

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

- 2.1 ระบบไฮดรอลิก(Hydraulic System)
- 2.2 อุปกรณ์ป้อนกลับ(Feedback Device)
- 2.3 ทฤษฎีการควบคุมด้วย(PID Controller)
- 2.4 ทฤษฎีการควบคุมด้วย(Fuzzy Controller)
- 2.5 ทฤษฎีการควบคุมด้วย(Hybrid Fuzzy PID controller)
- 2.6 ทฤษฎีการควบคุมด้วย(Fuzzy self-tuning PID controller)
- 2.7 โปรแกรมแลปวิว(LabVIEW)
- 2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ระบบไฮดรอลิก(Hydraulic System)

2.1.1 การใช้งานของระบบไฮดรอลิก(Task of hydraulic installation)

ไฮดรอลิก หมายถึง การประยุกต์ใช้งานที่ก่อให้เกิดแรง และการเคลื่อนที่โดยการใช้ของไหล ซึ่งของไหลไฮดรอลิก(Hydraulic fluid) จะทำหน้าที่เป็นสารตัวกลางในการส่งกำลัง(Power transimmmion) Merkle, Schrader and Thomes(1998:6)

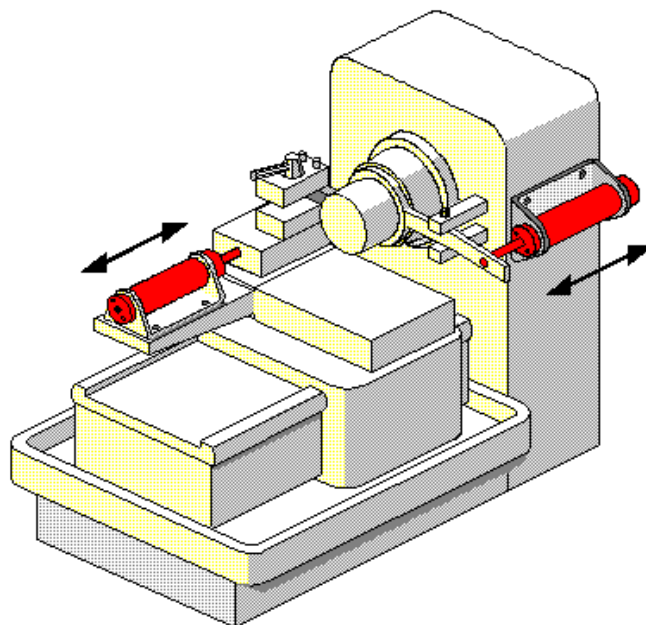
ลักษณะพื้นฐานของระบบไฮดรอลิกแบ่งแยกได้ระหว่าง:

2.1.1.1 ระบบไฮดรอลิกแบบอยู่กับที่ (Stationary hydraulic)

ระบบไฮดรอลิกแบบอยู่กับที่ที่มีการประยุกต์ใช้งานในลักษณะต่างๆต่อไปนี้

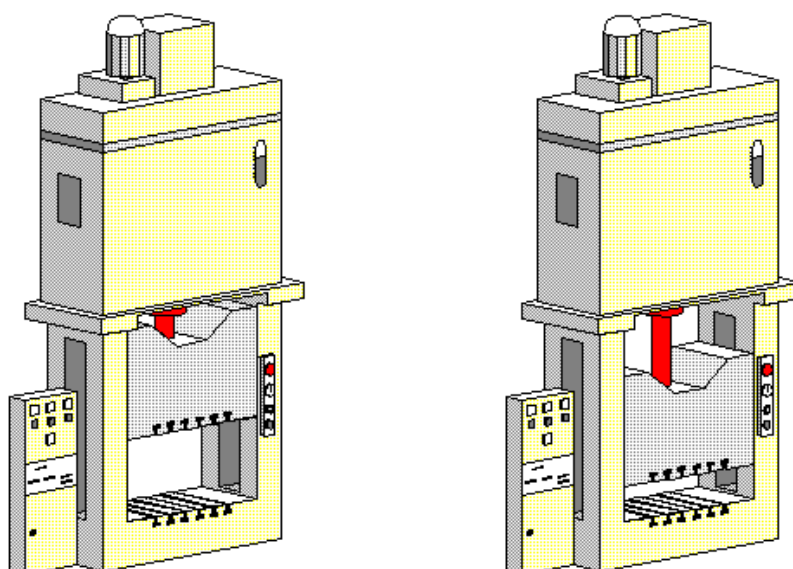
- 2.1.1.1.1 เครื่องจักรกลที่ใช้ในระบบการผลิตและประกอบทุกประเภท
- 2.1.1.1.2 เส้นทางลำเลียง (Transfer line)
- 2.1.1.1.3 อุปกรณ์ยกและขนถ่าย (Lifting and conveying machines)
- 2.1.1.1.4 งานกดอัด (Presses)
- 2.1.1.1.5 เครื่องฉีดพลาสติก (Injection molding machines)
- 2.1.1.1.6 เส้นทางลำเลียงแบบลูกกลิ้ง (Rolling line)
- 2.1.1.1.7 ลิฟต์ (Lift)

ตัวอย่างการประยุกต์ใช้งานของระบบไฮดรอลิกแบบอยู่กับที่



ภาพที่ 2.1 เครื่องกลึง (Lathe)

ในเครื่องจักรกลรุ่นใหม่ที่ควบคุมด้วย CNC เครื่องมือตัดและชิ้นงานถูกจับยึดด้วยไฮดรอลิก การป้อนและหมุนเพลาค้ำก็อาจใช้ไฮดรอลิกด้วย



ภาพที่ 2.2 เครื่องกดอัด (Press with elevated reservoir)

2.1.1.2 ระบบไฮดรอลิกแบบเคลื่อนที่ (Mobile hydraulic) จะเคลื่อนที่บนล้อ(Wheel) หรือราง(Tracks) ซึ่งจะไม่เหมือนกับระบบไฮดรอลิกแบบอยู่กับที่ (Stationary hydraulic) ที่ต้องการควบคุมให้ทำงานโดยการใช้มือบังคับ แต่ถ้าเป็นระบบไฮดรอลิกแบบอยู่กับที่ส่วนใหญ่จะใช้โซลินอยด์ วาล์วควบคุม

ส่วนระบบไฮดรอลิกอื่นๆ ประกอบด้วย ระบบไฮดรอลิกสำหรับเรือเดินทะเล (Marine hydraulic) ระบบไฮดรอลิกสำหรับเหมืองแร่ (Mining hydraulic) และระบบไฮดรอลิกสำหรับอากาศยานทุกชนิด (Aircraft hydraulic) ซึ่งระบบไฮดรอลิกสำหรับอากาศยานจะเป็นแบบพิเศษ เพราะต้องมีความปลอดภัยสูง

ระบบไฮดรอลิกแบบเคลื่อนที่หรือไฮดรอลิกสำหรับยานยนต์ (Mobile hydraulic) ตัวอย่างการประยุกต์ใช้งานสำหรับไฮดรอลิกแบบเคลื่อนที่ ได้แก่ :

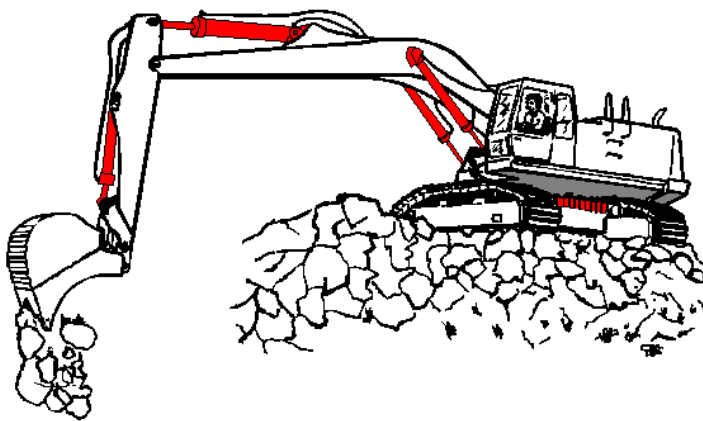
2.1.1.2.1 เครื่องจักรกลงานก่อสร้าง (Construction machinery)

2.1.1.2.2 รถดั้ม (Tippers), รถขุด (Excavator), แแท่นยก (Elevating platformes)

2.1.1.2.3 อุปกรณ์ยกและขนถ่าย (Lifting and conveying devices)

2.1.1.2.4 เครื่องจักรกลการเกษตร (Agricultural machinery)

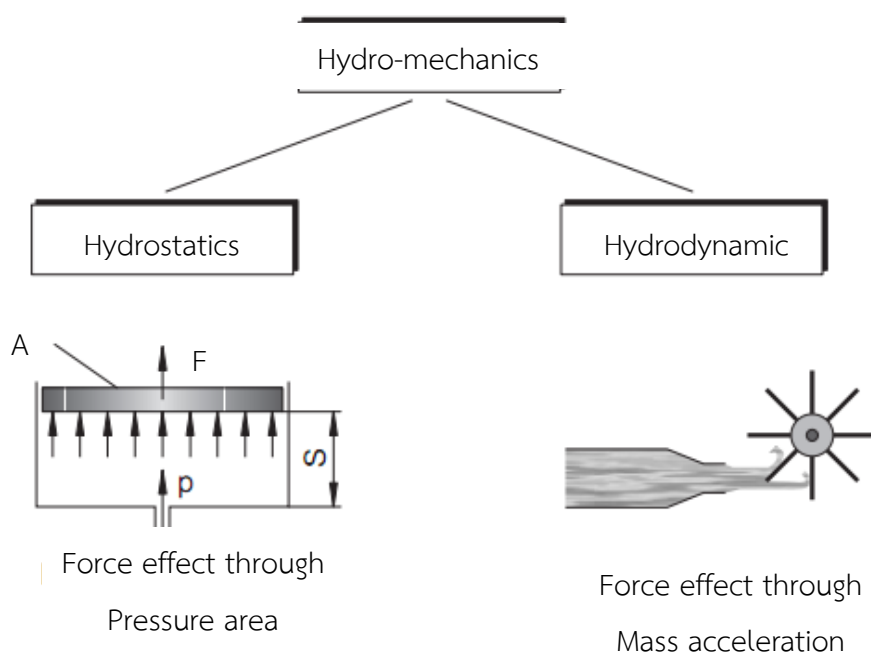
ระบบไฮดรอลิกแบบเคลื่อนที่ มีการประยุกต์ใช้งานอย่างกว้างขวางในเครื่องจักรกลอุตสาหกรรมก่อสร้างต่างๆ ตัวอย่างเช่น ระบบไฮดรอลิกสำหรับรถขุด (Excavator) ไม่เพียงแต่เพื่อการเคลื่อนที่ทำงานเท่านั้น ที่ทำให้เกิดขึ้นโดยระบบไฮดรอลิกแต่จะรวมถึงการควบคุมการเคลื่อนที่หรือเลื้อนของเฟือง (อย่างเช่น การยก, การตักและการเคลื่อนที่หมุนรอบหรือ Swiveling)ก็เป็นการควบคุมโดยทางไฮดรอลิกด้วย สำหรับการเคลื่อนที่ทำงานแนวเส้นตรงเกิดขึ้นโดยอุปกรณ์ทำงานแบบเส้นตรง (กระบอกสูบ) ส่วนการเคลื่อน ที่แนววงกลมหรือแบบหมุนสามารถทำได้โดยอุปกรณ์ทำงานแบบหมุน (มอเตอร์, อุปกรณ์ขับเคลื่อนอื่นๆ)



ภาพที่ 2.3 ไฮดรอลิกแบบเคลื่อนที่ (Mobile hydraulics)

2.1.2 หลักการพื้นฐานทางฟิสิกส์ของไฮดรอลิก (Fundamental physical principles of hydraulic)

2.1.2.1 ความดัน (Pressure) ไฮดรอลิกเป็นศาสตร์ที่ว่าด้วยแรงและการเคลื่อนที่ โดยการส่งถ่ายกำลังงานผ่านของเหลวเป็นส่วนหนึ่งของ Hydro - Mechanics ซึ่งแบ่งแยกออกเป็น Hydrostatics - Dynamic โดยผ่านทางความดันที่กระทำต่อพื้นที่และ Hydrodynamics - Dynamic โดยผ่านทางมวลต่ออัตราเร่ง(g)



ภาพที่ 2.4 Hydro - Mechanics

2.1.2.1.1 ความดันทาง Hydrostatic (Hydrostatic pressure) ความดันทาง Hydrostatic เป็นความดันที่เกิดขึ้นจากระดับความสูงที่คงที่ของของเหลว อันเนื่องมาจากน้ำหนักจากมวล (Mass) ของของเหลว

$$P_s = h \cdot \rho \cdot g \quad (2-1)$$

p_s หมายถึง ความดันทาง Hydrostatic (ความดันเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก)[Pa]

h หมายถึง ระดับความสูง (Column) ของของเหลว[m]

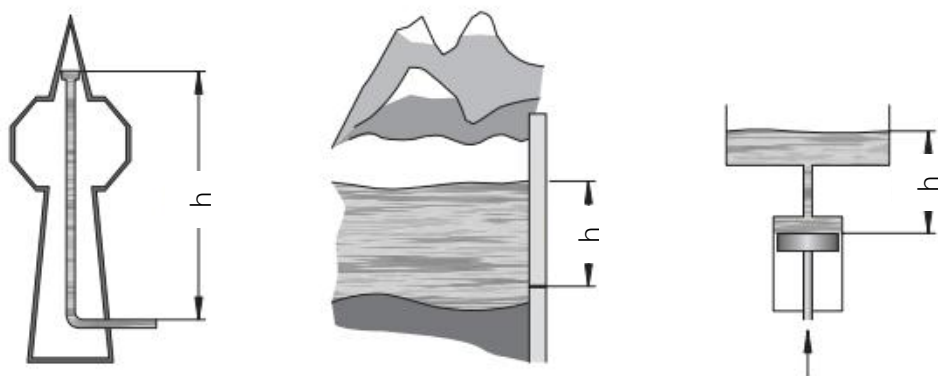
ρ หมายถึง ความหนาแน่นของของเหลว[kg/m³]

g หมายถึง อัตราเร่งจากแรงโน้มถ่วงของโลก [m/s²]

ในข้อกำหนดของระบบมาตรฐานสากล (SI international system) ความดันทาง Hydrostatic (p_s) สามารถกำหนดหน่วยได้ทั้ง ปาสคาล (Pascal) และบาร์ (bar) ระดับความสูงของ

ของเหลว(h) กำหนดหน่วยเป็นเมตร ความหนาแน่นของของเหลว(ρ) เป็นกิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และอัตราเร่งจากแรงโน้มถ่วงของโลก(g) เป็นเมตรต่อวินาทีกำลังสอง

ความดันทาง Hydrostatic หรือเรียกสั้นๆว่า “ความดัน” (Presser) ไม่ขึ้นอยู่กับรูปร่างของถัง หรือภาชนะที่บรรจุ ความดันนี้จะขึ้นอยู่กับระดับความสูง (h) และความหนาแน่น (ρ) ของของเหลว



ภาพที่ 2.5 ความดันทาง Hydrostatic (Hydrostatic pressure)

ของเหลวติดตั้งบนเสาสูง(Column)

$$h = 300 \text{ m}$$

$$\rho = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$g = 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \gg 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$p_s = h\rho p g g$$

$$= 300 \text{ m} \cdot 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$= 3,000,000 \frac{\text{m} \cdot \text{kg} \cdot \text{g} \cdot \text{m}}{\text{m}^3 \cdot \text{s}^2}$$

$$= 3,000,000 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

$$p_s = 3,000,000 \text{ Pa (30 bar)}$$

ของเหลวที่ทำการกักเก็บไว้(Reservoir)

$$h = 15 \text{ m}$$

$$\rho = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$g = 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \gg 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$p_s = h\rho p g g$$

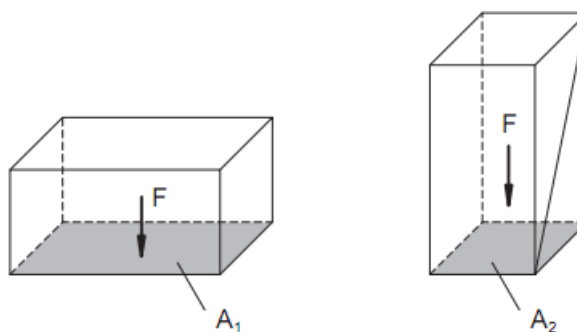
$$= 15 \text{ m} \cdot 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$= 150,000 \frac{\text{m} \cdot \text{kg} \cdot \text{g} \cdot \text{m}}{\text{m}^3 \cdot \text{s}^2}$$

$$= 150,000 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

$$p_s = 150,000 \text{ Pa (1.5 bar)}$$

ทุกๆวัตถุจะถูกกระทำให้เกิดความดัน p ที่ฐานของวัตถุ ค่าของความดันนี้ขึ้นอยู่กับแรง F ที่เกิดจากน้ำหนักของวัตถุและขนาดพื้นที่ A ที่แรงจากน้ำหนักกระทำ



ภาพที่ 2.6 พื้นที่รับแรงของวัตถุมวลเดียวกัน

จากภาพแสดงให้เห็นวัตถุ 2 ชิ้น ที่มีพื้นที่แตกต่างกัน (A_1 และ A_2) วัตถุทั้งสองมีมวลที่เท่ากัน และแรงเนื่องจากน้ำหนัก (F) กระทำที่พื้นของวัตถุเหมือนกัน อย่างไรก็ตามวัตถุทั้งสองจะมีความดันแตกต่างกันเนื่องจากมีขนาดพื้นที่ฐานของวัตถุแตกต่างกัน ถ้าวัตถุทั้งสองมีแรงกดเนื่องจากน้ำหนักเท่ากัน ความดันที่สูงกว่าจะเกิดขึ้นในกรณีที่มีขนาดพื้นที่ฐานเล็กกว่ากรณีที่มีฐานใหญ่ (“Pencil” or “Concentrated” effect)

ความดันนี้แสดงโดยสูตรต่อไปนี้

$$p = \frac{F}{A} \quad (2-2)$$

หน่วย :

$$1 \text{ Pa} = 1 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \quad 1 \text{ bar} = 100,000 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} = 10^5 \text{ Pa}$$

p = ความดัน [Pa] Pa = ปาสคาล(หน่วยอาจจะใช้เป็น bar)

F = แรง [N] N = นิวตัน [$1 \text{ N} = \frac{1 \text{ kg.m}}{\text{s}^2}$]

สามารถจัดการกับสูตรเพื่อใช้สำหรับการคำนวณหาแรง (F) และพื้นที่ (A) ได้

ตัวอย่าง: ระบุว่าสูบถูกบดด้วยความดัน 100 บาร์ (bar) กระทำต่อพื้นที่หน้าตัดของลูกสูบขนาดเท่ากับ 7.85 Cm^2 จงคำนวณหาแรงสูงสุดที่สามารถได้รับ

กำหนดให้ :

$$p = 100 \text{ bar} = 1000 \frac{\text{N}}{\text{Cm}^2}$$

$$A = 7.85 \text{ Cm}^2$$

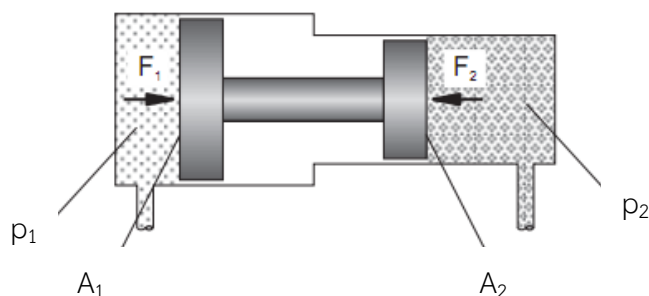
จากสูตร

$$F = p.A$$

$$F = 1000 \frac{\text{N}}{\text{Cm}^2} \cdot 7.85 \text{ Cm}^2$$

$$F = 7850 \text{ N}$$

การส่งถ่ายความดัน (Pressure transfer)



ภาพที่ 2.7 การส่งถ่ายความดัน (Pressure transfer)

