

การรู้จำคำพูดภาษาไทย โดยใช้ลักษณะบ่งความต่างของหน่วยเสียง



นายณัฐกร ทับทอง

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ. 2538

ISBN 974-631-692-3

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I16545350

A THAI SPEECH RECOGNITION SYSTEM BASED ON  
PHONEMIC DISTINCTIVE FEATURES

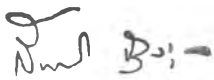
Mr.Nuttakorn Thubthong

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of Master of Science  
Graduate School  
Chulalongkorn University  
1995  
ISBN 974-631-692-3

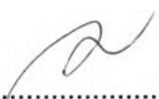
หัวข้อวิทยานิพนธ์ การรู้จำคำพูดภาษาไทย โดยใช้ลักษณะแบ่งความต่างของหน่วยเสียง  
โดย นายณัฐกร ทับทอง  
ภาควิชา วิศวกรรมคอมพิวเตอร์  
อาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ สมชาย ทยานยง  
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุดาพร ลักษณ์ยานวิน




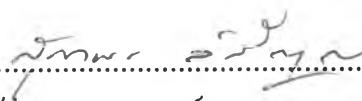
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยฉบับนี้เป็นส่วน  
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

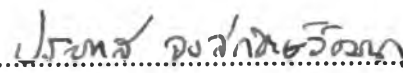
  
..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย  
( รองศาสตราจารย์ ดร. สันติ ณุสุวรรณ )

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

  
..... ประธานกรรมการ  
( รองศาสตราจารย์ เตือน สินสุรพันธ์ประทุม )

  
..... อาจารย์ที่ปรึกษา  
( รองศาสตราจารย์ สมชาย ทยานยง )

  
..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม  
( ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุดาพร ลักษณ์ยานวิน )

  
..... กรรมการ  
( อาจารย์ ดร. ประภาส จงสถิตย์วัฒนา )



พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสี่เหลี่ยมนี้เพียงแผ่นเดียว

ณัฐกร ทับทอง : การรู้จำคำพูดภาษาไทย โดยใช้ลักษณะบ่งความต่างของหน่วยเสียง ( A THAI SPEECH RECOGNITION SYSTEM BASED ON PHONEMIC DISTINCTIVE FEATURES ) อ.ที่ปรึกษา : รศ.สมชาย หยานง, อ.ที่ปรึกษาร่วม : ผศ.ดร.สุดาพร ลักษณะเนียนวิน, 130 หน้า . ISBN 974-631-692-3

การวิจัยนี้มุ่งสร้างระบบการรู้จำคำพูดภาษาไทย ชนิดไม่จำกัดผู้พูด โดยใช้ลักษณะบ่งความต่างทางสัทศาสตร์ของหน่วยเสียงชุดหนึ่ง ระบบการรู้จำนี้จะรู้จำคำสมมติที่สร้างขึ้นอย่างมีระบบจำนวน 134 คำ ในผู้พูด 6 คน รวมจำนวนคำตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบระบบ 804 คำ หน่วยเสียงที่ใช้ศึกษาประกอบด้วยหน่วยเสียง 21 หน่วย ได้แก่ หน่วยเสียงพยัญชนะ 10 หน่วยเสียง คือ /p/, /ph/, /d/, /cl/, /ch/, /n/, /l/, /s/, /r/ และ /w/ หน่วยเสียงสระ 6 หน่วยเสียง คือ /i/, /ii/, /a/, /aa/, /u/ และ /uu/ และหน่วยเสียงวรรณยุกต์ 5 หน่วยเสียง คือ สามัญ, เอก, โท, ตรี และ จัตวา

กำหนดชุดคำที่นำมาทดสอบ 3 ชุด คือ

1. ชุดคำ ก ประกอบด้วย 24 คำ ซึ่งเป็นคำที่มี พยัญชนะต้น /p/ และมีสระ 6 หน่วยเสียง และมีวรรณยุกต์ 5 หน่วยเสียง ( 5 หน่วยเสียงสำหรับสระเสียงยาว และ 3 หน่วยเสียงสำหรับสระเสียงสั้น ) เป็นตัวแปร
2. ชุดคำ ข ประกอบด้วย 50 คำ ซึ่งเป็นคำที่มี สระ /aa/ และมีพยัญชนะต้น 10 หน่วยเสียง และมีวรรณยุกต์ 5 หน่วยเสียง เป็นตัวแปร
3. ชุดคำ ค ประกอบด้วยคำ 60 คำ ซึ่งเป็นคำที่มีวรรณยุกต์เอก และมีพยัญชนะต้น 10 หน่วยเสียง และมีสระทั้ง 6 หน่วยเสียง เป็นตัวแปร

