

บทที่ 4.

ผลการวิจัย

ในบทนี้จะกล่าวถึงรายละเอียดของผลการรู้จำหน่วยเสียงสระภาษาไทย เริ่มต้นจากค่าพารามิเตอร์สำคัญที่ใช้ในงานวิจัยนี้ ผลการรู้จำหน่วยเสียงสระซึ่งประกอบด้วยการจัดกลุ่มหน่วยเสียงสระ ผลการจำแนกเสียงสระภายในกลุ่ม ผลการจำแนกสระเสียงสั้น-ยาว และการวิเคราะห์ผลการรู้จำหน่วยเสียงสระภาษาไทย

4.1 พารามิเตอร์ที่สำคัญในการฝึกฝนของโครงข่ายประสาทเทียมและข้อมูลเสียงพูด

พารามิเตอร์ที่สำคัญในการฝึกฝนของโครงข่ายประสาทเทียม

ค่าพารามิเตอร์ของโครงข่ายประสาทเทียมสำหรับการฝึกฝนที่ใช้ในการวิจัยนี้มีดังนี้

1. ค่าอัตราการเรียนรู้ (Learning Rate) η เท่ากับ 0.1
2. ค่าคงที่โมเมนตัม (Momentum Constant) α เท่ากับ 0.9
3. ค่าผิดพลาดผ่านระดับ (Error Threshold) E_{TH} เท่ากับ 0.001
4. เงื่อนไขการหยุดฝึกฝน (Stopping Criteria) จำนวนข้อมูลฝึกฝนที่มีค่าผิดพลาดต่ำกว่าค่าผิดพลาดผ่านระดับเป็นจำนวนมากกว่าร้อยละ 98 ของจำนวนข้อมูลฝึกฝนทั้งหมด
5. ค่าน้ำหนักการเชื่อมต่อเริ่มต้นเป็นตัวแปรสุ่มที่มีการแจกแจงแบบสม่ำเสมออยู่ในช่วง 0 ถึง 1
6. จำนวนโนดในชั้นซ่อนตัวจะต้องทำการทดลองเพื่อหาจำนวนที่เหมาะสม

ข้อมูลฝึกฝนและทดสอบ

ข้อมูลเสียงพูดแบ่งเป็น 2 ชุด ได้แก่

1. ชุดฝึกฝนประกอบด้วยเสียงพูดสองครั้งของผู้พูดจำนวน 30 คน (เพศชาย อายุ 18 - 25 ปี)
2. ชุดทดสอบประกอบด้วยเสียงพูดสองครั้งของผู้พูดที่ไม่ได้อยู่ในชุดฝึกฝนจำนวน 20 คน (เพศชาย อายุ 18 - 25 ปี)

4.2 การแบ่งกลุ่มหน่วยเสียงสระภาษาไทย

การใช้โครงข่ายประสาทเทียมย่อยในการรู้จำหน่วยเสียงสระ จะแบ่งกลุ่มเสียงสระตามตารางที่ 4.1 ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

กลุ่มหน่วยเสียงสระกลุ่มที่ 1 จะเป็นกลุ่มหน่วยเสียงสำหรับการจำแนกหน่วยเสียงสระทั้ง 9 หน่วยเสียงออกเป็นกลุ่มหน่วยเสียงสระ 3 กลุ่มตามความถี่ฟอร์แมนท์ที่ 1 และกลุ่มหน่วยเสียงสระกลุ่มที่ 2 จะเป็นกลุ่มหน่วยเสียงสำหรับการจำแนกหน่วยเสียงสระทั้ง 9 หน่วยเสียงออกเป็นกลุ่มหน่วยเสียงสระ 3 กลุ่มตามความถี่ฟอร์แมนท์ที่ 2 ตามลำดับ

กลุ่มหน่วยเสียงสระกลุ่มที่ 3 กลุ่มที่ 4 และ กลุ่มที่ 5 เป็นกลุ่มหน่วยเสียงสระที่ได้จากการจำแนกหน่วยเสียงสระทั้ง 9 หน่วยเสียงของกลุ่มหน่วยเสียงสระกลุ่มที่ 1

กลุ่มหน่วยเสียงสระกลุ่มที่ 6 กลุ่มที่ 7 และ กลุ่มที่ 8 เป็นกลุ่มหน่วยเสียงสระที่ได้จากการจำแนกหน่วยเสียงสระทั้ง 9 หน่วยเสียงของกลุ่มหน่วยเสียงสระกลุ่มที่ 2

กลุ่มหน่วยเสียงสระกลุ่มที่ 9 จะเป็นกลุ่มหน่วยเสียงสระทั้ง 9 หน่วยเสียงสำหรับการใช้โครงข่ายประสาทเทียมเพียงโครงข่ายเดียวในการรู้จำหน่วยเสียงสระทั้งหมด

ตารางที่ 4.1 กลุ่มหน่วยเสียงสระ

กลุ่มหน่วยเสียง	หน่วยเสียงที่จำแนกชุดที่ 1	หน่วยเสียงที่จำแนกชุดที่ 2	หน่วยเสียงที่จำแนกชุดที่ 3
กลุ่มที่ 1	/ii/ /vv/ /uu/	/ee/ /qq/ /oo/	/xx/ /aa/ /@@/
กลุ่มที่ 2	/ii/ /ee/ /xx/	/vv/ /qq/ /aa/	/uu/ /oo/ /@@/
กลุ่มที่ 3	/ii/	/vv/	/uu/
กลุ่มที่ 4	/ee/	/qq/	/oo/
กลุ่มที่ 5	/xx/	/aa/	/@@/
กลุ่มที่ 6	/ii/	/ee/	/xx/
กลุ่มที่ 7	/vv/	/qq/	/aa/
กลุ่มที่ 8	/uu/	/oo/	/@@/
กลุ่มที่ 9	/ii/ /vv/ /uu/ /ee/ /qq/ /oo/ /xx/ /aa/ /@@/		

4.3 การทดลองเพื่อหาจำนวนโนตในชั้นซ่อนตัว

การทดลองนี้จะทำการหาจำนวนโนตในชั้นซ่อนตัวที่ทำให้อัตราการเรียนรู้สูงสุด โดยจะทำการแปรค่าจำนวนโนตเริ่มจาก 50 ถึง 250 โนต โดยเพิ่มขึ้นครั้งละ 50 โนต จำนวนโนตในระดับชั้นซ่อนตัวมีผลมาจากจำนวนโนตในระดับชั้นข้อมูลออกมากกว่าในระดับชั้นข้อมูลเข้า (ชัย วุฒิวิวัฒน์ชัย, 2540) และโครงข่ายประสาทเทียมสำหรับรู้จำหน่วยเสียงสระกลุ่มที่ 1 ถึงกลุ่มที่ 8 มีจำนวนโนตในชั้นข้อมูลเข้าและชั้นข้อมูลออกที่เท่ากันและใช้ค่าลักษณะสำคัญประเภทเดียวกัน ดังนั้นข้อมูลที่น่ามาทำให้ในการทดลองนี้คือหน่วยเสียงสระในกลุ่มที่ 3 และกลุ่มที่ 9 ซึ่งมีจำนวนโนตในชั้นข้อมูลออกที่แตกต่างกันคือ 3 โนตและ 9 โนตตามลำดับ เพื่อเป็นตัวแทนสำหรับกำหนดจำนวนโนตโครงข่ายประสาทเทียมกลุ่มต่างๆ ผู้พูดฝึกฝนที่ใช้ในการทดลองนี้มีจำนวน 30 คนและจำนวนผู้พูดทดสอบเท่ากับ 20 คน

ผลการทดลองหาจำนวนโนตในชั้นซ่อนตัว

จำนวนโนตในชั้นซ่อนตัวที่ทำให้อัตราการเรียนรู้สูงสุดกับข้อมูลทดสอบแบบไม่ขึ้นกับผู้พูดจำนวน 20 คนแสดงในตารางที่ 4.2 และตารางที่ 4.3 ตามลำดับ จากตารางที่ 4.2 และตารางที่ 4.3 จำนวนโนตในชั้นซ่อนตัวที่ทำให้อัตราการเรียนรู้สูงสุดสำหรับค่าลักษณะสำคัญส่วนใหญ่จะอยู่ที่ 150 โนตสำหรับทั้งหน่วยเสียงสระในกลุ่มที่ 3 และกลุ่มที่ 9 การเพิ่มจำนวนโนตจาก 150 โนตไปเป็น 200 โนตและ 250 โนตจะไม่ทำให้อัตรา

การรู้จำเพิ่มขึ้นเสมอไปบางครั้งเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเท่านั้นและในบางกรณีก็ลดลงจากเดิม ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้จำนวนโน้ตในชั้นซ่อนตัวเท่ากับ 150 โน้ต

ตารางที่ 4.2 ผลของจำนวนโน้ตในชั้นซ่อนตัวกับอัตราการเรียนรู้ของหน่วยเสียงสระในกลุ่มที่ 3 (ii, vv, uu)

ค่าลักษณะสำคัญ	จำนวนโน้ตในชั้นซ่อนตัว				
	50	100	150	200	250
สัมประสิทธิ์การประมาณพหุระเชิงเส้น					
อันดับ 8	82.34	89.21	93.58	92.14	92.83
อันดับ 10	84.33	88.58	92.67	92.50	92.33
อันดับ 12	85.45	91.74	95.67	95.25	94.35
อันดับ 14	86.11	91.25	96.33	96.50	95.83
อันดับ 16	85.92	92.41	96.25	96.03	94.18
อันดับ 18	86.54	91.35	96.17	95.67	95.89
อันดับ 20	85.28	92.62	95.75	94.58	93.74
อันดับ 22	87.44	91.19	96.75	92.82	95.69
อันดับ 24	85.58	93.87	96.67	93.94	90.18
สัมประสิทธิ์ Cepstral					
อันดับ 12 ค่าวนจากสัมประสิทธิ์การประมาณพหุระเชิงเส้นอันดับ 10	84.22	89.06	93.08	92.69	93.87
อันดับ 12 ค่าวนจากสัมประสิทธิ์การประมาณพหุระเชิงเส้นอันดับ 12	86.78	90.67	96.75	95.49	95.92
อันดับ 16 ค่าวนจากสัมประสิทธิ์การประมาณพหุระเชิงเส้นอันดับ 10	85.67	88.39	91.42	92.35	90.27
อันดับ 16 ค่าวนจากสัมประสิทธิ์การประมาณพหุระเชิงเส้นอันดับ 12	88.13	92.62	96.67	95.32	94.68
อันดับ 16 ค่าวนจากสัมประสิทธิ์การประมาณพหุระเชิงเส้นอันดับ 16	89.92	93.58	96.75	94.98	96.57
ความถี่ฟอร์แมนท์					
F1 และ F2	90.68	94.23	96.83	96.44	95.97
F1 F2 และ F3	91.29	93.52	96.58	95.39	96.18
F1 F2 และขนาดของสเปกตรัม	89.85	94.37	97.75	96.98	97.87
F1 F2 F3 และขนาดของสเปกตรัม	91.43	95.81	98.17	97.53	98.04

ตารางที่ 4.3 ผลของจำนวนโน้ตในชั้นซอห์นตัวกับอัตราการใช้ของหน่วยเสียงสระในกลุ่มที่ 9 (สระทุกหน่วย)

ค่าลักษณะสำคัญ	จำนวนโน้ตในชั้นซอห์นตัว				
	50	100	150	200	250
สัมประสิทธิ์การประมาณพันธะเชิงเส้น					
อันดับ 8	65.37	69.62	75.50	75.14	72.69
อันดับ 10	64.82	70.34	75.47	74.38	76.11
อันดับ 12	67.51	73.04	80.06	78.92	79.64
อันดับ 14	70.33	75.76	82.44	82.61	81.38
อันดับ 16	69.27	77.84	83.17	81.63	82.71
อันดับ 18	68.84	75.23	84.92	82.65	83.96
อันดับ 20	70.68	78.42	83.00	83.14	82.97
อันดับ 22	69.82	74.96	82.75	80.91	81.53
อันดับ 24	71.15	78.37	84.22	82.94	83.51
สัมประสิทธิ์ Cepstral					
อันดับ 12 จำนวนจากสัมประสิทธิ์การประมาณ พันธะเชิงเส้นอันดับ 10	65.03	75.64	78.33	80.62	78.18
อันดับ 12 จำนวนจากสัมประสิทธิ์การประมาณ พันธะเชิงเส้นอันดับ 12	70.94	78.15	83.61	83.02	81.38
อันดับ 16 จำนวนจากสัมประสิทธิ์การประมาณ พันธะเชิงเส้นอันดับ 10	64.96	75.23	78.97	76.94	75.27
อันดับ 16 จำนวนจากสัมประสิทธิ์การประมาณ พันธะเชิงเส้นอันดับ 12	75.54	79.32	84.78	82.57	84.05
อันดับ 16 จำนวนจากสัมประสิทธิ์การประมาณ พันธะเชิงเส้นอันดับ 16	74.19	80.97	85.92	84.31	83.70
ความถี่ฟอร์แมนท์					
F1 และ F2	67.59	75.63	80.86	78.58	75.62
F1 F2 และ F3	68.92	74.86	79.92	78.19	80.28
F1 F2 และขนาดของสเปกตรัม	64.27	71.96	77.47	75.73	77.22
F1 F2 F3 และขนาดของสเปกตรัม	62.39	69.47	74.86	72.09	73.82

4.4 ผลการรู้จำหน่วยเสียงสระในแต่ละกลุ่มย่อย

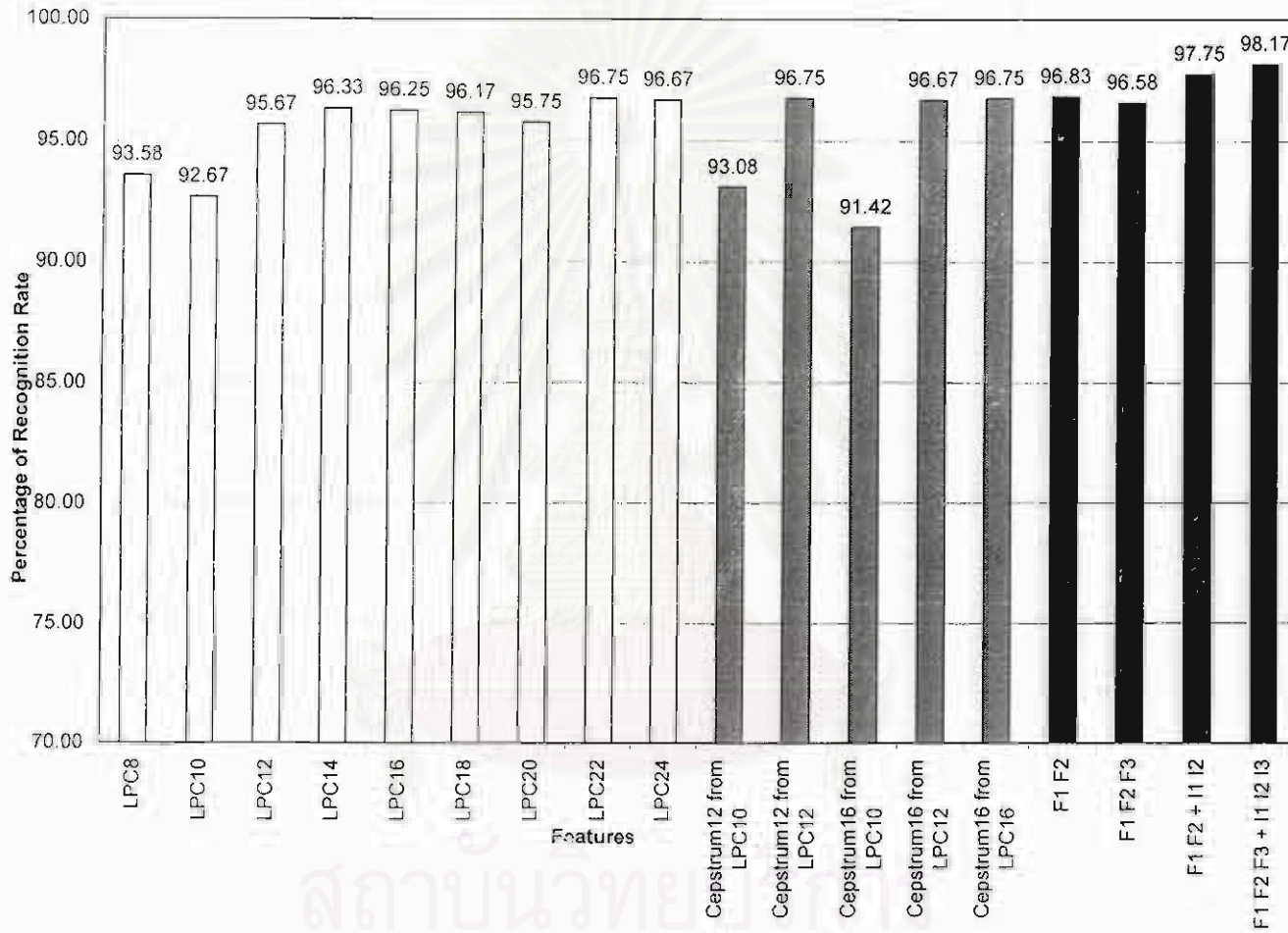
อัตราการรู้จำแบบไม่ขึ้นกับผู้พูดของข้อมูลทดสอบ 20 คน สำหรับหน่วยเสียงสระในกลุ่มที่ 3 4 5 6 7 และ 8 ที่แสดงในรูปที่ 4.1 ถึงรูปที่ 4.6 สำหรับค่าลักษณะสำคัญประเภทต่างๆ โดยมีจำนวนผู้พูดฝึกฝน 30 คน ซึ่งคำนวณจากจำนวนข้อมูลที่จำแนกได้ถูกต้องภายในกลุ่มเทียบกับจำนวนข้อมูลทั้งหมดภายในกลุ่ม ดังนี้

