



การพัฒนาเก้าอี้เซ็นผู้พิการสั่งการด้วยเสียง



มงคลชัย รุ่งเรือง

วิทยานิพนธ์เสนอบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยนเรศวร  
เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล  
ปีการศึกษา 2565  
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยนเรศวร

การพัฒนาเก้าอี้เซ็นผู้พิการสั่งการด้วยเสียง



วิทยานิพนธ์เสนอบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยนเรศวร  
เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล  
ปีการศึกษา 2565  
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยนเรศวร

วิทยานิพนธ์ เรื่อง "การพัฒนาเก้าอี้เข็นผู้พิการด้วยการด้วยเสียง"

ของ มงคลชัย รุ่งเรือง

ได้รับการพิจารณาให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

### คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กมล วสะภิญโญกุล)

ประธานที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

.....  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุเมธ เหมะวัฒน์ชัย)

กรรมการผู้ทรงคุณวุฒิภายใน

.....  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อนันต์ชัย อยู่แก้ว)

กรรมการผู้ทรงคุณวุฒิภายใน

.....  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ขวัญชัย ไกรทอง)

อนุมัติ

.....  
(รองศาสตราจารย์ ดร.กรองกาญจน์ ชูทิพย์)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ชื่อเรื่อง	การพัฒนาเก้าอี้เซ็นผู้พิการสั่งการด้วยเสียง
ผู้วิจัย	มงคลชัย รุ่งเรือง
ประธานที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุเมธ เหมะวิฒนะชัย
ประเภทสารนิพนธ์	วิทยานิพนธ์ วศ.ม. วิศวกรรมเครื่องกล, มหาวิทยาลัยนเรศวร, 2565
คำสำคัญ	เก้าอี้เซ็น, สั่งการด้วยเสียง, เทคโนโลยีช่วยเหลือผู้พิการ

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาเก้าอี้เซ็นผู้พิการสั่งการด้วยเสียง โดยเป็นการพัฒนาชุดขับเคลื่อนเก้าอี้เซ็นสั่งการด้วยเสียงเพื่อใช้ติดตั้งกับเก้าอี้เซ็นทั่วไป ระบบถูกแบ่งการพัฒนาเป็น 2 ส่วนได้แก่ การพัฒนาซอฟต์แวร์และการพัฒนาฮาร์ดแวร์ โดยในงานวิจัยนี้ได้เน้นที่การพัฒนาซอฟต์แวร์เป็นหลัก ชุดขับเคลื่อนเก้าอี้เซ็นนี้ผู้ใช้งานจะสั่งขับเคลื่อนด้วยการใช้เสียงสั่งการผ่านไมโครโฟน โดยคำสั่งเสียงจะประกอบด้วยเสียง อา อี อู เอและโอ ในการสั่งการจะต้องออกเสียงตามขั้นตอนซึ่งผู้ใช้งานจะเห็นการตอบสนองในหน้าต่างโปรแกรม ขั้นตอนสั่งการประกอบด้วยการออกเสียงสั้นสองครั้งเพื่อกำหนดทิศทางและออกเสียงยาวหนึ่งครั้งเพื่อให้ชุดขับเคลื่อน ๆ เก้าอี้เซ็นไปตามที่กำหนด ซอฟต์แวร์ที่พัฒนาขึ้นนี้จะประมวลผลสัญญาณเสียงเพื่อระบุคำสั่งที่ได้รับและส่งชุดคำสั่งไปยังบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อควบคุมการทำงานของล้อมอเตอร์ ในการประมวลผลของซอฟต์แวร์สัญญาณเสียงจะผ่านวิธีการ FFT และถูกแบ่งกลุ่มตามช่วงความถี่ก่อนจะเข้าสู่การจำแนกเสียงด้วยวิธีการ k-NN ซอฟต์แวร์ที่ออกแบบและพัฒนาขึ้นจะถูกทดสอบได้แก่ การทดสอบการทำงานของโปรแกรมและการทดสอบความแม่นยำของการวิเคราะห์เสียง จากการทดสอบโปรแกรม โปรแกรมสามารถทำงานได้อย่างถูกต้องตามที่ออกแบบไว้ และความแม่นยำในการระบุเสียงสระแต่ละเสียงได้อย่างถูกต้องมีค่าเฉลี่ยที่ได้ร้อยละ 93.45 ในส่วนฮาร์ดแวร์จะถูกทดสอบการเคลื่อนที่ตามทิศทางที่กำหนด ซึ่งฮาร์ดแวร์ของชุดขับเคลื่อนสามารถเคลื่อนที่ไปทิศทางที่ใกล้เคียงกับที่กำหนด แต่ด้วยปัญหาการแตกหักของชิ้นส่วนที่รับน้ำหนักมากเกินไปและการสิ้นไหลของล้อมอเตอร์ จึงมีการพัฒนาฮาร์ดแวร์โมเดลที่สองซึ่งสามารถขับเคลื่อนตามทิศทางได้ถูกต้อง ทั้งนี้โมเดลที่สองจะถูกใช้พัฒนาในเฟสต่อไป

<b>Title</b>	DEVELOPMENT OF VOICE ACTIVATED WHEELCHAIR
<b>Author</b>	Mongkolchai Rungrueang
<b>Advisor</b>	Assistant Professor Sumet Heamawatanachai, Ph.D.
<b>Academic Paper</b>	M.Eng. Thesis in Mechanical Engineering, Naresuan University, 2022
<b>Keywords</b>	Wheelchair, Voice Activated, Disabled Assistive Technology

### ABSTRACT

This research is the development of voice activated wheelchair which is the developing of wheelchair driving system that controlled by voice to be installed on general wheelchairs. There are two parts of development which are the software and the hardware development. In this research, the software development is the main purpose. For the wheelchair driving system, the user must speak voice commands to the microphone. The voice commands consist of the sounds ('a\_e', 'ee', 'o\_e', 'aa', 'oo'). To command via the developed software, the user must pronounce according to the procedure which the user can see and interact with the program window. There are two steps to command consists of 1) two short voices to set directions and 2) one long voice to send moving commands to the wheelchair driving system. The developed software will process the voice signals to indicate the received commands and sends a command set to the microcontroller to control the wheel-motor operation. In the processing of the software, the voice signals are passed through the FFT method and grouped along to their frequency bands and then being classified by the k-NN classification method. Software designed and developed to be tested includes program functionality testing and voice analysis accuracy testing. For testing the program can work properly as designed. The average accuracy of identifying each vowel sound was 93.45 percent. In the hardware part is tested moving in the specified direction. The hardware part was tested by moving it in the specified direction. The hardware of the system can push the wheelchair to move close to the specified directions. However, because of the problem of some broken parts that are overloaded and the slipping of the wheel-motor, the second

model has been developed which can drive the wheelchair to the right direction.  
This second model will be used and developed in the next phase.



## ประกาศคุณูปการ

วิทยานิพนธ์การพัฒนาเก้าอี้สั่งการด้วยเสียงเล่มนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี โดยได้รับทุนสนับสนุนจากสำนักงานการวิจัยแห่งชาติ ภายใต้โครงการแผนพัฒนาศักราชภาพบัณฑิต วิจัยรุ่นใหม่ ซึ่งได้สนับสนุนค่าใช้จ่ายในการทำการวิจัยรวมถึงค่าวัสดุอุปกรณ์ต่าง ๆ เพื่อให้ได้ผลงานของการศึกษาค้นคว้าเป็นสิ่งประดิษฐ์ขึ้นมาในครั้งนี้ ทางผู้วิจัยขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ผู้วิจัยขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ที่มอบทุนสนับสนุนการศึกษา ทำให้ผู้วิจัยได้มีโอกาสได้เรียนต่อในระดับอุดมศึกษา ผู้วิจัยจึงได้เรียนรู้ทั้งด้านวิชาการ ทักษะและสังคม อีกทั้งยังได้พัฒนาตัวเองสู่การเป็นบัณฑิตได้อย่างมีคุณภาพ ผู้วิจัยคงไม่ได้รับสิ่งเหล่านี้หากปราศจากทุนการศึกษานี้ ผู้วิจัยขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ผู้วิจัยขอขอบคุณในความกรุณาของ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุเมธ เหมะวัฒนะชัย ประธานที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่ได้สละเวลาให้ความรู้ คำปรึกษาพร้อมทั้งคำแนะนำ อีกทั้งให้การช่วยเหลือในด้านต่าง ๆ มาโดยตลอดระยะเวลาการทำวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้ และขอขอบคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กมลวสะภิญโญกุล ประธานกรรมการสอบ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อนันต์ชัย อยู่แก้ว และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ขวัญชัย ไกรทอง กรรมการผู้ทรงคุณวุฒิ ผู้ให้ความกรุณาทั้งสละเวลาในการสอบวิทยานิพนธ์ เพื่อให้วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี จึงขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบคุณบิดา มารดาพร้อมทั้งครอบครัว รวมถึงเพื่อน ๆ ผู้ที่อยู่เบื้องหลังการทำงานวิจัย คอยสนับสนุนและให้ความช่วยเหลือในด้านต่าง ๆ จนทำให้การดำเนินงานวิจัยในครั้งนี้เสร็จสิ้นด้วยดี ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลและหน่วยวิจัยเทคโนโลยีด้านวิศวกรรมความเที่ยงตรงและการแพทย์ (PMET) ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ศึกษาค้นคว้าและจัดทำกรวิจัย ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยนเรศวรที่สนับสนุนแหล่งศึกษาหาความรู้ และขอขอบพระคุณทุกกำลังใจที่มอบให้จนงานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี ขอขอบคุณด้วยใจจริง

สุดท้ายนี้ผู้วิจัยขอขอบพระคุณพระเจ้าผู้ทรงอำนาจพระพรให้ทุก ๆ การดำเนินงานเป็นไปด้วยสวัสดิภาพและผลดีทุกอย่าง จึงขอสรรเสริญและขอบพระคุณ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

มงคลชัย รุ่งเรือง

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ค
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ง
ประกาศคุุณูปการ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญภาพ.....	ฎ
บทที่ 1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
จุดมุ่งหมายของการวิจัย.....	2
ความสำคัญของการวิจัย.....	3
ขอบเขตการวิจัย.....	3
นิยามศัพท์เฉพาะ.....	3
ทฤษฎี สมมุติฐาน และกรอบแนวคิดของการวิจัย.....	4
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	5
การตอบสนองต่อผู้ใช้ (User Interface).....	6
การสั่งการอุปกรณ์.....	14
การสั่งการด้วยจอยสติ๊ก.....	14
การสั่งการด้วยเสียง.....	14
สั่งด้วยการด้วยคำพูด.....	15
การควบคุมการขับเคลื่อนเก้าอี้เข็น (Dynamic Control).....	15



ด้านการจำลองโมเดล (Modeling, Simulation).....	21
วัสดุและอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้อง.....	22
ไมโครโฟน .....	22
Hall-effect sensor.....	22
Brushless DC Motor (BLDC).....	22
Brushless DC Motor Driver .....	24
โปรแกรมวิเคราะห์สัญญาณเสียง.....	26
บทที่ 3 วิธีดำเนินงานวิจัย.....	31
หลักการทำงาน.....	31
การออกแบบและพัฒนาซอฟต์แวร์ .....	31
โปรแกรมวิเคราะห์สัญญาณเสียง.....	31
User Interface และการใช้งาน .....	32
การประมวลผลคำสั่งเสียง .....	34
การส่งคำสั่งผลลัพธ์.....	37
การพัฒนาและออกแบบฮาร์ดแวร์.....	37
วิธีการทดลอง .....	42
การทดสอบความแม่นยำของโปรแกรมสั่งการด้วยเสียง .....	42
การทดสอบการทำงานของระบบ .....	43
การทดลองการเคลื่อนที่ด้วย Duty cycle ของ PWM ที่ต่างกันในห้องมอเตอร์.....	44
การทดลองใช้งานกับเก้าอี้เข็นด้วยการเคลื่อนที่ไป-กลับ .....	44
บทที่ 4 ผลการวิจัย และการอภิปรายผล.....	45
การทดสอบความแม่นยำของโปรแกรมวิเคราะห์สัญญาณเสียง .....	45

การทดสอบการทำงานของระบบ .....	48
การทดลองการเคลื่อนที่ด้วย Duty cycle ของ PWM ที่ต่างกันในห้องมอเตอร์.....	49
การทดลองใช้งานกับแก้อั้เซ็นด้วยการเคลื่อนที่ไป-กลับ .....	56
บทที่ 5 บทสรุป.....	59
สรุปผลการวิจัย.....	59
ข้อเสนอแนะ .....	60
บรรณานุกรม .....	62
ภาคผนวก ก ข้อมูลจำเพาะของวัสดุและอุปกรณ์.....	66
อลูมิเนียมโปรไฟล์ HSF6-3030.....	66
บอร์ดขับมอเตอร์ไร้แปรงถ่าน (Brushless motor driver) รุ่น QS909-JY01A.....	67
ภาคผนวก ข การออกแบบฮาร์ดแวร์.....	70
การออกแบบชุดขับเคลื่อนแก้อั้เซ็นโมเดลแรก.....	70
ภาคผนวก ค โค้ด.....	71
โค้ดโปรแกรมควบคุมบนบอร์ด Arduino เพื่อรับสัญญาณจากโมดูลอินฟราเรด .....	71
โค้ดโปรแกรมควบคุมบนบอร์ด Arduino เพื่อส่งสัญญาณจากโมดูลอินฟราเรด.....	74
ประวัติผู้วิจัย .....	95

## สารบัญตาราง

	หน้า
ตาราง 1 ภาพรวมการพัฒนาในงานวิจัยที่ได้ค้นคว้า .....	21
ตาราง 2 รูปแบบเสียงที่ใช้สำหรับทดสอบ.....	30
ตาราง 3 การกำหนดคำสั่งเสียงกับทิศทาง.....	32
ตาราง 4 กรณิที่ใช้ในการทดสอบ .....	43
ตาราง 5 ความน่าจะเป็นของความแม่นยำของการใช้เสียงสระสองเสียง.....	47
ตาราง 6 ผลการทดสอบการทำงานของโปรแกรม.....	48
ตาราง 8 Duty cycle ของล้อยมอเตอร์ซ้ายและขวาที่ทำให้ชุดขับเคลื่อน ๑ แก้อั้เซ็นในแนว เส้นตรงโดยเคลื่อนที่ไปข้างหน้า.....	49
ตาราง 9 Duty cycle ของล้อยมอเตอร์ซ้ายและขวาที่ทำให้ชุดขับเคลื่อน ๑ แก้อั้เซ็นในแนว เส้นตรงโดยเคลื่อนที่ถอยหลัง.....	50
ตาราง 10 ผลการทดลองหาอัตราเร็วของล้อยมอเตอร์ตาม Duty cycle ที่กำหนดโดยแก้อั้ เซ็นไม่มีภาระน้ำหนัก.....	50
ตาราง 11 ผลการทดลองหาอัตราเร็วของล้อยมอเตอร์ตาม Duty cycle ที่กำหนดโดยแก้อั้ เซ็นภาระน้ำหนักของมวล 10 kg.....	51
ตาราง 12 ผลการทดลองหาอัตราเร็วของล้อยมอเตอร์ตาม Duty cycle ที่กำหนดโดยแก้อั้ เซ็นภาระน้ำหนักของมวล 20 kg.....	51
ตาราง 13 ผลการทดลองการเคลื่อนที่ไป-กลับด้วยน้ำหนักของอาสาสมัครคนที่ 1.....	57
ตาราง 14 ผลการทดลองการเคลื่อนที่ไป-กลับด้วยน้ำหนักของอาสาสมัครคนที่ 2.....	58
ตาราง 15 ผลการทดลองการเคลื่อนที่ไป-กลับด้วยน้ำหนักของอาสาสมัครคนที่ 3.....	58
ตาราง 16 Electrical ratings ของบอร์ดรุ่น QS909-JY01A.....	69



## สารบัญภาพ

	หน้า
ภาพ 1 รถเข็นนั่งรุ่นมาตรฐาน .....	5
ภาพ 2 หน้าต่างโปรแกรมแยกแยะคำสั่งในระบบรับรู้จำเสียงพูด .....	6
ภาพ 3 กระบวนการทำงานหลักของโปรแกรม.....	7
ภาพ 4 ข้อต่อเพลมอเตอร์กับล้อเก๊าอี้เข็น .....	8
ภาพ 5 สัญญาณ EEG จากการมองเห็นสี .....	9
ภาพ 6 การลองการเคลื่อนที่ในสภาวะต่าง ๆ .....	10
ภาพ 7 เซ็นเซอร์รับการสัมผัสด้วยลิ้นบนรีเทนเนอร์และ Headset.....	11
ภาพ 8 แผนผังการทำงานร่วมกันของสมาร์ทโฟน ไมโครคอนโทรลเลอร์ และรถเข็นไฟฟ้า .....	12
ภาพ 9 พิกัดของความต่างศักย์ซึ่งแปรผันตามแท่งควบคุม .....	13
ภาพ 10 ลักษณะของโปรแกรมที่ใช้สำหรับควบคุมรถเข็นไฟฟ้าแทนแท่งควบคุม .....	13
ภาพ 11 Freebody diagram ของโมเดลเก๊าอี้เข็น .....	17
ภาพ 12 แผนภาพกระบวนการทำงานหลักของหุ่นยนต์เก๊าอี้เข็น .....	18
ภาพ 13 เส้นทางเคลื่อนที่เป็นวงกลมของเก๊าอี้เข็นไฟฟ้าที่ใช้กฎการเคลื่อนที่ (ด้านบน) และไม่ใช้กฎการเคลื่อนที่ (ด้านล่าง) .....	19
ภาพ 14 เก๊าอี้เข็นที่ติดตั้งระบบเก๊าอี้เข็นอัจฉริยะเชิงหุ่นยนต์.....	20
ภาพ 15 แผนผังการจัดหมวดหมู่ของมอเตอร์ไฟฟ้า.....	23
ภาพ 16 บอร์ดขับเคลื่อน BLDC รุ่น JYQD V7.3E3.....	25
ภาพ 17 กระบวนการทำงานของระบบห้องอัจฉริยะสั่งการด้วยเสียงสำหรับควบคุม โทรทัศน์ .....	26

ภาพ 18 สัญญาณเสียง ‘อา’ ที่ได้ทำการแบ่งหน้าต่างที่เวลา 0.1 วินาที ด้วยอัตราการสุ่มข้อมูล 44,100 sample/s และผ่านกระบวนการปรับค่ามาตรฐาน (Normalization).....	27
ภาพ 19 กราฟความถี่-แอมพลิจูดของเสียง ‘อา’ .....	28
ภาพ 20 กราฟแท่งแสดงผลของแอมพลิจูดภายในแต่ละช่วงความถี่ .....	28
ภาพ 21 หน้าต่างโปรแกรมสำหรับผู้ใช้งาน .....	33
ภาพ 22 ตัวอย่างโค้ดโปรแกรม LabVIEW .....	33
ภาพ 23 หลักการทำงานของโปรแกรมวิเคราะห์เสียง .....	34
ภาพ 24 สัญญาณเสียงจากไมโครโฟน (ก) เสียง ‘อา’ (ข) เสียง ‘อี’ .....	35
ภาพ 25 FFT ของสัญญาณเสียงจากไมโครโฟน (ก) เสียง ‘อา’ (ข) เสียง ‘อี’ .....	35
ภาพ 26 ตัวอย่างการกระจายของข้อมูลและการจำแนกด้วย k-NN.....	37
ภาพ 27 แบบจำลองเก้าอี้เซ็นโมเดลที่หนึ่ง .....	39
ภาพ 28 แบบจำลองชุดขับเคลื่อนเก้าอี้ที่ติดตั้งกับเก้าอี้เซ็นแบบทั่วไป .....	40
ภาพ 29 การจำลองชุดอุปกรณ์ติดตั้งสำหรับรถเข็นคนพิการ .....	42
ภาพ 30 กราฟค่าเฉลี่ยความแม่นยำของการวิเคราะห์เสียงสระตามฐานข้อมูลเสียงสระ 2 เสียง .....	46
ภาพ 31 กราฟค่าเฉลี่ยความแม่นยำของการวิเคราะห์เสียงสระตามฐานข้อมูลเสียงสระ 3 เสียง .....	46
ภาพ 32 กราฟค่าเฉลี่ยความแม่นยำของการวิเคราะห์เสียงสระตามฐานข้อมูลเสียงสระ 4 เสียง .....	46
ภาพ 33 กราฟความแม่นยำของการทดสอบเสียงสระทั้ง 5 เสียง ในฐานข้อมูลเสียงสระ 4 เสียง .....	47
ภาพ 34 กราฟผลการทดลองระหว่าง Duty cycle และอัตราเร็วที่เกิดขึ้นด้วยการเคลื่อนที่ไปข้างหน้า โดยไม่มีภาระน้ำหนัก.....	52

ภาพ 35 กราฟผลการทดลองระหว่าง Duty cycle และอัตราเร็วที่เกิดขึ้นด้วยการเคลื่อนที่ ถอยหลัง โดยไม่มีภาระน้ำหนัก.....	53
ภาพ 36 กราฟผลการทดลองระหว่าง Duty cycle และอัตราเร็วที่เกิดขึ้นด้วยการเคลื่อนที่ ไปข้างหน้า โดยมีภาระน้ำหนัก 10 kg.....	54
ภาพ 37 กราฟผลการทดลองระหว่าง Duty cycle และอัตราเร็วที่เกิดขึ้นด้วยการเคลื่อนที่ ถอยหลัง โดยมีภาระน้ำหนัก 10 kg.....	54
ภาพ 38 กราฟผลการทดลองระหว่าง Duty cycle และอัตราเร็วที่เกิดขึ้นด้วยการเคลื่อนที่ ไปข้างหน้า โดยมีภาระน้ำหนัก 20 kg.....	55
ภาพ 39 กราฟผลการทดลองระหว่าง Duty cycle และอัตราเร็วที่เกิดขึ้นด้วยการเคลื่อนที่ ไปข้างหน้า โดยมีภาระน้ำหนัก 20 kg.....	55
ภาพ 40 ชุดขับเคลื่อนแก้อีเซ็นโมเดลที่ 1 ที่ได้ติดตั้งเข้ากับแก้อีเซ็น.....	56
ภาพ 41 แบบแปลนชุดขับเคลื่อนแก้อีเซ็นโมเดลแรก.....	70

## บทที่ 1

### ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปี 2564 ประชากรไทยมีจำนวนประชากรประมาณ 66.1 ล้านคน (กรมกิจการผู้สูงอายุ, 2565; กลุ่มคลังข้อมูลสถิติ, 2564a) การสำรวจผู้พิการในประเทศไทยในปี 2564 พบว่ามีผู้พิการ 2.10 ล้านคน โดยเป็นผู้พิการทางการเคลื่อนไหวหรือทางร่างกายกว่า 1.05 ล้านคน (กลุ่มคลังข้อมูลสถิติ, 2564b) ผู้พิการเหล่านี้ส่วนมากต้องอาศัยเครื่องมือในการช่วยเหลือเพื่อให้สามารถทำกิจกรรมต่าง ๆ ในชีวิตประจำวันได้อย่างเช่นขาเทียมหรือเก้าอี้เข็น

นอกจากจำนวนผู้พิการที่มีจำนวนมากขึ้นแล้ว สังคมไทยกำลังก้าวเข้าสู่สังคมผู้สูงอายุ จากรายงานข้อมูลสถิติในประเทศไทยปี 2564 ประชากรที่มีอายุตั้งแต่ 60 ปีขึ้นไป มีจำนวนประมาณ 12.1 ล้านคน (กรมกิจการผู้สูงอายุ, 2565) โดยคิดเป็นร้อยละ 15 ของประชากรไทยในปีนั้น อีกทั้งจำนวนของผู้สูงอายุยังมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในทุกปี ปัจจัยที่ส่งผลให้แนวโน้มผู้สูงอายุที่เพิ่มขึ้น เช่น การแพทย์และสาธารณสุขที่ดีมากยิ่งขึ้น ความรู้ในการดูแลสุขภาพของผู้สูงอายุมีมากยิ่งขึ้น ในทางกลับกันจำนวนผู้สูงอายุที่มากขึ้นทำให้ผู้เข้ารับบริการการรักษาการดูแลสุขภาพในโรงพยาบาลมีจำนวนมากขึ้นด้วยเช่นกัน ซึ่งรวมถึงจำนวนผู้มีปัญหาด้านการเคลื่อนไหวที่เพิ่มขึ้นด้วย ดังนั้นประเทศไทยจึงต้องเตรียมการรองรับการช่วยเหลือผู้ที่มีปัญหาด้านการเคลื่อนไหวที่จะมีจำนวนมากขึ้นในอนาคต

ในจำนวนผู้มีปัญหาในการเคลื่อนไหว มีจำนวนไม่น้อยที่ไม่สามารถเคลื่อนเก้าอี้เข็นได้ด้วยตัวเองซึ่งจำเป็นต้องให้มีผู้ช่วยเข็น หากขาดผู้ช่วยแล้วผู้ที่มีปัญหาเหล่านี้จะใช้ชีวิตได้อย่างยากลำบาก ทั้งที่พวกเขาอาจยังมีศักยภาพในการทำสิ่งต่าง ๆ ได้ เพียงแต่ขาดความสะดวกในการเคลื่อนไหว ผู้มีปัญหาด้านการเคลื่อนไหวจำนวนไม่น้อยไม่สามารถใช้ชีวิตได้โดยปกติ ไม่มีงานทำ ไม่ได้รับการศึกษา เพียงเพราะไม่สามารถเดินทางได้ด้วยตัวเอง

อุปกรณ์ช่วยในการเคลื่อนที่สำหรับผู้พิการหรือผู้มีปัญหาด้านการเคลื่อนไหวอย่างเก้าอี้เข็น (Wheelchair) เป็นอุปกรณ์ที่เพิ่มความสะดวกอย่างมากและอาจเป็นอุปกรณ์สำคัญสำหรับคนบางกลุ่มที่จำเป็นต้องใช้อย่างยิ่ง เก้าอี้เข็นช่วยให้ผู้ที่มีปัญหาด้านการเคลื่อนไหวสามารถเคลื่อนที่ไปได้อย่างสะดวกมากขึ้น ซึ่งมักพบเห็นได้ในสถานที่ที่มีผู้มีปัญหาด้านการเคลื่อนไหวจำนวนมากอย่างโรงพยาบาล

แม้ว่าจะมีอุปกรณ์ที่ช่วยเหลือผู้ที่มีปัญหาด้านการเคลื่อนไหวอย่างเก้าอี้เข็น แต่ผู้ที่มีปัญหาด้านการเคลื่อนไหวส่วนใหญ่ยังขาดผู้ดูแล เนื่องจากสังคมปัจจุบันเริ่มเป็นสังคมครอบครัวเดี่ยวและ



เป็นสังคมการทำงานที่เร่งรีบ การหาคนดูแลตลอดเวลาจึงเป็นเรื่องลำบาก แม้แต่กระทั่งในโรงพยาบาลเองก็ตาม

ผู้ที่มีปัญหาด้านการเคลื่อนไหวในเบื้องต้นสามารถแบ่งออกเป็นหลายระดับ คือ ระดับที่พอช่วยเหลือตนเองได้แต่เดินได้ไม่สะดวก เช่น ผู้ที่ประสบอุบัติเหตุ ผู้ป่วยที่มีอาการอ่อนเพลีย เป็นลมหน้ามืด ผู้สูงอายุ เป็นต้น ระดับที่พอช่วยเหลือตนเองได้แต่ไม่สามารถเดินได้ เช่น ผู้พิการ ผู้ประสบอุบัติเหตุอย่างรุนแรง ผู้ที่เจ็บปวดเกี่ยวข้องกับ การเดิน ผู้ป่วยอัมพฤกษ์ เป็นต้น และระดับที่ไม่สามารถช่วยเหลือตนเองได้เลย เช่น ผู้เป็นอัมพาต หรือผู้ที่ไม่มีสติ เป็นต้น

ด้วยการนำเทคโนโลยีมาใช้ จึงมีการพัฒนาเก้าอี้เข็นทั่วไปให้เป็นเก้าอี้เข็นไฟฟ้า เพื่อช่วยเหลือผู้ที่มีปัญหาด้านการเคลื่อนไหวที่ไม่มีกำลังพอในการเคลื่อนเก้าอี้เข็นได้ด้วยตัวเอง ซึ่งทำให้ผู้ใช้เกิดความสะดวกในการเคลื่อนที่โดยใช้การควบคุมผ่านแท่งควบคุม อย่างไรก็ตามแม้เก้าอี้เข็นไฟฟ้าจะช่วยลดปัญหาในการควบคุมเก้าอี้สำหรับผู้ที่ไม่มีความแข็งแรงด้วยตัวเอง แต่ในกรณีที่ผู้ใช้ซึ่งมีปัญหาด้านการเคลื่อนไหวไม่สามารถควบคุมด้วยมือตามปกติได้ เช่นผู้ป่วยอัมพฤกษ์หรือผู้สูงอายุที่ไม่ถนัดหรือคุ้นชินกับการควบคุมแท่งบังคับ (Joystick) ปัญหาการขับเคลื่อนจึงยังคงเป็นอุปสรรคสำหรับคนกลุ่มนี้

เพื่อจะลดปัญหาการควบคุมเก้าอี้เข็น งานวิจัยนี้จึงได้ออกแบบระบบควบคุมเก้าอี้เข็นผู้พิการสั่งการด้วยเสียงขึ้น โดยระบบจะสามารถใช้งานได้ภายในอาคาร และรับคำสั่งการควบคุมด้วยเสียงพูดจากผู้ใช้ผ่านทางไมโครโฟนเพื่อให้ผู้ใช้สามารถควบคุมเก้าอี้เข็นได้ ซึ่งจะเป็นประโยชน์อย่างมากต่อผู้ใช้ที่ไม่สามารถควบคุมด้วยแท่งบังคับและผู้ที่ไม่ถนัดหรือคุ้นชินในการควบคุมเก้าอี้เข็น

### จุดมุ่งหมายของการวิจัย

1. เพื่อพัฒนาโปรแกรมตรวจจับและวิเคราะห์เสียงสระจากผู้ใช้งาน
2. เพื่อพัฒนาโปรแกรมสำหรับใช้ควบคุมชุดขับเคลื่อนเก้าอี้เข็นสั่งการด้วยเสียง
3. เพื่อพัฒนาชุดขับเคลื่อนเก้าอี้เข็นที่ออกแบบเพื่อนำไปติดตั้งกับเก้าอี้เข็นรุ่นทั่วไปได้

## ความสำคัญของการวิจัย

ในด้านวิชาการงานวิจัยนี้จะเป็นในหนึ่งต้นแบบเก้าอี้เข็นที่จะสามารถนำไปศึกษาและพัฒนาต่อให้สามารถใช้งานจริงได้ เป็นการเปิดแนวทางการพัฒนาอุปกรณ์เสริมเก้าอี้เข็นแบบทั่วไปให้สามารถใช้งานได้หลากหลายมากยิ่งขึ้น

ในเชิงการนำไปใช้ เก้าอี้เข็นไฟฟ้านี้จะเป็ประโยชน์ต่อผู้ใช้ที่ไม่สามารถช่วยเหลือตนเองได้ โดยชุดขับเคลื่อนเก้าอี้เข็นต้นแบบจะถูกนำไปพัฒนาต่อเพื่อให้มีประสิทธิภาพและกะทัดรัดซึ่งนำไปสู่การใช้งานตามโรงพยาบาลหรือตามอาคารที่ผู้ใช้ที่ต้องการใช้ ซึ่งช่วยให้ความเป็นอยู่ของผู้มีปัญหาด้านการเคลื่อนไหวมีชีวิตที่ดีขึ้น ในด้านของการช่วยเหลือตัวเอง ลดภาระของญาติพี่น้องหรือผู้ดูแล

ในภาคอุตสาหกรรม ชุดขับเคลื่อนเก้าอี้เข็นอาจกลายเป็นนวัตกรรมในประเทศ เนื่องจากเป็นโอกาสทางการตลาดที่เหมาะสม ทั้งมีกลุ่มตลาดที่แน่นอนอย่างเช่นโรงพยาบาลหรือครัวเรือนที่มีผู้ป่วยที่มีความประสงค์ต้องใช้งาน สินค้าตรงตามความต้องการพื้นฐานของกลุ่มตลาดส่วนใหญ่ และมีการพัฒนาไม่มากนักในด้านซึ่งถือว่าเป็นสิ่งใหม่ในตลาด เพราะฉะนั้นสิ่งนี้จึงมีอิทธิพลต่อชุมชนบางกลุ่มในสังคมไทยเป็นได้และยังสอดคล้องกับนโยบายพัฒนาประเทศด้วยการขับเคลื่อนด้วยเทคโนโลยี ความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมอย่างไทยแลนด์ 4.0 อีกด้วย (ทีมเศรษฐกิจ ไทยรัฐออนไลน์, 2559)

## ขอบเขตการวิจัย

1. โปรแกรมควบคุมชุดขับเคลื่อนเก้าอี้เข็นสามารถสั่งการด้วยเสียงสระ ได้แก่ อา อี อุ เอและโอ เป็นต้น
2. การออกแบบชุดขับเคลื่อนจะออกแบบให้สามารถติดตั้งกับเก้าอี้เข็นหลากหลายยี่ห้อ แต่ครอบคลุมเก้าอี้เข็นรุ่นมาตรฐานทั่วไป
3. การออกแบบชุดขับเคลื่อนและซอฟต์แวร์จะให้ความใส่ใจในด้านการขับเคลื่อนในแนวตรง เช่นเดินหน้า ถอยหลัง และความสะดวกในการติดตั้งและการใช้งาน
4. การพัฒนาชุดขับเคลื่อนเก้าอี้เข็นจะถูกออกแบบให้ใช้งานภายในอาคารและมีพื้นราบ

## นิยามศัพท์เฉพาะ

เก้าอี้เข็น หมายถึง วีลแชร์ (Wheelchair) หรือเก้าอี้ที่มีล้อและใช้ล้อในการเคลื่อนที่ ผู้ใช้สามารถใช้ล้อหมุนขนาดใหญ่ข้างหลังในการบังคับทิศทางและเคลื่อนที่ด้วยตัวเองได้ โดยเก้าอี้ประเภทนี้บางครั้งนิยมเรียกว่ารถเข็นผู้พิการ

ชุดขับเคลื่อนเก้าอี้เข็น หมายถึง ชุดอุปกรณ์ที่ได้พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้เพื่อใช้ติดตั้งและขับเคลื่อนเก้าอี้เข็นไปในทิศทางที่กำหนด

## ทฤษฎี สมมติฐาน และกรอบแนวคิดของการวิจัย

ชุดขับเคลื่อนเก้าอี้เข็นสั่งการด้วยเสียงที่จะถูกจัดทำขึ้นในงานวิจัยนี้ จะถูกออกแบบให้สามารถสวมเข้ากับเก้าอี้เข็นทั่วไปได้ ด้วยชุดขับเคลื่อนนี้จะสามารถขับเคลื่อนได้ด้วยตัวเองโดยไม่มี การตัดแปลงโครงของเก้าอี้เข็น และไม่ขับเคลื่อนที่ล้อหลักของเก้าอี้เข็นโดยตรง ชุดขับเคลื่อนนี้จะใช้ เสียงในการสั่งการ เพื่อให้เก้าอี้เข็นเคลื่อนที่ตามทิศทางที่ผู้ใช้เลือกและออกคำสั่ง โดยในการใช้งาน เมื่อผู้ใช้ต้องการเคลื่อนไปตามทิศทางที่เลือกด้วยการออกเสียงยาว และเมื่อเสียงหยุดลงการขับเคลื่อน ก็จะหยุดลงเช่นกัน ทั้งนี้เพื่อความปลอดภัยในการเคลื่อนที่ นอกจากนี้ระบบอาจจะมีการติดเซ็นเซอร์ ตรวจจับวัตถุที่เก้าอี้เข็นซึ่งเชื่อมต่อข้อมูลกับชุดขับเคลื่อนเพื่อป้องกันการกระแทกกับสิ่งกีดขวาง

