

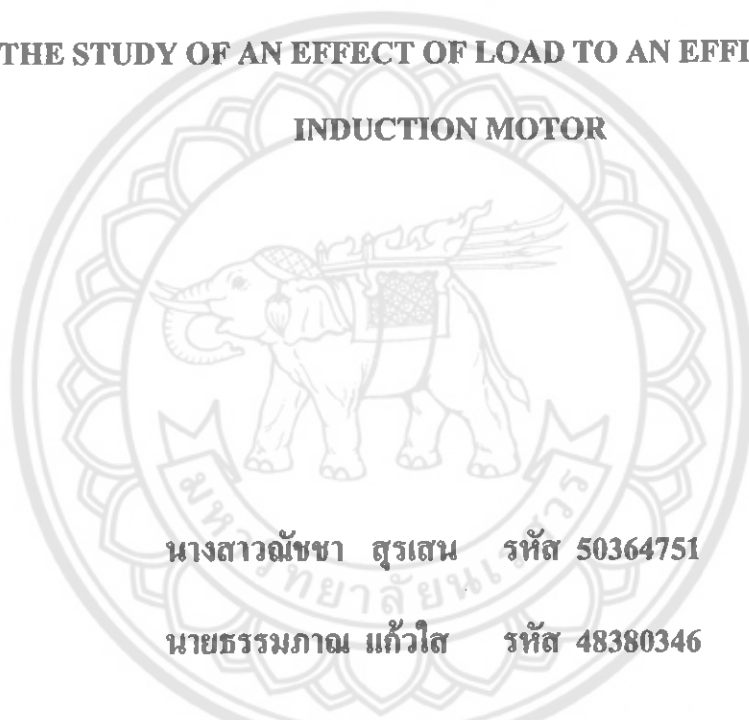
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร



3 1001 00382397 9

การศึกษาผลกระทบของภาระต่อสมรรถนะของมอเตอร์เหนี่ยวนำ

THE STUDY OF AN EFFECT OF LOAD TO AN EFFICIENCY OF  
INDUCTION MOTOR



นางสาวณัชชา สุรเสน รหัส 50364751

นายธรรมภาค แก้วใส รหัส 48380346

ห้องสอน คณะวิศวกรรมศาสตร์
วันที่รับ 12 ก.ย. 2553
เลขทะเบียน 16239561
เลขเรียกหนังสือ
นางวิภาดา นเรศวร 8/2/53 ๑

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

ปีการศึกษา 2553



## ใบรับรองปริญญาโท

ชื่อหัวข้อโครงการ การศึกษาผลกระทบของภาระต่อสมรรถนะของมอเตอร์เหนี่ยวนำ  
ผู้ดำเนินโครงการ นางสาวณัชชา สุรเสน รหัส 50364751  
นายธรรมภาณ แก้วใส รหัส 48380346  
ที่ปรึกษาโครงการ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมพร เรืองสินชัยวานิช  
สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า  
ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์  
ปีการศึกษา 2555

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ อนุมัติให้ปริญญาโทฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง  
ของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

.....ที่ปรึกษาโครงการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมพร เรืองสินชัยวานิช)

.....กรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อัครพันธ์ วงศ์กั้งแห)

.....กรรมการ  
(ดร.พนัส นัถฤทธิ)

ชื่อหัวข้อโครงการ การศึกษาผลกระทบของภาระต่อสมรรถนะของมอเตอร์เหนี่ยวนำ  
ผู้ดำเนินโครงการ นางสาวณัชชา สุรเสน รหัส 50364751  
นายธรรมภาณ แก้วใส รหัส 48380346  
ที่ปรึกษาโครงการ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมพร เรืองสินชัยวานิช  
สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า  
ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์  
ปีการศึกษา 2553

---

#### บทคัดย่อ

โครงการฉบับนี้เสนอการศึกษาผลกระทบของภาระต่อสมรรถนะของมอเตอร์เหนี่ยวนำ โดยแบ่งการศึกษาออกเป็น 3 ส่วน คือ ผลกระทบต่อความร้อน เสียงและสาร์โมนิกส์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำขณะเปลี่ยนแปลงภาระจากการศึกษาพบว่า โหลดมีความสำคัญอย่างมากต่อสมรรถนะของมอเตอร์เหนี่ยวนำ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ผลกระทบของความร้อนที่ถูกแสดงผลอย่างชัดเจน

**Project title**            The Study of an Effect of Load to an Efficiency of Induction Motor

**Name**                    Ms. Natcha Surasen                    ID. 50364751

                                  Mr. Tammapan Kaewsai                ID. 48380346

**Project advisor**        Assistant Professor Somporn Ruangsinchaiwanich, Ph.D.

**Major**                    Electrical Engineering

**Department**            Electrical and Computer Engineering

**Academic year**        2010

---

### **Abstract**

This project presents the study of an effect of load to an efficiency of induction motor. There are three parts such as effect of heat, sound and harmonics in the induction motor during varying load. Therefore load is important to the performance of induction motor, particularly effect of heat is shown as positive result

## กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิศวกรรมเรื่องศึกษาค่าพารามิเตอร์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสโดยการควบคุมความถี่ของอินเวอร์เตอร์สำเร็จได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับคำแนะนำและความช่วยเหลือรวมทั้งข้อคิดเห็นต่างๆ อันเป็นประโยชน์ในการทำโครงการนี้จาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ดร.สมพร เรืองสินชัยวานิช ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ

ขอขอบคุณ นายเกรียงศักดิ์ ไกรกิจราษฎร์ และ นายบุญญฤทธิ์ ว่างอนนิตติปริญญาโท สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยนเรศวร ที่กรุณาให้ความร่วมมือและช่วยเหลือในการแนะนำอุปกรณ์ในการทดสอบผลกระทบของมอเตอร์เหนี่ยวนำโดยควบคุมอินเวอร์เตอร์จนทำให้โครงการครั้งนี้สำเร็จสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่านที่ได้ช่วยประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ให้กับคณะผู้ดำเนินโครงการนอกจากนี้ยังต้องขอขอบคุณทางภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ที่เอื้อเฟื้อเครื่องมือและอุปกรณ์ในการทำโครงการนี้ จนทำให้โครงการนี้สำเร็จลุล่วงไปได้

เหนือสิ่งอื่นใด ขอกราบขอบพระคุณบิดามารดาที่ได้ส่งเสียค่าเล่าเรียนและเป็นกำลังใจให้รวมทั้งเป็นผู้ให้ทุกสิ่งทุกอย่างตั้งแต่เยาว์วัยจนจนถึงปัจจุบัน จนทำให้ได้รับความสำเร็จอย่างทุกวันนี้ ทางคณะผู้ดำเนินโครงการจะไม่ลืมพระคุณของทุกท่านที่เราได้กล่าวมาข้างต้นตลอดไป

นางสาวณัชชา สุรเสน

นายธรรมภาณ แก้วใส

# สารบัญ

	หน้า
ใบรับรองปริญญาโท.....	ก
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ค
กิตติกรรมประกาศ.....	ง
สารบัญ.....	จ
สารบัญตาราง.....	ฉ
สารบัญรูป.....	ญ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ.....	1
1.3 ขอบเขตของโครงการ.....	1
1.4 แผนการดำเนินงาน.....	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
1.6 งบประมาณ.....	2
บทที่ 2 หลักการและทฤษฎีเบื้องต้น.....	3
2.1 บทนำ.....	3
2.1.1 มอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส.....	3
2.1.2 โครงสร้างของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส.....	3
2.1.3 สนามแม่เหล็กหมุนของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส.....	4
2.1.4 สลิป (Slip, S).....	5
2.1.5 การส่งผ่านกำลังของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส.....	6
2.2 อินเวอร์เตอร์ 3 เฟส.....	7

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.2.1 โครงสร้างและหลักการในการทำงาน.....	7
2.2.2 ประเภทของอินเวอร์เตอร์.....	8
2.3 หลักการทำงานและการควบคุมอินเวอร์เตอร์แบบพัลส์วิดท์มอดูเลชั่น (Pulse Width Modulate, PWM).....	10
2.3.1 ส่วนประกอบและหน้าที่ของอินเวอร์เตอร์.....	10
2.3.2 การควบคุมความเร็วรอบโดยอินเวอร์เตอร์.....	11
2.3.3 อินเวอร์เตอร์สำหรับการควบคุมมอเตอร์.....	12
2.3.4 รูปแบบการนำการควบคุมมอเตอร์โดยใช้อินเวอร์เตอร์ไปใช้งาน.....	15
2.4 ภาระทางกลของมอเตอร์.....	16
2.4.1 การประเมินภาระทางกลของมอเตอร์.....	17
2.5 ประสิทธิภาพของมอเตอร์.....	18
2.5.1 การใช้มอเตอร์ให้เหมาะสมกับภาระทางกล.....	20
2.6 อุณหภูมิกับการใช้งานมอเตอร์.....	21
2.6.1 อุณหภูมิกับอายุการใช้งานมอเตอร์.....	21
2.6.2 การระบายความร้อนมอเตอร์.....	24
2.7 เครื่องวัดเสียง.....	27
2.7.1 เครื่องที่ใช้วัดระดับความดังของเสียง (Sound Pressure Level).....	28
2.7.2 วิเคราะห์ความถี่.....	33
2.7.3 เครื่องบันทึก.....	35
2.7.4 เครื่องวิเคราะห์ความเข้มเสียง.....	36
2.7.5 การปรับเทียบของเครื่องวัด.....	36
2.8 เพาเวอร์แฟคเตอร์.....	36
2.8.1 ผลกระทบเนื่องจากเพาเวอร์แฟคเตอร์ต่ำ.....	37
2.9 อิทธิพลของฮาร์โมนิกส์ต่ออุณหภูมิของมอเตอร์.....	38

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.9.1 แหล่งกำเนิดฮาร์โมนิกส์.....	38
2.9.2 ผลกระทบอันเนื่องมาจากฮาร์โมนิกส์.....	39
2.9.3 การประเมินค่าความถี่ของฮาร์โมนิกส์.....	40
<b>บทที่ 3 วิธีการออกแบบการทดลอง.....</b>	<b>42</b>
3.1 ความร้อนภายในมอเตอร์ขณะมอเตอร์ทำงาน.....	42
3.1.1 อุปกรณ์การทดลอง.....	42
3.1.2 อุปกรณ์และวิธีการวัดอุณหภูมิ.....	43
3.1.3 การออกแบบการทดลอง.....	43
3.1.4 ขั้นตอนและวิธีการทดลอง.....	44
3.2 เสียงที่เกิดขึ้นขณะมอเตอร์ทำงาน.....	46
3.2.1 อุปกรณ์การทดลอง.....	46
3.2.2 อุปกรณ์การวัดและวิเคราะห์เสียง.....	48
3.2.3 การออกแบบการทดลอง.....	48
3.2.4 ขั้นตอนและวิธีการทดลอง.....	49
3.2.5 การวิเคราะห์สัญญาณความเสี่ยงที่ภาระทางกลต่างกัน.....	50
<b>บทที่ 4 ผลการทดลอง.....</b>	<b>52</b>
4.1 ผลการทดลองของเสียงที่เกิดขึ้นขณะมอเตอร์ทำงาน.....	52
4.2 ผลการทดลองอุณหภูมิความร้อนภายในมอเตอร์ขณะมอเตอร์ทำงาน.....	65
4.3 ผลการทดลองกระแสฮาร์โมนิกส์.....	72
<b>บทที่ 5 สรุปผลการดำเนินโครงการ.....</b>	<b>77</b>
5.1 สรุปผลการดำเนินโครงการ.....	77



## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
5.1.1 วิเคราะห์และสรุปผลการทดสอบเสียงของมอเตอร์.....	77
5.1.2 วิเคราะห์และสรุปผลการทดสอบอุณหภูมิของมอเตอร์.....	77
5.1.3 วิเคราะห์และสรุปผลการทดสอบฮาร์โมนิกส์.....	78
5.2 ประเมินผลการทดลอง.....	79
5.3 ปัญหา ข้อเสนอแนะและแนวทางแก้ไข.....	79
5.4 ข้อดีของการศึกษาผลกระทบของมอเตอร์เหนี่ยวนำ.....	80
5.4.1 ข้อดีของการศึกษาผลกระทบของมอเตอร์เหนี่ยวนำโดยการควบคุมภาระ ทางกลที่มีผลกระทบต่อเสียง.....	81
5.4.2 ข้อดีของการศึกษาผลกระทบของมอเตอร์เหนี่ยวนำโดยการควบคุม อินเวอร์เตอร์ภาระทางกลที่มีผลกระทบต่ออุณหภูมิ.....	81
5.4.3 ข้อดีของการศึกษาผลกระทบของมอเตอร์เหนี่ยวนำโดยควบคุม อินเวอร์เตอร์ภาระทางกลที่มีผลกระทบต่อฮาร์โมนิกส์.....	81
5.5 แนวทางในการพัฒนาต่อไป.....	81
เอกสารอ้างอิง.....	82
ภาคผนวก.....	83
ประวัติผู้ดำเนินโครงการ.....	91

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า	
2.1	รูปความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับขั้วแม่เหล็กของมอเตอร์เหนี่ยวนำ.....	11
2.2	ความสัมพันธ์ของความเร็วรอบของมอเตอร์ที่ความถี่ของอินเวอร์เตอร์ที่แตกต่างกัน.....	12
2.3	วิธีการแปลงความกว้างของพัลส์ที่ใช้เปิด-ปิดทรานซิสเตอร์แต่ละวิธี.....	14
2.4	รูปแบบควบคุมการเปิด-ปิดสวิตช์โดยวิธี PWM แบบ Sine Wave.....	15
2.5	การสูญเสียประเภทต่างๆ ในมอเตอร์เหนี่ยวนำ.....	19
2.6	อันดับฮาร์โมนิกส์และลำดับเฟสต่างๆ.....	40
2.7	ขีดจำกัดกระแสฮาร์โมนิกส์สำหรับระบบจำหน่ายไฟฟ้า (แรงดัน 120 V-64 kV).....	41
2.8	ค่าขีดจำกัดของแรงฮาร์โมนิกส์.....	41
4.1	ความถี่ 20 เฮิร์ตซ์-60 เฮิร์ตซ์ ในสภาวะไม่มีภาระทางกล ใช้เวลา 15 นาที อุณหภูมิเริ่มต้นที่ 26 องศา.....	65
4.2	ความถี่ 20 เฮิร์ตซ์ ใช้เวลา 15 นาที อุณหภูมิเริ่มต้นที่ 26 องศา.....	66
4.3	ความถี่ 30 เฮิร์ตซ์ ใช้เวลา 15 นาที อุณหภูมิเริ่มต้นที่ 26 องศา.....	67
4.4	ความถี่ 40 เฮิร์ตซ์ ใช้เวลา 15 นาที อุณหภูมิเริ่มต้นที่ 26 องศา.....	68
4.5	ความถี่ 50 เฮิร์ตซ์ ใช้เวลา 15 นาที อุณหภูมิเริ่มต้นที่ 26 องศา.....	69
4.6	ความถี่ 60 เฮิร์ตซ์ ใช้เวลา 15 นาที อุณหภูมิเริ่มต้นที่ 26 องศา.....	70

## สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 มอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส.....	3
2.2 การจ่ายแรงดันไฟฟ้า 3 เฟสให้กับมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส.....	5
2.3 การส่งผ่านกำลังของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส.....	6
2.4 อินเวอร์เตอร์ (Inverters).....	7
2.5 โครงสร้างภายในของอินเวอร์เตอร์.....	8
2.6 บรีกโคอะแกรมพื้นฐานของอินเวอร์เตอร์.....	10
2.7 อินเวอร์เตอร์สำหรับควบคุมมอเตอร์.....	12
2.8 ภาระทางกลแรงบิดคงที่ (Constant Torque).....	16
2.9 ภาระทางกลแรงบิดแปรผัน (Variable Torque).....	17
2.10 ภาระทางกลกำลังคงที่ (Constant Power).....	17
2.11 การสูญเสียพลังงานในมอเตอร์.....	19
2.12 แสดงลักษณะโครงสร้างของมอเตอร์เหนี่ยวนำแบบกรงกระรอก.....	21
2.13 แสดงลักษณะ โครงสร้าง และขดลวด Stator ของมอเตอร์ไฟฟ้า.....	22
2.14 แสดงมาตรฐานอุณหภูมิ หรือ Class ของฉนวนสำหรับขดลวดมอเตอร์.....	23
2.15 แสดงลักษณะการระบายความร้อนของมอเตอร์.....	24
2.16 ลักษณะอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นแต่ละตำแหน่งของมอเตอร์.....	25
2.17 อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น ณ ตำแหน่งจุดต่างๆ ที่ตัวมอเตอร์.....	26
2.18 ส่วนประกอบของไมโครโฟน.....	29
2.19 Frequency characteristics ของ octave filters ในเครื่องวิเคราะห์เสียง.....	33
2.20 Frequency characteristics ของ Third-octave filters ในเครื่องวิเคราะห์เสียง.....	34
2.21 ภาพ digital frequency analyzer.....	34
2.22 รูปคลื่นของกระแสแรงดันไฟฟ้า.....	37
2.23 a) คลื่นฮาร์โมนิก 6 ลูก b) คลื่นรวมที่เกิดจากคลื่นฮาร์โมนิกทั้ง 6 ลูก c) กราฟแยกเสียงเป็นสเปกตรัม โดยสร้างเป็นกราฟแท่ง ระหว่างแอมพลิจูดกับความถี่.....	38
3.1 อินเวอร์เตอร์.....	42

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.2 เครื่องวัดคุณภาพภูมิแบบอินฟราเรด.....	42
3.3 Power & Harmonic Analyzer.....	42
3.4 มอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส.....	42
3.5 Electrodynamicometer.....	43
3.6 แหล่งจ่ายไฟ 3 เฟส.....	43
3.7 การทดสอบมอเตอร์.....	43
3.8 มอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส ต่อกับมิเตอร์ที่ใช้หลักการของสนามแม่เหล็กไฟฟ้า (Electrodynamicometer).....	44
3.9 การต่อวงจรในสถานะ ไม่มีภาระทางกล.....	45
3.10 ไมโครโฟน.....	46
3.11 กล้องเก็บเสียง.....	46
3.12 แหล่งจ่ายไฟ 3 เฟส.....	47
3.13 Electrodynamicometer.....	47
3.14 มอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส.....	47
3.15 วิธีการทดลอง.....	47
3.16 มอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส ต่อกับมิเตอร์ที่ใช้หลักการของสนามแม่เหล็กไฟฟ้า (Electrodynamicometer).....	49
3.17 การเขียนโปรแกรม Lab View สำหรับสัญญาณเสียง.....	50
3.18 การปรับค่าอุปกรณ์รับสัญญาณเสียง.....	51
3.19 การปรับค่าการแปลงฟูเรียร์แบบเร็ว.....	51
3.20 แผนภาพวงจรรวมในการทดลอง.....	51
4.1 สัญญาณเสียงของมอเตอร์เหนี่ยวนำ ขณะ ไร้ภาระทางกล ที่ความถี่ 50 Hz.....	53
4.2 สเปกตรัมของสัญญาณเสียง ของมอเตอร์เหนี่ยวนำ ขณะ ไร้ภาระทางกล ที่ความถี่ 50 Hz.....	53

## สารบัญรูป (ต่อ)

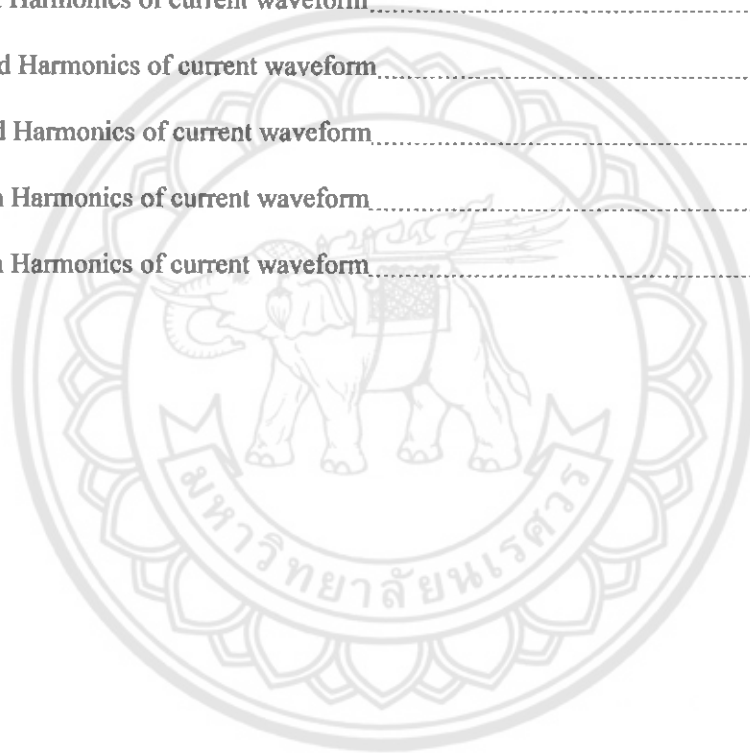
รูปที่	หน้า
4.3 สัญญาณเสียงของมอเตอร์เหนี่ยวนำ ขณะภาระทางกล 10 เปอร์เซ็นต์ ที่ความถี่ 50 Hz.....	54
4.4 สเปกตรัมของสัญญาณเสียง ขณะภาระทางกล 10 เปอร์เซ็นต์ ที่ความถี่ 50 Hz.....	54
4.5 สัญญาณเสียงของมอเตอร์เหนี่ยวนำ ขณะภาระทางกล 20 เปอร์เซ็นต์ ที่ความถี่ 50 Hz.....	55
4.6 สเปกตรัมของสัญญาณเสียง ขณะภาระทางกล 20 เปอร์เซ็นต์ ที่ความถี่ 50 Hz.....	55
4.7 สัญญาณเสียงของมอเตอร์เหนี่ยวนำ ขณะภาระทางกล 30 เปอร์เซ็นต์ ที่ความถี่ 50 Hz.....	56
4.8 สเปกตรัมของสัญญาณเสียง ขณะภาระทางกล 30 เปอร์เซ็นต์ ที่ความถี่ 50 Hz.....	56
4.9 สัญญาณเสียงของมอเตอร์เหนี่ยวนำ ขณะภาระทางกล 40 เปอร์เซ็นต์ ที่ความถี่ 50 Hz.....	57
4.10 สเปกตรัมของสัญญาณเสียง ขณะภาระทางกล 40 เปอร์เซ็นต์ ที่ความถี่ 50 Hz.....	57
4.11 สัญญาณเสียงของมอเตอร์เหนี่ยวนำ ขณะภาระทางกล 50 เปอร์เซ็นต์ ที่ความถี่ 50 Hz.....	58
4.12 สเปกตรัมของสัญญาณเสียง ขณะภาระทางกล 50 เปอร์เซ็นต์ ที่ความถี่ 50 Hz.....	58
4.13 สัญญาณเสียงของมอเตอร์เหนี่ยวนำ ขณะภาระทางกล 60 เปอร์เซ็นต์ ที่ความถี่ 50 Hz.....	59
4.14 สเปกตรัมของสัญญาณเสียง ขณะภาระทางกล 60 เปอร์เซ็นต์ ที่ความถี่ 50 Hz.....	59

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.15 สัญญาณเสียงของมอเตอร์เหนี่ยวนำ ขณะภาระทางกล 70 เปอร์เซ็นต์ ที่ความถี่ 50 Hz.....	60
4.16 สเปกตรัมของสัญญาณเสียง ขณะภาระทางกล 70 เปอร์เซ็นต์ ที่ความถี่ 50 Hz.....	60
4.17 สัญญาณเสียงของมอเตอร์เหนี่ยวนำ ขณะภาระทางกล 80 เปอร์เซ็นต์ ที่ความถี่ 50 Hz.....	61
4.18 สเปกตรัมของสัญญาณเสียง ขณะภาระทางกล 80 เปอร์เซ็นต์ ที่ความถี่ 50 Hz.....	61
4.19 สัญญาณเสียงของมอเตอร์เหนี่ยวนำ ขณะภาระทางกล 90 เปอร์เซ็นต์ ที่ความถี่ 50 Hz.....	62
4.20 สเปกตรัมของสัญญาณเสียง ขณะภาระทางกล 90 เปอร์เซ็นต์ ที่ความถี่ 50 Hz.....	62
4.21 สัญญาณเสียงของมอเตอร์เหนี่ยวนำ ขณะภาระทางกล 100 เปอร์เซ็นต์ ที่ความถี่ 50 Hz.....	63
4.22 สเปกตรัมของสัญญาณเสียง ขณะภาระทางกล 100 เปอร์เซ็นต์ ที่ความถี่ 50 Hz.....	63
4.23 กราฟผลการทดลองค่าสูงสุดของสัญญาณเสียงในภาระทางกลแต่ละเปอร์เซ็นต์ ที่ความถี่ 50 Hz.....	64
4.24 กราฟสรุป สเปกตรัมของเสียงของมอเตอร์เหนี่ยวนำในภาระทางกลแต่ละเปอร์เซ็นต์ ที่ความถี่ 50 Hz.....	64
4.25 กราฟความถี่ 20 เฮิรตซ์-60 เฮิรตซ์ ในสภาวะไม่มีภาระทางกล.....	65
4.26 กราฟแสดงผลที่ความถี่ 20 เฮิรตซ์ ใช้เวลา 15 นาที อุณหภูมิ เริ่มต้นที่ 26 องศา.....	66
4.27 กราฟแสดงผลที่ความถี่ 30 เฮิรตซ์ ใช้เวลา 15 นาที อุณหภูมิ เริ่มต้นที่ 26 องศา.....	67

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.28 กราฟแสดงผลที่ความถี่ 40 เฮิรตซ์ ใช้เวลา 15 นาที อุณหภูมิ เริ่มต้นที่ 26 องศา.....	68
4.29 กราฟแสดงผลที่ความถี่ 50 เฮิรตซ์ ใช้เวลา 15 นาที อุณหภูมิ เริ่มต้นที่ 26 องศา.....	69
4.30 กราฟแสดงผลที่ความถี่ 50 เฮิรตซ์ ใช้เวลา 15 นาที อุณหภูมิ เริ่มต้นที่ 26 องศา.....	70
4.31 กราฟสรุปความร้อนของมอเตอร์เหนี่ยวนำ ที่ความถี่และภาระทางกลต่างๆ.....	71
4.32 1st Harmonics of current waveform.....	72
4.33 2nd Harmonics of current waveform.....	73
4.34 3rd Harmonics of current waveform.....	74
4.35 4th Harmonics of current waveform.....	75
4.36 5th Harmonics of current waveform.....	76



# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการ

มอเตอร์เหนี่ยวนำ (Induction Motor) แบบ 3 เฟส ได้ถูกนำมาใช้งานอย่างแพร่หลายทั้งในระบบการผลิตของโรงงานอุตสาหกรรม อุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าภายในบ้านพักอาศัยเช่น ปั๊มน้ำ ระบบสายพานลำเลียง พัดลมเป่าอากาศ และคอมเพรสเซอร์ของระบบเครื่องปรับอากาศ เป็นต้น

เนื่องจากความหลากหลายของประเภทมอเตอร์เหนี่ยวนำกระแสสลับ โครงสร้างไม่ซับซ้อน มอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส โดยปกติจะมีช่วงอายุการใช้งานของมอเตอร์นั้นๆ ขึ้นอยู่การใช้งานแต่จะมีสาเหตุที่ทำให้การใช้งานสั้นลง เช่น ความร้อนและเสียง ความร้อนและเสียงจะอยู่ในรูปของพลังงานที่สูญเสียไป ความร้อนและเสียงเกิดจากปัญหาของเครื่องจักรที่แสดงผลออกมาให้เห็นทางกล ซึ่งจะส่งผลให้เครื่องจักรสูญเสียพลังงานและสมรรถนะการทำงาน การเกิดความร้อนและมีเสียงดังออกมานั้น เกิดจากหลายสาเหตุดังนั้น จึงได้วิเคราะห์การเกิดความร้อนและเสียงที่เกิดขึ้นของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส ที่สภาวะขับภาระทางกล เพื่อจะประเมินสมรรถนะของมอเตอร์เพื่อจะได้หาวิธีแก้ไขและปรับปรุงต่อไป

### 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1. ศึกษาและเปรียบเทียบความร้อนที่เกิดขึ้นภายในมอเตอร์ในสภาวะไร้ภาระทางกลและในสภาวะมีภาระ 25 เปอร์เซ็นต์ 50 เปอร์เซ็นต์ 75 เปอร์เซ็นต์ 100 เปอร์เซ็นต์ว่ามีความแตกต่างกันหรือไม่
2. ศึกษาและเปรียบเทียบเสียงที่เกิดขึ้นภายในมอเตอร์ในสภาวะขับภาระทางกลที่ 25 เปอร์เซ็นต์ 50 เปอร์เซ็นต์ 75 เปอร์เซ็นต์และ 100 เปอร์เซ็นต์ในสภาวะไร้ภาระทางกล
3. ศึกษาหลักการการทำงานของอุปกรณ์และเครื่องมือวัดเสียง
4. ศึกษาและเปรียบเทียบฮาร์โมนิกส์ของมอเตอร์

### 1.3 ขอบข่ายการทำงาน

1. หาข้อมูล ศึกษาคุณสมบัติของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส
2. ศึกษาโปรแกรม Lab view เพื่อทำการวัดเสียงที่เกิดขึ้นภายในมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส
3. ทดสอบและปรับปรุงอุปกรณ์ในการทดสอบ
4. บันทึกผลและวิเคราะห์การทดสอบ



#### 1.4 ขั้นตอนการดำเนินงานและแผนการดำเนินงาน

รายละเอียด	ปี 2554		ปี 2555						
	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.
1. ศึกษาค้นคว้าข้อมูลเกี่ยวกับการทำงานของมอเตอร์เหนี่ยวนำ	←→								
2. รวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับการทำงานของมอเตอร์เหนี่ยวนำ			←→						
3. ออกแบบการทดลองและวิเคราะห์ปัญหาที่เกิดขึ้น					←→				
4. สรุปผลการทำงานของมอเตอร์เหนี่ยวนำและทำรูปเล่มรายงาน							←→		

หมายเหตุ: ช่วงเวลาดังกล่าวอาจมีการเปลี่ยนแปลงได้ตามความเหมาะสม

#### 1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

- ทราบถึงสาเหตุการเกิดความร้อนภายในมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความถี่โดยใช้อินเวอร์เตอร์ ในสภาวะที่ไม่มีภาระทางกลจนถึงสภาวะภาระทางกลเต็มพิกัด
- ทราบถึงสาเหตุการเกิดเสียงภายในมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงภาระในสภาวะไร้ภาระจนถึงสภาวะภาระเต็มพิกัด
- สามารถวิเคราะห์และเปรียบเทียบค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟสเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงภาระ ในสภาวะไร้ภาระจนถึงสภาวะภาระเต็มพิกัด
- สามารถนำความรู้ไปประยุกต์ใช้ในการทำงานในอนาคต

#### 1.6 งบประมาณ

- |                                      |                  |
|--------------------------------------|------------------|
| 1. ค่ากระดาษและถ่ายเอกสาร            | 500 บาท          |
| 2. ค่าใช้จ่ายอื่นๆ ในการสร้างชิ้นงาน | 1,000 บาท        |
| 3. ค่าจัดทำรูปเล่มปริญญาโท           | 500 บาท          |
| รวมเป็นเงิน (สองพันบาทถ้วน)          | <u>2,000 บาท</u> |

หมายเหตุ: เฉลี่ยทุกรายการ

## บทที่ 2

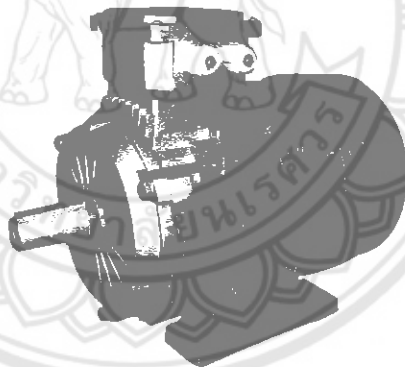
### หลักการและทฤษฎีเบื้องต้น

#### 2.1 บทนำ

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟสแบบเหนี่ยวนำ มีคุณสมบัติที่ดีคือมีความเร็วรอบคงที่ เนื่องจากความเร็วรอบมอเตอร์เหนี่ยวนำจะมีค่ามากหรือน้อย ก็ขึ้นอยู่กับความถี่ (Frequency) ของแหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ เมื่อนำไปใช้ร่วมกับเครื่องควบคุมความเร็วแบบอินเวอร์เตอร์ (Inverter) ทำให้สามารถควบคุมความเร็ว (Speed) ของมอเตอร์ได้ตั้งแต่ศูนย์จนถึงความเร็วตามพิกัดของมอเตอร์นิยมใช้กันมากในโรงงานอุตสาหกรรม

##### 2.1.1 มอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส (Three Phase Induction Motor)

มอเตอร์ในโรงงานอุตสาหกรรม ส่วนมากจะเป็นมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส เนื่องจากมอเตอร์ชนิดนี้มีราคาไม่แพง ต้องการการดูแลรักษาน้อย และมีความเร็วค่อนข้างคงที่คือ ความเร็วลดลงจากสภาพไม่มีภาระทางกลจนกระทั่งจับภาระทางกลเต็มที่เพียงไม่กี่เปอร์เซ็นต์



รูปที่ 2.1 มอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส [1]

##### 2.1.2 โครงสร้างของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส

มอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส ประกอบด้วยส่วนประกอบหลัก 2 ส่วนคือ

###### 1. สเตเตอร์ (Stator)

สเตเตอร์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส มีโครงสร้างคล้ายกับของซิงโครนัสมอเตอร์ โดยทำมาจากแผ่นเหล็กบางๆ อัดซ้อนเข้าด้วยกันและทำเป็นช่องสล็อตไว้บรรจุขดลวดตัวนำ (Winding) และจำนวนขั้วแม่เหล็กจะเป็นตัวกำหนดความเร็วรอบของมอเตอร์ ขณะที่จ่ายไฟฟ้ากระแสสลับให้กับขดลวดที่สเตเตอร์ส่งผลให้ขดลวดสร้างสนามแม่เหล็ก และสนามแม่เหล็กนี้จะหมุน (Rotating) ด้วยความเร็วที่ถูกเรียกว่า ความเร็วซิงโครนัส ดังสมการที่ 2.1

$$N_s = \frac{120f}{P} \quad (2.1)$$

เมื่อกำหนดให้	$N_s$	=	ความเร็วซิงโครนัส
	$f$	=	ความถี่หลักมูลของไฟฟ้ากระแสสลับ
	$P$	=	จำนวนขั้วแม่เหล็กของมอเตอร์

จากสมการที่ (2.1) พบว่า ความเร็วของสนามแม่เหล็กหมุนจะแปรผันตรงกับความถี่ของแรงดันไฟฟ้า แต่เนื่องจากที่เพลลาของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส จะหมุน โดยมีความเร็วรอบน้อยกว่าความเร็วรอบของสนามแม่เหล็กหมุนเล็กน้อย ที่ถูกเรียกว่า ความเร็วสลลิป (Slip) ซึ่งมีค่าประมาณ 1 เปอร์เซ็นต์ ถึง 3 เปอร์เซ็นต์ ขึ้นอยู่กับภาระ (Load) ของมอเตอร์

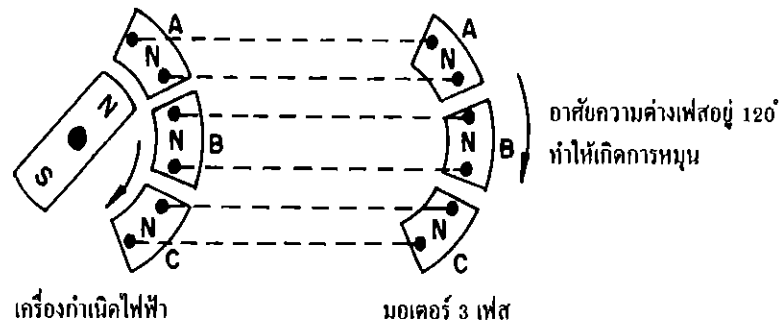
## 2. โรเตอร์ (Rotor)

ส่วนที่หมุนของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส แบ่งออกตามโครงสร้างได้เป็น 2 ชนิด ได้แก่ แบบแรก คือ โรเตอร์แบบกรงกระรอก (Squirrel Cage Rotor) และแบบที่สองคือ โรเตอร์แบบพันขดลวด (Wound Rotor Motor) ซึ่งในโครงการที่ศึกษานี้ เลือกมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส ที่มีโรเตอร์แบบกรงกระรอก มีรูปร่างของโรเตอร์เป็นรูปทรงกระบอกผิวรอบๆ โรเตอร์จะเรียบที่ผิวด้านนอกฝั่งแท่งตัวนำที่ทำจากทองแดงตลอดแนวความยาวของโรเตอร์ ที่ปลายแต่ละด้านของแท่งตัวนำบนโรเตอร์ต่อลัดวงจรด้วยวงแหวนทองแดง สำหรับโรเตอร์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำขนาดเล็กและกลาง จะใช้แท่งตัวนำอลูมิเนียมฉีดเข้าไปในโรเตอร์

### 2.1.3 สนามแม่เหล็กหมุนของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส

สนามแม่เหล็กของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส เมื่อมีกระแสไฟฟ้าในระบบ 3 เฟส จ่ายให้กับขดลวด 3 เฟส เป็นผลทำให้เกิดสนามแม่เหล็กหมุนในมอเตอร์นั้น สนามแม่เหล็กหมุนจะตัดกับตัวนำในโรเตอร์นั้น ทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำขึ้นในตัวนำที่ฝังอยู่ในโรเตอร์ และจะเกิดสนามแม่เหล็กขึ้นในโรเตอร์ เพราะที่โรเตอร์มีกระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำไหลอยู่ ซึ่งจะทำให้เกิดสนามแม่เหล็กเป็นขั้วเหนือและขั้วใต้เช่นเดียวกับที่สเตเตอร์ และสนามแม่เหล็กที่หมุนที่สเตเตอร์นั้น จะเกิดการผลักและดูดกับขั้วแม่เหล็กที่เกิดขึ้นที่โรเตอร์ในทิศทางของสนามแม่เหล็กหมุน ผลที่ได้จากการดูดและผลักกัน ระหว่างขั้วแม่เหล็กบนสเตเตอร์และโรเตอร์ทำให้เกิดแรงบิดขึ้น

หลักการหมุนของสนามแม่เหล็กโดยกระแสไฟฟ้า 3 เฟส จากรูปที่ 2.2 เป็นการแสดงให้เห็นว่า ถ้าเราจ่ายกระแสไฟฟ้าในระบบ 3 เฟส ให้กับขดลวดในสเตเตอร์ในช่วงขณะหนึ่ง สมมุติให้เป็นครึ่งไซเคิลบวก ดังแสดงในรูปที่ 2.2 ด้านขวามือ



รูปที่ 2.2 การจ่ายแรงดันไฟฟ้า 3 เฟสให้กับมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส [1]

โดยการต่อไฟฟ้าเฟส A เข้ากับเฟส A ของมอเตอร์, ต่อไฟฟ้าเฟส B เข้ากับเฟส B ของมอเตอร์และต่อไฟฟ้าเฟส C เข้ากับเฟส C มอเตอร์ เมื่อกระแสไฟฟ้าในด้านเครื่องใช้เกิดบวกเฟส A ไหลเข้าไปในขดลวดของเฟส A ของมอเตอร์จะทำให้เกิดมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านขดลวดในเฟส A ของมอเตอร์นั้น ทำให้เกิดขั้ว N ขึ้น และเมื่อแรงดันไฟฟ้าที่อยู่ในเฟส A ที่จ่ายให้กับเฟส A ของมอเตอร์อยู่นั้นค่อยๆ ลดลง อำนาจแม่เหล็กขั้ว N ก็จะค่อยๆ ลดอำนาจหรือความเข้มลงด้วย และในขณะที่เดียวกันที่เฟสถัดไปก็จะมีอำนาจแม่เหล็กคล้ายๆ กับเฟส A ในช่วงเวลาถัดไป จนครบ 3 เฟส ในหนึ่งขั้วแม่เหล็กของมอเตอร์ (คือเฟส A เฟส B และเฟส C) และเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของแรงดันไฟฟ้าในเครื่องใช้เกิดบวกถึงที่สุดเรียบร้อยแล้ว ในเครื่องใช้เกิดลบถัดไป ที่ขั้วแม่เหล็กดังกล่าว ก็จะเปลี่ยนสถานะจากขั้ว N ไปเป็นขั้ว S และในอีกหนึ่งขั้วแม่เหล็กถัดไป ก็จะมีลักษณะเช่นเดียวกันกับขั้วแม่เหล็กแรกที่กล่าวถึง ซึ่งลักษณะเช่นนี้ เหมือนกับว่าสนามแม่เหล็กหมุนไปรอบๆ สเตเตอร์ ซึ่งสนามแม่เหล็กที่เหมือนกับหมุนไปรอบๆ นี้เรียกสั้นๆ ว่า สนามแม่เหล็กหมุน (Rotating Magnetic Field)

#### 2.1.4 สลิป (Slip, S)

ในทางปฏิบัตินั้น โรเตอร์ไม่สามารถหมุนได้เท่ากับความเร็วของสนามแม่เหล็กหมุนที่สเตเตอร์ โดยปกติแล้วความเร็วของโรเตอร์จะมีความเร็วน้อยกว่าความเร็วของสนามแม่เหล็กที่หมุนที่สเตเตอร์ ความแตกต่างของความเร็วนั้น จะขึ้นอยู่กับภาระทางกลที่ต่ออยู่กับมอเตอร์นั้น

ความแตกต่างระหว่างความเร็วของสนามแม่เหล็กที่หมุนอยู่ที่สเตเตอร์หรือความเร็วซิงโครนัส ( $N_s$ ) และความเร็วรอบของโรเตอร์ขณะใช้งาน (Actual Speed,  $N$ ) เรียกว่า สลิปของมอเตอร์โดยปกติเป็นเปอร์เซ็นต์ซึ่งเปอร์เซ็นต์สลิป สามารถหาได้จากสมการดังนี้

$$S = \frac{N_s - N}{N_s} \quad (2.2)$$

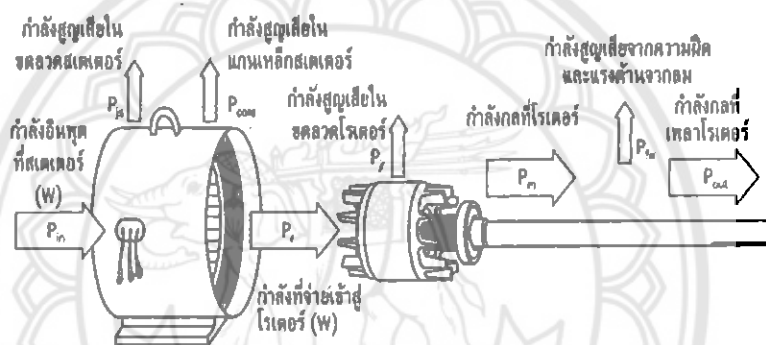
$$\%Slip = \frac{N_s - N}{N_s} \times 100 \quad (2.3)$$