อัตราการรู้จำหน่วยเสียงสระในกลุ่มย่อยเท่ากับจำนวนเสียงพูดที่รู้จำถูกต้องในกลุ่มย่อยต่อจำนวนเสียงพูดทั้งหมดที่ถูกจำแนกเข้ามาในกลุ่มย่อย

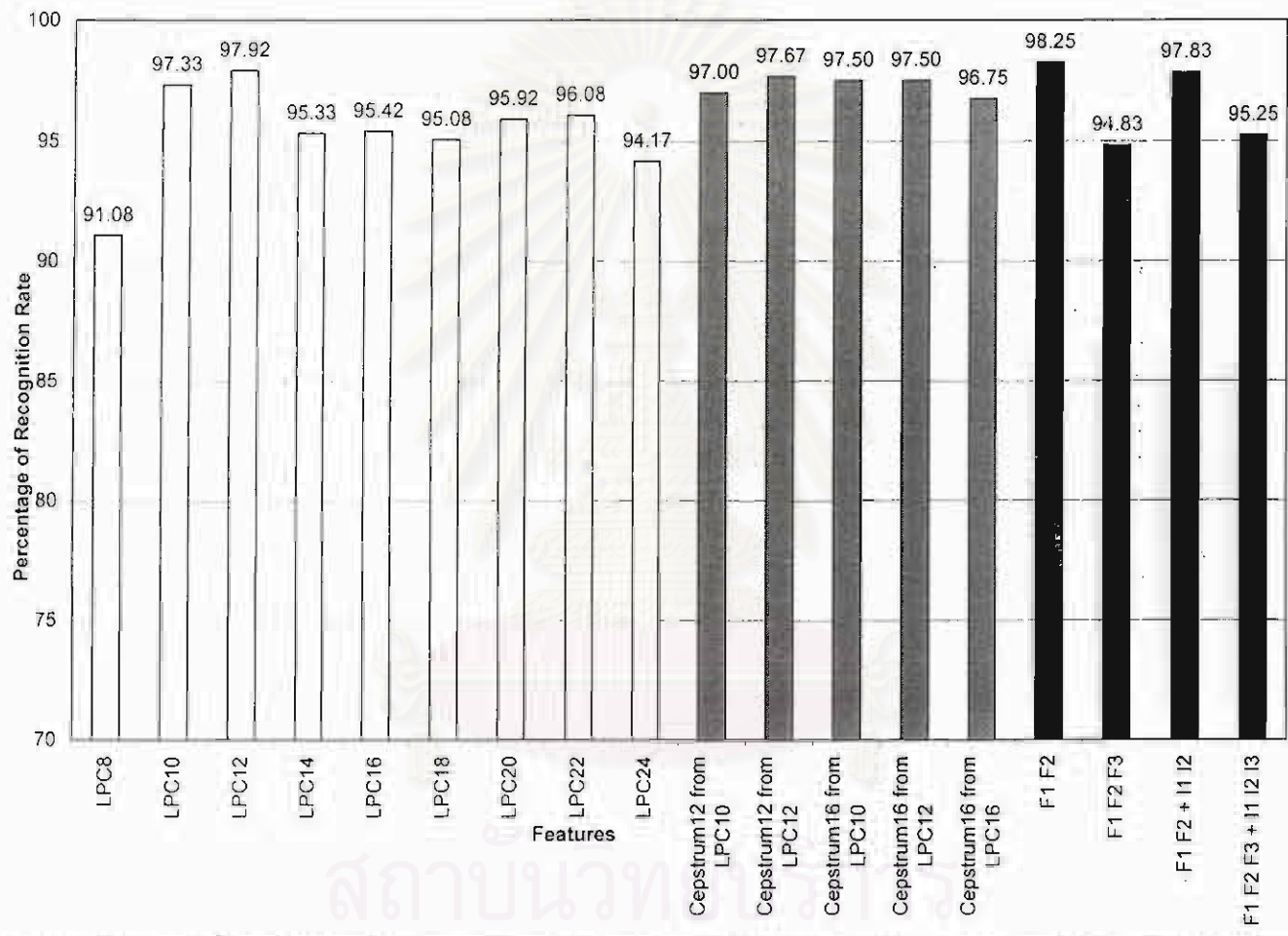
ตารางที่ 4.4 ถึงตารางที่ 4.9 แสดงตัวอย่างของการคำนวณอัตราการรู้จำแบบไม่ขึ้นกับผู้พูดโดยเฉลี่ยของข้อมูลทดสอบ 20 คน สำหรับหน่วยเสียงสระภายในกลุ่มที่ 3 4 5 6 7 และ 8 ซึ่งมีจำนวนผู้พูดฝึกฝน 30 คนและใช้ค่าลักษณะสำคัญคือ สัมประสิทธิ์ cepstral 16 อันดับที่คำนวณจากสัมประสิทธิ์การประมาณพัลซเซิงเส้น 16 อันดับ อัตราการรู้จำโดยเฉลี่ยของตารางที่ 4.4 ถึงตารางที่ 4.9 คำนวณจากผลรวมของข้อมูลที่จำแนกได้ถูกต้องตามแนวทแยงมุมของตารางต่อจำนวนกลุ่มข้อมูลที่ต้องการจำแนก

ในรูปที่ 4.7 แสดงการกระจายของความถี่ฟอร์แมนท์ที่ 1 และความถี่ฟอร์แมนท์ที่ 2 ของผู้พูดเพศชายที่มีอายุระหว่าง 18-25 ปีจำนวน 50 คน ส่วนในรูปที่ 4.8 แสดงการประมาณการกระจายของความถี่ฟอร์แมนท์ที่ 1 และความถี่ฟอร์แมนท์ที่ 2 ด้วยวิธีทางสถิติ (Mortensen, 1987) โดยที่แสดงการแจกแจงของข้อมูลที่ตำแหน่งห่างจากค่าเฉลี่ยหนึ่งเท่าของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

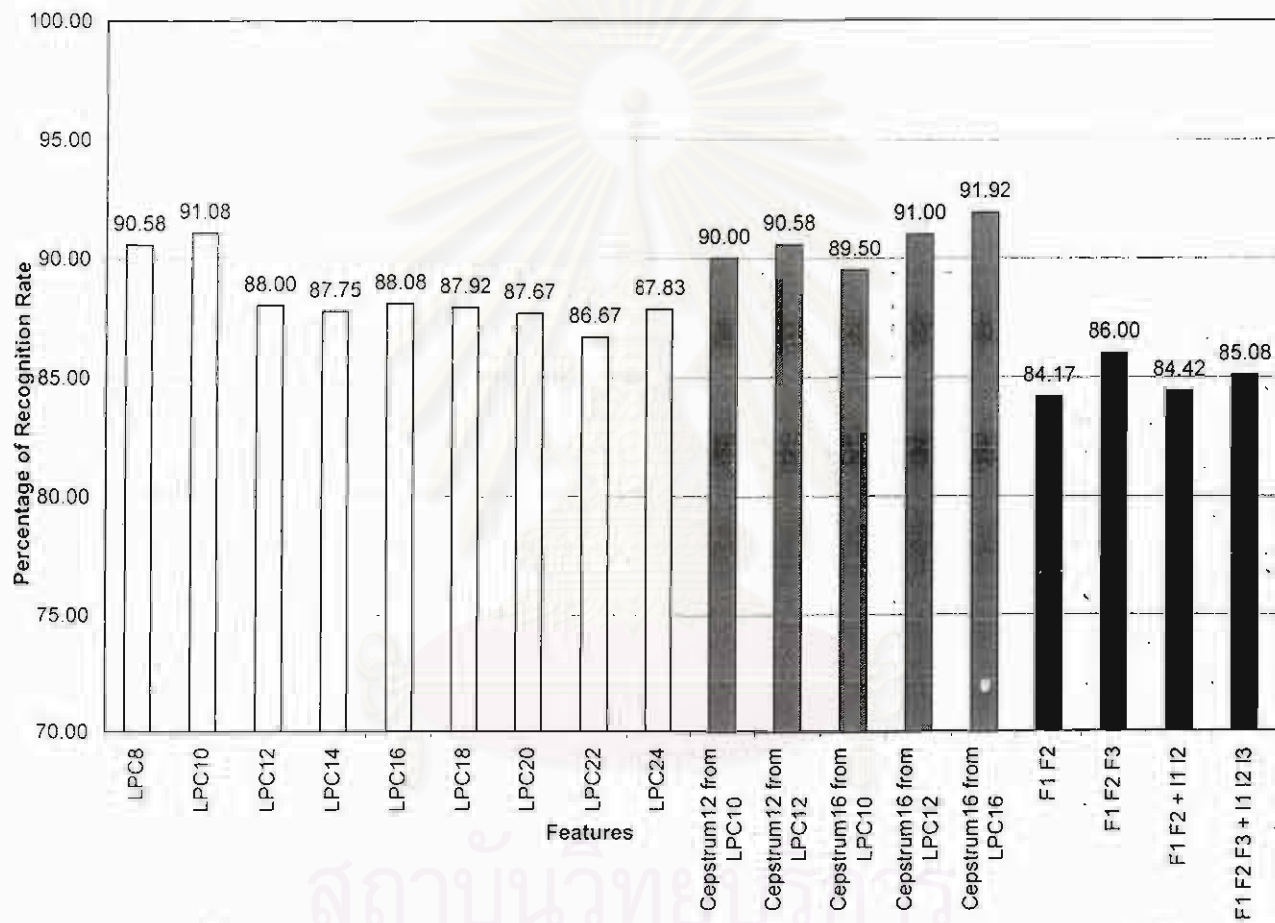
การที่คิดอัตราการรู้จำหน่วยเสียงสระในกลุ่มย่อยแบบนี้ เพื่อวิเคราะห์และแก้ไขความกำกวมในกรณีที่มีความผิดพลาดในการรู้จำ ทำให้ทราบประสิทธิภาพของโครงข่ายประสาทเทียมในการรู้จำหน่วยเสียงสระในแต่ละกลุ่มย่อยและสามารถเลือกการแบ่งกลุ่มหน่วยเสียงสระได้อย่างมีประสิทธิภาพ



รูปที่ 4.1 อัตราการรู้จำแบบไม่ขึ้นกับผู้พูดของข้อมูลทดสอบสำหรับหน่วยเสียงสระกลุ่มที่ 3 หรือสระสูง (หน้า-กลาง-หลัง) เมื่อใช้ผู้พูดฝึกฝน 30 คน

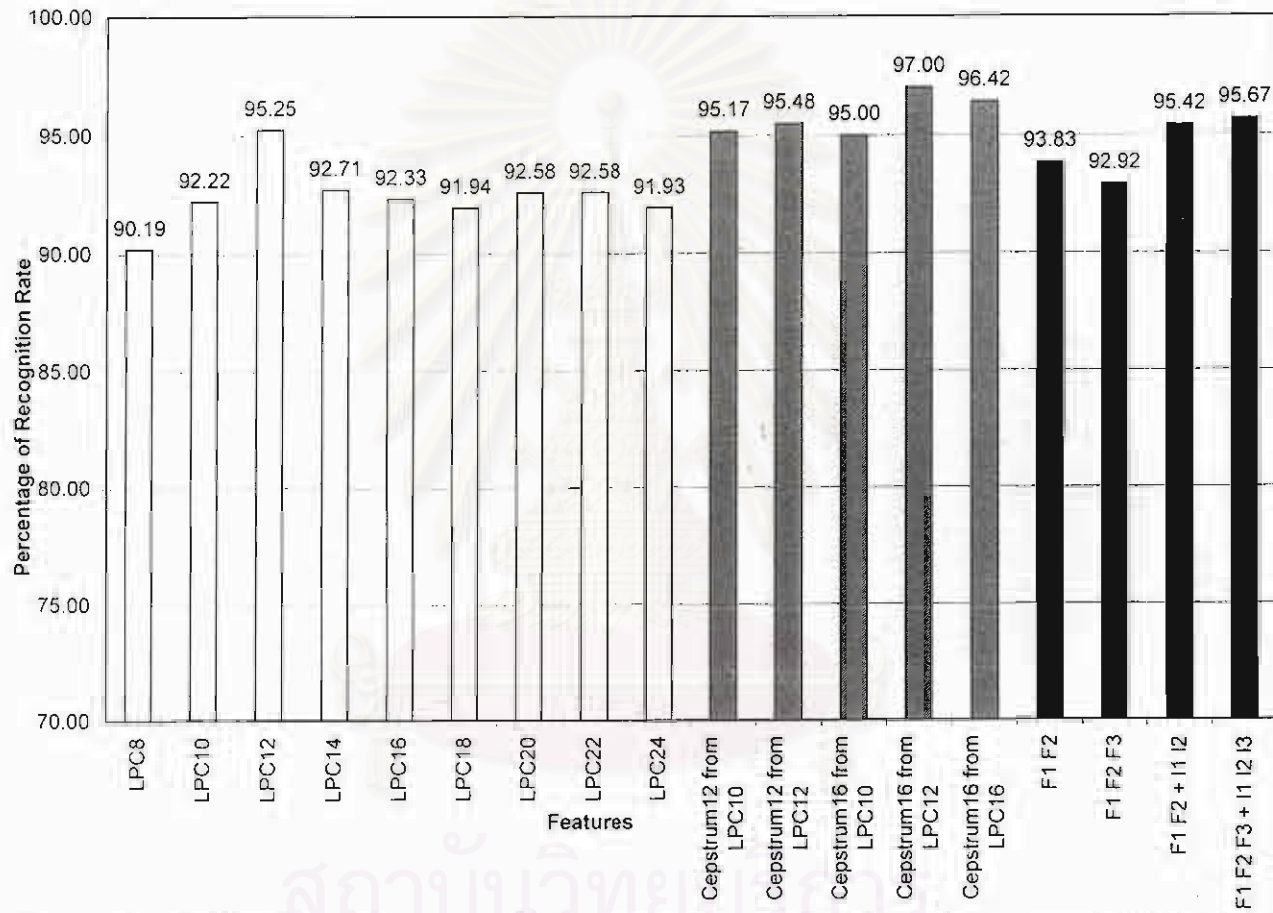


รูปที่ 4.2 อัตราการรู้จำแบบไม่ขึ้นกับผู้พูดของข้อมูลทดสอบสำหรับหน่วยเสียงสระกลุ่มที่ 4 หรือสระกลาง (หน้า-กลาง-หลัง) เมื่อใช้ผู้พูดฝึกฝน 30 คน



