

บทที่ 2

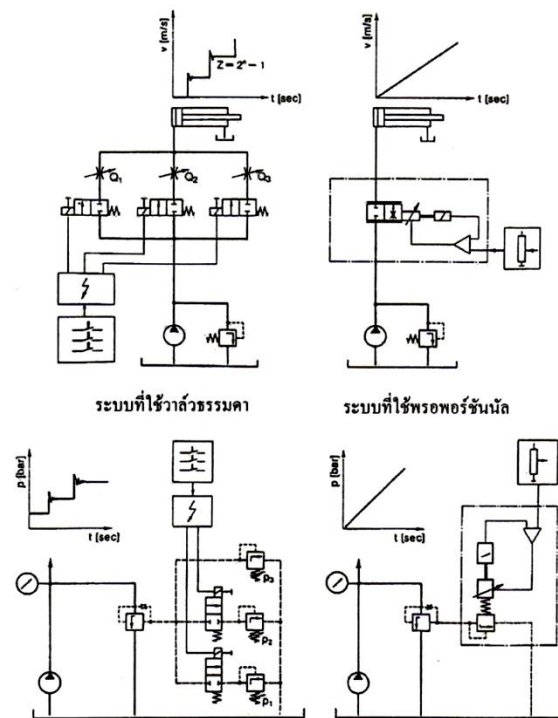
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

การจัดทำโครงงานเรื่องชุดฝึกปฏิบัติการทดลองการควบคุมตำแหน่งและการเคลื่อนที่เชิงเส้นในระบบไฮดรอลิกโดยใช้พีไอดี (PID) และฟัซซี (Fuzzy) มีความจำเป็นจะต้องศึกษาความรู้หลาย ๆ ด้าน ซึ่งในบทนี้จะนำเรื่องที่ได้ศึกษาหาความรู้เพื่อมาใช้ในการทำโครงงานดังนี้

- 2.1 ระบบพรอพพอร์ชันนัลไฮดรอลิก (Proportional hydraulic)
- 2.2 การควบคุมด้วยพีไอดี (PID Controller)
- 2.3 การควบคุมด้วยฟัซซี (Fuzzy Logic Controller)
- 2.4 อุปกรณ์ป้อนกลับ (Feedback Device)
- 2.5 ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller)
- 2.6 โปรแกรมแล็บวิว (LabVIEW)

2.1 ระบบพรอพพอร์ชันนัลไฮดรอลิก (Proportional Hydraulic)

ปัจจุบันระบบไฮดรอลิกมีการนำอุปกรณ์ใหม่ๆ มาใช้เพื่อควบคุมการทำงานของกระบอกสูบหรือมอเตอร์ไฮดรอลิก ให้มีการทำงานอย่างมีนวล เทียบตรง รวมไปถึงสามารถลดจำนวนอุปกรณ์และชิ้นส่วนทางกลให้น้อยลง นอกจากนั้นยังลดความเสียหายของอุปกรณ์ที่เกิดจากการกระแทกอันเนื่องมาจากความดันได้อีกด้วย ซึ่งชุดอุปกรณ์ดังกล่าวมักเรียกด้วยกันว่า “ระบบพรอพพอร์ชันนัลไฮดรอลิก (Proportional Hydraulic)”



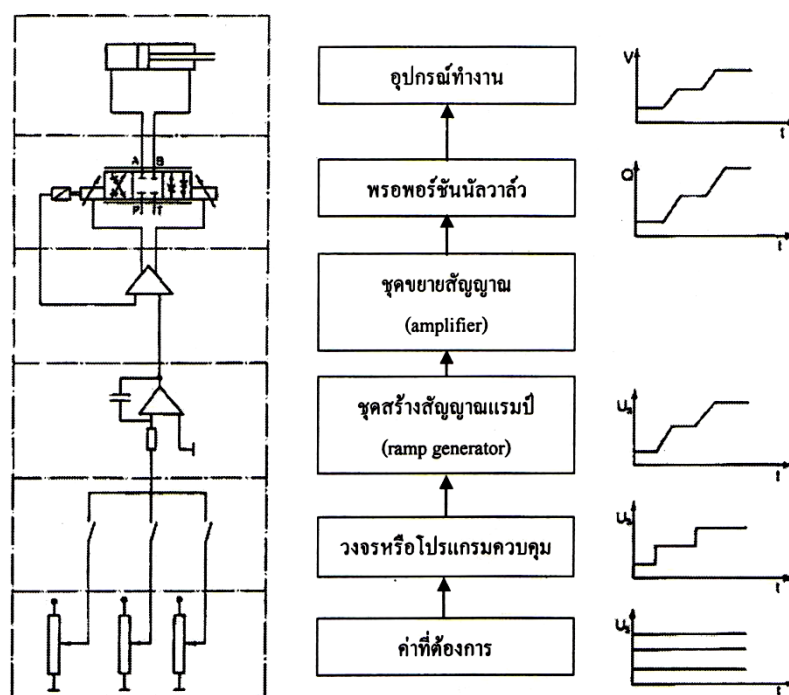
ภาพที่ 2.1 ตัวอย่างการใช้พรอพอร์ชันนัลแทนวาล์วธรรมดาในระบบไฮดรอลิก

ข้อได้เปรียบของระบบพรอพอร์ชันนัลไฮดรอลิกเมื่อเทียบกับระบบไฮดรอลิกที่ใช้วาล์วเปิด/ปิดธรรมดาทั่วไป สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 เปรียบเทียบข้อได้เปรียบของระบบ

ความสามารถในการปรับ	-สามารถปรับอัตราการไหลและความดันโดยผ่านทางสัญญาณอินพุตไฟฟ้าอย่างต่อเนื่อง -ปรับอัตราการไหลและความดันในขณะทำงานอัตโนมัติ
ผลต่ออุปกรณ์ขับเคลื่อน	-มีความเป็นอัตโนมัติ,ต่อเนื่องและมีความละเอียดในการปรับ แรงหรือแรงบิด, ความเร็ว, ความเร่ง, และตำแหน่งหรือมุมของการหมุน
ผลต่ออัตราสิ้นเปลืองพลังงาน	-สิ้นเปลืองพลังงานน้อยลงในการควบคุมความดันและอัตราการไหล
วงจรไฮดรอลิก	-วาล์วแบบพรอพอร์ชันนัลสามารถทำหน้าที่แทนวาล์วต่างๆได้ เช่นวาล์วควบคุมทิศทางและวาล์วควบคุมอัตราการไหล ทำให้วงจรไม่ซับซ้อน

สำหรับระบบพรอพอร์ชันนัลไฮดรอลิก จะประกอบด้วยส่วนที่สำคัญดังแสดงในภาพที่ 2.2 โดยในส่วนของการควบคุมจะใช้แผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งในส่วนใหญ่จะรวมอยู่ในชุดเดียวกัน



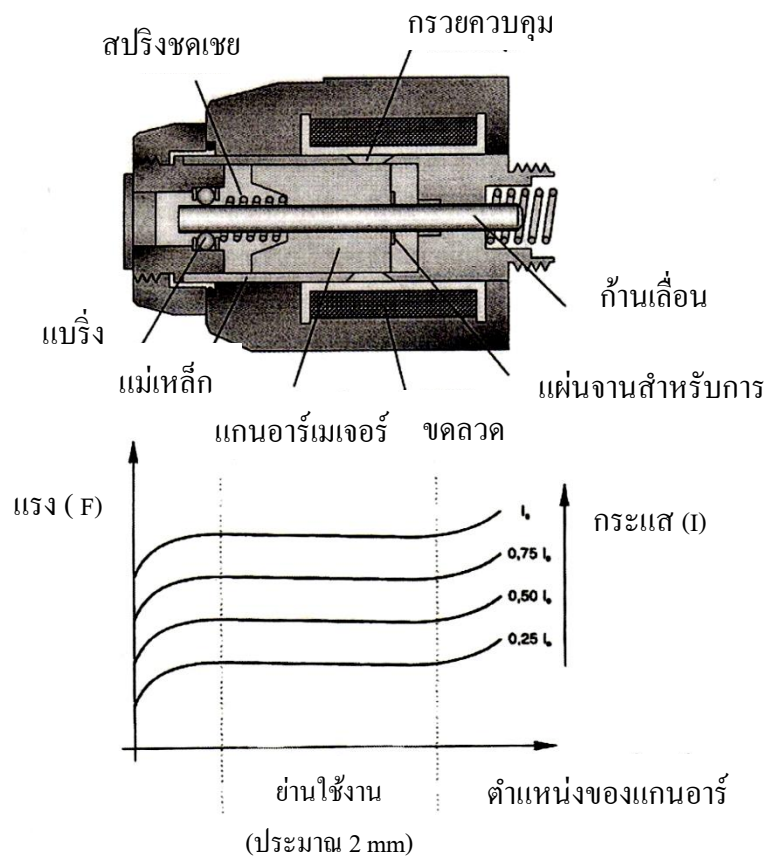
ภาพที่ 2.2 ส่วนประกอบหลักของระบบพรอพอร์ชันนัลไฮดรอลิก

2.1.1 พรอพอร์ชันนัลวาล์ว (Proportional Valve)

จากส่วนประกอบหลักของระบบพรอพอร์ชันนัลไฮดรอลิกในภาพที่ 2.2 ในอันดับแรกเราจะมาทำความรู้จักกับพรอพอร์ชันนัลวาล์วก่อน (Proportional ความหมายในภาษาไทยคือ สัดส่วน)

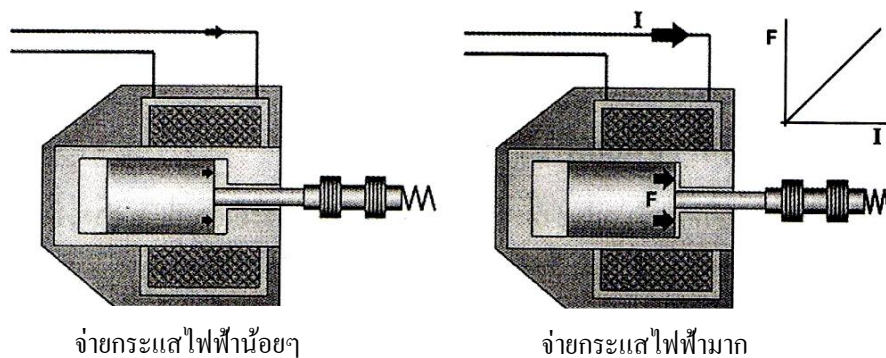
2.1.1.1 พรอพอร์ชันนัลโซลินอยด์ (Proportional Solenoid)

โครงสร้างและหลักการทำงานของพรอพอร์ชันนัลโซลินอยด์จะมีส่วนที่แตกต่างออกไปจากวาล์วเปิด/ปิดทั่วไปคือ มีกรวยควบคุม(Control cone) ที่สร้างจากวัสดุที่เป็นแม่เหล็กไม่ได้ (Non - magnetisable Material) โดยกรวยดังกล่าวจะมีผลต่อการจัดเรียงเส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดขึ้น จากโครงสร้างที่เพิ่มเข้ามานี้เองทำให้แรงที่ได้เพิ่มขึ้นตามสัดส่วนของระดับกระแสไฟฟ้าที่ป้อนเข้ามา และพฤติกรรมดังกล่าวจึงเป็นที่มาของคำว่าพรอพอร์ชันนัล (Proportional) หรือหากจะสรุปอย่างง่ายๆ พรอพอร์ชันนัลโซลินอยด์จะมีความทำงานเป็นแบบต่อเนื่อง (Analog) ซึ่งต่างจากโซลินอยด์ทั่วไปที่เป็นการทำงานแบบเปิด/ปิด



