

บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

โครงการการออกแบบและสร้างชุดสาธิตหุ่นยนต์เดลต้า 3 แกน จำเป็นต้องหาข้อมูลในหลายๆด้าน เพื่อที่จะสร้างชุดสาธิตหุ่นยนต์เดลต้า 3 แกนขึ้น ตั้งแต่ข้อมูลด้านการออกแบบ โครงสร้างของชุดสาธิตหุ่นยนต์เดลต้า 3 แกน การออกแบบวงจรไฟฟ้า ตลอดจนการออกแบบ การควบคุมโดยใช้โปรแกรม เพื่อให้โครงการดังกล่าวสำเร็จลุล่วงตามวัตถุประสงค์ โดยมีทฤษฎีที่เกี่ยวข้องดังต่อไปนี้

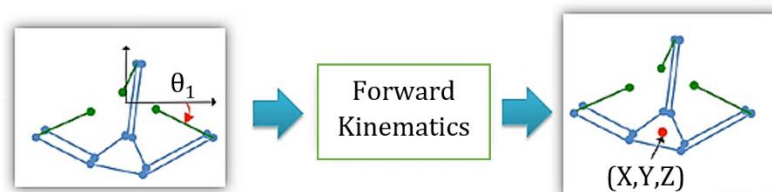
- 2.1 การออกแบบโครงสร้างของชุดสาธิตหุ่นยนต์เดลต้า 3 แกน
- 2.2 การออกแบบวงจรไฟฟ้าสำหรับชุดสาธิตหุ่นยนต์เดลต้า 3 แกน
- 2.3 การออกแบบระบบควบคุมชุดสาธิตหุ่นยนต์เดลต้า 3 แกน
- 2.4 ปัญญาประดิษฐ์ที่เกี่ยวข้อง

2.1 การออกแบบโครงสร้างของชุดสาธิตหุ่นยนต์เดลต้า 3 แกน

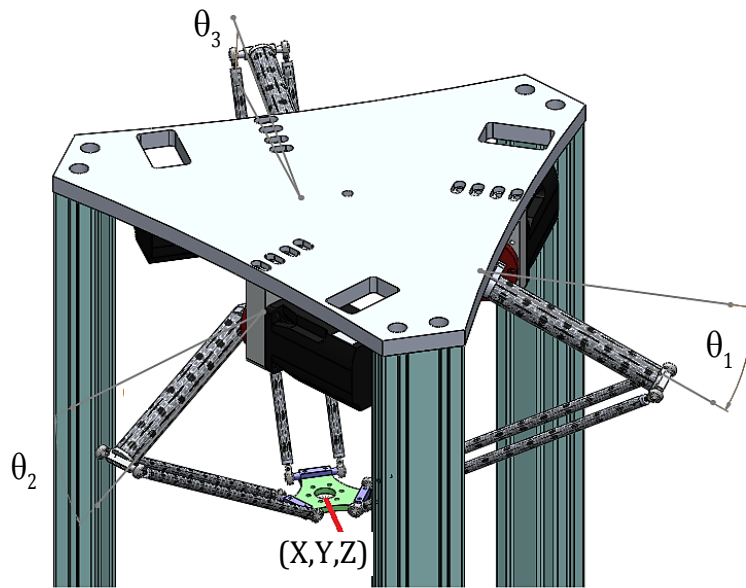
หุ่นยนต์เดลต้า 3 แกน เป็นหุ่นยนต์ที่มีแขน (Link) ในการทำงานตั้งอยู่บนฐานเดียวกัน 3 แขน โดยมีหน้าที่การทำงานในจุดเดียวกัน เปรียบเหมือนมีหลายแขนที่จะทำงานสัมพันธ์กัน ถ้าต้องการออกแบบชุดสาธิตหุ่นยนต์เดลต้า 3 แกน จำเป็นที่จะต้องแก้ปัญหาสองขั้นแรก เสียก่อนปัญหาแรกคือ หากทราบมุมที่สอดคล้องกันของแต่ละแขน (มุมรวมกัน) หรือองค์การหมุนของชุดมอเตอร์หรือต้นกำลัง จำเป็นที่จะต้องหาตำแหน่งของแผ่นเคลื่อนที่ (จุดที่มีพิกัด X, Y, Z หรือ End Effector) และในปัญหาที่สอง ถ้าหากทราบตำแหน่งที่ต้องการของแผ่นเคลื่อนที่ซึ่ง จำเป็นต้องตรวจสอบหามุมที่รวมกัน เพื่อชุดต้นกำลังเคลื่อนที่ในตำแหน่งที่เหมาะสมซึ่งทั้งสอง ปัญหาจะสามารถแก้ไขได้โดยใช้การคำนวณทางคณิตศาสตร์ซึ่งสามารถทำได้ดังต่อไปนี้

2.1.1 จลนศาสตร์การเคลื่อนที่ไปข้างหน้า (Forward Kinematic)

ในกรณีที่รู้มุมรวมกัน กำหนดให้สามมุม คือ θ_1, θ_2 และ θ_3 ตามลำดับ จะต้องหาตำแหน่งของแผ่นเคลื่อนที่ (X,Y,Z)



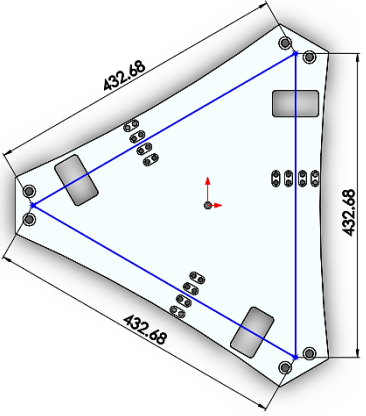
ภาพที่ 2-1 แผนภาพการหาจลนศาสตร์การเคลื่อนที่ไปข้างหน้า



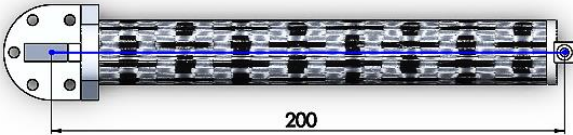
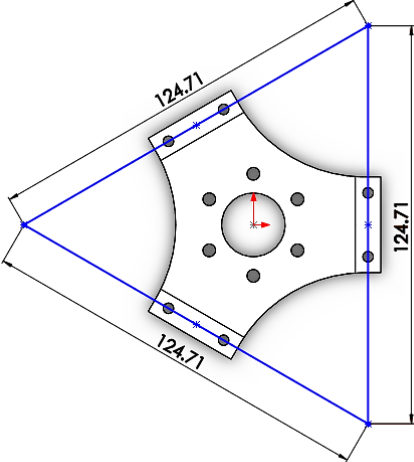
ภาพที่ 2-2 ภาพสามมิติของการหาจลนศาสตร์การเคลื่อนที่ไปข้างหน้า
ของชุดสัณติหุ่นยนต์เดลต้า 3 แกน

การคำนวณจลนศาสตร์การเคลื่อนที่ไปข้างหน้าของหุ่นยนต์เดลต้า 3 แกน อันดับแรกจำเป็นต้องกำหนดค่าตัวแปรของหุ่นยนต์ เพื่อใช้สำหรับการคำนวณในสมการทางคณิตศาสตร์ จากนั้นกำหนดขนาดความยาวของแผ่นฐานบน คือ f , ความยาวของแผ่นเคลื่อนที่คือ e , ความยาวของแขนบนคือ r_f ความยาวของแขนล่างคือ r_e ดังแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 พารามิเตอร์ในการคำนวณหาจลนศาสตร์การเคลื่อนที่ไปข้างหน้า

พารามิเตอร์	ตัวแปรที่ใช้ในการคำนวณ	ขนาด (มิลลิเมตร)
 ความยาวด้านข้างของฐานบน	f	432.68

ตารางที่ 2.1 (ต่อ) พารามิเตอร์ในการคำนวณหาจลนศาสตร์การเคลื่อนที่ไปข้างหน้า

พารามิเตอร์	ตัวแปรที่ใช้ในการคำนวณ	ขนาด (มิลลิเมตร)
 ความยาวของแกนป่น	rf	200
 ความยาวของแกนล่าง	re	400
 ความยาวของแผ่นเคลื่อนที่	e	124.71

สูตรที่ใช้ในการคำนวณหาจลนศาสตร์การเคลื่อนที่ไปข้างหน้า ต้องการหาตำแหน่งของจุดปลาย (X_0 , Y_0 , Z_0)

$$\text{กำหนดให้ } t = (f - e) * \tan(30^\circ)/2 \quad (2-1)$$

$$Y_1 = -(t + rf * \cos(\theta_1)) \quad (2-2)$$

$$Z_1 = -rf * \sin(\theta_1) \quad (2-3)$$

$$Y_2 = (t + rf * \cos(\theta_2)) * \sin(30^\circ) \quad (2-4)$$

$$X_2 = Y_2 * \tan(60^\circ) \quad (2-5)$$

$$Z_2 = -rf * \sin(\theta_2) \quad (2-6)$$

$$Y_3 = (t + rf * \cos(\theta_3)) * \sin(30^\circ) \quad (2-7)$$

$$X_3 = -Y_3 * \tan(60^\circ) \quad (2-8)$$

$$Z_3 = -rf * \sin(\theta_3) \quad (2-9)$$

$$n = (Y_2 - Y_1) * X_3 - (Y_3 - Y_1) * X_2 \quad (2-10)$$

$$w_1 = Y_1^2 + Z_1^2 \quad (2-11)$$

$$w_2 = X_2^2 + Y_2^2 + Z_2^2 \quad (2-12)$$

$$w_3 = X_3^2 + Y_3^2 + Z_3^2 \quad (2-13)$$

หา Z จาก $a * Z^2 + b * Z + c = 0$ โดยนำค่าที่ได้จากสมการ (2-14), (2-15) และ (2-16) มาแทนค่า

$$a = a_1^2 + a_2^2 + n^2 \quad (2-14)$$

$$b = 2 * (a_1 * b_1 + a_2 * (b_2 - Y_1 * n) - Z_1 * n^2) \quad (2-15)$$

$$c = (b_2 - Y_1 * n) * (b_2 - Y_1 * n) + b_1^2 + n^2 * (Z_1^2 - re^2) \quad (2-16)$$

หา X จาก $X = (a_1 * Z + b_1)/n$ โดยนำค่าที่ได้จากสมการ (2-17) และ (2-18) มาแทนค่า

$$a_1 = (Z_2 - Z_1) * (Y_3 - Y_1) - (Z_3 - Z_1) * (Y_2 - Y_1) \quad (2-17)$$

$$b_1 = -((w_2 - w_1) * (Y_3 - Y_1) - (w_3 - w_1) * (Y_2 - Y_1))/2 \quad (2-18)$$

หา Y จาก $Y = (a_2 * Z + b_2)/n$ โดยนำค่าที่ได้จากสมการ (2-19) และ (2-20) มาแทนค่า

$$a_2 = -(Z_2 - Z_1) * X_3 + (Z_3 - Z_1) * X_2 \quad (2-19)$$

$$b_2 = ((w_2 - w_1) * X_3 - (w_3 - w_1) * X_2)/2 \quad (2-20)$$

$$d = b^2 - (4 * a * c) \quad (2-21)$$

จะได้ตำแหน่งของจุดปลาย (X_0, Y_0, Z_0) โดยการนำสมการ (2-21) มาแทนค่าในสมการด้านล่าง

$$Z_0 = -0.5 * (b + \sqrt{d})/a \quad (2-22)$$

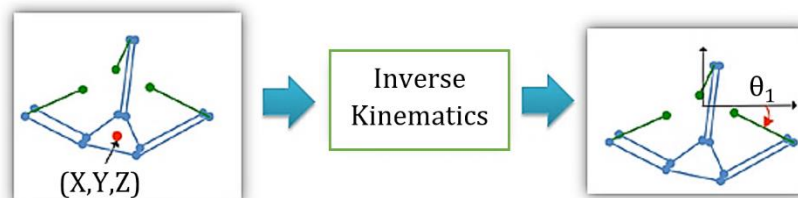
$$X_0 = (a_1 * Z_0 + b_1)/n \quad (2-23)$$

$$Y_0 = (a_2 * Z_0 + b_2)/n \quad (2-24)$$

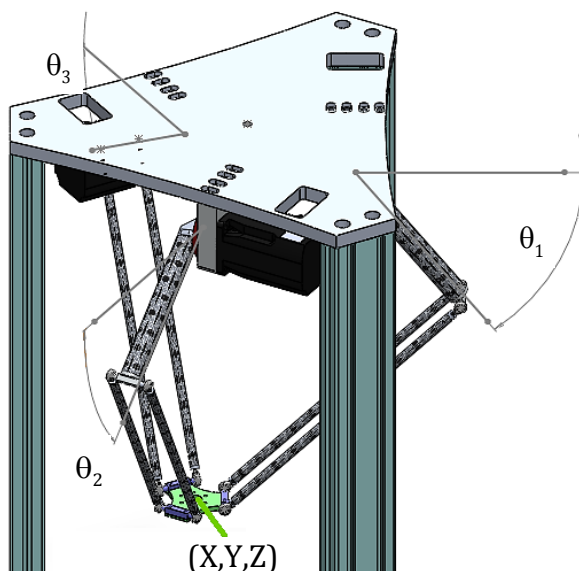
ผลของรากสมการเชิงลบที่น้อยที่สุด $Z = Z_0$

2.1.2 จลนศาสตร์การเคลื่อนที่ผกผัน (Inverse Kinematic)

ในกรณีที่รู้ตำแหน่งของจุดปลาย (X, Y, Z) สิ่งที่จะต้องหาคือมุมร่วมกัน θ_1 , θ_2 และ θ_3 ตามลำดับ



ภาพที่ 2-3 แผนภาพการหาจลนศาสตร์การเคลื่อนที่ผกผัน



ภาพที่ 2-4 ภาพสามมิติของการหาจลนศาสตร์การเคลื่อนที่ผกผัน
ของชุดสารถีหุ่นยนต์เดลต้า 3 แกน

สูตรที่ใช้ในการคำนวณหาจลนศาสตร์การเคลื่อนที่ย้อนกลับ ต้องการหามุมร่วมกันให้มุมของแขนที่ 1, มุมของแขนที่ 2 และมุมของแขนที่ 3 คือ θ_1 , θ_2 และ θ_3 ตามลำดับ ค่าพารามิเตอร์ในการคำนวณได้จากตารางที่ 2.1

$$\text{กำหนด } X_0, Y_0, Z_0 \quad (2-25)$$

$$Y_1 = -1/2 * (\tan(30^\circ)) * f \quad (2-26)$$

$$Y_0 = 1/2 * (\tan(30^\circ)) * e \quad (2-27)$$

สมการที่ (2-27) หมายความว่า Y_0 ค่าใหม่ที่ต้องการ จะมีค่าเท่ากับ Y_0 ซึ่งเป็นค่าที่กำหนดไว้ในสมการที่ (2-25) ลบด้วย $1/2 * (\tan(30^\circ))$ และคูณด้วย e

$$a = (X_0^2 + Y_0^2 + Z_0^2 + rf^2 - re^2 - Y_1^2) / (2 * Z_0) \quad (2-28)$$

สมการที่ (2-28) X_0, Z_0 คือค่าที่กำหนดในสมการที่ (2-25) Y_1 คือค่าที่ได้จากสมการที่ (2-26) Y_0 คือค่าที่ได้จากสมการที่ (2-27)

$$b = (Y_1 - Y_0) / Z_0 \quad (2-29)$$

สมการที่ (2-29) Y_0 คือค่าที่ได้จากสมการที่ (2-27)

$$d = -(a + b * Y_1) * (a + b * Y_1) + rf * (b^2 * rf + rf) \quad (2-30)$$

ค่า d ที่ได้จะต้องมีค่ามากกว่า 0 จึงจะสามารถหาจลนศาสตร์การเคลื่อนที่ย้อนกลับ

$$Y_j = (Y_1 - a * b - \sqrt{d}) / (b^2 + 1) \quad (2-31)$$

$$Z_j = a + b * Y_j \quad (2-32)$$

$$\theta = \text{atan}(-Z_j / (Y_1 - Y_j)) * 180^\circ / \pi + K \quad (2-33)$$

สมการที่ (2-33) ถ้า $Y_j > Y_1$ ให้ $K = 180$ องศา แต่ถ้า $Y_j < Y_1$ ให้ $K = 0$ องศา เพื่อแปลงจากรadian ให้เป็นองศา (Degree)

สมการที่ (2-33) θ ที่ได้จะเป็น θ_1 ถ้าต้องการหา θ_2 ให้นำค่า X_0, Y_0, Z_0 ในสมการที่ (2-25) มาแทนค่าในสมการที่ (2-34), (2-35) และ (2-36) ก่อน จึงจะนำไปแทนค่าในสมการที่ (2-28) ได้ เพื่อหา θ_2 ตามขั้นตอนของการหา θ_1

$$X_0' = (X_0 * \cos(120^\circ)) + (Y_0 * \sin(120^\circ)) \quad (2-34)$$

$$Y_0' = (Y_0 * \cos(120^\circ)) - (X_0 * \sin(120^\circ)) \quad (2-35)$$

$$Z_0' = Z_0 \quad (2-36)$$

สมการที่ (2-33) θ ที่ได้จะเป็น θ_1 ถ้าต้องการหา θ_3 ให้นำค่า X_0, Y_0, Z_0 ในสมการที่ (2-25) มาแทนค่าในสมการที่ (2-37), (2-38) และ (2-39) ก่อน จึงจะนำไปแทนค่าในสมการที่ (2-28) ได้ เพื่อหา θ_3 ตามขั้นตอนของการหา θ_1

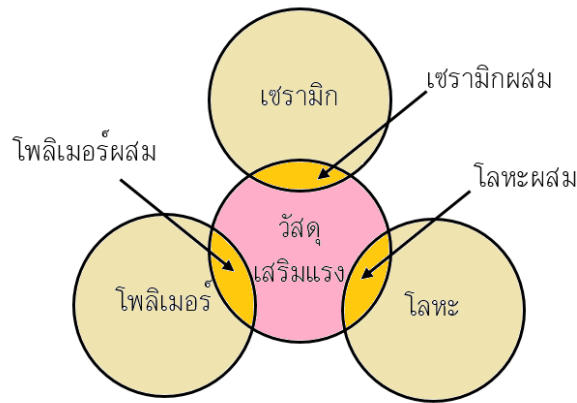
$$X_0' = (X_0 * \cos(120^\circ)) - (Y_0 * \sin(120^\circ)) \quad (2-37)$$

$$Y_0' = (Y_0 * \cos(120^\circ)) + (X_0 * \sin(120^\circ)) \quad (2-38)$$

$$Z_0' = Z_0 \quad (2-39)$$

จะได้ θ_1, θ_2 และ θ_3 ตามต้องการ

2.1.3 วัสดุผสม (Composite Material)



ภาพที่ 2-5 วัสดุผสม

การนำเส้นใยธรรมชาติหรือเส้นใยสังเคราะห์ขึ้นไปผสมร่วมกับโพลีเมอร์นั้น จะทำให้วัสดุมีความต้านทานแรงดึงหรือการฉีกขาดได้สูงขึ้น เช่น ไฟเบอร์กลาสเป็นวัสดุผสมของโพลีเมอร์ที่มีน้ำหนักเบากับเส้นใยแก้วที่มีความแข็งแรง เป็นต้น

วัสดุผสมเป็นวัสดุที่ไม่ได้เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ แต่มีส่วนผสมขององค์ประกอบทางเคมีที่แตกต่างกันของวัสดุ 2 ชนิดหรือมากกว่านั้น พิจารณาถึงโครงสร้างในระดับอะตอมของส่วนประกอบนั้นๆซึ่งอาจมีรูปร่างและองค์ประกอบทางเคมีที่ต่างกัน จึงทำให้ไม่ละลายเข้าด้วยกันหรือไม่เป็นเนื้อเดียวกัน สามารถแยกเป็นส่วนที่เห็นได้ชัดเจน ส่วนแรกเรียกว่า เนื้อหลัก (Matrix) ซึ่งจะอยู่ด้วยกันอย่างต่อเนื่อง ส่วนสองเรียกว่า ส่วนกระจายหรือวัสดุเสริมแรง (Reinforcement) จะกระจายอยู่ในเนื้อของวัสดุเนื้อหลัก อาจมีลักษณะเป็นเส้น ก้อนหรือเกล็ด วัสดุผสมมีสมบัติเด่นกว่าการใช้งานวัสดุแบบดั้งเดิมเพียงสารเดียวในหลายๆด้าน เช่น

- มีค่าความแกร่งและแข็งแรงสูง (High Stiffness and Strength)
- มีค่าความถ่วงจำเพาะต่ำ (Low Density)
- น้ำหนักเบาเมื่อเทียบกับความแข็งแรงต่อน้ำหนักประมาณ 20 เปอร์เซ็นต์ (%)

เมื่อเทียบกับเหล็ก

- นำไปขึ้นรูปได้ง่าย ติดตั้งประกอบได้ง่าย
- ทนทานต่อสภาพแวดล้อมหรือสารเคมีกัดกร่อน
- อายุใช้งานทนทาน ราคาคุ้มค่า

2.1.3.1 โพลีเมอร์ผสม (Polymer Matrix Composite : PMC)

เป็นผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์กลาส (Fiber Glass) โดยมีโพลีเมอร์เป็นเนื้อประสานหลัก นั่นคือ เทอร์โมพลาสติก เทอร์โมเซตติ้ง (Thermosetting) และยาง มีวัสดุเสริมแรง เช่น เส้นใยแก้ว เส้นใยลูมิเนียมซิลิเกต เส้นใยอะรามิด เส้นใยไนลอน เส้นลวดโลหะ เป็นต้น และมีสารเติมแต่งคือ สารเร่งปฏิกิริยา สารช่วยกระจายอนุภาค ฯลฯ

