



การศึกษาหารูปแบบความสัมพันธ์เชิงตรีโกณมิติของคอร์ดเพลงที่มีผล  
ต่อความผ่อนคลาย : การศึกษาคลื่นไฟฟ้าสมอง

The study of the effect of the trigonometric pattern of the  
music chords on human relaxation: Electroencephalogram  
(EEG)

โดย

นายธีรธัช ภัทรโรดม

นางสาวจันทร์รัตน์ จันทร์อนันต์

โรงเรียนวิทยาศาสตร์จุฬาราชวิทยาลัย ปทุมธานี

รายงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรโรงเรียนวิทยาศาสตร์

จุฬาราชวิทยาลัย ปทุมธานี

โรงเรียนวิทยาศาสตร์จุฬาราชวิทยาลัย ปทุมธานี

ปีการศึกษา 2560



การศึกษาหารูปแบบความสัมพันธ์เชิงตรีโกณมิติของคอร์ดเพลงที่มีผล  
ต่อความผ่อนคลาย : การศึกษาคลื่นไฟฟ้าสมอง

The study of the effect of the trigonometric pattern of the  
music chords on human relaxation: Electroencephalogram  
(EEG)

โดย

นายธีรรัช ภัทรโรดม

นางสาวจันทรรัตน์ จันทร์อนันต์

โรงเรียนวิทยาศาสตร์จุฬาราชวิทยาลัย ปทุมธานี

ครูที่ปรึกษา

นางสาวฉวีวรรณ อรุณถาวร

นางสาวสุณิสา คงคล้าย

นายสมยศ น้อยไผ่ล้อม

อาจารย์ที่ปรึกษาจากศูนย์วิจัยประสาทวิทยาศาสตร์ สถาบันชีววิทยาศาสตร์โมเลกุล

มหาวิทยาลัยมหิดล ศาลายา

ผศ.นพ.วรสิทธิ์ ศิริพรพาณิชย์

อาจารย์ที่ปรึกษาจาก คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้า

คุณทหารลาดกระบัง

ผศ.ดร.กัณฑ์พงษ์ วรรณปัญญา

ชื่อโครงการ	การศึกษาหารูปแบบความสัมพันธ์เชิงตรีโกณมิติของคอร์ดเพลงที่มีผลต่อความผ่อนคลาย : การศึกษาคลื่นไฟฟ้าสมอง		
ผู้จัดทำ	นายธีรรัช ภัทรวิโรดม และนางสาวจันทรรัตน์ จันทรอนันต์		
ครูที่ปรึกษา	นางสาวฉวีวรรณ อรุณถาวร นางสาวสุนิสา คงคล้าย และนายสมยศ น้อยไผ่ล้อม		
โรงเรียน	วิทยาศาสตร์จุฬาภรณราชวิทยาลัย ปทุมธานี		
ที่อยู่	51 หมู่ 6 ตำบลบ่อเงิน อำเภอลาดหลุมแก้ว จังหวัดปทุมธานี 12140		
โทรศัพท์	02-599-4462 ต่อ 113	โทรสาร	02-599-4462 ต่อ 113
ระยะเวลาในการทำโครงการ	พฤษภาคม 2560 – กุมภาพันธ์ 2562		

### บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเพื่อหารูปแบบความสัมพันธ์เชิงตรีโกณมิติของคอร์ดเพลงนามสกุล Major, Minor หาความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ในรูปแบบของอัตราส่วนของคอร์ดเพลงในแต่ละเพลง พร้อมทั้งเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงของคลื่นไฟฟ้าสมองที่มีผลต่อความผ่อนคลาย ขณะฟังเพลงที่มีคอร์ด Major, Minor และเพลงที่มีคอร์ดแบบผสมผสาน เพื่อเป็นการอธิบายความผ่อนคลายที่เกิดจากดนตรีรูปแบบที่แตกต่างกัน ทั้งในรูปแบบของคณิตศาสตร์และชีววิทยา โดยดนตรีที่ใช้ในการทดลองจะให้อารมณ์ที่แตกต่างกันซึ่งมีทั้งหมด 3 เพลงคือเพลงที่มีคอร์ด Major เป็นส่วนใหญ่ คือ A Little Night in G major, เพลงที่มีคอร์ด Minor เป็นส่วนใหญ่ คือ Moonlight Sonata in C Sharp Minor และเพลงที่มีคอร์ดแบบผสมผสาน คือ Nocturne No.20 in C-sharp minor การหารูปแบบความสัมพันธ์เชิงตรีโกณมิติของคอร์ดเพลง ทดลองด้วยการใช้โปรแกรม GeoGebra ออกมาในรูปแบบของจุดตัดของคลื่นความถี่ของโน้ตในคอร์ดเพลงรูปแบบต่าง ๆ ในการหาอัตราส่วนของคอร์ดเพลงในแต่ละเพลง สามารถทำได้โดยการแกะคอร์ดเพลงโดยอาศัยผลการทดลองจากตอนที่ 1 สำหรับการเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงของคลื่นไฟฟ้าสมองที่มีผลต่อความผ่อนคลาย ขณะฟังเพลงที่มีคอร์ด Major, Minor และเพลงที่มีคอร์ดแบบผสมผสาน โดยใช้เครื่องตรวจวัดคลื่นไฟฟ้าสมองชนิด EMOTIV EPOC+ 14 Channel Mobile EEG ณ ห้องปฏิบัติการ คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง บันทึกการเปลี่ยนแปลงของคลื่นไฟฟ้าสมองขณะฟังเพลงของกลุ่มตัวอย่างที่เป็นนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนวิทยาศาสตร์จุฬาภรณราชวิทยาลัยปทุมธานี จำนวน 5 คน ตัวแปรที่ศึกษา คือการเปลี่ยนแปลงของคลื่นไฟฟ้าสมองชนิด Alpha บริเวณต่าง ๆ ของสมอง โดยผลการทดลองพบว่ารูปแบบของคอร์ดเพลงนามสกุล Major จะเกิดจุดตัดของความยาวคลื่นความถี่ของโน้ต 3 โน้ตในคอร์ดเพลง ที่จุดเดียวกัน และเมื่อนับรอบความยาวคลื่นของแต่ละตัวโน้ตที่เกิดจุดตัดแล้วพบว่า โน้ตทั้งสามจะมีรอบความยาวคลื่นเป็น 2 รอบ, 2.5 รอบและ 3 รอบตามลำดับ รูปแบบของคอร์ดเพลงนามสกุล Minor จะเกิดจุดตัดของความยาวคลื่นทั้งสามที่จุดเดียวกันเช่นกัน โดยจะมีรอบความยาวคลื่นเป็น 8 รอบ, 9.5 รอบและ 12 รอบตามลำดับ และพบว่าในแต่ละเพลงมีอัตราส่วนของคอร์ดเพลงที่แตกต่างกัน อีกทั้งยังพบว่า คลื่นไฟฟ้าสมองที่บ่งบอกถึงความผ่อนคลายในเพลงที่มีคอร์ดแบบผสมผสานคือเพลง Nocturne No.20 in C-sharp minor มีการเปลี่ยนแปลงมากที่สุด ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่า เพลงที่มีผลทำให้เกิดความผ่อนคลายมากที่สุดคือเพลงที่มีคอร์ดแบบผสมผสานกันอย่างลงตัวมากที่สุด

## กิตติกรรมประกาศ

โครงการเรื่องนี้ประกอบด้วยการทำงานหลายขั้นตอน นับตั้งแต่การศึกษาหาข้อมูลการทดลอง การวิเคราะห์ผลการทดลอง การจัดทำโครงการเป็นรูปเล่ม จนกระทั่งโครงการนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ตลอดระยะเวลาดังกล่าวคณะผู้จัดทำโครงการได้รับความช่วยเหลือและคำแนะนำในด้านต่างๆ ตลอดจนได้รับกำลังใจจากบุคคลหลายท่าน คณะผู้จัดทำตระหนักและซาบซึ้งในความกรุณาจาก ทุกๆท่านเป็นอย่างยิ่ง ณ โอกาสนี้ ขอขอบคุณทุกๆ ท่าน ดังนี้

ขอขอบคุณ อาจารย์ณวีวรรณ อรุณถาวร อาจารย์สุณิสา คงคาลัย และอาจารย์สมยศ น้อยไผ่ล้อม คณาจารย์ที่ปรึกษา และอาจารย์ในกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ และกลุ่มสาระการเรียนรู้ศิลปะ โรงเรียนวิทยาศาสตร์จุฬาภรณราชวิทยาลัย ปทุมธานี ทุกท่านที่คอยดูแลเอาใจใส่และให้คำปรึกษาอย่างดี

ขอขอบคุณ ผู้อำนวยการโรงเรียนวิทยาศาสตร์จุฬาภรณราชวิทยาลัย ปทุมธานี ดร.สมร ปาโท ที่ให้ความอนุเคราะห์ และให้ความช่วยเหลือในด้านต่างๆ

ขอขอบคุณ ผศ.นพ.วรสิทธิ์ ศิริพรพาณิชย์ ศูนย์วิจัยประสาทวิทยาศาสตร์ สถาบันชีววิทยาศาสตร์โมเลกุล ม.มหิดล ที่คอยให้ความรู้และคำแนะนำเกี่ยวกับเทคนิคการวัดคลื่นไฟฟ้าสมองและการวิเคราะห์ข้อมูลต่าง ๆ

ขอขอบคุณ ผศ.ดร.กัณฑ์พงษ์ วรรณปัญญญา คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้เครื่องมือ และสถานที่ในการทำการทดลอง และให้ความช่วยเหลือในด้านต่างๆ

ขอขอบคุณ พี่ๆ นักศึกษาทุกคนที่คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง และพี่ๆ นักศึกษาทุกคนที่ศูนย์วิจัยประสาทวิทยาศาสตร์ สถาบันชีววิทยาศาสตร์โมเลกุล ม.มหิดล ที่ให้ความช่วยเหลือ คำปรึกษาต่าง ๆ แก่คณะผู้จัดทำ

ขอขอบคุณ โครงการแลกเปลี่ยนเรียนรู้ทางวิชาการ ตามข้อตกลงความร่วมมือทางวิชาการระหว่างโรงเรียน Ritsumeikan keisho Senior High School และโรงเรียนวิทยาศาสตร์จุฬาภรณราชวิทยาลัย ปทุมธานี และโครงการการประกวดโครงงานของ นักวิทยาศาสตร์รุ่นเยาว์ (Young Scientist Competition 2019) ที่ให้เงินทุนสำหรับสนับสนุนการทำ โครงการในครั้งนี้

ขอขอบคุณ คณาจารย์ รุ่นพี่ เพื่อนๆ และน้องๆ ชาววิทยาศาสตร์จุฬาภรณราชวิทยาลัย ปทุมธานี ทุกคนที่ให้ความสนใจจนโครงงานนี้ประสบความสำเร็จไปได้ด้วยดี

ท้ายที่สุด ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อและคุณแม่ ผู้เป็นที่รัก ผู้ให้กำลังใจและให้โอกาสการศึกษาอันมีค่ายิ่ง

คณะผู้จัดทำ

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	ก
กิตติกรรมประกาศ	ข
สารบัญ	ค
สารบัญตาราง	ง
สารบัญภาพ	จ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ที่มาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 สมมติฐาน	2
1.4 ตัวแปรที่ศึกษา	2
1.5 ขอบเขตของการศึกษา	3
1.6 นิยามศัพท์เชิงปฏิบัติการ	3
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 เอกสารที่เกี่ยวข้องกับดนตรี	6
2.2 เอกสารที่เกี่ยวข้องกับดนตรีและคณิตศาสตร์	21
2.3 เอกสารที่เกี่ยวข้องกับดนตรีและความผ่อนคลาย	25
2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	40
บทที่ 3 วิธีดำเนินการทดลอง	
3.1 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง	42
3.2 ขั้นตอนการดำเนินงาน	42
บทที่ 4 ผลการทดลอง	
4.1 การศึกษารูปแบบความสัมพันธ์เชิงตรีโกณมิติของคอร์ดเพลงนามสกุล Major, Minor	44
4.2 เพื่อหาความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ในรูปแบบของอัตราส่วนของคอร์ดเพลงฯ	46
4.3 การศึกษาและเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงของคลื่นไฟฟ้าสมองที่มีผลต่อฯ	47
บทที่ 5 สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผลการทดลอง	49
5.2 อภิปรายผลการทดลอง	49
5.3 ข้อเสนอแนะ	50
บรรณานุกรม	51
ภาคผนวก	
ก	52

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 แสดงระดับเสียงและความถี่ของแต่ละตัวโน้ต	7
2.2 แสดงการเปรียบเทียบระบบประสาทสัมผัสทางหูและระบบประสาทสัมผัสทางตา	29
4.1 แสดงแอมพลิจูด เวลา และคาบที่เกิดจุดตัดของคอร์ด Major ทั้งหมด	44
4.2 แสดงแอมพลิจูด เวลา และคาบที่เกิดจุดตัดของคอร์ด Minor ทั้งหมด	45
4.3 แสดงค่าความถี่ที่เพิ่มขึ้นขณะฟังเพลง A little Night Music in G Major	47
4.4 แสดงค่าความถี่ที่เพิ่มขึ้นขณะฟังเพลง Moonlight Sonata in C Sharp Minor	48
4.5 แสดงค่าความถี่ที่เพิ่มขึ้นขณะฟังเพลง Nocturne in C sharp Minor	48

## สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 แสดงการอัดและขยายตัวของคลื่นเสียง	6
2.2 แสดงลักษณะและค่าของตัวโน้ตแต่ละตัว	6
2.3 แสดงโครงสร้างบันไดเสียงเมเจอร์	9
2.4 แสดงโครงสร้างบันไดเสียงไมเนอร์	9
2.5 แสดงกุญแจเสียงเมเจอร์	10
2.6 แสดงกุญแจเสียงไมเนอร์	10
2.7 แสดงตัวอย่างประโยคเพลง(Phrase)	11
2.8 แสดงตัวอย่างประโยคใหญ่(Period) “Ode to Joy” Symphony No.9 (Beethoven)	12
2.9 แสดงตัวอย่างจุดพักเสียง(Cadence)	12
2.10 แสดงตัวอย่างเอกบท(Unitary Form)	12
2.11 แสดงตัวอย่างทวิบท (Binary Form)	12
2.12 แสดงตัวอย่างตรีบท (Ternary Form)	13
2.13 แสดงตัวอย่างซองฟอร์ม (Song Form)	13
2.14 แสดงตัวอย่างซองรอนโดฟอร์ม (Rondo Form)	13
2.15 แสดงภาพจำลองของเสียงบริสุทธิ์ที่มีความถี่ 220 เฮิรตซ์	24
2.16 แสดงภาพจำลองของเสียงบริสุทธิ์ที่มีความถี่ 330 เฮิรตซ์	24
2.17 แสดงกราฟของเสียงบริสุทธิ์ที่มีความถี่ 349 เฮิรตซ์	25
2.18 แสดงกราฟของเสียงที่เกิดจาก oboe ที่ความถี่ 349 เฮิรตซ์	25
2.19 แสดงกราฟของเสียงที่เกิดจาก Clarinet ที่ความถี่ 349 เฮิรตซ์	25
2.20 แสดงสมองส่วนต่างๆ ประกอบด้วย สมองส่วนหน้า สมองส่วนกลาง สมองส่วนท้าย	27
2.21 แสดงส่วนต่างๆของซีรีบรัม	27
2.22 แสดงส่วนประกอบภายในหู	30
2.23 แสดงการส่งกระแสประสาทที่ทำให้เกิดสนามไฟฟ้าที่ละเอียดอ่อน	31
2.24 แสดงการบันทึกสัญญาณทางไฟฟ้าจากแต่ละอวัยวะ	33
2.25 แสดงรูปแบบของคลื่นไฟฟ้าสมองจำแนกตามความถี่	33
2.26 แสดงระบบการวางตำแหน่งขั้วไฟฟ้าสากล 10/20 (10/20 International System)	35
2.27 แสดงสัญญาณรบกวนจากการเคลื่อนไหวของกล้ามเนื้อ	36
2.28 แสดงสัญญาณรบกวนจากการเคลื่อนไหวของดวงตา	37
2.29 แสดงสัญญาณรบกวนจากการกะพริบตา	37
2.30 แสดงสัญญาณรบกวนจากการเคลื่อนไหวของอวัยวะ	38
2.31 แสดงสัญญาณรบกวนจากการตัวต้านทานที่ไม่ดี	38
2.32 แสดงสัญญาณรบกวนจากการเคลื่อนไหวศีรษะ	39

## สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4.1 แสดงผลการหาอัตราส่วนของคอร์ดเพลงใน A little Night Music in G Major	46
4.2 แสดงผลการหาอัตราส่วนของคอร์ดเพลงใน Moonlight Sonata in C Sharp Minor	47
4.3 แสดงผลการหาอัตราส่วนของคอร์ดเพลงใน Nocturne in C sharp Minor	47



## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ที่มาและความสำคัญ

ดนตรีเป็นปัจจัยหนึ่งในการพัฒนารสนิยม ค่านิยม และบุคลิกภาพของมนุษย์ เป็นสิ่งที่ธรรมชาติให้มาพร้อมๆ กับชีวิตมนุษย์ ในการดำรงชีพของมนุษย์ตั้งแต่เกิดจนกระทั่งตายนั้น ดนตรีมีความเกี่ยวข้องอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ ถือเป็นสิ่งที่มีความคู่กับมนุษย์ อาจกล่าวได้ว่าดนตรีเป็นส่วนหนึ่งในชีวิตประจำวันของเราเลยก็ว่าได้ ดนตรีเป็นทั้งศาสตร์และศิลป์ที่ไม่สามารถแยกออกจากชีวิตคนเราได้ ดนตรีเป็นนามธรรมที่ไม่สามารถจับต้องหรือมองเห็นได้ ต้องอาศัยความรู้สึกร่วมสัมผัส ดังนั้นจึงเป็นศาสตร์ชั้นสูงสาขาหนึ่งที่มีความงดงาม โดยอาศัยเสียงเพื่อเป็นสื่อในการถ่ายทอดอารมณ์ความรู้สึกต่างๆ ไปสู่ผู้ฟัง และทำให้มนุษย์เกิดอารมณ์ความรู้สึกที่หลากหลาย มีผลต่อทั้งร่างกาย และจิตใจ เกิดความเพลิดเพลิน อารมณ์รัก โศกเศร้า รื่นเริง หรือผ่อนคลาย เป็นต้น (คมสันต์ วงศ์วรรณ, 2551)

อารมณ์ความรู้สึกที่หลากหลาย ความสุนทรีย์ ความเพลิดเพลิน มิใช่ประโยชน์ที่เกิดขึ้นเพียงอย่างเดียวของดนตรีเท่านั้น แต่ดนตรียังให้ประโยชน์ได้มากกว่าที่คิด การนำดนตรีมาใช้เพื่อบำบัดความเจ็บป่วยฟื้นฟูสภาพร่างกาย พัฒนาด้านอารมณ์ และสติปัญญา มีมานานประมาณหลายพันปีแล้ว (อัญชลี ชุ่มบัวทอง, 2560) มีการศึกษาผลจากการฟังดนตรีที่มีผลต่อร่างกาย จิตใจ และจิตวิญญาณต่างๆ มากมายชี้ให้เห็นว่า ดนตรีมีผลต่อบุคคลทั้งด้านร่างกาย จิตใจ อารมณ์ และจิตวิญญาณโดยตรง ดนตรีลักษณะต่างๆ เป็นตัวแปรที่ทำให้เกิดการตอบสนองของคลื่นสมองมนุษย์ที่แตกต่างกันไป ซึ่งจากงานวิจัยต่างๆ พบว่า สภาวะความผ่อนคลาย จิตใจมีความสุข มีสมาธิระดับต้น จะพบคลื่นไฟฟ้าสมองในช่วงของคลื่นแอลฟา (อุดมลักษณ์ มงคล, 2556) ดังนั้นจึงสามารถกล่าวได้ว่าคลื่นสมองจะแปรเปลี่ยนไปตามลักษณะของดนตรีที่ทำให้เกิดอารมณ์ที่แตกต่างกัน

การเกิดอารมณ์ความรู้สึกที่แตกต่างกัน เมื่อเราฟังดนตรีที่แตกต่างกันนั้นขึ้นอยู่กับองค์ประกอบทางดนตรีต่างๆ เช่น เสียง สื่อที่ทำให้เกิดเสียง บันไดเสียง จังหวะ โน้ต ทำนอง รูปพรรณของดนตรี รูปแบบของดนตรี นักดนตรี เอกลักษณ์ของดนตรี และเสียงประสานหรือคอร์ด โดยก่อนที่จะมาเป็นดนตรีที่เราได้ยินได้ฟังกันจนกระทั่งปัจจุบันนี้มนุษย์ได้คิดได้ปรับปรุงเปลี่ยนแปลงมาแล้วไม่น้อยกว่าพันปี (คมสันต์ วงศ์วรรณ, 2551)

ซึ่งดนตรีที่มีการสร้างรูปแบบ มีแบบแผน มีโครงสร้างที่ชัดเจน มีการใช้บันไดเสียงเมเจอร์และไมเนอร์ มีการสร้างกฎเกณฑ์รูปแบบในทุกๆ อย่างเกี่ยวกับการประพันธ์ดนตรี และมีการประพันธ์ดนตรีที่แตกต่างกันมากที่สุด ด้วยหัวโน้ตที่ร้อยเรียงเป็นคอร์ดสามถึงสี่พยางค์ คือดนตรียุคคลาสสิก ดนตรียุคคลาสสิก คือ ดนตรีในโลกตะวันตก ซึ่งถือเป็นมรดกทางวัฒนธรรมที่สำคัญอย่างมาก ถือเป็นรากเหง้าของดนตรีที่เราได้ยินกันในทุกวันนี้ (ไชแสง สุขวัฒนะ, 2554) กว่าสองพันปีมาแล้วที่มีการศึกษาดนตรีในรูปแบบของคณิตศาสตร์ นักทฤษฎีเพลงหลายท่าน ก็มีการใช้พื้นฐานทางคณิตศาสตร์ มาเพื่อใช้ในการพัฒนา และสนับสนุนแนวคิดเหล่านี้ คณิตศาสตร์สามารถอธิบายปรากฏการณ์และแนวคิดต่างๆ ที่เกิดขึ้นในดนตรีได้ สามารถอธิบายถึงการสั่นสะเทือนของตัวกลางเป็นสาเหตุทำให้เกิดคลื่นความถี่เสียง (Bilal Ahmad Bhat, 2015)

ความสัมพันธ์ระหว่างคณิตศาสตร์และดนตรีมีความซับซ้อน ประวัติความเป็นมาของการศึกษาคณิตศาสตร์และดนตรีเป็นเรื่องที่ถกเถียงกันกันมาอย่างยาวนาน ดนตรีได้ถูกนำมาเชื่อมโยงกับคณิตศาสตร์อย่างต่อเนื่อง ดังนั้นคำถามและปัญหาที่เกิดขึ้นในทฤษฎีดนตรีมักถูกแก้ไขโดยการค้นคว้าและวิจัยทางคณิตศาสตร์และฟิสิกส์ ตลอดประวัติศาสตร์ มีตัวอย่างมากมายของคีตกวีที่ใช้เทคนิคทางคณิตศาสตร์ในการสนับสนุนแนวคิดเหล่านี้ หนึ่งในนั้นคือ ฟิทาโกรัส ซึ่งเป็นผู้คิดค้นทฤษฎีตรีโกณมิติ (Muhammad Ashraf Wani, 2015)

ด้วยเหตุนี้คณะผู้จัดทำจึงมีความสนใจที่จะศึกษารูปแบบที่เกิดจากความถี่ในคอร์ดเพลงในยุคคลาสสิก ซึ่งแต่ละคอร์ดมีการประพันธ์ และให้อารมณ์ความรู้สึกที่แตกต่างกัน โดยสามารถอธิบายออกมาได้ในรูปแบบความสัมพันธ์เชิงตรีโกณมิติ และศึกษาว่ารูปแบบความสัมพันธ์ของคอร์ดในเพลงชนิดใดที่มีผลทำให้ความผ่อนคลายเพิ่มขึ้น จากการศึกษาคลื่นไฟฟ้าสมอง อีกทั้งยังสามารถนำรูปแบบความสัมพันธ์ที่แตกต่างกันในแต่ละคอร์ด มาอธิบายได้ว่าเหตุใด เมื่อฟังดนตรีแล้วจึงเกิดความเพลิดเพลิน อารมณ์รัก โศกเศร้า รื่นเริง ผ่อนคลาย หรือเกิดอารมณ์ความรู้สึกต่างๆได้

## 1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อหารูปแบบความสัมพันธ์เชิงตรีโกณมิติของคอร์ดเพลงนามสกุล Major, Minor

1.2.2 เพื่อหาความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ในรูปแบบของอัตราส่วนของคอร์ดเพลงในแต่ละเพลง

1.2.3 เพื่อเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงของคลื่นไฟฟ้าสมองที่มีผลต่อความผ่อนคลาย ขณะฟังเพลงที่มีคอร์ด Major, Minor และเพลงที่มีคอร์ดแบบผสมผสาน

## 1.3 สมมติฐาน

1.3.1 คอร์ดแต่ละประเภทมีรูปแบบความสัมพันธ์เชิงตรีโกณมิติที่แตกต่างกัน

1.3.2 อัตราส่วนของคอร์ดเพลงในแต่ละเพลงมีความแตกต่างกัน

1.3.3 เพลงที่มีคอร์ดแบบผสมผสานทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของคลื่นไฟฟ้าสมองที่มีผลต่อความผ่อนคลายมากที่สุด

## 1.4 ตัวแปรที่ศึกษา

1.4.1 การศึกษารูปแบบความสัมพันธ์เชิงตรีโกณมิติของคอร์ดเพลงนามสกุล Major, Minor

ตัวแปรต้น ความถี่ของตัวโน้ตที่แตกต่างกันในคอร์ดเพลงนามสกุล Major, Minor

ตัวแปรตาม รูปแบบที่เกิดจากจำนวนคลื่นของแต่ละตัวโน้ตในคอร์ดเพลง มาตัดกัน ณ แอมพลิจูดเป็น 0 กับช่วงเวลาใดๆ

ตัวแปรควบคุม โปรแกรมที่ใช้ทำการทดลองคือโปรแกรม GeoGebra, สมการคลื่นเสียงฟังก์ชันตรีโกณมิติคือ  $y(t) = \sin(2\pi ft)$

#### 1.4.2 เพื่อหาความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ในรูปแบบของอัตราส่วนของคอร์ดเพลงในแต่ละเพลง

ตัวแปรต้น            คอร์ดรูปแบบต่าง ๆ ในแต่ละเพลง  
 ตัวแปรตาม           อัตราส่วนของคอร์ดในแต่ละเพลง  
 ตัวแปรควบคุม       โปรแกรมที่ใช้ทำการทดลอง คือ โปรแกรม Microsoft Excel 2013

#### 1.4.3 เพลงที่มีคอร์ดแบบผสมผสานทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของคลื่นไฟฟ้าสมองที่มีผลต่อความผ่อนคลายมากที่สุด

ตัวแปรต้น            ประเภทของเพลง ได้แก่  
                              เพลงที่มีคอร์ด Major คือ เพลง A Little Night in G major  
                              เพลงที่มีคอร์ด Minor คือ เพลง เพลง Moonlight Sonata (1<sup>st</sup> Movement)  
                              และเพลงที่มีคอร์ดแบบผสมผสาน คือ Nocturne No.20 in C-sharp minor  
 ตัวแปรตาม           การเปลี่ยนแปลงของช่วงคลื่น Alpha ที่บ่งบอกถึงความผ่อนคลาย  
 ตัวแปรควบคุม       สถานที่ทำการทดลอง, นักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย, ประเภทของเครื่อง EGG และระยะเวลาในการฟังเพลง

### 1.5 ขอบเขตของการศึกษา

- 1.5.1 ขอบเขตด้านสถานที่       โรงเรียนวิทยาศาสตร์จุฬารามราชวิทยาลัย ปทุมธานี  
    สถาบันชีววิทยาศาสตร์โมเลกุล มหาวิทยาลัยมหิดล ศาลายา  
    คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้า  
    คุณทหารลาดกระบัง
- 1.5.2 ขอบเขตด้านระยะเวลา       พฤศจิกายน 2560 – กุมภาพันธ์ 2562

### 1.6 นิยามศัพท์เชิงปฏิบัติการ

1.6.1 รูปแบบความสัมพันธ์เชิงตรีโกณมิติ หมายถึง รูปแบบของการตัดกันจากกราฟฟังก์ชันตรีโกณมิติของจำนวนคลื่นความถี่ของแต่ละตัวโน้ต จากการเกิดจากคลื่นความถี่ของแต่ละตัวโน้ตที่แตกต่างกันในคอร์ดเพลง มาตัดกัน ณ แอมพลิจูดเป็น 0 กับช่วงเวลาใดๆ

1.6.2 ความผ่อนคลาย หมายถึง การเพิ่มขึ้นของคลื่นแอลฟา ที่เกิดจากการลดความใส่ใจเมื่อฟังดนตรี และการตอบสนองต่อสิ่งเร้าภายนอกที่ไม่เกี่ยวข้อง และการยอมรับสิ่งเร้าในสิ่งแวดล้อมอย่างไม่ตัดสิน

1.6.3 คลื่นแอลฟา หมายถึง คลื่นไฟฟ้าสมองสมองที่จะเกิดขึ้นในช่วงที่หลับตา การทำสมาธิ หรือการฟังดนตรีที่มีคุณลักษณะที่ส่งผลต่อความผ่อนคลายได้ นอกจากนี้ยังเกิดได้ในระหว่างการพักผ่อน หรือเมื่อเกิดความรู้สึกความผ่อนคลาย

1.6.4 เพลง Moonlight Sonata หมายถึง เพลงที่เกิดจากการนำคอร์ดสกุล Major และ Minor มาประพันธ์ผสมผสานกัน เมื่อฟังแล้วจึงทำให้เกิดอารมณ์ความรู้สึกขึ้น

1.6.5 คอร์ด หมายถึง เสียงประสานที่เกิดจากโน้ต 3-4 ตัว โดยมีรูปแบบที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับความถี่ของตัวโน้ตในแต่ละคอร์ด

