่การจำแนกเสียงสระ แต่เป็นการศึกษารูปแบบการลดรูปสระโดยเน้นไปที่สระอะ
3. เนื่องจากการวิจัยนี้ไม่ได้มุ่งเน้นไปที่การศึกษาเพื่อหาวิธีการสกัดค่าความถี่ฟอร์แมนต์หรือปรับปรุงกลวิธีในการสกัดค่าออกมาจากเสียงโดยตรง จึงจะใช้โปรแกรมประยุกต์หรือชุดคำสั่งที่มีผู้จัดทำมาก่อนแล้วเป็นเครื่องมือในการทำงาน
4. สำหรับรูปแบบหน่วยเสียงที่ติดกันสามหน่วยเสียงที่ทำการทดลองใด ที่มีการเกิดน้อยกว่า 5 ครั้ง จะข้ามการทดลองและวิเคาะห์ผลไป เนื่องจากจำนวนที่น้อยเกินไปในการสรุปผลจากค่าทางสถิติ

ขั้นตอนการวิจัย

1. ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
2. ทดลองสกัดค่าความถี่ฟอร์แมนต์จากฐานข้อมูลเสียง LOTUS และศึกษาผลลัพธ์ที่ได้ในเสียงสระต่าง ๆ
3. ทำการแก้ไขค่าความถี่ฟอร์แมนต์ของสระที่พบความผิดพลาดจากขั้นตอนการสกัดค่าความถี่ฟอร์แมนต์
4. ทำการทดลองจำแนกหน่วยเสียงด้วยวิธี LDA จากค่าความถี่ฟอร์แมนต์ เปรียบเทียบก่อนและหลังการแก้ไขค่าความถี่ฟอร์แมนต์
5. ทำการทดลองและวิเคราะห์ผลจากการวัดค่าความถี่ฟอร์แมนต์ของเสียงสระอะ ในรูปแบบต่าง ๆ ของหน่วยเสียงที่ติดกันสามหน่วยเสียงโดยมีสระอะอยู่ตรงกลาง
6. ทำการทดลองเปลี่ยนการกำกับเสียง และทำการจำแนกหน่วยเสียงอีกครั้งโดยเทียบกับการทดอลงก่อนหน้า
7. ทำการทดลองการรู้จำหน่วยเสียงโดยเปรียบเทียบระหว่างการกำกับหน่วยเสียงแบบเดิมและการกำกับหน่วยเสียงแบบใหม่
8. วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เห็นผลกระทบของการลดรูปของสระจากหน่วยเสียงรอบข้าง เพื่อใช้ช่วยในการพยากรณ์ค่าความถี่ฟอร์แมนต์ที่น่าจะเกิดขึ้นของเสียงสระในรูปแบบที่เฉพาะเจาะจงนั้น ๆ หรือช่วยในการจำแนกหน่วยเสียงรอบข้างสระจากความถี่ฟอร์แมนต์ที่พบ
2. เห็นผลของการเปลี่ยนการกำกับเสียง ที่มีผลต่อการจำแนกเสียงสระด้วยความถี่ฟอร์แมนต์ และการรู้จำหน่วยเสียงด้วย HTK [7]

โครงสร้างวิทยานิพนธ์

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ทำการแบ่งเนื้อหาออกเป็น 5 ส่วน โดยในบทที่ 2 เป็นการกล่าวถึงความรู้พื้นฐาน, ทฤษฎี, และ งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในบทที่ 3 กล่าวถึงการการสกัดค่าความถี่ฟอร์แมนต์ที่ใช้เป็นตัวแทนของหน่วยเสียงสระที่ทำการทดสอบ, ปัญหาจากการสกัดค่าความถี่ฟอร์แมนต์, และการแก้ไขค่าที่ผิดนั้นให้ถูกต้อง

ในบทที่ 4 กล่าวถึงค่าความถี่ฟอร์แมนต์ ในกลุ่มต่าง ๆ ของรูปแบบของหน่วยเสียงต่อเนื่องสามหน่วยเสียงที่มีเสียง อะ อยู่ตรงกลาง และขยายผลการทดลองไปเทียบในระดับคำ

ในบทที่ 5 กล่าวถึงการกำกับหน่วยเสียงใหม่และการเทียบผลจากการจำแนกสระด้วยความถี่ฟอร์แมนต์ เปรียบเทียบระหว่างก่อนแก้ไขข้อมูลที่ผิดพลาด หลังแก้ไขข้อมูลที่ผิดพลาด และหลังจากการเปลี่ยนการกำกับหน่วยเสียง ส่วนรายการคำที่มีการกำกับหน่วยเสียงใหม่จะปรากฏอยู่ในส่วนของภาคผนวกท้ายเล่ม นอกจากนี้ยังกล่าวถึงผลของการกำกับหน่วยเสียงแบบใหม่ในการทดลองการทำการรู้จำหน่วยเสียงด้วย HTK

ในบทที่ 6 กล่าวถึงการสรุปผลการทดลอง การวิเคราะห์ผลโดยรวม ข้อสังเกตุเพิ่มเติม รวมถึงข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

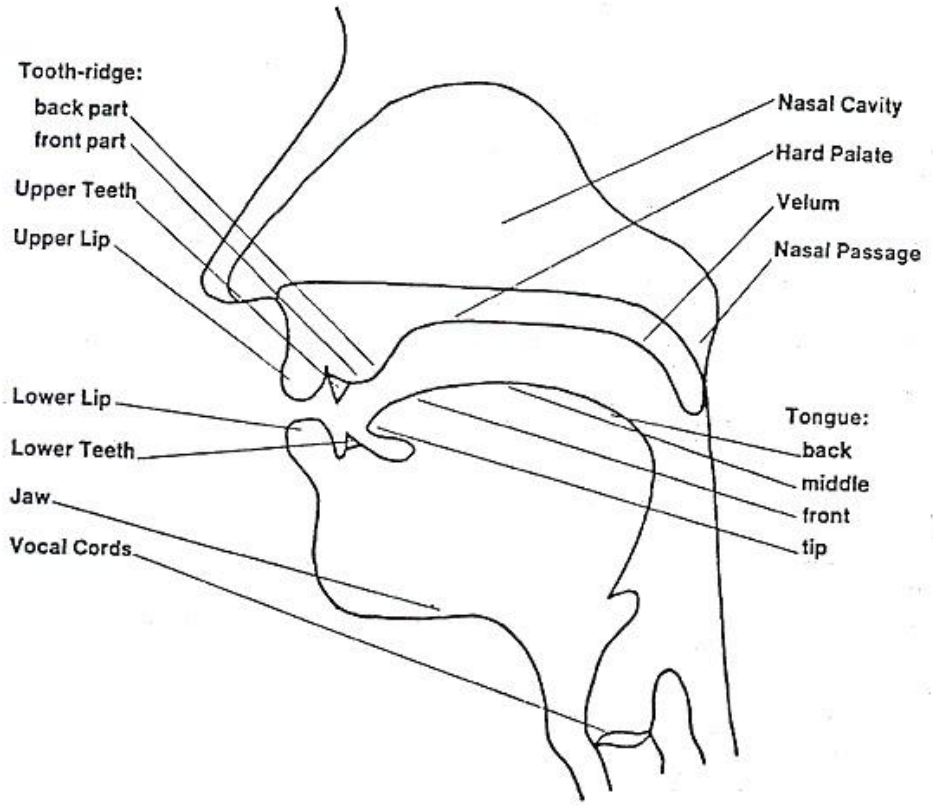
1. เสียงพูดและอวัยวะในการออกเสียง (Speech and Organs of Speech)

เสียงเกิดจากการสั่นสะเทือนของอากาศที่ทำให้เกิดความถี่ในช่วงที่หูมนุษย์สามารถรับรู้ได้ ซึ่งโดย ปรกติมนุษย์จะรับรู้เสียงได้ในช่วงความถี่ประมาณ 20 – 20,000 Hz (Hertz) (หรืออาจจะถึงประมาณ 16,000 Hz สำหรับผู้ใหญ่ซึ่งมีการรับรู้ได้ลดลง) โดยเราจะเรียกช่วงความถี่นี้ว่า ช่วงการได้ยิน (Audible Range) [8]

เสียงพูดเกิดจากการปล่อยลมผ่านอวัยวะต่าง ๆ ที่ทำเกิดเสียงที่แตกต่างกันออกไปจากการถูกปิดกั้นในส่วนต่าง ๆ เหล่านั้น

ช่องทางเดินเสียง (Vocal Tract) หมายถึง ช่องทางเดินของเสียงที่ประกอบด้วยอวัยวะหลายส่วนที่ใช้ในการออกเสียง เริ่มตั้งแต่หลอดลม ผ่านกล่องเสียง, เส้นเสียง, ช่องคอ, ช่องจมูก, และช่องปาก เราสามารถอธิบายการทำงานของอวัยวะต่าง ๆ ได้ดังนี้

1. หลอดลม (Trachea) เป็นช่องทางเดินของลม ทำหน้าที่ในการเป็นทางเดินของลมจากปอดไปยังกล่องเสียง
2. กล่องเสียง (Larynx) เป็นอวัยวะที่มีกลุ่มกล้ามเนื้อเล็ก ๆ สองชุดที่เรียกว่า เส้นเสียง (Vocal Folds) ที่เมื่อมีการสั่น เสมือนจุดกำเนิดของเสียง (Source)
3. ช่องคอ (Pharynx) เป็นช่องทางเดินของลมที่ขั้นระหว่าง ช่องปาก และ กล่องเสียง
4. ช่องปาก (Oral Cavity) เป็นช่องภายในปาก ที่มีอวัยวะสำคัญได้แก่ ลิ้น (Tongue) ที่จะทำหน้าที่ร่วมกับขากรรไกรล่าง (Lower Jaw or Mandible) ในการเปลี่ยนแปลงรูปร่างภายในช่องปาก ซึ่งเป็นส่วนหลักที่ทำให้เกิดเสียงต่าง ๆ กัน ซึ่งลิ้นนี้จะทำหน้าที่ร่วมกับอวัยวะอื่น ๆ ภายในปากเพื่อทำการปิดกันลมในแบบต่าง ๆ กัน โดยอวัยวะที่สำคัญได้แก่ ริมฝีปาก (Lips), ฟัน (Teeth), แนวปุ่มเหงือก (Alveolar Ridge), เพดานแข็ง (Palate), เพดานอ่อน (Velum) และลิ้นไก่ (Uvula)
5. ช่องจมูก (Nasal Cavity) เป็นช่องลมที่สามารถถูกปิดและเปิดด้วย เพดานอ่อน (Velum) เพื่อทำให้ลมไม่ไหลออกทางจมูกหรือไหลออกไปทางจมูกขณะออกเสียงได้ ซึ่งถ้าเป็นการออกเสียงแบบนาสิก (Nasal) จะมีการไหลของลมผ่านทางช่องจมูกในขณะที่เพดานอ่อนเปิดอยู่



รูปที่ 2.1 อวัยวะในการออกเสียง [9]

ในการออกเสียง อวัยวะต่าง ๆ ข้างต้นจะถูกใช้งานร่วมกันเพื่อให้ได้เสียงที่มีคุณลักษณะเฉพาะตามภาษานั้น ๆ ซึ่งจะถูกตีความตามเป็นความหมายในเชิงภาษาต่อไป

2. สัทอักษรและการจำแนกเสียง

สมาคมสัทอักษรสากล หรือ International Phonetics Association (IPA) ได้ทำการสร้างชุดสัทอักษรสากล หรือ International Phonetics Alphabet สำหรับใช้เป็นสัญลักษณ์มาตรฐานสำหรับการแทนเสียงพูดในทุกภาษา

ในการแสดงสัทอักษรสากลนั้น IPA ได้ทำการแสดงข้อมูลโดยมีการจัดเป็นกลุ่มไว้ โดยสำหรับส่วนสำคัญที่เราจะพิจารณา คือ ส่วนของพยัชนะ และสระ ดังนี้

2.1 พยัญชนะ (เฉพาะชนิดที่ใช้ลมจากปอด)

ตารางที่ 2.1 สัทอักษรสากลสำหรับเสียงพยัญชนะตามมาตรฐานของ IPA [10]

	LABIAL		CORONAL				DORSAL			RADICAL		LARYNGEAL
	Bilabial	Labio-dental	Dental	Alveolar	Palato-alveolar	Retroflex	Palatal	Velar	Uvular	Pharyngeal	Epi-glottal	Glottal
Nasal	m	ɱ		n		ɳ	ɲ	ŋ	ɴ			
Plosive	p b			t d		ʈ ɖ	c ɟ	k g	q ɢ		ʡ	ʔ
Fricative	ɸ β	f v	θ ð	s z	ʃ ʒ	ʂ ʐ	ç ʝ	x ɣ	χ ʁ	ħ ʕ	H ʢ	h ɦ
Approximant		ʋ		ɹ		ɻ	j	ɰ				
Trill	ʙ			r					ʀ		ʜ	
Tap, Flap		ⱱ		ɾ		ɽ					ʡ	
Lateral fricative				ɬ ɮ								
Lateral approximant				l		ɭ	ʎ	ʟ				
Lateral flap				ɺ								

สำหรับพยัญชนะ ทำการจำแนกเสียงด้วย

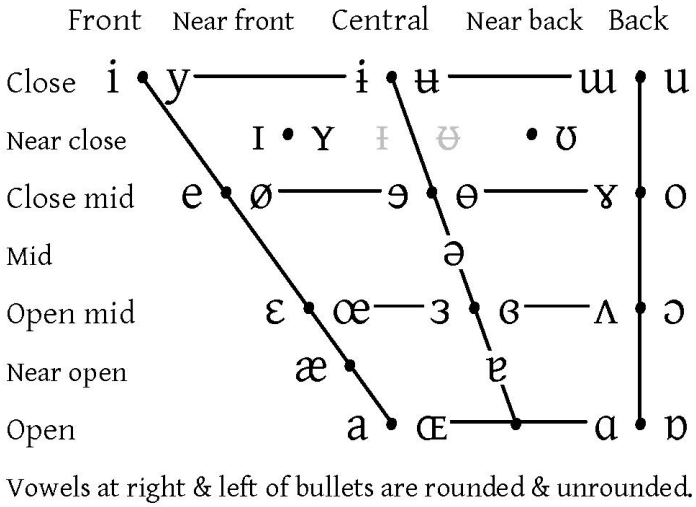
1. ลักษณะการออกเสียง (Manner of Articulation) แยกตามแนวนอน ซึ่งประกอบด้วย
   1.1. เสียงกักหรือเสียงระเบิด (Stop or Plosive) เป็นเสียงที่มีปิดกั้นของลมโดยสมบูรณ์ในตำแหน่งต่างๆ อยู่ช่วงหนึ่งก่อนที่จะปลดปล่อยหรือระเบิดลมออกมา
   1.2. เสียงนาสิก (Nasal) เป็นเสียงที่ออกทางจมูกโดยการเปิดของเพดานอ่าน (Velum) ทำให้ลมไหลออกไปทางจมูกระหว่างที่มีการออกเสียงนั้น
   1.3. เสียงเสียดแทรก (Fricative) เป็นเสียงที่มีการปลดปล่อยลมออกจากช่องแคบ ๆ ทำให้ลมไม่สามารถผ่านไปได้โดยสะดวกและมีลักษณะของเสียงดังซู่ซ่าขึ้น
   1.4. เสียงเปิด (Approximant) เป็นเสียงที่ปล่อยให้มีลมผ่านโดยตลอดคล้ายเสียงของสระ และมีการปิดกั้นลมเพียงเล็กน้อยเท่านั้น บางครั้งเสียงเหล่านี้อาจจะถูกพิจารณาเป็นเสียงสระในสระผสมสองเสียง (Diphthong) ด้วยเช่นกัน
   1.5. เสียงรัว (Trill) เป็นเสียงที่มีการกระดกลิ้นแบบต่อเนื่องหลายครั้ง
   1.6. เสียงลิ้นกระดก (Tap and Flap) เป็นเสียงที่ลิ้นมีการกระดกขึ้นขณะออกเสียง โดยจะมีความคล้ายเสียงรัว แต่พบลักษณะการรัวลิ้นน้อยครั้ง
   1.7. เสียงข้างลิ้น (Lateral Approximant) เป็นเสียงที่มีการยกลิ้นเพื่อให้ลมไหลออกทางด้านข้าง
   1.8. เสียงเสียดแทรกแบบข้างลิ้น (Lateral Fricative) เป็นเสียงที่มีการยกลิ้นเพื่อให้เกิดช่องแคบๆ ที่ข้างลิ้น

1.9. เสียงกระดกแบบข้างลิ้น (Lateral Flap) เป็นเสียงที่มีการกระดกลิ้นร่วมกับการทำให้ลมออกที่ข้างลิ้น

2. ฐานกรณ์ที่ใช้ในการออกเสียง (Place of Articulation) แยกตามแนวตั้ง ซึ่งประกอบด้วย
   2.1. เสียงที่ใช้ริมฝีปาก (Labial)
   2.2. เสียงที่ใช้ริมฝีปากทั้งสอง (Bilabial)
   2.3. เสียงที่ใช้ริมฝีปากล่างกับฟันบน (Labiodental)
   2.4. เสียงที่ใช้ปลายลิ้นส่วนหน้า (Coronal)
   2.5. เสียงที่ใช้ปลายลิ้นแตะฟันบน (Dental)
   2.6. เสียงที่ใช้ปลายลิ้นแตะส่วนปุ่มเหงือก (Alveolar)
   2.7. เสียงที่ใช้ปลายลิ้นแตะส่วนถัดจากปุ่มเหงือก (Post-Alveolar)
   2.8. เสียงที่ใช้ปลายลิ้นม้วน (Retroflex)
   2.9. เสียงที่ใช้ลิ้นส่วนกลางและหลัง (Dorsal)
   2.10. เสียงที่ใช้ลิ้นส่วนกลางแตะเพดานแข็ง (Palatal)
   2.11. เสียงที่ใช้ลิ้นส่วนหลังแตะเพดานอ่อน (Velar)
   2.12. เสียงที่ใช้ลิ้นส่วนหลังแตะลิ้นไก่ (Uvular)
   2.13. เสียงที่ใช้โคนลิ้น (Radical)
   2.14. เสียงที่ใช้โคนลิ้นและผนังคอด้านหลัง (Pharyngeal)
   2.15. เสียงที่ใช้การควบคุมฝาปิดกล่องเสียง (Epi-Glottal)
   2.16. เสียงที่ใช้การควบคุมกล่องเสียง (Laryngeal)
   2.17. เสียงที่ใช้การควบคุมเส้นเสียงที่กล่องเสียง (Glottal)

3. จำแนกการสั่นของเส้นเสียงขณะออกเสียง
   3.1. เสียงอโฆษะ (Voiceless) เป็นเสียงที่ไม่เกิดการสั่นของเส้นเสียงขณะทำการออกเสียง แสดงด้วยตัวอักษรที่อยู่ทางซ้ายของช่องในตาราง
   3.2. เสียงโฆษะ (Voice) เป็นเสียงที่เกิดการสั่นของเส้นเสียงขณะทำการออกเสียง แสดงด้วยตัวอักษรที่อยู่ทางขวาของช่องในตาราง

2.2 สระ (เฉพาะเสียงสระเดี่ยวมาตรฐาน)



รูปที่ 2.2 การแจงแจงสัทอักษรสากลของเสียงสระตามมาตรฐานของ IPA [10]

สำหรับสระจะมีการจำแนกด้วย

1. ความเป็น หน้า-หลัง (Tongue Advancement) ด้วยค่าตั้งแต่หน้า ไปจนถึงหลัง (Front to Back),
2. ความสูงต่ำหรือการเปิดปาก (Tongue Height) ด้วยค่าตั้งแต่สูงหรือปิดมาก ไปจนถึงต่ำหรือเปิดมาก (Close to Open)
3. รูปร่างของปาก (Lip Posture) โดยแยกเป็นปากกลม หรือปากแบน (Rounded or Unrounded)

สำหรับ Vowels Chart ของ IPA นั้นจะแสดงโดยอ้างอิงกับ Cardinal Vowel ซึ่งเป็นสระชุดมาตรฐานที่สร้างจากการใช้รูปปากในตำแหน่งใกล้ขอบเขตสูงสุดที่สามารถทำได้ จึงมิได้เป็นการจัดขึ้นตามภาษาใดโดยเฉพาะ [10]

3. การจำแนกเสียงในภาษาไทยเทียบกับ IPA

3.1 เสียงพยัญชนะ

สำหรับในภาษาไทย จะมีเสียงพยัญชนะ 21 เสียง โดยการจำแนกเสียงของที่ไม่ปรากฏอยู่ในตารางพยัญชนะหลักของ IPA (แต่ใช้ตาราง IPA ส่วนของ Diacritic และ Other Symbol ในการช่วยอธิบายและจำแนกเสียง) ได้แก่

ความเป็น ธนิต (Aspirated) และ สิถิล (Un-aspirated) หรือการแยกเสียงที่ประกอบด้วยเสียงพ่นลม (Aspiration) โดย IPA จะกำกับได้ด้วยสัญลักษณ์ ʰ ต่อท้ายสัทอักษรนั้น ๆ สำหรับเสียงที่เป็นธนิต

เสียงกึ่งเสียดแทรก (Affricate) เป็นเสียงที่ขึ้นด้วยด้วยเสียงกัก (Stop) และจบด้วยเสียงเสียดแทรก (Fricative) ซึ่งสำหรับภาษาไทยมีเสียงนี้อยู่ 2 เสียงคือเสียง /ʨ/ สำหรับอักษร จ และ เสียง /ʨʰ/ สำหรับอักษร ฉ,ช,ฌ (ขึ้นต้นด้วยเสียงกักที่ปุ่มเหงือกและจบด้วยเสียงเสียดแทรกบริเวณ ปุ่มเหงือก-เพดานแข็ง)

เสียงเปิดสำหรับตัวอักษร ว /w/ นั้น IPA จัดเสียงที่มีการเกิดร่วมกันของ 2 ฐานกรณ์ โดยเป็นการทำงานพร้อมกันของริมฝีปาก (ที่ห่อ) และลิ้นส่วนหลัง (Labial-Velar)

เมื่อทำการจัดเสียงของอักษรภาษาไทยทั้งหมดลงในตารางในลักษณะเดียวกับ IPA จะได้ข้อมูลดังต่อไปนี้

ตารางที่ 2.2 การแจกแจงของสัทอักษรของเสียงพยัญชนะในภาษาไทย

	Bilabial	Labiodental	Alveolar	Post-alveolar	Palatal	Velar	Glottal
Stop (Plosive)	/p/ ป /pʰ/ ผ,พ /b/ บ		/t/ ฏ,ต /tʰ/ ฐ,ฑ,ฒ,ถ,ท,ธ /d/ ฎ,ฑ,ฒ,ด			/k/ ก /kʰ/ ข,ฃ,ค,ฅ,ฆ	/ʔ/ อ
Nasal	/m/ ม		/n/ ณ,น			/ŋ/ ง	
Fricative		/f/ ฝ,ฟ	/s/ ซ,ศ,ษ,ส				/h/ ห,ฮ
Affricate				/tɕ/ จ /tɕʰ/ ฉ,ช,ฌ			
Trill (or Tap)**			/r/ (หรือ /ɾ/) ร				
Approximant					/j/ ญ,ย	/w/ ว	
Lateral			/l/ ล,ฬ				

หมายเหตุ

* ตัวอักษร ฑ ออกเสียงได้สองแบบ คือ เหมือนเสียง /ท/ (เช่น มณโฑ) หรือ /ด/ (เช่น บัณฑิต)

** ตัวอักษร ร ในภาษาไทยออกเสียงได้หลายแบบ โดยอาจจะเป็น Trill หรือ Tap ก็ได้

3.2 เสียงสระ

สำหรับสระในภาษาไทย จะมีสระเดี่ยวทั้งหมด 18 เสียง โดยแบ่งเป็นเสียงยาว 9 เสียง และเสียงสั้น 9 เสียงดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 2.3 การแจกแจงของสัทอักษรของเสียงสระในภาษาไทย

การจำแนก	ลิ้นส่วนหน้า	ลิ้นส่วนกลาง	ลิ้นส่วนหลัง
	ปากเหยียด	ปากเหยียด	ปากห่อ
ลิ้นยกสูง	/i/ /iː/ อิ อี	/ɨ/ /ɨː/ อึ ออื	/u/ /uː/ อุ อู
ลิ้นกึ่งสูง	/e/ /eː/ เอะ เอ	/ə/ /əː/ เออะ เออ	/o/ /oː/ โอะ โอ
ลิ้นกึ่งต่ำ	/ɛ/ /ɛː/ แอะ แอ		/ɔ/ /ɔː/ เอาะ ออ
ลิ้นลดต่ำ		/a/ /aː/ อะ อา	

หมายเหตุ

สำหรับ สัญลักษณ์ IPA ของเสียง อึ ออื และ เออะ เออ ของภาษาไทยนั้น ในบางตำราหรืองานวิจัยอาจจะใช้เป็นสัญลักษณ์ /ɯ/ /ɯː/ และ /ɤ/ /ɤː/ แทนก็ได้ (ทั้งนี้เนื่องจากเสียงทั้งสองชุดอยู่ในตำแหน่งคาบเกี่ยวระหว่างสัญลักษณ์มาตรฐานทั้งสองของ IPA)

สระผสมสองเสียง (Diphthong) ในภาษาไทยมี 6 เสียง แบ่งเป็น 3 ชุด (โดยบางแห่งจะไม่กล่าวถึงสระผสมเสียงสั้น เนื่องจากไม่พบคำที่มีความหมายในภาษาไทย มีเฉพาะคำเลียนเสียง หรือคำจากภาษาอื่น) [11] ได้แก่

1. เสียง เอียะ/เอีย ซึ่งเป็นเสียงผสมระหว่างเสียง อี และ อา โดยเริ่มต้นจากเสียง อี แล้วเลื่อนไปเป็นเสียง อา (สำหรับเสียงสั้นก็จะผสมจากเสียงสั้น อิ และ อะ แทน)
2. เสียง อัวะ/อัว ซึ่งเป็นเสียงผสมระหว่างเสียง อู และ อา โดยเริ่มต้นจากเสียง อู แล้วเลื่อนไปเป็นเสียง อา (สำหรับเสียงสั้นก็จะผสมจากเสียงสั้น อุ และ อะ แทน)

3. เสียง เออะ/เออ ซึ่งเป็นเสียงผสมระหว่างเสียง อือ และ อา โดยเริ่มต้นจากเสียง อือ แล้วเลื่อนไปเป็นเสียง อา (สำหรับเสียงสั้นก็จะผสมจากเสียงสั้น อึ และ อะ แทน)

นอกจากนี้ในภาษาไทยยังมีสระผสมที่เกิดจากการผสมระหว่างสระและพยัญชนะดังนี้ (ทั้งนี้ถือว่าไม่ใช่สระผสมแท้ แต่เป็นเสียงสระต่อด้วยเสียงพยัญชนะท้ายแทน)

1. เสียง อำ เกิดจากการผสมระหว่างเสียง อะ กับเสียง /ม/
2. เสียง ไอ, ใอ เกิดจากการผสมระหว่างเสียง อะ กับเสียง /ย/
3. เสียง เอา เกิดจากการผสมระหว่างเสียง อะ กับเสียง /ว/

ทั้งนี้ถ้าอยู่ในรูปของเสียงสระเสียงยาวการเขียนจะแสดงพยัญชนะที่ใช้ทำหน้าที่เป็นตัวสะกดชัดเจน เช่น ตำ-ตาม, ไก-กาย, เขา-ขาว เป็นต้น

นอกจากนี้สำหรับคำบางคำนั้น รูปของสระอาจจะไม่ตรงกับเสียงก็ได้ เช่น รูปเป็นเสียงสั้นแต่ออกเสียงยาว เช่น คำว่า “น้ำ” หรือ รูปเป็นเสียงยาวแต่ออกเป็นเสียงสั้น เช่น คำว่า “เก่ง” เป็นต้น

4. การกำกับหน่วยเสียงที่ใช้ในฐานข้อมูลเสียง LOTUS

เพื่อความสะดวกการพิมพ์ การการใช้งานในโปรแกรมต่าง ๆ ทางศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ (NECTEC) ได้ใช้ตัวอักษรภาษาอังกฤษในการกำกับหน่วยเสียงแทนสัทอักษรสากลของ IPA [6] ซึ่งในวิทยานิพนธ์นี้จะแสดงสัญลักษณ์เหล่านี้ โดยจะใช้ Font เดียวกับข้อความทั่วไปเพื่อความสะดวกในการจัดพิมพ์

เราจะพบว่ากรณีสัญลักษณ์ของ IPA นั้นแทนด้วยตัวอักษรภาษาอังกฤษ จะมีการใช้สัญลักษณ์เดียวกับ IPA นั้น แต่สำหรับกรณีที่ใช้สัญลักษณ์อื่น จะมีการใช้ตัวอักษรภาษาอังกฤษหรือสัญลักษณ์อื่นที่สะดวกในการพิมพ์มากกว่าสัญลักษณ์ของ IPA แทน ซึ่งมีความแตกต่างจากการกำกับเสียงของ IPA ดังนี้

4.1 เสียงพยัญชนะ

1. เสียงเสียงพ่นลม (Aspiration) ที่ IPA จะกำกับได้ด้วยสัญลักษณ์ ^{h} จะใช้สัญลักษณ์ h แทน เช่น /p^{h}/ จะแทนด้วย /ph/ เป็นต้น
2. เสียง /ʔ/ (อ) แทนด้วย /z/
3. เสียง /ŋ/ (ง) แทนด้วย /ng/
4. เสียง /ʨ/ (จ) แทนด้วย /c/
5. เสียง /ʨ^{h}/ (ฉ, ช, ฌ) แทนด้วย /ch/