เนื่องจากความต้องการที่จะออกแบบให้ระบบตอบสนองต่อผู้ใช้งานที่ไม่สามารถเคลื่อนไหว ร่างกายได้อย่างเช่น ผู้ได้รับบาดเจ็บทางแขน การสั่งการด้วยเสียงจึงเป็นทางเลือกหนึ่งที่ผู้ใช้งาน เหล่านั้นสามารถสั่งการ ระบบตอบสนองจะสามารถรับรู้เข้าใจการสั่งการด้วยเสียงได้ จะอาศัย หลักการการแปลงฟูเรียอย่างรวดเร็ว (Fast Fourier Transform) เพื่อแปลงข้อมูล Waveform ของเสียง สู่ข้อมูลแอมพลิจูดเชิงความถี่ และใช้หลักการการจำแนกแบบ k-NN (k-NN Classification) ซึ่งจะนำ ความถี่ของเสียงที่ได้มาจำแนกตามคำสั่งเสียงพื้นฐานที่มีอยู่ในฐานข้อมูล การตอบสนองต่อคำสั่งผู้ ใช้จะตอบสนองด้วยเสียงคำสั่งอย่างง่ายเช่น ซ้าย ขวา หยุด หรือเสียงพื้นฐานที่ไม่เป็นคำเช่น อา อี อุ เป็นต้น นอกจากการตอบสนองผู้ใช้งานด้วยเสียงสั่งการแล้ว ยังมีปุ่มกดเพื่อสั่งการควบคุมบางอย่าง เช่น การสั่งหยุดการเคลื่อนที่ของเก้าอี้เข็นกระทันหันในกรณีฉุกเฉินหรือกรณีที่ระบบมาเกิดการขัดข้อง

การขับเคลื่อนของชุดขับเคลื่อนจะใช้มอเตอร์ไร้แปรงถ่านเนื่องจากมีทอร์คมากและให้ ความเร็วรอบที่ต่ำกว่ามอเตอร์อื่น มีขนาดพอเหมาะต่อการนำมาสวมใส่เก้าอี้เข็น รวมทั้งง่ายต่อการ ออกแบบการติดตั้ง

## บทที่ 2

### เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เก้าอี้เข็น (Wheelchair) หมายถึง อุปกรณ์เครื่องช่วยความพิการประเภทหนึ่งที่มีคุณสมบัติช่วยในการเคลื่อนที่ มีลักษณะคล้ายเก้าอี้ มีล้อซึ่งส่วนใหญ่มี 4 ล้อ โดยผู้นั่งสามารถบังคับได้เองหรือมีผู้อื่นช่วยเข็น สามารถใช้ได้กับผู้ที่มีความยากลำบากในการเคลื่อนที่ เช่น ผู้สูงอายุ ผู้ป่วยที่ได้รับการบาดเจ็บของขา ผู้ป่วยอัมพฤกษ์ อัมพาต เป็นต้น (ปริญญา กิตติสุทธิ & จีรภา เพลาวาน, 2559)

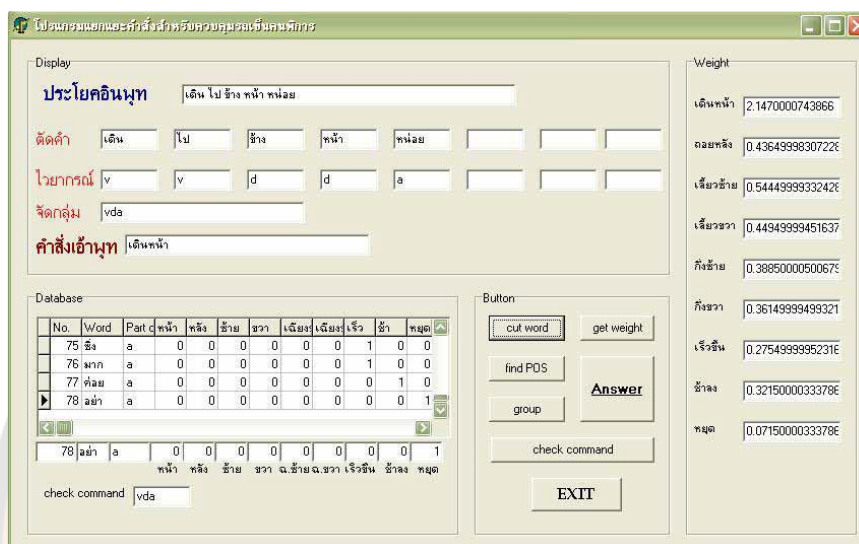


ภาพ 1 รถเข็นนั่งรุ่นมาตรฐาน

ตั้งแต่ในอดีตจนถึงปัจจุบันนี้เก้าอี้เข็นได้รับการศึกษาและพัฒนาอย่างมากมาย ซึ่งพัฒนาไปในหลากหลายแนวทางและหลากหลายด้าน เพื่อที่จะให้เก้าอี้เข็นเกิดความสะดวกสบายต่อผู้ใช้งาน หากพิจารณาการศึกษาและพัฒนาเก้าอี้เข็นที่ผ่านมาก็คงจัดเป็นกลุ่มหลัก ๆ ได้ 6 หมวดหมู่ ได้แก่ ด้านการตอบสนองต่อผู้ใช้ ด้านการควบคุมการเคลื่อนที่ของเก้าอี้เข็น ด้านการนำทางอัจฉริยะ ด้านการควบคุมระยะไกล ด้านการระบุตำแหน่งของตัวเอง และด้านการจำลองโมเดล ปัจจุบันงานวิจัยที่เกี่ยวข้องมีจำนวนมากซึ่งเป็นประโยชน์ต่อการนำมาศึกษาในโครงการนี้

## การตอบสนองต่อผู้ใช้ (User Interface)

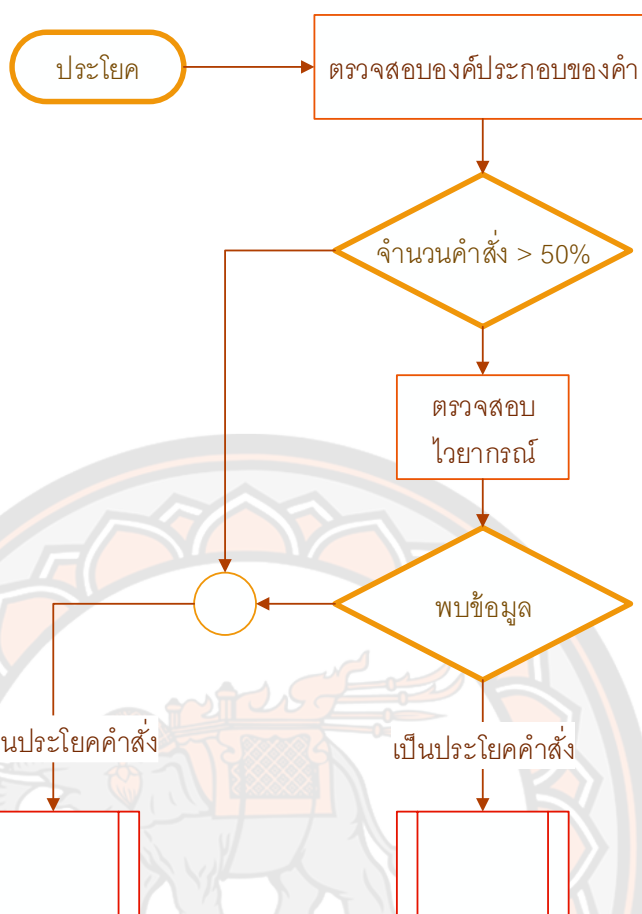
ระบบการตอบสนองผู้ใช้มีอยู่อย่างมากมาย มีทั้งควบคุมด้วยการสัมผัส ควบคุมด้วยเสียง ควบคุมด้วยภาพหรือลักษณะท่าทาง จนไปถึงการควบคุมด้วยระบบประสาท (EMG) ซึ่งในปัจจุบันเริ่มมีการศึกษาการควบคุมซึ่งไร้การสัมผัสมากยิ่งขึ้น อย่างเช่นการควบคุมด้วยเสียง



ภาพ 2 หน้าต่างโปรแกรมแยกแยะคำสั่งในระบบรู้จำเสียงพูด

หมายเหตุ: จาก การแยกแยะคำสั่งควบคุมรถเข็นคนพิการในระบบรู้จำเสียงพูด, โดย อนุพงษ์ ธรรมรักษาสีทธิ์, 2546

ในปี 2003 นายอนุพงศ์ ได้ศึกษาการแยกแยะคำสั่งควบคุมรถเข็นคนพิการในระบบรู้จำเสียงพูดด้วยการพัฒนาซอฟต์แวร์ด้วยโปรแกรมเดลไฟล์ (Delphi) ทำงานบนคอมพิวเตอร์ (ภาพ 2) การแยกแยะจะมีสองกระบวนการหลัก กระบวนการแรกคือการแยกแยะประโยคคำสั่ง ประโยคที่ไม่ใช่คำสั่ง และประโยคที่มีคำสั่งผสมอยู่ ส่วนกระบวนการหลังจากแยกแยะประโยคจะเป็นการแปลความหมายของคำสั่งซึ่งคำสั่งที่จะสามารถนำไปใช้ได้จะมีอยู่ 9 คำสั่งเท่านั้น (อนุพงษ์ ธรรมรักษาสีทธิ์, 2546)



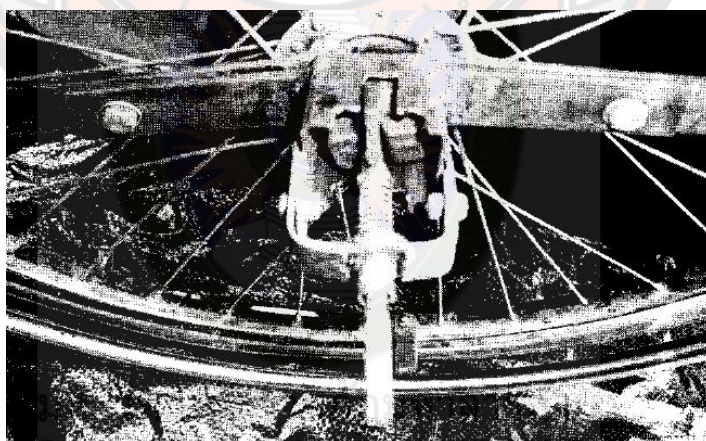
ภาพ 3 กระบวนการทำงานหลักของโปรแกรม

การแยกแยะประโยคทำงานด้วยการตรวจสอบไวยากรณ์จากฐานข้อมูลซึ่งมีด้วยกันอยู่ 4 ประเภทคือ กริยา (v), นาม (n), ทิศทาง (d), คำขยาย (a) ประโยคที่ได้รับจากการรู้จำเสียงหรือการพิมพ์ทางคีย์บอร์ดซึ่งจะถูกบันทึกไว้ในไฟล์เท็กซ์ (.txt) แบ่งออกเป็นคำเพื่อนำมาค้นหาในฐานข้อมูล การค้นหาทั้งหมดจะเป็นการค้นหาแบบเชิงเส้น (การเปรียบเทียบต่อเนื่องจากข้อมูลแรกไปจนพบข้อมูลที่ตรงกันหรือจนสุดฐานข้อมูล) เมื่อแบ่งประเภทคำได้แล้วจึงนำคำที่ได้มาค้นหาในฐานข้อมูลของคำแต่ละประเภทเพื่อระบุว่าเป็นคำสั่งหรือไม่ หากประโยคนั้นมีคำสั่ง ๆ ที่ได้จะจัดเรียงไวยากรณ์ใหม่ คำที่เป็นคำสั่งจะนำเข้าสู่กระบวนการแปลความหมายซึ่งจะระบุว่าเป็นคำสั่งใดใน 9 คำสั่งด้วยการใช้ทฤษฎีของเบย์เป็นหลักความน่าจะเป็น

ในการทดลองจะนำเอาประโยคที่ได้จากบุคคลทั่วไป หนังสือ นิตยสารต่าง ๆ ที่เป็นภาษาไทยจำนวนทั้งหมด 891 ประโยคมาทดสอบ ผลลัพธ์คือประโยคสามารถแยกแยะคำสั่งได้ถูกต้องทั้งหมด ส่วนประโยคทั่วไปและประโยคผสมจะมีความผิดพลาดบาง และการแปลความหมายเป็นทิศทางทั้งที่เป็นประโยคคำสั่งและประโยคผสมมีความถูกต้องมากกว่า 80% โดยเฉลี่ย

ในปี 2004 วิทยานิพนธ์เรื่องรถเข็นไฟฟ้าสำหรับคนพิการ ฉบับได้จัดทำขึ้นโดยการออกแบบเก้าอี้เข็นไฟฟ้าสำหรับคนพิการ ด้วยดัดแปลงโครงสร้างการทำงานของเก้าอี้เข็นทั่วไปและเพิ่มกลไกการขับเคลื่อน และระบบควบคุมสำหรับสั่งการขับเคลื่อน การออกแบบจะเน้นไปที่ภาควงจรไฟฟ้าสำหรับใช้ในการควบคุมเก้าอี้เข็น วิทยานิพนธ์นี้ได้เขียนขึ้นจากกลุ่มนักศึกษามหาวิทยาลัยมหาสารคาม ภาควิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ การออกแบบเก้าอี้เข็นไฟฟ้าในงานวิจัยนี้ประกอบไปด้วย ระบบจ่ายกำลัง ระบบขับเคลื่อน (กลไกการขับเคลื่อน) และระบบควบคุม (สกุลรัตน์ วงศ์นางห่าง et al., 2547)

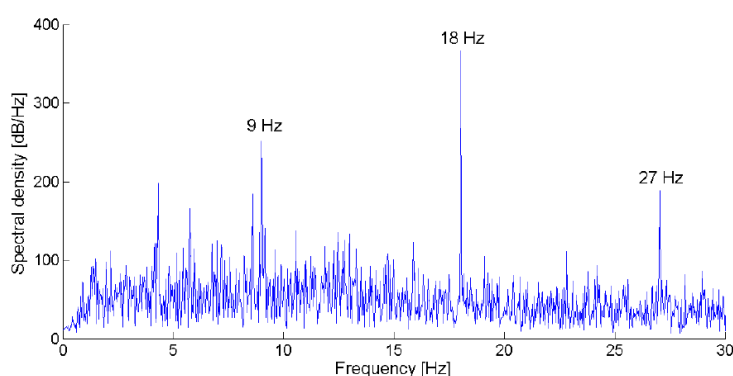
การออกแบบระบบขับเคลื่อนทำโดยการดัดแปลงโครงเก้าอี้เข็นแบบทั่วไป โครงเก้าอี้เข็นบริเวณส่วนที่ยึดกับล้อหลังจะทำการเจาะรูเพื่อให้สวมเพลลาและติดลูกปืนได้ ส่วนที่ปลายเพลลาจะติดข้อต่อที่เป็นตัวยึดล้อกับเพลลา (ภาพ 4) และที่เพลลาจะติดเฟืองและโซ่เพื่อใช้รับแรงขับเคลื่อนจากมอเตอร์ ส่วนการออกแบบในด้านระบบจ่ายกำลังจะเป็นการออกแบบวงจรถไฟฟ้าเพื่อให้ขาออกของแหล่งจ่ายตรงตามที่มอเตอร์ต้องการซึ่งรวมถึงควบคุมประสิทธิภาพของการจ่ายกำลังด้วย ในระบบจ่ายกำลังจะประกอบไปด้วย แบตเตอรี่ซึ่งเป็นแหล่งจ่ายกำลัง หม้อแปลงแรงดัน วงจรเรกติไฟเออร์ ไอซีควบคุมความและเสถียรของแรงดัน นอกจากนี้ระบบจ่ายกำลังยังทำงานร่วมกับระบบควบคุมโดยจะทำงานตามสัญญาณที่ได้รับผ่านเครื่องรับสัญญาณรีโมท ส่วนสุดท้ายคือระบบควบคุมจะทำหน้าที่เป็นหน้าตบสนอง (Interface) แบบหนึ่งที่ใช้ผู้ใช้เก้าอี้เข็นสามารถควบคุม ตัวหน้าตบสนองจะอยู่ในรูปแบบของปุ่มกดซึ่งดัดแปลงมาจากรีโมทรถกระโปง



ภาพ 4 ข้อต่อเพลลามอเตอร์กับล้อเก้าอี้เข็น

หมายเหตุ: จาก “การแยกแยะคำสั่งควบคุมรถเข็นคนพิการในระบบรู้จำเสียงพูด,” โดย อนุพงษ์ ธรรมรักษาสิทธิ์, 2546

เก้าอี้เข็นไฟฟ้าที่ได้ทำขึ้นมาในการศึกษานี้สามารถควบคุมในทิศทางเดินหน้า ถอยหลังและ เลี้ยวซ้ายขวาซึ่งจะสามารถเคลื่อนที่แบบทิศทางตรงไปได้นั้น ในการทดลองปัญหาที่พบก็คือ การเคลื่อนที่มีการเบนออกจากแนวเส้นตรง ไม่สามารถกำหนดทิศทางได้อย่างแม่นยำ มีเสียงการทำงาน จากโช้และมอเตอร์ อุปกรณ์ที่นำมาติดตั้งมีน้ำหนักมาก อย่างไรก็ตามจากการศึกษาระบบสามารถใช้งานเบื้องต้นได้แต่ยังไม่สามารถนำไปใช้ได้จริง



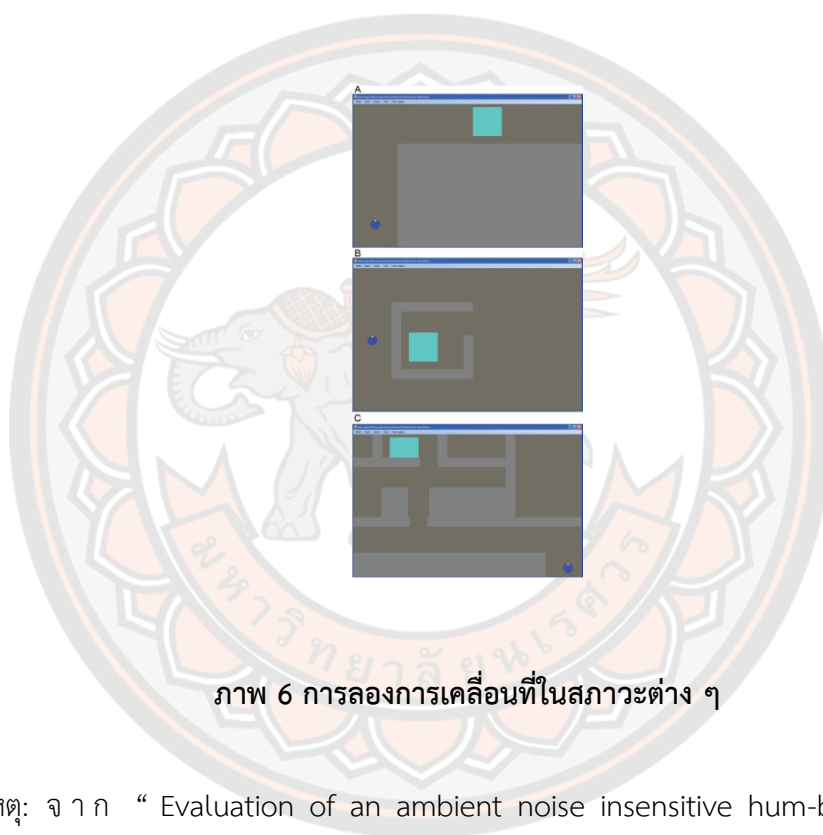
ภาพ 5 สัญญาณ EEG จากการมองเห็นสี

หมายเหตุ: จาก “Navigating a Smart Wheelchair with a Brain-Computer Interface Interpreting Steady-State Visual Evoked Potentials,” โดย Christian Mandel และคณะ, 2009, *2009 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, p.1119 (<https://doi.org/10.1109/IROS.2009.5354534>)

Christian Mandel และคณะ ได้พัฒนาเก้าอี้เข็นที่มีการทำงานร่วมกันระหว่างหน้าตอบสนอง (Interface) ที่ใช้สัญญาณ EEG เป็นพื้นฐานกับระบบนำทางอัตโนมัติในปี 2009 สัญญาณที่ได้รับจากระบบประสาทจะได้จากเซ็นเซอร์ที่ติดอยู่ที่ศีรษะของผู้ใช้ สัญญาณที่วัดได้จะเป็นสัญญาณซึ่งขึ้นอยู่กับตัวกระตุ้นภายนอกจากการมองเห็น ในการสั่งการเก้าอี้เข็นจะทำโดยให้ผู้ใช้มองที่แทบสี LED ซึ่งมีอยู่หลายสี เมื่อผู้ใช้จ้องมองที่สีใดสีหนึ่งสัญญาณจากสมองจะมีการเปลี่ยนแปลงความต่างศักย์ทางไฟฟ้าซึ่งเซ็นเซอร์จะตรวจจับสัญญาณเป็นความถี่นั้นได้ สัญญาณที่เกิดขึ้นจะมีลักษณะเป็นฮาร์มอนิก 2 อันดับจากความถี่มูลฐาน ตาม และเนื่องจากการเห็นมองสีแต่ละสี สมองจะตอบสนองโดยให้กำเนิดสัญญาณความถี่ที่ไม่เหมือนกัน ดังนั้นสัญญาณที่ได้จะถูกนำมาประมวลผลว่าเป็นการมองเห็นสีอะไรและเปลี่ยนเป็นคำสั่งในการควบคุมเก้าอี้เข็น (Christian Mandel et al., 2009)



ในปี 2012 Tiago H. Falk และคณะได้ประเมินการใช้เสียงฮัมกับตัวควบคุมรถเข็นไฟฟ้าในสถานะที่มีเสียงรบกวน โดยใช้อุปกรณ์ที่เรียกว่า Hummer ซึ่งได้พัฒนาขึ้น ติดไว้บริเวณลำคอเพื่อใช้สำหรับวัดการสั่นที่เกิดขึ้น แล้วจะวิเคราะห์เสียงด้วยวิธี Normalized Cross-Correlation (NCC) เพื่อวิเคราะห์สัญญาณเสียงที่ได้รับมา (Falk et al., 2012) ผลของ Hummer จะถูกนำมาเทียบกับอุปกรณ์จดจำเสียงอัตโนมัติ (Automatic Speech Recognition : ASR) ซึ่งใช้ในการวิเคราะห์เสียงพูดคำเดียว โดยในการทดสอบจะยังไม่ได้เชื่อมต่อกับตัวควบคุมจริง แต่จะจำลองการใช้งานด้วยโปรแกรมที่ได้ออกแบบไว้ซึ่งมีลักษณะคล้ายเกมส์ ตามภาพ 6



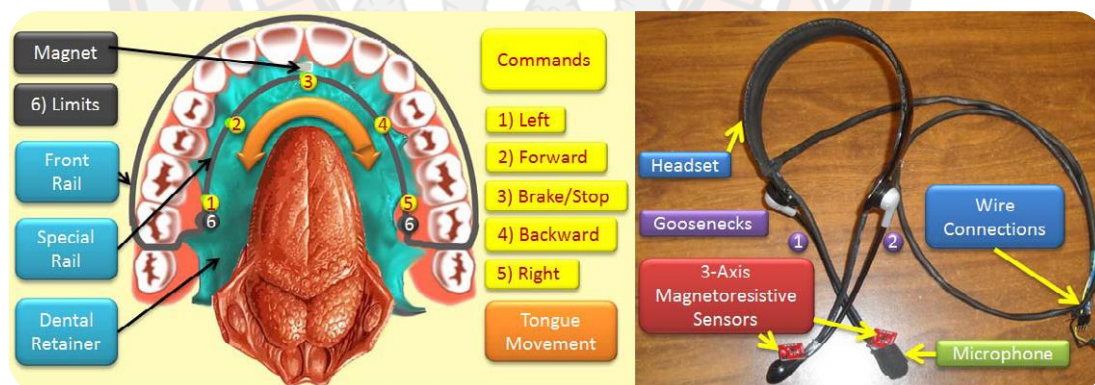
ภาพ 6 การลองการเคลื่อนที่ในสถานะต่าง ๆ

หมายเหตุ: จาก “ Evaluation of an ambient noise insensitive hum-based powered wheelchair controller,” โดย Falk, T. H และคณะ , 2012, *Disability and Rehabilitation. Assistive Technology*, 7(3), p. 244  
(<https://doi.org/10.3109/17483107.2011.629330>)

ภายในโปรแกรมจะมีสถานที่จำลองเส้นทางการเดินรถเข็นและตัวรถเข็นของผู้ใช้ ซึ่งสถานที่จำลองจะมีอยู่สามระดับโดยมีความยากเพิ่มขึ้น ขั้นตอนในการทดสอบผู้ใช้จะต้องทำการควบคุมตัวรถเข็นในจอแสดงผลจากจุดเริ่มต้นไปยังจุดเป้าหมาย โดยระหว่างนั้นจะมีการเก็บข้อมูลระยะเวลาและการชนกำแพงที่เกิดขึ้น จากผลการทดลองพบว่าการใช้เสียงฮัมในการควบคุมเทียบกับการใช้คำพูดปกติจะมีประสิทธิภาพต่ำกว่า ใช้ระยะเวลามากกว่า และมีจำนวนเกิดการชนกำแพงสูงกว่าอีก

ด้วย ดังนั้นเสียงฮัมจึงไม่เหมาะที่จะใช้กับระบบจดจำเสียงอัตโนมัติ แต่ควรมีการพัฒนาาระบบเพื่อรองรับเสียงฮัมโดยเฉพาะ

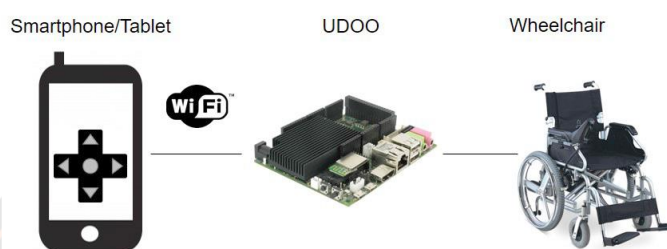
Ruiz-Serrano และคณะ ได้พัฒนาระบบควบคุมเพื่อประยุกต์ใช้กับรถเข็นอัจฉริยะโดยการใช้แม่เหล็กและเสียงพูดในการควบคุม โดยในการพัฒนาได้แบ่งออกเป็นสองระบบ คือ ระบบที่ควบคุมด้วยแม่เหล็กและระบบที่ควบคุมด้วยเสียง ระบบที่ควบคุมด้วยแม่เหล็กจะใช้วิธีการติดเซ็นเซอร์สำหรับใช้ลิ้นแตะไว้ในรีเทนเนอร์ซึ่งมีทั้งหมด 6 จุด สัญญาณจากเซ็นเซอร์บนรีเทนเนอร์จะถูกส่งไปยังตัวรับสัญญาณบนก้านของ Headset ซึ่งอยู่บริเวณแก้มขณะที่สวมใส่ Headset ไว้บนศีรษะ (ภาพ 7) โดยมันจะถูกต่อเข้ากับไมโครคอนโทรลเลอร์ (Arduino) เพื่อประมวลผลหาตำแหน่งของเซ็นเซอร์ที่ลิ้นได้สัมผัส แล้วจะทำการควบคุมมอเตอร์ของรถเข็นไปให้เคลื่อนไปในทิศทางและความเร็วที่ได้กำหนด ส่วนในระบบที่ควบคุมด้วยเสียงนั้นจะประกอบด้วยไมโครโฟนในการรับสัญญาณเสียงและบอร์ด easyEV ซึ่งเป็นบอร์ดสำหรับการจดจำเสียงพูดพื้นฐาน เช่น ‘Up’ ‘Down’ ‘Right’ ‘Left’ เป็นต้น คำพูดต่าง ๆ จะถูกใช้เพื่อกำหนดทิศทางและความเร็วของมอเตอร์โดยมีไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นตัวประมวลผล เมื่อนำไปทดสอบในสถานที่ที่จัดเตรียมเส้นทางไว้ พบว่าทั้งสองระบบสามารถใช้งานได้ดี โดยการทดสอบทั้งสองระบบนี้ใช้ระยะเวลาต่างกัน 15 วินาทีในการเคลื่อนที่ตามเส้นทางทดสอบ (Ruiz-Serrano et al., 2013)



ภาพ 7 เซ็นเซอร์รับการสัมผัสด้วยลิ้นบนรีเทนเนอร์และ Headset

หมายเหตุ: จ า ก “Development of a Dual Control System Applied to a Smart Wheelchair, using Magnetic and Speech Control,” โดย Ruiz-Serrano และคณะ , 2013, *Procedia Technology*, 7, p. 160, <https://doi.org/10.1016/j.protcy.2013.04.020>

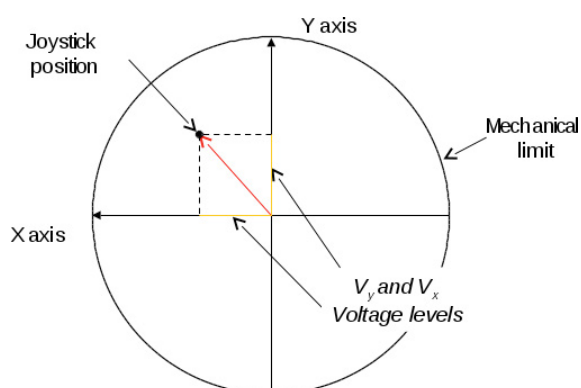
Valenzuela และ de Lucena ได้นำรถเข็นไฟฟ้ามาดัดแปลงโดยการเพิ่มการควบคุมระยะไกลผ่านอุปกรณ์เคลื่อนที่อย่างสมาร์ทโฟนและแท็บเล็ต (Valenzuela & de Lucena, 2016) ระบบนี้ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อช่วยให้พยาบาลสามารถควบคุมรถเข็นของผู้ป่วยที่ไม่สามารถเข็นไปด้วยตัวเอง โดยการใช้ EPW ซึ่งเป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ที่สามารถควบคุมได้ทั้งระบบแหล่งจ่ายไฟของมอเตอร์ซึ่งใช้ในขับเคลื่อนตัวรถเข็นและระบบรับคำสั่งควบคุมซึ่งสามารถเชื่อมต่อกับ Wi-Fi (ภาพ 8)



ภาพ 8 แผนผังการทำงานร่วมกันของสมาร์ทโฟน ไมโครคอนโทรลเลอร์ และรถเข็นไฟฟ้า

หมายเหตุ: จาก “Remote Monitoring and Control of an Electric Powered Wheelchair in an Assisted Living Environment,” โดย Valenzuela และ de Lucena, 2016, *IFAC-PapersOnLine*, 49(30), p. 182, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S240589631632626X>

ในส่วนของการรับคำสั่งควบคุมจะรับคำสั่งจากสมาร์ทโฟนหรือแท็บเล็ตซึ่งได้ติดตั้งโปรแกรมที่พัฒนาไว้ การควบคุมผ่านโปรแกรมจะมีลักษณะคล้ายกับแท่งควบคุมของรถเข็น โดยทั่วไปแล้วแท่งควบคุมจะทำงานด้วยวิธีการส่งค่าพิกัดตำแหน่งของแท่งบังคับในรูปของค่าความต่างศักย์ ดังภาพ 9



### ภาพ 9 พิกัดของความต่างศักย์ซึ่งแปรผันตามแท่งควบคุม

หมายเหตุ: จาก “Remote Monitoring and Control of an Electric Powered Wheelchair in an Assisted Living Environment,” โดย Valenzuela และ de Lucena, 2016, *IFAC-PapersOnLine*, 49(30), p. 182, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S240589631632626X>

โปรแกรมบนสมาร์ตโฟนที่ใช้แทนแท่งบังคับจึงถูกออกแบบให้มีพฤติกรรมเช่นเดียวกัน โดยการแทนที่พิกัดตำแหน่งของแท่งบังคับด้วยพิกัดของนิ้วมือที่กดบนหน้าจอสัมผัส (ภาพ 10) ระบบนี้จึงเป็นอีกวิธีการหนึ่งในการควบคุมรถเข็นผู้ป่วยที่ไม่สามารถขับเคลื่อนได้ด้วยตัวเอง



ภาพ 10 ลักษณะของโปรแกรมที่ใช้สำหรับควบคุมรถเข็นไฟฟ้าแทนแท่งควบคุม

หมายเหตุ: จาก “Remote Monitoring and Control of an Electric Powered Wheelchair in an Assisted Living Environment,” โดย Valenzuela และ de Lucena, 2016, *IFAC-PapersOnLine*, 49(30), p. 183, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S240589631632626X>

อย่างไรก็ตามแม้ว่าการตอบสนองของผู้ใช้จะมีอย่างมากมาย แต่ก็อาจจะไม่ได้รับผลตอบที่ดีจากผู้ใช้งานจริง คุณ Linda Fehr และคณะได้สำรวจผู้เชี่ยวชาญด้านการแพทย์ 200 คน โดย

สอบถามเกี่ยวกับการให้คำปรึกษาการนำเก้าอี้เซ็นไฟฟ้าไปใช้กับผู้ป่วย จากข้อมูลของผู้เชี่ยวชาญด้านการแพทย์บ่งชี้ว่า 9 ใน 10 ของผู้ป่วยที่ได้รับการฝึกฝนการใช้เก้าอี้เซ็นไฟฟ้าคิดว่าเป็นเรื่องยากหรือเป็นเรื่องเป็นไปไม่ได้ที่จะใช้เก้าอี้เซ็นไฟฟ้าในชีวิตประจำวัน และเกือบครึ่งหนึ่งของผู้ป่วยที่ไม่สามารถควบคุมเก้าอี้เซ็นไฟฟ้าได้ด้วยวิธีปกติ จะได้รับประโยชน์จากระบบนำทางอัตโนมัติ (Fehr L et al., 2000) ดังนั้นระบบจึงควมึแนวโน้มที่ทำให้ผู้ใช้งานเข้าถึงการใช้งานเก้าอี้เซ็นไฟฟ้าได้มากกว่าการบังคับด้วยตนเอง

## การสั่งการอุปกรณ์

### การสั่งการด้วยจอยสติ๊ก

จอยสติ๊กถูกประดิษฐ์ขึ้นในช่วงต้นศตวรรษ 20 โดยมีวัตถุประสงค์สำหรับการควบคุมเครื่องบิน โดยในช่วงแรกถูกเรียกว่า *flight stick* ต่อมาในช่วงปีคริสต์ศตวรรษ 1980 หลังจากที่ไมโครคอมพิวเตอร์ออกสู่ตลาดครั้งแรก บริษัทเล็ก ๆ ชื่อ *Cromemco* ได้นำเสนอจอยสติ๊กเครื่องแรกสำหรับไมโครคอมพิวเตอร์ โดยจุดประสงค์หลักจอยสติ๊กเริ่มถูกนำมาใช้ในการควบคุมการเล่นเกม (Ahl & David, 1983) และถูกพัฒนาในอุตสาหกรรมเกมอย่างต่อเนื่องจนจอยสติ๊กอุปกรณ์เป็นที่นิยมและคุ้นเคยในการเล่นเกมนยุคปัจจุบัน

นอกจากจอยสติ๊กถูกพัฒนาและเป็นที่นิยมในอุตสาหกรรมเกมแล้ว ในอุตสาหกรรมที่เป็นจุดเริ่มของจอยสติ๊กอย่างอุตสาหกรรมการบินก็ได้มีการพัฒนาจอยสติ๊กอย่างต่อเนื่องเช่นกัน จนปัจจุบันจอยสติ๊กเป็นส่วนหนึ่งของอุปกรณ์ควบคุมการบินในเครื่องบินหลายรุ่น ปัจจุบันจอยสติ๊กถูกใช้อย่างแพร่หลายในหลายด้านตัวอย่างเช่น การนำจอยสติ๊กมาใช้ในการควบคุมรถยนต์ การใช้จอยสติ๊กกับเครื่องกลโรงงาน หรือแม้แต่ของเล่นอย่างรถบังคับก็มีการใช้จอยสติ๊ก โดยเก้าอี้เซ็นไฟฟ้าก็เป็นหนึ่งในอุปกรณ์ที่มีการนำจอยสติ๊กมาประยุกต์ใช้เพื่อบังคับทิศทาง และเก้าอี้เซ็นไฟฟ้าส่วนใหญ่ส่วนใหญ่มักจะใช้จอยสติ๊ก

