

## บทที่ 4 ผลการวิจัย

ในบทนี้กล่าวถึง ผลการทดสอบกรรมวิธีการหาขอบเขตพยางค์ กับประโยคทดสอบที่ได้ กำหนดขึ้นจากปัญหาความกำกวมในการกำหนดขอบเขตพยางค์ในโครงสร้างพยางค์ทางสัทวิทยา จำนวน 1,275 ประโยค โดยกลุ่มตัวอย่างจำนวน 28 คน

### 4.1 การออกแบบการทดสอบ

ผู้วิจัยได้กำหนดกรรมวิธีการหาขอบเขตพยางค์ตามคุณลักษณะและวิธีการตรวจหาจุดแบ่งพยางค์เป็น 3 ชุด คือ (1) ชุดที่ใช้คุณลักษณะพลังงานและวิธีการตรวจหาจุดแบ่งพยางค์ EMN จำแนกออกเป็น 6 กรรมวิธี (2) ชุดที่ใช้คุณลักษณะพลังงานที่ดีที่สุด ชุดที่ (1) กับวิธีฟังก์ชันการประมาณในการตรวจหาจุดแบ่งพยางค์ มี 1 กรรมวิธี และ (3) ชุดที่ใช้คุณลักษณะพลังงานที่ดีที่สุด ชุดที่ (1) ร่วมกับค่าคุณลักษณะอื่น ๆ จำแนกออกเป็น 2 กรรมวิธี ดังนั้นในงานวิจัยนี้มีกรรมวิธีในการหาขอบเขตพยางค์ทั้งหมด 9 กรรมวิธีดังนี้คือ

กรรมวิธี	คุณลักษณะ	วิธีการตรวจหาจุดแบ่งพยางค์
1. กรรมวิธีพลังงานสัมบูรณ์ (Absolute Energy Algorithm)	พลังงานสัมบูรณ์	วิธี EMN
2. กรรมวิธีพลังงานเฉลี่ย (Root Mean Square Energy Algorithm)	พลังงานเฉลี่ย	วิธี EMN
3. กรรมวิธีพลังงานความถี่และเวลา (Frequency-Time Energy Algorithm)	พลังงานความถี่และ เวลา	วิธี EMN
4. กรรมวิธีพลังงานกำลังสอง (Square Energy Algorithm)	พลังงานกำลังสอง	วิธี EMN
5. กรรมวิธีพลังงาน Teager (Teager Energy Algorithm)	พลังงาน Teager	วิธี EMN
6. กรรมวิธีพลังงานจากการแปลงแบบ Walsh (Walsh Transform Energy Algorithm)	พลังงานจากการแปลง แบบ Walsh	วิธี EMN
7. กรรมวิธีฟังก์ชันการประมาณพลังงานเฉลี่ย (Root Mean Square Energy Estimation Function Algorithm)	พลังงานเฉลี่ย	วิธีฟังก์ชันการ ประมาณ

8. กรรมวิธีพลังงานเฉลี่ยและอัตราการตัดผ่านระดับกำหนด (Root Mean Square Energy and Band Crossing Rate Algorithm)	พลังงานเฉลี่ย และอัตราการตัดผ่านระดับกำหนด	วิธี EBR
9. กรรมวิธีพลังงานเฉลี่ย อัตราการตัดผ่านระดับกำหนด และความถี่มูลฐาน (Root Mean Square Energy, Band Crossing Rate and Fundamental Frequency Algorithm)	พลังงานเฉลี่ย อัตราการตัดผ่านระดับกำหนด และความถี่มูลฐาน	วิธี EBF

ทำการทดสอบกรรมวิธีการหาขอบเขตพยางค์กับประโยคทดสอบ โดยแบ่งประโยคทดสอบออกเป็น 3 ชุด ดังนี้

ชุดทดสอบที่ 1 เป็นเสียงพูดครั้งที่หนึ่งของผู้บอกภาษาจำนวน 8 คน ประกอบด้วยประโยคที่ใช้ได้สมบูรณ์จำนวน 282 ประโยค

ชุดทดสอบที่ 2 เป็นเสียงพูดครั้งที่สองของผู้บอกภาษาในชุดทดสอบที่ 1 ประกอบด้วยประโยคที่ใช้ได้สมบูรณ์จำนวน 284 ประโยค

ชุดทดสอบที่ 3 เป็นเสียงพูดครั้งที่หนึ่งของผู้บอกภาษาจำนวน 20 คน ประกอบด้วยประโยคที่ใช้ได้สมบูรณ์จำนวน รวม 709 ประโยค

การทดสอบกรรมวิธีการหาขอบเขตพยางค์ เพื่อหาค่าอัตราการตัดแบ่งพยางค์ที่ถูกต้องมากที่สุด ในแต่ละชุดทดสอบ ในงานวิจัยนี้มีการทดสอบพารามิเตอร์ที่สนใจ 2 ชนิดคือ ค่าความต่างพลังงาน (Energy Different) และระยะเวลาพยางค์ (Syllable Duration) จากการทดลองเบื้องต้น ได้ทดลองปรับเปลี่ยนค่าความต่างพลังงานเพิ่มขึ้นทีละ 1 เปอร์เซ็นต์ พบว่าอัตราความถูกต้องไม่ต่างกันมาก จึงกำหนดให้เพิ่มขึ้นทีละ 2 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อเพิ่มค่าความต่างพลังงานจนเกินร้อยละ 10 อัตราความถูกต้องเริ่มลดลง จึงกำหนดการทดสอบพารามิเตอร์ค่าความต่างพลังงานให้แปรจาก 4 -10 เปอร์เซ็นต์ โดยเพิ่มทีละ 2 เปอร์เซ็นต์ ส่วนระยะเวลาพยางค์ที่ได้จากการทดลองเบื้องต้นพบว่าระยะเวลาพยางค์ในช่วง 24-40 กรอบเสียงพูด เป็นช่วงที่อัตราความถูกต้องมีการเปลี่ยนแปลงมาก จึงทดลองกำหนดให้เพิ่มขึ้นทีละ 4 กรอบเสียงพูด เนื่องจากการเพิ่มขึ้นทีละ 2 กรอบเสียงพูดน้อยเกินไปทำให้เห็นค่าความแตกต่างของอัตราความถูกต้องเพียงเล็กน้อย อีกทั้งทำให้จำนวนรอบในการทดสอบเพิ่มมากขึ้น และใช้เวลาในการทดสอบนานขึ้นจนเกินความจำเป็นด้วย ดังนั้นจึงออกแบบการทดสอบดังนี้

ในการทดสอบกรรมวิธีการหาขอบเขตพยางค์ทั้ง 7 กรรมวิธี (ไม่รวมกรรมวิธีพลังงานกำลังสองและกรรมวิธีฟังก์ชันการประมาณ) โดยกำหนดค่าเริ่มต้นของค่าระยะเวลาพยางค์ไว้ที่ 24 กรอบเสียงพูด และเพิ่มขึ้นทีละ 4 กรอบเสียงพูด จำนวน 5 ครั้ง ส่วนค่าความต่างพลังงานกำหนด

ค่าเริ่มต้นไว้ที่ร้อยละ 4 ของค่าพลังงานที่ได้รับการปรับบรรทัดฐานแอมพลิจูด และเพิ่มขึ้นทีละร้อยละ 2 จำนวน 4 ครั้ง

การทดสอบกรรมวิธีพลังงานกำลังสอง จะทำการปรับค่าพารามิเตอร์ 2 ตัว คือ ระยะเวลาพยางค์ และค่าความต่างพลังงาน โดยกำหนดค่าเริ่มต้นของระยะเวลาพยางค์ไว้ที่ 24 กรอบเสียงพูด และเพิ่มขึ้นทีละ 4 กรอบเสียงพูด จำนวน 5 ครั้ง ส่วนค่าความต่างพลังงานกำหนดค่าเริ่มต้นไว้ที่ร้อยละ 2 ของค่าพลังงานที่ได้รับการปรับบรรทัดฐานแอมพลิจูด และเพิ่มขึ้นทีละร้อยละ 2 จำนวน 4 ครั้ง ทั้งนี้เนื่องจากคุณลักษณะของพลังงานกำลังสองมีความไวต่อสัญญาณเสียงพูดขนาดใหญ่ จึงต้องมีการออกแบบการทดสอบค่าความต่างพลังงานให้เหมาะสมกับคุณลักษณะพลังงานกำลังสอง

การทดสอบกรรมวิธีฟังก์ชันการประมาณ จะทำการกำหนดค่าความต่างพลังงานไว้ที่ร้อยละ 4 และปรับระยะเวลาพยางค์ โดยกำหนดค่าเริ่มต้นของระยะเวลาพยางค์ไว้ที่ 40 กรอบเสียงพูด และเพิ่มขึ้นทีละ 5 กรอบเสียงพูด จำนวน 5 ครั้ง ทั้งนี้เนื่องจากในการประมาณค่าทางสถิติ ความสำคัญจะอยู่ขนาดของชุดข้อมูล