นอกจากนี้สำหรับเสียงพยัญชนะที่เป็นตัวสะกด จะใช้เครื่องหมาย ^ ช่วยในการแสดงให้เห็นชัดเจนว่าหน่วยเสียงนั้นเป็นตัวสะกดดังนี้

1. เสียง /ʔ/ (แม่ ก.กา หรือไม่มีตัวสะกด) จะแทนด้วย /z^/
2. เสียง /k/ (แม่ กก) จะแทนด้วย /k^/
3. เสียง /t/ (แม่ กด) จะแทนด้วย /t^/
4. เสียง /p/ (แม่ กบ) จะแทนด้วย /p^/
5. เสียง /ŋ/ (แม่ กง) จะแทนด้วย /ng^/
6. เสียง /n/ (แม่ กน) จะแทนด้วย /n^/
7. เสียง /m/ (แม่ กม) จะแทนด้วย /m^/
8. เสียง /j/ (แม่ เกย) จะแทนด้วย /j^/
9. เสียง /w/ (แม่ เกอว) จะแทนด้วย /w^/

ทั้งนี้เนื่องจากตัวสะกดของไทย โดยเฉพาะตัวสะกดที่เป็นพยัญชนะกัก (Stop) จะมีลักษณะการออกเสียงที่แตกต่างจากเสียงพยัญชนะต้นโดยที่ไม่มีการระเบิดลมในช่วงท้ายของหน่วยเสียง เหมือนกับหน่วยเสียงที่เป็นพยัญชนะต้น แต่ในกลุ่มอื่น ๆ พยัญชนะต้นและพยัญชนะท้ายที่ใช้สัญลักษณ์เดียวกัน จะมีลักษณะเหมือนกัน เช่น /j/ และ /j^/ ที่ใช้แทนเสียง ย ในภาษาไทย ที่มีความคล้ายคลึงกันไม่ว่าจะเป็นพยัญชนะต้นหรือตัวสะกดก็ตาม

4.2 เสียงสระ

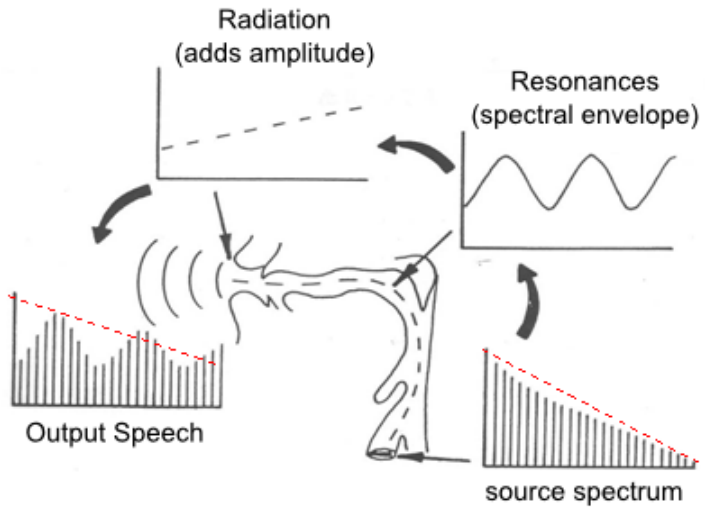
ในทำนองเดียวกับพยัญชนะ การกำกับเสียงสระในฐานข้อมูลเสียง LOTUS จะใช้อักษรภาษาอังกฤษหรือเครื่องหมายที่พิมพ์ได้จากแป้นพิมพ์ภาษาอังกฤษปรกติ แทนเครื่องหมายของ IPA โดยที่จะใช้สัญลักษณ์ตัวเดียวสำหรับสระเสียงสั้น และใช้สัญลักษณ์สองตัวซ้ำกันสำหรับสระเสียงยาว (สำหรับเสียง เอาะ และ ออ จะใช้เครื่องหมาย @ ที่ไม่ใช่ตัวอักษรในภาษาอังกฤษ)

ตารางที่ 2.4 การกำกับหน่วยของเสียงสระในภาษาไทยในฐานข้อมูลเสียง LOTUS

การจำแนก	ลิ้นส่วนหน้า	ลิ้นส่วนกลาง	ลิ้นส่วนหลัง
	ปากเหยียด	ปากเหยียด	ปากห่อ
ลิ้นยกสูง	/i/ /ii/ อิ อี	/v/ /vv/ อึ อือ	/u/ /uu/ อุ อู
ลิ้นกึ่งสูง	/e/ /ee/ เอะ เอ	/q/ /qq/ เออะ เออ	/o/ /oo/ โอะ โอ
ลิ้นกึ่งต่ำ	/x/ /xx/ แอะ แอ		/@/ /@@/ เอาะ ออ
ลิ้นลดต่ำ		/a/ /aa/ อะ อา	

5. แบบจำลอง Source–Filter และความถี่ฟอร์แมนต์

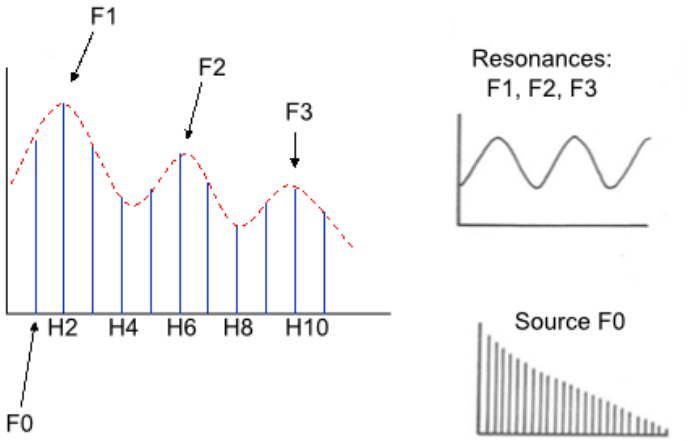
ในการออกเสียงตามทฤษฎี Source-Filter [12] ได้กล่าวว่าเสียงพูดเกิดจากส่วนประกอบที่สำคัญสองส่วนคือ เสียงต้นกำเนิด (Source) ที่เกิดจากเส้นเสียง (Vocal Folds) ซึ่งเป็นสัญญาณที่มีลักษณะเป็นรายคาบ และตัวกรอง (Filter) ซึ่งก็คือช่องทางเดินเสียงที่ทำหน้าที่ในการเปลี่ยนรูปร่างของสัญญาณนั้น โดยการขยายสัญญาณในความถี่ที่แตกต่างกันตามรูปร่างของช่องทางเดินที่เปลี่ยนไป ซึ่งตัวกรองหรือช่องทางเดินเสียงนี้จะทำหน้าที่ในการการขยายสัญญาณในช่วงที่ใกล้บริเวณความถี่กำทอน (Resonant Frequencies) ต่าง ๆ ภายในช่องเสียงนั้น ๆ นั่นเอง



รูปที่ 2.3 ส่วนประกอบของ Source-Filter [12]

ฮาร์โมนิกที่ 1 (1st Harmonic) = ความถี่มูลฐาน (Fundamental Frequency) หรือ F0 ที่ได้จากสัญญาณต้นกำเนิด

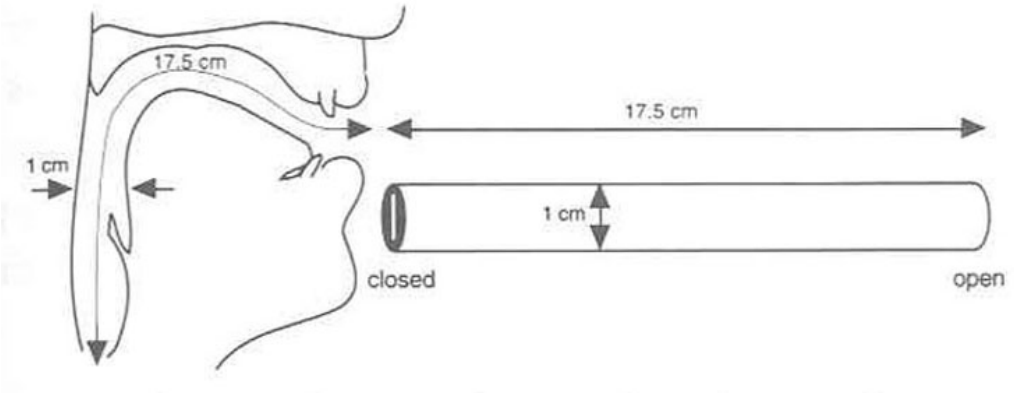
กำทอน (Resonance) = ฟอร์แมนต์ ไล่จากที่มีความค่าความถี่ต่ำขึ้นไปเรื่อยๆ โดยเป็นค่า F1, F2, F3, … ตามลำดับ



รูปที่ 2.4 ความถี่มูลฐาน (F0), ความถี่ฟอร์แมนต์ที่ 1-3 (F1-F3), และฮาร์โมนิกต่างๆ (Hn) [12]

6. ความถี่ฟอร์แมนต์จากแบบจำลองท่อปลายเปิด

ในเรื่องของกำทอนในช่องทางเดินเสียง (Resonance of the Vocal Tract) [13] ได้มีการใช้แบบจำลองด้วยท่ออย่างง่าย เพื่อใช้ในการอธิบายช่องทางเดินเสียง โดยกำหนดให้ท่อนี้มีขนาดและความยาวจำลองจากช่องทางเดินเสียง (โดยถือว่ามีเส้นผ่านศูนย์กลางคงที่) และมีปลายเปิดที่ด้านหนึ่งของท่อ ลักษณะดังรูปต่อไปนี้



รูปที่ 2.5 แบบจำลองท่อปลายเปิดเพื่อจำลองการทำงานของช่องทางเดินเสียง
ที่อยู่ในสถานะไม่ถูกรบกวนใด ๆ [14]

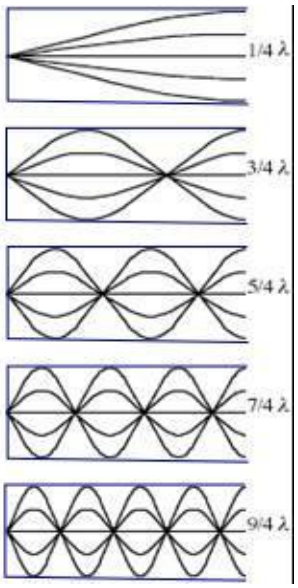
จากความสัมพันธ์ของ ความถี่ (Frequency) แทนด้วยสัญลักษณ์ f, ความยาวคลื่นเสียง (Wavelength) แทนด้วยสัญลักษณ์ λ และความเร็วของเสียง แทนด้วยสัญลักษณ์ c จะพบว่ามีความสัมพันธ์ตามสมการต่อไปนี้

$$f = c / \lambda \qquad (1)$$

และจากความเร็วของเสียงที่มีค่าอยู่ที่ประมาณ 350 m/s (เมื่อแปลงหน่วยเป็น เซ็นติเมตร) จะได้ว่า

$$f = 35{,}000 / \lambda \qquad (2)$$

สำหรับท่อปลายเปิดหนึ่งข้าง ความถี่กำทอนที่สัมพันธ์กับความยาวท่อนั้น จะได้แก่ 1/4 λ, 3/4 λ, 5/4 λ , 7/4 λ , 9/4 λ , … (เล็กลงไปเรื่อยๆ) ตามรูปต่อไปนี้



รูปที่ 2.6 กำทอนรูปแบบต่าง ๆ ที่เกิดในท่อปลายเปิด [13]

เมื่อแทนค่าของ 1/4 λ ด้วยค่าความยาวของท่อในสมการข้างต้นจะพบว่าค่าความถี่ f ณ Resonance ลำดับที่ 1จะมีค่าเป็น 500 Hz

(1/4) λ = 17.5 ➔ λ = 17.5 * 4

f = 35,000 / (17.5 * 4) = 500

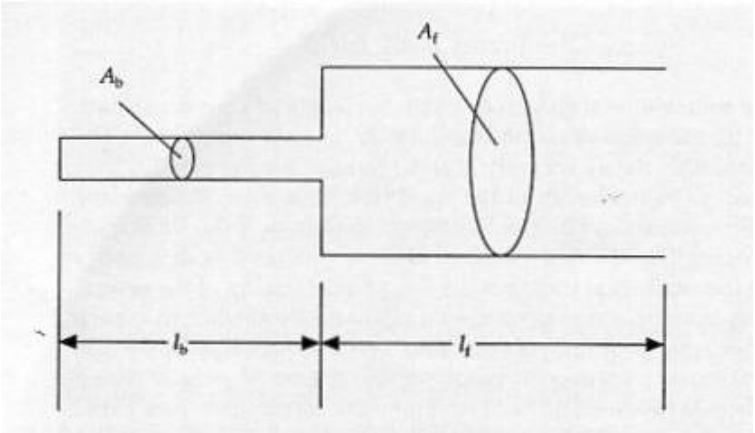
และเมื่อแทนค่าต่อไปด้วย 3/4 λ, 5/4 λ , 7/4 λ , 9/4 λ จะได้ค่าลำดับที่ 2, 3, 4, และ 5 เป็นค่า 1500 Hz, 2500 Hz, 3500 Hz, และ 4500 Hz ตามลำดับ ซึ่งนั่นคือความถี่ฟอร์แมนต์ที่ 2-5 นั่นเอง

เมื่อ L คือความยาวของท่อปลายเปิด และ n คือลำดับของความถี่กำทอน (หรือฟอร์แมนต์) สรุปได้ว่า

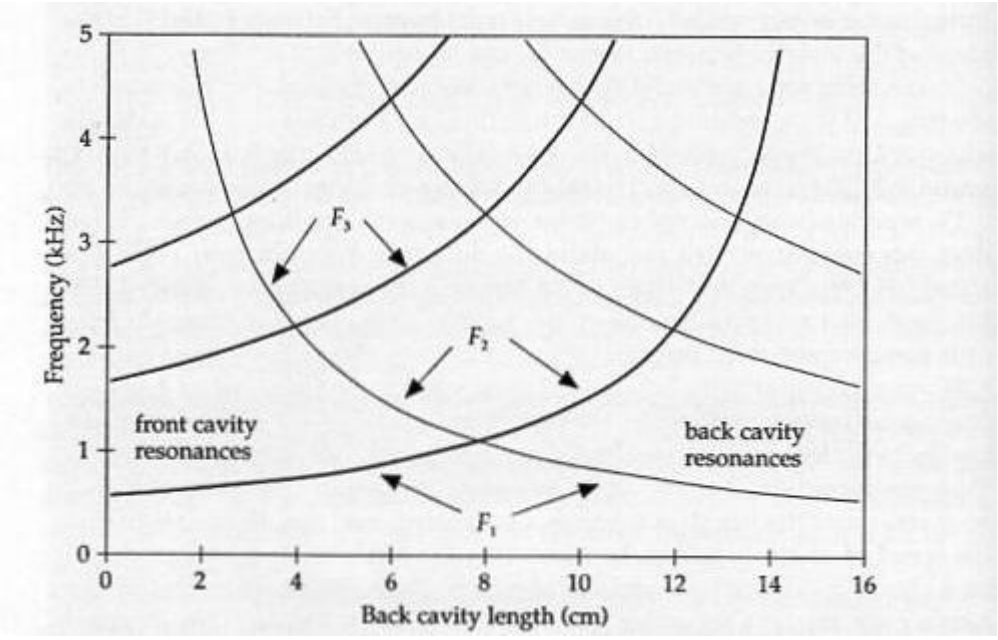
$$f_n = c * (2n - 1) / (4 L) \qquad (3)$$

7. ความถี่ฟอร์แมนต์ในเสียงสระกับแบบจำลองท่อสองส่วน

สำหรับการใช้ความถี่ฟอร์แมนต์ในการจำแนกเสียงสระ จากการศึกษาพบว่าในสามารถใช้เพียงค่าความถี่ฟอร์แมนต์ที่ 1และ 2 (F1, F2) ก็เพียงพอต่อการจำแนกเสียงสระส่วนใหญ่ โดยการใช้แบบจำลอง ท่อ 2 ส่วน เพื่อจำลองช่องทางเดินเสียงในขณะออกเสียงสระ ซึ่งช่องทางเดินเสียงถูกปิดกั้นด้วยลิ้นและอวัยวะในช่องปากทำให้เกิดช่องว่างสองส่วนที่มีขนาดแตกต่างกัน โดยส่วนแรกจะแทนช่องระหว่างเส้นเสียงกับลิ้น (ส่วนหลัง) และส่วนที่สองคือส่วนที่แทนช่องหว่างระหว่างลิ้นกับริมฝีปาก (ส่วนหน้า) ตัวอย่างการจำลองจาก [14] ดังรูปต่อไปนี้



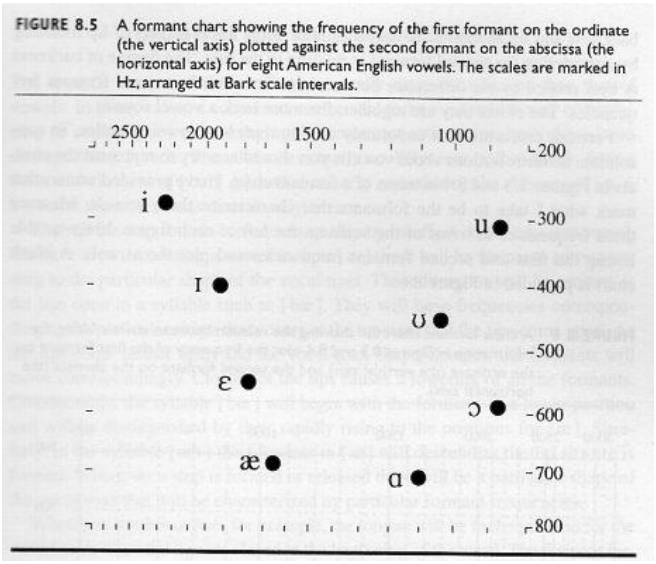
รูปที่ 2.7 แบบจำลองท่อปลายเปิด 2 ส่วนสำหรับเสียงสระ [14]



รูปที่ 2.8 กราฟแสดงกลุ่มของความถี่กำทอน(หรือความถี่ฟอร์แมนต์) ที่ได้จากแบบจำลองท่อปลายเปิดที่แยกเป็นท่อส่วนหน้าและท่อส่วนหลัง [14]

ซึ่งท่อสองส่วนนี้ก็จะมีกำทอน (Resonances) สองชุด ที่เกิดจากลักษณะเฉพาะของขนาดในท่อแต่ละส่วน เมื่อทำการเลื่อนจุดแบ่งของท่อทั้งสองส่วนไปทางด้านหน้าหรือด้านหลัง ก็จะทำให้เกิดขนาดของท่อสองช่วงที่แปรผกผันกัน นั่นทำให้กำทอนของท่อทั้งสองส่วนแปรผกผันกันด้วย แต่ในขณะที่ความถี่กำทอนที่ 1 ของท่อส่วนใดส่วนหนึ่ง อยู่สูงกว่าของอีกส่วนแล้ว ค่าความถี่นั้นจะถูกพิจารณาให้กลายเป็นความถี่กำทอนในลำดับที่ 2 ต่อไปแทน (เช่นเดียวกันทั้งสองฝั่ง และเช่นเดียวกันกับความถี่กำทอนในลำดับถัดๆ ไปด้วย)

ในทางสัทศาสตร์มีการศึกษาค่าความถี่ฟอร์แมนต์ที่ 1 และ 2 (F1, F2) พบว่าสามารถนำมาอธิบายลักษณะของสระประเภทต่าง ๆ ได้ โดยความถี่ฟอร์แมนต์ที่ 1 (F1) จะมีความสัมพันธ์กับความสูงในการยกลิ้น (Tongue Height) และความถี่ฟอร์แมนต์ที่ 2 (F2) จะมีความสัมพันธ์กับความเป็นหน้า-หลังของลิ้น (Tongue Advancement) และเมื่อนำค่าทั้งสอง (F1, F2) มาทำการสร้างกราฟโดยวางรูปในลักษณะคล้ายกับการจำแนกสระของ IPA ในภาษาอังกฤษจะพบว่าสระต่าง ๆ มีความถี่ฟอร์แมนต์ที่ 1 และ 2 เป็นไปตามรูปต่อไปนี้



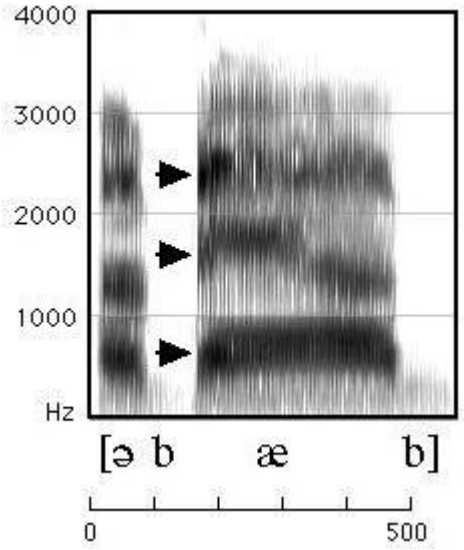
รูปที่ 2.9 ตำแหน่งการแจกแจงเสียงสระในภาษาอังกฤษสำเนียงอเมริกัน (ค่าเฉลี่ย) จากความถี่ฟอร์แมนต์ที่ 1 และ 2 [8]

ในการใช้ค่าความถี่ฟอร์มแมนที่ 1 และ 2 สำหรับภาษาที่ต่างกัน แม้จะเป็นเสียงสระที่เทียบเคียงกับ IPA ตัวเดียวกัน แต่เมื่อทำการวัดค่าแล้วนั้นความที่ที่ได้ก็อาจจะแตกต่างกันได้ [8]

8. แผ่นภาพเสียง (Spectrogram)

ในการศึกษาในเรื่องสัทศาสตร์ มีการนำแผ่นภาพเสียง หรือ Spectrogram มาใช้ในการวิเคราะห์และจำแนกสัญญาณ แผ่นภาพเสียงนี้เกิดจากการนำความถี่และความเข้มของสัญญาณ ณ เวลาต่างๆ มาผ่านการคำนวณด้วย Short Time Fourier Transform (FFT) ทำให้ได้ภาพที่แสดงสเปคตรัม ของคลื่นเสียงที่ความถี่ต่าง ๆ โดยในช่วงความถี่ที่มีความเข้มมาก จะแสดงด้วยสีที่เข้ม (บางกรณีอาจจะใช้สีต่าง ๆ ช่วยในการจำแนกช่วงความเข้มของสัญญาณแทน) ซึ่งช่วงที่มีความเข้มนี้แสดงถึงความถี่ฟอร์แมนต์ ณ จุดนั้น ๆ ของสัญญาณด้วย

ตัวอย่างแผ่นภาพเสียง (Spectrogram) โดยจุดที่ลูกศรชี้คือความถี่ฟอร์แมนต์ที่ 1-3 นับจากด้านล่างขึ้นไปด้านบน [8]



รูปที่ 2.10 Spectrogram ของเสียงในภาษาอังกฤษของคำว่า /a bab/
หมายเหตุ จุดที่ลูกศรชี้แสดงตำแหน่งความถี่ฟอร์แมนต์

9. การรับรู้ความถี่ของหูมนุษย์กับความถี่ในช่วงต่าง ๆ

แม้ว่าหูมนุษย์จะสามารถได้ยินความถี่ในช่วงประมาณ 20-20,000 Hz แต่โดยปรกติมนุษย์นั้นเราจะมีการตอบสนองต่อความถี่ของเสียงในช่วงความถี่ต่ำ ได้ละเอียดกว่าความถี่ในช่วงสูง ในลักษณะคล้ายกราฟของ logarithm

ในทางดนตรีแล้วจะถือกันว่าช่วงของครึ่งเสียง (Semitone) คือช่วงแคบที่สุดที่มนุษย์สามารถจำแนกความถี่ออกจากกันได้ (ถ้ามีความถี่แตกต่างกันน้อยกว่านั้น จะรับฟังเสมือนว่าเป็นโน้ตตัวเดียวกัน) ซึ่งในการสร้างมาตรฐาน MIDI (Musical Instrument Digital Interface) สำหรับดนตรีในระบบดิจิตอลนั้นได้มีการกำหนดความถี่มาตรฐานของตัวโน้ตที่ระดับเสียง (Pitch) ต่างๆ ไว้ เช่น A4 = 440.00 Hz, C4 = 261.63 Hz เป็นต้น และมีการกำหนดการคำนวณ Pitch Number ซึ่งเป็นเลขจำนวนเต็มที่ใช้แทนโน้ตต่าง ๆ ดังนี้ (เมื่อ f คือความถี่ในหน่วย Hz) [15]

$$p = 69 + 12 \times \log_2\left(\frac{f}{440\ \text{Hz}}\right) \tag{4}$$

นอกจากนี้ยังมีการทดลองที่เกี่ยวข้องกับการจำแนกการตอบสนองความถี่ที่หูมนุษย์ได้ยิน (Psychoacoustics) โดยมีการสร้าง scale ที่จำลองการตอบสนองนี้ เช่น Bark Scale, Mel Scale เป็นต้น

สำหรับ Mel Scale นั้นเป็นการทดลองแบ่งช่วงของความถี่ที่ได้ยินออกเท่าๆ กัน โดยมีสูตรการคำนวณดังนี้ [16]

$$m = 2595\log_{10}\left(\frac{f}{700}+1\right) = 1127\log_e\left(\frac{f}{700}+1\right) \tag{5}$$

สำหรับ Bark Scale นั้นเป็นการนำวิธีที่ใช้ในการจำแนกความดังของเสียงมาประยุกต์ใช้กับความถี่แทน โดยมีสูตรการคำนวณดังนี้ [17]

$$\text{Bark} = 13\arctan(0.00076f) + 3.5\arctan((f/7500)^2) \tag{6}$$

10. Linear Discriminant Analysis (LDA)

การจำแนกกลุ่มด้วยเทคนิค Linear Discriminant Analysis (LDA) คือเทคนิคที่ใช้การผสมลักษณะเด่นของเวคเตอร์นำเข้าเพื่อสร้างเวคเตอร์ใหม่ที่อยู่ในปริภูมิที่มีมิติน้อยกว่าเวคเตอร์เดิม โดยการผสมที่เราใช้นั้นจะเป็นการผสมเชิงเส้นตรง ซึ่งคือการนำลักษณะเด่นมาคูณค่าคงที่บางอย่างแล้วค่อยบวกกัน [18]

สมมติว่าเรามีตัวอย่างทั้งหมดจำนวน C กลุ่มจากประชาการทั้งหมดคือ $\{x^{(1)}, x^{(2)}, \dots, x^{(N)}\}$, N_1 เป็นจำนวนของประชาการในกลุ่ม ω_1; N_2 เป็นจำนวนของประชาการในกลุ่ม ω_2; …; N_C เป็นจำนวนของประชาการในกลุ่ม ω_C เราจะทำการหาโปรเจคชั่นจำนวน $(C-1)$ กลุ่มในที่นี้กำหนดคือ $[y_1, y_2, \dots, y_{c-1}]$ โดย $(C-1)$ โปรเจคชั่น เวคเตอร์ w_i จะถูกจัดเรียงตามคอลัมภ์ให้เป็นเมตริกซ์โปรเจคชั่น $W = [w_1|w_2|\dots|w_{c-1}]$

$$y_i = w_i^T x \Rightarrow y = W^T x \tag{7}$$

ค่าเฉลี่ยและเมตริกซ์การกระจายตัว ภายในกลุ่มและระหว่างกลุ่มเป็นไปตามสมการ

$$\tilde{\mu}_i = \frac{1}{N_i}\sum_{y\in\omega_i} y\,,\ \tilde{\mu} = \frac{1}{N_i}\sum_{\forall y} y \tag{8}$$

$$S_w = \sum_{i=1}^{C}\sum_{y\in\omega_i}(y-\mu_i)(y-\mu_i)^T \tag{9}$$

$$S_B = \sum_{i=1}^{C} N_i(\mu-\mu_i)(\mu-\mu_i)^T \tag{10}$$

ใช้ฟังก์ชันของ Fisher เพื่อหาอัตราส่วนระหว่างการกระจายตัวภายในกลุ่มและระหว่างกลุ่มได้ตามสมการ

$$J(W) = \frac{|S_w|}{|S_B|} = \frac{|W^T S_B W|}{|W^T S_W W|} \tag{11}$$

จากนั้นจึงหาเมตริกโปรเจคชั่นที่ดีที่สุด W^* ตามสมการ

$$W^* = \underset{W}{\operatorname{argmax}} \left(\frac{|W^T S_B W|}{|W^T S_W W|} \right) \quad (12)$$

$$W^* \Rightarrow (S_B - \lambda_i S_W) w_i^* \quad (13)$$

ท้ายสุดเราจะได้ค่าสัมประสิทธิ์ λ_i ที่ใช้ในการจำแนกกลุ่มต่าง ๆ ออกจากกัน

11. Leave-One-Out Cross Validation (LOOCV)

การตรวจสอบผลลัพธ์ด้วยวิธี Leave-One-Out Cross-Validation (LOOCV) เป็นวิธีหนึ่งในการตรวจสอบความถูกต้องโดยการสมมติให้ข้อมูลหนึ่งตัวเป็นข้อมูลชุดทดสอบ จากนั้นใช้ข้อมูลทั้งหมดยกเว้นตัวที่เก็บไว้เป็นข้อมูลในการเรียนรู้ จากนั้นจึงนำข้อมูลทดสอบนั้นมาทดสอบกับผลที่ได้จากการเรียนรู้ด้วยข้อมูลที่เรียนรู้นั้น การทดสอบนี้จะทำการวนลูปในการทำงานเท่ากับจำนวนข้อมูลที่ใช้ในการทดสอบ หรือถ้าเปลี่ยนเทียบกับ K-Fold แล้วก็คือ K-Fold ที่ทำงานเท่ากับ n รอบ เมื่อ n คือ จำนวนของข้อมูลทั้งหมดนั่นเอง