### การสั่งการด้วยเสียง

การสั่งการด้วยเสียงเริ่มเป็นที่นิยมมากขึ้นในปีคริสต์ศตวรรษ 21 เมื่อโทรศัพท์มือถือได้เป็นกลายเป็นสมาร์ทโฟนที่มีความสามารถอย่างมากมาย อีกทั้งผู้พัฒนาหลายใหญ่อย่าง Google และ Apple ได้หันมาพัฒนาระบบปฏิบัติการที่สั่งการด้วยเสียงได้ ทำให้ผู้ใช้สมาร์ทโฟนเริ่มเข้าถึงและมีความนิยมมาก นอกจากนี้อุปกรณ์เครื่องไฟฟ้าที่เริ่มเชื่อมต่อเข้ากับอินเทอร์เน็ต (IoT) ก็ได้เริ่มมีการนำระบบสั่งการด้วยเสียงเข้ามาอยู่ในอุปกรณ์เหล่านั้นมากขึ้น

แม้ว่าการสั่งการด้วยเสียงอาจจะไม่ใช่สิ่งที่ยอดนิยมที่สุด แต่มีจุดเด่นหลายอย่างซึ่งเป็นประโยชน์ต่อการใช้งาน เช่น ความสามารถในการสั่งการได้จากระยะไกล ในบางระบบอย่างสมาร์ต

โพนสามารถออกคำสั่งที่มีรายละเอียดจำนวนมากในการสั่งการครั้งเดียว เป็นต้น จุดด้อยที่พบได้บ่อยคือคำสั่งอาจถูกรบกวนได้ง่ายจากสภาพแวดล้อมที่มีเสียงรบกวน การพัฒนาระบบมีความยุ่งยากและซับซ้อนในการจัดการกับคำสั่งเสียงที่ได้รับจากผู้ใช้งาน เนื่องจากความหลากหลายของแหล่งกำเนิดเสียง

การสั่งการด้วยเสียงมีหลายรูปแบบตามลักษณะของเสียงและการใช้งาน เนื่องจากเสียงเป็นปรากฏการณ์ธรรมชาติที่มีลักษณะทางกายภาพซึ่งมีคุณสมบัติมากมาย จึงก่อให้เกิดลักษณะของเสียงในหลายรูปแบบ หากตรวจจับและวัดค่าได้ก็จะสามารถนำมาประยุกต์ใช้งานได้อย่างมากมาย การสั่งการด้วยเสียงที่มักพบได้บ่อยครั้ง เช่น การสั่งการความดัง การสั่งการด้วยความถี่ การสั่งการด้วยการคำพูด และการสั่งการด้วยแบบรูป

### สั่งการด้วยการด้วยคำพูด

เนื่องจากเสียงของผู้ใช้งานแต่ละคนจะมีความเป็นอัตลักษณ์ของตนเอง อีกทั้งภาษาและรูปแบบของประโยคที่ใช้สื่อสารก็มีความหลากหลายแม้จะเป็นภาษาเดียวกัน ดังนั้นการวิเคราะห์การสั่งการด้วยคำพูดนั้นทำได้ยากเนื่องด้วยความซับซ้อนและปัจจัยหลายอย่าง ระบบสั่งการด้วยการพูดส่วนใหญ่จึงนิยมใช้วิธีการวิเคราะห์เสียงด้วย AI วิธีการจำแนกเสียงวิธีนี้ถูกนำไปพัฒนาเป็นระบบผู้ช่วยตามคำสั่ง หนึ่งในนั้นคือ Google Assistance ซึ่งระบบที่ถูกนำไปใช้งานมากที่สุด

### การควบคุมการขับเคลื่อนเก้าอี้เข็น (Dynamic Control)

การควบคุมเก้าอี้คือปัจจัยหลักในการทำเก้าอี้เข็นอัจฉริยะ เก้าอี้เข็นไฟฟ้าหรือแม้กระทั่งเก้าอี้เข็นธรรมดาก็ตาม การออกแบบโครงสร้างที่ดีจะทำให้การควบคุมการเข็นไม่ว่าจะด้วยตัวผู้ใช้เองหรือด้วยระบบควบคุมอื่น ๆ สามารถขับเคลื่อนตัวเก้าอี้ได้อย่างสะดวก ปัจจุบันเก้าอี้เข็นมักจะมีโครงสร้างพื้นฐานที่คล้าย ๆ กัน อาจจะแตกต่างกันที่รายละเอียดของวัสดุเพียงเล็กน้อย

ปี 2010 งานวิจัย Adaptive motion control law of a robotic wheelchair ของ Celso De La Cruz และคณะ (De La Cruz et al., 2011) เป็นการศึกษาเกี่ยวกับการสร้างกฎสำหรับควบคุมหุ่นยนต์เก้าอี้เข็นโดยการพิจารณาการเบี่ยงเบนด้านข้างของจุดศูนย์กลางมวล หุ่นยนต์เก้าอี้เข็นถูกสร้างเพื่อเป็นประโยชน์สำหรับผู้ป่วย ตัวหุ่นยนต์จะได้รับเป้าหมายที่จะไปและสร้างวิถีทางอย่างอัตโนมัติเพื่อไปยังเป้าหมายนั้น

งานวิจัยนี้ได้จัดทำตัวควบคุมที่มีการปรับตัวได้ ทนทานหรือรองรับการสไลด์ของล้อของหุ่นยนต์ซึ่งมีรูปทรงแบบเก้าอี้เข็นด้วยการจำลอง ดังภาพ 11 ที่ได้แสดงถึงโมเดลพลศาสตร์ของหุ่นยนต์เก้าอี้เข็น และนำพารามิเตอร์ของโมเดลมาใช้ในการควบคุม

$$\begin{aligned}\sum F_x &= mu' - \bar{u}\omega = F_{rlx'} + F_{rrx'} + F_{px'} \\ F_{px'} &= F_{clx'} + F_{crx'}\end{aligned}\quad (2.1)$$

$$\begin{aligned}\sum F_y &= m\dot{u} - u'\omega = F_{rly'} + F_{rry'} + F_{py'} \\ F_{py'} &= F_{cly'} + F_{cry'}\end{aligned}\quad (2.2)$$

$$\begin{aligned}\sum M_z &= I_z\dot{\omega} \\ &= \frac{d}{2}F_{rrx'} - F_{rlx'} + b_2F_{rrx'} + F_{rlx'} - b_1F_{rly'} + F_{rry'} + \tau_p\end{aligned}\quad (2.3)$$

$$\tau_p = \left(\frac{c_2}{2} + b_2\right) F_{crx'} - \left(\frac{c_2}{2} - b_2\right) F_{clx'} + c_1 - b_2F_{cry'} + F_{cly'}\quad (2.4)$$

$$\dot{x} = u \cos \psi - \bar{u} \sin \psi - a - b_1\omega \sin \psi\quad (2.5)$$

$$\dot{y} = u \sin \psi - \bar{u} \cos \psi - a - b_1\omega \cos \psi\quad (2.6)$$

ในสมการ (2.1) - (2.5) เป็นสมการโมเดลเชิงพลศาสตร์ของหุ่นยนต์เก้าอี้เข็นและตามการศึกษาค้นคว้าของ Zhang (Zhang et al., 1998) ได้กล่าวถึงองค์ประกอบที่เกิดการไถลดังนี้

$$u = \frac{1}{2}rw_r + w_l + u_r^s + u_l^s\quad (2.7)$$

$$\omega = \frac{1}{d}rw_r w_l + u_r^s - u_l^s\quad (2.8)$$

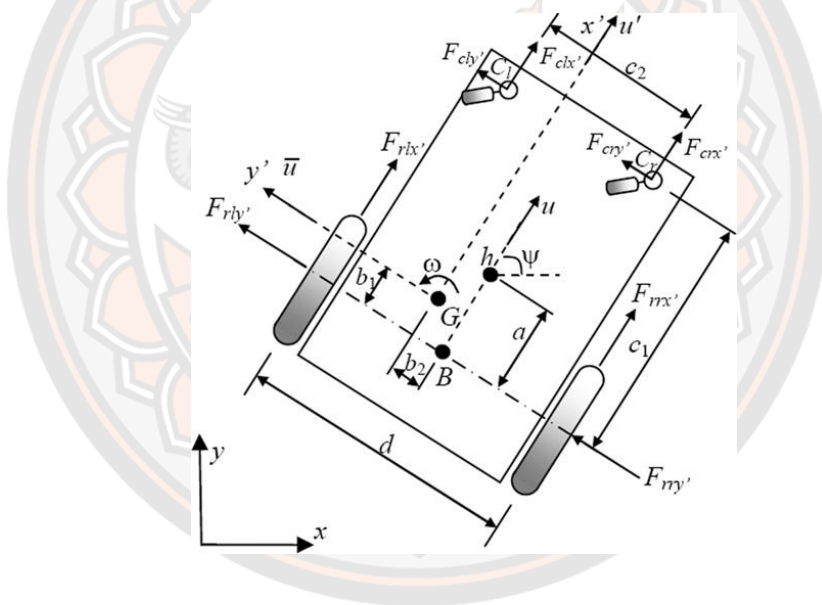
$$\bar{u} = b_1w + \bar{u}^s\quad (2.9)$$

โดยปกติแล้วพาหนะขับเคลื่อนอัตโนมัติที่ขายในตลาดได้ส่วนใหญ่จะมี ตัวควบคุม PID ระดับต่ำเพื่อติดตามรอย (Tracking) ความเร็วอ้างอิงขาเข้า และไม่อนุญาตให้ความต่างศักย์มอเตอร์ขับเคลื่อนโดยตรง และเพื่อให้สอดคล้องกับพาหนะอื่น ๆ ด้วยจึงพิจารณาความเร็วอ้างอิงเชิงเส้นและ

เชิงมุมซึ่งได้จากสัญญาณ และเพื่อให้โมเดลง่ายขึ้นจึงพิจารณาตัวควบคุม PD แล้วนำตัวควบคุมความเร็วใส่ไว้ในโมเดลด้วยซึ่งจะได้สมการดังนี้

$$\begin{bmatrix} v_u \\ v_\omega \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} k_{PT}u_{ref} - u_{me} & -k_{DT}\dot{u}_{me} \\ k_{PR}\omega_{ref} - \omega_{me} & -k_{DT}\dot{\omega}_{me} \end{bmatrix} \quad (2.10)$$

โดยที่  $u_{ref}$  คือ ความเร็วอ้างอิงเชิงเส้น  
 $\omega_{ref}$  คือ ความเร็วอ้างอิงเชิงมุม  
 $u_{me}$  คือ ความเร็วที่วัดได้จากเอ็นโค้ดเดอร์ (สมมติว่าไม่มีความผิดพลาดจากเอ็นโค้ดเดอร์)



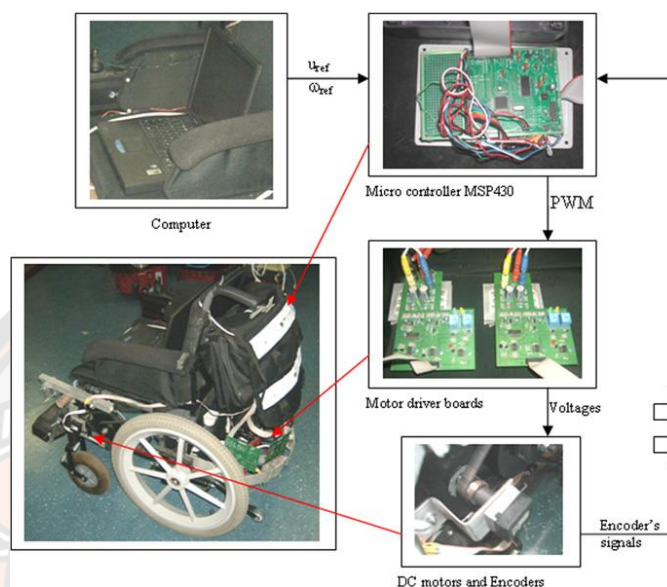
ภาพ 11 Freebody diagram ของโมเดลเก้าอี้เข็น

หมายเหตุ: จาก “Adaptive motion control law of a robotic wheelchair,” โดย De La Cruz และคณะ, 2011, *Control Engineering Practice*, 19(2), p. 114, <https://doi.org/10.1016/j.conengprac.2010.10.004>

โครงสร้างฮาร์ดแวร์ของหุ่นยนต์เก้าอี้เข็นประกอบไปด้วยแหล่งพลังงาน เอ็นโค้ดเดอร์สองตัว ไมโครคอนโทรลเลอร์ระดับต่ำ (Ti MSP430F1611) สำหรับควบคุมความเร็ว บอร์ดสำหรับแปลง



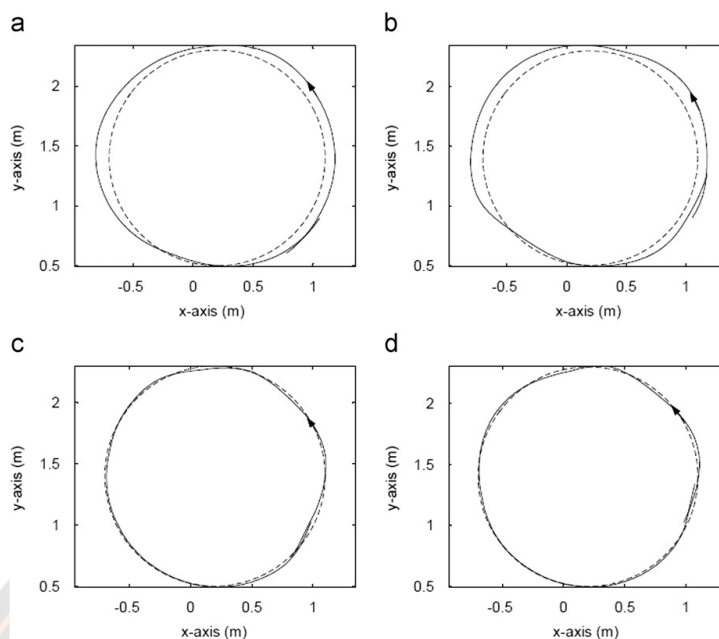
สัญญาณ PWM จากไมโครคอนโทรลเลอร์ไปยังมอเตอร์ และคอมพิวเตอรส์สำหรับประมวลผลสัญญาณ และใช้อัลกอริทึมระดับสูงในการประมวลผลหน้าตบสนอง โดยกฎการควบคุมแบบปรับตัวได้จัดเป็น ตัวควบคุมระดับสูงที่ได้รับการพัฒนาภายใต้ Microsoft Visual C++



ภาพ 12 แผนภาพกระบวนการทำงานหลักของหุ่นยนต์เก้าอี้เข็น

หมายเหตุ: จาก “Adaptive motion control law of a robotic wheelchair,” โดย De La Cruz และคณะ, 2011, *Control Engineering Practice*, 19(2), p. 118, <https://doi.org/10.1016/j.conengprac.2010.10.004>

ผลการทดลองของหุ่นยนต์เก้าอี้เข็นค่อยข้างที่ใช้ได้จริง การทดลองทั้งหมดจะอิงข้อมูลจาก จุด h ซึ่งขึ้นกับการวัดจากเอ็นโค๊ดเตอร์ การทดลองได้กำหนดเส้นทางเป็นเส้นโค้งรัศมี 0.9 เมตรด้วยความเร็วสัมผัส 0.3 m/s ในการทดลองครั้งแรกเป็นการปิดการอัปเดตการปรับตัวได้ของตัวควบคุม ซึ่งพบว่าการใช้การปรับตัวได้ของตัวควบคุมมีความผิดพลาดน้อยกว่าการไม่ได้ใช้อย่างเห็นได้ชัด นอกจากนั้นน้ำหนักของผู้ใช้ไม่มีผลอย่างมีนัยสำคัญ



ภาพ 13 เส้นทางการเคลื่อนที่เป็นวงกลมของเก้าอี้เข็นไฟฟ้าที่ใช้กฎการเคลื่อนที่ (ด้านบน) และ  
ไม่ใช้กฎการเคลื่อนที่ (ด้านล่าง)

หมายเหตุ: จาก “Adaptive motion control law of a robotic wheelchair,” โดย De La Cruz และคณะ, 2011, *Control Engineering Practice*, 19(2), p. 120, <https://doi.org/10.1016/j.conengprac.2010.10.004>

เมื่อการวิเคราะห์ผลการทดลองแล้ว ชี้ให้เห็นว่าการใช้กฎควบคุมที่ปรับตัวได้อาจจะเป็นประโยชน์ต่อการนำไปใช้กับเก้าอี้ที่ใช้ภายในอาคารที่มีเส้นทางคับแคบอย่างประจักษ์ได้ แต่กฎควบคุมที่ปรับตัวได้นี้ได้สร้างมาในสภาวะที่ไม่มีการสั่นสะเทือนและข้อผิดพลาดของการควบคุมเล็กน้อยซึ่งในอนาคตจะมีการแก้ไขปัญหานี้ต่อไป

ปี 2014 มีการพัฒนาระบบเก้าอี้เข็นอัจฉริยะเชิงหุ่นยนต์ (a robotic intelligent wheelchair system) หรือเรียกโดยย่อชื่อว่า RIWS ระบบนี้ทำงานอยู่บนพื้นฐานสองอย่าง คือการหลบหลีกสิ่งกีดขวางและการนำทางโดยมีฮาร์ดแวร์หลักคือเซ็นเซอร์ วงจรควบคุม คอมพิวเตอร์ กระบวนการหลบหลีกสิ่งกีดขวางจะทำงานโดยใช้เซ็นเซอร์สามชนิดได้แก่ อินฟราเรด (Infrared) โซนาร์ (Sonar) และบัมพ์ (bump) ซึ่งจะติดตั้งรอบด้านของเก้าอี้เข็น ในส่วนของการนำทางจะใช้ซอฟต์แวร์ MATLAB ในการประมวลผลบนโน้ตบุ๊ก ข้อมูลที่ได้จากเซ็นเซอร์จะนำมาประกอบการตัดสินใจของโปรแกรม อย่างไรก็ตามงานวิจัยนี้ได้กล่าวถึงอัลกอริทึมที่ใช้ (Alshraideh et al., 2015)



ภาพ 14 เก้าอี้เข็นที่ติดตั้งระบบเก้าอี้เข็นอัจฉริยะเชิงหุ่นยนต์

หมายเหตุ: จาก “A robotic intelligent wheelchair system based on obstacle avoidance and navigation functions,” โดย Alshraideh และคณะ, 2015, *Journal of Experimental & Theoretical Artificial Intelligence*, 27(4), p. 476, <https://doi.org/10.1080/0952813X.2014.971441>

ในการทดลองของงานวิจัยนี้ได้ให้อาสาสมัคร 5 คน (ผู้มีอาชีพในโรงพยาบาลและไม่เจ็บป่วย) ซึ่งได้มอบหมายให้แต่ละคนใช้ RIWS ไปยังสถานที่ต่าง ๆ ในโรงพยาบาลซึ่งมีทั้งหมด 5 สถานที่ที่มีเส้นทางแตกต่างกัน อาสาสมัครจะต้องทดสอบในทุกเส้นทางภายในหนึ่งวันซึ่งนับเป็น 1 ครั้งและจะทำการทดลองแบบนี้ 5 ครั้ง การทดลองจะวัดเวลาและการชนของ RIWS ในระหว่างเคลื่อนที่ไปยังจุดหมาย

จากทดลองพบว่าไม่มีการชน (ถูกนิยามไว้ว่าเมื่อ RIWS มีการกระทบและต้องเปลี่ยนทิศทางใหม่) แต่จะมีการแตะ (ถูกนิยามว่าเมื่อ RIWS มีการกระทบแต่ยังสามารถเคลื่อนที่ในทิศทางเดิมต่อไปได้) จำนวนครั้งค่อนข้างมาก ระยะเวลาเฉลี่ยประมาณ 2-10 นาทีสำหรับระยะทาง 37-250 เมตรขึ้นอยู่กับจำนวนคนและสภาพทางเดินในแต่ละเส้นทาง แม้ว่าผลการชนของเก้าอี้เข็นจะไม่เป็นตามที่คาดหวัง แต่การไปยังจุดหมายได้ถือเป็นความสำเร็จ ซึ่งหลังจากทดลองนี้ได้มีการให้ผู้ป่วยจริงได้ใช้ RIWS แล้วพบว่าผู้ป่วยมีความพึงพอใจ แต่ผู้ป่วยบางส่วนอาจยังมีความกังวลในการใช้

### ด้านการจำลองโมเดล (Modeling, Simulation)

จากการศึกษาข้อมูลที่ได้ค้นคว้ามาพบว่าการศึกษาเกี่ยวกับชุดขับเคลื่อนนั้นยังไม่มีมากนัก และการสั่งการด้วยเสียงส่วนใหญ่จะใช้บอร์ดสำเร็จรูปเพื่อวิเคราะห์ค่าอย่างง่าย ๆ รวมถึงการศึกษาการเคลื่อนที่ตามเส้นเสมือนยังไม่พบข้อมูลใด ๆ จึงเป็นโอกาสให้ผู้จัดทำจะได้ศึกษาในด้านที่ยังมีการศึกษาน้อยอยู่ ตาราง 1 ได้แสดงภาพรวมของงานวิจัยต่าง ๆ ที่ได้ค้นคว้ามา

ตาราง 1 ภาพรวมการพัฒนาในงานวิจัยที่ได้ค้นคว้า

Control System	User Interface	Self-Localization	Navigation	Simulation
รถเข็นไฟฟ้าสำหรับคนพิการ (Electronic Wheel chair)				
Radio Remote	Button	-	-	-
Adaptive motion control law of a robotic wheelchair				
PID	-	-	-	Yes
A dual control system applied to a smart wheelchair				
-	Tung and Voice	-	-	-
A robotic intelligent wheelchair system				
N/A	N/A			-
Control Commands Classification for Speech Recognition Based Wheelchair				
-	Voice	-	-	-
Evaluation of an ambient noise insensitive hum-based powered wheelchair controller				
-	Hum-base	-	-	-
Navigating a Smart Wheelchair with a Brain-Computer Interface Interpreting Steady-State Visual Evoked Potentials				
-	EEG from brain	-	-	-
Remote Monitoring and Control				

Control System	User Interface	Self-Localization	Navigation	Simulation
-	Smartphone	-	-	-

หมายเหตุ: โดยตาราง 1 แยกยาวแสดงรายชื่องานวิจัย หัวคอลัมน์ของตารางแสดงหมวดหมู่งานวิจัยในด้านต่าง ๆ และค่าในคอลัมน์ในแถวด้านล่างรองจากชื่องานวิจัยเป็นอุปกรณ์หรือวิธีการใช้ที่ใช้ในหมวดหมู่นั้น ๆ

### วัสดุและอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้อง

#### ไมโครโฟน

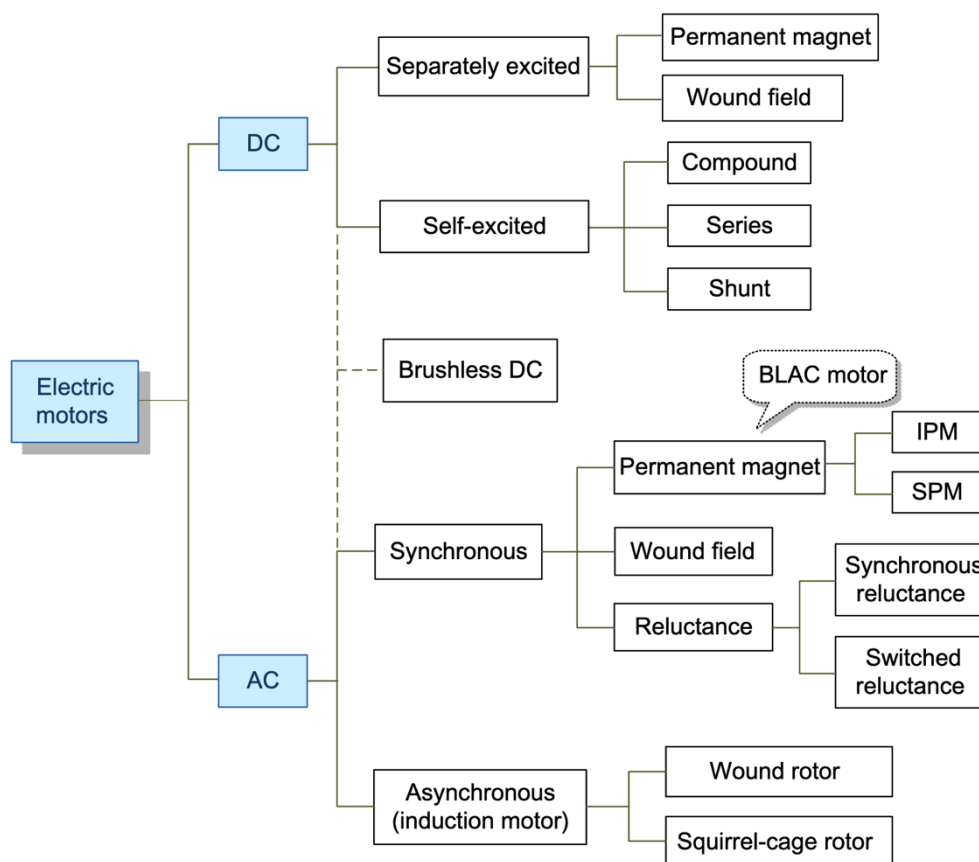
ไมโครโฟนเป็นเซ็นเซอร์สำหรับตรวจจับเสียง เป็นเครื่องมือแปลงความดันอากาศของเสียงเป็นสัญญาณความต่างศักย์ไฟฟ้า

#### Hall-effect sensor

โดยทั่วไปเซ็นเซอร์ Hall-effect มักถูกใช้สำหรับการตรวจจับ ความใกล้ชิด (Proximity) ตำแหน่ง ความเร็ว และกระแสไฟฟ้า เซ็นเซอร์ Hall-effect ถูกให้ความสำคัญเนื่องจากมีขนาดเล็ก มีความคงทน (Ruggedness) มีการใช้งานง่าย และราคาไม่สูง (Ramsden Edward, 2006)

#### Brushless DC Motor (BLDC)

ปัจจุบันมอเตอร์ไฟฟ้าถูกนำมาใช้ประโยชน์อย่างมากมาย มีการพัฒนาและผลิตมอเตอร์ไฟฟ้าออกมาในหลายรูปแบบเพื่อให้ตรงกับความต้องการในการใช้งาน ซึ่งสามารถจำแนกมอเตอร์ได้เป็น 2 ประเภทหลักตามลักษณะกระแสไฟฟ้าที่ใช้กับมอเตอร์ คือมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (DC Motor) และมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ (AC Motor)



ภาพ 15 แผนผังการจัดหมวดหมู่ของมอเตอร์ไฟฟ้า

หมายเหตุ: จาก Electric Motor Control : DC, AC, and BLDC Motors, น. 2, โดย (Sang-Hoon Kim, 2017), Elsevier Science

องค์ประกอบหลักของมอเตอร์คือ Stator (ส่วนที่ยึดอยู่กับที่) กับ Rotor (ส่วนที่มีการหมุน) ทั้งสองส่วนมีการติดตั้งขดลวดไฟฟ้าหรือแม่เหล็กถาวรเพื่อทำให้เกิดสนามแม่เหล็กที่สามารถผลักดันกันจนเกิดการหมุนของ Rotor (Austin Hughes & Bill Drury, 2013)

มอเตอร์แบบไร้แปรงถ่าน (Brushless DC Motor) เป็นมอเตอร์ประเภทหนึ่งที่มีขดลวดเป็น Stator และมีแม่เหล็กถาวรเป็น Rotor มอเตอร์ไร้แปรงถ่านยังไม่ถูกจัดอยู่ในกลุ่มใดอย่างชัดเจน เพราะมีลักษณะการวางแม่เหล็กถาวรที่ Stator เหมือนกับ Synchronous AC Motor แต่ไฟฟ้าที่ใช้เป็นสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรง เนื่องจากมอเตอร์ชนิดนี้มีขดลวดเป็น Stator จึงไม่ต้องใช้

แปรปรวนเพื่อเป็นตัวกลางนำไฟฟ้าไปยังขดลวดอย่างกับมอเตอร์ชนิดอื่น ๆ ที่มีขดลวดเป็น Rotor จึงถูกเรียกว่า “ไร้แปรงถ่าน”

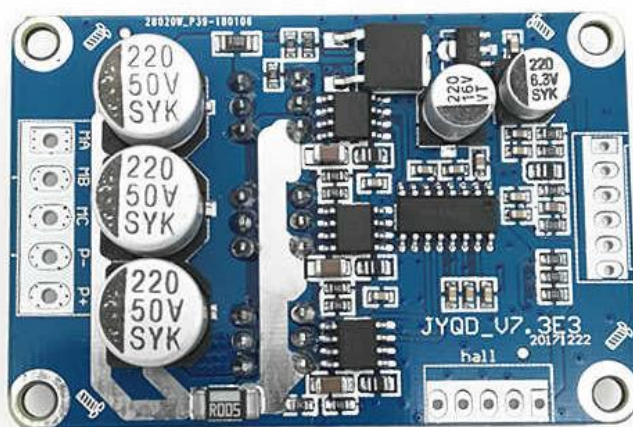
มอเตอร์ไร้แปรงถ่าน Hover wheel เป็นล้อที่ถูกออกแบบเพื่อนำไปใช้กับ hoverboard ซึ่งมีขนาดเล็ก ทำให้ Hover wheel จะต้องทำหน้าที่เป็นทั้งล้อและมอเตอร์ ดังนั้นมอเตอร์แบบไร้แปรงจึงเหมาะจะนำมาใช้เป็น Hover wheel

นอกจาก Hover wheel จะเป็นมอเตอร์แบบไร้แปรงถ่านแล้ว ยังถูกออกแบบให้เป็น Synchronous Motor มอเตอร์ที่ทำงานแบบ Synchronous จะใช้การจ่ายกระแสไฟฟ้าไปยังขดลวด โดยแบ่งเป็นเฟสอย่างเป็นลำดับ ใน Hover wheel ขดลวดที่พันอยู่ใน Stator จะแบ่งเป็น 3 ชุด สลับอย่างเป็นลำดับ การขับ Hover wheel จึงต้องใช้ไฟฟ้า 3 เฟสแบบต่อเนื่องอย่างเป็นลำดับ เพื่อให้เกิดการขับมอเตอร์ได้ถูกต้อง ภายใน Hover wheel มีเซ็นเซอร์ฮอลล์ (Hall sensor) ทำหน้าบอกรตำแหน่งของขั้วแม่เหล็กแต่ละเฟส สัญญาณตำแหน่งที่ได้จะถูกป้อนให้กับบอร์ดควบคุมมอเตอร์เพื่อประมวลและจ่ายกระแสไฟตามที่ต้องการจะขับมอเตอร์

### Brushless DC Motor Driver

การขับมอเตอร์ไร้แปรงถ่านไม่สามารถทำได้โดยการจ่ายกระแสไฟตรงให้กับมอเตอร์เหมือนอย่างมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงทั่ว ๆ ไป เพราะว่า BLDC เป็นมอเตอร์ที่จัดอยู่ในกลุ่ม Synchronous motor ซึ่งการขับมอเตอร์ชนิดนี้จะขับด้วยกระแสไฟฟ้าที่แยกเฟสตามจำนวนขั้วภายในมอเตอร์และกระแสไฟฟ้าแต่ละเฟสจะต้องมีการกระตุ้น (Pulse) สลับกันโดยเรียงลำดับอย่างถูกต้อง การใช้งาน Hover wheel จึงมักจะใช้ร่วมกับบอร์ดขับเคลื่อน

บอร์ด JYQD\_V7.3E3 เป็นบอร์ดวงจรไฟฟ้าสำหรับควบคุมมอเตอร์ไร้แปรงถ่าน ให้ความต่างศักย์ 12 - 36 V และให้กระแสสูงสุด 16A และถูกออกแบบเพื่อให้ใช้กับ BLDC จำนวน 3 เฟส และเป็นระบบควบคุมประเภทระบบป้อนกลับ (Feedback control, Closed-loop control) ตัวบอร์ดจะมีจุดรับสัญญาณเข้าสองส่วน ส่วนแรกเป็นจุดรับจากสัญญาณเซ็นเซอร์ฮอลล์ มีจำนวน 5 พิน (Pin) (ภาพ 16) โดยมี 3 พิน สำหรับเชื่อมต่อกับเซ็นเซอร์ฮอลล์ของล้อมอเตอร์ในแต่ละเฟส พินที่เหลือเป็นพินสำหรับให้ความต่างศักย์ให้แก่เซ็นเซอร์ อีกส่วนหนึ่งคือขารับสัญญาณควบคุมความเร็วทิศทาง และการเปิดปิดการทำงานต่าง ๆ ของมอเตอร์ (ตาราง 15) โดยบอร์ดจะให้ผลลัพธ์คือสัญญาณไฟฟ้ากำลังในแต่ละเฟสเพื่อใช้ขับมอเตอร์ และรับสัญญาณจากเซ็นเซอร์ฮอลล์เป็นสัญญาณป้อนกลับ (Feedback signal)



ภาพ 16 บอร์ดขับเคลื่อน BLDC รุ่น JYQD V7.3E3

หมายเหตุ: จาก (JYQD - V7.3E3 3 Phase Brushless DC Motor Driver 15A Current PWM Speed Control, n.d.), Quality BLDC Driver Board & BLDC Motor Driver IC factory from China (<https://www.blcdmotordrivers.com/sale-13526205-jyqd-v7-3e3-3-phase-brushless-dc-motor-driver-15a-current-pwm-speed-control.html>)

นอกจากบอร์ดรุ่น JYQD V7.3E3 แล้วยังมีบอร์ดรุ่น JYQD V8.3E3 ซึ่งเป็นบอร์ดที่มีคุณสมบัติคล้ายกันแต่ใช้ระบบควบคุมแบบเปิด (Opened-loop feedback) ทำให้ไม่จำเป็นต้องใช้สัญญาณจากเซ็นเซอร์ฮอลล์ การขับเคลื่อนของบอร์ดรุ่นจะให้สัญญาณกำลังไฟฟ้าที่ความถี่คงที่ บอร์ดนี้ไม่เหมาะกับการใช้ขับมอเตอร์ที่รับภาระสูงหรือมีการรบกวนการหมุนของมอเตอร์ เพราะหากมอเตอร์ไม่อยู่ในตำแหน่งที่ตรงกับสัญญาณไฟฟ้าที่ส่งมาขับเคลื่อน ทำให้ไม่เกิดจากการพลิกกันของแม่เหล็กกับขดลวดภายในมอเตอร์ ๆ จึงไม่เกิดการหมุน เหตุการณ์นี้เกิดขึ้นได้บ่อยครั้งในตอนบอร์ดหยุดจ่ายไฟเพื่อให้มอเตอร์หยุดหมุน แต่ด้วยความเฉื่อยของมอเตอร์เองหรือจากการใช้งานทำให้มอเตอร์ยังคงหมุนต่อไปอีกระยะหนึ่ง เมื่อบอร์ดถูกสั่งให้ขับเคลื่อนอีกครั้งเฟสของสัญญาณไฟฟ้าที่จ่ายให้กับมอเตอร์จึงไม่ตรงกับตำแหน่งของแม่เหล็กและขดลวด อย่างไรก็ตามแม้ว่าตำแหน่งของแม่เหล็กและขดลวดจะไม่ตรงกับเฟสของสัญญาณไฟฟ้าในช่วงเริ่มต้น แต่ด้วยการสลับไปมาของเฟสจึงทำให้มีโอกาสที่จะตรงกันอีกครั้ง พฤติกรรมนี้จึงแสดงออกมาเป็นช่วงเวลาหน่วงในช่วงเริ่มต้นและเกิดการกระชากอย่างกะทันหันในช่วงเวลาต่อมา นอกจากกรณีที่เฟสไม่ตรงกันและไม่เกิดการหมุน