ก) เนื้อประสานหลัก เป็นเนื้อวัสดุที่มีปริมาณมากที่สุด มีหน้าที่ห่อหุ้มหรือจับยึดวัสดุเสริมแรงให้ฝังตัวอยู่ได้ มีคุณสมบัติด้อยกว่าวัสดุเสริมแรง ต้องไม่ทำปฏิกิริยาทางเคมีกับวัสดุเสริมแรง ไม่เปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพหรือระเหยในภายหลัง จะต้องยอมให้วัสดุเสริมแรงเข้าไปยึดเกาะได้เพื่อสร้างพันธะที่แข็งแรง จะต้องมีความเหนียวและทนทานสูง

ข) เทอร์โมเซตติง เป็นพลาสติกที่นิยมนำมาเป็นเนื้อหลักกันมาก มีสมบัติให้ความแข็งแรงสูงได้จากมอนอเมอร์ (Monomer) ซึ่งเรียกว่า เรซิน (Resin) เป็นสารเคมีอยู่ในสถานะของเหลว ไม่หนืดและยังไม่แข็งตัว เช่น Unsaturated Polymer, Phenolic Resin, Amino Resin, Epoxy Resin, Polyimide เป็นต้น

ค) วัสดุเสริมแรง เป็นวัสดุที่มีปริมาณน้อย มีสมบัติที่ดีกว่าวัสดุเนื้อหลักกระจายตัวหรือฝังตัวอยู่ในวัสดุเนื้อหลักหรืออัดซ้อนทับกับวัสดุเนื้อหลัก เส้นใยธรรมชาติได้แก่ ปอ ป่าน ฝ้าย ไหม แร่ เช่น แร่ใยหินหรือแอสเบสตอล (Asbestols) เส้นใยสังเคราะห์ (Synthetic Fiber) แบ่งเป็น เส้นใยสังเคราะห์อินทรีย์ คือ เส้นใยแก้ว เส้นใยซิลิกอน เส้นใยสังเคราะห์อินทรีย์ คือ เส้นใยอะรามิด เส้นใยโพลิเอทิลีน

ง) เส้นใยแก้ว นำไปใช้งานกันมากที่สุด ผลิตจากน้ำแก้วหลอมเหลวในเตาหลอมที่อุณหภูมิ 1,300 องศาเซลเซียส ($^{\circ}\text{C}$) ถูกปั่นเป็นเส้นใยขนาดเล็ก (Filament) ที่ละเอียดอ่อน มีเส้นผ่านศูนย์กลางโดยเฉลี่ย 5-25 ไมครอน (μm) ระหว่างนี้จะพ่นน้ำยา Binder เข้าไปประสานกับเนื้อใยแก้ว และลำเลียงสู่กระบวนการขึ้นรูปเส้นใยรูปทรงกระบอก ไม่ทำปฏิกิริยากับอะไรในร่างกาย เส้นใยแก้วแบ่งออกเป็น 4 ชนิดตามคุณสมบัติ

- ชนิด A Glass (Alkali) ใช้สำหรับงานที่ต้องการทนสารเคมีที่เป็นด่าง
- ชนิด C Glass (Chemical) ใช้สำหรับงานที่ต้องการทนสารเคมีที่เป็นกรดและกัดกร่อน

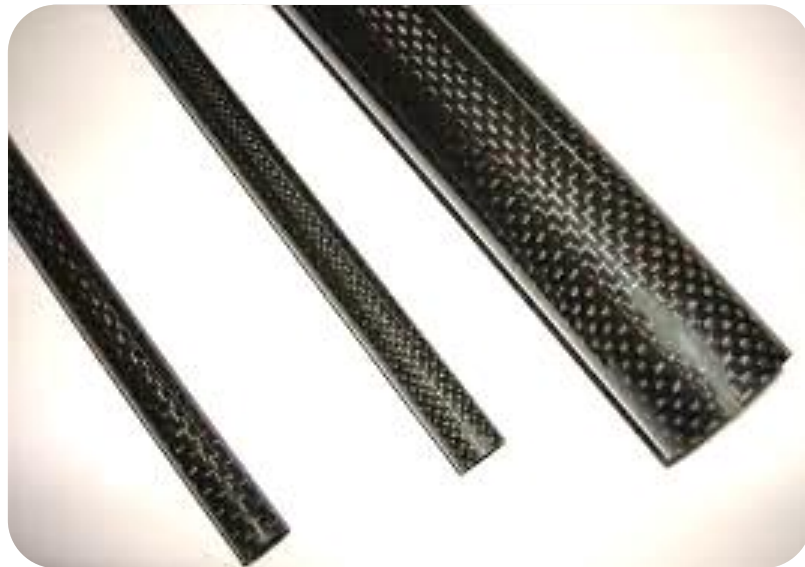
- ชนิด E Glass (Electrical) ใช้สำหรับงานที่ต้องการรับแรงและเป็นฉนวนป้องกันไฟฟ้าได้ดี มีความแข็งแรงถึง 3.45 กิกะปาสกาล (GPa) มีค่าความถ่วงจำเพาะ 2.6 มีประกอบด้วยซิลิกา 55 เปอร์เซ็นต์ แคลเซียมออกไซด์ 20 เปอร์เซ็นต์ อลูมิเนียมออกไซด์ 15 เปอร์เซ็นต์และโบรอนออกไซด์ 10 เปอร์เซ็นต์

- ชนิด S Glass (High Strength) ใช้สำหรับงานที่ต้องการรับแรงสูงที่สูงกว่าชนิด E Glass

จ) เส้นใยโบรอน (Boron Fiber) เป็นวัสดุผสมขั้นสูง พัฒนา ในปี ค.ศ. 1960 โดยกองทัพอากาศอเมริกา มีองค์ประกอบของแกนลวดทั้งสแตนเลสเคลือบด้วยแกรไฟต์หรือคาร์บอนหรือเคลือบด้วยซิลิกอนคาร์ไบด์ มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.01- 0.15 มิลลิเมตร มีค่าความถ่วงจำเพาะ 2.6 มีความแข็งแรงสูง มีความแข็งแรงถึง 3.45 กิกะปาสกาล ค่าโมดูลัส 413 กิกะปาสกาล รับแรงอัดและแรงดัดได้ดี ทนอุณหภูมิสูงได้ดี ผลิตด้ามไม้กอล์ฟ คันเบ็ดตกปลาหรือในงานเครื่องบิน

ฉ) เส้นใยคาร์บอน คาร์บอนเป็นธาตุโลหะ ถ้ามีผลึกสีดำเรียกว่าแกรไฟต์ มีค่าถ่วงจำเพาะ 2.25 คาร์บอนบริสุทธิ์และเพชร มีค่าถ่วงจำเพาะ 3.5 มีผลึกเป็นอัญฐาน

(Amorphous) เช่นเดียวกับถ่านโค้ก เส้นใยคาร์บอนมีค่าโมดูลัสต่ำกว่า 344 กิกะปาสกาลและมีองค์ประกอบคาร์บอน 92-95 เปอร์เซ็นต์ มีอุณหภูมิหลอมเหลวที่ 1,315 องศาเซลเซียส มีข้อดีคือมีค่าโมดูลัสและความแข็งแรงสูงที่สุดในบรรดาเส้นใยเสริมแรง มีข้อเสียคือ ความเปราะ ทนแรงกระแทกหรือความเหนียวต่ำกว่าเส้นใยแก้ว นำมาใช้ในโครงสร้างของจรวดนำวิถี



ภาพที่ 2-6 ท่อคาร์บอนไฟเบอร์ (Fiber Carbon)

ช) เส้นอะรามิดหรือเส้นใยเคฟลาร์ (Aramid & Kevlar Fiber) เป็นเส้นใยอินทรีย์ผลิตขึ้นเมื่อ ค.ศ. 1972 โดยบริษัทดูปองต์ เพื่อใช้เสริมแรงในล้อยางรถยนต์ ทนความร้อนได้สูง ทนต่อแรงดึง มีค่าโมดูลัสมากกว่าเหล็กกล้าถึง 5 เท่า ทนแรงกระแทกได้สูง มีความหนาแน่น 1.44 กรัม/ลบ.ซม. (g/cm^3) น้อยกว่าแก้วประมาณครึ่งเท่า เป็นฉนวนไฟฟ้า มีน้ำหนักเบา มีข้อด้อยคือ ทนแรงกดได้ต่ำ ด้านทานแสงยูวี (Ultra Violet : UV) ไม่ดี ใช้ทำเสื้อเกราะกันกระสุน โครงสร้างรถยนต์ เครื่องบิน สายเคเบิล

2.1.3.2 เซรามิกผสม (Ceramic Matrix Composite : CMC)

คอนกรีตและคอนกรีตเสริมเหล็ก (ปูน กรวด ทราย เหล็กเส้น) เป็นตัวแทนที่พบเห็นได้ทั่วไปของวัสดุกลุ่มนี้ ขณะที่วัสดุเซรามิกผสมขั้นสูง (Advanced Composite) จะมีเนื้อหลักเป็นเซรามิกและใช้วัสดุเสริมแรงเป็นเส้นใย เซรามิกผสมมักนำมาใช้งาน ในสภาวะแวดล้อมที่มีอุณหภูมิสูง เช่น กังหันใบพัดของเครื่องยนต์ไอพ่น เป็นต้น

2.1.3.3 โลหะผสม (Metal Matrix Composite : MMC)

พบมากในผลิตภัณฑ์กลุ่มอุตสาหกรรมยานยนต์ มีโลหะ เป็นเนื้อหลัก เช่น อลูมิเนียม เป็นต้น สำหรับวัสดุเสริมแรงของโลหะผสม เป็นวัสดุเซรามิก เช่น กลุ่มคาร์ไบด์ กลุ่มไนไตรด์ เป็นต้น

2.1.4 เอซีเซอร์โวมอเตอร์ (AC Servo Motor)

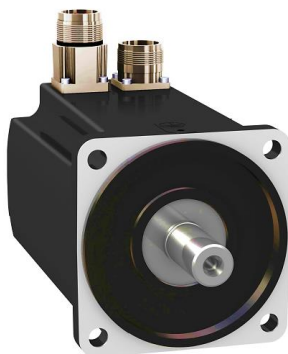
การเลือกชุดต้นกำลังของชุดสาธิตหุ่นยนต์เดลต้า 3 แกนนั้น จำเป็นที่จะต้องพิจารณาคุณสมบัติที่สำคัญ ดังนี้

- ความแม่นยำ (Accuracy) เมื่อมีการเคลื่อนที่เมื่อเทียบกับจุดอ้างอิง ความแม่นยำของตำแหน่ง หมายถึง ความแตกต่างระหว่างตำแหน่งที่ต้องการจะไปกับตำแหน่งที่ได้จริงในการทำงานของหุ่นยนต์อุตสาหกรรมจะมีความคลาดเคลื่อนให้น้อยที่สุด

- ความสามารถในการทำซ้ำ (Repeatability) การวัดความสามารถของหุ่นยนต์หรือกลไก เมื่อมีการเคลื่อนที่ตำแหน่งที่เดิมภายใต้เงื่อนไขเดิมซ้ำๆ

- อัตราเร็ว (Speed) และความเร็ว (Velocity) ในการเคลื่อนที่ คืออัตราของเวลาที่มีใช้ในการเปลี่ยนแปลงตำแหน่ง

คุณสมบัติที่กล่าวมาข้างต้นนั้น ตรงกับคุณสมบัติของต้นกำลังชนิดหนึ่ง นั่นคือ เอซีเซอร์โวมอเตอร์ เป็นมอเตอร์ไฟฟ้าที่ถูกออกแบบให้มีคุณสมบัติเป็นเซอร์โวมอเตอร์ (Servo Characteristics) หรือการตอบสนองด้านพลศาสตร์ (Dynamics Response) มีขั้วแม่เหล็กเป็นแม่เหล็กถาวร (Permanent Magnet : PM)



ภาพที่ 2-7 เอซีเซอร์โวมอเตอร์

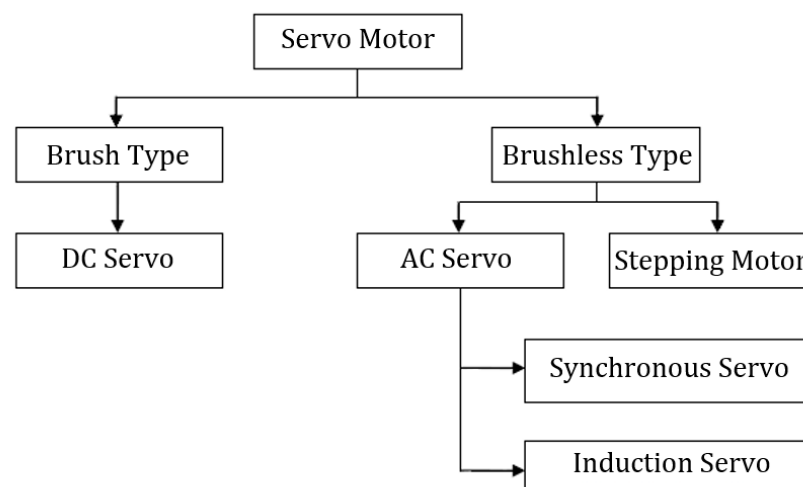
สำหรับซิงโครนัสมอเตอร์ชนิดแม่เหล็กถาวร (Permanent Magnet Synchronous Motors : PMSM) มีข้อดีและได้เปรียบกว่ามอเตอร์ชนิดอื่น จึงทำให้มีการนำไปใช้งานกันมากขึ้น สำหรับกระแสเตเตอร์ของอินดักชันมอเตอร์ (Induction Motor : IM) จะประกอบด้วยกระแสสนามแม่เหล็กในแกนซึ่งเป็นองค์ประกอบในการสร้างสนามแม่เหล็ก แต่ถ้าซิงโครนัสมอเตอร์ เมื่อโรเตอร์เป็นแม่เหล็กถาวรจึงไม่จำเป็นต้องมีกระแสสนามแม่เหล็กในแกนให้กับสเตเตอร์ เพราะในช่องว่างอากาศ (Air Gap) มีฟลักซ์แม่เหล็กคงที่ทำให้กระแสเตเตอร์ที่ต้องการในการสร้างแรงบิดเพียงอย่างเดียว จากลักษณะดังกล่าวที่กำลังงานของมอเตอร์เท่าๆกัน มอเตอร์ซิงโครนัสชนิดแม่เหล็กถาวรจะทำงานที่เพาเวอร์แฟกเตอร์ (Power Factor) สูงกว่า ซึ่งจะทำให้ประสิทธิภาพสูงกว่าด้วยเมื่อเปรียบเทียบกับซิงโครนัสมอเตอร์ธรรมดา (Synchronous Motors : SM) ที่จะต้องจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงให้กับโรเตอร์ เพื่อสร้างสนามแม่เหล็กให้กับโรเตอร์ ดังนั้นจึงต้องมีแปลงถ่าน

กับสลีปริง (Slip Ring) ซึ่งจะทำให้เกิดการสูญเสียที่โรเตอร์ และยังต้องบำรุงรักษาแปรงถ่านอยู่เรื่อยๆ จากเหตุผลดังกล่าว จึงทำให้มีการพัฒนามาเป็นแบบซิงโครนัสมอเตอร์ชนิดแม่เหล็กถาวร ซึ่งไม่ต้องมีขดลวดสร้างสนามแม่เหล็ก (Field Coil) แหล่งจ่ายไฟกระแสตรงและสลีปริง เพราะถูกแทนด้วยแม่เหล็กถาวร

การควบคุมแบบเวกเตอร์ (Vector Control) ในมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับต้องการทำให้ซิงโครนัสมอเตอร์ชนิดแม่เหล็กถาวรมีแรงดันไฟฟ้าต้านกลับ (Back EMF) ที่เป็นสัญญาณไซน์ซุซอยด์ (Sinusoidal) ดังนั้นจึงต้องการกระแสเตอร์เป็นไซน์ซุซอยด์เพื่อสร้างแรงบิดให้คงที่เช่นเดียวกับซิงโครนัสมอเตอร์ ปัจจุบันได้มีการวิจัยออกแบบให้ซิงโครนัสมอเตอร์ชนิดแม่เหล็กถาวร มีอัตราส่วนแรงบิดต่อความถี่สูงและกำลังที่สูงด้วย เมื่อเปรียบเทียบกับอินดักชันมอเตอร์ ซิงโครนัสเซอร์โวมอเตอร์ จึงทำให้ถูกนำไปใช้งานมาก เช่น เครื่องมือกลและหุ่นยนต์ทำงาน เช่นเดียวกับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงชนิดกระตุ้นแยก (Separately Excited DC Motors) ซึ่งการควบคุมเวกเตอร์ให้ซิงโครนัสมอเตอร์ ชนิดแม่เหล็กถาวรมีหลายวิธีด้วยกัน โดยจะต้องเข้าไปควบคุมกระแสเตอร์ซึ่งมีแหล่งจ่ายพลังไฟฟ้าเป็นอินเวอร์เตอร์ซึ่งเป็นหลักการของ Sinusoidal Pulse Width Modulation (SPWM)

2.1.4.1 ชนิดของเซอร์โวมอเตอร์

การใช้งานเซอร์โวมอเตอร์ ในเครื่องจักรกลอัตโนมัติ ได้มีการใช้งานมาเป็นเวลานานแล้ว จากการพัฒนาโครงสร้างการทำงานของมอเตอร์ และระบบการควบคุมที่ต้องการการตอบสนองทางด้านจลนศาสตร์ ความเชื่อถือได้ในการทำงาน (Reliability) และสมรรถนะทางด้านการบำรุงรักษา (Maintenance Ability) จึงทำให้ปัจจุบันมีเซอร์โวมอเตอร์อยู่ด้วยกันหลายลักษณะซึ่งสามารถจำแนกได้ตามลักษณะโครงสร้าง และการทำงานอาจแบ่งได้เป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่มีโครงสร้างการทำงานของมอเตอร์ประกอบด้วยแปรงถ่าน (Brush Type) และกลุ่มที่ไม่ใช้แปรงถ่าน (Brushless Type)



ภาพที่ 2-8 ชนิดของเซอร์โวมอเตอร์

ก) เซอร์โวมอเตอร์ชนิดมีแปรงถ่าน สเตเตอร์เป็นแม่เหล็กถาวร ส่วนโรเตอร์ยังใช้แปรงถ่านและคอมมิวเตเตอร์ เรียกระบบนี้เข้าสู่ตลาดอาร์เมเจอร์เหมือนกับมอเตอร์กระแสตรง (DC Motor) ทั่วไป

ข) เซอร์โวมอเตอร์ชนิดไม่มีแปรงถ่าน เซอร์โวมอเตอร์ในกลุ่มนี้ ประกอบด้วย เอซีเซอร์โวมอเตอร์และสเต็ปมอเตอร์ (Stepping Motor) สำหรับเอซีเซอร์โวมอเตอร์ยังประกอบด้วยซิงโครนัลเซอร์โวมอเตอร์ และเซอร์โวมอเตอร์ชนิดเหนี่ยวนำ (Induction Servo Motor) ซึ่งเป็นการนำเอามอเตอร์ชนิดเหนี่ยวนำ มาใช้ทำเป็นระบบขับเคลื่อนเซอร์โวมอเตอร์ ปัจจุบันนิยมใช้เอซีเซอร์โวมอเตอร์ที่เป็นแบบซิงโครนัลเซอร์โวมอเตอร์กันมากที่สุด

2.1.4.2 การควบคุมการทำงานของเอซีเซอร์โวมอเตอร์

ส่วนประกอบของชุดเอซีเซอร์โวมอเตอร์ อาจแบ่งได้เป็น 3 ส่วนหลักๆ คือ

- เอซีเซอร์โวมอเตอร์ ซึ่งทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกล
- ชุดขับเคลื่อนมอเตอร์ (Drive Servo Amplifier) ซึ่งจะทำหน้าที่ส่งพลังงานไฟฟ้าเพื่อขับเคลื่อนมอเตอร์ ให้สามารถทำงานในลักษณะทางจลนศาสตร์หรือตามคำสั่งสัญญาณ (Signal Command) ที่ส่งเข้ามายังตัวขับเคลื่อนมอเตอร์

- ชุดควบคุม (Controller) ซึ่งจะส่งสัญญาณควบคุม (Signal Control) ไปยังชุดขับเคลื่อนตามโปรแกรมที่ได้เขียนไว้ซึ่งอาจอยู่ในรูปแบบของ Ladder, G Code, Block Diagram และ Program Flow Chart



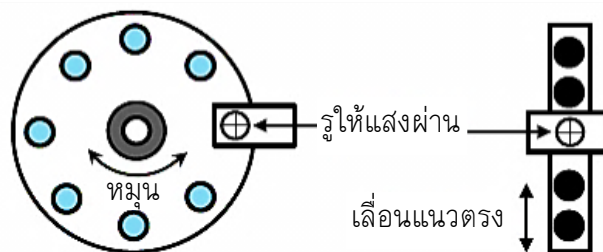
ภาพที่ 2-9 ชุดขับเคลื่อนเอซีเซอร์โวมอเตอร์

2.1.5 เอ็นโค้ดเดอร์ (Encoder)