12. สระอะกึ่งเสียงและการประวิสรรชนีย์

คำที่ประวิสรรชนีย์ คือ คำที่อ่านออกเสียง อะ เต็มเสียง และมีรูป สระ -ะ ต่อท้ายพยัญชนะ ส่วนใหญ่มักเป็นคำไทย เช่น มะละกอ มะระ สะระแหน่ โหระพา คะน้า เป็นต้น

คำที่ไม่ประวิสรรชนีย์ คือ คำที่อ่านออกเสียง อะ กึ่งเสียง และไม่มีรูปสระ -ะ ต่อท้ายพยัญชนะ เช่น ชนิด ตลอด อร่อย สกัด เกษตร เป็นต้น [19]

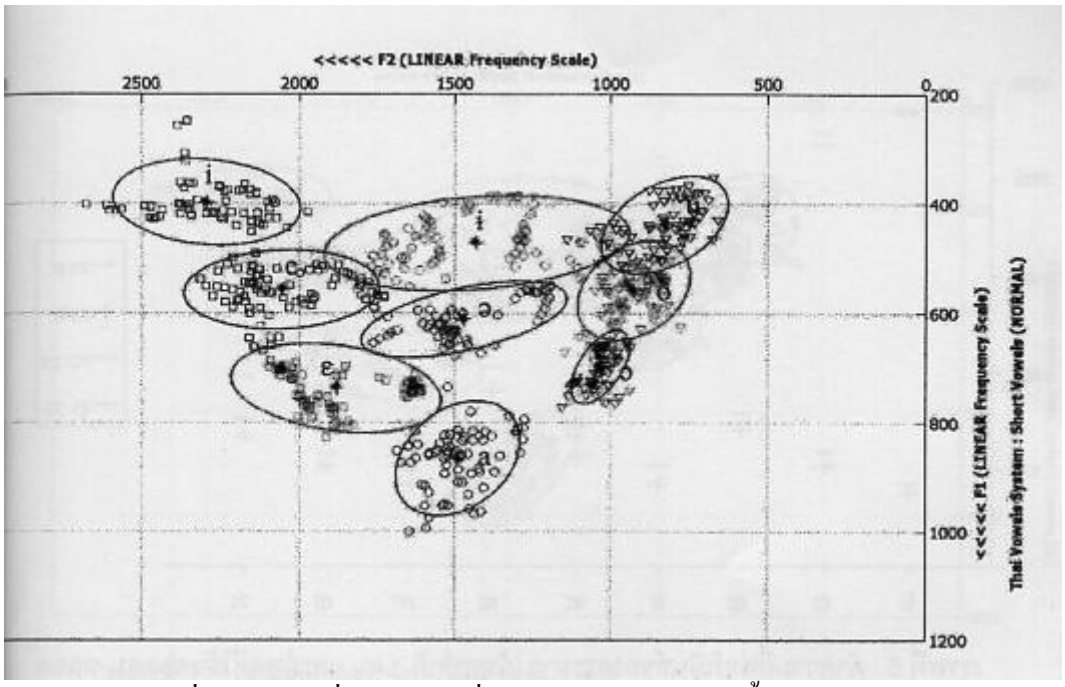
หลักการไม่ประวิสรรชนีย์สรุปอย่างคร่าว ๆ จาก [20] ได้ดังนี้

1. คำสมาสที่มาจากคำบาลี-สันสกฤต เช่น สาธารณสุข, อิสรภาพ เป็นต้น
2. คำที่อ่านออกเสียง อะ แต่แผลงมาจากคำเดิมซึ่งมีพยางค์เดียว เช่น ขนด แผลงมาจาก ขด, ผนวก แผลงมาจาก บวก เป็นต้น
3. คำที่ทราบแน่ชัดว่ามาจากภาษาใดและมีคำเทียบเคียงได้ เช่น สบู่ (โปรตุเกส) เป็นต้น
4. คำที่เสียงพยัญชนะตัวหน้าออกเสียงสระไม่เต็มอัตรา (กึ่งเสียง) เช่น สบาย, พยศ, คทา เป็นต้น

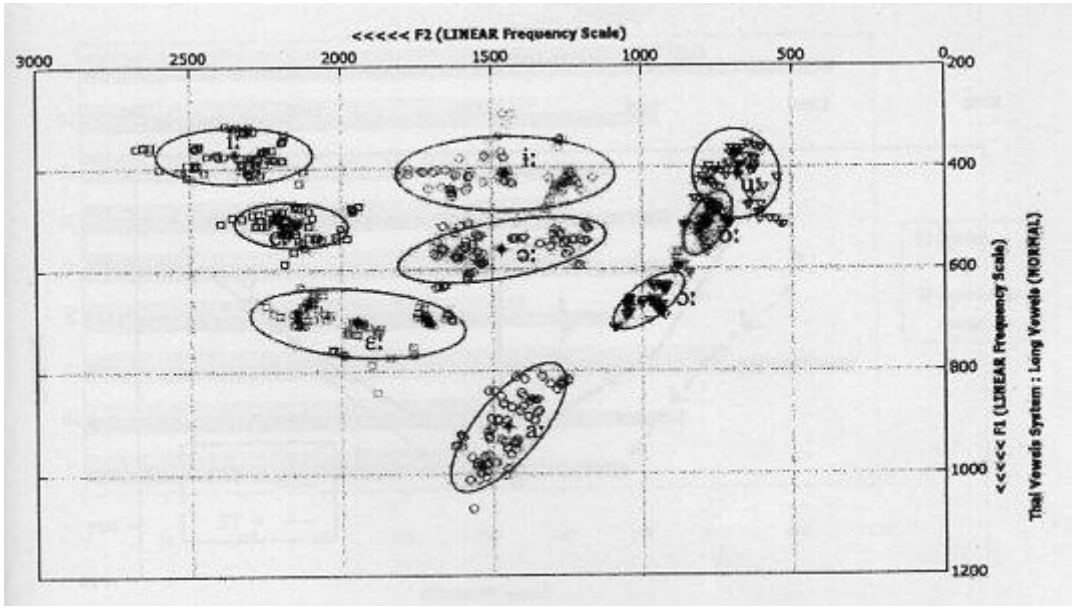
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. ความถี่ฟอร์แมนต์ในสระ

ในการศึกษาสระในภาษาไทย เช่นงานวิจัยการเปรียบเทียบเสียงสระในผู้พิการที่ใช้หลอดลม-หลอดอาหารในการพูด [3] เมื่อพิจารณาความถี่ฟอร์แมนต์ของเสียงสระในภาษาไทยจากผู้บอกเสียงที่เป็นปรกติ จะพบว่าความถี่ฟอร์แมนต์ทั้งสองมีความสัมพันธ์กับเสียงสระตามรูปต่อไปนี้ (หมายเหตุ ภาพนี้แสดงตำแหน่งของกลุ่มตัวอย่างทั้งหมด (แต่ละคนพูดหลายครั้ง) และมีการใช้สัทอักษรเพื่อแทนเสียง อึ, อือ, เออะ, และ เออ โดยใช้สัทอักษรของ IPA)



รูปที่ 2.11 ความถี่ฟอร์แมนต์ที่ 1 และ 2 ของสระเสียงสั้นในภาษาไทย
(แสดงค่าทั้งหมดของกลุ่มตัวอย่าง) [3]



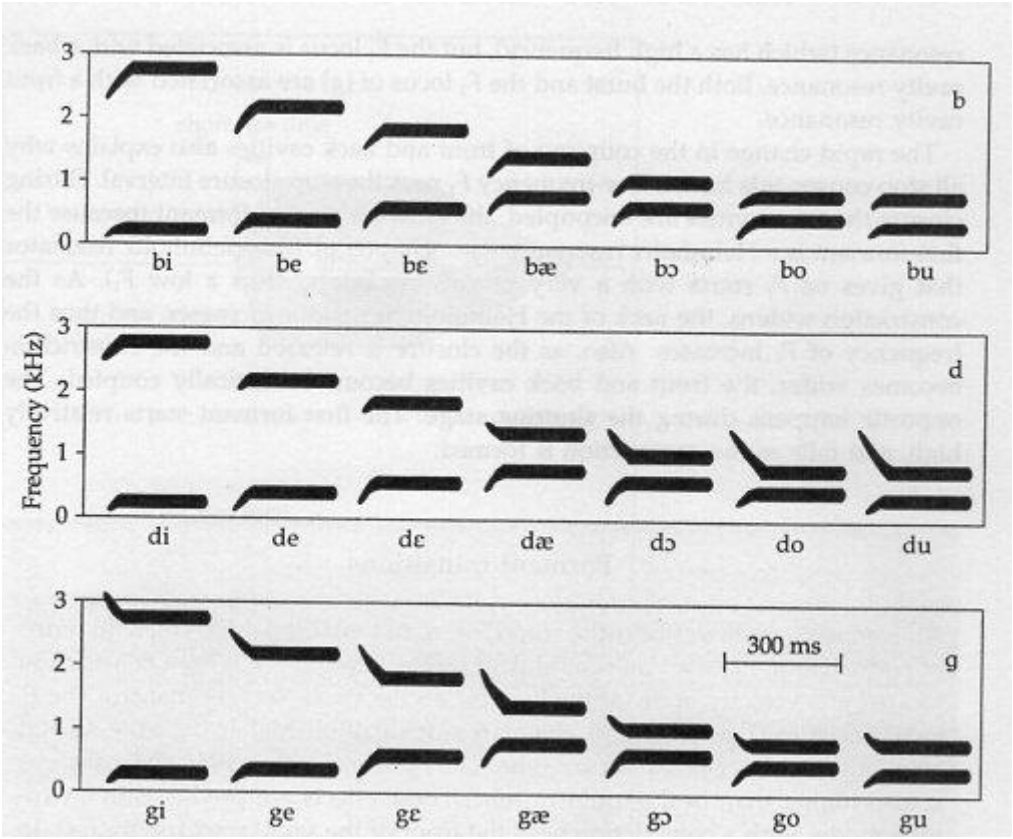
รูปที่ 2.12 ความถี่ฟอร์แมนต์ที่ 1 และ 2 ของสระเสียงยาวในภาษาไทย
(แสดงค่าทั้งหมดของกลุ่มตัวอย่าง) [3]

แต่ทั้งนี้แล้วปัจจัยอื่น ๆ บางประการ เช่น การที่เสียงสระนั้น ๆ ถูกทำให้เป็นเสียงสระขึ้นจมูก (Nasalized Vowel) จะทำให้คุณลักษณะของความถี่ฟอร์แมนต์ที่วัดได้เปลี่ยนไป ดังเช่นในการศึกษาเสียงสระขึ้นจมูกในภาษาอังกฤษและฝรั่งเศส [21] ผลกระทบนี้ที่เกิดจาก Coarticulation อาจจะจำเป็นในการพิจารณาเรื่องของความถี่ฟอร์แมนต์ในเสียงสระภาษาไทยด้วย แม้ว่าในภาษาไทย ความเป็น Nasalized ของสระจะไม่ได้มีความสำคัญในการจำแนกหน่วยเสียงสระก็ตาม

2. ความถี่ฟอร์แมนต์ในพยัญชนะ

เนื่องจากเสียงพยัญชนะ ไม่ได้มีลักษณะคงของความถี่ฟอร์แมนต์ในช่วงที่เกิดเสียง ดังที่เช่นในเสียงสระ (ยกเว้นกลุ่มเสียงพยัญชนะเปิดหรือกึ่งสระเมื่อทำการลากเสียงยาว จะมีลักษณะคล้ายเสียงสระ) ทำให้การจำแนกเสียงพยัญชนะด้วยความถี่ฟอร์แมนต์ มีความแตกต่างออกจากเสียงสระ

การศึกษาของ Dalattre และคณะ [22] ได้ทำการสร้างสมการจุดร่วม หรือ Locus Equation ที่ใช้ในการศึกษาเสียงพยัญชนะ โดยดูจากค่าความถี่ฟอร์แมนต์ที่เบี่ยงเบนไปจากช่วงเสียงสระ (ซึ่งค่อนข้างคงที่) ดังเช่นการศึกษาการเบี่ยงเบนของค่าฟอร์แมนต์ที่ 1 และ 2 (F1, F2) ในเสียงสระปิด ดังรูปที่แสดงต่อไปนี้



รูปที่ 2.13 กราฟแสดงการเบี่ยนเบนความถี่ฟอร์แมนต์ที่ 1 และ 2 ของเสียงกักโฆษะใน 3 ฐานกรณ์จากเสียงสระต่าง ๆ [22]

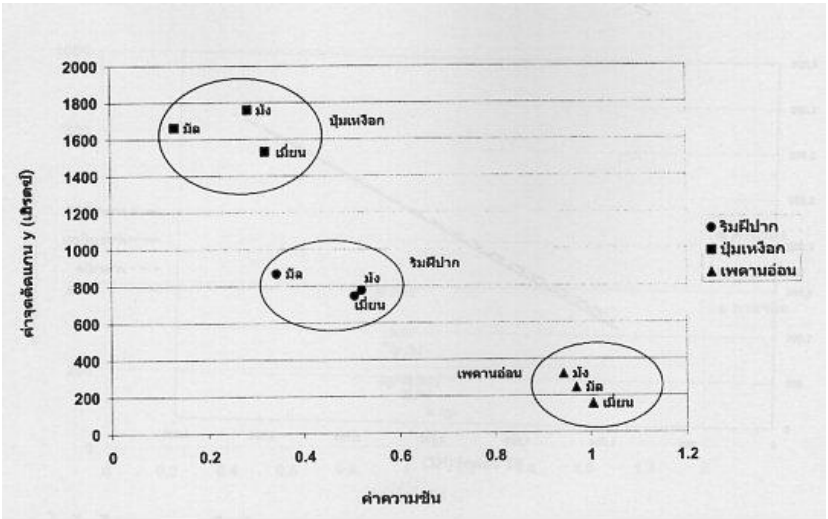
เนื่องจากพบว่าการเบี่ยงเบนความถี่ในฟอร์แมนต์ที่ 1 มีลักษณะคล้ายกัน การศึกษานี้จึงนำค่าเฉพาะความถี่ฟอร์แมนต์ที่ 2 ไปทำการวิเคราะห์ต่อโดยพบว่า เมื่อนำค่าความถี่ฟอร์แมนต์ที่ 2 ณ

จุดร่วม (Locus) ในช่วงที่เปลี่ยนจากเสียงพยัญชนะไปยังเสียงสระ ร่วมกับค่าความถี่ฟอร์แมนต์ที่ 2 ณ จุดกลางที่คงที่ของเสียงสระ ไปทำการสร้างกราฟสำหรับคู่เสียงพยัญชนะในฐานกรณ์ต่าง ๆ กับเสียงสระทุกเสียง แล้วทำการประมาณค่ากราฟนั้นด้วยฟังก์ชั่นเส้นตรงเพื่อหาจุดตัดและความชันเส้นกราฟ พบว่ากราฟนั้นสามารถใช้เป็นเครื่องมือในการแบ่งแยกฐานกรณ์ของเสียงได้

ในขณะที่ ความถี่ฟอร์แมนต์ที่ 2 เพียงอย่างเดียวอาจจะใช้ในการจำแนกเสียงพยัญชนะไม่เพียงพอ จึงได้มีการนำความถี่ฟอร์แมนต์ที่ 3 มาใช้ร่วมในการจำแนกด้วยดังเช่นใน ซึ่งทำให้การจำแนกทำได้ดีขึ้น เช่น การที่ความถี่ฟอร์แมนต์ที่ 2 และ 3 มีค่าใกล้กันมาก เป็นลักษณะของ Velar Pinch ที่แสดงฐานกรณ์บริเวณเพดานอ่อน [8], [23]

นอกจากนี้ในภาษาไทยเมื่อเทียบกับภาษาอังกฤษแล้ว จะพบความแตกต่างของเสียงตัวสะกดประเภทพยัญชนะกักที่ไม่มีการระเบิดลมในช่วงท้ายเสียง [24] เป็นต้น ซึ่งสิ่งเหล่านี้จะมีผลต่อการศึกษาการเปลี่ยนแปลงความถี่ฟอร์แมนต์ได้

จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการจำแนกเสียงพยัญชนะ มีงานวิจัยของ ยุพาพร ฮวดศิริ [25] ที่ได้ทำการทดลองใช้สมการจุดร่วมนี้ในการศึกษาเสียงพยัญชนะกักในภาษา ม้ง เมี่ยน และมัล (ภาษาในแถบเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ที่พบได้ในชนกลุ่มน้อยของประเทศไทย) พบว่าสามารถใช้ “ความชัน” ที่ได้จากการศึกษานี้ในช่วยในการแบ่งฐานกรณ์ของเสียงพยัญชนะได้ โดยความชันของเสียงในฐานกรณ์จากต่ำไปสูงคือ ปุ่ม-เหงือก, ริมฝีปาก, และเพดานอ่อนตามลำดับ



รูปที่ 2.14 ความสัมพันธ์ระหว่างพยัญชนะและสระในรูปแบบสมการจุดร่วม
เมื่อพยัญชนะต้นเป็นพยัญชนะกักริมฝีปาก ปุ่มเหงือก และเพดานอ่อน ในภาษา ม้ง เมี่ยน และมัล
(ค่าที่ได้นำมาจากการหาค่าความชันและจุดตัดแกนของสมการจุดร่วม) [25]

นอกจากนี้ในการศึกษาจากเรื่องการจำแนกฐานกรณ์ของเสียงพยัญชนะประเภทกักในภาษาอังกฤษ ในงานวิจัยของ Suchato [26] ที่ทำการศึกษาความสัมพันธ์ของฐานกรณ์ในเสียงกัก มีการใช้ค่าที่สังเคราะห์จากการวัดอยู่สองกลุ่มคือ กลุ่มที่ขึ้นกับความถี่ฟอร์แมนต์ (Formant Related) และกลุ่มที่ขึ้นกับการระเบิดเสียง (Burst Related) โดยที่ กลุ่มขึ้นกับการระเบิดเสียงจะไม่ขึ้นกับความเป็นสระหน้า/หลัง ของเสียงสระที่อยู่ติดกับเสียงพยัญชนะนั้นซึ่งจากการทดลอง เมื่อไม่ทราบความเป็นหน้า/หลังของเสียงสระที่อยู่ติดกัน การใช้ค่าที่ได้จากการวัดที่ขึ้นอยู่กับเสียงระเบิด อันได้แก่ 'Normalized Burst Amplitude' และ 'Burst Shape' จะให้ผลลัพธ์ที่ดีกว่า ในขณะที่กลุ่มที่ขึ้นกับการระเบิดเสียงจะขึ้นอยู่กับความเป็นสระหน้า/หลัง ของเสียงสระที่อยู่ติดกับเสียงพยัญชนะด้วยและจะให้ผลได้ดีเมื่อทราบความเป็นหน้า/หลังของสระที่อยู่ติดกันนั้น ซึ่งได้จากการวัด 'Formant Transition' และ 'Formant Frequency'

สำหรับสระหน้า การวัดการเปลี่ยนแปลงฟอร์แมนต์ ให้ผลลัพธ์เหนือข้อมูลอื่นๆ ที่ใช้ในการจำแนกฐานกรณ์ ขณะที่ในสระหลัง การวัดค่าที่เกี่ยวเนื่องกับความถี่ฟอร์แมนต์ที่สอง (F2) จะให้ผลลัพธ์เหนือข้อมูลอื่นๆ อย่างเด่นชัด

จากการทดลองนี้ เราจะพบว่า การใช้การวัด 'Burst Release' ไม่ได้ดีกว่าการใช้ค่าฟอร์แมนต์ในการวัดแต่อย่างใด โดยเฉพาะเมื่อเราทราบความเป็นหน้า/หลังของเสียงสระที่อยู่ติดกัน

ทั้งนี้การวัดค่าสำหรับฟอร์แมนต์ จะวัดได้จากการเปลี่ยนแปลงของความถี่ฟอร์แมนต์ที่ 2 และ 3 (F2, F3) และความแตกต่างของทั้งสองฟอร์แมนต์ ณ จุดต่าง ๆ จากค่า F2, F3 ณ จุดต่าง ๆ

ดังนั้นถ้าเราสามารถหาความถี่ฟอร์แมนต์ที่ 2 และ 3 ของสระ และดูความเป็นหน้าหลังจากความถี่ฟอร์แมนต์ที่ 2 (F2) ย่อมสามารถใช้ความถี่ฟอร์แมนต์ต่างๆ (F1-F3) ช่วยในการจำแนกเสียงพยัญชนะได้

3. Acoustic Features หรือ Distinctive Features

ในการจำแนกเสียง ได้มีการคิดวิธีในการจำแนกความเป็นคุณลักษณะต่าง ๆ ด้วย ข้อมูลของลักษณ์ (Features) ที่ได้จากการหาค่าต่าง ๆ ที่ใช้ในการจำแนกคุณสมบัตินั้น ๆ ตัวอย่าง ใน [27] การจำแนกความเป็น Acute/Grave ระบุว่า ใช้ค่า F2 (Second Formant) ใช้จำแนก โดยเมื่อ F2 มีค่ามากกว่า 1400 Hz จะเป็น Acute และเมื่อ F2 มีค่าต่ำกว่า 1400 Hz จะเป็น Grave และใช่ค่า F1 (First Formant) ในการแยกความเป็น Compact/Noncompact โดยเมื่อ F1 มีค่าสูงกว่า 700 Hz จะเป็น Compact และเมื่อ F1 มีค่าต่ำกว่า 700 Hz จะมีความเป็น Noncompact เป็นต้น หรือ ใน [28] ก็ยังใช้การหาความเป็น +/- rounded จากค่าความถี่ F2, F3 เป็นต้น

นอกจากนี้ในการใช้ Distinctive Feature ในการทำ Speech Recognition ในช่วงหลัง ก็ยังคงนิยมใช้ค่าจากความถี่ฟอร์แมนต์ในการทำงาน ตัวอย่าง เช่น ใน [29] ที่มีการใช้ค่าพลังงานของ F3 ประกอบเป็นส่วนหนึ่งของ Features ที่ใช้ในการทำ Landmark Detection เป็นต้น

เราจึงเห็นได้ว่า Formant เป็นส่วนสำคัญส่วนหนึ่งที่ใช้ในการหา Acoustic Features ที่ใช้ในการจำแนกลักษณ์ของเสียงแบบต่าง ๆ ได้

4. การลดการออกของเสียงสระ (Vowel Reduction), เสียง Schwa และการเกิดร่วมกันของเสียง (Coarticulation)

ในทางสัทศาสตร์ เป็นที่ทราบกันอยู่แล้วว่าเสียงที่ในพยางค์ที่ไม่เน้นในภาษาอังกฤษจะเกิดการลดการออกเสียงสระตัวอย่างเช่น คำว่า Balloon พยางค์แรกที่ไม่เน้นจะเกิดการลดการออกเสียงสระ โดยเสียงที่ได้ยินจะคล้ายกับการออกเสียงว่า เบอะ-ลูน มากกว่า บอล-ลูน นอกจากนี้การลดการออกเสียงของสระนี้อาจจะอยู่ในรูปแบบอื่นที่เสียงไกลออกไปจากเสียง เออะ ได้

เสียง Schwa ในภาษาอังกฤษเป็นเสียงทั่วไปของการลดการออกเสียงสระ ซึ่งมีเสียงใกล้เคียงกับเสียง เออะ ในภาษาไทย

ในการศึกษาเสียง mid-central vowel ในภาษาไทยของ อภิลักณ์ ธรรมทวีธิกุล [30] พบว่าเสียงสระที่ไม่ใช่ high vowel (เสียงอะ, เอะ, โอะ) มีการลดการออกเสียงเข้าใกล้เสียง mid-central vowel ในขณะที่เสียงสระที่เป็น high vowel (เสียง อี, อือ, อู) จะมีการลดการออกเสียงไปเป็นคู่เสียงสระไม่เกร็จลิ้น (lax) ของเสียงนั้น

มีการกล่าวอ้างถึงเสียง อะ ของภาษาไทยในพยางค์ที่ไม่เน้น ว่ามีลักษณะคล้ายเสียง Schwa ในภาษาอังกฤษ ใน [30], [31]

ในการศึกษาผลของการเกิดร่วมกันของเสียง (Coarticulation) ใน [32] พบว่าในการออกเสียง เสียงรอบข้างมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของเสียงนั้น โดยเฉพาะในพยางค์ที่ไม่เน้น โดยผลของการเปลี่ยนแปลงนี้ขึ้นอยู่กับหน่วยเสียงรอบข้างที่มีการออกต่อเนื่องกัน

ในการศึกษาเรื่อง V-to-V Coarticulation ของ Mok [33] ที่ทำการเปรียบเทียบการเกิด Coarticulation ของเสียงสระระหว่างพยางค์พบว่าในภาษาที่มีความซับซ้อนของโครงสร้างพยางค์มากกว่า เช่นในภาษาอังกฤษ (ที่มีรูปแบบโครงสร้างพยางค์ได้ถึง CCCVCCCC) นั้นมีความเป็น V-to-V Coarticuation มากกว่าภาษาที่มีโครงสร้างพยางค์ที่ซับซ้อนน้อยกว่า เช่นในภาษาไทย (ที่มีรูปแบบโครงสร้างพยางค์สูงสุดเพียง CCVC) ดังนั้นในการศึกษาครั้งนี้เราจะพิจารณาเรื่อง Coarticuation โดยดูเพียงหน่วยเสียงรอบข้างเป็นหลัก

นอกจากนี้ในผลการทดลองของ Mok [33] ยังแสดงให้เห็นว่า Coarticulation ของ V-to-V ที่เกิดขึ้น จะแสดงให้เห็นได้ในความแตกต่างอย่างชัดเจนของค่า F2 ของสระเดียวกัน ที่เกิดขึ้นในคู่ V-to-V ที่ต่างกัน

5. Acoustic Realization of Vowels

ในการศึกษาของ Chen [34] ที่ศึกษาเรื่องนี้ในภาษจีนนั้น ได้ทำการแยกกลุ่มสระออกเป็นสระในพยางค์เปิด (Open Syllable Vowel - OSV) และสระในพยางค์ปิด (Close Syllable Vowel - CSV) ซึ่งสระในพยางค์ปิดนี้จะรวมถึงสระที่ตามด้วย Glottal Coda (หรือ Glottal Stop)

Chen สรุปว่าไม่ควรใช้การ Reduce Realization จาก OSV โดยตรงเพื่อนำมาเป็นค่าของ F1, F2 ใน CSV เพราะให้ผลลัพธ์ที่ไม่ดี เพราะรูปแบบการเกิดของ CSV และ OSV จะแตกต่างกันอย่างชัดเจน

6. Nasalized Vowel

ในงานวิจัยของ M.Y. Chen [21] พบว่าความเป็นนาสิกของเสียงสระทำให้คุณลักษณะของฟอร์แมนต์ที่วัดได้เปลี่ยนไป (ทำการทดลองกับเสียงภาษาอังกฤษและภาษาฝรั่งเศส) ซึ่งจะปรากฏเห็น peak ของความถี่ที่แทรกอยู่ระหว่าง F1, F2 และอีกแห่งที่อยู่ต่ำกว่า F1 ซึ่งแม้มี Amplitude ที่ต่ำกว่าแต่อาจจะทำให้คลาดเคลื่อนได้

ทั้งนี้ในภาษาไทย ไม่มีการแบ่งเสียงสระที่เป็นนาสิกออกจากเสียงสระธรรมดา แต่การเกิด Co-articulation ของเสียงที่แวดล้อมไปด้วยเสียงนาสิกอาจจะทำให้เสียงสระนั้น ๆ กลายเป็นนาสิกไปด้วย และค่าที่วัดได้อาจจะเปลี่ยนแปลงไปในลักษณะเดียวกัน ซึ่งอาจจะแตกต่างจากค่าความถี่ที่วัดได้ในสระเดียวกันที่ไม่ได้มีความเป็นนาสิก

ตัวอย่างคำในภาษาไทยที่ผู้พูดมักจะออกเสียงสระเป็นนาสิก ทั้งที่พยัญชนะต้นไม่ใช่ตัวนาสิก ได้แก่คำว่า แห /h-xx-z^-4/ ซึ่งการออกเสียงคำนี้ไม่จำเป็นจำต้องเป็นเสียงนาสิกแต่อย่างใด และผู้พูดก็สามารถออกเสียงเป็นได้ทั้งนาสิกและไม่ใช่นาสิกโดยที่ความเข้าใจในภาษาก็ยังคงหมายถึงเสียงเดียวกัน ดังที่กล่าวไปแล้วว่าในภาษาไทยไม่ได้มีการแบ่งเสียงสระที่เป็นนาสิกออกจากเสียงสระธรรมดา

7. ฐานข้อมูลเสียงพูดต่อเนื่องภาษาไทย (LOTUS)

ฐานข้อมูลเสียงพูดต่อเนื่องภาษาไทยขนาดใหญ่ หรือ Large Vocabulary Thai Continouos Speech Recognition Corpus (LOTUS) [6] ถูกพัฒนาขึ้นมาโดยศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ (NECTEC) สำหรับการพัฒนาระบบรู้จำเสียงพูดต่อเนื่อง ซึ่งครอบคลุมคำศัพท์ไม่ต่ำกว่า 5000 คำ และครอบคลุมหน่วยเสียงภาษาไทยทั้งหมด