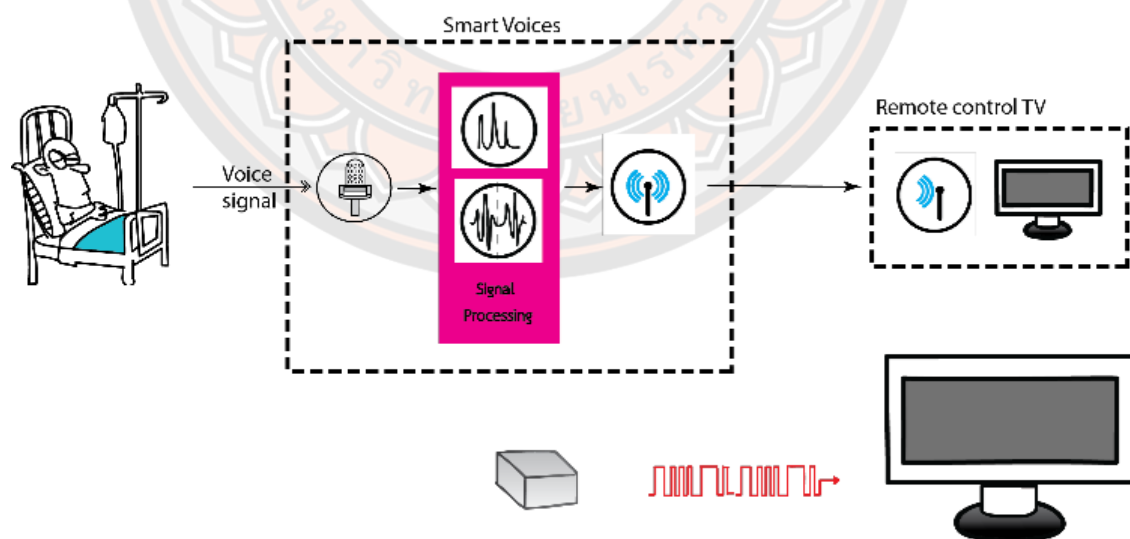


แล้ว ในบางกรณีอาจเกิดเฟสที่ตรงกับตำแหน่งของแม่เหล็กและขดลวด แต่การผลักไม่ได้เกิดขึ้น ต่อเนื่องตรงตามความถี่ของสัญญาณ เหตุการณ์นี้มักเกิดขึ้นเมื่อมอเตอร์รับภาระหรือมีแรงบิดย้อนกลับปริมาณมาก ทำให้ช่วงระยะเวลาในการผลักขดลวดไม่เพียงพอที่จะเปลี่ยนตำแหน่งขดลวดให้อยู่ในตำแหน่งถัดไปได้ พฤติกรรมนี้จะแสดงออกเป็นการสั่นกระตุกของมอเตอร์ตามความถี่ของสัญญาณไฟฟ้าโดยมอเตอร์กลับหมุนซ้ำหรือไม่หมุนเลย

ภายในระบบขับเคลื่อนแก้อี้เซ็นมีศูนย์กลางการประมวลซึ่งทำหน้าที่รับคำสั่งผู้ใช้งานและประมวลผลคำสั่งซึ่งนำไปสู่ผลลัพธ์ของการควบคุมการทำงานของมอเตอร์คือ Microcontroller

### โปรแกรมวิเคราะห์สัญญาณเสียง

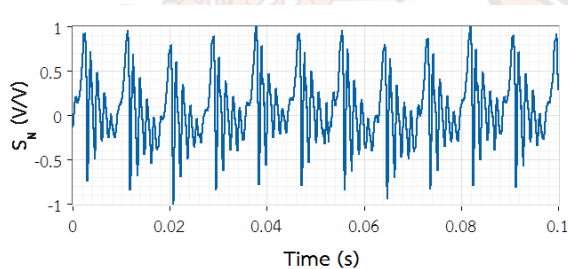
ในปี 2018 ดร.สุเมธ และคณะ ได้พัฒนาระบบวิเคราะห์เสียงสำหรับการควบคุมห้องอัจฉริยะ โดยมุ่งเน้นที่การใช้งานกับผู้ป่วยติดเตียงและใช้คางาย ๆ ได้แก่ เอ อี โอ อา และอุ (สุเมธ เหมะวัฒนะชัย และคณะ, 2018) ตัวระบบทำงานด้วยการรับสัญญาณเสียงจากผู้ใช้ผ่านไมโครโฟนแล้ววิเคราะห์สัญญาณเสียงเพื่อระบุคำสั่งจากผู้ใช้งาน หลังจากนั้นระบบจะส่งสัญญาณด้วยระบบอินฟราเรดไปยังอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ได้ติดตั้งตัวรับสัญญาณไว้ ได้แก่ พัดลม โทรทัศน์และเครื่องปรับอากาศ (ภาพ 17) ก่อนการใช้งานระบบต้องได้รับการป้อนข้อมูลเสียงจากผู้ใช้งานเพื่อเป็นฐานข้อมูลในการจำแนกเสียงซึ่งระบบได้ใช้การจำแนกข้อมูลด้วย k-NN



ภาพ 17 กระบวนการทำงานของระบบห้องอัจฉริยะสั่งการด้วยเสียงสำหรับควบคุมโทรทัศน์

หมายเหตุ: จาก “การพัฒนาาระบบวิเคราะห์เสียงสำหรับการควบคุมห้องอัจฉริยะ,” โดย สุเมธ เหมะวัฒนะชัย และคณะ, 2018, *Naresuan University Engineering Journal*, 13(1), น. 35

กระบวนการทำงานของโปรแกรมวิเคราะห์เสียงแสดงในภาพ 17 ในลำดับแรกโปรแกรมจะรับสัญญาณจากไมโครโฟนและเข้าสู่ขั้นตอนที่สองคือ การแบ่งหน้าต่าง (Windowing) ซึ่งเป็นการเลือกข้อมูลเฉพาะในระยะเวลาหรือขอบเขตที่ต้องการ เพื่อให้จำนวนของข้อมูลมีปริมาณที่เหมาะสมที่จะวิเคราะห์ด้วยการคำนวณ โปรแกรมได้ถูกกำหนดอัตราการสุ่มข้อมูลเพื่อให้รับข้อมูลจากไมโครโฟนที่ 44,100 sample/s เมื่อโปรแกรมกำหนดหน้าต่างของข้อมูลเป็นเวลา 0.1 วินาที ดังนั้นข้อมูลที่นำมาวิเคราะห์ในแต่ละรอบจะเท่ากับ 4,410 samples โดยภาพ 17 แสดงรูปสัญญาณเสียง ‘อา’ หลังจากได้ทำการแบ่งหน้าต่างแล้ว



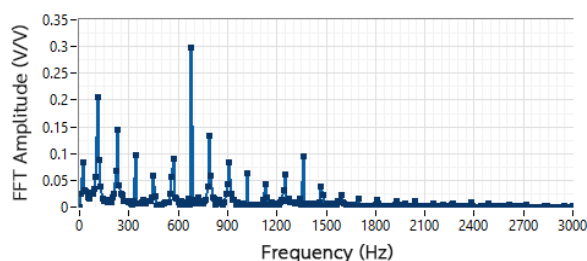
ภาพ 18 สัญญาณเสียง ‘อา’ ที่ได้ทำการแบ่งหน้าต่างที่เวลา 0.1 วินาที ด้วยอัตราการสุ่มข้อมูล 44,100 sample/s และผ่านกระบวนการปรับค่ามาตรฐาน (Normalization)

โปรแกรมจะนำข้อมูลที่ได้จากกระบวนการแบ่งหน้าต่างเข้าสู่กระบวนการปรับค่ามาตรฐาน (Normalization) ซึ่งทำให้ข้อมูลสัญญาณเสียงมีขนาดในระหว่าง -1 ถึง 1 โดยสมการ 2.11 เป็นสมการที่ใช้สำหรับการปรับค่ามาตรฐาน ด้วยวิธี Peak Normalization

$$S_N = \frac{S}{\max(S)} \quad (2.12)$$

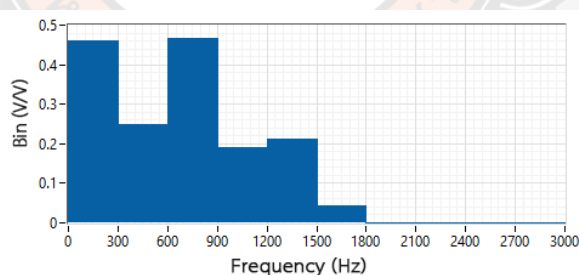
โดยที่  $S_N$  คือ เซตของข้อมูลสัญญาณเสียงที่ทำการปรับค่า โดยวิธี Peak Normalization  $\max(S)$  คือ ค่าที่มากที่สุดของข้อมูลสัญญาณเสียง

ข้อมูลสัญญาณที่ผ่านกระบวนการข้างต้นจะถูกเปลี่ยนจากมิติ เวลา-แอมพลิจูด เป็น ความถี่-แอมพลิจูด ด้วยวิธีการ Fast Fourier Transform ซึ่งจะเห็นผลได้เหมือนภาพ 19



ภาพ 19 กราฟความถี่-แอมพลิจูดของเสียง ‘อา’

งานวิจัยนี้ได้เลือกใช้ข้อมูลในช่วงความถี่ 50 – 3000 Hz เนื่องจากเหตุผลด้านการลบสัญญาณรบกวนในช่วงความถี่ตั้งแต่ 0 ถึง 50 และความถี่ที่มีความชัดเจนจะอยู่ในช่วง 1,000 – 4,000 Hz ช่วงความถี่ที่ถูกเลือกมาจะถูกแบ่งออกเป็นกลุ่ม (Binning) และหาผลรวมภายในกลุ่ม โดยจะแบ่งเป็นจำนวน 10 กลุ่ม โดยแต่ละกลุ่มจะมีจะมีช่วงความถี่ 300 Hz ยกเว้นกลุ่มแรกที่มี 250 Hz (เนื่องจากถูกตัดช่วง 0 – 50 Hz ออก) ภาพ 20 ได้แสดงตัวอย่างผลรวมของแอมพลิจูดในทุกความถี่ภายในช่วงความถี่แต่ละช่วง



ภาพ 20 กราฟแท่งแสดงผลของแอมพลิจูดภายในแต่ละช่วงความถี่

ในการระบุข้อมูลเสียงว่าจัดอยู่ในกลุ่มใด ข้อมูลเสียงจะต้องถูกกำหนดค่าเฉพาะหรือเรียกว่า ค่าลักษณะเฉพาะ (Attribute) เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบ งานวิจัยนี้ได้กำหนดให้ค่าผลรวมของกลุ่มที่ 1 – 5 เป็นค่าเฉพาะลักษณะที่ 1 – 5 ตามลำดับ ค่าผลรวมของกลุ่มที่ 6 – 7 เป็นค่าลักษณะเฉพาะที่ 6 และค่าผลรวมของกลุ่มที่ 8 – 10 เป็นค่าลักษณะเฉพาะที่ 7 ซึ่งเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$Attribute_i = bin_i \quad \text{for } i = 1, 2, 3, 4, 5 \quad (2.13)$$

$$Attribute_6 = bin6 + bin7 \quad (2.14)$$

$$Attribute_7 = bin8 + bin9 + bin10 \quad (2.15)$$

โปรแกรมนี้ได้ใช้วิธีการ k-NN ในการแยกแยะข้อมูลเสียง โดยเปรียบเทียบข้อมูลเสียงที่นำมาทดสอบกับข้อมูลที่มีอยู่ในระบบ การเปรียบเทียบข้อมูลของโปรแกรมใช้วิธีการหาค่าสมบูรณ์ของผลต่างระหว่างข้อมูลทดสอบกับข้อมูลของระบบส่วนด้วยค่าเฉลี่ยของข้อมูลในระบบ ตามสมการที่ (2.16) ผลลัพธ์ที่ได้จากการเปรียบเทียบคือผลต่างของข้อมูลซึ่งมีจำนวนเท่ากับข้อมูลในระบบ

$$D_i = \left| \frac{F_t - F_{db,i}}{\bar{F}_{db}} \right| \quad (2.16)$$

โดยที่

$D_i$	คือ ค่าผลลัพธ์ของการหาผลต่าง
$F_t$	คือ ค่านำมาทดสอบ
$F_{db,i}$	คือ ค่าของข้อมูลที่มีในระบบ
$\bar{F}_{db}$	คือ ค่าเฉลี่ยของค่าของข้อมูลในระบบ

เนื่องจากข้อมูลเสียงที่นำมาเปรียบเทียบในหนึ่งครั้งไม่ใช่ค่าของจำนวนเพียงค่าเดียว แต่จะทั้งหมด 7 ค่า (ค่าลักษณะเฉพาะในข้อมูลเสียง 1 ข้อมูล) เพื่อให้วิธีการ k-NN เปรียบเทียบได้ง่าย โปรแกรมได้รวมผลต่างของแต่ละด้านของลักษณะเฉพาะด้วยวิธี Euclidean Distance ตามสมการที่ (2.16) ซึ่งเป็นการหารากที่สอง (Square Root) ของผลรวมระยะห่างในแต่ละคุณสมบัติยกกำลังสอง

$$D_s = \sqrt{\sum_{i=0}^n D_i^2} \quad (2.17)$$

โดยที่

$D_s$  คือ ค่าผลลัพธ์ของของลักษณะเฉพาะด้วยวิธี Euclidean Distance

ระบบได้ถูกทดสอบความแม่นยำในการวิเคราะห์เสียงโดยมีผู้ทดสอบจำนวน 9 คน ผู้ทดสอบแต่ละคนได้บันทึกข้อมูลสัญญาณเสียงให้แก่ระบบจำนวน 5 เสียง ได้แก่ เสียง ‘เอ’ ‘อี’ ‘โอ’

‘อา’ และ ‘อุ’ ตามลำดับ โดยระบบมีพีเฟอร์สำหรับเก็บข้อมูลเสียงจากการออกเสียงนาน ๆ ทำให้สะดวกในการป้อนข้อมูลให้กับระบบ ผู้ทดสอบแต่ละคนจะใช้พีเฟอร์นี้โดยการออกเสียงแต่ละเสียงเป็นเวลา 5 วินาที ระบบจะแบ่งเสียงที่ได้ด้วยช่วงเวลาละ 0.1 วินาที ทำให้ได้ข้อมูลเสียง 50 ชุด ซึ่งผู้ทดสอบต้องบันทึกเป็นจำนวน 5 ครั้งเพื่อให้ได้ข้อมูลจำนวน 250 ชุด

การทดสอบระบบนี้เป็นการทดสอบเพื่อหาความแม่นยำของการวิเคราะห์เสียง โดยทดสอบด้วยการออกเสียงตามรูปแบบเสียงที่ได้ออกแบบไว้ในตาราง 2 การทดสอบนี้แบ่งออกเป็น 4 การทดสอบ ทั้ง 4 การทดสอบนี้เป็นการจัดรูปแบบการออกเสียงคำสั่ง โดยการทดสอบที่ 1 จะใช้เสียงสองเสียง การทดสอบที่ 2 จะใช้ 3 เสียง การทดสอบที่ 3 จะใช้ 4 เสียง และการทดสอบที่ 4 จะใช้ 5 เสียง

ตาราง 2 รูปแบบเสียงที่ใช้สำหรับทดสอบ

แบบที่	การทดสอบที่ 1	การทดสอบที่ 2	การทดสอบที่ 3	การทดสอบที่ 4
1	‘เอ’ ‘อี’	‘เอ’ ‘อี’ ‘โอ’	‘เอ’ ‘อี’ ‘โอ’ ‘อา’	‘เอ’ ‘อี’ ‘โอ’ ‘อา’ ‘อุ’
2	‘เอ’ ‘โอ’	‘เอ’ ‘อี’ ‘อา’	‘เอ’ ‘อี’ ‘โอ’ ‘อุ’	
3	‘เอ’ ‘อา’	‘เอ’ ‘อี’ ‘อุ’	‘เอ’ ‘อี’ ‘โอ’ ‘อุ’	
4	‘เอ’ ‘อุ’	‘เอ’ ‘โอ’ ‘อา’	‘เอ’ ‘โอ’ ‘อา’ ‘อุ’	
5	‘อี’ ‘อา’	‘เอ’ ‘โอ’ ‘อา’	‘อี’ ‘โอ’ ‘อา’ ‘อุ’	
6	‘อี’ ‘โอ’	‘เอ’ ‘อา’ ‘อุ’		
7	‘อี’ ‘อุ’	‘อี’ ‘โอ’ ‘อา’		
8	‘โอ’ ‘อา’	‘อี’ ‘โอ’ ‘อุ’		
9	‘โอ’ ‘อุ’	‘อี’ ‘อา’ ‘อุ’		
10	‘อา’ ‘อุ’	‘โอ’ ‘อา’ ‘อุ’		

จากผลการทดสอบ การใช้ฐานข้อมูล 5 เสียงได้แก่ ‘เอ’ ‘อี’ ‘โอ’ ‘อา’ ‘อุ’ มีจะความแม่นยำเฉลี่ยที่ร้อยละ 93.45 โดยมีเสียง ‘อา’ เป็นเสียงที่มีความแม่นยำมากที่สุดที่ร้อยละ 99.69 งานได้สรุปว่าโปรแกรมที่พัฒนามี ประสิทธิภาพสูงและมีศักยภาพในการนำไปใช้งานจริงในบุคคลทั่วไปรวมทั้งผู้ป่วยติดเตียง

## บทที่ 3

### วิธีดำเนินงานวิจัย

#### หลักการทํางาน

ระบบขับเคลื่อนเก้าอี้สั่งการด้วยเสียงประกอบไปด้วย 2 ส่วน ได้แก่ ส่วนการตอบสนองผู้ใช้ (User Interface) ซึ่งทำหน้าที่รับคำสั่งและตอบสนองผู้ใช้งานและ ส่วนตัวขับเคลื่อนเก้าอี้เซ็น (Driver) เป็นตัวขับเคลื่อนเก้าอี้เซ็นให้เป็นไปในทิศทางที่กำหนด

การทำงานร่วมกันระหว่างผู้ใช้ ซอฟต์แวร์และตัวขับเคลื่อน เมื่อเริ่มต้นการใช้งานระบบ จะสแตนด์บายรอรับคำสั่งเสียงจากผู้ใช้ เมื่อผู้ใช้เริ่มออกเสียงระบบจะรับเสียงผ่านไมโครโฟนที่ติดตั้งบริเวณลำคอเพื่อวิเคราะห์เสียงจากผู้ใช้และตอบสนองด้วยการแสดงผล เมื่อผู้ใช้สั่งการตามขั้นตอนที่โปรแกรมได้กำหนดไว้ โปรแกรมจะส่งชุดคำสั่งไปยังชุดขับเคลื่อนเพื่อเคลื่อนเก้าอี้เซ็นตามที่กำหนด

วิจัยนี้แบ่งการพัฒนาเป็นสองส่วนหลัก คือการพัฒนาซอฟต์แวร์และการพัฒนาฮาร์ดแวร์ โดยงานวิจัยนี้มุ่งเน้นในการพัฒนาซอฟต์แวร์เป็นหลัก ในการพัฒนาซอฟต์แวร์จะให้ความสำคัญที่การออกแบบและสร้างซอฟต์แวร์สั่งการด้วยเสียงเพื่อใช้สั่งการตัวขับเคลื่อนเก้าอี้เซ็น และในส่วนการพัฒนาฮาร์ดแวร์ให้ความสำคัญกับการออกแบบและสร้างตัวขับเคลื่อนต้นแบบเพื่อใช้สำหรับทดสอบซอฟต์แวร์ดังกล่าว

#### การออกแบบและพัฒนาซอฟต์แวร์

ในระบบเก้าอี้เซ็นอัจฉริยะสั่งการด้วยเสียงจะมีซอฟต์แวร์ทั้งหมด 3 ส่วน ได้แก่ โปรแกรมวิเคราะห์สัญญาณเสียง โปรแกรมนับการหมุนของมอเตอร์ โปรแกรมคำนวณการเคลื่อนที่และขับเคลื่อนมอเตอร์ โดยแต่ละโปรแกรมจะแยกติดตั้งตามอุปกรณ์ของมันเองและสามารถทำงานแยกกันได้อย่างอิสระ

#### โปรแกรมวิเคราะห์สัญญาณเสียง

โปรแกรมวิเคราะห์สัญญาณเสียงถูกออกแบบให้ทำหน้าที่รับคำสั่ง ประมวลผล และแสดงผลต่อผู้ใช้ต่อผู้ใช้งานโดยตรง การออกแบบและพัฒนาโปรแกรมนี้อาจแบ่งสองส่วนคือ ส่วนของการตอบสนองผู้ใช้ (User Interface, UI) และส่วนของการประมวลผลคำสั่งเสียง

โปรแกรมนี้นี้ถูกพัฒนาขึ้นบนโปรแกรม LabVIEW ซึ่งเป็นเครื่องมือในการเขียนโค้ดและสร้างโปรแกรม จุดเด่นของ LabVIEW คือใช้ภาพในการเขียนโค้ดทำให้ง่ายต่อการเรียนรู้ไวยากรณ์ นอกจากนี้ LabVIEW ยังรองรับการเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ที่หลากหลาย

### User Interface และการใช้งาน

สิ่งที่สำคัญสำหรับการควบคุมเก้าอี้เซ็นของผู้ใช้งานคือการควบคุมให้เคลื่อนที่ การกำหนดทิศทางและการหยุด โปรแกรมที่ถูกสร้างขึ้นจะต้องมีความสามารถในการควบคุมทั้งสาม สิ่งนี้ การออกแบบการควบคุมปัจจัยเหล่านี้มีได้หลากหลายวิธี และเพื่อให้เหมาะกับการใช้เสียงสั่ง การ ดังนั้นวิธีที่ถูกนำมาใช้ในงานวิจัยนี้จึงเป็นการกำหนดปัจจัยแต่ละส่วนอย่างเป็นลำดับขั้นตอน

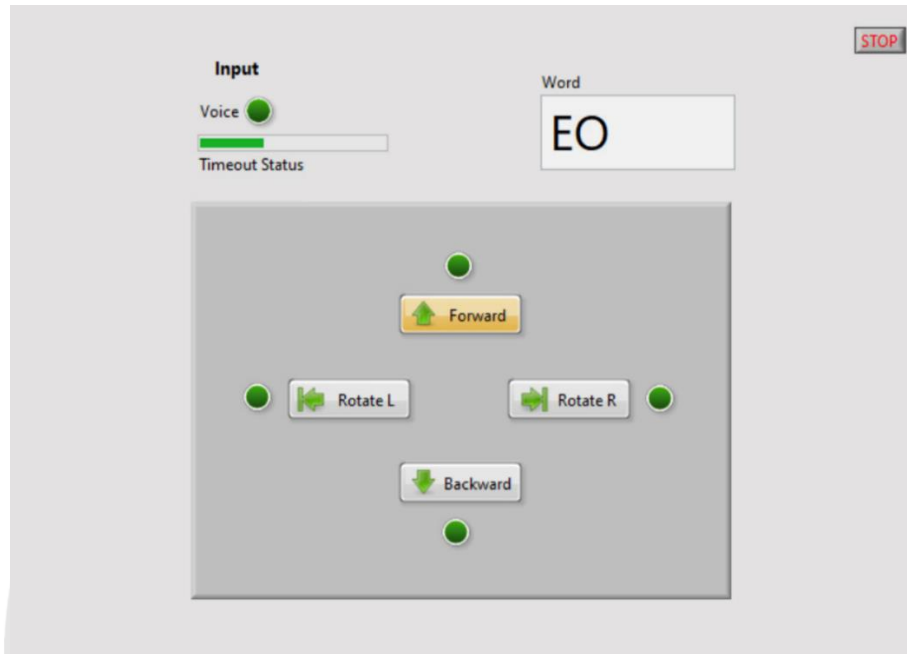
การออกแบบอธิบายตามขั้นตอนการใช้งานได้ดังต่อไปนี้ เมื่อเริ่มต้นการทำงาน ขั้นตอนแรก (Direction Stage) คือการเลือกทิศทาง ตาราง 3 ได้กำหนดคำสั่งเสียงในแต่ละทิศทาง ลักษณะของเสียงที่ใช้กำหนดทิศทางเป็นเสียง 2 พยางค์ เพื่อลดโอกาสการเกิดการป้อนคำสั่งโดยไม่ได้ตั้งใจ เช่น จากเสียงภายนอก หรือผู้ใช้ออกเสียงผิด

ตาราง 3 การกำหนดคำสั่งเสียงกับทิศทาง

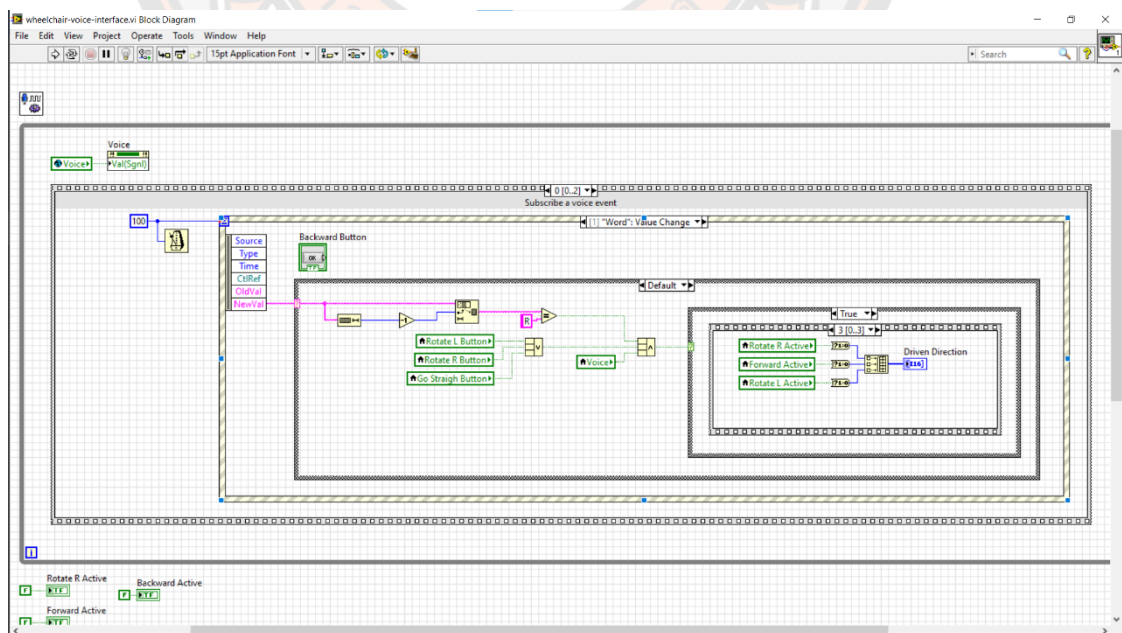
ทิศทาง	เสียงสำหรับสั่งการ	ข้อความที่เตรียมส่งออก
เดินหน้า	อี-โอ	F
ถอยหลัง	เอ-โอ	B
หมุนทางซ้าย	อุ-เอ	L
หมุนทางขวา	โอ-อุ	R
หยุด		-

เมื่อทิศทางถูกเลือกแล้ว ระบบจะเข้าสู่สถานะพร้อมเคลื่อนที่ (Driving Stage) เมื่อออกเสียงให้เคลื่อนที่ระบบจะส่งคำสั่งเข้าสู่ระบบขับเคลื่อนที่เคลื่อนที่ทันที การส่งคำสั่งของ โปรแกรมไปยังระบบขับเคลื่อนที่เป็นการส่งตัวอักษรซึ่งกำหนดไว้ในคอลัมน์ด้านขวาสุดในตาราง 3 สำหรับการสั่งให้เคลื่อนที่จะมีลักษณะการสั่งการที่แตกต่างจากการกำหนดทิศทาง ขั้นตอนนี้ผู้ใช้ต้อง ออกเสียง ‘อา’ ให้ความดังมากกว่าเกณฑ์ขั้นต่ำที่กำหนดไว้ และออกเสียงต่อเนื่องและยาวที่สุดเท่าที่ ต้องการจะขับเคลื่อน ในขณะนี้ออกเสียงอยู่นั้นระยะเวลา 0.5 วินาทีแรก ระบบจะใช้สำหรับยืนยัน การสั่งการเพื่อให้มั่นใจว่าเสียงนั้นได้เกิดขึ้นจากความตั้งใจของผู้ใช้ หลังจากระยะเวลา 0.5 วินาทีแรก แล้ว ระบบจะเริ่มส่งคำสั่งไปยังระบบขับเคลื่อนที่ทันที ต่อเนื่องตามระยะเวลาที่ผู้ใช้ออกเสียงโดยมี เงื่อนไขว่าเสียงสั่งการยังต้องดังกว่าเกณฑ์ที่กำหนดไว้เสมอ เมื่อใดก็ตามที่เสียงดังน้อยกว่าที่กำหนด ระบบจะหยุดส่งคำสั่งเพื่อหยุดระบบขับเคลื่อนที่และกลับไปสู่ขั้นตอนเริ่มต้นอีกครั้งเพื่อรอรับคำสั่ง

กำหนดทิศทางต่อไป โดยหน้าจอโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นดังแสดงใน ภาพ 21 และ ภาพ 22 แสดงส่วนหนึ่งของโค้ดของโปรแกรมที่พัฒนาขึ้น



ภาพ 21 หน้าต่างโปรแกรมสำหรับผู้ใช้งาน



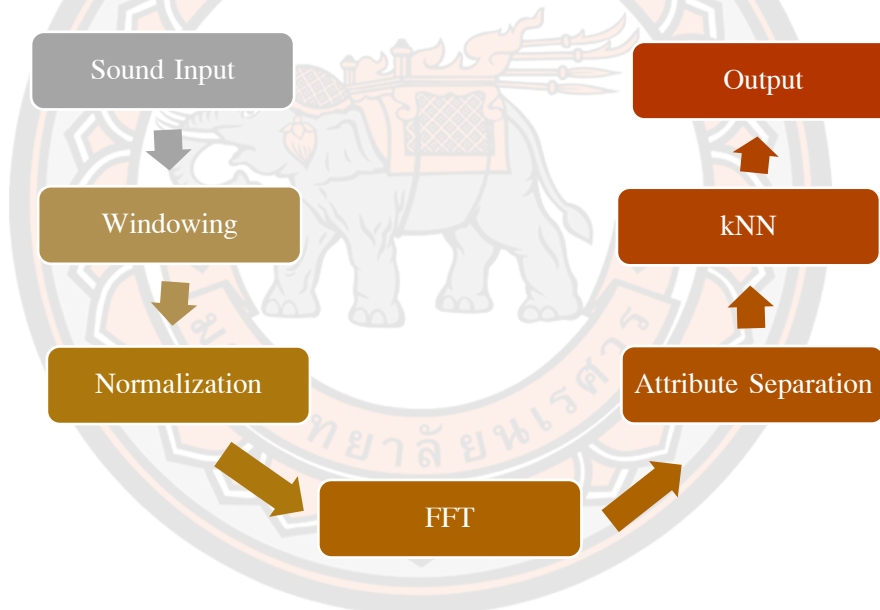
ภาพ 22 ตัวอย่างโค้ดโปรแกรม LabVIEW



จากภาพ 22 ซึ่งแสดงตัวอย่างการทำงานของหน้าจอโปรแกรม โดยเมื่อได้รับเสียงสัญญาณ อี-โอ ระบบจะรับรู้ว่าเป็นรหัสคำสั่งเพื่อเดินหน้า โดยหน้าจอโปรแกรมจะแสดงการเลือกทิศทางไปข้างหน้า (Forward) ซึ่งหลังจากนี้ ระบบจะรอคำสั่งจากการลากเสียง อา แบบยาว เพื่อส่งคำสั่งควบคุมการเคลื่อนที่ไปที่เก้าอี้เซ็นไฟฟ้าต่อไป

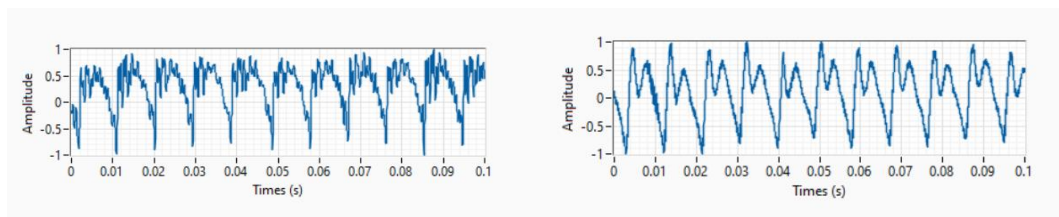
### การประมวลผลคำสั่งเสียง

กระบวนการประมวลผลคำสั่งเสียงจะเริ่มต้นจากการรับอินพุตคือสัญญาณเสียง และเอาต์พุตที่ต้องการจากโปรแกรมคือการระบุเสียงที่ใดในฐานข้อมูล สัญญาณเสียงจะผ่านกระบวนการ Windowing, Normalization, FFT, Attribute Separation และ k-NN ซึ่งเป็นการดำเนินการทางข้อมูลเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ (ภาพ 23)



ภาพ 23 หลักการทำงานของโปรแกรมวิเคราะห์เสียง

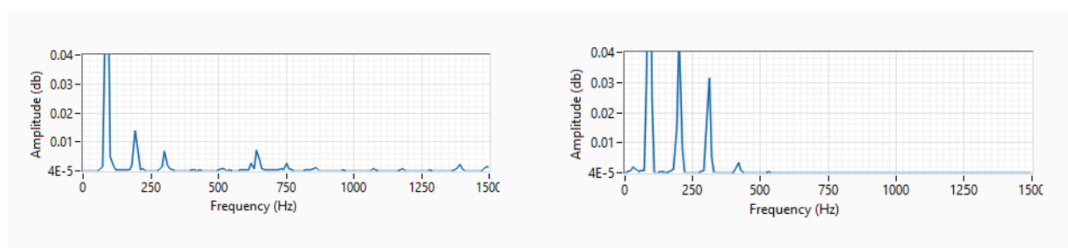
เสียงที่รับจากไมโครโฟนจะเป็นลักษณะของสัญญาณ ในกระบวนการวิเคราะห์เสียงจะนำสัญญาณที่ได้มาดำเนินการและตอบสนองอย่างทันที สัญญาณที่ได้จะถูกนำมาเปรียบเทียบกับข้อมูลในฐานข้อมูลเพื่อระบุว่าเป็นเสียงใด กระบวนการวิเคราะห์จะเริ่มต้นเมื่อไมโครโฟนรับเสียงสัญญาณเสียงที่ได้รับจากไมโครโฟนซึ่งเป็นสัญญาณทางไฟฟ้านั้นจะถูกแปลงค่าให้เป็นข้อมูลแบบดิจิทัลซึ่งอยู่ในรูปแบบของเวลาและแอมพลิจูด (ภาพ 24)



ภาพ 24 สัญญาณเสียงจากไมโครโฟน (ก) เสียง ‘อา’ (ข) เสียง ‘อี’

ในระบบดิจิทัล ข้อมูลเสียงที่ได้จะเป็นข้อมูลในลักษณะวิฤต (Discrete) ความละเอียดของข้อมูลขึ้นอยู่กับข้อกำหนดค่าอัตราการสุ่มข้อมูล (Sampling rate) และความลึกของบิต (bit depth) ซึ่งสามารถกำหนดบนอุปกรณ์ฮาร์ดแวร์การ์ดและโปรแกรมที่ดึงข้อมูลจากฮาร์ดแวร์ไปใช้ ในงานวิจัยได้ใช้ค่าสูงสุดของฮาร์ดแวร์ 22,050 Hz และความลึกของบิตที่ 8 bits ซึ่งเป็นการตั้งค่าสำหรับการใช้งานไมโครโฟนแบบทั่วไป

ในการวิเคราะห์เสียงจำเป็นต้องใช้ลักษณะความเฉพาะเจาะจงของคลื่นของเสียง แต่เนื่องจากสัญญาณเสียงที่ได้จากไมโครโฟนอยู่ในรูปแบบของเวลาและแอมพลิจูด ทำให้ต้องดำเนินการเปลี่ยนสัญญาณที่ได้ให้อยู่ในรูปความถี่และแอมพลิจูด Fourier Transform เป็นวิธีการที่ใช้สำหรับการเปลี่ยนมิติของข้อมูล ในกรณีนี้ก็สามารถก็เช่นกัน ถึงแม้ว่า Fourier Transform จะเป็นวิธีการที่ทำให้ได้ข้อมูลที่ต้องการ แต่เนื่องจากโปรแกรมได้ถูกกำหนดให้ทำงานโดยตอบสนองทันที การเปลี่ยนข้อมูลด้วย Fourier Transform โดยปกติจึงไม่สามารถทำได้ งานวิจัยนี้ได้เลือกใช้เทคนิค FFT (Fast Fourier Transform) มาใช้ซึ่งเป็นเทคนิคการใช้ Fourier Transform กับข้อมูลบางส่วนได้โดยให้ข้อมูลผลลัพธ์ที่ใกล้เคียงกับเทคนิคปกติ ภาพ 25 แสดงรูปแบบข้อมูลสัญญาณเสียงสองรูปแบบระหว่าง เวลา-แอมพลิจูดและความถี่-แอมพลิจูดด้วยการใช้การเปลี่ยนข้อมูลแบบ FFT สัญญาณเสียงที่ถูกแปลงให้อยู่ในมิติความถี่-แอมพลิจูดแล้วจะถูกนำไปเปรียบเทียบเพื่อระบุเสียง จากภาพ 25 เป็นตัวอย่างสัญญาณเสียง ‘อา’ และ ‘อี’ ใน