ในกรณีที่ต้องการวัดระยะทางยาวๆ มักนิยมใช้ตัวตรวจจับ (Sensor) 2 ตำแหน่งแบบดิจิทัล โดยเฉพาะอย่างยิ่งถ้าเป็นระบบการวิเคราะห์แบบดิจิทัล เนื่องจากตัวตรวจจับชนิดนี้จะไม่ถูกจำกัดช่วงของการวัดด้วยกลไก แต่ความสามารถในการวัด จะขึ้นอยู่กับซอฟต์แวร์ที่ใช้เป็นหลัก ตัวตรวจจับตำแหน่งแบบดิจิทัลในที่นี้ จะกล่าวถึง เอ็นโค้ดเดอร์ตรวจรู้ตำแหน่ง (Position Encoder) ซึ่งสามารถแบ่งตามโครงสร้างการเคลื่อนที่ได้เป็นสองแบบด้วยกัน คือ เอ็นโค้ดเดอร์ตำแหน่งแบบหมุน (Rotation Position Encoder) และเอ็นโค้ดเดอร์ตำแหน่งแบบเคลื่อนที่แนวเส้นตรง (Linear Position Encoder) ถ้าจำแนกตัวตรวจรู้แบบเอ็นโค้ดเดอร์ออกตามลักษณะของสัญญาณเอาต์พุต จะได้เป็น 2 แบบหลักๆ คือ เอ็นโค้ดเดอร์แบบเพิ่มค่า (Incremental Encoder) และเอ็นโค้ดเดอร์แบบสัมบูรณ์ (Absolute Encoder)

2.1.5.1 เอ็นโค้ดเดอร์แบบเพิ่มค่า

เอ็นโค้ดเดอร์แบบเพิ่มค่า ประกอบด้วยแผ่นกลมหรือแผ่นบรรทัดแนวตรงที่เคลื่อนที่ตามกลไกที่ต้องการวัดระยะทาง ในกรณีของออปติคัลเอ็นโค้ดเดอร์ (Optical Encoder) จะมีการเจาะรูเพื่อให้แสงผ่านเป็นระยะๆ เพื่อบอกตำแหน่งของแผ่นหมุน โดยจะให้สัญญาณเอาต์พุตเป็นสัญญาณพัลส์ (Pulses) ออกมาทุกครั้งที่มีการหมุนแกนเอ็นโค้ดเดอร์ ทำให้สามารถทราบมุมที่หมุนหรือระยะทางที่เคลื่อนที่ได้ โดยเอาต์พุตปกติจะมีแค่เพียงบิต (Bit) เดียวหรือสองบิตเพื่อให้บอกทิศทางได้



ภาพที่ 2-10 เอ็นโค้ดเดอร์แบบเพิ่มค่าด้านซ้ายแบบหมุน ด้านขวาแบบเคลื่อนที่เชิงเส้น

เอ็นโค้ดเดอร์แบบนี้มีข้อเสียตรงที่ข้อมูลของการเคลื่อนที่จะหายไปหมด เมื่อแหล่งจ่ายไฟฟ้าดับ หรือมีการแยกสายสัญญาณออกแม้เพียงชั่วขณะเดียว หรือเมื่อมีการรบกวนของสัญญาณเกิดขึ้น ทำให้ต้องมีการปรับเทียบกับจุดอ้างอิงอยู่ตลอดเวลาเพื่อความถูกต้อง นอกจากนี้ ข้อมูลที่จะนำไปใช้ยังมักจำเป็นที่จะต้องผ่านวงจรนับ (Counter) เพื่อให้ได้ข้อมูลเชิงขนานที่ใช้ในระบบคอมพิวเตอร์

2.1.5.2 เอ็นโค้ดเดอร์แบบสัมบูรณ์

เอ็นโค้ดเดอร์แบบสัมบูรณ์ ให้เอาต์พุตในรูปแบบที่เป็นรหัสที่ตรงกับตำแหน่งที่กลไกเคลื่อนที่ไป หลักการทำงานโดยรวมจะเหมือนกับเอ็นโค้ดเดอร์แบบเพิ่มค่า แต่ในตัวเอ็นโค้ดเดอร์แบบสัมบูรณ์จะมีหัวอ่านหลายชุดเท่ากับจำนวนบิตเอาต์พุตการเจาะรูบนแผ่น แต่ละชุดก็จะมีระยะห่างเป็นทวีคูณทำให้สามารถทราบตำแหน่งของการหมุนโดยทันที



ภาพที่ 2-11 เอ็นโค้ดเดอร์แบบลัมบวร์คแบบเลื่อนแนวตรงขนาด 4 บิต

ตัวอย่างในภาพที่ 2-11 จะเป็นเอ็นโค้ดเดอร์แบบเคลื่อนที่ในแนวเส้นตรงขนาด 4 บิตข้อมูล ซึ่งจะมีหัวอ่านข้อมูล 4 หัวด้วยกัน คือ D1, D2, D3 และ D4 ทำให้สามารถอ่านข้อมูลได้ทั้งสิ้น 16 ระดับขึ้นตั้งแต่ 0000, 0001 ... ไปเรื่อยๆจนถึง 1111 เอ็นโค้ดเดอร์แบบนี้จะมีข้อดีตรงที่ข้อมูลยังคงถูกต้อง ถึงแม้สัญญาณจะหายไปชั่วขณะ เนื่องจากข้อมูลที่ได้จะหมายถึงตำแหน่งของการเคลื่อนที่นั้นๆ กล่าวคือ สามารถบอกได้ทันทีว่าการเคลื่อนที่ถึงไหนแล้ว โดยดูจากข้อมูลดิจิทัลที่ได้ต่างจากเอ็นโค้ดเดอร์แบบเพิ่มค่า ซึ่งจะต้องทราบมาก่อนหน้าว่าการเคลื่อนที่อยู่ที่ตำแหน่งใดจากนั้นบวกเพิ่มค่าตำแหน่งขึ้นไปจากเดิม จึงทราบว่าเคลื่อนที่ถึงไหนแล้วเมื่อเป็นเช่นนี้ทำให้เอ็นโค้ดเดอร์ชนิดนี้ บอกถึงทิศทางการเคลื่อนที่ของกลไกได้ทันที เพราะข้อมูลเอาต์พุตที่ได้จะมีการเพิ่มหรือลดตามทิศทางการเคลื่อนที่โดยตรง อย่างไรก็ตาม เนื่องจากความซับซ้อนของอุปกรณ์ ทำให้เอ็นโค้ดเดอร์แบบนี้มีราคาแพงกว่าแบบเพิ่มค่ามาก สำหรับเอ็นโค้ดเดอร์แบบลัมบวร์คแล้ว การเรียงรูปแบบของข้อมูลหรือการเข้ารหัสจะเป็นการเข้ารหัสแบบเลขฐานสองตามธรรมชาติ (Natural Binary Code) ปกติ แต่ในทางปฏิบัติยังมีการเข้ารหัส อีกหลายแบบ เช่น แบบเลขฐานสิบเข้ารหัสเลขฐานสอง (Binary Code Decimal : BCD) และรหัสเกรย์ (Gray Code) ดังนั้นการใช้งานต้องทราบถึงชนิดของการเข้ารหัสด้วย

2.2 การออกแบบวงจรไฟฟ้าสำหรับชุดสาธิตหุ่นยนต์เดลต้า 3 แกน

ในการพิจารณาเลือกสายไฟฟ้าที่เหมาะสมนั้น มีหลายข้อด้วยกันที่ต้องพิจารณาซึ่งจะส่งผลต่อประสิทธิภาพความเชื่อถือได้และความปลอดภัยในการใช้งาน ขอกำหนดที่ต้องพิจารณาในการเลือกสายไฟฟ้า ได้แก่

2.2.1 พิกัดแรงดัน

สายไฟฟ้าที่จะใช้ต้องสามารถทนต่อแรงดันใช้งานได้ตาม มอก. 11-2531 ซึ่งได้กำหนดแรงดันใช้งานเอาไว้ 2 ระดับ คือ 300 โวลต์ (Volts) และ 750 โวลต์ ดังนั้นในการเลือกชนิดของสายไฟฟ้าจึงต้องคำนึงถึงพิกัดแรงดันให้เหมาะสมด้วย

2.2.2 พิกัดกระแส

พิกัดกระแส คือความสามารถของสายไฟฟ้า ในการที่จะนำกระแสไฟฟ้า ปริมาณหนึ่งอย่างต่อเนื่องในขณะใช้งาน โดยไม่ทำให้อุณหภูมิสุดท่าย มีค่าเกินอุณหภูมิที่กำหนดไว้ ในการเลือกขนาดสายไฟฟ้าให้มีความเหมาะสมกับการใช้งานนั้น จะมีขั้นตอนทั้งหมด 3 ขั้นตอน ดังนี้



ภาพที่ 2-12 แผนผังการเลือกขนาดสายไฟ

ตารางที่ 2.2 ขนาดสายไฟ

พื้นที่หน้าตัด หน่วย ตารางมิลลิเมตร	กระแสใช้งานสูงสุด หน่วย แอมแปร์
0.5	9
0.75	11
1.0	14
1.5	18
2.5	24
4	31
6	42

จากภาพที่ 2-12 แสดงขั้นตอนการเลือกขนาดสายไฟ ในการหาขนาดของสายไฟฟ้าให้มีความเหมาะสมกับอุปกรณ์ไฟฟ้า จะต้องทราบค่ากระแสไฟฟ้าของอุปกรณ์ไฟฟ้าแต่ละตัวเสียก่อน สำหรับค่ากระแสไฟฟ้านั้นหาได้จากแผ่นป้ายที่ติดอยู่ที่โครงอุปกรณ์ไฟฟ้า แต่ถ้าในกรณีที่แผ่นป้ายของอุปกรณ์ไฟฟ้านั้นๆไม่บอกค่ากระแสไฟฟ้ามา มีวิธีการคำนวณเพื่อหาค่ากระแสไฟฟ้า คือการนำค่ากำลังไฟฟ้า หน่วย วัตต์ (Watt) หารด้วยค่าแรงดันไฟฟ้า หน่วย โวลต์ จะได้ค่าของกระแสไฟฟ้า เมื่อทราบค่ากระแสไฟฟ้าแล้ว ต่อไปทำการเผื่อค่ากระแสไฟฟ้าอีก 25 เปอร์เซ็นต์ โดยทั่วไปวัสดุและอุปกรณ์ไฟฟ้า เมื่อทำงานติดต่อกันเกินกว่า 3 ชั่วโมงขึ้นไป ประสิทธิภาพในการทำงานจะลดลงเหลือประมาณ 80 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นสายไฟฟ้าที่เราจะนำมาใช้งาน ก็เช่นเดียวกัน เมื่อใช้งานติดต่อกันเกินกว่า 3 ชั่วโมงประสิทธิภาพในการทนกระแสก็จะลดลงเหลือ

ประมาณ 80 เปอร์เซ็นต์ เพื่อเป็นการชดเชยประสิทธิภาพในการทนกระแสไฟฟ้าของสายไฟฟ้าในส่วนที่หายไป จึงต้องมีการเผื่อค่ากระแสไฟฟ้าเพิ่มอีก 25 เปอร์เซ็นต์ก่อน แล้วนำค่ากระแสไฟฟ้าที่ได้นำไปหาขนาดสายไฟฟ้าตามตารางที่ 2.2 ต่อไป

2.3 การออกแบบระบบควบคุมชุดสถิติหุ่นยนต์เคลด้า 3 แกน

ส่วนที่ควบคุมการทำงานของหุ่นยนต์ เช่น สมองกลที่ประดิษฐ์จากอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ได้แก่ พีแอลซี (Programmable Logic Control : PLC), โปรแกรม Microsoft Visual Studio และ คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล (Personal Computer : PC)

2.3.1 พีแอลซี

พีแอลซี หมายถึง อุปกรณ์ควบคุมรูปแบบอิเล็กทรอนิกส์ที่มีหน่วยความจำในการเก็บโปรแกรม (Program) สำหรับควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ต่างๆ หรือเครื่องควบคุมเชิงตรรกะที่สามารถโปรแกรมได้โดยการเรียกชื่อแตกต่างกันไป (PLC, 2551)

รศ.กฤษดา วิศวธีรานนท์ (2546, 7) กล่าวว่า พีแอลซี ย่อมาจาก Programmable Logic Controller บางครั้งเรียกว่า PC (Programmable Controller) หมายถึง อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่สามารถควบคุมการทำงานตามโปรแกรมที่บันทึกอยู่ในหน่วยความจำภายใน

พีแอลซี หมายถึง อุปกรณ์ที่คิดค้นขึ้นมาเพื่อใช้ควบคุมการทำงานของเครื่องจักรหรือระบบต่างๆ แทนวงจรรีเลย์ (Relay) แบบเก่าซึ่งวงจรรีเลย์มีข้อเสีย คือมีความยุ่งยากในการเดินสายไฟเมื่อต้องการเปลี่ยนกระบวนการทำงานของระบบอัตโนมัติ (จิรัชศิลป์และสุภาพร, 2545 : 62)

พีแอลซี หมายถึง อุปกรณ์คอมพิวเตอร์สำหรับใช้ในงานอุตสาหกรรม ประกอบไปด้วย หน่วยประมวลผล หน่วยความจำ หน่วยรับข้อมูล หน่วยส่งข้อมูล และหน่วยป้อนโปรแกรม ให้ความหมายว่า พีแอลซี เป็นอุปกรณ์ควบคุมการทำงานของเครื่องจักรในงานอุตสาหกรรมหรือกระบวนการทำงานต่างๆ โดยภายในมีไมโครโปรเซสเซอร์ (Microprocessor) เป็นมันสมอง สิ่งที่สำคัญ พีแอลซีจะมีส่วนที่เป็นอินพุต/เอาต์พุตที่สามารถต่อออกไปใช้งานได้ทันที ตัวตรวจวัดหรือสวิตช์ (Switch) ต่างๆจะต่อเข้ากับอินพุต ส่วนเอาต์พุตจะใช้ต่อออกไปควบคุมการทำงานของอุปกรณ์หรือเครื่องจักรที่เป็นเป้าหมาย และสามารถสร้างวงจร หรือแบบของการควบคุมได้ โดยการป้อนเป็นโปรแกรมคำสั่งเข้าไปในพีแอลซี นอกจากนี้ยังสามารถใช้งานร่วมกับอุปกรณ์อื่นๆ ได้อีกด้วย

สรุป พีแอลซี คือคอมพิวเตอร์ที่ใช้ควบคุมอัตโนมัติสามารถโปรแกรมได้ พีแอลซี ถูกสร้างและพัฒนาแทนวงจรรีเลย์ มีการพัฒนาให้พีแอลซีมีการประมวลผลที่เร็วมากขึ้นตามการเปลี่ยนแปลงของไมโครโปรเซสเซอร์ มีราคาถูก สามารถใช้งานอย่างอเนกประสงค์และสามารถเรียนรู้การใช้งานได้โดยง่าย



ภาพที่ 2-13 พีแอลซี

2.3.1.1 ประวัติของพีแอลซี

ค.ศ. 1969 พีแอลซี ได้ถูกพัฒนาขึ้นมาครั้งแรก โดยบริษัท Bedford Associates โดยใช้ชื่อว่า Modicon (Modular Digital Controller) ให้กับโรงงานผลิตรถยนต์ในอเมริกาและได้มีการเสนอระบบควบคุมโดยใช้ชื่อว่า พีแอลซี

ค.ศ.1970-1979 ได้มีการพัฒนาให้พีแอลซีมีการประมวลผลที่รวดเร็วมากขึ้นตามการเปลี่ยนแปลงของไมโครโปรเซสเซอร์ ความสามารถในการสื่อสารข้อมูลระหว่างพีแอลซีกับพีแอลซี โดยระบบแรกคือ Modbus ของ Modicon เริ่มมีการใช้อินพุต/เอาต์พุตที่เป็นสัญญาณอนาล็อก (Analog Signal)

ค.ศ. 1980-1989 สร้างมาตรฐานการสื่อสารข้อมูลของพีแอลซี โดยบริษัท General Motor ได้สร้างโปรโตคอล (Protocol) ที่เรียกว่า Manufacturing Automation Protocol ซึ่งทำให้ขนาดของพีแอลซีเล็กลง และผลิตซอฟต์แวร์ที่สามารถโปรแกรมพีแอลซีด้วยภาษาสัญลักษณ์ (Symbolic) โดยสามารถโปรแกรมผ่านทางคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลได้แทนที่โปรแกรมทาง Handheld หรือ Programming Terminal

ค.ศ. 1990-ปัจจุบันได้มีความพยายามในการทำให้ภาษาที่ใช้ในการโปรแกรมพีแอลซีมีมาตรฐานเดียวกันโดยใช้มาตรฐาน IEC1131-3 สามารถโปรแกรมพีแอลซี ด้วยภาษาดังนี้

- Instruction List (IL)
- Ladder Diagrams (LD)
- Function Block Diagrams (FBD)
- Sequential Function Chart (SFC)
- Structured Text (ST)

การใช้พีแอลซี สำหรับควบคุมเครื่องจักร หรืออุปกรณ์ต่างๆในโรงงานอุตสาหกรรมจะมีข้อได้เปรียบกว่าการใช้ระบบของรีเลย์ ซึ่งระบบของรีเลย์จำเป็นจะต้องเดินสายไฟใหม่ เมื่อจำเป็นที่ต้องเปลี่ยนกระบวนการผลิตหรือลำดับการทำงานใหม่ ซึ่งจะเสียเวลาและเสียค่าใช้จ่ายสูง แต่เมื่อเปลี่ยนมาใช้พีแอลซี การเปลี่ยนกระบวนการผลิตหรือลำดับการทำงานใหม่

ที่กล่าวมานั้น จะทำได้โดยการเปลี่ยนโปรแกรมพีแอลซีใหม่แต่ใช้สายไฟเดิม พีแอลซียังใช้ระบบโซลิดสเตตซึ่งน่าเชื่อถือกว่าระบบเดิม เกิดการกินกระแสไฟฟ้าน้อยกว่าและสะดวกกว่า เมื่อมีความต้องการขยายขั้นตอนการทำงานของเครื่องจักร

2.3.1.2 การควบคุมงานของพีแอลซี แบ่งได้เป็น 3 ลักษณะงานคือ

ก) งานที่ทำตามลำดับก่อนหลัง (Sequence Control) เช่น การทำงานของระบบรีเลย์ การทำงานในระบบกึ่งอัตโนมัติ ระบบอัตโนมัติหรืองานที่เป็นกระบวนการทำงานของเครื่องจักรกลต่างๆ

ข) งานควบคุมสมัยใหม่ (Sophisticated Control) เช่น การทำงานด้านคณิตศาสตร์ บวก ลบ คูณ หาร การควบคุมอุณหภูมิ การควบคุมความดัน การควบคุมเซอร์โวมอเตอร์

ค) การควบคุมงานอำนวยการ (Supervisory Control) เช่น งานลักษณะสัญญาณเตือน งานต่อร่วมกับคอมพิวเตอร์ผ่านทางช่อง RS-232 งานควบคุมอัตโนมัติในโรงงานอุตสาหกรรม LAN (Local Area Network), WAN (Wide Area Network) เป็นต้น

2.3.1.3 ข้อแตกต่างระหว่าง พีแอลซีกับคอมพิวเตอร์ทั่วไป เนื่องจากพีแอลซีเป็นคอมพิวเตอร์เฉพาะประเภทหนึ่ง จึงมีโครงสร้างเหมือนคอมพิวเตอร์แต่มีแตกต่างกันดังต่อไปนี้คือ

ก) พีแอลซี ถูกออกแบบมาให้มีความทนทานต่อสภาพแวดล้อมของโรงงานอุตสาหกรรม เช่น ความร้อน ความเย็น ระบบไฟฟ้ารบกวน การสั่นสะเทือน การกระแทก

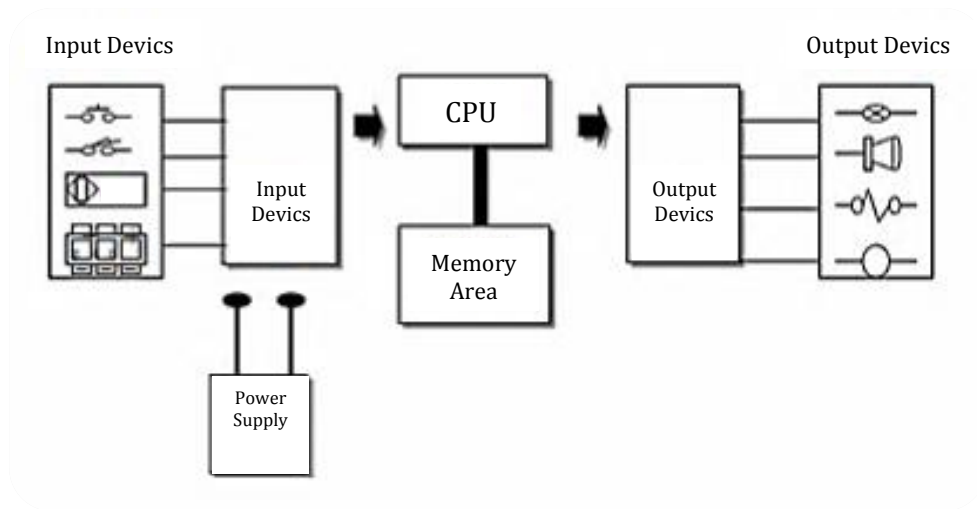
ข) การใช้โปรแกรมของพีแอลซีจะไม่ยุ่งยากเหมือนของคอมพิวเตอร์ พีแอลซีมีระบบตรวจสอบตัวเอง ทำให้ใช้งานได้ง่ายและบำรุงรักษาง่าย

ค) พีแอลซี ทำงานตามที่โปรแกรมเอาไว้เพียงโปรแกรมเดียว ทำให้ไม่เกิดความยุ่งยาก ส่วนคอมพิวเตอร์จะทำงานตามโปรแกรมหลายๆโปรแกรมพร้อมกันจึงมีความยากกว่า

ง) พีแอลซีใช้ควบคุมกระบวนการผลิตทุกชนิดทั้งแบบอนาล็อกและแบบลอจิก (logic)

