



โมเดลล้อตะขาบ
Caterpilla Tractor Model

จัดทำโดย

นายอภิชาติ

ชูชาติ

นายธนวิษฐ์

คำปิ่นแก่น

โครงการนี้เป็นส่วนหนึ่งของวิชาโครงการ หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง
สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ
วิทยาลัยเทคโนโลยีอุบลราชธานี
ปีการศึกษา 2562

โมเดลรถล้อตะขาบ
Caterpilla Tractor Model

จัดทำโดย

นายอภิชาติ

ชูชาติ

นายธนวิษฐ์

คำปิ่นแก่น

โครงการนี้เป็นส่วนหนึ่งของวิชาโครงการ หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง
สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ
วิทยาลัยเทคโนโลยีอรรถวิทย์พัฒนวิชาการ
ปีการศึกษา 2562

COPYRIGHT 2019

COLLEGE OF INFORMATION TECHNOLOGY

ATTAWIT COMMERCIAL TECHNOLOGY COLLEGE



ชื่อโครงการภาษาไทย

โมเดลรถล้อตะขาบ

ชื่อโครงการภาษาอังกฤษ

Caterpilla Tractor Model

โดย 1. นายอภิชาติ

ชูชาติ

รหัสประจำตัว 36931

2. นายธนวิษฐ์

คำปันแก่น

รหัสประจำตัว 37392

.....
คณะกรรมการอนุมัติให้เอกสารโครงการฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา วิชาโครงการตาม
หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.) สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ
วิทยาลัยเทคโนโลยีอรรถวิทย์พนิชการ (ATC)

.....
(อาจารย์สุรารัตน์ ทองใหม่)

อาจารย์ที่ปรึกษา

.....
(อาจารย์สุลาวัลย์ บุรีจันทร์)

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

.....
(อาจารย์คุณานนท์ สุขเกษม)

หัวหน้าสาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ

บทคัดย่อ

หัวข้อโครงการ	โมเดลรถล้อตะขาบ		
ผู้จัดทำโครงการ	1. นายอภิชาติ	ชูชาติ	รหัสประจำตัว 36931
	2. นายธนวิษญ์	คำปันแก่น	รหัสประจำตัว 37392
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์สุธารัตน์ ทองใหม่		
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	อาจารย์สุลาวัลย์ บุรีจันทร์		
สาขาวิชา	เทคโนโลยีสารสนเทศ		
สถาบัน	วิทยาลัยเทคโนโลยีอรรณพวิทยพัฒน์วิชาการ ปีการศึกษา 2562		

บทคัดย่อ

โครงการเล่มนี้จัดทำขึ้นเพื่อนำความรู้ที่ได้ศึกษามาในสาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศมาประยุกต์ใช้ในการจัดทำโครงการ ผู้จัดทำโครงการได้แสดงความเห็นเป็นแนวทางเดียวกันว่าจะจัดทำโครงการเล่มนี้ในเรื่อง “โครงการโมเดลรถล้อตะขาบ” โดยจะเน้นการประดิษฐ์ให้เกิดประโยชน์มากที่สุดต่อกลุ่มคนที่ให้ความสนใจเกี่ยวกับ โครงการโมเดลรถล้อตะขาบด้วยตนเอง และยังเป็นอีกหนึ่งสื่อการเรียนการสอนที่น่าสนใจอีกด้วย

ปัจจุบันโลกของเทคโนโลยีมีการพัฒนาอย่างรวดเร็ว มีนวัตกรรมใหม่ๆเกิดขึ้นเรื่อย ๆ เพื่อให้เกิดประโยชน์และ รวบรวมความสะดวกรวดเร็วในการหาข้อมูลให้กระชับ และไม่มีความซับซ้อนในการสืบค้น ทางผู้จัดทำโครงการจึงมีแนวคิดที่จะสร้าง โครงการโมเดลรถล้อตะขาบที่รวบรวมข้อมูลที่จะก่อให้เกิดประโยชน์ต่อผู้ใช้งานอย่างเช่น บังคับไปที่ต่างๆ สามารถทำได้งานโดยคนบังคับอยู่กับที่แล้วให้โมเดลรถล้อตะขาบเคลื่อนที่ไปจุดนั้นๆ

จากการศึกษาและสืบค้นข้อมูลก่อนการลงมือปฏิบัติทางคณะผู้จัดทำได้รับความรู้ในเรื่องต่าง ๆ และยังได้รับประสบการณ์นอกห้องเรียนเป็นอย่างมากทางคณะผู้จัดทำจึงหวังเป็นอย่างยิ่งว่าโครงการเล่มนี้จะมีประโยชน์ต่อผู้พบเห็นไม่มากนักน้อยตามความเหมาะสม

กิตติกรรมประกาศ

โครงการฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ดี ก็เพราะได้รับความเมตตาจากอาจารย์ สุธารัตน์ ทองใหม่ และอาจารย์สุลาวัลย์ บุรีจันทร์ที่ได้ให้คำแนะนำ และคำปรึกษา เกี่ยวกับโครงการโมเดลรถล้อตะขาบ มาโดยตลอด ผู้ทำโครงการรู้สึกซาบซึ้ง ในความอนุเคราะห์จากท่านเป็นอย่างมาก และกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ผู้ทำโครงการขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ และเพื่อนๆ พี่ๆ ที่ให้กำลังใจและให้โอกาสบุตรได้รับการศึกษาในระดับต่างๆ จนกระทั่งได้สำเร็จการศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพ รวมทั้งคณะอาจารย์ทุกท่านในสาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ และคำสั่งสอน ให้กับผู้ทำโครงการในการเรียนทุกระดับชั้น

ขอขอบพระคุณครอบครัวที่ให้การช่วยเหลือในทุกๆ ด้าน จนทำให้ประสบความสำเร็จลุล่วงไปได้ ด้วยดี ขอขอบคุณเพื่อนๆ พี่ๆ ทุกคน ในสาขาเทคโนโลยีสารสนเทศ วิทยาลัยเทคโนโลยีอรรถวิทย์พัฒนการ ที่คอยให้การช่วยเหลือการทำโครงการฉบับนี้

สุดท้ายความรู้และประโยชน์ที่ได้รับจากโครงการฉบับนี้ ผู้ทำโครงการ ขอมอบความดีความชอบ ที่ได้นี้ให้แก่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

อภิชาติ ชูชาติ

ธนวิษณุ คำปันแก่น

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ.....	I
กิตติกรรมประกาศ.....	II
สารบัญ.....	III
สารบัญตาราง.....	V
สารบัญรูป.....	VI
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ.....	2
1.3 ขอบเขตของโครงการ.....	2
1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน.....	2
1.5 ระยะเวลาการทำโครงการ.....	5
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	7
1.7 งบประมาณที่ใช้ในการทำโครงการ.....	7
บทที่ 2 แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	8
2.1 ความต้องการของระบบที่เหมาะสม.....	8
2.2 ทฤษฎีเกี่ยวกับมอเตอร์.....	12
2.3 ทฤษฎีเกี่ยวกับเฟือง.....	15
2.4 ทฤษฎีเกี่ยวกับลักษณะของการเคลื่อนที่.....	18
2.5 ทฤษฎีเกี่ยวกับกฎของนิวตัน.....	22
2.6 ทฤษฎีเกี่ยวกับนิยามการเคลื่อนที่.....	22
2.7 ทฤษฎีเกี่ยวกับการเคลื่อนที่บนพื้นด้วยล้อและสายพานดินตะขาบ.....	36
2.8 ทฤษฎีเกี่ยวกับอะคริลิก.....	40
2.9 ทฤษฎีเกี่ยวกับท่อPVC.....	45
2.10 ทฤษฎีเกี่ยวกับไม้พลาเท.....	56
บทที่ 3 วิธีการดำเนินโครงการ.....	60
3.1 การวางแผนและการเตรียมการ.....	60
3.2 การออกแบบ.....	62

สารบัญ

	หน้า
บทที่ 4 ผลการศึกษา	69
4.1 ผลการพัฒนาโครงการ	69
4.2 ตัวอย่างการนำเสนอโมเดลรถล้อตะขาบ	69
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะการดำเนินโครงการ	71
5.1 วัตถุประสงค์ของโครงการ	71
5.2 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	71
5.3 ปัญหาที่ประสบในการดำเนินโครงการ	71
5.4 ผลการดำเนินโครงการ	72
5.5 อภิปรายผล	72
5.6 ข้อเสนอแนะ	72
บรรณานุกรม	73
ภาคผนวก ก	74
แบบเสนอร่างโครงการ	75
ภาคผนวก ข	84
แบบประเมินความก้าวหน้า	85
ภาคผนวก ค	95
คู่มือการใช้งาน	95
ภาคผนวก ง	99
ประวัติผู้เขียน	100

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 ตารางแผนการดำเนินงาน.....	5
2.1 ตารางการแสดงค่า.....	11
2.2 ตารางแสดงผลลัพท์.....	12
3.1 ระยะเวลาการทำโครงการ.....	61
3.2 แสดงส่วนของโมเดลรถล้อตีนตะขาบ.....	68

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1 แผนภาพ Flowchart ขั้นตอนการดำเนินงาน.....	3
1.1 แผนภาพ Flowchart ขั้นตอนการดำเนินงาน (ต่อ).....	4
2.1 แผนภูมิแสดงการใช้กำลังงานของพัดลม/ปั๊ม.....	9
2.2 แผนภูมิแสดงการใช้กำลังงาน.....	10
2.3 ลักษณะมอเตอร์ไฟฟ้า.....	13
2.4 ไฟฟ้ากระแสตรง.....	14
2.5 กฎมือซ้ายของเฟลมมิ่ง.....	14
2.6 ลักษณะของเฟืองตรง.....	15
2.7 ลักษณะของเฟืองสะพาน.....	16
2.8 ลักษณะของเฟืองเฉียง.....	16
2.9 ลักษณะของเฟืองคอกจอก.....	17
2.10 ลักษณะของเฟืองหนอน.....	17
2.11 ลักษณะการสั่นและแกว่งของวัตถุ.....	20
2.12 การเคลื่อนที่แนวตรง.....	21
2.13 แสดงการเปลี่ยนตำแหน่งและหมุนของวัตถุขณะเคลื่อนที่.....	24
2.14 (ก) การโยนวัตถุขึ้นไป (ข) การปล่อย หรือขว้างวัตถุลงมา.....	25
2.15 การหมุน.....	27
2.16 การวิเคราะห์วัตถุที่กำลังหมุน.....	28
2.17 เคลื่อนที่แนววงกลม.....	28
2.18 การขจัดเชิงมุม ความเร็ว และความเร่ง.....	29
2.19 ความเร่งเชิงมุมขณะใดขณะหนึ่ง.....	30
2.20 ล้อจำลองกำลังหมุนล้อ.....	31
2.21 สูตรการคำนวณโมเมนต์ความเฉื่อย.....	32
2.22 กำหนดแกนหมุน.....	33
2.23 การเลื่อนตำแหน่งแนวตรง.....	34
2.24 ล้อจำลองกำลังหมุนล้อ.....	35
2.25 ตำแหน่งวัตถุเคลื่อน.....	35
2.26 การกลิ้งแบบไม่ไถล.....	36
2.27 ระบบกันสะเทือน.....	38

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.28 การใช้กลไกเคลื่อนที่ล้อที่ไม่เป็นอิสระต่อกัน	38
2.29 การใช้กลไกล้อที่ขยับได้	39
2.30 การใช้กลไกการปีนป่าย	40
2.31 แผ่นอะคริลิก	41
2.32 ของใช้จากอะคริลิก	44
2.33 ท่อ PVC	46
2.34 ประวัติความเป็นมาท่อ PVC	48
2.35 ท่อประปาเหล็กอาบสังกะสี	50
2.36 ท่อ PVC	51
2.37 ท่อไซเลอร์	51
2.38 ท่อไทย พีพี-อาร์	52
2.39 ท่อ PE – Poly Et	53
2.40 แรงกดทับของท่อ PVC	55
2.41 การ DIY ไม้พาเลท	57
4.1 ตัวรถโมเดลรถล้อตะขาบ (screen1)	69
4.2 โครงของรถโมเดลรถล้อตะขาบ	69
4.3 ตัวเต็มของรถโมเดลรถล้อตะขาบ	70

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

เนื่องจากในปัจจุบันเทคโนโลยีเพื่ออำนวยความสะดวกสบายได้ก้าวล้ำไปยังโลกของอนาคต ได้เกิดนวัตกรรมต่าง ๆ ขึ้นบนโลกมากมายที่เกิดขึ้นจากนักคิด ที่คิดขึ้นเพื่อ ประโยชน์ใช้สอยต่าง ๆ ในปัจจุบัน ไม่ว่าจะเป็น สิ่งที่ถูกสร้างขึ้นเพื่อบตอบสนองความต้องการด้านต่าง ๆ ทั้ง ความปลอดภัย เพื่อพัฒนาทักษะ เพื่อสื่อสาร เพื่อการคมนาคม เพื่อความสะดวกสบาย ละเพิ่มระยะเวลา การใช้คุณภาพชีวิตให้ดีขึ้น เพื่อให้โลกก้าวพัฒนาได้อย่างต่อเนื่องและรวดเร็ว

ที่มาของแนวคิดนี้เกิดขึ้นมาจากกลุ่มนักศึกษาที่ได้มองเห็นจุดของปัญหาและโอกาสในการประดิษฐ์หุ่นยนต์ประยุกต์และนำความรู้และความสามารถที่คิดตัวมาได้นำมาแสดงศักยภาพในการสร้างผลงานโมเดลรถขนเอกสารเดินตามเส้น ซึ่งเป็นการประยุกต์เอาการต่อวงจรไฟ ใช้ความรู้ทางด้านการเขียนโค้ด Arduino การสร้างและประดิษฐ์ชิ้นงาน และความรู้เรื่องต่างๆอีกมากมายที่ได้รับมาจากการเรียนรู้ในห้องและนอกห้อง เพื่อนำมาประดิษฐ์เจ้าสิ่งนี้ขึ้นมาเพื่อต้องการความสะดวกสบายในองค์กรวิทยาลัย ไม่ทางใดก็ทางหนึ่ง เจ้าสิ่งประดิษฐ์ชิ้นนี้ มีหลักการทำงานโดยล้อตะขาบและเดินตามสัญญาณเส้น และมีกลไกในการยกเอกสารโดยใช้แกนยกแบบเอ็กซ์ทำให้ตัวรถมีความสมดุลและเลือกใช้วัสดุที่มีคุณภาพจึงทำให้ตัวรถนั้นแข็งแรง สิ่งประดิษฐ์ที่เราต้องการนำเสนอ ให้คณะกรรมการและคณะกรรมการได้รับชมนั้นก็คือ โมเดลรถบังคับเดินตามเส้น ทางเราได้ค้นพบแนวคิดนี้ขึ้นมาได้เนื่องจาก ในปัจจุบัน แนวคิดการประดิษฐ์สิ่งต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นหุ่นยนต์ ปัญญาประดิษฐ์หรือที่เรียกว่า AI มาใช้ในชีวิตประจำวันมากยิ่งขึ้นเพื่ออำนวยความสะดวกสบายในชีวิตของเราส่วนใดส่วนหนึ่งในชีวิต ไม่มากก็น้อย และปัญหาเพียงเล็กน้อยที่เราได้มองเห็นเกี่ยวกับการขนส่งนั้นทำให้เราได้คิดสิ่งประดิษฐ์สิ่งนี้นั้นก็คือ โมเดลรถขนส่งเอกสารเดินตามเส้น ที่จะช่วยแบ่งเอาภาระในการเดินส่งเอกสารตามห้องต่าง ๆ โดยที่เราไม่ต้องเดินไปส่งเอง เพียงแค่ท่านเรียกรถผ่านแอปพลิเคชันให้มาหาท่านที่โต๊ะและวางเอกสารไว้ในกระบะขนเอกสาร แล้วรถขนส่งเอกสารก็จะนำเอกสารไปให้ในจุดที่ท่านต้องการ โดยการเดินผ่านสัญญาณเซ็นเซอร์ที่ทำการสแกนเส้นทางจากเส้นบนพื้นของห้องที่ได้ตั้งเอาไว้

พวกเราคาดหวังเป็นอย่างยิ่งว่าชิ้นงานนี้จะเป็นประโยชน์ไม่มากก็น้อย และสามารถพัฒนาให้เกิดความก้าวหน้าทางชิ้นงานเพื่อเกิดประโยชน์ในภายหน้าต่อคนรุ่นหลังได้ และนำไปพัฒนาต่อจนชิ้นงานนี้สมบูรณ์แบบในทุก ๆ ด้าน และทางเราคาดหวังใจเป็นอย่างยิ่งว่าชิ้นงานของเราจะให้วิทยาทานกับเด็กรุ่นหลังต่อไปได้.

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

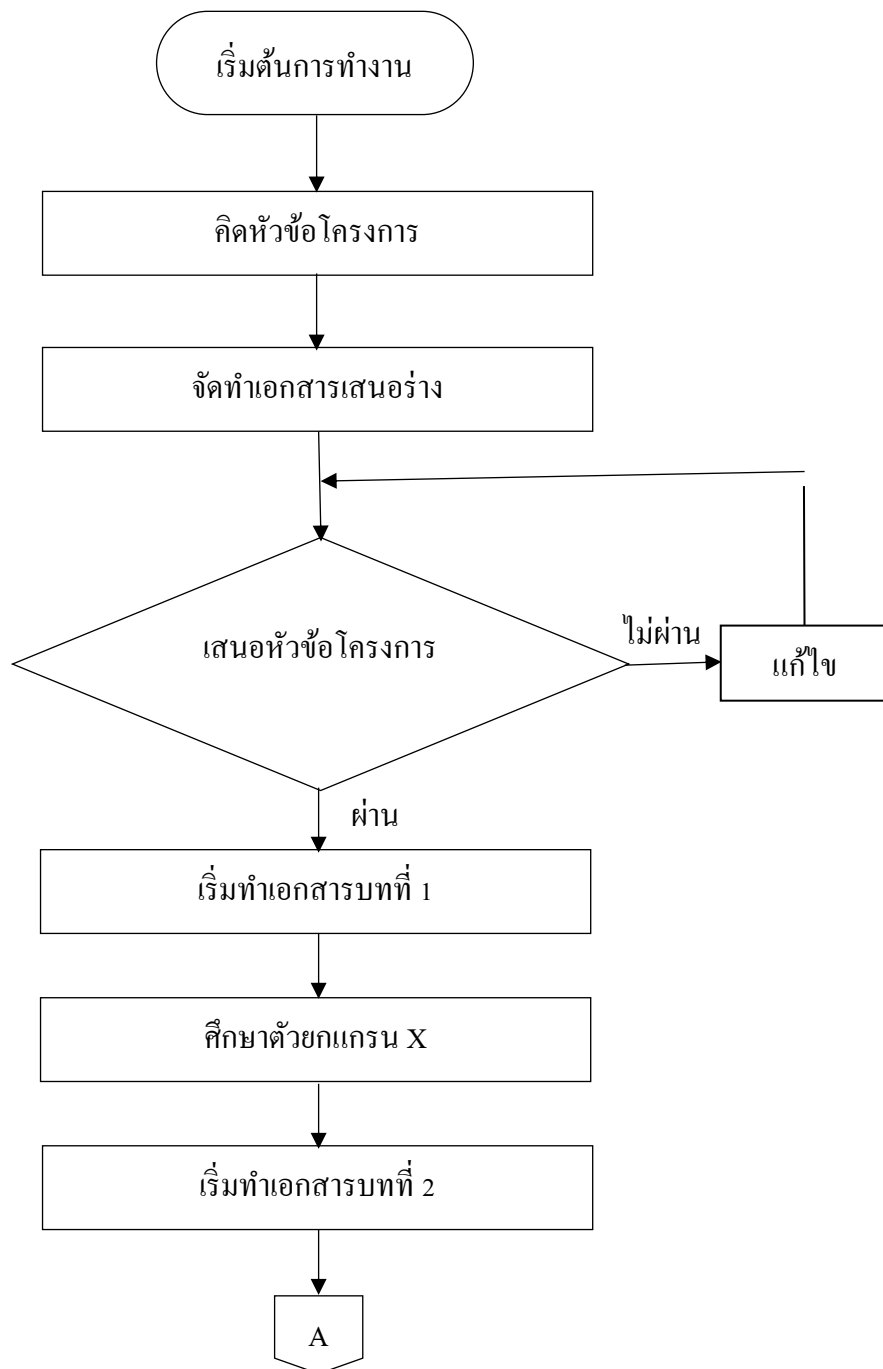
- 1.2.1 พัฒนาความรู้ทางการประดิษฐ์สิ่งของอำนวยความสะดวกภายในองค์กร
- 1.2.2 พัฒนาศักยภาพทางด้านการใช้โปรแกรม Arduino
- 1.2.3 นำความรู้ที่ได้จากการเรียนในระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูงสาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศมาประยุกต์ใช้ในการทำโครงการเรื่องโมเดลรถล้อตะขาบ

1.3 ขอบเขตของโครงการ

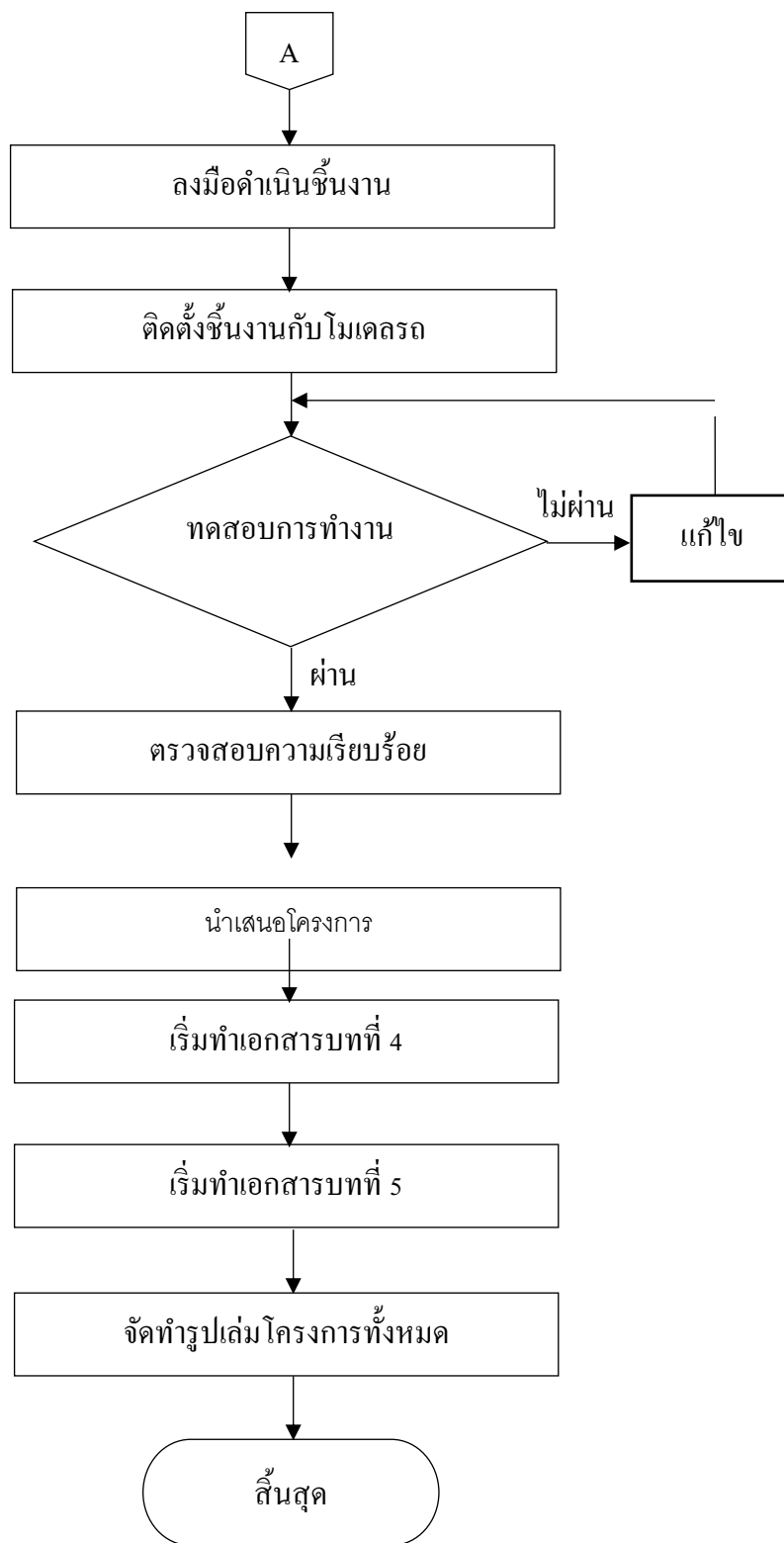
- 1.3.1 ใช้ล้อแพร่ในการขับเคลื่อน
- 1.3.2 ใช้อะคริลิกในการทำโครงสร้างโมเดล
- 1.3.3 ใช้มอเตอร์ในการขับเคลื่อนของรถ
- 1.3.4 ใช้แบตเตอรี่ในการเก็บไฟ

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน

- 1.4.1 คิดหัวข้อโครงการ
- 1.4.2 จัดทำเอกสารแบบเสนอร่างโครงการ
- 1.4.3 เสนอหัวข้อโครงการ
- 1.4.4 ศึกษาโปรแกรม Arduino
- 1.4.5 ศึกษาขั้นตอนการทำงาน
- 1.4.6 ออกแบบชิ้นงาน
- 1.4.7 จัดเตรียมอุปกรณ์
- 1.4.8 จัดทำรูปเล่มโครงการบทที่ 1
- 1.4.9 ลงมือประกอบโครงชิ้นงาน
- 1.4.10 จัดทำรูปเล่มโครงการบทที่ 2
- 1.4.11 จัดทำรูปเล่มโครงการบทที่ 3
- 1.4.12 สอบโครงการบทที่ 1-3
- 1.4.14 ปรับปรุงและแก้ไข
- 1.4.15 เก็บรายละเอียด
- 1.4.17 ตรวจสอบความเรียบร้อย
- 1.4.18 สอบโครงการ
- 1.4.19 จัดทำรูปเล่มโครงการบทที่ 5
- 1.4.20 จัดทำรูปเล่มโครงการบทที่ 4
- 1.4.21 รูปเล่มโครงการฉบับสมบูรณ์



รูปที่ 1.1 แผนภาพ Flowchart ขั้นตอนการดำเนินงาน



รูปที่ 1.1 แผนภาพ Flowchart ขั้นตอนการดำเนินงาน (ต่อ)

1.5 ระยะเวลาการทำโครงการ

ตารางการดำเนินงานโครงการนี้ใช้ระยะเวลาในการพัฒนา ตั้งแต่เดือน มิถุนายน พ.ศ. 2562 ถึงเดือน กุมภาพันธ์ พ.ศ.2563 ดังตารางที่ 1.1

ตารางที่ 1.1 ตารางแผนการดำเนินงาน

ลำดับ	ขั้นตอนการดำเนินงาน	ระยะเวลาการดำเนินงาน								
		ปี พ.ศ. 2562							ปี พ.ศ. 2563	
		มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.
1	คิดหัวข้อโครงการ	↔								
2	จัดทำเอกสารแบบเสนอร่างโครงการ	↔								
3	เสนอหัวข้อโครงการ		↔							
4	ศึกษาโปรแกรม Arduino	↔								
5	ศึกษาขั้นตอนการทำงาน		↔							
6	ออกแบบชิ้นงาน		↔							
7	จัดเตรียมอุปกรณ์			↔						

8	จัดทำรูปเล่ม โครงการบท ที่ 1			↔						
---	------------------------------------	--	--	---	--	--	--	--	--	--

ตารางที่ 1.1 ตารางแผนการดำเนินงาน (ต่อ)

ลำดับ	ขั้นตอนการดำเนินงาน	ระยะเวลาการดำเนินงาน								
		ปี พ.ศ. 2562							ปี พ.ศ. 2563	
		มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.
9	ลงมือ ประกอบ โครงชิ้นงาน			↔						
10	จัดทำรูปเล่ม โครงการบท ที่ 2				↔					
11	จัดทำรูปเล่ม โครงการบท ที่ 3			↔						
12	สอบ โครงการบท ที่ 1-3				↔					
13	ปรับปรุงและ แก้ไข				↔					
14	เก็บ รายละเอียด				↔					
15	ตรวจสอบ ความ เรียบร้อย					↔				

16	สอบ โครงการ						↔			
17	จัดทำรูปเล่ม โครงการบท ที่ 5						↔			
18	จัดทำรูปเล่ม โครงการบท ที่ 4							↔		

ตารางที่ 1.1 ตารางแผนการดำเนินงาน (ต่อ)

ลำดับ	ขั้นตอนการ ดำเนินงาน	ระยะเวลาการดำเนินงาน								
		ปี พ.ศ. 2562							ปี พ.ศ. 2563	
		มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.
19	รูปเล่ม โครงการ ฉบับสมบูรณ์							↔		

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.6.1 พัฒนาความรู้ทางการประดิษฐ์สิ่งของอำนวยความสะดวกภายในองค์กร
- 1.6.2 ให้ผู้ใช้งานแอปพลิเคชันได้มีความรู้พื้นฐานทางด้านวิทยาศาสตร์มากยิ่งขึ้น
- 1.6.3 นำความรู้ที่ได้จากการเรียนในสาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศมาประยุกต์ใช้ในการ
ทำโครงการ

1.7 งบประมาณที่ใช้ในการทำโครงการ

1.7.1 ค่าพิมพ์เอกสาร	1,200 บาท
1.7.2 ค่าแผ่น DVD	50 บาท
1.7.3 ค่าทำเล่มเอกสาร โครงการ	400 บาท
1.7.4 ค่ากระดาษ	600 บาท
<u>รวม</u>	<u>2,250 บาท</u>

บทที่ 2

แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ในการศึกษาผลงานที่เกี่ยวข้องกับ โมเดลรถล้อตะขาบ (Caterpilla Tractor Model) สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ ซึ่งนับว่าเป็นองค์ประกอบหนึ่งที่มีความสำคัญมาก จะทำให้โครงการมีความครบถ้วนสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

คณะผู้จัดทำได้แบ่งเอกสารและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องเป็นหัวข้อดังนี้

- 2.1 ความต้องการของระบบที่เหมาะสม
- 2.2 ทฤษฎีเกี่ยวกับมอเตอร์
- 2.3 ทฤษฎีเกี่ยวกับเฟือง
- 2.4 ทฤษฎีเกี่ยวกับลักษณะของการเคลื่อนที่
- 2.5 ทฤษฎีเกี่ยวกับกฎของนิวตัน
- 2.6 ทฤษฎีเกี่ยวกับนิยามการเคลื่อนที่
- 2.7 ทฤษฎีเกี่ยวกับการเคลื่อนที่บนพื้นด้วยล้อและสายพานดินตะขาบ
- 2.8 ทฤษฎีเกี่ยวกับอะคริลิก
- 2.9 ทฤษฎีเกี่ยวกับท่อPVC
- 2.10 ทฤษฎีเกี่ยวกับไม้พาเลท