ภาพที่ 2.3 ส่วนประกอบและหลักการทำงานของพรอพอร์ชันนัลโซลินอยด์

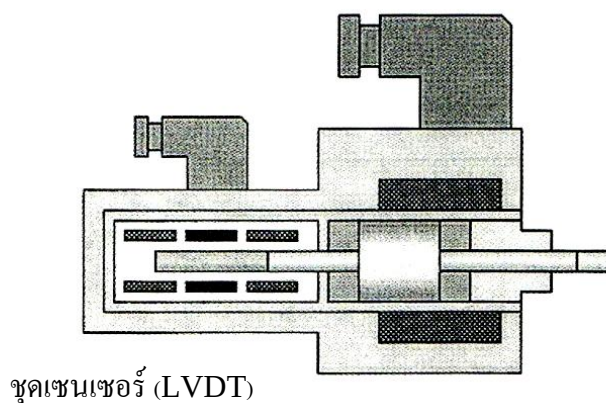
จากที่ได้กล่าวมาแล้ว แรงที่ได้พรอพอร์ชันนัลโซลินอยด์จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับกระแสที่ป้อนเข้าไปในชุด ขดลวด เพื่อให้เห็นภาพในกรณีที่น่าเข้ามาใช้ร่วมกับวาล์ว(กลายเป็นพรอพอร์ชันนัลวาล์ว)ดูตัวอย่างจากภาพที่ 2.4



ภาพที่ 2.4 ตัวอย่างการนำพรอพอร์ชันนัลโซลินอยด์มาใช้ร่วมกับวาล์ว

จากภาพที่ 2.4 จะเห็นว่าเมื่อจ่ายกระแสไฟฟ้าค่าน้อยๆ ให้กับโซลินอยด์แรงที่เกิดขึ้นจะน้อย ส่งผลให้ระยะในการเคลื่อนที่ที่น้อยตามไปด้วย และในการทำนองเดียวกันหากเพิ่มปริมาณการจ่ายกระแสให้กับชุดโซลินอยด์แรงที่เกิดขึ้นก็จะเพิ่มขึ้นส่งผลให้ระยะในการเคลื่อนที่มากขึ้นตามไปด้วยเช่นกัน

เนื่องจากผลที่เกิดจากการทำให้เกิดอำนาจแม่เหล็ก แรงเสียดทาน รวมทั้งแรงจากการไหลของน้ำมัน ล้วนแล้วแต่จะมีผลกระทบต่อการทำงานของพรอพอร์ชันนัลวาล์วทั้งสิ้น นั่นก็จะมีผลทำให้ตำแหน่งของการเคลื่อนที่ของแกนอาร์เมเจอร์ (Armature) ไม่ถูกต้องมีความคลาดเคลื่อนจากความเป็นจริงและไม่สอดคล้องกับค่ากระแสไฟฟ้าจ่ายเข้าไป ดังนั้นสำหรับงานบางประเภทที่ต้องการแม่นยำสูงจึงจำเป็นต้องใช้เซนเซอร์ในการตรวจการเคลื่อนตัวของแกนอาร์เมเจอร์หรือสปลูของวาล์ว ซึ่งเราอาจเรียกพรอพอร์โซลินอยด์ดังกล่าวนี้ว่าเป็นแบบควบคุมช่วงชัก (Stroke controlled)

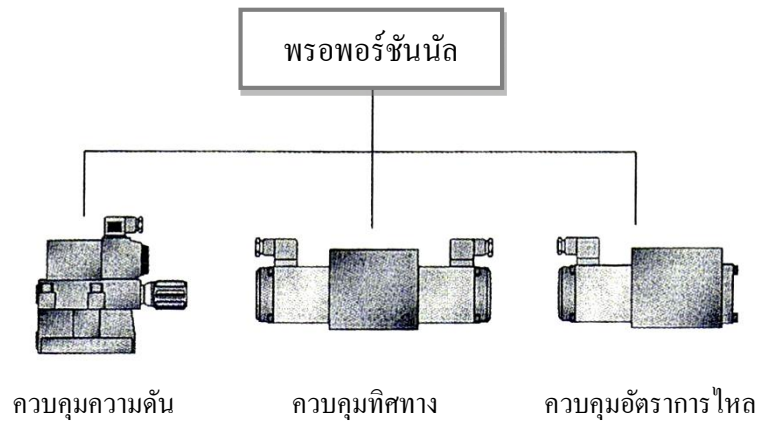


ชุดเซนเซอร์ (LVDT)

ภาพที่ 2.5 การใช้เซนเซอร์ควบคุมตำแหน่งการเคลื่อนที่ของพรอพอร์ชันนัล โซลินอยด์

2.1.1.2 ประเภทของพรอพอร์ชันนัลวาล์ว

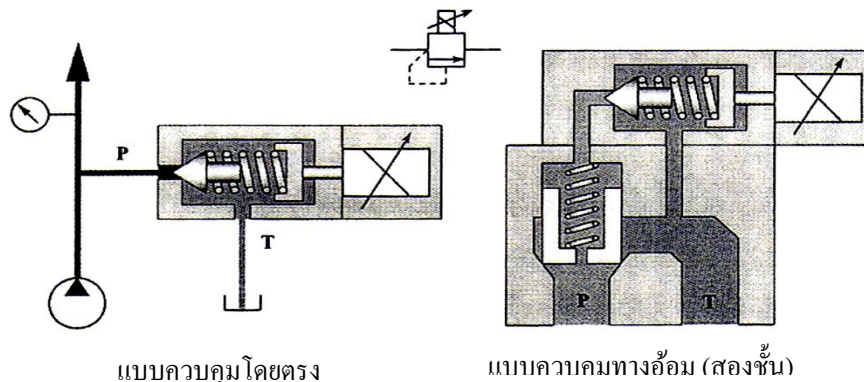
ดังที่ทราบเป็นการดีที่อยู่แล้วว่า วาล์วในระบบไฮดรอลิกโดยทั่วไปสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 กลุ่มด้วยกันซึ่งนั่นก็หมายถึงว่าพรอพอร์ชันนัลวาล์วก็สามารถแบ่งออกเป็น 3 กลุ่มด้วยเช่นกันคือ วาล์วควบคุมความดัน วาล์วควบคุมทิศทาง และวาล์วควบคุมอัตราไหล



ภาพที่ 2.6 ประเภทของพรอพอร์ชันนัลวาล์ว

(1) พรอพอร์ชันนัลวาล์วควบคุมความดัน

เราสามารถปรับค่าความดันของน้ำมันไฮดรอลิกได้โดยผ่านสัญญาณทางไฟฟ้าที่ป้อนให้กับพรอพอร์ชันนัลวาล์วควบคุมความดัน ในภาพที่ 2.7 เป็นการแสดงตัวอย่างหลักของวาล์วปลดความดันแบบพรอพอร์ชันนัล

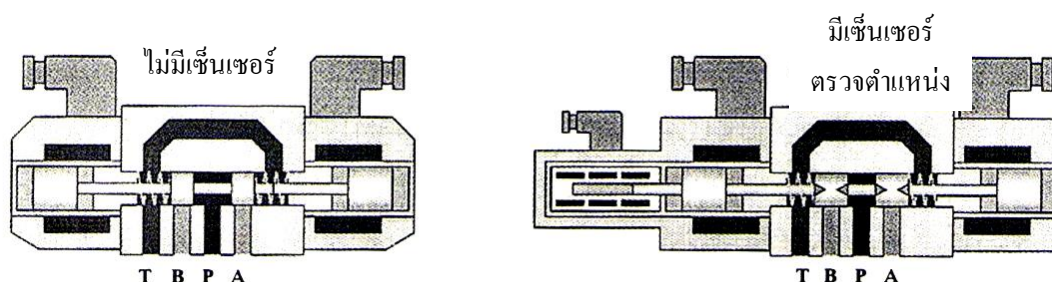


ภาพที่ 2.7 วาล์วปลดความดันแบบพรอพอร์ชันนัล

หากมีพื้นฐานความรู้ในเรื่องวาล์วควบคุมความดันอย่างเพียงพอ ดังนั้นสำหรับพรอพอร์ชันนัลวาล์วควบคุมความดันก็คงไม่มีปัญหาอะไร เนื่องจากการเปลี่ยนจากการใช้มือปรับมาเป็นการใช้สัญญาณอย่างไฟฟ้าปรับการทำงานแทนนั่นเอง จากภาพที่ 2.7 ความดันที่ช่อง P จะกระทำกับหน้ากรวยควบคุมซึ่งผ่านน้ำมันมาจากช่องนำ (Pilot) ของลิ้นควบคุม โดยพรอพอร์ชันนัลโซลินอยด์จะออกแรงต้านในทิศทางตรงข้ามซึ่งการปรับขนาดของแรงต้านจะขึ้นอยู่กับปริมาณของกระแสไฟฟ้าที่จ่ายเข้าโซลินอยด์ กล่าวคือ กรวยน้ำมันจะยังคงปิดช่องน้ำมัน T อยู่ตลอดเวลาจนกว่าแรงที่เกิดจากโซลินอยด์มีค่าน้อยกว่าแรงที่เกิดจากความดันน้ำมัน น้ำมันจึงจะถูกระบายออกที่ช่อง T ได้

(2) พรอพอร์ชันนัลวาล์วควบคุมทิศทาง

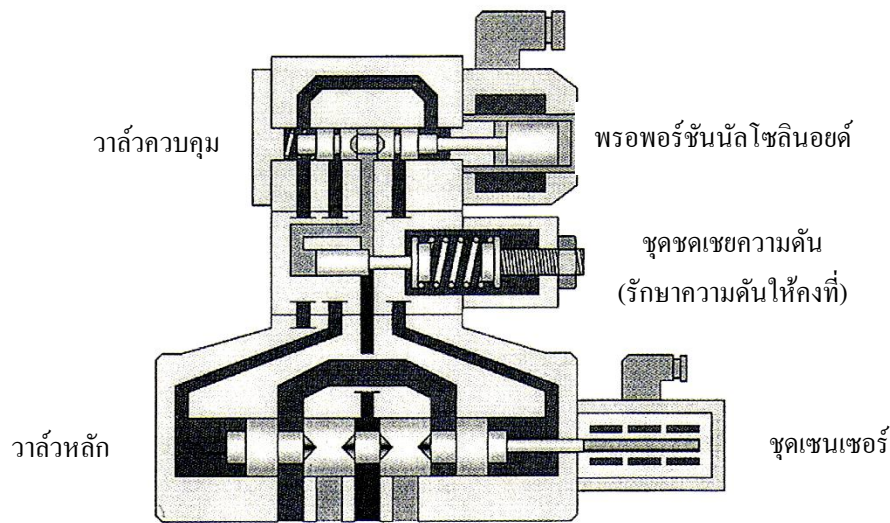
สำหรับพรอพอร์ชันนัลวาล์วควบคุมทิศทาง มีลักษณะของการออกแบบ คล้ายคลึงกับวาล์ว 4/3 ทัวไป (ตำแหน่งการเป็นปกติ) แต่มีลักษณะพิเศษตรงที่สามารถปรับอัตรา การไหลได้ด้วย ในภาพที่ 2.8 เป็นการแสดงถึงโครงสร้างและหลักการทำงาน