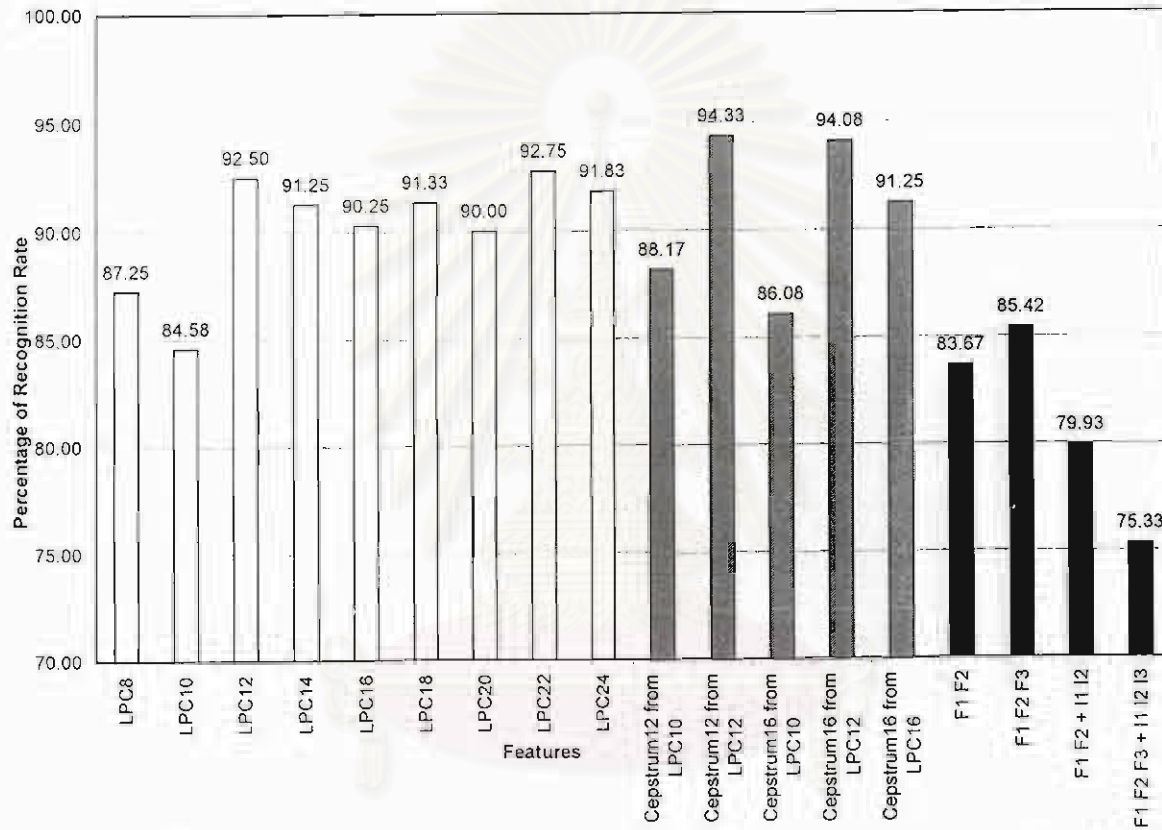
รูปที่ 4.3 อัตราการรู้จำแบบไม่ขึ้นกับผู้พูดของข้อมูลทดสอบสำหรับหน่วยเสียงสระกลุ่มที่ 5 หรือสระต่ำ (หน้า-กลาง-หลัง) เมื่อใช้ผู้พูดฝึกฝน 30 คน

สถาบันวิทยสิริเมธี
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

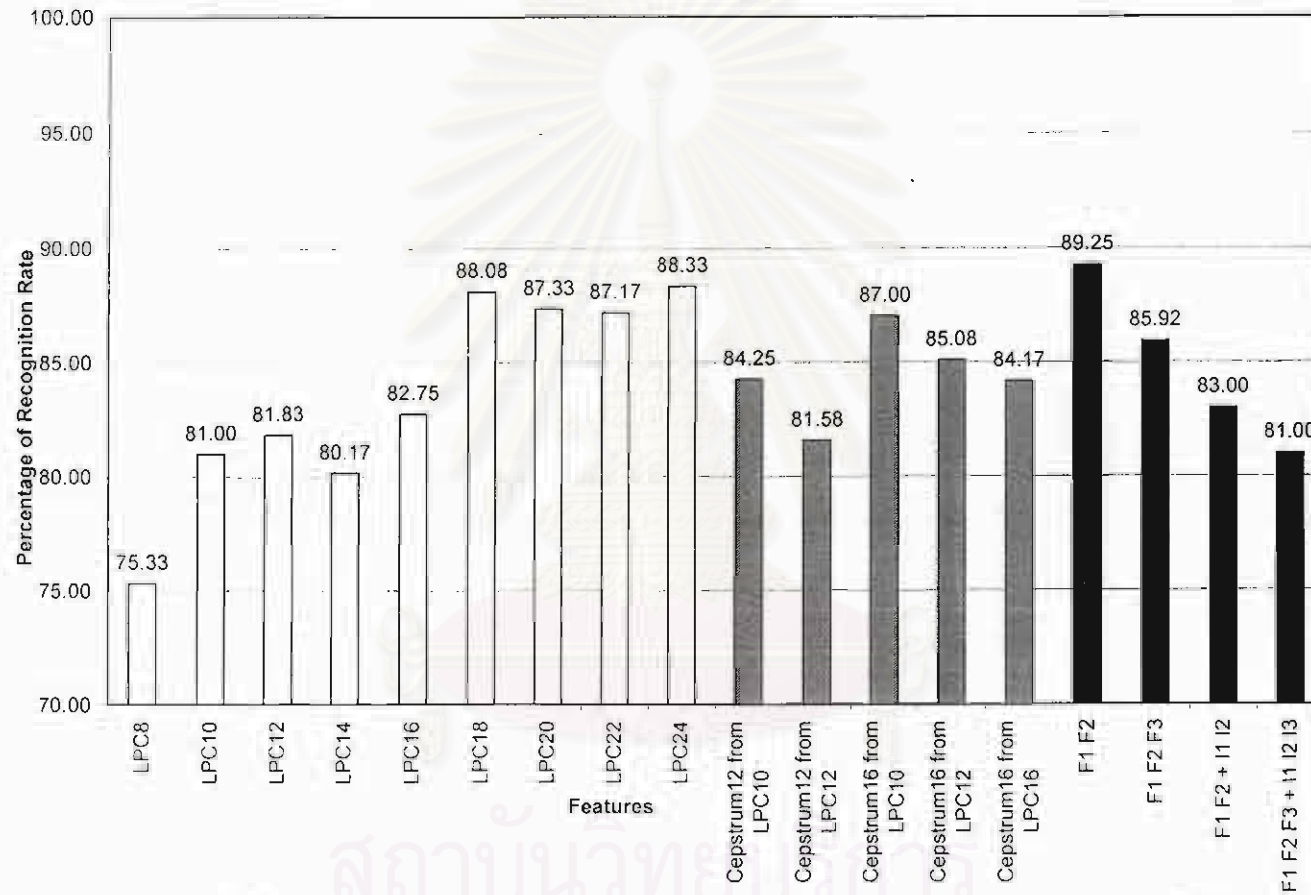


รูปที่ 4.4 อัตราการรู้จำแบบไม่ขึ้นกับผู้พูดของข้อมูลทดสอบสำหรับหน่วยเสียงสระกลุ่มที่ 6 หรือสระหน้า (สูง-กลาง-ต่ำ) เมื่อใช้ผู้พูดฝึกฝน 30 คน

สถาบันวิจัยและพัฒนา
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.5 อัตราการรู้จำแบบไม่ขึ้นกับผู้พูดของข้อมูลทดสอบสำหรับหน่วยเสียงสระกลุ่มที่ 7 หรือสระกลาง (สูง-กลาง-ต่ำ) เมื่อใช้ผู้พูดฝึกฝน 30 คน



รูปที่ 4.6 อัตราการรู้จำแบบไม่ขึ้นกับผู้พูดของข้อมูลทดสอบสำหรับหน่วยเสียงสระกลุ่มที่ 8 หรือสระหลัง (สูง-กลาง-ต่ำ) เมื่อใช้ผู้พูดฝึกฝน 30 คน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.4 อัตราการรู้จำแบบไม่ขึ้นกับผู้พูดของข้อมูลทดสอบสำหรับหน่วยเสียงสระกลุ่มที่ 3 หรือสระสูง (หน้า-กลาง-หลัง) ที่ใช้สัมประสิทธิ์ cepstral 16 อันดับเป็นค่าลักษณะสำคัญ

หน่วยเสียงที่ ต้องการรู้จำ	หน่วยเสียงที่รู้จำได้		
	/ii/	/yy/	/uu/
/ii/	100.00	0.00	0.00
/yy/	7.25	90.25	2.50
/uu/	0.00	0.00	100.00

อัตราการรู้จำเฉลี่ยร้อยละ 96.75

ตารางที่ 4.5 อัตราการรู้จำแบบไม่ขึ้นกับผู้พูดของข้อมูลทดสอบสำหรับหน่วยเสียงสระกลุ่มที่ 4 หรือสระกลาง (หน้า-กลาง-หลัง) ที่ใช้สัมประสิทธิ์ cepstral 16 อันดับเป็นค่าลักษณะสำคัญ

หน่วยเสียงที่ ต้องการรู้จำ	หน่วยเสียงที่รู้จำได้		
	/ee/	/qq/	/oo/
/ee/	94.25	5.75	0.00
/qq/	0.00	96.00	4.00
/oo/	0.00	0.00	100.00

อัตราการรู้จำเฉลี่ยร้อยละ 96.75

ตารางที่ 4.6 อัตราการรู้จำแบบไม่ขึ้นกับผู้พูดของข้อมูลทดสอบสำหรับหน่วยเสียงสระกลุ่มที่ 5 หรือสระต่ำ (หน้า-กลาง-หลัง) ที่ใช้สัมประสิทธิ์ cepstral 16 อันดับเป็นค่าลักษณะสำคัญ

หน่วยเสียงที่ ต้องการรู้จำ	หน่วยเสียงที่รู้จำได้		
	/xx/	/aa/	/@@/
/xx/	86.50	13.50	0.00
/aa/	4.50	94.25	1.25
/@@/	5.00	0.00	95.00

อัตราการรู้จำเฉลี่ยร้อยละ 91.92

ตารางที่ 4.7 อัตราการรู้จำแบบไม่ขึ้นกับผู้พูดของข้อมูลทดสอบสำหรับหน่วยเสียงสระกลุ่มที่ 6 หรือสระหน้า (สูง-กลาง-ต่ำ) ที่ใช้สัมประสิทธิ์ cepstral 16 อันดับเป็นค่าลักษณะสำคัญ

หน่วยเสียงที่ ต้องการรู้จำ	หน่วยเสียงที่รู้จำได้		
	/ii/	/ee/	/xx/
/ii/	100.00	0.00	0.00
/ee/	5.00	95.00	0.00
/xx/	0.00	5.75	94.25

อัตราการรู้จำเฉลี่ยร้อยละ 96.42

ตารางที่ 4.8 อัตราการรู้จำแบบไม่ขึ้นกับผู้พูดของข้อมูลทดสอบสำหรับหน่วยเสียงสระกลุ่มที่ 7 หรือสระกลาง (สูง-กลาง-ต่ำ) ที่ใช้สัมประสิทธิ์ cepstral 16 อันดับเป็นค่าลักษณะสำคัญ

หน่วยเสียงที่ ต้องการรู้จำ	หน่วยเสียงที่รู้จำได้		
	/vv/	/uu/	/oo/
/vv/	97.75	2.25	0.00
/uu/	18.00	82.00	0.00
/oo/	4.25	1.75	94.00

อัตราการรู้จำเฉลี่ยร้อยละ 91.25

ตารางที่ 4.9 อัตราการรู้จำแบบไม่ขึ้นกับผู้พูดของข้อมูลทดสอบสำหรับหน่วยเสียงสระกลุ่มที่ 8 หรือสระหลัง (สูง-กลาง-ต่ำ) ที่ใช้สัมประสิทธิ์ cepstral 16 อันดับเป็นค่าลักษณะสำคัญ

หน่วยเสียงที่ ต้องการรู้จำ	หน่วยเสียงที่รู้จำได้		
	/uu/	/oo/	/@@/
/uu/	88.50	9.75	1.75
/oo/	8.25	87.50	4.25
/@@/	0.25	23.25	76.50

อัตราการรู้จำเฉลี่ยร้อยละ 84.17

วิเคราะห์ผลการรู้จำหน่วยเสียงสระภาษาไทยแต่ละกลุ่มย่อย

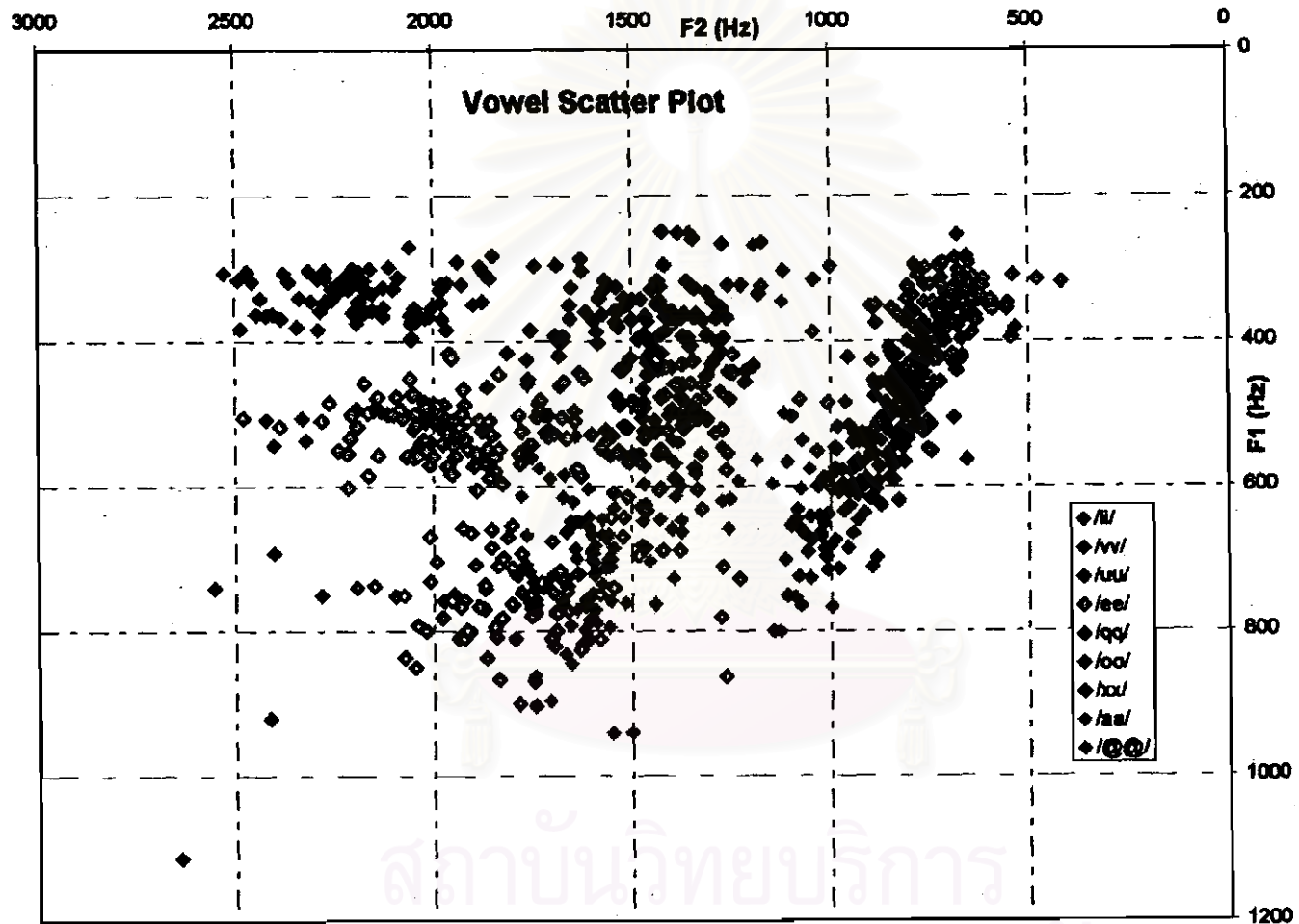
1. อัตราการรู้จำหน่วยเสียงสระภาษาไทยแต่ละกลุ่มย่อยมีค่าสูงเนื่องจากโครงข่ายประสาทเทียมสร้างต้นแบบหน่วยเสียงจำนวนไม่มากต่อหนึ่งโครงข่ายทำให้ต้นแบบหน่วยเสียงที่สร้างขึ้นมีความแตกต่างกันมาก
2. อัตราการรู้จำหน่วยเสียงสระในกลุ่มที่ 3 4 6 และ 7 จะมีค่าสูง วิเคราะห์จากแผนภาพแสดงการแจกแจงของความถี่ฟอร์แมนท์ที่ 1 และความถี่ฟอร์แมนท์ที่ 2 ที่แสดงในรูปที่ 4.7 และรูปที่ 4.8 ได้คือ ระยะห่างระหว่างจุดศูนย์กลางของการกระจายความถี่ฟอร์แมนท์มีค่ามาก การกระจายของความถี่ฟอร์แมนท์จึงมีโอกาที่จะเกิดการทับซ้อนกันน้อยมาก
3. อัตราการรู้จำหน่วยเสียงสระในกลุ่มที่ 5 และ 8 มีค่าต่ำ วิเคราะห์จากแผนภาพการแจกแจงของความถี่ฟอร์แมนท์ที่ 1 และความถี่ฟอร์แมนท์ที่ 2 ที่แสดงในรูปที่ 4.7 และรูปที่ 4.8 ได้ดังนี้
 - หน่วยเสียงสระในกลุ่มที่ 5 มีระยะห่างระหว่างจุดศูนย์กลางของการกระจายความถี่ฟอร์แมนท์ที่ 2 น้อยกว่าหน่วยเสียงสระในกลุ่มที่ 3 และ 4 การกระจายของความถี่ฟอร์แมนท์จึงมีโอกาที่จะเกิดการทับซ้อนกันมาก
 - หน่วยเสียงสระในกลุ่มที่ 8 มีระยะห่างระหว่างจุดศูนย์กลางของการกระจายความถี่ฟอร์แมนท์ที่ 1 น้อยกว่าหน่วยเสียงสระในกลุ่มที่ 6 และ 7 การกระจายของความถี่ฟอร์แมนท์จึงมีโอกาที่จะเกิดการทับซ้อนกันมาก
4. พิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการรู้จำกับจำนวนผู้พูดฝึกฝนจากตารางที่ ค.1 ถึง ตารางที่ ค.6 ในภาคผนวก ค. พบว่าเมื่อจำนวนผู้พูดฝึกฝนเพิ่มขึ้นอัตราการรู้จำจะมีค่าสูงขึ้นตามไปด้วยเนื่องจากระบบสามารถที่จะสร้างต้นแบบหน่วยเสียงให้มีความครอบคลุมความแปรผันของเสียงได้ดีขึ้น