การทดลองแบ่งออกเป็น 3 ตอน

1. การรู้จำหน่วยเสียงวรรณยุกต์ ใช้ลักษณะสำคัญทางสัทศาสตร์ คือ ทิศทางของความถี่มูลฐาน (F0 direction) และระดับของความถี่มูลฐาน (F0 height) สำหรับแยกหน่วยเสียงทั้ง 5 ออกจากกัน  
การทดลองใช้คำทดสอบจากชุด ก และ ข จากผู้พูดกลุ่มเพศละ 3 คน รวม 6 คน ผลการรู้จำถูกต้องเมื่อทดลองกับชุดคำ ก คิดเป็นร้อยละ 92.3 และชุดคำ ข คิดเป็นร้อยละ 97.0
2. การรู้จำหน่วยเสียงสระ ใช้ลักษณะสำคัญทางสัทศาสตร์ 3 ประการ คือ ค่าความถี่ฟอร์แมนทที่หนึ่ง (F1) ค่าความถี่ฟอร์แมนทที่สอง (F2) และค่าระยะเวลา (duration) สำหรับแยกหน่วยเสียงทั้ง 6 ออกจากกัน  
การทดลองใช้คำทดสอบจากชุด ก และ ค จากผู้พูดกลุ่มเพศละ 3 คน รวม 6 คน ผลการรู้จำถูกต้องเมื่อทดลองกับชุดคำ ก คิดเป็นร้อยละ 100.0 และชุดคำ ข คิดเป็นร้อยละ 100.0
3. การรู้จำหน่วยเสียงพยัญชนะ ใช้ลักษณะสำคัญทางสัทศาสตร์โดยสร้างระบบการตัดสินใจเป็นโครงสร้างต้นไม้แบบทวิภาค (Binary Tree) 7 ประการ คือ ค่าจุดตัดศูนย์ ค่าจุดสูงสุดและจุดต่ำสุด ค่าพลังงานสัมพัทธ์เฉลี่ย ค่าระยะเวลา ค่าระยะเวลาของช่วงระเบิด ลักษณะช่วงเงียบเชิงกล และค่าความถี่ฟอร์แมนทที่สองที่ตำแหน่งเริ่มต้นของจุดเชื่อมต่อระหว่างพยัญชนะกับสระ  
การทดลองใช้คำทดสอบจากชุด ข และ ค จากผู้พูดกลุ่มเพศละ 1 คน รวม 2 คน ผลการรู้จำถูกต้องเมื่อทดลองกับชุดคำ ข คิดเป็นร้อยละ 99.0 และชุดคำ ค คิดเป็นร้อยละ 90.0

ภาควิชา .....  
สาขาวิชา .....  
ปีการศึกษา ๒๕๓๗ .....

ลายมือชื่อนิสิต .....  
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....  
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....



## C618030 : MAJOR COMPUTER SCIENCE

KEY WORD: THAI SPEECH RECOGNITION / DISTINCTIVE FEATURES

NUTTAKORN THUBTHONG : A THAI SPEECH RECOGNITION SYSTEM BASED ON PHONEMIC DISTINCTIVE FEATURES. THESIS ADVISOR : ASSO.PROF. SOMCHAI THAYANYONG THESIS COADVISOR : ASST. PROF. SUDAPORN LUKSANEEYANAWIN, Ph.D. 130 PP. ISBN 974-631-692-3

This research attempts to use distinctive acoustic features of a set of phonemes for a multispeaker recognition system of hypothetical words created from a selected set of phonemes under study which consists of 21 Thai phonemes. They are 10 consonant phonemes : /p/, /ph/, /d/, /c/, /ch/, /n/, /f/, /s/, /r/ and /w/; 6 vowel phonemes : /i/, /ii/, /a/, /aa/, /u/ and /uu/; and 5 tone phonemes i.e. mid, low, falling, high and rising.

The experiment was based on 3 sets of hypothetical words :

1. Set A consists of 24 hypothetical words with initial consonant /p/, and with 6 vowels and 5 tones (5 tones for the 3 long vowels, and 3 tones for the 3 short vowels), used as variables.
2. Set B consists of 50 hypothetical words with initial vowel /aa/, and with 10 consonants and 5 tones, used as variables.
3. Set C consists of 60 hypothetical words with initials low tone, and with 6 vowels and with 10 consonants, used as variables.

The experiment was divided into 3 parts.

1. Recognition of the tone phonemes, two acoustic characteristics of F0 i.e. F0 direction and F0 height were investigated with test tokens from 6 speakers of 3 males and 3 females. Recognition rate of 92.3 % for set A and 97.0% for set B are reported.
2. Recognition of the vowel phonemes, three acoustic characteristics of vowel i.e. F1, F2 and vowel duration were investigated with test tokens from 6 speakers of 3 males and 3 females. Recognition rate at 100.0 % is found in set A and set C.
3. Recognition of the consonants phonemes, seven acoustic characteristics of consonants i.e. zero crossing, extreme high or low amplitude, acoustic energy, noise duration, burst duration, acoustic silence and F2 frequency at the transition zone between consonant and vowel are used to make decision rules. Binary tree structure with test tokens form 2 speakers of 1 male and 3 female is used for consonant recognition. Recognition rate of 99.0 % for set B and 90.0% for set C are reported.