ความดันทาง Hydrostatic p_1 ทำให้เกิดแรง F_1 กระทำบนพื้นที่ A_1 ซึ่งเป็นการส่งถ่ายความดันผ่านทางก้านสูบไปยังลูกสูบเล็ก ดังนั้น แรง F_1 จะกระทำบนพื้นที่ A_2 และทำให้เกิดความดันทาง Hydrostatic p_2 โดยเหตุที่พื้นที่ลูกสูบ A_2 เล็กกว่าพื้นที่ลูกสูบ A_1 ดังนั้น ความดัน p_2 จะมากกว่าความดัน p_1 จากกฎดังต่อไปนี้

$$p = \frac{F}{A}$$

จากกฎสามารที่จะกำหนดสมการสำหรับแรง F_1 และ F_2 ได้ดังนี้

$$F_1 = p_1 \cdot A_1 \quad \text{และ} \quad F_2 = p_2 \cdot A_2$$

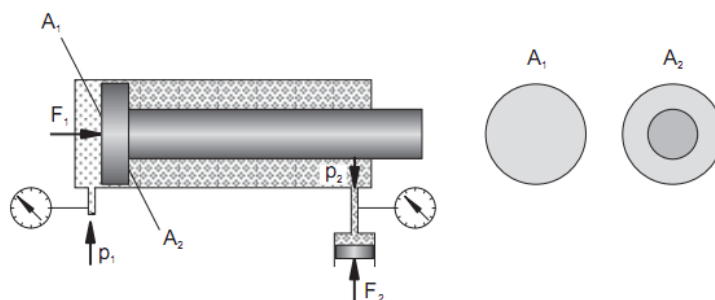
เนื่องจากแรงสองแรงเท่ากัน ($F_1 = F_2$) สามารถจะสมดุลสมการดังนี้

$$p_1 \cdot A_1 = p_2 \cdot A_2 \quad (2-3)$$

สำหรับการคำนวณหาค่า p_1 , A_1 และ A_2 สามารถหาได้จากสูตรนี้ ตัวอย่างเช่น การหา p_2 และ A_2 สามารถหาได้จากสมการต่อไปนี้:

$$p_2 = \frac{p_1 \cdot A_1}{A_2} \quad \text{และ} \quad A_2 = \frac{p_1 \cdot A_1}{p_2} \quad (2-4)$$

ในกรณีของกระบอกสูบทำงานสองทาง (Double – acting cylinder) เมื่อการไหลจากพื้นที่ก้านสูบถูกปิดกั้นทางไหล อาจจะทำให้เกิดความดันสูงมากเกินไป



ภาพที่ 2.8 การส่งถ่ายความดันโดยกระบอกสูบทำงานสองทาง
(Pressure transfer by double – acting cylinder)

ตัวอย่าง กำหนดให้ :

$$P_1 = 10 \times 10^5 \text{ Pa}$$

$$A_1 = 8 \text{ Cm}^2 = 0.0008 \text{ m}^2$$

$$A_2 = 4.2 \text{ Cm}^2 = 0.00042 \text{ m}^2$$

จากสูตร

$$\begin{aligned} P_2 &= \frac{P_1 A_1}{A_2} \\ &= \frac{10 \times 10^5 \text{ g} \cdot 0.0008}{0.00042} \frac{\text{Ngm}^2}{\text{m}^2 \text{ gm}^2} \\ &= 19 \times 10^5 \text{ Pa} \end{aligned}$$

2.1.3 ของไหลไฮดรอลิก (Hydraulic fluid)

โดยหลักการแล้วของเหลว (Liquid) ทุกชนิดสามารถใช้ส่งถ่ายพลังงานความดัน (Pressure energy) ได้ แต่อย่างไรก็ตามในการใช้งานจะต้องคำนึงถึงคุณลักษณะของของไหลด้วย เบอร์ (Number) ของของไหลที่เหมาะสมจำเป็นจะต้องมีการพิจารณา อย่างเช่นในของไหลไฮดรอลิก น้ำจะเป็นสาเหตุให้เกิดปัญหาการผุกร่อน, จุดเดือด (Boiling point), จุดเยือกแข็ง (Freezing point) และความหนืดต่ำ (Low viscosity)

ของไหลไฮดรอลิกที่มีพื้นฐานมาจากน้ำมันแร่ (Mineral oil) หรือเรียกว่า “น้ำมันไฮดรอลิก” (Hydraulic oil) มีคุณสมบัติตรงกับความต้องการใช้งานตามปกติมากที่สุด (เช่นสำหรับ เครื่องมือกล) ของไหลไฮดรอลิก ชนิดนี้มีการใช้งานอย่างกว้างขวางมาก

ของไหลไฮดรอลิกที่มีคุณสมบัติไวไฟต่ำ (Low inflammability) เป็นที่ต้องการสำหรับระบบไฮดรอลิกที่มีความเสี่ยงต่อการเกิดอัคคีภัยสูง

ในการประยุกต์ใช้งานเหล่านี้ อาจมีอันตรายจากของไหลไฮดรอลิกที่มีพื้นฐานมาจากน้ำมันแร่ (Mineral oil) จะทำให้เกิดอัคคีภัยเนื่องจากชิ้นส่วนโลหะที่มีความร้อนสูง ดังนั้นจะต้องทำการผสมน้ำมันกับน้ำหรือน้ำมันสังเคราะห์ ตามมาตรฐานของน้ำมัน

2.1.3.1 งานสำหรับของไหลไฮดรอลิก (Tasks for hydraulic fluids) ของไหลที่ใช้ในงานไฮดรอลิกจะต้องมีคุณสมบัติเหมาะต่อการใช้งานที่แตกต่างกันไปได้แก่

2.1.3.1.1 การส่งถ่ายความดัน (Pressure transfer)

2.1.3.1.2 การหล่อลื่นชิ้นส่วนเคลื่อนที่ของอุปกรณ์

2.1.3.1.3 การระบายความร้อน หลีกเลี่ยงการทำให้เกิดความร้อนเนื่องจากการเปลี่ยนรูปพลังงาน(การสูญเสียความดัน)

2.1.3.1.4 การป้องกันการแกว่งของสัญญาณ (Cushioning of oscillations) ที่มีสาเหตุจากความดันกระตุก (Pressure jerks)

2.1.3.1.5 ป้องกันการฟุ้งกระจาย

2.1.3.1.6 ส่งสัญญาณ (Signal transmission)

2.1.3.2 ชนิดของของไหลไฮดรอลิก (Type of hydraulic fluid) ของของไหลไฮดรอลิกสามารถแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ น้ำมันไฮดรอลิก (Hydraulic oils) และของของไหลไฮดรอลิกที่มีคุณสมบัติไวไฟต่ำ (Hydraulic fluid with low inflammability) ซึ่งมีหลากหลายชนิดตามความแตกต่างของคุณลักษณะ โดยลักษณะเหล่านี้พิจารณาตามคุณสมบัติพื้นฐานของของเหลวและปริมาณของสิ่งที่เพิ่มหรือผสมเข้าไป

2.1.3.2.1 น้ำมันไฮดรอลิก(Hydraulic oils) น้ำมันไฮดรอลิกตามมาตรฐาน DIN 51524 และ 51525 สามารถที่จะแบ่งตามคุณลักษณะและส่วนประกอบเป็น 3 อย่าง

2.1.3.2.1.1 น้ำมันไฮดรอลิก HL

2.1.3.2.1.2 น้ำมันไฮดรอลิก HLP

2.1.3.2.1.3 น้ำมันไฮดรอลิก HV

การเรียกชื่อน้ำมันเหล่านี้ อักษร H หมายถึง น้ำมันไฮดรอลิก และเพิ่มอักษรตามคุณสมบัติของของไหล (L, LP และ V) ส่วนรหัสตัวเลขเพิ่มเติมตามรหัสของความหนืดที่ได้นิยามไว้ในมาตรฐาน DIN 51517 (ระดับความหนืดของ ISO)

ตารางที่ 2.1 น้ำมันสำหรับระบบไฮดรอลิก

น้ำมันไฮดรอลิกสำหรับระบบไฮดรอลิก		
ชื่อ	ลักษณะพิเศษ	ของเขตการประยุกต์ใช้งาน
HL	เพิ่มการป้องกันการผุกร่อนและยืดอายุการใช้งาน	ระบบที่ต้องการทำงานที่อุณหภูมิสูงๆหรือการผุกร่อนเนื่องจากน้ำ
HLP	เพิ่มการป้องกันการสึกหรอ	เหมือนกับน้ำมัน HL, สำหรับใช้ในระบบที่เกิดความเปลี่ยนแปลงแรงเสียดทานสูง
HV	ปรับปรุงลักษณะความหนืดอุณหภูมิ	เหมือนกับน้ำมัน HLP, ใช้งานที่อุณหภูมิแวดล้อมต่ำและเปลี่ยนแปลงมาก

น้ำมันไฮดรอลิก HLP 68	
HLP 68	H : น้ำมันไฮดรอลิก L : เพิ่มการป้องกันการผุกร่อนและยืดอายุการใช้งาน P : เพิ่มเพื่อจะลด/เพิ่ม ความสามารถในการแบกภาระ 68 : รหัสความหนืดตามนิยามในมาตรฐาน DIN 51517

2.1.3.2.2 ของไหลไฮดรอลิกไวไฟต่ำ (Hydraulic fluid with low flammability)

ของไหลไฮดรอลิกไวไฟต่ำ สามารถแบ่งออกเป็นของไหลไฮดรอลิกสังเคราะห์ที่ผสมน้ำ (Hydrous) กับไม่ผสมน้ำ (Anhydrous) ซึ่งของไหลไฮดรอลิกสังเคราะห์ โดยคุณสมบัติทางเคมีเมื่อกลายเป็นไอจะไม่ลุกติดไฟได้ง่าย

ตารางที่ 2.2 แสดงลักษณะทั่วไปของของไหลไฮดรอลิกไวไฟต่ำ (HF liquids) ซึ่งมีการอธิบายไว้ในมาตรฐาน VDMA 24317 และ 24320

ของไหลไฮดรอลิกไวไฟต่ำ (Hydraulic fluid with low flammability)			
HFA	24320	น้ำผสมน้ำมัน	80 - 98
HFB	24317	น้ำมันผสมน้ำ	40
HFC	24317	สารละลายน้ำ เช่น Water - glycol	35 - 55
HFD	24317	ของเหลวไม่ผสมน้ำ เช่น Phosphate ether	0 - 0.1

2.1.4 อุปกรณ์ต่างๆของระบบไฮดรอลิก(Components of a hydraulic system)

2.1.4.1 ส่วนต้นกำลัง (Power supply section) ส่วนต้นกำลัง มีหน้าที่จัดเตรียมพลังงานเพื่อการใช้งานของระบบใช้งานไฮดรอลิก อุปกรณ์ที่สำคัญที่สุดในส่วนนี้คือ

2.1.4.1.1 ตัวขับ (Driver)

2.1.4.1.2 ปั๊ม (Pump)

2.1.4.1.3 วาล์วระบายความดัน (Pressure relief valve)

2.1.4.1.4 ตัวตัดต่อกำลัง (Coupling)

2.1.4.1.5 ถังพักน้ำมัน (Reservoir)

2.1.4.1.6 ตัวกรอง (Filter)

2.1.4.1.7 ตัวทำความเย็น (Cooler)

2.1.4.1.8 ตัวทำความร้อน (Heater)

นอกจากนี้ทุกๆระบบไฮดรอลิกจะติดตั้งอุปกรณ์บริการ, แสดงผล และอุปกรณ์เพื่อความปลอดภัยและเส้นทางการเชื่อมต่ออุปกรณ์ไฮดรอลิกต่างๆ



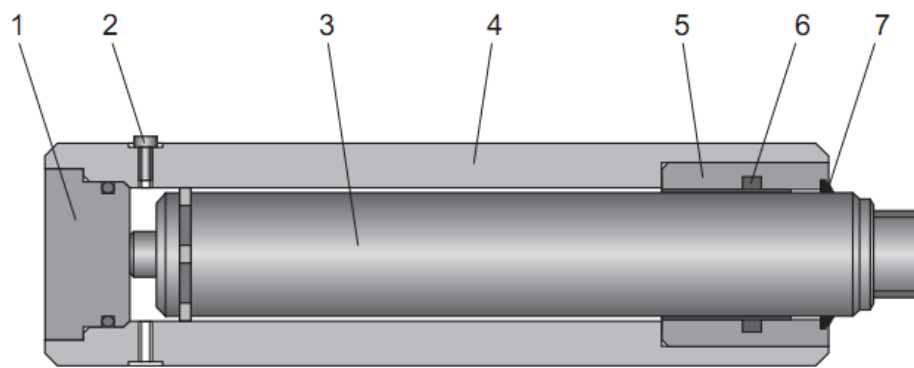
ภาพที่ 2.9 ชุดต้นกำลังไฮดรอลิก (Hydraulic power unit)

2.1.5 กระบอกสูบไฮดรอลิก (Hydraulic cylinder) กระบอกสูบไฮดรอลิกจะเปลี่ยนพลังงาน ไฮดรอลิกไปเป็นพลังงานกล มีการเคลื่อนที่เป็นเส้นตรง เหมือนกับมอเตอร์เชิงเส้น (Linear motor)

กระบอกสูบไฮดรอลิกโดยพื้นฐานจะมีอยู่ 2 ชนิด คือ:

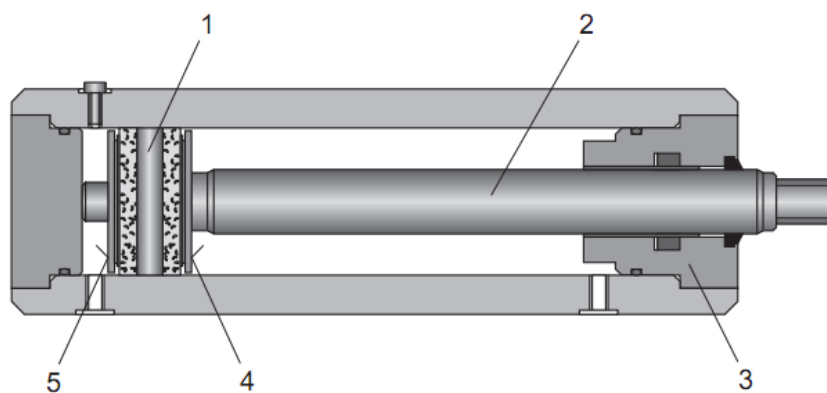
2.1.5.1 กระบอกสูบทำงานทางเดียว (Single acting cylinder)

2.1.5.2 กระบอกสูบทำงานสองทาง (Double acting cylinder)



- | | |
|-------------------|----------------------|
| 1 Mounting screw | 5 Piston rod bearing |
| 2 Vent screw | 6 Piston rod seal |
| 3 Piston rod | 7 Wiper |
| 4 Cylinder barrel | |

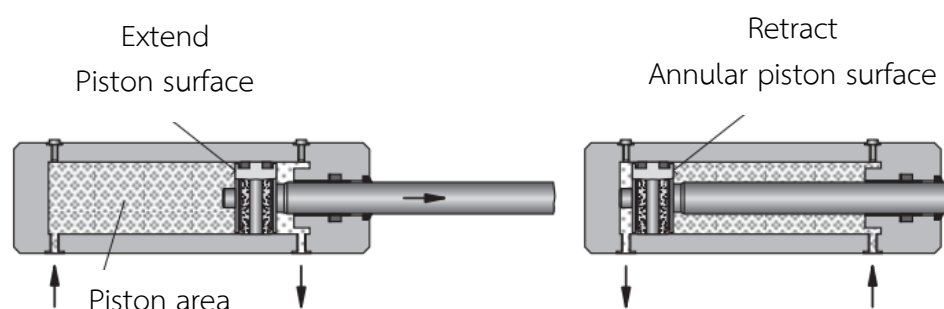
ภาพที่ 2.10 กระบอกสูบทำงานทางเดียว (Single acting cylinder)



- | |
|--------------------------|
| 1 Piston |
| 2 Piston rod |
| 3 Piston rod bearing |
| 4 Annular piston surface |
| 5 Piston surface |

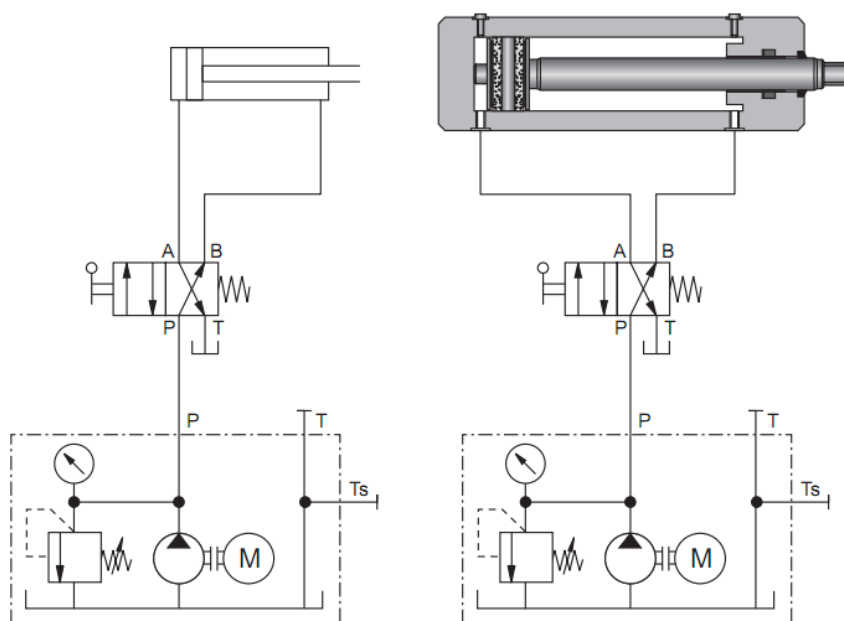
ภาพที่ 2.11 โครงสร้างกระบอกสูบทำงานสองทาง (Double acting cylinder)

กระบอกสูบทำงานสองทาง (Double acting cylinder) สามารถมีความดันไปกระทำบนพื้นที่ของลูกสูบได้ทั้งสองด้าน ดังนั้นจะทำให้เกิดการเคลื่อนที่ทำงานได้ทั้งสองทิศทาง กระบอกสูบชนิดนี้จะทำงานขึ้นอยู่กับหลักการดังนี้ น้ำมันไฮดรอลิกจะไหลไปยังพื้นที่ของลูกสูบทำให้เกิดความดันกระทำที่ลูกสูบ ความต้านทานภายในและภายนอกจะทำให้เกิดความดันสูงขึ้น ซึ่งจะเป็นไปตามสูตร $F = p \cdot A$ แรง (F) จะมีผลจากความดัน (p) และพื้นที่ผิวลูกสูบ (A) เมื่อสามารถเอาชนะความต้านทานได้จะทำให้ก้านสูบเลื่อนออก พลังงานไฮดรอลิกจะเปลี่ยนเป็นพลังงานกล ซึ่งจะทำให้ใช้ประโยชน์จากอุปกรณ์ทำงานได้



ภาพที่ 2.12 กระบอกสูบทำงานสองทาง (Double acting cylinder)

ในภาพจะแสดงให้เห็นเมื่อก้านสูบเคลื่อนที่ออก น้ำมันจะไหลเข้าไปดันทางด้านพื้นที่ลูกสูบ (Piston area) ขณะที่น้ำมันทางด้านก้านสูบจะถูกดันออกผ่านท่อไปยังถังพักน้ำมัน การเคลื่อนที่ที่กลับ น้ำมันไฮดรอลิกจะไหลเข้าไปยังพื้นที่ด้านก้านสูบ (Annular area) และน้ำมันจากพื้นที่ลูกสูบจะถูกลูกสูบดันไหลออก



ภาพที่ 2.13 การต่อใช้งานกระบอกสูบทำงานสองทาง

กระบอกสูบทำงานสองทางชนิดก้านสูบเดี่ยว จะเกิดความแตกต่างของแรง ($F = p g A$) และความเร็วในการเคลื่อนที่เข้าและออก ที่อัตราไหลเท่ากันเนื่องจากพื้นที่แตกต่างกัน (พื้นที่ลูกสูบและพื้นที่วงแหวน)

ความเร็วเคลื่อนที่กลับจะสูงกว่าถึงแม้อัตราไหลจะเท่ากันเนื่องจากพื้นที่เล็กกว่าด้านที่ทำให้เคลื่อนที่ออก สามารถพิสูจน์ได้จากสมการต่อไปนี้

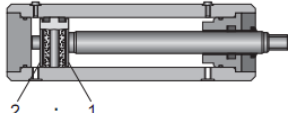
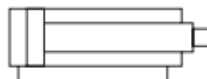
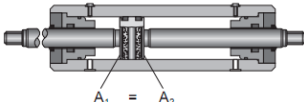
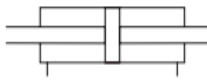
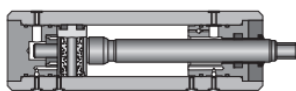
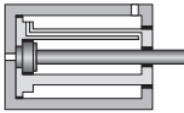
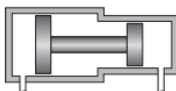
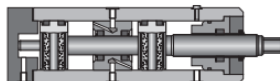
$$V = \frac{Q}{A} \quad (2-5)$$

V หมายถึง ความเร็วการไหล [m^3/s]

Q หมายถึง อัตราการไหล [m^3/s]

