ระบบควบคุมในงานอุตสาหกรรม

ทักษิณ โสภาปิยะ
เสมอศักดิ์ สุดา

ระบบควบคุมในงานอุตสาหกรรม
(Industrial Control Systems)

รหัสวิชา 30104-2006

หมวดวิชาสมรรถนะวิชาชีพ กลุ่มสมรรถนะวิชาชีพเฉพาะ
ประเภทวิชาอุตสาหกรรม สาขาวิชาไฟฟ้า
หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.) พุทธศักราช 2563
สำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา (สอศ.) กระทรวงศึกษาธิการ

เรียบเรียงโดย
ทักษิณ โสภาปิยะ
เสมอศักดิ์ สุดา

ระบบควบคุมในงานอุตสาหกรรม
(Industrial Control Systems)

คำอธิบายรายวิชา

ศึกษาและปฏิบัติเกี่ยวกับโครงสร้างของโปรแกรมเมเบิลคอนโทรลเลอร์ การเขียนคำสั่งควบคุมการทำงานของโปรแกรมเมเบิลคอนโทรลเลอร์ หลักการทำงานของหน่วยอินพุต เอาท์พุต เซนเซอร์ที่ใช้วัดและตรวจจับความเร็ว ความดัน อุณหภูมิ อัตราการไหล ระดับ น้ำหนัก แสง พร็อกซิมิตี้สวิตซ์ อุปกรณ์ควบคุม ตัวตั้งเวลา ตัวนับลิมิตสวิตซ์ ฯลฯ การนำโปรแกรมคอนโทรลเลอร์และคอมพิวเตอร์มาประยุกต์ใช้ร่วมกับเซนเซอร์และอุปกรณ์ควบคุมแบบต่าง ๆ และเครือข่ายการควบคุม

ข้อมูลทางบรรณานุกรมของสำนักหอสมุดแห่งชาติ

ทักษิณ โสภาปิยะ.

ระบบควบคุมในงานอุตสาหกรรม.-- กรุงเทพฯ : วังอักษร, 2563.

304 หน้า.

1. การควบคุมอัตโนมัติ. I. ชื่อเรื่อง.

629.8

ISBN 978-616-211-864-7

พิมพ์ครั้งที่ 1 พ.ศ. 2563

จัดพิมพ์และจำหน่ายโดย...

วังอักษร

บริษัทวังอักษร จำกัด

69/3 ถนนอรุณอมรินทร์ แขวงวัดอรุณ เขตบางกอกใหญ่ กรุงเทพฯ 10600

โทร. 0-2472-3293-5 โทรสาร 0-2891-0742 Mobile : 08-8585-1521

Facebook : สำนักพิมพ์ วังอักษร e-Mail : wangaksorn9@gmail.com

http://www.wangaksorn.com ID Line : @wangaksorn

สงวนลิขสิทธิ์ตามพระราชบัญญัติลิขสิทธิ์ พ.ศ. 2537

โดยบริษัทวังอักษร จำกัด ห้ามนำส่วนใดส่วนหนึ่งของหนังสือเล่มนี้ไปทำซ้ำดัดแปลง หรือเผยแพร่ต่อสาธารณชน ไม่ว่ารูปแบบใด ๆ นอกจากได้รับอนุญาตเป็นลายลักษณ์อักษรล่วงหน้าจากทางบริษัทฯ เท่านั้น ชื่อและเครื่องหมายการค้าอื่น ๆ ที่อ้างอิงในหนังสือฉบับนี้เป็นสิทธิโดยชอบด้วยกฎหมายของเจ้าของแต่ละราย โดยบริษัท วังอักษร จำกัด มิได้อ้างความเป็นเจ้าของแต่อย่างใด

คำนำ

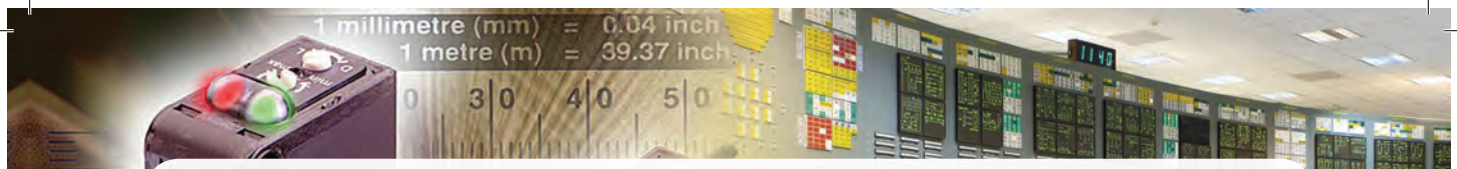
วิชาระบบควบคุมในงานอุตสาหกรรม รหัสวิชา **30104-2006** จัดอยู่ในหมวดวิชาสมรรถนะวิชาชีพ กลุ่มสมรรถนะวิชาชีพเฉพาะ ประเภทวิชาอุตสาหกรรม สาขาวิชาไฟฟ้า **ตามหลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง พุทธศักราช 2563** สำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา (สอศ.) กระทรวงศึกษาธิการ ผู้เขียนได้บริหารสาระการเรียนรู้แบ่งเป็น 12 บทเรียน ได้จัดแผนการจัดการเรียนรู้ แผนการสอนที่มุ่งเน้นฐานสมรรถนะ (Competency Based) และการบูรณาการ (Integrated) ตรงตามจุดประสงค์รายวิชา สมรรถนะรายวิชา คำอธิบายรายวิชา ในแต่ละบทเรียนมุ่งให้ความสำคัญส่วนที่เป็นความรู้ ทฤษฎี หลักการ กระบวนการ ตัวอย่าง แบบฝึกปฏิบัติ และคำถามเพื่อการทบทวน เพื่อฝึกทักษะประสบการณ์ เร่งพัฒนาบทบาทของผู้เรียนเป็นผู้จัดการแสวงหาความรู้ (Explorer) เป็นผู้สอนตนเองได้ สร้างองค์ความรู้ใหม่ และบทบาทของผู้สอนเปลี่ยนจากผู้ให้ความรู้มาเป็นผู้จัดการชี้แนะ (Teacher Roles) จัดสิ่งแวดล้อมเอื้ออำนวยต่อความสนใจเรียนรู้ และเป็นผู้ร่วมเรียนรู้ (Co–investigator) จัดห้องเรียนเป็นสถานที่ทำงานร่วมกัน (Learning Context) จัดกลุ่มเรียนรู้ให้รู้จักทำงานร่วมกัน (Grouping) ฝึกความใจกว้าง มุ่งสร้างสรรค์คนรุ่นใหม่ สอนความสามารถที่นำไปทำงานได้ (Competency) สอนความรัก ความเมตตา (Compassion) ความเชื่อมั่น ความซื่อสัตย์ (Trust) เป้าหมายอาชีพอันยังประโยชน์ (Productive Career) และชีวิตที่มีศักดิ์ศรี (Noble Life) เหนือสิ่งอื่นใด เป็นคนดีทั้งกาย วาจา ใจ มีคุณธรรม จรรยาบรรณทางธุรกิจและวิชาชีพ