ภาควิชา.....  
สาขาวิชา.....  
ปีการศึกษา.....  
ลายมือชื่อคนผลิต.....  
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....  
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....



## กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอกราบขอบขอบคุณ รองศาสตราจารย์ สมชาย ทยานยง และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุธาพร ลักษณะียนาวิน ที่ได้รับเป็นอาจารย์ที่ปรึกษา กรุณาให้คำแนะนำ และช่วยเหลือตรวจแก้ไข เนื้อหาเป็นอย่างดี

ขอขอบคุณ อาจารย์ ดร. ประภาส จงสภิตย์วัฒนา ที่กรุณาให้ความรู้ ให้คำปรึกษา และวิจารณ์ผลงาน รองศาสตราจารย์ เตือน สินธุ์พันธ์ประทุม ที่กรุณาให้เกียรติเป็นประธานกรรมการจัดสอบ และอนุญาตให้สอบในวันเวลาที่เหมาะสม อาจารย์ วิสิทธิ์ สีลาศิริวงศ์ ภาควิชา ฟิสิกส์ ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการบันทึกเสียง และให้คำแนะนำที่มีประโยชน์ คุณนพวรรณ คงเกษม ฝ่ายธุรการ ที่ให้คำแนะนำ และอำนวยความสะดวกในด้านเอกสาร

ขอขอบคุณ ผู้บอกภาษา เพื่อนร่วมหน่วยปฏิบัติการวิจัยทางภาษาศาสตร์ และเพื่อน ร่วมรุ่นทุกคน ที่ให้ความช่วยเหลือด้วยดีเสมอมา

ท้ายที่สุดนี้ ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ที่มอบความอบอุ่น สนับสนุน และเป็น แรงใจ จนกระทั่งวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบคุณอีกครั้งสำหรับผู้ที่มีมอบรอยยิ้ม ซึ่งเป็นกำลังใจสูงสุด ที่นำไปสู่ความสำเร็จ



## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย .....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .....	จ
กิตติกรรมประกาศ .....	ฉ
สารบัญตาราง .....	ณ
สารบัญภาพ .....	ท
บทที่ 1. บทนำ .....	1
ที่มาของปัญหา .....	1
วัตถุประสงค์ .....	2
แนวความคิด .....	2
ขอบเขตงานวิจัย .....	3
ขั้นตอนการวิจัย .....	3
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัย .....	4
บทที่ 2. ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง .....	5
ทฤษฎีทางภาษาศาสตร์ .....	5
ทฤษฎีการวิเคราะห์เสียง .....	22
ทฤษฎีทางสถิติพื้นฐานที่ใช้ในงานวิจัย .....	31
การเข้ากลุ่ม .....	32
บทที่ 3. วิธีดำเนินการวิจัย .....	33
การสร้างรายการคำทดสอบ .....	33
การคัดเลือกผู้บอกภาษา .....	35
การเก็บข้อมูล .....	35
เครื่องมือและอุปกรณ์ในการวิเคราะห์สัญญาณ .....	36
คำจำกัดความของศัพท์เฉพาะและคำย่อที่ใช้ในงานวิจัยนี้ .....	36
บทที่ 4. การรู้จำหน่วยเสียงวรรณยุกต์ .....	38
หลักการรู้จำหน่วยเสียงวรรณยุกต์ .....	38
การหาค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการแยกหน่วยเสียงวรรณยุกต์ .....	39
การสร้างแบบอ้างอิง .....	41
ระบบการรู้จำ .....	46
ผลการทดลอง .....	47

	การวิเคราะห์ผลการทดลอง .....	53
บทที่ 5.	การรู้จำหน่วยเสียงสระ .....	57
	หลักการรู้จำหน่วยเสียงสระ.....	57
	การหาค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการแยกหน่วยเสียงสระ.....	58
	การสร้างแบบอ้างอิง .....	60
	ระบบการรู้จำ .....	61
	ผลการทดลอง .....	62
บทที่ 6.	การรู้จำหน่วยเสียงพยัญชนะ .....	67
	หลักการรู้จำหน่วยเสียงพยัญชนะ.....	70
	การหาค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการแยกหน่วยเสียงพยัญชนะ .....	73
	กฎการตัดลิ้นใจ .....	77
	ผลการทดลอง .....	77
บทที่ 7.	สรุป และอภิปรายผล .....	82
	สรุป .....	82
	อภิปรายผลความผิดพลาด .....	86
	อภิปรายผล .....	89
	ข้อเสนอแนะ .....	91
	การประยุกต์ใช้งาน .....	92
	รายการอ้างอิง .....	94
	ภาคผนวก ก เครื่องวิเคราะห์สัญญาณเสียง DSP Sona-Graph .....	98
	ภาคผนวก ข คลื่นเสียง และภาพสเปกโทรกราฟ .....	102
	ภาคผนวก ค การทดลองการรู้จำหน่วยเสียงพยัญชนะ .....	109
	ภาคผนวก ง ข้อมูลผู้บอกภาษา .....	126
	ภาคผนวก จ สัญลักษณ์แทนเสียง และองค์ประกอบของพยางค์ที่เป็นไปได้ในภาษาไทย..	127
	ประวัติผู้เขียน .....	130