ภาพที่ 2.8 พรอพอร์ชันนัลวาล์วควบคุมทิศทางชนิดควบคุมโดยตรง

ภาพที่ 2.8 หากสัญญาณไฟฟ้าเท่ากับศูนย์ วาล์วจะอยู่ตำแหน่งกลางด้วยแรงของ สปริงทั้งสองด้านแต่หากเราค่อยๆ จ่ายสัญญาณไฟฟ้าเข้าไปยังโซลินอยด์ด้านขวามือก็จะทำให้ลิ้น วาล์วค่อยๆ เลื่อนไปทางซ้ายมือ น้ำมันจากช่อง P จะต่อกับช่อง B และ A จะติดกับ T และหาก เราค่อยๆ จ่ายสัญญาณไฟฟ้าเข้าไปยังโซลินอยด์ด้านซ้ายมือก็จะทำให้ลิ้นวาล์วค่อยๆ เลื่อนไป ทางขวามือน้ำมันจากช่อง P จะต่อกับ A และ B จะต่อกับ T ดังที่ได้อธิบายมาเราจะเห็นว่า พรอพอร์ชันนัลวาล์วแบบนี้ นอกทางควบคุมทิศทางน้ำมันได้แล้ว ยังสามารถควบคุมการไหลของ น้ำได้อีกด้วย ทั้งนี้จะขึ้นกับปริมาณและทิศทางของกระแสไฟฟ้าที่ป้อนเข้าไปยังโซลินอยด์

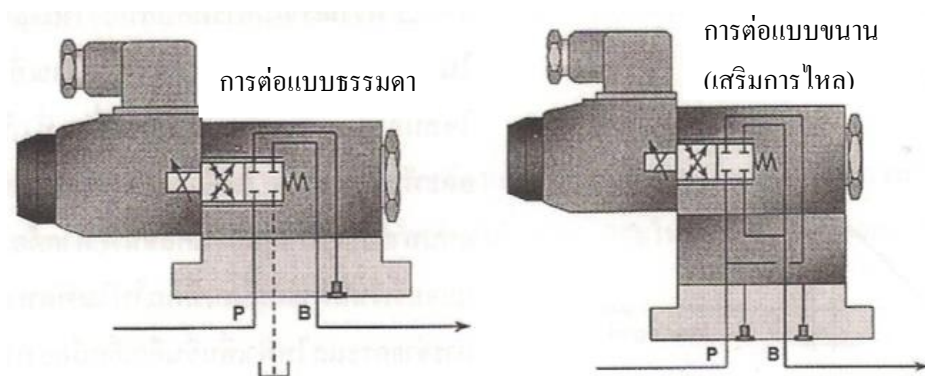
ในการควบคุมที่ต้องการความละเอียดและแม่นยำสูงชุดโซลินอยด์จะต้องมี เซ็นเซอร์ที่ใช้ในการตรวจจับตำแหน่งการเคลื่อนที่ติดตั้งร่วมอยู่ด้วยดังที่เคยได้กล่าวถึงไว้ใน ตอนต้น นอกจากนั้นหากเป็นระบบไฮดรอลิกขนาดใหญ่เพื่อเป็นการประหยัดพลังงานทางไฟฟ้า การทำงานของวาล์วต้องเป็นชนิดที่สั่งงานทางอ้อมซึ่งการตรวจจับตำแหน่งอาจจะอยู่ที่วาล์วหลัก หรืออาจใช้เซ็นเซอร์สองชุดก็ได้เช่นกัน ภาพที่ 2.9 เป็นอีกตัวอย่างหนึ่งของพรอพอร์ชันนัลวาล์ว ควบคุมทิศทาง



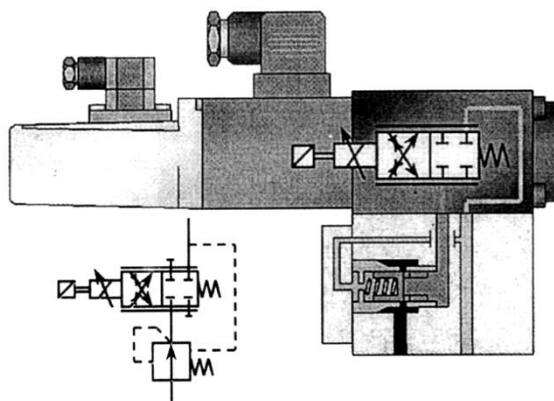
ภาพที่ 2.9 พอร์ชันนัลวาล์วควบคุมทิศทางชนิดทำงานทางอ้อมและเซนเซอร์ตรวจจับตำแหน่ง

(3) พอร์ชันนัลวาล์วควบคุมการไหล

จริงๆ แล้ววาล์วส่วนนี้ไม่ค่อยได้รับความนิยมมากนัก เนื่องจากว่าพอร์ชันนัลวาล์วควบคุมทิศทางก็สามารถควบคุมการไหลได้ภายในตัวมันเอง อย่างไรก็ตามสำหรับพอร์ชันนัลวาล์วควบคุมการไหล อัตราการไหลก็จะขึ้นอยู่กับเกิดการเกิดของลิ้นบ่าควบคุม (ซึ่งถูกกำหนดมาจากสัญญาณไฟฟ้าควบคุม) และความดันตกคร่อม (Pressure Drop) ที่ตัววาล์ว ดังนั้นเพื่อให้เกิดความแน่ใจว่าอัตราการไหลจากขึ้นอยู่กับสัญญาณควบคุมเพียงอย่างเดียว จึงจำเป็นต้องรักษาความดันตกคร่อมให้มีค่าคงที่ไว้ ซึ่งสามารถกระทำได้หลายวิธีด้วยกัน เช่น เพิ่มส่วนสร้างระดับความสมดุลของความดัน (Hydrostat) รวมไว้ในตัววาล์ว



ภาพที่ 2.10 พอร์ชันนัลวาล์วควบคุมการไหล



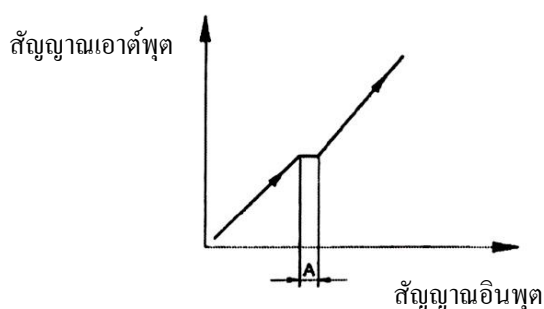
ภาพที่ 2.10 (ต่อ) พรอพอร์ชันนัลวาล์วควบคุมการไหลแบบมีชุดรักษาระดับความดัน

2.1.1.3 คุณสมบัติของพรอพอร์ชันนัลวาล์ว

มีความเป็นไปได้เล็กน้อยมากที่ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอินพุตที่ในที่นี้ก็คือ ค่ากระแสไฟฟ้าและตัวแปรเอาต์พุตพุต ซึ่งอาจจะอยู่ในรูปของความดันหรืออัตราไหลจะเกิดเป็น กราฟเชิงเส้น ทั้งนี้เนื่องมาจากสาเหตุหลายๆ ประการด้วยกัน เช่นความเสียดทานของสปูล รูปร่าง ของปลอกสูบสปูล(Overlap) แรงต้านจากสปริง และผลจากการอำนาจแม่เหล็ก ฯลฯ

พฤติกรรมของพรอพอร์ชันนัลวาล์ว

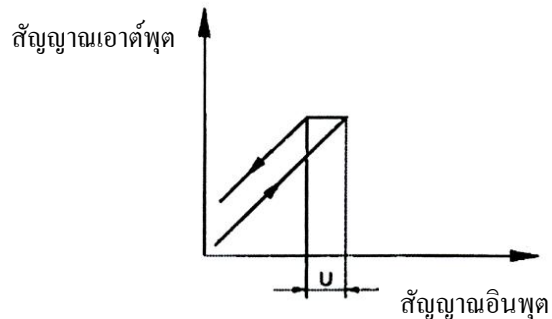
การเบี่ยงเบนจากพฤติกรรมของพรอพอร์ชันนัลวาล์วไม่ว่าจะเกิดขึ้นจากสาเหตุ ใดๆ ก็ตามจะทำให้เกิดพฤติกรรมต่างๆ ขึ้นกับพรอพอร์ชันนัลวาล์วดังนี้



ภาพที่ 2.11 ความเร็วในการตอบสนอง

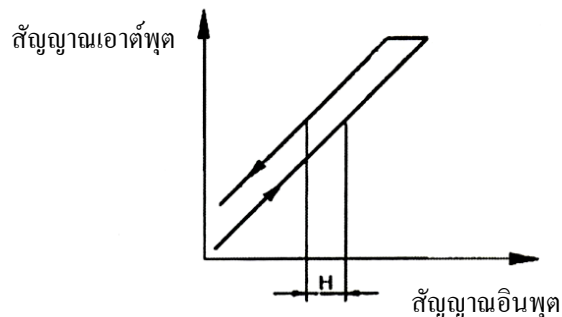
ความเร็วในการตอบสนอง (Response Sensitivity) ในกรณีเมื่อมีกระแสไฟฟ้า (สัญญาณอินพุต) ไหลผ่านโซลินอยด์ แกนอาร์เมเจอร์จะเคลื่อนที่ (สัญญาณเอาต์พุต) และทันที ที่กระแสไฟฟ้าคงที่ไม่มีเปลี่ยนแปลงทำให้แกนอาร์เมเจอร์หยุดการเคลื่อนที่ หากต้องการให้

แกนอาร์เมเจอร์เริ่มมีการเคลื่อนที่ต่อไปในทิศทางเดิม ก็จะต้องมีการจ่ายกระแสไฟฟ้าเพิ่มขึ้นเล็กน้อย การเพิ่มค่า ในการเปลี่ยนดังกล่าวนี้เรียกว่า “ความเร็วในการตอบสนอง”



ภาพที่ 2.12 ช่วงของการผันกลับ

ช่วงของการผันกลับ (Inversion Range) พฤติกรรมดังกล่าวมีลักษณะ เช่นเดียวกับกรณีของความไวในการตอบสนองแต่จากต่างกันตรงที่เป็นการให้แกนอาร์เมเจอร์เคลื่อนที่กลับในทิศทางตรงกันข้ามกับตอนแรก นั่นคือจะต้องลดการจ่ายกระแสไฟฟ้าลดลงจากการจ่ายกระแสไฟฟ้าลงจากตอนแรก ซึ่งช่วงระยะแตกต่างที่เกิดขึ้นของเส้นกราฟนี้ เรียกว่า “ช่วงของการผันกลับ”

