



การออกแบบหุ่นยนต์เคลื่อนที่ตรวจสอบภายในท่อแนวตั้ง  
Design of a Mobile Robot for Inspection Inside Vertical Pipe

ปริญญานิพนธ์

ของ

อดิสร รินทะลิก 57010310246

ธนพนธ์ คุ่มทองคำ 57010310335

เสนอต่อมหาวิทยาลัยมหาสารคาม เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร  
วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเมคาทรอนิกส์  
ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2560  
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม



การออกแบบหุ่นยนต์เคลื่อนที่ตรวจสอบภายในท่อแนวตั้ง  
Design of a Mobile Robot for Inspection Inside Vertical Pipe

ปริญญานิพนธ์

ของ

อดิสร รินทะลิก 57010310246

ธนพนธ์ คุ่มทองคำ 57010310335

เสนอต่อมหาวิทยาลัยมหาสารคาม เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเมคาทรอนิกส์

ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2560

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม





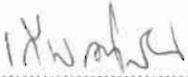
คณะกรรมการสอบปริญญาโท ได้พิจารณาปริญญาโทฉบับนี้แล้วเห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเมคคาทรอนิกส์ของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

คณะกรรมการสอบปริญญาโท

  
.....

ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ เกสร วงศ์เกษม)

  
.....

กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เกียรติสิน กาญจนวนิชกุล)

  
.....

กรรมการ

(อาจารย์ปริญญา ชูปา)

  
.....

อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาโท

(อาจารย์คณศ กงออก)

มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ได้อนุมัติให้รับปริญญาโทฉบับนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเมคคาทรอนิกส์ของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

  
.....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธีรพัฒน์ ชมภูคำ)



<b>ชื่อเรื่อง</b>	การออกแบบหุ่นยนต์เคลื่อนที่ตรวจสอบภายในท่อแนวตั้ง
<b>ผู้วิจัย</b>	นายอดิศร รินทะลิก นายธนพนธ์ คุ้มทองคำ
<b>อาจารย์ที่ปรึกษา</b>	อาจารย์คณิศ ฤงออด
<b>ปริญญา</b>	วศ.บ. สาขาวิชา วิศวกรรมเมคาทรอนิกส์
<b>มหาวิทยาลัย</b>	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ปีที่พิมพ์ 2561

### บทคัดย่อ

ในโรงงานอุตสาหกรรม ระบบท่อถือเป็นส่วนสำคัญ เนื่องจากเป็นเส้นทางในการลำเลียงขนส่งของไหลไปสู่ส่วนต่างๆ ภายในโรงงาน การสำรวจและบำรุงรักษาระบบท่อ จึงเป็นสิ่งสำคัญ เพื่อให้ระบบขนส่งของไหลเป็นไปได้อย่างมีประสิทธิภาพ ในปัจจุบันการสำรวจท่อโดยมนุษย์ซึ่งมีข้อจำกัดหลายประการ เช่น ขนาดที่เล็กเกินไปของท่อ, การขาดอากาศหายใจ, ความเสี่ยงทางเคมี เป็นต้น ดังนั้นโครงการนี้จึงได้ออกแบบและสร้างหุ่นยนต์ที่สามารถเข้าไปสำรวจท่อแทนมนุษย์ หุ่นยนต์ตัวนี้ใช้ล้อ Omni จำนวน 4 ล้อเพื่อขับเคลื่อนหุ่นยนต์ ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นตัวควบคุมหลัก กล้องติดตั้งอยู่บนหุ่นยนต์เพื่อตรวจสอบภายในท่อและส่งภาพเพื่อแสดงผลบนจอภาพ หุ่นยนต์มีน้ำหนัก 872 กรัมและขนาดของหุ่นยนต์มีความกว้าง 122 เซนติเมตร ยาว 195 เซนติเมตร จากการทดลองพบว่าหุ่นยนต์สามารถเคลื่อนที่ได้ด้วยความเร็ว 0.1-1.5 เซนติเมตร / วินาที และสามารถรับน้ำหนักได้สูงสุด 800 กรัมและหุ่นยนต์ยังเคลื่อนที่ไปตามท่อตรงแนวตั้งระยะทางประมาณ 6 เมตร การทดลองทั้งหมดทำโดยใช้ท่อที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 16 เซนติเมตร



**TITLE** Design of a Mobile Robot for Inspection Inside Vertical Pipe  
**AUTHUR** Mr. Adisorn Rinthaluk  
Mr. Tanapon Kumtongkam  
**ADVISOR** Mr. Kaned Thungod  
**DEGREE** **B.Eng.** (Mechatronics Engineering)  
**UNIVERSITY** Mahasarakham University **YEAR** 2018

### ABSTRACT

In industrial plants, piping system is an important part, because that is the path to transport fluid to many parts in the factory. Survey and maintenance of piping systems is important to let the fluid transport system is efficient. In present pipe is surveyed by human which have many limitations, for example, size with too small size of pipe, lack of air breath , chemical risk, etc. Hence, this project is aims to design and build a robot which can survey pipe instead of humans. This robot is used Omni wheels amount 4 wheels to drive. Microcontroller is used as the primary controller. Camera is mounted on the robot to examine inside the pipe and send the images for display on monitor. The robots weight 872 grams and size of robot is 122 cm in width, 195 cm in length. From the experiment it was found that robots able to move with the speed of 0.1 – 1.5 cm/s and can receive a maximum loaded of 800 grams. And robot can also move in the vertical direction in vertical pipe distance about 6 meters. All experiment is done by use pipe with diameter 16 centimeters.



## กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี เนื่องจากบุคคลหลายท่านได้กรุณาช่วยเหลือ ให้ข้อเสนอแนะ คำปรึกษา แนะนำ ความคิดเห็น และกำลังใจแก่ผู้จัดทำ

ขอกราบขอพระคุณ ท่านอาจารย์คณศ ถูงออก อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้ ที่ได้สละเวลาให้ความช่วยเหลือ ในแนวคิดความรู้ทางวิชาการ แนะนำแนวทางในการจัดทำปริญญาานิพนธ์ ตรวจสอบปริญญาานิพนธ์ ทุกขั้นตอน ตลอดจนให้กำลังใจและสนับสนุนทุนทรัพย์แก่ผู้จัดทำ ซึ่งเป็นผลให้ผู้จัดทำมีความสามารถในการทำปริญญาานิพนธ์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ขอขอบพระคุณ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม พี่น้องและเพื่อนๆ ตลอดจนบุคคลต่างๆ ที่ให้ความช่วยเหลืออีกมากมาย ที่ผู้วิจัยไม่สามารถกล่าวนามได้หมดในที่นี้ ขอขอบพระคุณบิดา มารดา และครอบครัวของผู้จัดทำ ที่ได้ช่วยส่งเสริมสนับสนุน คอยเอาใจใส่ดูแล ให้กำลังใจและทุนทรัพย์ในการจัดทำปริญญาานิพนธ์ ด้วยดี ตลอดมา ผู้จัดทำรู้สึกซาบซึ้งในความกรุณา และปรารถนาดีของทุกท่านเป็นอย่างยิ่ง จึงขอขอบพระคุณไว้ ณ โอกาสนี้

อนึ่ง คณะผู้วิจัยหวังว่า งานวิจัยนี้จะมีประโยชน์อยู่ไม่น้อย จึงขอมอบส่วนดีทั้งหมดนี้ให้แก่บุคคลทุกท่านที่กล่าวมา สำหรับข้อบกพร่องต่างๆ ที่อาจจะเกิดขึ้นนั้น คณะผู้วิจัยขอน้อมรับผิด และยินดีที่จะรับฟังคำแนะนำจากทุกท่านที่ได้เข้ามาศึกษา

อดิศร รินทะลิก

ธนพนธ์ คุ่มทองคำ



## สารบัญ

บทที่	หน้า
1 บทนำ .....	1
1.1 หลักการและเหตุผล .....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา .....	1
1.3 ขอบเขตการศึกษา .....	1
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ .....	2
1.5 แผนการดำเนินการศึกษา .....	2
1.6 สถานที่ดำเนินการศึกษา .....	3
1.7 งบประมาณ .....	3
2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง .....	4
2.1 ความหมายของหุ่นยนต์ .....	4
2.2 หุ่นยนต์สำรวจภายในท่อแต่ละแบบ .....	5
2.3 ชนิดของแม่เหล็ก .....	7
2.4 คุณสมบัติเบื้องต้นของบอร์ด Arduino .....	11
2.5 มอเตอร์ไฟฟ้า .....	15
2.6 เครื่องพิมพ์ 3D Printer .....	17
2.7 ท่อโลหะ .....	20
2.8 ล้อ Omni Wheel .....	23
2.9 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง .....	23
3 วิธีการดำเนินการ .....	24
3.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน .....	24
3.2 แนวคิดการออกแบบหุ่นยนต์สำรวจภายในท่อ .....	25
3.3 ขั้นตอนการทดสอบ .....	30



## สารบัญ(ต่อ)

บทที่	หน้า
4 ผลการทดสอบ .....	31
4.1 ผลการออกแบบและสร้างหุ่นยนต์ .....	31
4.2 การทดสอบแรงดึงของแม่เหล็กนีโอไดเมียม .....	32
4.3 การทดสอบความเร็วการเคลื่อนที่ภายในท่อ .....	33
4.4 การทดสอบถ่วงน้ำหนักหุ่นยนต์ .....	34
4.5 การทดสอบการทำงานของกล้อง .....	35
5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ .....	37
5.1 สรุปผลการทดสอบ .....	37
5.2 ข้อเสนอแนะ .....	37
5.3 ปัญหาที่พบ .....	37
5.4 วิธีแก้ปัญหา .....	37
บรรณานุกรม .....	38
ภาคผนวก .....	40
ภาคผนวก ภาพขั้นตอนการดำเนินงาน .....	41
ประวัติย่อผู้วิจัย .....	45



## บัญชีตาราง

ตาราง	หน้า
1 แผนการดำเนินงาน .....	2
2 งบประมาณ .....	3
3 ทดสอบแรงดึงของแม่เหล็กนีโอไดเมียม .....	32
4 ปรับความเร็วการเคลื่อนที่ภายในท่อของหุ่นยนต์ .....	33
5 ถ่วงน้ำหนักหุ่นยนต์ขณะหุ่นกำลังเคลื่อนที่ .....	34
6 ทดสอบกล้องในสภาวะหุ่นยนต์เกาะนิ่งๆภายในท่อ .....	36
7 ทดสอบกล้องในสภาวะหุ่นยนต์เคลื่อนที่ภายในท่อ .....	36



## บัญชีภาพประกอบ

ภาพประกอบ	หน้า
1 หุ่นยนต์สำรวจภายในท่อแบบขับเคลื่อน 3 ล้อ .....	5
2 หุ่นยนต์สำรวจภายในท่อแบบกระดูกงู .....	5
3 หุ่นยนต์สำรวจภายในท่อแบบล้อเคลื่อนที่ในแนวระนาบ .....	6
4 หุ่นยนต์สำรวจภายในท่อแบบสามแกนสายพาน .....	6
5 หุ่นยนต์สำรวจภายในท่อแบบล้อแม่เหล็ก .....	7
6 แม่เหล็กแบบ Magnetic Sheet & Strip .....	7
7 แม่เหล็กแบบ Samarium Magnet (SmCo Magnet) .....	8
8 แม่เหล็กแบบ Ferrite Magnet (Ceramic Magnet) .....	8
9 แม่เหล็กแบบ AlNiCo Magnet .....	9
10 แม่เหล็กแบบ Neodymium Magnet (NdFeB Magnet) .....	9
11 บอร์ด Arduino ที่ต่อใช้งานกับอุปกรณ์เสริม .....	11
12 รูปแบบการเขียนโปรแกรมบน Arduino .....	12
13 เลือกหุ่นบอร์ด Arduino ที่ต้องการ upload .....	12
14 เลือกหมายเลข Comport ของบอร์ด .....	13
15 ภาพแสดงการ Upload และ Run Program .....	13
16 Layout & Pin out Arduino Board .....	14
17 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง 12 โวลต์ .....	15
18 Motor Driver .....	16
19 3D Printer .....	17
20 Filament ชนิด PLA .....	17
21 Filament ชนิด ABS .....	18
22 ท่อเหล็กเหนียวเคลือบสองแบบ .....	20
23 ท่อเหล็กหล่อ .....	21
24 ท่อเหล็กหล่อเหนียว .....	22
25 ล้อ Omni Wheel .....	23



## บัญชีภาพประกอบ(ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
26 ส่วนประกอบต่างๆของหุ่นยนต์ .....	25
27 ขนาดของหุ่นยนต์สำรวจภายในท่อด้านข้าง .....	25
28 แรงเสียดทานที่เกิดขึ้นที่ล้อ .....	26
29 การควบคุมมอเตอร์แต่ละส่วนของหุ่นยนต์สำรวจท่อ .....	28
30 จอยสติ๊ก .....	29
31 หุ่นยนต์สำรวจท่อภายในแนวตั้งที่ประกอบเสร็จ .....	31
32 การทดสอบแรงดึงของแม่เหล็กนีโอไดเมียม .....	32
33 การปรับความเร็วการเคลื่อนที่ภายในท่อของหุ่นยนต์ .....	33
34 การถ่วงน้ำหนักหุ่นยนต์ขณะหุ่นกำลังเคลื่อนที่ .....	34
35 หุ่นยนต์เคลื่อนที่ภายในท่อระยะ 100 เซนติเมตร .....	35
36 หุ่นยนต์เคลื่อนที่ภายในท่อระยะ 200 เซนติเมตร .....	35



## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1. หลักการและเหตุผล

ในโรงงานอุตสาหกรรม ระบบท่อถือเป็นส่วนสำคัญ เนื่องจากเป็นเส้นทางในการลำเลียงขนส่งของไหลไปสู่ส่วนต่างๆ ภายในโรงงานอุตสาหกรรม การสำรวจและบำรุงรักษาระบบท่อจึงเป็นสิ่งสำคัญเพื่อป้องกันความเสียหาย ช่วยลดระยะเวลาในการซ่อมบำรุงระบบท่อ เพื่อให้ระบบขนส่งของไหลเป็นไปได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ในปัจจุบันใช้วิธีการสำรวจท่อด้วยมนุษย์และการใช้กล้องสอดมีข้อจำกัดหลายประการ เช่น ขนาดที่เล็กเกินไปของท่อ, ในพื้นที่อับอากาศ, ความเสี่ยงทางเคมี เป็นต้น และการสอดกล้องเข้าไปสำรวจ มีข้อจำกัด เช่น กล้องไม่สามารถหมุนทิศทางได้อย่างอิสระ พื้นที่บริเวณแคบ ทำให้เวลาซ่อมบำรุงรักษาระบบท่อ มีความยุ่งยากในการตรวจสอบท่อที่มีสิ่งอุดตันภายในท่อหรือชำรุด โดยการซ่อมบำรุงรักษาระบบท่อต้องทำการเปลี่ยนท่อทั้งหมด ซึ่งทำให้สิ้นเปลืองท่อและแก้ปัญหาไม่ตรงจุด