## สารบัญตาราง

		หน้า
ตารางที่ 2.1	เสียงวรรณยุกต์ที่สามารถเกิดขึ้นได้ (+) และไม่สามารถเกิด (-) กับพยางค์ในภาษาไทย ในโครงสร้างพยางค์ต่าง ๆ .....	13
ตารางที่ 2.2	เสียงพยัญชนะในภาษาไทย .....	14
ตารางที่ 2.3	หน่วยเสียงสระในภาษาไทย .....	17
ตารางที่ 2.4	ค่าความถี่ฟอร์แมนท์ของสระในภาษาไทย .....	19
ตารางที่ 4.1	ค่าพารามิเตอร์อ้างอิงของค่าทดสอบชุด ก รวมสระเสียงสั้น-ยาว .....	42
ตารางที่ 4.2	ค่าพารามิเตอร์อ้างอิงของค่าทดสอบชุด ก เฉพาะสระเสียงสั้น .....	43
ตารางที่ 4.3	ค่าพารามิเตอร์อ้างอิงของค่าทดสอบชุด ก เฉพาะสระเสียงยาว .....	44
ตารางที่ 4.4	ค่าพารามิเตอร์อ้างอิงของค่าทดสอบชุด ข .....	45
ตารางที่ 4.5	ผลความถูกต้องการรู้จำหน่วยเสียงวรรณยุกต์จากชุดคำ ก โดยใช้เกณฑ์ทิศทางของความถี่มูลฐาน .....	47
ตารางที่ 4.6	ผลความถูกต้องการรู้จำหน่วยเสียงวรรณยุกต์จากชุดคำ ก เฉพาะคำที่ประกอบด้วยสระเสียงสั้น โดยใช้เกณฑ์ทิศทางของความถี่มูลฐาน .....	48
ตารางที่ 4.7	ผลความถูกต้องการรู้จำหน่วยเสียงวรรณยุกต์จากชุดคำ ก เฉพาะคำที่ประกอบด้วยสระเสียงยาว โดยใช้เกณฑ์ทิศทางของความถี่มูลฐาน .....	48
ตารางที่ 4.8	ผลความถูกต้องการรู้จำหน่วยเสียงวรรณยุกต์จากชุดคำ ก โดยใช้เกณฑ์ทิศทางของความถี่มูลฐาน และแยกวิเคราะห์สระเสียงสั้น-ยาว .....	48
ตารางที่ 4.9	ผลความถูกต้องการรู้จำหน่วยเสียงวรรณยุกต์จากชุดคำ ก โดยใช้เกณฑ์ทิศทางของความถี่มูลฐานและค่าความถี่มูลฐานเฉลี่ย .....	49
ตารางที่ 4.10	ผลความถูกต้องการรู้จำหน่วยเสียงวรรณยุกต์จากชุดคำ ก เฉพาะคำที่ประกอบด้วยสระเสียงสั้น โดยใช้เกณฑ์ทิศทางของความถี่มูลฐานและค่าความถี่มูลฐานเฉลี่ย .....	49
ตารางที่ 4.11	ผลความถูกต้องการรู้จำหน่วยเสียงวรรณยุกต์จากชุดคำ ก เฉพาะคำที่ประกอบด้วยสระเสียงยาว โดยใช้เกณฑ์ทิศทางของความถี่มูลฐานและค่าความถี่มูลฐานเฉลี่ย .....	50
ตารางที่ 4.12	ผลความถูกต้องการรู้จำหน่วยเสียงวรรณยุกต์จากชุดคำ ก โดยใช้เกณฑ์ทิศทางของความถี่มูลฐานและค่าความถี่มูลฐานเฉลี่ย และวิเคราะห์แยกสระเสียงสั้น-ยาว .....	50