แต่ในบางครั้ง  $N_s - N$  ก็เรียกว่า ความเร็วสลลิป (Slip Speed) จะได้ ความเร็วของโรเตอร์ คือ

$$N = N_s(1-s) \quad (2.4)$$

### 2.1.5 การส่งผ่านกำลังมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส

มอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส จะมีการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าอินพุตจากแหล่งจ่ายไฟฟ้า ไปยังเพลลาของมอเตอร์ เป็นไปตามลำดับการไหลของพลังงาน ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 การส่งผ่านกำลังของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส [1]

กำลังอินพุต เป็นพลังงานไฟฟ้าอินพุต ( $P_{in}$ ) ที่มอเตอร์ได้รับจากแหล่งจ่ายไฟฟ้า 3 เฟส ผ่านขดลวดสเตเตอร์ ที่สเตเตอร์นั้นจะแบ่งการสูญเสียได้ 2 ส่วน ได้แก่ กำลังสูญเสียของขดลวดสเตเตอร์ ( $P_{js}$ ) มีค่าเท่ากับ  $I^2R$  และกำลังสูญเสียในแกนเหล็กของสเตเตอร์ ( $P_{core}$ ) กำลังที่เหลือออกมา คือ กำลังที่ส่งผ่านช่องอากาศมายังโรเตอร์ ( $P_r$ ) อย่างไรก็ตาม พลังงานที่ส่งผ่านมายังโรเตอร์นั้น จะมีกำลังสูญเสียจากขดลวดของโรเตอร์ ( $P_{rs}$ ) เท่ากับ  $I^2R$  นั่นคือ พลังงานกลที่ออกมาจากโรเตอร์ ( $P_m$ ) คือ ผลต่างของ  $P_r - P_{rs}$  ซึ่งพลังงานกลนี้ จะต้องเอาชนะการสูญเสียจากความฝืดและแรงต้านจากลม ซึ่งเป็นกำลังสูญเสียที่เพลลาของโรเตอร์ ( $P_{sw}$ ) จึงจะได้กำลังงานกลที่เพลลาของโรเตอร์ ( $P_{out}$ ) ที่สามารถส่งให้กับภาระทางกลได้ จากแผนผังในรูปที่ 2.3 สามารถคำนวณหาประสิทธิภาพของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟสได้ ดังนี้

$$P_{in} = \sqrt{3}V_L I_L \cos \theta \quad (2.5)$$

$$P_{out} = \tau \omega_m \quad (2.6)$$

$$\text{โดยที่ } \omega_m = \frac{2\pi n_m}{60} \quad (2.7)$$

ดังนั้น ประสิทธิภาพของมอเตอร์ คือ

$$\% \eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% \quad (2.8)$$

## 2.2 อินเวอร์เตอร์ 3 เฟส (Three Phase Inverters)

อินเวอร์เตอร์เป็นอุปกรณ์ควบคุมความเร็วรอบที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในปัจจุบันเนื่องจากความสะดวกในการใช้งานและติดตั้งประสิทธิภาพดี และเทคโนโลยีการควบคุมที่ก้าวหน้า ทำให้มีการนำมาใช้กับอุปกรณ์ต่างๆ เช่น เครื่องสูบน้ำ พัดลม รอก เคน เครื่องอัดอากาศ เครื่องอัดของระบบปรับอากาศ รวมทั้งเครื่องจักรต่างๆ เช่น เครื่องปั้นดินเผา เครื่องป้อนวัตถุดิบ เป็นต้น



รูปที่ 2.4 อินเวอร์เตอร์ (Inverters)[2]

### 2.2.1 โครงสร้างและหลักการในการทำงาน

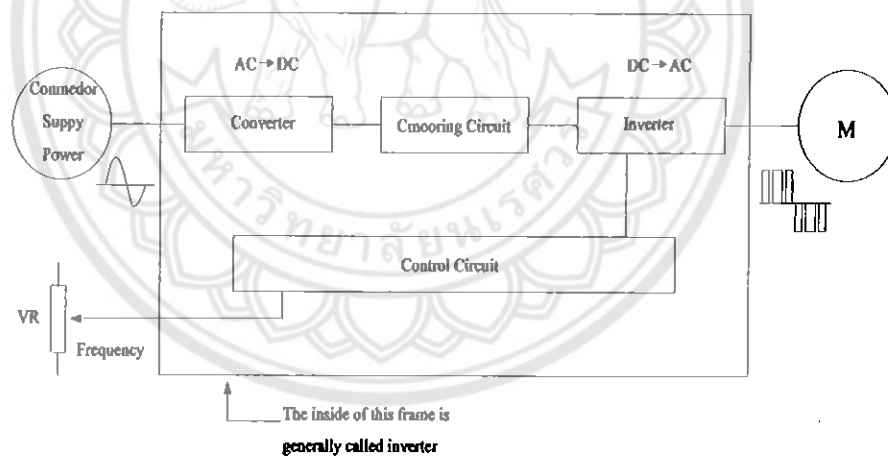
อินเวอร์เตอร์ เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ทำหน้าที่ปรับเปลี่ยนแรงดันไฟฟ้า ความถี่ ตลอดจนรูปคลื่นของไฟฟ้าก่อนป้อนเข้ามอเตอร์ เพื่อให้มอเตอร์กระแสสลับสามารถหมุนที่ความเร็วต่างๆ ได้ตามความต้องการ โดยอาศัยหลักการพื้นฐานที่ว่าความเร็วรอบของมอเตอร์จะขึ้นอยู่กับความถี่ไฟฟ้าที่ป้อนเข้าไปในมอเตอร์ ดังสมการ 2.1

ดังนั้นหากเราปรับความถี่ทางไฟฟ้าเสียใหม่ก่อนป้อนเข้ามอเตอร์ มอเตอร์ก็จะหมุนด้วยความเร็วรอบใหม่ที่ต้องการ แต่ทั้งนี้ในการใช้งานอินเวอร์เตอร์ หากเปลี่ยนความถี่ไปโดยไม่ปรับแรงดันไฟฟ้าคงที่ จะทำให้ฟลักซ์แม่เหล็กเพิ่มมากขึ้นจนอิ่มตัว กระแสก็จะเพิ่มมากขึ้นและมอเตอร์ก็จะร้อนขึ้นจนเสียหายได้ เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าวจึงต้องรักษาฟลักซ์แม่เหล็กให้มีค่าคงที่ ซึ่งทำได้โดยเปลี่ยนค่าแรงดันไฟฟ้าไปตามความถี่ เนื่องจากฟลักซ์แม่เหล็กจะแปรผันตามอัตราส่วนของแรงดันและความถี่หรืออัตราส่วน  $V/f$  นอกจากนี้แล้วอัตราส่วน  $V/f$  ยังส่งผลต่อค่าแรงบิดด้วย

กล่าวคือ แรงบิดจะแปรผันตามอัตราส่วน  $V/f$  ด้วยเช่นเดียวกัน ดังนั้นหากอัตราส่วน  $V/f$  มีค่าคงที่ ก็จะทำให้แรงบิดมีค่าคงที่ด้วย การควบคุมอัตราส่วน  $V/f$  ให้มีค่าที่นี้เองทำให้อุปกรณ์นี้มีชื่อเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า VVVF (Variable Voltage Variable Frequency)

ในการใช้งานเราสามารถสร้างความถี่ที่สูงกว่า 50 เฮิรตซ์ เพื่อให้มอเตอร์หมุนเร็วกว่าความเร็วรอบที่พิกัดได้ ซึ่งจะต้องเพิ่มแรงดันขึ้นด้วยอย่างไรก็ตาม เมื่อความถี่เกิน 50 เฮิรตซ์ แรงดันจะไม่เพิ่มตามไปด้วยเนื่องจากอินเวอร์เตอร์ ไม่สามารถสร้างแรงดันเกินกว่าแรงดันไฟฟ้าสลับขาเข้าได้ ดังนั้นอัตราส่วน  $V/f$  จะลดลง และแรงบิดมอเตอร์จะลดลงด้วย การทำงานในช่วงนี้เป็นช่วงที่กำลังมอเตอร์มีค่าคงที่เท่ากับพิกัด ยิ่งความเร็วรอบสูงขึ้นแรงบิดก็จะลดลง

โครงสร้างของอินเวอร์เตอร์แสดงไว้ในรูปที่ 2.5 อินพุตของอินเวอร์เตอร์เป็นไฟกระแสสลับจากแหล่งจ่ายไฟ ซึ่งจะถูกแปลงเป็นไฟกระแสตรงโดยวงจรคอนเวอร์เตอร์ (Converter) จากนั้นกระแสไฟตรงที่ได้จะถูกแปลงเป็นไฟกระแสสลับที่สามารถแปรขนาดแรงดันและความถี่ได้โดยวงจรอินเวอร์เตอร์ (Inverter) ซึ่งวงจรหลักทั้งสองวงจรถูกควบคุมการทำงานโดยวงจรควบคุมอีกทีหนึ่งอินเวอร์เตอร์ชนิดใช้งานทั่วไป (General purpose inverter) จะประกอบไปด้วยส่วนคอนเวอร์เตอร์ และอินเวอร์เตอร์รวมอยู่ในเครื่องเดียวกัน



รูปที่ 2.5 โครงสร้างภายในของอินเวอร์เตอร์ [2]

## 2.2.2 ประเภทของอินเวอร์เตอร์

### 1. แบบแหล่งจ่ายกระแส (Current Source Inverter)

จะควบคุมปริมาณกระแสที่จ่ายให้มอเตอร์ นอกเหนือไปจากแรงดันและความถี่ โดยจะมีความสามารถจำกัดกระแสตัววงจรด้านมอเตอร์ได้ และต้องมีภาระทางกลอยู่ตลอดเวลาแม้กระทั่งขณะทดสอบ มักใช้งานกับมอเตอร์ขนาดใหญ่และขับมอเตอร์ได้ที่ละจุดมีความสามารถในการ

ส่งคืนไฟฟ้ากลับสู่ระบบในขณะเบรกได้ (Regenerative Braking) จึงทำให้สามารถให้หยุดมอเตอร์ที่ขั้วภาระทางกลใหญ่ที่มีความเฉื่อยสูงๆ ได้

## 2. แบบแหล่งจ่ายแรงดัน (Voltage Source Inverter)

จะควบคุมเฉพาะแรงดันและความถี่ที่ป้อนเข้ามอเตอร์ สามารถใช้ขั้วมอเตอร์ที่หลายชุดได้พร้อมกัน VSI หรืออีกชื่อหนึ่งคือ Six-step ใช้งานแพร่หลายในอดีต ปัจจุบันถูกแทนที่ด้วยอินเวอร์เตอร์แบบ พัลส์วิดท์มอดูเลชัน (PWM)

## 3. พัลส์วิดท์มอดูเลชัน

เป็นระบบที่ใช้กันทั่วไปในปัจจุบัน ตั้งแต่ขนาดเล็ก ไปจนถึงขนาดใหญ่ PWM ต่างจาก VSI และ CSI ตรงที่ใช้วงจร โคโอบริคซ์ธรรมดาค่าแปลงไฟฟ้ากระแสสลับให้เป็นกระแสตรง แล้วภาคอินเวอร์เตอร์ใช้การมอดูเลชันความกว้างของรูปคลื่น เพื่อให้กระแสที่จ่ายเข้ามอเตอร์คล้ายคลื่นซายน์มากที่สุดซึ่งจะทำให้ความร้อนที่เกิดในตัวมอเตอร์ต่ำลง ปัญหาเรื่องฮาร์โมนิกส์ลดลง ปัจจุบันผู้ผลิตส่วนใหญ่มักใช้สวิตซ์ประเภท ไอจีบีที (Insulated Gate Bipolar Transistors) ที่มีความถี่ในการสวิตซ์สูงในช่วง 15-20 กิโลเฮิร์ตซ์ ซึ่งทำให้มีเสียงรบกวนน้อยลง แต่อาจจะเกิดปัญหาในเรื่องฮาร์โมนิกส์ การเสียดายของฉนวนและแบร์ริง

## 4. อุปกรณ์ควบคุมความเร็วแบบเวกเตอร์ (Vector Control)

สามารถควบคุมแรงบิดที่เกิดขึ้นได้ทั้งขนาดและทิศทาง และควบคุมความเร็วรอบได้อย่างแม่นยำ ซึ่งวงจรและการประมวลผลจะมีความซับซ้อนมาก ทำให้การควบคุมมอเตอร์กระแสสลับทำได้ดีเท่าเทียมกับมอเตอร์กระแสตรง แต่ตัดปัญหาเกี่ยวกับการบำรุงรักษาจากจิกของมอเตอร์กระแสตรงออกไป อินเวอร์เตอร์แบบเวกเตอร์จะมีราคาสูงกว่า 3 แบบแรกที่ควบคุมอัตราส่วน V/f เท่านั้น (บางครั้งเรียกว่า ควบคุมแบบสเกลาร์) แต่มีความแม่นยำและสมรรถนะที่ดีกว่า มีใช้งานในเครื่องผลิตกระดาษ เครื่องดึงลวด มอเตอร์ขับเคลื่อนหลอดคาย ลิฟต์ความเร็วสูง เป็นต้น มีความเหมาะสมกับเครื่องจักรที่ต้องการแรงบิดที่ถูกต้องที่แต่ละความเร็ว หรือการควบคุมตำแหน่งที่แม่นยำ

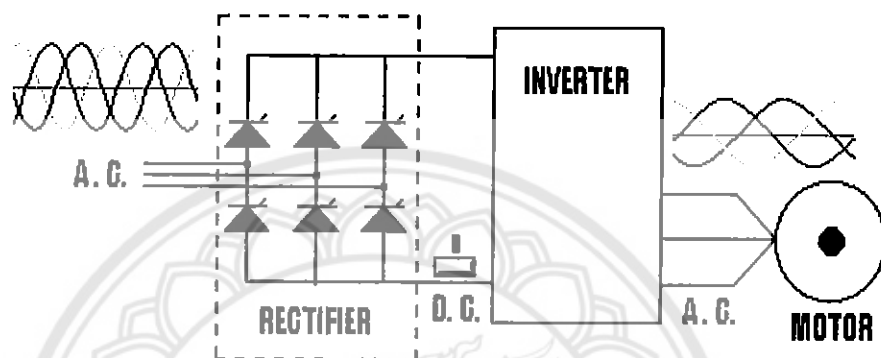
อุปกรณ์ควบคุมความเร็วรอบแบบเวกเตอร์ สามารถรู้ตำแหน่งของสนามแม่เหล็กของสเตเตอร์และโรเตอร์ โดยประมวลผลจากแรงดันและกระแสที่จ่ายเข้ามอเตอร์แต่ละขณะ มีทั้งแบบที่ใช้การคำนวณอย่างเฉียว และแบบที่ใช้ตัววัดตำแหน่งติดตั้งที่เพลามอเตอร์ด้วย นอกจากนี้การคำนวณคุณสมบัติในการหมุนของมอเตอร์จำเป็นต้องรู้ค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าและทางกลของมอเตอร์ด้วยเพื่อให้การประมวลผลถูกต้อง จึงทำให้การใช้งานอุปกรณ์นี้ในระยะแรกค่อนข้างยุ่งยากในการ โปรแกรมและป้อนค่า ปัจจุบันผู้ผลิตได้ปรับปรุงให้การใช้ง่ายขึ้นและมีการปรับตัวเองโดยอัตโนมัติในช่วงเริ่มเดินเครื่อง



## 2.3 หลักการทำงานและการควบคุมอินเวอร์เตอร์แบบพัลส์วิดท์มอดูเลชัน (Pulse Width Modulate, PWM)

### 2.3.1 ส่วนประกอบและหน้าที่ของอินเวอร์เตอร์

จากรูปบล็อกไดอะแกรมพื้นฐานอย่างง่าย ๆ ของอินเวอร์เตอร์ จะประกอบด้วยส่วนที่สำคัญๆ และมีการทำงาน ดังนี้



รูปที่ 2.6 บล็อก ไดอะแกรมพื้นฐานของอินเวอร์เตอร์ [2]

#### 1. วงจรเรียงกระแส (Rectifier Circuit)

วงจรเรกติไฟเออร์หรือวงจรเรียงกระแส ทำหน้าที่ เปลี่ยนจากแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง วงจรประกอบด้วยเพาเวอร์ไดโอด 4 ตัว กรณีที่อินพุตเป็นแบบเฟสเดียว หรือมีเพาเวอร์ไดโอด 6 ตัว กรณีที่อินพุตเป็นแบบ 3 เฟส (สำหรับอินเวอร์เตอร์บางประเภทจะใช้ SCR ทำหน้าที่เป็นวงจรเรกติไฟเออร์ ซึ่งทำให้สามารถควบคุมระดับแรงดันในวงจรดีซีลิงก์ได้)

#### 2. วงจรไฟฟ้ากระแสตรงเชื่อมโยง (DC Link Circuit)

ดีซีลิงก์หรือวงจรเชื่อมโยงทางกระแสตรง คือ วงจรเชื่อมโยงระหว่างวงจรเรียงกระแสและวงจรอินเวอร์เตอร์ ซึ่งจะประกอบด้วยคาปาซิเตอร์ที่มีขนาดใหญ่ พักักแรงดันไฟฟ้า 400 VDC หรือ 800 VDC โดยขึ้นอยู่กับแรงดันของด้านอินพุต ว่าจะเป็นแบบเฟสเดียวหรือ 3 เฟส ทำหน้าที่กรองแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ได้จากวงจรเรกติไฟเออร์ให้เรียบยิ่งขึ้น และทำหน้าที่เก็บประจุไฟฟ้า ขณะที่มอเตอร์ทำงานเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในช่วงเวลาสั้นๆ เนื่องจากการเบรก หรือมีการลดความเร็วรอบลงอย่างรวดเร็ว (สำหรับกรณีที่ใช้งานกับภาระทางกลที่มีแรงเฉื่อยมากๆ) และต้องการหยุดอย่างรวดเร็ว จะเกิดแรงดันสูงย้อนกลับมาตกคร่อมคาปาซิเตอร์และทำให้คาปาซิเตอร์เสียหายได้ ดังนั้น ในทางปฏิบัติจะมีวงจรชอปเปอร์โดยต่อค่าความต้านทานอนุกรมกับทรานซิสเตอร์ และต่อขนานกับคาปาซิเตอร์ไว้ โดยทรานซิสเตอร์จะทำหน้าที่เป็นสวิตช์ตัดต่อควบคุมให้กระแสไหลผ่านค่าความต้านทานเพื่อลดพลังงานที่เกิดขึ้น

### 3. วงจรอินเวอร์เตอร์ (Inverter Circuit)

วงจรอินเวอร์เตอร์ คือ ส่วนที่ทำหน้าที่แปลงแรงดันไฟฟ้าจากกระแสตรง (ที่ผ่านการกรองจากวงจรไฟฟ้ากระแสตรงเชื่อมโยง) เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ วงจรจะประกอบด้วยเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์กำลัง 6 ชุด (ส่วนใหญ่จะใช้ ไอจีบีที) ทำหน้าที่เป็นสวิตช์ตัดต่อกระแสไฟฟ้าเพื่อแปลงเป็นไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ โดยอาศัยเทคนิคที่นิยมใช้กันทั่วไปคือ PWM (Pulse Width Modulation) พัลส์วidthมอดูเลชัน

### 4. วงจรควบคุม (Control Circuit)

วงจรควบคุม ทำหน้าที่ รับข้อมูลจากผู้ใช้ เช่น รับข้อมูลความเร็วรอบที่ต้องการเข้าไปทำการประมวลผลและส่งออกที่พุดออกไปควบคุมการทำงานของทรานซิสเตอร์ เพื่อจ่ายแรงดันและความถี่ให้มีความเร็วรอบและแรงบิดตามที่ผู้ใช้งานต้องการ

เนื่องจาก การแปลงจากกระแสสลับไปเป็นกระแสสลับ โดยตรงเลยนั้น ความถี่สูงสุดที่ได้ทางด้านเอาต์พุด จะไม่เกินความถี่ทางด้านอินพุต ทำให้ไม่สามารถควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ให้มีความเร็วมากกว่าที่บอกไว้บนแผ่นป้ายของมอเตอร์ แต่การเปลี่ยนจากกระแสสลับไปเป็นกระแสตรงและแปลงกลับมาเป็นกระแสสลับอีกครั้ง จะทำให้อินเวอร์เตอร์สามารถสร้างความถี่ได้สูงกว่าความถี่ทางด้านอินพุต

#### 2.3.2 การควบคุมความเร็วรอบโดยอินเวอร์เตอร์

เนื่องจาก ความเร็วรอบของมอเตอร์เหนี่ยวนำ จะเปลี่ยนแปลงสัมพันธ์กับสมการความเร็วรอบหรือสมการซิงโครนัส-สลิป ดังสมการที่ (2.1) พบว่าความเร็วรอบของมอเตอร์สามารถปรับเปลี่ยนได้ 2 เส้นทาง คือ

1. เปลี่ยนจำนวนขั้วแม่เหล็ก ( $P$ )
2. เปลี่ยนแปลงความถี่ของกระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้กับมอเตอร์ไฟฟ้า ( $f$ )

ดังนั้น หากความถี่กระแสไฟฟ้ามีค่าคงที่ คือ 50 เฮิรตซ์. (หรืออาจเป็น 60 เฮิรตซ์.ในบางประเทศ เช่น อเมริกา) ความเร็วรอบของมอเตอร์แต่ละตัวก็จะมีความเร็วรอบที่แตกต่างกัน โดยจะขึ้นอยู่กับจำนวนขั้วแม่เหล็กของมอเตอร์แต่ละตัว ซึ่งสามารถสรุปได้ตามตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 สรุปความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับขั้วแม่เหล็กของมอเตอร์เหนี่ยวนำ

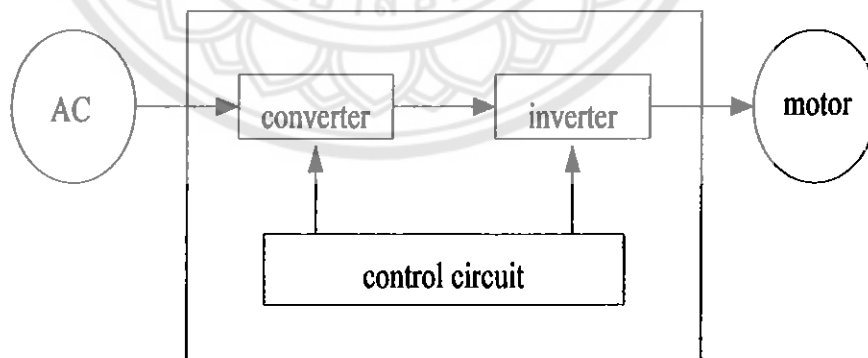
จำนวนขั้วแม่เหล็ก ( $P$ )	2	4	6	8	10	15
จำนวนรอบที่ความถี่ 50Hz. (rpm)	3,000	1,500	1,000	750	600	500
จำนวนรอบที่ความถี่ 60Hz. (rpm)	3,600	1,800	1,200	900	720	600

จากตารางที่ 2.1 พบว่า วิธีการควบคุมความเร็วรอบด้วยการเปลี่ยนจำนวนขั้วแม่เหล็กนั้น ความเร็วจะเปลี่ยนแปลงไปครั้งละมากๆ เช่น เปลี่ยนจาก 3,000 รอบต่อนาที ไปเป็น 1,500 รอบต่อนาทีหรือจาก 1,500 รอบต่อนาที เปลี่ยนไปเป็น 3,000 รอบต่อนาที (กรณีเปลี่ยนจากการต่อแบบ 2 ขั้วแม่เหล็กไปเป็นการต่อแบบ 4 ขั้วแม่เหล็ก หรือจากต่อ 4 ขั้วแม่เหล็กลดลงมาเหลือ 2 ขั้วแม่เหล็ก) ซึ่งการเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบในลักษณะนี้ ความเร็วรอบที่เปลี่ยนแปลงไปจะไม่ละเอียด ทำให้เฉพาะในสถานะที่ไม่มีภาระทางกลและที่สำคัญคือ ต้องใช้มอเตอร์ที่ออกแบบมาพิเศษที่สามารถเปลี่ยนแปลงจำนวนขั้วแม่เหล็กได้เท่านั้น ทำให้ไม่เหมาะสมกับความต้องการของงานในหลายๆ ประเภท ที่ต้องการควบคุมความเร็วรอบในสถานะมีภาระทางกล เพื่อให้ความเร็วเหมาะสมกับความเร็วของกระบวนการผลิต ดังนั้น ในกระบวนการผลิตทั่วไปจึงนิยมใช้อินเวอร์เตอร์ในการควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์มากกว่า เนื่องจากสามารถควบคุมให้มอเตอร์ด้วยความเร็วคงที่ ปรับความเร็วรอบไปที่ความเร็วต่างๆ ได้อย่างรวดเร็วและมีความเที่ยงตรงมากกว่า ดังแสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ความสัมพันธ์ของความเร็วรอบของมอเตอร์กับความถี่ของอินเวอร์เตอร์ที่แตกต่างกัน

ความถี่ของอินเวอร์เตอร์ ( Hz.)	1	10	20	30	40	50
จำนวนรอบที่ความถี่ 50 Hz. (rpm)	60	600	1,200	1,800	2,400	3,000

### 2.3.3 อินเวอร์เตอร์สำหรับการควบคุมมอเตอร์



รูปที่ 2.7 อินเวอร์เตอร์สำหรับการควบคุมมอเตอร์ [2]

มอเตอร์เป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้ในการแปลงพลังงานไฟฟ้า ไปเป็นพลังงานกล โดยพลังงานที่ได้นี้ไปทำการขับเคลื่อนเครื่องจักรอื่นๆ ต่อไปความเร็วของมอเตอร์สามารถกำหนดได้โดย

1. แรงบิดของภาระทางกล
2. จำนวนขั้วของมอเตอร์

3. ความถี่ของแหล่งจ่ายไฟที่ใช้กับมอเตอร์

4. แรงดันที่จ่ายให้กับมอเตอร์

ความเร็วของมอเตอร์สามารถหาได้จากสูตร ดังต่อไปนี้

$$N_s = \frac{120f}{P} \times (1-s) \quad (2.9)$$

โดยเทอม  $1-s$  กำหนดโดยภาระทางกล

จากสมการที่ (2.9) พบว่า ถ้าความถี่ของแหล่งจ่ายไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงไป มีผลทำให้มอเตอร์มีความเร็วเปลี่ยนแปลงไปด้วย แต่เมื่อทำการเปลี่ยนความถี่ โดยให้แรงดันคงที่ จะมีผลทำให้เกิดฟลักซ์แม่เหล็กเพิ่มมากขึ้นจนอิ่มตัว ซึ่งอาจทำให้มอเตอร์ร้อนจนเกิดความเสียหายได้ ดังนั้น จึงต้องทำการเปลี่ยนแปลงแรงดันควบคู่ไปกับความถี่ด้วย และการที่จะเปลี่ยนแปลงความถี่ของแหล่งจ่ายไฟฟ้า สามารถทำได้โดยการนำอินเวอร์เตอร์มาใช้ ซึ่งมีหลักการทำงานดังรูปที่ 2.6 แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับไปยังคอนเวอร์เตอร์ ซึ่งคอนเวอร์เตอร์ทำหน้าที่เปลี่ยนไฟฟ้ากระแสสลับให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรง แล้วนำไฟฟ้ากระแสตรงที่ได้ต่อเป็นอินพุตเข้าไปในวงจรอินเวอร์เตอร์ ซึ่งทำหน้าที่เปลี่ยนกระแสไฟฟ้ากระแสตรงนี้เป็น ไฟฟ้ากระแสสลับที่สามารถเลือกความถี่ได้ เพื่อไปควบคุมมอเตอร์ให้มีความเร็วตามต้องการได้

การเปลี่ยนแปลงแรงดันของอินเวอร์เตอร์ตามความถี่ โดยวิธีการแปรรูปคลื่นของแรงดันสามารถทำได้หลายวิธี ดังนี้

1. วิธีแปลงขนาดแรงดันของไฟตรง (Pulse Amplitude Modulation, PAM)
2. วิธีแปลงความกว้างของพัลส์ ที่ใช้เพื่อเปิด-ปิดทรานซิสเตอร์ (Pulse Width Modulation,

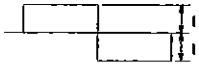
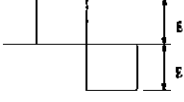
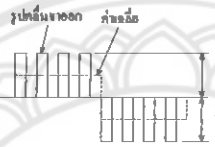
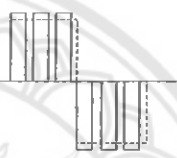
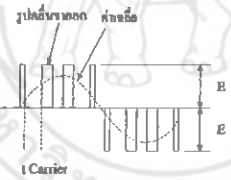

PWM)

-เป็น Square Wave

-เป็น Sine Wave

โดยแต่ละวิธีจะทำให้เกิดผลต่อมอเตอร์ดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 วิธีแปลงความกว้างของพัลส์ที่ใช้เปิด-ปิดทรานซิสเตอร์แต่ละวิธี

วิธีควบคุม	ความถี่ต่ำ (แรงดันต่ำ)	ความถี่สูง (แรงดันสูง)	จุดเด่น
วิธี PAM PULSE AMPLITUDE MODULATION			- เสียขมอเคอร์เบา - ประสิทธิภาพดี - ควบคุมขนาดแรงดันที่คอนเวอร์เตอร์ - ผลตอบซ้ำ
วิธี PWM PULSE WIDTH MODULATION			- ส่วนอินเวอร์เตอร์สามารถควบคุมความถี่และแรงดันได้ทั้งหมด - ได้ขิ้นเสียงความถี่สูงจากมอเคอร์
วิธี PWM ที่ให้แรงดันเป็นรูป ไซน์			- ดินมอเคอร์ได้เร็วที่ความถี่ต่ำ - ฮาร์โมนิคต่ำมีขนาดเล็ก - ได้ขิ้นเสียงความถี่สูงจากมอเคอร์

วิธี PWM แบบ Sine Wave นั้น จะมีการเปิด-ปิดสวิตช์หลายๆ ครั้งในหนึ่งไซเคิลและการเปิด-ปิดในแต่ละครั้งจะใช้เวลาไม่เท่ากัน จำนวนการเปิด-ปิดใน 1 วินาที เรียกว่า ความถี่แคเรียร์ (Carrier Frequency) ซึ่งวิธี PWM แบบ Sine Wave มีรูปแบบควบคุมการเปิด-ปิดสวิตช์ 3 แบบดังแสดงในตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 รูปแบบควบคุมการเปิด-ปิดสวิตช์โดยวิธี PWM แบบ Sine Wave

รูปแบบการควบคุม		ความถี่ต่ำ	ความถี่สูง	จุดเด่น
แบบซิงโครนัส (SYNCHRO-NOUS)	ความถี่แคเรียร์แปรตามความถี่ขาออก	 N=จำนวนพัลส์ของคาบขาออก	 N=จำนวนพัลส์ของคาบขาออก	-สามารถควบคุมฮาร์มอนิกได้ -แรงดันขาออกสูงสุดเกือบเท่ากับแรงดันของแหล่งจ่ายไฟ
แบบอะซิงโครนัส (ASYNCHRO-NOUS)	ความถี่แคเรียร์คงที่ ไม่สัมพันธ์กับความถี่ขาออก	 คาบเวลาของคลื่นแคเรียร์คงที่	 คาบเวลาของคลื่นแคเรียร์คงที่	-เสียงรบกวนจากมอเตอร์จะเป็นเสียงเดียว ไม่น่ารำคาญ
แบบผสม	ย่านความถี่ต่ำเป็นอะซิงโครนัสและย่านความถี่สูงเป็นซิงโครนัส	 เหมือนแบบ อะซิงโครนัส	 เหมือนแบบ อะซิงโครนัส	-สามารถควบคุมได้ดีทั้งย่านความถี่ต่ำตลอดจนถึงความถี่สูง

### 2.3.4 รูปแบบการนำการควบคุมมอเตอร์โดยใช้อินเวอร์เตอร์ไปใช้งาน

#### 1. การสตาร์ท

ทำได้โดย ตั้งความถี่แก้อินเวอร์เตอร์ด้วยความถี่สตาร์ท มอเตอร์ก็จะสร้างแรงบิดขึ้นมา จากนั้นอินเวอร์เตอร์จะค่อยๆ เพิ่มความถี่ขึ้นไป จนกระทั่งแรงบิดของมอเตอร์สูงกว่าแรงบิดของภาระทางกล มอเตอร์จึงเริ่มหมุน

#### 2. การเร่งความเร็วและการเดินเครื่องด้วยความเร็วคงที่

หลังจากสตาร์ทอินเวอร์เตอร์และมอเตอร์แล้ว ความถี่ขาออกจะค่อยๆ เพิ่มขึ้น จนถึงความถี่ที่ต้องการ ช่วงเวลาในการเพิ่มความถี่นี้ คือ เวลาการเร่งความเร็วและเมื่อความถี่ขาออกเท่ากับความถี่ที่ต้องการแล้ว การเร่งความเร็วก็จะหยุด อินเวอร์เตอร์จะเข้าสู่การทำงานในช่วงเวลาการเดินเครื่องด้วยความเร็วคงที่

3. การลดความเร็วทำได้โดย การตั้งความถี่ให้ต่ำกว่าความถี่ขาออก อินเวอร์เตอร์จะลดความถี่ลงมาเรื่อยๆ ตามช่วงเวลาการลดความเร็วที่ได้ตั้งไว้ ในขณะที่ลดความถี่ ความเร็วรอบของมอเตอร์จะมีค่ามากกว่าความถี่ขาออกของอินเวอร์เตอร์ ทำให้มอเตอร์ทำงานเหมือนเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ผลิตไฟจ่ายกลับไปให้อินเวอร์เตอร์ (Regeneration) ทำให้แรงดันไฟตรง (แรงดันตกคร่อมไดโอด) มีค่าเพิ่มขึ้น ดังนั้น ภายในอินเวอร์เตอร์จะมีวงจรที่ทำหน้าที่รับพลังงานที่เกิดจากการจ่ายไฟกลับ (Regeneration) ซึ่งจะมีผลทำให้เกิดการเบรกมอเตอร์ วงจรนี้เรียกว่า วงจรเบรกคืนพลังงาน

ในช่วงการลดความเร็วจะทำงานในลักษณะนี้หลายๆ ครั้ง ถ้าพลังงานมีค่าน้อย (แรงบิดที่จำเป็นสำหรับการลดความเร็วมีขนาดเล็ก) อัตราการใช้งานวงจรเบรกก็จะต่ำ บางครั้งอาจจะไม่ทำงานเลยก็มีอัตราการใช้งานวงจรเบรกนี้ ได้รับการออกแบบโดยการพิจารณาในแง่ของการระบายความร้อนไว้ที่ 2 เปอร์เซ็นต์ ถึง 3 เปอร์เซ็นต์ เท่านั้น ถ้ามีการใช้เบรกบ่อยหรือใช้เบรกนานเกินไป

อาจจะทำให้เกิดปัญหาการระบายความร้อนของตัวด้านทาน และอาจทำให้อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่สวิตช์เสื่อมได้

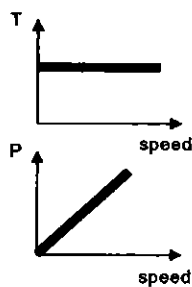
#### 4. การหยุด

อินเวอร์เตอร์จะลดความถี่ลงจนถึงระดับหนึ่ง และจะผลิตไฟตรงเข้าไปในมอเตอร์เพื่อทำงานเป็นเบรก จนมอเตอร์หยุดหมุน เรียกว่า การเบรกด้วยไฟตรง

### 2.4 ภาระทางกลของมอเตอร์

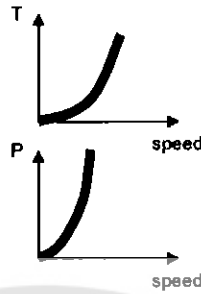
ในความหมายของปริมาณภาระงาน (ภาระทางกล) ของมอเตอร์ เป็นสิ่งสำคัญสิ่งหนึ่งที่ควรที่จะเข้าใจ โดยทั่วไป ภาระทางกลแบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม ดังนี้

1. ภาระทางกลแรงบิดคงที่ (Constant Torque) คือ ภาระทางกลที่มีความต้องการกำลังส่งออกแปรผันกับความเร็วในการทำงานแต่ไม่แปรผันกับแรงบิด ตัวอย่างของภาระทางกลแรงบิดคงที่ ได้แก่ สายพานลำเลียงเตาเผาแบบหมุนและเครื่องสูบบแบบแทนที่คงที่



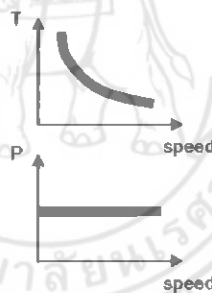
รูปที่ 2.8 ภาระทางกลแรงบิดคงที่ (Constant Torque) [3]

2. ภาระทางกลแรงบิดแปรผัน (Variable Torque) คือ ภาระทางกลที่มีความต้องการแรงบิดแปรผันกับความเร็วในการทำงาน ตัวอย่างของภาระทางกลแรงบิดผันแปร ได้แก่ เครื่องสูบบแบบแรงหมุนเหวี่ยง (แรงบิดจะผันแปรไปกับค่าความเร็วยกกำลังสอง)



รูปที่ 2.9 ภาระทางกลแรงบิดแปรผัน (Variable Torque) [3]

3. ภาระทางกลกำลังคงที่ (Constant Power) คือ ภาระทางกลที่มีความต้องการแรงบิดที่แปรผกผันกับความเร็ว ตัวอย่างของภาระทางกลกำลังคงที่ ได้แก่ เครื่องจักรต่างๆ



รูปที่ 2.10 ภาระทางกลกำลังคงที่ (Constant Power) [3]

#### 2.4.1 การประเมินภาระทางกลของมอเตอร์

เนื่องจากการประเมินประสิทธิภาพของมอเตอร์จะทำให้ยากภายใต้สภาพการทำงานปกติ โดยสามารถประเมินภาระทางกลของมอเตอร์ เพื่อเป็นตัวบ่งชี้ประสิทธิภาพของมอเตอร์ได้ เมื่อปริมาณภาระทางกลเพิ่มสูงขึ้น ค่าตัวประกอบกำลังและค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์ก็จะเพิ่มขึ้นจนถึงค่าที่ทำให้ได้ประโยชน์สูงสุด เมื่อมีปริมาณภาระทางกลเต็มที่

การคำนวณปริมาณภาระทางกลจะใช้สมการดังต่อไปนี้

$$Load = \frac{P_i \times \eta}{HP \times 0.7457} \quad (2.10)$$



โดยที่  $\eta$  คือ ค่าประสิทธิภาพในการทำงานของมอเตอร์  
แสดงเป็น เปอร์เซ็นต์

$HP$  คือ อัตรากำลังแรงม้าที่ระบุไว้ในป้ายชื่อ

$Load$  คือ ภาระทางกลซึ่งก็คือกำลังส่งออก โดยคิดเป็น  
เปอร์เซ็นต์ ของอัตรากำลังที่ระบุไว้

$P_3$  คือ ค่ากำลัง 3 เฟสในหน่วยกิโลวัตต์ (kW)

มี 3 วิธีการสำหรับการคำนวณภาระทางกลของมอเตอร์ที่มีการทำงานแบบแยกอิสระ

1. การวัดกำลังอินพุต วิธีนี้ จะคำนวณภาระทางกลในฐานะที่เป็นอัตราส่วนระหว่างกำลัง  
อินพุต (วัดโดยเครื่องวิเคราะห์กำลัง) และอัตรากำลังที่กำหนดไว้ ในสถานะที่มีภาระทางกล 100  
เปอร์เซ็นต์

2. การวัดกระแสในสายภาระทางกล ใช้วิธีการคำนวณ โดยจะทำการเปรียบเทียบค่ากำลัง  
กระแสไฟฟ้า (วัดโดยเครื่องวิเคราะห์กำลัง) กับค่ากำลังกระแสไฟฟ้าที่กำหนดไว้ วิธีการนี้จะถูกใช้  
เมื่อไม่ทราบค่าตัวประกอบกำลังและทราบเพียงกำลังกระแสไฟฟ้าเท่านั้น และแนะนำว่าควรใช้  
วิธีนี้เมื่อมีเปอร์เซ็นต์ของภาระทางกลน้อยกว่า 50 เปอร์เซ็นต์

3. วิธีการเลื่อนไหลภาระทางกล จะถูกคำนวณ โดยการเปรียบเทียบค่าการเลื่อนไหลที่วัดได้  
เมื่อมอเตอร์กำลังทำงาน โดยมีการเลื่อนไหลสำหรับมอเตอร์ที่มีภาระทางกลเต็มที่ วิธีการนี้ มี  
ข้อจำกัดเรื่องความแม่นยำ แต่สามารถนำมาใช้กับเครื่องมือวัดความเร็วรอบของการหมุนเท่านั้น  
(ไม่จำเป็นต้องใช้เครื่องวิเคราะห์กำลัง)

## 2.5 ประสิทธิภาพของมอเตอร์ไฟฟ้า

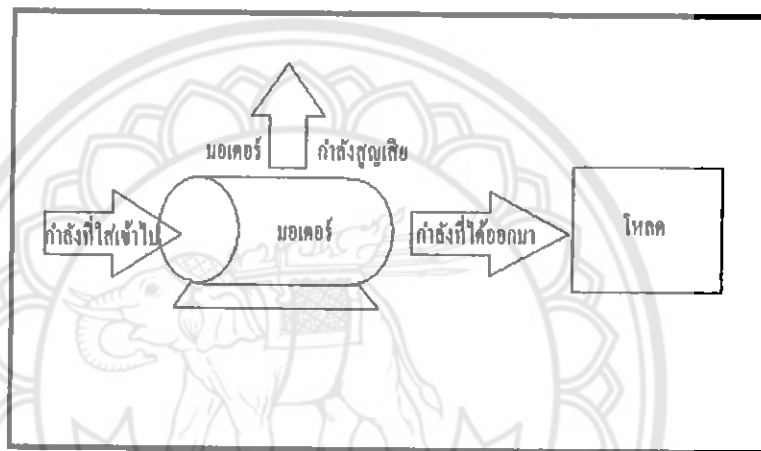
ประสิทธิภาพของเครื่องจักรกลทางไฟฟ้า หมายถึง กำลังงานที่ต้องการใช้งานจริง (Useful  
Power) หาค่าด้วยกำลังทางค่านอินพุต (Input Power) ซึ่งในทางอุดมคตินั้น กำลังที่ต้องการใช้งาน  
จริง จะต้องมีค่าเท่ากับกำลังทางค่านอินพุต แต่ในทางปฏิบัติจริงนั้น กำลังทางค่านอินพุตจะมากกว่า  
กำลังทางค่านเอาต์พุตเสมอ

ประสิทธิภาพของมอเตอร์เหนี่ยวนำจะมีค่าสูงสุด เมื่อกำลังสูญเสียที่ขึ้นอยู่กับภาระทางกล  
(Load-Dependent Losses) และกำลังสูญเสียที่ไม่ขึ้นอยู่กับภาระทางกล (Load-Independent Losses)  
มีค่าเท่ากัน นั้นหมายความว่า ประสิทธิภาพของมอเตอร์จะมีค่าเปลี่ยนแปลงตามกำลังค่านเอาต์พุต  
ของมอเตอร์

