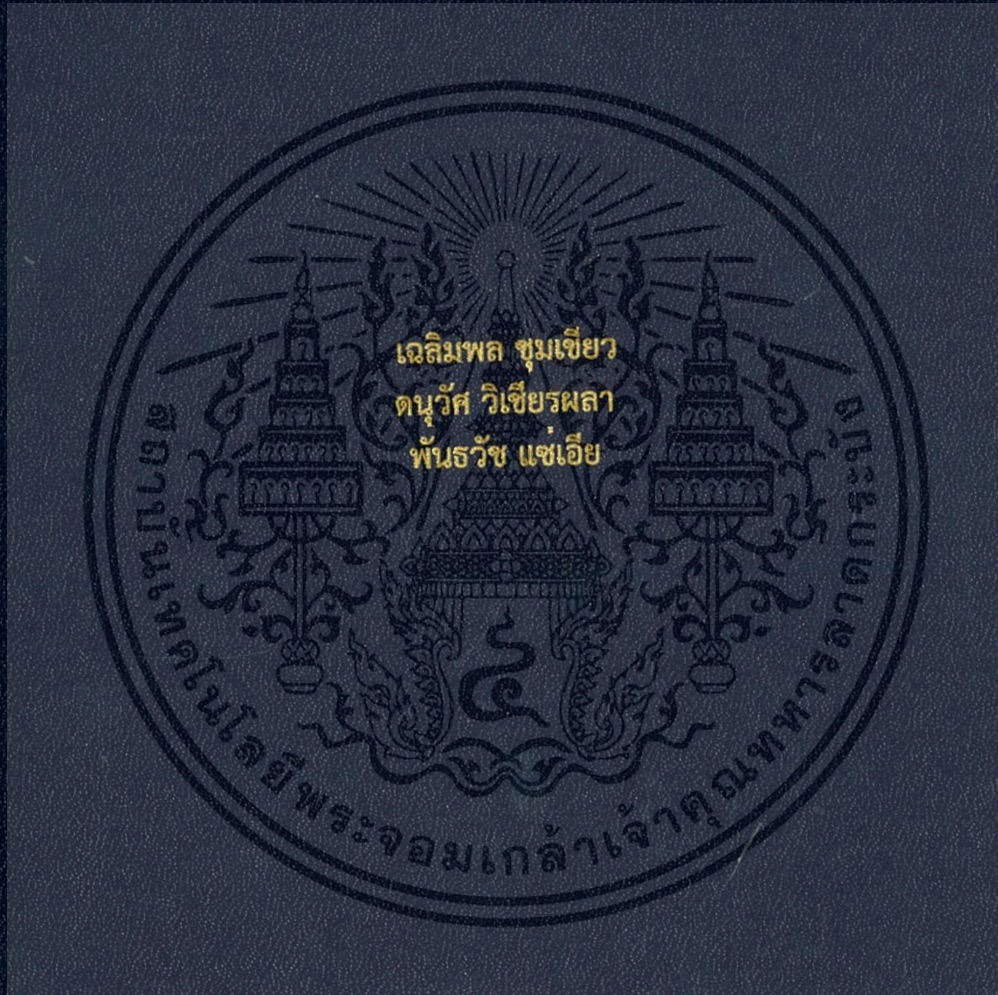


ระบบสัญญาณไฟเตือนรถไฟโดยใช้การตรวจวัดการสั่นสะเทือน  
TRAIN SIGNALING SYSTEM USING VIBRATION MEASUREMENT



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมขนส่งทางราง  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2559

ระบบสัญญาณไฟเตือนรถไฟโดยใช้การตรวจวัดการสั่นสะเทือน  
TRAIN SIGNALING SYSTEM USING VIBRATION MEASUREMENT



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมขนส่งทางราง

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2559

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# TRAIN SIGNALING SYSTEM USING VIBRATION MEASUREMENT



Chalermphon Chumkiaw  
Danuwat Vichianpala  
Phantawat Saeia

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT  
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF  
BACHELOR OF ENGINEERING IN RAIL TRANSPORTATION ENGINEERING  
FACULTY OF ENGINEERING  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKABANG

2016

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2559

สาขาวิชาวิศวกรรมขนส่งทางราง

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง ระบบสัญญาณไฟเตือนรถไฟโดยใช้การตรวจวัดการสั่นสะเทือน

TRAIN SIGNALING SYSTEM USING VIBRATION MEASUREMENT

ผู้จัดทำ

1. นายเฉลิมพล ชุมเขียว 56010234

2. นายดนุวัต วิเชียรผลา 56010449

3. นายพันธวัช แซ่เอี้ย 56011487

..... อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาานิพนธ์

(ผศ.ดร.อนุนต์ พิณโสภณ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์	ระบบสัญญาณไฟเตือนรถไฟโดยใช้การตรวจวัดการสั่นสะเทือนของราง
นักศึกษา	นายเฉลิมพล ชุมเขียว และ นายธนวัศ วิเชียรผลา และ นายพันธวัช แซ่เอี้ย
รหัสนักศึกษา	56010234, 56010449 และ 56011487
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชา	วิศวกรรมเครื่องกล
สาขาวิชา	วิศวกรรมขนส่งทางราง
พ.ศ.	2560
อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์	ผศ.ดร.อนุวัต พิณโสภณ

### บทคัดย่อ

ประเทศไทยในปัจจุบันระบบสัญญาณไฟเตือนมีจำนวนน้อยมากเมื่อเทียบกับทางข้ามรถไฟ เนื่องจากอุปกรณ์สัญญาณเตือนมีราคาแพง จึงทำให้ไม่สามารถติดตั้งได้ทุกจุด ซึ่งเป็นเหตุให้เกิดอุบัติเหตุบริเวณจุดตัดทางรถไฟ สร้างความเสียหายอยู่บ่อยครั้ง ดังนั้นปริญญานิพนธ์นี้จึงทำการออกแบบระบบสัญญาณเตือนรถไฟที่สามารถใช้ได้จริง โดยการใช้ตัวตรวจวัดความเร่งมาใช้วัดสัญญาณความเร่งและตรวจจับรถไฟ เพื่อนำไปใช้ในการส่งสัญญาณแจ้งเตือนเป็นไฟหมุน ซึ่งระบบสัญญาณแจ้งเตือนจะประกอบไปด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ทำหน้าที่ประมวลผลสัญญาณความเร่งที่เกิดจากการสั่นสะเทือนของไม้หมอน ระบบเครือข่ายโทรศัพท์ที่ทำหน้าที่ส่งสัญญาณจากอุปกรณ์ตรวจจับรถไฟไปยังตัวรับสัญญาณเพื่อส่งสัญญาณเตือน และอุปกรณ์วัดความเร่งที่ทำหน้าที่ตรวจวัดสัญญาณความเร่งจากหมอนรถไฟซึ่งมี 2 ตัวเพื่อเปิดและปิดระบบ ซึ่งจากการพิสูจน์ทฤษฎีที่ได้ศึกษา มาพบว่า กราฟสัญญาณความเร่งของรถไฟจะมีรูปแบบเฉพาะที่สามารถสร้างเกณฑ์ในการตรวจจับได้อย่างแน่นอน ซึ่งจากการทดลองระบบดังกล่าวแล้วได้ผลลัพธ์ที่ค่อนข้างแม่นยำ และสามารถใช้งานได้เปรียบเทียบกับระบบปัจจุบันได้

Thesis	TRAIN SIGNALING SYSTEM USING VIBRATION MEASUREMENT
Student	Chalermphon Chumkiaw Danuwat Vichianpala Phantawat Saeia
Student ID	56010234 56010449 56011487
Degree	Bachelor of Engineering
Program	Mechanical Engineering
Year	2017
Thesis Advisor Assistant	Professor Dr. Unnat Pinsopon

### Abstract

Nowadays railway signaling systems have less signal alarm than railroad crossings in Thailand because of the installation costs so can't install every point. It caused a lot of accidents and damages around railroad crossing zone, therefore this project designed alarm signaling system using an acceleration sensor proposed for checking the arrival of train and sending light alarms. The signal transmission system consists of a microcontroller that acquires railway acceleration signal, wireless mobile telecommunications that sends signal to a receiver for alarming, and two acceleration sensors attached to the rail sleeper that measure railway acceleration. From education, Acceleration signal from the train can create detection criteria for sure. The experimental show a precisely result and it can compare with current system.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

งานสร้างระบบสัญญาณไฟเตือนรถไฟโดยใช้การตรวจวัดการสั่นสะเทือน จะไม่สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ถ้าปราศจากบุคคลเหล่านี้

ผศ.ดร.อุจน์ต์ พิณโสภณ อาจารย์ที่ปรึกษา ที่คอยให้คำปรึกษาและให้คำแนะนำเป็นอย่างดีในการแก้ปัญหาต่าง ๆ มาโดยตลอด

ผศ.ดร.มนต์ศักดิ์ พิมสาร อาจารย์ที่ให้อุปกรณ์ต่าง ๆ และชุดทดลองในการเก็บข้อมูลและสอบเทียบอุปกรณ์

อาจารย์ เดชา ศรีธนาวิชา สาขาวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม ที่คอยช่วยเหลือในทุกๆ เรื่อง ทั้งช่วยแนะนำอุปกรณ์ และช่วยทดสอบชุดคำสั่ง อีกทั้งยังคอยแนะนำและช่วยแก้ปัญหาต่าง ๆ

หน่วยงานการรถไฟแห่งประเทศไทย ที่ให้การสนับสนุนด้านแบบแปลนของหัวรถจักรไทยประเภทต่างๆ และให้พื้นที่ในการติดตั้ง ทดสอบ และเก็บผลการทดลอง

คุณพ่อ คุณแม่ ที่คอยให้กำลังใจและคอยสนับสนุนอยู่เสมอ และเปรียบเสมือนครูคนแรกผู้ซึ่งมีพระคุณอย่างหาที่เปรียบมิได้

เพื่อน ๆ พี่ ๆ น้อง ๆ จากภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์สถาบันพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่คอยให้คำปรึกษาและช่วยเหลือเป็นอย่างดีมาโดยตลอด ทำให้งานวิจัยสำเร็จมาได้ด้วยดี

ขอบพระคุณจากทุกท่านที่มีส่วนร่วมทำให้งานวิจัยสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีไว้ ณ โอกาสนี้ด้วย

เฉลิมพล ชุมเขียว

ดนุวิศ วิเชียรผลา

พันธวิช แซ่เอี้ย

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญรูป	VI
สารบัญตาราง	VIII
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	2
1.4 วิธีการดำเนินการ	2
1.5 ประโยชน์ที่ได้รับจากโครงการ	2
บทที่ 2 หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	
2.1 ตัวตรวจจับวัตถุที่ใช้งาน	3
2.2 เซ็นเซอร์วัดการสั่นสะเทือน	3
2.3 การส่งสัญญาณไร้สายด้วยระบบเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบ WCDMA(3G)	5
2.4 3G Module	6
2.5 ไมโครคอนโทรลเลอร์รุ่น Arduino UNO R3	9
2.6 ประเภทของหัวรถจักร	12
2.7 ทฤษฎีที่ใช้ในการตรวจจับรถไฟ	16
บทที่ 3 การออกแบบการทดลองและการตั้งค่าอุปกรณ์ของระบบตรวจจับรถไฟ	
3.1 ระบบส่งสัญญาณตรวจจับรถไฟ	27
3.2 ส่วนประกอบของอุปกรณ์ตรวจจับรถไฟ	30
3.3 ส่วนประกอบของอุปกรณ์รับสัญญาณ	33
3.4 Flow chart แสดงการทำงานของอุปกรณ์ตรวจจับรถไฟ	36
3.5 ข้อมูลอุปกรณ์	40
3.6 วิธีทำการทดลอง	43

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์ข้อมูล	
4.1 การสอบเทียบของเซ็นเซอร์	45
4.2 สัญญาณความเร่งที่เกิดจากรถไฟ ระหว่างสถานีลาดกระบัง-สถานีพระจอมเกล้า	49
4.3 การวิเคราะห์ ค่าความเร่งในการตรวจจذبรถไฟ	51
4.4 ค่าความเร่งที่วัดได้ในแต่ละเพลลา	52
4.5 วิธีวัดความเร็วของรถไฟ	54
4.6 ผลการทดลองที่ได้จากการเตือนการมาของรถไฟ	54
4.7 เวลาที่ใช้ในแต่ละขบวน	55
บทที่ 5 บทสรุป	
5.1 สรุปผลการทดลอง	57
5.2 ปัญหาและอุปสรรค	58
5.3 ข้อเสนอแนะ	58
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก	59
ภาคผนวก ข	90
บรรณานุกรม	91

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	อุปกรณ์วัดความเร่งชนิด IEPE accelerometer	4
2.2	อุปกรณ์วัดความเร่งชนิด MEMS accelerometer	4
2.3	ส่วนหน้าของบอร์ด 3G Module	7
2.4	ส่วนหลังของบอร์ด 3G Module	7
2.5	ลักษณะทั่วไปของ Arduino Uno	9
2.6	หัวรถจักร Alsthom (ADD)	12
2.7	หัวรถจักร Alsthom (AHK)	12
2.8	รูปที่ หัวรถจักร THN	13
2.9	หัวรถจักร GEA (CM22-7i)	13
2.10	หัวรถจักร Hitachi (HID)	14
2.11	หัวรถจักร GEK (UM12C)	14
2.12	หัวรถจักร Quishuyan (SDA3)	15
2.13	หัวรถจักร NKF	15
2.14	สัญญาณความเร่งที่เกิดจากหัวรถจักรดีเซลราง	17
2.15	สัญญาณความเร่งของหัวรถจักรดีเซลไฟฟ้า	17
2.16	การวิเคราะห์ส่วนประกอบต่างๆ จากกราฟสัญญาณการสั่นสะเทือนของรถดีเซลราง	18
2.17	การวิเคราะห์ส่วนประกอบต่างๆ จากกราฟสัญญาณการสั่นสะเทือนของรถดีเซลไฟฟ้า	19
2.18	ลักษณะของหัวรถจักรดีเซลราง	20
2.19	ลักษณะหัวรถจักรดีเซลไฟฟ้า	20
2.20	ผลจากการแปลงสัญญาณ FFT จากกราฟสัญญาณความเร่งของหัวรถจักรดีเซลราง	21
2.21	ผลจากการแปลงสัญญาณ FFT จากกราฟสัญญาณความเร่งของหัวรถจักรดีเซลไฟฟ้า	22
2.22	แบบแปลนบางส่วนของหัวรถจักร NKF	23
2.23	แบบแปลนบางส่วนของหัวรถจักร ALSTHOM	24
2.24	เกณฑ์ในการเตือนสัญญาณความเร่งของรถดีเซลราง	25
2.25	เกณฑ์ในการเตือนสัญญาณความเร่งของรถดีเซลไฟฟ้า	25
3.1	แสดงภาพรวมการทำงานของระบบสัญญาณไฟเตือนโดยใช้การวัดการสั่นสะเทือน	27
3.2	แผนภาพแสดงการทำงานของระบบสัญญาณไฟเตือนรถไฟ	28
3.3	รูปตัวส่งสัญญาณ	29
3.4	ตัวรับสัญญาณและระบบสัญญาณไฟเตือน	29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
3.5	รูปแสดงจุดติดตั้งสัญญาณและระยะทางรวมทั้งหมด	29
3.6	อุปกรณ์ตรวจจذبรถไฟ	30
3.7	การต่อวงจรของอุปกรณ์ตรวจจذبรถไฟ	31
3.8	อุปกรณ์รับสัญญาณ	33
3.9	การต่อวงจรของอุปกรณ์รับสัญญาณ	34
3.10	Flow chart แสดงการทำงานของอุปกรณ์ส่งสัญญาณ	36
3.11	Flow chart แสดงการทำงานของอุปกรณ์รับสัญญาณ	38
3.12	อุปกรณ์วัดความเร่งชนิด IEPE accelerometer	40
3.13	DEWESoft43A	40
3.14	อุปกรณ์วัดความเร่งชนิด MEMS accelerometer	41
3.15	Arduino Uno	41
3.16	อุปกรณ์ 3G Module (UC15-T)	42
3.17	Relay Module	42
3.18	ไฟเตือนสีเหลือง รุ่น LTE-1104)	43
3.19	การเปรียบเทียบการใช้งาน	44
4.1	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง MEMS acceleration (G) และค่า A/D value	46
4.2	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า IEPE accelerationrms (G) หรือค่าความเร่งที่เกิดขึ้นจริงและค่า MEMS acceleration1rms (G)	47
4.3	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า IEPE accelerationrms (G) หรือค่าความเร่งที่เกิดขึ้นจริงและค่า MEMS acceleration2rms (G)	48
4.4	สัญญาณความเร่งที่เกิดจากรถไฟขบวนที่280	50
4.5	สัญญาณความเร่งที่เกิดจากรถไฟขบวนที่284	50
4.6	เกณฑ์ในการเตือนสัญญาณความเร่งของรถดีเซลรางที่เกิดจากรถไฟขบวนที่280	51
4.7	เกณฑ์ในการเตือนสัญญาณความเร่งของรถดีเซลไฟฟ้าที่เกิดจากรถไฟขบวนที่284	52
4.8	การวัดความเร็วของรถไฟโดยใช้ Accelerometer Sensor จำนวน 2 ตัว	54

## สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	การเปรียบเทียบกับเทคโนโลยีไร้สายชนิดอื่น	5
2.2	ขาสัญญาณสำหรับเชื่อมต่อโมดูล3G	8
2.3	สภาวะการทำงานของ Arduino Uno	11
2.4	ประเภทของห้วงจักร	12
2.4	ประเภทของห้วงจักร (ต่อ)	13
2.4	ประเภทของห้วงจักร (ต่อ)	14
2.4	ประเภทของห้วงจักร (ต่อ)	15
2.5	การเปรียบเทียบคุณสมบัติของ Accelerometer	26
4.1	ผลการสอบเทียบ MEMS accelerometer ด้วย IEPE accelerometer	47
4.2	ค่าความแรงที่ตัวส่งสัญญาณ (Detector)	53
4.3	ค่าความแรงที่ตัวรับสัญญาณ (Receiver)	53



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ความเป็นมา

เนื่องจากปัจจุบันมีอุบัติเหตุทางรถไฟเกิดขึ้นบ่อยครั้งซึ่งสามารถพิจารณาได้จากสถิติอุบัติเหตุ เช่น ในปี 2559 ที่ผ่านมาพบการเกิดอุบัติเหตุบริเวณจุดตัดทางรถไฟ 77 ครั้ง มีผู้ได้รับบาดเจ็บ 45 คน และผู้เสียชีวิต 35 คน ซึ่งทางข้ามทางรถไฟบริเวณหอพักในสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง มีความเสี่ยงที่เกิดอุบัติเหตุจากทางรถไฟ เพราะยังไม่มีระบบการแจ้งเตือนรถไฟ

ในปัจจุบันนี้มีระบบสัญญาณควบคุมการเดินทางและระบุตำแหน่งของรถไฟไทยที่ใช้คือ วงจรไฟตอน (Track circuit) ระบบนับล้อ (Axle counter) และเรดาร์เซ็นเซอร์ (Radar sensor) ซึ่งบริเวณทางลัดผ่านในช่วงสถานีพระจอมเกล้า-สถานีลาดกระบัง มีระบบแจ้งเตือนแบบ Radar sensor โดยมีหลักการทำงาน คือ ส่งคลื่นสะท้อนเพื่อตรวจจับรถไฟ ซึ่งมีโอกาสผิดพลาดเนื่องจากระบบการทำงานของอุปกรณ์

ในงานปริญญาโทเรื่อง การตรวจจับรถไฟด้วยการวัดการสั่นสะเทือน[1] ได้คิดรูปแบบการตรวจจับรถไฟที่แม่นยำด้วยการตรวจวัดความเร่งที่เกิดจากรถไฟแต่ระบบนี้ยังไม่สมบูรณ์เนื่องจากเป็นระบบที่จำกัดเวลา ไม่ทันต่อสภาพอากาศอีกทั้งยังส่งได้ไม่ไกลแต่ สามารถใช้รูปแบบการตรวจจับรถไฟนี้ได้

ในงานปริญญาโทเล่มนี้ได้ศึกษาระบบของรถไฟและของปริญญาโทเรื่อง การตรวจจับรถไฟด้วยการวัดการสั่นสะเทือน[1]และได้นำมาออกแบบระบบสัญญาณแจ้งเตือน ซึ่งระบบสัญญาณแจ้งเตือนจะประกอบไปด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ทำหน้าที่ประมวลผลสัญญาณความเร่งที่เกิดจากการสั่นสะเทือนของหมอน ระบบเครือข่ายโทรศัพท์ที่ทำหน้าที่ส่งสัญญาณจากอุปกรณ์ตรวจจับรถไฟไปยังตัวรับสัญญาณเพื่อส่งสัญญาณเตือน และอุปกรณ์วัดความเร่งที่ทำหน้าที่ตรวจวัดสัญญาณความเร่งจากหมอนรถไฟซึ่งมี 2 ตัวเพื่อเปิดและปิดระบบ ซึ่งจากการพิสูจน์ทฤษฎีที่ได้ศึกษามาพบว่า กราฟสัญญาณความเร่งของรถไฟจะมีรูปแบบเฉพาะที่สามารถสร้างเกณฑ์ในการตรวจจับได้อย่างแน่นอน ซึ่งจากการทดลองระบบดังกล่าวแล้วได้ผลลัพธ์ที่ค่อนข้างแม่นยำ และสามารถเปรียบเทียบ กับระบบปัจจุบันได้

## 1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.2.1 เพื่อสร้างระบบสัญญาณไฟเตือนรถไฟจากการตรวจวัดการสั่นสะเทือนโดยใช้ระบบเครือข่ายโทรศัพท์

## 1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1.3.1 ทำการออกแบบระบบสัญญาณไฟเตือนเฉพาะรถไฟไทย

1.3.2 ทำการติดตั้งระบบสัญญาณไฟเตือนรถไฟเพียงเส้นเดียว

## 1.4 วิธีการดำเนินการ

1.4.1 ศึกษาลักษณะการทำงานของเซนเซอร์แต่ละชนิดเพื่อเลือกลักษณะการทำงานที่เหมาะสมในการใช้งานจริง

1.4.2 ศึกษาข้อมูลรูปแบบรถไฟไทยที่ใช้งานจริงในปัจจุบัน

1.4.3 ศึกษาปริยฐานิพนธ์เรื่อง การตรวจจ้งรถไฟด้วยการวัดการสั่นสะเทือนของราง เพื่อนำข้อมูลมาอ้างอิง

1.4.4 ออกแบบและสร้างระบบสัญญาณไฟเตือนเพื่อนำไปใช้งานจริง

## 1.5 ประโยชน์ที่ได้รับจากโครงการ

1.5.1 ได้รับความรู้เกี่ยวกับเซนเซอร์และอุปกรณ์ต่างๆในระบบ

1.5.2 ลดงบประมาณในการติดตั้งระบบสัญญาณเตือนรถไฟ

1.5.3 ช่วยป้องกันอุบัติเหตุที่อาจเกิดขึ้นได้

1.5.4 ได้รับความรู้เกี่ยวกับข้อมูลพื้นฐานของรถไฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

### หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ในงานปริญญาโทเล่มนี้ได้นำเสนอการใช้ตัวตรวจวัดความเร่งมาใช้วัดสัญญาณความเร่งเพื่อทำการใช้ในการตรวจจذبรถไฟและแสดงผลโดยส่งสัญญาณไฟแจ้งเตือน โดยในบทนี้จะแสดงหลักการในการเลือกอุปกรณ์ที่เหมาะสม ข้อมูลและประเภทของหัวรถจักรที่ใช้ในการทดลอง รวมถึงทฤษฎีที่ใช้ในการตรวจจذبรถไฟ

#### 2.1 ตัวตรวจจذبวัตถุที่ใช้งาน

ตัวตรวจจذبวัตถุหรือเซนเซอร์นั้นเป็นอุปกรณ์ทำหน้าที่ตรวจจับการเปลี่ยนแปลงของสิ่งแวดล้อมเช่น เสียง แสงและการเคลื่อนไหวที่อยู่รอบ ๆ มาเป็นสัญญาณทางไฟฟ้าแล้วส่งไปยังส่วนควบคุมของเครื่องไฟฟ้าหรืออุปกรณ์อื่น ๆ ที่ต่อเข้ากับตัวเซนเซอร์ ซึ่งในงานปริญญาโทเรื่องการตรวจจذبรถไฟด้วยการวัดการสั่นสะเทือน[1] ได้ทำการวิจัยเซนเซอร์ที่สามารถตรวจจذبรูปแบบของรถไฟ และได้ทราบว่าเซนเซอร์วัดการสั่นสะเทือน (Accelerometer) เป็นเซนเซอร์ที่สามารถใช้แล้วตรวจจذبรูปแบบของรถไฟได้โดย ดังนั้นจึงได้วิเคราะห์ข้อมูลของเซนเซอร์วัดการสั่นสะเทือนที่สำคัญเพื่อนำมาตัดสินใจเพื่อการเลือกใช้ที่เหมาะสม

#### 2.2 เซนเซอร์วัดการสั่นสะเทือน

เซนเซอร์วัดการสั่นสะเทือน หรือเรียกอีกชื่อหนึ่งว่าแอกเซลโรมิเตอร์ ซึ่งเป็นเซนเซอร์ที่ทำงานโดยอาศัยหลักการการสั่นสะเทือนของสิ่งแวดล้อมบริเวณที่ติดตั้งเซนเซอร์เพื่อตรวจจذبวัตถุ โดยแอกเซลโรมิเตอร์ที่นำมาพิจารณานั้นมีดังนี้

(1) IEPE accelerometer หรือ Integrated electronic piezoelectric accelerometer เป็นอุปกรณ์ตรวจวัดแรงกลต่าง ๆ โดยใช้วัสดุเพียโซอิเล็กทริกเป็นตัวกลางในการทำงาน เช่น แรงดัน ความเร่ง การสั่น แรงเครียดหรือแรงกระทำอื่น ๆ โดยวัสดุเพียโซอิเล็กทริกจะเปลี่ยนพลังงานกลให้เป็นพลังงานไฟฟ้าที่อยู่ในรูปความต่างศักย์ ซึ่งขนาดของความต่างศักย์จะมีขนาดแปรผันตรงกับขนาดของแรงที่มากระทำ ดังรูปที่ 2.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.1 อุปกรณ์วัดความเร่งชนิด IEPE accelerometer

(ที่มา : <https://www.kistler.com/th/en/products/components/accelerometer-sensors>)

(2) MEMS accelerometer หรือ Micro-Electro Mechanical System เป็นอุปกรณ์ตรวจวัดความเร่งอันเนื่องมาจากแรงกลต่าง ๆ เช่น แรงดัน ความเร่ง การสั่น แรงเคี้ยวหรือแรงกระทำอื่น ๆ โดยพลังงานกลต่าง ๆ เหล่านี้จะทำให้เกิดสารสั้นของมวลในระดับไมโคร ทำให้วงจรภายในเกิดการเปลี่ยนแปลงความต่างศักย์ ซึ่งแปรผันโดยตรงกับแรงที่มากระทำ ด้วยคุณสมบัตินี้จึงสามารถนำมาเป็นอุปกรณ์วัดความเร่งได้ และ MEMS accelerometer มีราคาต่ำกว่า IEPE accelerometer อยู่มาก แต่มีประสิทธิภาพที่ต่ำกว่า ดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 อุปกรณ์วัดความเร่งชนิด MEMS accelerometer

(ที่มา : <https://www.arduinothai.com/product/214/gy-291-3-axis-adxl345>)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.3 การส่งสัญญาณไร้สายด้วยระบบเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบ WCDMA(3G)

ระบบเครือข่ายโทรศัพท์ในปัจจุบันมีการใช้งานอย่างกว้างขวางเนื่องจากสามารถส่งข้อมูลทั้งเป็นเสียง และข้อความได้อย่างรวดเร็ว โดยอ้างอิงตามมาตรฐานการทำงานของระบบเครือข่ายไร้สาย IMT-2000 ซึ่งมีข้อดี คือ สามารถส่งข้อมูลในระยะไกลได้ พกพาได้สะดวก สามารถรับส่งทั้งข้อมูล รวมถึงการรองรับการเข้าถึงและใช้งานโปรแกรมระบบงานประยุกต์ต่าง ๆ บนเครือข่ายอย่างเต็มรูปแบบ โดยมีอัตราการส่งข้อมูลอยู่ที่ระดับเมกะบิตต่อวินาที ซึ่งจะทำการเปรียบเทียบเครือข่าย WCDMA และเครือข่ายอื่น ๆ ดังตารางนี้

ตาราง 2.1 การเปรียบเทียบกับเทคโนโลยีไร้สายชนิดอื่น

Standard	Transmission Rang (m)	Throughput (Kb/s)
WCDMA (IMT-2000)	1600-8000	384-3600
Zigbee (802.15.4)	1-100	20-250
WI-FI (802.11b)	1-100	11000
Bluetooth (802.15.1)	1-10	720

จากตารางจะเห็นว่าการใช้ WCDMA (IMT-2000) มีระยะในการส่งสัญญาณที่ไกลและเหมาะสมแก่การตรวจจับและแจ้งเตือนรถไฟ และยังส่งข้อมูลได้ในปริมาณมาก จึงเลือกใช้ WCDMA (IMT-2000) เป็นเครือข่ายที่ส่งสัญญาณตรวจจับรถไฟ

## 2.4 3G Module

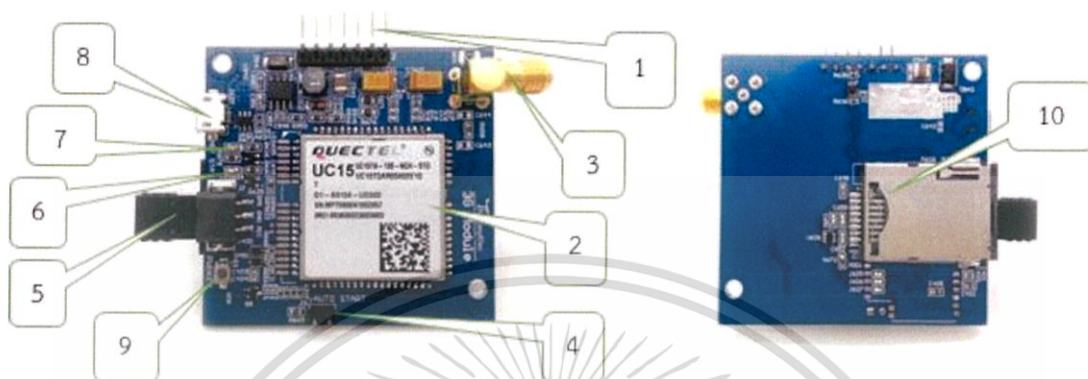
บอร์ด 3G Module เป็นบอร์ดสื่อสารเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ระบบ WCDMA(3G) ใช้โมดูลสื่อสารยี่ห้อ Quectel รุ่น UC15-T (สามารถดูคุณสมบัติได้ในภาคผนวก) รองรับความถี่ 850/2100 MHz ในระบบ WCDMA (3G) และรองรับความถี่ 850/900/1800/1900 MHz ในระบบ GSM (2G)

3G Module สามารถใช้งานตามมาตรฐาน ได้ โดยไม่ต้องเขียนโปรแกรมสร้างเครือข่าย 3G เพราะว่าทางผู้ผลิตได้จัดทำเฟิร์มแวร์ (Firmware) ที่จะโหลดเข้าไปในตัว 3G Module โดยสามารถตั้งค่าพารามิเตอร์ผ่านซอฟต์แวร์อินเตอร์เฟซ (Arduino หรือ โปรแกรมที่เขียนขึ้นเอง) ผ่านทาง At Command ซึ่งสั่งงานผ่านพอร์ต 3 พอร์ต UART , USB Modem หรือ USB AT ในช่องทาง UART และ USB Modem สามารถสั่งงานและสื่อสารได้อย่างเต็มรูปแบบทั้งส่งคำสั่งและการสื่อสารข้อมูล ส่วนช่องทาง USB AT นั้นจะใช้สำหรับสั่งงานเท่านั้น แต่ไม่สามารถใช้ในการสื่อสารข้อมูลได้ ซึ่งวิธีใช้ในการต่อเข้ากับ Arduino uno r3 สามารถดูได้ในภาคผนวก โดยเมื่อตั้งค่า 3G Module ให้ทำงานเป็นอุปกรณ์ในเครือข่าย 3G แล้ว เฟิร์มแวร์ที่ใช้กับโมดูลจะโหลดผ่านโปรแกรม Arduino ทั้งนี้โมดูลในแต่ละรุ่น จะสามารถตั้งค่าการใช้งานได้มากมาย ทำให้เฟิร์มแวร์ที่จะต้องโหลดเข้าไปในนั้นมีมากมายและต้องเลือกให้เหมาะสม โดยส่วนประกอบหลักๆของบอร์ดมีดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.4.1 ส่วนประกอบของบอร์ด 3G Module

ข้อมูลและส่วนประกอบหลักของบอร์ด 3G Module ที่ใช้ แสดงเป็นข้อมูลและรูปภาพดังนี้



รูปที่ 2.3 ส่วนหน้าของบอร์ด 3G Module      รูปที่ 2.4 ส่วนหลังของบอร์ด 3G Module

(ที่มา [http://www.thaieasyelec.com/downloads/ETEE058/ETEE058\\_3G\\_Module\\_User\\_Manual\\_TH\\_20160321.pdf](http://www.thaieasyelec.com/downloads/ETEE058/ETEE058_3G_Module_User_Manual_TH_20160321.pdf))

(1) ขาพินเฮดเดอร์ P6 สำหรับเชื่อมต่อขาสัญญาณต่าง ๆ ทั้งหมด 7 ขา โดยมีรายละเอียดขาพินเฮดเดอร์ P6 ในหัวข้อ 2.5.2 ขาเชื่อมต่อสัญญาณของ 3G Module

(2) UC15-T Module โมดูลสื่อสารไร้สายรองรับระบบ 3G

(3) Connector แบบ SMA สำหรับเสียบเสาอากาศสื่อสาร (Antenna)

(4) Auto Start Jumper J3 สำหรับให้โมดูลเริ่มต้นทำงานทันทีเมื่อจ่ายไฟ

(5) Connector เชื่อมต่อสัญญาณ Audio out และ Microphone In

(6) Status LED ไฟแสดงสถานะเปิดการทำงาน

(7) Network LED ไฟแสดงสถานะเชื่อมต่อเครือข่าย

(8) Micro USB สำหรับพอร์ต USB Modem / USB AT / USB DM

(9) Power Key Switch S3 สวิตช์สำหรับเริ่มต้นและปิดการทำงานด้วยการกดปุ่ม

(10) SIM Card Socket ช่องเสียบ SIM Card

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.4.2 ขาเชื่อมต่อสัญญาณของ 3G Module