การคำนวณอัตราความถูกต้องของกรรมวิธีการหาขอบเขตพยางค์ สำหรับชุดทดสอบใด ๆ หาได้จากสมการดังนี้

$$\text{อัตราความถูกต้อง (\%)} = \frac{\text{No. of Correct Sentence}}{\text{No. of Total Sentence}} \times 100$$

$$\text{อัตราความถูกต้องเฉลี่ย(\%)} = \frac{\sum_n (\text{Accuracy Rate of Group}) (\text{No. of Sentence in Group } n)}{\sum_n (\text{No. of Sentence in Group } n)}$$

## 4.2 ผลการทดสอบกรรมวิธีการหาขอบเขตพยางค์

### 4.2.1 ผลการทดสอบการปรับเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ ชุดทดสอบที่ 1

ทำการทดสอบกรรมวิธีการหาขอบเขตพยางค์ทั้ง 9 กรรมวิธี กับชุดทดสอบที่ 1 โดยเปลี่ยนค่าระยะเวลาพยางค์ และค่าความต่างพลังงาน เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่ให้อัตราความถูกต้องสูงที่สุดในการตัดแบ่งพยางค์ในแต่ละกรรมวิธี ซึ่งผลการทดสอบกรรมวิธีการหาขอบเขตพยางค์ต่าง ๆ กับชุดทดสอบที่ 1 แสดงในตารางที่ 4.1a ถึง 4.1i

ตารางที่ 4.1a ผลอัตราความถูกต้องของกรรมวิธีพลังงานสัมบูรณ์ ชุดทดสอบที่ 1

ค่าความต่างพลังงาน (ร้อยละ)	ระยะเวลาพยางค์ (กรอบเสียงพูด)				
	24	28	32	36	40
4	83.96	81.76	81.45	81.76	81.13
6	85.85	83.65	82.70	82.08	78.62
8	85.85	83.96	83.02	81.45	76.42
10	83.96	82.08	80.19	78.62	69.18

ตารางที่ 4.1b ผลอัตราความถูกต้องของกรรมวิธีพลังงานเฉลี่ย ชุดทดสอบที่ 1

ค่าความต่างพลังงาน (ร้อยละ)	ระยะเวลาพยางค์ (กรอบเสียงพูด)				
	24	28	32	36	40
4	84.28	82.39	82.70	82.08	79.56
6	86.16	84.28	84.28	82.08	78.93
8	84.91	83.02	82.08	79.56	74.84
10	84.59	82.39	80.82	78.62	70.44

ตารางที่ 4.1c ผลอัตราความถูกต้องของกรรมวิธีพลังงานความถี่และเวลา ชุดทดสอบที่ 1

ค่าความต่างพลังงาน (ร้อยละ)	ระยะเวลาพยางค์ (กรอบเสียงพูด)				
	24	28	32	36	40
4	75.16	76.10	77.04	76.10	76.73
6	79.25	79.87	80.19	79.25	79.25
8	79.56	80.19	79.56	78.62	77.04
10	80.82	80.82	79.87	78.62	77.99

ตารางที่ 4.1d ผลอัตราความถูกต้องของกรรมวิธีพลังงานกำลังสอง ชุดทดสอบที่ 1

ค่าความต่างพลังงาน (ร้อยละ)	ระยะเวลาพยางค์ (กรอบเสียงพูด)				
	24	28	32	36	40
2	76.10	75.47	75.79	77.36	75.79
4	72.01	70.13	69.81	68.67	64.47
6	66.35	64.47	63.21	60.06	53.77
8	59.43	57.23	55.03	52.20	46.54

ตารางที่ 4.1e ผลอัตราความถูกต้องของกรรมวิธีพลังงาน Teager ชุดทดสอบที่ 1

ค่าความต่างพลังงาน (ร้อยละ)	ระยะเวลาพยางค์ (กรอบเสียงพูด)				
	24	28	32	36	40
4	81.13	81.76	82.70	83.33	85.22
6	81.13	81.45	82.39	82.70	83.65
8	83.02	83.02	83.65	83.96	84.28
10	81.45	81.76	82.39	82.39	82.39

ตารางที่ 4.1f ผลอัตราความถูกต้องของกรรมวิธีพลังงานจากการแปลงแบบ Walsh ชุดทดสอบที่ 1

ค่าความต่างพลังงาน (ร้อยละ)	ระยะเวลาพยางค์ (กรอบเสียงพูด)				
	24	28	32	36	40
4	85.22	84.91	84.91	84.91	84.91
6	85.53	85.53	85.22	84.91	82.08
8	86.79	86.79	86.79	84.91	80.82
10	82.70	82.70	82.39	80.19	73.90

ตารางที่ 4.1g ผลอัตราความถูกต้องกรรมวิธีฟังก์ชันการประมาณพลังงานเฉลี่ย ชุดทดสอบที่ 1

ค่าความต่างพลังงาน (ร้อยละ)	ระยะเวลาพยางค์ (กรอบเสียงพูด)				
	40	45	50	55	60
4	34.59	34.91	39.62	31.45	27.99

ตารางที่ 4.1h ผลอัตราความถูกต้องของกรรมวิธีพลังงานเฉลี่ยและอัตราการจัดผ่านระดับกำหนด ชุดทดสอบที่ 1

ค่าความต่างพลังงาน (ร้อยละ)	ระยะเวลาพยางค์ (กรอบเสียงพูด)				
	24	28	32	36	40
4	89.94	89.94	89.62	89.62	88.36
6	90.25	90.25	90.25	89.94	87.11
8	90.25	90.25	89.94	88.05	84.59
10	88.99	88.99	88.05	85.85	81.45

ตารางที่ 4.1i ผลอัตราความถูกต้องของกรรมวิธีพลังงานเฉลี่ยร่วมกับอัตราการตัดผ่านระดับกำหนดและความถี่มูลฐาน ชุดทดสอบที่ 1

ค่าความต่างพลังงาน (ร้อยละ)	ระยะเวลาพยางค์ (กรอบเสียงพูด)				
	24	28	32	36	40
4	91.13	91.49	91.13	90.78	89.36
6	90.43	90.78	90.78	90.43	87.59
8	90.07	90.43	90.07	88.65	84.75
10	89.36	89.72	89.01	86.88	82.62

จากผลการทดสอบกรรมวิธีการหาขอบเขตพยางค์ทั้ง 9 กรรมวิธีกับชุดทดสอบที่ 1 สามารถสรุปผลการทดสอบได้ดังตารางที่ 4.2 ซึ่งแสดงค่าความต่างพลังงานและระยะเวลาพยางค์ที่ให้อัตราความถูกต้องสูงสุดของแต่ละกรรมวิธีการหาขอบเขตพยางค์

ตารางที่ 4.2 ผลอัตราความถูกต้องและค่าพารามิเตอร์ที่ให้อัตราความถูกต้องสูงสุด ชุดทดสอบที่ 1

กรรมวิธี	ค่าความต่างพลังงาน (%)	ระยะเวลาพยางค์ (กรอบเสียงพูด)	อัตราความถูกต้อง (%)
พลังงานสมบูรณ์	6,8	24	85.85
พลังงานเฉลี่ย	6	24	86.16
พลังงานความถี่และเวลา	10	24,28	80.82
พลังงานกำลังสอง	2	36	77.36
พลังงาน Teager	4	40	85.22
พลังงานการแปลงแบบ Walsh	8	24,28,32	86.79
ฟังก์ชันการประมาณพลังงานเฉลี่ย	4	45	34.91
พลังงานและอัตราการตัดผ่านระดับกำหนด	6,8	24,28	90.25
พลังงานร่วมกับอัตราการตัดผ่านระดับกำหนดและความถี่มูลฐาน	4	28	91.49

#### 4.2.2 ผลการทดสอบการปรับเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ ชุดทดสอบที่ 2

ทำการทดสอบกรรมวิธีการหาขอบเขตพยางค์ทั้ง 9 กรรมวิธี กับชุดทดสอบที่ 2 โดยเปลี่ยนระยะเวลาพยางค์ และค่าความต่างพลังงาน เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่ให้อัตราความถูกต้องสูงที่สุด ในการตัดแบ่งพยางค์ในแต่ละกรรมวิธี ซึ่งผลการทดสอบกรรมวิธีการหาขอบเขตพยางค์ต่าง ๆ กับชุดทดสอบที่ 2 แสดงในตารางที่ 4.3a ถึง 4.3i

ตารางที่ 4.3a ผลอัตราความถูกต้องของกรรมวิธีพลังงานสมบูรณ์ ชุดทดสอบที่ 2

ค่าความต่างพลังงาน (ร้อยละ)	ระยะเวลาพยางค์ (กรอบเสียงพูด)				
	24	28	32	36	40
4	78.70	79.32	80.86	81.17	81.17
6	85.19	85.49	85.49	84.88	82.10
8	86.11	86.11	86.11	84.26	78.40
10	86.73	86.73	86.11	84.26	75.62