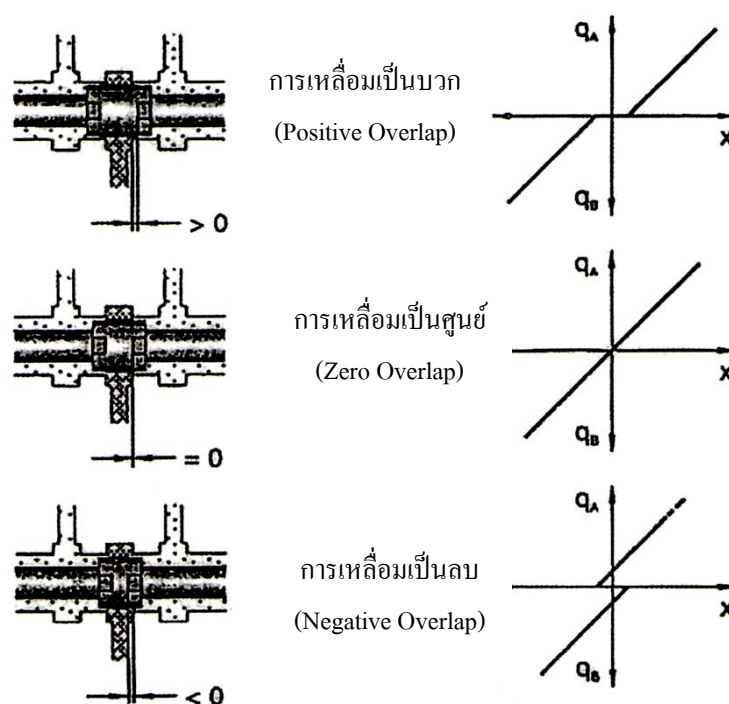


ภาพที่ 2.13 ฮิสเตอร์รีซิส

ฮิสเตอร์รีซิส (Hysteresis) ในกรณีที่จ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับพรอพอร์ชันนัลวาล์ว ตลอดย่านที่ถูกกำหนดไว้ทั้งตอนที่เพิ่มขึ้นและลดลงแม้ว่าสัญญาณกระแสไฟฟ้าอินพุตจะเป็นค่าเดียวกันก็ตาม แต่สัญญาณเอาต์พุตจะมีค่าที่แตกต่างกัน และช่วงระยะความแตกต่างที่มากที่สุดนี้ เรียกว่า “ฮิสเตอร์รีซิส”

หมายเหตุ: ไม่ว่าจะเป็นความเร็วในการตอบสนอง ช่วงของการผันกลับ หรือ ฮิสเตอร์รีซิส ก็ตาม โดยส่วนใหญ่แล้วมักมีค่าอยู่ประมาณ 3 ถึง 6% ของย่านที่กำหนดสำหรับวาล์ว ที่ไม่มีการควบคุมตำแหน่ง(ไม่มีเซนเซอร์หรือการป้อนกลับ) และ 0.2 ถึง 1% ของย่านที่กำหนด ของวาล์ว ที่มีการควบคุมตำแหน่ง(มีเซนเซอร์หรือการป้อนกลับ) จะที่กล่าวมาจะพบว่าวาล์วที่มีสมรรถนะหรือคุณสมบัติที่ดีต้องมีค่าต่างๆที่น้อยเนื่องจากค่าต่างๆเหล่านี้จะมีผลต่อ ค่าความเร็วและความแม่นยำของระบบนั่นเอง นอกจากนี้แล้วโครงสร้างของลิ้นวาล์วหรือสปูลกับระยะของช่องทางน้ำมัน(port) ที่ตัวเรือนวาล์วก็มีผลต่อการควบคุมด้วยเช่นกันและจะได้กล่าวถึงในลำดับต่อไป

การเหลื่อมของลิ้นวาล์ว (Overlap) การเหลื่อมกันของลิ้นวาล์วหรือสปูลกับช่องทางของน้ำมันที่ตัวเรือนวาล์ว จะมีผลต่ออัตราการไหลต่อสัญญาณไฟฟ้าที่ใช้ควบคุมและในลำดับต่อไปนี้จะกล่าวถึงการเหลื่อมที่เกิดขึ้นในพรอพอร์ชันนัลวาล์วควบคุมทิศทาง



ภาพที่ 2.14 การเหลื่อมและอัตราการไหล/สัญญาณไฟฟ้า

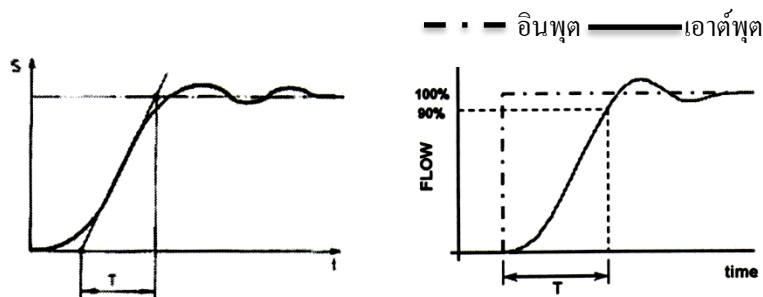
ในภาพที่ 2.14 จะพบว่าการเหลื่อมมีอยู่สามรูปแบบด้วยกันคือ การเหลื่อมเป็นบวก (Positive) หมายถึงความยาวของสปูลจะมีค่ามากกว่าช่องทางของน้ำมัน ดังนั้นในสภาพปกติ น้ำมันจึงไม่สามารถรั่วไหลออกไปที่ช่องทางน้ำมันได้แต่ตอนสั่งงานจะต้องมีสัญญาณช่วงหนึ่งที่ใช้ให้สปูลเลื่อนพ้นระยะดังกล่าว ซึ่งช่วงนี้อาจเรียกว่า “Dead Dand” โครงสร้างของวาล์วโดยส่วน

ใหญ่มักมีการไหลย้อนเป็นแบบบวกนี้ ส่วนวาล์วที่มีการไหลย้อนเป็นลบ (Negative) ไม่ค่อยพบเห็น เนื่องจากในสภาพปกติจะมีน้ำมันรั่วไหลออกที่ช่องทางน้ำมันซึ่งอาจส่งผลกระทบต่ออุปกรณ์ทำงานที่ต่อรวมอยู่ได้ และสำหรับการไหลย้อนที่เป็นศูนย์จริงๆ แล้วการไหลย้อนแบบนี้เป็นสิ่งที่ต้องการแต่ในทางปฏิบัติเป็นสิ่งที่ทำได้ยากและราคาแพง (มีใช้ในเซอร์โววาล์ว)

คุณสมบัติทางพลวัตหรือไดนามิก

ในหัวข้อที่ผ่านมาเป็นการกล่าวถึงค่าตัวแปรคุณสมบัติของพรอพอร์ชันนัลวาล์ว ในสภาวะคงตัว (Steady state) ในการควบคุมนอกจากพิจารณาค่าดังกล่าวแล้วคุณสมบัติขณะที่มีการเปลี่ยนแปลงหรือคุณสมบัติทางไดนามิกก็มีความสำคัญไม่ยิ่งหย่อนไปกว่ากัน โยทั่วไปความเร็วในการสั่งงานของพรอพอร์ชันนัลวาล์วสามารถพิจารณาได้จาก 2 ค่า คือ เวลาในการตอบสนอง (Response Time) และการตอบสนองความถี่ (Frequency Response)

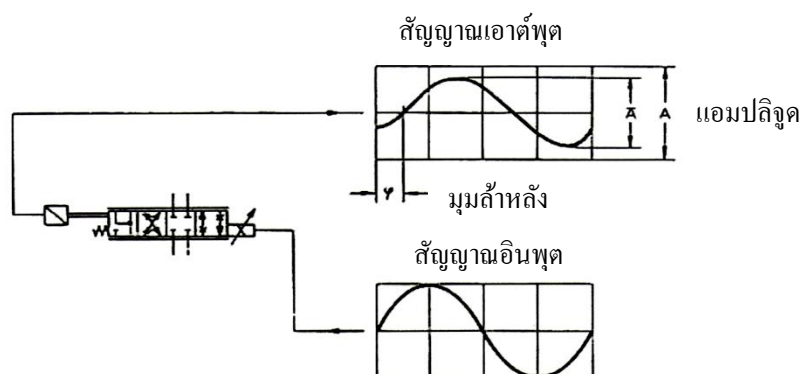
เวลาในการตอบสนอง (Response Time) ทันทีที่ป้อนสัญญาณอินพุตไปยังโซลินอยด์จะทำให้สปูลมีการเคลื่อนตัวและเมื่อพิจารณาเวลาที่ใช้ไปตั้งแต่ สปูลเริ่มเคลื่อนตัว (น้ำมันเริ่มไหล) จนกระทั่งสิ้นสุดปลายตำแหน่งของการทำงาน (น้ำมันไหลคงที่สูงสุด) เวลาดังกล่าวนี้ก็คือเวลาในการตอบสนองนั่นเอง



ภาพที่ 2.15 เวลาในการตอบสนองการเลื่อนวาล์ว

เวลา ในการตอบสนองการเลื่อนวาล์วแบบพรอพอร์ชันนัลจะมีค่าระหว่าง 0.01 วินาที ถึง 0.1 วินาที โดยทั้งนี้จะมีค่าเวลาในการตอบสนองที่แตกต่างกันออกไป โดยเฉพาะในกรณีของการป้อนสัญญาณที่เป็นบวกและเป็นลบ

การตอบสนองความถี่ (Frequency Responses) ในการวัดการตอบสนองความถี่สามารถกระทำได้โดยป้อนสัญญาณควบคุมอินพุตแบบรูปคลื่นไซน์ (Sinusoidal) แล้วใช้ออสซิลโลสโคป (Oscilloscope) จับสัญญาณอินพุตเทียบกับสัญญาณเอาต์พุตซึ่งได้จากการเคลื่อนตัวของสปูล



ภาพที่ 2.16 การตอบสนองความถี่ของพอร์ซันนาล์ว

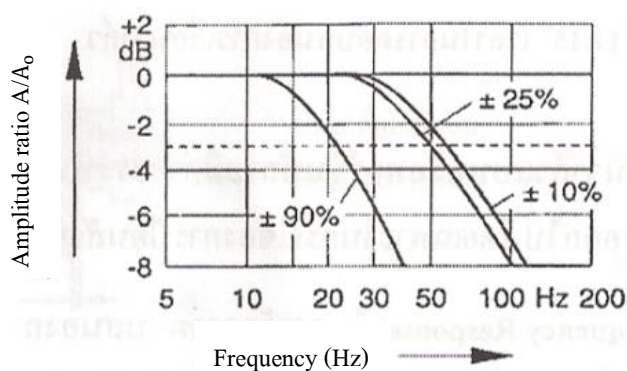
การตอบสนองความถี่ในวาล์ว จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของ 2 ตัวแปรที่สำคัญ คือการตอบสนองแอมพลิจูด (Amplitude Response) และการตอบสนองเฟส (Phase Response)

การตอบสนองแอมพลิจูด กรณีที่ความถี่ของสัญญาณควบคุมต่ำแอมพลิจูดในการแกว่งตัวของสปูลจะมีค่าใกล้เคียงกับแอมพลิจูดของสัญญาณควบคุม แต่ในกรณีที่เพิ่มความถี่ของสัญญาณควบคุมมากขึ้น (ภาพที่ 2.16) มีผลทำให้สปูลของวาล์วไม่สามารถเคลื่อนที่ติดตามการเปลี่ยนแปลงได้ทันส่งผลให้ค่าแอมพลิจูดมีขนาดน้อยลงการตอบสนองแอมพลิจูดที่ความถี่ใดๆ โดยปกติจะมีหน่วยเป็น dB ซึ่งได้มาจาก

$$\text{dB} = 20 \cdot \log \frac{A_o}{A} \quad (2-1)$$

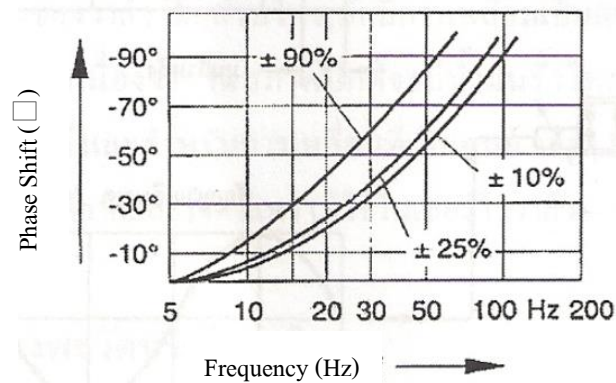
โดยที่ A_o คือแอมพลิจูดเอาต์พุต ในที่นี้คือการเคลื่อนตัวของสปูล