ฐานข้อมูลนี้ประกอบด้วยชุดเสียงต่างๆ อันได้แก่

ชุดหน่วยเสียงสมดุล (Phonetically Distribution Set - PD) ซึ่งครอบคลุมหน่วยเสียงพื้นฐานทั้งหมด และออกแบบมาให้ใช้สำหรับการฝึกฝนแบบจำลองเสียง (Acoustic Model) ในการทำระบบรู้จำเสียง (ASR)

ชุดประโยคที่ครอบคลุมคำศัพท์ภาษาไทยจำนวน 5000 คำ ซึ่งออกแบบมาให้ใช้สำหรับการฝึกฝนแบบจำลองทางภาษา (Language Model) โดยแบ่งย่อยออกเป็นอีกสองชุดคือ

2.1 ชุดฝึกฝน (Training Set – TR)

2.2 ชุดทดสอบเพื่อการพัฒนา (Development Test Set – DT)

ชุดประโยคที่ประกอบด้วยประโยคประมาณ 500 ประโยค และออกแบบมาเพื่อใช้ในการทดสอบขั้นสุดท้ายเพื่อประเมินผลในระบบรู้จำด้วยเสียง

ในงานวิจัยนี้จะนำตัวอย่างเสียงจากฐานข้อมูลเสียง LOUTS ในชุดหน่วยเสียงสมดุล (PD) ซึ่งมีการกำกับหน่วยเสียงไว้เรียบร้อยแล้ว มาใช้ในการวิเคราะห์และในการทำการทดลองเป็นหลัก

บทที่ 3
การสกัดค่าความถี่ฟอร์แมนต์จากหน่วยเสียงสระ

เครื่องมือที่ใช้ในการสกัดค่าความถี่ฟอร์แมนต์

ในการทดลองในวิทยานิพนธ์นี้ใช้ภาษา Python เป็นเครื่องมือหลักในการเขียนชุดคำสั่งร่วมกับ Scipy และ Numpy เพื่อควบคุมการทำงานและการคำนวณต่าง ๆ ให้ได้ตามที่ต้องการ

สำหรับการสกัดค่าฟอร์แมนต์ได้ทดลองใช้เครื่องมือดังนี้

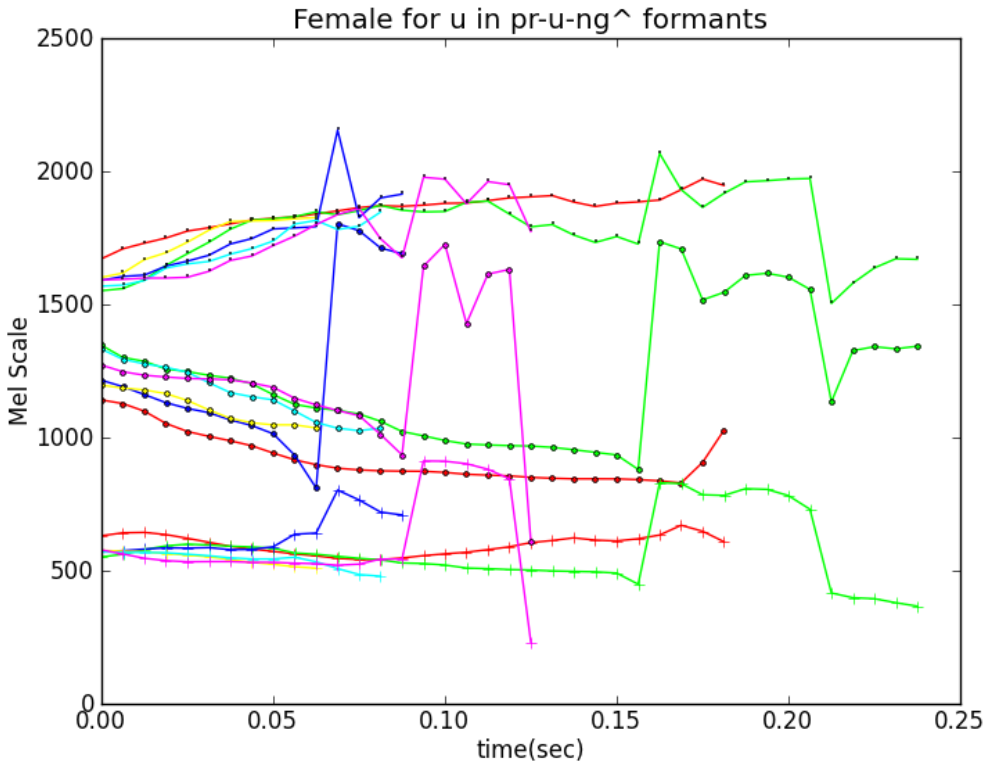
1. Snack Sound Toolkit (tkSnack library สำหรับ Python) Version 2.2 ซึ่งการใช้งานสามารถเขียน code เป็นส่วนหนึ่งของ Python ได้
2. Praat Version 5.3.18 [35] โดยการทำการเขียน Praat Script เพื่อทำการสกัดค่าที่ต้องการแล้วจึงนำผลที่ได้ไปใช้งานอีกครั้ง

จากการทดลองเบื้องต้นในการการสกัดค่าความถี่ฟอร์แมนต์ จากตัวอย่างของเสียงโดยการใช้เครื่องมือทั้งสองโดยใช้ค่า default พบว่า Snack Sound Toolkit ได้ค่าความถี่ฟอร์แมนต์ที่มีลักษณะโดดไปมา (ระหว่างความถี่ฟอร์แมนต์ที่ติดกัน) มากกว่าที่พบใน Praat จึงเลือกใช้ Praat เป็นเครื่องมือหลักในการสกัดค่าความถี่ฟอร์แมนต์ โดยมีการสกัดค่าความถี่ฟอร์แมนต์ของทุกข้อความในชุด PD Clean ในฐานข้อมูลเสียง LOTUS

วิธีการหาค่าตัวแทนของค่าความถี่ฟอร์แมนต์ของสระ

การหาค่าตัวแทนของสระใช้วิธีการเลือกค่าฟอร์แมนต์ที่อยู่ใน 3 เฟรมกลาง (ใช้เฟรมขนาด 25 ms) โดยใช้ค่าเวลาจากการกำกับหน่วยเสียงที่มีอยู่ในฐานข้อมูลเสียง จากนั้นทำการเปลี่ยนค่าที่ได้ให้อยู่ใน Mel Scale และนำมาเฉลี่ยเป็นตัวแทนของค่าฟอร์แมนต์นั้น ๆ

นอกจากนี้ในในการทดลองจะมีการตัดข้อมูลที่ผิดพลาดเนื่องจากการสกัดความถี่ฟอร์แมนต์ที่มีการสวิงไปมาของข้อมูลระหว่างความถี่ฟอร์แมนต์ที่ติดกันออกด้วยวิธีอัตโนมัติด้วยการพิจารณาค่าฟอร์แมนต์รอบข้างเทียบกับค่าฟอร์แมนต์ในลำดับที่ติดกัน ตัวอย่างของข้อมูลที่ตัดออกมีค่าความถี่ฟอร์แมนต์ลักษณะดังแสดงในรูป 3.1

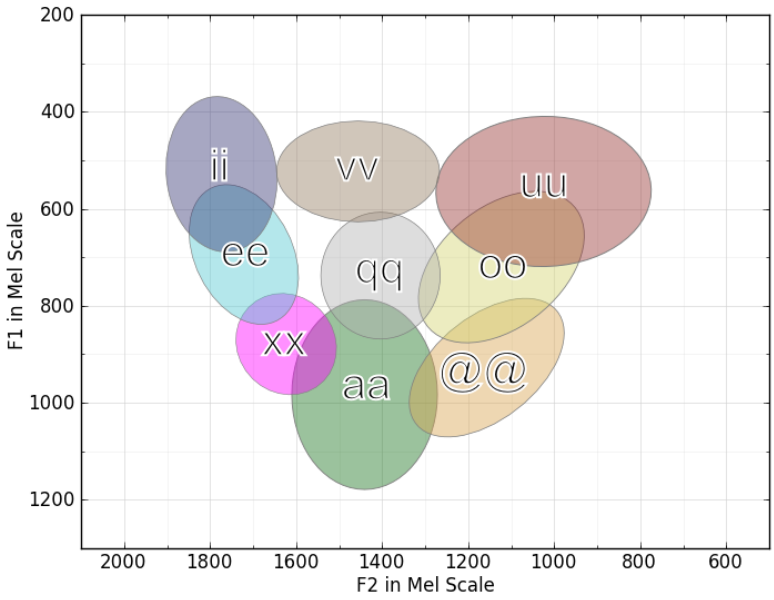


รูปที่ 3.1 ค่า F1, F2, F3 ที่สกัดได้ที่มีการสวิงไปมาตามช่วงเวลา ของเสียงที่ตัดออก (เส้นสีน้ำเงิน, สีชมพู, และสีเขียว)

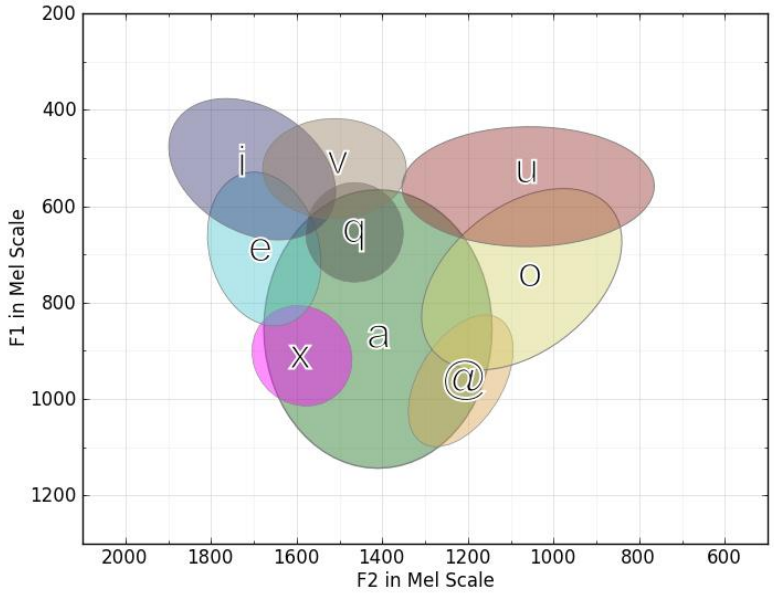
จากตัวอย่างในรูปที่ 3.1 เมื่อนำค่าฟอร์แมนต์ (F1, F2, และ F3) ของคำว่า ปรุง /pr-u-ng^-0/ จากตัวอย่างในเพศหญิงมาสร้างกราฟ จะพบว่าตัวอย่างที่แสดงด้วยเส้นสีน้ำเงิน, สีชมพู, และสีเขียว มีการกระโดดไปมาของค่าซึ่งเกิดจากค่าที่สกัดได้มีความผิดพลาด และเนื่องจากการทำงานนี้เป็นแบบอัตโนมัติ จึงพิจารณาทำการตัดตัวอย่างเหล่านี้ออก ซึ่งทำแบบอัตโนมัติโดยการเปรียบเทียบค่าที่มีค่ากระโดดขึ้นลงระหว่างความถี่ฟอร์แมนต์ที่ติดกัน

การกระจายตัวของค่าความถี่ฟอร์แมนต์ในสระเสียงยาวและสระเสียงสั้น

เมื่อนำค่าฟอร์แมนต์ลำดับที่ 1 และ 2 (F1 และ F2) มาสร้างกราฟแสดงพื้นที่สระจะพบการกระจายตัวของค่า F1 และ F2 ของสระต่าง ๆ เป็นไปตามรูปที่ 3.2 และ 3.3



รูปที่ 3.2 พื้นที่แสดงการกระจายตัวของค่า F1 และ F2 ของสระเสียงยาวที่วัดได้ในตัวอย่างเพศหญิง

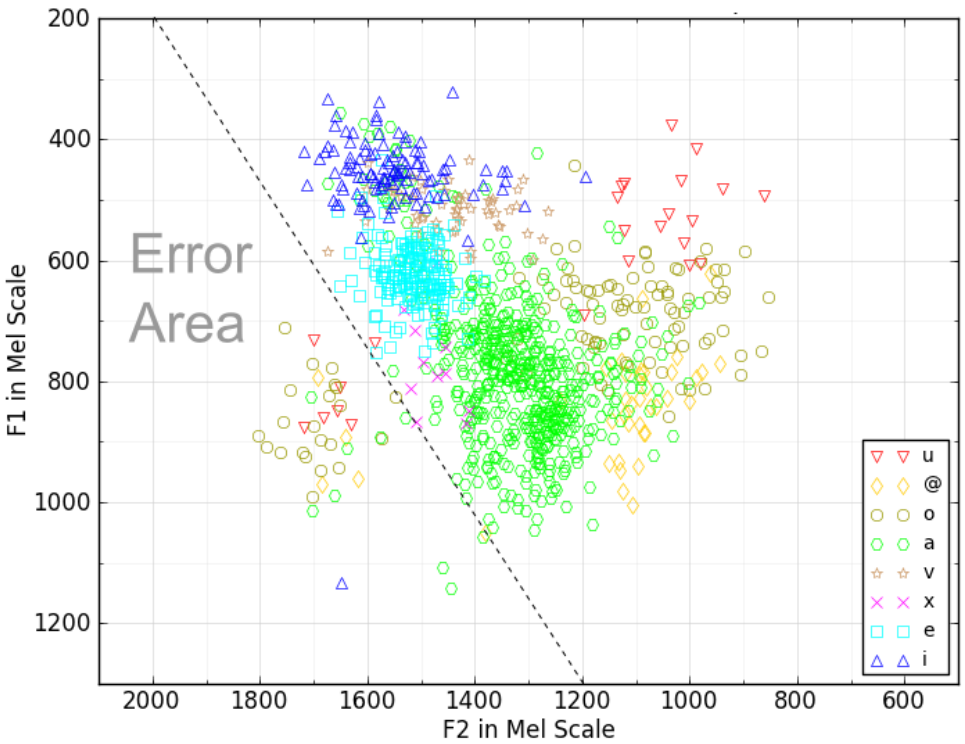


รูปที่ 3.3 พื้นที่แสดงการกระจายตัวของค่า F1 และ F2 ของสระเสียงสั้นที่วัดได้ในตัวอย่างเพศหญิง

จากรูปการกระจายตัวข้างต้นพบว่าในสระเสียงสั้นนั้นมีการกระจายตัวมาก มีการคาบเกี่ยวของพื้นที่ระหว่างสระมากกว่าที่พบในงานวิจัยที่ศึกษาจากตัวอย่างที่อยู่ในรูปแบบ C-V-C หรือตัวอย่างที่มีเฉพาะเสียงเน้นดังเช่นที่ปรากฏใน [1], [2], หรือ [3] โดยเฉพาะอย่างยิ่งในเสียงสระ อะ มีการกระจายตัวมากจนครบคลุมพื้นที่สระใกล้เคียง ซึ่งในบทถัดไปจะเป็นการศึกษาที่เฉพาะเจาะจงในเสียงสระ อะ มากขึ้น

การแก้ไขค่าฟอร์แมนต์

ในการทำ Scatter Plot จากข้อมูลค่า F1 และ F2 ที่สกัดได้ พบว่ามีข้อมูลอยู่จำนวนหนึ่งที่น่าจะเกิดการผิดพลาดในการสกัดข้อมูลฟอร์แมนต์ เนื่องจากค่าที่ได้มีการแยกกลุ่มออกมาซึ่งแสดงให้เห็นในรูปที่ 3.4 (รูปนี้แสดงข้อมูลเพียงบางส่วนจากทั้งหมดที่สกัดได้จากชุด PD)

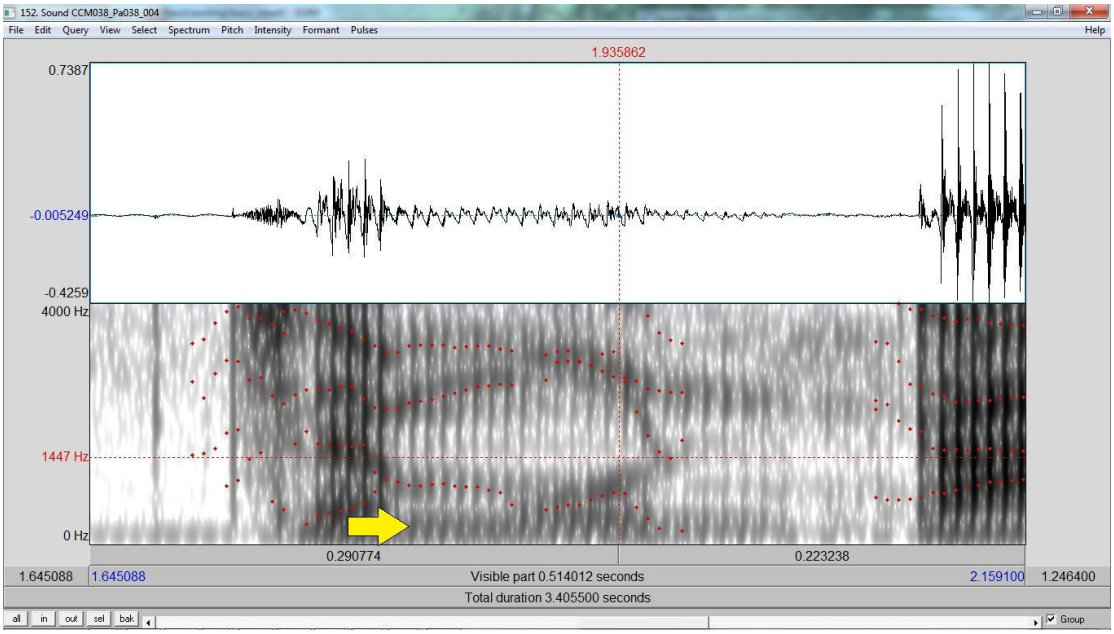


รูปที่ 3.4 ค่า F1 และ F2 ของสระเสียงสั้นในตัวอย่างเพศชาย ที่แสดงส่วนค่าที่ผิดพลาดจากการสกัด

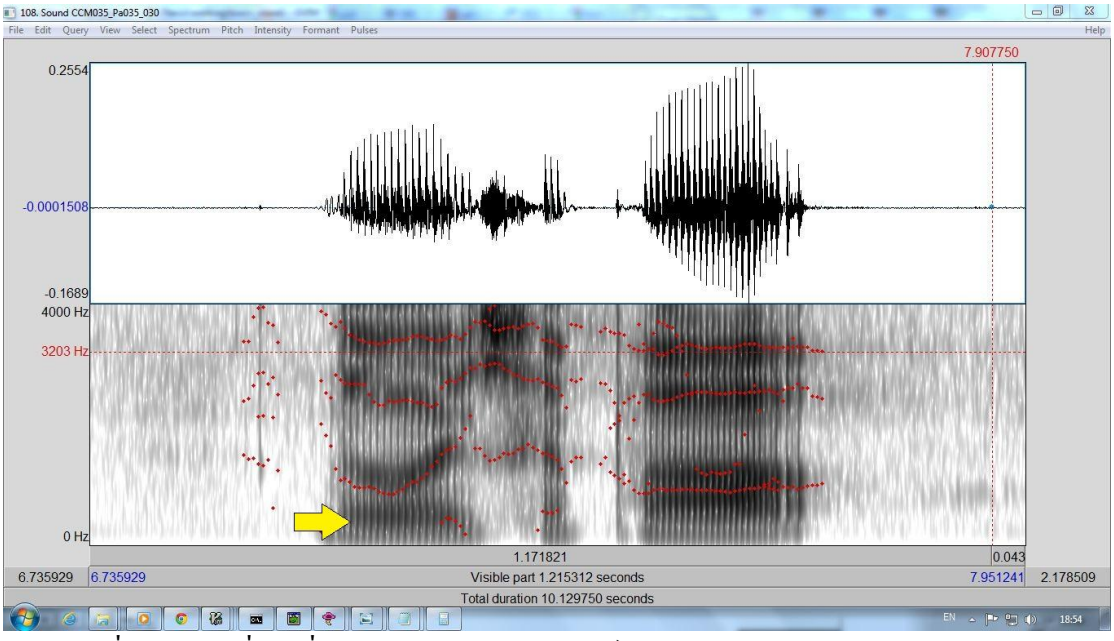
สำหรับข้อมูลในส่วน Error Area ทางซ้ายมือของรูป สำหรับสระหลัง (เสียง /u/, /o/, /@/) เมื่อพิจารณาดูจะพบว่าค่า F1 ของกลุ่มนี้ มีค่าใกล้เคียงกับค่า F2 ของกลุ่มที่อยู่ทางขวามือของรูป

ทั้งนี้เมื่อพิจารณาในสระเสียงยาว (/uu/, /oo/, /@@/) ก็เกิดเหตุการณ์เช่นเดียวกัน การเกิดนี้พบในตัวอย่างเพศชาย มากกว่าเสียงจากตัวอย่างเพศหญิง

เมื่อตรวจสอบจาก Spectrogram แล้วพบว่าค่าที่สกัดได้ไม่สอดคล้องกับ Spectrogram จริง ดังแสดงในรูปที่ 3.5 และ 3.6 ซึ่งลูกศรสีเหลืองแสดงจุดที่ควรจะปรากฏเป็นค่าฟอร์แมนต์ (เส้นประจุดสีแดง) แต่กลับไม่พบ F1 ณ จุดนั้น ๆ



รูปที่ 3.5 ความที่ F1 ที่หายไปจากการสกัดค่าฟอร์แมนใน /u/ ของคำว่า /m-u-n^/ (หมุน)

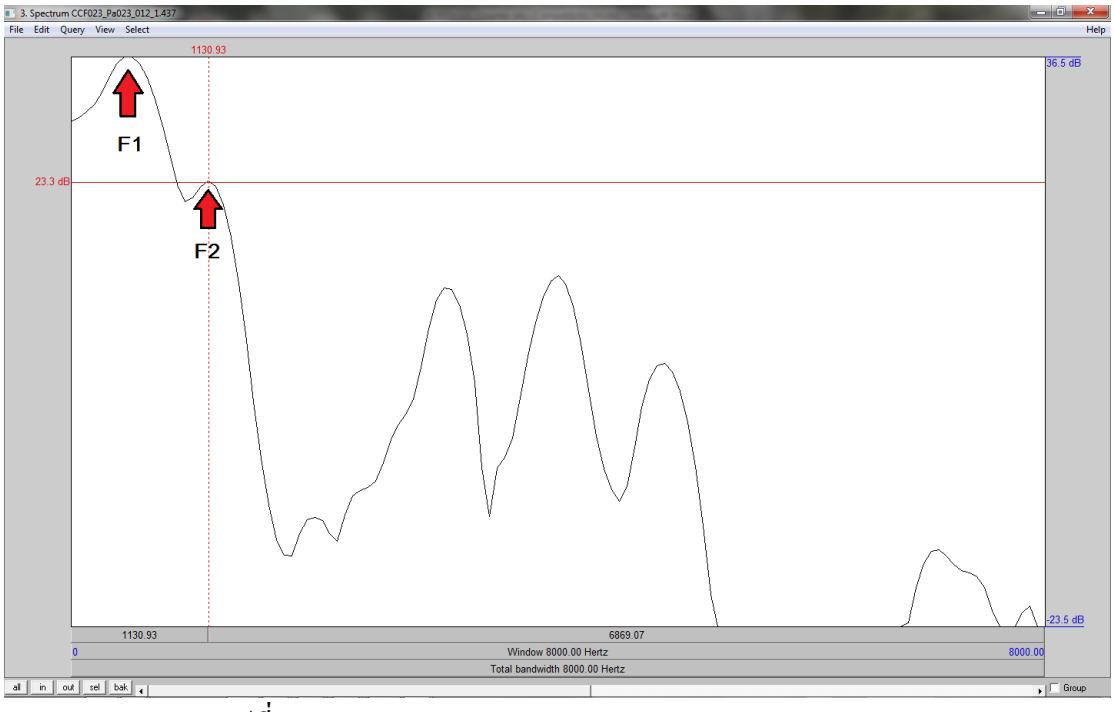


รูปที่ 3.6 ความที่ F1 ที่หายไปจากการสกัดค่าฟอร์แมนใน /oo/ ของคำว่า /d-oo-j^/ (โดย)

จากเหตุการณ์พอสรุปอย่างคร่าว ๆ ได้ว่าจะเกิดปัญหากับความถี่ฟอร์แมนต์ที่เป็นเสียงต่ำที่ไม่สามารถตรวจพบได้ และเมื่อทดลองทำการเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ที่ใช้ในการสกัดค่าฟอร์แมนต์ใน Praat พบว่าให้ผลดีขึ้นแต่ก็ยังมีข้อมูลผิดพลาดในลักษณะเดียวกันนี้ปรากฏอยู่ พร้อมทั้งมีข้อมูลบางส่วนมีการตรวจวัด Noise ในความถี่ต่ำ ๆ เป็น F1 ขึ้นมาด้วย

ซึ่งจากการค้นคว้าข้อมูลเพิ่มเติมเกี่ยวกับการเลือกใช้ค่าพารามิเตอร์ในการสกัดค่าความถี่ฟอร์แมนต์ จากผู้ที่ใช้ Praat เป็นเครื่องมือหลักในการทำงานได้ให้ความเห็นเอาไว้ว่า “No matter your settings, because it doesn’t know how many formants it should be searching for where, it commonly merges F1 and F2 for high back vowels (where they’re close together)”. [36]

เราจึงทำตรวจหาข้อมูลที่ผิดพลาดนี้อย่างคร่าว ๆ ด้วยการลากเส้นแบ่งส่วนที่ผิดพลาดออกและทำการแก้ไขข้อมูลของค่า F1 และ F2 ที่จากค่าที่วัดค่าด้วยมือจาก Spectrogram รวมกับการดูภาพตัดขวางของ Spectrogram (Spectral Slice) ที่ใช่ช่วยในการพิจารณาดังแสดงในรูป 3.7



รูปที่ 3.7 Spectral Slice แสดง Spectral Peak ของ F1 และ F2

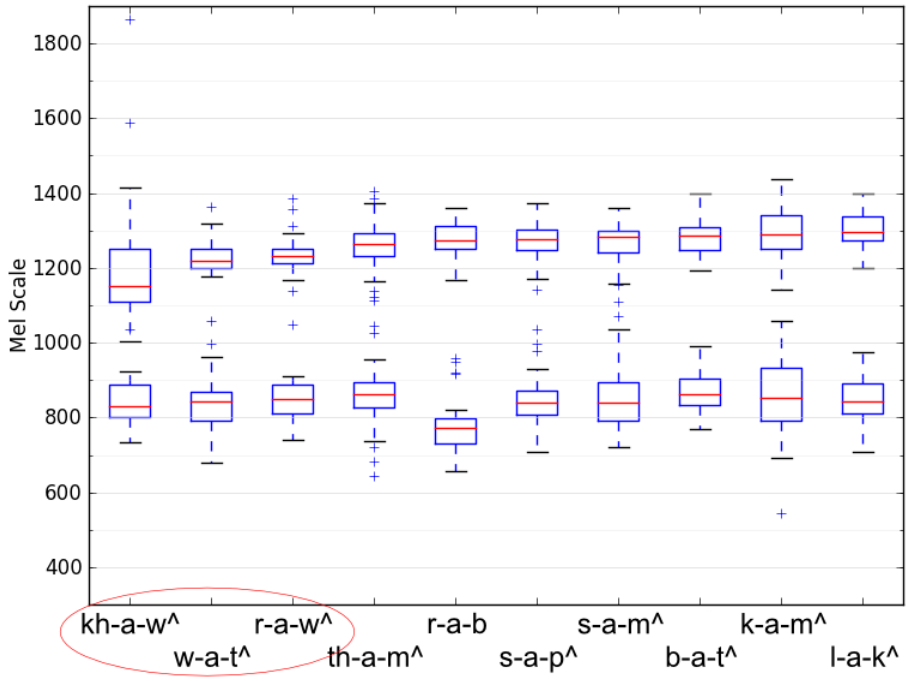
ทั้งนี้ภาพของพื้นที่สระที่แสดงในส่วนก่อนหน้านี้ในรูปที่ 3.2 และ 3.3 ได้จากการวาดพื้นที่บนการ Scatter Plot ของค่า F1 และ F2 ที่มีการแก้ไขแล้ว

บทที่ 4
การเปรียบเทียบค่าความถี่ฟอร์แมนต์ระหว่างรูปแบบของหน่วยเสียงที่ติดกันแบบต่าง ๆ และในระดับคำที่มีรูปแบบเดียวกัน