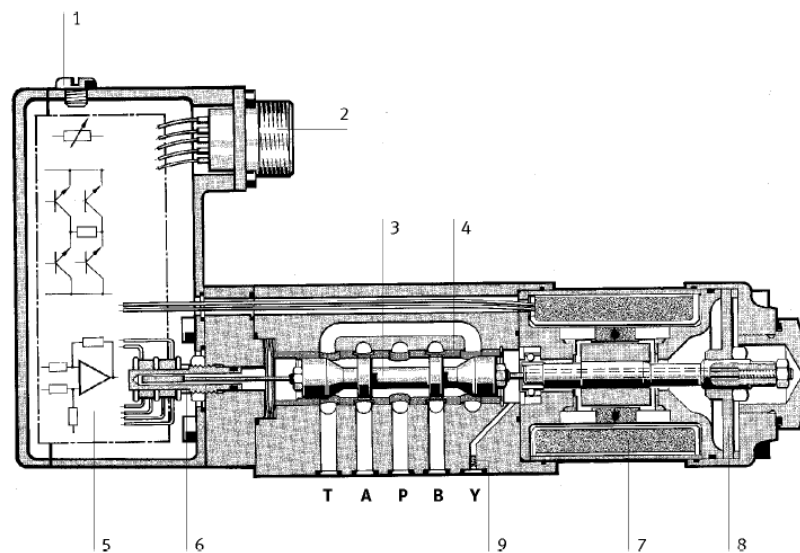
A หมายถึง พื้นที่หน้าตัด [m^2]

ตารางที่ 2.3 ชนิดของกระบอกสูบทำงานสองทาง (Cylinder types)

Differential cylinder	สัดส่วนพื้นที่ 2:1 (พื้นที่ลูกสูบ : พื้นที่วงแหวน) ลูกสูบเลื่อนกลับเร็วเป็นสองเท่าของเลื่อนออก		
Synchronous cylinder	พื้นที่ลูกสูบทั้งสองด้านเท่ากัน เลื่อนออกและเลื่อนเข้า ความเร็วเท่ากัน		
Cylinder with end-position cushioning	สำหรับความเร็วปานกลาง ในกรณีมีมวลขนาดใหญ่และป้องกันการกระแทกที่รุนแรง		
Telescopic cylinder	ช่วงชักยาวขึ้น		
Pressure intensifier	เพิ่มความดันสูงขึ้น		
Tandem cylinder	เมื่อต้องการแรงมากและเส้นผ่านศูนย์กลางกระบอกสูบขนาดเล็ก		

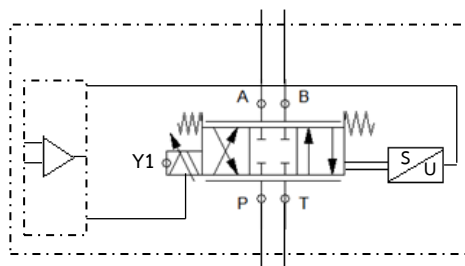
2.1.6 4/3-way Regulating Valve

2.1.6.1 โครงสร้างของ 4/3-way Regulating Valve

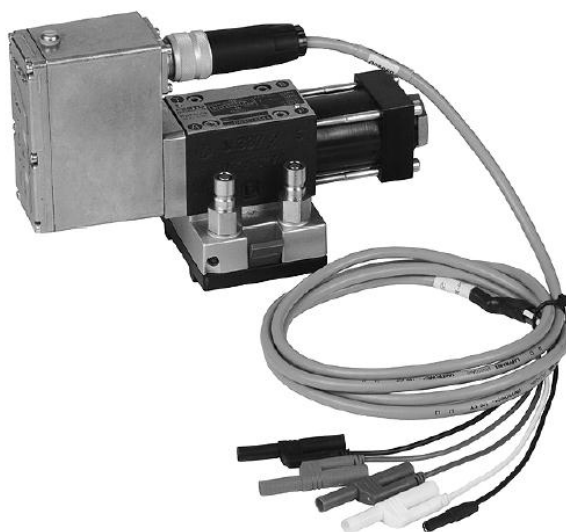


1. Plug screw for zero setting
2. Extension plug
3. Control sleeve
4. Control socket
5. Integrated electronics
6. Position encoder
7. Linear motor
8. Reset spring

ภาพที่ 2.14 โครงสร้างของ 4/3-way Regulating Valve



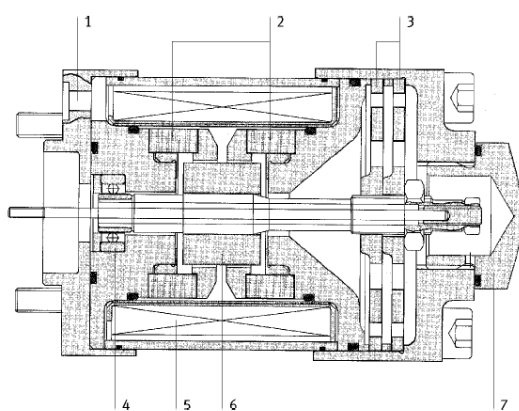
ภาพที่ 2.15 สัญลักษณ์ของ 4/3-way Regulating Valve



ภาพที่ 2.16 4/3-way Regulating Valve

2.1.6.2 หลักการทำงานของ 4/3-way Regulating Valve การควบคุมสัญญาณไฟฟ้า จะส่งไปยังตัวควบคุมตำแหน่ง(Integrated) มอเตอร์เชิงเส้น(Linear motor) จะถูกควบคุมผ่านสัญญาณ PWM จากวงจรไดรฟ์ (Drive electronics) ในส่วนของมอเตอร์เชิงเส้นนั้นจะมีแกนเหล็กยึดติดกับลูกสูบ(Piston) ทำให้เลื่อนเมื่อตัวมอเตอร์ทำงาน สัญญาณที่ได้นั้นจะถูกส่งกลับไปยังตัวควบคุมและเปรียบเทียบกับค่าจุดที่ตั้งไว้(Set point) มอเตอร์เชิงเส้นก็จะทำงานจนกว่าตัวควบคุมจะเท่ากับจุดที่ตั้งไว้การควบคุมตำแหน่งของลูกสูบจะเป็นสัดส่วนกับสัญญาณไฟฟ้า อัตราการไหลไม่เพียงขึ้นอยู่กับสัญญาณไฟฟ้า แต่ขึ้นอยู่กับ การควบคุมของบุคคล หรือความดันตก (Pressure Drop) จากสายเคเบิล(Cable)

2.1.6.3 โครงสร้างของมอเตอร์เชิงเส้น (Linear motor)



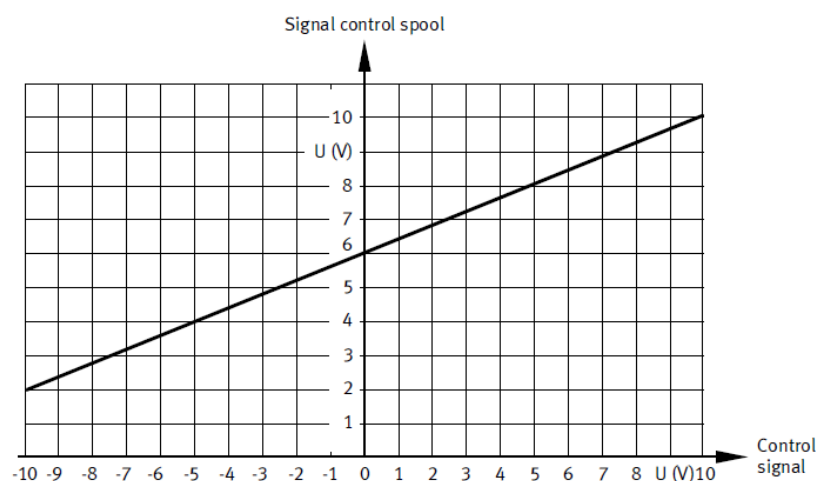
1. Cable through hole
2. Permanent magnets
3. Reset spring
4. Bearing
5. Coil
6. Armature
7. Plug Screw

ภาพที่ 2.17 โครงสร้างมอเตอร์เชิงเส้น(Linear motor)

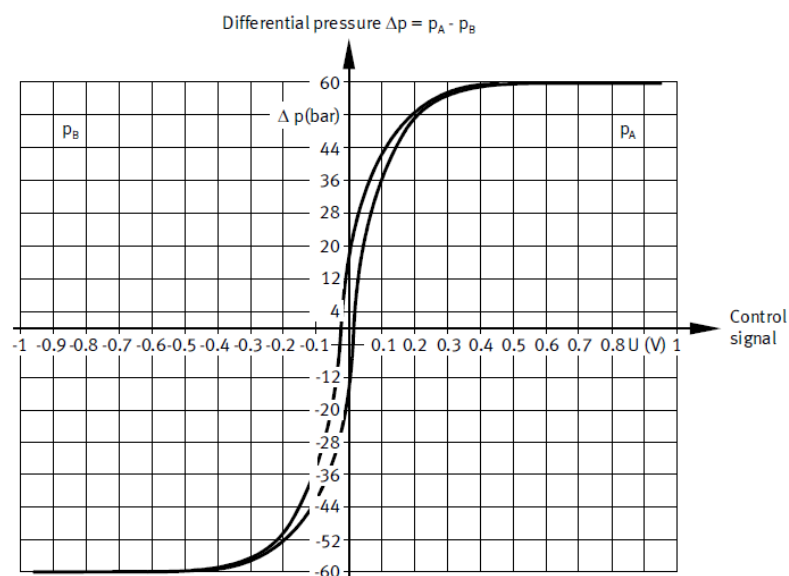
2.1.6.4 หลักการทำงานของมอเตอร์เชิงเส้น (Linear motor) มอเตอร์เชิงเส้นมีลักษณะการทำงานที่ต่างจากมอเตอร์ทั่วไป โดยโครงสร้างจะไม่ใช่เป็นทรงกระบอกหรือวงกลม แต่จะเป็นแนวยาว การทำงานจะเลื่อนได้สองทิศทาง มีความแม่นยำและแรงเคลื่อนสูง การควบคุมนั้นจะรับสัญญาณจากวงจรไดรฟ์(Drive electronics) ตัวมอเตอร์จะมีแกนที่ติดกับลิ้นวาล์ว(Spool) เมื่อมีค่าความเหนี่ยวนำ จะทำให้แกนเลื่อนออกจนชนะแรงสปริงคืนที่(Reset spring) ส่งผลให้ลิ้นวาล์ว(Spool) เปิดออกนอก ทำให้น้ำมันไหลผ่านวาล์วไปได้จากนั้นหากค่าความเหนี่ยวนำลดลง แรงสปริงก็จะดึงแกนกลับ แปรผันตามสัดส่วนของค่าความเหนี่ยวนำที่สนามแม่เหล็กดันแกนออกไป จนค่าสัญญาณเป็นศูนย์ตัวมอเตอร์ก็จะหยุดทำงาน ลิ้นวาล์วก็จะปิดรูน้ำมันพอดี ฟังก์ชันที่สอดคล้องกับการควบคุม

$$q = q_N \sqrt{\frac{\Delta q}{\Delta q_N}} \quad (2-6)$$

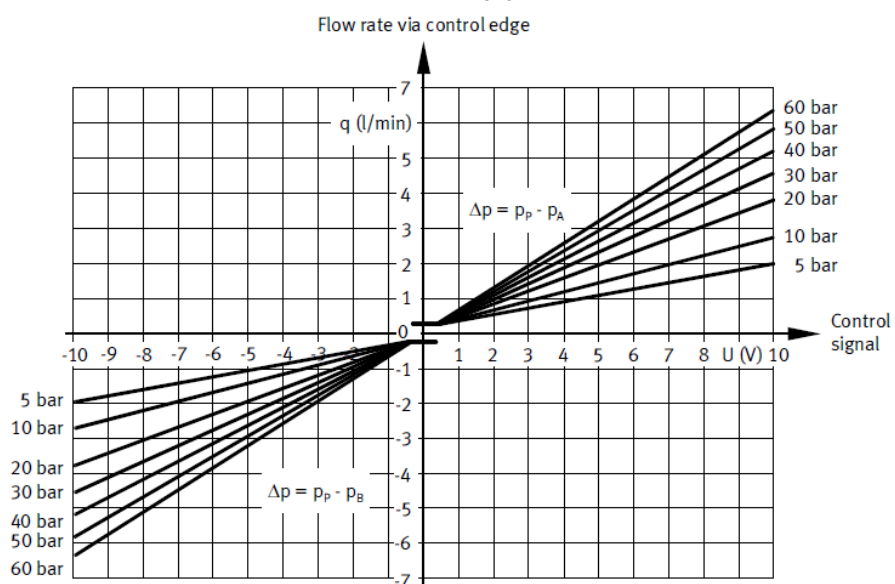
- q หมายถึง อัตราการไหลของปริมาตรที่เป็นจริงต่อการควบคุมที่ของที่ Δq
 q_N หมายถึง อัตราการไหลของปริมาตรที่เป็นจริงต่อการควบคุมที่ของที่ Δq_N
 Δq หมายถึง ความดันลดที่เกิดขึ้นจริงต่อขอบการควบคุม
 Δq_N หมายถึง ความดันลดต่อการควบคุมที่กำหนดขอบ



ภาพที่ 2.18 ควบคุมลูกสูบ/สัญญาณลักษณะเฉพาะ



ภาพที่ 2.19 ความดัน/ สัญญาณลักษณะเฉพาะ



ภาพที่ 2.20 กราฟแสดงอัตราไหล/สัญญาณลักษณะเฉพาะ

ตารางที่ 2.4 ระบุการใช้งานของ 4/3 way Regulating Valve

No.Plug	Designation		Color Plug
1	Supply +	24V	Red
2	Supply -	0V	Blue
3	Set point Valve +	0 - ± 10V	Black
4	Set point Valve -	0 - ± 10V	White
5	Signal of control piston	4 - 24mA	(Coupling)

2.2 อุปกรณ์ป้อนกลับ(Feedback Device)

2.2.1 เซนเซอร์วัดตำแหน่ง(Linear potentiometer Sensor) มีช่วงชัก(Stroke rang) ที่ 200 mm โดยมีกล่องไฟเลี้ยง 24 V เป็นไฟเลี้ยงในตัวเซนเซอร์ สามารถวัดตำแหน่งออกมาเป็นไฟ 0-10 V โดยที่สามารถเอาสัญญาณไฟ 0-10 V มาใช้ได้ที่กล่องไฟเลี้ยง กล่องไฟเลี้ยงสามารถให้ไฟเลี้ยงแก่เซนเซอร์ในเวลาเดียวถึง 4 ตัว หลักการทำงานของเซนเซอร์วัดตำแหน่ง คล้ายกับตัวต้านทานแบบปรับค่าได้(Variable Resistor) โดยที่ขณะช่วงชักเปลี่ยนไปค่าความต้านทานก็จะเปลี่ยนไปและจะทำให้แรงดันไฟฟ้า(Voltage) เปลี่ยนไปด้วยเช่นกัน

วิธีหาค่า V_{out}

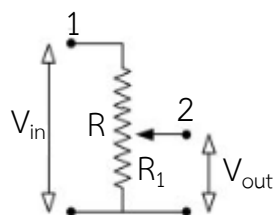
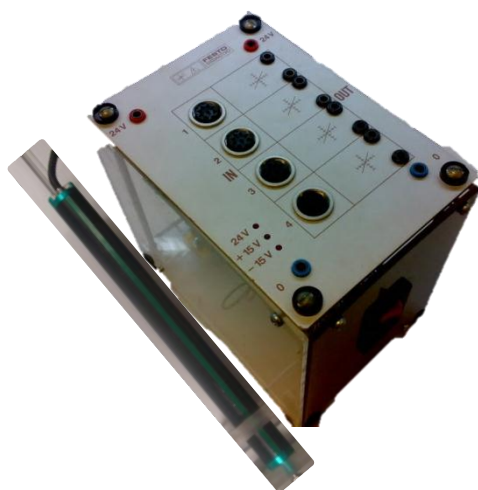
$$V_{out} = \frac{R_1}{R} \cdot V_{in} \quad (2-7)$$

V_{out} หมายถึง แรงดันที่ออกจากวงจร [V]

V_{in} หมายถึง แรงดันที่จ่ายเข้าวงจร [V]

R_1 หมายถึง ความต้านทานที่เปลี่ยนไป [Ω]

R หมายถึง ความต้านทานรวมในวงจร [Ω]

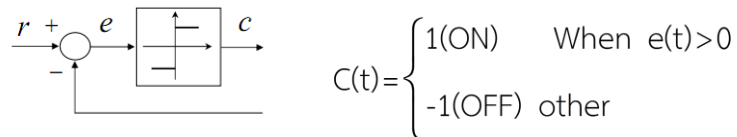


ภาพที่ 2.21 เซนเซอร์วัดตำแหน่ง(Linear potentiometer Sensor)

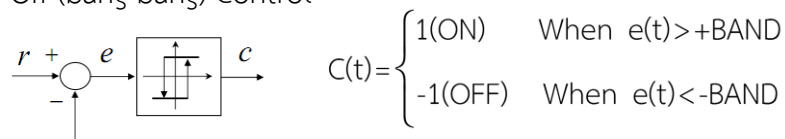
2.3 ทฤษฎีการควบคุมด้วย(PID Controller)

2.3.1 ชนิดของตัวควบคุมที่พบบ่อยในงานอุตสาหกรรม

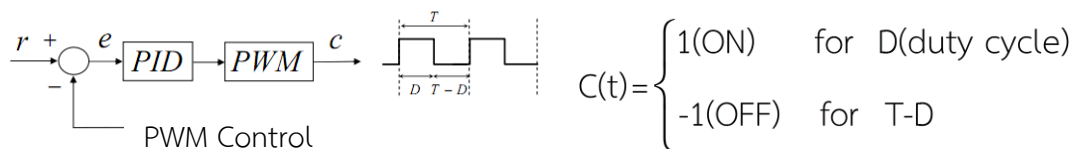
2.3.1.1 Discrete-Output Controller



On-Off (bang-bang) Control



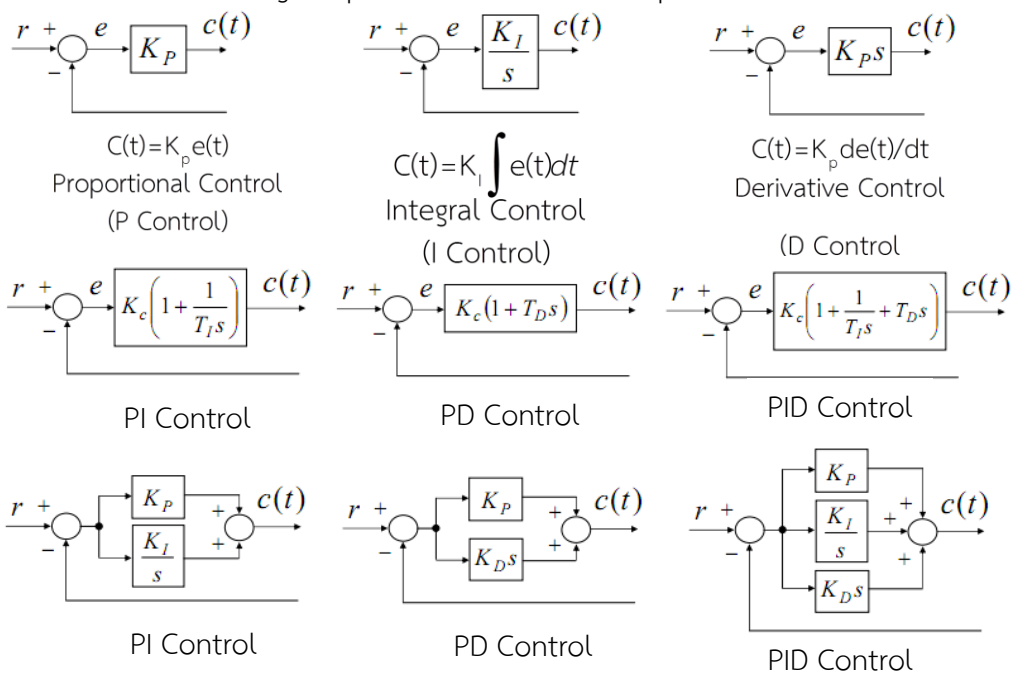
Hysteresis Control



PWM Control

ภาพที่ 2.22 ตัวควบคุมแบบ Discrete- Output Controller

2.3.1.2 Analog-Output Controller (PID Group)



ภาพที่ 2.23 ตัวควบคุมแบบ Analog-Output Controller (PID Group)

2.3.2 คุณสมบัติที่ดีของระบบควบคุม

2.3.2.1 คุณสมบัติในสภาวะคงตัว (Steady state)

2.3.2.2 มีเสถียรภาพ (Stability - stable)

2.3.2.3 คุณสมบัติในสภาวะชั่วครู่ (Transient)

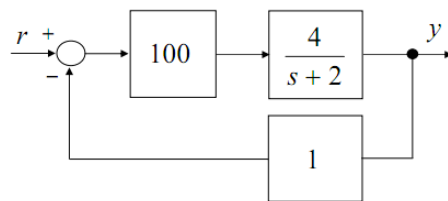
2.3.2.4 มีค่าความผิดพลาดในสภาวะคงตัวต่ำหรือไม่มีเลย (Steady state error-zero)

2.3.2.5 มีความเร็วในการตอบสนอง (rise time - short, settling time - short)