A คือแอมพลิจูดอินพุต ในที่นี้คือสัญญาณควบคุมโซลินอยด์



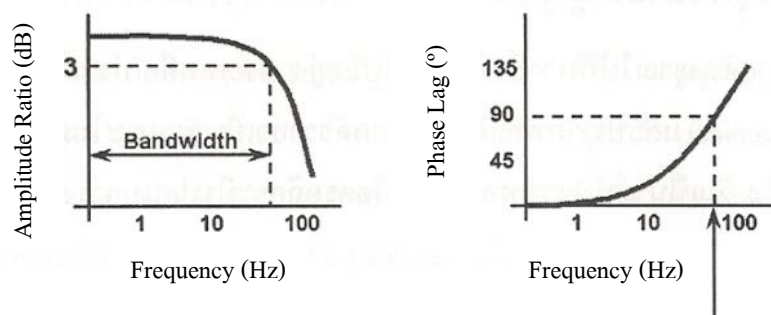
ภาพที่ 2.17 การตอบสนองแอมพลิจูด

การตอบสนองเฟส ในความเป็นจริงแล้วสัญญาณเอาต์พุตหรือในที่นี้คือการเคลื่อนตัวของสปูลไม่สามารถติดตามสัญญาณอินพุตสั่งงานได้ทันที (ภาพที่ 2.16) ทำให้เกิดการล่าช้า (ϕ) ขึ้น ซึ่งการล่าช้าดังกล่าวโดยทั่วไปจะถูกกำหนดเป็นองศาแสดงในภาพที่ 2.18



ภาพที่ 2.18 การตอบสนองเฟส

ความถี่วิกฤต (Critical Frequency) ความถี่วิกฤต หมายถึง ความถี่ที่มีการตอบสนองแอมพลิจูดตกลงเป็น 70.7 % หรือ -3dB โดยส่วนใหญ่ค่าความถี่วิกฤติของพรอพอร์ชันนัลวาล์วจะมีค่าอยู่ระหว่าง 5 ถึง 100 เฮิร์ตซ์

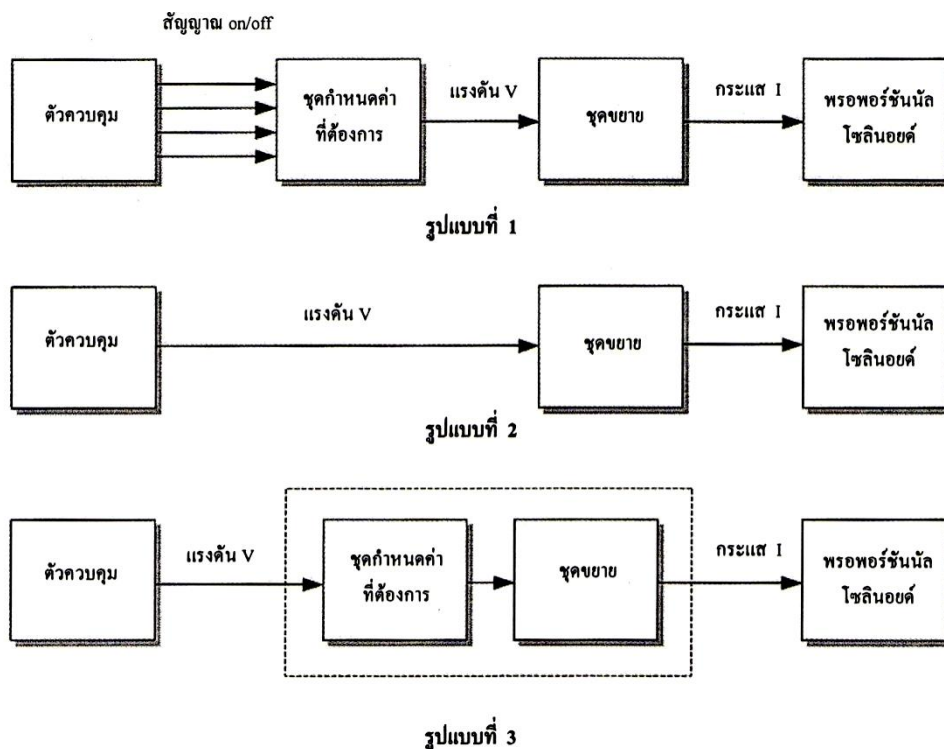


ภาพที่ 2.19 ความถี่วิกฤติที่จำกัดการทำงาน

2.1.3 ชุดขยายสัญญาณ

2.1.3.1 รูปแบบของชุดขยายสัญญาณ

สำหรับชุดขยายสัญญาณให้กับวาล์ว โดยทั่วไปมีอยู่ 2 ประเภทคือประเภทที่ประกอบรวมอยู่กับวาล์ว (Built in Integrated Electronics) และประเภทที่แยกออกจากตัววาล์วเป็นลักษณะโมดูลหรือการ์ด (Card) อย่างไรก็ตามเมื่อนำมาควบคุมร่วมกันเป็นระบบพรอพอร์ชันนัลไฮดรอลิกจะมีรูปแบบการส่งสัญญาณดังนี้

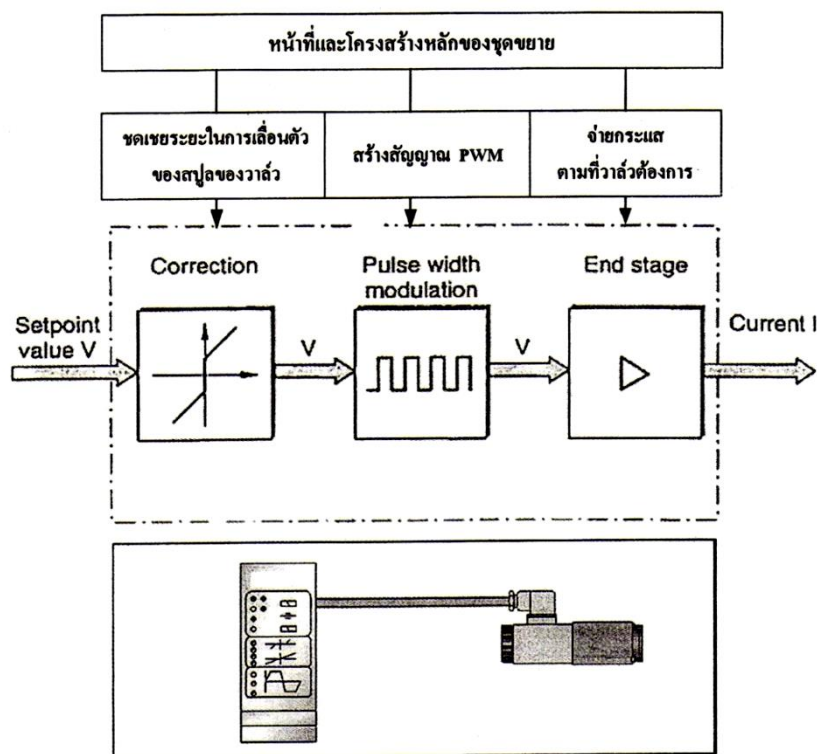


ภาพที่ 2.20 รูปแบบของการส่งสัญญาณในการควบคุมพอร์พอร์ชันนัลโซลินอยด์

สำหรับรูปแบบที่ 1 ของรูปที่ นั้น ตัวควบคุม (Controller) จะให้สัญญาณแบบเปิด/ปิดเท่านั้น เช่น PLC, Micro-Controller ซึ่งในกรณีนี้ชุดกำหนดค่าที่ต้องการ (Set-point) กับชุดขยายสัญญาณให้กับวาล์ว จะแยกออกจากกัน ส่วนรูปที่ 2 ตัวควบคุมจะให้กับวาล์วจะให้สัญญาณอนาล็อก (Analog) ที่มีการปรับตั้งค่าที่ต้องการมาแล้วซึ่งในกรณีดังกล่าวนี้จะมีเฉพาะตัวขยายสัญญาณให้กับวาล์วเท่านั้น และในรูปแบบที่ 3 เป็นรูปแบบผสมและนิยมใช้กันมากเนื่องมาจากตัวควบคุมจะระบุค่าสัญญาณโดยกำหนดเป็นค่าแรงดันไฟฟ้าคงที่มาให้ ดังนั้นจึงมีการรวมเอาชุดกำหนดค่าที่ต้องการและชุดขยายสัญญาณมาไว้เป็นชุดเดียวกัน

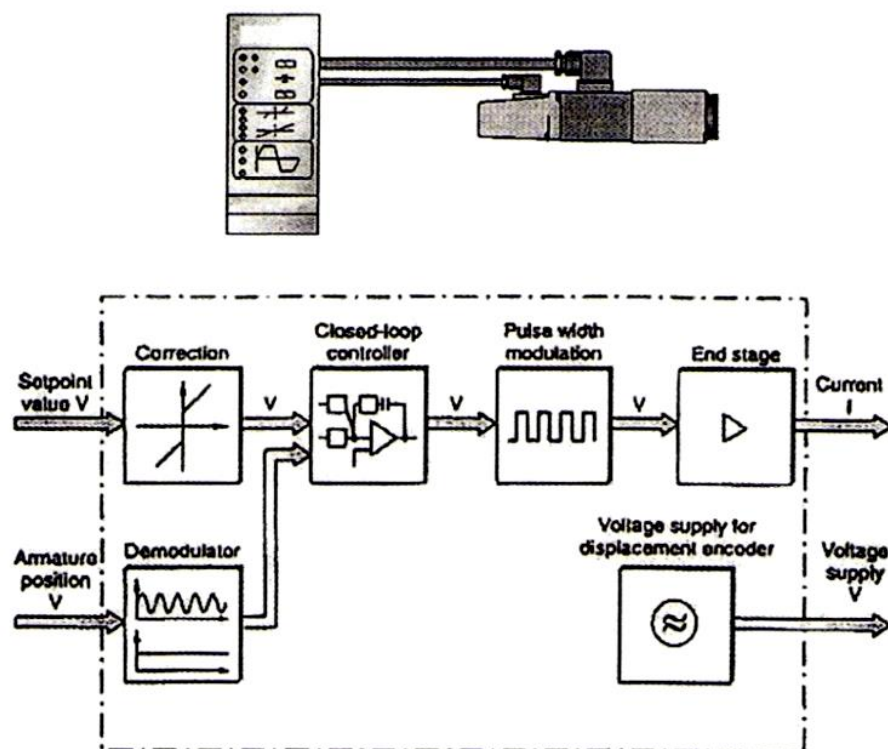
2.1.3.2 หน้าทีและโครงสร้างของชุดขยาย

หน้าที่และโครงสร้างหลักของชุดขยายสัญญาณให้กับวาล์วที่ไม่มีการควบคุมตำแหน่งของสปูล โดยทั่วไปมี 3 ส่วนคือ (1) ส่วนที่สร้างการชดเชยระยะในการเลื่อนตัวของสปูลหรือ Correcting Element (2) ส่วนที่ใช้ในการแปลงสัญญาณ (Pulse Width Modulation : PWM) และ (3) ส่วนที่ใช้จ่ายกระแสไฟฟ้าตามที่วาล์วต้องการหรือ End Stage ซึ่งโดยปกติจะมีค่า 0-800 มิลลิแอมป์ หรือ 0-1600 มิลลิแอมป์ หรือ 0-2400 มิลลิแอมป์