2.1 ความต้องการของระบบที่เหมาะสม

อุปกรณ์ควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ (Variable Speed Drive : VSD) เป็นอุปกรณ์ควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ไฟฟ้าให้เหมาะสมกับสถานะของโหลด เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของมอเตอร์ในกระบวนการผลิตในโรงงานอุตสาหกรรม ระบบปั้มน้ำ พัดลม และระบบปรับอากาศขนาดใหญ่ อุปกรณ์ VSD ใช้เทคโนโลยีแบบ Voltage Vector Control (VVC) ทำให้ประสิทธิภาพการควบคุมไม่ให้เกิดการสูญเสียพลังงานความร้อนในตัวมอเตอร์ (Derating) และมีอุปกรณ์กำจัดสัญญาณรบกวน (Harmonics Filters) ที่เป็นอุปกรณ์มาตรฐานของเครื่องป้องกันการรบกวนสัญญาณควบคุมและยังส่งผลดีในการประหยัดพลังงานอีกด้วย

2.1.1 VSD

VSD ได้ถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายในทางอุตสาหกรรม เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการผลิตลดต้นทุนและงานทั่วไปในระบบปั้มน้ำและระบบปรับอากาศ

2.1.2 งานด้านการผลิตในอุตสาหกรรม

2.1.2.1 เครื่องจักรกลในอุตสาหกรรมทุกประเภทที่ใช้มอเตอร์เป็นแรงขับเคลื่อน

2.1.2.2 ระบบสายพานลำเลียง

2.1.2.3 กระบวนการผลิตที่ต้องการควบคุมประสิทธิภาพและคุณภาพการผลิตให้คงที่

2.1.3 งานทั่วไปที่มีมอเตอร์เป็นตัวกำเนิดพลังงานกล

2.1.3.1 ระบบควบคุมปั้มน้ำ พัดลม

2.1.3.2 ระบบปรับอากาศในโรงงาน และอาคารขนาดใหญ่

2.1.3.3 การลำเลียง เช่น ลิฟต์ขนส่ง บันไดเลื่อน

2.1.3.4 ระบบอัดอากาศ ระบบกำจัดคาร์บอนมอนอกไซด์ในที่จอดรถ ฯลฯ

2.1.4 ข้อดีของการใช้ VSD

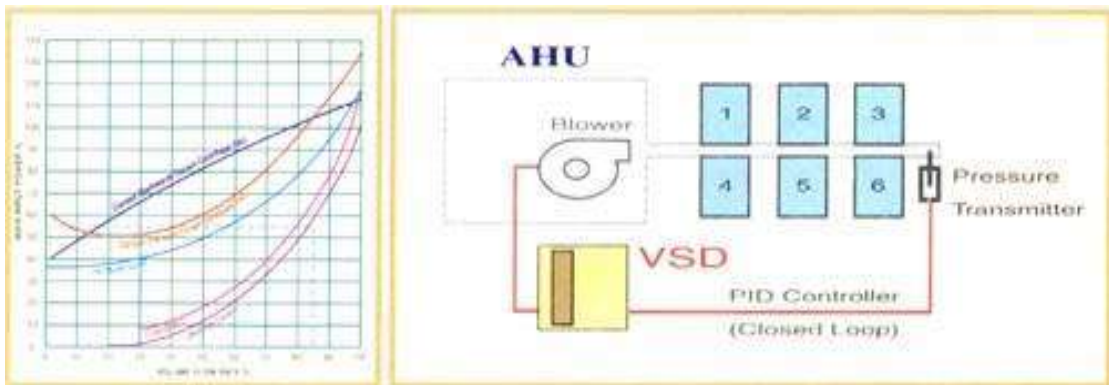
2.1.4.1 สามารถปรับความเร็วรอบมอเตอร์ได้จากเดิมซึ่งคงที่ ทั้งมอเตอร์ ปั้มน้ำ และพัดลม ทำให้ได้ความเร็วรอบที่เหมาะสมตามความต้องการทำงานในแต่ละลักษณะ และยังทำการควบคุมแบบ Closed Loop Control เพื่อให้ระบบมีเสถียรภาพคงที่อยู่ตลอดเวลา

2.1.4.2 เพิ่มคุณภาพของชิ้นงานให้ถูกต้องตามความต้องการ และลดต้นทุนในการผลิต

2.1.4.3 ช่วยลดการสึกหรอของเครื่องจักร และป้องกันการสูญเสียของมอเตอร์พัฒนา และ

2.1.4.4 ลดการกระชากไฟฟ้าตอนเริ่มต้น ทำให้ลดค่าความต้องการพลังไฟฟ้า โดยเฉพาะมอเตอร์ที่มีขนาดใหญ่

2.1.4.5 ประหยัดพลังงาน โดยใช้พลังงานตามความจำเป็นของโหลด



รูปที่ 2.1 แผนภูมิแสดงการใช้กำลังงานของพัดลม/ปั๊ม ที่มา <http://www2.dede.go.th/bhrd/old/>

dataenergy/DocEnergy/energy%20saving%20Technogy3.htm

2.1.5 ความคุ้มค่าการลงทุน

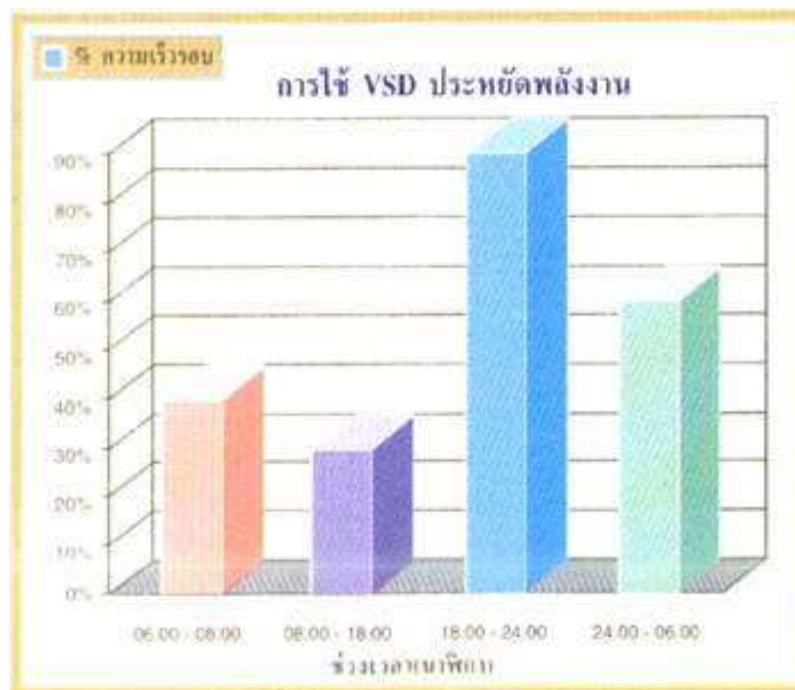
ความคุ้มค่าการลงทุนเพื่อให้จ่ายต่อการเข้าใจ สามารถเปรียบเทียบระหว่างการใช้ VSD และการไม่ใช้ VSD ได้ดังนี้ สมมุติ ในงานระบบปรับอากาศที่มีขนาดใหญ่ เช่น ในโรงงาน ในอาคารขนาดใหญ่ หรือในโรงงานอุตสาหกรรมที่มีมอเตอร์ขนาดใหญ่ในระบบทำความเย็น ซึ่งในที่นี้ยกตัวอย่าง 75 กิโลวัตต์ ปรกติทำงาน 24 ชั่วโมงต่อวัน และประมาณการค่าไฟฟ้าและค่าเสื่อมค่าทรัพย์สิน หน่วยละ 1.70 บาท

โดยกรณีศึกษาจะเปรียบเทียบระหว่างกรณีการใช้ VSD และกรณีไม่ใช้ VSD ดังนี้กรณีที่ไม่ใช้ VSD ในกรณีนี้จะเห็นว่า มอเตอร์ทำงานเต็มพิกัดตลอดเวลา

ดังนั้นการเสียค่าไฟต่อวันจะคำนวณได้จาก

$$\text{ค่าไฟฟ้าต่อวัน} = 75 \text{ กิโลวัตต์} \times 24 \text{ ชั่วโมง} \times 1.7 \text{ บาท} = 3,060 \text{ บาท/วัน}$$

$$\text{ค่าไฟฟ้าต่อวัน} = 3,060 \text{ บาท} \times 360 \text{ วัน} = 1,101,600 \text{ บาท/ปี}$$



รูปที่ 2.2 แผนภูมิแสดงการใช้กำลังงาน ที่มา [http://www2.dede.go.th/bhrd/old/dataenergy/](http://www2.dede.go.th/bhrd/old/dataenergy/DocEnergy/energy%20saving%20Technogy3.htm)

DocEnergy/energy%20saving%20Technogy3.htm

จากรูปเป็นข้อมูลที่ได้จากการใช้ VSD ในการทำงาน โดยใช้ Pressure Transmitter เป็นตัวเซ็นเซอร์ให้กับระบบ ทำให้การทำงานของเครื่องปรับความเร็วมอเตอร์ไปตามโหลดจริงที่ต้องการใช้

เพื่อให้ง่ายต่อความเข้าใจ เราต้องรู้ถึงความสัมพันธ์ของพลังงาน (Power), Flow/Speed และ Pressure สัมพันธ์กันได้ดังรูปข้างล่างนี้

ตารางที่ 2.1 ตารางการแสดงค่า

อัตราการไหล Flow (n)	แรงดันในท่อ Pressure (n2)	พลังงานที่ใช้ Power (n3)
0.0%	0.0%	0.0%
10.0%	1.0%	0.1%
20.0%	4.0%	0.8%
30.0%	9.0%	2.7%
40.0%	16.0%	6.4%
50.0%	25.0%	12.5%
60.0%	36.0%	21.6%
70.0%	49.0%	34.3%
80.0%	64.0%	51.2%
90.0%	81.0%	72.9%
100.0%	100.0%	100.0%

เห็นได้ว่าความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับพลังงาน ดังนี้ Flow มีค่าแปรผันตามความเร็วรอบ (Speed หรือค่า n) ; $Q1/Q2 = N1 / N2$ แรงดัน (Pressure) มีความสัมพันธ์ยกกำลังสองของความเร็วรอบ (n2) ; $P1 / P2 = (N1 / N2)^2$ และพลังงาน = ความเร็วรอบยกกำลังสาม (n3); $HP1 / HP2 = (N1 / N2)^3$ นั่นคือ Flow / Speed (n) = Pressure (n2) = Power (n3) กรณีที่ใช้ VSD เราสามารถนำข้อมูลจากตารางข้างต้นมาหาค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ไป โดยความสัมพันธ์ของความเร็วรอบ (Speed :Hz) อัตราการไหลของลม (Flow) และพลังงานไฟฟ้าเป็น % เมื่อเทียบกับมอเตอร์ที่ความเร็วเต็มพิกัดที่ 75 กิโลวัตต์

ความเร็วรอบ (n)	พลังงาน (n3)	จำนวนกิโลวัตต์เทียบ กับมอเตอร์ 75 (100%)	คูณกับจำนวนชั่วโมง
100% = 1	1.03 = 1.0 = 100%	100% x 75 = 75 กิโลวัตต์	75 x 0 = 0
90% = 0.9	9.03 = 0.729 = 72.9%	72.9% x 75 = 54.7 กิโลวัตต์	54.7 x 2 = 109.4
60% = 0.6	21.6%	= 16.2 กิโลวัตต์	16.2 x 10 = 162.0
40% = 0.4	6.4%	= 4.8 กิโลวัตต์	4.8 x 6 = 28.8
30% = 0.3	2.7%	= 2.0 กิโลวัตต์	2.0 x 6 = 12.0
จะได้จำนวนหน่วยที่ใช้ต่อวัน			= 312.2 หน่วย

ตารางที่ 2.2 ตารางแสดงผลกลับ

จำนวนพลังงานที่ใช้ต่อปี = $312.2 \times 360 = 122,392$

ค่าไฟฟ้าต่อปีในกรณีที่ใช้ VSD = $122,392 \times 1.70 = 191,066$ บาทต่อปี

* ความแตกต่างของตัวเงินระหว่างการเลือกใช้ VSD และกรณีไม่ใช้ VSD

= $1,101,600 - 191,066 = 910,534$ บาทต่อปี

* ระยะเวลาคืนทุน

= เงินลงทุน / เงินค่าไฟที่ประหยัดได้ต่อปี

= $700,000 / 910,534 = 0.77$ ปีหรือประมาณ 9 เดือน**

หมายเหตุ ** คำนวณจากตัวเลขตารางข้างต้น ระยะคืนทุนอาจแตกต่างตามการใช้งานจริง

สรุป ดังนั้นจะเห็นได้ว่าความสำคัญของการใช้ VSD สามารถช่วยลดปัญหาการสูญเสียพลังงานได้ และหากคิดในด้านการลงทุนแล้ว สามารถคืนทุนได้ในระยะเวลาอันสั้น ซึ่งส่งผลดีต่อผู้ใช้งาน

2.2 ทฤษฎีเกี่ยวกับมอเตอร์

2.2.1 มอเตอร์ (Motor)

มอเตอร์คือเครื่องกลไฟฟ้า (Electromechanical Energy) ที่ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้า (Electric Energy) ให้เป็นพลังงานกล (Mechanical Energy) ในรูปของการหมุนเคลื่อนที่มีประโยชน์ในการนำไปใช้งานได้อย่างกว้างขวาง ถูกนำไปรวมใช้งานกับอุปกรณ์ไฟฟ้า เครื่องมือไฟฟ้า และเครื่องใช้ไฟฟ้าประมาณ 80-90% ลักษณะมอเตอร์ไฟฟ้า (Electric Energy)

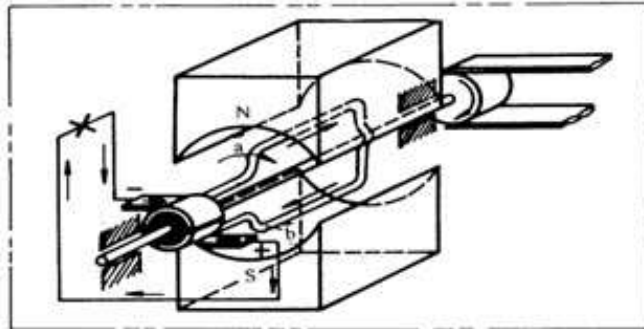


รูปที่ 2.3 ลักษณะมอเตอร์ไฟฟ้า ที่มา <http://sexlazy.blogspot.com/2000/08/motor.html>

2.2.2 การทำงานของมอเตอร์

มอเตอร์ไฟฟ้าที่ถูกผลิตขึ้นมาใช้งานแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (DC Motor) เป็นมอเตอร์ที่ใช้กับแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง (DC Source) เป็นมอเตอร์แบบเบืองตันที่ถูกผลิตมาใช้งาน และมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ (AC Motor) เป็นมอเตอร์ที่ใช้กับแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ (AC Source) มอเตอร์ชนิดนี้ถูกพัฒนามาจากมอเตอร์กระแสตรงเพื่อให้สามารถใช้งานได้อย่างกว้างขวางมากขึ้น

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงประกอบด้วย แม่เหล็กถาวร 2 ขั้ว วางอยู่ระหว่างขดลวดตัวนำ ขดลวดตัวนำจะได้รับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงป้อนให้ในการทำงาน ทำให้เกิดอำนาจแม่เหล็ก 2 ขั้ว มีขั้วแม่เหล็กเหมือนกันวางใกล้กันเกิดแรงผลักระหว่างขั้ว ทำให้ขดลวดตัวนำหมุนเคลื่อนที่ได้การทำงานเบืองตันของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแสดงดังรูป



รูปที่ 2.4 ไฟฟ้ากระแสตรง ที่มา <http://sexlazy.blogspot.com/2000/08/motor.html>

จากสมการ $F = ILB$

$F(N)$ = แรงผลักรของขดลวด

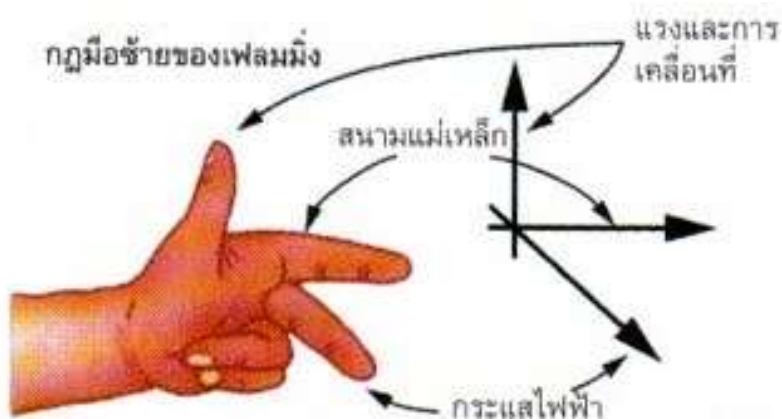
$I(A)$ = กระแสที่ไหลในขดลวด

$B(T)$ = ความหนาแน่นของฟลักซ์แม่เหล็ก

$L(M)$ = ความยาวของขดลวด

2.2.3 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (D.C. Motor)

เมื่อมีกระแสไหลผ่านเข้าไปในมอเตอร์กระแสจะแบ่งออกไป 2 ทาง คือ ส่วนที่หนึ่งจะผ่านเข้าไปที่ขดลวดสนามแม่เหล็ก (Field coil) ทำให้เกิดสนามแม่เหล็กขึ้นและอีกส่วนหนึ่งจะผ่านแปลงถ่านคาร์บอนและผ่านคอมมิวเตเตอร์ เข้าไปในขดลวดอาร์เมเจอร์ทำให้เกิดสนามแม่เหล็กขึ้นเช่นกัน ซึ่งทั้งสองสนามจะเกิดขึ้นขณะเดียวกัน ตามคุณสมบัติของเส้นแรงแม่เหล็กและจะไม่มีการติดกัน จะมีแต่หักล้างและมีการเสริมกัน ซึ่งทำให้เกิดแรงบิดในอาร์เมเจอร์ ทำให้อาร์เมเจอร์หมุนซึ่งในการหมุนนั้นจะเป็นไปตามกฎมือซ้ายของเฟลมมิ่ง



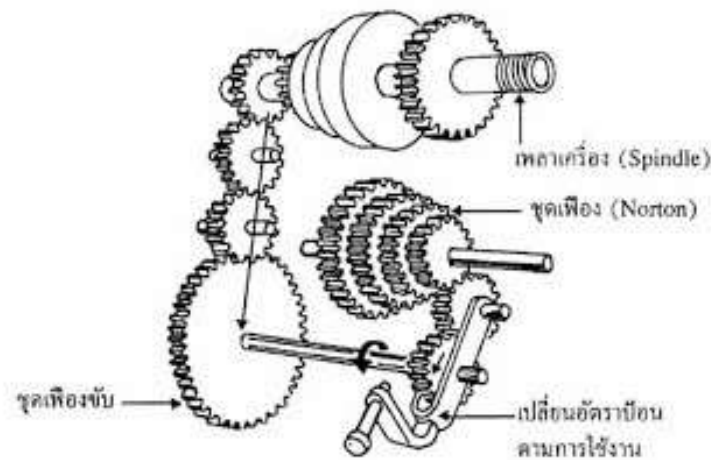
รูปที่ 2.5 กฎมือซ้ายของเฟลมมิ่ง ที่มา <http://sexlazy.blogspot.com/2000/08/motor.html>

2.3 ทฤษฎีเกี่ยวกับเฟือง

เฟือง คือ อุปกรณ์ที่ใช้ในการส่งถ่ายกำลังระหว่างเพลากับเพลลา โดยอาศัยฟัน และเฟืองทั้งสองขบกัน นอกจากนี้เฟืองยังสามารถใช้ในการทดสอบเพื่อเพิ่มและลดความเร็วของเฟืองตัวที่ใช้จับได้

2.3.1 ชนิดของเฟือง

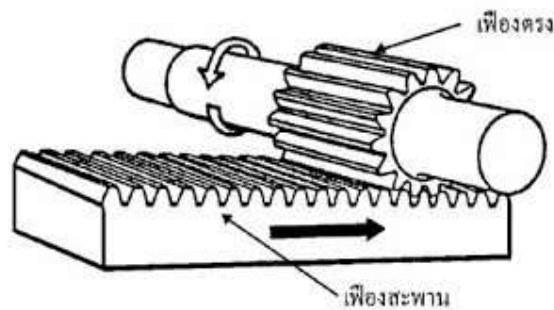
2.3.1.1 เฟืองตรง (Spur Gear) เป็นเฟืองที่มีลักษณะฟันตรงและมีทิศทางการขนานกับแกนเพลลา เฟืองชนิดนี้เป็นแบบธรรมดาทำง่าย และมีราคาถูกที่สุดเมื่อเทียบกับเฟืองชนิดอื่น ๆ ใช้ถ่ายทอดกำลังระหว่างเพลลาที่ขนานกัน เช่น ชุดเฟืองทดในเครื่องจักร



รูปที่ 2.6 ลักษณะของเฟืองตรง ที่มา <https://sites.google.com/site/physic122/about>

เฟืองตรงใช้ส่งกำลังกับเพลลาที่ขนานกัน เหมาะสำหรับการส่งกำลังที่มีความเร็วรอบต่ำหรือความเร็วรอบปานกลางไม่เกิน 20 เมตร ต่อวินาที เช่น ชุดเฟืองทดของเครื่องกลึงเพื่อเดินกลึงอัตโนมัติ หรือชุดเฟืองทดของเครื่องจักรกลการเกษตรที่ความเร็วรอบต่ำ ๆ

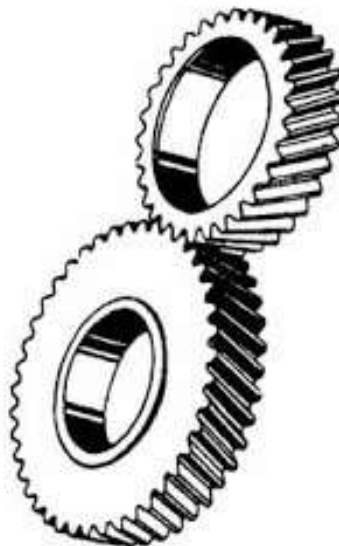
2.3.1.2 เฟืองสะพาน(Rack Gear) เป็นเฟืองตรงชนิดหนึ่งที่มีรัศมีแบบไม่สิ้นสุดและมีลักษณะรูปร่างยาวเป็นเส้นตรงเหมือนสะพาน ฟันเฟืองทำมุมกับลำตัว 90 องศา โดยประมาณการใช้งานจะต้องใช้คู่กับเฟืองตรง



รูปที่ 2.7 ลักษณะของเฟืองสะพาน ทม | <https://sites.google.com/site/physic122/about>

ในการใช้งานของเฟืองสะพาน (RACK) จะต้องใช้คู่กับเฟืองตรงที่เรียกว่าพินเนียน (Pinion) เสมอ ก็จะสามารถทำการส่งกำลังได้ ลักษณะการใช้งานของเฟืองสะพาน ตัวอย่างเช่น เฟืองสะพานของเครื่องกลึงศูนย์ ที่ช่วยให้แท่นเคลื่อนที่ ซ้าย-ขวา หรือเฟืองสะพานของเครื่องเจาะที่ทำหน้าที่เคลื่อนเพลาเจาะให้ขึ้นลง

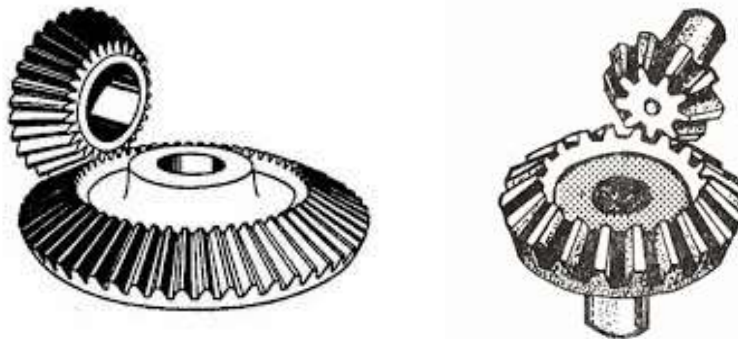
2.3.1.3 เฟืองเฉียง (Helical gear or Spiral gear) จะมีลักษณะรูปร่างเป็นล้อกลมคล้ายเฟืองตรง แต่เฟืองเฉียง ฟันของเฟืองจะเฉียง ไปทำมุมกับแกนเพลลา อาจเอียงไปทางซ้าย หรือขวา ขึ้นอยู่กับการใช้งาน



รูปที่ 2.8 ลักษณะของเฟืองเฉียง ที่มา <https://sites.google.com/site/physic122/about>

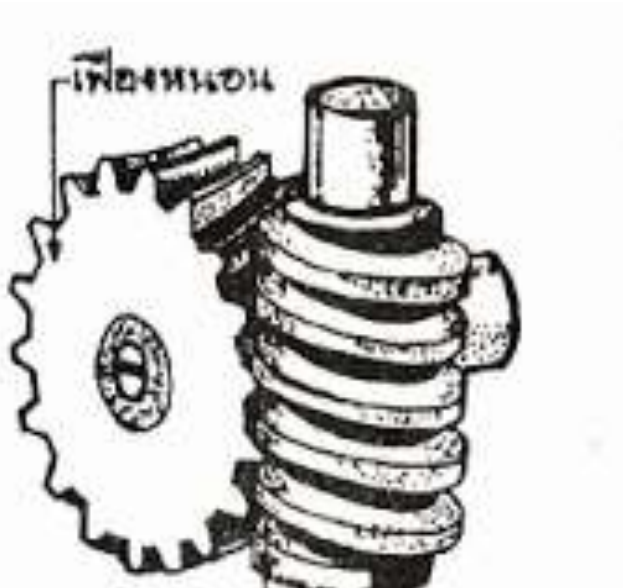
เฟืองเฉียงมีหน้าที่การใช้งานเหมือนกับเฟืองตรงทุกอย่าง แต่มีข้อดีกว่าเฟืองตรง คือ เมื่อส่งกำลังด้วยความเร็วรอบสูง ๆ แล้วจะไม่เกิดเสียง สัมผัสมากกว่าการกระทบ

2.3.1.4 เฟืองดอกจอกหรือเฟืองบายศรี (Bevel Gear) เฟืองชนิดนี้มีลักษณะรูปร่างเป็นรูปทรงกรวย ฟันเฟืองจะอยู่โดยรอบผิวของทรงกรวย และขนานกับแกน ของเฟือง เฟืองดอกจอกใช้สำหรับเปลี่ยนทิศทางการส่งกำลังระหว่างเพลาของล้อที่ตั้งฉากกัน เช่น การส่งกำลังไปยังเพลาของล้อรถ



รูปที่ 2.9 ลักษณะของเฟืองดอกจอก ที่มา <https://sites.google.com/site/physic122/about>

2.3.1.5 เฟืองหนอน (Worm Gear) มีลักษณะเหมือนเกลียวและอาจมีเกลียวเดียวหรือหลายเกลียวได้ แต่ที่นิยมใช้กันมาก เป็นแบบหลายเกลียว เฟืองหนอนปกติต้องใช้เป็นคู่ คือ เกลียวหนอน (ตัวเล็ก) และ เฟืองหนอน (ตัวใหญ่)



รูปที่ 2.10 ลักษณะของเฟืองหนอน ที่มา <https://sites.google.com/site/physic122/about>

เฟืองชนิดนี้ให้อัตราทดสูงมาก แกนของเฟืองมักตั้งฉากกันและไม่ตัดกันเฟืองชนิดนี้มักนิยมใช้ในการลดความเร็วรอบที่สูงมาก ๆ ให้เหลือความเร็วรอบต่ำ ๆ ซึ่งนำมาประยุกต์ใช้ในชุดหัวแบ่งที่ใช้กัดเฟือง หรือใช้ในแม่แรงยกของ

นักฟิสิกส์พบว่า ฟิสิกส์ดั้งเดิมไม่สามารถคำนวณสิ่งที่เคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูงได้แม่นยำ เพื่อแก้ปัญหานี้ อองรี ปวงกาเร และ อัลเบิร์ต ไอน์สไตน์ได้เสนอทฤษฎีอธิบายการเคลื่อนที่ของวัตถุ เพื่อใช้แทนของกฎของนิวตัน กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันกำหนดให้อวกาศและเวลาเป็นสิ่งที่สมบูรณ์ แต่ทฤษฎีไอน์สไตน์กับปวงกาเร ซึ่งเรียกว่า ทฤษฎีสัมพัทธภาพพิเศษ กำหนดให้ค่าเหล่านี้เป็นสิ่งที่สัมพัทธ์ ซึ่งต่อมา ทฤษฎีสัมพัทธภาพพิเศษ ก็เป็นที่ยอมรับในการอธิบายการเคลื่อนที่ เพราะทำนายผลลัพธ์ได้แม่นยำกว่า อย่างไรก็ตาม ในทางปฏิบัติ กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันยังเป็นที่ใช้กันอยู่ โดยเฉพาะงานด้านฟิสิกส์ประยุกต์และงานวิศวกรรม เพราะสามารถคำนวณได้ง่ายกว่าทฤษฎีสัมพัทธภาพพิเศษ

2.4 ทฤษฎีเกี่ยวกับลักษณะของการเคลื่อนที่

2.4.1 การเคลื่อนที่

การเคลื่อนที่ คือ การเปลี่ยนตำแหน่งของวัตถุในช่วงเวลาหนึ่ง ซึ่งวัดโดยผู้สังเกตที่เป็นส่วนหนึ่งของกรอบอ้างอิง เมื่อปลายคริสต์ศตวรรษที่ 19 เซอร์ไอแซก นิวตัน ได้เสนอกฎการเคลื่อนที่ของนิวตันในหนังสือ Principia ของเขา ซึ่งต่อมาได้กลายเป็นกฎพื้นฐานของฟิสิกส์ดั้งเดิม การคำนวณการเคลื่อนที่ของวัตถุต่าง ๆ โดยใช้ฟิสิกส์ดั้งเดิมนั้นประสบความสำเร็จมาก จนกระทั่งนักฟิสิกส์เริ่มศึกษาเกี่ยวกับสิ่งที่เคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูงมา

นักฟิสิกส์พบว่า ฟิสิกส์ดั้งเดิมไม่สามารถคำนวณสิ่งที่เคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูงได้แม่นยำ เพื่อแก้ปัญหานี้ อองรี ปวงกาเร และ อัลเบิร์ต ไอน์สไตน์ได้เสนอทฤษฎีอธิบายการเคลื่อนที่ของวัตถุ เพื่อใช้แทนของกฎของนิวตัน กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันกำหนดให้อวกาศและเวลาเป็นสิ่งที่สมบูรณ์ แต่ทฤษฎี

ไอน์สไตน์กับปวงกาเร ซึ่งเรียกว่า ทฤษฎีสัมพัทธภาพพิเศษ กำหนดให้ค่าเหล่านี้เป็น สิ่งสัมพัทธ์ ซึ่งต่อมา ทฤษฎีสัมพัทธภาพพิเศษก็เป็นที่ยอมรับในการอธิบายการเคลื่อนที่ เพราะทำนายผลลัพธ์ได้แม่นยำกว่า อย่างไรก็ตาม ในทางปฏิบัติ กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันยังเป็นที่ใช้กันอยู่ โดยเฉพาะงานด้านฟิสิกส์ประยุกต์และงานวิศวกรรม เพราะสามารถคำนวณได้ง่ายกว่า ทฤษฎีสัมพัทธภาพพิเศษ