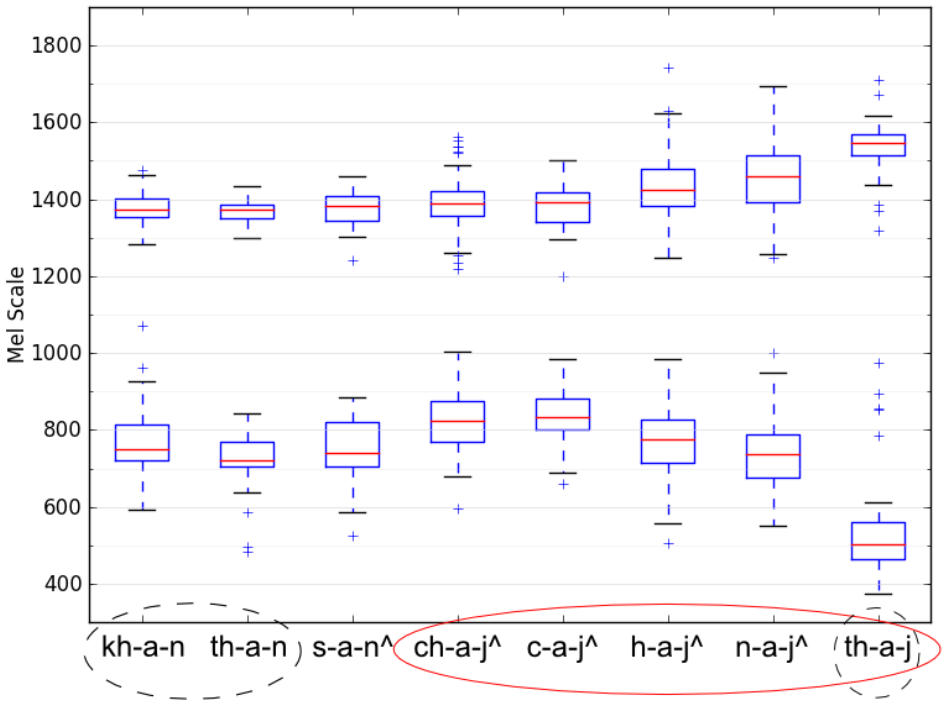
ความถี่ฟอร์แมนต์ในกลุ่มรูปแบบของหน่วยเสียงสามหน่วยเสียงที่ติดกัน

กำหนดให้ X1-V-X2 เป็นรูปแบบหน่วยเสียงสามหน่วยเสียงที่ติดกัน โดยมีเสียง /a/ (อะ) อยู่ตรงกลางในตำแหน่ง V และมีหน่วยเสียงอื่น ๆ ใด อยู่ในตำแหน่ง X1 และ X2 ที่ติดกับเสียง /a/ นั้น ทำการเลือกชุดของรูปแบบนี้ทุกชุดที่ปรากฏขึ้น โดยมีเงื่อนไขในการเลือกคือจำนวนที่ปรากฏของรูปแบบนั้น ๆ ต้องเกิดขึ้นมากกว่า 5 ครั้ง เพื่อให้แน่ใจได้ว่าค่าทางสถิติที่ทำการทดลองมีความน่าเชื่อถือ จากนั้นทำการสกัดค่าความถี่ฟอร์แมนต์โดยใช้วิธีที่กล่าวไปแล้วในบทที่ 3 รวมถึงการแก้ไขค่าความถี่ฟอร์แมนต์ตามที่กล่าวไปแล้วนั้นด้วย

เมื่อนำค่าที่ได้มาทำการสร้างกราฟในลักษณะ Box Plot ที่แสดงค่ากลางและการกระจายตัวของค่า F1 และ F2 โดยมีการเรียงลำดับตามค่า F2 พบว่ากลุ่มของรูปแบบที่มีหน่วยเสียง /w/ หรือ /w^/ (ว) จะมีค่าเฉลี่ยของ F2 ต่ำสุด ในขณะที่กลุ่มของรูปแบบที่มีหน่วยเสียง /j/ หรือ /j^/ (ย) จะมีค่าเฉลี่ยของ F2 สูงที่สุด ดังแสดงในรูปที่ 4.1 และ 4.2 ที่แสดงด้วยการวงด้วยเส้นสีแดง



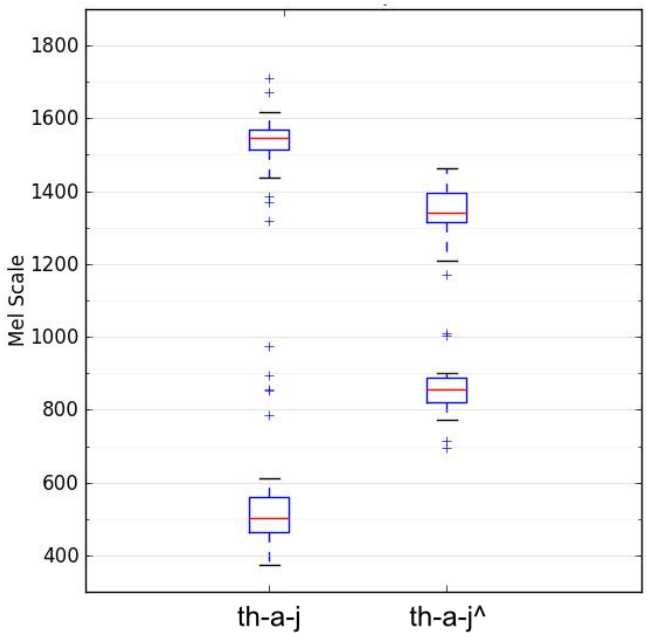
รูปที่ 4.1 Box Plot แสดงค่า F1 และ F2 โดยเรียงลำดับจากค่า mean ของ F2 จากน้อยไปมาก ในกลุ่ม F2 ต่ำ



รูปที่ 4.2 Box Plot แสดงค่า F1 และ F2 โดยเรียงลำดับจากค่า mean ของ F2 จากน้อยไปมาก ในกลุ่ม F2 สูง

จากผลลัพธ์ข้างต้น เราอาจจะวิเคราะห์ได้ว่าเนื่องจากหน่วยเสียง /j/, /j^/, /w/, และ /w^/ เป็นหน่วยเสียงกึ่งสระที่มีความใกล้เคียงสระมาก การเกิดการร่วมกันของเสียง (Coarticulation) ระหว่างเสียง /a/ และเสียง /j/, /j^/, /w/, หรือ /w^/ จึงเกิดในลักษณะคล้ายกับ Coartculation แบบ Vowel-to-Vowel ซึ่งลักษณะโดยทั่วไปของค่า F2 ของเสียง /j/, /j^/ ก็มีค่าอยู่ในระดับต่ำ ในขณะที่ F2 ของเสียง /w/, /w^/ ก็มีค่าอยู่ในระดับสูงอยู่แล้ว จึงดึงให้ค่า F2 นั้นผันแปรไปตามที่ปรากฏนี้

เมื่อทำการพิจารณากลุ่มของรูปแบบของเสียง อะ ที่ไม่มีตัวสะกดตามมา ดังเช่นในรูปแบบ /kh-a-n/ (คะ-น), /th-a-n/ (ทะ-น), หรือ /th-a-j/ (ทะ-ย) ดังที่ปรากฏในรูป 4.2 ที่ทำเครื่องหมายวงไว้ด้วยเส้นประสีดำ พบว่าภายในกลุ่มเองมีการกระจายตัวของค่า F1, F2 โดยเฉลี่ยสูงกว่ากลุ่มที่มีตัวสะกดตาม และเมื่อลองเลือกพิจารณาคู่ของรูปแบบที่มีหน่วยเสียงคล้ายกันที่เกิดขึ้นมากในรูปแบบ /th-a-j/ (ทะ-ย) เทียบกับ /th-a-j^/ (ไท) ซึ่งทั้งสองรูปแบบนี้ประกอบด้วยหน่วยเสียงเหมือนกันเกือบทั้งหมด แต่ต่างกันตรงที่หน่วยเสียง /j/ นั้นเป็นพยัญชนะต้น ในขณะที่ /j^/ นั้นเป็นตัวสะกด โดยการเปรียบเทียบระหว่างสองรูปแบบนี้เป็นดังแสดงในรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 Box Plot แสดงค่า F1 และ F2 ของเสียง /a/ ในรูปแบบ /th-a-j/ และ /th-a-j^/

ซึ่งส่วนพยางค์ที่ไม่มีตัวสะกดนี้มักจะเป็นพยางค์ที่ไม่เน้นเสียงเมื่อเทียบกับรูปแบบที่มีตัวสะกดตามเสียงอะซึ่งมักจะเป็นพยางค์ที่เน้นเสียง เช่น เสียง อะ ในรูปแบบ /th-a-j/ (ทะ-ย) ในคำว่า วิทยาลัย เทียบกับ รูปแบบ /th-a-j^/ (ไท) ในคำว่า ประเทศไทย

จากข้อมูลเหล่านี้จึงทำการทดลองเพิ่มเติมในระดับคำต่อไป

ความถี่ฟอร์แมนต์ของเสียงสระ อะ จำแนกตามกลุ่มคำ

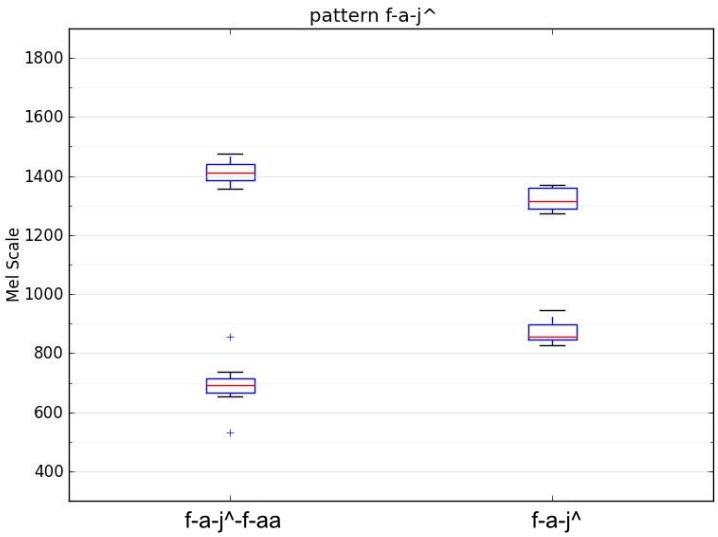
จากรูปแบบของหน่วยเสียงสามหน่วยเสียงที่ติดกัน นำข้อมูลนี้ไปค้นหาในชุดประโยคร่วมกับพจนานุกรมคำ (ที่มีมาพร้อมในฐานข้อมูลเสียง) เพื่อหาว่ารูปแบบนั้นอยู่ในคำคำใด โดยวิธีการเลือกคำที่ยาวที่สุดที่เป็นไปได้มาก่อน เช่น จากรูปแบบ /f-a-j^/ (ไฟ) อาจจะอยู่ในคำว่า ไฟ หรือ ไฟฟ้า ก็ได้ ซึ่งในแต่ละคำ ส่วนของเสียง /f-a-j^/ ที่ออกเสียงมานั้นถูกเน้นต่างกัน (ซึ่งในคำว่า ไฟ มักจะถูกเน้นเสมอ ในขณะที่คำว่าไฟฟ้า นั้นมักจะไม่ถูกเน้นในการออกเสียงแบบต่อเนื่อง)

สำหรับรูปแบบที่ทำการค้นเทียบในข้อความของประโยคแล้วไม่พบคำในพจนานุกรมใดตรง จำทำการกำกับข้อมูลแทนด้วยรูปแบบที่มี สัญลักษณ์ * คร่อมไว้แทน เช่น ไม่พบคำว่า บั้นเอว จากการค้นห้าด้วยรูปแบบ /b-a-n^/ ในพจนานุกรมก็จะกำกับข้อมูลเป็น /*-b-a-n-*/ แทนคำที่หาไม่

เจอนั้น (ในกรณีนี้ไม่พบทั้งคำอ่านออกเสียงเป็น /b-a-n^-z-ee-w^/ และ /b-a-n^/ โดด ๆ) ซึ่งปรกติคำที่ไม่พบส่วนใหญ่จะเป็นชื่อเฉพาะ

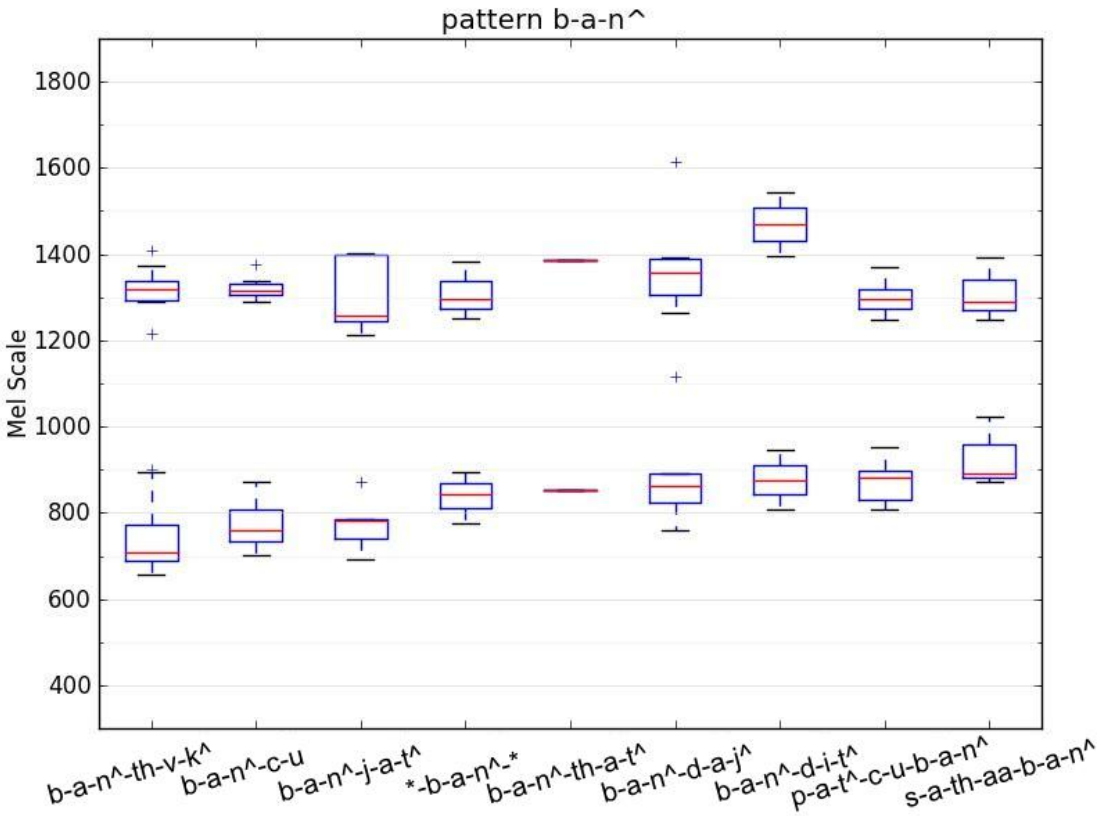
ในการเปรียบเทียบนี้จะทำในลักษณะคล้ายกับการทดลองก่อนหน้า แต่จะเลือกเฉพาะรูปแบบที่ทำให้เกิดคำได้ต่าง ๆ กัน และเปรียบเทียบเสียงของสระอะ ของรูปแบบนั้นที่เกิดในคำที่ต่างกัน

จากรูปแบบของ /f-a-j^/ (ไฟ) ที่พบได้ในคำว่า /f-a-j^/ (ไฟ) และ /f-a-j^-f-aa/ (ไฟฟ้า) จะพบว่าในคำว่าไฟฟ้า ซึ่งเป็นพยางค์ที่ไม่เน้นนั้นมีการกระจายตัวของค่า F1 และ F2 มากกว่า ดังแสดงในรูป 4.4



รูปที่ 4.4 Box Plot แสดงค่า F1 และ F2 ของเสียง /a/ ในรูปแบบ /f-a-j^/ ของคำต่าง ๆ

และเมื่อเปรียบเทียบรูปแบบของเสียง /b-a-n^/ (บัน) ที่พบได้ในคำต่าง ๆ อันได้แก่ /b-a-n^-th-v-k^/ (บันทึก), /b-a-n^-c-u/ (บรรจุ), /b-a-n^-j-a-t^/ (บัญญัติ), /b-a-n^-th-a-t^/ (บรรทัด), /b-a-n^-d-a-j^/ (บันได), /b-a-n^-d-i-t^/ (บัณฑิต), /p-a-t^-c-u-b-a-n^/ (ปัจจุบัน), และ /b-a-n^/ (สถาบัน) พบว่าในพยางค์ที่อยู่ด้านหน้าซึ่งมักจะเป็นคำที่ไม่เน้น ก็มีการกระจายตัวของ F1 และ F2 โดยมากกว่า พยางค์ที่อยู่หลังซึ่งปรกติจะเป็นพยางค์ที่เน้น



รูปที่ 4.5 Box Plot แสดงค่า F1 และ F2 ของเสียง /a/ ในรูปแบบ /b-a-n^/ ของคำต่าง ๆ

ทั้งนี้ผลการวิเคราะห์ในเทียบในระดับคำนี้มีข้อมูลค่อนข้างน้อยมาก ความน่าเชื่อถือของข้อมูลจึงไม่สูงนัก และการกระจายตัวของแต่ละรูปแบบก็อาจจะพิจารณาได้ว่าน้อยเกินไปที่จะสรุปผล ดังนั้นเราจึงกลับไปศึกษาในข้อมูลของเสียงสระอะที่ ไม่เน้น ในส่วนที่เป็นอะกึ่งเสียงในบทต่อไปเพิ่มเติม

บทที่ 5
การเปลี่ยนแปลงการกำกับหน่วยเสียงและการวัดผล

เสียงอะกึ่งเสียงกับคำในพจนานุกรม

เมื่อทำการศึกษาและพบว่าเสียงอะกึ่งเสียงที่เป็นเสียงไม่เน้นนั้น มีการออกเสียงที่ใกล้เคียงกับเสียง เออะ ดังที่กล่าวไปแล้วในบทที่ 2 นั้น จึงเกิดความคิดในการเปลี่ยนการกำกับเสียงของเสียง /a/ ใหม่ โดยแทนที่ด้วยเสียง /q/ ที่มีความใกล้เคียงกันมากกว่า

สำหรับการเปลี่ยนการกำกับเสียงนี้ ไม่ได้ทำการเปลี่ยนใน labeling file แต่ทำการเปลี่ยนในพจนานุกรม โดยรายการคำที่เป็นคำที่มีการเปลี่ยนการกำกับหน่วยเสียงขึ้น จากนั้นเมื่อพบรูปแบบที่ประกอบเป็นคำคำนั้น (ในลักษณะเดียวกับการค้นหาคำในบทที่ 4) จะทำการเปลี่ยนการกำกับเสียงที่ผลลัพธ์ใหม่เป็นเสียง /q/ แทน

การจำแนกเสียงสระเปรียบเทียบก่อนและหลังการเปลี่ยนการกำกับคำ

การทดลองการจำแนกหน่วยเสียงด้วยเทคนิค LDA โดยใช้ LOOCV ในการวนลูปเพื่อตรวจสอบความถูกต้องจากข้อมูลตัวอย่างทั้งหมด ซึ่งผลของการจำแนกหน่วยเสียง เปรียบเทียบระหว่างข้อมูลดิบในรอบที่ 1, ข้อมูลที่มีการแก้ไขค่าความถี่ฟอร์แมนต์เนื่องจากความผิดพลาดในการสกัดค่าในรอบที่ 2 (ดังที่กล่าวไว้ในบทที่ 3), และข้อมูลที่มีการแก้ไขการกำกับเสียงในรอบที่ 3 เปรียบเทียบกันแยกเพศชาย/หญิง ได้ผลตามตาราง 5.1 และ 5.2

ตารางที่ 5.1 การเปรียบเทียบผลของการจำแนกสระเสียงสั้นจาก F1, F2 ในตัวอย่างเพศหญิง

เสียงสระ	%Correct รอบที่ 1	%Correct รอบที่ 2	%Correct รอบที่ 3
รวมทั้งหมด	81.55%	82.12%	83.92%
u	44.85%	65.03%	66.01%
@	6.98%	9.77%	10.03%
o	85.60%	82.11%	83.02%
q	0.00%	0.00%	40.29%
a	92.25%	92.10%	91.27%
v	72.91%	73.09%	73.09%
x	0.00%	0.67%	0.67%
e	56.15%	59.29%	58.01%
i	81.68%	83.72%	83.72%

ตารางที่ 5.2 การเปรียบเทียบผลของการจำแนกสระเสียงสั้นจาก F1, F2 ในตัวอย่างเพศชาย

เสียงสระ	%Correct รอบที่ 1	%Correct รอบที่ 2	%Correct รอบที่ 3
รวมทั้งหมด	77.86%	80.46%	82.15%
u	0.00%	65.45%	64.82%
@	2.94%	18.99%	19.32%
o	9.95%	69.68%	70.05%
q	0.00%	0.00%	37.32%
a	94.23%	93.39%	91.74%
v	13.76%	31.51%	31.51%
x	0.00%	0.00%	0.00%
e	43.88%	68.79%	68.89%
i	87.85%	90.24%	90.24%

จากผลลัพธ์ที่พบได้จากตารางทั้งสองข้างบนพบว่า ผลของการแก้ไขค่า F1, F2 ที่ผิดพลาดในขั้นตอนการสกัดค่าความถี่ฟอร์แมนต์ มีผลทำให้ความถูกต้องในการจำแนกเสียงสระดีขึ้นมาก โดยเฉพาะในสระหลังที่ก่อนทำการแก้ไขมีค่ากระจายออกเป็นสองกลุ่ม

สำหรับผลจากจากเปลี่ยนการกำกับคำนั้น ช่วยเพิ่มความถูกต้องของเสียงสระเพียงเล็กน้อยเท่านั้นทั้งในระดับภาพรวมทั้งหมดและในสระต่าง ๆ แม้ว่าส่วนของสระ /q/ (เออะ) จะดีขึ้นเนื่องจากเสียง /a/ ที่เดิมถูกลดเสียงมาอยู่ใกล้เคียงกับทำให้การจำแนกทำได้ยากกว่าการกำกับเสียงใหม่ที่ใช้เสียงที่ใกล้กันจริงเป็นกลุ่มเดียวกัน แต่ข้อมูลเสียง /a/ ก็ยังคงมีการกระจัดกระจายอยู่

การรู้จำหน่วยเสียงจาก HTK กับการเปลี่ยนการกำกับหน่วยเสียง

เมื่อทดสอบด้วยการเปลี่ยนการกำกับหน่วยเสียง โดยแยกให้หน่วยเสียงอะกึ่งเสียงใช้สัญลักษณ์ใหม่ (ในที่นี้ใช้ /a9/) จากนั้นทำการทดสอบการรู้จำหน่วยเสียงด้วย HTK โดยใช้ MFCC เป็น feature พบว่าความถูกต้องมีความใกล้เคียงกัน (ลดลงเล็กน้อย) เมื่อเทียบกับการทดสอบการรู้จำจากข้อมูลเดิมที่ไม่มีการเปลี่ยนการกำกับหน่วยเสียงตามตาราง 5.3 ต่อไปนี้

ตารางที่ 5.3 การเปรียบเทียบผลของการรู้จำหน่วยเสียงจาก HTK ก่อนและหลังการเปลี่ยนการกำกับหน่วเสียง

รอบที่	%Correction ก่อนการเปลี่ยน Labeling	%Correction หลังการเปลี่ยน Labeling
1	63.08%	62.09%
2	62.84%	62.27%
3	63.59%	62.85%
4	63.13%	62.03%

เมื่อดูผลลัพธ์ของ Confusion Matrix จากในการทดสอบการรู้จำหน่วยเสียงด้วย HTK สำหรับข้อมูลที่มีการเปลี่ยนแปลงการกำกับหน่วยเสียงเป็นไปตามตาราง 5.4 ดังนี้

ตาราง 5.4 HTK Confusion Matrix ของผลลัพธ์การรู้จำที่มีการเปลี่ยนการกำกับหน่วยเสียง

รอบที่ 1	a	a9	other	%Correct
a	594	154	507	47.33%
a9	13	168	79	64.62%

รอบที่ 2	a	a9	other	%Correct
a	597	169	611	44.65%
a9	16	192	78	67.13%

รอบที่ 3	a	a9	other	%Correct
a	640	166	528	47.98%
a9	15	196	85	66.22%

รอบที่ 4	a	a9	other	%Correct
a	616	169	540	47.33%
a9	20	202	91	64.62%

จากผลลัพธ์ข้างต้นจะพบว่า หน่วยเสียง /a9/ ที่กำหนดให้เป็นหน่วยเสียงอะกึ่งเสียงนั้น มีการรู้จำไปเป็นหน่วยเสียง /a/ หรือเสียงอะเต็มเสียง น้อยกว่า 10% ของหน่วยเสียงที่ควรจะเป็น /a9/ ทั้งหมด ในขณะที่ หน่วยเสียง /a/ หรืออะเต็มเสียงนั้น มีการรู้จำไปเป็นหน่วยเสียง /a9/ หรืออะกึ่งเสียงอยู่ระหว่าง 25-29% ของหน่วยเสียงที่ควรจะเป็น /a/ ทั้งหมด ซึ่งส่วนนี้สอดคล้องกับความจริงที่ว่า ในการออกเสียงในเสียงพูดต่อเนื่อง เสียงอะในคำที่ประวิสรรชนีย์ (มีรูปสระอะ) นั้นสามารถถูกออกเสียงในเหมือนกับอะกึ่งเสียงเช่นกัน [20] ในขณะที่เสียงอะกึ่งเสียงในคำที่ไม่ประวิสรรชนีย์นั้นโดยปกติจะไม่มีการออกเต็มเสียง แต่ก็มีบ้างที่ผู้พูดออกเสียงกลายเป็นเสียงอะเต็มเสียง ซึ่งเกิดน้อยกว่า

นอกจากนี้เมื่อพิจารณากลับไปพิจารณาดูส่วนของเสียง /x/ (เอะ) และเสียง /@/ (เอาะ) ที่มีพื้นที่ร่วมกับเสียงสระอะนั้น ส่วนหนึ่งอาจจะเกิดจากการลดเสียงของเสียง /x/ และ /@/ เองที่มีการลู่เข้าสู่เสียง /q/ ดังที่กล่าวถึงไว้ในบทที่ 2 ซึ่งเกิดขึ้นในสระที่ไม่ใช่ High Vowel มากกว่าสระ High Vowel (/i/, /v/, /u/) ซึ่งจะพบว่าเกิดพื้นที่ร่วมกันของพื้นที่สระจาก F1 และ F2 น้อยกว่ากันมาก

บทที่ 6
ข้อสรุปและข้อเสนอแนะ

ข้อสรุป

1. ข้อสรุปจากการศึกษาผลการลดเสียงของสระอะจากหน่วยเสียงรอบข้าง

จากการศึกษาผลของการลดเสียงสระอะ พบว่าเสียงกึ่งสระที่ติดกันมีผลต่อความถี่ฟอร์แมนต์ลำดับที่ 2 (F2) อย่างค่อนข้างชัดเจน โดยรูปแบบของเสียง /a/ ที่มีเสียง /j/ หรือ /j^/ อยู่ติดกันจะมีค่า F2 สูงกว่าค่าเฉลี่ย ในขณะที่รูปแบบของเสียง /a/ ที่มีเสียง /w/ หรือ /w^/ อยู่ติดกันนั้นจะมีค่า F2 ต่ำกว่าค่าเฉลี่ย

สำหรับเสียงสระอะในพยางค์ที่ไม่เน้นนั้นจะมีค่าการกระจายตัวของ F1 และ F2 สูงกว่าพยางค์ที่เน้น โดยค่าที่กระจายตัวนั้นน่าจะเกิดจากผลของ Coarticulation จากหน่วยเสียงของคำรอบข้าง

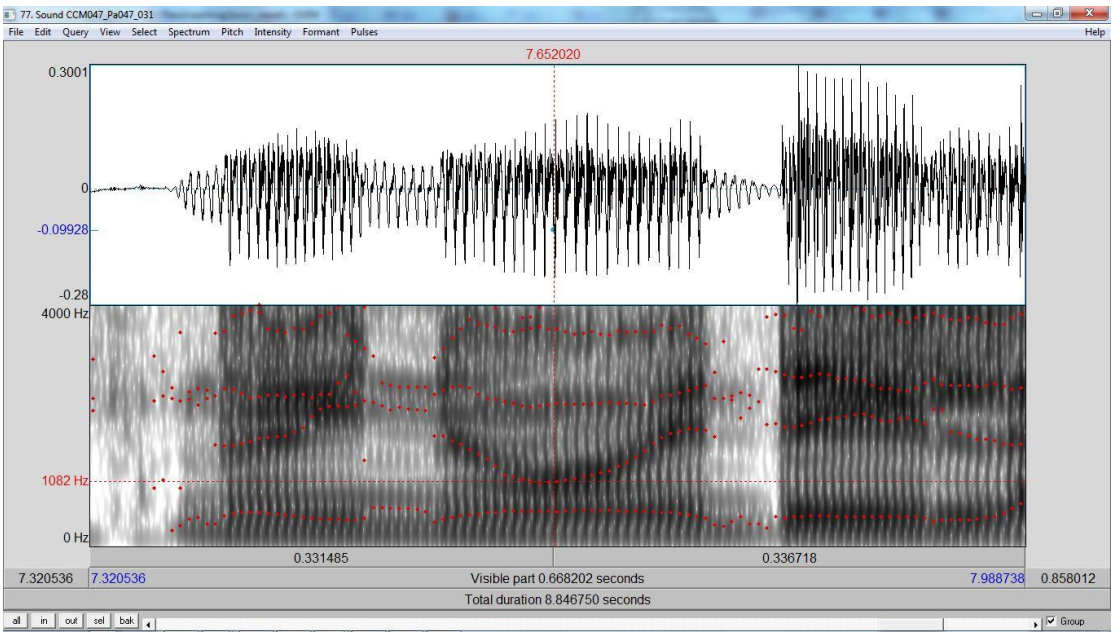
2. ข้อสรุปจากการเปลี่ยนแปลงการกำกับเสียงอะ