มีขาสัญญาณสำหรับเชื่อมต่อทั้งหมด 7 ขาที่คอนเน็คเตอร์ P6 ดังตารางต่อไปนี้

ตาราง 2.2 ขาสัญญาณสำหรับเชื่อมต่อโมดูล3G

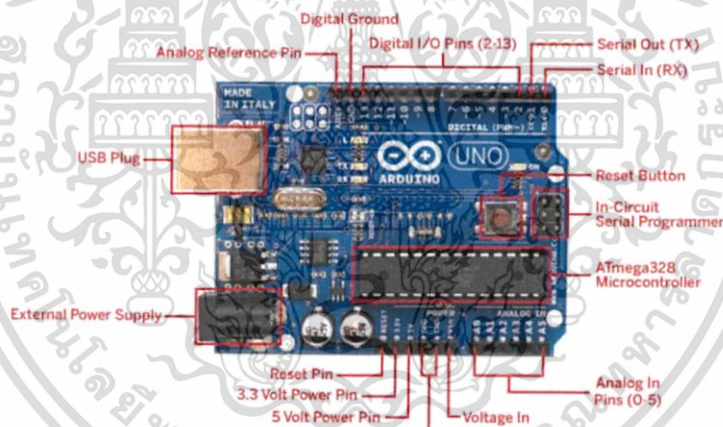
ขาที่	ชื่อขา	การทำงาน
1	PWRKEY	สำหรับเปิด-ปิดโมดูลผ่าน Software โดยการทริกขา I/O
2	GND	ขากราวด์ของโมดูล
3	VIN	สำหรับจ่ายไฟเลี้ยงโมดูลใช้ไฟเลี้ยงระดับแรงดัน 5 โวลต์
4	IOREF	สำหรับอ้างอิงแรงดันสื่อสารของโมดูล เชื่อมต่อกับ 5 โวลต์หากใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ที่สื่อสาร UART TTL เชื่อมต่อกับ 3.3 โวลต์ หากใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ที่สื่อสาร UART LVTTTL
5	RxD	ขารับสัญญาณ (Receive) สำหรับรับข้อมูลสื่อสารอนุกรมแบบ UART
6	TxD	ขาส่งสัญญาณ (Transmit) สำหรับส่งข้อมูลสื่อสารอนุกรมแบบ UART
7	GND	ขากราวด์ของโมดูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.5 ไมโครคอนโทรลเลอร์รุ่น Arduino UNO R3

ไมโครคอนโทรลเลอร์ คือ อุปกรณ์ควบคุมขนาดเล็ก ซึ่งบรรจุความสามารถที่คล้ายคลึงกับระบบคอมพิวเตอร์ โดยรวมเอาหน่วยประมวลผล หน่วยคำนวณทางคณิตศาสตร์และลอจิก วงจรรับสัญญาณอินพุต วงจรขับสัญญาณเอาต์พุต หน่วยความจำ และวงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกาไว้ด้วยกัน ทำให้สามารถนำไปใช้งานแทนวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่ซับซ้อนได้เป็นอย่างดี ซึ่งภาษาที่ใช้เขียนโปรแกรมนั้นมี ภาษา Assembly ภาษา C หรือ ภาษา Java เป็นต้น

ซึ่งในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล AVR ที่มีชื่อว่า Arduino Uno R3 ซึ่งมีการพัฒนาแบบ Open Source คือมีการเปิดเผยข้อมูลทั้งด้าน Hardware และ Software และมีภาษาที่ใช้ในการเขียนโปรแกรมเฉพาะตัวซึ่งคล้ายกับภาษา C ทำให้ตัวบอร์ด Arduino สามารถให้ใช้งานได้ง่ายโดยสามารถต่อวงจรอิเล็กทรอนิกส์จากภายนอกแล้วเชื่อมต่อเข้ามาที่ขา I/O และสามารถเขียนโปรแกรมเพื่อควบคุมอุปกรณ์ที่นำมาต่อได้ โดยรายละเอียดของขาต่าง ๆ มีดังรูปที่ 2.5 นี้



รูปที่ 2.5 ลักษณะทั่วไปของ Arduino Uno

(ที่มา : <https://www.robomart.com/arduino-uno-online-india>)

(1) RESET เป็นสัญญาณ Input Logic Reset ของ MCU เมื่อเป็น Logic Low จะทำให้ MCU อยู่ในสภาวะรีเซ็ต เมื่อเป็น Logic High จะทำให้ MCU อยู่ในสภาวะทำงานตามปกติ โดยสัญญาณ RESET# นี้จะถูกควบคุมจาก 2 แหล่ง คือจากสวิตช์ RESET ภายในบอร์ด และจากสัญญาณ DTR ของ FT232RL ถ้ามีการเลือก Enable Jumper ของ Auto Reset จาก DTR ไว้

(2) +3.3 เป็นแหล่งจ่ายไฟขนาด +3.3 V ที่ได้จากวงจร Regulate ภายในของ ATmega328P สามารถจ่ายกระแสได้สูงสุด 50 mA ซึ่งเมื่อต้องการนำแหล่งจ่าย +3.3 V นี้ไปใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นแหล่งจ่ายให้กับอุปกรณ์ต่าง ๆ ต้องระมัดระวังเรื่องการดึงกระแสของโหลดด้วยถ้าโหลดมีการดึงกระแสมากกว่า 50 mA อาจทำให้ ATmega328P เสียหายได้

(3) +VIN เป็นไฟ DC ที่รับมาจาก Jack VIN(External Supply) แต่ผ่านการ Rectifier และ Filter เป็น DC แล้ว มีขนาดแรงดันเฉลี่ยตามขนาดแรงดันที่ป้อนให้กับบอร์ดทาง Jack Vin

(4) +5V เป็นจุดต่อแหล่งจ่ายไฟของบอร์ดออกไปใช้งาน ซึ่งมาจากแหล่งกำเนิด 2 แหล่ง คือ จากพอร์ต USB และจาก External Supply ซึ่งถ้าต่อแหล่งจ่ายให้บอร์ดจาก External Supply ผ่านทาง Jack VIN แหล่งจ่าย +5 V นี้จะมาจาก Switching Regulate (LM2575-5V) สามารถจ่ายกระแสได้สูงสุดถึง 1 A แต่ถ้าใช้แหล่งจ่ายจากพอร์ต USB แหล่งจ่าย +5 V นี้จะมาจากพอร์ต USB โดยตรงโดยจะมีฟิวส์แบบ Poly ขนาด 500 mA ต่อบริเวณการดึงกระแสเกิน เพื่อป้องกันความเสียหายของพอร์ต USB โดยจะจ่ายกระแสได้สูงสุดไม่เกิน 500 mA ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติในการจ่ายกระแสของพอร์ต USB และการ Configure ค่าให้กับ FT232RL ด้วย

(5) A0-A5 เป็นขาสัญญาณ Analog Input แบบ ADC มีขนาดความละเอียด 10 บิต มี 16 ขา สามารถรับแรงดันอนาล็อกอินพุตได้ 0-5 VDC

(6) D0-D13 เป็นขาสัญญาณ Digital Input/Output แบบ TTL มีทั้งหมด 13 Pin สามารถใช้ทำหน้าที่เป็นอินพุตหรือเอาต์พุตตามการกำหนดจากโปรแกรม โดยมีบางขาสามารถกำหนดหน้าที่ใช้งานเป็นฟังก์ชันพิเศษต่าง ๆ เพิ่มเติมได้อีก

(6.1) D0-D1 ถูกสงวนไว้ใช้ทำหน้าที่เป็นพอร์ตสื่อสารอนุกรม RS232 (UART0) โดยได้ทำการเชื่อมต่อกับ USB Bridge ของ FT232RL เพื่อใช้อัพโหลดให้กับบอร์ด และยังสามารถใช้ทดลองติดต่อสื่อสารรับส่งข้อมูลระหว่างบอร์ดกับคอมพิวเตอร์ PC ได้ด้วย

(6.2) D3, D5, D6 และ D9-D11 สามารถ โปรแกรมหน้าที่เป็น PWM ได้

(6.3) D14 สามารถโปรแกรมหน้าที่เป็น TX1 สำหรับ ส่งข้อมูลของ UART1

(6.4) D15 สามารถโปรแกรมหน้าที่เป็น RX1 สำหรับ รับข้อมูลให้กับ UART1 ได้

(7) AREF เป็นสัญญาณ Analog Reference จากภายนอกที่ต้องการป้อนให้กับ MCU ซึ่งตามปกติแล้ว ATMEGA1280 สามารถโปรแกรมให้เลือกใช้แรงดันอ้างอิงจากภายในได้อยู่แล้ว โดยสามารถเลือกเป็น 1.1 V หรือ 2.56 V หรือ AVCC (+5V) โดยไม่จำเป็นต้องป้อนแรงดันอ้างอิงจาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภายนอกให้กับบอร์ดอีก แต่ถ้าต้องการแรงดันอ้างอิงที่มีความแตกต่างจากที่กล่าวมาแล้วก็สามารถป้อนเป็นแรงดันอ้างอิงจากภายนอกผ่านทางขา AREF นี้เข้าไปเองได้ระหว่าง 0-5 V

ตาราง 2.3 สภาวะการทำงานของ Arduino Uno



Microcontroller	ATmega328
Voltage supply (recommend)	7-12 V
Digital pin I/O	14 ขา (6 รองรับเอาต์พุตแบบ PWM)
Input analog pin	6 ขา
current per pin I/O	40 mA
3v3 current supply	50 mA
Flash Memory	32 KB (ATmega328)
SRAM	2 KB (ATmega328)
EEPROM	1 KB (ATmega328)
Clock Speed	16 MHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.6 ประเภทของหัวรถจักร[1]



หัวรถจักรที่ใช้ในการทดลองมีทั้งหมด 7 รุ่น ดังที่ได้แสดงที่ตารางที่ 2.4 และในภาคผนวกท้ายเล่ม อนึ่งข้อมูลหัวรถจักรชุดนี้ ได้รับความอนุเคราะห์จากหน่วยงาน การรถไฟแห่งประเทศไทย และ ดร.ธนา ภูเฝ้ากรัตน์ วิศวกรใหญ่ฝ่ายช่างกล การรถไฟแห่งประเทศไทย

ตาราง 2.4 ประเภทของหัวรถจักร

รุ่น	ภาพตัวอย่าง	ลักษณะเฉพาะ
ALSTHOM (ADD)	 <p>รูปที่ 2.6 หัวรถจักร Alsthom (ADD) (ที่มา : <a href="https://th.wikipedia.org/wiki/รถจักรดีเซลไฟฟ้าในประเทศไทย">https://th.wikipedia.org/wiki/รถจักรดีเซลไฟฟ้าในประเทศไทย</a>)</p>	<p>ชนิดรถจักร : รถจักรดีเซลไฟฟ้า หมายเลขรถ : 4401 - 4420 เครื่องยนต์ : Pielstick 16PA4V185VG ขนาดความจุ 7000 ซีซี. 8 สูบ เครื่องยนต์เดี่ยว กำลังขับเคลื่อน : 2,400 แรงม้า ที่ 1,500 รอบต่อนาที ความเร็วสูงสุด : 100 กม./ชม. การจัดวางล้อ : Co-Co น้ำหนักตัวรถ : 77.50 ตัน (เมื่อจอดนิ่ง) และ 82.50 ตัน (ขณะทำงาน) น้ำหนักกดเพลลา : 13.75 ตัน ระยะเพลลา : 1.65 เมตร</p>
ALSTHOM (AHK)	 <p>รูปที่ 2.7 หัวรถจักร Alsthom (AHK) (ที่มา : <a href="https://th.wikipedia.org/wiki/รถจักรดีเซลไฟฟ้าในประเทศไทย">https://th.wikipedia.org/wiki/รถจักรดีเซลไฟฟ้าในประเทศไทย</a>)</p>	<p>ชนิดรถจักร : รถจักรดีเซลไฟฟ้า หมายเลขรถ : 4201-4230 เครื่องยนต์ : Pielstick 16PA4V185VG ขนาด 7000 ซีซี. 8 สูบ เครื่องยนต์เดี่ยว กำลังขับเคลื่อน : 2,400 แรงม้า ที่ 1,500 รอบต่อนาที ความเร็วสูงสุด : 100 กม./ชม. การจัดวางล้อ : Co-Co</p>


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง 2.4 ประเภทของหัวรถจักร (ต่อ)

รุ่น	ภาพตัวอย่าง	ลักษณะเฉพาะ
	รูปที่ 2.7 หัวรถจักร Alstom (AHK) (ที่มา : <a href="https://th.wikipedia.org/wiki/รถจักรดีเซลไฟฟ้าในประเทศไทย">https://th.wikipedia.org/wiki/รถจักรดีเซลไฟฟ้าในประเทศไทย</a> )	น้ำหนักตัวรถ : 77.50 ตัน (เมื่อจอดนิ่ง) / 82.50 ตัน (ขณะทำขบวน) น้ำหนักกดเพลลา : 13.75 ตัน ระยะเพลลา : 1.65 เมตร
THN	 รูปที่ 2.8 รูปที่ หัวรถจักร THN (ที่มา : <a href="https://th.wikipedia.org/รถดีเซลราง">https://th.wikipedia.org/รถดีเซลราง</a> )	ชนิดรถจักร : รถจักรดีเซลราง หมายเลขรถ : 1101-1140 เครื่องยนต์ : Cummins N855-R2 กำลังขับเคลื่อน : 235 แรงม้า ที่ 2,100 รอบต่อนาที ความเร็วสูงสุด : 100 กิโลเมตร/ชั่วโมง การจัดวางล้อ : 1A-2 น้ำหนักตัวรถ : 33.500 ตัน (น้ำหนักรถเปล่า) 35.322 ตัน (น้ำหนักขณะทำขบวน) น้ำหนักกดเพลลา : 12 ตัน ระยะเพลลา : 2.10 เมตร
GEA (CM22-7i)	 รูปที่ 2.9 หัวรถจักร GEA (CM22-7i) (ที่มา : <a href="https://th.wikipedia.org/wiki/รถจักรดีเซลไฟฟ้าในประเทศไทย">https://th.wikipedia.org/wiki/รถจักรดีเซลไฟฟ้าในประเทศไทย</a> )	ชนิดรถจักร : รถจักรดีเซลไฟฟ้า หมายเลขรถ : 4523-4560 เครื่องยนต์ : Cummins KTA-50L ขนาดความจุ 5000 ซีซี. 10 สูบ มี 2 เครื่องยนต์ กำลังขับเคลื่อน : 2 x 1,250 แรงม้า ที่ 1,800 รอบต่อนาที ความเร็วสูงสุด : 100 กม./ชม. การจัดวางล้อ : Co-Co น้ำหนักตัวรถ : 80.60 ตัน (จอดนิ่ง) และ 86.50 ตัน (ขณะทำขบวน) น้ำหนักกดเพลลา : 14.42 ตัน ระยะเพลลา : 1.80 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง 2.4 ประเภทของหัวรถจักร (ต่อ)

รุ่น	ภาพตัวอย่าง	ลักษณะเฉพาะ
HITACHI (HID )	 <p>รูปที่ 2.10 หัวรถจักร Hitachi (HID) (ที่มา : <a href="https://th.wikipedia.org/wiki/รถจักรดีเซลไฟฟ้าในประเทศไทย">https://th.wikipedia.org/wiki/รถจักรดีเซลไฟฟ้าในประเทศไทย</a>)</p>	<p>ชนิดรถจักร : รถจักรดีเซลไฟฟ้า หมายเลขรถ : 4501-4522 เครื่องยนต์ : Cummins KTTA-50L ขนาดความจุ 8000 ซีซี. 12 สูบ มี 2 เครื่องยนต์ กำลังขับเคลื่อน : 2 x 1430 แรงม้า ที่ 1,800 รอบต่อนาที ความเร็วสูงสุด : 100 - 120 กม./ชม. การจัดวางล้อ : Co-Co น้ำหนักตัวรถ : 84.50 ตัน (เมื่อจอดนิ่ง) และ 90.00 ตัน (ขณะทำขบวน) น้ำหนักกดเพลลา : 15.00 ตัน ระยะเพลลา : 1.85 เมตร</p>
GEK (UM12C)	 <p>รูปที่ 2.11 หัวรถจักร GEK (UM12C) (ที่มา : <a href="http://www.geocities.ws/railsthai/train01.htm">http://www.geocities.ws/railsthai/train01.htm</a>)</p>	<p>ชนิดรถจักร : รถจักรดีเซลไฟฟ้า หมายเลขรถ : 4001-4050 เครื่องยนต์ : Cummins KT38-L ขนาดความจุ 3,800 ซีซี. 12 สูบ มี 2 เครื่องยนต์ กำลังขับเคลื่อน : 660 แรงม้า X 2 เครื่อง = 1320 แรงม้า ที่รอบ 1,985 รอบต่อนาที ความเร็วสูงสุด : 103 กม./ชม. แต่ถูกกำหนดไว้ที่ 95 กม./ชม. การจัดวางล้อ : แบบล้อ Co-Co น้ำหนักตัวรถ : 70.178 ตัน (เมื่อจอดนิ่ง) / 75.00 ตัน (ขณะทำขบวน) น้ำหนักกดเพลลา : 12.5 ตัน ระยะเพลลา : 1.911 เมตร (เพลลาแรก) ระยะเพลลา : 1.803 เมตร (เพลลาหลัง)</p>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง 2.4 ประเภทของหัวรถจักร (ต่อ)

รุ่น	ภาพตัวอย่าง	ลักษณะเฉพาะ
CSR Qishuyan U20 (SDA3)	 <p>รูปที่ 2.12 หัวรถจักร Quishuyan (SDA3) (ที่มา : <a href="https://th.wikipedia.org/wiki/รถจักรดีเซลไฟฟ้าในประเทศไทย">https://th.wikipedia.org/wiki/รถจักรดีเซลไฟฟ้าในประเทศไทย</a>)</p>	ชนิดรถจักร : รถจักรดีเซลไฟฟ้า หมายเลขรถ : 5101 - 5120 เครื่องยนต์ : Caterpillar C175 ACERT แรงม้า : 3,800 แรงม้า ความเร็วสูงสุด : 110 กิโลเมตร/ชั่วโมง การจัดวางล้อ : Co-Co น้ำหนักตัวรถ : 120 ตัน น้ำหนักกดเพลลา : 20 ตัน ระยะห่างเพลลา : 1.80 เมตร
NKF	 <p>รูปที่ 2.13 หัวรถจักร NKF (ที่มา : <a href="https://th.wikipedia.org/รถดีเซลราง">https://th.wikipedia.org/รถดีเซลราง</a>)</p>	ชนิดรถจักร : รถจักรดีเซลราง หมายเลขรถ : 1201-1264 เครื่องยนต์ : Cummins N855-R2 กำลังขับเคลื่อน : 235 แรงม้า ที่ 2,100 รอบต่อนาที ความเร็วสูงสุด : 100 กิโลเมตร/ชั่วโมง การจัดวางล้อ : 1A-2 น้ำหนักตัวรถ : 33.500 ตัน (น้ำหนักรถเปล่า) 35.322 ตัน (น้ำหนักขณะทำงาน) น้ำหนักกดเพลลา : 12 ตัน ระยะเพลลา : 2.10 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.6.1 ลักษณะการจัดวางล้อของหัวรถจักร

การจัดวางล้อจะระบุเป็นตัวเลขหรือตัวอักษรดังต่อไปนี้

ล้อรับน้ำหนักจะระบุเป็นตัวเลขตามจำนวนเพลลา เช่น 1, 2, 3, ...

ล้อกำลังจะระบุเป็นตัวอักษรตามจำนวนเพลลา เช่น A, B, C, ...

ตัวโอเล็ก “o” หมายถึง ล้อนั้นมีมอเตอร์ขับเคลื่อน

เครื่องหมาย - หมายถึง แคร่ล้อนั้นแยกกันอยู่

เครื่องหมาย + หมายถึง แต่ละแคร่อยู่บนโครงเดียวกัน [5] และลักษณะการจัดวางล้อที่พบในรถไฟในตารางที่ 2.2 มีดังนี้

(1) แบบ Co – Co หมายถึง หัวรถจักรมี 2 แคร่ และใน 1 แคร่จะมี 3 เพลลา โดยล้อกำลังมีมอเตอร์ขับเคลื่อนแยกกัน 3 เพลลา

(2) แบบ Bo – Bo หมายถึง มี 2 แคร่ และใน 1 แคร่จะมี 2 เพลลา ล้อกำลังมีมอเตอร์ขับเคลื่อนแยกกัน 2 เพลลา

(3) แบบ 1A-2 หมายถึง มี 2 แคร่ โดยแคร่แรกเป็นล้อรับน้ำหนัก 1 เพลลา ล้อขับเคลื่อน 1 เพลลา และ แคร่สองเป็นล้อรับน้ำหนักทั้งสองเพลลา นับไล่จากหน้ามาหลัง

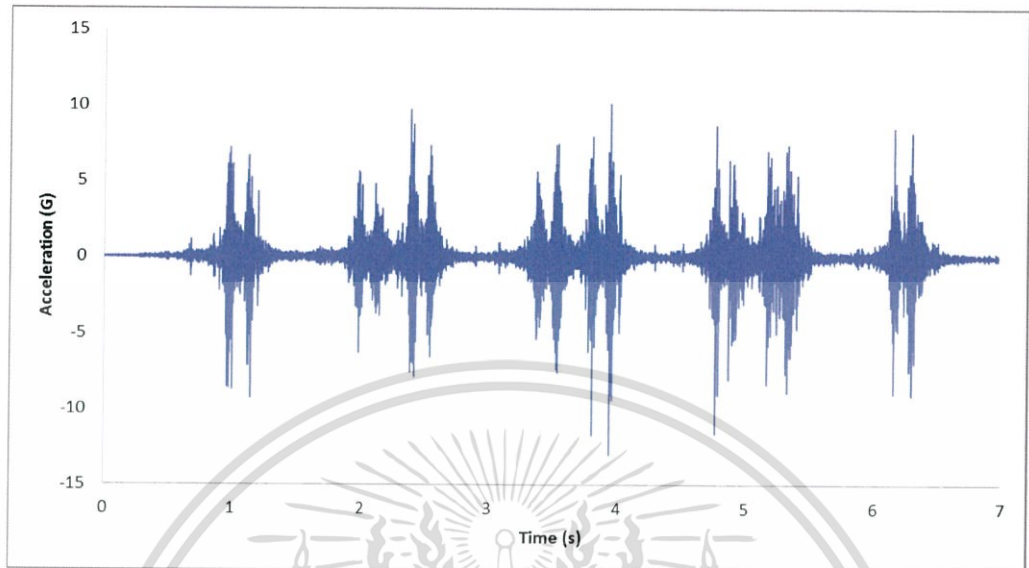
## 2.7 ทฤษฎีที่ใช้ในการตรวจจذبรถไฟ [1]

ในส่วนนี้จะนำเสนอทฤษฎีที่ใช้ทำให้ทราบถึงวิธีการและเกณฑ์ในการตรวจจذبรถไฟ โดยผู้ทดลองได้นำเซนเซอร์ Kistler SN8692C50 IEPE accelerometer ไปตรวจจذبรถไฟสัญญาณความเร่งซึ่งจะสามารถแบ่งประเภทของรถไฟได้ 2 ชนิดคือ หัวรถจักรดีเซลราง และหัวรถจักรดีเซลไฟฟ้า ซึ่งแสดงได้ดังนี้

### 2.7.1 สัญญาณความเร่งที่เกิดจากหัวรถจักรดีเซลรางและดีเซลไฟฟ้า

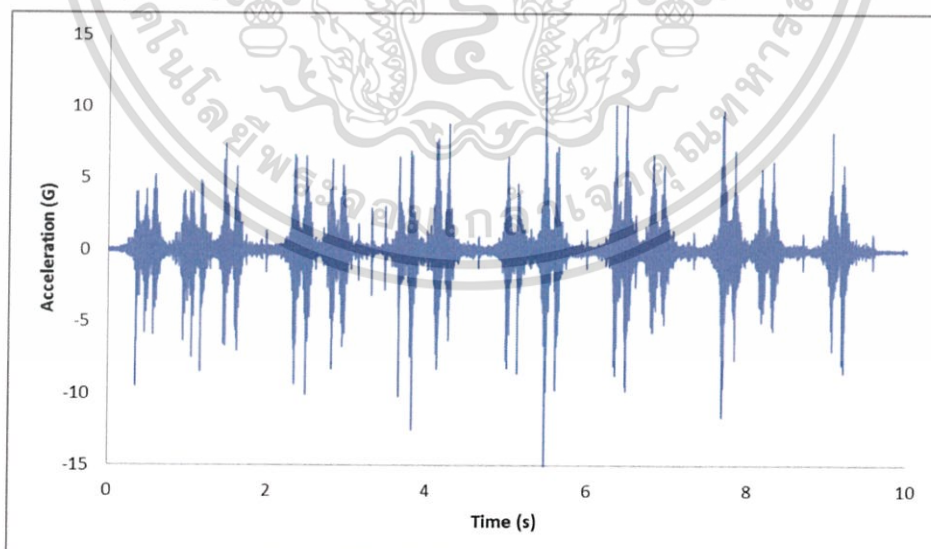
ผลการทดลองที่ได้จากการนำ Kistler SN8692C50 IEPE accelerometer ไปทำการวัดสัญญาณความเร่งจากรถไฟ โดยติดตั้งอุปกรณ์ดังกล่าวไว้ที่บริเวณไม้หมอน ซึ่งผลการทดลองจะมีลักษณะดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.14 สัญญาณความเร่งที่เกิดจากหัวรถจักรดีเซลราง

จากรูปที่ 2.19 เป็นสัญญาณที่เกิดจากรถไฟขบวน 281 (กรุงเทพ-กบินทร์บุรี) รอบเวลา 8.55 น. ณ สถานีพระจอมเกล้า หัวรถจักรดีเซลราง รุ่น NKF



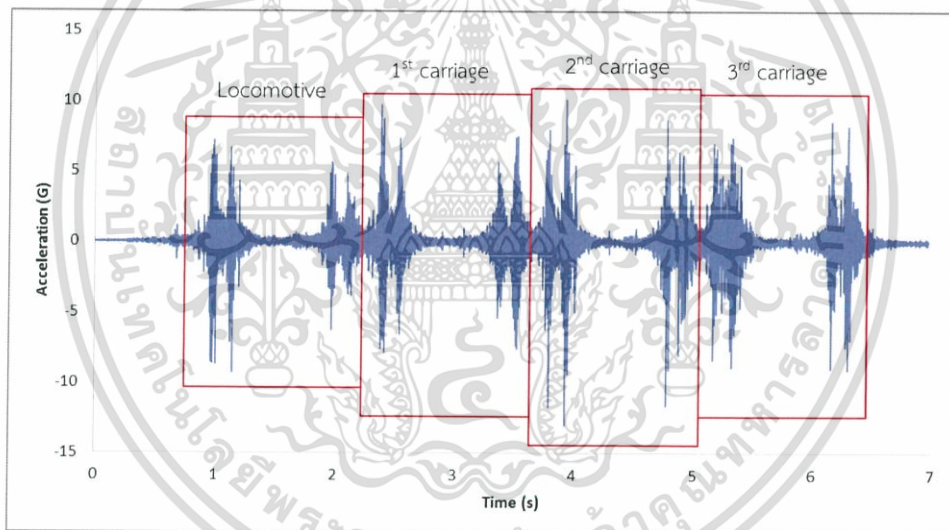
รูปที่ 2.15 สัญญาณความเร่งของหัวรถจักรดีเซลไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.2 เป็นสัญญาณที่เกิดจากรถไฟขบวน 383 (กรุงเทพ-ฉะเชิงเทรา) รอบเวลา 18.04 น. ณ สถานีพระจอมเกล้า หัวรถจักรดีเซลไฟฟ้า รุ่น ALSTHOM ซึ่งสามารถวิเคราะห์หาส่วนประกอบต่าง ๆ ได้ดังนี้

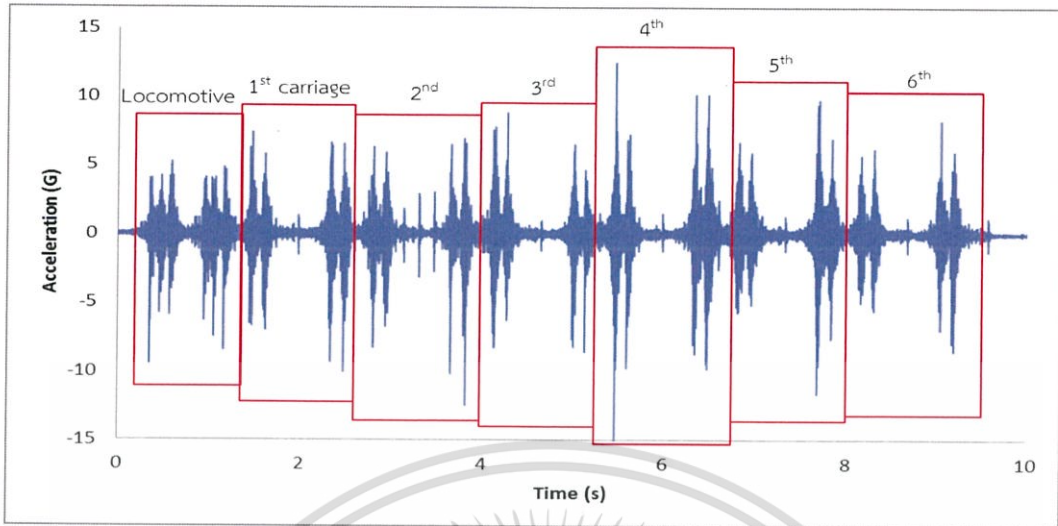
### 2.7.1.1 การหาจำนวนตู้โดยสาร

การหาจำนวนตู้โดยสารนั้น สามารถทำได้โดยการนำเอากราฟสัญญาณความเร่งของหัวรถจักรแต่ละประเภท มาแยกเป็นส่วนต่าง ๆ ให้มองเห็นภาพได้ชัดเจนยิ่งขึ้น โดยจะแบ่งเป็นขบวนหัวรถจักร (Locomotive) และขบวนตู้โดยสาร (Carriage) ซึ่งผลการทดลองมีทั้งกราฟของรถดีเซลราง (รูปที่ 2.21) และกราฟรถดีเซลไฟฟ้า (รูปที่ 2.22) ดังนี้



รูปที่ 2.16 การวิเคราะห์ส่วนประกอบต่างๆ จากกราฟสัญญาณการสั่นสะเทือนของรถดีเซลราง ซึ่งกราฟที่ได้ทำการดัดแปลงมาจากกราฟในรูปที่ 2.19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



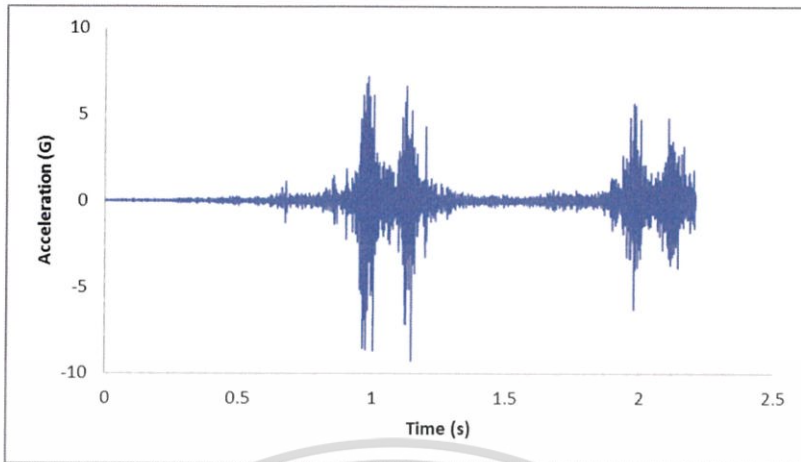
รูปที่ 2.17 การวิเคราะห์ส่วนประกอบต่างๆ จากกราฟสัญญาณการสั่นสะเทือนของรถดีเซลไฟฟ้า ซึ่งกราฟที่ได้ ทำการตัดแปลงมาจากกราฟในรูปที่ 2.20

จากรูปที่ 2.21 สามารถบอกได้ว่า รถไฟคันนี้มีทั้งหมด 4 ตู้ โดยประกอบด้วย ขบวนหัวรถจักรดีเซลราง 1 ตู้ และขบวนตู้โดยสาร 3 ตู้

และรูปที่ 2.22 สามารถบอกได้ว่า รถไฟคันนี้มีทั้งหมด 7 ตู้ โดยประกอบด้วย ขบวนหัวรถจักรดีเซลไฟฟ้า 1 ตู้ และขบวนตู้โดยสาร 6 ตู้

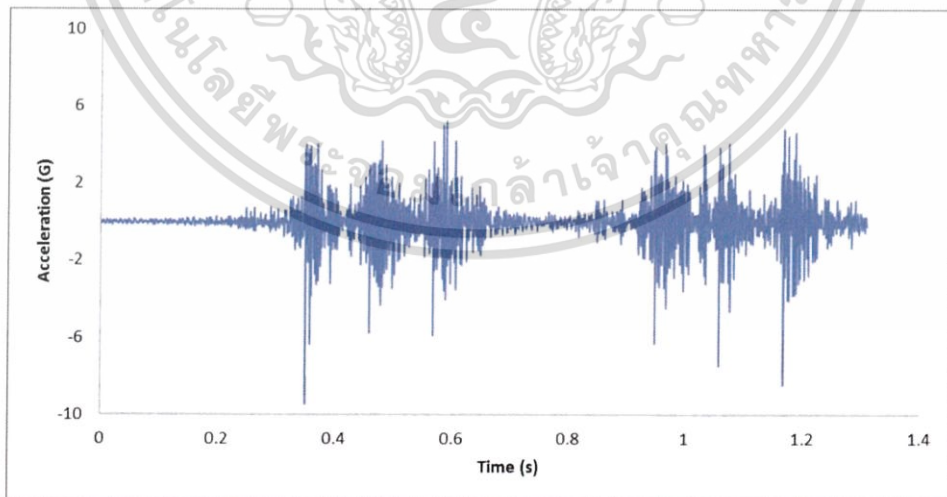
#### 2.7.1.2 การแยกประเภทของหัวรถจักร

จากกราฟสัญญาณความเร่งขงหัวรถจักรในหัวข้อที่ผ่านมา ซึ่งเมื่อได้ทำการขยายดู เฉพาะในส่วนของหัวรถจักร จะสามารถบอกได้ว่าเป็นหัวรถจักรชนิดใด ซึ่งมีผลการทดลองดังนี้



รูปที่ 2.18 ลักษณะของหัวรถจักรดีเซลราง

จากรูปที่ 2.23 เป็นกราฟที่ได้ทำการขยายกราฟจากรูปที่ 2.19 ในช่วงเวลาที่ 0 ถึง 2.21 วินาที ซึ่งจะอยู่ในส่วนของ Locomotive หรือหัวรถจักร ซึ่งจะพบว่า กราฟมีลักษณะเป็นกราฟที่มี 4 จุดยอดที่สังเกตเห็นได้ชัด ดังที่ได้แสดงในรูปที่ 2.23 ซึ่งเป็นลักษณะการจัดวางล้อแบบ Bo – Bo หรือ 1A – 2 และลักษณะการจัดวางล้อประเภทนี้ถูกพบใน หัวรถจักร GEK (UM12C) และ หัวรถจักรดีเซลรางตามลำดับ