## บทที่ 2

### เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากการทำโครงการเรื่องการศึกษาหารูปแบบความสัมพันธ์เชิงตรีโกณมิติของคอร์ดเพลงที่มีผลต่อความผ่อนคลาย: การศึกษาคลื่นไฟฟ้าสมอง โดยทางคณะผู้จัดทำได้ทำการศึกษาและรวบรวมข้อมูลต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับโครงการดังนี้

#### 2.1 เอกสารที่เกี่ยวข้องกับดนตรี

- 2.1.1 องค์ประกอบของดนตรี
- 2.1.2 เสียงประสาน
- 2.1.3 รูปแบบการเรียบเรียงเสียงประสาน
- 2.1.4 เครื่องดนตรีตะวันตก
- 2.1.5 ประวัติดนตรีตะวันตก
- 2.1.6 ประเภทของดนตรีตะวันตก

#### 2.2 เอกสารที่เกี่ยวข้องกับดนตรีและคณิตศาสตร์

- 2.2.1 ทฤษฎีดนตรีกับคณิตศาสตร์
- 2.2.2 ประวัติศาสตร์ของการศึกษาดนตรีกับคณิตศาสตร์
- 2.2.3 Fourier series
- 2.2.4 พื้นฐานของเสียงในทางคณิตศาสตร์
- 2.2.5 เสียงที่เกิดจากการประสานเสียงของเครื่องดนตรีต่างๆในทางคณิตศาสตร์

#### 2.3 เอกสารที่เกี่ยวข้องกับดนตรีและความผ่อนคลาย

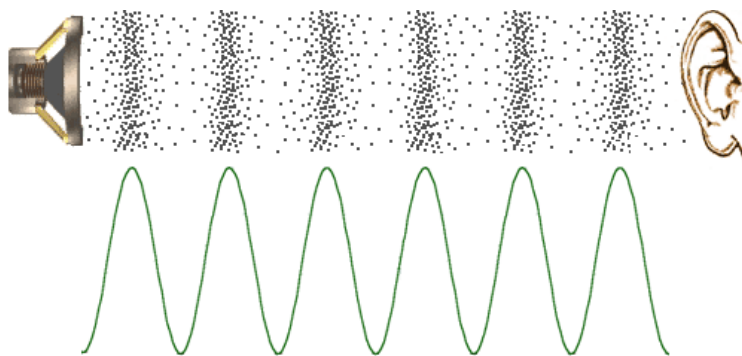
- 2.3.1 สมองและส่วนต่างๆของสมอง
- 2.3.2 สมองส่วนหน้า
- 2.3.3 การทำงานของระบบประสาท
- 2.3.4 คลื่นเสียงและการรับรู้
- 2.3.5 การถ่ายทอดกระแสประสาทระหว่างเซลล์และสนามไฟฟ้า
- 2.3.6 การตรวจวัดคลื่นไฟฟ้าสมอง
- 2.3.7 คลื่นสมองขณะผ่อนคลาย

#### 2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

## 2.1 เอกสารที่เกี่ยวข้องกับดนตรี







### 2.1.1 องค์ประกอบของดนตรี

1) เสียง เนื่องจากดนตรีมีความสัมพันธ์กับเสียงโดยตรง ซึ่งมีความจำเป็นที่จะต้องทำความเข้าใจเรื่องวิทยาศาสตร์เบื้องต้นเกี่ยวกับเสียง เสียงเกิดจากการสั่นสะเทือนของวัตถุ วัตถุใดที่สั่นสะเทือนได้ก็จะเกิดเสียงได้ เมื่อวัตถุสั่นสะเทือนจะทำให้เกิดการอัดตัว และการขยายตัวของคลื่นเสียง ซึ่งถูกส่งไปยังหูโดยผ่านชั้นบรรยากาศ ดังนั้นเสียงที่ได้ยินก็เป็นผลจากการที่คลื่นเสียงถูกส่งจากวัตถุที่สั่นสะเทือนไปยังหู เสียงที่ได้ยินจะเป็นเสียงสูง เสียงต่ำ เสียงดัง เสียงเบา หรือมีคุณภาพเสียงในลักษณะต่าง ๆ อย่างไรนั้น จะขึ้นอยู่กับแหล่งกำเนิดเสียง และจำนวนรอบต่อวินาทีของการสั่นสะเทือนที่ทำให้เกิดเสียงนั้น



ภาพที่ 2.1 แสดงการอัดและขยายตัวของคลื่นเสียง

2) โน้ต(Note) เป็นสัญลักษณ์ทางดนตรีที่ใช้บันทึกแทนระดับเสียง และความยาวของเสียง บันทึกบนบรรทัดห้าเส้น ตัวโน้ตมีลักษณะเป็นวงกลมหรือวงรี และนิยมเรียงไปทางขวา เล็กน้อยมีขนาดเท่ากับระยะห่างระหว่างบรรทัดห้าเส้นแต่ละคู่ที่อยู่ติดกัน ซึ่งเท่ากับความกว้างของช่องบรรทัดห้าเส้น บรรทัดที่อยู่ห่างกันตัวโน้ตจะมีขนาดใหญ่ และในทางตรงกันข้ามถ้าระยะระหว่างบรรทัดแคบลงตัวโน้ตก็จะมีขนาดเล็กลงตามสัดส่วน ส่วนประกอบสำคัญของตัวโน้ต ได้แก่ ส่วนหัวตัวโน้ต และส่วนหางตัวโน้ต ซึ่งขึ้นอยู่กับลักษณะโน้ตต่างๆหรือสัญลักษณ์ที่ใช้แทนเสียงดนตรี

ลักษณะตัวโน้ต	ชื่อภาษาไทย	ระบบอเมริกัน	ระบบอังกฤษ
	ตัวกลม	Whole Note	Semibreve
	ตัวขาว	Half Note	Minim
	ตัวดำ	Quarter Note	Crotchet
	ตัวเข็บ 1 ชั้น	Eight Note	Quaver
	ตัวเข็บ 2 ชั้น	Sixteenth Note	Semi Quaver
	ตัวเข็บ 3 ชั้น	Thirty Second Note	Demi Semi Quaver

ภาพที่ 2.2 แสดงลักษณะและค่าของตัวโน้ตแต่ละตัว

หัวโน้ต(Note head) ซึ่งเป็นส่วนที่แสดงระดับเสียง หัวโน้ตจะคาบอยู่บนเส้นบรรทัด หรืออยู่ในช่องบรรทัดก็ได้ หัวโน้ตอาจปรากฏในรูปของหัวโน้ตขาวหรือหัวโน้ตดำ ในกรณีที่ เป็นสีดำต้องมีก้านโน้ตติดอยู่ด้วยเสมอ ส่วนหัวโน้ตขาวจะมีก้านโน้ตหรือไม่ก็ได้ หัวโน้ตเป็นส่วนประกอบที่สำคัญที่สุดของตัวโน้ตจึงต้องอนุโลมเรียกว่า ตัวโน้ต

ก้านโน้ต(Stem) เป็นเส้นตรงแนวดิ่งที่ลากออกมาจากข้างหัวโน้ต ทั้งหัวโน้ตขาวและหัวโน้ตดำ ก้านโน้ตจะชี้ขึ้นหรือลงขึ้นอยู่กับตำแหน่งของตัวโน้ต

3) ระดับเสียง(Pitch) หมายถึงเสียงสูงเสียงต่ำสามารถเปรียบเทียบเสียง 2 เสียงได้ว่าเสียงใดมีระดับเสียงสูงกว่าและเสียงใดมีระดับเสียงต่ำกว่าโดยการฟังระดับเสียงต่างหากมากก็จะฟังง่ายถ้าต่างกันเพียงเล็กน้อยจะฟังยากกว่า แหล่งกำเนิดเสียงที่ตึงน้อยกว่าหรือแหล่งกำเนิดเสียงที่มีช่วงสั้นกว่าเช่นเสียงต่ำของเปียโนจะเกิดจากสายลวดทองเหลืองที่ใหญ่กว่าแต่ถ้าเปรียบเทียบระดับเสียงที่เกิดจากสายลวดทองแดงขนาดเดียวกันจะพบว่าเสียงที่เกิดจากสายลวดที่ตึงตึงกว่าจะมีระดับเสียงสูงกว่าเสียงที่เกิดจากสายลวดที่สั้นกว่าก็จะมีระดับเสียงสูงกว่า เป็นต้น

ระดับเสียงเกิดจากความถี่ของการสั่นสะเทือนของวัตถุ หรืออาจกล่าวได้ว่าความถี่ของการสั่นสะเทือนเป็นตัวกำหนดระดับเสียง ความถี่ซึ่งเป็นตัวกำหนดระดับเสียงได้มาจากการวัดความถี่ของวัตถุ โดยมีหน่วยเป็นรอบต่อวินาที วัตถุที่มีการสั่นสะเทือนมากกว่าจะมีความถี่มากกว่า ทำให้เกิดระดับเสียงสูงกว่า ถ้าความถี่มากขึ้นเท่าตัวระดับเสียงจะสูงขึ้น 1 ช่วงคู่แปด (octave) เช่นโน้ตที่มีความถี่ 220 รอบต่อวินาทีจะมีขึ้นคู่แปดของระดับเสียงที่สูงกว่าโดยมีความถี่ 440 รอบต่อวินาที หน่วยวัดความถี่ของเสียงเป็นรอบต่อวินาที ซึ่งเรียกว่า เฮิรตซ์(Hertz : Hz.)

ตารางที่ 2.1 แสดงระดับเสียงและความถี่ของแต่ละตัวโน้ต

Note	Hz	Note	Hz	Note	Hz	Note	Hz	Note	Hz	Note	Hz	Note	Hz
C1	32.7	C2	65.4	C3	130.8	C4	261.6	C5	523.3	C6	1046.5	C7	2093.0
C#1	34.6	C#2	69.3	C#3	138.6	C#4	277.2	C#5	554.4	C#6	1108.7	C#7	2217.5
D1	36.7	D2	73.4	D3	146.8	D4	293.7	D5	587.3	D6	1174.7	D7	2349.3
D#1	38.9	D#2	77.8	D#3	155.6	D#4	311.1	D#5	622.3	D#6	1244.5	D#7	2489.0
E1	41.2	E2	82.4	E3	164.8	E4	329.6	E5	659.3	E6	1318.5	E7	2637.0
F1	43.7	F2	87.3	F3	174.6	F4	349.2	F5	698.5	F6	1396.9	F7	2793.8
F#1	46.2	F#2	92.5	F#3	185.0	F#4	370.0	F#5	740.0	F#6	1480.0	F#7	2960.0
G1	49.0	G2	98.0	G3	196.0	G4	392.0	G5	784.0	G6	1568.0	G7	3136.0
G#1	51.9	G#2	103.8	G#3	207.7	G#4	415.3	G#5	830.6	G#6	1661.2	G#7	3322.4
A1	55.0	A2	110.0	A3	220.0	A4	440.0	A5	880.0	A6	1760.0	A7	3520.0
A#1	58.3	A#2	116.5	A#3	233.1	A#4	466.2	A#5	932.3	A#6	1864.7	A#7	3729.3
B1	61.7	B2	123.5	B3	246.9	B4	493.9	B5	987.8	B6	1975.5	B7	3951.1

4) ความเข้มของเสียง(Volume/Intensity) หมายถึงเสียงเบา เสียงดัง ความเข้มเสียงเกิดจากแรงสั่นสะเทือนของวัตถุที่เป็นแหล่งกำเนิดเสียง ถ้าวัตถุสั่นสะเทือนมากเสียงจะดัง ในทางตรงกันข้ามถ้าวัตถุสั่นสะเทือนน้อยเสียงจากเบา ความเข้มเสียงวัดได้จากความกว้างของคลื่นเสียง(Amplitude) หากคลื่นเสียงยิ่งกว้างเสียงก็จะยิ่งดัง ในขณะที่เสียงเดินทางผ่านชั้นบรรยากาศนั้น ความเข้มเสียงจะน้อยลงตามลำดับ กล่าวคือเสียงจะเบาลง ดังนั้นระยะทางที่เสียงต้องเดินทางก็จะมีผลต่อความเข้มเสียงด้วย

5) จังหวะ (Rhythm) หมายถึงเสียงยาว ๆ สั้น ๆ หรือเสียงหนัก ๆ เบา ๆ ซึ่งประกอบอยู่ในส่วนต่างๆของบทเพลง มีองค์ประกอบทั่วไป ดังนี้ อัตราจังหวะ (Time) คือการจัดแบ่งจังหวะเคาะออกเป็นกลุ่มๆ เพื่อทำให้เกิดการเคาะจังหวะ และการเน้น อย่างสม่ำเสมอ การจัดกลุ่มจังหวะเคาะที่พบในบทเพลงทั่วไปคือ 2, 3, และ 4 จังหวะเคาะ ตัวอย่างเช่น

อัตรา 2 จังหวะ 1-2-1-2-1-2-1-2-1-2

อัตรา 3 จังหวะ 1-2-3-1-2-3-1-2-3-1-2-3-1-2-3

อัตรา 4 จังหวะ 1-2-3-4-1-2-3-4-1-2-3-4-1-2-3-4-1-2-3-4

ความเร็วจังหวะ (Tempo) หมายถึงความช้าหรือความเร็วของบทเพลงนั้น โดยผู้ประพันธ์เพลงเป็นผู้กำหนดขึ้น การกำหนดอัตราความเร็วของจังหวะ มีการกำหนดศัพท์ขึ้นมาใช้โดยเฉพาะ โดยจะเขียนอยู่บนและตอนต้นของบทเพลง ตัวอย่างคำศัพท์ที่กำหนดความเร็วจังหวะ เช่น Largo=ช้ามาก, Andante=ช้า, Moderato=ปานกลาง, Allegro=เร็ว, Presto=เร็วมาก

ลีลาจังหวะ (Rhythmic Pattern) หมายถึงกระสวนของจังหวะ หรือรูปแบบของจังหวะ ที่ถูกกำหนดขึ้นมา เพื่อใช้บรรเลงประกอบบทเพลง เช่น ลีลาจังหวะร่ำวง ลีลาจังหวะตลุง ลีลาจังหวะมาร์ช (March) ลีลาจังหวะวอลทซ์ (Waltz) ลีลาจังหวะสโลว์ (Slow) ลีลาจังหวะแทงโก (Tango) ลีลาจังหวะร็อก (Rock) เป็นต้น

6) บันไดเสียง(Scale) หมายถึงโน้ต 5-12 ตัวที่เรียงกันตามลำดับ บันไดเสียงมีหลายชนิดแต่ละชนิดมีโครงสร้างต่างกัน ซึ่งทำให้บันไดเสียงแต่ละชนิดมีเสียงโดยรวมแตกต่างกัน คำว่า Scale มาจากภาษาอิตาลี Scala ซึ่งแปลตรงตัวว่าขั้นบันได ฉะนั้นบันไดเสียงจึงต้องเป็นโน้ตที่เรียงกันตามลำดับจากต่ำไปสูงหรือจากสูงไปต่ำ บันไดเสียงที่เป็นหลักในดนตรีตะวันตกมี 2 ประเภทได้แก่ บันไดเสียงไดอาโทนิค(Diatonic scale) และบันไดเสียงโครมาติก(Chromatic scale)

บันไดเสียงไดอาโทนิค เป็นบันไดเสียงที่ประกอบด้วยโน้ต 7 ตัวเรียงลำดับตามอักษรครบทั้งเจ็ดแต่โน้ตตัวที่ 1 มักจะถูกใช้ซ้ำอีกครั้งหนึ่งในตอนท้าย เพื่อให้ครบ 1 ช่วงคู่แปด บันไดเสียงไดอาโทนิคที่สมบูรณ์จึงประกอบด้วยโน้ต 8 ตัวส่วนบันไดเสียงแบบโครมาติก ชื่อตัวโน้ตแต่ละตัวจะใช้ตัวอักษรซ้ำกัน บันไดเสียงไดอาโทนิคจึงต้องประกอบด้วยตัวโน้ตที่เรียงตามลำดับตัวอักษรโดยไม่ซ้ำชื่อ บันไดเสียงไดอาโทนิค เป็นบันไดเสียงมาตรฐานในระบบโทนาลิตี หรือระบบอิงกุญแจเสียง (Tonality) มี 2 ชนิดได้แก่ บันไดเสียงเมเจอร์ และบันไดเสียงไมเนอร์ บันไดเสียงทั้งสองมีความสำคัญอย่างยิ่งในดนตรีตะวันตกตั้งแต่ต้นคริสต์ศตวรรษที่ 17 มาจนถึงทุกวันนี้

- บันไดเสียงเมเจอร์(Major scale) บันไดเสียงเมเจอร์ประกอบด้วยโน้ต 7 ตัวที่มีระยะห่างระหว่างโน้ตแต่ละคู่เป็นขั้นเต็มเสียง(เท่ากับ 2 ครึ่งเสียง) และขั้นครึ่งเสียง ดังนี้ โน้ตตัวที่ 1 ห่างจากโน้ตที่ 2 เป็นแบบขั้นเต็มเสียง โน้ตตัวที่ 2 ห่างจากโน้ตตัวที่ 3 เป็นขั้นเต็มเสียง โน้ตตัวที่ 3 ห่างจากโน้ตตัวที่ 4 เป็นขั้นครึ่งเสียง โน้ตตัวที่ 4 ห่างจากโน้ตตัวที่ 5 เป็นขั้นเต็มเสียง โน้ตตัวที่ 5 ห่างจากโน้ตตัวที่ 6 เป็นขั้นเต็มเสียง โน้ตตัวที่ 6 ห่างจากตัวที่ 7 เป็นขั้นเต็มเสียง และโน้ตตัวที่ 7 ห่างจากโน้ตตัวที่ 8 เป็นขั้นครึ่งเสียง





ภาพที่ 2.3 แสดงโครงสร้างบันไดเสียงเมเจอร์

ในการเรียกชื่อบันไดเสียง โน้ตตัวแรกของบันไดเสียงจะเป็นชื่อของบันไดเสียง เช่นบันไดเสียงที่มี C เป็นโน้ตตัวแรก ก็คือบันไดเสียง C บันไดเสียงที่มี A เป็นโน้ตตัวแรกก็คือบันไดเสียง A บันไดเสียงที่มี B $\flat$  เป็นโน้ตตัวแรกก็คือบันไดเสียง B $\flat$  และบันไดเสียงที่มี F $\sharp$  เป็นโน้ตตัวแรกก็คือบันไดเสียง F $\sharp$  เป็นต้น โน้ตตัวแรกและโน้ตตัวสุดท้าย หรือโน้ตตัวที่ 8 จะเป็นโน้ตตัวเดียวกันซึ่งห่างกัน 1 ช่วงคู่แปด บันไดเสียงเมเจอร์ซึ่งเป็นที่รู้จักกันดีคือ C major ประกอบด้วยโน้ต 7 ตัวที่ไม่มีเครื่องหมายชาร์ปหรือเครื่องหมายแฟลตกำกับเลย ได้แก่ C, D, E, F, G, A, B, (C)

- บันไดเสียงไมเนอร์(Minor scale) บันไดเสียงไมเนอร์มีทั้งหมด 3 ชนิด ได้แก่ บันไดเสียงไมเนอร์แบบเนเชอรัล(Natural minor scale) บันไดเสียงไมเนอร์แบบฮาร์โมนิก(Harmonic minor scale) บันไดเสียงไมเนอร์แบบเมโลดิก(Melodic minor scale)

C Major Scale : C – D – E $\wedge$ F – G – A – B $\wedge$ C

Step 1 → A Minor Natural Scale : A – B $\wedge$ C – D – E $\wedge$ F – G – A

Step 2 → A Minor Harmonic Scale : A – B $\wedge$ C – D – E $\wedge$ F – G $\sharp$ A

Step 3 → A Minor Melodic Scale : A – B $\wedge$ C – D – E – F $\sharp$  – G $\wedge$ A

ภาพที่ 2.4 แสดงโครงสร้างบันไดเสียงไมเนอร์

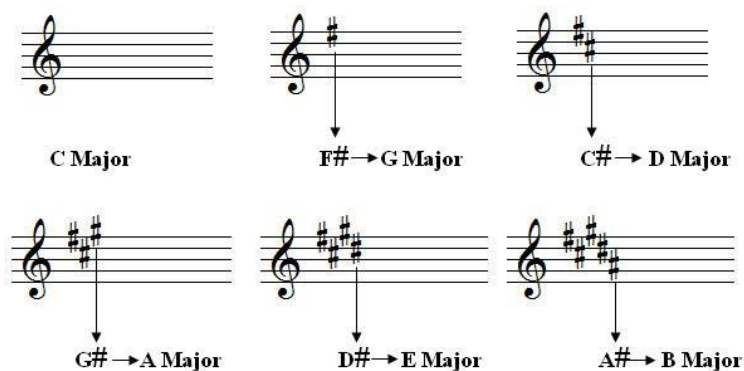
บันไดเสียงไมเนอร์แบบเนเชอรัล เป็นบันไดเสียงไมเนอร์ที่ได้จากการหาเครื่องหมายประจำกุญแจเสียงเช่น เมื่อทราบเครื่องหมายประจำกุญแจเสียงสำหรับบันไดเสียง A minor ไม่ว่าไม่มีเครื่องหมายชาร์ปหรือเครื่องหมายแฟลตเพราะเป็นกุญแจเสียงร่วมกับ C major ซึ่งไม่มีเครื่องหมายประจำกุญแจเสียง ก็เขียนโน้ตเรียงตามลำดับตามปกติเช่น เริ่มที่โน้ต A ตามด้วย B, C, D, E, F, G, (A) บันไดเสียงไมเนอร์ที่ใช้ในการประพันธ์เพลงมีอยู่ 2 แบบได้แก่ แบบฮาร์โมนิกและแบบเมโลดิกบันไดเสียงไมเนอร์ทั้ง 2 แบบสามารถปรับจากบันไดเสียงไมเนอร์แบบเนเชอรัลได้

บันไดเสียงไมเนอร์แบบฮาร์โมนิก คือบันไดเสียง ไมเนอร์แบบเนเชอรัลที่ปรับโน้ตตัวที่ 7 ให้สูงขึ้นครึ่งเสียง ดังนั้นขั้นตอนการสร้างบันไดเสียงไมเนอร์แบบฮาร์โมนิกก็คือให้สร้างบันไดเสียงไมเนอร์แบบเนเชอรัลเสียก่อน แล้วจึงปรับโน้ตตัวที่ 7 ภายหลัง

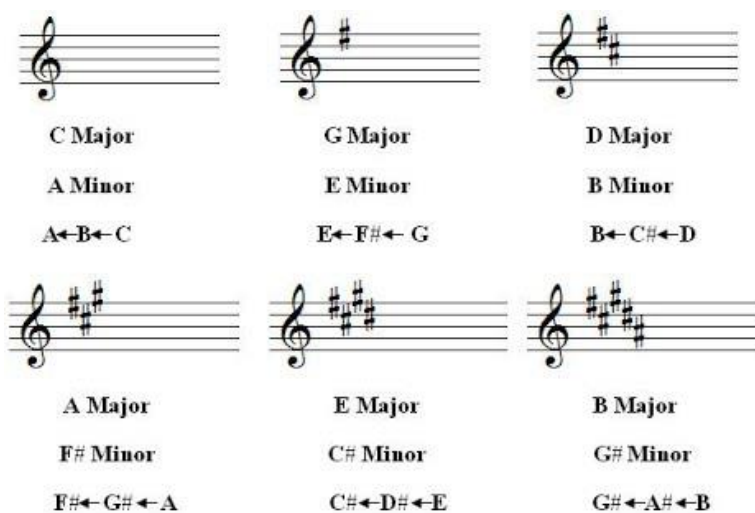
บันไดเสียงไมเนอร์แบบเมโลดิก คือบันไดเสียงไมเนอร์แบบเนเชอรัลที่ปรับโน้ตตัวที่ 6 และโน้ตตัวที่ 7 ให้สูงขึ้นครึ่งเสียงสำหรับบันไดเสียงขาขึ้น ส่วนบันไดเสียงขาลง ทั้งสองที่ถูกปรับสูงขึ้นจะถูกปรับอีกครั้งเพื่อให้กลับมาเหมือนเดิม กล่าวคือบันไดเสียงไมเนอร์แบบเมโลดิกขาลง จะเหมือนกับบันไดเสียงไมเนอร์แบบเนเชอรัลทุกประการ และบันไดเสียงไมเนอร์แบบเมโลดิกนี้

เป็นบันไดเสียงแบบเดียวที่โน้ตขาขึ้นกับขาลงไม่เหมือนกัน การสร้างบันไดเสียงไมเนอร์แบบเมโลดิกจึงมีความจำเป็นต้องเขียนทั้งขาขึ้นและขาลง

7) กุญแจเสียง(Key) เป็นหัวใจของบทเพลงในระบบกุญแจเสียงหรือระบบ โทนาลิตี (tonality) กุญแจเสียงเป็นตัวกำหนดเสียงโดยรวม เป็นเบื้องต้นในการสร้างทำนอง และเสียงประสาน บทเพลงตะวันตกในยุคบาโรก (Baroque period; 1600-1750) จนถึงยุคคลาสสิก(Classic period; 1750- ประมาณ 1830) รวมถึงบทเพลงส่วนใหญ่จากยุคโรแมนติก(Romantic period; 1830-1900) ล้วนอยู่ในระบบอิงกุญแจเสียงทั้งสิ้น กุญแจเสียงมี 2 ประเภทได้แก่ กุญแจเสียงเมเจอร์ และกุญแจเสียงไมเนอร์ ในระบบอเมริกันมักใช้คำว่า โหมด(Mode) แทนคำว่ากุญแจเสียงเช่น เพลงนี้อยู่ในโหมดใด เพลงนี้อยู่ในโหมดเมเจอร์ แต่ช่วงกลางมีโหมดไมเนอร์ เข้ามาแทรกเป็นต้น



ภาพที่ 2.5 แสดงกุญแจเสียงเมเจอร์



ภาพที่ 2.6 แสดงกุญแจเสียงไมเนอร์

คำว่ากุญแจเสียง มีการใช้สับสนกับคำว่า บันไดเสียงอยู่เสมอ แม้ทั้งสองคำนี้จะมี ความสัมพันธ์กันอย่างใกล้ชิด เพราะต้องใช้เครื่องหมายแปลงเสียง แต่กุญแจเสียงก็ต่างจากบันไดเสียง ในแง่ที่ว่า บันไดเสียงมีความหมายจำกัดกว่า กล่าวคือบันไดเสียงหมายถึงโน้ต 7 ตัวที่เรียงติดต่อกัน ตามโครงสร้าง ส่วนการนำหลักการของบันไดเสียงไปใช้ในบทเพลง จะใช้คำว่ากุญแจเสียงเช่น เพลงนี้อยู่ในกุญแจเสียงใด หรือเพลงนี้ใช้กุญแจเสียงใด ทั้งนี้เพราะคำว่ากุญแจเสียงไม่ได้จำกัดอยู่กับโน้ต 7

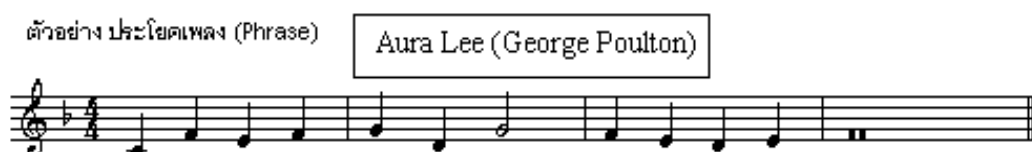
ตัวโน้ตบันไดเสียงเท่านั้น แต่หมายรวมถึงความสำคัญของโน้ตหลักบางตัวโน้ตบันไดเสียง และโน้ตอื่น ๆ ที่ไม่ได้อยู่ในบันไดเสียงแต่มีหน้าที่ที่สามารถอธิบายได้ เช่นในกุญแจเสียง C major ภาพรวมของกุญแจเสียงนี้ก็คือโน้ต C เป็นโน้ตที่สำคัญที่สุด และเป็นหลักของเพลง โน้ตที่สำคัญรองลงมาคือ G นอกจากนั้นโน้ต F#, C# หรือแม้แต่ G# ซึ่งไม่ได้อยู่ในบันไดเสียง C major ก็อาจเป็นส่วนหนึ่งของกุญแจเสียง C major ได้

ความเป็นเมเจอร์หรือไมเนอร์ บ่งบอกความรู้สึกที่สัมผัสได้ด้วยการฟัง มักกล่าวกันว่า เสียงโดยรวมของเมเจอร์ฟังดูมีความสุข ร่าเริง สดใส ในขณะที่เสียงของไมเนอร์ จะให้ความรู้สึกที่เศร้าสร้อย และเหงาหงอยกว่า อย่างไรก็ตามมีบทเพลงจำนวนไม่น้อยที่อยู่ในกุญแจเสียงเมเจอร์แต่ให้ความรู้สึกหม่นหมอง และก็มีบทเพลงหลายบทที่อยู่ในกุญแจเสียงไมเนอร์ แต่ให้อารมณ์สนุกสนาน ทั้งนี้เพราะมีปัจจัยเสริมอื่น ๆ อีกหลายอย่างที่มีส่วนสำคัญในการสร้างอารมณ์ดังกล่าว เช่นอัตราความเร็ว ลักษณะจังหวะ ชั้นคู่ที่ประกอบกันเป็นทำนอง เสียงประสาน และสีนเสียง

เพลงในระบบอิงกุญแจเสียงสามารถบอกได้ว่าเพลงอยู่ในกุญแจเสียงใด เป็นกุญแจเสียงเมเจอร์ หรือกุญแจเสียงไมเนอร์ ชื่อเพลงคลาสสิกจำนวนมากที่แสดงความเป็นนามธรรมมักบอกกุญแจเสียงด้วย เช่น Sonata in C Major หมายความว่า Sonata อยู่ในกุญแจเสียง C major Symphony in F minor หมายความว่าซิมโฟนีอยู่ในกุญแจเสียง F minor

8) คีตลักษณ์หรือรูปแบบ(Form) หมายถึง ลักษณะทางโครงสร้างของบทเพลงที่มีการแบ่งเป็นห้องเพลง(Bar) แบ่งเป็นวลี(Phrase) แบ่งเป็นประโยค(sentence) และแบ่งเป็นท่อนเพลง หรือกระบวนเพลง(Movement) เป็นแบบแผนการประพันธ์บทเพลง