เมื่อทำเปลี่ยนแปลงการกำกับหน่วยเสียงสำหรับเสียงอะกึ่งเสียงให้เป็นเสียง Mid-Central Vowel หรือ เสียงที่มีลักษณะคล้ายเสียง Schwa ในภาษาอังกฤษ ซึ่งมีค่า F1, F2 ใกล้เคียงกับเสียง /q/ (เออะ) ในภาษาไทยนั้น สามารถทำให้กลุ่มของเสียง /q/ นั้นถูกจำแนกได้ดีขึ้น และการจำแนกเสียงสระโดยรวมดีขึ้นเล็กน้อย แต่เมื่อทดสอบการรู้จำหน่วยเสียงเปรียบเทียบระหว่างที่มีการแยกหน่วยเสียงอะกึ่งเสียงออกจากสระอะเต็มเสียงพบว่ามีผลใกล้เคียงกันกับการใช้การกำกับหน่วยเสียงแบบเดิม แต่ในการรู้จำหน่วยเสียงอะกึ่งเสียงนั้นจะพบว่าเกิดการรู้จำไปเป็นหน่วยเสียงอะเต็มเสียงน้อยกว่า ในการรู้จำหน่วยเสียงอะเต็มเสียงแล้วรู้จำไปเป็นหน่วยเสียงอะกึ่งเสียง

ทั้งนี้ในการออกเสียงจริง ถ้าเรายึดตามรูปการเขียน เสียงที่เกิดขึ้นจากรูปนั้นอาจจะไม่ได้มีการเน้นการออกเสียงตามทฤษฎีนั้นจริง ถึงแม้ว่าในการออกเสียง อะ กึ่งเสียงจะมีแนวโน้มออกเป็นอะเต็มเสียงน้อยกว่า การออกเสียงอะเต็มเสียงเป็นอะกึ่งเสียงก็ตาม แต่การเกิดขึ้นปนกันนี้ถ้าควรจะใช้วิธีอื่นนอกเหนือจากการดูรูปการเขียนเพื่อพิจารณาว่าเป็นเสียงอะกึ่งเสียงหรือไม่ การจำแนกจึงจะมีความถูกต้องตรงกับเสียงที่เกิดขึ้นจริง การกำกับเสียงจากรูปเขียนนั้นอาจจะไม่ใช่แนวทางที่ดีนักในการกำกับหน่วยเสียงให้ตรงกับเสียงที่เกิดจริง แต่ก็เป็นแนวทางหนึ่งที่ทำให้ได้การกำกับหน่วยเสียงที่ใกล้เคียงเสียงจริงมากขึ้น

ข้อเสนอแนะ

1. เนื่องจากข้อมูลที่จำกัด การเกิดซ้ำของรูปแบบหรือคำที่ใช้ในการศึกษาบางครั้งมีน้อยเกินไป การบันทึกเสียงเพิ่มเติมเพื่อใช้ในการศึกษาเป็นสิ่งที่น่าสนใจ โดยเฉพาะการสร้างคู่เทียบของเสียงที่เน้นและไม่เน้น แต่ประกอบด้วยหน่วยเสียงเดียวกัน (ที่เห็นได้จากรูปเขียน) แต่ทั้งนี้การสร้างประโยคเพื่อให้ผู้ให้เสียงออกเสียงตามต้องการ แต่เป็นการออกเสียงต่อเนื่องอย่างเป็นธรรมชาตินั้นทำได้ยาก เพราะเมื่อผู้ออกเสียงออกเสียงอย่างเป็นธรรมชาติตามการอ่านของบุคคลนั้นก็อาจจะไม่ได้เน้นหรือไม่เน้นในเสียงในส่วนที่ต้องการศึกษาจริงก็ได้
2. การกำกับเสียงโดยละเอียดจากฐานข้อมูลเสียงที่มีอยู่แล้ว ก็เป็นอีกส่วนหนึ่งที่น่าสนใจศึกษา สำหรับผู้ที่ศึกษาสัทศาสตร์ที่ต้องทำการศึกษากับภาษาอื่นที่ไม่ได้คุ้นเคยนั้น จะมีการกำกับเสียงหรือถอดเสียงออกมาเป็นสัญลักษณ์ที่มีความละเอียดมากกว่าเนื่องจากไม่ทราบว่าจริง ๆ เสียงนั้นคือหน่วยเสียงอะไรในภาษานั้น ๆ ในขณะที่คนที่คุ้นเคยกับภาษาของตัวเองนั้นอาจจะยึดติดกับรูปและเสียงของหน่วยเสียงนั้นในทางทฤษฎีจนทำให้การกำกับเสียงนั้นอาจจะไม่ตรงกับเสียงที่เกิดขึ้นจริง แต่เป็นการถอดเสียงจากรูปสะกดที่ปรากฏขึ้นเท่านั้น
3. ในเสียงสระอะ ที่เน้น มักจะมีการพบ Short Pause (SP) เกิดขึ้นตามเสียง อะ นั้น ซึ่งส่วนนี้อาจจะใช้ช่วยในการจำแนกเสียงที่เน้นและไม่เน้นได้ดีขึ้น (ซึ่งส่วนของ Short Pause นี้จริงๆ แล้วน่าจะเป็นส่วนหนึ่งของหน่วยเสียง /z^/ ที่ไม่ปรากฏในการกำกับหน่วยเสียง)
4. การศึกษาการลดการออกเสียงในสระ /x/ และ /@/ ที่มีค่าใกล้เคียงกับเสียง /q/ นั้นเป็นสิ่งที่น่าสนใจ แต่ทั้งนี้สระทั้งสองที่มีการลดการออกเสียงนี้มิได้มีรูปการเขียนที่ชัดเจนเหมือนอย่างสระอะกึ่งเสียง และตัวอย่างที่เห็นได้ชัด
5. เสียงในพยางค์ที่ไม่เน้น เช่น พยางค์แรกของคำว่า น้อยน้อย /n-@@-j^-3 n-@@-j^-3/ นั้นเมื่อตรวจสอบดูใน Spectrogram ดังที่ปรากฏในรูปที่ 6.1 พบว่ามีส่วนของสระที่สั้นมาก ๆ (หรืออาจจะกล่าวว่าแทบไม่มีเลย) ซึ่งเป็นลักษณะการออกเสียงแบบการลดการออกเสียงของสระเสียงสั้น /@/ แทนที่จะเป็น /@@/ เหมือนในพยางค์หลัง และเมื่อพิจารณาดูจะพบว่าเสียงรอบข้างนั้นเป็นเสียงนาสิกและเสียงกึ่งสระที่มีฟอร์แมนค่อนข้างชัดเจนมากจนแทบจะไม่มีส่วนของสระปรากฏให้เห็น ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบลักษณะของความถี่ฟอร์แมนต์ที่เกิดขึ้นระหว่างพยางค์ทั้งสองจะเห็นความแตกต่างอย่างชัดเจน แม้ว่าทั้งสองพยางค์นี้จะมีรูปเขียนเดียวกันและถูกกำกับหน่วยเสียงเหมือนกันก็ตาม



รูปที่ 6.1 Spectrogram ของคำว่า น้อยน้อย

รายการอ้างอิง

[1] Abramson, A.S. The Vowels and Tones of Standard Thai: Acoustical Measurements and Experiments. Bloomington: Publication Twenty of the Indiana University Research Center in Anthropology, Folklore, and Linguistics, 1962.

[2] Narang, V., and Misra, D. Acoustic space, duration and formant patterns in vowels of Bangkok Thai. International Journal on Asian Language Processing 20 (2011): 123-140.

[3] ชมนาด อินทจามรรักษ์. ลักษณะทางกลสัทศาสตร์ของเสียงสระภาษาไทยที่ออกเสียงโดยผู้ที่ใช้หลอดลม-หลอดอาหารและผู้พูดปกติและการรับรู้เสียงสระที่ออกเสียงโดยผู้พูดที่ใช้หลอดลม-หลอดอาหาร. กรุงเทพมหานคร: สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย, 2550.

[4] Lindblom, B. Spectrographic study of vowel reduction. Journal of the Acoustical Society of America 35 (1963): 1773-1781.

[5] Fowler, C. Coarticulation and therories of extrinsic timing. Journal of Phonetics 8 (1980): 113-133.

[6] Kasuriya, S., Sornlertlamvanich, V., Cotsomrong, P., Kanokphara S., and Thatphithakkul, N. Thai speech corpus for Thai speech recognition. COCOSDA 2003, 54-61. 2003.

[7] Young, S., Jansen, J., Odell, J. Ollason, D., and Woodland, P. The HTK Book (for HTK Version 3.3). Cambridge, 2005.

[8] Ladefoged, P. A Course in Phonetics. 5 ed.: Thomson Learning, 2003.

[9] Coleman, J. The vocal tract and larynx [Online]. Available from: http://www.phon.ox.ac.uk/jcoleman/phonation.htm [2010, May 20]

[10] International Phonetic Association (IPA), Handbook of the International Phonetic Association. Cambridge: Cambridge University Press, 1999.

[11] กาญจนา นาคสกุล. ระบบเสียงภาษาไทย. พิมพ์ครั้งที่ 6. กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2551.

[12] Redford, M.A. Source/Filter Theory [Online]. Available from: http://www.uoregon.edu/~phon/ling411/SourceFilter_files/frame.htm [2009, Aug 20]

[13] Ladefoged, P. Elements of Acoustic Phonetics. 2nd ed., Chicago: The University of Chicago Press, 1996.

[14] Johnson, K. Acoustic and Auditory Phonetics. 2nd ed. Blackwell Publishers Ltd., 2003.

[15] Wikipedia contributors. Pitch (music) [Online]. Available from: http://en.wikipedia.org/wiki/Pitch_(music) [2010, Aug 20]

[16] Stevens, S.S., Volkmann, J., and Newman, E.B. A scale for the measurement of the psychological magnitude pitch. Journal of the Acoustical Society of America 8 (1937): 185-190.

[17] Zwicker, E. Subdivision of the audible frequency range into critical bands. Journal of the Acoustical Society of America 33 (1961): 248.

[18] Fisher, R.A. The use of multiple measurements in taxonomic problems. Annals of Eugenics 7 (1936): 179–188.

[19] อุปกิตศิลปสาร, พระยา. หลักภาษาไทย. กรุงเทพมหานคร: ไทยวัฒนาพานิช, 2533.

[20] สุทธิวงศ์ พงศ์ไพบูลย์. หลักภาษาไทย. กรุงเทพมหานคร: ไทยวัฒนาพานิช, 2536.

[21] Chen, M.Y. Acoustic correlates of English and French nasalized vowels. Journal of the Acoustical Society of America 102 (1997): 2360-2370.

[22] Delattre, P.C., Liberman, A.M., and Cooper, F.S. Acoustic loci and transitional cues for consonants. Journal of the Acoustical Society of America 27 (1955): 769-773.

[23] Stevens, K.N. Acoustic Phonetics. Cambridge, MA: MIT Press, 1999.

[24] เทียนมณี บุญจุน. สัทศาสตร์: ระบบเสียงในภาษาอังกฤษและภาษาไทย. กรุงเทพมหานคร: อินเดียนสโตร์, 2548.

[25] ยุพาพร ฮวดศิริ, การจำแนกความแตกต่างของฐานกรณ์ชุดพยัญชนะต้นกักด้วยวิธีสมการจุดร่วม: การศึกษาภาษาม้ง เมี่ยน และมัล. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, ภาควิชาภาษาศาสตร์ คณะอักษรศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2550.

[26] Suchato, A. Classification of Stop Consonant Place of Articulation. Doctoral dissertation, Department of Electrical Engineering and Computer Science, Massachusetts Institute of Technology, 2004.

[27] Chomsky, N., and Halle, M. The Sound Pattern of English. New York: Harper & Row, 1968.

[28] Hasegawa-Johnson, M. et al. Landmark-based speech recognition: report of the 2004 Johns Hopkins summer workshop. ICASSP '05, 213-216. 2005.

[29] Lipeika, A., and Lipeikiene, J. On the use of the formant features in the dynamic time warping based recognition of isolated words. Informatica 19 (2008): 213-226.

[30] Tumtavitikul, A. The mid central vowel Schwa in Thai. The 4th International Symposium on Languages and Linguistics, Bangkok, 1996.

[31] Theraphan L-Thongkum, Rhythmic groups and stress groups in Thai. International Conference on Thai Studies, 115-124, 1984.

[32] Fowler, C. Coarticulation and therories of extrinsic timing. Journal of Phonetics 8 (1980): 113-133.

[33] Mok, P.K. Peggy. Language-specific realizations of syllable structure and vowel-to-vowel coarticulation. Journal of the Acoustical Society of America 128 (2010): 1346-1356.

[34] Chen, Y. The acoustic realization of vowels of Shanghai Chinese. Journal of Phonetics 36 (2008): 629-648.

[35] Boersma, P., and Weenink, D. Praat: doing phonetics by computer [Computer program]. Available from: http://www.praat.org/ [2012, June 18]

[36] Styler, W. Using Praat for Linguistic Research [Online]. Available from: http://savethevowels.org/praat/ [2012, July 10]

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
รายการคำที่มีการเปลี่ยนการกำกับหน่วยเสียง

จากพจนานุกรมคำศัพท์ในฐานข้อมูลเสียง LOTUS คำที่ถูกเปลี่ยนการกำกับหน่วยเสียงในการทดลอง ซึ่งเปลี่ยนการกำกับหน่วยเสียงสระอะกึ่งเสียงจาก /a/ ไปเป็น /q/ เป็นไปตามรายการต่อไปนี้

กตัญญู	k-q-z^-1|t-a-n^-0|j-uu-z^-0|
กติกา	k-q-z^-1|t-i-z^-1|k-aa-z^-0|
กบฏ	k-q-z^-1|b-o-t^-1|
กมล	k-q-z^-1|m-o-n^-0|
กรกฎาคม	k-q-z^-1|r-a-k^-3|k-q-z^-1|d-aa-z^-0|kh-o-m^-0|
กรกฎาคม	k-q-z^-1|r-q-z^-3|k-q-z^-1|d-aa-z^-0|kh-o-m^-0|
กรณี	k-@@-z^-0|r-q-z^-3|n-ii-z^-0|
กรรมกร	k-a-m^-0|m-q-z^-3|k-@@-n^-0|
กรรมการ	k-a-m^-0|m-q-z^-3|k-aa-n^-0|
กรรมพันธุ์	k-a-m^-0|m-q-z^-3|ph-a-n^-0|
กรรมวิธี	k-a-m^-0|m-q-z^-3|w-i-z^-3|th-ii-z^-0|
กรรมสิทธิ์	k-a-m^-0|m-q-z^-3|s-i-t^-1|
กรุงเทพมหานคร	kr-u-ng^-0|th-ee-p^-2|m-q-z^-3|h-aa-z^-4|n-a-z^-3|kh-@@-n^-0|
กรุณา	k-q-z^-1|r-u-z^-3|n-aa-z^-0|
กรุณาธิคุณ	k-q-z^-1|r-u-z^-3|n-aa-z^-0|th-i-z^-3|kh-u-n^-0|
กลยุทธ์	k-o-n^-0|l-q-z^-3|j-u-t^-3|
กลวิธาน	k-o-n^-0|l-q-z^-3|w-i-z^-3|th-aa-n^-0|
กลวิธี	k-o-n^-0|l-q-z^-3|w-i-z^-3|th-ii-z^-0|
กลาโหม	k-q-z^-1|l-aa-z^-0|h-oo-m^-4|
กวี	k-q-z^-1|w-ii-z^-0|
กวีนิพนธ์	k-q-z^-1|w-ii-z^-0|n-i-z^-3|ph-o-n^-0|
กษัตริย์	k-q-z^-1|s-a-t^-1|
กษัยการ	k-q-z^-1|s-a-j^-4|j-a-z^-3|k-aa-n^-0|
กสิกร	k-q-z^-1|s-i-z^-1|k-@@-n^-0|
กสิกรรม	k-q-z^-1|s-i-z^-1|k-a-m^-0|
กองทหาร	k-@@-ng^-0|th-q-z^-3|h-aa-n^-4|
กาญจนบุรี	k-aa-n^-0|c-q-z^-1|n-q-z^-3^|b-u-z^-1|r-ii-z^-0|
กายภาพ	k-aa-j^-0|j-q-z^-3|ph-aa-p^-2|
การตลาด	k-aa-n^-0|t-q-z^-1|l-aa-t^-1|
การทหาร	k-aa-n^-0|th-q-z^-3|h-aa-n^-4|
การผลิต	k-aa-n^-0|ph-q-z^-1|l-i-t^-1|
การสัมมนา	k-aa-n^-0|s-a-m^-4|m-q-z^-3|n-aa-z^-0|
การุณยวนิช	k-aa-z^-0|r-u-n^-0|j-q-z^-3|w-a-z^-3|n-i-t^-3|
การเกษตร	k-aa-n^-0|k-q-z^-1|s-ee-t^-1|
กิจกรรม	k-i-t^-1|c-q-z^-1|k-a-m^-0|
กิจการ	k-i-t^-1|c-q-z^-1|k-aa-n^-0|
กิจวัตร	k-i-t^-1|c-q-z^-1|w-a-t^-3|
กิตติขจร	k-i-t^-1|t-i-z^-1|kh-q-z^-1|c-@@-n^-0|
ขจรประศาสน์	kh-q-z^-1|c-@@-n^-0|pr-a-z^-1|s-aa-t^-1|
ขจัด	kh-q-z^-1|c-a-t^-1|

ขณะ	kh-q-z^-1|n-a-z^-1|
ขณะที่	kh-q-z^-1|n-a-z^-1|th-ii-z^-2|
ขณะนั้น	kh-q-z^-1|n-a-z^-1|n-a-n^-3|
ขณะนี้	kh-q-z^-1|n-a-z^-1|n-ii-z^-3|
ขณะเดียวกัน	kh-q-z^-1|n-a-z^-1|d-iia-w^-0|k-a-n^-0|
ขนบ	kh-q-z^-1|n-o-p^-1|
ขนมปัง	kh-q-z^-1|n-o-m^-4|p-a-ng^-0|
ขนาด	kh-q-z^-1|n-aa-t^-1|
ขบวน	kh-q-z^-1|b-uua-n^-0|
ขบวนการ	kh-q-z^-1|b-uua-n^-0|k-aa-n^-0|
ขยะ	kh-q-z^-1|j-a-z^-1|
ขยัน	kh-q-z^-1|j-a-n^-4|
ขยับ	kh-q-z^-1|j-a-p^-1|
ขยับขยาย	kh-q-z^-1|j-a-p^-1|kh-q-z^-1|j-aa-j^-4|
ขยาย	kh-q-z^-1|j-aa-j^-4|
ขัดสมาธิ	kh-a-t^-1|s-q-z^-1|m-aa-t^-1|
ขีปนาวุธ	kh-ii-z^-4|p-q-z^-1|n-aa-z^-0|w-u-t^-3|
ข้อสรุป	kh-@@-z^-2|s-q-z^-1|r-u-p^-1|
ข้อเสนอ	kh-@@-z^-2|s-q-z^-1|n-qq-z^-4|
ข้าพเจ้า	kh-aa-z^-2|ph-q-z^-3|c-a-w^-2|
ข้าราชการ	kh-aa-z^-2|r-aa-t^-2|ch-q-z^-3|k-aa-n^-0|
คณบดี	kh-q-z^-3|n-a-z^-3|b-@@-z^-0|d-ii-z^-0|
คณะ	kh-q-z^-3|n-a-z^-3|
คณาจารย์	kh-q-z^-3|n-aa-z^-0|c-aa-n^-0|
คดี	kh-q-z^-3|d-ii-z^-0|
คติ	kh-q-z^-3|t-i-z^-1|
คมนาคม	kh-q-z^-2|m-q-z^-2|n-aa-z^-0|kh-o-m^-0|
คริสตจักร	khr-i-t^-3|t-q-z^-1|c-a-k^-1|
คริสต์ศักราช	khr-i-t^-3|s-a-k^-1|k-q-z^-1|r-aa-t^-1|
คำอธิบาย	kh-a-m^-0|z-q-z^-1|th-i-z^-3|b-aa-j^-0|
คุณธรรม	kh-u-n^-0|n-q-z^-3|th-a-m^-0|
คุณภาพ	kh-u-n^-0|n-q-z^-3|ph-aa-p^-2|
คุณลักษณะ	kh-u-n^-0|n-q-z^-3|l-a-k^-3|s-q-z^-1|n-a-z^-1|
คุณศัพท์	kh-u-n^-0|n-q-z^-3|s-a-p^-1|
คุณสมบัติ	kh-u-n^-0|n-q-z^-3|s-o-m^-4|b-a-t^-1|
คุณูปการ	kh-u-z^-3|n-uu-z^-0|p-q-z^-1|k-aa-n^-0|
คุรุสภา	kh-u-z^-3|r-u-z^-3|s-q-z^-1|ph-aa-z^-0|
จตุจักร	c-q-z^-1|t-u-z^-1|c-a-k^-1|
จมูก	c-q-z^-1|m-uu-k^-1|
จริยธรรม	c-q-z^-1|r-i-z^-3|j-q-z^-3|th-a-m^-0|
จริยศาสตร์	c-q-z^-1|r-i-z^-3|j-q-z^-3|s-aa-t^-1|
จริยศึกษา	c-q-z^-1|r-i-z^-3|j-q-z^-3|s-v-k^-1|s-aa-z^-4|
จักรวาล	c-a-k^-1|kr-q-z^-1|w-aa-n^-0|
จัดแสดง	c-a-t^-1|s-q-z^-1|d-xx-ng^-0|
จิตรกร	c-i-t^-1|tr-q-z^-1|k-@@-n^-0|
จิตรกรรม	c-i-t^-1|tr-q-z^-1|k-a-m^-0|
จิตวิทยา	c-i-t^-1|t-q-z^-1|w-i-t^-3|th-q-z^-3|j-aa-z^-0|
จิตวิเคราะห์	c-i-t^-1|t-q-z^-1|w-i-z^-3|khr-@-z^-3|
จิตเภท	c-i-t^-1|t-q-z^-1|ph-ee-t^-2|
จิตเวช	c-i-t^-1|t-q-z^-1|w-ee-t^-2|
จิตแพทย์	c-i-t^-1|t-q-z^-1|ph-xx-t^-2|

จิรโรจน์	c-i-z^-1|r-q-z^-3|r-oo-t^-2|
จุลจอมเกล้า	c-u-n^-0|l-q-z^-3|c-@@-m^-0|kl-aa-w^-2|
จุลละทรัพย์	c-u-n^-0|l-q-z^-3|s-a-p^-3|
ฉกรรจ์	ch-q-z^-1|k-a-n^-0|
ฉบับ	ch-q-z^-1|b-a-p^-1|
ฉลาก	ch-q-z^-1|l-aa-k^-1|
ฉลาด	ch-q-z^-1|l-aa-t^-1|
ฉลุ	ch-q-z^-1|l-u-z^-1|
ฉะนั้น	ch-q-z^-1|n-a-n^-3|
ชนบท	ch-o-n^-0|n-q-z^-3|b-o-t^-1|
ชนวน	ch-q-z^-3|n-uua-n^-0|
ชนะ	ch-q-z^-3|n-a-z^-3|
ชนิด	ch-q-z^-3|n-i-t^-3|
ชรา	ch-q-z^-3|r-aa-z^-0|
ชลประทาน	ch-o-n^-0|pr-a-z^-1|th-aa-n^-0|
ชวลิต	ch-q-z^-3|w-q-z^-3|l-i-t^-3|
ชวา	ch-q-z^-3|w-aa-z^-0|
ชัยชนะ	ch-a-j^-0|ch-q-z^-3|n-a-z^-3|
ชัยภูมิ	ch-a-j^-0|j-q-z^-3|ph-uu-m^-0|
ชีพจร	ch-ii-p^-2|ph-q-z^-3|c-@@-n^-0|
ชีวภาพ	ch-ii-z^-0|w-q-z^-3|ph-aa-p^-2|
ชีววิทยา	ch-ii-z^-0|w-q-z^-3|w-i-t^-3|th-a-z^-3|j-aa-z^-0|
ชีวเคมี	ch-ii-z^-0|w-q-z^-3|kh-ee-z^-0|m-ii-z^-0|
ซอสสมา	s-@@-t^-3|s-q-z^-1|m-aa-z^-0|
ณรงค์	n-q-z^-3|r-o-ng^-0|
ดอสโตเยฟสกี	d-@@-t^-3|t-oo-z^-0|j-ee-p^-3|s-q-z^-1|k-ii-z^-2|
ดิษฐพันธุ์	d-i-t^-1|th-q-z^-1|ph-a-n^-0|
ดุลยภาพ	d-u-n^-0|l-q-z^-3|j-q-z^-3|ph-aa-p^-2|
ด้อยพัฒนา	d-@-j^-2|ph-a-t^-3|th-q-z^-3|n-aa-z^-0|
ตรรกวิทยา	t-a-k^-1|k-q-z^-1|w-i-t^-3|th-q-z^-3|j-aa-z^-0|
ตลก	t-q-z^-1|l-o-k^-1|
ตลอด	t-q-z^-1|l-@@-t^-1|
ตลอดจน	t-q-z^-1|l-@@-t^-1|c-o-n^-0|
ตลอดมา	t-q-z^-1|l-@@-t^-1|m-aa-z^-0|
ตลอดไป	t-q-z^-1|l-@@-t^-1|p-a-j^-0|
ตลาด	t-q-z^-1|l-aa-t^-1|
ตลาดมืด	t-q-z^-1|l-aa-t^-1|m-vv-t^-2|
ตอบสนอง	t-@@-p^-1|s-q-z^-1|n-@@-ng^-4|
ติณสูลานนท์	t-i-n^-0|n-q-z^-3|s-uu-z^-4|l-aa-z^-0|n-o-n^-0|
ต้นฉบับ	t-o-n^-2|ch-q-z^-1|b-a-p^-1|
ถนน	th-q-z^-1|n-o-n^-4|
ถนอม	th-q-z^-1|n-@@-m^-4|
ถนัด	th-q-z^-1|n-a-t^-1|
ถล่ม	th-q-z^-1|l-o-m^-1|
ถวาย	th-q-z^-1|w-aa-j^-4|
ทบวง	th-q-z^-3|b-uua-ng^-0|
ทมยันตี	th-o-m^-0|m-q-z^-3|j-a-n^-0|t-ii-z^-0|
ทยอย	th-q-z^-3|j-@@-j^-0|
ทรงคุณวุฒิ	s-o-ng^-0|kh-u-n^-0|n-q-z^-3|w-u-t^-3|
ทรมาน	th-@@-z^-0|r-q-z^-3|m-aa-n^-0|
ทรรศนะ	th-a-t^-3|s-q-z^-1|n-a-z^-3|

ทรัพยากร	s-a-p^-3|ph-q-z^-3|j-aa-z^-0|k-@@-n^-0|
ทฤษฎี	thr-i-t^-3|s-q-z^-1|d-ii-z^-0|
ทลาย	th-q-z^-3|l-aa-j^-0|
ทวารวดี	th-q-z^-3|w-aa-z^-0|r-q-z^-3|w-a-z^-3|d-ii-z^-0|
ทวิ	th-q-z^-3|w-i-z^-3|
ทวี	th-q-z^-3|w-ii-z^-0|
ทวีป	th-q-z^-3|w-ii-p^-2|
ทว่า	th-q-z^-3|w-aa-z^-2|
ทศวรรษ	th-o-t^-3|s-q-z^-1|w-a-t^-3|
ทหาร	th-q-z^-3|h-aa-n^-4|
ทหารบก	th-q-z^-3|h-aa-n^-4|b-o-k^-1|
ทันสมัย	th-a-n^-0|s-q-z^-1|m-a-j^-4|
ทัศนคติ	th-a-t^-3|s-q-z^-1|n-q-z^-3|kh-q-z^-3|t-i-z^-1|
ทัศนะ	th-a-t^-3|s-q-z^-1|n-a-z^-3|
ทุจริต	th-u-t^-3|c-q-z^-1|r-i-t^-1|
ทุจริต	th-u-z^-3|c-q-z^-1|r-i-t^-1|
ทุติยภูมิ	th-u-z^-3|t-i-z^-1|j-q-z^-3|ph-uu-m^-0|
ทุนทรัพย์	th-u-n^-0|n-q-z^-3|s-a-p^-3|
ธนบัตร	th-q-z^-3|n-q-z^-3|b-a-t^-1|
ธนาคาร	th-q-z^-3|n-aa-z^-0|kh-aa-n^-0|
ธรรมชาติ	th-a-m^-0|m-q-z^-3|ch-aa-t^-2|
ธรรมดา	th-a-m^-0|m-q-z^-3|d-aa-z^-0|
ธรรมนูญ	th-a-m^-0|m-q-z^-3|n-uu-n^-0|
ธรรมราชา	th-a-m^-0|m-q-z^-3|r-aa-z^-0|ch-aa-z^-0|
ธรรมราชาลิไท	th-a-m^-0|m-q-z^-3|r-aa-z^-0|ch-aa-z^-0|l-i-z^-3|th-a-j^-0|
ธรรมศาสตร์	th-a-m^-0|m-q-z^-3|s-aa-t^-1|
ธวาณัติก์	th-q-z^-3|w-aa-z^-0|n-a-t^-3|
ธีระสวัสดิ์	th-ii-z^-0|r-a-z^-3|s-q-z^-1|w-a-t^-1|
ธุรกิจ	th-u-z^-3|r-q-z^-3|k-i-t^-1|
นคร	n-q-z^-3|kh-@@-n^-0|
นครนายก	n-q-z^-3|kh-@@-n^-0|n-aa-z^-0|j-o-k^-3|
นครบาล	n-q-z^-3|kh-@@-n^-0|b-aa-n^-0|
นครศรีธรรมราช	n-q-z^-3|kh-@@-n^-0|s-ii-z^-4|th-a-m^-0|m-q-z^-3|r-aa-t^-2|
นริศรา	n-q-z^-3|r-i-t^-3|s-q-z^-1|r-aa-z^-0|
นริศรานุวัดติวงศ์	n-q-z^-3|r-i-t^-3|s-q-z^-1|r-aa-z^-0|n-u-z^-3|w-a-t^-3|t-i-z^-1|w-o-ng^-0|
นวนิยาย	n-q-z^-3|w-q-z^-3|n-i-z^-3|j-aa-j^-0|
นักจิตวิทยา	n-a-k^-3|c-i-t^-1|t-q-z^-1|w-i-t^-3|th-q-z^-3|j-aa-z^-0|
นักธุรกิจ	n-a-k^-3|th-u-z^-3|r-q-z^-3|k-i-t^-1|
นักมานุษยวิทยา	n-a-k^-3|m-aa-z^-0|n-u-t^-3|s-q-z^-1|j-q-z^-3|w-i-t^-3|th-q-z^-3|j-aa-z^-0|
นักวิทยาศาสตร์	n-a-k^-3|w-i-t^-3|th-q-z^-3|j-aa-z^-0|s-aa-t^-1|
นัยสำคัญ	n-a-j^-0|j-q-z^-3|s-a-m^-4|kh-a-n^-0|
นาฏศิลป์	n-aa-t^-2|t-q-z^-1|s-i-n^-4|
นามธรรม	n-aa-m^-0|m-q-z^-3|th-a-m^-0|
นายกรัฐมนตรี	n-aa-z^-0|j-o-k^-3|r-a-t^-3|th-q-z^-1|m-o-n^-0|tr-ii-z^-0|
นายทหาร	n-aa-j^-0|th-q-z^-3|h-aa-n^-4|
นำเสนอ	n-a-m^-0|s-q-z^-1|n-qq-z^-4|
นิทรรศการ	n-i-z^-3|th-a-t^-3|s-q-z^-1|k-aa-n^-0|
นิเวศวิทยา	n-i-z^-3|w-ee-t^-2|w-i-t^-3|th-q-z^-3|j-aa-z^-0|
นเรศวร	n-q-z^-3|r-ee-z^-0|s-uua-n^-4|
นโยบาย	n-q-z^-3|j-oo-z^-0|b-aa-j^-0|
บรมครู	b-@@-z^-0|r-o-m^-0|m-q-z^-3|khr-uu-z^-0|