ตารางที่ 4.13	ผลการรู้จำหน่วยเสียงวรรณยุกต์จากชุดคำ ก โดยใช้เกณฑ์ทิศทางของ ความถี่มูลฐานและค่าความถี่มูลฐานเฉลี่ย และวิเคราะห์แยกสระ เสียงสั้น-ยาว .....	50
ตารางที่ 4.14	ผลความถูกต้องการรู้จำหน่วยเสียงวรรณยุกต์จากชุดคำ ข โดยใช้เกณฑ์ทิศทางความถี่มูลฐาน .....	51
ตารางที่ 4.15	ผลความถูกต้องการรู้จำหน่วยเสียงวรรณยุกต์จากชุดคำ ข โดยใช้เกณฑ์ทิศทางของความถี่มูลฐานและค่าความถี่มูลฐานเฉลี่ย .....	51
ตารางที่ 4.16	ผลการรู้จำหน่วยเสียงวรรณยุกต์จากชุดคำ ข โดยใช้เกณฑ์ทิศทาง ของความถี่มูลฐานและค่าความถี่มูลฐานเฉลี่ย .....	52
ตารางที่ 4.17	ผลความถูกต้องการรู้จำเพศจากข้อมูลชุดต่าง ๆ .....	52
ตารางที่ 4.18	ผลการรู้จำถูกต้องการรู้จำหน่วยเสียงวรรณยุกต์ จากชุดคำ ก โดยแจกแจงผลแยกตามหน่วยเสียงสระ .....	54
ตารางที่ 4.19	ผลการรู้จำถูกต้องการรู้จำหน่วยเสียงวรรณยุกต์ จากชุดคำ ก โดยแจกแจงผลแยกตามเพศ .....	54
ตารางที่ 4.20	ผลการรู้จำถูกต้องการรู้จำหน่วยเสียงวรรณยุกต์ จากชุดคำ ข โดยแจกแจงผลแยกตามหน่วยเสียงพยัญชนะ .....	55
ตารางที่ 4.21	ผลการรู้จำถูกต้องการรู้จำหน่วยเสียงวรรณยุกต์ จากชุดคำ ข โดยแจกแจงผลแยกตามเพศ .....	56
ตารางที่ 5.1	แนวโน้มของค่า F1, F2 และค่าระยะเวลา ของ /i/, /ii/, /a/, /aa/, /u/ และ /uu/ .....	57
ตารางที่ 5.2	ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน จำนวนคำ ค่าต่ำสุด ค่าสูงสุด และ พิสัย ของค่าความถี่ฟอร์แมนที่หนึ่งและสองของเสียงชายและหญิง .....	59
ตารางที่ 5.3	ค่าความถี่ฟอร์แมนที่หนึ่งและสอง ซึ่งใช้เป็นแบบอ้างอิง ของชุดคำ ก .....	60
ตารางที่ 5.4	ค่าความถี่ฟอร์แมนที่หนึ่งและสอง ซึ่งใช้เป็นแบบอ้างอิง ของชุดคำ ค .....	60
ตารางที่ 5.5	ผลการรู้จำเสียงสระจากคำชุด ก โดยแจกแจงผลแยกตาม หน่วยเสียงสระ .....	63
ตารางที่ 5.6	ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าต่ำสุด ค่าสูงสุด และพิสัย ของระยะเวลาของหน่วยเสียง /i/ และ /ii/ ในผู้พูดเพศชาย และหญิงของชุดคำ ก .....	63

ตารางที่ 5.7	ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าต่ำสุด ค่าสูงสุด และพิสัย ของระยะเวลาของหน่วยเสียง /a/ และ /aa/ ในผู้พูดเพศชาย และหญิงของชุดคำ ก .....	64
ตารางที่ 5.8	ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าต่ำสุด ค่าสูงสุด และพิสัย ของระยะเวลาของหน่วยเสียง /u/ และ /uu/ ในผู้พูดเพศชาย และหญิงของชุดคำ ก .....	64
ตารางที่ 5.9	แสดงการกระจายของค่าระยะเวลาของข้อมูลชุดคำ ก ในระหว่าง 100-700 มิลลิวินาที โดยแบ่งค่าระยะเวลาออกเป็นช่วง ๆ ละ 50 มิลลิวินาที .....	65
ตารางที่ 5.10	ผลการรู้จำเสียงสระจากคำชุด ค โดยแจกแจงผลแยกตาม หน่วยเสียงสระ .....	66
ตารางที่ 5.11	ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าต่ำสุด ค่าสูงสุด และพิสัย ของระยะเวลาของหน่วยเสียง /i/ และ /ii/ ในผู้พูดเพศชาย และหญิงของชุดคำ ค .....	67
ตารางที่ 5.12	ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าต่ำสุด ค่าสูงสุด และพิสัย ของระยะเวลาของหน่วยเสียง /a/ และ /aa/ ในผู้พูดเพศชาย และหญิงของชุดคำ ค .....	67
ตารางที่ 5.13	ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าต่ำสุด ค่าสูงสุด และพิสัย ของระยะเวลาของหน่วยเสียง /u/ และ /uu/ ในผู้พูดเพศชาย และหญิงของชุดคำ ค .....	68
ตารางที่ 5.14	การกระจายของค่าระยะเวลาของข้อมูลชุดคำ ค ในระหว่าง 100 - 700 มิลลิวินาที โดยแบ่งค่าระยะเวลาออกเป็นช่วง ๆ ละ 50 มิลลิวินาที .....	68
ตารางที่ 5.15	ผลความถูกต้องการรู้จำเสียงเพศจากคำทดสอบชุด ก และ ค .....	69
ตารางที่ 6.1	หลักการและพารามิเตอร์ที่ใช้ในการรู้จำหน่วยเสียงพยัญชนะ .....	71
ตารางที่ 6.2	ผลการรู้จำหน่วยเสียงพยัญชนะ จากคำทดสอบชุด ข .....	78
ตารางที่ 6.3	ผลการรู้จำถูกต้องของการรู้จำหน่วยเสียงพยัญชนะ จากคำทดสอบชุด ข แสดงผลแยกตามหน่วยเสียงวรรณยุกต์ ของคำทดสอบ .....	78
ตารางที่ 6.4	ผลการรู้จำถูกต้องการรู้จำหน่วยเสียงพยัญชนะ จากชุดคำ ข โดยแจกแจงผลแยกตามเพศ .....	79
ตารางที่ 6.5	ผลการรู้จำหน่วยเสียงพยัญชนะ จากคำทดสอบชุด ค .....	79