2.4.2 ลักษณะของการเคลื่อนที่

แบ่งได้ 4 ลักษณะ คือ

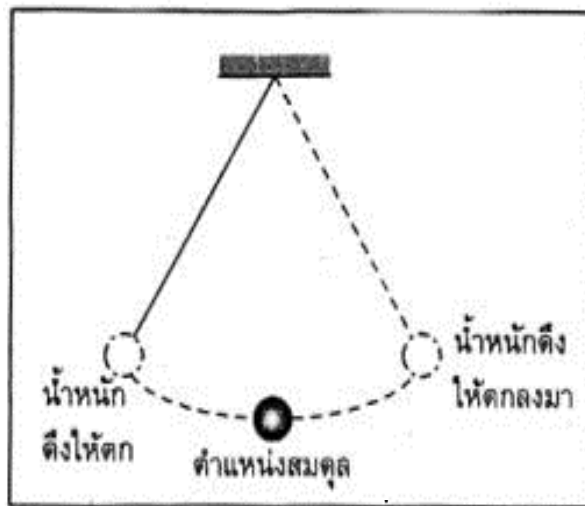
2.4.2.1 การเคลื่อนที่เป็นแนวเส้นตรง ลักษณะของการเคลื่อนที่แบบนี้เป็นพื้นฐานของการเคลื่อนที่ เพราะทิศทางการเคลื่อนที่จะมีทิศทางเดียว แต่อาจจะเคลื่อนที่ไป-กลับได้ รูปแบบการเคลื่อนที่ อาจจะแตกต่างกันออกไป ตัวอย่างเช่น

- การเคลื่อนที่ของรถไฟบนราง
- การเคลื่อนที่ของรถบนถนนที่เป็นแนวเส้นตรง
- การเคลื่อนที่ภายใต้แรงโน้มถ่วงของโลก

2.4.2.2 การเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์ เป็นการเคลื่อนที่ของวัตถุที่มีแนวเส้นทางการเคลื่อนที่เป็นรูปโค้งพาราโบลา และเป็นพาราโบลาทางแกน y ที่มีลักษณะกว่าการที่วัตถุเคลื่อนที่เป็นแนวเส้นโค้ง เนื่องจากการที่วัตถุเคลื่อนที่เข้าไปในบริเวณที่มีแรงกระทำต่อวัตถุไม่อยู่ในแนวเดียวกับทิศของการเคลื่อนที่

2.4.2.3 การเคลื่อนที่แบบวงกลมเป็นการเคลื่อนที่ของวัตถุรอบจุด ๆ หนึ่ง โดยมีรัศมีคงที่ การเคลื่อนที่เป็นวงกลม ทิศทางของการเคลื่อนที่จะเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา ความเร็วของวัตถุ จะเปลี่ยนไปตลอดเวลา ทิศของแรงที่กระทำจะตั้งฉากกับทิศของการเคลื่อนที่แรงที่กระทำต่อวัตถุจะมีทิศทางเข้าสู่ศูนย์กลาง เราจึงเรียกว่า “แรงสู่ศูนย์กลาง” ในขณะเดียวกัน จะมีแรงด้านที่ไม่ให้วัตถุเข้าสู่ศูนย์กลาง เราเรียกว่า “แรงหนีศูนย์กลาง” แรงหนีศูนย์กลางจะเท่ากับแรงสู่ศูนย์กลาง วัตถุจึงจะเคลื่อนที่เป็นวงกลมได้

2.4.2.4 การเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่ายลักษณะของการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่ายจะเป็นการเคลื่อนที่ที่มีลักษณะพิเศษ คือ วัตถุจะเคลื่อนที่กลับไปกลับมาที่เราเรียกว่าแกว่ง หรือ สั่น การเคลื่อนที่แบบนี้จะเป็นการเคลื่อนที่ที่อยู่ในช่วงสั้นๆ มีขอบเขตจำกัด เราเรียกว่า แอมพลิจูด (Amplitude) โดยนับจากตำแหน่งสมดุล ซึ่งอยู่ตรงจุดกลางวัดไปทางซ้ายหรือขวา เช่น การแกว่งของชิงช้า หรือยานไวกิงในสวนสนุก



รูปที่ 2.11 ลักษณะการสั่นและแกว่งของวัตถุ ที่มา http://119.46.166.126/self_all/selfaccess9/m3/547/lesson1/1_5.php

2.4.3 ปริมาณที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่จะเป็นพื้นฐาน

การเคลื่อนที่จะต้องประกอบไปด้วยองค์ประกอบ 3 ส่วน

Y วัตถุที่เคลื่อนที่ จะหมายถึงวัตถุที่มีลักษณะเป็นของแข็งที่คงรูปทรงอยู่ได้

Y ผู้สังเกต เป็นผู้ที่ศึกษาวัตถุที่เคลื่อนที่ โดยผู้สังเกตจะต้องอยู่นอกวัตถุที่เคลื่อนที่

Y จุดอ้างอิง การเคลื่อนที่ของวัตถุจะต้องมีการเปลี่ยนตำแหน่งของวัตถุ ดังนั้นเราจะต้องมีจุดอ้างอิง เพื่อบอกตำแหน่งของวัตถุเมื่อเวลาผ่านไป

2.4.3.1 ระยะทาง (Distance) การเคลื่อนที่ของวัตถุจะเริ่มนับตั้งแต่จุดเริ่มต้นที่เราสังเกตเป็นจุดอ้างอิงแล้ววัดระยะทางตามแนวทางที่วัตถุเคลื่อนที่ ไปตามแนวทางการเคลื่อนที่ของวัตถุ

2.4.3.2 การกระจัด (Displacement) เป็นการบอกตำแหน่งของวัตถุหลังจากการที่เคลื่อนที่ไปแล้วในช่วงเวลาหนึ่งโดยจะบอกว่าห่างจากจุดเริ่มต้นเป็นระยะเท่าไร และอยู่ทางทิศไหน

ของจุดเริ่มต้น ดังนั้นการกระจัดเป็น ปริมาณเวกเตอร์ เพราะมีทั้งขนาดและทิศทาง ถ้าวัตถุเคลื่อนที่ กลับมาสู่จุดเริ่มต้น การกระจัดจะมีค่าเป็นศูนย์

2.4.3.3 เวลา (Time) การวัดเวลาเรานับ ณ จุดเริ่มสังเกต ซึ่งขณะนั้นวัตถุอาจจะหยุดนิ่ง หรือ เคลื่อนที่อยู่ก็ตาม ค่าของเวลาจะมีความสัมพันธ์กับระยะทาง เมื่อเวลาผ่านไป ระยะทาง ที่วัตถุเคลื่อนที่ก็จะเพิ่มขึ้น ในบางครั้งอาจจะมีข้อมูลของระยะทางกับเวลาสัมพันธ์กัน

2.4.3.4 อัตราเร็ว (Speed) หมายถึง ระยะทางที่วัตถุเคลื่อนที่ได้ในหนึ่งหน่วยเวลา เป็นปริมาณสเกลาร์ มีหน่วยเป็น เมตร/วินาที

2.4.4 การเคลื่อนที่ในแนวตรง

เมื่อเวลาเปลี่ยนไปวัตถุเปลี่ยนแปลงตำแหน่งวัตถุนั้นจะมีการเคลื่อนที่ ในชีวิตประจำวันเรา พบเห็นสิ่งต่าง ๆ เคลื่อนที่มากมาย เช่น รถยนต์แล่นไปมา วัตถุตกหรือกลิ้ง นกหรือแมลงบิน ลมพัด น้ำไหล จิ้งจกหรือตุ๊กแกไต่ตามผนังหรือเพดาน โลกหมุนรอบตัวเองและหมุนรอบ ดวงอาทิตย์ การเคลื่อนที่ของดวงดาวและดาราจักร (Galaxy) ต่าง ๆ ในเอกภพ หรือแม้แต่ตัวเราเองที่ต้องเดินหรือใช้ยานพาหนะเพื่อเดินทางเพื่อการดำรงชีวิต การเคลื่อนที่จึงมีความสำคัญ ต่อสิ่งต่าง ๆ ในเอกภพนี้มาก

การเคลื่อนที่ในแนวตรง



รูปที่ 2.12 การเคลื่อนที่แนวตรง ที่มา http://119.46.166.126/self_all/selfaccess9/m3/547/lesson1/1_5.php

ในบทนี้เราจะศึกษาการเคลื่อนที่ของวัตถุโดยไม่คำนึงถึงสาเหตุที่ทำให้วัตถุนั้นเคลื่อนที่ซึ่งเราเรียกว่า “จลน์ศาสตร์ (Kinematics)” ซึ่งเป็นสาขาหนึ่งของฟิสิกส์ที่สำคัญ เพราะจะเป็นพื้นฐานของการศึกษาฟิสิกส์เรื่องอื่น ๆ

2.5 กฎของนิวตัน

2.5.1 กฎข้อที่ 1

กฎข้อที่ 1 ของนิวตัน วัตถุจะรักษาสภาพอยู่นิ่งหรือสภาพเคลื่อนที่อย่างสม่ำเสมอ นอกจากจะมีแรงลัพธ์ที่มีค่า ไม่เท่ากับศูนย์ แสดงว่าวัตถุพยายามรักษาสภาพเดิมของวัตถุอยู่เสมอ ถ้าอยู่นิ่งก็จะอยู่นิ่งตลอด ถ้าหากเคลื่อนที่ก็จะเคลื่อนที่ด้วย ความเร็วคงที่เสมอ กฎข้อนี้จึงเรียกว่า " กฎความเฉื่อย "

2.5.2 กฎข้อที่ 2

กฎข้อที่ 2 ของนิวตัน เมื่อมีแรงลัพธ์ที่มีค่าไม่เท่ากับศูนย์มากระทำต่อวัตถุ จะทำให้วัตถุเกิดความเร่งในทิศเดียว กับแรงลัพธ์ที่มากระทำและขนาดของความเร่งนี้จะแปรผันตรงกับขนาดของแรงลัพธ์ และแปรผกผันกับมวลของวัตถุ

2.5.3 กฎข้อที่ 3

กฎข้อที่ 3 ของนิวตัน ทุกแรงกิริยาข่มมีแรงปฏิกิริยาขนาดเท่ากันกระทำในทิศทางตรงกันข้ามเสมอ หรือแรงกระทำซึ่งกันและกันของวัตถุสองก้อนย่อมมีขนาดเท่ากันแต่มีทิศทางตรงกันข้าม

2.6 ทฤษฎีเกี่ยวกับนิยามการเคลื่อนที่

2.6.1 ระยะทาง (Distance)

จากการศึกษาการเคลื่อนที่ของวัตถุ เช่น รถยนต์ สัตว์ วัตถุตกในอากาศ พบว่าตำแหน่งของวัตถุมีการเปลี่ยนไปจากเดิม หรือกล่าวได้ว่าวัตถุจะเลื่อนจากตำแหน่งเดิมไปยังตำแหน่งใหม่

ซึ่งจะเรียกการเคลื่อนที่เช่นนี้ว่า การเคลื่อนที่แบบเลื่อนตำแหน่ง (translation motion) ถ้าเราทราบตำแหน่งเริ่มต้นเส้นทางการเคลื่อนที่และตำแหน่งสุดท้ายของการเคลื่อนที่ ก็จะได้ระยะทางจากความยาวตามเส้นทางการเคลื่อนที่นั้น

ระยะทางใช้สัญลักษณ์ “s” เป็นปริมาณสเกลาร์ คือมีแต่ขนาดเพียงอย่างเดียว แต่ไม่บอกทิศทาง มีหน่วยเป็น เมตร (m)

2.6.2 การกระจัด (Displacement)

เมื่อวัตถุมีการเคลื่อนที่จากตำแหน่งหนึ่งไปยังอีกตำแหน่งหนึ่ง การบอกตำแหน่งใหม่เทียบกับตำแหน่งเดิม เพื่อให้เข้าใจได้ชัดเจนต้องบอกทั้งระยะห่างและทิศทาง ปริมาณที่บอกให้ทราบถึงการเปลี่ยนตำแหน่ง เรียกว่า การกระจัด

การกระจัด ใช้สัญลักษณ์ “s” เป็นปริมาณเวกเตอร์ มีหน่วยเป็น เมตร (m)

การกระจัดหาได้จากเส้นตรง ที่เขียนหัวลูกศรกำกับโดยลากจากจุดเริ่มต้นไปยังจุดสุดท้ายของการเคลื่อนที่ ความยาวของเส้นตรงแทนขนาดของการกระจัดและทิศที่หัวลูกศรชี้จะแทนทิศของการกระจัด

2.6.3 อัตราเร็ว (Speed)

เมื่อวัตถุมีการเคลื่อนที่ ปริมาณที่บอกได้ว่าวัตถุนั้นเคลื่อนที่ได้เร็วมากหรือน้อยนั้นคือ อัตราเร็ว ซึ่งโดยทั่วไป อัตราเร็ว หมายถึง ระยะทางที่วัตถุเคลื่อนที่ได้ในหนึ่งเวลา หรือ อัตราการเปลี่ยนระยะทาง อัตราเร็วเป็นปริมาณสเกลาร์ ใช้สัญลักษณ์ “v” มีหน่วย เมตรต่อวินาที (m/s)

เมื่อ v คือ อัตราเร็วของวัตถุ มีหน่วย เมตรต่อวินาที (m / s)

s คือ ระยะทางของวัตถุ มีหน่วย เมตร (m)

t คือ เวลาที่วัตถุใช้ในการเคลื่อนที่ มีหน่วย วินาที (s)

อัตราเร็วสามารถแบ่งออกได้ ดังนี้

2.6.3.1 อัตราเร็วเฉลี่ย (V_{av}) คือ ระยะทางที่วัตถุเคลื่อนที่ได้ในหนึ่งหน่วยเวลา (ในช่วงเวลาหนึ่งที่กำลังพิจารณาเท่านั้น) สามารถเขียนเป็นสมการได้

2.6.3.2 อัตราเร็วขณะใดขณะหนึ่ง (V_i) คือ ระยะทางที่เคลื่อนที่ได้ในหนึ่งหน่วยเวลา เมื่อช่วงเวลาที่เคลื่อนที่น้อยมาก ๆ สามารถเขียนสมการได้

เมื่อ V_i คือ อัตราเร็วขณะใดขณะหนึ่ง มีหน่วยเป็น เมตรต่อวินาที (m / s)

2.6.3.3 อัตราเร็วคงที่ (V) คือ การบอกให้ทราบว่าวัตถุมีการเคลื่อนที่อย่างสม่ำเสมอไม่ว่าจะพิจารณาในช่วงเวลาใด ๆ

2.6.4 ความเร็ว (velocity)

เมื่อวัตถุมีการเคลื่อนที่ ตำแหน่งของวัตถุจะเปลี่ยนแปลง การเปลี่ยนแปลงตำแหน่งของวัตถุ อาจทำให้ทราบว่าวัตถุเคลื่อนที่มีลักษณะอย่างไร โดยมีการกำหนดว่า อัตราการเปลี่ยนแปลงการกระจัด หรือ การกระจัดที่เปลี่ยนแปลงไปในหนึ่งหน่วยเวลา เรียกว่า ความเร็ว

เนื่องจากการกระจัดเป็นปริมาณเวกเตอร์ ความเร็วจึงเป็นปริมาณเวกเตอร์ โดยหน่วยของความเร็วจึงเป็น เมตรต่อวินาที (m/s) เขียนแทนด้วยสัญลักษณ์ “ V ”

2.6.4.1 ความเร็วสามารถแบ่งออกได้ คือ

1) ความเร็วขณะใดขณะหนึ่ง คือ ความเร็วที่เกิดขึ้น ณ เวลาหนึ่งของการเคลื่อนที่ หรือถ้าพูดในอีกความหมายหนึ่ง คือ อัตราการเปลี่ยนแปลงการกระจัดในช่วงเวลาสั้น ๆ

2) ความเร็วเฉลี่ย คือ อัตราการเปลี่ยนแปลงการกระจัดต่อหนึ่งหน่วยเวลา ใช้สัญลักษณ์ “ V_{av} ”

3) ความเร็วคงที่ (V) คือ วัตถุที่มีการเคลื่อนที่อย่างสม่ำเสมอในแนวเส้นตรง ไม่ว่าจะพิจารณาในช่วงเวลาใด ๆ หาได้จากการกระจัดที่เปลี่ยนไปในเวลาหนึ่งหน่วย

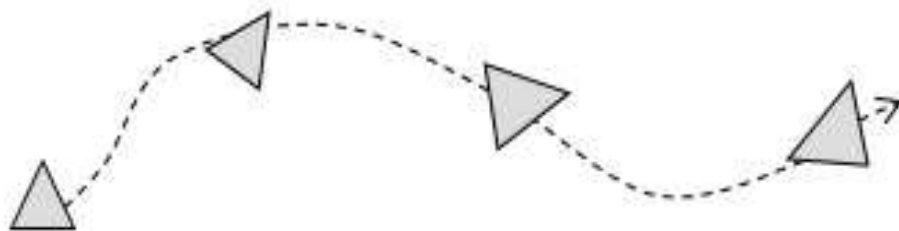
2.6.5 ความเร่ง (Acceleration)

จากการศึกษาพบว่าการเคลื่อนที่ของวัตถุพบว่า ในบางครั้งอาจมีการเปลี่ยนแปลงทิศทางการเคลื่อนที่ การเคลื่อนที่ที่มีการเปลี่ยนแปลงขนาดหรือทิศทางของความเร็ว เรียกว่า ความเร่ง โดยทั่วไปความเร่งหมายถึง อัตราการเปลี่ยนแปลงความเร็ว หรือ ความเร็วที่เปลี่ยนไปในหนึ่งหน่วยเวลา

เนื่องจากความเป็นปริมาณเวกเตอร์ ความเร่งจึงเป็นปริมาณเวกเตอร์ หน่วยของความเร่งคือ เมตรต่อวินาที² (m/s^2)

2.6.6 การเคลื่อนที่เชิงเส้นด้วยความเร็วคงที่

ถ้าเราสังเกตการเคลื่อนที่ของวัตถุต่าง ๆ จะพบว่าส่วนมากในขณะวัตถุเคลื่อนที่นั้น ตำแหน่งของวัตถุจะเปลี่ยนไปพร้อมกับหมุน ดังภาพ ถ้าเราสนใจเฉพาะกรณีวัตถุขนาดเล็กและไม่สนใจการหมุนขณะเคลื่อนที่ เราเรียกการเคลื่อนที่ลักษณะนี้ว่า “การเคลื่อนที่เชิงเส้น”



รูปที่ 2.13 แสดงการเปลี่ยนตำแหน่งและหมุนของวัตถุขณะเคลื่อนที่ ที่มา <https://www.slideserve.com/dillan/5684319>

ถ้าวัตถุเคลื่อนที่เชิงเส้นด้วยความเร็วคงที่ อัตราเร็วหรือขนาดความเร็วของวัตถุที่ตำแหน่งต่าง ๆ จะเท่ากันหมดและทิศทางเหมือนเดิมเสมอ เส้นทางการเคลื่อนที่จะเป็นเส้นตรง สมการการเคลื่อนที่เป็นไปตามสมการ $S = vt$

เมื่อ S คือการกระจัดในหน่วยเมตร v คือความเร็วในหน่วยเมตรต่อวินาที ส่วน t คือเวลาที่ผ่านไปหน่วยวินาที ในชีวิตประจำวันเราแทบไม่พบการเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่เพราะเกิดบนพื้นโลกคงเป็นไปได้ยากมากจะเป็นได้ก็คงเป็นกรณีเครื่องบินที่บินในระดับเพดานบินคงที่ด้วยความเร็วคงที่เท่านั้น

2.6.7 การเคลื่อนที่เชิงเส้นด้วยความเร็วไม่คงที่

กรณีนี้ความสัมพันธ์ระหว่างการกระจัด S ความเร็ว v วินาทีที่เริ่มพิจารณาหรือตำแหน่งที่เริ่มพิจารณา ซึ่งนิยมเรียกว่า “ความเร็วต้น” u ความเร็ว v วินาทีสุดท้ายที่พิจารณาหรือตำแหน่งสุดท้ายที่พิจารณา ซึ่งนิยมเรียกว่า “ความเร็วปลาย” v ความเร่งคงที่ a และเวลาที่ผ่านไป t

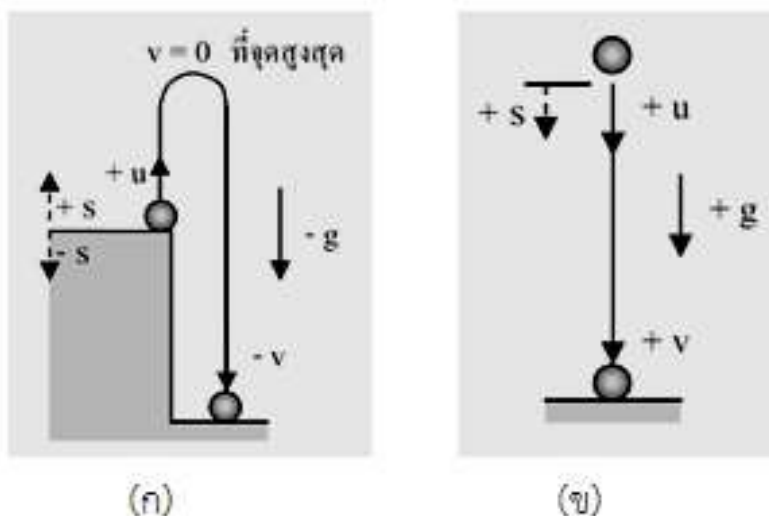
ในการแทนค่าต้องระมัดระวังว่า v, u, a, S เป็นเวกเตอร์ซึ่งมีทั้งขนาดและทิศทาง แต่เมื่อใช้กับการเคลื่อนที่ในแนวตรง จึงใช้เครื่องหมาย (+) และ (-) แทนทิศทางได้

2.6.8 การเคลื่อนที่ของวัตถุภายใต้แรงโน้มถ่วงของโลก

กาลิเลโอ ได้ทำการทดลองให้เห็นว่า วัตถุที่ตกลงสู่พื้นโลกอย่างอิสระจะเคลื่อนที่ภายใต้แรงดึงดูดของโลก ต่อมานิวตันสังเกตเห็นว่า ทำไมผลแอปเปิ้ลจึงตกลงสู่พื้นดิน จนกระทั่งในที่สุดก็สามารถพิสูจน์ในเรื่อง กฎแห่งการดึงดูดระหว่างมวล ซึ่งผลแอปเปิ้ลกับโลกก็มีแรงดึงดูดระหว่างกัน โดยผลแอปเปิ้ลเมื่อหลุดจากขั้วจะเคลื่อนที่อิสระตามแรงดึงดูดนั้น

การเคลื่อนที่ของวัตถุภายใต้แรงโน้มถ่วงของโลก หากสังเกตจะพบว่าวัตถุไม่ว่าจะมีมวลเท่าใด (ซึ่งหากมากพอแรงต้านของอากาศจะไม่มีผลกระทบมากนัก) จะตกลงสู่พื้นด้วยคงความเร่งสม่ำเสมอ นั่นคือ ความเร่งมีค่าคงตัวและมีทิศทางในแนวตั้งเสมอ ซึ่งการตกของวัตถุภายใต้แรงโน้มถ่วงของโลก คือ การตกอย่างเสรี (free fall) โดยการเคลื่อนที่ของวัตถุจะมีความเร่งคงที่เท่ากับความเร่งเนื่องจาก แรงโน้มถ่วงของโลก ซึ่งความเร่งนี้เป็นผลจากแรงดึงดูดของโลกเนื่องจากสนามโน้มถ่วง

(gravity) ค่าความเร่งเนื่องจากแรงดึงดูดของโลก (g) ค่ามาตรฐานคือ 9.8065 m/s^2 เพื่อความสะดวกในการคำนวณจะใช้ 10 m/s^2



รูปที่ 2.14 (ก) การโยนวัตถุขึ้นไป (ข) การปล่อย หรือขว้างวัตถุลงมา ที่มา <https://www.slideserve.com/dillan/5684319>

2.6.9 ความแข็ง (Hardness)

ความแข็งเป็นความต้านทานการเจาะทะลุ (penetration) หรือการเสียดสี (Abrasion) ของวัสดุ ความแข็งของวัสดุเกี่ยวกับการจับตัวของอะตอมและโมเลกุลภายในเนื้อวัสดุ เช่นเดียวกันกับความแข็งแรง ดังนั้นความแข็งมักจะเพิ่มเมื่อวัสดุมีความแข็งแรงสูงขึ้น นั่นคือพวกโลหะและเซรามิกจะแข็งกว่าพวกโพลิเมอร์

การทดสอบความแข็ง มีอยู่หลายวิธี แต่ที่ใช้กันมากที่สุดมี 3 วิธี คือ

2.6.9.1 การทดสอบความแข็งแบบบริเนล (Brinell Hardness Test) วิธีการ คือ ใช้ลูกบอลเหล็กที่ผ่านการชุบแข็งมาอย่างดี ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 มม. กดลงบนผิวเรียบของวัสดุที่จะวัด โดยใช้แรง 3000 กก. สำหรับวัสดุแข็ง และ 500 กก. สำหรับวัสดุอ่อน โดยใช้เวลา 30 วินาทีเป็นมาตรฐาน จากนั้นวัดเส้นผ่านศูนย์กลางของรอยบุ๋ม (Indentation) นำค่าที่ได้ไปคำนวณ จะได้ค่าความแข็งแรงแบบบริเนล (Brinell Hardness Number) การทดสอบความแข็งแบบบริเนลนี้ไม่เหมาะสมกับวัสดุแข็ง เนื่องจากความแข็งของหัวกดไม่มากนัก นอกจากนี้ยังไม่เหมาะสมกับชิ้นทดสอบที่บางกว่าขนาดของรอยบุ๋ม

2.6.9.2 การทดสอบความแข็งแบบรอกเวล (Rockwell Hardness Test) การทดสอบแบบนี้คล้ายกับการทดสอบแบบบริเนล แต่ใช้หัวกดเล็กกว่าและแรงน้อยกว่า ค่าของแรงที่ใช้และชนิด หรือขนาดของหัวกดจะเปลี่ยนได้ ขึ้นกับสเกลของความแข็งแบบรอกเวลที่เราจะเลือกใช้ ให้เหมาะสมกับชนิดของวัสดุที่จะทดสอบ การอ่านค่าความแข็งจะอ่านโดยตรงจากเครื่อง กล่าวคือ ถ้าความลึกของรอยกดลงไปตื้น ค่าของตัวเลขจะสูง แสดงว่าวัสดุมีความแข็งมาก วิธีการทดสอบจะให้แรงกระทำเล็กน้อยคือ 10 กก. จากนั้นจะเพิ่มแรงกระทำขึ้น ซึ่งอาจจะมีตั้งแต่ 60-100 กก. ขึ้นอยู่กับขนาดและชนิดของหัวกด นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุที่จะทดสอบด้วย หัวกดที่ใช้อาจจะเป็น ลูกบอลเหล็กหรือเพชรที่มีรูปกรวย การทดสอบแบบรอกเวลนี้ ใช้อย่างกว้างขวางเพราะสามารถใช้วัดความแข็งของวัสดุชนิดต่าง ๆ ได้มากกว่า สามารถวัดความแข็งของวัสดุที่การทดสอบแบบบริเนลวัดไม่ได้ การใช้งานสะดวกอ่านค่าได้รวดเร็ว เพราะอ่านโดยตรงจากเครื่องและเนื่องจากรอยบุ๋มมีขนาดเล็กจึงไม่ทำลายผิวของชิ้นทดสอบ

2.6.9.3 การทดสอบความแข็งแบบวิกเกอร์ (Vickers Hardness Test) การทดสอบแบบวิกเกอร์นี้คล้ายกับบริเนลในแง่ที่ว่า ค่าที่ได้เป็นอัตราส่วนระหว่างแรงที่ใช้ต่อพื้นที่ของรอยกด แต่ต่างกันที่หัวกดที่ใช้เป็นเพชรรูปประมิต แรงที่ใช้มีตั้งแต่ 5-120 กก. ขึ้นอยู่กับความแข็งของวัสดุ

2.6.10 ความหนืด (Viscosity)

เมื่อของไหลมีการเคลื่อนที่ แต่ละโมเลกุลของของไหลจะมีการเคลื่อนที่ชนกันไปมาตลอดเวลาด้วยทิศทางที่ไม่แน่นอน ซึ่งจะส่งผลให้การเคลื่อนที่ของของไหล หรือการเคลื่อนที่ของวัตถุในของไหลทั้งระบบช้าลง เรียกว่า เกิดความหนืด (Viscosity) ขึ้นในของไหล ความหนืด คือ คุณสมบัติของของเหลวในการต้านวัตถุที่เคลื่อนที่ในของเหลวนั้น

2.6.10.1 วัตถุที่มีความหนืดมาก ก็จะเกิดแรงหนืดมาก เพื่อด้านการเคลื่อนที่ของวัตถุในของเหลวนั้น แต่เราต้องออกแรงมากเพื่อเอาชนะแรงต้านของของไหล

2.6.10.2 วัตถุที่มีความหนืดน้อย ก็จะเกิดแรงหนืดน้อย เพื่อใช้ด้านการเคลื่อนที่ของวัตถุในของเหลวนั้น แต่เราออกแรงน้อยก็สามารถเอาชนะแรงต้านของของไหล

2.6.10.3 ของเหลวที่มีความหนืดมาก แรงต้านทานการไหลของเหลวก็มีมาก เราต้องใช้แรงหรือพลังงานที่มาก เพื่อเอาชนะแรงต้าน

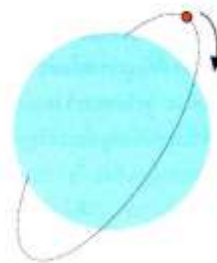
2.6.10.4 ของเหลวที่มีความหนืดน้อย แรงต้านทานการไหลของเหลวก็มีน้อย เราใช้แรงหรือพลังงานน้อย ก็สามารถเอาชนะแรงต้านได้

2.6.11 การหมุน

การเคลื่อนที่แนววงกลมที่ผ่านมามีคิดเสมือนว่ามวลของวัตถุรวมอยู่ที่จุดเล็ก ๆ จุดหนึ่ง ซึ่งในความจริงวัตถุไม่ได้เป็นจุด แต่มีทั้งขนาดและปริมาตร โดยการหมุนจะต่างจากการเคลื่อนที่แนววงกลมตรงที่ว่า การเคลื่อนที่แนววงกลมคือการที่จุดวัตถุเคลื่อนที่เป็นวงกลมรอบจุดศูนย์กลาง ส่วนการเคลื่อนที่แบบหมุนคือการที่ก้อนวัตถุเคลื่อนที่เป็นวงกลมรอบจุดศูนย์กลาง ส่วนการเคลื่อนที่แบบหมุนคือการที่ก้อนวัตถุเคลื่อนที่เป็นวงกลมรอบแกนหมุน เช่น ลูกข่าง พัดลม ล้อรถ เป็นต้นเมื่อก้อนวัตถุหมุนรอบแกนหมุน เราสามารถมองได้ว่าก้อนวัตถุเกิดจากจุดอนุภาควัตถุหลาย ๆ จุดมารวมกัน ซึ่งแต่ละจุดมีความเร็วและความเร่งเป็นค่าเฉพาะของตัวเอง ฉะนั้นเราไม่สามารถวิเคราะห์การเคลื่อนที่แยกทีละจุดได้ และเราจะวิเคราะห์ก้อนวัตถุทั้งหมดรวมกันแทน