ส่งเสริมสนับสนุนยุทธศาสตร์การพัฒนาระบบคุณวุฒิวิชาชีพ (Vocational Qualification System) สอดคล้องตามมาตรฐานอาชีพ (Occupational Standard) สร้างภูมิคุ้มกัน เพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขันของประเทศ กำลังแรงงาน การพัฒนามาตรฐานการปฏิบัติงานระดับชาติ (National Benchmarking) และการวิเคราะห์หน้าที่การงาน (Functional Analysis) เพื่อให้เกิดผลสำเร็จในภาคธุรกิจ อุตสาหกรรม ทุกสาขาอาชีพ เป็นการเตรียมความพร้อมของผู้เรียนเข้าสู่สนามการแข่งขันในประชาคมอาเซียน

ทักษิณ โสภาปิยะ
เสมอศักดิ์ สุดา

สารบัญ

	หน้า
บทที่ 1 ระบบควบคุมอัตโนมัติ	**1**
ความหมายของระบบควบคุมอัตโนมัติ	3
องค์ประกอบของการควบคุม	4
ชนิดของระบบการควบคุมอัตโนมัติ	5
การเลือกใช้ประเภทของการควบคุม	6
ลำดับขั้นของระบบการควบคุมอัตโนมัติ (Automation Hierarchy)	8
ตัวอย่างการควบคุมแบบต่างๆ ในงานอุตสาหกรรม	9
แบบทดสอบและกิจกรรมฝึกทักษะ	15
บทที่ 2 โปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรลเลอร์	**16**
ความหมายของโปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรลเลอร์	17
การจำแนกขนาดของ PLC	18
โครงสร้างของ PLC	21
โปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรลเลอร์ ยี่ห้อ SIEMENS รุ่น S7 - 200	24
อุปกรณ์ต่อขยาย Expansion Module	26
อุปกรณ์เชื่อมต่อควบคุมการทำงาน PLC	26
แบบทดสอบและกิจกรรมฝึกทักษะ	29
ใบงานที่ 2.1 เรื่อง โครงสร้างของโปรแกรมเมเบิลคอนโทรลเลอร์	30
บทที่ 3 การทำงานของโปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรลเลอร์	**35**
สัญญาณนาฬิกาและพัลส์	37
สแกนไทม์ (Scan Time)	37
อินพุตโมดูล (Input Module)	40
เอาท์พุตโมดูล (Output Module)	42
หน่วยที่ทำหน้าที่ทำงานพิเศษ (Intelligent / Functional Module)	43
โอเปอแรนด์ (Operand)	46
ภาษาที่ใช้ในการเขียนโปรแกรมควบคุมการทำงานของ PLC	47



การเลือกใช้ภาษา PLC 51
แบบทดสอบและกิจกรรมฝึกทักษะ 53
ใบงานที่ 3.1 เรื่อง การเขียนวงจรแลดเดอร์ 55

บทที่ 4 การเขียนคำสั่งควบคุมการทำงานของโปรแกรม เมเบิลลอจิกคอนโทรลเลอร์เบื้องต้น 58

การใช้คำสั่งพื้นฐานเขียนและป้อนโปรแกรมโดยใช้ Programming Console ของ OMRON 61
การเขียนคำสั่งในโปรแกรม STEP7 – Micro / WIN ของบริษัท SIEMENS 67
แบบทดสอบและกิจกรรมฝึกทักษะ 76
ใบงานที่ 4.1 เรื่อง การเขียนวงจรแลดเดอร์โดยใช้กลุ่มคำสั่ง Timer และ Counter 77

บทที่ 5 สวิตช์ควบคุมและรีเลย์ 80

สวิตช์ปุ่มกด (Push Button Switch) 81
สวิตช์กดค้างตำแหน่ง (Toggle Switch) 82
ลิมิตสวิตช์หรือสวิตช์จำกัดระยะ (Limit Switch) 83
รีเลย์ (Relay) 84
อุปกรณ์นับจำนวน (Counter) 92
แบบทดสอบและกิจกรรมฝึกทักษะ 94
ใบงานที่ 5.1 เรื่อง การสตาร์ตมอเตอร์ 3 เฟส แบบสตาร์ – เดลต้า 95

บทที่ 6 เซนเซอร์และอุปกรณ์ตรวจจับ 98

พร็อกซิมิตี้แบบเหนี่ยวนำ (Inductive Proximity Switch) 100
พร็อกซิมิตี้แบบเก็บประจุ (Capacitive Proximity Switch) 103
เซนเซอร์ชนิดใช้แสง (Optical Sensor) 107
เซนเซอร์ชนิดใช้คลื่นเสียง (Ultrasonic Sensor) 117
แม็กเนติกเซนเซอร์ (Magnetic Sensor) 119
นิวแมติกส์เซนเซอร์ (Pneumatics Proximity Sensor) 120
การต่อใช้งานพร็อกซิมิตี้เซนเซอร์ 124
แบบทดสอบและกิจกรรมฝึกทักษะ 129
ใบงานที่ 6.1 เรื่อง การควบคุมระบบไซโล 130

