บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการทำโครงงานครั้งนี้ผู้ทำโครงงานได้ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง และนำเสนอตามหัวข้อต่อไปนี้

2.1 หลักการเบื้องต้นของหุ่นยนต์

หุ่นยนต์ (Robot) เริ่มเข้ามามีบทบาทในชีวิตของมนุษย์มากขึ้น ปัจจุบันการทำงานในโรงงานอุตสาหกรรมหลายแห่งมีการนำแขนกลมาใช้ เช่นในงานการประกอบชิ้นส่วนรถยนต์ ได้นำเอาแขนกลมาแทนแรงงานมนุษย์ ซึ่ง Karel Capek ได้ให้คำจำกัดความของ “หุ่นยนต์” ไว้เมื่อปี ค.ศ.1920 ว่าเป็นทาสผู้ถูกใช้แรงงาน (Forced Labor)

นิยามของหุ่นยนต์ (Robotics Definition) ตามมาตรฐาน ISO 8373 หุ่นยนต์ คือ “ An Automatics machine and semi automatics machine ,Reprogrammable, Multipurpose Manipulator programmable in three or more axes which may be either fixed in place or mobile for use in industrial automation application.” หรือแปลเป็นภาษาไทยได้ว่า หุ่นยนต์ คือ เครื่องจักรกลชนิดหนึ่งที่มีลักษณะการทำงานแบบอัตโนมัติหรือกึ่งอัตโนมัติ สามารถเขียนโปรแกรมใหม่ให้ทำงานอย่างใดอย่างหนึ่งหรือหลายอย่างได้ หุ่นยนต์อาจจะยึดอยู่กับที่หรือย้ายตำแหน่งเพื่อใช้ในงานอุตสาหกรรม” จากเทคโนโลยีการสร้างหุ่นยนต์แต่ละชนิด บวกกับการประยุกต์ใช้หุ่นยนต์ ทำให้หุ่นยนต์ถูกเลือกนำมาใช้อย่างตามความเหมาะสมกับงาน

หุ่นยนต์อุตสาหกรรม(Industrial Robot)จากRIA(The Robotics Industries Association:RIA) ได้ให้คำจำกัดความหุ่นยนต์ที่ใช้ในอุตสาหกรรม ซึ่งเป็นที่ยอมรับกันในที่ประชุมระดับนานาชาติของบริษัทอุตสาหกรรมที่ใช้หุ่นยนต์ 11 แห่ง เมื่อปี ค.ศ.1981(พ.ศ.2524)ไว้ว่า “ An industrial robot is a reprogrammable , multifunction manipulator designed to move materials ,part ,tools or special devices through variable programmed motion for the performance of a variety of tasks.” หรือแปลเป็นภาษาไทยว่า “ หุ่นยนต์อุตสาหกรรม คือ เครื่องจักรกล ที่สามารถทำการตั้งโปรแกรมเพื่อควบคุมการเคลื่อนที่ให้ทำงานได้ตามต้องการ ซึ่งถูกออกแบบมา เพื่อให้สามารถหยิบจับหรือเคลื่อนย้ายวัสดุ อุปกรณ์ เครื่องมือและอุปกรณ์พิเศษต่างๆ” โดยปกติการทำงานของหุ่นยนต์อุตสาหกรรมจะเลียนแบบร่างกายของมนุษย์

เฉพาะส่วนของร่างกาย ที่นำไปใช้ประโยชน์ ส่วนใหญ่จะเป็น ช่วงแขนของมนุษย์ ดังนั้นจึงเรียกได้ว่าแขนกล ซึ่งหมายถึง หุ่นยนต์อุตสาหกรรมนั่นเอง ปัจจุบันและในอนาคตอันใกล้ หุ่นยนต์อุตสาหกรรมเข้ามามีบทบาทในอุตสาหกรรมมากขึ้น จะทำงานแทนมนุษย์ในหลาย ๆ งาน

2.2 ประเภทของหุ่นยนต์

หุ่นยนต์จะถูกพัฒนาไปในหลาย ๆ รูปแบบ แต่ก็สามารถแบ่งประเภทหุ่นยนต์ออกเป็นสองประเภทใหญ่ๆ ดังนี้

ประเภทแรก คือหุ่นยนต์ชนิดที่ติดตั้งอยู่กับที่ (Fixed Robot) ไม่สามารถเคลื่อนที่ไปไหนได้ด้วยตัวเอง หุ่นยนต์ประเภทนี้จะมีลักษณะเป็นแขนกล สามารถเคลื่อนไหวได้เฉพาะแต่ละข้อต่อภายในตัวเองเท่านั้น ส่วนมากมักถูกนำไปใช้ในโรงงานอุตสาหกรรม เช่น โรงงานประกอบรถยนต์

ประเภทที่สอง คือหุ่นยนต์ชนิดที่เคลื่อนที่ได้ (Mobile Robot) หุ่นยนต์ประเภทนี้จะสามารถเคลื่อนที่ไปไหนมาไหนได้ด้วยตัวเองเป็นการเคลื่อนที่โดยใช้ล้อหรือเคลื่อนที่โดยใช้ขา ซึ่งหุ่นยนต์ประเภทนี้ ส่วนใหญ่ยังเป็นงานวิจัยที่อยู่ในห้องทดลอง เพื่อพัฒนาออกมาใช้งานในรูปแบบต่างๆ เช่น หุ่นยนต์สำรวจดาวอังคารขององค์การนาซ่า

2.3 การแบ่งชนิดของหุ่นยนต์

โดยทั่วไปจะแบ่งตามลักษณะรูปทรงของพื้นที่ทำงาน (Envelope Geometric) ซึ่งพิจารณาได้จากการทำงานของจุดต่อของหุ่นยนต์อุตสาหกรรม ซึ่งในขั้นพื้นฐานมี 2 ชนิดด้วยกัน คือ ชนิดของข้อต่อของหุ่นยนต์ที่เคลื่อนที่หมุน (Revolute) และเคลื่อนที่เชิงเส้น (Prismatic)

ตารางที่ 2-1 ชนิดของข้อต่อของหุ่นยนต์ที่เคลื่อนที่หมุน และเคลื่อนที่เชิงเส้น

ชนิด	สัญญาลักษณ์	หมายเหตุ
Revolute (R)		เป็นการหมุนรอบแกน (Rotary)
Prismatic (P)		การเคลื่อนที่เชิงเส้น (Linear Motion)

จุดต่อทั้งสองแบบเมื่อนำมาต่อเข้าด้วยกันอย่างน้อย 3 แกนหลัก จะได้พื้นที่ทำงานที่มีลักษณะแตกต่างกันไป ซึ่งสามารถนำมาแบ่งชนิดของหุ่นยนต์ได้ดังต่อไปนี้ ตาราง 2-2 แสดงการแบ่งชนิดของหุ่นยนต์ตามแกนต่าง ๆ

ตารางที่ 2-2 การแบ่งชนิดของหุ่นยนต์ตามแกนต่าง ๆ

ชนิดของหุ่นยนต์	แกนที่ 1 (เอว)	แกนที่ 2 (ไหล่)	แกนที่ 3 (ข้อศอก)
Cartesian (Gantry)	Prismatic	Prismatic	Prismatic
Cylindrical	Revolute	Prismatic	Prismatic
Spherical (Polar)	Revolute	Revolute	Prismatic
SCARA	Revolute	Prismatic	Revolute
Articulated	Revolute	Revolute	Revolute

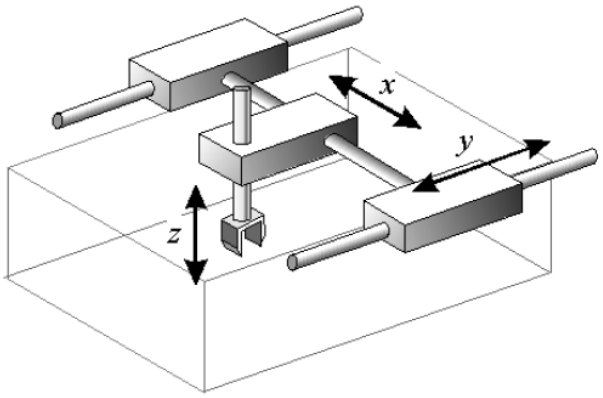
โดยแต่ละชนิดมีคุณสมบัติดังนี้

2.3.1 หุ่นยนต์ชนิดคาร์ทีเซียน (Cartesian Manipulator) หรือเรียกว่าหุ่นยนต์ชนิดแกนทรี (Gantry Manipulator) โครงสร้างมีลักษณะคล้ายหุ่นยนต์ที่มีขาตั้ง (Overhead Crane) จะเรียกว่าเป็นหุ่นยนต์ชนิดแกนทรีนอกนั้นจะเป็นแบบคาร์ทีเซียนทั้งหมด ซึ่งทั้งสองประเภทจะมีลักษณะการทำงาน ที่ทั้งสามแกนของหุ่นยนต์เคลื่อนที่เป็นแบบเชิงเส้น

ส่วนใหญ่จะนำไปประยุกต์ใช้ในงานที่ต้องหยิบยกชิ้นงาน (Pick-And-Place) หรือการเคลื่อนย้ายของหนักๆ เช่น ใช้โหลดชิ้นงานเข้าเครื่องจักร (Machine Loading) ใช้จัดเก็บชิ้นงาน (Stacking) นอกจากนี้ยังสามารถใช้ในงานประกอบ (Assembly) ที่ไม่ต้องการเข้าถึงในลักษณะที่มี มุมหมุน เช่น ประกอบอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ และงานทดสอบต่าง ๆ โดยมีข้อดี-ข้อเสีย ดังนี้

ข้อดี คือ การเคลื่อนที่เป็นแนวเส้นตรงทั้ง 3 มิติ รูปแบบการทำงานสามารถทำความ เข้าใจได้ง่าย โครงสร้างแข็งแรงและมีส่วนประกอบง่ายๆ

ข้อเสีย คือ ต้องการพื้นที่ติดตั้งมาก บริเวณที่หุ่นยนต์เข้าไปทำงานได้ จะเล็กกว่าขนาดของตัวหุ่นยนต์ และไม่สามารถเข้าถึงวัตถุจากทิศทางข้างใต้ได้

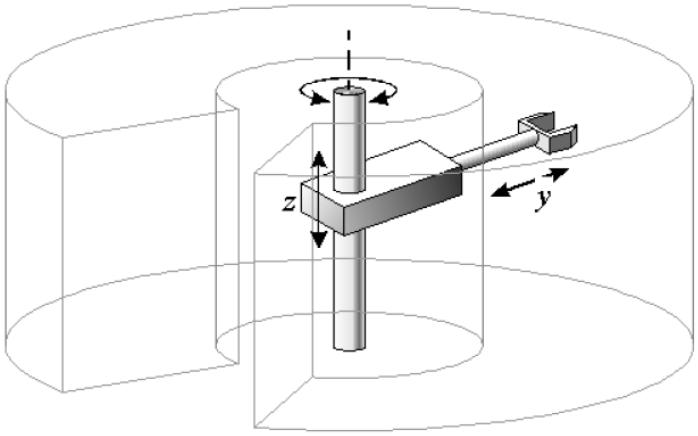


ภาพที่ 2-1 ลักษณะของหุ่นยนต์ชนิดคาร์ทีเซียน

2.3.2 หุ่นยนต์ชนิดทรงกระบอก (Cylindrical Manipulator) โครงสร้างการทำงานของหุ่นยนต์ประเภทนี้จะได้พื้นที่การทำงานเป็นลักษณะรูปทรงกระบอก ส่วนใหญ่หุ่นยนต์ลักษณะนี้จะนำไปประยุกต์ใช้ในงานที่ต้องหยิบยกชิ้นงาน หรือป้อนชิ้นงานเข้าเครื่องจักร เพราะสามารถเคลื่อนที่เข้า-ออกบริเวณที่เป็นช่องโพรงเล็กๆ ได้สะดวก โดยมีข้อดี-ข้อเสีย ดังนี้

ข้อดี คือ มีส่วนประกอบที่ไม่ซับซ้อน สามารถเข้าใจการทำงานของหุ่นยนต์ได้ง่าย และ สามารถเคลื่อนที่เข้าออกบริเวณที่เป็นโพรงเล็ก ๆ ได้สะดวก เช่น การโหลด ชิ้นงานเข้าเครื่อง CNC (Computer Numerical Control: CNC)

ข้อเสีย คือ มีพื้นที่การทำงานจำกัด

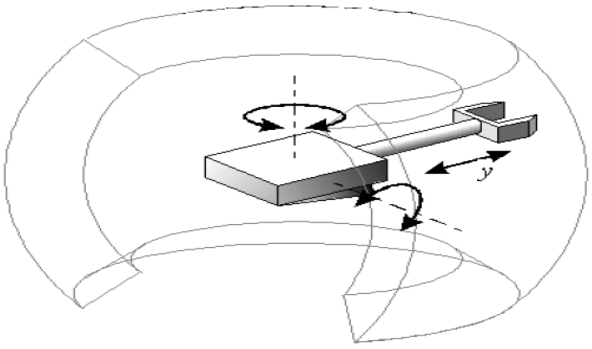


ภาพที่ 2-2 การทำงานของหุ่นยนต์ชนิดทรงกระบอก

2.3.3 หุ่นยนต์ชนิดสเฟียริคอล (Spherical Manipulator) โดยสามารถเรียกอีกชื่อหนึ่งว่าหุ่นยนต์ชนิดโพล่า (Polar Robot) ซึ่งมีโครงสร้างการทำงานเป็นสองแกนที่เคลื่อนในลักษณะการหมุน ส่วนอีกแกนเคลื่อนที่ในแนวเส้นตรง โดยทั่วไปจะประยุกต์ใช้ในงานที่มีการเคลื่อนที่ในแนวตั้ง (Vertical) เพียงเล็กน้อยเช่น การโหลด ชิ้นงานเข้าออกจากเครื่องปั๊ม (Press) หรือในงานที่ต้องการเชื่อมจุดต่างๆ โดยมีข้อดี-ข้อเสีย ดังนี้

ข้อดี คือ สามารถทำงานได้มากขึ้น เนื่องจากการหมุนของแกนที่ทำหน้าที่เป็นเอวและไหล่สามารถก้มลงมาจับชิ้นงานบนพื้นได้สะดวก

ข้อเสีย คือมีระบบพิกัด (Coordinate) และส่วนประกอบที่ซับซ้อน ทำให้การเคลื่อนที่และระบบควบคุมมีความซับซ้อนมากขึ้น

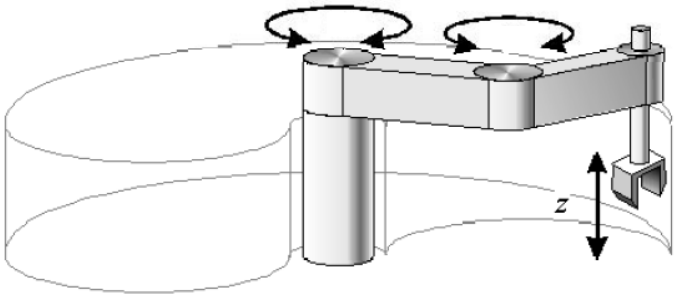


ภาพที่ 2-3 การทำงานของหุ่นยนต์ชนิดสเฟียริคอล

2.3.4 หุ่นยนต์ชนิดสการ่า (SCARA Manipulator) โดยที่ SCARA ย่อมาจาก Selective Compliance Assembly Robot Arm ซึ่งลักษณะแกนที่ 1(เอว) และแกนที่ 3 (ข้อศอก) จะทำงานหมุนรอบแกนในแนวตั้ง และแกนที่ 2 จะเคลื่อนที่แบบเชิงเส้น ทำให้หุ่นยนต์สามารถเคลื่อนที่ได้รวดเร็วในแนวระนาบและมีความแม่นยำสูง โดยมีข้อดี-ข้อเสีย ดังนี้

ข้อดี คือ สามารถเคลื่อนที่ได้ในแนวระนาบ และเคลื่อนที่ได้รวดเร็วในแนวขึ้นลง

ข้อเสีย คือ มีพื้นที่ทำงานจำกัด ไม่สามารถหมุนในลักษณะมุมต่าง ๆ ได้ และไม่สามารถยกของที่มีน้ำหนักมากได้เนื่องจากการเคลื่อนที่ในแนวระนาบ และเคลื่อนที่ขึ้นลงได้รวดเร็ว

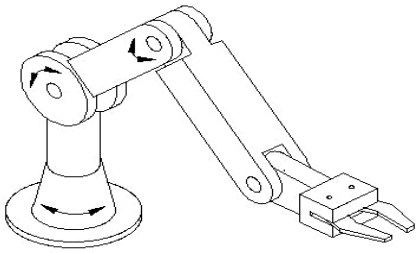


ภาพที่ 2-4 การทำงานของหุ่นยนต์ชนิดสการ่า

2.3.5 หุ่นยนต์ชนิดอาทิคูเลท (Articulated Manipulator) หุ่นยนต์ชนิดนี้มีลักษณะที่ทุกแกนการเคลื่อนที่จะเป็นการทำงานแบบหมุน จนบางครั้งอาจเรียกอีกชื่อหนึ่งว่าหุ่นยนต์ชนิดเรโวลูท (Revolute Manipulator) โดยรูปแบบการเคลื่อนที่จะคล้ายกับแขนของคนมาก ซึ่งจะประกอบด้วย ช่วงเอว ท่อนแขนบน ท่อนแขนล่าง และข้อมือ โดยทั่วไปหุ่นยนต์ชนิดนี้ สามารถใช้งานได้อย่างกว้างขวางมากเพราะสามารถเข้าถึงตำแหน่งต่างๆ ได้ดี เช่น งานเชื่อม (Spot Welding) งานยกของ งานตัด งานทากาว และงานที่มีการเคลื่อนที่ยาก ๆ เช่น งานพ่นสี เป็นต้น โดยมีข้อดี-ข้อเสีย ดังนี้