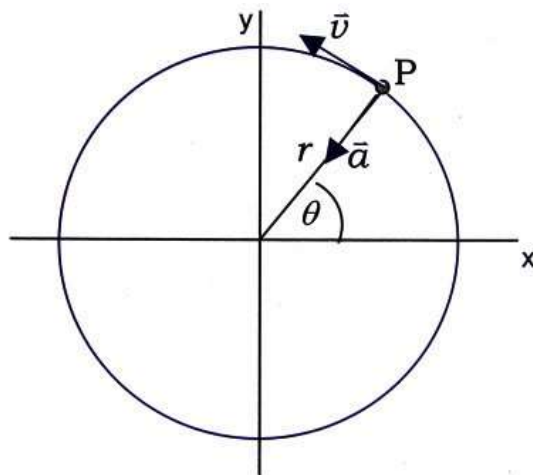
รถไฟติลังกา



ดาวเทียมโคจรรอบโลก

รูปที่ 2.15 การหมุน ที่มา http://119.46.166.126/self_all/selfaccess11/m5/physics5_1/lesson3/

ในการวิเคราะห์วัตถุที่กำลังหมุน เรามักกำหนดให้วัตถุนั้นเป็นวัตถุเกร็ง ซึ่งหมายถึงวัตถุที่ไม่สามารถยืดหดได้ ดังนั้นเมื่อวัตถุหมุนแต่ละจุดบนวัตถุจะยึดติดกันไปเสมอ ทำให้ทุกจุดหมุนด้วยความเร็วเชิงมุม ω เท่ากัน ทั้งวัตถุอาจหมุนด้วยความเร็วเชิงมุมเพิ่มขึ้นหรือลดลงก็ได้ เราเรียกอัตราการเปลี่ยนแปลง ω ว่าความเร่งเชิงมุม (α) ซึ่งต่างจากความเร่งเชิงเส้น (a)



รูปที่ 2.16 การวิเคราะห์วัตถุที่กำลังหมุน ที่มา http://119.46.166.126/self_all/selfaccess11/m5/physics5_1/lesson3/

ถ้าดูแต่ละจุด และมองให้จุดที่เราสนใจเหมือนเคลื่อนที่เป็นแนววงกลมด้วย ความเร็วเชิงเส้น v จะพบว่า $v = \omega r$ เหมือนในเรื่องการเคลื่อนที่แนววงกลม เมื่อ r คือระยะห่างระหว่างจุดที่สนใจกับแกนหมุน อย่างไรก็ตาม ในเมื่อทุกจุดมี ω เท่ากัน แต่ค่า r ไม่เท่ากัน ก็จะทำให้แต่ละจุดมี v ต่างกันด้วย (บางจุดอาจมีระยะห่างเท่ากัน อัตราเร็วเชิงเส้นก็อาจจะเท่ากัน แต่ไม่ใช่ว่าทุกจุดจะเท่ากัน) สามารถสรุปเป็นสูตรได้ดังนี้ 1. $s = \theta r$ 2. $v = \omega r$ 3. $a = \alpha r$

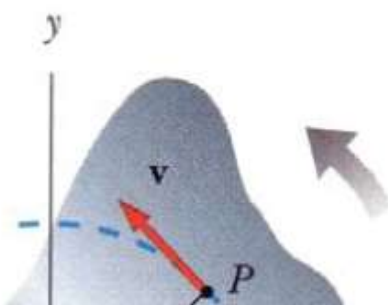


รูปที่ 2.17 เคลื่อนที่แนววงกลม ที่มา http://119.46.166.126/self_all/selfaccess11/m5/physics5_1/lesson3/

เราสามารถเขียนความเร็วเชิงมุม และความเร่งเชิงมุมในรูปเวกเตอร์ คือ $\vec{\omega}$ และ $\vec{\alpha}$ ซึ่งมีทิศทาง แต่ในเรื่องการหมุนจะมีนิยามพิเศษอยู่ว่า ทิศของความเร็วเชิงมุม $\vec{\omega}$ ไม่ใช่แนวการหมุนของวัตถุ และทิศของความเร่งเชิงมุม $\vec{\alpha}$ ก็ไม่ใช่แนวความเร่งจริง ๆ ของวัตถุด้วยในการหาทิศให้ใช้มือขวาของน้อง โดยใช้สี่นิ้ววนไปรอบทิศของการหมุน นิ้วโป้งจะชี้ไปในทิศ $\vec{\omega}$ และถ้าต้องการหาทิศ $\vec{\alpha}$ ให้พิจารณาความเร็วเชิงมุมของการหมุน $\vec{\omega}$ ถ้า $\vec{\omega}$ มากขึ้น (หมุนเร็วขึ้น) $\vec{\alpha}$ จะมีทิศเดียวกับ $\vec{\omega}$ แต่ถ้า $\vec{\omega}$ น้อยลง (หมุนช้าลง) $\vec{\alpha}$ จะมีทิศตรงข้ามกับ $\vec{\omega}$ เพราะ

$$\vec{\alpha} = \frac{\Delta \vec{\omega}}{\Delta t}$$

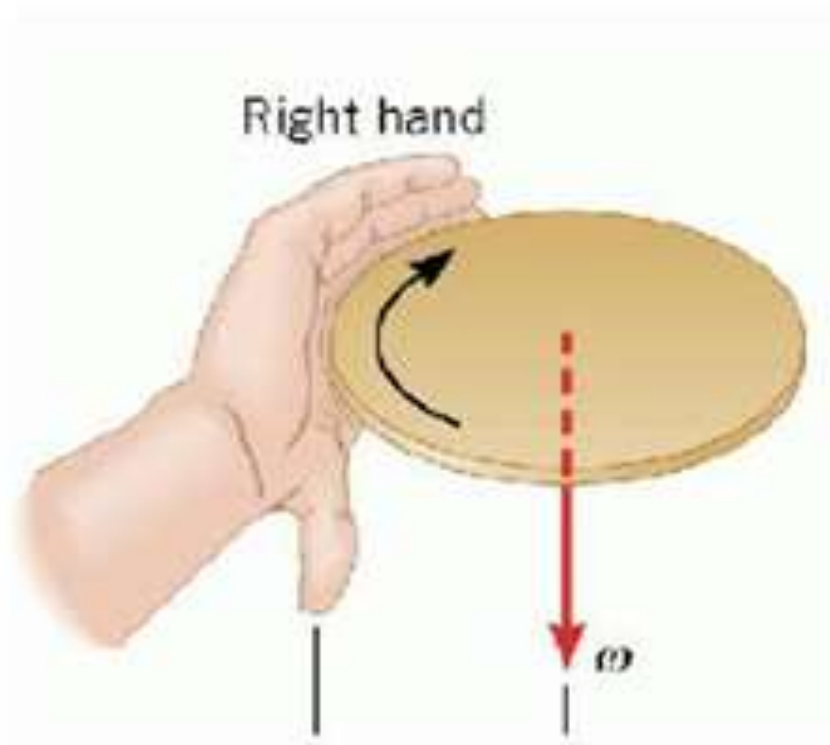
การจัดเชิงมุม ความเร็ว และความเร่ง



รูปที่ 2.18 การขจัดเชิงมุม ความเร็ว และความเร่ง ที่มา http://119.46.166.126/self_all/selfaccess11/m5/physics5_1/lesson3/

จากรูปแสดงวัตถุแข็งเกร็งลักษณะบางมีรูปร่างใด ๆ ในระนาบ xy หมุนรอบแกนที่อยู่กับที่ที่ผ่านจุด O โดยแกนจะตั้งฉากกับระนาบ xy พิจารณาการเคลื่อนที่ของอนุภาคเพียงอนุภาคเดียวที่จุด P ซึ่งอยู่ห่างจากจุดกำเนิด O เป็นระยะ r และเคลื่อนที่รอบแกนเป็นวงกลมรัศมี r (อนุภาคทุกอนุภาคบนวัตถุแข็งเกร็งจะเคลื่อนที่รอบจุด O เป็นวงกลม) เพื่อความสะดวกจึงใช้การกำหนดพิกัดของอนุภาคโดยใช้พิกัดเชิงขั้ว (r, q) โดยการวัดมุม q ทวนเข็มนาฬิกาเริ่มจากทางแกนบวก x จะพบว่ามุม q มีการเปลี่ยนแปลงเทียบกับเวลา แต่ r มีค่าคงที่ (ในระบบพิกัดฉาก x และ y มีการเปลี่ยนแปลงเทียบกับเวลา) เมื่ออนุภาคเคลื่อนที่ไปยังจุด P มันจะเคลื่อนที่ได้ส่วนโค้ง (arc) s ซึ่งมีความสัมพันธ์กับตำแหน่งเชิงมุม q (radian : rad) ดังนั้นการวัดค่ามุม θ ที่เป็นธรรมชาติที่สุดคือการวัดในหน่วยเรเดียน (rad) 1 รอบวงกลม = 2π เรเดียน ถ้าวัตถุมีการหมุนรอบแกน z ซึ่งเป็นแนวที่ตั้งฉากกับระนาบกระดาษ ตำแหน่งเชิงมุมของวัตถุจะมีการเปลี่ยนแปลงไป (เมื่อใช้จุด p เป็นตัวแทนของวัตถุ)จะทำให้เกิดการกระจัดเชิงมุม $\Delta\theta$ ในช่วงเวลา Δt - ขนาดความเร็วเชิงมุมเฉลี่ยของวัตถุหาได้จาก - ขนาดความเร็วเชิงมุมขณะใดขณะหนึ่งของวัตถุ ถ้าเราหาการเปลี่ยนแปลงความเร็วเชิงมุมขณะใดขณะหนึ่ง เราจะได้ปริมาณที่เรียกว่า ความเร่งเชิงมุม (อ่านว่า อัลฟา) ความเร่งเชิงมุมเฉลี่ยของวัตถุ ความเร่งเชิงมุมขณะใดขณะหนึ่ง หาได้จากเนื่องจากความเร็วเชิงมุม และความเร่งเชิงมุมต่างก็

เป็นปริมาณเวกเตอร์เราสามารถหาทิศทางของความเร็วเชิงมุมได้จากกฎมือขวาโดยกำนิ้วทั้งสี่ไปในทิศทางที่วัตถุกำลังหมุน ทิศที่นิ้วหัวแม่มือชี้ไปแสดงถึงทิศทางของความเร็วเชิงมุม



รูปที่ 2.19 ความเร่งเชิงมุมขณะใดขณะหนึ่ง ที่มา http://119.46.166.126/self_all/selfaccess11/m5/physics5_1/lesson3/

เวกเตอร์ของความเร่งเชิงมุมจะมีทิศทางเดียวกับทิศทางของความเร็วเชิงมุมก็ต่อเมื่อขนาดของความเร็วเชิงมุมเพิ่มขึ้นและความเร่งเชิงมุมจะมีทิศทางตรงข้ามกับทิศทางของความเร็วเชิงมุมเมื่อขนาดของความเร็วเชิงมุมลดลง การหมุนด้วยความเร่งเชิงมุมคงตัวถ้าการหมุนของวัตถุมีความเร็วเชิงมุมต้นที่เวลา $t=0$ เป็น ω_0 ที่เวลา t ใด ๆ มี $\Delta t = t - 0 = t$ มีความเร็วเชิงมุมเป็น ในช่วงเวลานั้นความเร่งเชิงมุมคงที่เท่ากับ จะได้สมการการเคลื่อนที่แบบหมุน เมื่อพิจารณาขนาดของปริมาณต่าง ๆ กัน จะได้ดังนี้

โมเมนต์ความเฉื่อย (I)



รูปที่ 2.20 ล้อจำลองกำลังหมุนล้อ ที่มา http://119.46.166.126/self_all/selfaccess11/m5/physics5_1/lesson3/

ลองนึกภาพกำลังหมุนล้อ ถ้าเป็นล้อเบา ๆ เช่น จักรยาน จะรู้สึกว่าการออกแรงหมุนได้ง่าย แต่ถ้าเปลี่ยนจากล้อจักรยานมาเป็นล้อของรถสิบล้อ จะรู้สึกว่ามันหมุนยาก ความยากง่ายในการหมุนนี้เกิดจากโมเมนต์ความเฉื่อย I ถ้าโมเมนต์ความเฉื่อยยิ่งมาก ก็จะยิ่งหมุนได้ยากขึ้นนั่นเอง

ในกรณีที่จุดมวล สูตรหาโมเมนต์ความเฉื่อยคือ

$$I = mr^2$$

โดย m คือมวล และ r คือระยะจากแกนหมุน นอกจากนี้ถ้ามีจุดมวลหลายก้อนรอบแกน จะได้สูตรคือ

$$I = \sum (m_i r_i^2)$$

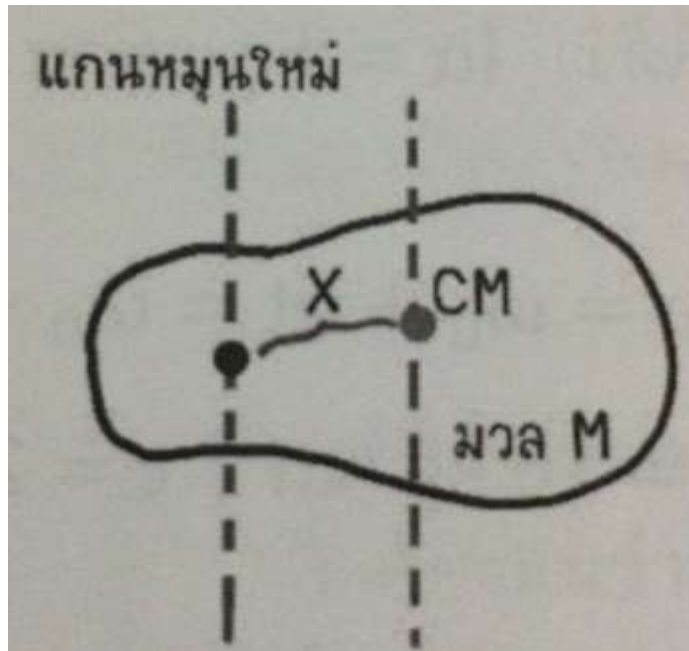
จะสังเกตว่า วัตถุที่มีมวลเท่ากัน ไม่จำเป็นต้องมีโมเมนต์ความเฉื่อยเท่ากัน เพราะระยะจากแกนหมุนอาจต่างกัน

ในกรณีที่เป็นมวลก้อนใหญ่หรือวัตถุแข็งเกร็ง เช่น ทรงกลม วงแหวน แผ่นจานแบน ก็จะหาโมเมนต์ความเฉื่อยได้จากการจินตนาการว่าก้อนวัตถุเกิดจากจุดมวลหลายจุดรวมกัน แต่การคำนวณต้องใช้คณิตศาสตร์ระดับสูง ดังนี้

รูปร่างวัตถุ	แกนหมุน	รูป	โมเมนต์ความเฉื่อย I
ทรงกลมตัน มวล m รัศมี R	รอบแกนผ่านศูนย์กลาง		$I = \frac{2}{5} mR^2$
ทรงกลมกลวง มวล m รัศมี R	รอบแกนผ่านศูนย์กลาง		$I = \frac{2}{3} mR^2$
ทรงกระบอกตัน มวล m รัศมี R ยาว L	รอบแกนของทรงกระบอก		$I = \frac{1}{2} mR^2$
แผ่นกลมบาง มวล m รัศมี R	รอบแกนผ่านศูนย์กลาง ตั้งฉากกับแผ่น		$I = \frac{1}{2} mR^2$
แผ่นกลมบาง มวล m รัศมี R	รอบแกนผ่านศูนย์กลาง ขนานกับแผ่น		$I = \frac{1}{4} mR^2$
แท่งวัตถุเล็ก มวล m ยาว L	รอบแกนผ่านศูนย์กลาง มวล ตั้งฉากกับแท่ง		$I = \frac{1}{12} mR^2$

รูปที่ 2.21 สูตรการคำนวณโมเมนต์ความเฉื่อย ที่มา <http://www.rmutphysics.com/charud/virtualexperiment/labphysics1/stick/sombutruk/rot6.htm>

ในเรื่องการหมุน เราสามารถกำหนดแกนหมุนได้หลายแกน ดังนั้นต้องกำหนดให้ได้ก่อนว่า มันหมุนรอบแกนไหน เพราะปริมาณทางฟิสิกส์ เช่น โมเมนต์ ความเฉื่อยและทอร์กนั้นขึ้นอยู่กับตำแหน่งของแกนหมุน



รูปที่ 2.22 กำหนดแกนหมุน ที่ใหม่ <http://www.rmutphysics.com/charud/virtualexperiment/labphysics1/stick/sombutruk/rot6.htm>

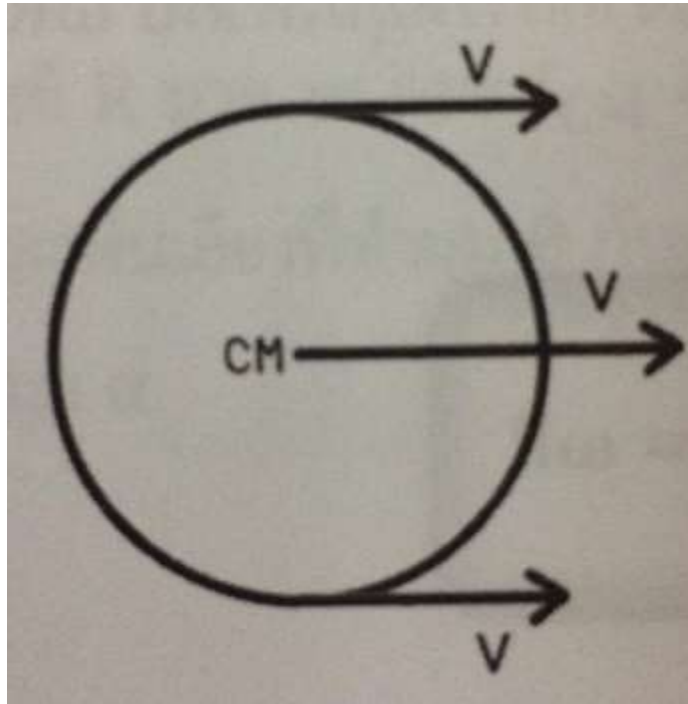
เป็นทฤษฎีสำหรับช่วยหาโมเมนต์ความเฉื่อย สมมติก้อนวัตถุ M กำลังเคลื่อนหมุนรอบจุด CM ด้วยโมเมนต์ความเฉื่อย ICM จากนั้นเราจะเลื่อนแกนหมุนไปให้ห่างจาก จุด CM เป็นระยะ x จะได้ว่า $I_{new} = I_{CM} + Mx^2$

2.6.12 การกลิ้งแบบไม่ไถล

เมื่อเราออกแรงกระทำกับวัตถุหนึ่ง จะเกิดการเคลื่อนที่สองแบบซึ่งเป็นอิสระต่อกัน คือการเลื่อนตำแหน่งแนวตรง และการหมุนรอบจุดศูนย์กลางมวล (CM) ของก้อนวัตถุ

2.6.13 การเลื่อนตำแหน่งแนวตรง

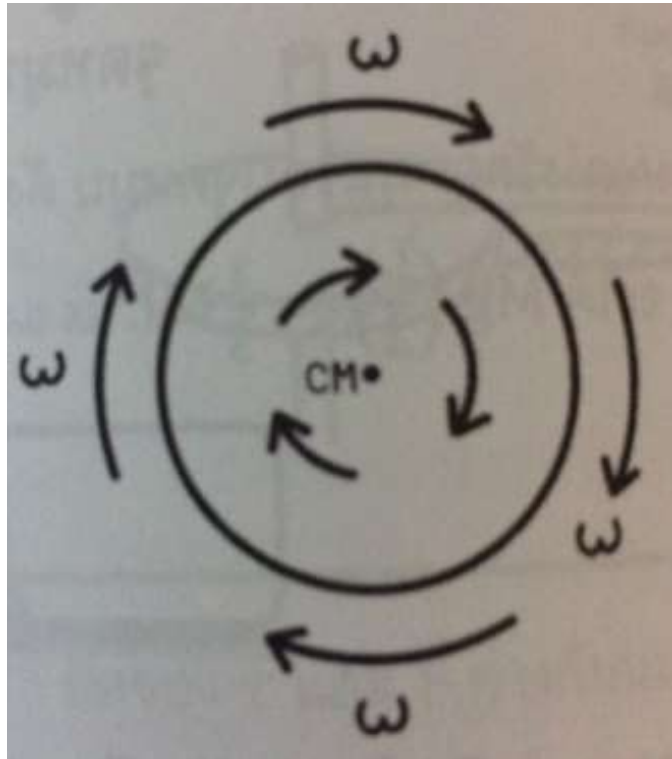
จะเกิดขึ้นเสมอเมื่อมีแรงกระทำกับวัตถุ คือการที่วัตถุทั้งก้อนเกาะไปด้วยกัน และเคลื่อนที่ไปในทิศทางเดียวกันทั้งหมดด้วยอัตราเร็ว v เท่ากัน ถ้าวัตถุเคลื่อนที่แบบเลื่อนตำแหน่งเพียงอย่างเดียวก็จะเหมือนกับการเคลื่อนที่ทั่วไป คือทั้งก้อนวัตถุเคลื่อนที่ไปด้วยกัน



รูปที่ 2.23 การเลื่อนตำแหน่งแนวตรง ที่มา <http://www.rmutphysics.com/charud/virtualexperiment/labphysics1/stick/sombutruk/rot6.htm>

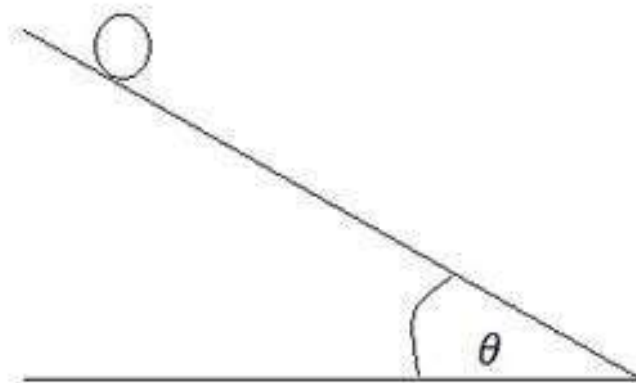
2.6.14 การหมุนรอบจุดศูนย์กลางมวล

จะเกิดขึ้นเมื่อทอร์กรอบจุด CM ไม่เป็นศูนย์ (แนวแรงไม่ผ่านจุด CM) คือการที่วัตถุแต่ละจุดหมุนรอบ CM ด้วยอัตราเร็วเชิงมุม ω เท่ากัน ถ้าวัตถุเคลื่อนที่แบบหมุนเพียงอย่างเดียว (ไม่เลื่อนตำแหน่ง) ก็จะเห็นวัตถุอยู่กับที่ แต่หมุนรอบจุด CM ของตัวเองไปเรื่อย ๆ ทั้งนี้ถ้าเราเลือกจุดมวลที่สนใจมาจุดหนึ่ง เราสามารถมองการหมุนเป็นการเคลื่อนที่แนวกลมรอบแกนหมุนได้ โดยอัตราเร็วของจุดวัตถุจะมีค่าเป็น $v = \omega r$ และมีทิศตามแนวการหมุนของจุดมวลในขณะนั้น ซึ่งจุดมวลแต่ละจุดจะมีระยะ r จาก CM ไม่เท่ากัน จึงทำให้ v ต่างกัน



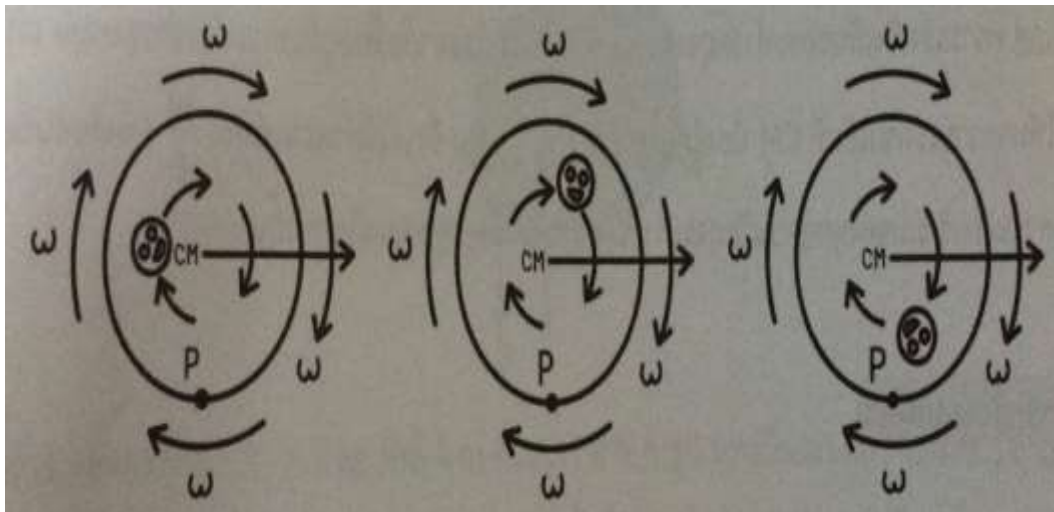
รูปที่ 2.24 ส้อมจำลองกำลังหมุนล้อ ที่มา <http://www.rmutphysics.com/charud/virtualexperiment/bphysics1/stick/sombutruk/rot6.htm>

วัตถุสามารถเลื่อนตำแหน่งอย่างเดียวก็น่าได้ หรือจะหมุนอย่างเดียวก็น่าได้ หรือจะเคลื่อนที่ทั้งแบบเลื่อนตำแหน่งและแบบหมุนไปพร้อม ๆ กันก็ได้ ถ้าวัตถุมีทั้งการเลื่อนตำแหน่งและการหมุน ก็จะเรียกว่าการกลิ้ง ซึ่งออกมาในลักษณะที่ว่า จุด CM จะค่อยเลื่อนไปเรื่อย ๆ ด้วยอัตราเร็ว v และจุดที่อยู่รอบ ๆ ก็จะหมุนรอบจุด CM ไปในขณะเดียวกัน



รูปที่ 2.25 ตำแหน่งวัตถุเคลื่อนที่มา <http://www.rmutphysics.com/charud/virtualexperiment/labphysics1/stick/sombutruk/rot6.htm>

การกลิ้งแบบไม่ไถล คือการกลิ้งที่ทำให้ความเร็วลัพธ์ตรงจุดสัมผัสพื้นเท่ากับศูนย์ จุดที่วัตถุสัมผัสพื้น จะมีความเร็วจากการเลื่อนตำแหน่งเท่ากับ v ไปทางขวา และความเร็วจากการหมุนเท่ากับ ωR ไปทางซ้าย ความเร็วรวมคือ $v - \omega R$ จากเงื่อนไขที่ทำให้เกิดการกลิ้งแบบไม่ไถล ก็คือความเร็วลัพธ์ $v - \omega R = 0$ ดังนั้นเราจะได้ว่า $v = \omega R$



รูปที่ 2.26 การกลิ้งแบบไม่ไถล ที่มา <http://www.rmutphysics.com/charud/virtualexperiment/labphysics1/stick/sombutruk/rot6.htm>

จากความสัมพันธ์ $v = \omega R$ เรายังอาจหาความเร็วรวมที่จุดอื่น ๆ ของวัตถุได้ด้วย เช่น ที่จุดบนสุดมีความเร็วจากการเลื่อนตำแหน่งเท่ากับ v ไปทางขวา และความเร็วจากการหมุนเท่ากับ ωR ไปทางขวา ดังนั้น ความเร็วรวมคือ $v + \omega R = 2v$ ไปทางขวานั้นเอง

กรณีอื่น ๆ

$\omega R < v_{CM}$ หรือพูดอีกแบบได้ว่า กลิ้งครบหนึ่งรอบได้ระยะบนพื้นมากกว่า $2\pi R$ เช่น ขับรถเร็วมาก ๆ และเหยียบเบรกทันที จะมีช่วงหนึ่งที่ล้อจะไถลไปข้างหน้า ตัวล้อไถลไปกับพื้น

$\omega R > v_{CM}$ หรือพูดอีกแบบได้ว่า กลังครบหนึ่งรอบได้ระยะบนพื้นน้อยกว่า $2\pi R$ เช่น ช่วงเวลาขับรถตกหลุมโคลน และเหยียบคันเร่งเพื่อให้ล้อขึ้นจากหลุม เป็นต้น

2.7 ทฤษฎีเกี่ยวกับการเคลื่อนที่บนพื้นด้วยล้อและสายพานดินตะขบ

หุ่นยนต์ของเราต้องเคลื่อนที่โดยมีข้อจำกัดด้านทิศทางของหุ่นยนต์หรือไม่ เช่น ต้องวิ่งไปด้านข้าง แต่หันหน้าเข้าหากำแพง หรือเคลื่อนที่ในที่แคบที่เลี้ยวลำบากถ้าใช้วิธีการเคลื่อนที่แบบ holonomic ต่อไปเรามาดูว่า เราต้องการให้หุ่นยนต์เปลี่ยนการเคลื่อนที่ในแนวที่ไม่ต้องการได้หรือไม่ เช่น วิ่งบนพื้นเอียงขนานกับพื้นเอียงแล้วไม่ต้องการให้หุ่นยนต์ไหลลงพื้นเอียงได้ง่าย หรือ หุ่นยนต์วิ่งไปข้างหน้าแล้วไม่ต้องการให้ถูกผลักจากด้านข้างได้

2.7.1 Swerve drive

ถ้าไม่ใช่ Swerve drive เนื่องจากการขับเคลื่อนของ Swerve drive จะต้องตั้งมุมล้อให้ตรงแนวการเคลื่อนที่ จึงได้แรงขับเคลื่อนเยอะและไม่สามารถเคลื่อนที่ในแนวอื่นที่ไม่ได้ตั้งมุมล้อไว้ได้ แต่ Swerve drive มีความซับซ้อนมาก แต่ละล้อต้องใช้มอเตอร์ 2 ตัว คือ ใช้ขับเคลื่อนและใช้หมุนเลี้ยวถ้าไม่ใช่ มี 2 แนวทาง คือ

2.7.1.1 Omni drive สามารถเคลื่อนที่ในทิศต่าง ๆ ได้อย่างรวดเร็ว ตัวล้อขึ้นรูปยากกว่าล้อธรรมดาทั่วไป แต่หาซื้อสำเร็จรูปได้ การวางตัวของล้อทำให้เหมาะสำหรับหุ่นยนต์ทรงกระบอกมากกว่าทรงสี่เหลี่ยม

2.7.1.2 Mecanum drive จะให้แรงขับเคลื่อนในแนวหน้า หลัง เยอะ แต่การเคลื่อนที่ในแนวซ้าย ขวา จะต้องใช้พลังงานมากกว่า ตัวล้อขึ้นรูปยากกว่าแบบ Omni แต่หาซื้อสำเร็จรูปได้ การวางตัวของล้อทำให้เหมาะสำหรับหุ่นยนต์ทรงสี่เหลี่ยมมากกว่า

2.7.2 non-holonomic

ถ้าไม่ใช่แบบ Swerve drive ก็สามารถใช้ในการเคลื่อนที่แบบ non-holonomic ได้ และควรพิจารณาหัวข้ออื่นในลำดับถัดไป ดังนี้

2.7.2.1 ต้องการให้หมุนเลี้ยวอยู่กับที่ได้หรือไม่

2.7.2.2 ถ้าใช่ ต่อไปพิจารณาว่า ต้องการแรงขับเคลื่อนเยอะหรือไม่

1) Skid steer เนื่องจากการใช้สายพานดินตะขบหรือล้อหลายล้อจะมีพื้นที่สัมผัสพื้นเยอะ ได้แรงขับเคลื่อนเยอะ แต่ตอนเลี้ยวก็เกิดการลื่นไถล สูญเสียพลังงานไปตอนเลี้ยว ทำให้ต้องใช้กำลังเยอะในการหมุนเลี้ยวรอบตัวเอง