ส่วนมากประสิทธิภาพจะไม่ค่อยมีการเปลี่ยนแปลงมากนัก และจะมีค่าสูงใกล้เคียงค่า  
ประสิทธิภาพตามพิกัดของมอเตอร์ที่ออกแบบ โดยเฉพาะขณะที่ภาระทางกลของมอเตอร์มีค่าอยู่ใน

ระหว่าง 60 เปอร์เซ็นต์ ถึง 85 เปอร์เซ็นต์ (เฉลี่ยประมาณ 75 เปอร์เซ็นต์) และค่าประสิทธิภาพจะตกลงอย่างรวดเร็ว หากภาระทางกลของมอเตอร์โดยเฉลี่ย เริ่มมีค่าน้อยกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ ลงมา ดังนั้น หากมอเตอร์อยู่ในสภาวะรับภาระทางกลน้อย ก็จะทำให้เกิดกำลังสูญเสียเป็นอย่างมาก และในกรณีที่มอเตอร์มีประสิทธิภาพสูงขึ้น ค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ของมอเตอร์นั้นก็จะมีค่าสูงขึ้นด้วย (ในบางครั้ง ประสิทธิภาพมีค่าสูงขึ้น แต่ค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ไม่สูงขึ้นตามไปด้วย) ถ้ามอเตอร์ไฟฟ้ามีประสิทธิภาพต่ำจะทำให้ค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ของมอเตอร์มีค่าต่ำลง ทำให้เกิดกำลังสูญเสียมากขึ้น

มอเตอร์จะเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าให้เป็นพลังงานกล เพื่อทำงานให้ได้ปริมาณที่แน่นอน ในกระบวนการนี้จะมีการสูญเสียพลังงานไป ดังแสดงในรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.11 การสูญเสียพลังงานในมอเตอร์ [4]

ประสิทธิภาพของมอเตอร์ถูกวัดโดยปริมาณการสูญเสียภายใน ซึ่งจะถูกลดลงได้โดยการเปลี่ยนรูปแบบการออกแบบและการทำงานของมอเตอร์ การสูญเสียจะผันแปรไปได้ตั้งแต่ประมาณ 2 เปอร์เซ็นต์ ถึง 20 เปอร์เซ็นต์ ดังแสดงในตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 การสูญเสียประเภทต่างๆ ในมอเตอร์เหนี่ยวนำ

ประเภทของการสูญเสีย	เปอร์เซ็นต์การสูญเสียทั้งหมด (100%)
การสูญเสียหลัก	25
การสูญเสียผันแปร: การสูญเสีย $I^2R$ ของขดลวด	34
การสูญเสียผันแปร: การสูญเสีย $I^2R$ ของแกน	21
การสูญเสียจากแรงเสียดทานและการหมุนพัน	15
การสูญเสียจากการบ่าเบนของภาระทางกล	5

ปัจจัยต่างๆ ที่มีผลกระทบต่อประสิทธิภาพของมอเตอร์ มีดังนี้

1. อายุ มอเตอร์ใหม่จะมีประสิทธิภาพมากกว่า
2. กำลังการผลิต เช่นเดียวกันกับอุปกรณ์ส่วนใหญ่ ประสิทธิภาพของมอเตอร์จะเพิ่มขึ้นตามอัตรากำลังการผลิต
3. ความเร็ว มอเตอร์ที่มีความเร็วสูงกว่า มักจะมีประสิทธิภาพมากกว่า
4. ประเภท มอเตอร์แบบกรงกระรอกมักจะมีประสิทธิภาพมากกว่ามอเตอร์แบบวงแหวนเลื่อน
5. อุณหภูมิ มอเตอร์ที่ปิด และทำให้เย็น โดยใช้พัดลม จะมีประสิทธิภาพมากกว่ามอเตอร์ที่ใช้ฉนวนกันและป้องกันการหยุด
6. การหมุนพันขดลวดให้มอเตอร์ อาจทำให้ประสิทธิภาพลดลง
7. ภาระทางกล

#### 2.5.1 การใช้งานมอเตอร์ให้เหมาะสมกับภาระทางกล

เมื่อภาระทางกลของมอเตอร์ลดลง ประสิทธิภาพของมอเตอร์จะต่ำลง โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อภาระทางกลลดลงต่ำกว่าร้อยละ 40 ของพิกัด เนื่องจาก เมื่อภาระทางกลลดลงกำลังสูญเสียส่วนหนึ่งยังคงที่ เช่น กำลังสูญเสียในแกนเหล็ก กำลังสูญเสียจากพัดลมระบายความร้อนท้ายมอเตอร์ ดังนั้น ควรเลือกใช้งานมอเตอร์ให้เหมาะสมกับภาระทางกล ร้อยละของภาระทางกลเทียบกับพิกัด ควรจะสูงกว่า 60 หากพบว่าภาระทางกลต่ำ ควรปรับปรุงให้การใช้งานมอเตอร์เหมาะสมกับภาระทางกลมากขึ้น โดยสับเปลี่ยนมอเตอร์ที่มีอยู่ให้มีขนาดเล็กลง จะลดกำลังไฟฟ้าที่มอเตอร์ต้องการลงได้ ทั้งนี้ ควรตรวจวัดกำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้มอเตอร์นานพอสมควร เนื่องจาก บางกระบวนการ ภาระทางกลจะเพิ่มขึ้นเป็นบางช่วงเวลา

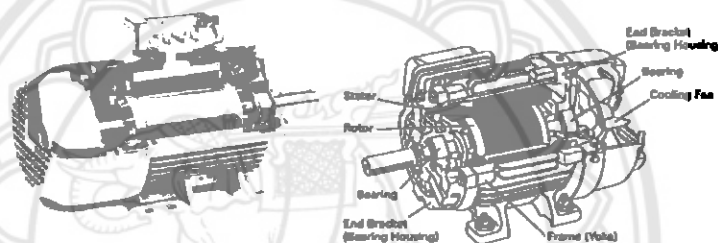
มอเตอร์มีภาระทางกลน้อยกว่าพิกัด จะทำให้ประสิทธิภาพต่ำ และจะทำให้ค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ต่ำด้วย ในกรณีนี้ หากต้องการปรับปรุงเพาเวอร์แฟคเตอร์ (ทำได้โดยการติดตั้งตัวเก็บประจุ (Capacitor) ก็จะทำให้ค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์สูงขึ้น แต่จะไม่ทำให้ประสิทธิภาพของมอเตอร์สูงขึ้นด้วย จึงจำเป็นจะต้องคิดทั้งค่าภาระทางกลและค่าประสิทธิภาพ เมื่อจะทำการประเมินสมรรถภาพของมอเตอร์ ส่วนใหญ่แล้วจะแสดงประสิทธิภาพของปริมาณภาระทางกลสูงสุดระบุบนป้ายชื่อของมอเตอร์

#### 2.6 อุณหภูมิกับการใช้งานมอเตอร์

ปัญหาที่เกิดจากมอเตอร์ที่มีอุณหภูมิสูงเกิน หรือ Over Temperature อาจเกิดมาจากการเลือกขนาด และชนิดของมอเตอร์การติดตั้งไม่ถูกต้อง ความไม่เข้าใจในลักษณะของภาระทางกลที่นำไปใช้งานรวมไปถึงอุณหภูมิของสภาพแวดล้อมในขณะที่ใช้งานสูงเกินมาตรฐานหลายๆปัญหาที่

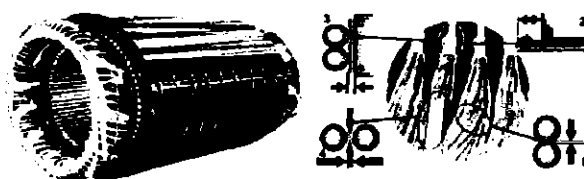
เกิดกับมอเตอร์รวมไปถึงปัญหาที่เกิดจากมอเตอร์ที่มีอุณหภูมิสูงเกิน สามารถที่จะหลีกเลี่ยงปัญหาที่จะเกิดขึ้นได้ ถ้าเข้าใจในหลักการการทำงานของมอเตอร์ และเข้าใจถึงสภาพการนำไปใช้งาน

มอเตอร์กรงกระรอกหรืออินดักชันมอเตอร์ โดยส่วนใหญ่จะมีการระบายความร้อนเป็นแบบชนิด IC411 หรือ แบบ Self Cool หรือ TEFC (Totally Enclosure Fan Cool) โดยจะมีพัดลมอยู่สองชุด แยกวงจรลมออกเป็นวงจรลมร้อนภายในและภายนอก โดยวงจรลมภายในจะมีครีบบีบพัดติดที่ตัวโรเตอร์ทำหน้าที่ตีลมให้มีการหมุนเวียนภายในห้องโรเตอร์ให้ลมกระจายโดยทั่วเพื่อสามารถนำพาเอาความร้อนจากตัวโรเตอร์เองและขดลวดสเตเตอร์ถ่ายเทไปยังผิวของโครงสร้างตัวมอเตอร์ โดยวิธีการนำพาระบายความร้อน ส่วนวงจรลมด้านนอกจะมีพัดลมติดค้ำท้ายของตัวโรเตอร์ด้านนอกโครงมอเตอร์ ทำหน้าที่ดูดลมเย็นจากทางด้านท้าย (Non Drive End) ผ่านทางกรีบด้านนอกเพื่อช่วยนำพา และระบายความร้อนออกจากตัวโครงสร้างมอเตอร์ ดังรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 แสดงลักษณะ โครงสร้างของมอเตอร์เหนี่ยวนำแบบกรงกระรอก [4]

จากรูปที่ 2.12 แสดงมอเตอร์โดยทั่วไปจะประกอบด้วย โครงเหล็กหรืออะลูมิเนียมด้านนอก ครอบสเตเตอร์ที่ทำจากแผ่นเหล็กบางเรียงอัดซ้อนกัน พร้อมขดลวดทองแดงหุ้มด้วยฉนวนฝังในร่อง สเตเตอร์ แล้วทำการชุบหรือเคลือบด้วยฉนวนวานิช แล้วอบแห้งเพื่อให้ทนทานต่ออุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นจากการใช้งาน บางชนิดของมอเตอร์หรือบางโรงงานอาจจะผ่านกรรมวิธี VPI (Vacuum Pressure Impregnation) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของการเคลือบวานิชให้กระจายทุกซอกทุกมุม เพิ่มความคงทนแข็งแรงอันเนื่องมาจากการสันตะเทียน และลดโอกาสที่ฝุ่นละอองจะเข้าไปจับระหว่างขดลวด โดยทั่วไปในปัจจุบันนี้วัสดุของฉนวนที่ใช้ส่วนใหญ่ จะสามารถทนอุณหภูมิได้ตามการมาตรฐานฉนวนไฟฟ้า Class F ซึ่งจะสามารถทนอุณหภูมิได้สูงสุด  $155^{\circ}\text{C}$  หรือมอเตอร์บางรุ่นอาจจะใช้ ฉนวนไฟฟ้าตามมาตรฐาน Class H ซึ่งสามารถทนอุณหภูมิได้สูงสุดถึง  $180^{\circ}\text{C}$



รูปที่ 2.13 แสดงลักษณะ โครงสร้าง และ ขดลวดของ Stator ของมอเตอร์ไฟฟ้า [4]

จากรูปที่ 2.13 แสดงลักษณะของขดลวดเมื่อพันเสร็จแล้วกลายเป็นขดลวดสเตเตอร์ รวมทั้งฉนวนขดลวดที่ใช้กัน โดยทั่วไป โดยระบบของฉนวนสำหรับขดลวดไฟฟ้าในสเตเตอร์จะประกอบไปด้วย

1. ฉนวนไฟฟ้าระหว่างขดลวด
2. ฉนวนระหว่างกราวด์ไฟฟ้ากับร่องขดลวด
3. ฉนวนระหว่างร่องขดลวดภายนอก
4. ฉนวนพันรอบมัดขดลวด

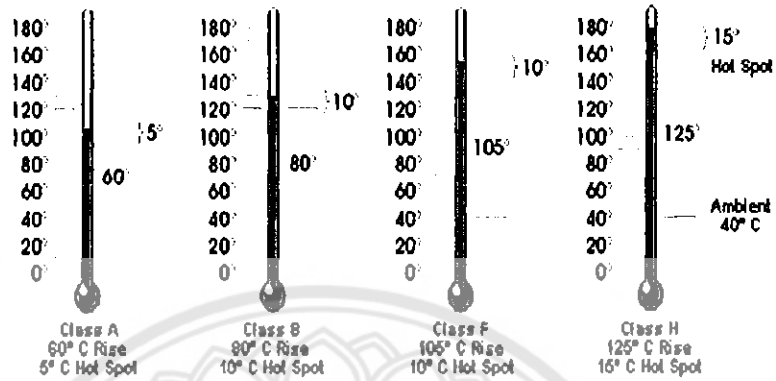
#### 2.6.1 อุณหภูมิกับอายุการใช้งานของมอเตอร์

อายุการใช้งานของมอเตอร์จะยาวนาน หรือสั้นลง ส่วนสำคัญ ส่วนหนึ่ง คือ อายุการใช้งานของฉนวนที่ขดลวด ส่วนอื่นๆ เช่น แบร์ริง ซึ่งเป็นอุปกรณ์ทางกลสามารถที่จะพอมองเห็นได้ด้วยตาหรือฟังด้วยเสียงได้ และการเปลี่ยนอุปกรณ์เหล่านี้ ไม่ยากและราคาไม่สูงมากนักมอเตอร์ส่วนใหญ่เกินกว่า 50 เฮอร์เซ็นต์ จะเสียหายเนื่องมาจากเกิดการลัดวงจรของขดลวด การลัดวงจรอาจจะเกิดจากปัญหาทางกลที่สามารถมองเห็นได้ง่าย แต่สาเหตุใหญ่ที่อยู่เบื้องหลัง คือฉนวนเสื่อมคุณภาพก็เพราะความเป็นฉนวนไม่สามารถทำหน้าที่เป็นฉนวนทนแรงดันไฟฟ้าสูงสุดได้ จึงทำให้เกิดแรงดันทะลุฉนวน เกิดการลัดวงจรทางไฟฟ้า หรือลัดวงจรลงดิน

ฉนวนเสื่อมคุณภาพสาเหตุใหญ่เกิดจากอุณหภูมิเกินพิกัด เพราะอุณหภูมิที่สูงเกินจะทำให้คุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุเปลี่ยนไป ความเป็นฉนวนของขดลวดเสื่อมคุณภาพ ทำให้เกิดการลัดวงจรลงโครง หรือระหว่างขดลวด อุณหภูมิเกินพิกัดนั้นมีสาเหตุมาจากหลายปัจจัย เช่นสภาพแวดล้อมไม่ตรงกับที่ออกแบบ, มอเตอร์ขับภาระทางกลเกินทำให้กระแสเกิน, การสตาร์ทบ่อยเกินไป จะมีกระแสเป็นจำนวนมากในตอนที่ยังมอเตอร์สตาร์ททำให้ร้อนจัด, หรือการเลือกมอเตอร์ไม่เหมาะสมกับสภาพการใช้งานเป็นต้น ดังนั้นปัจจัยที่สำคัญที่ก่อให้เกิดผลกระทบกระเทือนต่ออายุการใช้งานของมอเตอร์ก็คือ ความร้อนเกินพิกัด (Temperature Limited) นั่นเอง

โดยปกติฉนวนสำหรับมอเตอร์ควรจะมียุติการใช้งานประมาณ 20 ปี ถ้ามอเตอร์นั้นทำงานภายใต้สภาวะแวดล้อมตามที่ออกแบบเอาไว้ หากอุณหภูมิของฉนวนเพิ่มขึ้นทุกๆ 10 องศาเซลเซียส ( $10^{\circ}\text{K}$ ) อายุการใช้งานของฉนวนจะสั้นลงโดยประมาณ 50 เฮอร์เซ็นต์ ยกตัวอย่างเช่น

ตามสถิติ ฉนวน Class F (155°C) นำไปใช้งานที่อุณหภูมิเพิ่มขึ้นตาม Class F (105 °K) จะมีอายุการใช้งานประมาณ 60,000 ชั่วโมง แต่หากนำไปใช้งานที่อุณหภูมิเพิ่มขึ้นตาม Class B (80°K) จะมีอายุการใช้งานประมาณ 150,000 ชั่วโมง เป็นต้น



รูปที่ 2.14 แสดงมาตรฐานอุณหภูมิ หรือ Class ของฉนวนสำหรับขดลวดมอเตอร์ [4]

ในบางกรณี อาจจะมีผู้ขายหรือผู้ผลิตบางรายใช้วิธีเล่นคำ นำเสนอมอเตอร์ ซึ่งปกติกมอเตอร์มีฉนวนแบบ Class F ออกแบบเพื่อใช้งาน Utilization to Class B สามารถับภาระทางกลได้ไม่เกิน 100 kW เล่นคำเสียใหม่เป็นมอเตอร์ 110 kW ฉนวนชนิด Class F Utilization to Class F ฟังดูดี และขนาดมอเตอร์ใหญ่กว่า น่าจะราคาแพงกว่ามอเตอร์ 100 kW Class F/B ซึ่งแท้ที่จริงแล้วเป็นมอเตอร์เหมือนกันทุกประการ Utilization to Class F หมายความว่าเมื่อนำมอเตอร์ไปใช้งานที่กำลังฟักัด (ซึ่งจะสูงกว่าเดิมประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์) จะทำให้อุณหภูมิเพิ่มขึ้นจากอุณหภูมิแวดล้อมได้สูงขึ้น จากเดิม 80 °C เปลี่ยนเป็น Class F หรือ 105 °C หรือ อธิบายได้อีกอย่างหนึ่ง มอเตอร์ตัวเดียวกันนี้ ถ้าระบุการนำไปใช้งาน เป็นแบบ Class F/B จะได้กำลังน้อยกว่า F/F ประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์

นอกจากนั้น การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิจะเป็นผลทำให้เกิดค่าความต้านทานของขดลวดในมอเตอร์เพิ่มมากขึ้น ทำให้ค่า I2R หรือ กำลังสูญเสียในตัวมอเตอร์เพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิที่แตกต่างกัน ทำให้ประสิทธิภาพของการแปลงพลังงานไฟฟ้าไปเป็นพลังงานกลของมอเตอร์ลดลง ซึ่งสามารถหาค่าความต้านทานที่เพิ่มขึ้นได้ ตามสูตร

$$T_2 - T_0 = \frac{R_2 - R_1}{R_1} \times (235 + T_1) + T_1 - T_0 \tag{2.11}$$

$T_0$  = อุณหภูมิของลมที่ใช้ระบายความร้อน

$T_1$  = อุณหภูมิของขดลวดขณะเย็นตัวแล้ว

$T_2$  = อุณหภูมิของขดลวดขณะร้อน

### 2.6.2 การระบายความร้อนมอเตอร์

ประสิทธิภาพของการระบายความร้อน ทั้งด้านนอก และภายในตัวมอเตอร์ ซึ่งขึ้นอยู่กับ ปริมาณลมที่ระบายความร้อน และความชื้นของลม ในขณะที่ปริมาณลมก็ขึ้นอยู่กับความเร็วของ พัดลมยกกำลังสาม ( $Q \sim n^3$ ) ตามกฎพลศาสตร์ ดังนั้นเมื่อเรานำมอเตอร์อเมริกาที่ออกแบบให้ใช้ที่ อุณหภูมิแวดล้อมเท่ากับ ที่ระบบความถี่ 60 เฮิรตซ์ ความเร็วรอบ 1800 รอบต่อนาที มาใช้ที่ระบบ ไฟฟ้า 50 เฮิรตซ์ ความเร็วรอบ 1500 รอบต่อนาที จะทำให้ประสิทธิภาพของการระบายความร้อน ของมอเตอร์ลดลง ทำให้ความสามารถในการรองรับกระแสก็จะลดลงตามไปด้วย ทำให้มอเตอร์ไม่ สามารถขับภาระทางกลได้เต็มพิกัดตามขนาดกระแสพิกัด หากเรานำมอเตอร์ไปขับยังกระแสพิกัด ผลที่ตามมาคือ มอเตอร์จะร้อนกว่าพิกัดที่ออกแบบไว้ ทำให้อายุการใช้งานของมอเตอร์สั้นลงอย่าง รวดเร็ว

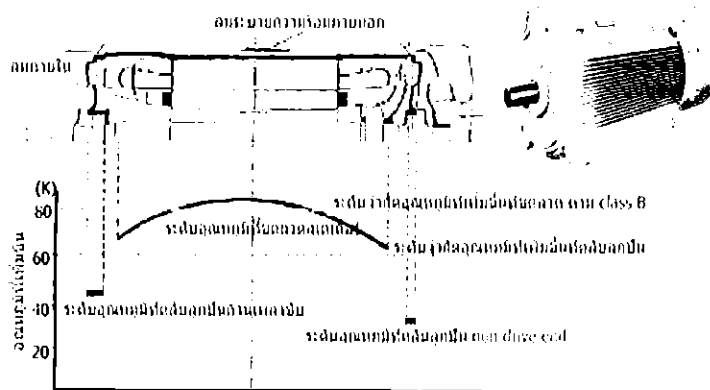


รูปที่ 2.15 แสดงลักษณะการระบายความร้อนของมอเตอร์ [5]

จากรูปที่ 2.14 หากวิเคราะห์หาค่าตามหลักพลศาสตร์ การระบายความร้อน ส่วนที่ร้อนที่สุดคือ ส่วนกลางตัวมอเตอร์ เพราะอยู่ใกล้แหล่งกำเนิดความร้อนคือ ขดลวดสเตเตอร์มากที่สุด ส่วนที่มี อุณหภูมิต่ำที่สุดคือส่วนท้ายตัวมอเตอร์เพราะอยู่ใกล้แหล่งลมเย็นที่ระบายความร้อนมากที่สุด

ดังนั้นหากต้องการนำมอเตอร์อเมริกาออกแบบที่ 60 เฮิรตซ์ มาใช้ที่ระบบไฟฟ้า 50 เฮิรตซ์ ควรตรวจดูความร้อนที่เพิ่มขึ้นที่ตัวมอเตอร์ โดยทั่วไปมอเตอร์ Class F Utilization Class B หมายถึง ฉนวนของขดลวดมีความสามารถทนความร้อนได้ไม่เกิน  $155^{\circ}\text{C}$  และจะยอมให้มีอุณหภูมิเพิ่มขึ้น จากการใช้งานได้ไม่เกิน  $80^{\circ}\text{C}$  จากอุณหภูมิแวดล้อม

ยกตัวอย่างเช่น อุณหภูมิแวดล้อม  $40^{\circ}\text{C}$  เมื่อขับมอเตอร์เต็มรอบ ความร้อนที่ขดลวดเพิ่มขึ้น เป็น  $125^{\circ}\text{C}$  นั้นหมายความว่ามอเตอร์กำลังขับภาระทางกลเกินกำลัง เพราะอุณหภูมิที่ยอมรับได้ คือ อุณหภูมิไม่เกิน  $40^{\circ}\text{C} + 80^{\circ}\text{C} = 120^{\circ}\text{C}$



รูปที่ 2.16 แสดงลักษณะอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นแต่ละตำแหน่งของมอเตอร์ [5]

จากรูปที่ 2.15 เป็นการอธิบายอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น ณ ตำแหน่งจุดต่างๆ ที่ตัวมอเตอร์ โดย 1 องศาเซลเซียส มีค่าเท่ากับ  $1^{\circ}\text{C} \Delta T$  หรือ เท่ากับอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น  $1^{\circ}\text{C}$  ( $10\text{K} = \Delta 1^{\circ}\text{C}$ ) นับจากอุณหภูมิแวดล้อม ณ ขณะนั้นๆ

ตามมาตรฐาน IEC มอเตอร์จะออกแบบขดลวดเป็นแบบชนิด Class F Utilization to Class B หมายความว่า ขดลวดที่สเตเตอร์ได้ถูกออกแบบโดยใช้ฉนวนเป็นแบบชนิด Class F ซึ่งตามมาตรฐานจะต้องสามารถทนอุณหภูมิสูงสุดได้ถึง  $155^{\circ}\text{C}$  Utilization to Class B หมายความว่า การนำมาใช้งานที่กำลังพิกัด จะยินยอมให้อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นจากอุณหภูมิแวดล้อมต้องไม่เกิน Class B =  $80^{\circ}\text{C}$  หรืออีกนัยหนึ่ง หมายความว่า อุณหภูมิของขดลวดเมื่อนำไปใช้งานที่กำลังพิกัด (Rated Power Output) อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นจากอุณหภูมิแวดล้อมต้องไม่เกิน  $80^{\circ}\text{C}$

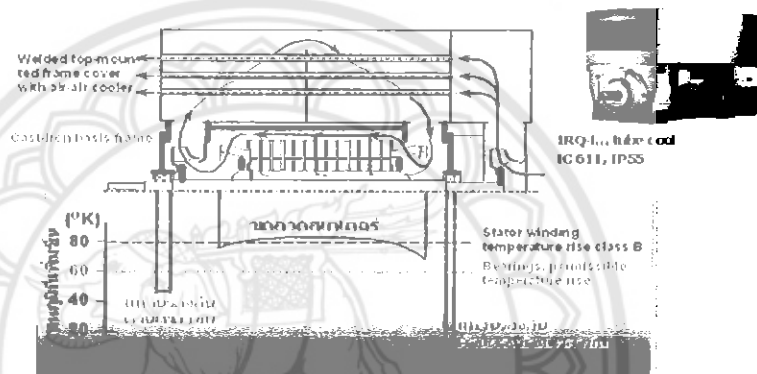
ตามมาตรฐาน IEC มอเตอร์ จะออกแบบและทดสอบมาให้ใช้งาน ณ อุณหภูมิแวดล้อม  $40^{\circ}\text{C}$  ดังนั้น อุณหภูมิที่ขดลวดจะมีอุณหภูมิสูงสุดไม่เกิน  $40^{\circ}\text{C} + 80^{\circ}\text{C} = 120^{\circ}\text{C}$  โดยเฉลี่ย หรืออ้างอิงตามมาตรฐาน IEC ในแต่ละจุดที่ขดลวดสเตเตอร์ อาจจะยินยอมให้มี Hot Spot หรือ Tolerance ได้  $10^{\circ}\text{K}$

จากรูปอุณหภูมิที่ขดลวดสเตเตอร์อาจจะมีบางจุด อุณหภูมิอาจจะสูงเกินได้แต่ต้องไม่เกิน  $10^{\circ}\text{K}$  ในบางจุดได้ หรือ  $40^{\circ}\text{C} + 80^{\circ}\text{C} + 10^{\circ}\text{C} = 130^{\circ}\text{C}$  ได้ ทั้งนี้หากนำไปใช้งาน ณ. อุณหภูมิแวดล้อม  $50^{\circ}\text{C}$  อุณหภูมิที่ขดลวดจะมีอุณหภูมิสูงสุดไม่เกิน  $50^{\circ}\text{C} + 80^{\circ}\text{C} = 130^{\circ}\text{C}$  หรือมี Hot Spot ที่ขดลวด ไม่เกิน  $130^{\circ}\text{C}$

เนื่องจากมอเตอร์ชนิดนี้ ออกแบบการระบายความร้อนโดยมีพัดลมติดกับแกนเพลาด้านตรงข้ามเพลาชับ ทำหน้าที่ดูดลมเย็นจากทางด้านหลัง ผ่านไปยังกริประบายความร้อน โดยมีกริปเป็นตัวช่วยเพิ่มพื้นที่ผิว การระบายความร้อนโดยวิธีการนำพาความร้อนออกไป (IC411) จึงทำให้ อุณหภูมิที่ เหวนรองลิ้นด้านตรงข้ามเพลาชับ (Non Drives End) จะมีอุณหภูมิไม่สูงมากนัก อันเนื่องมาจากติดตั้งอยู่ใกล้กับพัดลมระบายความร้อน และ โคนลมเย็นระบายความร้อนมากที่สุด



ตามมาตรฐาน การออกแบบจากทางโรงงานผู้ผลิตชั้นนำ จะมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นโดยประมาณ  $30^{\circ}\text{K}$  หรืออีกนัยหนึ่งหากวัดอุณหภูมิที่แหวนรองลื่นด้านตรงข้ามเพลาชับ  $40^{\circ}\text{C} + 30^{\circ}\text{C} = 70^{\circ}\text{C}$  ในทำนองกลับกันอุณหภูมิที่แหวนรองลื่นด้านเพลาชับ หากดูทิศทางลมระบายความร้อนจะเห็นว่าไม่มีส่วนของลมเย็นมาปะทะให้นำพาความร้อนออกไปได้โดยตรงเหมือนแหวนรองลื่นด้านตรงข้ามเพลาชับจึงทำให้เกิดความร้อนสะสมมีมากกว่า ตามรูป จะเกิดอุณหภูมิเพิ่มขึ้นโดยประมาณ  $45^{\circ}\text{K}$  หรือ  $40^{\circ}\text{C} + 45^{\circ}\text{C} = 85^{\circ}\text{C}$  อย่างไรก็ตาม โดยมาตรฐานการออกแบบของผู้ผลิตแหวนรองลื่น (Bearing) สามารถจะทนอุณหภูมิสูงสุดได้ถึง  $60^{\circ}\text{K}$  หรือ  $40^{\circ}\text{C} + 60^{\circ}\text{C} = 100^{\circ}\text{C}$  จึงไม่น่าจะมีปัญหาประการใด หากอุณหภูมิสูงไม่เกินพิกัดมาตรฐานผู้ผลิตแหวนรองลื่น



รูปที่ 2.17 อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น ณ ตำแหน่งจุดต่างๆ ที่ตัวมอเตอร์ [5]

รูปที่ 2.17 เป็นการอธิบายอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น ณ ตำแหน่งจุดต่างๆ ที่ตัวมอเตอร์ จากรูปอาจจะไม่ค่อยคุ้นตากับมอเตอร์ชนิดนี้มากนัก เพราะเป็นการระบายความร้อนแบบ IC 611 จะเป็นมอเตอร์ขนาดใหญ่กว่า 1,000 กิโลวัตต์ เสียเป็นส่วนมาก

เนื่องจากมอเตอร์ชนิดนี้ออกแบบการระบายความร้อน โดยมีพัดลมติดกับแกนเพลาด้านตรงข้ามเพลาชับ ทำหน้าที่ดูดลมเย็นจากทางด้านหลัง ผ่านไปยังท่อระบายความร้อน โดยวิธีการนำพา (IC611) จึงทำให้อุณหภูมิที่แหวนรองลื่นด้านตรงข้ามเพลาชับ (Non Drives End) จะมีอุณหภูมิไม่สูงมากนัก อันเนื่องมาจากติดตั้งอยู่ใกล้กับพัดลมระบายความร้อนและโดนลมเย็นระบายความร้อนมากที่สุด จากมาตรฐานการออกแบบจากทางโรงงานผู้ผลิตชั้นนำจะมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นโดยประมาณ  $18^{\circ}\text{K}$  หรือ  $40^{\circ}\text{C} + 18^{\circ}\text{C} = 58^{\circ}\text{C}$

จากรูปแหวนรองลื่นด้านเพลาชับหากดูทิศทางลมระบายความร้อนจะเห็นว่าไม่มีส่วนของลมเย็นมาปะทะให้นำพาความร้อนออกไปได้โดยตรงเหมือนแหวนรองลื่นด้านตรงข้ามเพลาชับ จึงทำให้เกิดความร้อนสะสมมากกว่า จะเห็นว่า เกิดอุณหภูมิเพิ่มขึ้นโดยประมาณ  $48^{\circ}\text{K}$  หรือ  $40^{\circ}\text{C} + 48^{\circ}\text{C} = 88^{\circ}\text{C}$

หนึ่งในบางกรณี หากนำมอเตอร์ไปใช้ที่อุณหภูมิแวดล้อมต่ำกว่าที่ออกแบบไว้หรือนำมอเตอร์ไปขับภาระทางกลที่ต่ำกว่ากำลังพิกัด อุณหภูมิที่ขดลวดจะต้องต่ำกว่าที่ออกแบบไว้ ส่วนที่แหวนรองลื่นจะลดลงบ้างอาจจะไม่มากนัก หากนำมอเตอร์ไปใช้งานที่ความเร็วรอบต่ำกว่ามาตรฐานที่ออกแบบไว้ อาจจะทำให้การระบายความร้อนได้ไม่ดีเท่าที่ควร แต่ไม่ควรจะสูงกว่าที่ได้ออกแบบไว้ตามมาตรฐานการผลิต

## 2.7 เครื่องวัดเสียง

เครื่องวัดเสียงเป็นเครื่องมือทางวิทยาศาสตร์ที่นำมาประยุกต์ใช้ในค่านต่างๆมากมายเช่น ในทางอุตสาหกรรม, ในทางสภาพแวดล้อม, และในทางด้านการแพทย์ เป็นต้น

ก่อนที่จะทำการวัดเกี่ยวกับเสียงจะต้องทราบวัตถุประสงค์ที่ชัดเจนเพื่อที่จะทำให้การวัดนั้นเหมาะสมและสมบูรณ์ที่สุด

ตัวอย่างต่อไปนี้แสดงถึงว่าวัตถุประสงค์ของการวัดเสียงย่อมมีอิทธิพลต่อจำนวนเสียงที่ทำการวัด, เทคนิคที่ใช้, การวัดและการสังเกตสภาพแวดล้อม

### 1. การวัดเพื่อประเมินเสียงต่อมนุษย์

วัตถุประสงค์ที่สำคัญคือการประเมินอันตรายของเสียงต่อระบบประสาทการได้ยินของมนุษย์รวมทั้งตรวจวัดเสียงที่จะมาบดบังความสามารถที่ใช้ในการติดต่อสื่อสาร อีกทั้งอาจใช้ประเมินระดับเสียงที่สามารถจะยอมให้มีได้ในบริเวณที่มนุษย์ต้องอาศัยอยู่

ในกรณีเหล่านี้จำเป็นต้องการการวิเคราะห์ความถี่ของคลื่นเสียง รวมทั้งระดับของเสียงที่อาจแปรผันได้ รวมทั้งระยะเวลาที่เสียงเกิดขึ้น ปัจจัยอื่นที่มีความสำคัญได้แก่ระดับเสียงพื้นฐานซึ่งเกิดขึ้นในเวลาต่างๆของวัน เช่น กลางวันและกลางคืน เป็นต้น ความรู้ของหลักเกณฑ์นั้นย่อมบอกถึงแถบความถี่ของคลื่นเสียงที่จะทำการวัดในบางกรณีอาจทำการวัดเพียงชั้นความถี่ หรือ วัน-เฮิซ อีออกเทฟ แบนด์ ก็ย่อมเพียงพอ แต่ในอีกหลายกรณีที่ต้องทำการวิเคราะห์แถบความถี่วงแคบ

### 2. การวัดเพื่อการออกแบบทางวิศวกรรมหรือใช้ในการตัดสินใจเพื่อการควบคุมระดับ

เสียงการสร้างโรงงานและการติดตั้งเครื่องจักรจะต้องคำนึงถึงเสียงที่เกิดขึ้นในโรงงานนั้นด้วยจึงต้องวัดระดับเสียงที่เกิดขึ้นรวมทั้งตรวจวัดให้ทราบว่าเสียงนั้นมาจากแหล่งใด จัดลำดับความสำคัญเพื่อการควบคุมระดับเสียงจากแหล่งต่างๆ รวมทั้งจัดหาข้อมูลเกี่ยวข้องกับเสียง เพื่อการออกแบบและการตรวจวัดสมรรถภาพของงานที่ใช้ควบคุมระดับเสียง

ความต้องการเหล่านี้ย่อมหมายถึงการวิเคราะห์เสียงโดยละเอียด นอกจากนั้นยังรวมไปถึงการตรวจสอบวัดอุณหภูมิ, ความดัน, การไหลของก๊าซ, และระดับการสั่นสะเทือน

### 3. การแบ่งระดับเสียงของเครื่องมือต่างๆ

ในบางกรณีนั้นย่อมต้องการทราบว่าเครื่องจักรดังกล่าว เป็นต้นตอของการเกิดเสียงมากน้อยเพียงใด ทั้งนี้เพื่อให้เป็นไปตามเกณฑ์ตามข้อบังคับของกฎหมาย

### 4. การวัดเพื่อตรวจสอบวินิจฉัย

การสืบสวนค้นคว้าต้นตอที่ซับซ้อนของเสียงจากเครื่องจักรรวมทั้งหาหนทางเพื่อลดเสียงนั้นอาจต้องการวิเคราะห์ความถี่ของคลื่นเสียงนั้น โดยละเอียด รวมทั้งความถี่ของเสียงที่เกิดขึ้นจากการสั่นสะเทือนด้วย

#### 2.7.1 เครื่องที่ใช้วัดระดับความดังของเสียง (sound-pressure level)

ส่วนประกอบต่างๆ ของระบบที่ใช้วัด ได้แก่ ไมโครโฟน, สภาวะสัญญาณทางอิเล็กทรอนิกส์, การกรอง หรือ น้ำหนัก และ ตัวบ่งชี้จำนวน ที่เป็นอนาล็อก หรือ ดิจิตอล

##### 1. ไมโครโฟน

ไมโครโฟนเป็นส่วนประกอบที่สำคัญที่สุดในระบบการตรวจวัดเสียง คุณสมบัติของไมโครโฟนที่ดีเพื่อใช้ในการตรวจวัด จะต้องมีคุณสมบัติดังต่อไปนี้คือ

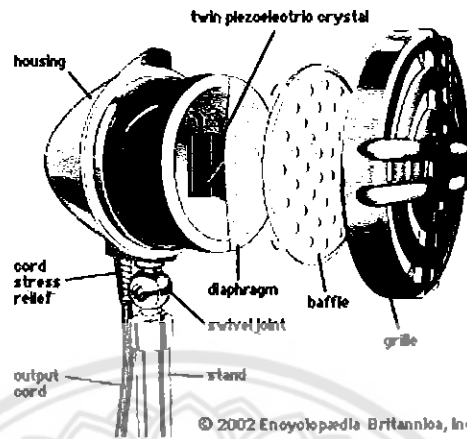
1. ต้องมีขนาดเล็กเพื่อที่จะได้ไม่รบกวน สนามเสียง และความดังเสียงที่จะต้องทำการวัด
2. ต้องมีอิมพีแดนซ์เสียงสะท้อนที่สูง เมื่อเปรียบเทียบกับ สนามเสียง ที่ตำแหน่งของการวัด
3. ต้องมีเสถียรภาพในการปรับเทียบค่า
4. ต้องมีการตอบสนองในแถบความถี่ที่กว้าง และต้องสามารถตรวจวัดได้โดยไม่มี การคิดเขียนทั้งทางด้าน เอมพลิจูด หรือ เฟส
5. สามารถวัด ระดับแรงดันเสียงได้เป็น ช่วงไดนามิก ที่กว้างขวางมาก
6. เมื่อใช้สำหรับวัดระดับแรงดันเสียง ในระดับต่ำไมโครโฟนเองก็ควรทำให้เกิดเสียงน้อยด้วย

คุณสมบัติต่างๆ สามารถได้รับ โดยการ ใช้ คอนเดนเซอร์หรืออิเล็กทรอนิกส์ ไมโครโฟน พร้อมกับอุปกรณ์ที่มีค่าอิมพีแดนซ์สูง จึงมีความจำเป็นที่ระยะสัญญาณเข้าของไมโครโฟนนี้ต้องมี 0 เดซิเบล ที่นำมาต่อโดยตรงกับไมโครโฟน เพื่อที่จะได้ใช้สายต่อยาวจากไมโครโฟนไปยังที่ทำการวัดได้

##### 1.1 คอนเดนเซอร์ไมโครโฟน

ส่วนประกอบที่สำคัญของคอนเดนเซอร์ไมโครโฟน คือ มีไดอะแกรม ที่ทำด้วยแผ่นโลหะ บางติดอยู่กับแผ่นโลหะหนาที่มีฉนวนกันไว้ ส่วนประกอบของไมโครโฟนชนิดนี้ได้แสดงไว้ในรูปที่ 2.17 โดยมี แรงดันคงที่ (ประมาณ 200 โวลต์) ป้อนเข้าไประหว่างไดอะแกรม กับแผ่นโลหะหนา

โดยป้อนมาจากคันตอที่มีค่า รีซิสแตนซ์ ซึ่งมี โทม์ คอนเดนส์ ซึ่งมีค่ามากกว่าช่วงเวลาของ การเปลี่ยนแปลงความดันเสียงในย่านความถี่ต่ำ ที่จะทำการวัด



รูปที่ 2.18 ส่วนประกอบของไมโครโฟน [7]

คอนเดนเซอร์ไมโครโฟน สามารถสร้างให้มีความไวสูงได้ถึง 50 มิลลิโวลต์/ปาสกาล การเลือกคอนเดนเซอร์ไมโครโฟน สำหรับงานเฉพาะอย่างนั้นถูกกำหนดโดย ช่วงความถี่ของเสียงที่จะทำการวัด, ช่วงไดนามิก ของ ระดับแรงดันเสียง และ การตกกระทบของเสียง

คอนเดนเซอร์ไมโครโฟน เป็นไมโครโฟนที่ใช้วัดความดัน ซึ่งหมายถึงเอาท์พุทซึ่งเป็นไฟฟ้าจะได้สัดส่วนโดยตรงกับความดันของเสียงที่มากระทำต่อไดอะแกรม ที่ความถี่สูงนั้น ขนาดของไดอะแกรมจะประกอบเป็นเศษส่วนของความยาวคลื่น จึงทำให้เกิดเป็นอิมพีแดนซ์ และทำให้ให้คลื่นสะท้อนกลับ ในกรณีเช่นนี้ ไมโครโฟนจึงทำหน้าที่ปรับปรุง สนามเสียงและทำให้เกิดความดันที่จะทำการตรวจวัด โดยไดอะแกรมมีค่าเพิ่มขึ้น ดังนั้นไมโครโฟนที่มีค่า การตอบสนองตามลำดับความดัน จึงทำให้อ่านค่าไม่ถูกต้อง ด้วยเหตุผลดังกล่าวนี้จึงได้มีการสร้างคอนเดนเซอร์ไมโครโฟนชนิดพิเศษขึ้นที่เรียกว่า ฟรีฟิลด์ไมโครโฟน สำหรับนำมาใช้ในสภาพของ สนามที่ว่างเปล่า ซึ่งมีคลื่นเสียงตกกระทบตั้งฉากกับไดอะแกรม ฟรีฟิลด์ไมโครโฟน ใช้สำหรับการสร้างเครื่องวัดระดับเสียง

ชุดของคอนเดนเซอร์ไมโครโฟนนั้นประกอบด้วย 2 ส่วน คือ กล้องไมโครโฟน และ เครื่องขยายกำลังสัญญาณ สำหรับ เครื่องขยายกำลังสัญญาณ นั้นอาจสร้างรวมอยู่ในเครื่องวัดระดับเสียงโดยทั่วไปไมโครโฟนที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่ ย่อมมีความไวสูง แต่ช่วงการตอบสนองความถี่ของไมโครโฟนได้ส่วนกลับของขนาดไดอะแกรม โดยทั่วไปไมโครโฟนที่ใช้เป็นมาตรฐานนั้นได้มีการสร้างให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1, 1/2, หรือแม้แต่ 1/4 นิ้วฟุต สำหรับไมโครโฟนที่มีขนาดเล็กนั้นเหมาะสำหรับการใช้วัดเสียงที่มีความถี่สูงมาก