ข้อดี คือ ทุกแกนจะเคลื่อนที่ในลักษณะของการหมุน ทำให้มีความยืดหยุ่นสูงในการเข้าไปยังจุดต่างๆ ที่ต้องการทำงานได้ สามารถเข้าถึงชิ้นงานทั้งจากด้านบน และด้านล่าง ซึ่งเหมาะกับการใช้มอเตอร์ไฟฟ้าเป็นชุดขับเคลื่อน

ข้อเสีย คือ มีระบบพิกัดที่ซับซ้อน การเคลื่อนที่และระบบควบคุมทำความเข้าใจได้ยากขึ้น มีข้อจำกัดด้านการควบคุมให้เคลื่อนที่ในแนวเส้นตรง และโครงสร้างทางการเคลื่อนที่ไม่มั่นคงตลอดช่วงการทำงาน เพราะบริเวณขอบของพื้นที่ทำงานปลายแขนจะมีการสั่น ทำให้ความแม่นยำในการทำงานลดลง



ภาพที่ 2-5 การทำงานของหุ่นยนต์ชนิดอาทิคูเลท

2.4 สมการการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ (Dynamic Equations for Robot)

2.4.1 ทฤษฎีจลนศาสตร์ (Kinematics Theory) จุดมุ่งหมายของการวิเคราะห์จลนศาสตร์เหมือนกับหุ่นยนต์สามารถคิดได้ ตามที่กำหนดข้อต่อเชื่อมต่อด้วยกันที่ข้อต่อต่างชนิดกัน ถ้าข้อต่อสามารถเหมือนกันได้ ยิ่งทำให้ง่ายยิ่งขึ้นเช่น จุดต่อหมุน (Revolute Joint) หรือ จุดต่อเลื่อน (Prismatic Joint) หรือนอกจากนั้นเป็นรูปทรงซับซ้อนกว่าได้ เช่น ลูกบอลและจุดต่อที่เป็นเป้า (จากที่กล่าวมา จุดต่อหมุน เป็นเหมือนจุดแกว่งและหมุนรอบแกนเดียว จุดต่อเลื่อน เคลื่อนที่เป็นเส้นตรงตามแกน ๆ เดียว กล่าวคือ ยืดหรือหดเข้า) ความแตกต่างระหว่าง 2 อย่างนั้นคือประการแรก ข้อต่อมีเพียง หนึ่งระดับขั้นความเสรี (Degree of Freedom) ของการเคลื่อนที่มุมของการหมุนในกรณีของจุดต่อ หมุนและถ้าเป็นการเคลื่อนที่แบบเส้นตรงในกรณีของจุดต่อเลื่อนในทางตรงกันข้าม ลูกบอลและข้อ ต่อแบบเป้ามีสองระดับขั้นความเสรี

สมมุติให้หุ่นยนต์ มีข้อต่อจำนวน n+1 ข้อต่อ จาก 0 ถึง n เริ่มต้นจากฐานของหุ่นยนต์เป็นข้อต่อที่ 0 จำนวนจุดต่อเริ่มจาก 1 ถึง n และลำดับจุดต่อที่ i เป็นจุดในช่องว่างที่ข้อต่อ i -1 และ i ที่ต่อกัน จุดต่อที่ i เปลี่ยนมาใช้แทนเป็น q_i ในกรณีของจุดต่อหมุน q_i เป็นมุมของการหมุนและในกรณีของจุดต่อเลื่อน q_i เป็นระยะจุดต่อเคลื่อนที่ สมมุติให้ A_i เป็นโฮโมจีเนียเมตริก (Homogeneous Matrix) นั้นเปลี่ยนรูปตำแหน่งของจุดจากเฟรม *i* ถึงเฟรม *i* -1 เมตริก A_i ไม่คงที่

แต่จะแตกต่างตามรูปร่างของหุ่นยนต์ ที่เปลี่ยนไป อย่างไรก็ตามสมมุติให้ทุกจุดต่อทั้งที่หมุนหรือเลื่อนเป็น A_iคือที่มี q_i เป็นฟังก์ชั่นของจุดต่อเดียวที่เปลี่ยนแปลงเท่านั้น จะได้

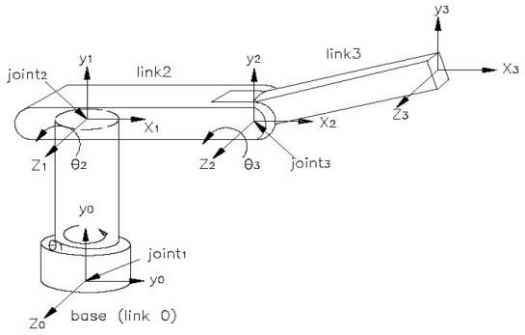
$$A_i = A_i q_i \tag{2-1}$$

ขณะที่โฮโมจีเนียเมตริกนั้นเปลี่ยนรูปตำแหน่งของจุดจากเฟรม j ถึงเฟรม i เรียกได้ว่าเป็นทรานฟอร์มเมชั่นเมตริก (Transformation Matrix) และใช้แทนเป็น T_i^j จะได้ว่า

$$\mathrm{T_i^j = A_{i+1}A_{i+2} \dots A_{j-1}A_j,\ if\ i < j} \tag{2-2}$$

$$\mathrm{T_i^j = I,\ if\ i = j} \tag{2-3}$$

$$\mathrm{T_i^j = T_j^{i^{-1}}, if\ j > i} \tag{2-4}$$



ภาพที่ 2-6 แกนที่ติดกับเฟรมของแขนกลรูปทรงคล้ายข้อศอก

ตำแหน่งและการหักเหของจุดรับแรงสุดท้ายด้วยส่วนของจุดตั้งต้นหรือฐานเฟรมที่สามเวกเตอร์ d_0^n และเป็น 3x3 โรเตชั่นเมตริก(Rotation Matrix) R_0^n โดยลำดับและกำหนดเป็นโฮโมจีเนียสเมตริก

$$H = \begin{bmatrix} R_0^n & d_0^n \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \tag{2-5}$$

ดังนั้นตำแหน่งและการหักเหของจุดรับแรงสุดท้ายในส่วนของเฟรมตั้งต้นจะแสดงได้ว่า

$$H = \mathrm{T_0^n = A_1 q_1 \dots A_n q_n} \tag{2-6}$$

แต่ละโฮโมจีเนียสทรานฟอร์มเมชั่น A_i เป็นแบบนี้

$$\mathrm{A_i = \begin{bmatrix} R_{i-1}^i & d_{i-1}^i \\ 0 & 1 \end{bmatrix}} \tag{2-7}$$

$$\mathrm{T_i^j = A_{i+1} \dots A_j = \begin{bmatrix} R_i^j & d_i^j \\ 0 & 1 \end{bmatrix}} \tag{2-8}$$

เมตริก R_i^jแสดงการหักเหของเฟรม j สัมพันธ์กับโครง i และให้ส่วนที่หมุนของเมตริก A ตามที่

$$\mathrm{R_i^j = R_i^{i+1} \dots R_{j-1}^j} \tag{2-9}$$

เวกเตอร์ $\mathrm{d_i^j}$ จะยอมให้ติดกันไปตามหลัก ทั้งหมดนี้จะถูกใช้ในเรื่องของเมตริกจาโคเบียน (Jacobian Matrix)

$$\mathrm{d_i^j = d_i^{j-1} + R_i^{j-1} d_{j-1}^j} \tag{2-10}$$

2.4.2 เดนาวิต-ฮาร์เทนเบอร์ก (Denavit-Hartenberg) หรือ แบบแผน D-H ในความเป็นแบบแผนแต่ละโฮโมจีเนียสทรานฟอร์มเมชั่น $\mathbf{A_i}$ เป็นการนำเสนอตามที่ผลคูณของสี่ลักษณะพื้นฐานในการเปลี่ยนรูปทั้งสี่ตัวแปร $\theta_i, a_i, d_i, \alpha_i$ เป็นตัวแปรของข้อต่อ i และจุดต่อ i เป็นตัวแปรต่างๆ ใน (2-11) โดยปกติจะแทนความหมายตามนี้ a_i ใช้เรียกแทนความยาว α_i ใช้เรียกแทนการบิด d_i ใช้เรียกแทนระยะที่ออกมาและ θ_i ใช้เรียกแทนมุม เมื่อเมตริก A_i เป็นฟังก์ชั่นของตัวแปรเดียว ซึ่งเกิดขึ้นมาจากสามสิ่งที่นอกเหนือไปกว่าสี่ขนาดของค่าคงที่ที่ได้มาจากข้อต่อ ในขณะที่สี่ตัวแปรจะมี θ_i ของจุดต่อหมุนและ d_i ของจุดต่อเลื่อนเป็นค่าไม่คงที่ของจุดต่อนั้นๆ

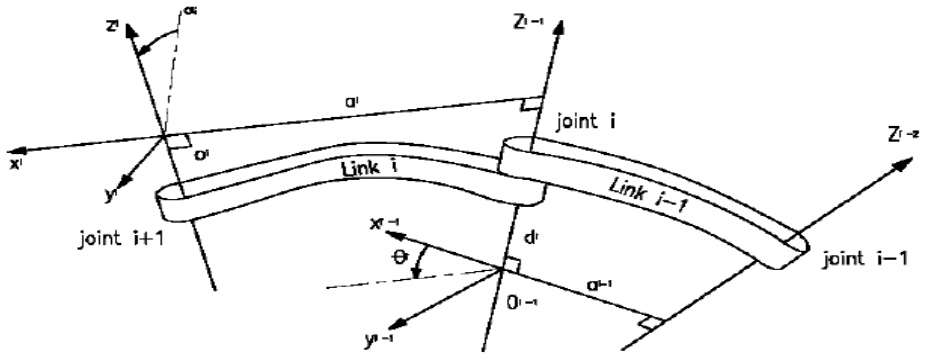
$$A_i = \mathrm{Rot}_{z_i\theta_i}\mathrm{Trans}_{z_i d_i}\mathrm{Trans}_{x_i\alpha_i}\mathrm{Rot}_{x_i\alpha_i} \tag{2-11}$$

$$A_i = \begin{bmatrix} c_{\theta_i} & -s_{\theta_i} & 0 & 0 \\ s_{\theta_i} & c_{\theta_i} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 \end{bmatrix}\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & a_i \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & c_{\alpha_i} & -s_{\alpha_i} & 0 \\ 0 & s_{\alpha_i} & c_{\alpha_i} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$A_i = \begin{bmatrix} c_{\theta_i} & -s_{\theta_i}c_{\alpha_i} & s_{\theta_i}s_{\alpha_i} & a_i c_{\theta_i} \\ s_{\theta_i} & c_{\theta_i}c_{\alpha_i} & -c_{\theta_i}s_{\alpha_i} & a_i s_{\theta_i} \\ 0 & s_{\alpha_i} & c_{\alpha_i} & d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \tag{2-12}$$

โดย Rot หมายถึง โรเตชั่นเมตริก (Rotation Matrix)

Trans หมายถึง ทรานฟอร์มเมชั่นเมตริก (Transformation Matrix)



ภาพที่ 2-7 การตั้งเฟรมตามวิธีเดนาวิต-ฮาร์เทนเบอร์ก

การตั้งเฟรมบนข้อต่อต่าง ๆ จะใช้วิธีของเดนาวิต-ฮาร์เทนเบอร์ก โดยจุดกำเนิดของเฟรมที่ i $(0)_i$ จะอยู่บนจุดตัดระหว่างจุดต่อ i +1กับเส้นตั้งฉากระหว่างจุดต่อ i กับ i+1

แกน x_i จะอยู่บนจุดต่อ i +1

แกน y_i จะอยู่บนเส้นตั้งฉากระหว่างจุดต่อ i กับ จุดต่อ i +1

แกน z_iจะเป็นไปตามกฎมือขวา

a_i คือ ความยาวของเส้นตั้งฉากระหว่าง z_{i-1}กับ z_i

d_i คือ ระยะระหว่าง x_{i-1} กับ x_i ตามแนวแกน z_{i-1}

α_i คือ มุมระหว่าง z_{i-1} กับ z_i วัดรอบแกน x_i ตามกฎมือขวา

θ_i คือ มุมระหว่าง z_{i-1} กับ z_iวัดรอบแกน z_{i-1} ตามกฎมือขวา

2.4.3 การหาตำแหน่งปลาย ของแขนหุ่นยนต์ด้วยวิธี จลศาสตร์การเคลื่อนไหวไปข้างหน้า (Forward Kinematics) การหาค่าตำแหน่งปลายแขนของหุ่นยนต์ด้วยวิธี จลศาสตร์การเคลื่อนไหวไปข้างหน้า ดังแสดงในภาพที่ 2-8 คือเมื่อเรากำหนดค่าตัวแปร มุมของก้านโยงแต่ละก้านและกำหนดค่าความยาวก้านโยงจะสามารถหาค่าปลายแขนของหุ่นยนต์อยู่ตำแหน่งได้จากสมการ (2-13)

$$ {}^{0}_{6}T = {}^{0}_{1}T\,{}^{1}_{2}T\,{}^{2}_{3}T\,{}^{3}_{4}T\,{}^{4}_{5}T\,{}^{5}_{6}T = \begin{bmatrix} n_x & s_x & a_x & P_x \\ n_y & s_y & a_y & P_y \\ n_z & s_z & a_z & P_z \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \qquad (2\text{-}13) $$

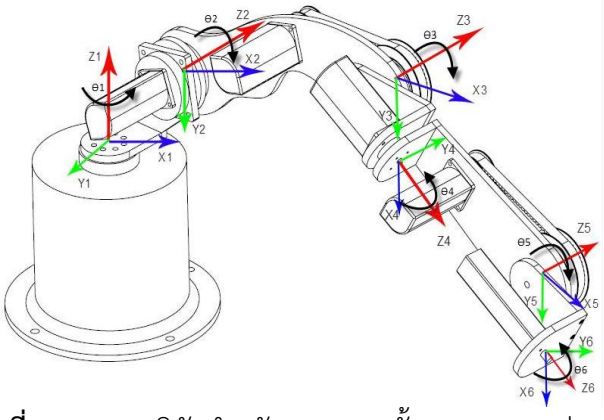
ดังนั้น

ค่าตำแหน่งของปลายแขนในแกน $x = P_x$

ค่าตำแหน่งของปลายแขนในแกน $y = P_y$

ค่าตำแหน่งของปลายแขนในแกน $z = P_z$

ตัวอย่างการคำนวณค่าตำแหน่งปลายแขนหุนยนต์โดยวิธี จลศาสตร์การเคลื่อนไหวไปข้างหน้าดังแสดงในภาพที่ 2-8



ภาพที่ 2-8 ระบบพิกัดสำหรับแกนหมุนทั้ง 6 แกนแขนหุ่นยนต์

ตารางที่ 2-3 ค่า D-H Parameters

i	$\alpha_i - 1$	$a_i - 1$	d_i	θ_i
1	0	0	0	θ_1
2	-90°	0	0	θ_2
3	0	a_2	d_3	θ_3
4	-90°	a_3	d_4	θ_4
5	90°	0	0	θ_5
6.	-90°	0	0	θ_6

แทนค่าลงในสมการ (2-12) จะได้

$$ {}^{0}_{1}T = \begin{bmatrix} c\theta_1 & -s\theta_1 & 0 & 0 \\ s\theta_1 & c\theta_1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2\text{-}14) $$

$$ {}^{1}_{2}T = \begin{bmatrix} c\theta_2 & -s\theta_2 & 0 & a_1 \\ 0 & 0 & 1 & d_2 \\ -s\theta_1 & -c\theta_1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2\text{-}15) $$

$$ {}^{2}_{3}T = \begin{bmatrix} c\theta_3 & -s\theta_3 & 0 & a_2 \\ s\theta_3 & c\theta_3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & d_3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2\text{-}16) $$

$$ {}^{3}_{4}T = \begin{bmatrix} c\theta_4 & -s\theta_4 & 0 & a_3 \\ 0 & 0 & 1 & d_4 \\ -s\theta_4 & -c\theta_4 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2\text{-}17) $$

$$ {}^{4}_{5}T = \begin{bmatrix} c\theta_5 & -s\theta_5 & 0 & a_4 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ s\theta_5 & c\theta_5 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2\text{-}18) $$