- ประโยคเพลง (Phrase) ในทางดนตรีถือเป็นหน่วยที่สั้นที่สุดของเพลงซึ่งมีความสมบูรณ์ในตัว

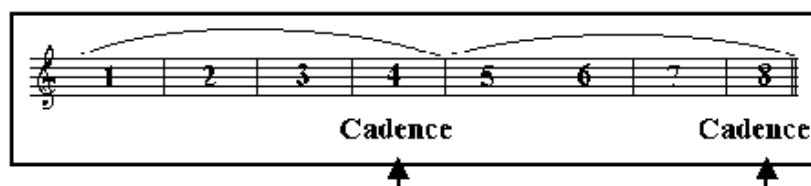


ภาพที่ 2.7 แสดงตัวอย่างประโยคเพลง(Phrase)

- ประโยคใหญ่ (Period) ประโยคที่ประกอบด้วย 2 ประโยคในลักษณะประโยคคำถาม-ประโยคคำตอบ

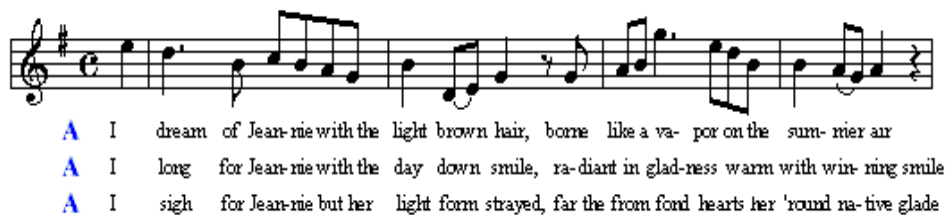


ภาพที่ 2.8 แสดงตัวอย่างประโยคใหญ่(Period) “Ode to Joy” Symphony No.9 (Beethoven)  
 - การพักเสียงหรือจุดพักเสียง(Cadence) ในการอ่าน หรือพูด ย่อมต้องมีที่  
 พักเสียงเพื่อแยกประโยคนั้น ๆ ออกให้ชัดเจนสำหรับในทางดนตรีก็เช่นเดียวกัน เรียกว่า “การพัก  
 เสียง หรือจุดพักเสียง” (Cadence)



ภาพที่ 2.9 แสดงตัวอย่างจุดพักเสียง(Cadence)

คีตลักษณ์เพลงบรรเลงหรือเพลงร้องในปัจจุบันแบ่งออกเป็น 5 ประเภทใหญ่ ๆ ดังนี้  
 - เอกบท (Unitary Form) หรือ วันพาร์ทฟอร์ม (One Part Form) คือบท  
 เพลงที่มีทำนองสำคัญเพียงทำนองเดียวเท่านั้น (A) ก็จะจบบริบูรณ์ เช่น เพลงชาติ เพลงสรรเสริญ  
 บารมี เป็นต้น



ภาพที่ 2.10 แสดงตัวอย่างเอกบท(Unitary Form)

- ทวิบท (Binary Form) หรือ ทูพาร์ทฟอร์ม (Two Part Form) เป็น  
 รูปแบบของเพลงที่มีทำนองสำคัญเพียง 2 กลุ่ม คือ ทำนอง A และ B และเรียกรูปแบบของบทเพลง  
 แบบนี้ย่อว่า AB



ภาพที่ 2.11 แสดงตัวอย่างทวิบท (Binary Form)

- ตริบท (Ternary Form) หรือ ทรีพาร์ทฟอร์ม (Three Part Form)  
 รูปแบบของเพลงแบบนี้จะมีองค์ประกอบอยู่ 3 ส่วน คือ กลุ่มทำนองที่ 1 หรือ A กลุ่มทำนองที่ 2

หรือ B ซึ่งจะเป็นทำนองที่เปลี่ยนแปลง หรือเพี้ยนไปจากกลุ่มทำนองที่ 1 ส่วนกลุ่มทำนองที่ 3 ก็คือการกลับมาอีกครั้งของทำนองที่ 1 หรือ A และจะสิ้นสุดอย่างสมบูรณ์อาจเรียกย่อ ๆ ว่า ABA



ภาพที่ 2.12 แสดงตัวอย่างตรีบท (Ternary Form)

- ซองฟอร์ม (Song Form) ก็คือการนำเอาตรีบทมาเติมส่วนที่ 1 ลงไปอีก 1 ครั้งในตอนแรกจะได้เป็น AABA ที่เรียกว่า ซองฟอร์ม เพราะเพลงโดยทั่ว ๆ ไป จะมีโครงสร้างแบบนี้



ภาพที่ 2.13 แสดงตัวอย่างซองฟอร์ม (Song Form)

- รอนโดฟอร์ม (Rondo Form) รูปแบบของเพลงแบบนี้จะมีแนวทำนองหลัก (A) และแนวทำนองอื่นอีกหลายส่วน ส่วนสำคัญคือแนวทำนองหลักทำนองแรกจะวนมาขึ้นอยู่ระหว่างแนวทำนองแต่ละส่วนที่ต่างกันออกไป เช่น ABABA ABACA ABACADA



ภาพที่ 2.14 แสดงตัวอย่างซองรอนโดฟอร์ม (Rondo Form)

### 2.1.2 เสียงประสาน

1) ทริยแอด (Triad) คือกลุ่มโน้ต 3 ตัวที่มีโครงสร้างแน่นอน Tri แปลว่า สาม ตัวเลข 3 นอกจากจะเกี่ยวข้องกับจำนวนตัวโน้ตในกลุ่มแล้ว ยังเป็นขั้นคู่สำคัญในการสร้างทริยแอด เนื่องจากโครงสร้างของทริยแอดเป็นการนำคู่สามจำนวน 2 คู่มาวางซ้อนกัน การนำตัวโน้ตใดก็ได้ 3 ตัวมาจับกลุ่มกันไม่จำเป็นต้องเป็นทริยแอดเสมอไป โดยในโน้ต 3 ตัวเราจะเรียกโน้ตตัวล่างสุดว่า โน้ตพื้นต้น (Root) หรือโน้ตตัวที่ 1 เรียกโน้ตตัวกลางว่า โน้ตตัวที่ 3 เพราะห่างกันเป็นคู่ 3 จากโน้ตตัวที่ 1 และเรียกโน้ตตัวบนว่า โน้ตตัวที่ 5 เพราะห่างจากโน้ตตัวที่ 1 เป็นระยะคู่ 5 ทริยแอดที่เรียงโน้ตเป็นลักษณะคู่ 3 และคู่ 5 เช่นนี้เรียกว่า ทริยแอดรูปพื้นต้น (Root position) ส่วนการนำคู่ 3 มาวางเรียงซ้อนกันเป็นเทคนิคที่เรียกว่า คู่สามเรียงซ้อน (Super imposed thirds) และระบบการประเสียงที่ใช้คู่สามเรียงซ้อน (Tertian harmony) ทริยแอดมี 4 ชนิดซึ่งแต่ละชนิดจะมีโครงสร้างตายตัวในรูปแบบพื้นต้นดังนี้

- ทริยแอดเมเจอร์ (Major triad; ตัวย่อ Maj.) ประกอบด้วยคู่ 3 เมเจอร์ระหว่างโน้ตตัวที่ 1 กับโน้ตตัวที่ 3 และคู่ 5 เพอร์เฟกต์ระหว่างโน้ตตัวที่ 1 กับโน้ตตัวที่ 5

- ทริยแอดไมเนอร์ (Minor triad; ตัวย่อ Min.) ประกอบด้วยคู่ 3 ไมเนอร์ระหว่างโน้ตตัวที่ 1 กับโน้ตตัวที่ 3 และคู่ 5 ดิมินิชท์ระหว่างโน้ตตัวที่ 1 กับโน้ตตัวที่ 5

- ทริยแอดดิมินิชท์ (Major triad; ตัวย่อ Dim.) ประกอบด้วยคู่ 3 ไมเนอร์ระหว่างโน้ตตัวที่ 1 กับโน้ตตัวที่ 3 และคู่ 5 เพอร์เฟกต์ระหว่างโน้ตตัวที่ 1 กับโน้ตตัวที่ 5

- ทริยแอดออกเมนเทด (Major triad; ตัวย่อ Aug.) ประกอบด้วยคู่ 3 เมเจอร์ระหว่างโน้ตตัวที่ 1 กับโน้ตตัวที่ 3 และคู่ 5 ออกเมนเทดระหว่างโน้ตตัวที่ 1 กับโน้ตตัวที่ 5

คุณภาพเสียงของทริยแอดแต่ละชนิดมีความแตกต่างกันโดยสิ้นเชิง ทั้งนี้เพราะขั้นคู่ที่นำมาประกอบกันเป็นทริยแอดมีความหลากหลาย การผสมเสียงระหว่างขั้นคู่ต่างๆของโน้ต 3 ตัวที่ประกอบกันเป็นทริยแอดทำให้เสียงของทริยแอดแต่ละชนิดมีความเฉพาะตัว อย่างไรก็ตามคุณภาพเสียงของทริยแอดพอจะจำแนกได้ 2 พวกดังนี้

- เสียงกลมกลืน ทริยแอดที่จัดอยู่ในประเภทที่มีเสียงกลมกลืน ได้แก่ ทริยแอดเมเจอร์และทริยแอดไมเนอร์ ทั้งนี้เพราะขั้นคู่ทั้งหมดที่ประกอบกันเป็นทริยแอดดังกล่าวเป็นขั้นคู่เสียงกลมกลืนทั้งสิ้น

- เสียงกระด้าง ทริยแอดอีก 2 ชนิดคือ ทริยแอดดิมินิชท์และทริยแอดออกเมนเทด จัดอยู่ในประเภททริยแอดที่มีเสียงกระด้าง ขั้นคู่ที่ประกอบกันเป็นทริยแอดดิมินิชท์คือ คู่ 3 ไมเนอร์ และคู่ 5 ดิมินิชท์ ส่วนขั้นคู่ที่ประกอบกันเป็นทริยแอดออกเมนเทดคือ คู่ 3 เมเจอร์ และคู่ 5 ออกเมนเทด

2) คอร์ด (Chord) หมายถึงกลุ่มโน้ต 3-4 ตัวที่ประกอบกันเป็นเสียงประสานและมีหน้าที่ชัดเจนในจุดที่มีการใช้คอร์ด อันที่จริงก็คือทริยแอดนั่นเอง ทริยแอดเป็นพื้นฐานของคอร์ด เพราะคอร์ดก็มี 4 ชนิดและมีคุณสมบัติพิเศษในแต่ละชนิดเหมือนกับทริยแอดได้แก่ คอร์ดเมเจอร์ คอร์ดไมเนอร์ คอร์ดดิมินิชท์ และคอร์ดออกเมนเทด แต่คอร์ดสามารถนำไปขยายต่อเป็นคอร์ดที่ซับซ้อนขึ้นและมีหน้าที่ที่อธิบายได้ในการประสานเสียง หากจะพยายามแยกความแตกต่างระหว่างคอร์ดและทริยแอดอาจกล่าวได้ว่า ทริยแอดมีโน้ต 3 ตัวแต่คอร์ดมีโน้ต 4 ตัว คอร์ดอาจประกอบด้วย

โน้ตมากกว่า 3-4 ตัวก็ได้และในทางตรงกันข้ามแม้แต่น้ตเพียง 2 ตัวก็เป็นคอร์ดได้ในแง่การประสานเสียง กล่าวคือเป็นคอร์ดที่มีโน้ตบางตัวถูกตัดออกเพื่อเหตุผลบางอย่างทางไวยากรณ์เสียงประสาน และหมึกจะได้ยินเสียงคอร์ดนั้น แม้จะมีโน้ตไม่ครบทุกตัวก็ตาม

อย่างไรก็ตาม คอร์ดเป็นคำที่สามารถใช้ได้กว้างกว่าทริยแอดและเป็นคำที่เรียกกลุ่มโน้ต 3-4 ตัวได้โดยรวม คอร์ดต้องแสดงหน้าที่ของตัวเอง และในขณะเดียวกันก็แสดงความสัมพันธ์ของหน้าที่กับคอร์ดข้างเคียง โดยเฉพาะการดำเนินคอร์ดจากคอร์ดหนึ่งไปยังอีกคอร์ดหนึ่งนั้น นับว่าเป็นหัวใจของกระบวนการใช้คอร์ดที่เหมาะสมในวิชาการประสานเสียง

คอร์ดพื้นฐาน เป็นคอร์ด 7 คอร์ดที่สร้างอยู่บนโน้ต 7 ตัวในกฏแจเสียง ในการสร้างคอร์ดแต่ละคอร์ดจะอาศัยโน้ตตัวที่ 1, 3, 5 จากโน้ตพื้นฐาน โน้ตทุกตัวที่ประกอบกันเป็นคอร์ดพื้นฐานนี้ต้องเป็นโน้ตที่อยู่บนบันไดเสียงซึ่งสอดคล้องกับกฏแจเสียงนั้นๆ

ตัวเลขโรมันที่กำกับหน้าที่ของคอร์ด หากวิเคราะห์ชนิดของคอร์ดพื้นฐานแล้ว จะทำให้เราทราบว่าคอร์ดใดบ้างเป็นคอร์ดเมเจอร์ คอร์ดใดบ้างเป็นคอร์ดไมเนอร์ ดิมีนิชท์ หรือออกเมนเทด เมื่อทราบชนิดของคอร์ดแล้วก็สามารถใช้เลขโรมันในแบบที่ถูกต้องกับชนิดของคอร์ด ระบบที่นิยมใช้คือ ใช้ตัวเลขโรมันใหญ่กับคอร์ดเมเจอร์ ใช้ตัวเลขโรมันเล็กกับคอร์ดไมเนอร์

### 2.1.3 รูปแบบการเรียบเรียงเสียงประสาน (Chord progression)

รูปแบบการเรียบเรียงเสียงประสาน คือชุดของเสียงประสานที่เล่นตามลำดับ เมื่อระบุเสียงประสานภายใน progression สิ่งที่จะต้องคำนึงถึงคือ การหาทำนองเสียงภายในกฏแจเสียง ซึ่งหมายถึงการเปรียบเทียบคอร์ดกับโทนิคของกฏแจเสียง ทำนองเสียงแต่ละเสียงจะถูกเขียนด้วยตัวเลขโรมัน I, II, III, IV และอื่น ๆ ตัวเลขแต่ละตัวย่อมาจากระดับเสียงที่สอดคล้องกันภายในบันไดเสียง ดังนั้นการระบุระดับความก้าวหน้าของเสียงประสานจึงเกี่ยวข้องกับความสามารถของในการระบุช่วงเวลาที่เหมาะสม รูปแบบของเสียงประสานที่แตกต่างกัน จะสามารถเห็นได้ว่า

ระดับเสียงทั้งหมด 7 ระดับเสียงทั้งในบันไดเสียงเมเจอร์และไมเนอร์ สามารถทำนองที่เป็นรากของ ทริยแอดในบันไดเสียงนั้นๆ ได้ (I, IV และ V)

### 2.1.4 เครื่องดนตรีตะวันตก (กลุ่มดนตรีประเภทลิ่มนิ้ว)

เครื่องดนตรีคืออุปกรณ์ในการสร้างเสียงดนตรีที่สำคัญ ความแตกต่างของรูปร่างลักษณะวัตถุที่ใช้ทำเครื่องดนตรีและวิธีการทำให้เกิดเสียงจะให้เสียงดนตรีที่แตกต่างกันให้อารมณ์แก่ผู้ฟังต่างกัน การจัดแบ่งกลุ่มหรือประเภทของเครื่องดนตรีอาจทำได้หลายวิธีการ อาจจัดตามรูปร่างลักษณะ วิธีการทำให้เกิดเสียง ฯลฯ ในดนตรีของชาติต่าง ๆ ก็มีวิธีการจัดโดยอาศัยหลักเกณฑ์ที่แตกต่างกันออกไป สำหรับเครื่องดนตรีสากล ในปัจจุบันนิยมแบ่งเป็นกลุ่มต่าง ๆ ดังนี้ 1. กลุ่มเครื่องสาย (String Instruments) 2. กลุ่มเครื่องลมไม้ (Wood Wind Instruments) 3. กลุ่มเครื่องเป่าประเภทโลหะ หรือเครื่องเป่าทองเหลือง (Brass Wind Instruments) 4. กลุ่มเครื่องคีย์บอร์ด (Keyboard Instruments) 5. กลุ่มเครื่องกระทบหรือเครื่องตีประกอบจังหวะ (Percussion Instruments)

เครื่องดนตรีประเภทลิ้มนิ้ว (Keyboard) เครื่องดนตรีในกลุ่มนี้มักนิยมเรียกทับศัพท์ในภาษาอังกฤษว่า “เครื่องดนตรีประเภทคีย์บอร์ด” ลักษณะเด่นของเครื่องดนตรีที่อยู่ในกลุ่มนี้ก็คือมีลิ้มนิ้วสำหรับกดเพื่อปรับเปลี่ยนระดับเสียงดนตรี ลิ้มนิ้วสำหรับกดเรียกว่า “คีย์ (Key)” เครื่องดนตรีแต่ละชนิดมีจำนวนคีย์ไม่เท่ากันโดยปกติสีของคีย์เป็นสีขาวกับดำ คีย์สีดำไล่สูงขึ้นมามากกว่าคีย์สีขาว

การเกิดเสียงของเครื่องดนตรีในกลุ่มนี้มีหลายลักษณะเช่นเปียโน ฮาร์ปสิคอร์ด คลาวิคอร์ด เกิดเสียงโดยการกดคีย์ที่ต้องการแล้วคีย์นั้นจะส่งแรงไปที่กลไกต่าง ๆ ภายในเครื่องเพื่อที่จะไปทำให้สายโลหะที่ขึงตึงสั่นสะเทือนทำให้เกิดเสียงดังขึ้น เครื่องดนตรีประเภทคีย์บอร์ดบางชนิดใช้ลมพ่นไปยังลิ้นโลหะให้สั่นสะเทือนทำให้เกิดเสียง ในปัจจุบันนิยมใช้น้อยมากเช่น ออร์แกน แอ็กคอร์เดียน สำหรับ เมโลเดียนและเมโลดิกาซึ่งนำมาใช้ประกอบการเรียนการสอนในโรงเรียนระดับอนุบาลจนถึงระดับประถมศึกษาชั้นนั้นก็จัดอยู่ในเครื่องดนตรีประเภทคีย์บอร์ดเช่นกัน

ในปัจจุบันนี้เครื่องดนตรีประเภทคีย์บอร์ดที่เกิดเสียงโดยใช้วงจรอิเล็กทรอนิกส์ ได้รับความนิยมมากเพราะสามารถเลียนแบบเสียงเครื่องดนตรีต่าง ๆ ได้หลายชนิด ซึ่งได้พัฒนามาจากออร์แกน ไฟฟ้านั้นเองมีหลายชื่อแต่ละชื่อมีคุณลักษณะแตกต่างกันไปเช่น เครื่องอิเล็กทรอนิกส์คือเครื่องดนตรีประเภทคีย์บอร์ดที่มีจังหวะในตัวสามารถบรรเลงเพลงต่าง ๆ ได้ด้วยนักดนตรีเพียงคนเดียว

ในยุคคอมพิวเตอร์เครื่องดนตรีประเภทคีย์บอร์ดได้วิวัฒนาการไปมากเสียงต่าง ๆ มีมากขึ้นนอกจากเสียงดนตรีแล้วยังมีเสียงเอฟเฟคต่าง ๆ ให้เลือกใช้มากเสียงต่าง ๆ เหล่านี้เป็นเพียงเสียงที่สังเคราะห์ขึ้นมาด้วยระบบอิเล็กทรอนิกส์ดังนั้นเครื่องดนตรีประเภทนี้จึงถูกเรียกว่า “ซินธิไซเซอร์ (Synthesizer)”

1) เปียโน (Piano) เปียโนเป็นเครื่องดนตรีประเภทคีย์บอร์ดประเภทใช้สายเสียงประเภทลิ้มนิ้วที่มีวิวัฒนาการมาจากฮาร์ปสิคอร์ด (Harpsichord) ประดิษฐ์ขึ้นครั้งแรกที่เมืองฟลอเรนซ์ ในประเทศอิตาลี ในต้นศตวรรษที่ 18 เดิมมีชื่อเรียกว่าเปียโนฟอร์เตเพราะทำได้ทั้งเสียงเบาและเสียงดัง สายเสียงจะถูกตีด้วยค้อนเชื่อมโยงไปที่คีย์กดโดยผ่านเครื่องกลไกซับซ้อนที่เรียกว่า แอคชั่น (Action) เปียโนเป็นเครื่องดนตรีที่สามารถเล่นเป็นทำนองเพลงและเป็นเสียงประสานหรือเล่นเป็นคอร์ดได้ ในขณะที่เล่นผู้เล่นต้องใช้มือ 2 ข้างเล่นพร้อมกัน เปียโนเหมาะสำหรับเป็นเครื่องดนตรีประจำบ้าน สามารถบังคับให้เสียงดังหรือเบาได้โดยการเหยียบเพดัล (Pedal) ด้านล่างของเครื่อง เปียโนมี เพดัล 3 แบบ คือ 1. เพดัลประเภทให้เสียงต่อเนื่อง จะอยู่ทางขวาส่วนเท้าเหยียบของผู้เล่นเมื่อเหยียบเพดัลลงไปจะทำให้เสียงทุกเสียงที่กดยาวต่อเนื่องกันไป 2. เพดัลประเภทเดี่ยวอยู่ตรงกลางระหว่างเท้าเหยียบของผู้เล่นเมื่อเหยียบเพดัลลงทำให้เสียงยาวต่อเนื่องหรือลากยาวได้เสียงเดียวหรือคอร์ดเดียว 3. เพดัลแบบอุณากรณ์ อยู่ทางซ้ายส่วนเท้าเหยียบของผู้เล่นเมื่อเหยียบเพดัลลงทำให้เสียงเบาได้ช่วยลดเสียงหรือทำให้เสียงเบาลง

เปียโนประกอบด้วย 2 ประเภทคือแกรนด์เปียโน (Grand Piano) สายของเปียโนชนิดนี้เรียงสายในแนวนอน และอัพ – ไรท์เปียโน (Up – right Piano) สายของเปียโนชนิดนี้เรียงสายในแนวตั้ง เปียโนเป็นเครื่องดนตรีที่มีช่วงเสียงกว้างมากถึง 7 ? ออกเทฟ (Octaves) หรือในบางรุ่นอาจมีถึง 8 ออกเทฟ (Octaves) มีลิ้มทั้งหมด 88 ลิ้ม



2) ออร์แกน (Organ) เป็นเครื่องดนตรีคีย์บอร์ดประเภทใช้ลมที่มีขนาดใหญ่ที่สุด กล่าวกันว่าเป็น “The King of Instruments” เป็นเครื่องดนตรีสำคัญในโบสถ์ใช้บรรเลงประกอบบทเพลงหรือทางศาสนาที่เรียกว่า “เพลงโบสถ์” (Church Music) จึงมักเรียกออร์แกนที่อยู่ในโบสถ์ว่าเป็น “ออร์แกนโบสถ์” (Church Organ) เมื่อมีลมเป่าผ่านท่อทำให้เกิดเสียงท่อละหนึ่งเสียงออร์แกนมีแผงคีย์สำหรับกดด้วยนิ้วมือและแผงคีย์เหยียบด้วยเท้าแผงคีย์ที่กดเล่นด้วยมือเรียกว่าแมนนวล (Manual) แผงคีย์ที่เหยียบด้วยเท้าเรียกว่าเพดัล (Pedal) การบังคับกลุ่มท่อต่าง ๆ ซึ่งจัดไว้เป็นพวกเดียวกันทำได้โดยการใช้ปุ่มกดหรือคันยกขึ้นลงที่เรียกว่าสต็อป (Stops) ออร์แกนขนาดใหญ่จะมีกลุ่มท่อเปลี่ยนเสียงเรียกว่า ไพพ์ (Pipes) เป็นจำนวนมากเพื่อใช้สร้างสีสันแห่งเสียงได้หลากหลาย ออร์แกนสมัยใหม่ใช้ไฟฟ้าบังคับ แทนลมซึ่งตามแบบดั้งเดิมนั้นลมที่ใช้เกิดจากการอัดลมด้วยเท้าของผู้เล่นหรือไม่ก็มีผู้ช่วยอัดลมแทนให้

3) ฮาร์ปสิคอร์ด (Harpsichord) เป็นเครื่องดนตรีที่เก่าแก่ใช้กันมากในศตวรรษที่ 16,17 และ 18 เกิดก่อนเปียโน สายภายในเครื่องดนตรีจะถูกเกี่ยวด้วยไม้ดีด ขณะที่เรากดคีย์ลงไป ฮาร์ปสิคอร์ดไม่สามารถเล่นให้เกิดเสียงดัง – ค่อย ได้เหมือนเปียโน

4) คลาวิคอร์ด (Clavichord) เป็นเครื่องดนตรีคีย์บอร์ดในยุคแรก ๆ ประเภทเกิดเสียงได้ จากการดีดโดยมีสายเสียงที่วิ่งไปตามส่วนรูปของกล่องไม้ ส่วนปลายสุดของคีย์จะมีกลไกการจับหรือตะขอของลิ้นทองเหลืองเล็ก ๆ เมื่อผู้เล่นกดคีย์ลงไปลิ้นทองเหลืองนี้จะยกขึ้นและตีไปที่สายเสียงเพื่อทำให้เกิดเสียงคลาวิคอร์ดเป็นเครื่องดนตรีประเภทคีย์บอร์ดประเภทแรกที่สามารถเล่นได้ทั้งเบาและดังโดยเปลี่ยนแปลงน้ำหนักการกดคีย์ เสียงที่ได้จากคลาวิคอร์ดนี้มีความไพเราะและนุ่มนวล

5) แอคคอร์ดียน (Accordion) เป็นเครื่องดนตรีประเภทลิ้นนิ้วเช่นเดียวกับเปียโน เสียงของแอคคอร์ดียนเกิดจากการสั่นสะเทือนของลิ้นทองเหลืองเล็ก ๆ ภายในตัวเครื่องอันเนื่องมาจากการเล่นผ่านเข้า – ออกของลมซึ่งต้องใช้แรงของผู้เล่นสูบลมเข้า – ออก แอคคอร์ดียนมีหลายขนาดเช่นขนาด 25 ลิ้นนิ้ว 12 เบส ขนาด 37 ลิ้นนิ้ว 80 เบส และขนาดใหญ่ซึ่งนิยมใช้เล่นโดยทั่วไปจะมี 41 ลิ้นนิ้ว 120 เบส และยังมีปุ่มปรับเสียงเปลี่ยนระดับเสียงติดอยู่ทางด้านขวาอีกหลายปุ่ม ทางด้านซ้ายอาจมีช่องปรับความดัง – ค่อยซึ่งเปิด – ปิด ได้อีก 3-4 ช่อง ปุ่มปรับระดับเสียงจะเป็นปุ่มเสียงต่ำ (Low reed) แอคคอร์ดียนนิยมใช้กับวงดนตรีขนาดเล็กเช่น วงดนตรีประจำหมู่บ้าน วงดนตรีลูกทุ่งวงคอมโบ วงโฟล์คซอง เป็นต้น

#### 2.1.5 ประวัติดนตรีตะวันตก (ดนตรีสมัยคลาสสิก)

ดนตรีตะวันตกเป็นรากเหง้าของดนตรีที่เราได้ยินได้ฟังกันทุกวันนี้ ความเป็นมาของดนตรีหรือประวัติศาสตร์ดนตรีนี้นั้นหมายถึงการมองย้อนหลังไปในอดีตเพื่อพยายามทำความเข้าใจกับแง่มุมต่าง ๆ ของอดีตในแต่ละสมัยนับเวลาย้อนกลับไปเป็นเวลาหลายพันปีจากสภาพสังคมที่แวดล้อมทัศนคติและรสนิยมของผู้สร้างสรรค์และผู้ฟังดนตรีในแต่ละสมัยนั้นแตกต่างกันอย่างไรจากการลองผิดลองถูกลองแล้วลองอีกการจินตนาการ ตามแนวคิดของผู้ประพันธ์เพลง จนกระทั่งกลั่นกรองออกมาเป็นเพลงให้ผู้คนได้ฟังกันจนถึงปัจจุบันนี้การศึกษาเรื่องราวทางประวัติศาสตร์หรือการมองย้อนกลับไปในอดีตนั้นนอกจากเป็นไปเพื่อความสนใจในการได้ศึกษาเรียนรู้และรับทราบเรื่องราวของอดีตโดยตรงแล้วยังเป็นการศึกษาเป็นแนวทางเพื่อทำความเข้าใจดนตรีที่เกิดขึ้นและการเปลี่ยนแปลง

ในแง่ของดนตรีในปัจจุบันและเพื่อนำมาใช้ในการทำนายหรือคาดเดาถึงแนวโน้มของดนตรีในอนาคต ด้วย ประวัติดนตรีตะวันตกซึ่งแบ่งออกเป็นสมัยต่าง ๆ ได้ 9 สมัย ดังนี้ (ณรุทธ์ สุทธจิตต์, 2534 : 133)

1. สมัยกรีก (Ancient Greek music)
2. สมัยโรมัน (Roman)
3. สมัยกลาง (The Middle Ages)
4. สมัยรีเนซองส์ (The Renaissance)
5. สมัยบาโรก (The Baroque Age)
6. สมัยคลาสสิก (The Classical Period)
7. สมัยโรแมนติก (The Romantic Period)
8. สมัยอิมเพรสชันนิสติก (The Impressionistic)
9. สมัยศตวรรษที่ 20 และปัจจุบัน (The Twentieth century)