## 1.2 อีเล็กเตรทไมโครโฟน

ถึงแม้ว่าคอนเดนเซอร์ไมโครโฟนจะสามารถใช้วัดได้อย่างเที่ยงตรงแล้วก็ตาม แต่ก็ยังมีความพยายามค้นหาศักย์ไฟฟ้าดี.ซี เพื่อใช้ใน โพลาริซ์ โดยพบว่าไมโครโฟนที่เรียกว่า อีเล็กเตรทไมโครโฟนมีเสถียรภาพดีเยี่ยมเพื่อนำมาใช้สร้าง ฟรีโพลาริซ์ คอนเดนเซอร์ ไมโครโฟน ทางด้านการออกแบบนั้น ได้มีการสร้างไดอะแกรมที่มีลักษณะแข็งไว้เช่นเดียวกับคอนเดนเซอร์ไมโครโฟน แต่เคลือบผิวหน้าของแผ่นประกบ ด้วยวัสดุอีเล็กเตรท จนทำให้ไมโครโฟนชนิดใหม่นี้เสถียรภาพในระยะยาวดีมาก คือ 0.2เดซิเบล/ปี

หลักการของอีเล็กเตรทไมโครโฟนก็เป็นเช่นเดียวกับคอนเดนเซอร์ไมโครโฟน แต่ในปัจจุบันยังมีราคาสูงกว่า อย่างไรก็ตาม ยังมีข้อดีอื่นๆ อีกคือ ต้องการพลังงานน้อยกว่าและมีส่วนประกอบทางอิเล็กทรอนิกส์ที่ง่ายกว่าเข้ามาด้วย

## 1.3 ไมโครโฟนสำหรับการใช้งานที่ความถี่ต่ำ

สมรรถภาพของคอนเดนเซอร์ไมโครโฟนที่ความถี่ต่ำขึ้นอยู่กับ การรักษาความดันคงที่และขึ้นอยู่กับอัตราส่วนของอินพุทอิมพีแดนซ์ของ ปลั๊กไฟเออร์ ของไมโครโฟนต่อคาปาซิตีอิมพีแดนซ์ ของ กล้องไมโครโฟน สำหรับการวัดโดยทั่วไปนั้นสามารถวัดได้จนถึงความถี่ 10 เฮิรตซ์ ควรหลีกเลี่ยงการวัดที่ความถี่ต่ำที่ 1-2 เฮิรตซ์ ทั้งนี้เพื่อความไวของไมโครโฟนต่อการเคลื่อนไหวของอากาศที่เนื่องมาจากพัดลม และแม้แต่ต่อการเปลี่ยนแปลงของความดันที่เนื่องจากการปิดประตูหน้าต่าง

## 2. การรับรู้ความดังของเสียง และ เครื่องกรอง

การรับรู้ความดังของเสียงนั้นขึ้นอยู่กับความถี่และความดันของคลื่นเสียง หลายปีมาแล้วได้มีความคิดกันว่าเครื่องวัดที่มี ลักษณะน้ำหนักของความถี่ เทียบได้กับความไวของหูมนุษย์ที่ระดับเสียงในระดับต่ำ, ขนาดกลางและระดับสูงนั้น ควรทำให้เครื่องมืออย่างง่ายสามารถวัดความดังของเสียงได้ในช่วงกว้างทั้งเสียงอย่างง่ายและเสียงที่ซับซ้อน ต่อมาจึงได้ใช้ การตรวจสอบแบบให้น้ำหนัก เป็น เอ, บี และ ซี และยังพบต่อมาอีกว่า เอ เวท นั้นเป็นที่ยอมรับกันและใช้เป็นมาตรฐานทั่วโลก อย่างไรก็ตาม ยังไม่สามารถอ้างได้ว่า เอ เวท สมบูรณ์ทีเดียว แต่ใช้กันทั่วไปในปัจจุบัน ความผิดพลาดอาจเกิดขึ้นได้เมื่อทำการวัดเสียงที่ความถี่ต่ำ

## 3. เครื่องวัดระดับเสียง

เครื่องมือวัดระดับความดันของเสียงนั้นมิใช่วัดกันทั่วไป โดยมีตั้งแต่เครื่องอย่างง่าย ที่มีเพียงการรับรู้ความดังของเสียง เพียงค่าเดียวและมีไมโครโฟนชนิดเดียว จนถึงชนิดที่มีไมโครโฟนหน่วยตรวจสอบ และหน่วยจัดการกับสัญญาณที่ซับซ้อนพร้อมทั้งหน่วยซึ่งเก็บข้อมูลที่เป็นตัวเลขราคาเครื่องวัดดังกล่าวนี้แตกต่างกัน

คุณลักษณะเฉพาะของเครื่องชนิดต่างๆ นี้มักมีความต้องการร่วมเหมือนกัน จะแตกต่างกัน อยู่ที่ ความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับ โดยคำนึงถึง ความคลาดเคลื่อนของข้อมูลดังกล่าวนี้เป็นสำคัญ

- ความแปรผันในการตอบสนองของ ไมโคร โฟนต่อมุมตกกระทบของคลื่นเสียง
- ความเบี่ยงเบนในคุณสมบัติทางด้าน การรับรู้ความดังของเสียงตามความต้องการ
- ระดับความเป็นเชิงเส้นของแอมพลีไฟเออร์
- สำหรับความแม่นยำของเครื่องนั้นมักใช้เทียบกับ 1 กิโลเฮิรตซ์ เมื่อคลื่นเสียงตกกระทบ

จาก ทิศทางอ้างอิง และ ระดับเสียงอ้างอิง ซึ่งมักใช้ที่ระดับ 94 เดซิเบล

เนื่องเหือจากความละเอียดถูกต้องที่ความถี่อ้างอิงแล้ว ความแตกต่างที่สำคัญของ สมรรถภาพยังมีได้อีกดังนี้

ช่วงความถี่ที่สามารถวัดได้ด้วยเครื่อง ตัวอย่างที่ 2 และ 3 และมี ความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ ที่กว้างขวางกว่าของทั้งช่วงต่ำและช่วงสูงของช่วงความถี่ของเสียง

ค่าของ rms ที่เชื่อถือได้เมื่อทำการวัดที่สัญญาณที่มี ค่าสูงสุดของ แพกเคเจอร์ ซึ่งได้แก่ สัญญาณที่มีเสียงดังอย่างแรงเป็นบางครั้งซึ่ง ได้แก่เสียงจากท่อไอเสียของรถมอเตอร์ไซด์หรือ เครื่องยนต์ดีเซล

ค่า rms ที่เชื่อถือได้เมื่อวัดเสียงที่เกิดขึ้นในช่วงสั้น

ความเป็นเชิงเส้นตรงของค่าที่อ่านได้ในช่วงใดก็ตาม

ก่อน ค.ศ.1981 นั้นการวัดระดับเสียงได้ถูกแบ่งออกเป็น 2 แบบคือ ระดับความถูกต้องทั่วไป และ ระดับของโรงงานอุตสาหกรรม ปรากฏว่า ตัวอย่างที่ 1 เครื่องวัดความดังเสียง ในปัจจุบันนี้เทียบได้กับ ระดับความถูกต้องทั่วไป ที่ใช้กันดั้งเดิมส่วน ตัวอย่างที่ 3 นั้นเทียบได้กับ ระดับโรงงานอุตสาหกรรม เดิมแต่ปรับปรุงเล็กน้อย

#### 1. มาตรฐานวัดระดับของเสียงมาตรฐาน

มาตรฐานวัดระดับของเสียงมาตรฐานนั้น ได้ถูกออกแบบให้สามารถวัดเสียงได้เป็นแบบ เร็วหรือ ค่าเฉลี่ยเวลาแบบช้า มาตรฐานดังกล่าวนี้เหมาะสำหรับวัดค่าเฉลี่ยของเสียงที่เกิดขึ้นในระยะเวลายาวหรือเกิดตลอดเวลา

ค่าที่วัดได้นั้นเรียกว่าเป็น ระดับสมมูล ซึ่งเป็นระดับของเสียงที่เกิดขึ้นอย่างสม่ำเสมอ

เมื่อคำนึงถึงชนิดของมาตรฐานวัดระดับเสียงแล้วพบว่าเครื่อง ตัวอย่างที่ 0 และ 1 เป็น เครื่องที่มีความสามารถสูงสุดสำหรับวัดเสียงที่ระดับแปรผันเป็น ช่วงไดนามิกกว้างขวางมากหรือ เสียงที่เป็นแบบ แรงกระตุ้น ระยะสั้นมาก เช่นเสียงปืนหรือเสียงค้อน ส่วนเครื่อง ตัวอย่างที่ 3 นั้น ไม่เหมาะสำหรับการวัดเสียงดังกล่าวแล้ว แต่อาจใช้ได้เมื่อระดับเสียงนั้น ไม่แปรผันมาก

การวัดระดับความสมมูลของน้ำหนัก เอ นั้นมีความสำคัญมากเมื่อพิจารณาถึงการสูญเสีย การได้ยินเมื่อได้รับเสียงในระยะยาว

เครื่องวัดเสียงแบบ อินทิเกรต สามารถให้ค่าที่เรียกว่า ระดับพลังงานเสียง ซึ่งบางทีเรียกว่า เป็น ระดับเหตุการณ์แบบเคียว ค่าที่ได้นี้เป็นตัวแทนของพลังงานคลื่นเสียงที่มีช่วงเวลาสั้นมาก เช่น เสียงที่เกิดขึ้นขณะเมื่อเครื่องบินข้ามศีรษะไป หรือ เสียงที่เกิดจากระเบิด

## 2. เครื่องวัดระดับเสียงทางสถิติ

ในการประเมินความดังของเสียงในสภาพแวดล้อมเช่น ในเมืองหลวงหรือในถนนที่มีการจราจรคับคั่งนั้นย่อมต้องการข้อมูลทางสถิติ ดังนั้นจึงมีความต้องการมาตรวัดระดับเสียงที่สามารถวิเคราะห์ระดับเสียงโดยสามารถให้ข้อมูลทั้ง ความน่าจะเป็น และ การกระจายของระดับเสียงที่เพิ่มขึ้น รวมทั้งให้ ระดับเปอร์เซ็นต์ไทล์ ด้วย

## 3. เครื่องวัดเสียงในที่กว้าง

การวัดการ ได้ยินเสียงของคนงานนั้นสามารถใช้ เครื่องวัดเสียงแบบ อินทิเกรต ถ้าคนงานนั้นยังทำงานอยู่ในตำแหน่งนั้นตลอดวัน แต่ถ้าคนงานต้องเคลื่อนย้ายไปทำบริเวณอื่น ซึ่งมีเสียงดังน้อยกว่า ก็จะต้องใช้เครื่องแบบที่คนงานนำติดตัวไปได้ด้วยได้ สำหรับเครื่องที่คนงานนำติดตัวไปได้นั้นอาจพกเครื่องนี้ไว้ในกระเป๋าเสื้อหรือกางเกง แต่ต้องติด ไมโครโฟนที่หมวกของคนงานหรือติดไว้ที่บริเวณเครื่องป้องกันเสียงดังที่บริเวณหูของผู้ป่วย

เครื่องดังกล่าวนี้จัดทำการวัดเสียงเป็นหน่วย Pascal Squared Hours ซึ่ง 1 Pa เทียบได้กับการทำงานที่มีเสียงดังสม่ำเสมอ 84.9 เดซิเบล เป็นเวลา 8 ชั่วโมง หรืออาจแสดงค่าเป็นเปอร์เซ็นต์ของการ ได้รับเสียงที่กฎหมายอนุญาต ตัวอย่างเช่น 100 เปอร์เซ็นต์ นั้นหมายถึงการทำงานที่ระดับเสียง 90 เดซิเบล เป็นเวลา ซึ่งเป็นระดับเสียงสูงสุดที่ยอมให้ทำงานได้โดยไม่ต้องใช้เครื่องป้องกันเสียงติดไว้บริเวณที่หู

ความต้องการทางด้านสมรรถภาพของเครื่องก็คล้ายกับ ตัวอย่างที่ 2 เครื่องวัดเสียง และ เครื่องวัดเสียงแบบอินทิเกรต ความแม่นยำของการวัดนั้นขึ้นอยู่กับเสื้อผ้าที่คนงานสวมใส่, หมวกที่ใช้, และตำแหน่งทิศทางของ ไมโครโฟน

## 4. จะต้องปรับเทียบค่าของเครื่องตรวจวัดเป็นครั้งคราว

มีความจำเป็นจะต้องปรับเทียบค่าของเครื่องตรวจวัดเป็นครั้งคราวซึ่งสามารถใช้เครื่องตรวจเทียบมาตรฐาน เครื่องตรวจวัดนี้ทำงานที่ระดับ 94 เดซิเบล (1Pa) หรือสูงกว่าและความถี่อยู่ในช่วงระหว่าง 250 เฮิรตซ์ และ 1,000 เฮิรตซ์ แต่มักใช้ 1,000 เฮิรตซ์ ทั้งนี้เนื่องจากเป็นความถี่ซึ่ง เอ เวท ให้ค่า 0 เดซิเบล การแทรกของเสียง ดังนั้นการเปรียบเทียบค่าจึงใช้ได้ทั้ง เอ เวท และ ระบบเครื่องวัดที่ไม่ใช่ เอ เวท

เครื่องปรับเทียบค่าชนิดหนึ่งที่เรียกว่า พิสดัน โฟน มีเสถียรภาพดีมากทั้งในการวัดระยะสั้นและระยะยาว และวัดได้ถึง 124 เดซิเบล ในช่วงความถี่ 250 เฮิรตซ์ เสียงที่เกิดขึ้นจากเครื่องปรับเทียบมีค่าเป็น ฟังก์ชัน ของ ปริมาณช่องรวมซึ่งหมายความว่าขึ้นอยู่กับโครงสร้างของ

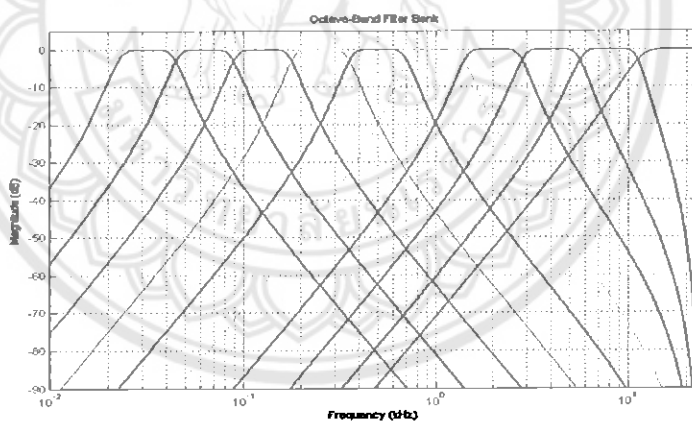
ไคอะแกรม ความดันที่เกิดขึ้นจากเครื่องปรับเทียบค่านี้ยังต้องการแก้ไขให้ถูกต้อง เมื่อใช้ไมโครโฟนชนิดต่างๆ ด้วย นอกจากนั้นความดันของเสียงที่เกิดขึ้นยังเป็นฟังก์ชัน กับ ข้อบังคับทางสถิติ ในช่องซึ่งเชื่อมโยงกับบรรยากาศโดยตรงทาง ท่อเล็กๆ ของบรรยากาศ ด้วย ดังนั้นเพื่อให้ได้ความดันสูงสุด จะต้องวัดความดันอากาศและแก้ไขให้ถูกต้องด้วย

## 2.7.2 วิเคราะห์ความถี่

การวิเคราะห์ความถี่ของคลื่นเสียงทำให้ได้ข้อมูลเพิ่มเติมนอกเหนือจากความดังของเสียงอาจวัดเป็น ความถี่มาตรฐาน หรือ ความกว้างแถบความถี่ เช็คออกเทฟ สามารถใช้ เครื่องมืออนาล็อก ที่มีเทคนิคการกรองเสียง หรือในปัจจุบันมีเครื่องมือที่มีทันสมัยที่สามารถวิเคราะห์ได้โดยทาง ดิจิตอล

### 1. วิเคราะห์ชั้นความถี่

เครื่องมือวัดเป็นมาตรฐานวัดระดับเสียงที่มีความเที่ยงตรงซึ่งมี Filters เป็นส่วนประกอบ จึงสามารถทำการวัด อ็อกเทฟแบนด์ ได้โดยตรง คือ เครื่องกรองเสียง นั้นเป็นชนิด วงจรกรองความถี่ และควรมี 0 dB การแทรกของเสียง ควรทราบค่า ความถี่กลางให้เพียงพอ และการป้อนของเสียง นอกเหนือจาก แถบการผ่านของเสียงควรมีค่าสูงมากคุณสมบัติทางด้านความถี่ของเครื่องได้แสดงไว้ในรูปที่ 2.18



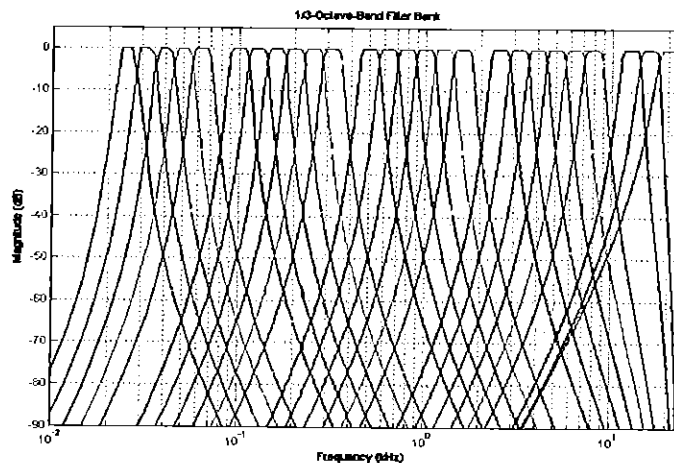
รูปที่ 2.19 frequency characteristics ของ octave filters ในเครื่องวิเคราะห์เสียง [7]

เครื่องวัดอาจมีเครื่องบันทึกอยู่ด้วยที่เรียกว่า เครื่องบันทึกระดับเสียง ซึ่งอาจใช้ร่วมกับสัญญาณอ็อกเทฟ/เครื่องมือวัดเสียง ซึ่งสามารถบันทึกข้อมูลถาวรได้

### 2. วิเคราะห์ เช็คออกเทฟแบนด์

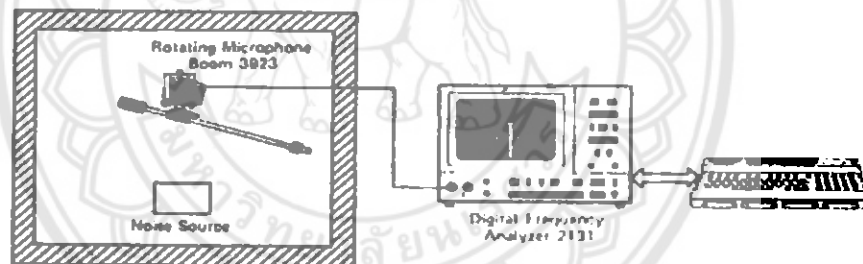
บางครั้งการวิเคราะห์ อ็อกเทฟแบนด์ อาจไม่เพียงพอ จำเป็นต้องทำการวิเคราะห์ เช็คออกเทฟ ด้วย คุณลักษณะ ของ เช็คออกเทฟ ได้แสดงในรูป 2.19





รูปที่ 2.20 frequency characteristics ของ Third-Octave filters ในเครื่องวิเคราะห์เสียง [7]

ทางด้าน เครื่องวิเคราะห์สัญญาณแบบดิจิทัล นั้นสามารถทำการวิเคราะห์เวลาเดียวกัน, เลขยกกำลัง ค่าเฉลี่ย ของแต่ละแถบความถี่ รวมทั้ง การวิเคราะห์แบบอินทิเกรต ด้วย แล้วแสดงข้อมูลบน มอนิเตอร์ และ เครื่องวัดเสียง แกน XY (รูปที่ 2.20)



รูปที่ 2.21 ภาพ digital frequency analyzer [7]

### 1. วิเคราะห์วงแคบ

เครื่องวิเคราะห์แบบอนาล็อกสามารถวิเคราะห์ได้โดย สัญญาณที่ปรับค่าได้ ซึ่งอาจเป็นแบบประเภทแบนด์วิดท์คงที่ หรือเป็นแบบ สัดส่วนคงที่สำหรับ วิเคราะห์สัดส่วนคงที่นั้นอาจมี การแกว่งของความถี่ลอการิทึม ส่วนเครื่องแบบแบนด์วิดท์คงที่ มักเป็นแบบการอ่านค่าแบบเส้น

เครื่องที่เป็น วิเคราะห์วงแคบบางเครื่องสามารถคำนวณค่า อ็อกเทฟ และ เติคออกเทฟแบบค์ ได้จากการวิเคราะห์ ความถี่ใดๆ อย่างไม่กี่ในปัจจุบันเทคนิคดังกล่าวยังสามารถวิเคราะห์หาได้แต่เพียงสัญญาณที่คงที่

### 2. เครื่องวิเคราะห์ฟูเรียร์แบบเร็ว

มีเครื่องที่ทำหน้าที่เปลี่ยนสัญญาณอินพุตเป็นตัวเลข แล้วนำมาเข้ากระบวนการ การแปลงฟูเรียร์แบบเร็ว (FFT) หรือนำผลที่ได้มาแสดงบนมอนิเตอร์ หรือใน เครื่องวัดเสียงแกน XY หรือ

เครื่องบันทึกหรืออาจทำเป็นตัวเลขเพื่อเข้ากระบวนการทาง การคำนวณทางดิจิทัล และ กระบวนการเก็บค่ามักใช้ การวิเคราะห์ช่องสัญญาณแบบเคียว สำหรับ วิเคราะห์สัญญาณและใช้ การวิเคราะห์ช่องสัญญาณแบบคู่ สำหรับ ระบบวิเคราะห์ บางเครื่องสามารถกระทำ การวิเคราะห์ แบบ เรล ไทม์ ได้ในช่วงความถี่สูงขึ้นไปจนถึง 2 กิโลเฮิรตซ์

บางเครื่องมีคุณสมบัติวิเคราะห์สัญญาณที่เป็นแบบชั่วคราวซึ่งมี โภภายใน หรือ โภ ภายนอก ที่ทำหน้าที่เป็นตัวเก็บข้อมูลเพื่อการวิเคราะห์นั้นมักใช้การวิเคราะห์อินทิเกรตเชิงเส้น หรือ การวิเคราะห์ทางสถิติ เครื่องวิเคราะห์ส่วนมากเป็น การวิเคราะห์แบบฟูเรียร์ ซึ่งมี การเชื่อมต่อ ดิจิตอล ทั้งที่ต่อแบบขนาดและต่ออนุกรม ซึ่งสามารถใช้กับเครื่องคอมพิวเตอร์ทั่วไปได้ ในเครื่องที่ มีการวิเคราะห์ 2 ช่อง นอกเหนือจากคุณสมบัติที่กล่าวมาแล้ว ยังสามารถวิเคราะห์ข้อมูลอื่นๆ ได้อีก เช่น ทรานเฟอร์ฟังก์ชัน ฟังก์ชันการเทียบเคียงกัน, ฟังก์ชัน โคฮีเรนต์, การตอบสนองของเฟส, ความ น่าจะเป็นของการกระจายของเสียง และ ความเข้มของเสียง

### 2.7.3 เครื่องบันทึก

#### 1. ระดับเครื่องบันทึก

ระดับเครื่องบันทึกเสียง คือ โวลต์มิเตอร์ นั้นเองที่สามารถบันทึก D.C. หรือ rms ค่าของ สัญญาณ เอ.ซี บน เส้นระยะ หรือ มาตรฐานลอการิทึมบางเครื่องสามารถมีการประสาน สำหรับ อีอกเทฟ และ เครื่องวิเคราะห์เสียง เชิดอีอกเทฟแบนด์ เพื่อเก็บค่า การเปลี่ยนแปลงของสัญญาณ ถูก กำหนดเวลาไว้สำหรับ หรือ การสื่อสาร กับ แหล่งกำเนิดของเสียง เพื่อทำการพล็อตผลตอบสนอง ความถี่เครื่องบันทึกดังกล่าวนี้มีประ โยชน์สำหรับบันทึกระดับของเสียงที่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลา

#### 2. เครื่องวัดเสียง แกน XY

เครื่องนี้มี พรีอท Y เป็นของ สัญญาณ D.C และ พรีอท X เป็นสัญญาณ D.C. ที่ได้สัดส่วน กับความถี่ มักใช้ร่วมกับการวิเคราะห์แบบฟูเรียร์ และเครื่องการวิเคราะห์อื่นสำหรับบันทึกความจำ

#### 3. เครื่องบันทึกเสียงชั่วคราวแบบดิจิทัล

เครื่องนี้ได้ออกแบบจำเพราะสำหรับการบันทึกเสียงที่มีช่วงสั้นมากเช่น เสียงปืนหรือเสียง เครื่องบิน โดยการรับสัญญาณเข้ามาแล้ว เปลี่ยนให้เป็นตัวเลขตามอัตราที่ตั้งไว้และเก็บ ไว้ใน หน่วยความจำ ข้อมูลที่เก็บไว้อาจนำออกมาเป็นตัวเลขหรือนำมาป้อน ในการแปลงสัญญาณดิจิทัล เป็นอนาลอก

#### 4. เครื่องบันทึกเทป

เครื่องนี้มักใช้สำหรับเก็บข้อมูลเสียงมาจากบริเวณที่มีการทำงาน ต้องใช้เครื่องที่มีคุณภาพดี อาจใช้เครื่องบันทึกแบบ เอ เอ็ม แต่ถ้ามีความสนใจสัญญาณคลื่นเสียงที่เป็น คลื่นเสียงความถี่ต่ำเกิน ที่มนุษย์จะได้ยิน ก็อาจใช้ เครื่องบันทึกเทปแบบ เอฟ เอ็ม

ได้มีการพัฒนา เครื่องบันทึกเทปแบบดิจิทัล ที่เหมาะสมสำหรับใช้เป็น เครื่องมือที่ใช้วัด สนามเสียง ซึ่งจะทำให้การวัดมีสมรรถภาพดีขึ้นมาก โดยเฉพาะใน ช่วงที่มีการเปลี่ยนแปลง ตลอดเวลา

#### 2.7.4 เครื่องวิเคราะห์ความเข้มของเสียง

การวิเคราะห์ความดังของคลื่นเสียงนั้น ใช้สำหรับ วัดกำลังของเสียงที่เกิดขึ้น นอกจากนี้ยัง ใช้สำหรับการค้นหา พลังงานของเสียงที่แพร่กระจาย จากเสียงต้นตออีกด้วย เวกเตอร์ของความเข้ม เสียง เป็น การกระจายของพลังงานเสียงต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ ที่ตำแหน่งหนึ่งตำแหน่งใด และเป็นผล คูณของ ความดังเสียงกับ อัตราความเร็วที่น้อยที่สุด

#### 2.7.5 การปรับเทียบของเครื่องวัด

##### 1. การปรับค่าตามระเบียบ

การปรับเทียบค่าชนิดนี้มักกระทำเป็นครั้งคราวในห้องทดลองที่เชื่อถือได้ และเป็นที่ยอมรับกันมักแยกปรับเทียบค่าเป็น 2 ด้านคือ ทางด้านทรานสดิวเซอร์ และทางด้านเครื่องมือวัด

การปรับเทียบค่าของทรานสดิวเซอร์ เช่นคอนเดนเซอร์ไมโครโฟน สามารถปรับเทียบค่าของความดัน ได้โดย กฎการแลกเปลี่ยนซึ่งกันและกัน และต้องทราบสนามว่างของเสียงที่แน่นอนของไมโครโฟนแต่ละแบบเพื่อนำไปเสริมกับ การปรับเทียบตามเกณฑ์

ส่วนไมโครโฟนอย่างอื่นนอกจากคอนเดนเซอร์ไมโครโฟนสามารถปรับเทียบค่า โดยการเปรียบเทียบกับคอนเดนเซอร์ไมโครโฟนมาตรฐาน

การปรับเทียบค่าเครื่องวัดเสียง นั้นใช้การปรับเทียบค่าร่วมกันกับการเปรียบเทียบค่าไมโครโฟน สำหรับ เครื่องกรอง และ เครื่องวิเคราะห์ นั้นต้องการปรับเทียบค่าทางด้านอิเล็กทรอนิกส์

##### 2. การปรับเทียบค่าสนามมาตรฐาน

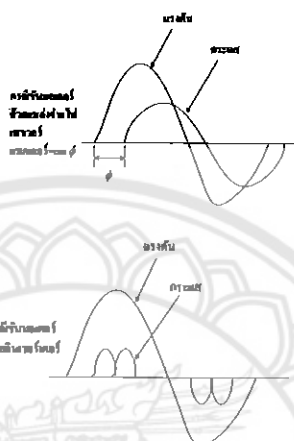
โดยทั่วไปใช้ไมโครโฟนมาตรฐาน เช่น พิสตันโฟน ถึงแม้ว่าการปรับเทียบค่าดังกล่าวนี้ เป็นการปรับเทียบค่าเพียงด้านหนึ่งของเขตความถี่ ที่ระดับหนึ่งเท่านั้น แต่ก็ถือได้ว่าเป็นการตรวจวัดที่ได้มาตรฐาน

### 2.8 เพาเวอร์แฟกเตอร์

โดยทั่วไป เพาเวอร์แฟกเตอร์หรือตัวประกอบกำลัง หาได้จากความต่างเฟสระหว่างรูปคลื่น กระแสและแรงดันไฟฟ้า (Displacement Angle,  $\theta$ ) ซึ่งค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์นี้ จะเท่ากับ  $\cos \theta$  ซึ่งถูกเรียกว่า ตัวประกอบกำลังมูลฐาน (Displacement Power Factor, DPF)

แต่ในกรณีที่รูปคลื่นไม่เป็นรูปคลื่นไซน์และมีองค์ประกอบคลื่นฮาร์โมนิกส้อยู่มาก จะไม่สามารถใช้ความต่างเฟสในการหาเพาเวอร์แฟกเตอร์ได้ ถ้าใช้เพาเวอร์แฟกเตอร์มิเตอร์วัดก็จะอ่านค่าได้ประมาณ 1 เสมอ

ดังนั้น ค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ในกรณีทั่วไป จะหาได้จากอัตราส่วนระหว่างกำลังไฟฟ้าจริง (Active Power,  $P$ ) ต่อกำลังไฟฟ้าเสมือน (Apparent Power,  $S$ )



รูปที่ 2.22 รูปคลื่นของกระแสและแรงดันไฟฟ้า [7]

### 2.8.1 ผลกระทบเนื่องจากเพาเวอร์แฟกเตอร์ต่ำ

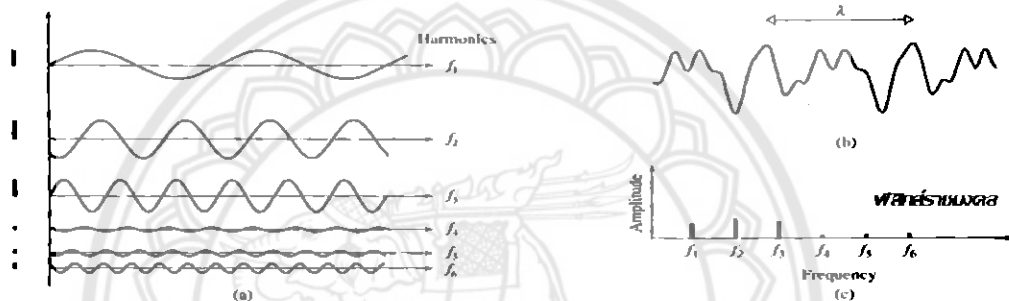
ระบบไฟฟ้า (เครื่องกำเนิดไฟฟ้าสายส่งสายป้อนและหม้อแปลง) จะจ่ายกำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ ถ้าอุปกรณ์ไฟฟ้ามีประสิทธิภาพสูง คือ เพาเวอร์แฟกเตอร์สูง การไฟฟ้าก็สามารถส่งกำลังไฟฟ้าจริงได้มาก แต่ถ้าอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้งานมีค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ต่ำ ซึ่งหมายถึงมีความต้องการกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟมากๆ จะเป็นภาระแก่ระบบไฟฟ้า ที่ต้องส่งกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟมากขึ้น โดยไม่สามารถส่งกำลังไฟฟ้าจริงได้อย่างเต็มที่ เกิดการสูญเสียประสิทธิภาพในการผลิตและจ่ายไฟและส่งผลกระทบ ดังนี้

1. เกิดภาระทางกลเกินในหม้อแปลง ระบบไฟฟ้าและอุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆ เช่น เครื่องกำเนิดไฟฟ้า หม้อแปลงและสายไฟฟ้าในระบบไฟฟ้าไม่สามารถจ่ายภาระทางกลได้ตามพิกัด เนื่องจากต้องจ่ายกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ (VAR) ทำให้การจ่ายกำลังไฟฟ้าจริงลดลง
2. เกิดแรงดันตกในระบบจ่ายไฟฟ้า เมื่อเพาเวอร์แฟกเตอร์ของระบบต่ำลง กระแสไฟฟ้าของระบบจะสูงขึ้น ทำให้แรงดันตกคร่อมในสายไฟของระบบไฟฟ้ามากขึ้น
3. กำลังไฟฟ้าสูญเสียของระบบไฟฟ้าเพิ่มขึ้น เพราะมีการเกิดกำลังสูญเสียในตัวนำไฟฟ้าของระบบไฟฟ้าแปรตามกำลังสองของกระแสไฟฟ้า
4. กำลังไฟฟ้าสูญเสียในหม้อแปลงขณะจ่ายภาระทางกลเพิ่มขึ้น กำลังไฟฟ้าสูญเสียเนื่องมาจากกระแสไหลผ่านขดลวดของหม้อแปลงแปรตามกระแสกำลังสอง เมื่อเพาเวอร์แฟกเตอร์

ของระบบต่ำลง กระแสที่ไหลผ่านหม้อแปลงเพิ่มขึ้น ทำให้กำลังไฟฟ้าสูญเสียเนื่องจากภาระทางกลเพิ่มขึ้น

## 2.9 อิทธิพลของฮาร์โมนิกส์ต่ออุณหภูมิของมอเตอร์

ฮาร์โมนิกส์ (Harmonic) คือ ส่วนเกินของสัญญาณที่ไม่เป็นที่ต้องการ เป็นส่วนประกอบแฝง เข้ามาผสมกับรูปคลื่นสัญญาณไซน์ (Sine Wave) อาจจะมาในรูปแบบของสัญญาณหรือในรูปแบบของปริมาณช่วงคาบใดๆ ซึ่งมีความถี่เป็นจำนวนเท่าจากความถี่หลักมูลฐาน (Fundamental Frequency) ของระบบไฟฟ้า



รูปที่ 2.23 a) คลื่นฮาร์โมนิก 6 ลูก b) คลื่นรวมที่เกิดจากคลื่นฮาร์โมนิกส์ทั้ง 6 ลูก c) กราฟแยกเสียงเป็นสเปกตรัม โดยสร้างเป็นกราฟแท่ง ระหว่าง แอมพลิจูดกับความถี่ [7]

หากสถานประกอบการ ติดตั้งภาระทางกลประเภทไม่เป็นเชิงเส้น (Non-Linear Load) เช่น ตัวปรับความเร็วรอบมอเตอร์เหนี่ยวนำกระแสสลับ (Variable Frequency Drive) ตัวปรับความเร็วรอบมอเตอร์เหนี่ยวนำกระแสตรง (DC Drive) UPS ฯลฯ ในวงจรการจ่ายไฟ หรือแหล่งจ่ายไฟเดียวกันกับวงจรการจ่ายไฟที่มอเตอร์นั้นรับไฟอยู่ ถ้าหากมีจำนวนมาก ก็จะทำให้แรงดันเกิดการบิดเบี้ยว ซึ่งจะส่งผลให้แรงดันที่ปรากฏที่ส่วนปลายของมอเตอร์ มีการบิดเบี้ยว (Distortion) ไปด้วยลักษณะเช่นนี้ ไม่เป็นผลดีต่อมอเตอร์เลย ซึ่งหากค่าการบิดเบี้ยวมีมาก หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า ถ้าเกิดความถี่ฮาร์โมนิกส์ที่ระบบแรงดัน (System Voltage) มาก จะทำให้ค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์มีค่าต่ำ

### 2.9.1 แหล่งกำเนิดฮาร์โมนิกส์

ฮาร์โมนิกส์ในระบบไฟฟ้าที่เกิดขึ้นโดยทั่วไป มาจากอุปกรณ์ไฟฟ้าที่มีค่าความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันไม่เป็นเชิงเส้น (Nonlinear Current-Voltage Relationship) โดยสามารถแบ่งออกเป็น 3 ประเภท ดังนี้

1. อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลัง เช่น ไคโอดทรานซิสเตอร์ ทรานซิสเตอร์ เป็นต้น อุปกรณ์ในประเภทนี้ถูกนำไปประยุกต์ใช้งานในวงจรเรียงกระแส วงจรปรับความเร็วของระบบขับเคลื่อน (Adjustable Speed Drive, ASD) แหล่งจ่ายไฟฟ้าสำรองและวงจรอินเวอร์เตอร์ เป็นต้น

2. อุปกรณ์ประเภทแม่เหล็ก ได้แก่ หม้อแปลง เมื่อหม้อแปลงได้รับแรงดันเกินพิกัดจึงส่งผลทำให้กระแสกระตุ้น (Exciting Current) เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว เนื่องจากเกิดการอิ่มตัวของแกนเหล็ก ถ้าช่วงเวลาดังกล่าว ค่ากระแสไฟฟ้าของภาระทางกลมีค่าต่ำ ก็จะทำให้ฮาร์โมนิกส์ค่าลำดับสูงเกิดขึ้น

3. อุปกรณ์ประเภทอาร์ค ได้แก่ เต้าหลอมแบบอาร์ค เครื่องเชื่อมไฟฟ้าแบบอาร์ค รวมไปถึงหลอดคิซซาร์ทประเภทต่างๆ ซึ่งอุปกรณ์เหล่านี้ มีคุณลักษณะการทำงานพื้นฐานโดยการอาร์คโลหะและอโลหะด้วยกระแสไฟฟ้า ส่งผลให้เกิดฮาร์โมนิกส์ขณะใช้งาน

### 2.9.2 ผลกระทบอันเนื่องมาจากฮาร์โมนิกส์

ปัญหาในระบบไฟฟ้าที่เกิดจากฮาร์โมนิกส์ อาจแยกพิจารณาได้ คือ แบบแรกเป็นผลกระทบที่ไม่รุนแรงแต่ทำให้เกิดความสูญเสียในระยะยาว และแบบที่สองเป็นผลกระทบที่รุนแรง อาจทำให้อุปกรณ์ชำรุดเสียหายหรือเกิดระเบิดได้และยังส่งผลต่อระบบไฟฟ้าในด้านต่างๆ เช่น

เพิ่มความสูญเสียและลดการนำกระแสในสายส่งและสายป้อน ทำให้ฟิวส์หรือเซอร์กิตเบรกเกอร์ที่ติดตั้งด้วยความร้อน ทำงานผิดพลาด

เพิ่มแรงดันตกคร่อมอิมพีแดนซ์ของระบบ ส่งผลทำให้ปลายทางของแรงดันเพิ่มสูงขึ้น แรงดันตกคร่อมที่เพิ่มขึ้นจะทำให้ความเครียดของฉนวน (Dielectric Stress) สูงขึ้นกว่าปกติทำให้อายุการใช้งานสั้นลง

กำลังสูญเสียที่แปรตามกระแสกำลังสอง เพิ่มขึ้นในขดลวดของหม้อแปลง

ในระบบไฟฟ้า 3 เฟส เฟสเซอร์ของกระแสฮาร์โมนิกส์อาจมีทิศทางการหมุนที่ต่างจาก เฟสเซอร์ของกระแสที่ความถี่หลักมูล โดยต่างกันไปตามลำดับเฟส สามารถแบ่งได้เป็น 3 หมวดคือ ฮาร์โมนิกส์ที่มีลำดับเฟสเป็นบวก ลำดับเฟสเป็นลบ และลำดับเฟสเป็นศูนย์ แสดงดังตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.6 อันดับฮาร์โมนิกส์และลำดับเฟสต่างๆ

ฮาร์โมนิกส์	ความถี่ (Hz)	ลำดับเฟส
1	50	+
2	100	-
3	150	0
4	200	+
5	250	-
6	300	0
7	350	+
8	400	-
9	450	0

### 2.9.3 การประเมินค่าความเพี้ยนฮาร์โมนิกส์ (Harmonic Distortion Evaluation)

ในกรณีที่ฮาร์โมนิกส์ปรากฏในวงจรหรือระบบ จะมีกำลังไฟฟ้าอีกประเภทหนึ่งเพิ่มขึ้นมาจากเดิม เรียกว่า กำลังไฟฟ้าความเพี้ยน (Distortion Power ;  $D$ ) ซึ่งเป็นผลโดยตรงจากฮาร์โมนิกส์ มีหน่วยเป็น VA (Volt-Ampere) เป็นกำลังไฟฟ้าที่ไม่เป็นประโยชน์ต่ออุปกรณ์ไฟฟ้า แต่ไม่ใช่ส่วนของกำลังไฟฟ้รีแอกทีฟ (Reactive Power ;  $Q$ )

การประเมินค่าความเพี้ยนฮาร์โมนิกส์ตามมาตรฐาน IEEE 519-1992 มีดังนี้

1. ขีดจำกัดกระแสเพี้ยน (Current Distortion Limits) เป็นการใช้ขีดจำกัดของกระแสฮาร์โมนิกส์ ที่ผู้ใช้สามารถส่งกลับเข้าไปในระบบไฟฟ้าได้ โดยดัชนีที่ใช้กำหนดขีดจำกัดกระแสเพี้ยนคือ (Total Harmonic Distortion of Current ; THDc) หมายถึง ความเพี้ยนของกระแสฮาร์โมนิกส์มีค่าเป็นเปอร์เซ็นต์ของความถี่กระแสทางกลสูงสุด แสดงในตารางที่ 2.7

ตารางที่ 2.7 ขีดจำกัดกระแสฮาร์โมนิกสำหรับระบบจำหน่ายไฟฟ้า (แรงดัน 120 V- 69 kV)

$I_{SC}/I_{Load}$	กระแสฮาร์โมนิกสูงสุดเป็น $I_n/I_{Load}$ เปอร์เซ็นต์ของ $I_{Load}$ ในแต่ละลำดับคือ					
	<11	11-15	17-21	23-33	>34	TDD
<20	4.0	2.0	1.5	0.6	0.3	5.0
20-50	7.0	3.5	2.5	1.0	0.5	8.0
50-100	10.0	4.5	4.0	1.5	0.7	12.0
100-1,000	12.0	5.5	5.0	2.0	1.0	15.0
>1,000	15.0	7.0	6.0	2.5	1.4	20.0

โดยที่  $I_{sc}$  คือ กระแสลัดวงจร

$I_{Load}$  คือ ความต้องการกระแสทางกลสูงสุด (ส่วนประกอบที่ความถี่หลักมูล)

หมายเหตุ ค่าขีดจำกัดของกระแสฮาร์โมนิกลำดับคู่ ใช้ค่าร้อยละ 25 ของลำดับคี่

2. ขีดจำกัดแรงดันเพี้ยน (Voltage Distortion Limits) เป็นการตรวจสอบกระแสฮาร์โมนิกที่ส่งกลับเข้าระบบไฟฟ้า เพื่อให้แน่ใจว่ากระแสไฟฟ้าเหล่านี้ ไม่เป็นต้นเหตุที่ทำให้แรงดันมีความเพี้ยนสูงเกินขีดจำกัดตามที่ระบุในตารางที่ 2.8 ดัชนีที่ใช้กำหนดขีดจำกัดแรงดันเพี้ยน คือ ความเพี้ยนของแรงดันฮาร์โมนิกสรวม (Total Harmonic Distortion of Voltage; THDv) ซึ่งจะมีค่าเป็นเปอร์เซ็นต์ของแรงดันที่ระบุความถี่หลักมูล

