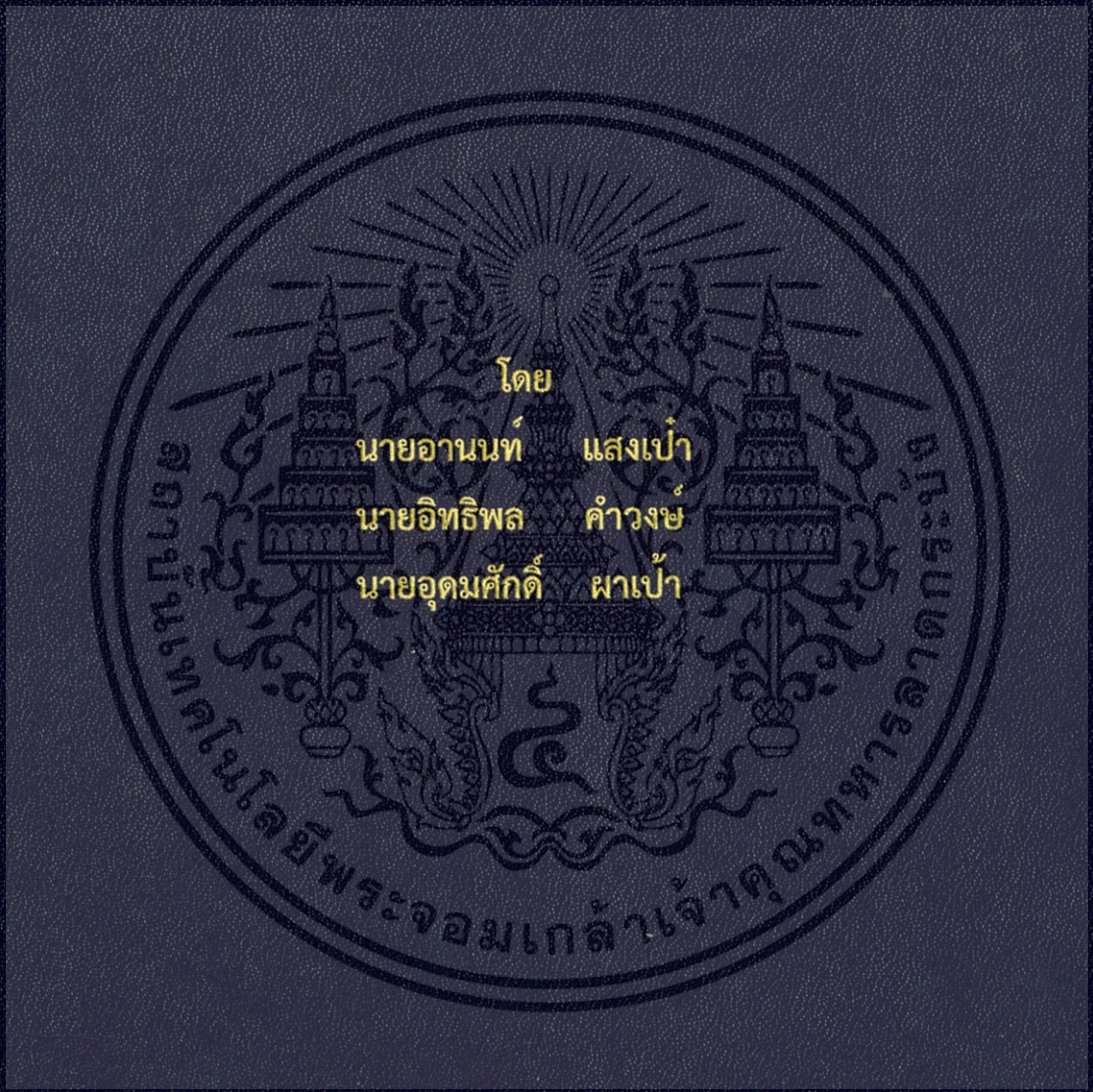
หุ่นยนต์ไต่ผนังระบบนิวแมติกส์

PNEUMATIC CLIMBING ROBOT



โดย

นายอานนท์ แสงเป่า

นายอิทธิพล คำวงษ์

นายอุดมศักดิ์ ผาเป่า

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2557

หุ่นยนต์ไต่ผนังระบบนิวแมติกส์
PNEUMATIC CLIMBING ROBOT

โดย

นายอานนท์	แสงเป๋า	54011544
นายอิทธิพล	คำวงษ์	54011559
นายอุดมศักดิ์	ผาเป้า	54011570

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ.สมภพ แก้วมีชัย

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2557

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผ่านการตรวจชิ้นงานแล้ว

(.....)

กรรมการผู้ตรวจชิ้นงาน

12/5/57

KMITL วิศวกรรมโทรคมนาคม Telecommunications Engineering

ผ่านการตรวจรูปเล่มแล้ว

(.....)

อาจารย์ที่ปรึกษา

12/5/57

KMITL วิศวกรรมโทรคมนาคม Telecommunications Engineering

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2557
ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม
คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
เรื่อง หุ่นยนต์ไต่ผนังระบบนิวแมติกส์
PNEUMATIC CLIMBING ROBOT

ผู้จัดทำ
1. นายอานนท์ แสงเป้า 54011544
2. นายอิทธิพล คำวงษ์ 54011559
3. นายอุดมศักดิ์ ผาเป้า 54011570

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผศ.สมภพ แก้วมีชัย)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีในทุกด้านก็ด้วยความช่วยเหลือจากท่านผู้ช่วยศาสตราจารย์ สมภพ แก้วมีชัย ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาในปริญญานิพนธ์นี้ ทั้งยังให้คำปรึกษา คำแนะนำและความช่วยเหลือที่ดี ที่มีประโยชน์อย่างยิ่งต่อการทำปริญญานิพนธ์นี้ให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีตลอดมา

ผู้จัดทำขอขอบคุณทุกท่านที่ได้ให้ความช่วยเหลือ คำแนะนำ รวมทั้งเพื่อนๆ พี่ๆ ที่ช่วยแก้ไขปัญหาต่างๆทำให้ปริญญานิพนธ์นี้เสร็จสมบูรณ์ ทางผู้จัดทำหวังว่าปริญญานิพนธ์นี้จะเป็นประโยชน์แก่ผู้สนใจไม่มากก็น้อย หากในการจัดทำปริญญานิพนธ์นี้มีข้อผิดพลาดประการใดผู้จัดทำต้องขออภัยมา ณ ที่นี้ด้วย

นายอานนท์ แสงเป้า
นายอิทธิพล คำวงษ์
นายอุดมศักดิ์ ผาเป้า
ผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หุ่นยนต์ไต่ผนังระบบนิวแมติกส์
PNEUMATIC CLIMBING ROBOT

โดย นายอานนท์ แสงเป้า 54011544
นายอิทธิพล คำวงษ์ 54011403
นายอุดมศักดิ์ ผาเป้า 54011440

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.สมภพ แก้วมีชัย

บทคัดย่อ

ในปัจจุบัน การทำงานกลางแจ้งบนที่สูงนั้นมีความเสี่ยงสูง อุบัติเหตุจากการทำงานในที่สูงอาจทำให้เกิดการเสียชีวิตหรือความพิการ ปริญญานิพนธ์นี้จึงเกิดแนวความคิดที่จะลดโอกาสการเกิดอุบัติเหตุโดยการประกอบ "หุ่นยนต์ไต่ผนังด้วยระบบนิวแมติกส์" ที่สามารถไต่บนความชันได้ เพื่อนำไปใช้สำหรับการทำงานที่มีความเสี่ยงสูงแทนมนุษย์ โดยการใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นหน่วยควบคุม รับสัญญาณขาเข้าจากเครื่องรับสัญญาณรีโมทควบคุม และส่งสัญญาณขาออกเพื่อควบคุมระบบนิวแมติกส์ โดยระบบนิวแมติกส์เป็นระบบการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ ประกอบด้วยกระบอกสูบและเวคคั่ม ทำงานโดยการควบคุมการไหลของลมด้วยโซลีนอยด์วาล์ว ในส่วนของซอฟท์แวร์ประกอบด้วยโปรแกรมการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ ซึ่งทำงานตามการออกแบบลำดับการเคลื่อนที่ โดยเขียนโปรแกรมด้วยภาษาซี โครงสร้างของหุ่นยนต์ไต่ผนังด้วยระบบนิวแมติกส์นั้นใช้หลักการทางฟิสิกส์ โดยการใช้แรงดันของลมที่เข้าสู่ระบบ ทำให้ส่วนต่างๆของหุ่นยนต์ทำงานและเคลื่อนที่ไปได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ABSTRACT

Nowadays, working outdoors at a height is high risk for humans. Accident from working in high place may cause death or disability. The project idea is to decrease opportunity of accident caused by building "Pneumatics Climbing Robot" that can climb along the steep of angle, to apply for use in high risk working instead of human. By using a microcontroller as a control unit, we receive input from the remote controller receiver and send output to control pneumatics system. The pneumatics system is a movement system, include of cylinder and vacuum, working by air flow control from a solenoid valve. The software includes a robot movement system, working by movement step design and programming with C language. The structure of the Pneumatic Climbing Robot applies the principle of physics, by using air pressure into the system, so that each part of the robot can work and move.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

		หน้า
กิตติกรรมประกาศ		I
บทคัดย่อ		II
สารบัญ		IV
สารบัญ (ต่อ)		V
สารบัญรูป		VII
สารบัญรูป (ต่อ)		VIII
สารบัญตาราง		XI
บทที่ 1	**บทนำ**	**1**
	1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
	1.2 วัตถุประสงค์	1
	1.3 ขอบเขตของโครงงาน	2
	1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2	**ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง**	**3**
	2.1 นิวแมติกส์ PNEUMATIC	3
	2.1.1 หน่วยทางฟิสิกส์ที่ใช้ในนิวแมติกส์	3
	2.1.2 กฎของปาสคาล (กฎส่งผ่านความดัน)	4
	2.1.3 กฎของบอยล์	5
	2.1.4 การนำนิวแมติกส์มาประยุกต์ในอุตสาหกรรม	5
	2.1.5 เครื่องอัดอากาศ	6
	2.2 ระบบนิวแมติกส์พื้นฐาน	8
	2.3 ชุดปรับปรุงคุณภาพลมอัด หรือ ชุดบริการลมอัด (AIR SERVICE)	9
	2.3.1 ชุดกรองลมอัด (AIR FILTER)	10
	2.3.2 ชุดควบคุมความดัน (AIR REGULATOR)	11
	2.3.3 เกจวัดความดันลมอัด (PRESSURE GAUGE)	12
	2.4 ระบบอากาศอัด หรือระบบนิวแมติกส์ (COMPRESSED AIR SYSTEM)	12
	2.5 กระบอกสูบสองทาง DOUBLE-ACTING CYLINDER	13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

		หน้า
	2.6 อุปกรณ์จับยึดด้วยระบบสุญญากาศ VACUUM GENERATOR & SUCTION CUP	15
	2.7 วาล์วควบคุมทิศทาง	16
	2.7.1 ความหมายของสัญลักษณ์ตำแหน่งทำงาน (POSITION)	16
	2.7.2 ความหมายของสัญลักษณ์ของช่องต่อท่อลม (PORT)	17
	2.7.3 สัญลักษณ์เส้นทางการไหลผ่าน	17
	2.7.4 สัญลักษณ์ท่อลม	19
	2.8 บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์รุ่น ET-BASE51 AC3 (AT89C51AC3)	20
	2.8.1 คุณสมบัติของบอร์ด	20
	2.8.2 โครงสร้างบอร์ด ET-BASE51 AC3 (AT89C51AC3)	21
	2.9 กล้องส่งภาพแบบไร้สาย	22
	2.10 วิทยุบังคับ	23
	2.10.1 หลักการทำงานของเครื่องส่งวิทยุบังคับ	24
	2.10.2 หลักการทำงานของเครื่องรับ	27
	2.11 วงจรรักษาระดับแรงดัน (VOLTAGE REGULATOR CIRCUIT)	30
	2.11.1 วงจรเรกกูเลเตอร์โดยใช้ไอซี 3 ขาแบบแรงดันเอาต์พุตคงที่	30
	2.11.2 วงจรเรกกูเลเตอร์พื้นฐานโดยใช้ไอซีตระกูล MC78XX และ MC79XX	31
	2.12 ULN2803	31
บทที่ 3	**การออกแบบและการจัดทำปริญญานิพนธ์**	**34**
	3.1 บล็อกไดอะแกรมการทำงานของหุ่นยนต์	34
	3.2 FLOWCHART การทำงานของโปรแกรมที่ใช้ควบคุมการทำงาน	35
	3.3 การจัดทำโครงงานและการออกแบบ	36
	3.3.1 รูปแบบการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ที่ได้จากการออกแบบ	36
	3.3.2 หลักการทำงานของอุปกรณ์และการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์	36
	3.3.3 การเชื่อมต่อและหลักการทำงานของ Solenoid Valve กับ Double-Acting	39
	3.3.4 การเชื่อมต่อ Solenoid Valve และอุปกรณ์ Vacuum	41
	3.3.5 วงจร Regulator แบบแรงดันเอาต์พุตคงที่	42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

		หน้า
	3.3.6 วงจรขับ Relay	43
	3.3.7 รีโมตบังคับวิทยุ	44
	3.3.8 กล้องตรวจจับภาพแบบไร้สาย	44
	3.4 วิธีการทดลองการทำงาน	45
บทที่ 4	**ผลการทดลอง**	**48**
	4.1 แสดงผลการทำงาน	48
	4.1.1 การเริ่มต้นการทำงาน	48
	4.1.2 การทำงาน : การไต่ขึ้น	48
	4.1.3 การทำงาน : การไต่ลง	50
	4.2. การส่งและรับสัญญานภาพ	51
	4.2.1 การติดตั้ง	51
	4.3 สัญญาณควบคุมจากเครื่องวิทยุบังคับ	53
	4.4 วงจรรักษาระดับแรงดัน REGULATOR	55
	4.5 การควบคุมวาล์วของระบบนิวแมติกส์	57
	4.6 การเบิร์นโปรแกรมเพื่อใช้งานควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์	58
บทที่ 5	**สรุปผลและข้อเสนอแนะ**	**62**
	5.1 สรุปผล	62
	5.2 ข้อเสนอแนะ	62
บรรณานุกรม		**64**
ภาคผนวก ก	โปรแกรมภาษา C	65
ภาคผนวก ข	คู่มือการใช้งานบอร์ด	70
ภาคผนวก ค	AIR CYLINDER	93
ภาคผนวก ง	SOLENOID VALVE	97
ภาคผนวก จ	VACUUM EJECTOR, VACUUM PAD, PRESSURE GAUGE AND POLYURETHANE TUBE	108

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	แผนภูมิความดัน (DIN 1343 PN = 1.01325 BAR)	3
2.2	กฎของปาสคาล	4
2.3	กฎของบอยล์	5
2.4	เครื่องอัดอากาศแบบลูกสูบอัด	7
2.5	เครื่องอัดอากาศแบบกังหัน	7
2.6	เครื่องอัดอากาศแบบเคลื่อนย้ายได้	8
2.7	องค์ประกอบพื้นฐานในระบบนิวแมติกส์ทั่วไป	8
2.8	สัญลักษณ์ของระบบนิวแมติกส์จากรูปที่ 2.11	9
2.9	องค์ประกอบของชุดกรองลมอัด	11
2.10	ส่วนประกอบของชุดควบคุมความดัน	11
2.11	ส่วนประกอบของเกจวัดความดัน	12
2.12	องค์ประกอบในระบบอากาศอัดพื้นฐาน (ระบบนิวแมติกส์)	13
2.13	องค์ประกอบภายในของกระบอกสูบสองทาง	14
2.14	หลักการทำงานภายในของกระบอกสูบสองทางเมื่อจ่ายลมอัดภายใน	14
2.15	โครงสร้างภายในของกระบอกสูบชนิดทำงานสองทิศทาง	14
2.16	หลักการในการสร้างแรงดูดด้วย VACUUM GENERATOR	15
2.17	ตัวอย่างกรวยจับชิ้นงานชนิดต่าง ๆ	16
2.18	ตัวอย่างการดูดจับชิ้นงานที่มีพื้นผิวเรียบด้วยถ้วยยางรูปแบบต่าง ๆ	16
2.19	SOLENOID VALVE	19
2.20	ท่อลมชนิดต่าง ๆ	20
2.21	โครงสร้างบอร์ด ET-BASE51 AC3 (AT89C51AC3)	21
2.22	กล้องส่งภาพแบบไร้สาย	23
2.23	ผังการทำงานของเครื่องส่ง	24
2.24	ลักษณะของพัลซ์	25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
2.25	การรวมพัลซ์แต่ละชุดเข้าด้วยกัน	26
2.26	การผสมคลื่น	27
2.27	ผังการทำงานของชุดเครื่องรับ	28
2.28	ผังของภาคขยายสัญญาณความถี่วิทยุ	28
2.29	การถอดรหัสสัญญาณ	30
2.30	วงจรแหล่งจ่ายไฟโดยใช้ MC78XX	31
2.31	ตำแหน่งขา ของ ULN2803A	32
2.32	วงจรขับรีเลย์ด้วยไมโครคอนโทรเลอร์	33
3.1	บล็อกไดอะแกรมการเชื่อมต่ออุปกรณ์	34
3.2	โฟลว์ชาร์ตหุ่นยนต์ใต่ผนังด้วยระบบนิวแมติกส์	35
3.3	รูปแบบการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์	36
3.4	หลักการทำงานของอุปกรณ์และการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ใน STEP 1 และ STEP 2	37
3.5	หลักการทำงานของอุปกรณ์และการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ใน STEP 3 และ STEP 4	38
3.6	หลักการทำงานของอุปกรณ์และการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ใน STEP 5 และ STEP 6	39
3.7	การเชื่อมต่อและหลักการทำงานของกระบอกสูบและ SOLENOID VALVE ในขณะที่กระบอกสูบดัน	40
3.8	การเชื่อมต่อและหลักการทำงานของกระบอกสูบและ SOLENOID VALVE ในขณะที่กระบอกสูบดึง	40
3.9	VACUUM EJECTER เชื่อมต่อกับ SOLENOID VALVE แบบทิศทางเดียว	41
3.10	ชุดควบคุม VACUUM	41
3.11	วงจร REGULATOR แบบแรงดันเอาต์พุตคงที่ 5V และ 8V	42
3.12	วงจรขับรีเลย์โดยใช้ ULN2803	43

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
3.13	การเชื่อมต่อรีเลย์กับ SOLENOID VALVE	43
3.14	ตัวรับสัญญาณรีโมต	44
3.15	ตัวส่งสัญญาณรีโมต	44
3.16	การเชื่อมต่อการใช้งานกล้องตรวจจับภาพแบบไร้สาย	45
3.17	การเชื่อมต่อที่ใช้ในการทดลองการเคลื่อนที่	45
3.18	วงจรควบคุม SOLENOID VALVE	46
4.1	หุ่นยนต์เริ่มต้นการทำงานโดยทำการเกาะติดกับกระจก	48
4.2	ลักษะการเคลื่อนที่ขึ้นในแนวดิ่งของหุ่นยนต์ ในขณะที่ MAIN CYLINDER FORWARD	49
4.3	ลักษณะการเคลื่อนที่ขึ้นในแนวดิ่งของหุ่นยนต์ในขณะที่ MAIN CYLINDER REWARD	49
4.4	ลักษะการเคลื่อนที่ลงในแนวดิ่งของหุ่นยนต์ในขณะที่ MAIN CYLINDER REWARD	50
4.5	ลักษะการเคลื่อนที่ขึ้นในแนวดิ่งของหุ่นยนต์ในขณะที่ MAIN CYLINDER FORWARD	50
4.6	ลักษะการเคลื่อนที่ขึ้นในแนวดิ่งของหุ่นยนต์ในขณะที่ MAIN CYLINDER FORWARD	51
4.7	ภาพจากการเชื่อมต่อกล้องไร้สายกับ RADIO AV RECEIVER	52
4.8	สเปกตรัมของกล้องไร้สายกับ RADIO AV RECEIVER ในขณะที่ยังไม่เปิดใช้งานกล้อง	52
4.9	สเปกตรัมของกล้องไร้สายกับ RADIO AV RECEIVER ในขณะที่เปิดใช้งานกล้อง	53
4.10	สเปกตรัมของเครื่องส่งสัญญาณที่ทำการทดสอยด้วยการกดปุ่มทีละ 1 ปุ่ม มีความถี่เท่ากัน	53
4.11	สัญญาณเมื่อกดสวิตช์ที่ 1	54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.12	สัญญาณเมื่อกดสวิตช์ที่ 2	54
4.13	สัญญาณเมื่อกดสวิตช์ที่ 3	55
4.14	วงจรรักษาระดับแรงดัน REGULATOR 5V และ 8V	55
4.15	สัญญาณ GROUND วงจรรักษาระดับแรงดัน REGULATOR	56
4.16	สัญญาณวงจรรักษาระดับแรงดัน REGULATOR 5V	56
4.17	สัญญาณวงจรรักษาระดับแรงดัน REGULATOR 8V	57
4.18	วงจรขับรีเลย์โดยใช้ไอซี ULN2803 ควบคุมวาล์วของระบบนิวแมติกส์	57
4.19	การทำงานของรีเลย์เมื่อได้รับสัญญาณลอจิก 0 และลอจิก 1	58
4.20	การ RUN โปรแกรม FLIP V2.4.4	58
4.21	การเลือกกำหนดเบอร์ CPU ของ ET-BASE51 AC3 (AT89C51AC3)	59
4.22	การ กำหนด COMPORT ให้ตรงกับที่ต่อสาย	59
4.23	การเชื่อมต่อกับ MCU ใน MONITOR MODE	59
4.24	การสั่งเปิด HEX FILE ที่ต้องการจะ DOWNLOAD ให้กับ MCU	60
4.25	การ RUN	60
4.26	ตรวจสอบค่า DEVICE BSB และ SBV ว่ามีค่าเป็น 00	61

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	การเปรียบเทียบค่าความดันในหน่วยต่างๆ	4
2.2	รายละเอียดโครงสร้างของกระบอกสูบชนิดทำงานสองทิศทาง	15
2.3	สัญลักษณ์ของจำนวนตำแหน่งทำงานของวาล์ว	17
2.4	ความหมายของสัญลักษณ์ช่องต่อท่อลม	17
2.5	สัญลักษณ์เส้นทางการไหลผ่านภายในวาล์วที่แสดงด้วยลูกศรและช่องปิด	18
2.6	จำนวนช่องต่อท่อลม (PORTS) ต่อหนึ่งวาล์วและประเภทการใช้งาน	18
2.7	สัญลักษณ์เส้นท่อลมชนิดต่าง ๆ	19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

หุ่นยนต์ หรือ โรบอต (Robot) คือเครื่องจักรกลชนิดหนึ่ง มีลักษณะโครงสร้างและรูปร่างแตกต่างกัน หุ่นยนต์ในแต่ละประเภทจะมีหน้าที่การทำงานในด้านต่าง ๆ ตามการควบคุมโดยตรงของมนุษย์ การควบคุมระบบต่าง ๆ และในการสั่งงานระหว่างหุ่นยนต์และมนุษย์ สามารถทำได้โดยทางตรงและอัตโนมัติ ปัจจุบันเทคโนโลยีของหุ่นยนต์เจริญก้าวหน้าอย่างรวดเร็ว เริ่มเข้ามามีบทบาทกับชีวิตของมนุษย์ในด้านต่าง ๆ หุ่นยนต์มักถูกนำไปใช้ ในงานอุตสาหกรรมเป็นส่วนใหญ่ และมีการนำหุ่นยนต์มาใช้งานมากขึ้น เช่น หุ่นยนต์ที่ใช้ในทางการแพทย์ หุ่นยนต์สำหรับงานสำรวจ หรือแม้แต่หุ่นยนต์ที่ถูกสร้างขึ้นเพื่อเป็นเครื่องเล่นของมนุษย์ จนกระทั่งในปัจจุบันนี้ได้มีการพัฒนาให้หุ่นยนต์นั้นมีลักษณะที่คล้ายมนุษย์ เพื่อให้อาศัยอยู่ร่วมกันกับมนุษย์ ให้ได้ในชีวิตประจำวัน

หุ่นยนต์ถูกแบ่งออกเป็น 2 ประเภทตามลักษณะการใช้งาน คือ

1. หุ่นยนต์ชนิดที่ติดตั้งอยู่กับที่ (Fixed Robot) เป็นหุ่นยนต์ที่ไม่สามารถเคลื่อนที่ไปไหนได้ด้วยตัวเอง มีลักษณะเป็นแขนกล สามารถขยับและเคลื่อนไหวได้เฉพาะแต่ละข้อต่อ ภายในตัวเองเท่านั้น มักนำไปใช้ในโรงงานอุตสาหกรรม เช่นโรงงานประกอบรถยนต์
2. หุ่นยนต์ชนิดที่เคลื่อนที่ได้ (Mobile Robot) หุ่นยนต์ประเภทนี้จะแตกต่างจากหุ่นยนต์ที่ติดตั้งอยู่กับที่ เพราะสามารเคลื่อนที่ไปไหนมาไหนได้ด้วยตัวเอง โดยการใช้ล้อหรือการใช้ขา ซึ่งหุ่นยนต์ประเภทนี้ปัจจุบันยังเป็นงานวิจัยที่ทำการศึกษาอยู่ภายในห้องทดลอง เพื่อพัฒนาออกมาใช้งานในรูปแบบต่าง ๆ

การทำงานในหลากหลายอาชีพในชีวิตประจำวัน มีหลายประเภทที่มีความเสี่ยงสูง มนุษย์จึงสร้างหุ่นยนต์ขึ้นมาเพื่อลดความเสี่ยงในการทำงาน หุ่นยนต์ในแต่ละประเภทจะมีหน้าที่การทำงานในด้านต่างๆ ตามการควบคุมโดยตรงของมนุษย์ หุ่นยนต์บางประเภทถูกสร้างขึ้นเพื่อใช้สำหรับงานที่มีความเสี่ยงสูงและความยากลำบาก เช่น งานสำรวจในพื้นที่แคบ สำรวจในพื้นที่ที่มีความสูงชัน หรืองานบางประเภทที่เกินขีดความสามารถของมนุษย์ หุ่นยนต์จึงถูกออกแบบเพื่อให้ทำงานแทนมนุษย์

ผู้จัดทำจึงมีความคิดที่จะสร้างหุ่นยนต์ไต่ผนังที่สามารถไต่ได้ในระดับความชันสูงสุดคือมุม 90 องศา เพื่อจะได้นำหุ่นยนต์ดังกล่าวมาดัดแปลงและประยุกต์ใช้ในสภาพงานที่มีความเสี่ยงสูงได้

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

1. เพื่อศึกษาการสร้างหุ่นยนต์และการควบคุมหุ่นยนต์ด้วยอุปกรณ์ควบคุมระยะไกลหรือรีโมตคอนโทรล (Remote Control)
2. เพื่อศึกษาการเขียนโปรแกรมคำสั่งในการใช้งานอุปกรณ์บนไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อควบคุมการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์
3. เพื่อศึกษาการทำงานและการใช้งานอุปกรณ์ในระบบนิวแมติกส์ (Pneumatic) และเซนเซอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น

1.3 ขอบเขตของโครงงาน

1. สร้างหุ่นยนต์ที่ไต่ผนังและกระจกด้วยระบบนิวแมติกส์ โดยสามารถเคลื่อนที่ขึ้นหรือลงในแนวดิ่งได้
2. ระบบการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ใช้ระบบนิวแมติกส์ โดยการใช้แรงดันและดูดของลม
3. เขียนโปรแกรมควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อควบคุมการทำงานของหุ่นยนต์
4. มีเซนเซอร์วัดแรงดันอากาศภายในระบบนิวแมติกส์เพื่อใช้ในการตรวจสอบว่ามีแรงดันอากาศเพียงพอต่อการทำงานของระบบ
5. มีอุปกรณ์รีโมตคอนโทรลควบคุมระยะไกลเป็นตัวเชื่อมโยงการทำงานของหุ่นยนต์

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ความรู้จากการศึกษาการควบคุมระบบนิวแมติกส์
2. ความรู้จากการศึกษาการเขียนโปรแกรมภาษา C เพื่อใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์
3. เพื่อเป็นแนวทางในการประยุกต์และพัฒนาหุ่นยนต์สำหรับไต่กระจกและสำหรับงานอื่นๆ
4. สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานจริงได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

2.1 นิวแมติกส์ Pneumatic

นิวแมติกส์ หมายถึง การนำลมอัดไปใช้กับเครื่องจักรกลในงานอุตสาหกรรม โดยเฉพาะการนำมาใช้ขับเคลื่อนและควบคุมอุปกรณ์ หรือเครื่องจักรกลต่าง ๆ ที่ใช้ลมเป็นต้นกำเนิดกำลังในการทำงาน

2.1.1 หน่วยทางฟิสิกส์ที่ใช้ในนิวแมติกส์

หน่วยวัดในระบบ System International d' Unites (SI) ประกอบด้วยหน่วยวัดพื้นฐานคือ

หน่วยแรง (Force)

แรง (F) = มวล(m) X อัตราเร่ง(a) หน่วยวัด นิวตัน (N = kgm/s^2)

ถ้ามวล 1 kg นำมาแทนแรงบนโลก = 1 kgf (กิโลกรัมแรง) = 9.81 N (kgm/s^2)

หน่วยความดัน(pressure)

ความดัน (p) = แรง (F) / พื้นที่ (A) หน่วยวัด ปาสคาล (Pa)

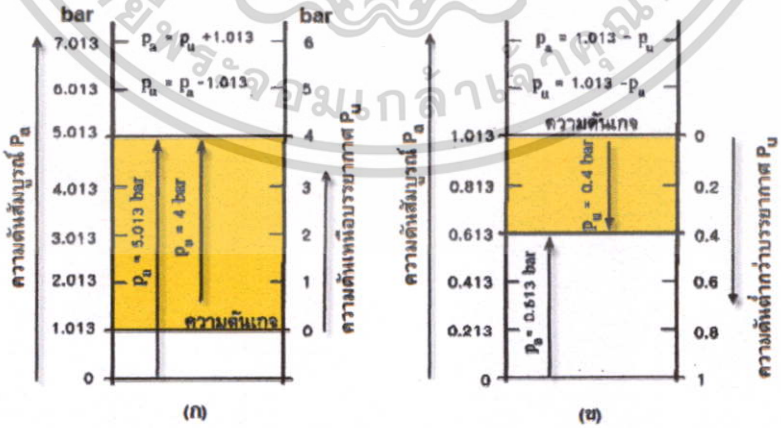
$$Pa = \frac{N}{m^2} = \frac{kg-m}{S^2 \times m^2} \qquad (2.1)$$

Psi = pound per square inch (หน่วยวัดความดันของอังกฤษ)

1 psi = 7000 Pa = 0.06895 bar

Bar = หน่วยวัดความดันของ (SI)

1 bar = 10^5 Pa = 14.5 psi = 1.01972 kgf/cm^2



รูปที่ 2.1 แผนภูมิความดัน (DIN 1343 P_n = 1.01325 bar) [6]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.1 - ความดันสัมบูรณ์ (absolute pressure, P_{abs}) มีค่า 10^{-10} Pa

- ความดันบรรยากาศ (P_n) มีค่า 1.01325 bar

หน่วยงาน (work)

งาน = แรง x ระยะทาง ตัวอย่างเช่น แรงบิด

หน่วยจูล (joule) 1 j = 1 N-m = 0.102 kgf-m

หน่วยพลังงาน (Power)

หน่วย Watt 1 W = 1 N-m/S = 0.001359 mhp (metric horse power)

1 mhp = 735.49875 W

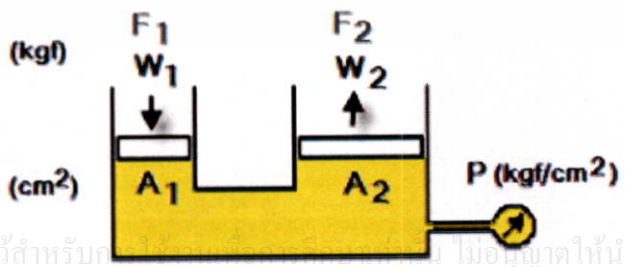
ตารางที่ 2.1 ตารางการเปรียบเทียบค่าความดันในหน่วยต่างๆ

Pa	Bar	Kgf/cm^2	Atm	$Mm:H_2O$	Mm:Hg
1	$1x10^{-5}$	$1.01972x10^{-5}$	$9.86923x10^{-6}$	$1.01972x10^{1}$	$7.50062x10^{-3}$
$1x10^{5}$	1	1.01972	$9.86923x10^{-1}$	$1.01972x10^{-4}$	$7.50062x10^{2}$
$9.80665x10^{4}$	$9.80665x10^{-4}$	1	$9.67841x10^{1}$	$1.0000x10^{4}$	$7.35559x10^{2}$
$1.01325x10^{5}$	1.01325	1.03323	1	$1.03323x10^{4}$	$7.60000x10^{2}$
9.80665	$9.80665x10^{-5}$	$1x10^{4}$	$9.67841x10^{-5}$	1	$7.35559x10^{-2}$
$1.33222x10^{2}$	$1.33222x10^{5}$	$1.35951x10^{3}$	$1.31579x10^{3}$	$1.35951x10$	1

2.1.2 กฎของปาสคาล (กฎส่งผ่านความดัน)

B. Pascal(ชาวฝรั่งเศส ระหว่างปี ค.ศ. 1623-1662) ได้ทำการทดลองพิสูจน์กฎปาสคาลซึ่งเกี่ยวกับการส่งผ่านความดันสถิต หรือความดันที่ไม่เคลื่อนที่ (Static Pressure) กฎนี้กล่าวว่า "ความดันที่กระทำต่อส่วนหนึ่งส่วนใดของของไหลที่อยู่นิ่งในภาชนะปิด จะกระทำต่อทุกส่วนของภาชนะในแนวตั้งฉาก"

$$\frac{W_1}{A_1} = \frac{W_2}{A_2} = P \ (kgf/cm^2) \qquad (2.2)$$



รูปที่ 2.2 กฎของปาสคาล [6]

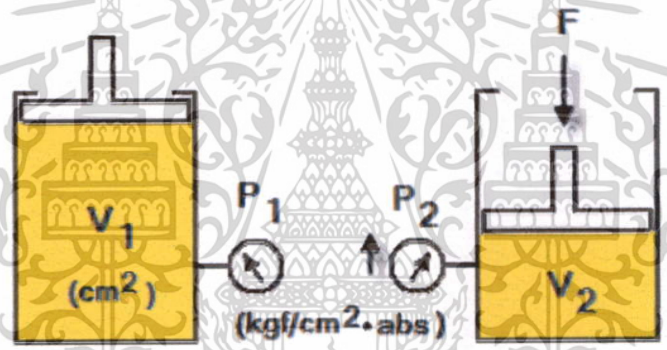
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.2 ในกรณีที่ลูกสูบมีพื้นที่หน้าตัด A1 (cm^2) และ A2 (cm^2) ถ้ามีแรง F1 หรือน้ำหนัก W1 (kgf) กระทำบนลูกสูบ A1 แล้วจะเกิดแรงถ่ายเท W2 (kgf) หรือ F2 ขึ้นที่ลูกสูบซึ่งมีพื้นที่หน้าตัด A2 ดังแสดงในรูปที่ 2.2

2.1.3 กฎของบอยล์

R. Boyle (ชาวอังกฤษ ระหว่างปี ค.ศ. 1627-1691) เป็นผู้คิดค้นกฎของบอยล์โดยกล่าวว่า "ถ้ากดลูกสูบในกระบอกซึ่งมีก๊าซบรรจุอยู่ภายใน ปริมาตรก๊าซจะลดลงในขณะที่ความดันก๊าซเพิ่มขึ้น " กล่าวอีกนัยหนึ่งว่า " ณ อุณหภูมิคงที่ ปริมาณก๊าซจะเปลี่ยนแปลงเป็นอัตราส่วนผกผันกับความดันก๊าซนั้นดังแสดงในรูปที่ 2.3

$$P_1V_1 = P_2V_2 \tag{2.3}$$



รูปที่ 2.3 กฎของบอยล์ [6]

2.1.4 การนำนิวแมติกส์มาประยุกต์ในอุตสาหกรรม

ในปัจจุบันระบบนิวแมติกส์ได้แพร่หลายในอุตสาหกรรมอย่างมากเนื่องจากระบบที่ใช้อุปกรณ์ นิวแมติกส์นั้นง่ายต่อการใช้งานและซ่อมบำรุงรวมทั้งมีราคาไม่แพงและยังนิยมนำมาใช้ในเครื่องจักร อัตโนมัติและเครื่องจักรกลทันสมัยมากมายแสดงตัวอย่างการใช้งานนิวแมติกส์ในอุตสาหกรรมดังนี้

1) อุตสาหกรรมการผลิต (Industrial Pneumatics for Production)
2) เครื่องมือวัด (Pneumatics for Instrumentation)
3) งานก่อสร้าง (Pneumatics for Building Construction)
4) งานขนถ่ายอุตสาหกรรม (Pneumatics for Material Handing)
5) สาขาอื่นเช่นอุปกรณ์ภายในรถยนต์และรถไฟงานแพทย์ของเล่นกีฬาเป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.4.1 ข้อดีของลมอัด

1) ทนต่อการระเบิดลมอัดไม่มีอันตรายจากการระเบิดหรือติดไฟอุปกรณ์ราคาไม่แพง
2) รวดเร็วลูกสูบมีความเร็วในการทำงาน 1 ถึง 2 m/s ถ้าเป็นลูกสูบแบบพิเศษสามารถให้ความเร็วในการทำงานได้ถึง 10 m/s
3) การส่งถ่ายง่ายสามารถเดินท่อลมอัดในระยะทางไกลได้และลมอัดที่ใช้แล้วไม่ต้องนำกลับสามารถปล่อยทิ้งออกสู่บรรยากาศได้เลย (เป็นระบบเปิด)
4) การเตรียมและเก็บรักษาได้ง่ายสามารถอัดเก็บไว้ในถังลมเพื่อนำไปใช้งานได้ต่อเนื่อง
5) ความปลอดภัยอุปกรณ์ที่ใช้กับระบบลมอัดจะไม่เกิดการเสียหายจากงานที่เกินกำลัง
6) ควบคุมอัตราความเร็วได้ง่ายโดยใช้วาล์วควบคุมอัตราการไหลของลมอัด
7) การควบคุมความดันความดันของลมอัดที่ต้องการสามารถควบคุมได้ง่ายโดยใช้วาล์วควบคุมความดัน
8) สะอาดลมอัดมีความสะอาดทำให้อุปกรณ์เครื่องใช้สะอาด
9) โครงสร้างง่ายต่อการใช้งานและดูแล

2.1.4.2 ข้อเสียของลมอัด

1) ลมอัดสามารถอัดตัวได้ทำให้การเคลื่อนที่ของอุปกรณ์ไม่สม่ำเสมอ
2) ลมอัดมีความชื้นเมื่อเย็นตัวจะเกิดการกลั่นตัวของหยดน้ำในถังเก็บลมและท่อ
3) ลมอัดต้องการเนื้อที่มากเมื่อต้องการใช้แรงมากต้องใช้กระบอกสูบที่ขนาดใหญ่
4) ลมอัดมีเสียงดังเมื่อมีการระบายลมออกจากอุปกรณ์ทำงานจำเป็นต้องใช้ตัวเก็บเสียง (Silencer)
5) ความดันของลมอัดเปลี่ยนแปลงได้โดยความดันของลมอัดจะเพิ่มขึ้นและลดลงเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลง

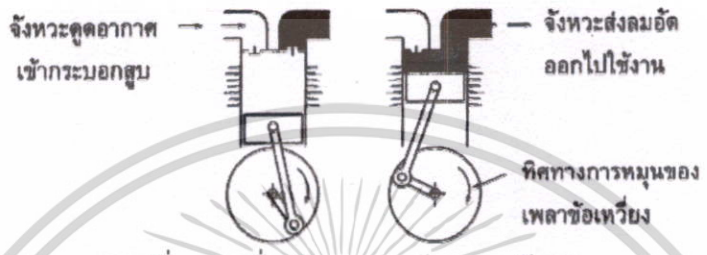
2.1.5 เครื่องอัดอากาศ

เครื่องอัดอากาศ (Compressor) มีหน้าที่อัดอากาศจากความดันปกติหรือความดันบรรยากาศให้มีความดันสูงขึ้นตามความต้องการการเลือกใช้เครื่องอัดอากาศชนิดต่างๆจะขึ้นอยู่กับลักษณะการใช้งานโดยพิจารณาจากความดันใช้งานและปริมาณการจ่ายลมอัดสำหรับอุปกรณ์ทั้งระบบเครื่องอัดอากาศสามารถแบ่งเป็น 2 กลุ่มคือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.5.1 เครื่องอัดอากาศแบบลูกสูบ

ทำงานโดยการอัดอากาศที่บรรจุในกระบอกสูบให้มีปริมาตรน้อยลงทำให้ความดันเพิ่มขึ้นก่อนส่งไปเก็บภายในถังบรรจุความดันซึ่งสามารถผลิตความดันใช้ได้ตั้งแต่ความดันต่ำถึงความดันสูงและเป็นที่นิยมใช้กันในงานอุตสาหกรรมทั่วไปแสดงลักษณะการทำงานดังรูปที่ 2.4



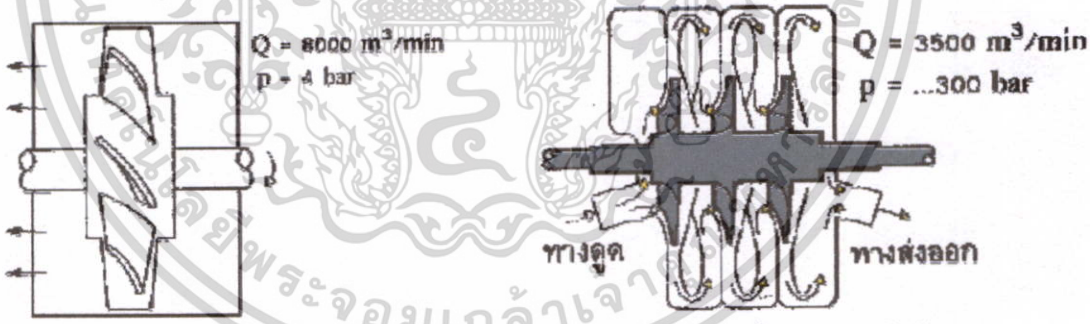
รูปที่ 2.4 เครื่องอัดอากาศแบบลูกสูบอัด [6]

2.1.5.2 เครื่องอัดอากาศแบบกังหัน

เครื่องอัดอากาศแบบกังหันใช้หลักการอัดอากาศด้วยกังหันใบพัดนิยมใช้กับงานที่ต้องการอัดอากาศที่มีปริมาณมากๆความเร็วของลมที่ถูกดูดไหลผ่านใบพัดเปลี่ยนจากพลังงานจลน์เป็นพลังงานลมอัดแบ่งออกได้ตามลักษณะการสร้างดังนี้

แบบลมไหลตามแกนเพลา (Axial – Flow Compressor) ดังรูปที่ 2.5 (ก)

แบบลมไหลวนรอบกังหัน (Radial – Flow Compressor) ดังรูปที่ 2.5 (ข)

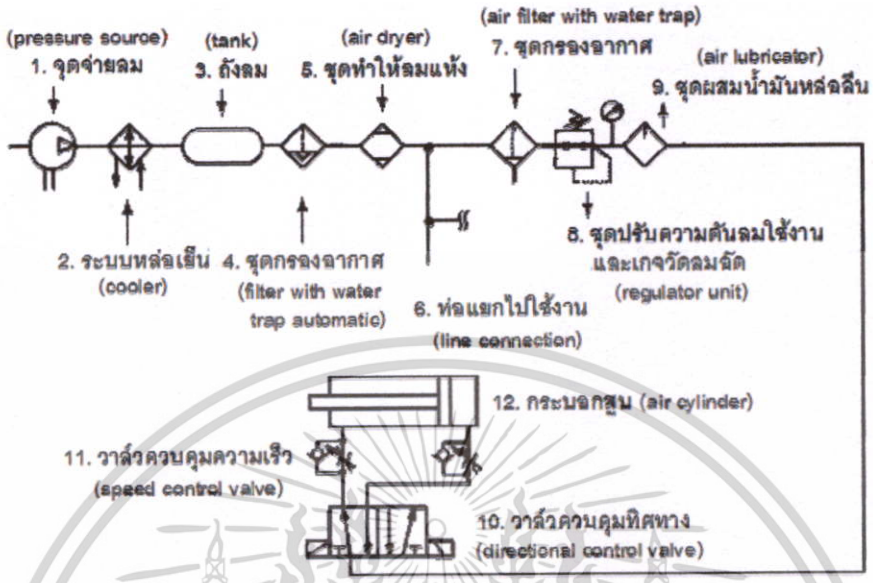


(ก) แบบลมไหลตามแกนเพลา (ข) แบบลมไหลวนรอบกังหัน

รูปที่ 2.5 เครื่องอัดอากาศแบบกังหัน [6]

ในการเลือกเครื่องอัดอากาศและถังเก็บลมสำหรับใช้งานนั้นขึ้นอยู่กับปริมาณของลมอัดที่ต้องการและขึ้นอยู่กับชนิดของการติดตั้ง อาทิเช่น ลักษณะแบบเคลื่อนย้ายได้ดังแสดงในรูปที่ 2.6 ความดันใช้งานปกติ(Working Pressure) สำหรับงานทั่วมีค่าประมาณ 6 bar

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.8 สัญลักษณ์ของระบบนิวแมติกส์จากรูปที่ 2.8 [6]

1) จุดจ่ายลมหมายถึงต้นกำหนดลมหรือเครื่องอัดอากาศในการใช้งานต้องคำนึงถึงปริมาณลมอัดที่ต้องการใช้ที่พอเพียงต่อการใช้งานอย่างเหมาะสม

2) ระบบหล่อเย็นหรือเครื่องระบายความร้อนมักจะติดตั้งอยู่ถัดจากเครื่องอากาศเพื่อทำให้ลมอัดมีอุณหภูมิลดลงและจำกัดไอน้ำที่มีอุณหภูมิสูงในลมอัดถ้าไอน้ำเหล่านี้กลั่นตัวเป็นหยดน้ำในอุปกรณ์นิวแมติกส์จะเกิดการกัดกร่อนหรือความเสียหายได้เครื่องระบายความร้อนแบ่งได้เป็นแบบใช้น้ำหล่อเย็นและแบบใช้ลมเป่าระบายความร้อนโดยอากาศที่ผ่านระบบหล่อเย็นแล้วควรอยู่ที่ 40 องศาเซลเซียส

3) ถังลมควรมีขนาดใหม่เพียงพอจากลมอัดให้กับอุปกรณ์ทุกตัวเพื่อป้องกันการที่เครื่องอัดอากาศทำงานหนักมากเกินไป

4) ชุดกรองอากาศหรือเครื่องกรองอากาศในท่อหลัก (Main Line Air Filter) จะทำหน้าที่กำจัดฝุ่นละอองน้ำและคราบน้ำมันที่ปะปนมากับลมอัดที่อยู่ในท่อส่งหลักก่อนที่จะส่งลมอัดนี้ไปใช้งานหรือผ่านการกรองอีกครั้งหนึ่ง

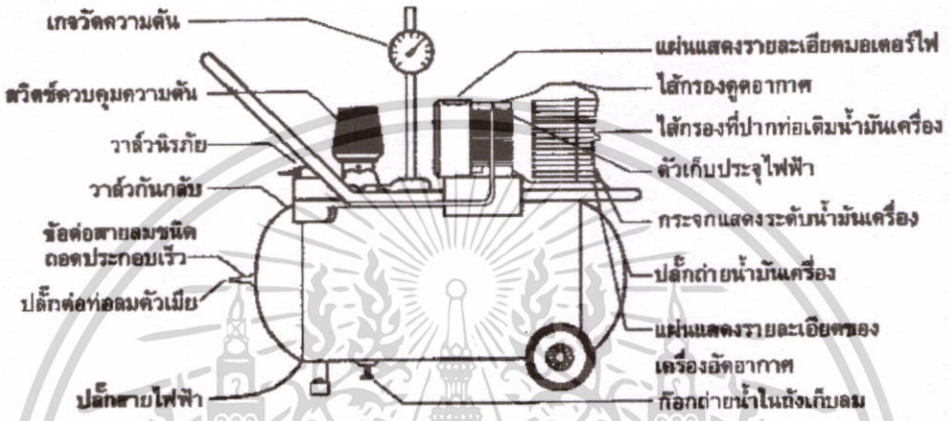
5) ชุดทำให้อากาศแห้งมีหน้าที่ในการทำให้ไอน้ำในลมอัดกลั่นตัวเป็นหยดน้ำโดยการลดอุณหภูมิของไอน้ำลงจนถึงอุณหภูมิห้องไอน้ำเกิดการกลั่นตัวเป็นหยดและไหลออกทางช่องระบายทิ้ง

6) ท่อแยกไปใช้งานเป็นท่อที่ต่อแยกจากท่อส่งหลักไปใช้งานในตำแหน่งที่ต้องการ

7) ชุดกรองอากาศจะทำการกำจัดฝุ่นละอองสนิมภายในท่อหรือสิ่งสกปรกอื่นๆที่ติดมากับลมอัดเพื่อป้องกันความเสียต่ออุปกรณ์และยังช่วยในการกรองน้ำออกจากลมอัดด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

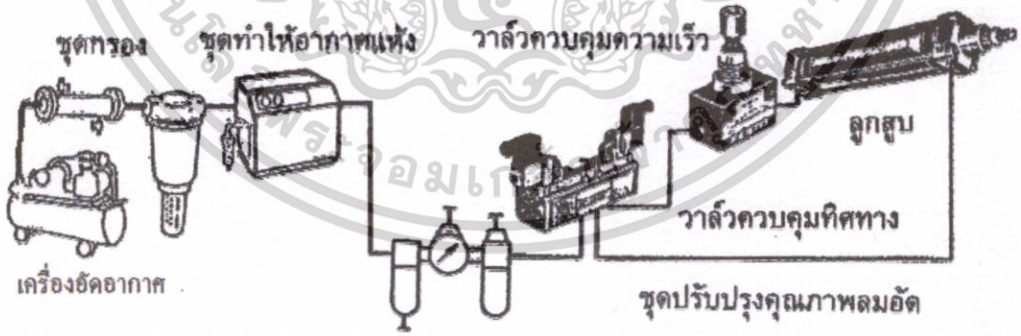
แบบเคลื่อนย้ายได้ เครื่องอัดอากาศและถังเก็บลมและอุปกรณ์ช่วยอื่น ๆ ถูกออกแบบรวมเป็นชุดเดียว หรือติดตั้งภายในเครื่องจักรที่มีสามารถเคลื่อนย้ายได้ ปริมาณการผลิตลมอัดมีขีดจำกัดเพื่อให้ขนาดชุดผลิตลมอัดมีขนาดเล็กและสามารถเคลื่อนย้ายได้สะดวกดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 เครื่องอัดอากาศแบบเคลื่อนย้ายได้ [6]

2.2 ระบบนิวแมติกส์พื้นฐาน

ระบบนิวแมติกส์มีองค์ประกอบในการใช้งานดังรูปที่ 2.7และแสดงสัญลักษณ์ดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.7 องค์ประกอบพื้นฐานในระบบนิวแมติกส์ทั่วไป [6]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8) ชุดปรับความดันใช้งานและเกจวัดความดันมีหน้าที่ในการรักษาระดับความดันให้อยู่ในระดับที่ต้องการและคงที่เนื่องจากลมอัดที่เกิดจากเครื่องอัดอากาศจะมีค่าสูงกว่าความดันที่ต้องการใช้งานเล็กน้อย

9) ชุดผสมน้ำมันหล่อลื่นมีหน้าที่ในการเติมน้ำมันให้ผสมกับลมอัดเพื่อช่วยหล่อลื่นให้กับอุปกรณ์ที่เคลื่อนที่เพื่อให้มีการทำงานที่ราบรื่นและช่วยยืดอายุการใช้งานของอุปกรณ์

10) วาล์วควบคุมทิศทางเป็นวาล์วที่ใช้ในการจ่ายลมอัดให้กับกระบอกสูบเพื่อควบคุมให้เกิดการเคลื่อนที่ในทิศทางที่ต้องการ

11) กระบอกสูบเป็นอุปกรณ์กำลังที่ใช้ลมอัดเป็นต้นกำลังในการเคลื่อนที่เชิงเส้น

12) วาล์วควบคุมความเร็วมีหน้าที่ในการปรับแรงดันของลมอัดที่จ่ายให้แก่กระบอกสูบตามที่ต้องเพื่อควบคุมความเร็วในการเคลื่อนที่ของก้านสูบ

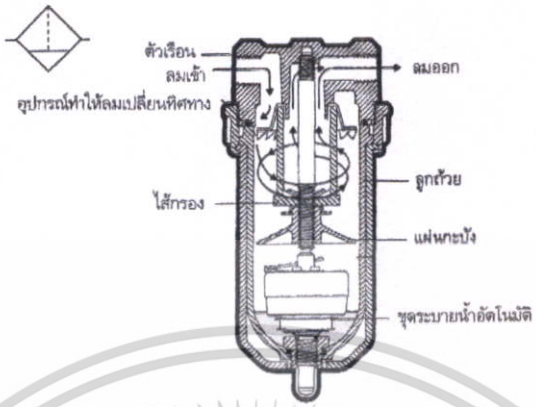
2.3 ชุดปรับปรุงคุณภาพลมอัดหรือชุดบริการลมอัด (Air Service)

มีหน้าที่ในการทำให้ลมอัดสะอาดก่อนการใช้งานรวมทั้งมีความดันคงที่ตามที่ต้องการและมีสัดส่วนน้ำมันหล่อลื่นที่เหมาะสมชุดปรับปรุงคุณภาพจะประกอบด้วยชุดกรองลมอัด(Air Filter)ชุดควบคุมความดัน (Air Regulator) เกจวัดความดัน (Pressure Gate) และชุดผสมน้ำมันหล่อลื่น(Air Lubricator) โดยปกติแล้วชุดบริการหนึ่งจะมีอุปกรณ์ทั้ง 4 ส่วนจากรูปที่ 2.7 เป็นชุดบริการอากาศที่ไม่มีชุดเติมน้ำมันหล่อลื่นเนื่องมาจากอุปกรณ์นิวแมติกส์ในปัจจุบันบางชนิดไม่จำเป็นต้องใช้น้ำมันหล่อลื่นจากภายนอกเพราะได้อัดสารหล่อลื่นไว้ในตัวอุปกรณ์แล้ว

2.3.1 ชุดกรองลมอัด (Air Filter)

เนื่องจากลมอัดที่อยู่ภายในถังเก็บลมนั้นจะมีสิ่งสกปรกรวมอยู่เช่นไอน้ำฝุ่นผงหรือมวลสารที่ล่องลอยในบริเวณที่เครื่องอัดอากาศทำงานเมื่อลมอัดไหลผ่านตัวกรองลมอัดก็จะไหลลงด้านล่างและผ่านไส้กรองเข้าไปด้านในจากนั้นจะไหลออกในช่องทางออกไปสู่วาล์วควบคุมความดันต่อไปในจังหวะที่ลมอัดไหลผ่านด้านล่างนั้นจะทำให้น้ำหรือสิ่งสกปรกหรือมวลสารที่มีขนาดใหญ่กว่าตัวกรองอากาศตกลงสะสมอยู่ด้านล่างเพื่อรอการระบายทิ้งนอกจากนั้นยังมีแผ่นกะบัง (Baffle Plate) เป็นตัวป้องกันไม่ให้สิ่งสกปรกที่สะสมอยู่ด้านล่างลอยขึ้นไปปะปนกับลมอัดที่ไหลเข้าไส้กรองดังแสดงในรูปที่ 2.9