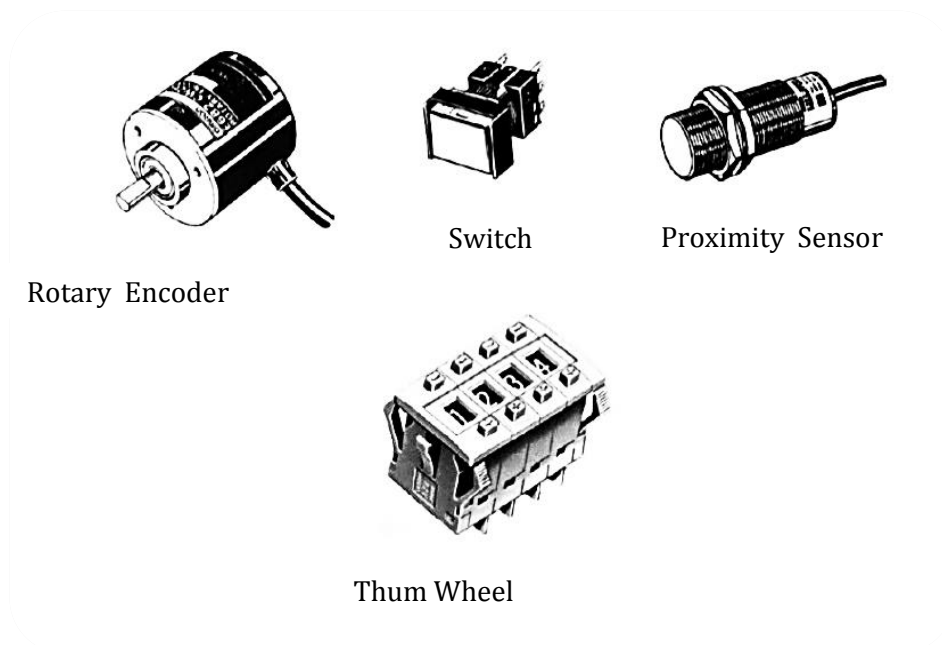
2.3.1.4 โครงสร้างภายในของพีแอลซี ซึ่งประกอบด้วย 5 ส่วนหลัก ดังนี้

- ภาคอินพุต (Input Section)
- ตัวประมวลผลกลาง (CPU)
- หน่วยความจำ (Memory)
- ภาคเอาต์พุต (Output Section)
- แหล่งจ่ายไฟ (Power Supply)



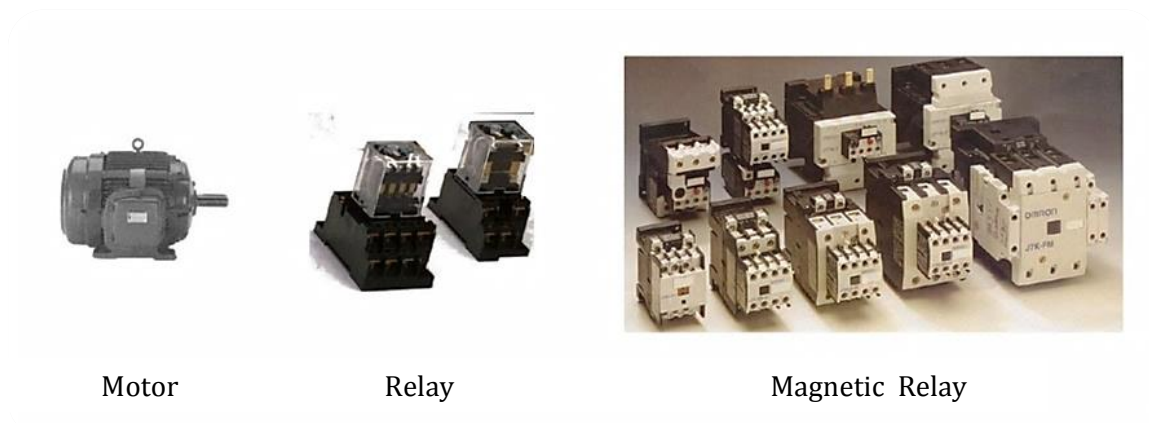
ภาพที่ 2-14 ลักษณะโครงสร้างของพีแอลซี

ก) ภาคอินพุต เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ รับข้อมูลเข้ามาและทำการส่งข้อมูลที่ได้ต่อไปยังตัวประมวลผลกลาง เพื่อนำไปประมวลผลต่อไป โดยข้อมูลที่รับเข้ามาเป็นสัญญาณอินพุตนี้ได้มาจากอุปกรณ์ต่างๆ เช่น ตัวตรวจจับ สวิตช์และเอ็นโค้ดเดอร์ เป็นต้น สัญญาณอินพุตส่วนใหญ่จะเป็นสัญญาณแบบบริเลย์ พัลส์ แรงดัน หรือกระแสไฟฟ้า สัญญาณเหล่านี้จะถูกส่งมาจากอุปกรณ์อินพุตต่างๆ เมื่อพีแอลซีได้รับสัญญาณอินพุตมาแล้วจะนำสัญญาณที่ได้ไปประมวลผลต่อไป



ภาพที่ 2-15 อุปกรณ์อินพุต (PLC, 2551)

ข) ภาคเอาต์พุต เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่รับข้อมูล จากตัวประมวลผลแล้วส่งต่อไปควบคุมอุปกรณ์ภายนอก เช่น มอเตอร์ รีเลย์ และแมกเนติกรีเลย์ (Magnetic Relay) เป็นต้น สัญญาณที่ออกมาจากภาคเอาต์พุตของพีแอลซี เป็นเอาต์พุตแบบรีเลย์ หรือเป็นเอาต์พุตแบบทรานซิสเตอร์ ก่อนที่สัญญาณจะผ่านไปยังอุปกรณ์เอาต์พุตได้ต้องผ่านบัฟเฟอร์รีเลย์ (Buffer Relay) ก่อนจึงจะสามารถต่อเข้าภาระ (Load) ได้ หรือต้องต่อผ่านวงจรชุดขับเคลื่อนมอเตอร์ก่อน เช่น ถ้าต้องการสัญญาณเอาต์พุตไปควบคุมให้มอเตอร์ทำงาน ต้องผ่านวงจรขับเคลื่อนมอเตอร์ก่อน เนื่องจากกระแสที่จ่ายออกมาจากพีแอลซีมีค่าน้อยเกินไป



ภาพที่ 2-16 อุปกรณ์เอาต์พุตแบบต่างๆ

ค) ตัวประมวลผล ทำหน้าที่คำนวณและควบคุมซึ่งเปรียบเสมือนสมองของพีแอลซี และภายในยังประกอบด้วย วงจรลอจิกหลายชนิด และมีไมโครโปรเซสเซอร์เบส (Microprocessor Based) ใช้แทนอุปกรณ์จำพวกรีเลย์ เคาน์เตอร์ (Counter) ไทม์เมอร์ (Timer) และซีควเ็นซ์เซอร์ (Sequencer) เพื่อให้ผู้ใช้สามารถออกแบบวงจรโดยใช้ภาษา Ladder Diagrams ได้ โดยตัวประมวลผลกลางจะยอมรับข้อมูลจากอุปกรณ์อินพุตต่างๆตามที่กล่าวข้างต้น จากนั้นจะทำการประมวลผล และเก็บข้อมูลโดยใช้โปรแกรม จากหน่วยความจำ หลังจากนั้นจะส่งข้อมูลที่เหมาะสมและถูกต้องออกไปยังอุปกรณ์เอาต์พุต

ง) หน่วยความจำ ทำหน้าที่เก็บรักษาโปรแกรมและข้อมูลที่ใช้ในการทำงาน โดยขนาดของหน่วยความจำจะถูกแบ่งออกเป็นบิตข้อมูลภายในหน่วยความจำ 1 บิต จะมีค่าสภาวะทางลอจิก 0 หรือ 1 แตกต่างกันไปแล้วแต่คำสั่ง ซึ่งหน่วยความจำของพีแอลซีจะประกอบด้วยหน่วยความจำสองชนิดคือ

- แรม (Random Access Memory : RAM) ทำหน้าที่เก็บโปรแกรมของผู้ใช้และข้อมูลที่ใช้ในการปฏิบัติงานของพีแอลซี หน่วยความจำประเภทนี้จะมีแบตเตอรี่เล็กๆ ต่อไว้เพื่อใช้เป็นไฟเลี้ยงข้อมูลเมื่อเกิดไฟดับ ซึ่งการอ่านและการเขียนข้อมูลลงในแรมทำได้ง่าย เพราะฉะนั้นจึงเหมาะกับงานในระยะทดลองที่มีการเปลี่ยนแปลงแก้ไขโปรแกรม

- รอม (Read Only Memory : ROM) ทำหน้าที่เก็บโปรแกรมสำหรับใช้ในการปฏิบัติงานของพีแอลซี ตามโปรแกรมของผู้ใช้ หน่วยความจำแบบรอม ยังสามารถแบ่งได้เป็นอีพรอม (Erasable Programmable Read Only Memory : EPROM) ซึ่งจะต้องใช้อุปกรณ์พิเศษในการเขียน และลบโปรแกรม ซึ่งเหมาะกับงานที่ไม่ต้องการให้มีการเปลี่ยนแปลงโปรแกรม และยังมีหน่วยความจำแบบอีอีพรอม (Electrically Erasable Programmable Read Only Memory : EEPROM) ที่ไม่จำเป็นต้องใช้เครื่องมือ พิเศษในการเขียน และลบโปรแกรมสามารถใช้งานได้เหมือนกับแรมแต่ไม่จำเป็นต้องใช้แบตเตอรี่สำรอง แต่มีราคาแพงกว่าเนื่องจากความคุณสมบัติของรอมและแรมไว้ด้วยกัน

จ) แหล่งจ่ายไฟ ทำหน้าที่ จ่ายพลังงานไฟฟ้าและเป็นตัวรักษาระดับของแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงให้กับหน่วยประมวลผล หน่วยความจำและหน่วยอินพุต/เอาต์พุต

2.3.1.5 ความสามารถของพีแอลซีควบคุมงานได้ 3 ลักษณะคือ

ก) งานที่ทำตามลำดับก่อนหลัง (Sequence Control) ตัวอย่างเช่น

- การทำงานของระบบปริเลย์
- การทำงานของไทม์เมอร์ คอนเตอร์
- การทำงานของ P.C.B. Card
- การทำงานในรูปแบบของระบบกึ่งอัตโนมัติ ระบบอัตโนมัติหรืองาน

ที่เป็นกระบวนการทำงานของเครื่องจักรกลต่างๆ

ข) งานควบคุมสมัยใหม่ (Sophisticated Control) ตัวอย่างเช่น

- การทำงานทางคณิตศาสตร์ เช่น บวก ลบ คูณ หาร
- การควบคุมแบบอนาล็อก เช่น การควบคุมอุณหภูมิ การควบคุม

ความดัน

- การควบคุมแบบพีไอดี (Proportional Integral Derivation :

PID)

- การควบคุมเซอร์โวมอเตอร์

ค) การควบคุมเกี่ยวกับงานอำนวยความสะดวก ตัวอย่างเช่น

- งานสัญญาณเตือน
- งานต่อร่วมกับคอมพิวเตอร์ (RS-232C/RS422)
- งานควบคุมอัตโนมัติในภาคโรงงานอุตสาหกรรม
- LAN
- WAN

2.3.1.6 การใช้โปรแกรมพีแอลซี

การเขียนโปรแกรมพีแอลซีที่มีขนาดเล็กไม่ใหญ่มากนัก จะนิยมเขียนด้วยภาษา Ladder Diagrams และพีแอลซีบางตัวไม่สามารถเขียนภาษา Ladder Diagrams ลงในตัวพีแอลซีได้โดยตรง แต่จะต้องเปลี่ยนภาษา Ladder Diagrams เป็นคำสั่งบูลีน (Boolean)

ก่อนจึงจะทำงานได้ ภาษา **Ladder Diagrams** ที่ใช้ในการโปรแกรมพีแอลซีมีมาตรฐานเดียวกัน โดยใช้มาตรฐาน **IEC1131-3** ซึ่งการเขียนโปรแกรมพีแอลซีมีลำดับขั้นตอนการคิดดังนี้

- ศึกษางานจริง
- กำหนดลำดับการทำงาน
- ร่างแบบควบคุม
- กำหนด อินพุต/เอาต์พุต (หมายเลขอุปกรณ์)
- เขียนภาษา **Ladder Diagrams**
- เขียนคำสั่งบูลีนโดยสร้างตารางคำสั่งบูลีน
- ป้อนโปรแกรมให้พีแอลซี
- ทดสอบโปรแกรมภายในพีแอลซี
- แก้ไขถ้าเขียนโปรแกรมผิด

Address	Instruction	Operand

ภาพที่ 2-17 ตารางโปรแกรมสำหรับเขียนคำสั่งบูลีน

2.3.2 มาตรฐานการรับส่งข้อมูล

มาตรฐานที่สำคัญที่ใช้ในงานอุตสาหกรรมมีดังนี้

2.3.2.1 มาตรฐาน RS-232

RS-232 หรืออีกชื่อ **EIA-232** คือ มาตรฐานการเชื่อมต่อที่ถูกพัฒนาขึ้นในประเทศสหรัฐอเมริกา ในปี **1969** เพื่อบริหารรายละเอียดเกี่ยวกับสัญญาณไฟฟ้าและการเชื่อมต่อทางกายภาพ ระหว่างอุปกรณ์ต้นทางและปลายทาง หรือ (**Data Terminal Equipment : DTE**) และอุปกรณ์ในการสื่อสารข้อมูล (**Data Communication Equipment : DCE**) ที่ทำการเปลี่ยนข้อมูลให้เป็นข้อมูลเลขฐานสองแบบอนุกรม การสื่อสารแบบอนุกรมอาจจะมองค์ประกอบดังนี้

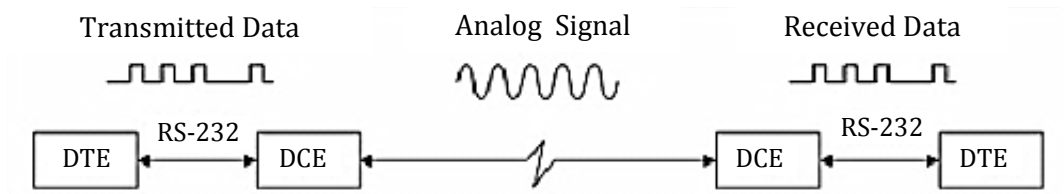
- **DTE** คืออุปกรณ์ที่สร้างข้อมูลหรือประมวลผลข้อมูลและส่งข้อมูล เช่น คอมพิวเตอร์

- อุปกรณ์ในการสื่อสารข้อมูล คือ ตัวแปลงข้อมูล เช่น โมเด็มที่แปลงสัญญาณให้อยู่ในรูปที่เหมาะสมกับสื่อสัญญาณ เช่น สัญญาณอนาล็อกสำหรับระบบโทรศัพท์

- สื่อสัญญาณ เช่น ระบบสายโทรศัพท์ และสายใยแก้วนำแสง

- ตัวรับที่เหมาะสม เช่น โมเด็มหรืออุปกรณ์ในการสื่อสารข้อมูลที่แปลงสัญญาณอนาล็อกกลับไปยังระดับสัญญาณที่ตัวช่องรับปลายทาง สามารถนำไปใช้งานได้

- ช่องรับข้อมูล เช่น เครื่องพิมพ์ที่รับสัญญาณพัลส์ดิจิทัล (**Digital Pulses**) และถอดรหัสกลับเป็นตัวอักษร



ภาพที่ 2-18 รูปแบบการส่งข้อมูลโดย RS-232 ผ่านโมเด็มอนาล็อก

มาตรฐาน EIA-232C อธิบายการเชื่อมต่อระหว่าง DTE และโมเด็มที่ทำการส่งข้อมูลดิจิทัลแบบอนุกรม และมันยังเปิดช่องให้ผู้ออกแบบฮาร์ดแวร์ และโปรโตคอลสามารถพัฒนาผลิตภัณฑ์ได้อย่างยืดหยุ่นในระยะเวลาที่ผ่านมา มาตรฐานได้ถูกดัดแปลงประยุกต์ใช้ในอุปกรณ์มากมาย เช่น คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล, เครื่องพิมพ์, พีแอลซี, เครื่องมือวัดและอุปกรณ์อื่นๆ

2.3.2.2 มาตรฐาน EIA-485

EIA-485 เป็นระบบสื่อสารแบบสมดุล ซึ่งใช้ระดับสัญญาณระดับเดียวกับมาตรฐาน EIA-422 แต่เพิ่มอัตราการส่งข้อมูล และจำนวนตัวรับส่งในสื่อเดียวกัน สามารถมีถึง 32 ตัว ตามที่มาตรฐานกำหนด มาตรฐาน EIA-485 ถูกใช้อย่างแพร่หลายในงานระบบวัดคุมตัววัดค่าและตัวควบคุมสามารถถูกต่อเข้าด้วยกันบนเครือข่ายเดียวกัน EIA-485 สามารถใช้ระดับสัญญาณ TTL คือ 0-5 โวลต์ ในการส่งสัญญาณได้ การส่งข้อมูลจะเป็นแบบ Half Duplex ในกรณีต้องการส่งข้อมูลแบบ Full Duplex จะต้องใช้วงจร RS-485 2 ชุดเรียกอีกอย่างว่า RS-422

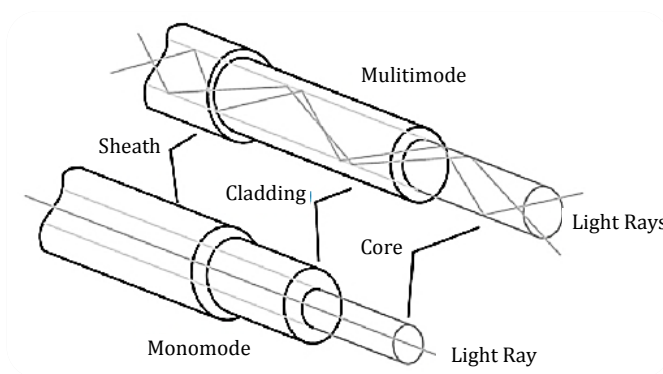
2.3.2.3 สายใยแก้วนำแสง

มีสายใยแก้วนำแสง 2 ประเภทหลักๆ ที่ใช้ในงานอุตสาหกรรมดังนี้

- ซิงเกิลโหมด หรือ โมโนโหมด (Single Mode/Mono Mode) โดยความยาวคลื่นแสงที่ใช้มักอยู่ที่ 1300 นาโนเมตร (nm)
- มัลติโหมด (Multi Mode) โดยความยาวคลื่นแสงที่ใช้มักอยู่ที่ 850 นาโนเมตรหรือ 820 นาโนเมตร

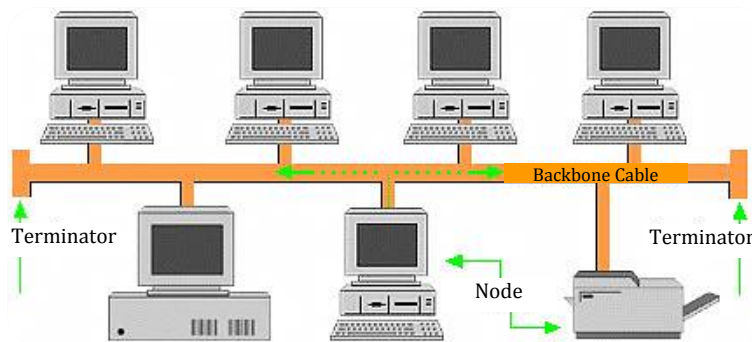
เหตุผลหลักที่ใช้สายใยแก้วนำแสง ในระบบสื่อสารข้อมูล ในงานอุตสาหกรรมคือทนต่อสัญญาณรบกวนทางไฟฟ้า

สรุปได้ว่า แนวโน้มการใช้สายใยแก้วนำแสงค่อนข้างโดดเด่นมาก โดยเฉพาะในงานติดตั้งใหม่ที่ต้องการส่งข้อมูลความเร็วสูงและปริมาณมาก อีกอย่างประเภทหัวของสายใยแก้วที่ได้รับความนิยมในประเทศไทยคือหัว ST, SC และ FC



ภาพที่ 2-19 รูปแบบการเคลื่อนที่ของแสงในสายใยแก้วนำแสง

2.3.2.4 โทโปโลยีแบบบัส (Bus Topology)



ภาพที่ 2-20 การเชื่อมต่อแบบบัส

โทโปโลยีแบบบัส บางทีก็เรียกว่า **Linear Bus** เพราะมีการเชื่อมต่อแบบเส้นตรงซึ่งเป็นลักษณะการเชื่อมต่อที่ง่ายที่สุดและเป็นโทโปโลยีที่นิยมกันมากที่สุด ในสมัยแรกๆคอมพิวเตอร์ที่เชื่อมต่อเข้ากับสายสัญญาณร่วมหรือบัส จะสื่อสารกันโดยใช้ **Address** ซึ่งคอมพิวเตอร์แต่ละเครื่องจะมี **Address** ที่ไม่ซ้ำกัน ในการส่งสัญญาณในสายที่ใช้ร่วมกันนี้จำเป็นต้องเข้าใจหลักการต่อไปนี้ คือ การส่งข้อมูลและการสะท้อนกลับของสัญญาณ