ภาพ 25 FFT ของสัญญาณเสียงจากไมโครโฟน (ก) เสียง ‘อา’ (ข) เสียง ‘อี’

การจำแนกข้อมูลเสียงจะใช้วิธีการเปรียบเทียบระหว่างข้อมูลเสียงที่ได้รับจากไมโครโฟนกับข้อมูลเสียงที่มีอยู่ในฐานข้อมูล ข้อมูลเสียงที่ได้จากไมโครโฟนมีอยู่เป็นจำนวนมาก (ตาม Sampling rate) หากทำการเปรียบเทียบโดยตรงจะทำให้โปรแกรมมีภาระการคำนวณมากเช่นกัน และถ้าอุปกรณ์ที่โปรแกรมติดตั้งอยู่นั้นมีสมรรถนะไม่มากพอต่อการคำนวณดังกล่าวก็จะเกิดการขาดช่วงของเสียงที่รับสัญญาณเสียง (Lack) และความล่าช้าในการตอบสนอง เพื่อลดปริมาณข้อมูลที่ไม่จำเป็นและคงลักษณะเฉพาะ (Attribute) ของความถี่ในสัญญาณนั้น ดังนั้นจึงมีการแบ่งข้อมูลเป็น 7 กลุ่มตามความถี่ของเสียงจากน้อยไปมาก ข้อมูลทั้งหมดที่ถูกแบ่งออกมาในแต่ละกลุ่มจะถูกหาค่าเฉลี่ยของแอมพลิจูดซึ่งค่าเหล่านี้จะนับว่าเป็นค่าลักษณะเฉพาะ 7 ค่า ค่าลักษณะเฉพาะเหล่านี้จะถูกใช้ในการเปรียบเทียบกับข้อมูลในฐานข้อมูลที่เป็นข้อมูลลักษณะเดียวกัน

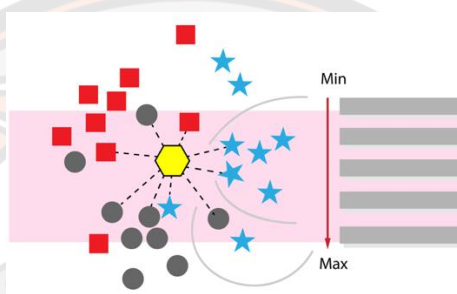
การจำแนกข้อมูลมีอยู่ด้วยกันหลายวิธีการซึ่งวิธีการที่เป็นที่นิยมได้แก่ SVM และ k-NN เป็นต้น (Danilo Bzdok และคณะ, 2018) SVM เป็นการจำแนกข้อมูลด้วยการใช้เส้นแบ่งซึ่งเหมาะกับกลุ่มข้อมูลที่มีการแบ่งกลุ่มกันอย่างชัดเจน ส่วนวิธีการจำแนก k-NN จะใช้การเปรียบเทียบข้อมูลที่นำมาทดสอบกับข้อมูลที่มีอยู่ และเลือกค่าที่มีความใกล้เคียงมากที่สุด k ลำดับเพื่อหาชนิดของข้อมูลที่มีจำนวนมากที่สุด ในการพัฒนานี้ได้เลือกใช้วิธีการ k-NN ในการจำแนกข้อมูลเสียงเนื่องจากข้อมูลเสียงมีการกระจายตัวและกลุ่มของข้อมูลมีความเลื่อมล้ำกัน การเลือกใช้วิธีการ k-NN จึงเหมาะสมกว่า SVM

ด้วยวิธีการจำแนก k-NN ข้อมูลลักษณะเฉพาะของเสียงทดสอบจึงถูกเปรียบเทียบกับลักษณะเฉพาะของข้อมูลเสียงทั้งหมดในฐานข้อมูลด้วยการหาผลต่างแบบเมตริกซ์ผลลัพธ์ที่ได้จากการเปรียบเทียบคือผลต่างของลักษณะเฉพาะ 7 ค่า เพื่อให้สามารถจัดลำดับข้อมูลตามวิธีการ k-NN ได้ จึงอาศัยสมการของ Euler เพื่อหาขนาดของ Vector ทั้ง 7 มิติ ซึ่งแสดงตามสมการที่ (3.1)

$$d_i = \sqrt{\frac{(x_{a1} - y_{a1,i})^2 + (x_{a2} - y_{a2,i})^2 + (x_{a3} - y_{a3,i})^2 + \dots + (x_{a7} - y_{a7,i})^2}{7}} \quad (3.1)$$

จากสมการ (3.1) ทำให้ผลต่างที่เกิดขึ้นจากการเปรียบเทียบแต่ละคู่เสียงทั้ง 7 ค่า เหลือเพียงค่าเดียว ค่าเหล่านี้จะถูกนำมาจัดเรียงลำดับจากน้อยไปมาก และโปรแกรมจะหาเสียงที่มีจำนวนมากที่สุดจาก 15 ลำดับแรก (k = 15) ผลลัพธ์ของเสียงที่โปรแกรมวิเคราะห์ได้นั้นจะถูกแสดงและนำไปใช้งานในส่วนของการเลือกคำสั่งเสียง

ภาพ 26 แสดงกระบวนการการจำแนกข้อมูลด้วย k-NN ในตัวอย่างรูปนี้มีข้อมูลในระบบ 3 ประเภทได้แก่ สีเหลี่ยม วงกลม และดาว โดยมีข้อมูลทดสอบคือหกเหลี่ยมและ  $k=5$  ข้อมูลทดสอบจะถูกนำมาหาระยะห่าง (ความแตกต่าง) จากข้อมูลในระบบทั้งหมด จากรูปมีข้อมูลที่ใกล้กับข้อมูลทดสอบ 5 ลำดับแรก ได้แก่ ข้อมูลสีเหลี่ยม 1 ข้อมูล วงกลม 1 ข้อมูลและข้อมูลดาว 3 ข้อมูล โดยเรียงจากระยะห่างใกล้ไปไกลตามลำดับ เนื่องจากข้อมูลสีเหลี่ยมมีมากที่สุด ดังนั้นด้วยกระบวนการ k-NN ข้อมูลทดสอบจะถูกระบุว่าเป็นข้อมูลประเภทดาว แม้ว่าข้อมูลสีเหลี่ยมจะอยู่ใกล้ข้อมูลทดสอบมากที่สุดก็ตาม



ภาพ 26 ตัวอย่างการกระจายของข้อมูลและการจำแนกด้วย k-NN

### การส่งคำสั่งผลลัพธ์

โปรแกรมวิเคราะห์สัญญาณเสียงและบอร์ดควบคุมการเคลื่อนมีการเชื่อมต่อกันผ่านโมดูลอินฟราเรด เพื่อความสะดวกในการพัฒนา ผู้พัฒนาจึงกำหนด API (Application program interface) สำหรับสื่อสารระหว่างโปรแกรมวิเคราะห์เสียงและบอร์ดควบคุมการเคลื่อนที่ถูกออกแบบโดยง่ายด้วยการใช้ตัวอักษร โดยตาราง 3 ได้กำหนดแสดงตัวอักษรตามทิศ

### การพัฒนาและออกแบบฮาร์ดแวร์

การพัฒนาส่วนฮาร์ดแวร์เป็นการสร้างระบบทางกายภาพของชุดขับเคลื่อน การพัฒนาประกอบด้วย การออกแบบและสร้างโครงของชุดขับเคลื่อน และการออกแบบและสร้างวงจรไฟฟ้า สิ่งที่ย้อนให้กับระบบคือคำสั่งซึ่งได้รับมาจากผู้ใช้และสิ่งที่ระบบให้ออกมาคือการหมุนของล้อมอเตอร์

วัตถุประสงค์หลักของการพัฒนาฮาร์ดแวร์ในงานวิจัยนี้คือเพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการทดสอบซอฟต์แวร์วิเคราะห์และสั่งการด้วยเสียง โดยมีขอบเขตคือต้องสามารถขับเคลื่อนเก้าอี้ขึ้นไปในทิศทางที่กำหนดได้ ต้องสามารถประกอบเข้ากับเก้าอี้ขึ้นไปโดยไม่มี การดัดแปลงใด ๆ ภายในเก้าอี้

เช่น ตัวล้อของชุดขับเคลื่อนทำหน้าที่ดันเก๊าอี้เซ็นไปในทิศทางที่ต้องการแต่ไม่ได้ทำหน้าที่รับน้ำหนัก แทนล้อหลักของเก๊าอี้เซ็น

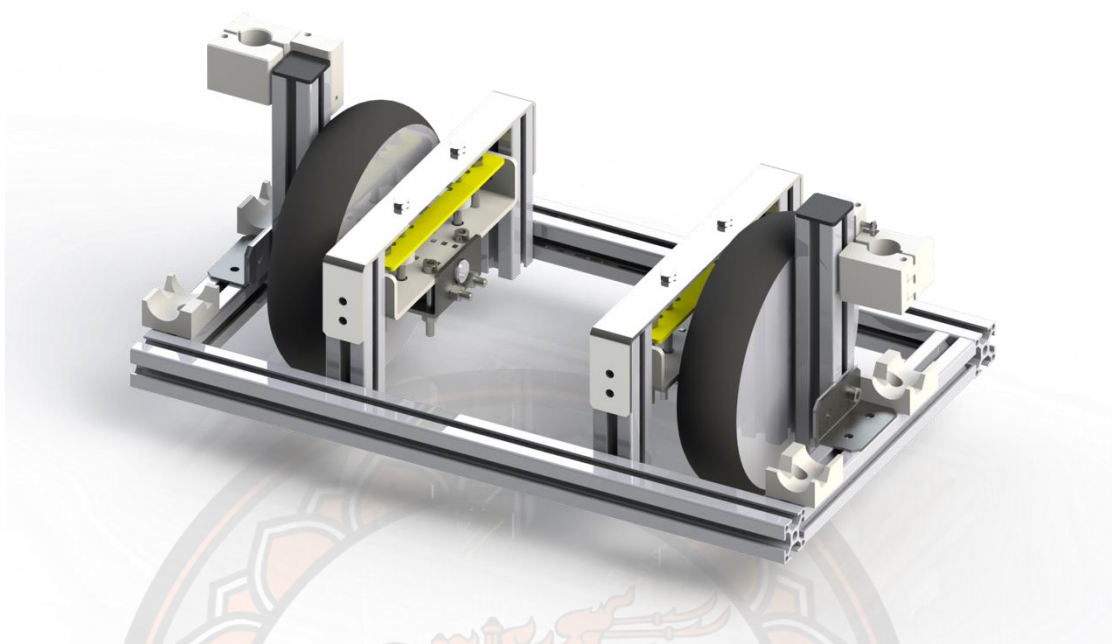
จากขอบเขตของในการพัฒนาชุดขับเคลื่อนเก๊าอี้เซ็นทำให้จุดวางตำแหน่งของชุดขับเคลื่อน และการติดตั้งกับเก๊าอี้เซ็นจึงมีความสำคัญอย่างยิ่ง การออกแบบส่วนของฮาร์ดแวร์จึงใช้การออกแบบผ่านโปรแกรมทางคอมพิวเตอร์ (CAD) และการใช้หลักการการเคลื่อนที่เข้ามาในการออกแบบและการคำนวณการทำงานที่เป็นไปได้

เครื่องมือที่ใช้ในการออกแบบโครงสร้างของตัวขับเคลื่อนคือซอฟต์แวร์ประเภท CAD (Computer-Aided Design) เพื่อสร้างแบบจำลอง (Model) ของโครงสร้าง ก่อนจะจัดทำเป็นแบบแสดงรายละเอียด (Detail Drawings) เพื่อใช้ในกระบวนการจัดทำวัสดุ

ภาพ 27 เป็นแบบจำลองโครงสร้างโมเดลแรกที่ได้พัฒนาขึ้น อุปกรณ์หลักที่เป็นหัวใจสำคัญของการพัฒนาและออกแบบระบบขับเคลื่อนเก๊าอี้เซ็นคือ ตัวขับเคลื่อนเก๊าอี้เซ็น โดยวัตถุประสงค์ของตัวขับเคลื่อนเก๊าอี้เซ็นคือสามารถขับเคลื่อนเก๊าอี้เซ็นไปตามทิศทางที่ต้องการได้ สามารถควบคุมความเร็วในการขับเคลื่อนได้ และสามารถนำไปติดตั้งกับเก๊าอี้เซ็นทั่วไปอย่างไม่ถาวรได้ นอกจากนี้ยังมีเงื่อนไขอีกหลายอย่างที่พบในระหว่างการออกแบบ แต่อย่างไรก็ตามการออกแบบตัวขับเคลื่อนจะคำนึงถึงวัตถุประสงค์เหล่านี้เป็นหลัก

ตำแหน่งในการติดตั้งชุดขับเคลื่อนเก๊าอี้เซ็นเป็นอีกหนึ่งปัจจัยในการออกแบบ เนื่องจากหากนำมาติดตั้งด้านหน้า ชุดขับเคลื่อนจะขวางทางการเคลื่อนย้ายผู้ป่วยขึ้นลงเก๊าอี้เซ็น หากติดตั้งบริเวณด้านข้างอาจจะเป็นอุปสรรคในการกีดขวางการสัญจรสวนกัน และยังเพิ่มข้อจำกัดในการเคลื่อนที่ในที่แคบ การติดตั้งด้านข้างยังทำให้การออกแบบมีความยากขึ้น ทั้งด้านการติดตั้ง กลไกในการขับเคลื่อน รวมถึงการควบคุมการขับเคลื่อนด้วย การติดตั้งชุดขับเคลื่อนที่ด้านหลังของเก๊าอี้เซ็นจึงเป็นทางเลือกที่ยังเหลืออยู่ งานวิจัยนี้ได้วางตำแหน่งของชุดขับเคลื่อนที่ด้านหลังของเก๊าอี้เซ็น โดยออกแบบให้แนวจุดสัมผัสพื้นของล้อชุดขับเคลื่อนทั้งสองข้างเป็นแนวเดียวกับจุดสัมผัสพื้นของล้อเก๊าอี้เซ็นทั้งสองข้าง (

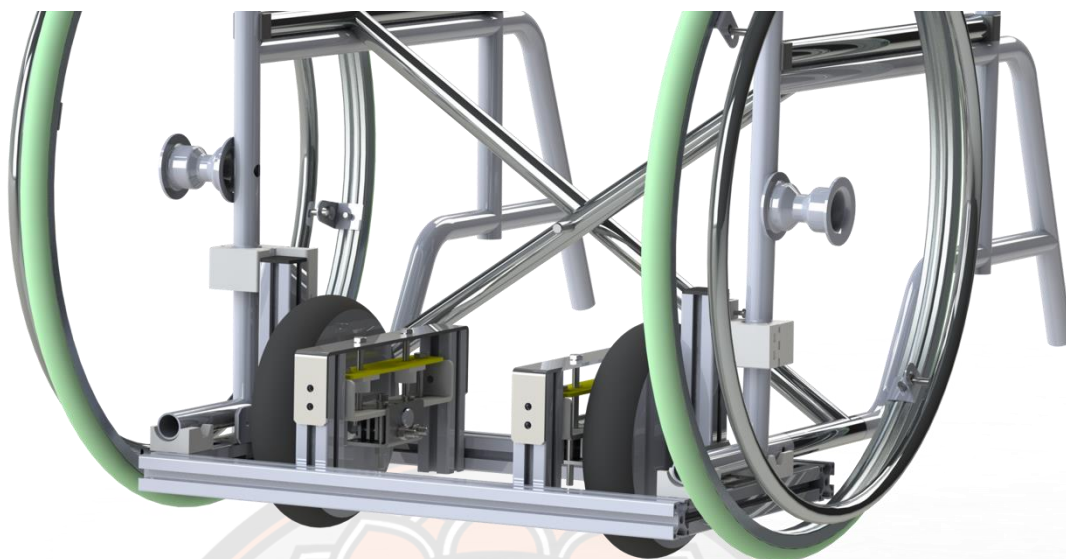
ภาพ 27) เพื่อลดข้อจำกัด (Constraint) ที่จะเกิดขึ้นในการขับเคลื่อน และทั้งนี้ยังคำนึงเพื่อผู้ใช้งานที่สามารถบังคับล้อด้วยตัวเองให้ยังคงสามารถบังคับล้อด้วยมือได้เช่นกัน



ภาพ 27 แบบจำลองเก้าอี้เข็นโมเดลที่หนึ่ง

ตัวขับเคลื่อนต้องประกอบไปด้วย ล้อมอเตอร์ (Motor-Wheel) ระบบรองรับ (Suspension) โครงซึ่งทำหน้าที่ยึดส่วนประกอบต่าง ๆ เช่นในการยึดเก้าอี้เข็น วงจรอิเล็กทรอนิกส์ และแบตเตอรี่ งานวิจัยนี้ได้พยายามออกแบบตัวขับเคลื่อนเก้าอี้เข็นโดยคำนึงถึงความสามารถในการควบคุมเก้าอี้เข็น การสวมและถอดออกจากเก้าอี้เข็น และการไม่กีดขวางผู้ใช้งานเก้าอี้เข็น ด้วยเหตุผลเหล่านี้ผู้วิจัยจึงได้ออกชุดขับเคลื่อนดังนี้

ภาพ 27 ตัวขับเคลื่อนเก้าอี้เข็นมีความสูง 23 ซม. ความยาว 49 ซม. ความสูงประมาณ 21 ซม. โครงสร้างซึ่งเป็นโครงหลักประกอบขึ้นด้วยอลูมิเนียมโปรไฟล์ เบอร์ HFS6-3030 (ภาคผนวก ก) ส่วนประกอบที่ใช้ยึดล้อวัสดุส่วนใหญ่ทำจากเหล็ก และส่วนประกอบที่เป็นข้อต่อยึดจับส่วนใหญ่ทำจากพลาสติก โดยกระบวนการขึ้นรูปของวัสดุที่เป็นเหล็กจะใช้วิธีการเจาะ การตัดด้วยเลเซอร์และการพับ เนื่องจากใช้ต้นทุนต่ำแต่ยังให้ความเที่ยงตรงตามแบบที่ได้เขียนไว้ ส่วนวัสดุพลาสติกขึ้นรูปด้วยเครื่องพิมพ์ 3 มิติประเภท FDM (Fused Deposition Modeling) Filament ที่ใช้เป็นพลาสติกประเภท PLA ชิ้นส่วนที่ขึ้นรูปด้วยเครื่องพิมพ์ 3 มิติส่วนใหญ่เป็นชิ้นที่ทำหน้าที่ยึดเกาะในส่วนที่มีความเฉพาะด้านรูปทรง



ภาพ 28 แบบจำลองชุดขับเคลื่อนเก้าอี้ที่ติดตั้งกับเก้าอี้เข็นแบบทั่วไป

ล้อยมอเตอร์ที่ใช้ในตัวขับเคลื่อนเป็นล้อที่ภายในเป็นมอเตอร์กระแสตรงไร้แปรงถ่าน (Brushless DC Motor) เนื่องจากเป็นมอเตอร์ลักษณะเดียวกันที่ใช้ในบอร์ดโฮเวอร์บอร์ด (Hoverboard) และมีคุณสมบัติแรงบิดที่สูงในอัตรารอบที่ต่ำจึงเหมาะแก่การนำมาใช้ขับเคลื่อนเก้าอี้เข็นที่ไม่ต้องการอัตราเร็วในการเคลื่อนที่สูงแต่ต้องการแรงบิดปริมาณมาก การขับเคลื่อนมอเตอร์ภายในล้อนี้ต้องใช้กระแสไฟฟ้า 3 เฟส จึงต้องอาศัยวงจรไฟฟ้าเพื่อควบคุมการจ่ายกระแสไฟฟ้า 3 เฟสให้กับมอเตอร์ชนิดนี้ นอกจากคุณสมบัติเชิงกลศาสตร์แล้ว มอเตอร์ชนิดนี้มีรูปทรงและขนาดที่กะทัดรัดเนื่องจากเป็นล้อและมอเตอร์ในตัวทำให้ประหยัดพื้นที่เมื่อเทียบกับการประกอบล้อและมอเตอร์แบบทั่วไป งานวิจัยนี้จึงเลือกใช้มอเตอร์ชนิดนี้เพราะตอบโจทย์เรื่องพื้นที่และแรงขับเคลื่อน

บอร์ด JYQD\_V7.3E3 เป็นบอร์ดวงจรไฟฟ้าที่ถูกออกแบบมาเพื่อใช้ขับเคลื่อนล้อยมอเตอร์ บอร์ดรับแหล่งพลังงานไฟฟ้าขาเข้าที่ต้นไฟฟ้า 5 V และให้แรงดันไฟฟ้าแก่มอเตอร์กระแสตรงไร้แปรงถ่าน 12-36 V บอร์ด JYQD\_V7.3E3 จะเชื่อมต่อกับบอร์ดควบคุมความเร็วเพื่อรับสัญญาณค่าอัตราเร็วและทิศทางในการควบคุมล้อยมอเตอร์ และรับสัญญาณจากเซ็นเซอร์ฮอลล์เพื่อใช้ในการประมวลผลการควบคุมแบบป้อนกลับ

งานวิจัยนี้สามารถติดตั้งโปรแกรมลงในมินิคอมพิวเตอร์ เนื่องจากโปรแกรมมีการประมวลผลสูงสำหรับกระบวนการแยกความถี่ของเสียงถึงแม้ว่าวิธีการอย่าง FFT ดังนั้นอุปกรณ์ที่ใช้ติดตั้งตัวโปรแกรมจึงต้องรองรับภาระในการคำนวณจำนวนมาก อุปกรณ์ที่มีประสิทธิภาพในการ

คำนวณสูงอย่างคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลจึงเหมาะสมสำหรับกรณีนี้ แต่ด้วยข้อจำกัดด้านพื้นที่และข้อจำกัดด้านการติดตั้งอุปกรณ์กับชุดขับเคลื่อนแก้อีเซ็น คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลที่เหมาะสม ณ ขณะนี้จึงได้แก่มินิคอมพิวเตอร์ มินิคอมพิวเตอร์จะถูกติดตั้งไว้ที่แก้อีเซ็นเพื่อที่เชื่อมต่อกับสายไมโครโฟนที่อยู่ใกล้ตัวผู้ใช้งาน การติดตั้งมินิคอมพิวเตอร์ไว้ที่แก้อีเซ็นทำเพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาการเดินสายไมโครโฟนในเบื้องต้น มินิคอมพิวเตอร์ที่แยกตัวเป็นอิสระจากชุดขับเคลื่อนจึงต้องอาศัยการเชื่อมต่อไร้สายเพื่อใช้ในการสื่อสาร

มินิคอมพิวเตอร์กับบอร์ดควบคุมการขับเคลื่อนจะสื่อสารกันผ่านระบบไร้สายอย่าง Bluetooth โดยมินิคอมพิวเตอร์นั้นมีระบบรองรับการเชื่อมต่อแบบ Bluetooth ในตัวอยู่แล้ว แต่สำหรับ Arduino รุ่น Uno นั้นไม่มีการรองรับการเชื่อมต่อบลูทูธในตัว งานวิจัยนี้ได้ใช้โมดูลบลูทูธ HC05 ซึ่งเป็นโมดูลบลูทูธอย่างง่ายสำหรับใช้เชื่อมต่อกับบอร์ดที่มีการสื่อสารแบบ Tx-Rx อย่าง Arduino ได้ โมดูลนี้บลูทูธจะทำหน้าคล้ายเป็นตัวกลางในการสื่อสารระหว่างมินิคอมพิวเตอร์กับบอร์ดควบคุมการขับเคลื่อน (บอร์ด Arduino)

ชุดขับเคลื่อนแก้อีเซ็นที่ผลิตจากการออกแบบถูกนำไปเป็นส่วนประกอบในการทดสอบซอฟต์แวร์วิเคราะห์และสั่งการ หลังจากการติดตั้งและทดสอบเบื้องต้นพบว่าชุดขับเคลื่อนแก้อีเซ็นนี้สามารถขับเคลื่อนและควบคุมทิศทางแก้อีเซ็นได้อย่างไม่สมบูรณ์ และเกิดการแตกหักของชิ้นส่วนชุดขับเคลื่อนในเวลาต่อมา ทางผู้วิจัยจึงได้ออกแบบโครงสร้างชุดขับเคลื่อนใหม่แทนโมเดลแรก โดยใช้วัสดุและอุปกรณ์จากโมเดลแรกและใช้หลักการทำงานเดิม จากภาพ 29 เป็นการจำลองชุดขับเคลื่อนชุดที่สอง โดยโครงสร้างรูปแบบใหม่นี้ได้ปรับส่วนของระบบรองรับโดยตัดส่วนที่มีความซับซ้อนออกไปเพื่อเน้นการขับเคลื่อนให้ตรงตามที่กำหนด ถึงแม้ว่าจะพบปัญหาการลื่นไถลก็ตาม ซึ่งปัญหาจะถูกนำไปแก้ไขในเฟสต่อไป





ภาพ 29 การจำลองชุดอุปกรณ์ติดตั้งสำหรับรถเข็นคนพิการ

#### วิธีการทดลอง

ในงานวิจัยนี้ได้ออกแบบการทดลองสำหรับซอฟต์แวร์ที่ถูกพัฒนาขึ้น โดยการทดลองแบ่งเป็น 2 ส่วนได้แก่ การทดสอบโปรแกรมวิเคราะห์เสียงและการทดลองใช้งานชุดเก้าอี้เข็นกับเก้าอี้เข็น การทดสอบโปรแกรมวิเคราะห์เสียงแบ่งเป็น 2 การทดสอบคือ การทดสอบความสามารถในการวิเคราะห์เสียง และการทดสอบการทำงานของระบบ โดยจุดประสงค์ของการทดสอบทำขึ้นเพื่อหาตรวจสอบความถูกต้องของการทำงานและผลลัพธ์ของโปรแกรม

#### การทดสอบความแม่นยำของโปรแกรมสั่งการด้วยเสียง

โปรแกรมสั่งการด้วยเสียงมีหน้าที่หลักคือวิเคราะห์เสียงของผู้ใช้งาน เนื่องจากเสียงของมนุษย์มีลักษณะทางกายภาพที่หลากหลายและมีปัจจัยที่เกี่ยวข้องหลายอย่าง ก่อนการนำไปใช้จริงจึงต้องพิสูจน์ว่าซอฟต์แวร์สามารถวิเคราะห์ได้อย่างถูกต้อง การทดสอบความแม่นยำของโปรแกรมจึงสำคัญอย่างยิ่ง

เพื่อจะทดสอบความถูกต้องของการวิเคราะห์เสียง อุปกรณ์ก็เป็นสิ่งหนึ่งที่ต้องถูกควบคุม อุปกรณ์ที่ส่งผลโดยตรงต่อเสียงที่ได้รับคือไมโครโฟน งานวิจัยนี้ได้ใช้ไมโครโฟนแบบไดนามิกเนื่องจากเหตุผลด้านงบประมาณและการจำกัดราคาเพื่อความเป็นไปได้ในการผลิตใช้งานจริง ถึงแม้ว่าไมโครโฟนราคาสูงจะมีคุณสมบัติไม่เทียบเท่าไมโครโฟนแบบไฮเอิน แต่เนื่องจากเป็นอุปกรณ์ที่ถูก

ควบคุม ดังนั้นข้อมูลที่ได้จึงไม่ควรส่งผลกระทบต่อความเที่ยงตรงในการเปรียบเทียบเสียง นอกจากนี้อุปกรณ์อื่น ๆ ที่ถูกควบคุมนอกจากไมโครโฟนได้แก่ คอมพิวเตอร์ และซอฟต์แวร์

อีกหนึ่งสิ่งที่จะต้องควบคุมคือข้อมูลในการสอนโปรแกรม (Training Data) เป็นสิ่งสำคัญสำหรับการวิเคราะห์ข้อมูลแบบอ้างอิงกลุ่ม ในขั้นตอนการเก็บข้อมูล ผู้ทดสอบจะบันทึกข้อมูลเสียงผ่านโปรแกรมที่พัฒนาขึ้น โดยผู้ทดสอบต้องเก็บข้อมูลในแต่ละคำสั่งเสียงซึ่งได้แก่เสียง อา อี อุ เอ และโอ เปล่งเสียงยาวเป็นระยะ 5 วินาที โดยโปรแกรมถูกกำหนดให้แบ่งเสียงในทุก ๆ 100 มิลลิวินาที ทำให้ในการเก็บข้อมูลของคำสั่งเสียงหนึ่งเสียงจะได้ข้อมูล 50 ข้อมูล งานวิจัยนี้กำหนดให้ใช้ฐานข้อมูลคำสั่งเสียงของผู้ทดสอบแต่ละคน 500 ข้อมูลในแต่ละคำสั่งเสียง โดยมีผู้ทดสอบจำนวน 10 คน ดังนั้นจะมีข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์ทั้งหมดในแต่ละคำสั่งเสียงเท่ากับ 5,000 ข้อมูล

การทดสอบความแม่นยำของโปรแกรมจะทดสอบด้วยการเปลี่ยนฐานข้อมูลเสียงสระตามตาราง 2 และผู้ทดสอบจะทดสอบด้วยการออกเสียงสระแต่ละเสียงตามฐานข้อมูลที่ได้กำหนดในแต่ละครั้ง

#### การทดสอบการทำงานของระบบ

จุดประสงค์ของการทดสอบการทำงานของระบบคือเพื่อตรวจสอบความถูกต้องของลำดับการทำงานของโปรแกรมที่ได้ทำขึ้น รวมทั้งตรวจหาความผิดพลาดที่อาจจะขึ้นจากการเขียนโปรแกรมในการทดสอบจึงมีกรณีการทดสอบดัง**Error! Reference source not found.**

#### ตาราง 4 กรณีที่ใช้ในการทดสอบ

เหตุการณ์	การตอบสนองของระบบที่คาดหวัง
ปกติ	ระบบต้องรับและวิเคราะห์ข้อมูลเสียงตลอดเวลา
เมื่อสั่งกำหนดทิศทางถูกต้อง	ระบบต้องเลือกและแสดงทิศทางได้อย่างถูกต้อง
เมื่อสั่งกำหนดทิศทางไม่ถูกต้อง	ระบบต้องล้างอักขระที่สะสมไว้
เมื่อสั่งการขับเคลื่อนไม่ถูกต้อง	ระบบต้องไม่ส่งคำสั่งขับเคลื่อน
เมื่อสั่งการขับเคลื่อนถูกต้อง	ระบบต้องส่งคำสั่งขับเคลื่อนตามทิศทางที่กำหนดไว้
เมื่อสั่งการหยุด	ระบบต้องส่งคำสั่งหยุด
เมื่อไม่มีการสั่งการในระยะเวลา 5 วินาที	ระบบต้องล้างอักขระที่สะสมไว้ และกลับมาเริ่มต้นใหม่

ภายหลังจากการทดสอบโปรแกรม หากผลการประเมินได้รับน้อยกว่าเกณฑ์ที่กำหนดไว้ โปรแกรมจะถูกนำเข้าสู่กระบวนการพัฒนาอีกทีหนึ่งเพื่อแก้ไขจุดบกพร่องและนำกลับมาทดสอบใหม่อีกครั้ง โดยจะทำตามขั้นตอนที่เข้าไปจนกว่าจะผ่านการประเมิน หากผ่านการประเมินก็จะเข้าสู่การดำเนินงานขั้นต่อไป

### **การทดลองการเคลื่อนที่ด้วย Duty cycle ของ PWM ที่ต่างกันในห้องมอเตอร์**

หลังจากผ่านการทดสอบโปรแกรมวิเคราะห์ความเสี่ยงแล้ว ชุดขับเคลื่อนแก้อีซีเอ็นจะถูกประกอบเข้ากับแก้อีซีเอ็นเพื่อทำการทดลอง การทดลองการขับเคลื่อนมีจุดประสงค์เพื่อหาสัมพัทธ์ของการจ่ายสัญญาณ PWM ที่ใช้ขับเคลื่อนมอเตอร์กับผลลัพธ์ที่ได้จากการขับเคลื่อนที่ และน้ำหนักที่ส่งผลต่อการขับเคลื่อนแก้อีซีเอ็น

การทดลองนี้เป็นหาความสัมพันธ์ระหว่าง Duty cycle ของสัญญาณ PWM กับอัตราเร็วของมอเตอร์โดยทดลองทั้งมีแบบปราศจากภาระน้ำหนักและมีภาระน้ำหนักบนแก้อีซีเอ็น การทดลองจะแบ่งเป็น 3 ชุดตามภาระน้ำหนักที่วางบนแก้อีซีเอ็น ซึ่งประกอบด้วยภาระน้ำหนักของวัตต์มวล 0 (ไม่มีภาระน้ำหนัก), 10 และ 20 kg ตามลำดับ ในการทดลองแต่ละชุดจะกำหนด Duty cycle ของสัญญาณ PWM ที่ใช้ขับเคลื่อนมอเตอร์ที่ 20, 30, 40, 50 และ 60% โดยการทดลองที่ Duty cycle หนึ่งค่า จะประกอบด้วยการเคลื่อนที่เดินหน้าและถอยหลังเพื่อหาความแตกต่างของการขับเคลื่อนในทิศทางที่ต่างกัน สำหรับการหาอัตราเร็วของมอเตอร์การทดลองนี้ใช้วิธีการวัดจากระยะเวลาของการเคลื่อนที่ในโดยมีทิศทางในแนวเส้นตรง และกำหนดระยะทางคงที่ที่ 4.6 เมตร ซึ่งผลลัพธ์ของระยะเวลาจะถูกนำมาคำนวณเป็นอัตราเร็วและมาหาความสัมพันธ์ระหว่าง Duty cycle ของสัญญาณ PWM และอัตราเร็วของมอเตอร์

### **การทดลองใช้งานกับแก้อีซีเอ็นด้วยการเคลื่อนที่ไป-กลับ**

การทดลองนี้เป็นการทดสอบปัจจัยน้ำหนักที่ส่งผลต่อการขับเคลื่อนของชุดขับเคลื่อนแก้อีซีเอ็น การทดลองนี้ทำโดยการสั่งชุดขับเคลื่อนให้เคลื่อนแก้อีซีเอ็นไปตามเส้นทางที่กำหนด โดยที่แก้อีซีเอ็นนั้นมีคนนั่งอยู่ 1 คน การทดลองจะทำซ้ำคนละ 5 ครั้ง โดยวัดระยะเวลาทั้งหมดในการเคลื่อนที่ไป-กลับของแก้อีซีเอ็น

ก่อนเริ่มทำการทดลอง อาสาสมัครได้วัดมวลด้วยเครื่องชั่งน้ำหนัก โดยอาสาสมัคร คนที่ 1, 2 และ 3 มีมวล 72 kg, 63 kg และ 82 kg ตามลำดับ และกำหนดเส้นทางในการทดลองให้มีระยะขจัดจากจุดเริ่มต้นถึงกรวย 4.6 เมตร และชุดขับเคลื่อนจะต้องเลี้ยวอ้อมผ่านกรวยเพื่อหันทิศทางกลับและเคลื่อนที่กลับมาหยุด ณ จุดเริ่มต้น โดยการเลี้ยวเพื่อหันทิศทางกลับจะถูกทดลองทั้งการเลี้ยวซ้ายและการเลี้ยวขวา ทั้งนี้ระยะทางไป-กลับรวม 9.2 เมตร (ไม่รวมระยะทางในการโค้ง)