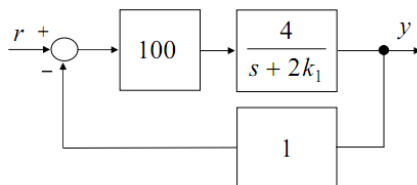
2.3.2.6 มีผลตอบสนองที่เหมาะสม (maximum overshoot – 10-50%, Under damp natural frequency

2.3.2.7 high, damping ratio - 0.4-0.7) ระบบจะต้องมีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงของพารามิเตอร์ต่างๆ (System sensitivity) น้อยที่สุด

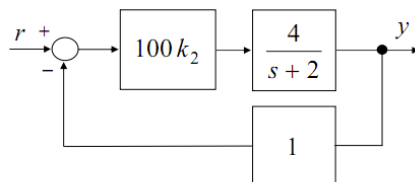
2.3.3 System Sensitivity



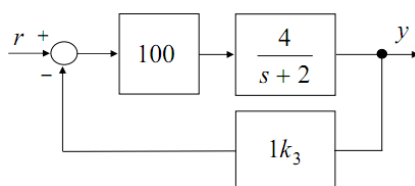
$$T[s] = \frac{400/(s+2)}{1+400/(s+2)} = \frac{400}{s+402}$$



$$T[s] = \frac{400/(s+2k_1)}{1+400/(s+2k_1)} = \frac{400}{s+(400+2k_1)}$$

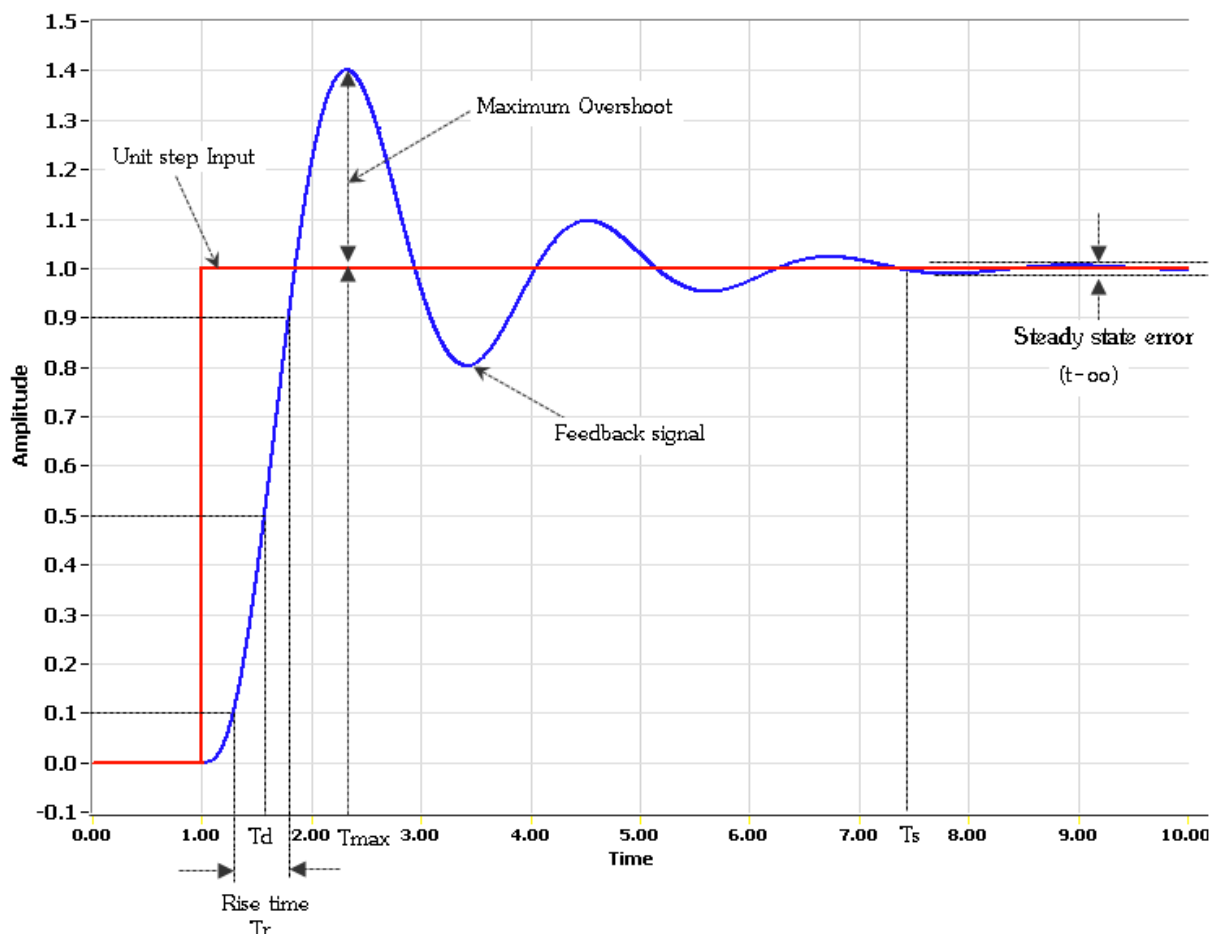


$$T[s] = \frac{400k_2/(s+2)}{1+400k_2/(s+2)} = \frac{400k_2}{s+(400k_2+2)}$$



$$T[s] = \frac{400/(s+2)}{1+400k_3/(s+2)} = \frac{400}{s+(400k_3+2)}$$

2.3.4 ผลการตอบสนองของระบบพลศาสตร์โดยทั่วไปเมื่อได้รับอินพุตเป็นฟังก์ชันขั้นก็จะมี การตอบสนองเป็นดังภาพที่ 2.24



ภาพที่ 2.24 พารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ใช้กำหนดคุณสมบัติเฉพาะของการตอบสนองของระบบ

พารามิเตอร์ต่าง ๆ สามารถอธิบายความหมายได้ดังนี้

2.3.4.1 Maximum Overshoot (M_p) คือ เป็นค่า error ที่มากที่สุดระหว่างอินพุตและเอาต์พุต คำนี้นี้จะใช้ในการประมาณความเสถียรของระบบ ค่า overshoot จะวัดเป็นสัดส่วนเทียบกับค่าสุดท้ายหรือค่าอินพุตอ้างอิงดังนี้ $\text{Percent overshoot} = \frac{\text{Maximum overshoot}}{\text{Final desired value}} \times 100$

2.3.4.2 Rise time (T_r) คือช่วงเวลาขึ้น ช่วงเวลาที่ผลตอบสนองเมื่อสัญญาณเอาต์พุตเพิ่มจาก 10% จนถึง 90 % หรือจาก 5% ถึง 95% หรือจาก 0% ถึง 100% ดังนั้นการกำหนดช่วงเวลาขึ้น จำเป็นต้องบอกด้วยว่าวัดโดยใช้ช่วงเวลาไหน

2.3.4.3 Time delay (T_d) คือ เป็นช่วงเวลาที่ใช้ในการตอบสนองของระบบตั้งแต่เริ่มต้นจนกระทั่งเอาต์พุตมีค่าเป็น 50 % ของค่าอินพุตอ้างอิง

2.3.4.4 Settling Time (T_s) คือ เวลาที่ผลการตอบสนองลดลงจนเริ่มเข้าไปอยู่ในช่วงที่กำหนด ซึ่งจะวัดเทียบกับค่าสุดท้ายของผลการตอบสนองในสถานะอยู่ตัวสุดท้าย (Final Steady State)

2.3.4.5 Steady – state error คือ ค่าความแตกต่างระหว่างอินพุตกับเอาต์พุตในการเข้าสู่ค่าที่ตั้งไว้ค่าที่นิยมกำหนดสำหรับช่วงนี้มักจะบอกเป็นเปอร์เซ็นต์ เช่น 1%, 2% หรือ 5%

2.3.5 PID Controller

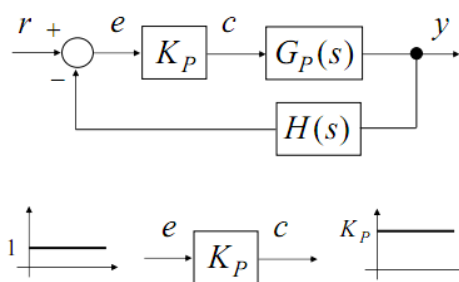
$$u = K_p e(t) + K_i \int e(t) dt + K_d \frac{de(t)}{dt} \quad (2-8)$$

K_p ทำหน้าที่ ควบคุมค่าความผิดพลาด ณ เวลาปัจจุบัน

K_i ทำหน้าที่ ควบคุมการสะสมของค่าความผิดพลาด

K_d ทำหน้าที่ ควบคุมอัตราการเปลี่ยนแปลงของค่าความผิดพลาด

2.3.5.1 Proportional Mode of Control (P-Control)



ภาพที่ 2.25 บล็อกไดอะแกรมระบบควบคุมแบบสัดส่วน

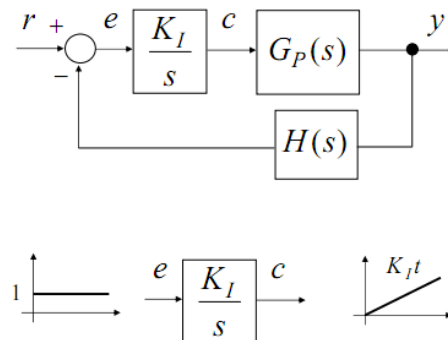
ข้อดีของตัวควบคุมแบบสัดส่วน

ลดผลตอบสนองส่วนที่เป็นค่าชั่วคราวทำให้มีผลตอบสนองที่ไวขึ้น

ข้อด้อยของตัวควบคุมแบบสัดส่วน

ถ้าใช้งานเดียวจะไม่สามารถขจัด Steady-state error ได้ซึ่งสามารถลดผลกระทบได้ด้วยการเพิ่มค่า Gain ให้ มีค่าสูงๆแต่การเพิ่มค่า Gain ให้มีค่าสูงอาจจะทำให้เกิด overshoot ที่สูงขึ้นและการเพิ่มค่า Gain ให้มีค่าสูง อาจจะทำได้ไม่ในทางปฏิบัติ

2.3.5.2 Integral Mode of Control (I-Control)



ภาพที่ 2.26 บล็อกไดอะแกรมระบบควบคุมแบบปริพันธ์

ข้อดีของตัวควบคุมแบบปริพันธ์

ขจัด steady-state error ได้

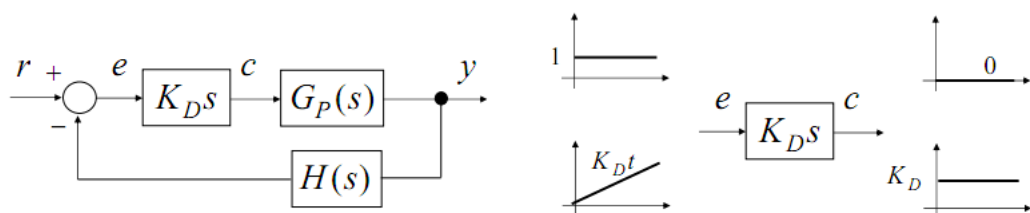
สามารถใช้งานเดี่ยวๆได้ แต่ต้องใช้ค่า เกน ที่เหมาะสม ไม่เช่นนั้นจะเกิดการแกว่งตัว

ข้อด้อยของตัวควบคุมแบบปริพันธ์

ไม่สามารถขจัด overshoot ได้

การใช้ค่า เกน ที่ไม่เหมาะสม อาจทำให้ผลตอบสนองเกิดการแกว่งตัวได้

2.3.5.3 Derivative Mode of Control (D-Control)



ภาพที่ 2.27 บล็อกไดอะแกรมระบบควบคุมแบบอนุพันธ์

ข้อดีของตัวควบคุมแบบอนุพันธ์

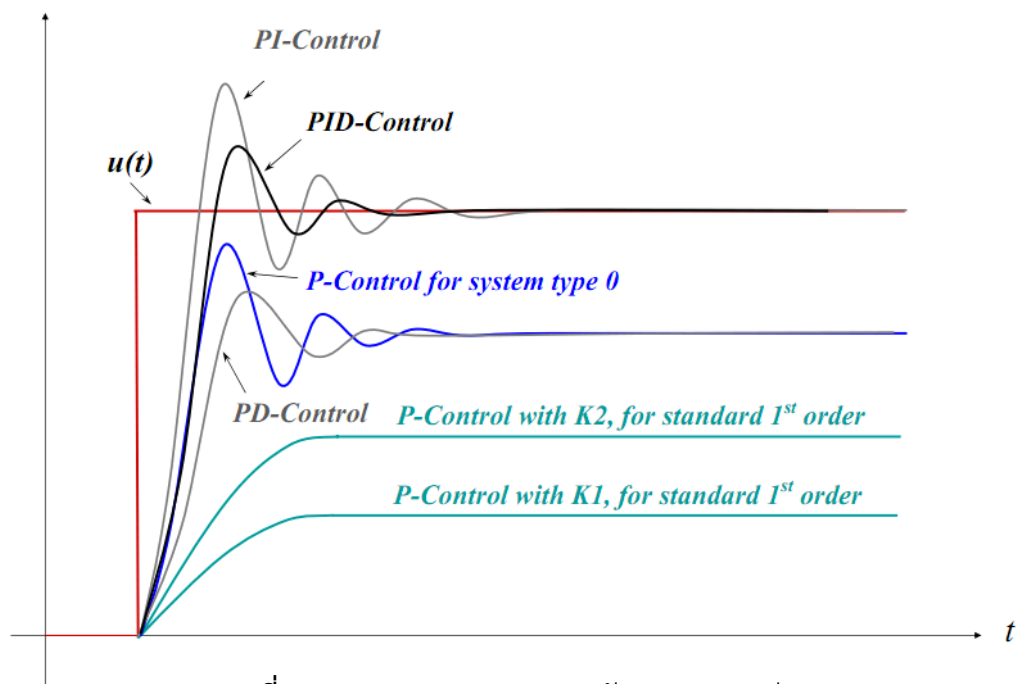
ลดผลตอบสนองที่เป็น ค่าพุ่งเกิน

ข้อด้อยของตัวควบคุมแบบอนุพันธ์

ไม่สามารถใช้งานเดี่ยวๆได้ ต้องใช้งานร่วมกับตัวควบคุมแบบสัดส่วน

ไม่สามารถขจัด Steady-state error ได้

เปรียบเทียบผลตอบสนองของตัวควบคุมแบบต่างๆ

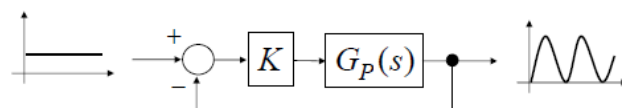


ภาพที่ 2.28 ผลการตอบสนองของตัวควบคุมแบบต่างๆ

2.3.6 การออกแบบระบบควบคุมแบบพีไอดี

วิธีการที่ใช้ในการออกแบบตัวควบคุมแบบพีไอดีที่เป็นที่นิยมมีอยู่ 2 วิธีการคือ

2.3.6.1 วิธีการของซีเกลอร์-นิโคลส์ (Ziegler-Nichols Compensation)



ภาพที่ 2.29 บล็อกไดอะแกรม ระบบควบคุมแบบ Close-loop P Control

วิธีนี้ใช้สำหรับ Plant ที่เมื่อต่อวงจรควบคุมแบบ Close-loop P Control แล้วมีค่า K ค่าใดค่าหนึ่งที่ทำให้มีผลตอบสนองเป็นแบบ Under damped ต่ออินพุตแบบขั้นบันได.

ผลกระทบของค่าเกนในตัวควบคุมแบบ พีไอดี ต่อพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ใช้กำหนดคุณสมบัติเฉพาะของการตอบสนองของระบบ

ตารางที่ 2.5 ผลกระทบของค่าเกนในตัวควบคุมแบบพีไอดีต่อการตอบสนองของระบบเมื่อเพิ่มค่าเกน

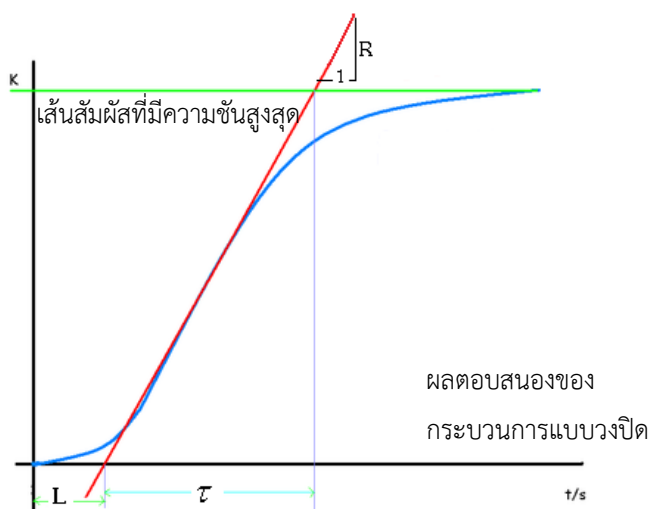
Gain	Rise time (Tr)	Maximum overshoot	Settling Time (Ts)	Steady state error
K_p	ลดลง	เพิ่มขึ้น	เปลี่ยนแปลงน้อยมาก	ลดลง
K_i	ลดลง	เพิ่มขึ้น	เพิ่มขึ้น	ลดลงจนหมดไป
K_d	เปลี่ยนแปลงน้อยมาก	ลดลง	ลดลง	เปลี่ยนแปลงน้อยมาก

2.3.7 การปรับค่าเกนตัวควบคุมแบบ พีไอดี

2.3.7.1 วิธีการของซีเกลอร์-นิโคลส์ (Ziegler-Nichols) วิธีการของซีเกลอร์-นิโคลส์ที่ใช้ในการปรับค่าเกนตัวควบคุมนี้สามารถทำให้การตอบสนองของระบบเมื่อมีอินพุตเป็นฟังก์ชันขั้นหนึ่งหน่วย มีลักษณะการแกว่งแบบลดลงด้วยอัตราหนึ่งในสี่ ซึ่งหมายความว่าค่าพ่วงเกินที่สองจะน้อยกว่า 25% ของค่าค่าพ่วงเกินตัวแรก การปรับค่าเกนของตัวควบคุมด้วยวิธีการของ ซีเกลอร์-นิโคลส์มีด้วยกันสองวิธีคือ วิธีการปฏิกริยาของกระบวนการ (Process Reaction Method) และ วิธีการวัฏจักรท้ายสุด (Ultimate Cycle Method) วิธีการปฏิกริยาของกระบวนการ (Process Reaction Method) พิจารณาการตอบสนองของระบบเมื่อสัญญาณอินพุต(Input Signal) คือฟังก์ชันจะพบว่าเมื่ออ่านและบันทึกค่าการตอบสนองลงในกระดาษ การตอบสนองจะมีลักษณะคล้าย S ซึ่งเรียกว่าเส้นโค้งของกระบวนการ สมการการตอบสนองความถี่จะได้ดังนี้

$$\frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{K e^{-t_{d,s}}}{\tau s + 1} \quad (2-9)$$

ซึ่งคือระบบอันดับหนึ่งรวมกับเวลาล่าช้าในการถ่ายโอน (Transportation lag, t_d)



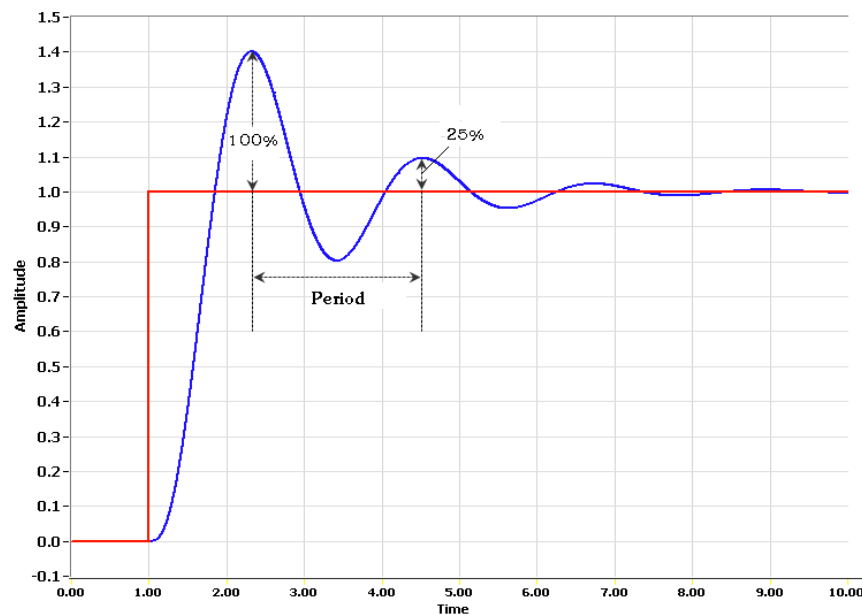
ภาพที่ 2.30 เส้นโค้งปฏิกริยาของกระบวนการ