คำว่า “คลาสสิก” (Classical) ในทางดนตรีนั้น มีความหมายไปในทางเดียวกันกับความหมายของอุดมคติของลัทธิ Apollonian ในสมัยของกรีกโบราณ โดยจะมีความหมายที่มีแนวคิดเป็นไปในลักษณะของความนึกถึงแต่สิ่งที่เป็นภายนอกกาย สภาพการเห็นยว้างทางอารมณ์ ความแจ่มแจ้งในเรื่องของรูปแบบ และการผูกติดอยู่กับหลักทางโครงสร้างอย่างใดอย่างหนึ่ง อุดมคติทางคลาสสิกในทางดนตรีนั้นมิได้จำกัดอยู่แต่ในช่วงตอนปลายของศตวรรษที่ 18 เท่านั้น อุดมคติทางคลาสสิกดังกล่าว ยังเคยมีปรากฏมาก่อนในช่วงสมัยอาร์สอันติควา (Ars Antiqua) และมีเกิดขึ้นให้พบเห็นอีกในบางส่วนของงานประพันธ์การดนตรีในศตวรรษที่ 20

ตั้งแต่ปลายคริสต์ศตวรรษที่ 18 มาจนถึงช่วงต้นของคริสต์ศตวรรษที่ 19 นับได้ว่าเป็นช่วงเวลา que ประชาชนส่วนใหญ่ในยุโรปมีความตื่นตัวในเรื่องประชาธิปไตยเหตุการณ์ที่ได้กระตุ้นเรื่องนี้เป็นอย่างมากก็คือการปฏิวัติครั้งใหญ่ในฝรั่งเศสซึ่งเริ่มขึ้นในปี ค.ศ. 1879 การรบครั้งสำคัญในสมัยนี้คือ สงครามเจ็ดปี (ค.ศ.1756-1763) สงครามฝรั่งเศสและอินเดีย

ในอเมริกาเกิดสงครามระหว่างอังกฤษและอาณานิคมอเมริกัน ซึ่งนำไปสู่การประกาศอิสรภาพ ของอเมริกันในปี 1776 และสงครามนโปเลียนใน ยุโรป ซึ่งเป็นผลให้เกิดคองเกรสแห่งเวียนนาขึ้นในปี ค.ศ. 1814 สมัยนี้ในทางปรัชญาเรียนกว่า “ยุคแห่งเหตุผล” Age of Reason (ไชแสง สุขวัฒน์, 2535:102)

หลังการตายของ เจ.เอส.บาค (J. S. Bach) ในปี 1750 ก็ไม่มีผู้ประสบความสำเร็จในรูปแบบของดนตรีแบบบาโรก (Baroque style) อีก มีการเริ่มของ The (high) Classical era ในปี 1780 เราเรียกช่วงเวลาหลังจากการตายของ เจ.เอส.บาค (J. S. Bach 1730-1780) ว่า The early classical period ดนตรีในสมัยบาโรกนั้นมีรูปพรรณ (Texture) ที่ยุ่งยากซับซ้อนส่วนดนตรีในสมัยคลาสสิกมีลักษณะเฉพาะคือมี โครงสร้าง (Structure) ที่ชัดเจนขึ้น การค้นหาความอิสระในด้านวิชาการ เป็นหลักสำคัญที่ทำให้เกิดสมัยใหม่นี้ ลักษณะของดนตรีในสมัยคลาสสิกที่เปลี่ยนไปจากสมัยบาโรกที่เห็นได้ชัด คือ การไม่นิยมการสอดประสานของทำนองที่เรียกว่าเคาน์เตอร์พอยท์ (Counterpoint) หันมานิยมการเน้นทำนองหลักเพียงทำนองเดียวโดยมีแนวเสียงอื่นประสานให้ทำนองไพเราะขึ้น คือการใส่เสียงประสาน ลักษณะของบาสโซ คอนตินูโอเล็กใช้ไปพร้อม ๆ กับการ

สร้างสรรค์แบบอิมโพรไวเซชัน (Improvisation) ผู้ประพันธ์นิยมเขียนโน้ตทุกแนวไว้ ไม่มีการปล่อยว่างให้ผู้บรรเลงแต่งเติมเอง ลักษณะของบทเพลงก็เปลี่ยนไปเช่นกัน

สมัยคลาสสิกนี้จัดได้ว่าเป็นสมัยที่มีการสร้างกฎเกณฑ์รูปแบบในทุก ๆ อย่างเกี่ยวกับการประพันธ์เพลงซึ่งในสมัยต่อ ๆ มาได้นำรูปแบบในสมัยนี้มาใช้และพัฒนาให้ลึกซึ้งหรือแปรเปลี่ยนไปเพลงในสมัยนี้เป็นดนตรีบริสุทธิ์ส่วนใหญ่ กล่าวคือ เพลงที่ประพันธ์ขึ้นมาเป็นเพลงซึ่งแสดงออกถึงลักษณะของดนตรีแท้ ๆ มิได้มีลักษณะเป็นเพลงเพื่อบรรยายถึงเหตุการณ์หรือเรื่องราวใด ๆ ซึ่งเป็นลักษณะที่มีกฎเกณฑ์ ไม่มีการใส่หรือแสดงอารมณ์ของผู้ประพันธ์ลงในบทเพลงมากนัก ลักษณะของเสียงที่ดัง - ค่อย ค่อย ๆ ดัง และค่อย ๆ เบาลง

#### 2.1.6 ประเภทของดนตรีตะวันตก

2). ซิมโฟนี (Symphony) หมายถึง ลักษณะของดนตรีที่พัฒนามาถึงจุดสุดยอดในเรื่องของ จังหวะ ทำนอง ความแปรผัน และความละเอียดอ่อนทั้งหลาย นอกจากนั้นซิมโฟนียังเป็นดนตรีที่มีการแสดงออกในด้านต่าง ๆ อย่างบริบูรณ์ มีการเร้าอารมณ์โดยไม่ต้องมีคำอธิบาย ไม่ต้องตีความ ถ้าจะเปรียบกับการแต่งประโยคในการเรียงความ เพลงซิมโฟนีก็จะเป็นประโยคเชิงซ้อนมากมายตั้งแต่ต้นจนจบ โครงสร้างของเพลงซิมโฟนี ตามแบบมีดังนี้ ก ทำนองบอกกล่าว Statement ข ทำนองนำหรือทำนองเนื้อหา Exposition ค ทำนองพัฒนา Development ง ทำนองอวสาน Conclusion เพลงซิมโฟนีตามแบบมักจะมี 4 กระทบ ท่อน แต่ละกระทบมีทำนองเนื้อหาของตนเอง ก กระทบที่ 1 มักจะเล่นในจังหวะ เร็วและเข้มข้น ข กระทบที่ 2 เรียบและเรื้อร่อย หรือช้าและแผ่ขยาย ค กระทบที่ 3 สั้น ๆ และระริ่น ง กระทบที่ 4 รวดเร็วดังและรุนแรง เพลงซิมโฟนีนอกแบบอาจมีถึง 5 - 6 กระทบก็ได้ โดยปกติเพลงซิมโฟนีไม่มีการขับร้องแทรกปนเว้นแต่เพลงซิมโฟนีหมายเลข 9 ของบีโธเฟ่น และเพลงซิมโฟนีหมายเลข 7 ของกุสตาฟมาห์เลอร์ วงดนตรีที่จะใช้เล่นเพลงซิมโฟนีให้ได้มาตรฐาน จะต้องเครื่องดนตรีไม่ต่ำกว่า 70 ชิ้น

3) คอนแชร์โต (Concerto) คือ เป็นการประพันธ์เพลงรูปแบบหนึ่ง ส่วนมากมีสามท่อน (three-parts) ในอัตราจังหวะเร็ว-ช้า-เร็ว ส่วนที่สำคัญที่สุด คือ ต้องมีการเล่นประชันกัน โดยอาจจะเป็นการเดี่ยวเครื่องดนตรีประชันกับวงดนตรี หรือกลุ่มเครื่องดนตรีประชันกับวงดนตรีก็ได้

คอนแชร์โตเริ่มมีมาตั้งแต่ยุคบาโรค โดยเริ่มแรกนั้นเป็นการประชันกันระหว่างกลุ่มนักดนตรีเดี่ยวกับวงดนตรี ต่อมาในยุคคลาสสิกฝีมือการเดี่ยวเครื่องดนตรีของนักดนตรีพัฒนาขึ้นไปจนนักดนตรีสามารถเดี่ยวประชันกับวงดนตรีทั้งวงได้ ในยุคคลาสสิกจึงเกิดการประชันระหว่างนักดนตรีเดี่ยว (solo) กับวงดนตรี ส่วนบทบาทของวงดนตรีคือเล่นสนับสนุนผู้เดี่ยวเท่านั้น มิได้เป็นการประชันด้วยบทบาทที่เท่าเทียมกัน จนถึงยุคโรแมนติกวงดนตรีก็เล่นประชันกับผู้เดี่ยวด้วยบทบาทที่ไม่แตกต่างกันมากนัก จนถึงศตวรรษที่ 20 ความสามารถของนักดนตรีทุกคนในวงมีความสามารถบรรเลงเดี่ยวได้ นักแต่งเพลงจึงสร้างแนวเดี่ยวให้นักดนตรีในวงได้มีโอกาสเดี่ยวได้เหมือนกันหมด

เพลง Nocturne No.20 in C-sharp minor หรือ น็อกเทิร์น บทเพลงสำหรับเดี่ยวเปียโนในลักษณะโรแมนติก ให้บรรยากาศยามค่ำคืน ทั้งนี้ไม่ได้หมายความว่าน็อกเทิร์นจะเป็นเพลงที่มีแต่ความหวานซึ่ง น็อกเทิร์นบางบทก็มีอารมณ์ที่รุนแรง อาทิ Nocturne op.48 no.1 in c minor, Nocturne op.9 no.3 ดังนั้นน็อกเทิร์นจึงมีความแตกต่างจากกลัลาบาย (lullaby) ซึ่งมีความหมายว่าเพลงกล่อมเด็ก อย่างไรก็ตามผู้ที่ใช้คำว่า "น็อกเทิร์น" เป็นคนแรกหาใช่ชอแปงแต่อย่างใด คนที่ใช้

คนแรก คือ จอห์น ฟิลด์ (John Field) หากแต่นี้ออกเทิร์นของซอเป็ญนั้นมีความไพเราะและเป็นที่รู้จักแพร่หลายมากกว่า คำที่ใช้แทนนี้ออกเทิร์นนั้นได้แก่ "นอตตูร์โน" (notturmo)

4. โอเปร่า(Opera) หรือเพลงที่ใช้ขับร้องในละครอุปรากร เป็นละครชนิดหนึ่งที่แสดงโดยใช้การร้องเพลงโต้ตอบกันตลอดทั้งเรื่อง มีการร้องดังนี้ อาเรีย Aria เป็นเพลงขับร้องที่ร้องรำพันแสดงความรู้สึกทางจิตใจอย่างลึกซึ้ง เป็นการขับร้องเดี่ยวโดยมีเครื่องดนตรีประกอบ เพลงหนึ่ง ๆ มี 3 ท่อน ท่อนที่ 1 2 ทำนองไม่เหมือนกัน ส่วนท่อนที่ 3 ทำนองจะเหมือนท่อนที่1 คอรัส Chorus เป็นเพลงขับร้องหมู่ อาจเป็นเสียงเดียวกันหรือคนละเสียงก็ได้ คอนเสิร์ตไฟนอล Concert Final เป็นเพลงขับร้องหมู่ ใช้ขับร้องตอนเร้าความรู้สึกสุดยอด Climax อาจเป็นตอนจบ หรือตอนอวสาน หรือตอนหนึ่งตอนใดก็ได้ เรคซิเรทิฟ Recitative เป็นการขับร้องกึ่งพูด การพูดนี้มีลีลาลักษณะของเสียง สูง ๆ ต่ำ ๆ คล้ายกับการขับเสภาของเรา ใช้สำหรับให้ตัวละครร้องเพื่อเล่าถึงเหตุการณ์ในท้องเรื่องทั้งสั้นและยาว ซึ่งมี 2 แบบ คือ ดาย เรคซิเรทิฟ Dry Recitative เป็นการร้องกึ่งพูดอย่างรวดเร็ว มีเครื่องดนตรีประกอบเป็นครั้งคราว เพื่อกันเสียงหลง อินสทรูเมนต์ เรคซิเรทิฟ Instrument Recitative เป็นการร้องที่ใช้ดนตรีทั้งวงประกอบ การร้องจะเน้นความรู้สึกและมีความประณีตกว่าแบบแรก

5. โซนาตา (Sonata) เป็นเพลงที่แต่งขึ้นให้เล่นด้วยเครื่องดนตรีหนึ่งหรือ 2 ชิ้น ซึ่งโดยมากมักจะเป็น ไวโอลินกับเปียโน โดยมากเป็นเพลงช้า ๆ เล่นให้กับบรรยากาศขณะที่ศิลปินประกอบแต่งเพลงนั้น ๆ เพลง moonlight Sonata ของบีโธเฟนแต่งขึ้นเมื่อมีแสงจันทร์ส่องลอดเข้ามาทางหน้าต่างเป็นต้น ลักษณะของคลาสสิกโซนาตา ประกอบด้วย 3 หรือ 4 ท่อนซึ่งมีรูปแบบแต่ละท่อนดังนี้

- ท่อนแรกมีจังหวะเร็ว (Allegro) บางครั้งมีบทนำที่ช้า ใช้รูปแบบโซนาตาอัลเลโกรลักษณะซับซ้อนเร้าใจ
- ท่อนที่สองมีจังหวะช้า (Andante, Largo หรือ Lento) รูปแบบที่นิยมได้แก่ Sonata-allegro form, Ternary form, Binary form, Theme and Variation ลักษณะช้ามีแนวทำนองไพเราะ เน้นการแสดงออกทางอารมณ์
- ท่อนที่สามมีจังหวะเร็วหรือค่อนข้างเร็ว (Allegro หรือ Allegretto) รูปแบบคือมินูเอ็ต หรือสเคร์กโท (Expanded ternary form) ลักษณะเป็นจังหวะเด่นรำส่วนใหญ่จะเป็นอัตราจังหวะ 3/4
- ท่อนที่สี่มีจังหวะเร็ว (Allegro, Presto) รูปแบบอาจจะเป็นโซนาตาอัลเลโกรหรือรอนโด ลักษณะเร็ว มีพลังในตอนจบ

เพลง Moonlight Sonata หรือเปียโนโซนาตาหมายเลข 14 ในบันไดเสียง ซี ชาร์ป ไมเนอร์ (Piano Sonata No. 14 in C # minor, Op. 27 No. 2) ของ ludwig van beethoven หรือ Quasi una fantasia หรือรู้จักกันในชื่อ มูนไลท์โซนาตา เป็นผลงานของเบโทเฟนที่เผยแพร่เมื่อ ค.ศ. 1801 กล่าวกันว่าเบโทเฟน อุทิศผลงานชิ้นนี้ให้แก่ เคาน์เตสจูเลียตตา กวิชชาร์ดี (Giulietta Guicciardi) เป็นหญิงสาววัย 17 ปี ที่เป็นลูกศิษย์ และเบโทเฟนหลงรัก โซนาตาชิ้นนี้ได้ชื่อว่า "มูนไลท์โซนาตา" จากคำบรรยายของลูทวิช เร็ลชตาฟ นักวิจารณ์ดนตรีชาวเยอรมัน ในปี ค.ศ. 1832 ว่ามูฟเมนต์ที่หนึ่งของโซนาตาชิ้นนี้ มีท่วงทำนองเปรียบได้กับแสงจันทร์ที่ส่องสว่างเหนือทะเลสาบลูเซิร์นใน

เวลากลางคืน มูนไลต์โซนาตา แบ่งออกเป็น 3 มูฟเมนต์ ได้แก่ I. Adagio sostenuto II. Allegretto III. Presto agitato

6) เซเรเนต (Serenade) หมายถึงรูปแบบหนึ่งของดิแวร์ตีเมนโต้ที่ประกอบไปด้วยหลายท่อน แต่มีลักษณะเบากว่าบทเพลงที่มีโครงสร้างขนาดใหญ่และซับซ้อนกว่า (เช่น ซิมโฟนี) เซเรเนตจะเน้นท่วงทำนองมากกว่าอารมณ์ที่เข้มข้น ตัวอย่างของเซเรเนตได้แก่งานของโมซาร์ท ที่เซเรเนตของเขามีมากกว่าสี่ท่อน บางทีถึงสิบท่อน

เพลง A Little Night in G major หรือ เซเรเนตหมายเลข 13 สำหรับเครื่องสาย ในบันไดเสียง จี เมเจอร์ (Serenade No. 13 for strings in G major, K. 525) เป็นเซเรเนตที่แต่งโดย Wolfgang Amadeus Mozart เมื่อปี ค.ศ. 1787 ผลงานชิ้นนี้เป็นที่รู้จักในชื่อ A Little Night Music แต่งขึ้นสำหรับวงดนตรีแชมเบอร์ที่ประกอบด้วยไวโอลิน 2 ตัว, วิโอลา, เชลโล และดับเบิลเบส แต่มักจะใช้บรรเลงโดยวงออร์เคสตรา

โมทซาร์ทแต่งเซเรเนตชิ้นนี้เสร็จเมื่อวันที่ 10 สิงหาคม ค.ศ. 1787 ในช่วงพักระหว่างประพันธ์อุปรากรเรื่องดอน โจวันนี อยู่ที่กรุงเวียนนา เขาไม่ได้ตั้งชื่อผลงานชิ้นนี้เป็นการเฉพาะ แต่ระบุไว้ในรายการส่วนตัว ขึ้นต้นว่า "Eine kleine Nacht-Musik" จึงกลายเป็นชื่อที่ใช้เรียกผลงานชิ้นนี้โดยทั่วไป เซเรเนตชิ้นนี้แบ่งออกเป็น 4 มูฟเมนต์ ได้แก่ I. Allegro II. Romanze: Andante III. Menuetto: Allegretto IV. Rondo: Allegro

## 2.2 เอกสารที่เกี่ยวข้องกับดนตรีและคณิตศาสตร์

### 2.2.1 ทฤษฎีดนตรีกับคณิตศาสตร์

คณิตศาสตร์ได้ถือกำเนิดขึ้นมาตั้งแต่โบราณ มีการค้นพบหลักฐานการใช้คณิตศาสตร์gyptianต่างๆมากมายมาตั้งแต่ อารยธรรมอียิปต์ อารยธรรมบาบิโลน ล้วนมีการใช้คณิตศาสตร์ทั้งหมด แต่คณิตศาสตร์ก็ไม่ได้ถูกนำมาใช้อย่างกว้างขวาง จนกระทั่งมาถึงยุคอารยธรรมกรีกโบราณ(600-300 ปีก่อนคริสตกาล) คณิตศาสตร์เป็นสิ่งที่สำคัญ โดยถูกใช้กันอย่างแพร่หลาย และใช้ในรูปแบบที่แตกต่างกันไป เป็นเวลาหลายร้อยปี แล้วแต่รูปแบบของวัฒนธรรมและอารยธรรมนั้นๆ และเนื่องจากคณิตศาสตร์ในช่วงนี้มีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาเป็นเหตุให้ไม่สามารถกำหนดนิยามได้อย่างชัดเจน จนกระทั่งในศตวรรษที่ 21 ชาวตะวันตกก็มีมุมมองต่อคณิตศาสตร์ โดยถือว่าคณิตศาสตร์ เป็นวิทยาศาสตร์ของนามธรรมเช่น รูปร่าง พื้นที่ การเปลี่ยนแปลง จำนวน โครงสร้าง และปริมาณ นักคณิตศาสตร์มากมายได้ศึกษาและค้นพบรูปแบบและสมมุติฐานใหม่ๆ โดยใช้หลักความคิดเชิง ตรรกะและเหตุผลในการแก้ไขปัญหา คณิตศาสตร์สามารถอธิบายสิ่งต่างๆรอบตัว และปรากฏการณ์ในสาขาวิชาอื่นๆได้เช่น นักฟิสิกส์ก็มักจะใช้คณิตศาสตร์เป็นภาษาในการอธิบายธรรมชาติของสิ่งต่างๆ

หากให้เปรียบเทียบดนตรีที่เป็นศิลปะ เปรียบได้กับวิทยาศาสตร์ ซึ่งก็คือ วิทยาศาสตร์ของการประสานเสียง การรวมเสียง เพื่อให้ได้เสียงที่ไพเราะและงดงามในรูปแบบของเสียงประสาน ดนตรีสามารถอธิบายถึงการดำรงชีวิตของมนุษย์ที่แท้จริงได้ดังเช่นคณิตศาสตร์ ดนตรีเป็นสิ่งที่บันทึกส่วนที่สำคัญของวัฒนธรรมตลอดประวัติศาสตร์ ดนตรีเป็นช่องทางหนึ่งทางศิลปะใน

การแสดงอารมณ์และความคิด และมักใช้ในการแสดงและพรรณนาถึงตัวตนและอัตลักษณ์ของผู้แต่งเอง มีการศึกษาศึกษาดำเนินการเล่นและฟังเพลงรูปแบบต่างๆ

ทฤษฎีดนตรีเป็นเรื่องที่สวຍงามที่ได้รับการศึกษาเป็นเวลาหลายพันปี ทฤษฎีดนตรีเป็นการศึกษาวิธีการทำงานของดนตรีและคุณสมบัติของดนตรี อาจรวมถึงการวิเคราะห์ความเชื่อหรือแนวคิดเกี่ยวกับดนตรี นักทฤษฎีดนตรีมักจะศึกษาภาษาและสัญลักษณ์ทางดนตรี ในการระบุรูปแบบและโครงสร้างที่พบได้ในเทคนิคของคีตกวี รูปแบบของการประพันธ์ และช่วงเวลาทางประวัติศาสตร์

การศึกษาเกี่ยวกับคณิตศาสตร์และดนตรี คือการศึกษาระหว่างสองสาขาที่มีความแตกต่างกันมาก คณิตศาสตร์คือการศึกษาทางวิทยาศาสตร์ที่มีความสมบูรณ์และสามารถคำนวณได้ ดนตรี เป็นสิ่งที่เกี่ยวกับศิลปะ การแสดงออก ในการศึกษาของทั้งสองสาขา ถึงจะดูแตกต่างกัน แต่ก็มี การเชื่อมโยงและได้รับการศึกษามานานกว่าสองพันปีแล้ว ดนตรีสามารถทำความเข้าใจได้ด้วยคณิตศาสตร์ และคณิตศาสตร์มีหลักการมากมายที่สามารถอธิบายพื้นฐานในทฤษฎีดนตรีได้ นักทฤษฎีดนตรีหลายต่อหลายท่าน ใช้คณิตศาสตร์ในการพัฒนา แสดงออกและสื่อสารความคิดของพวกเขา

## 2.2.2 ประวัติศาสตร์ของการศึกษาดนตรีกับคณิตศาสตร์

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับดนตรีและคณิตศาสตร์จากทั้งในประเทศและต่างประเทศแล้วพบว่า ในประวัติศาสตร์ที่ผ่านมา มีการศึกษาดนตรีและคณิตศาสตร์กันมาอย่างยาวนานแล้ว ตั้งแต่กรีกโบราณได้เริ่มต้นการศึกษาเชิงทฤษฎี

ประมาณ 600 ปีก่อนคริสตกาล กรีกโบราณเป็นอารยธรรมชั้นนำของโลก ความคิดและความรู้ที่ผลิตในเวลานั้นมีความสำคัญต่ออารยธรรมตะวันตกสมัยใหม่เป็นอย่างมากหรือที่ถูกขนานนามว่า "ยุคทอง" และสิ่งที่ถือว่าเป็นวัฒนธรรมตะวันตกในปัจจุบัน ได้ถูกประดิษฐ์แล้วในยุคนี ซึ่งดนตรีคือหนึ่งในนั้น นักปราชญ์ชาวกรีกท่านหนึ่งที่มีชื่อเสียงและยิ่งใหญ่ที่สุดนามว่า Pythagoras ในปัจจุบันผู้คนส่วนใหญ่ รู้จักเขาดีในทฤษฎีบท Pythagorean ซึ่งเกี่ยวกับเรขาคณิตหรือตรีโกณมิติ แต่นี่ไม่ใช่สิ่งเดียวที่ทำให้เขาที่มีชื่อเสียง Pythagoras ได้ศึกษาดนตรีและทำความเข้าใจความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ระหว่างระดับและจังหวะของเสียงดนตรี ว่ากันว่าเขาได้ค้นพบความสัมพันธ์ระหว่างตัวเลขและเสียงดนตรี เขาเชื่อว่าตัวเลขเป็นผู้ปกครองของจักรวาล ในขณะที่หูของมนุษย์ไม่สามารถวิเคราะห์เสียงได้ Pythagoras มีความสนใจและได้ศึกษา การสั่นสะเทือนของสายสตรึง ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความยาวสาย และเสียงที่เกิดขึ้น Pythagoras พบอัตราส่วนที่เรียบง่ายเกี่ยวกับการปรับโทนเสียงโดยการเพิ่มหรือลดความยาวของสาย

หลังจาก Pythagoras ค้นพบฮาร์โมนิกแล้ว Marin Mersenne (1588-1648) นักปรัชญาชาวฝรั่งเศส นักคณิตศาสตร์ และนักทฤษฎีดนตรี บางแหล่งบอกว่าเขาค้นพบฮาร์โมนิก ซึ่งเขาเรียกมันว่า *extraordinaire* แต่ในความเป็นจริง เขาได้กำหนดโทนเสียงที่ Pythagoras ได้ค้นพบไปแล้ว เขาได้กำหนดเสียง หกเสียงแรกซึ่งเป็นอัตราส่วนของความถี่พื้นฐาน  $1/1$ ,  $2/1$ ,  $3/1$ ,  $4/1$ ,  $5/1$  และ  $6/1$  หรือเป็นจำนวนเต็มหกตัวแรกของความถี่ของโทนดั้งเดิม

นอกจากนี้ยังมีการระบุถึงการสังเคราะห์เสียงดนตรีขึ้นด้วยโดย Jean-Philippe Rameau (1683-1764) นักประพันธ์ดนตรีชาวฝรั่งเศส Rameau ศึกษาเกี่ยวกับเสียงประสานที่มีความสอดคล้องและไม่สอดคล้องกัน (ช่วงเวลาที่เสียงดีหรือปะทะกัน) บทความ Treatise on Harmony ของเขาตีพิมพ์ในปี ค.ศ. 1720 เป็นทฤษฎีเกี่ยวกับการประสานเสียงของโทนเสียงจาก

ข้อเท็จจริงที่ว่า เขาได้ยินเสียงประสานหลายเสียงพร้อม ๆ กันเมื่อมีการเล่นโน้ตแต่ละครั้ง บทความของ Rameau สร้างความสนใจและเป็นการริเริ่มการปฏิวัติทางดนตรีขึ้นมา นักดนตรีเริ่มสังเกตเห็นโทนเสียงอื่น ๆ นอกเหนือจากเสียงพื้นฐานที่เล่นได้อย่างชัดเจน

ในศตวรรษที่ 18 แคลคูลัสถูกใช้เป็นเครื่องมือในการอธิบายเกี่ยวกับการสั่นสะเทือนของสาย Brook Taylor เป็นผู้ค้นพบ Taylor Series และค้นพบสมการเชิงอนุพันธ์ที่แสดงการสั่นสะเทือนของสตริงตามเงื่อนไขเริ่มแรกและพบว่าเส้นโค้งจากกราฟฟังก์ชัน  $\sin$  เป็นวิธีการแก้ไขสำหรับปัญหานี้ได้ดีที่สุด

Daniel Bernoulli (1700-1782) ไม่เห็นด้วย หลังจากทำตามคำแนะนำของ Rameau เขาได้ประยุกต์และคิดค้นสมการอย่างพิถีพิถัน  $y = a_1 \sin x \cos t + a_2 \sin 2x \cos 2t + a_3 \sin 3x \cos 3t + \dots$  สมการนี้สามารถแสดงการสั่นสะเทือนที่สามารถเป็นไปได้ทุกแบบ ที่อาจเกิดขึ้นจากสตริงที่ยืดออก การศึกษาและการสร้างสมการนี้ นำไปสู่การประยุกต์ใช้ สมการฟังก์ชันตรีโกณมิติอย่างกว้างขวาง แต่แนวคิดนี้ก็ยังไม่ได้รับการยอมรับจากนักคณิตศาสตร์อีกเป็นจำนวนมาก

นั่นจึงทำให้ Jean Baptiste Fourier, Baron de Fourier (1768-1830) นักคณิตศาสตร์ชาวฝรั่งเศส ออกมาเผยแพร่ทฤษฎีของเขา ซึ่งเกี่ยวกับการแก้สมการของสมการคลื่นความร้อน โดยสามารถแก้ได้ด้วยการใช้ผลรวมของฟังก์ชันตรีโกณมิติ แนวคิดนี้ได้รับการวิพากษ์วิจารณ์จากนักวิทยาศาสตร์เป็นระยะเวลากว่า 15 ปี และในที่สุด Fourier Series สิ่งที่เขาคิดก็ได้เป็นที่ยอมรับจากสถาบันการศึกษาของฝรั่งเศส ในปีค.ศ. 1812

### 2.2.3 Fourier series

Fourier series เป็นกุญแจสำคัญไปสู่แนวคิดเกี่ยวกับการจำแนกสัญญาณต่าง ๆ ลงในส่วนประกอบของ  $\sin$  เป็นประโยชน์เกี่ยวกับการพรรณารูปของสัญญาณได้อย่างน่าประทับใจ และสมการเชิงอนุพันธ์นี้สามารถสร้างแบบจำลองของปรากฏการณ์ทางฟิสิกส์ได้

