สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

มร ๗๙๗๔๐

การพัฒนาหุ่นยนต์สำรวจพื้นที่เสี่ยงภัยควบคุมระยะไกลโดยอาศัยคลื่นวิทยุ

The Development of Robot for Surveying in Risk Areas by Using Radio Wave for Remote Control

เขต ดอนประจำ
ปฏิณญา โคตรวงศ์

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

หอสมุดสถาบันราชภัฏมหาสารคาม
วันรับ.....
วันลงทะเบียน 3 ธ.ค. 2550
เลขทะเบียน ๓. ม.๒๓๓๕๐
เลขเรียกหนังสือ 629.892 ป๓๔๐
2550

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากสถาบันวิจัยและพัฒนา
มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
ปี พ.ศ. 2550

หน่วยนต์

คณะกรรมการสอบได้พิจารณาโครงงานวิจัยฉบับนี้แล้ว เห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์ ของมหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคามได้

คณะกรรมการสอบ

..... ประธาน
(อาจารย์พรเทพ ตรีวิริยานุภาพ)

..... กรรมการ
(อาจารย์วิจิตร เชาว์วันกลาง)

..... กรรมการ
(อาจารย์ฉันทิชย์ สาธิตานันต์)

..... กรรมการ
(อาจารย์ชลารินทร์ อินสอน)

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี อนุมัติให้โครงงานวิจัยฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์ ของมหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม

.....
(อาจารย์พรเทพ ตรีวิริยานุภาพ)
หัวหน้าโปรแกรม/สาขาวิชาฟิสิกส์

.....
(อาจารย์สมาน ศรีสะอาด)
คณบดีคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยเรื่อง "การพัฒนาหุ่นยนต์สำรวจพื้นที่เสี่ยงภัยควบคุมระยะไกลโดยอาศัยคลื่นวิทยุ" มีจุดมุ่งหมายเพื่อพัฒนาหุ่นยนต์สำรวจต้นแบบ ให้มีความสามารถสูงขึ้น เพื่อใช้ในการสำรวจสถานที่ที่เป็นอันตรายต่อมนุษย์ และไม่สามารถเข้าไปสำรวจได้ซึ่งงานวิจัยในครั้งนี้สำเร็จได้ด้วยดีเพราะได้รับความอนุเคราะห์และสงเคราะห์จากหลายฝ่าย จึงขอขอบพระคุณอาจารย์พรเทพ ตรีวิริยานุภาพ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ และขอบพระคุณอาจารย์วิจิตร เชาว์วันกลาง อาจารย์ฉันทิชย์ สาธิตานันต์ และอาจารย์ชลารินทร์ อินสอน ที่ให้แนวคิดอีกทั้งคำแนะนำตลอดจนช่วยแก้ไขปัญหาต่าง ๆ จนโครงงานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ประจำโปรแกรมวิชาฟิสิกส์ที่ช่วยจัดหาเครื่องมือ และอุปกรณ์ ขอบคุณเพื่อน ๆ โปรแกรมวิชาฟิสิกส์ทุกคน ที่ให้ความช่วยเหลือและเป็นกำลังใจตลอดมาในการดำเนินการวิจัยในครั้งนี้

ท้ายที่สุดนี้คณะผู้ทำการวิจัย ขอน้อมรำลึกถึงพระคุณบิดา มารดาของผู้ทำการวิจัย ที่ให้ความเมตตา ให้กำลังใจ เวลา และกำลังทรัพย์สนับสนุนการศึกษา ของผู้วิจัยตลอดมาคุณค่าและ เกียรติภูมิใด ๆ อันพึงมีในโครงการวิจัยในครั้งนี้ คณะผู้วิจัยขอมอบเป็นกตเวทิคุณ แก่บิดา มารดา และบูรพาจารย์ทุกท่าน

เขต ดอนประจำ

ปฏิณญา โคตรวงศ์

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

Research Title	The Development of Robot for Surveying the Risk Areas by Using Radio Wave for Remote Control
Authors	Mr. Khet Donprajam Mr. Patinya Khotewong
Adviser	Mr.Porntep Treeviriyanupub
Deparment / Faculty	Physics / Science
University	Rajabhat Mahasarakham University
Year	2007

ABSTRACT

The purposes of this research project were to design and develop the robot for surveying the risk areas by radio wave remote control. The useful nesses of the robot are moving to suspicious areas which may be danger to investigators or use it to survey some dangerous place. The mechanics of robot's motion were worked by DC motor and control by relay system. Whirl system left, right of the camera could turn around in 360 degree. The main structure of robot had design to have system 4 wheels for the stability in balance and to support high weight. Each wheel in each side had cog and chain to send power from DC motor. The chain system could fine level and upland. There was installation light system in dark area.

The results show that the longest distance that robot could be received photo signal in the open area, wall obstruction and in the cave were 124.22, 31.53 and 44.76 m, respectively. In dark area, it could be received photo signal, black object and white object at 60.10 and 100.28 cm, respectively. In vapor area the camera focus was 38.85 cm. The average speeds in concrete ground, grass ground and rough place were 0.57, 0.43 and 0.52 m/s, respectively. The longest distance that could be controlled robot movements in the open area, wall obstruction and in the cave were 353.14, 49.12 and 116.17 m, respectively. The robot could be moved up the different levels in 6 cm. Comparing with original robot, capacities of developed robot showed longer distance in receiving photo signal as will as in vapor area in open area and in the cave. It also showed higher distance control in open area and obstructed area.

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

สารบัญ

เรื่อง หน้า

กิตติกรรมประกาศ ..... ข
บทคัดย่อภาษาไทย ..... ค
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... ง
สารบัญ ..... จ
สารบัญตาราง ..... ช
สารบัญรูป ..... ซ

บทที่ 1 บทนำ 1
1.1 ที่มาและความสำคัญ 1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย 2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย 2
1.4 ข้อตกลงเบื้องต้น 2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 3
1.6 นิยามศัพท์เฉพาะ 3

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 4
2.1 คลื่นวิทยุ 4
2.2 มอเตอร์กระแสตรง 23
2.3 รีเลย์ 30
2.4 เฟือง 32
2.5 หุ่นยนต์ 40
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 41

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2.1 แสดงย่านความถี่ ความถี่ และความยาวคลื่น 5
4.1 แสดงการเปรียบเทียบความสามารถระหว่างหุ่นยนต์ต้นแบบและหุ่นยนต์ที่ได้รับ
การพัฒนาแล้ว 62
ก.1 แสดงการวัดระยะทางในการควบคุมหุ่นยนต์บริเวณที่โล่ง 69
ก.2 แสดงการวัดระยะทางในการควบคุมหุ่นยนต์บริเวณที่มีผนังกั้นระหว่าง
ตัวรับ - ตัวส่งสัญญาณวิทยุ 72
ก.3 แสดงการหาความเร็วเฉลี่ยของหุ่นยนต์ในการเคลื่อนที่ในสภาพพื้นคอนกรีต 75
ก.4 แสดงการหาความเร็วเฉลี่ยของหุ่นยนต์ในการเคลื่อนที่ในสภาพพื้นหญ้า 76
ก.5 แสดงการหาความเร็วเฉลี่ยของหุ่นยนต์ในการเคลื่อนที่ในสภาพพื้นขรุขระ 77
ก.6 แสดงการเปรียบเทียบความเร็วในการเคลื่อนที่ในสภาพพื้นที่ต่าง ๆ 77
ก.7 แสดงการทดสอบการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ในบริเวณพื้นที่ลาดชัน 78
ก.8 แสดงการหาความเร็วเฉลี่ยของหุ่นยนต์ในบริเวณพื้นที่ลาดชัน 79
ก.9 แสดงความสูงของพื้นที่ต่างระดับที่หุ่นยนต์สามารถเคลื่อนที่ขึ้นได้ 80
ก.10 แสดงการทดสอบการทำงานของหุ่นยนต์บริเวณใต้อุโมงค์ 81
ก.11 แสดงการทดสอบทำงานของหุ่นยนต์ในพื้นที่มีควัน 82
ก.12 แสดงการทดสอบการทำงานของไฟส่องทางของหุ่นยนต์ในที่มืด 83
ก.13 แสดงการทดสอบการรับสัญญาณภาพของหุ่นยนต์ในที่มืด 84
ก.14 แสดงการเปรียบเทียบความสามารถระหว่างหุ่นยนต์ต้นแบบและ
หุ่นยนต์ที่ได้รับการพัฒนาแล้ว 85

สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
PAJARUAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

2.1 โครงสร้างของคลื่นวิทยุ 4
2.2 เครื่องรับที่อยู่ใกล้สถานีส่งจะรับสัญญาณได้แรงกว่าเครื่องรับที่
อยู่ไกลออกไปจากสถานีส่ง 5
2.3 คลื่นฟ้าและคลื่นดิน 6
2.4 องค์ประกอบของคลื่น 7
2.5 แสดงการเดินทางของคลื่นฟ้า..... 8
2.6 การผสมสัญญาณระหว่างความถี่เสียงกับคลื่นพาหะ 9
2.7 วงจรที่ทำให้เกิดการผสมคลื่นระหว่าง AM 10
2.8 ความแรงของสัญญาณเสียงเมื่อผสมกับคลื่นพาหะทำให้ระดับคลื่นพาหะ
เปลี่ยนแปลงมากน้อย 10
2.9 เครื่องส่งแบบ AM เบื้องต้น 11
2.10 แผนผังการทำงานของเครื่องส่งแบบ AM 12
2.11 สเปคตรัมความถี่ที่ส่งออกของวิทยุ AM 13
2.12 จำนวนช่องมาตรฐานของวิทยุกระจายเสียงระบบ AM ของ FCC 14
2.13 เครื่องรับวิทยุแร่ 15
2.14 แผนผังการทำงานของเครื่องรับวิทยุแบบ TRF 16
2.15 แผนผังการทำงานของเครื่องรับแบบซุปเปอร์เฮทเตอร์โรดาย 17
2.16 แผนผังการทำงานการของวิทยุบังคับ 1 ช่องแบบใช้โทนเสียง 19
2.17 แผนผังการทำงานของวิทยุบังคับหลายช่องแบบใช้ความถี่โทนหลายชุด 20
2.18 วงจรเครื่องส่งสัญญาณรีโมท 21
2.19 วงจรเครื่องรับสัญญาณรีโมท 22
2.20 โครงสร้างของมอเตอร์กระแสตรงแบบขนาน 24
2.21 โครงสร้างของมอเตอร์กระแสตรงแบบอนุกรม 24

สถาบันเทคโนโลยีราชมงคลพระนครราชสีมา
RAJAMANGALA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY PHRANAKHON RATCHASIMA

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

2.22 โครงสร้างของมอเตอร์กระแสตรงแบบแม่เหล็กถาวร 25
2.23 ระบบการควบคุมมอเตอร์กระแสตรงแบบพื้นฐาน 25
2.24 วงจรพื้นฐานของการขยายแบบควบคุมโวลต์เตจมอเตอร์ 27
2.25 การควบคุมแรงดันไฟตรงของอาร์เมเจอร์ 28
2.26 การควบคุมความเข้มของสนามแม่เหล็ก 29
2.27 รูปที่ใช้แทนเฟืองทดรอบที่มีอัตรา 2:1 32
2.28 ชุดเฟืองทดรอบชุดนี้นำจากไนลอน มีแกนกลางทำจากอลูมิเนียม ซึ่งจะใช้งาน
ได้ดีเมื่อชุดเฟืองถูกจับยึดกับเฟืองมอเตอร์ 33
2.29 เฟืองตรงและเฟืองเฉียง 35
2.30 โซ่ลูกกลิ้งและโซ่บูช 36
2.31 ลักษณะภาพประกอบโซ่พร้อมด้วยสปริงล็อก 37
2.32 โซ่ลำเลียง 38
2.33 โซ่ห่วงกลม 38
2.34 รูปแบบการยึดปลายโซ่ 39
2.35 Shakey หุ่นยนต์เคลื่อนที่ตัวแรกด้วยเซนเซอร์ 41
3.1 แสดงลักษณะการเชื่อมน็อตเบอร์ 16 กับชุดตลับลูกปืน..... 47
3.2 ก แสดงลักษณะการเชื่อมชุดตลับลูกปืนกับปลายด้านหนึ่งของท่อเหล็ก กลวง
ยาว 15.5 cm และเชื่อมท่อเหล็กกลวงยาว 8 cm ติดกับชุดตลับลูกปืนใน
ลักษณะที่ตั้งฉากกับท่อเหล็กกลวงยาว 15.5 cm 48
3.2 ข แสดงลักษณะการเชื่อมท่อเหล็กกลวงยาว 2 cm ติดกับปลายทั้งสองด้าน
ของท่อเหล็กกลวงยาว 13 cm และการเชื่อมท่อเหล็กยาว 9 cm
ติดกับท่อเหล็กยาว 2 cm ในลักษณะที่ตั้งฉากกับท่อเหล็กยาว 13 cm 49

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

3.3 ก แสดงลักษณะการเชื่อมท่อเหล็กกลวงยาว 13 cm ระหว่างท่อเหล็กกลวงยาว 15.5 cm ที่ปลายด้านหนึ่งเชื่อมติดกับชุดตลับลูกปืน 50
3.3 ข แสดงลักษณะการเชื่อมท่อเหล็กยาว 13 cm ระหว่างท่อเหล็กกลวงยาว 9 cm 50
3.4 โครงสร้างหลักของหุ่นยนต์ 51
3.5 แสดงลักษณะของล้อหน้า – หลัง 52
3.6 ก แสดงโครงสร้างและระบบขับเคลื่อนด้านหน้าและด้านหลังของหุ่นยนต์ 52
3.6 ข แสดงโครงสร้างและระบบขับเคลื่อนด้านล่างและด้านบนของหุ่นยนต์ 53
3.7 แสดงโครงสร้างของอุปกรณ์ในการหมุน ซ้าย-ขวา ของกล้องรับภาพ 54
3.8 แสดงวงจรและลายปริ้นรีเลย์ในการควบคุมทิศทางการหมุนของมอเตอร์ 54
4.1 แสดงลักษณะของหุ่นยนต์ต้นแบบ 58
4.2 แสดงการเคลื่อนที่ไปข้างหน้าและถอยหลัง 59
4.3 การเคลื่อนที่ไปทางซ้าย 59
4.4 การเคลื่อนที่ไปทางขวา 60
4.5 แสดงลักษณะหุ่นยนต์ที่ได้รับการพัฒนาแล้ว 61
ค.1 แผนผังการทำงานของหุ่นยนต์ 92
ค.2 แผนผังการทำงานการเดินหน้าของหุ่นยนต์ 93
ค.3 แผนผังการทำงานการถอยหลังของหุ่นยนต์ 94
ค.4 แผนผังแสดงการทำงานการเลี้ยวซ้าย แบบที่ 1 ของหุ่นยนต์ 95
ค.5 แผนผังแสดงการทำงานการเลี้ยวซ้าย แบบที่ 2 ของหุ่นยนต์ 96
ค.6 แผนผังแสดงการทำงานการเลี้ยวซ้าย แบบที่ 3 ของหุ่นยนต์ 97
ค.7 แผนผังแสดงการทำงานการเลี้ยวขวา แบบที่ 1 ของหุ่นยนต์ 98
ค.8 แผนผังแสดงการทำงานการเลี้ยวขวา แบบที่ 2 ของหุ่นยนต์ 99
ค.9 แผนผังแสดงการทำงานการเลี้ยวขวา แบบที่ 3 ของหุ่นยนต์ 100

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

ง.19 ภาพวัตถุสีขาวที่ระยะ 100 cm ที่บันทึกได้จากกล้องของหุ่นยนต์
เมื่อนำไปทดสอบในที่มืด 112
ง.20 ภาพวัตถุสีดำที่ระยะ 60 cm ที่บันทึกได้จากกล้องของหุ่นยนต์
เมื่อนำไปทดสอบในที่มืด 112
ง.21 ภาพวัตถุสีขาวและสีดำที่ใช้ในการสังเกตในที่มืด 113
ง.22 ภาพที่บันทึกได้จากกล้องของหุ่นยนต์เมื่อนำไปทดสอบบริเวณอุโมงค์ 113
ง.23 ภาพที่บันทึกได้จากกล้องของหุ่นยนต์เมื่อนำไปทดสอบบริเวณที่มีควัน 114
ง.24 ภาพที่บันทึกได้จากกล้องของหุ่นยนต์เมื่อนำไปทดสอบบริเวณที่โล่ง 114
ง.25 ภาพที่บันทึกได้จากกล้องของหุ่นยนต์เมื่อนำไปทดสอบสังเกตวัตถุ 115
จ.1 แสดง Storage Battery 117
จ.2 แสดงโครงสร้างของแบตเตอรี่ที่ต้องตรวจดูระดับน้ำกรดในแบตเตอรี่ 118
จ.3 แสดงโครงสร้างของแบตเตอรี่ที่ไม่ต้องตรวจดูระดับน้ำกรดในแบตเตอรี่ 118
จ.4 แสดงแผ่นธาตุลบ และแผ่นธาตุบวก และแผ่นกั้น 119
จ.5 แสดงฝาปิดเซลล์ และรูระบายอากาศ 120
จ.6 แสดงปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นในแบตเตอรี่ 121

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

นับตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน เทคโนโลยีหุ่นยนต์ได้มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง ทำให้เป็นที่รู้จักอย่างแพร่หลาย และมีความเกี่ยวข้องกับการพัฒนามาตรฐาน ในการดำเนินชีวิตของมนุษย์เพิ่มมากขึ้น จากเครื่องจักรกลที่ใช้ในโรงงานมาเป็น สิ่งประดิษฐ์ ที่สามารถทำงานได้อย่างละเอียดแม่นยำ อีกทั้งยังสามารถตอบสนองต่อสิ่งเร้าได้ เสมือนสิ่งมีชีวิต ทั้งนี้ปัจจุบันได้มีการนำหุ่นยนต์มาใช้งานในด้านที่เกี่ยวกับมนุษย์ เช่น ในทางการแพทย์ ทางการทหาร ทางการเกษตร แม้กระทั่งหุ่นยนต์ที่ถูกสร้างขึ้นเพื่อเป็นเครื่องเล่นของมนุษย์ รวมไปถึงการนำเทคโนโลยีหุ่นยนต์มาใช้ในการสำรวจพื้นที่ที่เป็นอันตรายต่อมนุษย์หรือพื้นที่ที่มนุษย์ไม่สามารถเข้าถึงได้ (วิชาญ คำแสน, 2550)

หุ่นยนต์สำรวจจึงถูกสร้างขึ้น เพื่อลดอัตราการเสี่ยงภัยขณะปฏิบัติหน้าที่ของมนุษย์ และได้มีการเพิ่มขีดความสามารถ ในการทำงานให้ทัดเทียมมนุษย์ (วิชาญ คำแสน, 2550) คณะวิจัยได้เล็งเห็นถึงความสำคัญดังกล่าวข้างต้นจึงได้ศึกษา และรวบรวมข้อมูลเบื้องต้นของทีมวิจัย การพัฒนาความสามารถของหุ่นยนต์สำรวจควบคุมระยะไกลโดยอาศัยคลื่นวิทยุ โปรแกรมวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม ปี 2549 สามารถวิเคราะห์ปัญหาที่เกิดขึ้นกับหุ่นยนต์ดังกล่าว คือ หุ่นยนต์มีระบบโช่ที่ต่ำ อีกทั้งยังมีล้อที่มีขนาดเล็ก ทำให้หุ่นยนต์ไม่สามารถเคลื่อนที่บนพื้นที่ต่างระดับได้ดี และตัวกล้องวีดีโอไม่สามารถหมุนได้ส่งผลให้รับภาพได้ในมุมมองที่แคบ อีกทั้งยังมีตัวถังที่ไม่แข็งแรง ทนต่อแรงกระแทกได้น้อย นอกจากนี้ไม่มีการติดตั้งระบบไฟส่องทางในที่มืด จึงทำให้หุ่นยนต์สำรวจมีศักยภาพลดลงเมื่อมีการสำรวจในที่มืด

ดังนั้น การพัฒนาความสามารถของหุ่นยนต์สำรวจ ให้มีศักยภาพมากขึ้นโดยทำการปรับปรุงระบบโช่ให้สามารถปรับระดับความตึงได้ และขนาดของล้อให้มีช่วงล่างที่สูงขึ้น ปรับปรุงโครงสร้างให้สามารถถอดออกได้ เพื่อง่ายต่อการซ่อมบำรุง ปรับปรุงตัวถังให้มีความแข็งแรงมากขึ้น ปรับปรุงตัวกล้องให้สามารถหมุน ซ้าย – ขวาได้ และมีการติดตั้งระบบไฟส่องทางในที่มืด ทำให้หุ่นยนต์ทำงานได้เต็มประสิทธิภาพ

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อออกแบบ และพัฒนาหุ่นยนต์ที่ใช้ในการสำรวจพื้นที่ที่เป็นอันตรายต่อมนุษย์ หรือ พื้นที่ที่มนุษย์ไม่สามารถเข้าไปถึงได้ มีการแสดงผลการสำรวจ โดยใช้กล้องวีดีโอ มีระบบควบคุมจากระยะไกลโดยอาศัยคลื่นวิทยุ และมีการติดตั้งระบบไฟส่องทางในที่มืด

2. เพื่อศึกษาเปรียบเทียบ ความสามารถของหุ่นยนต์ ระหว่างหุ่นยนต์ต้นแบบ และหุ่นยนต์ที่พัฒนาแล้ว

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1. การเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์จะใช้มอเตอร์กระแสตรง (DC Motor) 12 V ซึ่งเป็นมอเตอร์หมุนกระจกรถยนต์ TOYOTA เป็นต้นกำลังในการขับเคลื่อนหุ่นยนต์

2. หุ่นยนต์ใช้วงจร ภาครับ – ภาคส่ง ของรถบังคับวิทยุ ความถี่ 27 เมกกะเฮิรตซ์ เพื่อควบคุมการทำงานของมอเตอร์กระแสตรงต้นกำลังในการขับเคลื่อนหุ่นยนต์โดยผ่านรีเลย์

3. หุ่นยนต์ใช้วงจร ภาครับ – ภาคส่ง ของรถบังคับวิทยุความถี่ 40 เมกกะเฮิรตซ์ เพื่อควบคุมการทำงานของมอเตอร์กระแสตรงควบคุมการหมุน ซ้าย – ขวา ของกล้องวีดีโอ

1.4 ข้อตกลงเบื้องต้น

1. วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการสร้างหุ่นยนต์สำรวจสามารถหาได้ง่ายในพื้นที่
2. ใช้วงจรภาครับ – ส่งสัญญาณวิทยุของรถบังคับวิทยุราคาถูก
3. ไม่ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับคลื่นสัญญาณรบกวนจากแหล่งอื่น
4. การดำเนินการวิจัยในครั้งนี้ไม่ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับระบบแบตเตอร์รี่

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้หุ่นยนต์สำรวจ ซึ่งถูกพัฒนาความสามารถในการสำรวจพื้นที่ที่เป็นอันตรายต่อมนุษย์ในระดับเบื้องต้น เช่น ตรวจสอบวัตถุต้องสงสัย ว่าจะเป็นสารเคมีอันตราย หรือระเบิด และ พื้นที่ที่มนุษย์ไม่สามารถเข้าไปถึงได้ อาทิเช่น ช่องขนาดเล็ก ท่อ หรือถ้ำ