จากเส้นโค้งปฏิกิริยาของกระบวนการนี้สามารถคำนวณค่าพารามิเตอร์ของระบบควบคุมที่จะนำมาใช้การปรับค่าอัตราขยายของระบบควบคุม P,PI และPID คำนวณหรือวัดได้จากเส้นโค้งปฏิกิริยาของกระบวนการได้ค่า R และ L จากนั้นคำนวณหาค่า P,PI และPID วิธีนี้ใช้ได้เฉพาะกับระบบที่เป็นระบบอันดับหนึ่ง(First Order System) เท่านั้นจากตารางที่ 2.6 ดังนี้

ตารางที่ 2.6 ค่าเกณฑ์ควบคุมโดยใช้วิธีการปฏิกิริยาของกระบวนการ(Process reaction method)

ชนิดตัวควบคุม	K_p	$\frac{1}{Tr}$	Td
P	$\frac{P}{RL}$	-	-
PI	$\frac{0.9P}{RL}$	$\frac{1}{3.33L}$	-
PID	$\frac{1.2P}{RL}$	$\frac{1}{2L}$	0.5L

2.3.7.1.1 วิธีการวัฏจักรท้ายสุด (Ultimate Cycle Method) วิธีการนี้อาศัยหลักการให้อัตราส่วนลดลงมีค่าประมาณ 25% หรือเรียกว่าลดลงด้วยอัตราหนึ่งในสี่ (Quarter - decay) ดังภาพซึ่งอัตราส่วนการหน่วง ξ ที่สอดคล้องกับค่าลดลงนี้คือ $\xi=0.21$ ค่า ξ นี้เป็นค่าที่เลือกโดยคำนึงถึงผลของความเร็วในการตอบสนองและเสถียรภาพของระบบด้วยหลักการออกแบบวิธีนี้คือจะใช้ระบบควบคุมแบบป้อนกลับแบบสัดส่วน(Proportional Control) เท่านั้นคือค่อยๆเพิ่มอัตราขยาย K_p ให้มีค่ามากขึ้นเรื่อยๆจนกระทั่งระบบเริ่มมีการแกว่ง (Oscillate) หรือเริ่มเข้าใกล้จุดที่ระบบเริ่มไม่มีเสถียรภาพหรือเริ่มไม่มีความสมดุล(Unstable)ให้บันทึกค่าอัตราขยาย K_p ตรงนั้นไว้และสมมติให้มีค่าเท่ากับ K_u ให้ขณะเดียวกันก็ให้ทำการวัดค่าคาบของการแกว่ง (Period of Oscillation) และสมมติให้มีค่าเท่ากับ P_u (Ultimate Period) โดยพยายามวัดเมื่อค่าแอมพลิจูด (Amplitude) ของการแกว่งมีค่าไม่มากนักจากค่า K_u และ P_u นี้สามารถนำมาคำนวณปรับหาค่าอัตราขยายที่เหมาะสมสำหรับตัวควบคุมแบบ P,PI และ PID โดยใช้ตารางที่2.6 นี้คำนวณหาอัตราของตัวควบคุม (วิบูลย์,2538:138-186)



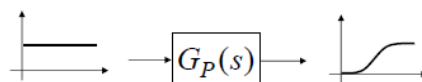
ภาพที่ 2.31 การลดลงด้วยอัตราหนึ่งโนล

ตารางที่ 2.7 เกณฑ์ของซีเกลอร์ – นิโคลส์ (The Ziegler – Nichols Rules)

รูปแบบการควบคุม	วิธีการวิจัยการท้ายสุด
P - Control	$K_p = 0.5 K_{pu}$
PI - Control	$K_p = 0.45 K_{pu}$
	$T_I = 0.83 P_u$
PID - Control	$K_p = 0.6 K_{pu}$
	$T_I = 0.5 P_u$
	$T_D = 0.125 P_u$

สมการฟังก์ชันถ่ายโอนของตัวควบคุมคือ $G(s) = K_p \left\{ 1 + \frac{1}{T_I s} + T_D s \right\} = K_p + \frac{K_I}{s} + K_D s$

2.3.7.2 วิธีการของเซน-ฮรอน-เรสวิกหรือซีเอสอาร์ (Chien-Hrones-Reswick or CHR)



ภาพที่ 2.32 บล็อกไดอะแกรมระบบควบคุมแบบ Open-loop Control

วิธีนี้ใช้สำหรับ Plant ที่เมื่อต้องวงจรควบคุมแบบ Open-loop Control แล้วมีผลตอบสนองต่ออินพุตขั้นบันไดเป็นแบบ Over damped เท่านั้น

2.3.7.2.1 ขั้นตอนในการออกแบบดังนี้

2.3.7.2.1.1 นำฟังก์ชันถ่ายโอนของระบบมาทดสอบแบบ

open-loop control

2.3.7.2.1.2 ป้อน unit-step input แล้วบันทึกผลตอบสนอง

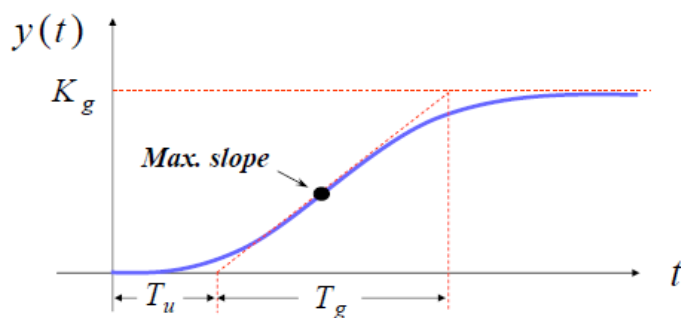
ของเอาต์พุต

2.3.7.2.1.3 บันทึกที่ระดับสัญญาณอินพุต K_g บันทึกคาบเวลา

T_u และ T_g แล้วนำไปใช้เลือกตัวควบคุมที่เหมาะสมซึ่งจะมีฟังก์ชันถ่ายโอนดังนี้

$$G_c(s) = k_p + \frac{k_i}{s} + k_d s \quad (2-10)$$

2.3.7.2.2 การเลือกชนิดของตัวควบคุมด้วยวิธีการของ CHR

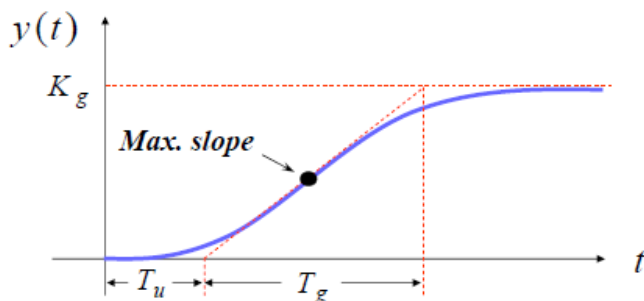


Controller , $R = T_g/T_u$

P - Controller	$R > 10$
PI - controller	$7.5 < R < 10$
PID - Controller	$3 < R < 7.5$
Higher Order	$R < 3$

ภาพที่ 2.33 การเลือกชนิดของตัวควบคุมด้วยวิธีการของ CHR

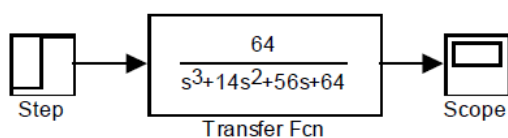
2.3.7.2.3 การคำนวณค่าเกณฑ์ของตัวควบคุมด้วยวิธีการ CHR



Controller	20% Overshoot	Least Overshoot
P - Controller	$K_p = 0.7R/K_g$	$K_p = 0.3R/K_g$
PI - controller	$K_p = 0.6R/K_g$ $K_i = K_p/T_g$	$K_p = 0.35R/K_g$ $K_i = KP/1.2T_g$
PID – Controller	$K_p = K_p/1.35T_g$ $K_i = K_p/1.35T_g$ $K_D = K_p \times 0.47T_u$	$K_p = 0.6R/T_g$ $K_i = KP/T_g$ $K_D = K_p \times 0.5T_u$

ภาพที่ 2.34 การคำนวณหาค่าเกณฑ์ตัวควบคุมด้วยวิธีของ CHR

2.3.7.2.4 ตัวอย่างการออกแบบระบบควบคุมพีไอดี ด้วย CHR



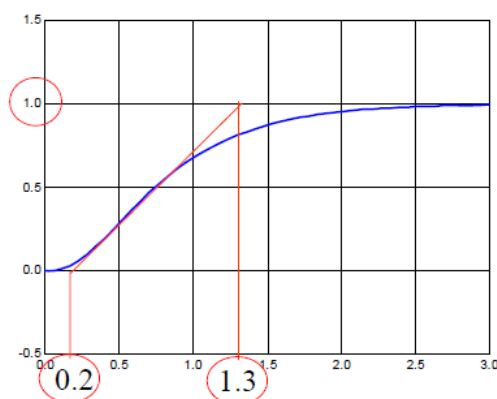
เลือกใช้การควบคุมแบบพีไอดี

ค่าพ่วงเกิน 20%

$$K_p = 0.95 \times 5.5/1 = 5.22$$

$$K_i = 5.22/(1.35 \times 1.1) = 3.52$$

$$K_D = 5.22 \times 0.47 \times 0.2 = 0.49$$



ค่าพ่วงเกินน้อยกว่า 20 %

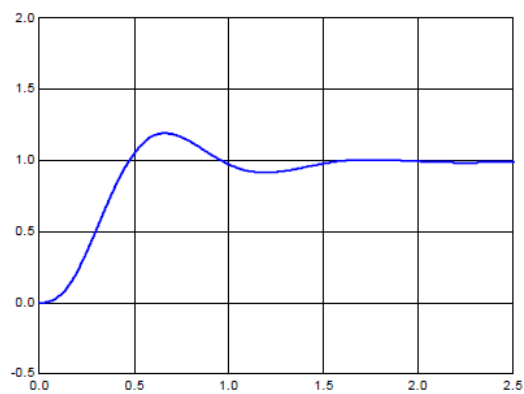
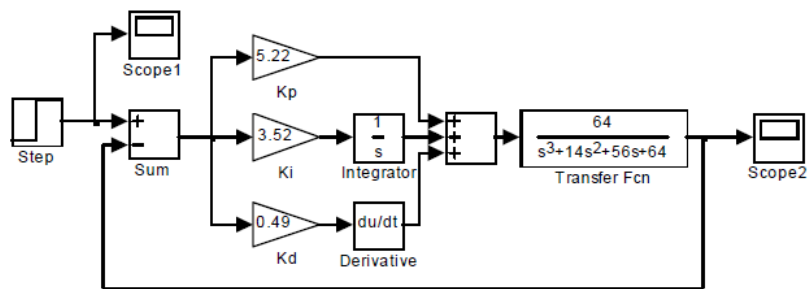
$$K_p = 0.6 \times 5.5/1 = 3.3$$

$$K_i = 3.3/1.1 = 3$$

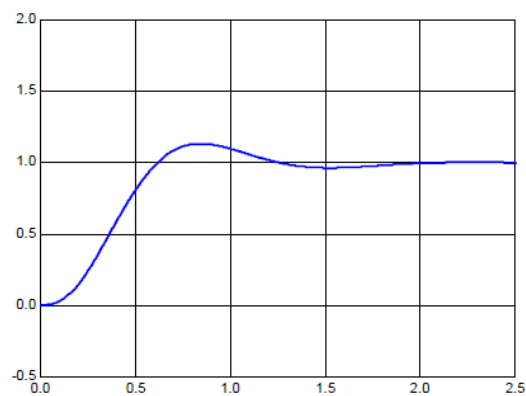
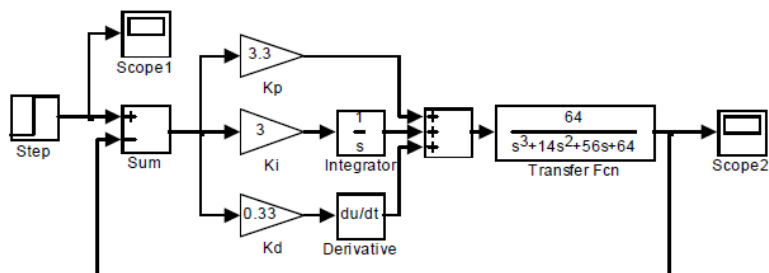
$$K_D = 3.3 \times 0.5 \times 0.2 = 0.33$$

$$T_u = 0.2, T_g = 1.3 - 0.2 = 1.1, R = 1.1/0.2 = 5.5$$

ภาพที่ 2.35 ตัวอย่างระบบควบคุมพีไอดีด้วย Chien-Hrones-Reswick(CHR) มีแต่ค่าเกณฑ์

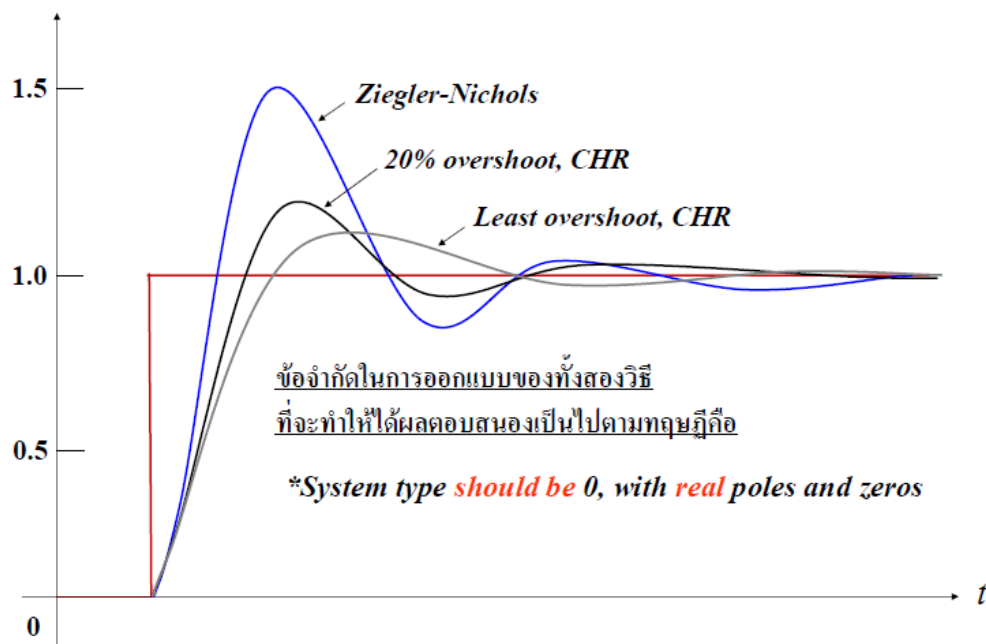


ภาพที่ 2.36 ตัวอย่างระบบควบคุมพีไอดี ด้วย (CHR) มีค่า K_p , K_i , K_d ที่ค่าค่าพุ่งเกิน 20%



ภาพที่ 2.37 ตัวอย่างระบบควบคุมพีไอดี ด้วย (CHR) มีค่า K_p , K_i , K_d ที่ค่าค่าพุ่งเกินน้อย

2.3.8 เปรียบเทียบผลตอบสนองของตัวควบคุมพีไอดี ที่ได้ในแต่ละแบบ

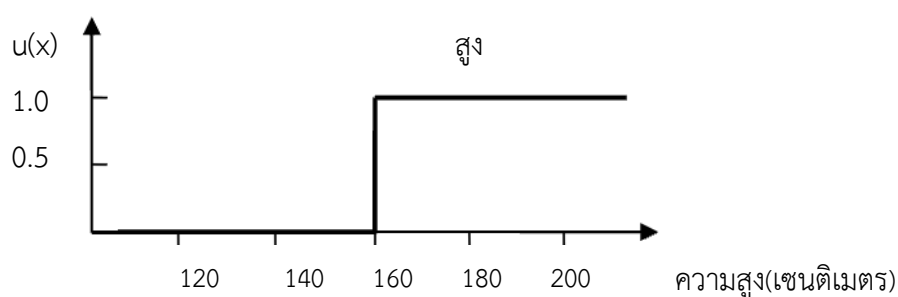


ภาพที่ 2.38 เปรียบเทียบผลตอบสนองของตัวควบคุมพีไอดี ที่ได้ในแต่ละแบบ

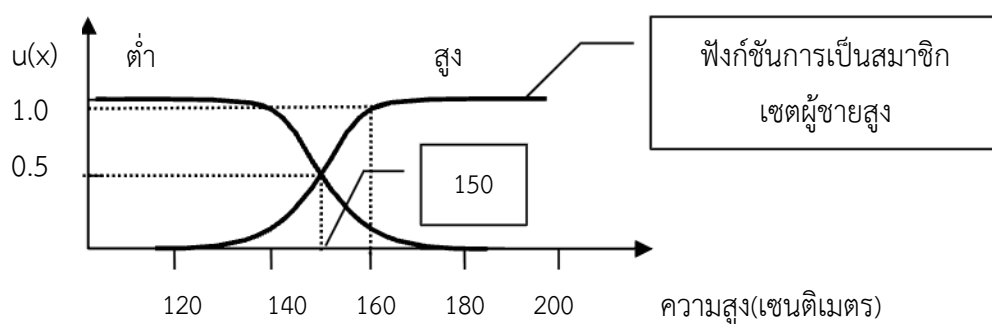
2.4 ทฤษฎีการควบคุมด้วยฟัซซี (Fuzzy Controller)

ทฤษฎีการควบคุมแบบฟัซซีลอจิกได้ประยุกต์มาจากตรรกศาสตร์รูปแบบใหม่ที่เรียกว่าฟัซซีลอจิก (Fuzzy Logic) ซึ่งนำเสนอโดย ลีออตฟี ซาเดห์ (Lotfi Zadeh) เมื่อกลางปี ค.ศ. 1960 ก่อนที่จะเผยแพร่ในวารสาร Information and Control ในปี ค.ศ. 1965 เพื่อที่สร้างแบบจำลองการให้เหตุผลของมนุษย์แต่ก็ไม่ประสบความสำเร็จนัก จนกระทั่งในปี ค.ศ. 1975 ได้มีการเผยแพร่ผลงานวิจัยเรื่อง “An Experiment in Linguistic Synthesis with a Fuzzy Logic Controller” ซึ่งเป็นการประยุกต์ใช้ฟัซซีลอจิกในการควบคุมกระบวนการพลวัต (Dynamic Process) โดย Ebrahim Mamdani และ Soto Assilian (ธวัชชัย และคณะ, 2540) หลังการเผยแพร่ผลงานวิจัยเรื่องนี้ประมาณ 10 ปี งานวิจัยและพัฒนาฟัซซีลอจิกในงานควบคุมจึงได้ดำเนินไปอย่างรวดเร็วและกว้างขวางเนื่องจากฟัซซีลอจิกสามารถประยุกต์ใช้ได้กับระบบควบคุมที่มีลักษณะที่ไม่เป็นเชิงเส้นแปรเปลี่ยนตามเวลา และยากที่จะกำหนดแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบ โดยที่ฟัซซีลอจิกเป็นแนวคิดที่แตกต่างจากตรรกศาสตร์แบบเดิม ที่จะมีถูกกับผิด, ใช่หรือไม่ใช่ แต่มีเหตุการณ์หลายอย่างในความเป็นจริงแล้วสร้างความยุ่งยากใจแก่ผู้วิเคราะห์ว่าตรรกะควรเป็นอย่างไร เช่น หากมีคำถามว่ารู้สึกร้อนหรือหนาวคำตอบที่อยากจะตอบอาจเป็นร้อนนิดๆ หรือกำลังดี หรือคำถามที่ว่าสีที่เป็นอยู่ นั้น (สมมุติว่าสีเทา) เป็นสีขาวหรือดำ คำตอบที่อยากจะตอบลง ไม่ใช่ทั้งขาวและดำ เพราะ

ดูจะเป็นการให้คำตอบที่ชัดเจนเกินไป ดังนั้นจะเห็นว่าในหลายๆ กรณีมนุษย์เรามีลักษณะการใช้ตรรกศาสตร์แบบมีน้ำหนักร คือ มีการให้ระดับความเป็นไปได้ของตรรกะว่ามีลักษณะเช่นนั้นมากน้อยเพียงใด ซึ่งการจะบอกค่าความเป็นไปได้ของเหตุการณ์จะถูกสร้างเป็นฟังก์ชันหรือเซตโดยเรียกว่า ฟัซซีเซต (Fuzzy Set) หลักการสำคัญของฟัซซี คือ ยอมรับสมาชิกที่มีลักษณะตามเซตเพียงบางส่วนเข้ามาเป็นสมาชิกของเซต โดยสมาชิกแต่ละตัวจะมีค่าความเป็นสมาชิก (Grade of Membership: μ) ของเซตนั้นๆ สมาชิกที่มีคุณสมบัติครบถ้วนตามเซต 100 เปอร์เซ็นต์ จะมีค่าความเป็นสมาชิกเท่ากับ 1 แต่หากมีคุณสมบัติของเซตแค่ 40 เปอร์เซ็นต์ ก็จะมีค่าความเป็นสมาชิกเท่ากับ 0.4 ซึ่งจะเห็นว่าแตกต่างจากทฤษฎีเซตดั้งเดิมที่เน้นชัดเจนว่าเป็นสมาชิกหรือไม่เท่ากัน