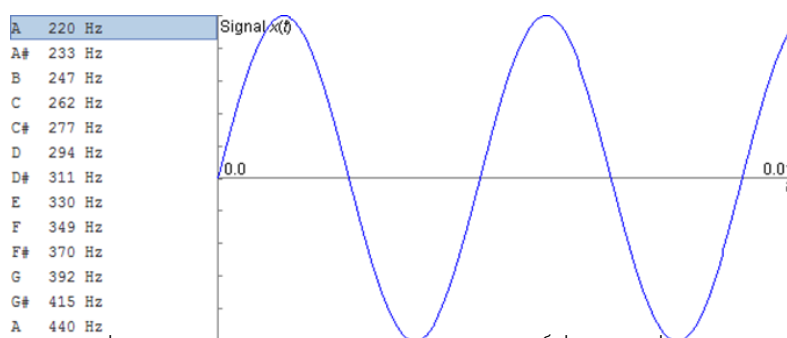
สมการนี้คือผลรวมของฟังก์ชันตรีโกณมิติที่มีสัมประสิทธิ์เฉพาะสำหรับฟังก์ชันที่ถูกจำลอง เป็นผลรวมของฟังก์ชันต่อเนื่องซึ่งสามารถบรรจบกันที่จุดๆหนึ่งกับฟังก์ชันไม่ต่อเนื่อง ซึ่งแต่ละผลรวมบางส่วน จะเป็นฟังก์ชันต่อเนื่อง Fourier series สามารถใช้ในการแก้ปัญหาและจำลองรูปแบบของฟังก์ชันที่ซับซ้อน และสามารถใช้เป็นวิธีแก้สมการคลื่นซึ่งเป็นสมการเชิงอนุพันธ์ได้ ซีรีส์นี้สามารถจำลองเป็นรูปแบบของฟังก์ชันเป็นคาบๆไปได้ แม้จะใช้กับฟังก์ชันอื่น ๆ แนวคิดเกี่ยวกับผลรวมของฟังก์ชันตรีโกณมิติเพื่อจำลองฟังก์ชันอื่นๆ ไม่ได้เป็นสิ่งใหม่สำหรับ Fourier แต่เพียงผู้เดียว ยังมี Bernhard Riemann ที่ได้ทำงานเกี่ยวกับฟังก์ชันตรีโกณมิติเพื่อจำลองฟังก์ชันอื่น ๆ เช่นเดียวกับ Bernoulli

### 2.2.4 พื้นฐานของเสียงในทางคณิตศาสตร์

Fourier Series สามารถประยุกต์ใช้งานได้อย่างหลากหลายในโลกของฟิสิกส์ รวมทั้งการจำลองรูปของเสียง เสียงที่บริสุทธิ์จะมีความถี่และแอมพลิจูด ซึ่งสามารถกำหนดระดับเสียงและความดังของเสียงตามลำดับ ซึ่งสามารถจำลองได้ออกมาในรูปแบบของคลื่น และสามารถแสดงด้วยสมการ  $\sin$  (sinusoidal equations) เสียงที่ได้จะเป็นเสียงบริสุทธิ์ เมื่อรวมกันเป็นผลรวมเชิงเส้น จะสามารถสร้างเสียงที่ซับซ้อนได้มากยิ่งขึ้น เช่นคอร์ด

สมการคลื่นที่พบโดย D'Alembert เป็นสมการเชิงอนุพันธ์ที่สามารถตรวจสอบได้ถึง การสั่นของคลื่นเสียงโดยขึ้นส่วนของสตริงตามเงื่อนไขของการเคลื่อนที่ของสตริงและการ ปลดปล่อยพลังงานจากส่วนที่เหลือ และตามที่ Bernoulli ตั้งข้อสังเกต Fourier Series เป็นวิธีแก้ สมการคลื่น ซึ่งหมายความว่า Fourier Series สามารถใช้จำลองคลื่นเสียงที่เกิดจากการสั่นของสาย สตริงได้

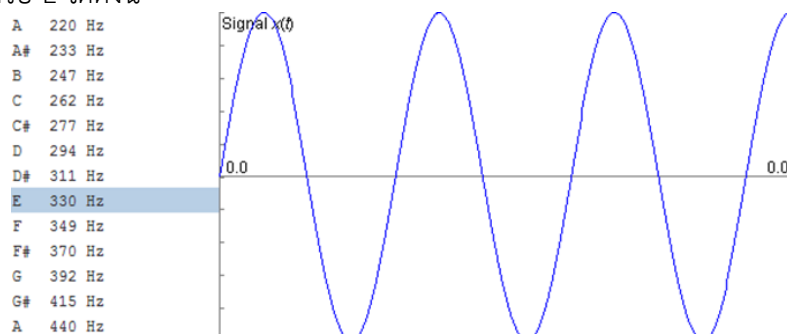
เสียงบริสุทธิ์สามารถจำลองได้โดยฟังก์ชันตรีโกณมิติ ฟังก์ชันเดียว ตัวอย่างเช่นเสียง บริสุทธิ์ของความถี่ 220 เฮิร์ตซ์ ซึ่งสามารถเรียกเสียงบริสุทธิ์ของความถี่นี้ได้ว่า A ดังกราฟต่อไปนี้



ภาพที่ 2.15 แสดงภาพจำลองของเสียงบริสุทธิ์ที่มีความถี่ 220 เฮิร์ตซ์

โดยสมการที่ใช้ในการจำลองเสียงบริสุทธิ์ที่มีความถี่ 220 เฮิร์ตซ์คือ

$y = a \sin(2\pi (220)x)$  โดยที่  $a$  คือแอมพลิจูดของคลื่น สามารถเปรียบเทียบกับเสียงบริสุทธิ์ ของความถี่ 330 หรือ E ได้ดังนี้



ภาพที่ 2.16 แสดงภาพจำลองของเสียงบริสุทธิ์ที่มีความถี่ 330 เฮิร์ตซ์

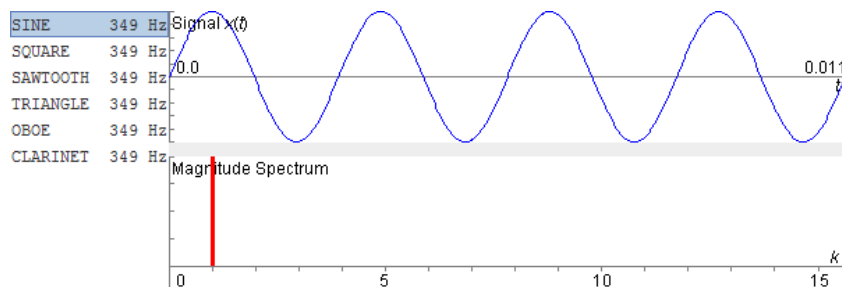
เห็นได้จากกราฟและสมการของทั้งสองตัวโน้ตที่แตกต่างกันตามความถี่ จึงทำให้มี คาบที่แตกต่างกัน แต่อย่างไรก็ตามฟังก์ชัน sinusoidal สามารถสร้างเสียงที่บริสุทธิ์ได้โดย คอมพิวเตอร์ เสียงที่ได้นั้นจะมีความเรียบง่ายมาก จนเกือบจะว่างเปล่า ดังนั้นจึงได้มีเครื่องดนตรี มากมายที่พยายามจะจำลองเสียงตามความถี่นั้นๆแต่ก็ไม่สามารถทำให้เกิดเสียงที่บริสุทธิ์ได้

## 2.2.5 เสียงที่เกิดจากการประสานเสียงของเครื่องดนตรีต่างๆในทางคณิตศาสตร์

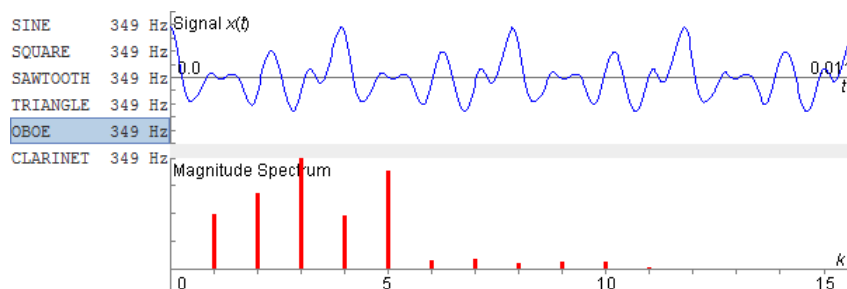
ดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้นว่า เมื่อเครื่องดนตรีเล่นโน้ต คลื่นเสียงที่ได้ออกมาไม่ได้ เป็นเสียงบริสุทธิ์ แต่มันเป็นเสียงที่ซับซ้อน ซึ่งขึ้นอยู่กับลักษณะทางกายภาพของเครื่องดนตรี เครื่อง ดนตรีที่ใช้มีทั้งแบบที่เป็น เครื่องดีด เครื่องสี เครื่องตี และเครื่องเป่า ทั้งหมดให้เสียงออกมาและมี ลักษณะเฉพาะตัวซึ่งแตกต่างกันไปเช่น เชลโล เป็นเครื่องสี มีรูปร่างเฉพาะเพื่อให้สามารถสะท้อนกับ สายสตริงได้ดียิ่งขึ้น เมื่อโน้ตถูกเล่นจะได้นิยามความถี่พื้นฐาน รวมทั้งเสียงประสาน



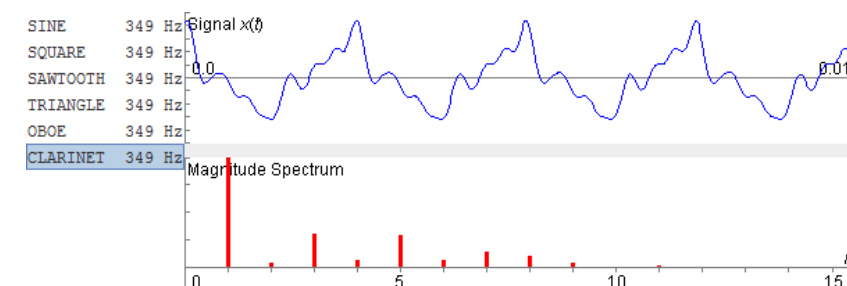
(Overtone/Harmonics) เสียงของเครื่องดนตรีมีความแตกต่างกันตามชนิดของเครื่องดนตรีต่างๆ ความดังหรือแอมพลิจูดของแต่ละเสียงคือความแตกต่างที่เราได้ยินเนื่องจากแต่ละโน้ตที่เล่นมีทั้งเสียงพื้นฐานและเสียงประสาน ในกราฟด้านล่าง จะเห็นเสียงประสานและคลื่นเสียงจากโน้ตเดียวกันในเครื่องดนตรีต่างๆ โดยที่คลื่นสีน้ำเงินคือคลื่นเสียงและแถบสีแดงเป็นแอมพลิจูดของเสียง



ภาพที่ 2.17 แสดงกราฟของเสียงบริสุทธิ์ที่มีความถี่ 349 เฮิร์ตซ์



ภาพที่ 2.18 แสดงกราฟของเสียงที่เกิดจาก oboe ที่ความถี่ 349 เฮิร์ตซ์



ภาพที่ 2.19 แสดงกราฟของเสียงที่เกิดจาก Clarinet ที่ความถี่ 349 เฮิร์ตซ์

## 2.3 เอกสารที่เกี่ยวข้องกับดนตรีและความผ่อนคลาย

### 2.3.1 สมอและส่วนต่างๆของสมอ

สมอเป็นอวัยวะที่มีขนาดใหญ่ และมีความซับซ้อนที่สุดของระบบประสาท มีน้ำหนักประมาณ 1.4 กิโลกรัม หรือ 3 ปอนด์ บรรจุอยู่ในกะโหลกศีรษะ เพื่อป้องกันอันตรายจากการกระทบกระเทือน เซลล์ประสาทที่สมองมีจำนวนมากกว่า 90% ของเซลล์ประสาทในร่างกาย ทั้งหมด ส่วนใหญ่เป็นเซลล์ประสาทประสาณงาน เวลล์ประสาทเหล่านี้มีความต้องการออกซิเจนและ

กลูโคสถึง 2% ของน้ำหนักตัวและต้องการออกซิเจนถึง 20% สำหรับสมองของคนถือว่าเป็นสมองของสัตว์ที่พัฒนาไปสู่สูงสุด แบ่งออกเป็น 3 ส่วนได้แก่

สมองส่วนหน้า(Fore brain หรือ Prosencephalon) สมองส่วนหน้าประกอบด้วย ออฟแฟกทอรีบูลบ์ (Olfactory bulb) เซรีบริรัม(Cerebrum) ทาลามัส(Thalamus) และไฮโปทาลามัส(Hypothalamus)

สมองส่วนกลาง(Mid brain) สมองส่วนนี้พัฒนาจากรูปเหลือเฉพาะออปติกโกลบ (optic lobe) เป็นส่วนที่พองออกไปเป็นเปาะ ในคนส่วนนี้จะถูกเซรีบริรัมบังเอาไว้ ในสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมส่วนใหญ่มีอยู่ 4 กระเปาะ แต่ในสัตว์มีกระดูกสันหลังอื่นๆส่วนนี้มีเพียง 2 กระเปาะ ทำหน้าที่เกี่ยวกับการรับภาพ รวมทั้งความรู้สึกจาก หู จมูก และในปลายังใช้รับความรู้สึกเกี่ยวกับเสียงจากเส้นข้างตัว(Lateral line) สมองส่วนนี้ในสัตว์มีกระดูกสันหลังชั้นต่ำจะมีขนาดใหญ่ และมีขนาดเล็กลงไป ในสัตว์ชั้นสูงโดยเฉพาะในสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมจึงมีขนาดเล็กที่สุด

สมองส่วนท้าย(Hind brain) สมองส่วนท้าย(Hind brain) ประกอบไปด้วย 3 ส่วน คือ เซรีเบลลัม พอนส์ และเมดัลลาออบลองกาตา

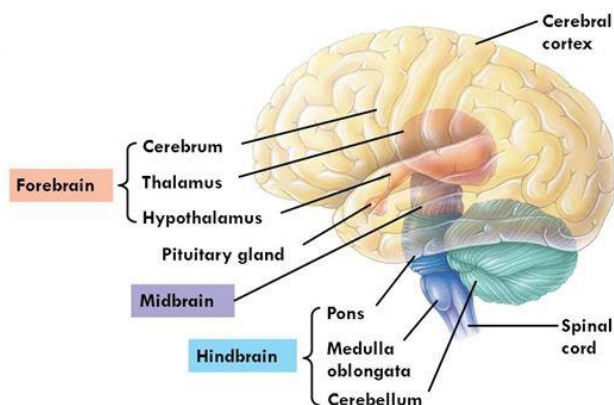
1) เซรีเบลลัม(Cerebellum) สมองส่วนท้ายทอยทำหน้าที่ควบคุมการเคลื่อนไหวของร่างกายให้ต่อเนื่อง เที่ยงตรง รวดเร็ว จนกระทั่งสามารถทำงานชนิดละเอียดอ่อนได้ และทำให้ร่างกายสามารถทรงตัวได้ โดยรับความรู้สึกจากหูที่เกี่ยวกับการทรงตัว แล้วเซรีเบลลัมแปลเป็นคำสั่งส่งไปยังกล้ามเนื้อ

2) พอนส์(Pons) อยู่คนละด้านของเซรีบริรัม ติดต่อกับสมองส่วนกลาง เป็นทางผ่านของกระแสประสาทระหว่างเซรีบริรัมกับเซรีเบลลัม และระหว่างเซรีเบลลัมกับไขสันหลัง พอนส์ทำหน้าที่ควบคุมการเคลื่อนไหว เกี่ยวกับการเคี้ยว การหลั่งน้ำลาย การเคลื่อนไหวกล้ามเนื้อบริเวณใบหน้า และควบคุมการหายใจ

3) เมดัลลาออบลองกาตา(Medulla oblongata) เป็นส่วนสุดท้ายของสมอง ตอนปลายสุดของสมองส่วนนี้ติดกับไขสันหลัง ซึ่งเป็นทางผ่านของกระแสประสาทระหว่างสมองกับไขสันหลัง เมดัลลาออบลองกาตา นี้เป็นศูนย์ควบคุมการทำงานของระบบประสาทอัตโนมัติต่างๆ เช่นการหมุนเวียนโลหิต ความดันเลือด การเต้นของหัวใจ ศูนย์ควบคุมการหายใจ นอกจากนี้ยังเป็นศูนย์ควบคุมการกลืน การไอ การจาม และการอาเจียน

สมองส่วนกลาง พอนส์ และเมดัลลาออบลองกาตา สามส่วนนี้รวมกันเรียกว่าก้านสมอง(Brain stem) ภายในก้านสมองพบกลุ่มเซลล์ประสาทและใยประสาทเชื่อมระหว่างเมดัลลาออบลองกาตากับทาลามัส เป็นศูนย์ควบคุมการนอนหลับ การรู้สึกตื่นตัว หรือความมีสติ ศูนย์ควบคุมการหายใจ ความดันเลือด ควบคุมอุณหภูมิ และการหลั่งเอนไซม์

สมองแบ่งออกเป็นซีกซ้ายและซีกขวา สมองซีกซ้ายจะควบคุมส่วนต่างๆของร่างกายซีกขวา ส่วนสมองซีกขวากจะควบคุมส่วนต่างๆของร่างกายซีกซ้าย



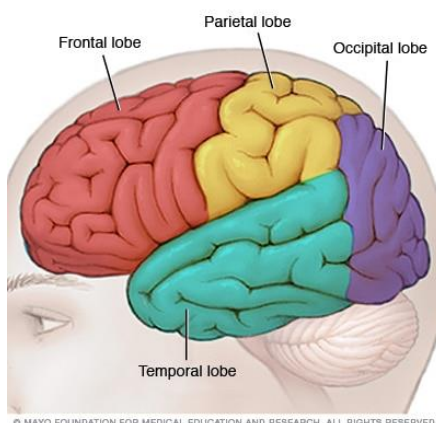
ภาพที่ 2.20 แสดงสมองส่วนต่างๆ ประกอบด้วย สมองส่วนหน้า สมองส่วนกลาง สมองส่วนท้าย

### 2.3.2 สมองส่วนหน้า(Fore brain หรือ Prosencephalon)

สมองส่วนหน้าประกอบด้วย ออฟแฟกทอรีบัลล์ (Olfactory bulb) เซรีบริรัม (Cerebrum) ทาลามัส(Thalamus) และไฮโปทาลามัส(Hypothalamus)

1) ออฟแฟกทอรีบัลล์ (Olfactory bulb) เป็นสมองที่อยู่ส่วนหน้าสุดทำหน้าที่เกี่ยวกับการดมกลิ่น สำหรับสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมอื่นๆ จะเจริญตียกเว้นในคน สมองส่วนนี้จะอยู่ด้านล่างของเซรีบริรัม สัตว์มีกระดูกสันหลังชั้นต่ำเช่น กบ ปลา สมองส่วนนี้จะเจริญดีมากและมีขนาดใหญ่ ทำให้ดมกลิ่นได้ดี

2) เซรีบริรัม(Cerebrum) ส่วนนี้กินพื้นที่ส่วนใหญ่ในสมอง ที่ผิวด้านนอกเป็นเนื้อสีเทา มีรอยหยักหนาประมาณ 3 มิลลิเมตร การมีรอยหยักทำให้เพิ่มพื้นที่สมองมากขึ้น โดยเฉพาะรอยหยักที่ผิวด้านนอกของสมองคนเป็นลักษณะที่มีการพัฒนามากที่สุด ด้านในเป็นเนื้อสีขาวของใยประสาทที่มีเยื่อไมอีลินหุ้ม ส่วนที่เป็นเนื้อสีเทาประกอบด้วยแอกซอนที่ไม่มีเยื่อไมอีลินและตัวเซลล์ประสาท หากมองจากด้านบนจะเป็นลักษณะเป็นก้อนเกือบกลมสองก้อนอยู่ทางด้านซ้ายขวา แต่ละก้อนเรียกว่า เซรีบริรัมเฮมิสเฟียร์(Cerebrum hemisphere) โดยมีแถบเส้นประสาท(Corpus Collosum) เชื่อมโยงเอาไว้ แบ่งได้เป็น 4 ส่วน ดังนี้



ภาพที่ 2.21 แสดงส่วนต่างๆของเซรีบริรัม

- สมองกลีบหน้า (Frontal lobe) ทำหน้าที่ควบคุมการเคลื่อนไหว การออกเสียง ความคิด ความจำ สติปัญญา บุคลิก ความรู้สึก พื้นอารมณ์ การรับรู้ ความเข้าใจ การมีเหตุผล การแก้ปัญหา การพูด และความจำในระยะยาว และที่สำคัญที่สุด ส่วนด้านหลังของกลีบนี้ (Posterior frontal lobe) เป็นตำแหน่งของสมองส่วนที่ควบคุมการทำงานของกล้ามเนื้อของร่างกายทั้งหมดที่ไม่เกี่ยวข้องกักระบบประสาทอัตโนมัติ (เช่น การเคลื่อนไหวของ แขน ขา ใบหน้า) เรียกว่า Motor cortex

- สมองกลีบขมับ (Temporal lobe) ทำหน้าที่ควบคุมการได้ยิน การดมกลิ่น การมองเห็น การพูด และความจำในเรื่องใหม่ๆ

- สมองกลีบหลัง (Occipital lobe) ทำหน้าที่ควบคุมการมองเห็น และการเห็นภาพต่างๆ

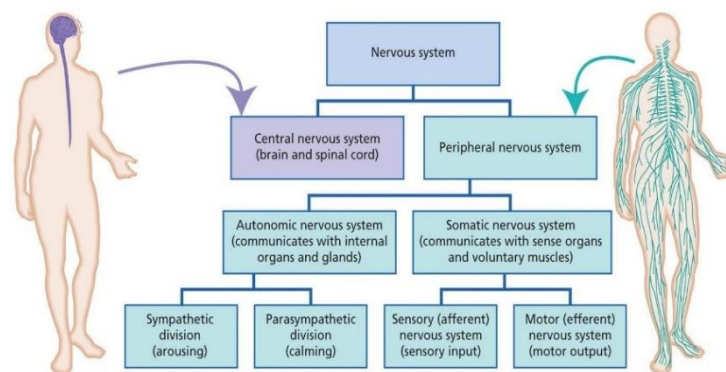
- สมองกลีบด้านข้างหรือกลีบข้าง (Parietal lobe) ทำหน้าที่ควบคุมความรู้สึกด้านการสัมผัส การพูด การรับรส ประสานงานในการรับรู้ความรู้สึกต่างๆรวมทั้ง ทางกาย การมอง เห็น และการได้ยิน การคำนวณ รูปร่าง ระยะทาง สถานที่

3) ทาลามัส(Thalamus) อยู่ใต้เซรีบรัมและอยู่เหนือไฮโปทาลามัสทำหน้าที่เหมือนศูนย์ถ่ายทอดสัญญาณของร่างกายระหว่างไขสันหลังและเซรีบรัม โดยทำหน้าที่เป็นศูนย์รวมกระแสประสาทที่ผ่านเข้าแล้วถ่ายทอดกระแสประสาทไปยังส่วนต่างๆของสมองที่เกี่ยวข้องกับกระแสประสาทนั้นๆ โดยแปลสัญญาณที่รับเข้ามาก่อนส่งไปยังเซรีบรัม เช่นรับกระแสประสาทจากหูแล้วส่งเข้าเซรีบรัมบริเวณศูนย์การรับเสียง อีกทั้งยังรับรู้และตอบสนองความรู้สึกเจ็บปวด ทำให้มีการสั่งการแสดงออกพฤติกรรมด้านความเจ็บปวด

4) ไฮโปทาลามัส(Hypothalamus) อยู่ถัดจากทาลามัสลงไปทางด้านล่างของสมองปลายสุดของสมองส่วนนี้มีต่อมใต้สมอง ซึ่งทำหน้าที่สร้างฮอร์โมนหลายชนิด ส่งไปควบคุมการสร้างฮอร์โมนของต่อมใต้สมองอีกต่อหนึ่ง นอกจากนี้ยังมีหน้าที่เป็นศูนย์ควบคุมอุณหภูมิของร่างกาย การเต้นของหัวใจ ความดันเลือด การนอนหลับ ความหิว ความอิ่ม ความระหยา รวมทั้งเป็นศูนย์ควบคุมอารมณ์และความรู้สึกต่างๆ เช่น ดีใจ เสียใจ เศร้าโศก และความรู้สึกทางเพศ ทั้งทาลามัสและไฮโปทาลามัส รวมเป็นสมองส่วนไดเอนเซฟาโลน(Diencephalon)

### 2.3.3 การทำงานของระบบประสาท

การทำงานของระบบประสาทแบ่งตามลักษณะโครงสร้างออกเป็น 2 ระบบคือ ระบบประสาทส่วนกลาง (Central nervous System หรือ CNS) ได้แก่สมองและไขสันหลัง และระบบประสาทรอบนอก (Peripheral nervous System หรือ PNS) เส้นประสาทสมองกับเส้นประสาทไขสันหลัง หรืออาจแบ่งตามลักษณะการทำงานคือระบบประสาทโซมาติก (Somatic nervous System หรือ SNS) เป็นการทำงานตามคำสั่งสมองส่วนซีรีบรัมและไขสันหลัง เกิดกับหน่วยปฏิบัติงานที่บังคับได้ กับอีกระบบหนึ่งคือระบบประสาทอัตโนมัติ (Automatic nervous system หรือ ANS) ทำงานที่เกิดกับหน่วยปฏิบัติงานที่บังคับไม่ได้ โดยการทำงานของระบบประสาทอัตโนมัติประกอบด้วย 2 ระบบย่อยที่มีลักษณะการทำงานตรงกันข้ามคือ 1) ระบบประสาทซิมพาเทติก (Sympathetic nervous System) 2) ระบบประสาทพาราซิมพาเทติก (Parasympathetic nervous System)



ภาพที่ 2.22 แสดงการแบ่งระบบประสาทตามหน้าที่การทำงานและการควบคุม

ระบบประสาทอัตโนมัติ เป็นระบบประสาทที่เกี่ยวข้องกับการควบคุมกล้ามเนื้อเรียบของอวัยวะภายในกล้ามเนื้อหัวใจรวมทั้งต่อมต่างๆ การทำงานของระบบประสาทซิมพาเทติกกับระบบประสาทพาราซิมพาเทติก ควบคุมการทำงานของอวัยวะภายในให้ทำงานตรงกันข้าม เช่นการทำงานของกระเพาะปัสสาวะจะคลายตัวถ้าระบบประสาทซิมพาเทติก ไปกระตุ้นแต่กระเพาะปัสสาวะจะบีบตัวและขับปัสสาวะ หากทางระบบประสาทพาราซิมพาเทติกไปกระตุ้น หรือหัวใจจะเต้นแรงและเร็วขึ้นถ้าเป็นการกระตุ้นของระบบประสาทซิมพาเทติก แต่หัวใจจะเต้นช้าและเบาลงถูกกระตุ้นทางระบบประสาทพาราซิมพาเทติก

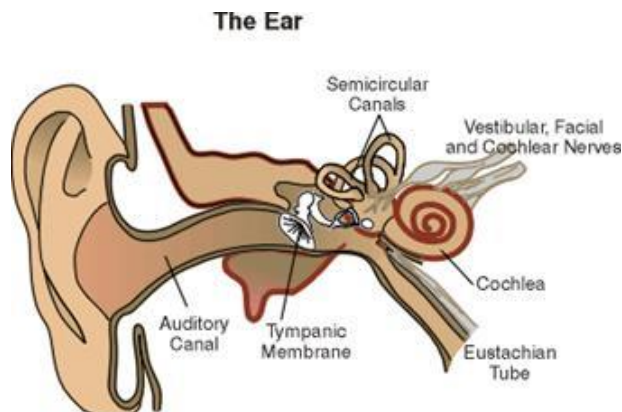
อวัยวะ	ประสาทซิมพาเทติก (sympathetic nerve)	ประสาทพาราซิมพาเทติก (parasympathetic nerve)
ต่อมเหงื่อ	บีบตัวให้เหงื่อออก	ผ่อนคลายตัวเหงื่อออกน้อย
ต่อมน้ำตา	กระตุ้นให้หลั่งน้ำตามากกว่าปกติ	กระตุ้นให้หลั่งปกติ
หัวใจ	เพิ่มอัตราการสูบฉีด	ลดอัตราการสูบฉีด
กล้ามเนื้อ ม่านตา	ม่านตาขยาย	ม่านตาหรี
กล้ามเนื้อ บังคับเลนส์ ตา	บีบตัวเมื่อมองใกล้	คลายตัวเมื่อมองไกล
กล้ามเนื้อ โคนขน	ขนลุกตั้งชัน	ขนเอนนอนลง

ตารางที่ 2.2 แสดงการเปรียบเทียบระบบประสาทซิมพาเทติกและระบบประสาทพาราซิมพาเทติก

#### 2.3.4 คลื่นเสียงและการรับรู้

คลื่นเสียงเกิดจากการอัดและขยายของตัวกลาง การอัดขยายนี้จะส่งต่อ ๆ กันไป จนถึงหู แล้วส่งต่อไปยังสมองในทอม ของระดับเสียง ความดัง และคุณภาพของเสียง โดยปกติหูคนเรา จะไวต่อการรับรู้เสียงที่มีความถี่สูงกว่าเสียงที่มีความถี่ต่ำ เมื่อ เสียงนั้นมีระดับความเข้มเสียงเท่ากัน นอกจากนี้ความไวต่อการรับรู้เสียงของคนเรายังขึ้นอยู่กับอายุ โดยพบว่าเด็กมีความรู้สึกไว ต่อช่วงความถี่สูงมากกว่าผู้ใหญ่ความไวต่อการได้ยินเสียงของคนจะลดลงเมื่ออายุมากขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่าความไวต่อการ ได้ยินเสียง จะลดลงด้วยสาเหตุอื่น ๆ อีกเช่น การได้รับฟังเสียงดังมากเกินไปเป็นระยะเวลานาน ๆ หรือจากการใช้ยาบางชนิด

หู นอกจากเป็นอวัยวะสำหรับรับฟังเสียงยังเป็นอวัยวะที่เกี่ยวข้องกับการทรงตัวอีกด้วย โครงสร้างของหู สามารถแบ่งออกเป็น 3 ส่วนคือ



ภาพที่ 2.22 แสดงส่วนประกอบภายในหู

1) หูชั้นนอก(External ear) เริ่มตั้งแต่แก้วหูจนเยื่อแก้วหู ใบหู(Pinna) ทางออกเพื่อรับคลื่นเสียงส่งเข้ารูหู(Auditory canal) ภายในรูหูมีต่อมสร้างสารคล้ายขี้ผึ้งออกมาเคลือบเอาไว้เพื่อป้องกันแก้วหู(Tympanic membrane) ที่อยู่บริเวณปลายสุดของหู ไม่ให้ได้รับอันตรายได้ง่าย สารเหล่านี้รวมตัวกันมาเรื่อยๆกลายเป็นขี้หูซึ่งไม่จำเป็นต้องแคะออก เพราะเมื่อมีมากเกินไปจะหลุดออกมาได้เอง หากแคะหูแล้วอาจทำให้แก้วหูกระทบกระเทือนจนถึงขาดได้อาจเป็นสาเหตุของหูหนวก