- 2) Differential drive กลไกเรียบง่ายที่สุด ใช้พลังงานน้อย แต่โดยลำพัง 2 ล้ออาจจะทรงตัวได้ยาก เพื่อให้ว่าจะต้องมีล้อประกอบ ซึ่งจะทำให้การเคลื่อนที่บนพื้นไม่เรียบอาจติดขัดได้
- 3) Ackermann steering เหมือนรถยนต์ ข้อดีคือสามารถเลี้ยวได้โดยไม่มีการลื่นไถล ทำให้ไม่สูญเสียพลังงานในตอนเลี้ยว แต่ตอนเลี้ยวจะต้องใช้พื้นที่มากเช่นเดิม นี่เป็นคำแนะนำทั่วไป ไม่จำเป็นต้องยึดถือตายตัวการเคลื่อนที่บนพื้น นอกจากเรื่องความคล่องตัวในการเคลื่อนที่และการเลี้ยว นั้น ยังมีประเด็นอื่น ๆ ที่น่าสนใจ เช่น ระบบกันสะเทือน (suspension) ในความเป็นจริงแล้ว suspension ทำหน้าที่มากกว่าแค่กันสะเทือน (ทำให้ นั่งรถสบายเวลาเจอพื้นขรุขระ) แต่ยังช่วยให้ล้อสัมผัสพื้นได้ดีขึ้น การที่ล้อสัมผัสพื้นได้ดีขึ้นทำให้ได้แรงขับเคลื่อนที่ดีและสามารถควบคุมการเคลื่อนที่ได้ดี suspension มีความสำคัญในหุ่นยนต์ที่ต้องเคลื่อนที่บนพื้นขรุขระ หรือมีมากกว่า 3 ล้อ เพื่อทำให้ล้อสัมผัสกับพื้นครบทุกล้อ รูปแบบของ suspension มีหลายแบบ เช่น การใช้กลไกเคลื่อนที่ที่ล้ออิสระต่อกัน เช่น ระบบกันสะเทือนในรถยนต์ มีกลไกเพื่อให้ล้อแต่ละล้อขยับขึ้น-ลงได้เพื่อให้สัมผัสพื้น



รูปที่ 2.27 ระบบกันสะเทือน หุ่นยนต์ <https://www.dailymail.co.uk/2015/10/25/job-wheel-and-track-2/>

2.7.3 การใช้กลไกเคลื่อนที่ที่ล้อที่ไม่เป็นอิสระต่อกัน

การใช้กลไกเคลื่อนที่ที่ล้อที่ไม่เป็นอิสระต่อกัน เช่น Rocker-bogie ในยานสำรวจดาวอังคาร มีกลไกเชื่อมล้อ 2 ล้อ เมื่อล้อหนึ่งเคลื่อนที่ขึ้น อีกล้อจะเคลื่อนที่ลง



รูปที่ 2.28 การใช้กลไกเคลื่อนที่ล้อที่ไม่เป็นอิสระต่อกัน ที่มา <https://www.thairobotics.com/2013/10/25/byob-wheel-and-track-2/>

2.7.4 การใช้กลไกล้อที่ยุบได้

ล้อที่ยุบได้ แทนที่จะทำให้ล้อเคลื่อนที่ได้ ยังสามารถทำให้ผิวสัมผัสกับล้อเคลื่อนที่แทน เช่น

ลูป Tweel ๗๐๖ Michelin



รูปที่ 2.29 การใช้กลไกล้อที่ยุบได้ ที่มา <https://www.thairobotics.com/2013/10/25/byob-wheel-and-track-2/>

2.7.5 การใช้กลไกการปีนป่าย

การใช้กลไกการปีนป่าย หากหุ่นยนต์ต้องเคลื่อนที่ในที่ที่มีอุปสรรคขนาดใหญ่ จนล้อธรรมดาไม่สามารถปีนข้ามได้ อาจจะต้องมีกลไกเพิ่มเติมช่วยในการปีนป่าย เช่น กลไก flipper ซึ่งเป็นการติดตั้งสายพานดินตะขาบอีกชุดด้านหน้าหุ่นยนต์ที่สามารถหมุนได้ เพื่อพาเข้าไปบนสิ่งกีดขวาง



รูปที่ 2.30 การใช้กลไกการปีนป่าย ที่มา <https://www.thairobotics.com/2013/10/25/byob-wheel-and-track-2/>

นอกจากการเคลื่อนที่ด้วยล้อและสายพานดินตะขาบในรูปแบบทั่ว ๆ ไปที่นำเสนอมาแล้ว ยังมีผู้พัฒนาการเคลื่อนที่ด้วยล้อและสายพานดินตะขาบในรูปแบบอื่น ๆ อีกเพื่อตอบโจทย์ในลักษณะต่าง ๆ

2.8 ทฤษฎีเกี่ยวกับอะคริลิก

อะคริลิก เป็นพลาสติกที่มีความทนทาน และได้รับความนิยมในการนำมาใช้งานอย่างแพร่หลาย ซึ่งอะคริลิกก็มักจะมีหลายชื่อด้วยกัน โดยชื่อเรียกที่ได้ยินบ่อยที่สุด ก็คือ อะคริลิกพลาสติก กระจกอะคริลิกหรือแผ่นอะคริลิก เป็นต้น

สำหรับคุณสมบัติของอะคริลิก ก็คือ เป็นวัสดุที่มีความทนทานแข็งแรง สามารถทนต่อแรงกระแทกได้ดีกว่ากระจก ทั้งมีความหนาตั้งแต่ 2 มิลลิเมตร-100 มิลลิเมตร ขึ้นไป จึงสามารถนำมาใช้งานได้หลากหลาย ตัวอย่างชิ้นงานจากอะคริลิก เช่น กรอบรูป ป้ายโฆษณาและชั้นวางโชว์ เป็นต้น



รูปที่ 2.31 แผ่นอะคริลิก ทมท <https://portal.weloveshopping.com/product/L91504828>

2.8.1 รู้จักกับอะคริลิก

อะคริลิกพลาสติก ถูกเรียกว่าเป็นพลาสติกหลายชื่อ นั่นก็เพราะมีชื่อทางการค้าหลายชื่อด้วยกัน ทั้งมีคุณสมบัติที่โดดเด่นในเรื่องของความโปร่งใส ขึ้นรูปง่าย และมีความหนาแน่นต่ำ

จึงสามารถนำมาใช้งานได้อย่างแพร่หลายและได้รับความนิยมมากที่สุด โดยสร้างชิ้นงานจากอะคริลิกพลาสติกที่มีการนำมาประยุกต์ใช้เป็นส่วนใหญ่ ก็คือ ป้ายโฆษณา กระจกใสบนเครื่องบิน และกระจกตู้ปลา เป็นต้น นอกจากนี้ก็ยังนิยมนำมาใช้แทนแก้วในการผลิตชิ้นงานหลาย ๆ อย่างด้วย ส่วนชื่อทางการค้าของอะคริลิกพลาสติกนั้น ส่วนมากก็จะเป็น Plexiglas, Lucite, Perspex ฯลฯ

2.8.2 การพัฒนาอะคริลิก

อะคริลิกพลาสติก ถูกสังเคราะห์ขึ้นมาใช้งานครั้งแรก ตั้งแต่ปี ค.ศ.1877 โดยผู้ค้นพบก็คือ นักเคมีชาวเยอรมัน ชื่อ ฟิททิงและพอล ซึ่งทั้งคู่ได้นำเอาโมโนเมอร์ของเมทิลเมทาไครเลต มาทำปฏิกิริยาการเกิดโพลิเมอร์ จนได้เป็นโพลิเมทิลเมทาไครเลต แต่ยังไม่สามารถพัฒนามาเป็นแผ่นอะคริลิกพลาสติกได้ จนเมื่อปีค.ศ.1933 ออทโท เรห์ม ได้ค้นพบการพัฒนาขึ้นมาเป็นแผ่นอะคริลิก จึงได้มีการขอจดสิทธิบัตรวิธีผลิตแผ่นพลาสติกใสในชื่อทางการค้าว่า Plexiglas และจากนั้นก็ได้มีการผลิตแผ่นอะคริลิกออกมาใช้มากขึ้น จนกลายเป็นสินค้าเชิงพาณิชย์เป็นต้นไป – บริการตัดอะคริลิก ขึ้นรูป ตามต้องการและในปัจจุบันนี้ ด้วยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีที่ก้าวหน้ามากขึ้น ทำให้มีการค้นพบวิธีการผลิตอะคริลิกพลาสติกอย่างหลากหลายวิธีด้วยกัน ตัวอย่างกระบวนการผลิตอะคริลิกที่นิยมได้แก่ การเกิดโพลิเมอร์แบบอิมัลชันและ การเกิดโพลิเมอร์แบบบัลก์ เป็นต้น

ส่วนการผลิตอะคริลิกแบบแผ่น ก็จะใช้วิธีการเติมโมโนเมอร์ของเมทิลเมทาไครเลตเข้าไปพร้อมกับใส่ตัวเร่งปฏิกิริยาลงในแม่พิมพ์พร้อมกัน ก็จะเกิดเป็นแผ่นอะคริลิกพลาสติกขึ้นมา อย่างไรก็ตาม ในปัจจุบันถือว่าการผลิตอะคริลิกพลาสติก ได้มีการพัฒนาและก้าวหน้าไปอย่างมาก และสามารถนำมาใช้งานได้อย่างแพร่หลาย

2.8.3 กระบวนการผลิตแผ่นอะคริลิก

กระบวนการผลิตอะคริลิกพลาสติกทั้ง 2 วิธี จะมีความแตกต่างกัน คือ การหล่อแบบต่อเนื่อง จะทำขึ้น โดยการลำเลียงของสายพานสองเส้น ที่มีการเคลื่อนไหวยุ่ตลอดเวลา และการหล่อแบบไม่ต่อเนื่อง ก็จะทำขึ้นในบ่้าหล่อหรือแม่พิมพ์ ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้ก็มีความแตกต่างกัน สำหรับกระบวนการผลิตแผ่นอะคริลิก จะมี 2 วิธี คือ

2.8.3.1 การผลิตด้วยกระบวนการหล่อแบบต่อเนื่อง

2.8.3.2 การผลิตด้วยกระบวนการหล่อแบบไม่ต่อเนื่อง

2.8.4 คุณสมบัติอันโดดเด่นของอะคริลิกพลาสติก

2.8.4.1 มีความหนาแน่นที่ 1.15-1.19 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร จึงมีความทนทานต่อแรงกระแทกได้ดี

2.8.4.2 มีจุดหลอมเหลวอยู่ที่อุณหภูมิประมาณ 130-140 องศาเซลเซียส และมีจุดเดือดอยู่ที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส

2.8.4.3 สามารถทนทานต่อแรงระแทกได้สูง แต่มีความทนทานต่ำกว่าโพลีคาร์บอเนต และพลาสติกวิศวกรรมชนิดอื่นได้

2.8.4.4 มีเนื้ออ่อน จึงอาจทำให้เกิดรอยขีดได้ง่าย

2.8.4.5 มีการสะท้อนกลับที่ร้อยละ 4 และแสงสว่างสามารถส่องผ่านได้มากถึงร้อยละ 92

2.8.4.6 ไม่ค่อยทนทานต่อตัวทำลายหลายชนิดด้วยกัน จึงมีข้อควรระมัดระวังอย่าให้อะคริลิกอยู่ใกล้กับตัวทำลายนั้น ๆ

2.8.4.7 สามารถทนทานต่อสภาพแวดล้อมได้ดีกว่าพลาสติกชนิดอื่น ๆ

2.8.5 การนำอะคริลิกพลาสติกมาใช้งาน

ในปัจจุบัน อะคริลิกพลาสติก มีการนำมาประยุกต์ใช้เข้ากับหลายๆ อย่างด้วยกัน เช่น เครื่องประดับ ป้ายโฆษณา เป็นต้น แต่ที่สามารถประยุกต์ใช้ได้อย่างลงตัวที่สุดก็คือกระจกบ่อเลี้ยงปลานั้นเอง นั่นก็เพราะว่าการใช้กระจกแก้วในการทำกระจกบ่อเลี้ยงปลา มักจะมีปัญหาเกี่ยวกับการที่แสงส่องผ่านเข้าไปไม่ถึง ทำให้กระจกดูทึบและมองไม่ค่อยเห็นปลาในตู้หรือในบ่อ แต่เมื่อใช้แผ่นอะคริลิกพลาสติกแทน จะสามารถมองเห็นปลาในตู้ได้อย่างชัดเจนและสวยงามกว่า ด้วยคุณสมบัติที่โดดเด่นกว่า ดังนี้

2.8.5.1 น้ำหนักเบา จึงทำการเคลื่อนย้ายและติดตั้งได้ง่ายกว่า

2.8.5.2 แสงสว่างสามารถส่องผ่านได้มากถึง 92% จึงทำให้กระจกมีความใสและสามารถมองเห็นปลาได้ชัดเจนมากขึ้น

2.8.5.3 สามารถเชื่อมแผ่นพลาสติกให้ติดเป็นเนื้อเดียวกันได้ ด้วยการทาสารเคมีบางชนิด

2.8.5.4 สามารถใช้เป็นฉนวนความร้อนได้ดีกว่าแก้ว จึงช่วยลดในเรื่องค่าใช้จ่ายในด้านพลังงานได้ดี

2.8.5.5 แม้จะมีความบอบบางและสามารถเกิดรอยขีดได้มากกว่าแก้ว แต่ก็สามารถเคลือบสารเพื่อเพิ่มความแข็งแรงและป้องกันรอยขีดได้

จากการศึกษาเกี่ยวกับโครงสร้างและการนำอะคริลิกพลาสติกมาประยุกต์ใช้ จะเห็นได้ว่า อะคริลิกพลาสติกสามารถใช้งานได้อย่างหลากหลาย และมีคุณสมบัติที่โดดเด่น นำไปใช้งานเป็น

อย่างมาก แต่ก็มีข้อเสียอยู่บ้าง คือราคาแพง อย่างไรก็ตาม เมื่อเทียบกับคุณสมบัติและประโยชน์ที่ได้จากอะคริลิกพลาสติกแล้ว ก็ถือว่ามีความคุ้มค่ามาก

2.8.6 อะคริลิก (Acrylic)

อะคริลิก (Acrylic) คือ แผ่นพลาสติกเรียบชนิด Thermoplastic ผลิตจากน้ำยา Methyl Methacrylate (MMA) ด้วยการนำไปหล่อแบบ Casting System อะคริลิกได้ถูกคิดค้นและนิยมนำมาใช้แทนแก้วและกระจกเพราะมีรูปร่างลักษณะคล้ายคลึงกัน แต่ทนทานและเสี่ยงต่อการแตกหักน้อยกว่าแก้วและกระจก อีกทั้งอะคริลิกยังมีคุณสมบัติพิเศษ คือ เมื่อได้รับความร้อนสูงจะอ่อนตัวจนสามารถดัดขึ้นรูปได้ตามต้องการ เมื่อทิ้งให้เย็นตัวลงจะแผ่นพลาสติกอะคริลิกจะแข็งตัวและคงสภาพดังรูปทรงที่ดัดไว้ ขนาดความหนา ของแผ่นอะคริลิกมีตั้งแต่ 2 มิลลิเมตร - 100 มิลลิเมตรสามารถนำมาประยุกต์งานได้หลากหลายและผลิตเป็นของใช้ต่าง ๆ ได้มากมาย อาทิ เครื่องประดับ กรอบรูป ชั้นวางโชว์ ป้ายโฆษณา กล่องไฟ และอื่น ๆ อีกมากมาย



รูปที่ 2.52 ของแข็งอะคริลิก กทม <https://portal.weloveshopping.com/product/271504020>

2.8.7 ข้อดีของอะคริลิก

2.8.7.1 อะคริลิกมีความแข็งแรงทนทาน สามารถทนแรงกระแทก แรงกดได้ดีกว่าแก้วและโพลิสไตรีน แต่ต่ำกว่าโพลีคาร์บอเนตและพลาสติกวิศวกรรมชนิดอื่น แต่มีราคาถูกกว่าเหมาะสำหรับการนำมาใช้งานในครัวเรือน

2.8.7.2 แสงสามารถส่องสว่างเนื้อพลาสติกอะคริลิกได้ถึงร้อยละ 92 และมีการสะท้อนกลับที่ผิวประมาณร้อยละ 4 ซึ่งทำให้มีความใสและสะท้อนได้ดีกว่าแก้ว จึงทำให้ดูสวยงามมากกว่า

2.8.7.3 อะคริลิกมีความทนทานต่อสภาพแวดล้อมดีกว่าพลาสติกชนิดอื่น

2.8.7.4 อะคริลิกทนต่อความร้อนและแสงแดด จึงถูกนิยมนำมาใช้กับงานกลางแจ้ง

2.8.7.5 อะคริลิกมีน้ำหนักเบา ไม่แตกหักง่าย

2.8.7.6 อะคริลิกเป็นพลาสติกที่สามารถนำมาแกะสลัก ฟันสี ระบายสี และฉลุลวดลายเป็นลวดลายต่าง ๆ ตามต้องการได้

2.8.7.7 อายุการใช้งานยาวนานกว่า 10 ปี

2.8.7.8 อะคริลิกสามารถเชื่อมต่อได้ถึงระดับโมเลกุล โดยการใช้สารเคมี อาทิ dichloromethane หรือ trichloromethane ทาลงที่ผิวพลาสติกทำให้พลาสติกอ่อนตัว นำไปประกบกับแผ่นอะคริลิกเข้าด้วยกัน วิธีนี้ทำให้พลาสติกสามารถเชื่อมต่อกันได้เป็นเนื้อเดียวโดยรอยต่อจะมีขนาดเล็กมากจนแทบมองไม่เห็น ทำให้ผลงานมีความสวยงาม

2.8.7.9 อะคริลิกมีความเป็นฉนวนกันความร้อนดีกว่าแก้วประมาณร้อยละ 20 ดังนั้นจึงเป็นสาเหตุให้ช่วยลดค่าใช้จ่ายในด้านพลังงานสำหรับการทำความร้อนและความเย็นในน้ำได้เป็นอย่างดี

2.8.7.10 แม้ว่าอะคริลิกจะเกิดรอยขีดข่วนได้ง่ายกว่าแก้วแต่ปัจจุบันสามารถนำอะคริลิกไปเคลือบผิวหน้าให้สามารถทนต่อการขีดข่วนได้ดีขึ้นมาก

2.8.7.11 ทนทานต่อน้ำเค็มและการกันกร่อน

2.8.7.12 อะคริลิกเป็นตัวกันไฟฟ้าและไม่เป็นตัวทำความร้อน ทำให้ปลอดภัยถ้าไม่มีไฟรั่วใส่

2.8.7.13 อะคริลิกมีความยืดหยุ่นสูงสามารถแปรรูปได้ง่าย ทั้งการตัด ตัด พับ เจาะ ตีต่อการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ

2.8.7.14 ปัจจุบันอะคริลิกได้รับการยอมรับเพิ่มมากขึ้นในสังคม เพราะคนรุ่นใหม่ตระหนักการใช้ผลิตภัณฑ์ที่ไม่ทำลายสิ่งแวดล้อม ซึ่งอะคริลิกได้รับการนิยมในการนำกลับมาใช้ใหม่และรีไซเคิลอย่างแพร่หลายมากขึ้น

2.8.7.15 สะดวกในการบำรุงรักษา สามารถทำความสะอาดได้ง่ายเพียงล้างด้วยน้ำเปล่าหรือน้ำสบู่และใช้ผ้าเช็ดทำความสะอาดก็เพียงพอแล้ว

ข้อดีมีไม่น้อยแบบนี้ ท่านใดที่กำลังมองหาวัสดุทดแทนกระจกที่แตกง่าย ให้ทั้งความทนทาน สวยงาม ตอบโจทย์คนรุ่นใหม่ได้เป็นอย่างดี อะคริลิกก็เป็นหนึ่งในวัสดุที่คุณอาจจะกำลังตามหาอยู่ก็ได้ ลองมาเลือกดูเลือกชมสินค้าอะคริลิกของทางร้านดูก่อนได้ ทางร้านเรามีสินค้ามากมายหลายหมวดหมู่ ไม่ว่าจะเป็นกรอบรูปสวยๆ ชั้นวางแก้ว กล่องซิฟซู แผ่นป้าย โต๊ะ ไปจนถึงกระจกส่องอะคริลิก

2.8.8 ข้อดีของบอร์ดคริลิก

2.8.8.1 ความแข็งแรง เมื่อพูดถึงแผ่นอะคริลิกหลายคนก็นึกถึงความแข็งแรงของมันอันที่จริงแล้วความแข็งแรงของแผ่นอะคริลิกเป็นหนึ่งในตัวบ่งชี้ที่yakต่อการวัดคุณภาพและยังเป็นการแสดงออกที่สำคัญของกระบวนการผลิตและเทคโนโลยี ดัชนีความแข็งแรงของแผ่นอะคริลิกมีค่าเฉลี่ยประมาณ 89 องศาความแข็งแรงแบบ Rockwell นอกจากนี้การปรับตัวของแผ่นอะคริลิกนั้นดีเป็นพิเศษโดยเฉพาะอย่างยิ่งสำหรับสภาพแวดล้อมเช่นแสงแดดลมและฝนและประสิทธิภาพในการต่อต้านริ้วรอยนั้นดีและสามารถใช้งานภายนอกอาคารได้อย่างปลอดภัย

2.8.8.2 ความโปร่งใสที่ดีและการส่งผ่านแสงที่แข็งแกร่ง ความโปร่งใสและความโปร่งใสของแผ่นอะคริลิกนั้นดีมากถึง 92% เนื่องจากกระบวนการผลิตในกระบวนการผลิตสามารถสร้างความมั่นใจในความโปร่งใสและความขาวของบอร์ด

2.8.8.3 การบำรุงรักษาง่ายบนพลาสติกที่แข็งแรง แผ่นอะคริลิกดูแลรักษาง่ายและทำความสะอาดง่าย หากเป็นฝนก็สามารถทำความสะอาดได้ด้วยตัวเองหรือทำความสะอาดด้วยสบู่และผ้านุ่ม นอกจากนี้แผ่นอะคริลิกมีความแข็งแรงและรูปร่างเปลี่ยนแปลงไปอย่างมากทำให้ง่ายต่อการประมวลผล

2.8.8.4 ทนทานต่อแรงกระแทก, สีที่หลากหลาย แผงประตูอะคริลิกมีความทนทานต่อแรงกระแทกได้ดีโดยทั่วไปจะเป็นกระจกธรรมดาถึงสิบหกเท่า เหมาะอย่างยิ่งสำหรับการติดตั้งในพื้นที่ที่ต้องการความปลอดภัย นอกจากนี้สียังอุดมสมบูรณ์และมีสีอื่นและวัสดุอื่น ๆ ไม่สามารถนำมาใช้เพื่อความงามได้ เนื่องจากความหลากหลายและมีประสิทธิภาพที่ครอบคลุมที่ยอดเยี่ยม

2.8.8.5 ข้อบกพร่องของคณะกรรมการคริลิค เคาน์เตอร์อะคริลิคมีความแข็งค่อนข้างต่ำ ดังนั้นจึงทนความร้อนไม่ดีพวกเขาไม่สามารถสัมผัสกับวัตถุที่ร้อนจัดเป็นเวลานานและการยืดตัวต่ำเกินไปซึ่งหมายความว่ามันอาจทำให้เกิดการบิดและการเสียรูปเนื่องจากการใช้สี ยังไม่มั่นคงเพียงพอซึ่งอาจทำให้เกิดการเจริญเติบโตของเส้นผมและไม่ชอบ

2.9 ทฤษฎีเกี่ยวกับท่อ PVC

ท่อ PVC คือ ท่อที่ทำขึ้นจากโพลิไวนิลคลอไรด์ โดยไม่ผสมพลาสติกไฮเซอร ซึ่งชื่ออย่างเป็นทางการที่ได้ระบุใน มอก. คือ ท่อพีวีซีแข็ง แต่คนทั่วไปนั้นจะรู้จักมักคุ้นกันในชื่อท่อ PVC กันมากกว่า โดยในปัจจุบันท่อชนิดนี้เป็นที่นิยมอย่างมากในวงการก่อสร้าง เพราะด้วยคุณสมบัติที่ดีหลายอย่างไม่ว่าจะเป็น คุณสมบัติที่มีความเหนียวยืดหยุ่นตัวได้ดี ทนต่อแรงดันน้ำ ทนต่อการกัดกร่อน ไม่เป็นฉนวนนำไฟฟ้าเพราะไม่เป็นตัวนำไฟฟ้า เป็นวัสดุไม่ติดไฟ น้ำหนักเบาอีกทั้งยังราคาถูกอีกด้วย ท่อ PVC จึงถูกนำมาใช้ในงานหลาย ๆ ระบบ อาทิเช่น ระบบประปา ระบบงานร้อยสายไฟฟ้า ระบบงานระบายน้ำทางการเกษตร/อุตสาหกรรม



รูปที่ 2.33 ท่อ PVC ที่มา <https://www.thaippr.com/cleanest-plastic-type>

2.9.1 ประวัติความเป็นมาของท่อ PVC

สาร พี.วี.ซี. ได้ถูกค้นพบเป็นครั้งแรกในคริสต์ศตวรรษที่แล้ว จุดเริ่มนั้นเกิดจากการที่นักวิทยาศาสตร์กลุ่มหนึ่ง ทำการศึกษาปฏิกิริยาของสารอินทรีย์แก๊สชนิดใหม่ (Vinyl Chloride, C_2H_3Cl) ที่พวกเราได้ประดิษฐ์ขึ้นและพบปรากฏการณ์ประหลาด เมื่อสารนี้ต้องแสงแดด คือการเกิดการรวมตัวของของแข็งสีขาวที่กันหลอดทดลอง อันที่จริงปรากฏการณ์นี้มีชื่อทางเคมีว่าการเกิด Polymerization ซึ่งทำให้ได้สารพลาสติกชนิดใหม่ Polyvinyl Chloride นักวิทยาศาสตร์ได้พบว่าสารใหม่นี้ไม่ทำปฏิกิริยากับสารเคมีทั่ว ๆ ไป และที่สำคัญคือ ไม่สามารถทำลายมันได้ แต่เนื่องจาก พี.วี.ซี. มีคุณสมบัติต่อต้านการเปลี่ยนแปลงใด ๆ ทำให้ยากที่จะนำมาใช้ประโยชน์ ด้วยเหตุนี้การพัฒนาสาร พี.วี.ซี. จึงหมดไปกระทั่งปี ค.ศ. 1920 เศษ จึงได้มีการค้นคว้าเกี่ยวกับสาร พี.วี.ซี. อีกในยุโรปและอเมริกาเหนือ ในช่วงนี้ได้มีการนำเอา พี.วี.ซี. มาใช้ประโยชน์อย่างจริงจัง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในประเทศเยอรมัน โดยในปี ค.ศ. 1930 เศษ นักวิทยาศาสตร์และวิศวกรชาวเยอรมันได้นำการพัฒนาและผลิตท่อ พี.วี.ซี. จำนวนจำกัดออกมาใช้งาน ท่อเหล่านี้ยังคงปรากฏและใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพจนตราบนานเท่าทุกวันนี้ในตอนปลายของสงครามโลกครั้งที่ 2 เยอรมันถูกโจมตีทางอากาศอย่างหนักหน่วงเมืองต่าง ๆ ถูกทำลายแต่ประชาชนก็ยังเอาชีวิตรอดอยู่ได้ด้วยการอาศัยตามซากปรักหักพังของอาคาร สิ่งที่เป็นปัญหาใหญ่คือ ระบบส่งน้ำและระบายน้ำที่ถูกทำลาย วิกฤตการณ์นี้ยิ่งทวีความรุนแรงขึ้นอีกเมื่อฝ่ายสัมพันธมิตรโจมตีแคว้น รูห์ และแคว้นซาร์ ซึ่งเป็นแหล่งผลิตเหล็กและแร่อื่น ๆ ที่ใช้ผลิตท่อในยุคนั้น เพื่อแก้ปัญหาว่านวยเหล่านี้ นักวิทยาศาสตร์และวิศวกรเยอรมันจึงหันมาใช้พี.วี.ซี. จึงได้ก่อกำเนิดขึ้นเป็นครั้งแรก

ปัจจุบันท่อ พี.วี.ซี. มีบทบาทสำคัญในตลาดโลกมาก จากสถิติการผลิตท่อ พี.วี.ซี. ในสหรัฐอเมริกา ปี ค.ศ. 1976 ปรากฏว่า มีจำนวนผลิตถึง 1.5 พันล้านปอนด์ ต่อปี มาตรฐานท่อ พี.วี.ซี. ในสหรัฐอเมริกาได้ถูกกำหนดขึ้นในปี ค.ศ. 1940 เศษ โดย The American Society for Testing and Materials (ASTM)



รูปที่ 2.34 ประสิทธิภาพเป็นมาท่อ PVC ที่มา <https://www.thaippr.com/cleanest-plastic-type>

สำหรับประเทศไทยนั้น ท่อ พี.วี.ซี. เริ่มเป็นที่รู้จักและใช้กันเมื่อประมาณ 20 ปีที่ผ่านมา และปัจจุบันกำลังท่อ PVC เป็นที่รู้จักและใช้กันอย่างแพร่หลาย จนสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม ได้กำหนดมาตรฐาน ท่อ พี.วี.ซี. และอุปกรณ์ต่อท่อ พี.วี.ซี. ขึ้นโดยแบ่งแยกสีตามการใช้งาน เช่น มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมท่อ พี.วี.ซี. แฉ่งสำหรับใช้เป็นท่อร้อยสายไฟฟ้า สายโทรศัพท์ (มอก. 216-2520) กำหนด เป็นท่อสีเหลืองอ่อน (Primerose) มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมท่อ พี.วี.ซี. แฉ่งสำหรับใช้เป็นท่อน้ำดื่ม (มอก. 17-2523) กำหนดเป็นท่อน้ำเงิน (Arctic Blue) มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมท่อ พี.วี.ซี. แฉ่งสำหรับใช้ในงานอุตสาหกรรมและชลประทาน (มอก.) กำหนดเป็นสีเทา เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุปกรณ์สำหรับดันท่อ ซึ่งกำหนดสีตามท่อ พี.วี.ซี. สำหรับใช้งานต่าง ๆ กัน

2.9.2 ข้อดีของท่อพีวีซี

ในการผลิตเรซินทั่วไป ปริมาณการใช้เอทิลีนโดยยาง PVC จะต่ำสุด และต้นทุนการผลิตสูงสุด ในประเทศผลิตจากพีวีซีต่อตันปริมาณการใช้เอทิลีน ราคาเฉลี่ยต่อตันของปริมาณการใช้เอทิลีนตัน 1.042 เอทิลีน ประเทศต่อตันของปริมาณการใช้ยาง PVC ของเอทิลีนใช้กว่าเล็กน้อยกว่า 50%

0.5314 ตัน การผลิตแก๊สคลอรีนดิบ PVC คือ ความสมดุลของการผลิตโซดาไฟการผลิตคลอรีนโซดาไฟคือ ดิบสำคัญสำหรับเศรษฐกิจของประเทศ