บทที่ 7 อุปกรณ์ควบคุมระดับ **135**

เครื่องวัดและควบคุมระดับแบบใช้ใบพัดหมุน (Rotating Paddle) 136
เครื่องวัดและควบคุมระดับแบบใช้ก้านสั่น (Vibrator Type Level Sensor) 138
เครื่องวัดและควบคุมระดับแบบใช้ลูกลอย (Float) 139
เครื่องวัดและควบคุมระดับโดยใช้หลักการของตัวเก็บประจุไฟฟ้า 141
เครื่องวัดและควบคุมระดับโดยใช้หลักการความนำไฟฟ้า 141
การตรวจวัดระดับด้วยคลื่นอัลตร้าโซนิกส์ 143
การตรวจวัดระดับด้วยวิธีการแผ่รังสี 145
อุปกรณ์ตรวจวัดความเครียด 146
แบบทดสอบและกิจกรรมฝึกทักษะ 150
ใบงานที่ 7.1 เรื่อง การควบคุมระดับน้ำ 151

บทที่ 8 อุปกรณ์ตรวจจับการเคลื่อนที่และการควบคุมอุณหภูมิ **155**

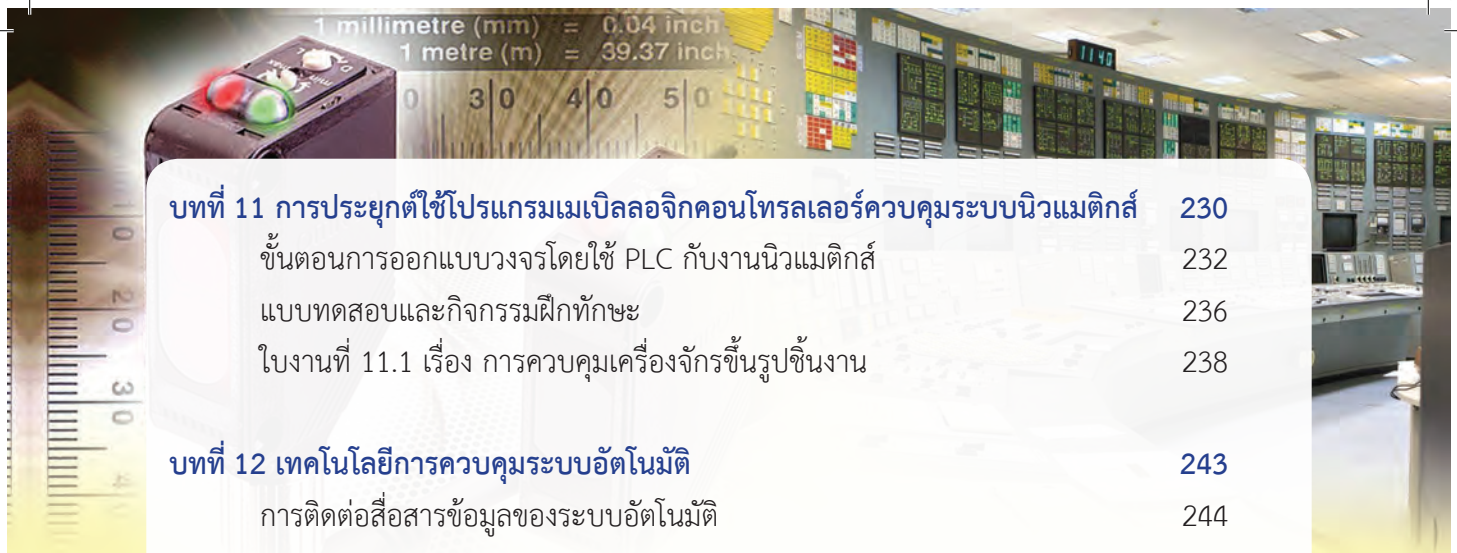
อุปกรณ์ตรวจวัดความเร่ง 157
อุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิ 161
การเลือกใช้อุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิ 177
แบบทดสอบและกิจกรรมฝึกทักษะ 180
ใบงานที่ 8.1 เรื่อง การควบคุมระบบไฟจราจร 181

บทที่ 9 การวัดความดันและอัตราการไหล **186**

อุปกรณ์ตรวจวัดความดัน 187
สวิตช์ความดัน (Pressure Switch) 199
อุปกรณ์ตรวจวัดอัตราการไหล 200
แบบทดสอบและกิจกรรมฝึกทักษะ 209
ใบงานที่ 9.1 เรื่อง การควบคุมเครื่องผสมของเหลว 210

บทที่ 10 การประยุกต์ใช้โปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรลเลอร์ในงานอุตสาหกรรม **214**

ขั้นตอนการใช้ PLC ในการควบคุมระบบอัตโนมัติ 215
ตัวอย่างการใช้งาน PLC ควบคุมระบบอัตโนมัติ 218
แบบทดสอบและกิจกรรมฝึกทักษะ 225
ใบงานที่ 10.1 เรื่อง การควบคุมระบบกรองน้ำใส่ภาชนะ (ขวด) 226



บทที่ 11 การประยุกต์ใช้โปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรลเลอร์ควบคุมระบบนิวแมติกส์ **230**

ขั้นตอนการออกแบบวงจรโดยใช้ PLC กับงานนิวแมติกส์ 232

แบบทดสอบและกิจกรรมฝึกทักษะ 236

ใบงานที่ 11.1 เรื่อง การควบคุมเครื่องจักรขึ้นรูปชิ้นงาน 238

บทที่ 12 เทคโนโลยีการควบคุมระบบอัตโนมัติ **243**

การติดต่อสื่อสารข้อมูลของระบบอัตโนมัติ 244

ระบบสกาดา (SCADA) 248

เทคโนโลยีโปรฟิบัส (PROFIBUS Control) 252

ระบบ AS – Interface 254

แบบทดสอบและกิจกรรมฝึกทักษะ 258

ภาคผนวก **259**

คำถามเพื่อการทบทวน **278**

คำศัพท์ **284**

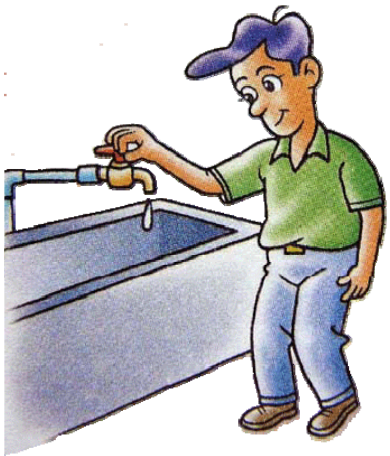
บรรณานุกรม **290**

1 millimetre (mm) = 0.04 inch
1 metre (m) = 39.37 inch
OMRON

จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม (Behavioral Objectives)