ดังนั้นโครงการนี้จึงได้ออกแบบและสร้างหุ่นยนต์ที่สามารถเข้าไปสำรวจท่อที่เป็นแนวระดับและแนวตั้ง เพื่อสำรวจหาสิ่งผิดปกติภายในท่อ โดยการใช้กล้องในการสำรวจและแสดงผลบนจอภาพ ซึ่งจะทำให้การสำรวจท่อง่ายขึ้นและการซ่อมบำรุงรักษาสามารถทำได้ตรงจุดและปลอดภัยมากยิ่งขึ้น และช่วยลดความเสี่ยงในการใช้มนุษย์สำรวจภายในท่อ

#### 1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

เพื่อศึกษาพัฒนาและออกแบบหุ่นยนต์เคลื่อนที่ตรวจสอบภายในท่อแนวตั้ง หน้าตัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 160 มิลลิเมตร

#### 1.3 ขอบเขตการศึกษา

พัฒนาหุ่นยนต์และออกแบบหุ่นยนต์เคลื่อนที่ตรวจสอบภายในท่อแนวตั้ง หน้าตัดวงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 160 มิลลิเมตร ในแนวตั้งความสูง 6 เมตร



#### 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้องค์ความรู้สำหรับนำไปประยุกต์ใช้กับหุ่นยนต์ตรวจสอบสภาพพื้นผิวภายในท่อโลหะแบบต่างๆ
2. ได้หุ่นยนต์ที่สามารถเคลื่อนที่ในท่อโลหะส่วนผสมเหล็กที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 160 มิลลิเมตร ในแนวตั้ง

#### 1.5 แผนการดำเนินการศึกษา

ตาราง 1 แผนการดำเนินการศึกษา

ขั้นตอนการดำเนินงาน	ระยะเวลา									
	ภาคการศึกษาที่ 1/2560					ภาคการศึกษาที่ 2/2560				
	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.
1.5.1 ศึกษาข้อมูลที่เกี่ยวข้อง		←	→							
1.5.2 ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับอุปกรณ์ที่ใช้งาน		←	→							
1.5.3 ออกแบบและสร้าง In pipe Robot				←	→					
1.5.4 ทดสอบการทำงานและศึกษาปัญหาที่เกิดขึ้น						←	→			
1.5.5 วิเคราะห์ปรับปรุงและแก้ไข							←	→		
1.5.6 สรุปผลและจัดทำรูปเล่มปริิญาานิพนธ์									←	→



## 1.6 สถานที่ดำเนินการศึกษา

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ตำบลขามเรียง อำเภอกันทรวิชัย  
จังหวัดมหาสารคาม

## 1.7 งบประมาณ

ตาราง 2 งบประมาณ

ลำดับ	รายการอุปกรณ์	ราคาต่อหน่วย(บาท)	จำนวน	รวม(บาท)
1.	Arduino mega 2560	725	1	725
2.	มอเตอร์ DC Worm Gear	550	2	1,100
3.	Motor Driver	500	2	1000
4.	สวิตช์ ปิด-เปิด	15	6	90
5.	Switching Power supply	450	1	450
6.	กล่อง	2,190	1	2,190
7.	แม่เหล็กแรงสูง Neodymium	200	6	1,200
8.	Filaments PLA	700	3	2,100
9.	สกรูชนิดขนาดต่างๆ	300	1	300
10.	ท่อเหล็ก	1,500	1	1,500
11.	รีโมทควบคุม	500	1	500
			รวม	11,055



## บทที่ 2

### ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 ความหมายของหุ่นยนต์

หุ่นยนต์ หรือ โรบอท (robot) คือ เครื่องจักรกลชนิดหนึ่งที่มีลักษณะโครงสร้างและรูปร่างแตกต่างกัน ซึ่งหุ่นยนต์ในแต่ละประเภทจะมีหน้าที่การทำงานในด้านต่างๆ ตามการควบคุมโดยตรงของมนุษย์การควบคุมระบบต่างๆ ในการสั่งงานระหว่างหุ่นยนต์และมนุษย์สามารถทำได้โดยทางอ้อมและอัตโนมัติ ซึ่งโดยทั่วไปหุ่นยนต์ถูกสร้างขึ้นเพื่อสำหรับงานที่มีความยากลำบาก เช่น งานสำรวจในพื้นที่บริเวณแคบหรืองานสำรวจท่อ ซึ่งปัจจุบันเทคโนโลยีของหุ่นยนต์เจริญก้าวหน้าอย่างรวดเร็วเริ่มเข้ามามีบทบาทกับชีวิตของมนุษย์ในด้านต่างๆ ได้มีการนำหุ่นยนต์มาใช้งานมากขึ้น เช่น หุ่นยนต์ที่ใช้ในทางการแพทย์ หุ่นยนต์สำหรับงานสำรวจ หรือแม้แต่หุ่นยนต์ที่ถูกสร้างขึ้นเพื่อเป็นเครื่องเล่นของมนุษย์จนกระทั่งในปัจจุบันนี้ได้มีการพัฒนาให้หุ่นยนต์นั้นมีลักษณะที่คล้ายมนุษย์เพื่อให้อาศัยอยู่ร่วมกันกับมนุษย์ที่ใช้ได้ในชีวิตประจำวัน

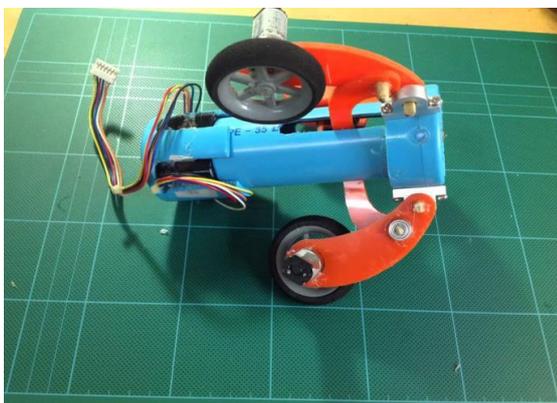
หุ่นยนต์ถูกแบ่งออกเป็น 2 ประเภทตามลักษณะการใช้งาน คือ

1. หุ่นยนต์ชนิดที่ติดตั้งอยู่กับที่ (fixed robot) เป็นหุ่นยนต์ที่ไม่สามารถเคลื่อนที่ไปไหนได้ด้วยตัวเอง จะมีลักษณะเป็นแขนกลสามารถขยับและเคลื่อนไหวได้เฉพาะแต่ละข้อต่อภายในตัวเองเท่านั้น ซึ่งมักนำไปใช้ในโรงงานอุตสาหกรรม เช่น โรงงานประกอบรถยนต์
2. หุ่นยนต์ชนิดที่เคลื่อนที่ได้ (mobile robot) หุ่นยนต์ประเภทนี้จะแตกต่างจากหุ่นยนต์ที่ติดตั้งอยู่กับที่ เพราะสามารถเคลื่อนที่ไปไหนมาไหนได้ด้วยตัวเองโดยการใช้ล้อหรือการใช้ขา



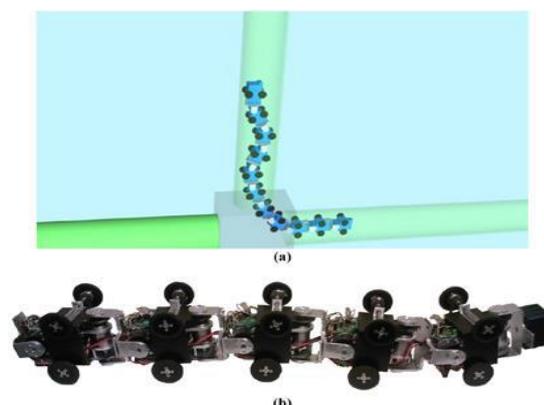
## 2.2 หุ่นยนต์สำรวจภายในท่อแต่ละแบบ

แบบที่ 1 หุ่นยนต์สำรวจภายในท่อแบบขับเคลื่อน 3 ล้อ กลไกการทำงานคล้ายรถ มีแกนตรงกลางเคลื่อนเข้าเคลื่อนออกเพื่อกางแขนล้อ ข้อดี สามารถปรับได้ตามขนาดท่อ ข้อเสีย การยึดเกาะของล้อน้อยเคลื่อนที่ในแนวตั้งอาจล่องลงมา ดังภาพประกอบ 1



ภาพประกอบ 1 หุ่นยนต์สำรวจภายในท่อแบบขับเคลื่อน 3 ล้อ  
ที่มา : (<https://www.ait.ac.th>)

แบบที่ 2 หุ่นยนต์สำรวจภายในท่อแบบกระดุกงูกลไกการทำงาน บริเวณข้อต่อจะเคลื่อนที่ซ้ายขวาเพื่อให้ตัวล้อชนในท่อเพื่อให้หุ่นเคลื่อนที่ไปข้างหน้า ข้อดี ข้อต่อเคลื่อนที่ซ้ายขวาได้ ข้อเสีย เนื่องจากมีข้อเยอะควบคุมยาก ดังภาพประกอบ 2



ภาพประกอบ 2 หุ่นยนต์สำรวจภายในท่อแบบกระดุกงู  
ที่มา : (<https://www.ait.ac.th>)

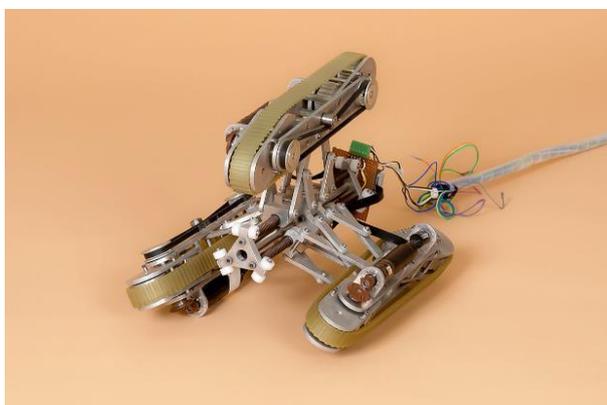


แบบที่ 3 หุ่นยนต์สำรวจภายในท่อแบบล้อ การทำงานจะเคลื่อนที่ด้วยล้อในแนวระนาบ และกล้องสามารถหมุนได้ตามการควบคุม ข้อดี สามารถเคลื่อนที่ในแนวระดับ ข้อเสีย ไม่สามารถเคลื่อนในแนวตั้งได้ ดังภาพประกอบ 3



ภาพประกอบ 3 หุ่นยนต์สำรวจภายในท่อแบบล้อเคลื่อนที่ในแนวระนาบ  
ที่มา : (<http://www.innopipe.com.hk>)

แบบที่ 4 หุ่นยนต์สำรวจภายในท่อแบบสามแกนสายพานกลไกทำงาน คือ แกนกลางของหุ่นยนต์จะยึดเข้ายึดออกคล้ายลูกสูบทำให้ตัวหุ่นยนต์ขยายใหญ่ขึ้น ข้อดี มีพื้นที่การยึดเกาะมากขึ้น ข้อเสีย ไม่สามารถเลี้ยวเวลาเจอท่อโค้ง ดังภาพประกอบ 4



ภาพประกอบ 4 หุ่นยนต์สำรวจภายในท่อแบบสามแกนสายพาน  
ที่มา : (<https://www.Mechanical Project trailer.com>)



แบบที่ 5 หุ่นยนต์สำรวจภายในท่อแบบล้อแม่เหล็ก การทำงาน คือ สามารถเคลื่อนในแนวระนาบและแนวตั้งได้ โดยที่ล้อจะมีแม่เหล็กติดอยู่เม็ดเล็กๆ ที่สามารถยึดเกาะกับผนังท่อโลหะได้ เมื่อเจอทางแยกแนวตั้งไม่สามารถเคลื่อนที่ไปด้านบนได้ ดังภาพประกอบ 5



ภาพประกอบ 5 หุ่นยนต์สำรวจภายในท่อแบบล้อแม่เหล็ก  
ที่มา : (<https://www.robotik.com>)

## 2.3 ชนิดของแม่เหล็ก

### 2.3.1. Magnetic Sheet & Strip

แม่เหล็กชนิดชีท & สติป แม่เหล็กขึง แม่เหล็กชนิดนี้มีความอ่อนตัว ใช้กรรไกรหรือ คัตเตอร์ ตัดเป็นชิ้นๆได้ ส่วนมากใช้ประกอบกับอุปกรณ์สื่อการสอน เครื่องเขียน ของเล่นติดตู้เย็น ตกแต่งภายใน ฯลฯ มีจำหน่ายทั้ง แม่เหล็กเส้น แม่เหล็กแผ่น มีหน้ากว้างด้านหนึ่ง หรือรูปแบบต่างๆ อีกมากมายแม่เหล็กแผ่นชนิดนี้ยังมีหลายความแรงให้เลือก และสามารถทำขั้วแม่เหล็กได้หลายแบบขึ้นอยู่กับการใช้งานและความต้องการของลูกค้า ดังภาพประกอบ 6



ภาพประกอบ 6 แม่เหล็กแบบ Magnetic Sheet & Strip  
ที่มา : (<https://www.iclmagnet.com>)



### 2.3.2. Samarium Magnet (SmCo Magnet)

ซาแมเรียม แม็กเน็ต (ซาแมเรียมโคบอลต์ แม็กเน็ต) แม่เหล็กประเภทนี้มีส่วนของโคบอลต์และซามาเรียมซึ่งเป็นแร่ธาตุที่หายาก (Rare -earth) แม่เหล็กซามาเรียมโคบอลต์ (Samarium Cobalt Magnet) มีคุณสมบัติเฉพาะของแม่เหล็กเหนือกว่าแม่เหล็กนีโอไดเมียม มีข้อดีคือ เป็นสนิมได้ยากกว่าและทนต่ออุณหภูมิสูงได้ดีกว่าแม่เหล็กนีโอไดเมียม แม่เหล็กซามาเรียมโคบอลต์แข็งแรงแต่เปราะ จึงจำเป็นต้องระมัดระวังในการใช้งาน มีการนำมาใช้งานด้านต่างๆ เช่น เซนเซอร์ อุปกรณ์เครื่องมือแพทย์ ฯลฯ ดังภาพประกอบ 7