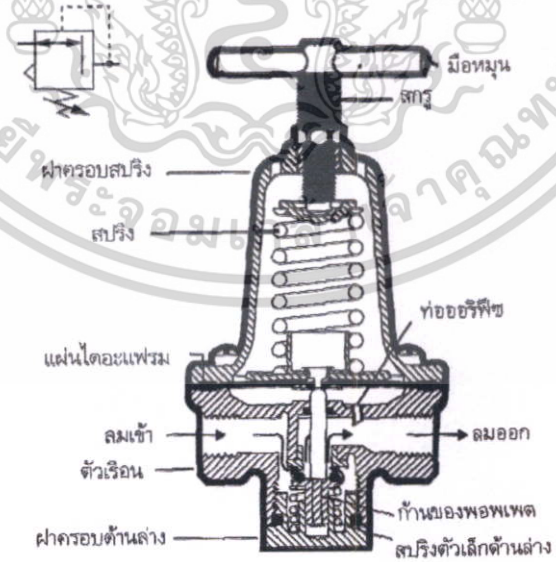
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.9 องค์ประกอบของชุดกรองลมอัด [6]

2.3.2 ชุดควบคุมความดัน (Air Regulator)

เมื่อลมอัดผ่านชุดกรองลมอัดแล้วจะผ่านเข้ามาสู่ชุดควบคุมความดันเพื่อที่จะปรับให้ความดันจ่ายออกมีค่าคงที่ (ค่าเฉลี่ยของความดันลมอัดที่ใช้งานทั่วไปมีค่าประมาณ 6 bar) ลมอัดจะผ่านวาล์วและไหลออกที่ทางออกเพื่อนำไปใช้งานต่อไปบริเวณช่องทางออกของวาล์วจะมีช่องออริฟิซ (Orifice) ที่ต่อระหว่างช่องทางออกกับห้องใต้แผ่นไดอะแฟรมถ้าความดันลมที่ออกนี้มีความดันสูงกว่าค่าของสปริงตัวบนก็จะดันแผ่นไดอะแฟรมให้ยกขึ้นเป็นผลให้ก้านของพอพเพตซึ่งเชื่อมต่ออยู่กับชุดของแผ่นไดอะแฟรมจะถูกยกขึ้นตามไปด้วยทำให้วาล์วปิดทางลมที่เข้าวาล์วค่าของแรงดันสปริงจะเป็นตัวกำหนดค่าความดันที่ลมอัดที่ผ่านวาล์วสามารถปรับแรงดันสปริงได้ตามที่ต้องการส่วนสปริงตัวเล็กด้านล่างจากรูปที่ 2.10 มีหน้าที่ป้องกันไม่ให้บ่าวาล์วสั่นเนื่องจากการปิด-เปิดของวาล์วที่ความถี่มากๆในขณะทำงาน



รูปที่ 2.10 ส่วนประกอบของชุดควบคุมความดัน [6]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.3 เกจวัดความดันลมอัด (Pressure Gauge)

ความดันลมที่ออกจากวาล์วควบคุมความดันจะถูกแสดงค่าความดันด้วยเกจวัดความดันซึ่งมีหลักการทำงานดังนี้เมื่อลมอัดไหลเข้ามาในช่องทางเข้าจะสะสมอยู่ภายในท่อสปริงซึ่งโค้งเป็นวงกลมและมีหน้าตัดเป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัสอีกด้านหนึ่งต่ออยู่กับชุดกลไกขับเฟืองให้เข็มหมุนเป็นผลให้ความดันของลมอัดทำให้ท่อสปริงยืดเป็นเส้นตรงซึ่งทำให้เข็มหมุนชี้ไปที่ตัวเลขตามค่าของความดันลมที่เข้าดังรูปที่ 2.11

รูปที่ 2.11 ส่วนประกอบของเกจวัดความดัน [6]

2.4 ระบบอัดอากาศหรือระบบนิวแมติกส์ (Compressed Air System)

1) อากาศจะถูกอัดโดยเครื่องอัดอากาศ (compressor) และถูกกักไว้ภายในถังเก็บที่เรียกว่า Receiver และเตรียมไว้รอใช้งานต่อไปความดันที่จัดเก็บภายในถังมีค่าประมาณ 100-150 psi โดยสังเกตได้จากหน้าปัดของเกจวัดความดันที่ถังเก็บลมจากถังเก็บลมจะถูกจ่ายออกไปตามท่อลมไปสู่อุปกรณ์ต่างๆภายในระบบโดยมีความดันที่เท่ากับค่าความดันภายในถังแต่เมื่อลมอัดไหลผ่านท่อส่งไปยังอุปกรณ์จะมีการสูญเสียความดันตามระยะทางและจำนวนอุปกรณ์ที่ต่อใช้ในระบบ

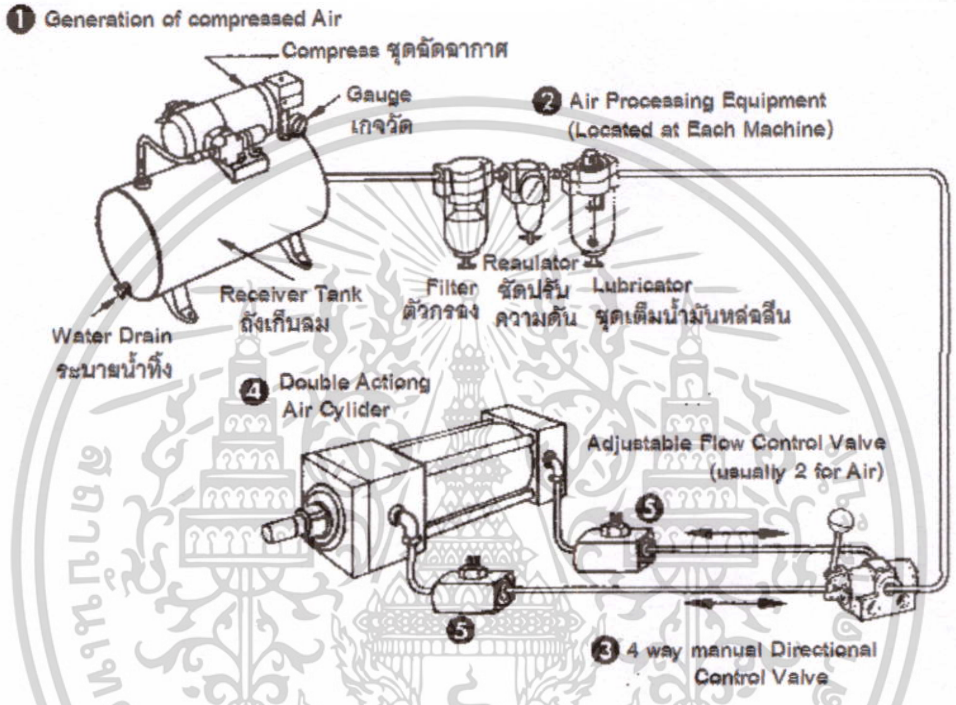
2) ก่อนการใช้งานกับอุปกรณ์ต่างๆในระบบลมอัดจะถูกกรองให้สะอาดเสียก่อนด้วยตัวกรองอากาศ (Filter) และปรับความดันลมอัดลดลงเท่ากับค่าที่ใช้งานพร้อมทั้งเติมน้ำมันหล่อลื่นเพื่อหล่อลื่นชิ้นส่วนต่างๆของอุปกรณ์เช่นวาล์วกระบอกสูบเป็นต้น

3) วาล์วควบคุมทิศทาง (Directional Control Valve) เป็นอุปกรณ์ที่บังคับให้ก้านสูบเคลื่อนที่เข้าและออกโดยการควบคุมทิศทางลมอัดที่จ่ายให้กระบอกสูบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4) อากาศอัดที่ไหลผ่านกระบอกสูบจะดันให้ก้านสูบเคลื่อนที่เป็นเส้นตรงหรือเคลื่อนที่เชิงมุม**เป็น**วงกลมเมื่อเป็นกระบอกสูบชนิดโรตารี

5) ตัวควบคุมความเร็วของก้านสูบ (Flow Control Valve) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ควบคุมความดันที่จ่ายให้กระบอกสูบเพื่อกำหนดความเร็วที่ก้านสูบเคลื่อนที่

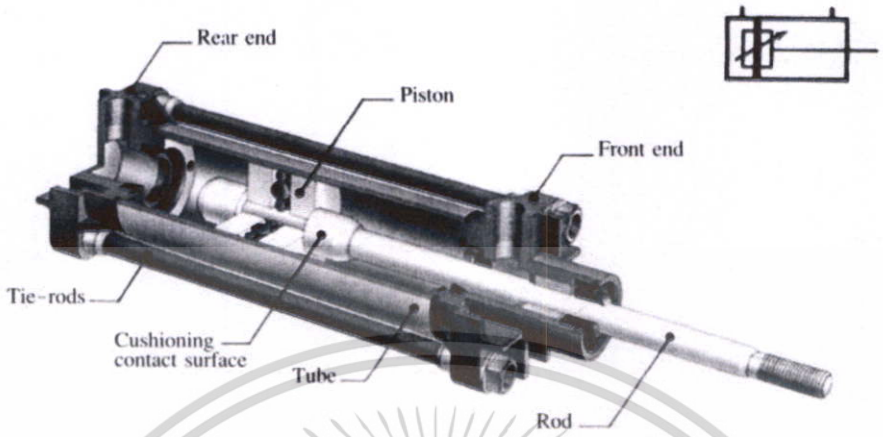


รูปที่ 2.12 องค์ประกอบในระบบอัดอากาศพื้นฐาน(ระบบนิวแมติกส์) [6]

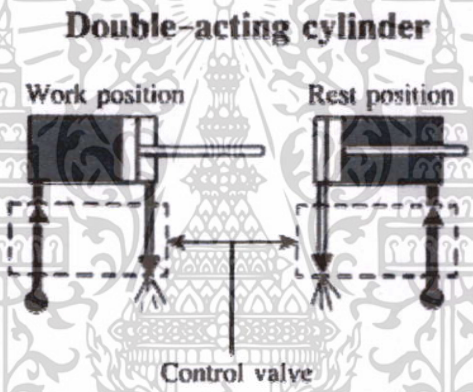
2.5 กระบอกสูบสองทาง Double-acting cylinder

กระบอกสูบชนิดนี้จะมีลักษณะการทำงานและรูปลักษณ์ภายนอกดังรูปที่ 2.13 และสามารถสั่งงานได้ทั้งสองทิศทางด้วยการจ่ายลมอัดเข้ากระบอกที่หัวหรือที่ท้ายกระบอกสูบจะทำให้ก้านสูบเคลื่อนที่เข้าหรือออกเมื่อจ่ายลมอัดเข้าที่ท้ายกระบอกสูบจะทำให้ก้านสูบเคลื่อนที่ออกและเกิดการระบายลมที่ค้างในกระบอกสูบออกทางด้านหัวกระบอกสูบแสดงการทำงานดังรูปที่ 2.14 เมื่อไม่มีลมอัดจ่ายให้กระบอกสูบก้านสูบจะหยุดค้างอยู่ณตำแหน่งสุดท้ายที่เคลื่อนที่และสามารถใช้มือดึงก้านสูบได้เคลื่อนไปมาได้โดยอิสระแสดงส่วนประกอบภายในกระบอกสูบสองทางดังรูปที่ 2.15 และตารางที่ 2.2 แสดงชื่อส่วนประกอบภายในกระบอกสูบ

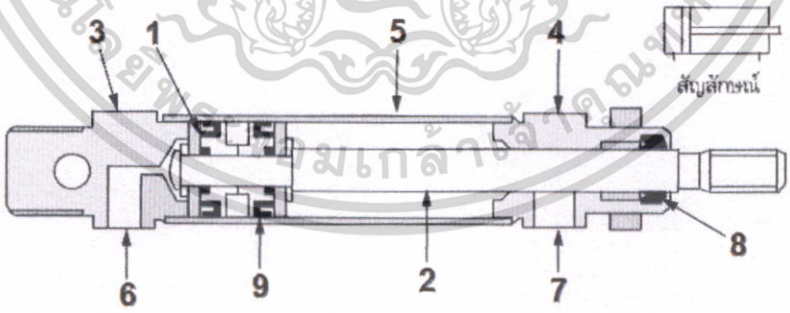
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.13 องค์ประกอบภายในของกระบอกสูบสองทาง [7]



รูปที่ 2.14 หลักการทำงานภายในของกระบอกสูบสองทางเมื่อจ่ายลมอัดภายใน [7]



รูปที่ 2.15 โครงสร้างภายในของกระบอกสูบชนิดทำงานสองทิศทาง [7]

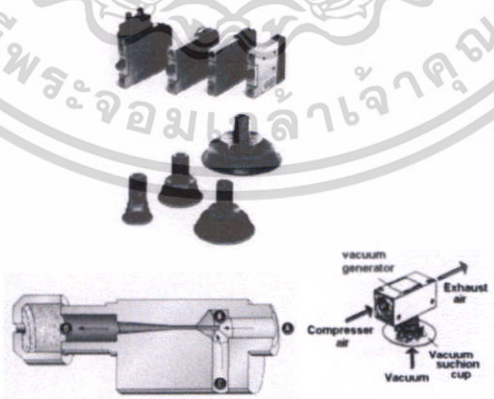
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 รายละเอียดโครงสร้างของกระบอกสูบชนิดทำงานสองทิศทาง

หมายเลข	รายละเอียด
1	ลูกสูบ (piston)
2	ก้านสูบ (piston rod)
3	ฝาครอบท้าย (base end cover)
4	ฝาครอบหัว (head end cover)
5	กระบอกสูบ (cylinder tube)
6	รูต่อลมด้านลูกสูบ (pressure connector, base side)
7	รูต่อลมด้านก้านสูบ (pressure connector, head side)
8	ซีลก้านสูบ (bush and sealing element)
9	ซีลก้านสูบ (piston seal)

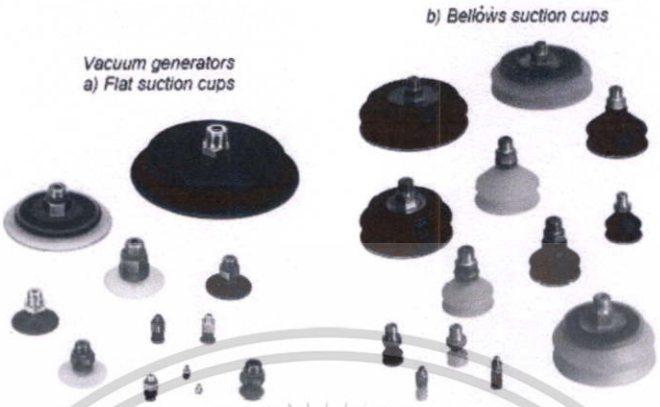
2.6 อุปกรณ์จับยึดด้วยระบบสุญญากาศ Vacuum generator & suction cup

อุปกรณ์ดูดจับชิ้นงานที่มีผิวเรียบโดยการใช้ถ้วยยางกดลงบนพื้นผิวแล้วสร้างสภาพสุญญากาศภายในถ้วยยางด้วย (Vacuum Generator) ที่มีลักษณะคล้ายท่อสามทางที่ปลายด้านล่างยึดติดกับถ้วยยางเมื่อมีลมอัดผ่านช่องทางลมด้านบนจะเกิดแรงดูดอากาศภายในถ้วยยางออกทำให้เกิดสภาพสุญญากาศภายในถ้วยยางดังแสดงในรูปที่ 2.16 ข้อจำกัดในการใช้งานคือผิวของชิ้นงานที่ต้องการดูดจับต้องเป็นผิวเรียบซึ่งผิวเรียบที่สามารถดูดจับได้นั้นนอกจากเป็นระนาบแล้วยังสามารถดูดจับทรงกลมได้โดยการเลือกลักษณะถ้วยยางที่เหมาะสมดังแสดงในรูปที่ 2.17 และ 2.18

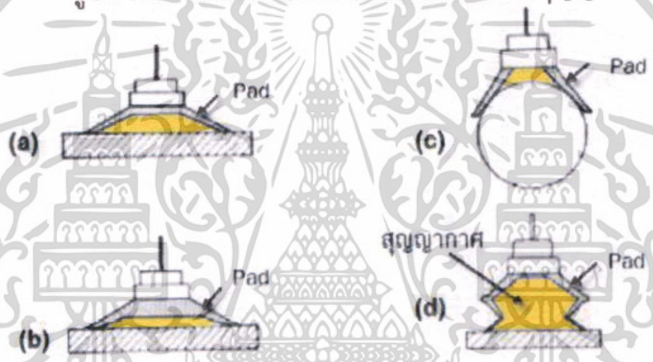


รูปที่ 2.16 หลักการในการสร้างแรงดูดด้วย vacuum generator [7]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.17 ตัวอย่างกรวยจับชิ้นงานชนิดต่างๆ [7]



รูปที่ 2.18 ตัวอย่างการดูดจับชิ้นงานที่มีพื้นผิวเรียบด้วยถ้วยยางรูปแบบต่างๆ [7]

2.7 วาล์วควบคุมทิศทาง

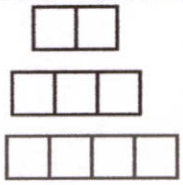
มีหน้าที่ในการควบคุมทิศทางของลมอัดที่จ่ายให้กับอุปกรณ์นิวแมติกส์โดยภายในประกอบลิ้นวาล์วที่มาเคลื่อนที่ได้ตำแหน่งของลิ้นวาล์วที่เคลื่อนที่ได้จะเรียกว่า "ตำแหน่งทำงาน (Position)"ใช้สัญลักษณ์รูปสี่เหลี่ยมแทนจำนวนตำแหน่งที่ลิ้นวาล์วที่สามารถเปลี่ยนได้ตามข้อกำหนดการเรียกชื่อวาล์วควบคุมตามมาตรฐาน ISO 1219

2.7.1 ความหมายของสัญลักษณ์ตำแหน่งทำงาน (Position)

สัญลักษณ์ตำแหน่งทำงานของวาล์วแสดงในตารางที่ 2.3 โดยจำนวนช่องสี่เหลี่ยม (Position) หมายถึงจำนวนตำแหน่งทำงานที่ลิ้นวาล์วเปลี่ยนได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.3 สัญลักษณ์ของจำนวนตำแหน่งทำงานของวาล์ว

สัญลักษณ์	ความหมาย
	ลิ้นวาล์วเปลี่ยน 2 ตำแหน่งทำงาน ลิ้นวาล์วเปลี่ยน 3 ตำแหน่งทำงาน ลิ้นวาล์วเปลี่ยน 4 ตำแหน่งทำงาน

2.7.2 ความหมายของสัญลักษณ์ของช่องต่อท่อลม (Port)

สัญลักษณ์ตำแหน่งของช่องต่อท่อลมแสดงในตารางที่ 2.4 โดยช่องสี่เหลี่ยมจะมีสัญลักษณ์ซึ่งเป็นรูปแบบต่างๆของช่องต่อลม

ตารางที่ 2.4 ความหมายของสัญลักษณ์ช่องต่อท่อลม

สัญลักษณ์	ความหมาย
	ช่องต่อสำหรับท่อลม ช่องต่อสำหรับจ่ายลมอัดให้วาล์ว ช่องต่อสำหรับระบายลมทิ้งแบบเปิด (มีช่องต่อท่อลม) ช่องระบายลมทิ้งแบบปิด (ไม่มีช่องต่อท่อลม)

2.7.3 สัญลักษณ์เส้นทางการไหลผ่าน

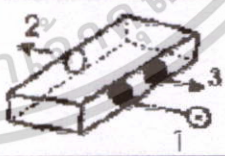
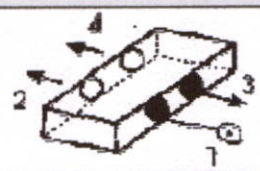
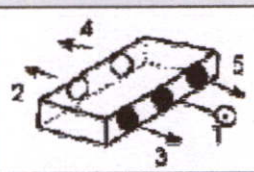
สัญลักษณ์เส้นทางการไหลผ่าน โดยเป็นช่องสี่เหลี่ยมซึ่งจะมีสัญลักษณ์ลูกศรซึ่งเป็นการแสดงเส้นทางการไหลผ่าน และมีสัญลักษณ์ของเส้นทางเดิมลมที่ถูกกั้น จากตารางที่ 2.5 จะสัญลักษณ์เส้นทางการไหลผ่านของวาล์วในรูปแบบต่างๆ และจากตารงที่ 2.6 แสดงจำนวนช่องต่อท่อลม (Ports) ต่อหนึ่งวาล์วและประเภทการใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.5 สัญลักษณ์เส้นทางการไหลผ่านภายในวาล์วที่แสดงด้วยลูกศรและช่องปิด

สัญลักษณ์	ความหมาย
	เส้นภายในรูปสี่เหลี่ยม หมายถึง เส้นทางที่ลมจัดไหลผ่านได้ตามทิศทางลูกศร
	เส้นทางเดินลมที่ถูกกั้นแสดงด้วยเส้นตรงตัดสั้นหัวท้าย
	เส้นทางเดินลมภายใน 2 เส้นทางที่ไม่ได้ตัดกัน และมีช่องต่อท่อลม 4 ช่อง
	เส้นทางเดินลมผ่านได้ทางเดียวและมีช่องต่อท่อลม 3 ช่อง
	เส้นทางเดินลมผ่านได้ทางเดียวและมีช่องต่อท่อลม 3 ช่อง
	เส้นทางเดินลมผ่านได้สองทางและมีช่องต่อท่อลม 5 ช่อง
	เส้นทางเดินลมผ่านได้สองทางและมีช่องต่อท่อลม 5 ช่อง
	เส้นทางเดินลมที่ต่อถึงกันภายในเขียนด้วยจุดตัดเต็มและมีช่องต่อท่อลม 4 ช่อง

ตารางที่ 2.6 จำนวนช่องต่อท่อลม(Ports) ต่อหนึ่งวาล์วและประเภทการใช้งาน

วาล์วปิดเปิด (2 Ports)	วาล์วปิดเปิดที่เปลี่ยนทิศทางได้ (3 Ports)
- ควบคุมลวานลม - หัวดูดจับสุญญากาศ	 - ควบคุมกระบอกสูบทางเดียว
วาล์วเปลี่ยนทิศทาง (4 Ports)	**วาล์วเปลี่ยนทิศทาง (5 Ports)**
 - ควบคุมกระบอกสูบสองทาง	 - ควบคุมกระบอกสูบสองทาง

1 = ช่องต่อลมเข้า ; 2 ,4 = ช่องต่อลมออกไปใช้งาน ; 3 ,5 = ช่องต่อลมระบายออก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.19 Solenoid Valve [8]

2.7.4 สัญลักษณ์ท่อลม

การเขียนสัญลักษณ์ของท่อลมในวงจรนิวแมติกส์มีหลายลักษณะตามหน้าที่การใช้งานดังรายละเอียดดังตารางที่ 2.7 แต่ในการปฏิบัติจริงแล้วท่อลมที่ใช้ทั้งหมดจะมีลักษณะเดียวกันและไม่สามารถแยกแยะตามสัญลักษณ์ที่กำหนดในวงจรนิวแมติกส์ได้แต่อาจใช้สีเพื่อช่วยแยกความแตกต่างของหน้าที่ได้ตัวอย่างเช่นสีดำหมายถึงท่อลมที่ใช้สำหรับจ่ายลมอัดให้วาล์วสีน้ำเงินหมายถึงท่อลมที่ออกจากวาล์วควบคุมเพื่อใช้ในการสั่งงานต่างๆเป็นต้น

ตารางที่ 2.7 สัญลักษณ์เส้นท่อลมชนิดต่างๆ

สัญลักษณ์เส้นท่อลม	ความหมาย
	Main supply pressure ท่อจ่ายลม Working line ท่อลมที่ต่อไปยังอุปกรณ์ทำงาน Control line คือ ท่อลมที่ต่อไปยังวาล์ว Assembly line เส้นกรอบของชุดอุปกรณ์ Drain line ท่อระบาย (ระบายน้ำทิ้ง) Plugging ท่อที่ถูกอุดตัน Pressure connection ท่อต่อชนิดเสียบเข้าและถอดออกได้ Line connection จุดเชื่อมท่อ (สามทาง) Crossing lines ท่อที่ตัดทับกัน (ไม่เชื่อมต่อกัน)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.20 ท่อลมชนิดต่างๆ [8]

2.8 บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์รุ่น ET-BASE51 AC3 (AT89C51AC3)

ET-BASE51 AC3 เป็นบอร์ดไมโครคอนโทรเลอร์ในตระกูล MCS51 ขนาด 52 Pin ซึ่งเลือกใช้ไมโครคอนโทรเลอร์เบอร์ AT89C51AC3 ของ ATMEL เป็น MCU ประจำบอร์ดโดย MCU รุ่นนี้จะบรรจุอยู่ภายในตัวถังแบบ 52 Pin PLCC โดย MCU ตัวนี้จะมีจุดเด่นคือเรื่องของความเร็วในการประมวลผลซึ่งสามารถทำงานได้ด้วยความถี่สูงสุด 60MHz ที่ 12 Clock / 1 Machine Cycle นอกจากนี้แล้วยังมีความเพียบพร้อมด้วยอุปกรณ์พื้นฐานต่างๆที่จำเป็นต่อการใช้งานไม่ว่าจะเป็นหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลแบบ EEPROM ขนาด 2 KByte หรือหน่วยความจำใช้งานแบบ RAM ซึ่งมีมากถึง 2304 Byte(2048+256)ส่วนในด้านของอุปกรณ์ Peripheral นั้นก็นับว่าครบถ้วนเหมาะแก่การนำไประยุกต์ใช้งานเกี่ยวกับการควบคุมและประมวลผลต่างๆได้เป็นอย่างดีโดยจะมีทั้ง SPI, UART, Watchdog, Timer/Counter, PWMและ ADC โดยการออกแบบโครงสร้างของบอร์ดนั้นจะเน้นเรื่องขนาดของบอร์ดให้มีขนาดเล็กเพื่อให้ง่ายต่อการนำไปประยุกต์ใช้งานและสะดวกต่อการพัฒนาโปรแกรม

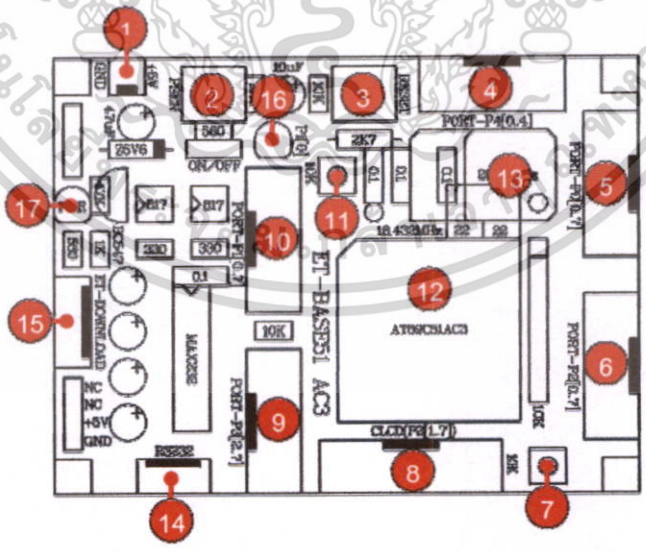
2.8.1 คุณสมบัติของบอร์ด

เลือกใช้ MCU ตระกูล MCS51 เบอร์ AT89C51AC3 ของ ATMEL เป็น MCU ประจำบอร์ด โดยเลือกใช้แหล่งกำเนิดสัญญาณนาฬิกาแบบ Oscillator Module ค่า 29.4912 MHz ซึ่งสามารถกำหนดการทำงานของ MCU ให้ทำงานในโหมดความเร็ว 2 เท่า (X2 Mode) ได้ ทำให้ MCU สามารถประมวลผลด้วยความเร็วสูงสุดที่ 58.9824 MHz โดยคุณสมบัติเด่นๆของ MCU ได้แก่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1) มีหน่วยความจำ Flash สำหรับเขียนโปรแกรมขนาด 64KByte
2) มี EEPROM ขนาด 2KByte สำหรับเก็บข้อมูล และ สามารถเขียนซ้ำได้กว่า 1 ล้านครั้ง
3) มีพอร์ต I/O ขนาด 8 บิต จำนวน 5 พอร์ต (P0,P1,P2,P3 และ P4(5Bit))
4) มี RAM ใช้งาน 2304 Byte (ERAM 2048 Byte + IRAM 256 Byte)
5) มีวงจรสื่อสารอนุกรม UART จำนวน 1 พอร์ต และมีวงจรสื่อสาร SPI จำนวน 1 พอร์ต
6) มีวงจร Timer/Counter ขนาด 16 บิต จำนวน 3 ชุด
7) มีวงจร ADC ขนาด 10บิต จำนวน 8 ช่อง (ใช้ Port-P1 โดยกำหนดจากโปรแกรม)
8) มีวงจร Watchdog, Power-ON Reset, Capture/Compare ,PWM
9) มีขั้วต่อสัญญาณ I/O แบบ TTL แบบ Header 2x5 จำนวน 5 ชุด (P0,P1,P2,P3 และ P4)
10) มีขั้วต่อ LCD แบบ Header 2x7 รองรับการเชื่อมต่อกับ LCD Character (เชื่อมต่อแบบ 4 บิต)
11) มีขั้วต่อใช้งาน RS232 สำหรับใช้งาน และ ET-DOWNLOAD สำหรับ Download ผ่าน RS232
12) มี LED แสดงสถานะแหล่งจ่าย Power และ Self-Test สำหรับใช้ทดสอบการทำงานของบอร์ด
13) ใช้แหล่งจ่ายไฟขนาด +5 VDC
14) ขนาด PCB Size เล็กเพียง 8 x 6 cm.

2.8.2 โครงสร้างบอร์ด ET-BASE51 AC3 (AT89C51AC3)



รูปที่ 2.21 โครงสร้างบอร์ด ET-BASE51 AC3 (AT89C51AC3) [11]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

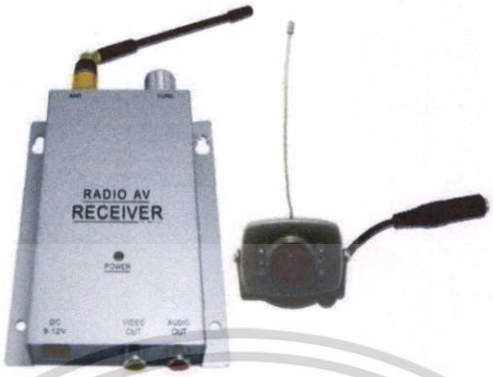
หมายเลข 1 คือขั้วต่อแหล่งจ่ายไฟเลี้ยงวงจรของบอร์ดใช้กับแหล่งจ่ายไฟตรง +5VDC
หมายเลข 2 เป็น Switch PSEN ใช้ร่วมกับ RESET สำหรับ Download แบบ Manual
หมายเลข 3 เป็น Switch RESET ใช้สำหรับ Reset การทำงานของ CPU
หมายเลข 4 เป็น Port-P4 มีขนาด 5 Bit คือ P4.0-P4.4
หมายเลข 5 เป็น Port-P0 มีขนาด 8 บิต
หมายเลข 6 เป็น Port-P2 มีขนาด 8 บิต
หมายเลข 7 เป็นตัวต้านทานสำหรับปรับค่าความสว่างให้ LCD
หมายเลข 8 เป็น Port-LCD ชนิด Character Type ใช้การเชื่อมต่อแบบ4บิตผ่านPort-P2
หมายเลข 9 เป็น Port-P3 มีขนาด 6 บิต (P3.2-P3.7)
หมายเลข 10 เป็น Port-P1 มีขนาด 8 บิต
หมายเลข 11 เป็นตัวต้านทานสำหรับปรับค่าแรงดันอ้างอิงของ ADC (3V)
หมายเลข 12 คือ MCU เบอร์ AT89C51AC3 ซึ่งเป็น MCU ตระกูล MCS51 จาก ATMEL
หมายเลข 13 คือ Oscillator Module ค่า 29.4912 MHz
หมายเลข 14 คือขั้วต่อ RS232 สำหรับใช้งานทั่วไปและ Download แบบ Manual
หมายเลข 15 คือขั้วต่อ ET-DOWNLOAD ใช้สำหรับ Download แบบ Auto
หมายเลข 16 เป็น LED Self Test (P1.0) ใช้สำหรับทดสอบการทำงานของบอร์ด
หมายเลข 17 เป็น LED Power ใช้แสดงสถานะของแหล่งจ่ายไฟ +5 VDC

2.9 กล้องส่งภาพแบบไร้สาย (Wireless Camera with Radio AV Receiver)

คุณสมบัติ

1) ตัวกล้องมีขนาด กว้าง 3.5 cm ยาว 3.5 cm หนา 2 cm
2) ความละเอียดของภาพอยู่ที่ 380 เส้น
3) เลนส์กล้องกว้าง 0.6 cm สามารถเห็นภาพมุมกล้องได้ดี
4) ส่งสัญญาณภาพสีแบบไร้สาย โดยมีเครื่องส่งฝังอยู่ในตัวกล้อง (ขนาด 1 cm)
5) ตัวกล้องใช้ระบบไฟ 8 v และตัวรับ Audio receiver av ใช้ระบบไฟ 9-12 v.
6) ความถี่ 900 MHz ถึง 1200 MHz
7) ส่งภาพได้ภายในระยะ 50 m ถึง 100 m

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.22 กล้องส่งภาพแบบไร้สาย [5]

2.10 วิทยุบังคับ

วิทยุบังคับระบบ Proportional เป็นที่นิยมใช้กันอย่างกว้างขวาง เพราะสามารถบังคับควบคุมอุปกรณ์แต่ละอย่างแบบต่อเนื่องใกล้เคียงกับความเป็นจริง ซึ่งง่ายและสะดวกในการใช้งาน

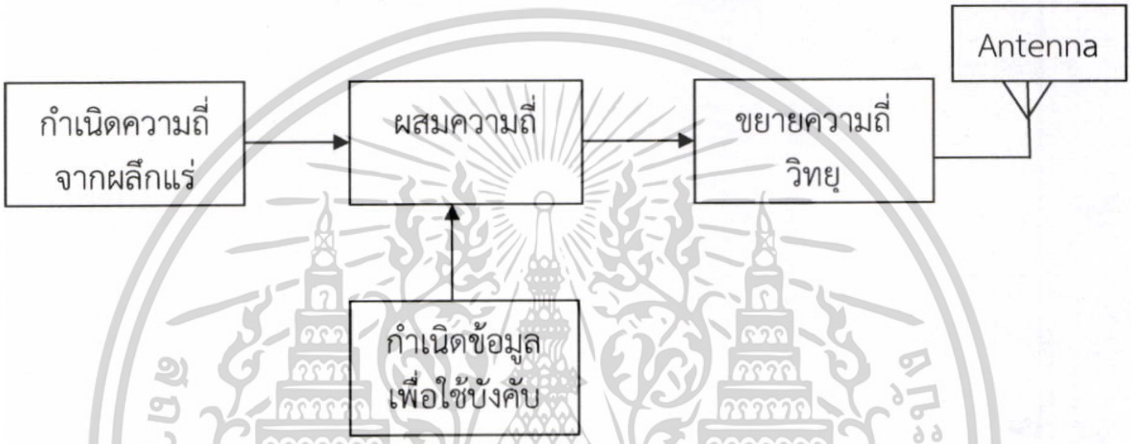
ความหมายของวิทยุบังคับระบบพร็อพพอร์ชันนัลนี้ ก็คือ การบังคับควบคุมแบบต่อเนื่องที่เป็นสัดส่วนต่อกัน เช่น ถ้าเราใช้กับรถวิทยุบังคับ เมื่อเราโยกคันบังคับสำหรับการเลี้ยวในเครื่องส่งไปทางซ้ายเล็กน้อย ทางรถที่ถูกบังคับจะเลี้ยวซ้ายไปเล็กน้อย เมื่อโยกคันบังคับไปทางซ้ายมากขึ้น รถจะเลี้ยวไปทางซ้ายมากขึ้นด้วย เมื่อเราโยกคันบังคับมาที่เดิม รถจะเปลี่ยนจากเลี้ยวซ้ายมาเป็นตรงหรือถ้าเราค่อย ๆ โยกคันบังคับไปทางขวา รถจะค่อย ๆ เลี้ยวขวาตามไปขึ้นอยู่กับการบังคับของเราด้วยย่านความถี่ที่ใช้กันมากในการบังคับด้วยวิทยุก็คือย่าน 27 MHz นอกจากนี้ก็มีย่าน 40 MHz, 53 MHz, 72 MHz และ 75 MHz กำลังส่งออกอากาศอยู่ในระหว่าง 300 มิลลิวัตต์ ถึง 1 วัตต์ ซึ่งได้ระยะในการบังคับมากเพียงพอต่อการใช้งาน ส่วนระบบผสมคลื่นที่ใช้กันในวิทยุบังคับมีทั้งระบบ AM และระบบ FM ที่จะกล่าวถึงในที่นี้เป็นระบบ AM ซึ่งมีข้อดีคือทำการผสมคลื่น (Modulation) ได้ง่าย เพียงแต่การปิด-เปิดให้เป็นพัลส์ของคลื่นพาห์ออกอากาศไปเป็นห้วง ๆ การดีเทกเตอร์ในภาครับก็ไม่ยุ่งยาก แต่จะมีข้อเสียอยู่บ้างก็คือ ในขณะไม่มีพัลส์ของคลื่นพาห์ออกไปวงจร AGC (Automatic gain control) ทางภาครับ จะทำให้ภาครับขยายสัญญาณเต็มที่อาจเป็นผลให้สัญญาณแปลกปลอมอื่น ๆ เข้ามารบกวนได้ง่าย

วิทยุบังคับ 1 ชุด จะต้องประกอบด้วยทั้งเครื่องส่งและเครื่องรับ เครื่องส่งจะเป็นตัวกำเนิดสัญญาณควบคุมสำหรับส่งออกไปควบคุมทางด้านภาครับโดยอาศัยคลื่นวิทยุเป็นตัวกลางในการนำสัญญาณควบคุมไปยังเครื่องรับทางด้านเครื่องรับจะแยกเอาสัญญาณควบคุมออกจากคลื่นวิทยุ ทำการถอดรหัสแล้วส่งไปยังเซอร์โวซึ่งทำหน้าที่เปลี่ยนสัญญาณควบคุมให้เป็นพลังงานกลในการเคลื่อนไหวของอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ต้องการบังคับวิทยุบังคับที่ใช้บังคับอุปกรณ์ได้หลายอย่างที่เราเรียกว่าวิทยุบังคับหลายช่องหรือหลายแชนเนลจะต้องมีเซอร์โวหลายตัวตามไปด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.10.1 หลักการทำงานของเครื่องส่งวิทยุบังคับ

สำหรับระบบบังคับด้วยวิทยุนั้นอธิบายได้ว่า เมื่อโยกหรือหมุนคันบังคับบนเครื่องส่งไปจากตำแหน่งเดิม จะเกิดการเคลื่อนไหวที่ตัวเซอร์โวไปมากหรือน้อยตามลักษณะของคันบังคับบนเครื่องส่งนั้น จึงเรียกว่าเป็นระบบบังคับแบบ Proportional Controlเมื่อพิจารณาลักษณะของสัญญาณบังคับอาจเรียกได้ว่าเป็นชนิด (Pulse Width Control) คือเป็นการเปลี่ยนความกว้างของสัญญาณพัลซ์ที่ไปมีผลทำให้เกิดการเคลื่อนไหวมากน้อยที่ตัวเซอร์โว โดยพัลซ์นี้จะเปลี่ยนแปลงความกว้างได้จากการโยกหรือหมุนคันบังคับบนเครื่องส่ง แล้วส่งผลไปยังเครื่องรับและเซอร์โวต่อไป



รูปที่ 2.23 ผังการทำงานของเครื่องส่ง [9]

สำหรับเครื่องส่งนั้น อาจแบ่งได้ตามลักษณะของการผสมคลื่นดังที่กล่าวแล้วว่ามี 2 แบบ คือ AM (Amplitude Modulation) และ FM (Frequency Modulation) เนื่องจากความนิยมใช้งานและความสมบูรณ์แบบของวงจร รวมทั้งข้อดีต่าง ๆ ที่ได้พิสูจน์ตัวเองมาแล้วนับสิบปี ในที่นี้จะกล่าวถึงเครื่องส่งระบบ AM ก่อนเท่านั้น ส่วนระบบ FM โปรดติดตามในโอกาสต่อ ๆ ไป

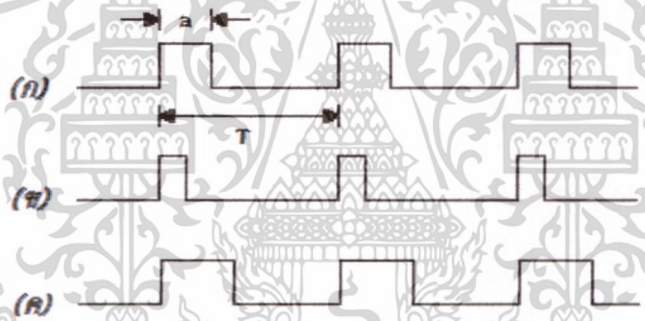
ทีนี้เราจะพิจารณาเครื่องส่งวิทยุบังคับเครื่องหนึ่งจะแบ่งเป็นภาคต่าง ๆ ได้พอสังเขปดังนี้

1. ภาคกำเนิดข้อมูลที่ใช้บังคับ (Encoder)
2. ภาคกำเนิดสัญญาณความถี่วิทยุ (RF Source) ซึ่งรวมทั้งภาคขยายความถี่วิทยุ (RF Amplifier) และสายอากาศ (Antenna) ด้วย
3. ภาคผสมคลื่น (Modulation)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.10.1.1 ภาคกำเนิดข้อมูลที่ใช้บังคับ (Encoder)

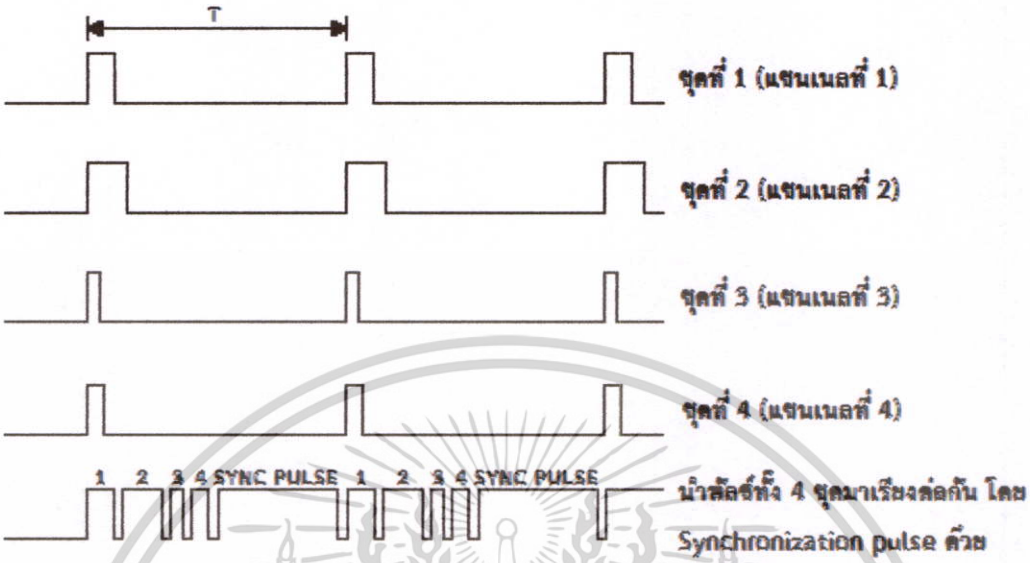
ในระบบบังคับด้วยวิทยุแบบพร็อพพอร์ชันนัลนั้นสัญญาณควบคุมที่ไปถึงเซอร์โว จะต้องมีลักษณะดังรูปที่2.24 ซึ่งแสดงลักษณะของสัญญาณพัลซ์ที่ใช้ในชุดวิทยุทั่ว ๆ ไปโดยรูปที่ 2.24(ก) แสดงลักษณะปกติของพัลซ์และ T เป็นช่วงคาบเวลาของสัญญาณควบคุม ดังนั้นเมื่อความกว้างของพัลซ์แต่ละลูกเปลี่ยนเป็นแคบลงดังรูปที่ 2.24(ข) หรือกว้างขึ้นดังรูปที่2.24(ค) ก็จะทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของเซอร์โวตามแต่การเปลี่ยนแปลงความกว้างของพัลซ์จะมากน้อยเพียงใด เช่น เมื่อความกว้างของพัลซ์มีค่าเท่ากับรูปที่ 2.24(ก) เซอร์โวจะอยู่ในตำแหน่งกลาง (Neutral) และหยุดนิ่งกับที่ ขณะที่ความกว้างของพัลซ์ลดลงเป็นรูปที่ 2.24(ข) (โดยช่วงคาบเวลา T ยังคงที่) จะทำให้เซอร์โว หมุนเคลื่อนที่ไปทางซ้ายเป็นมุมประมาณ 10 องศา แล้วหยุดนิ่งกับที่จนเมื่อความกว้างของพัลซ์เพิ่มขึ้นเป็นดังรูปที่ 2.24(ค) (โดยช่วงคาบเวลา T ยังคงที่) จะทำให้เซอร์โวหมุนเคลื่อนที่ไปทางขวาผ่านจุด Neutral เลยไปอีก 10 องศา แล้วหยุดนิ่งกับที่เป็นต้น ดังนี้แสดงว่าการเคลื่อนที่ของเซอร์โวขึ้นอยู่กับความกว้างของพัลซ์



รูปที่ 2.24 ลักษณะของพัลซ์ [9]

ที่อธิบายมานี้แสดงการควบคุมเซอร์โว 1 ชุด จะต้องใช้พัลซ์ 1 ชุด ถ้าเราต้องการควบคุมเซอร์โวมากกว่า 1 ชุด เราจะต้องกำเนิดสัญญาณพัลซ์มากกว่า 1 ชุดที่เป็นอิสระไม่ขึ้นต่อกัน คือ เมื่อความกว้างของพัลซ์ชุดที่ 1 เพิ่มขึ้นหรือลดลง จะไม่มีผลไปเปลี่ยนแปลงความกว้างของพัลซ์ในชุดอื่น ๆ เมื่อเรากำเนิดพัลซ์ครบตามจำนวนที่ต้องการใช้บังคับ เช่น ต้องการบังคับ 4 อย่าง ก็ต้องสร้างพัลซ์ขึ้นมา 4 ชุด (จะทำการบังคับได้ 4 อย่าง หรือ 4 แชนเนล) แล้วนำมาเรียงกันแบบอนุกรมเป็นของพัลซ์ (Pulse train) โดยมีคาบเวลา (T) ค่าหนึ่งคงที่ดังรูปที่ 2.25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.25 การรวมพัลซ์แต่ละชุดเข้าด้วยกัน [9]

เมื่อกำเนิดขบวนการของพัลซ์ได้ครบตามจำนวนแชนเนลที่เราจะบังคับแล้ว เราจะนำสัญญาณควบคุมทั้งขบวนนี้ส่งไปผสมกับสัญญาณความถี่วิทยุ (RF signal) ต่อไปในภาคผสมคลื่น

2.10.1.2 ภาคกำเนิดสัญญาณความถี่วิทยุ (RF source)

ภาคกำเนิดสัญญาณความถี่วิทยุ หัวใจสำคัญที่กำหนดความเที่ยงตรงของความถี่ที่ส่งออกอากาศไปคือผลึกแร่บังคับความถี่ที่เรียกว่า คริสตัล (Crystal) ซึ่งอยู่ในวงจรออสซิลเลเตอร์ชนิดควบคุมความถี่ด้วยผลึกแร่ (Crystal controlled RF oscillator) ในบทความนี้จะกล่าวถึงเครื่องส่งในย่านความถี่ 27 MHz จึงต้องใช้คริสตัลในย่านความถี่นี้เช่นกัน เมื่อได้สัญญาณ RF ออกมาจากวงจรออสซิลเลเตอร์แล้ว จะต้องส่งไปผสมกับสัญญาณควบคุม ที่เรากำเนิดขึ้นมาดังกล่าวแล้ว โดยมีตัวผสมสัญญาณเป็นภาคผสมคลื่น (Modulator) แล้วขยายสัญญาณทั้งหมดให้มีกำลังแรงขึ้น เพื่อป้อนเข้าสู่สายอากาศแล้วส่งออกอากาศต่อไป

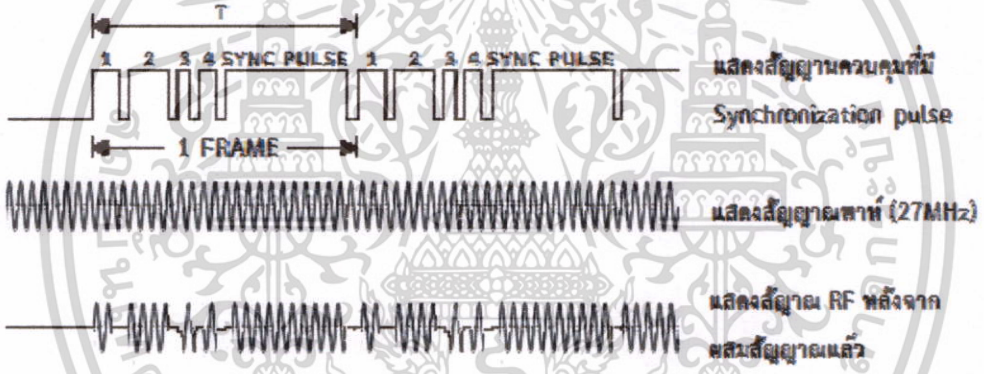
ปัจจุบันนี้ เรามีทรานซิสเตอร์ที่สามารถทำงานได้ดีที่ความถี่ย่าน 27 MHz มากมายหลายเบอร์ ทำให้การสร้างเครื่องส่งเล็ก ๆ เช่นนี้เป็นไปได้ง่ายกว่าสมัยก่อนที่ต้องใช้หลอดวิทยุ การปรับแต่งต้องอาศัยเครื่องมือที่ดีพอสมควรจึงจะไม่มีสัญญาณอื่น ๆ ที่เราไม่ต้องการ (Spurious and harmonic) ออกไปรบกวนระบบสื่อสารอื่น ๆ กำลังการออกอากาศไม่จำเป็นต้องมากเพราะระยะที่ควบคุมก็คงไม่เกินระยะสายตาคนปกติ ประมาณ 300 มิลลิวัตต์ ก็จะได้รัศมีการควบคุมเกือบ 1 กิโลเมตรในที่โล่ง ซึ่งก็เพียงพอแล้วสำหรับการบังคับเครื่องบินเล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เทคนิคในการปรับ (Tune) เครื่องส่ง สำหรับวิทยุบังคับนี้ก็เหมือนกับการปรับเครื่องส่ง AM ทั่วไป เช่นปรับระดับ RF จากออสซิลเลเตอร์ให้สูงสุดส่งเข้าไปผสมกับสัญญาณควบคุมแล้วปรับเข้าวงจรขยาย จากนั้นปรับวงจรแมตช์ด้านเอาต์พุทให้เหมาะสมกับสายอากาศเพื่อให้สามารถส่งคลื่นวิทยุออกอากาศไปด้วยกำลังมากที่สุดเป็นการเพิ่มระยะบังคับให้ได้ผลไกลที่สุด

2.10.1.3 ภาคผสมคลื่น (Modulator)

ในการผสมคลื่นแบบ AM ที่ใช้ในชุดบังคับด้วยวิทยุนี้ ทำได้โดยใช้ระบบสวิตชิ่งสัญญาณคลื่นพาห์ (Carrier) ด้วยทรานซิสเตอร์ที่สามารถทำงานเป็นสวิตช์ได้ที่ความถี่สูง ๆ ลักษณะของสัญญาณ RF ที่ออกมาจากการผสมสัญญาณควบคุมกับสัญญาณจาก RF oscillator เป็นไปดังรูปที่ 2.26

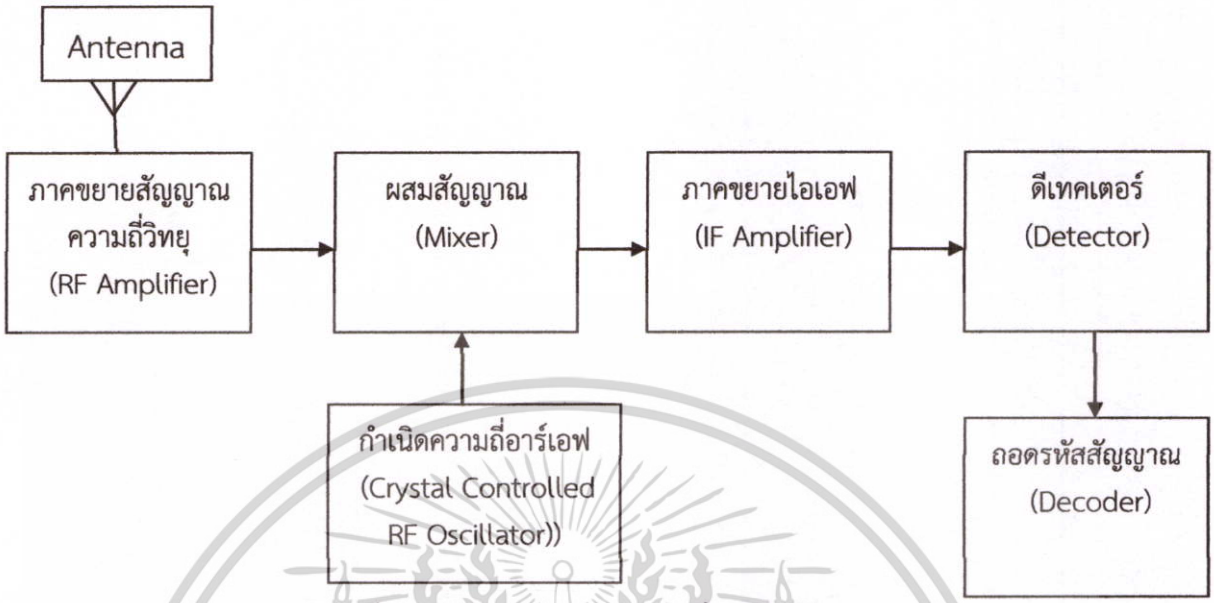


รูปที่ 2.26 การผสมคลื่น [9]

2.10.2 หลักการทำงานของเครื่องรับ

เมื่อสัญญาณวิทยุจากเครื่องส่งมาเข้าสายอากาศเครื่องรับ จะผ่านขั้นตอนต่าง ๆ ในเครื่องรับโดยเริ่มจากการขยายสัญญาณนั้นให้มีขนาดสูงขึ้น ผสมกับความถี่จากวงจรออสซิลเลเตอร์ได้เป็นความถี่ IF ผ่านภาคขยาย IF ที่มีเซรามิกฟิลเตอร์ จนไปถึงภาคดีเทกเตอร์ จากนั้นจึงส่งเข้าไอซีที่ทำหน้าที่เป็นดีโค้ดเดอร์ (Decoder) ถอดรหัสสัญญาณเพื่อส่งออกไปยังเซอร์โวต่อไป ขั้นตอนดังกล่าวแล้วจะสรุปเป็นภาคต่าง ๆ ในเครื่องรับได้พอสังเขปดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.27 ผังการทำงานของชุดเครื่องรับ [9]

รูปที่ 2.28 ผังของภาคขยายสัญญาณความถี่วิทยุ [9]

2.10.2.1 ภาคขยายสัญญาณความถี่วิทยุ (RF amplifier)

เมื่อสัญญาณวิทยุเดินทางผ่านอากาศมากระทบกับสายอากาศซึ่งเป็นสายตัวนำเส้นเดียว (Whip) จะผ่านวงจรที่ทำให้เกิดการแมตช์ระหว่างสายอากาศกับด้านอินพุตของวงจรขยายความถี่สูง เพื่อให้สามารถชักนำสัญญาณที่แพร่อยู่ในอากาศ มาปรากฏที่อินพุตของวงจรขยายความถี่สูงได้มากที่สุด จากนั้นสัญญาณวิทยุจะถูกขยายให้มีกำลังสูงขึ้นที่วงจรขยายนี้ เพื่อให้เพียงพอในการผสมกับสัญญาณจากวงจร RF ออสซิลเลเตอร์ในภาคผสมคลื่นต่อไป ภาคขยายความถี่วิทยุช่วงแรกนี้ไม่ได้ทำงานในย่านความถี่กว้าง (Wide band) แต่จะมีวงจรที่ปรับให้ครอบคลุมอยู่ในย่านความถี่ใกล้ ๆ กับที่ต้องการแล้วครั้งหนึ่ง เพื่อช่วยในการเลือกเฟ้นการรับ (Selectivity) ให้ดีขึ้น โดยการเลือกเฟ้นสถานีรับที่แท้จริงจะเป็นผลของภาค IF (Intermediate frequency)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.10.2.2 ภาคกำเนิดความถี่วิทยุ (RF oscillator)