2) หูชั้นกลาง(Middle ear) อยู่ถัดจากแก้วหูเข้าไปประกอบด้วยกระดูกหู 3 ชิ้นคือ กระดูกค้อน(Malleus) กระดูกทั่ง(Incus) กระดูกโกลน(Stapes) เมื่อคลื่นเสียงสั่นสะเทือนมาถึงแก้วหู จะส่งคลื่นความสั่นสะเทือนไปยังกระดูกทั้ง 3 ชิ้น และจะส่งคลื่นความสั่นสะเทือนไปยังหูชั้นใน คลื่นเสียงที่ผ่านเข้ามาถึงหูชั้นในจะมีความแรงมากกว่าที่หูชั้นนอกถึง 22 เท่า เพราะกระดูกค้อน ทั้ง โกลน เมื่อเกิดการสั่นจะเพิ่มความเร็วของคลื่นเสียงประมาณ 1.3 เท่า ส่วนเยื่อแก้วหูเมื่อเกิดการสั่นจะเพิ่มความเร็วของคลื่นเสียงมากกว่าการสั่นของกระดูก 3 ชิ้นถึง 17 เท่าทำให้คลื่นเสียงจากภายนอกเมื่อผ่านกระดูกหูมาแล้ว จะเพิ่มความเร็วของคลื่นเสียงเป็น  $1.3 \times 17 = 22.1$  เท่า

3) หูชั้นใน(Inner ear) เป็นส่วนของอวัยวะรับเสียงและรับการทรงตัวอยู่ด้วยกัน รวมเรียกว่า เมมเบรานัส ลาปีรินธ์(Membranous labyrinth) แยกออกเป็นส่วนรับเสียงรูปร่างคล้ายหอยโข่งเรียกว่า คอเคลีย(Cochlea) ซึ่งมีลักษณะเป็นหลอดยาวขดอยู่ภายในหลอด แบ่งออกเป็น 3 ห้อง มีของเหลวบรรจุอยู่ เมื่อคลื่นสั่นสะเทือนมาจนถึงกระดูก 3 ชิ้นของหูชั้นกลางแล้วส่งคลื่นของการสั่นสะเทือนเข้าไปสู่หน้าต่างรูปไข่เข้าตามท่อของคอเคลีย จนกระทบปลายเส้นประสาทคู่ที่ 8 (Auditory nerve) เพื่อส่งกระแสประสาทสู่สมองต่อไป เมื่อคลื่นเสียงผ่านเส้นประสาทสมองคู่ที่ 8 แล้วจะออกมาอีกช่องทางหนึ่งของคอเคลีย และออกจากหูชั้นในทางหน้าต่างรูปกลม แล้วออกทางท่อยูสเตเชียนต่อไป

หูคนปกติรับเสียงได้ในระดับความดังตั้งแต่ 0 ถึง 120 เดซิเบลแต่เสียงที่มีความดังในระดับสูงขึ้นไปถ้าคนฟังเป็นเวลานานจะมีผลเสียต่อประสาทหูและสุขภาพอนามัยด้วยจากการรายงานขององค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมของสหรัฐอเมริกา(EPA) บอกว่าผู้ที่ได้รับเสียงที่ดังตลอด 24 ชั่วโมง

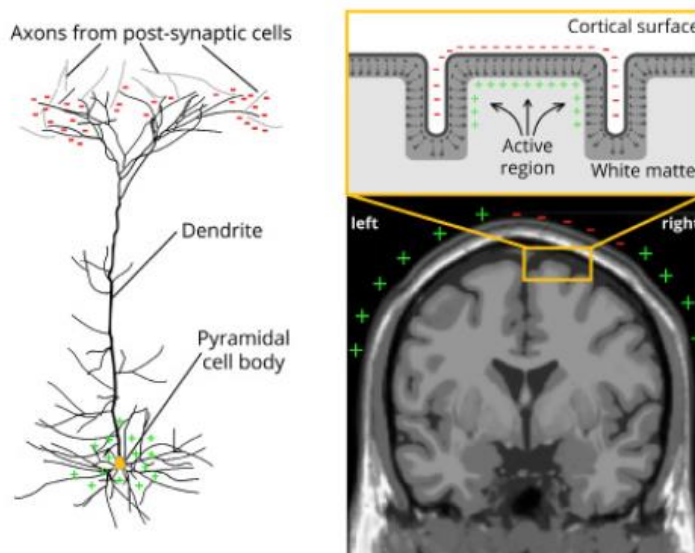
เฉลี่ยแล้วเกิน 70 เดซิเบล นั้นจะทำให้เกิดอาการหูตึงภายใน 40 ปี สำหรับองค์กรอนามัยโลกได้กำหนดค่าความดังมาตรฐานของเสียงเอาไว้ให้ไม่เกิน 80 เดซิเบล

เสียงที่ดังไม่มากนักอาจก่อให้เกิดความรำคาญหงุดหงิด ไม่มีสมาธิ นอนไม่หลับ ทำงานผิดพลาด หรือทำให้เกิดอุบัติเหตุได้ง่ายกว่าปกติ เมื่อเสียงดังมากๆ เข้าอาจทำให้เกิดความเครียด เวียนศีรษะ เหนื่อยง่าย หัวใจเต้นเร็ว อารมณ์อ่อนไหวได้ง่าย อาจเกิดโรคจิต สำหรับเสียงที่ดังเกิน 80 เดซิเบลในทุกความถี่วันละ 8 ชั่วโมง หรือสิ่งที่เกิน 100 เดซิเบลในความถี่นานเกิน 1 ชั่วโมงอาจทำให้หูหนวกได้

### 2.3.5 การถ่ายทอดกระแสประสาทระหว่างเซลล์และสนามไฟฟ้า

สมองประกอบด้วยเซลล์ประสาทหลายแสนเซลล์ ในความเป็นจริงสมองของมนุษย์มีเซลล์ประสาทประมาณ 100 พันล้านเซลล์ซึ่งเกิดการเชื่อมต่อกันอย่างหนัก โดยเซลล์ประสาทมักจะประกอบด้วยตัวเซลล์และ เดนไดรต์(Dendrites) อีกหนึ่งหรือมากกว่านั้น และกระแสประสาทจะถูกรวบรวมจากเดนไดรต์ ถูกส่งต่อและมาจบลงที่การไซแนปส์(Synapses) ซึ่งทำหน้าที่เป็นทางผ่านในการยับยั้งหรือกระตุ้นกิจกรรมระหว่างเซลล์ประสาท ซึ่งหมายความว่า การส่งต่อและเผยแพร่ข้อมูลจะถูกกระตุ้นผ่านเซลล์ประสาท (Excitatory) หรือการป้องกันการส่งผ่านข้อมูลจากเซลล์ประสาทหนึ่งไปยังเซลล์ถัดไป(ยับยั้ง)

การส่งต่อกระแสประสาทผ่านการไซแนปส์ จะถูกกระตุ้นโดยการส่งสารสื่อประสาท (โดพามีน, อะดรีนาลีน, อะซิติลโคลีน, ฯลฯ ) ซึ่งทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงแรงดันไฟฟ้าข้ามเยื่อหุ้มเซลล์ กล่าวอีกนัยหนึ่งคือ การไซแนปส์ใดๆ จะสร้างสนามไฟฟ้าที่ละเอียดอ่อน ซึ่งจะเรียกว่า Postsynaptic potential โดยทั่วไปแล้ว Postsynaptic potential จะเกิดขึ้นได้นับสิบถึงหลายร้อยครั้งต่อมิลลิวินาที



ภาพที่ 2.23 แสดงการส่งกระแสประสาทที่ทำให้เกิดสนามไฟฟ้าที่ละเอียดอ่อน



Postsynaptic potential ของเซลล์ประสาทแต่ละเซลล์นั้นมีขนาดเล็กเกินไปที่จะสังเกตเห็นได้ อย่างไรก็ตามเมื่อใดที่มีการเปลี่ยนแปลงของแรงดันไฟฟ้าที่เกี่ยวข้องกับ Postsynaptic potential เกิดขึ้นกับเซลล์ประสาทกลุ่มเล็ก ๆ (ประมาณ 1,000 เซลล์หรือมากกว่า) สนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจะมีความแข็งแรงมากขึ้น

หากเปรียบเทียบกับกระแสที่อ่อนของแผ่นดินไหว อาจเปรียบได้ว่าการสั่นสะเทือนแต่ละครั้งอาจมีขนาดเล็กเกินไปที่จะบันทึกได้ แต่ถ้ามีหลายเหตุการณ์เกิดขึ้นในเวลาเดียวกัน ในสถานที่เดียวกัน และในจังหวะเดียวกัน การสั่นสะเทือนทั้งหมดจะรวมกันเป็นแผ่นดินไหวขนาดใหญ่ และสามารถเห็นได้ชัดแม้ห่างออกไปหลายพันไมล์ เช่นเดียวกันเมื่อเทียบกับสมองของมนุษย์ที่มีขนาดเล็กกว่ามาก

ไม่ว่าสนามไฟฟ้าที่สมองสร้างขึ้นมาทั้งหมดจะมากเพียงพอที่จะแพร่กระจายผ่านกระดูกและกะโหลกศีรษะไปยังผิวหนังศีรษะได้ การวิจัยชี้ให้เห็นว่าสนามไฟฟ้าที่สามารถวัดได้จากสมองเกิดจากเซลล์ประสาททรงพีระมิดในสมอง ชื่อของพวกมันเกิดจากรูปร่างของพวกมัน หรือรูปสามเหลี่ยมของตัวเซลล์ เซลล์รูปพีระมิดสามารถพบได้ในทุกที่ในซีรีบรัม (Occipital, Temporal, Parietal, Frontal) ซึ่งพวกมันมักจะตั้งฉากกับผิวด้านนอก โดยตัวเซลล์จะชี้พุ่งเข้ามายังแกนกลาง (ไปทาง Grey matter) ในขณะที่เดนไดรต์ ของพวกมันชี้ไปยังผิวด้านนอก

การเรียงตัวที่เป็นเอกลักษณ์ของเซลล์ประสาทรูปพีระมิดนี้ ทำให้เกิดการสร้างสนามไฟฟ้าที่มีความเสถียรมาก ในทางตรงกันข้ามเซลล์ประสาทในโครงสร้างของสมองส่วนที่ลึกกว่า เช่นก้านสมองหรือซีรีบรัม จะไม่มีการวางเรียงตัวที่เฉพาะเจาะจงนี้ เป็นผลให้สนามไฟฟ้ามีแนวโน้มที่จะแพร่กระจายไปในทิศทางต่างๆ นอกจากนี้เซลล์ประสาทอีกนับแสนในสมองส่วนที่ลึกลงไปอาจจะแสดงกิจกรรมที่ตรงกันกับสมองส่วนซีรีบรัม

### 2.3.6 การตรวจวัดคลื่นไฟฟ้าสมอง(Electroencephalogram : EEG)

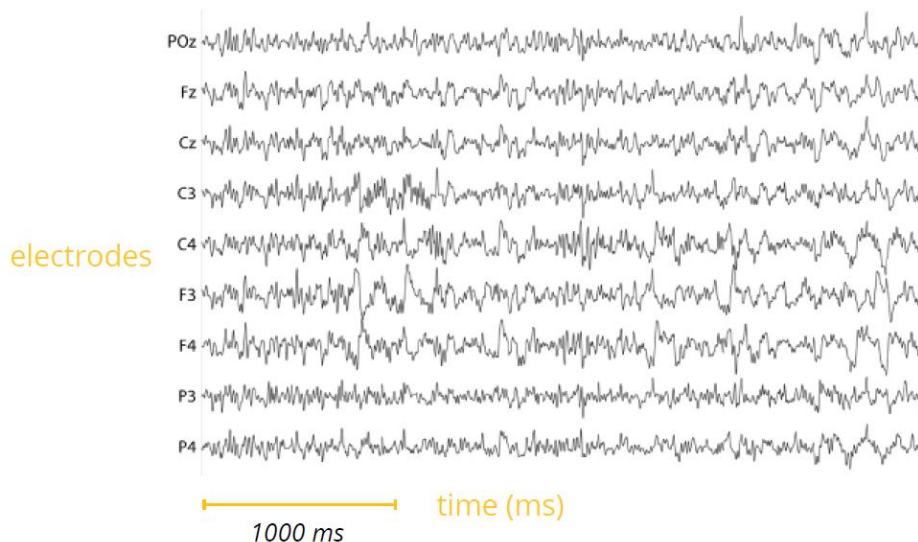
ในการบันทึกกิจกรรมทางไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจากสมองนักวิจัยเกี่ยวกับ EEG ไม่จำเป็นต้องเปิดกะโหลกเพื่อวางขั้วไฟฟ้าเพื่อตรวจและบันทึกคลื่นไฟฟ้าสมอง พวกเขาเพียงแค่นำขั้วไฟฟ้าจากขั้วไฟฟ้าที่วางไว้ที่ผิวหนังศีรษะหรือที่เรียกว่าอิเล็กโทรด(Electrode) EEG ถูกนำไปใช้กับมนุษย์เป็นครั้งแรกในปี 1920 โดยนักประสาทวิทยาชาวเยอรมัน Hans Berger (Jung & Berger, 1979) EEG เป็นเทคนิคการบันทึกที่ไม่แพง ไม่เป็นอันตราย และไม่ซับซ้อน

EEG มีข้อดีหลายประการเมื่อเทียบกับเทคนิคการบันทึกอื่นๆ หรือการสังเกตพฤติกรรมที่แสดงออกมา ประโยชน์หลักของ EEG คือการแก้ปัญหาในเรื่องของเวลาได้อย่างยอดเยี่ยม กล่าวคือ มันสามารถบันทึกกิจกรรมทางไฟฟ้าได้หลายร้อยถึงหลายพันรายการผ่านอิเล็กโทรดหลายตัวภายในไม่กี่วินาที สิ่งนี้ทำให้ EEG เป็นเทคโนโลยีที่เหมาะสมที่สุดในการศึกษาเกี่ยวกับการประมวลผลทางพฤติกรรม ทางปัญญาและอารมณ์

แต่ในทางตรงกันข้ามกับการบันทึกทางสรีรวิทยาอื่น ๆ เช่น GSR ซึ่งมักจะต้องการเพียงอิเล็กโทรดเดียว การบันทึก EEG จะเสร็จสิ้นด้วยอิเล็กโทรดที่เรียงตัวกันบนหนังศีรษะ ซึ่งประกอบด้วยหมายเลขอิเล็กโทรดต่าง ๆ ตั้งแต่ 10 ถึง 500 ขั้วไฟฟ้า ขึ้นอยู่กับขอบเขตของการทดลอง สำหรับการใช้งานที่รวดเร็ว อิเล็กโทรดของ EEG จะถูกติดตั้งไว้บนหมวกแบบยืดหยุ่นมี

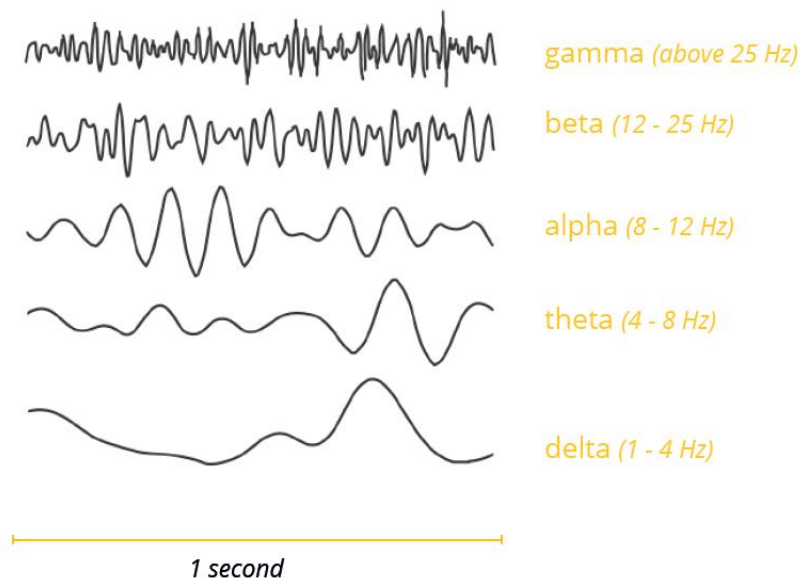


ลักษณะเป็นตาข่ายหรือแผ่นกริด(Grids) แบบแข็งเพื่อให้แน่ใจว่าข้อมูลที่ถูกบันทึกจะถูกเก็บรวบรวมจากตำแหน่งเดียวกันบนหนังศีรษะที่เหมือนกันตลอดทั้งการบันทึกผล



ภาพที่ 2.24 แสดงการบันทึกสัญญาณทางไฟฟ้าจากแต่ละอิเล็กโทรด

เซลล์ประสาทนับพันล้านเซลล์ ในสมองมนุษย์มีรูปแบบการส่งสัญญาณไฟฟ้าที่ซับซ้อนมาก ผสมผสานกันในแบบที่ค่อนข้างซับซ้อน การเกิดคลื่นไฟฟ้าสมองสามารถวัดได้ด้วย EEG ซึ่งสามารถสังเกตเห็นได้ แม้ในข้อมูลดิบที่ไม่มีการวิเคราะห์และประมวลผล อย่างไรก็ตามสัญญาณนี้มักจะมีการผสมของความถี่พื้นฐานหลายๆ ความถี่ ซึ่งมักจะสะท้อนให้เห็นถึงการรับรู้อารมณ์ หรือความตั้งใจบางอย่าง และเนื่องจากความถี่เหล่านี้แตกต่างกันเล็กน้อยขึ้นอยู่กับปัจจัยแต่ละประการ การวิจัยระบุและจัดประเภทคลื่นไฟฟ้าสมองเหล่านี้ตามช่วงความถี่ได้แก่ เดลต้า (1 - 4 Hz), เทต้า (4 - 8 Hz), อัลฟา (8 - 12 Hz), เบต้า (13 - 25 Hz) และแกมมา (> 25 Hz)



ภาพที่ 2.25 แสดงรูปแบบของคลื่นไฟฟ้าสมองจำแนกตามความถี่

เดลต้า (Delta) ช่วงความถี่อยู่ระหว่าง 1-4 เฮิร์ตซ์ จะพบในภาวะหลับลึกอาจพบได้ในช่วงตื่นได้ง่ายที่จะสับสนกับคลื่นแทรกจากกล้ามเนื้อคอและคางได้

เทต้า (Theta) ช่วงความถี่ระหว่าง 4-8 เฮิร์ตซ์ สันนิษฐานว่ามีจุดกำเนิดมาจากทาลามัสและพบร่วมกับภาวะสร้างสรรค์และสมาธิขั้นสูงบ่อยครั้งมักพบร่วมกับคลื่นความถี่อื่นที่เกี่ยวข้องกับระดับของความตื่นตัว

อัลฟา (Alpha) ช่วงความถี่อยู่ระหว่าง 8-12 เฮิร์ตซ์ มักพบบริเวณสมองส่วนหลังเป็นคลื่นที่บ่งบอกถึงการผ่อนคลายจะพบได้ในช่วงที่หลับตาสามารถกำจัดหรือทำให้คลื่นนี้ลดลงได้โดยการลืมตาฟังเสียงที่ไม่คุ้นเคยวิตกกังวลช่วงที่มีสมาธิหรือตั้งใจ

เบต้า (Beta) ช่วงความถี่อยู่ระหว่าง 13-25 เฮิร์ตซ์ มักพบในช่วงที่ตื่นร่วมกับขณะกำลังคิด ขณะให้ความสนใจ แก้ปัญหาที่เป็นรูปธรรมและพบในผู้ใหญ่ที่ไม่มีปัญหาสุขภาพ

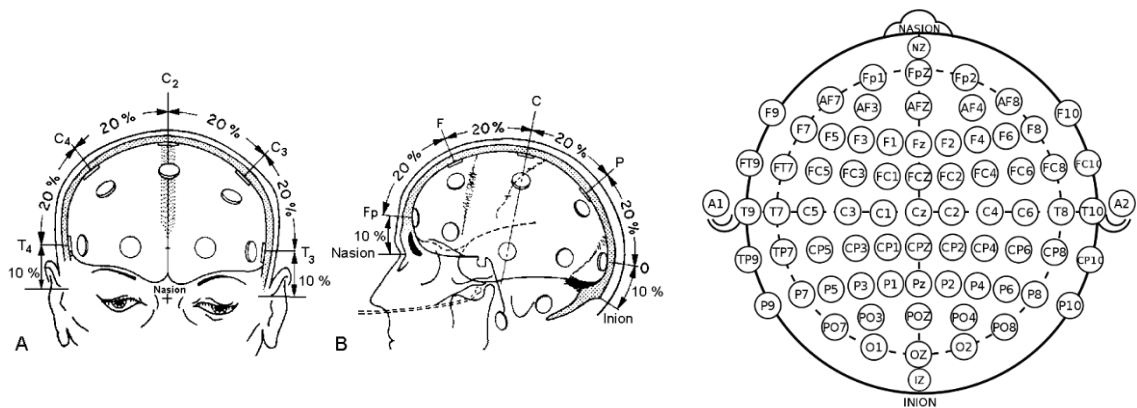
แกมมา (Gamma) ช่วงความถี่ตั้งแต่ 25 เฮิร์ตซ์ ขึ้นไปอาจถึง 45 เฮิร์ตซ์ ใช้ยืนยันผู้ที่มีโรคเกี่ยวกับสมอง

การวัด EEG ใช้ขั้วไฟฟ้าที่ติดอยู่กับหนังศีรษะเพื่อรับศักย์ไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจากสมอง โดยสามารถแนบสายไฟเข้ากับผิวหนังได้ แต่มันอาจจะทำให้การเชื่อมต่อไฟฟ้าไม่คงที่ ดังนั้นจึงต้องเลือกใช้ขั้วไฟฟ้าแบบเปียก เช่นเป็นแผ่นโลหะหรือเม็ดยาที่แนบกับผิวหนังผ่านเจลที่มีความสามารถในการนำไฟฟ้า หรือครีมโดยทั่วไปจะขึ้นอยู่กับความสามารถในการนำไฟฟ้า

การใช้งานที่ถูกต้องระหว่างอิเล็กโทรด และสารนำไฟฟ้าเป็นสิ่งสำคัญ เนื่องจากโลหะบางชนิด เมื่อผสมกับของเหลวบางชนิดอาจทำให้เกิดการกัดกร่อนที่ค่อนข้างเร็ว ทำให้ข้อมูลที่ได้เกิดความไม่แน่นอน ซึ่งภายใต้สภาวะที่เหมาะสมสำหรับผิวหนังของมนุษย์ อิเล็กโทรด และสารที่นำไฟฟ้า จะทำหน้าที่เป็นตัวเก็บประจุและลดการส่งสัญญาณความถี่ต่ำ เช่นการเปลี่ยนแปลงแรงดันไฟฟ้าที่ช้า ในช่วงความถี่เดลต้าเป็นต้น ประเภทอิเล็กโทรดแบบเปียกที่พบมากที่สุดทำจาก เงิน (Ag) ที่มีอยู่เล็กน้อยในซิลเวอร์คลอไรด์ (AgCl)

ในการใช้ อิเล็กโทรดแบบแห้ง สัมผัสกับผิวหนังโดยตรงโดยไม่ต้องใช้ เจลนำไฟฟ้า โดยทั่วไปอิเล็กโทรดแบบแห้งจะใช้งานได้เร็วกว่ามาก แต่ในทางกลับกัน มีแนวโน้มที่จะเกิดสิ่งแปลกปลอม หรือรบกวนได้ง่ายกว่า อิเล็กโทรดแบบเปียก (movement of the electrode, cap or respondent; Saab et al.,2011)

ในการวางตำแหน่งของอิเล็กโทรดบนหนังศีรษะ ระบบในการวางที่พบบ่อยที่สุดนั้นถูกนิยามโดย American Encephalographic Society (1994) และ Oostenveld & Praamstra (2001) โดยเรียกว่าระบบนี้ว่าระบบ 10-20 (10/20 International System) และ 10-5 ระบบตามลำดับ ในระบบ 10-20 อิเล็กโทรดจะอยู่ที่บริเวณ 10% และ 20% ตามเส้นลองจิจูดและละติจูดของศีรษะมนุษย์



ภาพที่ 2.26 แสดงระบบการวางตำแหน่งขั้วไฟฟ้าสากล 10/20 (10/20 International System) ในระบบ 10-20 ชื่อของอิเล็กโทรดแต่ละตัว จะเริ่มต้นด้วยหนึ่งหรือสองตัวอักษรที่ใช้ระบุส่วนของสมองหรือ lobe บริเวณที่วางอิเล็กโทรด เช่น Fp หมายถึง fronto-polar (F หมายถึง Frontal, C หมายถึง Central, P หมายถึง Parietal, O หมายถึง Occipital, T หมายถึง Temporal)

ชื่อของอิเล็กโทรดแต่ละชื่อจะลงท้ายด้วยตัวเลข หรือตัวอักษรที่ระบุระยะทางที่ไปยังเส้นกึ่งกลาง หมายเลขที่แปลกถูกใช้ในสมองซีกซ้าย แม้ในสมองซีกขวา ตัวเลขที่มากกว่าจะบ่งชี้ว่าระยะทางจากเส้นกึ่งกลางมากขึ้น โดยอิเล็กโทรดที่วางไว้บริเวณเส้นกึ่งกลาง จะถูกกำกับด้วยเครื่องหมาย “z” สำหรับศูนย์ (Zero) ยกตัวอย่างเช่น Cz หมายถึงวางอยู่บริเวณกึ่งกลางของสมอง ส่วนกลาง Fp8 หมายถึงวางไว้บริเวณสมองซีกขวาส่วนหน้าขวา T7 หมายถึงวางบริเวณขมับซ้าย

จากงานวิจัยของ Luck (2014) และ Michel รวมทั้งเพื่อนร่วมงานของเขา (2004) พบว่าไม่มีอิเล็กโทรดที่เหมาะสมที่สุดในการทดลองโดยใช้ EEG จำนวนและตำแหน่งของอิเล็กโทรดที่ใช้อาจแตกต่างกันไป ขึ้นอยู่กับรูปแบบการทดลองและผลลัพธ์ที่ต้องการ หากไม่มีแนวคิดเกี่ยวกับการศึกษากระบวนการทางสมองที่น่าสนใจ ตัวอย่างเช่น การสร้างแหล่งข้อมูลใหม่ อาจต้องการบันทึกอย่างน้อย 64 อิเล็กโทรด เพื่อทำความเข้าใจอย่างลึกซึ้งถึงแหล่งกำเนิดสัญญาณ

อย่างไรก็ตามการใช้เครื่อง EEG ทั่วไปบนหนังศีรษะของมนุษย์ ใช้ได้กับ 32 อิเล็กโทรดหรือน้อยกว่า อุปสรรคที่เลวร้ายที่สุดในการทดลองนั้นคือ การมีข้อมูลมากเกินไป ควรเริ่มต้นอิเล็กโทรดจำนวนน้อย แล้วจึงขยายเมื่อมีความเชี่ยวชาญและความรู้มากเพียงพอ ในการตั้งค่าและวิเคราะห์การวางตำแหน่งของ EEG สำหรับ 100 อิเล็กโทรดหรือมากกว่านั้น จะต้องใช้เวลามากในการตั้งค่า ดังนั้นหากไม่มีความจำเป็นมากนัก 20 อิเล็กโทรดก็เป็นจำนวนที่เหมาะสมและเพียงพอ

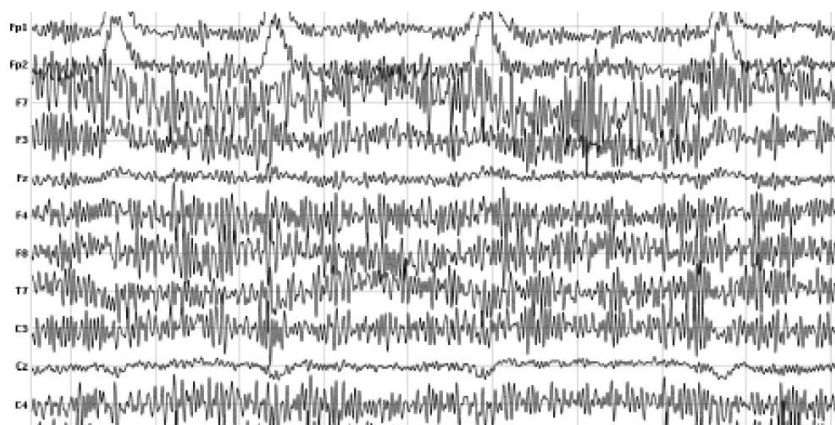
สิ่งที่ควรคำนึงถึงคือ การกระจายอิเล็กโทรด พยายามวางอิเล็กโทรดให้ทั่วหนังศีรษะ (Michel et al., 2004) เนื่องจากจะทำให้สามารถหาข้อสรุปที่เป็นรูปธรรมได้มากขึ้น ตัวอย่างเช่น มีงานวิจัยระบุว่า ผลกระทบที่คาดเดาได้ยากที่สุดในการใช้ EEG จะเกิดขึ้นในบริเวณสมองด้านซีกซ้ายด้านหน้า แต่ไม่ควรวางอิเล็กโทรดไปรวมกันไว้ที่บริเวณด้านหน้าซ้าย และละเลยพื้นที่อื่นๆ ให้ใช้อิเล็กโทรดจำนวนพอสมควร และบันทึกผลจากบริเวณอื่นของสมองด้วย ด้วยการทำเช่นนี้ ทำให้สามารถแยกการรบกวนจากสภาพแวดล้อมอื่นๆ ได้อย่างเหมาะสมและเห็นได้ชัด

การเชื่อมต่อที่เสถียรระหว่างอิเล็กโทรด และหนังศีรษะเป็นกุญแจสำคัญในการบันทึกสัญญาณไฟฟ้าจาก EEG ที่ถูกต้องและแน่นอน อย่างไรก็ตามเซลล์ผิวที่ตายแล้ว ความมันของผิว (ไขมัน) รวมทั้งเหงื่อที่สะสมอยู่บนหนังศีรษะ ล้วนแล้วแต่เป็นฉนวนต้านทานไฟฟ้า เนื่องจากพวก