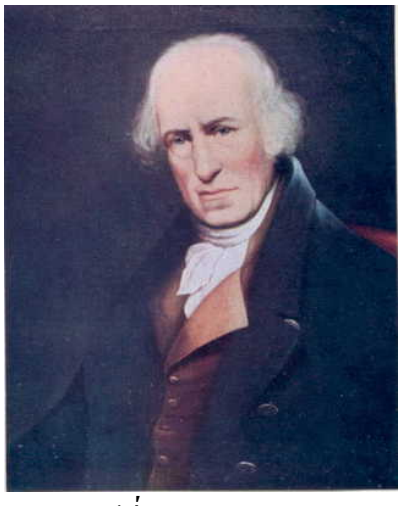
หลังจากศึกษาจบบทเรียนนี้แล้ว นักศึกษาจะมีความสามารถดังนี้

1. สรุปความหมายของระบบควบคุมอัตโนมัติ
2. ระบุชนิดของระบบการควบคุมอัตโนมัติ
3. อธิบายการเลือกใช้ประเภทของการควบคุม
4. ลำดับขั้นตอนระบบการควบคุมอัตโนมัติ
5. ยกตัวอย่างการควบคุมแบบต่าง ๆ ในงานอุตสาหกรรม



1 ระบบควบคุมอัตโนมัติ

ในปัจจุบัน การควบคุมในงานอุตสาหกรรมนั้นได้นำเทคโนโลยีรุ่นใหม่ ๆ เข้ามาควบคุมกระบวนการผลิต เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่ดีและมีคุณภาพตามที่ลูกค้าต้องการ การสูญเสียในกระบวนการผลิตหรือข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้นนั้นเกือบจะไม่มี หรือถ้ามีก็ให้น้อยที่สุดเพื่อลดค่าใช้จ่ายที่เป็นต้นทุนในการผลิต โดยทั่วไปแล้วเป้าหมายของระบบควบคุมต่าง ๆ ในงานอุตสาหกรรม คือ การรักษาปริมาณทางฟิสิกส์ ซึ่งได้แก่ ความดัน อุณหภูมิ การเคลื่อนที่ ระดับการไหล ให้มีค่าที่ถูกต้องและเหมาะสมที่สุด แม้ว่าสภาวะการทำงานและสภาพแวดล้อมจะมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาก็ตาม อุตสาหกรรมในยุคต่าง ๆ การควบคุมจะเป็นแบบง่าย ๆ โดยใช้พนักงานคอยทำหน้าที่เกี่ยวกับการตรวจวัด การคำนวณ และการปรับแต่ง การควบคุมแบบนี้ให้ผลของการควบคุมได้ไม่ดีนักเพราะถูกจำกัดอยู่ที่ขีดความสามารถของมนุษย์



รูปที่ 1.1 *James Watt*

เครื่องจักรกลในสมัยเริ่มแรกประกอบด้วยระบบผ่อนแรงและใช้พลังงานกลจากธรรมชาติและสัตว์เลี้ยง การที่ เจมส์ วัตต์ (James Watt, ค.ศ. 1736 - 1819) วิศวกรชาวอังกฤษได้ประดิษฐ์เครื่องจักรไอน้ำขึ้น นับว่าเป็นก้าวสำคัญในการสร้างความเจริญให้แก่มนุษย์ในด้านเครื่องจักรกล เพราะเป็นก้าวแรกในการใช้แหล่งกำลังจากเครื่องยนต์ที่สามารถนำมาใช้งานและควบคุมได้ การใช้เครื่องจักรกล

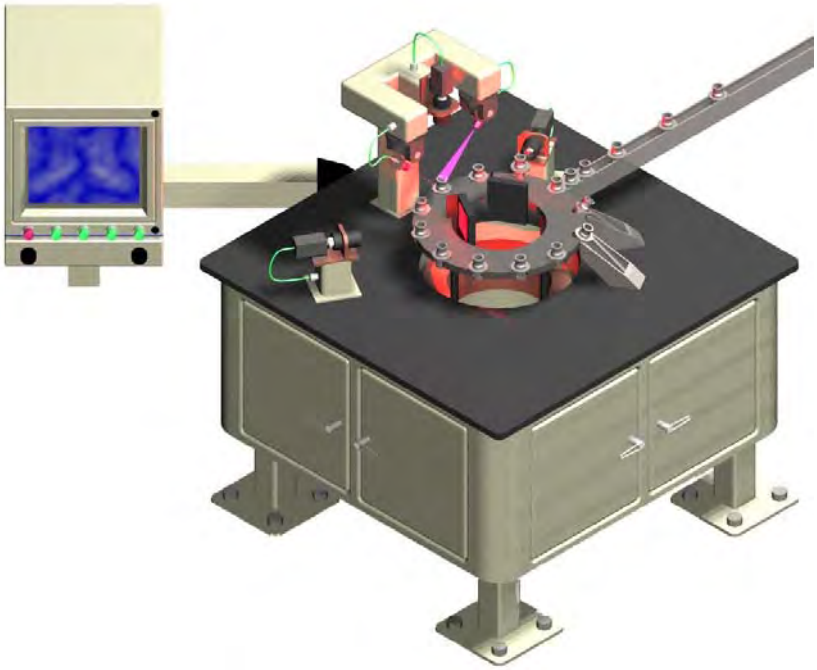
เหล่านี้ยังต้องอาศัยคนคอยเฝ้าควบคุมให้เครื่องทำงานตามที่ประสงค์ ด้วยเหตุที่เครื่องยนต์ทำงานได้โดยไม่มีความเหน็ดเหนื่อยและมักจะมีความรวดเร็วมาก จึงทำให้เกิดวิวัฒนาการขั้นต่อมา คือ การประดิษฐ์เครื่องมือที่จะทำหน้าที่แทนคนในการควบคุมการทำงานของเครื่องจักรกลอีกทอดหนึ่ง เครื่องมือนี้เรียกว่า **ระบบควบคุมอัตโนมัติ**