เป็นวงจรออสซิลเลเตอร์ชนิดควบคุมความถี่ด้วยผลึกแร่ทำหน้าที่กำเนิดสัญญาณความถี่ที่ต่างจากความถี่ของเครื่องส่งเท่ากับของสัญญาณ IF กล่าวคือ

ความถี่ของเครื่องส่ง = ความถี่ของ RF ออสซิลเลเตอร์ในเครื่องรับ ± ความถี่ IF ยกตัวอย่างเช่น ความถี่เครื่องส่ง = 26.995 MHz, ความถี่ IF = 455 kHz หรือ 0.455 MHz ดังนั้นจะได้ 26.995 MHz = ความถี่ของ RF ออสซิลเลเตอร์ในเครื่องรับ ± 0.455 MHz นั่นคือ ความถี่ของ RF ออสซิลเลเตอร์ในเครื่องรับ = 26.995 ± 0.455 MHz = 26.540 หรือ 27.450 MHz

ความแม่นยำในการรับ-ส่งระหว่างเครื่องรับและเครื่องส่ง จะมีผลส่วนใหญ่เนื่องมาจากความถูกต้องแน่นอนของผลึกบังคับความถี่ที่ตรงคู่กัน โดยมีผลต่างกันเท่ากับความถี่ IF ผลึกแร่นี้จะต้องมีความแน่นอน (Accuracy) ตามเวลาใช้งานและอุณหภูมิ แต่ถ้าระบบวิทยุที่ใช้เป็นชนิดแบนด์กว้าง (Wide band) ก็จะไม่จำเป็นต้องใช้ผลึกแร่ที่มีคุณภาพสูงและราคาแพง ส่วนใหญ่ใช้ชนิดที่มีคุณภาพปานกลางก็เพียงพอ

2.10.2.3 ภาคผสมคลื่น (Mixer)

เป็นภาคที่รับเอาสัญญาณวิทยุจากภาคขยายความถี่วิทยุภาคแรก มาผสมกับสัญญาณจากภาค RF ออสซิลเลเตอร์ที่กำเนิดขึ้นภายในเครื่องรับ แล้วจะได้ผลออกมาเป็นความถี่ IF โดยมากจะเป็นความถี่ 450 ถึง 460 kHz แล้วแต่จะเลือกใช้

2.10.2.4 ภาคขยายความถี่ IF (IF amplifier)

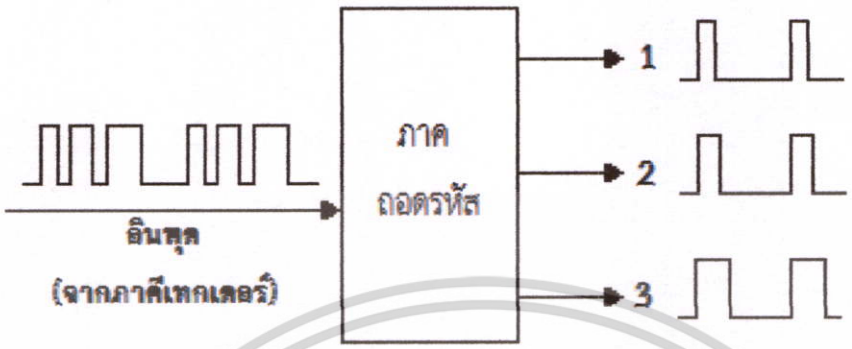
เมื่อได้ความถี่ IF ออกมาจากภาคผสมคลื่น จะถูกส่งมายังภาคขยายความถี่ IF ซึ่งเป็นวงจรขยายชนิด จูน แอมปลิฟายเออร์ กล่าวคือ จะมีการกำหนดย่านความถี่ที่จะให้ผ่านไปได้เป็นบางความถี่ ในกรณีนี้จะปล่อยให้ความถี่ 455 kHz ± 10 kHz เท่านั้นที่ผ่านไปได้ ถ้าเป็นความถี่อื่นที่ต่ำกว่า 455 หรือสูงกว่า 465 kHz จะผ่านไปได้น้อยมาก เป็นต้น

ดังนั้น การเลือกรับความถี่ใด จึงขึ้นอยู่กับคุณภาพของวงจรขยาย IF นี้เอง เพราะผลต่างของความถี่ของเครื่องส่งกับความถี่ของ RF ออสซิลเลเตอร์ในตัวเครื่องรับเท่านั้นที่จะผ่านวงจรขยาย IF ได้ ถ้าความถี่ของ RF ออสซิลเลเตอร์คงที่ (เพราะใช้ผลึกคริสตัลควบคุมความถี่) และความถี่ที่จะผ่านวงจรขยาย IF ได้เป็น 455 kHz จะทำให้เครื่องรับนี้รับได้แต่ความถี่เท่ากับผลบวกหรือผลต่างของ RF ในเครื่องรับกับ 455 kHz เพียงความถี่เดียว

2.10.2.5 ภาคดีเทกเตอร์ (Detector)

หลังจากได้สัญญาณผสมด้วยข้อมูลออกจากภาคขยาย IF แล้ว สัญญาณจะถูกดีเทกเตอร์ ที่ภาคดีเทกเตอร์นี้ ซึ่งเป็น AM ดีเทกเตอร์ธรรมดา โดยมักจะใช้ไดโอดเพียงตัวเดียว สัญญาณที่ถูกดีเทกออกมาแล้วมีรูปร่างเหมือนกับสัญญาณในภาคใส่รหัส (Encoder) ของเครื่องส่ง สัญญาณที่ดีเทกแล้วนี้พร้อมที่จะป้อนเข้าวงจรถอดรหัส (Decoder) ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.29 การถอดรหัสสัญญาณ [9]

2.10.2.6 ภาคถอดรหัสสัญญาณ (Decoder)

ในที่สุดก็มาถึงส่วนสำคัญที่สุดในเครื่องรับ ถ้าไม่มีภาคถอดรหัสสัญญาณนี้ จะไม่สามารถแยกการควบคุมแต่ละช่องได้ตามที่ต้องการ ในสมัยที่เต็มไปด้วยไอซีอย่างในปัจจุบัน เรามีไอซีที่ทำหน้าที่ถอดรหัสสัญญาณได้ง่าย ๆ ไม่ต้องใช้ทรานซิสเตอร์ 5-6 ตัว กับอุปกรณ์มากมายอย่างสมัยก่อน แต่ลองมาศึกษาดูว่าอะไรคือการถอดรหัสสัญญาณนี้ก่อนจะดีกว่า

สัญญาณขบวนพัลซ์จากภาคดีเทคเตอร์จะเป็นขบวนต่อเนื่องเรียกว่า (Serial pulse) เมื่อป้อนเข้าไปในภาคถอดรหัส จะถูกแยกออกมาเป็นชุด ๆ แต่ละชุดแยกจากกันตามที่ถูกกำเนิดขึ้นในภาคใส่รหัสของเครื่องส่ง ได้เป็นชุดของพัลซ์เท่ากับจำนวนแชนเนลของเครื่องส่ง เรียกขบวนพัลซ์ทางด้านออกจากภาคถอดรหัสสัญญาณนี้ว่าเป็นชนิดช้อมูลขนาน (Parallel) ดังนั้นภาคถอดรหัสสัญญาณนี้จะเป็นสิ่งที่เรียกว่า ซีเรียลอินพุต-ทู-พาราลเลลเอาต์พุต (Serial input-parallel output) ที่วงจรถอดรหัสนี้ ส่วนสำคัญที่ช่วยในการถอดรหัสเปรียบเสมือนผู้ควบคุมการแยกแชนเนล คือ ซิงโครไนเซชั่น พัลซ์ (Synchronization pulse) ซึ่งถูกส่งมาพร้อมกับสัญญาณบังคับจากเครื่องส่งนั่นเอง

2.11 วงจรรักษาระดับแรงดัน (Voltage Regulator Circuit)

2.11.1 วงจรเรกกูเลเตอร์โดยใช้ไอซี 3 ขาแบบแรงดันเอาต์พุตคงที่

ไอซี 3 ขาแบบแรงดันเอาต์พุตคงที่ที่นิยมใช้กันมากคือตระกูล MC78xx และตระกูล MC79xxโดยตระกูล 78xx จะใช้แรงดันแบบบวกที่คงที่ส่วนตระกูล 79xx จะให้แรงดันแบบลบคงที่ โดยที่ xx จะบอกขนาดแรงดันตัวอย่างเช่น MC7805 คือไอซีตระกูล MC78xx ที่ให้แรงดันแบบบวกคงที่ขนาด 5 Vและ MC7912 คือไอซีตระกูล MC79xx ที่ให้แรงดันแบบลบคงที่ขนาด 12 V เป็นต้น

IC ตระกูล MC78xx และ MC79xx จะมีลักษณะที่ใกล้เคียงกันมากจะแตกต่างกันเพียงการให้แรงดันคงที่บวกหรือลบเท่านั้นฉะนั้นในหัวข้อนี้จะกล่าวเกี่ยวกับการออกแบบไอซี MC78xx เสีย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

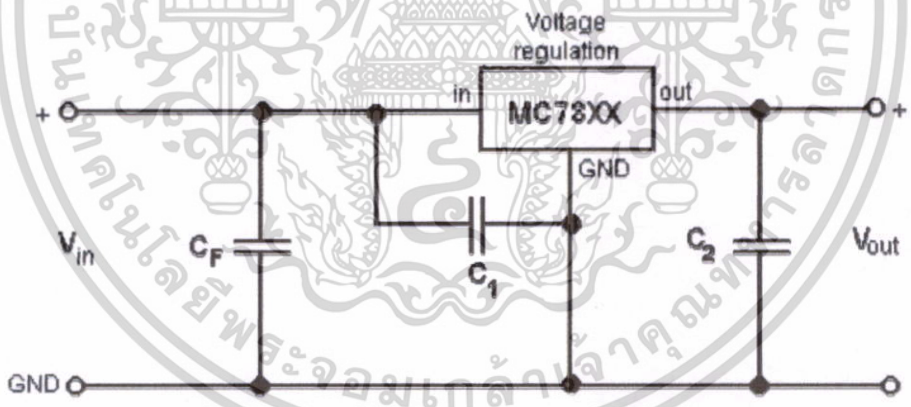
เป็นส่วนใหญ่ส่วนถ้าต้องการออกแบบไอซีตระกูล MC79xx ก็นำหลักการจากการออกแบบ MC78xx ไปใช้ได้เลย

ไอซีของบริษัทเนชันแนลตระกูล LM140 – xx / LM340 – xx จะมีลักษณะคล้ายกับตระกูลMC78xx คือให้แรงดันแบบบวกที่คงที่เหมือนกันส่วนตระกูล LM120 – xx / LM320 – xx จะมีลักษณะคล้ายกับตระกูล MC79xx คือให้แรงดันแบบลบที่คงที่เหมือนกันโดยที่ xx คือขนาดแรงดันเช่นเดียวกัน

2.11.2 วงจรเรกกูเลเตอร์พื้นฐานโดยใช้ไอซีตระกูล MC78xx และ MC79xx

ในรูปที่ 2.31 แสดงวงจรมาตรฐานของแหล่งจ่ายไฟแบบแรงดันเอาต์พุตคงที่โดยใช้ MC78xx เป็นวงจรเรกกูเลเตอร์จะเห็นได้ว่าขา in ของ MC78xx จะต่อกับไฟบวกส่วนขา GND จะต่อกับไฟลบ C_1ใส่ไว้เพื่อลดความเหนี่ยวนำภายในไอซีซึ่งมักใช้ค่า 1 μFแบบแทนทาลัมหรือ 0.1 μF แบบเซรามิกส่วนC_2มีไว้เพื่อป้องกันสัญญาณรบกวนซึ่งมักใช้ค่า 1 μFแบบแทนทาลัมหรือ 0.1 μF แบบเซรามิก

การป้องกันแรงดันที่ขา in และขา out ของ MC78xx จะต้องมีค่าต่างกันพอสมควรโดยดูจากค่าV_{in} – V_{out} ใน Data Sheet เช่น MC7805 ค่าV_{in}-V_{out}= 2Vฉะนั้นแรงดันที่ขา in ต้องป้อนมากกว่า 7V ขึ้นไปแต่ต้องน้อยกว่าค่า in(max) V ซึ่งจาก Data Sheet มีค่าเท่ากับ 35 V



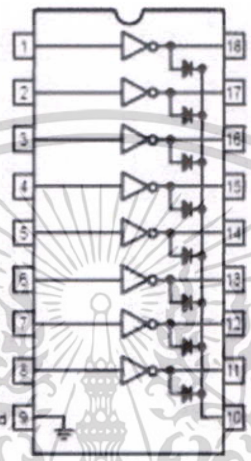
รูปที่ 2.30 วงจรแหล่งจ่ายไฟโดยใช้ MC78xx [12]

2.12 ULN2803

ไอซีเบอร์ ULN2803 Octal Peripheral Driver Arrays เป็นไอซีที่บรรจุวงจรทรานซิสเตอร์แบบ NPN ที่ต่อเป็นแบบ Darlington เหมาะสำหรับการเชื่อมต่อสัญญาระหว่างลอจิกที่มีระดับต่ำ (TTL, CMOS หรือ PMOS/NMOS) กับวงจรที่ต้องการลอจิกที่มีระดับแรงดัน/กระแสที่สูงกว่า เช่น หลอดไฟ, รีเลย์, มอเตอร์, หรือ โหลดที่จะนำมาต่อกับคอมพิวเตอร์ เป็นต้น เอาท์พุตของไอซีจะเป็นแบบ Open-Collector มี Free Wheeling Clamp Diodes ต่ออยู่ด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

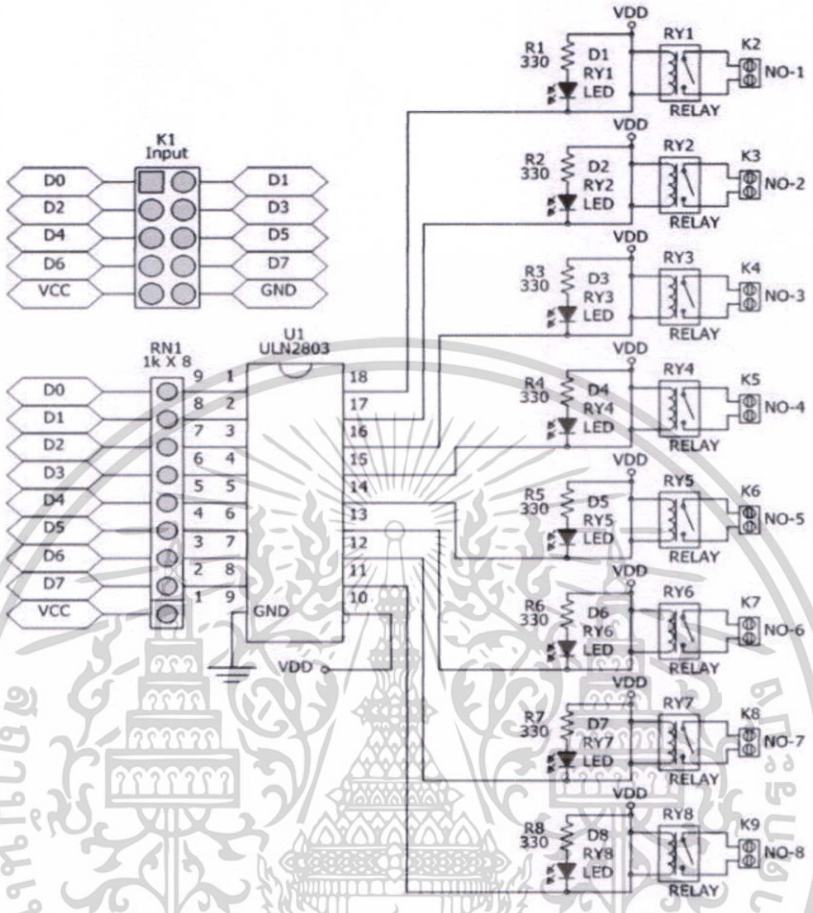
ช่วยป้องกันการเกิด Transient และ Back EMF จากโหลดที่เป็นพวกขดลวด โดยมีขา Emitter รวมกัน ต่อลงที่ขา 9 ซึ่งจะใช่ต่อลง Ground ของวงจร ตำแหน่งของขาและวงจรภายในแสดงดังรูปที่ 2.31



รูปที่ 2.31 ตำแหน่งขา ของ ULN2803A [10]

ULN2803 จะมีตัวความต้านทาน 2.7K Ohm ต่ออนุกรมอยู่ภายในที่ขาเบส และมีไดโอดทำให้รองรับระดับแรงดันอินพุต สูงสุด 30V โดยเทียบกับขา Emitter ระดับแรงดันอินพุตนี้จะขึ้นอยู่กับยี่ห้อและโหลดที่ใช้งาน (ควรศึกษาคู่มือก่อนนำมาใช้งาน) สำหรับระดับแรงดันต่ำอย่าง TTL หรือ CMOS จะไม่มีปัญหาแต่อย่างใด ส่วนทางด้านเอาท์พุตนั้น แรงดันสูงสุดที่ใช้งานได้ 50V จ่ายกระแสเอาท์พุตต่อเนื่องได้ 500mA ขนาดพิกัดของเอาท์พุตระดับนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้หลากหลาย ตัวอย่างเช่น วงจรขับรีเลย์ (แสดงดังรูปด้านล่าง) ที่มีระดับแรงดัน VDD เป็น 12V หรือ 24 V เมื่อเราจะใช้ไมโครคอนโทรเลอร์ที่ใช้ระดับแรงดัน VCC ที่เป็น 3.3V หรือ 5V ขับรีเลย์ เราสามารถใช้ ULN2803 มาทำหน้าที่เป็น Logic Buffer เพื่อป้องการไมโครคอนโทรเลอร์เสียหาย โดย RN1 ในวงจรจะเป็น Resister Network ซึ่งหากไมโครคอนโทรเลอร์มีกำลังขับเพียงพอก็ไม่จำเป็นต้องใช้ก็ได้ ส่วนความต้านทานที่ต่ออนุกรมกับ LED เพื่อแสดงการทำงานของรีเลย์ อาจต้องเปลี่ยนค่าให้เหมาะสมกับระดับ VDD ที่ใช้และการทนกระแสของ LED

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.32 วงจรขับรีเลย์ด้วยไมโครคอนโทรเลอร์ [10]

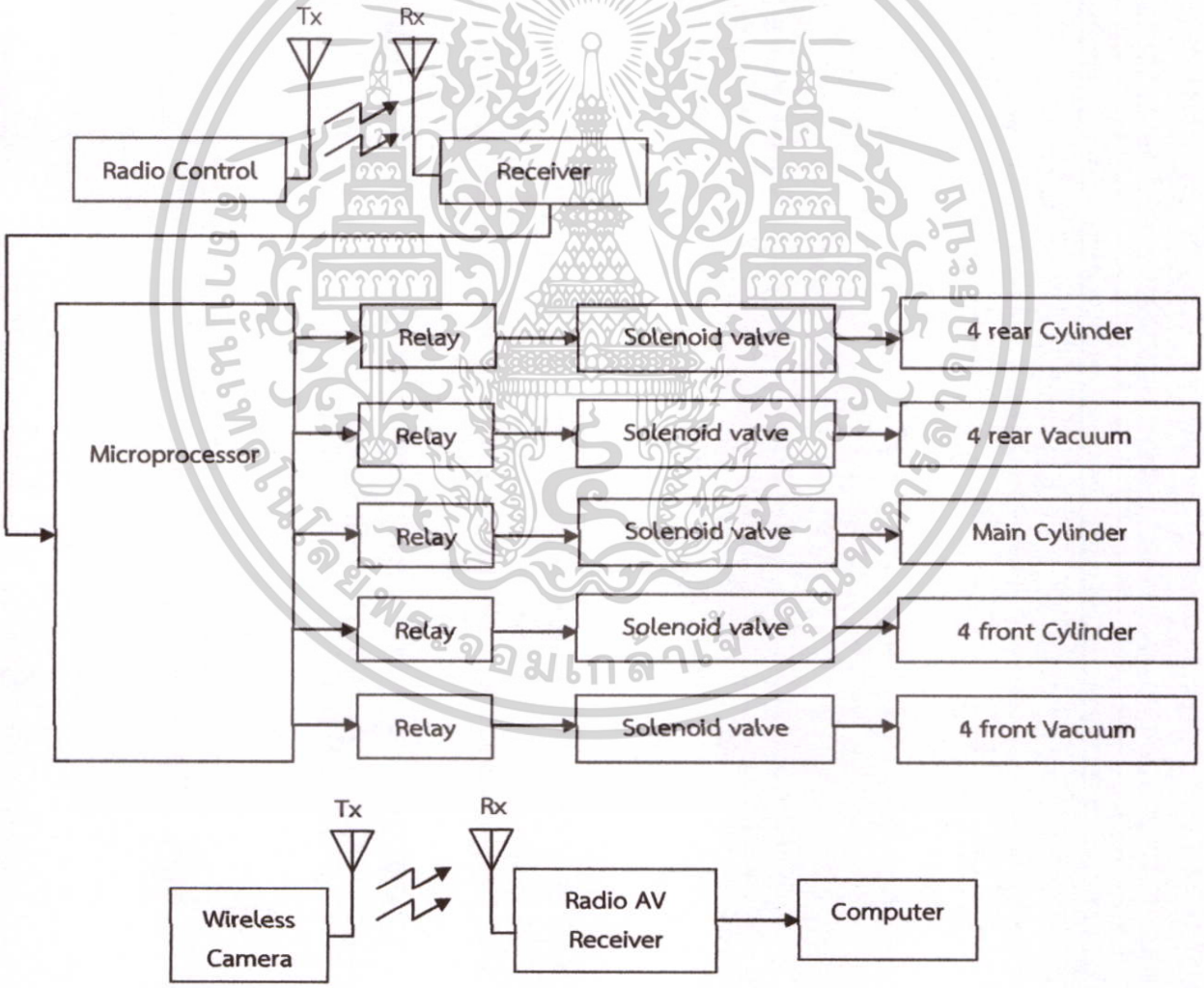
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การจัดทำโครงงานและการออกแบบ

3.1.บล็อกไดอะแกรมการทำงานของโครงงาน

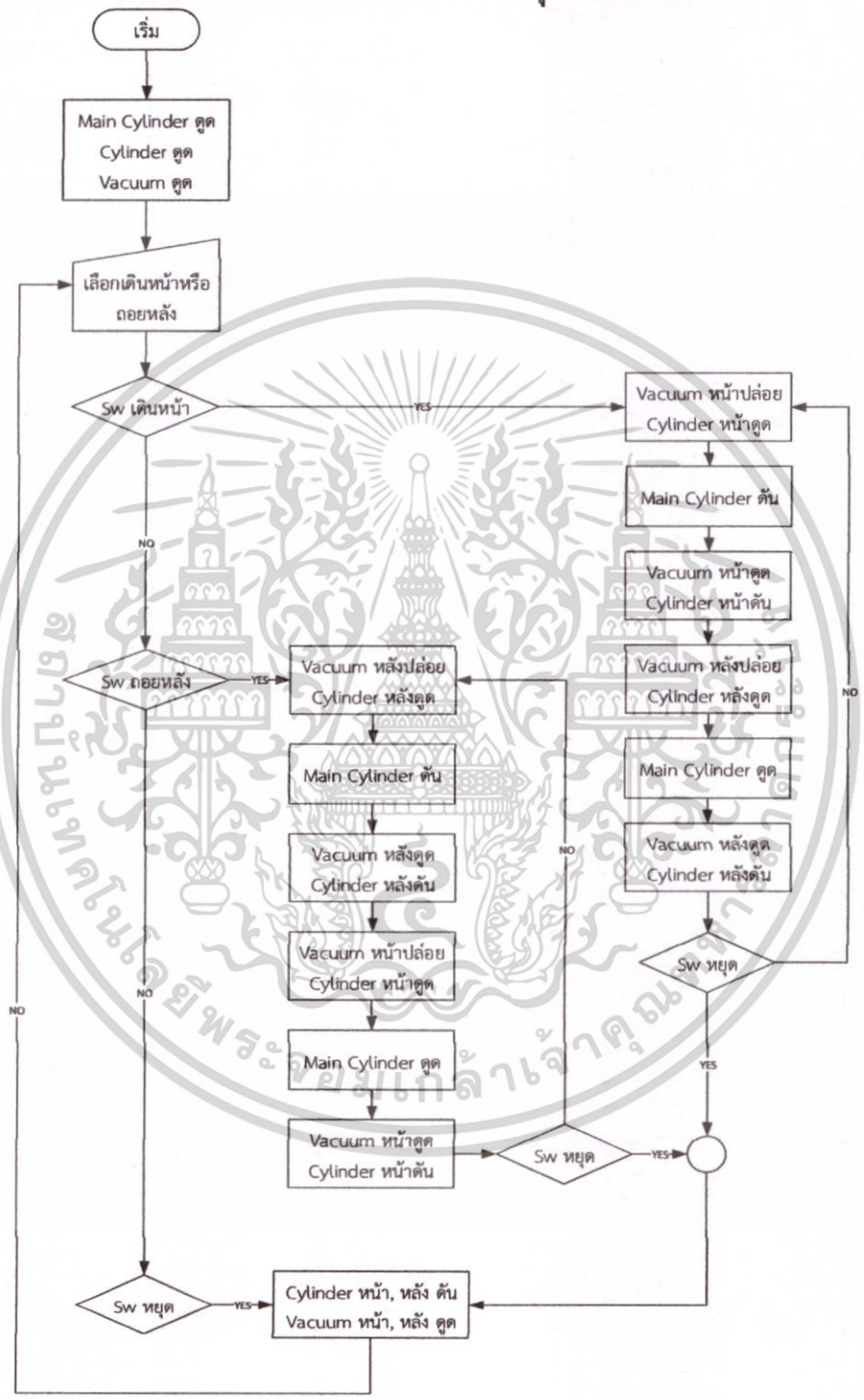
บล็อกไดอะแกรม(Block Diagram) การเชื่อมต่ออุปกรณ์ระบบหุ่นยนต์มีการทำงานโดยไมโครคอนโทรลเลอร์รับคำสั่งที่ส่งมาจากรีโมทคอนโทรลเข้าสู่เครื่องรับ โดยคำสั่งประกอบด้วย "ขึ้น", "ลง" และ "หยุด" จากนั้นไมโครคอนโทรลเลอร์จะส่งเอาต์พุตไปควบคุมสวิตช์รีเลย์ที่ต่อกับโซลีนอยด์วาล์ว เพื่อสั่งให้กระบอกสูบและเวกคั่มทำงานหรือหยุดทำงาน ลำดับการทำงานของกระบอกสูบและเวกคั่มในแต่ละคำสั่งจะอ้างอิงมาจากโปรแกรมในไมโครคอนโทรลเลอร์



รูปที่ 3.1 บล็อกไดอะแกรมการเชื่อมต่ออุปกรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 Flowchart การทำงานของโปรแกรมที่ใช้ควบคุมการทำงาน



รูปที่ 3.2 โฟลว์ชาร์ตหุ่นยนต์ไต่ผนังด้วยระบบนิวแมติกส์

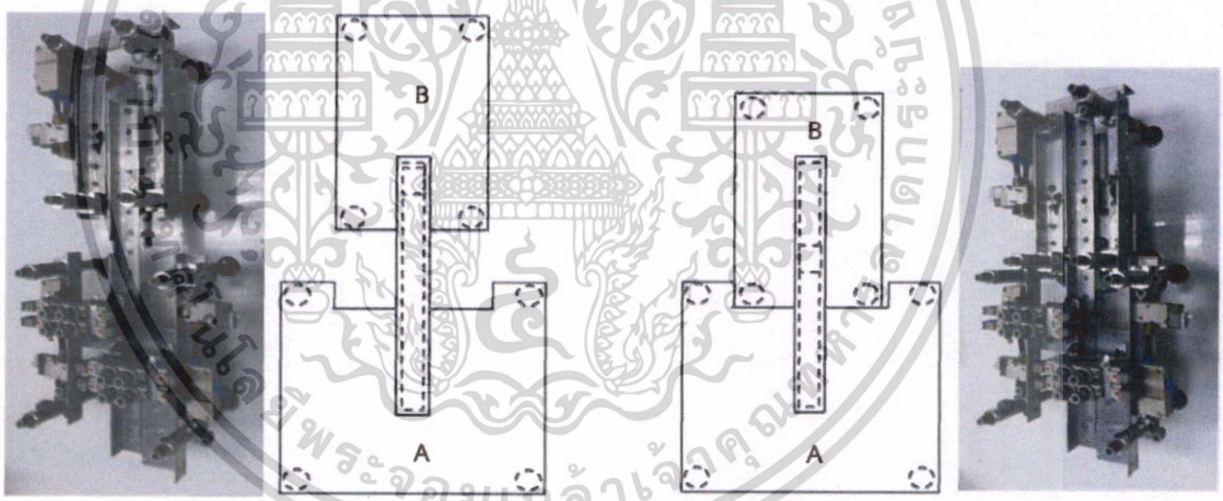
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Flowchart นั้นมีการวางขั้นตอนของโปรแกรมโดยอ้างอิงจากลำดับการเคลื่อนที่ที่ได้ออกแบบไว้ ยกตัวอย่างเมื่อได้รับคำสั่ง "ขึ้น" ในขั้นตอนที่ 1 หรือขั้นตอนเริ่มต้น กระบอกสูบทั้งหมดจะดัน และเวกคั่มทั้งหมดจะดูด ในขั้นตอนที่ 2 เวกคั่มชุด A จะปล่อย และกระบอกสูบชุด A จะดึงกลับ ในขั้นตอนที่ 3 กระบอกสูบหลักจะทำการดัน ในขั้นตอนที่ 4 เวกคั่มชุด A จะดูด และกระบอกสูบชุด A จะดัน ในขั้นตอนที่ 5 เวกคั่มชุด B จะปล่อย และกระบอกสูบชุด B จะดึงกลับ ในขั้นตอนที่ 6 กระบอกสูบหลักจะทำการดึงกลับ และในขั้นตอนที่ 7 เวกคั่มชุด B จะดูด และกระบอกสูบชุด B จะดัน หรือกลับไปอยู่ในสถานะของขั้นตอนที่ 1 นั่นเอง ส่วนการทำงานเมื่อได้รับคำสั่ง "ลง" จะทำการสลับการทำงานโดยเริ่มจากการดึงกลับของกระบอกสูบชุด B และการปล่อยของเวคคั่มชุด B ก่อนที่จะทำตามขั้นตอนต่อไป

3.3 การจัดทำโครงงานและการออกแบบ

3.3.1 รูปแบบการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ที่ได้จากการออกแบบ

จากรูปที่ 3.3(ก) แสดงการเคลื่อนที่เมื่อกระบอกสูบดัน และจากรูปที่ 3.3(ข) แสดงการเคลื่อนที่เมื่อกระบอกสูบดึง



(ก) (ข)

รูปที่ 3.3 รูปแบบการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์

3.3.2 หลักการทำงานของอุปกรณ์และการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์

การเคลื่อนที่ใน Step 1

1) Solenoid valve ของ Vacuum ชุดหน้าและชุดหลังทำงาน
2) Solenoid valve ของ Cylinder ชุดหน้าและชุดหลังทำงาน
3) Solenoid valve ของ Main Cylinder หยุดทำงาน

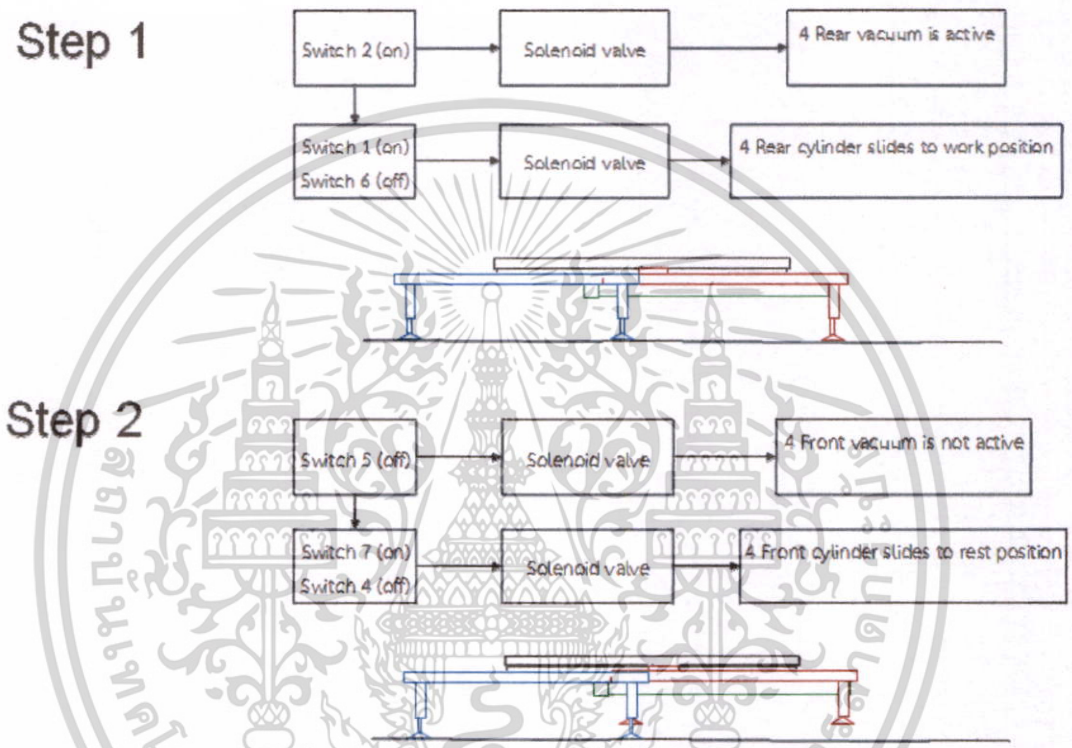
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเคลื่อนที่ใน Step 2

1) Solenoid valve ของ Vacuum ชุดหน้าหยุดทำงานและชุดหลังทำงาน

2) Solenoid valve ของ Cylinder ชุดหน้าหยุดทำงานและชุดหลังทำงาน

3) Solenoid valve ของ Main Cylinder หยุดทำงาน



รูปที่ 3.4 หลักการทำงานของอุปกรณ์และการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ใน Step 1 และ Step 2

การเคลื่อนที่ใน Step 3

1) Solenoid valve ของ Vacuum ชุดหน้าหยุดทำงานและชุดหลังทำงาน

2) Solenoid valve ของ Cylinder ชุดหน้าหยุดทำงานและชุดหลังทำงาน

3) Solenoid valve ของ Main Cylinder ทำงาน

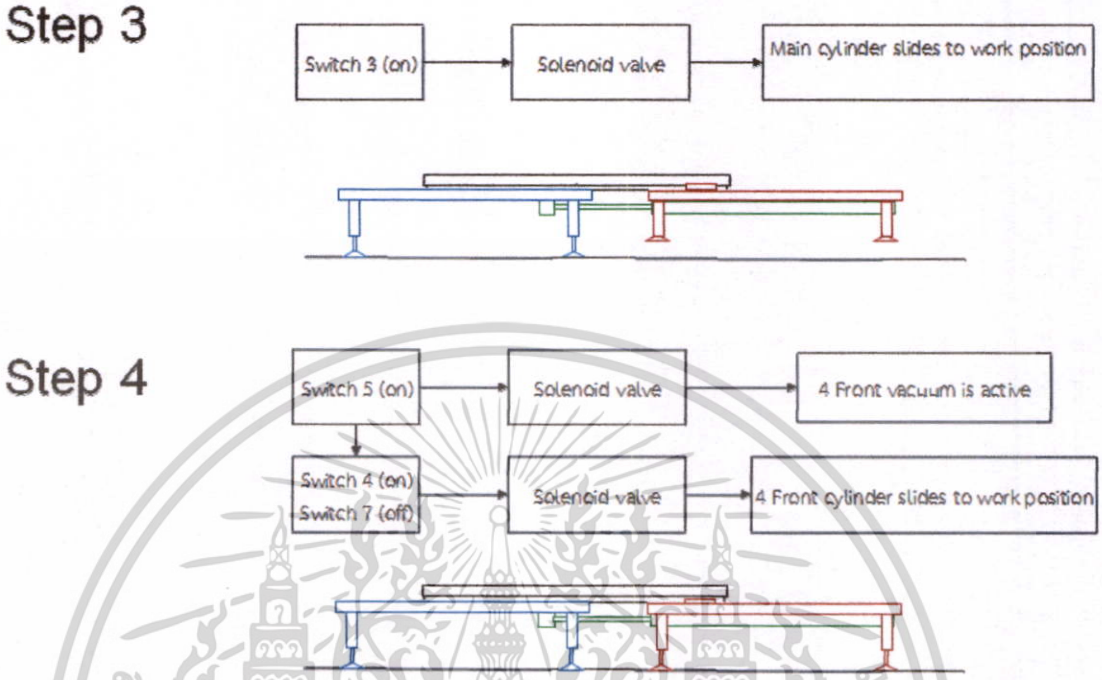
การเคลื่อนที่ใน Step 4

1) Solenoid valve ของ Vacuum ชุดหน้าและชุดหลังทำงาน

2) Solenoid valve ของ Cylinder ชุดหน้าและชุดหลังทำงาน

3) Solenoid valve ของ Main Cylinder ทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์เพื่อการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.5 หลักการทำงานของอุปกรณ์และการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ใน Step 3 และ Step 4

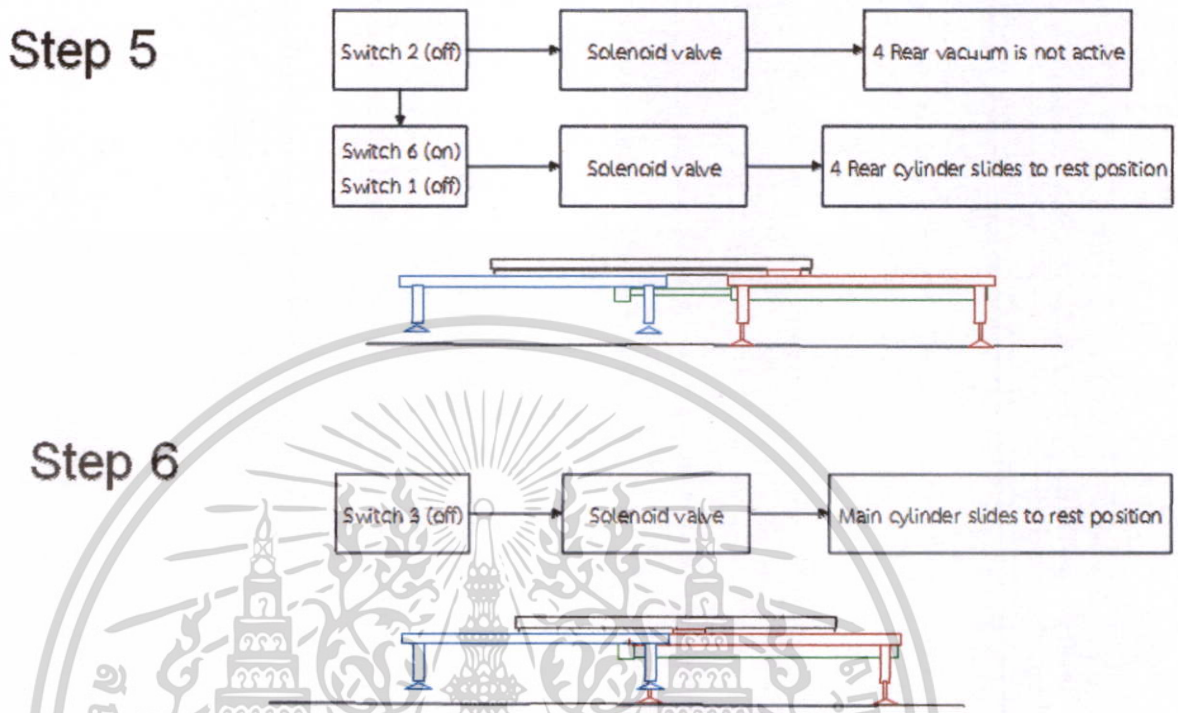
การเคลื่อนที่ใน Step 5

1) Solenoid valve ของ Vacuum ชุดหน้าทำงานและชุดหลังหยุดทำงาน
2) Solenoid valve ของ Cylinder ชุดหน้าทำงานและชุดหลังหยุดทำงาน
3) Solenoid valve ของ Main Cylinder ทำงาน

การเคลื่อนที่ใน Step 6

1) Solenoid valve ของ Vacuum ชุดหน้าทำงานและชุดหลังหยุดทำงาน
2) Solenoid valve ของ Cylinder ชุดหน้าทำงานและชุดหลังหยุดทำงาน
3) Solenoid valve ของ Main Cylinder หยุดทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

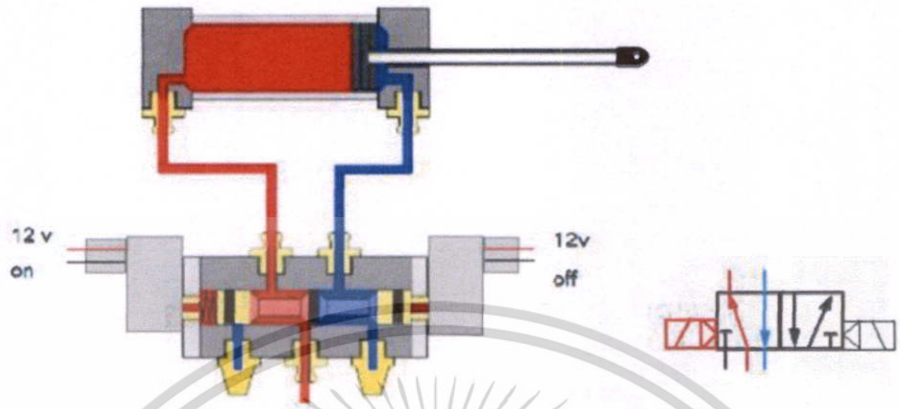


รูปที่ 3.6 หลักการทำงานของอุปกรณ์และการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ใน Step 5 และ Step 6

3.3.3 การเชื่อมต่อและหลักการทำงานของ Solenoid Valve กับ Double-Acting Cylinder

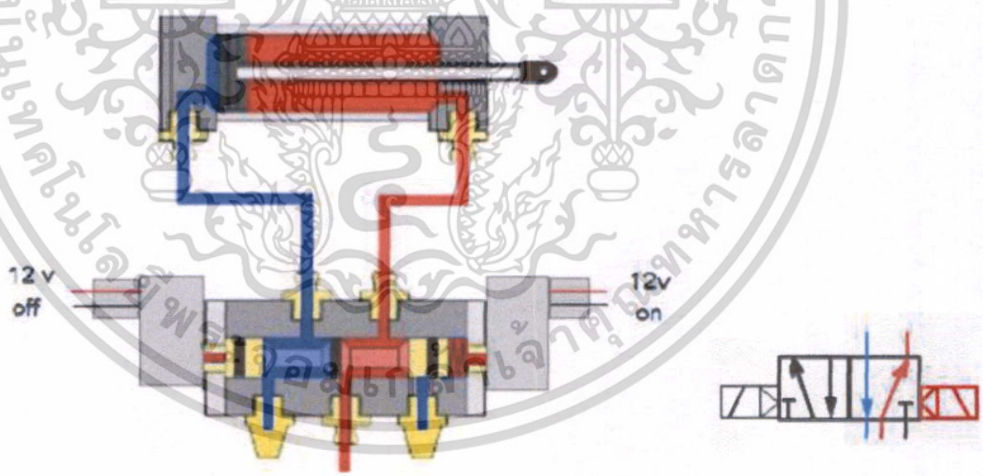
จากรูปที่ 3.7 แสดงการเชื่อมต่อและการทำงานของ Solenoid Valve กับ Double-Acting Cylinder ในขณะที่กระบอกสูบดัน ซึ่งทำงานโดยจ่ายไฟ 12V ให้กับ Solenoid ซ้าย จากนั้น Valve ซ้าย จะทำการเลื่อนเปิด ทำให้แรงดันลมในท่อลมไหลเข้าสู่กระบอกสูบของฝั่งดันทำให้กระบอกสูบยืดออก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.7 การเชื่อมต่อและหลักการทำงานของกระบอกสูบและ Solenoid Valve ในขณะที่กระบอกสูบดัน

จากรูปที่ 3.8 แสดงการเชื่อมต่อและการทำงานของ Solenoid Valve กับ Double-Acting Cylinder ในขณะที่กระบอกสูบดัน ซึ่งทำงานโดยจ่ายไฟ 12V ให้กับ Solenoid ขวา จากนั้น Valve ขวา จะทำการเลื่อนเปิด ทำให้แรงดันลมในท่อลมไหลเข้าสู่กระบอกสูบของฝั่งดึงทำให้กระบอกสูบยืดหดเข้า

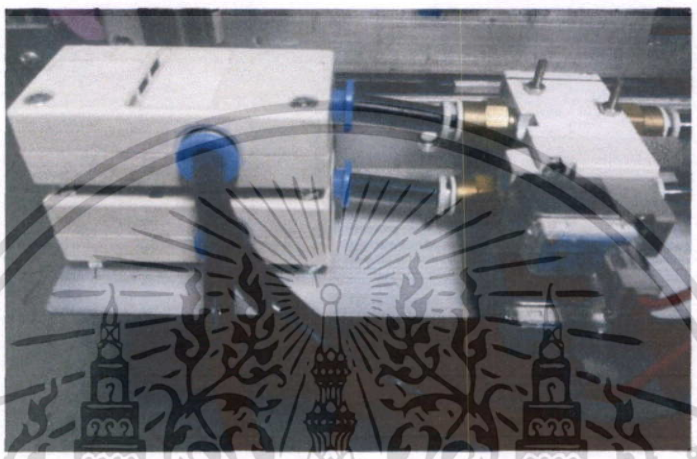


รูปที่ 3.8 การเชื่อมต่อและหลักการทำงานของกระบอกสูบและ Solenoid Valve ในขณะที่กระบอกสูบดึง

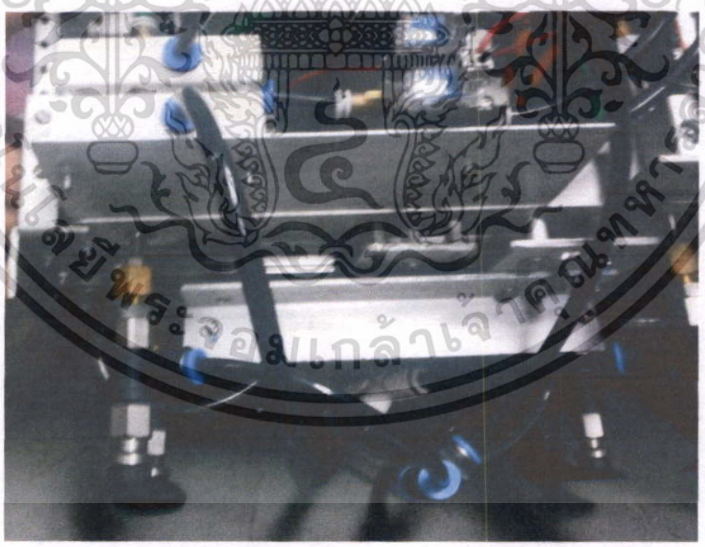
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.4 การเชื่อมต่อ Solenoid Valve และอุปกรณ์ Vacuum

การเชื่อมต่อ Solenoid Valve และ Vacuum แสดงได้ดังรูปที่ 3.9 และ 3.10 การทำงานของ Vacuum จะทำงานเมื่อ Solenoid Valve on จากนั้นอุปกรณ์ Vacuum จะทำการดูดยึดติดกับกระจก



รูปที่ 3.9 Vacuum Ejecter เชื่อมต่อกับ Solenoid Valve แบบทิศทางเดียว

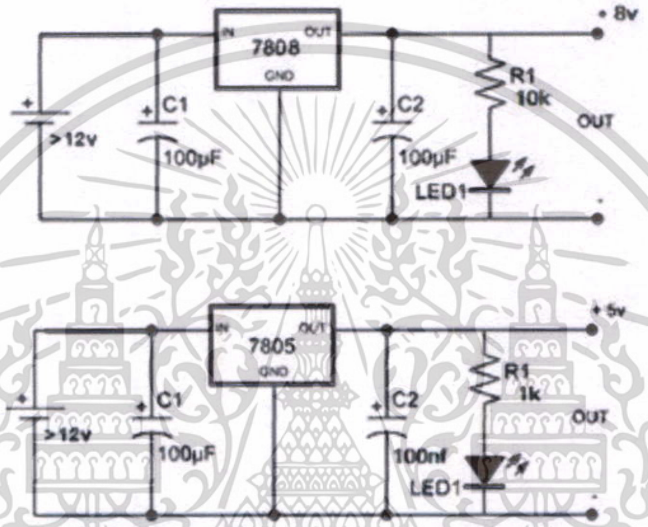


รูปที่ 3.10 ชุดควบคุม Vacuum

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.5 วงจร Regulator แบบแรงดันเอาต์พุตคงที่

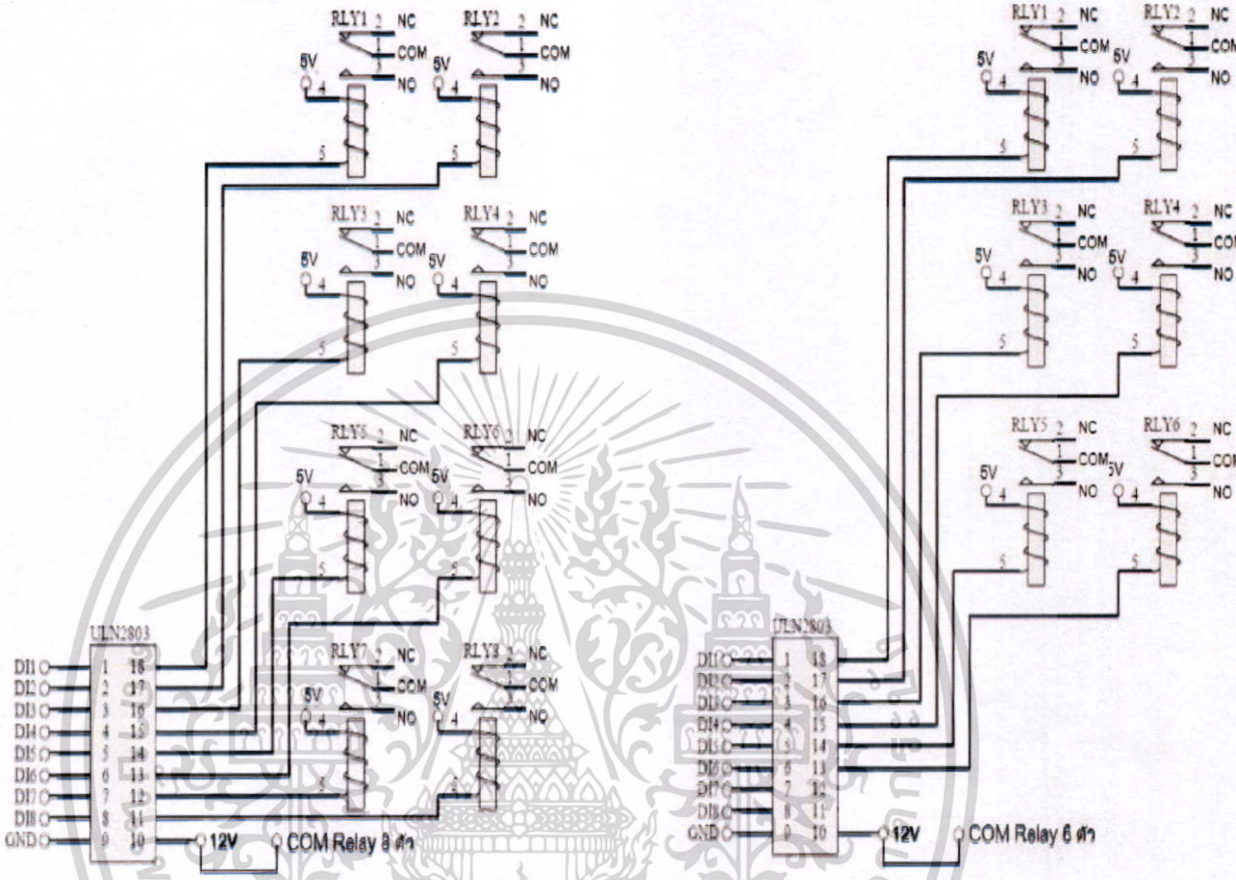
วงจร Regulator ใช้สำหรับการจ่ายไฟให้กับอุปกรณ์ต่างๆภายในหุ่นยนต์ โดยวงจร Regulator 7808 ให้แรงดัน output = 8V และวงจร Regulator 7808 ให้แรงดัน output = 5V โดยมีแรงดัน input ที่จ่ายให้กับวงจรเป็น 12 V ซึ่งในระบบการทำงานของหุ่นยนต์จะมีกล้องไร้สายใช้ไฟเลี้ยง 8V, Microcontroller ใช้ไฟเลี้ยง 5V และวงจรขับรีเลย์ใช้ไฟเลี้ยง 12V และ 5V



รูปที่ 3.11 วงจร Regulator แบบแรงดันเอาต์พุตคงที่ 5V และ 8V

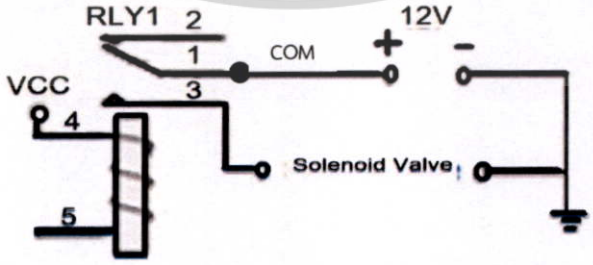
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.6 วงจรขับ Relay



รูปที่ 3.12 วงจรขับรีเลย์โดยใช้ ULN2803

จากรูปที่ 3.12 วงวงจรขับรีเลย์โดยใช้ ULN2803แสดงการเชื่อมต่อตำแหน่งการใช้งาน ไอซี ULN2803 กับอุปกรณ์รีเลย์โดย ตำแหน่งหมายเลข 1 ของรีเลย์คือขา COM หมายเลข 2 คือขา NC และหมายเลข 3 คือ NO โดยที่ COM จะทำการต่อกับแรงดัน 12V โดยที่ขา NO จะทำการต่อเข้ากับอุปกรณ์ Solenoid valve

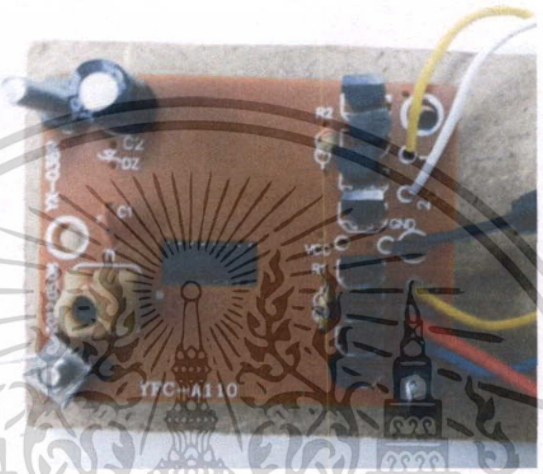


รูปที่ 3.13 การเชื่อมต่อรีเลย์กับ Solenoid valve

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.7 รีโมตบังคับวิทยุ

จากรูปที่ 3.14 และรูปที่ 3.15 รีโมตบังคับวิทยุที่ใช้ควบคุมการทำงานของหุ่นยนต์ มีความถี่ในการส่ง 27 Mhz ใช้ตัวส่งเป็นรีโมตโดยกำหนดให้ปุ่ม 1 เป็นปุ่มคำสั่งในการเคลื่อนที่ขึ้น ปุ่ม 2 เป็นปุ่มคำสั่งในการเคลื่อนที่ลง และปุ่มที่ 3 เป็นปุ่มคำสั่งหยุด และมีตัวรับเชื่อมต่อเข้ากับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์