นอกจากนี้ จากมุมมองของผลิตภัณฑ์พลาสติก พีวีซีและความหลากหลายของสารที่เข้ากันได้ ในการผลิตของท่อสามารถเพิ่มจำนวนมากของฟิลเลอร์ต่ำ เพื่อให้ต้นทุนการผลิตลดลงอย่างมาก ท่อพีวีซีและท่อโลหะ การผลิตต่อลูกบาศก์เมตรของ PVC และผลิตต่อลูกบาศก์เมตรคำนวณเหล็กและอลูมิเนียม เหล็กพลังงานเป็น 316kj/m³ อลูมิเนียมใช้พลังงาน 619KJ/M³, PVC พลังงานเป็นพลังงาน 70kj/m³ เหล็กคือ การใช้เวลา 4.5 เท่าของ PVC อลูมิเนียมใช้พลังงาน 8.8 ครั้งพีวีซี และการผลิตท่อพีวีซีที่ใช้พลังงานการประมวลผล เพียงตัวเดียวเส้นผ่าศูนย์กลางท่อโลหะหนึ่งในสาม

ในเวลาเดียวกันเนื่องจากผนังท่อ PVC เรียบ ไม่กัดกร่อนเนื่องจาก ประหยัดน้ำ ใช้สำหรับคอนกรีตสามารถบันทึก 20% หรือมากกว่านั้น ท่อพีวีซีมีคุณสมบัติทางกลดี และมีความต้านทานการกัดกร่อน การใช้งานน้ำหนักเบา ติดตั้งง่าย ไม่ต้องรักษา และการใช้เหล็กสำหรับงานท่อระบายน้ำของ ท่อการใช้ของกระบวนการเนื่องจากการกัดกร่อน ต้องเคลือบสีบ่อย ๆ ค่าบำรุงรักษาสูงขึ้น ก่อสร้างทั่วไปและงานโลหะท่อประมาณ 20 ปีต้องเปลี่ยน และบทบาทของการประมวลผลที่ดีของท่อพีวีซี อายุการใช้งานถึง 50 ปี

ดังนั้น ท่อพีวีซีเป็นชนิดของต้นทุนต่ำ แข็งแรง ทนการกัดกร่อนดีผลิตภัณฑ์พลาสติกการผลิต โดยทั่วไป ในน้ำ น้ำเสียและการระบายอากาศท่อ ท่อพีวีซีมากกว่าการใช้ท่อเหล็กหล่อเพื่อบันทึกการติดตั้งและค่าแรงประมาณ 16-37% ตามท่อตัวนำมากกว่าการใช้ลวดโลหะท่อประหยัดค่าใช้จ่าย 30-33% ในขณะที่บทบาทของคลอรีน โพลีไวนิลคลอไรด์ (PVC) ท่อน้ำร้อน และเย็น ประหยัดค่าใช้จ่าย 23-44% กว่าท่อทองแดงขนาดเดียวกัน

ดังนั้น เนื่องจากข้อดีของท่อพีวีซี ประเทศกำลังพัฒนา และส่งเสริมท่อพีวีซี

ท่อพีวีซีจะใช้เป็นหลักในการขนส่งสิ่งปฏิกูล มันเป็นสินค้าที่มีความทนทานที่สามารถเชื่อมติดกับตัวทำลาย, ความร้อน, และโอริง องค์ประกอบต่าง ๆ อาจถูกนำมาใช้สำหรับการใช้งานที่แตกต่างกัน อุปกรณ์ที่ใช้ในการชลประทานเกือบทุกบ้านน้ำประปาและมักจะเป็นสีขาวและทำจากน้ำดื่มที่ปลอดภัย มีประเภทใน

ท่อพิเศษซึ่งสามารถนำมาใช้สำหรับน้ำร้อนและเย็น พีวีซีสีขาวนอกจากนี้ยังใช้ในบ้านที่ใช้สำหรับวิธีการกำจัดน้ำเสีย (บำบัดน้ำเสียหรือเทศบาล) และน้ำดื่มถ้าคุณต้องการที่จะใช้สามหรือสี่นิ้วของท่อน้ำท่อพลาสติกท่อพลาสติกมีน้ำหนักเบาเหนียวทนต่อการโจมตีทางเคมีและมีอยู่ในขนาดใหญ่ลดการจัดการการขนส่งและค่าใช้จ่ายในการติดตั้งข้อต่อน้อยลงอำนวยความสะดวกใน

ความเร็วและลดโอกาสของการรั่วไหลท่อเหล่านี้มีคุณสมบัติยืดหยุ่นดีเพื่อปรับให้เข้ากับการเคลื่อนไหวของโลกที่ดีกว่าพื้นผิวภายในเรียบของท่อแรงเสียดทานน้อยเนื่องจากพลังงานแรงเสียดทานน้อยช่วยประหยัดน้ำโดยผ่านมันท่อพลาสติกข้อเสีย: เพราะท่อพลาสติกจะไม่ dekompozívคุณสมบัติที่อุณหภูมิสูงไม่มีแตกได้อย่างง่ายดายที่อุณหภูมิที่สูงขึ้นลดความแข็งแรงของท่อพลาสติกคาดว่าหลายคนอาจจะรู้ว่าท่อพีวีซีสำหรับการจัดหาน้ำสะอาดหรือไม่ PVC / CPVC – ท่อแข็งพลาสติกท่อพีวีซี แต่พนักงานสำหรับการรักษาแรงดันน้ำในเขตเทศบาลเมืองแนะนำ 1970 พีวีซีจะใช้สำหรับน้ำเย็นหรือการระบายอากาศ CPVC ใช้ในการค้ำน้ำร้อนและน้ำเย็น ในการเชื่อมต่อกับไฟเบอร์และปูนซีเมนต์ตัวทำละลายที่มีรหัสที่จำเป็นทำให้พวกเขาจะปลอดภัยทันสมัยพีวีซีควรจะอโรยอาจจะดีกว่าทองแดง มีหลายรูปแบบของพีวีซีและใช้พวกเขามีตัวแทนอ่อนเป็นอันตราย แต่พวกเขาทำให้มันนุ่ม (เช่น, ยึดฟิล์มหรือความสุขบรรจุกัมภ์ใดก็ตามที่เขามีเพื่อให้ครอบคลุมอาหาร) ความร้อนและวัสดุที่สัมผัสกับอาหารที่มีไขมันเช่นเนยแข็งพวกเขาจะถูกโยกย้ายในท่อพีวีซี แต่วันนี้เพียงพีวีซีสารปนเปื้อนอื่น ๆ ที่สามารถดูดซึมเข้าสู่ก่อนเดินทางมาถึงเบนลงไปในน้ำ และคุณสามารถลิ้มลองมากขึ้นพีวีซีช่อง และท่อน้ำประปาต่อไป

2.9.3 ประเภทของท่อ

แบ่งได้ 5 ประเภท ดังนี้

2.9.3.1 ท่อประปาเหล็กอาบสังกะสี ทำจากเหล็กกล้า ผ่านการอาบ สังกะสี สามารถทำเกลียวได้ง่าย ท่อเหล็กอาบสังกะสี ปลายท่อทำเกลียวมาให้พร้อม มีแบบหนาปานกลาง ที่ท่อจะคาดสีน้ำเงิน และอย่างหนาที่ท่อคาดสีแดง



รูปที่ 2.35 ท่อประปาเหล็กอาบสังกะสี ที่มา <https://www.thaippr.com/cleanest-plastic-type>

2.9.3.2 ท่อ PVC (PVC ย่อมาจาก Poly Vinyl Chloride) แบ่งแยกการใช้งานตามสีต่าง ๆ

- 1) ท่อสีเหลือง เป็นท่อสำหรับร้อยสายไฟฟ้า และสาย โทรศัพท์ เพราะสามารถทนต่อความร้อนได้อย่างดี
- 2) ท่อสีฟ้า เป็นท่อที่ใช้กับระบบน้ำ เช่น น้ำดี น้ำเสีย และการระบาย สามารถทนแรงดันน้ำได้มากน้อยตาม ประเภท การใช้งาน (มีหลายเกรด)
- 3) ท่อสีขาว เป็นท่อที่ใช้สำหรับการเกษตร หรือน้ำทิ้ง ก็ได้ ราคาค่อนข้างถูก ไม่ค่อยแข็งแรง ควรจะเดินลอย ไม่ควรฝังดิน



รูปที่ 2.36 ท่อ PVC ที่มา <https://www.thaippr.com/cleanest-plastic-type>

2.9.3.3 ท่อไฮเลอร์ ภายนอกเป็นท่อเหล็ก GSP. ภายในเป็นท่อ PE. มีความแข็งแรง รับน้ำหนักได้ดี ทนทานต่อแรง กระแทกได้ ไม่หักงอ ทนต่อความดันได้มากกว่า 20 บาร์ และอุณหภูมิสูง ถึง 90 องศา ไม่เป็นสนิม เหมาะสำหรับ ใช้ติดตั้งใน โรงแรม อาคารขนาดใหญ่ สถานที่ ที่ต้องการความทนทานสูง หรือสถานที่ ที่ยากต่อการซ่อมแซม ท่อชนิดนี้มีราคาสูงเมื่อเทียบกับท่อชนิดอื่น



รูปที่ 2.37 ท่อไฮเลอร์ ที่มา <https://www.thaippr.com/cleanest-plastic-type>

2.9.3.4 ท่อไทย พีพี-อาร์ ผลิตจาก Polypropylene Random Copolymer เป็นเม็ดพลาสติกคุณภาพสูง (Thermoplastic) สะอาดปลอดภัย เหมาะสำหรับนำมาใช้งานมากที่สุด ณ ปัจจุบันเมื่อเทียบกับท่อที่ผลิตจากพลาสติกชนิดอื่นที่ อีกทั้งยังไม่เป็นสนิม ไม่มีสารเคมี ปราศจากสารก่อมะเร็งเจปน สามารถใช้เป็นท่อน้ำสำหรับอุปโภค-บริโภค ที่ได้รับการยอมรับจาก "กรีนพีซ" และ WRAS มาตรฐานความสะอาดจากประเทศอังกฤษ

อายุการใช้งาน ยาวนานกว่า 50 ปี ทนแรงดันได้สูงถึง 20 บาร์ ติดตั้งง่าย เชื่อมต่อระหว่างท่อกับข้อต่อด้วยวิธีการหลอมให้ความร้อน (ไม่ต้องใช้กาว) เชื่อมผสานเป็นเนื้อเดียวกัน ไม่มีวันรั่ว ทนทาน ใช้ได้ทั้งท่อน้ำร้อน และน้ำเย็น แข็งแรง ไม่เปราะแตกง่าย เมื่อเทียบกับท่อ PVC จึงเหมาะสำหรับใช้ติดตั้งใน บ้านพักอาศัย คอนโด ตึกแถว อาคารขนาดเล็ก ขนาดใหญ่ และอื่น ๆ



รูปที่ 2.38 ท่อไทย พีพี-อาร์ ที่มา <https://www.thaippr.com/cleanest-plastic-type>

2.9.3.5 ท่อ PE – Poly Et ท่อโพลีเอทิลีน (HDPE) เป็นท่อพลาสติกอีกหนึ่งชนิด ซึ่งมีทั้งที่นำไปใช้เป็นท่อน้ำ และท่อร้อยสายไฟ มีความยืดหยุ่นสูงแต่ไม่สามารถนำมาใช้งานระบบน้ำร้อนได้ เหมาะสำหรับงานระบบประปาที่ฝังอยู่ใต้ดิน เพราะหากมีการทรุดตัวของดินไปกดทับท่อจะไม่ทำให้ท่อแตก แต่ท่อชนิดนี้มีข้อจำกัด หากนำมาใช้กับงานที่มีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของบรรยากาศภายนอกมาก ด้วยคุณสมบัติของเม็ดพลาสติกเองจะทำให้มีการยืดตัวสูง



รูปที่ 2.39 ท่อ PE – Poly Et ที่มา <https://www.thaippr.com/cleanest-plastic-type>

2.9.3.6 อายุการใช้งานท่อพีวีซี ท่อพีวีซีที่ได้มาตรฐานจะมีอายุการใช้งานหลักหลายสิบปีครับ แต่ต้องดูการใช้งานด้วยว่าเราใช้มันถูกวิธีหรือเปล่าหากเป็นการใช้งานที่ตากแดดเขอะ หรืองานฝังดินที่ทำให้ท่อรับแรงดันมาก ๆ ก็จะทำให้อายุการใช้งานของท่อน้อยลงได้ ตามสูตรเคมีที่ผลิตท่อพีวีซีมีอายุการใช้งานเกิน 50 ปีครับ แต่ถ้าเรามองย้อนกลับไป ท่อพีวีซีเป็นเทคโนโลยีที่มีอายุแค่ 40-50 ปีครับ แปลว่าท่อเส้นแรกที่ถูกผลิตขึ้นมาประมาณ 40-50 ปีที่แล้วอาจจะยังอยู่ในสภาพที่ใช้ได้อยู่ ทำให้เราประเมินยากว่าท่อพลาสติกที่เค้าว่าทนทานเนี่ย ใช้งานได้ 40-50 ปีหรือไปได้ถึง 100 ปีกันแน่ ท่อพีวีซีจะเปราะและแตกเมื่ออยู่ในบางสถานการณ์เป็นระยะเวลานาน

ซึ่งเป็นได้จากหลายสาเหตุ บางทีอาจจะมาจากการที่โดนน้ำหรือสารเคมีกัดกร่อนจากข้างใน บางทีก็อาจจะมาจากแรงดันจากด้านนอก หรือบางทีก็มาจากการติดตั้งที่ไม่ดีมาตั้งแต่แรก

2.9.4 แรงดันภายในท่อประปา

สาเหตุที่แรกที่ทำให้ท่อน้ำแตกคือแรงกระแทกจากภายในท่อ ปกติแรงกระแทกจากในท่อจะเกิดจากแรงดันน้ำที่กระแทกกลับ ซึ่งเกิดจากเวลาที่น้ำที่ไหลในท่อแบบเร็วถูกหยุดอย่างฉับพลัน ยกตัวอย่างคือ เครื่องสูบน้ำถูกหยุดแบบฉับพลัน เช่น จากการที่ไฟดับ ทำให้เกิดแรงกระแทกกลับของน้ำในท่อพีวีซีที่ไหลออกมาไม่ได้และทำให้ท่อแตก การที่ปล่อยให้มีอากาศเข้าไปค้างภายในท่อเยอะๆ ซึ่งเกิดจากการปล่อยให้อากาศค้างบ่อเป็นเวลานาน จนทำให้น้ำวิ่งไปอัดดันท่อระเบิดได้ เวลาเปิดใช้น้ำแบบปกติภายหลัง

2.9.5 แรงกระแทกจากภายนอกท่อน้ำ

เพื่อความสวยงามในการตกแต่งบ้าน ท่อพีวีซีประปามักจะต้องถูกซ่อนไว้ใต้ผนัง ใต้เพดาน หรือฝังไว้ใต้ดิน และทำให้ปัจจัยพวกนี้เป็นสาเหตุทำให้ท่อเสียหายภายหลังได้ ปกติแล้วท่อน้ำจะแตกจากสาเหตุต่าง ๆ ดังนี้

2.9.5.1 ท่อที่ฝังใต้ดินถูกแรงกระแทกจากบนดินเป็นเวลานาน ยกตัวอย่างเช่นท่อที่ฝังใต้ถนนถูกรถยนต์ที่วิ่งผ่านด้วยบนถนนที่หนักๆ โดยเฉพาะรถยนต์ใหญ่เช่น รถขนของและรถบรรทุก

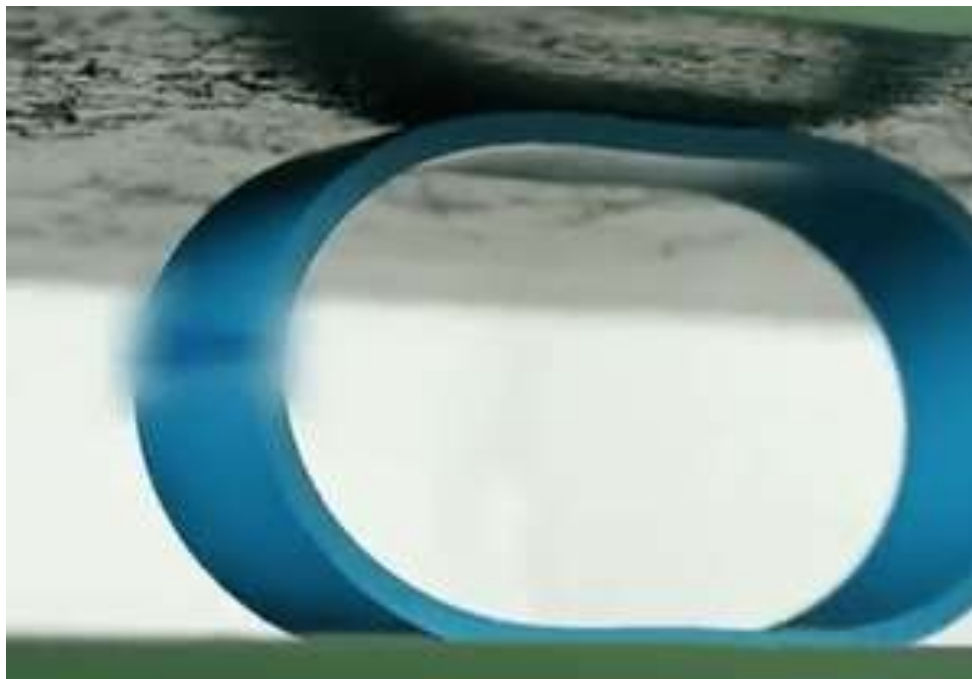
2.9.5.2 ท่อที่ฝังใต้ดินถูกแรงดันเพิ่มจากโครงสร้างตึกที่ทรุดตัวลง เช่นในบางครั้งโครงสร้างบ้านเราอาจจะทรุดตัวลงทำให้ท่อต้องรับน้ำหนักมากขึ้นจนเกิดการงอ และแตกได้ในที่สุด

2.9.5.3 การตั้งระบบท่อที่ไม่มั่นคง เช่นการตั้งท่อกับขาแขวนห่างกันเกินไป จนเมื่อเกิดแรงดันทำให้ท่อโดนแรงกระแทกเพิ่มขึ้น ท่อน้ำอาจจะขยับตัวจนหลุดหรือโดนแรงกระแทกสะสมจนเกิดการรั่วซึม

2.9.6 งานติดตั้งที่ไม่ได้มาตรฐาน

หากพูดเรื่องของท่อประปา เราก็ต้องพูดถึงช่างประปาและผู้รับเหมาติดตั้งด้วย บ่อยครั้งที่ช่างทำระบบออกมาไม่ได้มาตรฐานจนทำให้มีปัญหาภายหลัง เช่น ทากาวได้ไม่ดีจนน้ำรั่วออกมาจากตรงข้อต่อต่าง ๆ บางครั้งหากช่างไม่ได้ตรวจสอบวัสดุที่ซื้อมาก็อาจจะเลือกใช้สินค้าที่ไม่ได้มาตรฐานในระบบ ซึ่งก็จะทำให้มีปัญหาในภายหลัง สามารถศึกษาบทความที่เราเขียนไว้เรื่อง

วิธีทากาวท่อพีวีซีไม่ได้ยากเลยแต่ต้องทำตามขั้นตอน วิธีที่ดีที่สุดก็คือเลือกช่างที่ไวใจได้ ให้เวลาตามที่กำหนด และพยายามหาท่อพีวีซีที่ได้มาตรฐาน งานที่มีคุณภาพต้องใช้เวลาและความอดทนหน่อยครับ



รูปที่ 2.40 แรงกดทับของท่อ PVC ที่มา <https://www.thaippr.com/cleanest-plastic-type>

2.9.7 ชั้นความดันท่อพีวีซี 5, 8.5 และ 13.5

ตามมาตรฐานก็คือความสามารถที่ท่อจะรับแรงดันได้ต่อ ตารางเซนติเมตร ในอุณหภูมิ 27C เท่ากับว่า

ชั้นคุณภาพ PVC 5 รับความดันได้ 0.50 MPa

ชั้นคุณภาพ PVC 8.5 รับความดันได้ 0.85 MPa

ชั้นคุณภาพ PVC 13.5 รับความดันได้ 1.35 MPa

ซึ่งดังกล่าวเป็นความดันที่ปลอดภัย ตามมาตรฐานผู้ผลิตจะเผื่อค่าความปลอดภัยไว้ ประมาณ 1.5-2 เท่า แปลว่าท่อนี้จะแตกเมื่อความดันของน้ำสูงเป็น 1.5-2 เท่าของความดันใช้งาน ตามที่ออกแบบ ท่อพีวีซีเกษตรจะไม่มีมาตรฐานแต่ส่วนมากจะรับแรงดันได้ 0.4MPa โดยรวมแล้ว ยิ่งท่อรับแรงดันได้เยอะ ยิ่งต้องใช้วัตถุดิบดีขึ้น ยิ่งราคาแพงครับ หากเราใช้ตัวแพงตลอด

ก็จะทนทานขึ้นแต่อาจจะเกิดความจำเป็นและเกินงบประมาณไปหน่อยผลกระทบจากอุณหภูมิของท่อ PVC ส่วนผสมหลักของท่อพีวีซีประกอบด้วยพลาสติกที่สามารถเปลี่ยนสภาพได้หากอุณหภูมิสูงหรือต่ำเกินไป ท่อพีวีซี สามารถติดตั้งและใช้ได้ในช่วงอุณหภูมิ -18C ถึง 65C สำหรับประเทศไทย อุณหภูมิที่ใช้กำหนดคุณสมบัติต่าง ๆ อยู่ที่ 27C (เช่น ชั้นแรงดัน เป็นต้น) ความแข็งและความต้านแรงดึงของท่อพีวีซีจะเพิ่มเมื่ออุณหภูมิลดลง (เย็นขึ้น) และยังส่งผลให้ความจุความดันและความสามารถในการรับแรงอัดของดินเพิ่มขึ้นด้วย หากอุณหภูมิเพิ่มขึ้น (ร้อนขึ้น) ความต้านแรงกระแทกและการอ่อนตัวของท่อจะเพิ่มขึ้น แต่ความต้านแรงดึง ความแข็ง และความจุความดันของท่อลดลงและอาจจะเกิดการท่อโก่งงอได้ท่อพีวีซีใช้งานได้ในช่วงอุณหภูมิที่กำหนดไว้ แต่ก็มีความอ่อนไหวต่ออุณหภูมิมากกว่าท่อเหล็กถึงห้าเท่า หากจำเป็นต้องใช้ในสภาพอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงบ่อยผู้ติดตั้งต้องคำนึงถึงคุณสมบัติการขยายตัวและหดตัวของท่อด้วย

2.9.8 เลือกวัสดุดิบที่ได้คุณภาพ -

อย่างแรงที่เราควรจะทำคือเลือกวัสดุดิบที่มีความทนทานและอยู่ได้นาน ๆ ตั้งแต่แรกนั้นหมายความว่าหากคุณมีงบที่มากหน่อย คุณควรที่จะเลือกท่อพีวีซีที่มาจากแบรนด์ดัง ๆ เช่นตราช้าง หรือหากอยากประหยัดหน่อย ก็ควรจะใช้เวลาศึกษาคูสิ่งที่เราเขียนเรื่องราคาท่อพีวีซีจากโรงงานที่มีความน่าเชื่อถือ

2.9.9 เลือกการท่อให้เหมาะกับการใช้งาน

อย่างที่สองที่เราจะเข้าใจก็คือการเลือกท่อให้เหมาะกับการใช้งาน หากคุณเป็นผู้ว่าจ้างหรือเจ้าของโครงการที่ไม่ได้ติดตั้งท่อเอง คุณก็ควรที่จะหาช่างประปาหรือผู้รับเหมาติดตั้งระบบที่มีความเชี่ยวชาญในงานด้านนี้เป็นอย่างดี การที่เราเลือกที่จะประหยัดเงินเล็ก ๆ น้อย ๆ ในตอนแรกอาจจะทำให้เราต้องเสียเงินค่าติดตั้งใหม่อีกหลายรอบ

อีกหนึ่งตัวอย่างของการเลือกท่อให้เหมาะกับการใช้งานก็คือ ท่อแบบหนาและท่อแบบบาง ท่อแบบบางเป็นท่อที่ใช้ในระบบน้ำแบบแรงดันน้อยมีราคาถูกหน่อย ส่วนท่อแบบหนาจะใช้ในระบบที่มีแรงดันมากและมีราคาแพงกว่า ท่อที่มีความหนาข้อมดีกว่าแต่หากจะใช้กับทุกระบบประปาเลยมันก็จะแพงและเกินความจำเป็นไปหน่อย การที่เราเข้าใจวิธีการใช้งานของท่อหลากหลายชนิดและเลือกใช้ให้ถูกวิธี นอกจากจะช่วยเราประหยัดค่าใช้จ่ายแล้ว ยังทำให้ท่อสามารถใช้ได้นานอีกด้วย

2.9.10 ดูแลรักษาตามสภาพการใช้

จากตัวอย่างที่เราได้อธิบายไว้ หากท่อพีวีซีของคุณต้องตากแดดเป็นเวลานานหลายปี คุณอาจจะลองทาสีท่อเป็นสีขาวเพื่อลดการดูดซึมของแสง UV และต้องมั่นใจว่าท่อที่ตากแดด

มีน้ำไหลเรื่อย ๆ เพื่อระบายความร้อน หากเป็นท่อที่ฝังดินคุณควรระวังแรงดันจากบนดิน เช่น การทรุดตัวของโครงสร้างข้างบนไว้ หากคุณสงสัยว่าดินและตึกมีการทรุดตัวให้ลองปรึกษาช่างประปาหรือผู้รับเหมาเฉพาะทางเพื่อทำการตรวจสอบระบบท่อให้

2.10 ทฤษฎีเกี่ยวกับไม้พาเลท

หากไม้ใช้คนที่อยู่ในวงการขนส่ง โรงงานอุตสาหกรรม หรือ คนที่เกี่ยวข้องกับการจัดเก็บสินค้าคงจะไม่คุ้นเคยกับไม้พาเลทมากนัก แล้ว ไม้พาเลทคืออะไร ใช้ทำอะไรได้บ้าง

ไม้พาเลท นั้นจริง ๆ แล้วก็คือ อุปกรณ์สำหรับรองสินค้าที่ใช้ในการจัดเก็บสินค้า เคลื่อนย้ายสินค้า หรือการวางสินค้าเพื่อจัดโชว์สินค้าก็ได้ โดยพาเลทจะมีช่องสำหรับให้ Forklift หรือ แอสต์พาเลท หรือแอสต์แจ็คสามารถเลียบเข้าใช้งานเพื่อเคลื่อนย้ายพาเลทได้ง่าย เนื่องจากเราต้องวางสินค้าบนพาเลทเป็นจำนวนที่หนักมากจึงต้องมีเครื่องทุ่นแรงอย่าง Forklift หรือ แอสต์แจ็คเข้ามาช่วยเคลื่อนย้ายสินค้าบนพาเลทนั้น ดังนั้นในอุตสาหกรรมการขนส่งสินค้า สิ่งที่สำคัญไม่แพ้สินค้าคือ พาเลทอุปกรณ์ที่มีส่วนช่วยอย่างมากในการเคลื่อนย้ายสินค้า การจัดเรียงสินค้าพาเลทเป็นอุปกรณ์ที่ดีในการช่วยลดค่าขนส่งสินค้า ไม่ใช่แค่การช่วยปกป้องการปนเปื้อนของสินค้ากับพื้นสกปรก แต่นับตั้งแต่ต้นทางที่สินค้าถูกห่อหุ้มบนพาเลท จนถึงปลายทางไม่ว่าไกลแค่ไหน พาเลทก็ยังสามารถปกป้องสินค้าให้ลดการสูญเสียระหว่างขนส่งได้อย่างมากมายด้วย แต่ไม้พาเลทไม่ได้มีประโยชน์เพียงแค่ช่วยเคลื่อนย้ายสินค้า และการจัดวางเท่านั้น การนำไม้พาเลทที่เหลือจากการใช้งาน สามารถนำไปผลิตสินค้าได้อย่างหลากหลาย เนื่องจากพาเลทไม่มีการผลิตมาหลายแบบหลายคุณภาพ ไม้ที่ใช้จึงแตกต่างกันออกไป เช่น หากเป็นไม้บาง ๆ คุณภาพต่ำก็อาจนำไปทำพื่น เฟอร์นิเจอร์ หรือ หากดี หน่อยมีความหนาก็นำไปผลิตเป็นเฟอร์นิเจอร์ หรือ การ DIY เป็นอย่างอื่นได้เป็นที่สะสมของแมลงต่าง และ แมลงคั้งของประเทศต่าง ๆ ที่เป็นประเทศปลายทางที่พาเลทไม้ไปถึง ซึ่งพาเลทพลาสติก ไม่มีปัญหาเรื่องแมลงต่าง มีเสี้ยนหนามถึงอาจทำความเสียหายและสินค้าเมื่อบรรทุกหรือขนส่งสินค้าได้ มีปัญหาเรื่องเชื้อรา ซึ่งทำให้สินค้าโดยเฉพาะพวกสินค้าพวกอาหารมีการสะสมเชื้อรา มีการโก่งงอ ทำให้อาจเกิดความเสียหายระหว่างขนส่งสินค้า



รูปที่ 2.41 การ DIY ไม้พาเลท ที่มา <https://www.99pallets.com>

2.10.1 รูปแบบของพาเลทไม้

พาเลทถูกสร้างขึ้นมาเพื่อใช้ ลดความเสียหายของสินค้าจากแรงสั่นสะเทือน แรงกระแทกซึ่งอาจก่อให้เกิดความเสียหายของสินค้าในขณะจัดเก็บ การลำเลียง การขนส่งสินค้า เพื่อลดต้นทุนทั้งในเรื่อง ของเวลาและค่าใช้จ่าย โดยมีขนาดสอดคล้องกับอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ใช้ร่วมกับการขนส่ง เช่น รถยก ชั้นวางในคลังสินค้า รถตู้คอนเทนเนอร์ เป็นต้น ที่มาของแต่ละขนาดถูกกำหนดจากการใช้งานของแต่ละประเทศที่เป็นผู้นำเข้าทางด้านการอุตสาหกรรมหลักของโลก เป็นหลักมีขนาดมาตรฐานที่ใช้กันมากที่สุด ซึ่งกำหนด โดย ISO (International Standards Organization) มีอยู่ 3 ขนาดดังนี้

ในปัจจุบันมีการผลิตมาหลายรูปแบบขึ้นอยู่กับการใช้งานในแต่ละแบบแต่ละที่ ที่แตกต่างกัน รวมทั้งขนาด ก็แตกต่างกันไปตามแม่พิมพ์

แต่โดยปกติ มักมีการผลิตมา 3 ขนาดหลัก คือ

2.10.1.1 ขนาด 80*120*15 ซม. ส่วนใหญ่แบบนี้มักนิยมผลิตเพื่อการส่งออกโดยเฉพาะ ประเทศแถบยุโรป พาเลทแบบนี้มักจะเรียกกันอีกแบบว่า EURO Pallet หรือ E-Pallet

2.10.1.2 ขนาด 110*110*15 ซม. ขนาดนี้จะเรียกว่าเป็นมาตรฐานก็ได้ หรืออาจจะเรียกว่า เป็น Japan Pallet ส่วนใหญ่มักใช้กับพาเลทไม้ที่ไม่ค่อยคงทนมากนัก หรือแบบใช้งานครั้งเดียวทิ้ง เช่น พาเลทกระเบื้อง

2.10.1.3 ขนาด 100*120*15 ซม. ส่วนใหญ่ขนาดนี้มักมีการใช้ทั่วไปทั้งการผลิตเป็น พลาสติก เหล็ก หรือกระด้างจึงจัดว่าเป็นมาตรฐานที่ใช้กันทั่วโลก และหากทำเป็นพาเลทไม้ที่คงทนก็ มักทำเป็นขนาดนี้ ส่วนแบบของพาเลทไม้จะมีอยู่ 2 แบบคือ แบบ 2 way และ 4 way