ภาพประกอบ 7 แม่เหล็กแบบ Samarium Magnet (SmCo Magnet)

ที่มา : (<https://www.iclmagnet.com>)

### 2.3.3. Ferrite Magnet (Ceramic Magnet)

เฟอร์ไรท์ แม็กเน็ต (เซรามิก แม็กเน็ต) แม่เหล็กถาวรชนิดนี้ทำจากเหล็ก อ็อกไซด์  $\text{SrCO}_3$  or  $\text{BaCO}_3$  และส่วนประกอบอื่นๆ จะมีราคาถูกกว่าแม่เหล็กประเภทอื่นๆ และนับว่าเป็นแม่เหล็กที่ใช้งานอย่างแพร่หลายที่สุด เพราะมีคุณสมบัติของค่า Coactivity สูง ส่วนมากใช้ประกอบในเครื่องใช้ไฟฟ้า และวิศวกรรม อุปกรณ์การสื่อสาร ของเล่น ฯลฯ ดังภาพประกอบ 8



ภาพประกอบ 8 แม่เหล็กแบบ Ferrite Magnet (Ceramic Magnet)

ที่มา : (<https://www.iclmagnet.com>)



#### 2.3.4. AlNiCo Magnet

แอลนิโค แม็กเน็ต เป็นแม่เหล็กที่ทนต่อการกัดกร่อน ทนต่ออุณหภูมิสูงและอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงได้เป็นอย่างดี ส่วนมากใช้ประกอบ ในอุปกรณ์จับยึดชิ้นงาน เครื่องมือวัด ฯลฯ ดังภาพประกอบ 9



ภาพประกอบ 9 แม่เหล็กแบบ AlNiCo Magnet

ที่มา : (<https://www.iclmagnet.com>)

#### 2.3.5. Neodymium Magnet (NdFeB Magnet)

นีโอไดเมียม แม็กเน็ต แม่เหล็กชนิดนี้มีคุณสมบัติเฉพาะของแม่เหล็กสูงสุดในกลุ่มแม่เหล็กที่มีอยู่ในปัจจุบัน แม่เหล็กนีโอไดเมียมเป็นแม่เหล็กที่ยกขึ้นมาเป็นตัวอย่างจากแม่เหล็กที่มีส่วนประกอบของแร่ธาตุที่หายาก (Rare earth) ต่างๆ ซึ่งมีแรงดึงดูดสูงกว่าแม่เหล็กอื่นๆ แม้ว่าจะทำให้มีขนาดเล็กแล้วก็ตามแต่ก็ยังมีแรงดูดที่น่าพอใจ ดังนั้นจึงสามารถตอบสนองความต้องการได้เป็นอย่างดีในด้านการลดขนาด (Down sizing) แม่เหล็กนีโอไดเมียมมีความแข็งแรงทนทานด้านกลไกที่เยี่ยมยอด แต่ไม่เหมาะที่จะนำมาใช้ในอุณหภูมิสูง มีการแปรรูปเพลาตตั้งเพื่อป้องกันสนิมและนำมาใช้กับมอเตอร์หรือเซนเซอร์ขนาดเล็ก เครื่องจักรที่มีความละเอียดสูง ฯลฯ ดังภาพประกอบ 10



ภาพประกอบ 10 แม่เหล็กแบบ Neodymium Magnet (NdFeB Magnet)

ที่มา : (<https://www.iclmagnet.com>)



แม่เหล็กแบบ Neodymium Magnet (NdFeB Magnet) เป็นแม่เหล็กที่มีแรงดึงดูดสูงกว่าแม่เหล็กอื่นๆ ในปัจจุบัน แม่เหล็กนีโอไดเมียมมีความแข็งแรงทนทานด้านกลไกที่เยี่ยมยอด แต่ไม่เหมาะที่จะนำไปใช้ในที่อุณหภูมิสูง ป้องกันสนิม และนำมาใช้กับมอเตอร์หรือเซนเซอร์ขนาดเล็ก ซึ่งแม่เหล็กนีโอไดเมียมมีขนาดที่หลากหลายสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานในด้านต่างๆ

### 2.3.6 แรงแม่เหล็ก (Magnetic Force)

แรงแม่เหล็ก (Magnetic force) ซึ่งเป็นแรงดึงดูดระหว่างแท่งขั้วแม่เหล็กทั้งสอง ต่างกันและหันเข้าหากันแทนด้วยตัวแปร  $F$  ที่ปริมาณประจุไฟฟ้าเท่ากับ  $q$  ซึ่งแรงแม่เหล็กนี้สามารถแสดงได้ด้วยความสัมพันธ์กับความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็ก (Magnetic flux density) อัตราเร็วประจุ  $q$  แทนด้วย  $V$  ดังสมการ (2.3.6)

$$\text{แรงแม่เหล็ก} \quad F = qvB \sin \theta$$

(2.3.6)

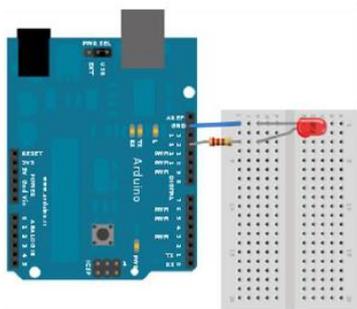
ทิศทาง  $F$  ตั้งฉากกับ  $v$  และ  $F$  ตั้งฉากกับ  $B$

- เมื่อ  $F$  = แรงแม่เหล็ก (N)  
 $q$  = ปริมาณประจุไฟฟ้า (C)  
 $V$  = อัตราเร็วของประจุ  $q$  (m/s)  
 $\theta$  = มุมระหว่าง  $V$  กับ  $B$   
 $B$  = สนามแม่เหล็ก (T)

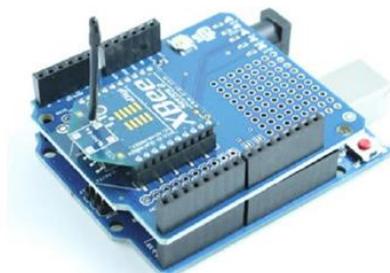


## 2.4 คุณสมบัติเบื้องต้นของบอร์ด Arduino

Arduino อ่านว่า (อา-ดู-อี-โน) เป็นบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล AVR ที่มีการพัฒนาแบบ Open Source คือ มีการเปิดเผยข้อมูลทั้งด้าน Hardware และ Software ตัว บอร์ด Arduino ถูกออกแบบมาให้ใช้งานได้ง่าย ดังนั้นจึงเหมาะสำหรับผู้เริ่มต้นศึกษา ทั้งนี้ผู้ใช้งานยังสามารถดัดแปลงเพิ่มเติมพัฒนาต่อยอดทั้งตัวบอร์ด หรือโปรแกรมต่อได้อีกด้วย ความง่ายของบอร์ด Arduino ในการต่ออุปกรณ์เสริมต่างๆ คือ ผู้ใช้งานสามารถต่อวงจรอิเล็กทรอนิกส์จากภายนอกแล้วเชื่อมต่อเข้ามาที่ขา I/O ของบอร์ด (ดูตัวอย่างรูปที่ 1) หรือเพื่อความสะดวกสามารถเลือกต่อกับบอร์ดเสริม (Arduino Shield) ประเภทต่างๆ (ดูตัวอย่างรูปที่ 2) เช่น Arduino X Bee Shield, Arduino Music Shield, Arduino Relay Shield, Arduino Wireless Shield, Arduino GPRS Shield เป็นต้น มาเปรียบกับบอร์ดบนบอร์ด Arduino แล้วเขียนโปรแกรมพัฒนาต่อได้เลย ดังภาพประกอบ 11



รูปที่ 1 บอร์ด Arduino ต่อกับ LED



รูปที่ 2 บอร์ด Arduino ต่อกับบอร์ด XBee Shield

ภาพประกอบ 11 บอร์ด Arduino ที่ต่อใช้งานกับอุปกรณ์เสริม

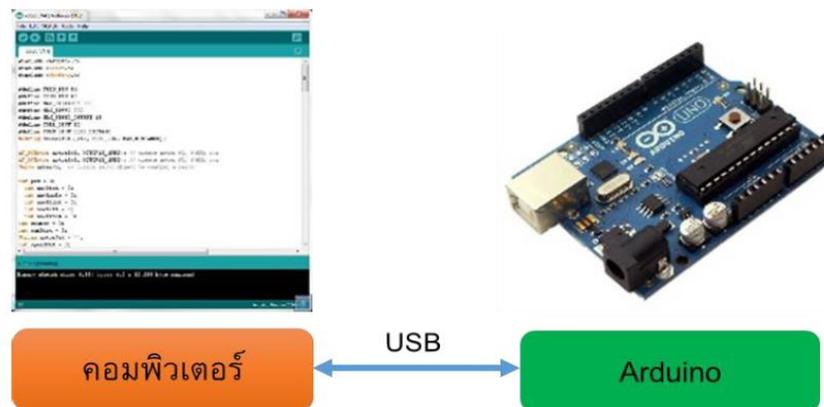
ที่มา : : (<https://www.thaieasyelec.com>)

จุดเด่นที่ทำให้บอร์ด Arduino เป็นที่นิยม

1. ง่ายต่อการพัฒนา มีรูปแบบคำสั่งพื้นฐาน ไม่ซับซ้อนเหมาะสำหรับผู้เริ่มต้น
2. มี Arduino Community กลุ่มคนที่ร่วมกันพัฒนาที่แข็งแรง
3. Open Hardware ทำให้ผู้ใช้สามารถนำบอร์ดไปต่อยอดใช้งานได้หลายด้าน
4. ราคาไม่แพง
5. Cross Platform สามารถพัฒนาโปรแกรมบน OS ใดก็ได้



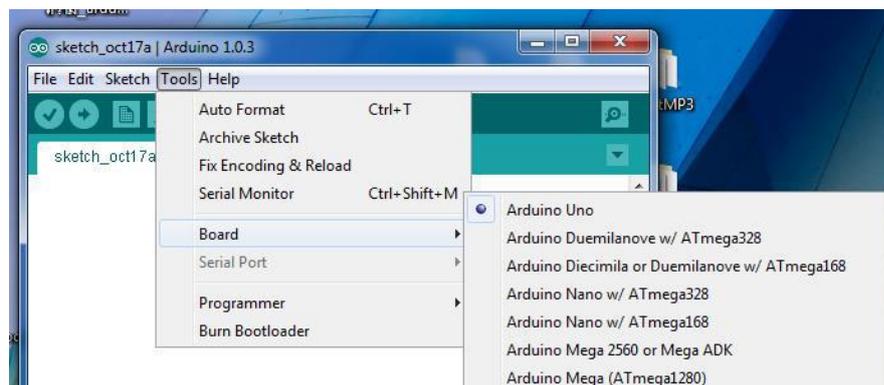
## การเขียนโปรแกรมบน Arduino



ภาพประกอบ 12 รูปแบบการเขียนโปรแกรมบน Arduino

ที่มา : (<https://www.thaieasyelec.com>)

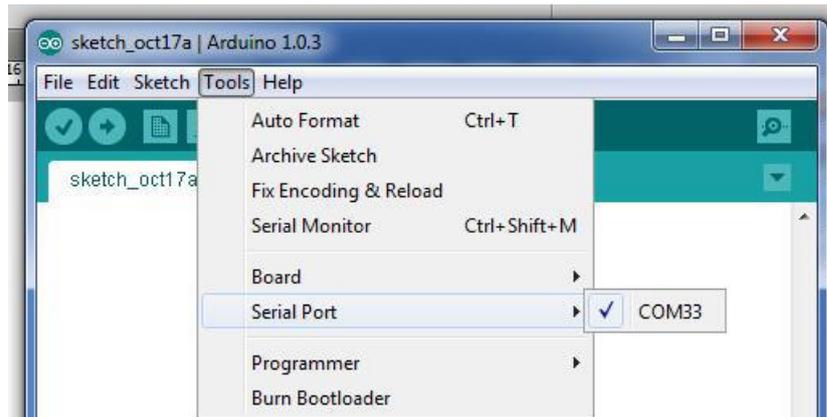
1. เขียนโปรแกรมบนคอมพิวเตอร์ ผ่านทางโปรแกรม Arduino IDE ซึ่งสามารถดาวน์โหลดได้จาก [Arduino.cc/en/main/software](https://www.arduino.cc/en/main/software)
2. หลังจากที่เขียนโค้ดโปรแกรมเรียบร้อยแล้ว ให้ผู้ใช้งานเลือกรุ่นบอร์ด Arduino ที่ใช้และหมายเลข Com port



ภาพประกอบ 13 เลือกรุ่นบอร์ด Arduino ที่ต้องการ upload

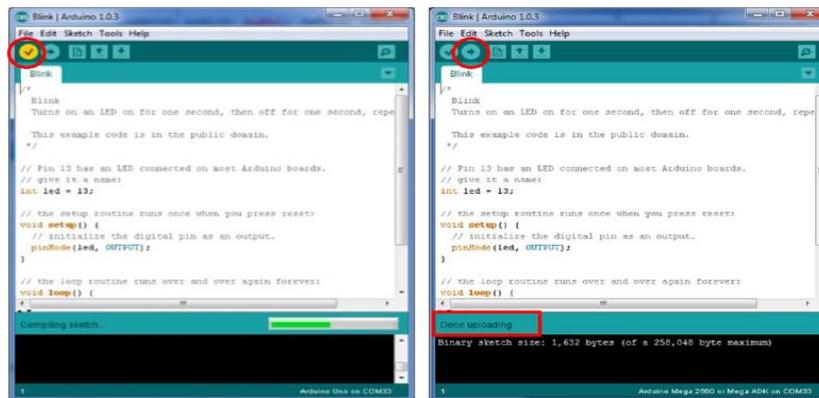
ที่มา : (<https://www.thaieasyelec.com>)





ภาพประกอบ 14 เลือกลำดับเลข Comport ของบอร์ด  
ที่มา : (<https://www.thaieasyelec.com>)

3. กดปุ่ม Verify เพื่อตรวจสอบความถูกต้องและ Compile โค้ดโปรแกรม จากนั้นกดปุ่ม Upload โค้ด โปรแกรมไปยังบอร์ด Arduino ผ่านทางสาย USB เมื่ออัปโหลดเรียบร้อยแล้ว จะแสดงข้อความแถบข้างล่าง “Done uploading” และบอร์ดจะเริ่มทำงานตามที่เขียนโปรแกรมไว้ได้ทันที