ตารางที่ 6.6	ผลการรู้จำถูกต้องของการรู้จำหน่วยเสียงพยัญชนะ จากคำทดสอบชุด ค แสดงผลแยกตามหน่วยเสียงสระของคำทดสอบ ....	80
ตารางที่ 6.7	ผลการรู้จำถูกต้องการรู้จำหน่วยหน่วยเสียงพยัญชนะ จากชุดคำ ค โดยแจกแจงผลแยกตามเพศ .....	80
ตารางที่ 7.1	ผลการรู้จำความถูกต้องรวม .....	85
ตารางที่ 7.2	ค่าที่มีผลการรู้จำหน่วยเสียงวรรณยุกต์ผิดพลาดของชุดคำ ก โดยแยกตามผู้บอกภาษา.....	87
ตารางที่ 7.3	ค่าที่มีผลการรู้จำหน่วยเสียงวรรณยุกต์ผิดพลาดของชุดคำ ข โดยแยกตามผู้บอกภาษา.....	87
ตารางที่ 7.4	ค่าที่มีผลการรู้จำหน่วยเสียงพยัญชนะผิดพลาดของชุดคำ ค โดยแยกตามผู้บอกภาษา.....	89
ตารางที่ ก.1	ช่วงเวลาสัญญาณและอัตราการชักตัวอย่างที่สอดคล้อง ตามความถี่สูงสุดของสัญญาณ .....	98
ตารางที่ ก.2	จำนวนข้อมูลที่กำหนด อัตราการชักตัวอย่างและความกว้างแถบ ในการวิเคราะห์ความถี่ .....	99
ตารางที่ ค.1	ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าต่ำสุด ค่าสูงสุด และพิสัย ของค่าจุดตัดศูนย์ จากคำทดสอบชุด ข .....	109
ตารางที่ ค.2	ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าต่ำสุด ค่าสูงสุด และพิสัย ของค่าระยะเวลาช่วงที่มีเสียงซ่า จากคำทดสอบชุด ข .....	110
ตารางที่ ค.3	ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าต่ำสุด ค่าสูงสุด และพิสัย ของค่าพลังงานสัมพัทธ์เฉลี่ย จากคำทดสอบชุด ข .....	110
ตารางที่ ค.4	ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าต่ำสุด ค่าสูงสุด และพิสัย ของค่าจุดตัดศูนย์ จากคำทดสอบชุด ข .....	111
ตารางที่ ค.5	ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าต่ำสุด ค่าสูงสุด และพิสัย ของค่าจุดสูงสุดและต่ำสุด จากคำทดสอบชุด ข .....	111
ตารางที่ ค.6	ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าต่ำสุด ค่าสูงสุด และพิสัย ของค่าจุดตัดศูนย์ จากคำทดสอบชุด ข .....	112
ตารางที่ ค.7	ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าต่ำสุด ค่าสูงสุด และพิสัย ของค่าจุดสูงสุดและต่ำสุด จากคำทดสอบชุด ข .....	112
ตารางที่ ค.8	ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าต่ำสุด ค่าสูงสุด และพิสัย ของค่าระยะเวลาการระเบิด จากคำทดสอบชุด ข .....	113
ตารางที่ ค.9	ร้อยละของคำทดสอบที่มีลักษณะช่วงเงียบเชิงกล จากคำทดสอบชุด ข .....	114