การส่งข้อมูลบนเครือข่ายที่มีโทโปโลยีแบบบสนั้น ข้อมูลจะถูกส่งไปบนสายสัญญาณในรูปแบบของสัญญาณอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งสัญญาณนี้จะเดินทางไปถึงคอมพิวเตอร์ทุกเครื่องที่เชื่อมต่อเข้ากับสื่อกลางบัส แต่เฉพาะคอมพิวเตอร์เครื่องที่มีอยู่ตรงกับที่อยู่ของผู้รับที่อยู่ในข้อมูลเท่านั้นจึงจะนำข้อมูลนั้นไปทำการกระบวนการต่อไป ส่วนเครื่องอื่นๆก็จะไม่สนใจข้อมูลนั้น เนื่องจากสายสัญญาณเป็นสื่อกลางที่ใช้ร่วมกัน ดังนั้นคอมพิวเตอร์แค่เครื่องเดียวเท่านั้นที่จะส่งข้อมูลได้ในเวลาใดเวลาหนึ่ง เนื่องจากมีคอมพิวเตอร์เพียงเครื่องเดียวเท่านั้นที่สามารถส่งข้อมูลได้ในเวลาใดเวลาหนึ่ง ดังนั้นจำนวนคอมพิวเตอร์ที่พ่วงต่อเข้ากับสื่อกลางจะมีผลต่อประสิทธิภาพของเครือข่าย เพราะยิ่งจำนวนคอมพิวเตอร์มีมากเท่าไร ยิ่งทำให้คอมพิวเตอร์ต้องรอนานเพื่อที่จะส่งข้อมูล ซึ่งอาจมีผลทำให้เครือข่ายช้ามากขึ้น ยังไม่มีวิธีการที่เป็นมาตรฐานในการวัดว่าจำนวนคอมพิวเตอร์ที่

เชื่อมต่อเข้ากับเครือข่าย มีผลกระทบต่อประสิทธิภาพของเครือข่ายอย่างไร ปัจจัยที่ทำให้ประสิทธิภาพของเครือข่ายลดลงนั้นไม่ใช่เฉพาะจำนวนคอมพิวเตอร์อย่างเดียว สิ่งต่อไปนี้เป็นปัจจัยอื่นที่อาจมีผลต่อประสิทธิภาพของเครือข่ายได้

- ประสิทธิภาพของฮาร์ดแวร์ของคอมพิวเตอร์ในเครือข่าย
- จำนวนของโปรแกรมที่กำลังทำงานบนเครื่องคอมพิวเตอร์
- ชนิดของแอปพลิเคชัน(Application)ที่ใช้เครือข่าย เช่น แอปพลิเคชัน

แบบไคลเอนท์เซิร์ฟเวอร์ โปรแกรมถ่ายโอนไฟล์ผ่านเครือข่าย เป็นต้น

- ระยะห่างระหว่างคอมพิวเตอร์ในเครือข่าย

ในขณะใดขณะหนึ่ง คอมพิวเตอร์ที่เชื่อมต่อเข้ากับเครือข่าย จะตรวจสอบดูว่ามีข้อมูลส่งมาถึงตัวเองหรือไม่ หรือไม่ว่าจะกำลังส่งข้อมูล เนื่องจากคอมพิวเตอร์แต่ละเครื่องไม่มีหน้าที่ในการส่งข้อมูล ดังนั้นเมื่อคอมพิวเตอร์เครื่องใดเครื่องหนึ่งหยุดทำงานก็จะไม่ทำให้เครือข่ายล่มได้

การสะท้อนกลับของสัญญาณและเทอร์มินเตอร์ (Terminator) เนื่องจากข้อมูลที่ส่งไปในเครือข่ายอยู่ในรูปของสัญญาณอิเล็กทรอนิกส์ สัญญาณนี้จะต้องเดินทางจากปลายข้างหนึ่งไปยังปลายอีกข้างหนึ่งของสายสัญญาณ ถ้าไม่มีการจำกัดสัญญาณนี้มันก็จะสะท้อนกลับมาจากปลายสัญญาณ ซึ่งอาจทำให้เครื่องอื่น ๆ ไม่สามารถส่งข้อมูลได้ ดังนั้น จึงจำเป็นต้องมีการหยุดการสะท้อนกลับไปยังปลายของสายสัญญาณนี้ หลังจากที่ข้อมูลได้ส่งถึงที่หมายเรียบร้อยแล้ว ตัวเทอร์มินเตอร์ ทำหน้าที่ดูดกลืนสัญญาณเพื่อไม่ให้สะท้อนกลับและจะถูกติดตั้งไว้ที่ปลายสัญญาณ การดูดกลืนสัญญาณนี้จะทำให้สัญญาณว่าง และพร้อมสำหรับการส่งข้อมูลอีกที่ปลายทั้งสองข้างของสายสัญญาณจะต้องเสียบเข้ากับสิ่งใดสิ่งหนึ่ง เช่น Network Card หรือ Connector ที่ใช้ในการเชื่อมต่อสายสัญญาณให้มีระยะยาวขึ้น ปลายที่ไม่ได้เสียบเข้ากับอุปกรณ์ จะต้องติดตั้งตัวเทอร์มินเตอร์ เพื่อป้องกันการสะท้อนกลับของสัญญาณ

การรบกวนการสื่อสารข้อมูลของเครือข่าย เมื่อเกิดสายสัญญาณขาด ณ จุดใดจุดหนึ่งหรือมีการถอดปลายสายออกจากเครื่องคอมพิวเตอร์ ซึ่งจะทำให้สายสัญญาณ ณ จุดนั้นไม่มีตัวเทอร์มินเตอร์ อันเป็นเหตุให้สัญญาณสะท้อนกลับ ซึ่งจะไปรบกวนสัญญาณเดิมและทำให้ข้อมูลนั้นเสียไป สัญญาณนี้ก็จะสะท้อนกลับไปยังปลายซึ่งทำให้ไม่สามารถส่งข้อมูลใหม่ได้ นี่คือเหตุผลหนึ่งที่ทำให้เครือข่ายประเภทนี้ล่ม

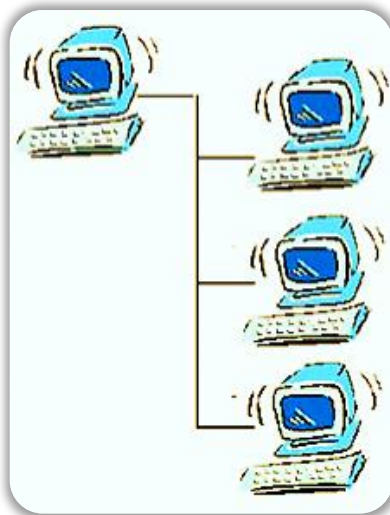
ความสามารถในการขยายเครือข่าย เมื่อต้องการเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์ใหม่เข้ากับเครือข่าย จำเป็นต้องใช้สายสัญญาณที่ยาวขึ้น สายสัญญาณที่ใช้ในโทโปโลยีแบบบัสนี้สามารถต่อให้ยาวขึ้นโดย 2 วิธี ดังนี้

- ใช้หัวเชื่อมต่อซึ่งเรียกว่า Barrel Connector เชื่อมต่อสายสัญญาณสองเส้นซึ่งจะทำให้สายสัญญาณยาวขึ้น อย่างไรก็ตามการใช้หัวเชื่อมต่อนี้จะลดกำลังของสัญญาณ ฉะนั้นควรหลีกเลี่ยงการใช้หัวเชื่อมต่อให้มากที่สุด การใช้สายสัญญาณที่ยาวเส้นเดียวจะดีกว่าการใช้สายสัญญาณหลายๆเส้นเชื่อมต่อกันให้ยาวขึ้น การใช้หัวเชื่อมต่อหลายที่อาจจะทำให้สัญญาณลดทอนลงไป ซึ่งอาจมีผลทำให้ได้รับข้อมูลไม่ถูกต้อง

- ใช้อุปกรณ์ทวนสัญญาณ(**Repeater**) อุปกรณ์ตัวนี้จะใช้ในการเชื่อมต่อสายสัญญาณให้ยาวขึ้นและในขณะเดียวกันก็เพิ่มกำลังให้กับสัญญาณด้วย

โครงสร้างเครือข่ายแบบบัส (**Bus Network**) คือลักษณะการเชื่อมต่อแบบอนุกรม โดยใช้สายเคเบิลเส้นยาวต่อเนื่องกันดังภาพที่ 2-21 โครงสร้างแบบนี้มีจุดอ่อน คือเมื่อคอมพิวเตอร์ตัวใดตัวหนึ่งมีปัญหาเกี่ยวกับสายเคเบิลก็จะทำให้เครือข่ายรวนไปทั้งระบบ นอกจากนี้เมื่อมีการเพิ่มคอมพิวเตอร์เข้าไปในเครือข่าย อาจต้องหยุดการใช้งานของระบบเครือข่ายก่อน เพื่อตัดต่อสายเข้าเครื่องใหม่ ส่วนข้อดีคือโครงสร้างแบบบัสนี้ไม่ต้องมีอุปกรณ์อย่าง **Hub** หรือสวิตช์ใช้เพียงเส้นเดียวก็สามารถเชื่อมต่อเป็นเครือข่ายขนาดเล็กที่มีจำนวนเครื่องไม่มาก ปัจจุบันไม่ค่อยใช้แล้ว เนื่องจากไม่มีการพัฒนาเทคโนโลยีใหม่ๆเพิ่มเติม ทำให้ความเร็วถูกจำกัดอยู่ที่ 10 เมกะบิตต่อวินาที (**Mbps**) และถูกทดแทนโดยการเชื่อมต่อแบบสตาร์ (**Star**)

การทำงานของบัส การทำงานหลักๆของบัสประกอบด้วยสองขั้นตอน คือ การส่งที่อยู่และการรับหรือส่งข้อมูล นิยามจากการทำงานที่กระทำกับหน่วยความจำ คือ ขั้นตอนการอ่านจะทำการส่งข้อมูลจากหน่วยความจำไปยังหน่วยประมวลผลและอุปกรณ์ **I/O** อื่นๆ และขั้นตอนการเขียนจะทำการเขียนข้อมูลลงบนหน่วยความจำ เพื่อหลีกเลี่ยงความสับสนเราจะเรียกว่า **Input** และ **Output** ตามลำดับซึ่งเป็นการอ้างอิงจากการทำงานของหน่วยประมวลผล กล่าวคือ **Input** จะหมายถึงกระบวนการส่งข้อมูลจากอุปกรณ์ **I/O** ต่างๆไปยังหน่วยความจำที่ซึ่งหน่วยประมวลผลสามารถอ่านได้และ **Output** จะหมายถึงกระบวนการส่งข้อมูลไปยังอุปกรณ์ต่างๆจากหน่วยความจำที่ซึ่งหน่วยประมวลผลสามารถเขียนได้



ภาพที่ 2-21 เครือข่ายแบบบัส

อุปกรณ์ที่ใช้ในการเชื่อมต่อ ในการเชื่อมต่อแบบต่างๆจะต้องใช้สายเคเบิลเป็นตัวกลางนำข้อมูล การจะใช้เคเบิลแบบใดจะขึ้นอยู่กับรูปแบบการเชื่อมต่อ เช่น แบบบัส จะใช้สายเคเบิลโคแอกเซียล (**Coaxial**) แบบสตาร์ จะใช้สายเคเบิลแบบยูทีพี (**Unshielded Twisted Pair : UTP**) สายเคเบิลที่ใช้งานในระบบ **Network** จะมีอยู่ 4 ประเภท คือ

- สายเคเบิลโคแอกเชียล คือสายเส้นเดียว มีลวดทองแดงเป็นแกนกลาง หุ้มด้วยฉนวนยางโดยจะมีลวดถัก (Shield) หุ้มสายยางอีกชั้น ปกป้องสัญญาณรบกวน และมีฉนวนด้านนอกเป็นยางสีดำหุ้มอีกชั้นจะมี 2 แบบคือ อย่างหนา (Thick) อย่างบาง (Thin) ส่วนมากจะใช้งานกับระบบ Ethernet โดยที่ปลายสายทั้งสองด้านจะต้องมีตัวเทอร์มินเนเตอร์ปิดด้วยความเร็วในการส่งข้อมูล 10 เมกะบิตต่อวินาที ต่ำกว่าสายยูทีพี

- สายยูทีพี เป็นสายเส้นเล็กจำนวน 8 เส้น ตีเกลียวคู่มี 4 คู่ ไม่มีเส้นลวดถัก เนื่องจากการตีเกลียวคู่เป็นการลดสัญญาณรบกวนแล้ว การใช้งานจะต้องมีการเข้าหัวอาร์เจ 45 (RJ-45) กับสายยูทีพีแล้วนำไปเสียบกับ Hub มีความเร็วในการรับส่งข้อมูลที่ 10/100 เมกะบิตต่อวินาที ปัจจุบันเป็นที่นิยมใช้งานกันมาก

- สายเอสทีพี (Shielded Twisted Pair : STP) เป็นสายเส้นคู่ตีเกลียวมีอยู่ 2 คู่มีเส้นลวดถัก เพื่อป้องกันสัญญาณรบกวนใช้งานในการเชื่อมต่อระยะไกลๆ ซึ่งสายยูทีพีทำไม่ได้ สายเอสทีพีจึงมีราคาค่อนข้างแพง

- สายไฟเบอร์ออฟติก (Fiber Optic) หรือสายเส้นใยแก้วนำแสง เป็นสายที่รับส่งสัญญาณด้วยแสงมีความเร็วในการทำงานสูงมาก ส่งได้ไกลและไม่มีสัญญาณรบกวนมีราคาแพงมากกว่าสายสัญญาณแบบอื่นๆ

ข้อดีข้อเสียของการเชื่อมต่อแบบบัส

ข้อดี

- ใช้สายส่งข้อมูลน้อยและมีรูปแบบที่ง่ายในการติดตั้งทำให้ลดค่าใช้จ่ายในการติดตั้งและบำรุงรักษา

- สามารถเพิ่มอุปกรณ์ขึ้นใหม่เข้าไปในเครือข่ายได้ง่าย
- ไม่ต้องเสียค่าใช้จ่ายในการวางสายสัญญาณมากนัก สามารถขยายระบบได้ง่าย เสียค่าใช้จ่ายน้อย ซึ่งถือว่าระบบบัสนี้เป็นแบบโทโปโลยีที่ได้รับความนิยมใช้กันมากที่สุดมาตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน เหตุผลอย่างหนึ่งก็คือสามารถติดตั้งระบบ ดูแลรักษา และติดตั้งอุปกรณ์เพิ่มเติมได้ง่าย ไม่ต้องใช้เทคนิคที่ยุ่งยากซับซ้อนมากนัก

ข้อเสีย

- ในกรณีที่เกิดการเสียหายของสายส่งข้อมูลหลัก จะทำให้ทั้งระบบไม่สามารถทำงาน

- การตรวจสอบข้อผิดพลาดทำได้ยาก ต้องทำจากหลายๆจุด
- อาจเกิดข้อผิดพลาดง่าย เนื่องจากทุกเครื่องคอมพิวเตอร์ ต่ออยู่บนสายสัญญาณเพียงเส้นเดียว ดังนั้นหากมีสัญญาณขาดที่ตำแหน่งใดตำแหน่งหนึ่ง ก็จะทำให้เครื่องบางเครื่อง หรือทั้งหมดในระบบไม่สามารถใช้งานได้ตามไปด้วย

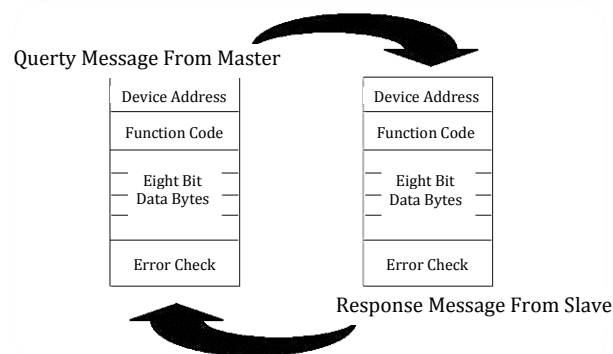
- การตรวจหาจุดต่อร่วม (Node) เสียทำได้ยาก เนื่องจากขณะใดขณะหนึ่งจะมีคอมพิวเตอร์เพียงเครื่องเดียวเท่านั้น ที่สามารถส่งข้อความออกมาบนสายสัญญาณ ดังนั้นถ้ามีเครื่องคอมพิวเตอร์จำนวนมากๆอาจทำให้เกิดการคับคั่งของ Network จะทำให้ระบบช้าลงได้

2.3.2.5 การส่งข้อมูลแบบ Modbus

โปรโตคอล Modbus เป็นโปรโตคอล เพื่อสื่อสารข้อมูลอินพุต/เอาต์พุตและรีจิสเตอร์ (Register) ภายในพีแอลซีซึ่งถูกคิดค้นโดย Modicon (ปัจจุบันคือบริษัท Schneider Electric) โปรโตคอล Modbus ได้เป็นที่ยอมรับกันอย่างกว้างขวางในการติดต่อสื่อสารที่เป็นแบบ Network Protocol อันเนื่องมาจาก Modbus เป็นระบบเปิด, ไม่มีค่าใช้จ่าย, เชื่อมต่อและพัฒนาง่ายพร้อมทั้งยังสามารถนำโปรโตคอลนี้ไปใช้งานในอุปกรณ์อื่นๆ เช่น Digital Power Meter, RTU (Remote Terminal Unit), Remote I/O, พีแอลซี เป็นต้น นอกจากนี้ Modbus ยังสามารถรองรับและใช้งานร่วมกับแอปพลิเคชันจำพวก SCADA และ HMI Software ได้อีกด้วย

โปรโตคอล Modbus เป็นการสื่อสารข้อมูลในลักษณะ Master/Slave ซึ่งเป็นการสื่อสารจาก Master (อุปกรณ์แม่) เครื่องเดียว ส่วนใหญ่มักเป็นซอฟต์แวร์คอมพิวเตอร์หรืออุปกรณ์แสดงผล HMI ไปยัง Slave (อุปกรณ์ลูก) ได้หลายๆเครื่อง โดยสามารถกำหนดหมายเลขอุปกรณ์ได้สูงสุด 255 เครื่อง โดยมีลักษณะการส่งข้อมูล 2 แบบ คือ ข้อมูลแบบ ASCII และข้อมูลแบบเลขฐานสอง ในโปรโตคอล Modbus ที่สื่อสารข้อมูลแบบ ASCII จะเรียก Modbus ASCII และโปรโตคอล Modbus ที่สื่อสารข้อมูลแบบเลขฐานสองจะเรียก Modbus RTU ทำให้มีความแตกต่างในการกำหนดค่าช่องสื่อสาร

การรับส่งข้อมูลด้วยโปรโตคอล Modbus สามารถเลือกได้ 2 โหมด คือ โหมด ASCII และโหมด RTU ซึ่งทั้ง 2 โหมดนี้มีความแตกต่างกันที่การกำหนดรูปแบบของชุดข้อมูลภายในเฟรมจะเลือกโหมดใดก็ได้แต่มีเงื่อนไขว่า อุปกรณ์ทุกตัวที่ต่อร่วมกันอยู่ในบัสหรือเครือข่ายเดียวกันจะต้องตั้งให้เลือกใช้โหมดเดียวกันทั้งหมด



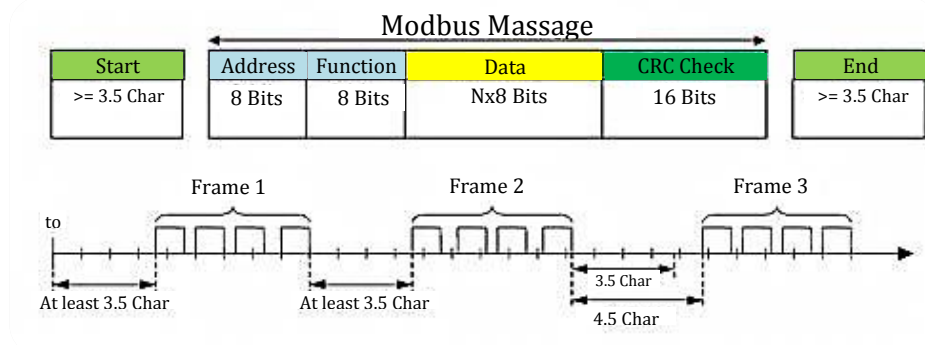
ภาพที่ 2-22 การติดต่อสื่อสารแบบ Master/Slave

2.3.2.6 Modbus PLUS

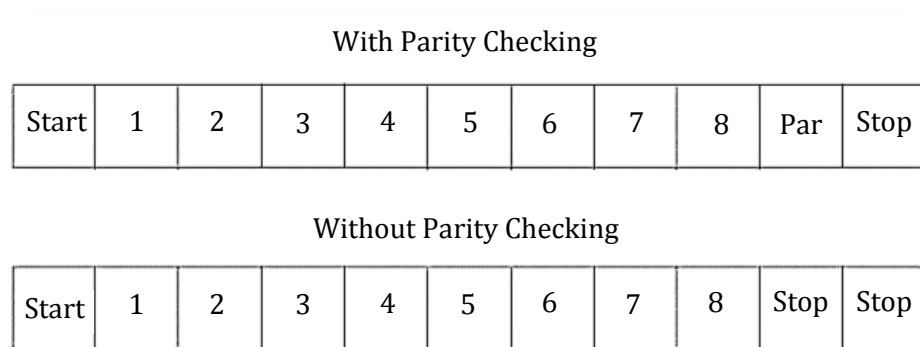
Modbus PLUS ถูกสร้างโดยใช้เทคนิคการส่งข้อมูลแบบ Token Passing ออกแบบใช้งานบนอุปกรณ์พีแอลซี Modicon เท่านั้น ส่งผลทำให้ขาดการเปิดของโปรโตคอลหรือพูดได้อีกอย่างว่า Modbus PLUS คือ โปรโตคอลปิด มีน้อยอุปกรณ์ที่สนับสนุน Modbus PLUS