ความหมายของระบบควบคุมอัตโนมัติ

ระบบควบคุมอัตโนมัติ (Automatic Control System) หมายถึง ระบบการทำงานของเครื่องจักรหรือระบบที่สามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่องด้วยตนเอง เมื่อให้สัญญาณเริ่มต้นไม่ว่าระบบนั้นจะมีการตั้งโปรแกรมสำเร็จในการทำงานตลอดทั้งระบบ หรือสามารถเปลี่ยนแปลงโปรแกรมการทำงานจากการเปรียบเทียบปริมาณของสัญญาณที่เข้ากับปริมาณสัญญาณที่ออก

การดำเนินการผลิตของอุตสาหกรรมในปัจจุบัน จำเป็นต้องคำนึงถึงประสิทธิภาพและประสิทธิผลของงาน ซึ่งดูได้จากต้นทุนการผลิต คุณภาพตรงตามมาตรฐาน ความปลอดภัย มลภาวะที่เกิดขึ้น การผลิตที่สอดคล้องกับภาวะของตลาดในด้านเทคนิค เป้าหมายดังกล่าวจะบรรลุวัตถุประสงค์ได้ต้องอาศัยการตรวจวัด การควบคุมกระบวนการผลิตจะต้องเป็นไปอย่างต่อเนื่องและสม่ำเสมอ ประสิทธิภาพในการผลิตจะดีได้ต้องเริ่มต้นจากการออกแบบติดตั้งอุปกรณ์ในระบบควบคุมต่าง ๆ ในโรงงานอย่างถูกต้องตามหลักวิชาการ และพนักงานจะต้องเอาใจใส่ในการดูแลบำรุงรักษา การสอบเทียบและปรับแต่งอุปกรณ์เครื่องมือวัดอย่างสม่ำเสมอ ดังนั้น ในปัจจุบันนี้โรงงานสมัยใหม่จึงได้นำเอาเครื่องควบคุมอัตโนมัติมาใช้งานเพื่อ

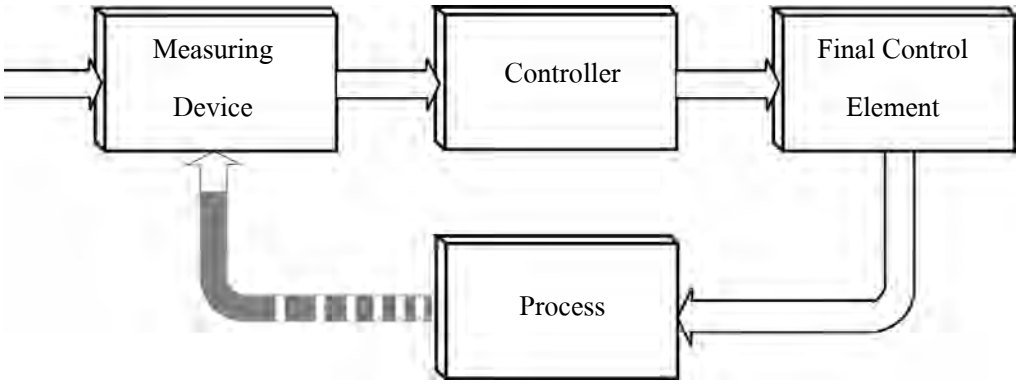
1. เพิ่มประสิทธิภาพและคุณภาพในการผลิต
2. ควบคุมและวางแผนการผลิตได้ง่าย
3. ช่วยแบ่งเบาการทำงานแบบซ้ำซากและเบื่อหน่าย มนุษย์จะได้ปลีกตัวไปใช้เวลาและความสามารถสำหรับทำงานอื่น ๆ ให้เป็นประโยชน์เพิ่มขึ้น
4. ช่วยควบคุมการทำงานที่รวดเร็วหรือซับซ้อนเกินความสามารถทางกายภาพของมนุษย์ที่จะควบคุมได้ทันและทั่วถึง



รูปที่ 1.2 แสดงตัวอย่างการผลิตชิ้นงานโดยอัตโนมัติ (http://users.stargate.net)

องค์ประกอบของการควบคุม

การควบคุมในงานอุตสาหกรรมถึงแม้จะมีรูปแบบที่แตกต่างกันออกไป แต่จะมีองค์ประกอบหลัก ๆ ที่สำคัญและคล้ายคลึงกัน คือ



รูปที่ 1.3 องค์ประกอบของการควบคุม

1. **Measuring Device** เป็นอุปกรณ์ที่ให้สัญญาณขาออกไปควบคุมคอนโทรลเลอร์ ซึ่งมีขนาดสัมพันธ์กับขนาดตัวแปรทางฟิสิกส์ของสิ่งที่เราต้องการวัดหรือสั่งงาน

2. **Controller** หมายถึง สิ่งที่ทำหน้าที่ออกคำสั่งหรือกำเนิดสัญญาณควบคุมตามกฎเกณฑ์การควบคุมที่กำหนดไว้ล่วงหน้า คำสั่งหรือสัญญาณควบคุมนี้อาจจะเป็นฟังก์ชันกับเวลา หรือฟังก์ชันกับสัญญาณขาเข้าที่ได้รับจากอุปกรณ์วัด

3. **Final Control Element** เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ปรับสภาวะของโปรเซสด้วยการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรปรับโปรเซส ในการควบคุมส่วนใหญ่คำสั่งหรือสัญญาณควบคุมจะมีขนาดหรือพลังงานน้อย ส่วนตัวแปรปรับโปรเซสจะมีขนาดหรือพลังงานมากกว่า

4. **Process** หมายถึง กระบวนการทางฟิสิกส์ที่เราต้องการควบคุมให้มีสภาวะตามต้องการ ขณะที่สภาวะการทำงานหรือสภาพแวดล้อมอาจจะเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา

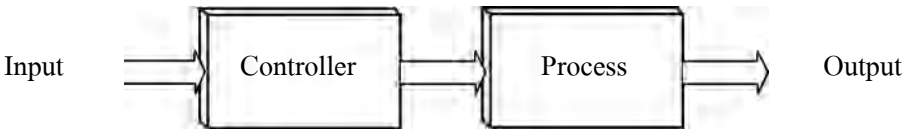
ชนิดของระบบการควบคุมอัตโนมัติ

กฎเกณฑ์ในการจำแนกชนิดของระบบอัตโนมัติจะมีอยู่หลายเกณฑ์ บางท่านอาจจะแบ่งชนิดตามลักษณะของค่าเป้าหมาย (Desired Value หรือ Set Point) ดังนั้น จึงเป็นการยากที่จะกล่าวอย่างแน่นอนว่าระบบการควบคุมอัตโนมัติมีกี่ชนิด