มันมีความสามารถในการนำไฟฟ้าได้ไม่ดึ้นัก ดังนั้นก่อนการเข้ารับการบันทึกผล ควรสระผมให้แห้งสนิท ไม่ควรใช้ผลิตภัณฑ์ดูแลเส้นผม เช่นสเปรย์ ครีมนวดผม แวกซ์ หรือเจล เป็นต้น นอกจากนี้ให้ผู้เข้ารับการบันทึกผลไม่สวมก๊ีบหนีบผมหรือคลิปใดๆ ผมที่เปียกและการใช้ผลิตภัณฑ์บำรุงผมอื่นๆ จะทำให้ความต้านทานทางไฟฟ้าสูงขึ้น นอกจากนี้ป็นป้กผม หากไม่นำออกอาจทำให้เกิดการเชื่อมต่อระหว่างอิเล็กโทรดใกล้เคียงและยากต่อการตรวจสอบเมื่อสวมหมวก EEG แล้ว

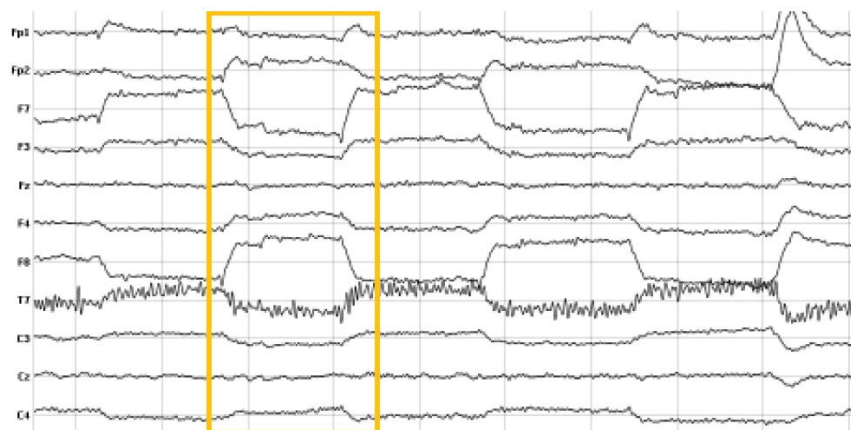
ในขั้นตอนของการรวบรวมข้อมูล และการวิเคราะห์มีสิ่งหนึ่งที่เราควรทำความเข้าใจไว้เสียก่อนนั่นคือ เมื่อทำการบันทึกข้อมูลแล้วมักจะไม่ได้ข้อมูลที่ต้องการและสมบูรณ์ทั้งหมด ควรตรวจสอบให้แน่ชัดว่า ข้อมูลที่ได้จากการบันทึกนั้นถูกต้องและสมบูรณ์มากที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ เพราะข้อมูลที่รวบรวมไว้ได้นั้น จะสะท้อนกิจกรรมสมองทั้งหมด ในทางปฏิบัติ เนื่องจากอิเล็กโทรดจะรับกิจกรรมทางไฟฟ้าจากแหล่งอื่นๆ ในสภาพแวดล้อมด้วย จึงเป็นสิ่งสำคัญที่จะต้องหลีกเลี่ยง ลดหรือควบคุมตัวแปรอื่นๆที่อาจรบกวนให้น้อยลงหรือน้อยที่สุด การรบกวนจากแหล่งอื่นๆได้แก่

1) การเคลื่อนไหวกล้ามเนื้อ (EMG, ECG) จะสร้างกระแสไฟฟ้าที่บริเวณนั้น และยิ่งกล้ามเนื้ออยู่ใกล้กับอิเล็กโทรดมากเท่าใด ก็ยิ่งส่งผลกระทบต่อการบินมากขึ้นเท่านั้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งการเคลื่อนไหวของกล้ามเนื้อใบหน้า (หน้าผาก แก้ม ปาก) กล้ามเนื้อคอ และกล้ามเนื้อกรามก็มีผลกระทบอย่างรุนแรงต่อการบันทึก EEG ดังนั้นจึงควรหลีกเลี่ยงการกััดฟัน ในทุกกรณี และแนะนำให้ผู้ใช้การบันทึกห้อยขากรรไกรล่างแบบหลวมๆ ตรวจสอบให้แน่ใจว่าผู้ใช้การบันทึก ไม่ได้เคี้ยวหมากฝรั่ง หรือกินขนมหวานระหว่างการบันทึก และเนื่องจากหัวใจก็เป็นกล้ามเนื้อจึงมีผลต่อการบันทึกข้อมูล EEG แต่เนื่องจากหัวใจไม่สามารถสั่งให้หยุดทำงานได้ จึงจำเป็นต้องมีการบันทึกสัญญาณของหัวใจ แต่เพื่อกำจัดสัญญาณรบกวนคลื่นไฟฟ้าหัวใจ เราสามารถตรวจสอบอัตราการเต้นของหัวใจได้ด้วย Optical sensor (Photoplethysmogram, PPG) หรืออุปกรณ์ ECG



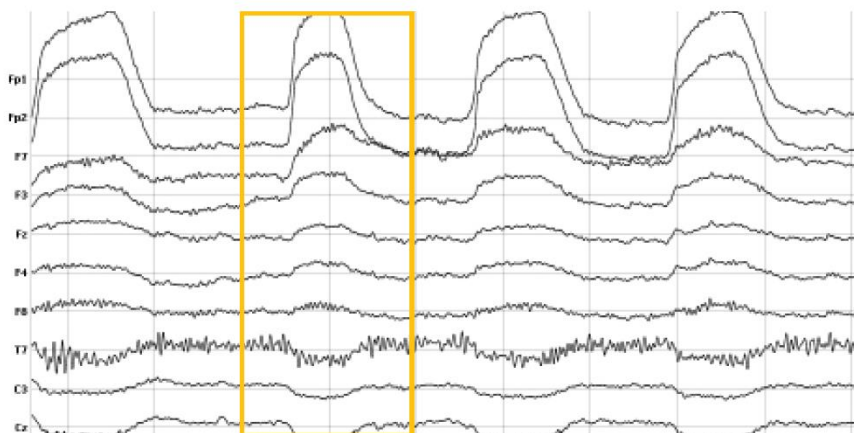
ภาพที่ 2.27 แสดงสัญญาณรบกวนจากการเคลื่อนไหวของกล้ามเนื้อ

2) การเคลื่อนไหวของดวงตา การเคลื่อนไหวของดวงตาในแนวดิ่ง หรือ ขึ้น-ลง จะทำให้คลื่นดูชันมากขึ้น ขณะที่การเคลื่อนไหวของตาในแนวนอน หรือ ซ้าย-ขวา จะทำให้คลื่นดูเป็นรูปสี่เหลี่ยมมากขึ้น ดวงตามีสนามแม่เหล็กไฟฟ้าสูงมาก เพราะเกิดจากเซลล์ประสาทที่ล้านเซลล์ ในเรตินา การเคลื่อนไหวดวงตา จะทำให้เกิดสนามไฟฟ้าที่ถูกลดทอน วิธีแก้ไขคือให้บันทึกการเคลื่อนไหวของดวงตา โดยใช้ eye tracker หรือการวาง electrode เพิ่มเติมรอบดวงตา



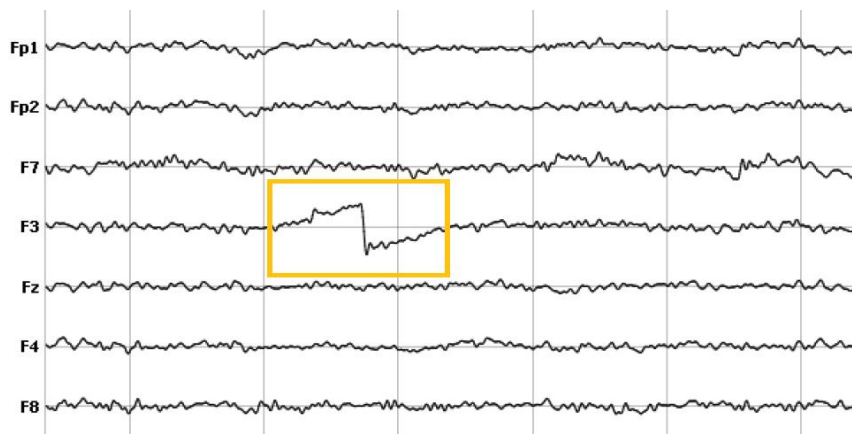
ภาพที่ 2.28 แสดงสัญญาณรบกวนจากการเคลื่อนไหวของดวงตา

3) การกะพริบตา คล้ายกับการเคลื่อนไหวของดวงตา แต่การกะพริบตา จะรบกวนสัญญาณของสมองค่อนข้างน้อย หากผู้เข้ารับการบันทึกการกะพริบตาในขณะที่บันทึก การเปลี่ยนแปลงจะปรากฏเป็นคลื่นบนคอมพิวเตอร์อย่างสังเกตเห็นได้ชัด แต่อย่างไรก็ตาม หากมีการรบกวนจากการกะพริบตานี้เป็นจำนวนมาก และเกิดขึ้นแบบไม่มีระบบตลอดการบันทึก การบันทึกนี้มีแนวโน้มที่จะไม่ถูกนำวิเคราะห์ได้ เนื่องจากข้อมูลที่ได้ มีข้อมูลที่ไม่เกี่ยวข้องเยอะเกินไป ขึ้นอยู่กับขั้นตอนทางสถิติ เช่น การลดทอน และการแก้ไข หรือการแยกแหล่งที่มาต่อไป การให้ผู้เข้ารับการบันทึกหลับตาอาจเหมาะสมกว่าในกรณีนี้



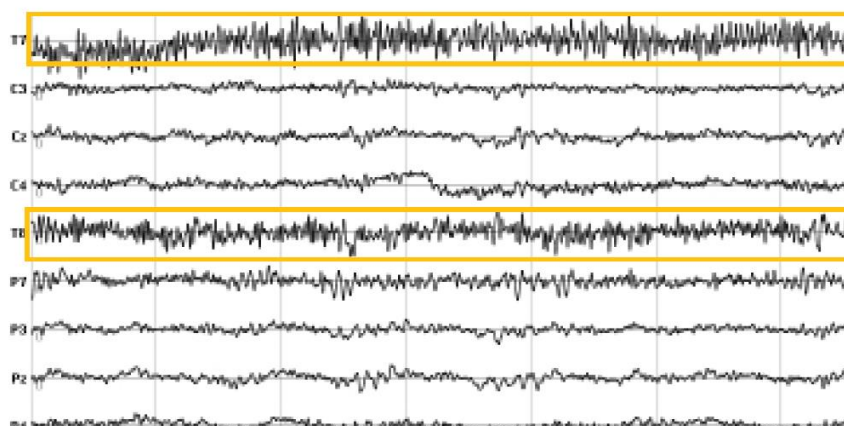
ภาพที่ 2.29 แสดงสัญญาณรบกวนจากการกะพริบตา

4) การเคลื่อนไหวของอิเล็กโทรด หรือการเคลื่อนไหวของเครื่อง EEG อาจทำให้เกิดการรบกวนอย่างรุนแรงได้ โดยที่สามารถมองเห็นได้อย่างชัดเจน อาจเป็นเพราะเครื่อง EEG หลวม อิเล็กโทรดจะขาดการเชื่อมต่อกับสมอง แนะนำให้ตรวจสอบให้แน่ใจว่าเครื่อง EEG สวมอยู่ในหัวอย่างแน่นหนา และอิเล็กโทรดทั้งหมดแนบชิดกับผิวหนัง



ภาพที่ 2.30 แสดงสัญญาณรบกวนจากการเคลื่อนไหวของอิเล็กโทรด

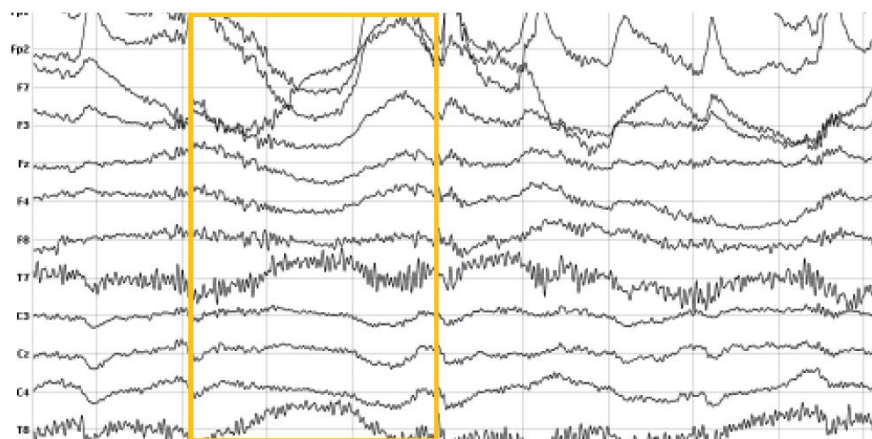
5) การรบกวนจากตัวต้านทาน (60 เฮิร์ตซ์ ในสหรัฐอเมริกา 50 เฮิร์ตซ์ ในสหภาพยุโรป) มักจะพบการรบกวนของสัญญาณที่รุนแรงในการบันทึกอิเล็กโทรด และสามารถสังเกตเห็นได้อย่างชัดเจนในข้อมูลดิบจาก EEG โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อตัวต่อความต้านทานไม่ดี การรบกวนจะรุนแรงขึ้น หากอิเล็กโทรดได้รับผลกระทบจากการรบกวนจากตัวต้านทาน การรบกวนจะถูกถ่ายทอดไปยังอิเล็กโทรดตัวอื่นทั้งหมด แต่อย่างไรก็ตามความถี่ที่เกิดขึ้นในสมองไม่ได้อยู่ในช่วง 50 หรือ 60 เฮิร์ตซ์ นั้นช่วยให้เราสามารถกรองข้อมูลเหล่านี้ตามความถี่ที่สนใจได้



ภาพที่ 2.31 แสดงสัญญาณรบกวนจากการตัวต้านทานที่ไม่ดี

6) การเคลื่อนไหวและการแกว่งศีรษะ มีผลอย่างมากต่อการบันทึก โดยเฉพาะอย่างยิ่งการแกว่งหัวหรือการหันหัว เป็นการเปลี่ยนแปลงของเหลวภายในศีรษะ ซึ่งมีผลต่อคุณสมบัติทางไฟฟ้า และสัญญาณที่เกิดจากสมอง ควรตรวจสอบให้แน่ใจว่าผู้เข้ารับการบันทึก ไม่ได้หันหัวของพวกเขาเร็วเกินไปหรือเอนหน้าขึ้นหรือลงทันที เพราะจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของข้อมูลที่ยากต่อการกรองและวิเคราะห์ระหว่างการประมวลผล





ภาพที่ 2.32 แสดงสัญญาณรบกวนจากการเคลื่อนไหวศีรษะ

เมื่อพูดถึงการวิเคราะห์ผล EEG และการแยกประเภทของสัญญาณ เพื่อแปลงข้อมูลจากข้อมูลดิบไปเป็นผลลัพธ์ ในความเป็นจริงแล้วการออกแบบกระบวนการใช้งาน EEG นั้นเป็นทักษะต้องใช้ความเชี่ยวชาญและประสบการณ์ในระดับหนึ่ง โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อต้องมีการประมวลผลสัญญาณการตรวจจับการรบกวน โดยการการลดทอน หรือการแยกลักษณะดังกล่าวออกไป ขั้นตอนเหล่านี้จำเป็นต้องมีการตัดสินใจที่ชาญฉลาด เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่ต้องการหรือตัวชี้วัดที่น่าสนใจ ในการวิเคราะห์ข้อมูลจะแบ่งเป็น 2 กลุ่มคือ

1) การวิเคราะห์ทางแกนเวลา (Time Domain Analysis) เป็นการวิเคราะห์ที่เน้นการเปลี่ยนแปลงของช่วงเวลาเป็นสำคัญ โดยจะมีแกนแนวนอน (X Axis) เวลาส่วนแกนแนวตั้งเป็นแกนของแอมพลิจูดใช้วิธีการวิเคราะห์ศักย์ไฟฟ้าสัมพันธ์กับเหตุการณ์ รูปคลื่นที่ปรากฏจะแบ่งเป็น 3 มิติคือ แอมพลิจูด เป็นตัวบ่งชี้ขนาดของคลื่นไฟฟ้าสมอง ลาเทนซี เป็นตัวบ่งชี้ของระยะเวลาที่เซลล์ประสาทได้รับการกระตุ้นจนเกิดคลื่นไฟฟ้าสมอง และตำแหน่งการกระจายของคลื่นไฟฟ้าสมอง บ่งบอกถึงรูปแบบศักย์กำลังไฟฟ้าของสมองในเวลาที่ทำการกรมนอกจากนี้ยังมีชีวิตระดับสัญญาณไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นหรือลดลงเกี่ยวกับเส้นอ้างอิงต่อสิ่งเร้า วิธีนี้มีข้อเด่นคือ สามารถวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงทางเวลาได้ละเอียด มีการประมวลผลข้อมูลที่รวดเร็ว แต่มีข้อด้อยคือ ข้อมูลที่นำมาวิเคราะห์จะต้องถูกกำหนดช่วงเวลาให้ตรงกับกิจกรรมและกรณีที่ต้องนำข้อมูลมาเฉลี่ยต้องคำนึงถึงเฟสของคลื่นตรงกัน เพื่อให้ได้รูปคลื่นออกมาถูกต้องมากที่สุด

2) การวิเคราะห์ทางแกนความถี่(Frequency Domain Analysis) เป็นการวิเคราะห์ที่เป็นการเปลี่ยนแปลงของช่วงความถี่เปลี่ยนแปลงเป็นสำคัญ โดยมีแกนแนวนอนเป็นแกนของความถี่ แกนแนวตั้งเป็นแกนของแอมพลิจูด ในการเปลี่ยนข้อมูลจากรูปแกนเวลาสู่รูปของแกนความถี่ ต้องใช้หลักการแปลงฟูเรียร์ ซึ่งเป็นวิธีที่มีการคำนวณทางคณิตศาสตร์ขั้นสูงและซับซ้อน ใช้ข้อมูลจำนวนมากรวมทั้งใช้เวลาในการประมวลผลงานในทางปฏิบัติจึงนิยมใช้ในการแปลงฟูเรียร์แบบเร็วเพราะสามารถให้ผลการคำนวณที่แม่นยำและรวดเร็ว

### 2.3.7 ความผ่อนคลาย และการฟังดนตรีเพื่อความผ่อนคลาย

คณะผู้วิจัยได้ทำการศึกษาค้นคว้างานวิจัยทางดนตรีหลายฉบับทั้งในประเทศและต่างประเทศ โดยพบว่าการศึกษาวิจัยที่ให้ข้อค้นพบที่สอดคล้องกันว่าดนตรีสามารถพัฒนามนุษย์ในด้านต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นด้านจิตใจอารมณ์สังคมสติปัญญาสุขภาพบุคลิกภาพรวมถึงประสิทธิภาพในการทำกิจกรรมและการเรียนรู้ดนตรีให้คุณประโยชน์ต่อมนุษย์มากที่สุดคือดนตรีคลาสสิกอันเป็นดนตรีที่มี

ความเป็นอมตะทรงคุณค่ามีความสมบูรณ์แบบและถือเป็นจุดสูงสุดของแนวดนตรีและคีตนิพนธ์ทั้งปวงเนื่องจากดนตรีคลาสสิกนั้นเพียบพร้อมไปด้วยองค์ประกอบทางดนตรีที่สำคัญอย่างครบถ้วนไม่ว่าจะเป็นเสียงภาษาที่กลมกล่อมท่วงทำนองที่ไพเราะรื่นหูการผสมผสานกันอย่างกลมกลืนของเสียงดนตรีและเครื่องดนตรีทุกประเภทและส่วนจังหวะและอัตราจังหวะที่หลากหลายและแตกต่างกันไปแต่รักบทเพลงคว่าละนิดบรรจงในการประพันธ์และการถ่ายทอดอารมณ์ที่ลึกซึ้งปัจจัยเหล่านี้ล้วนส่งผลให้ผู้ที่ได้รับการดนตรีคลาสสิกเกิดการพัฒนาด้านต่างๆมากมายไม่ว่าบุคคลนั้นจะอยู่ในช่วงอายุใด

## 2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### 2.4.1 อัญชนา จุลศิริ และเสรี ชัด

แฉ่ม (2556) ศึกษาผลของการฟังดนตรีไทยเดิมที่ฟังพอใจต่อการเพิ่มศักยภาพความจำขณะคิดในผู้สูงอายุ เพื่อศึกษาและ สืบเคราะห์ลักษณะของดนตรีไทยเดิมที่ส่งผลต่อการเพิ่มความจำขณะคิดชี้ให้เห็นว่า การฟังดนตรีไทยเดิมที่ฟังพอใจ จะช่วยกระตุ้นสมองหลาย ๆ ส่วน และช่วยเพิ่มศักยภาพด้านความจำขณะคิดของผู้สูงอายุ

2.4.2 วีรกร พงษ์วัน และศรีสุภา ดวงลา (2559) ศึกษาผลของการฟังบทสวดมนต์ฟังสมาธิต่อการผ่อนคลายผ่านการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของกิจกรรมทางประสาทด้วยเครื่องตรวจคลื่นไฟฟ้าสมอง EEG เพื่อศึกษาว่าการฟังบทสวดมนต์ทำสมาธิ ก่อให้เกิดการผ่อนคลายขึ้นในระดับสมองหรือไม่ โดยพบว่า เมื่อใช้เครื่องตรวจคลื่นไฟฟ้าสมองในการวัดกิจกรรมทางประสาท ผู้เข้าร่วมการวิจัยมีการเปลี่ยนแปลงของคลื่นอัลฟาเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

2.4.3 สิริลักษณ์ ศรีเศเวต และทิพวัลย์ ดารามาศ (2556) ศึกษาผลของเสียงเพลงโมสาร์ทต่ออัตราการเต้นของหัวใจ อัตราการหายใจ ค่าความอิ่มตัวของออกซิเจนในเลือด และระยะเวลาการนอนหลับในทารกแรกเกิดก่อนกำหนด โดยพบว่าเพลงโมสาร์ทสามารถช่วยให้ทารกผ่อนคลายและสุขสบายและระบบประสาทพาราซิมพาเทติกจะทำงานมากขึ้น มีผลต่อร่างกายและจิตใจโดยตรง

2.4.4 ปิยวรรณ ถนัดธนศิลป์, สุชาดา กรเพชรปานิ และปริญญา เรืองทิพย์ (2560) ศึกษาการเพิ่มความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ด้วยกิจกรรมการติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบสามมิติ สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย: การศึกษาค้นคว้าอิสระ โดยพบว่ากลุ่มทดลองที่ใช้รูปแบบการฝึกสมองด้วยกิจกรรมติดตามวัตถุเคลื่อนที่แบบสามมิติที่พัฒนาขึ้น มีความสามารถด้านมิติสัมพันธ์เพิ่มขึ้น โดยวัดด้วยการศึกษาค้นคว้าอิสระ

2.4.5 Bilal Ahmad Bhat, Muhammad Ashraf Wani, Nusrat, Sidrat Ul Muntaha Anees ศึกษาและรวบรวมความรู้ที่เกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่างคณิตศาสตร์และดนตรีที่ได้มีการศึกษากันมาอย่างยาวนานกว่าสองพันปีมาแล้วและมีความเกี่ยวข้องกับบุคคลหลายร้อยคนตั้งแต่นักคณิตศาสตร์ นักดนตรีไปจนถึง นักทฤษฎีเพลงต่างๆ การศึกษาพบว่าคณิตศาสตร์และดนตรีมีความสัมพันธ์กัน ผลที่ได้ในการศึกษาสอดคล้องกับการศึกษาที่มีมาก่อนหน้านี้ที่เกิดจากการศึกษากันมาทั่วโลก และเป็นสิ่งที่น่าสนใจอย่างไม่น่าเชื่อ

2.4.6 Janelle K. Hammond (2011) ศึกษาคณิตศาสตร์ของดนตรีเพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างคณิตศาสตร์และดนตรี ที่มักได้รับการกล่าวกันว่าคณิตศาสตร์และดนตรีนั้นมีการเชื่อมต่อกัน



อย่างลึกซึ้งถึงรากเหง้า แต่ก็ดูเหมือนจะไม่มีผู้ใดสามารถอธิบายได้ โดยเน้นไปในเรื่องของ การวิเคราะห์ฟูรีเยร์ โดยพบว่าในดนตรีนั้นมีคณิตศาสตร์อยู่เบื้องหลังในเพลงตะวันตกทั้งหมดมีการใช้อัตราส่วนในเรื่องของจังหวะ เวลาเป็นอย่างดี

## บทที่ 3

### วิธีดำเนินการทดลอง

#### 3.1 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

3.1.1 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง ได้แก่ เพลง A Little Night in G major, เพลง Nocturne No.20 in C-sharp minor, เพลง Moonlight Sonata in C Sharp Minor

3.1.2 เครื่องมือคัดกรองกลุ่มตัวอย่าง คือ แบบสอบถาม แบบทดสอบความคุ้นเคยในการฟังดนตรีต่างๆ

3.1.3 เครื่องตรวจคลื่นไฟฟ้าสมอง EMOTIV EPOC+ 14 Channel Mobile EEG

3.1.4 เครื่องมือป้องกันการเกิดอาการเพลงติดหู (Ear worm) คือ ปริศนาอักษรไขว้ ปัญหาเขาวงกต หมากรุก การกระตุ้นความทรงจำระดับกลาง

3.1.5 โปรแกรม Microsoft Excel

3.1.6 โปรแกรม GeoGebra

3.1.7 โปรแกรม EmotivPRO

#### 3.2 ขั้นตอนการดำเนินงาน

3.2.1 การศึกษารูปแบบความสัมพันธ์เชิงตรีโกณมิติของคอร์ดเพลงนามสกุล Major, Minor

1) ศึกษาค้นคว้าหาข้อมูลเกี่ยวกับคอร์ดของดนตรีต่างๆ รวบรวมข้อมูลคอร์ดเพลงนามสกุล Major, Minor

2) นำความถี่ในแต่ละตัวโน้ตแทนค่าลงในสมการคลื่นเสียงฟังก์ชันตรีโกณมิติคือ

$$y(t) = \sin(2\pi ft)$$

3) ใช้โปรแกรม GeoGebra ในการหารูปแบบที่เกิดจากจำนวนคลื่นของแต่ละตัวโน้ตในคอร์ดเพลง มาตัดกัน ณ แอมพลิจูดเป็น 0 กับช่วงเวลาใดๆ

4) สรุปและอภิปรายผล โดยแบ่งเป็นดนตรีนามสกุล Major, Minor และเพลงที่มีคอร์ดแบบผสมผสาน

3.2.2 เพื่อหาความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ในรูปแบบของอัตราส่วนของคอร์ดเพลงในแต่ละเพลง

1) นำผลการวิเคราะห์รูปแบบของคอร์ด จากข้อ 3.2.1 มาแยกแยะและหาอัตราส่วนในแต่ละเพลง

2) สรุปและอภิปรายผลออกมาเป็นรูปแบบของแผนภูมิรูปร่างกลมแสดงความสัมพันธ์

3.2.3 การศึกษาและเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงของคลื่นไฟฟ้าสมองที่มีผลต่อความผ่อนคลาย ขณะฟังเพลงที่มีคอร์ด Major , Minor และเพลงที่มีคอร์ดแบบผสมผสาน

1) คัดเลือกกลุ่มตัวอย่างมาจำนวน 5 คน ด้วยเครื่องมือคัดกรองกลุ่มตัวอย่าง โดยกลุ่มตัวอย่างเป็นนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนวิทยาศาสตร์จุฬาราชวิทยาลัย ปทุมธานี ปีการศึกษา 2561 เพศชายและเพศหญิง อายุระหว่าง 16-18 ปี ที่อาสาสมัครเข้าร่วมโครงการวิจัยด้วยความเต็มใจและมีคุณสมบัติตามเกณฑ์ที่กำหนดได้แก่ ผู้มีสุขภาพดี เป็นผู้ไม่มีความบกพร่องในการแยกแยะและออกเสียงตามระดับเสียงต่าง ๆ ตั้งแต่กำเนิด (congenital amusia) มีการได้ยินที่ปกติ รวมถึงไม่เคยได้รับการตรวจการทำงานของสมองด้วยเครื่องตรวจคลื่นไฟฟ้า EEG ขณะฟังเพลง Major, Minor และเพลงที่มีคอร์ดแบบผสมผสาน

2) วัดขนาดศีรษะของกลุ่มตัวอย่าง เพื่อหาตำแหน่งสำหรับวางขั้วไฟฟ้าบนหนังศีรษะในตำแหน่งต่าง ๆ กัน ซึ่งตำแหน่งที่วางเป็นไปตามมาตรฐานสากล

3) ทำความสะอาดหนังศีรษะบริเวณที่จะวางขั้วไฟฟ้าด้วยแอลกอฮอล์

4) วางขั้วไฟฟ้าบนหนังศีรษะในแต่ละตำแหน่งจนครบตามวิธีมาตรฐานสากล และใช้ Silver Chloride (AgCl) ฉีดเข้าไปบริเวณตำแหน่งที่วางขั้วไฟฟ้า และตรวจสอบแรงต้านทานไฟฟ้าของขั้วไฟฟ้าในแต่ละตำแหน่งด้วยระบบคอมพิวเตอร์ โดยแรงต้านทานไฟฟ้าต้องอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน

5) หลังจากนั้นปิดไฟ ให้กลุ่มตัวอย่างหลับตา พร้อมกับการเปิดเครื่องตรวจ และทำการบันทึกภาพคลื่นไฟฟ้าสมอง โดยใช้ระบบคอมพิวเตอร์ในการบันทึกภาพคลื่นไฟฟ้าสมอง

6) เปิดเพลงที่มีรูปแบบที่แตกต่างกัน 3 เพลงได้แก่ เพลงที่มีคอร์ด Major, Minor และเพลงที่มีคอร์ดแบบผสมผสาน ในระหว่างการบันทึกคลื่นไฟฟ้าสมองจนจบเพลง