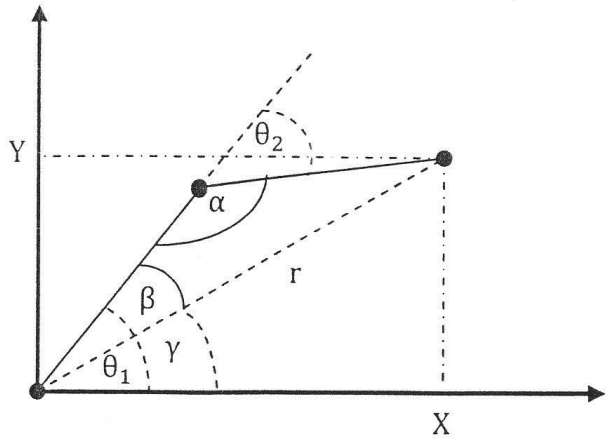
$$ {}^{5}_{6}T = \begin{bmatrix} c\theta_6 & -s\theta_6 & 0 & a_5 \\ 0 & 0 & 1 & d_6 \\ -s\theta_6 & -c\theta_6 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2\text{-}19) $$

จะได้ $${}^{0}_{6}T = {}^{0}_{1}T\,{}^{1}_{2}T\,{}^{2}_{3}T\,{}^{3}_{4}T\,{}^{4}_{5}T\,{}^{5}_{6}T = \begin{bmatrix} c_{23} & -s_{23} & 0 & a_2c_2 \\ 0 & -1 & 1 & d_3 \\ -s_{23} & -c_{23} & 0 & -a_2s \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2\text{-}20)$$

จากสมการ (2-20) จะสามารถหาค่าตำแหน่งของปลายแขนของหุ่นยนต์ได้ดังนี้

$$c_{23} = \mathrm{c_2c_3 - s_2s_3}$$
$$s_{23} = \mathrm{c_2c_3 + s_2s_3}$$

2.4.4 การหาค่ามุมก้านโยงด้วยวิธีจลนศาสตร์ผกผัน (Inverse Kinematics) การคำนวณจลศาสตร์ผกผัน แสดงในภาพที่ 2-9 เกิดขึ้นเมื่อทราบค่าตำแหน่งที่ปลายของแขนกลแล้วต้องการหาค่ามุมที่เกิดขึ้นในแต่ละข้อต่อของแขนกล



ภาพที่ 2-9 การคำนวณหาค่าจลนศาสตร์ผกผัน

หามุม θ_2 โดย

$$\theta_2 = \alpha - 180 \quad (2\text{-}21)$$

ดังนั้นหามุม α โดยใช้กฎของโคซายน์ จะได้

$$r^2 = \mathrm{a_1^2} + a_2^2 + 2a_1a_2\ \cos\ \alpha \quad (2\text{-}22)$$

$$\cos\ \alpha = \frac{\mathrm{a_1^2 + a_2^2 - x^2 - y^2}}{\mathrm{2a_1a_2}} \quad (2\text{-}23)$$

จาก $\sin^2 + cos^2 = 1$

ดังนั้น $$\sin\alpha = \sqrt{1 - \cos\ \alpha^2} \quad (2\text{-}24)$$

จากสมการ (2-22) และสมการ (2-23) จะได้

$$\frac{\sin(\alpha)}{\cos(\alpha)} = \tan\alpha$$

ดังนั้นจะได้ $\alpha = \arctan 2\ (\sin\ \alpha\ \ \cos\ \alpha)$

$$\alpha = \arctan 2\ \ (\sqrt{1-\cos\alpha^2}\ \cos\ \alpha) \quad (2\text{-}25)$$

ดังนั้นสามารถหามุม θ_2 ได้ดังนี้

$$\theta_2 = \arctan 2\ \ (\sqrt{1-\cos\alpha^2}\ \ \cos\alpha) - 180 \quad (2\text{-}26)$$

หามุม θ_1 โดย $\theta_1 = \beta + \gamma$ (2-27)

หามุม γ โดยใช้กฎของสามเหลี่ยมมุมฉาก

จากภาพที่ 2-9 จะได้ $\tan\ \gamma = \frac{Y}{X}$

ดังนั้นเพื่อให้สามารถหามุม γ ออกมาได้ทั้งบวกและลบ

$$\gamma = \arctan 2\ \ (Y, X) \quad (2\text{-}28)$$

โดย $\arctan 2$ คือ การส่งกลับของค่าอาร์กแทน หรือ แทนเจนต์ผกผัน ของพิกัด X และ Y

ข้อสังเกต

- ผลลัพธ์ที่เป็นบวกจะแสดงถึงมุมทวนเข็มนาฬิกาจากแกน X และผลลัพธ์ที่เป็นลบจะแสดงมุมตามเข็มนาฬิกา

- $\arctan 2(a, b)$ กับ $\arctan(b/a)$ ยกเว้น a มีค่าเท่ากับศูนย์

หามุม β โดยใช้กฎของโคซายน์

$$a_2^2 = a_1^2 + r^2 - 2a_1 r\cos\beta$$

$$a_2^2 = a_1^2 + X^2 + Y^2 - 2a_1\sqrt{X^2+Y^2}\cos\beta \quad (2\text{-}29)$$

ย้าย $\cos\beta$ เพื่อหาค่า β

$$\cos\beta = \frac{a_1^2+x^2+y^2-a_2^2}{2a_1\sqrt{X^2+Y^2}} \quad (2\text{-}30)$$

จาก $sin^2 + cos^2 = 1$

ดังนั้น $\sin\beta = \sqrt{1-\cos\beta^2}$ (2-31)

จากสมการ (2-24) และสมการ (2-25) จะได้

$$\frac{\sin\beta}{\cos\beta} = \tan\beta$$

ดังนั้นจะได้

$$\beta = \arctan 2\ (\sin\beta, \cos\beta)$$
$$\beta = \arctan 2\ (\sqrt{1-\cos\beta^2}, \cos\beta \qquad (2\text{-}32)$$

ดังนั้น θ_1 จะมีค่าเท่ากับ

$$\theta_1 = \beta + \gamma \qquad (2\text{-}33)$$

การศึกษาถึงจลศาสตร์ของหุ่นยนต์จะทำให้สามารถเข้าใจถึงความสัมพันธ์ของส่วนประกอบของหุ่นยนต์ชนิดนั้น ๆ ซึ่งแต่ละชนิดก็มีความแตกต่างกันแต่จะมีวิธีการคำนวณทางจลศาสตร์คล้ายคลึงกัน

2.5 มอเตอร์ไฟฟ้า (Electric Motor)

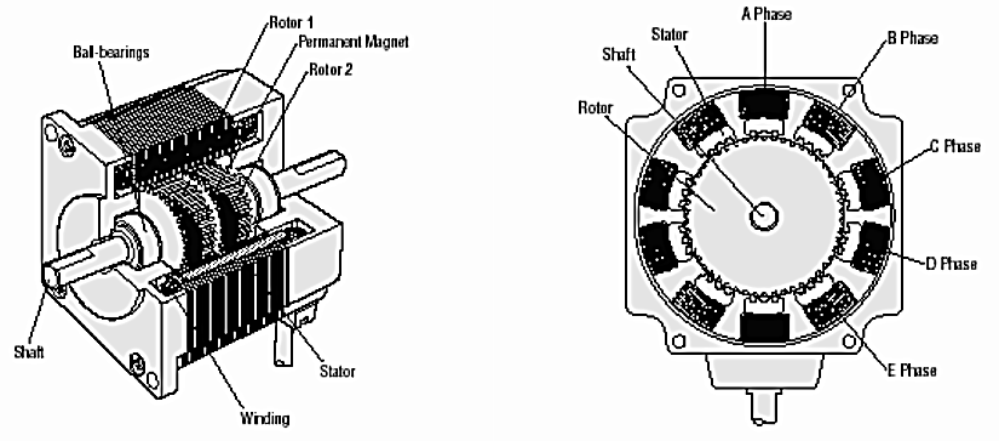
มอเตอร์ไฟฟ้า หมายถึงเป็นเครื่องกลไฟฟ้าชนิดหนึ่งที่เปลี่ยนแปลงพลังงานไฟฟ้า มาเป็นพลังงานกล มอเตอร์ไฟฟ้าที่ใช้พลังงานไฟฟ้าเปลี่ยนเป็นพลังงานกล มีทั้งไฟฟ้ากระแสสลับและไฟฟ้ากระแสตรง

2.5.1 การแบ่งชนิดของมอเตอร์ (Types of Electric Motors) มอเตอร์มีหลายชนิด สามารถแบ่งได้ดังนี้

- สเต็ปปิ้งมอเตอร์ (Stepping Motor)
- มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (DC Motor)
- มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ (AC Motor)
- เซอร์โวมอเตอร์ (Servo Motor)

2.5.1.1 สเต็ปปิ้งมอเตอร์ เป็นมอเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับใช้ในงานควบคุม การหมุนที่ต้องการตำแหน่งและทิศทางที่แน่นอน การทำงานของสเต็ปปิ้งมอเตอร์จะขับเคลื่อนทีละขั้นตอน (Step) 0.9, 1.8, 5, 7.5, 15 หรือ 50 องศา ซึ่งจะขึ้นอยู่กับคุณสมบัติแต่ละชนิดของสเตปปิ้งมอเตอร์แต่ละตัว

ก) หลักการเบื้องต้นของสเต็ปปิ้งมอเตอร์ เมื่อเราจ่ายไฟเข้าที่ขดลวดที่พันอยู่บนสเตเตอร์หรือตัวอยู่กับที่ (Stator) ที่ขด 1 ก่อน จะทำให้เกิดอำนาจแม่เหล็กขึ้นที่ตำแหน่ง 1 นี้ และผลักให้ตัวหมุน (Rotor) เกิดการเคลื่อนที่ได้ การเคลื่อนที่แบบนี้ทำให้มอเตอร์ ชนิดนี้ถูกเรียกว่าสเต็ปปิ้งมอเตอร์

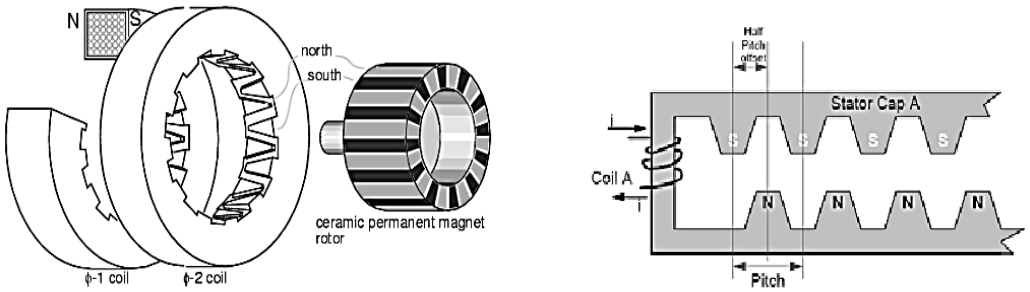


ภาพที่ 2-10 โครงสร้างของมอเตอร์ และภาพตัดหน้าตัดของเพลา

(ที่มา http://www.orientalmotor.co.th/)

ข) ประเภทของสเต็ปปิ้งมอเตอร์ แบ่งออกเป็น 6 ชนิด

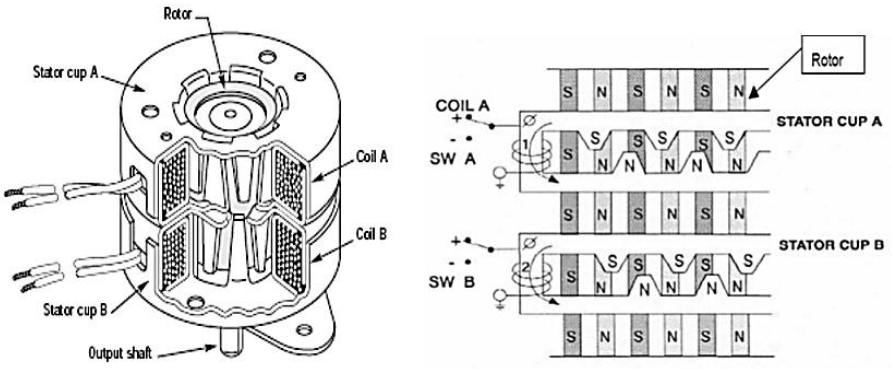
- สเต็ปปิ้งมอเตอร์แม่เหล็กถาวร (Permanent Magnet Motor : PM) มอเตอร์ชนิดนี้ จะมีตั้งแต่ขนาด 2 เฟสขึ้นไป มอเตอร์ชนิดนี้ไม่นิยมนำไปใช้ในงานอุตสาหกรรม แต่จะถูกนำไปใช้กับอุปกรณ์คอมพิวเตอร์เช่นตัวขับวงล้อที่ใช้หมุนเพื่อเลื่อนกระดาษของเครื่องพิมพ์ เป็นต้น เพราะความเร็วต่ำแรงบิดต่ำ



ภาพที่ 2-11 โครงสร้างและการจัดตำแหน่งฟันที่สเตเตอร์ของสเต็ปปิ้งมอเตอร์แม่เหล็กถาวร

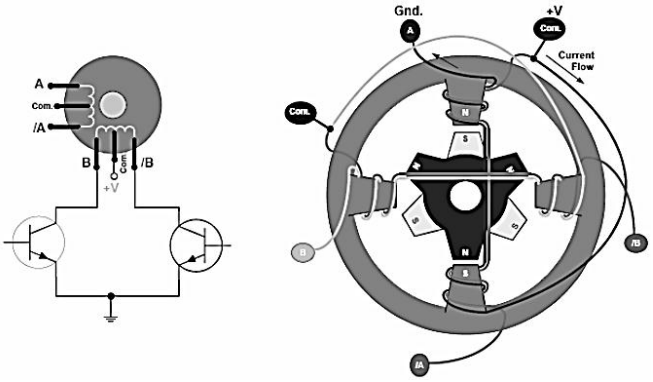
(ที่มา http://www.allaboutcircuits.com/vol_2/chpt_13/5.html)

- สเต็ปปิ้งมอเตอร์ความต้านทานแม่เหล็กผันแปร (Variable Reluctance Motors: VR) มอเตอร์ชนิดนี้โดยปกติจะมีขนาด 3 เฟส ในบางครั้งอาจพบ ถึง 4 เฟส มอเตอร์ชนิดนี้ไม่นิยมนำไปใช้ในงานอุตสาหกรรมแต่จะถูกนำไปใช้กับงานที่มีขนาดเล็ก



ภาพที่ 2-12 สัญลักษณ์และโครงสร้างภายในของของสเต็ปปิ้งมอเตอร์
แบบความต้านทานแม่เหล็กผันแปร
(ที่มา http://www.allaboutcircuits.com/vol_2/chpt_13/5.html)

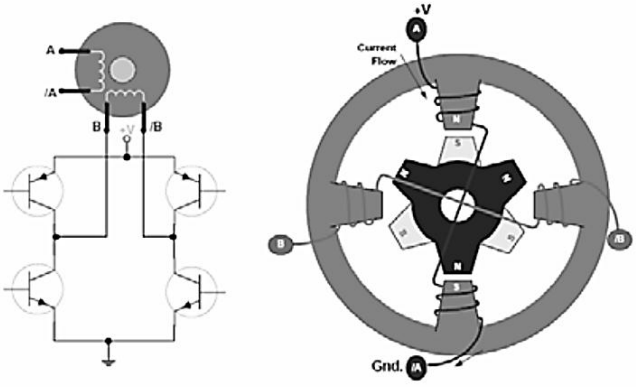
- Unipolar Motors เป็นมอเตอร์ที่มีขดลวดสเตเตอร์แต่ละชุดมีจุดร่วมใช้จุดร่วมต่อเข้ากับแหล่งจ่ายไฟ ทำให้เกิดขั้วแม่เหล็กที่สเตเตอร์โดยการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้ไหลจากจุดร่วมลงกราวด์ มาครบวงจรที่ปลายด้านหนึ่งของขดลวด และเปลี่ยนขั้วแม่เหล็กที่สเตเตอร์ชุดเดียวกันนี้โดยจ่ายกระแสไฟฟ้า จากขดหนึ่งไปยังอีกขดหนึ่งของขดลวดที่พันอยู่บนสเตเตอร์ชุดเดียวกัน ดังนั้นวงจรขับที่ใช้จึงเป็นวงจรสวิทซ์เพื่อทำให้กระแสไฟฟ้าที่ผ่านขดลวดครบวงจรเท่านั้น กรณีเป็นมอเตอร์ 2 เฟส จะมีสายที่ใช้ต่อขับกับวงจร 5 หรือ 6 สาย



ภาพที่ 2-13 สัญลักษณ์ โครงสร้าง และวงจรขับที่ใช้กับ Unipolar Motor
(ที่มา http://www.cs.uiowa.edu/~jones/step/types.html)