สำหรับเล่มนี้ ผู้เขียนขอแบ่งชนิดของการควบคุมออกเป็น 4 ชนิด ดังนี้

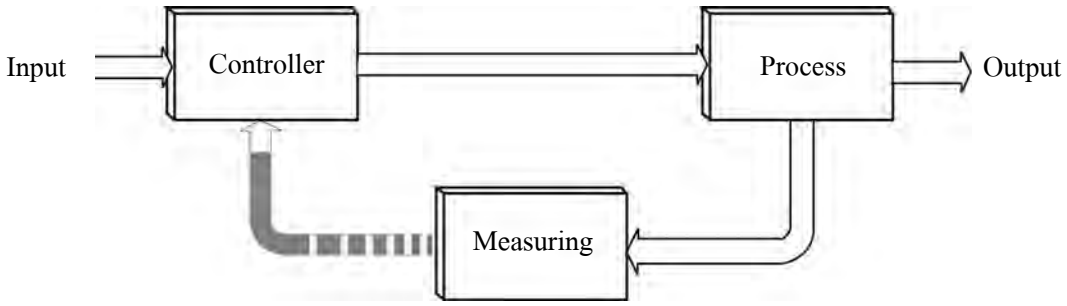
1. **ระบบการควบคุมตามหลักปรัชญาพื้นฐานของการออกแบบ** ซึ่งมีอยู่ 2 ระบบ คือ

1.1 Open Loop Systems การควบคุมแบบนี้เอาท์พุตจะไม่ถูกวัดหรือถูกป้อนกลับเพื่อนำค่ามาเปรียบเทียบกับอินพุต ผลลัพธ์ที่ผ่านออกมาจากระบบนี้จะไม่ส่งอำนาจย้อนกลับไปปรับแต่งสัญญาณกระตุ้น เช่น เครื่องปิ้งขนมปังไฟฟ้า ถ้าเราผลอตั้งเครื่องกำหนดเกณฑ์ควบคุมไว้ร้อนเกินไป ผลลัพธ์ก็คือ ขนมปังไหม้เกรียมแก้ไขไม่ได้ เป็นกระบวนการที่ขาดตอนเช่นเดียวกันกับลวดฟิวส์ไฟฟ้า



รูปที่ 1.4 *Open Loop Systems*

1.2 Closed Loop (Feedback Control) Systems ระบบควบคุมแบบ Closed Loop เป็นระบบควบคุมซึ่งสัญญาณเอาท์พุตจะมีผลโดยตรงต่อการควบคุม ดังนั้น ระบบควบคุมแบบ Closed Loop ก็คือ ระบบควบคุมแบบป้อนกลับ (Feedback Control) นั่นเอง สัญญาณป้อนกลับอาจจะเป็นสัญญาณเอาท์พุตโดยตรง หรือเป็นสัญญาณที่เป็นฟังก์ชันของสัญญาณเอาท์พุตหรือเป็นค่าอนุพันธ์ของสัญญาณเอาท์พุตก็ได้ ระบบควบคุมแบบนี้สามารถพบเห็นได้ทั่วไปทั้งในงานอุตสาหกรรมหรือตามบ้านเรือน ได้แก่ การควบคุมของอุณหภูมิ การควบคุมความดัน การควบคุมการไหล ระบบควบคุมกระบวนการของตู้เย็นที่ใช้ตามบ้านเรือน เป็นต้น



รูปที่ 1.5 *Closed Loop (Feedback Control) Systems*

2. ระบบการควบคุมตามความซับซ้อนของระบบ ซึ่งมีอยู่หลายแบบ เช่น Cascade Control, Feed Forward - Feedback Control, Ratio Control, Self - Adaptive Control เป็นต้น

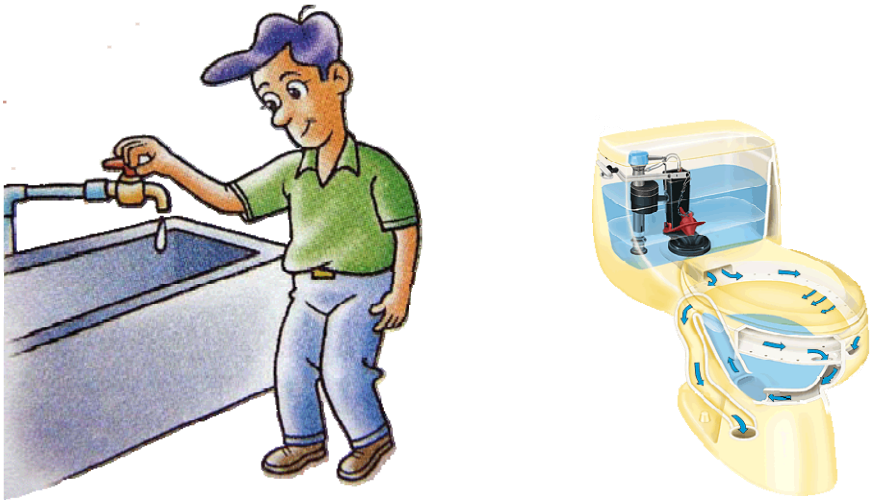
3. Computer Control จะเป็นการควบคุมที่ใช้ Computer ทำหน้าที่เป็นตัวควบคุมซึ่งจะสามารถทำการควบคุมได้ทั้งแบบต่อเนื่อง (Continuous Control) และแบบตามลำดับ (Sequence Control) ในปัจจุบันเราจะรู้จักกันในนามของ DCS (Distributed Control System)

4. Programmable Control หรือ Sequence Control จะเป็นระบบการควบคุมการทำงานที่ประกอบด้วยหลายขั้นตอน ลำดับขั้นตอนก่อนหลังจะเป็นไปตามที่เรากำหนด ช่วงเวลาทำงานของแต่ละขั้นตอนอาจจะถูกกำหนดแน่นอน หรืออาจจะเปลี่ยนแปลงไปตามสถานการณ์