รูปที่ 15 กดปุ่ม Verify เพื่อตรวจสอบความถูกต้อง  
และ Compile โค้ดโปรแกรม

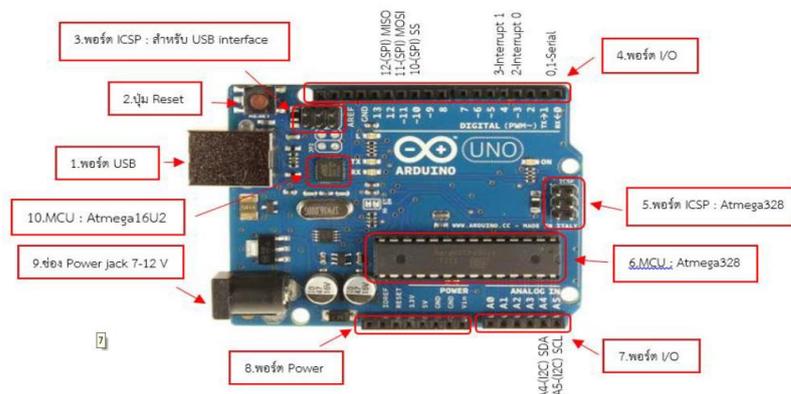
รูปที่ 16 Upload โค้ดโปรแกรม

ภาพประกอบ 15 ภาพแสดงการ Upload และ Run Program

ที่มา : (<https://www.thaieasyelec.com>)



## Layout & Pin out Arduino Board (Model: Arduino UNO R3)



ภาพประกอบ 16 Layout & Pin out Arduino Board

ที่มา : (<https://www.thaieasyelec.com>)

1. USB Port : ใช้สำหรับต่อกับ Computer เพื่ออัปโหลดโปรแกรมเข้า MCU และจ่ายไฟให้กับบอร์ด
2. Reset Button : เป็นปุ่ม Reset ใช้กดเมื่อต้องการให้ MCU เริ่มการทำงานใหม่
3. ICSP Port ของ Atmega16U2 : เป็นพอร์ตที่ใช้โปรแกรม Visual Com port บน Atmega16U2
4. I/O Port : Digital I/O ตั้งแต่ขา D0 ถึง D13 นอกจากนี้ บาง Pin จะทำหน้าที่อื่นๆเพิ่มเติมด้วย เช่น Pin0,1 เป็นขา Tx, Rx Serial, Pin 3,5,6,9,10 และ 11 เป็นขา PWM
5. ICSP Port : Atmega328 เป็นพอร์ตที่ใช้โปรแกรม Boot loader
6. MCU : Atmega328 เป็น MCU ที่ใช้บนบอร์ด Arduino
7. I/O Port : นอกจากจะเป็น Digital I/O แล้ว ยังเปลี่ยนเป็น ช่องรับสัญญาณอนาล็อก ตั้งแต่ขา A0-A5
8. Power Port : ไฟเลี้ยงของบอร์ดเมื่อต้องการจ่ายไฟให้กับวงจรภายนอก ประกอบด้วยขาไฟเลี้ยง +3.3 V, +5V, GND, Vin
9. Power Jack : รับไฟจาก Adapter โดยที่แรงดันอยู่ระหว่าง 7-12 โวลต์
10. MCU ของ Atmega16U2 เป็น MCU ที่ทำหน้าที่เป็น USB to Serial โดย Atmega328 จะติดต่อกับ Computer ผ่าน Atmega16U2



## 2.5 มอเตอร์ไฟฟ้า

อุปกรณ์ไฟฟ้าที่แปลงพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกล การทำงานปกติของมอเตอร์ไฟฟ้าส่วนใหญ่เกิดจากการทำงานร่วมกันระหว่างสนามแม่เหล็กของแม่เหล็กในตัวมอเตอร์ และสนามแม่เหล็กที่เกิดจากกระแสในขดลวดทำให้เกิดแรงดูดและแรงผลักของสนามแม่เหล็กทั้งสอง ในการใช้งานตัวอย่างเช่น ในอุตสาหกรรมการขนส่งใช้มอเตอร์อุตสาหกรรม เป็นต้น นอกจากนั้นแล้ว มอเตอร์ไฟฟ้ายังสามารถทำงานได้ถึงสองแบบ ได้แก่ การสร้างพลังงานกล และการผลิตพลังงานไฟฟ้า(ในขณะเบรก) มอเตอร์ไฟฟ้า ถูกนำไปใช้งานที่หลากหลาย เช่น พัดลมอุตสาหกรรม เครื่องเป่า บีม เครื่องมือเครื่องใช้ในครัวเรือน และดิสก์ไดรฟ์ มอเตอร์ไฟฟ้าสามารถขับเคลื่อนโดยแหล่งจ่ายไฟกระแสตรง (DC) เช่น จากแบตเตอรี่, ยานยนต์หรือวงจรเรียงกระแส หรือจากแหล่งจ่ายไฟกระแสสลับ (AC) เช่น จากบ้าน อินเวอร์เตอร์ หรือ เครื่องปั่นไฟ มอเตอร์ขนาดเล็กอาจพบในนาฬิกาไฟฟ้า มอเตอร์ทั่วไปที่มีขนาดและคุณลักษณะมาตรฐานสูงจะให้พลังงานกลที่สะดวกสำหรับใช้ในอุตสาหกรรม มอเตอร์ไฟฟ้าอาจจำแนกตามประเภทของแหล่งที่มาของพลังงานไฟฟ้าหรือตามโครงสร้างภายในหรือตามการใช้งานหรือตามการเคลื่อนไหวของเอาต์พุต และอื่นๆ อุปกรณ์ เช่น ขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้าและลำโพงที่แปลงกระแสไฟฟ้าให้เป็นการเคลื่อนไหว แต่ไม่ได้สร้างพลังงานกลที่ใช้งานได้ จะถูกเรียกว่า actuator และ transducerตามลำดับ ดังภาพประกอบ 17



ภาพประกอบ 17 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง 12 โวลต์

ที่มา : (<https://www.dfrobot.com>)



### 2.5.1 Motor Driver

เป็นส่วนสำคัญที่จะทำให้มอเตอร์เกิดการหมุน ส่วนใหญ่เหมือนกับการทำงานของ สวิตช์ที่เปิด-ปิด ตามสัญญาณที่ชุดควบคุมส่งออกมา ชุดขับมอเตอร์จะใช้ในการควบคุมตำแหน่ง และความเร็วของมอเตอร์ เช่น การขับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ความเร็วของการหมุนขึ้นอยู่กับขนาด ของแรงดัน และกระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้แก่มอเตอร์ แต่แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่ป้อนให้จะต้องไม่เกิน ค่าที่มอเตอร์สามารถรับได้ด้วย มิฉะนั้นจะทำให้เกิดความร้อนที่ตัวของมอเตอร์ และเกิดความเสียหาย ขึ้นได้ ส่วนทิศทางการหมุนของมอเตอร์ขึ้นอยู่กับขั้วของแหล่งจ่ายที่ป้อนเข้าไปตัวอย่างอุปกรณ์ชุดขับ มอเตอร์ที่ใช้ควบคุมตำแหน่งและความเร็วของมอเตอร์ ดังภาพประกอบ 18



ภาพประกอบ 18 Motor Driver

ที่มา : (<https://www.elechouse.com>)



## 2.6 เครื่องพิมพ์ 3D Printer

3D Printer คือ กระบวนการใดๆ ซึ่งใช้สร้างวัตถุสามมิติในการพิมพ์สามมิติ มีการใช้กระบวนการเพิ่มเติม ซึ่งมีการวางชั้นของวัสดุต่อๆ กันภายใต้การควบคุมของคอมพิวเตอร์ วัสดุเหล่านี้เป็นได้เกือบทุกรูปทรงหรือเรขาคณิต และผลิตจากแบบจำลอง 3 มิติ

หลักการทำงาน 3D Printer นั้นจะใช้ในหลักการเดียวกันคือพิมพ์ 2 มิติแต่ชั้นในแนวระนาบกับพื้นโลก XY ก่อน ส่วนที่พิมพ์ก็คือภาพตัดขวาง-Cross Section ของวัตถุนั้นๆเอง พอพิมพ์เสร็จในสองมิติแล้วเครื่องจะเลื่อนฐานพิมพ์ไปพิมพ์ชั้นถัดไป พิมพ์ไปเรื่อยๆหลายร้อย หลายพันชั้น จนออกมาเป็นรูปร่าง 3 มิติ การเลื่อนขึ้นหรือลง(เลื่อนในแนวแกน Z) ของฐานพิมพ์ ดังภาพประกอบ 19



ภาพประกอบ 19 3D Printer

ที่มา : (<https://www.makerbot.com>)

1) PLA เส้น 3.0 มิลลิเมตร สำหรับเครื่องพิมพ์สามมิติที่รองรับเส้น 3.0 มิลลิเมตร โดยเฉพาะ ได้รับ Feedback โดยลูกค้าเครื่อง 3.0 มิลลิเมตร ของเราจำนวนมาก ผลงานที่พิมพ์เนียนสวย แข็งแรง และที่สำคัญ อัตราการพิมพ์สำเร็จสูง ดังภาพประกอบ 20



**PLA**

ภาพประกอบ 20 Filament ชนิด PLA

ที่มา : (<https://www.print3dd.com>)



2) ABS เป็นพลาสติกที่ใช้ทำเครื่องใช้โดยทั่วไป ทนต่อแดด และความร้อนมากกว่า PLA แต่พิมพ์ยากกว่าต้องเปิดฐานทำความร้อน Flashforge จะมีลักษณะเด่นคือพิมพ์ง่าย เส้นเหนียว สีด้าน ดังภาพประกอบ 21



**ABS**

ภาพประกอบ 21 Filament ชนิด ABS

ที่มา : (<https://www.print3dd.com>)

3) ความแตกต่างของ PLA และ ABS เป็นที่รู้กันดีว่าวัสดุที่ใช้ใน เครื่องพิมพ์ 3 มิติ หรือเครื่องปริ้น 3 มิติ (3D printer) แบบฉีดพลาสติก มีอยู่หลักๆ 2 ชนิด คือ ABS และ PLA สิ่งๆ เหมือนกันทั้งคู่คือ เป็นพลาสติก Thermoplastic หรือ พลาสติกที่หลอมใหม่ได้โดยใช้ความร้อน ที่นิยมใช้กัน ทั้ง 2 ตัวนี้ เพราะทั้งคู่สามารถทำให้เป็นเส้นและสามารถจัดเก็บเป็นม้วนได้ แต่ ABS กับ PLA มีคุณสมบัติแตกต่างกันในหลายๆเรื่อง เช่น จุดหลอมเหลว, ความแข็งและยืดหยุ่น, ลักษณะภายนอกของชิ้นงาน, การย่อยสลาย และกลิ่น เราควรทำความเข้าใจกับความแตกต่าง เพื่อเลือกวัสดุที่เหมาะสมกับชิ้นงานของเราให้มากที่สุด

1. จุดหลอมเหลว
2. ABS มีจุดหลอมเหลวอยู่ที่ 200-250 องศาเซลเซียส และมี Glass Transition Temperature อยู่ที่ 105 องศาเซลเซียส (จำเป็นต้องใช้ Heated bed)
3. PLA มีจุดหลอมเหลวอยู่ที่ 180-220 องศาเซลเซียส และมี Glass Transition Temperature อยู่ที่ 60-65 องศาเซลเซียส



จุดหลอมเหลวเป็นปัจจัยสำคัญที่ควรนำมาพิจารณาในการเลือกใช้ ABS หรือ PLA โดย ABS จะมีจุดหลอมเหลวและ Glass Transition ที่สูงกว่า PLA ทำให้ชิ้นงาน ABS ทนต่อความร้อนได้ดีกว่า PLA เช่นหากทำชิ้นงาน 3 มิติ ที่ใช้ในรถ หรือ งานที่ใช้ภายนอกบ้านก็ควรทำจาก ABS เป็นต้น แต่จุดหลอมเหลวที่สูงก็เป็นจุดเสียของ ABS เช่นกัน เมื่อพิมพ์ชิ้นงาน 3 มิติ จะต้องใช้ แผ่นรองความร้อน หรือ Heated bed รองชิ้นงานไว้ตลอด เพื่อป้องกันการหดตัว จุดเหลวที่ต่างของ PLA ก็มีประโยชน์เช่นกันในการทำแม่พิมพ์ที่ใช้ในการหล่อโลหะทำโดยทำชิ้นงาน PLA มาก่อน จากนั้นเอาดินหรือวัสดุทำแม่พิมพ์มาหล่อไว้ จากนั้นใช้ความร้อนละลายพลาสติก PLA แล้วเทน้ำพลาสติกออกมา

1. ลักษณะภายนอกของชิ้นงาน
2. ABS มีลักษณะขุ่น และ ด้านกว่า ชิ้นงานคมชัดน้อยกว่า
3. PLA มีลักษณะโปร่งแสง และ เงากว่า ขอบชิ้นงานคมกว่า
4. เมื่อให้ความร้อนจนหลอมละลาย PLA จะเหลวกว่าเมื่อออกจาก Extruder หรือ หัวฉีดพลาสติก ทำให้ขอบชิ้นงานคมกว่า ในขณะที่ ABS ซึ่งเหนียวกว่า เวลาออกจาก หัวฉีด ทำให้ขอบดูมนๆไม่คมเท่า PLA

5. ความแข็งและความยืดหยุ่น
6. ABS แข็งไม่เท่า PLA แต่มีความยืดหยุ่นกว่า คล้ายยางสังค์เคราะห์
7. PLA แข็งมาก แต่ไม่มีความยืดหยุ่น คล้ายแก้ว
8. ความแข็งและความยืดหยุ่นนี้มีความสำคัญมากในการ

เลือกใช้ ABS หรือ PLA หากการชิ้นงานที่ต้องการลักษณะยืดหยุ่น เช่น ฝาปิดกล่อง, กลไก, ข้อต่อ, ข้อบิด, โช้ หรือ ร้างแห่ จะใช้ ABS เนื่องจากหากถูกแรงดึง หรือ บิด สามารถยืดออกได้เล็กน้อยแทนที่จะหักเหมือน PLA