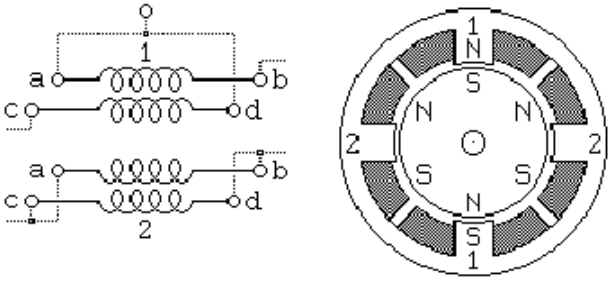
- Bipolar Motors ขดลวดแต่ละชุดของสเตเตอร์ไม่มีจุดร่วม ใช้ปลายทั้งสองด้านของขดลวดแต่ละชุดต่อเข้ากับวงจร ทำให้เกิดขั้วแม่เหล็กที่สเตเตอร์โดยการจ่ายกระแสไฟฟ้าจากปลายด้านหนึ่งไปยังปลายอีกด้านหนึ่งของขดลวด และเปลี่ยนขั้วแม่เหล็กที่สเตเตอร์

ชุดเดียวกันนี้โดยสลับทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้า ดังนั้นวงจรขับที่ใช้ต้องสามารถสลับทิศทางการหมุนได้ กรณีเป็นมอเตอร์ 2 เฟส จะมีสายที่ใช้ต่อขับกับวงจร 4 สาย



ภาพที่ 2-14 สัญลักษณ์ โครงสร้าง และวงจรขับที่ใช้กับ Bipolar Motor

- Bifilar Motors



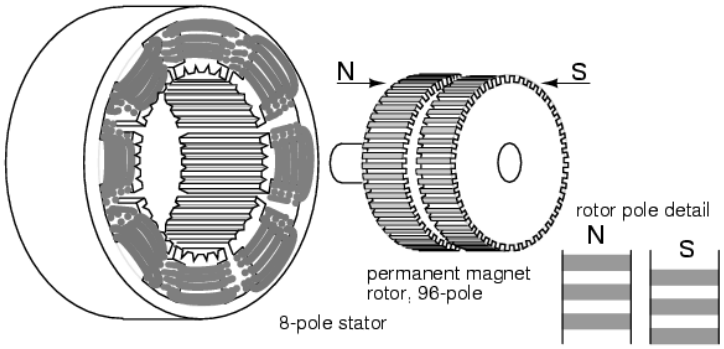
ภาพที่ 2-15 หลักการทำงานของ Bifilar Motor
(ที่มา http://www.cs.uiowa.edu/~jones/step/)

การต่อวงจรแบบต่างๆ

• ต่อแบบขนาน มอเตอร์จะทำงานด้วยแรงดันต่ำกระแสสูง

• ต่อแบบอนุกรม ถ้า Center Tap ถูกละเลย มอเตอร์จะทำงานที่แรงดันสูงและกระแส ต่ำกว่าในวงจรขนาน

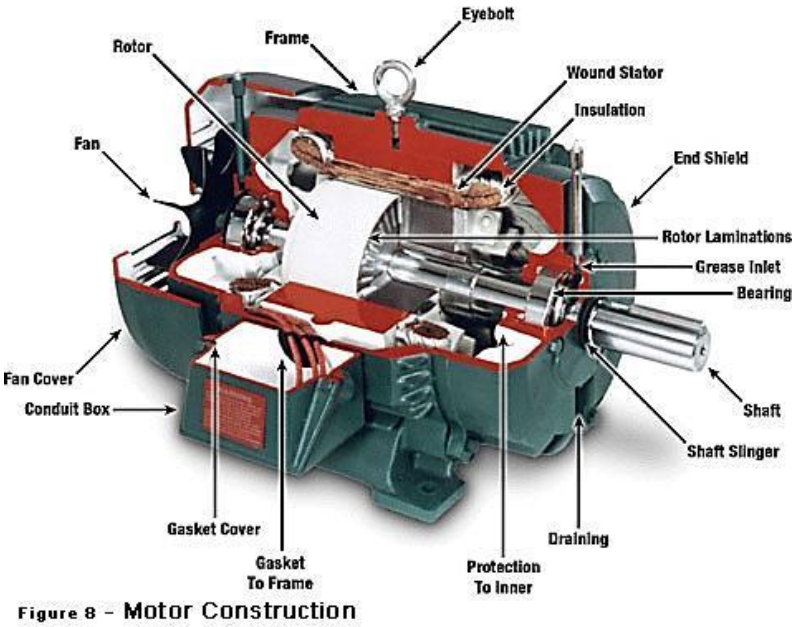
- Multiphase Motors หรือ Hybrid Stepping Motor สำหรับไฮบริด (Hybrid) จะเป็นลูกผสมของ แม่เหล็กผันแปรกับแม่เหล็กถาวร โดยจะมีสเตเตอร์คล้ายกับ ที่ใช้ในแม่เหล็กผันแปร สำหรับโรเตอร์ซึ่งมีลักษณะของสารแม่เหล็กที่มีกำลังสูงทำให้ได้มุมในการหมุนเล็กลงกว่าเดิมและแม่นยำ ข้อดีก็คือให้แรงบิดสูง มีขนาดกะทัดรัด



ภาพที่ 2-16 โครงสร้างและการจัดตำแหน่งฟันที่โรเตอร์

2.5.2 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกล หรือจะกล่าวว่า เป็นระบบที่มีสัญญาณไฟฟ้าเป็นอินพุทและมีเอาท์พุทเป็นพลังงานกล ก็ได้โดยทั่วไป มอเตอร์จะประกอบด้วยขดลวดที่หมุนสวนขดลวดอาเมเจอร์ (Armature Coil) ซึ่งสามารถที่จะหมุนไปได้อย่างอิสระ ขดลวดนี้จะวางอยู่ในสนามแม่เหล็ก ซึ่งอาจจะเป็นแม่เหล็กถาวรหรือส่วนมากจะเป็นแม่เหล็กไฟฟ้าที่สร้างจากกระแสไฟฟ้าผ่านขดลวดสนาม เมื่อมีกระแสไฟฟ้า ไหลผ่านขดลวดอาเมเจอร์ ซึ่งวางอยู่ในสนามแม่เหล็ก ก็จะทำให้เกิดแรงผลักทำให้ขดลวดอาเมเจอร์นี้เกิดการหมุน

ความเร็วของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง สามารถปรับเปลี่ยนได้ง่าย ดังนั้นจึงสามารถนำมาใช้ประโยชน์ในการทำงานได้หลายอย่าง โดยเฉพาะในงานที่ต้องควบคุมความเร็ว (Speed Control) หรืองานที่ต้องการความที่ยงตรงของตำแหน่งงาน (Positioning)

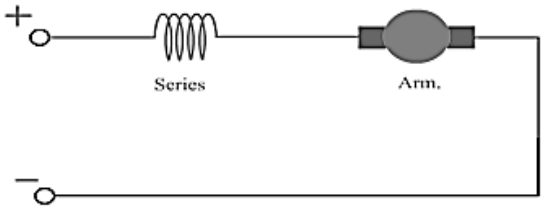


ภาพที่ 2-17 โครงสร้างภายนอกและโครงสร้างภายในมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

2.5.2.1 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบ่งออกเป็น 3 ชนิดได้แก่

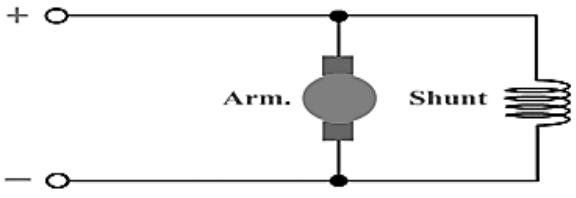
- มอเตอร์แบบอนุกรมหรือเรียกว่าซีรีส์มอเตอร์ (Series Motor)
- มอเตอร์แบบขนานหรือเรียกว่าชันท์มอเตอร์ (Shunt Motor)
- มอเตอร์ไฟฟ้าแบบผสมหรือเรียกว่าคอมเปาวด์มอเตอร์ (Compound Motor)

ก) มอเตอร์แบบอนุกรม คือ มอเตอร์ที่มีการต่อขดลวดของสนามแม่เหล็กอนุกรมกับอาเมเจอร์ของมอเตอร์ชนิดนี้ว่า ซีรีส์ฟิลด์ (Series Field) มีคุณลักษณะที่ดีคือให้แรงบิดสูงนิยมใช้เป็นต้นกำลังของรถไฟฟ้า รถยกของเครนไฟฟ้าความเร็วรอบของมอเตอร์อนุกรมเมื่อไม่มีโหลดความเร็วจะสูงมากแต่ถ้ามีโหลดมาต่อความเร็วก็จะลดลงตามโหลด โหลดมากหรือทำงานหนักความเร็วจะลดลงแต่ขดลวดของมอเตอร์ไม่เป็นอันตราย จากคุณสมบัตินี้จึงนิยมนำมาใช้กับเครื่องใช้ไฟฟ้าในบ้านหลายอย่าง เช่นเครื่องดูด - ฝุ่น เครื่องผสมอาหาร สว่านไฟฟ้า จักรเย็บผ้า เครื่องเป่าผม มอเตอร์กระแสตรงแบบอนุกรมใช้งานหนักได้ดีเมื่อใช้งานหนักกระแส จะมากความเร็วรอบจะลดลงเมื่อไม่มีโหลดมาต่อความเร็วจะสูงมากอาจเกิด อันตรายได้ดังนั้นเมื่อเริ่มสตาร์ทมอเตอร์แบบอนุกรมจึงต้องมีโหลดมาต่ออยู่เสมอ



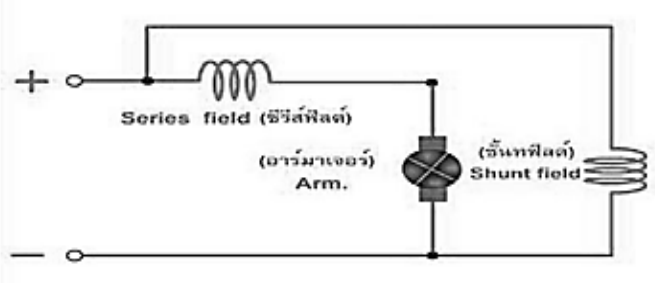
ภาพที่ 2-18 วงจรการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบอนุกรม

ข) มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบขนาน (Shunt Motor) หรือเรียกว่าชันท์มอเตอร์ มอเตอร์แบบขนานนี้ขดลวดสนามแม่เหล็กจะต่อ จะต่อขนานกับขดลวด ชุดอาเมเจอร์มอเตอร์แบบขนานนี้จะมีคุณลักษณะ คือ มีความเร็วคงที่ แรงบิดเริ่มหมุนต่ำแต่ความเร็วรอบคงที่ชันท์มอเตอร์ส่วนมากเหมะกับงานดังนี้เพราะพัดลมต้องการความเร็วคงที่และต้องการเปลี่ยนความเร็วได้ง่าย



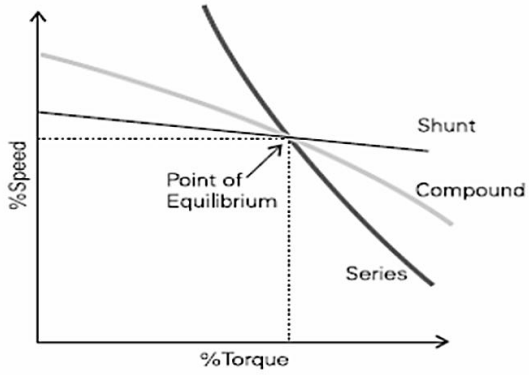
ภาพที่ 2-19 วงจรการทำงานมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบขนาน

ค) มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบผสม (Compound Motor) หรือเรียกว่า คอมเปาวด์มอเตอร์ มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบผสมนี้จะนำคุณลักษณะที่ดีของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง แบบขนาน และแบบอนุกรมมารวมกันมอเตอร์แบบผสมลักษณะพิเศษคือมีแรงบิดสูง (High Staring Torque) แต่ความเร็วรอบคงที่ ตั้งแต่ยังไม่มีโหลดจนกระทั้ง มีโหลดเต็มที่มอเตอร์แบบผสมมีวิธีการต่อขดลวดขนานหรือขดลวดชันท์อยู่ 2 วิธี วิธีหนึ่งใช้ต่อขดลวดแบบชันท์ขนานกับอาเมเจอร์เรียกว่า ช็อทชันท์ (Short Shunt Compound Motor) อีกวิธีสองคือต่อขดลวดขนานกับขดลวดอนุกรมและขดลวดอาเมเจอร์เรียกว่า ลองชั้นท์คอมเปาว์มอเตอร์ (Long Shunt Motor)



ภาพที่ 2-20 วงจรมอเตอร์กระแสตรงแบบผสม

2.5.2.2 Speed/Torque Curves



ภาพที่ 2-21 กราฟแสดงการเปรียบเทียบคุณลักษณะความเร็วและทอร์คของดีซีมอเตอร์ 3 ชนิด

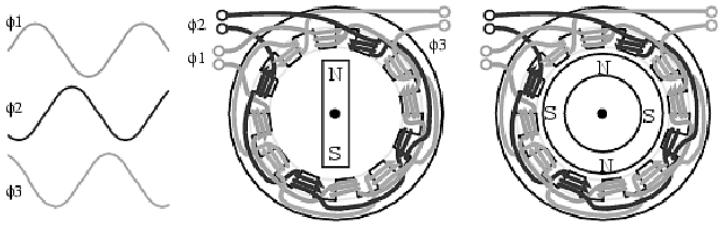
2.5.3 มอเตอร์กระแสสลับ การแบ่งชนิดของมอเตอร์ตามหลักการทำงานได้ดังนี้

- ซิงโครนัสมอเตอร์ (Synchronous Motors)
- อะซิงโครนัส (Asynchronous Motors)
- มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับแบบเหนี่ยวนำ1เฟส(Single Phase AC Induction Motors)
- มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับแบบเหนี่ยวนำ 3 เฟส (3-Phase AC Induction Motor)
- มอเตอร์ยูนิเวอร์แซล (Universal Motor)

2.5.3.1 ซิงโครนัสมอเตอร์ (Synchronous Motors) เป็นมอเตอร์ที่มีความเร็วคงที่นิยมใช้อุตสาหกรรมขนาดใหญ่หรือในงานที่ต้องการความเร็วที่แน่นอน

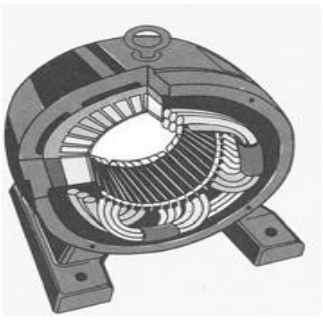
ภาพที่ 2-22 ซิงโครนัสมอเตอร์

ถ้าป้อนกระแสไฟฟ้า 3 เฟส เข้าไปที่ขดลวดสเตเตอร์ ของซิงโครนัสมอเตอร์ 3 เฟส โรเตอร์จะหมุนและหมุนอย่างต่อเนื่องที่ความเร็วเท่ากับสนามแม่เหล็กหมุน



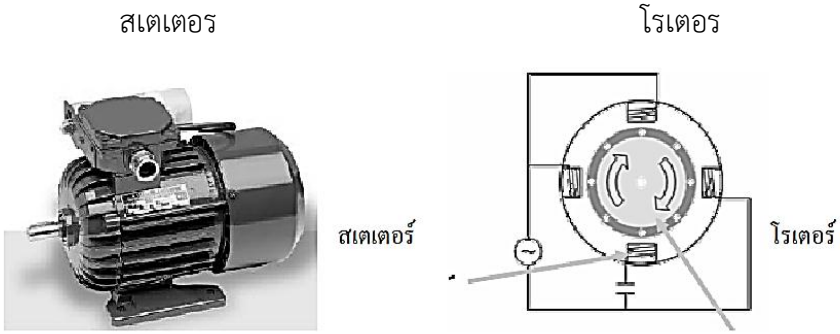
ภาพที่ 2-23 โครงสร้างซิงโครนัสมอเตอร์ แบบ 3 เฟส

2.5.3.2 อะซิงโครนัส (Asynchronous Motors) พลังงานไฟฟ้าถูกป้อนให้กับขดลวดของอะซิงโครนัสมอเตอร์ 3 เฟสทอร์คจะพยายามทำให้โรเตอร์หมุน ดังนั้นสิ่งที่ดีที่สุดที่จะเริ่มต้นด้วยการสังเกตสิ่งที่เกิดขึ้น ที่สเตเตอร์ และหาว่าทอร์คเกิดขึ้นได้อย่างไร



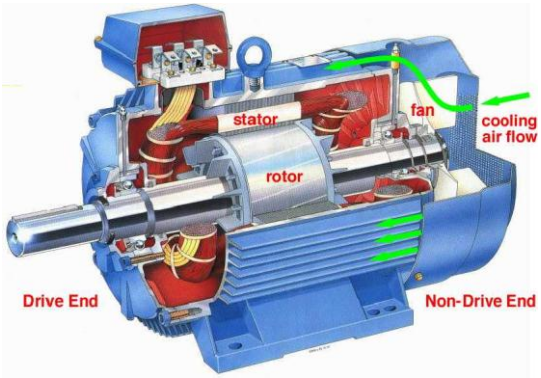
ภาพที่ 2-24 โครงสร้างของมอเตอร์อะซิงโครนัส

2.5.3.3 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับแบบเหนี่ยวนำ 1 เฟส (Single Phase AC Induction Motors)