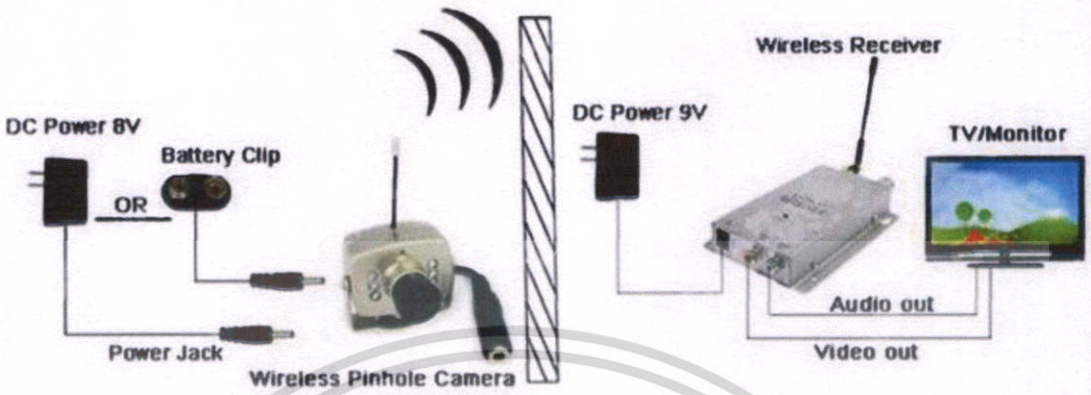
รูปที่ 3.14 ตัวรับสัญญาณรีโมต

รูปที่ 3.15 ตัวส่งสัญญาณรีโมต

3.3.8 กล้องตรวจจับภาพแบบไร้สาย

จากรูปที่ 3.16 แสดงการทำงานกล้องตรวจจับภาพไร้สาย โดยกล้องจะทำการติดตั้งบนตัวหุ่นยนต์ และจะทำการส่งภาพยังตัวรับ ซึ่งตัวรับจะต่อเข้ากับจอคอมพิวเตอร์ โดยสัญญาณในการส่งของกล้องอยู่ในย่านความถี่ 1.2 GHz และระยะในการส่งอยู่ที่ไม่เกิน 50 m

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.16 การเชื่อมต่อการใช้งานกล้องตรวจจับภาพแบบไร้สาย

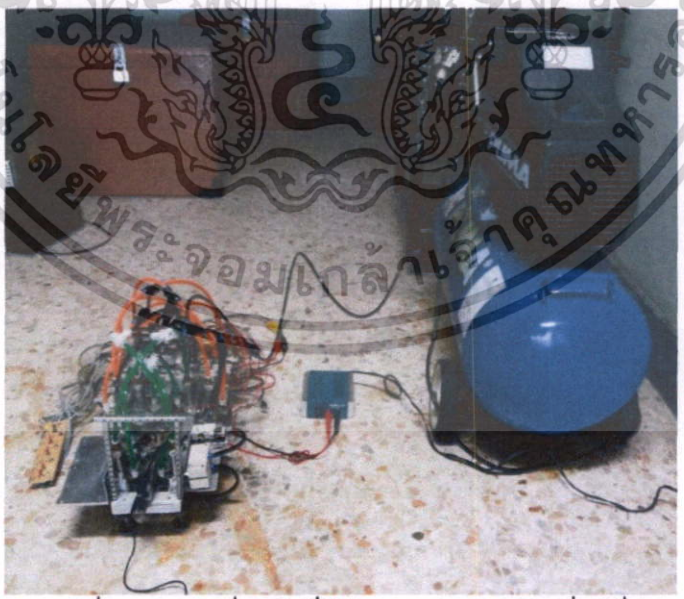
3.4 วิธีการทดลองการทำงาน

จากรูปที่ 3.17 แสดงการเชื่อมต่ออุปกรณ์ในการทดลองการทำงานของหุ่นยนต์โดยมีขั้นตอนการเชื่อมต่อ ดังนี้

3.4.1 ทำการต่อปั๊มลมเข้ากับท่อลมหลักของหุ่นยนต์

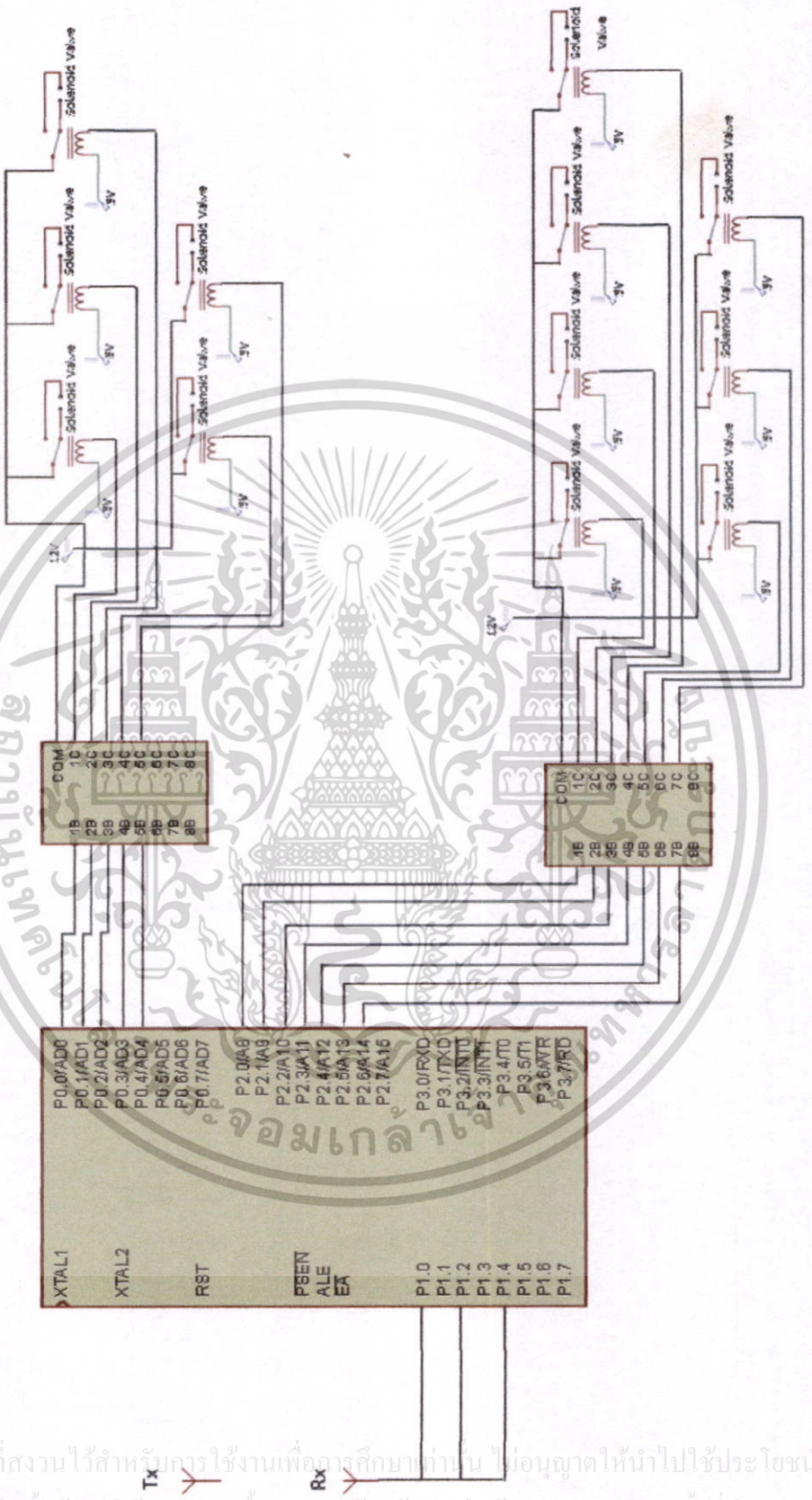
3.4.2 เชื่อมต่อไฟเลี้ยง 12 V ให้กับชุดควบคุมหุ่นยนต์

3.4.3 นำหุ่นยนต์ไปทำการไต่กระจก โดยทำการควบคุมการเคลื่อนที่ตาม Step การทำงานที่กำหนดไว้ตามชุดควบคุม



รูปที่ 3.17 การเชื่อมต่อที่ใช้ในการทดลองการเคลื่อนที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.18 วงจรควบคุม Solenoid Valve

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 3.18 แสดงวงจรควบคุม Solenoid Valve โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์รุ่น ET-BASE51 AC3 (AT89C51AC3) ที่รับคำสั่งจากรีโมทคอนโทรล และเมื่อได้รับคำสั่งจะทำการประมวลผลด้วยโปรแกรมภาษา C จากนั้นจะทำการปล่อย output ไปยัง IC ULN2803 ซึ่งเป็นวงจรขับรีเลย์ เพื่อควบคุมการทำงานของSolenoid Valve

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

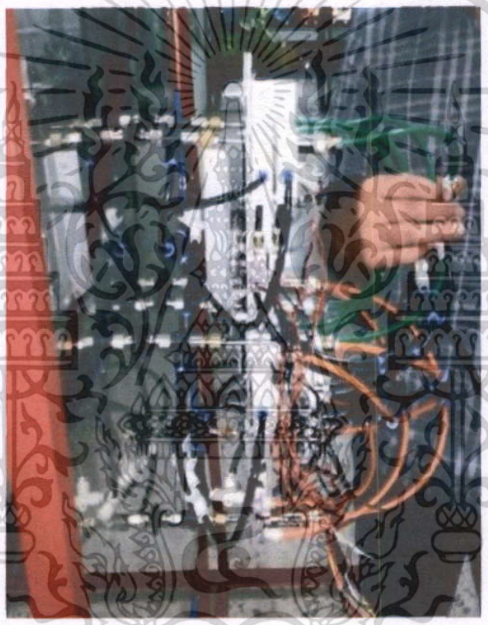
บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1 แสดงผลการทำงาน

4.1.1 การเริ่มต้นการทำงาน

เริ่มต้น โดยให้ Vacuum ชุดหลังทำงาน, Cylinder ชุดหลัง Forward Main Cylinder Reward, Vacuum ชุดหน้าทำงาน และ Cylinder ชุดหน้า Forward เพื่อให้หุ่นยนต์ทำการเกาะติดกับกระจก

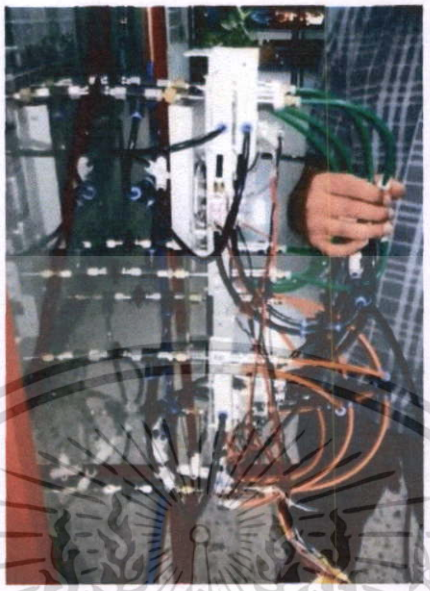


รูปที่ 4.1 หุ่นยนต์เริ่มต้นการทำงานโดยทำการเกาะติดกับกระจก

4.1.2 การทำงาน : การไต่ขึ้น

1) Vacuum ชุดหลังทำงานและ Cylinder ชุดหลัง Forward
2) Vacuum ชุดหน้าหยุดทำงาน Cylinder ชุดหน้า Reward
3) Main Cylinder Forward
4) Vacuum ชุดหน้าทำงาน Cylinder ชุดหน้า Forward

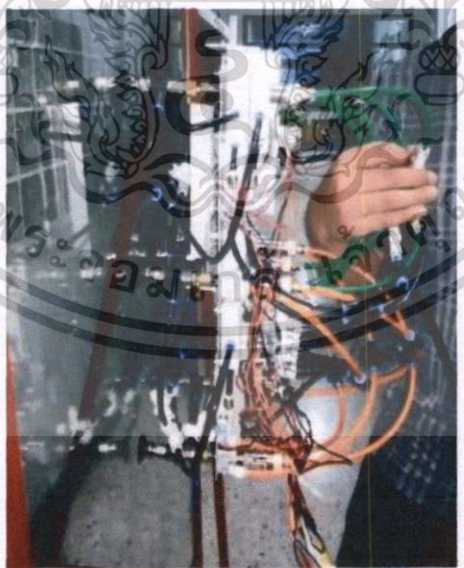
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 ลักษะการเคลื่อนที่ขึ้นในแนวดิ่งของหุ่นยนต์
ในขณะที่ Main Cylinder Forward

5) Vacuum ชุดหลังหยุดทำงานและ Cylinder ชุดหลัง Reward

6) Main Cylinder Reward และย้อนกลับไปทำงานที่ขั้นตอนที่ 1-6 อีกครั้ง ของขั้นตอนการทำงานในรูปที่ 4.1, 4.2 และ 4.3



รูปที่ 4.3 ลักษณะการเคลื่อนที่ขึ้นในแนวดิ่งของหุ่นยนต์
ในขณะที่ Main Cylinder Reward

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.4 ลักษะการเคลื่อนที่ลงในแนวดิ่งของหุ่นยนต์
ในขณะที่ Main Cylinder Reward

4.1.3 การทำงาน : การไต่ลง

1) Vacuum ชุดหลังหยุดทำงานและ Cylinder ชุดหลัง Reward
2) Vacuum ชุดหน้าทำงาน Cylinder ชุดหน้า Forward
3) Main Cylinder Forward
4) Vacuum ชุดหลังทำงาน Cylinder ชุดหลัง Forward

รูปที่ 4.5 ลักษะการเคลื่อนที่ขึ้นในแนวดิ่งของหุ่นยนต์
ในขณะที่ Main Cylinder Forward

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.6 ลักษะการเคลื่อนที่ขึ้นในแนวดิ่งของหุ่นยนต์
ในขณะที่ Main Cylinder Forward

5) Vacuum ชุดหน้าหยุดทำงานและ Cylinder ชุดหน้า Reward

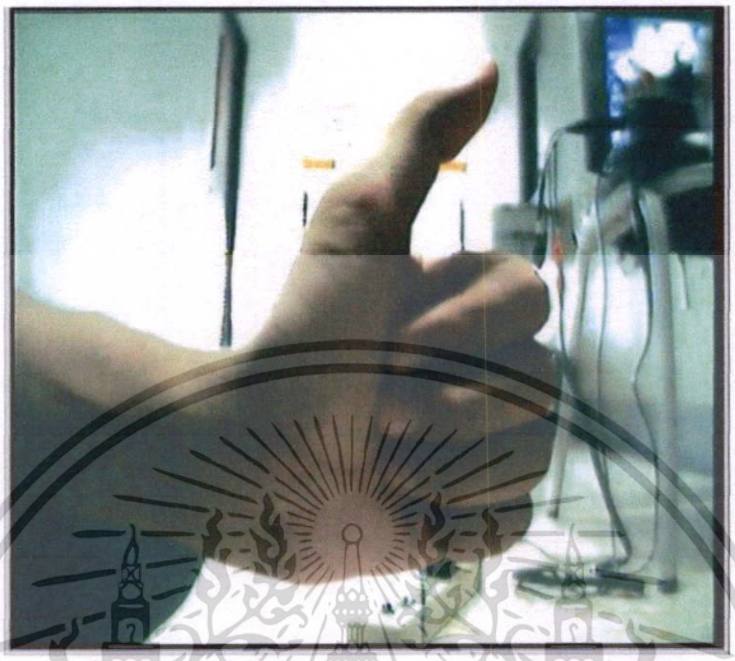
6) Main Cylinder Reward และย้อนกลับไปทำงานที่ขั้นตอนที่ 1-6 อีกครั้งของขั้นตอนการทำงานในรูปที่ 4.4, 4.5 และ 4.6

4.2. การส่งและรับสัญญานภาพ

4.2.1 การติดตั้ง

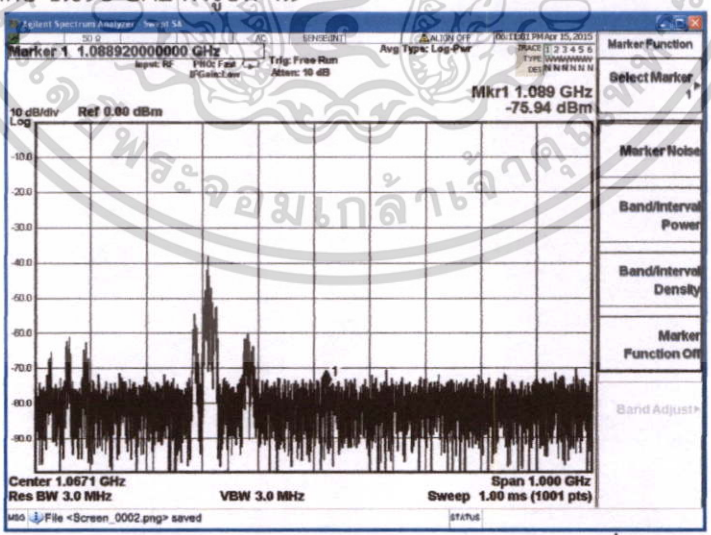
1) เชื่อมต่อเสาอากาศที่มีตัวรับสัญญาณของ Radio AV Receiver
2) เสียบ DC Power 9v-12v ของแหล่งจ่ายไฟเข้าไปใน Socket ไฟของ Radio AV Receiver
3) เชื่อมต่อ Radio AV Receiver กับจอแสดงผล
4) จ่ายไฟ 9 VDC เข้าไปใน Socket ไฟของกล้อง
5) ปรับความถี่ Radio AV Receiver ไปที่ตำแหน่งที่ต้องการ จนกระทั่งภาพของกล้องไร้สายที่ได้รับมีความชัดเจน
6) ปรับเลนส์ของกล้องไปยังตำแหน่งที่ดีที่สุดของเพื่อให้ได้ภาพที่ชัดขึ้น โดยภาพที่ได้จากกล้องจะทำการแสดงบนหน้าจอคอมพิวเตอร์ดังรูปที่ 4.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



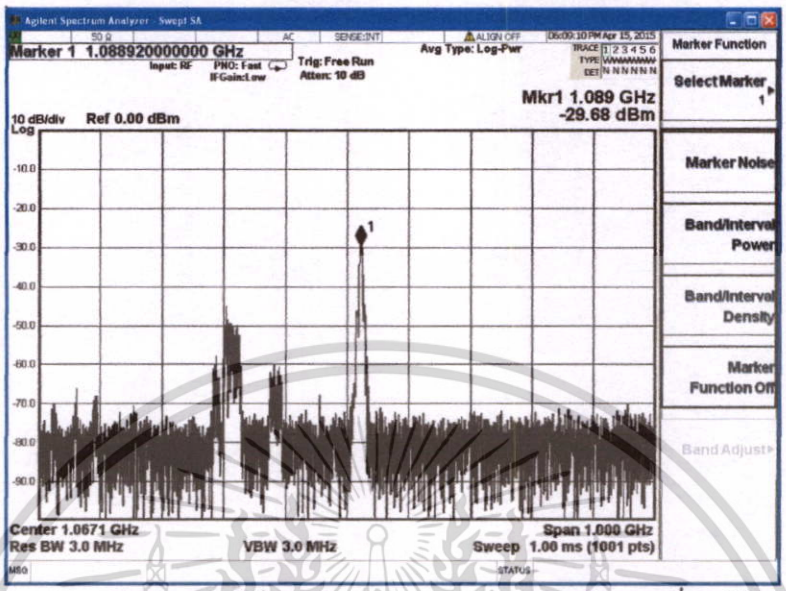
รูปที่ 4.7 ภาพจากการเชื่อมต่อกล้องไร้สายกับ Radio AV Receiver

การทดลองวัดสัญญาณสเปกตรัมของสัญญาณกล้อง ทำการวัดโดยการนำสายอากาศเชื่อมต่อเข้ากับเครื่องวัดสเปกตรัม จากนั้นทำการปรับ center frequency ในย่านความถี่ให้อยู่ในย่านที่เราต้องการวัด และเมื่อไม่มีการเปิดใช้งานกล้อง จะได้รูปสัญญาณเสปกตรัมดังรูปที่ 4.8 จากนั้นทำการการเปิดใช้งานกล้อง จะทำให้เห็นสัญญาณสเปกตรัมของกล้อง ซึ่งสัญญาณสเปกตรัมของกล้องที่วัดได้คือ 1.098 GHz ดังรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.8 สเปกตรัมของกล้องไร้สายกับ Radio AV Receiver ในขณะที่ยังไม่เปิดใช้งานกล้อง

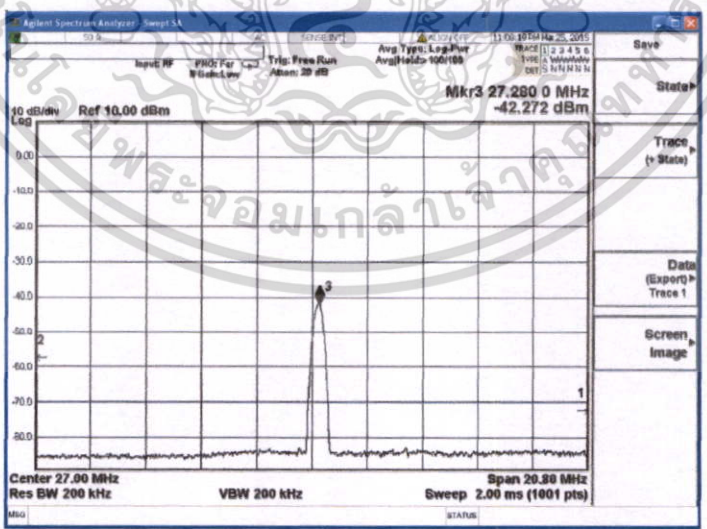
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.9 สเปกตรัมของกล้องไร้สายกับ Radio AV Receiver ในขณะที่เปิดใช้งานกล้อง

4.3 สัญญาณควบคุมจากเครื่องวิทยุบังคับ

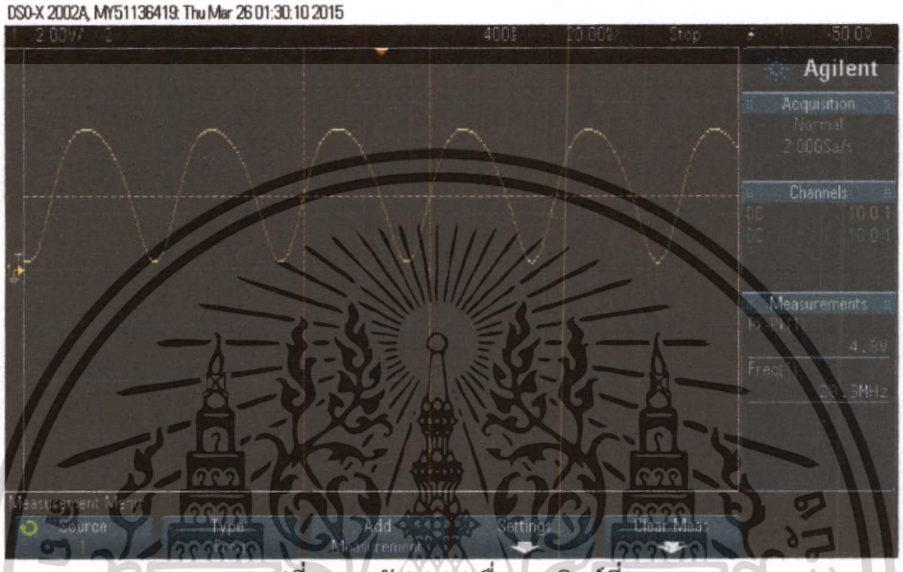
การทดลองวัดสัญญาณสเปกตรัมของรีโมตบังคับวิทยุ ทำการวัดโดยการนำสายอากาศเชื่อมต่อเข้ากับเครื่องวัดสเปกตรัม จากนั้นทำการปรับ center frequency ในย่านความถี่ที่ให้อยู่ในย่านที่เราต้องการวัด จากนั้นทำการการเปิดใช้งานรีโมตและทำการกดปุ่มส่งสัญญาณ จะทำให้เห็นสัญญาณสเปกตรัมของรีโมต ซึ่งสัญญาณสเปกตรัมของรีโมตที่วัดได้คือ 27.280 MHz ดังรูปที่ 4.10



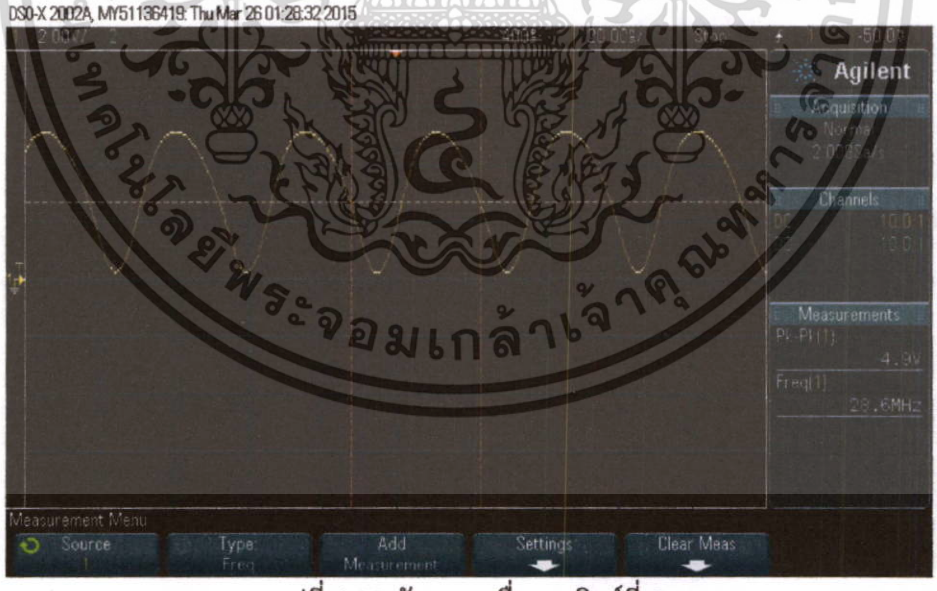
รูปที่ 4.10 สเปกตรัมของเครื่องส่งสัญญาณที่ทำการทดสอยด้วยการกดปุ่มทีละ 1 ปุ่ม มีความถี่เท่ากัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองวัดสัญญาณ output ที่ได้จากเครื่องส่งวิทยุ ซึ่งทำการวัดโดย Oscilloscope โดยทำการวัดสัญญาณเมื่อกดปุ่มสวิตช์บนรีโมตซึ่งขนาดของสัญญาณoutput ที่ได้เมื่อกดปุ่มสวิตช์ 1 แสดงดังรูปที่ 4.11 ,ขนาดของสัญญาณoutput ที่ได้เมื่อกดปุ่มสวิตช์ 2 แสดงดังรูปที่ 4.12 และขนาดของสัญญาณoutput ที่ได้เมื่อกดปุ่มสวิตช์ 3 แสดงดังรูปที่ 4.13

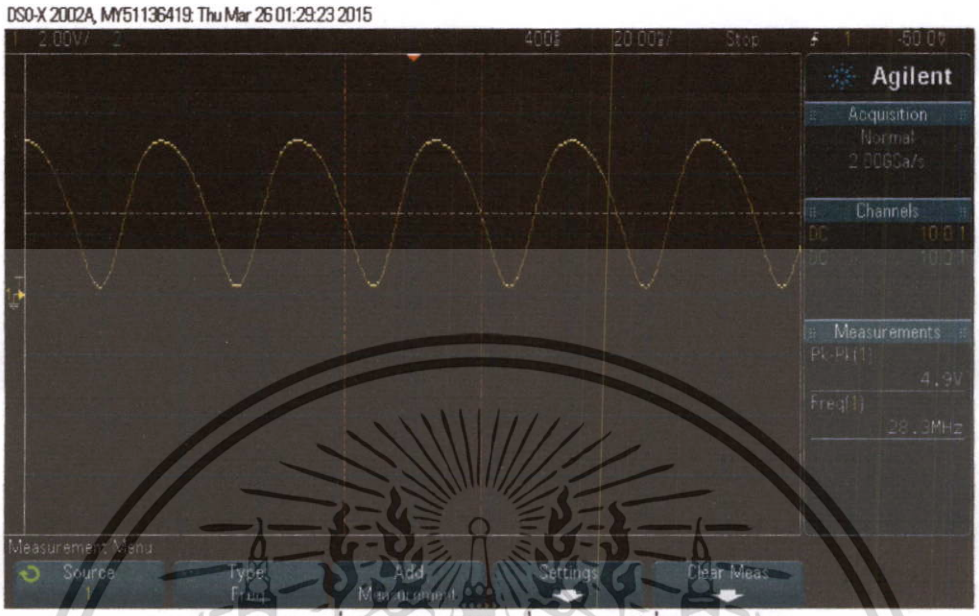


รูปที่ 4.11 สัญญาณเมื่อกดสวิตช์ที่ 1



รูปที่ 4.12 สัญญาณเมื่อกดสวิตช์ที่ 2

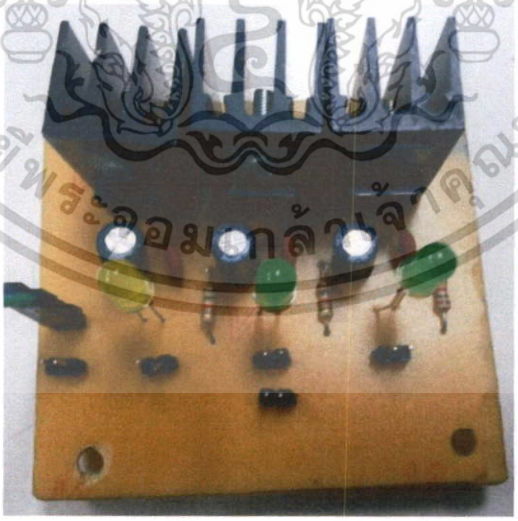
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.13 สัญญาณเมื่อกดสวิตช์ที่ 3

4.4 วงจรรักษาระดับแรงดัน Regulator

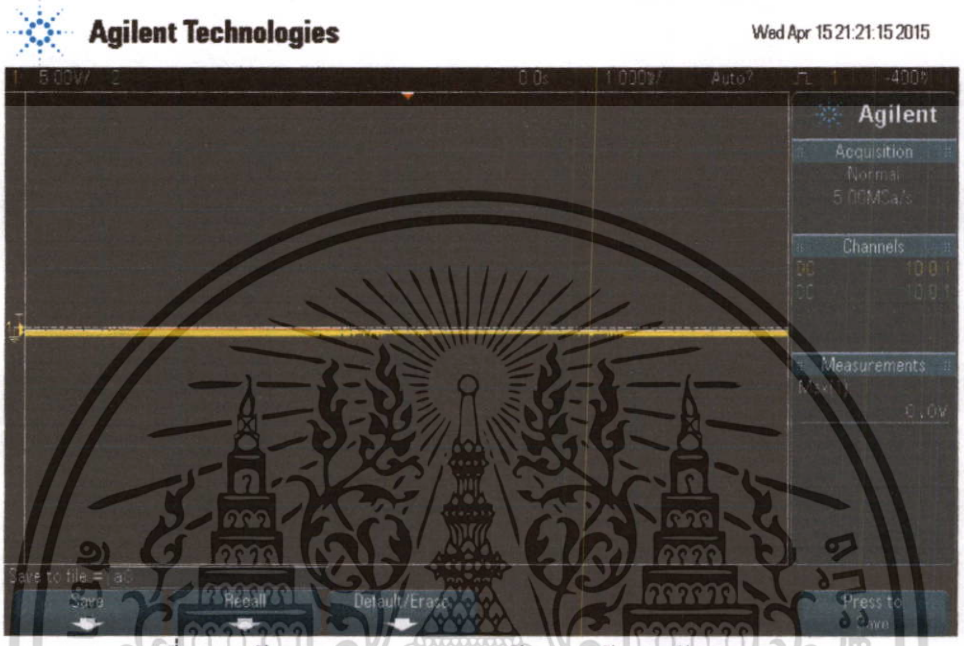
การทดลองนี้จะทำการจ่ายแรงดันจากอุปกรณ์ Switching 13.8V ให้กับวงจร Regulator และนำแรงดันต่างๆภายในวงจร Regulator ไปใช้ในการควบคุมทำงานของของอุปกรณ์ต่าง โดย 5V ทำการเชื่อมต่อเป็นไฟเลี้ยงให้กับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ กับตัวรับสัญญาณวิทยุ และเป็น VCC ให้กับ Relay และ 8V เป็นไฟเลี้ยงให้กับ กล้องไร้สาย



รูปที่ 4.14 วงจรรักษาระดับแรงดัน Regulator 5V และ 8V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

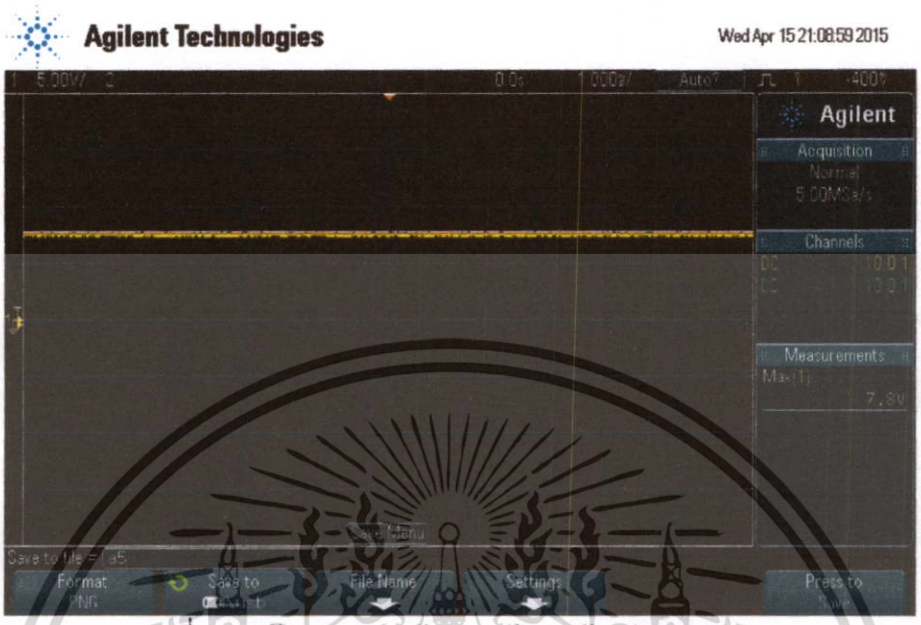
การทดลองวัดสัญญาณ output ของวงจร Regulator 7805 และ 7808 ซึ่งทำการวัดโดย Oscilloscope โดยสัญญาณ output ของวงจร Regulator 7805 วัดได้ 4.8 V แสดงดังรูปที่ 4.16 และสัญญาณ output ของวงจร Regulator 7808 วัดได้ 7.8 V แสดงดังรูปที่ 4.17



รูปที่ 4.15 สัญญาณ Ground วงจรรักษาระดับแรงดัน Regulator

รูปที่ 4.16 สัญญาณวงจรรักษาระดับแรงดัน Regulator 5V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



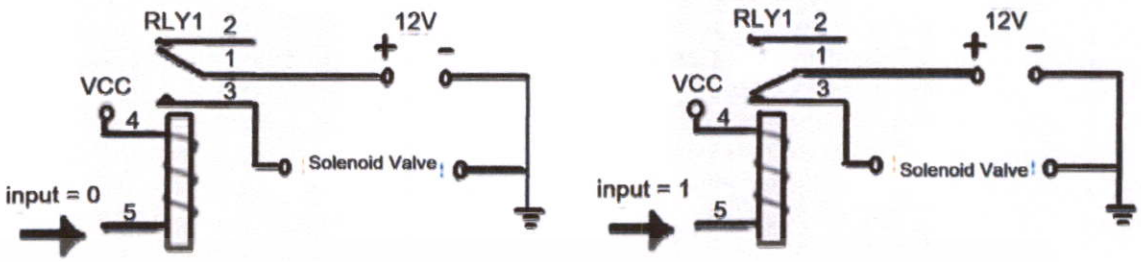
รูปที่ 4.17 สัญญาณวงจรรักษาระดับแรงดัน Regulator 8V

4.5 การควบคุมวาล์วของระบบนิวแมติกส์

การทดลองนี้จะทำการเชื่อมต่อ output จากไมโครคอนโทรลเลอร์ กับ input ของไอซี ULN2803 เมื่อจุดเชื่อมต่อ ULN2803 ได้รับสัญญาณเป็นลอจิก 0 จะทำให้ Relay อยู่ในสภาวะที่ไม่ทำงาน จึงไม่มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่าน Solenoid valve ทำให้วาล์วปิด ลมจึงไม่สามารถผ่านได้ แต่ถ้าจุดเชื่อมต่อ ULN2803 ได้รับสัญญาณเป็นลอจิก 1 จะทำให้ Relay อยู่ในสภาวะที่ทำงาน จึงมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่าน Solenoid valve ทำให้วาล์วเปิด ลมจึงสามารถผ่านได้

รูปที่ 4.18 บอร์ดรีเลย์โดยใช้ไอซี ULN2803 ควบคุมวาล์วของระบบนิวแมติกส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



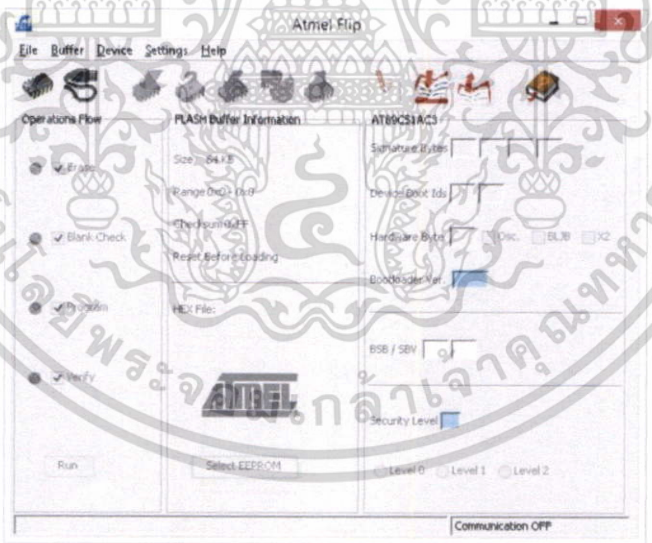
รูปที่ 4.19 การทำงานของรีเลย์เมื่อได้รับสัญญาณลอจิก 0 และลอจิก 1

4.6 การเบิร์นโปรแกรมเพื่อใช้งานควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์

1) ต่อสายสัญญาณ RS232 จาก Com Port ของเครื่องคอมพิวเตอร์ PC เข้ากับขั้ว ET-DOWNLOAD แบบ 5 Pin ของบอร์ด

2) จ่ายไฟเลี้ยงวงจรให้บอร์ด ซึ่งจะสังเกตุเห็น LED แสดงสถานะของ PWR สีแดงติดสว่างอยู่

3) สั่ง Run โปรแกรม FLIP V2.4.4 ซึ่งจะได้ผลดังรูป 4.20



รูปที่ 4.20 การ Run โปรแกรม FLIP V2.4.4

4) สั่งเลือกกำหนดเบอร์ของ MCU ที่ติดตั้งไว้ในบอร์ด โดยเลือก Device ⟶ Select ซึ่งต้องเลือกกำหนดให้ตรงกับที่ทำการติดตั้งไว้จริงๆในบอร์ดด้วย ดังตัวอย่าง (AT89C51AC3)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.21 การเลือกกำหนดเบอร์ CPU ของ ET-BASE51 AC3 (AT89C51AC3)

5) คลิกเมาส์ที่คำสั่ง Setting ⟶ Communication ⟶ RS232 จากนั้นเลือกกำหนด Comport ให้ตรงกับที่ต่อสายไว้จริง ดังรูป

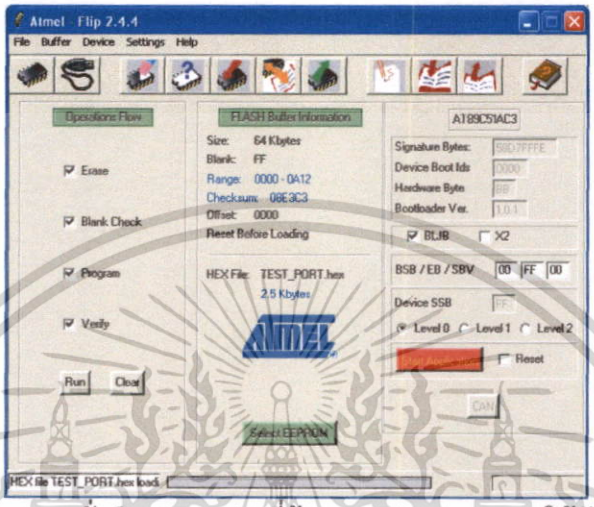
รูปที่ 4.22 การ กำหนด Comport ให้ตรงกับที่ต่อสาย

6) คลิกเมาส์ที่ปุ่ม Connect เพื่อทำการเชื่อมต่อกับ MCU ใน Monitor Mode ซึ่งจะได้ผล ดังรูป

รูปที่ 4.23 การเชื่อมต่อกับ MCU ใน Monitor Mode

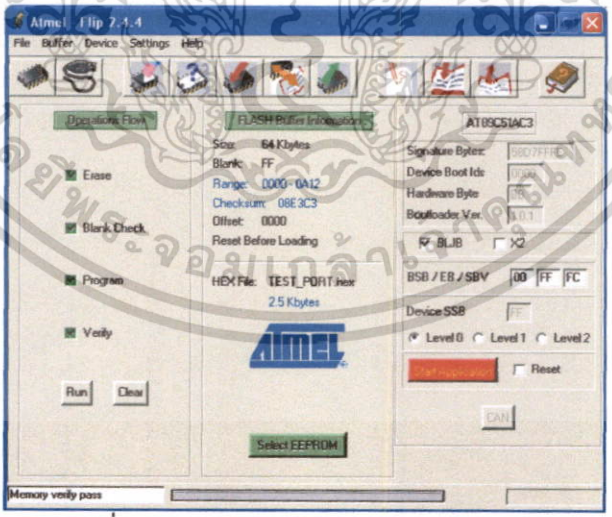
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. สั่งเปิด Hex File ที่ต้องการจะ Download ให้กับ MCU มารอไว้ใน Buffer ของโปรแกรม FLIP โดยใช้คำสั่ง “File ⟶ Load Hex File...”



รูปที่ 4.24 การสั่งเปิด Hex File ที่ต้องการจะ Download ให้กับ MCU

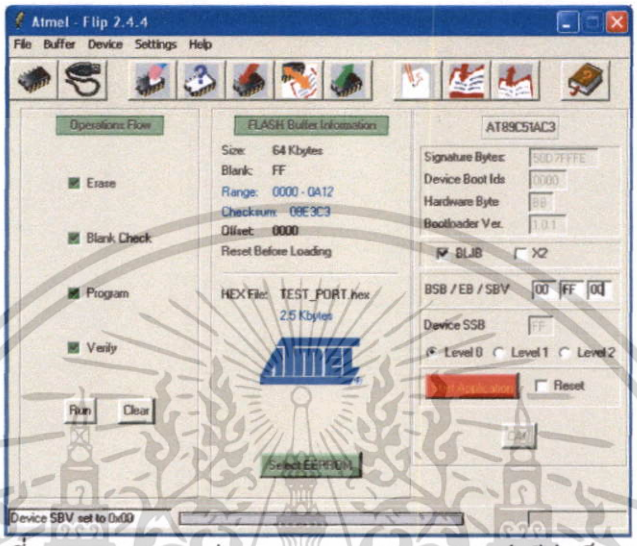
9. คลิกเมาส์ที่หน้าตัวเลือกคำสั่งใน Tab ของ Operation Flow ให้ครบทุกคำสั่ง ซึ่งได้แก่ Erase, Bank Check, Program, Verify จากนั้นคลิกเมาส์ที่ปุ่มคำสั่ง Run และรอจนการทำงานของโปรแกรมเสร็จเรียบร้อยดังรูป



รูปที่ 4.25 การ Run โปรแกรม FLIP V2.4.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

10. ตรวจสอบค่า Device BSB และ SBV ว่ามีค่าเป็น 00 ทั้งหมดแล้วหรือยัง ซึ่งถ้ายังไม่เป็น 00 ให้ทำการแก้ไขค่าให้เป็น 00 โดยคลิกเมาส์ในช่องตัวเลขแล้วพิมพ์ค่า 00 แทนที่ลงไปทั้ง 2 ช่องดังรูป



รูปที่ 4.26 ตรวจสอบค่า Device BSB และ SBV ว่ามีค่าเป็น 00

11. ทำการกดสวิตช์ Reset ให้กับบอร์ดเพื่อให้บอร์ดเริ่มต้นทำงานตามโปรแกรมที่ได้ทำการDownloadไปให้ ซึ่งถ้าไม่เกิดความผิดพลาดใดๆจะเห็น MCU เริ่มต้นทำงานทันที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผล

จากการการทดลองการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ที่ควบคุมโดยด้วยรีโมตคอนโทรล โดยส่งสัญญาณไปที่Microcontroller เพื่อทำการควบคุมการเคลื่อนที่ พบว่าอุปกรณ์ที่เป็นระบบนิวแมติกส์มีการทำงานได้เป็นอย่างดี สามารถเคลื่อนที่ได้ตามขั้นตอนที่ออกแบบไว้ตามโปรแกรมที่เขียนใน Microcontroller โดยที่หุ่นยนต์จะเคลื่อนที่ตามคำสั่งที่ได้รับจากการกดปุ่มจากรีโมต โดยกำหนดปุ่มที่ใช้ในการควบคุมการทำงานไว้ทั้งหมด 3 ปุ่มคือ 1. ไต่ขึ้น 2.ไต่ลง 3.หยุดเคลื่อนที่ ซึ่งเมื่อกดปุ่ม 1 หุ่นยนต์จะทำการไต่ขึ้นโดยอัตโนมัติตามขั้นตอน เมื่อกดปุ่ม 2 หุ่นยนต์จะทำการไต่ลงโดยอัตโนมัติตามขั้นตอนและเมื่อกดปุ่ม 3 หุ่นยนต์จะเคลื่อนที่ไปหยุดใน Step เริ่มต้น

จากการทดลองพบว่ารีโมตวิทยุบังคับที่ใช้ควบคุมหุ่นยนต์มีความถี่ในการส่งสัญญาณอยู่ที่ 27 MHz และระยะในการควบคุมอยู่ที่ไม่เกิน 5 เมตร และจาการทดลองอุปกรณ์ตรวจจับกล้องตรวจจับภาพแบบไร้สายพบว่าสามารถจับภาพได้ภายในระยะไม่เกิน 50 เมตรและสเปกตรัมของความถี่สัญญาณของกล้องตรวจจับภาพวัดได้ 1.089 GHz

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. เนื่องจากอุปกรณ์ที่ใช้ในหุ่นยนต์ส่วนมากเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ระบบนิวแมติกส์จึงต้องมีการเชื่อมต่อกับปั๊มลมตลอดเวลา ดังนั้น หากต้องการให้หุ่นยนต์สามารถเคลื่อนที่ขึ้นในแนวดิ่งที่ความสูงมากๆ จึงต้องใช้ท่อส่งลมที่มีความยาวมากๆด้วยเช่นกัน

2. หากต้องการให้สามารถควบคุมในระยะที่ไกลขึ้น สามารถเปลี่ยนเป็นรีโมทวิทยุบังคับที่มีประสิทธิ์ภาพในการส่งที่สูงขึ้น

3. ความสามารถในการรับน้ำหนักของตัวหุ่นยนต์นั้นขึ้นอยู่กับประสิทธิ์ภาพของเครื่องปั๊มลมและคุณภาพของอุปกรณ์ในระบบนิวแมติกส์ที่ใช้

4. หุ่นยนต์มีน้ำหนักมาก ซึ่งทำให้มีข้อจำกัดในการเพิ่มอุปกรณ์เพื่อเพิ่มความสามารถของหุ่นยนต์ เราสามารถเปลี่ยนอุปกรณ์นิวเมติกส์เพื่อให้หุ่นยนต์รับน้ำหนักได้มากขึ้น

5. ในการใช้งานจริงจะไม่ใช้การจ่ายไฟด้วยสวิตชิ่ง แต่เป็นการใช้แบตเตอรี่ ซึ่งทำให้มีข้อจำกัดของระยะเวลาในการใช้งาน รวมถึงน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ ดัดแปลง เผยแพร่ หรือจำหน่าย เพื่อประโยชน์ทางการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ลบข้อความนี้ออก และต้องอ้างอิงถึงเอกสารต้นฉบับทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. การไต่ไปบนที่สูงทำให้ต้องพบกับแรงลมที่มากขึ้น ซึ่งการปะทะของลมอาจทำให้หุ่นยนต์ทำงานผิดพลาด จึงควรมีระบบรักษาความปลอดภัยที่มากขึ้น อย่างเช่นเซนเซอร์สำหรับตรวจสอบเพื่อยืนยันว่าทำการดูดติดกับพื้นผิวแล้ว

7. ในการไต่กระจกอาจพบกับกระจกที่ถูกเปิดอยู่ ซึ่งสามารถทำให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่ข้ามผ่านกระจกที่ถูกเปิดได้โดยการเพิ่มการเคลื่อนที่ในแนวแกน Z เพื่อยกหุ่นยนต์ให้ข้ามผ่านสิ่งกีขวางได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

[1] ดอนสัน ปงผาบ. *ไมโครคอนโทรลเลอร์และการประยุกต์ใช้งาน 1.* กรุงเทพฯ : ส.ส.ท. , 2549

[2] ดอนสัน ปงผาบ. *ไมโครคอนโทรลเลอร์และการประยุกต์ใช้งาน 2.* กรุงเทพฯ : ส.ส.ท. , 2549

[3] ณรงค์ ตันชีวะวงศ์. *นิวแมติกส์และไฮดรอลิกส์เบื้องต้น* : ส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2542

[4] เดชฤทธิ์ มณีธรรม. *คัมภีร์ระบบนิวส์แมติกส์* : KTP Comp & Consult , 2549

[5] Aliexpress. "1.2Ghz wireless camera":
http://th.aliexpress.com/item/New-1-2GHz-Security-CCTV-Wireless-CMOS-Color-Video-Camera-and-Video-Receiver/1442852483.html

[6] MTControl. "นิวแมติกส Pneumatic":
http://www.mtcontrol.com/mtcontrol/UserFiles/File/automation/Automation01.pdf

[7] MTControl. "อุปกรณพื้นฐานในระบบนิวแมติกส์":
http://www.mtcontrol.com/mtcontrol/UserFiles/File/automation/Automation02.pdf

[8] MTControl. "วาล์วควบคุมในระบบนิวแมติกส์":
http://www.mtcontrol.com/mtcontrol/UserFiles/File/automation/Automation02.pdf

[9] VICHAKARN.COM. "วิทยุบังคับ": http://www.vcharkarn.com/vcafe/186885

[10] EE LAB. "ULN2803 เบอร์เก่าแต่ยังเก๋า":
https://www.facebook.com/eelab.thai/notes

[11] ETBASE51-AC3. "คู่มือการใช้งานบอร์ด":
http://www.es.co.th/Schemetic/PDF/ET-BASE51-AC3.PDF

[12] Voltage Regulator Circuit. "วงจรรักษาระดับแรงดัน":
http://www.es.co.th/Schemetic/PDF/ET-BASE51-AC3.PDF

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

โปรแกรมภาษา C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
#include <reg51.h>
#include <stdio.h>

sbit Sw1=P1^0;
sbit Sw2=P1^2;
sbit Sw3=P1^4;

sbit Mc=P0^0;
sbit Vb1=P0^1;
sbit Vb2=P0^2;
sbit Vf1=P0^3;
sbit Vf2=P0^4;
sbit Cba1=P2^0;
sbit Cba2=P2^1;
sbit Cbd1=P2^2;
sbit Cbd2=P2^3;
sbit Cfa1=P2^4;
sbit Cfa2=P2^5;
sbit Cfd1=P2^6;
sbit Cfd2=P2^7;

void Start()
{
        Sw1=0;
        Sw2=0;
        Sw3=0;
        Mc=0;
}
void Pause()
{
        Cba1=1;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        Cba2=1;
        Cbd1=0;
        Cbd2=0;
        Cfa1=1;
        Cfa2=1;
        Cfd1=0;
        Cfd2=0;
        Vf1=1;
        Vf2=1;
        Vb1=1;
        Vb2=1;
}
void Forw()
{
        Mc=1;
}
void Rew()
{
        Mc=0;
}
void Cy1Act()
{
        Cfa1=1;
        Cfa2=1;
}
void Cy1Stop()
{
        Cfa1=0;
        Cfa2=0;
        Cfd1=0;
        Cfd2=0;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
}
void Cy11Back()
{
        Cfd1=1;
}
void Cy12Back()
{
        Cfd2=1;
}
void Vac1Act()
{
        Vf1=1;
        Vf2=1;
}
void Vac1Stop()
{
        Vf1=0;
        Vf2=0;
}
void Cy2Act()
{
        Cba1=1;
        Cba2=1;
}
void Cy2Stop()
{
        Cba1=0;
        Cba2=0;
        Cbd1=0;
        Cbd2=0;
}
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
void Cy21Back()
{
        Cbd1=1;
}
void Cy22Back()
{
        Cbd2=1;
}
void Vac2Act()
{
        Vb1=1;
        Vb2=1;
}
void Vac2Stop()
{
        Vb1=0;
        Vb2=0;
}
void Delay_ms(int sec)
{
        int i,j;
        int x= 4000;
        for (i=0;i<sec;i++)
        for (j=0;j<x;j++);
}

void main(void)
{
        Start();
        Delay_ms(100);
        Pause();
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

คู่มือการใช้งานบอร์ไมโครคอนโทรลเลอร์ ET-BASE51 AC3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ET-BASE51 AC3 (AT89C51AC3)