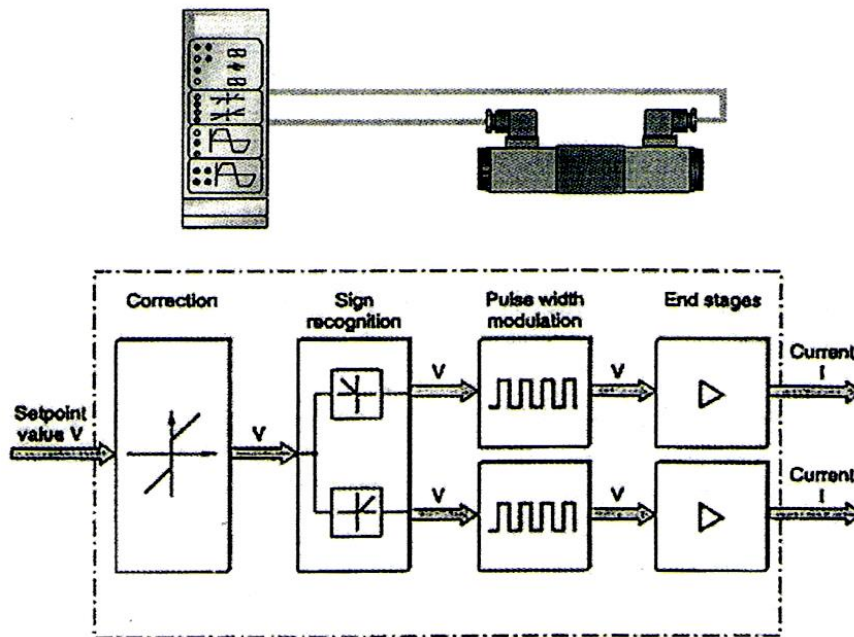
ภาพที่ 2.21 หน้าทีและโครงสร้างหลักของชุดขยายสัญญาณให้กับวาล์วที่ไม่มี
การควบคุมตำแหน่งของสปีด

ในกรณีที่พรอพอร์ชันนัลวาล์วเป็นชนิดที่มีการควบคุมตำแหน่งของสปีดซึ่งจะมี เซนเซอร์และการควบคุมแบบวงรอบปิด (Closed Loop Control) ประกอบรวมอยู่ในชุดขยายด้วย นั้น จำเป็นที่จะต้องมีการเพิ่มเติมนำเข้าด้วยดังนี้ คือ แหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรง (Demodulator) ที่ได้จากเซนเซอร์ รวมทั้งตัวควบคุมแบบวงรอบปิดซึ่งทำหน้าที่เปรียบเทียบค่าที่กำหนดไว้ (Set-Point) กับตำแหน่งของสปีดหรืออาร์เมเจอร์ให้เป็นไปตามที่ต้องการ



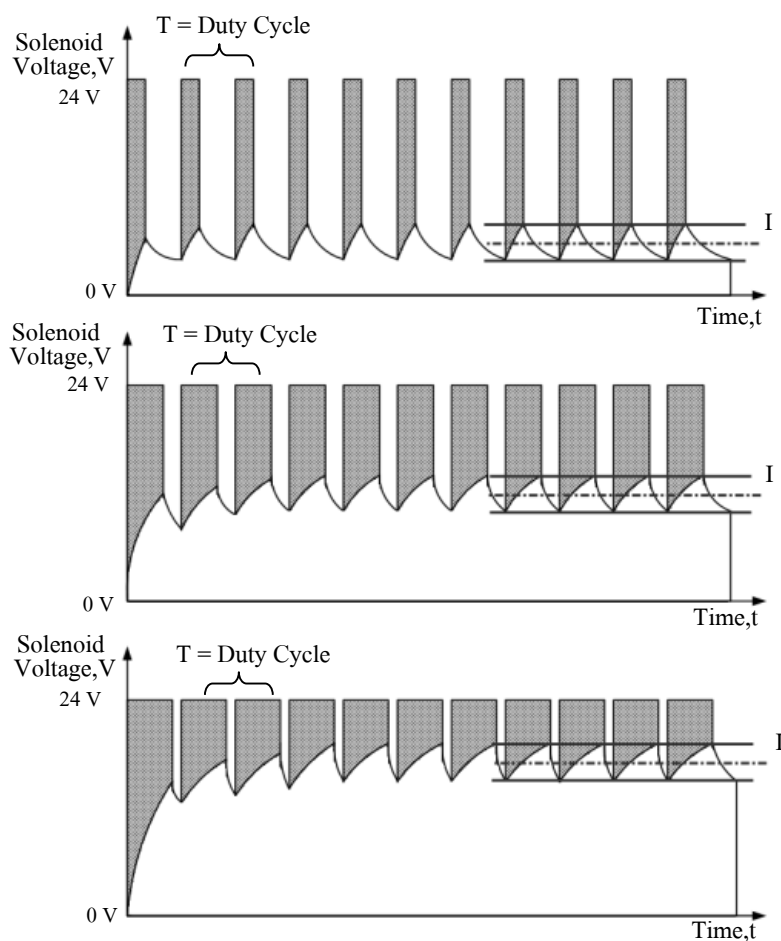
ภาพที่ 2.22 หน้าทีและ โครงสร้างหลักของชุดขยายสัญญาณให้กับวาล์วที่มี
การควบคุมตำแหน่งของสปูล

สำหรับพรอพอร์ชันนัลวาล์วชนิดมีโซลินอยด์สองข้างนั้นจำเป็นต้องใช้ชุดขยายแบบ 2 ช่องสัญญาณ โดยที่ชุดขยายดังกล่าวจะมีการระบุสถานะของสัญญาณควบคุม (Sign Recognition) เพื่อนำไปกำหนดการจ่ายกระแสไฟฟ้าเข้าไปยังโซลินอยด์ด้านใดด้านหนึ่งให้ทำงานตามที่ต้องการ



ภาพที่ 2.23 ชุดขยายสัญญาณให้กับวาล์วแบบ 2 ช่องสัญญาณ

การมอดูเลตความกว้างพัลส์หรือการผสมสัญญาณสี่เหลี่ยมที่ปรับความกว้างได้ในภาพที่ 2.25 หากสังเกตก็จะพบว่าในช่วงปลายสัญญาณทำงานสัญญาณพัลส์กระทำกับโซลินอยด์เนื่องจากค่าเหนี่ยวนำในขดลวดกระแสไฟฟ้าจึงไม่สามารถเปลี่ยนแปลงได้เร็วเท่ากับแรงดันไฟฟ้า การเปลี่ยนแปลงขึ้นลงของกระแสไฟฟ้าจึงมีค่าใกล้เคียงกับค่าใช้งานจริงนอกจากนั้นกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านโซลินอยด์และแรงดันไฟฟ้าด้านอินพุตของชุดขยายสัญญาณจะเป็นสัดส่วนซึ่งกันและกัน

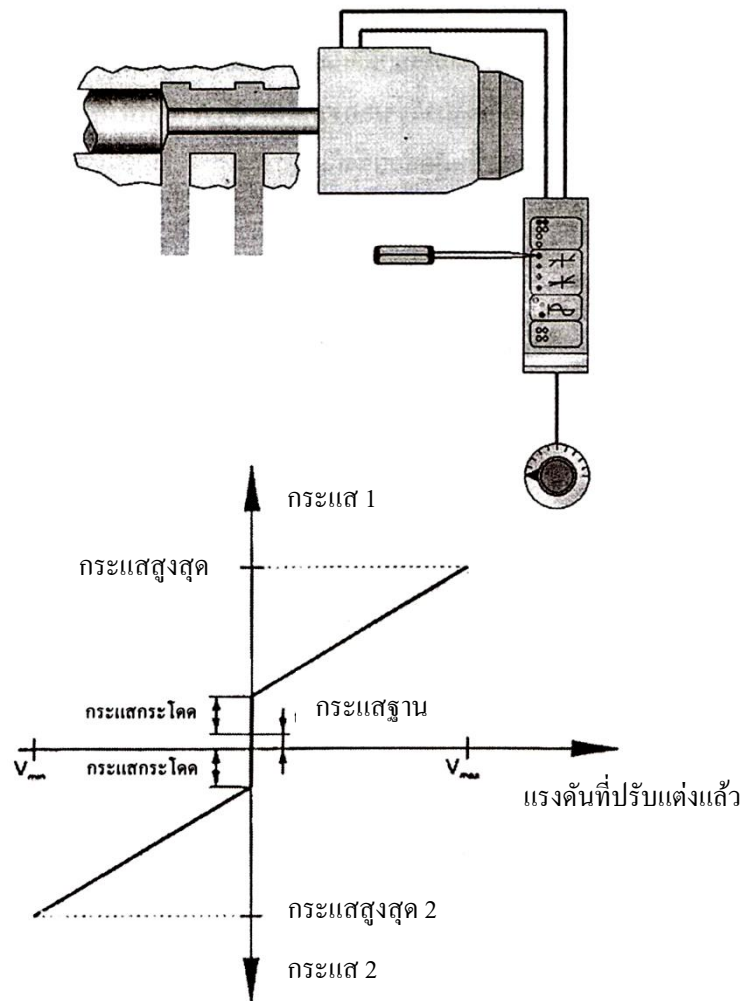


ภาพที่ 2.24 การมอดูเลตความกว้างพัลส์

จากวงจรมอดูเลตความกว้างพัลส์นี้เองที่ทำให้เกิด “ความถี่ที่ทำให้เกิดการสั่นตัว (Dither Frequency)” ซึ่งความถี่ดังกล่าวนี้จะทำให้วาล์ว (สปูล) มีการสั่นตัวอยู่ตลอดเวลาทั้งนี้เพื่อลดแรงเสียดทานสถิต (Static Friction) ส่งผลให้ความเร็วในการตอบสนองดีขึ้น รวมทั้งเป็นการลดช่วงเวลาของการผันกลับและฮิสเทอรีซิสของวาล์ว โดยทั่วไปความถี่นี้จะใช้อยู่ประมาณ 50-100 เฮิรตซ์และแอมพลิจูดสูงสุดประมาณ 30% ของกระแสปกติ

2.1.3.3 การปรับตั้งค่าพารามิเตอร์ของชุดขยายสัญญาณ

ในการปรับตั้งค่าพารามิเตอร์ของชุดขยายสัญญาณสามารถทำได้ถึงแม้ว่าเราจะนำไปใช้ในการขับวาล์วต่างขนาดกันก็ตาม นอกจากนั้นยังสามารถชดเชยปัญหาอันเนื่องมาจากระยะการเลื่อนกันของสปูลได้อีกด้วย