4.5 ผลการรู้จำหน่วยเสียงสระภาษาไทยทั้งระบบ

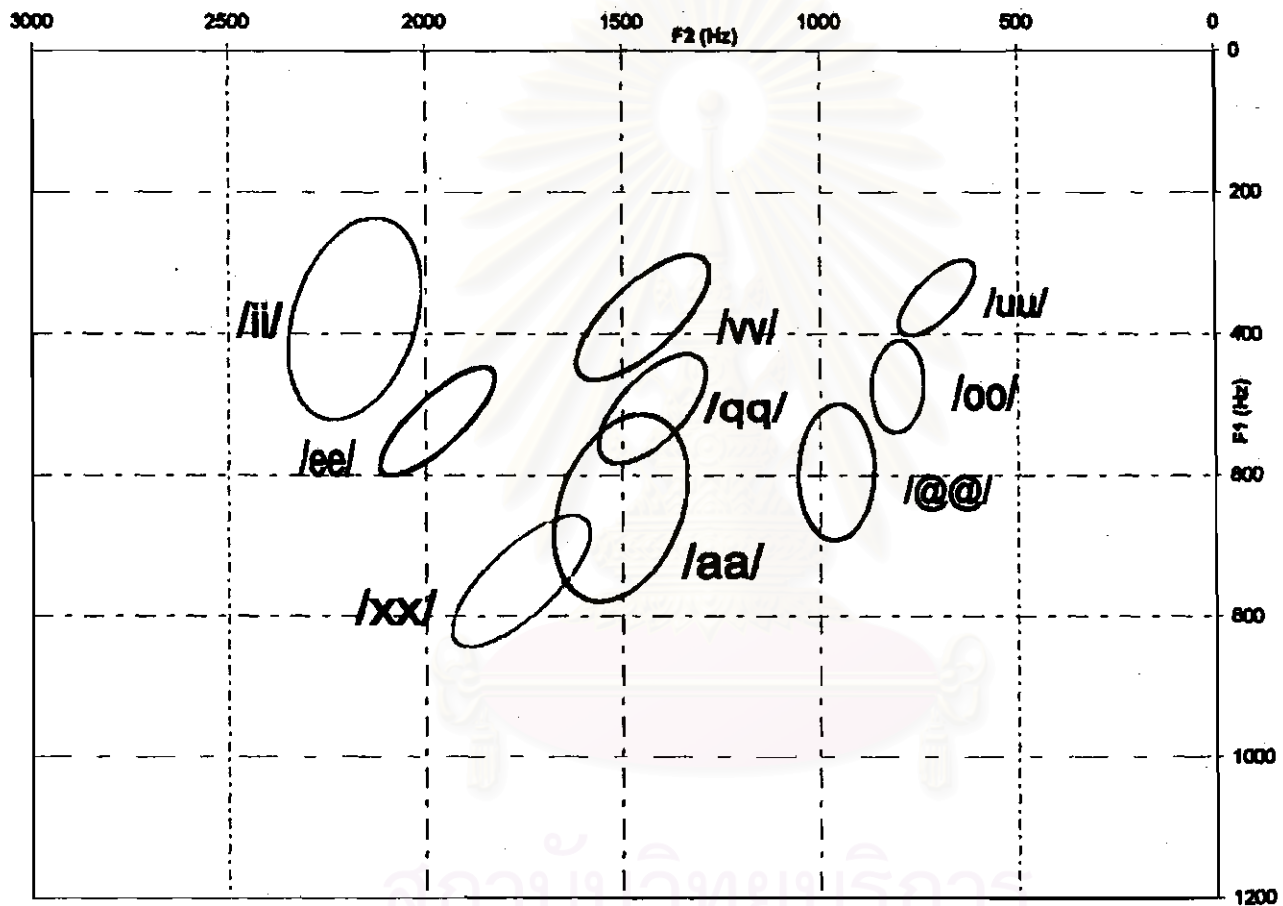
ผลการรู้จำแบบไม่ขึ้นกับผู้พูดของข้อมูลทดสอบสำหรับหน่วยเสียงสระภาษาไทยแบ่งออกเป็น 9 ชุดตามค่าลักษณะสำคัญและกลุ่มหน่วยเสียงสระแสดงในรูปที่ 4.9 ถึงรูปที่ 4.17 และตารางที่ ค.7 ถึง ตารางที่ ค.15 ในภาคผนวก ค. อัตราการรู้จำแบบไม่ขึ้นกับผู้พูดของข้อมูลทดสอบสำหรับหน่วยเสียงสระในกลุ่มที่ 3 4 5 6 7 และ 8 ที่แสดงในรูปที่ 4.11 ถึงรูปที่ 4.16 คำนวณจากจำนวนข้อมูลที่จำแนกได้ถูกต้องภายในกลุ่มเทียบกับจำนวนข้อมูลทั้งหมดดังนี้

อัตราการรู้จำทั้งระบบ ต่ำกับจำนวนเสียงพูดในกลุ่มย่อยที่รู้จำถูกต้องต่อจำนวนเสียงพูดทั้งหมดก่อนที่จะแบ่งกลุ่มตามความถี่ฟอร์แมนท์ที่ 1 และความถี่ฟอร์แมนท์ที่ 2

ในรูปที่ 4.18 แสดงผลการเปรียบเทียบอัตราการรู้จำแบบไม่ขึ้นกับผู้พูดของข้อมูลทดสอบของระบบที่มีแบ่งกลุ่มตามความถี่ฟอร์แมนท์ที่ 1 ความถี่ฟอร์แมนท์ที่ 2 และระบบไม่มีการแบ่งกลุ่ม

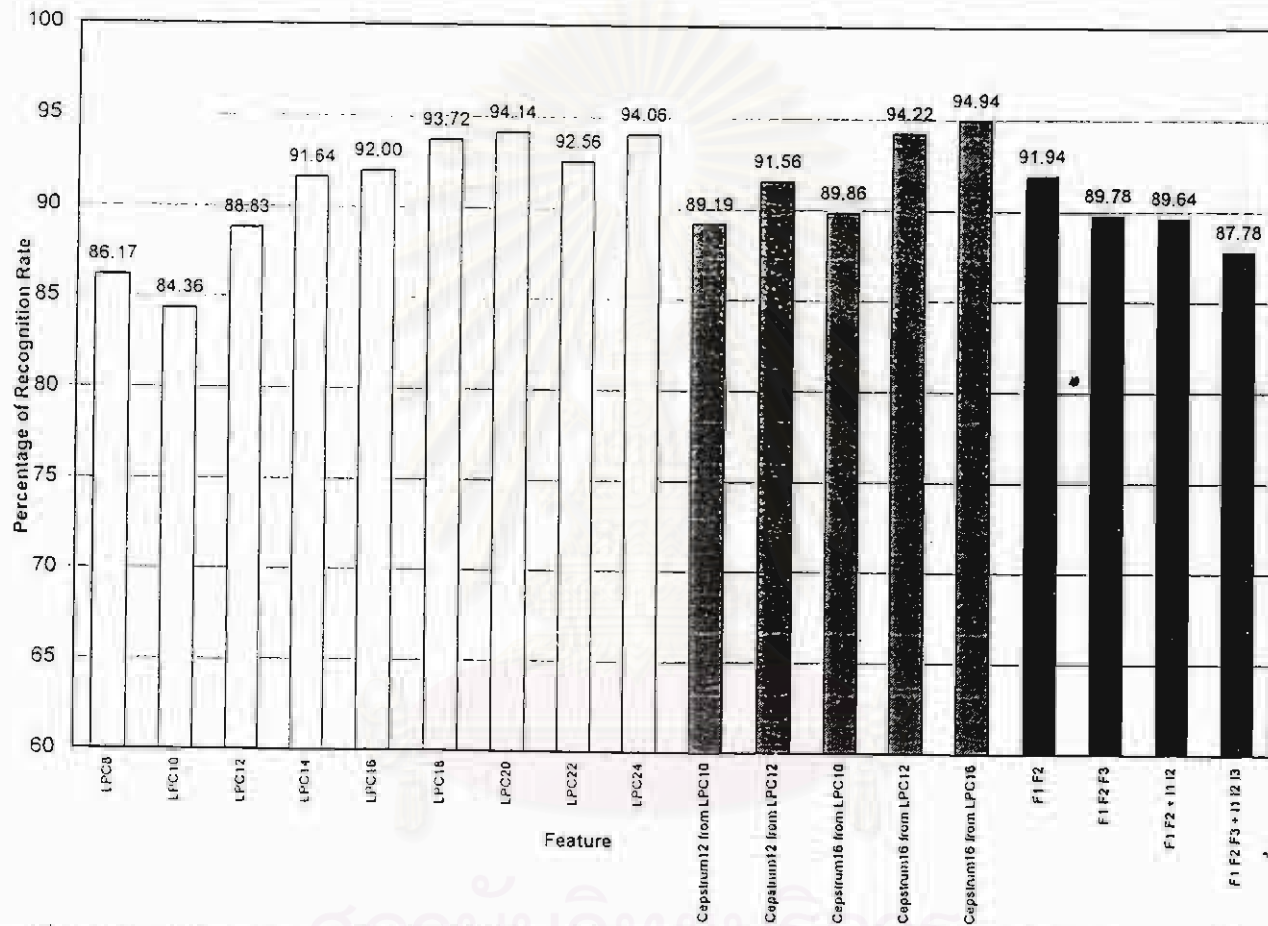


รูปที่ 4.7 แผนภาพการกระจายของความถี่ฟอร์แมนท์ที่ 1 และความถี่ฟอร์แมนท์ที่ 2 ของหน่วยเสียงสระ

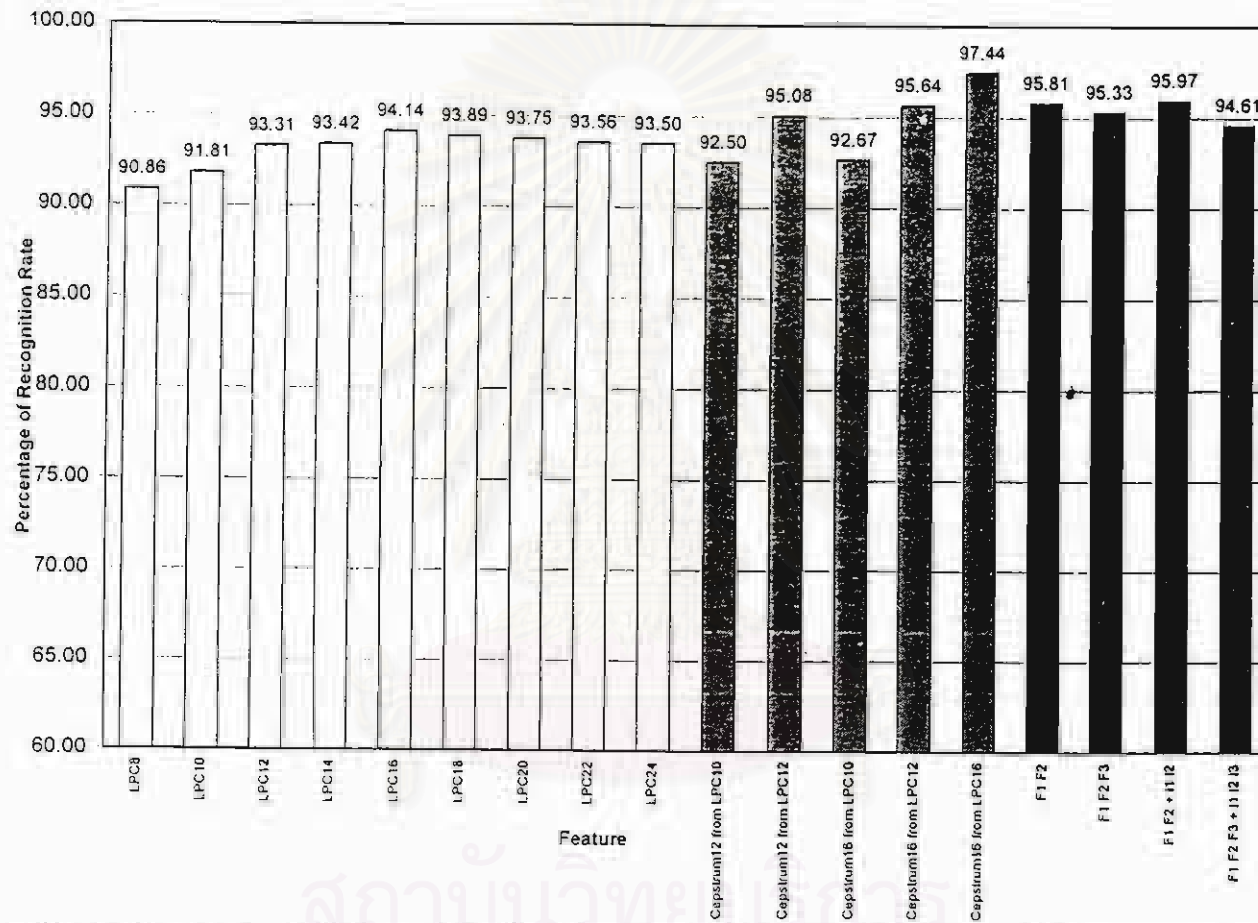


รูปที่ 4.8 แผนภาพแสดงการประมาณขอบเขตของของหน่วยเสียงสระ

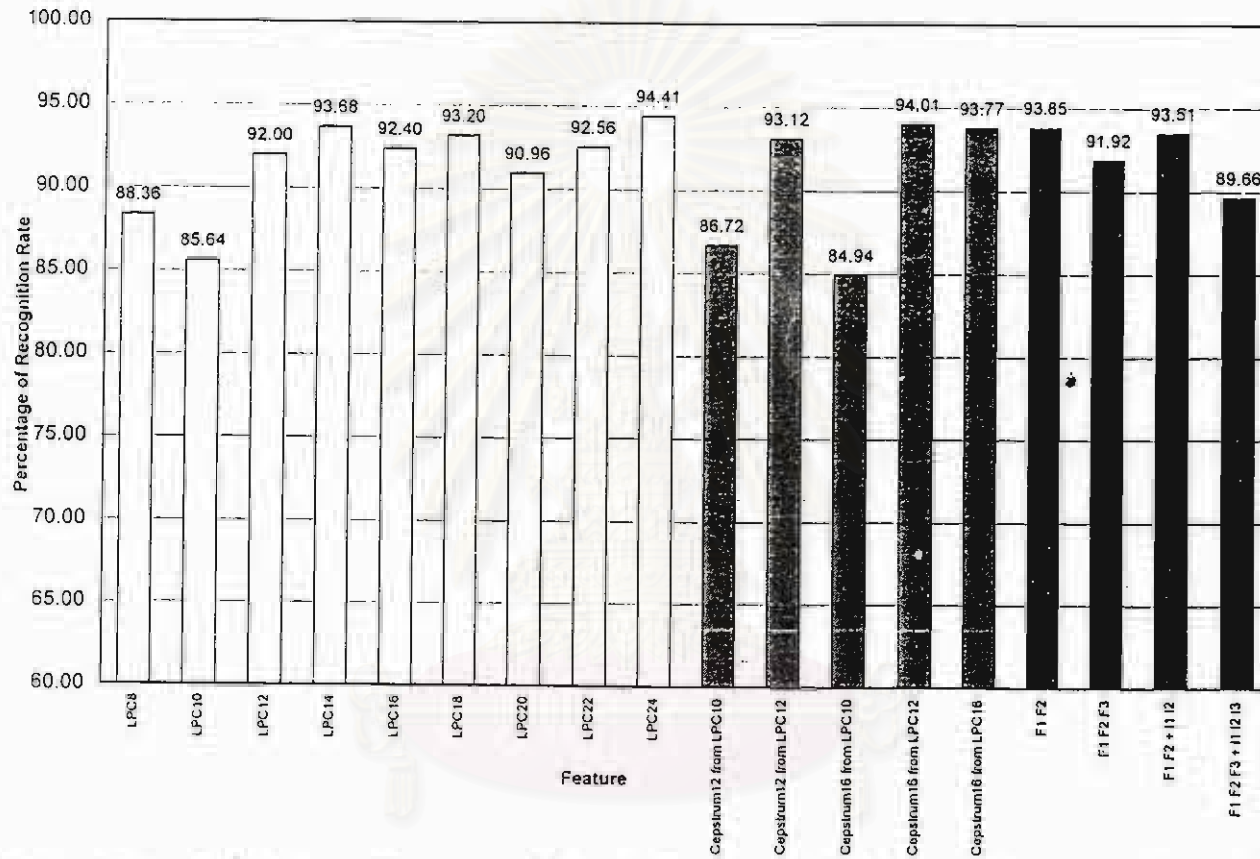
สถาบันวิจัยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