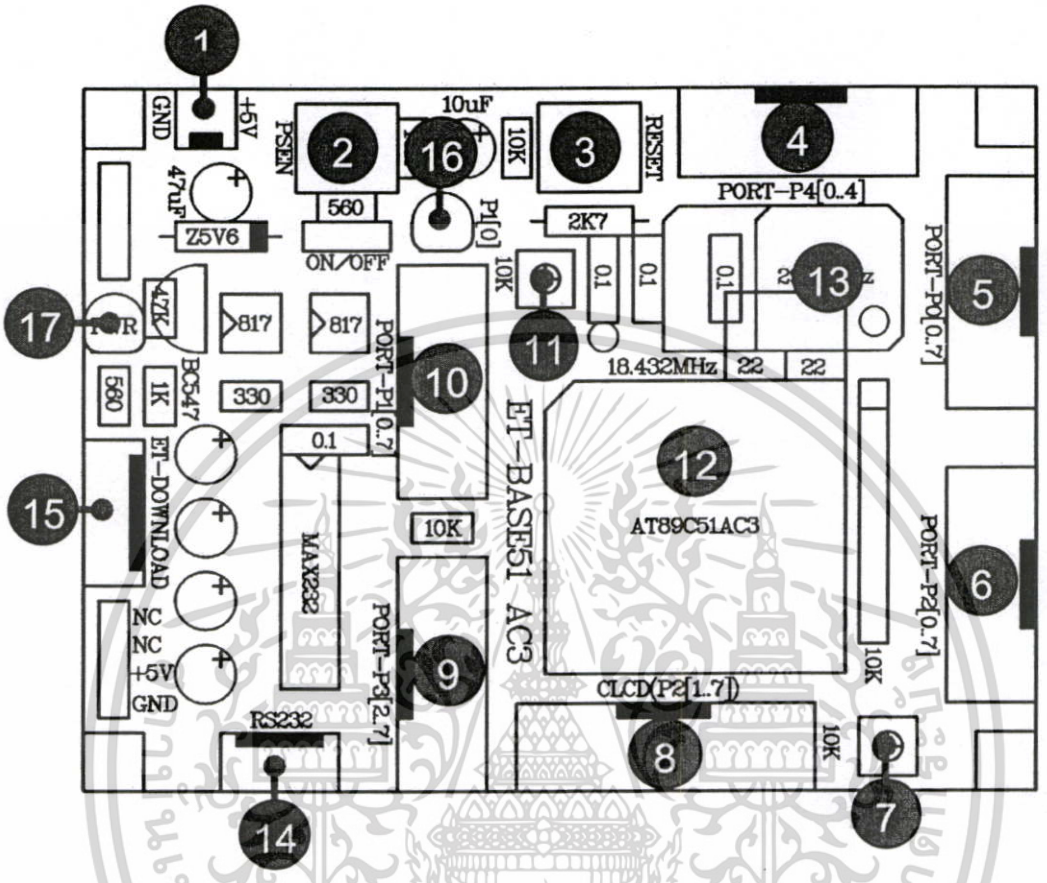
ET-BASE51 AC3 เป็นบอร์ดไมโครคอนโทรเลอร์ในตระกูล MCS51 ขนาด 52 Pin ซึ่งเลือกใช้ไมโครคอนโทรเลอร์ เบอร์ AT89C51AC3 ของ ATMEL เป็น MCU ประจำบอร์ด โดย MCU รุ่นนี้จะบรรจุอยู่ภายในตัวถังแบบ 52 Pin PLCC โดย MCU ตัวนี้จะมีจุดเด่น คือ เรื่องของความเร็วในการประมวลผล ซึ่งสามารถทำงานได้ด้วยความถี่สูงสุด 60MHz ที่ 12 Clock / 1 Machine Cycle นอกจากนี้แล้วยังมีความเพียบพร้อมด้วยอุปกรณ์พื้นฐานต่างๆที่จำเป็นต่อการใช้งาน ไม่ว่าจะเป็นหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลแบบ EEPROM ขนาด 2 KByte หรือหน่วยความจำใช้งานแบบ RAM ซึ่งมีมากถึง 2304 Byte (2048+256) ส่วนในด้านของอุปกรณ์ Peripheral นั้นก็นับว่าครบถ้วนเหมาะแก่การนำไปประยุกต์ใช้งานเกี่ยวกับการควบคุมและประมวลผลต่างๆได้เป็นอย่างดี โดยจะมีทั้ง SPI, UART, Watchdog, Timer/Counter, PWM และ ADC โดยการออกแบบโครงสร้างของบอร์ดนั้นจะเน้นเรื่องขนาดของบอร์ดให้มีขนาดเล็กเพื่อให้ง่ายต่อการนำไปประยุกต์ใช้งาน และสะดวกต่อการพัฒนาโปรแกรม

คุณสมบัติของบอร์ด

- เลือกใช้ MCU ตระกูล MCS51 เบอร์ AT89C51AC3 ของ ATMEL เป็น MCU ประจำบอร์ด โดยเลือกใช้แหล่งกำเนิดสัญญาณนาฬิกาแบบ Oscillator Module ค่า 29.4912 MHz ซึ่งสามารถกำหนดการทำงานของ MCU ให้ทำงานในโหมดความเร็ว 2 เท่า (X2 Mode) ได้ ทำให้ MCU สามารถประมวลผลด้วยความเร็วสูงสุดที่ 58.9824 MHz โดยคุณสมบัติเด่นๆของ MCU ได้แก่
  - มีหน่วยความจำ Flash สำหรับเขียนโปรแกรมขนาด 64KByte
  - มี EEPROM ขนาด 2KByte สำหรับเก็บข้อมูล และ สามารถเขียนซ้ำได้กว่า 1 ล้านครั้ง
  - มีพอร์ต I/O ขนาด 8 บิต จำนวน 5 พอร์ต (P0,P1,P2,P3 และ P4(5Bit))
  - มี RAM ใช้งาน 2304 Byte (ERAM 2048 Byte + IRAM 256 Byte)
  - มีวงจรสื่อสารอนุกรม UART จำนวน 1 พอร์ต และมีวงจรสื่อสาร SPI จำนวน 1 พอร์ต
  - มีวงจร Timer/Counter ขนาด 16 บิต จำนวน 3 ชุด
  - มีวงจร ADC ขนาด 10บิต จำนวน 8 ช่อง (ใช้ Port-P1 โดยกำหนดจากโปรแกรม)
  - มีวงจร Watchdog, Power-ON Reset, Capture/Compare ,PWM
- มีขั้วต่อสัญญาณ I/O แบบ TTL แบบ Header 2x5 จำนวน 5 ชุด (P0,P1,P2,P3 และ P4)
- มีขั้วต่อ LCD แบบ Header 2x7 รองรับการเชื่อมต่อกับ LCD Character (เชื่อมต่อแบบ 4 บิต)
- มีขั้วต่อใช้งาน RS232 สำหรับใช้งาน และ ET-DOWNLOAD สำหรับ Download ผ่าน RS232
- มี LED แสดงสถานะแหล่งจ่าย Power และ Self-Test สำหรับใช้ทดสอบการทำงานของบอร์ด
- ใช้แหล่งจ่ายไฟขนาด +5VDC
- ขนาด PCB Size เล็กเพียง 8 x 6 cm.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงสร้างบอร์ด ET-BASE51 AC3 (AT89C51AC3)



- **หมายเลข 1** คือ ขั้วต่อแหล่งจ่ายไฟเลี้ยงวงจรของบอร์ด ใช้กับแหล่งจ่ายไฟตรง +5VDC
- **หมายเลข 2** เป็น Switch PSEN ใช้ร่วมกับ RESET สำหรับ Download แบบ Manual
- **หมายเลข 3** เป็น Switch RESET ใช้สำหรับ Reset การทำงานของ CPU
- **หมายเลข 4** เป็น Port-P4 มี ขนาด 5 Bit คือ P4.0-P4.4
- **หมายเลข 5** เป็น Port-P0 มี ขนาด 8 บิต
- **หมายเลข 6** เป็น Port-P2 มี ขนาด 8 บิต
- **หมายเลข 7** เป็น ตัวต้านทานสำหรับปรับค่าความสว่างให้ LCD
- **หมายเลข 8** เป็น Port-LCD ชนิด Character Type ใช้การเชื่อมต่อแบบ 4 บิต ผ่าน Port-P2
- **หมายเลข 9** เป็น Port-P3 มีขนาด 6 บิต (P3.2-P3.7)
- **หมายเลข 10** เป็น Port-P1 มีขนาด 8 บิต
- **หมายเลข 11** เป็นตัวต้านทานสำหรับปรับค่าแรงดันอ้างอิงของ ADC (3V)
- **หมายเลข 12** คือ MCU เบอร์ AT89C51AC3 ซึ่งเป็น MCU ตระกูล MCS51 จาก ATMEL

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

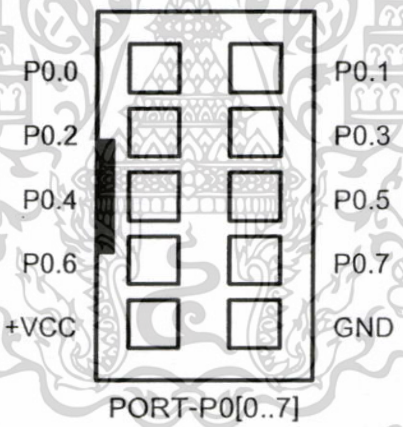
- **หมายเลข** 13 คือ Oscillator Module ค่า 29.4912 MHz
- **หมายเลข** 14 คือ ขั้วต่อ RS232 สำหรับใช้งานทั่วไป และ Download แบบ Manual
- **หมายเลข** 15 คือ ขั้วต่อ ET-DOWNLOAD ใช้สำหรับ Download แบบ Auto
- **หมายเลข** 16 เป็น LED Self Test (P1.0) ใช้สำหรับทดสอบการทำงานของบอร์ด
- **หมายเลข** 17 เป็น LED Power ใช้แสดงสถานะของแหล่งจ่ายไฟ +5VDC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้วต่อสัญญาณต่าง ๆ

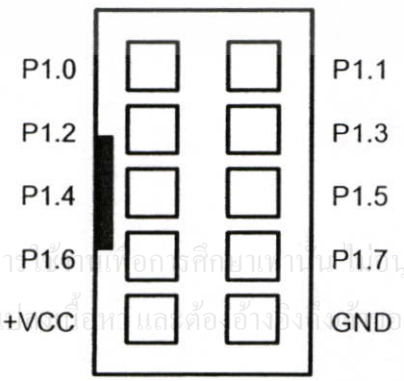
สำหรับขั้วต่อสัญญาณของพอร์ต I/O จาก MCU นั้น จะถูกออกแบบและจัดเตรียมไว้ผ่านทางขั้วต่อแบบ IDE Header ขนาด 10Pin (2x5) จำนวน 5 ชุด คือ PORT-P0, PORT-P1, PORT-P2,PORT-P3 และ PORT-P4 ตามลำดับ โดยที่ขั้วต่อสัญญาณแต่ละชุด จะประกอบไปด้วยสัญญาณของ I/O ที่เชื่อมต่อมาจากขาสัญญาณของ MCU โดยตรงทั้งหมด โดยแต่ละพอร์ตจะมีสัญญาณพอร์ตละ 8 บิต ยกเว้น PORT-P3 และ PORT-P4 โดย PORT-P4 มีขนาด 5 บิต (P4.0-P4.4) และ PORT-P3 ซึ่งจะมีเพียง 6 บิตเท่านั้น คือ P3.2-P3.7 ส่วน P3.0 และ P3.1 จะถูกสงวนไว้ใช้งานเป็นขาสัญญาณ RXD และ TXD สำหรับรับส่งข้อมูลของ RS232 ซึ่งสัญญาณทั้ง 2 เส้น (P3.0 และ P3.1) จะถูกเชื่อมต่อผ่านวงจร Line Driver (MAX232) สำหรับแปลงระดับสัญญาณจากระดับโลจิก TTL ของ MCU ให้เป็นสัญญาณแรงดันตามมาตรฐานของ RS232 โดยสัญญาณที่ได้รับการแปลงเป็นแบบ RS232 จะถูกเชื่อมต่อไปรอไว้ที่ขั้วต่อแบบ CPA ขนาด 4 PIN (RS232) โดยการจัดเรียงสัญญาณของแต่ละชุด จะเป็นดังรูป

พอร์ต P0 มีขนาด 8 บิต



PORT-P0[0..7]

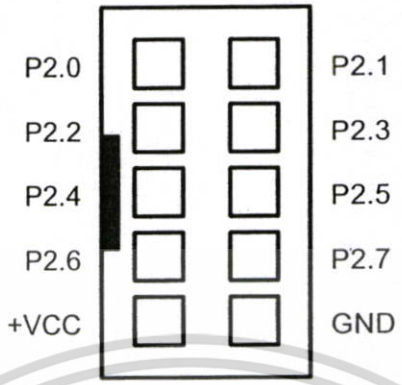
พอร์ต P1 มีขนาด 8 บิต



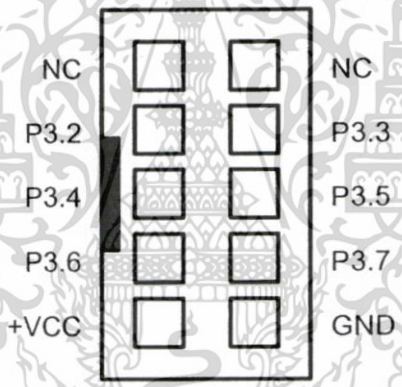
PORT-P1[0..7]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

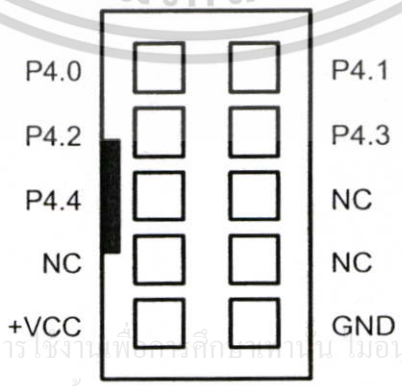
พอร์ต P2 มีขนาด 8 บิต



พอร์ต P3 มีขนาด 6 บิต

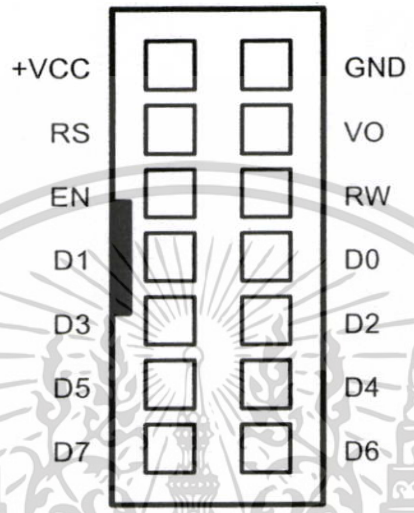


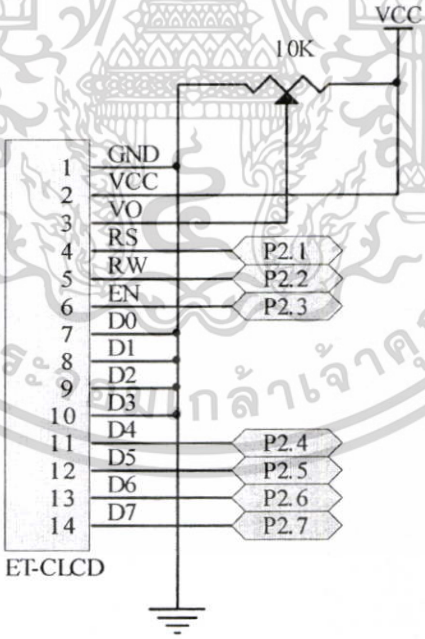
พอร์ต P4 มีขนาด 5 บิต



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา หรือนำไปใช้ในเชิงพาณิชย์ ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พอร์ต CLCD ใช้กับ Character LCD โดยเชื่อมต่อแบบ 4 บิต โดยสัญญาณที่ใช้เชื่อมต่อกับ LCD จะเป็นสัญญาณชุดเดียวกับที่ต่อไปยังขั้วต่อของ PORT-P2 โดยในการเชื่อมต่อสายสัญญาณจากขั้วต่อของพอร์ต LCD ไปยังจอแสดงผล LCD นั้น ให้ยึดชื่อสัญญาณเป็นจุดอ้างอิง โดยให้ต่อสัญญาณที่มีชื่อตรงกันเข้าด้วยกันให้ครบทั้ง 14 เส้น



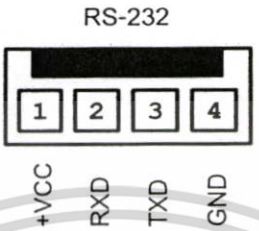


1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
GND	+VCC	VO	RS	RW	EN	D0	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7

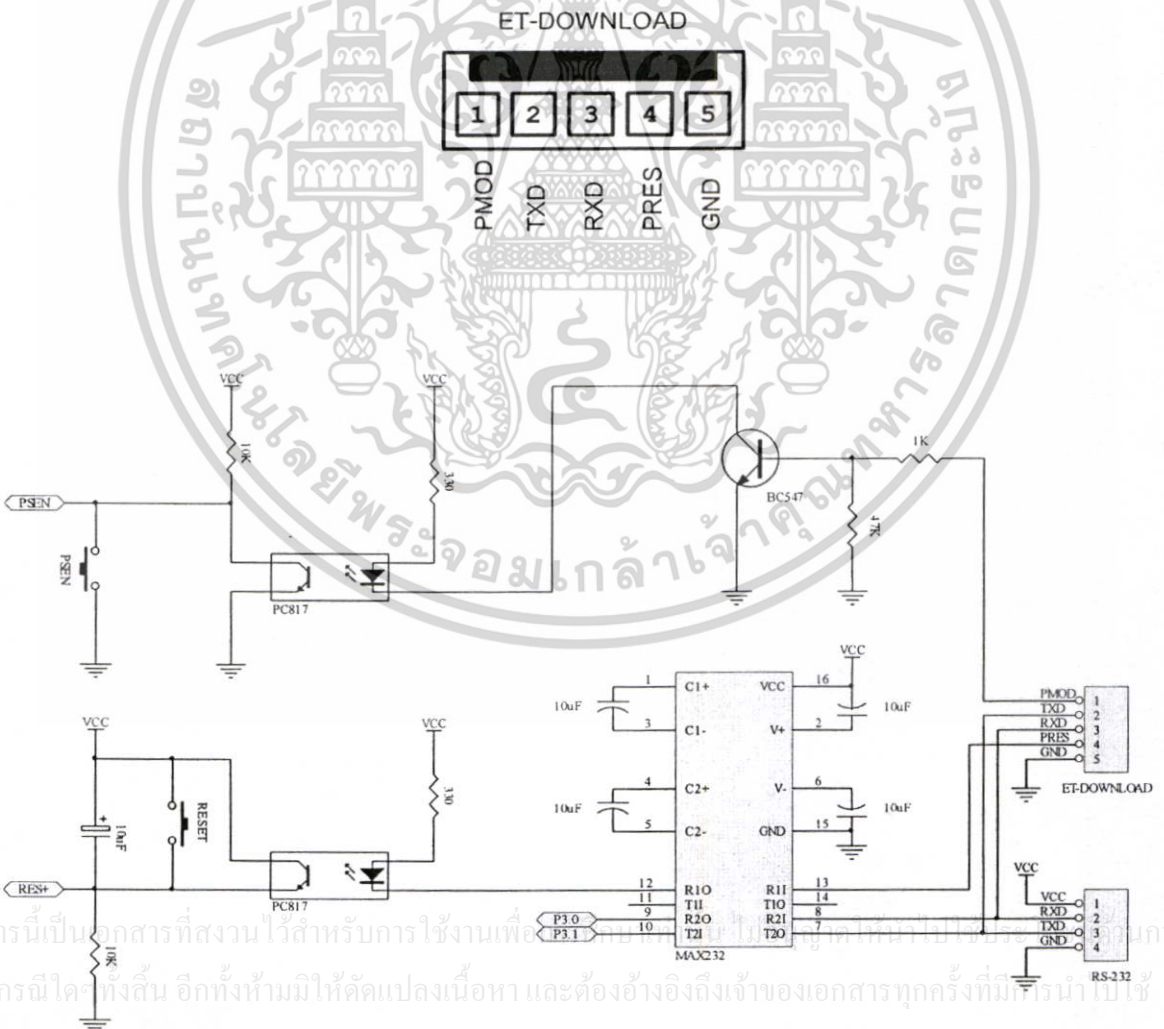
แสดงการจัดเรียงขาสัญญาณของ Character LCD มาตรฐาน

เอกสารนี้เป็นลิขสิทธิ์ของ ไม่สามารถนำไปใช้ในการค้าขาย ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พอร์ต RS232 เป็นสัญญาณ RS232 ซึ่งผ่านวงจรแปลงระดับสัญญาณ MAX232 **เรียบร้อยแล้ว** สามารถใช้เชื่อมต่อกับสัญญาณ RS232 เพื่อรับส่งข้อมูล นอกจากนี้แล้วยังสามารถใช้งาน **ร่วมกับ** Switch PSEN และ Switch RESET เพื่อทำการ Download แบบ Manual ได้ด้วย



พอร์ต ET-DOWNLOAD เป็นขั้วต่อสำหรับใช้ Download Hex File ให้กับ MCU **แบบอัตโนมัติ** โดยใช้งานร่วมกับโปรแกรม FLIP V2.4.4 ของ ATMEL



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปแสดง วงจรส่วนที่เชื่อมต่อกับ RS232 และ ET-DOWNLOAD

การ Download Hex file ให้กับ MCU ของบอร์ด

การ Download Hex File ให้กับหน่วยความจำ Flash ของ MCU ในบอร์ดนั้น จะใช้โปรแกรมชื่อ "FLIP" ของ ATMEL ซึ่งจะติดต่อกับ MCU ผ่าน Serial Port ของคอมพิวเตอร์ PC โดยโปรแกรมดังกล่าวสามารถดาวน์โหลดได้จาก WWW.ATMEL.COM โดยไม่เสียค่าใช้จ่ายใดๆ แต่สำหรับในกรณีที่ซื้อบอร์ดจาก อีทีที นั้น โปรแกรมดังกล่าวจะจัดเตรียมไว้ให้ในแผ่น CD ROM อยู่แล้ว

โปรแกรม FLIP (Flexible In-system Programmer) เป็นโปรแกรมสำหรับพัฒนาระบบของไมโครคอนโทรลเลอร์ของ ATMEL โดยสามารถใช้สนับสนุนการพัฒนาโปรแกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS51 ในกลุ่มที่ใช้การพัฒนาแบบ ISP ซึ่งรวมถึงเบอร์ AT89C51AC3 ด้วย โดยโปรแกรมจะทำงานภายใต้ระบบปฏิบัติการของ Windows9X/Me/NT/2000 และ Windows XP โดยสนับสนุนการเชื่อมต่อกับระบบฮาร์ดแวร์ที่ใช้การเชื่อมต่อแบบ RS232 หรือ CAN หรือ USB ซึ่งวิธีการเชื่อมต่อของโปรแกรม FLIP กับระบบฮาร์ดแวร์ของไมโครคอนโทรลเลอร์นั้น จะขึ้นอยู่กับความสามารถของตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ที่จะนำมาทำการพัฒนาว่าสามารถใช้การติดต่อสื่อสารด้วยวิธีใดได้บ้าง แต่สำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ AT89C51AC3 นั้นจะสามารถใช้การเชื่อมต่อผ่านทางพอร์ตอนุกรม RS232 เท่านั้น ไม่สามารถเชื่อมต่อผ่านระบบการสื่อสารของ CAN หรือ USB ได้ โดยโปรแกรม FLIP จะใช้สำหรับ Download ข้อมูลให้กับหน่วยความจำของไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ทำงานใน Monitor Mode เพื่อให้ผู้ใช้สั่งจัดการกับหน่วยความจำภายในตัว CPU ไม่ว่าจะเป็นการ สั่งลบข้อมูล(Erase) สั่งตรวจสอบข้อมูลในหน่วยความจำ(Blank Check) สั่งโปรแกรมข้อมูลให้กับหน่วยความจำโปรแกรมของ CPU (Program) สั่งเปรียบเทียบข้อมูลจาก Buffer กับหน่วยความจำในตัว CPU (Verify) หรือสั่งอ่านข้อมูลจากหน่วยความจำของ CPU (Read) เป็นต้น

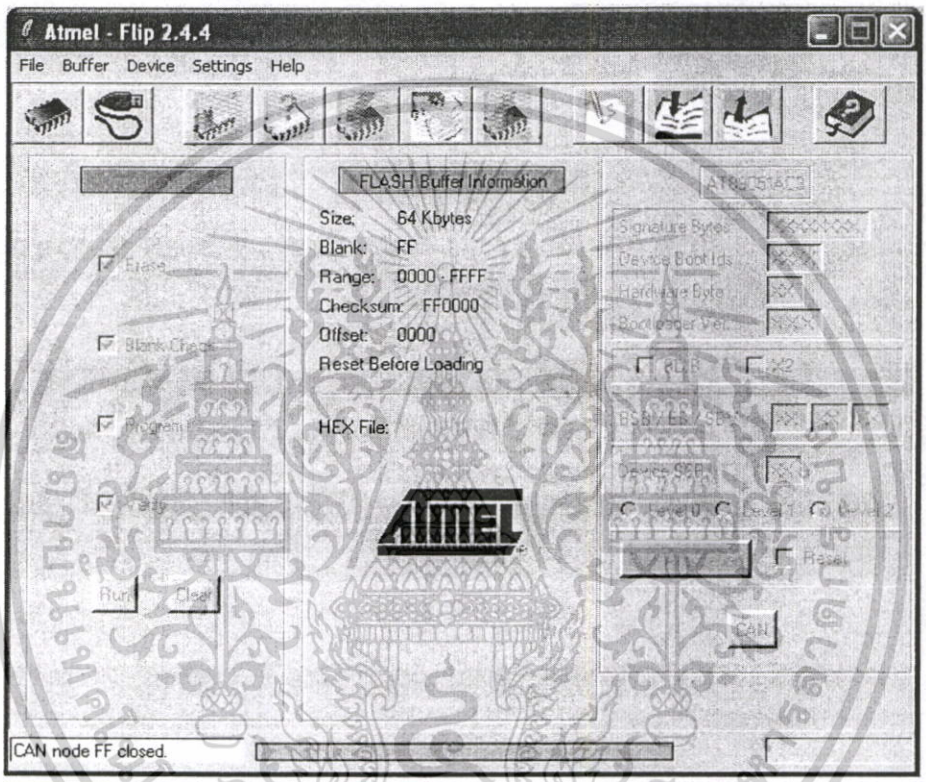
ซึ่งเมื่อต้องการให้โปรแกรม FLIP ติดต่อกับ CPU ใน Monitor Mode นั้น จะต้องสั่ง Reset ให้ CPU เข้าทำงานใน Monitor Mode ก่อนเสียก่อน ซึ่งหลักการสำหรับ Reset ให้ CPU เข้าทำงานใน Monitor Mode จะต้องกำหนดให้ขาสัญญาณ PSEN มีสภาวะเป็น "0" ในขณะที่ CPU หลุดพ้นจากสภาวะของการ Reset ซึ่งตามปรกติแล้วหลังการ Reset ทุกครั้ง CPU จะตรวจสอบสภาวะของขาสัญญาณ PSEN ว่าเป็น "0" หรือไม่ถ้าไม่ใช่ก็จะทำงานในโหมดการทำงานปรกติแต่ถ้าใช่ก็จะตรวจสอบสถานะของสัญญาณอื่นๆที่เกี่ยวข้องกับการทำงานใน Monitor Mode ถ้าเงื่อนไขอื่นๆถูกต้องก็จะเข้าทำงานใน Monitor Mode ทันที สำหรับบอร์ด รุ่น ET-BASE51 AC3 (AT89C51AC3) นั้น การที่จะสั่ง Reset ให้ CPU ของ ATMEL เข้าทำงานใน Monitor Mode เพื่อสั่ง Download HEX File จาก PC ให้กับบอร์ดจะสามารถทำได้ 2 แบบ คือ

- **การ Download แบบ Manual** โดยวิธีการนี้จะใช้กับสาย RS232 แบบ 4 Pin ร่วมกับ Switch PSEN และ Switch RESET ในการสั่ง Download
- **การ Download แบบ Auto** โดยวิธีการนี้ จะใช้สาย ET-DOWNLOAD แบบ 5 Pin ในการสั่ง Download

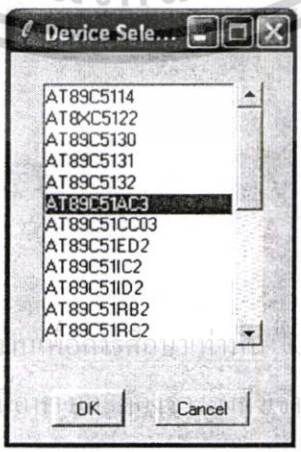
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของลิขสิทธิ์ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลำดับขั้นตอนการ Download HEX File ด้วยโปรแกรม FLIP 2.4.4 แบบ Manual

1. ต่อสายสัญญาณ RS232 จาก Com Port ของเครื่องคอมพิวเตอร์ PC เข้ากับขั้ว RS232 แบบ 4 Pin ของบอร์ด
2. จ่ายไฟเลี้ยงวงจรให้บอร์ด ซึ่งจะสังเกตุเห็น LED แสดงสถานะของ PWR สีแดงติดสว่างอยู่
3. สั่ง Run โปรแกรม FLIP V2.4.4 ซึ่งจะได้ผลดังรูป



4. สั่งเลือกกำหนดเบอร์ของ MCU ที่ติดตั้งไว้ในบอร์ด โดยเลือก Device → Select ซึ่งต้องเลือกกำหนดให้ตรงกับที่ทำการติดตั้งไว้จริงๆในบอร์ดด้วย ดังตัวอย่าง (AT89C51AC3)

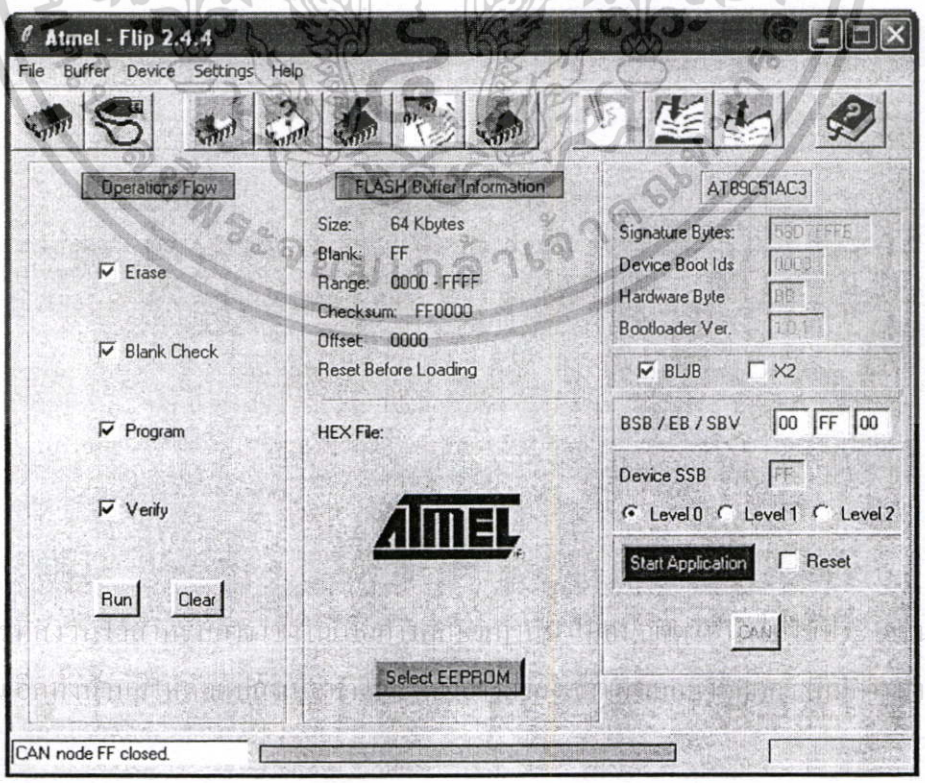


รูปแสดง การเลือกกำหนดเบอร์ CPU ของ ET-BASE51 AC3 (AT89C51AC3)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงลิขสิทธิ์ของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

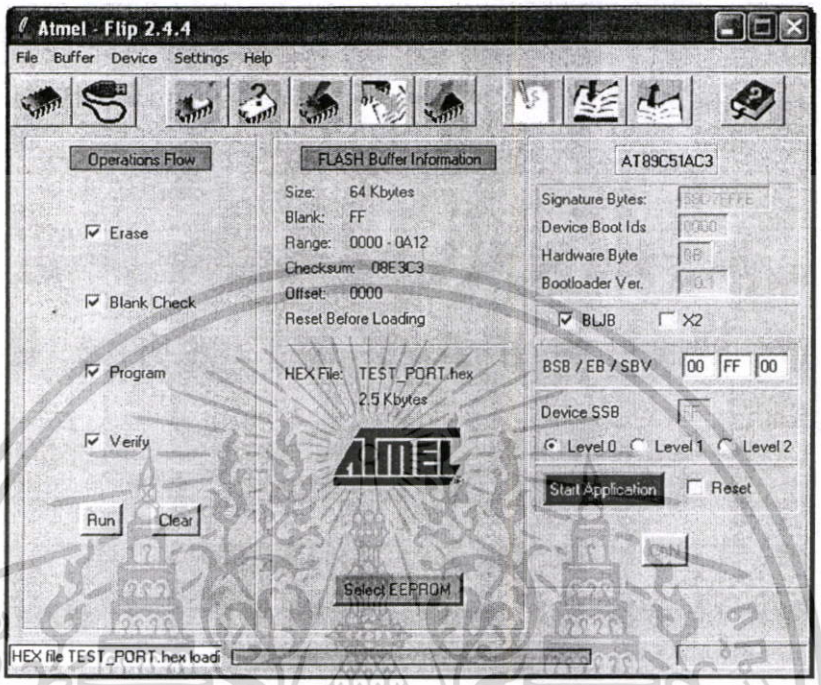
5. คลิกเมาส์ที่คำสั่ง Setting → Communication → RS232 จากนั้นเลือกกำหนด Comport ให้ตรงกับที่ต่อสายไว้จริง ดังรูป (ในตัวอย่างใช้ Com1)

6. ทำการรีเซ็ต MCU ให้เข้าทำงานใน Monitor โดยมีลำดับขั้นตอนดังนี้
   a) กดสวิตช์ PSEN ค้างไว้เพื่อกำหนดสถานะขาสัญญาณ PSEN ให้เป็น "0"
   b) กดสวิตช์ RESET เพื่อส่งสัญญาณ RESET ให้กับ CPU โดยสวิตช์ PSEN ต้องกดค้างอยู่เช่นเดิม
   c) ปล่อยสวิตช์ RESET เพื่อปล่อยให้ CPU พ้นจากสภาวะการ Reset (สวิตช์ PSEN ยังกดค้างอยู่)
   d) ปล่อยสวิตช์ PSEN เป็นลำดับสุดท้าย
7. คลิกเมาส์ที่ปุ่ม Connect เพื่อทำการติดต่อสื่อสารกับ MCU ใน Monitor Mode ซึ่งจะได้ผลดังรูป

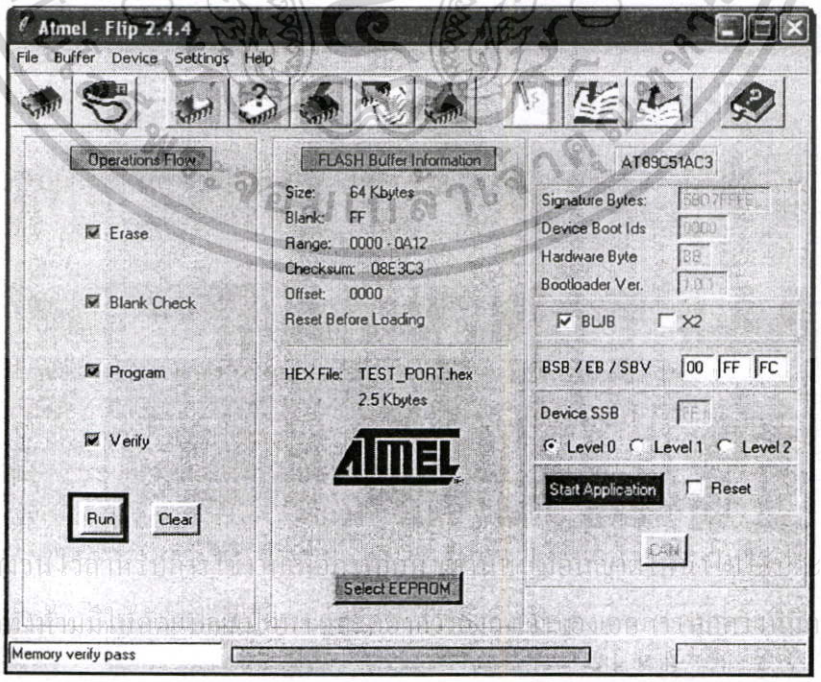


เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์ ห้ามนำไปใช้ในการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ไม่อนุญาตให้ทำซ้ำ ดัดแปลง เผยแพร่ หรือนำไปใช้

8. สั่งเปิด Hex File ที่ต้องการจะ Download ให้กับ MCU มารอไว้ใน Buffer ของโปรแกรม FLIP โดยใช้คำสั่ง "File ⟶ Load Hex File..."

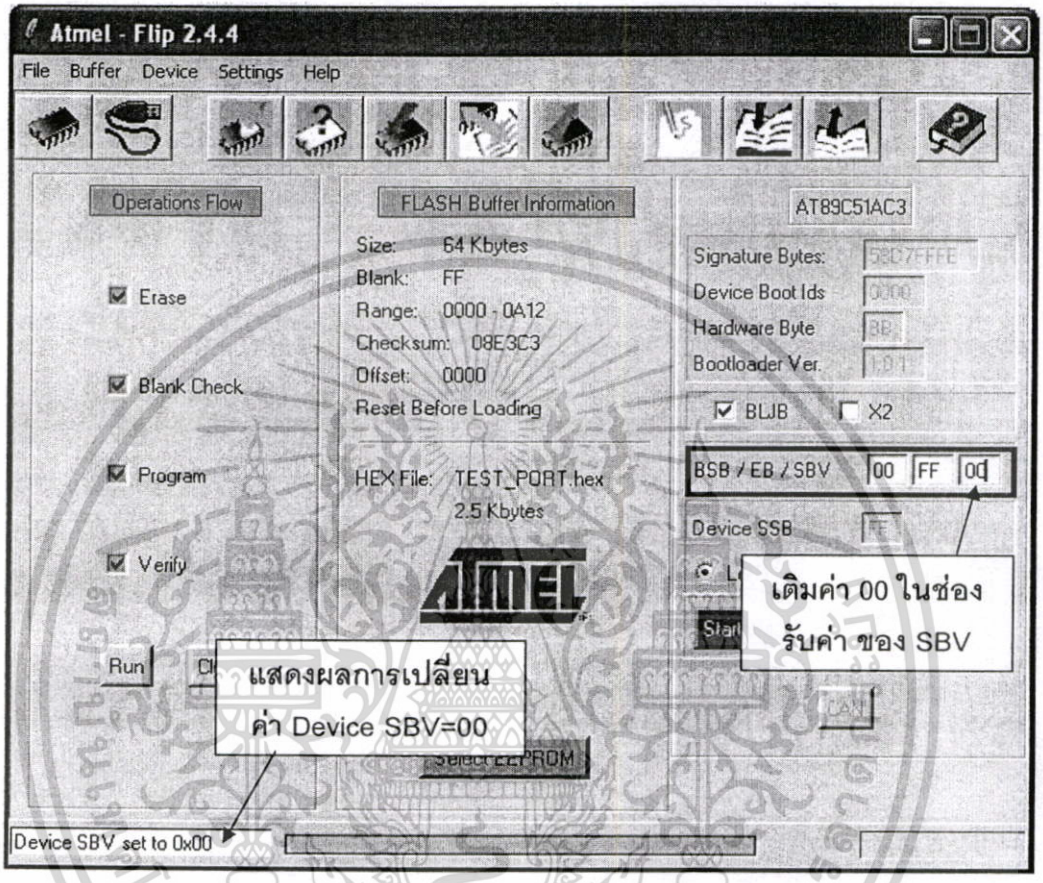


9. คลิกเมาส์ที่หน้าตัวเลือกคำสั่งใน Tab ของ Operation Flow ให้ครบทุกคำสั่ง ซึ่งได้แก่ Erase, Bank Check, Program, Verify จากนั้นคลิกเมาส์ที่ปุ่มคำสั่ง Run และรอจนการทำงานของโปรแกรมเสร็จเรียบร้อยดังรูป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเอกสารนี้ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

10. ตรวจสอบค่า Device BSB และ SBV ว่ามีค่าเป็น 00 ทั้งหมดแล้วหรือยัง ซึ่งถ้ายังไม่เป็น 00 ให้ทำการแก้ไขค่าให้เป็น 00 โดยคลิกเมาส์ในช่องตัวเลขแล้วพิมพ์ค่า 00 แทนที่ลงไปทั้ง 2 ช่องดังรูป

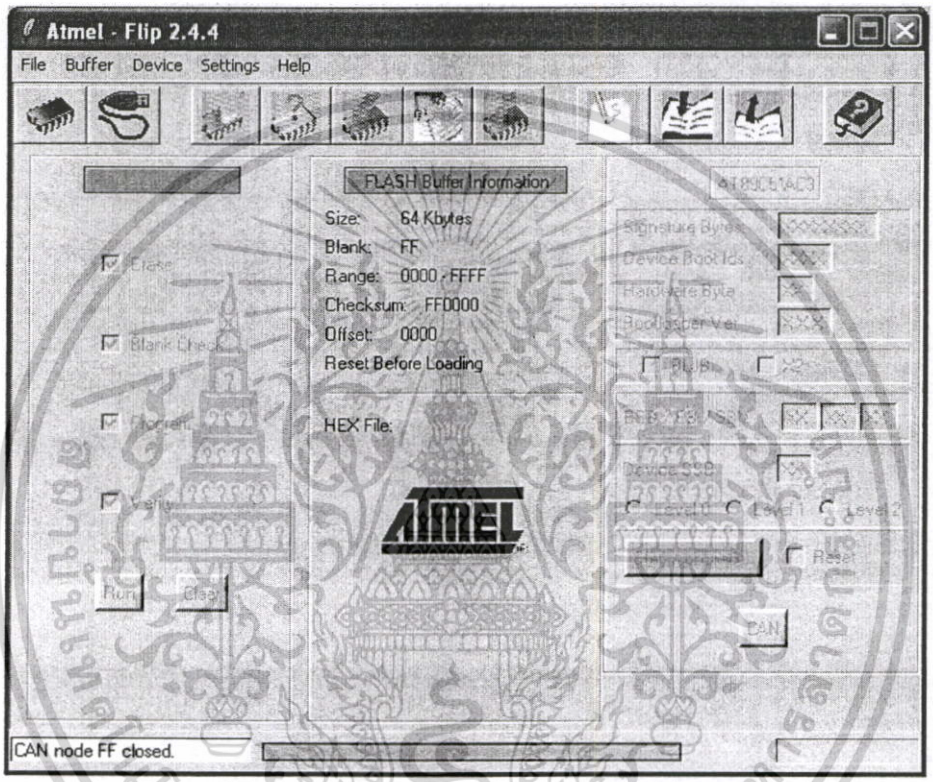


11. ทำการกดสวิตช์ Reset ให้กับบอร์ดเพื่อให้บอร์ดเริ่มต้นทำงานตามโปรแกรมที่ได้ทำการ Download ไปให้ ซึ่งถ้าไม่เกิดความผิดพลาดใดๆจะเห็น MCU เริ่มต้นทำงานทันที

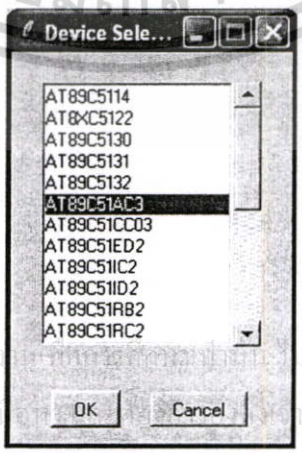
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลำดับขั้นตอนการ Download HEX File ด้วยโปรแกรม FLIP 2.4.4 แบบ Auto Download

1. ต่อสายสัญญาณ RS232 จาก Com Port ของเครื่องคอมพิวเตอร์ PC เข้ากับขั้ว ET-DOWNLOAD แบบ 5 Pin ของบอร์ด
2. จ่ายไฟเลี้ยงวงจรให้บอร์ด ซึ่งจะสังเกตุเห็น LED แสดงสถานะของ PWR สีแดงติดสว่างอยู่
3. สั่ง Run โปรแกรม FLIP V2.4.4 ซึ่งจะได้ผลดังรูป



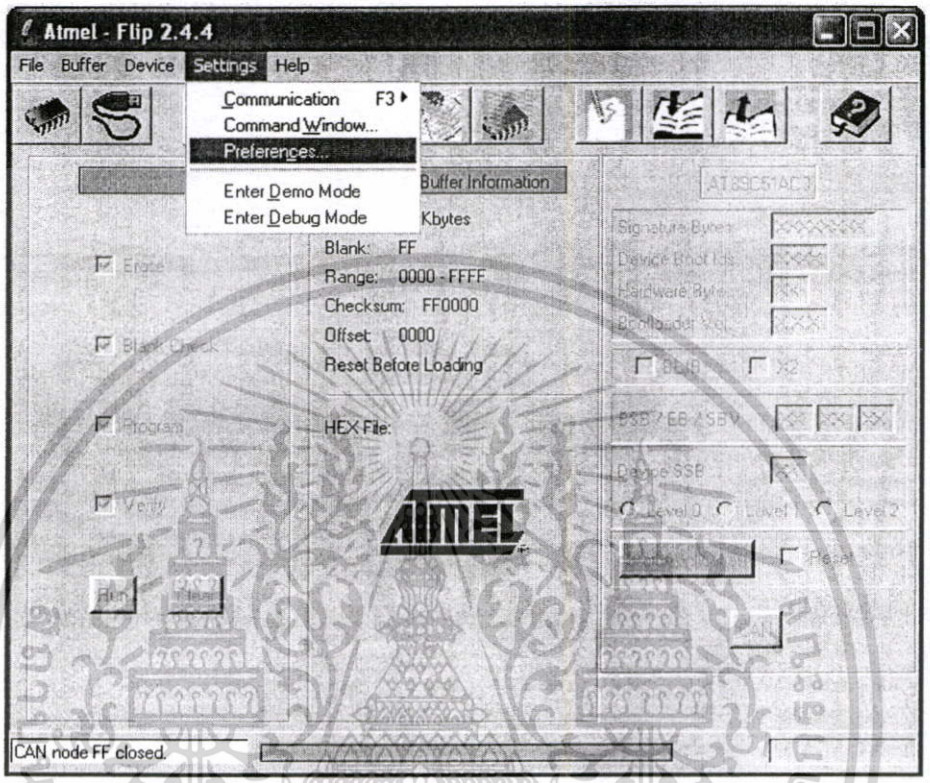
4. สั่งเลือกกำหนดเบอร์ของ MCU ที่ติดตั้งไว้ในบอร์ด โดยเลือก Device → Select ซึ่งต้องเลือกกำหนดให้ตรงกับที่ทำการติดตั้งไว้จริงๆในบอร์ดด้วย ดังตัวอย่าง (AT89C51AC3)

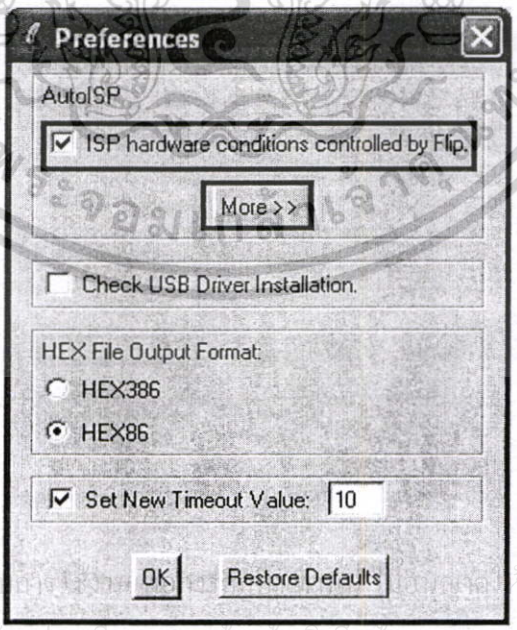


รูปแสดง การเลือกกำหนดเบอร์ CPU ของ ET-BASE51 AC3 (AT89C51AC3)

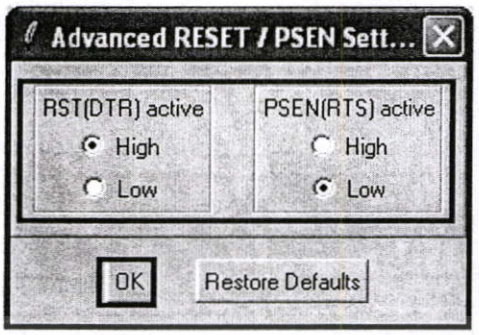
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. ทำการกำหนดค่า Option ของการสื่อสาร RS232 สำหรับใช้ Download แบบอัตโนมัติ โดยให้เลือกคลิกเมาส์ที่ Setting → Preferences... แล้วเลือกกำหนดค่าดังรูป



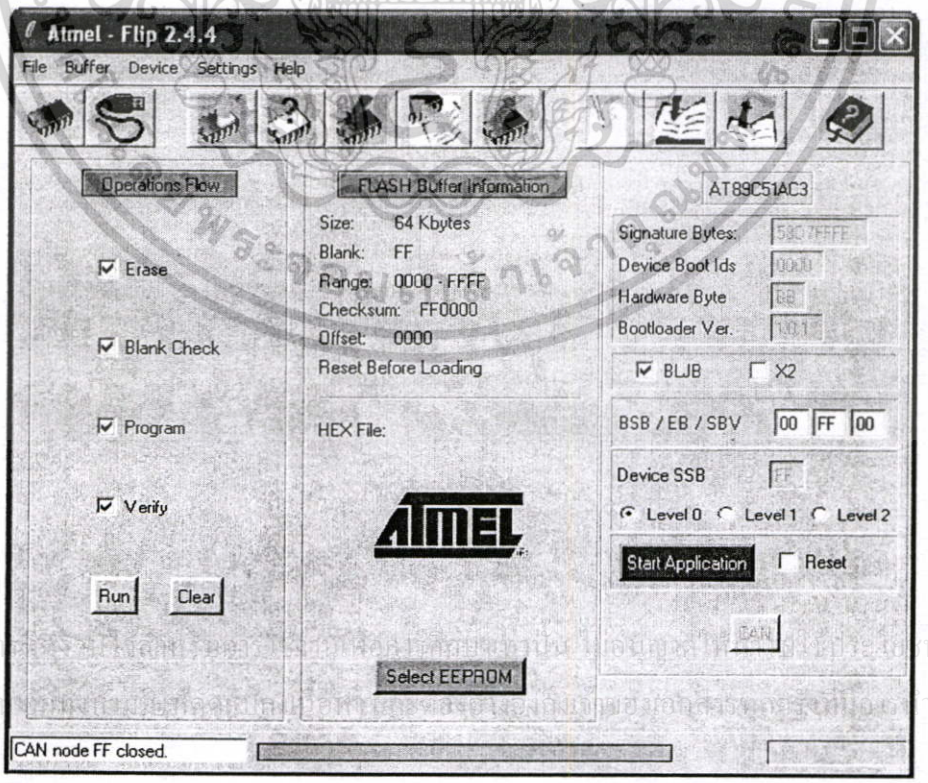


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับ[illegible]นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



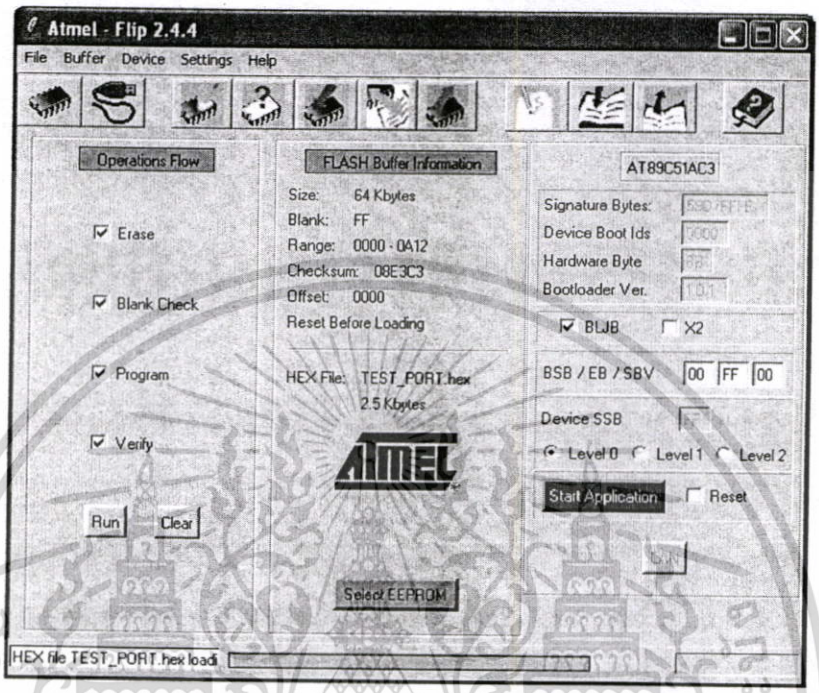
6. คลิกเมาส์ที่คำสั่ง Setting → Communication → RS232 จากนั้นเลือกกำหนด Comport ให้ตรงกับที่ต่อสายไว้จริง ดังรูป (ในตัวอย่างใช้ Com1)

7. คลิกเมาส์ที่ปุ่ม Connect เพื่อทำการติดต่อสื่อสารกับ MCU ใน Monitor Mode ซึ่งจะได้ผลดังรูป

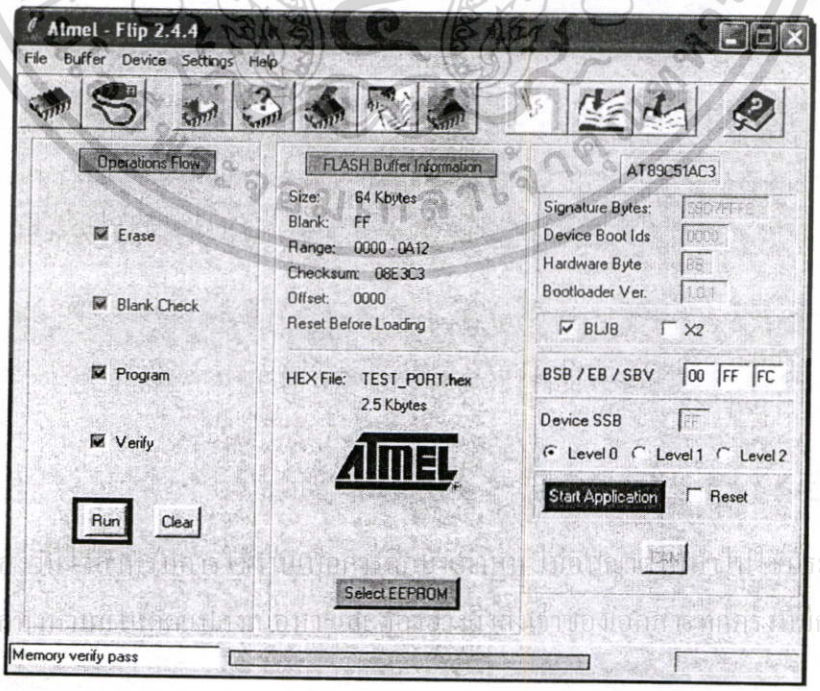


เอกสารนี้เป็นเอกสาร... ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น... ...ไปใช้

8. สั่งเปิด Hex File ที่ต้องการจะ Download ให้กับ MCU มารอไว้ใน Buffer ของโปรแกรม FLIP โดยใช้คำสั่ง "File ⟶ Load Hex File..."