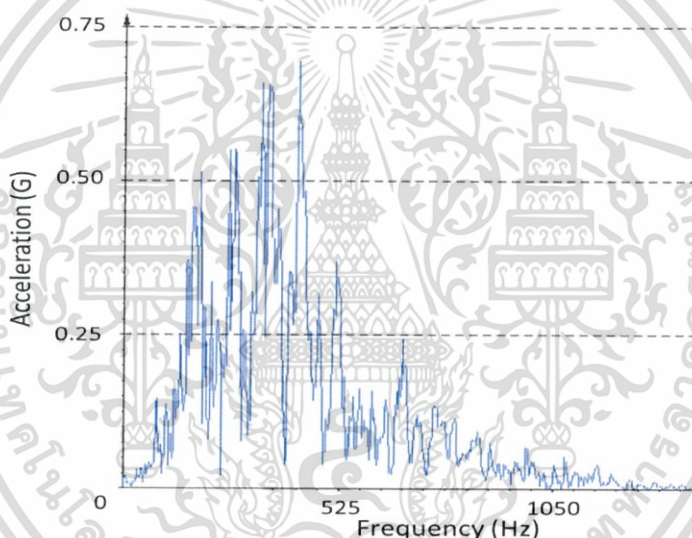
รูปที่ 2.19 ลักษณะหัวรถจักรดีเซลไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.24 เป็นกราฟที่ได้ทำการขยายกราฟจากรูปที่ 2.20 ในช่วงเวลาที่ 0 ถึง 0.131 วินาที ซึ่งจะอยู่ในส่วนของ Locomotive หรือหัวรถจักร ซึ่งจะพบว่า กราฟมีลักษณะเป็นกราฟที่มี 6 จุดยอดที่สังเกตเห็นได้ชัด ดังที่ได้แสดงในรูปที่ 2.24 ซึ่งเป็นลักษณะการจัดวางล้อแบบ Co - Co และลักษณะการจัดวางล้อประเภทนี้ถูกพบใน หัวรถจักรประเภทดีเซลไฟฟ้า

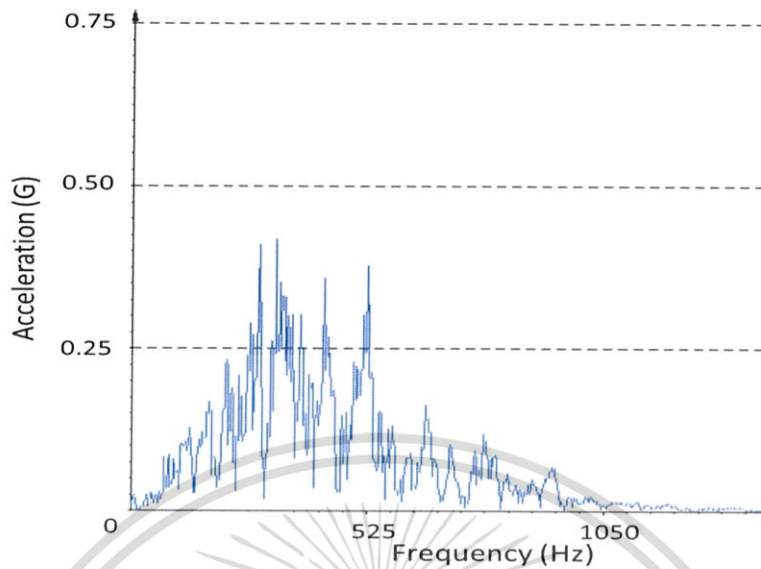
### 2.7.1.3 การหาย่านของความถี่ตอบสนอง

เมื่อนำข้อมูลสัญญาณความเร่งที่ได้มาจากการเก็บข้อมูลของรถไฟแต่ละขบวนมาแปลงสัญญาณให้อยู่ในรูป Fast Fourier Transform (FFT) จะมีลักษณะดังนี้



รูปที่ 2.20 ผลจากการแปลงสัญญาณ FFT จากกราฟสัญญาณความเร่งของหัวรถจักรดีเซลราง

จากรูปที่ 2.25 แปลงมาจากกราฟสัญญาณความเร่งของหัวรถจักรดีเซลราง (รูปที่ 2.19) ที่เกิดจากสันของเพลลาแรก จากกราฟ Time plot เป็นการรวมเอาแอมพลิจูดของทุก ๆ ความถี่ที่เกิดขึ้นในขนาดนั้นมารวมกัน ทำให้มีแอมพลิจูดที่สูงกว่า FFT และในขณะเดียวกันในสัญญาณ FFT เป็นการแยกเอาแอมพลิจูดของในแต่ละความถี่ออกมา ทำให้มีแอมพลิจูดต่ำกว่ากราฟ time plot



รูปที่ 2.21 ผลจากการแปลงสัญญาณ FFT จากกราฟสัญญาณความเร่งของหัวรถจักรดีเซลไฟฟ้า

รูปที่ 2.26 เป็นกราฟ FFT ที่แปลงมาจากกราฟสัญญาณความเร่งของหัวรถจักรดีเซลไฟฟ้า (รูปที่ 2.20)

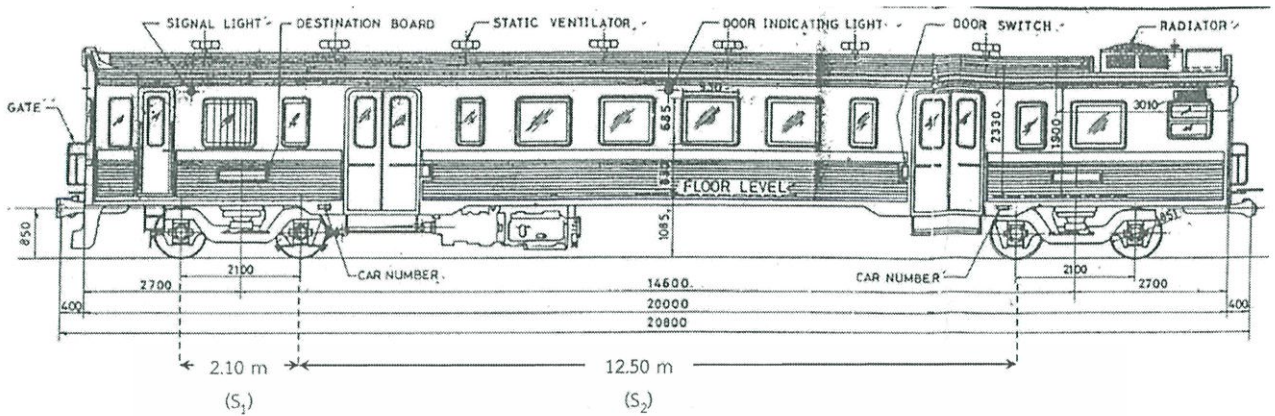
จากนั้นเมื่อสัญญาณอยู่ในรูปของ FFT จะสามารถเห็นย่านความถี่ของแรงที่กระทำกับรางรถไฟได้ชัดเจน ซึ่งพบว่าย่านความถี่ของแรงที่กระทำกับรางรถไฟจะอยู่ในช่วง 1 ถึง 1000 Hz

#### 2.7.1.4 การหาระยะเพลลาของหัวรถจักร

เพื่อตรวจสอบตรวจสอบความแม่นยำของกราฟสัญญาณความเร่งของหัวรถจักร จึงจำเป็นต้องคำนวณหาระยะเพลลาจากความเร็วที่วัดได้และระยะเวลาที่ใช้ ซึ่งมีตัวอย่างการคำนวณและการกำหนดระยะต่าง ๆ ของหัวรถจักรทั้ง 2 ประเภทดังนี้

##### (1) การหาระยะเพลลาของหัวรถจักรดีเซลราง

การหาระยะเพลลาของหัวรถจักรดีเซลรางนั้น หาได้โดยการนำเอาระยะเวลาระหว่างเพลลาของหัวรถจักรซึ่งสามารถหาได้จากกราฟสัญญาณความเร่ง และใช้ความเร็วของรถไฟมาคูณ ทำให้ได้ระยะเพลลาที่คำนวณได้จากกราฟ และนำไปเปรียบเทียบกับระยะจริง (รูปที่ 2.27) ซึ่งจะเป็นการยืนยันว่ากราฟสัญญาณความเร่งนั้นมีความถูกต้อง



รูปที่ 2.22 แบบแปลนบางส่วนของหัวรถจักร NKf

(ที่มา แบบแปลนรถไฟที่แสดงในภาคผนวก )

การหาระยะเวลาของหัวรถจักรดีเซลรางทำได้โดยการหาเวลาที่ใช้ในแต่ละช่วง โดยจะแบ่งเป็น 2 ช่วง คือ

$t_1$  คือ ระยะเวลาที่ใช้ระหว่างเพลาที่ติดกันของโบกี้แรก โดยมีหลักเกณฑ์ในการวัดคือ เวลาที่ค่าความเร่งขนาด  $4g$  ในจุดยอดที่หนึ่งจนถึงเวลาที่ค่าความเร่งขนาด  $4g$  อีกครั้งในจุดยอดที่สอง

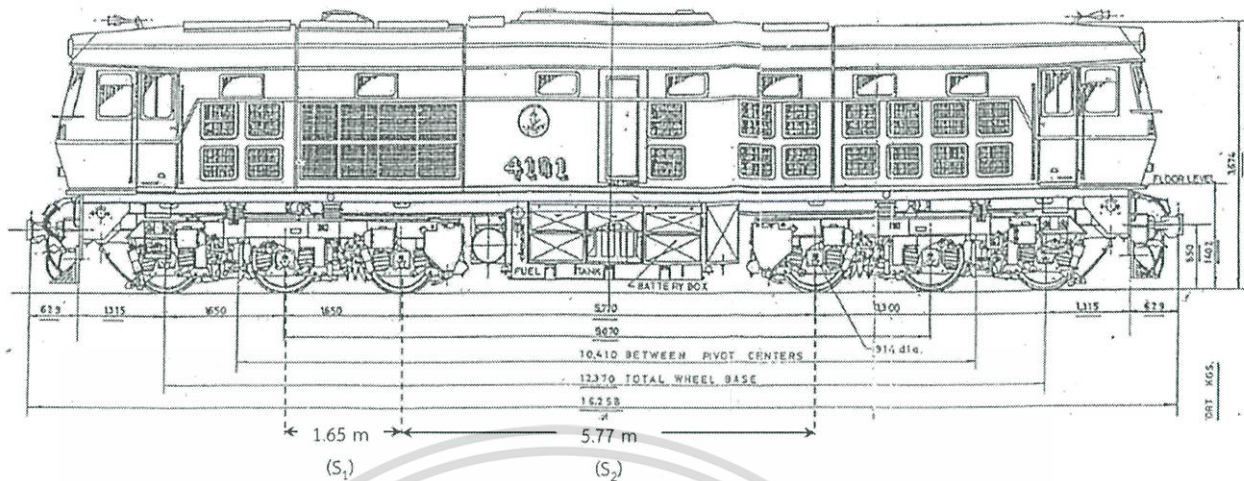
$t_2$  คือ ระยะเวลาระหว่างเพลาสุดท้ายของแคร่แรกและเพลาแรกของแคร่ที่สอง โดยมีหลักเกณฑ์ในการวัดคือ เวลาที่ค่าความเร่งขนาด  $4g$  ในจุดยอดที่สองจนถึงเวลาที่ค่าความเร่งขนาด  $4g$  อีกครั้งในจุดยอดที่สาม

ดังนั้นเมื่อรู้ค่า  $t_1$  และ  $t_2$  จึงทำให้สามารถหาระยะ  $S_1$  และ  $S_2$  จากการคำนวณได้

## (2) การหาระยะเวลาของหัวรถจักรดีเซลไฟฟ้า

การหาระยะเวลาของหัวรถจักรดีเซลไฟฟ้านั้น หาได้โดยการนำเอาระยะเวลาระหว่างเพลาของหัวรถจักรซึ่งสามารถหาได้จากกราฟสัญญาณความเร่ง และใช้ความเร็วของรถไฟมาคูณ ทำให้ได้ระยะเวลาที่คำนวณได้จากกราฟ และนำไปเปรียบเทียบกับระยะจริง(รูปที่ 2.28) ซึ่งจะเป็นการยืนยันว่ากราฟสัญญาณความเร่งนั้นมีความถูกต้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.23 แบบแปลนบางส่วนของหัวรถจักร ALSTHOM  
(ที่มา แบบแปลนรถไฟที่แสดงในภาคผนวก ข)

การหาระยะเวลาของหัวรถจักรดีเซลไฟฟ้ามีการหาที่คล้ายกับรถดีเซลราง ทำได้โดยการหาเวลาที่ใช้ในแต่ละช่วง โดยจะแบ่งเป็น 2 ช่วง คือ

$t_1$  คือ ระยะเวลาที่ใช้ระหว่างเพลลาที่ติดกันของโบกี้แรก โดยมีหลักเกณฑ์ในการวัดคือ เวลาที่ค่าความเร่งขนาด  $4g$  ในจุดยอดที่หนึ่งจนถึงเวลาที่ค่าความเร่งขนาด  $4g$  อีกครั้งในจุดยอดที่สอง

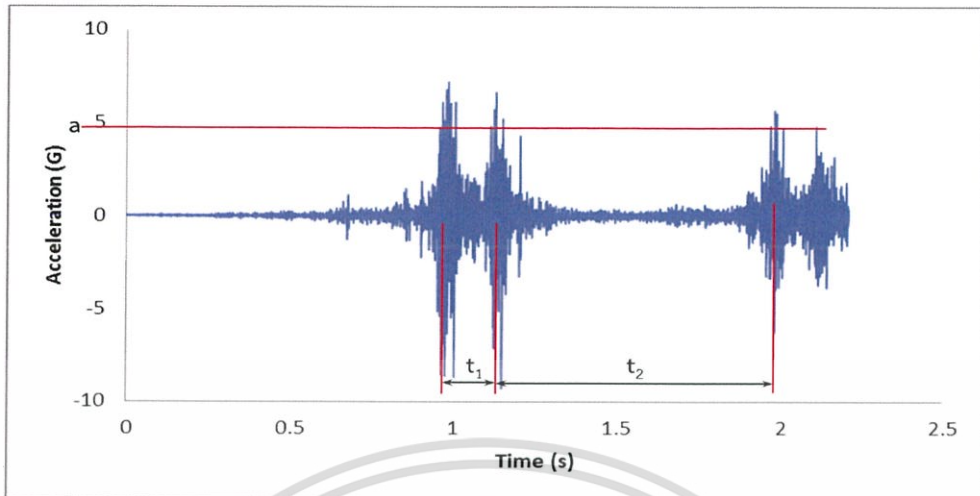
$t_2$  คือ ระยะเวลาระหว่างเพลลาสุดท้ายของแคร่แรกและเพลลาแรกของแคร่ที่สอง โดยมีหลักเกณฑ์ในการวัดคือ เวลาที่ค่าความเร่งขนาด  $4g$  ในจุดยอดที่สามจนถึงเวลาที่ค่าความเร่งขนาด  $4g$  อีกครั้งในจุดยอดที่สี่

ดังนั้นเมื่อรู้ค่า  $t_1$  และ  $t_2$  จึงทำให้สามารถหาระยะ  $S_1$  และ  $S_2$  จากการคำนวณได้

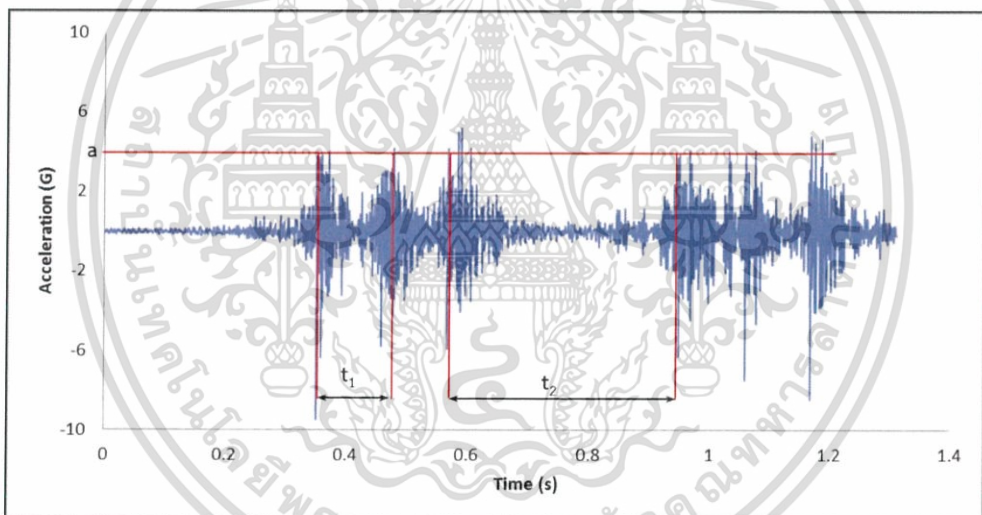
### 2.7.2 เกณฑ์ในการเตือนสัญญาณจากรถไฟ

จากผลการทดลองทำให้สามารถบอกลักษณะทางกายภาพของรถไฟได้ เช่น จำนวนล้อของรถไฟ ประเภทของหัวรถจักร ความเร็วที่ใช้ในการเดินทาง จำนวนตู้โดยสาร และเวลาที่ใช้ในแต่ละจุดบนรถไฟ ทำให้สามารถสร้างเกณฑ์ในการเตือนได้โดยใช้กราฟในรูปที่ 2.29 และรูปที่ 2.30 ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.24 เกณฑ์ในการเตือนสัญญาณความเร่งของรถดีเซลราง



รูปที่ 2.25 เกณฑ์ในการเตือนสัญญาณความเร่งของรถดีเซลไฟฟ้า

โดยที่  $a$  คือ ค่าความเร่ง ณ จุดยอด ที่มีค่าน้อยที่สุด

$t_1$  และ  $t_2$  คือ ระยะเวลาที่ใช้ระหว่างเพลลาที่ได้กล่าวไว้ในหัวข้อที่ 2.7.1.4

ดังนั้นเกณฑ์ที่ใช้ในการตรวจจับควรเป็นค่า  $a$ ,  $t_1$  และ  $t_2$  ที่น้อยที่สุดเพื่อที่จะสามารถตรวจจับได้ทุกขบวนการทั้งแบบของรถดีเซลรางและรถดีเซลไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.7.3 การเลือกขนาดของ MEMS accelerometer

จากข้อมูลในที่ได้กล่าวมา พบว่าเซนเซอร์ MEMS accelerometer มีจะนำมาใช้งานจริง ต้องมีคุณสมบัติคือ มีช่วงการวัดที่มากกว่า 4g และต้องมีย่านความถี่ตอบสนองมากกว่า 1000 Hz ซึ่งพบว่าเซนเซอร์ที่มีลักษณะนี้ คือ ADXL345 MEMS accelerometer และได้เปรียบเทียบคุณสมบัติกับ IEPE accelerometer รุ่น 8692C50 ได้ดังนี้

ตาราง 2.5 การเปรียบเทียบคุณสมบัติของ Accelerometer

Specification	8692C50	ADXL345
Measurement Range (G)	80	16
Bandwidth (Hz)	5000	3200
Operating voltage (V)	20 - 30	2.0-3.6
Supply current (mA)	2 - 20	0.145
Temperature operating (°C)	0 - 65	-40 - 105

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### บทที่ 3

#### การออกแบบการทดลองและการตั้งค่าอุปกรณ์ของระบบสัญญาณไฟเตือนรถไฟ

ในส่วนของบทนี้จะแสดงถึงการออกแบบระบบสัญญาณไฟเตือนรถไฟโดยใช้สัญญาณความถี่ที่เกิดขึ้น หลักการทำงานของระบบเตือน ข้อมูลและการตั้งค่าอุปกรณ์ทั้งหมดรวมถึงวิธีการทดลองระบบแจ้งเตือน

##### 3.1 ระบบสัญญาณไฟเตือนรถไฟ

ระบบที่ใช้ตรวจจับรถไฟนี้จะทำงานโดยการส่งสัญญาณความถี่จากตัวตรวจจับมาแสดงผลเป็นไฟเตือนเพื่อบอกถึงการมาของรถไฟ โดยมีแผนภาพแสดงดังรูปด้านล่างนี้

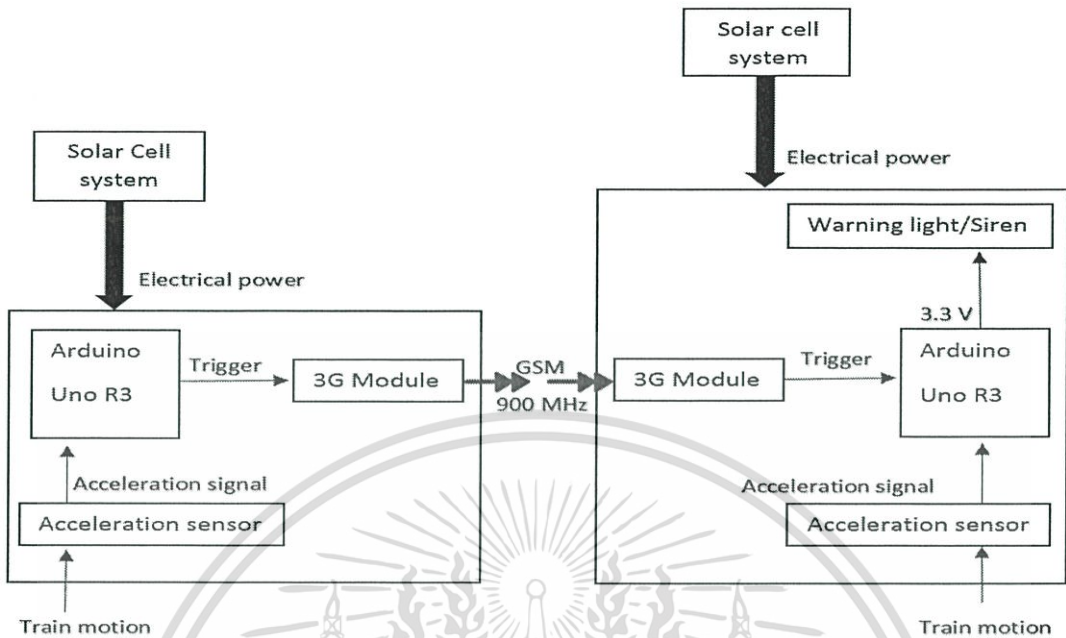


รูปที่ 3.1 แสดงภาพรวมการทำงานของระบบสัญญาณไฟเตือนโดยใช้การวัดการสั่นสะเทือน

รูปที่ 3.1 แสดงระบบสัญญาณไฟเตือนโดยใช้การวัดการสั่นสะเทือน เป็นระบบที่พิจารณาความถี่ที่เกิดขึ้นบนหมอนรถไฟ โคนมีที่มาจากคลื่นความถี่ที่สร้างโดยรถไฟ ระบบสัญญาณไฟเตือนนี้แบ่งเป็น 2 การทำงานหลัก ประกอบด้วย ตัวส่งสัญญาณและตัวรับสัญญาณ มีรูปแบบดังนี้

(1) ตัวส่งสัญญาณ (Detector) ทำหน้าที่ตรวจจับค่าความถี่ที่เกิดจากรถไฟ โดยเซนเซอร์วัดความถี่ช่วงการวัดที่  $\pm 8$  g ความถี่ตอบสนอง 1 – 1600 Hz นำค่าที่วัดได้มาเข้ารูปแบบการตรวจจับรถไฟ เมื่อได้ข้อมูลที่ต้องการ จะทำการส่งสัญญาณเตือนไปยังตัวรับสัญญาณ

(2) ตัวรับสัญญาณ (Receiver) ทำหน้าที่เป็นตัวเตือนรถไฟขณะมีรถไฟเข้ามาในพื้นที่ที่ต้องการ โดยการรับสัญญาณที่ส่งมาจากตัวส่งสัญญาณ เมื่อตัวรับสัญญาณได้รับสัญญาณเตือน ระบบจะทำการเปิดสวิตช์ไฟ เพื่อเป็นการเตือนป้องกันอันตรายที่เกิดจากรถไฟและเมื่อขบวนรถไฟได้ทำการวิ่งมาถึงเสาเตือน จะมีเซนเซอร์วัดความถี่ที่ทำงานอยู่ช่วงการวัดที่  $\pm 8$  g ความถี่ตอบสนอง 1 – 1600 Hz ทำการตรวจจับรูปแบบรถไฟแล้วทำการปิดสวิตช์ไฟเตือน



รูปที่ 3.2 แผนภาพแสดงการทำงานของระบบสัญญาณไฟเตือนรถไฟ

รูปที่ 3.2 หลักการทำงานของระบบสัญญาณเตือนรถไฟจะทำงานเมื่อได้รับสัญญาณความเร่งจากรถไฟที่เคลื่อนที่ผ่านเซนเซอร์และเซนเซอร์จะทำการส่งสัญญาณความเร่งเข้าสู่ Arduino เพื่อทำการตรวจจ็บบรูปแบบรถไฟให้ถูกต้องและทำการส่งข้อมูลโดยผ่าน 3G Module เป็นคลื่นสัญญาณโทรศัพท์ที่มีความถี่ 900 MHz หลังจากนั้น ฝั่งตัวรับสัญญาณจะเริ่มทำงานเมื่อได้รับสัญญาณโทรศัพท์โดย Arduino จะตรวจสอบว่าสัญญาณถูกต้องและจะทำการประมวลผลเพื่อส่งสัญญาณต่อไปยัง Relay โดย Relay จะทำหน้าที่เปิดสัญญาณไฟ ต่อมาเมื่อเซนเซอร์ตัวรับสัญญาณได้รับสัญญาณความเร่งซึ่งจะส่งต่อเข้าสู่ Arduino เพื่อทำการตรวจจ็บบรูปแบบรถไฟให้ถูกต้อง และทำการส่งกระแสไฟฟ้าเข้า Relay เพื่อปิดระบบไฟเตือน โดยทั้งระบบนี้จะได้รับพลังงานไฟจากระบบโซลาร์เซลล์ (Solar Cell System)

### 3.1.1 การติดตั้งระบบ

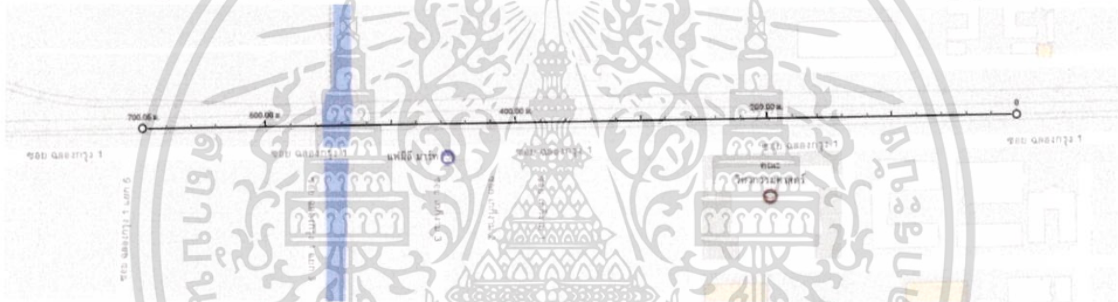
สัญญาณเตือนจะติดตั้งบริเวณทางตัดผ่านหอพักสถาบัน ซึ่งติดตั้งอยู่ในช่วงระหว่างซอยฉลองกรุง แยก 5 ถึงทางเชื่อมหอพักสถาบัน มีระยะทางรวมทั้งหมด ประมาณ 700 เมตร ตัวส่งสัญญาณจะติดตั้งอยู่ที่บริเวณ ซอยฉลองกรุง แยก 5 (รูปที่ 3.3) ตัวรับสัญญาณและสัญญาณไฟเตือน จะติดตั้งที่บริเวณ ทางตัดผ่านหอพักสถาบัน (รูปที่ 3.4) แสดงจุดติดตั้งสัญญาณและระยะทางรวมทั้งหมดดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.3 รูปตัวส่งสัญญาณ



รูปที่ 3.4 ตัวรับสัญญาณและสัญญาณไฟเตือน

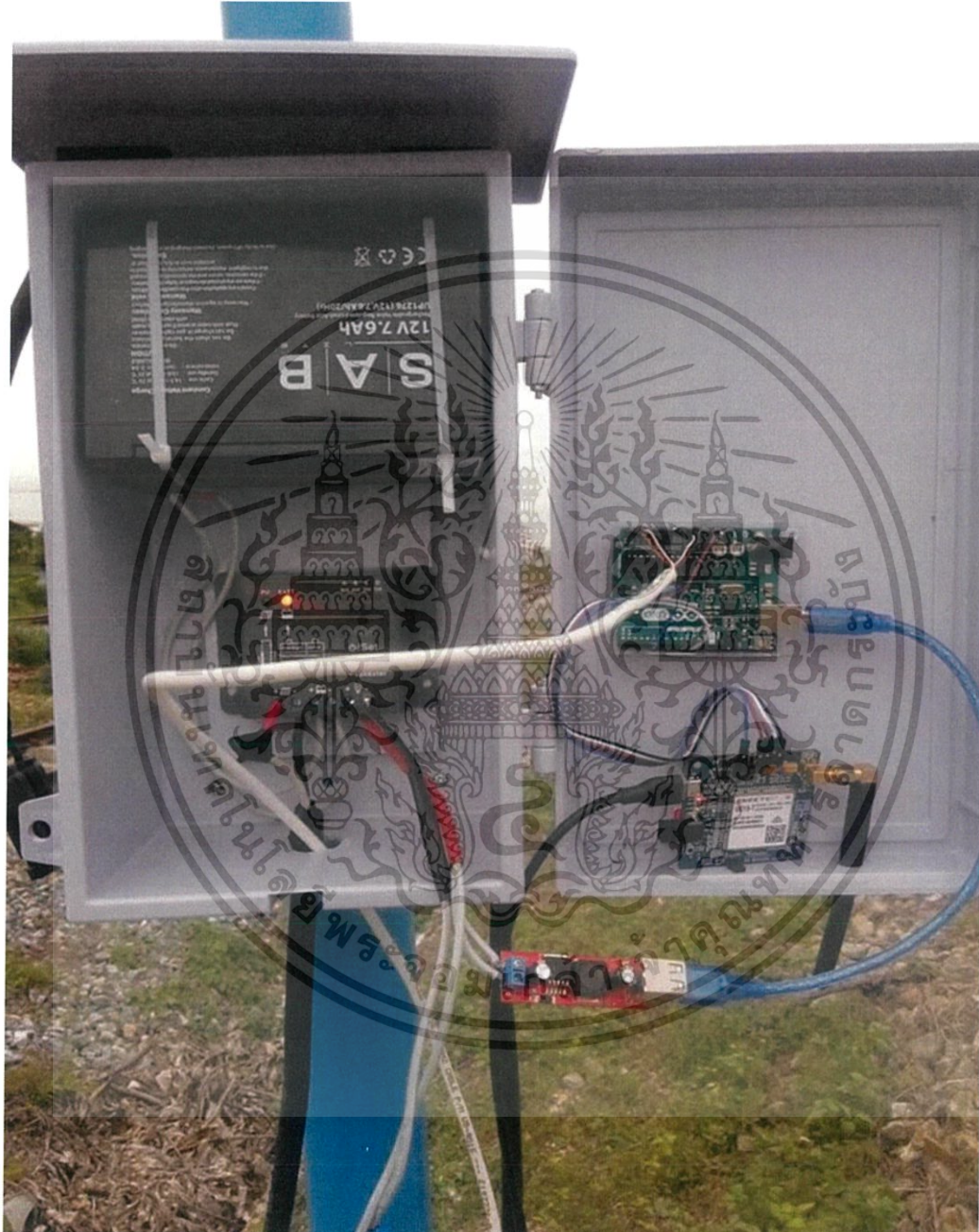


รูปที่ 3.5 รูปแสดงจุดติดตั้งสัญญาณและระยะทางรวมทั้งหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2 ส่วนประกอบของตัวส่งสัญญาณ

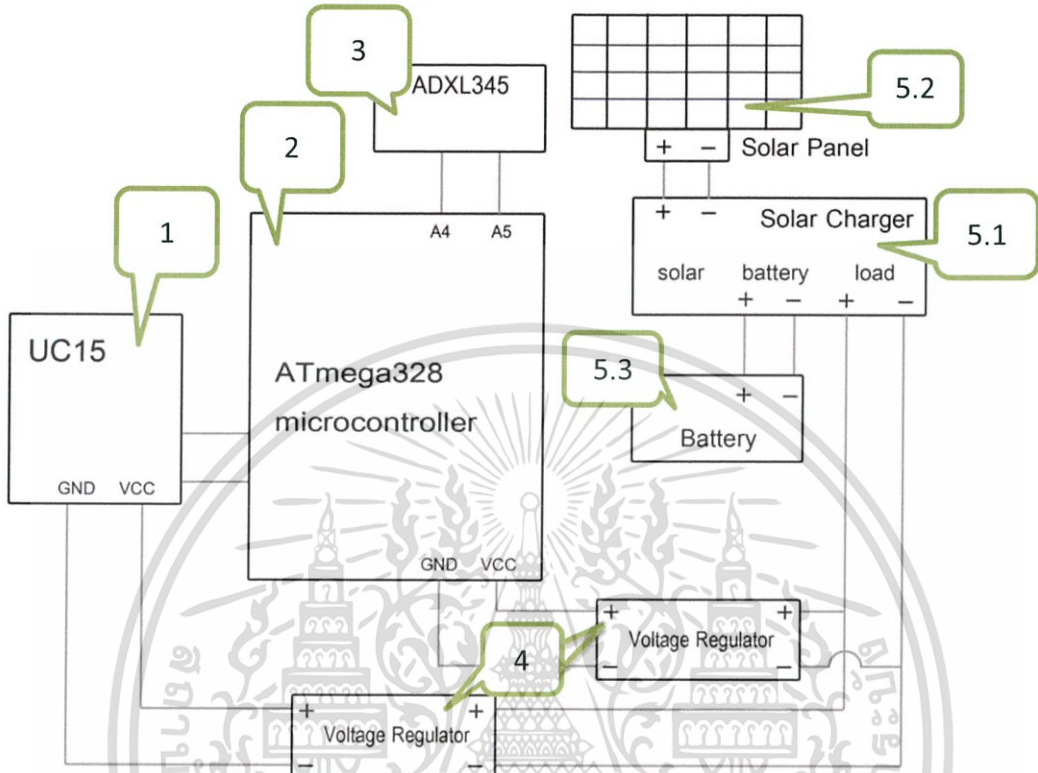
ตัวส่งสัญญาณเป็นอุปกรณ์ที่ติดตั้งไว้บริเวณรางรถไฟเพื่อทำการตรวจจับการมาของรถไฟ ซึ่งมีส่วนประกอบต่าง ๆ ดังรูป 3.6 นี้