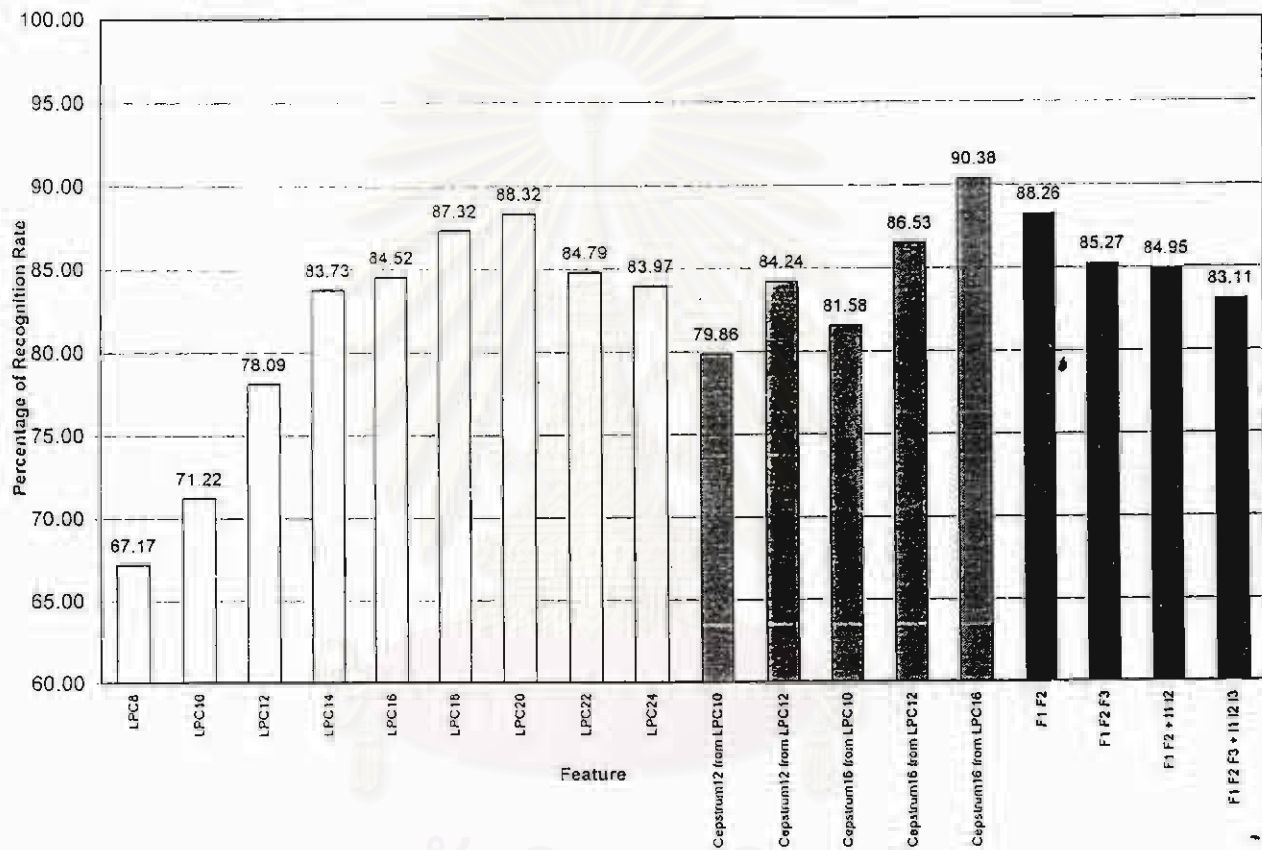
รูปที่ 4.9 อัตราการจำแนกหน่วยเสียงสระแบบไม่ขึ้นกับผู้พูดของข้อมูลทดสอบตามความถี่ฟอร์แมนท์ที่ 1 (เสียงสระกลุ่มที่ 1)



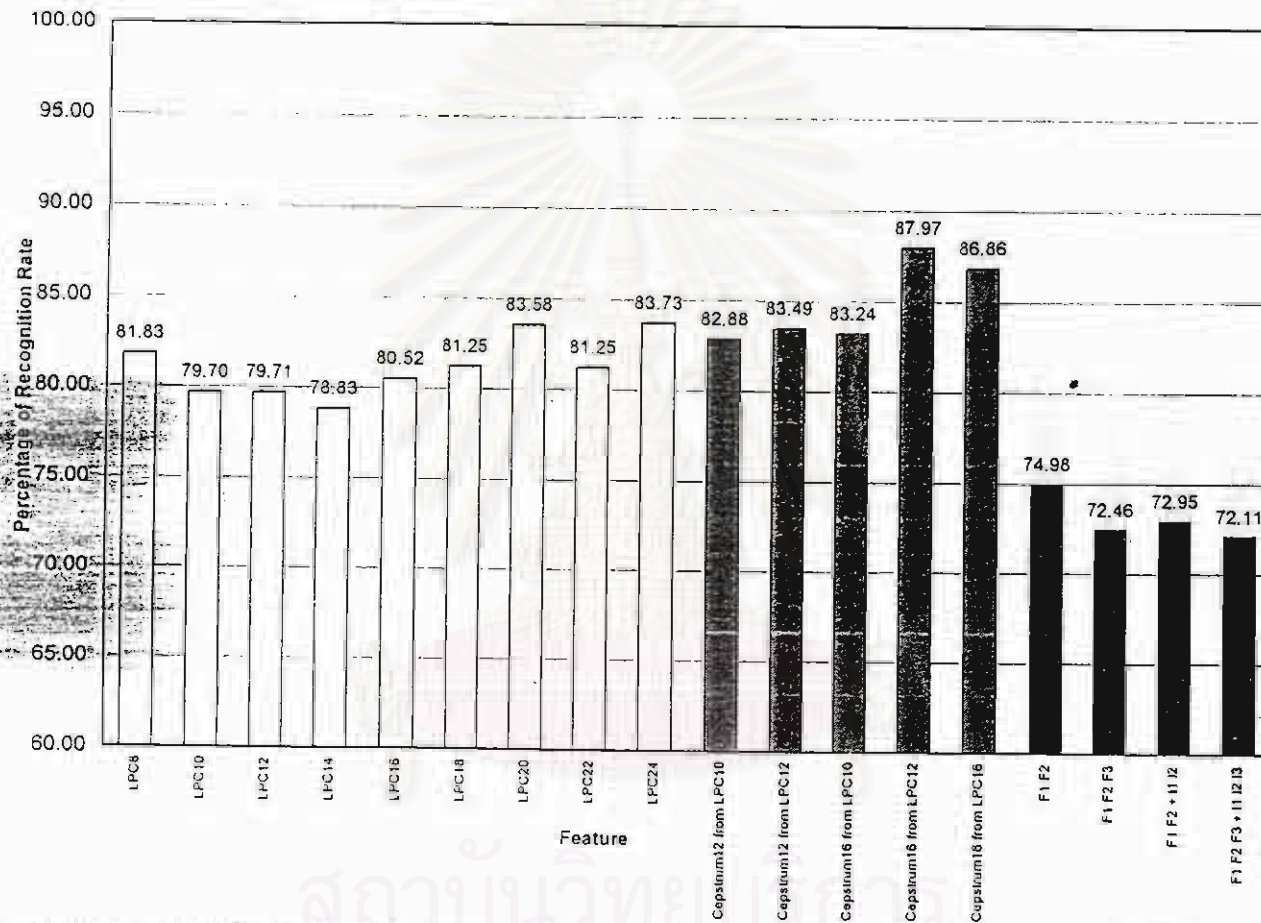
รูปที่ 4.10 อัตราการจำแนกหน่วยเสียงสระแบบไม่ขึ้นกับผู้พูดของข้อมูลทดสอบตามความถี่พอร์แมนท์ที่ 2 (เสียงสระกลุ่มที่ 2)



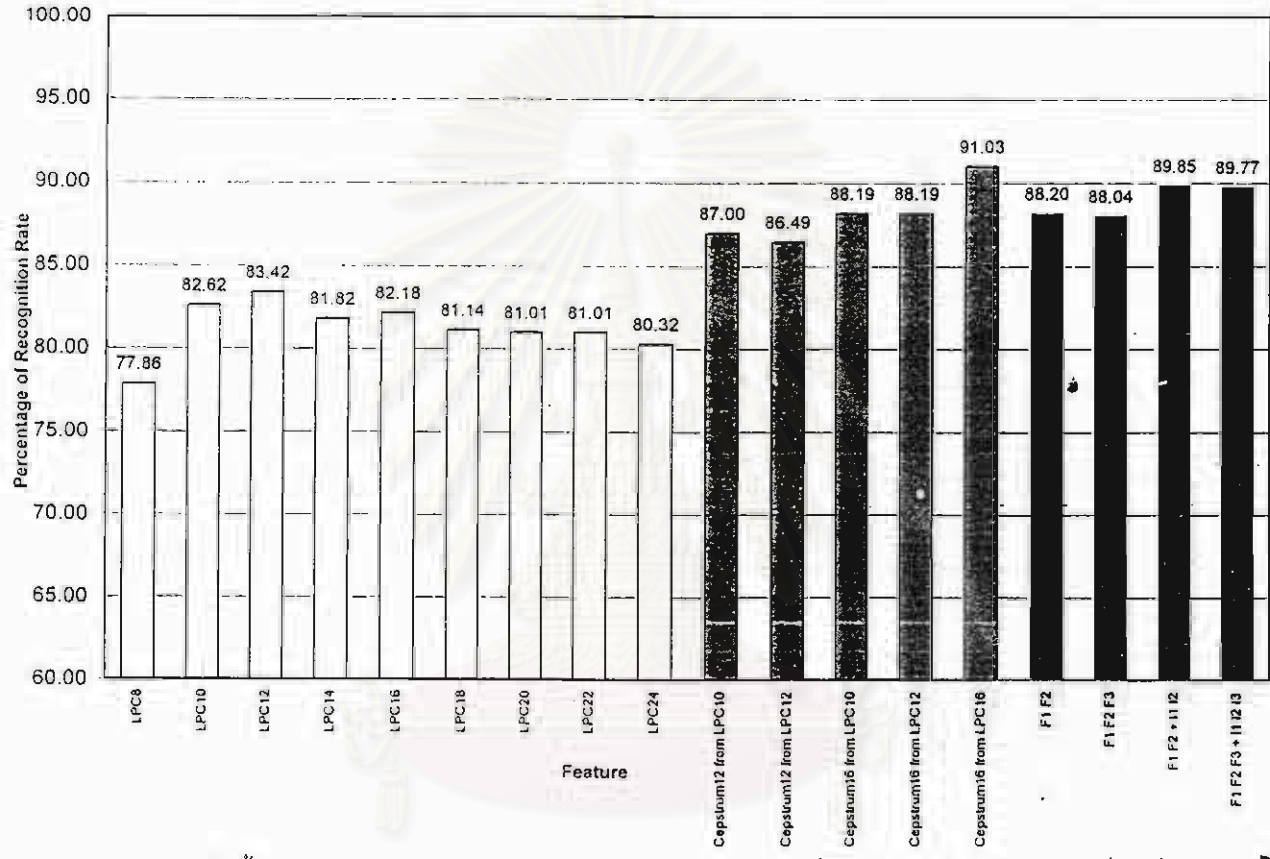
รูปที่ 4.11 อัตราการรู้จำแบบไม่ขึ้นกับผู้พูดของข้อมูลทดสอบสำหรับหน่วยเสียงสระกลุ่มที่ 3 หรือสระสูง (หน้า-กลาง-หลัง) เมื่อพิจารณาทั้งระบบ



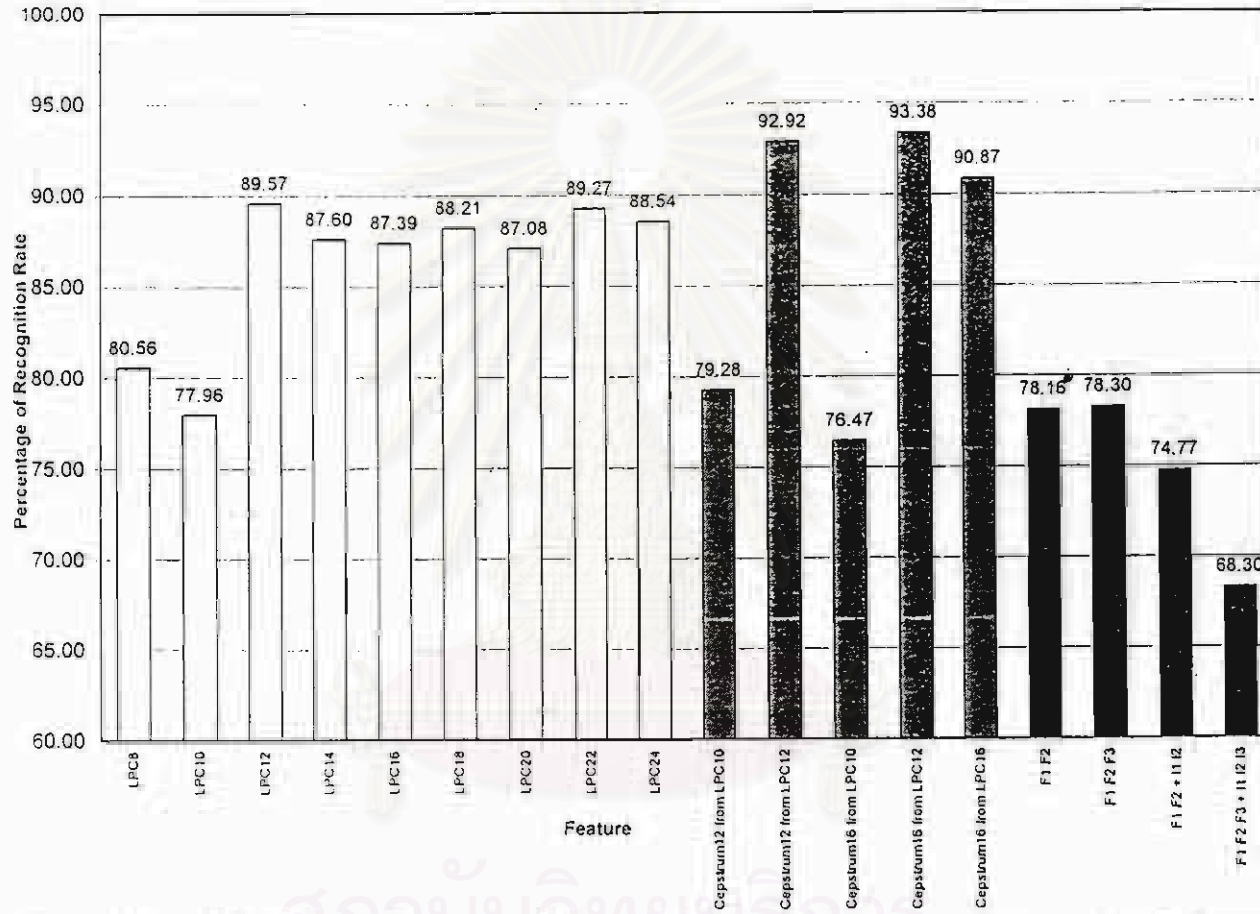
รูปที่ 4.12 อัตราการรู้จำแบบไม่ขึ้นกับผู้พูดของข้อมูลทดสอบสำหรับหน่วยเสียงสระกลุ่มที่ 4 หรือสระกลาง (หน้า-กลาง-หลัง) เมื่อพิจารณาทั้งระบบ