(ก)



(ข)

ภาพที่ 2.39 ฟัซซีเซตและฟังก์ชันการเป็นสมาชิก

พิจารณากรณีเซตของผู้ชายสูง จากภาพที่ 2.39 จะเห็นว่าหากเป็นเซตแบบเก่าภาพที่ 2.39(ก) ผู้ชายที่มีความสูงน้อยกว่า 160 เซนติเมตรจะไม่เป็นสมาชิกของเซตผู้ชายสูงแต่หากมีความสูงตั้งแต่ 160 เซนติเมตรขึ้นไปจะเป็นสมาชิกของเซตผู้ชายสูง หากพิจารณาฟัซซีเซต ภาพที่ 2.39 (ข) ผู้ชายที่มีความสูง 160 เซนติเมตร นั้นจะเป็นสมาชิกทั้งของเซตผู้ชายต่ำและเซตของผู้ชายสูงโดยมีค่าความ

เป็นสมาชิกเท่ากับ 0.5 ทั้งสองเซตทั้งนี้ค่าความเป็นสมาชิกจะขึ้นอยู่กับข้อกำหนดฟังก์ชันความเป็นสมาชิก (Membership Function)

2.4.1 นิยามเบื้องต้นของฟัซซีเซต นิยามฟัซซีเซต A ของเอกภพสัมพัทธ์ที่กล่าวถึง U (Universe of Discourse) ถูกแสดงถึงคุณลักษณะโดยฟังก์ชันความเป็นสมาชิก $\mu_A(u)$ และกำหนดว่าแต่ละสมาชิก $u \in U$ ค่าของ $\mu_A(u)$ มีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 ซึ่งแทนระดับความเป็นสมาชิกของ A นั่นคือ $A = \{(u, \mu_A(u)) | u \in U\}$ (2-11)

2.4.2 การดำเนินการเบื้องต้นของฟัซซีลอจิก การดำเนินการเชิงตรรกะของฟัซซีลอจิกมีลักษณะเช่นเดียวกับทฤษฎีเซตแบบดั้งเดิมโดยการพื้นฐานที่ใช้บ่อยๆ ได้แก่ ยูเนียน (Union), อินเตอร์เซกชัน (Intersection) และ คอมพลีเมนต์ (Complement) สมมุติให้ A และ B เป็นเซตภายในเอกภพสัมพัทธ์ที่กล่าวถึง U โดยมีค่าฟังก์ชันความเป็นสมาชิก μ_A และ μ_B ตามลำดับ

2.4.2.1 การเท่ากัน (Equality) ฟัซซีเซต A และ B จะเท่ากันก็ต่อเมื่อ

$$\mu_A(u) = \mu_B(u) \text{ สำหรับทุกๆ } u \in U \quad (2-12)$$

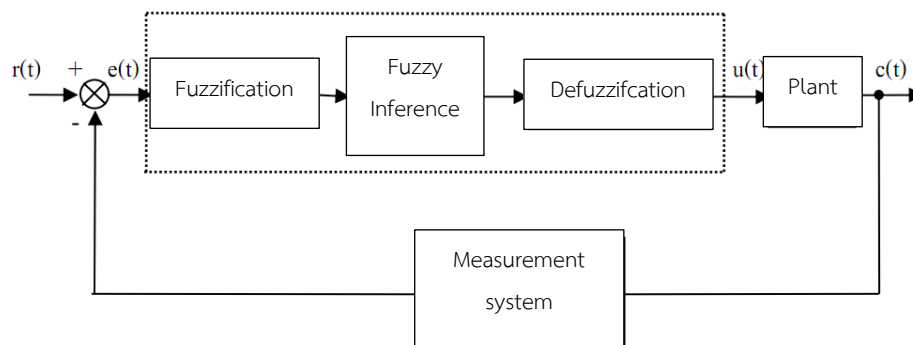
2.4.2.2 ยูเนียน (Union) การยูเนียนระหว่างเซต A และ B จะเหมือนกับการใช้ตัวดำเนินการ OR ทางตรรกศาสตร์ $\mu_{A \cup B}(u) = \mu_{A \text{ OR } B}(u) = \max\{\mu_A(u), \mu_B(u)\}$ (2-13)

2.4.2.3 อินเตอร์เซกชัน (Intersection) การอินเตอร์เซกชันระหว่าง A กับ B จะเหมือนกับการใช้ตัวดำเนินการ AND ทางตรรกศาสตร์ $\mu_{A \cap B}(u) = \mu_{A \text{ AND } B}(u) = \min\{\mu_A(u), \mu_B(u)\}$ สำหรับทุกๆ $u \in U$ (2-15)

2.4.2.4 คอมพลีเมนต์ (Complement) การคอมพลีเมนต์ของเซต A จะเหมือนกับการใช้ตัวดำเนินการ NOT ทางตรรกศาสตร์ $\mu_{\neg A}(u) = \mu_{\text{NOT } A}(u) = 1 - \mu_A(u)$ (2-16) สำหรับทุกๆ $u \in U$

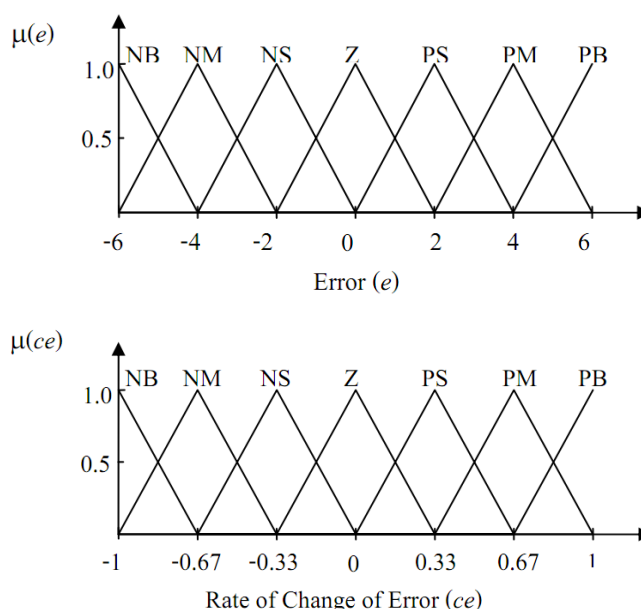
2.4.3 ฟัซซีลอจิกกับการควบคุม

การควบคุมแบบฟัซซีลอจิกจะมีส่วนประกอบอยู่สามขั้นตอนหลักๆ ดังภาพที่ 2.40



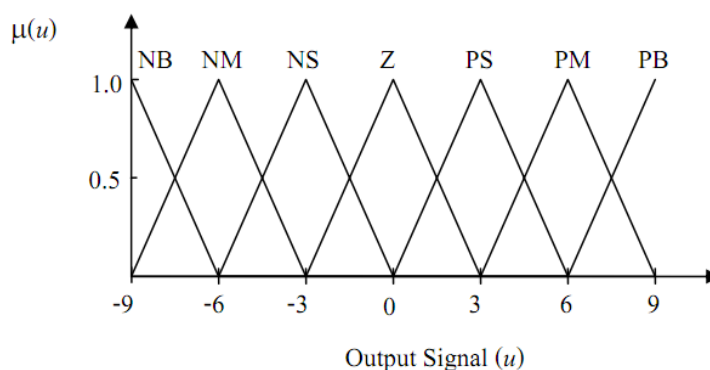
ภาพที่ 2.40 ระบบควบคุมแบบฟัซซีลอจิก (Roland, 2001)

2.4.3.1 ฟัซซีฟิเคชัน (Fuzzification) ขั้นตอนนี้จะทำหน้าที่แปลงข้อมูลที่รับเข้ามา (มักเรียกว่า : Crisp Data) ให้เป็นอินพุตของระบบควบคุมแบบฟัซซี ซึ่งจะอยู่ในรูปแบบของค่าความเป็นสมาชิก



ภาพที่ 2.41 ตัวอย่างฟัซซีเซตของอินพุตและกระบวนการฟัซซีฟิเคชัน (Roland, 2001)

จากภาพที่ 2.41 อินพุตและเอาต์พุตประกอบด้วยฟัซซีเซตจำนวนเจ็ดเซต ซึ่งแทนด้วยตัวแปรเชิงภาษาเป็น Positive Big (PB), Positive Medium (PM), Positive Small (PS), Zero (Z), Negative Small (NS), Negative Medium (NM), และ Negative Big (NB) โดยกำหนดให้เป็นฟังก์ชันของความเป็นสมาชิกของอินพุตซึ่งมีสองอินพุต คือ ค่าผิดพลาด (Error: $e(t)$) และอัตราการเปลี่ยนแปลงของค่าความผิดพลาด (Rate of Change of Error: $ce(t)$) ส่วนเอาต์พุตจะมีเพียงตัวเดียวเป็นสัญญาณควบคุม (Control Signal; $u(t)$) ฟัซซีเซตของเอาต์พุตแสดงดังภาพที่ 2.41



ภาพที่ 2.42 ตัวอย่างฟัซซีเซตของสัญญาณควบคุม (Roland, 2001)

จากภาพที่ 2.42 ค่าความผิดพลาดเท่ากับ 2.5 จะเป็นสมาชิกของสองเซต คือ PS และ PM และอัตราการเปลี่ยนแปลงของความผิดพลาดเท่ากับ -0.2 นั้นเป็นสมาชิกของฟัซซีเซต และ Z จะได้ค่าความเป็นสมาชิกของอินพุตแต่ละฟัซซีเซตดังนี้

$$\mu_{PS}(e) = 0.7$$

$$\mu_{PM}(e) = 0.4$$

$$\mu_{NS}(ce) = 0.6$$

$$\mu_Z(ce) = 0.3$$

2.4.3.2 การวินิจฉัย (Fuzzy Inference) เป็นส่วนของการประมวลผลจะมีการตีความและวิเคราะห์อินพุตตามเงื่อนไขที่กำหนดไว้ หรือเข้าสู่กฎพื้นฐานของฟัซซี (Fuzzy Rule Base) โดยกฎการควบคุมจะอยู่ในลักษณะ If Input = ... Then Output = ... ซึ่งประกอบด้วยสองส่วนคือ ส่วนที่เกิดขึ้นก่อน (Antecedent; If Part) และผลที่ตามมา (Consequent; Then Part) โดยที่อินพุตและเอาต์พุตนั้นอาจมีหลายตัวก็ได้ขึ้นอยู่กับการออกแบบ ผลที่ตามมาของแต่ละกฎจะถูกรวมกันด้วยวิธีการทางตรรกศาสตร์เพื่อให้ได้ค่าเอาต์พุตเพียงค่าเดียว ตัวอย่างข้อความคำสั่ง (Statement) ของกฎการควบคุม

เช่น

If error is Positive Small and Change of error is Negative Small the control signal is Positive Small

จากตัวอย่างมีอินพุตสองตัวทำให้ส่วนที่เกิดขึ้นก่อนมีสองส่วนซึ่งในที่นี้ได้เชื่อมด้วยตัวดำเนินการ AND โดยกฎการควบคุมทั้งหมดสามารถเขียนในรูปของตาราง เช่น

ตารางที่ 2.8 แสดงตัวอย่างกฎการควบคุมในรูปแบบตาราง (Roland, 2001)

ce \ e	NB	NM	NS	Z	PS	PM	PB
NB	NB	NB	NB	NM	Z	PM	PB
NM	NB	NB	NB	NM	PS	PM	PB
NS	NB	NB	NM	NS	PS	PM	PB
Z	NB	NM	NS	Z	PS	PM	PB
PS	NB	NM	NS	PS	PM	PB	PB
PM	NB	NM	NS	PM	PB	PB	PB
PB	NB	NM	Z	PM	PB	PB	PB

ตัวอย่างการวินิจฉัย เช่น การควบคุมอ่านค่าความผิดพลาดได้เท่ากับ 2.5 และสามารถคำนวณค่าการเปลี่ยนแปลงของความผิดพลาดเท่ากับ -0.2 ถ้าพิจารณาฟัซซีเซต จะได้ว่า

$e(t) = 2.5$ เป็นสมาชิกของฟัซซี PS และ PM

$ce(t) = -0.2$ เป็นสมาชิกของฟัซซีเซต NS และ Z

ซึ่งสอดคล้องกับกฎการควบคุมสี่กฎดังนี้

If e is PS AND ce is NS

OR If e is PS AND ce is Z

Then u is PS

If e is PM AND ce is NS

OR If e is PM AND ce is Z

Then u is PM

สามารถคำนวณค่าความเป็นสมาชิกของเอาต์พุตได้ดังนี้

$$\mu_{PS}(u) = \max[\min(\mu_{PS}(e), \mu_{NS}(ce)), \min(\mu_{PS}(e), \mu_Z(ce))] \quad (2-17)$$

จากสมการ2-17จะได้

$$\mu_{PS}(u) = \max[\min(0.7, 0.6), \min(0.7, 0.3)]$$

$$\mu_{PS}(u) = \max[0.6, 0.3] = 0.6$$

และ

$$\mu_{PM}(u) = \max[\min(\mu_{PM}(e), \mu_{NS}(ce)), \min(\mu_{PM}(e), \mu_Z(ce))]$$

จากสมการ2-17จะได้

$$\mu_{PM}(u) = \max[\min(0.4, 0.6), \min(0.4, 0.3)]$$

$$\mu_{PM}(u) = \max[0.4, 0.3] = 0.4$$

2.4.3.3 ดิฟฟูซซิฟิเคชัน (Defuzzification) เนื่องจากผลลัพธ์ที่ได้จากส่วนที่สองนั้นยังอยู่ในรูปแบบของฟัซซี ในส่วนนี้จะทำการแปลงค่าจากเอาต์พุตแบบฟัซซีให้เป็นเอาต์พุตที่เป็นค่าเดียวและสามารถนำไปควบคุมระบบได้ คือ เป็นข้อมูลแบบคลิชตามเดิม

$$Y = \frac{\sum \mu_{y_n}}{\sum \mu_n} \quad (2-18)$$

โดยที่

Y คือ เอาท์พุทของระบบควบคุม

y_n คือ เอาท์พุทที่ได้จากแต่ละกฎ(จุดศูนย์ถ่วง)

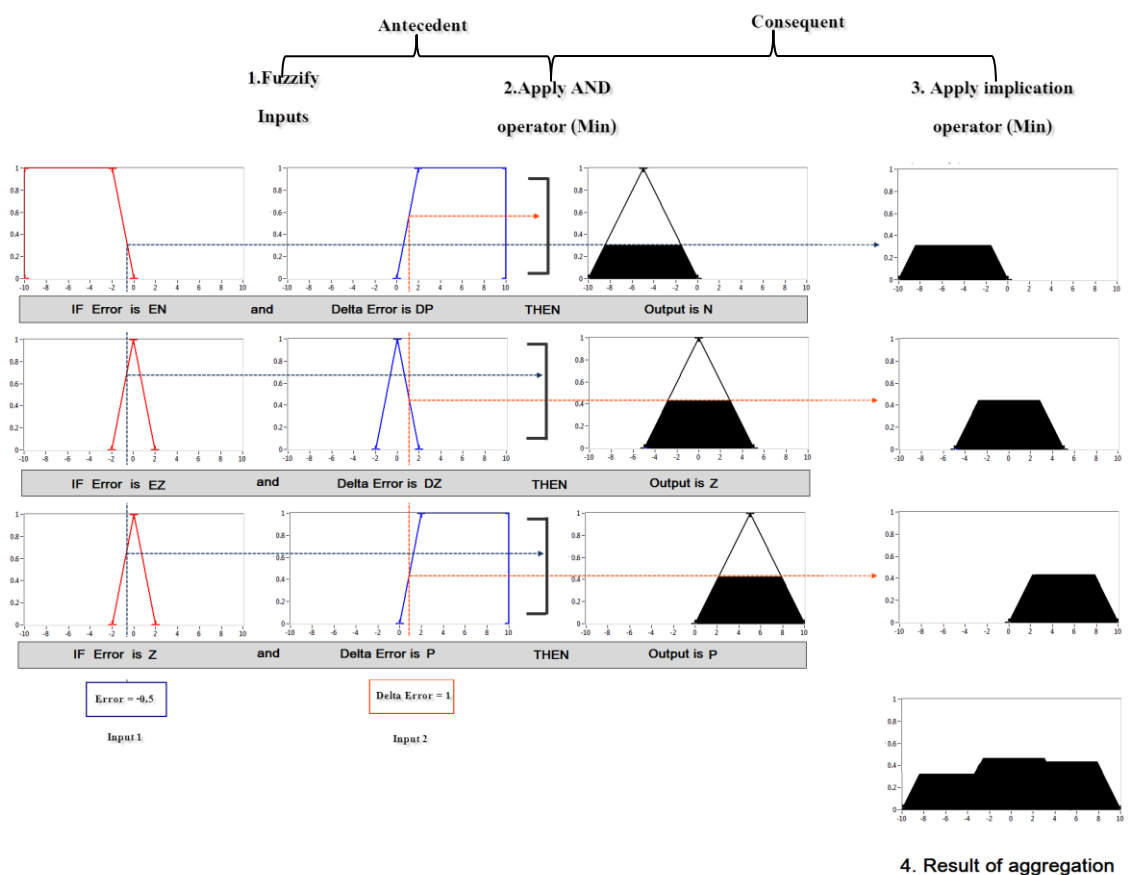
μ_n คือ ค่าความเป็นสมาชิกของแต่ละเอาท์พุท

จากสมการ 2-18 แทนค่า $\mu_{PS}(u)$ และ $\mu_{PM}(u)$ จะได้

$$\text{Control Signal}(u) = \frac{(0.6)(3) + (0.4)(6)}{0.6 + 0.4} = 4.2$$

เมื่อเราได้ค่า u ซึ่งเป็นค่าที่จะนำไปเปลี่ยนแปลงค่าเอาท์พุทในการควบคุมต่อไปซึ่งการนำค่านี้ไปใช้จะขึ้นอยู่กับสิ่งที่เราควบคุม และฮาร์ดแวร์ของระบบ ซึ่งในการออกแบบนั้นทั้งส่วนที่เป็นซอฟต์แวร์และฮาร์ดแวร์จะต้องสองคล้องกัน

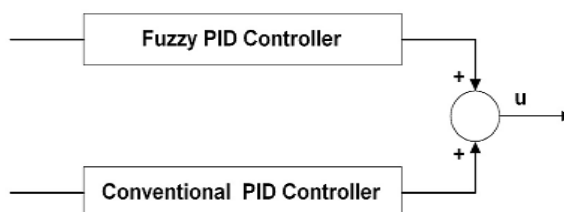
ตัวอย่าง วิธีการจัดองค์ประกอบแบบค่าสูงสุด – ต่ำสุด ของ Mamdani(Max – Min)



ภาพที่ 2.43 วิธีการจัดองค์ประกอบแบบค่าสูงสุด – ต่ำสุด ของ Mamdani(Max – Min)

2.5 ทฤษฎีการควบคุมด้วย(Hybrid Fuzzy PID)

ควบคุมไฮบริดเสนออยู่ในภาพที่ 2.44 ประกอบด้วยสองส่วนหลักคือ ระบบควบคุมพีไอดีทั่วไป และ ระบบควบคุมพีไอดีฟัซซี โดยการควบคุมพีไอดี แบบมาตรฐานจะเกิดการปรับค่าอยู่ 3 รอบการควบคุมซึ่งมีการ Transfer function เขียนโดยทั่วไปในอยู่ในค่าที่เหมาะสม



ภาพที่ 2.44 แสดงบล็อกการทำงานของระบบควบคุมแบบไฮบริด

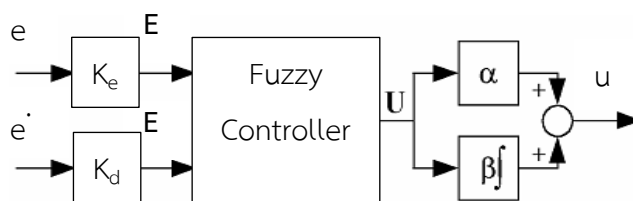
ที่ k เป็นปรับตามสัดส่วน, K_i ได้รับหนึ่ง K_D ได้รับอนุพันธ์ T_i คงที่และเวลาหนึ่งเวลาอนุพันธ์ T_D คงที่ สามรอบ ฟังก์ชันการทำงานจะเน้นดังต่อไปนี้

ระยะสัดส่วนจะให้จะมีเงื่อนไขว่าถ้า overall การดำเนินการควบคุมสัดส่วนกับ ผลรวมของข้อผิดพลาดโดยปัจจัยที่ได้รับทั้งหมดผ่านไป