ตารางที่ 4.3b ผลอัตราความถูกต้องของกรรมวิธีพลังงานเฉลี่ย ชุดทดสอบที่ 2

ค่าความต่างพลังงาน (ร้อยละ)	ระยะเวลาพยางค์ (กรอบเสียงพูด)				
	24	28	32	36	40
4	80.25	80.86	82.10	81.79	81.17
6	83.95	83.95	83.95	83.02	79.01
8	86.11	86.11	86.42	84.57	77.16
10	87.65	87.65	87.04	84.26	75.62

ตารางที่ 4.3c ผลอัตราความถูกต้องของกรรมวิธีพลังงานความถี่และเวลา ชุดทดสอบที่ 2

ค่าความต่างพลังงาน (ร้อยละ)	ระยะเวลาพยางค์ (กรอบเสียงพูด)				
	24	28	32	36	40
4	74.69	76.85	76.85	77.78	75.00
6	76.85	78.70	79.01	78.09	77.47
8	79.94	79.94	80.56	79.32	78.70
10	78.09	78.70	78.70	77.16	76.23

ตารางที่ 4.3d ผลอัตราความถูกต้องของกรรมวิธีพลังงานกำลังสอง ชุดทดสอบที่ 2

ค่าความต่างพลังงาน (ร้อยละ)	ระยะเวลาพยางค์ (กรอบเสียงพูด)				
	24	28	32	36	40
2	72.53	72.84	73.46	75.00	73.46
4	72.84	72.53	72.22	72.22	68.52
6	71.30	69.75	68.52	66.98	61.73
8	64.51	63.58	62.96	58.33	53.70

ตารางที่ 4.3e ผลอัตราความถูกต้องของกรรมวิธีพลังงาน Teager ชุดทดสอบที่ 2

ค่าความต่างพลังงาน (ร้อยละ)	ระยะเวลาพยางค์ (กรอบเสียงพูด)				
	24	28	32	36	40
4	78.12	77.81	79.06	80.31	81.56
6	84.06	84.06	84.37	85.00	85.63
8	88.12	88.12	88.12	88.12	88.12
10	87.81	87.81	87.81	87.81	87.81

ตารางที่ 4.3f ผลอัตราความถูกต้องของกรรมวิธีพลังงานจากการแปลงแบบ Walsh ชุดทดสอบที่ 2

ค่าความต่างพลังงาน (ร้อยละ)	ระยะเวลาพยางค์ (กรอบเสียงพูด)				
	24	28	32	36	40
4	80.62	80.94	81.87	81.87	82.50
6	83.44	83.75	83.75	83.75	83.44
8	85.31	85.31	85.00	84.69	82.81
10	86.25	86.25	95.94	84.37	80.31

ตารางที่ 4.3g ผลอัตราความถูกต้องกรรมวิธีฟังก์ชันการประมาณพลังงานเฉลี่ย ชุดทดสอบที่ 2

ค่าความต่างพลังงาน (ร้อยละ)	ระยะเวลาพยางค์ (กรอบเสียงพูด)				
	40	45	50	55	60
4	34.69	32.81	41.56	31.56	35



ตารางที่ 4.3h ผลอัตราความถูกต้องของกรรมวิธีพลังงานเฉลี่ยและอัตราการตัดผ่านระดับกำหนด ชุดทดสอบที่ 2

ค่าความต่างพลังงาน (ร้อยละ)	ระยะเวลาพียงค์ (กรอบเสียงพูด)				
	24	28	32	36	40
4	90.94	90.94	91.25	90.94	90.62
6	90.94	90.94	90.94	90.31	88.44
8	90.62	90.62	90.62	89.69	86.87
10	90.94	90.94	90.94	89.37	83.12

ตารางที่ 4.3i ผลอัตราความถูกต้องของกรรมวิธีพลังงานเฉลี่ยร่วมกับอัตราการตัดผ่านระดับ กำหนดและค่าพื้นฐาน ชุดทดสอบที่ 2

ค่าความต่างพลังงาน (ร้อยละ)	ระยะเวลาพียงค์ (กรอบเสียงพูด)				
	24	28	32	36	40
4	91.25	91.25	91.56	91.87	91.56
6	91.25	91.25	91.25	90.94	88.75
8	90.94	90.94	90.94	90.31	87.50
10	90.62	90.62	90.62	89.37	83.12

จากผลการทดสอบกรรมวิธีการหาขอบเขตพียงค์ทั้ง 9 กรรมวิธีกับชุดทดสอบที่ 2 สามารถสรุปผลการทดสอบได้ดังตารางที่ 4.4 ซึ่งแสดงค่าความต่างพลังงานและระยะเวลาพียงค์ ที่ให้อัตราความถูกต้องสูงสุดของแต่ละกรรมวิธีการหาขอบเขตพียงค์

ตารางที่ 4.4 ผลอัตราความถูกต้องและค่าพารามิเตอร์ที่ให้อัตราความถูกต้องสูงสุด ชุดทดสอบที่ 2

กรรมวิธี	ค่าความต่างพลังงาน (%)	ระยะเวลาพียงค์ (กรอบเสียงพูด)	อัตราความถูกต้อง (%)
พลังงานสัมบูรณ์	10	24,28	86.73
พลังงานเฉลี่ย	10	24,28	87.65
พลังงานความถี่และเวลา	8	32	80.56
พลังงานกำลังสอง	2	36	75.00
พลังงาน Teager	8	24 -> 40	88.12
พลังงานการแปลงแบบ Walsh	10	24	86.25
ฟังก์ชันการประมาณพลังงานเฉลี่ย	4	50	41.56

พลังงานและอัตราการตัดผ่าน ระดับกำหนด	4	32	91.25
พลังงานร่วมกับอัตราการตัดผ่าน ระดับกำหนดและความถี่มูลฐาน	4	36	91.87

#### 4.2.3 ผลการทดสอบการปรับเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ ชุดทดสอบที่ 3

ทำการทดสอบกรรมวิธีการหาขอบเขตพยางค์ทั้ง 9 กรรมวิธี กับชุดทดสอบที่ 3 โดยเปลี่ยนระยะเวลาพยางค์ และค่าความต่างพลังงาน เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่ให้อัตราความถูกต้องสูงที่สุด ในการตัดแบ่งพยางค์ในแต่ละกรรมวิธี ซึ่งผลการทดสอบกรรมวิธีการหาขอบเขตพยางค์ต่าง ๆ กับชุดทดสอบที่ 3 แสดงในตารางที่ 4.5a ถึง 4.5i

ตารางที่ 4.5a ผลอัตราความถูกต้องของกรรมวิธีพลังงานสมบูรณ์ ชุดทดสอบที่ 3

ค่าความต่างพลังงาน (ร้อยละ)	ระยะเวลาพยางค์ (กรอบเสียงพูด)				
	24	28	32	36	40
4	73.80	74.30	74.68	74.56	74.81
6	78.48	78.48	78.23	77.22	76.08
8	80.51	80.25	79.75	79.11	76.33
10	80.38	80.13	79.11	77.22	73.92

ตารางที่ 4.5b ผลอัตราความถูกต้องของกรรมวิธีพลังงานเฉลี่ย ชุดทดสอบที่ 3

ค่าความต่างพลังงาน (ร้อยละ)	ระยะเวลาพยางค์ (กรอบเสียงพูด)				
	24	28	32	36	40
4	75.06	75.57	76.20	79.37	76.08
6	80.13	80.13	79.87	78.73	77.22
8	80.25	80.13	79.62	78.10	75.57
10	80.76	80.51	79.37	77.59	74.30

ตารางที่ 4.5c ผลั้ตราความถูกต้องของกรรมวิธีพลังงานความถี่และเวลา ชุดทดสอบที่ 3

ค่าความต่างพลังงาน (ร้อยละ)	ระยะเวลาพียงค์ (กรอบเสียงพูด)				
	24	28	32	36	40
4	58.23	61.39	63.04	65.82	68.23
6	66.71	68.61	70.38	72.53	73.29
8	70.89	72.03	73.16	73.54	74.18
10	71.39	72.66	73.80	73.92	73.92

ตารางที่ 4.5d ผลั้ตราความถูกต้องของกรรมวิธีพลังงานกำลังสอง ชุดทดสอบที่ 3

ค่าความต่างพลังงาน (ร้อยละ)	ระยะเวลาพียงค์ (กรอบเสียงพูด)				
	24	28	32	36	40
2	66.08	67.47	67.22	68.35	67.47
4	65.95	66.08	65.06	64.05	60.89
6	60.38	59.75	58.23	55.57	51.39
8	52.66	51.52	49.62	46.20	42.03

ตารางที่ 4.5e ผลั้ตราความถูกต้องของกรรมวิธีพลังงาน Teager ชุดทดสอบที่ 3

ค่าความต่างพลังงาน (ร้อยละ)	ระยะเวลาพียงค์ (กรอบเสียงพูด)				
	24	28	32	36	40
4	64.40	65.43	66.71	67.99	69.27
6	71.70	71.96	72.47	73.24	74.14
8	73.37	73.62	74.26	74.52	75.42
10	77.34	77.46	77.72	77.85	78.23