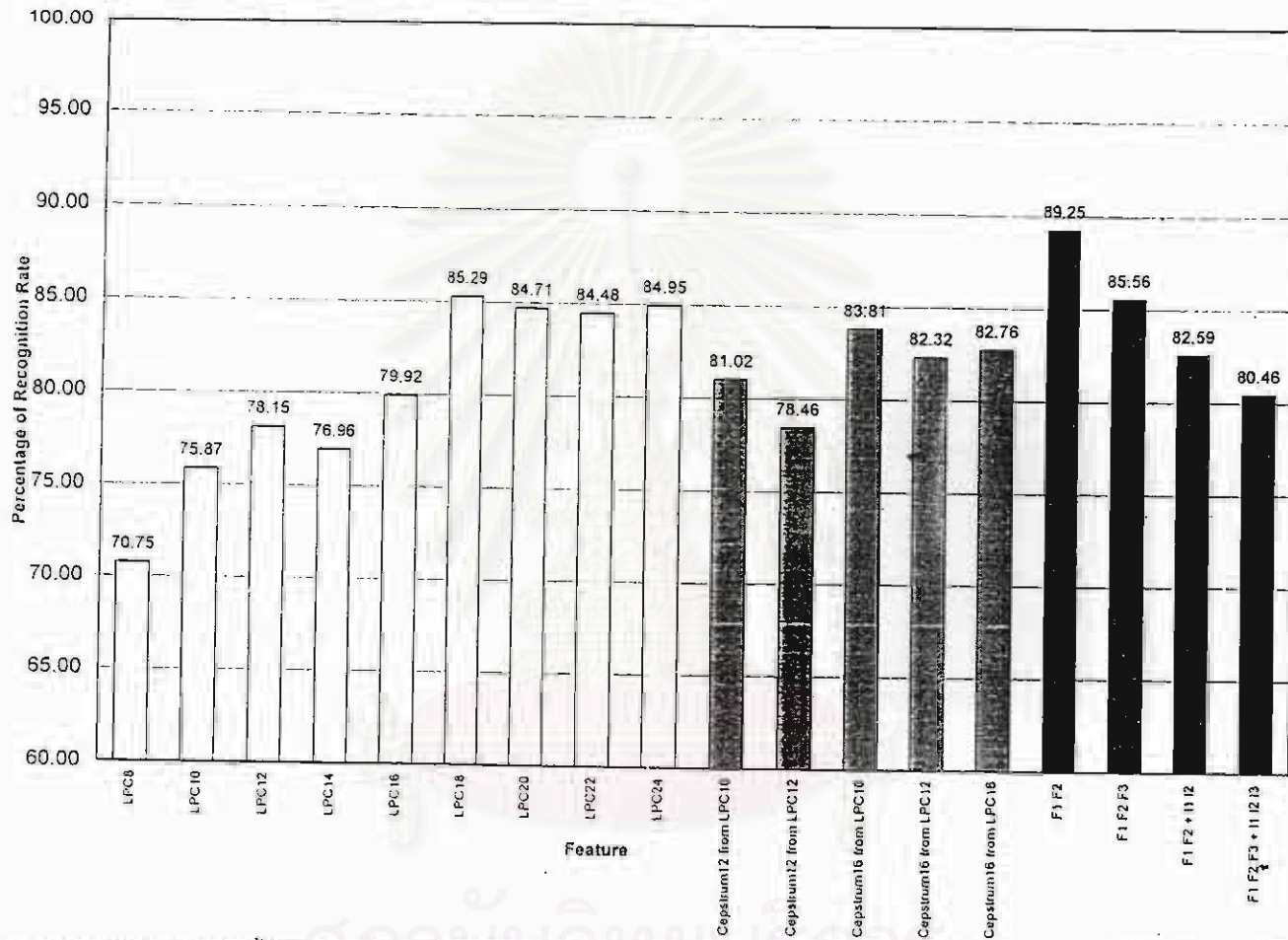
รูปที่ 4.13 อัตราการรู้จำแบบไม่ขึ้นกับผู้พูดของข้อมูลทดสอบสำหรับหน่วยเสียงสระกลุ่มที่ 5 หรือสระต่ำ (หน้า-กลาง-หลัง) เมื่อพิจารณาทั้งระบบ



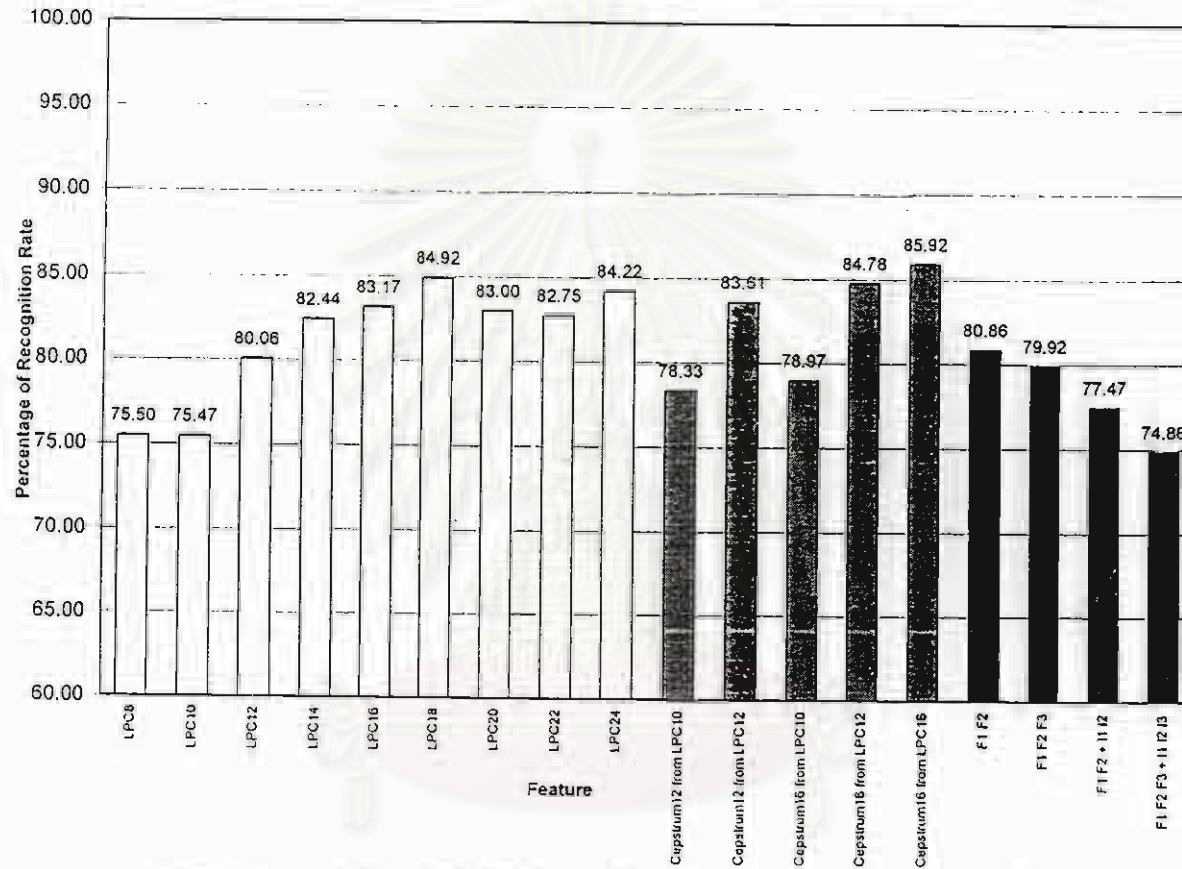
รูปที่ 4.14 อัตราการรู้จำแบบไม่ขึ้นกับผู้พูดของข้อมูลทดสอบสำหรับหน่วยเสียงสระกลุ่มที่ 6 หรือสระหน้า (สูง-กลาง-ต่ำ) เมื่อพิจารณาทั้งระบบ



รูปที่ 4.15 อัตราการรู้จำแบบไม่ขึ้นกับผู้พูดของข้อมูลทดสอบสำหรับหน่วยเสียงสระกลุ่มที่ 7 หรือสระกลาง (สูง-กลาง-ต่ำ) เมื่อพิจารณาทั้งระบบ

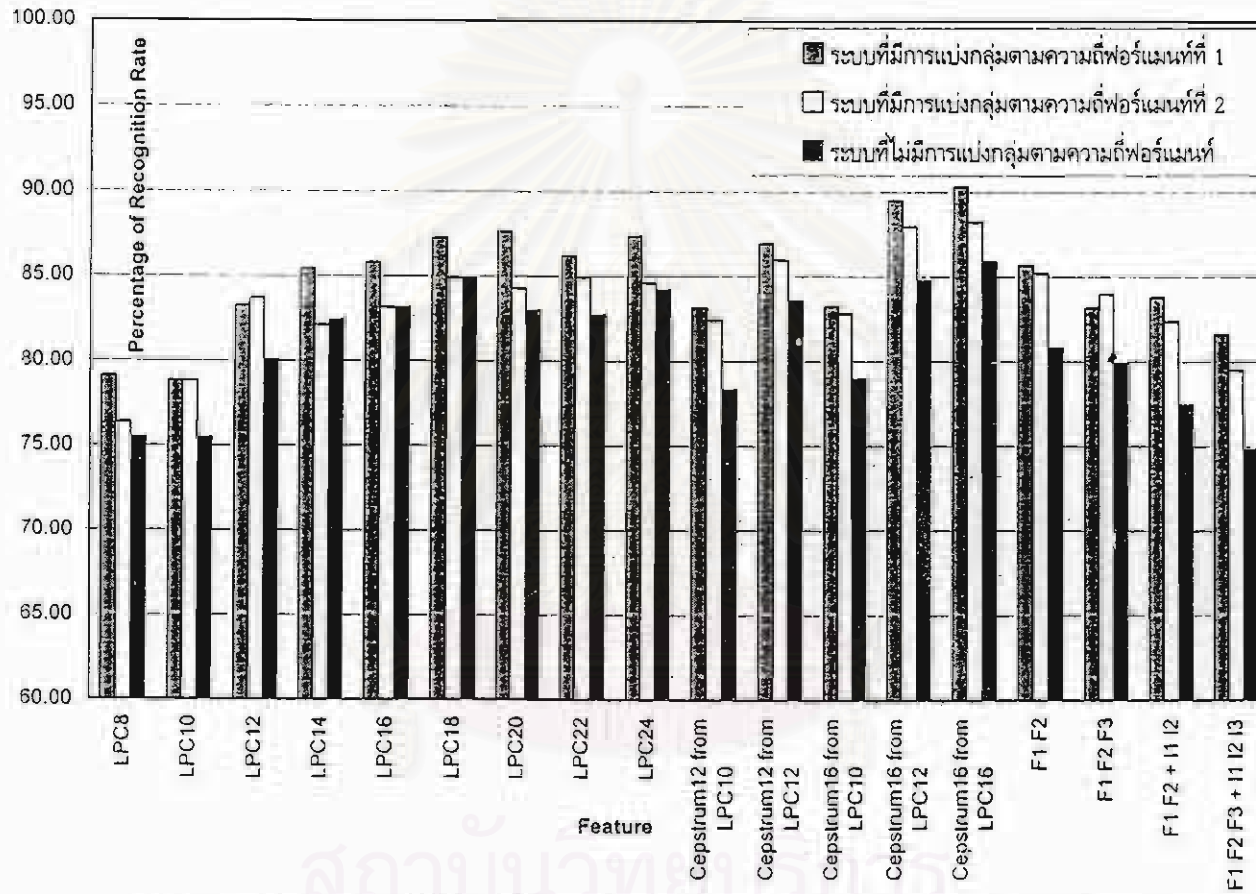


รูปที่ 4.16 อัตราการรู้จำแบบไม่ขึ้นกับผู้พูดของข้อมูลทดสอบสำหรับหน่วยเสียงสระกลุ่มที่ 8 หรือสระหลัง (สูง-กลาง-ต่ำ) เมื่อพิจารณาทั้งระบบ



รูปที่ 4.17 อัตราการรู้จำแบบไม่ขึ้นกับผู้พูดของข้อมูลทดสอบสำหรับหน่วยเสียงสระกลุ่มที่ 9

สถาบันวิจัยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.18 อัตราการรู้จำแบบไม่ขึ้นกับผู้พูดของข้อมูลทดสอบสำหรับหน่วยเสียงสระของระบบที่มีการแบ่งกลุ่มตามความถี่ฟอร์แมนท์ที่ 1 ความถี่ฟอร์แมนท์ที่ 2 และระบบที่ไม่มีการแบ่งกลุ่มตามความถี่ฟอร์แมนท์