ตารางที่ 2.8 ค่าขีดจำกัดของแรงดันฮาร์โมนิก

ระดับแรงดัน (kV)	ขีดจำกัดแรงดันฮาร์โมนิกแต่ละลำดับ (%)	ขีดจำกัดแรงดันฮาร์โมนิกสรวม(%THDv)
$V_n \leq 69$	3.0	5.0
$69 < V_n \leq 161$	1.5	2.5
$V_n > 161$	1.0	1.5

โดยที่  $V_n$  คือ ระดับแรงดันไฟฟ้า ( $V_{rms}$ )



### บทที่ 3

#### วิธีการออกแบบการทดลอง

การวัดค่าพารามิเตอร์ในขณะที่มอเตอร์เหนี่ยวนำมีการทำงาน ในสภาวะที่ไม่มีภาระทางกล และมีภาระทางกล (ใช้วิธีการปรับค่าแรงบิด) ระหว่าง 10 เปอร์เซ็นต์ ถึง 100 เปอร์เซ็นต์ และปรับความถี่ของอินเวอร์เตอร์ 20 เฮิร์ตซ์ ถึง 60 เฮิร์ตซ์

โครงการนี้ได้ทำการทดลองแยกออกเป็น 2 การทดลอง คือเรื่องอุณหภูมิความร้อนภายในมอเตอร์ขณะมอเตอร์ทำงานและเสียงที่เกิดขึ้นขณะมอเตอร์ทำงาน

#### 3.1 ความร้อนภายในมอเตอร์ขณะมอเตอร์ทำงาน

##### 3.1.1 อุปกรณ์การทดลอง

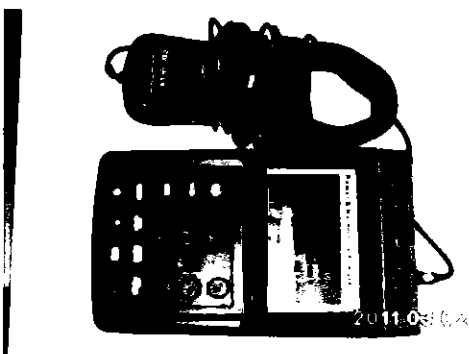
อุปกรณ์การทดลองนี้ มีทั้งอินเวอร์เตอร์สามเฟส เครื่องวัดอุณหภูมิแบบอินฟราเรด คิวคอต แคลมป์ปีมิตอร์คัลต้องสายไฟ มอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส แหล่งจ่ายไฟฟ้า 3 เฟส Electrodynamometer รวมทั้งอุปกรณ์ดังรูปต่อไปนี้



รูปที่ 3.1 อินเวอร์เตอร์



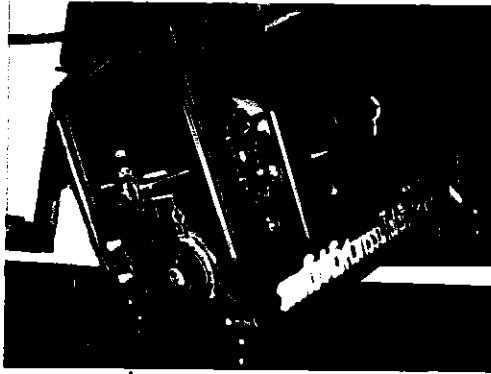
รูปที่ 3.2 เครื่องวัดอุณหภูมิแบบอินฟราเรด



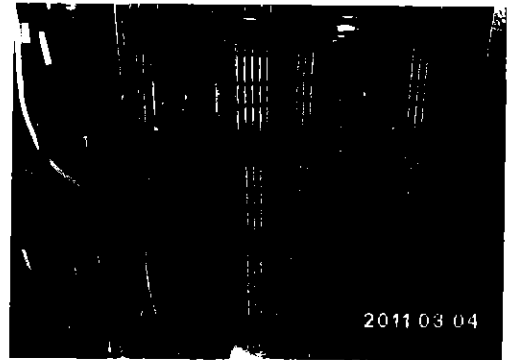
รูปที่ 3.3 Power & Harmonics Analyzer



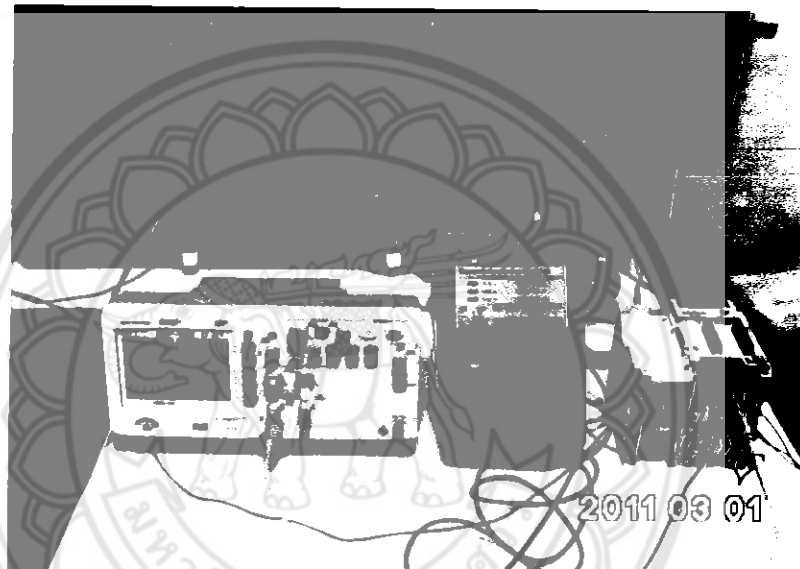
รูปที่ 3.4 มอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส



รูปที่ 3.5 Electrodynamicometer



รูปที่ 3.6 แหล่งจ่ายไฟ 3 เฟส



รูปที่ 3.7 การทดสอบมอเตอร์

### 3.1.2 อุปกรณ์และวิธีการวัดอุณหภูมิ

เครื่องมือวัดอุณหภูมิแบบอินฟราเรด คือ เครื่องมือที่ใช้วัด อุณหภูมิบนพื้นผิว สัมผัสและแสดงค่าเป็นตัวเลขที่ของ อุณหภูมิ ที่หน้าจอ จะปล่อยคลื่นอินฟราเรด ไปกระทบกับวัตถุ ที่ทำการวัดอุณหภูมิ และ จะรับค่าพลังงานสะท้อนกลับจากวัตถุนั้น โดยวัตถุจะมีคุณสมบัติในการปล่อยพลังงานต่างกัน โดยแปรผันไปตามอุณหภูมิ ของวัตถุ และ เครื่องวัด ก็จะเปลี่ยนพลังงาน เป็น ค่าอุณหภูมิ บนหน้าจอแสดงผล

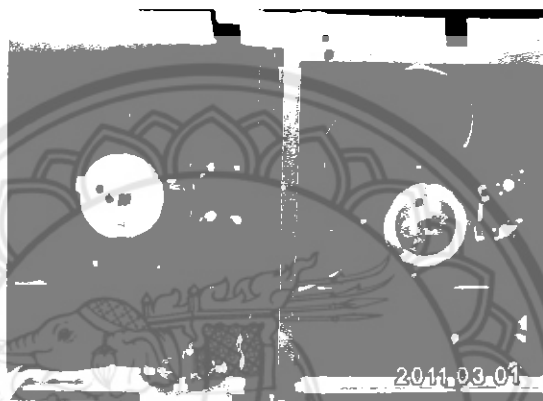
### 3.1.3 การออกแบบการทดลอง

การวัดค่าพารามิเตอร์ในขณะที่มอเตอร์เหนี่ยวนำมีการทำงาน ในสถานะที่ไม่มีภาระทางกล และมีภาระทางกล (ใช้วิธีการปรับค่าแรงบิด) ระหว่าง 25 เปอร์เซ็นต์, 50 เปอร์เซ็นต์, 75 เปอร์เซ็นต์ 100 เปอร์เซ็นต์ และปรับความถี่ของอินเวอร์เตอร์ 20 เฮิร์ตซ์ ถึง 60 เฮิร์ตซ์ แล้วทำการบันทึก

อุณหภูมิ โดยที่อุณหภูมิที่ปรากฏบนจอภาพของเครื่องวัดอุณหภูมิแบบอินฟราเรด จะเป็นรูปแบบของตัวเลข บนเครื่องมือวัด สามารถออกแบบการทดลองได้ ดังนี้

1. วัดอุณหภูมิของมอเตอร์ก่อนจ่ายกระแสให้กับมอเตอร์
2. ในสถานะที่มีภาระทางกล

2.1 ทำการทดลองต่อวงจร และหาค่าแรงบิดที่มีภาระทางกล 100 เปอร์เซ็นต์ โดยการปรับค่าแรงบิดเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ (ปรับค่าแรงบิดที่เครื่อง Electrodynamometer) จนค่ากระแสมีค่าเท่ากับ 1.21 A (ดูค่ากระแสที่เครื่องวัดกระแส)



รูปที่ 3.8 มอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส ต่อกับมิเตอร์ที่ใช้หลักการของสนามแม่เหล็กไฟฟ้า (Electrodynamometer)

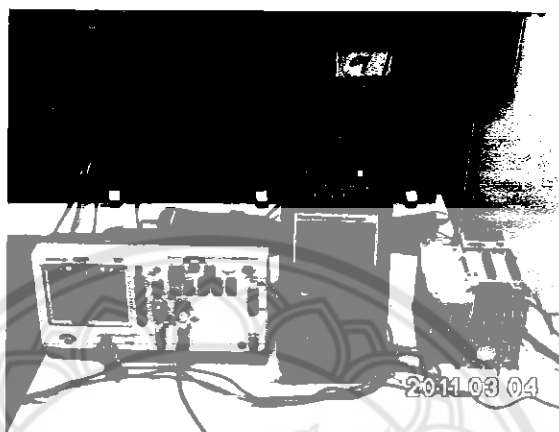
2.2 นำค่าแรงบิดที่ภาระทางกล 100 เปอร์เซ็นต์ ที่ได้จากการทดลองในข้อที่ 2.1 มาคำนวณค่าแรงบิดที่ภาระทางกลขนาดระหว่าง 25 เปอร์เซ็นต์, 50 เปอร์เซ็นต์, 75 เปอร์เซ็นต์, 100 เปอร์เซ็นต์

2.3 ปรับความถี่ของอินเวอร์เตอร์ที่ 20 เฮิรตซ์ จากนั้น นำค่าแรงบิดที่คำนวณได้จากข้อ 2.2 มาปรับค่าระหว่าง 25 เปอร์เซ็นต์, 50 เปอร์เซ็นต์, 75 เปอร์เซ็นต์, ถึง 100 เปอร์เซ็นต์ แล้วทำการบันทึกค่าอุณหภูมิของมอเตอร์ โดยทำการบันทึกทุกครั้งที่มีการเปลี่ยนแปลงภาระทางกล ทำแบบเดียวกันนี้ที่ความถี่ 30 เฮิรตซ์, 40 เฮิรตซ์, 50 เฮิรตซ์ และ 60 เฮิรตซ์ โดยแต่ละความถี่และที่ภาระทางกลต่างๆ ต้องทำการทดลอง จดบันทึกค่า 4 ครั้งเพื่อหาค่าเฉลี่ย อุณหภูมิ ที่แน่นอน ก่อนการทำการทดลองครั้งต่อไป ต้องวัดอุณหภูมิของมอเตอร์ ให้ได้เท่ากับอุณหภูมิของ มอเตอร์ตอนเริ่มการทดลองทุกครั้ง เพื่อความแน่นอนของการทดลอง

3. ในสถานะที่ไม่มีภาระทางกล

3.1 จ่ายไฟ 3 เฟส ให้กับมอเตอร์แล้วทำการบันทึกค่าอุณหภูมิของมอเตอร์ แล้วทำการต่อเข้ากับอินเวอร์เตอร์แล้วปรับค่าความถี่ 20 เฮิรตซ์, 30 เฮิรตซ์, 40 เฮิรตซ์, 50 เฮิรตซ์ และ 60 เฮิรตซ์

โดยทำการบันทึกทุกครั้งที่มีการเปลี่ยนแปลงความถี่ โดยแต่ละความถี่ต่าง ต้องทำการทดลอง จุดบันทึกค่า 4 ครั้งเพื่อหาค่าเฉลี่ย อุณหภูมิ ที่แน่นอน ก่อนการทำการทดลองครั้งต่อไป ต้องวัดอุณหภูมิของมอเตอร์ ให้ได้เท่ากับอุณหภูมิของ มอเตอร์ตอนเริ่มการทดลองทุกครั้ง เพื่อความแน่นอนของการทดลอง



รูปที่ 3.9 การต่อวงจรในสถานะไม่มีภาระทางกล

#### 3.1.4 ขั้นตอนและวิธีการทดลอง

1. ศึกษาการทดสอบมอเตอร์แบบมีภาระทางกลและแบบ ไม่มีภาระทางกล และศึกษาการทดสอบอินเวอร์เตอร์โดยการวัดอุณหภูมิของมอเตอร์
2. ออกแบบการต่อวงจรในการทดลองและศึกษาอุปกรณ์ที่ใช้
3. ต่อวงจรการทดลองเพื่อทดสอบอินเวอร์เตอร์
4. ทำการต่อวงจรการทดลองตามรูปที่ 3.9 เพื่อทำการทดสอบมอเตอร์ในสถานะที่มีภาระทางกลระหว่าง 25 เปอร์เซ็นต์ ถึง 100 เปอร์เซ็นต์ โดยปรับค่าความถี่ของอินเวอร์เตอร์ไปที่ 20 เฮิรตซ์ แล้วบันทึกค่าอุณหภูมิของมอเตอร์
5. ทำการทดลองลักษณะเดียวกันกับข้อ 4 แต่เปลี่ยนแปลงค่าความถี่ของอินเวอร์เตอร์เป็น 40 เฮิรตซ์, 50 เฮิรตซ์ และ 60 เฮิรตซ์ ตามลำดับและทำการบันทึกค่าเช่นเดียวกับข้อที่ 4 โดยการทำการทดลอง 4 ครั้งในแต่ละภาระทางกล และความถี่ ที่มีการเปลี่ยนแปลง
6. ต่อวงจรการทดลอง เพื่อทำการทดสอบมอเตอร์ในสถานะที่ไม่มีภาระทางกล โดยปรับค่าความถี่ของอินเวอร์เตอร์ไปที่ค่า 20 เฮิรตซ์, 30 เฮิรตซ์, 40 เฮิรตซ์, 50 เฮิรตซ์, 60 เฮิรตซ์ แล้วบันทึกค่าอุณหภูมิ โดยการทำการทดลอง 4 ครั้ง ในแต่ละความถี่ ที่มีการเปลี่ยนแปลง
7. ทำการทดลองลักษณะเดียวกันกับข้อ 6 แต่เปลี่ยนแปลงภาระทางกล ตามลำดับและทำการบันทึกค่าเช่นเดียวกับข้อที่ 6
8. รวบรวมข้อมูลอุณหภูมิต่างๆ และ วาดกราฟ ของอุณหภูมิที่ได้ แล้วนำมาวิเคราะห์ผล

9. ทำการบันทึกค่าฮาร์โมนิกส์ ทุกครั้งที่ทำการทดลอง ตั้งแต่ ฮาร์โมนิกส์ที่ 1 ถึงฮาร์โมนิกส์ที่ 5

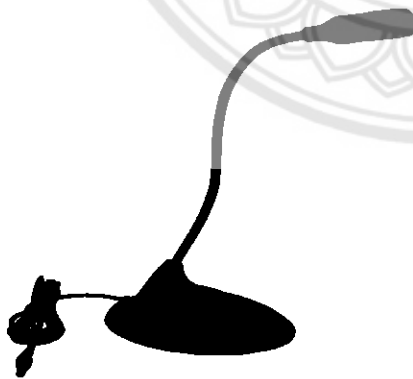
ในส่วนของการทดลองจะมีการต่อวงจรโดยใช้อุปกรณ์ ดังนี้

1. ชุดแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ 380 V
2. ชุดแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง 220 V
3. อิเล็กโตรไดนาโมมิเตอร์
4. ชุดสายไฟ
5. มอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส
6. อินเวอร์เตอร์
7. เครื่องวัดกระแสไฟฟ้า
8. เครื่องวัดอุณหภูมิแบบอินฟราเรด
9. คิวติคูลแก๊สมีเตอร์คัลลิ่งสายไฟ

### 3.2 เสียงที่เกิดขึ้นขณะมอเตอร์ทำงาน

#### 3.2.1 อุปกรณ์การทดลอง

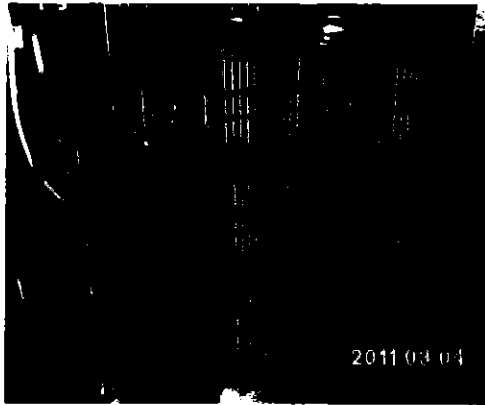
อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองมีทั้งไมโครโฟน กล้องเก็บเสียง มอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส Electro-dynamometer แหล่งจ่ายไฟ 3 เฟส และคอมพิวเตอร์ซอฟต์แวร์ เพื่อวิเคราะห์ผลการทดลอง รวมทั้งอุปกรณ์ดังรูป



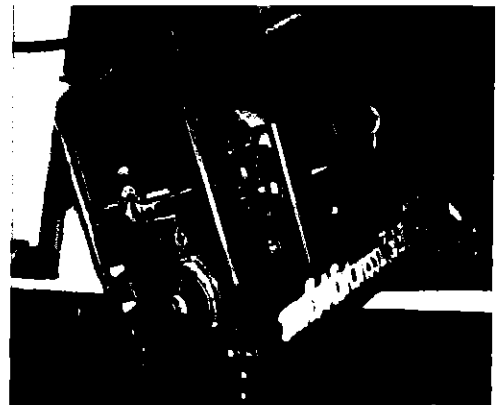
รูปที่ 3.10 ไมโครโฟน



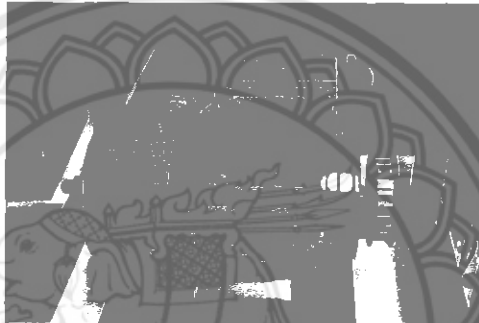
รูปที่ 3.11 กล้องเก็บเสียง



รูปที่ 3.12 แหล่งจ่ายไฟ 3 เฟส



รูปที่ 3.13 Electrodynamicmeter



รูปที่ 3.14 มอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส



รูปที่ 3.15 วิธีการทดลอง

### 3.2.2 อุปกรณ์การวัดและวิเคราะห์เสียง

ในการวัดและวิเคราะห์เสียงในมอเตอร์นั้น มีส่วนประกอบที่สำคัญอยู่หลายส่วนด้วยกัน เช่น ไมโครโฟน เครื่องมือวัดและบันทึกผล และระบบคอมพิวเตอร์พร้อมซอฟต์แวร์สำหรับการวิเคราะห์วิศวกรรม

#### 1. ไมโครโฟน

ไมโครโฟน คืออุปกรณ์รับเสียงแล้วแปลงเป็นสัญญาณไฟฟ้า เพื่อประมวลผลในเครื่องขยายเสียงหรืออุปกรณ์ผสมเสียงอื่นๆ ไมโครโฟนประกอบด้วยขดลวดและแม่เหล็กเป็นหลัก เมื่อเสียงกระทบตัวรับในไมโครโฟน จะทำให้ขดลวดสั่นสะเทือนตัดกับสนามแม่เหล็ก จึงทำให้เกิดสัญญาณไฟฟ้า ซึ่งเป็นหลักการทำงานตรงข้ามกับลำโพง โดยทั่วไปไมโครโฟนใช้รับเสียงพูดหรือเสียงร้องเพลง

#### 2. กล้องเก็บเสียง

กล้องเก็บเสียง เป็นอุปกรณ์ที่ด้านข้างประกอบด้วยฉนวนกันเสียงออก หรือสัญญาณรบกวนจากภายนอก เพื่อให้ได้สัญญาณเสียงที่มีความถูกต้องแม่นยำ

#### 3. คอมพิวเตอร์และซอฟต์แวร์

คอมพิวเตอร์และซอฟต์แวร์ (Computer and Software) จะทำหน้าที่รับข้อมูลจากเครื่องมือวัดและบันทึกผล เมื่อผู้ที่ทำหน้าที่ในการดำเนินการวัดเก็บค่าเสียงของมอเตอร์แล้ว ก็จะนำข้อมูลที่ได้อ่านค่าอินพุตเข้าสู่คอมพิวเตอร์ที่มีซอฟต์แวร์รองรับ สำหรับการวิเคราะห์สัญญาณเสียงนี้สามารถแสดงผลออกมาในรูปของกราฟแบบต่างๆ ในการทดลองนี้เราจะใช้โปรแกรม labview 2011 เพื่อทำการบันทึกค่าพารามิเตอร์ต่างๆ

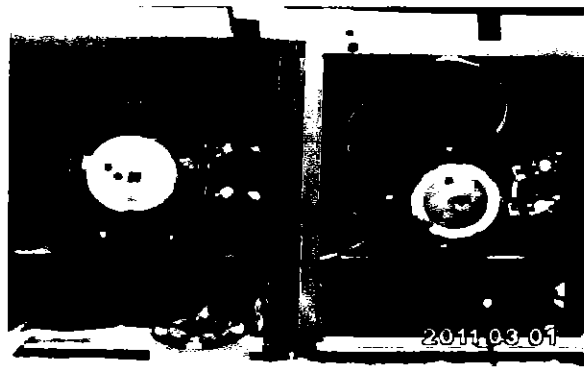
### 3.2.3 การออกแบบการทดลอง

การวัดค่าพารามิเตอร์ในขณะที่มอเตอร์เหนี่ยวนำมีการทำงาน ในสถานะที่ไม่มีภาระทางกล และมีภาระทางกล (ใช้วิธีการปรับค่าแรงบิด) ระหว่าง 10 เปอร์เซ็นต์ ถึง 100 แล้วทำการบันทึกรูปภาพ โดยที่รูปภาพที่ปรากฏบนจอภาพคอมพิวเตอร์จะเป็นรูปคลื่นของความเข้มเสียง dB สามารถออกแบบการทดลองได้ ดังนี้

1. ทำการทดลองเพื่อตรวจสอบมอเตอร์ขณะไร้ภาระทางกล โดยจ่ายไฟให้มอเตอร์และบันทึกสัญญาณรูปคลื่นเสียงจากไมโครโฟนผ่านซอฟต์แวร์คอมพิวเตอร์

#### 2. ในสถานะที่มีภาระทางกล

- 2.1 ทำการทดลองต่อวงจร และหาค่าแรงบิดที่มีภาระทางกล 100 เปอร์เซ็นต์ โดยการปรับค่าแรงบิดเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ (ปรับค่าแรงบิดที่เครื่อง Electrodynamometer) จนค่ากระแสมีค่าเท่ากับ 1.12 A (ดูค่ากระแสที่เครื่องวัดกระแส)



รูปที่ 3.16 มอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส คู่กับมิเตอร์ที่ใช้หลักการของสนามแม่เหล็กไฟฟ้า (Electrodynamometer)

2.2 นำค่าแรงบิดที่ภาระทางกล 100 เปอร์เซ็นต์ ที่ได้จากการทดลองในข้อที่ 2.1 มาคำนวณค่าแรงบิดที่ภาระทางกลขนาดระหว่าง 10 เปอร์เซ็นต์ ถึง 100 เปอร์เซ็นต์

2.3 ทำการบันทึกสัญญาณรูปคลื่นเสียงจากไมโคร โฟนผ่านซอฟต์แวร์คอมพิวเตอร์ บันทึกค่าแล้วนำค่าพารามิเตอร์ที่ได้ไป วาดกราฟใน Excel

### 3.2.4 ขั้นตอนและวิธีการทดลอง

1. ศึกษาการทดสอบมอเตอร์แบบมีภาระทางกลและแบบไม่มีภาระทางกล และศึกษาการทดสอบเสียงของมอเตอร์

2. ออกแบบการต่อวงจรในการทดลองและศึกษาอุปกรณ์ที่ใช้

3. ต่อวงจรการทดลองเพื่อความเข้มของเสียง

4. ทำการต่อวงจรการทดลองตามรูปที่ 3.15 เพื่อทำการทดสอบมอเตอร์ในสถานะที่มีภาระทางกลระหว่าง 10 เปอร์เซ็นต์ ถึง 100 เปอร์เซ็นต์ แล้วบันทึกค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ต้องการ พร้อมทั้งบันทึกกราฟคลื่นของเสียงจากไมโคร โฟนผ่านซอฟต์แวร์คอมพิวเตอร์

5. ทำการทดสอบมอเตอร์ในสถานะที่ไม่มี แล้วบันทึกค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ต้องการ พร้อมทั้งบันทึกกราฟคลื่นของเสียงที่สถานะไร้ภาระทางกล

6. รวบรวมข้อมูลค่าพารามิเตอร์ต่างๆ และกราฟของคลื่นเสียงที่ได้ แล้วนำมาวิเคราะห์ผลในส่วนของการทดลองจะมีการต่อวงจร โดยใช้อุปกรณ์ ดังนี้

1. ชุดแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ 380 V
2. ชุดแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง 220 V
3. อิเล็ก โตร ไคนา โมมิเตอร์
4. ชุดสายไฟ
5. มอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส
6. เครื่องวัดกำลัง ไฟฟ้า

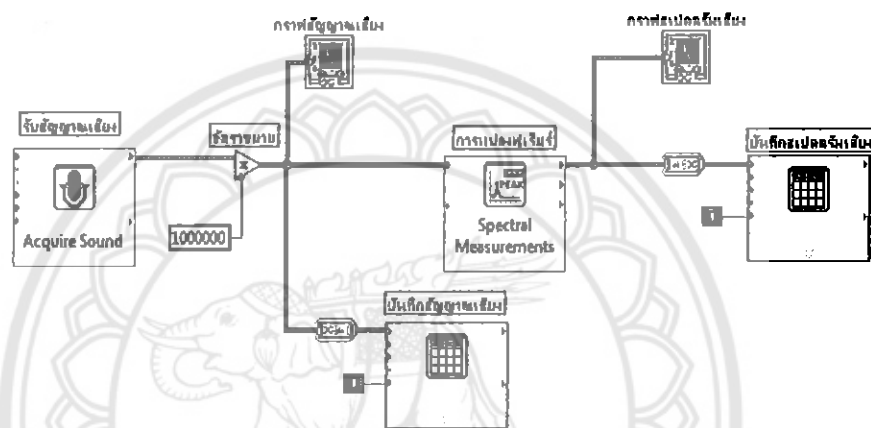


7. ไมโครโฟน

8. คอมพิวเตอร์

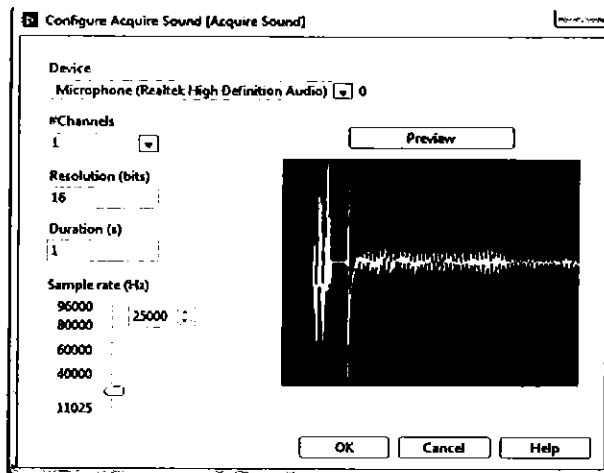
### 3.2.5 การวิเคราะห์สัญญาณเสียงที่ภาระทางกลที่ต่างกัน

เมื่อจ่ายไฟให้กับมอเตอร์เหนี่ยวนำจะส่งผลกระทบออกมาในรูปแบบต่างๆ เช่น ฮาโมนิกส์ ความร้อน และสัญญาณเสียง โดยสัญญาณเสียงที่จะปรากฏออกมา เนื่องจากการเพิ่มภาระทางกล และจะส่งผลให้เกิดสัญญาณเสียงที่แตกต่างกันออกมา ซึ่งสามารถนำมาวินิจฉัยสัญญาณเสียงที่เกิดขึ้นได้

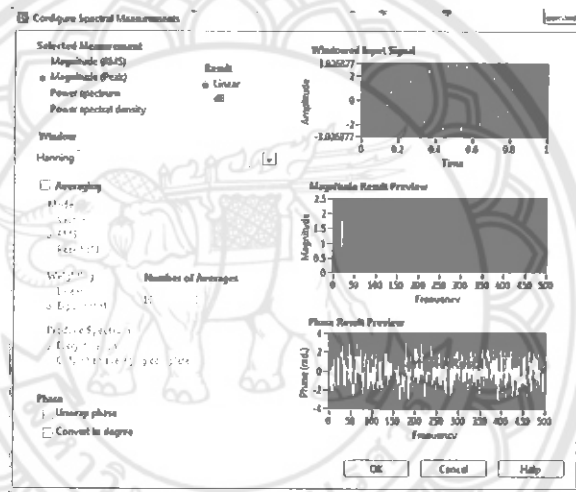


รูปที่ 3.17 การเขียน โปรแกรม Lab View สำหรับรับสัญญาณเสียง

รูปที่ 3.17 แสดงการเขียน โปรแกรม Lab View สำหรับสัญญาณเสียงที่เกิดขึ้นเนื่องจากการเพิ่มขึ้นของภาระทางกล กำหนดอัตราสุ่ม 25 กิโลเฮิรตซ์ ผ่านอัตราขยาย 1 ล้านเท่า เนื่องจากขนาดของเสียงมีค่าต่ำ และแปลงสัญญาณเสียงให้อยู่ใน โดเมนความถี่ใช้การแปลงฟูรีเยร์แบบเร็วซึ่งค่าความละเอียดของความถี่ (Frequency resolution) มีค่าเท่ากับ 1 เฮิรตซ์ ภาพที่ 3.9 และภาพที่ 3.10 แสดงการปรับค่าของอุปกรณ์รับสัญญาณ และการปรับค่าการแปลงฟูรีเยร์แบบเร็ว ตามลำดับ

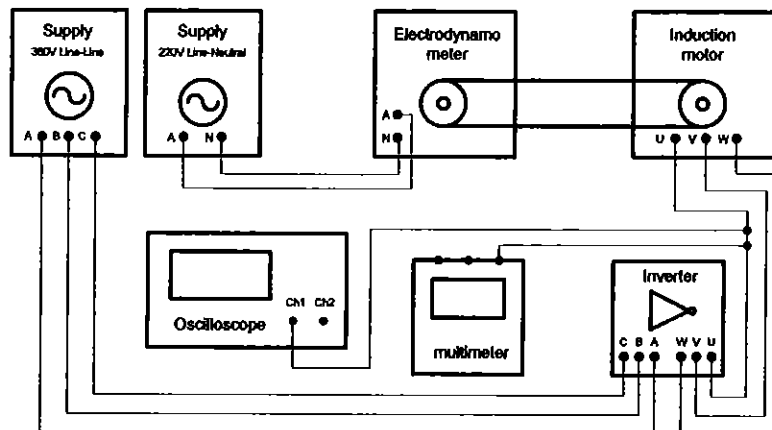


รูปที่ 3.18 การปรับค่าอุปกรณ์รับสัญญาณเสียง



รูปที่ 3.19 การปรับค่าการแปลงฟูเรียร์แบบเร็ว

สามารถเขียนแผนภาพการทำงานของอุปกรณ์ในการทดลองได้ ดังนี้



รูปที่ 3.20 แผนภาพวงจรรวมในการทดลอง

## บทที่ 4

### ผลการทดลอง

ในโครงการได้แบ่งการทดลองออกเป็น 2 การทดลอง คือเรื่องเสียงที่ขึ้นในมอเตอร์ขณะ  
มอเตอร์ทำงานและอุณหภูมิภายในมอเตอร์ขณะมอเตอร์ทำงาน  
เสียงที่เกิดขึ้นภายในมอเตอร์ เกิดจากมอเตอร์ทำงาน ทำให้เกิดการสูญเสียทางกล

#### 4.1 ผลการทดลองของเสียงที่เกิดขึ้นขณะมอเตอร์ทำงาน

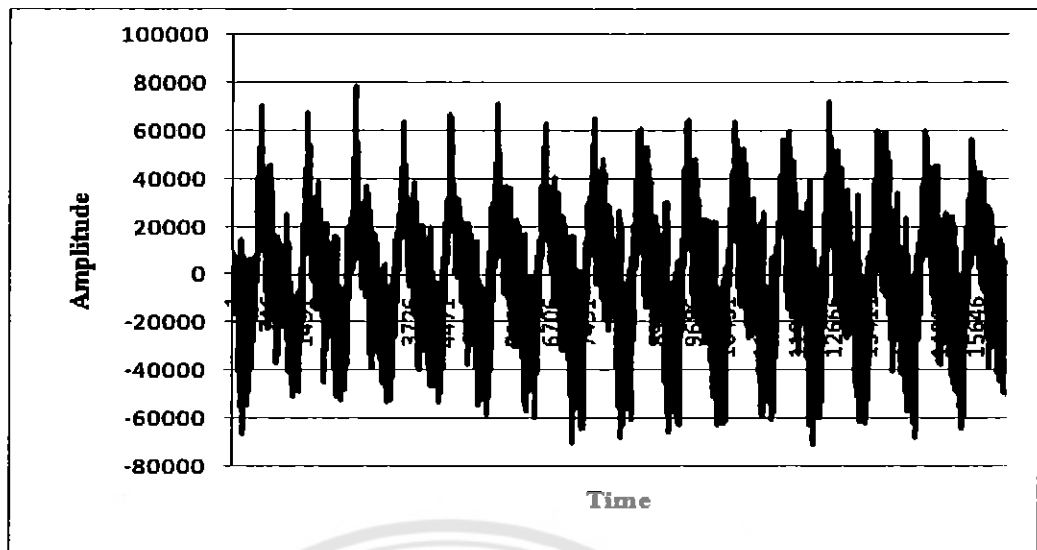
ใช้โปรแกรม แลปวิว (labview) สำหรับรับสัญญาณเสียงที่เกิดขึ้นภายในมอเตอร์ขณะ  
มอเตอร์ทำงาน กำหนดอัตราการสุ่ม 25 kHz ผ่านอัตราขยาย 1,000,000 เท่า เนื่องจากขนาดของ  
สัญญาณเสียงมีค่าต่ำ และแปลงสัญญาณเสียงให้อยู่ในรูปของโดเมนความถี่ใช้การแปลงฟูเรียร์แบบ  
เร็วซึ่งค่าความละเอียดของความถี่ มีค่าเท่ากับ 1 Hz เซตค่า sample rate ของไมโครโฟนที่ 25000 Hz  
ใช้โปรแกรม แลปวิว ในการบันทึกค่ากราฟ แล้ววาดกราฟใน Excel  
สมการที่ใช้ในการแปลงฟูเรียร์ในโปรแกรม แลปวิว

$$f(x) = \frac{1}{2}a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} a_n \cos\left(\frac{n\pi x}{L}\right) + \sum_{n=1}^{\infty} b_n \sin\left(\frac{n\pi x}{L}\right)$$

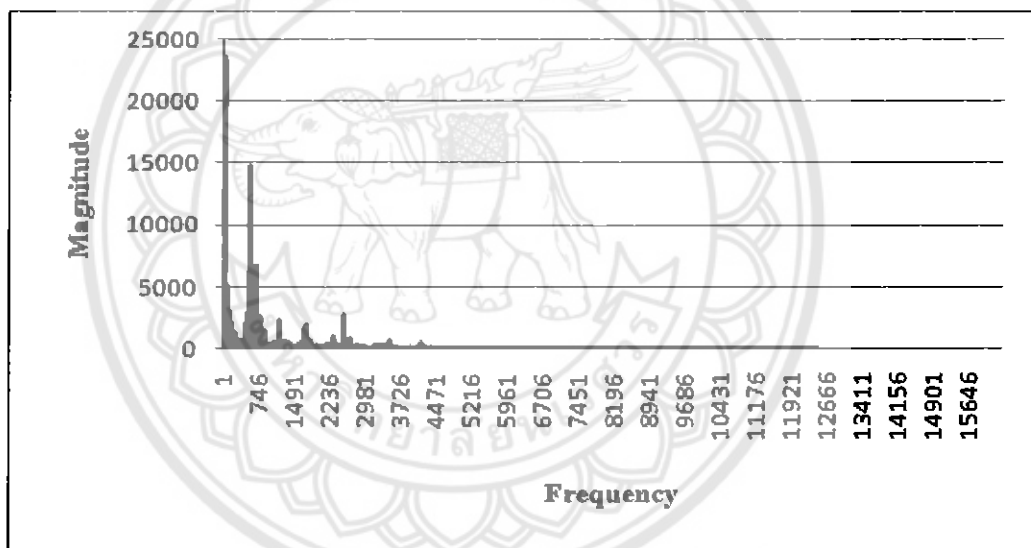
$$a_0 = \frac{1}{L} \int_{-L}^L f(x) dx$$

$$a_n = \frac{1}{L} \int_{-L}^L f(x) \cos\left(\frac{n\pi x}{L}\right) dx$$

$$b_n = \frac{1}{L} \int_{-L}^L f(x) \sin\left(\frac{n\pi x}{L}\right) dx$$

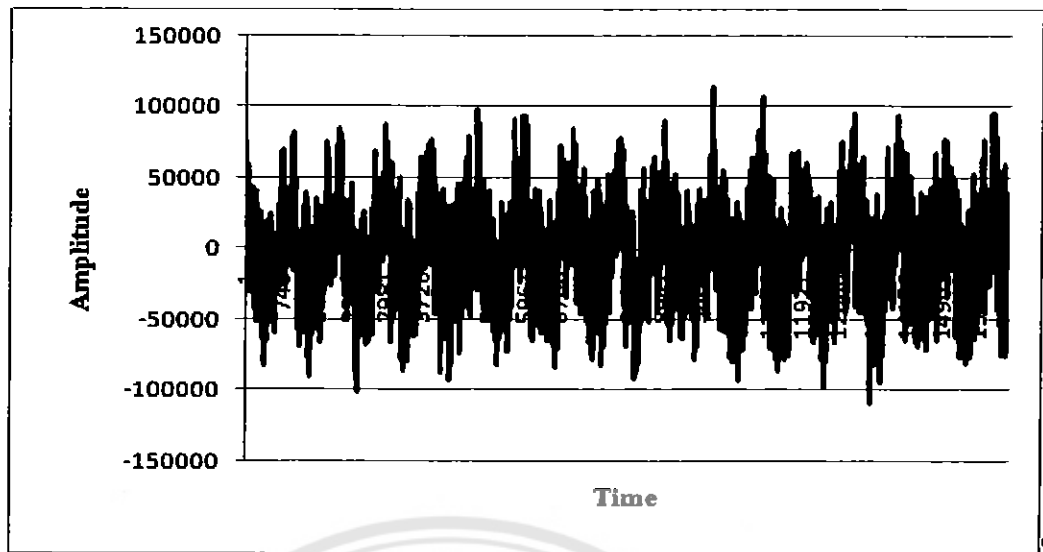


รูปที่ 4.1 สัญญาณเสียงของมอเตอร์เหนี่ยวนำ ขณะไร้ภาระทางกล ที่ความถี่ 50 Hz

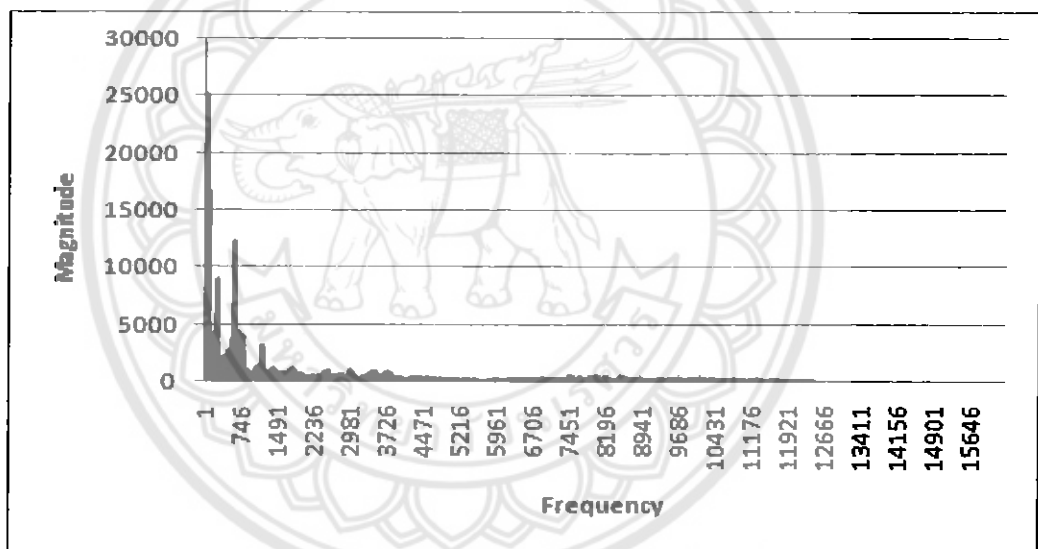


รูปที่ 4.2 สเปกตรัมของสัญญาณเสียง ของมอเตอร์เหนี่ยวนำ ขณะไร้ภาระทางกล ที่ความถี่ 50 Hz

เมื่อจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้กับมอเตอร์ ในขณะไร้ภาระทางกล พบว่าค่า Magnitude ที่ได้จากกราฟสเปกตรัมมีค่าประมาณ 24,000 เป็นค่าที่มอเตอร์ทำงานปกติ เป็นค่าเริ่มต้นของ Magnitude ก่อนจะทำการไร้ภาระทางกล