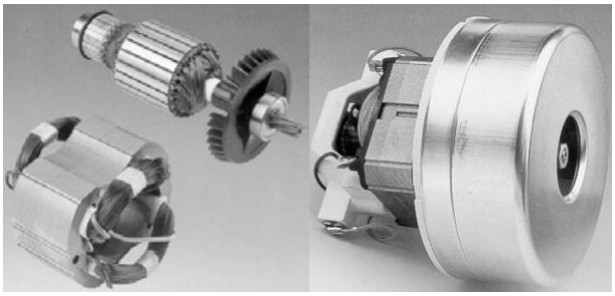
ภาพที่ 2-25 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับแบบเหนี่ยวนำ 1 เฟส

2.5.3.4 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับแบบเหนี่ยวนำ 3 เฟส (3-Phase AC Induction Motor) มอเตอร์ ไฟสลับ 3 เฟส ที่มีคุณสมบัติที่ดี คือมีความเร็วรอบคงที่เนื่องจากความเร็วรอบมอเตอร์แบบเหนี่ยวนำ ขึ้นอยู่กับความถี่ (Frequency) ของแหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ มีราคาถูก โครงสร้างไม่ซับซ้อน สะดวกในการบำรุงรักษาเพราะไม่มีคอมมิวเตเตอร์และแปรงถ่านเหมือนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงเมื่อใช้ร่วมกับเครื่องควบคุมความเร็วแบบอินเวอร์เตอร์ (Invertor) สามารถควบคุมความเร็วได้ตั้งแต่ศูนย์จนถึงความเร็วตามพิกัดของมอเตอร์ โดยจะนิยมใช้กันมากในโรงงานอุตสาหกรรม ขับเคลื่อนลิฟท์ขับเคลื่อนสายพานลำเลียง ขับเคลื่อนเครื่องจักรไฟฟ้า เช่น เครื่องไส เครื่องกลึง



ภาพที่ 2-26 โครงสร้างมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับแบบเหนี่ยวนำ 3 เฟส

2.5.3.5 มอเตอร์ยูนิเวอร์แซล (Universal Motor) มีขนาดเล็ก เป็นมอเตอร์อนุกรมที่สามารถทำงานได้ทั้งแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงและกระแสสลับ การทำงานของมอเตอร์จะเหมือนกันไม่ว่าจะใช้งานแบบใด จึงมีชื่อว่า ยูนิเวอร์แซล



ภาพที่ 2-27 ส่วนประกอบของมอเตอร์และ Universal มอเตอร์สำหรับเครื่องดูดฝุ่น

มอเตอร์ชนิดนี้เป็นเครื่องจักรที่หมุนด้วยไฟฟ้า มีลักษณะคล้ายกับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง แต่ออกแบบให้ทำงานได้ทั้งไฟฟ้ากระแสตรง หรือ ไฟฟ้ากระแสสลับ1-เฟส นิยมใช้ใน เครื่องดูดฝุ่น เครื่องผสมอาหาร สว่านมือ และจักรเย็บผ้า

2.5.4 เซอร์โวมอเตอร์ เป็นอุปกรณ์เปลี่ยนกำลังงานทางไฟฟ้าเป็นพลังงานกล ซึ่งเซอร์โวมอเตอร์ ได้ถูกออกแบบให้มีความแม่นยำและความเร็วสูงทำให้เซอร์โวมอเตอร์ แตกต่างจาก Induction Motor ที่เรารู้จักกันเป็นอย่างดี

2.5.4.1 คุณสมบัติของเซอร์โวมอเตอร์ จะต้องมีดังนี้คือ

- มีอัตราเร่งที่ดี
- ตอบสนองได้อย่างรวดเร็ว
- ย่านการควบคุมกว้าง
- ความเร็วในการหมุนต้องคงที่

เนื่องจากการควบคุมการทำงาน เซอร์โวมอเตอร์ เป็นการควบคุมแบบป้อนกลับดังนั้นที่ตัวเซอร์โวมอเตอร์ จะต้องมีเอนโค๊ดเดอร์ ติดอยู่กับตัวเซอร์โวมอเตอร์ด้วยทุกตัว

2.5.4.2 ชนิดของเซอร์โวมอเตอร์ แบ่งออกได้ดังนี้

- ดีซีเซอร์โวมอเตอร์
- เอซีเซอร์โวมอเตอร์
- สเต็ปปิ้งมอเตอร์ในปัจจุบันจะนิยมใช้ เอซีเซอร์โวที่เป็นแบบ ซิงโครนัสเซอร์โวมอเตอร์ (Synchronous Servo Motor) กันมากที่สุด เพราะว่าใช้งานและการบำรุงรักษาทำได้ง่าย ขนาดของมอเตอร์มีตั้งแต่ 30 W จนถึง 5.5 KW

2.5.4.3 Driver เป็นอุปกรณ์ส่งพลังงานไฟฟ้า ไปให้มอเตอร์ เพื่อเปลี่ยนเป็นพลังงานกล ตัว Driver จะแบ่งออกตามประเภทการใช้งาน

- Pulse Train Input Driver

- Analog Input Driver

ซึ่งการใช้งานก็จะแตกต่างกันไปตามความต้องการของระบบซึ่งแบ่ง พารามิเตอร์ ที่ต้องควบคุมได้ดังนี้

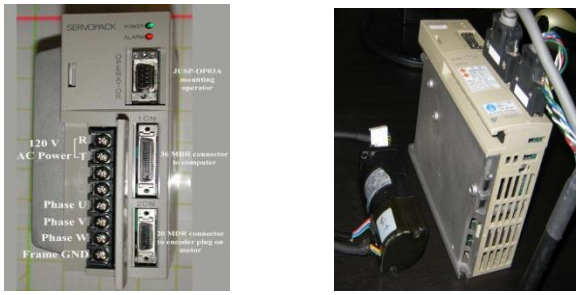
- การควบคุมตำแหน่ง (Position Control)
- การควบคุมความเร็ว (Speed Control)
- การควบคุมแรงบิด (Torque Control)
- การควบคุมการเคลื่อนที่ (Motion Control)

ในการใช้งานเราต้องรู้ว่างานของเราเป็นแบบใดและต้องการควบคุมพารามิเตอร์ตัวไหนและต้องเลือกระบบให้ถูกต้องตรงกับความต้องการ

2.5.4.3 Controller เป็นตัวส่งสัญญาณควบคุม (Signal Command) ไปยังตัว Driver ตัว Driver จะทำหน้าที่ขยายสัญญาณ และส่งผ่านสัญญาณไปที่มอเตอร์ ทำให้มอเตอร์หมุนด้วยความเร็วและไปยังตำแหน่ง ที่ต้องการตามคำสั่งที่มาจาก Controller ซึ่งสัญญาณควบคุมแบ่งออกตามประเภท ของ Driver คือ

- Pulse Train Signal Command
- Analog Signal Command

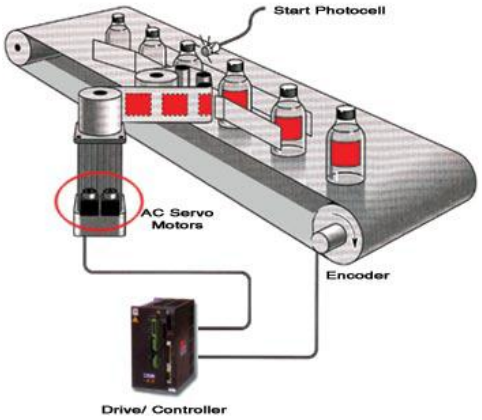
ในการเลือกใช้งานจะขึ้นอยู่กับ Driver และการใช้งานของงานนั้นๆ ส่วนการเขียน โปรแกรม (Program) เพื่อส่งสัญญาณควบคุมไปยัง Driver จะขึ้นกับตัวประมวลผลของ CPU (Central Processing Unit: CPU) ของตัวควบคุมอาจเป็น Ladder Diagram, G Code, Block Diagram



ภาพที่ 2-28 ชุดเอซีเซอร์โวมอเตอร์ Driver

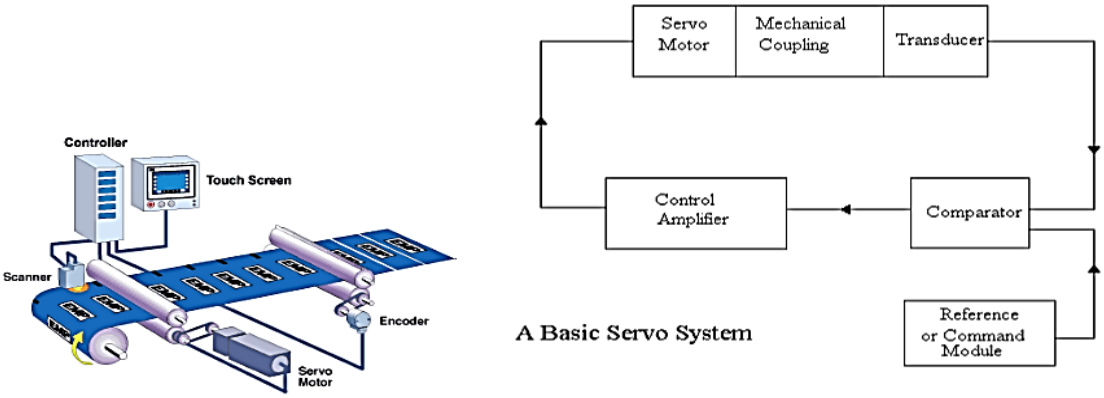
2.5.4.4 การประยุกต์ใช้งาน

- ในลายการผลิตขวดถูกลำเลียงมาบน Conveyor วิ่งผ่านเครื่องติดฉลาก (Labeling Mechanism) ซึ่งทำการติดฉลากลงบนขวดระยะห่างระหว่างขวดบน Conveyor สามารถปรับให้เครื่องทำงานเร็วขึ้น ช้าลง หรือหยุดเมื่อไหร่ก็ได้ ซึ่งรายละเอียดแสดงดังภาพที่ 2-29



ภาพที่ 2-29 Labeling Machine

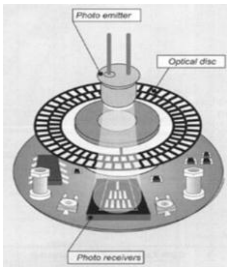
- ระบบเซอร์โว คือ การควบคุมเครื่องจักรกลให้ทำงานตอบสนองทางด้านไดนามิคส์ (Dynamic) เช่น ความเร็ว อัตราเร่ง แรงบิต และตำแหน่งให้ได้ดีที่สุดและใช้เวลาน้อยที่สุด



ภาพที่ 2-30 ระบบเซอร์โว

2.6 เอนโค๊ดเดอร์ (Encoder)

2.6.1 หน้าที่ของเอนโค๊ดเดอร์ คือ ตรวจวัดความเร็ว (Speed) ทิศทางการหมุนของมอเตอร์ (Direction of Rotation) และตำแหน่งเพลาของโรเตอร์ (Shaft Position) แล้วรายงานผลกลับไปยังคอนโทรลเลอร์ เพื่อควบคุมให้ทรานซิสเตอร์ ในวงจรกำลังของชุดขับเคลื่อนเซอร์โว เกิดการตัด-ต่อกระแสไฟฟ้าให้สัมพันธ์กับตำแหน่งของโรเตอร์ เอนโค๊ดเดอร์ ซึ่งทำหน้าที่ตรวจวัดความเร็วและตำแหน่ง (Position) ของมอเตอร์ จึงทำให้อุปกรณ์ชนิดนี้ถูกเรียกชื่อตามบทบาทและหน้าที่ว่า Speed Sensor หรือไม่ก็เรียกว่า Shaft Position Sensor (ซึ่งมักนิยมเรียกแบบนี้ ในระบบเซอร์โว)

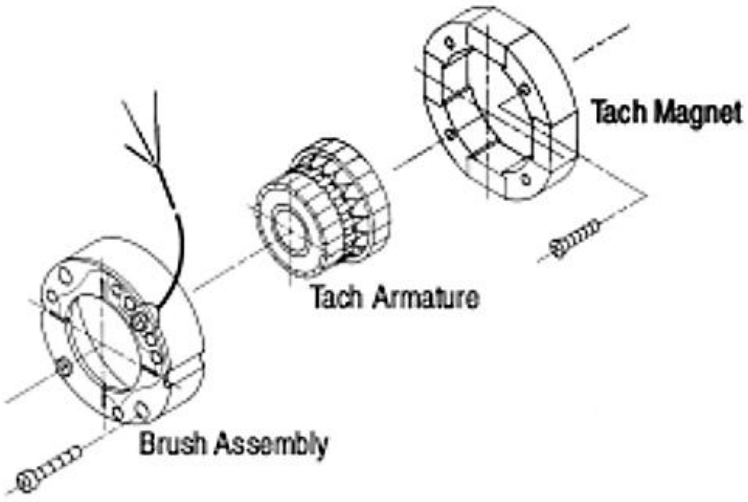


ภาพที่ 2-31 เอนโค๊ดเดอร์

2.6.2 ประเภทของเอนโค๊ดเดอร์ สามารถแยกประเภทออกเป็น 2 ชนิดด้วยกันดังนี้

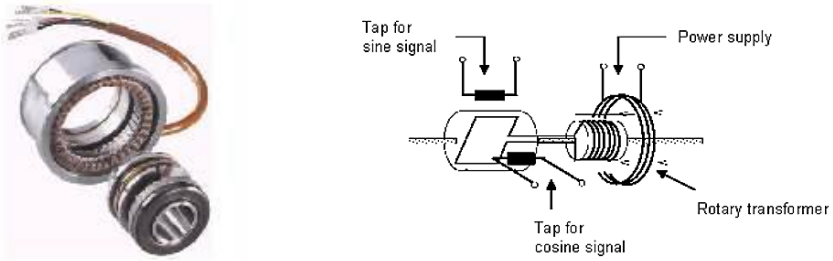
2.6.2.1 ชนิดที่ทำงาน โดยอาศัย หลักการเหนี่ยวนำ หรือ อะนาลอกเอนโค๊ดเดอร์ (Analog Encoder)

- เทคโคเจนเนอเรเตอร์ (TachoGenerator) เป็น Feedback Device ประเภทหนึ่งในระบบควบคุมมอเตอร์ทั่วไปจะใช้ เทคโคมิเตอร์ (Tachometer) เป็นตัวแสดงความเร็วเพื่ออ่านค่าความเร็ว ของเพลามอเตอร์ หรือเพื่อป้อนความเร็วกลับ (Feed Back) สำหรับบังคับความเร็วหรือปรับให้เสถียรภาพ ของระบบดีขึ้น



ภาพที่ 2-32 โครงสร้างเทคโคเจนเนอเรเตอร์

- รีโซลเวอร์ (Resolver) เป็นเซนเซอร์ชนิดที่มีการใช้งานมากในระบบเซอร์โว เนื่องจากมีความแข็งแรงทนทาน ทนต่อสภาพแวดล้อมอุตสาหกรรมได้ดี เช่น แรงสั่นสะเทือน แรงกระแทก และอุณหภูมิรอบข้าง เป็นต้น รีโซลเวอร์ มีลักษณะคล้ายกับ หม้อแปลงตัวเล็ก ๆ (Small Transformer) หรือ ในหนังสือบางเล่มใช้คำอธิบายในเชิงเปรียบเทียบ ว่า "Rotary Transformer" ซึ่งต้องการสื่อถึงหม้อแปลงไฟฟ้าแบบหมุนนั่นเอง



ภาพที่ 2-33 รีโซลเวอร์

2.6.2.2 ชนิดที่ทำงานโดยอาศัยหลักการออพติคอล (Optical Encoder)

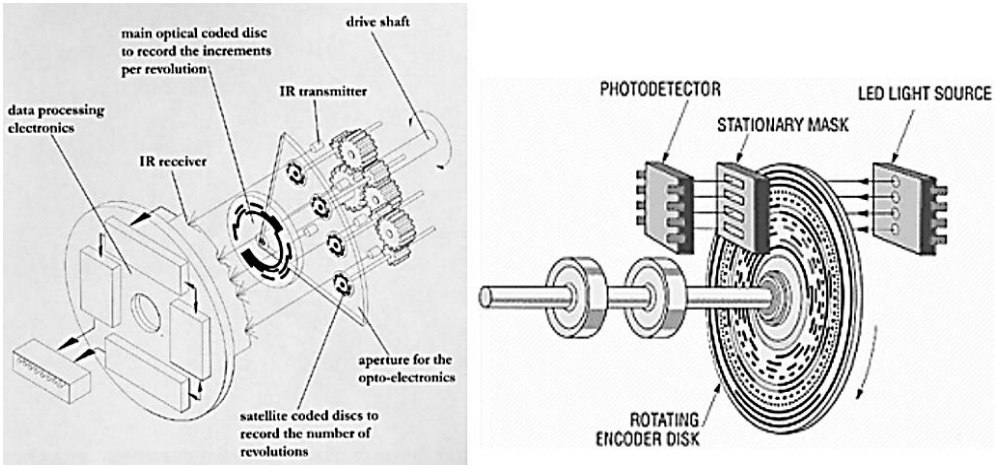
- เอนโค๊ดเดอร์แบบเพิ่มค่า (Incremental Encoder) ในระบบการบังคับตำแหน่ง หรือความเร็วของมอเตอร์ใช้ เอ็นโค๊ดเดอร์แบบเพิ่มค่า สำหรับรักษาตำแหน่งและสำหรับสร้างสัญญาณป้อนกลับโดยที่ตัวเอนโค๊ดเดอร์จะสร้างสัญญาณพัลส์ที่แปรผันตรงกับการหมุนของเพลา ซึ่งสามารถนำไปใช้ในการรับรู้ความเร็วของเพลามอเตอร์ในรูปของอัตราจำนวนพัลส์โดยอาศัยหลักการ ออพติคอล บ่อยครั้งจึงถูกเรียกตามหลักการ ว่า ออพติคอลเอนโค๊ดเดอร์ หรือบางกรณีก็จะถูกเรียกว่า ดิจิตอลเอนโค๊ดเดอร์ ซึ่งมีลักษณะดังภาพที่ 2-34