1. การย่อยสลาย
2. ABS ทดต่อสภาพอากาศ อุณหภูมิ ได้ดีกว่า เนื่องจากเป็นวัสดุปิโตรเลียม
3. PLA ย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติ ทดอุณหภูมิได้ต่ำ ไม่ทนต่อแสงแดด
4. จากลักษณะทางเคมี ABS นั้นได้มาจากผลผลิตทางปิโตรเลียม ขณะที่ PLA ได้มาจากผลผลิตทางเกษตร PLA จึงย่อยสลายได้ง่ายกว่า และเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมมากกว่า ดังนั้น PLA จึงต้องการการเก็บรักษาที่ดีกว่า

5. กลิ่น
6. ABS เมื่อถูกความร้อนจะมีกลิ่นคล้ายพลาสติกไหม้
7. PLA เมื่อถูกความร้อนจะมีกลิ่นอ่อนๆ



## สรุป

PLA เป็นตัวที่นิยมกับงานทั่วไป เนื่องจากใช้งานง่าย สวยกว่า แข็งกว่า กลิ้งดีกว่า เหมาะกับบุคคลทั่วไป, งานอดิเรก หรือ ใช้สอนในโรงเรียน แต่ก็มีข้อจำกัดในเรื่องของไม่ทนต่ออุณหภูมิสูง และไม่ยืดหยุ่น ขณะที่ ABS อาจจะใช้งานยากกว่า ต้องมี 3D Printer Heated Bed และอาจเกิดการเสีयरูปร่างได้ง่ายกว่าขณะพิมพ์ 3 มิติ แต่ ABS มีคุณสมบัติทนทานต่อสภาพแวดล้อม ใช้งานภายนอกได้มีลักษณะยืดหยุ่นจึงเหมาะกับงานกลไก และวิศวกรรมมากกว่า

## 2.7 ท่อโลหะ

เป็นท่อที่มีความแข็งแรงทนทานเป็นที่นิยมใช้ในงานหลากหลาย ท่อโลหะชนิดหลักๆ มีดังนี้

### 2.7.1 ท่อเหล็กเหนียว

ท่อเหล็กเหนียว (Steel pipe) เป็นที่นิยมใช้ในงานส่งของเหลวที่มีความดัน ท่อเหล็กเหนียวมีความแข็งแรง ทนทานสูง และมีผิวที่ค่อนข้างเรียบจึงให้การไหลที่ราบรื่น แต่ข้อด้อยคือ ไม่ทนทานต่อการกัดกร่อน ซึ่งก็มีการแก้ปัญหาโดยการเคลือบด้วยสารป้องกันการกัดกร่อน เช่น สังกะสี

ท่อเหล็กเหนียวมีทั้งแบบที่ผลิตด้วยการรีด (Extrude) ซึ่งไร้ตะเข็บ (Seamless) และแบบที่ผลิตด้วยการเชื่อม ซึ่งมีตะเข็บ (Seam, welded) และมีทั้งแบบที่ไม่มีการชุบผิวแต่จะมีการอาบน้ำยาสีดำไว้จึงมักเรียกว่าท่อเหล็กดำ (Black steel pipe) ดังภาพประกอบ 22 ก และมีแบบชุบสังกะสี (Galvanized) ดังภาพประกอบ 22 ข



ก ท่อเหล็กดำ



ข ท่อเหล็กชุบสังกะสี

ภาพประกอบ 22 ท่อเหล็กเหนียวเคลือบสองแบบ

ที่มา : (<https://www.pipebook.com>)



ท่อเหล็กที่นิยมใช้ในงานส่งของเหลวและไอน้ำทั่วไป ได้แก่ท่อเหล็กตามมาตรฐาน ASTM A53 ซึ่งแบ่งเป็น

Type F - Furnace-butt-welded, continuous welded Grade A.

Type E - Electric-resistance-welded, Grades A and B

Type S - Seamless, Grades A and B

### 2.7.2 ท่อเหล็กหล่อ

เหล็กหล่อ (Cast iron) เป็นเหล็กที่มีคาร์บอนเป็นส่วนประกอบเกิน 2 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักท่อเหล็กหล่อหรือบางครั้งเรียกว่า เหล็กหล่อสีเทา มีส่วนประกอบของคาร์บอน ซิลิคอน กราไฟต์และสิ่งปลอมปนอื่นๆ มักใช้เป็นท่อน้ำทิ้ง

ท่อเหล็กหล้อมีสามแบบ คือ แบบมาตรฐาน (Standard weight) แบบหนาพิเศษ (Extra heavy) และแบบไม่มีปลอก (Hubless) โดยตามปกติท่อเหล็กหล่อมักมีการเคลือบผิวภายในด้วยซีเมนต์ และเคลือบผิวภายนอกด้วยวิธีการต่างๆ เพื่อป้องกันการกัดกร่อนโดยสิ่งปนเปื้อน

การต่อท่อเหล็กหล่อทำได้สองวิธี คือ การต่อท่อแบบคุมและจุก (Hub and spigot) แล้วอุดรอยต่อด้วยปะเก็นเชือกแล้วเหาะกัวปิดทับ และการต่อท่อแบบไม่มีปลอกโดยใช้ข้อต่อสวมด้านนอก ดังภาพประกอบ 23



ภาพประกอบ 23 ท่อเหล็กหล่อ

ที่มา : (<https://www.pipebook.com>)



ท่อเหล็กหล่อมีมาตรฐานที่เกี่ยวข้องคือ

1. ASTM A 74: Hub and Spigot Cast Iron Soil Pipe and Fittings
2. CISPI 301: Hubless Cast Iron Soil Pipe
3. CISPI 310: Hubless Cast Iron Fittings for Soil Pipe

ท่อเหล็กหล่อถูกใช้งานในระบบน้ำเสีย และระบบน้ำทิ้งต่างๆที่มีการไหลด้วยแรงโน้มถ่วงของโลก ข้อดีของท่อเหล็กหล่อ คือ สามารถรับแรงกดจากภายนอกได้ ต้านทานเพลิงไหม้ให้การไหลที่ดี และทนการกัดกร่อนของสิ่งปฏิกูลทั่วไปได้มีหลักฐานว่าท่อเหล็กหล่อสามารถใช้งานได้ยาวนานถึงร้อยปี แต่ข้อเสียของท่อเหล็กหล่อ คือ ความเปราะแตกง่ายเมื่อหล่น หรือถูกกระแทก นอกจากนี้ยังไม่สามารถทนต่อการกัดกร่อนของสิ่งปฏิกูลที่รุนแรงได้ มีน้ำหนักมาก และมีราคาสูง

### 2.7.3 ท่อเหล็กหล่อเหนียว

เหล็กหล่อเหนียว (Ductile cast iron) มีคาร์บอนในรูปของอนุภาคกราฟาइटทรงกลม (ต่างจากรูปแบบของเกล็ดกราฟาइटในเหล็กหล่อสีเทา) การใช้งานมีลักษณะเดียวกับท่อเหล็กหล่อ แต่มีความแข็งแรงมากกว่าและเปราะน้อยกว่า มีขนาดตั้งแต่ DN80 ถึง DN1400 และมีพิกัดความดันตั้งแต่ คลาส 50 (125 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว) ถึงคลาส 56 (350 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว) และคลาสสำหรับน้ำเสียทั่วไป ท่อชนิดนี้สามารถต่อได้ด้วยวิธีทางกลต่อด้วยปะเก็นและต่อด้วยหน้าแปลน



ภาพประกอบ 24 ท่อเหล็กหล่อเหนียว

ที่มา : (<https://www.steelpipeworld.com>)



## 2.8 ล้อ Omni Wheel



ภาพประกอบ 25 ล้อ Omni Wheel  
ที่มา : (<https://www.gtfrobots.com>)

## 2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ศราวุฒิ โลहित และ นิติรัฐ ศิริตานนท์ ปริญญาโท วศ.บ. มหาวิทยาลัยมหาสารคาม (2559 ; บทคัดย่อ) ได้ทำการวิจัยเรื่อง ออกแบบและสร้างระบบปรับแรงแม่เหล็กอัตโนมัติสำหรับหุ่นยนต์เคลื่อนที่บนผนังเหล็ก (Design of automatically-adjust the magnetic force system for a mobile robot climbing on steel wall) ศึกษาเกี่ยวกับปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับระบบปรับแรงแม่เหล็กอัตโนมัติ และปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการสร้างหุ่นยนต์เคลื่อนที่บนผนังเหล็กจนได้ระบบปรับแรงแม่เหล็กอัตโนมัติสำหรับหุ่นยนต์เคลื่อนที่บนผนังเหล็กที่สามารถใช้งานได้ ทำการทดสอบตามวัตถุประสงค์ที่ได้ตั้งไว้เพื่อทราบถึงประสิทธิภาพของระบบปรับแรงแม่เหล็กอัตโนมัติ

ปรัชญา พงศ์วงประเสริฐ และ ศศิธร ภูเงินงอก ปริญญาโท วศ.บ. มหาวิทยาลัยมหาสารคาม (2559 ; บทคัดย่อ) ได้ทำการวิจัยเรื่อง หุ่นยนต์สำรวจท่อภายในแนวตั้ง (Design of a Mobile Robot for in Vertical Pipe inspection) เพื่อออกแบบและสร้างหุ่นยนต์สำรวจท่อภายในแนวตั้งที่สามารถทำงานแทนมนุษย์ได้ โดยหุ่นยนต์นั้นถูกออกแบบ ให้เป็นหุ่นยนต์ 3 แกน ขยายและหดได้ด้วยการหมุนสกรู สามารถเคลื่อนที่ในท่อได้ตั้งแต่ 35 - 45 เซนติเมตร มีกล้องไร้สายเพื่อตรวจสอบภายในท่อและส่งภาพมายังจอแสดงผลที่ติดอยู่กับจอยสติ๊ก โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นตัวควบคุมหลักของระบบทั้งหมด



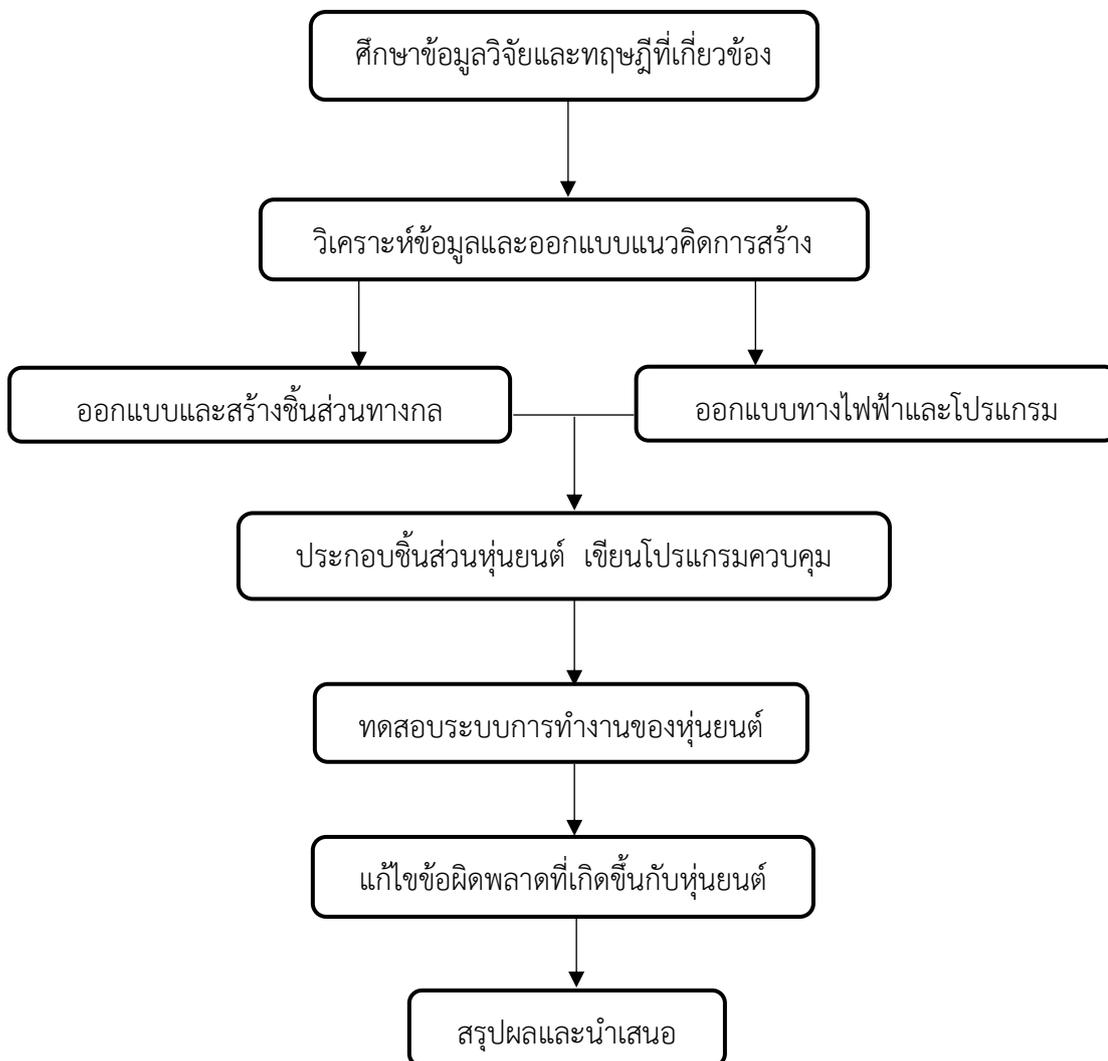
### บทที่ 3

#### วิธีดำเนินการ

ในบทนี้แนะนำเสนอวิธีการดำเนินการในการออกแบบหุ่นยนต์เคลื่อนที่ตรวจสอบภายในท่อแนวดิ่ง แบ่งออกเป็น 3 ส่วนคือ ขั้นตอนการดำเนินงาน แนวคิดการออกแบบหุ่นยนต์สำรวจภายในท่อ ขั้นตอนการทดสอบ

#### 3.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน

ในการออกแบบและสร้างหุ่นยนต์เคลื่อนที่ตรวจสอบภายในท่อโลหะ มีลำดับการดำเนินงานดังต่อไปนี้