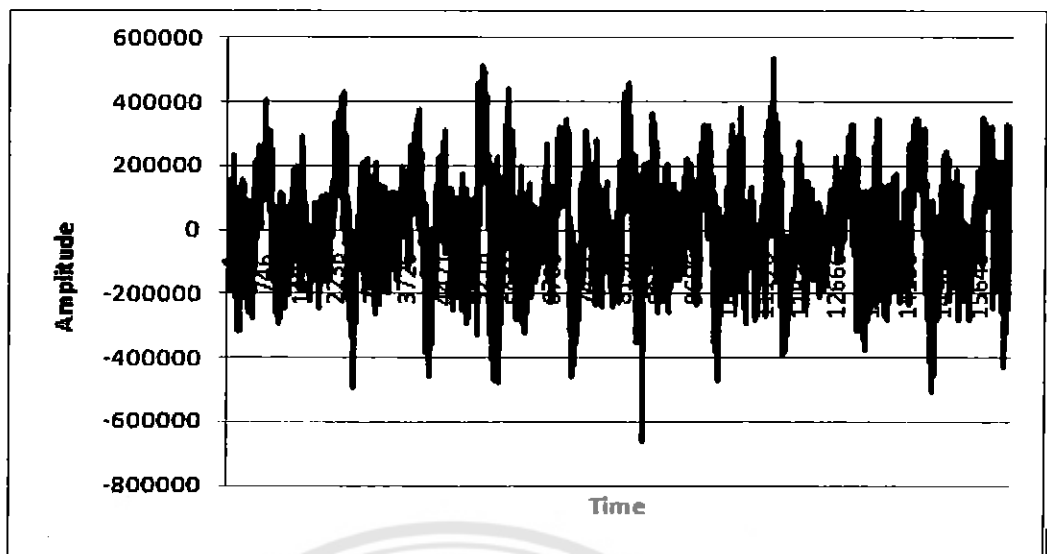


รูปที่ 4.3 สัญญาณเสียงของมอเตอร์เหนี่ยวนำ ขณะภาระทางกล 10 เปอร์เซ็นต์ ที่ความถี่ 50 Hz

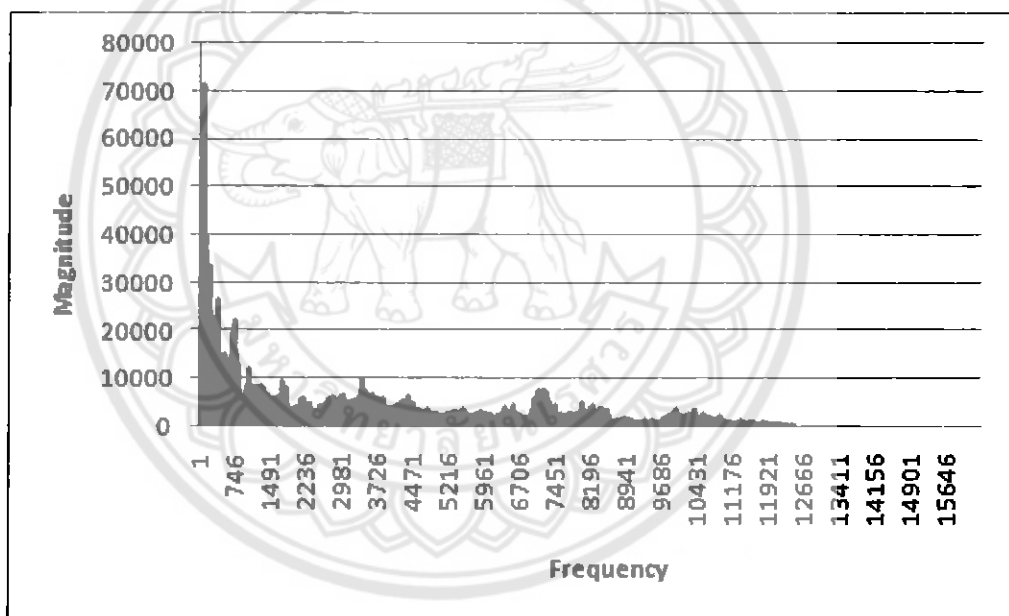


รูปที่ 4.4 สเปกตรัมของสัญญาณเสียงขณะภาระทางกล 10 เปอร์เซ็นต์ ที่ความถี่ 50 Hz

เมื่อจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้กับมอเตอร์ แล้วขับภาระทางกลที่ 10 เปอร์เซ็นต์ พบว่าค่า Magnitude ที่ได้จากกราฟสเปกตรัมมีค่าประมาณ 25,000 เพิ่มขึ้น จากที่ไม่ได้ใส่ภาระทางกล เนื่องจากเมื่อมีภาระทางกลเพิ่มขึ้น ทำให้อัตราการหมุนทำงานหนักขึ้น ส่งผลให้ค่า Magnitude ของกราฟมีค่าสูงขึ้น นั่นก็คือเสียงดังเพิ่มมากขึ้นด้วย

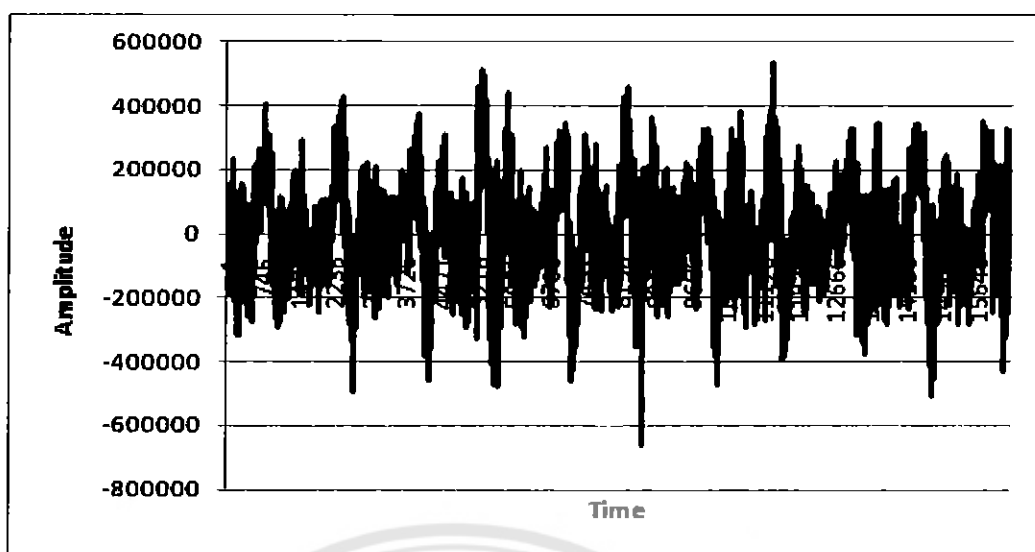


รูปที่ 4.5 สัญญาณเสียงของมอเตอร์เหนี่ยวนำ ขณะภาระทางกล 20 เปอร์เซ็นต์ ที่ความถี่ 50 Hz

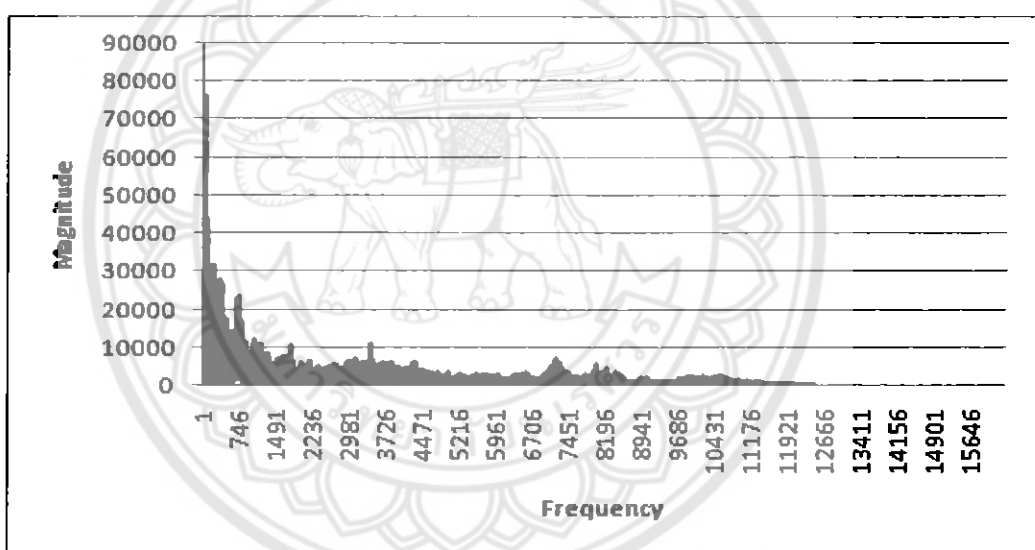


รูปที่ 4.6 สเปกตรัม-ของสัญญาณเสียง ขณะภาระทางกล 20 เปอร์เซ็นต์ ที่ความถี่ 50 Hz

เมื่อจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้กับมอเตอร์ แล้วขับภาระทางกลที่ 20 เปอร์เซ็นต์ พบว่าค่า Magnitude ที่ได้จากกราฟสเปกตรัมมีค่าประมาณ 71,000 เพิ่มขึ้น จากที่ใส่ภาระทางกลที่ 10 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากเมื่อมีภาระทางกลเพิ่มขึ้น ทำให้มอเตอร์ทำงานหนักขึ้น ส่งผลให้ค่า Magnitude ของกราฟมีค่าสูงขึ้น นั่นก็คือเสียงดังเพิ่มมากขึ้นด้วย

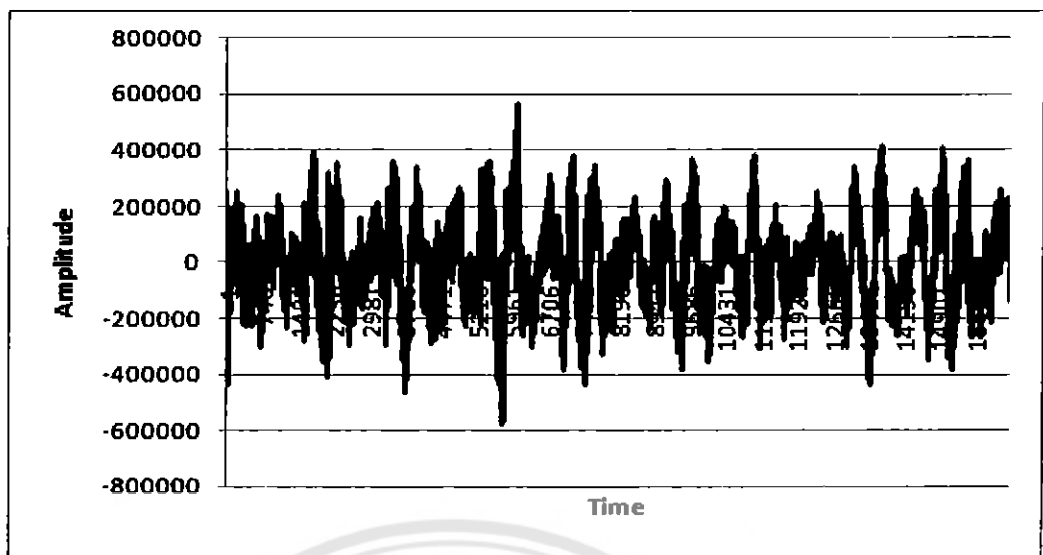


รูปที่ 4.7 สัญญาณเสียงของมอเตอร์เหนี่ยวนำ ขณะภาระทางกล 30 เปอร์เซ็นต์ ที่ความถี่ 50 Hz

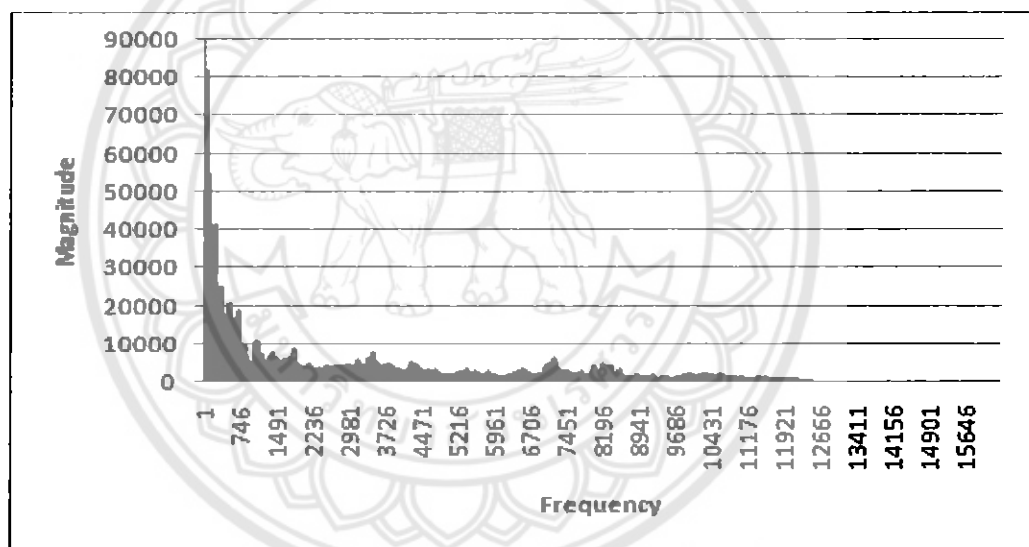


รูปที่ 4.8 สเปกตรัมของสัญญาณเสียงขณะภาระทางกล 30 เปอร์เซ็นต์ ที่ความถี่ 50 Hz

เมื่อจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้กับมอเตอร์ แล้วขับภาระทางกลที่ 30 เปอร์เซ็นต์ พบว่าค่า Magnitude ที่ได้จากกราฟสเปกตรัมมีค่าประมาณ 76,000 เพิ่มขึ้น จากที่ใส่ภาระทางกลที่ 20 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากเมื่อมีภาระทางกลเพิ่มขึ้น ทำให้อัตราการทำงานหนักขึ้น ส่งผลให้ค่า Magnitude ของกราฟมีค่าสูงขึ้น นั่นก็คือเสียงดังเพิ่มมากขึ้นด้วย



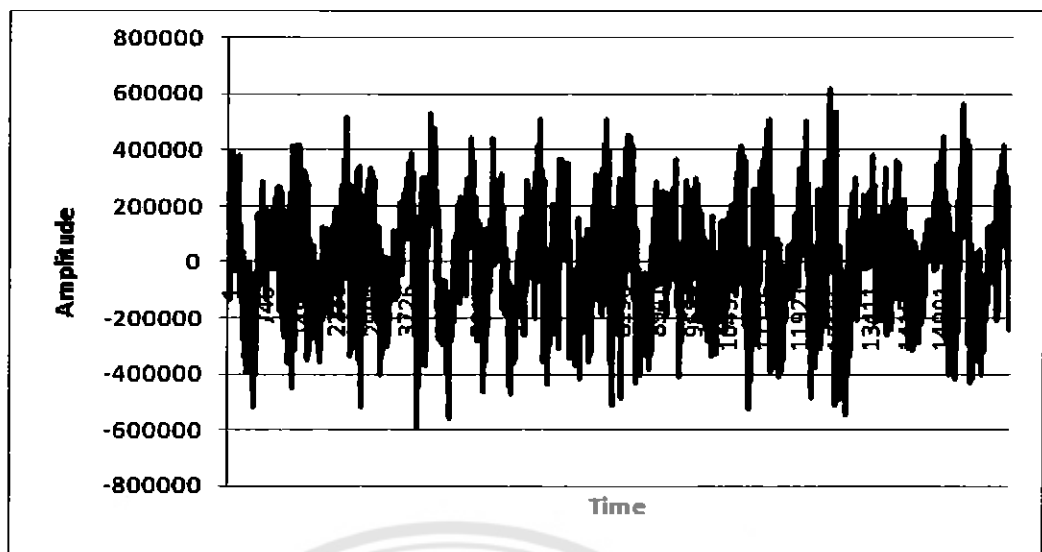
รูปที่ 4.9 สัญญาณเสียงของมอเตอร์เหนี่ยวนำ ขณะภาระทางกล 40 เปอร์เซ็นต์ ที่ความถี่ 50 Hz



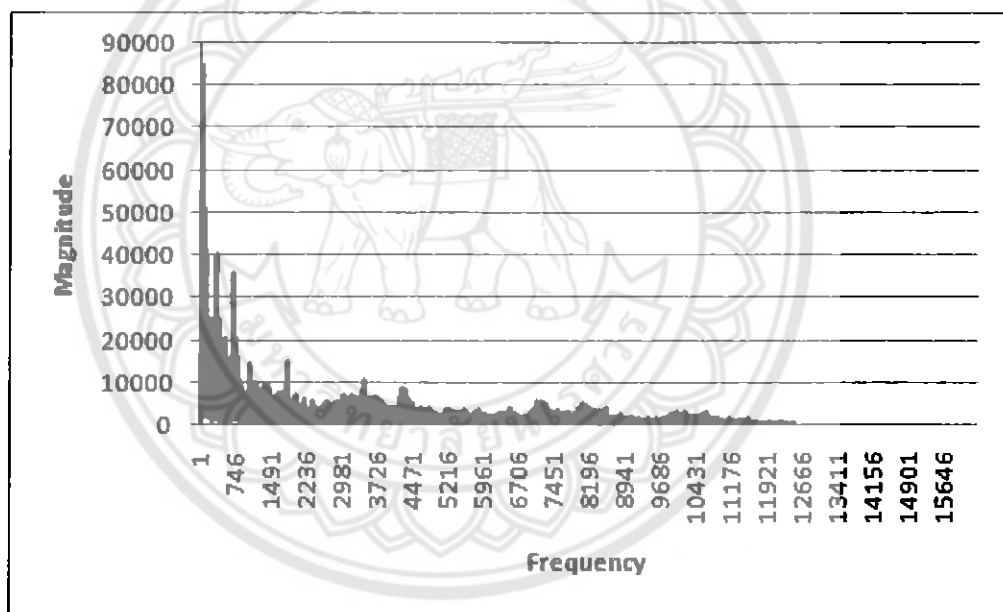
รูปที่ 4.10 สเปกตรัมของสัญญาณเสียงขณะภาระทางกล 40 เปอร์เซ็นต์ ที่ความถี่ 50 Hz

เมื่อจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้กับมอเตอร์ แล้วจับภาระทางกลที่ 40 เปอร์เซ็นต์ พบว่าค่า Magnitude ที่ได้จากกราฟสเปกตรัมมีค่าประมาณ 81,000 เพิ่มขึ้น จากที่ใส่ภาระทางกลที่ 30 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากเมื่อมีภาระทางกลเพิ่มขึ้น ทำให้มอเตอร์ทำงานหนักขึ้น ส่งผลให้ค่า Magnitude ของกราฟมีค่าสูงขึ้น นั่นก็คือเสียงดังเพิ่มมากขึ้นด้วย



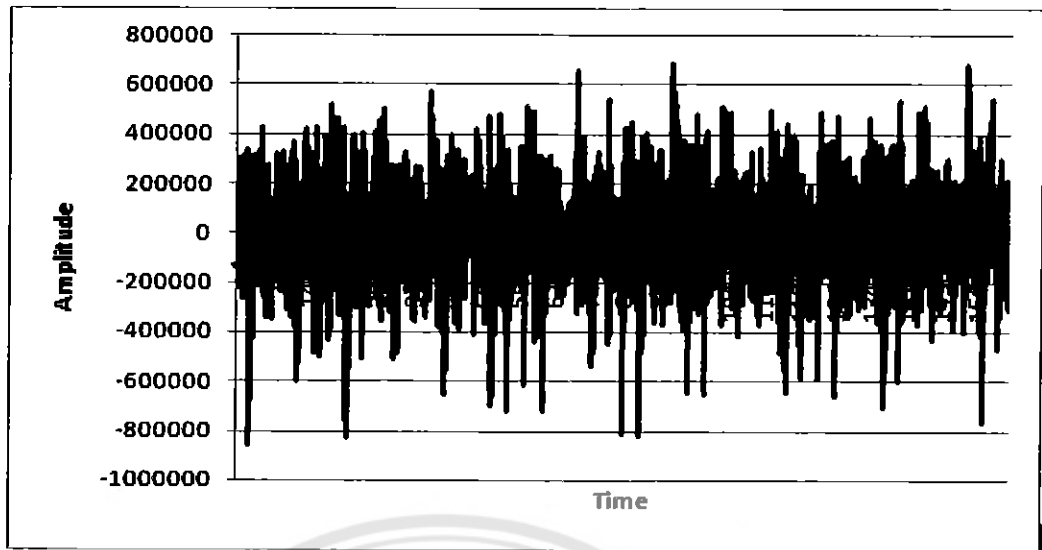


รูปที่ 4.11 สัญญาณเสียงของมอเตอร์เหนี่ยวนำ ขณะภาระทางกล 50 เปอร์เซ็นต์ ที่ความถี่ 50 Hz

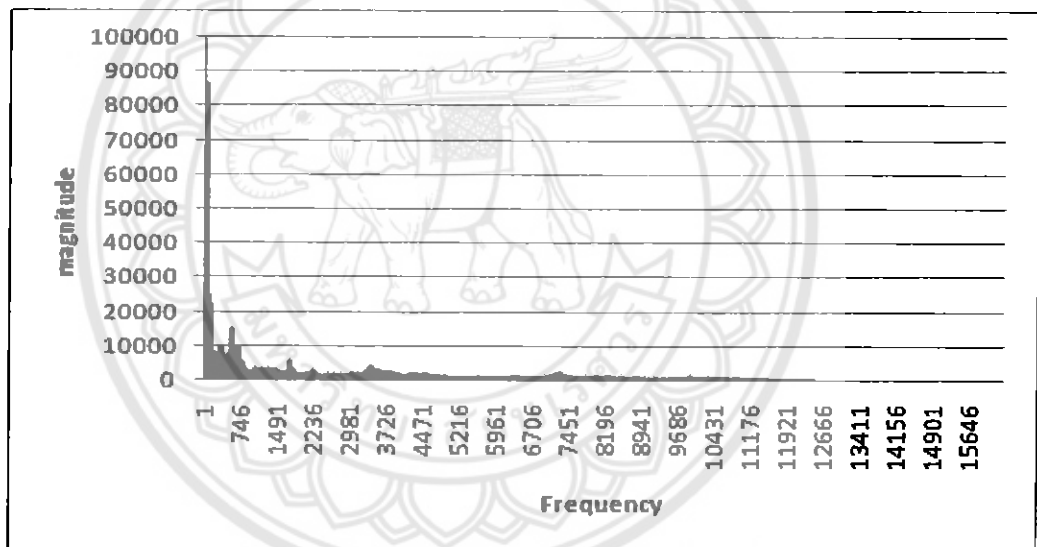


รูปที่ 4.12 สเปกตรัมของสัญญาณเสียงขณะภาระทางกล 50 เปอร์เซ็นต์ ที่ความถี่ 50 Hz

เมื่อจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้กับมอเตอร์ แล้วจับภาระทางกลที่ 50 เปอร์เซ็นต์ พบว่าค่า Magnitude ที่ได้จากกราฟสเปกตรัมมีค่าประมาณ 85,000 เพิ่มขึ้น จากที่ใส่ภาระทางกลที่ 40 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากเมื่อมีภาระทางกลเพิ่มขึ้น ทำให้อัตราการทำงานหนักขึ้น ส่งผลให้ค่า Magnitude ของกราฟมีค่าสูงขึ้น นั่นก็คือเสียงดังเพิ่มมากขึ้นด้วย

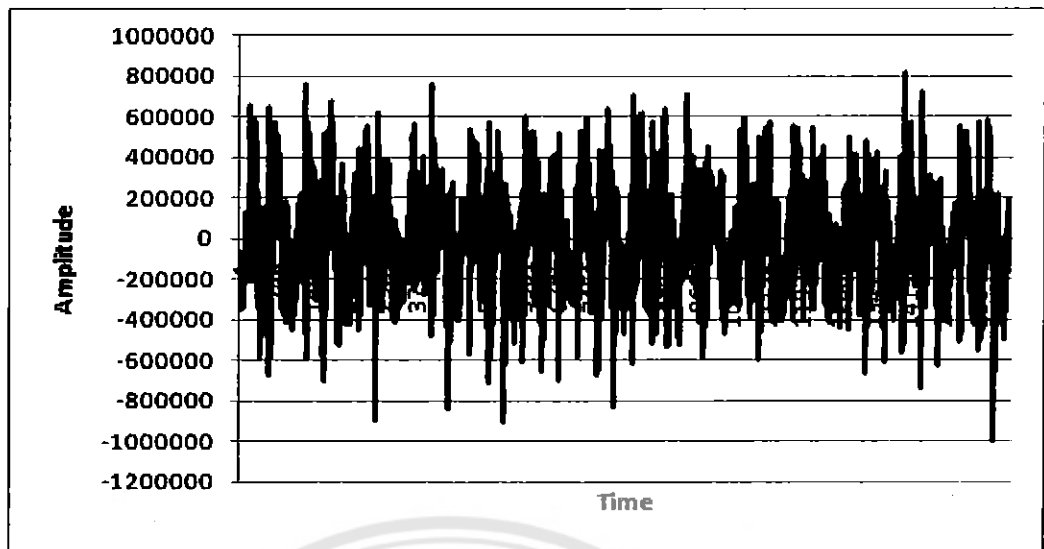


รูปที่ 4.13 สัญญาณเสียงของมอเตอร์เหนี่ยวนำ ขณะภาระทางกล 60 เปอร์เซ็นต์ ที่ความถี่ 50 Hz

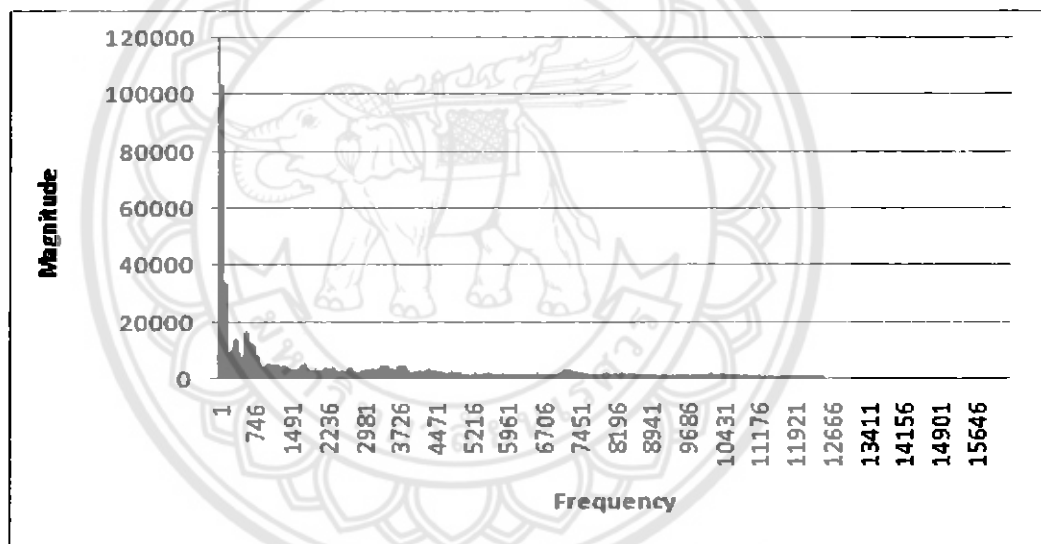


รูปที่ 4.14 สเปกตรัมของสัญญาณเสียงขณะภาระทางกล 60 เปอร์เซ็นต์ ที่ความถี่ 50 Hz

เมื่อจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้กับมอเตอร์ แล้วขับภาระทางกลที่ 60 เปอร์เซ็นต์ พบว่าค่า Magnitude ที่ได้จากกราฟสเปกตรัมมีค่าประมาณ 87,000 เพิ่มขึ้น จากที่ได้ภาระทางกลที่ 50 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากเมื่อมีภาระทางกลเพิ่มขึ้น ทำให้อัตราการหมุนของมอเตอร์ทำงานหนักขึ้น ส่งผลให้ค่า Magnitude ของกราฟมีค่าสูงขึ้น นั่นก็คือเสียงดังเพิ่มมากขึ้นด้วย

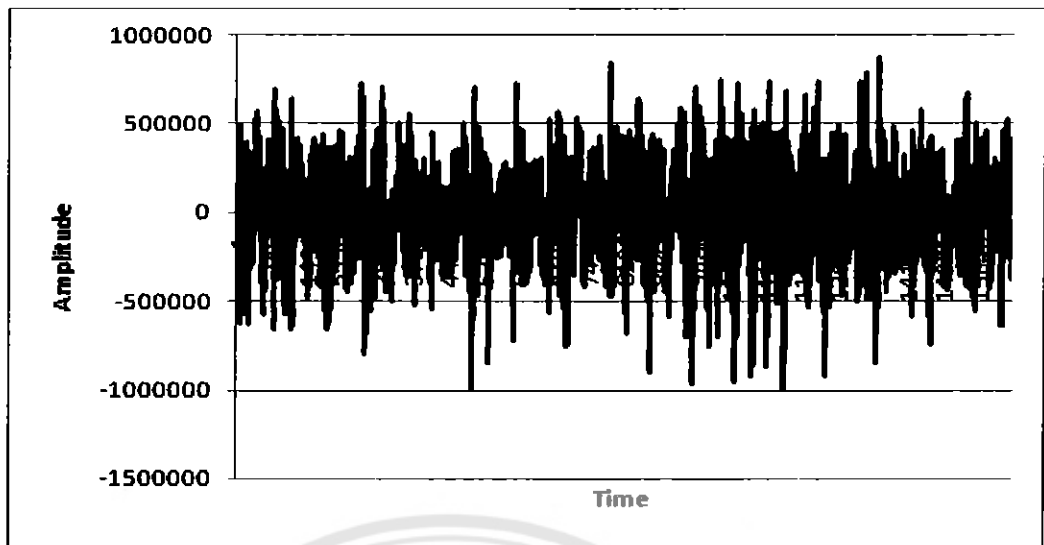


รูปที่ 4.15 สัญญาณเสียงของมอเตอร์เหนี่ยวนำ ขณะภาระทางกล 70 เปอร์เซ็นต์ ที่ความถี่ 50 Hz

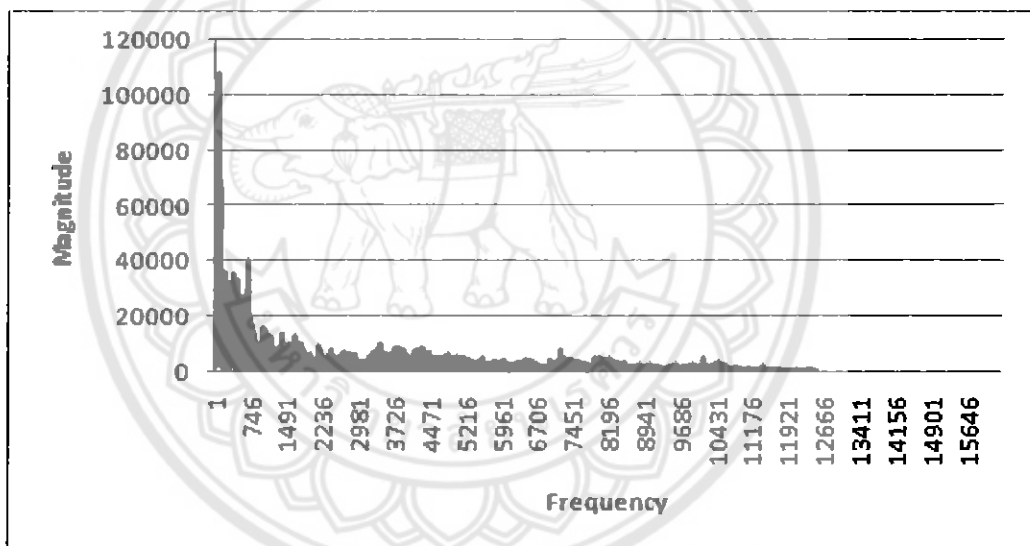


รูปที่ 4.16 สเปกตรัมของสัญญาณเสียงขณะภาระทางกล 70 เปอร์เซ็นต์ ที่ความถี่ 50 Hz

เมื่อจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้กับมอเตอร์ แล้วขับภาระทางกลที่ 70 เปอร์เซ็นต์ พบว่าค่า Magnitude ที่ได้จากกราฟสเปกตรัมมีค่าประมาณ 103,000 เพิ่มขึ้น จากที่ใส่ภาระทางกลที่ 60 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากเมื่อมีภาระทางกลเพิ่มขึ้น ทำให้อัตราการทำงานหนักขึ้น ส่งผลให้ค่า Magnitude ของกราฟมีค่าสูงขึ้น นั่นก็คือเสียงดังเพิ่มมากขึ้นด้วย

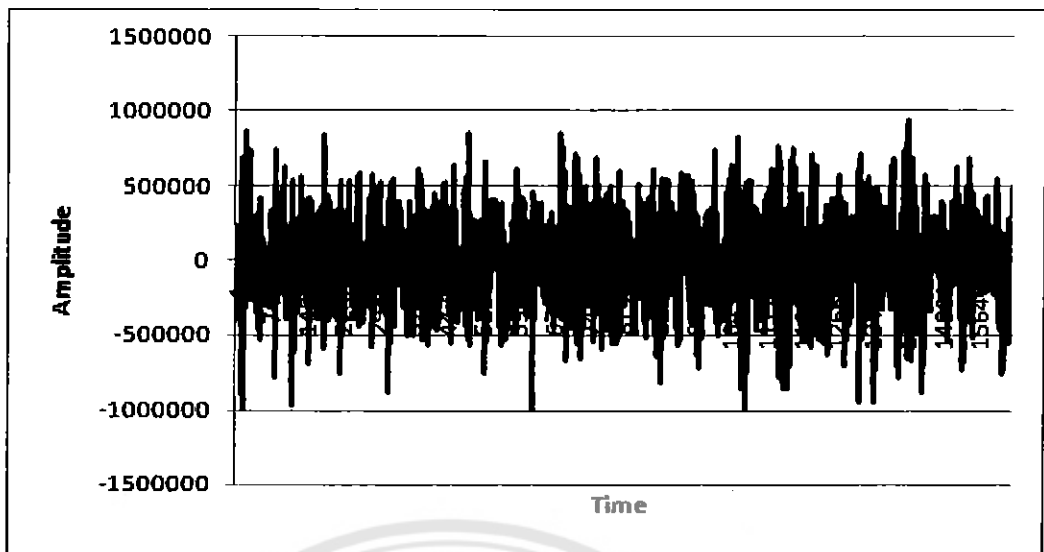


รูปที่ 4.17 สัญญาณเสียงของมอเตอร์เหนี่ยวนำ ขณะภาระทางกล 80 เปอร์เซ็นต์ ที่ความถี่ 50 Hz

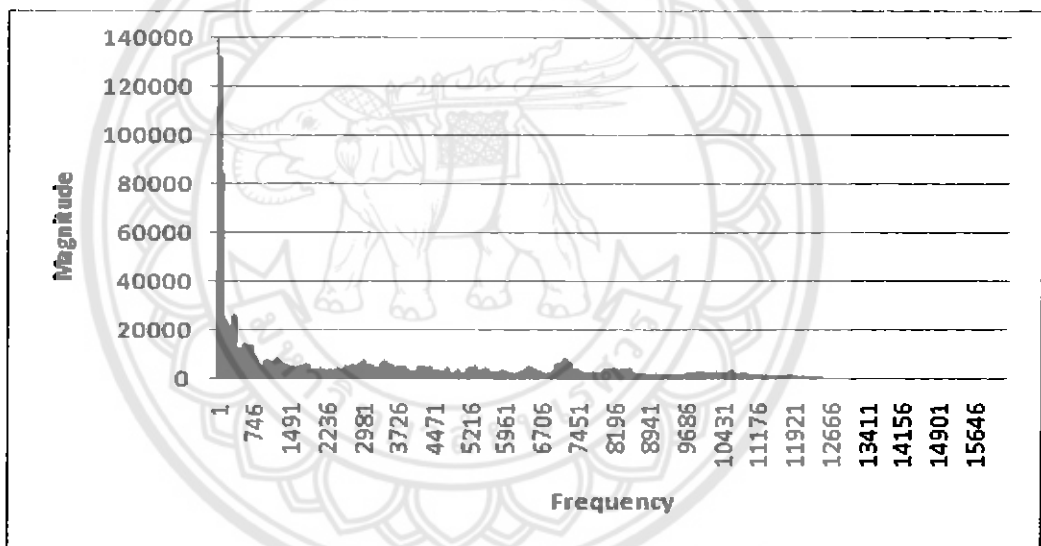


รูปที่ 4.18 สเปกตรัมของสัญญาณเสียงขณะภาระทางกล 80 เปอร์เซ็นต์ ที่ความถี่ 50 Hz

เมื่อจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้กับมอเตอร์ แล้วจับภาระทางกลที่ 80 เปอร์เซ็นต์ พบว่าค่า Magnitude ที่ได้จากกราฟสเปกตรัมมีค่าประมาณ 108,000 เพิ่มขึ้น จากที่ใส่ภาระทางกลที่ 70 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากเมื่อมีภาระทางกลเพิ่มขึ้น ทำให้อัตราการทำงานหนักขึ้น ส่งผลให้ค่า Magnitude ของกราฟมีค่าสูงขึ้น นั่นก็คือเสียงดังเพิ่มมากขึ้นด้วย

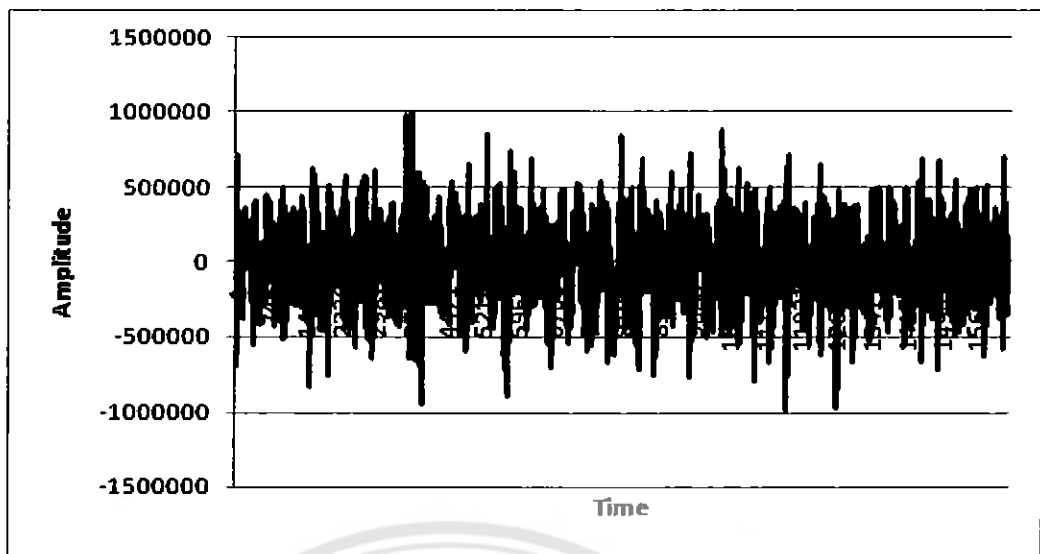


รูปที่ 4.19 สัญญาณเสียงของมอเตอร์เหนี่ยวนำ ขณะภาระทางกล 90 เปอร์เซ็นต์ ที่ความถี่ 50 Hz

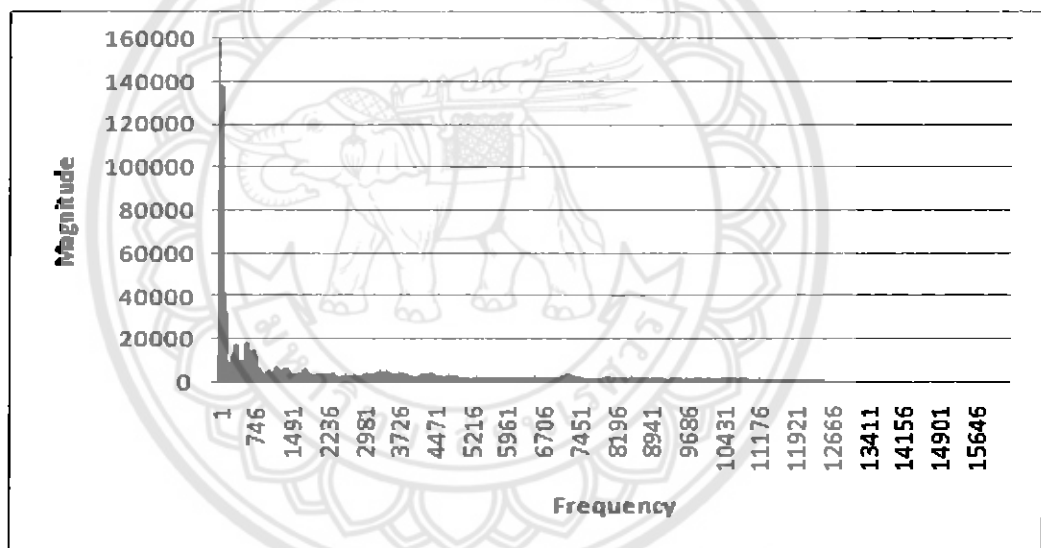


รูปที่ 4.20 สเปกตรัมของสัญญาณเสียงขณะภาระทางกล 90 เปอร์เซ็นต์ ที่ความถี่ 50 Hz

เมื่อจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้กับมอเตอร์ แล้วขับภาระทางกลที่ 90 เปอร์เซ็นต์ พบว่าค่า Magnitude ที่ได้จากกราฟสเปกตรัมมีค่าประมาณ 130,000 เพิ่มขึ้น จากที่ใส่ภาระทางกลที่ 80 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากเมื่อมีภาระทางกลเพิ่มขึ้น ทำให้มอเตอร์ทำงานหนักขึ้น ส่งผลให้ค่า Magnitude ของกราฟมีค่าสูงขึ้น นั่นก็คือเสียงดังเพิ่มมากขึ้นด้วย

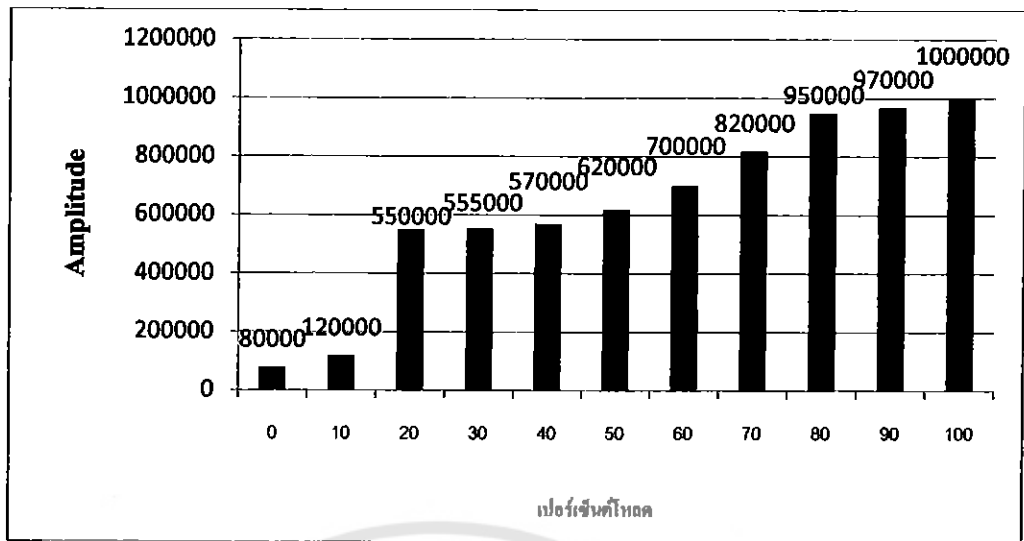


รูปที่ 4.21 สัญญาณเสียงของมอเตอร์เหนี่ยวนำ ขณะภาระทางกล 100 เปอร์เซ็นต์ ที่ความถี่ 50 Hz