การเลือกใช้ประเภทของการควบคุม

ระบบควบคุมแบบ Open Loop System นั้นเหมาะกับระบบที่ทราบว่าอินพุตของระบบจะมีการเปลี่ยนแปลงอย่างไร และแน่ใจว่าไม่มีสัญญาณรบกวนจากภายนอก สำหรับการควบคุมแบบ Closed Loop System จะใช้เมื่อไม่ทราบถึงการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ของอุปกรณ์ในระบบโดยไม่คาดคิดมาก่อน ในบางกรณีในระบบหนึ่งอาจจะมีทั้งการควบคุมแบบ Open Loop System และการควบคุมแบบ Closed Loop System ร่วมกันก็ได้ เพื่อทำให้ระบบทั้งหมดมีผลตามที่ต้องการ

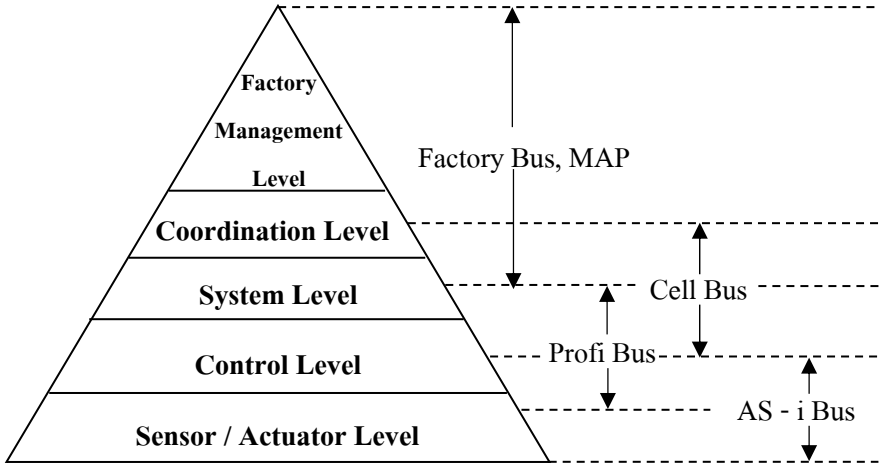
การที่ผลลัพธ์จะส่งผลย้อนกลับไปปรับแต่งสัญญาณกระตุ้นได้นั้น จะต้องอาศัยกลไกที่เรียกว่า **ระบบควบคุมป้อนกลับ** ซึ่งถ้าไม่ใช้เครื่องอัตโนมัติแล้ว มนุษย์จะต้องเป็นผู้ทำหน้าที่นี้เอง ตัวอย่างเช่น การเปิดน้ำให้เต็มอ่าง มนุษย์จะเปิดก๊อกน้ำแล้วนั่งคอยเฝ้าจนกว่าน้ำจะเต็มแล้วรีบปิดก๊อก แต่ในอ่างน้ำชักโครก ทุ่นลูกลอยซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของระบบควบคุมป้อนกลับได้ทำหน้าที่เปิด - ปิดน้ำแทนมนุษย์



รูปที่ 1.6 *ตัวอย่างการควบคุมแบบ Open Loop และ Closed Loop*

ลำดับขั้นของระบบการควบคุมอัตโนมัติ (Automation Hierarchy)

คำว่า **Automation Hierarchy** นั้นกล่าวถึงระดับของการควบคุมงานออโตเมชั่น พื้นที่ที่ใช้งาน ความสามารถในการทำงานและทิศทางการไหลของข้อมูล ทั้งนี้เพื่อประโยชน์ในการจัดการข้อมูลที่ซับซ้อนของระบบออโตเมชั่น ซึ่ง Automation Hierarchy จะถูกแบ่งเป็น 5 ระดับชั้นด้วยกัน ดังนี้



รูปที่ 1.7 *ลำดับชั้นของการควบคุมระบบออโตเมชั่น*

ระดับที่ 1 : Factory Management Level เป็นระดับที่สูงสุดโดยมีความสำคัญในการตัดสินใจเกี่ยวกับการวางแผนและควบคุมการผลิต (Planning and Production Control : PPC) ซึ่งจำเป็นที่จะต้องนำข้อมูลจากทุกฝ่าย เช่น ฝ่ายขาย ฝ่ายบัญชี ฝ่ายต้นทุน ฝ่ายวัสดุ เป็นต้น มาทำการประมวลผลเพื่อการตัดสินใจ

ระดับที่ 2 : Coordination Level เป็นระดับที่มีหน้าที่รับคำสั่งมาจากระดับที่ 1 จากนั้นก็จะทำการแจกจ่ายงานไปยังหน่วยการผลิต (Work Cell) เช่น การสั่งงานไปที่หน่วยประกอบ (Assembly Cell) หน่วยสโตร์ (Store Cell) หน่วยการขึ้นรูป (Machine Tool Cell) จากนั้นก็จะมีการรายงานผลไปยังระดับที่ 1 เพื่อใช้ในการประมวลผลต่อไป

ระดับที่ 3 : System Level เป็นระดับหน่วยการผลิต (Cell Level) ซึ่งจะทำหน้าที่ดูแลหน่วยการผลิตนั้น ๆ ในทุก ๆ เรื่อง เช่น การกำหนดขั้นตอนการผลิต การซ่อมบำรุง (Maintenance) การวิเคราะห์งาน (Diagnostic) การควบคุมคุณภาพ

ระดับที่ 4 : Control Level เป็นระดับของคอนโทรลเลอร์ เช่น RC (Robotic Controller), CNC, PLC (Programmable Logic Controller)