ระยะหนึ่งคือการลดข้อผิดพลาด steady - state ผ่านการชดเชยความถี่ต่ำโดยปริพันธ์

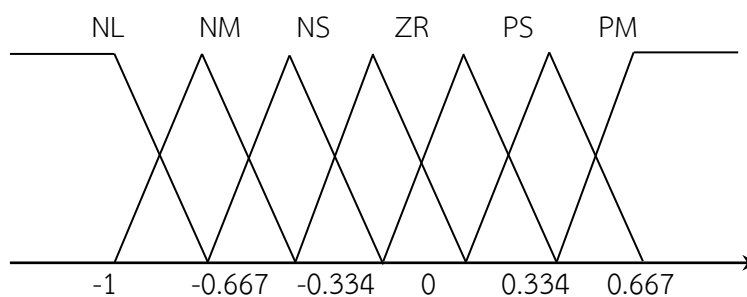
ระยะอนุพันธ์ดีขึ้นผ่านการตอบสนองผ่านการชดเชยความถี่สูงโดย differentiator โครงสร้างของตัวควบคุมพีไอดีฟัซซี, เฮคเตอร์ซึ่งสองปัจจัยการผลิตและฐานกฎหนึ่งจะ แสดงดังภาพที่ 2.45 ปัจจัยการผลิตมีข้อผิดพลาดคลาสสิก (E) และอัตราการการเปลี่ยนแปลง

ของความผิดพลาด (e)

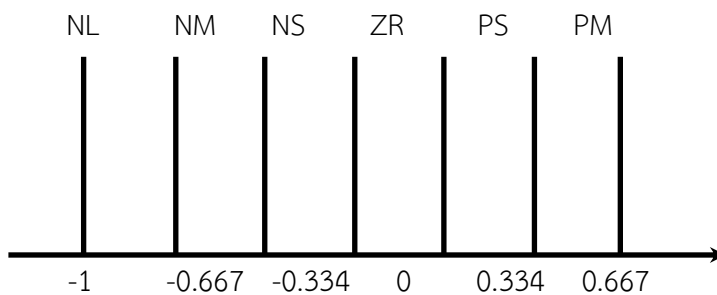


ภาพที่ 2.45 โครงสร้างระบบควบคุม ฟัซซี พีไอดี

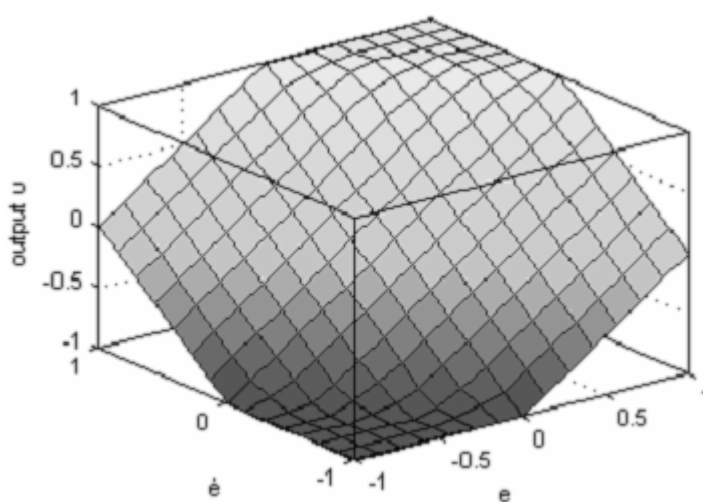
ฟังก์ชันการเป็นสมาชิกฟัซซีแบบสามเหลี่ยม จะใช้ในการป้อนข้อมูลตัวแปรตามที่แสดงในภาพที่ 2.46 สำหรับตัวแปรออก U , ฟังก์ชันการเป็นสมาชิกเดียวกันมีการกำหนดไว้ในภาพที่ 2.47 เลื่อนฐาน PID กฎควบคุมประกอบด้วย 49 กฎ (7×7) ดังแสดงในตารางที่ 2.9 พื้นผิวควบคุมของตัวควบคุมพีไอดีฟัซซีจะได้รับยังอยู่ในภาพที่ 2.47



ภาพที่ 2.46 แสดงกฎฟัซซีของสมาชิก e และ Δe



ภาพที่ 2.47 แสดงสมาชิกของตัวแปร u



ภาพที่ 2.48 กราฟพื้นผิวการควบคุมของระบบควบคุม Hybrid Fuzzy PID

ตารางที่ 2.9 กฎของการอนุมานฟัซซี่ (Rules of the fuzzy inference)

E/DE	NL	NM	NS	ZR	PS	PM	PL
PL	ZR	ps	pm	pl	pl	pl	pl
PM	ns	ZR	ps	pm	pl	pl	pl
PS	nm	ns	ZR	ps	pm	pl	pl
ZR	nl	nm	ns	ZR	ps	pm	pl
NS	nl	nl	nm	ns	ZR	ps	pm
NM	nl	nl	nl	nm	ns	ZR	ps
ML	nl	nl	nl	nl	nm	ns	ZR

ในงานวิจัยนี้ ฟัซซี่แบบพื้นฐานและตัวควบคุมฟัซซี่จะรวมกันโดยกลไกการผสมที่ขึ้นอยู่กับฟังก์ชันบางอย่างของตัวดำเนินการข้อผิดพลาดนอกจากนี้เปลี่ยนรูปแบบการปรับค่าอัจฉริยะในการผสมกลไกที่ทำให้การตัดสินใจในการจัดลำดับความสำคัญของสองส่วนควบคุม; คือ PID คลาสสิกและองค์ประกอบฟัซซี่ Matlab จำลอง Simulink พารามิเตอร์ของตัวควบคุมฟัซซี่จะเขียนแทนด้วย K, TI, และ TD ค่าสัดส่วนของ เกน, ประพันธ์และค่าคงที่เวลาซึ่งแยกออกมาล่วงหน้าตามลำดับ พารามิเตอร์ของตัวควบคุมฟัซซี่ถูกกำหนดเป็น K_e , K_d , α , β และ เปลี่ยนกลไกและการ ตัดสินใจที่โดดเด่นของสองโครงสร้างควบคุม คือฟัซซี่และตัวควบคุมฟัซซี่ ผลของฟัซซี่ตัวควบคุมฟัซซี่และตัวควบคุมฟัซซี่เป็นแล้วคูณด้วยหนึ่งของฟังก์ชันทั้งแบบ $1 - f(E)$ และ $f(E)1 - f(E)$ และ $f(E)$ เป็นปัจจัยที่มีผลของการผสมผสานส่วนหนึ่งของกลไก พวกเขาเปรียบเทียบค่าของการรวมควบคุมและช่วยให้เราบรรลุผลการปรับค่าที่เหมาะสมระหว่างการดำเนินการสร้างโดยควบคุมนับตั้งแต่ฟังก์ชัน $f(e)$ จะต้องมีมูลค่าในเชิงบวกจะได้รับการเลือกเป็น $f(e) = e^2$ จึงควบคุมไฮบริดของออกจะกลายเป็นอย่างใดอย่างหนึ่ง

$$U_{Hybrid} = f(e).U_{PID} - f(e).U_{Fuzzy} \quad (2-19)$$

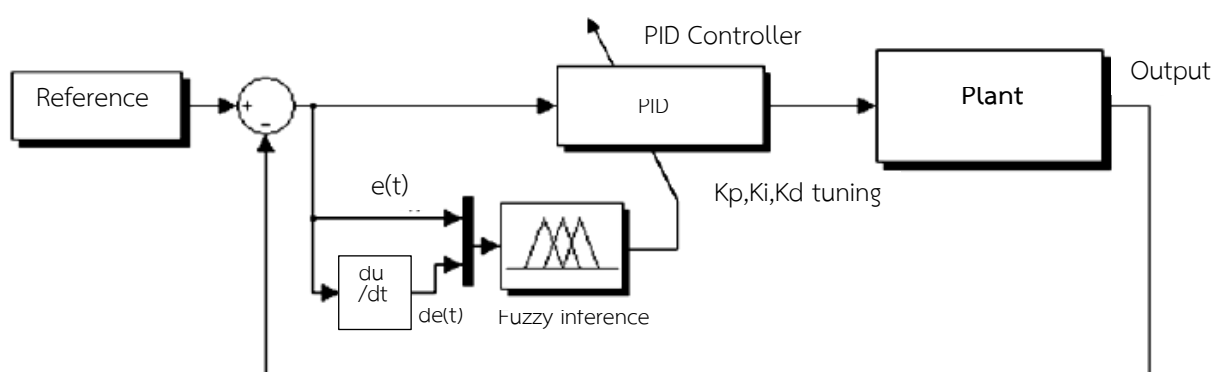
$$U_{Hybrid} = (1 - f(e)).U_{PID} + f(e).U_{Fuzzy}$$

จะเห็นได้ชัดว่าเมื่อเกิดข้อผิดพลาดมีขนาดใหญ่ควบคุมผลลัพธ์คูณด้วย $f(e)$ สามารถใช้งานได้มากกว่าส่วนควบคุมอื่นๆ ด้วยเหตุนี้ในระยะแรกของการดำเนินการควบคุมผลผลิตตัวควบคุมที่ให้การตอบสนองได้เร็วขึ้นจะต้องคูณด้วย $f(e)$ ส่วนหนึ่งของกลไกการเปลี่ยนพยายามที่จะจับหนึ่งที่ใหญ่กว่า

ของความพยายามในการควบคุมของสองหลักส่วนควบคุม แนวคิดเบื้องหลังนี้จะสูงกว่าที่การควบคุมความพยายามจะผลิตตอบสนองของระบบได้เร็วขึ้น

2.6 ทฤษฎีการควบคุมการปรับพีไอดีด้วยฟัซซี (Fuzzy self-tuning PID controller)

การควบคุมด้วย Fuzzy self –tuning PID controller หมายถึง การที่สามพารามิเตอร์ K_p , K_i และ K_d ของ ตัวควบคุมพีไอดีจะถูกปรับจูนโดยใช้ตัวควบคุมฟัซซี เนื่องจากตัวควบคุมแบบฟัซซีจะสามารถตัดสินใจในเงื่อนไขต่าง ๆ ในการทำงานได้ ดังนั้นระบบการทำงานจึงเป็นแบบอัตโนมัติ จะแสดงโครงสร้างระบบควบคุมดังภาพที่ 2.49

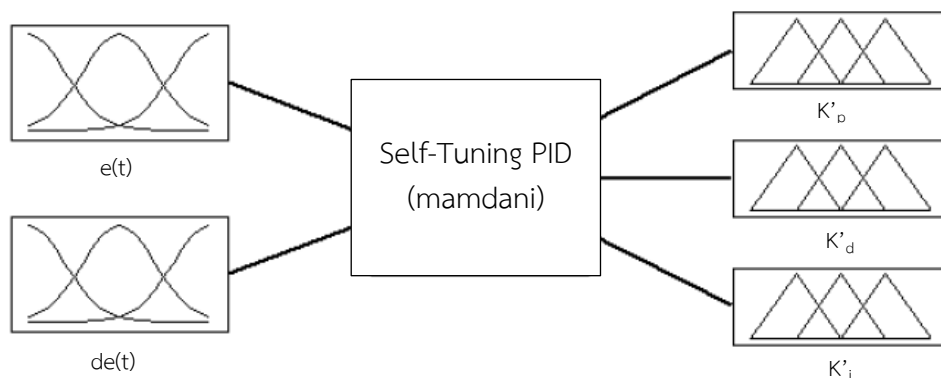


ภาพที่ 2.49 โครงสร้างการปรับพีไอดีด้วยฟัซซี

เมื่อเราปรับค่าอ้างอิง(Reference) ของระบบ ขณะที่ $e(t)$ คือค่าผิดพลาดระหว่างจุดที่ต้องการตั้งค่าตำแหน่งอ้างอิง(Set point) และ $de(t)$ คือค่าเอาต์พุตลบกับค่าเอาต์พุตก่อนหน้านี้จะปรับค่าพีไอดีโดยใช้การอนุมานฟัซซี

2.6.1 การออกแบบการควบคุมการปรับพีไอดีด้วยฟัซซี (Fuzzy self-tuning PID controller)

กฎการออกแบบจะขึ้นอยู่กับลักษณะของตัวกระทำนิวแมติกส์ไฟฟ้าและคุณสมบัติของตัวควบคุมพีไอดี ดังนั้นการให้เหตุผลฟัซซีของชุดฟัซซี(Fuzzy Set) ของเอาต์พุตจะได้รับจากการรวมของชุดอินพุตที่ป้อนเข้ามาและการออกแบบกฎการควบคุมของฟัซซี ถ้าจะกล่าวถึงโครงสร้างของฟัซซีจะมีสองอินพุตคือ $e(t)$ และ $de(t)$ และสามอินพุตสำหรับในแต่ละค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมพีไอดี โดยจะประยุกต์การใช้รูปแบบ Mamdani ของตัวอนุมานฟัซซี(Fuzzy inference) ซึ่งครั้งการปรับเปลี่ยนจะได้ค่าที่ดีที่สุดของ K_p , K_i , K_d บล็อกรูปแบบการออกแบบการอนุมานฟัซซี ดังรูป 2.46



ภาพที่ 2.50 โครงสร้างบล็อกของการอนุมานฟัซซี่

สมมติว่าช่วงตัวแปรของพารามิเตอร์ K_p , K_i และ K_d ของตัวควบคุมพีไอดีเป็น $[K_{pmin}, K_{pmax}]$, $[K_{imin}, K_{imax}]$, และ $[K_{dmin}, K_{dmax}]$ ช่วงของแต่ละพารามิเตอร์กำหนดได้โดยขึ้นอยู่กับค่าการจำลองบนตัวควบคุมพีไอดีเพื่อนำมาสร้างกฎ ยกตัวอย่างของระบบควบคุม APPLICATION OF SELF-TUNING FUZZY PID CONTROLLER ON INDUSTRIAL HYDRAULIC ACTUATOR USING SYSTEM IDENTIFICATION APPROACH ของ Skudai Johor จากประเทศมาเลเซีย กำหนดช่วงของแต่ละพารามิเตอร์ดังนี้ $K_p \in [0.1, 10]$, $K_i \in [0.1, 0.5]$ และ $K_d \in [0.01, 0.1]$ ค่าเวลาจะต้องเกินช่วงของเวลา ปกติ $[0, 1]$ ดังนี้

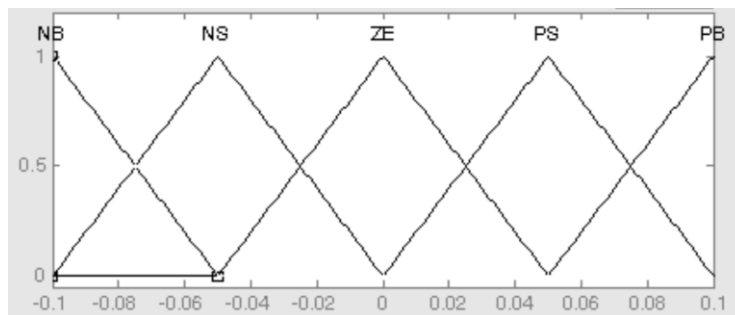
$$K'_p = \frac{K_p - K_{pmin}}{K_{pmax} - K_{pmin}} = \frac{K_p - 10}{100 - 10}, \quad (2-20)$$

$$K'_i = \frac{K_i - K_{imin}}{K_{imax} - K_{imin}} = \frac{K_i - 0.1}{1 - 0.1}, \quad (2-21)$$

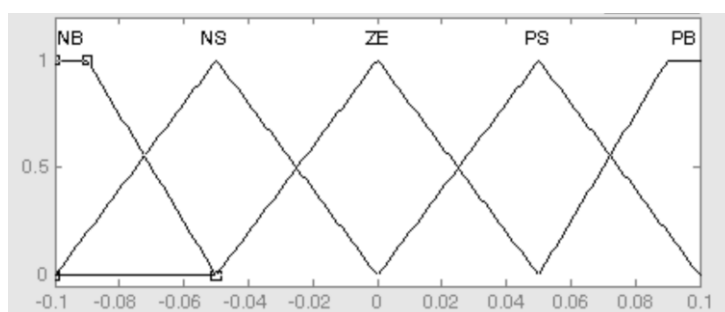
$$K'_d = \frac{K_d - K_{dmin}}{K_{dmax} - K_{dmin}} = \frac{K_d - 0.01}{0.01 - 0.001} \quad (2-22)$$

$$K_p = 90K'_p + 10; K_i = 0.9K'_i + 0.1; K_d = 0.009K'_d + 0.001$$

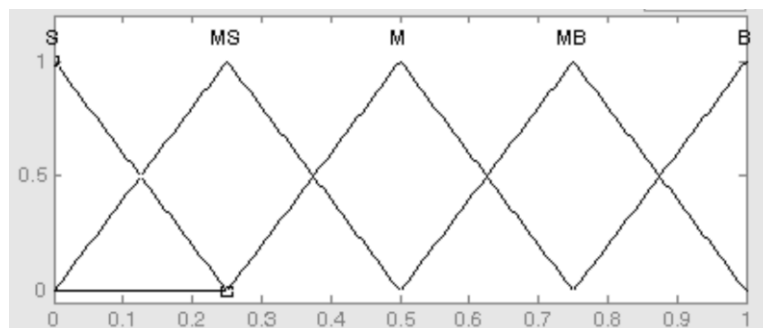
ฟังก์ชันการเป็นสมาชิกของอินพุตเหล่านี้ชุดฟัซซี่จะแสดงในภาพที่ 2.51 และ 2.52 ระดับตัวแปรทางภาษาศาสตร์กำหนดให้ NB คือ ค่าลบมากๆ (Negative Big) NS คือ ค่าลบน้อยๆ (Negative Small) ZE คือ ศูนย์ PS คือ ค่าบวกน้อยๆ (Positive Small) PB คือ ค่าบวกมากๆ (Positive Big)



ภาพที่ 2.51 ฟังก์ชันการเป็นสมาชิก(Membership functions) ของ $e(t)$



ภาพที่ 2.52 ฟังก์ชันการเป็นสมาชิก(Membership functions) ของ $de(t)$



ภาพที่ 2.53 ฟังก์ชันการเป็นสมาชิก(Membership functions) ของ K'_p , K'_i และ K'_d

ในขณะที่ฟังก์ชันการเป็นสมาชิกของเอาต์พุต K'_p , K'_i และ K'_d จะแสดงในภาพที่ 2.53 ระดับตัวแปรทางภาษาศาสตร์กำหนดให้ S คือ ค่าน้อยๆ (Small) MS คือ ค่ากลางน้อยๆ (Medium Small) M คือ ค่ากลาง (Medium) MB คือ ค่ากลางมากๆ (Medium Big) B คือ ค่ามากๆ (Big) ช่วงที่ 0-1 โดยทั่วไปแล้วกฎฟัซซี่จะขึ้นอยู่กับชุดฮาร์ดแวร์ของระบบ ที่ถูกควบคุมและประเภทของควบคุมและจากประสบการณ์จริง ในส่วนตัวแปรอินพุตและเอาต์พุตฟัซซี่ (Fuzzy Set) จะนำไปสร้างกฎดังตารางที่ 2.10 ประกอบด้วยดังนี้

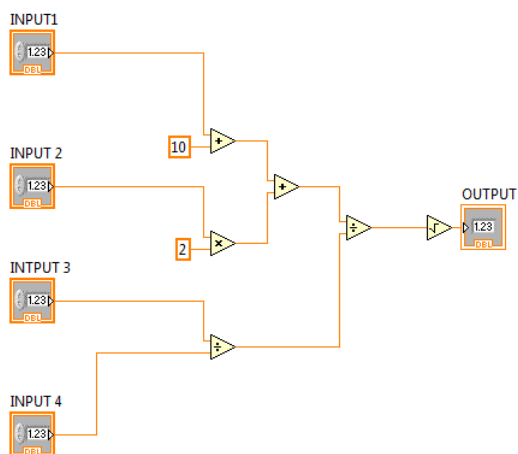
กฎ i : ถ้า A_i และ $de(t) A_2$ เมื่อ $K'_p = B_i$ และ $K'_i = C_i$ และ $K'_d = D_i$ ขณะที่ $i = 1, 2, 3, \dots, n$, และ n คือตัวเลขของกฎ จากตารางเนื่องจากขณะนี้ มี ตัวแปรอินพุต เท่ากับ 5 และ ตัวแปรเอาต์พุตเท่ากับ 5 ดังนั้นในการออกแบบเรามี 25 กฎฟัซซี

ตารางที่ 2.10 กฎของการอนุมานฟัซซี (Rules of the fuzzy inference)

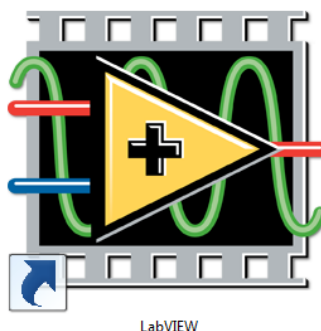
De\le	NB	NS	ZE	PS	PB
NB	S	S	MS	MS	M
NS	S	MS	MS	M	MB
ZE	MS	MS	M	MB	MB
PS	MS	M	MB	MB	B
PB	M	MB	MB	B	B

2.7 โปรแกรมแลปวิว (LabVIEW)