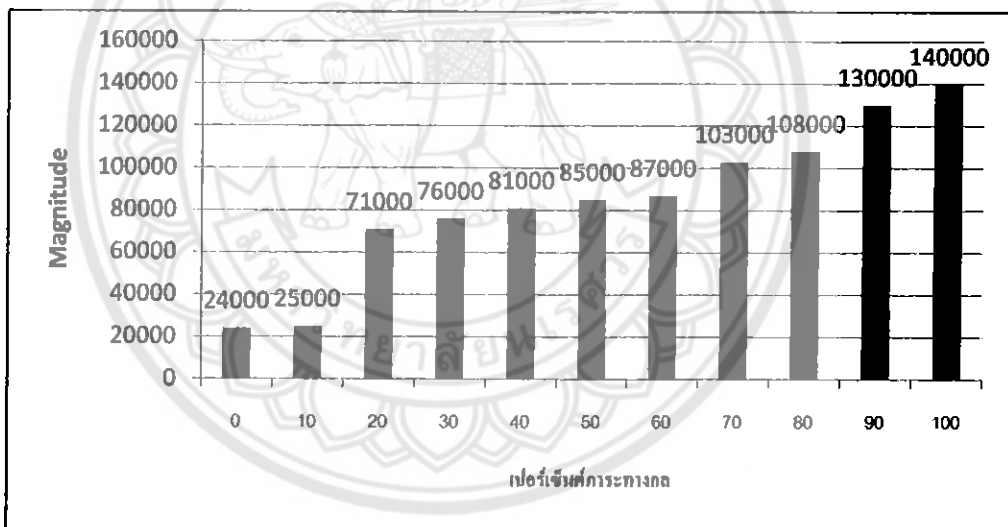


รูปที่ 4.22 สเปกตรัมของสัญญาณเสียงขณะภาระทางกล 100 เปอร์เซ็นต์ ที่ความถี่ 50 Hz

เมื่อจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้กับมอเตอร์ แล้วขับภาระทางกลที่ 100 เปอร์เซ็นต์ พบว่าค่า Magnitude ที่ได้จากกราฟสเปกตรัมมีค่าประมาณ 140,000 เพิ่มขึ้น จากที่ได้ใส่ภาระทางกลที่ 90 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากเมื่อมีภาระทางกลสูงสุดของกำลังมอเตอร์ ทำให้อัตราการหมุนของมอเตอร์ทำงานหนักสูงสุด ส่งผลให้ค่า Magnitude ของกราฟมีค่าสูงสุด นั่นก็คือเสียงดังมีค่าสูงสุดของมอเตอร์ด้วย



รูปที่ 4.23 กราฟผลการทดลองค่าสูงสุดของมอเตอร์เหนี่ยวนำในภาวะภาระทางกลแต่ละเปอร์เซ็นต์ที่ความถี่ 50 Hz



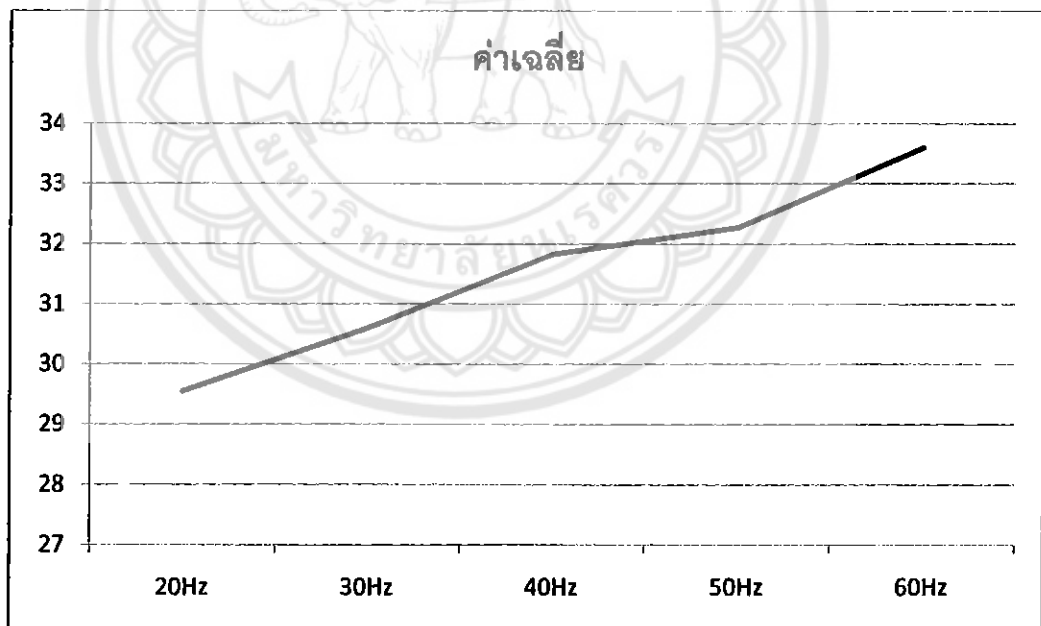
รูปที่ 4.24 กราฟสรุปความเข้มเสียงของมอเตอร์เหนี่ยวนำในภาวะภาระทางกลแต่ละเปอร์เซ็นต์ที่ความถี่ 50 Hz

การวิเคราะห์ความเข้มเสียงของมอเตอร์ในสภาวะภาระทางกลแต่ละเปอร์เซ็นต์ต่างๆ จะได้กราฟสเปกตรัม ซึ่งค่า Magnitude ของกราฟสเปกตรัมที่ได้จะบ่งถึงความรุนแรงของเสียงที่เกิดขึ้น ในการทดลองนี้ ได้ทดสอบถึงความเข้มของเสียง กราฟสเปกตรัมที่ได้มีค่า Magnitude ของกราฟเพิ่มขึ้นตามเปอร์เซ็นต์ภาระทางกลยิ่งเปอร์เซ็นต์ภาระทางกลมีค่ามากค่า Magnitude ที่ได้ก็มีค่ามากขึ้น เมื่อมีภาระทางกลเพิ่มมากขึ้น ทำให้มอเตอร์ทำงานหนักขึ้น แล้วทำให้ระดับความเข้มของเสียงเพิ่มมากขึ้น

## 4.2 ผลการทดลองอุณหภูมิความร้อนภายในมอเตอร์ขณะมอเตอร์ทำงาน

ตารางที่ 4.1 ความถี่ 20 เฮิรตซ์-60 เฮิรตซ์ ในสภาวะไม่มีภาระทางกล ใช้เวลา 15 นาที อุณหภูมิ เริ่มต้นที่ 26 องศา

ความถี่(Hz)	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	เฉลี่ย
20%	29.6	29.5	29.7	29.4	29.55
30%	30.5	30.5	30.8	30.6	30.6
40%	31.8	31.6	32.0	31.9	31.825
50%	32.2	32.3	32.2	32.4	32.275
60%	33.8	33.6	33.6	33.6	33.65

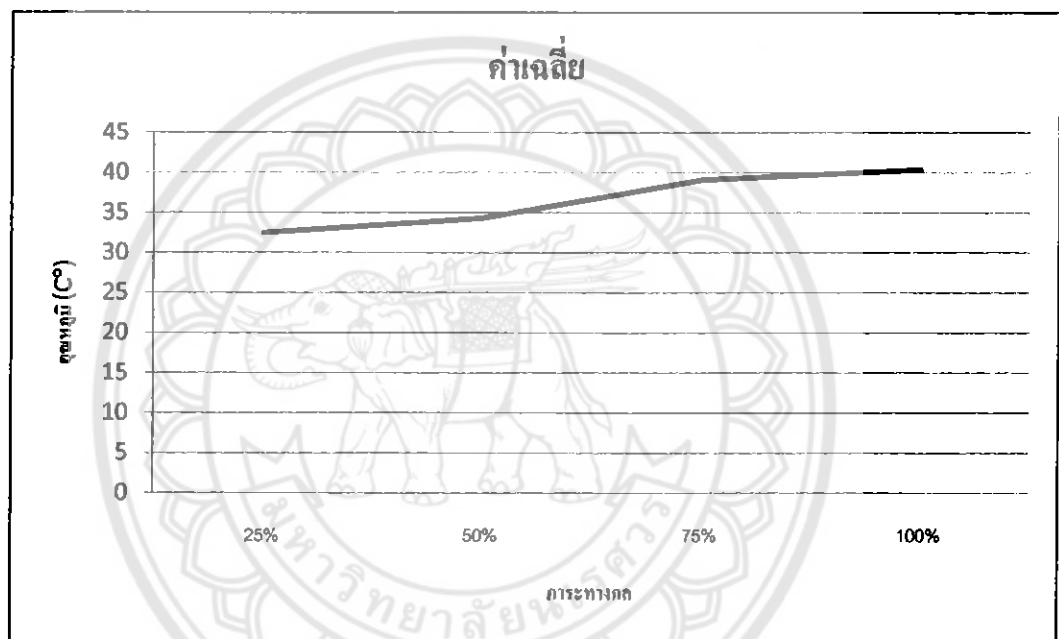


รูปที่ 4.25 กราฟความถี่ 20 เฮิรตซ์-60เฮิรตซ์ ในสภาวะไม่มีภาระทางกล



ตารางที่ 4.2 ความถี่ 20 เฮิรตซ์ ใช้เวลา 15 นาที อุณหภูมิเริ่มต้นที่ 26 องศา

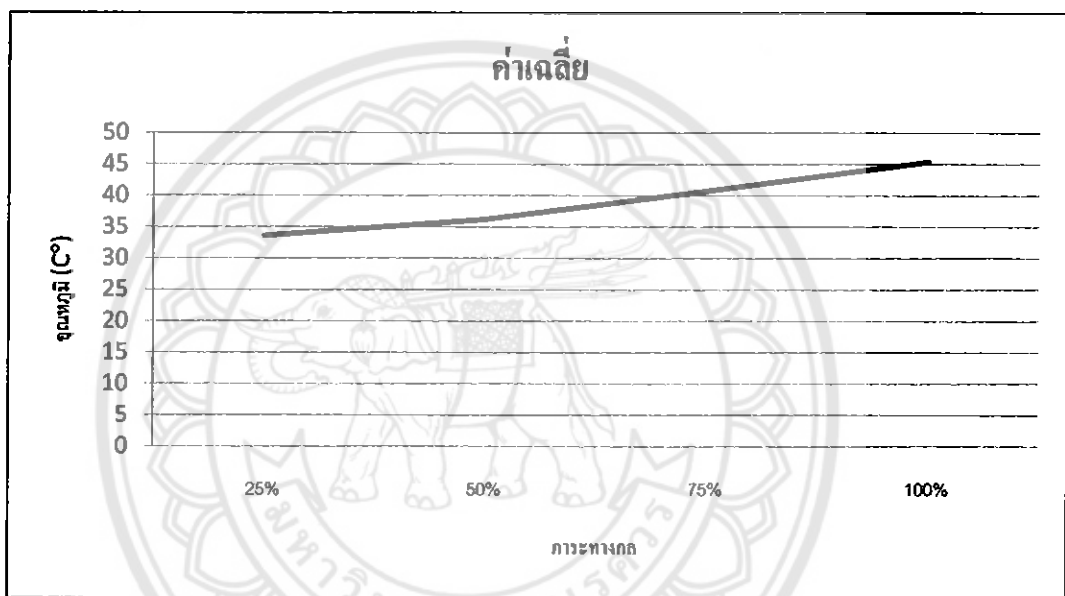
เปอร์เซ็นต์ภาระทาง กล	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	เฉลี่ย
25%	32.1	32.5	32.7	32.6	32.475
50%	34.5	34.2	34.2	34.3	34.3
75%	38.8	39.3	38.7	39.6	39.1
100%	40.2	40.2	40.6	40.5	40.38



รูปที่ 4.26 กราฟแสดงผลที่ความถี่ 20 เฮิรตซ์ ใช้เวลา 15 นาที อุณหภูมิเริ่มต้นที่ 26 องศา

ตารางที่ 4.3 ความถี่ 30 เฮิร์ตซ์ ใช้เวลา 15 นาที อุณหภูมิเริ่มต้นที่ 26 องศา

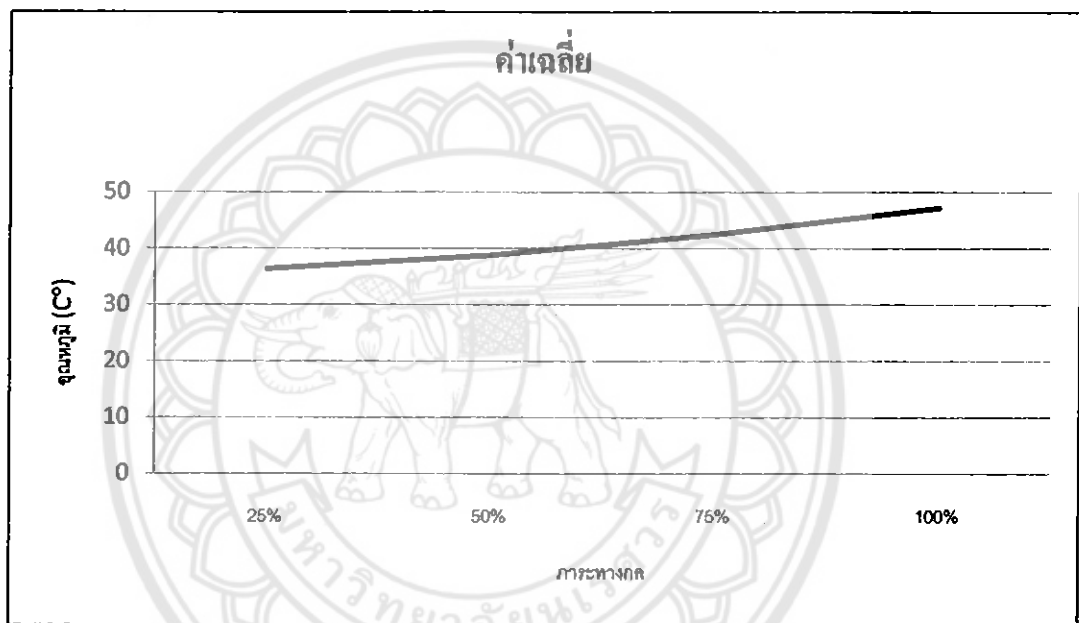
เปอร์เซ็นต์ภาระทาง กล	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	เฉลี่ย
25%	33.6	33.5	33.8	33.4	33.58
50%	36.2	36.1	36.4	36.3	36.25
75%	40.6	41.0	40.7	40.8	40.78
100%	45.3	45.6	45.4	45.5	45.45



รูปที่ 4.27 กราฟแสดงผลที่ความถี่ 30 เฮิร์ตซ์ ใช้เวลา 15 นาที อุณหภูมิเริ่มต้นที่ 26 องศา

ตารางที่ 4.4 ความถี่ 40 เฮิร์ตซ์ ใช้เวลา 15 นาที อุณหภูมิเริ่มต้นที่ 26 องศา

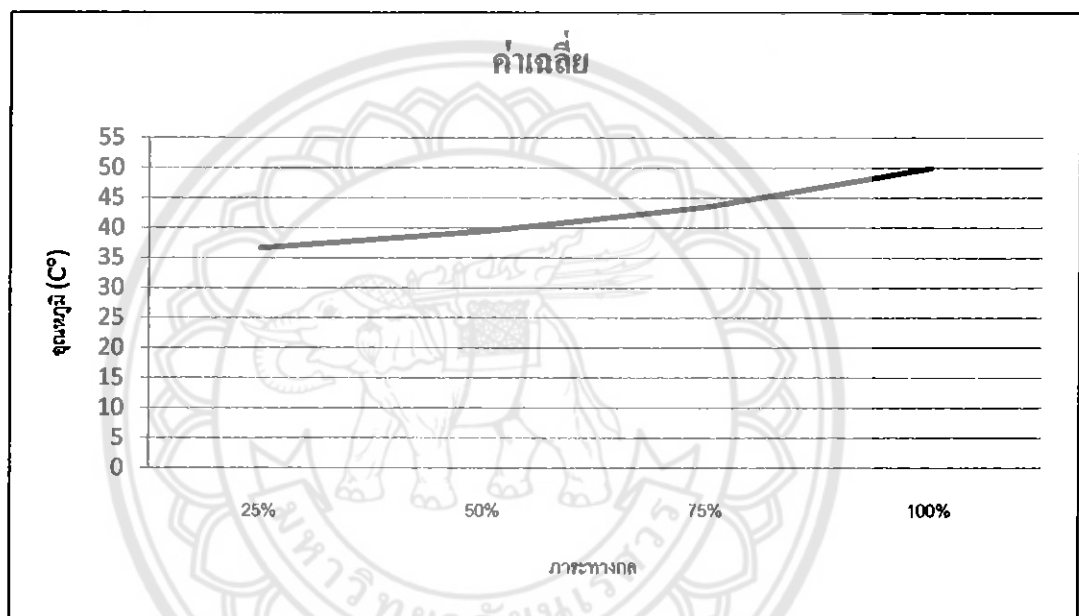
เปอร์เซ็นต์ภาระทาง กล	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	เฉลี่ย
25%	36.5	36.4	36.4	36.2	36.38
50%	39.2	38.9	38.7	38.5	38.83
75%	42.8	42.2	42.6	42.4	42.50
100%	47.5	47.2	46.9	47.3	47.225



รูปที่ 4.28 กราฟแสดงผลที่ความถี่ 40 เฮิร์ตซ์ ใช้เวลา 15 นาที อุณหภูมิเริ่มต้นที่ 26 องศา

ตารางที่ 4.5 ความถี่ 50 เฮิร์ตซ์ ใช้เวลา 15 นาที อุณหภูมิเริ่มต้นที่ 26 องศา

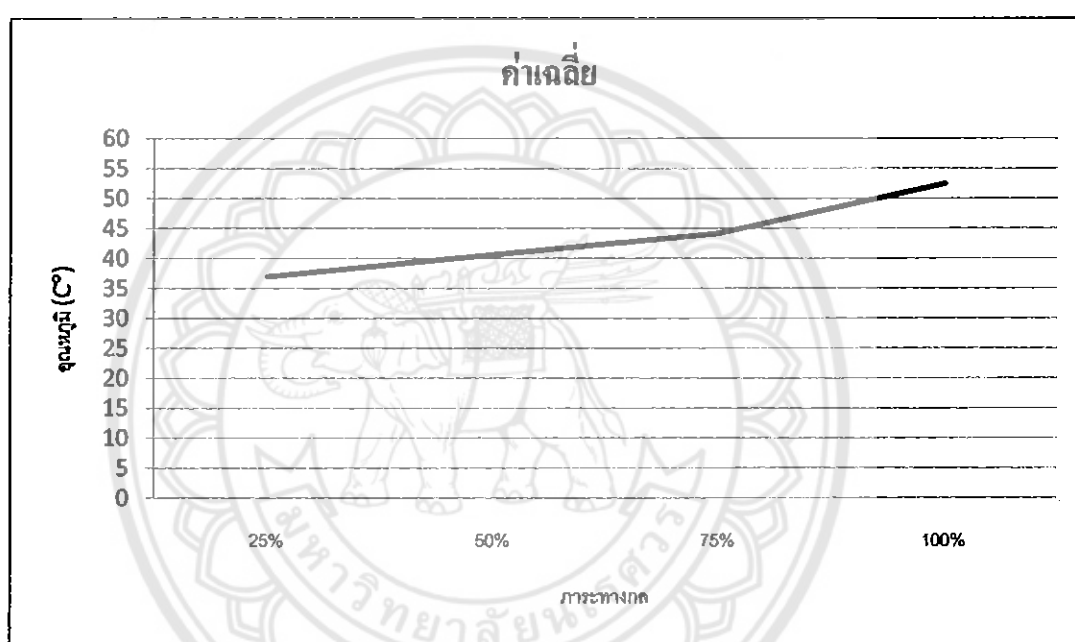
เปอร์เซ็นต์ภาระทาง กล	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	เฉลี่ย
25%	36.7	36.2	36.7	36.9	36.625
50%	39.2	39.5	39.5	39.7	39.475
75%	43.2	43.7	43.5	43.6	43.5
100%	49.8	49.7	50.2	50.2	49.975



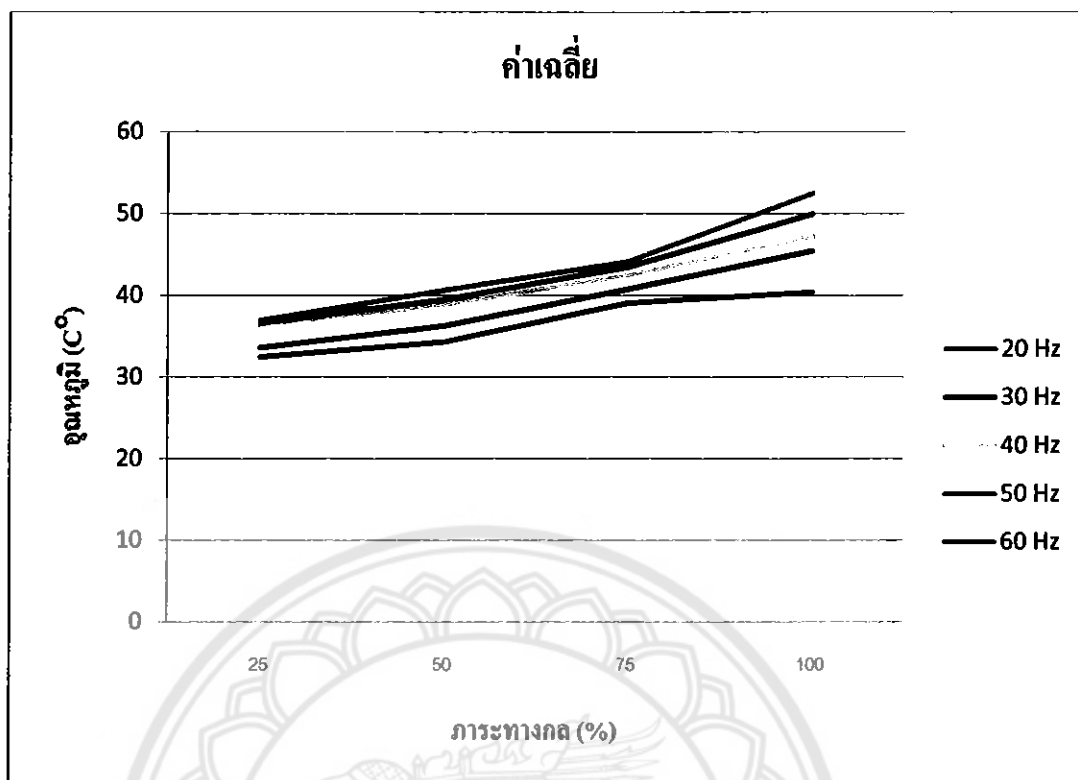
รูปที่ 4.29 กราฟแสดงผลที่ความถี่ 50 เฮิร์ตซ์ ใช้เวลา 15 นาที อุณหภูมิเริ่มต้นที่ 26 องศา

ตารางที่ 4.6 ความถี่ 60 เฮิร์ตซ์ ใช้เวลา 15 นาที อุณหภูมิเริ่มต้นที่ 26 องศา

เปอร์เซ็นต์ภาระทาง กล	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	เฉลี่ย
25%	36.7	37.0	36.9	37.2	36.95
50%	40.6	40.5	40.6	40.8	40.63
75%	44.2	44.2	44.4	43.8	44.15
100%	52.6	52.3	52.2	52.8	52.475



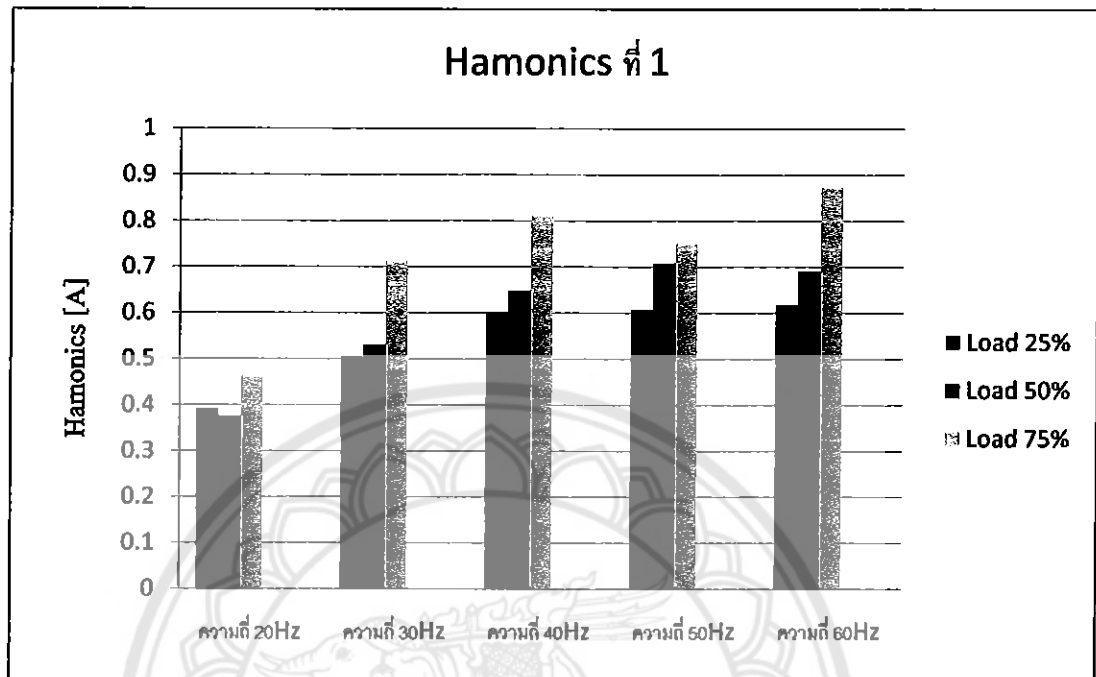
รูปที่ 4.30 กราฟแสดงผลที่ความถี่ 60 เฮิร์ตซ์ ใช้เวลา 15 นาที อุณหภูมิเริ่มต้นที่ 26 องศา



รูปที่ 4.31 กราฟสรุปความร้อนของมอเตอร์เหนี่ยวนำ ที่ความถี่และภาระทางกลต่างๆ

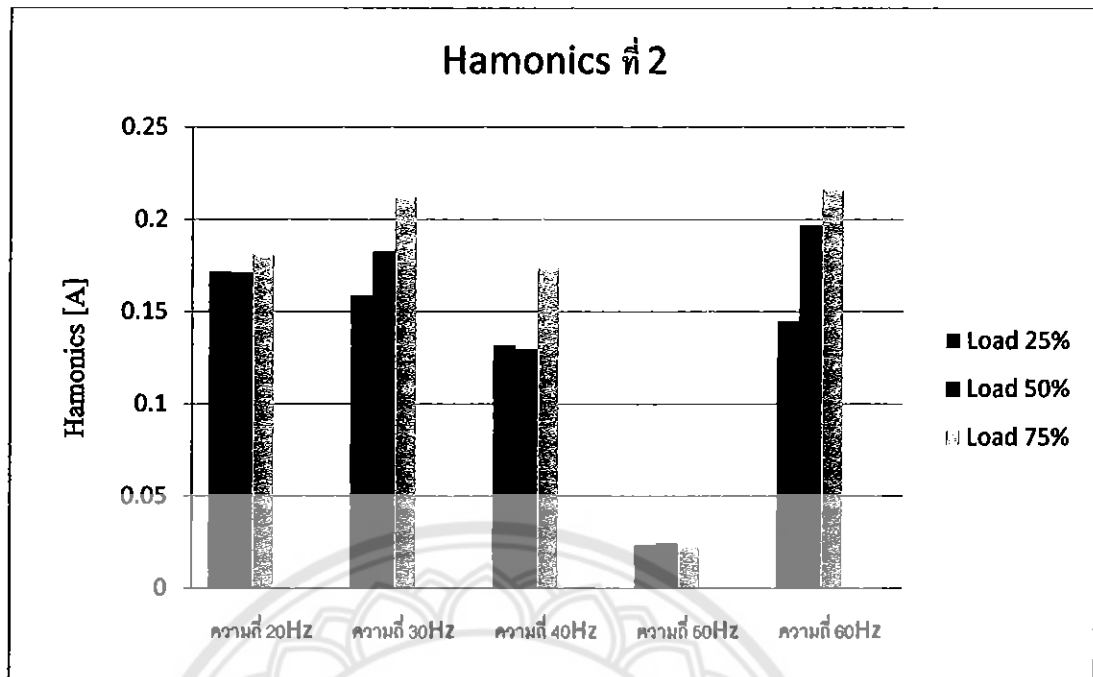
ก่อนการทดสอบมอเตอร์อยู่ในสภาวะปกติ ไม่มีกระแสไฟฟ้าเข้า ไม่เกิดการหมุน อุณหภูมิของมอเตอร์จะอยู่ที่  $26\text{ }^{\circ}\text{C}$  แล้วเมื่อย้ายไฟฟ้าให้อินเวอร์เตอร์ จะเกิดการหมุน ที่ภาระทางกล 25 เปอร์เซ็นต์ของความถี่อินเวอร์เตอร์ 20 เฮิรตซ์ จะพบว่าอุณหภูมิของมอเตอร์ จะเพิ่มแปรผันตามความถี่ของอินเวอร์เตอร์นั้น คือ เมื่อความถี่อินเวอร์เตอร์มาก อุณหภูมิก็จะเพิ่มมากขึ้นด้วย และในทำนองเดียวกันที่ภาระทางกล 50 เปอร์เซ็นต์ ของแต่ละความถี่อินเวอร์เตอร์ อุณหภูมิของมอเตอร์ก็จะเพิ่มมากขึ้น เช่นเดียวกับภาระทางกล 75 เปอร์เซ็นต์ และ 100 เปอร์เซ็นต์ของแต่ละความถี่อินเวอร์เตอร์ อุณหภูมิก็จะเพิ่มสูงมากขึ้นเรื่อยๆ เมื่อมอเตอร์มีความถี่ที่สูงขึ้น ก็จะทำให้มอเตอร์หมุนไวขึ้น ทำให้เกิด การสูญเสียเพิ่มมากขึ้น แล้วเมื่อทำการเพิ่มภาระทางกลของมอเตอร์ เช่นเดียวกันก็จะทำให้มอเตอร์ทำงานหนักขึ้นจาก มอเตอร์จะต้องใช้กำลังที่เพิ่มมากขึ้นในการขับให้มอเตอร์หมุน ก็ยังจะทำให้ความร้อนเพิ่มมากขึ้น และในการทดสอบมอเตอร์นี้มอเตอร์มีความร้อนสูงสุดที่ ความถี่อินเวอร์เตอร์ 60 เฮิรตซ์ ที่ภาระทางกล 100 เปอร์เซ็นต์

### 4.3 ผลการทดลองกระแสฮาร์โมนิกส์



รูปที่ 4.32 1<sup>st</sup> Harmonics of current waveform

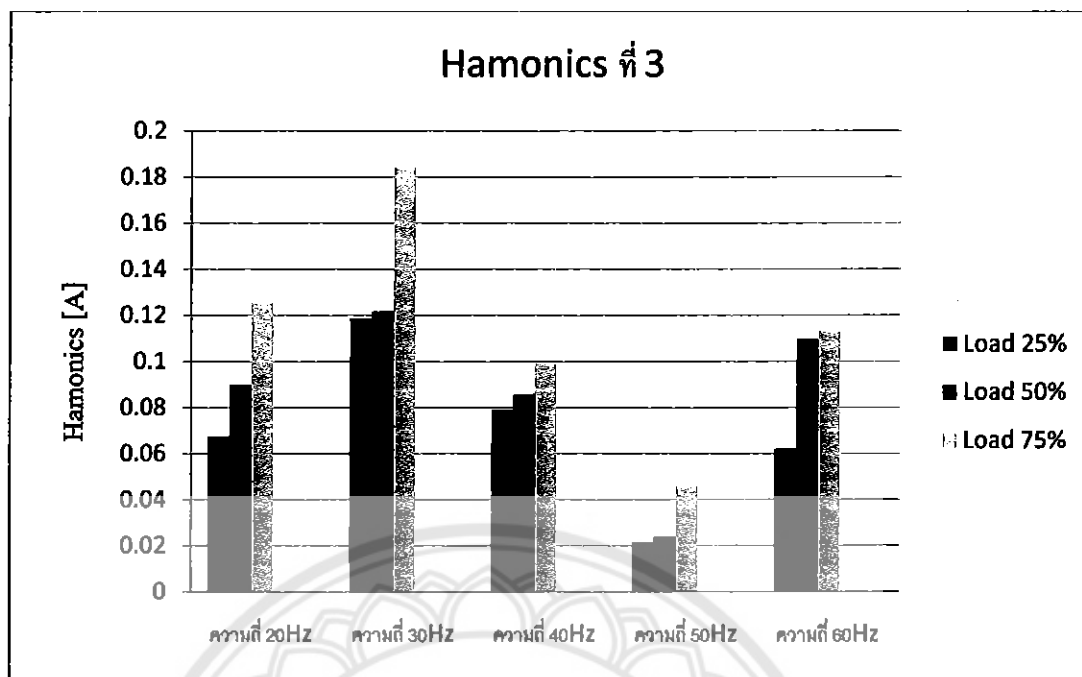
จากรูปที่ 4.32 แสดงการเปลี่ยนแปลงของกระแสฮาร์โมนิกส์ลำดับที่ 1 จะเห็นว่าเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความถี่ค่ากระแสฮาร์โมนิกส์จะเปลี่ยนไป และที่ภาระ 75 เปอร์เซ็นต์ จะมีกระแสฮาร์โมนิกส์มากที่สุด ส่วนในภาระที่ 25 เปอร์เซ็นต์และ 50 เปอร์เซ็นต์กระแสฮาร์โมนิกส์จะแปรผันตามความถี่คือความถี่มากขึ้นกระแสฮาร์โมนิกส์ก็จะมากขึ้น



รูปที่ 4.33 2<sup>nd</sup> Harmonics of current waveform

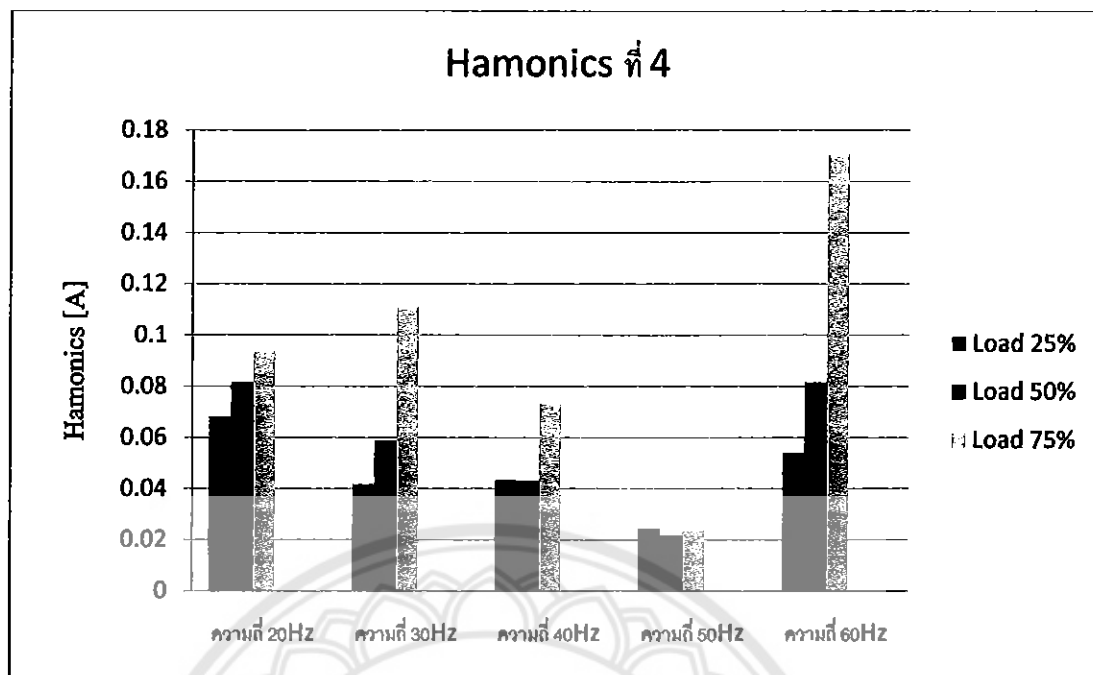
จากรูปที่ 4.33 แสดงการเปลี่ยนแปลงของกระแสฮาร์โมนิกลำดับที่ 2 จะเห็นว่าเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความถี่ค่ากระแสฮาร์โมนิกจะเปลี่ยนไป จะเห็นว่ากระแสฮาร์โมนิกในลำดับที่ 2 จะมีค่าแปรปรวนไม่คงที่ ที่ความถี่ 20 เฮิรตซ์ และ 40 เฮิรตซ์ ที่ภาระ 25 เปอร์เซ็นต์มีค่ากระแสฮาร์โมนิกสูงกว่าที่ภาระ 50 เปอร์เซ็นต์ ความถี่ 50 เฮิรตซ์ที่ภาระ 50 เปอร์เซ็นต์มีค่ากระแสฮาร์โมนิกมากที่สุด ส่วนที่ความถี่ 30 เฮิรตซ์ และ 60 เฮิรตซ์ค่ากระแสฮาร์โมนิกมีการแปรผันตามภาระคือ ภาระมากขึ้นกระแสฮาร์โมนิกก็จะมากขึ้น





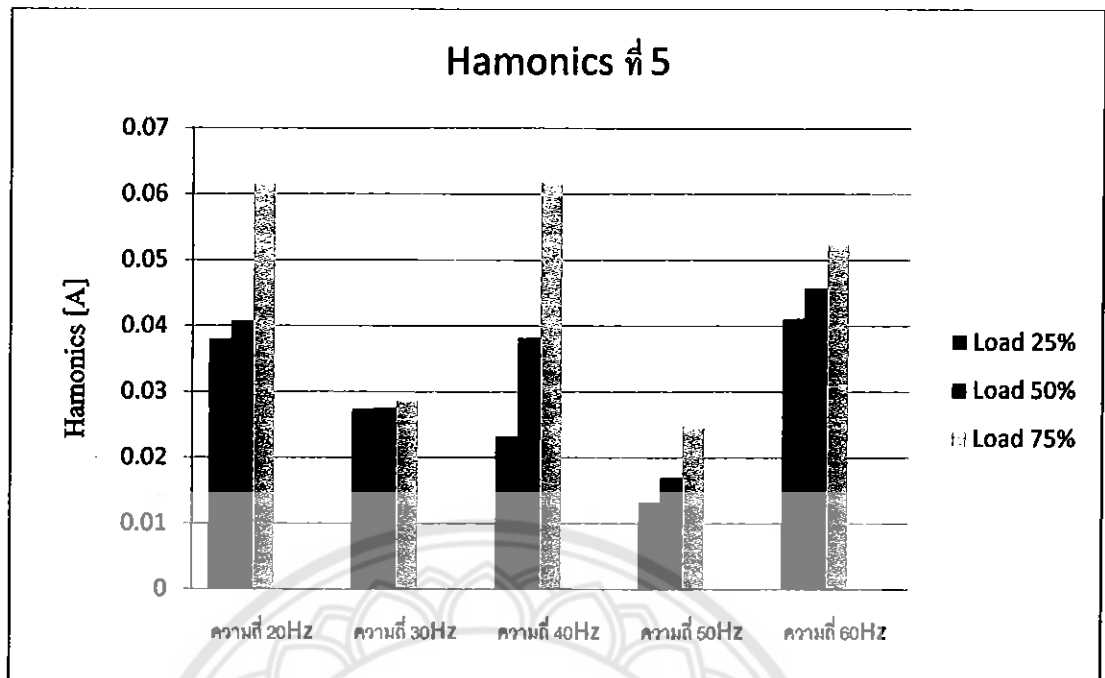
รูปที่ 4.34 3<sup>rd</sup> Harmonics of current waveform

จากรูปที่ 4.34 แสดงการเปลี่ยนแปลงของกระแสฮาร์โมนิกลำดับที่ 3 จะเห็นว่าเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความถี่ค่ากระแสฮาร์โมนิกจะเปลี่ยนไป จะเห็นว่ากระแสฮาร์โมนิกในลำดับที่ 3 ที่ความถี่ 50 เฮิรตซ์กระแสฮาร์โมนิกจะมีค่าน้อยที่สุด ภาวะ 75 เปอร์เซ็นต์ จะมีกระแสฮาร์โมนิกมากที่สุด



รูปที่ 4.35 4<sup>th</sup> Harmonics of current waveform

จากรูปที่ 4.35 แสดงการเปลี่ยนแปลงของกระแสฮาร์โมนิกลำดับที่ 4 จะเห็นว่าเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความถี่ค่ากระแสฮาร์โมนิกจะเปลี่ยนไป จะเห็นว่ากระแสฮาร์โมนิกในลำดับที่ 4 ที่ความถี่ 50 เฮิรตซ์กระแสฮาร์โมนิกจะมีค่าน้อยที่สุด ความถี่ 60 เฮิรตซ์ที่ภาระ 75เปอร์เซ็นต์ จะมีกระแสฮาร์โมนิกมากที่สุด



รูปที่ 4.36 5<sup>th</sup> Harmonics of current waveform

จากรูปที่ 4.36 แสดงการเปลี่ยนแปลงของกระแสฮาร์โมนิกลำดับที่ 5 จะเห็นว่าเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความถี่ค่ากระแสฮาร์โมนิกจะเปลี่ยนไป จะเห็นว่ากระแสฮาร์โมนิกในลำดับที่ 5 ที่ความถี่ 50 เฮิรตซ์กระแสฮาร์โมนิกจะมีค่าน้อยที่สุด ภาระ 75 เปอร์เซ็นต์ จะมีกระแสฮาร์โมนิกมากที่สุด ความถี่ 40 เฮิรตซ์ที่ภาระ 75 เปอร์เซ็นต์มีค่ากระแสฮาร์โมนิกมากที่สุด

## บทที่ 5

### สรุปผลการดำเนินโครงการ

#### 5.1 สรุปผลการดำเนินโครงการ

จากการทดลองและศึกษาผลกระทบของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส ของมอเตอร์ในสถานะในสถานะทางกล 10 เปรอร์เซ็นต์ถึง 100 เปรอร์เซ็นต์ โดยการวัดโดยใช้ไมโครโฟนวัดบริเวณในกล่องที่เก็บเสียงในขณะที่มอเตอร์ทำงาน จากผลการทดลองพบว่าจะได้กราฟสเปกตรัมของเสียง ซึ่งค่าแอมพลิจูดของกราฟสเปกตรัมที่ได้บ่งบอกถึงความรุนแรงที่เกิดขึ้น ส่วนความถี่จะบ่งบอกถึงตำแหน่งที่เกิดขึ้น ในการทดลองนี้ได้ทดสอบความรุนแรงที่เกิดขึ้นเท่านั้น ไม่ได้พิจารณาถึงตำแหน่งที่เกิดขึ้น และศึกษาอุณหภูมิและฮาร์โมนิกส์ จากผลกระทบของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส ในสถานะทางกล 25 เปรอร์เซ็นต์ถึง 100 เปรอร์เซ็นต์ ทำการวัดอุณหภูมิที่ขดลวดมอเตอร์โดยควบคุมอินเวอร์เตอร์ที่ความถี่ 20 เฮิร์ตซ์ ถึง 60 เฮิร์ตซ์ จากผลการทดลองพบว่า