2. ได้เรียนรู้ และประยุกต์ใช้วงจรวิทยุ ในการควบคุมการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์

3. ได้เรียนรู้ ประยุกต์ใช้ และดัดแปลงวงจรวิทยุ ในการควบคุมการหมุนของตัวกล้องวีดีโอ

4. ได้หุ่นยนต์สำรวจที่มีดังถังแข็งแรงทนต่อการกระแทก

5. นำความรู้ที่ได้รับมาใช้ในการปฏิบัติงานจริง นำไปสู่องค์ความรู้ซึ่งได้มาจากการลงมือปฏิบัติ และการรู้จักแก้ไขปัญหาที่ประสบขณะทำการวิจัย

6. เพื่อเป็นพื้นฐาน ในการออกแบบ และพัฒนาหุ่นยนต์สำรวจ ให้มีศักยภาพสูงขึ้นต่อไป

1.6 นิยามศัพท์เฉพาะ

หุ่นยนต์สำรวจ คือ เครื่องจักรกลทุกชนิดที่สามารถปฏิบัติงานแทนมนุษย์ได้ในงานที่เสี่ยงอันตราย โดยที่มนุษย์ไม่สามารถปฏิบัติงานได้ตลอดจนการทำงานที่เป็นอัตโนมัติโดยตนเอง หรือถูกควบคุมโดยมนุษย์ สามารถรับส่งสัญญาณภาพ และบันทึกภาพได้

หุ่นยนต์ คือ เครื่องจักรกลทุกชนิดที่สามารถปฏิบัติงานแทนมนุษย์ได้ทุกประเภท ทั้งทางตรงและทางอ้อม รวมทั้งในงานที่เสี่ยงอันตราย โดยที่มนุษย์ไม่สามารถปฏิบัติงานได้ตลอดจนการทำงานที่เป็นอัตโนมัติ โดยตนเอง หรือถูกควบคุมโดยมนุษย์ และสามารถปรับเปลี่ยนรูปแบบการทำงานได้หลากหลาย

พื้นที่เสี่ยงภัย คือ พื้นที่ที่เป็นอันตรายต่อมนุษย์ และมนุษย์ไม่สามารถเข้าไปปฏิบัติหน้าที่ได้

การควบคุมระยะไกล คือ การสั่งงานหุ่นยนต์ให้ปฏิบัติงานได้ตามต้องการโดยผู้ควบคุม

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องที่ใช้ประกอบในโครงงานวิจัย มีดังนี้

2.1 คลื่นวิทยุ

คลื่นวิทยุที่แพร่กระจายจากสายอากาศนั้น จะมีการแพร่ออกไปใน ทุกทิศทุกทาง คลื่นวิทยุเป็นพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าที่สามารถเดินทางไปได้ด้วยความเร็วเท่า

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

รูปที่ 2.1 โครงสร้างของคลื่นวิทยุ
ที่มา (สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2550)

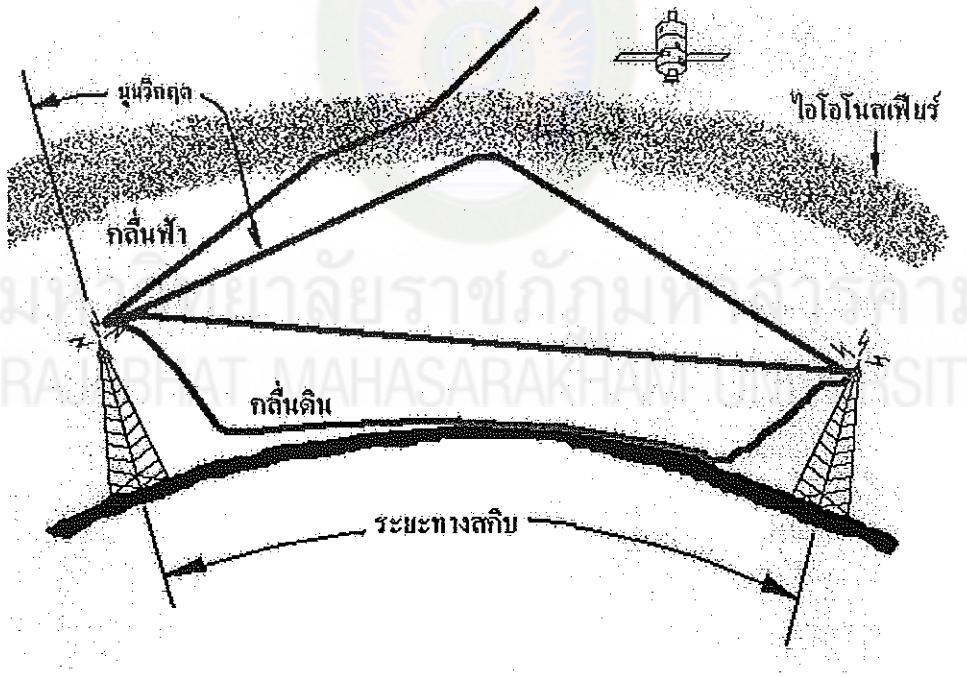
จากรูปที่ 2.1 แสดงให้เห็นลักษณะโครงสร้าง ของคลื่นวิทยุที่กระจายออกจากสายอากาศสนามไฟฟ้าอยู่ในระนาบแนวนอนในขณะที่สนามแม่เหล็กอยู่ในระนาบแนวตั้งนั่น คือ สนามไฟฟ้ากับสนามแม่เหล็กจะตั้งฉากซึ่งกันและกันไปตลอด และทั้งคู่จะตั้งฉากกับทิศทางการเคลื่อนที่ของคลื่น

คลื่นวิทยุที่มีความถี่ไม่เท่ากัน ก็มีคุณสมบัติการแพร่กระจายของคลื่นไม่เท่ากัน ดังเช่นในพื้นที่ ที่ไกลออกไปจากสถานีส่งคลื่นวิทยุ ก็จะมีความแรงลดลงสัญญาณจึงอ่อนลง ๆ **ดังรูปที่ 2.2** เพราะฉะนั้นเครื่องรับที่อยู่ใกล้เครื่องส่งมากกว่าย่อมรับสัญญาณได้แรงกว่า และคุณภาพของสัญญาณจะดีกว่าเครื่องรับที่อยู่ห่างออกไปจากเครื่องส่ง

2.1.1 ประเภทของคลื่นวิทยุ

คลื่นวิทยุที่กระจายออกจากสายอากาศจะเดินทางไปทุกทิศทาง ในทุกระนาบการกระจายคลื่นนี้มีลักษณะเป็นการขยายตัวของพลังงานออกเป็นทรงกลม ถ้าจะพิจารณาในส่วนของพื้นที่แทนหน้าคลื่นจะเห็นได้ว่ามันพุ่งออกไปเรื่อย ๆ จากจุดกำเนิด และสามารถเขียนแนวทิศทางเดินของหน้าคลื่นได้ด้วยเส้นตรงหรือเส้นรังสี เส้นรังสีที่ลากจากสายอากาศออกไปจะทำมุมกับระนาบแนวนอน มุมนี้เรียกว่า มุมแผ่คลื่น อาจมีค่าเป็นบวก (มุมเงย) หรือมีค่าเป็นลบ (มุมกดลง) ก็ได้ มุมของการแผ่คลื่นนี้อาจนำมาใช้เป็นตัวกำหนดประเภทของคลื่นวิทยุได้

โดยทั่วไปคลื่นวิทยุแบ่งออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ คือ คลื่นดิน (ground wave) กับคลื่นฟ้า (sky wave) พลังงานคลื่นวิทยุส่วนใหญ่จะเดินทางอยู่ใกล้ ๆ ผิวโลกหรือเรียกว่าคลื่นดิน ซึ่งคลื่นนี้จะเดินไปตามส่วนโค้งของโลก คลื่นอีกส่วนที่ออกจากสายอากาศด้วยมุมแผ่คลื่นเป็นค่าบวก จะเดินทางจากพื้นโลกพุ่งไปยังบรรยากาศจนถึงชั้นเพดานฟ้า และจะสะท้อนกลับลงมายังโลกนี้เรียกว่า คลื่นฟ้า แสดงได้ **ดังรูปที่ 2.3**



รูปที่ 2.3 คลื่นฟ้าและคลื่นดิน

ที่มา (สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2550)

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

2.1.1.1 คลื่นดิน (ground wave)

แบ่งออกเป็น 4 องค์ประกอบ คือ

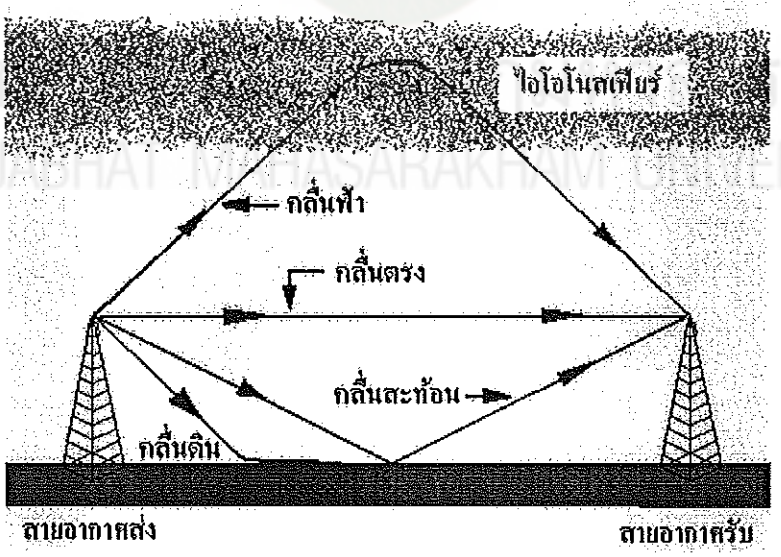
1. คลื่นผิวดิน (surface wave) หมายถึง คลื่นที่เดินตามไปยังผิวโลก อาจเป็นผิวดิน หรือผิวน้ำก็ได้ พิสัยของการกระจายคลื่นชนิดนี้ ขึ้นอยู่กับค่าความนำทางไฟฟ้าของผิวที่คลื่นนี้เดินทางผ่านไป เพราะค่าความนำจะเป็นตัวกำหนด การถูกดูดกลืนพลังงานของคลื่นผิวโลกการถูกดูดกลืนของคลื่นผิวนี้จะเพิ่มขึ้นตามความถี่ที่สูงขึ้น

2. คลื่นตรง (direct wave) หมายถึง คลื่นที่เดินทางออกไปเป็นเส้นตรงจากสายอากาศ ส่งผ่านบรรยากาศตรงไปยังสายอากาศรับโดยมิได้มีการสะท้อนใด ๆ

3. คลื่นสะท้อนดิน (ground reflected wave) หมายถึง คลื่นที่ออกมาจากสายอากาศ ไปกระทบผิวดินแล้วเกิดการสะท้อนไปเข้าที่สายอากาศรับ

4. คลื่นหักเหโทรโปสเฟียร์ (reflected troposphere wave) หมายถึง คลื่นหักเหในบรรยากาศชั้นต่ำของโลกที่เรียกว่า โทรโปสเฟียร์ การหักเหนี้มิใช่เป็นการหักเหแบบปกติที่เกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงความหนาแน่น ของชั้นบรรยากาศของโลกกับความสูง แต่เป็นการหักเหที่เกิดการเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นของชั้นบรรยากาศอย่างทันทีทันใด และไม่สม่ำเสมอของความหนาแน่นและในความชื้นของบรรยากาศ

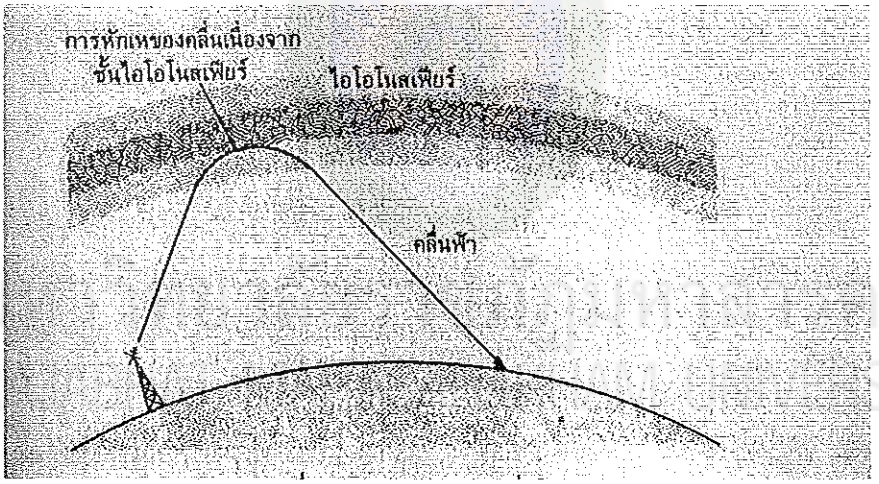
องค์ประกอบของคลื่นดินสามารถแบ่งออกได้ ดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 องค์ประกอบของคลื่นดิน

ที่มา (สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2550)

2.1.1.2 คลื่นฟ้า (sky wave) เหนือผิวโลกขึ้นไปประมาณ 50 - 400 km การแพร่รังสีอัลตราไวโอเลตจากดวงอาทิตย์ จะทำให้อนุภาคของก๊าซในชั้นบรรยากาศที่ห่อหุ้มโลกแตกตัวเป็นไอออน (ionize) เกิดประจุบวก และประจุลบรวมทั้งอิเล็กตรอนอิสระ (free electron) มากมายชั้นบรรยากาศที่โดนรังสีแล้วเกิดไอออนนี้ เรียกว่าชั้นไอโอโนสเฟียร์ (ionosphere) คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่เดินทางเข้าสู่ชั้นบรรยากาศนี้จะถูกหักเห เนื่องจากสนามในลักษณะเช่นเดียวกันกับแสงหักเห หรือสะท้อนผ่านกระจกเงาการหักเหของคลื่นจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับองค์ประกอบหลายอย่าง เช่น ความถี่ของคลื่นที่เดินทางมาที่ชั้นบรรยากาศปริมาณความหนาแน่นของไอออนของชั้นไอโอโนสเฟียร์ มุมที่คลื่นเดินทางผ่าน ซึ่งถ้าหากคลื่นมีความถี่พอเหมาะกับชั้นบรรยากาศ และมุมยิงเข้าสู่ชั้นบรรยากาศถูกต้องพอดีคลื่นก็จะสามารถหักเหมาสู่ผิวโลกได้อีก **ดังรูปที่ 2.5** คลื่นอวกาศที่เดินทางขึ้นไปบนฟ้า แล้วหักเห มายังผิวโลกนี้เรียกว่า คลื่นฟ้า การติดต่อสื่อสารในย่านความถี่ HF นี้ใช้คลื่นฟ้าเป็นส่วนใหญ่ อย่างไรก็ดีในเวลากลางคืนคลื่นในย่านความถี่ MF ก็สามารถสื่อสารโดยคลื่นฟ้าได้เช่นกัน



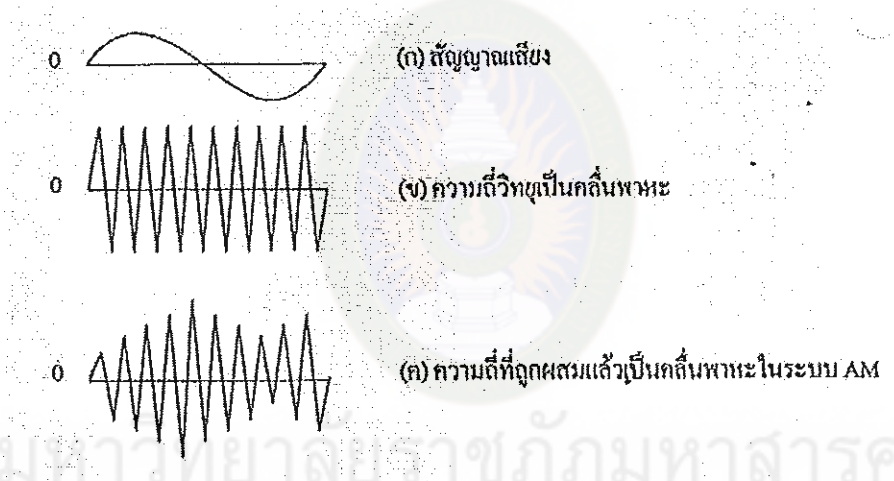
รูปที่ 2.5 แสดงการเดินทางของคลื่นฟ้า
ที่มา (สุชาติ กังวานจิตต์, 2541, หน้า 241)

2.1.2 เครื่องรับและเครื่องส่งวิทยุระบบ AM

จากที่ทราบกันดีแล้วว่าการเดินทางของคลื่นเสียงจะส่งไปได้ไม่ไกล เพราะมีความถี่ต่ำ ส่วนคลื่นวิทยุสามารถเดินทางไปได้ไกลมาก และเดินทางได้รวดเร็ว ดังนั้นถ้าต้องการให้คลื่นเสียงเดินทางไปได้ไกล จึงต้องมีคลื่นพาหะ พาคลื่นเสียงไปก็จะทำให้คลื่น

เสียงนั้น สามารถเดินทางไปได้ไกลเท่าที่ต้องการ ตามคุณสมบัติของคลื่นวิทยุที่เป็นคลื่นพาหะ และคุณสมบัติของคลื่นวิทยุในแต่ละย่าน

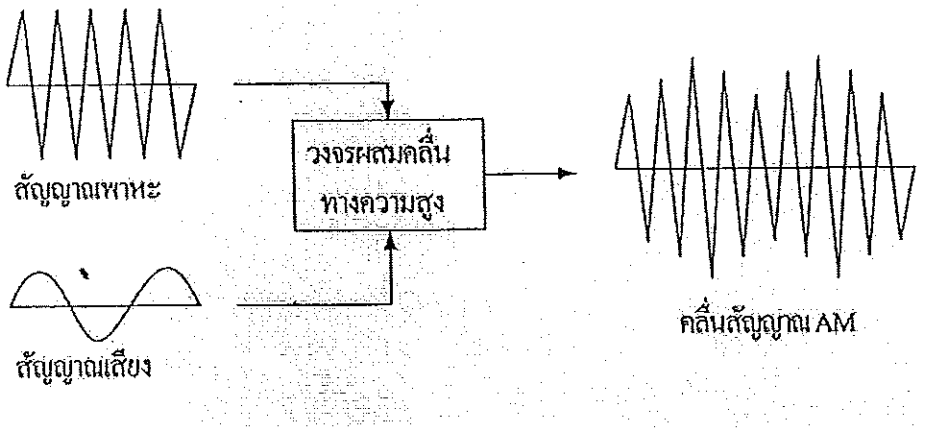
2.1.2.1 การผสมคลื่นทางความสูง การผสมคลื่นแบบ AM อาจจำกัดความได้ว่ามีการเปลี่ยนแปลงความแรงของความถี่วิทยุที่ จะส่งออกของเครื่องส่งให้เป็นไปตามการเปลี่ยนแปลงของเสียง หรืออาจจะกล่าวได้ว่า เป็นการทำให้เกิดเป็นกำลังงานของความถี่วิทยุเพิ่มขึ้น และลดลงตามความถี่เสียง ถ้าเสียงมีความถี่สูงความถี่วิทยุก็จะเปลี่ยนแปลงความสูงช้าถ้าความถี่เสียงมีความดังมากความถี่วิทยุก็จะเพิ่มขึ้น และลดลง จะมีส่วนของเปอร์เซ็นต์สูงกว่าเมื่อความถี่เสียงมีความดังน้อย จากที่กล่าวมาจะเห็นได้ว่าความถี่วิทยุจะมีการเปลี่ยนแปลงไปตามความถี่เสียง **ดังรูปที่ 2.6**



มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

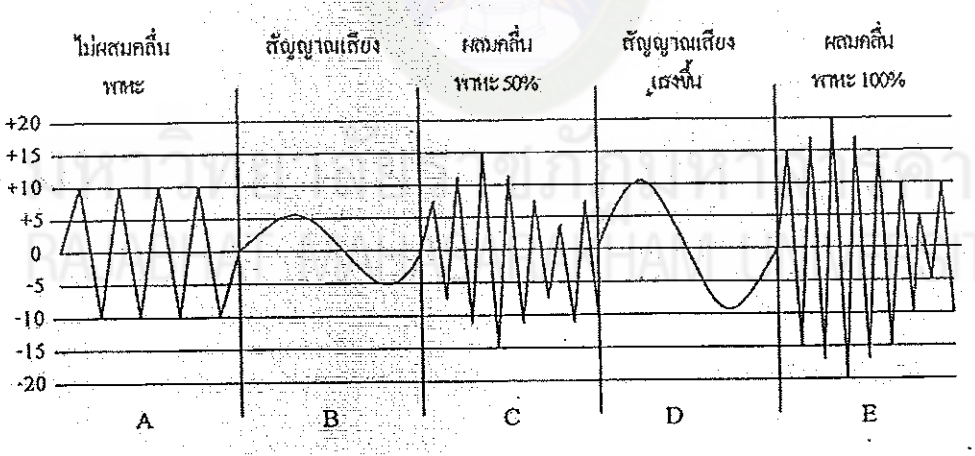
รูปที่ 2.6 การผสมสัญญาณระหว่างความถี่เสียงกับคลื่นพาหะ
ที่มา (ฉัตรชัย วิเศษวิสัย, ธนวัฒน์ พาชื่อ, นิรุตน์ บุตรดอน, และสุรัตน์ สิงห์กันยา, 2546, หน้า 4)

การผสมคลื่นระหว่างสัญญาณเสียงกับความถี่วิทยุระบบ AM จะต้องมีอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ผสมสัญญาณ ซึ่งอุปกรณ์นั้นก็คือวงจรผสมคลื่นทางความสูง (amplitude modulation circuit) อาจจะประกอบด้วยอุปกรณ์หลักคือ ไดโอดร่วมกับอุปกรณ์อื่น เพื่อผสมสัญญาณเสียงเข้ากับคลื่นพาหะ ทำให้คลื่นพาหะถูกสัญญาณเสียงควบคุมระดับความแรงเปลี่ยนแปลงสูงต่ำตามความแรงของสัญญาณเสียง **ดังรูปที่ 2.7**



รูปที่ 2.7 วงจรที่ทำให้เกิดการผสมคลื่นระหว่าง AM
ที่มา (ฉัตรชัย วิเศษวิสัย, ธนวัฒน์ พาซื่อ, นิรุตน์ บุตรดอน, และสุรัตน์ สิงห์กันยา, 2546 , หน้า 4)

ความแรงของสัญญาณเสียงเมื่อผสมกับคลื่นพาหะแสดงได้ ดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 ความแรงของสัญญาณเสียงเมื่อผสมกับคลื่นพาหะทำให้ระดับคลื่นพาหะเปลี่ยนแปลงมากน้อย
ที่มา (ฉัตรชัย วิเศษวิสัย, ธนวัฒน์ พาซื่อ, นิรุตน์ บุตรดอน, และสุรัตน์ สิงห์กันยา, 2546, หน้า 5)

จากรูปที่ 2.8 รูป A เป็นความถี่วิทยุทำหน้าที่เป็นคลื่นพาหะ รูป B เป็นสัญญาณเสียงมีความแรงต่ำ รูป D เป็นสัญญาณเสียงที่มีความแรงสูง เมื่อนำสัญญาณเสียงไปผสมกับคลื่นพาหะรูป A จะได้สัญญาณระบบ AM ออกมาตามรูป C และ E ถ้านำรูป A ไปผสมกับ รูป B จะได้ระบบ AM ตาม รูป C เรียกว่าการผสมคลื่นแบบ 50 % ถ้านำรูป A ผสมกับรูป D จะได้ระบบ AM ตามรูป E เรียกว่าการผสมคลื่นแบบ 100 %