รูปที่ 3.6 อุปกรณ์ตรวจจับรถไฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2.1 อุปกรณ์ของตัวส่งสัญญาณ มีดังนี้



รูปที่ 3.7 การต่อวงจรของตัวส่งสัญญาณ

(1) 3G Module (UC15-T) มีการทำงานที่ 5 Vdc และความถี่ในการส่งข้อมูลที่ 850/2100 MHz

(2) Atmega328 microcontroller หรือ Arduino Uno มีการทำงานที่ 5 Vdc

(3) ADXL345 MEMS accelerometer มีการทำงานที่ 5 Vdc และ 0.35 mA

(4) Voltage regulator คือ ตัวแปลงความต่างศักย์จากแบตเตอรี่สู่อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์อื่น

(5) ระบบจ่ายไฟฟ้าโดยใช้โซลาร์เซลล์ (Solar Cell) ประกอบด้วย

(5.1) SOLAR CHARGER รุ่น LS0512R มีการทำงานที่ 12 Vdc และ 5 A

(5.2) SOLAR PANEL MONO-CRYSTALLINE การทำงานที่ 12 Vdc และ 20 Watt

(5.3) SAB Sealed Lead Acid Battery มีการทำงานที่ 12 Vdc และ 7.6 AH

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2.2 การเลือกขนาดของแบตเตอรี่

(1) ขนาดของแบตเตอรี่ต้องมีความแรงดันไฟฟ้าในช่วง 5 – 12 V

(2) ขนาดของกระแสที่ใช้ในแบตเตอรี่คือกระแสรวมทั้งหมดของวงจร ซึ่งมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 135.35 mA

(3) แบตเตอรี่ที่เลือกใช้ คือ ที่มีขนาด 7.6 Ah ทำงานที่ 12 Vdc แบตเตอรี่ที่มาจากการสำรองไฟ 36 ชั่วโมง (โดยไม่มีการชาร์ตจากโซล่าเซลล์) เพราะช่วงเวลาที่ใช้งานแบตเตอรี่แค่ 14 ชั่วโมงต่อวัน ซึ่งเพียงพอในการใช้งานต่อวัน ซึ่งระบบโซล่าเซลล์สามารถชาร์ตได้ 20 วัตต์ต่อชั่วโมง และใช้ไฟไปเลี้ยงอุปกรณ์ 2.84 วัตต์ต่อชั่วโมง โดยไฟที่เหลือจะนำไปชาร์ตแบตเตอรี่ 17.16 วัตต์ต่อชั่วโมง ฉะนั้นจะใช้เวลาชาร์ตแบตเตอรี่ 5.2 ชั่วโมง (ขณะแบตเตอรี่ไม่มีไฟฟ้า)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3 ส่วนประกอบของตัวรับสัญญาณ

ตัวรับสัญญาณเป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่รับสัญญาณจากตัวส่งสัญญาณ ซึ่งจะถูกติดตั้งไว้ที่จุดตัดทางข้าม โดยเมื่อตัวส่งสัญญาณตรวจเจอว่ามีรถไฟ ตัวรับสัญญาณก็จะทำการส่งสัญญาณเตือนด้วยไฟเตือนในบริเวณนั้น ดังรูปที่ 3.8

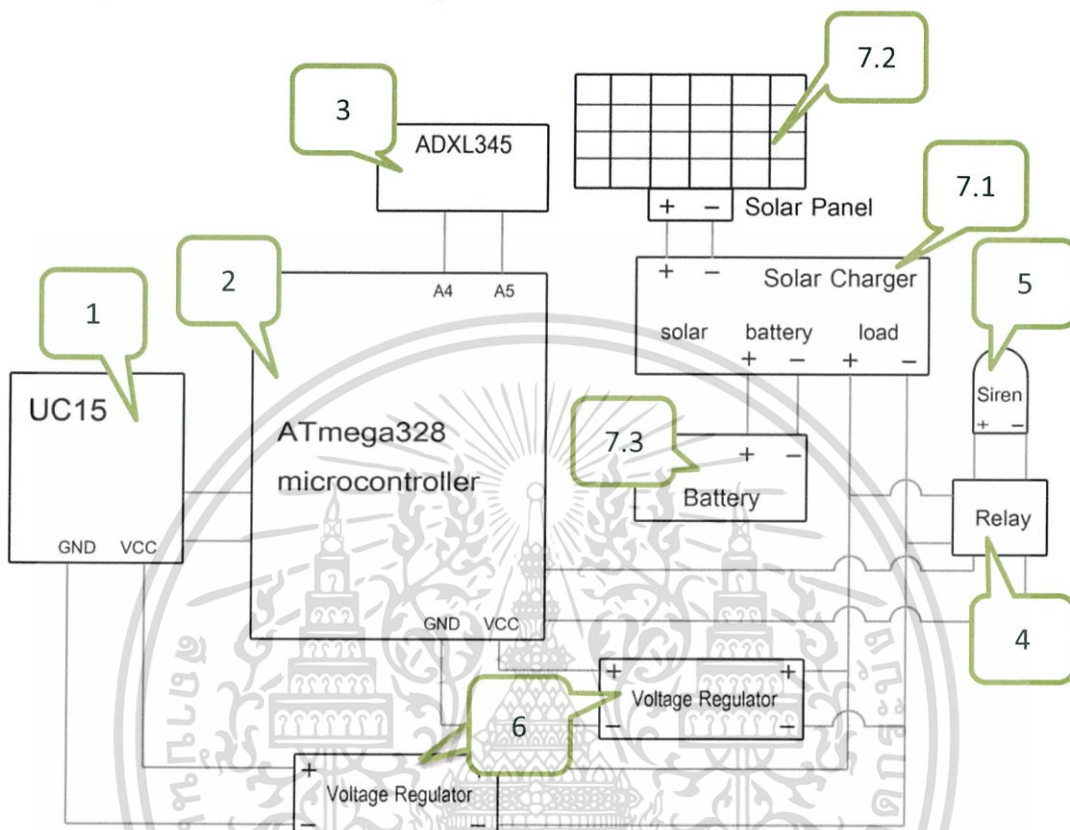


รูปที่ 3.8 อุปกรณ์รับสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3.1 อุปกรณ์ของตัวรับสัญญาณ

อุปกรณ์ของตัวรับสัญญาณมีดังรูปที่ 3.9 นี้



รูปที่ 3.9 การต่อวงจรของตัวรับสัญญาณ

- (1) 3G Module (UC15-T) มีการทำงานที่ 5 Vdc และความถี่ในการส่งข้อมูลที่ 850/2100 MHz
- (2) Atmega328 microcontroller หรือ Arduino Uno มีการทำงานที่ 5 Vdc
- (3) ADXL345 MEMS accelerometer มีการทำงานที่ 5 Vdc และ 0.35 mA
- (4) Relay Module มีการทำงานที่ 5 V และ 10 A
- (5) ไฟเตือนสีเหลือง (Siren Alarm) รุ่น LTE-1104 DC12 V มีการทำงานที่ 12 Vdc และ 10 Watt
- (6) Voltage regulator คือ ตัวแปลงความต่างศักย์จากแบตเตอรี่สู่อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์อื่น
- (7) ระบบจ่ายไฟฟ้าโดยใช้โซลาร์เซลล์ (Solar Cell) ประกอบด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(7.1) SOLAR CHARGER รุ่น LS0512R มีการทำงานที่ 12 Vdc และ 5 A

(7.2) SOLAR PANEL MONO-CRYSTALLINE ทำงานที่ 12 Vdc และ 20 Watt

(7.3) SAB Sealed Lead Acid Battery มีการทำงานที่ 12 Vdc และ 7.6 AH

### 3.1.2 การเลือกขนาดของแบตเตอรี่

(1) ขนาดของแบตเตอรี่ต้องมีความแรงดันไฟฟ้าในช่วง 5 – 12 V

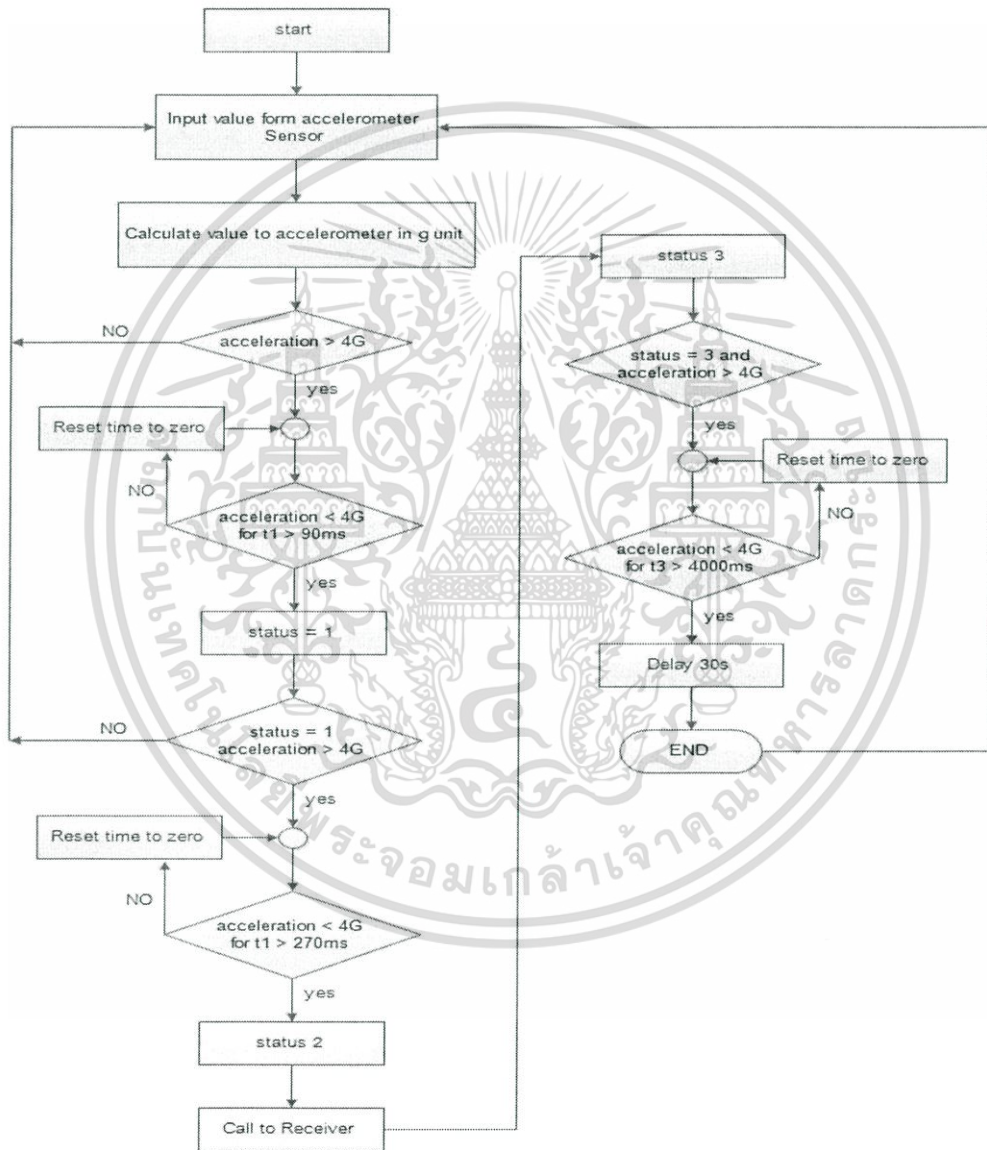
(2) ขนาดของกระแสที่ใช้ในแบตเตอรี่คือกระแสรวมทั้งหมดของวงจร ซึ่งมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 135.35 mA

(3) แบตเตอรี่ที่เลือกใช้ คือ ที่มีขนาด 7.6 Ah ทำงานที่ 12 Vdc แบตเตอรี่ที่มาจากการสำรองไฟ 36 ชั่วโมง (โดยไม่มีชาร์ตจากโซล่าเซลล์) เพราะช่วงเวลาที่ใช้งานแบตเตอรี่แค่ 14 ชั่วโมงต่อวัน ซึ่งเพียงพอในการใช้งานต่อวัน ซึ่งระบบโซล่าเซลล์สามารถชาร์ตได้ 20 วัตต์ต่อชั่วโมง และใช้ไฟไปเลี้ยงอุปกรณ์ 2.84 วัตต์ต่อชั่วโมง โดยไฟที่เหลือจะนำไปชาร์ตแบตเตอรี่ 17.16 วัตต์ต่อชั่วโมง ฉะนั้นจะใช้เวลาชาร์ตแบตเตอรี่ 5.2 ชั่วโมง (ขณะแบตเตอรี่ไม่มีไฟฟ้า)

### 3.4 Flow chart แสดงการทำงานของระบบสัญญาณไฟเตือนรถไฟ

Flow chart สามารถอธิบายการทำงานของโปรแกรมได้ ทั้งในรูปแบบของตัวส่งสัญญาณ และตัวรับสัญญาณดังนี้

#### 3.4.1 Flow chart แสดงการทำงานของตัวส่งสัญญาณ



รูปที่ 3.10 Flow chart แสดงการทำงานของตัวส่งสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำอธิบายการทำงานของ Flow chart ของตัวส่งสัญญาณ

โดยตัวเลข 1 – 6 ที่ได้แสดงในรูปที่ 3.10 จะมีการอธิบายดังนี้

(1) รับค่าจากเซนเซอร์ ADXL345

(2) แปลงค่าที่ได้จาก ADXL345 ให้อยู่ในหน่วย g

(3) เริ่มต้นทำงานเงื่อนไข โดยเมื่อค่าความเร่งขนาดมากกว่า 4g ระบบจะเริ่มทำงานดังต่อไปนี้

(3.1) เมื่อค่าความเร่งขนาดน้อยกว่า 4g ระบบจะเริ่มนับ  $t_1$  และถ้า  $t_1$  มีค่ามากกว่า 90 ms ระบบจะส่งค่า status = 1

(3.2) เมื่อค่าความเร่งขนาดมากกว่า 4g ในระหว่างการนับ  $t_1$  ระบบจะส่งค่า  $t_1 = 0$  และจะเริ่มต้นนับ  $t_1$  ใหม่อีกครั้งเมื่อความเร่งขนาดน้อยกว่า 4g และจะเป็นเช่นนี้ไปเรื่อย ๆ จนกว่าจะเจอค่า  $t_1$  ที่มากกว่า 90 ms

(4) เริ่มต้นทำงานเงื่อนไขที่ 2 โดยเมื่อค่าความเร่งขนาดมากกว่า 4g และมี status = 1 ระบบจะเริ่มทำงานดังต่อไปนี้

(4.1) เมื่อค่าความเร่งขนาดน้อยกว่า 4g ระบบจะเริ่มนับ  $t_2$  และถ้า  $t_2$  มีค่ามากกว่า 270 ms ระบบจะส่งค่า status = 2

(4.2) เมื่อค่าความเร่งขนาดมากกว่า 4g ในระหว่างการนับ  $t_2$  ระบบจะส่งค่า  $t_2 = 0$  และจะเริ่มต้นนับ  $t_2$  ใหม่อีกครั้งเมื่อความเร่งขนาดน้อยกว่า 4g และจะเป็นเช่นนี้ไปเรื่อย ๆ จนกว่าจะเจอค่า  $t_2$  ที่มากกว่า 270 ms

(5) เมื่อทำงานครบทั้ง 2 เงื่อนไข และมี status = 2 ระบบจะทำการโทรไปยังตัวรับสัญญาณ

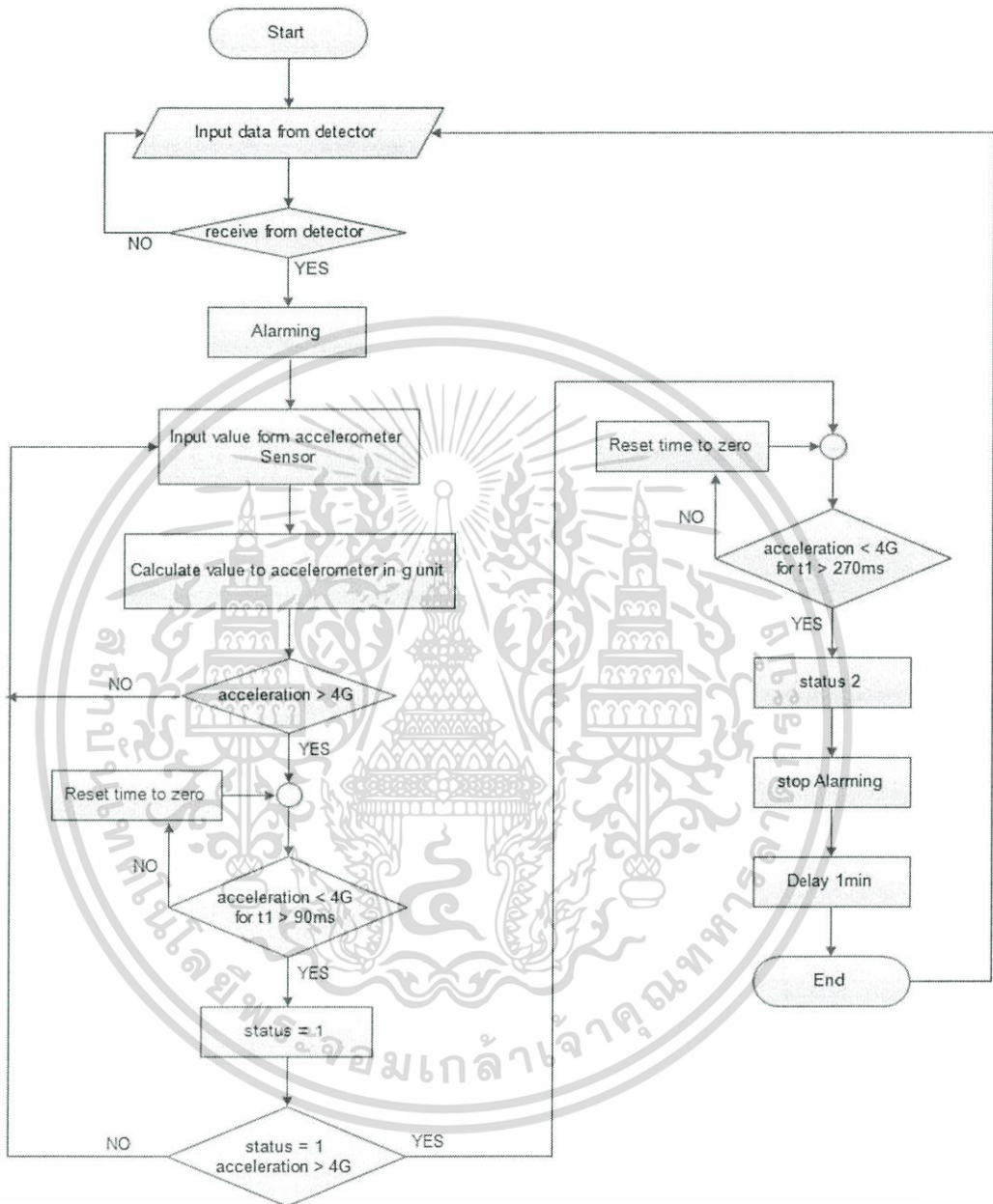
(6) เมื่อทำการโทรไปยังตัวรับสัญญาณแล้ว ระบบจะส่งค่า status = 3

(6.1) เมื่อระบบเจอค่าความเร่งขนาดน้อย 4g ระบบจะทำการนับเวลา ถ้าเวลาน้อยกว่า 4000 ms ระบบจะทำการเริ่มต้นนับเวลาใหม่

(6.2) เมื่อระบบเจอค่าความเร่งขนาดน้อยกว่า 4g ระบบจะทำการนับเวลา ถ้าเวลา มากกว่า 4000 ms ระบบจะทำการหน่วงเวลา 30 วินาที และทำการปิดระบบเพื่อเปิดระบบ

หมายเหตุ : ระบบจะทำการเก็บค่าความเร่งและวิเคราะห์ข้อมูลเฉพาะช่วงที่มีการกระตุ้นด้วยความเร่งขนาดที่มากกว่า 4g เท่านั้น ซึ่งจะทำให้ระบบมีภาระงานที่น้อยลงทำให้มีประสิทธิภาพในการทำงานมากขึ้น

### 3.4.2 Flow chart แสดงการทำงานของตัวรับสัญญาณ



รูปที่ 3.11 Flow chart แสดงการทำงานของตัวรับสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### คำอธิบายการทำงานของ Flow chart ของตัวรับสัญญาณ

จากรูปที่ 3.11 จะสามารถอธิบายการทำงานของโปรแกรมได้ดังนี้

- (1) ทำการรับข้อมูลสัญญาณเตือน ที่ส่งมาจากตัวส่งสัญญาณ
- (2) เมื่อทำการรับสัญญาณเตือนแล้ว ระบบจะส่งไฟไปเปิดสวิตซ์รีเลย์ เพื่อให้ไฟเตือนทำงาน
- (3) เมื่อไฟเตือนทำงานจนถึงขณะที่รถไฟมาถึงเซนเซอร์ ADXL345
- (3) แปลงค่าที่ได้จาก ADXL345 ให้อยู่ในหน่วย g
- (4) เริ่มต้นทำงานเงื่อนไข โดยเมื่อค่าความเร่งขนาดมากกว่า 4g ระบบจะเริ่มทำงานดังต่อไปนี้
  - (4.1) เมื่อค่าความเร่งขนาดน้อยกว่า 4g ระบบจะเริ่มนับ  $t_1$  และถ้า  $t_1$  มีค่ามากกว่า 90 ms ระบบจะส่งค่า status = 1
  - (4.2) เมื่อค่าความเร่งขนาดมากกว่า 4g ในระหว่างการนับ  $t_1$  ระบบจะส่งค่า  $t_1 = 0$  และจะเริ่มต้นนับ  $t_1$  ใหม่อีกครั้งเมื่อความเร่งขนาดน้อยกว่า 4g และจะเป็นเช่นนี้ไปเรื่อย ๆ จนกว่าจะเจอค่า  $t_1$  ที่มากกว่า 90 ms
  - (5) เริ่มต้นทำงานเงื่อนไขที่ 2 โดยเมื่อค่าความเร่งขนาดมากกว่า 4g และมี status = 1 ระบบจะเริ่มทำงานดังต่อไปนี้
    - (5.1) เมื่อค่าความเร่งขนาดน้อยกว่า 4g ระบบจะเริ่มนับ  $t_2$  และถ้า  $t_2$  มีค่ามากกว่า 270 ms ระบบจะส่งค่า status = 2
    - (5.2) เมื่อค่าความเร่งขนาดมากกว่า 4g ในระหว่างการนับ  $t_2$  ระบบจะส่งค่า  $t_2 = 0$  และจะเริ่มต้นนับ  $t_2$  ใหม่อีกครั้งเมื่อความเร่งขนาดน้อยกว่า 4g และจะเป็นเช่นนี้ไปเรื่อย ๆ จนกว่าจะเจอค่า  $t_2$  ที่มากกว่า 270 ms
  - (6) เมื่อทำงานครบทั้ง 2 เงื่อนไข และมี status = 2 ระบบจะทำการหยุดการเตือน
  - (7) เมื่อทำการหยุดการเตือนแล้ว ระบบจะนับเวลาถอยหลังเป็นเวลา 1 นาที เพื่อรอรับค่าที่ส่งมาจากตัวส่งสัญญาณ

### 3.5 ข้อมูลอุปกรณ์ที่ใช้

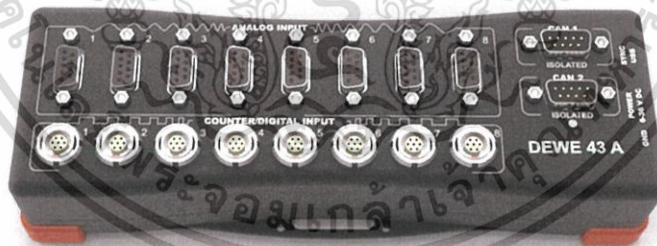
(1) อุปกรณ์วัดความเร่งชนิด IEPE accelerometer รุ่น Kistler SN8692C50 มีช่วงการวัดที่  $\pm 80$  g ความถี่ตอบสนอง 1 – 5000 Hz ทำหน้าที่วัดค่าการสั่นสะเทือนมีการวัดที่แม่นยำ นำมาเป็นตัวสอบเทียบ MEMS accelerometer (ADX345) ดังรูปที่ 3.12



รูปที่ 3.12 อุปกรณ์วัดความเร่งชนิด IEPE accelerometer

(ที่มา : <https://www.kistler.com/th/en/products/components/accelerometer-sensors>)

(2) DEWEsoft43A สามารถทำหน้าที่ได้ดังนี้ Data acquisition, processing, analyzing and storage software เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่รับข้อมูลจาก IEPE accelerometer และบันทึกผลไว้ในคอมพิวเตอร์ ดังรูปที่ 3.13



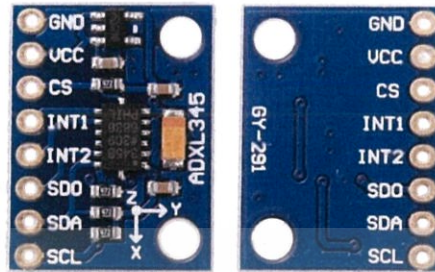
รูปที่ 3.13 DEWEsoft43A

(ที่มา : <http://www.dewesoft.com/products/dewe-43>)

(3) อุปกรณ์วัดความเร่งราคาถูกชนิด MEMS accelerometer รุ่น GY-291 ADXL345 ที่ได้มาจากวิเคราะห์จากการใช้ IEPE accelerometer ซึ่งมีช่วงการวัดที่  $\pm 8$  g ความถี่ตอบสนอง 1 –

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

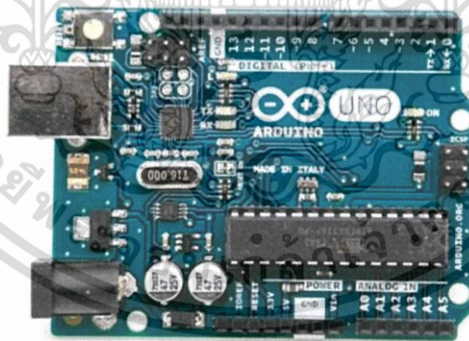
1600 Hz แรงดันไฟฟ้าอยู่ในช่วง  $-0.3V - +3.9V$  ทำหน้าที่วัดค่าการสั่นสะเทือนของรางรถไฟ และจะนำอุปกรณ์ชนิดนี้ไปติดตั้งในการทำงานจริง ดังรูปที่ 3.14



รูปที่ 3.14 อุปกรณ์วัดความเร่งชนิด MEMS accelerometer

(ที่มา : <http://hobbycomponents.com/sensors/431-gy-291-adxl345-triple-axis-accelerometer>)

(4) Arduino Uno หรือ Atmega328 microcontroller ซึ่งมีรับสัญญาณได้ตั้งแต่ 0-5 V (Analog input) ทำให้สามารถรับสัญญาณที่ออกจาก MEMS accelerometer ได้ และนำไปประมวลผลในการเตือนการมาของรถไฟ และทำหน้าที่เป็นศูนย์กลางการทำงานของระบบเตือน ดังรูปที่ 3.15



รูปที่ 3.15 Arduino Uno

(ที่มา : <http://www.thaieasyelec.com/products/development-boards/arduino/official-boards-made-in-italy/arduino-uno-r3-detail.html>)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(5) 3G Module (UC15-T) ทำหน้าที่รับส่งสัญญาณไร้สายระยะไกลของอุปกรณ์ตรวจวัด รถไฟและอุปกรณ์รับสัญญาณ ดังรูปที่ 3.16



รูปที่ 3.16 อุปกรณ์ 3G Module (UC15-T)

(ที่มา : [www.thaieasyelec.com/products/wireless-modules/gsm-3g/3g-module-uc15-t-detail.html](http://www.thaieasyelec.com/products/wireless-modules/gsm-3g/3g-module-uc15-t-detail.html))

(6) Relay Module เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ เปิดสวิตช์ ไฟเตือนรถไฟ รับกระแสได้สูงถึง 10 A ใช้งานได้ทั้งไฟฟ้ากระแสตรง และ กระแสสลับ รับแรงดันระดับ 5 V ตรงจาก Arduino board มี LED แสดงสถานะการทำงานของรีเลย์ ออกแบบให้ป้องกันวงจรด้านควบคุมออกจากด้านกำลังโดยการใช้การส่งผ่านด้วยแสง (Optocoupler) ในทุกตัวรีเลย์ ดังรูปที่ 3.17



รูปที่ 3.17 Relay Module

(ที่มา : [www.arduitronics.com/product/493/5v-1-channel-relay-low-level-trigger-relay-module-led](http://www.arduitronics.com/product/493/5v-1-channel-relay-low-level-trigger-relay-module-led))

(7) ไฟเตือนสีเหลือง รุ่น LTE-1104 เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่รับกระแสไฟเข้ามาแสดงผลเป็นไฟหมุนเตือน มีการทำงานที่ 12 Vdc และ 10 Watt ดังรูปที่ 3.18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



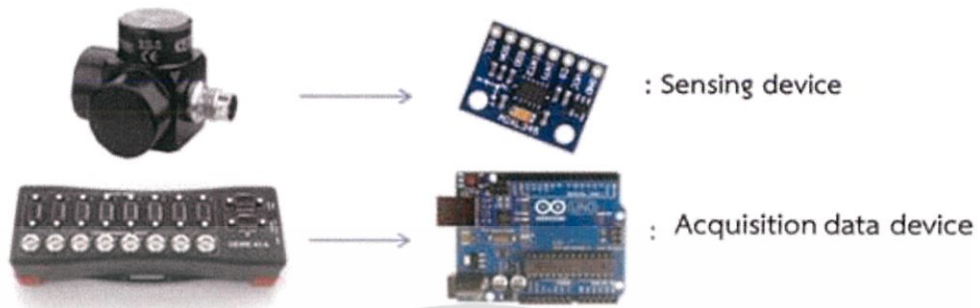
รูปที่ 3.18 ไฟเตือนสีเหลือง รุ่น LTE-1104

(ที่มา : [https://th.aliexpress.com/store/product/LTE-1104-DC-AC12V-380V-Rotary-Warning-Lamp-Alarm-Indicator-Firemen-Police-Industrial-Emergency-Strobe-Light/415744\\_32617574026.html](https://th.aliexpress.com/store/product/LTE-1104-DC-AC12V-380V-Rotary-Warning-Lamp-Alarm-Indicator-Firemen-Police-Industrial-Emergency-Strobe-Light/415744_32617574026.html))

### 3.6 วิธีทำการทดลอง

ศึกษาลักษณะสัญญาณการสั่นสะเทือนของรางรถไฟไทย บริเวณระหว่าง สถานีพระจอมเกล้า-สถานีลาดกระบัง เพื่อนำข้อมูลเหล่านี้ไปใช้วิเคราะห์ สร้างเกณฑ์ในการเตือนสัญญาณที่เกิดจากรถไฟเท่านั้นและนำไปใช้ในการเลือกขนาดของเซนเซอร์ ที่จะนำไปใช้งานจริง โดยบริเวณที่ทำการติดตั้งระบบแจ้งเตือนรถไฟอยู่บริเวณ ทางเชื่อมของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง โดยทำการทดลองกับรถไฟสายตะวันออก ที่ยวรถออกจากกรุงเทพ โดยมีวิธีการดังนี้

- (1) ใช้ MEMS accelerometer (ADX345) ไปติดตั้งบริเวณไม้หมอน เพื่อวัดค่าการสั่นสะเทือนของราง (ใช้เพื่อศึกษาลักษณะการสั่นสะเทือนของรางรถไฟเท่านั้น) โดย MEMS accelerometer มีการสอบเทียบการวัดกับ IEPE accelerometer โดยใช้ค่า RMS
- (2) นำผลการทดลองที่ได้จาก ข้อ (1) มาออกแบบระบบตรวจจับรถไฟ
- (3) ทำการตั้งค่าให้ MEMS accelerometer ให้ทำงานร่วมกับ Arduino Uno ได้
- (4) ใช้ MEMS accelerometer และ Arduino Uno ไปติดตั้งบริเวณไม้หมอนเพื่อตรวจจับการมาของรถไฟ โดยมีการเปรียบเทียบการใช้งานดังรูปที่ 3.19



รูปที่ 3.19 การเปรียบเทียบการใช้งาน

เนื่องจากอุปกรณ์ DEWESoft43A และ IEPE accelerometer มีราคาแพงจึงไม่เหมาะกับการนำไปติดตั้งบริเวณรางรถไฟ อีกทั้งยังต้องใช้แหล่งจ่ายไฟกระแสสลับ จึงมีความยุ่งยากในการหาแหล่งจ่ายไฟ ผู้ทำการทดลองจึงได้ใช้ MEMS accelerometer และ Arduino Uno เป็นอุปกรณ์ทำงานทดแทน โดยใช้ MEMS accelerometer แทนที่ IEPE accelerometer ซึ่งทำหน้าที่เป็นเซนเซอร์วัดการสั่นสะเทือนของราง และใช้ Arduino Uno ทำหน้าที่แทน DEWESoft43A ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวรับสัญญาณจากเซนเซอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### ผลการทดลองและการวิเคราะห์ข้อมูล

ในส่วนของบทนี้จะเป็นการกล่าวถึงการนำระบบสัญญาณเตือนรถไฟมาทำการทดลองเพื่อหาค่าต่าง ๆ ที่ได้จากการกระทำของรถไฟเพื่อนำค่าที่ได้มาทำการศึกษาวิเคราะห์ และนำมาประยุกต์ใช้โดยมีการสอบเทียบเซนเซอร์เพื่อความแม่นยำของข้อมูล โดยเสนอวิธีวัดความเร็วและความเร่งของรถไฟและได้สรุปผลการทดลองที่ได้จากการเตือนการมาของรถไฟ ดังต่อไปนี้