บรมวงศ์เธอ	b-@@-z^-0|r-o-m^-0|m-q-z^-3|w-o-ng^-0|th-qq-z^-0|
บรรพชน	b-a-n^-0|ph-q-z^-3|ch-o-n^-0|
บรรพบุรุษ	b-a-n^-0|ph-q-z^-3|b-u-z^-1|r-u-t^-1|
บวรศักดิ์	b-q-z^-1|w-@@-n^-0|s-a-k^-1|
บารมี	b-aa-z^-0|r-q-z^-3|m-ii-z^-0|
บิณฑบาต	b-i-n^-0|th-q-z^-3|b-aa-t^-1|
บุคลากร	b-u-k^-1|kh-q-z^-3|l-aa-z^-0|k-@@-n^-0|
บุคลิก	b-u-k^-1|kh-q-z^-3|l-i-k^-3|
บุคลิกภาพ	b-u-k^-1|kh-q-z^-3|l-i-k^-3|k-a-z^-1|ph-aa-p^-2|
บุคลิกลักษณะ	b-u-k^-1|kh-q-z^-3|l-i-k^-3|l-a-k^-3|s-a-z^-1|n-a-z^-1|
บุพกาล	b-u-p^-1|ph-q-z^-3|k-aa-n^-0|
บูรณปกรณ์	b-uu-z^-0|r-q-z^-3|n-q-z^-3|p-q-z^-1|k-@@-n^-0|
บูรณภาพ	b-uu-z^-0|r-q-z^-3|n-q-z^-3|ph-aa-p^-2|
บูรณะ	b-uu-z^-0|r-q-z^-3|n-a-z^-3|
บูรณาการ	b-uu-z^-0|r-q-z^-3|n-aa-z^-0|k-aa-n^-0|
ปกติ	p-q-z^-1|k-q-z^-1|t-i-z^-1|
ปกติ	p-o-k^-1|k-q-z^-1|t-i-z^-1|
ปฏิกิริยา	p-q-z^-1|t-i-z^-1|k-i-z^-1|r-i-z^-3|j-aa-z^-0|
ปฏิชีวนะ	p-q-z^-1|t-i-z^-1|ch-ii-z^-0|w-a-z^-3|n-a-z^-3|
ปฏิญาณ	p-q-z^-1|t-i-z^-1|j-aa-n^-0|
ปฏิทิน	p-q-z^-1|t-i-z^-1|th-i-n^-0|
ปฏิบัติ	p-q-z^-1|t-i-z^-1|b-a-t^-1|
ปฏิบัติการ	p-q-z^-1|t-i-z^-1|b-a-t^-1|k-aa-n^-0|
ปฏิบัติงาน	p-q-z^-1|t-i-z^-1|b-a-t^-1|ng-aa-n^-0|
ปฏิบัติธรรม	p-q-z^-1|t-i-z^-1|b-a-t^-1|th-a-m^-0|
ปฏิปักษ์	p-q-z^-1|t-i-z^-1|p-a-k^-1|
ปฏิรูป	p-q-z^-1|t-i-z^-1|r-uu-p^-2|
ปฏิวัติ	p-q-z^-1|t-i-z^-1|w-a-t^-3|
ปฏิสัมพันธ์	p-q-z^-1|t-i-z^-1|s-a-m^-4|ph-a-n^-0|
ปฏิเสธ	p-q-z^-1|t-i-z^-1|s-ee-t^-1|
ปฐมภูมิ	p-q-z^-1|th-o-m^-4|ph-uu-m^-0|
ปรกติ	pr-o-k^-1|k-q-z^-1|t-i-z^-1|
ปรปักษ์	p-@@-z^-0|r-q-z^-3|p-a-k^-1|
ปรมาจารย์	p-@@-z^-0|r-q-z^-3|m-aa-z^-0|c-aa-n^-0|
ประชาธิปไตย	pr-a-z^-1|ch-aa-z^-0|th-i-p^-3|p-q-z^-1|t-a-j^-0|
ประทุษร้าย	pr-a-z^-1|th-u-t^-3|s-q-z^-1|r-aa-j^-3|
ประเทศราช	pr-a-z^-1|th-ee-t^-2|s-q-z^-1|r-aa-t^-2|
ปรากฏการณ์	pr-aa-z^-0|k-o-t^-1|t-q-z^-1|k-aa-n^-0|
ปรารถนา	pr-aa-t^-1|th-q-z^-1|n-aa-z^-4|
ปราศจาก	pr-aa-t^-1|s-q-z^-1|c-aa-k^-1|
ปริจเฉท	p-q-z^-1|r-i-t^-3|ch-ee-t^-1|
ปริญญา	p-q-z^-1|r-i-n^-0|j-aa-z^-0|
ปริญญาตรี	p-q-z^-1|r-i-n^-0|j-aa-z^-0|tr-ii-z^-0|
ปริตตา	p-q-z^-1|r-i-t^-3|t-aa-z^-0|
ปริมณฑล	p-q-z^-1|r-i-z^-3|m-o-n^-0|th-o-n^-0|
ปริมาณ	p-q-z^-1|r-i-z^-3|m-aa-n^-0|
ปริยาย	p-q-z^-1|r-i-z^-3|j-aa-j^-0|
ปลัด	p-q-z^-1|l-a-t^-1|
ปันยารชุน	p-a-n^-0|j-aa-z^-0|r-q-z^-3|ch-u-n^-0|
ปารุสกวัน	p-aa-z^-0|r-u-t^-3|s-q-z^-1|k-q-z^-1|w-a-n^-0|
ป่าสงวน	p-aa-z^-1|s-q-z^-1|ng-uua-n^-4|

ผจญภัย	ph-q-z^-1|c-o-n^-0|ph-a-j^-0|
ผนวก	ph-q-z^-1|n-uua-k^-1|
ผนึก	ph-q-z^-1|n-v-k^-1|
ผลผลิต	ph-o-n^-4|ph-q-z^-1|l-i-t^-1|
ผลิต	ph-q-z^-1|l-i-t^-1|
ผลิตผล	ph-q-z^-1|l-i-t^-1|t-q-z^-1|ph-o-n^-4|
ผลิตภัณฑ์	ph-q-z^-1|l-i-t^-1|t-q-z^-1|ph-a-n^-0|
ผลไม้	ph-o-n^-4|l-q-z^-3|m-aa-j^-3|
ผสม	ph-q-z^-1|s-o-m^-4|
ผสมผสาน	ph-q-z^-1|s-o-m^-4|ph-q-z^-1|s-aa-n^-4|
ผิดปกติ	ph-i-t^-1|p-o-k^-1|k-q-z^-1|t-i-z^-1|
ผู้ปฏิบัติงาน	ph-uu-z^-2|p-q-z^-1|t-i-z^-1|b-a-t^-1|ng-aa-n^-0|
ผู้ปฏิวัติ	ph-uu-z^-2|p-q-z^-1|t-i-z^-1|w-a-t^-3|
ผู้ผลิต	ph-uu-z^-2|ph-q-z^-1|l-i-t^-1|
ผู้ว่าราชการ	ph-uu-z^-2|w-aa-z^-2|r-aa-t^-2|ch-q-z^-3|k-aa-n^-0|
ผู้สนับสนุน	ph-uu-z^-2|s-q-z^-1|n-a-p^-1|s-q-z^-1|n-u-n^-4|
ผู้สมัคร	ph-uu-z^-2|s-q-z^-1|m-a-k^-1|
ฝรั่งเศส	f-q-z^-3|r-a-ng^-1|s-ee-t^-1|
ฝาผนัง	f-aa-z^-4|ph-q-z^-1|n-a-ng^-4|
พงศาวดาร	ph-o-ng^-0|s-aa-z^-4|w-q-z^-3|d-aa-n^-0|
พจนา	ph-o-t^-3|c-q-z^-1|n-aa-z^-0|
พนักงาน	ph-q-z^-3|n-a-k^-3|ng-aa-n^-0|
พยัญชนะ	ph-q-z^-3|j-a-n^-0|ch-a-z^-3|n-a-z^-3|
พยากรณ์	ph-q-z^-3|j-aa-z^-0|k-@@-n^-0|
พยาธิ	ph-q-z^-3|j-aa-t^-2|
พยาบาล	ph-q-z^-3|j-aa-z^-0|b-aa-n^-0|
พยายาม	ph-q-z^-3|j-aa-z^-0|j-aa-m^-0|
พยุง	ph-q-z^-3|j-u-ng^-0|
พรรณนา	ph-a-n^-0|n-q-z^-3|n-aa-z^-0|
พรสวรรค์	ph-@@-n^-0|s-q-z^-1|w-a-n^-4|
พรหมสูตร	phr-o-m^-0|m-q-z^-3|s-uu-t^-1|
พระจุลจอมเกล้า	phr-a-z^-3|c-u-n^-0|l-q-z^-3|c-@@-m^-0|kl-aa-w^-2|
พระธรรมศาสตร์	phr-a-z^-3|th-a-m^-0|m-q-z^-3|s-aa-t^-1|
พระบรมราชโองการ	phr-a-z^-3|b-@@-z^-0|r-o-m^-0|m-q-z^-3|r-aa-t^-2|ch-q-z^-3|z-oo-ng^-0|k-aa-n^-0|
พระบรมรูป	phr-a-z^-3|b-@@-z^-0|r-o-m^-0|m-q-z^-3|r-uu-p^-2|
พระพุทธรูป	phr-a-z^-3|ph-u-t^-3|th-q-z^-3|r-uu-p^-2|
พระพุทธศาสนา	phr-a-z^-3|ph-u-t^-3|th-q-z^-3|s-aa-t^-1|s-a-z^-1|n-aa-z^-4|
พระพุทธองค์	phr-a-z^-3|ph-u-t^-3|th-q-z^-3|z-o-ng^-0|
พระพุทธเจ้า	phr-a-z^-3|ph-u-t^-3|th-q-z^-3|c-a-w^-2|
พระพุทธเจ้า	phr-a-z^-3|ph-u-t^-3|th-q-z^-3|c-aa-w^-2|
พระมหากษัตริย์	phr-a-z^-3|m-q-z^-3|h-aa-z^-4|k-a-z^-1|s-a-t^-1|
พระราชดำรัส	phr-a-z^-3|r-aa-t^-2|ch-q-z^-3|d-a-m^-0|r-a-t^-1|
พระราชดำริ	phr-a-z^-3|r-aa-t^-2|ch-q-z^-3|d-a-m^-0|r-i-z^-1|
พระราชทาน	phr-a-z^-3|r-aa-t^-2|ch-q-z^-3|th-aa-n^-0|
พระราชบัญญัติ	phr-a-z^-3|r-aa-t^-2|ch-q-z^-3|b-a-n^-0|j-a-t^-1|
พระราชพิธี	phr-a-z^-3|r-aa-t^-2|ch-q-z^-3|ph-i-z^-3|th-ii-z^-0|
พระราชวัง	phr-a-z^-3|r-aa-t^-2|ch-q-z^-3|w-a-ng^-0|
พระราชวินิจฉัย	phr-a-z^-3|r-aa-t^-2|ch-q-z^-3|w-i-z^-3|n-i-t^-3|ch-a-j^-4|
พระราชอำนาจ	phr-a-z^-3|r-aa-t^-2|ch-q-z^-3|z-a-m^-0|n-aa-t^-2|
พระราชาคณะ	phr-a-z^-3|r-aa-z^-0|ch-aa-z^-0|kh-q-z^-3|n-a-z^-3|
พฤศจิกายน	phr-v-t^-3|s-q-z^-1|c-i-z^-1|k-aa-z^-0|j-o-n^-0|

พฤษภาคม	phr-v-t^-3|s-q-z^-1|ph-aa-z^-0|kh-o-m^-0|
พฤหัสบดี	ph-q-z^-3|r-v-z^-3|h-a-t^-1|s-q-z^-1|b-@@-z^-0|d-ii-z^-0|
พลพรรค	ph-o-n^-0|l-q-z^-3|ph-a-k^-3|
พลวัตร	ph-o-n^-0|l-q-z^-3|w-a-t^-3|
พละ	ph-q-z^-3|l-a-z^-3|
พละกำลัง	ph-q-z^-3|l-a-z^-3|k-a-m^-0|l-a-ng^-0|
พลัง	ph-q-z^-3|l-a-ng^-0|
พลังงาน	ph-q-z^-3|l-a-ng^-0|ng-aa-n^-0|
พลังน้ำ	ph-q-z^-3|l-a-ng^-0|n-aa-m^-3|
พลานามัย	ph-q-z^-3|l-aa-z^-0|n-aa-z^-0|m-a-j^-0|
พลเมือง	ph-o-n^-0|l-q-z^-3|m-vva-ng^-0|
พลเรือน	ph-o-n^-0|l-q-z^-3|r-vva-n^-0|
พัฒนา	ph-a-t^-3|th-q-z^-3|n-aa-z^-0|
พัฒนาการ	ph-a-t^-3|th-q-z^-3|n-aa-z^-0|k-aa-n^-0|
พันธบัตร	ph-a-n^-0|th-q-z^-3|b-a-t^-1|
พันธมิตร	ph-a-n^-0|th-q-z^-3|m-i-t^-3|
พันธุวิศวกรรม	ph-a-n^-0|th-u-z^-3|w-i-t^-3|s-q-z^-1|w-a-z^-3|k-a-m^-0|
พาณิชยกรรม	ph-aa-z^-0|n-i-t^-3|ch-q-z^-3|j-q-z^-3|k-a-m^-0|
พิจารณา	ph-i-z^-3|c-aa-z^-0|r-q-z^-3|n-aa-z^-0|
พิพิธภัณฑสถาน	ph-i-z^-3|ph-i-t^-3|th-q-z^-3|ph-a-n^-0|th-q-z^-3|s-q-z^-1|th-aa-n^-4|
พิพิธภัณฑ์	ph-i-z^-3|ph-i-t^-3|th-q-z^-3|ph-a-n^-0|
พิษณุโลก	ph-i-t^-3|s-q-z^-1|n-u-z^-3|l-oo-k^-2|
พิสดาร	ph-i-t^-3|s-q-z^-1|d-aa-n^-0|
พึงปรารถนา	ph-v-ng^-0|pr-aa-t^-1|th-q-z^-1|n-aa-z^-4|
พุทธทาส	ph-u-t^-3|th-q-z^-3|th-aa-t^-2|
พุทธธรรม	ph-u-t^-3|th-q-z^-3|th-a-m^-0|
พุทธบริษัท	ph-u-t^-3|th-q-z^-3|b-@@-z^-0|r-i-z^-3|s-a-t^-1|
พุทธประวัติ	ph-u-t^-3|th-q-z^-3|pr-a-z^-1|w-a-t^-1|
พุทธศตวรรษ	ph-u-t^-3|th-q-z^-3|s-a-t^-1|t-q-z^-1|w-a-t^-3|
พุทธศตวรรษ	ph-u-t^-3|th-q-z^-3|s-q-z^-1|t-q-z^-1|w-a-t^-3|
พุทธศักราช	ph-u-t^-3|th-q-z^-3|s-a-k^-1|k-a-z^-1|r-aa-t^-1|
พุทธศาสนา	ph-u-t^-3|th-q-z^-3|s-aa-t^-1|s-q-z^-1|n-aa-z^-4|
ภยันตราย	ph-q-z^-3|j-a-n^-0|t-q-z^-1|r-aa-j^-0|
ภรรยา	ph-a-n^-0|r-q-z^-3|j-aa-z^-0|
ภริยา	ph-q-z^-3|r-i-z^-3|j-aa-z^-0|
ภาพยนตร์	ph-aa-p^-2|ph-q-z^-3|j-o-n^-0|
ภารกิจ	ph-aa-z^-0|r-q-z^-3|k-i-t^-1|
มกราคม	m-q-z^-3|k-q-z^-1|r-aa-z^-0|kh-o-m^-0|
มติ	m-q-z^-3|t-i-z^-1|
มนัส	m-q-z^-3|n-a-t^-3|
มนุษยชน	m-q-z^-3|n-u-t^-3|s-q-z^-1|j-q-z^-3|ch-o-n^-0|
มนุษยชาติ	m-q-z^-3|n-u-t^-3|s-q-z^-1|j-q-z^-3|ch-aa-t^-2|
มนุษยสัมพันธ์	m-q-z^-3|n-u-t^-3|s-q-z^-1|j-q-z^-3|s-a-m^-4|ph-a-n^-0|
มนุษย์	m-q-z^-3|n-u-t^-3|
มรดก	m-@@-z^-0|r-q-z^-3|d-o-k^-1|
มลพิษ	m-o-n^-0|l-q-z^-3|ph-i-t^-3|
มลภาวะ	m-o-n^-0|l-q-z^-3|ph-aa-z^-0|w-a-z^-3|
มหัศจรรย์	m-q-z^-3|h-a-t^-1|s-q-z^-1|c-a-n^-0|
มหา	m-q-z^-3|h-aa-z^-4|
มหาชน	m-q-z^-3|h-aa-z^-4|ch-o-n^-0|
มหาดไทย	m-q-z^-3|h-aa-t^-1|th-a-j^-0|

มหาประเทศ	m-q-z^-3|h-aa-z^-4|pr-a-z^-1|th-ee-t^-2|
มหายาน	m-q-z^-3|h-aa-z^-4|j-aa-n^-0|
มหาราช	m-q-z^-3|h-aa-z^-4|r-aa-t^-2|
มหาวิทยาลัย	m-q-z^-3|h-aa-z^-4|w-i-t^-3|th-q-z^-3|j-aa-z^-0|l-a-j^-0|
มหาศาล	m-q-z^-3|h-aa-z^-4|s-aa-n^-4|
มหาสมุทร	m-q-z^-3|h-aa-z^-4|s-q-z^-1|m-u-t^-1|
มหาอำนาจ	m-q-z^-3|h-aa-z^-4|z-a-m^-0|n-aa-t^-2|
มัธยม	m-a-t^-3|th-q-z^-3|j-o-m^-0|
มันสมอง	m-a-n^-0|s-q-z^-1|m-@@-ng^-4|
มาตรการ	m-aa-t^-2|tr-q-z^-1|k-aa-n^-0|
มาตรฐาน	m-aa-t^-2|tr-q-z^-1|th-aa-n^-4|
มานุษยวิทยา	m-aa-z^-0|n-u-t^-3|s-q-z^-1|j-q-z^-3|w-i-t^-3|th-q-z^-3|j-aa-z^-0|
มารยาท	m-aa-z^-0|r-q-z^-3|j-aa-t^-2|
มาสโลว์	m-aa-z^-0|s-q-z^-1|l-oo-z^-0|
มุสลิม	m-u-t^-3|s-q-z^-1|l-i-m^-0|
มโหฬาร	m-q-z^-3|h-oo-z^-4|l-aa-n^-0|
ยถากรรม	j-q-z^-3|th-aa-z^-4|k-a-m^-0|
ยุทธการ	j-u-t^-3|th-q-z^-3|k-aa-n^-0|
ยุทธศาสตร์	j-u-t^-3|th-q-z^-3|s-aa-t^-1|
ยโสธร	j-q-z^-3|s-oo-z^-4|th-@@-n^-0|
รณรงค์	r-o-n^-0|n-q-z^-3|r-o-ng^-0|
รหัส	r-q-z^-3|h-a-t^-1|
รัชกาล	r-a-t^-3|ch-q-z^-3|k-aa-n^-0|
รัชมังคลาภิเษก	r-a-t^-3|ch-q-z^-3|m-a-ng^-0|khl-aa-z^-0|ph-i-z^-3|s-ee-k^-1|
รัชสมัย	r-a-t^-3|ch-q-z^-3|s-q-z^-1|m-a-j^-4|
รัฐธรรมนูญ	r-a-t^-3|th-q-z^-1|th-a-m^-0|m-q-z^-3|n-uu-n^-0|
รัฐบาล	r-a-t^-3|th-q-z^-1|b-aa-n^-0|
รัฐประหาร	r-a-t^-3|th-q-z^-1|pr-a-z^-1|h-aa-n^-4|
รัฐมนตรี	r-a-t^-3|th-q-z^-1|m-o-n^-0|tr-ii-z^-0|
รัฐมนตรีว่าการ	r-a-t^-3|th-q-z^-1|m-o-n^-0|tr-ii-z^-0|w-aa-z^-2|k-aa-n^-0|
รัฐวิสาหกิจ	r-a-t^-3|w-i-z^-3|s-aa-z^-4|h-q-z^-1|k-i-t^-1|
รัฐศาสตร์	r-a-t^-3|th-q-z^-1|s-aa-t^-1|
รัฐสภา	r-a-t^-3|th-q-z^-1|s-q-z^-1|ph-aa-z^-0|
รัฐสภา	r-a-t^-3|th-q-z^-3|s-q-z^-1|ph-aa-z^-0|
รัตนโกสินทร์	r-a-t^-3|t-q-z^-1|n-q-z^-3|k-oo-z^-0|s-i-n^-4|
รัตนโกเศศ	r-a-t^-3|t-q-z^-1|n-q-z^-3|k-oo-z^-0|s-ee-t^-1|
รับราชการ	r-a-p^-3|r-aa-t^-2|ch-q-z^-3|k-aa-n^-0|
ราชการ	r-aa-t^-2|ch-q-z^-3|k-aa-n^-0|
ราชครู	r-aa-t^-2|ch-q-z^-3|khr-uu-z^-0|
ราชธน	r-aa-t^-2|ch-q-z^-3|th-o-n^-0|
ราชบัณฑิต	r-aa-t^-2|ch-q-z^-3|b-a-n^-0|d-i-t^-1|
ราชประเพณี	r-aa-t^-2|ch-q-z^-3|pr-a-z^-1|ph-ee-z^-0|n-ii-z^-0|
ราชมงคล	r-aa-t^-2|ch-q-z^-3|m-o-ng^-0|kh-o-n^-0|
ราชสมบัติ	r-aa-t^-2|ch-q-z^-3|s-o-m^-4|b-a-t^-1|
ราชอาณาจักร	r-aa-t^-2|ch-q-z^-3|z-aa-z^-0|n-aa-z^-0|c-a-k^-1|
รามเกียรติ์	r-aa-m^-0|m-q-z^-3|k-iia-n^-0|
ราษฎร	r-aa-t^-2|s-q-z^-1|d-@@-n^-0|
รูปธรรม	r-uu-p^-2|p-q-z^-1|th-a-m^-0|
ร่วมสมัย	r-uua-m^-2|s-q-z^-1|m-a-j^-4|
ละเอียดลออ	l-a-z^-3|z-iia-t^-1|l-q-z^-3|z-@@-z^-0|
ลักษณะ	l-a-k^-3|s-q-z^-1|n-a-z^-1|

ลูกผสม	l-uu-k^-2|ph-q-z^-1|s-o-m^-4|
วนเกษตร	w-q-z^-3|n-q-z^-3|k-q-z^-1|s-ee-t^-1|
วรรณกรรม	w-a-n^-0|n-q-z^-3|k-a-m^-0|
วรรณคดี	w-a-n^-0|n-q-z^-3|kh-q-z^-3|d-ii-z^-0|
วรรณศิลป์	w-a-n^-0|n-q-z^-3|s-i-n^-4|
วรศักดิ์	w-@@-z^-0|r-q-z^-3|s-a-k^-1|
วลี	w-q-z^-3|l-ii-z^-0|
วสันต์	w-q-z^-3|s-a-n^-4|
วัชพืช	w-a-t^-3|ch-q-z^-3|ph-vv-t^-2|
วัฒนธรรม	w-a-t^-3|th-q-z^-3|n-q-z^-3|th-a-m^-0|
วัสดุ	w-a-t^-3|s-q-z^-1|d-u-z^-1|
วาทศิลป์	w-aa-z^-0|th-q-z^-3|s-i-n^-4|
วารสาร	w-aa-z^-0|r-q-z^-3|s-aa-n^-4|
วาสนา	w-aa-t^-2|s-q-z^-1|n-aa-z^-4|
วิกฤตการณ์	w-i-z^-3|kr-i-t^-1|t-q-z^-1|k-aa-n^-0|
วิกฤติการณ์	w-i-z^-3|kr-i-t^-1|t-q-z^-1|k-aa-n^-0|
วิกลจริต	w-i-z^-3|k-o-n^-0|c-q-z^-1|r-i-t^-1|
วิจารณญาณ	w-i-z^-3|c-aa-z^-0|r-q-z^-3|n-q-z^-3|j-aa-n^-0|
วิทยา	w-i-t^-3|th-q-z^-3|j-aa-z^-0|
วิทยาการ	w-i-t^-3|th-q-z^-3|j-aa-z^-0|k-aa-n^-0|
วิทยาลัย	w-i-t^-3|th-q-z^-3|j-aa-z^-0|l-a-j^-0|
วิทยาศาสตร์	w-i-t^-3|th-q-z^-3|j-aa-z^-0|s-aa-t^-1|
วิทยาเขต	w-i-t^-3|th-q-z^-3|j-aa-z^-0|kh-ee-t^-1|
วิทยุ	w-i-t^-3|th-q-z^-3|j-u-z^-3|
วินาศกรรม	w-i-z^-3|n-aa-t^-2|s-q-z^-1|k-a-m^-0|
วิวัฒนาการ	w-i-z^-3|w-a-t^-3|th-q-z^-3|n-aa-z^-0|k-aa-n^-0|
วิศว	w-i-t^-3|s-q-z^-1|w-a-z^-3|
วิศวกร	w-i-t^-3|s-q-z^-1|w-q-z^-3|k-@@-n^-0|
วิศวกรรม	w-i-t^-3|s-q-z^-1|w-q-z^-3|k-a-m^-0|
วิศวกรรมศาสตร์	w-i-t^-3|s-q-z^-1|w-q-z^-3|k-a-m^-0|m-q-z^-3|s-aa-t^-1|
วิสัทลักษณ์	w-i-z^-3|s-a-t^-1|th-q-z^-3|l-a-k^-3|
วิเทศธนกิจ	w-i-z^-3|th-ee-t^-2|th-q-z^-3|n-q-z^-3|k-i-t^-1|
วีรบุรุษ	w-ii-z^-0|r-q-z^-3|b-u-z^-1|r-u-t^-1|
วุฒิสภา	w-u-t^-3|th-i-z^-3|s-q-z^-1|ph-aa-z^-0|
ศตวรรษ	s-q-z^-1|t-q-z^-1|w-a-t^-3|
ศักยภาพ	s-a-k^-1|k-q-z^-1|j-q-z^-3|ph-aa-p^-2|
ศักราช	s-a-k^-1|k-q-z^-1|r-aa-t^-1|
ศาสดา	s-aa-t^-1|s-q-z^-1|d-aa-z^-0|
ศาสนจักร	s-aa-t^-1|s-q-z^-1|n-q-z^-3|c-a-k^-1|
ศาสนสถาน	s-aa-t^-1|s-q-z^-1|n-q-z^-3|s-q-z^-1|th-aa-n^-4|
ศาสนา	s-aa-t^-1|s-q-z^-1|n-aa-z^-4|
ศิรินวกุล	s-i-z^-1|r-i-z^-1|n-q-z^-3|w-q-z^-3|k-u-n^-0|
ศิลปกรรม	s-i-n^-4|l-q-z^-3|p-q-z^-1|k-a-m^-0|
ศิลปวัฒนธรรม	s-i-n^-4|l-q-z^-3|p-q-z^-1|w-a-t^-3|th-q-z^-3|n-a-z^-3|th-a-m^-0|
ศิลปวัตถุ	s-i-n^-4|l-q-z^-3|p-q-z^-1|w-a-t^-3|th-u-z^-1|
ศิลปวิทยา	s-i-n^-4|l-q-z^-3|p-q-z^-1|w-i-t^-3|th-a-z^-3|j-aa-z^-0|
ศิลปหัตถกรรม	s-i-n^-4|l-q-z^-3|p-q-z^-1|h-a-t^-1|th-q-z^-1|k-a-m^-0|
ศิลปะ	s-i-n^-4|l-q-z^-3|p-a-z^-1|
ศิลปากร	s-i-n^-4|l-q-z^-3|p-aa-z^-0|k-@@-n^-0|
ศิลปิน	s-i-n^-4|l-q-z^-3|p-i-n^-0|
ศิวลึงค์	s-i-z^-1|w-q-z^-3|l-v-ng^-0|