2.3.2.7 Modbus RTU

เฟรมข้อมูลในโหมด RTU ประกอบด้วยข้อมูลแสดงตำแหน่งที่อยู่ 1 ไบต์ (Bite), หมายเลขฟังก์ชัน 1 ไบต์, ข้อมูลที่ทำการรับส่งจำนวนมากสุดไม่เกิน 252 ไบต์ และรหัสตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลแบบ CRC (Cyclical Redundancy Checking) ขนาด 2 ไบต์ ค่า CRC นี้เป็นค่าที่คำนวณมาจากข้อมูลทุกไบต์ ไม่รวมเริ่มต้น (Start), บิตหยุด (Stop) และบิต Parity โดยที่ตัว Slave ตัวที่ส่งข้อมูลออกมาจะสร้างรหัส CRC แล้วส่งตามท้ายไบต์ข้อมูลออกมา หลังจากนั้นเมื่อ Master ได้รับเฟรมข้อมูลและถอดข้อมูลออกจากเฟรมแล้ว จะทำการคำนวณค่า CRC ตามสูตรเดียวกับ Slave เพื่อทำการเปรียบเทียบค่า CRC ทั้ง 2 ค่าว่าตรงกันหรือไม่ หากไม่ตรงกันแสดงว่าเกิดความผิดพลาดในการรับส่งข้อมูลในโหมด RTU การรับส่งข้อมูล 1 ไบต์ ไม่ว่าจะเป็นข้อมูลส่วนใดภายในเฟรมจะต้องทำการส่งบิตข้อมูลรวม 11 บิต คือ บิตเริ่มต้น 1 บิต, บิตข้อมูล 8 บิต, บิตตรวจสอบ Parity ของข้อมูล 1 บิตและบิตหยุด 1 บิตหรือหากเลือกแบบไม่มีบิต Parity ก็จะเป็นแบบบิตหยุดแทน 2 บิต สำหรับการกำหนดให้มีบิต Parity นั้น สามารถเลือกเป็นแบบคู่ (Even Parity) หรือคี่ (Odd Parity) ก็ได้ และหากต้องการออกแบบให้สอดคล้องกับอุปกรณ์ที่มีใช้กันทั่วไปมากที่สุด ควรเลือกแบบคู่โดยที่สามารถปรับเปลี่ยนเป็นแบบคี่ หรือไม่มี การตรวจสอบ Parity (No Parity) ได้ด้วย



ภาพที่ 2-23 ลักษณะเฟรมข้อมูลของ Modbus RTU



ภาพที่ 2-24 ลักษณะข้อมูลแต่ละไบต์ของ Modbus RTU

2.3.2.8 Modbus ASCII

การรับส่งข้อมูลในโหมด ASCII นั้นมีความแตกต่างจากโหมด RTU ตรงที่ในโหมด RTU ข้อมูลที่จะส่งขนาด 1 ไบต์ นำมารวมกับบิตประกอบต่างๆ ก็สามารถส่งออกไปได้เลย แต่สำหรับโหมด ASCII จะมองข้อมูล 1 ไบต์ นั้นออกมาเป็นตัวอักษร 2 ตัว เช่น ค่า 0x5B ซึ่งเป็นเลขฐานสิบหกก็จะถูกมองเป็นตัวอักษร “5” และตัวอักษร “B” จากนั้นก็จะทำการค้นหารหัส ASCII ของตัวอักษรทั้ง 2 ตัวนั้น ซึ่งได้แก่ 0x35 สำหรับ “5” และ 0x42 สำหรับ “B” แล้วทำการส่งรหัส ASCII ทั้ง 2 ค่านี้ออกไป ซึ่งจะได้ผลเท่ากับการส่งค่า 0x5B ซึ่งเป็นข้อมูลขนาด 1 ไบต์ ในโหมด RTU จะเห็นได้ว่าการส่งข้อมูลในโหมด ASCII จะต้องทำงานมากกว่าการส่งข้อมูลในโหมด RTU ซึ่งทำให้อัตราเร็วในการสื่อสารมีค่าต่ำกว่า สาเหตุที่เป็นแบบนี้ก็เพราะว่าโหมด ASCII ได้ถูกออกแบบมาสำหรับอุปกรณ์ ที่ไม่มีความสามารถในการกำหนดช่วงระยะเวลาของเวลาในการส่งเฟรมข้อมูล อย่างเช่นในโหมด RTU ที่อุปกรณ์สามารถกำหนดได้ว่าจะส่งเฟรมข้อมูลแต่ละเฟรมออกมาด้วยเวลาห่างกันเท่าใด และอุปกรณ์ที่รองรับข้อมูลก็ต้องสามารถตรวจจับ และแยกแยะได้ว่าเฟรมข้อมูลแต่ละเฟรมที่รับเข้ามานั้น มีระยะเวลาห่างกันภายในช่วงเวลาที่กำหนดหรือไม่ เพื่อให้สามารถตรวจสอบหาจุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุดของเฟรมข้อมูลแต่ละเฟรมได้ แต่ในความเป็นจริงยังมีอุปกรณ์อีกหลายชนิดที่ไม่มีความสามารถพิเศษนี้ จึงต้องใช้วิธีอื่นที่จะช่วยให้สามารถรับรู้จุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุดของเฟรมข้อมูลได้ นั่นได้แก่โหมด ASCII ซึ่งในโหมดนี้จะเริ่มต้นเฟรมข้อมูลด้วยการส่งรหัส ASCII ที่กำหนดให้หมายถึงจุดเริ่มต้น คือ 0x3A ซึ่งตรงกับตัวอักษร “:” ตามด้วยที่อยู่ของ Slave, หมายเลขฟังก์ชัน, ข้อมูล, รหัสตรวจสอบสอง RLC และรหัส ASCII 2 ตัว ที่กำหนดให้หมายถึงจุดสิ้นสุด คือ รหัส 0x0D และ 0x0A คือรหัส CR (Carriage Return) และ LF (Line Feed) ตามลำดับ โดยในขณะที่บัสข้อมูลว่างจากการรับส่งข้อมูล อุปกรณ์ทุกตัวจะคอยตรวจสอบข้อมูลในบัส ว่ามีการส่งรหัส ASCII ของ “:” ออกมาหรือไม่ ถ้ามีก็จะรับรู้ว่าจะขณะนี้ได้มีการเริ่มต้นส่งเฟรมข้อมูลออกมาแล้ว ก็จะเข้ากระบวนการรับข้อมูลต่อไป

Start	Address	Function	Data	LRC	Start
1 Char	2 Chars	2 Chars	0 up to 2x252 Char(s)	2 Chars	2 Chars CR,LF

ภาพที่ 2-25 ลักษณะเฟรมข้อมูลของ Modbus ASCII

With Parity Checking									
Start	1	2	3	4	5	6	7	Par	Stop

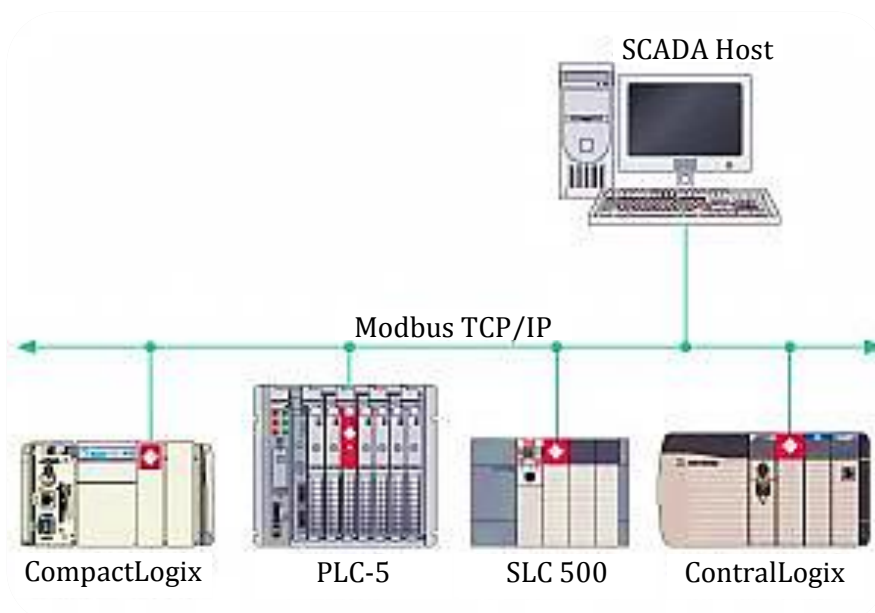
Without Parity Checking									
Start	1	2	3	4	5	6	7	Stop	Stop

ภาพที่ 2-26 ลักษณะข้อมูลแต่ละไบต์ของ Modbus ASCII

Modbus จะบริการให้อุปกรณ์ติดต่อสื่อสารกันผ่าน Serial Port (RS-232/422/485) แต่ในปัจจุบันได้มีการพัฒนา ให้อุปกรณ์สามารถติดต่อสื่อสารกับอุปกรณ์ที่อยู่บนเครือข่าย Ethernet ซึ่งอุปกรณ์ที่ใช้การสื่อสารแบบ Modbus Protocol ส่วนใหญ่จะเป็น PLCs, DCSs, HMIs, Instruments อย่างไรก็ตาม Modbus จำเป็นต้องมีอุปกรณ์จำพวก Gateway และ Bridge ในการติดต่อสื่อสารระหว่าง Serial Line กับ Ethernet

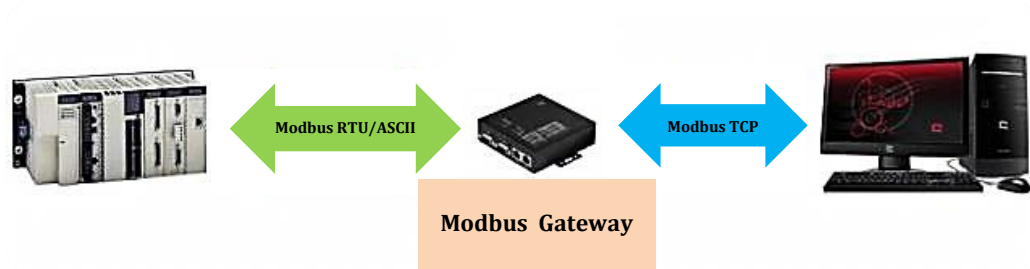
2.3.2.9 Modbus TCP/IP (Transmission Control Protocol/Internet Protocol)

Modbus TCP/IP ถูกพัฒนาขึ้นโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อจะนำการสื่อสารแบบ Internet มาใช้กับอุปกรณ์จำพวก Ethernet Device ระยะในการใช้งานสำหรับการเดินสาย (สาย LAN) คือ 100 เมตร โดยสามารถขยายระยะในการสื่อสารได้โดยการใช้อุปกรณ์ Repeater หรือในระบบ LAN จะเรียกอุปกรณ์นี้ว่า Hub หรือ สวิตช์ ก็จะสามารถลากสายได้อีก 100 เมตร และยังสามารถต่อ Repeater ขยายระยะทางได้โดยไม่จำกัด ในการสื่อสารโดยทั่วไปมีความเร็ว 100,000,000 บิตต่อวินาที (100 เมกะบิตต่อวินาที) และเชื่อมต่ออุปกรณ์ได้ไม่จำกัดจำนวน



ภาพที่ 2-27 Modbus TCP/IP

Modbus ASCII/RTU ที่จะติดต่อสื่อสารกับ Modbus TCP เพื่อให้ใช้งานในเครือข่าย Ethernet จะใช้ Gateway ติดต่อและแปลงรูปแบบการสื่อสารข้อมูล โดยการสื่อสารของ Modbus RTU/ASCII จะเป็นการสื่อสารผ่านทาง RS-232/422/485 นั้นจะถูก Gateway แปลงให้เป็น Modbus TCP เพื่อใช้ในการติดต่อสื่อสารในเครือข่าย Ethernet ต่อไป



ภาพที่ 2-28 Modbus ASCII/RTU

2.3.2.10 CANBUS (Control Area Network)

CANBUS ถูกพัฒนาโดยบริษัท Bosch ที่เรารู้จักกันดีในเรื่องเครื่องมือช่าง ที่คุณภาพดีจากประเทศเยอรมนี โดยจุดประสงค์แรกเริ่มของ CANBUS ใช้ในอุตสาหกรรมรถยนต์ โดยเฉพาะระบบอิเล็กทรอนิกส์ภายในรถ เช่น แอร์ ประตู ระบบเบรก รวมทั้งกล่อง ECU (Electronic Control Unit) CANBUS ยังถูกนำมาใช้เป็น I/O Bus ใน RTU หลายๆ ยี่ห้อ เช่น ABB (ASEA Brown Boveri) หรือกระทั่งระบบอัตโนมัติจากประเทศจีน เช่น NARI

2.3.2.11 CANOpen

CANOpen เป็นโปรโตคอลที่มีระดับขั้นสูงที่สูงกว่า CANBUS ถูกพัฒนาขึ้นให้เป็นมาตรฐาน ที่ฝังแน่นอยู่ในเครือข่ายด้วยความสามารถที่ใช้ร่วมกับโครงร่างที่มีความยืดหยุ่นสูง CANOpen ถูกออกแบบมา สำหรับการเคลื่อนไหวที่มีการปรับตัวให้เข้ากับเครือข่ายการควบคุม เครื่องจักรหรือระบบการจัดการ โดยขณะนี้ CANOpen ถูกนำมาใช้ในภาคสนามต่างๆ จำนวนมาก เช่น อุปกรณ์ทางการแพทย์, ยานพาหนะสำรวจป่า (Off Road vehicle) อุปกรณ์การเดินเรือสมุทร, ระบบอิเล็กทรอนิกส์, การขนส่งสาธารณะ, การสร้างขบวนการอัตโนมัติ เป็นต้น CANOpen ถูกพัฒนาขึ้นมาล่วงหน้าในโครงการปฏิภาณ (Esprit Project) ภายใต้ฐานะประธานของ Bosch ในปี 1995 รายละเอียด CANOpen ถูกส่งมอบให้กับ CANBUS ในผู้ใช้กระบวนการอัตโนมัติ ระหว่างประเทศ (CiA) และกลุ่มผู้ผลิตโดยแรกเริ่มโครงร่างการติดต่อสื่อสาร CANBUS เคยเป็นสิ่งที่ตั้งอยู่บนพื้นฐาน CAN Application Layer (CAL) เวอร์ชัน 4 ของ CANOpen (CiA DS 301)

2.3.2.12 PROFIBUS

ถึงแม้จะพัฒนาโดยองค์กร German Standard Association โดยมาตรฐานที่ทำงานจะเป็นแบบ EIA-485 เรียกว่า PROFIBUS DP และที่ทำงานบนมาตรฐาน IEC61158 เรียกว่า PROFIBUS PA ตัว PROFIBUS เป็นโปรโตคอลที่ได้รับความนิยมค่อนข้างมากโดยเฉพาะในงานอุตสาหกรรม

PROFIBUS ใช้วิธีการสื่อสารข้อมูลแบบผสมผสานระหว่างวิธีแบบ Token Passing และ Master/Slave เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพในการสื่อสารดีที่สุด PROFIBUS ใช้ 3 เลเยอร์ตามโมเดล OSI คือ ฟิสิคอลล, ดาต้าลิงก์ และแอปพลิเคชัน มีการเพิ่มเลเยอร์ที่ 8 เรียกว่า ยูสเซอร์เลเยอร์ (User Layer) สำหรับอุปกรณ์ที่ใช้ PROFIBUS เป็นโปรโตคอลหลักที่รู้จักกันดีคือพีแอลซีของ SIEMENS

2.3.2.13 Industrial Ethernet

Industrial Ethernet ได้ถูกพัฒนาเร็วมากและได้ก้าวข้ามปัญหาเกี่ยวกับความเชื่อถือได้ที่ต่ำไม่เพียงพอต่องานระบบอุตสาหกรรม หนึ่งในเหตุผลสำหรับความสำเร็จของ **Industrial Ethernet** คือ การใช้งานที่ง่ายและราคาติดตั้งที่ไม่สูงเนื่องจากมีผลิตภัณฑ์ในตลาดเป็นจำนวนมาก ในยุคเริ่มแรก **Ethernet** ใช้แค่เพียงวิธีการที่เรียกว่า **CSMA/CD (Carrier Sense Multiple Access/Collision Detect)** เท่านั้น ซึ่งมีข้อด้อยในเรื่องการไม่สามารถคาดการณ์เวลาที่จะได้รับข้อมูลจึงไม่เหมาะสมกับงานควบคุมกระบวนการผลิต แต่ในปัจจุบัน **Ethernet** มีความเร็วในการส่งข้อมูลสูงมากกว่า 100 เมกะบิตต่อวินาทีและยังทำงานแบบ **Full Duplex** ตามมาตรฐาน **IEEE 802.3** ด้วยความสามารถของ **Ethernet Switch** ปัจจุบันสามารถจัดระดับความสำคัญของแพ็กเก็ตส่งผลให้ระบบ **Ethernet** สามารถคาดการณ์การได้รับข้อมูลแม่นยำขึ้นเป็นอย่างมาก **Ethernet Switch** ยังจัดการ และติดตั้งได้ง่ายกว่าวิธีการแบบ **Token Passing** เป็นอย่างมาก

2.3.2.14 TCP/IP

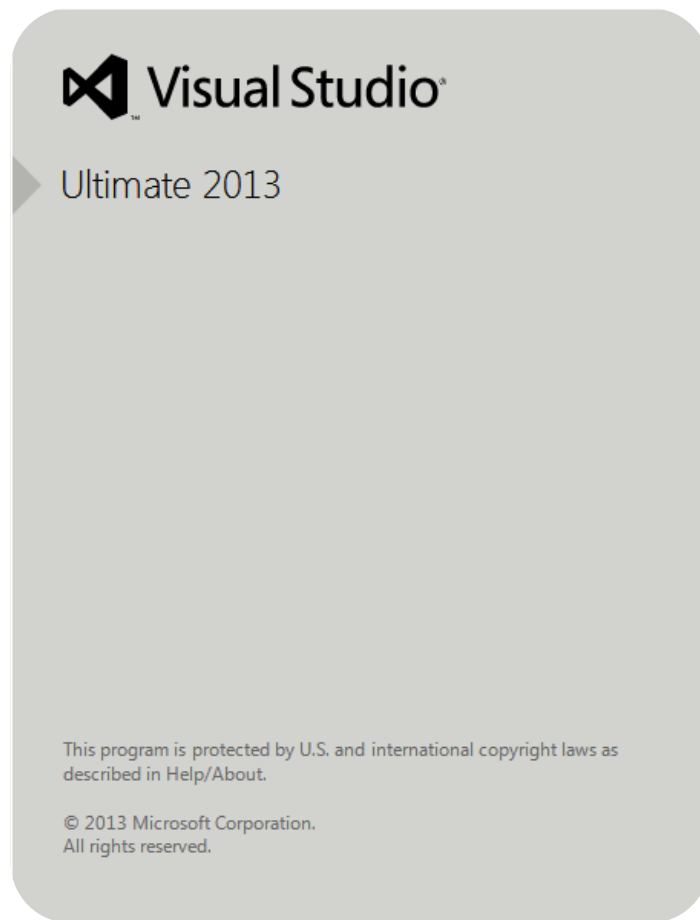
แพร่หลายเนื่องจากเติบโตพร้อมกับระบบอินเทอร์เน็ต **TCP/IP** ยังทำงานได้ดีมากกับ **Ethernet** จริงจริงแล้ว **TCP/IP** สามารถถูกจัดได้ 3 เลเยอร์ดังนี้

- **Process/Application Layer** (เทียบเท่ากับ 3 เลเยอร์บนสุดของโมเดล OSI)
- **Service/Host to Host Layer** (เทียบเคียงกับ **Transport** ของโมเดล OSI)
- **Internetwork Layer** (เทียบเคียงกับ **Network** ของโมเดล OSI)

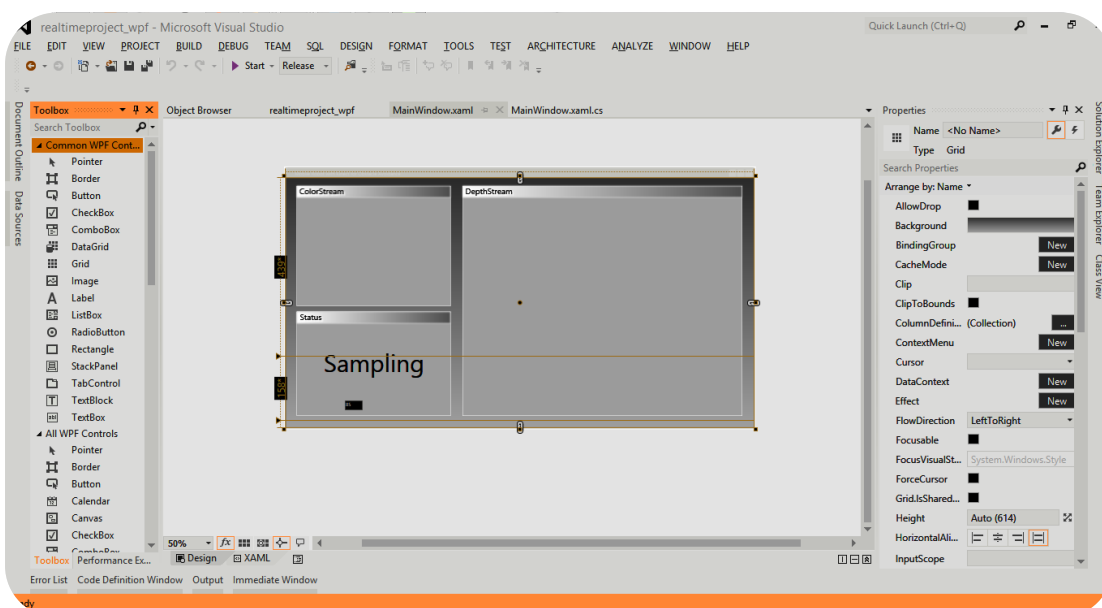
ที่จริงแล้ว **TCP/IP** คือชุดของโปรโตคอลหลายๆตัวที่มีคุณสมบัติเฉพาะตัวแตกต่างกันไป เช่น **HTTP** สำหรับการแสดงผลบนเว็บ, **FTP** สำหรับการถ่ายโอนไฟล์ เป็นต้น **TCP/IP** ถือว่าเป็นโปรโตคอลที่มีค่าใช้จ่ายค่อนข้างต่ำ และถูกสนับสนุนอย่างแพร่หลายในทุกระบบงาน อาจจะกล่าวได้ว่าการเกิดของ **TCP/IP** ทำให้หลายๆโปรโตคอลได้ตายหรือหายไปจากระบบสื่อสารก็ได้ ปัจจุบันโปรโตคอล **TCP/IP** ได้มีความสำคัญต่อชีวิตประจำวันของมนุษย์มากไม่ว่าจะเป็นอินเทอร์เน็ต โทรศัพท์ คอมพิวเตอร์ซึ่งเป็นอุปกรณ์หลักในการให้บริการ เช่น ระบบธนาคาร เป็นต้น