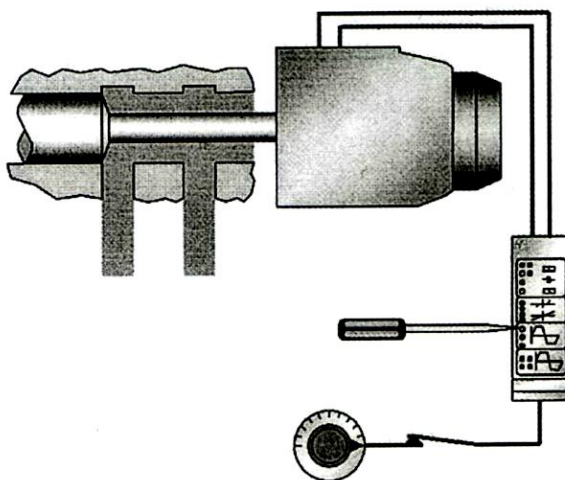


ภาพที่ 2.25 การปรับค่าพารามิเตอร์ของชุดขยายสัญญาณ

ในภาพที่ 2.25 พารามิเตอร์ทั้ง 3 ตัวแปรที่ควรทราบได้แก่ กระแสฐาน (Basic Current) เนื่องจากในกระบวนการผลิตตัวใด ๆ ก็ตามพบว่าตำแหน่งสปูลของวาล์วจะไม่อยู่ตรงกึ่งกลางพอดีเมื่อยังไม่รับการจ่ายกระแสไฟฟ้าเข้าไปยังที่โซลินอยด์ทั้งสองด้านดังนั้นจึงต้องมีการปรับชดเชยระยะดังกล่าวด้วยค่ากระแสฐาน (โดยจะปรับได้ที่ Offset Setting) กระแสสูงสุด (Maximum Current) โดยทั่วไปการปรับตั้งแต่ค่ากระแสสูงสุดจะหมายถึงการปรับตั้งค่ากระแสไฟฟ้าตามที่วาล์วต้องการสูงสุด เช่น 800 มิลลิแอมป์ หรือ 1600 มิลลิแอมป์ (โดยจะปรับตั้งค่าที่ Amplification Factor) กระโดด (Jump Current) เป็นกระแสไฟฟ้าที่ใช้ปรับเพื่อชดเชยผลจากการเสียดสีกันของสปูลซึ่งค่ากระแสดังกล่าวโดยส่วนใหญ่จะมีค่าอยู่ที่ประมาณ 1-20% ของกระแสปกติหรือกระแสสูงสุดที่วาล์วต้องการ(สามารถปรับตั้งค่าได้ที่ Signal Characteriser)

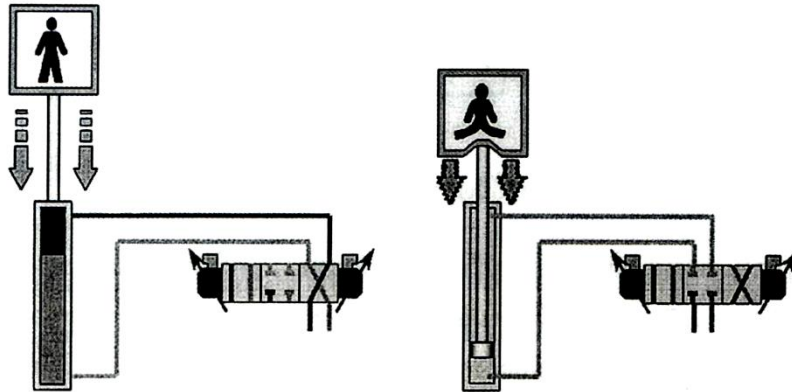
2.1.4 ชุดสัญญาณรampen

จากภาพที่ 2.1.2 ในตอนต้นซึ่งเป็นการแสดงส่วนประกอบหลักของระบบพรอพอร์ชันนัลไฮดรอลิกในหัวข้อที่ผ่านมาได้กล่าวถึงพรอพอร์ชันนัลวาล์วชุดขยายสัญญาณและลำดับต่อไปนี้จะเป็นการกล่าวถึงชุดสร้างสัญญาณรampen หรือ Ramp Generator ซึ่งโดยทั่วไปในปัจจุบันชุดดังกล่าวจะรวมอยู่กับชุดขยายเสียเป็นส่วนใหญ่หากถามว่าชุดสร้างสัญญาณรampen นี้ทำหน้าที่ทำอะไร

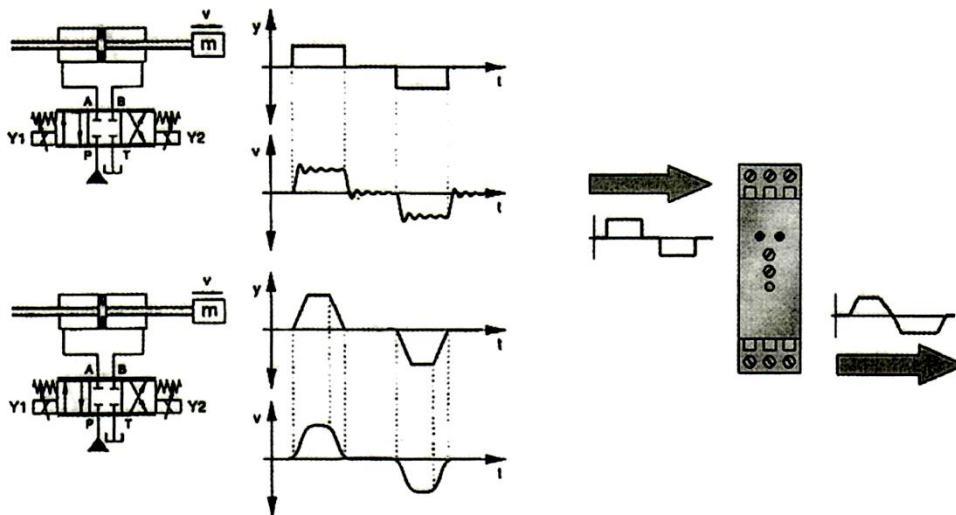


ภาพที่ 2.26 ชุดขยายที่มีการรวมเอาชุดสร้างสัญญาณรampen เข้าไว้ด้วยกัน

มีความเป็นไปได้ที่จะปรับตั้งค่าการเปิด/ปิดวาล์วและความเร็วที่แตกต่างกัน โดยปรับตั้งการควบคุมในพรอพอร์ชันนัลวาล์วควบคุมทิศทางให้มีสถานะ “ปิดวาล์ว” กับ “เปิดวาล์ว” แต่การกระทำดังกล่าวจะทำให้ความดันเปลี่ยนแปลงทันทีทันใดเป็นผลทำให้เกิดการกระตุกของความเร็วและการเกิดการสั่นขึ้นที่กระบอกสูบ เพื่อให้การเคลื่อนที่มีความราบเรียบขึ้นจึงได้มีการปรับความชันของสัญญาณและสัญญาณดังกล่าวนี้เกิดจากชุดสร้างสัญญาณรampen นั้นเอง

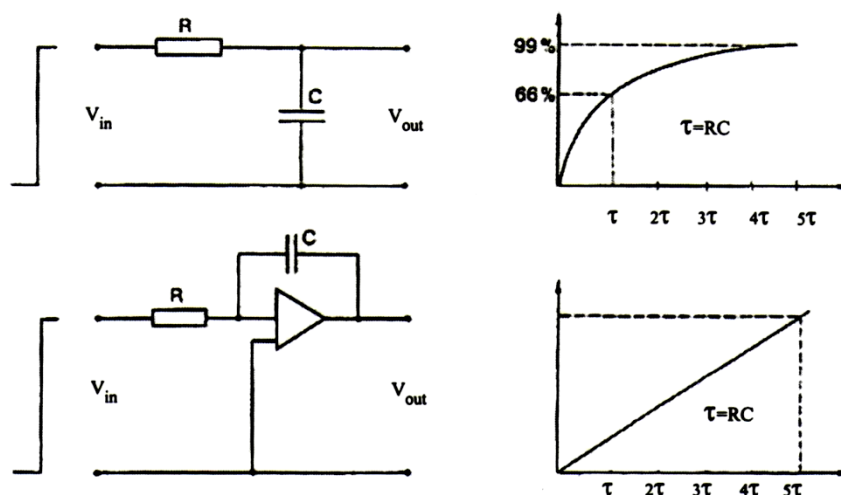


ภาพที่ 2.27 การปิดเปิดวาล์วแบบทันทีทันใดทำให้เกิดการกระตุกอันเนื่องมาจากความดัน



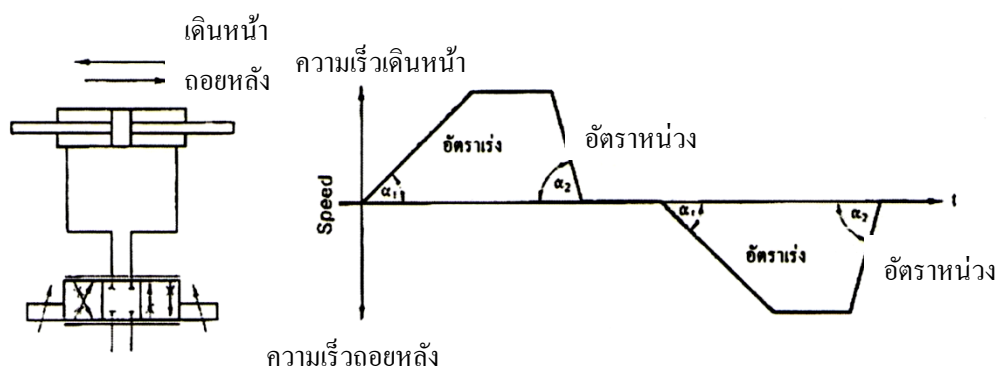
ภาพที่ 2.28 การแก้ปัญหการกระแทกและสั่นด้วยการปรับตั้งค่าแรมป์หรือความดัน

หลักการทำงานพื้นฐานของตัวสร้างสัญญาณแรมป์ คือ การใช้วงจร RC ที่อาศัยการเก็บประจุของ C (Capacitor) ดังแสดงในภาพที่ 2.30 หรือหากต้องการความเป็นเชิงเส้นมากขึ้นก็นำมาใช้ร่วมกับออปแอมป์ (Op-Amp) และวงจรดังกล่าว อาจเรียกอีกอย่างหนึ่งได้ว่า “วงจรอินทิเกรต (Integral Circuit)” อย่างไรก็ตามจากวงจรทั้งสองจะเห็นว่าค่าความชันของระดับแรงดันจะขึ้นอยู่กับค่า RC ดังนั้นก็หมายความว่าหากเราต้องการเพิ่มหรือลดความชันของสัญญาณก็ให้ปรับค่า R หรือ C

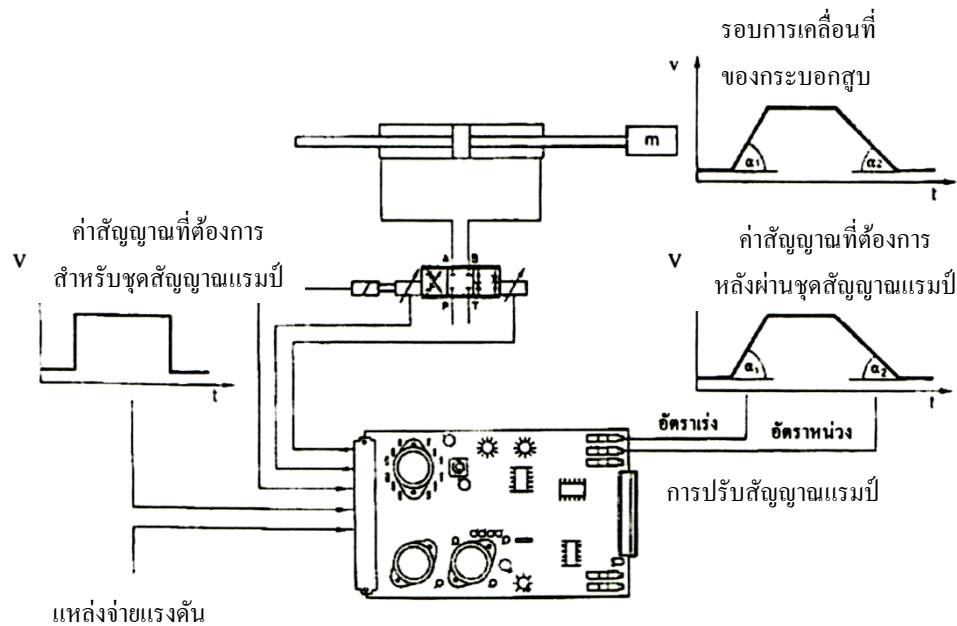


ภาพที่ 2.29 หลักการของตัวสร้างสัญญาณแรมป์

ในทางปฏิบัติหรือการนำสัญญาณแรมป์มาใช้งานในที่นี้เราคงไม่ได้ให้ความสนใจในเรื่องของเวลาแต่จะสนใจในเรื่องของระดับความชัน (α) เป็นหลักเพราะมีผลต่ออัตราเร่งในการเปิด/ปิดตัวของพรอพอร์ชันนัลวาล์วและจะส่งผลกระทบต่อเนื่องไปยังกระบอกสูบหรืออุปกรณ์ทำงาน