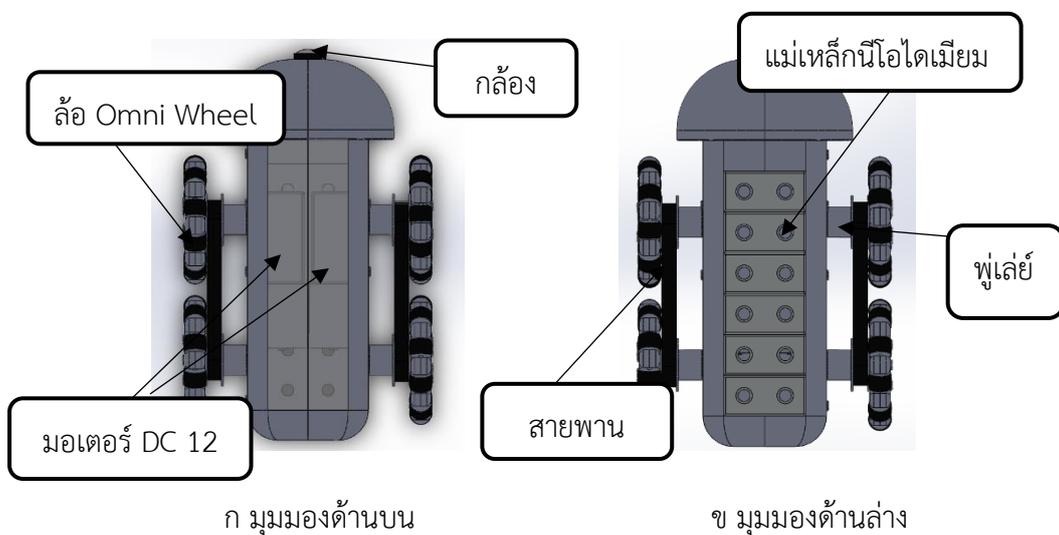


### 3.2 แนวคิดการออกแบบหุ่นยนต์สำรวจภายในท่อ

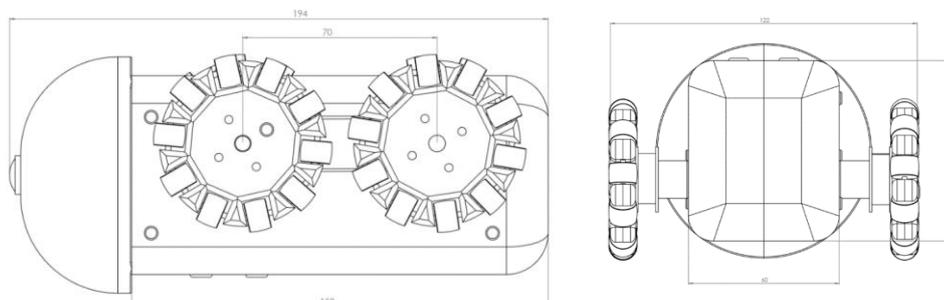
หุ่นยนต์สามารถเคลื่อนที่ภายในท่อโลหะขนาด 160 มิลลิเมตร และกล้องสามารถส่งกลับมายังจอแสดงผลได้

#### 3.2.1 แนวคิดการออกแบบทางกล

จากการที่ทางกลุ่มผู้จัดทำได้รับโจทย์ให้ออกแบบหุ่นยนต์ที่สามารถเคลื่อนที่ภายในท่อโลหะที่มีขนาด 160 มิลลิเมตร ท่อโลหะนั้นมีหลายชนิดและในการออกแบบหุ่นยนต์จึงออกแบบตัวหุ่นยนต์เป็นล้อ Omni แบบ 4 ล้อ เพื่อง่ายต่อการทำงานสำรวจภายในท่อ ซึ่งมีส่วนประกอบต่างๆ ได้แก่ ล้อ (Omni Wheel), มอเตอร์ DC 12V, พู่ลีย์, สายพาน ที่ทำให้หุ่นเคลื่อนไปข้างหน้าหรือถอยหลังตามที่ต้องการ และแม่เหล็กนีโอไดเมียมที่ช่วยในการยึดเกาะกับผนังท่อ ดังภาพประกอบ 26 และมีขนาด กว้าง 122 มิลลิเมตร ยาว 194 มิลลิเมตร ดังภาพประกอบ 27



ภาพประกอบ 26 ส่วนประกอบต่างๆของหุ่นยนต์

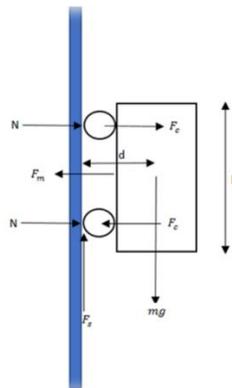


ภาพประกอบ 27 ขนาดของหุ่นยนต์สำรวจภายในท่อด้านข้าง



### 3.2.2 การคำนวณหาแรงแม่เหล็ก

การคำนวณหาแรงแม่เหล็กที่หุ่นยนต์สามารถเกาะบนผนังเหล็ก โดยอ้างอิงจากงานวิจัยของ ศราวุฒิ โลहित และ นิติรัฐ ศิริदानนท์ 2559 เรื่องออกแบบและสร้างระบบปรับแรงแม่เหล็กอัตโนมัติสำหรับหุ่นยนต์เคลื่อนที่บนผนังเหล็ก (Design of automatically-adjust the magnetic force system for a mobile robot climbing on steel wall) ศึกษาเกี่ยวกับปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับระบบปรับแรงแม่เหล็กอัตโนมัติ และปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการสร้างหุ่นยนต์เคลื่อนที่บนผนังเหล็กจนได้ระบบปรับแรงแม่เหล็กอัตโนมัติสำหรับหุ่นยนต์เคลื่อนที่บนผนังเหล็กที่สามารถใช้งานได้ทำการทดสอบตามวัตถุประสงค์ที่ได้ตั้งไว้เพื่อทราบถึงประสิทธิภาพของระบบปรับแรงแม่เหล็กอัตโนมัติ ดังภาพประกอบ 28 แรงเสียดทานที่เกิดขึ้นที่ล้อ



ภาพประกอบ 28 แรงเสียดทานที่เกิดขึ้นที่ล้อ

$$F_m = mg \left( \frac{1}{\mu} + \frac{d}{b} \right) \quad \text{สมการ (3.2.2)}$$

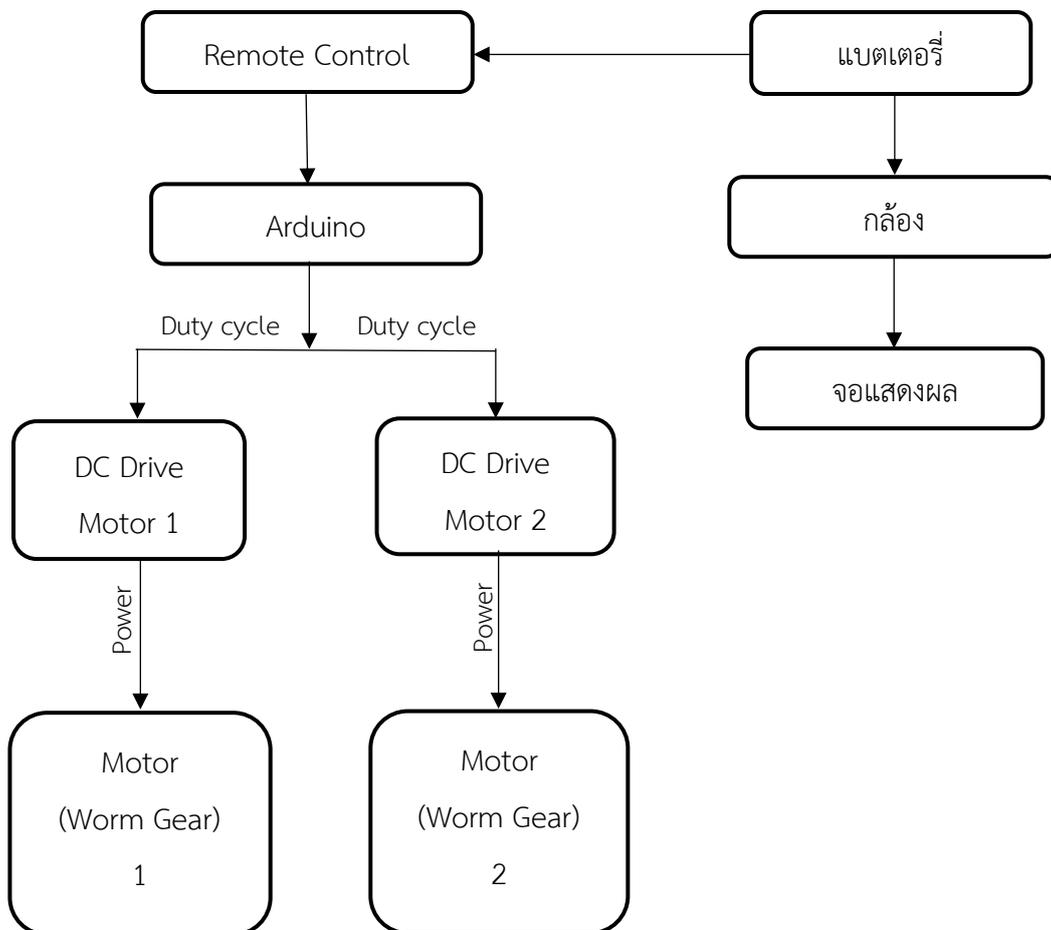
- เมื่อ  $F_m$  คือ แรงสู่ศูนย์กลาง (นิวตัน)  
 $m$  คือ มวลของหุ่นยนต์ (กิโลกรัม)  
 $g$  คือ ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก (เมตร/วินาที<sup>2</sup>)  
 $d$  คือ ระยะทางที่ตั้งฉากจากจุดหมุนถึงแรงที่มากกระทำ (มิลลิเมตร)  
 $b$  คือ ขนาดความยาวของหุ่นยนต์ (มิลลิเมตร)  
 $\mu$  คือ ค่าสัมประสิทธิ์ของแรงเสียดทาน



### 3.2.3 แนวคิดการออกแบบทางไฟฟ้า

หลักการการทำงานและการควบคุมตัวหุ่นยนต์ควบคุมด้วยการเขียนคำสั่งใน Arduino โดยจะรับค่าอนาล็อกจากปุ่มกดของรีโมทควบคุมการทำงานของหุ่นยนต์ ซึ่งถ้ากดปุ่มจากรีโมทจะส่งสัญญาณอนาล็อกไปประมวลผลที่บอร์ด Arduino และส่งสัญญาณ Digital ไปที่ DC Drive Motor เพื่อเป็นตัวขับมอเตอร์ ในแต่ละตัวของมอเตอร์ เพื่อควบคุมการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ให้เคลื่อนที่ไปข้างหน้าหรือถอยหลัง และใช้ Power Supply ในการจ่ายไฟให้กับระบบการทำงานของวงจรไฟฟ้าของตัวหุ่นยนต์

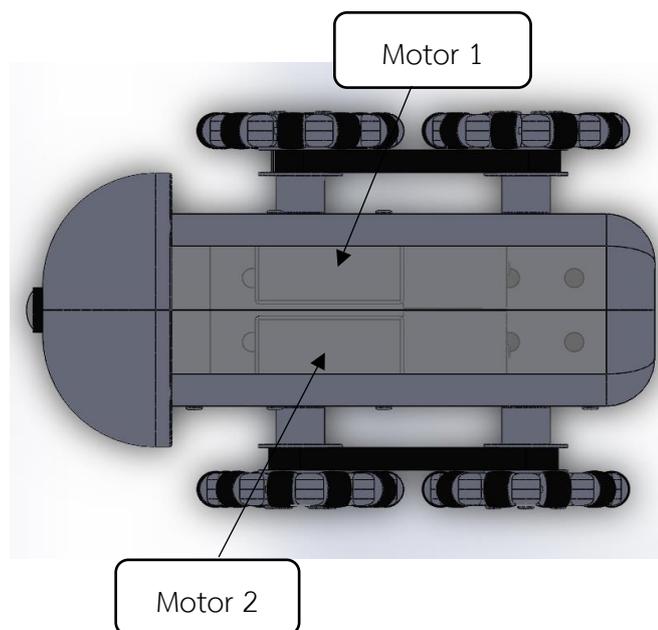
ผังการเชื่อมต่อทางไฟฟ้า



ในการควบคุมมอเตอร์แต่ละส่วนของหุ่นยนต์สำรวจท่อมี่ดังนี้

Motor 1 ควบคุมมอเตอร์ด้วยรีโมท โดยส่งสัญญาณดิจิทัลไปยังบอร์ด Arduino เพื่อทำการประมวลผลและส่งออกพัลส์ไปยัง DC Drive Motor 1 ด้วยสัญญาณ Duty cycle เพื่อขับเคลื่อนมอเตอร์ให้ทำงานส่งกำลังไปหมุนชุด Worm Gear และส่งกำลังในการขับเคลื่อนล้อ

Motor 2 ควบคุมมอเตอร์ด้วยรีโมท โดยส่งสัญญาณดิจิทัลไปยังบอร์ด Arduino เพื่อทำการประมวลผลและส่งออกพัลส์ไปยัง DC Drive Motor 2 ด้วยสัญญาณ Duty cycle เพื่อขับเคลื่อนมอเตอร์ให้ทำงานส่งกำลังไปหมุนชุด Worm Gear และส่งกำลังในการขับเคลื่อนล้อ  
ดังภาพประกอบ 29

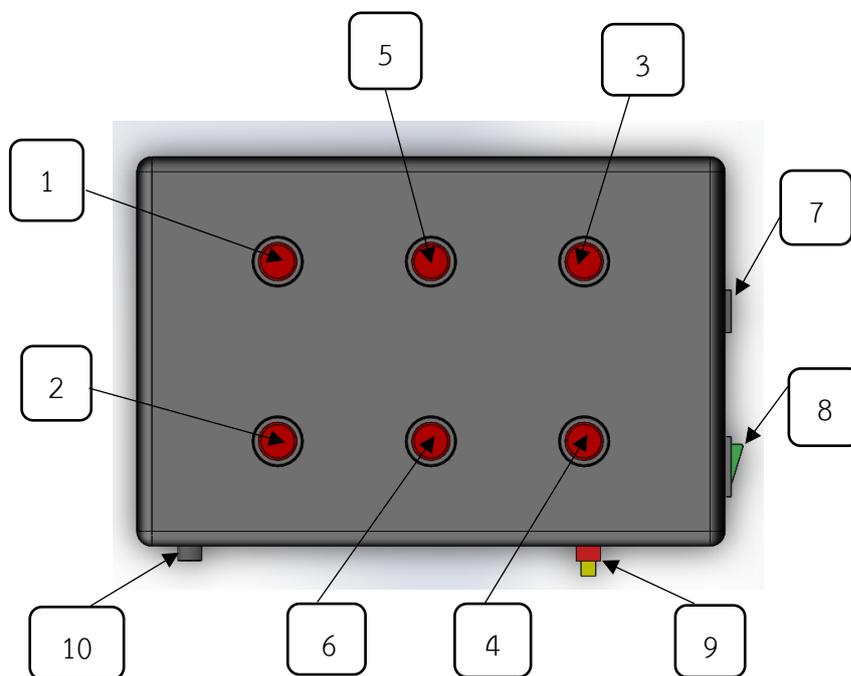


ภาพประกอบ 29 การควบคุมมอเตอร์แต่ละส่วนของหุ่นยนต์สำรวจท่อมี่



### 3.2.4 แนวคิดการควบคุม

ในการควบคุมการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ใช้จอยสติ๊กขนาดความกว้าง 15 เซนติเมตร ความยาว 20 เซนติเมตร มีจำนวน 6 ปุ่ม ดังภาพประกอบ 30