2.3.3 โปรแกรม Microsoft Visual Studio

Visual Studio ถือเป็นเครื่องมือพัฒนาแอปพลิเคชันที่ออกมารองรับตามแนวความคิดของสถาปัตยกรรม **.NET Framework** ซึ่งในเครื่องมือนี้จะสามารถเขียนโปรแกรมได้หลายภาษา อาทิเช่น **BASIC, C#, C++** เป็นต้น ในปัจจุบันโปรแกรม **Visual Studio** ได้ออกมาถึงเวอร์ชัน 2013 แล้วซึ่งมีรูปร่างหน้าตาแบบใหม่และรองรับกับการเขียนแอปพลิเคชันเข้าสู่ **Windows Store** (ในรูปแบบของ **Metro App**)



ภาพที่ 2-29 หน้าจอขณะเตรียมพร้อมโปรแกรม Visual Studio

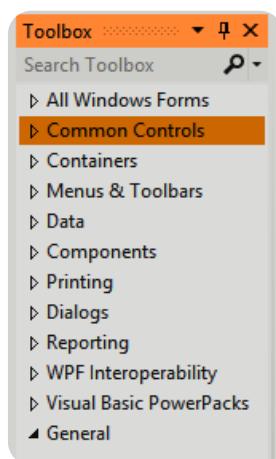


ภาพที่ 2-30 หน้าจอขณะการใช้งานโปรแกรม Visual Studio

ส่วนประกอบของโปรแกรม Microsoft Visual Studio ประกอบไปด้วยดังนี้

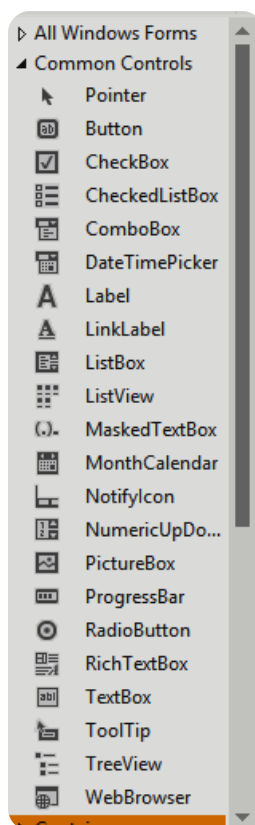
2.3.3.1 แถบเครื่องมือ Toolbox

เป็นแถบเครื่องมือ ที่ทำหน้าที่เก็บคอนโทรลต่างๆ ที่โปรแกรมสนับสนุน ประกอบไปด้วยกลุ่มคอนโทรล กลุ่มออกแบบเจ็ทและคอมโพเนนต์ แสดงดังภาพที่ 2-31



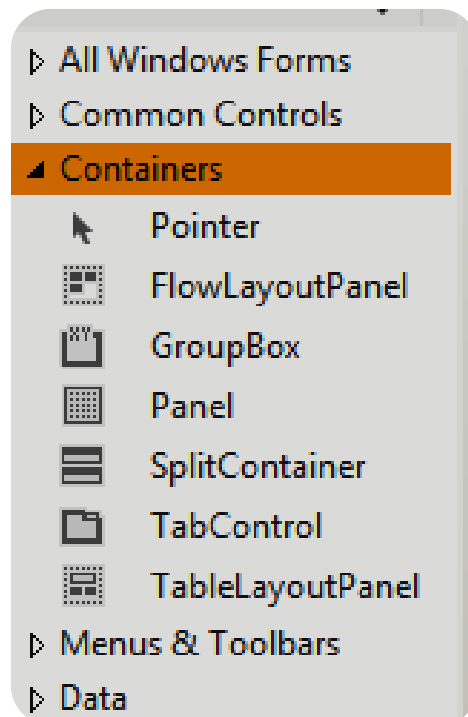
ภาพที่ 2-31 แถบเครื่องมือ Toolbox

ก) แท็บ Common Controls ทำหน้าที่เก็บคอนโทรลที่มีการใช้บ่อยๆ

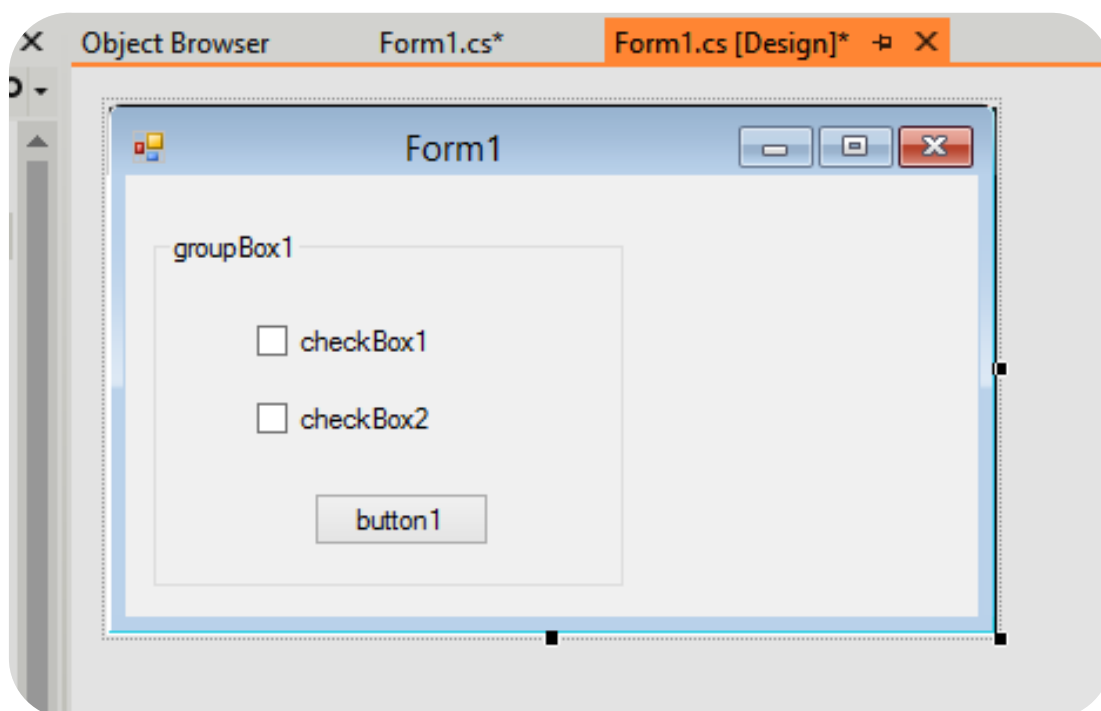


ภาพที่ 2-32 แท็บ Common Controls

ข) แท็บ Containers ทำหน้าที่เก็บคอนโทรลที่สามารถรับคอนโทรลตัวอื่นๆได้

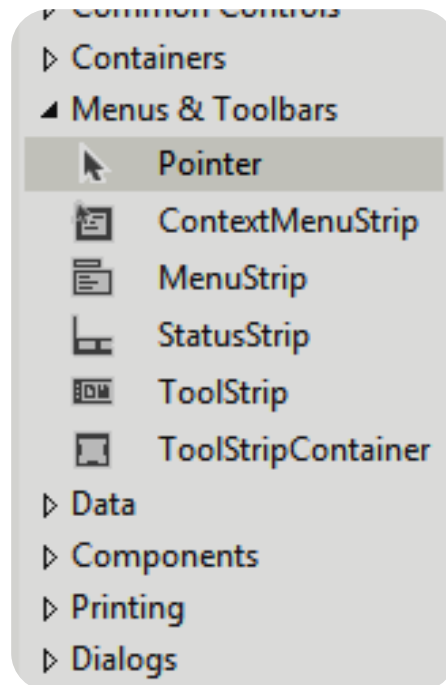


ภาพที่ 2-33 แท็บ Containers

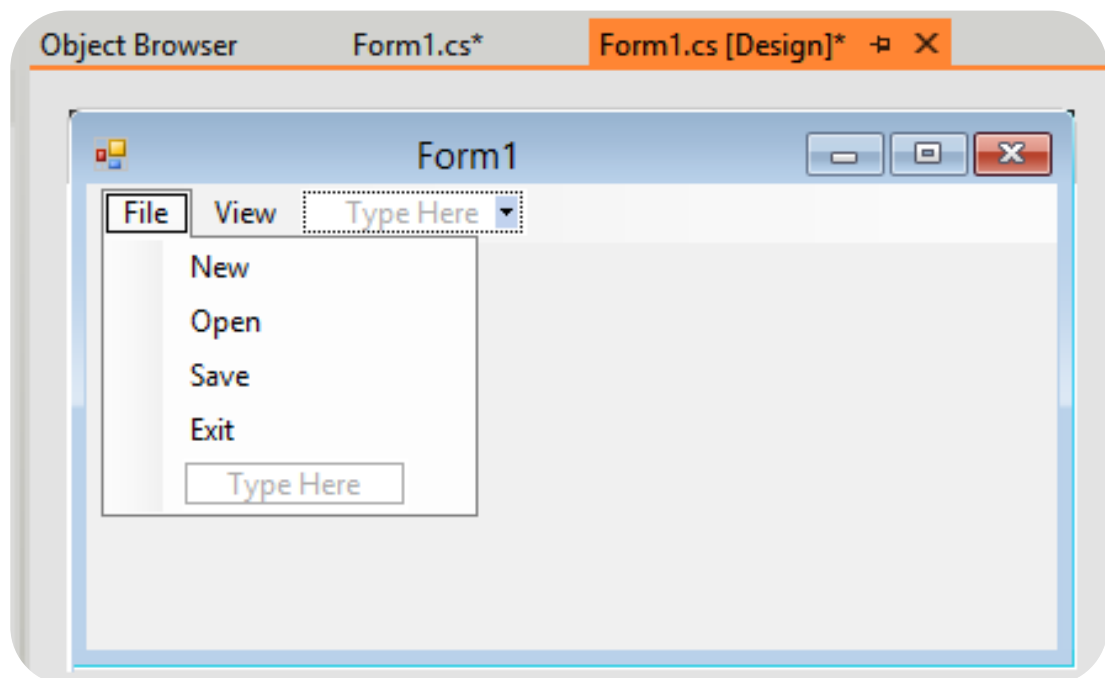


ภาพที่ 2-34 ตัวอย่างการใช้อุปกรณ์ในแท็บ Containers

ค) แท็บ Menus & Toolbars ทำหน้าที่เก็บคอนโทรลที่ใช้ทำเมนูบาร์ หรือ สเตตัสบาร์

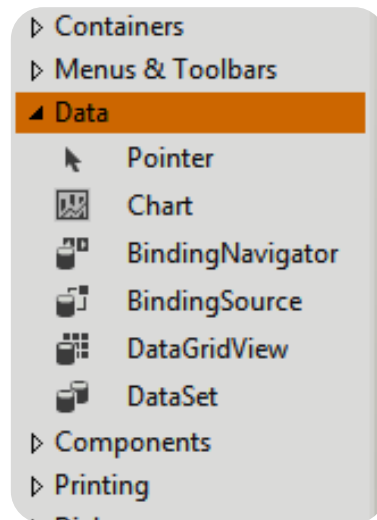


ภาพที่ 2-35 แท็บ Menus & Toolbars



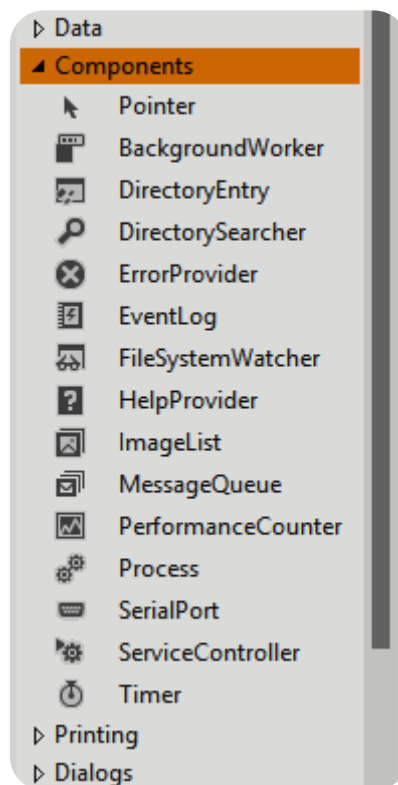
ภาพที่ 2-36 ตัวอย่างการใช้อุปกรณ์ในแท็บ Menus & Toolbars

ง) แท็บ Data ทำหน้าที่เก็บกลุ่มออบเจกต์ ADO.NET รับผิดชอบด้านการพัฒนาแอปพลิเคชันด้านฐานข้อมูล



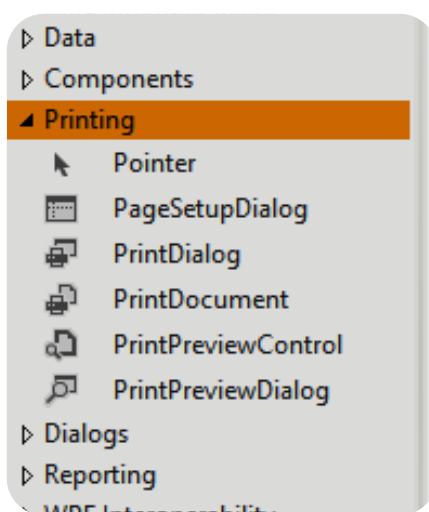
ภาพที่ 2-37 แท็บ Data

จ) แท็บ Components ทำหน้าที่เก็บกลุ่มออบเจกต์ด้านการติดต่อสื่อสารเครือข่ายต่างๆ

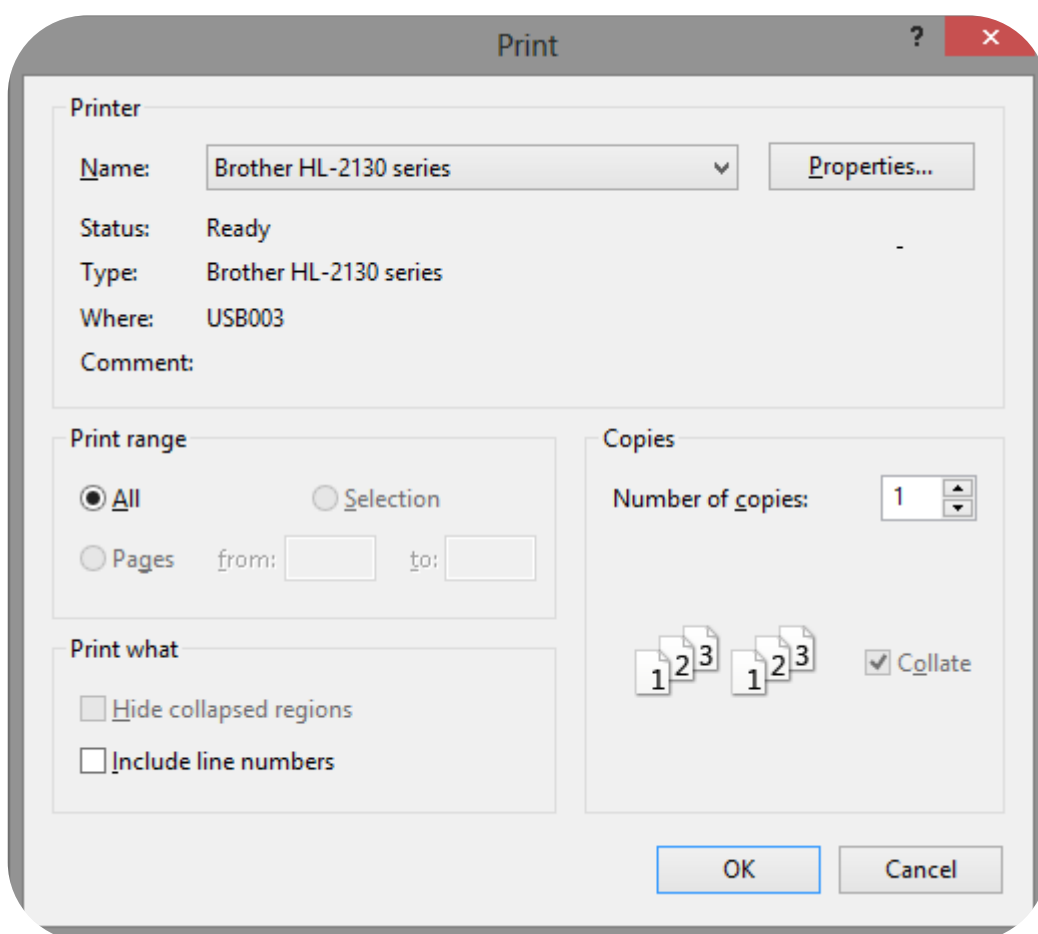


ภาพที่ 2-38 แท็บ Components

ฉ) แท็บ **Printing** ทำหน้าที่เก็บกลุ่มออบเจกต์ด้านการที่เกี่ยวกับการพิมพ์

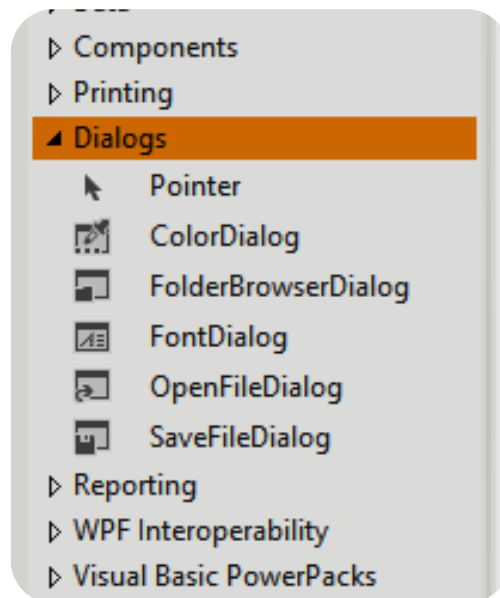


ภาพที่ 2-39 แท็บ Printing

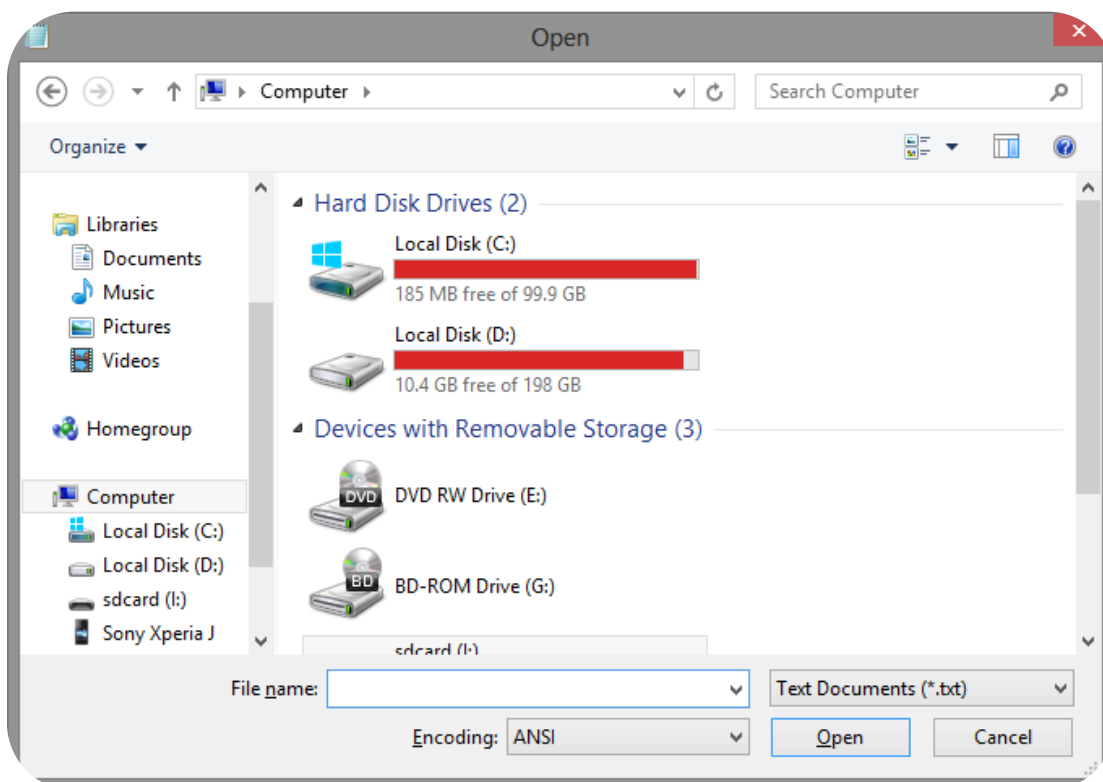


ภาพที่ 2-40 ตัวอย่างการใช้อุปกรณ์ในแท็บ Printing : PrintDialog

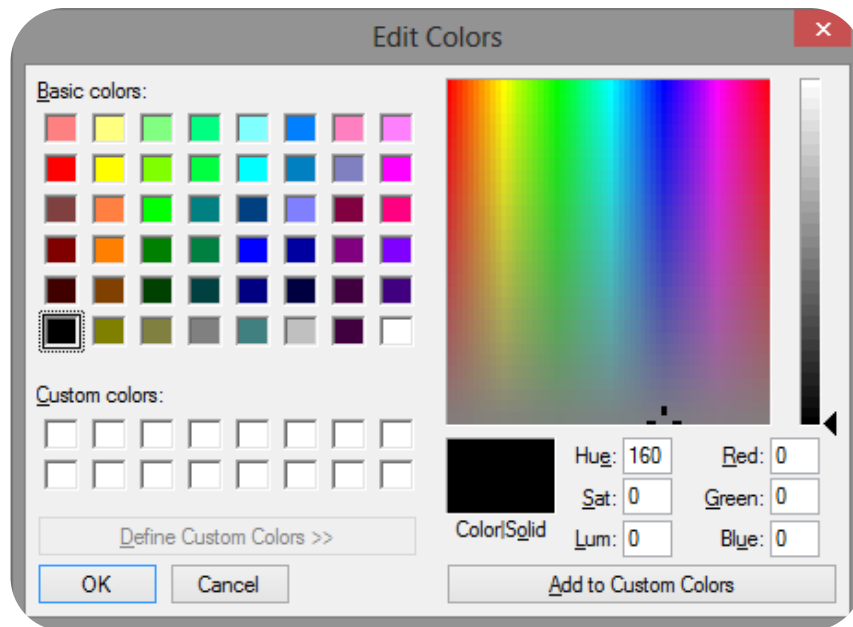
ข) แท็บ Dialogs ทำหน้าที่เก็บกลุ่มออบเจกต์ที่ใช้สำหรับแสดงหน้าจอของระบบ