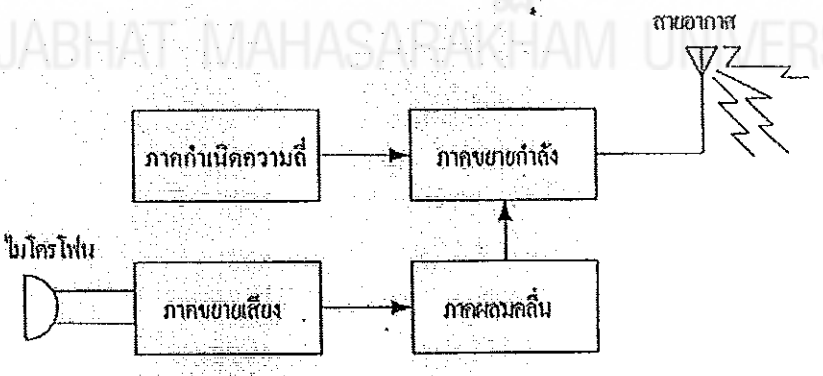
2.1.2.2 เครื่องส่งวิทยุ คือ อุปกรณ์ที่กำเนิดสัญญาณคลื่นวิทยุความถี่ขึ้นมาและส่งต่อสัญญาณคลื่นวิทยุที่ความถี่หนึ่งไปกับสายอากาศ ไปในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ระบบของการส่งข่าวสารนั้นมี 2 แบบ คือ

1. แบบคลื่นต่อเนื่อง (continuous wave : CW) คือ การส่งสัญญาณของคลื่นวิทยุเป็นแบบระยะเวลาสั้นหรือระยะเวลายาว ซึ่งจะกำหนดเป็นจุด (dot) และขีด (dash) ซึ่งจะทำงานในระบบโทรเลข (radio teragraph) ซึ่งปกติแล้ว ค่าระดับความแรงของการส่งสัญญาณนี้จะเท่ากันตลอดเวลาทุก ๆ ไซเคิล

2. แบบคลื่นผสม (modulated) คือ การส่งสัญญาณคลื่นแบบนี้ปกติใช้ในระบบวิทยุโทรศัพท์ในการส่งในลักษณะนี้จะมีข่าวสารผสมอยู่ด้วย จะเป็นการผสมกันทางด้านความสูงหรือการผมกันทางความถี่หรือการผสมกันทางด้านเฟส ซึ่งสัญญาณความถี่วิทยุจะแปรผันไปตามความแรงของสัญญาณเสียง

2.1.2.3 เครื่องส่งวิทยุ AM มีภาคสำคัญดังนี้ ภาคขยายสัญญาณเสียง (AF amplifier) และภาคผสมคลื่น (modulator) เข้าไปก็จะได้เครื่องส่งแบบ AM ตามต้องการแสดง ดังรูปที่ 2.9

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY



รูปที่ 2.9 เครื่องส่งแบบ AM เบื้องต้น
ที่มา (ฉัตรชัย วิเศษวิสัย, ธนวัฒน์ พาซื่อ, นิรุตน์ บุตรดอน, และสุรัตน์ สิงห์กันยา, 2546, หน้า 6)

การทำงานของเครื่องส่งแบบ AM แสดงในรูปที่ 2.10 ซึ่งในแต่ละภาคทำงานดังนี้

1. ภาคกำเนิดความถี่วิทยุ (RF Oscillator) เป็นภาคกำเนิดความถี่วิทยุขึ้นมาซึ่งครั้งแรกอาจจะกำเนิดขึ้นมามีความถี่ต่ำ แล้วจึงค่อยส่งผ่านเข้าวงจรทีวีความถี่ (frequency multiplier) เป็นช่วง ๆ จนได้ความถี่สูงพออยู่ในย่านที่ต้องการ แล้วส่งความถี่ที่ได้เข้าไปในบัฟเฟอร์ขยายความถี่วิทยุ

2. ภาคบัฟเฟอร์ขยายความถี่วิทยุ (RF buffer amplifier) เป็นภาคขยายความถี่พาหะให้มีความแรงมากขึ้น และทำหน้าที่ป้องกันการรบกวนกันระหว่างภาคกำเนิดความถี่กับภาคขยายกำลังสัญญาณจะถูกส่งต่อไปภาคขยายกำลัง

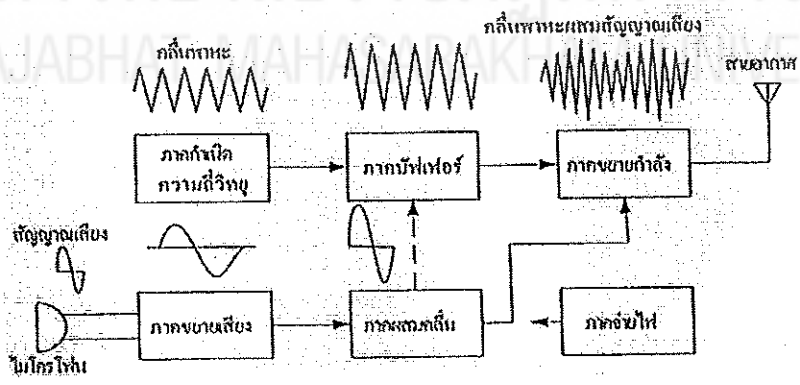
3. ภาคขยายกำลังความถี่วิทยุ (RF power amplifier) หรือภาคขยายความถี่วิทยุภาคสุดท้าย (final RF amplifier) จะขยายสัญญาณคลื่นที่ผสมแล้วจากภาคบัฟเฟอร์ให้มีกำลังส่งที่แรงมากขึ้นก่อนที่จะส่งออกอากาศ

4. ภาคผสมคลื่น จะทำการผสมสัญญาณเสียงเข้ากับคลื่นพาหะในระบบ AM คือสัญญาณเสียงจะเข้าไปควบคุมความแรง ของคลื่นพาหะให้สูงขึ้นหรือต่ำลง ซึ่งการผสมคลื่นของเครื่องส่งยังแบ่งออกเป็น 2 อย่าง คือ การผสมคลื่นระดับสูง (high level modulation) และการผสมคลื่นระดับต่ำ (low level modulation)

5. ภาคขยายเสียง (AF speech amplifier) จะทำการขยายสัญญาณเสียง ที่กำเนิดขึ้นมาจากไมโครโฟนให้มีระดับความแรงมากขึ้นก่อนที่จะส่งไปยังภาคผสมคลื่น

6. ภาคจ่ายไฟ (Power Supply) จะจ่ายไฟ DC ไปเลี้ยงภาคต่าง ๆ ของเครื่องส่งสัญญาณ

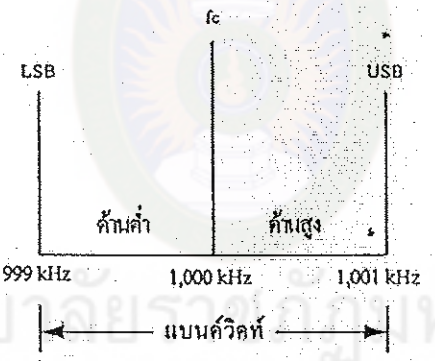
มหาวิทยาลัยราชภัฏหมาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY



รูปที่ 2.10 แผนผังการทำงานของเครื่องส่งแบบ AM
ที่มา (ฉัตรชัย วิเศษวิสัย, ธนวัฒน์ พาซื่อ, นิรุตน์ บุตรดอน, และสุรัตน์ สิงห์กันยา, 2546, หน้า 7)

2.1.2.4 ไซด์แบนด์วิทยุ AM ในการผสมคลื่น ระหว่างสัญญาณเสียงกับคลื่นพาหะ จะถูกผสมคลื่นกันทุกภาคผสมคลื่นสามารถกำหนดเปอร์เซ็นต์ในภาคผสมคลื่นได้ว่าผสมกัน กี่เปอร์เซ็นต์รูปคลื่นที่ได้ออกมาความจริงแล้ว เป็นคลื่นผลรวมของความถี่หลายความถี่ ซึ่งเกิดจากการผสมกันหรือหักล้างกันระหว่างสัญญาณเสียงกับคลื่นพาหะ และยังเกิดจากความถี่ทวีคูณ ของคลื่นพาหะทั้งหมดนี้เป็นความถี่ที่เกิดขึ้นมา

นอกจากนี้แล้วยังมีความถี่ฮาร์โมนิคอื่น ๆ อีก แต่มีกำลังอ่อนมาก จึงไม่มีผลต่อการรบกวนของเครื่องรับจึงตัดออกไม่นำมาพิจารณา ส่วนความถี่ฮาร์โมนิคที่ 2 นั้นจะถูกกำจัดทิ้งไม่ให้ส่งออก จึงเหลือความถี่ที่ถูกส่งออกอากาศไป โดยสายอากาศเพียง 3 ความถี่ คือ ความถี่คลื่นพาหะ (fc) ไซด์แบนด์ด้านสูง (upper side band :USB) และไซด์แบนด์ด้านต่ำ (lover side band :LSB) แสดงได้ ดังรูปที่ 2.11

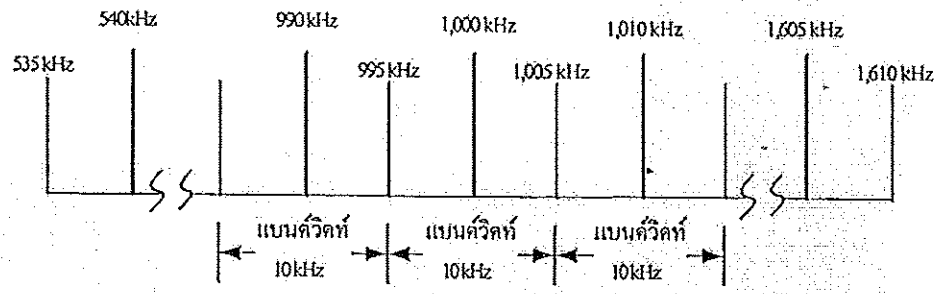


รูปที่ 2.11 สเปคตรัมความถี่ที่ส่งออกของวิทยุ AM
ที่มา (ฉัตรชัย วิเศษวิสัย, ธนวัฒน์ พาชื่อ, นิรุตน์ บุตรดอน, และสุรัตน์ สิงห์กันยา, 2546, หน้า 8)

จากรูปที่ 2.11 สเปกตรัมความถี่จะมีความถี่ที่ถูกส่งออกมาทั้งหมดครอบคลุมตั้งแต่ 999 kHz ถึง 1,000 kHz เราเรียกความกว้างของความถี่ที่ถูกส่งออกนี้ว่าแบนด์วิดท์ ในการส่งวิทยุระบบ AM โดยทั่วไปจะกำหนดให้หนึ่งสถานีมีแบนด์วิดท์กว้าง 10 kHz คือ มีไซด์แบนด์ได้ด้านละ 5 kHz ตามมาตรฐานของ FCC (ในประเทศไทยตามระเบียบว่าด้วยวิทยุกระจายเสียงและโทรทัศน์กำหนดแบนด์วิดท์ไว้กว้างไม่เกิน 20 kHz คือ มีไซด์แบนด์ได้ด้านละ 10 kHz) ในทางปฏิบัติจริงอาจไม่ได้ตามที่กำหนดเอาไว้ก็ได้

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

จำนวนช่องมาตรฐานของวิทยุกระจายเสียงระบบ AM ของ FCC แสดงได้ดังรูปที่ **2.12**

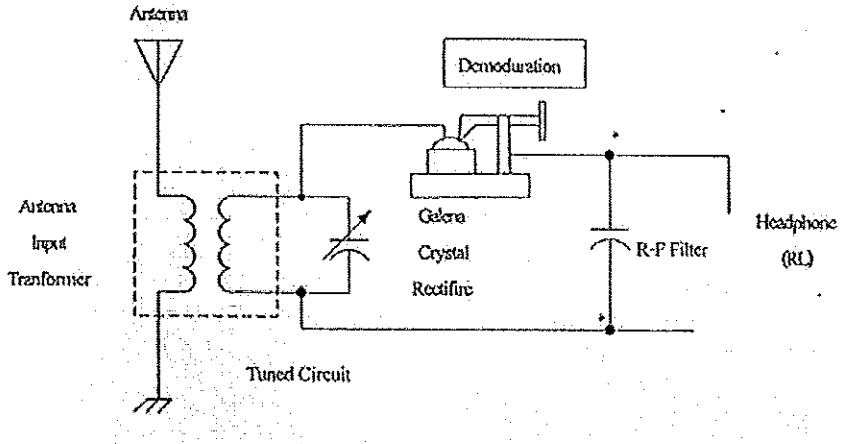


รูปที่ 2.12 จำนวนช่องมาตรฐานของวิทยุกระจายเสียงระบบ AM ของ FCC
ที่มา (ฉัตรชัย วิเศษวิสัย, ธนวัฒน์ พาซื่อ, นิรุตน์ บุตรดอน, และสุรัตน์ สิงห์กันยา, 2546, หน้า 9)

จากรูปที่ 2.12 ในการส่งวิทยุกระจายเสียงในระบบ FM ตามมาตรฐานของ FCCจะมีความถี่อยู่ในย่าน 535 kHz ถึง 1,605 kHz สัญญาณเสียงที่จะผสมกับคลื่นพาหะจะมีความถี่สูงสุดไม่เกิน 5 kHz คลื่นพาหะของสถานีจะมีความถี่ 540 kHz ซึ่งแต่ละสถานีจะมีแบนด์วิดท์ 10 kHz คือ จะมีไซด์แบนด์สถานีละ 5 kHz สถานีสุดท้ายจะมีความถี่ที่ 1,600 kHz จะสามารถบรรจุสถานีได้ทั้งหมด 107 สถานี เช่น สถานีที่ 1 มีคลื่นพาหะ 540 kHz ผสมคลื่นแบบ AM ด้วยสัญญาณเสียงมีความถี่สูงสุด 5 kHz ทำให้ไซด์แบนด์ด้านต่ำ (LSB) ที่ความถี่ 985 kHz และที่ไซด์แบนด์ด้านสูง (USB) มีความถี่ 995 kHz เป็นต้น

2.1.2.5 เครื่องรับวิทยุ เครื่องรับวิทยุเป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ โดยนำเอาอุปกรณ์แต่ละตัวมาประกอบกันเป็นวงจร สามารถรับฟังสัญญาณเสียงที่ส่งกระจายเสียงในระบบของวิทยุ เครื่องรับวิทยุ AM แบ่งได้เป็นหลายประเภทดังนี้

2.1.2.5.1 เครื่องรับวิทยุแร่ (crystal receiver) เครื่องรับวิทยุแร่ถือว่าเป็นพื้นฐานเบื้องต้นของเครื่องรับวิทยุ โดยภายในใช้วงจรแยกคลื่น (demodulator) แยกสัญญาณเสียงออกจากสัญญาณวิทยุและผ่าน C เพื่อกรองสัญญาณพาหะให้หมดไปเหลือเฉพาะสัญญาณเสียง ส่งต่อไปให้หูฟังเปลี่ยนสัญญาณเสียงในรูปพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานเสียงในรูปพลังงานกล คือ ทำให้อากาศรอบ ๆ หูฟังกระเพื่อมตามจังหวะของสัญญาณเสียง แสดงได้ดังรูปที่ **2.13**

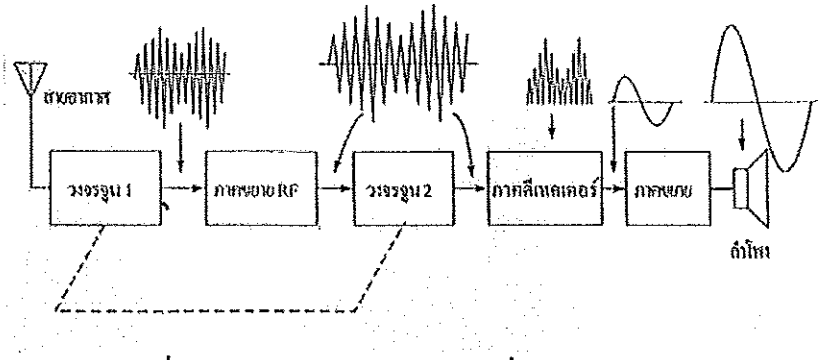


รูปที่ 2.13 เครื่องรับวิทยุแร่
ที่มา (ฉัตรชัย วิเศษวิสัย, ธนวัฒน์ พาซื่อ, นิรุตน์ บุตรดอน, และสุรัตน์ สิงห์กันยา, 2546, หน้า 10)

จากรูปที่ 2.13 เป็นขดลวดสายอากาศ (antenna coil) ทำหน้าที่ส่งผ่านสัญญาณจากสายอากาศมาเข้าวงจรรับความถี่ (tune circuit) C1 เลือกรับความถี่เฉพาะสถานีใดสถานีหนึ่งส่งไปที่คริสตอลเรคติไฟเออร์ ทำหน้าที่เป็นตัวแยกคลื่นหรือเป็นดีเทคเตอร์ คือตัดสัญญาณ AM ออกไปซีกหนึ่งเหลือสัญญาณ ซีกเดียวส่งผ่านสัญญาณเข้าไป วงจรกรองความถี่วิทยุ (RF filter)ทำให้ความถี่พาหะหมดไป เหลือเฉพาะสัญญาณเสียง และส่งต่อไปเข้าหูฟังเกิดสัญญาณขึ้นมา ตัวแยกคลื่นอาจใช้เป็นไดโอดพวกเจอร์มาเนียมไดโอด ซึ่งเป็นไดโอดในภาคดีเทคเตอร์ ในวิทยุ AM แบบซุปเปอร์เฮทเตอร์โรดายน์ ที่ใช้ในปัจจุบัน เช่น เบอร์ IN60 IN54 และIN876 เป็นต้น

2.1.2.5.2 เครื่องรับแบบจูนความถี่วิทยุ (tune radio Frequency ,TRF) เป็นเครื่องรับวิทยุแร่ไม่นิยมใช้งาน เพราะประสิทธิภาพของเครื่องรับนั้นไม่ดี ไม่มีการขยายสถานีที่มีสัญญาณแรง ๆ อาจแทรกเข้ามาได้ และทำให้ ผู้คิดค้นเครื่องรับแบบ TRF ขึ้นมาแทน ซึ่งมีการเลือกรับสถานีที่ดีกว่ามีการขยายสัญญาณ และสามารถใช้ลำโพงแทนหูฟังได้ แสดงได้ดังรูปที่ 2.14

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

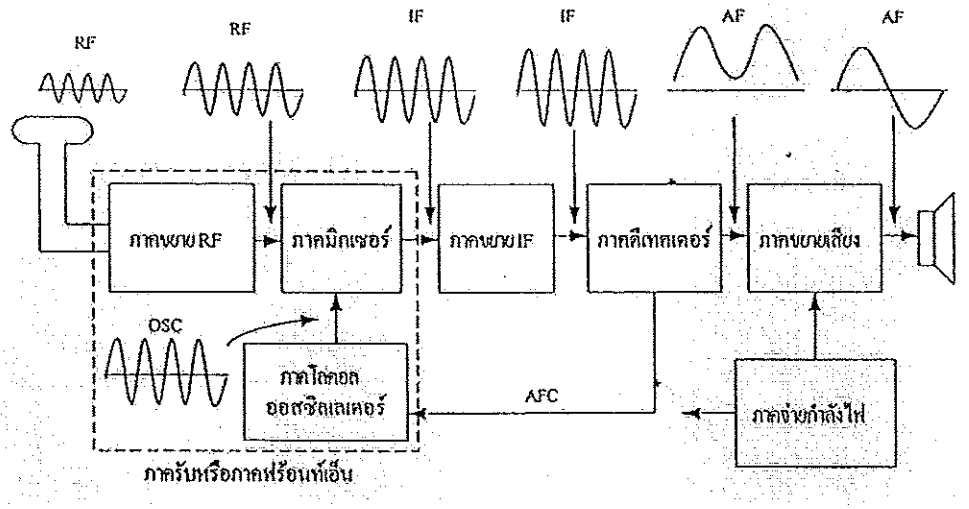


รูปที่ 2.14 แผนผังการทำงานของเครื่องรับวิทยุแบบ TRF
ที่มา (ฉัตรชัย วิเศษวิสัย, ธนวัฒน์ พาชื่อ, นิรุตน์ บุตรดอน, และสุรัตน์ สิงห์กันยา, 2546, หน้า 10)

จากรูปที่ 2.14 เป็นเครื่องรับวิทยุ AM แบบ TRF สัญญาณวิทยุ AM ทุกสถานีจะมารอที่สายอากาศจะถูกวงจรจูนเลือก รับสัญญาณเฉพาะความถี่ใดความถี่หนึ่งที่ตรงกับการตอบสนองความถี่ของวงจร ส่งผ่านความถี่ที่รับได้ไปขยายความถี่ (RF Amp) ความถี่ที่ได้มีความแรงมากขึ้น ส่งผ่านไปเข้าวงจรจูนที่ 2 ซึ่งมีการตอบสนองความถี่ตรงกับวงจรจูน ที่ 1 เพื่อกำหนดความถี่ต่อไปเข้าภาคดีเทคเตอร์ ทำหน้าที่ตัดสัญญาณความถี่วิทยุ AM ออก เครื่องหนึ่งอาจเป็นซีกบวกหรือซีกลบก็ได้ ผ่านวงจรกรองความถี่ ตัดความถี่พาหะทิ้งเหลือไว้เฉพาะสัญญาณเสียง ส่งผ่านไปเข้าวงจรขยายสัญญาณให้แรงขึ้นส่งไปขับลำโพงให้เสียงเปล่งออกมา ซึ่งได้เปรียบเทียบข้อดีของเครื่องรับแบบ TRF ดีกว่าเครื่องรับวิทยุแร่หลายประการ เช่น มีความไวต่อการรับดีขึ้น สามารถรับสัญญาณที่เบา ๆ ได้ดี สามารถแยกรับสัญญาณได้ดี มีความชัดเจนดี และเลือกรับวิทยุที่ต้องการได้ดี

2.1.2.5.3 เครื่องรับวิทยุ AM แบบซุปเปอร์เฮทเตอร์โรดอยน์ (AM Superheterodyne Receiver) เครื่องรับ AM แบบซุปเปอร์เฮทเตอร์โรดอยน์ตามมาตรฐานรับความถี่ที่ 535 kHz - 1,600 kHz แต่ละสถานีจะมีแบนด์วิดท์ประมาณ 10 kHz ขึ้นไปความถี่ปานกลางหรือความถี่ IF มีค่า 455 kHz เป็นมาตรฐานของทุกสถานี เมื่อวงจรปรับความถี่วิทยุ (tune RE) รับความถี่เข้ามาในช่วง 540 kHz - 1,600 kHz (สถานีที่ 1 ความถี่พาหะ 540 kHz และสถานีสุดท้ายความถี่ที่พาหะ 1,600 kHz) ทำให้ภาคออสซิลเลเตอร์กำเนิดความถี่ขึ้นมาในช่วง 540 kHz - 2,055 kHz แสดงได้ ดังรูปที่ 2.15

RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY



รูปที่ 2.15 แผนผังการทำงานของเครื่องรับแบบซุปเปอร์เฮทเตอร์โรดาย
ที่มา (ฉัตรชัย วิเศษวิสัย, ธนวัฒน์ พาชื่อ, นิรุตน์ บุตรดอน,
และสุรัตน์ สิงห์กันยา, 2546, หน้า 13)

จากรูปที่ 2.15 คือ เครื่องรับแบบซุปเปอร์เฮทเตอร์โรดายน์ ประกอบด้วยภาคต่าง ๆ ดังนี้

1. ภาคขยายความถี่วิทยุ ทำหน้าที่รับสัญญาณย่านวิทยุในระบบ AM ที่ความถี่ 535 kHz - 1,600 kHz สถานีใดสถานีหนึ่งเพียงสถานีเดียวผ่านวงจรปรับความถี่วิทยุเข้ามาขยายสัญญาณให้มีความแรงมากพอเพื่อส่งต่อไปเข้าภาคมิกเซอร์

2. ภาคมิกเซอร์ ทำหน้าที่รับสัญญาณ ที่เข้ามาจากภาคขยายความถี่วิทยุ และสัญญาณจากภาคโลคอลซิลเลเตอร์ เพื่อผสมสัญญาณ เพื่อให้ได้สัญญาณออกเอาท์พุทตามที่ต้องการสัญญาณที่ออกจากภาคมิกเซอร์มีทั้งหมด 4 ความถี่ คือ ความถี่ RF ที่รับเข้ามาจากวงจรปรับความถี่ RF ความถี่ที่ส่งมาจากภาคโลคอลออสซิลเลอเตอร์ (OSC) ความถี่ผลต่างระหว่าง OSC กับ RF(OSC-RF) = IF = 455 kHz และความถี่ผลบวกระหว่าง OSC กับ RF = (OSC + RF)

ความถี่ที่สามารถส่งผ่านไปเข้าภาคขยาย IF มีความถี่เดียว คือ OSC - RF = IF = 455 kHz ซึ่งไม่ว่าภาคขยาย RF จะรับความถี่เข้ามาเท่าไร และภาคโลคอลออสซิลเลเตอร์จะผลิตความถี่ขึ้นมากเท่าไร เมื่อผสมกับภาคมิกเซอร์แล้วจะได้ความถี่ IF ออกเอาท์พุท = 455 kHz เสมอ

3. ภาคโลคอลออสซิลเลเตอร์ หรือ OSC ทำหน้าที่ผลิตความถี่ขึ้นมามีความแรงคงที่ ส่วนความถี่จะเปลี่ยนแปลงไปตามความถี่ RF ที่รับเข้ามาซึ่งภาค OSC จะผลิตความถี่ขึ้นมาสูงกว่าความถี่ RF ที่รับเข้ามาเท่ากับความถี่ IF คือ 455 kHz เสมอ

4. ภาคขยายความถี่ไอเอฟ IF มาจากอินเตอร์มิเดียดฟรีเควนซี คือ เป็นความถี่ปานกลาง ที่เกิดจากผลต่างระหว่างความถี่ OSC กับความถี่ RF จะได้ความถี่ IF = 455 kHz เสมอถูกวงจรปรับความถี่ IF เข้ามาขยายในภาคขยายความถี่ IF ให้มีความแรงพอที่จะส่งต่อ ไปยังภาคดีเทคเตอร์

5. ภาคดีเทคเตอร์ ทำหน้าที่ตัดสัญญาณความถี่ IF ออกครึ่งหนึ่ง และกรองเอาความถี่ IF ออกไปให้เหลือเฉพาะความถี่เสียง (AF) ที่ต้องการ แล้วส่งต่อไปยังภาคขยายเสียง บางส่วนของสัญญาณเสียงจะถูกวงจรส่งย้อนกลับมา ยังภาคขยายความถี่วิทยุ เพื่อควบคุมอัตราขยายอัตโนมัติทำให้ความแรงของสัญญาณที่ได้รับแต่ละสถานีมีระดับความแรงที่เท่า ๆ กัน

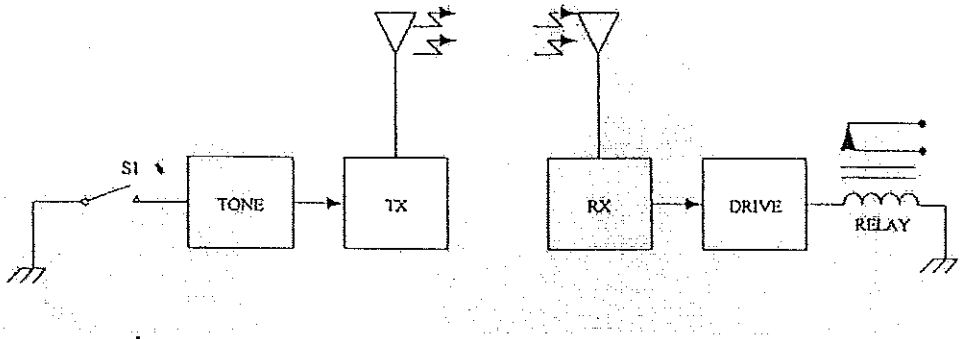
6. ภาคขยายเสียง ทำหน้าที่ขยายสัญญาณเสียง ที่ภาคดีเทคเตอร์ส่งมาให้มีความแรงพอที่จะไปขับลำโพง ให้สั่นตามสัญญาณเสียง และการขยายสัญญาณต้องไม่ผิดเพี้ยน

7. ภาคจ่ายไฟทำหน้าที่จ่ายแรงดันไฟ DC ให้กับวงจรของเครื่องรับวิทยุ AM ทั้งระบบให้สามารถทำงานได้

2.1.2.6 รีโมทคอนโทรล

1. รีโมทควบคุมด้วยคลื่นวิทยุนี้ จะช่วยอำนวยความสะดวกในการควบคุมโหลด เช่น หลอดไฟ มอเตอร์ หรือรถวิทยุบังคับสามารถควบคุมโดยใช้รีเลย์ทำหน้าที่ตัดต่อให้กับโหลด รีโมทควบคุมด้วยคลื่นวิทยุที่ใช้หลักการนำเอาสัญญาณโทนเสียงมาเป็นสัญญาณควบคุมซึ่งจะเริ่มใช้โทนเสียงในวิทยุบังคับแบบหนึ่งช่องก่อน **ดังรูปที่ 2.16**

มหาวิทยาลัยมหาสารคาม MAHASARAKHAM UNIVERSITY



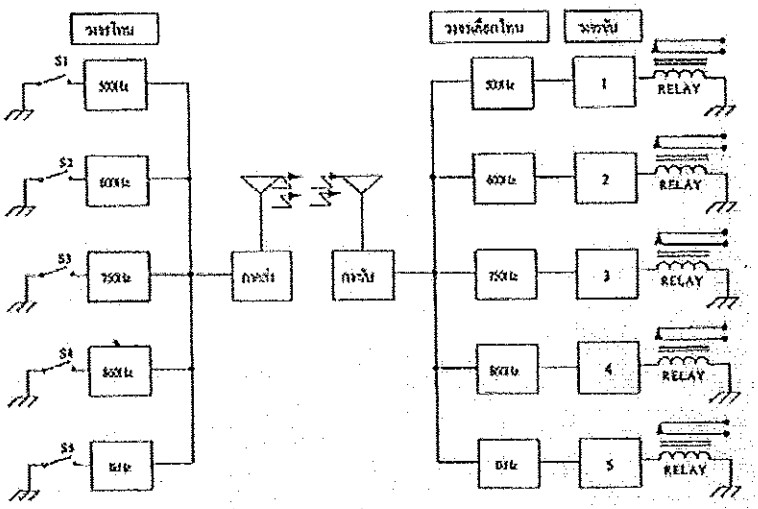
รูปที่ 2.16 แผนผังการทำงานการของวิทยุบังคับ 1 ช่องแบบใช้โทนเสียง
ที่มา (ฉัตรชัย วิเศษวิสัย, ธนวัฒน์ พาซื่อ, นิรุตน์ บุตรดอน,
และสุรัตน์ สิงห์กันยา. 2546, หน้า 13)

จากรูปที่ 2.16 ทางด้านชุดส่งจะประกอบด้วยวงจรสร้างเสียงโทน ซึ่งเสียงโทนนี้เป็นความถี่โดยเรากำหนดขึ้นความถี่ใดความถี่หนึ่งก็ได้ เช่น 400 Hz, 500 Hz, 640 Hz ฯลฯ เราจะนำสัญญาณเสียงที่ป้อนเข้าภาคส่งความถี่โทน จะถูกส่งออกอากาศไปพร้อมกับคลื่นพาหะของภาคส่งโดยคลื่นพาหะจะเป็นความถี่เท่าไรก็ได้แล้วแต่จะออกแบบ เช่น 27 MHz, 30 MHz, 40 MHzและ49 MHz เป็นต้น

ทางด้านรับจะรับสัญญาณที่มาจากชุดส่ง แล้วดีเทคเอาสัญญาณเสียงโทน ที่ต้องการออกจากคลื่นพาหะส่วนสัญญาณเสียงโทนที่ได้ถูกส่งเข้าไปกระตุ้น ให้วงจรขับทำงานเป็นสวิตชิ่งควบคุมให้กับอุปกรณ์ต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็นมอเตอร์ หรืออุปกรณ์อื่นต้องทำงานทุกครั้งตามที่สัญญาณเสียงโทนเข้ามา

เอาต์พุตของวงจรขับอาจจะเป็นมอเตอร์ รีเลย์ โซลินอยด์ หรืออื่น ๆ ก็ได้ แต่ในที่นี้สมมติให้เป็นรีเลย์ ทุกครั้งที่มีสัญญาณความถี่โทนเข้าวงจรขับจะสั่งให้รีเลย์ทำงานสวิตช์ที่รีเลย์ทำงานเองที่จะนำไปทำการเปิดปิดวงจรต่าง ๆ ที่เราจะต้องการควบคุมต่อไป เช่น ปิด-เปิด แอร์ วิทยุ โทรทัศน์ เป็นต้น

2. วิทยุบังคับหลายช่องจากแนวความคิดที่ผ่านมา ถ้าต้องการควบคุมอุปกรณ์หลายอย่าง ก็ต้องใช้ความถี่โทนหลายความถี่ โดยมีชุดความถี่โทนหลาย ๆ ชุด ดังแผนผังการทำงาน ดังรูปที่ 2.17



รูปที่ 2.17 แผนผังการทำงานของวิทยุบังคับหลายช่องแบบใช้ความถี่โทนหลายชุด
ที่มา (ฉัตรชัย วิเศษวิสัย, ธนวัฒน์ พาซื่อ, นิรุตน์ บุตรดอน,
และสุรัตน์ สิงห์กันยา, 2546, หน้า 14)

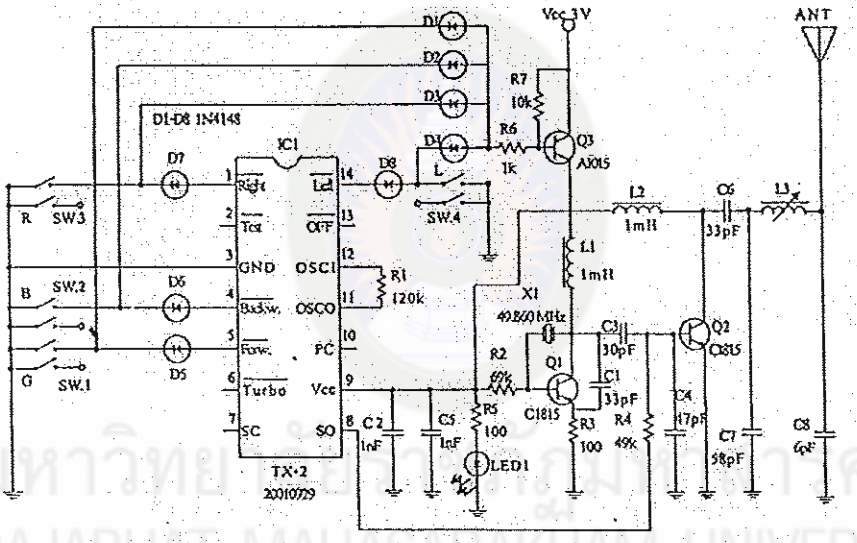
จากรูปที่ 2.17 ในเครื่องส่งมีวงจรสร้างเสียงโทนความถี่ต่าง ๆ เช่น ช่องที่ 1 ความถี่โทน 500 Hz ช่องที่ 2 ความถี่โทน 600 Hz ช่องที่ 3 ความถี่โทน 750 Hz ช่องที่ 4 ความถี่โทน 860 Hz และช่องที่ 5 ความถี่โทน 1 kHz

เมื่อต้องการบังคับช่องที่ 1 เมื่อกด SW1 ให้เป็นสวิตช์ต่อวงจรสร้างความถี่โทน 500 Hz ของช่องที่ 1 จะทำการส่งความถี่โทนไปยังภาคส่ง หรือเมื่อกดสวิตช์ SW2 (ช่อง 5) วงจรสร้างความถี่ 1 kHz จะส่งความถี่โทนไปยังภาคส่งเช่นกัน ซึ่งความถี่โทนของช่องต่าง ๆ ที่ส่งเข้ามาทางภาคส่งจะถูกมอดูเลตกับคลื่นพาหะส่งออกอากาศไป ส่วนในเครื่องรับ ภาครับจะรับสัญญาณเข้ามาดีเทคเอาสัญญาณความถี่โทนคลื่นพาหะ แล้วขยายสัญญาณความถี่โทนให้แรงขึ้น จากนั้นก็ส่งออกไปยังภาคคัดเลือกความถี่ซึ่งจะมีอยู่ด้วยกันหลายชุดเป็นวงจรฟิลเตอร์ที่ตอบสนองความถี่โทนประจำช่องที่ตั้งเอาไว้นั้น เช่น ถ้าหากภาครับส่งความถี่โทน 500 Hz เข้ามา ชุดคัดเลือกความถี่โทน 500 Hz จะส่งผลให้วงจรขับช่องที่ 1 ควบคุมรีเลย์ทำงานของช่องอื่น ๆ ก็เช่นเดียวกันสามารถทำให้ควบคุมอุปกรณ์ต่าง ๆ แยกกันหลายช่องได้

จากหลักการดังกล่าวต้องการบังคับ 10 ช่อง ทางด้านเครื่องส่งจำเป็นต้องมีวงจรผลิตความถี่โทน 10 วงจร และเครื่องรับก็ต้องมีวงจรฟิลเตอร์เพื่อคัดเลือกความถี่โทนทั้ง 10 วงจร นอกจากจะยุ่งยากและสินเปลืองแล้วแบนด์วิทของแต่ละภาคความถี่ยังจะรบกวนกันได้ง่ายด้วย

2.1.2.7 วงจรรับ - ส่งสัญญาณรีโมท วงจรรับ - ส่งสัญญาณรีโมททำหน้าที่สั่งให้ชุดควบคุมมอเตอร์ทำงานตามที่ต้องการ โดยจะส่งคำสั่งมาจากเครื่องส่งสัญญาณรีโมท และเครื่องรับสัญญาณรีโมทก็รับสัญญาณ สั่งให้ชุดควบคุมมอเตอร์ไปสั่งให้มอเตอร์ทำงานตามที่ได้รับสัญญาณมาจากเครื่องรับ การทำงานของวงจรเครื่องส่งและเครื่องส่งสัญญาณรีโมท มีดังนี้

1. วงจร และการทำงานของเครื่องส่งสัญญาณรีโมท เครื่องส่งสัญญาณรีโมท เป็นอุปกรณ์ที่ผลิตความถี่วิทยุ เพื่อส่งสัญญาณมาควบคุมเครื่องรับสัญญาณรีโมท เพื่อควบคุมการทำงานของหุ่นยนต์ ซึ่งภายในเครื่องส่งสัญญาณรีโมท จะประกอบไปด้วยวงจรภาคต่าง ๆ เช่น วงจรสวิตช์อิเล็กทรอนิกส์ วงจรผลิตความถี่คลื่นพาหะ วงจรผสมสัญญาณ และวงจรส่งสัญญาณวิทยุ **ดังรูปที่ 2.18**



รูปที่ 2.18 วงจรเครื่องส่งสัญญาณรีโมท
ที่มา (ฉัตรชัย วิเศษวิสัย, ธนวัฒน์ พาซื่อ, นิรุตน์ บุตรดอน, และสุรัตน์ สิงห์กันยา, 2546, หน้า 37)

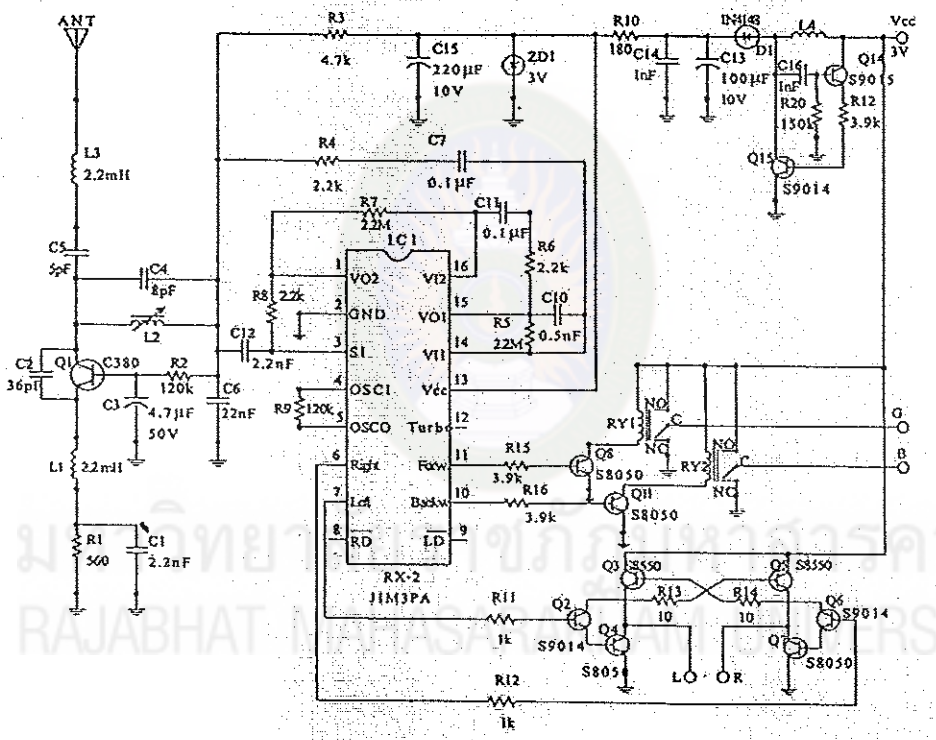
จากรูปที่ 2.18 เมื่อกดสวิตช์ตัวใดตัวหนึ่งจะทำให้ไฟลบไหลผ่านรีซิสเตอร์ 1000 Ω มาไบอัสที่ขาเบสของทรานซิสเตอร์ Q3 ทำให้กระแสไหลในวงจร และไฟลบอีกส่วนหนึ่งจะไหลผ่านไดโอดมาเข้าไอซีเบอร์ TX-2 20010929 ส่วนไฟบวกจะไหลผ่านขดลวด L1เพื่อป้อนให้แก่คริสตอล X1 ซึ่งเป็นภาคผลิตความถี่จะผลิตความถี่ออกมา 49.86 MHz ส่งไปยังทรานซิสเตอร์ Q1 ส่วน Q1 จะทำหน้าที่ขยายสัญญาณความถี่ให้ไอซีเบอร์ TX-2 20010929

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

123350

ผลิตความถี่เอาท์พุตที่ขา 8 ส่งไปยังทรานซิสเตอร์ Q2 ส่วนทรานซิสเตอร์ Q2 จะทำหน้าที่ขยายสัญญาณครั้งสุดท้ายและส่งไปยังตัวรับ

2. วงจรและการทำงานเครื่องรับสัญญาณรีโมท หลังจากที่เครื่องส่งสัญญาณรีโมทส่งสัญญาณมายังเครื่องรับสัญญาณรีโมทแล้ว เครื่องรับสัญญาณรีโมท ก็จะรับสัญญาณที่ส่งมาแล้วทำการขยายและถอดรหัสสัญญาณแล้วทำการขยายอีกครั้งเพื่อที่จะขับโหลดได้ ภายในเครื่องรับสัญญาณรีโมทจะประกอบไปด้วยวงจรภาคต่าง ๆ เช่น วงจรขยายเบื้องต้น วงจรปรับความถี่ วงจรถอดรหัส และวงจรขยายเพื่อขับโหลด **ดังรูปที่ 2.19**



รูปที่ 2.19 วงจรเครื่องรับสัญญาณรีโมท
ที่มา (ฉัตรชัย วิเศษวิสัย, ธนวัฒน์ พาซื่อ, นิรุตน์ บุตรดอน, และสุรัตน์ สิงห์กันยา, 2546, หน้า 38)

จากรูปที่ 2.19 เมื่อจ่ายไฟให้กับวงจรที่จุด VCC 3V กระแสจะไหลเข้าที่ขา E ของ Q14 อีกส่วนหนึ่งจะไหลผ่านขดลวด L4 เข้าที่ขา C ของ Q15 และมี C16 ทำหน้าที่คัปปลิ้งสัญญาณไบอัสที่ขา B ของ Q14 ทำให้กระแสไฟผ่าน Q14 ได้ R12 ทำหน้าที่จำกัดกระแสที่จะป้อนไบอัสที่ขา B ของ Q15 เมื่อ Q15 ทำงานก็จะมีกระแสไฟไหลในวงจร

ผ่านไดโอด D1 เพื่อป้องกันการไหลย้อนกลับของกระแส C13 จะทำหน้าที่ฟิลเตอร์ R10 จะทำหน้าที่จำกัดกระแสที่จะป้อนให้กลับ IC1 และมีซีเนอร์ไดโอด ZD1 ทำหน้าที่ควบคุมแรงดัน ส่วน C15 จะทำหน้าที่ฟิลเตอร์อีกครั้งก่อนที่จะป้อนเข้าที่ขา 12 ของ IC1 เมื่อเครื่องรับสัญญาณเข้ามาจะมาผ่านที่ขดลวด L3 และมี C5 ทำหน้าที่คัปปลิ้งสัญญาณมาให้ทรานซิสเตอร์ Q1 ทำหน้าที่ขยายสัญญาณ และส่งสัญญาณดังกล่าวเข้าที่ขา 14 ของ IC1 ส่วน IC1 จะทำหน้าที่ประมวลผลจากสัญญาณที่ได้รับเข้ามา ถ้าเป็นคำสั่งเดินหน้าก็จะส่งสัญญาณดังกล่าวออกมาที่ขา 11 ของ IC1 ส่งไปให้ทรานซิสเตอร์ Q8 ขยายสัญญาณและขับให้รีเลย์ RY1 ทำงาน ถ้าเป็นคำสั่งถอยหลังก็จะส่งสัญญาณดังกล่าวออกที่ขา 10 ของ IC1 ส่งไปให้ทรานซิสเตอร์ Q11 ขยายสัญญาณ และขับให้รีเลย์ RY2 ทำงาน ถ้าเป็นคำสั่งเลี้ยวซ้ายก็จะส่งสัญญาณดังกล่าวออก ที่ขา 7 ของ IC1 ส่งไปให้ทรานซิสเตอร์ Q2, Q4 และ Q5 ขยายสัญญาณและขับโหลดดังกล่าว ถ้าเป็นคำสั่งเลี้ยวขวาก็จะส่งสัญญาณดังกล่าวออกที่ ขา 6 ของ IC1 ส่งไปให้ทรานซิสเตอร์ Q3, Q6 และ Q7 ขยายสัญญาณและขับโหลด ดังกล่าว