วิเคราะห์ผลการรู้จำหน่วยเสียงสระภาษาไทยทั้งระบบ

1. ประสิทธิภาพของการจัดกลุ่มหน่วยเสียงสระมีผลต่ออัตราการรู้จำหน่วยเสียงสระภาษาไทยทั้งระบบ ประสิทธิภาพของการจัดกลุ่มหน่วยเสียงสระที่แบ่งตามความถี่ฟอร์แมนท์ที่มีค่าสูงจะทำให้อัตราการรู้จำของระบบมีค่าสูง
2. ประสิทธิภาพของการจัดกลุ่มหน่วยเสียงสระที่แบ่งตามความถี่ฟอร์แมนท์ที่ 2 จะสูงกว่าประสิทธิภาพของการจัดกลุ่มหน่วยเสียงสระที่แบ่งตามความถี่ฟอร์แมนท์ที่ 1 ดังแสดงในตารางที่ 4.10 และตารางที่ 4.11 วิเคราะห์ได้จากแผนภาพการแจกแจงของความถี่ฟอร์แมนท์ที่ 1 และความถี่ฟอร์แมนท์ที่ 2 ที่แสดงในรูปที่ 4.7 และ 4.8 ได้คือ ช่วงของความถี่ฟอร์แมนท์ที่ 2 (500 - 2500 Hz) มีค่ามากกว่าช่วงของความถี่ฟอร์แมนท์ที่ 1 (250 - 850 Hz) ทำให้สระส่วนหน้าที่มีความถี่ฟอร์แมนท์ที่ 2 สูง สระส่วนกลางที่มีความถี่ฟอร์แมนท์ที่ 2 ปานกลางและสระส่วนหลังที่มีความถี่ฟอร์แมนท์ที่ 2 ต่ำจะสามารถแยกแยะกันได้เด่นชัดกว่ากลุ่มหน่วยเสียงสระที่แบ่งตามความถี่ฟอร์แมนท์ที่ 1
3. สระบางเสียงมีการเกาะกลุ่มกันมากเช่นสระอู สระโอ และสระออ ทำให้การจำแนกเสียงสระดังกล่าวมีความผิดพลาดสูง
4. อัตราการรู้จำหน่วยเสียงสระทั้งระบบที่ใช้การแบ่งกลุ่มหน่วยเสียงสระตามความถี่ฟอร์แมนท์ที่ 1 จะมีค่าสูงกว่าการแบ่งกลุ่มหน่วยเสียงสระตามความถี่ฟอร์แมนท์ที่ 2 เมื่อใช้คำลักษณะสำคัญเดียวกันสำหรับการแบ่งกลุ่มตามความถี่ฟอร์แมนท์และกลุ่มหน่วยเสียงย่อยเพราะ อัตราการรู้จำของหน่วยเสียงสระในกลุ่มที่ 5 (/xx/ /aa/ /@@/) จะมีค่าสูงกว่าอัตราการรู้จำของหน่วยเสียงสระในกลุ่มที่ 8 (/uu/ /oo/ /@@/) วิเคราะห์ได้จากแผนภาพการแจกแจงของความถี่ฟอร์แมนท์ที่ 1 และความถี่ฟอร์แมนท์ที่ 2 ที่แสดงในรูปที่ 4.7 และรูปที่ 4.8 ได้เช่นเดียวกับการจัดกลุ่มหน่วยเสียงสระที่แบ่งตามความถี่ฟอร์แมนท์คือ ช่วงของความถี่ฟอร์แมนท์ที่ 2 มีค่ามากกว่าช่วงของความถี่ฟอร์แมนท์ที่ 1 ทำให้การจำแนกหน่วยเสียงสระภายในกลุ่มที่ 5 ด้วยความถี่ฟอร์แมนท์ที่ 2 มีประสิทธิภาพที่ดีกว่าการจำแนกหน่วยเสียงสระภายในกลุ่มที่ 8 ด้วยความถี่ฟอร์แมนท์ที่ 1
5. อัตราการรู้จำของระบบที่มีการแบ่งกลุ่มหน่วยเสียงสระตามความถี่ฟอร์แมนท์จะสูงกว่าอัตราการรู้จำของระบบที่ไม่มีการแบ่งกลุ่มหน่วยเสียงสระเพราะโครงข่ายประสาทเทียมสามารถสร้างต้นแบบของหน่วยเสียงจำนวนน้อยๆต่อหนึ่งโครงข่ายได้เป็นอย่างดีทำให้มีอัตราการรู้จำที่สูง การที่ใช้โครงข่ายประสาทเทียมโครงข่ายเดียวในการ สร้างต้นแบบของหน่วยเสียงจำนวนมากจะทำให้ได้ต้นแบบของหน่วยเสียงที่ไม่ดีพอทำให้อัตราการรู้จำของการใช้โครงข่ายประสาทเทียมโครงข่ายเดียวสำหรับการรู้จำหน่วยเสียงสระต่ำกว่าระบบที่มีการแบ่งกลุ่มหน่วยเสียงสระตามความถี่ฟอร์แมนท์
6. อัตราการรู้จำของระบบที่ไม่มีการแบ่งกลุ่มหน่วยเสียงสระที่แสดงในรูปที่ 4.12 มีค่าต่ำระบบไม่สามารถที่จะสร้างต้นแบบหน่วยเสียงที่สามารถจำแนกหน่วยเสียงที่ความกำกวมได้กว้างเด่นชัดแทน /๑๑/ มีความคล้ายคลึงกับ /oo/ มากทำให้ระบบรู้จำ /๑๑/ เป็น /oo/ มาก หรือ /oo/ ที่รู้จำผิดเป็น /uu/ และ /@@/ หน่วยเสียงสระที่ยกตัวอย่างนี้เป็นกลุ่มสระที่ตำแหน่งของลิ้นอยู่ด้านหลังซึ่งมีอัตราการรู้จำที่ต่ำอยู่แล้วในการรู้จำหน่วยเสียงสระกลุ่มย่อย ทำให้ระบบที่ไม่มีการแบ่งกลุ่มหน่วยเสียงสระจะต้องสร้างต้นแบบ

หน่วยเสียงที่แตกต่างกันของหน่วยเสียงสระที่ตำแหน่งของลิ้นอยู่ด้านหลังนี้แล้วยังต้องสร้างต้นแบบหน่วยเสียงสระอื่นๆอีก ซึ่งมีความคล้ายคลึงกันเป็นเหตุที่ทำให้ต้นแบบหน่วยเสียงสระที่สร้างจากโครงข่ายประสาทเทียมเพียงโครงข่ายเดียวมีประสิทธิภาพที่ไม่ดี

7. การใช้ค่าลักษณะสำคัญต่างประเภทกันที่ให้อัตราการรู้จำสูงสุดสำหรับแต่ละการแบ่งกลุ่มหน่วยเสียงสระตามความถี่ฟอร์แมนท์และการรู้จำหน่วยเสียงสระในกลุ่มย่อยดังแสดงในตารางที่ 4.13 จะทำให้อัตราการรู้จำของระบบรู้จำหน่วยเสียงสระมีค่าสูงขึ้นดังแสดงในตารางที่ 4.14, อัตราการรู้จำของระบบที่มีการแบ่งกลุ่มหน่วยเสียงสระตามความถี่ฟอร์แมนท์ที่ 1 จะมีค่าเท่ากับร้อยละ 91.26 และอัตราการรู้จำของระบบที่มีการแบ่งกลุ่มหน่วยเสียงสระตามความถี่ฟอร์แมนท์ที่ 1 จะมีค่าเท่ากับร้อยละ 91.10 แต่การใช้ค่าลักษณะสำคัญที่ต่างประเภทกันจะทำให้การทำงานของระบบช้าลงเนื่องจากต้องคำนวณค่าลักษณะสำคัญใหม่ที่เหมาะสมสำหรับแต่ละกลุ่มย่อยของหน่วยเสียงสระ

ตารางที่ 4.10 ผลสรุปการจัดกลุ่มหน่วยเสียงสระตามความถี่ฟอร์แมนท์ที่ 1
ที่ใช้สัมประสิทธิ์ cepstral 16 อันดับเป็นค่าลักษณะสำคัญ

กลุ่มที่ ต้องการรู้จำ	กลุ่มที่รู้จำได้		
	กลุ่มที่ 3	กลุ่มที่ 4	กลุ่มที่ 6
กลุ่มที่ 3	96.92	3.00	0.08
กลุ่มที่ 4	5.92	93.42	0.67
กลุ่มที่ 6	0.50	5.00	94.50

อัตราการรู้จำเฉลี่ยร้อยละ 94.94

ตารางที่ 4.11 ผลสรุปการจัดกลุ่มหน่วยเสียงสระตามความถี่ฟอร์แมนท์ที่ 2
ที่ใช้สัมประสิทธิ์ cepstral 16 อันดับเป็นค่าลักษณะสำคัญ

กลุ่มที่ ต้องการรู้จำ	กลุ่มที่รู้จำได้		
	กลุ่มที่ 6	กลุ่มที่ 7	กลุ่มที่ 8
กลุ่มที่ 6	94.42	5.42	0.17
กลุ่มที่ 7	0.33	99.58	0.08
กลุ่มที่ 8	1.67	0.00	98.33

อัตราการรู้จำเฉลี่ยร้อยละ 97.44

ตารางที่ 4.12 อัตราการรู้จำหน่วยเสียงสระไม่มีการแบ่งกลุ่มหน่วยเสียงตามความถี่ฟอร์แมนท์
ที่ใช้สัมประสิทธิ์ cepstral 16 อันดับเป็นค่าลักษณะสำคัญ

หน่วยเสียงที่ ต้องการรู้จำ	หน่วยเสียงที่รู้จำได้								
	/ii/	/vv/	/uu/	/ee/	/qq/	/oo/	/xx/	/aa/	/@@/
/ii/	98.50	0.75	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.75
/vv/	5.25	87.75	2.25	0.00	4.75	0.00	0.00	0.00	0.00
/uu/	0.00	0.00	90.25	0.00	1.25	7.50	0.00	0.00	1.00
/ee/	4.25	0.00	0.00	80.50	12.75	2.50	0.00	0.00	0.00
/qq/	0.00	4.25	0.25	0.25	85.00	7.50	0.00	2.75	0.00
/oo/	0.00	0.00	12.25	0.00	0.75	81.50	0.25	0.00	5.25
/xx/	0.00	0.00	0.50	0.50	0.00	0.50	84.00	14.50	0.00
/aa/	0.00	0.00	0.00	0.00	0.25	0.00	5.75	94.00	0.00
/@@/	0.00	0.00	0.00	0.00	0.25	22.75	5.25	0.00	71.75

อัตราการรู้จำเฉลี่ยร้อยละ 85.92

ตารางที่ 4.13 ค่าลักษณะสำคัญที่ให้อัตราการรู้จำสูงสุดสำหรับแต่ละกลุ่มหน่วยเสียงสระ

กลุ่มหน่วยเสียงสระ	ค่าลักษณะสำคัญ	อัตราการรู้จำสูงสุด
1	สัมประสิทธิ์ Cepstral อันดับ 16 คำนวณจาก สัมประสิทธิ์การประมาณพหุเชิงเส้นอันดับ 16	94.94
3	ความถี่ฟอร์แมนท์ F1 F2 และ F3 และขนาด ของสเปกตรัม	98.17
4	ความถี่ฟอร์แมนท์ F1 และ F2	98.25
5	สัมประสิทธิ์ Cepstral อันดับ 16 คำนวณจาก สัมประสิทธิ์การประมาณพหุเชิงเส้นอันดับ 16	91.92
2	สัมประสิทธิ์ Cepstral อันดับ 16 คำนวณจาก สัมประสิทธิ์การประมาณพหุเชิงเส้นอันดับ 16	97.44
6	สัมประสิทธิ์ Cepstral อันดับ 16 คำนวณจาก สัมประสิทธิ์การประมาณพหุเชิงเส้นอันดับ 12	97.00
7	สัมประสิทธิ์ Cepstral อันดับ 16 คำนวณจาก สัมประสิทธิ์การประมาณพหุเชิงเส้นอันดับ 12	94.33
8	ความถี่ฟอร์แมนท์ F1 และ F2	89.25

ตารางที่ 4.14 อัตราการรู้จำสำหรับแต่ละกลุ่มหน่วยเสียงสระหลังจากการแบ่งกลุ่มหน่วยเสียงสระ

กลุ่มหน่วยเสียงสระ	ค่าลักษณะสำคัญ	อัตราการรู้จำ
3	ความถี่ฟอร์แมนท์ F1 F2 และ F3 และขนาดของสเปกตรัม	85.14
4	ความถี่ฟอร์แมนท์ F1 และ F2	91.78
5	สัมประสิทธิ์ Cepstral อันดับ 16 คำนวณจากสัมประสิทธิ์การประมาณพื้นที่เชิงเส้นอันดับ 16	86.86
6	สัมประสิทธิ์ Cepstral อันดับ 16 คำนวณจากสัมประสิทธิ์การประมาณพื้นที่เชิงเส้นอันดับ 12	91.58
7	สัมประสิทธิ์ Cepstral อันดับ 16 คำนวณจากสัมประสิทธิ์การประมาณพื้นที่เชิงเส้นอันดับ 12	93.94
8	ความถี่ฟอร์แมนท์ F1 และ F2	87.76

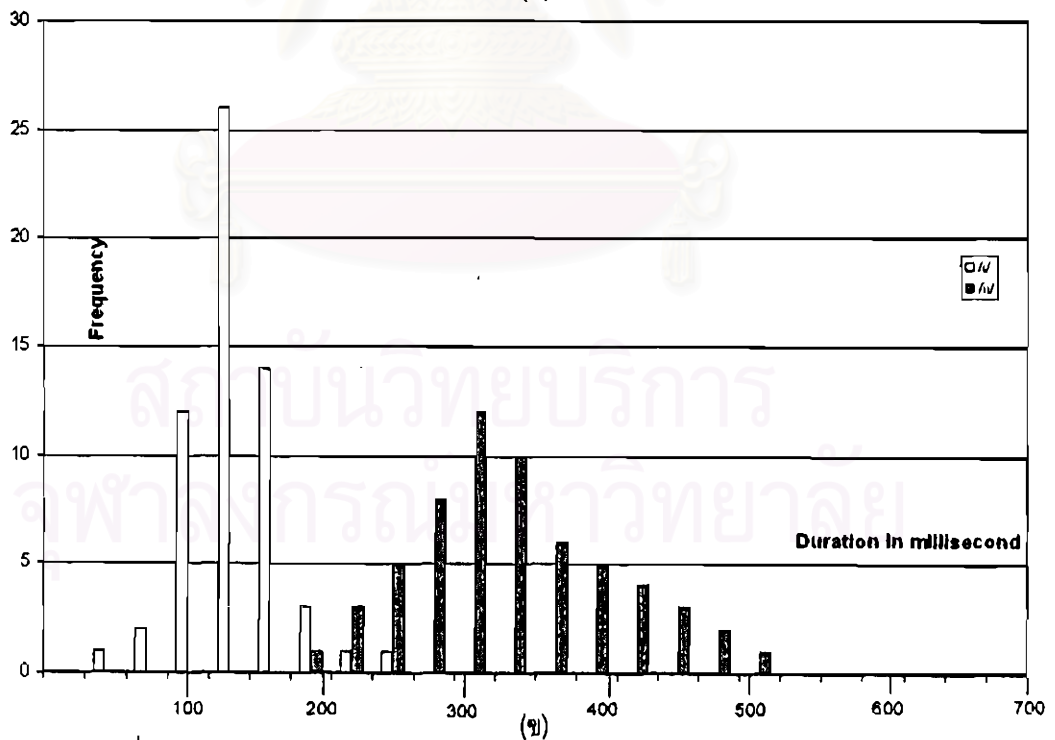
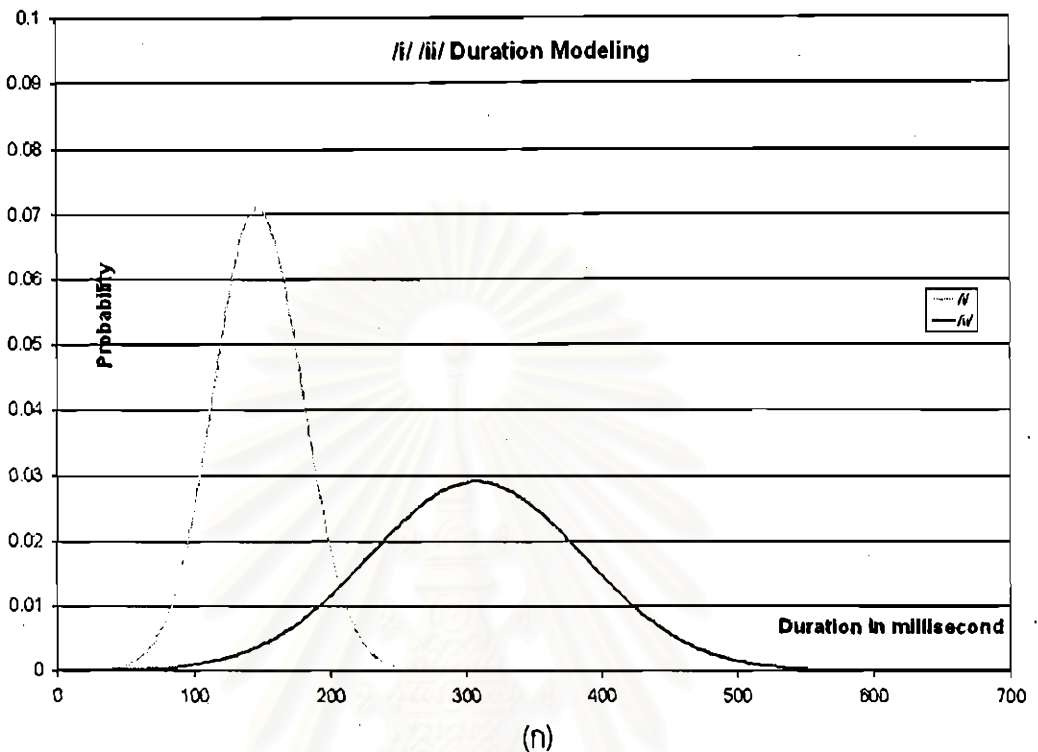
4.6 ผลการรู้จำสระเสียงสั้น-ยาว

ในงานวิจัยนี้ทำการสร้างแบบจำลองช่วงเวลาความยาวของสระเสียงสั้นและสระเสียงยาวให้มีการแจกแจงแบบปกติหรือแบบเกาส์ (Normal Distribution or Gaussian Distribution) เปรียบเทียบแบบจำลองกับแผนภาพฮิสโตแกรมการแจกแจงช่วงเวลาของเสียงสระดังแสดงในรูปที่ 4.19 ถึง 4.21 และทำการทดสอบแบบจำลองดังกล่าวโดยใช้กฎของ Bayes ค่าทางสถิติของแบบจำลองช่วงเวลาความยาวของสระเสียงสั้น-ยาวแสดงในตารางที่ 4.15 ความผิดพลาดของแบบจำลองคำนวณจากสมการที่ (2.80) จะถูกนำมาหาค่าเฉลี่ยกับจำนวนกลุ่มข้อมูลที่ต้องการจำแนกและแสดงในตารางที่ 4.16 ส่วนผลการรู้จำสระเสียงสั้น-ยาวแสดงในตารางที่ 4.17 และรูปที่ 4.22 ตามลำดับ