ภาพที่ 2-41 แท็บ Dialogs

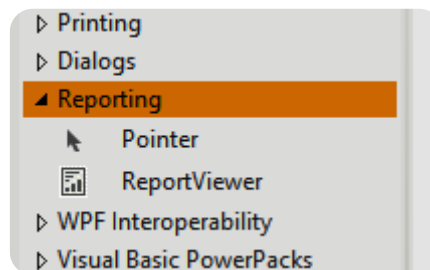


ภาพที่ 2-42 ตัวอย่างการใช้อุปกรณ์ในแท็บ Dialogs : OpenFileDialog



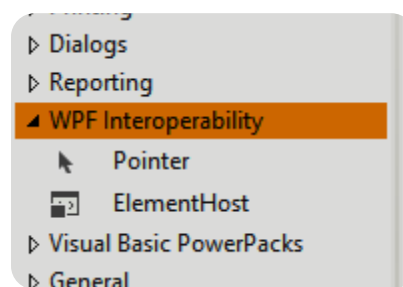
ภาพที่ 2-43 ตัวอย่างการใช้อุปกรณ์ในแท็บ Dialogs : ColorDialog

ข) แท็บ Reporting ทำหน้าที่เก็บกลุ่มออกเจ็ทที่ใช้สำหรับการแสดงตาราง
รายงาน



ภาพที่ 2-44 แท็บ Reporting

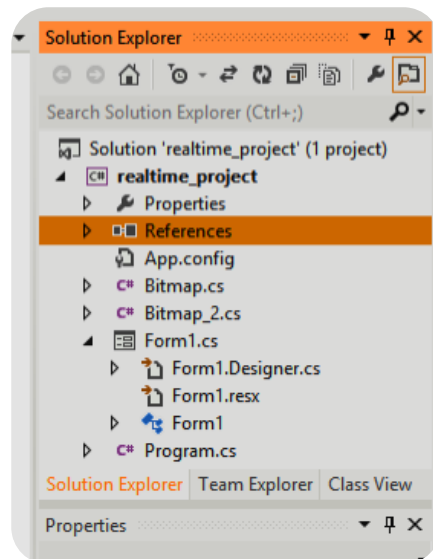
ฉ) แท็บ WPF Interoperability ทำหน้าที่เก็บกลุ่มออกเจ็ทที่ใช้แสดง
แอปพลิเคชันแบบ WPF (Windows Presentation Foundation)



ภาพที่ 2-45 แท็บ WPF Interoperability

2.3.3.2 แถบ Solution Explorer

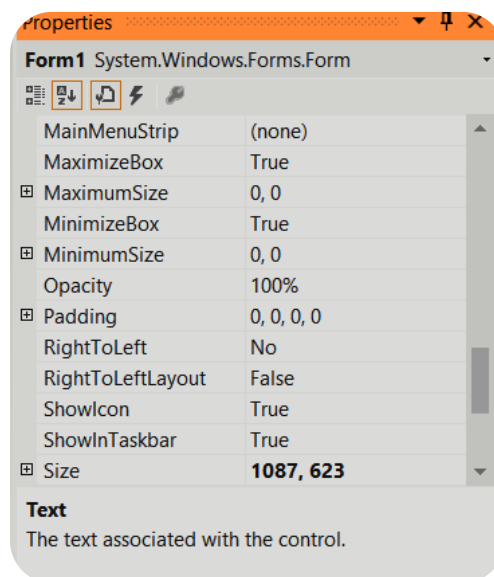
ทำหน้าที่ แสดงรายการไฟล์ที่เกี่ยวข้องที่อยู่ในโปรเจกต์ เช่น ไฟล์รูปภาพ ไฟล์ของคลาสที่สร้างขึ้นมา ไฟล์แหล่งข้อมูล XM ฯลฯ ขึ้นอยู่กับว่าโปรเจกต์จะเรียกใช้อะไรบ้าง



ภาพที่ 2-46 แถบ Solution Explorer

2.3.3.3 แถบ Properties และ Events

แถบคุณสมบัติ ทำหน้าที่แสดงคุณสมบัติ และเหตุการณ์ของคอนโทรลหรือ ออบเจกต์ตัวนั้นๆ สั้นๆ แสดงดังภาพที่ 2-47

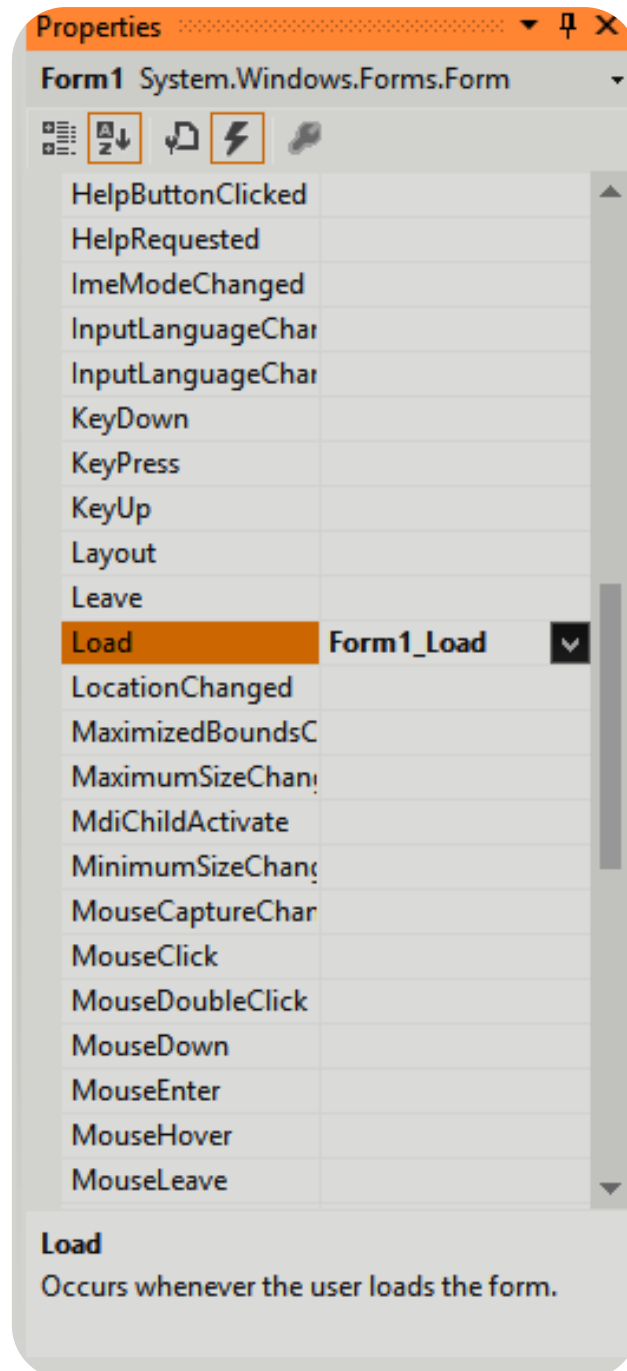


ภาพที่ 2-47 แถบ Properties แสดงถึงคุณสมบัติของ Form

กดปุ่ม



ในแถบ Properties จะมีส่วนของเหตุการณ์ (Events) ซึ่งเปิดได้โดย



ภาพที่ 2-48 แถบ Properties แสดงถึงเหตุการณ์ของ Form

2.3.3.4 ឆោប Editor

แถบสำหรับการเขียนโค้ดเพื่อรองรับเหตุการณ์ต่างๆ



ภาพที่ 2-49 แลป Editor แสดงตัวอย่างโค้ดโปรแกรม

2.3.4 คอมพิวเตอร์

สำหรับใช้ส่วนบุคคล แต่ในปัจจุบันยังหมายรวมถึง คอมพิวเตอร์ตั้งโต๊ะ (Desktop Computer) คอมพิวเตอร์แบบพกพา (Laptop Computer) และคอมพิวเตอร์แบบรับข้อมูลด้วยการเขียนบนจอภาพ (Tablet Computer) โปรแกรมระบบปฏิบัติการ (Operating Systems) ที่นิยมใช้ได้แก่ โปรแกรม Microsoft Windows, โปรแกรม Mac OS X และ Linux โดยหน่วยประมวลผลกลางนิยมใช้ไมโครโปรเซสเซอร์ตระกูล X86 (X86 Compatible CPUs), ARM Architecture CPUs และ Power PC CPUs โปรแกรมประยุกต์ (Application Software) ได้แก่ โปรแกรมประมวลผลคำ (Word Processing) โปรแกรมตารางคำนวณ (Spreadsheets) โปรแกรมฐานข้อมูล (Databases) โปรแกรมเกมส์และโปรแกรมสนับสนุนการทำงานส่วนบุคคลอีกมากมาย คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลที่ทันสมัยจะมาพร้อมกับอุปกรณ์เชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตความเร็วสูง (High Speed Internet) หรือ โมเด็ม ให้ผู้ใช้ได้เข้าถึง World Wide Web (WWW.) และแหล่งข้อมูลมหาศาล



ภาพที่ 2-50 คอมพิวเตอร์แบบพกพา

2.4 ปริมาณงานที่เกี่ยวข้อง

2.4.1 ธิดาภรณ์และสมศักดิ์ (2555) ได้ทำปริมาณงานเรื่องการสร้างชุดสาธิตหุ่นยนต์เดลต้า เพื่อศึกษาการทำงานของชุดสาธิต และการเขียนโปรแกรมพีแอลซีควบคุมชุดสาธิตหุ่นยนต์เดลต้า พบว่า หุ่นยนต์อุตสาหกรรมที่มีใช้ในปัจจุบัน จะมีโครงสร้างที่ใหญ่และน้ำหนักตัวที่มากทำให้การทำงานไม่เกิดความคล่องตัวจึงได้จัดสร้างแขนหุ่นยนต์ให้น้ำหนักที่น้อยลง ช่วยในการเคลื่อนตัวให้คล่องตัวยิ่งขึ้น โดยในระบบการควบคุมการทำงาน จะใช้โปรแกรมพีแอลซีเป็นตัวควบคุมการทำงานของมอเตอร์ ในส่วนของการควบคุมตำแหน่งการทำงานและความเร็วของมอเตอร์ เพื่อให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่ไปในตำแหน่งที่กำหนด ได้อย่างถูกต้องแม่นยำขึ้น ผลของการเขียนโปรแกรมควบคุมชุดสาธิตหุ่นยนต์เดลต้า ด้วยเครื่องพีแอลซีเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ พบว่าคอมพิวเตอร์สามารถที่จะเชื่อมต่อข้อมูลกับเครื่องพีแอลซี เพื่อรับค่าที่กำหนดในการเคลื่อนที่ ไปยังตำแหน่งที่ต้องการ 3 จุดด้วยความเร็ว 6 รอบต่อนาที (rpm) และมีค่าความถูกต้อง ± 1 มิลลิเมตร

2.4.2 ยุทธพงศ์และณัฐพงศ์ (2556) ได้ทำปริมาณงานเรื่องการควบคุมระยะไกลด้วยหุ่นยนต์แบบเดลต้า เป็นการพัฒนาระบบการควบคุมหุ่นยนต์ระยะไกล โดยใช้หุ่นยนต์อุตสาหกรรม โดยจำเป็นต้องใช้หุ่นยนต์อุตสาหกรรมสำหรับทำงานระยะไกล (Slave Robot) คือ หุ่นยนต์แบบ 6 แกน เอบีบี (ABB) และหุ่นยนต์สำหรับทำงานร่วมกับผู้ควบคุม คือ หุ่นยนต์แบบเดลต้า เพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์มีความจำเป็นในการออกแบบ และสร้างหุ่นยนต์แบบเดลต้าขึ้นมา ซึ่งในการออกแบบและสร้างหุ่นยนต์ 3 แกนแบบเดลต้า จำเป็นที่จะต้องความรู้จากการเรียนในหลายแขนงวิชา เช่น การออกแบบหุ่นยนต์โดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบ (CAD) การวิเคราะห์ความแข็งแรงของวัสดุ โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยในงานวิศวกรรม (CAE) การผลิตชิ้นงาน โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยในการผลิต (CAM) หรือแม้กระทั่งการเขียน

โปรแกรมโดยใช้ภาษา C# ควบคุมกับการประมวลผลภาพ การทำงานของปัญญาประดิษฐ์สามารถควบคุมการทำงานของหุ่นยนต์ โดยการเชื่อมต่อการสื่อสารกับหุ่นยนต์ระยะไกลเอบีปี และจะใช้การประมวลผลภาพเพื่อหาค่าตำแหน่ง ความลึก ของวัตถุในระยะไกล เพื่อให้ทั้งระบบปรับทราบเมื่อผู้ใช้งานขยับส่วนปลายของหุ่นยนต์เดลด้า เซอร์โวมอเตอร์ทั้ง 3 ตัวจะทำงานสัมพันธ์กัน โดยหุ่นยนต์เดลด้าจะส่งข้อมูลออกมาเป็นองศาของเซอร์โวมอเตอร์ ซึ่งสามารถอ่านได้จากเอ็นโค้ดเดอร์ และนำองศาไปเข้าสมการจลนศาสตร์การเคลื่อนที่ไปข้างหน้า โปรแกรมก็จะทำหน้าที่แปลงไปเป็นตำแหน่ง X, Y, Z เพื่อส่งไปยังหุ่นยนต์เอบีปี จนทำให้หุ่นยนต์เอบีปีเคลื่อนที่ตามหุ่นยนต์เดลด้าเมื่อหุ่นยนต์เอบีปีเคลื่อนที่จนไปชนวัตถุ ซึ่งชุดประมวลผลภาพจะบอกตำแหน่งให้ระบบรับรู้ตั้งแต่เริ่มทำงานครั้งแรก ก็จะทำให้เกิดแรงต้านที่ตัวหุ่นยนต์เดลด้า ซึ่งค่าแรงต้านก็จะขึ้นอยู่กับความแข็งของวัสดุที่หุ่นยนต์เอบีปีนั้นไปชนหรือกด ผลที่ได้จากการทดลอง สามารถควบคุมหุ่นยนต์ระยะไกลโดยใช้หุ่นยนต์อุตสาหกรรม ซึ่งสามารถเคลื่อนที่ได้ดี และสามารถรับรู้ความแตกต่างจากการกดวัตถุที่ต่างชนิดกันได้

2.4.3 จอมภพ, สามารถและนายพันศักดิ์ (2550) ได้ทำการวิจัยเรื่องชุดแขนกลควบคุมด้วยพีแอลซี เป็นการสร้างชุดแขนกลควบคุมด้วยพีแอลซี โดยจัดสร้างระบบทางกลและระบบการขับเคลื่อนโครงสร้างของแขนกล จะมีโครงสร้างคล้ายกับช่วงแขนและข้อต่อของมนุษย์ การขับเคลื่อนจะใช้กำลังจากสแต็ปมอเตอร์ ซึ่งอยู่ตามจุดต่างๆเปรียบเหมือนข้อต่อของแขน การควบคุมการทำงานของมอเตอร์ เช่น ทิศทางการหมุนของมอเตอร์ จะควบคุมโดยการใช้เครื่องพีแอลซี ในการควบคุมระบบตรวจสอบตำแหน่ง ใช้โฟโตเซ็นเซอร์สวิตช์เป็นตัวตรวจเช็คตำแหน่งโดยการนับจำนวนรอบของมอเตอร์ และใช้คำสั่งเป็นแบบภาษา **Ladder Diagrams** ควบคุมการทำงานของพีแอลซี การทำงานของแขนกลจะเลือกได้ 2 โหมด คือ แบบควบคุมด้วยมือ (Manual) และแบบอัตโนมัติ (Auto) โดยการกำหนดค่าตำแหน่งต่างๆในครั้งแรกให้ทำงานในครั้งแรกและจะจำคำสั่งเวลาทำงานต่อไป

2.4.4 พงษ์ดนัยและนิรันดร์วัฒน์ (2553) ได้ทำการวิจัยเรื่องการพัฒนาชุดแขนกลควบคุมด้วยพีแอลซี เป็นการพัฒนาชุดแขนกลควบคุมด้วยเครื่องควบคุมชนิดโปรแกรมได้ โครงสร้างของชุดแขนกลจะจำลองการเคลื่อนที่ของแขนมนุษย์พร้อมกับมือจับ เพื่อจับชิ้นงานระบบขับเคลื่อนจะใช้กำลังจากมอเตอร์กระแสตรงซึ่งอยู่ตามจุดต่างๆ โดยการทำงานของมอเตอร์ในการขับเคลื่อนใช้รีเลย์ควบคุมการทำงานของมอเตอร์ และใช้เครื่องควบคุมชนิดโปรแกรมได้ควบคุมรีเลย์รวมทั้งใช้พร็อกซีมิเตอร์สวิตช์ตรวจจับชิ้นงานที่เป็นโลหะ โฟโตสวิตช์ตรวจเช็คตำแหน่งของการจับและวางชิ้นงานในการทดลองชุดแขนกลสามารถจับชิ้นงานได้ทั้ง 3 ขนาดไปวางได้จุดที่กำหนดไว้ โดยมีความคลาดเคลื่อนในการวางชิ้นงาน (ทดสอบการวางชิ้นงาน 50 ครั้ง) ดังนี้ ชิ้นงานขนาดเล็กมีความคลาดเคลื่อนเท่ากับ 27.03 เปอร์เซ็นต์ ชิ้นงานขนาดกลางมีความคลาดเคลื่อนเท่ากับ 13.93 เปอร์เซ็นต์และชิ้นงานขนาดใหญ่มีความคลาดเคลื่อนเท่ากับ 9.0 เปอร์เซ็นต์

2.4.5 สุทธิชัย (2557) ได้ทำโครงงานเรื่องต้นแบบชุดฝึกการเขียนโปรแกรมพีแอลซีควบคุมการทำงานของแขนกลนิวแมติกส์ 3 แกน การทำโครงงานในครั้งนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างและประเมินความเหมาะสมของต้นแบบชุดฝึกการเขียนโปรแกรมพีแอลซี ควบคุมการทำงานของแขนกล

นิวแมติกส์ 3 แกน เพื่อนำไปใช้ประกอบการเรียนการสอน ในรายวิชาโปรแกรมเมเบิลลอจิก-คอนโทรล (21334) ของหลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรม สาขาวิศวกรรมแมคคาทรอนิกส์ ฉบับปรับปรุงปี พ.ศ. 2552 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ การดำเนินการมีขั้นตอนการดำเนินการคือวิเคราะห์คำอธิบายรายวิชา เพื่อกำหนดหัวข้อการเรียนการสอน ออกแบบกระบวนการทำงานของต้นแบบชุดฝึกการเขียนโปรแกรมพีแอลซี ควบคุมการทำงานของแขนกลนิวแมติกส์ 3 แกน เพื่อให้สอดคล้องกับเนื้อหาและคำอธิบายรายวิชาสร้างต้นแบบชุดฝึกเพื่อทดสอบกระบวนการทำงาน เขียนโปรแกรมควบคุมต้นแบบชุดฝึก เพื่อทดสอบการควบคุมโดยใช้พีแอลซี ประเมินความเหมาะสมโดยผู้เชี่ยวชาญจำนวน 6 ท่าน เพื่อหาความเหมาะสมที่จะนำไปใช้ประกอบการเรียนการสอนในรายวิชาโปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรล (21334) และวิเคราะห์ผลการประเมินความเหมาะสมของต้นแบบชุดฝึก ผลจากการประเมินพบว่าโครงงานเรื่อง ต้นแบบชุดฝึกการเขียนโปรแกรมพีแอลซีควบคุมการทำงานของแขนกลนิวแมติกส์ 3 แกนที่สร้างขึ้นมีความเหมาะสมที่จะนำไปใช้ในการเรียนการสอน ในวิชาโปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรล (21334) เท่ากับ 4.24 ซึ่งอยู่ในระดับความเหมาะสมมากที่สุดและอยู่ในเกณฑ์ที่ได้กำหนดไว้ตามวัตถุประสงค์