ตารางที่ 4.5f ผลั้ตราความถูกต้องของกรรมวิธีพลังงานจากการแปลงแบบ Walsh ชุดทดสอบที่ 3

ค่าความต่างพลังงาน (ร้อยละ)	ระยะเวลาพียงค์ (กรอบเสียงพูด)				
	24	28	32	36	40
4	76.95	77.46	78.23	78.49	77.72
6	80.67	80.67	80.54	80.28	78.36
8	81.31	81.18	80.79	79.90	78.23
10	80.03	79.77	79.64	77.72	75.80

ตารางที่ 4.5g ผลอัตราความถูกต้องของกรรมวิธีฟังก์ชันการประมาณพลังงานเฉลี่ย ชุดทดสอบที่ 3

ค่าความต่างพลังงาน (ร้อยละ)	ระยะเวลาพยางค์ (กรอบเสียงพูด)				
	40	45	50	55	60
4	30.60	29.96	32.01	26.12	25.61

ตารางที่ 4.5h ผลอัตราความถูกต้องของกรรมวิธีพลังงานเฉลี่ยและอัตราการตัดผ่านระดับกำหนด ชุดทดสอบที่ 3

ค่าความต่างพลังงาน (ร้อยละ)	ระยะเวลาพยางค์ (กรอบเสียงพูด)				
	24	28	32	36	40
4	86.46	87.02	87.02	87.02	86.60
6	88.43	88.29	87.73	87.45	86.60
8	88.58	88.15	87.73	86.32	83.78
10	86.88	86.46	85.61	83.92	81.24

ตารางที่ 4.5i ผลอัตราความถูกต้องของกรรมวิธีพลังงานเฉลี่ยร่วมกับอัตราการตัดผ่านระดับกำหนดและความถี่มูลฐาน ชุดทดสอบที่ 3

ค่าความต่างพลังงาน (ร้อยละ)	ระยะเวลาพยางค์ (กรอบเสียงพูด)				
	24	28	32	36	40
4	90.13	90.27	90.27	89.56	88.72
6	90.55	90.41	89.84	89.00	88.01
8	90.13	89.70	89.14	87.45	84.91
10	88.43	88.01	87.17	85.05	81.52

จากผลการทดสอบกรรมวิธีการหาขอบเขตพยางค์ทั้ง 9 กรรมวิธีกับชุดทดสอบที่ 3 สามารถสรุปผลการทดสอบได้ดังตารางที่ 4.6 ซึ่งแสดงค่าความต่างพลังงานและระยะเวลาพยางค์ที่ให้อัตราความถูกต้องสูงสุดของแต่ละกรรมวิธีการหาขอบเขตพยางค์

ตารางที่ 4.6 ผลอัตราความถูกต้องและค่าพารามิเตอร์ที่ให้อัตราความถูกต้องสูงสุด ชุดทดสอบที่ 3

กรรมวิธี	ค่าความต่างพลังงาน (%)	ระยะเวลาพยางค์ (กรอบเสียงพูด)	อัตราความถูกต้อง (%)
พลังงานสัมบูรณ์	8	24	80.51
พลังงานเฉลี่ย	10	24	80.76
พลังงานความถี่และเวลา	8	40	74.18
พลังงานกำลังสอง	2	36	68.35
พลังงาน Teager	10	40	78.23
พลังงานการแปลงแบบ Walsh	8	24	81.31
ฟังก์ชันการประมาณพลังงานเฉลี่ย	4	50	32.01
พลังงานและอัตราการตัดผ่านระดับกำหนด	8	24	88.58
พลังงานร่วมกับอัตราการตัดผ่านระดับกำหนดและความถี่มูลฐาน	6	24	90.55

#### 4.2.4 ผลการทดสอบกรรมวิธีพลังงานสัมบูรณ์

จากผลการทดสอบกรรมวิธีพลังงานสัมบูรณ์กับชุดทดสอบที่ 1 ชุดทดสอบที่ 2 และชุดทดสอบที่ 3 โดยปรับระยะเวลาพยางค์ และค่าความต่างพลังงาน ค่าพารามิเตอร์ที่ดีที่สุดคือ ค่าพารามิเตอร์ที่ให้อัตราความผิดพลาดเนื่องจากการตัดพยางค์เกินและการตัดพยางค์ขาดที่มีค่าต่ำและใกล้เคียงกันมากที่สุด ซึ่งค่าพารามิเตอร์ที่ดีที่สุดในแต่ละชุดทดสอบมีดังนี้

ตารางที่ 4.7 ผลอัตราความถูกต้องและค่าพารามิเตอร์ของกรรมวิธีพลังงานสัมบูรณ์

ชุดทดสอบ	ค่าความต่างพลังงาน (%)	ระยะเวลาพยางค์ (กรอบเสียงพูด)	อัตราความถูกต้อง (%)	ตัดเกิน (%)	ตัดขาด (%)
ชุดทดสอบ 1	6	24	85.85	5.97	8.18
ชุดทดสอบ 2	6	24	85.19	7.41	7.41
ชุดทดสอบ 3	6	24	78.48	11.01	10.51

จากตารางที่ 4.7 สามารถสรุปได้ว่า ค่าความต่างพลังงานที่เหมาะสมสำหรับกรรมวิธีพลังงานสัมบูรณ์ คือร้อยละ 6 และระยะเวลาพยางค์ที่เหมาะสมคือ 24 กรอบเสียงพูด

#### 4.2.5 ผลการทดสอบกรรมวิธีพลังงานเฉลี่ย

จากผลการทดลองกรรมวิธีพลังงานเฉลี่ยกับชุดทดสอบที่ 1 ชุดทดสอบที่ 2 และชุดทดสอบที่ 3 โดยปรับระยะเวลาพยางค์ และค่าความต่างพลังงาน ค่าพารามิเตอร์ที่ดีที่สุดคือ ค่าพารามิเตอร์ที่ให้อัตราความผิดพลาดเนื่องจากการตัดพยางค์เกินและการตัดพยางค์ขาดที่มีค่าต่ำและใกล้เคียงกันมากที่สุด ซึ่งค่าพารามิเตอร์ที่ดีที่สุดในแต่ละชุดทดสอบมีดังนี้

ตารางที่ 4.8 ผลอัตราความถูกต้องและค่าพารามิเตอร์ของกรรมวิธีพลังงานเฉลี่ย

ชุดทดสอบ	ค่าความต่างพลังงาน (%)	ระยะเวลาพยางค์ (กรอบเสียงพูด)	อัตราความถูกต้อง (%)	ตัดเกิน (%)	ตัดขาด (%)
ชุดทดสอบ 1	6	24	86.16	5.66	8.18
ชุดทดสอบ 2	6	24	83.95	8.95	7.10
ชุดทดสอบ 3	6	24	80.13	10.25	9.62

จากตารางที่ 4.8 สามารถสรุปได้ว่า ค่าความต่างพลังงานที่เหมาะสมสำหรับกรรมวิธีพลังงานเฉลี่ย คือร้อยละ 6 และระยะเวลาพยางค์ที่เหมาะสมคือ 24 กรอบเสียงพูด

#### 4.2.6 ผลการทดสอบกรรมวิธีพลังงานความถี่และเวลา

จากผลการทดลองกรรมวิธีพลังงานความถี่และเวลากับชุดทดสอบที่ 1 ชุดทดสอบที่ 2 และชุดทดสอบที่ 3 โดยปรับระยะเวลาพยางค์ และค่าความต่างพลังงาน ค่าพารามิเตอร์ที่ดีที่สุดคือ ค่าพารามิเตอร์ที่ให้อัตราความผิดพลาดเนื่องจากการตัดพยางค์เกินและการตัดพยางค์ขาดที่มีค่าต่ำและใกล้เคียงกันมากที่สุด ซึ่งค่าพารามิเตอร์ที่ดีที่สุดในแต่ละชุดทดสอบมีดังนี้

ตารางที่ 4.9 ผลอัตราความถูกต้องและค่าพารามิเตอร์ของกรรมวิธีพลังงานความถี่และเวลา

ชุดทดสอบ	ค่าความต่างพลังงาน (%)	ระยะเวลาพยางค์ (กรอบเสียงพูด)	อัตราความถูกต้อง (%)	ตัดเกิน (%)	ตัดขาด (%)
ชุดทดสอบ 1	6	32	80.19	10.69	9.12
ชุดทดสอบ 2	8	36	80.56	10.49	8.95
ชุดทดสอบ 3	6	36	72.53	15.57	11.90

จากตารางที่ 4.9 สามารถสรุปได้ว่า ไม่สามารถกำหนดค่าความต่างพลังงานและระยะเวลาพยางค์ที่เหมาะสมสำหรับกรรมวิธีพลังงานความถี่และเวลาได้ เนื่องจากค่าพารามิเตอร์มีการเปลี่ยนแปลงไม่คงที่ขึ้นอยู่กับชุดทดสอบ