วิเคราะห์ผลการรู้จำสระเสียงสั้น-ยาว

1. แบบจำลองทางสถิติช่วงเวลาความยาวของสระเสียงสั้น-ยาวเป็นที่นำเสนอเป็นแบบจำลองที่มีความสอดคล้องกับการแจกแจงตัวของช่วงเวลาความยาวของสระเสียงสั้น-ยาวจริงดังแสดงในรูปที่ 4.19 ถึงรูปที่ 4.21
2. ผลการจำแนกเสียงสระอะ-อามีความผิดพลาดสูงเนื่องจากเสียงสระคู่ดังกล่าวมีในภาษาไทยมานานแล้วทำให้มีการแจกแจงความน่าจะเป็นของช่วงเวลาเสียงสระที่ใกล้เคียงกัน (Luksaneeyanawin, 1993) ส่วนเสียงสระอี-อี และ อี-อี เป็นเสียงสระที่เกิดขึ้นได้ไม่นานทำให้มีการแจกแจงที่แตกต่างกันพอสมควรทำให้ผลการรู้จำเสียงสระอี-อี และ อี-อี มีค่าสูง
3. ความสั้น-ยาวของพยางค์นอกจากหน่วยเสียงสระแล้วยังขึ้นกับวรรณยุกต์และตัวสะกดด้วยในงานวิจัยนี้ไม่ได้คำนึงถึงผลของวรรณยุกต์และตัวสะกดทำให้ผลการจำแนกความสั้น-ยาวของเสียงสระมีความผิดพลาดสูง

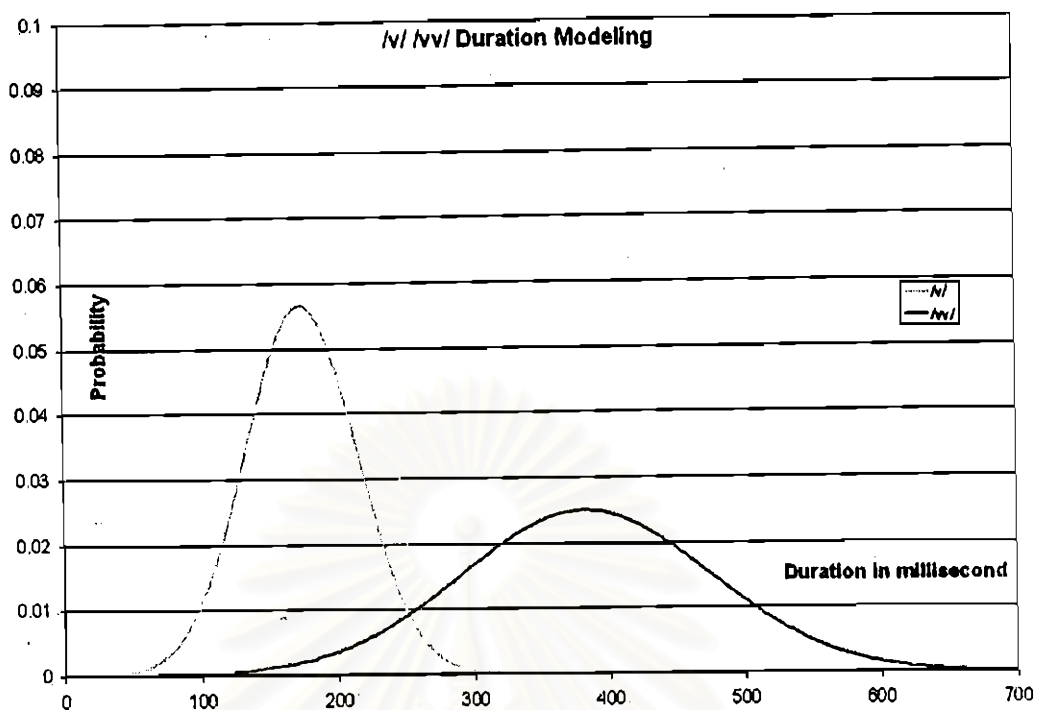
4. ความผิดพลาดของผลการรู้จำความสั้น-ยาวของเสียงสระยังมีความคลาดเคลื่อนอยู่บ้างเมื่อเปรียบเทียบกับความผิดพลาดที่คำนวณได้จากสมการที่ (2.80) ที่แสดงในตารางที่ 4.16 สำหรับระบบางเสียงเนื่องจากจำนวนข้อมูลที่น่ามาสร้างแบบจำลองอาจมีน้อยไป (60 เสียงต่อกลุ่ม)



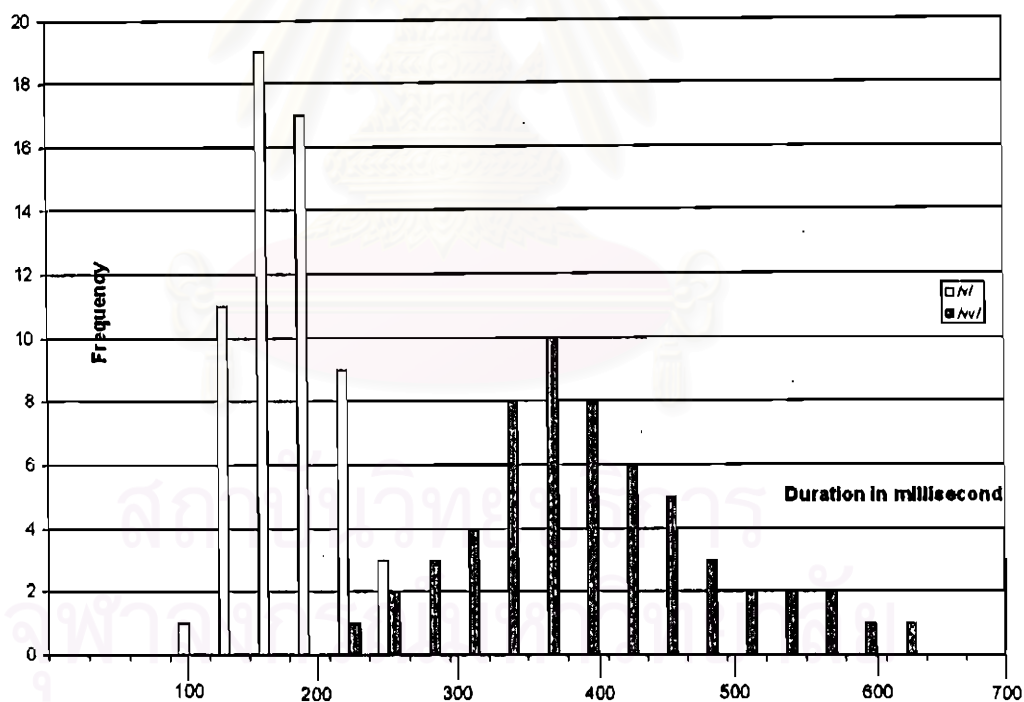
รูปที่ 4.19 แบบจำลองและแผนภาพฮิสโตแกรมช่วงเวลาคายาวของเสียงสระอิ-อี

(ก) แบบจำลองช่วงเวลาคายาวของเสียงสระอิ-อี

(ข) แผนภาพฮิสโตแกรมช่วงเวลาคายาวของเสียงสระอิ-อี



(ก)

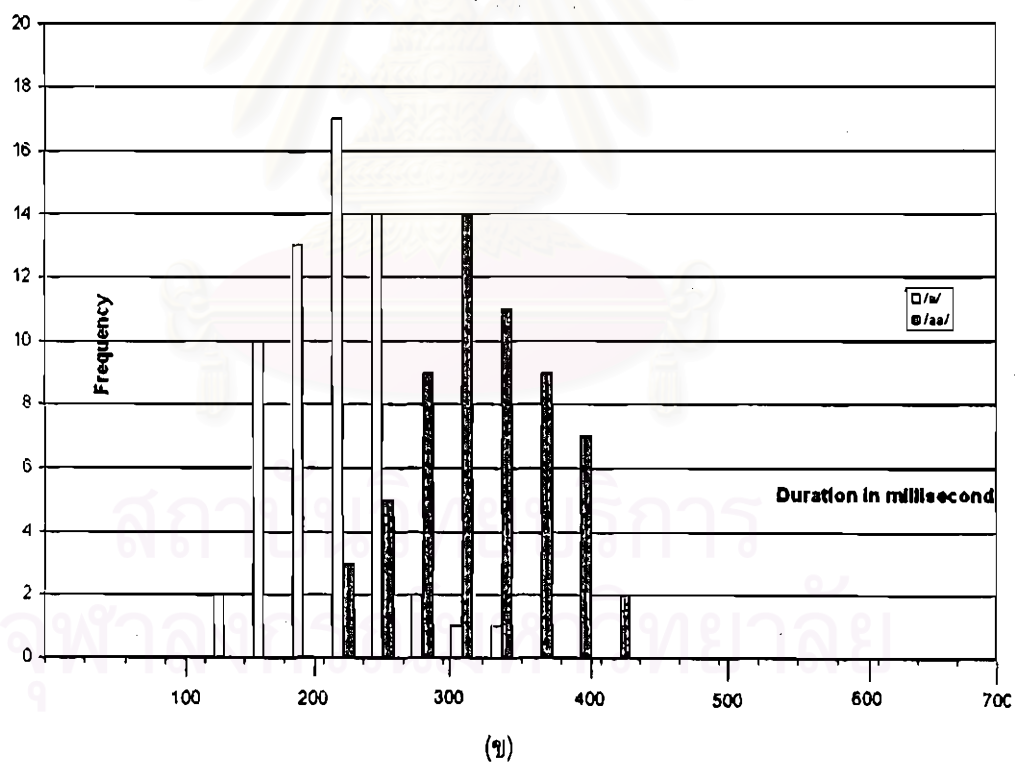
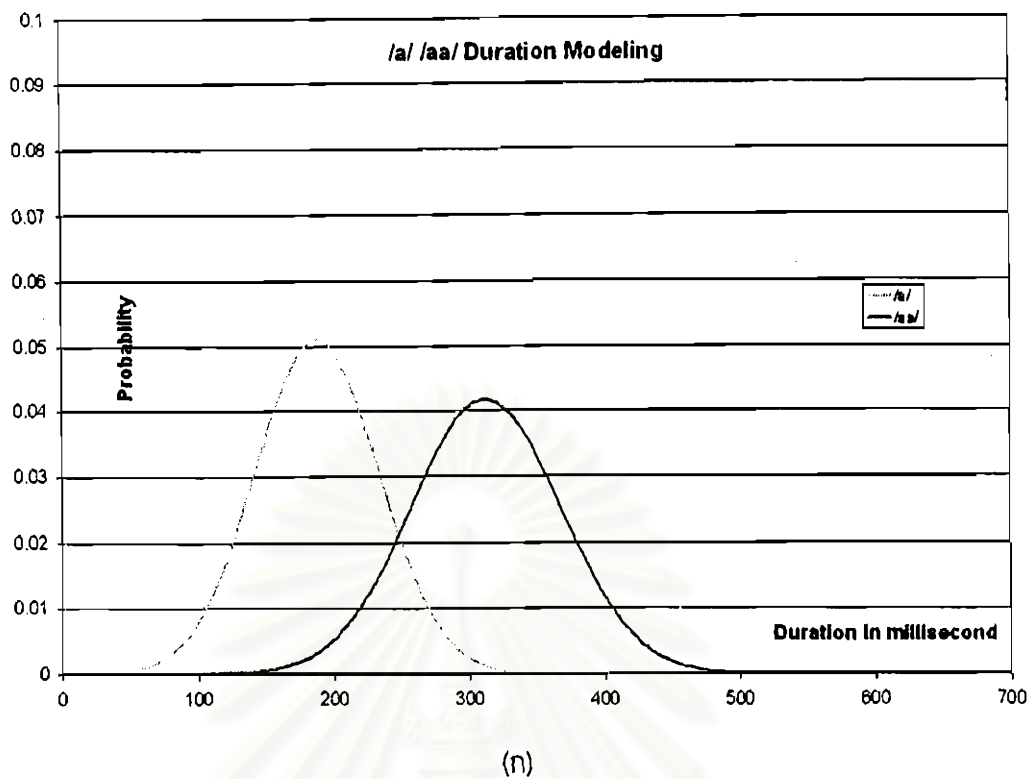


(ข)

รูปที่ 4.20 แบบจำลองและแผนภาพฮิสโตแกรมช่วงเวลาคายของเสียงสระอี-อือ

(ก) แบบจำลองช่วงเวลาคายของเสียงสระอี-อือ

(ข) แผนภาพฮิสโตแกรมช่วงเวลาคายของเสียงสระอี-อือ



รูปที่ 4.21 แบบจำลองและแผนภาพฮิสโตแกรมช่วงเวลาคายของเสียงสระอะ-อา

(ก) แบบจำลองช่วงเวลาคายของเสียงสระอะ-อา

(ข) แผนภาพฮิสโตแกรมช่วงเวลาคายของเสียงสระอะ-อา

ตารางที่ 4.15 ค่าทางสถิติของแบบจำลองช่วงเวลาความยาวของสระเสียงสั้น-ยาว

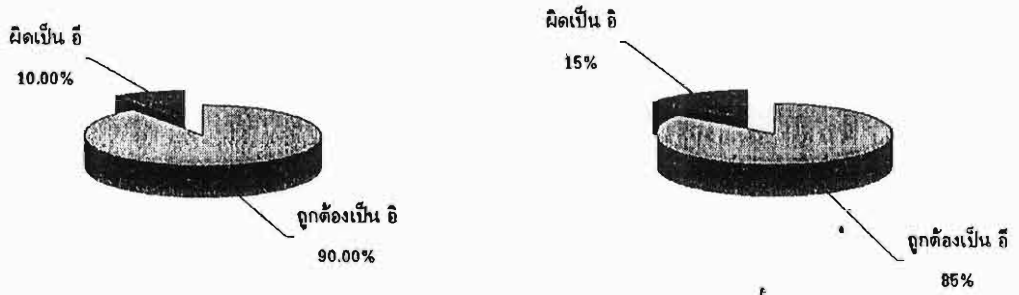
หน่วยเสียงสระ	ค่าเฉลี่ย (ms)	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน(ms)
อิ	146.58	32.57
อี	306.91	79.57
อึ	173.47	40.91
อือ	381.87	92.79
อะ	187.40	45.46
อา	311.92	55.56

ตารางที่ 4.16 ความผิดพลาดของแบบจำลองช่วงเวลาความยาวของสระเสียงสั้น-ยาว
ที่มีการแจกแจงแบบปกติหรือแบบเกาส์

เสียงสระ	ร้อยละของความผิดพลาด
อิ-อี	15.50
อึ-อือ	18.15
อะ-อา	20.17

ตารางที่ 4.17 ผลการรู้จำสระเสียงสั้น-ยาว

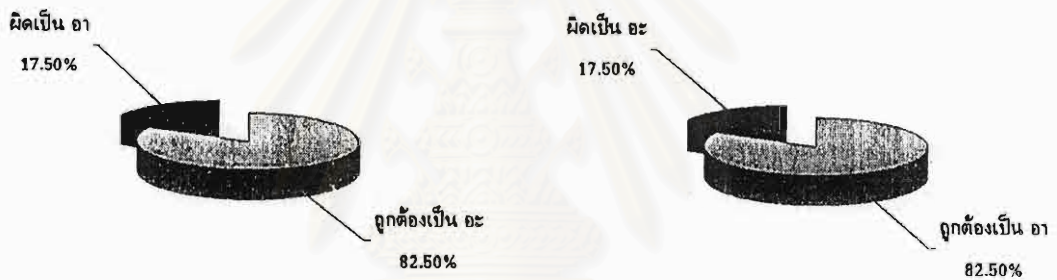
เสียงสระ	อัตราการรู้จำ
อิ	90.00
อี	85.00
อึ	87.50
อือ	97.50
อะ	82.50
อา	82.50



(ก)



(ข)



(ค)

รูปที่ 4.22 ผลการรู้จำสระเสียงสั้น-ยาว

(ก) ผลการรู้จำเสียงสระอิ-อี

(ข) ผลการรู้จำเสียงสระอี-อีอ

(ค) ผลการรู้จำเสียงสระอะ-อา