คือ ช่องสำหรับ Forklift หรือ แขนด์์พาเลทสอดใช้งาน 2 way ก็คือสามารถสอดได้สองช่อง หน้าหลัง และแบบ 4 way ก็สอดได้ 4 ด้านนั่นเอง

2.10.2 ข้อดี พาเลทพลาสติก

2.10.2.1 มีน้ำหนักเบา ไม่มีปัญหาเรื่องความชื้น

2.10.2.1 สามารถนำไปขายเป็นพาเลทมือ2 หรือนำกลับมาใช้ใหม่ได้ลดปัญหาเรื่องการตัดไม้และสิ่งแวดล้อม

2.10.2.3 พาเลทไม้มีราคาถูกเมื่อเทียบกับพาเลทพลาสติกและโลหะ

2.10.2.4 พาเลทไม้เป็นรีไซเคิลได้และทำจากทรัพยากรธรรมชาติที่สามารถทดแทนและหมุนเวียน

2.10.2.5 พาเลทไม้มีแรงเสียดทานสูงเมื่อเทียบกับพาเลทพลาสติกและโลหะ

2.10.2.6 พาเลทไม้มีความแข็งแรงมากเมื่อเปรียบเทียบกับราคาของพาเลทชนิดอื่น ๆ

2.10.2.7 พาเลทไม้สามารถซ่อมแซมหากเกิดความเสียหาย

2.10.3 ข้อเสียพาเลทไม้

2.10.3.1 พาเลทไม้สามารถมีการแพร่กระจายของแมลงและโรคพืชและต้องได้รับการปฏิบัติที่ถูกต้องตามกระบวนการผลิตเพื่อที่จะส่งออกไปยังต่างประเทศอย่างปลอดภัย

2.10.3.2 พาเลทไม้สามารถเกิดราได้ถ้าสัมผัสกับความชื้น

2.10.3.3 พาเลทไม้สามารถเกิดเศษไม้หรือเนื้อไม้ร่วงได้เนื่องจากผลกระทบระหว่างการจัดตั้ง

บทที่ 3

วิธีการดำเนินโครงการ

ในการดำเนินโมเดลรถล้อตะขาบ (Caterpillar Tractor Model) มีขั้นตอนการสร้างในส่วนต่าง ๆ โดยทางกลุ่มผู้สร้างได้ร่วมกันวางแผนในการปฏิบัติงานและจัดแบ่งงานตามความเหมาะสมขั้นตอนในการดำเนินโครงการ แบ่งออกเป็นดังนี้

3.1 การวางแผนและการเตรียมการ

3.2 การออกแบบ

3.1 การวางแผนและการเตรียมการ

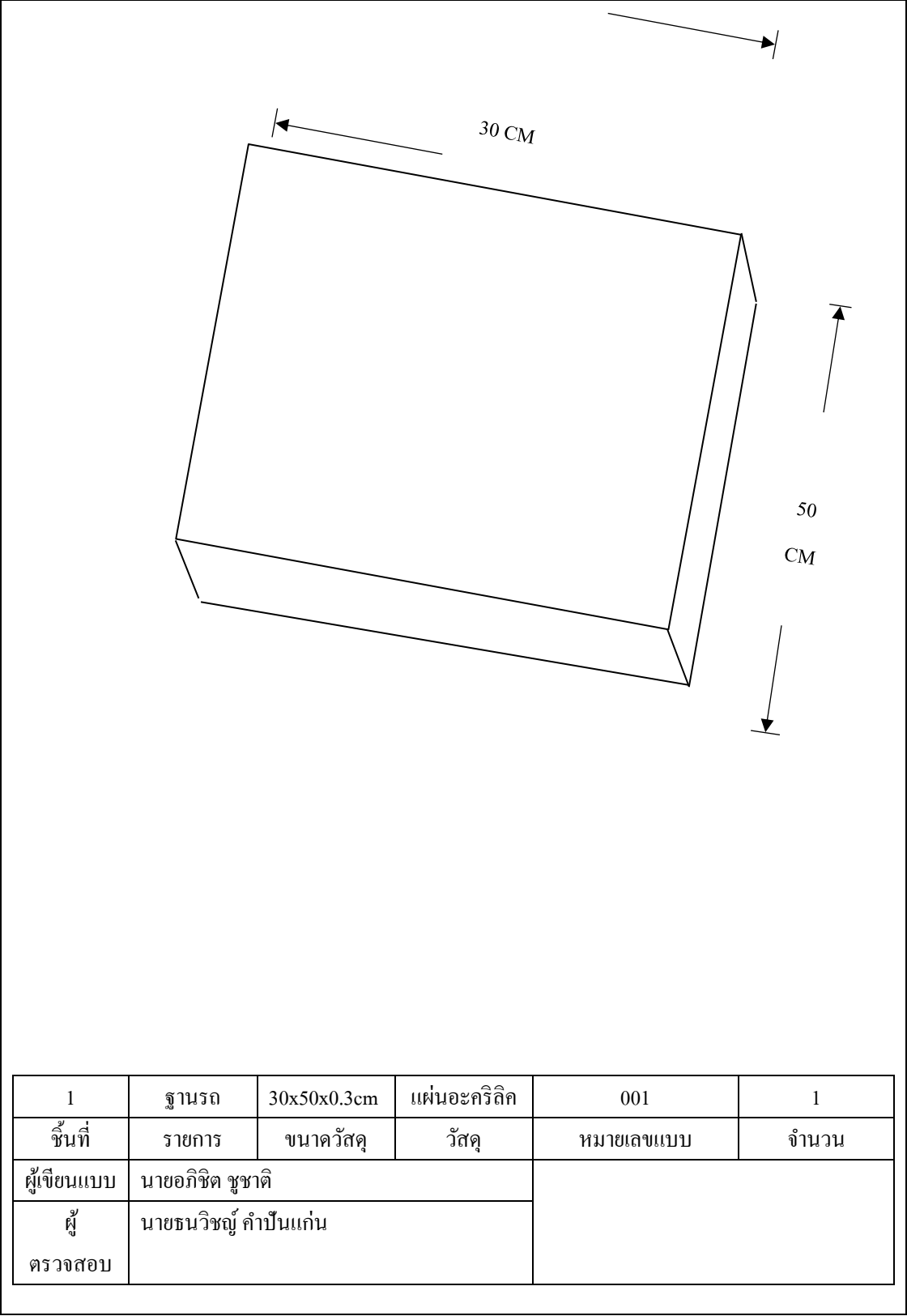
การวางแผนและการเตรียมการ เริ่มเมื่อคณะกรรมการพิจารณาโครงการให้เสนอหัวข้อโครงการในภาคเรียนที่ 1 ทางกลุ่มผู้จัดทำได้เสนอหัวข้อโครงการเซ็นเซอร์ตรวจจับเส้น

- 3.1.1 คิดหัวข้อโครงการ
- 3.1.2 จัดทำเอกสารแบบเสนอร่าง
- 3.1.3 เสนอหัวข้อโครงการ
- 3.1.4 เริ่มทำเอกสารบทที่ 1
- 3.1.5 ศึกษาการใช้โปรแกรม Arduino
- 3.1.6 ศึกษาระบบการทำงานของเซ็นเซอร์
- 3.1.7 ศึกษาขั้นตอนการทำงาน
- 3.1.8 เริ่มทำเอกสารบทที่ 3
- 3.1.9 เริ่มทำเอกสารบทที่ 2
- 3.1.10 ลงมือดำเนินชิ้นงาน
- 3.1.11 ทดสอบการทำงาน
- 3.1.12 ปรับปรุงและแก้ไข
- 3.1.13 ตรวจสอบความเรียบร้อย
- 3.1.14 นำเสนอโครงการ
- 3.1.15 เริ่มทำเอกสารบทที่ 4
- 3.1.16 เริ่มทำเอกสารบทที่ 5
- 3.1.17 จัดทำรูปเล่มโครงการทั้งหมด

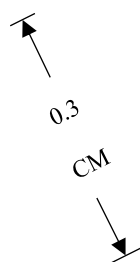
ตารางการดำเนินงานโครงการนี้ใช้ระยะเวลาในการพัฒนา ตั้งแต่เดือน กรกฎาคม พ.ศ. 2562 ถึงเดือน กุมภาพันธ์ พ.ศ.2563 ดังตารางที่ 1.1

ตารางที่ 3.1 ระยะเวลาการทำโครงการ

ลำดับ	ขั้นตอนการดำเนินงาน	ระยะเวลาการดำเนินงาน							
		ปี พ.ศ.2562						ปี พ.ศ.2563	
		ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.
1	คิดหัวข้อโครงการ	*							
2	จัดทำเอกสารเสนอร่าง	*							
3	เสนอหัวข้อโครงการ	*	*						
4	เริ่มทำเอกสารบทที่ 1	*	*						
5	ศึกษาการใช้โปรแกรม Arduino	*	*						
6	ศึกษาระบบการทำงานของเซ็นเซอร์	*	*						
7	ศึกษาขั้นตอนการทำงาน		*						
8	เริ่มทำเอกสารบทที่ 3		*	*					
9	เริ่มทำเอกสารบทที่ 2		*	*					
10	ลงมือดำเนินชิ้นงาน			*	*				
11	ทดสอบการทำงาน			*	*				
12	ปรับปรุงและแก้ไข				*	*			
13	ตรวจสอบความเรียบร้อย				*	*			
14	นำเสนอโครงการ					*			
15	เริ่มทำเอกสารบทที่ 4						*		
16	เริ่มทำเอกสารบทที่ 5						*		
17	จัดทำรูปเล่มโครงการทั้งหมด						*	*	*

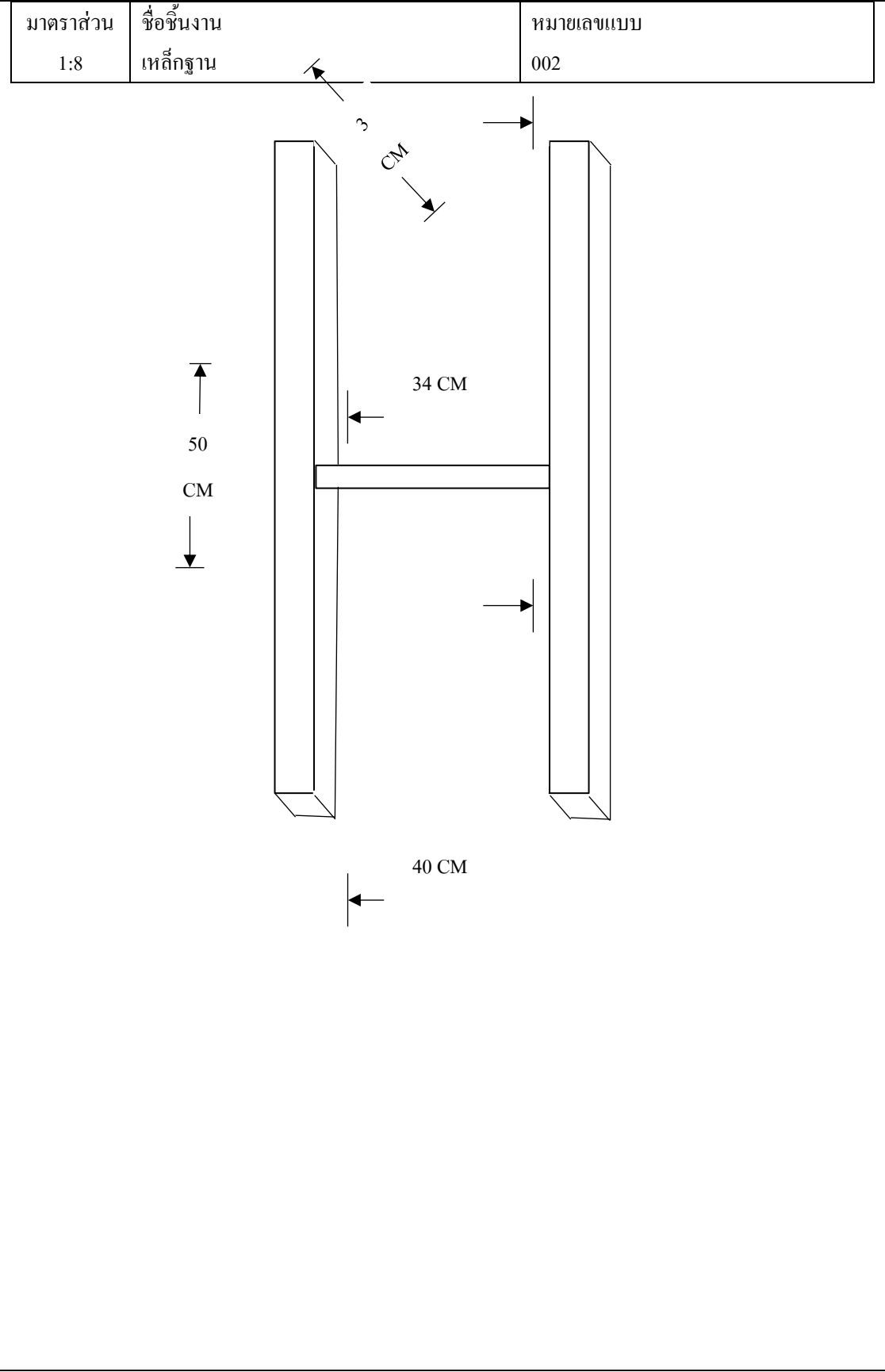


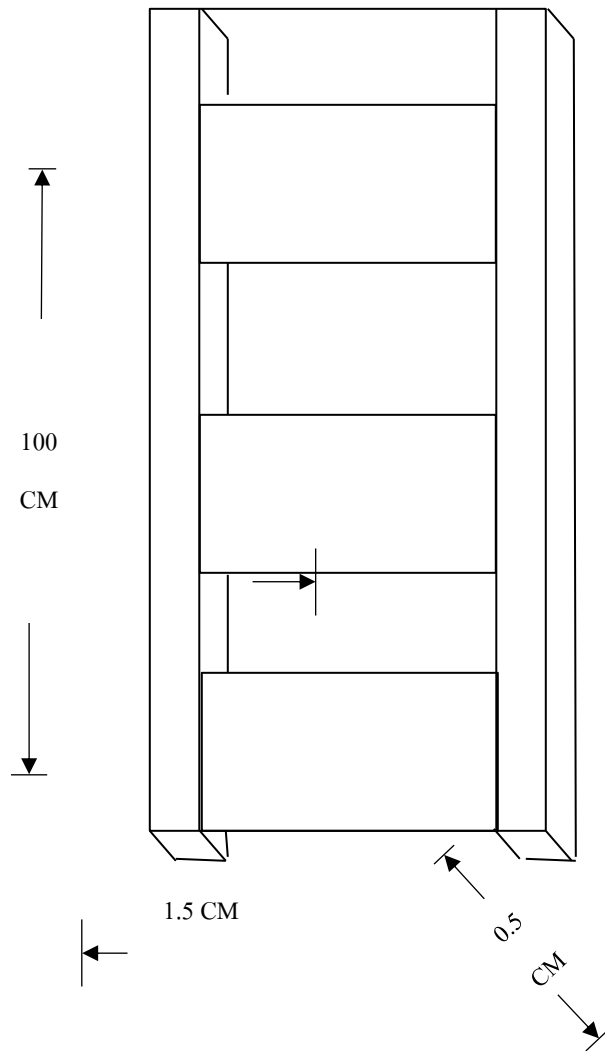
ผู้ออกแบบ	นายอภิชาติ ชูชาติ	 วิทยาลัยเทคโนโลยีรณวิทย์พัฒนวิชาการ
มาตราส่วน 1:4	ชื่อชิ้นงาน ฐานรถ	หมายเลขแบบ 001



3.2 การออกแบบ

2	เหล็ก	50x40x34x3cm	เหล็ก	002	1
ชั้นที่	รายการ	ขนาดวัสดุ	วัสดุ	หมายเลขแบบ	จำนวน
ผู้เขียนแบบ	นายอภิชาติ ชูชาติ			 วิทยาลัยเทคโนโลยีอรรณพวิทยพัฒน์วิชาการ	
ผู้ตรวจสอบ	นายธนวิษฐ์ คำปันแก่น				
ผู้ออกแบบ	นายอภิชาติ ชูชาติ				





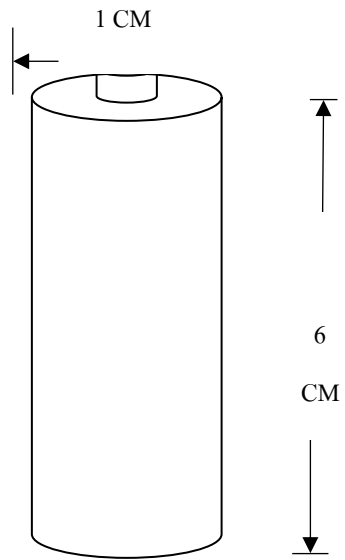
3	ดินตะขบ	6x100x1.5x0.5cm	โฟมยาง	003	2
ชั้นที่	รายการ	ขนาดวัสดุ	วัสดุ	หมายเลขแบบ	จำนวน
ผู้เขียนแบบ	นายอภิชาติ ชูชาติ			 วิทยาลัยเทคโนโลยีรรดวิทซ์พนิชการ	
ผู้ตรวจสอบ	นายธนวิษฐ์ คำปันแก่น				
ผู้ออกแบบ	นายอภิชาติ ชูชาติ				



มาตราส่วน	ชื่อชิ้นงาน	หมายเลขแบบ
1:8	ดินตะขาบ	003
6 CM		

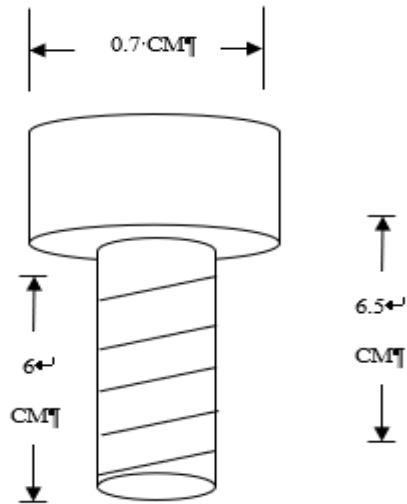
4	ถ่าน	1x6cm	ถ่าน	004	6
ชิ้นที่	รายการ	ขนาดวัสดุ	วัสดุ	หมายเลขแบบ	จำนวน
ผู้เขียนแบบ	นายอภิชาติ ชูชาติ			 วิทยาลัยเทคโนโลยีรรดวิทย์พัฒนชยการ	
ผู้ตรวจสอบ	นายธนวิษณุ คำปันแก่น				
ผู้ออกแบบ	นายอภิชาติ ชูชาติ				

มาตราส่วน	ชื่อชิ้นงาน	หมายเลขแบบ
1:8	ถ่าน	004



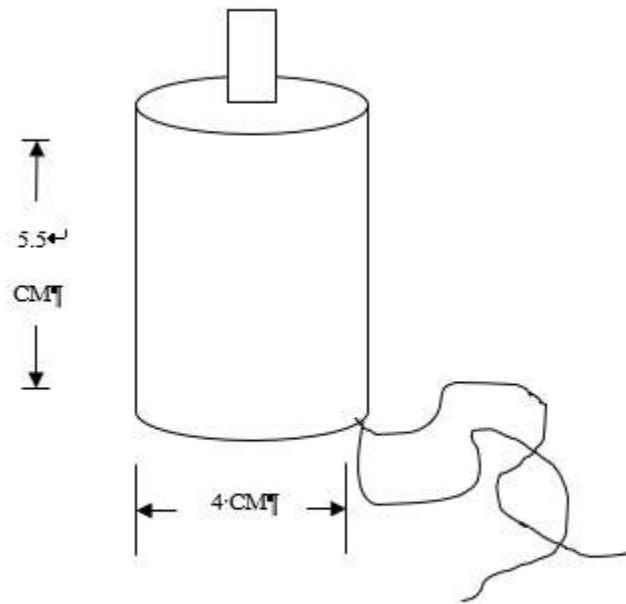
5	น็อค	0.7x6x6.5cm	เหล็ก	005	10
ชั้นที่	รายการ	ขนาดวัสดุ	วัสดุ	หมายเลขแบบ	จำนวน
ผู้เขียนแบบ	นายอภิชาติ ชูชาติ			 วิทยาลัยเทคโนโลยีอรรถวิทย์พัฒนวิชาการ	
ผู้ตรวจสอบ	นายธนวิษฐ์ คำปันแก่น				
ผู้ออกแบบ	นายอภิชาติ ชูชาติ				

มาตราส่วน	ชื่อชิ้นงาน	หมายเลขแบบ
1:8	น๊อค	005



6	มอเตอร์	5.5x4cm	มอเตอร์	006	2
ชั้นที่	รายการ	ขนาดวัสดุ	วัสดุ	หมายเลขแบบ	จำนวน
ผู้เขียนแบบ	นายอภิชาติ ชูชาติ			 วิทยาลัยเทคโนโลยีรรณวิทยพัฒน์วิชาการ	
ผู้ตรวจสอบ	นายธนวิษฐ์ คำปันแก่น				
ผู้ออกแบบ	นายอภิชาติ ชูชาติ				

มาตราส่วน	ชื่อผู้เขียนงาน	หมายเลขแบบงาน
1:4	ม	



ตารางที่ 3.2 แสดงส่วนของโมเดลรถล้อตีนตะขาบ

1	ฐานรถ	30x50x0.3cm.	อะคริลิก	001	1
2	เหล็ก	50x40x34x3cm.	เหล็ก	002	1
3	ตีนตะขาบ	6x100x1.5x0.5cm.	โฟมยาง	003	2
4	ถ่าน	1x6cm.	ถ่าน	004	6
5	น๊อต	0.7x6.5x6cm.	เหล็ก	005	10
6	มอเตอร์	5.5x4cm	มอเตอร์	006	2
ชั้นที่	รายการ	ขนาดวัสดุ	วัสดุ	หมายเลข แบบ	จำนวน
ผู้เขียน	นายอภิชาติ ชูชาติ	 วิทยาลัยเทคโนโลยีอรรถวิทย์พัฒนวิชาการ			
ผู้ตรวจ	นายธนวิทย์ คำปันแก่น				
ผู้ออกแบบ	นายอภิชาติ ชูชาติ				
มาตรา ส่วน 1:4	ชิ้นงาน โครงการโมเดลรถล้อตะขาบ	หมายเลขแบบ 012			

บทที่ 4

ผลการศึกษา

การจัดทำโครงการโมเดลรถล้อตะขาบ นี้มีวัตถุประสงค์เพื่อให้เกิดประโยชน์ เพื่อเป็นประโยชน์แก่ผู้ที่เข้ามาศึกษาโครงการนี้ผู้จัดทำโครงการสามารถนำมาประยุกต์ใช้ให้เข้ากับการเรียนรู้ของตนเองมากยิ่งขึ้น ตลอดจนสามารถติดต่อสื่อสารกันได้ระหว่างครู เพื่อนและผู้สนใจทั่วไป ซึ่งมีผลการดำเนินงานโครงการ ดังนี้

4.1 ผลการพัฒนาโครงการ

การสร้างโมเดลรถล้อตะขาบควบคู่กันนี้ ผู้จัดทำได้เริ่มดำเนินงานตาม ขั้นตอนการดำเนินงานที่เสนอในบทที่ 3 แล้ว จากนั้นได้นำเสนอเผยแพร่ผลงานผ่านท่านคณะกรรมการ ซึ่งสามารถเชื่อมต่อกับสื่อสังคมในรูปแบบของ โมเดลรถล้อตะขาบ สามารถเรียนรู้และตอบคำถาม ได้เป็นอย่างดี โดยทั้งครูที่ปรึกษาเพื่อนๆใน ห้องเรียนได้เข้าไปมีส่วนร่วมในการจัดการเรียนรู้ โดยแสดงความเห็นในเนื้อหาและรูปแบบของการนำเสนออย่างหลากหลาย ซึ่งทำให้เกิดการเรียนรู้และเป็นแหล่งเรียนรู้ในของฮาร์ดแวร์คอมพิวเตอร์อย่างหลากหลายและรวดเร็ว

4.2 ตัวอย่างการนำเสนอโมเดลรถล้อตะขาบ

4.2.1 ตัวรถโมเดลรถล้อตะขาบ (Caterpilla Tractor Model) เป็นรูปร่างและโครงสร้างของตัวรถโมเดลรถล้อตะขาบ ดังตัวอย่างรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 ตัวรถโมเดลรถล้อตะขาบ (screen1) เป็นตัวโครงและล้อพร้อมแผ่นอะคลิลิก

4.2.2 ตัวโครงของรถโมเดลรถล้อตะขาบ (screen2) เมนูทั้งหมด ดังตัวอย่างรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 โครงของรถโมเดลรถล้อตะขาบ

4.2.3 ตัวเต็มของรถโมเดลรถล้อตะขาบ (Full) ดังตัวอย่างรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 ตัวเต็มของรถโมเดลรถล้อตะขาบ

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะการดำเนินโครงการ

ในการจัดทำโมเดลรถล้อตะขาบ สามารถบรรลุวัตถุประสงค์ตามที่ผู้จัดทำได้วางแผนไว้ ซึ่งโมเดลรถล้อตะขาบนั้นสามารถทำงานได้ตามที่ต้องการและการประสบปัญหาต่าง ๆ ในที่นี้ทางคณะผู้จัดทำได้ประสบปัญหาในการทำงานหลายอย่าง จากโครงการและมีข้อเสนอแนะที่จะนำมาใช้ปรับปรุงแก้ไขในส่วนต่าง ๆ ของโมเดลรถล้อตะขาบได้อย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

5.1 วัตถุประสงค์โครงการ

- 5.1.1 พัฒนาความรู้ทางการประดิษฐ์สิ่งของอำนวยความสะดวกภายในองค์กร
- 5.1.2 พัฒนาศักยภาพทางด้านการใช้โปรแกรม Arduino
- 5.2.3 นำความรู้ที่ได้จากการเรียนในระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูงสาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศมาประยุกต์ใช้ในการทำโครงการเรื่องโมเดลรถล้อตะขาบ

5.2 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 5.2.1 ส่งเสริมการใช้โปรแกรมสร้างแอปพลิเคชัน Android Studio ให้เกิดประโยชน์
- 5.2.2 ให้ผู้ใช้งานแอปพลิเคชันได้มีความรู้พื้นฐานทางด้านวิทยาศาสตร์มากยิ่งขึ้น
- 5.2.3 นำความรู้ที่ได้จากการเรียนในสาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศมาประยุกต์ใช้ในการทำโครงการ

5.3 ปัญหาที่ประสบในการดำเนินโครงการ

การดำเนินการของโมเดลรถล้อตะขาบเบื้องต้น นั้นทางคณะผู้จัดทำได้ประสบปัญหาการดำเนินโครงการหลายอย่างในที่นี้ทางคณะผู้จัดทำโครงการจะอธิบายสาเหตุ และวิธีการแก้ปัญหาเป็นข้อ ๆ ดังนี้

- 5.3.1 ปัญหาในการออกแบบโมเดลรถล้อตะขาบ
- 5.3.2 ปัญหาการบังคับโมเดลรถล้อตะขาบ
- 5.3.3 ปัญหาด้านการหาวัสดุอุปกรณ์ ของโมเดลรถล้อตะขาบ

5.4 ผลการดำเนินโครงการ

- 5.4.1 คิดหัวข้อโครงการ
- 5.4.2 จัดทำเอกสารแบบเสนอร่างโครงการ
- 5.4.3 เสนอหัวข้อโครงการ
- 5.4.4 ศึกษาโปรแกรม Arduino
- 5.4.5 ศึกษาขั้นตอนการทำงาน
- 5.4.6 ออกแบบชิ้นงาน
- 5.4.7 จัดเตรียมอุปกรณ์
- 5.4.8 ลงมือประกอบโครงชิ้นงาน
- 5.4.9 ปรับปรุงและแก้ไข
- 5.4.10 เก็บรายละเอียด
- 5.4.11 ตรวจสอบความเรียบร้อย
- 5.4.12 สอบโครงการ
- 5.4.13 รูปเล่มโครงการฉบับสมบูรณ์

5.5 อภิปรายผล

จากผลของการดำเนินโครงการนี้ถือว่าประสบความสำเร็จตามที่ตั้งจุดประสงค์ไว้ คือ สามารถสร้างโมเดลรถล้อตะขาบ มีการทดสอบความรู้ที่ได้จากโมเดลรถล้อตะขาบ แสดงว่าโมเดลรถล้อตะขาบ ที่สร้างขึ้นสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้เป็นอย่างดี และมีราคาค่าต้นทุนที่ต่ำมาก นอกจากคณะผู้จัดทำยังได้รับความรู้และ ประสบการณ์ในการทำโครงการนี้เป็นอย่างมาก

5.6 ข้อเสนอแนะ

- 5.6.1 ข้อเสนอแนะทั่วไป
 - 5.6.1.1 ใช้ดินตะขาบในการพัฒนาล้อรถในโรงงานอุตสาหกรรม
 - 5.6.1.2 ใช้ดินตะขาบในการพัฒนาล้อวีลแชร์ในโรงพยาบาล
- 5.6.2 ข้อเสนอแนะทางเทคนิค
 - 5.6.2.1 ดินตะขาบมีความสมดุลที่ดีไม่ลื่นง่าย
 - 5.6.2.2 ดินตะขาบมีความแข็งแรงมากกว่านี้

บรรณานุกรม

- ขจรทิพย์ นาถสุภา. (2558). การเคลื่อนที่บนพื้นด้วยล้อและสายพานดินตะขาบ. สืบค้นเมื่อ 15 สิงหาคม 2562, จาก <http://my-cnc.lnwshop.com/article/2/micro-controller>
- นันทนา สุดตาชาติ. (2558). เฟืองมีกี่แบบและนำไปใช้อย่างไร. สืบค้นเมื่อ 15 สิงหาคม 2562, จาก <https://sites.google.com/site/yingnuntana2536/system/app/pages/recentChanges>
- บริษัท พรเอสพี เทคโนโลยี จำกัด. (2558). มอเตอร์ (Motor) คืออะไร?. สืบค้นเมื่อ 11 กันยายน 2562, จาก <http://www.psptech.co.th/%E0%B8%A1%E0%B8%AD>
- บริษัท ไอโอเทค เอ็นเตอร์ไพรส์ จำกัด. (2562). Sensor คืออะไร. สืบค้นเมื่อ 9 กรกฎาคม 2562, จาก <https://mall.factomart.com/what-is-photoelectric-sensor/>
- ภรณ์ทิพย์ ยังกกลาง. (2557). ประวัติความเป็นมาของ Android. สืบค้นเมื่อ 23 กันยายน 2562, จาก <https://sites.google.com/site/pornthipya/prawati-khaw-m-pen-ma>
- วิทยาลัยเทคโนโลยีอรรถวิทย์พัฒนวิชาการ. (2562). คู่มือการเรียบเรียงโครงการ. กรุงเทพมหานคร : สาขาเทคโนโลยีสารสนเทศ, วิทยาลัยเทคโนโลยีอรรถวิทย์พัฒนวิชาการ
- สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.). (2557). นิยามการเคลื่อนที่. สืบค้นเมื่อ 5 กรกฎาคม 2562, จาก <https://www.thaieasyelec.com/article-wiki/latest-blogs/what-is-arduino-ch1.html>
- Autsakorn Tanyainniti. (2562). ลักษณะของการเคลื่อนที่. สืบค้นเมื่อ 8 สิงหาคม 2562, จาก <https://medium.com/@mas.utsakorn/%E0%B8%81%E0%B8%B2%E0>
- Commmandrone's official store. (2559). กฎของนิวตัน. สืบค้นเมื่อ 2 สิงหาคม 2562, จาก <https://commandronestore.com/products/bb503.php>
- Dozzo Flamenco. (2 5 6 0) . อะคริลิก คือ . สืบค้นเมื่อ 6 สิงหาคม 2562, จาก <https://sites.google.com/site/somyongregina/academic/electronic/protoboard>
- Suphakit Annopornchai. (2561). ไฟฟ้าเลข. สืบค้นเมื่อ 14 สิงหาคม 2562, จาก <https://saixiii.com/what-is-json/>