#### 4.2.7 ผลการทดสอบกรรมวิธีพลังงานกำลังสอง

จากผลการทดลองกรรมวิธีพลังงานกำลังสองกับชุดทดสอบที่ 1 ชุดทดสอบที่ 2 และชุดทดสอบที่ 3 โดยปรับระยะเวลาพยางค์ และค่าความต่างพลังงาน ค่าพารามิเตอร์ที่ดีที่สุดคือ ค่าพารามิเตอร์ที่ให้อัตราความผิดพลาดเนื่องจากการตัดพยางค์เกินและการตัดพยางค์ขาดที่มีค่าต่ำและใกล้เคียงกันมากที่สุด ซึ่งค่าพารามิเตอร์ที่ดีที่สุดในแต่ละชุดทดสอบมีดังนี้

ตารางที่ 4.10 ผลอัตราความถูกต้องและค่าพารามิเตอร์ของกรรมวิธีพลังงานกำลังสอง

ชุดทดสอบ	ค่าความต่างพลังงาน (%)	ระยะเวลาพยางค์ (กรอบเสียงพูด)	อัตราความถูกต้อง (%)	ตัดเกิน (%)	ตัดขาด (%)
ชุดทดสอบ 1	2	36	77.36	9.12	13.52
ชุดทดสอบ 2	2	36	75.00	15.12	9.88
ชุดทดสอบ 3	2	36	68.35	16.33	15.32

จากตารางที่ 4.10 สามารถสรุปได้ว่า ค่าความต่างพลังงานที่เหมาะสมสำหรับกรรมวิธีพลังงานกำลังสอง มีค่าเท่ากับร้อยละ 2 และระยะเวลาพยางค์ที่เหมาะสม คือ 36 กรอบเสียงพูด

#### 4.2.8 ผลการทดสอบกรรมวิธีพลังงาน Teager

จากผลการทดลองกรรมวิธีพลังงาน Teager กับชุดทดสอบที่ 1 ชุดทดสอบที่ 2 และชุดทดสอบที่ 3 โดยปรับระยะเวลาพยางค์ และค่าความต่างพลังงาน ค่าพารามิเตอร์ที่ดีที่สุดคือ ค่าพารามิเตอร์ที่ให้อัตราความผิดพลาดเนื่องจากการตัดพยางค์เกินและการตัดพยางค์ขาดที่มีค่าต่ำและใกล้เคียงกันมากที่สุด ซึ่งค่าพารามิเตอร์ที่ดีที่สุดในแต่ละชุดทดสอบมีดังนี้

ตารางที่ 4.11 ผลอัตราความถูกต้องและค่าพารามิเตอร์ของกรรมวิธีพลังงาน Teager

ชุดทดสอบ	ค่าความต่างพลังงาน (%)	ระยะเวลาพยางค์ (กรอบเสียงพูด)	อัตราความถูกต้อง (%)	ตัดเกิน (%)	ตัดขาด (%)
ชุดทดสอบ 1	4	40	85.22	7.23	7.55
ชุดทดสอบ 2	8	40	88.12	5.31	6.56
ชุดทดสอบ 3	8	40	75.42	10.76	13.83

จากตารางที่ 4.11 จะเห็นว่าค่าความต่างพลังงานในชุดทดสอบที่ 2 และ 3 มีค่าเท่ากัน และให้อัตราความถูกต้องในการตัดแบ่งพยางค์สูงกว่า ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าค่าความต่างพลังงานที่

เหมาะสมสำหรับกรรมวิธีพลังงาน Teager คือร้อยละ 8 และระยะเวลาพยางค์ที่เหมาะสม คือ 40 กรอบเสียงพูด

#### 4.2.9 ผลการทดสอบกรรมวิธีพลังงานจากการแปลงแบบ Walsh

จากผลการทดลองกรรมวิธีพลังงานจากการแปลงแบบ Walsh กับชุดทดสอบที่ 1 ชุดทดสอบที่ 2 และชุดทดสอบที่ 3 โดยปรับระยะเวลาพยางค์ และค่าความต่างพลังงาน ค่าพารามิเตอร์ที่ดีที่สุดคือ ค่าพารามิเตอร์ที่ให้อัตราความผิดพลาดเนื่องจากการตัดพยางค์เกินและการตัดพยางค์ขาดที่มีค่าต่ำและใกล้เคียงกันมากที่สุด ซึ่งค่าพารามิเตอร์ที่ดีที่สุดในแต่ละชุดทดสอบมีดังนี้

ตารางที่ 4.12 ผลอัตราความถูกต้องและค่าพารามิเตอร์ของกรรมวิธีพลังงานจากการแปลงแบบ Walsh

ชุดทดสอบ	ค่าความต่างพลังงาน (%)	ระยะเวลาพยางค์ (กรอบเสียงพูด)	อัตราความถูกต้อง (%)	ตัดเกิน (%)	ตัดขาด (%)
ชุดทดสอบ 1	6	24	85.53	5.66	8.81
ชุดทดสอบ 2	6	24	83.44	8.44	8.13
ชุดทดสอบ 3	6	24	80.67	9.35	9.99

จากตารางที่ 4.12 สามารถสรุปได้ว่าค่าความต่างพลังงานที่เหมาะสมสำหรับกรรมวิธีพลังงานจากการแปลง Walsh คือร้อยละ 6 และระยะเวลาพยางค์ที่เหมาะสม คือ 24 กรอบเสียงพูด

#### 4.2.10 ผลการทดสอบกรรมวิธีฟังก์ชันการประมาณพลังงานเฉลี่ย

จากผลการทดลองกรรมวิธีฟังก์ชันการประมาณพลังงานเฉลี่ย กับชุดทดสอบที่ 1 ชุดทดสอบที่ 2 และชุดทดสอบที่ 3 โดยปรับระยะเวลาพยางค์ และค่าความต่างพลังงาน ค่าพารามิเตอร์ที่ดีที่สุดคือ ค่าพารามิเตอร์ที่ให้อัตราความถูกต้องในการตัดแบ่งพยางค์สูงที่สุด ซึ่งค่าพารามิเตอร์ที่ดีที่สุดในแต่ละชุดทดสอบมีดังนี้

ตารางที่ 4.13 ผลอัตราความถูกต้องและค่าพารามิเตอร์ของกรรมวิธีฟังก์ชันการประมาณพลังงานเฉลี่ย

ชุดทดสอบ	ค่าความต่างพลังงาน (%)	ระยะเวลาพยางค์ (กรอบเสียงพูด)	อัตราความถูกต้อง (%)	ตัดเกิน (%)	ตัดขาด (%)
ชุดทดสอบ 1	4	50	39.62	2.20	58.18
ชุดทดสอบ 2	4	50	41.56	2.50	55.94
ชุดทดสอบ 3	4	50	32.01	6.53	61.46



จากตารางที่ 4.13 สามารถสรุปได้ว่า ค่าความต่างพลังงานที่เหมาะสมสำหรับกรรมวิธี ฟังก์ชันการประมาณพลังงานเฉลี่ย มีค่าเท่ากับร้อยละ 4 และระยะเวลาพยางค์ที่เหมาะสม คือ 50 กรอบเสียงพูด

#### 4.2.11 ผลการทดสอบกรรมวิธีพลังงานเฉลี่ยและอัตราการจัดผ่านระดับกำหนด

จากผลการทดลองกรรมวิธีพลังงานเฉลี่ยกับอัตราการจัดผ่านระดับกำหนด กับชุดทดสอบ ที่ 1 ชุดทดสอบที่ 2 และชุดทดสอบที่ 3 โดยปรับระยะเวลาพยางค์ และค่าความต่างพลังงาน ค่า พารามิเตอร์ที่ดีที่สุดคือ ค่าพารามิเตอร์ที่ให้อัตราความผิดพลาดเนื่องจากการจัดพยางค์เกินและ การตัดพยางค์ขาดที่มีค่าต่ำและใกล้เคียงกันมากที่สุด ซึ่งค่าพารามิเตอร์ที่ดีที่สุดในแต่ละชุด ทดสอบมีดังนี้

ตารางที่ 4.14 ผลอัตราความถูกต้องและค่าพารามิเตอร์ของกรรมวิธีพลังงานเฉลี่ยและอัตราการจัด ผ่านระดับกำหนด

ชุดทดสอบ	ค่าความต่าง พลังงาน (%)	ระยะเวลาพยางค์ (กรอบเสียงพูด)	อัตราความ ถูกต้อง (%)	ตัดเกิน (%)	ตัดขาด (%)
ชุดทดสอบ 1	8	24	90.25	1.26	8.49
ชุดทดสอบ 2	8	24	90.62	2.81	6.56
ชุดทดสอบ 3	8	24	88.58	6.35	5.08