##### 5.1.1 วิเคราะห์และสรุปผลการทดสอบเสียงมอเตอร์

เมื่อจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้มอเตอร์เหนี่ยวนำ สังเกตแนวโน้มน้ำ Magnitude ของเสียง ตามภาระทางกลของมอเตอร์

1. การเดินเครื่องมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟสเพื่อพิจารณาเสียง การเดินเครื่องมอเตอร์ในสถานะที่ไม่มีภาระทางกล จะมีค่าความดังเสียงที่คงที่ แต่เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงสถานะทางกล ส่งผลให้เสียงของมอเตอร์ ที่เกิดขึ้นมีการเปลี่ยนแปลงต่อมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส
2. ในการพิจารณาเสียงของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟสนั้น ทำได้โดยการเดินเครื่องมอเตอร์ในสถานะที่มีภาระทางกลและไม่มีภาระทางกล ค่าของเสียงของมอเตอร์นี้ มีการเปลี่ยนแปลงเมื่อภาระทางกลมีการเปลี่ยนแปลง จากการศึกษพบว่า เมื่อควบคุมสถานะภาระทางกลที่สูงๆ ส่งผลให้เสียงของมอเตอร์เพิ่มขึ้น นั่นคือ เมื่อภาระทางกลเพิ่มขึ้น ระบบจะมีการทำงานมากขึ้นจึงทำให้เกิดเสียงที่มากขึ้นด้วย

##### 5.1.2 วิเคราะห์และสรุปผลการทดสอบอุณหภูมิมอเตอร์

เมื่อจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้มอเตอร์เหนี่ยวนำ สังเกตแนวโน้มน้ำของอุณหภูมิของมอเตอร์ ตามภาระทางกลของมอเตอร์ และความถี่ของอินเวอร์เตอร์

1. การเดินเครื่องมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟสเพื่อพิจารณาค่าอุณหภูมิ การเดินเครื่องมอเตอร์ในสถานะที่ไม่มีภาระทางกล จะมีค่าอุณหภูมิที่คงที่ แต่เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงสถานะทางกล ส่งผลให้อุณหภูมิของมอเตอร์ ที่เกิดขึ้นมีการเปลี่ยนแปลงต่อมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส

2. ในการพิจารณาค่าอุณหภูมิของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟสนั้น ทำได้โดยการเดินเครื่องมอเตอร์ ในสถานะที่มีภาระทางกลและไม่มีภาระทางกล ค่าอุณหภูมินี้มีการเปลี่ยนแปลงเมื่อความถี่และภาระทางกลมีการเปลี่ยนแปลง จากการศึกษาพบว่า เมื่อควบคุมอินเวอร์เตอร์ที่ความถี่สูงๆ ส่งผลให้ค่าอุณหภูมิมิค่าเพิ่มขึ้น นั่นคือ ที่ความถี่และสถานะภาระทางกลสูงๆ ระบบจะมีประสิทธิภาพในการทำงานมากขึ้นจึงทำให้เกิดค่าอุณหภูมิความร้อนของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส มีค่าสูงขึ้น

### 5.1.3 วิเคราะห์และสรุปผลการทดสอบฮาร์โมนิกส์ของมอเตอร์

เมื่อจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้มอเตอร์เหนี่ยวนำ สังเกตแนวโน้มของฮาร์โมนิกส์ของมอเตอร์ตามภาระทางกลของมอเตอร์ และความถี่ของอินเวอร์เตอร์

1. การเดินเครื่องมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟสเพื่อพิจารณาค่าฮาร์โมนิกส์ การเดินเครื่องมอเตอร์ในสถานะที่ไม่มีภาระทางกล จะมีค่าฮาร์โมนิกส์ที่คงที่ แต่เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงสถานะทางกล ส่งผลให้ฮาร์โมนิกส์ของมอเตอร์ ที่เกิดขึ้นมีการเปลี่ยนแปลงต่อมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส

2. ในการพิจารณาค่าฮาร์โมนิกส์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟสนั้น ทำได้โดยการเดินเครื่องมอเตอร์ ในสถานะที่มีภาระทางกลและไม่มีภาระทางกล ค่าฮาร์โมนิกส์มีการเปลี่ยนแปลงเมื่อความถี่และภาระทางกลมีการเปลี่ยนแปลง จากการศึกษาพบว่า เมื่อควบคุมอินเวอร์เตอร์ที่ความถี่ของอินเวอร์เตอร์ที่ 50 เฮิรตซ์ และค่าภาระทางกลต่างๆ ส่งผลให้ค่าฮาร์โมนิกส์มีค่าน้อยที่สุด นั่นคือ มอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟสที่ใช้ในการทดลองสร้างขึ้น เพื่อรองรับความถี่แรงดัน ไฟฟ้าของประเทศเราที่ความถี่ 50 เฮิรตซ์ จึงทำให้ค่าฮาร์โมนิกส์ที่ได้มีค่าน้อยที่สุด และทำให้ประสิทธิภาพการทำงานมากขึ้น ที่ความถี่อื่นๆ จึงส่งผลให้ค่าฮาร์โมนิกส์ เพิ่มสูงมากขึ้นด้วย

ดังนั้น ในการเลือกมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟสไปใช้งาน ต้องเลือกให้เหมาะสมกับงานที่จะนำไปใช้ โดยต้องคำนึงถึงค่ากระแสพิคกและความเร็วรอบของมอเตอร์ กำลังของมอเตอร์และอุณหภูมิของมอเตอร์ เสียงของมอเตอร์ ฮาร์โมนิกส์ ให้เหมาะสมกับงานที่ใช้ ต้องคำนึงถึงการเปลี่ยนแปลงสถานะภาระทางกลของมอเตอร์ และเปลี่ยนแปลงความถี่โดยการควบคุมจากอินเวอร์เตอร์ให้เหมาะสม เพื่อให้ได้อุณหภูมิที่มีสถานะเหมาะสมกับการทำงานของมอเตอร์ และในสถานะของเสียงที่ได้มาตรฐานไม่เป็นอันตรายกับการได้ยินของมนุษย์ และค่าฮาร์โมนิกส์ที่ต่ำ เพื่อให้ได้การทำงานที่เต็มประสิทธิภาพมากที่สุด

## 5.2 ประเมินผลการทดลอง

จากการดำเนินงานโครงการเมื่อเทียบกับวัตถุประสงค์ ได้ผลดังนี้

5.2.1 สามารถคำนวณแรงบิดได้ จากการวัดแรงบิดที่ภาระทางกลมีค่า 100 เปอร์เซ็นต์ โดยการนำค่าพิกัดกระแสของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟสมาใช้ในการอ้างอิง เพื่อวัดค่ากระแสและการวัดความเร็วรอบของมอเตอร์ตามค่าภาระทางกลต่างๆ

5.2.2 สามารถบันทึกผลและวัดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ในการพิจารณาเสียง คือ สถานะเสียงของมอเตอร์ ขณะเดินเครื่องมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟสในสภาวะรูปสัญญาณเสียง ค่า Magnitude ของเสียง ในสภาวะภาระทางกล 10 เปอร์เซ็นต์ ถึง 100 เปอร์เซ็นต์ และในสภาวะที่ไม่มีภาระทางกล

5.2.3 สามารถวิเคราะห์และเปรียบเทียบค่า เสียงของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส ขณะเดินเครื่องมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟสในสภาวะภาระทางกล 10 เปอร์เซ็นต์ ถึง 100 เปอร์เซ็นต์ และในสภาวะที่ไม่มีภาระทางกลที่ความถี่

5.2.4 สามารถบันทึกผลและวัดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ในการพิจารณาอุณหภูมิ ได้ คือ ค่าอุณหภูมิของมอเตอร์ ขณะเดินเครื่องมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟสในสภาวะภาระทางกล 25 เปอร์เซ็นต์ ถึง 100 เปอร์เซ็นต์ และในสภาวะที่ไม่มีภาระทางกลที่ความถี่ 25 เฮิรตซ์ ถึง 60 เฮิรตซ์

5.2.5 สามารถวิเคราะห์และเปรียบเทียบค่า อุณหภูมิของมอเตอร์ ขณะเดินเครื่องมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟสในสภาวะภาระทางกล 25 เปอร์เซ็นต์ ถึง 100 เปอร์เซ็นต์ ในสภาวะความถี่ 20 เฮิรตซ์ ถึง 60 เฮิรตซ์

5.2.6 สามารถบันทึกผลและวัดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ในการพิจารณาฮาร์โมนิกส์ ได้ คือ ค่าฮาร์โมนิกส์ของมอเตอร์ ขณะเดินเครื่องมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟสในสภาวะภาระทางกล 25 เปอร์เซ็นต์ ถึง 75 เปอร์เซ็นต์ และในสภาวะความถี่ 20 เฮิรตซ์ ถึง 60 เฮิรตซ์

5.2.7 สามารถวิเคราะห์และเปรียบเทียบค่า ฮาร์โมนิกส์ของมอเตอร์ ขณะเดินเครื่องมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟสในสภาวะภาระทางกล 25 เปอร์เซ็นต์ ถึง 75 เปอร์เซ็นต์ ในสภาวะความถี่ 20 เฮิรตซ์ ถึง 60 เฮิรตซ์

## 5.3 ปัญหาข้อเสนอนะและแนวทางแก้ไข

5.3.1 ปัญหาเกิดจาก มอเตอร์เหนี่ยวนำที่ใช้ในการทดลองเดินเครื่องนานไม่ได้ เนื่องจากมอเตอร์จะเกิดความร้อน จึงต้องบันทึกค่าด้วยความรวดเร็วในช่วงที่มอเตอร์เหนี่ยวนำเดินเครื่องเพื่อป้องกันมอเตอร์เสียหาย

5.3.2 ปัญหาเกิดจากการ ต่อวงจรผิดพลาดทำให้อุปกรณ์ในการทดลองเสียหาย เช่น การต่อกระแสไฟฟ้า 3 เฟส 380 V เข้าที่อินเวอร์เตอร์และการต่อเฟสของมอเตอร์เข้าที่อินเวอร์เตอร์ต้อง

ระวังอย่าให้สายสัมผัสกัน เพราะจะทำให้เกิดการลัดวงจรขึ้นได้ ดังนั้น จึงต้องระมัดระวังในช่วงการต่อวงจรให้มาก

5.3.3 ปัญหาเกิดจาก การปรับแรงบิดของภาระทางกลมากเกินไป จนมอเตอร์มีกระแสเกินพิกัด จะทำให้มอเตอร์เสียหายได้ จึงต้องระมัดระวังในการปรับค่าแรงบิด

5.3.4 ปัญหาเกิดจาก อุณหภูมิในการทดลองมีประสิทธิภาพไม่ค่อยดีทำให้ได้ผลการทดลองคลาดเคลื่อน

5.3.5 ปัญหาเกิด เสียงรบกวนภายนอก ต้องสร้างกล่องเก็บเสียง โดยผนังของกล่องบุด้วยฉนวนเพื่อป้องกันไม่ให้ค่าของ เสียงเกิดเกิดการคลาดเคลื่อน ในการทดสอบเรื่องเสียง

5.3.6 ปัญหาเกิดจาก ปัญหาอุณหภูมิของมอเตอร์ก่อนทำการทดลอง เนื่องจากเมื่อเดินเครื่องมอเตอร์จะทำให้เกิดความร้อน แล้วค่าความร้อนของมอเตอร์ค่อยๆ ลดลง ต้องให้มอเตอร์มีอุณหภูมิเท่ากับ อุณหภูมิของมอเตอร์ก่อนทำการทดลองทุกครั้ง จึงต้องพักมอเตอร์เป็นช่วงๆ ทำให้การทดสอบใช้เวลานานเพื่อไม่ให้ผลการทดลองที่คลาดเคลื่อน ในการทดสอบเรื่องอุณหภูมิ

## 5.4 ข้อดีของการศึกษาผลกระทบของมอเตอร์เหนี่ยวนำ

5.4.1 ข้อดีของการศึกษาผลกระทบของมอเตอร์เหนี่ยวนำโดยการควบคุมภาระทางกลที่มีผลกระทบต่อเสียง

1. สามารถนำผลการทดลองไปเปรียบเทียบ เพื่อเลือกใช้มอเตอร์และสภาวะของภาระทางกลให้เหมาะสมกับการใช้งาน โดยคำนึงถึงค่าความคังเสียงของมอเตอร์ ที่มีผลต่อสมรรถนะของมอเตอร์ เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพการใช้งานที่ดีที่สุด

2. สามารถวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ของมอเตอร์ เสียงของมอเตอร์เหนี่ยวนำที่ควบคุมด้วยภาระทางกลของมอเตอร์

3. เป็นแนวทางในการปรับปรุงค่าเสียงของมอเตอร์ เพื่อให้มอเตอร์มีประสิทธิภาพในการทำงานมากที่สุด

#### 5.4.2 ข้อดีของการศึกษาผลกระทบของมอเตอร์เหนี่ยวนำโดยควบคุมอินเวอร์เตอร์ ภาวะทางกลที่มีผลกระทบต่ออุณหภูมิ

1. สามารถนำผลการทดลองไปเปรียบเทียบ เพื่อเลือกใช้มอเตอร์และอินเวอร์เตอร์ให้เหมาะสมกับการใช้งาน โดยคำนึงถึงขนาด ความร้อนของมอเตอร์ และการใช้อินเวอร์เตอร์เพื่อช่วยในการควบคุม เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพที่ดีที่สุด
2. สามารถวิเคราะห์ค่าความร้อนของมอเตอร์เหนี่ยวนำที่ควบคุมด้วยอินเวอร์เตอร์
3. เป็นแนวทางในการปรับปรุงค่า อุณหภูมิ เพาเวอร์แฟกเตอร์ สภาวะทางกลของมอเตอร์ เพื่อให้หม้อเตอร์มีประสิทธิภาพในการทำงานมากที่สุด และให้มอเตอร์ทำงานในควมอุณหภูมิที่เหมาะสม

#### 5.4.3 ข้อดีของการศึกษาผลกระทบของมอเตอร์เหนี่ยวนำโดยควบคุมอินเวอร์เตอร์ ภาวะทางกลที่มีผลกระทบต่อฮาร์มอนิกส์

1. สามารถนำผลการทดลองไปเปรียบเทียบ เพื่อเลือกใช้มอเตอร์และอินเวอร์เตอร์ให้เหมาะสมกับการใช้งาน โดยคำนึงถึงขนาด ฮาร์โมนิกส์ของมอเตอร์ และการใช้อินเวอร์เตอร์เพื่อช่วยในการควบคุม เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพที่ดีที่สุด
2. สามารถวิเคราะห์ค่าฮาร์มอนิกส์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำที่ควบคุมด้วยอินเวอร์เตอร์
3. เป็นแนวทางในการปรับปรุงค่า ฮาร์โมนิกส์ เพาเวอร์แฟกเตอร์ สภาวะทางกลของมอเตอร์ เพื่อให้หม้อเตอร์มีประสิทธิภาพในการทำงานมากที่สุด และให้มอเตอร์ทำงานในฮาร์โมนิกส์ที่น้อย และเหมาะสมกับประสิทธิภาพการใช้งานของมอเตอร์

#### 5.5 แนวทางในการพัฒนาต่อไป

ผลที่ได้จากการศึกษาและทดลองใน โรงงานนี้ สามารถนำไปประยุกต์ใช้ใน โรงงานอุตสาหกรรมได้ ซึ่งใน โรงงานนี้ได้กล่าวถึงทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้องกับ เสียงของมอเตอร์ เพื่อความปลอดภัยจากอันตรายจากเสียง ที่มีผลกระทบต่อ การได้ยินของมนุษย์ และเพื่อศึกษาความเสียหายของมอเตอร์ เมื่อมอเตอร์ผิดปกติ และผลที่ได้จากการศึกษาทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้องกับฮาร์โมนิกส์ ความร้อนมอเตอร์โดยใช้อินเวอร์เตอร์ปรับความถี่ ทั้งนี้เพื่อให้เป็นแนวทางในการนำไปพัฒนาการเลือกขนาดและการควบคุมมอเตอร์ให้ได้ประสิทธิภาพสูงสุด ประหยัดพลังงาน อุณหภูมิ และฮาร์โมนิกส์ อยู่ในสภาวะที่เหมาะสม ไม่สูงเกินกำลังของมอเตอร์ และเพื่อลดต้นทุน เพื่อให้เป็นแนวทางในการออกแบบ โรงงานอุตสาหกรรม



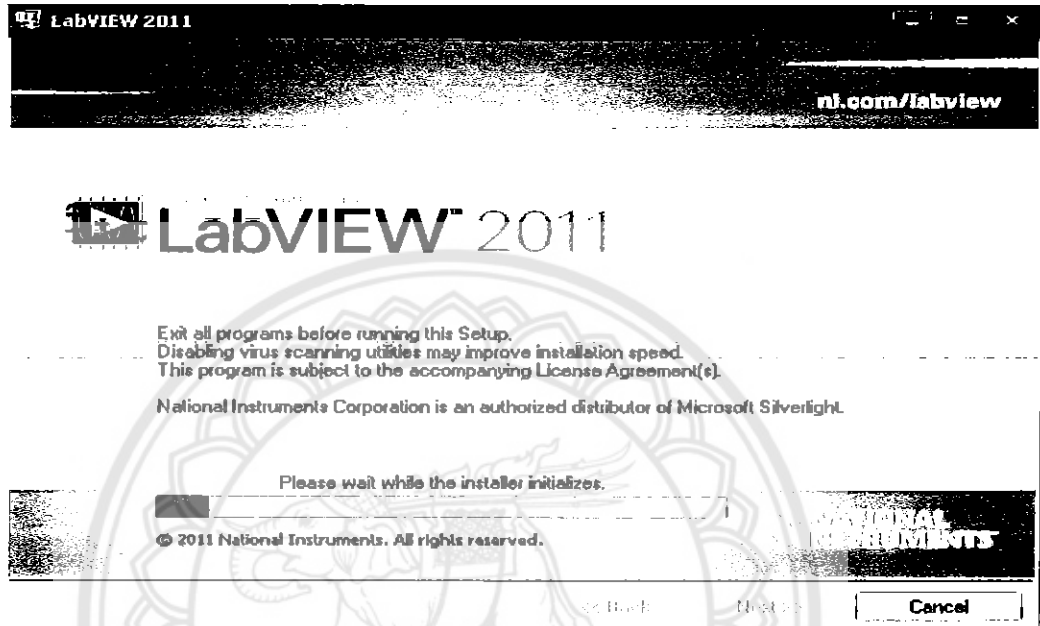
## เอกสารอ้างอิง

- [1] สมคิด วิริยะประสิทธิ์, (2542), มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ, หจก.สำนักพิมพ์ฟิสิกส์เซ็นเตอร์, สืบค้นเมื่อวันที่ 10 พฤศจิกายน 2554.
- [2] มงคล ทองสงคราม, (2535), เครื่องกลไฟฟ้ากระแสสลับ เล่ม 1, บริษัท รามการพิมพ์ จำกัด พิมพ์ครั้งที่ 1, สืบค้นเมื่อวันที่ 13 พฤศจิกายน 2554.
- [3] ไชยชาญ หินเกิด, (2547), เครื่องกลไฟฟ้า เล่ม 2, สำนักพิมพ์สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี พิมพ์ครั้งที่ 5, สืบค้นเมื่อวันที่ 15 พฤศจิกายน 2554.
- [4] ณรงค์ ขอนตะวัน, (2538), มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ เล่ม 1, เอร่าวิวัฒนาการพิมพ์, สืบค้นเมื่อวันที่ 26 มกราคม 2555.
- [5] วิชัย ตั้งขจรานนท์, (2535), ควบคุมเครื่องกลไฟฟ้าด้วยอิเล็กทรอนิกส์กำลัง เล่ม 1, บริษัท ส.เอเซียเพรส พิมพ์ครั้งที่ 4, สืบค้นเมื่อวันที่ 17 มกราคม 2555.
- [6] ณรงค์ ขอนตะวัน, (2538), มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ เล่ม 2, เอร่าวิวัฒนาการพิมพ์, สืบค้นเมื่อวันที่ 17 มกราคม 2555.
- [7] ชูศักดิ์ เวชแพศย์, เรณู กววยอะไฟ, (2538) เครื่องวัดไฟฟ้า เสียง แสง ความดัน และนิวเคลียร์, สืบค้นเมื่อวันที่ 20 มกราคม 2555.



## วิธีติดตั้งโปรแกรม Lab view 2011

1. ไล่แผ่นโปรแกรม Lab View 2011 ที่ต้องการติดตั้งลงไปบนเครื่องรอสักครู่โปรแกรมรันโดยอัตโนมัติ จากนั้นให้กด Next



2. ก็ Next แล้วก็ใส่ข้อมูลต่างๆ ลงไป โดย Serial Number กับ App Builder ปล่อยให้ว่างไว้ในกรณีลงแบบทดลองใช้งาน

Full Name:

Organization:

<< Back    Next >>    Cancel

Serial Number:

LabVIEW 2011 (Base/Full/Professional) \*\*

Application Builder for LabVIEW 2011 - leave blank if activating LabVIEW Professional. \*\*

3. จากนั้นก็ Next เลือก Folder ที่จะติดตั้ง ก็ปล่อยให้ไปตาม default

Select the folder to install NI Software

C:\Program Files\National Instruments\

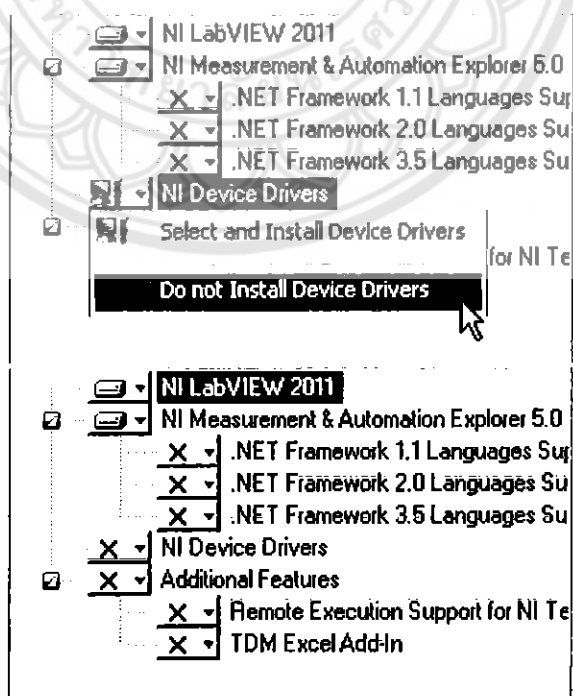
Browse...

Select the folder to install NI LabVIEW 2011

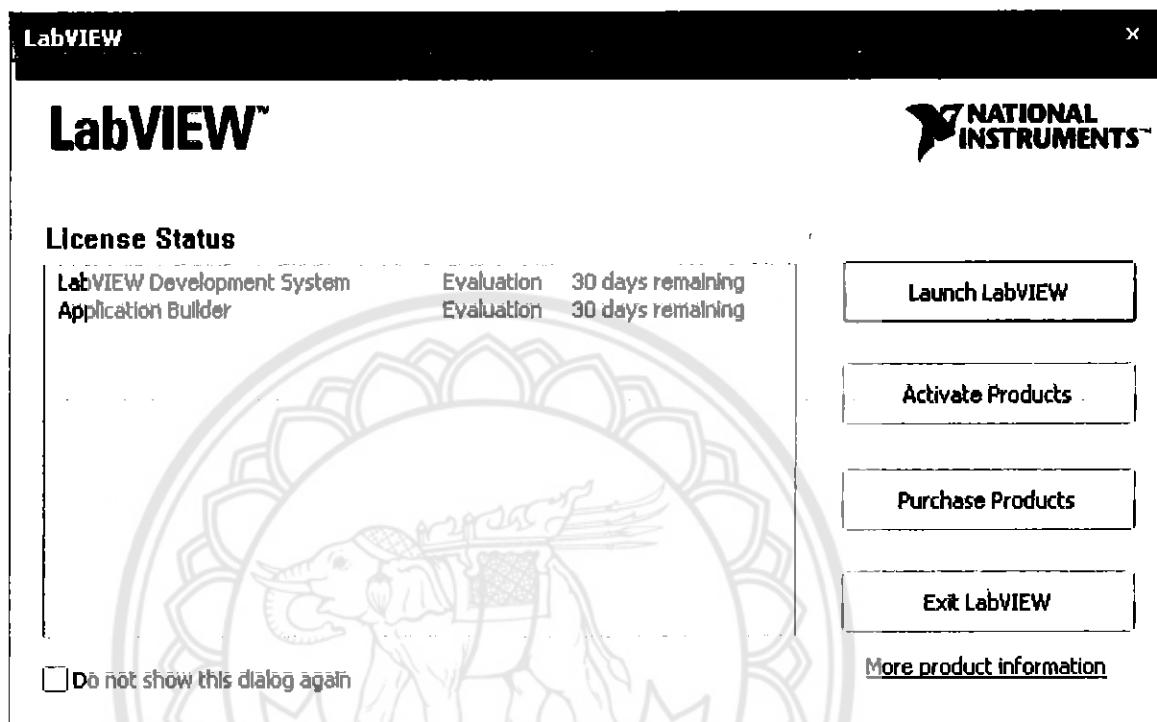
C:\Program Files\National Instruments\LabVIEW 2011\

Browse...

4. ที่ Features แนะนำให้เอาส่วนอื่นออกให้หมด ให้เหลือเพียง Lab VIEW 2011 เพียงอย่างเดียวก็พอ



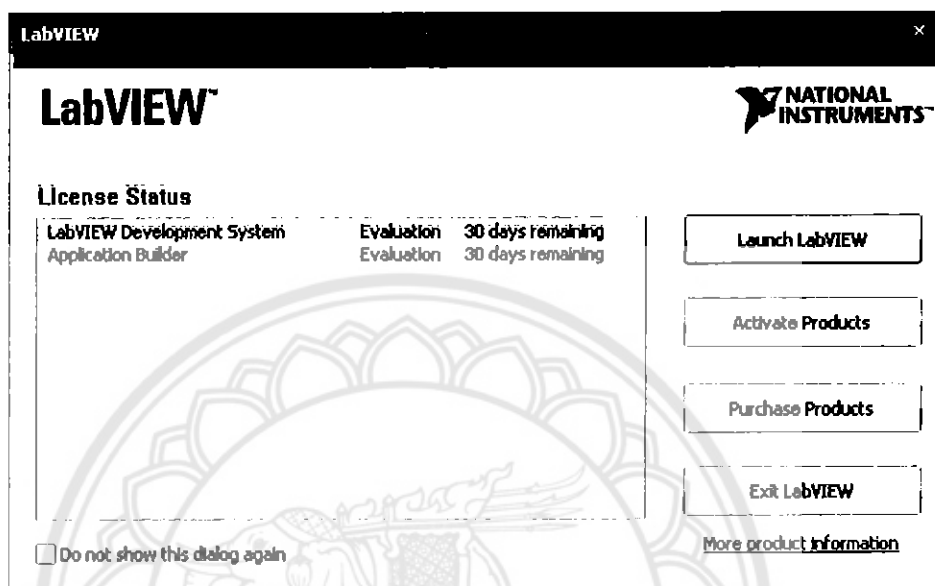
5. Accept แล้วก็ Next เพื่อทำการติดตั้ง
6. รอจนติดตั้งเสร็จ Restart PC ครั้งหนึ่ง ก็จะได้ Lab VIEW Evaluation พร้อมใช้งาน
7. เมื่อเปิด โปรแกรมใช้งานจะเป็นแบบ Evaluation 30 วัน



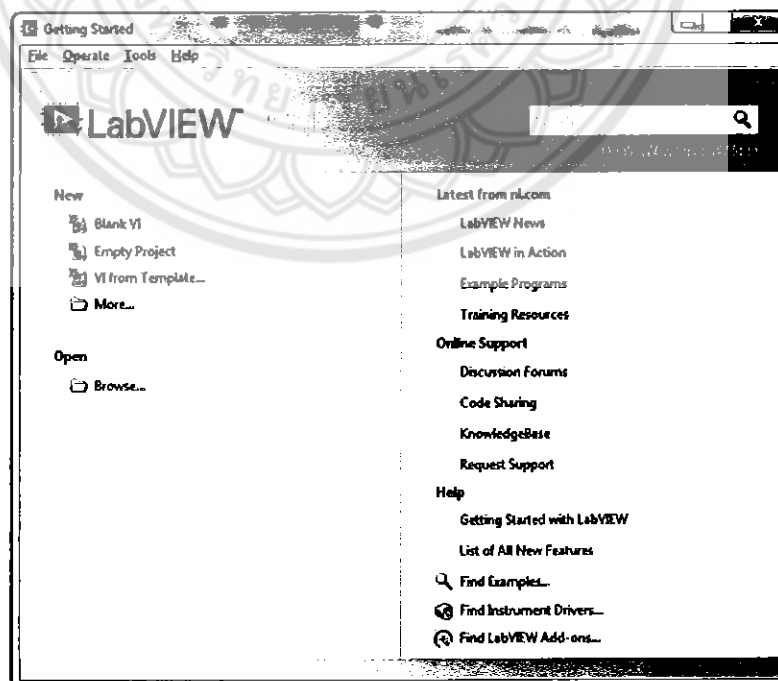
8. เมื่อเปิด โปรแกรมใช้งานจะเป็นแบบ Evaluation 30 วัน

## วิธีการออกแบบระบบการทดสอบเสียงในโปรแกรม Lab View 2010

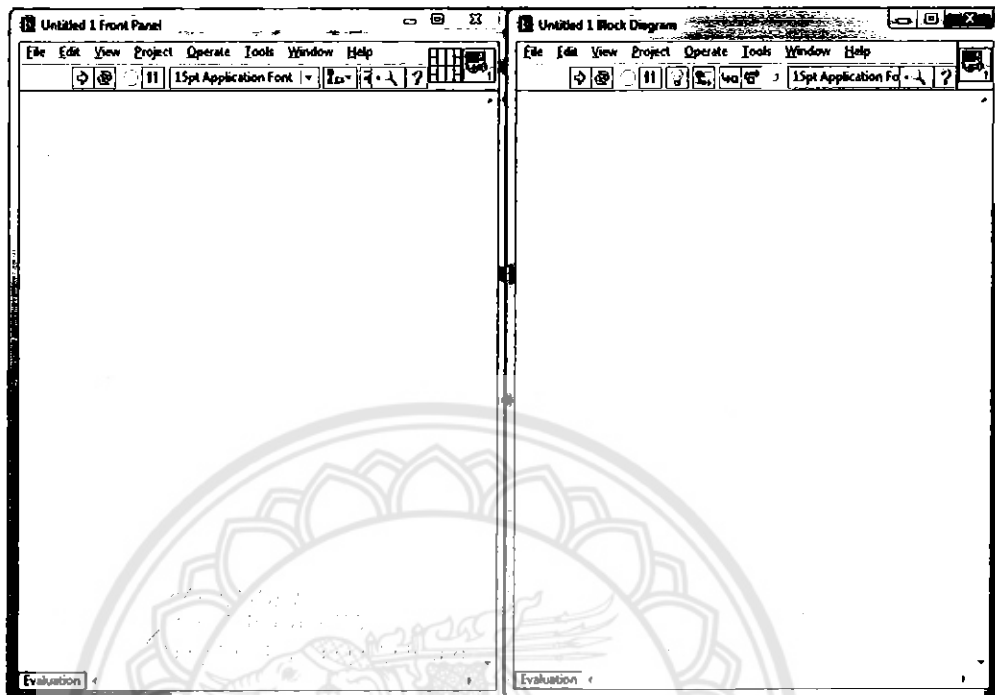
1. เปิดโปรแกรม Lab View 2010 แล้วคลิกที่ Launch Lab View



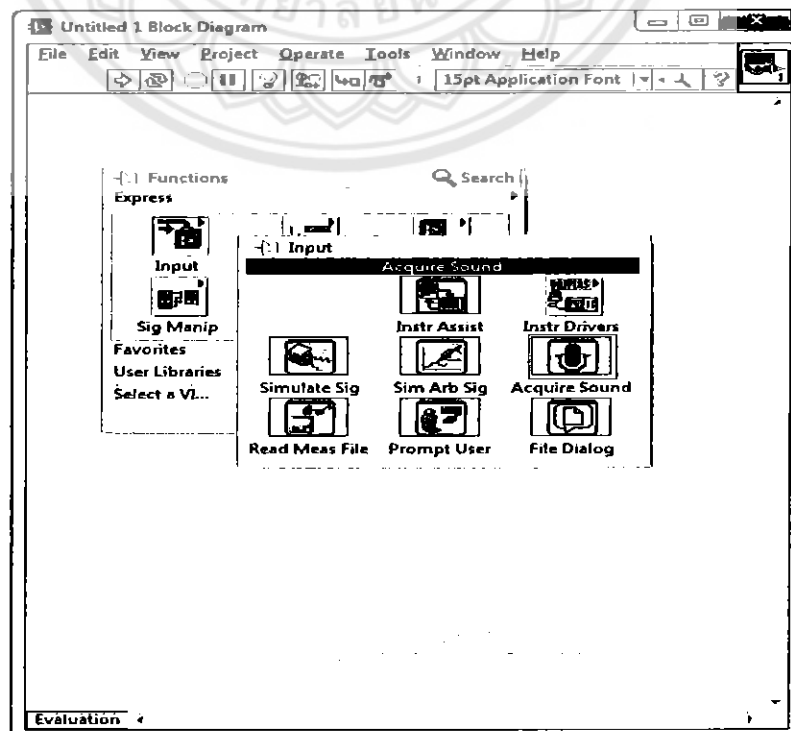
2. จากนั้นคลิกที่ Blank VI



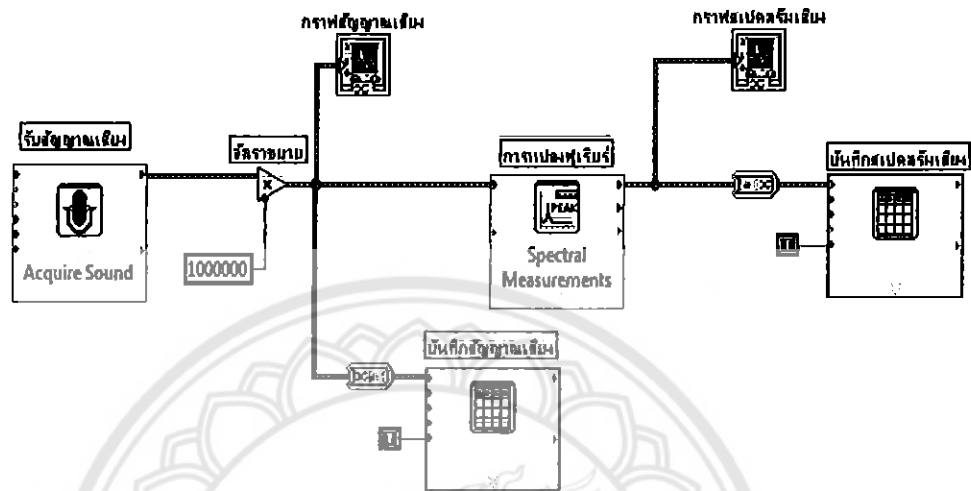
3. จะปรากฏหน้าต่างขึ้นสองหน้าต่าง คือ Front panel และ Block Diagram



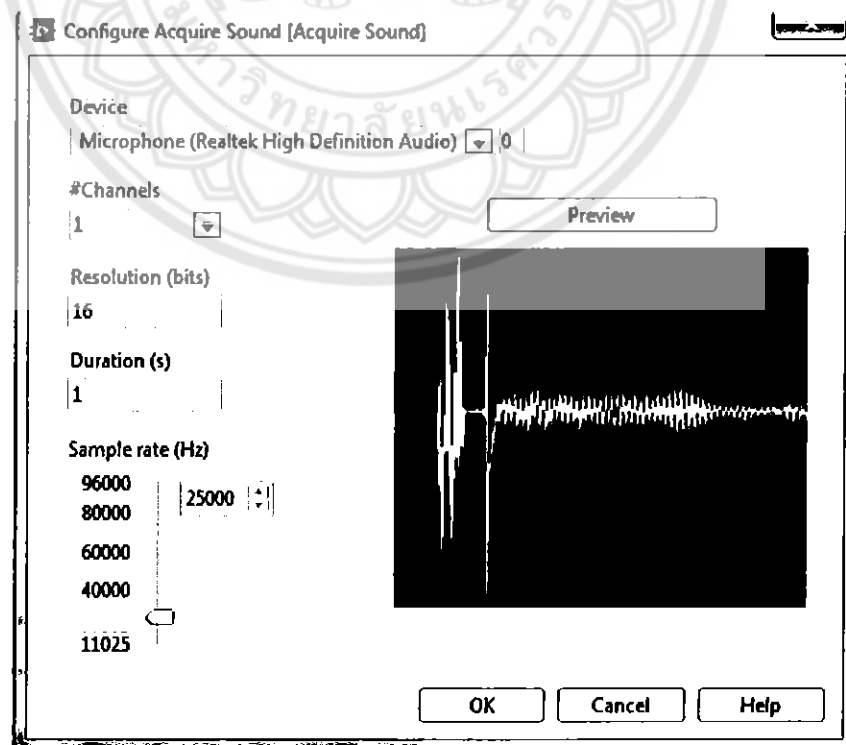
4. จากนั้นเราจะทำการเขียนโปรแกรมที่ Block diagram เปิดหน้าต่าง Block Diagram แล้วคลิกขวาที่เมาส์เลือกที่ ฟังก์ชัน เลือก Input แล้วเลือกที่ Acquire sound เพื่อใช้ไมโครโฟนเป็นสัญญาณเข้า



5. จากนั้นเมื่อวาคไมโครโฟนเสร็จ ก็วาดอัตรายขยาย กราฟสัญญาณเสียง กราฟสเปกตรัม ตารางบันทึกผล การแปลงฟูเรียร์ ดังรูป

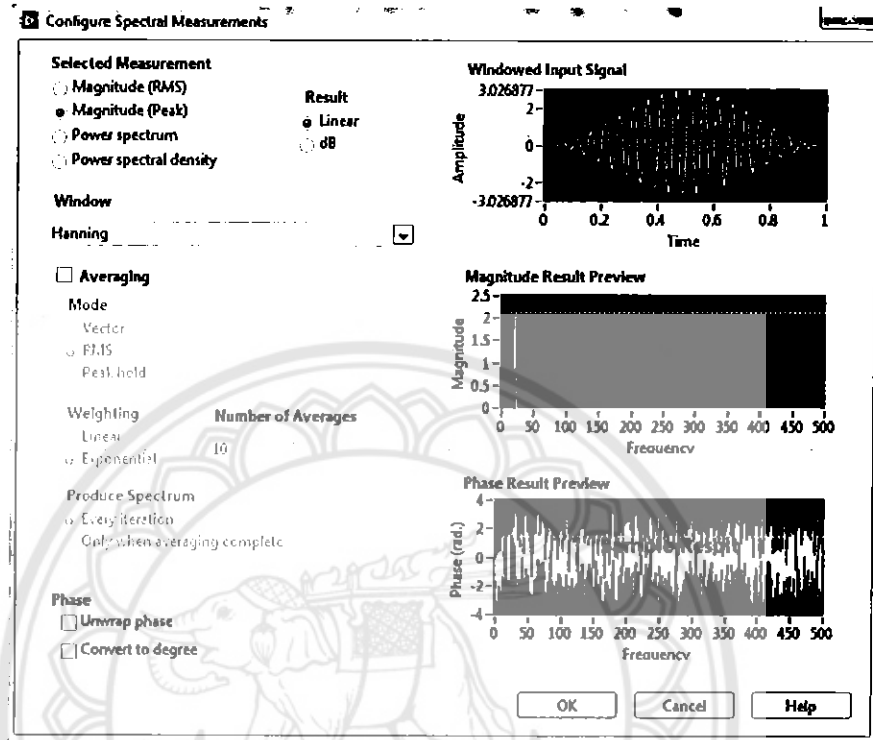


6. กำหนดค่าพารามิเตอร์ของไมโครโฟน โดยการดับเบิลคลิกที่รูปไมโครโฟน โดยเซตค่าตามรูปดังนี้

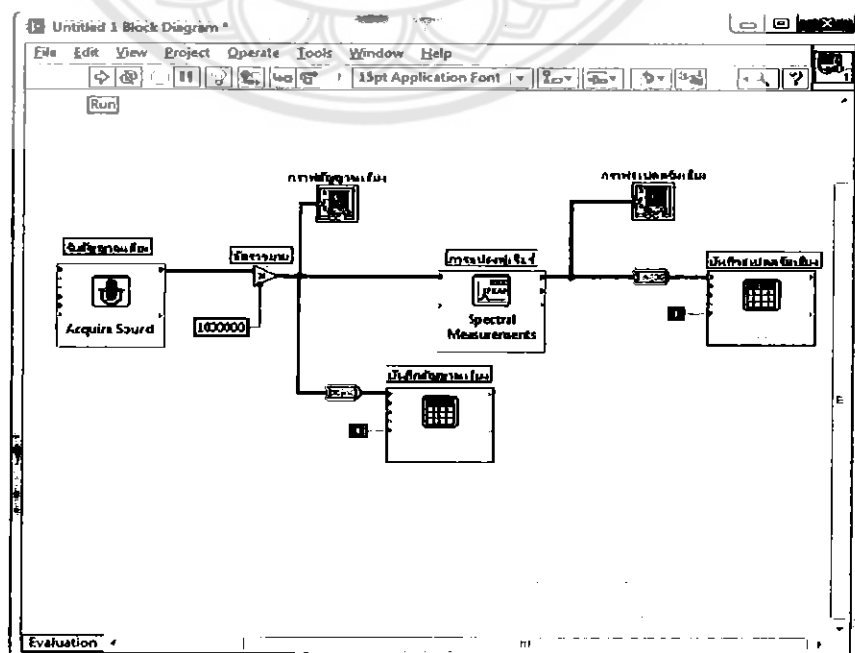




7. กำหนดพารามิเตอร์ของการแสดงผลของแต่ละกราฟโดยเซตค่าตามรูปดังนี้ โดยเซตค่าตามรูปดังนี้



8. เมื่อวาดรูปเสด เซตค่าพารามิเตอร์เสด จากนั้นทำการ Run โปรแกรม กราฟสัญญาณเสียงที่ได้ จะ แสดง หน้าต่างของ Front Panel ทำการบันทึกค่าที่ได้



## ประวัติผู้ดำเนินโครงการ



ชื่อ นางสาวณัชชา สุรเสน  
 ภูมิลำเนา 246 หมู่ 8 ต.ลำห้วยหลวง อ.สมเด็จ จ.กาฬสินธุ์  
 ประวัติการศึกษา  
 – จบระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนเตรียมอุดมศึกษา  
 ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ  
 – ปัจจุบันกำลังศึกษาระดับปริญญาตรี ชั้นปีที่ 6  
 สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์  
 มหาวิทยาลัยนเรศวร

E-mail: auy\_oui\_ee@hotmail.com



ชื่อ นายธรรมภาณ แก้วใส  
 ภูมิลำเนา 102 หมู่ 3 ต.นาป่า อ.กุเพียง จ.น่าน  
 ประวัติการศึกษา  
 – จบระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนศรีสวัสดิ์วิทยาคาร  
 – ปัจจุบันกำลังศึกษาระดับปริญญาตรี ชั้นปีที่ 8  
 สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์  
 มหาวิทยาลัยนเรศวร

E-mail: b-axis@hotmail.com