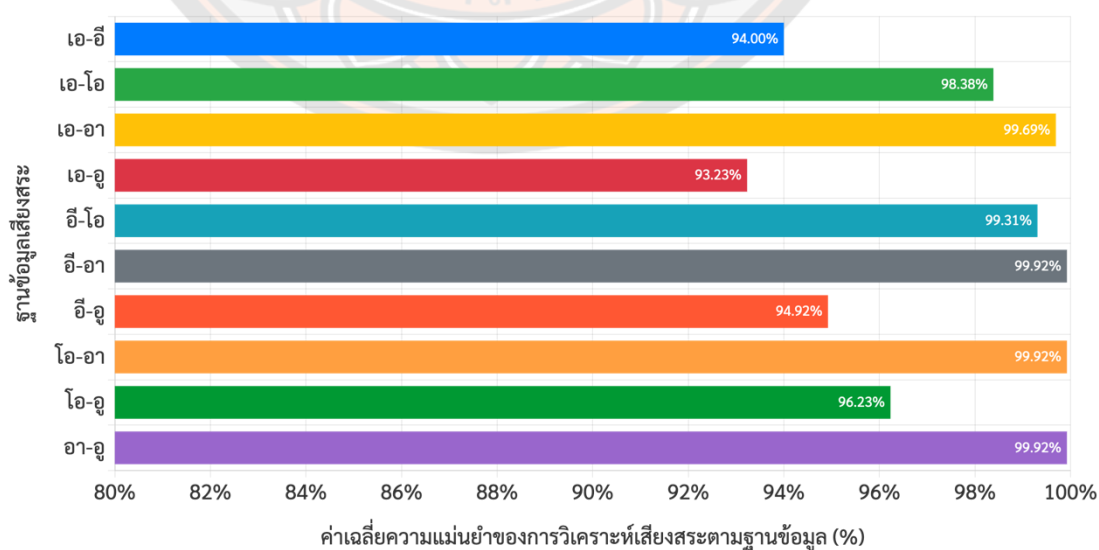
## บทที่ 4

### ผลการวิจัย และการอภิปรายผล

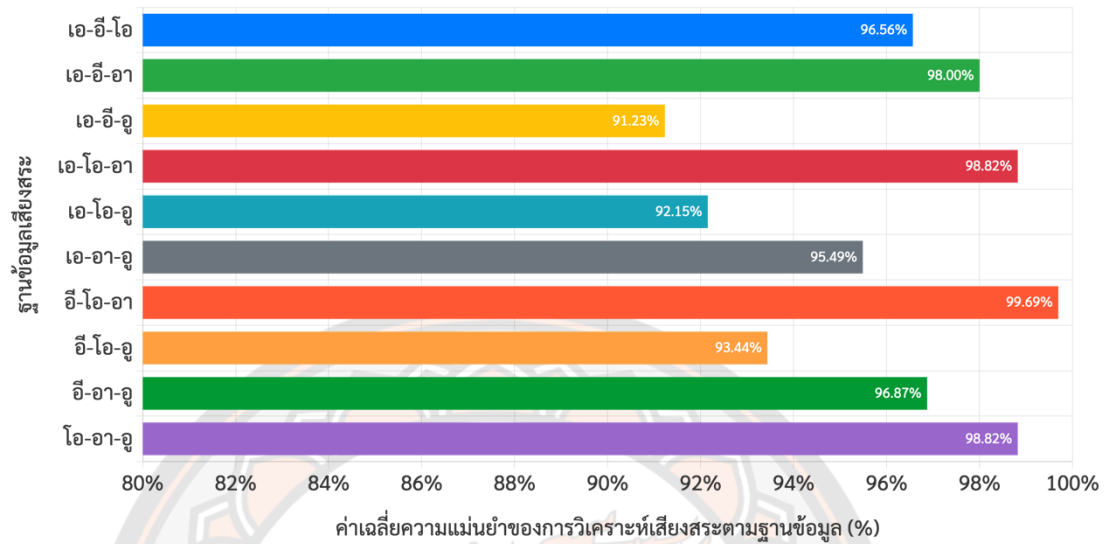
#### การทดสอบความแม่นยำของโปรแกรมวิเคราะห์สัญญาณเสียง

ผลจากการทดสอบความสามารถในการวิเคราะห์เสียงจะแสดงเป็นร้อยละของจำนวนครั้งที่โปรแกรมวิเคราะห์เสียงถูกต้องต่อจำนวนครั้งที่หมดของการทดสอบ ภาพ 30 แสดงผลลัพธ์จากการทดสอบการวิเคราะห์เสียงจากการกำหนดฐานข้อมูลเสียงสระ 2 เสียง ค่าเฉลี่ยความแม่นยำของเสียง ‘อา’-‘อู’ ‘โ-‘อา’ และ ‘อี’-‘อา’ มีค่ามากที่สุดที่ร้อยละ 99.92 ส่วนผลการวิเคราะห์เสียงจากการกำหนดฐานข้อมูลเสียงสระ 3 เสียง (ภาพ 31) ค่าเฉลี่ยความแม่นยำของเสียง ‘อี’-‘โ-‘อา’ มีค่ามากที่สุดที่ร้อยละ 99.69 และเสียง ‘เอ’-‘อี’-‘อู’ มีค่าเฉลี่ยความแม่นยำน้อยที่สุดที่ร้อยละ 91.23 ผลการวิเคราะห์เสียงจากการกำหนดฐานข้อมูลเสียงสระ 4 เสียง (ภาพ 32) เสียง ‘อี’-‘โ-‘อา’-‘อู’ มีค่าเฉลี่ยความแม่นยำมากที่สุดที่ร้อยละ 96.23 และเสียง ‘เอ’-‘อี’-‘โ-‘อู’ มีค่าเฉลี่ยความแม่นยำน้อยที่สุดที่ร้อยละ 90.77 และการวิเคราะห์เสียงจากการกำหนดฐานข้อมูลเสียงสระทั้ง 5 เสียง จะมีความแม่นยำเฉลี่ยอยู่ที่ร้อยละ 93.45

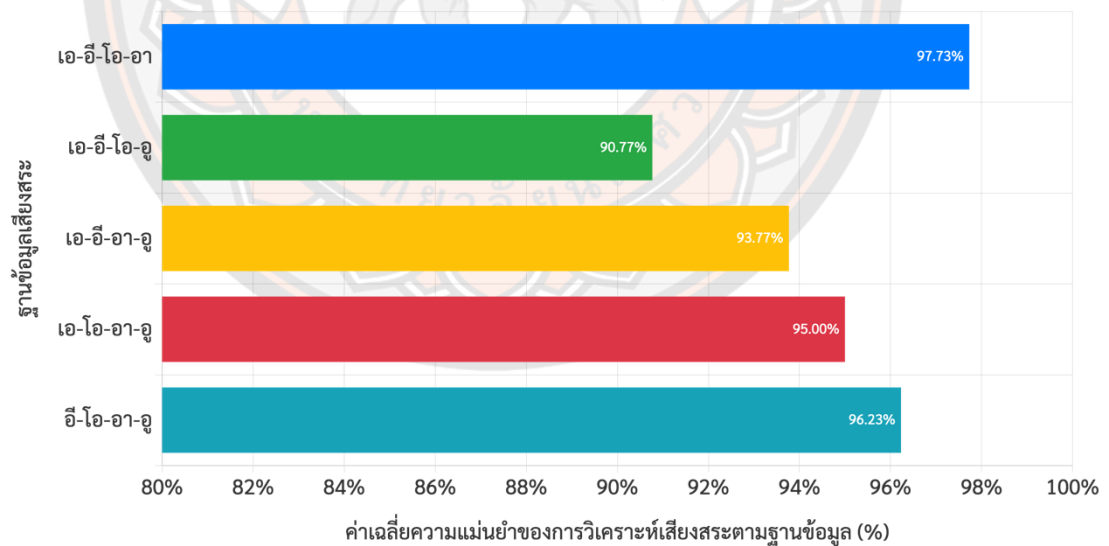
จากการทดสอบด้วยฐานข้อมูลเสียงสระทั้ง 5 เสียง พบว่าเสียง ‘อา’ เป็นเสียงที่มีความแม่นยำมากที่สุดที่ร้อยละ 97 และเสียง ‘เอ’ มีความแม่นยำน้อยที่สุดที่ร้อยละ 86 ของจำนวนครั้งของการทดสอบ เมื่อเรียงลำดับความแม่นยำจากมากไปน้อยจะได้ดังนี้คือ ‘อา’ ‘โ-‘อู’ ‘อี’ และ ‘เอ’ ตามลำดับ



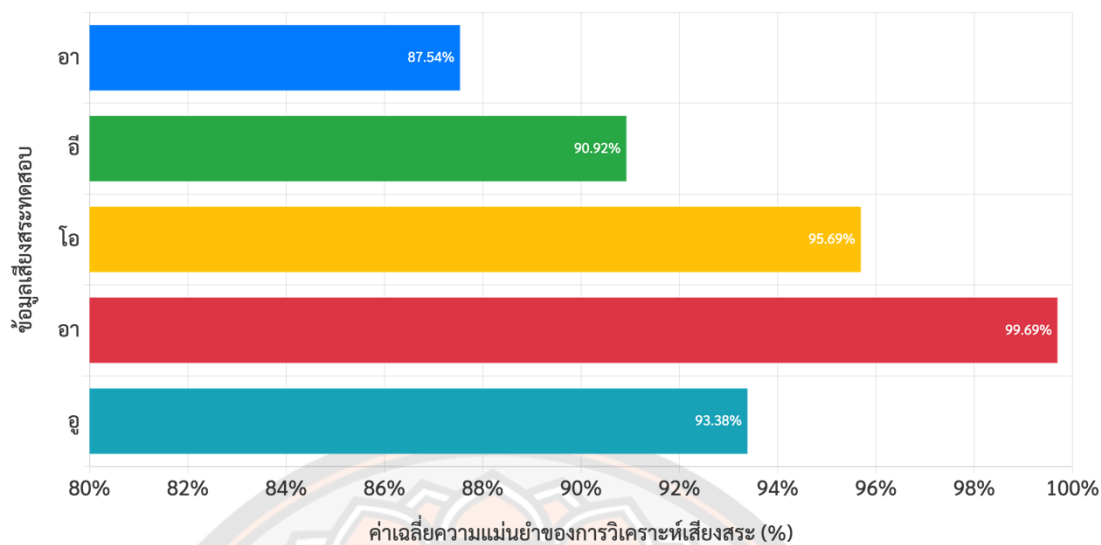
ภาพ 30 กราฟค่าเฉลี่ยความแม่นยำของการวิเคราะห์เสียงสระตามฐานข้อมูลเสียงสระ 2 เสียง



ภาพ 31 กราฟค่าเฉลี่ยความแม่นยำของการวิเคราะห์เสียงสระตามฐานข้อมูลเสียงสระ 3 เสียง



ภาพ 32 กราฟค่าเฉลี่ยความแม่นยำของการวิเคราะห์เสียงสระตามฐานข้อมูลเสียงสระ 4 เสียง



ภาพ 33 กราฟความแม่นยำของการทดสอบเสียงสระทั้ง 5 เสียง ในฐานข้อมูลเสียงสระ 4 เสียง

จากการทดสอบความแม่นยำข้างต้นจึงนำมาหาความน่าจะเป็นของความแม่นยำของเสียงสระ 2 จากฐานข้อมูลเสียงสระ 5 เสียงได้ดังตาราง 5

ตาราง 5 ความน่าจะเป็นของความแม่นยำของการใช้เสียงสระสองเสียง

เสียงสระ 2 ที่ถูกเลือกนำไปใช้	ผลความน่าจะเป็นของความแม่นยำ
‘อา’-‘อี’	90.64%
‘อา’-‘อู’	93.10%
‘อา’-‘เอ’	87.27%
‘อา’-‘โอ’	95.40%
‘อี’-‘อู’	84.91%
‘อี’-‘เอ’	79.59%
‘อี’-‘โอ’	87.01%
‘เอ’-‘โอ’	83.77%
เฉลี่ย	87.71%

จากError! Reference source not found. เสียงสระ 2 เสียงที่มีความน่าจะเป็นของความแม่นยำมากที่สุดคือเสียง ‘อา’-‘โอะ’ โดยมีความแม่นยำร้อยละ 95.40 และเสียง ‘เอ’-‘โอ’ มีความแม่นยำร้อยละ 83.77 ซึ่งเป็นความแม่นยำที่น้อยที่สุด ค่าเฉลี่ยของความแม่นยำเท่ากับร้อยละ 87.71 จากข้อมูลในError! Reference source not found. เสียง ‘อา’-‘โอะ’ ‘อา’-‘อุ’ ‘อา’-‘อี’ ‘อา’-‘เอ’ เป็น 4 เสียงแรกที่มีความแม่นยำมากที่สุดตามลำดับซึ่งคู่เสียงสระเหล่านี้จะถูกพิจารณาในการนำไปใช้มากที่สุด

### การทดสอบการทำงานของระบบ

จากการทดสอบการทำงานของโปรแกรมสามารถใช้งานได้ตามขั้นตอนที่ได้กำหนดไว้ โดยตาราง 6 แสดงการทดสอบความถูกต้องในการทำงานของโปรแกรม โดยเมื่ออยู่ในสถานะปกติ โปรแกรมจะคอยรับสัญญาณเสียง เมื่อรับและประมวลผลสำเร็จ โปรแกรมจะกลับเข้าสู่สถานะการรับเสียงต่อ ในการทดสอบเลือกทิศทางโปรแกรมสามารถเลือกทิศทางตามคำสั่งเสียงที่กำหนดไว้ได้อย่างถูกต้อง แต่จากการสังเกตในการสั่งโปรแกรมให้เลือกทิศทางตามที่กำหนดไว้ นั้น ผู้ใช้งานจะใช้ระยะเวลาประมาณ 2 วินาทีต่อ 1 คำสั่งเสียง เนื่องจากโปรแกรมมีการตอบสนองที่ช้า ช่วงระยะเวลานี้อาจจะเข้าไปสำหรับการใช้งานโดยคนปกติทั่วไป แต่อาจจะเหมาะสมกับผู้พิการหรือผู้ที่ตอบสนองในการใช้โปรแกรมช้าเช่นกัน

### ตาราง 6 ผลการทดสอบการทำงานของโปรแกรม

เหตุการณ์	การตอบสนองของโปรแกรม	ผลการทดสอบ
ปกติ	โปรแกรมจะต้องรับและวิเคราะห์ข้อมูลเสียง ตลอด	ผ่าน
เมื่อสั่งกำหนดทิศทางถูกต้อง	ระบบเลือกและแสดงทิศทางถูกต้อง	ผ่าน
เมื่อสั่งกำหนดทิศทางไม่ถูกต้อง	ระบบล้างตัวอักษรที่สะสมไว้	ผ่าน
เมื่อสั่งขับเคลื่อนถูกต้อง	ระบบส่งคำสั่งขับเคลื่อนตามทิศทางที่ได้ กำหนดไว้	ผ่าน
เมื่อสั่งขับเคลื่อนไม่ถูกต้อง	ระบบไม่ส่งคำสั่งขับเคลื่อน	ผ่าน
เมื่อสั่งให้หยุด	ระบบต้องส่งคำสั่งหยุด	ผ่าน
เมื่อไม่มีการสั่งงานใด ๆ ใน ระยะเวลา 5 วินาที	ระบบจะล้างอักษรที่สะสมไว้ และกลับมา เริ่มต้นใหม่	ผ่าน

### การทดลองการเคลื่อนที่ด้วย Duty cycle ของ PWM ที่ต่างกันในห้องมอเตอร์

การทดลองนี้เป็นหาความสัมพันธ์ระหว่าง Duty cycle ของสัญญาณ PWM กับอัตราเร็วของล้อมอเตอร์โดยทดลองทั้งมีแบบปราศจากภาระน้ำหนักและมีภาระน้ำหนักบนแก้อีเซ็น การทดลองจะแบ่งเป็น 3 ชุดตามภาระน้ำหนักที่วางบนแก้อีเซ็น ซึ่งประกอบด้วยภาระน้ำหนักของวัตต์มวล 0 (ไม่มีภาระน้ำหนัก), 10 และ 20 kg ตามลำดับ ในการทดลองแต่ละชุดจะกำหนด Duty cycle ของสัญญาณ PWM ที่ใช้ขับล้อมอเตอร์ที่ 20, 30, 40, 50 และ 60% โดยการทดลองที่ Duty cycle หนึ่งค่า จะประกอบด้วย การเคลื่อนที่เดินหน้าและถอยหลังเพื่อหาความแตกต่างของการขับเคลื่อนในทิศทางที่ต่างกัน สำหรับการหาอัตราเร็วของล้อมอเตอร์การทดลองนี้ใช้วิธีการวัดจากระยะเวลาของการเคลื่อนที่ในโดยมีทิศทางในแนวเส้นตรง และกำหนดระยะทางคงที่ที่ 4.6 เมตร ซึ่งผลลัพธ์ของระยะเวลาจะถูกนำมาคำนวณเป็นอัตราเร็วและมาหาความสัมพันธ์ระหว่าง Duty cycle ของสัญญาณ PWM และอัตราเร็วของล้อมอเตอร์

จากการทดลองเบื้องต้นพบว่าล้อมอเตอร์ทั้งสองข้างให้อัตราเร็วที่ไม่เท่ากัน ทำให้เกิดการเคลื่อนที่เป็นแนวโค้ง ซึ่งคาดว่าเกิดจากล้อมอเตอร์แต่ละข้างมีความเที่ยงตรงในการหมุนไม่เท่ากัน เนื่องจากการติดตั้งล้อมอเตอร์ที่แก้อีเซ็นนั้นจะต้องหันปลายของเพลลาเข้าหาตัวชุดขับเคลื่อนแก้อีเซ็น ทำให้ล้อมอเตอร์มีเฟสของการหมุนที่ตรงข้ามกัน และล้อมอเตอร์แต่ละล้อมีการตอบสนองต่อภาระน้ำหนักที่ต่างกันจึงให้อัตราเร็วของการหมุนที่ต่างกัน เพื่อให้เป็นไปตามแผนการทดลอง ผู้วิจัยจึงยึด Duty cycle ของล้อมอเตอร์ด้านซ้ายเป็นหลักและทดลองด้วยวิธีการ Trial and error เพื่อหา Duty cycle ของสัญญาณ PWM ของล้อมอเตอร์ด้านขวาที่สามารถเคลื่อนแก้อีเซ็นให้มีทิศทางในแนวเส้นตรง

จากการหา Duty cycle ของสัญญาณ PWM ของล้อมอเตอร์ด้านขวาด้วยวิธีการ Trial and error จึงได้ผลลัพธ์ตามตาราง 7 และตาราง 8 จากผลลัพธ์พบว่าล้อมอเตอร์ด้านขวาจะถูกขับเคลื่อนด้วย Duty cycle ที่มากกว่าล้อมอเตอร์ด้านซ้ายเพื่อให้ได้อัตราเร็วที่ใกล้เคียงกัน และการถอยหลังของล้อมอเตอร์ด้านขวาจะใช้ Duty cycle มากกว่าการเคลื่อนที่ไปข้างหน้า

ตาราง 7 Duty cycle ของล้อมอเตอร์ซ้ายและขวาที่ทำให้ชุดขับเคลื่อน ๑ แก้อีเซ็นในแนวเส้นตรงโดยเคลื่อนที่ไปข้างหน้า

Duty cycle ของล้อมอเตอร์ด้านซ้าย	Duty cycle ของล้อมอเตอร์ด้านขวา
20	28



Duty cycle ของล้อมอเตอร์ด้านซ้าย	Duty cycle ของล้อมอเตอร์ด้านขวา
30	40
40	50
50	60
60	70

ตาราง 8 Duty cycle ของล้อมอเตอร์ซ้ายและขวาที่ทำให้ชุดขับเคลื่อน ๑ แก้อีเซ็นในแนวเส้นตรงโดยเคลื่อนที่ถอยหลัง

Duty cycle ของล้อมอเตอร์ด้านซ้าย	Duty cycle ของล้อมอเตอร์ด้านขวา
20	30
30	42
40	55
50	65
60	75

จากผลลัพธ์ในตาราง 8 และ ตาราง 9 จะถูกนำมาทดลองเพื่อหาอัตราเร็ว โดยตาราง 9, ตาราง 10 และ ตาราง 11 แสดงผลลัพธ์ของอัตราเร็วที่เกิดขึ้นจากการขับเคลื่อนด้วย Duty cycle ที่ได้กำหนดไว้ จากผลการทดลองจะสังเกตเห็นได้ว่าน้ำหนักรถมีผลต่อระยะเวลาในการเคลื่อนที่ โดยการเพิ่มภาระน้ำหนักจะทำให้ระยะเวลาในการเคลื่อนที่เพิ่มขึ้นทั้งการเคลื่อนที่ไปข้างหน้าและถอยหลัง ส่วนระยะเวลาในการขับเคลื่อนระหว่างการเดินทางและถอยหลังนั้น ยังไม่แสดงความแตกต่างที่สอดคล้องกันอย่างชัดเจน แม้ว่าระยะเวลาในการถอยหลังส่วนใหญ่จะน้อยกว่าการเดินทาง แต่ความแตกต่างที่เกิดขึ้นนั้นไม่สม่ำเสมอและมีปริมาณน้อย ซึ่งยากต่อการจำแนกว่าเกิดจากความไม่เที่ยงตรงของการวัดระยะเวลาหรือเกิดจากผลของการขับเคลื่อนของชุดขับเคลื่อนเอง การทดลองหาความแตกต่างของระยะเวลาระหว่างการเดินทางและถอยหลังจึงต้องอาศัยระยะทางที่มากขึ้นเพื่อให้เห็นผลได้อย่างชัดเจนมากขึ้น

ตาราง 9 ผลการทดลองหาอัตราเร็วของล้อมอเตอร์ตาม Duty cycle ที่กำหนดโดยแก้อีเซ็นไม่มีภาระน้ำหนัก

Duty cycle (%)		ระยะเวลา (s)		อัตราเร็ว (m/s)	
มอเตอร์ด้านซ้าย	มอเตอร์ด้านขวา	เดินหน้า	ถอยหลัง	เดินหน้า	ถอยหลัง
20	28	18.2	18.4	0.25	0.25
30	40	10.0	10.1	0.46	0.46
40	50	6.8	7.6	0.68	0.61
50	60	5.6	5.4	0.82	0.85
60	70	4.5	4.4	1.02	1.05

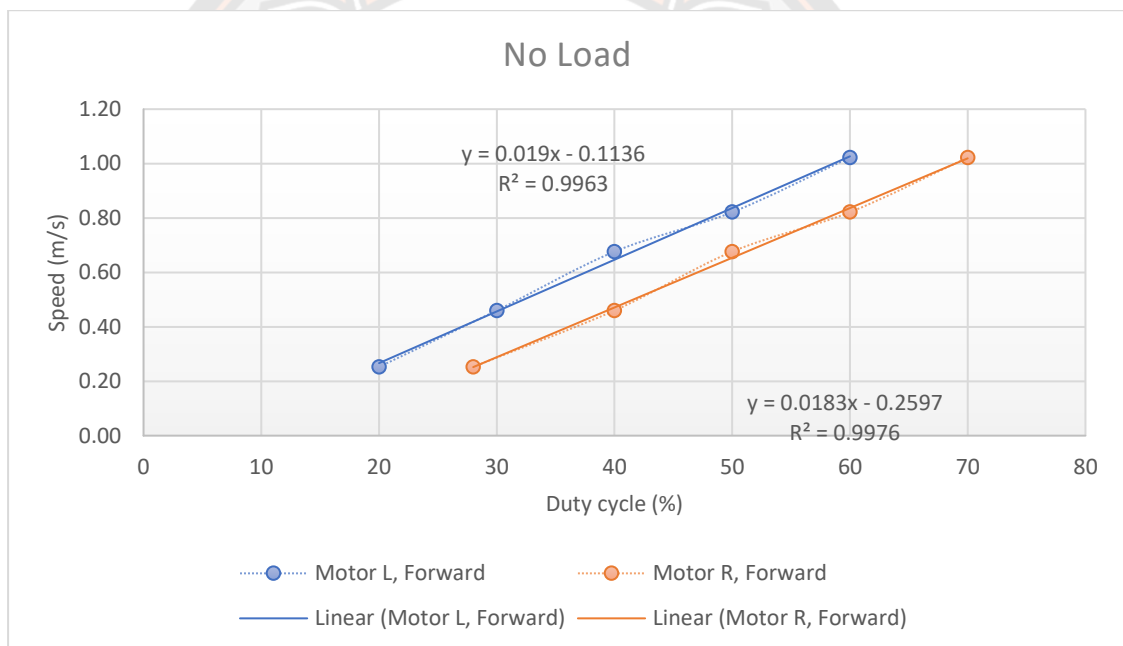
ตาราง 10 ผลการทดลองหาอัตราเร็วของล้อมอเตอร์ตาม Duty cycle ที่กำหนดโดยเก้าอี้เข็น  
ภาระน้ำหนักของมวล 10 kg

Duty cycle (%)		ระยะเวลา (s)		อัตราเร็ว (m/s)	
มอเตอร์ด้านซ้าย	มอเตอร์ด้านขวา	เดินหน้า	ถอยหลัง	เดินหน้า	ถอยหลัง
20	28	20.6	20.8	0.22	0.22
30	40	10.7	10.3	0.43	0.45
40	50	7.7	7.2	0.60	0.64
50	60	5.8	5.7	0.79	0.80
60	70	4.6	4.5	1.00	1.02

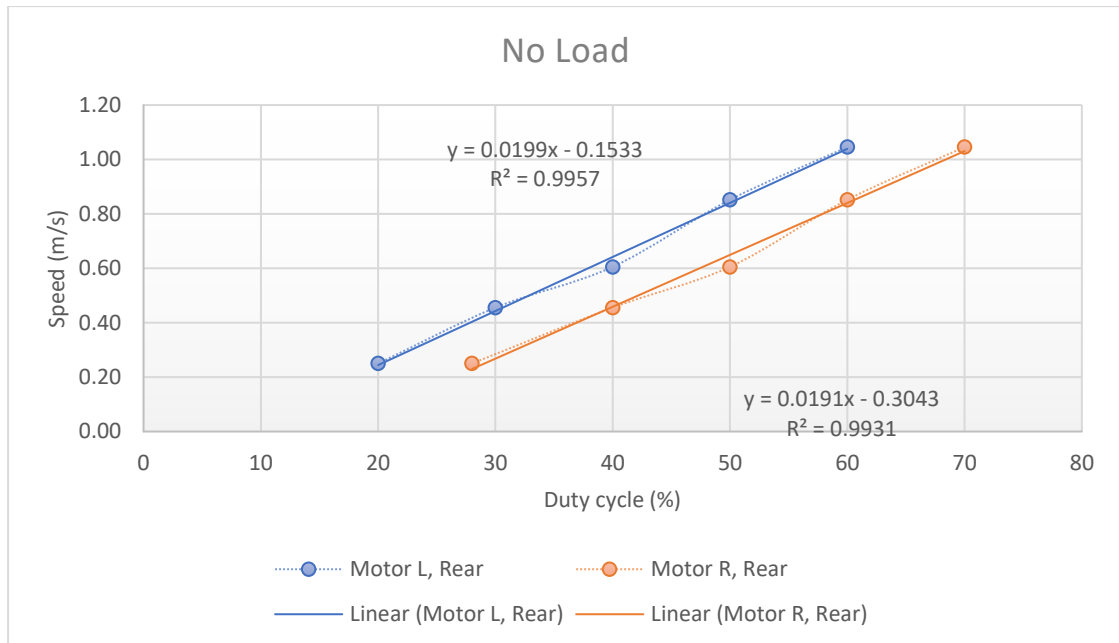
ตาราง 11 ผลการทดลองหาอัตราเร็วของล้อมอเตอร์ตาม Duty cycle ที่กำหนดโดยเก้าอี้เข็น  
ภาระน้ำหนักของมวล 20 kg

Duty cycle (%)		ระยะเวลา (s)		อัตราเร็ว (m/s)	
มอเตอร์ด้านซ้าย	มอเตอร์ด้านขวา	เดินหน้า	ถอยหลัง	เดินหน้า	ถอยหลัง
20	28	25.4	23.1	0.18	0.20
30	40	12.0	11.2	0.38	0.41
40	50	8.4	8.0	0.55	0.58
50	60	6.2	6.1	0.75	0.75
60	70	5.1	4.8	0.91	0.96

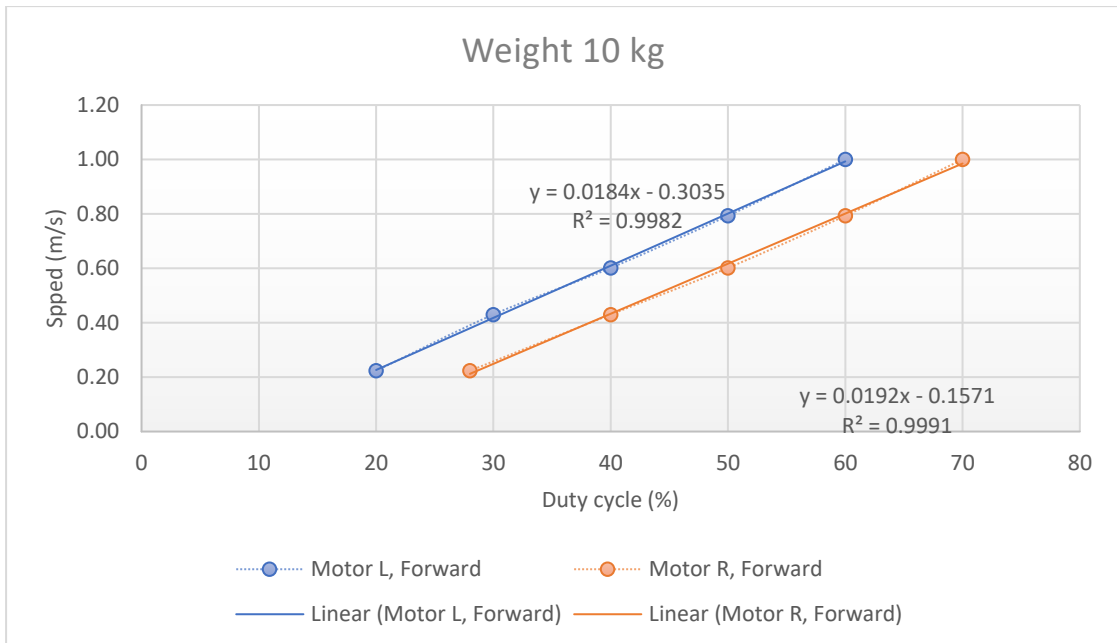
จากข้อมูลในตาราง 9, ตาราง 10 และ ตาราง 11 จะสามารถสร้างกราฟได้ตามภาพ 34 - ภาพ 39 โดยแกนแนวนอนเป็นค่า Duty cycle ของสัญญาณ PWM และแกนแนวตั้งเป็นอัตราเร็วที่เกิดขึ้น ภาพ 34, ภาพ 36 และ ภาพ 38 แสดงผลการทดลองของล้อมอเตอร์ด้วยการขับเคลื่อนไปข้างหน้า ภาพ 35, ภาพ 37 และ ภาพ 39 แสดงผลการทดลองล้อมอเตอร์ด้วยการขับเคลื่อนไปถอยหลัง โดยแสดงตามภาระน้ำหนัก 0 (ไม่มีภาระน้ำหนัก), 10 และ 20 kg ตามลำดับ กราฟที่ได้จากการทดลองแสดงให้เห็นว่าอัตราเร็วของล้อมอเตอร์ที่เกิดขึ้นมีแนวโน้มแปรผันตรงกับ Duty cycle ในช่วง 20% - 60% โดยล้อมอเตอร์ด้านซ้ายจะยกตัวมากกว่าล้อมอเตอร์ด้านขวาอย่างสม่ำเสมอในทุกภาระน้ำหนัก การยกตัวนี้แสดงให้เห็นว่าล้อมอเตอร์ด้านซ้ายมีการตอบสนองต่อ Duty cycle มากกว่าล้อมอเตอร์ด้านขวา



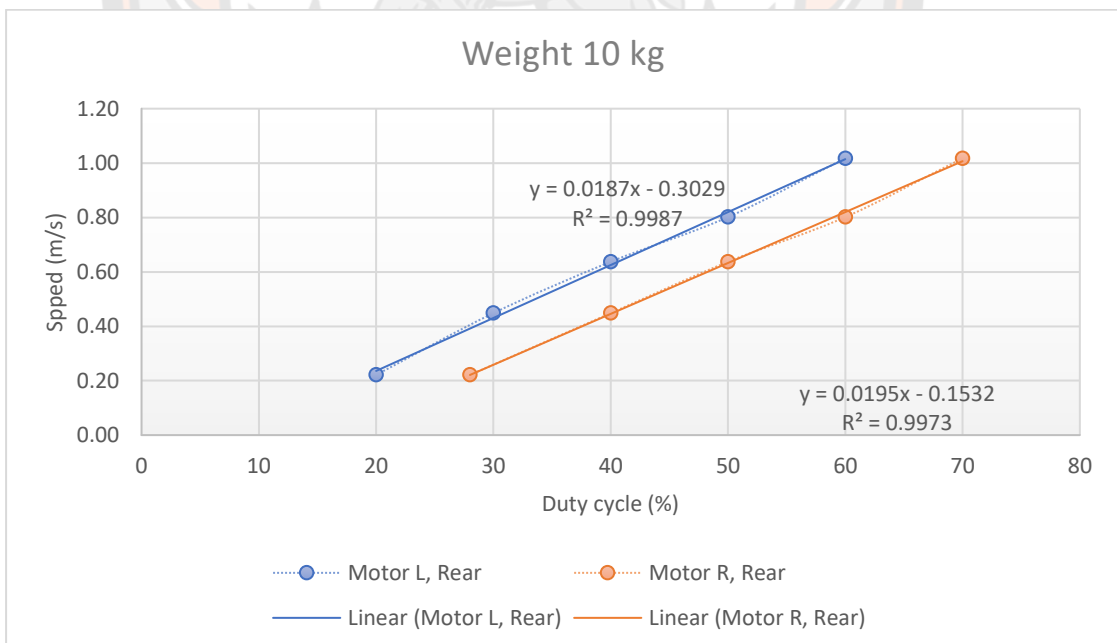
ภาพ 34 กราฟผลการทดลองระหว่าง Duty cycle และอัตราเร็วที่เกิดขึ้นด้วยการเคลื่อนที่ไปข้างหน้า โดยไม่มีภาระน้ำหนัก



ภาพ 35 กราฟผลการทดลองระหว่าง Duty cycle และอัตราเร็วที่เกิดขึ้นด้วยการเคลื่อนที่ถอยหลัง โดยไม่มีภาระน้ำหนัก



ภาพ 36 กราฟผลการทดลองระหว่าง Duty cycle และอัตราเร็วที่เกิดขึ้นด้วยการเคลื่อนที่ไปข้างหน้า โดยมีภาระน้ำหนัก 10 kg



ภาพ 37 กราฟผลการทดลองระหว่าง Duty cycle และอัตราเร็วที่เกิดขึ้นด้วยการเคลื่อนที่ถอยหลัง โดยมีภาระน้ำหนัก 10 kg



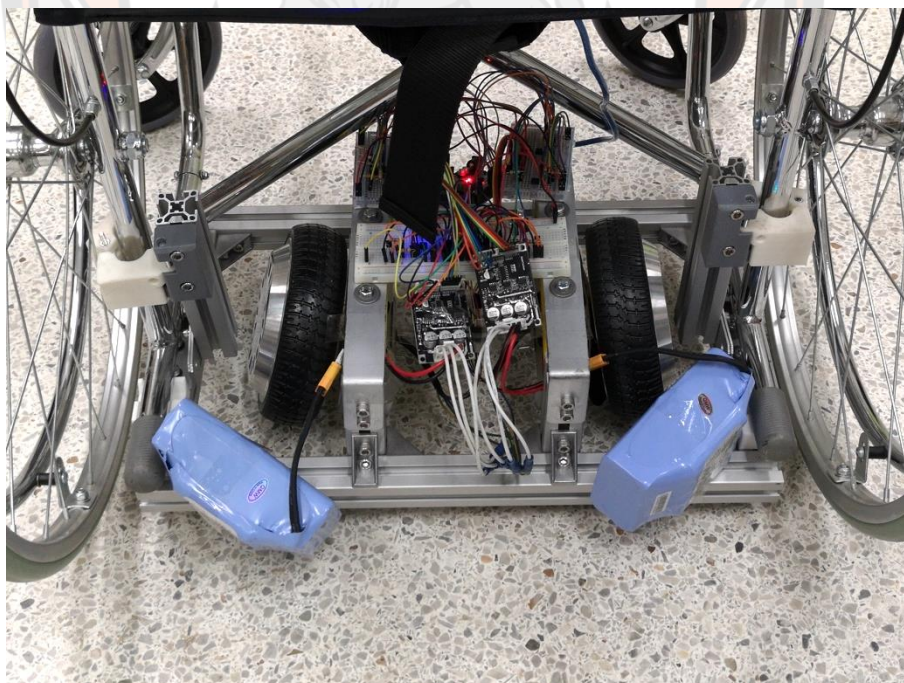
ภาพ 38 กราฟผลการทดลองระหว่าง Duty cycle และอัตราเร็วที่เกิดขึ้นด้วยการเคลื่อนที่ไปข้างหน้า โดยมีภาระน้ำหนัก 20 kg