จากตารางที่ 4.14 สามารถสรุปได้ว่า ค่าความต่างพลังงานที่เหมาะสมสำหรับกรรมวิธี พลังงานเฉลี่ยและอัตราการจัดผ่านระดับกำหนด คือร้อยละ 8 และระยะเวลาพยางค์ที่เหมาะสมคือ 24 กรอบเสียงพูด

#### 4.2.12 ผลการทดสอบกรรมวิธีพลังงานเฉลี่ยร่วมกับอัตราการจัดผ่านระดับกำหนดและ ความถี่มูลฐาน

จากผลการทดลองกรรมวิธีพลังงานเฉลี่ยร่วมกับอัตราการจัดผ่านระดับกำหนดและ ความถี่มูลฐาน กับชุดทดสอบที่ 1 ชุดทดสอบที่ 2 และชุดทดสอบที่ 3 โดยปรับระยะเวลาพยางค์ และค่าความต่างพลังงาน ค่าพารามิเตอร์ที่ดีที่สุดคือค่าที่ให้อัตราความถูกต้องในการจัดแบ่ง พยางค์ในแต่ละชุดทดสอบสูง

ตารางที่ 4.15 ผลอัตราความถูกต้องและค่าพารามิเตอร์ของกรรมวิธีพลังงานเฉลี่ยร่วมกับอัตรา  
การตัดผ่านระดับกำหนดและความถี่มูลฐาน

ชุดทดสอบ	ค่าความต่าง พลังงาน (%)	ระยะเวลาพยางค์ (กรอบเสียงพูด)	อัตราความ ถูกต้อง (%)	ตัดเกิน (%)	ตัดขาด (%)
ชุดทดสอบ 1	4	28	91.49	1.57	8.81
ชุดทดสอบ 2	4	28	91.25	1.88	6.88
ชุดทดสอบ 3	4	28	90.27	4.51	5.22

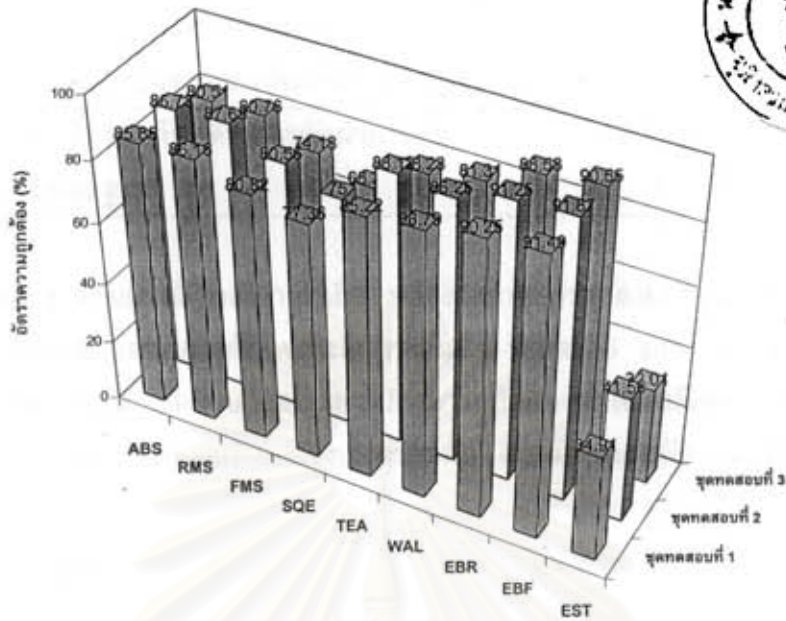
จากตารางที่ 4.15 สามารถสรุปได้ว่า ค่าความต่างพลังงานที่เหมาะสมสำหรับของกรรมวิธีพลังงานเฉลี่ยร่วมกับอัตราการตัดผ่านระดับกำหนดและความถี่มูลฐาน คือร้อยละ 4 และระยะเวลาพยางค์ที่เหมาะสมคือ 28 กรอบเสียงพูด

#### 4.2.13 ผลการทดสอบกรรมวิธีการหาขอบเขตพยางค์กับชุดทดสอบต่าง ๆ

จากผลการทดลองปรับเปลี่ยนระยะเวลาพยางค์และค่าความต่างพลังงาน เพื่อหาอัตราความถูกต้องในการตัดแบ่งพยางค์ที่มีค่าสูงที่สุด สามารถสรุปผลการทดสอบได้ดังตารางที่ 4.16 ซึ่งแสดงอัตราความถูกต้องในการตัดแบ่งพยางค์ของกรรมวิธีต่าง ๆ ในแต่ละชุดทดสอบ และแสดงอัตราความถูกต้องเฉลี่ยของแต่ละกรรมวิธีด้วย

ตารางที่ 4.16 ผลอัตราความถูกต้องของกรรมวิธีการหาขอบเขตพยางค์

กรรมวิธี	อัตราความถูกต้อง (ร้อยละ)			
	ชุดทดสอบ ที่ 1	ชุดทดสอบ ที่ 2	ชุดทดสอบ ที่ 3	อัตราความ ถูกต้องเฉลี่ย
กรรมวิธีพลังงานสัมบูรณ์	85.85	86.73	80.51	83.08
กรรมวิธีพลังงานเฉลี่ย	86.16	87.65	80.76	83.49
กรรมวิธีพลังงานความถี่และเวลา	80.82	80.56	74.18	77.07
กรรมวิธีพลังงานกำลังสอง	77.36	75.00	68.35	71.82
กรรมวิธีพลังงาน Teager	85.22	88.12	78.23	81.98
กรรมวิธีพลังงานจากการแปลงแบบ Walsh	86.79	86.25	81.31	83.62
กรรมวิธีฟังก์ชันการประมาณพลังงาน เฉลี่ย	34.91	41.56	32.01	34.78
กรรมวิธีพลังงานเฉลี่ยและอัตราการตัด ผ่านระดับกำหนด	90.25	91.25	88.58	89.54
กรรมวิธีพลังงานเฉลี่ยร่วมกับอัตราการ ตัดผ่านระดับกำหนดและความถี่มูลฐาน	91.49	91.87	90.55	91.05



รูปที่ 4.1 แผนภูมิแสดงอัตราความถูกต้องของกรรมวิธีการหาขอบเขตพยางค์

#### 4.3 วิเคราะห์ผลการทดสอบกรรมวิธีการหาขอบเขตพยางค์

จากการนำประโยคทดสอบมาแบ่งเป็นชุดทดสอบที่ 1 ชุดทดสอบที่ 2 และชุดทดสอบที่ 3 แล้วทำการทดสอบกรรมวิธีการหาขอบเขตพยางค์ โดยปรับเปลี่ยนค่าของระยะเวลาพยางค์ และค่าความต่างพลังงาน เพื่อหาอัตราความถูกต้องที่ดีที่สุด จากผลการทดสอบ สามารถวิเคราะห์ผลได้ดังนี้

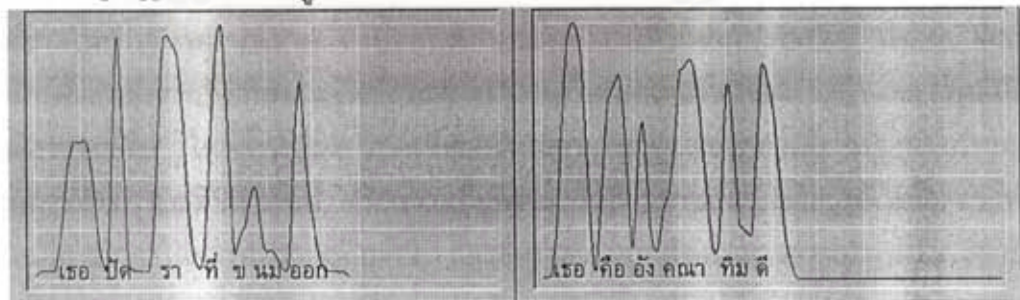
- 1) จากผลการทดสอบกรรมวิธีการหาขอบเขตพยางค์กับชุดทดสอบที่ 1, 2 และ 3 แสดงให้เห็นว่าค่าความต่างพลังงานและระยะเวลาพยางค์ มีผลต่ออัตราความถูกต้องในการหาขอบเขตพยางค์ ซึ่งสามารถสรุปค่าความต่างพลังงานและระยะเวลาพยางค์ที่เหมาะสมกับกรรมวิธีการหาขอบเขตพยางค์วิธีต่าง ๆ ได้ดังนี้

กรรมวิธี	ค่าความต่างพลังงาน (%)	ระยะเวลาพยางค์ (กรอบเสียงพูด)
กรรมวิธีพลังงานสัมบูรณ์	6	24
กรรมวิธีพลังงานเฉลี่ย	6	24
กรรมวิธีพลังงานความถี่และเวลา	ไม่มี	ไม่มี
กรรมวิธีพลังงานกำลังสอง	2	36
กรรมวิธีพลังงาน Teager	8	40
กรรมวิธีพลังงานจากการแปลง Walsh	6	24