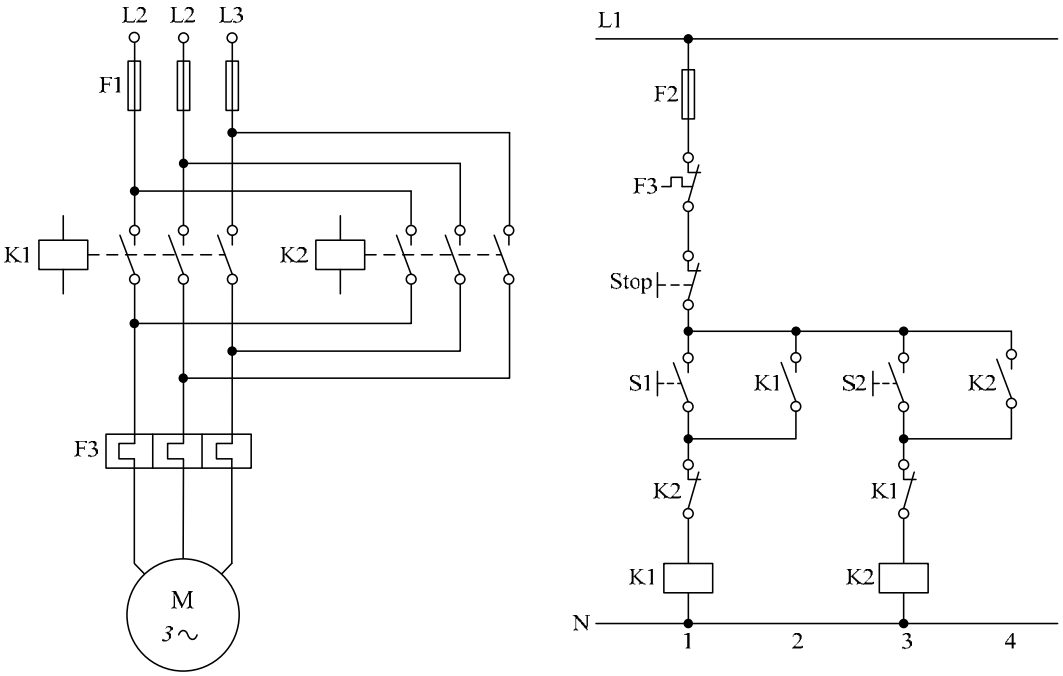
ระดับที่ 5 : Sensor / Actuator Level เป็นระดับของอุปกรณ์ทำงานและเซนเซอร์ซึ่งเป็นระดับล่างสุด

ตัวอย่างการควบคุมแบบต่าง ๆ ในงานอุตสาหกรรม

1. ระบบที่ใช้แผงรีเลย์ในการควบคุม รีเลย์เป็นสวิตช์ที่ทำงานโดยอาศัยอำนาจแม่เหล็กช่วยให้เกิดการตัดต่อในวงจรควบคุม ซึ่งการควบคุมแบบนี้ส่วนใหญ่แล้วจะเป็นการควบคุมแบบ Open Loop System

ตารางที่ 1.1 ข้อดีและข้อเสียของการใช้รีเลย์ในการควบคุม

ข้อดี	ข้อเสีย
- เป็นที่เชื่อถือและไว้ใจมานาน - เป็นมาตรฐานของโรงงานอุตสาหกรรมที่ส่วนใหญ่จะต้องมี - วิศวกรค่อนข้างจะคุ้นเคยกับการควบคุมระบบนี้	- สิ้นเปลืองเนื้อที่มาก - เสียค่าใช้จ่ายในการเดินสายสูง - อายุการใช้งานมีขีดจำกัด - เวลาเกิดจุดบกพร่องจะตรวจเช็คได้ลำบาก - ยากต่อการแก้ไขและเปลี่ยนแปลง



***รูปที่ 1.8** ตัวอย่างการควบคุมด้วยรีเลย์*

2. ระบบที่ใช้แผงอิเล็กทรอนิกส์ในการควบคุม ปัจจุบันการพัฒนาทางด้านอิเล็กทรอนิกส์ได้เจริญรุดหน้าไปมาก ในการควบคุมทางด้านไฟฟ้าจึงได้นำเอาอุปกรณ์ทางด้านอิเล็กทรอนิกส์มาประกอบกันเป็นวงจรต่าง ๆ เพื่อควบคุมงานตามที่ต้องการและการควบคุมระบบนี้ก็มีทั้งแบบ Open Loop System และ Closed Loop System

ตารางที่ 1.2 ข้อดีและข้อเสียของการใช้อิเล็กทรอนิกส์ในการควบคุม

ข้อดี	ข้อเสีย
- มีความแม่นยำในการทำงานสูง - มีอายุการใช้งานยาวนาน - ใช้เนื้อที่น้อยกว่าการควบคุมแบบอื่น - สามารถเปลี่ยนแปลงชิ้นส่วนต่าง ๆ ได้ง่าย - การบำรุงรักษาค่อนข้างน้อย	- ไม่มีมาตรฐานแน่นอนแล้วแต่ผู้ผลิต - ยากต่อการเปลี่ยนแปลงแก้ไขระบบควบคุมใหม่ - มีขีดจำกัดในกรณีที่วงจรซับซ้อนมาก - วิศวกรที่ใช้ต้องมีพื้นฐานความรู้ทางด้านนี้มาก่อน

***รูปที่ 1.9** ตัวอย่างการใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ควบคุม (www.cmprice.com)*

3. ระบบที่ใช้คอมพิวเตอร์ คอมพิวเตอร์ในที่นี้หมายถึง สมองกลที่ใช้การควบคุม คอมพิวเตอร์จะมีการทำงานที่ยุ่งยากและซับซ้อน สามารถวิเคราะห์ข้อมูล คำนวณทางคณิตศาสตร์ และสามารถทำงานตามโปรแกรมหลายอย่างได้ในเวลาเดียวกันหรือในลำดับที่ผู้ใช้ต้องการ การควบคุมด้วยวิธีนี้สามารถกระทำได้ทั้งแบบ Open Loop และ Closed Loop

ตารางที่ 1.3 ข้อดีและข้อเสียของการใช้คอมพิวเตอร์ในการควบคุม

ข้อดี	ข้อเสีย
- ใช้เนื้อที่ในการติดตั้งน้อย - การส่งจ่ายข้อมูลทำได้ง่าย - ง่ายต่อการแก้ไขโปรแกรม - ใช้กับการควบคุมที่ยุ่งยากและซับซ้อน	- ต้องการวิศวกรที่มีความรู้เรื่องโปรแกรมและบำรุงรักษา - การพัฒนาโปรแกรมต้องเสียค่าใช้จ่ายสูง - ไม่เหมาะสมกับสภาพโรงงานอุตสาหกรรมบางประเภท - ต้องการ Interface สำหรับกรองสัญญาณรบกวนต่าง ๆ - ราคาค่อนข้างสูง