ภาพที่ 2-34 เอนโค๊ดเดอร์แบบเพิ่มค่า

- เอนโค๊ดเดอร์แบบสัมบูรณ์ (Absolute Encode) จะให้เอาท์พุตในรูปแบบที่เป็นรหัส ที่ตรงกับตำแหน่งที่กลไกเคลื่อนที่ไป หลักการทำงานโดยรวมจะเหมือนกับ เอนโค๊ดเดอร์แบบเพิ่มค่าแต่ในตัวเอนโค๊ดเดอร์แบบสัมบูรณ์จะมีหัวอ่านหลายชุดเท่ากับจำนวนบิตเอาท์พุต

ภาพที่ 2-35 เอนโค๊ดเดอร์แบบสัมบูรณ์

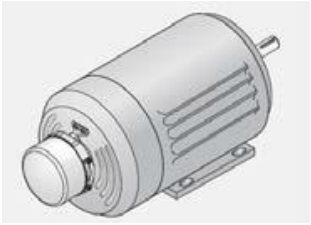
เอนโค๊ดเดอร์แบบสัมบูรณ์ เป็น ดิจิตอลเอนโค๊ดเดอร์ อีกชนิดหนึ่งที่อาศัยหลักการออพติคอล คล้ายกับเอนโค๊ดเดอร์แบบเพิ่มค่า โดยประกอบด้วยตัวกำเนิดแสง, ตัวจับแสง และจานเข้ารหัสดัง ภาพที่ 2-36



ภาพที่ 2-36 Circular Graduations of Incremental Rotary เอนโค๊ดเดอร์

2.6.3 ชนิดของเอนโค๊ดเดอร์แบ่งตามลักษณะการทำงาน

2.6.3.1 โรตารี่เอนโค๊ดเดอร์สำหรับติดตั้งบนมอเตอร์ (Rotary Encoders For Mounting On Motors)



ภาพที่ 2-37 โรตารี่เอนโค๊ดเดอร์สำหรับติดตั้งบนมอเตอร์

2.6.3.2 โรตารี่เอนโค๊ดเดอร์แบบติดตั้งอยู่ภายในมอเตอร์ (Rotary Encoders For Integration In Motors)

ภาพที่ 2-38 โรตารี่เอนโค๊ดเดอร์สำหรับติดตั้งในมอเตอร์

2.7 เฟือง (Gear)

โดยทั่ว ๆ ไปแล้ว เฟืองใช้ในการส่งกำลัง และถ่ายทอดการหมุนจากเพลาหนึ่งไปยังอีกเพลาหนึ่ง โดยไม่มีการลื่นไถล ล้อที่ติดฟันเฟืองเข้าไปโดยรอบนี้เรียกว่าเฟือง ซึ่งจะแบ่งตามลักษณะรูปร่าง เพื่อให้ผู้เลือกใช้เฟืองที่เหมาะสมดังต่อไปนี้

2.7.1 ชนิดของเฟืองตามลักษณะการใช้งาน

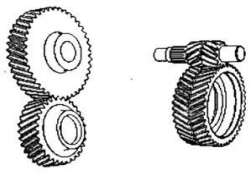
2.7.1.1 เฟืองตรง (Spur Gear) เป็นเฟืองที่ใช้ส่งกำลังขับระหว่างเพลาสองเพลาที่ขนานกันฟันของฟันเฟืองชนิดนี้มีลักษณะตรงและขนานกับเพลาของตัวมันเอง เมื่อเฟืองสองตัวมีขนาดแตกต่างกัน ขับกันเฟืองตัวใหญ่เรียกว่า เกียร์ เฟืองตัวเล็กเรียกว่าเฟืองตรงจะใช้ส่งกำลังขับสำหรับงานที่ต้องการความเร็วขับไม่มากนัก

ภาพที่ 2-39 เฟืองตรง

2.7.1.2 เฟืองภายใน (Internal Gear) เป็นเฟืองที่ใช่ส่งกำลังขับ ระหว่างเพลาที่ขนานกันเช่นกัน แต่มีระยะห่างระหว่างศูนย์อยู่ใกล้กันมากจนไม่อาจจะใช้เฟืองตรงหรือเฟืองเฉียงได้ เฟืองชนิดนี้มักใช้กับงานที่ต้องการพื้นที่น้อยสำหรับลดความเร็วรอบเฟืองภายในใช้กับงานประเภทที่ต้องการแรงบิด (Torque) สูง

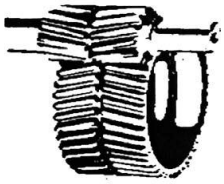
ภาพที่ 2-40 เฟืองภายใน

2.7.1.3 เฟืองเฉียง (Helical Gear) ใช้สำหรับการส่งกำลังระหว่างเพลาที่ขนานกัน หรือเพลาทำมุมต่อกัน เฟืองเฉียงมักมีลักษณะการที่ขับที่เรียบ และมีเสียงเงียบกว่าเฟืองตรง ในขณะที่มีขนาดและระยะพิตเท่ากัน อย่างไรก็ตามเมื่อเฟืองชนิดนี้หมุน จะทำให้เกิดแรงที่ปลายเพลาจึงจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องใช้แบริ่งรองรับเพลาเพื่อแก้ปัญหา



ภาพที่ 2-41 เฟืองเฉียง

2.7.1.4 เฟืองก้างปลา (Herringbone Gear) เฟืองชนิดนี้เปรียบเสมือนกับการนำเฟืองเฉียง 2 ตัวมาประกบกัน ซึ่งข้างหนึ่งจะมีฟันบิดขวาและอีกข้างหนึ่งจะมีทิศทางบิดซ้าย เฟืองชนิดนี้จะให้ปฏิกิริยาการส่งกำลังขับที่เรียกว่าเฟืองเฉียง และยังกำจัดแรงที่ปลายเพลาให้หมดไปด้วย ดังนั้นเฟืองชนิดนี้ไม่จำเป็น ต้องใช้แบริ่ง ช่วยรองรับเพลาในการส่งกำลัง



ภาพที่ 2-42 เฟืองก้างปลา

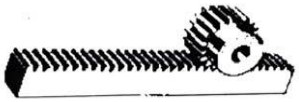
2.7.1.5 เฟืองดอกจอก (Bevel Gear) เมื่อเพลาสองเพลาวางทำมุมต่อกันเส้นแนวแกนตัดกันเป็นมุม 90 องศา ปกติจะใช้เฟืองดอกจอกเป็นตัวส่งกำลังเมื่อเพลาทำมุมกันและเฟืองสองตัวมีขนาดเท่ากัน เราเรียกเฟืองดอกจอกชนิดนี้ว่า Mitrer Gear การส่งกำลังขับของเฟืองดอกจอกไม่จำเป็นที่เพลาจะต้องทำมุมฉากเสมอไปแกนเพลาอาจจะตัดกันเป็นมุมมากหรือน้อยกว่าก็ได้

ภาพที่ 2-43 เฟืองดอกจอก

2.7.1.6 เฟืองหนอน (Worm Gear) เมื่อเพลาสองเพลาทำมุมฉากต่อกันจึงจะต้องคำนึงถึงการลดกำลังขับเฟืองหนอนและเกลียวหนอน (Worm Gear and Worm Shaft) เป็นชุดเฟืองที่เหมาะสมกับการใช้งาน เกลียวหนอนที่ใช้ขับล้อเฟืองหนอนปกติจะเป็นเกลียวปากเดียวหรืออาจจะมีหลายปากก็ได้ เกลียวหนอน 2 ปาก จะหมุนขับล้อเฟืองหนอนได้เร็วเป็นสองเท่าของเกลียวหนอนปากเดียว ขณะที่มีระยะพิตเท่ากัน

ภาพที่ 2-44 เฟืองหนอน

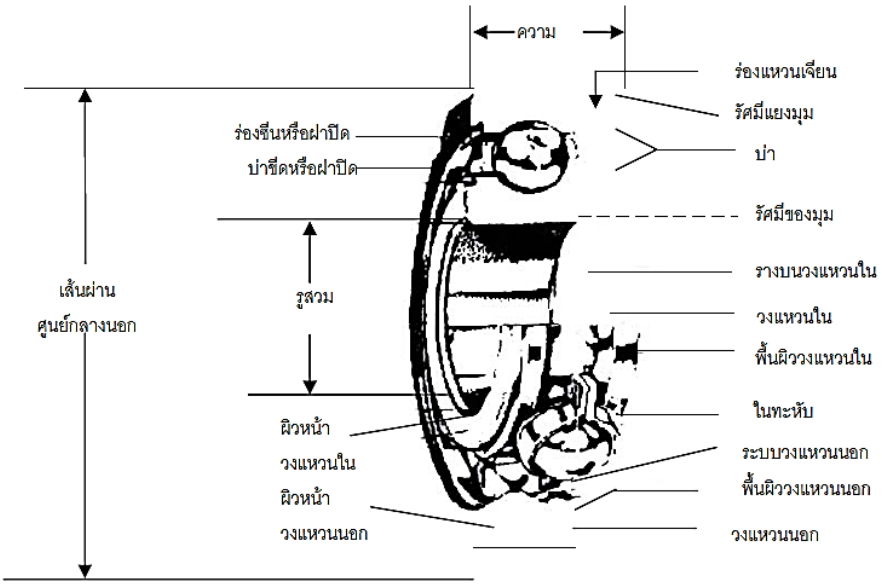
2.7.1.7 เฟืองสะพาน (Rack Gear) เป็นเฟืองที่ใช้ส่งกำลังขับในแนวเส้นตรงที่มีลักษณะหมุนกลับไปกลับมา เฟืองชนิดนี้เป็นแผ่นเฟืองที่มีผิวราบแบบมีฟันตรง เพื่อขับกับเฟืองตรงฟันเฉียง



ภาพที่ 2-45 เฟืองสะพาน

2.8 ตลับลูกปืน (Bearing)

2.8.1 ส่วนประกอบของตลับลูกปืน



ภาพที่ 2-46 ส่วนประกอบต่าง ๆ ของตลับลูกปืน

ในโครงสร้างของตลับลูกปืนดังรูป สามารถจำแนกหน้าที่ของส่วนประกอบบางประเภทได้ดังนี้

2.8.1.1 แหวนนอก (Outer Races) ซึ่งมีหน้าที่สวมเข้ากับตัวเรือนของตลับลูกปืน และเป็นรางวิ่งให้กับเม็ดลูกปืนที่ผิวด้านนอกด้วย

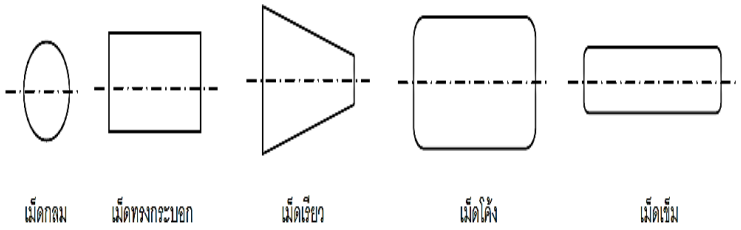
2.8.1.2 แหวนใน (Inner Races) ซึ่งมีหน้าที่สวมเข้ากับเพลาและเป็นรางวิ่งด้านในของเม็ดลูกปืน

2.8.1.3 เม็ดลูกปืน (Ball) มีหน้าที่ลดความเสียดทาน เพื่อให้มีความฝืดน้อยที่สุด หรือเรียกว่าเป็นชิ้นส่วนรองรับที่ไม่มีความฝืด

2.8.1.4 ตัวประคอง (Gage) เป็นตัวกำหนดระยะห่างระหว่างเม็ดลูกปืนให้อยู่ในตำแหน่งที่ต้องการหรืออาจเรียกอีกอย่างหนึ่งว่ากรอบบังระยะ

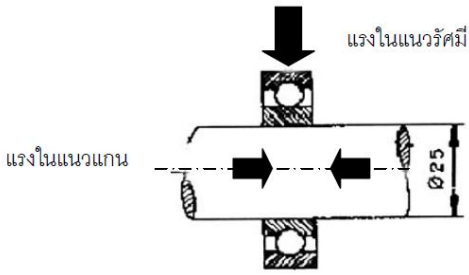
2.8.2 ประเภทของตลับลูกปืน

ในการแบ่งประเภทของตลับลูกปืน จะสามารถจำแนกได้ตามเม็ดของลูกปืน ซึ่งในแต่ละประเภทของตลับลูกปืน ก็จะมีทิศทางของการรับแรงที่มากระทำ ตลอดจนพื้นที่สัมผัสของเม็ดลูกปืนต่อขอบแหวนในที่ต่างกัน โดยสามารถแบ่งประเภทของเม็ดลูกปืน ดังนี้



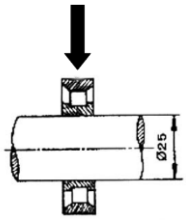
ภาพที่ 2-47 เม็ดลูกปืนชนิดต่าง ๆ

2.8.2.1 ตลับลูกปืนลูกกลิ้งกลม (Ball Bearing) ตลับลูกปืนชนิดนี้ เม็ดลูกปืนจะเป็นลักษณะเม็ดกลม โดยที่เมื่อประกอบกับเพลาจะมีการรับแรงในแนวรัศมี ได้ดีกว่าในแนวแกนของเพลา



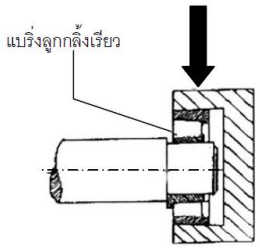
ภาพที่ 2-48 การรับแรงของตลับลูกปืนลูกกลิ้งกลม

2.8.2.2 ตลับลูกปืนลูกกลิ้งทรงกระบอก (Cylinder Bearing) ลักษณะของเม็ดลูกปืนในตลับลูกปืนชนิดนี้มีลักษณะเป็นทรงกระบอกใช้รับแรงในแนวรัศมีได้ แต่รับแรงในแนวแกนไม่ได้ ซึ่งเหมาะสำหรับเพลาที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางโต



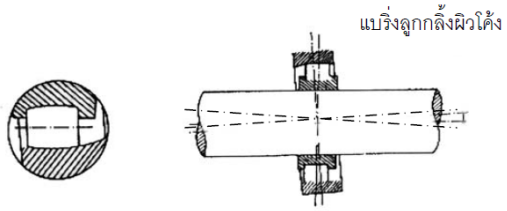
ภาพที่ 2-49 การรับแรงของตลับลูกปืนลูกกลิ้งทรงกระบอก

2.8.2.3 ตลับลูกปืนกลิ้งเรียว (Tapered Bearing) ตลับลูกปืนชนิดนี้ สามารถที่จะแยกชิ้นได้ ซึ่งสามารถที่จะรับแรงในแนวรัศมีและแนวแกนได้ ซึ่งตลับลูกปืนลูกกลิ้งเรียวนี้นิยมนำมาประกอบเป็นคู่ให้ย้อนทิศทางกัน



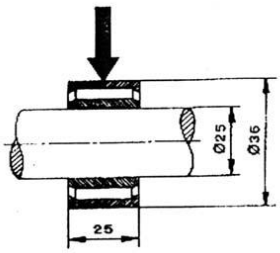
ภาพที่ 2-50 การรับแรงของตลับลูกปืนกลิ้งเรียว

2.8.2.4 ตลับลูกปืนลูกกลิ้งผิวโค้ง (Tone Bearing) ลักษณะการรับแรงของตลับลูกปืนลูกกลิ้งผิวโค้ง จะคล้ายคลึงกับตลับลูกปืนลูกกลิ้งทรงกระบอก แต่ความสามารถพิเศษ คือ สามารถใช้กับเพลาที่มาการเยื้องศูนย์ได้ดี



ภาพที่ 2-51 การรับแรงของตลับลูกปืนลูกกลิ้งผิวโค้ง

2.8.2.5 ตลับลูกปืนลูกกลิ้งเข็ม (Needle Bearing) ตลับลูกปืนลูกกลิ้งเข็มนี้ใช้สำหรับบริเวณพื้นที่การประกอบน้อย สามารถรับแรงกระทำในแนวรัศมีได้มาก เพราะความกว้างของตลับลูกปืนมีมากตามความยาวของเข็มแบริ่ง