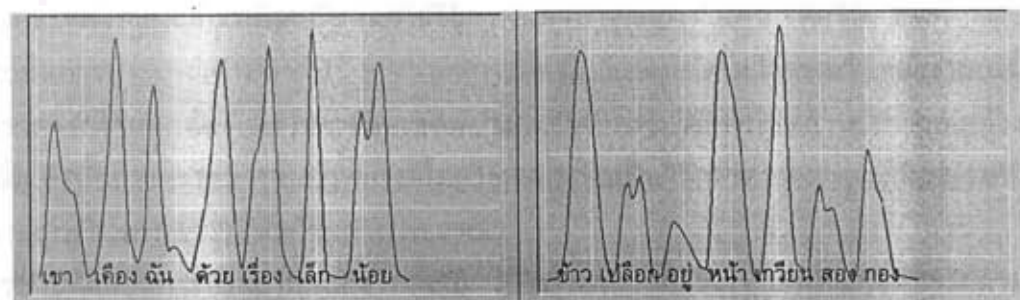
กรรมวิธีฟังก์ชันการประมาณพลังงานเฉลี่ย	4	50
กรรมวิธีพลังงานเฉลี่ยและอัตราการตัดผ่านระดับกำหนด	8	24
กรรมวิธีพลังงานเฉลี่ยร่วมกับอัตราการตัดผ่านระดับกำหนดและความถี่มูลฐาน	4	28

กรรมวิธีพลังงานสัมบูรณ์ พลังงานเฉลี่ย พลังงานจากการแปลงแบบ Walsh มีค่าความต่างพลังงานและระยะเวลาพยางค์ที่เหมาะสมเท่ากันคือ ร้อยละ 6 และ 24 กรอบเสียงพูด ตามลำดับ กรรมวิธีพลังงานความถี่และเวลาไม่สามารถกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมได้ เนื่องจากเป็นพลังงานในเชิงความถี่และเชิงเวลารวมกัน ค่าพลังงานจึงมีความเปลี่ยนแปลงขึ้นกับผู้พูดสูง

- 2) ที่อัตราความถูกต้องในการตัดแบ่งพยางค์สูงที่สุดของแต่ละกรรมวิธี จะมีความผิดพลาดในการตัดแบ่งพยางค์ เนื่องจากการตัดพยางค์ขาดมากกว่าการตัดพยางค์เกิน ความผิดพลาดเนื่องจากการตัดพยางค์ขาดเกิดจากลักษณะสมบัติพลังงานของสัญญาณเสียงพูดที่มีค่าความต่างพลังงานน้อยกว่าค่าที่กำหนด หรือมีระยเวลาน้อยกว่าระยะเวลาพยางค์ที่กำหนด ซึ่งพยางค์ที่เป็นปัญหาส่วนใหญ่เป็นพยางค์เปิด (Open Syllable) ดังแสดงในรูปที่ 4.2 ความผิดพลาดเนื่องจากการตัดพยางค์เกินเกิดจากคุณลักษณะพลังงานของสัญญาณเสียงพูดมีค่าพลังงานสูงกว่าค่าความต่างพลังงานที่กำหนด และมีระยะเวลามากกว่าระยะเวลาพยางค์ที่กำหนด ซึ่งพยางค์ที่เป็นปัญหาส่วนใหญ่เป็นพยางค์ควบกล้ำ และพยางค์ที่ลงท้ายด้วยเสียงนาสิก [m,n] เสียงกึ่งสระ [w,j] ดังแสดงในรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.2 แผนภูมิเส้นพลังงานของประโยคที่มีพยางค์เปิด

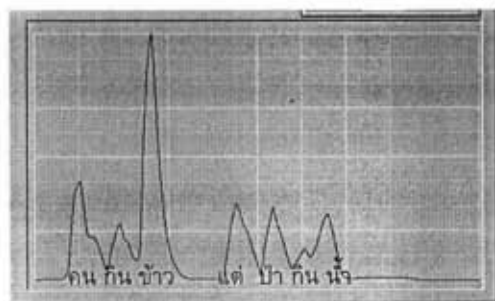


รูปที่ 4.3 แผนภูมิเส้นพลังงานของประโยคที่ลงท้ายด้วยเสียงนาสิกและพยางค์ควบกล้ำ

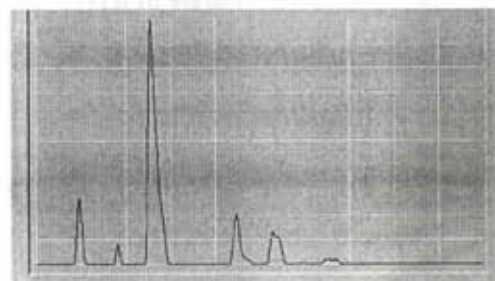
- 3) กรรมวิธีพลังงานกำลังสอง มีความผิดพลาดในการหาขอบเขตพยางค์ เนื่องจากการตัดพยางค์ขาดสูง เพราะคุณลักษณะพลังงานกำลังสองมีความไวต่อสัญญาณขนาดใหญ่ จึงส่งผลให้อัตราความถูกต้องในการหาขอบเขตพยางค์ต่ำ
- 4) กรรมวิธีพลังงานเฉลี่ย มีอัตราความถูกต้องในการตัดแบ่งพยางค์สูงกว่ากรรมวิธีพลังงานสัมบูรณ์ และพลังงานความถี่และเวลา เนื่องจากคุณลักษณะพลังงานในกรรมวิธีนี้ ให้ความสำคัญพลังงานต่ำในพยางค์ควบกล้ำ และพยางค์ที่ลงท้ายด้วยเสียงนาสิก [m,n] เสียงกึ่งสระ [w,j] จึงทำให้ความผิดพลาดเนื่องจากการตัดพยางค์เกินลดลง
- 5) กรรมวิธีพลังงานความถี่และเวลา มีอัตราความถูกต้องในการตัดแบ่งพยางค์ต่ำกว่ากรรมวิธีพลังงานสัมบูรณ์และพลังงานเฉลี่ย และเนื่องจากพลังงานความถี่และเวลา เป็นการหาค่าพลังงานที่ได้จากการแปลงฟูเรียร์ ซึ่งเป็นการคำนวณหาค่าจำนวนเชิงซ้อน (Complex Number) จึงทำให้ใช้เวลาในการคำนวณนานกว่า
- 6) กรรมวิธีพลังงาน Teager มีอัตราความถูกต้องในการตัดแบ่งพยางค์มากที่สุด เมื่อกำหนดระยะเวลาพยางค์เท่ากับ 40 กรอบเสียงพูด (~ 0.23 วินาที) ซึ่งค่าระยะเวลาพยางค์ในกรรมวิธีพลังงานสัมบูรณ์ พลังงานเฉลี่ย และพลังงานจากการแปลงแบบ Walsh เท่ากับ 24 กรอบเสียงพูด (~ 0.14 วินาที) และความผิดพลาดเนื่องจากการตัดพยางค์เกินมีค่าใกล้เคียงกับการตัดพยางค์ขาด ซึ่งแสดงว่ากรรมวิธีพลังงาน Teager สามารถลดความผิดพลาดเนื่องจากการตัดพยางค์เกินโดยการเพิ่มระยะเวลาพยางค์ขึ้น
- 7) กรรมวิธีพลังงานจากการแปลงแบบ Walsh มีอัตราความถูกต้องในการตัดแบ่งพยางค์สูงกว่ากรรมวิธีพลังงานอื่น ๆ โดยลดความผิดพลาดในการตัดพยางค์เกินลง และไม่ทำให้เกิดความผิดพลาดในการตัดพยางค์ขาด ดังนั้นคุณลักษณะพลังงานที่ได้จากการแปลง Walsh จึงเป็นคุณลักษณะพลังงานที่ดีที่สุดของคุณลักษณะพลังงานทั้งหมดในงานวิจัยนี้ แต่ในงานวิจัยนี้เลือกใช้พลังงานเฉลี่ย ในการนำไปเปรียบเทียบวิธีการตรวจหาจุดแบ่งพยางค์ หรือนำไปรวมกับอัตราการตัดผ่านระดับกำหนด หรือความถี่มูลฐาน ในการหาขอบเขตพยางค์ เนื่องจากพลังงานเฉลี่ยใช้เวลาในการคำนวณน้อยกว่า และอัตราความถูกต้องในการตัดแบ่งพยางค์มีค่าใกล้เคียงกัน
- 8) กรรมวิธีพลังงานเฉลี่ยและกรรมวิธีฟังก์ชันการประมาณพลังงานเฉลี่ย เป็นกรรมวิธีที่ใช้คุณลักษณะพลังงานเฉลี่ยเหมือนกัน แต่ใช้วิธีการตรวจหาจุดแบ่งต่างกัน คือวิธี EMN และวิธีฟังก์ชันการประมาณตามลำดับ จากผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่ากรรมวิธีพลังงานเฉลี่ยมีอัตราการความถูกต้องในการหาขอบเขตพยางค์สูงกว่ากรรมวิธีฟังก์ชันการประมาณพลังงานเฉลี่ย ดังนั้นการตรวจหาจุดแบ่งพยางค์โดยวิธี EMN จึงเป็นวิธีการตรวจหาจุดแบ่งพยางค์ที่ให้ความถูกต้องมากกว่าวิธีฟังก์ชันการประมาณ
- 9) กรรมวิธีฟังก์ชันการประมาณพลังงานเฉลี่ย มีอัตราความถูกต้องในการตัดแบ่งพยางค์ต่ำมาก เนื่องจากใช้คุณลักษณะพลังงานเฉลี่ยเพียงอย่างเดียวในการประมาณ และความผิดพลาดส่วน