ศีลธรรม	s-ii-n^-4|l-q-z^-3|th-a-m^-0|
สกปรก	s-o-k^-1|k-q-z^-1|pr-o-k^-1|
สกัด	s-q-z^-1|k-a-t^-1|
สกุล	s-q-z^-1|k-u-n^-0|
สงบ	s-q-z^-1|ng-o-p^-1|
สงบสุข	s-q-z^-1|ng-o-p^-1|s-u-k^-1|
สง่า	s-q-z^-1|ng-aa-z^-1|
สตัฟฟ์	s-q-z^-1|t-a-p^-3|
สติ	s-q-z^-1|t-i-z^-1|
สติปัญญา	s-q-z^-1|t-i-z^-1|p-a-n^-0|j-aa-z^-0|
สถาน	s-q-z^-1|th-aa-n^-4|
สถานการณ์	s-q-z^-1|th-aa-z^-4|n-q-z^-3|k-aa-n^-0|
สถานที่	s-q-z^-1|th-aa-n^-4|th-ii-z^-2|
สถานภาพ	s-q-z^-1|th-aa-z^-4|n-q-z^-3|ph-aa-p^-2|
สถานะ	s-q-z^-1|th-aa-z^-4|n-a-z^-3|
สถานี	s-q-z^-1|th-aa-z^-4|n-ii-z^-0|
สถาบัน	s-q-z^-1|th-aa-z^-4|b-a-n^-0|
สถาปนา	s-q-z^-1|th-aa-z^-4|p-a-z^-1|n-aa-z^-0|
สถาปัตยกรรม	s-q-z^-1|th-aa-z^-4|p-a-t^-1|t-q-z^-1|j-q-z^-3|k-a-m^-0|
สถิติ	s-q-z^-1|th-i-z^-1|t-i-z^-1|
สถูป	s-q-z^-1|th-uu-p^-1|
สนทนา	s-o-n^-4|th-q-z^-3|n-aa-z^-0|
สนอง	s-q-z^-1|n-@@-ng^-4|
สนองตอบ	s-q-z^-1|n-@@-ng^-4|t-@@-p^-1|
สนับสนุน	s-q-z^-1|n-a-p^-1|s-q-z^-1|n-u-n^-4|
สนั่น	s-q-z^-1|n-a-n^-1|
สนาม	s-q-z^-1|n-aa-m^-4|
สนามรบ	s-q-z^-1|n-aa-m^-4|r-o-p^-3|
สนิท	s-q-z^-1|n-i-t^-1|
สนิทสนม	s-q-z^-1|n-i-t^-1|s-q-z^-1|n-o-m^-4|
สนุก	s-q-z^-1|n-u-k^-1|
สนุกสนาน	s-q-z^-1|n-u-k^-1|s-q-z^-1|n-aa-n^-4|
สบถ	s-q-z^-1|b-o-t^-1|
สบาย	s-q-z^-1|b-aa-j^-0|
สบายใจ	s-q-z^-1|b-aa-j^-0|c-a-j^-0|
สภา	s-q-z^-1|ph-aa-z^-0|
สภาพ	s-q-z^-1|ph-aa-p^-2|
สภาพการณ์	s-q-z^-1|ph-aa-p^-2|k-aa-n^-0|
สภาพแวดล้อม	s-q-z^-1|ph-aa-p^-2|w-xx-t^-2|l-@@-m^-3|
สภาวการณ์	s-q-z^-1|ph-aa-z^-0|w-q-z^-3|k-aa-n^-0|
สภาวะ	s-q-z^-1|ph-aa-z^-0|w-a-z^-3|
สมณศักดิ์	s-q-z^-1|m-q-z^-3|n-q-z^-3|s-a-k^-1|
สมดุลยภาพ	s-o-m^-4|d-u-n^-0|j-q-z^-3|ph-aa-p^-2|
สมถะ	s-q-z^-1|m-q-z^-3|th-a-z^-1|
สมบูรณาญาสิทธิราชย์	s-o-m^-4|b-uu-z^-0|r-q-z^-3|n-aa-z^-0|j-aa-z^-0|s-i-t^-1|th-i-z^-3|r-aa-t^-2|
สมรรถนะ	s-q-z^-1|m-a-t^-3|th-q-z^-1|n-a-z^-3|
สมรรถภาพ	s-q-z^-1|m-a-t^-1|th-q-z^-1|ph-aa-p^-2|
สมอง	s-q-z^-1|m-@@-ng^-4|
สมอเรียง	s-q-z^-1|m-@@-z^-4|r-iia-ng^-0|
สมัคร	s-q-z^-1|m-a-k^-1|
สมัครใจ	s-q-z^-1|m-a-k^-1|c-a-j^-0|

สมัย	s-q-z^-1|m-a-j^-4|
สมัยก่อน	s-q-z^-1|m-a-j^-4|k-@@-n^-1|
สมาคม	s-q-z^-1|m-aa-z^-0|kh-o-m^-0|
สมาชิก	s-q-z^-1|m-aa-z^-0|ch-i-k^-3|
สมาชิกภาพ	s-q-z^-1|m-aa-z^-0|ch-i-k^-3|k-q-z^-1|ph-aa-p^-2|
สมาธิ	s-q-z^-1|m-aa-z^-0|th-i-z^-3|
สมาน	s-q-z^-1|m-aa-n^-4|
สมุด	s-q-z^-1|m-u-t^-1|
สมุน	s-q-z^-1|m-u-n^-4|
สมุย	s-q-z^-1|m-u-j^-4|
สม่ำเสมอ	s-q-z^-1|m-a-m^-1|s-q-z^-1|m-qq-z^-4|
สยาม	s-q-z^-1|j-aa-m^-4|
สรณะ	s-q-z^-1|r-q-z^-3|n-a-z^-3|
สรรพสิ่ง	s-a-p^-1|ph-q-z^-3|s-i-ng^-1|
สระ	s-q-z^-1|r-a-z^-1|
สรีระ	s-q-z^-1|r-ii-z^-0|r-a-z^-3|
สรุป	s-q-z^-1|r-u-p^-1|
สฤษดิ์	s-q-z^-1|r-i-t^-1|
สละ	s-q-z^-1|l-a-z^-1|
สลักสำคัญ	s-q-z^-1|l-a-k^-1|s-a-m^-4|kh-a-n^-0|
สลับ	s-q-z^-1|l-a-p^-1|
สลัม	s-q-z^-1|l-a-m^-0|
สลาย	s-q-z^-1|l-aa-j^-4|
สวรรค์	s-q-z^-1|w-a-n^-4|
สวัสดิการ	s-q-z^-1|w-a-t^-1|d-i-z^-1|k-aa-n^-0|
สวัสดิภาพ	s-q-z^-1|w-a-t^-1|d-i-z^-1|ph-aa-p^-2|
สวัสดิ์	s-q-z^-1|w-a-t^-1|
สวีเดน	s-q-z^-1|w-ii-z^-0|d-e-n^-0|
สว่าง	s-q-z^-1|w-aa-ng^-1|
สหกรณ์	s-q-z^-1|h-q-z^-1|k-@@-n^-0|
สหประชาชาติ	s-q-z^-1|h-q-z^-1|pr-a-z^-1|ch-aa-z^-0|ch-aa-t^-2|
สหพันธ์	s-q-z^-1|h-q-z^-1|ph-a-n^-0|
สหภาพ	s-q-z^-1|h-q-z^-1|ph-aa-p^-2|
สหภาพโซเวียต	s-q-z^-1|h-q-z^-1|ph-aa-p^-2|s-oo-z^-0|w-iia-t^-2|
สหรัฐ	s-q-z^-1|h-q-z^-1|r-a-t^-3|
สหรัฐอเมริกา	s-q-z^-1|h-q-z^-1|r-a-t^-3|z-q-z^-1|m-ee-z^-0|r-i-z^-3|k-aa-z^-0|
สหวิทยาลัย	s-q-z^-1|h-q-z^-1|w-i-t^-3|th-q-z^-3|j-aa-z^-0|l-a-j^-0|
สหอาชีวะ	s-q-z^-1|h-q-z^-1|z-aa-z^-0|ch-ii-z^-0|w-a-z^-3|
สังคมวิทยา	s-a-ng^-4|kh-o-m^-0|w-i-t^-3|th-q-z^-3|j-aa-z^-0|
สัจธรรม	s-a-t^-1|c-q-z^-1|th-a-m^-0|
สัญชาตญาณ	s-a-n^-4|ch-aa-t^-2|t-q-z^-1|j-aa-n^-0|
สัญลักษณ์	s-a-n^-4|j-q-z^-3|l-a-k^-3|
สันสกฤต	s-a-n^-4|s-q-z^-1|kr-i-t^-1|
สัมปทาน	s-a-m^-4|p-q-z^-1|th-aa-n^-0|
สัมพันธภาพ	s-a-m^-4|ph-a-n^-0|th-q-z^-3|ph-aa-p^-2|
สัมพันธมิตร	s-a-m^-4|ph-a-n^-0|th-q-z^-3|m-i-t^-3|
สัมมนา	s-a-m^-4|m-q-z^-3|n-aa-z^-0|
สาธารณชน	s-aa-z^-4|th-aa-z^-0|r-q-z^-3|n-q-z^-3|ch-o-n^-0|
สาธารณประโยชน์	s-aa-z^-4|th-aa-z^-0|r-q-z^-3|n-q-z^-3|pr-a-z^-1|j-oo-t^-1|
สาธารณรัฐ	s-aa-z^-4|th-aa-z^-0|r-q-z^-3|n-q-z^-3|r-a-t^-3|
สาธารณสุข	s-aa-z^-4|th-aa-z^-0|r-q-z^-3|n-q-z^-3|s-u-k^-1|

สาธารณะ	s-aa-z^-4|th-aa-z^-0|r-q-z^-3|n-a-z^-3|
สาธารณูปโภค	s-aa-z^-4|th-aa-z^-0|r-q-z^-3|n-uu-z^-0|p-q-z^-1|ph-oo-k^-2|
สามเณร	s-aa-m^-4|m-q-z^-3|n-ee-n^-0|
สารคดี	s-aa-z^-4|r-q-z^-3|kh-q-z^-3|d-ii-z^-0|
สารวัตร	s-aa-z^-4|r-q-z^-3|w-a-t^-3|
สารสนเทศ	s-aa-z^-4|r-q-z^-3|s-o-n^-4|th-ee-t^-2|
สุขภาพ	s-u-k^-1|kh-q-z^-1|ph-aa-p^-2|
สุขภาพจิต	s-u-k^-1|kh-q-z^-1|ph-aa-p^-2|c-i-t^-1|
สุขศึกษา	s-u-k^-1|kh-q-z^-1|s-v-k^-1|s-aa-z^-4|
สุขสบาย	s-u-k^-1|s-q-z^-1|b-aa-j^-0|
สุขเวทนา	s-u-k^-1|kh-q-z^-1|w-ee-z^-0|th-q-z^-3|n-aa-z^-0|
สุจริต	s-u-t^-1|c-q-z^-1|r-i-t^-1|
สุนทราภรณ์	s-u-n^-4|th-q-z^-3|r-aa-z^-0|ph-@@-n^-0|
สุนทรียภาพ	s-u-n^-4|th-q-z^-3|r-ii-z^-0|j-q-z^-3|ph-aa-p^-2|
สุนทรเวช	s-u-n^-4|th-@@-z^-0|r-q-z^-3|w-ee-t^-2|
สเมอร์ดิยาคอฟ	s-q-z^-1|m-qq-z^-0|d-i-z^-1|j-aa-z^-0|kh-@@-p^-3|
สโมสร	s-q-z^-1|m-oo-z^-0|s-@@-n^-4|
หม่อมราชวงศ์	m-@-m^-1|r-aa-t^-2|ch-q-z^-3|w-o-ng^-0|
หัตถกรรม	h-a-t^-1|th-q-z^-1|k-a-m^-0|
หายนะ	h-aa-j^-4|j-q-z^-3|n-a-z^-3|
ห้องสมุด	h-@-ng^-2|s-q-z^-1|m-u-t^-1|
อคติ	z-q-z^-1|kh-q-z^-3|t-i-z^-1|
องคภาวะ	z-o-ng^-0|kh-q-z^-3|ph-aa-z^-0|w-a-z^-3|
อดิเรกสาร	z-q-z^-1|d-i-z^-1|r-ee-k^-1|s-aa-n^-4|
อดีต	z-q-z^-1|d-ii-t^-1|
อธิการบดี	z-q-z^-1|th-i-z^-3|k-aa-n^-0|b-@@-z^-0|d-ii-z^-0|
อธิบดี	z-q-z^-1|th-i-p^-3|b-@@-z^-0|d-ii-z^-0|
อธิบาย	z-q-z^-1|th-i-z^-3|b-aa-j^-0|
อธิปัตย์	z-q-z^-1|th-i-z^-3|p-a-t^-1|
อธิปไตย	z-q-z^-1|th-i-p^-3|p-q-z^-1|t-a-j^-0|
อธิษฐาน	z-q-z^-1|th-i-t^-3|th-aa-n^-4|
อนัตตา	z-q-z^-1|n-a-t^-3|t-aa-z^-0|
อนาคต	z-q-z^-1|n-aa-z^-0|kh-o-t^-3|
อนามัย	z-q-z^-1|n-aa-z^-0|m-a-j^-0|
อนิจจัง	z-q-z^-1|n-i-t^-3|c-a-ng^-0|
อนึ่ง	z-q-z^-1|n-v-ng^-1|
อนุญาต	z-q-z^-1|n-u-z^-3|j-aa-t^-2|
อนุบาล	z-q-z^-1|n-u-z^-3|b-aa-n^-0|
อนุพากย์	z-q-z^-1|n-u-z^-3|ph-aa-k^-2|
อนุมัติ	z-q-z^-1|n-u-z^-3|m-a-t^-3|
อนุมาน	z-q-z^-1|n-u-z^-1|m-aa-n^-0|
อนุมาน	z-a-z^-1|n-u-z^-3|m-aa-n^-0|
อนุมานราชธน	z-q-z^-1|n-u-z^-3|m-aa-n^-0|r-aa-t^-2|ch-a-z^-3|th-o-n^-0|
อนุรักษ์	z-q-z^-1|n-u-z^-3|r-a-k^-3|
อนุสรณ์	z-q-z^-1|n-u-z^-3|s-@@-n^-4|
อนุโลม	z-q-z^-1|n-u-z^-3|l-oo-m^-0|
อพยพ	z-o-p^-1|ph-q-z^-3|j-o-p^-3|
อภัย	z-q-z^-1|ph-a-j^-0|
อภัยทาน	z-q-z^-1|ph-a-j^-0|j-q-z^-3|th-aa-n^-0|
อภัยธรรม	z-q-z^-1|ph-a-j^-0|j-q-z^-3|th-a-m^-0|
อภัยวงศ์	z-q-z^-1|ph-a-j^-0|w-o-ng^-0|

อภิปราย	z-q-z^-1|ph-i-z^-3|pr-aa-j^-0|
อมรวิวัฒน์	z-q-z^-1|m-@@-n^-0|w-i-z^-3|w-a-t^-3|
อมเรศ	z-q-z^-1|m-q-z^-3|r-ee-t^-2|
อยุติธรรม	z-q-z^-1|j-u-t^-3|t-i-z^-1|th-a-m^-0|
อรหันต์	z-@@-z^-0|r-q-z^-3|h-a-n^-4|
อริยบุคคล	z-q-z^-1|r-i-z^-3|j-q-z^-3|b-u-k^-1|kh-o-n^-0|
อริยสัจ	z-q-z^-1|r-i-z^-3|j-q-z^-3|s-a-t^-1|
อวัยวะ	z-q-z^-1|w-a-j^-0|j-a-z^-3|w-a-z^-3|
อัจฉริยภาพ	z-a-t^-1|ch-q-z^-1|r-i-z^-3|j-q-z^-3|ph-aa-p^-2|
อัจฉริยะ	z-a-t^-1|ch-q-z^-1|r-i-z^-3|j-a-z^-3|
อัญมณี	z-a-n^-0|j-q-z^-3|m-q-z^-3|n-ii-z^-0|
อัตตาธิปไตย	z-a-t^-1|t-aa-z^-0|th-i-p^-3|p-q-z^-1|t-a-j^-0|
อัตภาพ	z-a-t^-1|t-q-z^-1|ph-aa-p^-2|
อัตลักษณ์	z-a-t^-1|t-q-z^-1|l-a-k^-3|
อัตโนมัติ	z-a-t^-1|t-q-z^-1|n-oo-z^-0|m-a-t^-3|
อันตราย	z-a-n^-0|t-q-z^-1|r-aa-j^-0|
อัปมงคล	z-a-p^-1|p-q-z^-1|m-o-ng^-0|kh-o-n^-0|
อัปยศ	z-a-p^-1|p-q-z^-1|j-o-t^-3|
อัศจรรย์	z-a-t^-1|s-q-z^-1|c-a-n^-0|
อาการนาม	z-aa-z^-0|k-aa-n^-0|r-q-z^-3|n-aa-m^-0|
อาคเนย์	z-aa-z^-0|kh-q-z^-3|n-ee-z^-0|
อาชญากรรม	z-aa-t^-1|ch-q-z^-3|j-aa-z^-0|k-a-m^-0|
อาตมา	z-aa-t^-1|t-q-z^-1|m-aa-z^-0|
อามิสทาน	z-aa-z^-0|m-i-t^-3|s-q-z^-1|th-aa-n^-0|
อายตนะ	z-aa-z^-0|j-q-z^-3|t-q-z^-1|n-a-z^-3|
อารยชน	z-aa-z^-0|r-q-z^-3|j-q-z^-3|ch-o-n^-0|
อารยธรรม	z-aa-z^-0|r-q-z^-3|j-q-z^-3|th-a-m^-0|
อาสาสมัคร	z-aa-z^-0|s-aa-z^-4|s-q-z^-1|m-a-k^-1|
อิสระ	z-i-t^-1|s-q-z^-1|r-a-z^-1|
อิสลาม	z-i-z^-1|s-q-z^-1|l-aa-m^-0|
อุณหภูมิ	z-u-n^-0|h-q-z^-1|ph-uu-m^-0|
อุดมศึกษา	z-u-t^-1|d-o-m^-0|m-q-z^-3|s-v-k^-1|s-aa-z^-4|
อุดมศึกษา	z-u-z^-1|d-o-m^-0|m-q-z^-3|s-v-k^-1|s-aa-z^-4|
อุตสาหกรรม	z-u-t^-1|s-aa-z^-4|h-q-z^-1|k-a-m^-0|
อุทยาน	z-u-t^-1|th-q-z^-3|j-aa-n^-0|
อุปกรณ์	z-u-p^-1|p-q-z^-1|k-@@-n^-0|
อุปนิสัย	z-u-p^-1|p-q-z^-1|n-i-z^-3|s-a-j^-4|
อุปสรรค	z-u-p^-1|p-q-z^-1|s-a-k^-1|
อุปโภค	z-u-p^-1|p-q-z^-1|ph-oo-k^-2|
อเนกชน	z-q-z^-1|n-ee-k^-1|ch-o-n^-0|
อเมริกัน	z-q-z^-1|m-ee-z^-0|r-i-z^-3|k-a-n^-0|
อเมริกา	z-q-z^-1|m-ee-z^-0|r-i-z^-3|k-aa-z^-0|
อเล็กซานเดรีย	z-q-z^-1|l-e-k^-3|s-aa-n^-0|dr-iia-z^-0|
อโลชา	z-q-z^-1|l-oo-z^-0|ch-aa-z^-0|
อโศก	z-q-z^-1|s-oo-k^-1|
ฯพณฯ	ph-q-z^-3|n-a-z^-3|th-a-n^-2|
เกษตร	k-q-z^-1|s-ee-t^-1|
เกษตรกร	k-q-z^-1|s-ee-t^-1|tr-q-z^-1|k-@@-n^-0|
เกษตรกรรม	k-q-z^-1|s-ee-t^-1|tr-q-z^-1|k-a-m^-0|
เกษียณ	k-q-z^-1|s-iia-n^-4|
เขมร	kh-q-z^-1|m-ee-n^-4|

เขยิบ	kh-q-z^-1|j-q-p^-1|
เจตคติ	c-ee-z^-0|t-q-z^-1|kh-q-z^-3|t-i-z^-1|
เจตนา	c-ee-t^-1|t-q-z^-1|n-aa-z^-0|
เจตนารมณ์	c-ee-t^-1|t-q-z^-1|n-aa-z^-0|r-o-m^-0|
เจตภูต	c-ee-t^-1|t-q-z^-1|ph-uu-t^-2|
เจรจา	c-ee-z^-0|r-q-z^-3|c-aa-z^-0|
เจริญ	c-q-z^-1|r-qq-n^-0|
เจ้าคณะ	c-aa-w^-2|kh-q-z^-3|n-a-z^-3|
เจ้าพนักงาน	c-a-w^-2|ph-q-z^-3|n-a-k^-3|ng-aa-n^-0|
เฉพาะ	ch-q-z^-1|ph-@-z^-3|
เฉพาะกาล	ch-q-z^-1|ph-@-z^-3|k-aa-n^-0|
เฉพาะตัว	ch-q-z^-1|ph-@-z^-3|t-uua-z^-0|
เฉพาะที่	ch-q-z^-1|ph-@-z^-3|th-ii-z^-2|
เฉพาะหน้า	ch-q-z^-1|ph-@-z^-3|n-aa-z^-2|
เฉลิม	ch-q-z^-1|l-qq-m^-4|
เฉลิมฉลอง	ch-q-z^-1|l-qq-m^-4|ch-q-z^-1|l-@@-ng^-4|
เฉลิมพระชนมพรรษา	ch-q-z^-1|l-qq-m^-4|phr-a-z^-3|ch-o-n^-0|m-q-z^-3|ph-a-n^-0|s-aa-z^-4|
เฉลียวฉลาด	ch-q-z^-1|l-iia-w^-4|ch-q-z^-1|l-aa-t^-1|
เฉลี่ย	ch-q-z^-1|l-iia-z^-1|
เชคโกสโลวเกีย	ch-e-k^-3|k-oo-z^-0|s-q-z^-1|l-oo-z^-0|w-a-z^-3|k-iia-z^-0|
เชลย	ch-q-z^-3|l-qq-j^-0|
เตมียเวส	t-ee-z^-0|m-ii-z^-0|j-q-z^-3|w-ee-t^-2|
เทวดา	th-ee-z^-0|w-q-z^-3|d-aa-z^-0|
เทศกาล	th-ee-t^-2|s-q-z^-1|k-aa-n^-0|
เทศนา	th-ee-t^-2|s-q-z^-1|n-aa-z^-4|
เนรเทศ	n-ee-z^-0|r-q-z^-3|th-ee-t^-2|
เบญจขันธ์	b-e-n^-0|c-q-z^-1|kh-a-n^-4|
เปรียญ	p-q-z^-1|r-iia-n^-0|
เผชิญ	ph-q-z^-1|ch-qq-n^-0|
เผชิญหน้า	ph-q-z^-1|ch-qq-n^-0|n-aa-z^-2|
เผด็จการ	ph-q-z^-1|d-e-t^-1|k-aa-n^-0|
เผอิญ	ph-q-z^-1|z-qq-n^-0|
เยอรมนี	j-qq-z^-0|r-q-z^-3|m-a-z^-3|n-ii-z^-0|
เยอรมัน	j-qq-z^-0|r-q-z^-3|m-a-n^-0|
เยาวชน	j-a-w^-0|w-q-z^-3|ch-o-n^-0|
เวสนันท์	w-ee-t^-2|s-q-z^-1|n-a-n^-0|
เศรษฐกิจ	s-ee-t^-1|th-q-z^-1|k-i-t^-1|
เศรษฐศาสตร์	s-ee-t^-1|th-q-z^-1|s-aa-t^-1|
เสงี่ยม	s-q-z^-1|ng-iia-m^-1|
เสด็จ	s-q-z^-1|d-e-t^-1|
เสถียรภาพ	s-q-z^-1|th-iia-n^-4|r-a-z^-3|ph-aa-p^-2|
เสนอ	s-q-z^-1|n-qq-z^-4|
เสนอแนะ	s-q-z^-1|n-qq-z^-4|n-x-z^-3|
เสนาะ	s-q-z^-1|n-@-z^-1|
เสน่ห์	s-q-z^-1|n-ee-z^-1|
เสมอ	s-q-z^-1|m-qq-z^-4|
เสมอภาค	s-q-z^-1|m-qq-z^-4|ph-aa-k^-2|
เสมือน	s-q-z^-1|m-vva-n^-4|
เสวนา	s-e-z^-4|w-q-z^-3|n-aa-z^-0|
เสียสละ	s-iia-z^-4|s-q-z^-1|l-a-z^-1|
เอกฉันท์	z-ee-k^-1|k-q-z^-1|ch-a-n^-4|

เอกชน	z-ee-k^-1|k-q-z^-1|ch-o-n^-0|
เอกภาพ	z-ee-k^-1|k-q-z^-1|ph-aa-p^-2|
เอกราช	z-ee-k^-1|k-q-z^-1|r-aa-t^-2|
เอกลักษณะ	z-ee-k^-1|k-q-z^-1|l-a-k^-3|s-q-z^-1|n-a-z^-1|
เอกลักษณ์	z-ee-k^-1|k-q-z^-1|l-a-k^-3|
เอกสาร	z-ee-k^-1|k-q-z^-1|s-aa-n^-4|
เอกสารสิทธิ์	z-ee-k^-1|k-q-z^-1|s-aa-n^-4|s-i-t^-1|
เอาชนะ	z-a-w^-0|ch-q-z^-3|n-a-z^-3|
แกะสลัก	k-x-z^-1|s-q-z^-1|l-a-k^-1|
แก๊งสเตอร์	k-x-ng^-3|s-q-z^-1|t-qq-z^-2|
แขนง	kh-q-z^-1|n-xx-ng^-4|
แถลง	th-q-z^-1|l-xx-ng^-4|
แบบฉบับ	b-xx-p^-1|ch-q-z^-1|b-a-p^-1|
แมลง	m-q-z^-3|l-xx-ng^-0|
แสดง	s-q-z^-1|d-xx-ng^-0|
แสลง	s-q-z^-1|l-xx-ng^-4|
แสวง	s-q-z^-1|w-xx-ng^-4|
แสวงหา	s-q-z^-1|w-xx-ng^-4|h-aa-z^-4|
โดยเฉพาะ	d-oo-j^-0|ch-q-z^-1|ph-@-z^-3|
โดยเฉพาะอย่างยิ่ง	d-oo-j^-0|ch-q-z^-1|ph-@-z^-3|j-aa-ng^-1|j-i-ng^-2|
โทรทัศน์	th-oo-z^-0|r-q-z^-3|th-a-t^-3|
โทรศัพท์	th-oo-z^-0|r-q-z^-3|s-a-p^-1|
โบราณกาล	b-oo-z^-0|r-aa-n^-0|n-q-z^-3|k-aa-n^-0|
โบราณสถาน	b-oo-z^-0|r-aa-n^-0|n-q-z^-3|s-q-z^-1|th-aa-n^-4|
โภคภัณฑ์	ph-oo-k^-2|k-q-z^-3|ph-a-n^-0|
โภชนาการ	ph-oo-t^-2|ch-q-z^-3|n-aa-z^-0|k-aa-n^-0|
โรงพยาบาล	r-oo-ng^-0|ph-q-z^-3|j-aa-z^-0|b-aa-n^-0|
โรจนนิล	r-oo-t^-2|c-q-z^-1|n-q-z^-3|n-i-n^-0|
โรจนเสถียร	r-oo-t^-2|c-q-z^-1|n-q-z^-3|s-q-z^-1|th-iia-n^-4|
โลกทัศน์	l-oo-k^-2|k-q-z^-1|th-a-t^-3|
โลกุตรภูมิ	l-oo-z^-0|k-u-t^-1|t-q-z^-1|r-q-z^-3|ph-uu-m^-0|
โศกนาฏกรรม	s-oo-k^-1|k-q-z^-1|n-aa-t^-2|t-q-z^-1|k-a-m^-0|
โสร่ง	s-q-z^-1|r-oo-ng^-1|
ใบอนุญาต	b-a-j^-0|z-q-z^-1|n-u-z^-3|j-aa-t^-2|
ไสยศาสตร์	s-a-j^-4|j-q-z^-3|s-aa-t^-1|

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายธีระ สุริย์ เกิดเมื่อวันที่ 23 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2517 ที่จังหวัดสระบุรี สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ จากคณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปี พ.ศ. 2540 เคยทำงานในบริษัท ซิม ซิสเต็ม ประเทศไทย จำกัด ระหว่างปี พ.ศ. 2540 – 2545 และทำงานในบริษัท เอ็ม เอฟ อี ซี จำกัด มหาชน ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2545 จนถึงปัจจุบัน