ภาพ 39 กราฟผลการทดลองระหว่าง Duty cycle และอัตราเร็วที่เกิดขึ้นด้วยการเคลื่อนที่ไปข้างหน้า โดยมีภาระน้ำหนัก 20 kg

### การทดลองใช้งานกับแก้อีเซ็นด้วยการเคลื่อนที่ไป-กลับ

ในระหว่างการทดลองใช้งาน พบปัญหาที่เกิดขึ้นในชุดขับเคลื่อนโมเดลแรก ปัญหาหลักคือ การบิดตัวของคานซึ่งใช้ยึดล้อมอเตอร์และการลื่นไถลของล้อ เนื่องจากน้ำหนักที่กดที่ล้อมอเตอร์นั้น เกิดเป็นแรงบิดที่ตัวยึดล้อมอเตอร์ แกนล้อมอเตอร์จึงไม่ได้อยู่ในระนาบซึ่งเป็นไปตามที่คาดการณ์ไว้ (ภาพ 40) แต่ด้วย clearance ของชิ้นส่วนต่าง ๆ ทำให้แกนล้อมอเตอร์ทำมุมกับพื้นมากเกินกว่าที่ คาดการณ์ไว้ อีกทั้งมุมของแกนล้อมอเตอร์กับพื้นของล้อมอเตอร์ทั้งสองข้างมีขนาดไม่เท่ากันทำให้เกิด ความเร็วที่ต่างกัน ชุดขับเคลื่อนจึงไม่สามารถเคลื่อนแก้อีเซ็นในทิศทางตรงได้อย่างเที่ยงตรง และ ความเร็วที่ต่างกันยังทำให้เกิดการลื่นไถลมากขึ้นซึ่งส่งผลให้ควบคุมความเร็วได้ยากขึ้น แม้ว่าใน ระยะทางสั้น ๆ ผลต่างของความเร็วที่เกิดขึ้นจะทำให้การเคลื่อนที่ไม่ตรงเล็กน้อย แต่เมื่อเคลื่อนที่ ระยะทางยาวขึ้นก็จะสังเกตเห็นทิศทางที่ผิดไปได้อย่างชัดเจน นอกจากการเอียงตัวของแกนล้อ มอเตอร์แล้ว แรงบิดที่เกิดขึ้นยังส่งผลให้ชิ้นส่วนในระบบรองรับเกิดความเสียหาย ชิ้นส่วนนั้นคือหน้า แพลนเกลียว (Flange nuts for Lead Screws) ซึ่งทำหน้าที่ปรับระยะเพื่อเพิ่มลดแรงกดของสปริง เนื่องจากชิ้นส่วนนี้ผลิตจากกระบวนการพิมพ์ 3D ซึ่งใช้พลาสติกเป็นวัสดุ แรงบิดจากล้อมอเตอร์ทำให้ บริเวณฐานของแพลนกับส่วนที่ยื่นนั้นเกิดการเอียงอย่างมาทำให้ชิ้นส่วนบริเวณนั้นเกิดการแตกหักอยู่ เสมอ



ภาพ 40 ชุดขับเคลื่อนแก้อีเซ็นโมเดลที่ 1 ที่ได้ติดตั้งเข้ากับแก้อีเซ็น

หลังจากที่ได้พบปัญหาทางผู้วิจัยได้แก้ปัญหาในเบื้องต้นด้วยการเพิ่มคานระหว่างชิ้นส่วนที่ยึดล้อทั้งสองข้าง แต่เนื่องจากข้อจำกัดด้านพื้นที่ของชิ้นส่วนเกาหน้าของชุดขับเคลื่อน การแก้ไขจึงทำได้ยาก การเพิ่มชิ้นส่วนในครั้งนี้จึงได้อาศัยการผลิตด้วยเครื่องพิมพ์ 3D ในการผลิตเพื่อให้มีรูปทรงตามที่ต้องการ ชิ้นส่วนนี้ทำหน้าที่เป็นคานที่ปลายทั้งสองข้างยึดกับตัวยึดล้อมอเตอร์ทั้งซ้ายและขวาคานนี้จะทำหน้าที่ต้านแรงบิดที่เกิดขึ้นตามที่ได้กล่าวก่อนหน้านี้นี้ เมื่อทำการติดตั้งและทดสอบชุดขับเคลื่อนพบว่าชิ้นส่วนนี้สามารถลดมุมของแกนมอเตอร์กับพื้นได้ แต่ก็มีปัญหาตามมาคือชิ้นส่วนนี้ถูกใช้งานได้เพียงไม่กี่ครั้งก็จะเกิดการแตกหักซึ่งเกิดจากวัสดุที่ใช้ในการผลิตด้วยเครื่องพิมพ์ 3D เป็นพลาสติกจึงมีความทนทานต่อแรงบิดได้ไม่สูงมาก แม้ว่าการเปลี่ยนมาใช้วัสดุที่มีความแข็งแรงอย่างเช่นโลหะจะเป็นวิธีการแก้ปัญหาความทนทานต่อแรงบิดได้ดี แต่จะทำให้เกิดปัญหาด้วยการออกแบบแทน ด้วยพื้นที่ที่จำกัดจึงทำให้ชิ้นส่วนที่ถูกออกแบบมีความซับซ้อนมากขึ้น สำหรับวัสดุอย่างโลหะ การผลิตชิ้นส่วนที่มีความซับซ้อนจะต้องเสียค่าใช้จ่ายที่สูง การแก้ไขปัญหาโครงสร้างของชุดขับเคลื่อนโมเดลนี้จะทำให้เกิดต้นทุนของชุดขับเคลื่อนและค่าใช้จ่ายในการพัฒนาที่สูงจึงเป็นทางเลือกที่ไม่เหมาะสมต่อจุดมุ่งหมายของงานวิจัยนี้ ด้วยปัญหาดังกล่าวจึงเป็นเหตุให้ผู้วิจัยได้พัฒนาโครงสร้างชุดขับเคลื่อนในโมเดลที่สองขึ้นโดยใช้วัสดุและอุปกรณ์เดิมจากโมเดลที่หนึ่งและได้ใช้ชุดขับเคลื่อนโมเดลที่สองนี้ในการทดลองใช้งานกับเก้าอี้เข็นด้วยการเคลื่อนที่ไป-กลับ

ในการทดลองชุดขับเคลื่อนจะกำหนดอัตราเร็วของล้อมอเตอร์ด้วยการกำหนด Duty cycle ของสัญญาณ PWM ที่บอร์ดใช้ขับเคลื่อนมอเตอร์ไว้ที่ 60% ผลการทดสอบถูกแสดงในตาราง 12, ตาราง 13 และ ตาราง 14

ตาราง 12 ผลการทดลองการเคลื่อนที่ไป-กลับด้วยน้ำหนักของอาสาสมัครคนที่ 1

ครั้งที่	เฉลี่ยขวา (วินาที)	เฉลี่ยซ้าย (วินาที)
1	29.9	25.66
2	27.6	29.31
3	23.1	22.87
4	25.6	24.56
5	26.4	24.13
ค่าเฉลี่ย	26.52	25.31



ตาราง 13 ผลการทดลองการเคลื่อนที่ไป-กลับด้วยน้ำหนักของอาสาสมัครคนที่ 2

ครั้งที่	เลี้ยวขวา (วินาที)	เลี้ยวซ้าย (วินาที)
1	39.32	28.53
2	37.75	24.27
3	33.14	25.92
4	35.64	31.32
5	32.33	29.31
ค่าเฉลี่ย	35.64	27.87

ตาราง 14 ผลการทดลองการเคลื่อนที่ไป-กลับด้วยน้ำหนักของอาสาสมัครคนที่ 3

ครั้งที่	เลี้ยวขวา (วินาที)	เลี้ยวซ้าย (วินาที)
1	40.36	28.69
2	33.78	31.32
3	31.53	30.28
4	32.98	26.53
5	28.47	29.32
ค่าเฉลี่ย	33.42	29.23

จากผลการทดลองพบว่าค่าเฉลี่ยระยะเวลาในการเลี้ยวซ้ายน้อยกว่าการเลี้ยวขวาในอาสาสมัครทั้งสามคนอย่างชัดเจน โดยค่าเฉลี่ยการเลี้ยวขวาของอาสาสมัครทั้งสามคนเท่ากับ 31.86 วินาที และค่าเฉลี่ยการเลี้ยวซ้ายเท่ากับ 27.47 วินาที ความแตกต่างกันของระยะเวลาที่ชัดเจนบ่งบอกได้ว่าล้อมอเตอร์ทั้งสองถูกขับเคลื่อนด้วยอัตราเร็วที่แตกต่างกัน ซึ่งการทดลองการเคลื่อนที่ในแนวโค้งยืนยันการสมมติฐานนี้ นอกจากนี้โครงสร้างเก้อซี่เขินและการทำมุมระหว่างแกนล้อของเก้อซี่และแกนล้อมอเตอร์อาจเป็นส่วนหนึ่งที่ทำให้เกิดความแตกต่างนี้

## บทที่ 5

### บทสรุป

#### สรุปผลการวิจัย

การพัฒนาชุดขับเคลื่อนแก๊อซีเอ็นในส่วนของซอฟต์แวร์ โปรแกรมสำหรับวิเคราะห์เสียงสั่งการ และส่งคำสั่งไปอุปกรณ์ควบคุมแก๊อซีเอ็นนั้นสามารถนำไปใช้งานได้ แต่ในการใช้งานจริงจะใช้เวลาค่อนข้างนานในการสั่งการกำหนดทิศทาง ประมาณ 2 วินาที ทั้งนี้ยังพบข้อผิดพลาดบางประการสำหรับระบบการใช้งานซึ่งอาจนำไปสู่ความยากลำบากในการใช้งานจริง แต่เบื้องต้นโปรแกรมนี้อาจสามารถนำไปใช้ในการพัฒนาต่อได้ เช่นการสั่งการให้ชุดขับเคลื่อนทำงานและหยุดทำงาน และเป็นส่วนทำให้ดำเนินงานวิจัยชุดควบคุมแก๊อซีเอ็นสั่งการด้วยเสียงต่อไปได้

การออกแบบและพัฒนาฮาร์ดแวร์ในโมเดลแรกนั้นสามารถเคลื่อนแก๊อซีเอ็นไปในทิศทางที่ใกล้เคียงกับทิศทางที่กำหนด แต่ยังไม่สามารถใช้งานได้เนื่องจากมุมที่คลาดเคลื่อนเพียงเล็กน้อยส่งผลต่อการควบคุมในระยะที่ไกลขึ้น อีกทั้งยังพบปัญหาการแตกหักของชิ้นส่วนที่ได้รับภาระน้ำหนักมากเกินไปในการทดสอบเพียง 2-5 ครั้ง ส่วนในโมเดลที่สองนั้นสามารถขับเคลื่อนแก๊อซีเอ็นไปในทิศทางที่ถูกต้องเช่นกันแต่พบว่ายังคงมีความคลาดเคลื่อนจากมุมในการเคลื่อนที่ตามแนวทิศทางอยู่เล็กน้อยสำหรับในโมเดลที่สองนี้แม้ว่าจะลดส่วนของระบบรองรับออกไปซึ่งส่งผลให้เกิดการลื่นไถล แต่เบื้องต้นสามารถนำไปใช้ในการทดสอบกับซอฟต์แวร์ของชุดขับเคลื่อนได้ นอกจากนี้ในทั้งสองโมเดลยังพบปัญหา Constrain ในการผลักดันแก๊อซีเอ็น โดยสาเหตุส่วนหนึ่งมาจากตำแหน่งและระนาบของชุดขับเคลื่อนที่ติดตั้งเข้ากับแก๊อซีเอ็น ปัจจัยเหล่านี้ส่งผลให้การขับเคลื่อนในมุมบางองศาเกิดภาระแรงบิดของล้อยมอเตอร์มากกว่าปกติจนส่งผลให้เกิดความเร็วในการเลี้ยวที่ไม่เท่ากัน และเกิดการแตกหักของชิ้นส่วนในโมเดลแรก

วงจรไฟฟ้าเป็นส่วนประกอบหนึ่งชุดขับเคลื่อนแม้ว่าจะไม่ได้มีการทดสอบโดยตรง แต่ในงานวิจัยนี้ได้มีการสังเกตและเก็บข้อมูลเบื้องต้น จากการสังเกตบอร์ดระหว่างการทดลอง บอร์ดจะมีความร้อนสูงเมื่อใช้ขับเคลื่อนมอเตอร์ในระยะเวลานานโดยเฉพาะตัวเก็บประจุ บางบอร์ดที่นำมาทดสอบเกิดการไหม้และระเบิดขึ้นเล็กน้อย และบางบอร์ดหลังจากมีอุณหภูมิสูงแล้วก็เกิดการทำงานที่ผิดปกติ ในการใช้งานบอร์ดจึงต้องทำด้วยความระมัดระวังและเลี่ยงการใช้งานที่ทำให้เกิดความร้อนสูงเป็นระยะเวลานาน โดยปัจจัยที่ทำให้เกิดความร้อนนั้นคือการที่บอร์ดต้องปล่อยให้พลังงานไฟฟ้าปริมาณมากไหลผ่านจากแบตเตอรี่ไปยังมอเตอร์ ซึ่งกรณีนี้ได้แก่ การจ่ายกระแสสัญญาณที่ความถี่สูงเพื่อต้องการให้มอเตอร์หมุนด้วยความเร็วรอบสูง ๆ การเพิ่มกำลังให้กับล้อยมอเตอร์เมื่อล้อยมอเตอร์

เผชิญกับภาระแรงเสียดทานมากขึ้น บอร์ดจะพยายามรักษาความเร็วของมอเตอร์ไว้โดยการจ่ายกระแสไฟฟ้าที่ความต่างศักย์สูงขึ้น ซึ่งทั้งสองกรณีทำให้พลังงานกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านบอร์ดมีปริมาณมากและก่อให้เกิดความร้อนจากอุปกรณ์ทางไฟฟ้า นอกจากนี้ปัญหาด้านความร้อนยังพบอีกว่าการหยุดมอเตอร์ของบอร์ดเมื่อสั่งการผ่านขา *Disable* นั้น เป็นเพียงแค่การหยุดจ่ายสัญญาณไฟฟ้า ไม่ใช่การเบรกมอเตอร์ให้หยุดอยู่นิ่ง ดังนั้นถึงแม้ว่าสั่งบอร์ดให้หยุดแต่ล้อมอเตอร์ก็ยังคงหมุนต่อไปได้ด้วยความเฉื่อยอีกระยะหนึ่ง ปัญหานี้ทำให้ผู้วิจัยต้องแก้ไขด้วยวงจรไฟฟ้าอีกชุดหนึ่ง วงจรไฟฟ้าชุดนี้จะทำหน้าที่สร้างการเบรกภายในล้อมอเตอร์ร่วมกับบอร์ดควบคุม

อย่างไรก็ตามชุดโมเดลที่สองนี้ยังมีอีกหลายส่วนที่สามารถนำไปพัฒนาต่อได้ เช่น การพัฒนาการตรวจจับความเร็วล้อมอเตอร์เพื่อใช้ในการควบคุมแบบป้อนกลับ (Feedback control) การตรวจจับทิศทางในการเคลื่อนที่โดยใช้การจำลองแผนที่และเซ็นเซอร์ทิศเข็มในการประมวลผล เป็นต้น

ทั้งนี้ผู้วิจัยเล็งเห็นว่าโปรแกรมนี้ยังสามารถพัฒนาต่อยอดได้ ทั้งในส่วนของการใช้งานที่สามารถถูกพัฒนาให้มีความเป็นมิตรต่อผู้ใช้งานมากขึ้น หรือในส่วนของประสิทธิภาพการทำงานของโปรแกรมที่ยังสามารถพัฒนาให้ทำงานได้รวดเร็วมากยิ่งขึ้น นอกจากนี้โปรแกรมยังสามารถนำหลักการงานไปพัฒนาต่อในระบบปฏิบัติการอื่น ๆ หรืออุปกรณ์อื่นอย่างเช่นสมาร์ตโฟนได้อีกด้วย

### ข้อเสนอแนะ

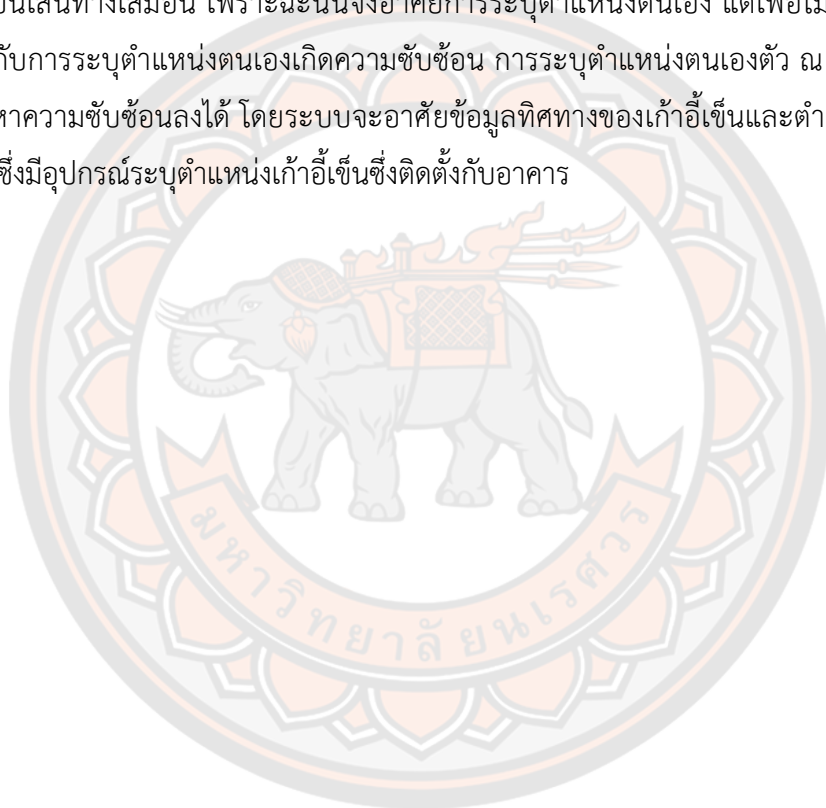
งานวิจัยนี้เป็นส่วนหนึ่งของการพัฒนาต้นแบบชุดขับเคลื่อนเก้อี่เซ็น จากงานวิจัยนี้ทำให้ทราบถึงปัญหาและอุปสรรคในการพัฒนาชุดขับเคลื่อน ปัญหาบางอย่างได้ถูกแก้ไขแล้วในระหว่างการทำดำเนินการ แต่ยังมีอีกหลายส่วนที่รอการแก้ไขและพัฒนาต่อไป โดยมีแนวทางการแก้ปัญหาและข้อเสนอแนะดังต่อไปนี้

1. ปัญหา Constrain และปัญหาภาระแรงบิดของล้อมอเตอร์ที่มากกว่าปกติในขณะที่กำลังเลี้ยว ซึ่งมีสาเหตุส่วนหนึ่งมาจากตำแหน่งและระนาบการขับเคลื่อนเก้อี่เซ็น ปัจจุบันเหล่านี้ควรถูกคำนึงถึงในการปรับปรุงและพัฒนาโครงสร้างครั้งต่อไป โดยอาจทำการวิเคราะห์เชิงโมเดลเพื่อหาตำแหน่งและระนาบที่หลีกเลี่ยง Constrain ทั้งหมดที่เกิดขึ้น
2. ปัญหาบอร์ดขับเคลื่อนเกิดความร้อนสูง ปัญหานี้เกิดขึ้นใน 2 สภาวะคือ เมื่อมีการขับเคลื่อนด้วยการเลี้ยวบ่อยครั้งและเมื่อมีการขับเคลื่อนด้วยความเร็วเป็นระยะเวลาานาน ปัจจัยที่ทำให้เกิดความร้อนมาจากกระแสไฟฟ้าปริมาณมากที่บอร์ดขับเคลื่อนจ่ายให้กับล้อมอเตอร์ ในสภาวะขณะเลี้ยวภาระแรงบิดของล้อมอเตอร์ที่มากขึ้นทำให้บอร์ดขับเคลื่อนต้องจ่ายกระแสไฟฟ้าที่มากขึ้นจนเกิดความร้อนสูง ปัญหานี้ส่วนหนึ่งจะถูกแก้ไขโดยการ

แก้ปัญหาตำแหน่งและระนาบของการขับเคลื่อน ส่วนในสภาวะที่มีการใช้งานเป็นระยะเวลานาน ปัญหานี้อาจแก้ไขเบื้องต้นด้วยการเพิ่มชุดระบายความร้อน เช่น ฮีตซิงค์ พัดลม ระบายความร้อน เป็นต้น และในระยะยาวควรมีการวิจัยและพัฒนาบอร์ดขึ้นเองเพื่อให้ใช้งานกับล้อยอเตอร์และระบบชุดขับเคลื่อนได้อย่างเหมาะสม

3. ปัญหาการลื่นไถล อีกหนึ่งอย่างคือล้อถูกทำให้ Rigid เลยทำให้มันปรับตัวไปตามมุมไม่ได้ เวลาเลี้ยวเลยลื่น

{ในศึกษาต่อไป} ก่อนการเริ่มต้นการเคลื่อนที่ ชุดขับเคลื่อนจำเป็นต้องรับรู้ตำแหน่งของตนเองบนเส้นทางเสมือน เพราะฉะนั้นจึงอาศัยการระบุตำแหน่งตนเอง แต่เพื่อไม่ให้ระบบเส้นทางเสมือนกับการระบุตำแหน่งตนเองเกิดความซับซ้อน การระบุตำแหน่งตนเองตัว ณ จุดเริ่มต้นจึงช่วยลดปัญหาความซับซ้อนลงได้ โดยระบบจะอาศัยข้อมูลทิศทางของแก้อีเซ็นและตำแหน่งในบริเวณที่กำหนดซึ่งมีอุปกรณ์ระบุตำแหน่งแก้อีเซ็นซึ่งติดตั้งกับอาคาร



## บรรณานุกรม

- Ahl & David. (1983). Game Controllers and Accessories. In *Creative Computing Video & Arcard Games* (p. 115).
- Alshraideh, M., Mahafzah, B. A., Al-Sharaeh, S., & Hawamdeh, Z. M. (2015). A robotic intelligent wheelchair system based on obstacle avoidance and navigation functions. *Journal of Experimental & Theoretical Artificial Intelligence*, 27(4), 471–482. <https://doi.org/10.1080/0952813X.2014.971441>
- Austin Hughes & Bill Drury. (2013). *Electric Motors and Drives: Fundamentals, Types and Applications: Vol. 4th ed.* Newnes.
- Christian Mandel, Thorsten Lüth, Tim Laue, Thomas Röfer, Axel Gräser, & Bernd Krieg-Brückner. (2009). Navigating a Smart Wheelchair with a Brain-Computer Interface Interpreting Steady-State Visual Evoked Potentials. *2009 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, 1118–1125. <https://doi.org/10.1109/IROS.2009.5354534>
- De La Cruz, C., Bastos, T. F., & Carelli, R. (2011). Adaptive motion control law of a robotic wheelchair. *Control Engineering Practice*, 19(2), 113–125. <https://doi.org/10.1016/j.conengprac.2010.10.004>
- Falk, T. H., Andrews, A., Hotzé, F., Wan, E., & Chau, T. (2012). Evaluation of an ambient noise insensitive hum-based powered wheelchair controller. *Disability and Rehabilitation. Assistive Technology*, 7(3), 242–248. <https://doi.org/10.3109/17483107.2011.629330>
- Fehr L, Langbein WE, & Skaar SB. (2000). Adequacy of power wheelchair control interfaces for persons with severe disabilities: A clinical survey. *Journal of Rehabilitation Research & Development*, 37(3), 353–360.
- Low cost brushless motor drivers (BLDC) for DIY projects. (2019, February 3). *Work-Is-Playing*. [http://grauonline.de/wordpress/?page\\_id=3122](http://grauonline.de/wordpress/?page_id=3122)
- MISUMI. (n.d.). *MISUMI Catalog*.
- Ramsden Edward. (2006). *Hall-Effect Sensors Theory and Applications* (2nd ed.). Elsevier.

- Ruiz-Serrano, A., Posada-Gómez, R., Sibaja, A. M., Rodríguez, G. A., Gonzalez-Sanchez, B. E., & Sandoval-Gonzalez, O. O. (2013). Development of a Dual Control System Applied to a Smart Wheelchair, using Magnetic and Speech Control. *Procedia Technology*, 7, 158–165. <https://doi.org/10.1016/j.protcy.2013.04.020>
- Sang-Hoon Kim. (2017). *Electric Motor Control: DC, AC, and BLDC Motors*. Elsevier Science.
- Valenzuela, V. L., & de Lucena, V. F. (2016). Remote Monitoring and Control of an Electric Powered Wheelchair in an Assisted Living Environment. *IFAC-PapersOnLine*, 49(30), 181–185. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2016.11.164>
- Zhang, Y., Hong, D., Chung, J. H., & Velinsky, S. A. (1998). Dynamic model based robust tracking control of a differentially steered wheeled mobile robot. *Proceedings of the 1998 American Control Conference. ACC (IEEE Cat. No.98CH36207)*, 2, 850–855 vol.2. <https://doi.org/10.1109/ACC.1998.703528>
- กรมกิจการผู้สูงอายุ. (2565). สถิติผู้สูงอายุ สัญชาติไทย และมีชื่ออยู่ในทะเบียนบ้าน ธันวาคม 2564 [ข้อมูลสถิติ]. กรมกิจการผู้สูงอายุ. <https://www.dop.go.th/th/known/side/1/1/1099>
- กลุ่มคลังข้อมูลสถิติ. (2564a). จำนวนผู้สูงอายุจากการสำรวจประชากรสูงอายุในประเทศไทย จำแนกตามเพศ ภาค จังหวัด และเขตการปกครอง พ.ศ. 2564 (จำนวนผู้สูงอายุจากการสำรวจประชากรสูงอายุในประเทศไทย) [ข้อมูลสถิติ]. สำนักงานสถิติแห่งชาติ กระทรวงดิจิทัลเพื่อเศรษฐกิจและสังคม ; สำนักงานสถิติแห่งชาติ . [http://statbbi.nso.go.th/staticreport/Page/sector/TH/report/sector\\_01\\_11470\\_TH\\_.xlsx](http://statbbi.nso.go.th/staticreport/Page/sector/TH/report/sector_01_11470_TH_.xlsx)
- กลุ่มคลังข้อมูลสถิติ. (2564b). สถิติข้อมูลคนพิการที่มีบัตรประจำตัวคนพิการ จำแนกตามภาค จังหวัด ประเภทความพิการ และเพศ ตั้งแต่วันที่ 1 เดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2537 ถึงวันที่ 31 เดือนธันวาคม พ.ศ. 2564 (สถิติข้อมูลคนพิการที่มีบัตรประจำตัวคนพิการ) [ข้อมูลสถิติ]. กรมส่งเสริมและพัฒนาคุณภาพชีวิตคนพิการ กระทรวงการพัฒนาสังคมและความมั่นคงของมนุษย์ ; สำนักงานสถิติแห่งชาติ . [http://statbbi.nso.go.th/staticreport/Page/sector/TH/report/sector\\_06\\_12\\_TH\\_.xlsx](http://statbbi.nso.go.th/staticreport/Page/sector/TH/report/sector_06_12_TH_.xlsx)
- ทีมเศรษฐกิจไทยรัฐออนไลน์. (2559). ไชรทัส “ประเทศไทย 4.0” สร้างเศรษฐกิจใหม่ ก้าวข้ามกับดัก รายได้ปานกลาง [Newspaper]. ไทยรัฐออนไลน์ . <https://www.thairath.co.th/business/613903>

- ปริญญา กิตติสุทธิ & จีรภา เพลาวัน. (2559). *พัฒนารถเข็นไฟฟ้าสำหรับผู้พิการ*. การประชุมวิชาการ เครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้ามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล.
- สกุรัตน์ วงศ์นางห่าง, ชินวัฒน์ คำสดี, ธนายุทธ เทียงธรรม, & ธิติพงศ์ ป้องสีดา. (2547). *รถเข็นไฟฟ้าสำหรับคนพิการ* [วิทยาศาสตร์บัณฑิต ปรียญานิพนธ์]. มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม.
- สุเมธ เหมะวัฒน์ชัย, มงคลชัย รุ่งเรือง, & สะการะ ตันโสภณ. (2018). การพัฒนาระบบวิเคราะห์เสียง สำหรับการควบคุมห้องอัจฉริยะ. *Naresuan University Engineering Journal*, 13(1), 33–42.
- อนุพงษ์ ธรรมรักษาสิทธิ์. (2546). *การแยกแยะคำสั่งควบคุมรถเข็นคนพิการในระบบรู้จำเสียงพูด* [วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต]. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.



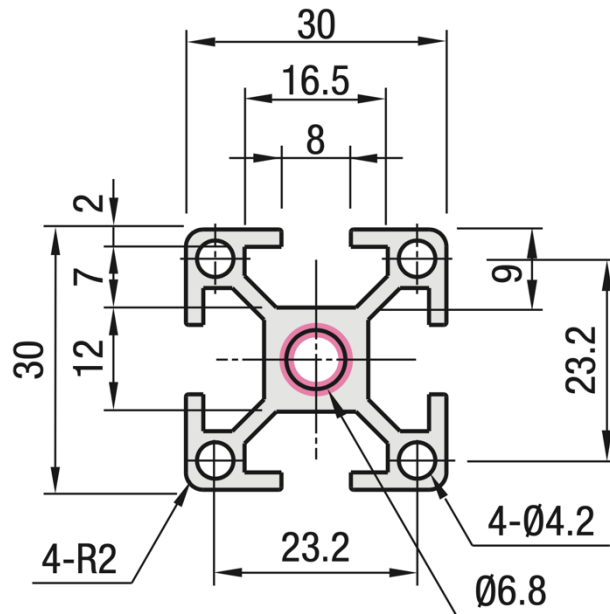




## ภาคผนวก ก

## ข้อมูลจำเพาะของวัสดุและอุปกรณ์

อลูมิเนียมโปรไฟล์ HSF6-3030



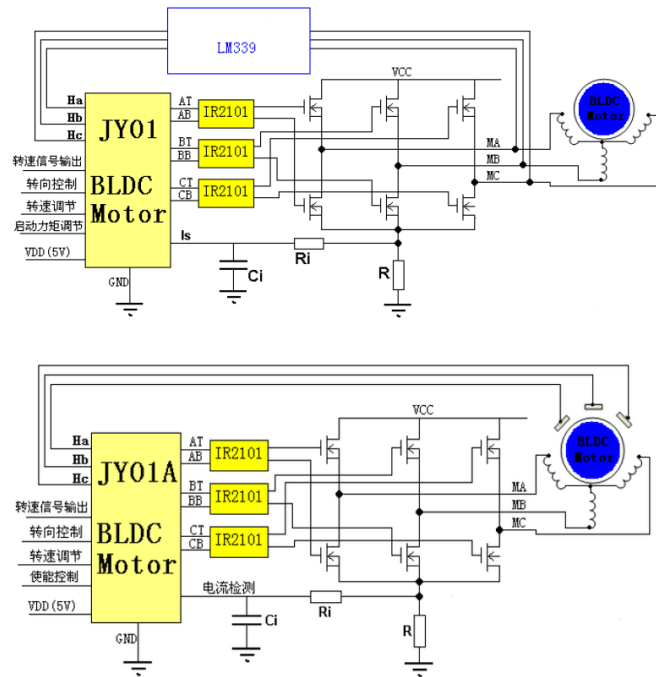
รูปที่ ก.1 การให้ขนาดอลูมิเนียมโปรไฟล์ HSF6-3030

หมายเหตุ: จาก MISUMI Catalog (น. 597), โดย MISUMI, n.d.