#### 4.1 การสอบเทียบของเซนเซอร์

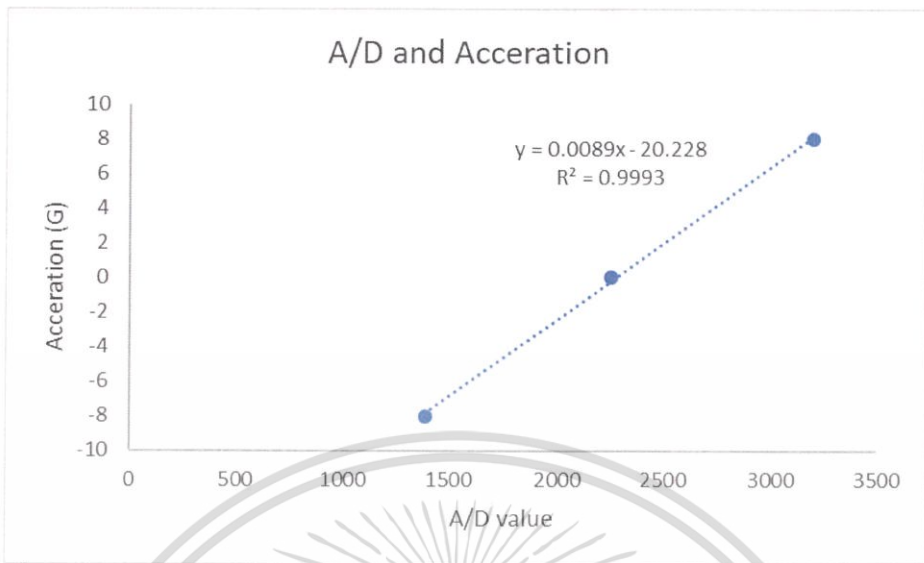
จากการศึกษาค่าความเร่งที่เกิดจากรถไฟของปริญญาานิพนธ์การตรวจจับรถไฟด้วยการวัดการสั่นสะเทือนของราง จะสังเกตเห็นได้ว่าการวัดค่าความเร่งของรถไฟจากวัดด้วย Kistler SN8692C50 IEPE accelerometer ทั้งสิ้น ดังนั้นจึงนำเซนเซอร์ Kistler SN8692C50 IEPE accelerometer เป็นตัวอ้างอิงในการสอบเทียบค่าในการวัดความเร่ง เนื่องจากการเซนเซอร์ดังกล่าวมีราคาสูง ซึ่งมีข้อจำกัดทางด้านราคาและการติดตั้ง ทำให้ต้องใช้ ADXL325 MEMS accelerometer จึงจำเป็นต้องทำการสอบเทียบระหว่างเซนเซอร์สองตัวนี้ โดยค่าที่ไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Uno อ่านได้นั้นเป็นข้อมูลประเภท 12 bit ที่มีค่าอยู่ระหว่าง 0 – 4096 (หรือเรียกว่า A/D value) โดยมีแรงดันไฟฟ้าที่ 0 – 5 V

##### 4.1.1 การหาสมการความเร่งของ MEMS accelerometer

ในส่วนของข้อมูล MEMS accelerometer นั้นสามารถส่งสัญญาณที่มีแรงดันไฟฟ้าในช่วง 1.7 – 3.6 V หรือ A/D value ที่ 1392 – 3194 และมีช่วงการวัดที่ -8 – 8g โดยมีสายละเอียดของการทำงานดังนี้

- (1) มีช่วงการวัดสูงสุดคือ 8g ที่ A/D value ที่ 3194 (3.6 V)
- (2) มีช่วงการวัดต่ำสุดคือ -8g ที่ A/D value ที่ 1392 (1.7 V)
- (3) มีค่า A/D value ที่ 2252 (2.25 V) ที่ความเร่งขนาด 0g
- (4) มี Nonlinearity  $\pm 0.2$  ในช่วงของ -8 – 8g (ข้อมูลจากภาคผนวก ก)

จากหัวข้อที่ (1) – (4) ที่กล่าวมาข้างต้น จึงสามารถประมาณว่าเป็นสมการเส้นตรงได้ทำให้สามารถสร้างกราฟเส้นตรงได้ดังนี้



รูปที่ 4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง MEMS acceleration (g) และค่า A/D value จากรูปที่ 4.1 จะได้สมการที่ใช้หาค่าความเร่งจาก MEMS accelerometer ได้ดังนี้

$$\text{MEMS acceleration} = 0.0089 * (\text{A/D value}) - 20.228, \text{A/D value} \in (1392, 3194)$$

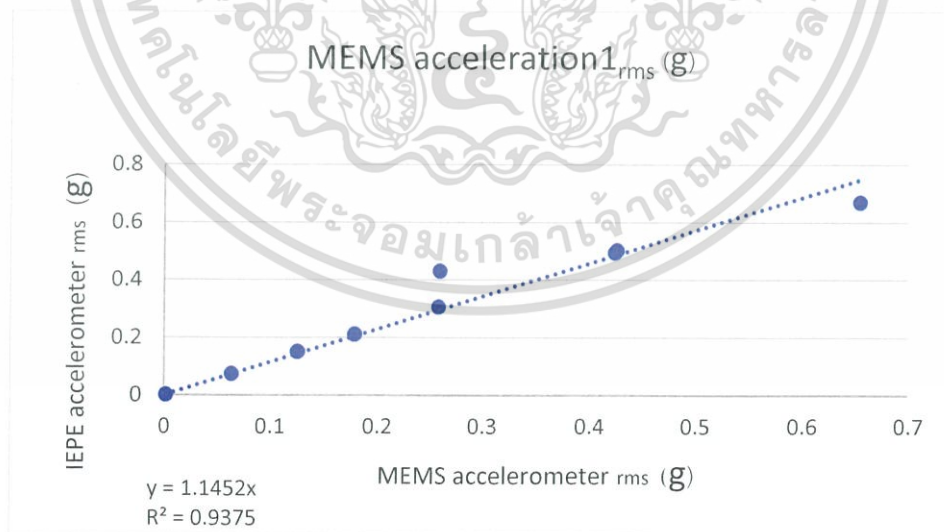
โดยที่ MEMS acceleration (g) คือ ค่าความเร่งที่อ่านได้จาก MEMS acceleration และ A/D value คือ ค่าที่อ่านได้จากการนำเอา MEMS accelerometer ไปต่อกับ ไมโครคอนโทรลเลอร์และอ่านค่าที่ได้ผ่านทาง Serial port

#### 4.1.2 ผลการสอบเทียบ MEMS และ IEPE accelerometer

จากหัวข้อที่ 4.1.1 สามารถหาสมการที่ใช้หาค่าความเร่งจากค่า A/D value ได้ แต่เนื่องจากไม่ทราบว่า MEMS accelerometer มีความแม่นยำมากน้อยเพียงใด ดังนั้นจึงได้ทำการสอบเทียบ MEMS accelerometer ด้วย IEPE accelerometer โดยใช้ค่า RMS ในการสอบเทียบ ซึ่งผลการทดลองที่ได้ มีดังนี้

ตาราง 4.1 ผลการสอบเทียบ MEMS accelerometer ด้วย IEPE accelerometer

MEMS acceleration <sub>1</sub> <sub>rms</sub> (g)	MEMS acceleration <sub>2</sub> <sub>rms</sub> (g)	IEPE acceleration <sub>rms</sub> (g)
0.0016	0.0034	0.002
0.0636	0.0598	0.075
0.1256	0.1278	0.152
0.1786	0.1738	0.212
0.2583	0.2492	0.307
0.2594	0.2585	0.432
0.4234	0.4198	0.495
0.4252	0.4232	0.503
0.6538	0.6612	0.67
0.6865	0.6762	0.697



รูป 4.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า IEPE acceleration<sub>rms</sub> (g) หรือค่าความเร่งที่เกิดขึ้นจริง และค่า MEMS acceleration<sub>1</sub><sub>rms</sub> (g)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งจากรูปที่ 4.2 จะได้สมการที่ใช้หาค่าความเร่งจาก MEMS accelerometer ได้ดังนี้

$$\text{IEPE accelerometer}_{\text{rms}} = 1.1425 * (\text{MEMS acceleration}_{\text{rms}})$$

โดยค่า IEPE accelerometer<sub>rms</sub> คือ ค่าเฉลี่ยแบบ RMS ที่วัดได้จาก IEPE accelerometer  
MEMS acceleration<sub>rms</sub> คือ ค่าเฉลี่ยแบบ RMS ที่อ่านได้จาก MEMS accelerometer  
ดังนั้นทำให้ได้สมการคำนวณค่าความเร่งจากค่า A/D value หลังจากทำการสอบเทียบกับ

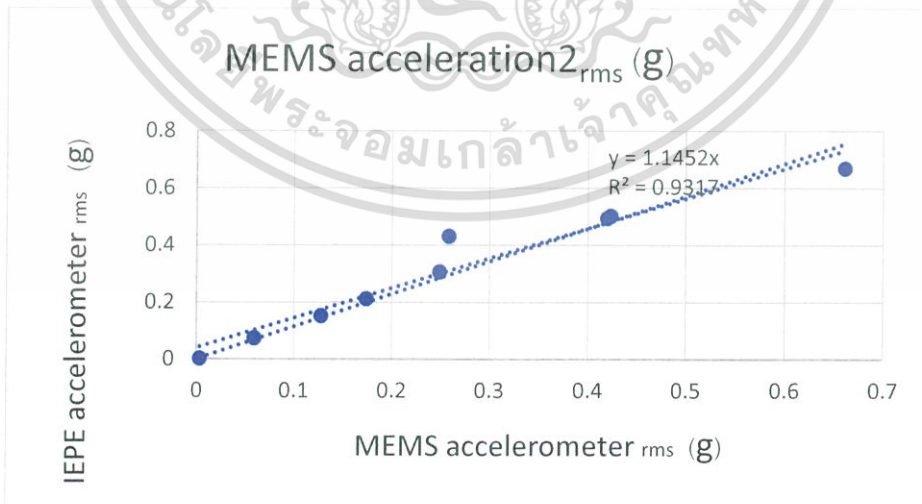
IEPE accelerometer คือ

$$\begin{aligned} \text{Acceleration} &= 1.1425 * (\text{MEMS acceleration}) \\ &= 1.1425 * (0.0089 * (\text{A/D value}) - 20.228) \end{aligned}$$

หรือ

$$\text{Acceleration} = 0.01016 * (\text{A/D value}) - 7.3694, \text{ A/D value } \in (1392, 3194)$$

โดยที่ Acceleration คือ ค่าความเร่งที่เกิดขึ้นจริง ในหน่วย g  
และ A/D value คือ ค่าที่อ่านได้จากการนำเอา MEMS accelerometer ไปต่อกับ  
ไมโครคอนโทรลเลอร์และอ่านค่าที่ได้ผ่านทาง Serial port  
ดังนั้นเมื่อนำค่า A/D value ที่ 1392 และ 3194 แทนค่าในสมการข้างต้นจะพบว่า สามารถ  
ให้ค่าความเร่งต่ำสุดที่  $-5.99\text{g}$  และค่าสูงสุดที่  $5.86\text{g}$  ซึ่งสามารถวัดได้เกินช่วงการวัดที่ตัวเซนเซอร์ได้  
ระบุไว้ ( $\pm 8$ )



รูปที่ 4.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า IEPE acceleration<sub>rms</sub> (g) หรือค่าความเร่งที่เกิดขึ้นจริง  
และค่า MEMS acceleration2<sub>rms</sub> (g)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งจากรูปที่ 4.3 จะได้สมการที่ใช้หาค่าความเร่งจาก MEMS accelerometer ได้ดังนี้

$$\text{IEPE accelerometer}_{\text{rms}} = 1.1425 * (\text{MEMS acceleration}_{\text{rms}})$$

โดยค่า IEPE accelerometer<sub>rms</sub> คือ ค่าเฉลี่ยแบบ RMS ที่วัดได้จาก IEPE accelerometer  
MEMS acceleration<sub>rms</sub> คือ ค่าเฉลี่ยแบบ RMS ที่อ่านได้จาก MEMS accelerometer  
ดังนั้นทำให้ได้สมการคำนวณค่าความเร่งจากค่า A/D value หลังจากทำการสอบเทียบกับ

IEPE accelerometer คือ

$$\begin{aligned} \text{Acceleration} &= 1.1425 * (\text{MEMS acceleration}) \\ &= 1.1425 * (0.0089 * (\text{A/D value}) - 20.228) \end{aligned}$$

หรือ

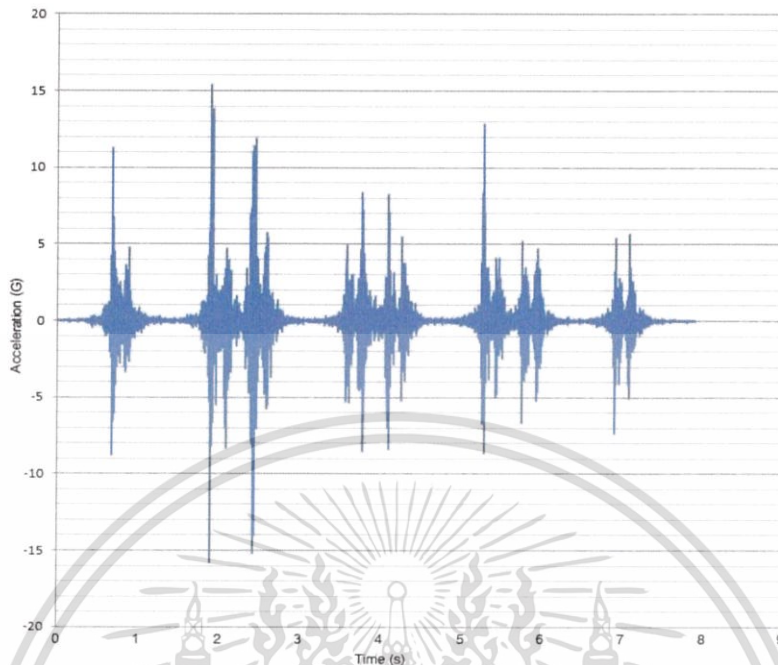
$$\text{Acceleration} = 0.01016 * (\text{A/D value}) - 7.3694, \text{ A/D value} \in (1392, 3194)$$

โดยที่ Acceleration คือ ค่าความเร่งที่เกิดขึ้นจริง ในหน่วย g  
และ A/D value คือ ค่าที่อ่านได้จากการนำเอา MEMS accelerometer ไปต่อกับ  
ไมโครคอนโทรลเลอร์และอ่านค่าที่ได้ผ่านทาง Serial port

ดังนั้นเมื่อนำค่า A/D value ที่ 1392 และ 3194 แทนค่าในสมการข้างต้นจะพบว่า สามารถ  
ให้ค่าความเร่งขนาดต่ำสุดที่  $-5.99g$  และค่าสูงสุดที่  $5.86g$  ซึ่งสามารถวัดได้เกินช่วงการวัดที่  
ตัวเซนเซอร์ได้ระบุไว้ ( $\pm 8$ )

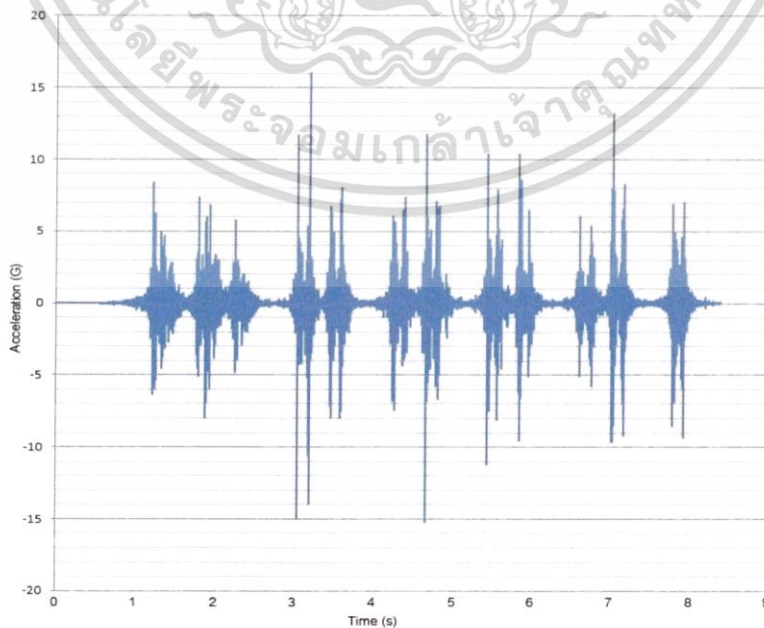
#### 4.2 สัญญาณความเร่งที่เกิดจากรถไฟ ระหว่างสถานีลาดกระบัง-สถานีพระจอมเกล้า

ในหัวข้อนี้ เป็นผลการทดลองที่ได้จากการนำ GY-291 ADXL345 MEMS accelerometer  
ไปทำการวัดสัญญาณความเร่งจากรถไฟ โดย GY-291 ADXL345 MEMS accelerometer ไปติดตั้ง  
ไว้ที่บริเวณไม้หมอน โดยเขียนโปรแกรมให้สามารถทำงานกับ Arduino ได้และมี baud rate ที่  
115200 หรือมี Acquisition rate ที่ 1963 Hz ในการเก็บข้อมูล ซึ่งอ่านค่าที่ทำการวัดจาก serial  
port เพื่อต้องการทราบถึงสัญญาณความเร่งของรถไฟว่ามีลักษณะอย่างไร ซึ่งผลการทดลองจะมี  
ลักษณะดังต่อไปนี้



รูปที่ 4.4 สัญญาณความเร่งที่เกิดจากรถไฟขบวนที่280

จากรูปที่ 4.4 เป็นสัญญาณที่เกิดจากรถไฟขบวน 280(อรัญประเทศ-กรุงเทพ) รอบเวลา 11.09 น. ณ สถานีพระจอมเกล้า รถไฟจักรดีเซลราง รุ่น THN/NKF ที่วิ่งด้วยความเร็ว 19.44 m/s (หาความเร็วของรถไฟจากการใช้เซนเซอร์ GY-291 ADXL345 MEMS accelerometer ซึ่งได้แสดงวิธีการหาอยู่ในภาคผนวก ก)



รูปที่ 4.5 สัญญาณความเร่งที่เกิดจากรถไฟขบวนที่284

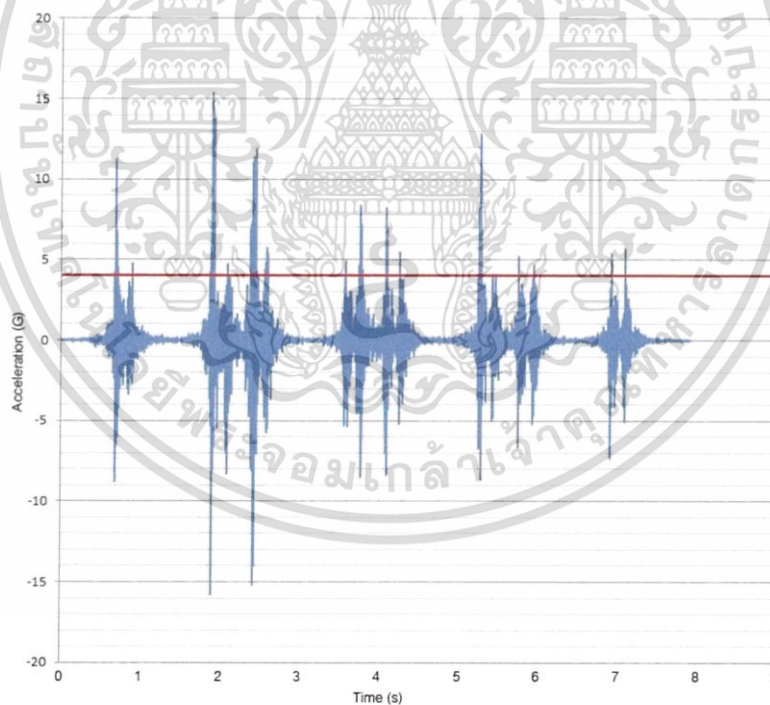
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการเรียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.5 เป็นสัญญาณที่เกิดจากรถไฟขบวน 284 (บ้านพลุดาหลวง-กรุงเทพ) รอบเวลา 17.09 น. ณ สถานีพระจอมเกล้า หัวรถจักรดีเซลไฟฟ้า รุ่น ALSTHOM ที่วิ่งด้วยความเร็ว 15.83 m/s (หาความเร็วของรถไฟจากการใช้เซนเซอร์ GY-291 ADXL345 MEMS accelerometer ซึ่งได้แสดงวิธีการหาอยู่ในภาคผนวก ก)

หมายเหตุ : จากข้อมูลข้างต้นเป็นเพียงข้อมูลส่วนหนึ่ง ที่นำมาใช้วิเคราะห์ในการออกแบบระบบตรวจจับรถไฟโดยใช้การวัดการสั่นสะเทือน

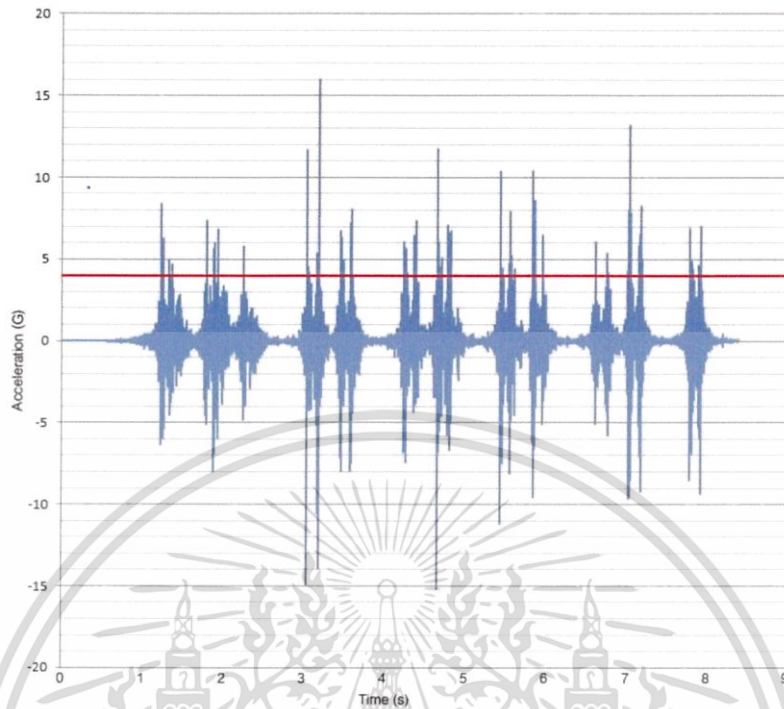
#### 4.3 การวิเคราะห์ ค่าความเร่งในการตรวจจับรถไฟ

จากผลการทดลองทำให้สามารถบอกลักษณะทางกายภาพของรถไฟได้ เช่น ค่าขนาดความเร่งที่สร้างโดยรถไฟ (g) ความเร็วของรถไฟ และเวลาที่ใช้ในแต่ละจุดบนรถไฟ ทำให้สามารถสร้างเกณฑ์ในการเตือนได้โดยใช้ค่าดังต่อไปนี้



รูปที่ 4.6 เกณฑ์ในการเตือนสัญญาณความเร่งของรถดีเซลรางที่เกิดจากรถไฟขบวนที่280

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 เกล็ดที่ในการเตือนสัญญาณความเร่งของรถดีเซลไฟฟ้าที่เกิดจากรถไฟขบวนที่284

จากผลของการทดลอง จะสังเกตได้ความเร่งที่เกิดจากสัญญาณความเร่งที่เกิดจากรถไฟระหว่างสถานีลาดกระบัง-สถานีพระจอมเกล้า ที่วัดโดยเซนเซอร์ GY-291 ADXL345 MEMS accelerometer มาวิเคราะห์เพื่อหาค่าความเร่งในการตรวจจับรถไฟ จะสังเกตเห็นได้ว่าค่าขนาดความเร่งที่เกิดจากรถไฟในแต่ละขบวนมีค่าขนาดความเร่งขนาดเกิน 4g จึงนำค่าขนาดความเร่งนี้ มาใช้ในการออกแบบระบบตรวจจับรถไฟนี้

#### 4.4 ค่าความเร่งที่วัดได้ในแต่ละเพลลา

โดยในหัวข้อนี้ ได้พิจารณาความเร่งในการตรวจจับรถไฟเพื่อใช้ในการหาเกณฑ์ในการตรวจจับรถไฟโดยพิจารณา 3 เพลลาแรก เนื่องจากได้ทำการตั้งระบบตรวจจับรถไฟด้วยการโดยมาค่าความเร่งขนาดต่อเพลลาเกิน 4g โดยสามารถอ่านจากเซนเซอร์ในของอุปกรณ์ตัวส่งตัวรับได้ดังตาราง 4.2, 4.3 (ประมาณค่าความเร่งเป็นจำนวนเต็ม)

ตาราง 4.2 ค่าความเร่งที่ตัวส่งสัญญาณ (Detector)

รอบเวลา	ชบวน	ประเภท	เพลลา1(g)	เพลลา2(g)	เพลลา3(g)
6:59	275	ดีเซลไฟฟ้า	10	8	15
7:37	388	ดีเซลไฟฟ้า	9	7	12
8:09	285	ดีเซลไฟฟ้า	8	11	7
8:54	281	ดีเซลไฟฟ้า	11	10	8
11:06	367	ดีเซลราง	7	8	9
13:00	389	ดีเซลราง	9	11	5
13:45	279	ดีเซลราง	6	7	10
16:15	277	ดีเซลราง	10	7	8
17:42	391	ดีเซลไฟฟ้า	8	6	7
18:38	371	ดีเซลไฟฟ้า	10	8	9
19:21	383	ดีเซลไฟฟ้า	10	8	7

ตาราง 4.3 ค่าความเร่งที่ตัวรับสัญญาณ (Receiver)

รอบเวลา	ชบวน	ประเภท	เพลลา1(g)	เพลลา2(g)	เพลลา3(g)
6:59	275	ดีเซลไฟฟ้า	9	6	9
7:37	388	ดีเซลไฟฟ้า	8	7	10
8:09	285	ดีเซลไฟฟ้า	8	10	8
8:54	281	ดีเซลไฟฟ้า	10	8	8
11:06	367	ดีเซลราง	5	8	7
13:00	389	ดีเซลราง	9	9	7
13:45	279	ดีเซลราง	6	7	7
16:15	277	ดีเซลราง	9	7	8
17:42	391	ดีเซลไฟฟ้า	8	5	7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง 4.3 ค่าความเร่งที่ตัวรับสัญญาณ (Receiver)(ต่อ)

รอบเวลา	ขบวน	ประเภท	เพลลา1(g)	เพลลา2(g)	เพลลา3(g)
18:38	371	ดีเซลไฟฟ้า	8	8	7
19:21	383	ดีเซลไฟฟ้า	10	8	8

จากตารางข้างต้น สามารถสรุปได้ว่ารถไฟทุกขบวนมีค่าความเร่งขนาดในแต่ละเพลลาเกิน 4g ดังนั้นระบบตรวจจับสามารถตรวจจับความเร่งในแต่ละเพลลาได้ และนำค่าที่ได้มาใช้ในการประมวลผลเพื่อตรวจจับรถไฟ

#### 4.5 วิธีวัดความเร็วของรถไฟ

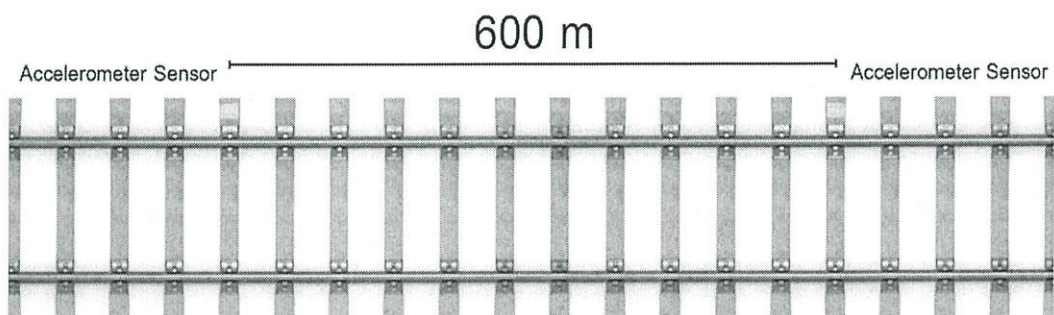
ผู้ทำการทดลองได้ใช้การหาความเร็วของรถไฟโดยการใช้เซนเซอร์ Accelerometer Sensor สองตัววางไว้บนหมอนรองรางรถไฟ ซึ่งมีระยะห่าง 600 เมตร (1000หมอน) จากนั้นเขียนโปรแกรมให้เซนเซอร์ทั้งสองตัวสามารถแสดงผลของแรงที่กระทำต่อหมอน โดยเซนเซอร์จะตัวแรกจะส่งสัญญาณมายังตัวที่ 2 สามารถนำมาวิเคราะห์ ทำให้สามารถคำนวณความเร็วของรถไฟเฉลี่ยนั้นได้  
หมายเหตุ : จากการทดลองในการส่งสัญญาณด้วยระบบ Module 3G เป็นจำนวน 10 ครั้ง ทำให้ทราบได้ว่าระบบ Module 3G มี Relay ในการส่งสัญญาณประมาณ 6 วินาที ซึ่งจำเป็นต้องใช้เวลา 6 วินาที ที่เกิดจากระบบส่งสัญญาณในระบบ 3G Module เพื่อมาคิดหาความเร็วเฉลี่ยจากสมการด้านล่าง

$$V = \frac{S}{(t-6)}$$

V คือ ความเร็วเฉลี่ย

S คือ ระยะทาง

T คือ เวลาจากไฟเตือนเริ่มติดจนรถไฟมาถึงเซนเซอร์



รูปที่ 4.8 การวัดความเร็วของรถไฟโดยใช้ Accelerometer Sensor จำนวน 2 ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ประกอบการเรียนการสอนเท่านั้น เมื่อผู้ใดเห็นนำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.6 ผลการทดลองที่ได้จากการเตือนการมาของรถไฟ

จากการเก็บข้อมูลของรถไฟจักรประเภทดีเซลรางและดีเซลไฟฟ้าทั้งหมด 11 ขบวน ได้ข้อมูลความเร็วและระยะเวลาที่รถไฟวิ่งมาถึงเสาเตือนนับตั้งแต่ไฟเริ่มเตือน ได้ดังนี้ (จากข้อมูล วันที่ 23 กรกฎาคม 2560)

ตาราง 4.4 แสดงความเร็วรถไฟ และเวลาในการเตือนรถไฟ

รอบเวลา	ขบวน	ประเภท	เวลา(sec)	ความเร็ว(m/s)
06:59	275	ดีเซลไฟฟ้า	40	17.64
07:37	388	ดีเซลไฟฟ้า	42	16.67
08:09	285	ดีเซลไฟฟ้า	33	22.22
08:54	281	ดีเซลไฟฟ้า	40	17.64
11:06	367	ดีเซลราง	34	21.42
13:00	389	ดีเซลราง	32	23.07
13:45	279	ดีเซลราง	39	18.18
16:15	277	ดีเซลราง	33	22.22
17:42	391	ดีเซลไฟฟ้า	36	20.00
18:38	371	ดีเซลไฟฟ้า	32	23.07
19:21	383	ดีเซลไฟฟ้า	34	21.42

จากข้อมูลที่ได้จากผลการทดลอง จะสังเกตได้ว่าเวลาน้อยที่สุดคือ 32 วินาที จากขบวนรถที่มีความเร็วเฉลี่ยที่มากที่สุด ซึ่งได้พิจารณาแล้วว่าทันต่อการรับรู้ของคนในการระวังภัย ดังนั้นระบบนี้จึงสามารถใช้ได้ในเตือนระวางรถไฟเพื่อลดอุบัติเหตุ

#### 4.7 เวลาที่ใช้ในแต่ละขบวน

จากตาราง 4.4 จะทราบว่ารถไฟแต่ละขบวนนั้นมีความเร็วแตกต่างกันในแต่ละขบวน จากการทดลองสามารถแสดงเวลาแต่ละขบวนได้ดังนี้ โดยกำหนดให้รถไฟเริ่มวิ่งผ่านตัวเซนเซอร์ตัวส่งสัญญาณ เป็นวินาทีที่ 0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง 4.5 แสดงเวลาที่ใช้ในรถไฟในแต่ละขบวน

ขบวน	ประเภท	เวลาที่รถไฟผ่าน Detector (s)	เวลาที่ไฟเริ่มเตือน (s)	เวลาที่รถไฟถึง Receiver (s)	เวลาที่ไฟเตือนดับ (s)
275	ดีเซลไฟฟ้า	0	17	40	50
388	ดีเซลไฟฟ้า	0	17	42	52

ตาราง 4.5 แสดงเวลาที่ใช้ในรถไฟในแต่ละขบวน (ต่อ)

ขบวน	ประเภท	เวลาที่รถไฟผ่าน Detector (s)	เวลาที่ไฟเริ่มเตือน (s)	เวลาที่รถไฟถึง Receiver (s)	เวลาที่ไฟเตือนดับ (s)
285	ดีเซลไฟฟ้า	0	17	33	43
281	ดีเซลไฟฟ้า	0	17	40	50
367	ดีเซลราง	0	17	34	44
389	ดีเซลราง	0	17	32	42
279	ดีเซลราง	0	17	39	49
277	ดีเซลราง	0	17	33	43
391	ดีเซลไฟฟ้า	0	17	36	46
371	ดีเซลไฟฟ้า	0	17	32	42
383	ดีเซลไฟฟ้า	0	17	34	44

จากข้อมูลข้างต้น สามารถหาเวลาที่ทำให้ไฟเริ่มเตือนหลังจากรถไฟผ่านจุด Detector ไปแล้ว 17 วินาที โดแบ่ง 6 วินาทีที่เกิดจากการ Delay ของ 3G Module และจากการพิจารณา ระยะทางและความเร็วสูงสุดของรถไฟพบว่าเวลาที่เหมาะสมที่สุดในการแจ้งเตือนรถไฟควรมีเวลาเพิ่มขึ้น 11 วินาที ซึ่งเป็นเวลาที่สามารรับและตอบสนองได้ในการระวางรถไฟ

และพอจะสรุปข้อมูลจากตาราง 4.5 ได้ว่ารถไฟขบวน 389 ประเภทดีเซลรางและขบวน 371 ประเภทดีเซลไฟฟ้า ใช้เวลาน้อยที่สุดในการวิ่ง นับจากเวลาที่ไฟเริ่มเตือนจนถึงเวลาที่รถไฟถึง Receiver เป็นเวลา 15 วินาที และรถไฟขบวน 275 ประเภทดีเซลไฟฟ้าและขบวน 281 ประเภทดีเซลไฟฟ้า ใช้เวลามากที่สุดในการวิ่ง นับจากเวลาที่ไฟเริ่มเตือนจนถึง Receiver เป็นเวลา 23 วินาที

## บทที่ 5

### บทสรุป

จากการศึกษาข้อมูลทั้งหมด รวมถึงการออกแบบ สร้าง และทดสอบระบบสัญญาณไฟเตือนรถไฟโดยใช้การตรวจวัดการสั่นสะเทือน ทำให้ได้ผลการทดลองเพียงพอที่จะนำมาวิเคราะห์และสรุปเป็นผลลัพธ์ได้ดังต่อไปนี้

#### 5.1 สรุปผลการทดลอง

ระบบสัญญาณไฟเตือนรถไฟโดยใช้การตรวจวัดการสั่นสะเทือนของรางรถไฟ สามารถทำงานได้จริง ซึ่งจะทำงานตามข้อกำหนดต่างๆ ดังนี้

(1) สามารถใช้เครื่องวัดความเร่งราคาถูก รุ่น ADXL345 MEMS accelerometer มาใช้วัดความเร่งของไม้หมอนและสามารถเตือนการมาของรถไฟได้ โดยใช้เกณฑ์ในการตรวจจับรถไฟคือไม้หมอนมีการสั่นสะเทือนด้วยความเร่งขนาดที่มากกว่า  $4g$  เวลา  $t_1$  ซึ่งเป็นเวลาระหว่างเพลแรกและเพลที่สองของแคร่แรกมีค่ามากกว่า  $90\text{ ms}$  และเวลา  $t_2$  ซึ่งเป็นเวลาระหว่างเพลสุดท้ายของแคร่แรกและเพลแรกของแคร่ที่สองมีค่ามากกว่า  $270\text{ ms}$