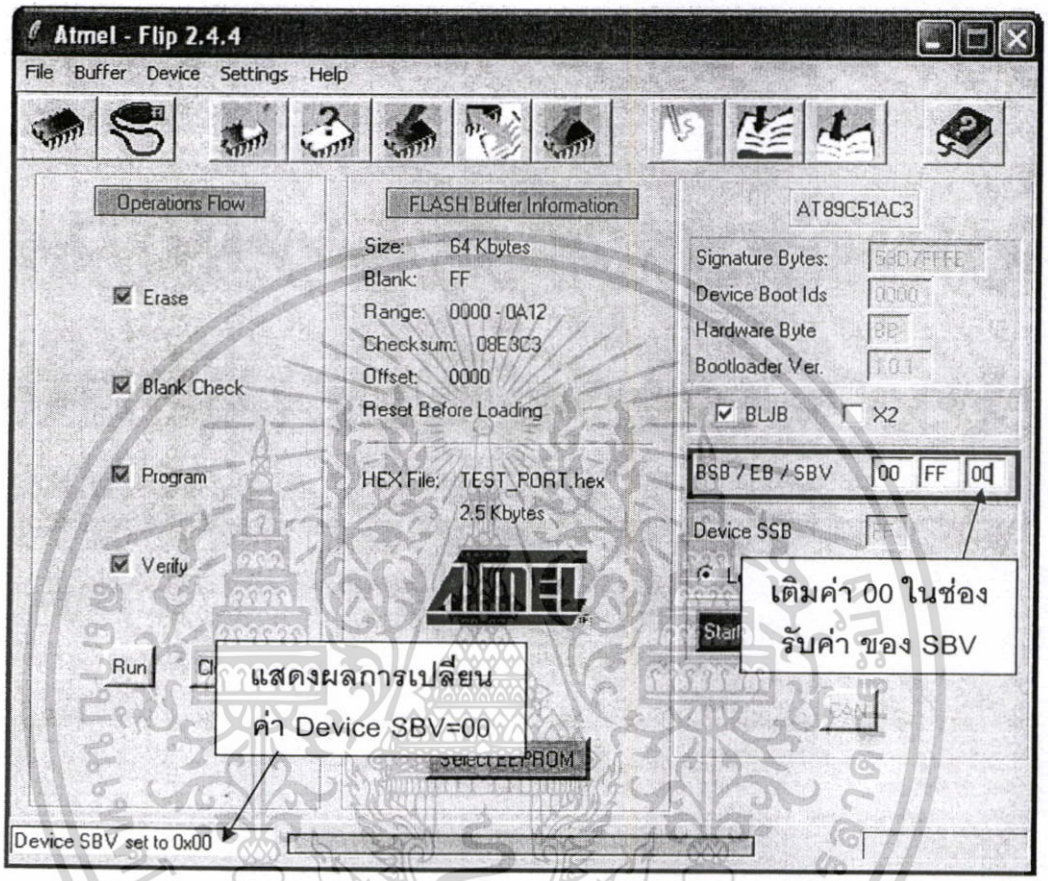


9. คลิกเมาส์ที่หน้าตัวเลือกคำสั่งใน Tab ของ Operation Flow ให้ครบทุกคำสั่ง ซึ่งได้แก่ Erase, Bank Check, Program, Verify จากนั้นคลิกเมาส์ที่ปุ่มคำสั่ง Run และรอจนการทำงานของโปรแกรมเสร็จเรียบร้อยดังรูป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ [illegible] ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น [illegible] การนำไปใช้

10. ตรวจสอบค่า Device BSB และ SBV ว่ามีค่าเป็น 00 ทั้งหมดแล้วหรือยัง ซึ่งถ้ายังไม่เป็น 00 ให้ทำการแก้ไขค่าให้เป็น 00 โดยคลิกเมาส์ในช่องตัวเลขแล้วพิมพ์ค่า 00 แทนที่ลงไปทั้ง 2 ช่องดังรูป



11. ทำการคลิกเมาส์ที่ "Start Application" หรือกดสวิตช์ Reset ให้กับบอร์ดเพื่อให้บอร์ดเริ่มต้นทำงานตามโปรแกรมที่ได้ทำการ Download ไปให้ ซึ่งถ้าไม่เกิดความผิดพลาดใดๆจะเห็น MCU เริ่มต้นทำงานทันที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปัญหาต่างๆในขณะใช้งานโปรแกรม FLIP และแนวทางการแก้ไข

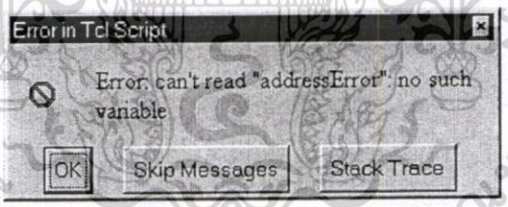
ในบางครั้งเมื่อเรียกใช้คำสั่งต่างๆของโปรแกรม FLIP แล้ว อาจเกิดความผิดพลาดบางประการขึ้น ซึ่งอาจไม่ใช่ปัญหาที่เกิดจากความบกพร่องของระบบฮาร์ดแวร์ แต่อาจเกิดการการกำหนดพารามิเตอร์บางอย่างในโปรแกรมไม่ถูกต้องหรือข้ามขั้นตอนบางประการไป ซึ่งเมื่อโปรแกรม FLIP ไม่สามารถปฏิบัติตามคำสั่งที่ผู้ใช้งานสั่งไปได้สำเร็จจะแสดงอาการ Error ต่างๆให้ทราบ ซึ่งพอสรุปได้ดังนี้

1. Time Out Error เป็นความผิดพลาดที่เกิดจากการที่โปรแกรม FLIP ไม่สามารถทำการสื่อสารกับ CPU ใน Monitor Mode ได้ ซึ่งอาจเกิด หลายสาเหตุ เช่น
   - การต่อสายสัญญาณระหว่างขั้วต่อ RS232 ของบอร์ด ET-BASE51 AC3 กับขั้วต่อพอร์ตสื่อสารอนุกรม RS232 ของคอมพิวเตอร์ยังไม่เรียบร้อยหรือต่อไม่ตรงกับที่กำหนดตัวเลือกไว้ในโปรแกรม หรือการกำหนดรูปแบบและตัวเลือกต่างๆในการสื่อสารไม่ถูกต้อง เมื่อพบปัญหานี้ให้ลองทำการตรวจสอบค่าต่างๆในการสื่อสารใน "Setting → Preferences.. และ Setting → Communication → RS232"
   - ยังไม่ได้รีเซ็ตให้ CPU เข้าทำงานใน Monitor Mode รอไว้ก่อนที่จะสั่งงานโปรแกรมในกรณี Download แบบ Manual หรือบอร์ดยังไม่พร้อมทำงาน เช่น ยังไม่ได้จ่ายไฟเลี้ยงให้บอร์ด
   - กำหนดค่า Baudrate เร็วเกินไป ซึ่งในกรณีที่ใช้งานกับเครื่องคอมพิวเตอร์ที่มีความเร็วมากๆ นั้น ควรกำหนดค่า Baudrate ในการสื่อสารให้ช้าลง ซึ่งอาจใช้ค่า 19200 หรือ 9600 ก็พอ เพราะถ้ากำหนดให้ความเร็วมากเกินไป เมื่อโปรแกรม FLIP ส่งข้อมูลให้กับ CPU แบบต่อเนื่องนั้น อาจทำให้ CPU ไม่สามารถประมวลผลคำสั่งหรือข้อมูลต่างๆที่ส่งไปให้ทันก็จะทำให้เกิดความผิดพลาดบ่อยครั้งขึ้น
2. Software Security Bit Set. Cannot access device Data เป็นความผิดพลาดที่เกิดจากการนำ CPU ที่มีการสั่ง Lock Bit ของ Security Bit ไว้ก่อนแล้ว จึงมาสั่ง Program หรือ Verify หรือ Read ในภายหลังโดยยังไม่ได้สั่งลบข้อมูลเก่าออกเสียก่อน ซึ่งให้แก้ปัญหาด้วยการสั่งลบข้อมูล (Erase) เสียก่อนแล้วจึงสั่งเขียนข้อมูลใหม่อีกครั้งหนึ่ง
3. The board reply is not correct เป็นความผิดพลาดที่เกิดจากการสื่อสารข้อมูลระหว่างโปรแกรม FLIP กับ ไมโครคอนโทรลเลอร์ เกิดความผิดพลาดในลักษณะของ Framing Error ขึ้น ซึ่งปัญหาอาจเกิดจากการกำหนดค่า Baudrate ไม่ถูกต้องกับค่าความถี่ของ Crystal ที่ใช้กับบอร์ด
4. The RS232 port could not be opened เป็นความผิดพลาดที่เกิดจากโปรแกรม FLIP ไม่สามารถสั่งเปิดการทำงานของพอร์ตสื่อสารอนุกรม RS232 ของเครื่องคอมพิวเตอร์ PC ได้ ซึ่งอาจเกิดจากการกำหนดหมายเลข Comport ในโปรแกรมที่เลือกไว้ไม่มีอยู่จริง หรือมีโปรแกรมอื่นเรียกใช้งาน Comport นั้นค้างอยู่ หรือเรียกใช้งานโปรแกรม FLIP ในขณะที่กำลังสั่งเปิดโปรแกรมอื่นๆที่มีการใช้งาน Comport

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อยู่ด้วย ซึ่งให้ลองปิดโปรแกรม FLIP แล้วสั่งเปิดโปรแกรมใหม่ดู ถ้ายังเกิดปัญหาเดิมอยู่อีกอาจลองตรวจสอบสาเหตุอื่นๆที่เกี่ยวข้องและทำการแก้ไข

5. **Check sum error** เป็นความผิดพลาดที่เกิดจากการที่ CPU รับข้อมูลที่ส่งไปจากคอมพิวเตอร์ PC ไม่ครบถูกต้องทั้งหมด ซึ่งปัญหาอาจเกิดจากการกำหนดความเร็วในการสื่อสาร Baudrate เร็วเกินไป หรือกำหนดไว้ไม่เหมาะสมกับค่าความถี่ Crystal ให้ลองเปลี่ยนค่า Baudrate ให้ช้าลงกว่าเดิม ซึ่งค่าที่เหมาะสมได้แก่ 9600,19200 และ 38400 แต่ถ้าคอมพิวเตอร์ไม่เร็วมากนักก็อาจกำหนดเป็น 57600 หรือ 115200 ก็ได้ แต่ถ้ากำหนดค่าสูงๆแล้วเกิด Error ควรลดค่า Baudrate ให้ช้าลงกว่าเดิม
6. **การสั่ง Load HEX ไม่ได้** เป็นความผิดพลาดที่เกิดจากการที่โปรแกรม FLIP ไม่สามารถอ่านข้อมูลใน HEX File ออกมาได้ ซึ่งอาจเกิดจากไฟล์ที่สั่งโหลดนั้น ไม่ใช่ไฟล์แบบ Intel HEX เนื่องจากโปรแกรม FLIP สามารถใช้งานกับไฟล์แบบ Intel HEX เท่านั้น ส่วนไฟล์ในรูปแบบอื่นๆจะไม่สามารถนำมาใช้งานกับโปรแกรมนี้ได้ ส่วนปัญหาอีกประการหนึ่งที่มักพบอยู่บ่อยๆ คือโปรแกรม FLIP ไม่สามารถอ่าน HEX File ได้ทั้งๆที่ไฟล์ที่สั่งให้อ่านนั้นเป็นไฟล์แบบ Intel HEX อยู่แล้ว ซึ่งที่พบอยู่บ่อยๆก็ได้แก่ HEX File ที่สั่งแปลโดยใช้โปรแกรม Assembler ของ SXA51.EXE เนื่องจาก HEX File ที่ได้จากการแปลของโปรแกรมตัวนี้จะเกิดบรรทัดว่างอยู่ในไฟล์ในส่วนเริ่มต้นบรรทัดแรกด้วย 1 บรรทัด ซึ่งตามรูปแบบของ HEX File แล้ว ในแต่ละบรรทัดของไฟล์จะต้องเริ่มต้นด้วยเครื่องหมายโคลอน (:) แล้วตามด้วยข้อมูลต่างๆในบรรทัดนั้น แต่เมื่อบรรทัดแรกเป็นบรรทัดว่างโปรแกรมจึงแสดง Error ว่าไม่ใช่ HEX File โดยโปรแกรม FLIP จะแสดง Error .ให้ทราบดังนี้



สำหรับวิธีการแก้ไขปัญหานี้ให้ใช้โปรแกรม Text Editor เปิด HEX File ที่ได้จากการแปลของ SXA51.EXE แล้วตัดบรรทัดว่างในไฟล์นั้นทิ้งไปแล้วสั่งบันทึกใหม่ก็จะสามารถนำไปใช้ได้แล้ว

```
:1000000075892175985OD2BCC2ACC2A9C2AB74FB31
:1000                    AF1200880D0A0AE4
:1000                    043502D4A52359A
:10003000314143322056312026205632202831329 9
:100040002D436C6F636B290D0A507265737320041E9
:00000001FF
```