7) ในช่วงระยะเวลาระหว่างการเปลี่ยนรูปแบบของเพลง ให้กลุ่มตัวอย่างทำกิจกรรมเพื่อลดอารมณ์ที่ยังตกค้าง หรืออาการที่สมองยังคงจดจำเสียงดนตรีได้ในความจำระยะสั้น (Ear worm) ออกไป เช่น การแก้โจทย์ปัญหา การเคี้ยวหมากฝรั่ง การเสี่ยงทายกับปัญหาต่างๆ และการกระตุ้นความทรงจำระยะยาว

8) เมื่อทำการทดลองครบทั้ง 3 เพลงแล้ว ถอดขั้วไฟฟ้าบนหนังศีรษะของผู้ถูกทำการทดลองออก แล้วทำความสะอาดหนังศีรษะ

8) ทำการทดลองเช่นนี้กับกลุ่มตัวอย่างทุกคนจนครบ

9) ตรวจสอบความถูกต้องครบถ้วนของข้อมูลก่อนนำมาวิเคราะห์ทางสถิติต่อไป

## บทที่ 4

### ผลการทดลอง

#### 4.1 การศึกษารูปแบบความสัมพันธ์เชิงตรีโกณมิติของคอร์ดเพลงนามสกุล Major, Minor

รูปแบบความสัมพันธ์ของคอร์ด Major ทั้งหมด และคอร์ด Minor ทั้งหมดได้รูปแบบที่เหมือนกัน กล่าวคือ เกิดรูปแบบการตัดกันของคาบเวลาของแต่ละตัวโน้ต เหมือนกันทุกคอร์ด คือ คอร์ด Major เกิดรูปแบบการตัดกันของคาบเวลาของแต่ละตัวโน้ตที่ 2, 2.5, 3 คาบตามลำดับ ส่วนคอร์ด Minor เกิดรูปแบบการตัดกันของคาบเวลาของแต่ละตัวโน้ตที่ 8, 9.5, 11 คาบตามลำดับ แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 4.1 แสดงแอมพลิจูด เวลา และคาบที่เกิดจุดตัดของคอร์ด Major ทั้งหมด

ประเภทของคอร์ด Major	จุดตัด	x	y	คาบ
C Major	A	0.007601	-0.000053	2
	B	0.007618	-0.000087	2.5
	C	0.007692	0.000097	3
	X bar	0.007637	-0.000014	
	SD	0.000040	0.000080	
D Major	A	0.006777	-0.000047	2
	B	0.006790	-0.000077	2.5
	C	0.006849	0.000086	3
	X bar	0.006806	-0.000013	
	SD	0.000031	0.000071	
E Major	A	0.006040	-0.000042	2
	B	0.006037	-0.000034	2.5
	C	0.006024	-0.000076	3
	X bar	0.006034	-0.000051	
	SD	0.000007	0.000018	
F Major	A	0.005703	-0.000060	2
	B	0.005705	-0.000065	2.5
	C	0.005714	-0.000036	3
	X bar	0.005708	-0.000054	
	SD	0.000005	0.000013	

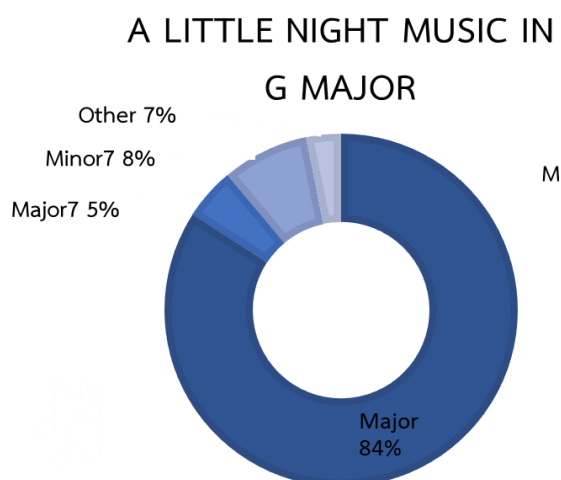
G Major	A	0.005068	-0.000085	2
	B	0.005074	-0.000104	2.5
	C	0.005102	0.000000	3
	X bar	0.005081	-0.000063	
	SD	0.000015	0.000045	
A Major	A	0.004527	-0.000051	2
	B	0.004534	-0.000075	2.5
	C	0.004566	0.000057	3
	X bar	0.004543	-0.000023	
	SD	0.000017	0.000058	
B Major	A	0.004032	-0.000051	2
	B	0.004038	-0.000074	2.5
	C	0.004065	0.000051	3
	X bar	0.004045	-0.000024	
	SD	0.000014	0.000054	

ตารางที่ 4.2 แสดงแสดงแอมพลิจูด เวลา และคาบที่เกิดจุดตัดของคอร์ด Minor ทั้งหมด

ประเภทของคอร์ด Minor	จุดตัด	x	y	คาบ
C Minor	A	0.030541	0.000011	8
	B	0.030583	-0.000071	9.5
	C	0.030769	0.000377	12
	X bar	0.030631	0.000106	
	SD	0.000099	0.000195	
D Minor	A	0.027216	0.000010	8
	B	0.027250	-0.000064	9.5
	C	0.027397	0.000338	12
	X bar	0.027288	0.000095	
	SD	0.000079	0.000174	
E Minor	A	0.024238	-0.000009	8
	B	0.024266	-0.000078	9.5
	C	0.024390	0.000302	12
	X bar	0.024298	0.000072	
	SD	0.000066	0.000165	

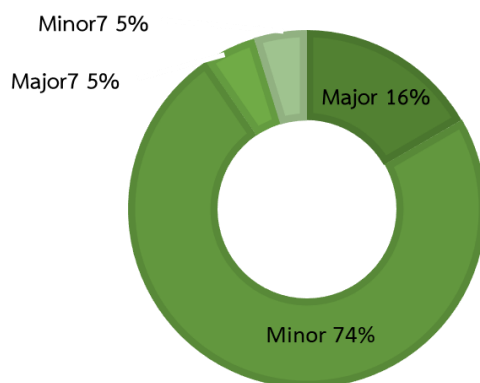
F Minor	A	0.022897	-0.000013	8
	B	-0.227094	-0.000999	9.5
	C	0.022857	-0.000143	12
	X bar	-0.060447	-0.000385	
	SD	0.117838	0.000437	
G Minor	A	0.020398	-0.000036	8
	B	0.020396	-0.000029	9.5
	C	0.020408	0.000000	12
	X bar	0.020401	-0.000022	
	SD	0.000005	0.000016	
A Minor	A	0.018159	-0.000095	8
	B	0.018154	-0.000078	9.5
	C	0.018182	0.000000	12
	X bar	0.018165	-0.000058	
	SD	0.000012	0.000041	
B Minor	A	0.016190	-0.000123	8
	B	0.016144	0.000046	9.5
	C	0.016393	0.000734	12
	X bar	0.016242	0.000219	
	SD	0.000108	0.000370	

#### 4.2 เพื่อหาความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ในรูปแบบของอัตราส่วนของคอร์ดเพลงในแต่ละเพลง



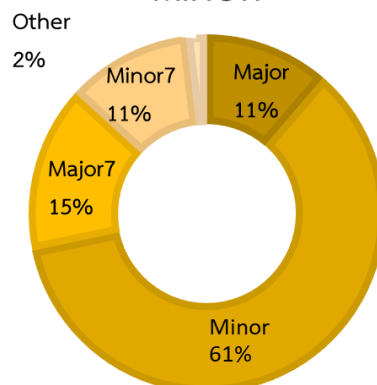
ภาพที่ 4.1 แสดงผลการหาอัตราส่วนของคอร์ดเพลงใน A little Night Music in G Major

### N MOONLIGHT SONATA IN C SHARP MINOR



ภาพที่ 4.2 แสดงผลการหาอัตราส่วนของคอร์ดเพลงใน Moonlight Sonata in C Sharp Minor

### NOCTURNE IN C SHARP MINOR



ภาพที่ 4.3 แสดงผลการหาอัตราส่วนของคอร์ดเพลงใน Nocturne in C sharp Minor

### 4.3 เพื่อเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงของคลื่นไฟฟ้าสมองที่มีผลต่อความผ่อนคลาย ขณะฟังเพลงที่มีคอร์ด Major, Minor และเพลงที่มีคอร์ดแบบผสมผสาน

ตารางที่ 4.3 แสดงค่าความผ่อนคลายที่เกิดขึ้นขณะฟังเพลง A little Night Music in G Major

Sample 1	Sample 2	Sample 3	Sample 4	Sample 5
Relaxation				
23.83	31.39	42.19	31.33	22.3
Average 30.22				

ตารางที่ 4.4 แสดงค่าความผ่อนคลายที่เกิดขึ้นขณะฟังเพลง Moonlight Sonata in C Sharp Minor

Sample 1	Sample 2	Sample 3	Sample 4	Sample 5
Relaxation				
26.68	49.59	39.89	22.11	28.14
Average 33.28				

ตารางที่ 4.5 แสดงค่าความผ่อนคลายที่เกิดขึ้นขณะฟังเพลง Nocturne in C sharp Minor

Sample 1	Sample 2	Sample 3	Sample 4	Sample 5
Relaxation				
22.72	67.41	60.59	24.34	57.28
Average 46.47				



## บทที่ 5

### สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการทดลอง

##### 5.1.1 การศึกษารูปแบบความสัมพันธ์เชิงตรีโกณมิติของคอร์ดเพลงนามสกุล Major, Minor

รอบของจุดตัดของคลื่นความถี่ของโน้ตในคอร์ดเพลงต่างๆ ของคอร์ดเพลงนามสกุล Major จะเกิดรอบของจุดตัดของคลื่นความถี่ที่จุดเดียวกัน โดยมีรอบความยาวคลื่นเป็น 2, 2.5, 3 รอบตามลำดับ คอร์ดเพลงนามสกุล Minor จะเกิดจุดตัดของความยาวคลื่นที่จุดเดียวกันเช่นกัน โดยจะมีรอบความยาวคลื่นเป็น 8, 9.5, 12 รอบตามลำดับ

##### 5.1.2 เพื่อหาความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ในรูปแบบของอัตราส่วนของคอร์ดเพลงในแต่ละเพลง

เพลง A little night music in G Major มีอัตราส่วนคอร์ดเพลงนามสกุล Major : Major7 : Minor : Minor7 : อื่นๆ อยู่ที่ 84 : 5 : 0 : 8 : 7 ตามลำดับ เพลง Moonlight Sonata in C sharp minor มีอัตราส่วนคอร์ดเพลงนามสกุล Major : Major7 : Minor : Minor7 : อื่นๆ อยู่ที่ 16 : 5 : 74 : 5 : 0 ตามลำดับ และเพลง Nocturne in C sharp Minor มีอัตราส่วนคอร์ดเพลงนามสกุล Major, Major7, Minor, Minor7 และอื่น ๆ อยู่ที่ 11 : 15 : 61 : 11 : 2 ตามลำดับ

##### 5.1.3 การศึกษาและเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงของคลื่นไฟฟ้าสมองที่มีผลต่อความผ่อนคลาย ขณะฟังเพลงที่มีคอร์ด Major ,Minor และเพลงที่มีคอร์ดแบบผสมผสาน

เพลง A little night music in G Major มีค่าเฉลี่ยของความผ่อนคลายอยู่ที่ 30.22 เพลง The Moonlight Sonata in C Sharp Minor มีค่าเฉลี่ยของความผ่อนคลายอยู่ที่ 33.28 และเพลง the Nocturne in C sharp minor มีค่าเฉลี่ยของความผ่อนคลายอยู่ที่ 46.47 ซึ่งสามารถสรุปได้ว่า เพลง the Nocturne in C sharp minor เป็นเพลงที่ทำให้เกิดค่าเฉลี่ยของความผ่อนคลายมากที่สุด

#### 5.2 อภิปรายผลการทดลอง

##### 5.2.1 การศึกษารูปแบบความสัมพันธ์เชิงตรีโกณมิติของคอร์ดเพลงนามสกุล Major, Minor

รอบของจุดตัดของคลื่นความถี่ของโน้ตในคอร์ดเพลงต่างๆ ของคอร์ดเพลงนามสกุล Major และ Minor จะเกิดรอบของจุดตัดของคลื่นความถี่ที่จุดเดียวกันทั้งคู่ แต่มีรูปแบบจำนวนรอบที่ไม่เหมือนกันเพราะ โน้ตสามตัวที่ประกอบกันเป็นทริยแอดหรือคอร์ดของคอร์ดนามสกุล Major มี

ความถี่ที่ต่างกันน้อยกว่า โน้ตในคอร์ดนามสกุล Minor ส่งผลรูปแบบของคอร์ด Major กับ Minor ต่างกัน

### 5.1.2 เพื่อหาความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ในรูปแบบของอัตราส่วนของคอร์ดเพลงในแต่ละเพลง

เพลงที่มีอัตราส่วนของคอร์ดเพลงนามสกุล Major เยอะกว่า Minor หรือ Minor เยอะกว่า Major นั้นขึ้นอยู่กับลักษณะการประพันธ์ และยุคสมัยของการประพันธ์ของผู้ประพันธ์เพลงนั้นๆ โดยพบว่า เพลงที่มีอัตราส่วนของคอร์ดเพลงนามสกุล Major เยอะกว่า Minor คือเพลง A little night music in G Major มีผู้ประพันธ์คือ Wolfgang Amadeus Mozart ซึ่งเป็นนักประพันธ์ดนตรีในยุคคลาสสิก จึงทำให้ในดนตรีมีคอร์ดเพลง Major มากกว่า Minor ส่วนเพลงที่มีอัตราส่วนของคอร์ดเพลงนามสกุล Minor เยอะกว่า Major คือเพลง Moonlight Sonata in C sharp minor และ Nocturne in C sharp Minor มีผู้ประพันธ์คือ Ludwig van Beethoven และ Frédéric François Chopin ตามลำดับ ซึ่งเป็นนักประพันธ์ดนตรีในยุคปลายคลาสสิกจนถึงยุคโรแมนติก และยุคโรแมนติก ตามลำดับ นั้นจึงส่งผลให้ดนตรีมีอัตราส่วนของคอร์ดเพลงแตกต่างกัน

### 5.1.3 การศึกษาและเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงของคลื่นไฟฟ้าสมองที่มีผลต่อความผ่อนคลาย ขณะฟังเพลงที่มีคอร์ด Major ,Minor และเพลงที่มีคอร์ดแบบผสมผสาน

จากผลการทดลอง พบว่าเพลงที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของคลื่นไฟฟ้าสมองที่มีผลต่อความผ่อนคลายมากที่สุดคือ เพลง Nocturne in C sharp Minor ซึ่งจากผลการทดลองตอนการศึกษารูปแบบความสัมพันธ์เชิงตรีโกณมิติของคอร์ดเพลงนามสกุล Major, Minor และการหาความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ในรูปแบบของอัตราส่วนของคอร์ดเพลงในแต่ละเพลงที่พบว่า เพลง Nocturne in C sharp Minor มีอัตราส่วนของคอร์ดเพลงนามสกุล Major และ Minor ที่ใกล้เคียงกันมากที่สุด ดังนั้นจึงสามารถอธิบายได้ว่า เพลงที่มีแนวโน้มจะทำให้เกิดความผ่อนคลายมากที่สุดเมื่อฟังแล้วคือ เพลงที่มีอัตราส่วนของคอร์ดเพลงนามสกุล Major และ Minor ใกล้เคียงกันมากที่สุด เพราะสาเหตุที่คอร์ดทั้งสองรูปแบบทำให้เกิดอารมณ์ที่แตกต่างกัน เมื่อถูกประพันธ์ร่วมกันแล้วในเพลงๆเดียวแล้ว จึงทำให้เกิดความเปลี่ยนแปลงทางอารมณ์ที่เรียกว่าความผ่อนคลายได้

## 5.3 ข้อเสนอแนะ

5.3.1 สามารถเพิ่มเติมในการหารูปแบบความสัมพันธ์เชิงตรีโกณมิติของคอร์ดเพลงแบบ major7 minor7 และอื่นๆได้

5.3.2 สามารถหารูปแบบความสัมพันธ์อื่นๆได้อีกมากมายไม่เพียงแต่รูปแบบความสัมพันธ์เชิงตรีโกณมิติ

5.3.3 ในการหารูปแบบความสัมพันธ์ระหว่างห้องเพลง และอัตราส่วนของคอร์ดเพลงในแต่ละเพลง ควรสืบค้นสิ่งที่สามารถนำมาอธิบายได้ว่าเหตุใดจึงมีอัตราส่วนเช่นนั้น

## บรรณานุกรม

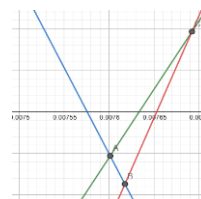
- ยีน ภู่วรรณ. (ม.ป.ป.). **คณิตศาสตร์กับดนตรี**. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : [https://web.ku.ac.th/schoolnet/snet2/knowledge\\_math/math\\_music.htm](https://web.ku.ac.th/schoolnet/snet2/knowledge_math/math_music.htm). [7 กุมภาพันธ์ 2561].
- รอบทิศ ไวยสุศรี. (2014). **การใช้เทคนิคบริหารสมองเพื่อเพิ่มผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน**. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <http://libdoc.dpu.ac.th/research/153530.pdf>. [15 ธันวาคม 2560].
- Anita Collins. (2014). **How playing an instrument benefits your brain**. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <https://ed.ted.com/lessons/how-playing-an-instrument-benefits-your-brain-anita-collins>. [13 มกราคม 2561].
- Natalya St. Clair. (2014). **Music and math: The genius of Beethoven**. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <https://ed.ted.com/lessons/music-and-math-the-genius-of-beethoven-natalya-st-clair>. [18 มกราคม 2561].
- ไขแสง ศุขะวัฒน์. (2554). **สังคีตนิยมว่าด้วยดนตรีตะวันตก**. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: วิ.พรินท์.
- ณัชชา พันธุ์เจริญ. (2555). **ทฤษฎีดนตรี**. พิมพ์ครั้งที่ 11. กรุงเทพฯ: เกศกะรัต.
- ณรุทธิ์ สุทธิจิตต์. (2555). **สังคีตนิยม ความซาบซึ้งในดนตรีตะวันตก**. พิมพ์ครั้งที่ 11. กรุงเทพฯ: แอคทีฟ พรินท์.
- ดำรงศั ทิพย์โยธา. (2550). **โลกตรีโกณมิติ**. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ธนาภรณ์ ภัทราภรณ์. (2556). **ตรีโกณมิติ**. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: วิ.พรินท์.
- สมนึก อุ่นแก้ว. (2555). **ทฤษฎีดนตรี**. พิมพ์ครั้งที่ 9. กรุงเทพฯ: เอเชียเพรส.
- สุชา คำณนทรัพย์ พ.บ., มนธนา บุญตระกูลพูนทวี พ.บ., อภิชนา ไชวินทะ พ.บ., (2558). **ประสิทธิผลจากการใช้เครื่องกระตุ้นเส้นประสาทด้วยไฟฟ้า (ยี่ห้อเดนดี) ต่อการใช้พลังงานในการเดินของผู้ป่วยโรคหลอดเลือดสมองในระยะกึ่งเฉียบพลันที่มีปัญหาเท้าตก: การวิจัยนำร่อง**. ว.ว. เวชศาสตร์ฟื้นฟู, อ.ว. เวชศาสตร์ฟื้นฟู. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- รามสุริ สิตลายัน. (2015). เบโทเฟ่น มูนไลท์ โซนาตา การตีความ และแนวทางการบรรเลง. **วารสารดนตรีรังสิต**. 10(1). สืบค้นเมื่อ 6 กุมภาพันธ์ 2561, จาก <http://www.kmutt.ac.th>
- Ashby, F. G., Isen, A. M., & Turken, A.U. (1999). A neuropsychological theory of positive affect and its influence on cognition. *Psychological Review*, 106(3), 529-550.
- Koelsch, S. (2010). Towards a neural basis of music evoked emotions. *Trends in Cognitive Sciences*, 14(3), 131-137.
- Bilal Ahmad Bhat. (2015). A STUDY ON RELATIONSHIP BETWEEN MATHEMATICS AND MUSIC, 1(2), 100-108.

- Saloni Shah. (2010). An Exploration of the Relationship between Mathematics and Music, Manchester Institute for Mathematical Sciences School of Mathematics,
- Janelle K. Hammond. (2011). Mathematics of Music, UW-L Journal of Undergraduate Research XIV.
- IMotions. 2017. EEG The Complete Pocket Guide. iMotions Biometric Research Platform

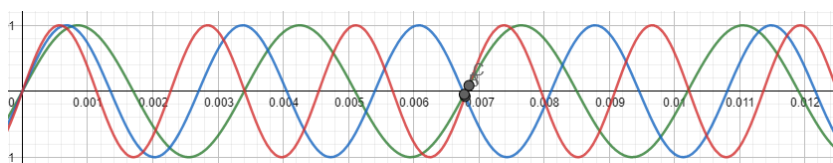
## ภาคผนวก ก.



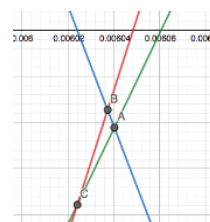
ผ.1 รูปแบบของคอร์ด C major



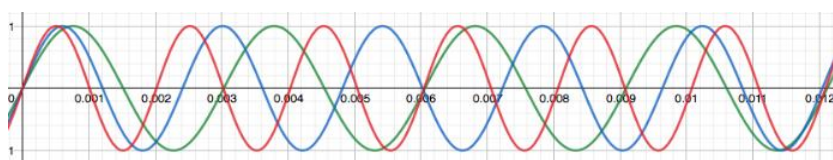
ผ.2 ภาพขยายจุดตัดของคอร์ด Cmajor



ผ.3 รูปแบบของคอร์ด D major



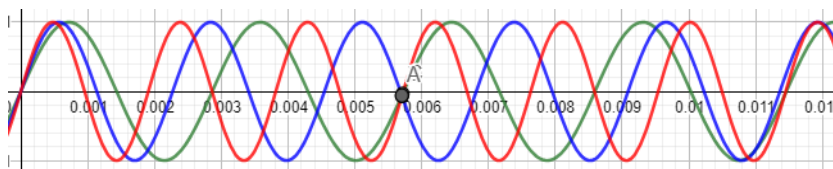
ผ.4 ภาพขยายจุดตัดของคอร์ด D major



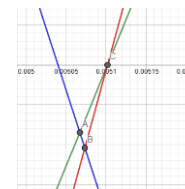
ผ.5 รูปแบบของคอร์ด E major



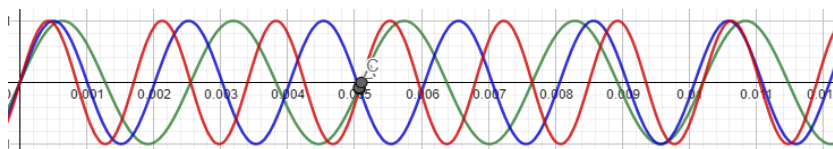
ผ.6 ภาพขยายจุดตัดของคอร์ด E major



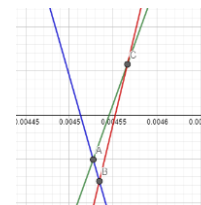
ผ.7 รูปแบบของคอร์ด F major



ผ.8 ภาพขยายจุดตัดของคอร์ด F major

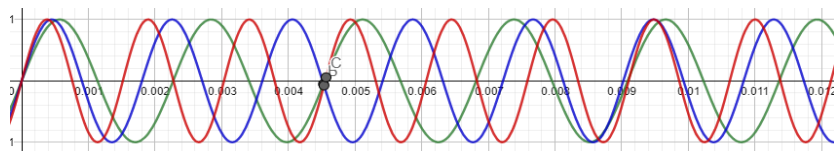


ผ.9 รูปแบบของคอร์ด G major

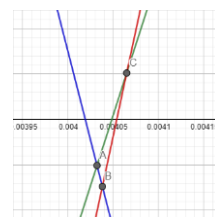


ผ.10 ภาพขยายจุดตัดของคอร์ด Gmajor

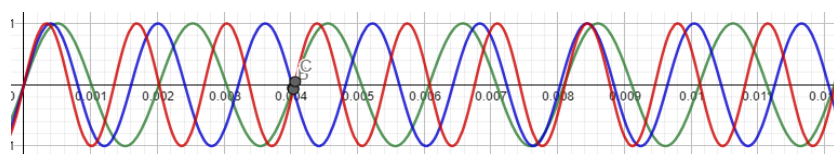
## ภาคผนวก ก. (ต่อ)



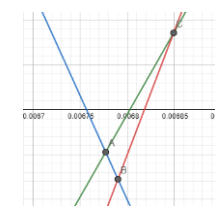
ผ.11 รูปแบบของคอร์ด A major



ผ.12 ภาพขยายจุดตัดของคอร์ด A major



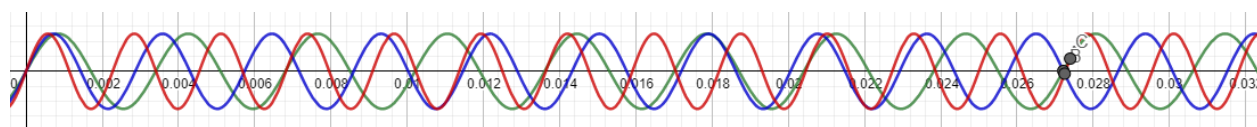
ผ.12 รูปแบบของคอร์ด B major



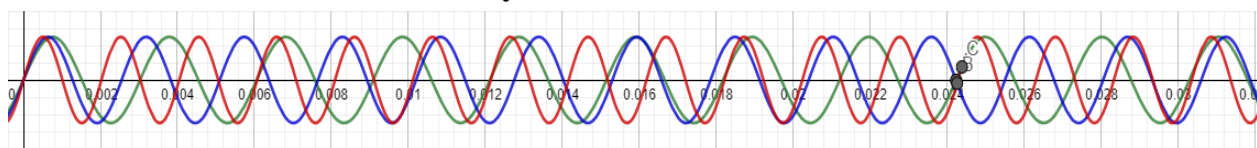
ผ.14 ภาพขยายจุดตัดของคอร์ด B major



ผ.15 รูปแบบของคอร์ด C minor



ผ.16 รูปแบบของคอร์ด D minor

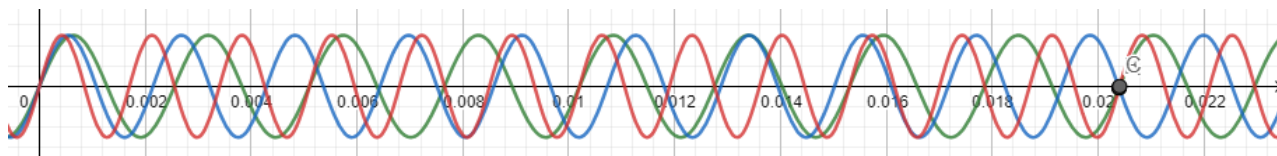


ผ.17 รูปแบบของคอร์ด E minor

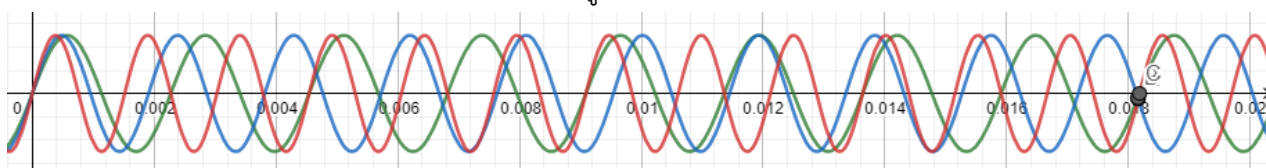


ผ.18 รูปแบบของคอร์ด F minor

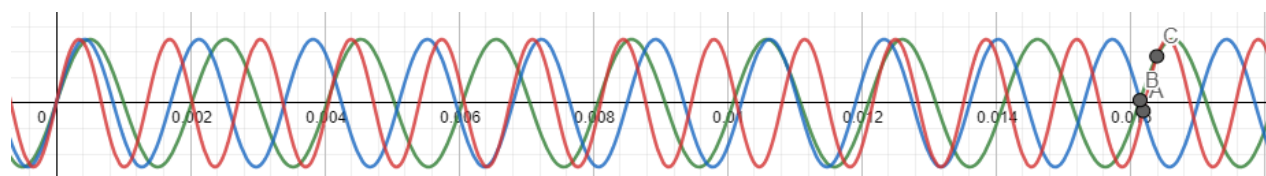
## ภาคผนวก ก. (ต่อ)



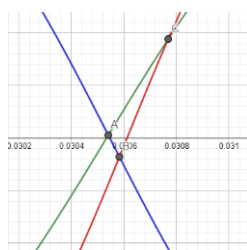
ผ.19 รูปแบบของคอร์ด G minor



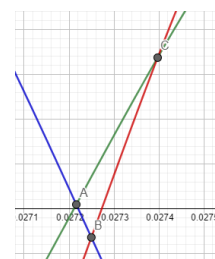
ผ.20 รูปแบบของคอร์ด A minor



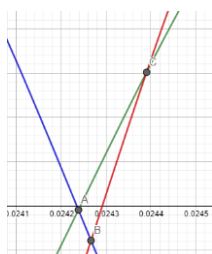
ผ.21 รูปแบบของคอร์ด B minor



ผ.22 ภาพขยายจุดตัดของคอร์ด C minor



ผ.23 ภาพขยายจุดตัดของคอร์ด D



ผ.24 ภาพขยายจุดตัดของคอร์ด E minor

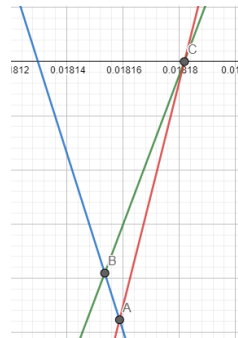


ผ.25 ภาพขยายจุดตัดของคอร์ด F

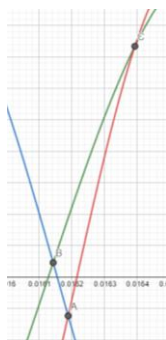
## ภาคผนวก ก. (ต่อ)



ผ.26 ภาพขยายจุดตัดของคอร์ด G minor  
minor



ผ.27 ภาพขยายจุดตัดของคอร์ด A  
minor



ผ.28 ภาพขยายจุดตัดของคอร์ด B minor