ภาพประกอบ 30 จอยสติ๊ก

จากภาพประกอบ 30 หน้าต่างๆ ของปุ่มควบคุมมีดังนี้

- หมายเลข 1 ปุ่มควบคุมการเคลื่อนที่ ทำหน้าที่ควบคุมมอเตอร์ 2 ให้เดินหน้า
- หมายเลข 2 ปุ่มควบคุมการเคลื่อนที่ ทำหน้าที่ควบคุมมอเตอร์ 2 ให้ถอยหลัง
- หมายเลข 3 ปุ่มควบคุมการเคลื่อนที่ ทำหน้าที่ควบคุมมอเตอร์ 1 ให้เดินหน้า
- หมายเลข 4 ปุ่มควบคุมการเคลื่อนที่ ทำหน้าที่ควบคุมมอเตอร์ 1 ให้ถอยหลัง
- หมายเลข 5 ปุ่มควบคุมการเคลื่อนที่ ทำหน้าที่ควบคุมมอเตอร์ 1,2 ให้เคลื่อนที่เดินหน้าพร้อมกัน
- หมายเลข 6 ปุ่มควบคุมการเคลื่อนที่ ทำหน้าที่ควบคุมมอเตอร์ 1,2 ให้เคลื่อนที่ถอยหลังพร้อมกัน
- หมายเลข 7 Port เชื่อมต่อ Arduino
- หมายเลข 8 Swift ปิด - เปิด จอยสติ๊ก
- หมายเลข 9 Port เชื่อมต่อกับแบตเตอรี่ 12 โวลต์
- หมายเลข 10 Port เชื่อมกับจอแสดงผล



### 3.3 ขั้นตอนการทดสอบ

3.3.1 การทดลองแรงดึงของแม่เหล็กนีโอไดเมียม โดยนำลวดผูกกับตัวหุ่นยนต์แล้วนำหุ่นยนต์ไปทดสอบภายในท่อ แล้วใช้เครื่องชั่งน้ำหนักแบบดิ่ง มาดึงลวดที่ผูกกับตัวหุ่นยนต์ เพื่อทดสอบแรงดึงของแม่เหล็กนีโอไดเมียม

3.3.2 การทดลองความเร็วการเคลื่อนที่ภายในท่อแนวตั้ง เพื่อทดลองการความเร็วในการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ โดยทดลองการปรับค่า Duty cycle เพื่อปรับความเร็ว แล้วจับเวลาการเคลื่อนที่ภายในท่อของหุ่นยนต์

3.3.3 การทดลองถ่วงน้ำหนัก เพื่อทดลองว่าหุ่นยนต์สามารถรับการถ่วงน้ำหนักได้สูงสุดและต่ำสุดเท่าใด ทดลองถ่วงน้ำหนัก โดยเพิ่มน้ำหนักทีละ 200 กรัม แล้วสังเกตว่าถ่วงน้ำหนักแล้วหุ่นยนต์จะสามารถเคลื่อนที่ได้หรือไม่ และสามารถถ่วงน้ำหนักได้สูงสุดเท่าใด

3.3.4 การทดสอบการทำงานของกล้อง เพื่อทดสอบสัญญาณภาพของกล้องที่ส่งมายังจอแสดงผลว่าสามารถรับภาพได้ ภาพมีความสมบูรณ์มากน้อยเพียงใดและกล้องมีสัญญาณหรือไม่

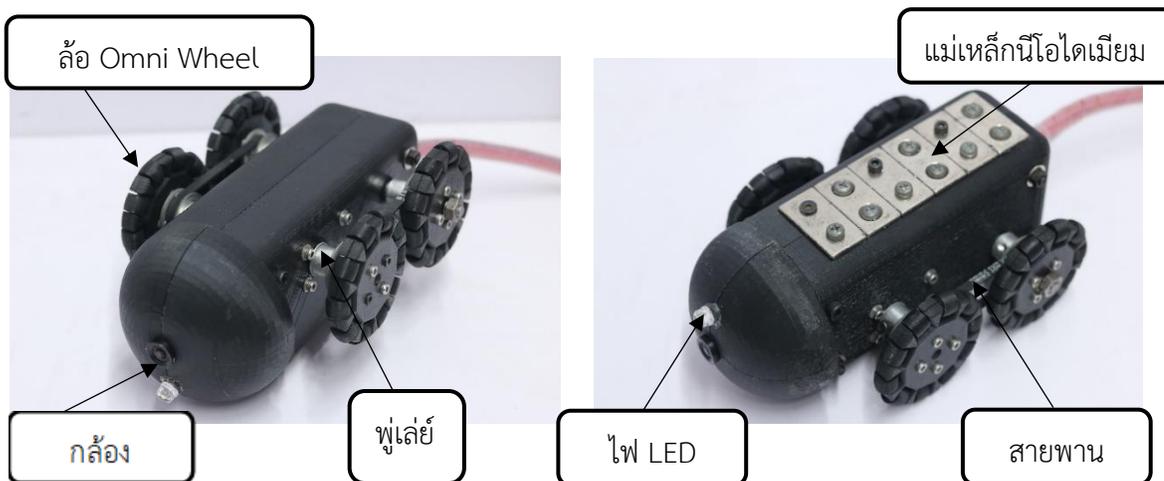


## บทที่ 4

### ผลการทดสอบ

ในบทนี้จะนำเสนอผลการทดสอบของหุ่นยนต์เคลื่อนที่ภายในท่อเหล็กที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 16 เซนติเมตร ความยาวของท่อ 200 เซนติเมตร โดยแบ่งออกเป็น 4 การทดลอง ดังนี้

#### 4.1 ผลการออกแบบและสร้างหุ่นยนต์



ก มุมมองด้านบนของหุ่นยนต์สำรวจภายในท่อ      ข มุมมองด้านล่างของหุ่นยนต์สำรวจภายในท่อ  
ภาพประกอบ 31 หุ่นยนต์สำรวจท่อภายในแนวตั้งที่ประกอบเสร็จ

หุ่นยนต์มีน้ำหนักรวมสาย 3 กิโลกรัม ประกอบด้วยล้อ (Omni Wheel), มอเตอร์วอร์มเกียร์ DC 12 V, ฟูลีย์, สายพาน, กล่อง ซึ่งมีกลไกการทำงาน คือ มอเตอร์วอร์มเกียร์กระแสตรงเป็นตัวขับเคลื่อนส่งกำลังให้เพลาและฟูลีย์เพื่อให้ล้อหมุนไปข้างหน้าหรือถอยหลังตามที่ต้องการและมีแม่เหล็กนีโอไดเมียม 6 แผ่น ติดอยู่ที่ด้านล่างของตัวหุ่นที่ช่วยในการยึดเกาะกับผนังท่อ



## 4.2 การทดสอบแรงดึงของแม่เหล็กนีโอไดเมียม

ทำการทดสอบแรงดึงของแม่เหล็กนีโอไดเมียม โดยนำลวดผูกกับตัวหุ้มนยนต์แล้วนำหุ้มนยนต์ไปทดสอบภายในท่อ แล้วใช้เครื่องชั่งน้ำหนักแบบดึง มาดึงลวดที่ผูกกับตัวหุ้มนยนต์ เพื่อทดสอบแรงดึงของแม่เหล็กนีโอไดเมียม ดังภาพประกอบ 32 การทดสอบแรงดึงของแม่เหล็กนีโอไดเมียม



ภาพประกอบ 32 การทดสอบแรงดึงของแม่เหล็กนีโอไดเมียม

ตาราง 3 ทดสอบแรงดึงของแม่เหล็กนีโอไดเมียม

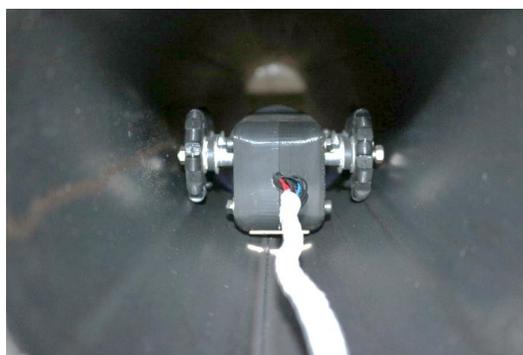
แรงที่ทดสอบครั้งที่ 1 (N)	แรงที่ทดสอบครั้งที่ 2 (N)	แรงที่ทดสอบครั้งที่ 3 (N)	แรงแม่เหล็กเฉลี่ย (N)
63.35	63.93	63.64	63.54

จากการทดสอบพบว่า หุ้มนยนต์มีน้ำหนักรวมสาย 3 กิโลกรัม ซึ่งแรงดึงของแม่เหล็กนีโอไดเมียม มีแรงดึงสูงสุดได้สูงสุด คือ 63.54 นิวตัน แต่ถ้าแรงดึงมากกว่า 63.54 นิวตัน หุ้มนยนต์จะไม่สามารถติดเกาะภายในท่อได้ ซึ่งการหาแรงที่เหมาะสมจะหาได้จาก  $F_m = mg\left(\frac{1}{\mu} + \frac{d}{b}\right)$  จะทำการแทนค่า  $m = 3$  กิโลกรัม  $g = 9.81$  เมตร/วินาที<sup>2</sup>  $\mu = 0.6$ ,  $d = 35$  มิลลิเมตร และ  $b = 195$  มิลลิเมตร ดังนั้นจะได้แรง 54.33 นิวตัน หรือ 5.54 กิโลกรัม



### 4.3 การทดสอบความเร็วการเคลื่อนที่ภายในท่อ

ทำการทดสอบการเคลื่อนที่ภายในท่อโดยใช้ท่อที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 16 เซนติเมตร ความยาวของท่อ 200 เซนติเมตร โดยการปรับความเร็วของมอเตอร์ ผลปรากฏว่าหุ่นยนต์สามารถเคลื่อนที่ด้วยความเร็วต่างๆ ได้ ดังภาพประกอบ 33 การปรับความเร็วการเคลื่อนที่ภายในท่อของหุ่นยนต์



ภาพประกอบ 33 การปรับความเร็วการเคลื่อนที่ภายในท่อของหุ่นยนต์

ตาราง 4 ปรับความเร็วการเคลื่อนที่ภายในท่อของหุ่นยนต์

Duty cycle	เวลาครั้งที่ 1 (วินาที)	เวลาครั้งที่ 2 (วินาที)	เวลาครั้งที่ 3 (วินาที)	เวลาเฉลี่ย (วินาที)	ความเร็ว (เซนติเมตร/วินาที)
15%	1,263	1,260	1,261	1,261	0.158
30%	488	487	487	487	0.410
60%	215	216	214	215	0.930
100%	129	128	130	129	1.550

จากการทดลองพบว่าหุ่นยนต์เริ่มเคลื่อนที่ได้ตอนที่ค่า Duty cycle เท่ากับ 15 เปอร์เซ็นต์ โดยใช้เวลาในการเคลื่อนที่ภายในท่อ เวลาเฉลี่ย 1,261 วินาที คิดเป็นความเร็ว 0.158 เซนติเมตร/วินาที แต่ถ้าค่า Duty cycle น้อยกว่า 15 เปอร์เซ็นต์ หุ่นยนต์จะไม่สามารถเคลื่อนที่ได้ และคำนวณหาอัตราเร็วโดยใช้สูตร  $v = \frac{s}{t}$



#### 4.4 การทดสอบถ่วงน้ำหนักหุ่นยนต์

ทำการทดสอบถ่วงน้ำหนักขณะที่หุ่นยนต์เคลื่อนที่ภายในท่อโดยตั้งค่า Duty cycle เท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์ และถ่วงน้ำหนัก 200,400,600,800 กรัม แล้วสังเกตการณ์ว่ารับน้ำหนักสูงสุดได้เท่าใด ดังภาพประกอบ 34



ภาพประกอบ 34 การถ่วงน้ำหนักหุ่นยนต์ขณะหุ่นกำลังเคลื่อนที่

ตาราง 5 ถ่วงน้ำหนักหุ่นยนต์ขณะหุ่นกำลังเคลื่อนที่

ถ่วงน้ำหนัก (กรัม)	เวลาครั้งที่ 1 (วินาที)	เวลาครั้งที่ 2 (วินาที)	เวลาครั้งที่ 3 (วินาที)	เวลาเฉลี่ย (วินาที)	ความเร็ว (เซนติเมตร/วินาที)
200	141.6	138.2	140.5	140.1	1.42
400	151.2	150.6	149.8	150.5	1.32
600	188.4	189.3	188.5	188.7	1.05
800	201.6	200.4	199.6	200.5	0.99

จากการทดลองพบว่าหุ่นยนต์เคลื่อนที่ด้วยความเร็ว Duty cycle 100 เปอร์เซ็นต์ หุ่นยนต์สามารถรับการถ่วงน้ำหนักได้สูงสุด 800 กรัม โดยใช้เวลาในการเคลื่อนที่ภายในท่อ เวลาเฉลี่ย 200.5 วินาที คิดเป็นความเร็ว 0.99 เซนติเมตร/วินาที ถ้าวถ่วงน้ำหนักมากกว่า 800 กรัม หุ่นยนต์จะเกิดการไถล ไม่สามารถเคลื่อนที่ได้