แลปวิว(LabVIEW) ย่อมาจาก Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench คือ เครื่องมือที่ใช้ในการพัฒนา Application (โปรแกรมประยุกต์) ชนิดหนึ่งเช่นเดียวกับ Visual Basic, Visual C++ แต่จะเป็นการเขียนโปรแกรมโดยใช้รูปในการพัฒนา (Graphical-based Programming) ซึ่งจะแตกต่างจากแนวคิด Text based Programming เช่น Text-based จะทำงานบนลงล่าง แต่แลปวิวจะทำงานแบบ Dataflow คือจะทำงานเป็น Node โดย Node ใด ๆ จะทำงานได้ก็ต่อเมื่อ Node นั้นมี Input ครบทุกตัว เช่นในภาพที่ 2.54 ถ้าเราใส่ค่า INPUT1-INPUT3 แต่ INPUT4 ไม่ได้ใส่ค่าลงไป จะไม่มีค่า OUTPUT ที่เราต้องการเนื่องจากค่า INPUT ที่ป้อนเข้ามาไม่ครบทุกตัว



ภาพที่ 2.54 การประมวลผลแบบ Dataflow ในแลปวิว



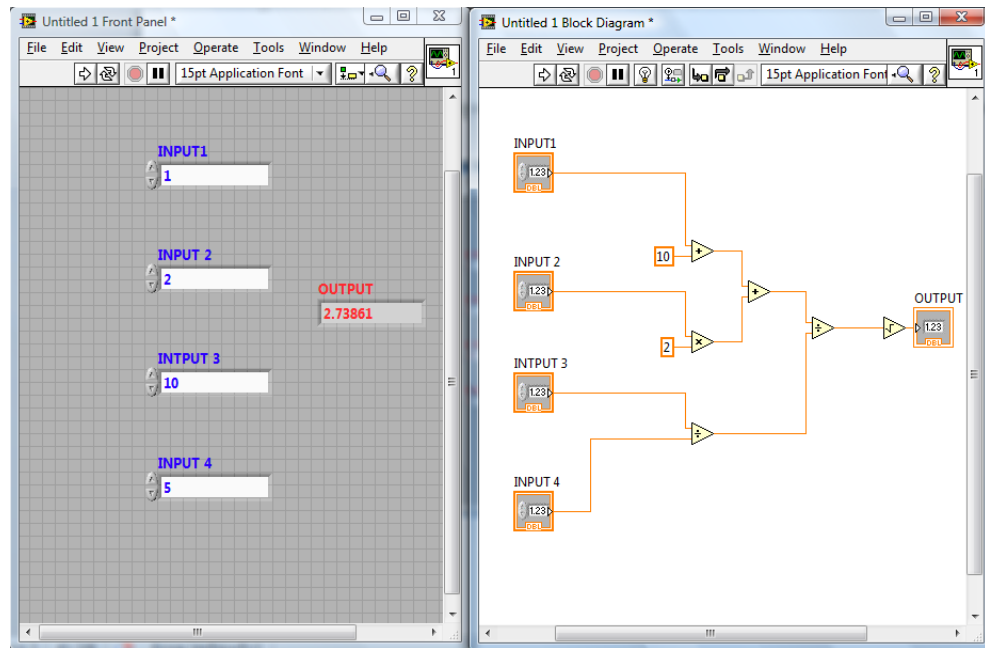
ภาพที่ 2.55 สัญลักษณ์ของโปรแกรมแลปวิว

โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นโดยใช้ แลปวิว จะเรียกว่า Virtual Instrument หรือเรียกย่อๆว่า VI ซึ่งหมายถึงเครื่องมือวัดเสมือน สำหรับเวอร์ชัน (Version) ที่ใช้ในการเขียนโปรแกรมควบคุมในโครงการนี้คือ แลปวิว 2010 ร่วมกับการใช้ เครื่องมือเสริมอีกหนึ่งชุด คือ พีไอดี (PID Control Toolset) และสามารถใช้ฟังก์ชันที่ควบคุมด้วยพีซีได้



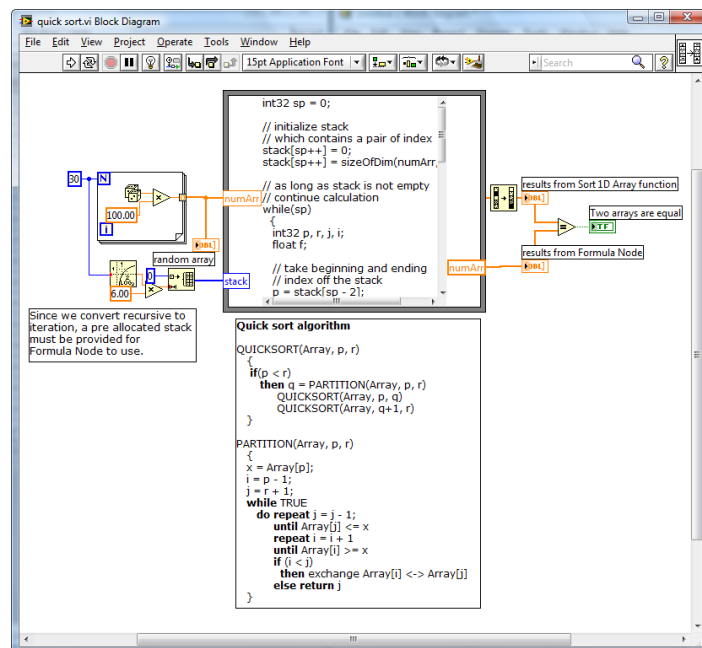
ภาพที่ 2.56 เกี่ยวกับเวอร์ชันแลปวิวและตัวเสริมพีไอดี

2.7.1 การเขียนโปรแกรมด้วยแลปวิว การเขียนโปรแกรมด้วยแลปวิวที่อยู่ 2 ส่วนการเขียนคือ ส่วนแรกคือ Front Panel จะเป็นหน้าต่างเมื่อรันโปรแกรม Front Panel จะส่วนแสดงผลหรือควบคุมก็ได้ ขึ้นอยู่กับการเขียนโปรแกรมไว้ในส่วนที่สอง คือ Block Diagram เปรียบกับเป็นโค้ดของโปรแกรม ในทั้งสองหน้าต่างก็จะมีเครื่องมือในการเขียนโปรแกรม เมื่อวางเครื่องมือในหน้าต่างของ Front Panel ฟังก์ชันก็จะเกิดขึ้นใน Block Diagram อัตโนมัติ ยกเว้น เครื่องมือที่ไม่เกี่ยวกับการประมวลผล เป็นหมายเหตุ หรือตกแต่งให้สวยงามเท่านั้น เครื่องมือใน Front Panel เรียกว่า Controls และเครื่องมือใน Block Diagram เรียกว่า Functions ดังแสดงในภาพที่ 2.57



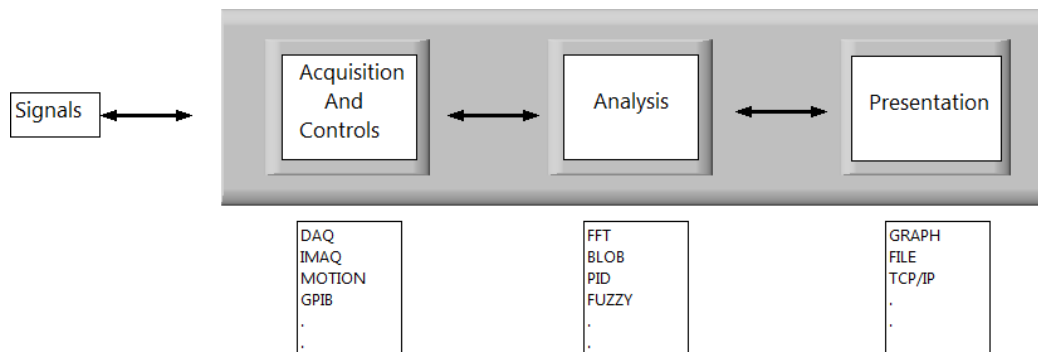
ภาพที่ 2.57 หน้าต่างใช้งานในโปรแกรมแลปวิว

โปรแกรมแลปวิวสามารถเขียนเป็นสมการต่างๆ ที่ซับซ้อนได้เหมือน Text-based เช่น ภาษาซี โดยใช้ Formula Node และ แลปวิวจะทำงานเน้นการติดต่อกับเครื่องมือหรือทรานสดิวเซอร์(Transducer) ที่ใช้วัดสัญญาณทางกายภาพต่างๆ และนอกจากนั้นสามารถนำประโยชน์จาก Computer Technology และ Network Technology มาประยุกต์ใช้งาน เช่น เก็บข้อมูลลงในฐานข้อมูล (Database) หรือส่งผ่านข้อมูลทางอินเทอร์เน็ต ทำให้ในหลายอุตสาหกรรมได้นำเอาแลปวิว มาประยุกต์ใช้งานวัดควบคุมและอัตโนมัติ(Automation)



ภาพที่ 2.58 แสดงการใช้งาน Formula Node ในแลปวิว

2.7.2 หลักการทำงานของแลปวิว แลปวิวอาศัยหลักการทำงานของเครื่องมือวัดหรือการวัดคุม ทำให้ผู้ใช้สามารถออกแบบรูปแบบโปรแกรมตามที่ใช้ต้องการ หลักการดังกล่าวแบ่งออกเป็น 3 ส่วน



ภาพที่ 2.59 หลักการทำงานของแลปวิว

2.7.2.1 Acquisition ซึ่งเป็นส่วนที่รับข้อมูล(Input) จากสิ่งแวดล้อมภายนอกเข้าสู่ระบบในที่นี้คือ คอมพิวเตอร์ โดยข้อมูลที่เข้าสู่ระบบนี้อาจจะมาจาก การ์ด DAQ(สำหรับสัญญาณทางไฟฟ้า), การ์ด IMAQ (สำหรับข้อมูลประเภทรูป) หรือ GPIB (สำหรับควบคุมเครื่องมือวัด)

2.7.2.2 หลังจากที่ได้รับข้อมูลแล้วอาจจะผ่านฟังก์ชันในการทำ Analysis หรือ วิเคราะห์ข้อมูล ซึ่งจะแสดงผลในภาพที่2.59สื่อความหมายในสิ่งที่ผู้ใช้งานสามารถนำไปแสดงแทนสื่อที่วัดและใช้งานได้

2.7.2.3 Presentation คือการแสดงผลในรูปแบบที่เป็นประโยชน์ต่อผู้ใช้งาน โดยอาจแสดงบนหน้าจอคอมพิวเตอร์ เช่น DMM (Digital Millimeter) แสดงผลเฉพาะสัญญาณที่วัดได้โดยไม่จำเป็นต้องรู้ความสัมพันธ์กับเวลา หรือ Oscilloscope แสดงผลของข้อมูลที่สัมพันธ์กับเวลา หรือ Spectrum Analyzer จะแสดงสัญญาณ ในรูปความถี่หรือการพิมพ์ออกมาเป็นรายงานหรือเก็บข้อมูลในฮาร์ดดิสก์

ตารางที่ 2.11 แสดงลักษณะของเส้น (wire) ข้อมูลแต่ละชนิดในแลปวิว

	Scalars	1-D Array	2-D Array	สี
เลขทศนิยม				ส้ม
เลขจำนวนเต็ม				น้ำเงิน
Boolean				เขียว
ตัวอักษร				ชมพู

ตารางที่ 2.12 แสดงชนิดของตัวควบคุมและตัวแสดงผล

ตัวควบคุม	ตัวแสดงผล	ชนิดของข้อมูล	สี
		ข้อมูลตัวเลขมีจุดทศนิยมแบบเดียวมีความเที่ยงตรงสูง	ส้ม
		ข้อมูลตัวเลขมีจุดทศนิยมแบบคู่สองมีความเที่ยงตรงสูง	ส้ม
		ข้อมูลตัวเลขมีจุดทศนิยมแบบมีย่านที่กว้างออกไปมีความเที่ยงตรงสูง	ส้ม
		ข้อมูลตัวเลขมีจุดทศนิยมแบบเดียวมีความซับซ้อนและความเที่ยงตรงสูง	ส้ม
		ข้อมูลตัวเลขมีจุดทศนิยมแบบคู่สองมีความซับซ้อนและความเที่ยงตรงสูง	ส้ม
		ข้อมูลตัวเลขมีจุดทศนิยมแบบมีย่านวัดกว้างออกไป มีความซับซ้อนและความเที่ยงตรงสูง	ส้ม
		ข้อมูลจำนวนเต็มที่น่าสนใจเครื่องหมาย ขนาด 8 บิต	น้ำเงิน
		ข้อมูลจำนวนเต็มที่น่าสนใจเครื่องหมาย ขนาด 16 บิต	น้ำเงิน
		ข้อมูลจำนวนเต็มที่น่าสนใจเครื่องหมาย ขนาด 32 บิต	น้ำเงิน
		ข้อมูลจำนวนเต็มที่ไม่สนใจเครื่องหมาย ขนาด 8 บิต	น้ำเงิน
		ข้อมูลจำนวนเต็มที่ไม่สนใจเครื่องหมาย ขนาด 16 บิต	น้ำเงิน
		ข้อมูลจำนวนเต็มที่ไม่สนใจเครื่องหมาย ขนาด 32 บิต	น้ำเงิน
		ข้อมูลแบบแจกแจง	น้ำเงิน
		ข้อมูลที่ให้เลือกจริง/เท็จ	เขียว
		ข้อมูลอักขระ	ชมพู
		ข้อมูลอาร์เรย์มีวงเล็บแสดงขอบเขตและค่านึงถึงสีของชนิดข้อมูลที่ใช้	หลากหลาย
		ข้อมูลหลากหลายชนิดอยู่รวมเป็นกลุ่ม ถ้าองค์ประกอบของข้อมูลต่างกันสีก็จะต่างกัน	น้ำตาล
			ชมพู
		ทางผ่าน(Path)	น้ำทะเล
		ข้อมูลที่มีชนิดตัวเลขอ้างอิง	น้ำตาล
		ชุดควบคุมหรือชุดแสดงผล, ชนิดข้อมูล, และการแปรผันหมวดหมู่ของข้อมูล	น้ำทะเล
		แสดงและเลือกใช้ชื่อพอร์ตอินพุตเอาต์พุต ของอุปกรณ์ที่นำมาต่อเช่น พอร์ตอนุกรม ชื่อของการ์ดDAQ	ม่วง
		แสดงรูปภาพสามารถจำกัดเส้นการต่อ, วงกลม, ตัวอักษร, และชนิดของรูปร่างเกี่ยวกับรูปภาพ	น้ำเงิน

2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สสิต เจียรวิทยากิจ (2548) ได้ทำการวิจัยเรื่อง “พฤติกรรมพื้นฐานสำหรับหุ่นยนต์เคลื่อนที่ด้วยระบบควบคุมแบบคลุมเครือ” เพื่อหาลบลัทธิสิ่งกีดขวางและควบคุมการเคลื่อนที่สำหรับหุ่นยนต์เคลื่อนที่ โดยใช้ตัวตรวจจับวัดอัลตราโซนิกเป็นสัญญาณอินพุตจำนวน 5 อินพุตเพื่อหาสัญญาณเอาต์พุต 2 เอาต์พุต ใช้กฎของฟัซซี่จำนวน 46 กฎแต่ละกฎเป็นการจำลองตำแหน่งของสิ่งกีดขวางเพื่อกำหนดพฤติกรรมเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ ผลการวิจัยพบว่า การเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์สามารถมีปฏิกิริยาต่อสิ่งแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงไปอย่างอิสระ พฤติกรรมพื้นฐานสามารถทำได้ถูกต้อง ขนาดของสิ่งกีดขวางมีผลต่อการตรวจจับ ค่าของความสัมพันธ์อินพุตและเอาต์พุตยังไม่ใช้ค่าที่ให้ผลตอบแทนที่ดีที่สุด

พันจำเอนมานพ ห่างภัย (2549) ได้ทำการวิจัยเรื่อง “การควบคุมแรงด้วยฟัซซี่ของมือหุ่นยนต์” กำหนดให้จับวัตถุขนาดที่แตกต่างกันไม่เกิน 1 กิโลกรัม 5 ขนาดได้แก่ 100, 200, 300, 400 และ 500 กรัม โดยใช้ตัวควบคุมแบบฟัซซี่และแบบพีไอดี ซึ่งได้เปรียบเทียบกับ ระหว่างตัวควบคุมทั้งสองถึงประสิทธิภาพการเข้าสู่ตำแหน่งอ้างอิงและค่าผิดพลาดที่เกิดขึ้น ระบบควบคุมสร้างขึ้นด้วยโปรแกรม Microsoft Visual Basic 6.0 ผลงานวิจัยพบว่า การทดลองทั้ง 5 การทดลองสรุปได้ว่า Fuzzy ใช้เวลาคงตัวและความแม่นยำในการเข้าสู่ตำแหน่งอ้างอิงดีกว่า PID ซึ่งดูได้จากค่าของช่วงเวลาต่างๆ และค่าผิดพลาดที่เกิดขึ้นจากการทดลอง

สมเกียรติ ดวงหอม (2550) ได้ทำการวิจัยเรื่อง “การควบคุมตำแหน่ง ความเร็วและแรงบิดแบบฟัซซี่ลอจิกของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงสำหรับหุ่นยนต์แบบคาร์ทีเซียน” ได้ออกแบบระบบควบคุมโดยใช้โปรแกรม Microsoft Visual Basic 6.0 มาใช้ควบคุมหุ่นยนต์ให้ขับเคลื่อนอย่างอิสระ 3 แกน คือ แกน X,Y,และแกนZ อินพุตคือค่าความผิดพลาด(Error) และ (Delta Error) เอาต์พุตใช้ขับเคลื่อนแกน Z ส่วนแกน X และแกนY ควบคุม 2 ลูป คือ ตำแหน่ง และแรงบิด แต่ละลูปใช้ฟัซซี่ให้มี 2 อินพุต ผลงานวิจัยพบว่า หุ่นยนต์สามารถเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระ และมีความแม่นยำ การควบคุมแบบ Fuzzy จะใช้เวลาในการเข้าสู่ตำแหน่งอ้างอิงค่อนข้างมาก และเนื่องจากหุ่นยนต์ที่นำมาทดลองมีความผิดของแต่ละแกนแตกต่างกันอย่างมากจึงทำให้การควบคุมในแต่ละแกนแตกต่างกัน

สมพงษ์ จำนงจิต (2550) ได้ทำการวิจัยเรื่อง “การควบคุมตำแหน่งแขนกล 3 แกนแบบฟัซซี่สไลด์ดิ้งโหมด” ได้ใช้โปรแกรมLabVIEW 8.0 และโปรแกรม MATLAB 7.0 มาใช้ในการควบคุมเครื่องจักร โดยใช้ตัวควบคุมแบบฟัซซี่ ให้มีอินพุต 2 อินพุต และได้ทดลองเปรียบเทียบการควบคุมแบบฟัซซี่กับฟัซซี่สไลด์ดิ้งโหมด ผลการวิจัยพบว่า การควบคุมแบบฟัซซี่ มีความผิดพลาดต่ำสุดคือ

0% ในขณะที่ฟัซซีไลต์ดิงโหมดมีความผิดพลาดต่ำสุด 0% การควบคุมฟัซซีไลต์ดิงโหมดมีจำนวน Fuzzy Rules น้อยกว่าการควบคุมแบบฟัซซี โดยการควบคุมแบบฟัซซีไลต์ดิงโหมดมี 3 Fuzzy Rules แต่การควบคุมแบบฟัซซีมี 25 Fuzzy Rules ดังนั้นการควบคุมแบบฟัซซีไลต์ดิงโหมดควบคุมตำแหน่งจึงมีประสิทธิภาพและมีความแม่นยำสูงกว่าการควบคุมแบบฟัซซี

เรือตรีสุชิน มุขศรี (2550) ได้ทำการวิจัยเรื่อง “เทคนิคการเรียนรู้การนำทางของหุ่นยนต์เคลื่อนที่” ใช้กฎของฟัซซีจำนวน 27 กฎ มาใช้ในการควบคุมการหลบหลีกและการเคลื่อนที่ตามเส้นของหุ่นยนต์จำนวนการเรียนรู้ที่สร้างขึ้นจะบ่งบอกพฤติกรรมของหุ่นยนต์ ประกอบด้วยการหยุด การเคลื่อนที่แบบจุดต่อจุด การเคลื่อนที่แบบระมัดระวัง ใช้อุปกรณ์ป้อนกลับ(Feedback Device) คือ Ultrasonic ผลการวิจัยพบว่าการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์สามารถมีปฏิกิริยาต่อสิ่งแวดล้อมอย่างอิสระ พฤติกรรมพื้นฐานสามารถทำได้ถูกต้อง ขนาดของตำแหน่งอ้างอิงมีผลต่อการตรวจจับ โดยตำแหน่งขนาดใหญ่จะตรวจจับได้ดีกว่าตำแหน่งขนาดเล็ก ทิศทางการพัฒนาให้หุ่นยนต์สามารถมีปฏิกิริยาต่อสิ่งแวดล้อมได้ดีขึ้น ควรใช้ข้อมูลตัวตรวจจับอย่างอื่นเข้าร่วมด้วยเช่น สัญญาณภาพ หรือ GPS