บรรทัดว่างที่ได้จากการแปลของโปรแกรม SXA51

รูปแสดง ลักษณะของ HEX File ที่ได้จาก SXA51 ซึ่งจะเกิดบรรทัดว่างอยู่ 1 บรรทัด

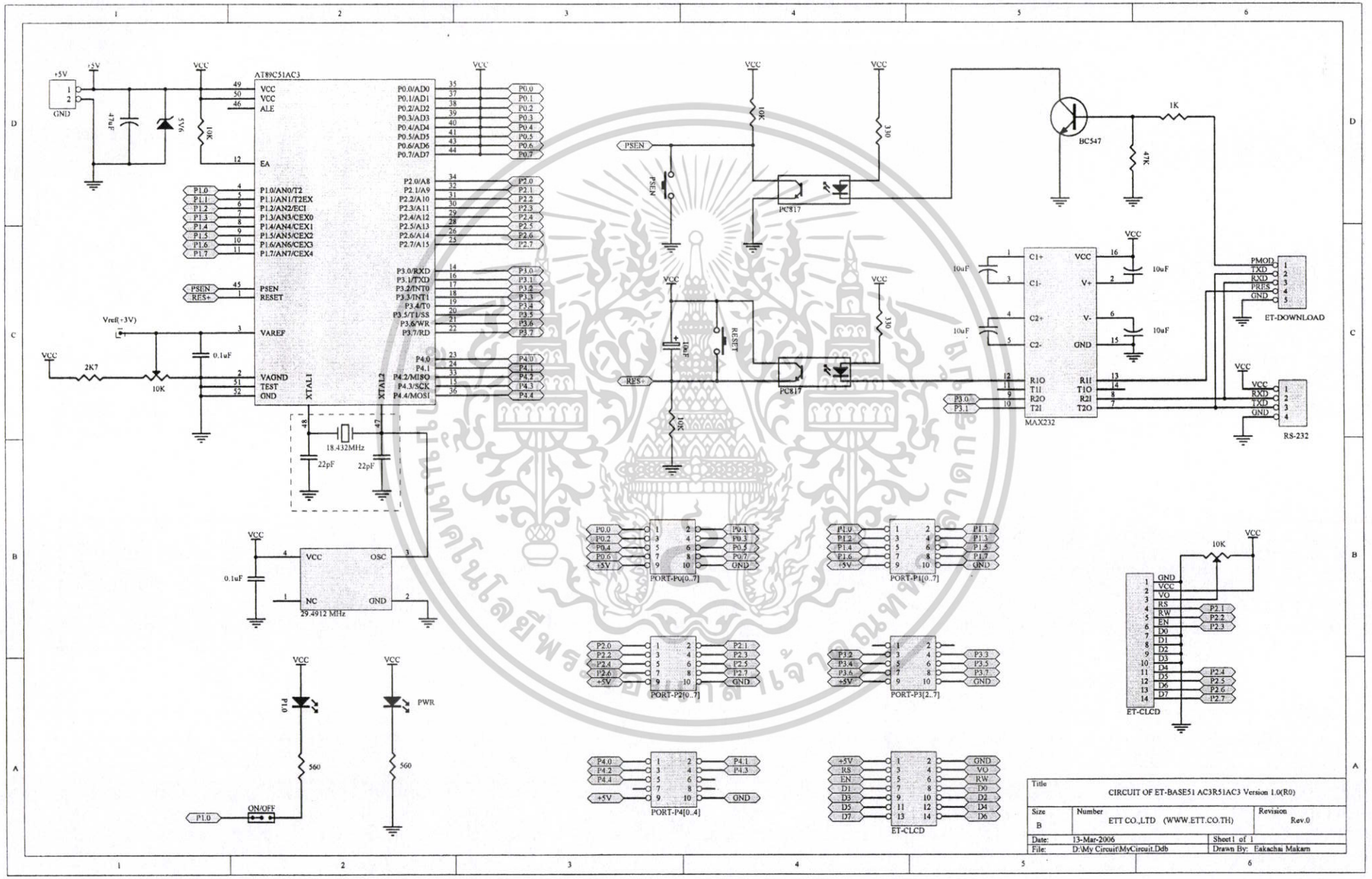
เอกสารนี้เป็นลิขสิทธิ์ของ บริษัท อีทีที จำกัด ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
:10000000758921759850D2BCC2ACC2A9C2AB74FB31
:10001000F58DF58BD28CD28ED2AF1200880D0A0AE4
:1000200044454D4F20544553542043502D4A52359A
:10003000314143322056312026205632202831329 9
:100040002D436C6F636B290D0A507265737320041E9
:00000001FF
```

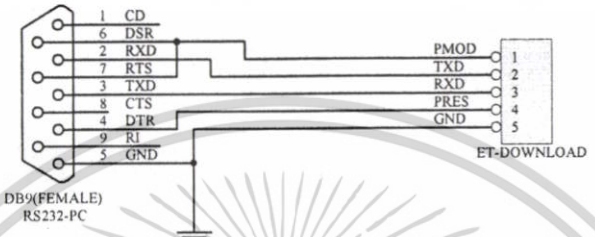
รูปแสดง ลักษณะของ HEX File ที่สามารถใช้กับโปรแกรม FLIP ได้หลังตัดบรรทัดว่างทิ้งไปแล้ว

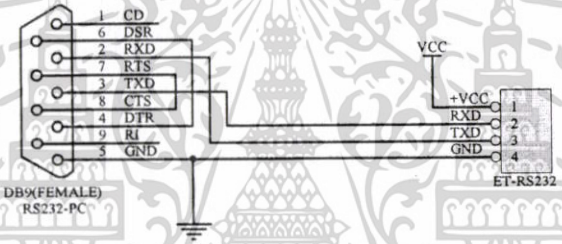
7. **เมื่อสั่งโปรแกรมข้อมูลให้กับ CPU เรียบร้อยแล้วหลังจากรีเซ็ตบอร์ดแล้วไม่ทำงาน** ซึ่งปัญหานี้อาจเกิดจากสาเหตุความผิดพลาดหลายประการ ซึ่งพอสรุปได้ดังนี้ คือ
   - โปรแกรมที่เขียนขึ้นไม่ถูกต้องยังไม่สามารถทำงานได้เอง ซึ่งปัญหานี้ผู้ใช้ต้องหาทางตรวจสอบและแก้ไขความผิดพลาดที่เกิดขึ้นเอง
   - ยังไม่ได้มีการสั่ง Load HEX เข้ามารอไว้ยัง Buffer แล้วสั่งโปรแกรม (Program Device) ซึ่งโปรแกรม FLIP จะนำข้อมูลที่อยู่ใน Buffer เขียนไปยังหน่วยความจำของโปรแกรม
   - สวิตช์ PSEN อาจถูกกดค้างอยู่ จึงทำให้การรีเซ็ตบอร์ดทุกๆครั้งนั้น CPU จะเข้าไปทำงานใน Monitor Mode เสมอ ซึ่งปัญหานี้สามารถตรวจสอบได้โดยการวัดระดับลอจิกที่ขาสัญญาณ PSEN ของ CPU ซึ่งอยู่ที่ขา 45 (PLCC-52) ซึ่งควรมีสภาวะเป็น "1" ถ้าไม่มีการกดสวิตช์ PSEN ไว้ และควรมีสภาวะเป็น "0" ถ้ามีการกดสวิตช์ PSEN ไว้
   - สวิตช์ RESET อาจถูกกดค้างอยู่ จึงทำให้ CPU ไม่สามารถหลุดพ้นจากสภาวะการรีเซ็ตได้ ซึ่งปัญหานี้สามารถตรวจสอบได้โดยการวัดระดับลอจิกที่ขาสัญญาณ RESET ของ CPU ซึ่งอยู่ที่ขา 1 (PLCC-52) ซึ่งควรมีสภาวะเป็น "0" ถ้าไม่มีการกดสวิตช์ RESET ไว้ และควรมีสภาวะเป็น "1" ถ้ามีการกดสวิตช์ RESET ไว้
   - ค่าของ Device BSB และ SBV ยังไม่ได้ถูกกำหนดให้มีค่าเป็น 00H ไว้ ซึ่งจะทำให้โปรแกรมกระโดดไปทำงานยังตำแหน่งที่ชี้โดย Device SBV แทน ซึ่งถ้าค่าของ Device SBV ไม่ใช่ศูนย์ก็จะเหมือนกับว่าโปรแกรมไม่ทำงาน ซึ่งการแก้ไข ปัญหานี้ หลังจากสั่งโปรแกรมข้อมูลให้กับ CPU เรียบร้อยแล้ว ควรกำหนดให้ค่าของ Device BSB และ Device SBV มีค่าเป็น 00H ไว้ทั้งคู่

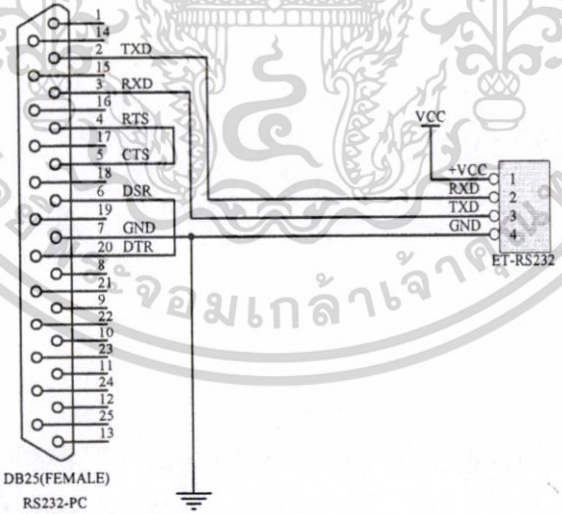
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Title	CIRCUIT OF ET-BASE51 AC3R51AC3 Version 1.0(R0)		
Size: B	Number: ETT CO.,LTD (WWW.ETT.CO.TH)		Revision: Rev.0
Date: 13-Mar-2006		Sheet 1 of 1	
File: D:\My Circuit\MyCircuit.Ddb		Drawn By: Eakachai Makarn	







Title	ETT CO.,LTD (WWW.ETT.CO.TH)	
Size: A4	Number: CABLE RS232	Revision: 1.0
Date: 31-Mar-2006		Sheet1 of 1
File: D:\My Circuit\RS232CABLE.ddb		Drawn By:

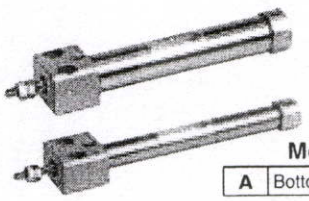
ภาคผนวก ค

Air Cylinder

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Air Cylinder: Direct Mount Type
Double Acting, Single Rod
Series CJ2R
ø10, ø16

How to Order



Bore size

10	10 mm
16	16 mm

Cylinder standard stroke (mm)
Refer to the standard stroke table on page 95.

Mounting style

A	Bottom mounting style

Built-in Magnet Cylinder Model

Suffix the symbol "-A" (Rail mounting style) or "-B" (Band mounting style) to the end of part number for cylinder with auto switch.

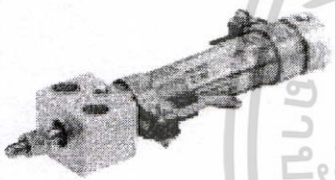
Example	Rail mounting style	CDJ2RA16-60-A
	Band mounting style	CDJ2RA10-45-B

* For rail mounting style, screws and nuts for 2 pcs switches come with the rail.
* Refer to page 123 for switch mounting brackets.

Without auto switch CJ2RA 16 – 60 – –

With auto switch CDJ2RA 16 – 60 – M9BW – –

With auto switch
(Built-in magnet)



Head cover port location

Symbol \ Bore size (mm)	ø10, ø16
Nil	Perpendicular to axis
R	Axial

* For configuration, refer to page 95.

Auto switch
* For the applicable auto switch model, refer to the table below.
* If a built-in magnet cylinder without an auto switch is required, refer to the model of built-in magnet cylinder.

Made to Order
Refer to page 95 for details.

Number of auto switches

Nil	2 pcs.
S	1 pc.
n	"n" pcs.

Applicable Auto Switch
Refer to pages 1263 to 1371 for further information on auto switches.

Type	Special function	Electrical entry	Indicator light	Wiring (Output)	Load voltage DC	Load voltage AC	Auto switch model: Band mounting	Rail mounting: Perpendicular	Rail mounting: In-line	Lead wire length (m): 0.5 (Nil)	1 (M)	3 (L)	5 (Z)	None (N)	Pre-wired connector	Applicable load:	
Solid state switch	—	Grommet	Yes	3-wire (NPN)	5 V, 12 V	—	M9N	—	—	●	●	●	○	—	○	IC circuit	Relay, PLC
							—	F7NV	F79	●	—	●	○	—	○		
				3-wire (PNP)			M9P	—	—	●	●	●	○	—	○		
							—	F7PV	F7P	●	—	●	○	—	○		
				2-wire	12 V		M9B	—	—	●	●	●	○	—	○	—	
							—	F7BV	J79	●	—	●	○	—	○		
		Connector					H7C	J79C	—	●	—	●	●	●	—		
	Diagnostic indication (2-color indication)	Grommet		3-wire (NPN)	5 V, 12 V		M9NW	—	—	●	●	●	○	—	○	IC circuit	
							—	F7NWV	F79W	●	—	●	○	—	○		
				3-wire (PNP)			M9PW	—	—	●	●	●	○	—	○		
							—	—	F7PW	●	—	●	○	—	○		
				2-wire	12 V		M9BW	—	—	●	●	●	○	—	○	—	
							—	F7BWV	J79W	●	—	●	○	—	○		
	Water resistant (2-color indication)						H7BA	F7BAV	F7BA	—	—	●	○	—	○		
	With diagnostic output (2-color indication)			4-wire (NPN)	5 V, 12 V		H7NF	—	F79F	●	—	●	○	—	○	IC circuit	
Reed switch	—	Grommet	Yes	3-wire (NPN equivalent)	—	5 V	—	A96	—	A76H	●	—	●	—	—	—	IC circuit	—
				2-wire	24 V	—	200 V	—	A72	A72H	●	—	●	—	—	—	—	Relay, PLC
						12 V	100 V	—	A73	A73H	●	—	●	●	—	—		
								A93	—	—	●	—	●	—	—	—		
			No				100 V or less	A90	A80	A80H	●	—	●	—	—	—	IC circuit	
		Connector	Yes				—	C73C	A73C	—	●	—	●	●	●	—	—	
			No				24 V or less	C80C	A80C	—	●	—	●	●	●	—	IC circuit	
	Diagnostic indication (2-color indication)	Grommet	Yes		—	—	—	—	A79W	—	●	—	●	—	—	—	—	

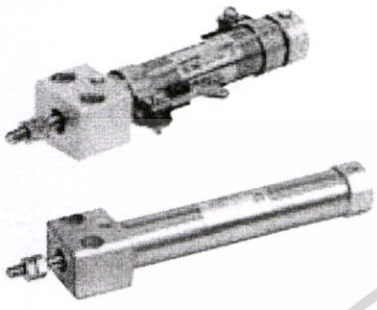
* Lead wire length symbols: 0.5 m····· Nil (Example) M9NW
1 m····· M (Example) M9NWM
3 m····· L (Example) M9NWL
5 m····· Z (Example) M9NWZ

* Since there are other applicable auto switches than listed, refer to page 123 for details.
* For details about auto switches with pre-wired connector, refer to pages 1328 and 1329.
* Band mounting style is not available for D-A9□V□/M9□V□/M9□WV□ and D-M9□A(V)L types.

* Solid state auto switches marked with "○" are produced upon receipt of order.
* D-A9□/M9□/M9□W/A7□□/A80□/F7□□/J7□□ auto switches are shipped together (not assembled). (However, when D-A9□/M9□/M9□W types are selected, only auto switch mounting brackets are assembled before being shipped.)
* When D-A9□(V)/M9□(V)/M9□W(V) types are mounted on a ø10 or ø16 rail, order auto switch mounting brackets separately. Refer to page 123 for details.

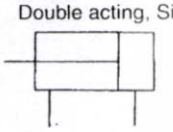
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

Series CJ2R direct mount cylinder can be installed directly through the use of a square rod cover.



JIS Symbol

Double acting, Single rod



Specifications

Bore size (mm)	10	16
Action	Double acting, Single rod	
Fluid	Air	
Proof pressure	1 MPa	
Maximum operating pressure	0.7 MPa	
Minimum operating pressure	0.06 MPa	
Ambient and fluid temperature	Without auto switch: −10°C to 70°C, With auto switch: −10°C to 60°C *	
Cushion	Rubber bumper	
Lubrication	Not required (Non-lube)	
Stroke length tolerance	$^{+1.0}_{0}$	
Piston speed	50 to 750 mm/s	
Allowable kinetic energy	0.035 J	0.090 J

* No freezing

Standard Stroke

(mm)

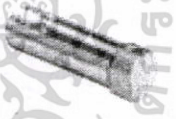
Bore size	Standard stroke
10	15, 30, 45, 60, 75, 100, 125, 150
16	15, 30, 45, 60, 75, 100, 125, 150, 175, 200

* Manufacture of intermediate strokes at 1 mm intervals is possible. (Spacers are not used.)

Head Cover Port Location

Either perpendicular to the cylinder axis or in-line with the cylinder axis is available for basic style.

Axial



Perpendicular

Made to Order Specifications
(For details, refer to pages 1380, 1462 and 1479.)

Symbol	Specifications
—XA□	Change of rod end shape
—XC22	Fluororubber seals
—XC51	With hose nipple

⚠ Precautions

Refer to page 44 before handling.

Refer to pages 117 to 123 for cylinders with auto switches.

- Minimum stroke for auto switch mounting
- Proper auto switch mounting position (detection at stroke end) and mounting height
- Operating range
- Switch mounting bracket part no.

Mass

(g)

Bore size (mm)	10	16
Basic mass *	36	71.5
Additional mass per each 15 mm of stroke	4	6.5

* Rod end nut is included in the basic mass.

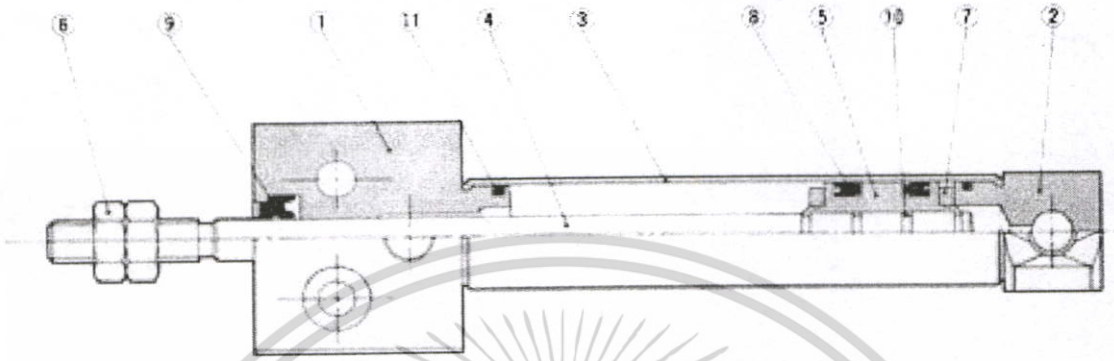
Calculation: (Example) **CJ2RA10-45**

- Basic mass 36 (ø10)
- Additional mass ..... 4/15 stroke
- Cylinder stroke ..... 45 stroke

36 + 4/15 x 45 = 48 g

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Construction (Not able to disassemble)



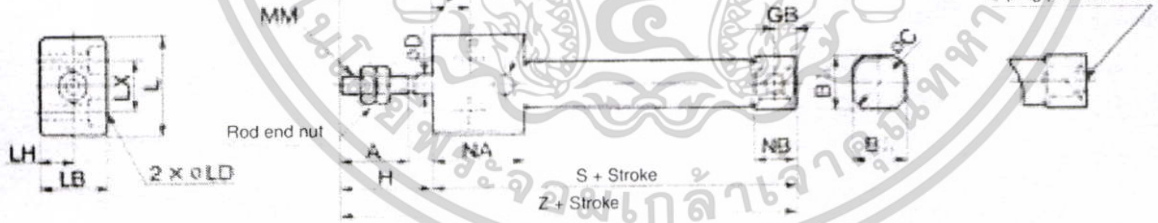
Component Parts

No.	Description	Material	Note
1	Rod cover	Aluminum alloy	Anodized
2	Head cover	Aluminum alloy	Anodized
3	Cylinder tube	Stainless steel	
4	Piston rod	Stainless steel	
5	Piston	Brass	
6	Rod end nut	Rolled steel	Nickel plated

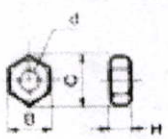
No.	Description	Material	Note
7	Bumper	Urethane	
8	Piston seal	NBR	
9	Rod seal	NBR	
10	Piston gasket	NBR	
11	Tube gasket	NBR	

Bottom Mounting Style

CJ2RA Bore size – Stroke – Head cover port location



Rod End Nut



Material: Iron

Part no.	Applicable bore (mm)	B	C	d	H
NTJ-010A	10	7	8.1	M4 x 0.7	3.2
NTJ-015A	16	8	9.2	M5 x 0.8	4

(mm)

Bore size	A	B	C	D	GA	GB	H	L	LB	LD	LH	LX	MM	NA	NB	X	Y	S	Z
10	15	12	14	4	16	5	20	23	16	ø3.5, ø6.5 counterbore depth 4	8	12	M4 x 0.7	20.5	9.5	28	8	54	74
16	15	18.3	20	5	16	5	20	26	20	ø4.5, ø8 counterbore depth 5	10	16	M5 x 0.8	20.5	9.5	28	8	55	75

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า การผลิต การโฆษณา หรือการแสวงหากำไร ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง

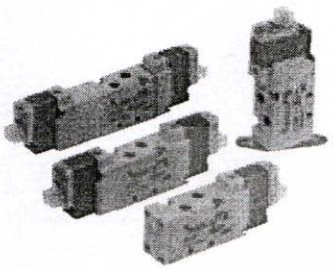
Solenoid Valve

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

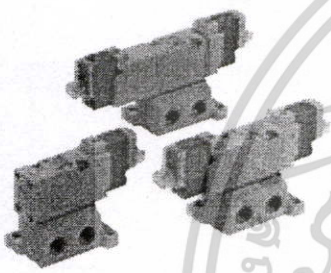
Rubber Seal
5 Port Solenoid Valve
Series SYJ5000

CE

[Option]



Body ported



Base mounted

Specifications

Fluid		Air
Operating pressure range (MPa)	2 position single	0.15 to 0.7
	2 position double	0.1 to 0.7
	3 position	0.15 to 0.7
Ambient and fluid temperature (°C)		−10 to 50 (No freezing.)
Response time (ms) Note 1) (at 0.5 MPa)	2 position single, double	25 or less
	3 position	40 or less
Max. operating frequency (Hz)	2 position single, double	5
	3 position	3
Manual override (Manual operation)		Non-locking push type, Push-turn locking slotted type, Push-turn locking lever type
Pilot exhaust method		Individual exhaust for the pilot valve, Common exhaust for the pilot and main valve
Lubrication		Not required
Mounting orientation		Unrestricted
Shock/Vibration resistance (m/s²) Note 2)		150/30
Enclosure		Dust proof (* DIN terminal, M8 connector conforms to IP65.)

* Based on IEC60529

Note 1) Based on dynamic performance test, JIS B 8375-1981. (Coil temperature: 20°C, at rated voltage, without surge voltage suppressor)

Note 2) Impact resistance: No malfunction occurred when it is tested in the axial direction and at the right angles to the main valve and armature in both energized and de-energized states every once for each condition. (Value in the initial state)

Vibration resistance: No malfunction occurred in one sweep test between 45 and 2000 Hz. Test was performed at both energized and de-energized states in the axial direction and at the right angles to the main valve and armature. (Value in the initial state)

Solenoid Specifications

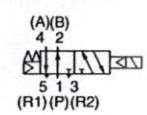
Electrical entry			Grommet (G), (H), L plug connector (L) M plug connector: (M), DIN terminal (D, Y) M8 connector (W)	
			G, H, L, M, W	D, Y
Coil rated voltage (V)	DC		24, 12, 6, 5, 3	24, 12
	AC 50/60 Hz		100, 110, 200, 220	
Allowable voltage fluctuation			±10% of rated voltage *	
Power consumption (W)	DC	Standard	0.35 (With light: 0.4 (DIN terminal with light: 0.45))	
		With power saving circuit	0.1 (With light only)	
Apparent power (VA) *	AC	100 V	0.78 (With light: 0.81)	0.78 (With light: 0.87)
		110 V [115 V]	0.86 (With light: 0.89) [0.94 (With light: 0.97)]	0.86 (With light: 0.97) [0.94 (With light: 1.07)]
		200 V	1.18 (With light: 1.22)	1.15 (With light: 1.30)
		220 V [230 V]	1.30 (With light: 1.34) [1.42 (With light: 1.46)]	1.27 (With light: 1.46) [1.39 (With light: 1.60)]
Surge voltage suppressor			Diode (DIN terminal, Varistor when non-polar types)	
Indicator light			LED (Neon light when AC with DIN terminal)	

* In common between 110 VAC and 115 VAC, and between 220 VAC and 230 VAC.
* For 115 VAC and 230 VAC, the allowable voltage is −15% to +5% of rated voltage.
* S, Z and T type (with power saving circuit) should be used within the following allowable voltage fluctuation range due to a voltage drop caused by the internal circuit. S and Z type: 24 VDC: −7% to +10%, 12 VDC: −4% to +10%
T type: 24 VDC: −8% to +10%, 12 VDC: −6% to +10%

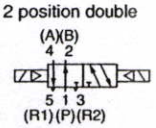
JIS Symbol

Body ported

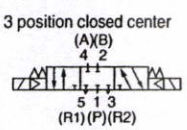
2 position single



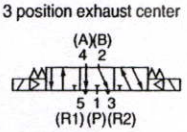
2 position double



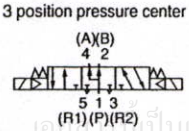
3 position closed center



3 position exhaust center

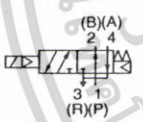


3 position pressure center

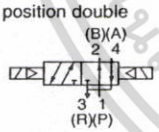


Base mounted (with sub-plate)

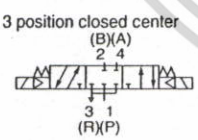
2 position single



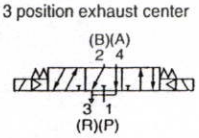
2 position double



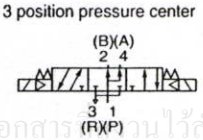
3 position closed center



3 position exhaust center



3 position pressure center

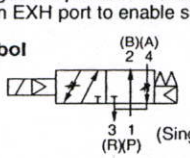


Built-in Speed Controller

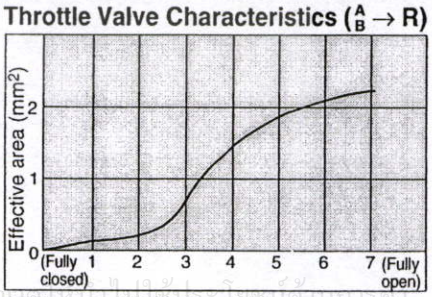
SYJ5□5□

- Built-in exhaust flow controls enable simple cylinder speed adjustments.
- When mounted on the manifold, the common exhaust discharges the pilot and main valve exhaust through a common EXH port to enable simple exhausting.

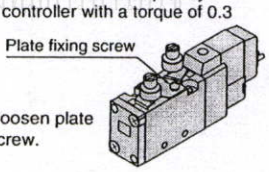
JIS Symbol



Throttle Valve Characteristics ($\frac{A}{B} \rightarrow R$)



- When using SYJ5□53 model the speed controller must be opend more than 1 complete rotation from fully closed in order to function proerly.
- Adjust the speed controller with a torque of 0.3 N·m or less.



Note) Do not loosen plate fixing screw.

How to order valve with built-in speed controller

SYJ5□5□-□□□□-□-□

- Type of actuation
- Body Option
- Rated voltage
- Lead wire
- Manual override
- Light/surge voltage suppressor
- Port size
- CE-compliant

Order Made Made to Order

(For details, refer to pages 546 and 547.)

เอกสารนี้เป็นเอกสารส่วนตัวสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ห้ามมิให้ทำการคัดลอก ดัดแปลง หรือเผยแพร่ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้นำไปใช้ในเชิงพาณิชย์ ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ผู้ใช้งานจะต้องรับผิดชอบต่อการกระทำใดๆที่ผิดกฎหมายลิขสิทธิ์ และจะต้องรับโทษตามที่กฎหมายกำหนดไว้ทุกประการ

Flow Characteristics/Mass

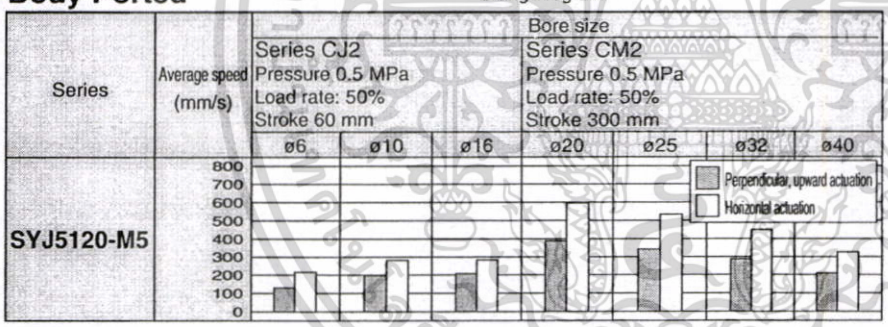
Valve model		Type of actuation		Port size 1, 5, 3 (P, EA, EB)	Port size 4, 2 (A, B)	Flow characteristics Note 1) 1R4/2 (PRA/B) C [dm³/(s·bar)]	1R4/2 (PRA/B) b	1R4/2 (PRA/B) Cv	4/2R5/3 (A/BREA/EB) C [dm³/(s·bar)]	4/2R5/3 (A/BREA/EB) b	4/2R5/3 (A/BREA/EB) Cv	Mass (g) Note 2, 3) Grommet	L/M plug connector	DIN terminal	M8 connector
Body ported	SYJ5□20-□-M5	2 position	Single	M5 x 0.8	M5 x 0.8	0.47	0.41	0.13	0.47	0.41	0.13	46	47	68	51
			Double									64	66	108	74
		3 position	Closed center			0.49	0.44	0.13	0.44	0.40	0.12	75	77	119	85
			Exhaust center			0.46	0.37	0.12	0.47 [0.39]	0.43 [0.35]	0.13 [0.10]				
			Pressure center			0.49 [0.39]	0.51 [0.38]	0.14 [0.10]	0.45	0.42	0.12				
	SYJ5□20-□-C4	2 position	Single	M5 x 0.8	C4 (One-touch fitting for ø4)	0.69	0.39	0.18	0.44	0.39	0.12	53	54	75	58
			Double									71	73	115	81
		3 position	Closed center			0.69	0.40	0.19	0.43	0.40	0.12	82	84	126	72
			Exhaust center			0.56	0.40	0.15	0.41 [0.41]	0.37 [0.37]	0.10 [0.11]				
			Pressure center			0.57 [0.41]	0.4 [0.37]	0.15 [0.10]	0.41	0.37	0.10				
	SYJ5□20-□-C6	2 position	Single	M5 x 0.8	C6 (One-touch fitting for ø6)	0.70	0.36	0.19	0.47	0.40	0.12	53	54	75	58
			Double									71	73	115	81
		3 position	Closed center			0.72	0.37	0.19	0.44	0.34	0.12	82	84	126	92
			Exhaust center			0.67	0.54	0.19	0.41 [0.41]	0.38 [0.38]	0.11 [0.11]				
			Pressure center			0.82 [0.44]	0.41 [0.39]	0.23 [0.12]	0.41	0.36	0.11				
Base mounted	SYJ5□40-□-01	2 position	Single	1/8	1/8	0.79	0.21	0.19	0.83	0.32	0.21	80 (49)	81 (47)	102 (68)	51
			Double									98 (64)	100 (66)	142 (108)	74
		3 position	Closed center			0.80	0.28	0.18	0.86	0.34	0.20	109 (75)	111 (77)	153 (119)	85
			Exhaust center			0.71	0.26	0.18	1.1 [0.60]	0.24 [0.44]	0.26 [0.18]				
			Pressure center			0.99 [0.47]	0.29 [0.38]	0.24 [0.12]	0.72	0.38	0.18				

Note 1) [ ]: denotes the normal position. Exhaust center: 4/2 → 5/3, Pressure center: 1 → 4/2
Note 2) ( ): Without sub-plate.
Note 3) For DC voltages. For AC voltages add 3 g to the weight of the single solenoid and 6 g to the weight of the double solenoid and 3 position types.

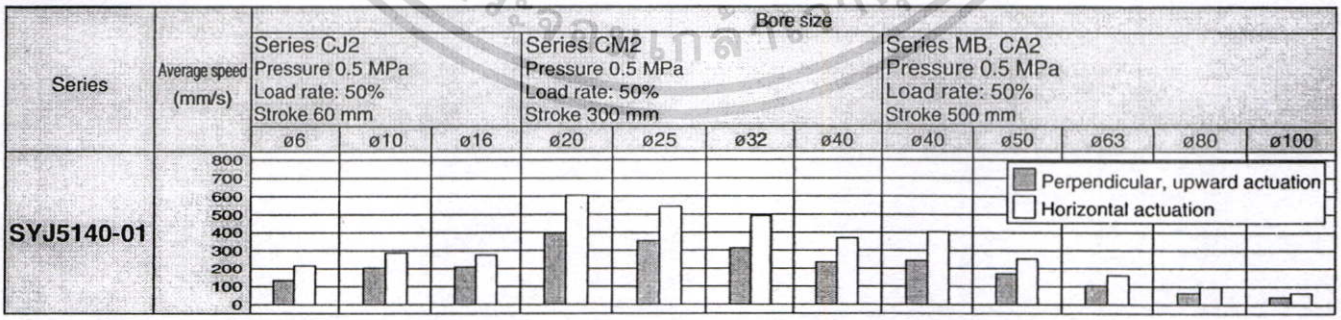
Cylinder Speed Chart

Use as a guide for selection.
Please confirm the actual conditions with SMC Sizing Program.

Body Ported



Base Mounted



* Cylinder is in extending. Speed controller is meter-out, which is directly connected with cylinder and its needle is fully opened.
* Average speed of cylinder is obtained by dividing the full stroke time by the stroke.
* Load factor: ((Load weight x 9.8) /Theoretical force) x 100%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

Conditions

	Body ported	Series CJ2	Series CM2	Series MB/CA2
SYJ5120-M5	Tubing bore x Length	ø4 x 1 m	ø6 x 1 m	ø8 x 1 m
	Speed controller	AS1301F-04	AS3301F-06	AS3301F-08
	Silencer	AN120-M5	AN110-01	

	Base mounted	Series CJ2	Series CM2	Series MB/CA2
SYJ5140-01	Tubing bore x Length	ø4 x 1 m	ø6 x 1 m	
	Speed controller	AS2301F-04	AS3001F-06	
	Silencer	AN101-01	AN101-01	

How to Order

Type of actuation

1	2 position single solenoid
2	2 position double solenoid
3	3 position closed center
4	3 position exhaust center
5	3 position pressure center

Light/surge voltage suppressor

Electrical entry for G, H, L, M, W

Nil	Without light/surge voltage suppressor
S	With surge voltage suppresor
Z	With light/surge voltage suppressor
R	With surge voltage suppressor (Non-polar type)
U	With light/surge voltage suppressor (Non-polar type)

* For AC voltage valves there is no "S" option. It is already built-in to the rectifier circuit.
* For type "R" and "U", DC voltage is only available.
* Power saving circuit is only available in the "Z" type.

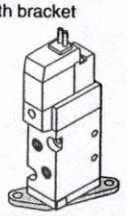
Electrical entry for D, Y

Nil	Without light/surge voltage suppressor
S	With surge voltage suppressor (Non-polar type)
Z	With light/surge voltage suppressor (Non-polar type)

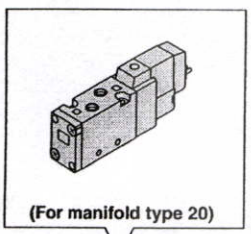
* DOZ and YOZ are not available.
* For AC voltage valves there is no "S" option. It is already built-in to the rectifier circuit.

Bracket

Nil: Without bracket
F: With bracket



Note) The mounting bracket is supplied unattached.



(For manifold type 20)

Rated voltage

DC

5	24 VDC
6	12 VDC
V	6 VDC
S	5 VDC
R	3 VDC

* DC specifications of type D, Y, DO and YO are only available with 12 and 24 VDC.

AC (50/60 Hz)

1	100 VAC
2	200 VAC
3	110 VAC [115 VAC]
4	220 VAC [230 VAC]

* For type W□, DC voltage is only available.

A, B port size

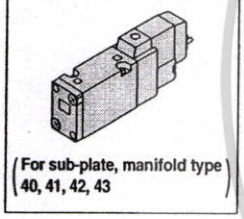
M5	M5 x 0.8
C4	One-touch fitting for ø4
C6	One-touch fitting for ø6
N3	One-touch fitting for ø5/32"
N7	One-touch fitting for ø1/4"

Made to Order

Nil	—
X20	Body Ported External Pilot (Refer to page 546.)

Body ported SYJ5 1 2 0 – 5 L – M5 – – –

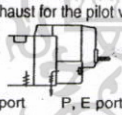
Base mounted SYJ5 2 4 0 – 5 L – – –



(For sub-plate, manifold type 40, 41, 42, 43)

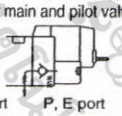
Body option

0: Pilot valve individual exhaust for the pilot valve



R port P, E port

3: Common exhaust type for main and pilot valve



R port P, E port

Coil specifications

Nil	Standard
T	With power saving circuit <24, 12 VDC only>

* Power saving circuit is not available in the case of D, Y, DO, YO or W□ type.

Thread type

Nil	Rc
F	G
N	NPT
T	NPTF

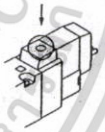
CE-compliant

Nil	—
Q	CE-compliant

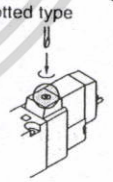
* Except DIN terminal, DC specifications are only available.

Manual override

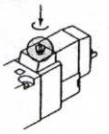
Nil: Non-locking push type



D: Push-turn locking slotted type

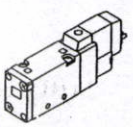


E: Push-turn locking lever type



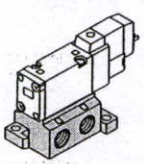
Port size

Nil: Without sub-plate



(With gasket and screws)

01: 1/8 With sub-plate



Electrical entry

Grommet	L plug connector	M plug connector	DIN terminal	M8 connector
			24,12 VDC 100,110, 200, 220 VAC	24, 12, 6, 5, 3 VDC
G: Lead wire length 300 mm	**L:** With lead wire (Length 300 mm)	**M:** With lead wire (Length 300 mm) **MN:** Without lead wire	**D, Y :** With connector	**WO:** Without connector cable
H: Lead wire length 600 mm	**LN:** Without lead wire	**LO:** Without connector	**DO, YO:** Without connector	**W□:** With connector cable Note 1)
		MO: Without connector		

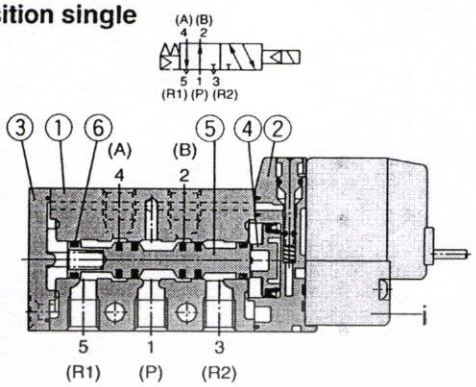
Note) When placing an order for body ported solenoid valve as a single unit, mounting screws for manifold and gasket are not attached. Order them separately, if necessary. (For details, refer to page 504.)

* LN, MN type: with 2 sockets.
* Refer to page 549 for the lead wire length of L and M plug connectors.
* Refer to page 552 for the connector assembly with cover for L and M plug connectors.
* DIN terminal type "Y" which conforms to EN-175301-803C (former DIN4365C) is also available. For details, refer to page 551.
* For connector cable of M8 connector, refer to page 552.
* M8 thread conforming to IEC60947-5-2 standard is also available. Refer to page 547 for details.

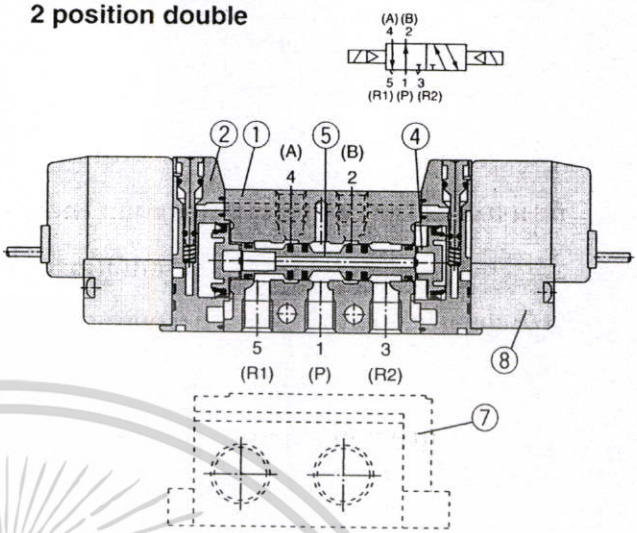
Note 1) Enter the cable length symbols in □. Please be sure to fill in the blank referring to page 552.

Construction

2 position single

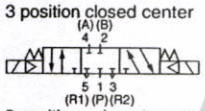


2 position double

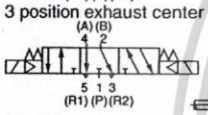


3 position closed center/exhaust center/pressure center

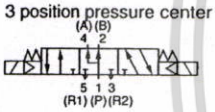
3 position closed center

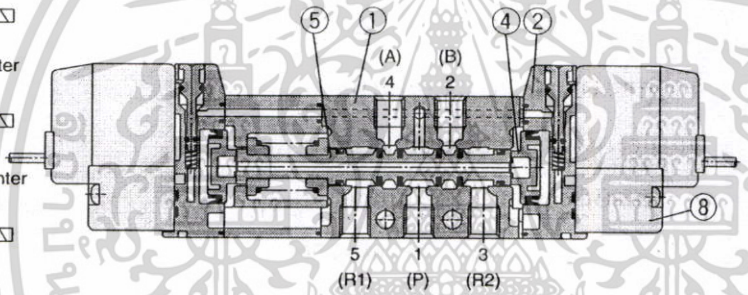


3 position exhaust center



3 position pressure center





(This figure shows a closed center type.)

Component Parts

No.	Description	Material	Note
1	**Body**	Aluminum die-casted	White
2	**Piston plate**	Resin	White
3	**End cover**	Resin	White
4	**Piston**	Resin	—
5	**Spool valve assembly**	Aluminum, H-NBR	—
6	**Spool spring**	Stainless steel	—

Replacement Parts

No.	Description	Part no.	Note
7	**Sub-plate** Note)	SYJ5000-22-1 (-Q)	Aluminum die-casted
8	**Pilot valve**	V111(T)-□□□	
—	**Bracket assembly**	SYJ5000-13-3A	

Note) Add suffix "-Q" for the CE-compliant product.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5 Port Solenoid Valve
Body Ported/Single Unit
Series SY3000/5000/7000/9000

CE

How to Order

SY [5] [1] 20 [ ] - [5] [L] [ ] [ ] - [01] [ ] - [ ] - [ ] - [ ]

Series

3	SY3000
5	SY5000
7	SY7000
9	SY9000

Type of actuation

1	2 position single
2	2 position double
3	3 position closed center
4	3 position exhaust center
5	3 position pressure center

Coil specifications

Nil	Standard
T	With power saving circuit (24, 12 VDC only)

* Power saving circuit is not available in the case of D, DO or W□ type.

Rated voltage

For DC

5	24 VDC
6	12 VDC
V	6 VDC
S	5 VDC
R	3 VDC

For AC (50/60 Hz)

1	100 VAC
2	200 VAC
3	110 VAC [115 VAC]
4	220 VAC [230 VAC]

* DC specifications of type D, Y, DO and YO is only available with 12 and 24 VDC.
* For type W□, DC voltage is only available.

Electrical entry

24, 12, 6, 5, 3 VDC/100, 110, 200, 220 VAC			24, 12 VDC/ 100, 110, 200, 220 VAC
Grommet	L plug connector	M plug connector	DIN terminal
G: Lead wire length 300 mm	L: With lead wire (Length 300 mm)	M: With lead wire (Length 300 mm) MN: Without lead wire	D, Y: With connector
H: Lead wire length 600 mm	LN: Without lead wire LO: Without connector	MO: Without connector	DO, YO: Without connector

24, 12, 6, 5, 3 VDC
M8 connector
WO: Without connector cable
W□: With connector cable Note)

* LN, MN type: with 2 sockets.
* For DIN terminal of SY3000 series, refer to page 337.
* "Y" type is a DIN terminal conforming to EN-175301-803C (former DIN43650C). For details, refer to page 336.
* For connector cable of M8 connector, refer to page 339.
* M8 connector conforming to IEC60947-5-2 standard is also available. Refer to page 331 for details.
* Refer to page 336 for the lead wire length of L and M plug connectors.
* Refer to page 337 for the connector assembly with cover for L and M plug connectors.

Note) Enter the cable length symbols in □. Please be sure to fill in the blank referring to page 340.

A, B port size

Thread piping

Symbol	Port size	Applicable series
M5	M5 x 0.8	SY3000
01	1/8	SY5000
02	1/4	SY7000
02	1/4	SY9000
03	3/8	

One-touch fitting (Metric size)

Symbol	Port size	Applicable series
C4	One-touch fitting for ø4	SY3000
C6	One-touch fitting for ø6	
C4	One-touch fitting for ø4	SY5000
C6	One-touch fitting for ø6	
C8	One-touch fitting for ø8	
C8	One-touch fitting for ø8	SY7000
C10	One-touch fitting for ø10	
C8	One-touch fitting for ø8	SY9000
C10	One-touch fitting for ø10	
C12	One-touch fitting for ø12	

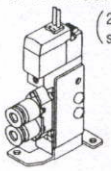
One-touch fitting (Inch size)

Symbol	Port size	Applicable series
N3	One-touch fitting for ø5/32"	SY3000
N7	One-touch fitting for ø1/4"	
N3	One-touch fitting for ø5/32"	SY5000
N7	One-touch fitting for ø1/4"	
N9	One-touch fitting for ø5/16"	
N9	One-touch fitting for ø5/16"	SY7000
N11	One-touch fitting for ø3/8"	
N9	One-touch fitting for ø5/16"	SY9000
N11	One-touch fitting for ø3/8"	

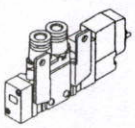
Bracket

Nil: Without bracket

F1: With foot bracket (2 position single only)



F2: With side bracket



* SY9000 has no bracket.

Thread type

Nil	Rc
F	G
N	NPT
T	NPTF

* Except for M5

Made to Order

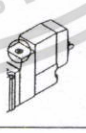
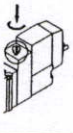
Nil	—
X20	Body ported external pilot (Refer to page 332)
X90	Main valve fluoro rubber (Refer to page 332)

CE-compliant

Nil	—
Q	CE-compliant

* For DC only except DIN terminal.

Manual override

Nil: Non-locking push type	D: Push-turn locking slotted type	E: Push-turn locking lever type
		

Light/surge voltage suppressor

Electrical entry for G, H, L, M, W

Nil	Without light/surge voltage suppressor
S	With surge voltage suppressor
Z	With light/surge voltage suppressor
R	With surge voltage suppressor (Non-polar type)
U	With light/surge voltage suppressor (Non-polar type)

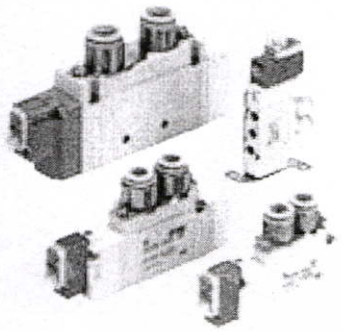
* For AC voltage valves there is no "S" option. It is already built-in to the rectifier circuit.
* For "R" and "U", DC voltage is only available.
* Power saving circuit is only available in the "Z" type.

Electrical entry for D, Y

Nil	Without light/surge voltage suppressor
S	With surge voltage suppressor
Z	With light/surge voltage suppressor

* DOZ and YOZ are not available.
* For AC voltage valves there is no "S" option. It is already built-in to the rectifier circuit.

Note) When placing an order for body ported solenoid valve as a single unit, mounting screw for manifold and gasket are not attached. Order them separately, if necessary. (For details, refer to page 173.)



Specifications

Series		SY3000	SY5000	SY7000	SY9000
Fluid		Air			
Internal pilot Operating pressure range (MPa)	2 position single	0.15 to 0.7			
	2 position double	0.1 to 0.7			
	3 position	0.2 to 0.7			
Ambient and fluid temperature (°C)		−10 to 50 (No freezing.)			
Max. operating frequency (Hz)	2 position single, double	10	5	5	5
	3 position	3	3	3	3
Manual override (Manual operation)		Non-locking push type, Push-turn locking slotted type, Push-turn locking lever type			
Pilot exhaust method		Common exhaust type for main and pilot valve			
Lubrication		Not required			
Mounting orientation		Unrestricted			
Impact/Vibration resistance (m/s²) Note)		150/30			
Enclosure		Dust proof (* DIN terminal and M8 connector: IP65)			

* Based on IEC60529

Note) Impact resistance: No malfunction occurred when it is tested in the axial direction and at the right angles to the main valve and armature in both energized and de-energized states every once for each condition. (Values at the initial period)

Vibration resistance: No malfunction occurred in a one-sweep test between 45 and 2000 Hz. Test was performed at both energized and de-energized states in the axial direction and at the right angles to the main valve and armature. (Values at the initial period)

Made to Order
(For details, refer to pages 324 to 332.)

Solenoid Specifications

Electrical entry			Grommet (G), (H) L plug connector (L) M plug connector (M)	DIN terminal (D), (Y) M8 connector (W)
			G, H, L, M, W	D, Y
Coil rated voltage (V)	DC		24, 12, 6, 5, 3	24, 12
	AC 50/60 Hz		100, 110, 200, 220	
Allowable voltage fluctuation			±10% of rated voltage *	
Power consumption (W)	DC	Standard	0.35 (With indicator light: 0.4 DIN terminal with indicator light: 0.45)	
		With power saving circuit	0.1 (With indicator light only)	
Apparent power (VA) *	AC	100 V	0.78 (With indicator light: 0.81)	0.78 (With indicator light: 0.87)
		110 V [115 V]	0.86 (With indicator light: 0.89) [0.94 (With indicator light: 0.97)]	0.86 (With indicator light: 0.97) [0.94 (With indicator light: 1.07)]
		200 V	1.18 (With indicator light: 1.22)	1.15 (With indicator light: 1.30)
		220 V [230 V]	1.30 (With indicator light: 1.34) [1.42 (With indicator light: 1.46)]	1.27 (With indicator light: 1.46) [1.39 (With indicator light: 1.60)]
Surge voltage suppressor			Diode (Varistor is for DIN terminal and Non-polar type.)	
Indicator light			LED (AC of DIN connector is neon light.)	

* In common between 110 VAC and 115 VAC, and between 220 VAC and 230 VAC.
* For 115 VAC and 230 VAC, the allowable voltage is −15% to +5% of rated voltage.
* S, Z and T type (with power saving circuit) should be used within the following allowable voltage fluctuation range due to a voltage drop caused by the internal circuit.
  S and Z type: 24 VDC: −7% to +10%
  12 VDC: −4% to +10%
  T type: 24 VDC: −8% to +10%
  12 VDC: −6% to +10%

Response Time

Note) Based on dynamic performance test, JIS B 8375-1981. (Coil temperature: 20°C, at rated voltage)

SY3000

Type of actuation	Response time (ms) (at the pressure of 0.5 MPa)		
	Without light/surge voltage suppressor	With light/surge voltage suppressor	
		Type S, Z	Type R, U
2 position single	12 or less	15 or less	12 or less
2 position double	10 or less	13 or less	10 or less
3 position	15 or less	20 or less	16 or less

SY5000

Type of actuation	Response time (ms) (at the pressure of 0.5 MPa)		
	Without light/surge voltage suppressor	With light/surge voltage suppressor	
		Type S, Z	Type R, U
2 position single	19 or less	26 or less	19 or less
2 position double	18 or less	22 or less	18 or less
3 position	32 or less	38 or less	32 or less

SY7000

Type of actuation	Response time (ms) (at the pressure of 0.5 MPa)		
	Without light/surge voltage suppressor	With light/surge voltage suppressor	
		Type S, Z	Type R, U
2 position single	31 or less	38 or less	33 or less
2 position double	27 or less	30 or less	28 or less
3 position	50 or less	56 or less	50 or less

SY9000

Type of actuation	Response time (ms) (at the pressure of 0.5 MPa)		
	Without light/surge voltage suppressor	With light/surge voltage suppressor	
		Type S, Z	Type R, U
2 position single	35 or less	41 or less	35 or less
2 position double	35 or less	41 or less	35 or less
3 position	62 or less	64 or less	62 or less

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

Flow Characteristics/Mass

Series SY3000

Valve model	Type of actuation		Port size 1, 5, 3 (P, EA, EB)	Port size 4, 2 (A, B)	Flow characteristics 1→4/2 (P→A/B) C [dm³/(s·bar)]	b	Cv	Flow characteristics 4/2→5/3 (A/B→EA/EB) C [dm³/(s·bar)]	b	Cv	Mass (g) Grommet	L/M plug connector	W M8 connector
SY3□20-□-M5	2 position	Single	M5 x 0.8	M5 x 0.8	0.61	0.44	0.16	0.64	0.45	0.18	51	53	57
		Double									68	74	82
	3 position	Closed center			0.48	0.46	0.13	0.47	0.43	0.13	71	76	84
		Exhaust center			0.47	0.42	0.13	0.47 (0.44)	0.41 (0.37)	0.13 (0.12)			
		Pressure center			0.50 (0.41)	0.48 (0.35)	0.15 (0.11)	0.47	0.43	0.13			
SY3□20-□-C4	2 position	Single	M5 x 0.8	C4 One-touch fitting for ø4	0.72	0.29	0.18	0.64	0.34	0.17	60	63	67
		Double									78	83	91
	3 position	Closed center			0.59	0.28	0.15	0.59	0.30	0.15	81	86	94
		Exhaust center			0.63	0.35	0.16	0.42 (0.41)	0.34 (0.37)	0.11 (0.11)			
		Pressure center			0.76 (0.46)	0.42 (0.34)	0.21 (0.12)	0.59	0.29	0.15			
SY3□20-□-C6	2 position	Single		C6 One-touch fitting for ø6	0.76	0.30	0.19	0.65	0.39	0.17	56	59	63
		Double									74	79	87
	3 position	Closed center			0.76	0.55	0.24	0.60	0.33	0.16	77	82	90
		Exhaust center			0.65	0.32	0.16	0.64 (0.42)	0.31 (0.36)	0.17 (0.11)			
		Pressure center			0.77 (0.49)	0.34 (0.43)	0.21 (0.15)	0.61	0.34	0.16			

Note) [ ]: denotes normal position.

Series SY7000

Valve model	Type of actuation		Port size 1, 5, 3 (P, EA, EB)	Port size 4, 2 (A, B)	Flow characteristics 1→4/2 (P→A/B) C [dm³/(s·bar)]	b	Cv	Flow characteristics 4/2→5/3 (A/B→EA/EB) C [dm³/(s·bar)]	b	Cv	Mass (g) Grommet	L/M plug connector	DIN terminal	W M8 connector
SY7□20-□-02	2 position	Single	1 (P) Port 1/4 5, 3 (EA, EB) port 1/8	1/4	4.1	0.23	0.93	3.3	0.33	0.81	101	104	125	108
		Double									120	125	167	133
	3 position	Closed center			2.9	0.31	0.70	2.4	0.38	0.63	128	133	175	141
		Exhaust center			2.5	0.39	0.65	3.4 (2.1)	0.35 (0.38)	0.82 (0.54)				
		Pressure center			4.3 (2.4)	0.23 (0.32)	0.97 (0.61)	2.2	0.39	0.58				
SY7□20-□-C8	2 position	Single		C8 One-touch fitting for ø8	3.2	0.26	0.77	3.2	0.37	0.82	107	110	131	114
		Double									126	132	174	140
	3 position	Closed center			2.6	0.24	0.63	2.4	0.31	0.62	134	140	182	148
		Exhaust center			2.4	0.25	0.57	2.6 (1.9)	0.42 (0.46)	0.70 (0.56)				
		Pressure center			3.3 (2.4)	0.28 (0.22)	0.78 (0.57)	2.2	0.34	0.60				
SY7□20-□-C10	2 position	Single		C10 One-touch fitting for ø10	3.8	0.26	0.86	3.2	0.34	0.82	103	105	126	109
		Double									122	127	169	135
	3 position	Closed center			2.8	0.27	0.67	2.4	0.21	0.59	130	135	177	143
		Exhaust center			2.5	0.25	0.59	2.7 (2.0)	0.38 (0.38)	0.70 (0.56)				
		Pressure center			3.8 (2.4)	0.25 (0.31)	0.89 (0.61)	2.3	0.38	0.61				

Note) [ ]: denotes normal position.

Series SY5000

Valve model	Type of actuation		Port size 1, 5, 3 (P, EA, EB)	Port size 4, 2 (A, B)	Flow characteristics 1→4/2 (P→A/B) C [dm³/(s·bar)]	b	Cv	Flow characteristics 4/2→5/3 (A/B→EA/EB) C [dm³/(s·bar)]	b	Cv	Mass (g) Grommet	L/M plug connector	DIN terminal	W M8 connector
SY5□20-□-01	2 position	Single	1/8	1/8	1.9	0.35	0.49	2.4	0.39	0.61	70	72	93	76
		Double									88	93	135	101
	3 position	Closed center			1.7	0.43	0.45	1.8	0.35	0.46	93	98	140	106
		Exhaust center			1.5	0.44	0.41	2.5 (1.5)	0.32 (0.43)	0.59 (0.40)				
		Pressure center			2.2 (0.91)	0.46 (0.58)	0.61 (0.28)	1.8	0.38	0.46				
SY5□20-□-C4	2 position	Single		C4 One-touch fitting for ø4	0.75	0.43	0.20	0.85	0.64	0.30	94	96	117	100
		Double									111	117	159	125
	3 position	Closed center			0.74	0.40	0.19	0.84	0.57	0.28	117	122	164	130
		Exhaust center			0.75	0.36	0.19	0.84 (0.84)	0.64 (0.53)	0.30 (0.27)				
		Pressure center			0.78 (0.71)	0.44 (0.37)	0.21 (0.18)	0.84	0.57	0.27				
SY5□20-□-C6	2 position	Single		C6 One-touch fitting for ø6	1.5	0.33	0.33	2.0	0.37	0.52	88	91	112	95
		Double									106	111	153	119
	3 position	Closed center			1.3	0.31	0.33	1.6	0.32	0.39	111	116	158	124
		Exhaust center			1.3	0.33	0.33	1.8 (1.4)	0.35 (0.37)	0.44 (0.35)				
		Pressure center			1.7 (0.80)	0.31 (0.47)	0.42 (0.23)	1.7	0.33	0.44				
SY5□20-□-C8	2 position	Single		C8 One-touch fitting for ø8	1.9	0.21	0.45	2.3	0.29	0.57	80	82	103	86
		Double									98	103	145	111
	3 position	Closed center			1.6	0.29	0.39	1.7	0.38	0.46	103	108	150	116
		Exhaust center			1.4	0.38	0.39	2.0 (1.5)	0.37 (0.41)	0.52 (0.43)				
		Pressure center			2.2 (1.6)	0.32 (0.44)	0.56 (0.44)	1.8	0.41	0.50				

Note) [ ]: denotes normal position.

Series SY9000

Valve model	Type of actuation		Port size 1, 5, 3 (P, EA, EB)	Port size 4, 2 (A, B)	Flow characteristics 1→4/2 (P→A/B) C [dm³/(s·bar)]	b	Cv	Flow characteristics 4/2→5/3 (A/B→EA/EB) C [dm³/(s·bar)]	b	Cv	Mass (g) Grommet	L/M plug connector	DIN terminal	W M8 connector
SY9□20-□-02	2 position	Single	1/4	1/4	7.0	0.33	1.7	7.6	0.35	2.0	241	244	265	248
		Double									260	266	308	274
	3 position	Closed center			6.7	0.37	1.7	6.4	0.34	1.6	284	290	332	298
		Exhaust center			6.4	0.36	1.6	8.3 (4.1)	0.41 (0.27)	2.2 (0.91)				
		Pressure center			8.0 (3.2)	0.27 (0.34)	1.8 (0.76)	6.5	0.22	1.4				
SY9□20-□-03	2 position	Single	3/8	3/8	8.0	0.29	1.9	8.0	0.33	2.0	236	239	260	243
		Double									255	261	303	269
	3 position	Closed center			7.9	0.33	1.9	6.6	0.27	1.6	279	285	327	293
		Exhaust center			8.0	0.33	1.9	8.7 (8.3)	0.34 (0.40)	2.2 (2.3)				
		Pressure center			8.9 (3.3)	0.34 (0.40)	2.2 (0.82)	6.5	0.25	1.5				
SY9□20-□-C8	2 position	Single	1/4	C8 One-touch fitting for ø8	4.3	0.28	0.96	7.1	0.32	1.7	293	296	317	300
		Double									312	318	360	326
	3 position	Closed center			4.3	0.31	0.99	6.1	0.28	1.4	336	342	384	350
		Exhaust center			4.3	0.3	0.99	7.4 (3.8)	0.36 (0.29)	1.9 (0.86)				
		Pressure center			4.4 (3.2)	0.35 (0.26)	1.0 (0.71)	2.1	0.41	0.53				
SY9□20-□-C10	2 position	Single		C10 One-touch fitting for ø10	6.1	0.28	1.4	7.9	0.33	1.9	279	282	303	286
		Double									298	304	346	312
	3 position	Closed center			5.9	0.30	1.4	6.5	0.26	1.5	322	328	370	336
		Exhaust center			5.8	0.25	1.3	8.4 (4.1)	0.33 (0.27)	2.0 (0.93)				
		Pressure center			6.3 (3.2)	0.29 (0.29)	1.5 (0.72)	6.4	0.25	1.5				
SY9□20-□-C12	2 position	Single		C12 One-touch fitting for ø12	7.0	0.25	1.6	8.6	0.41	2.2	265	268	289	272
		Double									284	290	332	298
	3 position	Closed center			6.9	0.24	1.6	7.0	0.33	1.7	308	314	356	322
		Exhaust center			6.6	0.23	1.4	9.4 (4.5)	0.48 (0.32)	2.6 (1.0)				
		Pressure center			7.4 (3.2)	0.25 (0.34)	1.7 (0.74)	6.6	0.23	1.5				

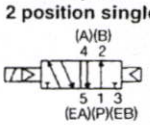
Note) [ ]: denotes normal position.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ในเชิงพาณิชย์ ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของลิขสิทธิ์ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

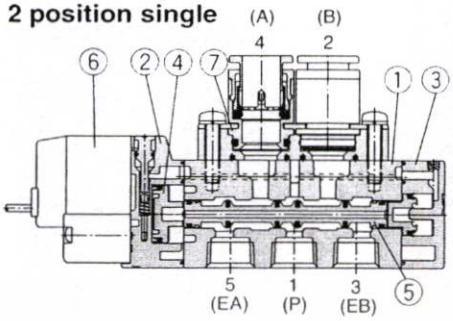
Construction

Series SY

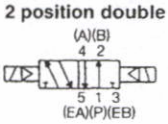
JIS Symbol
2 position single



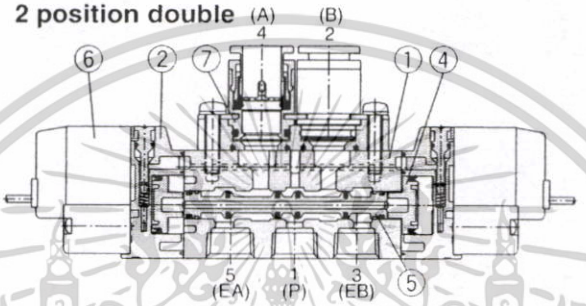
2 position single



JIS Symbol
2 position double

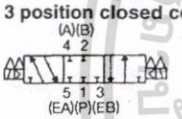


2 position double

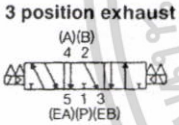


3 position closed center / exhaust center / pressure center

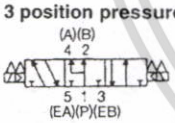
JIS Symbol
3 position closed center

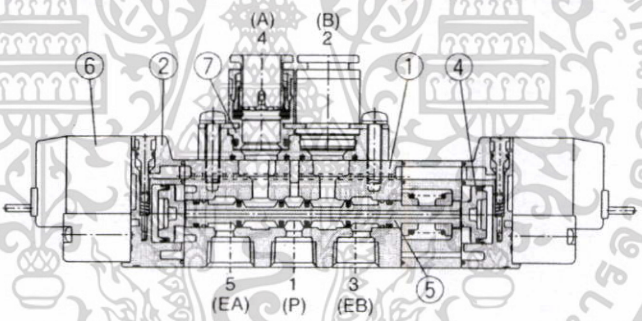


3 position exhaust center



3 position pressure center





(This figure shows a closed center type.)

Component Parts

No.	Description	Material	Note
1	**Body**	Aluminum die-casted (SY3000: Zinc die-casted)	White
2	**Adapter plate**	Resin	White (SY9000: Gray)
3	**End plate**	Resin	White
4	**Piston**	Resin	–
5	**Spool valve assembly**	Aluminum, H-NBR	–

Replacement Parts

No.	Description	Part no.
6	**Pilot valve assembly**	Refer to "How to Order Pilot Valve Assembly" on page 112.
7	**M5 port block assembly**	Refer to "How to Order Port Block Assembly" on page 113.

Bracket Assembly No.

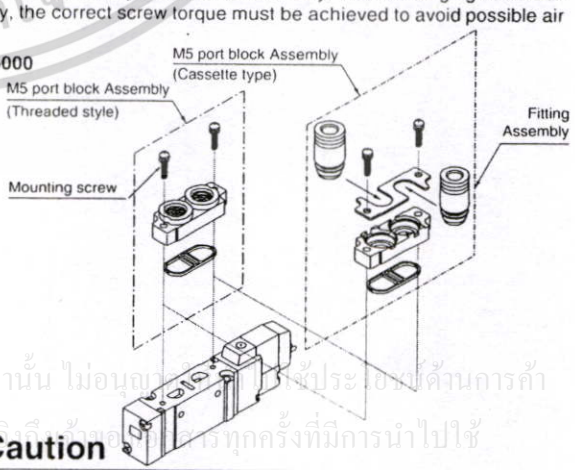
Description	Part no.
Bracket (For F1)	SX3000-16-2A (with mounting screw)
Bracket (For F2)	SX3000-16-1A (with mounting screw)

* SY9000 has no bracket.

How to Change Port Block Assembly

If using body port type, both A and B port sizes can be changed by replacing the port block assembly mounted on the body. When changing this block assembly, the correct screw torque must be achieved to avoid possible air leakage.

For SY5000



⚠ Caution

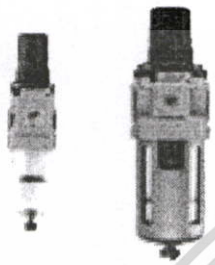
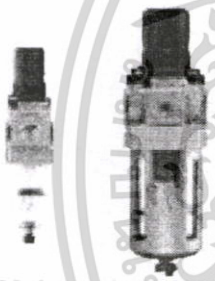
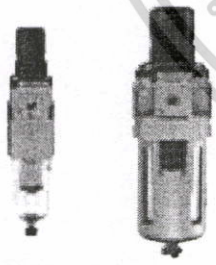
Mounting screw tightening torques

SY3000 (M2): 0.12 N·m
SY5000 (M3): 0.6 N·m
SY9000 (M4): 1.4 N·m

* Refer to "How to Order Port Block Assembly" on page 113 for part no.

ตัวอย่างนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงลิขสิทธิ์ของ สวก. ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

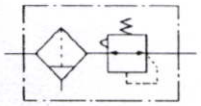
Modular Type Filter Regulators
Series AW

	Model	Port size	Options
Filter Regulator Series AW  **Pages 366 through to 377**	**AW10**	M5 x 0.8	Bracket Float type auto drain Square embedded type pressure gauge (except the AW10) Round type pressure gauge Digital pressure switch (except the AW10) Panel mount
	AW20	1/8, 1/4	
	AW30	1/4, 3/8	
	AW40	1/4, 3/8, 1/2	
	AW40-06	3/4	
	AW60	3/4, 1	
Filter Regulator with Backflow Function Series AW□K  **Pages 366 through to 377**	**AW20K**	1/8, 1/4	
	AW30K	1/4, 3/8	
	AW40K	1/4, 3/8, 1/2	
	AW40K-06	3/4	
	AW60K	3/4, 1	
Mist Separator Regulator Series AWM  **Pages 378 through to 387**	**AWM20**	1/8, 1/4	
	AWM30	1/4, 3/8	
	AWM40	1/4, 3/8, 1/2	
Micro Mist Separator Regulator Series AWD **Pages 378 through to 387**	**AWD20**	1/8, 1/4	
	AWD30	1/4, 3/8	
	AWD40	1/4, 3/8, 1/2	

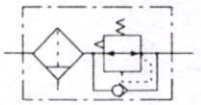
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Filter Regulator
AW10 to AW60
Filter Regulator with Backflow Function
AW20K to AW60K

JIS Symbol
Filter Regulator

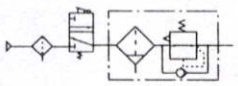


Filter Regulator with Backflow Function



- **Integrated filter and regulator units save space and require less piping.**
- **With the backflow function it incorporates a mechanism to exhaust the air pressure in the outlet side reliably and quickly.**

Example)
When the air supply is cut off and releasing the inlet pressure to the atmosphere, the residual pressure release of the outlet side can be ensured for a safety purpose.



How to Order

AW ❶**30** ❷**K**– ❸ ❹**03** ❺**BE**– ❻ – ❼

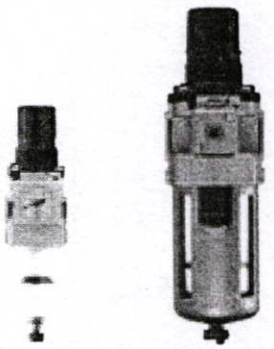
- **Made to Order**
  Refer to pages 374 through to 377 for details.

- Option/Semi-standard: Select one each for **a** to **i**.
- Option/Semi-standard symbol: When more than one specification is required, indicate in alphanumeric order.

Example) AW30K-03BE-1N

		Symbol	Description	❶ Body size 10	20	30	40	60
❷	With backflow function	Nil	Without backflow function	●	●	●	●	●
		K Note 1)	With backflow function	—	●	●	●	●
❸	Thread type	Nil	Metric thread (M5)	●	—	—	—	—
			Rc	—	●	●	●	●
		N Note 2)	NPT	—	●	●	●	●
		F Note 3)	G	—	●	●	●	●
❹	Port size	M5	M5	●	—	—	—	—
		01	1/8	—	●	—	—	—
		02	1/4	—	●	●	●	—
		03	3/8	—	—	●	●	—
		04	1/2	—	—	—	●	—
		06	3/4	—	—	—	●	●
		10	1	—	—	—	—	●
❺ Option Note 4)	a Mounting	Nil	Without mounting option	●	●	●	●	●
		B Note 5)	With bracket	●	●	●	●	●
		H	With set nut (for panel fitting)	●	●	●	●	—
	b Float type auto drain	Nil	Without auto drain	●	●	●	●	●
		C	Float type auto drain (N.C.)	●	●	●	●	●
		D	Float type auto drain (N.O.)	—	—	●	●	●
	c Pressure gauge	Nil	Without pressure gauge	●	●	●	●	●
		E	Square embedded type pressure gauge (with limit indicator)	—	●	●	●	●
		G	Round type pressure gauge (without limit indicator)	●	—	—	—	—
			Round type pressure gauge (with limit indicator)	—	●	●	●	●
		M	Round type pressure gauge (with color zone)	—	●	●	●	●
	c Digital pressure switch	E1 Note 6)	Output: NPN output / Electrical entry: Wiring bottom entry	—	●	●	●	●
		E2 Note 6)	Output: NPN output / Electrical entry: Wiring top entry	—	●	●	●	●
		E3 Note 6)	Output: PNP output / Electrical entry: Wiring bottom entry	—	●	●	●	●
		E4 Note 6)	Output: PNP output / Electrical entry: Wiring top entry	—	●	●	●	●
❻ Semi-standard	d Set pressure	Nil Note 7)	0.05 to 0.85 MPa setting	●	●	●	●	●
		1 Note 8)	0.02 to 0.2 MPa setting	●	●	●	●	●
	e Bowl Note 9)	Nil	Polycarbonate bowl	●	●	●	●	●
		2	Metal bowl	●	●	●	●	●
		6	Nylon bowl	●	●	●	●	●
		8	Metal bowl with level gauge	—	—	●	●	●
		C	With bowl guard	—	●	—	—	—
		6C	Nylon bowl with bowl guard	—	●	—	—	—

อาจมีบางส่วนของเอกสารนี้ที่ไม่ได้ใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำซ้ำ ดัดแปลง ใช้งานเพื่อการค้า กรณีใดๆทั้งสิ้น ไม่รับประกันความถูกต้องของเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของลิขสิทธิ์ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



AW20, AW20K AW40, AW40K

	Symbol	Description	❶ Body size 10	20	30	40	60
❻ Semi-standard							
f Drain port Note 10)	Nil	With drain cock	●	●	●	●	●
	J Note 11)	Drain guide 1/8	—	●	—	—	—
		Drain guide 1/4	—	—	●	●	●
	W Note 12)	Drain cock with barb fitting: For ø6 x ø4 nylon tube	—	—	●	●	●
+							
g Exhaust mechanism	Nil	Relieving type	●	●	●	●	●
	N	Non-relieving type	●	●	●	●	●
+							
h Flow direction	Nil	Flow direction: Left to right	●	●	●	●	●
	R	Flow direction: Right to left	●	●	●	●	●
+							
i Pressure unit	Nil	Name plate, caution plate for bowl, and pressure gauge in imperial units: MPa	●	●	●	●	●