(2) ระบบเตือนสามารถทำงานได้ โดยเมื่อมีรถไฟเคลื่อนที่ผ่านอุปกรณ์ตรวจวัดรถไฟ อุปกรณ์ดังกล่าวจะทำการส่งสัญญาณมาที่อุปกรณ์รับสัญญาณและทำการเตือนด้วยสัญญาณไฟที่จุดตัดทางข้ามบริเวณหอพักสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

(3) สามารถใช้ระบบส่งสัญญาณด้วยตัวรับส่งสัญญาณโทรศัพท์ในการส่งสัญญาณไร้สายได้ โดยไม่จำกัดระยะทาง

(4) ระบบเตือนสามารถเตือนสัญญาณที่เกิดจากการสั่นสะเทือนของรถไฟเท่านั้น โดยมีรูปแบบเฉพาะตัว ซึ่งมีความแม่นยำในการแยกแยะสิ่งอื่นที่กระทำต่อระบบได้

(5) ระบบสัญญาณไฟเตือนรถไฟโดยใช้การตรวจวัดการสั่นสะเทือน สามารถทำงานได้ตลอดเวลาต่อเนื่องทั้งวัน เนื่องจากมีแหล่งพลังงานเป็นระบบ Solar Cell และเก็บไฟไว้ใช้ด้วย Battery

## 5.2 ปัญหาและอุปสรรค

(1) เนื่องจากต้องขออนุญาตการใช้พื้นที่บริเวณข้างทางรถไฟ ซึ่งได้รับการอนุญาตเพียงชั่วคราวเท่านั้นทำให้ติดตั้งเป็นเวลานานไม่ได้

(2) ในขั้นตอนการเก็บข้อมูลการสิ้นสละเพื่อนของรถไฟนั้น มีความยากลำบากในการเก็บข้อมูลเนื่องจากมีสภาพอากาศที่ร้อนและอยู่กลางแจ้ง อีกทั้งยังต้องหาแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับในบริเวณนั้น และรถไฟบางขบวน มีความล่าช้าจากเวลาที่ระบุไว้ จึงทำให้ต้องเสียเวลาเพิ่มมากขึ้น

## 5.3 ข้อเสนอแนะ

(1) ควรระมัดระวังในการต่อสายไฟเข้ากับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ เพราะจะทำให้อุปกรณ์ไม่ทำงาน และเสียหายได้ง่าย

(2) เลือกสายสัญญาณที่มีคุณภาพ

(3) ควรบัดกรีเข้าหัวสายสัญญาณ ซึ่งจะทำให้มีความคงทน แข็งแรง และลดการเกิดปัญหา

(4) ในการทดสอบ หรือเก็บข้อมูล ควรตรวจสอบตารางเวลารถไฟ และสอบถามเจ้าหน้าที่ประจำสถานี เพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาารถไฟล่าช้าในบางขบวน



ภาคผนวก ก

คุณสมบัติของ Accelerometer, QUECTEL UC15, การเชื่อมต่อ3G กับ Arduino UNO R3, การวัดความเร็วของรถไฟ และโค้ดที่ใช้ในอุปกรณ์

## 1.คุณสมบัติของ ADXL325 MEMS accelerometer



## 3-Axis, $\pm 2\text{ g}/\pm 4\text{ g}/\pm 8\text{ g}/\pm 16\text{ g}$ Digital Accelerometer

Data Sheet

ADXL345

### FEATURES

- Ultralow power: as low as 23  $\mu\text{A}$  in measurement mode and 0.1  $\mu\text{A}$  in standby mode at  $V_S = 2.5\text{ V}$  (typical)
- Power consumption scales automatically with bandwidth
- User-selectable resolution
- Fixed 10-bit resolution
- Full resolution, where resolution increases with  $g$  range, up to 13-bit resolution at  $\pm 16\text{ g}$  (maintaining 4 mg/LSB scale factor in all  $g$  ranges)
- Embedded memory management system with FIFO technology minimizes host processor load
- Single tap/double tap detection
- Activity/inactivity monitoring
- Free-fall detection
- Supply voltage range: 2.0 V to 3.6 V
- I/O voltage range: 1.7 V to  $V_S$
- SPI (3- and 4-wire) and I<sup>2</sup>C digital interfaces
- Flexible interrupt modes mappable to either interrupt pin
- Measurement ranges selectable via serial command
- Bandwidth selectable via serial command
- Wide temperature range ( $-40^\circ\text{C}$  to  $+85^\circ\text{C}$ )
- 10,000  $g$  shock survival
- Pb free/RoHS compliant
- Small and thin: 3 mm  $\times$  5 mm  $\times$  1 mm LGA package

### APPLICATIONS

- Handsets
- Medical instrumentation
- Gaming and pointing devices
- Industrial instrumentation
- Personal navigation devices
- Hard disk drive (HDD) protection

### GENERAL DESCRIPTION

The ADXL345 is a small, thin, ultralow power, 3-axis accelerometer with high resolution (13-bit) measurement at up to  $\pm 16\text{ g}$ . Digital output data is formatted as 16-bit two's complement and is accessible through either a SPI (3- or 4-wire) or I<sup>2</sup>C digital interface.

The ADXL345 is well suited for mobile device applications. It measures the static acceleration of gravity in tilt-sensing applications, as well as dynamic acceleration resulting from motion or shock. Its high resolution (3.9 mg/LSB) enables measurement of inclination changes less than  $1.0^\circ$ .

Several special sensing functions are provided. Activity and inactivity sensing detect the presence or lack of motion by comparing the acceleration on any axis with user-set thresholds. Tap sensing detects single and double taps in any direction. Free-fall sensing detects if the device is falling. These functions can be mapped individually to either of two interrupt output pins. An integrated memory management system with a 32-level first in, first out (FIFO) buffer can be used to store data to minimize host processor activity and lower overall system power consumption.

Low power modes enable intelligent motion-based power management with threshold sensing and active acceleration measurement at extremely low power dissipation.

The ADXL345 is supplied in a small, thin, 3 mm  $\times$  5 mm  $\times$  1 mm, 14-lead, plastic package.

### FUNCTIONAL BLOCK DIAGRAM

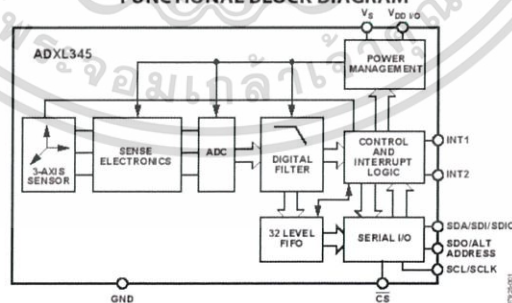


Figure 1.

Rev. E

Document Feedback

Information furnished by Analog Devices is believed to be accurate and reliable. However, no responsibility is assumed by Analog Devices for its use, nor for any infringements of patents or other rights of third parties that may result from its use. Specifications subject to change without notice. No license is granted by implication or otherwise under any patent or patent rights of Analog Devices. Trademarks and registered trademarks are the property of their respective owners.

One Technology Way, P.O. Box 9106, Norwood, MA 02062-9106, U.S.A.  
Tel: 781.329.4700 ©2009–2015 Analog Devices, Inc. All rights reserved.  
Technical Support [www.analog.com](http://www.analog.com)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ADXL345

## Data Sheet

## SPECIFICATIONS

$T_A = 25^\circ\text{C}$ ,  $V_S = 2.5\text{ V}$ ,  $V_{DDIO} = 1.8\text{ V}$ , acceleration = 0 g,  $C_S = 10\text{ }\mu\text{F}$  tantalum,  $C_{LDO} = 0.1\text{ }\mu\text{F}$ , output data rate (ODR) = 800 Hz, unless otherwise noted. All minimum and maximum specifications are guaranteed. Typical specifications are not guaranteed.

Table 1.

Parameter	Test Conditions	Min	Typ <sup>1</sup>	Max	Unit
<b>SENSOR INPUT</b>					
Measurement Range	Each axis User selectable		$\pm 2, \pm 4, \pm 8, \pm 16$		g
Nonlinearity	Percentage of full scale		$\pm 0.5$		%
Inter-Axis Alignment Error			$\pm 0.1$		Degrees
Cross-Axis Sensitivity <sup>2</sup>			$\pm 1$		%
<b>OUTPUT RESOLUTION</b>					
All g Ranges	Each axis 10-bit resolution		10		Bits
$\pm 2\text{ g}$ Range	Full resolution		10		Bits
$\pm 4\text{ g}$ Range	Full resolution		11		Bits
$\pm 8\text{ g}$ Range	Full resolution		12		Bits
$\pm 16\text{ g}$ Range	Full resolution		13		Bits
<b>SENSITIVITY</b>					
Sensitivity at $X_{OUT}, Y_{OUT}, Z_{OUT}$					
	All g-ranges, full resolution	230	256	282	LSB/g
	$\pm 2\text{ g}$ , 10-bit resolution	230	256	282	LSB/g
	$\pm 4\text{ g}$ , 10-bit resolution	115	128	141	LSB/g
	$\pm 8\text{ g}$ , 10-bit resolution	57	64	71	LSB/g
	$\pm 16\text{ g}$ , 10-bit resolution	29	32	35	LSB/g
Sensitivity Deviation from Ideal					
	All g-ranges		$\pm 1.0$		%
Scale Factor at $X_{OUT}, Y_{OUT}, Z_{OUT}$					
	All g-ranges, full resolution	3.5	3.9	4.3	mg/LSB
	$\pm 2\text{ g}$ , 10-bit resolution	3.5	3.9	4.3	mg/LSB
	$\pm 4\text{ g}$ , 10-bit resolution	7.1	7.8	8.7	mg/LSB
	$\pm 8\text{ g}$ , 10-bit resolution	14.1	15.6	17.5	mg/LSB
	$\pm 16\text{ g}$ , 10-bit resolution	28.6	31.2	34.5	mg/LSB
Sensitivity Change Due to Temperature					
<b>0 g OFFSET</b>					
Each axis					
0 g Output for $X_{OUT}, Y_{OUT}$		-150	0	+150	mg
0 g Output for $Z_{OUT}$		-250	0	+250	mg
0 g Output Deviation from Ideal, $X_{OUT}, Y_{OUT}$			$\pm 35$		mg
0 g Output Deviation from Ideal, $Z_{OUT}$			$\pm 40$		mg
0 g Offset vs. Temperature for X-, Y-Axes			$\pm 0.4$		mg/ $^\circ\text{C}$
0 g Offset vs. Temperature for Z-Axis			$\pm 1.2$		mg/ $^\circ\text{C}$
<b>NOISE</b>					
X-, Y-Axes	ODR = 100 Hz for $\pm 2\text{ g}$ , 10-bit resolution or all g-ranges, full resolution		0.75		LSB rms
Z-Axis	ODR = 100 Hz for $\pm 2\text{ g}$ , 10-bit resolution or all g-ranges, full resolution		1.1		LSB rms
<b>OUTPUT DATA RATE AND BANDWIDTH</b>					
Output Data Rate (ODR) <sup>3,4,5</sup>	User selectable	0.1		3200	Hz
<b>SELF-TEST<sup>6</sup></b>					
Output Change in X-Axis		0.20		2.10	g
Output Change in Y-Axis		-2.10		-0.20	g
Output Change in Z-Axis		0.30		3.40	g
<b>POWER SUPPLY</b>					
Operating Voltage Range ( $V_S$ )		2.0	2.5	3.6	V
Interface Voltage Range ( $V_{DDIO}$ )		1.7	1.8	$V_S$	V
Supply Current	ODR $\geq$ 100 Hz		140		$\mu\text{A}$
	ODR < 10 Hz		30		$\mu\text{A}$
Standby Mode Leakage Current			0.1		$\mu\text{A}$
Turn-On and Wake-Up Time <sup>7</sup>	ODR = 3200 Hz		1.4		ms

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Data Sheet

ADXL345

Parameter	Test Conditions	Min	Typ <sup>1</sup>	Max	Unit
TEMPERATURE					
Operating Temperature Range		-40		+85	°C
WEIGHT					
Device Weight			30		mg

<sup>1</sup> The typical specifications shown are for at least 68% of the population of parts and are based on the worst case of mean  $\pm 1 \sigma$ , except for 0 g output and sensitivity, which represents the target value. For 0 g offset and sensitivity, the deviation from the ideal describes the worst case of mean  $\pm 1 \sigma$ .

<sup>2</sup> Cross-axis sensitivity is defined as coupling between any two axes.

<sup>3</sup> Bandwidth is the -3 dB frequency and is half the output data rate, bandwidth = ODR/2.

<sup>4</sup> The output format for the 3200 Hz and 1600 Hz ODRs is different than the output format for the remaining ODRs. This difference is described in the Data Formatting of Upper Data Rates section.

<sup>5</sup> Output data rates below 6.25 Hz exhibit additional offset shift with increased temperature, depending on selected output data rate. Refer to the Offset Performance at Lowest Data Rates section for details.

<sup>6</sup> Self-test change is defined as the output (g) when the SELF\_TEST bit = 1 (in the DATA\_FORMAT register, Address 0x31) minus the output (g) when the SELF\_TEST bit = 0. Due to device filtering, the output reaches its final value after  $4 \times \tau$  when enabling or disabling self-test, where  $\tau = 1/(\text{data rate})$ . The part must be in normal power operation (LOW\_POWER bit = 0 in the BW\_RATE register, Address 0x2C) for self-test to operate correctly.

<sup>7</sup> Turn-on and wake-up times are determined by the user-defined bandwidth. At a 100 Hz data rate, the turn-on and wake-up times are each approximately 11.1 ms. For other data rates, the turn-on and wake-up times are each approximately  $\tau + 1.1$  in milliseconds, where  $\tau = 1/(\text{data rate})$ .



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## AXES OF ACCELERATION SENSITIVITY

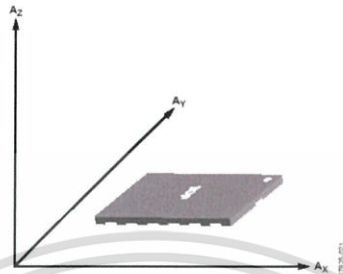


Figure 57. Axes of Acceleration Sensitivity (Corresponding Output Voltage Increases When Accelerated Along the Sensitive Axis)

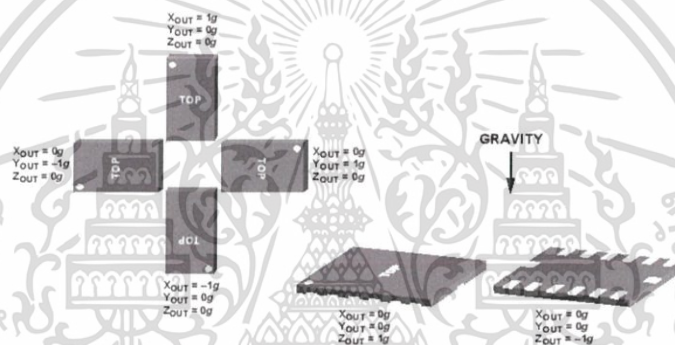


Figure 58. Output Response vs. Orientation to Gravity

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2. คุณสมบัติของ Kistler SN8692C50 IEPE accelerometer

Acceleration - ATP

**KISTLER**

P. 1 ... 2

Type 8692C5 ... 8692C50, 8692C5M1 ... 8692C50M1,

### 8692C SERIES, TRIAXIAL PiezoBEAM® ACCELEROMETERS

Designed for measuring structural response in modal applications, the 8692C series of triaxial accelerometers measure vibration in three, mutually perpendicular axes (x, y and z), simultaneously. The sensors feature high sensitivity and a low impedance voltage output. These lightweight accelerometers reduce mass loading on thin-walled structures. This series of accelerometers, each with an

integral four-pin connector, are designed for simplified and versatile installation. The unique, built-in magnet facilitates quick mounting; adhesive may be used for more permanent installations. As an option, the M1 version is available with 10-32 mounting thread in place of the internal magnet while the M9 version is available with color coded caps for axis identification. The 8692C series features

Continued

- Low impedance, voltage mode
- Unique integral mounting magnet
- Low cost, lightweight triaxial design
- High accuracy and stability
- Choice of ranges and sensitivities
- Excellent thermal stability
- Conforming to CE



Technical Data	Units	8692C5 8692C5M1	8692C10 8692C10M1	8692C50 8692C50M1
Acceleration Range	g	±5	±10	±50
Acceleration Limit	g <sub>pk</sub>	±3	±16	±80
Threshold nom.	g <sub>rms</sub>	120	280	1000
Sensitivity ±5% @ 3 g <sub>rms</sub> & 100Hz	mV/g	1000	500	100
Resonant Frequency (mounted, nom.)	kHz	9	22	22
Frequency Response ±5%	Hz	1 ... 3000	1 ... 3000	1 ... 6000
Phase Shift, < 5°	Hz	4 ... 2000	4 ... 2000	4 ... 4000
Amplitude Non-linearity	%FSO	±1	±1	±1
Time Constant nom.	s	1	1	1
Transverse Sensitivity	%	<1	<1	<1
Long Term Stability	%	±1	±1	±1
Environmental:				
Base Strain Sensitivity @ 250 µε	g/µε	<0.001	<0.001	<0.001
Shock Limit (0.2ms pulse width)	g <sub>pk</sub>	5000	10000	10000
Temperature Coefficient of Sensitivity	%/°F	-0.02	+0.04	+0.04
	%/°C	-0.04	+0.08	+0.08
Temperature Range Operating (4mA supply current)	°F	32 ... 149	32 ... 149	32 ... 149
	°C	0 ... 65	0 ... 65	0 ... 65
Storage	°F	-10 ... 200	-10 ... 200	-10 ... 200
	°C	-23 ... 94	-23 ... 94	-23 ... 94
Output				
Bias nom.	VDC		11	
Impedance	Ω		<500	
Voltage full scale	V		±5	
Current	mA		2	
Source				
Voltage	VDC		20 ... 30	
Constant Current	mA		2 ... 20	
Impedance min.	kΩ		100	

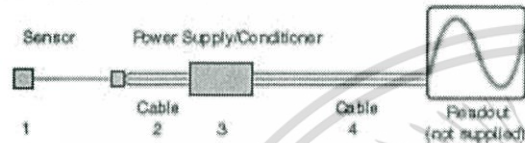
1 g = 9.80665 m/s<sup>2</sup>, 1 inch = 25.4 mm, 1 gram = 0.03527 oz, 1 lbf-in = 0.1129 Nm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

a wide frequency response with outstanding thermal stability and phase response. They are constructed of hard, anodized aluminum and sealed to withstand a wide range of environmental conditions. These sensors can be operated from an internal power source (IEPE, Integrated Electronic Piezo Electric) found in many FFT analyzers or from the wide range of Kistler Piezotron® power supply couplers. The low impedance voltage output allows for the use of low-cost cable and offers immunity to electrical noise.

Technical Data	Unit	8692...
<b>Construction:</b>		
<b>Sensing Element</b>	type	ceramic bimorph Bander
<b>Housing</b>	material	Al / hard anodized
<b>Sealing-housing connector</b>	type	epoxy
<b>Connector</b>	type	4-pin Microtech Equivalent
<b>Ground Isolation min.</b>	MΩ	10
<b>Weight</b>	grams	16
<b>Magnetic Holding Force nom.</b>	lbf	2.75
for 8692	N	12.2
<b>Mounting Torque M1 version</b>	lb-in (Nm)	12 (1.3)

### Ordering Information



Specify:

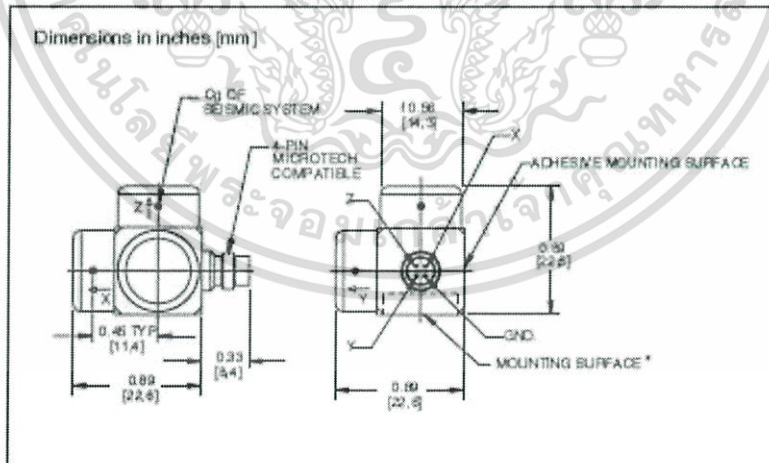
- 1 - 8692C... triaxial accelerometer with magnetic mounting specify range or  
8692C...M1 accelerometer with 10-32 mounting thread
- 2 - 1578A... extension cable, 4-pin Microtech pos. to 4-pin Microtech neg., specify length in meters
- 3 - 1756B(X) cable, breakout cable 4-pin Microtech neg. to 3x BNC pos., specify length (X) = 0.5, 3, 10 meters
- 4 - 5100 series couplers, or  
5134 four-channel coupler
- 4 - 1511... output cable, BNC pos. to BNC pos., specify length in meters

### Related Products

8630C	series accelerometers, adhesive mount cube
8636C	series accelerometers, 5-40 stud mount cube
8632C	series accelerometers, single axis cube
8690C	series accelerometers, triaxial cube
9720	series impulse hammers
K-BEAM®	accelerometers for very low frequency measurements

### Supplied Accessories

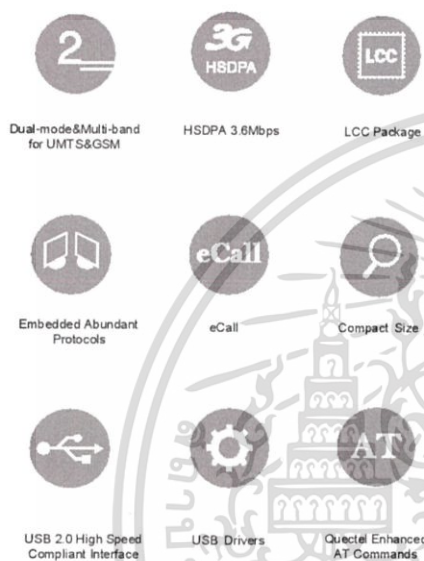
8432	mounting wax
8402	mounting stud, 10-32 (included with M1 version)
8411	mounting stud, 10-32 to M6 (included with M1 version) shipped only outside N.A.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3. คุณสมบัติของ QUECTEL UC15

## Quectel UC15 UMTS/HSDPA Module



### Key Benefits

- ☛ Worldwide UMTS/HSDPA and GSM/GPRS/EDGE coverage
- ☛ Minimal SMT form factor ideal for small end products with tight space
- ☛ High-quality data and image transmission even in hazard conditions and dark environment
- ☛ Fast time-to-market:  
Reference designs, evaluation tools and timely technical support minimize design-in time and development efforts
- ☛ Robust mounting and interfaces

UMTS/HSDPA

UC15  
UMTS/HSDPA  
LCC PACKAGE

UC15 is a cost effective UMTS/HSDPA module featuring a maximum data rate of 3.6Mbps downlink and 384Kbps uplink. Designed to be compatible with Quectel GSM/GPRS M10 module in the compact and unified form factor, it provides a flexible and scalable platform for migrating from GSM/GPRS/EDGE to UMTS/HSDPA. This enables integrators and developers to design their applications once and take advantage of true worldwide coverage and service flexibility afforded by the combination of the two most prevalent cellular technologies worldwide.

Its advanced LCC package allows fully automated manufacturing for high volume applications and copper-surfaced bottom design optimizes heat dissipation. The tiny profile in cost optimized SMT form factor and highly integration level enable integrators and developers to easily design their applications and truly benefit from the module's small size, low power consumption and mechanical intensity.

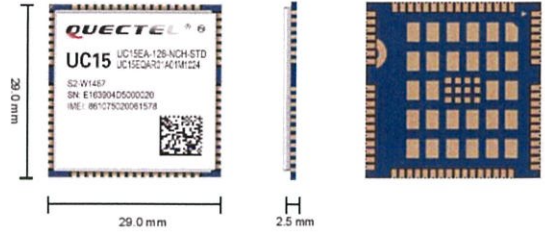
A rich set of Internet protocols, industry-standard interfaces (USB/JART/ADC/NETLIGHT/PCM) and abundant functionalities (USB drivers for Windows XP, Windows Vista, Windows 7, Windows 8, Windows CE, Linux, Android/eCall) extend the applicability of the module to a wide range of M2M applications such as automotive, metering, security, CPE and wireless POS.

**QUECTEL**<sup>®</sup>  
Build a Smarter World

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# Quectel UC15

## UMTS/HSDPA Module



### General Features

	<b>UC15-E</b> 900/2100MHz@UMTS 900/1800MHz@GSM
	<b>UC15-A</b> 850/1900MHz@UMTS 850/900/1800/1900MHz@GSM
	<b>UC15-T</b> 850/2100MHz@UMTS 850/900/1800/1900MHz@GSM
<b>Frequency Bands</b>	
<b>HSDPA</b>	Release 5 (category 6)
<b>EDGE</b>	Downlink only
<b>GPRS</b>	Multi-slot Class 12
<b>UMTS</b>	Release 99/5
<b>GSM</b>	Release 99/4
<b>Supply Voltage Range</b>	3.3V ~ 4.3V, 3.8V typ
<b>Operation Temperature</b>	-40 °C ~ +85 °C
<b>Dimensions</b>	29.0mm x 29.0mm x 2.5mm
<b>Weight</b>	Approx. 4.3g
<b>Control via AT commands</b>	3GPP TS27.007, 27.005 and other enhanced AT Commands

### Electrical Characteristics

#### Output Power

Class 3 (24dBm +1-3dB) for UMTS bands  
Class 4 (33dBm ±2dB) for GSM 850/900MHz  
Class 1 (30dBm ±2dB) for GSM 1800/1900MHz

#### Consumption

65µA@Power off  
1.8mA@GSM Sleep, DRX=9  
1.7mA@UMTS Sleep, DRX=9  
260mA@GSM voice, max power  
480mA@UMTS voice, max power  
480mA@GPRS data, max power  
475mA@HSDPA, max power

#### Sensitivity

-110dBm@UMTS Bands  
-108.5dBm@GSM 900MHz  
-108.5dBm@GSM 1800MHz

#### Interfaces

**USB** 2.0 High Speed

**Audio Analog** 2 Analog Input and Output Channels (Optional)

**Audio Digital** Digital Audio through PCM Interface (Optional)

**UART** 1+ Full Functions

**USIM** 1.8V/3V

**ADC** \*2, 12bits

**NETLIGHT** Indication for network activity status

**STATUS** Indication for Power On and Off Status

#### Certification

**Approval** CE/GCF/IC/ FCC/PTCRB/NBCT/AT&T/Rogers/NCC/OFCA/RCM

\* Under development

### Specifications

<b>SMS</b>	Point-to-point MO and MT SMS Cell Broadcast Text and PDU Mode
<b>HSDPA</b>	Max 3.6Mbps (DL)
<b>UMTS</b>	Max 384Kbps (DL)/Max 384Kbps (UL)
<b>DATA</b>	
<b>EDGE</b>	Max 236.8Kbps (DL)
<b>GPRS</b>	Max 85.6Kbps (DL)/Max 85.6Kbps (UL)
<b>CSD</b>	GSM: 14.4 Kbps (DL)/14.4 Kbps (UL) WCDMA: 64 Kbps (DL)/64 Kbps (UL)
<b>Voice</b>	
<b>Speech Codec Modes</b>	HR, FR, EFR, AMR, AMR-WB
<b>Echo Arithmetic</b>	Echo Cancellation Noise Reduction
<b>Protocols</b>	TCP/UDP/PPP/FTP/HTTP/SMP/MMS/SSL/ PING/NTP/HTTPS/SMTPS

### Special Features

<b>USB Serial</b>	Windows XP, Windows Vista, Windows 7, Windows 8, Windows CE5.0/6.0/7.0, Windows Mobile 6.1/6.5*, Linux 2.6 or later, Android 2.3 or later
<b>Drivers</b>	
<b>RIL</b>	Windows CE6.0*, Windows Mobile 6.1/6.5*, Android 2.3/4.0
<b>MUX</b>	Linux 2.6 or later, Android 2.3 or later
<b>eCall</b>	Accident, Emergency Services
<b>Firmware Update</b>	Firmware Update via USB and UART Interface
<b>QuecFile</b>	File System Access and Management
<b>FOTA</b>	QuecFOTA, DFOTA
<b>QuecLocator</b>	

**QUECTEL**<sup>®</sup>  
Build a Smarter World

Copyright © 2015 Quectel Wireless Solutions Co., Ltd. All Rights Reserved <http://www.quectel.com>

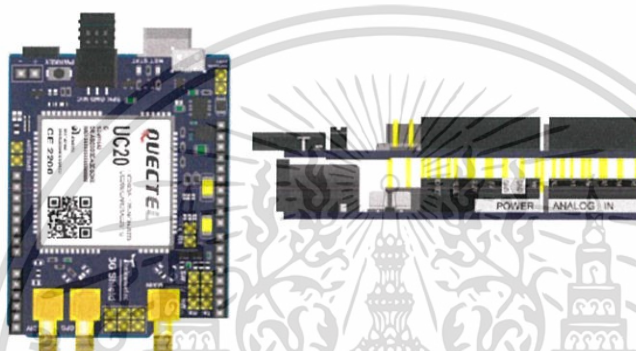
HQ address: Office 501, Building 13, No.99  
Tianzhou Road, Shanghai, China 200233  
Tel: +86 21 51086236  
Fax: +86 21 54453968  
Email: info@quectel.com

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 4. วิธีเชื่อมต่อ 3G กับ Arduino UNO R3

### วิธีเชื่อมต่อ 3G Shield / 3G Module กับ Arduino UNO R3

#### 3G Shield

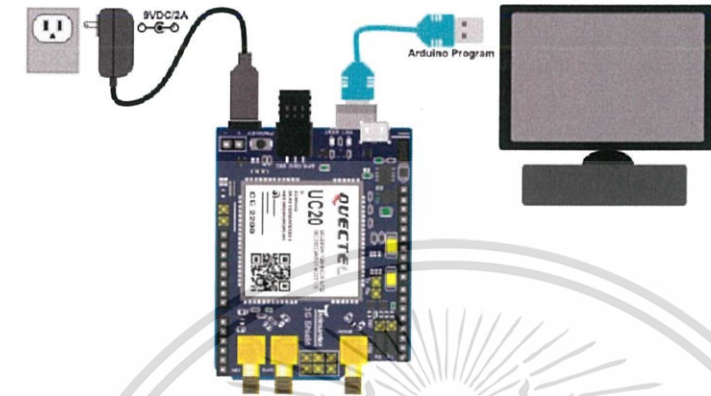


#### การจ่ายไฟให้กับ 3G Shield

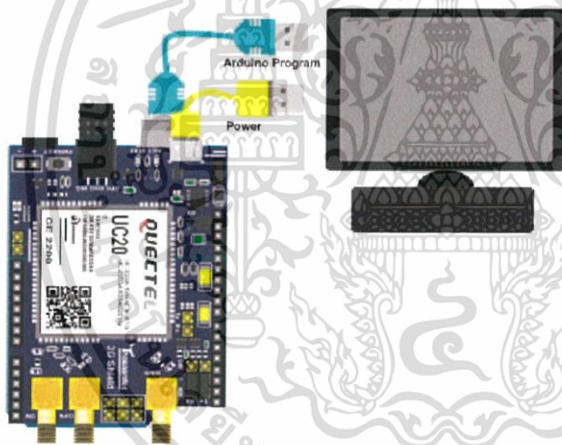
การจ่ายไฟเลี้ยงให้กับ 3G Shield สามารถจ่ายไฟได้ 2 ช่องทางได้แก่

- จ่ายไฟเลี้ยงผ่านทาง DC Jack ของบอร์ด Arduino ซึ่งทางเราแนะนำให้ใช้กับภาคจ่ายไฟ 9VDC 2A (บน 3G Shield จะมีวงจร Switching ที่รองรับการจ่ายไฟได้ตั้งแต่ 5 – 12 VDC แต่เนื่องจากการจ่ายไฟทาง DC Jack ของ Arduino บอร์ด Arduino จะนำไฟมาจากส่วนนี้ไปใช้บนบอร์ดด้วย 9VDC 2A จึงเป็นค่าที่เหมาะสมเพราะจะทำให้ Regulator ที่อยู่บน Arduino ไม่ร้อนเกินไป)

**หมายเหตุ :** บน 3G Shield ในสภาวะปกติจะกินกระแสไม่มากนัก แต่ถ้าหากนำมาโมดูลไปใช้ในสภาพแวดล้อมที่มีสัญญาณน้อย ช่วงเวลาที่ไม่ถูกล้นหาสัญญาณ จะใช้กระแสสูงกว่าปกติ จึงควรจัดหา แหล่งจ่ายไฟที่สามารถจ่ายกระแสได้ประมาณ 2A

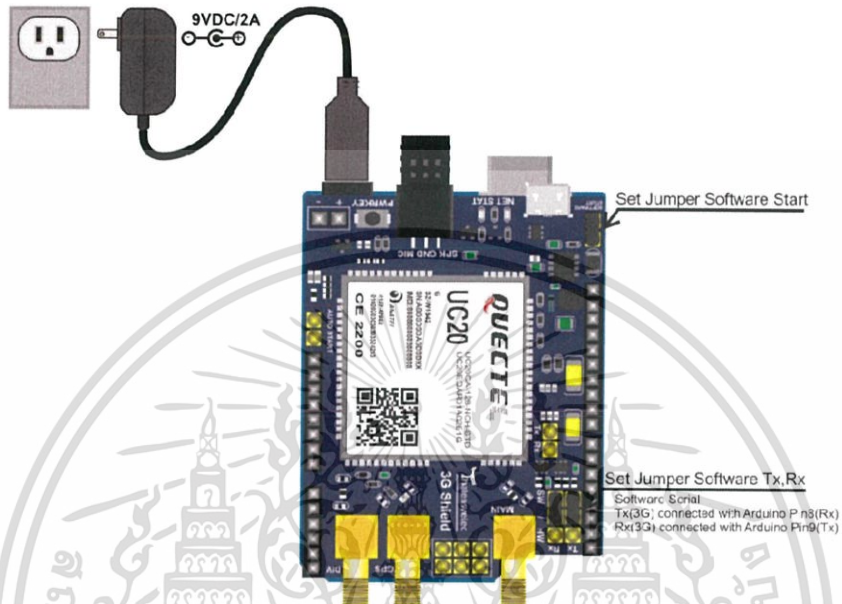


- จ่ายไฟเลี้ยงให้กับ 3G Shield ผ่านทาง USB Port ของ 3G Shield



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## การเซ็ต Jumper



### - Jumper Start

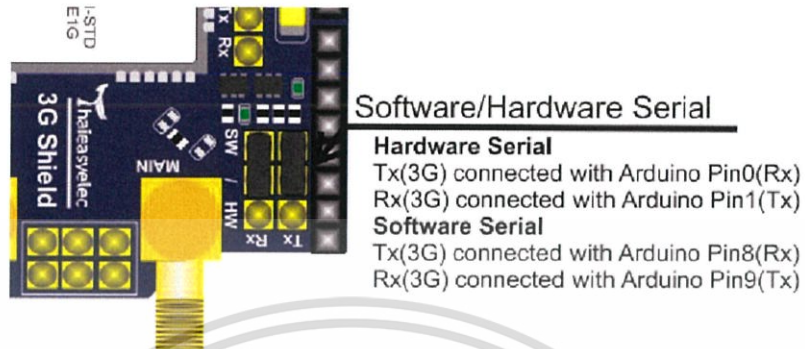
Jumper ที่ใช้สำหรับ Start หรือ สั่งงานให้ 3G on ขึ้นมาจะมีอยู่ด้วยกัน 2 ตำแหน่ง ได้แก่