ตารางที่ ค.10	ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าต่ำสุด ค่าสูงสุด และพิสัย ของ F 2-Trans จากค่าทดสอบชุด ข .....	114
ตารางที่ ค.11	ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าต่ำสุด ค่าสูงสุด และพิสัย ของค่าพลังงานสัมพัทธ์เฉลี่ย จากค่าทดสอบชุด ข .....	115
ตารางที่ ค.12	ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าต่ำสุด ค่าสูงสุด และพิสัย ของค่าจุดตัดศูนย์ จากค่าทดสอบชุด ค .....	115
ตารางที่ ค.13	ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าต่ำสุด ค่าสูงสุด และพิสัย ของค่าระยะเวลาในช่วงที่มีเสียงซ่า จากค่าทดสอบชุด ค .....	116
ตารางที่ ค.14	ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าต่ำสุด ค่าสูงสุด และพิสัย ของค่าพลังงานสัมพัทธ์เฉลี่ย จากค่าทดสอบชุด ค .....	117
ตารางที่ ค.15	ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าต่ำสุด ค่าสูงสุด และพิสัย ของค่าจุดตัดศูนย์ จากค่าทดสอบชุด ค .....	117
ตารางที่ ค.16	ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าต่ำสุด ค่าสูงสุด และพิสัย ของค่าจุดสูงสุดและต่ำสุด จากค่าทดสอบชุด ค .....	118
ตารางที่ ค.17	ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าต่ำสุด ค่าสูงสุด และพิสัย ของค่าจุดตัดศูนย์ จากค่าทดสอบชุด ค .....	118
ตารางที่ ค.18	ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าต่ำสุด ค่าสูงสุด และพิสัย ของค่าจุดสูงสุดและต่ำสุด จากค่าทดสอบชุด ค .....	119
ตารางที่ ค.19	ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าต่ำสุด ค่าสูงสุด และพิสัย ของค่าระยะเวลาช่วงการระเบิด จากค่าทดสอบชุด ค .....	119
ตารางที่ ค.20	ร้อยละของค่าทดสอบที่มีลักษณะช่วงเงียบเชิงกล จากค่าทดสอบชุด ค .....	120
ตารางที่ ค.21	ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าต่ำสุด ค่าสูงสุด และพิสัย ของ F 2-Trans จากค่าทดสอบชุด ค .....	120
ตารางที่ ค.22	ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าต่ำสุด ค่าสูงสุด และพิสัย ของค่าพลังงานสัมพัทธ์เฉลี่ย จากค่าทดสอบชุด ค.....	121
ตารางที่ ค.23	ผลความถูกต้องของการวิเคราะห์โดยใช้หลักการตัดสินใจทั้ง 9 ข้อ จากค่าทดสอบชุด ข .....	122
ตารางที่ ค.24	ผลความถูกต้องของการพิจารณาโดยใช้หลักการตัดสินใจทั้ง 9 ข้อ จากค่าทดสอบชุด ค .....	124

## สารบัญภาพ

		หน้า
รูปที่ 1.1	การประมวลผลการรู้จำคำพูด โดยแยกวิเคราะห์หน่วยเสียง .....	3
รูปที่ 2.1	อวัยวะภายในของระบบการพูดของมนุษย์ .....	7
รูปที่ 2.2	การเกิดการกำทอนภายในแบบจำลองของช่องเสียง .....	9
รูปที่ 2.3	สเปกตรัมของพลังงานของเสียง .....	9
รูปที่ 2.4	ความสัมพันธ์ของ Sonority ของเสียงต่าง ๆ ในภาษาอังกฤษ .....	10
รูปที่ 2.5	เส้น A-B แสดงการเกร็งที่เพิ่มขึ้นตอนต้นพยางค์ ส่วนเส้น B-C แสดงการเกร็งที่ลดลงตอนท้ายพยางค์ .....	11
รูปที่ 2.6	ลักษณะการเปล่งเสียงของ /d/, /p/, /ph/, /c/, /ch/, /n/, /f/, /s/ และ /w/ .....	16
รูปที่ 2.7	ลักษณะช่องปาก เมื่อลิ้นอยู่ในตำแหน่งต่าง ๆ .....	18
รูปที่ 2.8	ความถี่ฟอร์แมนทที่หนึ่ง (แกนตั้ง) และฟอร์แมนทที่สอง (แกนราบ) ของสระ อี อา และ อุ จำแนกเพศชาย (เครื่องหมาย +) และเพศหญิง (เครื่องหมาย □) .....	20
รูปที่ 2.9	ค่าความถี่มูลฐานของเสียงวรรณยุกต์ทั้ง 5 เสียงในภาษาไทย .....	21
รูปที่ 2.10	ค่าความถี่มูลฐานของเสียงวรรณยุกต์ทั้ง 5 เสียงในภาษาไทย ของผู้พูด 3 กลุ่มอายุ .....	21
รูปที่ 2.11	ช่องแคบแบบสี่เหลี่ยม .....	23
รูปที่ 2.12	ลักษณะของช่องแคบชนิดต่าง ๆ .....	24
รูปที่ 2.13	รูปพลังงานของคำว่า “four” .....	26
รูปที่ 2.14	การกระจายของค่าจุดตัดศูนย์ของเสียงไม่ก้อง และเสียงก้อง .....	27
รูปที่ 2.15	การแปลงฟูเรียร์ อนุกรมฟูเรียร์ และการแปลงฟูเรียร์แบบไม่ต่อเนื่อง .....	29
รูปที่ 2.16	สเปกโทรแกรมแบบช่วงกรองกว้าง และช่วงกรองแคบ .....	30
รูปที่ 4.1	การกำหนดตำแหน่งพิทช์ .....	40
รูปที่ 4.2	การหาค่าทิศทางของความถี่มูลฐาน และระดับความถี่มูลฐาน .....	40
รูปที่ 4.3	กราฟแสดงทิศทางและค่าความถี่มูลฐานของเสียงวรรณยุกต์ 5 เสียง ของคำทดสอบชุด ก รวมสระเสียงสั้น-ยาว .....	42
รูปที่ 4.4	กราฟแสดงทิศทางและค่าความถี่มูลฐานของเสียงวรรณยุกต์ 3 เสียง ของคำทดสอบชุด ก เฉพาะสระเสียงสั้น .....	43