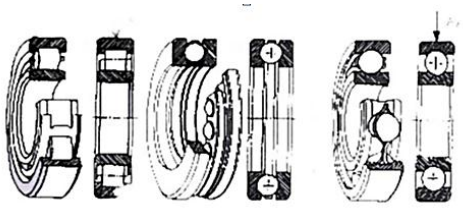
ภาพที่ 2-52 การรับแรงของตลับลูกปืนลูกกลิ้งเข็ม

ในการแบ่งประเภทของตลับลูกปืนนี้ อาจจะแบ่งตามลักษณะของการรับแรงเช่น

ก) ตลับลูกปืนที่รับแรงในแนวรัศมี (Cylindtrical Bearing)

ข) ตลับลูกปืนที่รับแรงในแนวแกน (Thrust Bearing)

ค) ตลับลูกปืนที่รับแรงในแนวรัศมีและแนวแกน (Deep Groove Bearing)



ภาพที่ 2-53 การแบ่งตลับลูกปืนตามลักษณะการรับแรง

2.8.3 การเลือกใช้ตลับลูกปืน

องค์ประกอบในการเลือกใช้ตลับลูกปืน เพื่อให้เหมาะสมกับงานจะต้องคำนึงถึงสิ่งต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

2.8.3.1 ขนาดและทิศทางของแรงที่กระทำต่อตลับลูกปืน

2.8.3.2 ความเร็วในแนวหมุนของแหวนวงในและแหวนวงนอก

2.8.3.3 อายุการใช้งานของตลับลูกปืนที่ต้องการ

2.8.3.4 ความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างแหวนใน–แหวนนอก กับอุณหภูมิภายนอก

2.8.3.5 การได้แนวศูนย์ของแกนในตลับลูกปืนที่ต้องการ

2.8.3.6 ขนาดของแรงบิดที่เกิดจากความเสียดทานและความดังของเสียงที่เกิดขึ้น

2.8.3.7 ชนิดของสารหล่อลื่นที่ต้องการจะใช้

2.8.3.8 จำนวนของตลับลูกปืนที่ใช้รับแรง

2.8.3.9 เนื้อที่สำหรับตลับลูกปืนจำกันหรือไม่

2.8.4 คุณลักษณะและการใช้งานของตลับลูกปืน

2.8.4.1 ตลับลูกปืนแถวเดี่ยวร่องลึก (Deep Groove Ball Bearing) ตลับลูกปืนชนิดนี้นิยมใช้กันอย่างกว้างขวาง กรอบของลูกปืนเป็นร่องลึกจะทำให้ลูกปืนกลิ้งได้สะดวกและมีความเที่ยงตรงสูง สามารถรับแรงในแนวรัศมีได้มากและรับแรงในแนวแกนได้พอสมควร เหมาะสำหรับงานที่มีความเร็วสูง

ภาพที่ 2-54 ตลับลูกปืนแถวเดี่ยวร่องลึก

2.8.4.2 ตลับลูกปืนสองแถวร่องลึก (Deep Groove Ball Bearing Double Row) ตลับลูกปืนมีลักษณะเหมือนกับตลับลูกปืนแถวเดียวร่องลึก เพียงแต่มีส่วนประกอบเพิ่ม คือจำนวนลูกปืนจะเป็นสองแถว จึงสามารถรับภาวะ (Load) ได้มากแบบแถวเดี่ยวร่องลึก

ภาพที่ 2-55 ตลับลูกปืนสองแถวร่องลึก

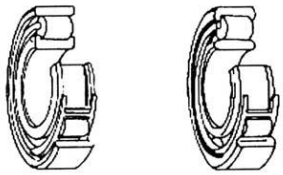
2.8.4.3 ตลับลูกปืนแถวเดี่ยวรับแรงแนวเอียง (Angular Contact Ball Bearing) ลักษณะของตลับลูกปืนคล้ายกับตลับลูกปืนแถวเดี่ยวร่องลึก จะแตกต่างกันที่แหวนนอกและแหวนในซึ่งจะมีเพียงบ่าเดียว โดยจะทำให้แหวนในและแหวนนอกแยกออกจากกันเหมาะกับส่วนที่ต้องการเข้า–ออก อยู่เสมอ ๆ สามารถใช้รับแรงได้ทั้งแรงในแนวรัศมี และแรงในแนวแกนทิศทางเดียว

ภาพที่ 2-56 ตลับลูกปืนแถวเดี่ยวรับแรงแนวเอียง

2.8.4.4 ตลับลูกปืนรับแรงแนวเอียง (Angular Contract Bearing Double Row) ตลับลูกปืนชนิดนี้จะคล้ายกับตลับลูกปืนแถวเดี่ยวรับแรงแนวเอียง 2 อัน ติดเป็นเนื้อเดียวกัน ชนิดที่ด้านหลังชนกันจึงสามารถรับแรงในแนวแกนได้ทั้ง 2 ทิศทาง

ภาพที่ 2-57 ตลับลูกปืนรับแรงแนวเอียง

2.8.4.5 ตลับลูกปืนลูกกลิ้งทรงกระบอก (Cylindrical Roller Bearing)ตลับลูกปืนชนิดนี้สามารถที่จะรับแรงในแนวรัศมีมาก ใช้ได้กับความเร็วสูงจะสามารถรับแรงแนวแกนได้เพียงเล็กน้อย ซึ่งตลับลูกปืนชนิดนี้มีด้วยกันหลายแบบ เช่น ชนิดที่มีร่องทางเดินของลูกกลิ้งทรงกระบอกที่แหวนใน และแบบที่มีร่องที่แหวนวงนอก



ภาพที่ 2-58 ตลับลูกปืนลูกกลิ้งทรงกระบอก

2.8.4.6 ตลับลูกปืนลูกกลิ้งเรียว (Taperet Roller Bearing) จะมีร่องทางเดินของลูกกลิ้งเอียงเป็นเรียวอยู่ในวงแหวน มีพื้นที่สัมผัสมาก จึงสามารถรับแรงในแนวรัศมีได้มาก ตลับลูกปืนชนิดนี้ใช้กันอย่างกว้างขวาง เช่น โรงงานย่อยหิน ในรถยนต์ ในเครื่องจักรการก่อสร้างเป็นต้น

ภาพที่ 2-59 ตลับลูกปืนลูกกลิ้งเรียว

2.8.4.7 ตลับลูกปืนลูกกลิ้งผิวโค้งทรงกระบอก (Spherical Roller Bearing) ตลับลูกปืนชนิดนี้ มีลักษณะคล้ายกับตลับลูกปืนสองแถว ที่สามารถเบี่ยงแกนได้ จะแตกต่างกันตรงลูกกลิ้งโดยจะใช้ลูกกลิ้งลักษณะผิวโค้งทรงกระบอกกลมแทน ส่วนลักษณะการใช้งานจะเหมือนกัน โดยสามารถรับแรงในแนวแกนได้มากกว่าเพราะมีพื้นที่สัมผัสมากกว่าเหมาะสำหรับใช้รับแรงกระแทก (Shock Load)

ภาพที่ 2-60 ตลับลูกปืนลูกกลิ้งผิวโค้งทรงกระบอก

2.8.4.8 ตลับลูกปืนลูกกลิ้งเข็ม (Needle Roller Bearing) ตลับลูกปืนชนิดนี้สามารถที่จะรับแรงในแนวรัศมีได้มาก และลักษณะลูกกลิ้งของตลับลูกปืนชนิดนี้ คล้ายกับตลับลูกปืน ลูกกลิ้งทรงกระบอก โดยการที่จะเรียกตลับลูกปืนชนิดนี้ว่าตลับลูกปืนลูกกลิ้ง ได้นั้นก็ต่อเมื่อมีขนาดของตลับลูกปืนลูกกลิ้งเส้นผ่าศูนย์กลางเล็กกว่า 5 มิลลิเมตร ลักษณะการใช้งาน จะใช้คล้ายกับตลับลูกปืนลูกกลิ้งทรงกระบอกแบบที่ไม่มีวงแหวนใน โดยลูกกลิ้งแบบเข็ม จะกลิ้งอยู่บนเพลาโดยตรง ทั้งนี้จะใช้เมื่อกรณีที่มีพื้นที่จำกัด และ Load สูง ๆ

ภาพที่ 2-61 ตลับลูกปืนลูกกลิ้งเข็ม

2.9 อลูมิเนียม (Aluminum)

อลูมิเนียมเป็นโลหะที่อ่อนและเบา ที่มีลักษณะไม่เป็นเงา เนื่องจากเกิดการออกซิเดชันชั้นบาง ๆ ที่เกิดขึ้นเร็วเมื่อสัมผัสกับอากาศ โลหะอลูมิเนียมไม่เป็นสารพิษ ไม่เป็นแม่เหล็กและไม่เกิดประกายไฟ อลูมิเนียมบริสุทธิ์จะมีแรงต้านการดึงอยู่ประมาณ 49 ล้านเมกะปาสกาล (MPa) และ400 เมกะปาสกาล ถ้าทำเป็นโลหะผสม อลูมิเนียมมีความหนาแน่นเป็น 1/3 ของเหล็กกล้าและทองแดง สามารถกลึงดัดได้ง่ายและหล่อแบบได้ง่ายและมีความต้านทานต่อการกัดกร่อน ด้วยความที่อลูมิเนียมมีน้ำหนักเบาและสามารถนำไปผสมกับธาตุต่าง ๆ ได้ดี ง่ายต่อการขึ้นรูปทั้งร้อนและเย็น ผิวหน้าสามารถย้อมสีได้หรือขัดให้เป็นเงาหรือปรับแต่งโดยการอะโนไดซิ่ง (Anodizng) เป็นการทำให้ผิวหน้าของอลูมิเนียมเกิดออกไซด์ ซึ่งจะเพิ่มความแข็งแรงและจุดหลอมเหลว ซึ่งทำให้อลูมิเนียมมีความคงทนต่อความสึกหรอที่เพิ่มมากขึ้น จึงทำให้อลูมิเนียมเป็นโลหะที่นิยมใช้งานมากกว่าโลหะอื่น

อลูมิเนียมที่ใช้ในการทำโครงสร้างของแขนกลในครั้งนี้ใช้อลูมิเนียมเกรด 5083 โดย อลูมิเนียมเกรด 5083 เป็นโลหะผสมระหว่างอะลูมิเนียม ที่มีแมกนีเซียม แมงกานีส และโครเมียม เป็นส่วนผสมสำคัญผ่านกระบวนการขึ้นรูปเย็นเพื่อให้มีความแข็งแรงสูงสุดและอบเสถียร เพื่อช่วยรักษาคุณสมบัติทางกลให้คงที่ และเพื่อให้มีความต้านทานต่อการกัดกร่อนที่ดีเยี่ยม

2.9.1 คุณลักษณะเด่น (Significant Characteristics)

2.9.1.1 มีน้ำหนักเบากว่าเหล็กมาก ประมาณ 3 เท่า

2.9.1.2 มีค่าการนำความร้อนและไฟฟ้าสูงกว่าเหล็ก

2.9.1.3 มีความแข็งแรงสูง

2.9.1.4 ต้านทานต่อการกัดกร่อนดีเยี่ยม

2.9.1.5 ความสามารถในการเชื่อมดีมาก

2.9.1.6 ความสามารถในการขึ้นรูปเย็นดีพอใช้

2.9.1.7 ความสามารถในการตัดกลึงพอใช้

2.9.2 คุณลักษณะทั่วไป

ตารางที่ 2-4 คุณลักษณะทั่วไป

ส่วนผสมทางเคมี (%wt.)	Mg	Mn	Cr	Al
	4.0-4.9	0.4-1.0	0.05-0.25	Bal.
AA	5083			
ISO	AlMg4.5Mn			
DIN	303547 (AlMg4.5Mn)			

2.9.3 คุณสมบัติทางฟสิกส (Physical Properties) เป็นคุณสมบัติของวัสดุที่ไมเกี่ยวกับแรงที่มากระทำ แต่เกี่ยวกับคุณภาพหรือคุณลักษณะของเนื้อวัสดุคุณสมบัติทางฟสิกส์ ได้แก่ความร้อนจำเพาะ, การนำความร้อน, สัมประสิทธิ์การขยายตัว, ความหนาแน่นและความต้านทานไฟฟ้า เป็นต้น

ตารางที่ 2-5 คุณสมบัติทางฟิสิกส์

คุณสมบัติ	ค่าเฉลี่ย
ความหนาแน่น / Density $(\mathrm{g/cm^3})$	2.7
อุณหภูมิหลอมเหลว / Melting Range (℃)	590-640
การนำความร้อนที่ $20° - 100℃$ Thermal Conductivity (W/m.k)	110-120
ค่าการนำไฟฟ้าที่ 20℃ Electrical Conductivity ($m/\Omega.mm^2$)	16-18

คุณสมบัติ	ค่าเฉลี่ย
สัมประสิทธิ์การขยายตัวทางความร้อนระหว่าง $20° - 100℃$ Coefficient of Thermal Expansion Between $20° - 100℃$ $(\mu m/m.k)$	23.8
โมดูลัสของการยืดหยุ่นที่ $20℃$ Modulus of Elasticity $(10^3 N/mm^2)$	71

2.9.4 คุณสมบัติทางกล (Mechanical Properties) เป็นคุณสมบัติที่เกี่ยวกับปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นของวัสดุเมื่อมีแรงจากภายนอกมากระทำต่อวัสดุ คุณสมบัติทางกลได้แก่ ความแข็งแรง, ความยืดตัว, ความยืดหยุ่น, ความเหนียว เป็นต้น

ตารางที่ 2-6 คุณสมบัติทางกล

Thickness (mm)	Y.S. (N/mm^2)	U.T.S (N/mm^2)	U.S.S (N/mm^2)	El (%)	Hard (HB)
4-6.5	≥ 127	≥ 284	≥ 170	≥ 11	≥ 70
6.5-40	≥ 127	≥ 275	≥ 170	≥ 12	≥ 70
40-80	≥ 118	≥ 275	≥ 170	≥ 12	≥ 70
มาตรฐาน	160	305	185	23	70

2.10 ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller)

เป็นอุปกรณ์ไอซี IC (Integrated Circuit: IC) ที่สามารถสั่งให้โปรแกรมการทำงานได้ซับซ้อน สามารถรับข้อมูลในรูปสัญญาณดิจิตอลเข้าไปทาการประมวลผลแล้วส่งผลลัพธ์ข้อมูลดิจิตอลออกมาเพื่อนำไปใช้งานตามที่ต้องการได้

2.10.1 โครงสร้างโดยทั่วไปของไมโครคอนโทรลเลอร์

ก) หน่วยประมวลผลกลาง CPU (Central Processing Unit: CPU) ทำหน้าที่ประมวลผลทุกอย่างเหมือนกับ CPU ในคอมพิวเตอร์

ข) หน่วยความจำ (Memory) มีหน้าที่ในการเก็บข้อมูลต่าง ๆ แบ่งออกเป็นสองส่วน คือ หน่วยความจำโปรแกรม (Program Memory) และหน่วยความจำข้อมูล (Data Memory) โดยที่หน่วยความจำโปรแกรมนี้ จะเก็บข้อมูลหลักของโปรแกรมเอาไว้เหมือนฮาร์ดดิสก์ของเครื่องคอมพิวเตอร์

ค) ส่วนติดต่อภายนอก (Port) มี 2 แบบ คือ อินพุต (Input) กับเอาต์พุต (Output)

- อินพุต เป็นอุปกรณ์ ที่ไว้รับข้อมูลในรูปลักษณะต่างๆไว้ในให้คอมพิวเตอร์เพื่อใช้ในการประมวล อย่างเช่น คียบอร์ด เมาส์ สแกนเนอร์ เป็นต้น

- เอาต์พุต หมายถึง สารสนเทศหรือ ผลผลิต หรือ สิ่งที่ได้จากกระบวนการผลิตที่ส่งออกมาจากวงจรภายในคอมพิวเตอร์มาแสดงผลที่อุปกรณ์ต่อพ่วง เช่น มอนิเตอร์ ลำโพง เครื่องพิมพ์ เป็นต้น

ง) ช่องทางเดินของสัญญาณ (Bus) หมายถึง ช่องทางการขนถ่ายข้อมูลจากอุปกรณ์หนึ่งไปยังอุปกรณ์หนึ่งของระบบคอมพิวเตอร์ เพราะการทำงานของระบบคอมพิวเตอร์ CPU จะต้องอ่านเอาคำสั่งหรือโปรแกรมจากหน่วยความจำ มาตีความและทำตามคำสั่งนั้นๆ ซึ่งในบางครั้งจะต้องอ่านข้อมูลจากอุปกรณ์อื่นๆ เพื่อใช้ประกอบในการทำงาน หรือใช้ในการประมวลผลด้วยผลลัพธ์ของการประมวลผล ก็ต้องส่งไปแสดงผลที่ยังจอภาพ หรือเครื่องพิมพ์หรืออุปกรณ์อื่นๆ