- Jumper Auto Start ใช้สำหรับตั้งค่าให้ 3G shield Power On ทันทีเมื่อจ่ายไฟให้กับโมดูล
- Jumper Software Start ใช้สำหรับสั่งงาน Power On โมดูลด้วย Software โดยขา Software-Start จะต่อยุ่กับ Arduino ที่ Pin4



### - Jumper Serial

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Jumper Serial ใช้สำหรับกำหนด ช่องทางของ Serial ที่ใช้เชื่อมต่อกับตัว 3G Module บน 3G Shield ซึ่งสามารถกำหนดการเชื่อมต่อได้ 2 ช่องทางได้แก่

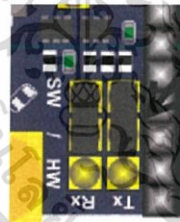
- เชื่อมต่อ 3G Shield กับขา Hardware Serial (Arduino Pin 0,1)



### Set Jumper Hardware Tx,Rx

**Hardware Serial**  
Tx(3G) connected with Arduino Pin0(Rx)  
Rx(3G) connected with Arduino Pin1(Tx)

- เชื่อมต่อ 3G Shield กับขา Software Serial (Arduino Pin 8,9)

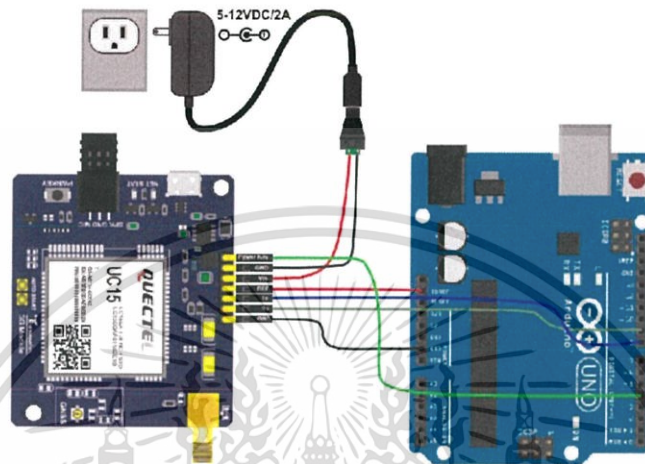


### Set Jumper Software Tx,Rx

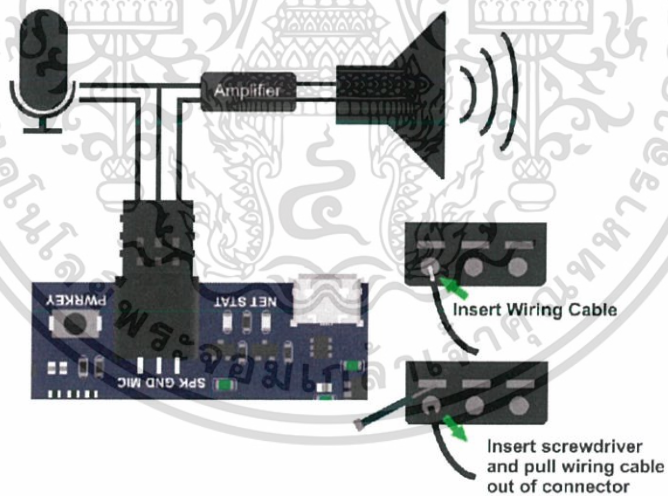
**Software Serial**  
Tx(3G) connected with Arduino Pin8(Rx)  
Rx(3G) connected with Arduino Pin9(Tx)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 3G Module



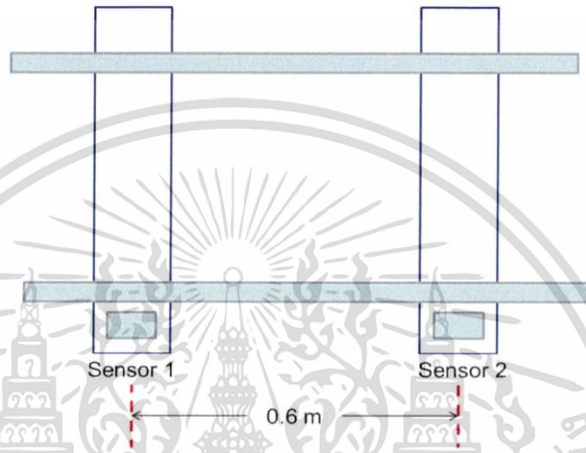
วิธีเชื่อมต่อ 3G Shield / 3G Module กับ Mic และ Speaker



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 5. วิธีวัดความเร็วของรถไฟ

ผู้ทำการทดลองได้ใช้การหาความเร็วของรถไฟโดยใช้เซนเซอร์ Accelerometer Sensor สองตัววางไว้บนหมอนรองรางรถไฟ ซึ่งมีระยะห่าง 0.6 เมตร จากนั้นเขียนโปรแกรมให้เซนเซอร์ทั้งสองตัวสามารถหาผลต่างของเวลา โดยเซนเซอร์แต่ละตัวจะรับค่าการสั่นของรถไฟโดยจะบอกเวลา ณ ขณะนั้น สามารถนำมาวิเคราะห์ ทำให้สามารถคำนวณความเร็วของรถไฟขณะนั้นได้



รูปการวัดความเร็วของรถไฟโดยใช้ Accelerometer Sensor จำนวน 2 ตัว

โดยมีโค้ดที่ใช้ในการทดลองดังนี้

```
#include <Wire.h>
```

```
#include <Adafruit_Sensor.h>
```

```
#include <Adafruit_ADXL345_U.h>
```

```
/* Assign a unique ID to this sensor at the same time */
```

```
Adafruit_ADXL345_Unified accel = Adafruit_ADXL345_Unified(12345);
```

```
void displaySensorDetails(void)
```

```
{
```

```
    sensor_t sensor;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

accel.getSensor(&sensor);

Serial.println("-----");

Serial.print ("Sensor:   "); Serial.println(sensor.name);

Serial.print ("Driver Ver: "); Serial.println(sensor.version);

Serial.print ("Unique ID: "); Serial.println(sensor.sensor_id);

Serial.print ("Max Value: "); Serial.print(sensor.max_value); Serial.println(" m/s^2");

Serial.print ("Min Value: "); Serial.print(sensor.min_value); Serial.println(" m/s^2");

Serial.print ("Resolution: "); Serial.print(sensor.resolution); Serial.println(" m/s^2");

Serial.println("-----");

Serial.println("");

delay(500);
}

void displayDataRate(void)
{

Serial.print ("Data Rate: ");

switch(accel.getDataRate())

{

case ADXL345_DATARATE_3200_HZ:

Serial.print ("3200 ");

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

break;

case ADXL345_DATARATE_1600_HZ:

    Serial.print ("1600 ");

    break;

case ADXL345_DATARATE_800_HZ:

    Serial.print ("800 ");

    break;

case ADXL345_DATARATE_400_HZ:

    Serial.print ("400 ");

    break;

case ADXL345_DATARATE_200_HZ:

    Serial.print ("200 ");

    break;

case ADXL345_DATARATE_100_HZ:

    Serial.print ("100 ");

    break;

case ADXL345_DATARATE_50_HZ:

    Serial.print ("50 ");

    break;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
case ADXL345_DATARATE_25_HZ:
```

```
    Serial.print ("25 ");
```

```
    break;
```

```
case ADXL345_DATARATE_12_5_HZ:
```

```
    Serial.print ("12.5 ");
```

```
    break;
```

```
case ADXL345_DATARATE_6_25HZ:
```

```
    Serial.print ("6.25 ");
```

```
    break;
```

```
case ADXL345_DATARATE_3_13_HZ:
```

```
    Serial.print ("3.13 ");
```

```
    break;
```

```
case ADXL345_DATARATE_1_56_HZ:
```

```
    Serial.print ("1.56 ");
```

```
    break;
```

```
case ADXL345_DATARATE_0_78_HZ:
```

```
    Serial.print ("0.78 ");
```

```
    break;
```

```
case ADXL345_DATARATE_0_39_HZ:
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

Serial.print ("0.39 ");

break;

case ADXL345_DATARATE_0_20_HZ:

Serial.print ("0.20 ");

break;

case ADXL345_DATARATE_0_10_HZ:

Serial.print ("0.10 ");

break;

default:

Serial.print ("???? ");

break;

}

Serial.println(" Hz");

}

```

```

void displayRange(void)

```

```

{

Serial.print ("Range:      +/- ");

switch(accel.getRange())

{

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

case ADXL345_RANGE_16_G:

    Serial.print ("16 ");

    break;

case ADXL345_RANGE_8_G:

    Serial.print ("8 ");

    break;

case ADXL345_RANGE_4_G:

    Serial.print ("4 ");

    break;

case ADXL345_RANGE_2_G:

    Serial.print ("2 ");

    break;

default:

    Serial.print ("?? ");

    break;

}

Serial.println(" g");

}

void setup(void)

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

{

#ifndef ESP8266

    while (!Serial); // for Leonardo/Micro/Zero

#endif

Serial.begin(9600);

Serial.println("Accelerometer Test"); Serial.println("");

/* Initialise the sensor */

if(!accel.begin())

{

    /* There was a problem detecting the ADXL345 ... check your connections */

    Serial.println("Ooops, no ADXL345 detected ... Check your wiring!");

    while(1);

}

/* Set the range to whatever is appropriate for your project */

accel.setRange(ADXL345_RANGE_16_G);

// displaySetRange(ADXL345_RANGE_8_G);

// displaySetRange(ADXL345_RANGE_4_G);

// displaySetRange(ADXL345_RANGE_2_G);

/* Display some basic information on this sensor */

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

displaySensorDetails();

/* Display additional settings (outside the scope of sensor_t) */

displayDataRate();

displayRange();

Serial.println("");

}

void loop(void)
{
/* Get a new sensor event */
sensors_event_t event;
accel.getEvent(&event);

/* Display the results (acceleration is measured in m/s^2) */
Serial.print("X: "); Serial.print(event.acceleration.x); Serial.print(" ");
Serial.print("Y: "); Serial.print(event.acceleration.y); Serial.print(" ");
Serial.print("Z: "); Serial.print(event.acceleration.z); Serial.print("
");Serial.println("m/s^2 ");

delay(500);
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 6. โค้ดที่ใช้ในอุปกรณ์

โค้ดที่ใช้ในการเขียนโปรแกรมมีดังนี้

```
#include <TimerOne.h>
```

```
#include <Wire.h>
```

```
#include <Adafruit_Sensor.h>
```

```
#include <Adafruit_ADXL345_U.h>
```

```
#include "TEE_UC20.h"
```

```
#include "SoftwareSerial.h"
```

```
#include "call.h"
```

```
#include <AltSoftSerial.h>
```

```
////Module UC15-T////////////////////////////////////
```

```
CALL call;
```

```
//SoftwareSerial mySerial(8,9); // RX, TX
```

```
AltSoftSerial mySerial;
```

```
////Module ADXL345////////////////////////////////////
```

```
Adafruit_ADXL345_Unified accel = Adafruit_ADXL345_Unified(12345);
```

```
////Global Variable////////////////////////////////////
```

```
String phone_number_send = "0647943327"; //เบอร์ที่จะโทรหา
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

String phone_number_receive= "0648340961"; //เบอร์ที่จะรับ

sensors_event_t event;

double Offset = 0; //ไว้สอบเทียบกับเครื่องมือวัดที่ผ่านการ Calibration

double SetZero = 0; //ไว้รับค่าที่อ่านได้ให้เป็น 0

double Amplitude = 4; //แอมพลิจูดที่ใช้ในการตัดสินใจ

int AmplitudeCount = 0; //จำนวนแอมพลิจูด

int AmplitudeTrain = 3; //จำนวนแอมพลิจูดที่เป็นของรถไฟ

int TimeCount = 0;

int TimeOut = 10; ///เวลาที่ไม่มีสัญญาณเข้ามาเกิน 10 s

bool IsCall = false;

int Mode = 1; //Mode : 1 = ตัวตรวจจับสัญญาณรถไฟ , 2 = ตัวรับสัญญาณพร้อมแจ้งเตือน

void setup()

{

Serial.begin(9600);

//Initial GSM Module UC15-T

gsm.begin(&mySerial,9600);

gsm.Event_debug = debug;

gsm.PowerOn();

while(gsm.WaitReady()){}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

//Initial Accelerometer Module ADXL345

if(!accel.begin())

{

    Serial.println("Oops, no ADXL345 detected ... Check your wiring!");

    while(1);

}

accel.setRange(ADXL345_RANGE_16_G); //Set the range

// Calibration Accelerometer Module ADXL345

SetZero = read_average(10);

//Initial TimeOne

Timer1.initialize(1000000); //The led will blink in a half second time interval

Timer1.stop();

Timer1.attachInterrupt(blinkTime);

TimeCount = 0;

pinMode(LED_BUILTIN, OUTPUT);

IsCall = false;

delay(2000);

}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
void loop()
{
  SelectMode(Mode);
}
```

```
void SelectMode(int i)
```

```
{
  switch(i)
```

```
{
```

```
  case 1:
```

```
  {
```

```
    DetectTrain();
```

```
    break;
```

```
  }
```

```
  case 2:
```

```
  {
```

```
    WarningTrain();
```

```
    break;
```

```
  }
```

```
}
```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

}

void DetectTrain()

{

double getAccZ = getAccelerationZ();

if(getAccZ > Amplitude) //(rawdata > setpoint)|| (rawdata < (setpoint*-1))

{

Serial.println(getAccZ);

Timer1.start();

AmplitudeCount++;

TimeCount = 0;

delay(50);//

}

if((AmplitudeCount >= AmplitudeTrain)&&(IsCall == false))

{

Serial.println("The train is coming");

AmplitudeCount = 0;

IsCall = true;

call.Call(phone_number_send); //ส่งข้อมูลไปโดยการโทร

}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

if(TimeCount == TimeOut)

{

Serial.println("Timeout => Reset count");

AmplitudeCount=0;

TimeCount = 0;

Timer1.stop();

IsCall = false;

}

delay(50);

}

void WarningTrain()

{

if(call.WaitRing())

{

Serial.print("Ring");

Serial.println(call.CurrentCallsMe());

if(call.CurrentCallsMe() == phone_number_receive)

{

call.HangUp();

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

digitalWrite(LED_BUILTIN, HIGH);

}

}

double getAccZ = getAccelerationZ();

if(getAccZ > Amplitude) //(rawdata > setpoint)|| (rawdata < (setpoint*-1))

{

Serial.println(getAccZ);

Timer1.start();

AmplitudeCount++;

TimeCount = 0;

delay(50);//

}

if(TimeCount == TimeOut)

{

Serial.println("Timeout => Reset count");

AmplitudeCount=0;

TimeCount = 0;

Timer1.stop();

digitalWrite(LED_BUILTIN, LOW);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

}

}

void blinkTime()

{

TimeCount++;

Serial.println(TimeCount);

}

double read_average(byte times)

{

double sum = 0;

for (byte i = 0; i < times; i++)

{

accel.getEvent(&event);

sum += event.acceleration.z;

delay(50);

}

return sum / times;

}

double getAccelerationZ()

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

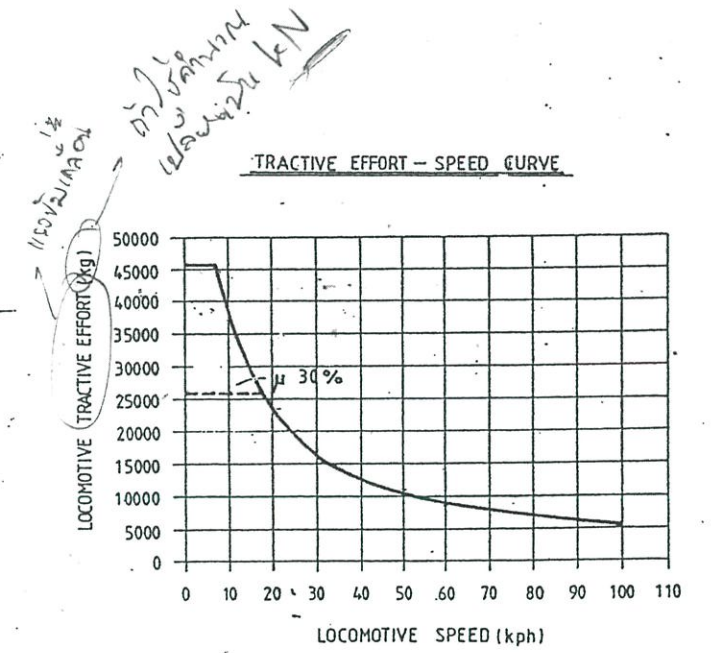
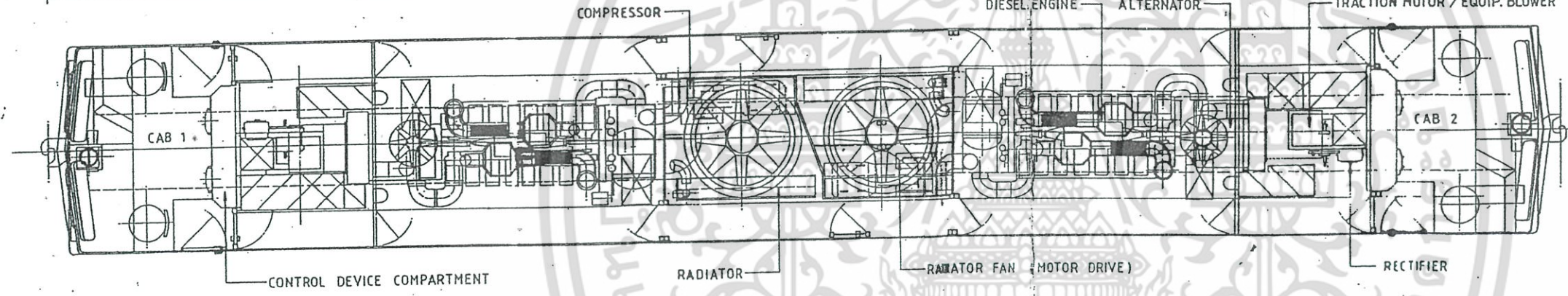
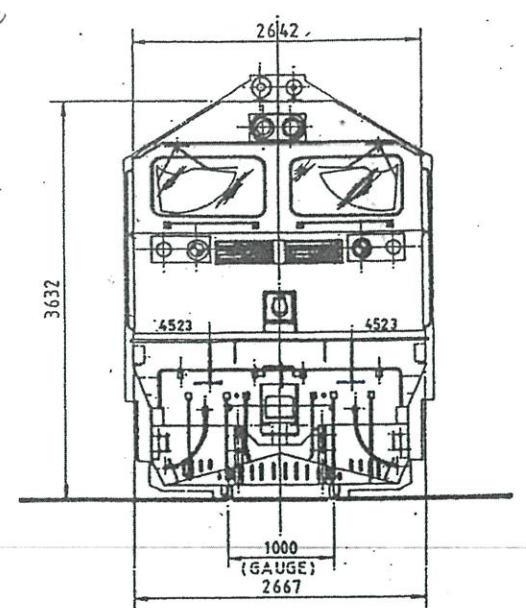
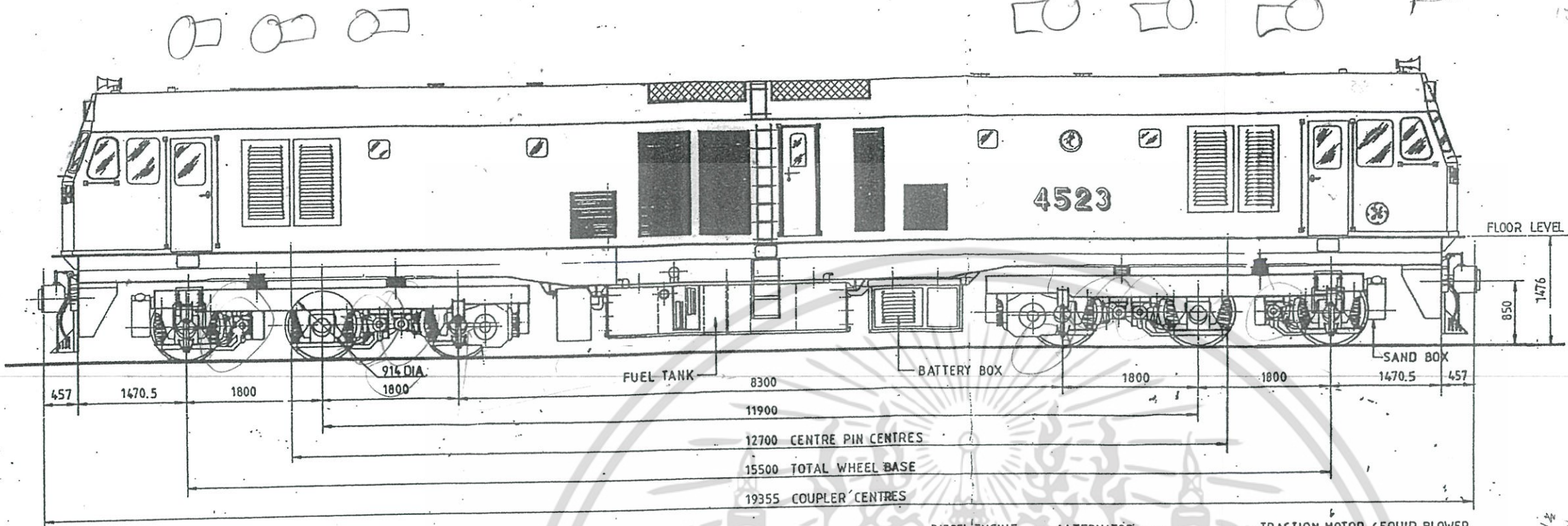
```
{  
  
    accel.getEvent(&event);  
  
    return (event.acceleration.z - SetZero) + Offset;  
  
}  
  
void debug(String data)  
  
{  
  
    Serial.println(data);  
  