ใหญ่เกิดจากการตัดพยางค์ขาด ดังนั้นวิธีฟังก์ชันการประมาณจึงไม่เหมาะสำหรับการนำมาใช้ ในการหาขอบเขตพยางค์เสียงพูดต่อเนื่องในงานวิจัยนี้ เนื่องจากการใช้วิธีฟังก์ชันการ ประมาณในการตรวจหาจุดแบ่งพยางค์จะต้องทำเป็นระบบ และทำการฝึกฝนระบบ (Training System) ก่อนนำมาทดสอบ

- 10) กรรมวิธีพลังงานเฉลี่ยและอัตราการตัดผ่านระดับกำหนด มีอัตราความถูกต้องในการตัดแบ่ง พยางค์สูงกว่ากรรมวิธีพลังงานทุกกรรมวิธี ดังนั้นแสดงว่าอัตราการตัดผ่านระดับกำหนดเมื่อ นำมาใช้ในการพิจารณาพร้อมกับพลังงานเฉลี่ยแล้ว สามารถเพิ่มอัตราความถูกต้องในการตัด แบ่งพยางค์ขึ้นได้ โดยลดความผิดพลาดเนื่องจากการตัดพยางค์เกินลง สามารถแต่ยังเกิด ความผิดพลาดในการตัดแบ่งพยางค์เนื่องจาก ความไม่สอดคล้องกันระหว่างพลังงานและ อัตราการตัดผ่านระดับกำหนด ดังแสดงในรูปที่ 4.4 ทำให้ตัดพยางค์ขาด และเกิดจากความ สอดคล้องกันระหว่างพลังงานและอัตราการตัดผ่านระดับกำหนดดังแสดงในรูปที่ 4.5 ทำให้ตัด พยางค์เกิน
- 11) กรรมวิธีพลังงานเฉลี่ยร่วมกับอัตราการตัดผ่านระดับกำหนดและความถี่มูลฐาน เมื่อนำความถี่ มูลฐานมาใช้ในการพิจารณาร่วมด้วย ทำให้อัตราความถูกต้องในการตัดแบ่งพยางค์สูงขึ้น โดย ลดความผิดพลาดเนื่องจากการตัดพยางค์เกินและขาดลง แต่ยังเกิดความผิดพลาดขึ้นเนื่อง จาก ความไม่สอดคล้องกันระหว่างคุณลักษณะพลังงาน อัตราการตัดผ่านระดับกำหนด และ ความถี่มูลฐาน ดังแสดงในรูปที่ 4.6 ทำให้การตัดแบ่งพยางค์ขาด และรูปที่ 4.7 แสดงการตัด พยางค์เกิน เนื่องจากคุณลักษณะทั้ง 3 ให้จำนวนพยางค์เท่ากัน
- 12) กรรมวิธีพลังงานเฉลี่ยร่วมกับอัตราการตัดผ่านระดับกำหนดและความถี่มูลฐาน การนำความถี่ มูลฐานมาใช้ในการพิจารณาร่วมด้วย จะทำให้อัตราความถูกต้องในการตัดแบ่งพยางค์สูงขึ้น ร้อยละ 7.56 เมื่อเทียบกับกรรมวิธีพลังงานเฉลี่ย แต่เวลาที่ใช้ในการตัดแบ่งพยางค์เพิ่มขึ้น ประมาณ 5 วินาทีต่อสัญญาณเสียงพูด 1 วินาที ซึ่งเป็นเวลาที่เหมาะสมกับอัตราความถูกต้อง ที่สูงขึ้น และเพื่อความถูกต้องของระบบรู้จำคำพูดต่อไป

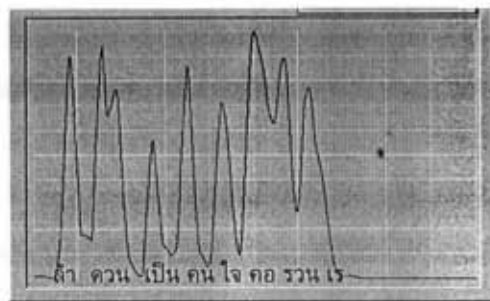


(a)

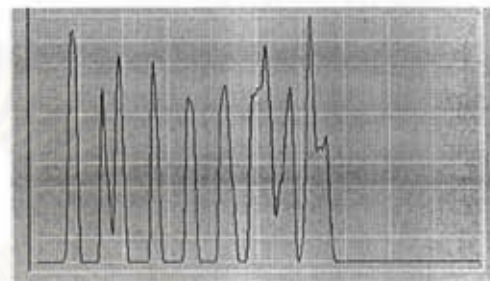


(b)

รูปที่ 4.4 (a) แผนภูมิเส้นพลังงาน  
(b) อัตราการตัดผ่านระดับกำหนด

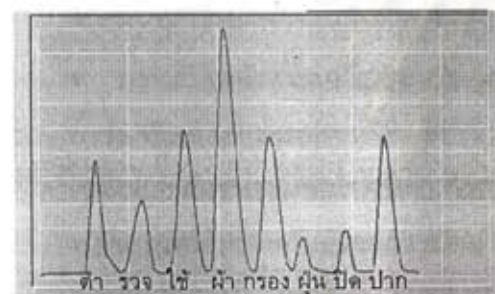


(a)

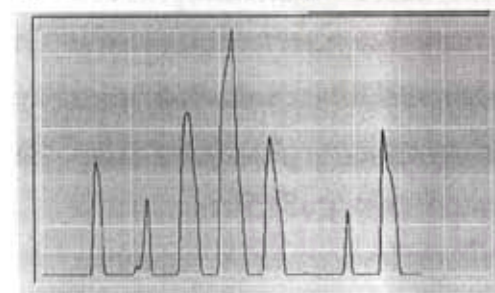


(b)

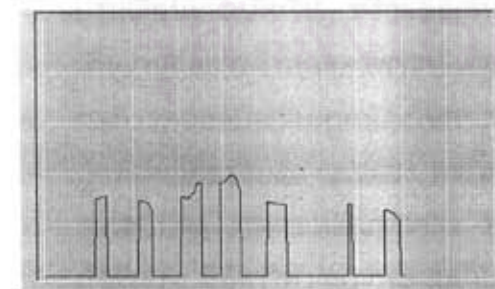
รูปที่ 4.5 (a) แผนภูมิเส้นพลังงาน  
(b) อัตราการตัดผ่านระดับกำหนด



(a)

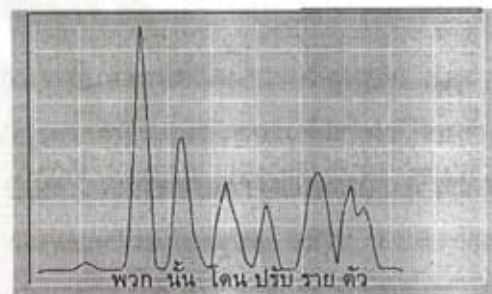


(b)

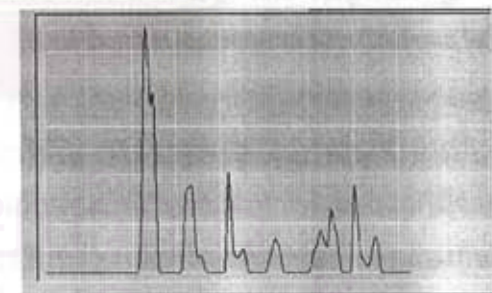


(c)

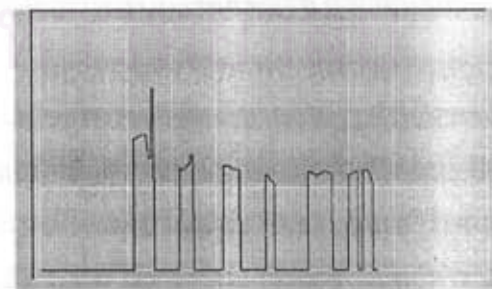
รูปที่ 4.6 (a) แผนภูมิเส้นพลังงาน (b) อัตราการตัดผ่านระดับกำหนด (c) ความถี่มูลฐาน



(a)



(b)



(c)

รูปที่ 4.7 (a) แผนภูมิเส้นพลังงาน (b) อัตราการตัดผ่านระดับกำหนด (c) ความถี่มูลฐาน