#### 4.5 การทดสอบการทำงานของกล้อง

ทำการทดสอบกล้องในระยะ 100 - 200 เซนติเมตร เพื่อทดสอบสัญญาณภาพของกล้องที่ส่งมายังจอแสดงผลว่าสามารถรับภาพได้ ภาพมีความสมบูรณ์มากน้อยเพียงใดและกล้องมีสัญญาณหรือไม่ ตั้งภาพประกอบ 35 , 36 การส่งภาพจากกล้องมายังจอแสดงผลในระยะ 100 , 200 เซนติเมตร ตามลำดับ และตาราง 6 แสดงผลทดสอบกล้องในสภาวะหุ่นยนต์เกาะนิ่งๆภายในท่อ ตาราง 7 ทดสอบกล้องในสภาวะหุ่นยนต์เคลื่อนที่ภายในท่อ

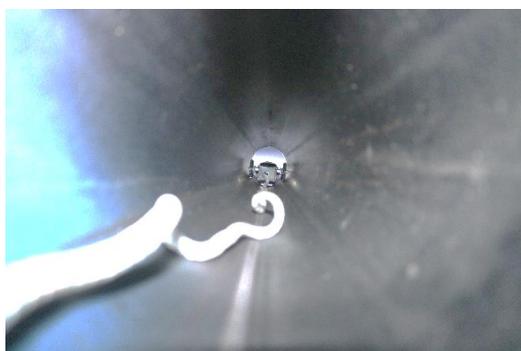


ก หุ่นยนต์เคลื่อนที่ภายในท่อระยะ 100 เซนติเมตร

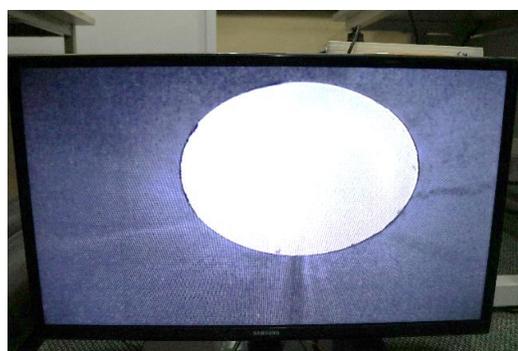


ข ภาพภายในท่อระยะ 100 เซนติเมตร

ภาพประกอบ 35 ก.หุ่นยนต์เคลื่อนที่ภายในท่อระยะ 100 เซนติเมตร



ค หุ่นยนต์เคลื่อนที่ภายในท่อระยะ 200 เซนติเมตร



ง ภาพภายในท่อระยะ 200 เซนติเมตร

ภาพประกอบ 36 หุ่นยนต์เคลื่อนที่ภายในท่อระยะ 200 เซนติเมตร



ตาราง 6 ทดสอบกล้องในสภาวะหุ้มนยนต์เกาะนิ่งๆภายในท่อ

ระยะ (cm)	50	100	150	200
การรับภาพครั้งที่1	รับได้	รับได้	รับได้	รับได้
การรับภาพครั้งที่2	รับได้	รับได้	รับได้	รับได้
การรับภาพครั้งที่3	รับได้	รับได้	รับได้	รับได้

จากการทดลองสรุปได้ว่า การรับภาพของกล้องที่ส่งมายังจอแสดงผลในระยะ 100 – 200 เซนติเมตร ในสภาวะที่หุ้มนยนต์เกาะนิ่งๆภายในท่อ กล้องสามารถส่งสัญญาณมายังจอได้ชัดเจน

ตาราง 7 ทดสอบกล้องในสภาวะหุ้มนยนต์เคลื่อนที่ภายในท่อ

ระยะ (cm)	50	100	150	200
การรับภาพครั้งที่1	ภาพสมบูรณ์	ภาพสมบูรณ์	ภาพสมบูรณ์	ภาพสมบูรณ์
การรับภาพครั้งที่2	ภาพสมบูรณ์	ภาพสมบูรณ์	ภาพสมบูรณ์	ภาพสมบูรณ์
การรับภาพครั้งที่3	ภาพสมบูรณ์	ภาพสมบูรณ์	ภาพสมบูรณ์	ภาพสมบูรณ์

จากการทดลองสรุปได้ว่า การรับภาพของกล้องที่ส่งมายังจอแสดงผล ในระยะ 100 - 200 เซนติเมตร สภาวะที่หุ้มนยนต์เคลื่อนที่ภายในท่อ กล้องสามารถส่งสัญญาณมายังจอแสดงผลได้ภาพที่สมบูรณ์



## บทที่ 5

### สรุปผลและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการทดสอบ

จากการทดลองหุ่นยนต์สำรวจท่อภายในแนวดิ่งพบว่าหุ่นยนต์สามารถเกาะนิ่งๆ และเคลื่อนที่ขึ้นลงภายในท่อได้โดยไม่มีการไถล ท่อที่ใช้ทดสอบมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 16 เซนติเมตร ความยาว 600 เซนติเมตร ขนาดหุ่นยนต์มีความยาว 194 มิลลิเมตร กว้าง 122 มิลลิเมตร แรงดึงดูดของแม่เหล็กนีโอไดเมียมที่ติดอยู่กับตัวหุ่นยนต์ รับแรงดึงดูดได้สูงสุด คือ 63.54 นิวตัน หุ่นยนต์สามารถเคลื่อนที่ได้ตอนที่ค่า Duty cycle เท่ากับ 15 เปอร์เซ็นต์ โดยใช้ความเร็ว 0.158 เซนติเมตร/วินาที ความเร็วสูงสุดที่สามารถเคลื่อนที่ได้ 1.550 เซนติเมตร/วินาที และหุ่นยนต์สามารถรับภาระถ่วงน้ำหนักได้สูงสุด 800 กรัม โดยความเร็ว 0.99 เซนติเมตร/วินาที ที่ Duty cycle 100 เปอร์เซ็นต์

#### 5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ล้อที่เลือกใช้ควรมีแรงเสียดทานระหว่างล้อและแผ่นเหล็กเพื่อไม่ให้เกิดการลื่นไถล
2. ถ้าต้องการให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่เร็ว ควรเลือกใช้มอเตอร์ที่มีความเร็วและแรงบิดที่เหมาะสม

#### 5.3 ปัญหาที่พบ

1. ไม่สามารถรับน้ำหนักมากกว่า 800 กรัม
2. ล้อที่ใช้มีแรงเสียดทานน้อยเกินไปทำให้เกิดการลื่นไถล

#### 5.4 วิธีแก้ปัญหา

1. เพิ่มแม่เหล็กนีโอไดเมียม เพื่อให้มีแรงยึดเกาะที่มากขึ้น
2. เปลี่ยนเป็นล้อที่มีพื้นที่แรงเสียดทานมากกว่าเดิม



บรรณานุกรม



### บรรณานุกรม

- ปรัชญา พงศ์วงประเสริฐ. *หุ่นยนต์สำรวจท่อภายในแนวตั้ง*. สืบค้นเมื่อวันที่ 23 ตุลาคม 2560 ;  
 ได้จาก : ปรินญาณิพนธ์ วศ.บ. มหาสารคาม : มหาวิทยาลัยมหาสารคาม, 2559.
- ศราวุฒิ โลहित. *ออกแบบระบบปรับแรงแม่เหล็กอัตโนมัติสำหรับหุ่นยนต์เคลื่อนที่บนผนังเหล็ก*.  
 สืบค้นเมื่อวันที่ 22 ตุลาคม 2560 ; ได้จาก : ปรินญาณิพนธ์ วศ.บ. มหาสารคาม :  
 มหาวิทยาลัยมหาสารคาม, 2559.
- Business Class. *เริ่มต้นใช้งาน Arduino Mega2560 R3*. สืบค้นเมื่อวันที่ 11 ธันวาคม 2560 ;  
 ได้จาก : <http://www.arduitronics.com/article/>
- Business Class. *ทำความรู้จัก Arduino รุ่นต่างๆ*. สืบค้นเมื่อวันที่ 11 ธันวาคม 2560 ;  
 ได้จาก : <http://www.arduitronics.com>
- Electronics.seed. *เส้นแรงแม่เหล็ก ความเป็นแม่เหล็ก*. สืบค้นเมื่อวันที่ 10 พฤศจิกายน 2560 ;  
 ได้จาก : <http://electronics.seed.com/contents/046s061/046s061p02.asp>
- Magnetic. *แม่เหล็กแรงสูง*. สืบค้นเมื่อวันที่ 15 ตุลาคม 2560 ;  
 ได้จาก : <http://www.pongtechshop.com/product/>.
- Nattakit. *มอเตอร์ไฟฟ้า*. สืบค้นเมื่อวันที่ 20 ตุลาคม 2560 ;  
 ได้จาก : <http://www.nattakit.com/>
- Oknation.net. *หุ่นยนต์*. สืบค้นเมื่อวันที่ 16 ตุลาคม 2560 ;  
 ได้จาก : <https://th.wikipedia.org/wiki/>
- Pongtech shop : Admin. *กล่องวงจรปิดขนาดเล็ก*. สืบค้นเมื่อวันที่ 14 ตุลาคม 2560 ;  
 ได้จาก : <http://www.pongtechshop.com/product/>.
- Solarsmileknowledge. *โครงสร้างแบตเตอรี่*. สืบค้นเมื่อวันที่ 17 ตุลาคม 2560 ;  
 ได้จาก : <http://solarsmileknowledge.com/>
- Thaippr. *ท่อแต่ละชนิด*. สืบค้นเมื่อวันที่ 21 ตุลาคม 2560 ;  
 ได้จาก : <https://www.thaippr.com/blank>
- Wikipedia. *สารานุกรมเสรีหุ่นยนต์*. สืบค้นเมื่อวันที่ 11 ตุลาคม 2560 ;  
 ได้จาก : <https://th.wikipedia.org/wiki/หุ่นยนต์>

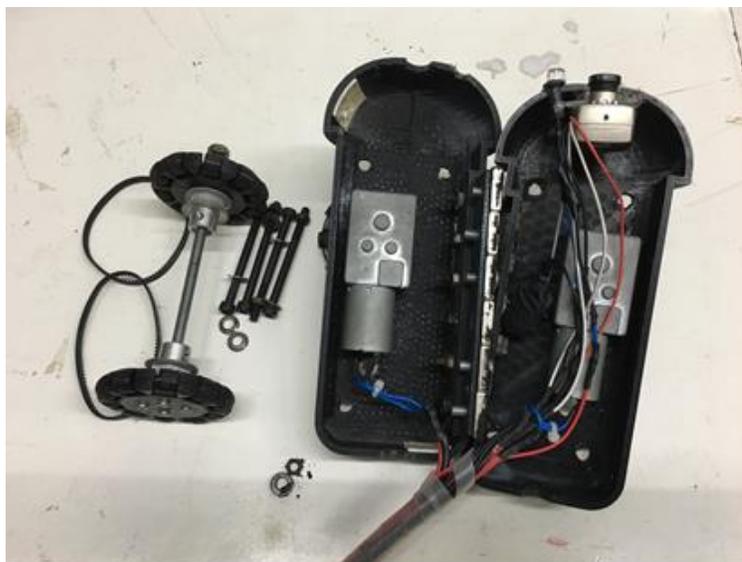


ภาคผนวก



ภาคผนวก  
ภาพขั้นตอนการดำเนินงาน





ชิ้นส่วนต่างๆ ในหุ่นยนต์



ขั้นตอนการประกอบหุ่นยนต์





การต่อวงจรภายในและทดสอบจอยสติ๊ก

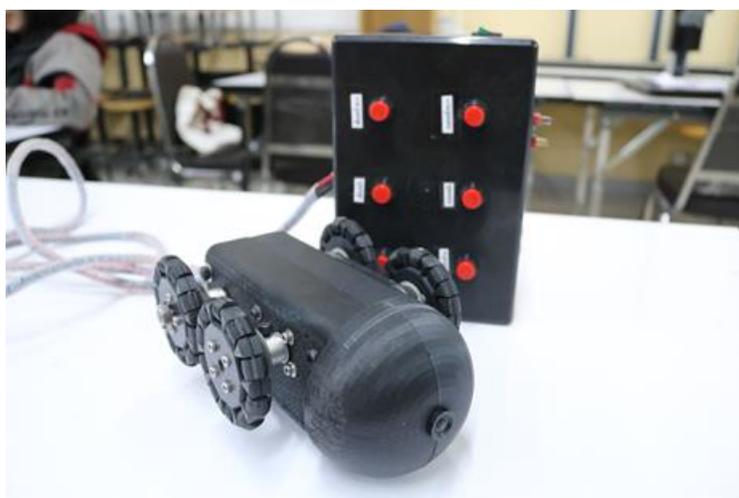


เตรียมท้อในการทดสอบ





ทดสอบการเคลื่อนที่ภายในท่อ



หุ่นยนต์และจอยสติ๊กที่ประกอบเสร็จ



ประวัติย่อผู้วิจัย



## ประวัติย่อผู้วิจัย

ชื่อ นามสกุล	นายอดิศร รินทะล็ก
วันเกิด	วันที่ 5 มกราคม 2539
สถานที่เกิด	เขต ปทุมวัน จังหวัดกรุงเทพมหานคร
สถานที่อยู่ปัจจุบัน	บ้านเลขที่ 35 หมู่ที่ 8 บ้านหนองแดงใหญ่ ตำบลช่องสามหมอ อำเภอคอนสวรรค์ จังหวัดชัยภูมิ รหัสไปรษณีย์ 36140
<b>ประวัติการศึกษา</b>	
พ.ศ. 2553	มัธยมศึกษาตอนต้น โรงเรียนสามหมอวิทยา อำเภอคอนสวรรค์ จังหวัดชัยภูมิ
พ.ศ. 2556	มัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนสามหมอวิทยา อำเภอคอนสวรรค์ จังหวัดชัยภูมิ
พ.ศ. 2560	ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วศ.บ.) สาขาวิชาวิศวกรรมเมคคาทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม



## ประวัติย่อผู้วิจัย

ชื่อ นามสกุล	นายธนพนธ์ คุ่มทองคำ
วันเกิด	วันที่ 7 พฤศจิกายน 2538
สถานที่เกิด	จังหวัดกรุงเทพมหานคร
สถานที่อยู่ปัจจุบัน	บ้านเลขที่ 1 หมู่ที่ 3 บ้านโนนเมือง ตำบลแพง อำเภอโกสุมพิสัย จังหวัดมหาสารคาม รหัสไปรษณีย์ 44140
<b>ประวัติการศึกษา</b>	
พ.ศ. 2553	มัธยมศึกษาตอนต้น โรงเรียนเทศบาลวัดกลาง อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น
พ.ศ. 2556	มัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนเขว้าไร่ศึกษา อำเภอโกสุมพิสัย จังหวัดมหาสารคาม
พ.ศ. 2560	ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วศ.บ.) สาขาวิชาวิศวกรรมเมคคาทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