2.2 มอเตอร์กระแสตรง

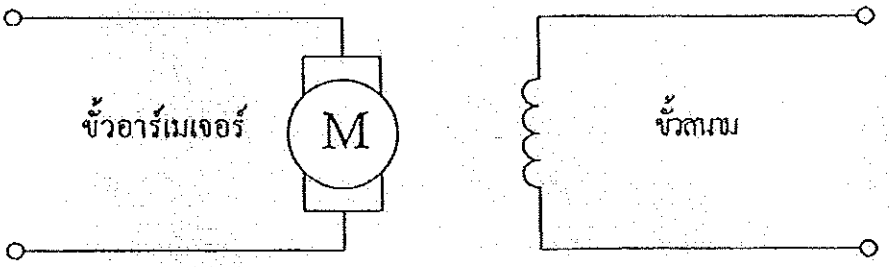
มอเตอร์กระแสตรง จะมีหลักการทำงานโดยวิธีการผ่านกระแส ให้กับขดลวดในสนามแม่เหล็ก ซึ่งจะทำให้เกิดแรงแม่เหล็ก โดยส่วนของแรงนี้จะขึ้นอยู่กับกระแสและกำลังของสนามแม่เหล็ก ทางเดินของฟลั๊กซ์แม่เหล็กและสนามแม่เหล็กเกิดจากแท่งแม่เหล็กเฟอร์ไรต์ 2 ชิ้น ที่ขึ้นรูปเป็นแบบโค้งยึดติดกับตัวถังได้พอดี เพื่อที่จะให้เส้นแรงแม่เหล็กวิ่งเข้าสู่ใจกลางของมอเตอร์ได้ ดังนั้นความเข้มของแม่เหล็กจะขึ้นอยู่กับ ขนาดความหนาของแม่เหล็กด้วยซึ่งส่งผลให้ฟลั๊กซ์แม่เหล็กวิ่งไปบนตัวถังโลหะ กระแสไฟฟ้าในขดลวดที่พันกับทุ่นโรเตอร์ก็จะทำให้เกิดสนามแม่เหล็กไฟฟ้า และต้านกับสนามแม่เหล็กถาวร จึงเกิดเป็นแรงบิดเพื่อที่จะหมุนทุ่นโรเตอร์ให้ไปในทิศทางเดียวกันกับทิศทางของสนามแม่เหล็กที่มีแรงมากกว่า กระแสก็จะไหลผ่านไปยังทุ่นโรเตอร์โดยผ่านแปรงถ่าน ซึ่งจะสัมผัสกับแหวนตัวนำในทุ่นโรเตอร์และแหวนคอมมิวเตเตอร์ซึ่งจะถูกแบ่งออกเป็น 3 เซกเมนต์ เพื่อที่จะทำหน้าที่นำกระแสเข้าขดลวดนั้นเอง

2.2.1 ประเภทของมอเตอร์กระแสตรง

มอเตอร์กระแสตรงนั้น สามารถจำแนกออกได้หลายประเภท ขึ้นอยู่กับวิธีการสร้างที่รู้จักกันเป็นส่วนใหญ่ในปัจจุบันก็คือ มอเตอร์กระแสตรงแบบขนาน แบบอนุกรม และแบบแม่เหล็กถาวร

มหาวิทยาลัยบูรพา BURAPHA UNIVERSITY

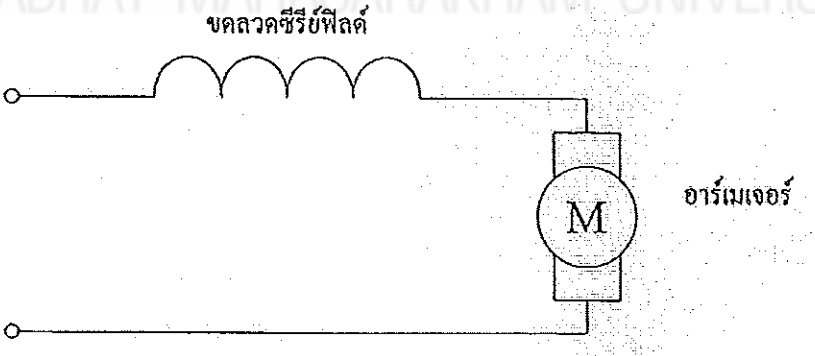
2.2.1.1 มอเตอร์กระแสตรงแบบขนาน มอเตอร์แบบนี้สามารถปรับเส้นแรงแม่เหล็กได้อย่างอิสระต่อกระแสอาร์เมเจอร์ เป็นผลให้สามารถควบคุมพารามิเตอร์ของมอเตอร์ให้มีค่าคงที่ได้ตลอดช่วงพิสัยที่กว้างมอเตอร์ชนิดนี้ จึงมักใช้ในงานระบบที่ควบคุมการเคลื่อนที่ที่ต้องการแรงบิดสูง โดยโครงสร้างของมอเตอร์กระแสตรงแบบขนานแสดงได้ **ดังรูปที่ 2.20**



รูปที่ 2.20 โครงสร้างของมอเตอร์กระแสตรงแบบขนาน
ที่มา (ชวลิต ผุยแปล, ไทยคณิต มาบุญธรรม, ปิยะพงษ์ บัวแก้ว, และสมศักดิ์ มาลยานนท์, 2546, หน้า 15)

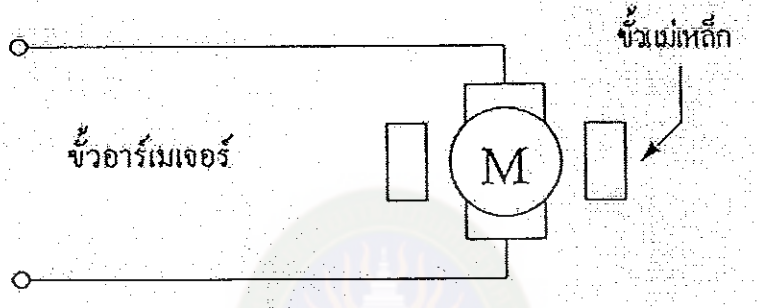
2.2.1.2 มอเตอร์กระแสตรงแบบอนุกรม มอเตอร์แบบนี้จะมีเส้นแรงแม่เหล็กเป็นสัดส่วนกับกระแส ดังนั้นเส้นแรงแม่เหล็กของสนามแม่เหล็กจึงสามารถปรับค่าได้ซึ่งเราจะได้ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็ว และแรงบิดเป็นนอนลิเนียร์ จึงเหมาะที่จะนำไปใช้งานในภาวะเฉพาะ คือเมื่อต้องการแรงบิดสูงที่ความเร็วต่ำ และแรงบิดต่ำที่ความเร็วสูง เช่น ระบบการขับเคลื่อนของรถลาก โครงสร้างของมอเตอร์กระแสตรงแบบอนุกรมแสดงได้ **ดังรูปที่ 2.21**

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY



รูปที่ 2.21 โครงสร้างของมอเตอร์กระแสตรงแบบอนุกรม
ที่มา (ชวลิต ผุยแปล, ไทยคณิต มาบุญธรรม, ปิยะพงษ์ บัวแก้ว, และสมศักดิ์ มาลยานนท์, 2546, หน้า 16)

2.2.1.3 มอเตอร์กระแสตรงแบบแม่เหล็กถาวร มอเตอร์แบบนี้ จะใช้การกระตุ้นฟิลด์ของมอเตอร์เป็นแม่เหล็ก ซึ่งต่างจากที่กล่าวมาข้างต้นที่ใช้ขดลวดซีรีย์ฟิลด์ ซึ่งจะให้เส้นแรง ของฟิลด์มีค่าคงที่ ดังนั้นอัตราส่วนระหว่างกระแสอาร์เมเจอร์ และแรงบิดจะมีค่าคงที่ ซึ่งมีข้อดี คือ ไม่มีกำลังสูญเสียในฟิลด์มีประสิทธิภาพสูงกว่า และมีขนาดเล็กกว่าเมื่อเทียบกับแบบใช้ขดลวด ในการกระตุ้นที่มีขนาดกำลังม้าเท่ากัน จึงเหมาะกับงานที่ต้องการแรงบิดของโหลดสูง โครงสร้างของมอเตอร์กระแสตรงแบบแม่เหล็กถาวรแสดงได้ ดังรูปที่ 2.22

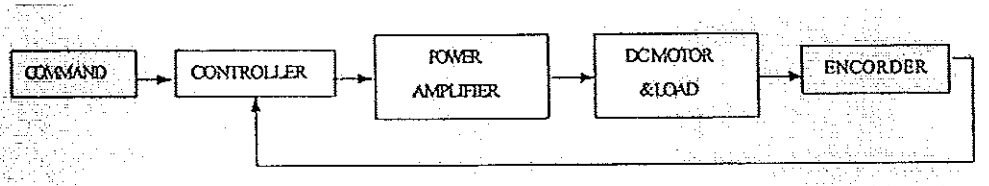


รูปที่ 2.22 โครงสร้างของมอเตอร์กระแสตรงแบบแม่เหล็กถาวร
ที่มา (ชวลิต ผุยแปล, ไทยคณิต มาบุญธรรม, ปิยะพงษ์ บัวแก้ว, และสมศักดิ์ มาลยานนท์. 2546, หน้า 16)

2.2.2 ระบบการควบคุมมอเตอร์กระแสตรงแบบพื้นฐาน

ระบบการควบคุมมอเตอร์กระแสตรงแบบพื้นฐาน จะส่วนประกอบต่าง ๆ ดัง**รูปที่ 2.23**

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY



รูปที่ 2.23 ระบบการควบคุมมอเตอร์กระแสตรงแบบพื้นฐาน
ที่มา (ชวลิต ผุยแปล, ไทยคณิต มาบุญธรรม, ปิยะพงษ์ บัวแก้ว และสมศักดิ์ มาลยานนท์, 2546, หน้า 16)

จากรูปที่ 2.23 อธิบายได้ดังนี้

2.2.2.1 ตัวควบคุม เป็นระบบที่ทำให้เกิดสัญญาณควบคุมนำไปบังคับมอเตอร์กระแสตรงและโหลด ซึ่งอาจจะเป็นอนาลอกหรือดิจิตอลก็ได้

2.2.2.2 Power Amplifer หรือส่วนตัวขับ ทำหน้าที่ปรับปรุง และขยายสัญญาณให้เหมาะสมก่อนที่จะป้อนไปขับมอเตอร์กระแสตรง ซึ่งแยกเป็น ลิเนียร์เพาเวอร์แอมปลิไพล์ และพัลส์วิดท์โมดูเลชั่น

2.2.2.3 ลิเนียร์เพาเวอร์แอมปลิไพล์ เป็นการควบคุมมอเตอร์แบบต่อเนื่อง แต่ก็จะมีความสูญเสียทางกำลังงานสูง เพราะเนื่องจากการกำลังงานส่วนใหญ่จะสูญเสียในทางเอาท์พุทของทรานซิสเตอร์เป็นจำนวนมาก เพราะขณะมอเตอร์ไม่ทำงานทรานซิสเตอร์ส่วนนี้ก็ต้องแบกภาระเนื่องจากมีกระแสไหลผ่านตัวมัน

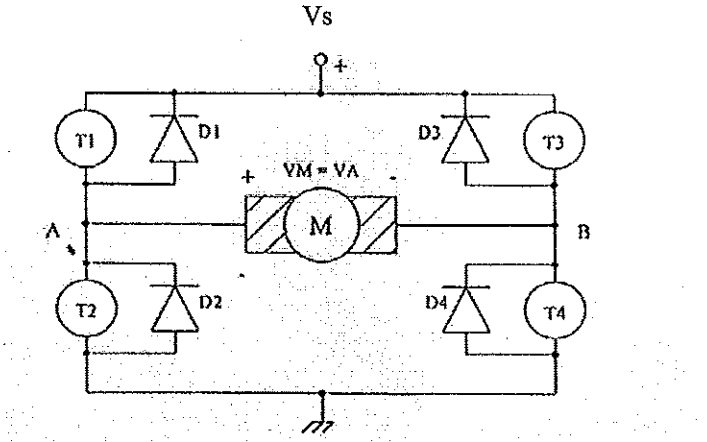
2.2.2.4 พัลส์วิดท์โมดูเลชั่น เป็นสวิตช์แอมปลิไพล์ คือการควบคุมโวลท์เตจของมอเตอร์โดยการปรับ duty cycle ของโวลท์เตจที่จ่ายให้กับมอเตอร์ และให้มันทำงานทุก ๆ ภาวะอิ่มตัวหรือภาวะไม่นำกระแส ด้วยเหตุนี้กำลังสูญเสียน้อย เนื่องจากเมื่อทรานซิสเตอร์นำกระแส แรงดันตกคร่อมตัวมันจะน้อยจนตัดทิ้งได้ และเมื่อหยุดนำกระแส แรงดันตกคร่อมจะเท่ากับ VCC ดังนั้นกระแสไหลผ่านจึงน้อยมากประมาณศูนย์ แต่จะใช้กับความถี่สูงได้ไม่ดี และความถี่ต้องคงที่ ไม่เช่นนั้นอาจเกิดออสซิเลทขึ้นได้

2.2.2.5 มอเตอร์กระแสตรง และโหลด คือ ระบบที่ถูกคอนโทรลหรือส่วนที่ออกแรงทำงานซึ่งจะเป็นเครื่องจักรกล

2.2.2.6 Encoder หรือเรียกว่า ฟีดแบ็คทรานสดิวเซอร์ ใช้สำหรับรับรู้และตรวจจับสัญญาณเทางเอาต์พุตที่ต้องการ โดยจะไม่มีผลของการโหลดดิ้ง สัญญาณที่ตรวจจับได้นี้จะป้อนกลับ เพื่อไปเปรียบเทียบกับสัญญาณอ้างอิง เพื่อควบคุมมอเตอร์อีกที ซึ่งฟีดแบ็คทรานสดิวเซอร์นี้จะแบ่งเป็นอนาลอกและดิจิตอล

2.2.3 การทำงานของการขยายแบบพัลส์วิดท์โมดูเลชั่น

แอมปลิไพล์แบบพัลส์วิดท์โมดูเลชั่น สามารถแบ่งได้เป็น 3 ชนิด ตามลักษณะการทำงาน คือ ไบโพล่าร์ ยูนิโพล่าร์ และลิมิตยูนิโพล่าร์ ซึ่งวงจรพื้นฐานจะเป็นดังรูปที่ 2.24



รูปที่ 2.24 วงจรพื้นฐานของการขยายแบบควบคุมโวลต์เตจมอเตอร์
ที่มา (ชวลิต ผุยแปล, ไทยคณิต มาบุญธรรม, ปิยะพงษ์ บัวแก้ว, และสมศักดิ์ มาลยานนท์, 2546, หน้า 18)

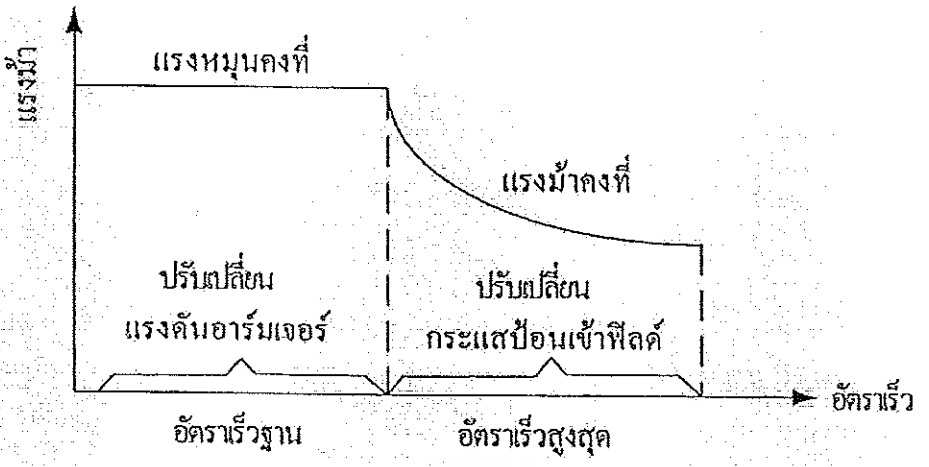
ซึ่งทั้ง 3 ชนิดสามารถอธิบายด้วยวงจรพื้นฐานนี้ได้ต่างกันตรงการควบคุม ON, OFF ของทรานซิสเตอร์ ซึ่งในที่นี้จะกล่าวเฉพาะแบบไบโพล่าร์เพราะเป็นแบบที่ควบคุมและเข้าใจง่าย คือ เมื่อให้มอเตอร์อยู่ในเฟส ON ก็ให้ T1 กับ T4 ON และ T2 กับ T3 OFF ดังนั้นกระแสจะไหลจาก Vs ผ่าน T1 มอเตอร์ และ T4 ลงกราวด์ ดังนั้น Vm = Vs (มอเตอร์หมุนตามเข็มนาฬิกา) เมื่อให้มอเตอร์อยู่ในเฟส OFF ให้ T2 กับ T3 ON และ T1 กับ T4 OFF ดังนั้นกระแสจะไหลจาก Vs ผ่าน T3 ขั้วลบมอเตอร์ T2 และลงกราวด์ ดังนั้น Vm = Vs (มอเตอร์หมุนทวนเข็มนาฬิกา)

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

2.2.4 การควบคุมความเร็วของมอเตอร์กระแสตรง

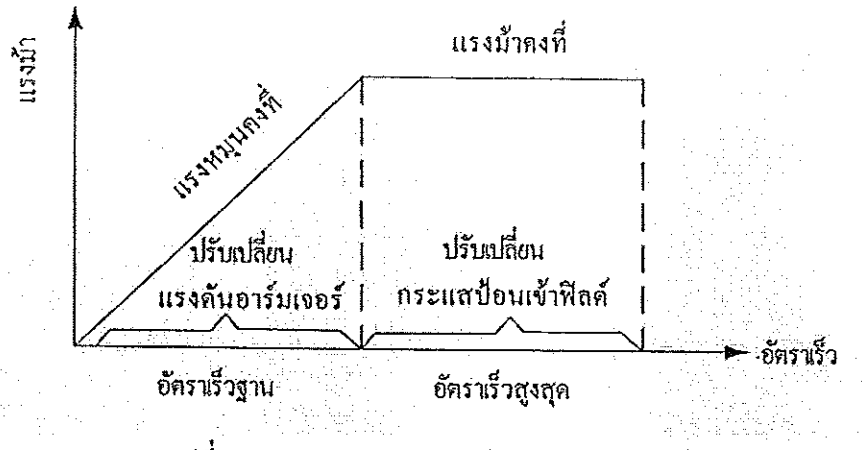
การควบคุมความเร็วของมอเตอร์กระแสตรงทำได้ 2 วิธี คือ

1. การควบคุมแรงดันไฟกระแสตรงของอาร์เมเจอร์ เนื่องจากความเร็วของมอเตอร์กระแสตรงแปรผันตรงกับแรงดัน ที่ได้กับขดลวดอาร์เมเจอร์ ดังนั้นเราจึงสามารถควบคุมความเร็วของมอเตอร์ โดยการควบคุมแรงดันของอาร์เมเจอร์ วิธีการนี้จะใช้ในช่วงความเร็วที่ต่ำกว่าความเร็วที่กำหนด หรือ n base การควบคุมแบบนี้จะทำให้แรงบิดสูงสุดของมอเตอร์มีค่าคงที่ตลอดช่วงความเร็วเมื่อกระแสอาร์เมเจอร์มีค่าเท่ากับค่าสูงสุด ส่วนกำลังออกของมอเตอร์จะเพิ่มขึ้นตามความเร็วที่เป็นเส้นตรง **ดังรูปที่ 2.25** โดยจะมีกำลังออกสูงสุดที่ความเร็วที่กำหนด การควบคุมความเร็วของมอเตอร์กระแสตรงโดยทั่วไปจะใช้วิธีนี้เพราะให้แรงบิดสูง



รูปที่ 2.25 การควบคุมแรงดันไฟตรงของอาร์เมเจอร์
ที่มา (ชวลิต ผุยแปล, ไทยคณิต มาบุญธรรม, ปิยะพงษ์ บัวแก้ว, และสมศักดิ์ มาลยานนท์, 2546 , หน้า 19)

2. การควบคุมความเข้มของสนามแม่เหล็ก การควบคุมความเร็วของมอเตอร์กระแสตรงในย่านความเร็วที่สูงกว่าความเร็วที่กำหนด จะทำได้โดยการควบคุมกระแสของขดลวดสร้างสนามแม่เหล็กของมอเตอร์ เมื่อเราต้องการเพิ่มความเร็วเราจะต้องลดขนาดของกระแสของขดลวดลง การลดความเข้มของสนามแม่เหล็กของมอเตอร์ จะมีผลทำให้แรงบิดสูงสุดของมอเตอร์ลดลง ขณะที่กำลังออกสูงสุดของมอเตอร์จะไม่เปลี่ยนแปลง ดังรูปที่ 2.26 วิธีนี้จะใช้กับโหลดที่ต้องการความเร็วสูง โดยที่แรงบิดของโหลดจะต้องลดลงเมื่อความเร็วเพิ่มขึ้น ไม่เช่นนั้นจะเป็นการโอเวอร์โหลดมอเตอร์



รูปที่ 2.26 การควบคุมความเข้มของสนามแม่เหล็ก
ที่มา (ชวลิต ผุยแปล, ไทยคณิต มาบุญธรรม, ปิยะพงษ์ บัวแก้ว, และสมศักดิ์ มาลยานนท์, 2546 , หน้า 19)

2.2.5 การขับและกลับทิศทางของมอเตอร์กระแสตรง (DC motor)

ในการใช้ไอซีไมโครคอนโทรเลอร์ เป็นตัวควบคุมการหมุนและทิศทางของมอเตอร์กระแสตรงนั้น เราจะต้องมีส่วนของวงจรที่เรียกว่า วงจรขับมอเตอร์ (driver) ในส่วนของวงจรกลับทิศทางของมอเตอร์นั้น สามารถที่จะใช้รีเลย์ต่อวงจรสวิตช์ เพื่อกลับทิศทางของขั้วไฟกระแสตรง หรืออาจใช้อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำที่เป็นวงจรขับกำลัง เช่น ทรานซิสเตอร์ มอสเฟต เป็นต้น

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

2.2.6 วิธีการมอดูเลชั่นทางความกว้างของพัลส์ (pulse width modulation, PWM)

วิธีการมอดูเลชั่นทางความกว้างของพัลส์ จะเป็นการปรับเปลี่ยนที่สัดส่วนและความกว้างของสัญญาณพัลส์ โดยความถี่ของสัญญาณพัลส์จะไม่มีการเปลี่ยนแปลงหรือเป็นการเปลี่ยนแปลงที่ค่าของดิวตี้ไซเกิล (duty cycle) ซึ่งค่าของดิวตี้ไซเคิลคือช่วงความกว้างของพัลส์ที่มีสถานะลอจิกสูง โดยคิดสัดส่วนเป็นเปอร์เซ็นต์จาก ความกว้างของพัลส์ทั้งหมด เช่น ถ้าหากค่าดิวตี้ไซเคิลมีค่าเท่ากับเท่ากับ 50% ก็หมายถึงใน 1 รูปสัญญาณพัลส์จะมีช่วงของสัญญาณที่เป็นสถานะลอจิกสูงอยู่ครึ่งหนึ่ง และสถานะลอจิกต่ำอยู่อีกครึ่งหนึ่ง และในทำนองเดียวกันถ้าหากค่าดิวตี้ไซเคิล มีค่ามากหมายความว่าความกว้าง ของพัลส์ที่เป็นสถานะลอจิกสูงจะมีความกว้างมากขึ้น หากค่าดิวตี้ไซเคิลมีค่าเท่ากับ 100% ก็หมายความว่าจะไม่มีสถานะลอจิกต่ำเลย ซึ่งค่าดิวตี้ไซเคิลสามารถหาได้จากค่าความสัมพันธ์ดังนี้