}
```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



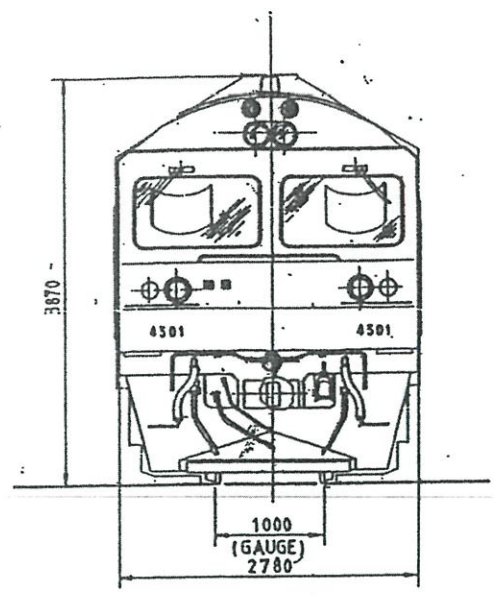
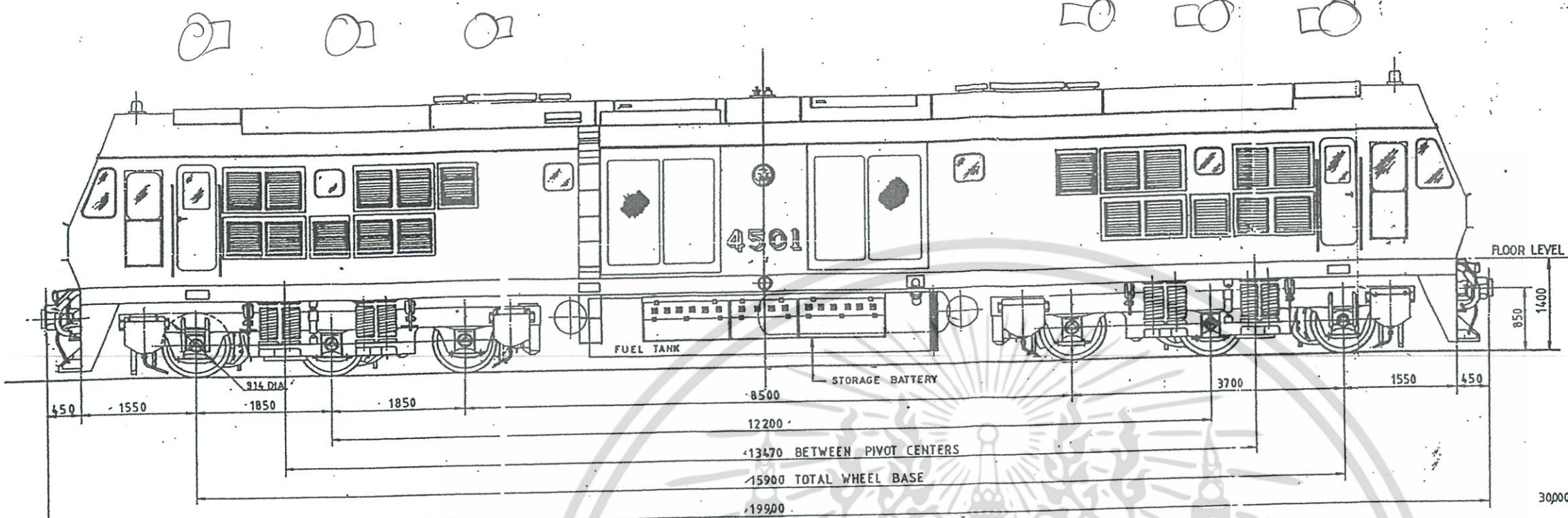
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



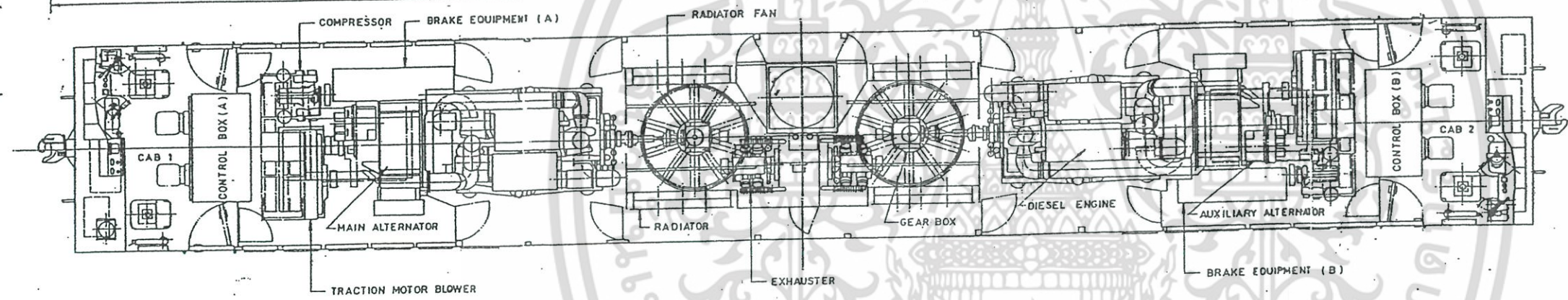
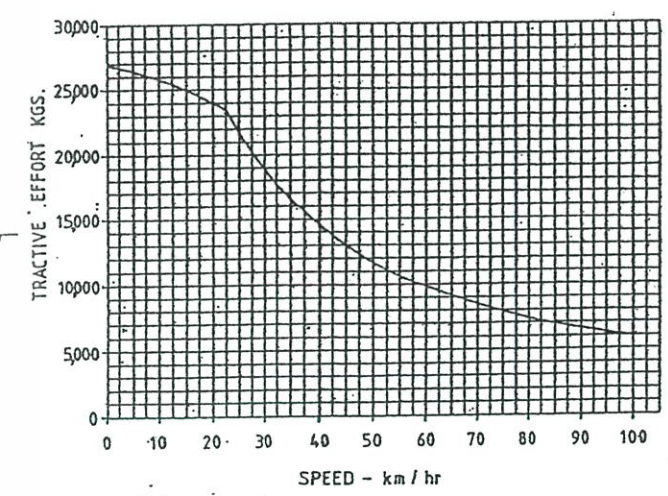
YEAR, LOCOMOTIVE IN SERVICE (B.E.)	2538 (1995)	TRACTION MOTOR	
WEIGHT OF LOCOMOTIVE		NUMBER OF UNIT	6
IN WORKING ORDER	tons 86.5	TYPE	GE792
EMPTY	tons 80.6	NUMBER OF POLES	4
WHEEL ARRANGEMENT	CO - CO	CONTINUOUS RATING	245KW, 336V, 730A
MAXIMUM AXLE LOAD	tons 15	MAXIMUM SPEED	rpm 3100
CAPACITY (PER LOCOMOTIVE)		GEAR RATIO	90:17
FUEL	l 4540	MAIN AND AUXILIARY ALTERNATOR	
LUBRICATING ENGINE OIL	l 424	NUMBER OF UNITS	2
COOLING WATER	l 794	TYPE	5GH5 200 A1
SAND	l 450	NUMBER OF POLES	8
LOCOMOTIVE OUT PUT		CONTINUOUS RATING	amp 2190
TRACTIVE EFFORT AT MIN. CONTINUOUS SPEED	kg 24090	MAXIMUM VOLTAGE	V. 900
MIN. CONTINUOUS SPEED	kph 20.1	BRACING	
MAX. TRACTIVE EFFORT 30% ADHESION	kg 25950	TYPE OF BRAKE ON LOCOMOTIVE	26L MODIFIED PURE AIR BRAKE
MAX. SPEED	100	CAPACITY OF VACUUM PUMP	
DIESEL ENGINE	STROKE 4	CAPACITY OF AIR COMPRESSOR 1/ min @ rpm	2 x 3000 @ 1500
MAKER AND TYPE (CUMMINS)	KTA50-L	BRAKE POWER PERCENTAGE	
NUMBER OF ENGINE	2	BATTERY	
CYLINDER x BORE x STROKE	mm 16 x 159 x 159	VOLTAGE	V. 65
MAXIMUM OUT PUT & RPM.	BHP (kw) 2 x 1250 (933) @ 1800	CAPACITY	180
Brake horse Power		NUMBER OF LOCOMOTIVE ON ORDER	38
		MINIMUM CURVE RADIUS NEGOTIABLE	M. 122

1. วิศวกร  
 2. วิศวกร  
 3. วิศวกร  
 4. วิศวกร  
 5. วิศวกร  
 6. วิศวกร  
 7. วิศวกร  
 8. วิศวกร  
 9. วิศวกร  
 10. วิศวกร  
 11. วิศวกร  
 12. วิศวกร  
 13. วิศวกร  
 14. วิศวกร  
 15. วิศวกร  
 16. วิศวกร  
 17. วิศวกร  
 18. วิศวกร  
 19. วิศวกร  
 20. วิศวกร  
 21. วิศวกร  
 22. วิศวกร  
 23. วิศวกร  
 24. วิศวกร  
 25. วิศวกร  
 26. วิศวกร  
 27. วิศวกร  
 28. วิศวกร  
 29. วิศวกร  
 30. วิศวกร  
 31. วิศวกร  
 32. วิศวกร  
 33. วิศวกร  
 34. วิศวกร  
 35. วิศวกร  
 36. วิศวกร  
 37. วิศวกร  
 38. วิศวกร  
 39. วิศวกร  
 40. วิศวกร  
 41. วิศวกร  
 42. วิศวกร  
 43. วิศวกร  
 44. วิศวกร  
 45. วิศวกร  
 46. วิศวกร  
 47. วิศวกร  
 48. วิศวกร  
 49. วิศวกร  
 50. วิศวกร  
 51. วิศวกร  
 52. วิศวกร  
 53. วิศวกร  
 54. วิศวกร  
 55. วิศวกร  
 56. วิศวกร  
 57. วิศวกร  
 58. วิศวกร  
 59. วิศวกร  
 60. วิศวกร  
 61. วิศวกร  
 62. วิศวกร  
 63. วิศวกร  
 64. วิศวกร  
 65. วิศวกร  
 66. วิศวกร  
 67. วิศวกร  
 68. วิศวกร  
 69. วิศวกร  
 70. วิศวกร  
 71. วิศวกร  
 72. วิศวกร  
 73. วิศวกร  
 74. วิศวกร  
 75. วิศวกร  
 76. วิศวกร  
 77. วิศวกร  
 78. วิศวกร  
 79. วิศวกร  
 80. วิศวกร  
 81. วิศวกร  
 82. วิศวกร  
 83. วิศวกร  
 84. วิศวกร  
 85. วิศวกร  
 86. วิศวกร  
 87. วิศวกร  
 88. วิศวกร  
 89. วิศวกร  
 90. วิศวกร  
 91. วิศวกร  
 92. วิศวกร  
 93. วิศวกร  
 94. วิศวกร  
 95. วิศวกร  
 96. วิศวกร  
 97. วิศวกร  
 98. วิศวกร  
 99. วิศวกร  
 100. วิศวกร

RSR	2500 HP. DIESEL ELECTRIC LOCOMOTIVE	SCALE 1:50
USED FOR	REF. DWG. NO.	DIMENSIONS IN mm
DEL. 4523 - 4560 (GEA.)		
REMARKS. เขียนขึ้นจากแผนผังเลขที่ 41E915376 ของบริษัท GE TRANSPORTATION SYSTEMS และได้เพิ่มเติมรายการขึ้นใหม่ให้เหมาะสม		
DR. <i>[Signature]</i>	CH. <i>[Signature]</i>	DATE 14/11/38
		DIAGRAM No. D24



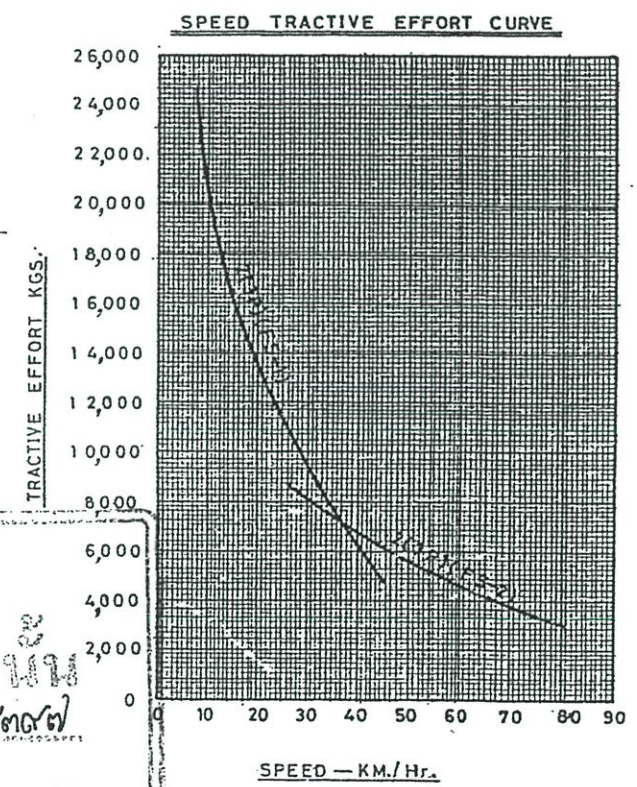
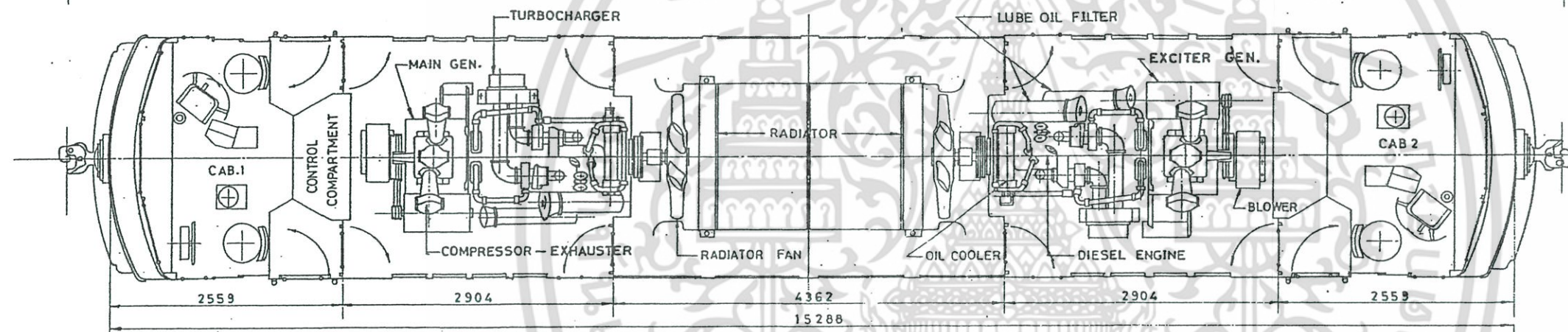
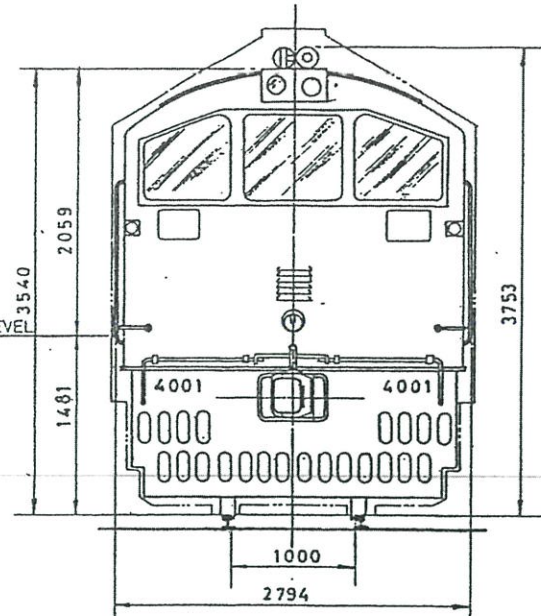
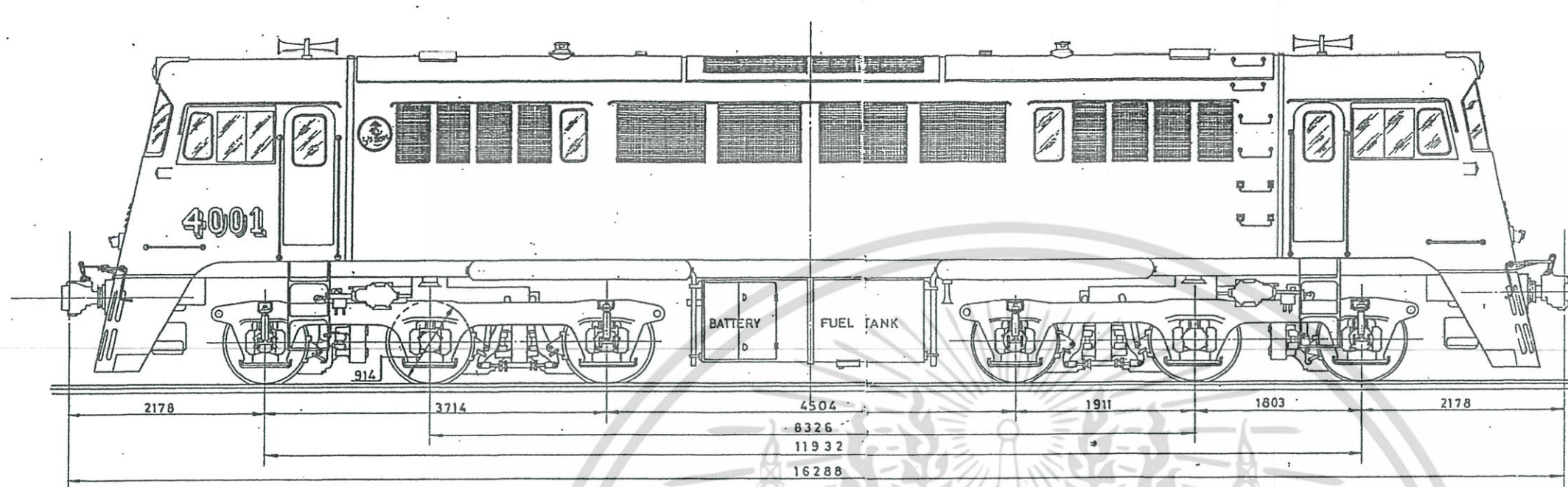
TRACTIVE EFFORT - SPEED CURVE



YEAR, LOCOMOTIVE IN SERVICE (BE.)	2536 (1993)	1 TRACTION MOTOR	
WEIGHT OF LOCOMOTIVE		NUMBER OF UNIT	6
IN WORKING ORDER	90 TONS	TYPE	HS. 1241-01R
EMPTY	88.5 TONS	NUMBER OF POLES	4
WHEEL ARRANGEMENT	C <sub>9</sub> -Co	CONTINUOUS RATING & RPM.	263KW, 455V, 645A, 785 RPM.
MAXIMUM AXLE LOAD	15 TONS	MAXIMUM SPEED	3060 RPM / MIN
CAPACITY (PER LOCOMOTIVE)		GEAR RATIO	73:18
FUEL	5000 LITERS	MAIN ALTERNATOR	
LUBRICATING ENGINE OIL	22265 LITERS	NUMBER OF UNIT	2
COOLING WATER	22375 LITERS	TYPE (YEFC, O)	SELF VENTILATED
SAND	550 LITERS	NUMBER OF POLES	
LOCOMOTIVE OUT PUT		NOMINAL RATING & RPM.	950KVA, 360V, 1524 A, 1800 RPM.
MIN. CONTINUOUS RATED TRACTIVE EFFORT	17000 KGS.	HIGHT VOLTAGE	590 V.
MIN. CONTINUOUS RATED SPEED	32.1 km/hr	BRAKING (WESTINGHOUSE)	
MAXIMUM TRACTIVE EFFORT AT 30% ADHESION	27000 KGS.	TYPE OF BRAKE ON LOCOMOTIVE (28-LAAV-1)	COMBINED AIR AND VACUUM BRAKE, AND DYNAMIC BRAKE
MAXIMUM SPEED	100 km/hr	CAPACITY OF VACUUM BRAKE (SWEEP VOLUME)	2x8700 L/MIN. AT 1800 RPM.
DIESEL ENGINE		CAPACITY OF AIR COMPRESSOR ( " " )	2x3200 L/MIN. AT 1800 RPM.
MAKER AND TYPE (CUMMINS, UK.)	KITA-50-L	BRAKE POWER PERCENTAGE	
NUMBER OF ENGINE	2	BATTERIES (TYPE LEAD ACID BATTERY)	
CYLINDER * BORE * STROKE	16V-159mm*159mm	VOLTAGE	84 VOLTS, 32 CELLS
MAXIMUM OUT PUT & RPM. ( H.P.)	21430 HP. AT 1800 RPM	CAPACITY	175 AH. AT 5 hr
		NUMBER OF LOCOMOTIVE ON ORDER	22 UNITS
		MINIMUM CURVE RADIUS NEGOTIABLE	122 M.

Hitachi logo and text in Thai:   
 ฝ่ายช่าง  
 เพื่อการเก็บชิ้นงาน  
 พ.ร.บ. ๑๕๒๕.๐๖/๕๓๘๓  
 on dam  
 - วิศวกรที่ปรึกษา  
 ๑๕.๓  
 P.S.R.

2900 PS. DIESEL ELECTRIC LOCOMOTIVE		SCALE: 1:50
DIMENSIONS IN mm		
USED FOR	REF. DWG. NO.	
DEL. No. 4501 - 4522 (HITACHI)		
REMARKS:	SANCO SEM	
เขียนขึ้นจากแบบร่างเลขที่ 313 - 3A200679 ของบริษัท HITACHI แต่ได้เพิ่มเติมรายการชิ้นใหม่ให้เหมาะสม	DATE 29/4/37	DIAGRAM No. D23
DR	CH. D. ...	CH. ...



YEAR, LOCOMOTIVE IN SERVICE (B.E.)	2507
WEIGHT OF LOCOMOTIVE	
IN WORKING ORDER	75,000 KGS
EMPTY	70,178 "
WHEEL ARRANGEMENT	Co-Co
MAXIMUM AXLE LOAD	12.5 TONS
CAPACITY (PER LOCOMOTIVE)	
FUEL	3,500 LITRES
LUBRICATING ENGINE OIL	530 "
COOLING WATER	605 "
SAND	510 "
LOCOMOTIVE OUT PUT	
MIN. CONTINUOUS RATED TRACTIVE EFFORT	17,963 KGS.
MIN. CONTINUOUS SPEED	13 KM./HR.
MAXIMUM TRACTIVE EFFORT 30% ADHESION	22,500 KGS.
MAXIMUM SPEED	103 KM./HR.
DIESEL ENGINE	4-STROKE CYCLE
MAKER AND TYPE (CUMMINS)	VY12-825-B1 VTA-1210-1
NUMBER OF ENGINE	2
CYLINDER X BORE X STROKE	12X139.7MM.X152MM
MAXIMUM OUT PUT & RPM.	2X660 AT 2,000
CONTINUOUS OUT PUT & RPM.	2X600 AT 1,700
1 HOUR RATING OUT PUT & RPM.	

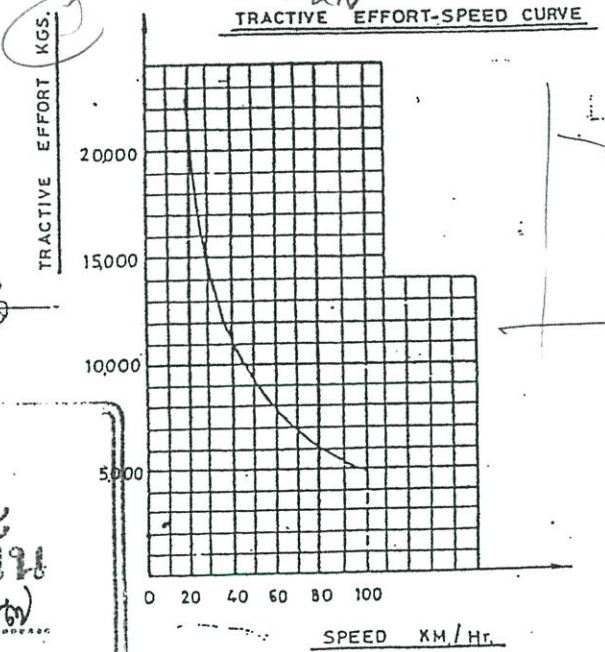
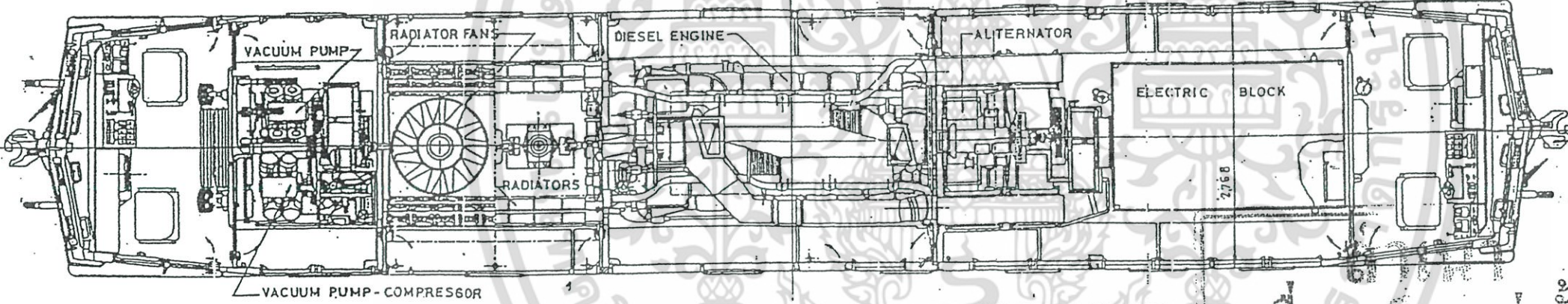
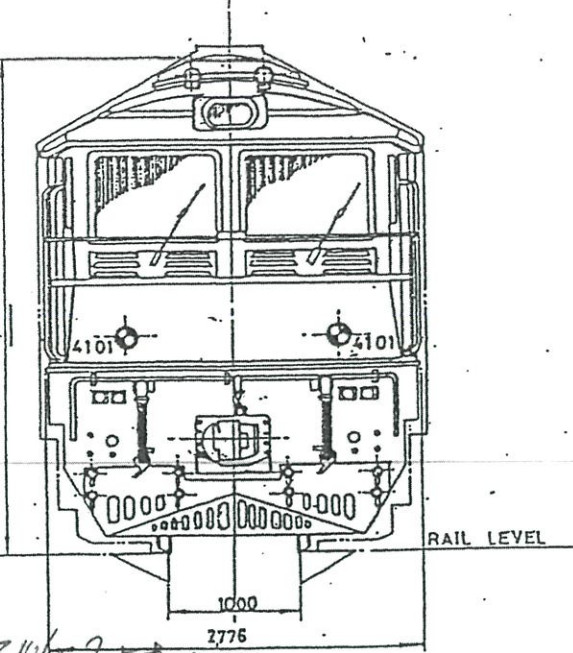
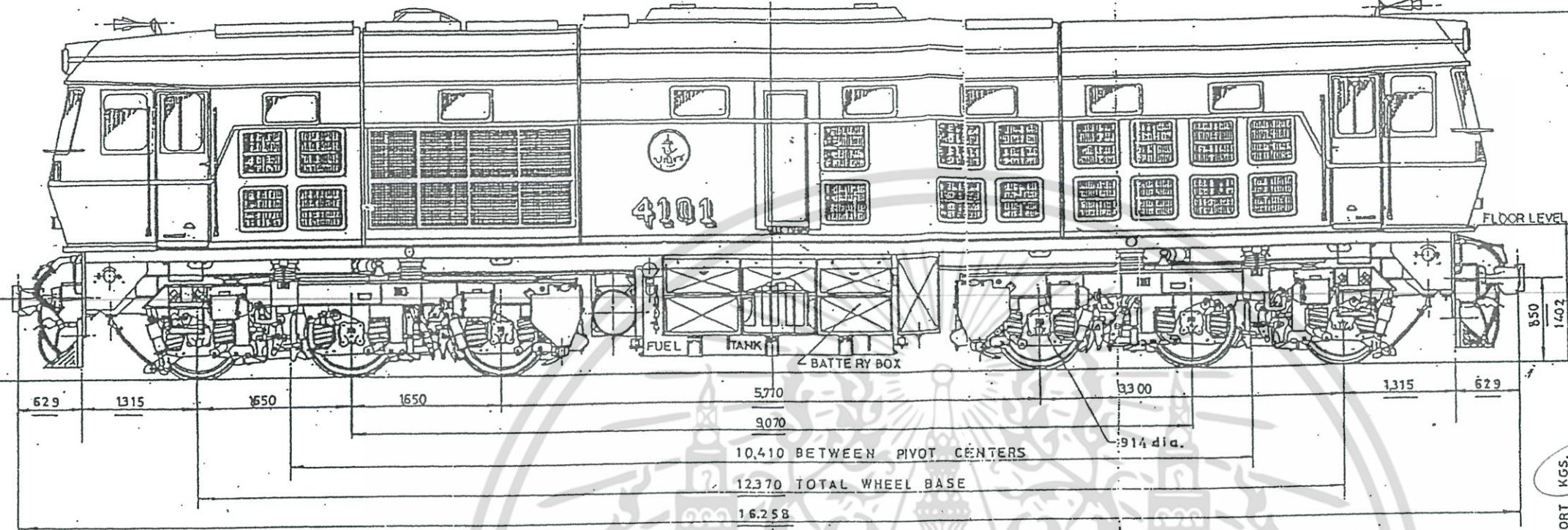
TRACTION MOTOR	
NUMBER OF UNITS	6
TYPE	5GE-761-A3
NUMBER OF POLES	4
CONTINUOUS RATING	150 KW.
MAXIMUM SPEED	3100 RPM.
GEAR RATIO	93:18
MAIN GENERATOR	
NUMBER OF UNITS	2
TYPE	5GT-605-A1
NUMBER OF POLES	6
CONTINUOUS RATING	600 V, 1550 AMP.
MAXIMUM VOLTAGE	600 V.
BRAKING	
TYPE OF BRAKE ON LOCOMOTIVE	28-LV-1 COMBINED AIR & VACUUM BRAKE
CAPACITY OF VACUUM PUMP	2X6372 L/MIN. AT 1000 RPM.
CAPACITY OF AIR COMPRESSOR.	2X1614 L/MIN. AT 1000 RPM.
BRAKE POWER PERCENTAGE	60.5%
BATTERY	
VOLTAGE	75 V.
CAPACITY	180 AH.
NUMBER OF LOCOMOTIVE ON ORDER	50 UNITS
MINIMUM CURVE RADIUS NEGOTIABLE	57.9 M.

สำนักงาน  
เพื่อการศึกษาเท่านั้น  
Ref. No. ดร. เฉลิม ๑๖ / ๕๓๑๓  
อันดัน  
- วิศวกรที่ปรึกษา -

R.S.R. 1320HP. DIESEL ELECTRIC LOCOMOTIVE		SCALE: 1 : 50
USED FOR	REF. DWG. No.	DIMENSIONS IN MM.
D.E.L. No. 4001 - 4050 (G.E.)		
REMARKS: ✓	SANCD.	SEM:
เขียนจากแผนผังเลขที่ D.14 11 ตัดได้ทันที เพื่อรายการขจัดใหม่ให้เหมาะสม.	DATE 25-6-16	DIAGRAM No. D.14/1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไป  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุก  
วันที่ ๑๖ มิถุนายน ๒๕๖๓

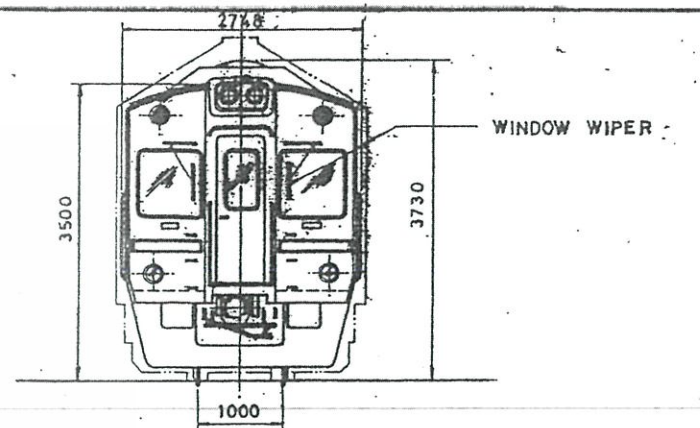
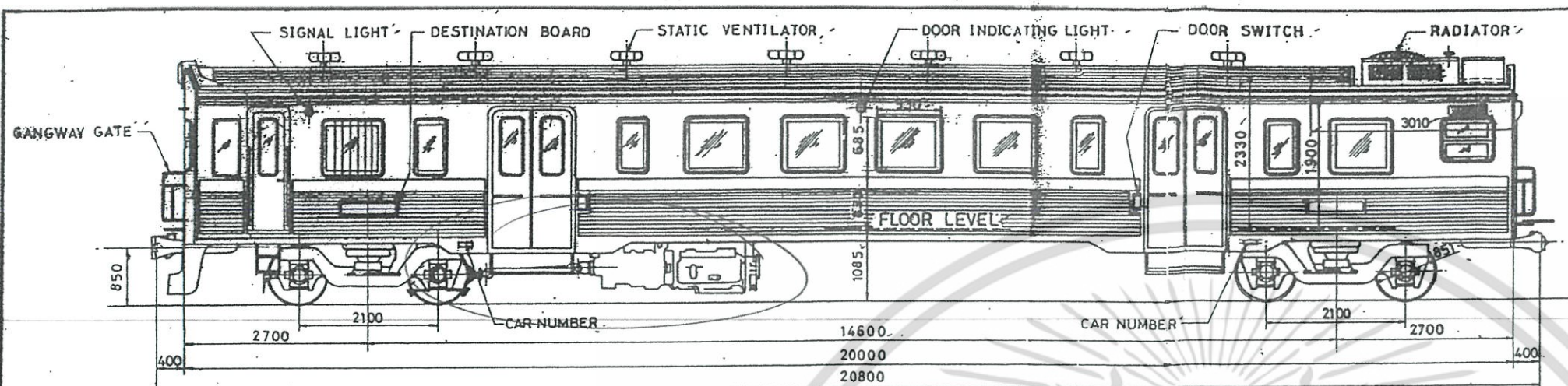




YEAR LOCOMOTIVE IN SERVICE (B.E.)	2517	TRACTION MOTOR	
WEIGHT OF LOCOMOTIVE		NUMBER OF UNIT	6
IN WORKING ORDER	82500 KGS.	TYPE	TA 671 A3
EMPTY	77500 "	NUMBER OF POLES	4
WHEEL ARRANGEMENT	Co - Co	CONTINUOUS RATING & RPM.	390V, 620A, 660RPM, 235 KW.
MAXIMUM AXLE LOAD	13.75 TONS	MAXIMUM SPEED	3050 RPM.
CAPACITY (PER LOCOMOTIVE)		GEAR RATIO	79:18
FUEL	3500 LITRES	TRACTION ALTERNATOR	
LUBRICATING ENGINE OIL	450 "	NUMBER OF UNIT	1
COOLING WATER	800 "	TYPE	AT, 5, 4L X2
SAND	500 "	NUMBER OF POLES	12
LOCOMOTIVE OUT PUT		CONTINUOUS RATING & RPM.	315 V, 3180 A, 1500RPM.
MIN. CONTINUOUS RATED TRACTIVE EFFORT	20500 KGS.	MAXIMUM VOLTAGE	850 V.
MIN. CONTINUOUS SPEED	20.8 KM/HR.	BRAKING	
MAXIMUM TRACTIVE EFFORT AT 30% ADHESION	24800 KGS.	TYPE OF BRAKE ON LOCOMOTIVE	28 LY 1, COMBINED AIR & VAC.
MAXIMUM SPEED	95 KM/HR.	CAPACITY OF VACUUM BRAKE (SWEEP VOLUME)	15275 L/MIN. AT 1500 RPM.
DIESEL ENGINE	4-STROKE-CYCLE	CAPACITY OF AIR COMPRESSOR ( " )	1239 L/MIN. AT 1500 RPM.
MAKER AND TYPE (S.E.M.T. - PIELSTICK)	16 PA 4 185	BRAKE POWER PERCENTAGE	80%
NUMBER OF ENGINE	1	BATTERY	
CYLINDER X BORE X STROKE	16 V X 185 MM X 210 MM	VOLTAGE	72 V.
MAXIMUM OUT PUT & RPM. (SITE RATING 2250 HP. AT 1500)	2400 HP. AT 1500	CAPACITY	380 AH.
		NUMBER OF LOCOMOTIVE ON ORDER	54
		MINIMUM CURVE RADIUS NEGOTIABLE	122 M.

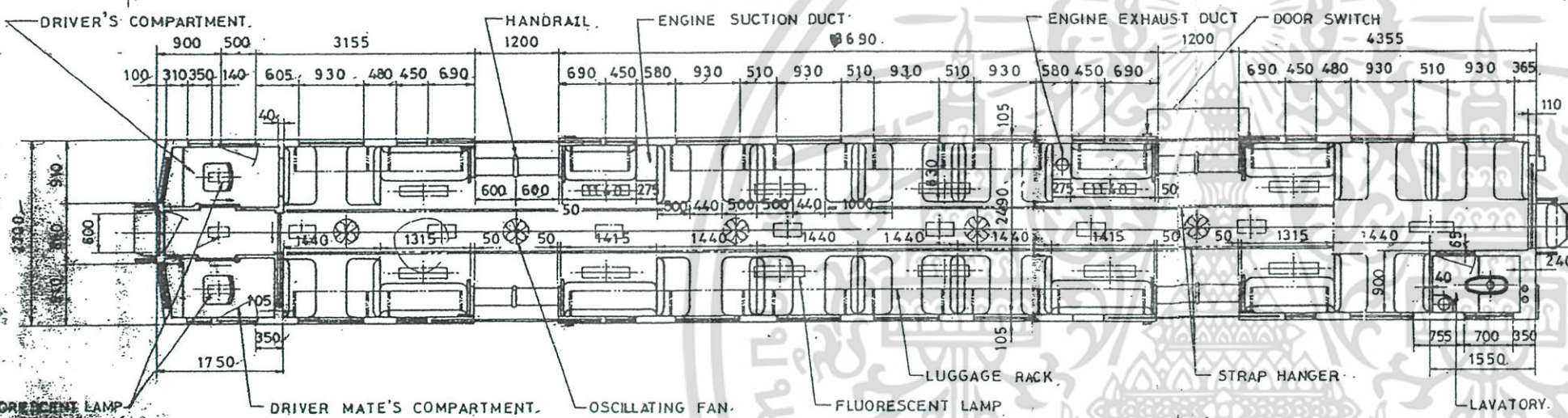
เพื่อการศึกษาเท่านั้น  
 Ref. No. ศร. ๕๕๒๕๒/๕๓๓๗  
 ส.ร. ๕๕๒๕๒/๕๓๓๗  
 วิศวกรเครื่องกล  
 ๒๕๑๗

R. S. R.		2400HP DIESEL ELECTRIC		SCALE 1:50
LOCOMOTIVE				DIMENSIONS IN M.M.
USED FOR	REF. DWG. No.			
DEL. No. 4101-4154 (ALSTHOM)		SANCD. ๒๕๑๗		
REMARKS:	ใช้จากแผนหม้อไอน้ำ TR 9024 187 ของบริษัท ALSTHOM			
DATE 3-1-18	DIAGRAM No D.18			



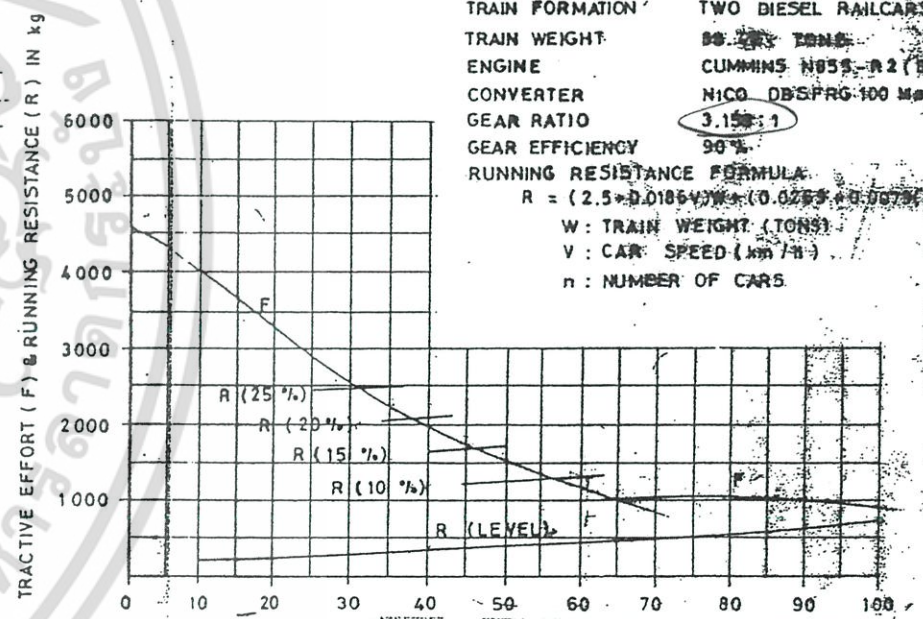
**CAPACITY, PASSENGERS**

NORMAL SEATED	74
NORMAL STANDING	72
<b>TOTAL</b>	<b>146</b>



**TRAIN PERFORMANCE CURVE**

TRAIN FORMATION: TWO DIESEL RAILCARS  
 TRAIN WEIGHT: 33,350 TONS  
 ENGINE: CUMMINS N855-R2 (BIG CAM)  
 CONVERTER: NICO DBSFRG-100 Ms 300  
 GEAR RATIO: 3.158:1  
 GEAR EFFICIENCY: 96%  
 RUNNING RESISTANCE FORMULA:  
 $R = (2.5 \times 0.0185 \times W + 0.025 \times V + 0.0075 \times n)$   
 W: TRAIN WEIGHT (TONS)  
 V: CAR SPEED (km/h)  
 n: NUMBER OF CARS



YEAR IN SERVICE	2528 (1985)	FIRING ORDER	1-5-3-6-2-4
NUMBER OF CARS ON ORDER	32 CARS	HYDRAULIC TRANSMISSION (NIIGATA)	NICO
WEIGHT OF POWER CAR		TYPE	DBSFRG. 100 Ms 300
IN WORKING ORDER (APPROX)	35225 kg	NUMBER OF CONVERTER FOR EACH DRIVING DIRECTION	1
EMPTY (APPROX)	33350 kg	AXLE DRIVE	RG-53
WHEEL ARRANGEMENT	BOGIE	REDUCTION RATIO	3.158:1
AXLE LOAD	12 TONS	LIGHTING AND STARTING	3-GENERATOR WITH BRIDGE RECTIFIER
CAPACITY ENGINE		NOMINAL OUTPUT VOLTAGE & CURRENT	25 V AC, 80 A
HYDRAULIC TRANSMISSION OIL	APPROX 50 l	BATTERY	LEAD ACID TYPE TRK.15-12
HYDRAULIC COUPLING OIL FOR THE COOLING FANS	150 l	VOLTAGE	24 V DC (12V x 2SETS)
FUEL	350 l	CAPACITY (5 HOUR RATING)	175 AH
LUBRICATING ENGINE OIL	30.6 l	HEAD LIGHT (TYPE SEALED BEAM WITH CONNECTOR)	150W / 50W
COOLING WATER	230 l	BRAKE	DA1-E WITH ME-23-A
SAND / CAR	80 l	TYPE OF BRAKE ON CAR	AIR & HAND
POWER CAR OUT PUT		AIR COMPRESSOR	TYPE C-1200
MAXIMUM TRACTIVE EFFORT	4600 kg	EFF. CAPACITY @ MAX. PRESSURE AND MAX. SPEED	1240 l / MIN
MAXIMUM SPEED	100 km/hr	MINIMUM CURVE RADII NEGOTIABLE	122 m
DIESEL ENGINE	4 STROKE, HORIZONTAL	WHEEL DIAMETER	851 mm
MARKER AND TYPE	CUMMINS N855-R2 (BIG CAM)	NEW	799 mm
NUMBER OF ENGINE	1	WORN OFF	1000 l
CYLINDER x BORE x STROKE	6 X 140 X 152 mm	CAPACITY OF WATER SERVICE TANK	
MAXIMUM OUT PUT @ SPEED	235 hp @ 2100 rpm		
IDLING SPEED	600 rpm		

**R S R. 235 HP. DIESEL RAILCAR**

SCALE 2/1:75  
 DIMENSIONS IN mm

USED FOR: BPD. No 1201-1264 (NK)

REF. DWG. No: 110-05065

REMARKS: เขียนจากแบบส่งมอบบริษัทโตเกียวเลขที่ C110-05065

DATE: 15-11-33

**DIAGRAM NO. BPL10**

## เอกสารอ้างอิง

- [1]. ศุภกฤต แสงจันทร์, รัฐกรณ์ อัจฉมพ, กฤษฏาวัช อู่อุสาค้า (2559) การตรวจจั้บรลไฟด้ว้การวัด การสั่นสะเทือน, ภาควิชาเครื่องกล หลั้สู้ตรวิศวกรรมศาสตรั้บัณฑิต สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า ลาดกระบัง
- [2]. ทางด้ตรลไฟกั้ถนน. สั้บคั้นเมื่อ 4 สั้งหาคม 2559.สั้บคั้นจาก:  
<http://board.postjung.com/829010.html>
- [3]. เป็ดสั้ถั้ดึ้บั้ตีเหตุ-ร่ังวางระบบกั้้บั้ญหาจุดด้ตรลไฟ. สั้บคั้นเมื่อ 4 สั้งหาคม 2559. สั้บคั้นจาก :  
<http://www.mediastudio.co.th/2016/04/04/11110/>
- [4]. นคร จั้นทศร. (2554). ช่างรลไฟควมรู้ท้ว้ไปด้้านวิศวกรรมรลไฟ(ฉบับที่ 1). ส านักงานพัฒนา วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ
- [5]. นवल จั้กรโนวรรณ, พงษ์เพชร ศั้ริณชัย. (2554).เครื่องกั้้นทางข้ามรลไฟแบบอัตโนมัติ. ภาค วิศวกรรมคอมพิวเตอร้ หลั้สู้ตรวิศวกรรมศาสตรั้บัณฑิต มหาวิทยาลัยขอนแก่น
- [6]. ระบบการจั้ดวงล้อของรลไฟ ( Wheels Arrangements). สั้บคั้นเมื่อ 26 สั้งหาคม 2559.สั้บคั้นจาก:  
[http:// portal.rotfaithai.com/modules.php?name=Downloads&op=getit&lid=51](http://portal.rotfaithai.com/modules.php?name=Downloads&op=getit&lid=51)

เอกสารนี้้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ด้ัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้