	Z Note 13)	Name plate, caution plate for bowl, and pressure gauge in imperial units: psi, °F	○ Note 15)	○ Note 15)	○ Note 15)	○ Note 15)	○ Note 15)
	ZA Note 14)	Digital pressure switch: With unit conversion function	—	△ Note 16)	△ Note 16)	△ Note 16)	△ Note 16)

Note 1) The AW10 type comes with a backflow function as a standard feature. (K is not available.) When using the AW10 type as w/ backflow function, backflow may not occur with the set pressure 0.15 MPa or less. Please set the inlet pressure to at least 0.05 MPa higher than the set pressure.
Note 2) Drain guide is NPT 1/8 (applicable to the AW20(K)) and NPT 1/4 (applicable to the AW30(K) to AW60(K)). The auto drain port comes with ø3/8" one-touch fitting (applicable to the AW30(K) to AW60(K)).
Note 3) Drain guide is G 1/8 (applicable to the AW20(K)) and G 1/4 (applicable to the AW30(K) to AW60(K)).
Note 4) Option B, G, H, M are not assembled and supplied loose at the time of shipment.
Note 5) Assembly of a bracket and set nuts (AW10, AW20(K) to AW40(K)) including 2 mounting screws for the AW60(K).
Note 6) When choosing with H (panel mount), the installation space for lead wires will not be secured. In this case, select "wiring top entry" for the electrical entry.
Note 7) Only the AW10 has a pressure setting of 0.05 to 0.7 MPa.
Note 8) The only difference from the standard specifications is the adjusting spring for the regulator. It does not restrict the setting of 0.2 MPa or more. When the pressure gauge is attached, a 0.2 MPa pressure gauge will be fitted.
Note 9) Refer to Chemical Data on page 287 when selecting a case material.
Note 10) Float type auto drain: The combination of C and D is not possible.
Note 11) Without a valve function
Note 12) Metal bowl: The combination of 2 and 8 is not possible.
Note 13) For thread type: M5 and NPT. This product is for overseas use only according to the new Measurement Law. (The SI unit type is provided for use in Japan.) The digital pressure switch will be equipped with the unit conversion function, setting to psi initially.
Note 14) For options: E1, E2, E3, E4. This product is for overseas use only according to the new Measurement Law. (The SI unit is provided for use in Japan.)
Note 15) ○: For thread type: M5 and NPT only
Note 16) △: Select with options: E1, E2, E3, E4.

Standard Specifications

Model	AW10	AW20(K)	AW30(K)	AW40(K)	AW40(K)-06	AW60(K)
Port size	M5 x 0.8	1/8, 1/4	1/4, 3/8	1/4, 3/8, 1/2	3/4	3/4, 1
Pressure gauge port size Note 1)	1/16 Note 2)	1/8		1/4		
Fluid	Air					
Ambient and fluid temperature Note 3)	–5 to 60°C (with no freezing)					
Proof pressure	1.5 MPa					
Maximum operating pressure	1.0 MPa					
Set pressure range	0.05 to 0.7 MPa	0.05 to 0.85 MPa				
Relief pressure Note 4)	Set pressure + 0.05 MPa [at relief flow rate of 0.1 ℓ/min (ANR)]					
Nominal filtration rating	5 µm					
Drain capacity (cm^3)	2.5	8	25	45	45	45
Bowl material	Polycarbonate					
Bowl guard	—	Semi-standard	Standard			
Construction	Relieving type					
Mass (kg)	0.09	0.32	0.40	0.72	0.75	2.00

Note 1) Pressure gauge connection threads are not available for F.R.L. unit with a square embedded type pressure gauge (AW20(K) to AW60(K)).
Note 2) Use a bushing (part no:131368) when connecting the R1/8 pressure gauge to the Rc 1/16.
Note 3) –5 to 50°C for the products with the digital pressure switch
Note 4) Not applicable to the AW10.

เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ผู้ใช้งานต้องศึกษาข้อมูลจำเพาะของผลิตภัณฑ์ทั้งหมดอย่างรอบคอบ ก่อนการเลือกใช้งาน และต้องใช้งานตามข้อมูลจำเพาะอย่างเคร่งครัด ทั้งนี้ห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงข้อจำกัดการใช้งานทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก จ

Vacuum Ejector, Vacuum Pad, Pressure Gauge and Polyurethane Tube

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Vacuum Ejector

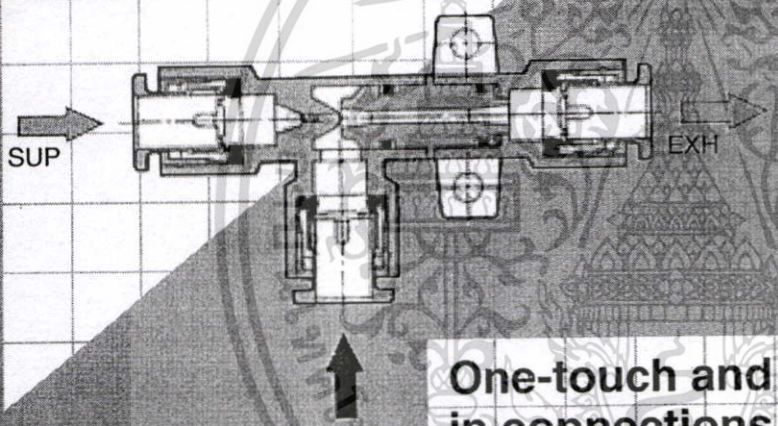
Series ZH

Box Type (Built-in Silencer)/Body Ported Type

Nozzle diameter: ø0.5, ø0.7, ø1.0, ø1.3, ø1.5, ø1.8, ø2.0
Type S: Standard type
L: Large flow type

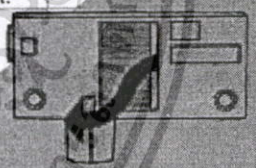
Compact and lightweight

The nozzle and the body, which have been made into a composite resin construction, are compact and lightweight.
Nozzle diameter ø0.5···28 g

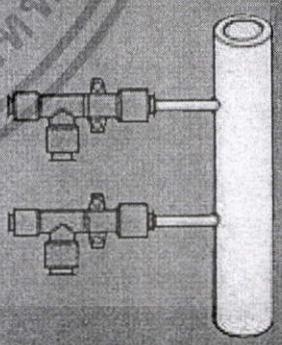


Box type (Built-in silencer) Body ported

Two types are available in the series: the box type with a silencer exhaust, and the body ported type, with an individual exhaust.



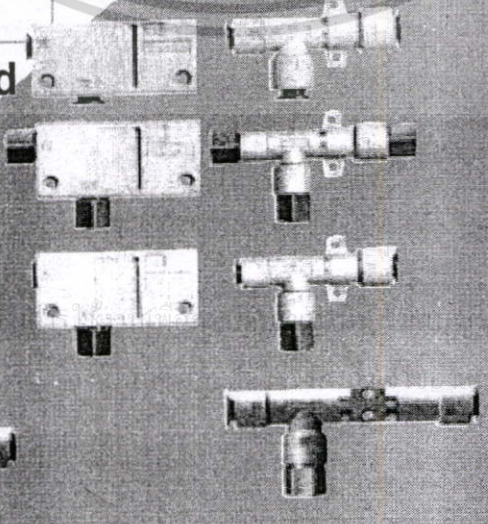
<Silencer exhaust>



<Centralized exhaust>

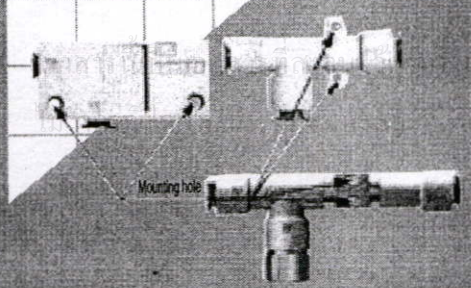
One-touch and screw-in connections can be combined.

To suit the operating conditions, port connections can be combined with a choice of One-touch and screw-in connections.



Body can be mounted and secured.

The body ported type is also provided with mounting holes for securing the body.



Vacuum Ejector
Box Type (Built-in Silencer)/Body Ported Type
Series ZH

How to Order

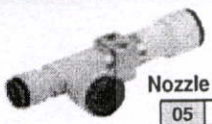
Note Refer to "Table (1)" and "(2)" for the combination available for SUP, VAC and EXH port connection.

Box type (Built-in silencer)

ZH 07 B S – 06 – 06

Body ported type (Without silencer)

ZH 07 D S – 01 – 01 – 01



Nozzle diameter

05	0.5 mm
07	0.7 mm
10	1.0 mm
13	1.3 mm
15	1.5 mm
18	1.8 mm
20	2.0 mm

Maximum vacuum pressure

S	–88 kPa
L	–48 kPa

SUP. port size Note)

Symbol	Size	Style
06	ø6	One-touch
08	ø8	One-touch
10	ø10	One-touch
12	ø12	One-touch
01	Rc 1/8	Screw-in
02	Rc 1/4	Screw-in
03	Rc 3/8	Screw-in
F01	G 1/8	Screw-in
F02	G 1/4	Screw-in
F03	G 3/8	Screw-in

VAC. port size Note)

Symbol	Size	Style
06	ø6	One-touch
10	ø10	One-touch
12	ø12	One-touch
16	ø16	One-touch
01	Rc 1/8	Screw-in
02	Rc 1/4	Screw-in
03	Rc 3/8	Screw-in
04	Rc 1/2	Screw-in
F01	G 1/8	Screw-in
F02	G 1/4	Screw-in
F03	G 3/8	Screw-in
F04	G 1/2	Screw-in

EXH. port size Note)

Symbol	Size	Style
06	ø6	One-touch
08	ø8	One-touch
10	ø10	One-touch
12	ø12	One-touch
16	ø16	One-touch
01	Rc 1/8	Screw-in
02	Rc 1/4	Screw-in
03	Rc 3/8	Screw-in
04	Rc 1/2	Screw-in
F01	G 1/8	Screw-in
F02	G 1/4	Screw-in
F03	G 3/8	Screw-in
F04	G 1/2	Screw-in

Note) Do not make the piping diameter smaller, such as by connecting a reducer to the exhaust port, etc., since it may lower the performance.

* The thread ridge shape is conforming to G thread standard (JIS B0203), but other shapes are not conforming to ISO16030 and ISO1179.

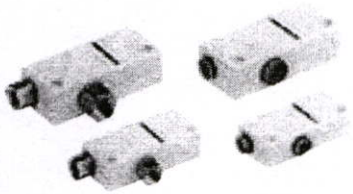
Table (1) Combination of Connection

Body type		SUP	VAC	EXH
Box type (Built-in silencer)	1	One-touch	One-touch	–
	2	One-touch	Screw-in	–
	3	Screw-in	Screw-in	–
Body ported type (Without silencer)	4	One-touch	One-touch	One-touch
	5	One-touch	Screw-in	One-touch
	6	Screw-in	Screw-in	Screw-in

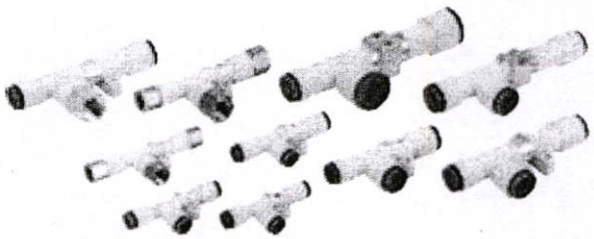
Table (2) Port Size

Model	Connection (One-touch/Screw-in)		
	SUP	VAC	EXH
ZH05B ZH07B ZH10B	ø6, Rc 1/8 G 1/8	ø6, Rc 1/8 G 1/8	–
ZH13B	ø8, Rc 1/8 G 1/8	ø10, Rc 1/4 G 1/4	
ZH05D ZH07D	ø6, Rc 1/8 G 1/8	ø6, Rc 1/8 G 1/8	ø6, Rc 1/8 G 1/8
ZH10D	ø6, Rc 1/8 G 1/8	ø6, Rc 1/8 G 1/8	ø8, Rc 1/8 G 1/8
ZH13D	ø8, Rc 1/8 G 1/8	ø10, Rc 1/4 G 1/4	ø10, Rc 1/4 G 1/4
ZH15D	ø10, Rc 1/4 G 1/4	ø12, Rc 3/8 G 3/8	ø12, Rc 3/8 G 3/8
ZH18D	ø12, Rc 3/8 G 3/8		
ZH20D	ø12, Rc 3/8 G 3/8	ø16, Rc 1/2 G 1/2	ø16, Rc 1/2 G 1/2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของลิขสิทธิ์ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

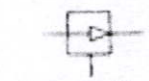


Box type: Type B

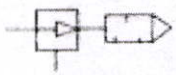


Body ported type: Type D

Ejector JIS Symbol



Body ported type
(Without silencer)
ZH□□B



Box type
(Built-in silencer)
ZH□□D

Model

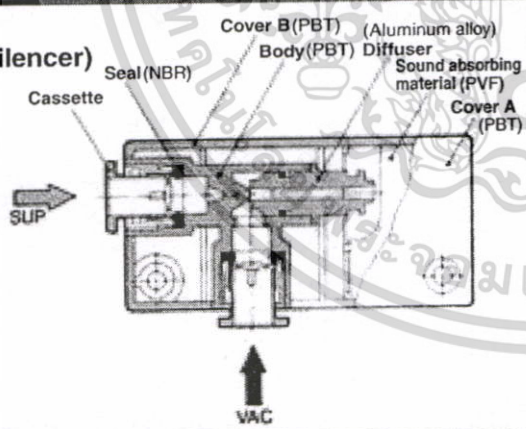
Model	Nozzle diameter (mm)	Body type	Max. vacuum pressure * (kPa)		Maximum suction flow rate (ℓ/min (ANR))		Air consumption (ℓ/min (ANR))	Connection (One-touch/Screw-in)			Mass (g)
			Type S	Type L	Type S	Type L	Type S/Type L	SUP	VAC	EXH	
ZH05B□	0.5	Box type (Built-in silencer)	−88	−48	5	8	13	ø6, Rc 1/8 G 1/8	ø6, Rc 1/8 G 1/8	–	28
ZH07B□	0.7				12	20	23				28
ZH10B□	1.0				24	34	46				33
ZH13B□	1.3				40	70	78	ø8, Rc 1/8 G 1/8	ø10, Rc 1/4 G 1/4		66
ZH05D□	0.5	Body ported type (Without silencer)	−88	−48	5	8	13	ø6, Rc 1/8 G 1/8	ø6, Rc 1/8 G 1/8	ø6, Rc 1/8 G 1/8	11
ZH07D□	0.7				12	20	23				12
ZH10D□	1.0				24	34	46	ø6, Rc 1/8 G 1/8	ø6, Rc 1/8 G 1/8	ø8, Rc 1/8 G 1/8	16
ZH13D□	1.3				40	70	78	ø8, Rc 1/8 G 1/8	ø10, Rc 1/4 G 1/4	ø10, Rc 1/4 G 1/4	27
ZH15D□	1.5	Body ported type (Without silencer)	−88	−53	55	75	95	ø10, Rc 1/4 G 1/4	ø12, Rc 3/8 G 3/8	ø12, Rc 3/8 G 3/8	43
ZH18D□	1.8				65	110	150	ø12, Rc 3/8 G 3/8			55
ZH20D□	2.0				85	135	185	ø12, Rc 3/8 G 3/8	ø16, Rc 1/2 G 1/2	ø16, Rc 1/2 G 1/2	95

Fluid: Air, Operating temperature: 5 to 50°C, Max. operating pressure: 0.6 MPa. Standard supply pressure: 0.45 MPa

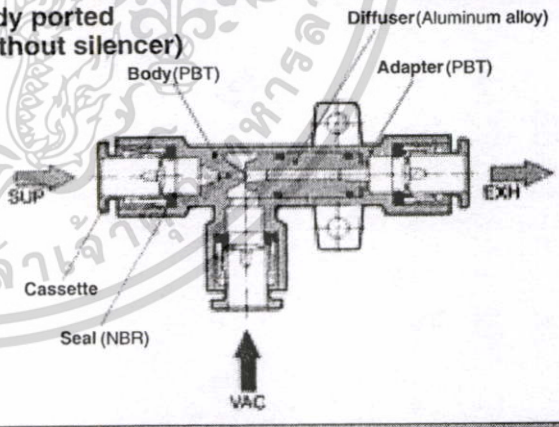
* Supply pressure: 0.45 MPa.

Construction

Box type (Built-in silencer)



Body ported (Without silencer)



⚠ Precautions

Be sure to read before handling.
Refer to front matters 38 and 39 for Safety Instructions and pages 844 to 846 for Vacuum Equipment Precautions.

⚠ Caution

Mounting

Make sure that an excessive amount of load or moment is not applied to the ejector body due to pipe connections or installation.

Exhaust piping

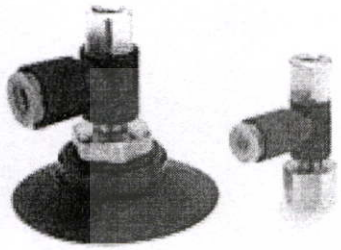
On the ZH□□B□ models, keep exhaust ports open on at least one side. Make sure that the back pressure of the exhaust pipe on the ZH□□D□ models is 0.005 MPa or less. (Reference: Using tubing with an applicable diameter, its length must be 0.5 m or less.)
(Port indication: P: supply port; V: vacuum port; E: exhaust port.)

Selection and sizing

Refer to the vacuum equipment model selection on pages 825 to 843.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้คัดลอกหรือทำซ้ำ ไม่ว่าส่วนใดส่วนหนึ่งของเอกสารทุกกรณีทั้งการนำไปใช้

Vacuum Pad: Ball Joint Type
Lateral Vacuum Entry
Without Buffer/Female Thread
Series ZPR



How to Order

ZPR 10 F GS – 06 – B5

Pad diameter (mm)

10	10
13	13
16	16
20	20
25	25
32	32
40	40
50	50

Pad type

F	Ball joint type

Material

N	NBR
S	Silicon rubber
U	Urethane rubber
F	Fluororubber
GN	Conductive NBR
GS	Conductive silicon rubber

Vacuum entry port
(Refer to "Table (1)" for applications.)

Mounting thread diameter/ Female thread
(Refer to "Table (1)" for applications.)

Table (1) Vacuum Entry/Mounting Thread Diameter

			Mounting thread diameter		
Pad dia. (mm)			10 to 16	20 to 50	
Connection		Thread dia./ Port size	M5 x 0.8	M5 x 0.8	M8 x 125
		Symbol	B5	B5	B8
Vacuum entry	One-touch fitting	ø4 tube 04	●	—	—
		ø6 tube 06	●	●	●
		ø8 tube 08	—	●	●

Note) Pads are exclusively ball joint type and are not interchangeable with other pads.

Specifications

Vacuum entry direction		Lateral	
Connection		Mounting	Vacuum entry port
		Female thread	One-touch fitting
Pad dia. (mm)	10 to 16	M5 x 0.8	ø4 tube
			ø6 tube
	20 to 50	M5 x 0.8	ø6 tube
			ø8 tube
		M8 x 1.25	ø6 tube
			ø8 tube
Ball joint rotation		30°	

Mass

(g)

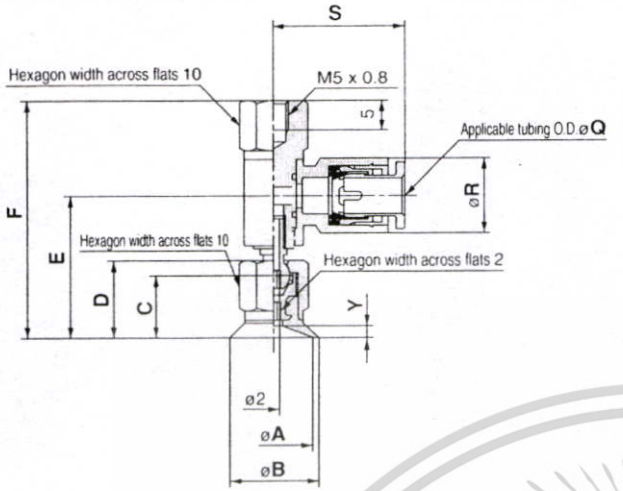
Pad dia. (mm)	Mounting female thread	Vacuum entry (One-touch fitting)		
		ø4 tube	ø6 tube	ø8 tube
10 to 16	M5 x 0.8	18	19	—
20 to 32	M5 x 0.8	—	22	23
	M8 x 1.25	—	21	22
40, 50	M5 x 0.8	—	58	60
	M8 x 1.25	—	57	59

Pad Type

Pad form	Ball joint type					
Pad diameter (mm)	10, 13, 16, 20, 25, 32, 40, 50					
Material	NBR	Silicon rubber	Urethane rubber	Fluororubber	Conductive NBR	Conductive silicon rubber
Color	Black	White	Brown	Black with green mark	Black with 1 silver mark	Black with 2 silver mark
Durometer	50°	40°	60°	60°	50°	50°

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ขอสงวนสิทธิ์ไม่ให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ZPR 10/13/16 F□□-0□-B5 (Without buffer/Female thread)



Dimensions

(mm)

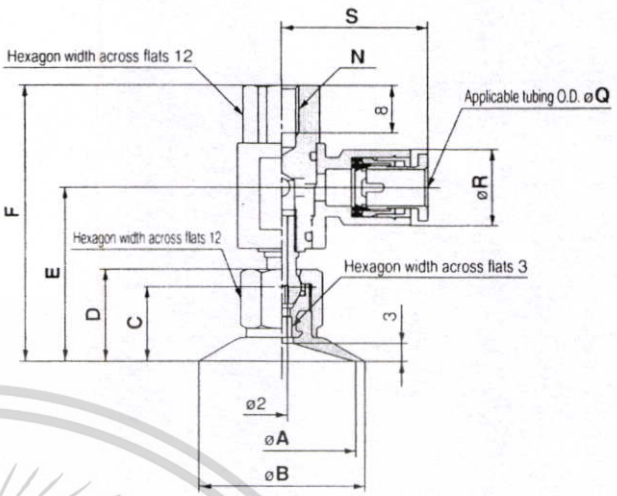
Model	A	B	C	D	E	F	Y
ZPR10F□□-0□-B5	10	12	10	12.5	23.4	39.5	1.5
ZPR13F□□-0□-B5	13	15	10.5	13	23.9	40	2
ZPR16F□□-0□-B5	16	18					

Dimensions by Tubing Diameter

(mm)

Pad diameter (mm)	Q: 4		Q: 6	
	R	S	R	S
ø10 to ø16	10.4	20.6	12.8	21.6

ZPR 20/25/32 F□□-0□-B 5/8 (Without buffer/Female thread)



Dimensions

(mm)

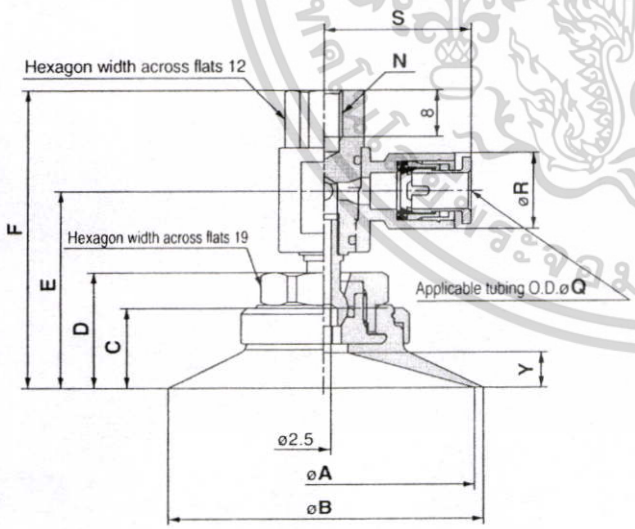
Model	A	B	C	D	E	F	N
ZPR20F□□-0□-B5	20	22	12.5	15.5	29.3	46.5	M5 x 0.8
ZPR20F□□-0□-B8							M8 x 1.25
ZPR25F□□-0□-B5	25	28					M5 x 0.8
ZPR25F□□-0□-B8							M8 x 1.25
ZPR32F□□-0□-B5	32	35	13	16	29.8	47	M5 x 0.8
ZPR32F□□-0□-B8							M8 x 1.25

Dimensions by Tubing Diameter

(mm)

Pad diameter (mm)	Q: 6		Q: 8	
	R	S	R	S
ø20 to ø32	12.8	24.3	15.2	26.2

ZPR 40/50 F□□-0□-B8 (Without buffer/Female thread)



Dimensions

(mm)

Model	A	B	C	D	E	F	N	Y
ZPR40F□□-0□-B8	40	43	12.5	18.5	32.3	49.5	M8 x 1.25	5
ZPR50F□□-0□-B8	50	53	13.5	19.5	33.3	50.5		6

Dimensions by Tubing Diameter

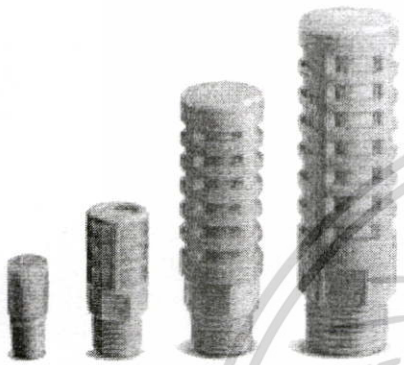
(mm)

Pad diameter (mm)	Q: 6		Q: 8	
	R	S	R	S
ø40, ø50	12.8	24.3	15.2	26.2

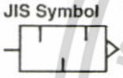
ใช้สำหรับการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Silencer
Compact Type
Series AN□03

Over 25 dB (A) noise reduction
Space-saving compact type



JIS Symbol



How to Order

AN 403 – □ 04

Body size

103
203
303
403

Thread type

Symbol	Type
Nil	R
N	NPT

Port size

Symbol	Port size	Applicable model
01	1/8	AN103
02	1/4	AN203
03	3/8	AN303
04	1/2	AN403

Specifications

Fluid	Compressed air
Max. operating pressure (1)	1.0 MPa
Noise reduction	25 dB (A)
Ambient and fluid temperature	5 to 60°C (2)

Note 1) It indicates the inlet pressure for solenoid valve.
Note 2) It can operate in temperature between −10 to 60°C if there is no risk of the moisture in the air freezing.

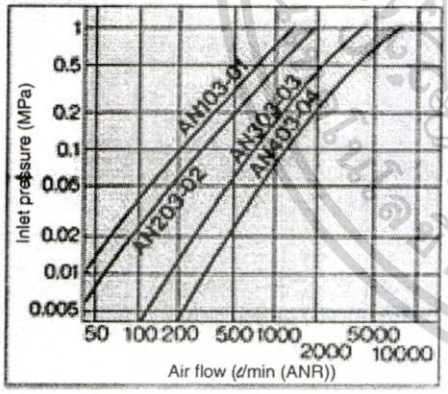
Refer to page 607 for Precautions on these products.

Model

Model	Port size R	Effective area (mm²)	Recommended flow (m³/min (ANR))	Mass (g)	Dimensions (mm) A	B	D
AN103-01	1/8	10	0.8 or less	1	23.5	11	–
AN203-02	1/4	15	1.0 or less	3	36	16	14
AN303-03	3/8	35	2.0 or less	17	66	22	19
AN403-04	1/2	60	4.0 or less	25	84	25	22

Flow Characteristics (Initial conditions)

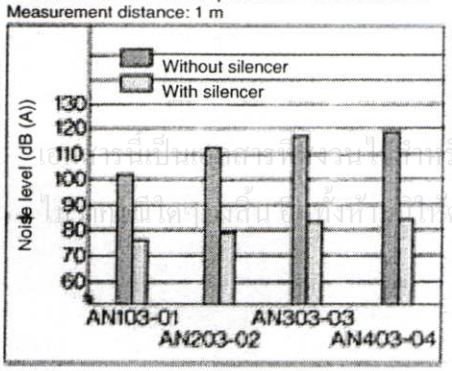
AN103 to 403



Noise Level (Initial conditions)

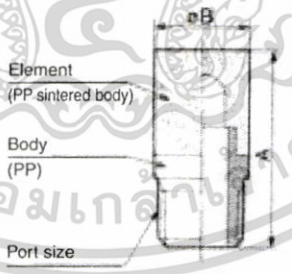
AN103 to 403

Condition: 0.5 MPa at inlet pressure of solenoid valve
Measurement distance: 1 m

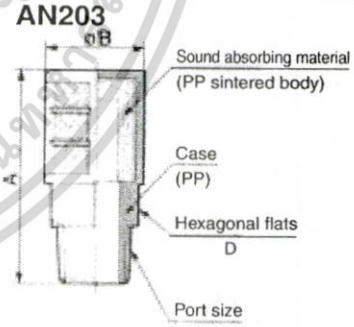


Construction/Parts/Dimensions

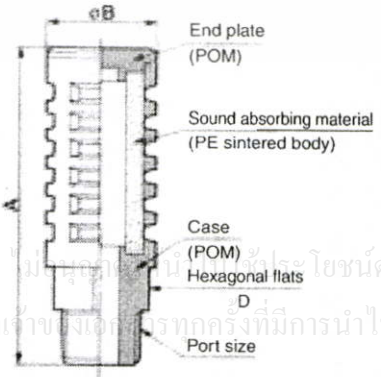
AN103



AN203



AN303/403

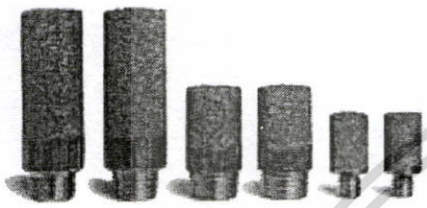


Note 1) About the display of product's material
PP: Polypropylene
PE: Polyethylene
POM: Polyacetal
Note 2) Recommended flow rate is the flow at 0.5 MPa in the inlet pressure.

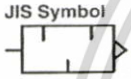
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของลิขสิทธิ์ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Silencer
BC Sintered Body Type
Series AN

Ideal for the exhaust of a compact valve or pilot air.



JIS Symbol



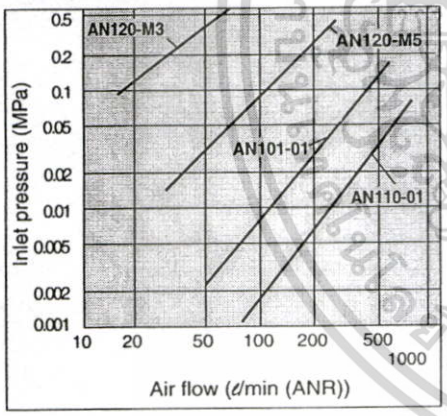
Specifications/Model

Specifications \ Model		AN101-01	AN110-01	AN120-M3	AN120-M5
Port size (1)		R 1/8	R 1/8	M3	M5
Noise reduction (dB (A))		16	21	13	18
Fluid		Compressed air			
Max. operating pressure (2)		1.0 MPa			
Ambient and fluid temperature		5 to 150°C (3)			
Effective area (mm²)		20	35	1	5
Mass (g)		8.3	17	1	3.4
Dimensions (mm)	A	21	34	9	15.5
	B	11	13	6	8

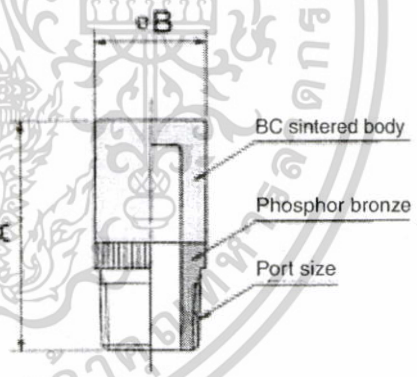
Note 1) NPT thread for AN101 and AN110 is also available. Model no. of NPT thread is AN101-N01 and AN110-N01.
Note 2) It indicates the inlet pressure for solenoid valve.
Note 3) It can operate in temperatures between −10 to 150°C if there is no risk of the moisture in the air freezing.

Refer to page 607 for Precautions on these products.

Flow Characteristics (Initial conditions)



Construction/Parts/Dimensions



Note) About the display of product's material
BC: Copper alloy
Phosphor bronze: Copper alloy
Surface treatment

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

One-touch Fittings
Series KQ2
Applicable Tubing: Metric Size
Connection Thread: M, R, Rc

How to Order

KQ 2 H 06 – 01 S – [ ]

One-touch fittings

Product's color

Symbol	Body	Release button
2	White	Light gray
Nil	Black	Blue

Applicable tubing O.D.

23	ø3.2
04	ø4
06	ø6
08	ø8
10	ø10
12	ø12
16	ø16

Model

H	Male connector
	Straight union
	Different diameter straight
S	Hex. socket head male connector
F	Female connector
L	Male elbow
	Union elbow
	Plug-in elbow
	Reducer elbow
LU	Male branch connector
	Branch union elbow
K	45° male elbow
V	Universal male elbow
VS	Hexagon socket head universal male elbow
VF	Universal female elbow
LF	Female elbow
VD	Double universal male elbow
VT	Triple universal male elbow
Z	Branch universal male elbow
ZF	Branch universal female elbow
ZD	Double branch universal male elbow
ZT	Triple branch universal male elbow
W	Extended plug-in elbow
	Extended male elbow
T	Male branch tee
	Union tee
	Different diameter tee*
TW	Cross*
TX	Different diameter cross*
TY	Different diameter cross*
Y	Male run tee
D	Male delta union
	Delta union
U	Branch "Y"
	Union "Y"
	Different dia. union "Y"
	Plug-in "Y"
UD	Delta branch
	Different dia. double union "Y"
XD	Double plug-in "Y"
X	Different diameter plug-in "Y"
R	Plug-in reducer
E	Bulkhead union
	Bulkhead connector
LE	Bulkhead male elbow

* Available only for white color body.

Port size/Applicable tubing O.D.

Thread connection	M5	M5 x 0.8	
	M6	M6 x 1.0	
	01	R 1/8, Rc 1/8	
	02	R 1/4, Rc 1/4	
	03	R 3/8, Rc 3/8	
	04	R 1/2, Rc 1/2	
Tubing (Rod) connection	00	Same dia. tubing	
	04	ø4	Different dia. tubing (Reducer)
	06	ø6	
	08	ø8	
	10	ø10	
	12	ø12	
	16	ø16	
	99	Same dia. rod	

With thread sealant (Male thread only)

Nil	None
S	With thread sealant

Note) Port size with sealant: Only
R 1/8
R 1/4
R 3/8
R 1/2

Made to Order
Refer to page 58 for details.

Accessory

Symbol	Name
KQ2N	Nipple
	Reducer nipple
	Adaptor
KQ2C	Tube cap
KQ2C	Color cap
KQ2P	Plug (White)
KQP	Plug (Blue)

Use the below part number to order the gasket for M5 and M6 threads.
Gasket for M5 thread: M-5G2
Gasket for M6 thread: M-6G

เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานภายในเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Series KQ2: White body
Series KQ : Black body

Guide

Collet

Chuck

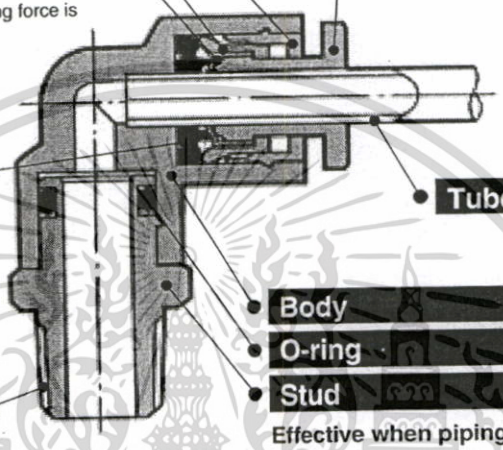
Suitable for use with nylon and urethane. Large retaining force.

Has large retaining force while holding force is increased by the collet.

Release button

Series KQ2: Light gray
Series KQ : Blue
Light force for removal

When the fitting is removed from the tube, the chuck and collet are released, thus preventing them from biting into the tube excessively.



Seal

Can be used for a wide range of pressures from a low vacuum up to a pressure of 1 MPa.

The use of a special profile ensures sealing and reduces resistance when the tube is inserted.

Connection thread

M, R, Rc

Tube

Body

O-ring

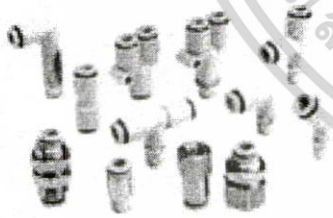
Stud

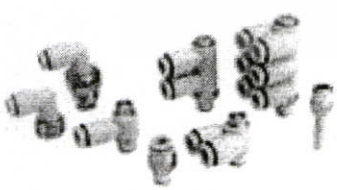
Effective when piping in a confined space.

The body and the threaded portion can rotate. (To the degree for positioning)

PAT.

One-touch IN/OUT connection. Possible to use in vacuum to –100 kPa





Applicable Tubing

Tubing material	FEP, PFA, Nylon, Soft nylon (1), Polyurethane
Tubing O.D.	ø3.2, ø4, ø6, ø8, ø10, ø12, ø16

Note 1) Soft nylon tubing is not compatible with water.

Product's Color

Series	Body	Release button
Series KQ2	White	Light gray
Series KQ	Black	Blue

Specifications

Fluid		Air/Water (2)
Operating pressure range (3)		–100 kPa to 1 MPa
Proof pressure		3 MPa
Ambient and fluid temperature		–5 to 60°C, Water: 0 to 40°C (No freezing)
Thread	**Mounting section**	JIS B0203 (Taper thread for piping) JIS B0205 (Metric coarse thread)
	Nut section	JIS B0205 (Metric fine thread)
Seal on the threads		With sealant or none

Note 2) The surge pressure must be under the maximum operating pressure.
Note 3) Do not use the fittings with a leak tester or for vacuum retention because they are not guaranteed for zero leakage.

Principal Parts Material

Body	C3604, PBT, PP
Stud	C3604 (Thread portion)
Chuck	Stainless steel 304
Guide	Stainless steel 304, C3604, PBT
Collet, Release button	POM
Seal, O-ring	NBR
Gasket	Stainless steel 304, NBR

Made to Order

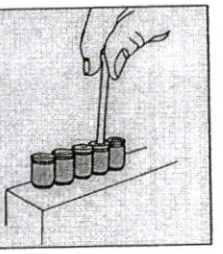
Made to Order
(Refer to page 58 for details.)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

Model

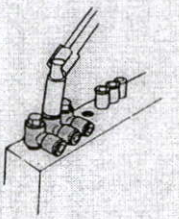
Hex. socket head male connector
KQ2S P. 42

Internal hex. allows thread connection by using an allen wrench for confined spaces.



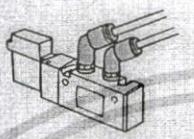
Universal male elbow
KQ2V P. 45

Universal male elbow allows thread connection by using a socket wrench for confined spaces.



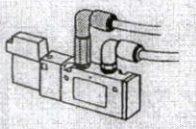
45° male elbow
KQ2K P. 44

Use to pipe in 45° direction from female thread. Model in-between of male connector and male elbow.



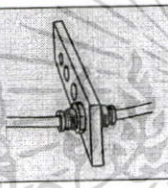
Extended male elbow
KQ2W P. 50

Basically, it is used together with male elbow. Different point is that it is used for with fittings to avoid from interfering with each other by making the piping two-level.



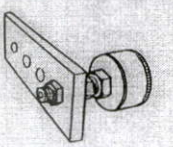
Bulkhead union
KQ2E P. 56

Use to connect tubes through a panel.



Bulkhead connector
KQ2E P. 56

Use to connect male thead and tube through a panel.

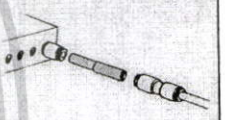


Nipple
KQ2N P. 57

Use to connect One-touch fittings.

Reducer nipple
KQ2N P. 57

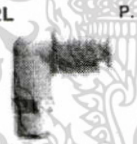
Use to connect One-touch fittings that are different tubing O.D.s.



Male connector
KQ2H P. 42

Use to pipe in the same direction from female thread. Most general style.

Male elbow
KQ2L P. 43



Use to pipe at right angles to female thread. Most general style.

Male branch tee
KQ2T P. 50

Use to branch line from female thread in both 90° directions.

Female connector
KQ2F P. 42

Use to pipe from male thread such as pressure gauge.

Union elbow
KQ2L P. 48

Use to connect tubes at right angles.

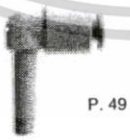
Union tee
KQ2T P. 51

Use to connect tubes in both 90° directions.

Straight union
KQ2H P. 43

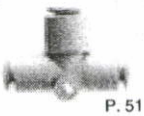
Use to connect tubes in the same direction.

Plug-in elbow
KQ2L P. 49



Use to change by 90° in a tube fetching direction from One-touch fittings.

Different diameter tee
KQ2T P. 51



Use to connect tubes with size down in both 90° directions.

Different diameter straight
KQ2H P. 43

Use to connect different sized tubes.

Reducer elbow
KQ2L P. 49

Use to change by 90° in a tube fetching direction from One-touch fittings and to size down.

Different diameter tee
KQ2T P. 51

Use to branch line with size down in both side 90° direction.

Cross
KQ2TW P. 51

Use to four-branch line.

Different diameter cross
KQ2TX P. 51

Use to connect tubes with size down in all 90° directions.

Different diameter cross
KQ2TY P. 52

Use to branch line with size down in three directions.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า การแสวงหากำไร ในกรณีใดๆ ทั้งสิ้น ไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเอกสารนี้ทุกครั้งที่มีการนำข้อมูลไปใช้งาน

Male Connector: KQ2H

<M5, M6>

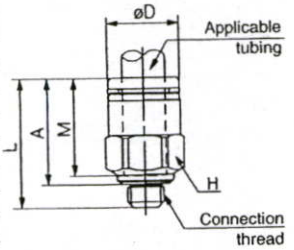
<R>

Applicable tubing O.D. (mm)	Connection thread R M	Model	H (width across flats)	øD (1)	L	A*	M	Effective area (2) (mm²) Nylon	Effective area (2) (mm²) Urethane	Mass (g)
3.2	M5 x 0.8	KQ2H23-M5	7	7	16.7	13.6	12.7	3	2.5	2.1
	1/8	KQ2H23-01S	10	–	21.1	18	15.5	3.4	2.9	9
	1/4	KQ2H23-02S	14	–	19	13.5				16
4	M5 x 0.8	KQ2H04-M5	8	8	17	13.9	12.7	4	4	2.4
	M6 x 1.0	KQ2H04-M6	8		18					2.5
	1/8	KQ2H04-01S	10	–	21.1	18	16	5.6	4	9
	1/4	KQ2H04-02S	14	–	19	13.5				16
6	M5 x 0.8	KQ2H06-M5	10	10	17.8	14.7	13.5	4	4	3.3
	M6 x 1.0	KQ2H06-M6	10		19	14.9				3.4
	1/8	KQ2H06-01S	12	–	21.6	18.5	17	13.1	10.4	16
	1/4	KQ2H06-02S	14	–	22.5	17				14
	3/8	KQ2H06-03S	17	–	20.9	15.5				27
8	1/8	KQ2H08-01S	14	–	27.1	24	18.5	26.1	18.0	21
	1/4	KQ2H08-02S			26	20.5				19
	3/8	KQ2H08-03S	17		20.9	15.5				26
10	1/8	KQ2H10-01S	17	–	29.1	26	21	41.5	29.5	19
	1/4	KQ2H10-02S			33	27.5				30
	3/8	KQ2H10-03S			27.9	22.5				30
	1/2	KQ2H10-04S	22		26.1	19				53
12	1/4	KQ2H12-02S	19	–	34	28.5	22	58.3	46.1	42
	3/8	KQ2H12-03S			28.9	23.5				34
	1/2	KQ2H12-04S	22		29.1	22				51
16	3/8	KQ2H16-03S	24	25.7	38.4	33	25	81	(81)	61
	1/2	KQ2H16-04S			34.6	27.5		113	(96)	47

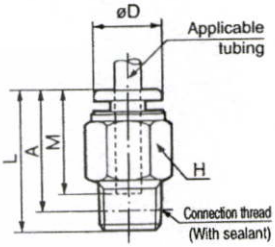
* Reference dimensions after R thread installation.

Note 1) øD: Max. diameter
Note 2) ( ): Values for soft nylon.

<M5, M6>



<R>



Hexagon Socket Head Male Connector: KQ2S

<M5, M6>

<R>

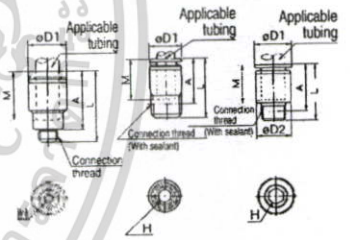
Applicable tubing O.D. (mm)	Connection thread R M	Model	H (width across flats)	øD1 (1)	øD2	L	A*	M	Effective area (2) (mm²) Nylon	Effective area (2) (mm²) Urethane	Mass (g)
4	M5 x 0.8	KQ2S04-M5	2.5	8	–	18.7	15.6	12.7	4	4	2.7
	M6 x 1.0	KQ2S04-M6	3			18.2	14.1				2.8
	1/8	KQ2S04-01S		9.8		23	19	16	4.1	3.6	8
6	M5 x 0.8	KQ2S06-M5	2.5	10	–	19.5	16.4	13.5	4	4	3.3
	M6 x 1.0	KQ2S06-M6	3			19.1	15				3.4
	1/8	KQ2S06-01S	4	11.8		24	20	17	10.0	9.9	9
	1/4	KQ2S06-02S		13.8		24	18		10.7	10.0	15
8	1/8	KQ2S08-01S	5	14	–	28	24	18.5	17.2	16.2	12
	1/4	KQ2S08-02S	6			25.5	19.5		23.3		11
	3/8	KQ2S08-03S		17		27.5	21				24
10	1/8	KQ2S10-01S	5	17	–	30	26	21	17.2	16.2	18
	1/4	KQ2S10-02S	8			27.5	21.5		39.0	26.6	12
	3/8	KQ2S10-03S					21				19
	1/2	KQ2S10-04S		22		28	20				35
12	1/4	KQ2S12-02S	8	19	–	34	28	22	46.0	44.5	23
	3/8	KQ2S12-03S	10			29	22.5		60.0		18
	1/2	KQ2S12-04S		22		28	20				30
16	3/8	KQ2S16-03S	10	25.7	24	39	32.5	25	81	(81)	42
	1/2	KQ2S16-04S	12			35	27		113	(96)	34

* Reference dimensions after R thread installation.

Note 1) øD1: Max. diameter
Note 2) ( ): Values for soft nylon.

<M5, M6> <R>

KQ2S04 to 12 KQ2S16

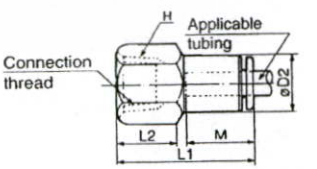


Female Connector: KQ2F

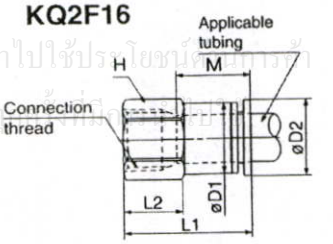
Applicable tubing O.D. (mm)	Connection thread Rc	Model	H (width across flats)	øD1 (1)	øD2	L1	L2	M	Effective area (2) (mm²) Nylon	Effective area (2) (mm²) Urethane	Mass (g)
4	1/8	KQ2F04-01	14	–	10	27	11	16	5.6	4	15
	1/4	KQ2F04-02	17			31	14				23
6	1/8	KQ2F06-01	14	–	12	27.5	11	17	13.1	10.4	15
	1/4	KQ2F06-02	17			31	13				22
	3/8	KQ2F06-03	19			33.5	15				25
8	1/8	KQ2F08-01	14	–	14	29	11	18.5	26.1	18.0	17
	1/4	KQ2F08-02	17			32.5	13				24
	3/8	KQ2F08-03	19			33.5	14				24
10	1/4	KQ2F10-02	17	–	17	34.5	14	21	41.5	29.5	27
	3/8	KQ2F10-03	19			36.5	15				30
12	1/4	KQ2F12-02	19	–	19	35	14	22	58.3	46.1	36
	3/8	KQ2F12-03				37					31
	1/2	KQ2F12-04	24			41	18				52
16	3/8	KQ2F16-03	24	24	25.7	38	15	25	81	(81)	59
	1/2	KQ2F16-04				43	19		113	(96)	58

Note 1) øD2: Max. diameter
Note 2) ( ): Values for soft nylon

KQ2F04 to 12



KQ2F16

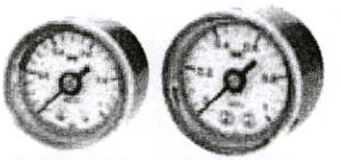


เอกสารนี้เป็นเอกสาร... ไม่ว่ากรณีใดๆทั้ง...

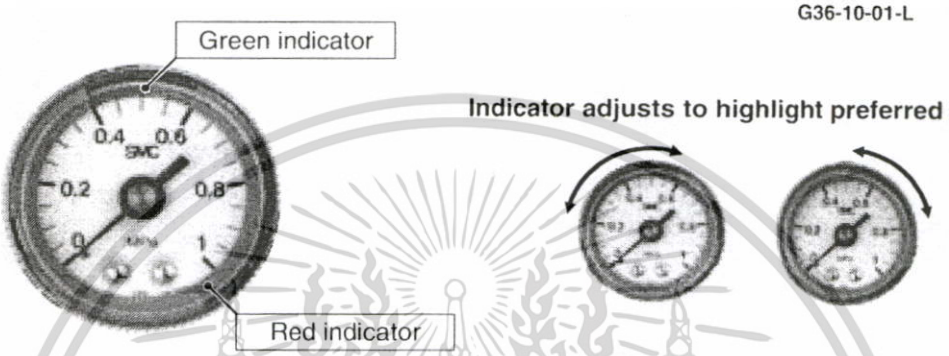
Pressure Gauge with Limit Indicator/ Color Zone Type

Series G36-L/G46-L

■ Red and green zones offer improved visibility of pressure control range.



G36-10-01-L G46-10-02-L



Standard Specifications

Model		G36-L	G46-L
Type		Back side thread	
Port size [1]		R 1/8	R 1/8, R 1/4
Fluid [2]		Air	
Indication precision		±3% F.S. (Full span) [3]	
Material	Case (Surface treatment)	Rolled steel (Black melamine painted)	
	Clear cover	Polycarbonate (Part no.: G36-00-00-3) Nylon (Part no.: G36-00-00-3N)	Polycarbonate (Part no.: G46-00-00-3) Nylon (Part no.: G46-00-00-3N)
	Stud	Brass	
	Bourdon tube	Brass	
Mass (kg)		0.04	0.05

Note 1) When mounting a pressure gauge, use caution not to tighten excessively. Excessive tightening will cause product to be damaged. Use a pipe tape for sealing. Recommended tightening torque: R 1/8; Set between 7 and 9 N·m, R 1/4: 12 and 14 N·m respectively.
Note 2) When using other fluids, please consult with SMC for fluid compatibility information concerning corrosive potential.
Note 3) Temperature conditions: at 20°C (±5°C), in other cases, ±6°C F.S.

Model (Standard)

Model	Pressure range [1]	Green zone setting range		Indication unit	Connection thread	Note
	MPa	Minimum setting range (MPa)	Maximum setting range (MPa)			
G36-2-01-L□	0 to 0.2	0.01	0.1	MPa	R 1/8	—
G36-4-01-L□	0 to 0.4	0.02	0.2			
G36-10-01-L□	0 to 1.0	0.05	0.5			
G46-2-01 to 02-L□	0 to 0.2	0.01	0.1		R 1/8, 1/4	
G46-4-01 to 02-L□	0 to 0.4	0.02	0.2			
G46-10-01 to 02-L□	0 to 1.0	0.05	0.5			

Note 1) Do not apply pressure more than the maximum display pressure. This will cause a malfunction.

Model (Made to Order)

Model	Pressure range [1]		Green zone setting range		Indication unit	Connection thread	Note
	MPa	psi	Minimum setting range (MPa (psi))	Maximum setting range (MPa (psi))			
G36-P2-01-L□-X30	0 to 0.2	0 to 30	0.01 (2)	0.1 (14)	MPa, psi	R 1/8	—
G36-P4-01-L□-X30	0 to 0.4	0 to 60	0.02 (4)	0.2 (28)			
G36-P10-01-L□-X30	0 to 1.0	0 to 150	0.05 (10)	0.5 (70)			
G46-P2-01 to 02-L□-X30	0 to 0.2	0 to 30	0.01 (2)	0.1 (14)		R 1/8, 1/4	
G46-P4-01 to 02-L□-X30	0 to 0.4	0 to 60	0.02 (4)	0.2 (28)			
G46-P10-01 to 02-L□-X30	0 to 1.0	0 to 150	0.05 (10)	0.5 (70)			

Note 1) Do not apply pressure more than the maximum display pressure. This will cause a malfunction.

How to Order

G36 - 10 - 01 - L □ - □

Size

Symbol	Outside diameter
36	ø37.5
46	ø42.5

Max. display pressure

Symbol	Unit
2	0.2 MPa
4	0.4 MPa
10	1.0 MPa
P2 Note)	0.2 MPa, 30 psi
P4 Note)	0.4 MPa, 60 psi
P10 Note)	1.0 MPa, 150 psi

Note) This symbol must be used with Option "X30."

Clear cover material

Symbol	Material
Nil	Polycarbonate
N	Nylon

Color zone type

Thread port size

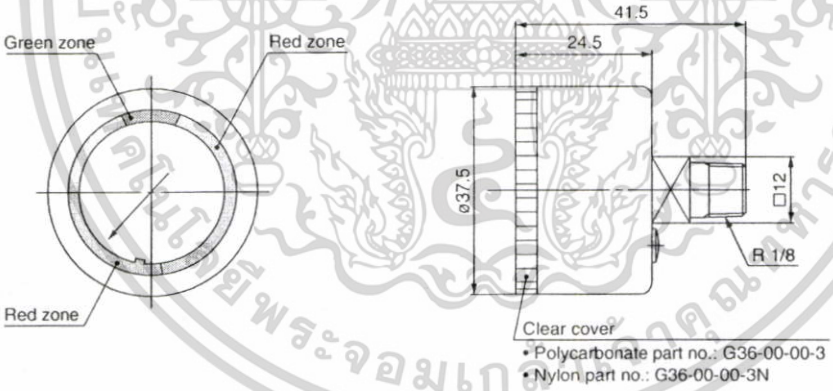
Symbol	Port	Applicable size G36	Applicable size G46
01	R 1/8	●	●
02	R 1/4	—	●

Made to Order

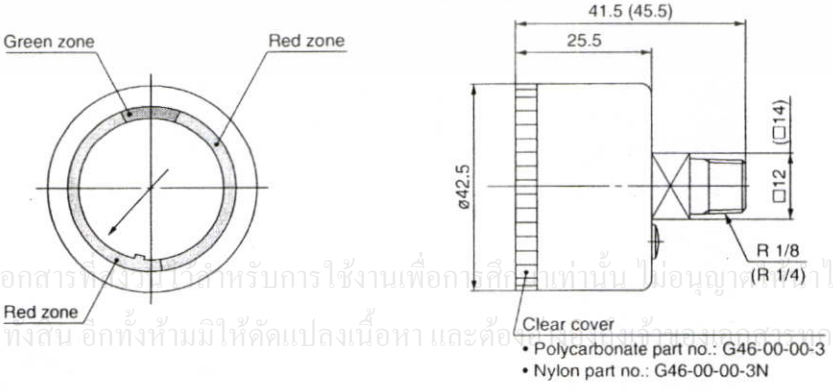
Symbol	Specifications
Nil	—
X30	Both MPa and psi

Dimensions

G36



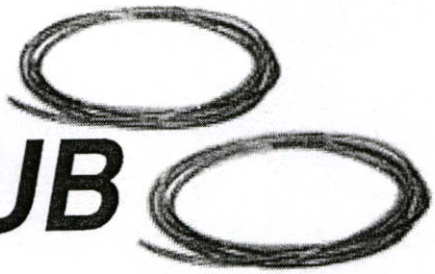
G46



( ): R 1/4

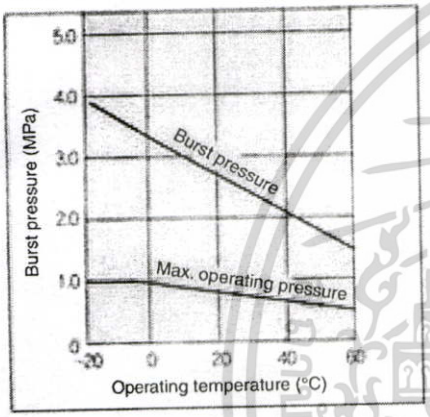
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Polyurethane Tubing
Series TU/TIUB



For general pneumatic tubing
Flexible
Polyurethane tubing
Additional 21 new colors.

Burst Pressure Characteristics Curve and Operating Pressure

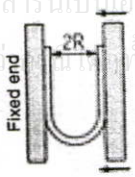


⚠Precautions

Be sure to read before handling. Refer to front matters 58 and 59 for Safety Instructions and pages 13 to 16 for Fittings and Tubing Precautions.

⚠Caution

1. Applicable for general industrial water. Please consult with SMC if using for the other kind of fluid. Also, the surge voltage pressure must be under the maximum operating pressure. If the surge pressure exceeds the maximum operating pressure, it will result in damage to fittings and tubes.
2. The value of the max. operating pressure is at a temperature of 20°C. Refer to the burst pressure characteristics curve for other temperatures. Furthermore, abnormal temperature rises caused by adiabatic compression may result in the burst of the tube.
3. The value of the minimum bending radius is measured at the temperature of 20°C as shown in the figure below.



Bend the tube into U-form at a temperature of 20°C. Fix one end and close loop gradually. Measure 2R when the tube breaks or is crushed.

Model/Specifications

● — 20 m roll □ — 100 m roll
△ — Option ■ — Manufactured upon receipt of order (Please consult with SMC.)

	Tubing size											
	Metric size (Series TU)							Inch size (Series TIUB)				
Model	TU0212	TU0425	TU0604	TU0805	TU1065	TU1208	TU1610	TIUB01	TIUB05	TIUB07	TIUB11	TIUB13
Tubing O.D. (mm)	2	4	6	8	10	12	16	3.18	4.76	6.35	9.53	12.7
Tubing I.D. (mm)	1.2	2.5	4	5	6.5	8	10	2	3.18	4.23	6.35	8.46
Black (B)	●	●	●	●	●	●	●	●	▲	▲	▲	▲
White (W)	●	●	●	●	●	●	●	●	▲	▲	▲	▲
Red (R)	●	●	●	●	●	●	■	●	▲	▲	▲	▲
Blue (BU)	●	●	●	●	●	●	■	●	▲	▲	▲	▲
Yellow (Y)	●	●	●	●	●	●	■	●	▲	▲	▲	▲
Green (G)	●	●	●	●	●	●	■	●	▲	▲	▲	▲
Clear (C)	●	●	●	●	●	●	■	●	▲	▲	▲	▲
Orange (YR)	●	●	●	●	●	●	■	●	▲	▲	▲	▲
Solid blue (BU1)	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Clear blue (BU2)	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Medium blue (BU3)	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Brown (BR1)	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Solid green (G1)	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Clear green (G2)	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Neon green (G3)	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Dark green (G4)	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Gray (GR1)	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Light gray (GR2)	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Neon pink (P1)	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Solid purple (PU1)	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Clear purple (PU2)	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Solid red (R1)	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Clear red (R2)	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Silver (S1)	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Solid yellow (Y1)	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Clear yellow (Y2)	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Neon yellow (Y3)	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Clear orange (YR1)	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Neon orange (YR2)	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Nominal size (inch)		5/32"		5/16"				1/8"	3/16"	1/4"	3/8"	1/2"

Fluid	Air/Water											
Max. operating pressure at 20°C	0.8 MPa											
Burst pressure	Refer to the burst pressure characteristics curve.											
Applicable fittings	One-touch fittings, Insert fittings, Self-align fittings, Miniature fittings											
Min. bending radius (mm)	4	10	15	20	27	35	45	10	15	23	27	35
Operating temperature	–20 to +60°C (Water: 0 to 40°C) (No freezing)											
Material	Polyurethane											

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ในเชิงพาณิชย์ ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของลิขสิทธิ์ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

How to Order

TU0425 **BU** – **20**

Tubing model

Length per roll

Symbol	Length
20	20 m roll
100	100 m roll

Color

Symbol	Color
B	Black
W	White
R	Red
BU	Blue
Y	Yellow
G	Green
C	Clear
YR	Orange
BU1	Solid blue
BU2	Clear blue
BU3	Medium blue
BR1	Brown
G1	Solid green
G2	Clear green
G3	Neon green
G4	Dark green

Symbol	Color
GR1	Gray
GR2	Light gray
P1	Neon pink
PU1	Solid purple
PU2	Clear purple
R1	Solid red
R2	Clear red
S1	Silver
Y1	Solid yellow
Y2	Clear yellow
Y3	Neon yellow
YR1	Clear orange
YR2	Neon orange

Made to Order

(Please contact SMC for specifications in detail, dimensions, delivery and specifications other than those mentioned above.)

100 m reel	Metric size and Inch size: Suffix "-X3" to the end of part number. Ex.) TU0425R-100-X3
Longer length reel	Metric size: Suffix "-X3" to the end of part number. Ex.) TU0425G-500-X3
20 m roll	Inch size: Suffix "-X4" to the end of part number. Ex.) TIUB07W-20-X4

Made to Order Availability

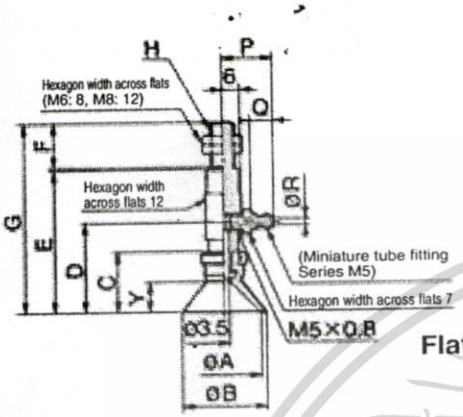
Part no.	Model / Length	TU0425*	TU0604*	TU0805*	TU1065*	TU1208*	TIUB01*	TIUB05*	TIUB07*	TIUB11*	TIUB13*	Color
X3	100 m reel	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	Black, White, Red, Blue, Yellow, Green, Clear, Orange
	200 m reel			○								
	400 m reel		○									
	500 m reel	○										
X4	20 m roll							○	○	○	○	Red, White, Yellow, Green, Clear, Orange

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Connection	Barb Fitting	**Pad Form**	Flat/Flat with ribs/Deep/ Thin flat/Thin flat with ribs/Elliptic
Vacuum Entry Port	Lateral	**Mounting**	Male thread

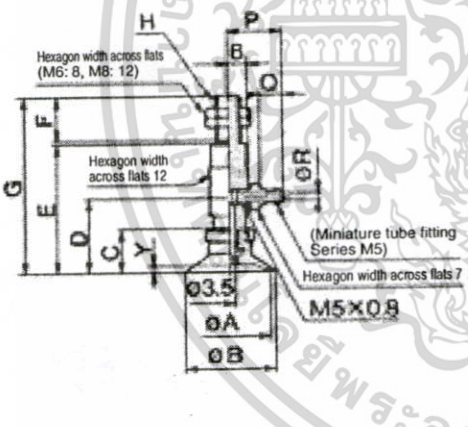
Size/ø20, ø25, ø32

Flat



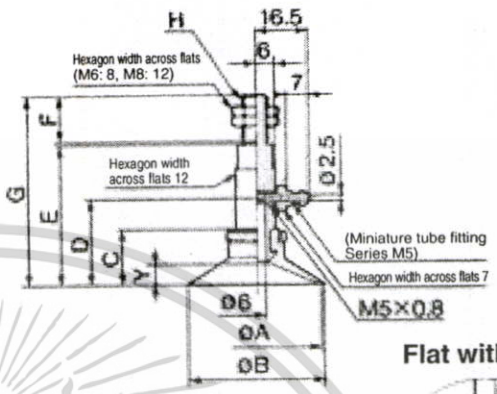
Flat with ribs

Deep: ZPY25D only

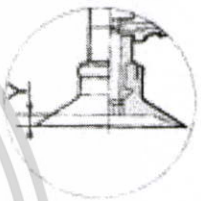


Size/ø40, ø50

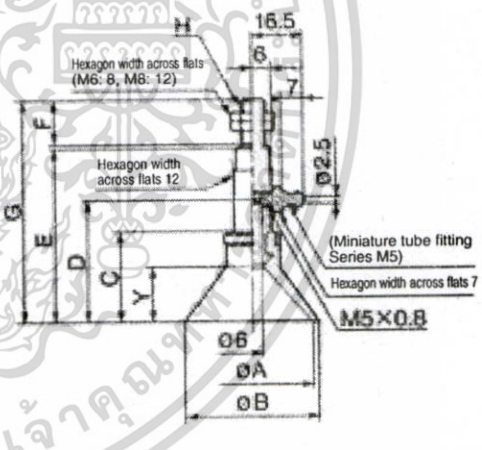
Flat



Flat with ribs



Deep: ZPY40D only



Flat/Flat with Ribs

Model	A	B	C	D	E	H: M6 x 1 F	H: M6 x 1 G	H: M8 x 1 F	H: M8 x 1 G	Y Flat	Y Flat with ribs
ZPY20 U C	20	23	14	24	42	25	68	15	58	4	1.7
ZPY25 U C	25	28									1.8
ZPY32 U C	32	35	14.5	24.5	42.5		68.5		58.5	4.5	2.3

Deep

Model	A	B	C	D	E	H: M6 x 1 F	H: M6 x 1 G	H: M8 x 1 F	H: M8 x 1 G	Y
ZPY25D	25	28	20	30	48	25	74	15	64	10

Applicable Tubing

Applicable tube O.D.	P	Q	R
N4 (Nylon tube ø4/2.5)	14.5	5	1.8
N6 (Nylon tube ø6/4)	16.5	7	2.5
U4 (Soft tube ø4/2.5)	14.5	5	1.8
U6 (Soft tube ø6/4)	16.5	7	2.5

Flat/Flat with Ribs

Model	A	B	C	D	E	H: M6 x 1 F	H: M6 x 1 G	H: M8 x 1 F	H: M8 x 1 G	Y Flat	Y Flat with ribs
ZPY40 U C	40	43	18.5	28.5	46.5	25	72.5	15	62.5	6.5	3.3
ZPY50 U C	50	53	19.5	29.5	47.5		73.5		63.5	7.5	3.8

Deep

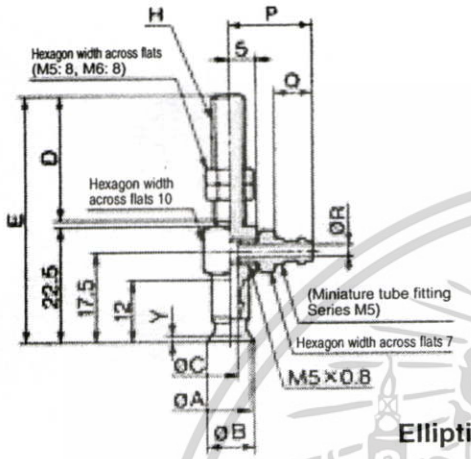
Model	A	B	C	D	E	H: M6 x 1 F	H: M6 x 1 G	H: M8 x 1 F	H: M8 x 1 G	Y
ZPY40D	40	43	29	39	57	25	83	15	73	17

สงวนลิขสิทธิ์ ห้ามมิให้คัดลอก ดัดแปลง เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

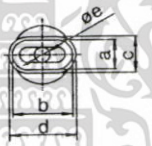
Connection	Barb Fitting	**Pad Form**	Flat/Flat with ribs/Deep/ Thin flat/Thin flat with ribs/Elliptic
Vacuum Entry Port	Lateral	**Mounting**	Male thread

Size/Flat ø2, ø4, ø6, ø8/Thin flat/Thin flat with ribs ø10, ø13, ø16/ Elliptic 2004, 3507, 4010

Flat/Thin flat/Thin flat with ribs



Elliptic



Flat

Model	A	B	C	H: M5 x 0.8 D	H: M5 x 0.8 E	H: M6 x 1 D	H: M6 x 1 E	Y
ZPY02U	2	2.6	1.2	20	44	25	49.5	0.5
ZPY04U	4	4.8	1.6					0.8
ZPY06U	6	7	2.5					
ZPY08U	8	9						1

Elliptic

Model	a	b	c	d	e	Y
ZPY2004U	2	4	2.6	4.6	1.2	0.3
ZPY3507U	3.5	7	4.3	7.8	1.8	0.5
ZPY4010U	4	10	5	11	2	0.8

Thin Flat/Thin Flat with Ribs

Model	A	B	C	Y
ZPY10UT	10	11	2.5	1
ZPY13UT	13	14		1.5
ZPY16UT	16	17		
ZPY10CT	10	11		0.8
ZPY13CT	13	14		1
ZPY16CT	16	17		

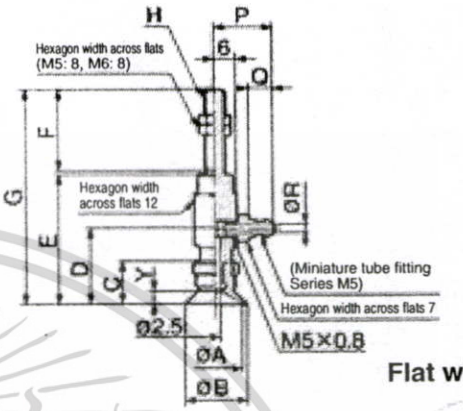
* Dimensions of D, E are the same.

Applicable Tubing

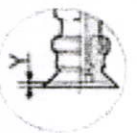
Applicable tube O.D.	P	Q	R
N4 (Nylon tube ø4/2.5)	13.5	5	1.8
N6 (Nylon tube ø6/4)	15.5	7	2.5
U4 (Soft tube ø4/2.5)	13.5	5	1.8
U6 (Soft tube ø6/4)	15.5	7	2.5

Size/ø10, ø13, ø16

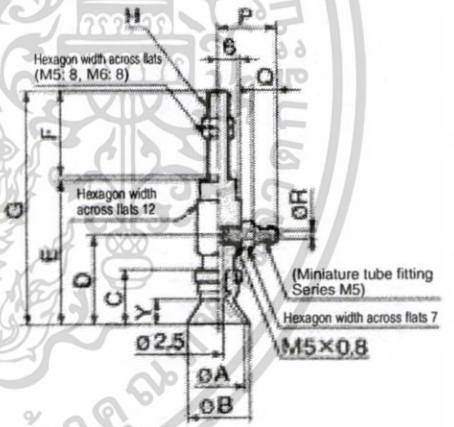
Flat



Flat with ribs



Deep: ZPY10D,16D only



Flat/Flat with Ribs

Model	A	B	C	D	E	H: M5 x 0.8 F	H: M5 x 0.8 G	H: M6 x 1 F	H: M6 x 1 G	Y Flat	Y Flat with ribs
ZPY10UC	10	12	12	22	38	20	59	25	64	3	1.7
ZPY13UC	13	15									1.8
ZPY16UC	16	18	12.5	22.5	38.5		59.5		64.5	3.5	1.2

Deep

Model	A	B	C	D	E	H: M5 x 0.8 F	H: M5 x 0.8 G	H: M6 x 1 F	H: M6 x 1 G	Y
ZPY10D	10	12	15	25	41	20	62	25	67	6
ZPY16D	16	18	16	26	42		63		68	7

Applicable Tubing

Applicable tube O.D.	P	Q	R
N4 (Nylon tube ø4/2.5)	14.5	5	1.8
N6 (Nylon tube ø6/4)	16.5	7	2.5
U4 (Soft tube ø4/2.5)	14.5	5	1.8
U6 (Soft tube ø6/4)	16.5	7	2.5

สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

How to Order

Series ZPY Without buffer

ZPY | Pad dia. **02** | Pad type **U** | Material **N** | – | Vacuum entry port **N4** | – | Mounting thread **A5**

Pad diameter (mm)

2004	2 x 4
3507	3.5 x 7
4010	4 x 10
02	2
04	4
06	6
08	8
10	10
13	13
16	16
20	20
25	25
32	32
40	40
50	50

Mounting thread
(Refer to "Table (2)" for applications.)

Vacuum entry port
(Refer to "Table (2)" for applications.)

Table (2) Vacuum Entry/Mounting Thread Diameter

Connection		Symbol	Thread dia./Port size	ø2 to ø8 2 x 4 3.5 x 7 4 x 10 ø10 to ø16 (thin section series)	ø10 to ø16	ø20 to ø32	ø40 to ø50
Vacuum entry	Barb fitting	N4	ø4 Nylon tube	●	●	●	—
		N6	ø6 Nylon tube	●	●	●	●
		U4	ø4 Urethane tube	●	●	●	—
		U6	ø6 Urethane tube	●	●	●	●
Mounting	Male thread	A5	M5 x 0.8	●	●	—	—
		A6	M6 x 1	●	●	●	●
		A8	M8 x 1	—	—	●	●
	Female thread	B4	M4 x 0.7	●	—	—	—
		B5	M5 x 0.8	●	●	●	—
		B6	M6 x 1	—	●	●	●
		B8	M8 x 1.25	—	—	●	●

Pad type
(Refer to "Table (1)" for applications.)

U	Flat
C	Flat with ribs
D	Deep
B	Bellows
UT	Thin flat
CT	Thin flat with ribs

Material

N	NBR
S	Silicon rubber
U	Urethane rubber
F	Fluororubber
GN	Conductive NBR
GS	Conductive silicon rubber

Table (1) Pad Diameter/Pad Type

Type \ Dia. (mm)	2 x 4	3.5 x 7	4 x 10	2	4	6	8	10	13	16	20	25	32	40	50
Flat	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Flat with ribs	—	—	—	—	—	—	—	●	●	●	●	●	●	●	—
Deep	—	—	—	—	—	—	—	●	—	●	—	—	—	—	—
Bellows	—	—	—	—	—	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Thin flat	—	—	—	—	—	—	—	●	●	●	—	—	—	—	—
Thin flat with ribs	—	—	—	—	—	—	—	●	●	●	—	—	—	—	—

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Vacuum Pad/ Lateral Vacuum Entry with Barb Fitting Without Buffer

Series ZPY

Specifications

Vacuum entry	Direction		Lateral	
	Connection		Barb fitting	
	Applicable tube dia.	Elliptic (2 x 4, 3.5 x 7, 4 x 10) Thin section series (ø10 to ø16) ø2 to ø8	ø4, ø6 Nylon tube, ø4, ø6 Urethane tube	
		ø10 to ø16	ø4, ø6 Nylon tube, ø4, ø6 Urethane tube	
		ø20 to ø32	ø4, ø6 Nylon tube, ø4, ø6 Urethane tube	
		ø40 to ø50	ø6 Nylon tube, ø6 Urethane tube	
Mounting	Connection		Male thread	Female thread
	Thread dia.	Elliptic (2 x 4, 3.5 x 7, 4 x 10) Thin section series (ø10 to ø16) ø2 to ø8	M5 x 0.8, M6 x 1	M4 x 0.7, M5 x 0.8
		ø10 to ø16	M5 x 0.8, M6 x 1	M5 x 0.8, M6 x 1
		ø20 to ø32	M6 x 1, M8 x 1	M5 x 0.8, M6 x 1, M8 x 1.25
		ø40 to ø50	M6 x 1, M8 x 1	M6 x 1, M8 x 1.25

Pad Type

Pad form	Flat	Flat with ribs	Deep	Bellows	Thin flat/Thin flat with ribs
Pad dia. (mm)	2, 4, 6, 8, 2 x 4, 3.5 x 7, 4 x 10, 10, 13, 16, 20, 25, 32, 40, 50	10, 13, 16, 20, 25, 32, 40, 50	10, 16, 25, 40	6, 8, 10, 13, 16, 20, 25, 32, 40, 50	10, 13, 16
Material (Color)	NBR (Black), Silicon rubber (White), Urethane rubber (Brown), Fluororubber (Black with green mark) Conductive NBR (Black with one silver mark), Conductinve silicon rubber (Black with two silver marks)				
Durometer	NBR (50°), Silicon rubber (40°), Urenthane rubber/Fluororubber (60°) Conductive NBR (50°), Conductive silicon rubber (50°)				

Mass/Male Thread (Female thread)

(g)

Pad form / Connection / Model	Flat			Flat with ribs			Deep			Bellows		
	M5	M6	M8	M5	M6	M8	M5	M6	M8	M5	M6	M8
ZPY02 to 08 2004 3507 4010 10 to 16 (Thin section series)	15 (11)	15	—	—	—	—	—	—	—	15 (11) except ø2, ø4	15 (11) except ø2, ø4	—
ZPY10	32 (25)	33 (25)	—	32 (25)	33 (25)	—	31 (27)	33 (26)	—	— (25)	33 (25)	33 —
ZPY13							—	—	—			
ZPY16							32 (27)	38 (27)	—			
ZPY20	— (30)	38 (30)	38 (29)	(30)	38 (30)	38 (29)	—	—	—	— (30)	38 (30)	38 (29)
ZPY25							— (30)	38 (30)	38 (28)			
ZPY32							—	—	—			
ZPY40	—	43 (36)	47 (34)	—	42 (35)	46 (33)	—	44 (37)	48 (35)	—	43 (36)	47 (34)
ZPY50	—	44 (38)	49 (35)	—	46 (38)	50 (37)	—	—	—	—	44 (38)	49 (35)

* ( ): Figures for female thread connections.

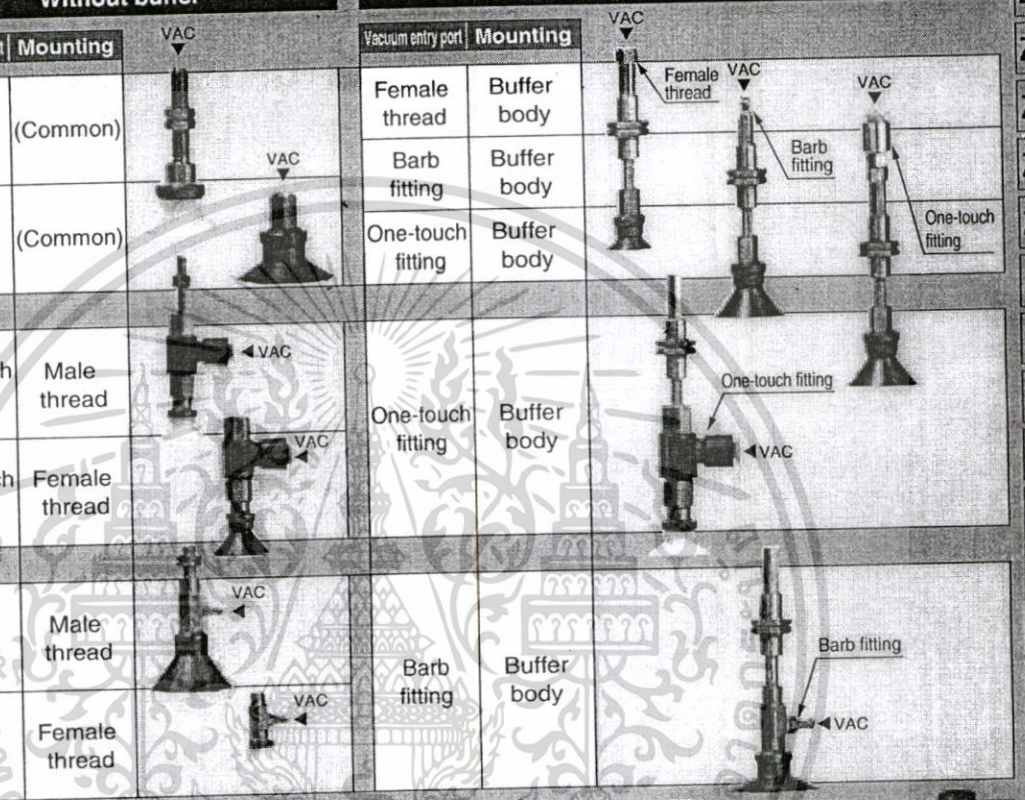
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Vacuum Pad

Series ZP

Type	Without buffer		With buffer	
	Vacuum entry port	Mounting	Vacuum entry port	Mounting
P.1120 to P.1145 Series **ZPT** Vertical vacuum entry	Male thread	(Common)	Female thread	Buffer body
	Female thread	(Common)	Barb fitting	Buffer body
			One-touch fitting	Buffer body
P.1146 to P.1161 Series **ZPR** Lateral vacuum entry with One-touch fitting	One-touch fitting	Male thread	One-touch fitting	Buffer body
	One-touch fitting	Female thread		
P.1162 to P.1177 Series **ZPY** Lateral vacuum entry with Barb fitting	Barb fitting	Male thread	Barb fitting	Buffer body
	Barb fitting	Female thread		

With buffer: Rotating, Non-rotating
ø2 to ø8: Stroke 6, 10, 15, 25 mm
ø10 to ø32: Stroke 10, 20, 30, 40, 50 mm
ø40, ø50: Stroke 10, 20, 30, 50 mm



Pad form (Compatible with all models)

Flat (**U**) Flat with ribs (**C**) Deep (**D**) Bellows (**B**) Thin flat (**UT**) Thin flat with ribs (**CT**)

Pad diameter	2 x 4	3.5 x 7	4 x 10	ø2	ø4	ø6	ø8	ø10	ø13	ø16	ø20	ø25	ø32	ø40	ø50
Flat	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Flat with ribs	—	—	—	—	—	—	—	●	—	●	—	●	—	●	—
Deep	—	—	—	—	—	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Bellows	—	—	—	—	—	—	—	●	●	●	—	—	—	—	—
Thin flat	—	—	—	—	—	—	—	●	●	●	—	—	—	—	—
Thin flat with ribs	—	—	—	—	—	—	—	●	●	●	—	—	—	—	—

Pad diameter (ø2 to ø125)

ø2 to ø125

Pad material

NBR (Black), Silicon rubber (White), Urethane rubber (Brown), Fluoro rubber (Black with green mark), Conductive NBR (Black with one silver mark), Conductive silicon rubber (Black with two silver marks)

Pad selection

Refer to the vacuum equipment model selection on pages 828 to 834 for the calculation of lift force and response time.

Pad Material and Characteristics

◎: Little or no influence ○: Can be used depending on conditions X: Not suitable

Material \ Characteristics	Durometer HS (±5°)	Operating temperature range (°C)	Oil resistance gasoline	Oil resistance benzol	Base resistance	Acid resistance	Weatherability	Ozone resistance	Abrasion resistance	Waterproof	Solvent resistance (Benzene, toluene)
NBR	50°	0 to 120	◎	x	○	○	x	x	◎	○	x
Silicon rubber	40°	-30 to 200	x	x	○	x	◎	◎	x	○	x
Urethane rubber	60°	0 to 60	◎	x	x	x	○	◎	◎	x	x
Fluoro rubber	60°	0 to 250	◎	◎	x	◎	◎	◎	○	◎	◎
Conductive NBR	50°	0 to 100	○	x	○	x	○	x	○	○	x
Conductive silicon rubber	50°	-10 to 200	x	x	○	x	◎	◎	x	○	x

• The above table covers only general characteristics of subject rubber materials. Pad materials used by SMC pass the JIS standards; however the actual performance depends on operating conditions.