ค่าดิวตี้ไซเคิล = (ช่วงของสัญญาณพัลส์/คาบเวลาทั้งหมดของสัญญาณ) X100%

2.3 รีเลย์ (Relay)

เป็นอุปกรณ์ ทำหน้าที่เป็นสวิตช์มีหลักการทำงานคล้ายกับขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้าหรือ โซลินอยด์ (solenoid) รีเลย์ใช้ในการควบคุมวงจรไฟฟ้าได้อย่างหลากหลาย รีเลย์เป็นสวิตช์ควบคุมเป็นอุปกรณ์แม่เหล็ก (magnetic device) ที่สุดแสนจะเก่าแก่และโบราณปัจจุบันก็นิยมใช้กันอยู่ แต่ในปัจจุบันนี้รีเลย์ถูกพัฒนาให้มีคุณภาพดีกว่าสมัยก่อนมาก แต่ยังคงหลักการและโครงสร้างเดิมเอาไว้แบบร้อยเปอร์เซ็นต์ ภายในโครงสร้างของรีเลย์จะประกอบไปด้วยขดลวด (coil) 1 ชุด และหน้าสัมผัส (contactor) ซึ่งในหน้าสัมผัส 1 ชุด จะประกอบไปด้วย

หน้าสัมผัสแบบปกติปิด (normally close หรือ NC.) ซึ่งในภาวะปกติ ขานี้จะต่ออยู่กับขาร่วม (common)

หน้าสัมผัสแบบปกติเปิด (normally open หรือ NO.) ขานี้จะต่อเข้ากับขาร่วม (common) เมื่อมีแรงดันตกคร่อมหรือกระแสไฟฟ้าไหลผ่าน(ในปริมาณที่เพียงพอ)ในรีเลย์ 1 ตัว อาจมีหน้าสัมผัสมากกว่า 1 ชุด เช่น 2 ชุด, 4 ชุด เป็นต้น (แล้วแต่ผู้ผลิต) เมื่อขดลวดได้รับแรงดันตกคร่อม (ขาA และขา B) จะทำให้มีกระแสไหลผ่านขดลวด ซึ่งจะทำให้เกิดอำนาจสนามแม่เหล็ก ดึงดูดให้หน้าสัมผัส NO และ C ติดกัน รีเลย์แบ่งออกตามลักษณะการใช้งานได้เป็น 2 ประเภทคือ

2.3.1 รีเลย์กำลัง (power relay) หรือมักเรียกว่า คอนแทกเตอ (contactor or magnetic contactor) ใช้ในการควบคุมไฟฟ้ากำลังมีขนาดใหญ่กว่ารีเลย์ธรรมดา

2.3.2 รีเลย์ควบคุม (control relay) มีขนาดเล็กกำลังไฟฟ้าต่ำ ใช้ในวงจรทั่วไปที่มีกำลังไฟฟ้าไม่ต่ำมากนัก หรือเพื่อควบคุมรีเลย์หรือคอนแทกเตอร์ขนาดใหญ่ รีเลย์ควบคุมบางทีเรียกกันง่าย ๆ ว่า "รีเลย์" หน้าที่ของคอยแทกเตอร์ คือ การใช้กำลังไฟฟ้าจำนวนน้อยเพื่อไปควบคุมการตัดต่อกำลังไฟฟ้าจำนวนมาก คอนแทกเตอร์ทำให้เราสามารถควบคุมกำลังไฟฟ้าในตำแหน่งอื่น ๆ ของระบบไฟฟ้าได้สายไฟฟ้าควบคุมให้ระบบรีเลย์กำลัง หรือคอนแทกเตอร์ทำงานเป็นสายไฟขนาดเล็กต่อเข้ากับสวิตช์ควบคุม และคอยล์ของคอนแทกเตอร์กำลังไฟฟ้าที่ป้อนเข้าคอยล์อาจจะเป็นไฟฟ้ากระแสตรง หรือไฟฟ้ากระแสสลับก็ได้ขึ้นอยู่กับการออกแบบการใช้คอนแทกเตอร์ ทำให้สามารถควบคุมวงจรจากระยะไกล (remote) ได้ซึ่งทำให้เกิดความปลอดภัยกับผู้ปฏิบัติงานในการควบคุมกำลังไฟฟ้า

รีเลย์จะเป็นอุปกรณ์ที่นำมาประยุกต์สร้างเป็นวงจร H-Bridge switching ได้ แต่รีเลย์นั้นเป็นอุปกรณ์แม่เหล็ก ที่มีส่วนเคลื่อนไหวทางกลเพราะฉะนั้นก็ย่อมจะมีข้อจำกัดทางกลอยู่บ้าง เช่น ผลกระทบต่อการตอบสนองรีเลย์เป็นอุปกรณ์ที่มีความเร็วในการทำงานต่ำ เช่น รีเลย์ชนิดแรงดันต่ำ (กระตุ้นขดลวดไม่เกิน 24 V) จะใช้เวลาในการทำงาน 10 – 50 ms และรีเลย์ขนาดใหญ่ที่ใช้ควบคุมมอเตอร์ในโรงงานอุตสาหกรรมนั้นอาจใช้เวลาในการทำงานมากกว่า 100 ms.

ผลกระทบจากอำนาจแม่เหล็ก รีเลย์เป็นอุปกรณ์แม่เหล็ก ดังนั้นจึงเกิดปัญหาในเรื่องของรีเลย์ที่ไปรบกวนการทำงานของวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ การแก้ไขอาจมีหลายวิธี เช่น

1. แยกกราวด์ คือ การแยกกราวด์ของแหล่งจ่ายไฟ ระหว่างวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์กับแหล่งจ่ายไฟกระตุ้นรีเลย์ออกจากกันโดยใช้อุปกรณ์ opto cuppler

2. แยกบอร์ด คือ การแยกการทำงานในส่วนของวงจรรีเลย์ ออกไปจากบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ แล้วทำการชีลด์ให้ดี

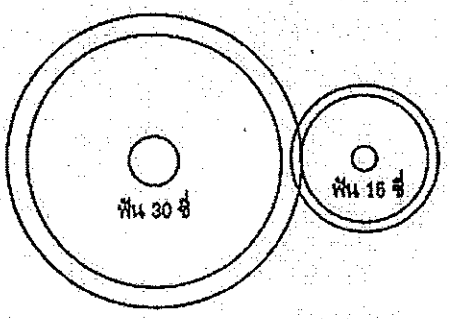
3. ลดขนาดแรงดันกระตุ้น คือ การเปลี่ยนตัวรีเลย์ เช่น เปลี่ยนจากรีเลย์ขนาด 24 V มาเป็นขนาด 12 V

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

2.4 เฟือง

เฟือง เป็นส่วนหนึ่งของระบบส่งกำลัง ซึ่งต้องมีความแข็งแรงทนทานพอที่จะรับกำลังในการส่งผ่านไปขับเคลื่อนล้อหลังได้ อย่างไรก็ตามความแข็งแรงนี้ เป็นผลให้ต้องใช้วัสดุที่มีความแข็งแรงตามมาด้วย ซึ่งเมื่อทำงานร่วมกับโซ่ แล้วจะเบียดกันและเกิดความสึกหรอขึ้น นอกจากจะทำหน้าที่รับกำลังขับจากโซ่แล้ว เฟืองยังทำหน้าที่สำคัญ 2 ประการ ประการแรกคือ เฟืองสามารถสร้างระยะทาง ของการหมุนระหว่างเฟืองที่ต่อเข้าด้วยกันให้มากหรือน้อยกว่า อีกทั้งยังสามารถทำให้กำลังเพิ่มหรือลดลงได้ ขึ้นอยู่กับการจัดวางตำแหน่งของเฟือง และเฟืองยังสามารถส่งแรงจากที่หนึ่งไปยังอีกที่หนึ่งได้ด้วย แต่ก็เป็นเพียงประโยชน์รองเมื่อเทียบกับการใช้ประโยชน์ด้านอื่น

เฟืองเปรียบเสมือนคานที่มีลักษณะกลม ซึ่งอธิบายความสัมพันธ์ของเฟืองต่าง ๆ ได้โดยการตรวจสอบพื้นฐานทางกลศาสตร์ของคาน โดยตอนแรกอาจทำการวางคานไว้บนจุดกึ่งกลางให้ด้านที่ยาวอยู่ด้านหนึ่ง และด้านที่สั้นกว่าอยู่อีกด้านหนึ่งโดยใช้แรงผลักด้านที่ยาวกว่า และด้านที่สั้นกว่าก็จะหมุนตามไป ถึงแม้ว่าเราจะออกแรงผลักคานให้เคลื่อนที่ไปเป็นระยะในหน่วยฟุต ด้านที่สั้นกว่าก็จะเคลื่อนที่ไปได้ไม่กี่นิ้วเท่านั้น แสดงว่าแรงที่กระทำทางด้านสั้นจะมากกว่าแรงที่กระทำทางด้านยาวเราสามารถนำความจริงทางฟิสิกส์นี้ไปใช้ได้ในเวลาที่ขุดดิน โดยใช้เสียมหรือพลั่ว หรือเวลาทำการยกรถด้วยแม่แรงรถยนต์ขณะเปลี่ยนยางเมื่อกล่าวถึงเฟือง การต่อเฟืองเล็กเข้ากับเฟืองใหญ่ ดังรูปที่ 2.27 เฟืองเล็กจะถูกขับเคลื่อนโดยตรงจากมอเตอร์ เมื่อเฟืองเล็กหมุนครบ 1 รอบ เฟืองใหญ่จะหมุนได้ครึ่งรอบ หรือกล่าวได้อีกทางหนึ่งว่า ถ้ามอเตอร์ และเฟืองเล็กหมุนด้วยความเร็ว 1,000 รอบต่อนาที เฟืองใหญ่จะหมุนด้วยความเร็ว 500 รอบต่อนาที หรือกล่าวได้ว่าอัตราส่วนของเฟืองคือ 2 ต่อ1



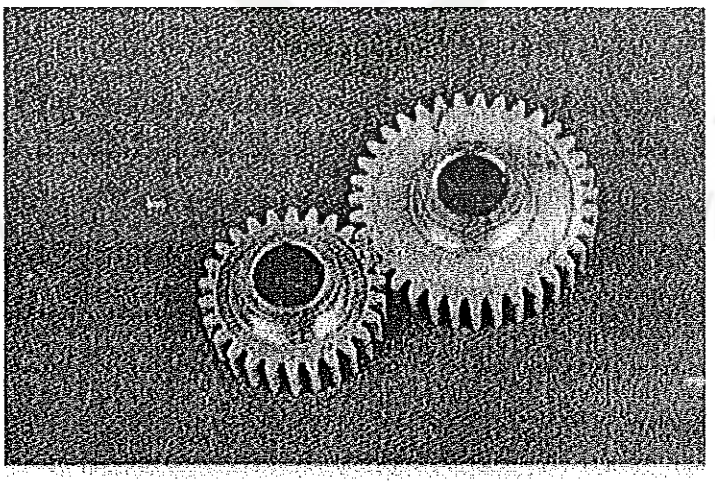
รูปที่ 2.27 รูปที่ใช้แทนเฟืองทดรอบที่มีอัตรา 2:1
ที่มา (วาที ปริยพงศ์, 2547, หน้า148)

จะสังเกตได้ว่ามีข้อสำคัญอีกประการหนึ่ง นอกเหนือจากการเปรียบเทียบในเรื่องของคานที่วางอยู่บนจุดหมุน คือ การลดความเร็วรอบของมอเตอร์จะทำให้แรงบิดเพิ่มมากขึ้น กำลังที่ได้จะมีค่ามากกว่าประมาณ 2 เท่า ของกำลังที่ให้ และมีกำลังบางส่วนที่สูญเสียไปเนื่องจากการทดรอบนี้ ซึ่งเกิดจากแรงเสียดทานระหว่างเฟือง

ถ้าเฟืองที่ขับเคลื่อนกับเฟืองที่ถูกขับเคลื่อนมีขนาดเดียวกัน ความเร็วในการหมุนก็จะไม่เพิ่มขึ้นหรือลดลง และแรงบิดก็จะไม่มีผลกระทบแต่อย่างใด (นอกจากเกิดการสูญเสียเนื่องจากแรงเสียดทาน) เราสามารถใช้เฟืองขนาดเดียวกันเพื่อส่งกำลังจากเพลาอันหนึ่งไปยังอีกอันหนึ่งได้ในหุ่นยนต์ที่สร้างขึ้น เช่น การขับเคลื่อนชุดของล้อที่มีอัตราเร็วเท่ากันและมีทิศทางเดียวกัน

2.4.1 ลักษณะของเฟือง

เฟืองประกอบไปด้วยฟันจำนวนมาก และฟันเฟืองก็มีหลายขนาด หลายแบบ เฟืองตรง (spur gear) นั้น เป็นแบบที่ธรรมดาที่สุด ซึ่งมักจะมีฟันอยู่รอบๆ ขอบนอกของเฟือง **ดังรูปที่ 2.28** เฟืองตรงจะใช้เมื่อเพลาที่ขับเคลื่อน และเพลาที่ถูกขับเคลื่อนขนานกัน เฟืองดอกจอก (bevel gear) จะมีฟันอยู่บนขอบ ซึ่งจะใช้ในการส่งกำลังระหว่างที่ตั้งฉากกัน



รูปที่ 2.28 ชุดเฟืองทดรอบชุดนี้นำจากไนลอน มีแกนกลางทำจากอะลูมิเนียม ซึ่งจะใช้งานได้ดีเมื่อชุดเฟืองถูกจับยึดกับแกนของมอเตอร์

ที่มา (วาที ปริยพงศ์, 2547, หน้า148)

เฟืองหักมุม (miter gear) มีการทำงานที่คล้ายกัน แต่ไม่ได้ออกแบบมาเพื่อใช้สำหรับทดรอบ ทั้งเฟืองตรง เฟืองดอกจอก และเฟืองหักมุมนั้นสามารถหมุนกลับทิศทางได้ กล่าวคือ เราสามารถขับเฟืองจากปลายอีกด้านหนึ่งของชุดเฟืองทดรอบเพื่อทำให้ความเร็วรอบด้านทางเข้าเพิ่มขึ้นหรือลดลงได้

เฟืองตัวหนอน (worm gear) จะส่งกำลังในแนวตั้งฉากคล้ายกับเฟืองดอกจอกและเฟืองหักมุมแต่มีการออกแบบที่เป็นเอกภาพกว่า มีลักษณะคล้ายเกลียวเชือก ซึ่งจะทำหน้าที่ส่งกำลัง เมื่อเฟืองหมุนเกลียวก็จะประสานกับเฟืองตรง

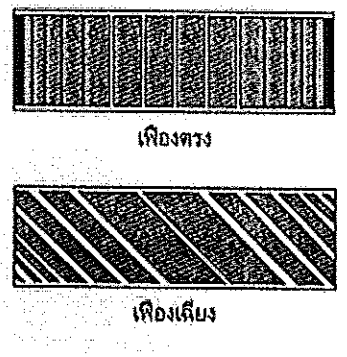
เฟืองสะพาน (rack gear) นั้นคล้ายกับเฟืองตรงเวลาที่คลี่ออกมาเป็นแผ่นราบซึ่งถูกนำมาใช้เปลี่ยนการเคลื่อนที่แบบหมุน ให้เป็นการเคลื่อนที่แบบเชิงเส้นเฟืองสะพานเป็นเฟืองที่ล็อกตัวเองได้อีกชนิดหนึ่ง แต่ไม่แข็งแรงเท่ากับที่พบในเฟืองตัวหนอน

ขนาดของฟันเฟืองนั้นถูกแสดงไว้ในลักษณะของพิตช์ (pitch) ซึ่งนับจำนวนได้โดยการนับฟันบนเฟือง และหารด้วยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเฟือง ค่าพิตช์ปกติจะมีหลายค่าคือ 12, 24, 32 และ 48 เฟืองบางชนิดจะมีลักษณะพิเศษเช่น 64 แต่พิตช์ที่มีค่ามากจะถูกจำกัดให้ใช้ในระบบเชิงกลเพียงไม่กี่ประเภทเท่านั้น เนื่องจากในการใช้งานต้องใช้เฟืองเป็นคู่ ดังนั้นจึงต้องระวังเวลานำเฟืองมาใช้ ต้องให้มีค่าพิตช์เท่ากัน ไม่เช่นนั้นเฟืองที่นำมาต่อกันจะขบกันได้ไม่ดี และสามารถทำให้เครื่องพังได้

มุมองศาความชันของผิวหน้าของเฟืองแต่ละซี่จะเรียกว่ามุมกด ซึ่งปกติมุมกดจะเท่ากับ 20 องศา แต่มีเฟืองบางชนิด โดยเฉพาะเฟืองตัวหนอนและเฟืองสะพานที่มีมุมกดเท่ากับ 14 ¼ องศา ไม่ควรนำเฟืองสองชนิดที่มีมุมต่างกันมาใช้ด้วยกัน เพราะจะทำให้เฟืองนั้นชำรุดได้

ทิศทางของฟันเฟืองนั้นสามารถทำให้แตกต่างกัน ฟันเฟืองของเฟืองตรงส่วนใหญ่จะตั้งฉากกับขอบของเฟือง ฟันเฟืองสามารถทำให้มีมุมแตกต่างกันได้หลายค่า ดังรูปที่ 2.29 ซึ่งเป็นเฟืองประเภทหนึ่งที่เรียกว่า เฟืองเฉียง (helicar gear)

RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY



รูปที่ 2.29 เฟืองตรงและเฟืองเฉียง เฟืองเฉียงจะออกแบบมาเพื่อลดแบคแลช (backlash) ซึ่งหมายถึงช่องว่างที่เกิดขึ้นเมื่อเฟืองขบกัน เฟืองเฉียงบางแบบใช้เพื่อขับให้เกิดการเปลี่ยนทิศการเคลื่อนที่เป็นมุมฉาก

ที่มา (วาที ปริยพงศ์, 2547, หน้า 153)

2.4.2 โซ่ส่งกำลัง (chain drives)

โซ่สามารถส่งกำลังให้ได้โมเมนต์บิดสูงมาก โดยที่ให้เป็นชุดส่งกำลังมีขนาดเล็กได้เป็นลักษณะการส่งกำลังด้วยรูปร่างและร่องเพลาจะรับภาระน้อยมาก ไม่มีการลื่นไถลในการส่งกำลัง ในขณะส่งกำลังข้อต่อโซ่จะรับภาระความเสียดทานลื่น จึงต้องมีการหล่อลื่นที่เพียงพอ โซ่ส่งกำลังจะใช้งานในที่รับภาระดึงมาก ๆ ในที่รับอุณหภูมิสูง, โรงงานเคมี, ไอน้ำมัน, ความชื้น เป็นที่ซึ่งสายพานไม่สามารถนำไปใช้งานได้

ข้อดี เมื่อเทียบกับสายพานแบนและสายพานร่อง คือ ส่งถ่ายกำลังได้สูง ไม่มีการลื่นที่ระยะห่างระหว่างเพลาน้อยและให้อัตราทดสูง เปลืองเนื้อที่น้อย ไม่ต้องมีการดึงให้แน่นมาก และร่องเพลารับภาระน้อย เมื่อเทียบกับเฟือง คือ แก้ปัญหาระยะห่างระหว่างเพลาที่ห่างกันมาก ๆ ได้ และมีความไวต่อสิ่งสกปรกน้อยกว่า

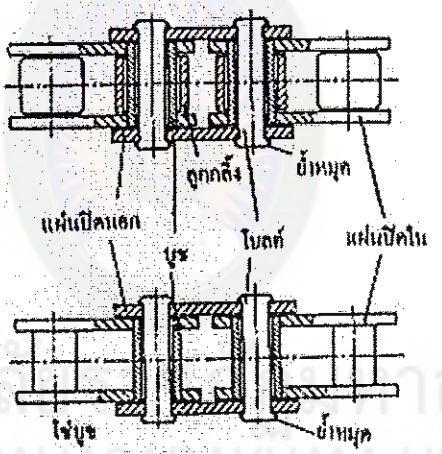
ข้อเสีย เมื่อเทียบกับสายพานและสายพานร่อง คือ มีอัตราเปี่ยงเบน เนื่องจากมุมข้อต่อของโซ่ รับภาระกระแทกและการสั่นสะเทือนได้น้อย ไม่สามารถวางเพลาไขว้กันได้ มีราคาสูงกว่าและต้องเสียค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษามากกว่า (การหล่อลื่น) ข้อเสียเมื่อเทียบกับเฟือง คือ มีความเร็วรอบหรือมีความเร็วขอบน้อยกว่า (เนื่องจากแรงเหวี่ยงหนีศูนย์) ที่ความเร็วรอบสูงจะต้องใช้ตัวประกบกันการสั่นของโซ่ และเพลาต้องวางให้ขนานกันและส่วนใหญ่ต้องวางในแนวนอน

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

2.4.3 ชนิดของโซ่

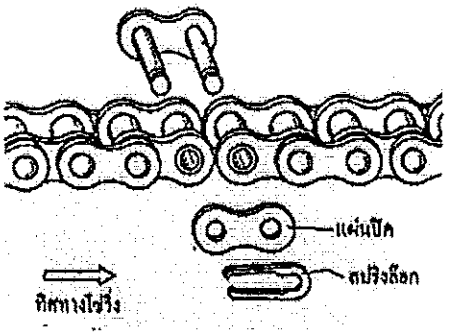
ตามประเภทการใช้งานของโซ่ จะนำโซ่มาใช้ส่งกำลัง ลำเลียง ใช้ขับ ใช้ยก และส่งน้ำหนักลงข้างล่าง ส่งถ่ายแรงและโมเมนต์บิด โซ่จึงแบ่งลักษณะตามรูปร่างได้ดังนี้

2.4.3.1 โซ่ลูกกลิ้งและโซ่บูช ประกอบด้วยแผ่นปิดข้างโซ่ด้านนอก และด้านในที่ยึดด้วยบูชและโบลต์เข้าด้วยกัน **ดังรูปที่ 2.30** โซ่ลูกกลิ้งที่มีใช้งานส่วนใหญ่จะมีลูกกลิ้งที่ชุบแข็งร้อย (หมุนได้) อยู่ในบูช และมีเสียงดังน้อยเมื่อความเร็วโซ่สูง ในการใช้งานให้รับโมเมนต์หมุนมาก ๆ จะใช้โซ่ลูกกลิ้ง และโซ่บูชแบบชุดหลายเส้น **ดังรูปที่ 2.31** โซ่ลูกกลิ้งตามมาตรฐานจะนำมาใช้งานได้ถึงความเร็ว 30 m/s ในการส่งกำลังในรถยนต์ในเครื่องมือกล และโซ่ลำเลียง โดยปกติโซ่บูชจะทนการสึกกร่อนมากกว่าโซ่โบลต์ บูชจะหมุนได้ โบลต์จะยึดแน่นกับแผ่นปิดนอก แผ่นปิดส่วนใหญ่จะทำมาจาก St60 ส่วนโบลต์จะทำจากเหล็กกล้าอาบคาร์บอน C15