2.10.2 ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล ARM7 TDMI-S Core

บอร์ดไมโครคอนโทรเลอร์ในตระกูล ARM7 TDMI-S Core เบอร์ LPC2103 เลือกใช้ไมโครคอนโทรเลอร์ 16/32 บิต ขนาด 48 ขา แบบใช้พลังงานต่ำ โดยการออกแบบโครงสร้างของบอร์ดนั้นจะเน้นเรื่องการ จัดวางบอร์ดให้มีขนาดเล็กเพื่อให้ง่ายต่อการนำไปประยุกต์ใช้งาน โดยได้นำไมโครคอนโทรลเลอร์ มาจัดวงจรร่วมกับอุปกรณ์พื้นฐานที่จำเป็น และจัดเรียงพอร์ตแบบ 10 ขา ตัวบอร์ดใช้ไฟ +5โวลต์ นอกจากนั้นยังสามารถรองรับสัญญาณที่เป็น 5 โวลต์ ได้ ตัวบอร์ดมีชุดเชื่อมต่อ (Connector) UART0 (RS-232) จำนวน 2 พอร์ต สำหรับทำการดาวโหลดข้อมูล และใช้งานในการสื่อสาร RS232

2.10.3 คุณสมบัติของบอร์ด

ก) ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล ARM7 TDMI-S เบอร์ LPC2103 ของ Philips ขนาด 16/32 บิต

ข) ใช้ Crystal 19.6608 เมกกะเฮิร์ทซโดยไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถประมวลผลด้วยความเร็วสูงสุดที่ 58.9824 เมกกะเฮิร์ทซ เมื่อใช้งานร่วมกับ Phase-Locked Loop (PLL) ภายในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์

ค) รองรับการโปรแกรมแบบ In-System Programming (ISP) และ In-Application Programming (IAP) ผ่านทาง On-Chip Boot-Loader Software ทางพอร์ต RS232-1

ง) พอร์ต JTAG 20 ขา สำหรับ Real Time Debugging จำนวน 1 พอร์ต

จ) พอร์ตจอภาพ มาตรฐาน ETT 14 ขา จำนวน 1 พอร์ต

ฉ) พอร์ต GPIO ขนาด 10 ขา จำนวน 4 พอร์ต มาตรฐาน ETT

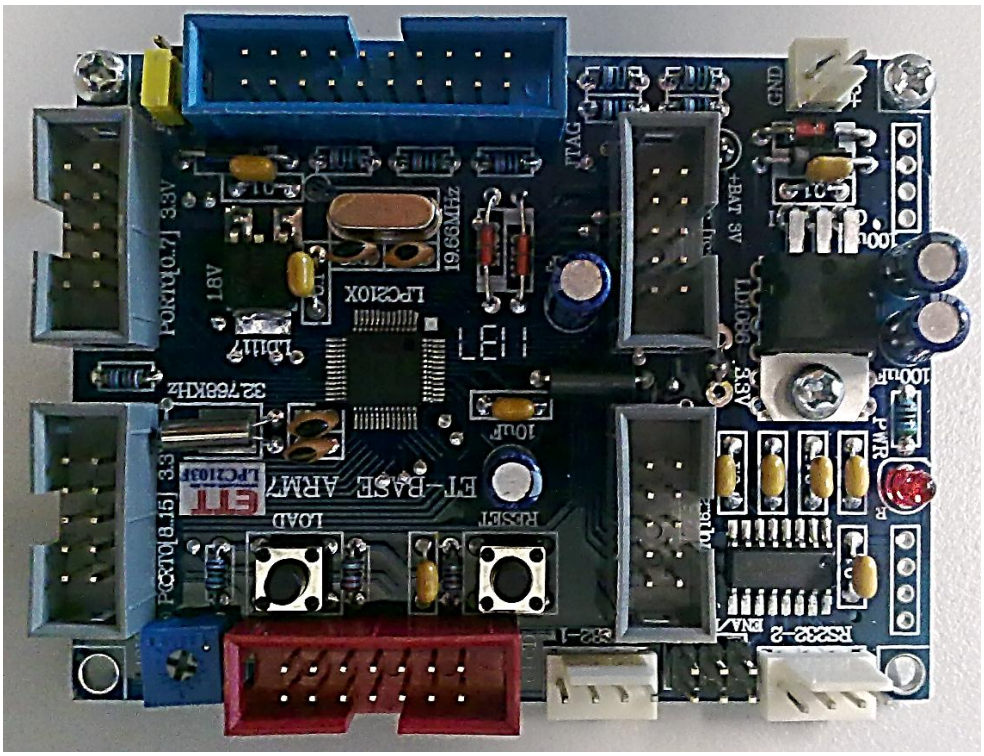
ช) หน่วยความจำโปรแกรมแบบ Flash 32 KB และ RAM 8 KB

ซ) RTC (Real Time Clock) 32.768 กิโลเฮิรตซ์ พร้อม Battery Backup +3 โวลต์

ฌ) ใช้แหล่งจ่ายไฟ +5 โวลต์

ญ) จำนวน GPIO สูงสุดถึง 32 I/O ขา(เฉพาะ GPIO รองรับสัญญาณที่เป็น 5 โวลต์) ซึ่งขาสัญญาณ GPIO จะมีการใช้งานร่วมกันของฟังก์ชัน อื่น ๆ อีกดังนี้

- SPI จำนวน 2 ช่อง
- I2C จำนวน 2 ช่อง
- มี 8 ช่อง 10 บิต A/D Converter
- UART แบบ Full-Duplex จำนวน 2 ช่องคือ RS232-1,RS232-2 มาตรฐาน 4 ขา ETT
- Timer 32 บิต จำนวน 2 ช่อง (7 รับข้อมูล/7 ส่งข้อมูล)
- Timer 16 บิต จำนวน 2 ช่อง (3 รับข้อมูล/7 ส่งข้อมูล)
- Watchdog Timer, PWM Output



ภาพที่ 2-62 ARM7 TDMI-S เบอร์ LPC2103

2.11 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากการสืบค้นข้อมูลและศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง สำหรับการดำเนินการวิจัยครั้งนี้ เป็นการทบทวนผลงานวิจัยของบุคคลต่างๆ ที่ผ่านมา โดยมีบุคคลที่ได้ศึกษาทำวิจัยดังนี้

2.10.1 ปีการศึกษา2549 โดย พันจ่าโทมานพ ห่างภัย นักศึกษา คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาบัณฑิตสาขาวิชาไฟฟ้าภาควิชาครุศาสตร์ไฟฟ้า บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ได้ทำการวิจัย การควบคุมแรงด้วยฟัซซี่ของมือหุ่นยนต์ ซึ่งงานวิจัยนี้เป็นการออกแบบการควบคุมแรงของมือหุ่นยนต์ด้วยการควบคุมแรงแบบฟัซซี่และการควบคุมแรงแบบพีไอดี ต่อการจับวัตถุที่มีน้ำหนักต่างกันและไม่เกิน 1 กิโลกรัม เพื่อศึกษาถึงการควบคุมแรงที่กระทำต่อวัตถุด้วยความเหมาะสมถูกต้องและมีความเร็วในการเข้าสู่เป้าหมาย โดยใช้สเตรนเกจเป็นเซ็นเซอร์ในการวัดแรง

ผลจากการทดลองกำหนดแรงขนาด 1 นิวตัน พบว่าการเคลื่อนที่โดยการควบคุมด้วยพีไอดี จะมีความรวดเร็วในการเคลื่อนที่ โดยสามารถดูได้จากช่วงเวลาของระบบพีไอดีและระบบฟัซซี่ โดยระบบพีไอดีจะมีช่วงเวลาน้อยกว่าระบบฟัซซี่อยู่ประมาณ 2 มิลลิวินาที ดังนั้นเมื่อเปรียบระหว่างระบบพีไอดีกับระบบฟัซซี่แล้ว การควบคุมแบบระบบฟัซซี่ ใช้เวลาในการเข้าสู่ตำแหน่งอ้างอิงได้เร็วกว่าระบบพีไอดี เพราะการควบคุมด้วยระบบพีไอดี มีค่าพุ่งเกินเกิดขึ้นสูงถึง 20 % ซึ่งเกินจากค่าของตำแหน่งอ้างอิงที่กำหนดแล้วจึงลดลงเข้าสู่ตำแหน่งอ้างอิงจากเหตุดังกล่าวและอาจก่อให้เกิดความเสียหายต่อชิ้นงานได้

2.10.2 ปีการศึกษา 2550 โดย นายทศพล บุญใส นักศึกษาคณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาบัณฑิต สาขาวิชาไฟฟ้า ภาควิชาครุศาสตร์ไฟฟ้า บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ได้ทำการวิจัยเรื่อง การควบคุมแรงกดและแรงบิดสำหรับระบบขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงขนาดเล็ก ซึ่งเป็นการศึกษาวิธีออกแบบการควบคุมแรงกดและแรงบิดสำหรับระบบขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงขนาดเล็ก ที่มีพิกัดไม่เกิน 300 วัตต์ โดยใช้ตัวควบคุมแบบระบบฟัซซี่ลอจิก ทำหน้าที่ควบคุมแรงกดและแรงบิดของมอเตอร์ ส่วนของการควบคุมแรงกดและส่วนของการควบคุมแรงบิด โดยกำหนดค่าเป้าหมายในส่วนของแรงกดเท่ากับ 5 นิวตันและในส่วนของแรงบิดเท่ากับ 0.01 นิวตัน ตัวควบคุมแบบระบบฟัซซี่ลอจิกมี 2 อินพุตแต่ละอินพุตมี 5 สมาชิก ดังนั้นจำนวนกฎจึงเท่ากับ 5^2=25 กฎ ส่วนของระบบแมคคานิกส์นั้นเป็นแบบแขนกดอยู่กับที่ไม่สามารถเคลื่อนที่ได้ และเซนเซอร์ที่ใช้วัดแรงกดติดอยู่กับฐานไม่สามารถเคลื่อนที่ได้

ผลจากการทดลองควบคุมแรงกดแบบระบบฟัซซี่ลอจิก โดยจะมีการกำหนดค่าตัวแปรความเป็นสมาชิกของเอกภพสัมพัทธ์อินพุตและเอาท์พุตที่แตกต่างกัน ผลจากการทดลองทั้งใน 6

กรณี การควบคุมค่าแรงกด โดยกำหนดให้ย่านเอกภพสัมพัทธ์ของค่าผิดพลาด = [-7.5, 7.5], ค่าอัตราผิดพลาดที่เปลี่ยนแปลงไป = [-5, 5], ค่าเอาต์พุต = [-0.5, 0.5] จำนวนฟังก์ชันความเป็นสมาชิกฟัซซี่ของค่าผิดพลาดมีค่าสมาชิก 5 สมาชิกและมีการปรับฐานของเอกภพสัมพัทธ์ จำนวนฟังก์ชันความเป็นสมาชิกฟัซซี่ของค่าอัตราค่าผิดพลาดที่เปลี่ยนแปลงมีค่า 5 สมาชิก และจำนวนฟังก์ชันความเป็นสมาชิกฟัซซี่ของค่าเอาต์พุตมีค่า 7 สมาชิก ดังจะสังเกตได้จากการทดลองการควบคุมแรงกดในกรณีที่ 6จะเป็นค่าที่เหมาะสมสำหรับการควบคุมแรงกด ซึ่งผลการทดลองที่ได้จะมีค่าในการควบคุมแรงกดสามารถเข้าสู่ค่าเป้าหมายได้ตามที่กำหนด โดยจะมีค่า $\mathrm{T_d}$ = 0.067 วินาที, ค่า $\mathrm{T_y}$ = 0.087วินาที ค่า $\mathrm{T_s}$ = 0.627 วินาที, ค่าผิดพลาด = 0.0007 นิวตัน, เปอร์เซ็นต์ค่าผิดพลาด = 0.014 เปอร์เซ็นต์ และค่าฟุ้งเกินมีค่า = 6.153 เปอร์เซ็นต์ จากผลการทดลองผลการตอบสนองของระบบจะมีค่าการฟุ้งเกินเกิดขึ้นเล็กน้อยในช่วงเริ่มต้น เนื่องมาจากช่วงระยะเวลาที่ระบบควบคุมแรงกดเริ่มทำงานจะมีค่าแรงโน้มถ่วงเข้ามามีผลกระทบต่อการทำงานของระบบ

2.10.3 ปีการศึกษา 2550 โดย นายสมเกียรติ ดวงหอม นักศึกษา คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาบัณฑิตสาขาวิชาไฟฟ้า ภาควิชาครุศาสตร์ไฟฟ้า บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ได้ทำการวิจัย เรื่องการควบคุมตำแหน่ง ความเร็วและแรงบิดแบบระบบฟัซซี่ลอจิกของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงสำหรับหุ่นยนต์แบบคาร์ทีเซียน ซึ่งเป็นการควบคุมตำแหน่งการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์แบบคาร์ทีเซียนโดยใช้ระบบการควบคุมแบบระบบฟัซซี่ลอจิก เปรียบเทียบกับระบบควบคุมแบบพีไอดี ซึ่งใช้โปรแกรม Visual Basic 6.0 ในการติดต่อสื่อสาร

ผลจากการทดลองและขั้นตอนการทำวิจัยได้ผลคือการควบคุมหุ่นยนต์ 3 แกน เคลื่อนที่อย่างอิสระต่อกัน พบว่าการเคลื่อนที่โดยการควบคุมด้วยระบบฟัซซี่ ในระยะต่าง ๆ ที่กำหนด โดยจะสามารถดูได้จากค่าเวลาตอบสนอง T_{resp} และเวลาไต่ขึ้น T_r ของกราฟที่ได้จากการทดสอบระบบฟัซซี่ ของแต่ละระยะที่กำหนด จากกราฟพบว่าใช้เวลาตอบสนองค่อนข้างมากเมื่อเปรียบเทียบกับการควบคุมแบบวิธีอื่น ๆ แต่จากกราฟทดลองพบว่าไม่มีการเกิดค่าพุ่งเกิน ดังนั้นการเข้าสู่ตำแหน่งอ้างอิงของหุ่นยนต์จึงมีความแม่นยำสูง เพราะว่าระบบควบคุมจะควบคุมให้การเคลื่อนที่เมื่อเข้าใกล้สู่เป้าหมายจะทำให้ระบบเคลื่อนที่ค่อยๆ ลดลงจนกว่าจะเข้าตำแหน่งอ้างอิง แต่อย่างไรก็ตามค่าเวลาตอบสนองของการควบคุมแบบระบบฟัซซี่ ใช้เวลาค่อนข้างมากแต่เมื่อเทียบกับการควบคุมแบบอื่นซึ่งมีค่าพุ่งเกิน เกิดขึ้นสูงทำให้เกิดการแกว่งและกลับเข้าสู่เป้าหมายได้ช้ากว่าและอาจจะก่อให้เกิดความเสียหายต่องานหรือได้งานที่น้อยกว่า ดังนั้นการนำเอาการควบคุมแบบระบบฟัซซี่ มาควบคุมการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์แบบ 3 แกน อิสระต่อกัน ทำให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่ได้อย่างมีประสิทธิภาพและมีความ แม่นยำ เหมาะกับการนำไปประยุกต์และปรับปรุงเพื่อใช้ในงานอุตสาหกรรมต่อไป

2.10.4 ปีการศึกษา 2550 โดย นายอนันต์ สืบสำราญ ,นายพรจิต ประทุมสุวรรณ นายวัชรินทร์ โพธิ์เงิน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ได้ทำการวิจัย เรื่องการควบคุมหุ่นยนต์ด้วยระบบโครงสร้างแบบเปิดสำหรับหุ่นยนต์ SCARA ซึ่งเป็นการนำโครงสร้างของตัวหุ่นยนต์มาทำการติดตั้งและสร้างระบบควบคุมใหม่ การทำงานประกอบด้วย 4 ส่วนหลัก คือ ส่วนของการปรับปรุงโครงสร้างเดิมให้มีความเหมาะสมกับระบบควบคุมใหม่ โดยการเปลี่ยนอุปกรณ์ตรวจวัดของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับเหนี่ยวนำ 3 เฟส ส่วนที่สอบคือการสร้างวงจร ขับมอเตอร์แบบ V/F ส่วนที่สามคือการใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC เป็นหน่วยประมวลผล การควบคุมมอเตอร์ในแกนต่างๆ และส่วนสุดท้ายคือการใช้คอมพิวเตอร์เป็นตัวประมวลผลใน การคำนวณจลศาสตร์การเคลื่อนที่ของแขนหุ่นยนต์ โดยการป้อนค่าองศาหรือตำแหน่งของแขนหุ่นยนต์และการแสดงตำแหน่งการเคลื่อนที่ด้วยกราฟบนหน้าจอคอมพิวเตอร์

ในส่วนของหุ่นยนต์ที่ได้ทำการปรับปรุงขึ้นมาสามารถควบคุมการทำงานด้วยคำสั่งควบคุมบนหน้าจอคอมพิวเตอร์ ซึ่งเป็นการควบคุมการทำงานแบบ Manual การควบคุมการทำงานของหุ่นยนต์สามารถรับส่งคำสั่งข้อมูลได้ดี

ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้นำหลักการควบคุมหุ่นยนต์ด้วยระบบโครงสร้างแบบเปิดสำหรับหุ่นยนต์ SCARA มาช่วยในการออกแบบและสร้างแขนหุ่นยนต์น้ำหนักเบา ให้สามารถควบคุมการเคลื่อนที่ของแกนต่าง ๆ ให้มีความสัมพันธ์กัน