ภาคผนวก ก
แบบเสนอร่างโครงการ



สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ

แบบเสนอร่างโครงการ

เรื่อง

โมเดลรถล้อตะขาบ

Caterpilla Tractor Model

จัดทำโดย

นายอภิชาติ

ชูชาติ

นายธนวิษฐ์

คำปิ่นแก่น

ภาคเรียนที่ 1/2562

สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ

วิทยาลัยเทคโนโลยีรรถวิทยพัฒน์วิชาการ

แบบเสนอร่างโครงการ
สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ

ชื่อโครงการ โมเดลรถล้อตะขาบ
Caterpilla Tractor Model

ชื่อผู้เสนอโครงการ 1.นายอภิชาติ ชูชาติ รหัสประจำตัว 36931 (หัวหน้ากลุ่มโครงการ)

ชื่อผู้ร่วมโครงการ 2. นายธนวิษฐ์ คำปันแก่น รหัสประจำตัว 37392

นักศึกษาสาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ รอบ เข้า
ชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ อาจารย์สุธารัตน์ ทองใหม่
ชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม อาจารย์ สุลาวัลย์ บุริจันทร์

มีความประสงค์ขออนุมัติหัวข้อโครงการ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ประกาศนียบัตรวิชาชีพ ในวิชาโครงการ จำนวน 4 หน่วยกิต

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณา ดังรายละเอียดโครงการที่แนบมาด้วย

ลงชื่อ(นายอภิชาติ ชูชาติ)

ลงชื่อ(นายธนวิษฐ์ คำปันแก่น)

..... / /

ความเห็นอาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ	ความเห็นผู้รับผิดชอบโครงการ สาขาวิชา
.....	
.....	
.....	
ลงนาม	ลงนาม
..... /..... /	 /..... /
ลงนาม	
..... /..... /	

หมายเหตุ พร้อมแนบโครงการ ตามแบบฟอร์มที่กำหนดมาด้วยแล้ว

1. ชื่อโครงการ โครงการโมเดลรถล้อตะขาบ

Caterpilla Tractor Model

2. ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

เนื่องจากในปัจจุบันมีการคิดค้นสิ่งประดิษฐ์ขึ้นมาอย่างแพร่หลาย โดยมีการนำเทคโนโลยีมาใช้ควบคู่กับสิ่งประดิษฐ์มากมาย ยกตัวอย่างเช่นหุ่นยนต์ หุ่นยนต์เจริญก้าวหน้าอย่างรวดเร็ว หุ่นยนต์เริ่มเข้ามามีบทบาทกับชีวิตของมนุษย์ในหลายๆด้าน เช่น ด้านอุตสาหกรรม การผลิต ด้านการแพทย์ ด้านงานสำรวจทั้งในโลกและงานสำรวจในอวกาศ หรือด้านบันเทิง เพื่อตอบสนองความต้องการผู้ใช้งาน และเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพด้านความรู้และทักษะกระบวนการทำงานของมนุษย์ จึงได้คิดค้นสิ่งของอำนวยความสะดวกสบายขึ้นมามากมาย ในอนาคตคาดว่าจะมีการใช้เทคโนโลยีในการทำงานแทนมนุษย์

คณะผู้จัดทำจึงได้คิดค้นการทำด้วยกเอกสาร โดยติดกับโมเดลรถส่งเอกสารอัจฉริยะ เพื่อให้ผู้ใช้งานจะได้ไม่ต้องเสียเวลาขอกเอกสารหนักๆ เดินไปส่งเอกสารเอง เพียงแค่ผู้ใช้งานนำเอกสารของท่านมาวางไว้บนตัวกของเร โดยจะส่งการผ่านแอปพลิเคชันเพื่อควบคุมตัวรถยกเอกสารอัจฉริยะ ไปยังเป้าหมายที่ท่านต้องการ โดยด้วยกเอกสารที่คณะผู้จัดทำได้ทำขึ้นมีลักษณะเป็นด้วยกแกรน X เพื่อความสมดุลของด้วยก โดยมีการนำแผ่นอะคริลิกมาใช้ในการสร้างเป็นฐานติดตั้งมอเตอร์ และฐานวางแฟ้มเอกสาร ซึ่งด้วยกเอกสารสามารถรับน้ำหนักแฟ้มเอกสารได้ 500 กรัม มีขนาดความสูง 30-40 เซนติเมตร มีการนำลีดสกรูน็อต น็อตพีคแบบเลื่อนที่สามารถใช้งานร่วมกับอุปกรณ์มาตรฐานสำหรับเกลียวสกรูสี่เหลี่ยมคางหมู 30 องศา ขึ้นรูปโดยอัลลอยด์อัลลูมิเนียมพิเศษที่หล่อใช้แม่แบบที่มีความต้านทานต่อการขัดถูอย่างยอดเยี่ยม จึงทำให้ผลิตภัณฑ์นี้มีความเที่ยงตรงสูง และมีราคาไม่แพงมากนักในการทำชิ้นงาน ควบคุมด้วยกโดยใช้มอเตอร์รุ่น ZGA37RG DC:12 V มอเตอร์เกียร์ RPM จากนั้น นำลีดสกรูน็อตและมอเตอร์เชื่อมด้วยกแกรน X เพื่อให้ด้วยกทำงานอย่างมีประสิทธิภาพและสมบูรณ์มากขึ้น

ดังนั้นคณะผู้จัดทำคาดหวังเป็นอย่างยิ่งว่าชิ้นงานชิ้นนี้จะเป็นประโยชน์ต่อผู้ใช้งานไม่มากนักน้อย และสามารถพัฒนาให้เกิดความก้าวหน้าทางด้านชิ้นงาน เกิดประโยชน์ในภายหน้าสำหรับคนรุ่นหลังสามารถนำชิ้นงานไปต่อยอดให้สมบูรณ์แบบในทุกๆด้าน คณะผู้จัดทำคาดหวังใจเป็นอย่างยิ่งว่าชิ้นงานของเราจะให้วิวัฒนาการกับเด็กรุ่นหลังต่อไปได้

3. วัตถุประสงค์ของโครงการ

- 3.1 พัฒนาความรู้ทางการประดิษฐ์สิ่งของอำนวยความสะดวกภายในองค์กร
- 3.2 พัฒนาศักยภาพทางด้านการใช้โปรแกรม Arduino
- 3.3 นำความรู้ที่ได้จากการเรียนในระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูงสาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศมาประยุกต์ใช้ในการทำโครงการเรื่อง โมเดลรถล้อตะขาบ

4. ขอบเขตของโครงการ

- 4.1 ใช้ล้อแพนในการขับเคลื่อน
- 4.2 ใช้อะคริลิกในการทำโครงสร้างโมเดล
- 4.3 ใช้มอเตอร์ในการขับเคลื่อนของรถ
- 4.4 ใช้แบตเตอรี่ในการเก็บไฟ

5. ขั้นตอนการดำเนินงาน

- 5.1 คิดหัวข้อโครงการ
- 5.2 จัดทำเอกสารแบบเสนอร่างโครงการ
- 5.3 เสนอหัวข้อโครงการ
- 5.4 ศึกษาโปรแกรม Arduino
- 5.5 ศึกษาขั้นตอนการทำงาน
- 5.6 ออกแบบชิ้นงาน
- 5.7 จัดเตรียมอุปกรณ์
- 5.8 จำทำรูปเล่มโครงการบทที่ 1
- 5.9 ลงมือประกอบโครงชิ้นงาน
- 5.10 จัดทำรูปเล่มโครงการบทที่ 2
- 5.11 จัดทำรูปเล่มโครงการบทที่ 3
- 5.12 สอบโครงการบทที่ 1-3
- 5.13 ปรับปรุงและแก้ไข
- 5.14 เก็บรายละเอียด
- 5.15 ตรวจสอบความเรียบร้อย
- 5.16 สอบโครงการ
- 5.17 จัดทำรูปเล่มโครงการบทที่ 5
- 5.18 จัดทำรูปเล่มโครงการบทที่ 4
- 5.19 รูปเล่มโครงการฉบับสมบูรณ์

6. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 6.1 พัฒนาความรู้ทางการประดิษฐ์สิ่งของอำนวยความสะดวกภายในองค์กร
- 6.2 ให้ผู้ใช้งานแอปพลิเคชันได้มีความรู้พื้นฐานทางด้านวิทยาศาสตร์มากยิ่งขึ้น
- 6.3 นำความรู้ที่ได้จากการเรียนในสาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศมาประยุกต์ใช้ในการทำโครงการ

7. งบประมาณที่ใช้ในการทำโครงการ

7.1 ค่าพิมพ์เอกสาร	1,200	บาท
7.2 ค่าแผ่น DVD	50	บาท
7.3 ค่าทำเล่มเอกสารโครงการ	400	บาท
7.4 ค่ากระดาษ	600	บาท
<u>รวม</u>	<u>2,250</u>	<u>บาท</u>

8. เอกสารอ้างอิง

<http://sangtakieng.com/WorkingatHEWP32.html>

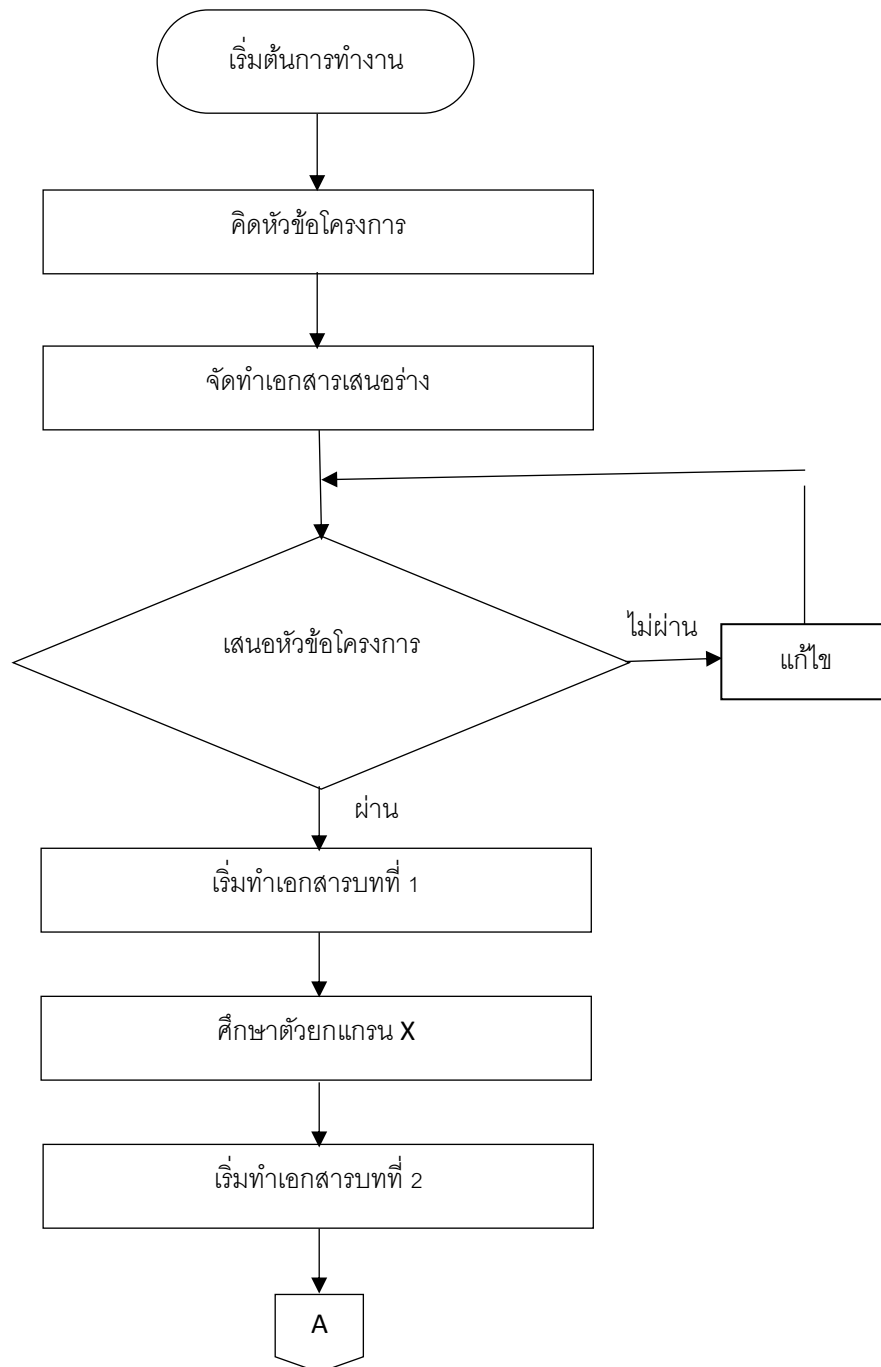
<https://www.thaieasyelec.com/article-wiki/latest-blogs/what-is-arduino-ch1.html>

9. ระยะเวลาทำโครงการ

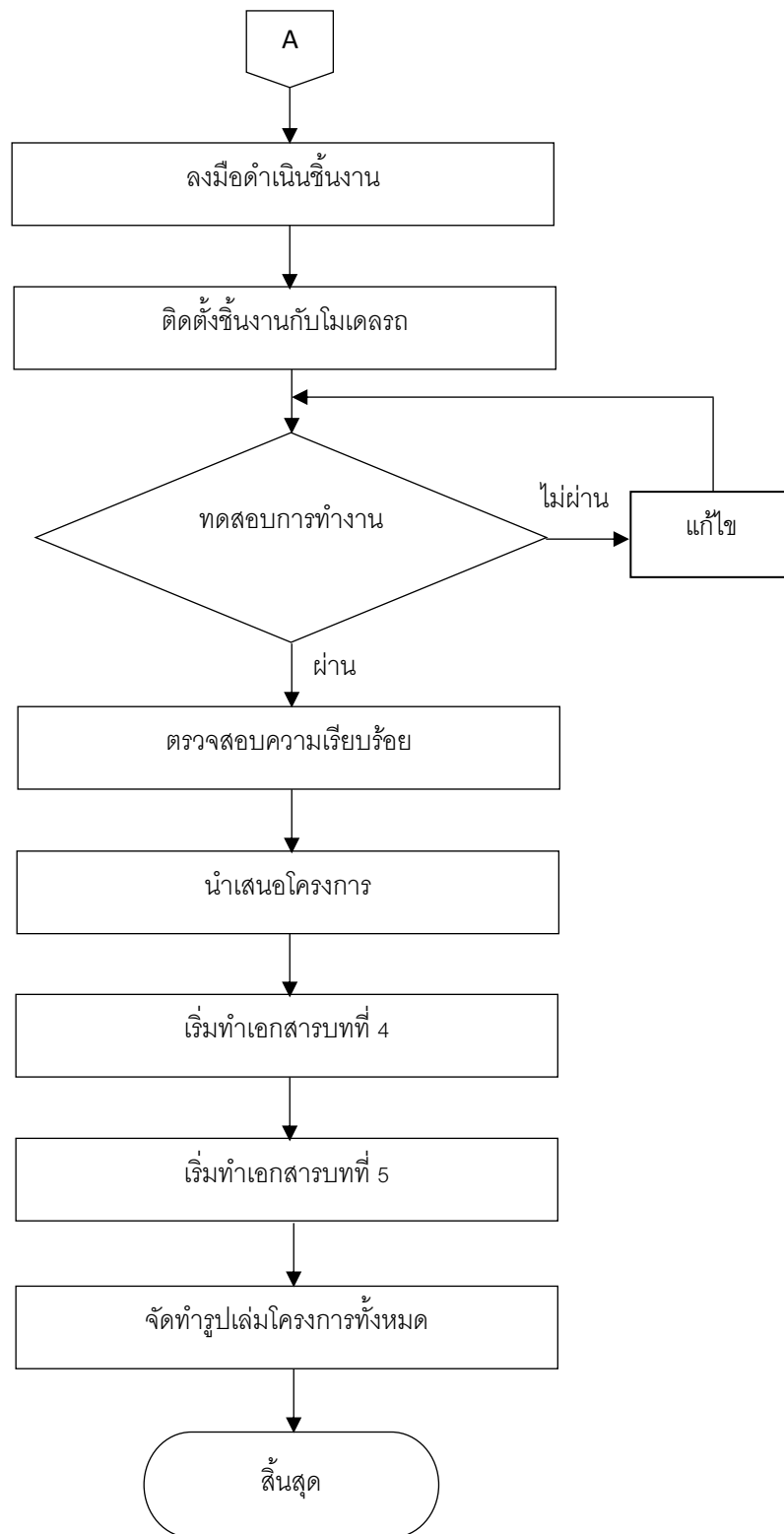
ตารางการดำเนินงานโครงการนี้ใช้ระยะเวลาในการพัฒนา ตั้งแต่เดือน กรกฎาคม 2562 ถึงเดือน
กุมภาพันธ์ 2563 ดังตารางที่ 1.1

ตารางที่ 1.1 ระยะเวลาการทำโครงการ

ลำดับ	ขั้นตอนการดำเนินงาน	ระยะเวลาการดำเนินงาน							
		ปี พ.ศ.2562						ปี พ.ศ.2563	
		ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.
1	คิดหัวข้อโครงการ	↔							
2	จัดทำเอกสารเสนอร่าง	↔							
3	เสนอหัวข้อโครงการ	↔	↔						
4	เริ่มทำเอกสารบทที่ 1	↔	↔						
5	ศึกษาตัวยกเกรน X	↔	↔						
6	ศึกษามอเตอร์ที่ใช้งาน	↔	↔						
7	เริ่มทำเอกสารบทที่ 3		↔						
8	เริ่มทำเอกสารบทที่ 2		↔	↔					
9	ลงมือดำเนินชิ้นงาน		↔	↔					
10	ติดตั้งชิ้นงานกับโมเดลรถ			↔	↔				
11	ทดสอบการทำงาน			↔	↔				
12	ปรับปรุงและแก้ไข				↔	↔			
13	ตรวจสอบความเรียบร้อย				↔	↔			
14	นำเสนอโครงการ					↔			
15	เริ่มทำเอกสารบทที่ 4						↔		
16	เริ่มทำเอกสารบทที่ 5						↔		
17	จัดทำรูปเล่มโครงการทั้งหมด						↔	↔	↔



รูปที่ 1.1 แผนภาพ Flowchart ขั้นตอนการทำงาน



รูปที่ 1.1 แผนภาพ Flowchart ขั้นตอนการทำงาน(ต่อ)

ภาคผนวก ข
รายงานผลความคืบหน้า



แบบประเมินความก้าวหน้าโครงการ
โมเดลรถล้อตะขาบ
Caterpilla Tractor Model

ชื่อผู้จัดทำ

นายอภิชาติ ชูชาติ	รหัสประจำตัว 36931
นายวิษณุ คำปันแก่น	รหัสประจำตัว 37392

ภาคเรียนที่ 1/2562

สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ
วิทยาลัยเทคโนโลยีอรรณพวิทยพัฒน์

แบบฟอร์มประเมินความก้าวหน้าโครงการ

ชื่อโครงการ โมเดลรถล้อตะขาบ

ชื่อโครงการ Caterpilla Tractor Model

ปีการศึกษา 2562

ชื่อผู้จัดทำโครงการ (1) นายอภิชาติ ชูชาติ รหัส 36931 ชั้นปี ปวส.2/8
(2) นายวิชัย คำปันแก่น รหัส 37392 ชั้นปี ปวส.2/8

ชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ อาจารย์สุธารัตน์ ทองใหม่

ชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาโครงการร่วม อาจารย์ สุลาวัล บุริจันทร์

โครงการนี้จัดอยู่ในกลุ่มของ

- | | |
|---|--|
| ☐ Web Programming | ☐ Computer Multimedia |
| ☐ Computer Programming | ☐ Database System |
| ☐ Hardware Computer | ☐ |

ขอบเขตของโครงการทั้งหมด

1. ใช้ล้อแพรในการขับเคลื่อน
2. ใช้อะคริลิกในการทำโครงสร้างโมเดล
3. ใช้มอเตอร์ในการขับเคลื่อนของรถ
4. ใช้แบตเตอรี่ในการเก็บไฟ

-
- หมายเหตุ:
1. ในส่วนของขอบเขตของโครงการทั้งหมด ให้นักศึกษาเป็นผู้กำหนดขอบเขตตามแผนที่ได้นำเสนอไว้ใน Project Study และต้องอยู่ภายใต้ความเห็นชอบของอาจารย์ที่ปรึกษา
 2. ในการรายงานผลความก้าวหน้าของโครงการทุกครั้ง จะต้องผ่านความเห็นชอบจากอาจารย์ที่ปรึกษา และมีลายเซ็นของอาจารย์ที่ปรึกษาด้วยทุกครั้ง

รายงานผลความก้าวหน้าของโครงการ 25%

รายละเอียดของหัวข้อที่รายงานผลความก้าวหน้า	ผ่าน	ไม่ผ่าน	เหตุผล (กรณีไม่ผ่าน)
1. ศึกษาอัตราตลาด			
2. ศึกษาข้อมูลมอเตอร์ที่ใช้			
3. เสนอหัวข้อโครงการ			
4. จัดทำเอกสารโครงการบทที่ 1			

การประเมินผลความก้าวหน้าของโครงการโดยอาจารย์ที่ปรึกษา

☐ ผ่าน

☐ ไม่ผ่าน

ข้อชี้แจงของอาจารย์ที่ปรึกษา (กรณีที่อาจารย์ที่ปรึกษาประเมินไม่ผ่าน)

.....

ลายเซ็น

()

อาจารย์ที่ปรึกษา

วันที่ / / 25.....

การประเมินผลความก้าวหน้าของโครงการโดยอาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

☐ ผ่าน

☐ ไม่ผ่าน

ข้อชี้แจงของอาจารย์ที่ปรึกษา (กรณีที่อาจารย์ที่ปรึกษาประเมินไม่ผ่าน)

.....

ลายเซ็น

()

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

วันที่ / / 25.....

ส่วนนี้สำหรับกรรมการ

การประเมินผลความก้าวหน้าของโครงการโดยกรรมการ

☐ ผ่าน

☐ ไม่ผ่าน

ความคิดเห็นของกรรมการ (กรณีที่กรรมการประเมินไม่ผ่าน)

.....

.....

.....

.....

ลายเซ็น

()

กรรมการตรวจสอบ

วันที่ / / 25.....

รายงานผลความก้าวหน้าของโครงการ 50%

รายละเอียดของหัวข้อที่รายงานผลความก้าวหน้า	ผ่าน	ไม่ผ่าน	เหตุผล (กรณีไม่ผ่าน)
5. เป็นออกแบบโครงรถ			
6. จัดทำเอกสารโครงการบทที่ 2			
7. จัดทำเอกสารโครงการบทที่ 3			
8. ลงมือดำเนินชิ้นงาน			
9. เป็นทดสอบและแก้ไข			

การประเมินผลความก้าวหน้าของโครงการ โดยอาจารย์ที่ปรึกษา

☐ ผ่าน

☐ ไม่ผ่าน

ข้อชี้แจงของอาจารย์ที่ปรึกษา (กรณีที่อาจารย์ที่ปรึกษาประเมินไม่ผ่าน)

.....

ลายเซ็น

()

อาจารย์ที่ปรึกษา

วันที่ / / 25.....

การประเมินผลความก้าวหน้าของโครงการ โดยอาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

☐ ผ่าน

☐ ไม่ผ่าน

ข้อชี้แจงของอาจารย์ที่ปรึกษา (กรณีที่อาจารย์ที่ปรึกษาประเมินไม่ผ่าน)

.....

ลายเซ็น

()

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

วันที่ / / 25.....

ส่วนนี้สำหรับกรรมการ

การประเมินผลความก้าวหน้าของโครงการโดยกรรมการ

☐ ผ่าน

☐ ไม่ผ่าน

ความคิดเห็นของกรรมการ (กรณีที่กรรมการประเมินไม่ผ่าน)

.....

.....

.....

.....

ลายเซ็น

()

กรรมการตรวจสอบ

วันที่ / / 25.....

รายงานผลความก้าวหน้าของโครงการ 75%

รายละเอียดของหัวข้อที่รายงานผลความก้าวหน้า	ผ่าน	ไม่ผ่าน	เหตุผล (กรณีไม่ผ่าน)
10. ทดสอบการทำงานของชิ้นงาน			
11. ปรับปรุงและแก้ไขชิ้นงาน			

การประเมินผลความก้าวหน้าของโครงการโดยอาจารย์ที่ปรึกษา

☐ ผ่าน

☐ ไม่ผ่าน

ข้อชี้แจงของอาจารย์ที่ปรึกษา (กรณีที่อาจารย์ที่ปรึกษาประเมินไม่ผ่าน)

.....

ลายเซ็น

()

อาจารย์ที่ปรึกษา

วันที่ / / 25.....

การประเมินผลความก้าวหน้าของโครงการโดยอาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

☐ ผ่าน

☐ ไม่ผ่าน

ข้อชี้แจงของอาจารย์ที่ปรึกษา (กรณีที่อาจารย์ที่ปรึกษาประเมินไม่ผ่าน)

.....

ลายเซ็น

()

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

วันที่ / / 25.....

ส่วนนี้สำหรับกรรมการ

การประเมินผลความก้าวหน้าของโครงการโดยกรรมการ

☐ ผ่าน

☐ ไม่ผ่าน

ความคิดเห็นของกรรมการ (กรณีที่กรรมการประเมินไม่ผ่าน)

.....

.....

.....

.....

ลายเซ็น

()

กรรมการตรวจสอบ

วันที่ / / 25.....

รายงานผลความก้าวหน้าของโครงการ 100%

รายละเอียดของหัวข้อที่รายงานผลความก้าวหน้า	หมายเหตุ
12. นำเสนอโครงการ	
13. จัดทำเอกสารโครงการบทที่ 4	
14. จัดทำเอกสารโครงการบทที่ 5	
15. ชำนาญโครงการเสร็จสมบูรณ์	
16. รูปเล่มโครงการฉบับสมบูรณ์	

บันทึกการเข้าพบอาจารย์ที่ปรึกษา

[illegible]

ภาคผนวก ค
คู่มือการใช้งาน

ขั้นตอนที่ 1 สแกนคิวอาร์โค้ดลงโทรศัพท์

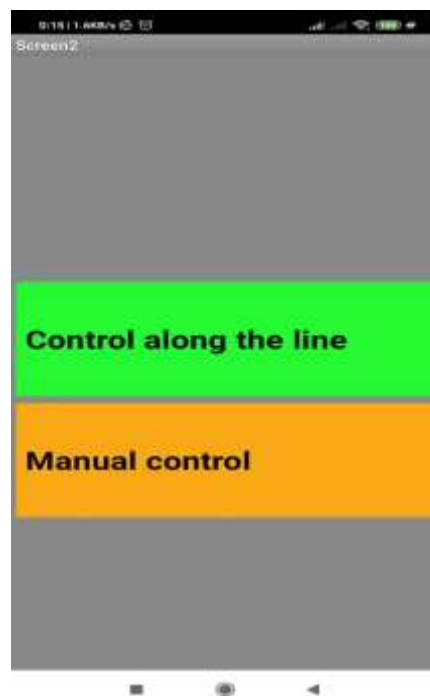


<http://ai2.appinventor.mit.edu/b/3lwm>

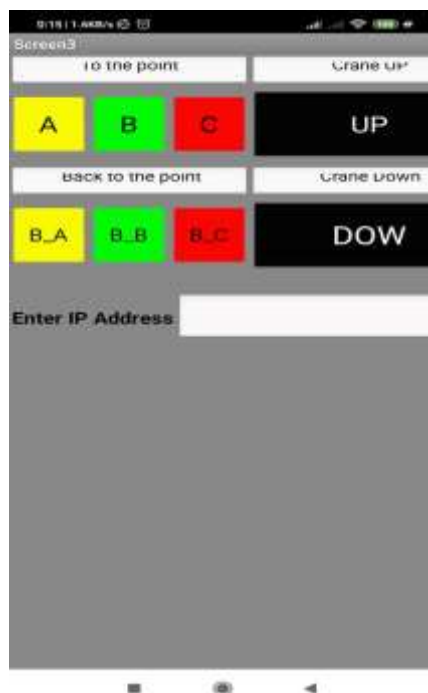
ขั้นตอนที่ 2 เมื่อกดเข้าโปรแกรมจะเจอหน้าแรกของโปรแกรม



ขั้นตอนที่ 3 เมื่อกดเข้ามาจะมีให้เลือกการควบคุมแบบตามเส้นหรือแบบแมนนวล



ขั้นตอนที่ 4 เมื่อกดปุ่มควบคุมตามเส้นจะให้กำหนดเป้าหมาย



ขั้นตอนที่ 5 เมื่อตัวยกเอกสารถึงเป้าหมายจะทำการยกตัวเอกสารขึ้น



ภาคผนวก ง
ประวัติผู้เขียน



ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นายอภิชาติ ชูชาติ
วันเดือนปีเกิด	12 กันยายน 2542
สถานที่เกิด	โรงพยาบาลตำรวจโรงพยาบาล
สถานที่อยู่ปัจจุบัน	1584/349 ถนนรกรางเก่า ตำบลสำโรงเหนือ อำเภอเมือง จังหวัดสมุทรปราการ
สถานที่ศึกษา	วิทยาลัยเทคโนโลยีอรรณพวิทยพัฒน์วิชาการ
ประวัติการศึกษา	
พ.ศ.2558	มัธยมศึกษาตอนต้น โรงเรียนสรรพาวุธวิทยา
พ.ศ.2561	ประกาศนียบัตรวิชาชีพ สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ วิทยาลัยเทคโนโลยีอรรณพวิทยพัฒน์วิชาการ
พ.ศ.2563	ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ วิทยาลัยเทคโนโลยีอรรณพวิทยพัฒน์วิชาการ
ผลงานและกิจกรรม	
พ.ศ.2559	PR ATC
พ.ศ.2559	English Day
พ.ศ.2560	จัดบุท ATC นิทรรศน์



ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นาธนวิษณุ คำปันแก่น
วันเดือนปีเกิด	13 กรกฎาคม 2542
สถานที่เกิด	โรงพยาบาลตำรวจ
สถานที่อยู่ปัจจุบัน	3909 หมู่ 1 ตำบลลำโรงเหนือ อำเภอเมือง จ.สมุทรปราการ 10130
สถานที่ศึกษา	วิทยาลัยเทคโนโลยีอรรถวิทย์พัฒนวิชาการ
ประวัติการศึกษา	
พ.ศ.2558	มัธยมศึกษาตอนต้น โรงเรียนลาซาร
พ.ศ.2561	ประกาศนียบัตรวิชาชีพ สาขาวิชาคอมพิวเตอร์ วิทยาลัยเทคโนโลยีอรรถวิทย์พัฒนวิชาการ
พ.ศ.2563	ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ วิทยาลัยเทคโนโลยีอรรถวิทย์พัฒนวิชาการ
ผลงานและกิจกรรม	
พ.ศ.2560	ประธานนักศึกษา
พ.ศ.2561	รองประธานนักศึกษา