รูปที่ 2.30 โซ่ลูกกลิ้งและโซ่บูช
ที่มา (มานพ ตันตระบัณฑิตย์, สำลี แก้วห้าว, สุทิน จิตร์เจริญ, 2540, หน้า 94)

มหาวิทยาลัยราชภัฏสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY



รูปที่ 2.31 ลักษณะภาพประกอบโซ่พร้อมด้วยสปริงล็อก
ที่มา (มานพ ตันตระบัณฑิตย์, สำลี แก้วห้าว, สุทิน จิตร์เจริญ, 2540, หน้า 95)

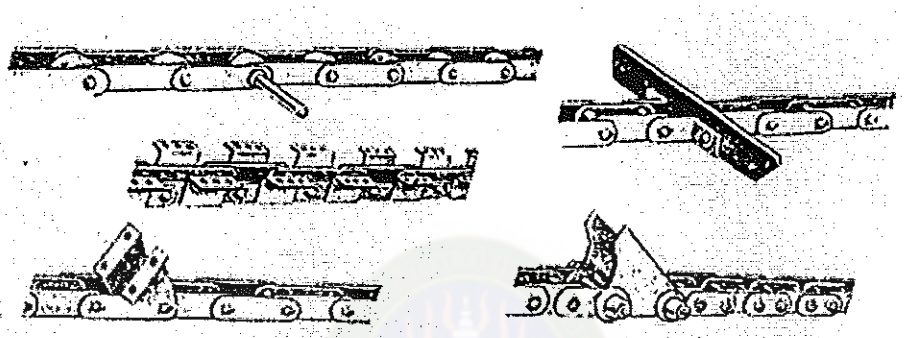
2.4.3.2 โซ่โบลต์ มีรูปร่างของแผ่นปิดข้างโซ่ด้านใน และด้านนอกเหมือนกัน โดยร้อยเข้ากับโบลต์ การใช้แผ่นปิดข้างโซ่หลายแผ่นติดกันจะมากหรือน้อยนั้นขึ้นอยู่กับขนาดของ แรงดึงที่โซ่ต้องรับ เมื่อเปรียบเทียบกับโซ่ลูกกลิ้งและโซ่บูชแล้ว โซ่โบลต์จะมีแรงเสียดทานระหว่างโบลต์และแผ่นปิดข้างโซ่มากกว่า ด้วยเหตุนี้จึงนิยมนำโซ่โบลต์มาใช้กับงานที่มีความเร็วโซ่ต่ำโซ่โบลต์มีความแข็งแรงคงทนมาก จึงนิยมนำมาใช้งานเป็นโซ่ยกของและระบบการลำเลียง

2.4.3.3 โซ่ฟัน มีรูปร่างฟันแต่ละข้อชัดเจน ฟันของโซ่จะจับลงในร่องฟันของล้อโซ่พอดี โซ่ฟันที่ใช้งานรับกำลังงานสูง ๆ แผ่นฟันที่ข้อต่อจะไม่ยึดด้วยโบลต์ แต่ยึดด้วยข้อต่อลูกกลิ้งที่ความเสียดทานน้อย และทนต่อความสึกหรอได้ดี โซ่ฟันใช้รับกำลังงานได้สูง และเกือบจะไม่มีเสียงดัง ในขณะมีความเร็วโซ่สูง 40 m/s โซ่ฟันจะมีใช้งานคเรื่องมือกล เครื่องจักรทอผ้าหรือเครื่องจักรที่ทำงานกับไม้ และในระบบส่งกำลังของรถยนต์

2.4.3.4 โซ่ลำเลียง ตามมาตรฐาน DIN 8175 และ DIN 8176 เป็นโซ่แบบข้อต่อชนิดหนึ่งที่ทำหน้าที่นำพาชิ้นส่วนหรือผลิตภัณฑ์ โดยจะออกแบบรูปร่างแผ่นปิดด้านข้างให้มีรูปร่างต่างๆ กัน เพื่อให้สามารถนำพาผลิตภัณฑ์ตามรูปร่างที่ต้องการได้ โซ่ลำเลียงส่วนใหญ่จะนำมาใช้งานให้รับภาระไม่มากนักและมีความเร็วโซ่ต่ำ โซ่ลำเลียงแสดงได้ ดังรูปที่ 2.32

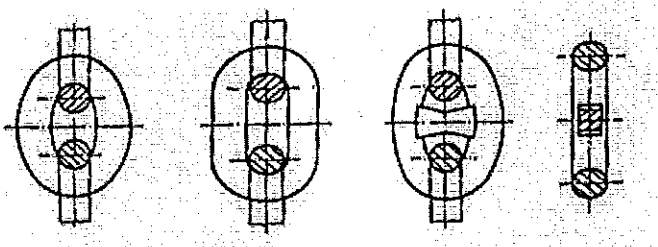
ข้อดี สามารถออกแบบให้มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของล้อโซ่ให้มีขนาดเล็ก ๆ ได้ และยังเดินได้เงียบอีกด้วย

ข้อเสีย จะเกิดการยืดตัวยาวออกหากใช้งานรับภาระมากเกินไป ซึ่งจะทำให้โซ่จับฟันล้อโซ่ไม่ถูกต้อง นอกจากนี้ยังสามารถให้เบนไปด้านข้างได้น้อย ด้วยเหตุนี้ล้อโซ่จะต้องประกอบให้ได้ตำแหน่งที่เที่ยงตรงกับแนววิ่งของโซ่ มิฉะนั้นการสึกของโซ่สูง



รูปที่ 2.32 โซ่ลำเลียง
ที่มา (มานพ ตันตระบัณฑิตย์, สำลี แก้วห้าว, สุทิน จิตร์เจริญ, 2540, หน้า 97)

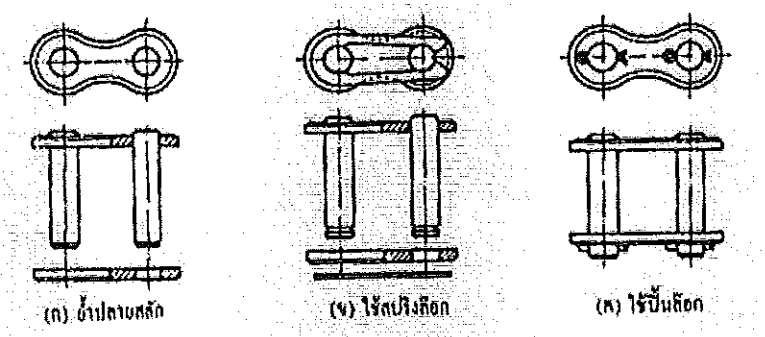
2.4.3.5 โซ่ห่วงกลม แบ่งตามมาตรฐานได้เป็น โซ่ชนิดสั้น (DIN 766) ชนิดกึ่งยาว (DIN 764) และชนิดยาว (DIN 762) มักนำมาใช้ในงานเป็นโซ่รับภาระลำเลียงแบบต่อเนื่องในงานเหมืองแร่ และงานสร้างรถยนต์ โซ่เหล่านี้ทำจากเหล็กกล้า St 35 K ที่ปลายห่วงโซ่แต่ละห่วงจะนิยมเชื่อมด้วยไฟฟ้า โซ่ห่วงกลมแสดงได้ **ดังรูปที่ 2.33**



รูปที่ 2.33 โซ่ห่วงกลม
ที่มา (มานพ ตันตระบัณฑิตย์, สำลี แก้วห้าว, สุทิน จิตร์เจริญ, 2540, หน้า 98)

2.4.4 การยึดข้อต่อโซ่

ปลายโซ่ที่จะยึดต่อกัน จะสามารถผลิตตามที่ผู้ใช้ต้องการได้ โดยจะขอยกตัวอย่างการยึดปลายโซ่ ดังรูปที่ 2.34



รูปที่ 2.34 รูปแบบการยึดปลายโซ่

ที่มา (มานพ ตันตระบัณฑิตย์, สำลี แก้วห้าว, สุทิน จิตร์เจริญ 2540, หน้า 98)

2.4.5 จำนวนฟันโซ่และความเร็วโซ่ที่ใช้งาน

โดยปกติฟันล้อโซ่จะเป็นจำนวนเลขคี่ สำหรับงานส่งกำลังด้วยโซ่จะมีเกณฑ์กำหนดสำหรับล้อโซ่ดังนี้

ล้อโซ่ตัวเล็ก $Z_1 = 9 - 11$ ใช้กับความเร็วโซ่ต่ำกว่า 4 m/s $Z_1 = 11 - 13$ ใช้กับความเร็วโซ่เร็วถึง 4 m/s โซ่มีระยะพิตช์ถึง 20 mm และมีความยาวโซ่เกินกว่า 40 ข้อ ใช้งานในที่ไม่รับภาระมากนัก และอายุการใช้งานน้อยกว่า 10,000 hr $Z_1 = 14 - 16$ ใช้กับความเร็วโซ่ถึง 7 m/s ภาระปานกลาง $Z_1 = 17 - 25$ ใช้กับความเร็วโซ่ถึง 24 m/s ภาระมาก

ล้อโซ่ตัวใหญ่ $Z_2 = 30 - 80$ มีใช้งานทั่วไป $Z_2 = 81 - 120$ เป็นล้อโซ่ที่มีจำนวนฟันมากสูงสุด $Z_2 = 121 - 150$ ใช้งานในกรณีพิเศษ แต่ถ้าเป็นไปได้ให้หลีกเลี่ยง มิฉะนั้นจะเกิดการสึกหรอมากเมื่อมีอัตราทดมากขึ้น

โดยทั่วไปจะกำหนดให้อัตราทดของระบบโซ่ส่งกำลัง $i < 7$ หรือ $i = 10$ แต่ต้องใช้งานที่ความเร็วโซ่ต่ำ ส่วนจำนวนฟันล้อโซ่มาตรฐานที่นิยมใช้งานมีดังนี้ คือ สำหรับล้อโซ่ขนาดเล็ก (13) (15) 17 19 21 23 25 ล้อโซ่ขนาดโต 38 57 76 95 114 จำนวนฟันที่อยู่ใน ( ) ถ้าเป็นไปได้ให้หลีกเลี่ยง

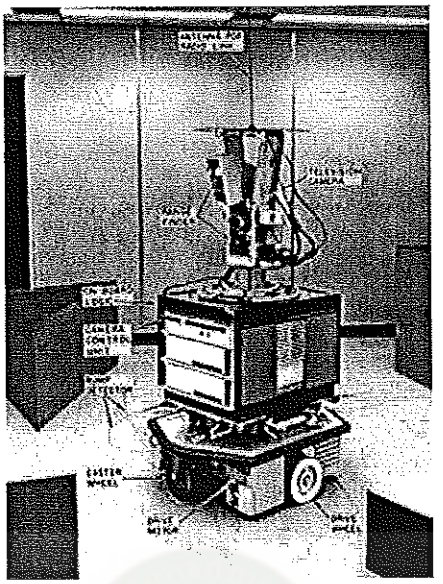
ข้อควรระวัง การทดรอบส่งกำลังด้วยโซ่ให้เร็วขึ้นไม่เป็นการเหมาะสม ด้วยเหตุนี้ควรหลีกเลี่ยง

2.5 หุ่นยนต์ (Robot)

หุ่นยนต์ ตามหลักทางวิชาการของสถาบันหุ่นยนต์อเมริกา (The Robot of America 1997) คือ เครื่องจักรกลทุกชนิดที่สามารถปฏิบัติงานแทนมนุษย์ได้ทุกประเภท ทั้งทางตรงและทางอ้อม รวมทั้งในงานที่เสี่ยงอันตรายโดยที่มนุษย์ไม่สามารถปฏิบัติงานได้ ตลอดจนการทำงานที่เป็นอัตโนมัติโดยตนเองหรือถูกควบคุมโดยมนุษย์ และสามารถปรับเปลี่ยนรูปแบบการทำงานได้หลากหลาย

คำว่า robot มาจาก robota ในภาษาเช็กซึ่งแปลโดยตรงว่า การทำงานเสมือนทาส ถือกำเนิดขึ้นจากละครเวทีเรื่อง "Rassum's Universal Robots" ในปี ค.ศ. 1920 ซึ่งเป็นบทประพันธ์ของ คาเวล คาเปก (Kavel Capek) เนื้อหาของละครเวทีมีความเกี่ยวพันกับจินตนาการของมนุษย์ ในการใฝ่หาสิ่งใดมาช่วยในการปฏิบัติงาน การประดิษฐ์คิดค้นสร้างหุ่นยนต์จึงถือกำเนิดขึ้นเพื่อเป็นเสมือนทาสคอยรับใช้มนุษย์ การใช้ชีวิตร่วมกันระหว่างหุ่นยนต์และมนุษย์ดำเนินต่อไปจนกระทั่งหุ่นยนต์เกิดมีความคิดเช่นเดียวกันมนุษย์ การถูกกดขี่ข่มเหงเช่นทาสจากมนุษย์ทำให้หุ่นยนต์เกิดการต่อต้านไม่ยอมเป็นเบี้ยล่างอีก ซึ่งละครเวทีเรื่องนี้โด่งดังมากจนทำให้คำว่า Robot เป็นที่รู้จักทั่วโลก

ปี ค.ศ. 1940 –1950 หุ่นยนต์ชื่อ Alsie the Tortoise ได้ถือกำเนิดขึ้นโดย Grey Walter หุ่นยนต์รูปเต่าสร้างจากมอเตอร์ไฟฟ้านำมาประกอบเป็นเครื่องจักร สามารถเคลื่อนที่ได้ด้วยล้อทั้ง 3 ต่อมาหุ่นยนต์ชื่อ Shakey ดังรูปที่ 2.35 ได้ถูกสร้างขึ้นให้สามารถเคลื่อนที่ได้เช่นเดียวกับ Alsie the Tortoise โดย Standford Research Institute:SRI แต่มีความสามารถเหนือกว่า คือมีความคิดเป็นของตนเองโดยที่ Shakey จะมีสัญญาณเซนเซอร์เป็นเครื่องบอกสัญญาณในการเคลื่อนที่ไปมา ซึ่งนอกเหนือจากหุ่นยนต์ที่สามารถเคลื่อนที่ไปมาด้วยล้อแล้ว ในปี ค.ศ. 1960 หุ่นยนต์ที่ชื่อ General Electric Walking Truck ที่สามารถเดินได้ด้วยขาก็ถือกำเนิดขึ้น มีขนาดโครงสร้างใหญ่โตและหนักถึง 3,000 pounds สามารถก้าวเดินไปด้านหน้าด้วยขาทั้ง 4 ข้างด้วยความเร็ว 4 mile/hr โดยการใช้คอมพิวเตอร์ในการควบคุมการเคลื่อนไหนของขา General Electric Walk Truck ได้รับการพัฒนาโครงสร้างและศักยภาพโดยวิศวกรประจำบริษัท General Electric ชื่อ Ralph Moser



รูปที่ 2.35 Shakey หุ่นยนต์เคลื่อนที่ตัวแรกด้วยเซนเซอร์
ที่มา (วิชาญ คำแสน, 2550)

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ฉัตรชัย วิเศษสัย และคณะ (2546) การสร้างหุ่นยนต์ควบคุมด้วยรีโมท ซึ่งศึกษาค้นคว้าเกี่ยวกับการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ และวงจรควบคุมโดยการใช้วงจรรีเลย์ในการควบคุมการทำงานของมอเตอร์กระแสตรง ให้หุ่นยนต์ควบคุมด้วยรีโมทสามารถเคลื่อนที่ไปข้างหน้า ไปข้างหลัง ไปทางซ้าย ขึ้นบันได และลงบันไดที่มีความสูงของบันได 1 ขั้น/20 เซนติเมตร ขึ้นทางลาดเอียงโดยสัญญาณรีโมทในการควบคุม โดยส่งสัญญาณออกมาเป็นคลื่นวิทยุ AM ย่านความถี่ 49.860 เมกกะเฮิรตซ์ ไปยังเครื่องรับสัญญาณรีโมทซึ่งติดตั้งอยู่ที่ตัวของหุ่นยนต์ควบคุมด้วยรีโมท และส่งสัญญาณได้ระยะ 30 เมตร ในที่โล่ง โดยหุ่นยนต์ควบคุมด้วยรีโมทตัวนี้สามารถเคลื่อนที่ใน พื้นที่ขรุขระ พื้นที่เปียกและเฉอะแฉะ และเป็นดินโคลนได้ ซึ่งความสามารถของหุ่นยนต์ควบคุมด้วยรีโมทตัวนี้จะเป็นจุดเด่นอย่างหนึ่งที่หุ่นยนต์ประเภทเคลื่อนที่ด้วยล้อธรรมดาไม่สามารถเข้าไปปฏิบัติงานได้อย่างสะดวก

ธีรยุทธ ดวงมาลา และคณะ (2547) ได้สร้างหุ่นยนต์ควบคุมด้วยรีโมทคอนโทรลที่มีความเร็วเฉลี่ย 0.19 เมตรต่อวินาที เมื่อนำหุ่นยนต์ไปทดสอบบริเวณที่โล่งสามารถควบคุมได้ในระยะทางเฉลี่ย 70.67 เมตร บริเวณที่มีผนังกั้นระหว่าง ตัวรับและตัวส่งสัญญาณวิทยุสามารถควบคุมได้ในระยะทางเฉลี่ย 20.67 เมตร บริเวณที่มืดวัตถุสีดำจะสามารถสังเกตเห็นภาพชัดเจนจากระยะตัวกล้องถึงวัตถุเป็นระยะทางเฉลี่ย 66.67 เซนติเมตร ส่วนวัตถุ สีขาวจะสามารถสังเกตเห็นภาพชัดเจนจากระยะตัวกล้องถึงวัตถุเป็นระยะทางเฉลี่ย 106.67 เซนติเมตร บริเวณใต้อุโมงค์สามารถรับสัญญาณภาพได้ในระยะทางเฉลี่ย 37.33 เมตร และสามารถควบคุมการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ในระยะทางเฉลี่ย 45.33 เมตร บริเวณที่มีควันจะสามารถสังเกตเห็นภาพของวัตถุจากโทรทัศน์มีลักษณะเป็นเงาสีดำ และหุ่นยนต์สามารถเคลื่อนที่ได้ในบริเวณที่มีความลาดชันสูงสุด 11.91 องศา

ภาริณี สุวรรณศรี และคณะ (2549) พัฒนาความสามารถหุ่นยนต์ควบคุมระยะไกลโดยอาศัยคลื่นวิทยุ โครงสร้างหลักมีระบบล้อ 4 ล้อ ซึ่งล้อแต่ละข้างจะมีการใช้เฟืองและโซ่เป็นตัวส่งกำลังจากมอเตอร์กระแสตรง ลักษณะการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์จะมีลักษณะคล้ายรถถัง วิจัยพบว่า หุ่นยนต์สามารถเคลื่อนที่ได้ดังนี้ พื้นถนนคอนกรีตหุ่นยนต์มีความเร็วเฉลี่ย 0.30 เมตรต่อวินาที พื้นหญ้าหุ่นยนต์มีความเร็วเฉลี่ย 0.256 เมตรต่อวินาที พื้นดินลูกรังหุ่นยนต์มีความเร็วเฉลี่ย 0.236 เมตรต่อวินาที เมื่อนำหุ่นยนต์ไปทดสอบบริเวณที่โล่งเพื่อหาระยะทางไกลที่สุดที่สามารถควบคุมได้ได้ระยะทาง 319.68 เมตร บริเวณที่มีผนังกั้นระหว่าง ตัวรับและตัวส่งสัญญาณวิทยุสามารถควบคุมได้ในระยะทางเฉลี่ย 43.71 เมตร หุ่นยนต์สามารถเคลื่อนที่บนทางชันที่มีมุมสูงสุด 38 องศา และทางต่างระดับหุ่นยนต์สามารถขึ้นทางต่างระดับได้สูงสุด 4 เซนติเมตร ระยะทางสูงสุดที่กล้องสามารถจับสัญญาณภาพได้คือ 76.4 เมตร การทำงานของหุ่นยนต์บริเวณอุโมงค์ระยะที่สามารถควบคุมได้คือ 156.5 เมตร ระยะภาพที่รับได้คือ 43.7 เมตร หุ่นยนต์สามารถเคลื่อนย้ายวัตถุที่มีน้ำหนักสูงสุด 9.5 กิโลกรัม การทดสอบการทำงานของกล้องในพื้นที่มีควันพบว่าระยะที่สามารถจับภาพได้ชัดเจนที่สุดคือระยะ 38 เซนติเมตร

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

มานพ บรรพชาติ และคณะ (2545) สร้างหุ่นยนต์ลาดตระเวนควบคุมระยะไกล โดยการประยุกต์ใช้เครื่องรับส่งสัญญาณวิทยุเอฟเอ็มความถี่ 88 – 108 เมกกะเฮิรตซ์ ไปควบคุมมอเตอร์กระแสตรง และสเตปปิงมอเตอร์ โดยมอเตอร์ควบคุมการเคลื่อนที่และควบคุมกล้องวีดีโอของหุ่นยนต์ หุ่นยนต์จะส่งสัญญาณสู่โทรทัศน์โดยตรง พบว่าการควบคุมหุ่นยนต์ในที่โล่งไม่มีสิ่งกีดขวางระยะตั้งแต่ 1–11 เมตร สามารถควบคุมได้โดยไม่มีความผิดพลาด ระยะไกลสุดที่สามารถควบคุมหุ่นยนต์ได้ที่ระยะ 16 เมตร

สุดธนู พะวงคำ และคณะ (2545) ได้สามารถสร้างหุ่นยนต์ที่สามารถควบคุมด้วยวงจรวิทยุในรัศมีการเคลื่อนที่ 10 เมตร และสามารถเคลื่อนย้ายวัตถุที่น้ำหนักไม่เกิน 0.5 กิโลกรัม หุ่นยนต์ที่ได้รับการออกแบบสามารถเคลื่อนที่โดยใช้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง เป็นตัวขับเคลื่อน และถูกควบคุมสภาวะการเคลื่อนที่ด้วยวงจรตรรกะ 4 บิต 2 ชุด ทำให้เกิดสภาวะการเคลื่อนที่ 16 สภาวะ โดยส่งสัญญาณควบคุมผ่านวงจรวิทยุหุ่นยนต์เคลื่อนที่ระยะ 10 เมตร ด้วยความเร็วเฉลี่ย 0.1052 เมตรต่อวินาที เคลื่อนที่ในแนวโค้งรัศมี 0.47 เมตร

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

ในการศึกษาออกแบบ และพัฒนาความสามารถหุ่นยนต์สำรวจระยะไกลจำเป็นต้องมีเครื่องมือ และอุปกรณ์ที่ใช้ในการสร้างหุ่นยนต์ สามารถจำแนกออกเป็นส่วนของเครื่องมือพื้นฐาน เครื่องมือทางด้านอิเล็กทรอนิกส์ และอุปกรณ์ที่ใช้ในการสร้างโครงสร้างของหุ่นยนต์ และส่วนประกอบทางด้านเครื่องกลต่างๆ ซึ่งสามารถแจกแจงรายละเอียดได้ดังต่อไปนี้