อลูมิเนียมโปรไฟล์มีข้อมูลจำเพาะดังต่อไปนี้

- มวล 0.9 kg/m
- พื้นที่หน้าตัด 333 mm<sup>2</sup>
- Cross sectional moment of inertia,  $I_x = 2.83 \times 10^4$ ,  $I_y = 2.83 \times 10^4$

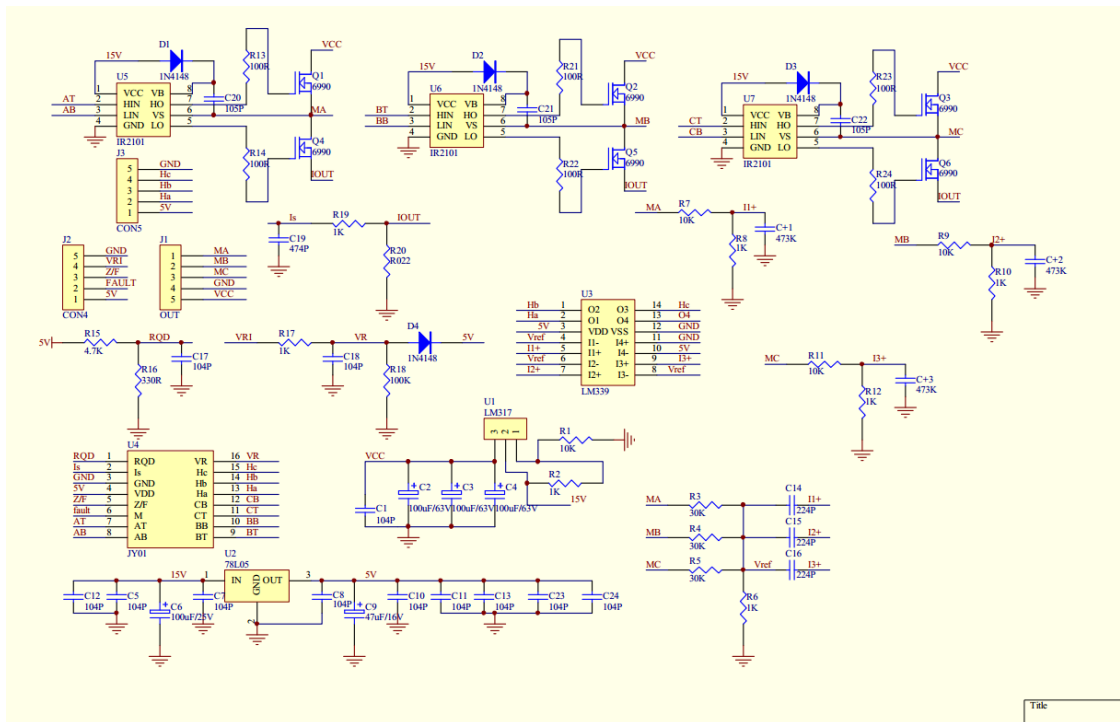
## บอร์ดขับมอเตอร์ไร้แปรงถ่าน (Brushless motor driver) รุ่น QS909-JY01A



รูปที่ ก.2 วงจรของบอร์ดขับเคลื่อนมอเตอร์ไร้แปรงถ่าน รุ่น QS909-JY01A

หมายเหตุ: จาก (“Low Cost Brushless Motor Drivers (BLDC) for DIY Projects,” 2019) โดย Work-is-Playing ([http://grauonline.de/wordpress/?page\\_id=3122](http://grauonline.de/wordpress/?page_id=3122))

แสดงภาพวงจรของบอร์ดขับเคลื่อนมอเตอร์ไร้แปรงถ่าน รุ่น QS909-JY01A โดยภาพด้านบนเป็นวงจรแบบ Open-loop โดยใช้ชิป LM339 เพื่อสร้างสัญญาณ PWM และส่งสัญญาณป้อนกลับ (Feedback) ให้มอเตอร์ทั้งสามเฟส ภาพด้านล่างเป็นวงจรแบบ Close-loop โดยแต่ละเฟสใช้เซ็นเซอร์ฮอลล์ตรวจจับแม่เหล็กที่เคลื่อนที่ผ่านเพื่อสร้างสัญญาณ PWM และส่งสัญญาณป้อนกลับให้ชิปประมวลผล



รูปที่ ก.3 แบบแผนของชิปบนบอร์ดขับเคลื่อนมอเตอร์ไร้แปรงถ่าน รุ่น QS909-JY01A

หมายเหตุ: จาก (“Low Cost Brushless Motor Drivers (BLDC) for DIY Projects,” 2019) โดย Work-is-Playing ([http://grauonline.de/wordpress/?page\\_id=3122](http://grauonline.de/wordpress/?page_id=3122))

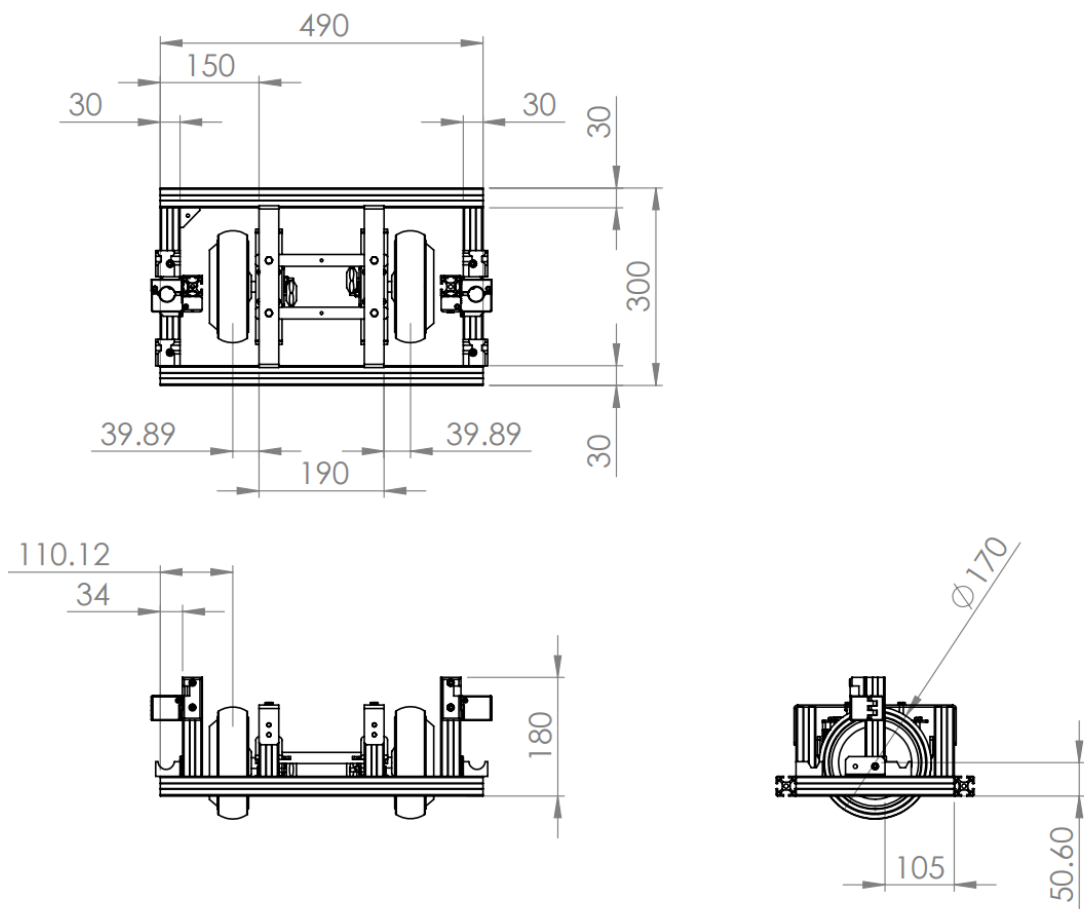
ตาราง 15 Electrical ratings ของบอร์ดรุ่น QS909-JY01A

Symbol	Description	Min. Value	Typical value	Max. Value	Unit	Rating
V <sub>DD</sub>	Power input	4.5	5	5.5	V	VDD to Vss
V <sub>IL</sub>	Input IO Low level	0		0.3	V	Fwd/Rev IO
V <sub>IH</sub>	Voltage input IO High level	3		5.5	V	Fwd/Rev IO
I <sub>OL</sub>	Voltage Low level sink current	5		8	mA	
I <sub>OH</sub>	High level output current	3		5	mA	
V <sub>jd</sub>	Analog input voltage	0		5	V	
I <sub>jd</sub>	Analog input current			100	nA	
I <sub>sva</sub>	Overload limit voltage	0.095	0.1	0.105	V	Is Pin voltage
I <sub>sta</sub>	Constant current control voltage	0.095	0.1	0.105	V	R&l constant current point
R <sub>PT</sub>	Soft start time		100		mS	Speed 0-

## ภาคผนวก ข

## การออกแบบฮาร์ดแวร์

การออกแบบชุดขับเคลื่อนแก๊สไอซีเอ็นโมเดลแรก



ภาพ 41 แบบแปลนชุดขับเคลื่อนแก๊สไอซีเอ็นโมเดลแรก

## ภาคผนวก ค

## โค้ด

โค้ดโปรแกรมควบคุมบนบอร์ด Arduino เพื่อรับสัญญาณจากโมดูลอินฟราเรด

```

#include <IRremote.h>
#include "IRremote.h"
IRsend irsend;
String inputString = "";
boolean stringComplete = false;

const unsigned int SENT_PIN = 12;
const unsigned int RECV_PIN = 11;
const unsigned int relay_pin1 = 7;
const unsigned int relay_pin = 8;
unsigned int actual_state = LOW;
unsigned int actual_state1 = LOW;

IRrecv irrecv(RECV_PIN);
decode_results results;

void setup()
{
  Serial.begin(9600);
  inputString.reserve(200);

  irrecv.enableIRIn(); // Start the receiver
  pinMode(relay_pin, OUTPUT); // ใช้ relay pin 5
  pinMode(relay_pin1, OUTPUT); // ใช้ relay pin 6
  pinMode(SENT_PIN, OUTPUT);
  Serial.println("Receiver Station are Ready : ");
}

int c = 1;

unsigned int dump(decode_results *results, unsigned int *raw)
{
  unsigned int count = results->rawlen;
  Serial.print("Round : ");
  Serial.println(c);
}

```

```
Serial.println("For Arduino sketch : ");
Serial.print("unsigned int raw");
Serial.print(c);
Serial.print("[");
Serial.print(count, DEC);
Serial.print("] = {");
c++;

for (int i = 0; i < count; i++)
{
    if ((i % 2) == 1)
    {
        raw[i] = results->rawbuf[i + 1] * USECPERTICK;
        Serial.print(raw[i], DEC);
    }
    else
    {
        raw[i] = (int)results->rawbuf[i + 1] * USECPERTICK;
        Serial.print(raw[i], DEC);
    }
    if (i != count - 1)
    {
        Serial.print(",");
    }
}
Serial.print("};");
Serial.println("");
Serial.print("irsend.sendRaw(");
Serial.print("raw");
Serial.print(c);
Serial.print(",");
Serial.print(count, DEC);
Serial.println(",38);");

return count;
}

void loop()
{
```

```
if (irrecv.decode(&results))
{
  unsigned int raw[200];
  unsigned int bitsize = 0;
  if (results.value == 0xffa25d)
  { // On/Off button
    Serial.println(results.value, HEX);
    if (actual_state == LOW)
    {
      actual_state = HIGH;
    }
    else
    {
      actual_state = LOW;
    }
    dump(&results, &raw[0]);
    digitalWrite(relay_pin, actual_state);
    irrecv.resume();
  }
  else if (results.value == 0xffa25e)
  { // On/Off button
    Serial.println(results.value, HEX);
    if (actual_state == LOW)
    {
      actual_state = HIGH;
    }
    else
    {
      actual_state = LOW;
    }
    dump(&results, &raw[0]);
    digitalWrite(relay_pin1, actual_state);
    irrecv.resume();
  }
  else
  {
    Serial.println("No Working");
    unsigned int hash_size = dump(&results, &raw[0]);
    Serial.print("Bit Size : ");
    Serial.println(hash_size);
    irsend.sendNEC(0xffffffffb, 32);
  }
}
```



```

        irsend.sendRaw(raw, hash_size, 38);
        irrecv.resume();
        irrecv.enableIRIn();
    }
}
}

```

โค้ดโปรแกรมควบคุมบนบอร์ด Arduino เพื่อส่งสัญญาณจากโมดูลอินฟราเรด

```

#include "IRremote.h"

unsigned int LEDPin = 7;
IRsend irsend;
IRrecv irrecv(5);
decode_results results;
boolean stringComplete = false;
boolean dump_open = false;

void setup()
{
    Serial.begin(9600);
    Serial.println("Sender Decode READY");
    pinMode(LEDPin, OUTPUT);
}

// เพิ่มปุ่ม
void loop()
{
    if (stringComplete)
    {
        Serial.println("Complete");
        stringComplete = false;
    }
}

unsigned int raw_mark_create(char mode, char brand, unsigned
int index, unsigned int *raw)
{
    String str_code;
    if (mode == 'a')
    { /*mode : 0-air, 1-TV*/

```

```

if (index == 0)
{
    str_code = "SAIJO_A000B6022C8A2CFFED";
}
else if (index == 1)
{
    str_code = "SAIJO_A000B6022C8A2CFFED";
}
else if (index == 2)
{
    str_code = "SAIJO_A090AE031D0B1DFF7C";
}
else if (index == 3)
{
    str_code = "SAIJO_A090B69215A215FFE7";
}
// else if (index == 4) { str_code = "L_8800A4E";} //LG
// else if (index == 5) { str_code = "L_88C0041";} //LG
}
else if (mode == 't')
{
    if (brand == 's')
    {
        // if (index == 0) { str_code = "S_E0E040BF" ; } //pow
        // else if (index == 1) { str_code = "S_E0E020DF" ; }
//1
        // else if (index == 2) { str_code = "S_E0E0A05F";} //2
        // else if (index == 3) { str_code = "S_E0E0609F";} //3
        // else if (index == 4) { str_code = "S_E0E010EF";} //4
        // else if (index == 5) { str_code = "S_E0E0906F";} //5
        // else if (index == 6) { str_code = "S_E0E050AF";} //6
        // else if (index == 7) { str_code = "S_E0E030CF";} //7
        // else if (index == 8) { str_code = "S_E0E0B04F";} //8
        // else if (index == 9) { str_code = "S_E0E0708F";} //9
        // else if (index == 10) { str_code = "S_E0E08877";} //0
        // else if (index == 11) { str_code = "S_E0E0E01F";} //+
        // else if (index == 12) { str_code = "S_E0E0D02F";} //-
        // else if (index == 13) { str_code = "S_E0E0F00F";}
//Mute
        // else if (index == 14) { str_code = "S_E0E048B7";}
//P-up

```

```
//P-Down // else if (index == 15) { str_code = "S_E0E008F7";}
//P-Down // else if (index == 16) { str_code = "S_E0E0807F";}
}
else if (brand == 'l')
{
  if (index == 0)
  {
    str_code = "L_20DF10EF";
  } // pow
  else if (index == 1)
  {
    str_code = "L_20DF8877";
  } // 1
  else if (index == 2)
  {
    str_code = "L_20DF48B7";
  } // 2
  else if (index == 3)
  {
    str_code = "L_20DFC837";
  } // 3
  else if (index == 4)
  {
    str_code = "L_20DF28D7";
  } // 4
  else if (index == 5)
  {
    str_code = "L_20DFA857";
  } // 5
  else if (index == 6)
  {
    str_code = "L_20DF6897";
  } // 6
  else if (index == 7)
  {
    str_code = "L_20DFE817";
  } // 7
  else if (index == 8)
  {
```

```
        str_code = "L_20DF18E7";
    } // 8
    else if (index == 9)
    {
        str_code = "L_20DF9867";
    } // 9
    else if (index == 10)
    {
        str_code = "L_20DF8F7";
    } // 0
    else if (index == 11)
    {
        str_code = "L_20DF40BF";
    } //+
    else if (index == 12)
    {
        str_code = "L_20DFC03F";
    } //-
    else if (index == 13)
    {
        str_code = "L_20DF906F";
    } // Mute
    else if (index == 14)
    {
        str_code = "L_20DF0FF";
    } // P-up
    else if (index == 15)
    {
        str_code = "L_20DF807F";
    } // P-Down
    else if (index == 16)
    {
        str_code = "L_20DF0FF0";
    } // TV
    else if (index == 17)
    {
        str_code = "L_20DF22DD";
    } // OK
}
else if (brand == 'p')
{
```

```

        //      if (index == 0) { str_code = "P_40040100BCBD" ;
} //pow
        //      else if (index == 1) { str_code =
"P_400401000809" ; } //1
        //      else if (index == 2) { str_code =
"P_400401008889";} //2
        //      else if (index == 3) { str_code =
"P_400401004849";} //3
        //      else if (index == 4) { str_code =
"P_40040100C8C9";} //4
        //      else if (index == 5) { str_code =
"P_400401002829";} //5
        //      else if (index == 6) { str_code =
"P_40040100A8A9";} //6
        //      else if (index == 7) { str_code =
"P_400401006869";} //7
        //      else if (index == 8) { str_code =
"P_40040100E8E9";} //8
        //      else if (index == 9) { str_code =
"P_400401001819";} //9
        //      else if (index == 10) { str_code =
"P_400401009899";} //0
        //      else if (index == 11) { str_code =
"P_400401000405";} //+
        //      else if (index == 12) { str_code =
"P_400401008485";} //-
        //      else if (index == 13) { str_code =
"P_400401004C4D";} //Mute
        //      else if (index == 14) { str_code =
"P_400401008485";} //P-up
        //      else if (index == 15) { str_code =
"P_400401002C2D";} //P-Down
    }
}

int codesize = str_code.length();
int r, q, n;
String _brand, str_hash;
unsigned long BIT = 0x8;
unsigned long raw_mark, raw_blank, raw_space;
unsigned int onehash;
Serial.print("Code : ");
Serial.println(str_code);

```

```
n = str_code.indexOf('_');
Serial.print("indexOf _ : ");
Serial.print(n);

// brand = str_code.substring(0,n);
Serial.print(" | Brand : ");
Serial.print(brand);
str_hash = str_code.substring(n + 1);
Serial.print(" | Hash String : ");
Serial.print(str_hash);
int hash_size = str_hash.length();

Serial.print("| Hash size : ");
Serial.println(hash_size);
if (brand == 'l')
{
    raw[0] = 9000;
    raw[1] = 4400;
    raw_mark = 1650;
    raw_blank = 550;
    raw_space = 550;
}
else if (brand == 'f')
{
    raw[0] = 8700;
    raw[1] = 4000;
    raw_mark = 1500;
    raw_blank = 550;
    raw_space = 450;
}
else if (brand == 's')
{
    raw[0] = 4500;
    raw[1] = 4500;
    raw_mark = 1650;
    raw_blank = 550;
    raw_space = 550;
}
else if (brand == 'p')
{
    raw[0] = 3500;
```

```
raw[1] = 1700;
raw_mark = 1250;
raw_blank = 450;
raw_space = 400;
}
else
{
raw[0] = 8950;
raw[1] = 4500;
raw_mark = 1650;
raw_blank = 550;
raw_space = 600;
}

for (int l = 0; l < hash_size; l++)
{
char temp = str_hash.charAt(l);
onehash = strhex_dec(temp);
Serial.print(onehash);
Serial.print(",");
for (int i = 0; i < 4; i++)
{ /*number of code*/
if (onehash & BIT)
{
raw[2 + (i + l * 4) * 2] = raw_blank;
raw[3 + (i + l * 4) * 2] = raw_mark;
Serial.print(1);
}
else
{
raw[2 + (i + l * 4) * 2] = raw_blank;
raw[3 + (i + l * 4) * 2] = raw_space;
Serial.print(0);
}
onehash <<= 1;
}
Serial.print("|");
}
raw[hash_size * 8 + 2] = 450;
raw[hash_size * 8 + 3] = 0;
```

```

    return hash_size * 8 + 4;
}

void raw_mark_set(String setcode, unsigned int *raw)
{
    int temp = setcode.indexOf('_');
    String open_code = setcode.substring(0, temp);
    setcode = setcode.substring(temp + 1);

    temp = setcode.indexOf('_');
    String sp_code = setcode.substring(0, temp);
    setcode = setcode.substring(temp + 1);
    // int sp_mark = sp_code.toInt();

    temp = setcode.substring(temp).indexOf('_');
    String on_code = setcode.substring(0, setcode.indexOf('_'));
    setcode = setcode.substring(temp + 1);

    temp = setcode.substring(temp).indexOf('_');
    String off_code = setcode.substring(0,
setcode.indexOf('_'));
    setcode = setcode.substring(temp + 1);

    temp = setcode.substring(temp).indexOf('_');
    String space_code = setcode.substring(0,
setcode.indexOf('_'));
    setcode = setcode.substring(temp + 1);

    int hash_size = setcode.length();
    unsigned int onehash = 0;
    for (int l = 0; l < hash_size; l++)
    {
        char charec = setcode.charAt(l);
        onehash = strhex_dec(charec);
        Serial.print(onehash);
        Serial.print(",");
        for (int i = 0; i < 4; i++)
        { /*number of code*/
            if (onehash & 0x1)
            {
                // raw[2 + (i + l * 4) * 2] = raw_blank;
            }
        }
    }
}

```



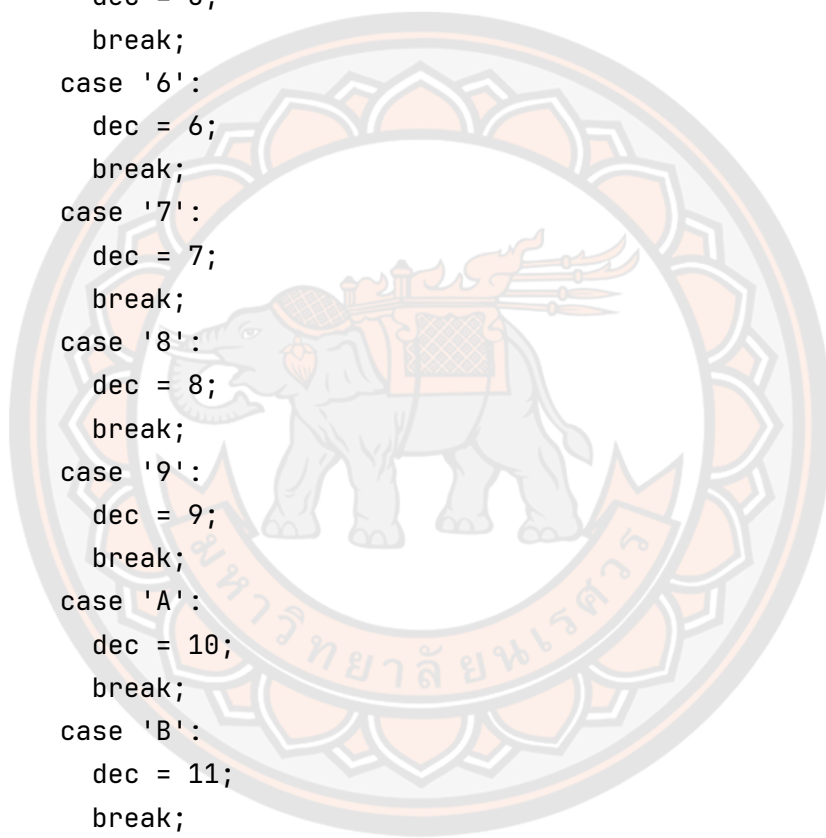
```

        //          raw[3 + (i + 1 * 4) * 2] = raw_mark;
        Serial.print(1);
    }
    else
    {
        //          raw[2 + (i + 1 * 4) * 2] = raw_blank;
        //          raw[3 + (i + 1 * 4) * 2] = raw_space;
        Serial.print(0);
    }
    oneshash <<= 1;
}
Serial.print("|");
}
raw[hash_size * 8 + 2] = 650;
raw[hash_size * 8 + 3] = 0;
}
void dump(int n_raw, unsigned int raw[]) /*show raw time of
signal*/
{
    Serial.println("Raw mark : ");
    for (int i = 1; i <= n_raw; i++)
    {
        Serial.print(raw[i - 1]);
        Serial.print(", ");
    }
    Serial.println();
}

unsigned int strhex_dec(char str_hex)
{
    unsigned int dec;
    switch (str_hex)
    {
        case '0':
            dec = 0;
            break;
        case '1':
            dec = 1;
            break;
        case '2':

```

```
    dec = 2;
    break;
case '3':
    dec = 3;
    break;
case '4':
    dec = 4;
    break;
case '5':
    dec = 5;
    break;
case '6':
    dec = 6;
    break;
case '7':
    dec = 7;
    break;
case '8':
    dec = 8;
    break;
case '9':
    dec = 9;
    break;
case 'A':
    dec = 10;
    break;
case 'B':
    dec = 11;
    break;
case 'C':
    dec = 12;
    break;
case 'D':
    dec = 13;
    break;
case 'E':
    dec = 14;
    break;
case 'F':
    dec = 15;
    break;
```



```

    }
    return dec;
}

void serialEvent()
{
    while (Serial.available() > 0)
    {
        boolean cmd_ok = false;
        unsigned long code[10];
        unsigned int rawx[148];
        String af_cmd = "";
        long cmd = 0;

        String s_cmd = Serial.readString(); /* for read to
String */
        Serial.setTimeout(50); /* Get time
limit */
        unsigned int iofs = s_cmd.indexOf('/'); /* index '/' in
string */
        String brand = s_cmd.substring(iofs - 1); /* word front
 '/' (brand) */

        if (iofs != -1)
        {
            cmd = (long)(brand.charAt(0 ) ) * 1 0 0 0 +
(long)(s_cmd.charAt(iofs + 1));
        }
        else
        {
            cmd = s_cmd.toInt();
        }

        // cmd = Serial.parseInt();

        Serial.print("\nCommand : ");
        Serial.println(cmd); /*print command that got from
serial*/

        // if (cmd.charAt(0) == 'x') { cmd
= "x"; af_cmd = cmd.substring(2); }

        // digitalWrite(ledPin, HIGH); delay(50);

```

```

//    digitalWrite(ledPin, LOW);    delay(50);
//    digitalWrite(ledPin, HIGH);   delay(50);
//    digitalWrite(ledPin, LOW);    delay(50);
//    char inChar = (char)Serial.read();

char t = 't';
char s = 's';
unsigned int n_raw = 0;
if (cmd == 100)
{
    dump_open = !dump_open;
    if (dump_open)
    {
        Serial.println("Dump on!");
    }
    else
    {
        Serial.println("Dump off!");
    }
}
else if (cmd == 67)
{
    n_raw = raw_mark_create('a', 's', 1, &rawx[0]);
    cmd_ok = true;
}
else if (cmd == 111)
{
    n_raw = raw_mark_create('a', 's', 2, &rawx[0]);
    cmd_ok = true;
}
else if (cmd == 2311)
{
    n_raw = raw_mark_create('a', 's', 3, &rawx[0]);
    cmd_ok = true;
}
//    else if (cmd == "2 3 1 2 ") { n_raw =
raw_mark_create("A090AE831C0B1CFF07", &rawx[0]); cmd_ok = true; }
//    else if (cmd == "2 3 1 3 ") { n_raw =
raw_mark_create("A090AE43170B17FFC8", &rawx[0]); cmd_ok = true; }
//    else if (cmd == "2 3 2 1 ") { n_raw =
raw_mark_create("A090AE0316AB16FFEB", &rawx[0]); cmd_ok = true; }

```

```

//         else if (cmd == "2 3 2 2 ") { n_raw =
raw_mark_create("A090AE8316AB16FFEB", &rawx[0]); cmd_ok = true; }
//         else if (cmd == "2 3 2 3 ") { n_raw =
raw_mark_create("A090AE4315AB15FFA9", &rawx[0]); cmd_ok = true; }
//         else if (cmd == "2 3 3 1 ") { n_raw =
raw_mark_create("A090AE03146B14FFB2", &rawx[0]); cmd_ok = true; }
//         else if (cmd == "2 3 3 2 ") { n_raw =
raw_mark_create("A090AE83146B14FFB2", &rawx[0]); cmd_ok = true; }
//         else if (cmd == "2 3 3 3 ") { n_raw =
raw_mark_create("A090AE43136B13FF75", &rawx[0]); cmd_ok = true; }
//         else if (cmd == "2 5 1 1 ") { n_raw =
raw_mark_create("A090B2030C0B0CFF7C", &rawx[0]); cmd_ok = true; }
//         else if (cmd == "2 5 1 2 ") { n_raw =
raw_mark_create("A090B2830B0B0BFF59", &rawx[0]); cmd_ok = true; }
//         else if (cmd == "2 5 1 3 ") { n_raw =
raw_mark_create("A090B243068B06FFA0", &rawx[0]); cmd_ok = true; }
//         else if (cmd == "2 5 2 1 ") { n_raw =
raw_mark_create("A090B20309AB09FFE2", &rawx[0]); cmd_ok = true; }
//         else if (cmd == "2 5 2 2 ") { n_raw =
raw_mark_create("A090B28308AB08FFC3", &rawx[0]); cmd_ok = true; }
//         else if (cmd == "2 5 2 3 ") { n_raw =
raw_mark_create("A090B24307AB07FF01", &rawx[0]); cmd_ok = true; }
//         else if (cmd == "2 5 3 1 ") { n_raw =
raw_mark_create("A090B203078B07FFE3", &rawx[0]); cmd_ok = true; }
//         else if (cmd == "2 5 3 2 ") { n_raw =
raw_mark_create("A090B283078B07FFE3", &rawx[0]); cmd_ok = true; }
//         else if (cmd == "2533") { n_raw = raw_mark_create(0,
3, &rawx[0]); cmd_ok = true; }
//         else if (cmd == "2 7 1 1 ") { n_raw =
raw_mark_create("A090B603030B03FF28", &rawx[0]); cmd_ok = true; }
//         else if (cmd == "2 7 1 2 ") { n_raw =
raw_mark_create("A090B6120B620BFFB3", &rawx[0]); cmd_ok = true; }
//         else if (cmd == "2 7 1 3 ") { n_raw =
raw_mark_create("A090B643020B02FFEB", &rawx[0]); cmd_ok = true; }
//         else if (cmd == "2 7 2 1 ") { n_raw =
raw_mark_create("A090B651330133FF04", &rawx[0]); cmd_ok = true; }
//         else if (cmd == "2 7 2 2 ") { n_raw =
raw_mark_create("A090B68301AB01FF89", &rawx[0]); cmd_ok = true; }
//         else if (cmd == "2 7 2 3 ") { n_raw =
raw_mark_create("A090B64301AB01FF49", &rawx[0]); cmd_ok = true; }
//         else if (cmd == "2 7 3 1 ") { n_raw =
raw_mark_create("A090B603006B00FF52", &rawx[0]); cmd_ok = true; }
//         else if (cmd == "2 7 3 2 ") { n_raw =
raw_mark_create("A090B683006B00FF52", &rawx[0]); cmd_ok = true; }

```

```
// else if (cmd == "2733") { n_raw = raw_mark_create(0,
1, &rawx[0]); cmd_ok = true; }
// else if (cmd == 11000) { n_raw = raw_mark_create(t,
s, 4, &rawx[0]); cmd_ok = true; }
// else if (cmd == 11001) { n_raw = raw_mark_create(t,
s, 5, &rawx[0]); cmd_ok = true; }
else if (cmd == 83111)
{
    n_raw = raw_mark_create(t, s, 0, &rawx[0]);
    cmd_ok = true;
}
else if (cmd == 83001)
{
    n_raw = raw_mark_create(t, s, 1, &rawx[0]);
    cmd_ok = true;
}
else if (cmd == 83002)
{
    n_raw = raw_mark_create(t, s, 2, &rawx[0]);
    cmd_ok = true;
}
else if (cmd == 83003)
{
    n_raw = raw_mark_create(t, s, 3, &rawx[0]);
    cmd_ok = true;
}
else if (cmd == 83004)
{
    n_raw = raw_mark_create(t, s, 4, &rawx[0]);
    cmd_ok = true;
}
else if (cmd == 83005)
{
    n_raw = raw_mark_create(t, s, 5, &rawx[0]);
    cmd_ok = true;
}
else if (cmd == 83006)
{
    n_raw = raw_mark_create(t, s, 6, &rawx[0]);
    cmd_ok = true;
}
}
```

```
else if (cmd == 83007)
{
    n_raw = raw_mark_create(t, s, 7, &rawx[0]);
    cmd_ok = true;
}
else if (cmd == 83008)
{
    n_raw = raw_mark_create(t, s, 8, &rawx[0]);
    cmd_ok = true;
}
else if (cmd == 83009)
{
    n_raw = raw_mark_create(t, s, 9, &rawx[0]);
    cmd_ok = true;
}
else if (cmd == 83010)
{
    n_raw = raw_mark_create(t, s, 10, &rawx[0]);
    cmd_ok = true;
}
else if (cmd == 83043)
{
    n_raw = raw_mark_create(t, s, 11, &rawx[0]);
    cmd_ok = true;
}
else if (cmd == 83045)
{
    n_raw = raw_mark_create(t, s, 12, &rawx[0]);
    cmd_ok = true;
}
else if (cmd == 83109)
{
    n_raw = raw_mark_create(t, s, 13, &rawx[0]);
    cmd_ok = true;
}
else if (cmd == 83085)
{
    n_raw = raw_mark_create(t, s, 14, &rawx[0]);
    cmd_ok = true;
}
else if (cmd == 83068)
```

```
{
    n_raw = raw_mark_create(t, s, 15, &rawx[0]);
    cmd_ok = true;
}
else if (cmd == 83113)
{
    n_raw = raw_mark_create(t, s, 16, &rawx[0]);
    cmd_ok = true;
}

else if (cmd == 76112)
{
    n_raw = raw_mark_create(t, 'l', 0, &rawx[0]);
    cmd_ok = true;
}
else if (cmd == 76001)
{
    n_raw = raw_mark_create(t, 'l', 1, &rawx[0]);
    cmd_ok = true;
}
else if (cmd == 76002)
{
    n_raw = raw_mark_create(t, 'l', 2, &rawx[0]);
    cmd_ok = true;
}
else if (cmd == 76003)
{
    n_raw = raw_mark_create(t, 'l', 3, &rawx[0]);
    cmd_ok = true;
}
else if (cmd == 76004)
{
    n_raw = raw_mark_create(t, 'l', 4, &rawx[0]);
    cmd_ok = true;
}
else if (cmd == 76005)
{
    n_raw = raw_mark_create(t, 'l', 5, &rawx[0]);
    cmd_ok = true;
}
else if (cmd == 76006)
```



```
{
    n_raw = raw_mark_create(t, 'l', 6, &rawx[0]);
    cmd_ok = true;
}
else if (cmd == 76007)
{
    n_raw = raw_mark_create(t, 'l', 7, &rawx[0]);
    cmd_ok = true;
}
else if (cmd == 76008)
{
    n_raw = raw_mark_create(t, 'l', 8, &rawx[0]);
    cmd_ok = true;
}
else if (cmd == 76009)
{
    n_raw = raw_mark_create(t, 'l', 9, &rawx[0]);
    cmd_ok = true;
}
else if (cmd == 76010)
{
    n_raw = raw_mark_create(t, 'l', 10, &rawx[0]);
    cmd_ok = true;
}
else if (cmd == 76043)
{
    n_raw = raw_mark_create(t, 'l', 11, &rawx[0]);
    cmd_ok = true;
}
else if (cmd == 76045)
{
    n_raw = raw_mark_create(t, 'l', 12, &rawx[0]);
    cmd_ok = true;
}
else if (cmd == 76109)
{
    n_raw = raw_mark_create(t, 'l', 13, &rawx[0]);
    cmd_ok = true;
}
else if (cmd == 76085)
{
```

```

        n_raw = raw_mark_create(t, 'l', 14, &rawx[0]);
        cmd_ok = true;
    }
    else if (cmd == 76068)
    {
        n_raw = raw_mark_create(t, 'l', 15, &rawx[0]);
        cmd_ok = true;
    }
    else if (cmd == 76069)
    {
        n_raw = raw_mark_create(t, 'l', 16, &rawx[0]);
        cmd_ok = true;
    }
    else if (cmd == 76070)
    {
        n_raw = raw_mark_create(t, 'l', 17, &rawx[0]);
        cmd_ok = true;
    }
    // else if (cmd == 80112) { n_raw = raw_mark_create(t,
    'p', 0, &rawx[0]); cmd_ok = true; }
    // else if (cmd == 80001) { n_raw = raw_mark_create(t,
    'p', 1, &rawx[0]); cmd_ok = true; }
    // else if (cmd == 80002) { n_raw = raw_mark_create(t,
    'p', 2, &rawx[0]); cmd_ok = true; }
    // else if (cmd == 80003) { n_raw = raw_mark_create(t,
    'p', 3, &rawx[0]); cmd_ok = true; }
    // else if (cmd == 80004) { n_raw = raw_mark_create(t,
    'p', 4, &rawx[0]); cmd_ok = true; }
    // else if (cmd == 80005) { n_raw = raw_mark_create(t,
    'p', 5, &rawx[0]); cmd_ok = true; }
    // else if (cmd == 80006) { n_raw = raw_mark_create(t,
    'p', 6, &rawx[0]); cmd_ok = true; }
    // else if (cmd == 80007) { n_raw = raw_mark_create(t,
    'p', 7, &rawx[0]); cmd_ok = true; }
    // else if (cmd == 80008) { n_raw = raw_mark_create(t,
    'p', 8, &rawx[0]); cmd_ok = true; }
    // else if (cmd == 80009) { n_raw = raw_mark_create(t,
    'p', 9, &rawx[0]); cmd_ok = true; }
    // else if (cmd == 80010) { n_raw = raw_mark_create(t,
    'p', 10, &rawx[0]); cmd_ok = true; }
    // else if (cmd == 80043) { n_raw = raw_mark_create(t,
    'p', 11, &rawx[0]); cmd_ok = true; }

```

```

        // else if (cmd == 80045) { n_raw = raw_mark_create(t,
        'p', 12, &rawx[0]); cmd_ok = true; }
        // else if (cmd == 80109) { n_raw = raw_mark_create(t,
        'p', 13, &rawx[0]); cmd_ok = true; }
        // else if (cmd == 80085) { n_raw = raw_mark_create(t,
        'p', 14, &rawx[0]); cmd_ok = true; }
        // else if (cmd == 80068) { n_raw = raw_mark_create(t,
        'p', 15, &rawx[0]); cmd_ok = true; }

    else if (cmd == 120)
    {
        raw_mark_set(af_cmd, &rawx[0]);
        cmd_ok = true;
    }

    unsigned long rawn = 0;
    if (cmd == 61)
    { // Open A
        rawn = 0xffa25d;
        goto prt_plug;
    }
    else if (cmd == 109)
    { // Close A
        rawn = 0xffa25e;
        goto prt_plug;
    }
    else if (cmd == 62)
    { // Open B
        stringComplete = true;
        rawn = 0xff42bd;
        goto prt_plug;
    }
    else if (cmd == 110)
    { // Close B
        stringComplete = true;
        rawn = 0xff42be;
        goto prt_plug;
    }
    prt_plug:
        Serial.println("Sent to Recv Station");

```

```

if (cmd_ok)
{
  irsend.sendRaw(rawx, n_raw, 38);
  if (dump_open)
  {
    dump(n_raw, rawx);
  }
  digitalWrite(LEDPin, HIGH);
  delay(500);
  digitalWrite(LEDPin, LOW);
  delay(500);
  cmd_ok = false;
  stringComplete = true;
}
else if (rawn != 0)
{
  irsend.sendNEC(rawn, 32);
  delay(100);
  rawn = 0;
  stringComplete = true;
  for (int i = 0; i <= 1; i++)
  {
    digitalWrite(LEDPin, HIGH);
    delay(100);
    digitalWrite(LEDPin, LOW);
    delay(100);
  }

  // recieve respond
  irrecv.enableIRIn();
  unsigned long timerap;
  timerap = millis();
  for (int i = 0; i < 1000; i++)
  {
    irrecv.decode(&results);
    if (results.value == 0xffffffffd)
    {
      Serial.print("Recieve Complete (Working)");
      break;
    }
  }
  else if (results.value == 0xffffffffb)

```

```
    {  
        Serial.print("Recieve Complete (No match)");  
        break;  
    }  
}  
timerap -= millis();  
timerap = abs(timerap);  
Serial.print("time use for receive : ");  
Serial.println(timerap);  
}  
}  
}
```