รูปที่ 4.5	กราฟแสดงทิศทางและค่าความถี่มูลฐานของเสียงวรรณยุกต์ 5 เสียง ของคำทดสอบชุด ก เฉพาะสระเสียงยาว .....	44
รูปที่ 4.6	กราฟแสดงค่าความถี่มูลฐานของเสียงวรรณยุกต์ 5 เสียง ของคำทดสอบชุด ข .....	45
รูปที่ 4.7	กราฟแสดงการเปรียบเทียบผลการรู้จำหน่วยเสียงวรรณยุกต์ ด้วยวิธีการต่าง ๆ ของชุดคำ ก .....	53
รูปที่ 4.8	กราฟแสดงการเปรียบเทียบผลการรู้จำด้วยวิธีการต่าง ๆ ของชุดคำ ข .....	55
รูปที่ 4.9	กราฟแสดงการเปรียบเทียบผลการรู้จำหน่วยเสียงวรรณยุกต์ ระหว่างชุดคำ ก และชุดคำ ข .....	56
รูปที่ 5.1	ภาพสเปกโทรกราฟ แสดงตำแหน่งของ F0, F1, F2 และ F3 .....	58
รูปที่ 5.2	ค่าความถี่ฟอร์แมนทที่หนึ่ง (แกนตั้ง) และฟอร์แมนทที่สอง (แกนนอน) ของสระทั้งหมดของคำทดสอบชุด ก จำแนกเพศชายและเพศหญิง .....	62
รูปที่ 5.3	ค่าความถี่ฟอร์แมนทที่หนึ่ง (แกนตั้ง) และฟอร์แมนทที่สอง (แกนนอน) ของสระทั้งหมดของคำทดสอบชุด ค จำแนกเพศชายและเพศหญิง .....	66
รูปที่ 6.1	โครงสร้างต้นไม้แบบทวิภาคของหลักตัดสินใจการรู้จำหน่วยเสียงพยัญชนะ...	72
รูปที่ 6.2	ค่า F2-Trans วัดที่ตำแหน่งเริ่มต้นของช่วงเชื่อมต่อระหว่างหน่วยเสียง พยัญชนะ และหน่วยเสียงสระ .....	74
รูปที่ 6.3	ภาพสเปกโทรกราฟของคำว่า /raa0/ แสดงลักษณะช่วงเจ็บบเชิงกล อย่างชัดเจน .....	74
รูปที่ 6.4	คลื่นเสียงและพลังงานของคำว่า /rii1/ .....	75
รูปที่ 6.5	กราฟเปรียบเทียบผลการรู้จำหน่วยเสียงพยัญชนะ โดยใช้คำทดสอบ ชุด ข และ ค .....	81
รูปที่ 7.1	การประมวลผลการรู้จำคำพูด โดยแยกวิเคราะห์หน่วยเสียง .....	91
รูปที่ ก.1	เครื่องวิเคราะห์ความถี่ DSP Sona-Graph รุ่น 5500 .....	97
รูปที่ ก.2	แผนภูมิโครงสร้างเครื่อง DSP Sona-Graph .....	98
รูปที่ ก.3	จอภาพส่วนบนแสดงรูปคลื่น และสเปกตรัมของสัญญาณ จอภาพส่วนล่าง แสดงสเปกโทรแกรม .....	99