3.1.1 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

3.1.1.1 เครื่องมือพื้นฐาน

1. ค้อน
2. ไขควง
3. ประแจ
4. ตะไบเหล็ก
5. เลื่อยตัดโลหะ
6. เลื่อยฉลุ
7. สว่านไฟฟ้า
8. ดอกสว่านขนาดต่างๆ
9. ตลับเมตร
10. สายเมตร
11. Vernier Calipers
12. คัตเตอร์
13. เหล็กฉาก
14. กระดาษทราย
15. นาฬิกาจับเวลา
16. ลักซ์มิเตอร์ (Luxmeter) รุ่น 401025 ของเอ็กเท็กซ์

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

3.1.1.2. เครื่องมือทางด้านอิเล็กทรอนิกส์

1. หัวแร้งไฟฟ้า
2. ขาตั้งสำหรับเสียบหัวแร้ง
3. ตะกั่วบัดกรี
4. ฟองน้ำ หรือกระดาษชำระ
5. เครื่องมือดูดตะกั่วบัดกรี
6. ปากคีบสำหรับงานบัดกรี
7. คีมปอกสายไฟ
8. มัลติมิเตอร์แบบดิจิตอล ยี่ห้อ UNAOHM รุ่น 350E
9. มัลติมิเตอร์แบบอนาล็อก ยี่ห้อ KYORITSU รุ่น 1109

3.1.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทำวิจัย

1. ท่อเหล็กกลม ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 1.6 cm ยาว 182 cm
2. ล้อรถ ล้อด้านหน้าและด้านหลัง มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 16 cm หนา 3.9 cm จำนวน 4 ล้อ
3. มอเตอร์หมุนกระจกรถยนต์ ยี่ห้อ TOYOTA กระแสตรง ขนาด 12 V ความเร็ว 1.13 รอบต่อวินาที จำนวน 2 ตัว
4. เฟืองราวลิ้นขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 6 cm จำนวน 4 อัน
5. โซ่ราวลิ้น 2 เส้น
6. รีเลย์ 12 V DC 2 contact จำนวน 4 ตัว ยี่ห้อ SONG CHUAN
7. สวิทช์แบบ 2 ทาง จำนวน 3 ตัว
8. แบตเตอรี่ขนาด 12 V จำนวน 1 ลูก
9. สวิทช์กดติดปล่อยดับ จำนวน 2 ตัว
10. ตัวต้านทาน 1000 Ω ½w จำนวน 4 ตัว
11. ไดโอด เบอร์ 1N4001 จำนวน 4 ตัว
12. เครื่องรับ – ส่งสัญญาณวิทยุของรถบังคับวิทยุ
13. แผ่นปริ้น ขนาด 8 × 12 cm จำนวน 2 แผ่น
14. กล้องวีดีโอไร้สาย ยี่ห้อ WIRELESS CAMERA 200 mW 8 VDC ชนิดไม่มีระบบ Zoom in, Zoom out

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

15. เครื่องรับสัญญาณของกล้องวีดีโอไร้สาย รุ่น ZT – 702
16. ตลับลูกปืนและปลอกลูกปืน จำนวน 4 ชุด
17. สายไฟสีต่างๆ
18. เทปพันสายไฟ
19. จารบี
20. แบตเตอรี่ 9 V จำนวน 2 ก้อน
21. ทรานซิสเตอร์ เบอร์ BC 337
22. แผ่นพลาสติก
23. น็อตขนาดต่างๆ
24. ชุดสกรูขนาดต่างๆ
25. กาวตราช้าง

3.2 วิธีดำเนินงานวิจัยและการเก็บรวบรวมข้อมูล

วิธีดำเนินการวิจัยสามารถแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอน ซึ่งแต่ละขั้นตอนมีวิธีดำเนินการดังต่อไปนี้

ตอนที่ 1 ศึกษาลักษณะและคุณสมบัติของหุ่นยนต์ต้นแบบ

1. ศึกษาลักษณะทางกายภาพของหุ่นยนต์ต้นแบบ โดยการวัดความกว้าง ความยาว ความสูง และน้ำหนักของหุ่นยนต์ต้นแบบ

2. ศึกษาลักษณะการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ต้นแบบ โดยควบคุมให้หุ่นยนต์เดินหน้า และถอยหลังเป็นแนวเส้นตรง และควบคุมการเลี้ยวซ้าย เลี้ยวขวา

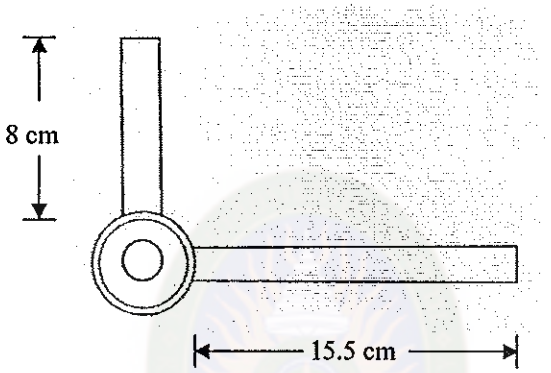
3. ศึกษาความเร็วของหุ่นยนต์ต้นแบบ ในสภาพพื้นที่ที่หุ่นยนต์สามารถเคลื่อนที่ไปได้

4. ศึกษาการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ ในบนพื้นที่ต่างระดับ และความชันที่สามารถเคลื่อนที่ได้

5. ศึกษาระยะทางในการควบคุมหุ่นยนต์ต้นแบบ และระยะทางที่กล้องวีดีโอไร้สายสามารถรับภาพได้

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

2. นำชุดตลับลูกปืนพร้อมปลอกลูกปืน มาเชื่อมติดกับปลายด้านหนึ่งของท่อเหล็กกลวงยาว 15.5 cm ทั้งสองท่อน แล้วนำท่อเหล็กกลวงยาว 8 cm เชื่อมติดกับชุดตลับลูกปืน ในลักษณะที่ตั้งฉากกับท่อเหล็กกลวงยาว 15.5 cm **ดังรูปที่ 3.2 ก** จากนั้นนำท่อเหล็กกลวงยาว 2 cm มาเชื่อมติดกับปลายทั้งสองด้านของท่อเหล็กกลวงยาว 13 cm แล้วนำท่อเหล็กยาว 9 cm เชื่อมติดกับท่อเหล็กยาว 2 cm ในลักษณะที่ตั้งฉากกับท่อเหล็กยาว 13 cm **ดังรูปที่ 3.2 ข**



รูปที่ 3.2 ก แสดงลักษณะการเชื่อมชุดตลับลูกปืนกับปลายด้านหนึ่งของท่อเหล็ก กลวง ยาว 15.5 cm และเชื่อมท่อเหล็กกลวงยาว 8 cm ติดกับชุดตลับลูกปืนในลักษณะที่ตั้งฉากกับท่อเหล็กกลวงยาว 15.5 cm

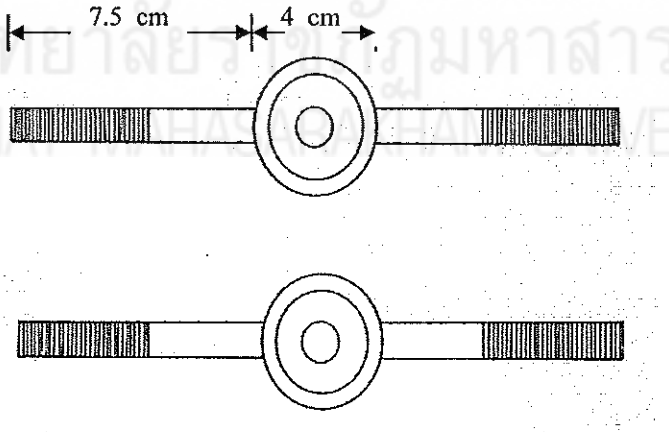
มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ตอนที่ 2 การออกแบบและพัฒนาความสามารถของหุ่นยนต์

การออกแบบและพัฒนาความสามารถของหุ่นยนต์ แบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ ส่วนโครงสร้าง ส่วนระบบขับเคลื่อนของหุ่นยนต์ และส่วนระบบการหมุนของกล้องวีดีโอมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

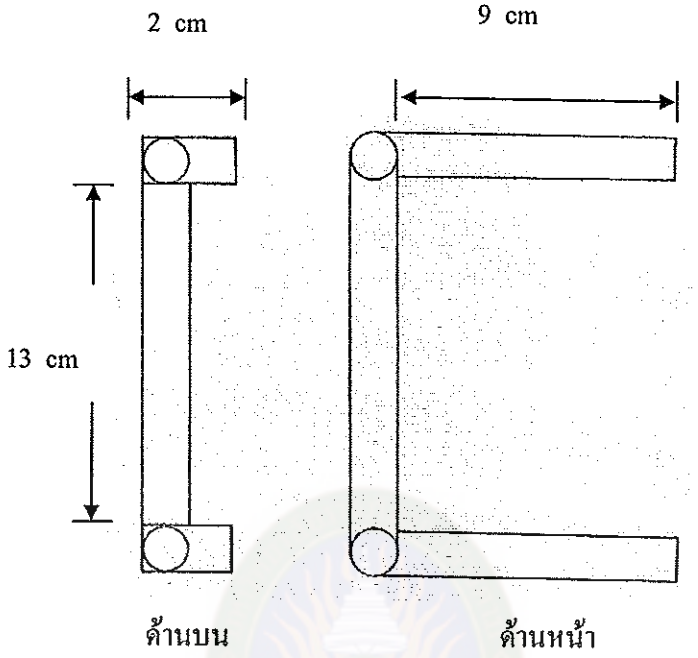
ส่วนที่ 1 การออกแบบโครงสร้างของหุ่นยนต์ โครงสร้างของหุ่นยนต์ทำมาจากท่อเหล็กกลมกลวง เส้นผ่านศูนย์กลาง 1.6 cm ทำให้มีความแข็งแรงทนต่อแรงกระแทกได้ดี โครงสร้างของหุ่นยนต์ประกอบด้วย ท่อนเหล็กขนาดความยาวต่าง ๆ ประกอบกันเป็นโครงสร้างหลักของหุ่นยนต์มีดังนี้ ท่อเหล็กกลวงยาว 15.5 cm จำนวน 2 ท่อน, ท่อเหล็กกลวงยาว 24 cm จำนวน 2 ท่อน, ท่อเหล็กกลวงยาว 13 cm จำนวน 5 ท่อน, ท่อเหล็กกลวงยาว 2 cm จำนวน 2 ท่อน, ท่อเหล็กกลวงยาว 8 cm จำนวน 2 ท่อน, ท่อเหล็กกลวงยาว 9 cm จำนวน 2 ท่อน, น็อตเบอร์ 16 ยาว 8 cm ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 cm 4 ตัว, ชุดตลับลูกปืนพร้อมบรรจุลูกปืน จำนวน 4 ชุด, เส้นผ่านศูนย์กลาง 3.2 cm การประกอบโครงสร้างหลักของหุ่นยนต์มีขั้นตอนดังนี้

1. นำน็อตเบอร์ 16 ยาว 8 cm ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 cm มาตัดหัวน็อตออกให้เหลือเพียงตัวน็อตทั้ง 4 ตัว แล้วนำมาเชื่อมติดกับชุดตลับลูกปืนพร้อมปลอกลูกปืนในแนวเส้นผ่านศูนย์กลาง ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แสดงลักษณะการเชื่อมน็อตเบอร์ 16 กับชุดตลับลูกปืน

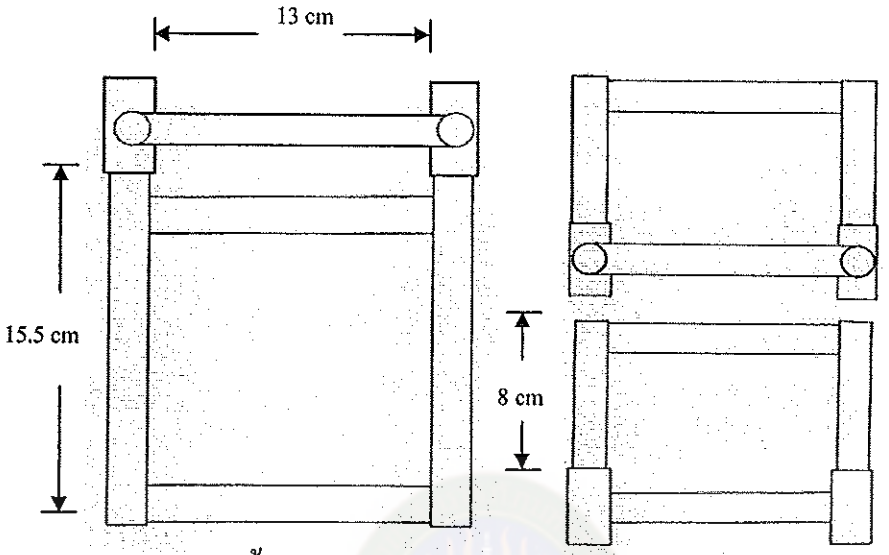
มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY



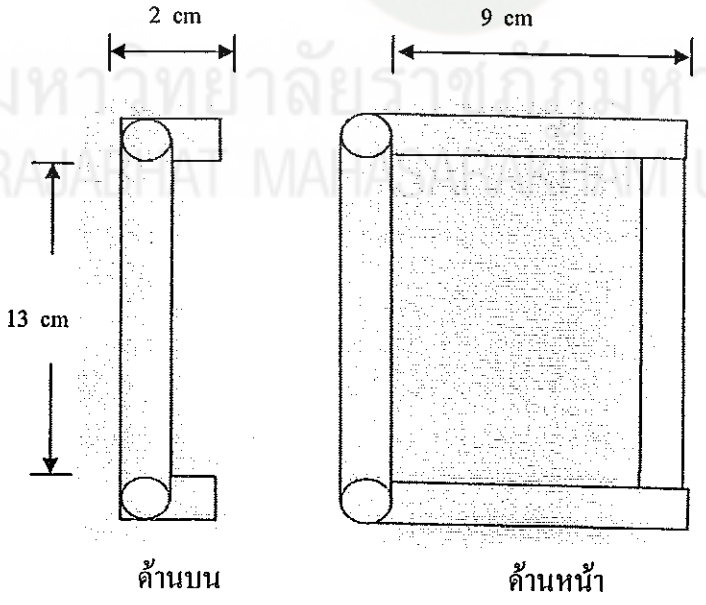
รูปที่ 3.2 ข แสดงลักษณะการเชื่อมท่อเหล็กกลวงยาว 2 cm ติดกับปลายทั้งสองด้านของท่อเหล็กกลวงยาว 13 cm และการเชื่อมท่อเหล็กยาว 9 cm ติดกับท่อเหล็กยาว 2 cm ในลักษณะที่ตั้งฉากกับท่อเหล็กยาว 13 cm

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

3. นำท่อเหล็กกลวงยาว 13 cm 2 ท่อน เชื่อมระหว่างท่อเหล็กกลวงยาว 15.5 cm ที่ปลายด้านหนึ่งเชื่อมติดกับชุดตลับลูกปืน และเชื่อมระหว่างท่อเหล็กยาว 8 cm ที่เชื่อมติดกับชุดตลับลูกปืน ในลักษณะที่ตั้งฉากกับท่อเหล็กกลวงยาว 15.5 cm (ท่อเหล็กกลวงในข้อ 2) **ดังรูปที่ 3.3 ก** จากนั้นนำท่อเหล็กยาว 13 cm เชื่อมติดกับท่อเหล็กยาว 9 cm (**ในรูปที่ 3.2 ข**) **ดังรูปที่ 3.3 ข**



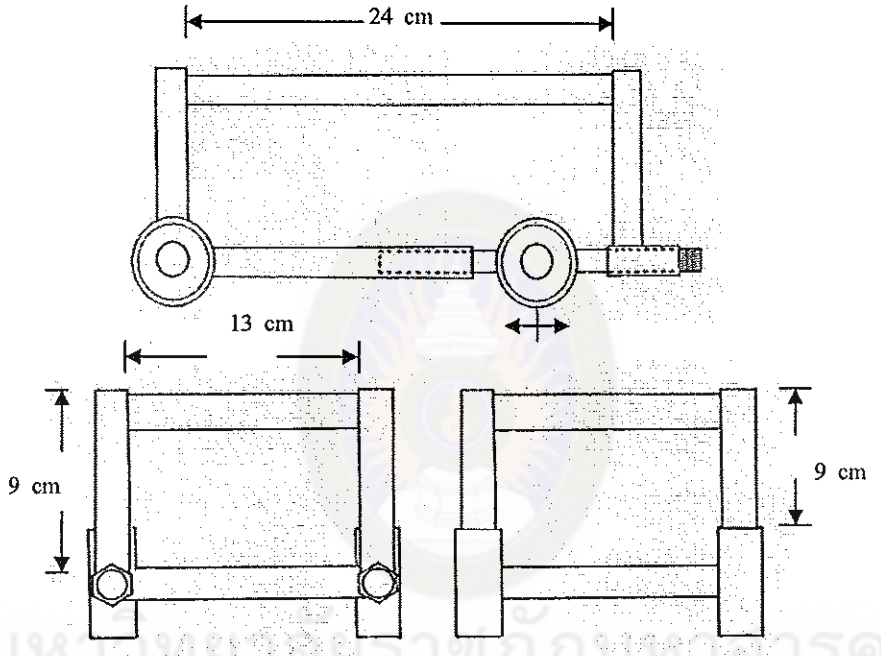
รูปที่ 3.3 ก แสดงลักษณะการเชื่อมท่อเหล็กกลวงยาว 13 cm ระหว่างท่อเหล็กกลวงยาว 15.5 cm ที่ปลายด้านหนึ่งเชื่อมติดกับชุดตลับลูกปืน



รูปที่ 3.3 ข แสดงลักษณะการเชื่อมท่อเหล็กยาว 13 cm ระหว่างท่อเหล็กกลวงยาว 9 cm

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

4. นำปลายด้านหนึ่งของชิ้นงาน ในข้อที่ 1 (ดังรูปที่ 3.1) มาสอดเข้าไปในท่อเหล็กกลวงยาว 15.5 cm ของชิ้นงานในข้อที่ 3 (ดังรูปที่ 3.2 ก) ทั้ง 2 ท่อน จากนั้นนำชิ้นงานในรูปที่ 3.3 ข มาสอดเข้าที่ปลายอีกด้านหนึ่งของชิ้นงานในข้อที่ 1 แล้วนำท่อเหล็กกลวงยาว 24 cm มาเชื่อมระหว่างท่อเหล็กกลวงยาว 8 cm ของชิ้นงานใน รูปที่ 3.3 ก และท่อเหล็กกลวงยาว 9 cm ของชิ้นงานในรูปที่ 3.3 ข เมื่อเสร็จแล้วจะได้ชิ้นงาน ดังรูปที่ 3.4



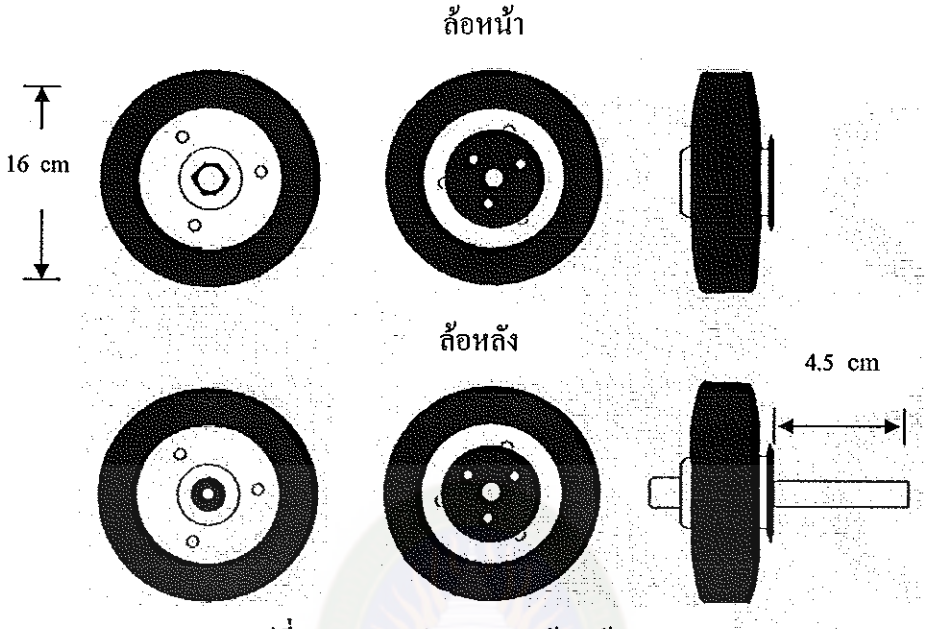
รูปที่ 3.4 โครงสร้างหลักของหุ่นยนต์

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ส่วนที่ 2 ออกแบบระบบล้อและระบบขับเคลื่อนของหุ่นยนต์

1. ระบบขับเคลื่อนใช้มอเตอร์กระแสตรง 12 โวลต์ เป็นต้นกำลังในการเคลื่อนที่ ซึ่งติดไว้ทางด้านหลังของหุ่นยนต์ทำให้หุ่นยนต์มีกำลังการขับเคลื่อนสูง

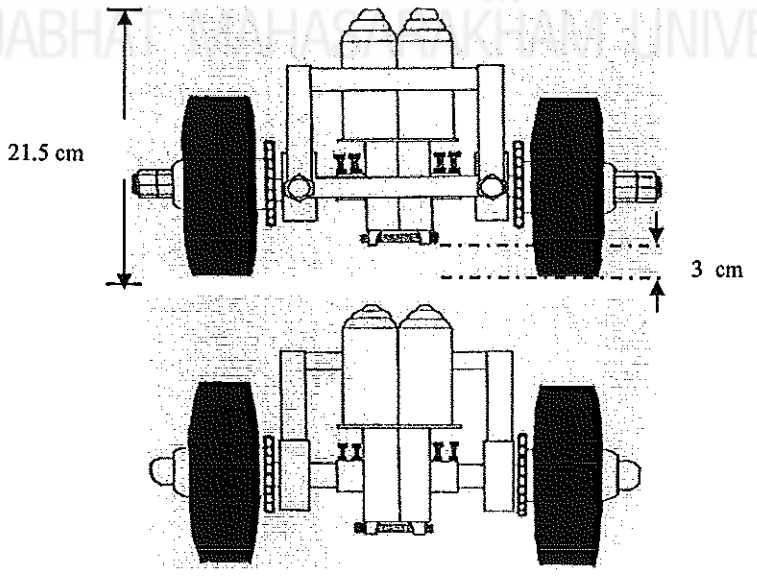
2. ล้อของหุ่นยนต์มี 4 ล้อ แต่ละล้อมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 16 cm ซึ่งติดบูตและเฟือง เพื่อช่วยในการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ และมีโซ่คล้องติดกับล้อด้านละ 1 เส้นจึงทำให้ระบบการเลี้ยวเหมือนกับการเลี้ยวของรถถัง ล้อมีลักษณะ ดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 แสดงลักษณะของล้อหน้า - หลัง

3. นำโครงสร้างหลักของหุ่นยนต์ มาประกอบกับระบบล้อและระบบขับเคลื่อน เมื่อประกอบเสร็จจะมีลักษณะ ดังรูปที่ 3.6

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY



รูปที่ 3.6 ก แสดงโครงสร้างและระบบขับเคลื่อนด้านหน้าและด้านหลังของหุ่นยนต์