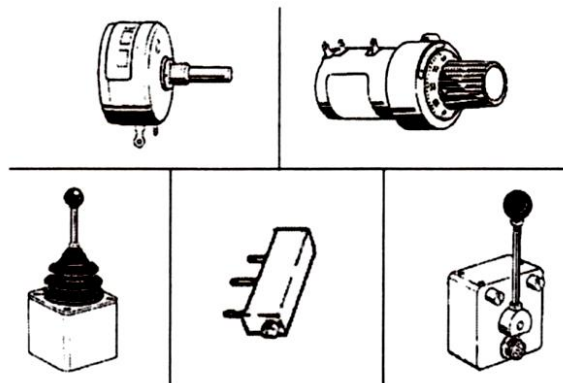
ภาพที่ 2.30 การปรับค่าความชันซึ่งมีผลต่ออัตราเร่ง (Acceleration) และอัตราหน่วง (Deceleration)



ภาพที่ 2.31 ตัวอย่างการปรับระดับความชันของสัญญาณแรมป์ที่ชุดควบคุม

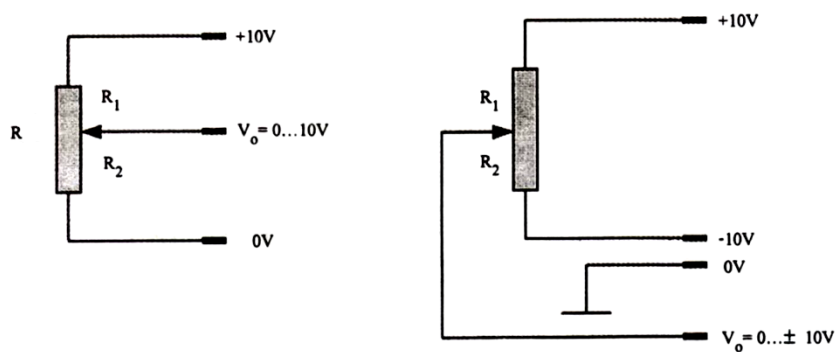
2.1.5 ชุดกำหนดค่าสัญญาณที่ต้องการ

จากส่วนประกอบหลักของระบบพรอพอร์ชันนัลไฮดรอลิกในภาพที่ 2.2 ซึ่งเคยกล่าวถึงในข้างต้นในลำดับต่อไปนี้จะมาศึกษาถึงรายละเอียดของชุดกำหนดค่าสัญญาณที่ต้องการ (Set Point or Desired-Value Input) สำหรับเป็นตัวจ่ายสัญญาณอินพุตให้กับชุดควบคุมพรอพอร์ชันนัลวาล์ว (ชุดสร้างสัญญาณแรมป์ปรับสัญญาณแล้วส่งต่อไปให้กับชุดขยาย) โดยทั่วไปอุปกรณ์ที่นำมาใช้ในการปรับค่าระดับแรงดันไฟฟ้าเพื่อป้อนให้กับชุดควบคุมพรอพอร์ชันนัลวาล์วมักใช้เป็นโพเทนซิโอมิเตอร์ (Potentiometer) หรือตัวต้านทาน R ที่สามารถปรับค่าได้



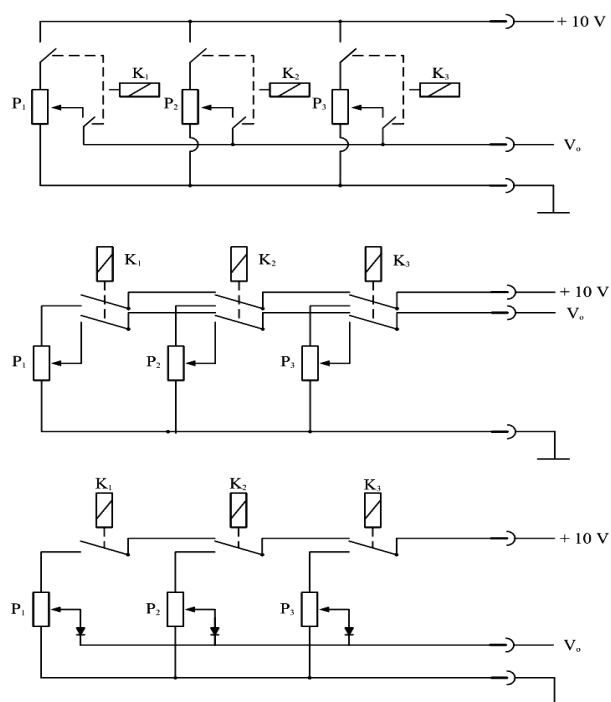
ภาพที่ 2.32 ตัวอย่างโพเทนซิโอมิเตอร์ในรูปแบบต่างๆ

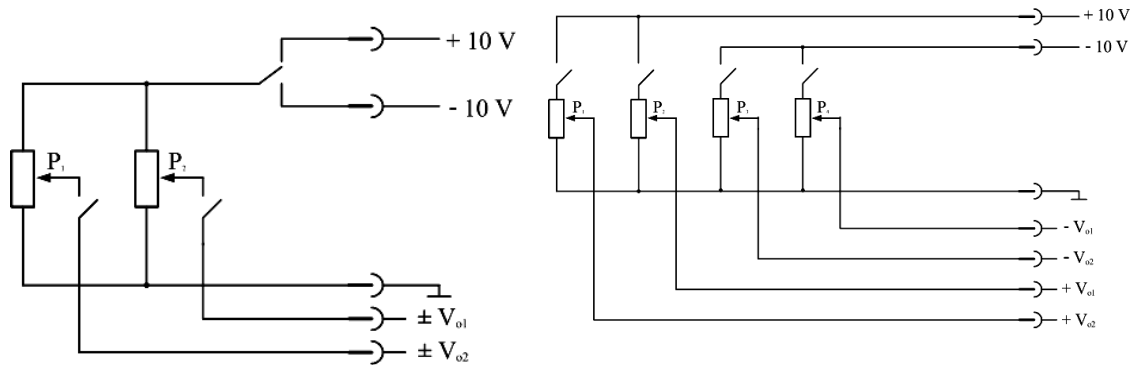
การนำเอาโพเทนชิโอมิเตอร์มาใช้งานจะใช้หลักการของวงจรแบ่งแรงดัน
(Voltage Divider) ดังแสดงด้วยภาพที่ 2.33



ภาพที่ 2.33 หลักการนำโพเทนชิโอมิเตอร์มาใช้งาน

สำหรับการนำเอาโพเทนชิโอมิเตอร์หลายๆชุดมาเป็นตัวจ่ายสัญญาณแรมป์เราสามารถใช้อิเล็คตรอนิกส์(หรือ PLC) มาเป็นตัวควบคุมในการตัดต่อเพื่อให้เกิดสัญญาณที่มีค่าหลายๆระดับได้ดังแสดงด้วยภาพที่ 2.34





Vo สำหรับต่อเข้ากับชุดสร้างสัญญาณแรงดันที่ต้องการระดับแรงดันบวกลบ 10 V

ภาพที่ 2.34 การใช้รีเลย์ (หรือ PLC) ควบคุมโพเทนชิโอมิเตอร์
เพื่อสร้างสัญญาณให้มีค่าหลายระดับ

2.2 การควบคุมด้วยพีไอดี (PID Controller)

ระบบควบคุม (Control System) คือการจัดองค์ประกอบส่วนต่างๆ ให้มีการทำงานที่สัมพันธ์กัน เพื่อบังคับหรือปรับปรุงให้ระบบทำงานตามที่ต้องการพลานต์ (Plant) คือสิ่งที่ต้องจะควบคุม อาจเป็นเครื่องมือหรือเครื่องจักรหรืออุปกรณ์ที่ใช้ในการทำงานดิสเตอร์บรันด (Disterbance) คือสัญญาณรบกวนที่เรามาในระบบทำให้ค่าเอาต์พุตของระบบเปลี่ยนไป การควบคุมป้อนกลับ (Feedback) คือการพยายามลดค่าแตกต่างระหว่างเอาต์พุตกับค่าอ้างอิงหรือ อินพุต ระบบควบคุมแบบป้อนกลับ (Feedback Control System) คือระบบที่ควบคุมที่รักษาค่าเอาต์พุตให้ใกล้เคียงกับค่าอินพุต โดยมีการเปรียบเทียบสัญญาณทั้งสองนี้ผลจากการเปรียบเทียบจะเป็นค่าผิดพลาด (Error) ซึ่งเป็นสัญญาณที่ใช้ป้อนเข้าสู่ตัวควบคุม (Controller) เซอร์โวแมคคาทรอนิกส์ (Servomechanisms) คือระบบควบคุมแบบป้อนกลับโดยที่เอาต์พุตอยู่ในรูปของตำแหน่ง (Position) ความเร็ว (Velocity) หรือ อัตราเร่ง (Acceleration) ลักษณะการควบคุมสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ลักษณะใหญ่ ๆ คือ

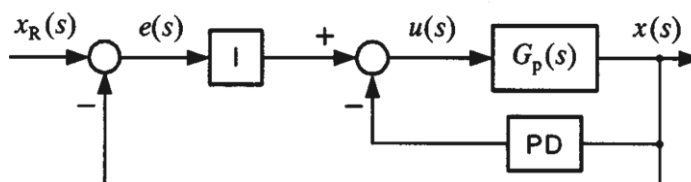
- 1) ระบบควบคุมแบบเปิด (Open-Loop Control System)
- 2) ระบบควบคุมแบบปิด (Closed-Loop Control System)

แต่ที่ในโครงการนี้ใช้การป้อนกลับแบบปิด (Closed-Loop Control System)

ระบบควบคุมแบบปิด (Closed-Loop Control System)

เมื่อระบบควบคุมเปิดไม่สามารถให้ความแม่นยำในการควบคุมได้ ดังนั้นจึงมีการพิจารณาที่จะนำสัญญาณเอาต์พุตซึ่งมีผลโดยตรงกับระบบควบคุม มาใช้งานโดยการนำสัญญาณเอาต์พุตจากระบบป้อนกลับมา เปรียบเทียบกับสัญญาณอินพุตที่ป้อนให้กับระบบ ซึ่งมีผลต่างระหว่างสัญญาณ

ทั้งสองที่นำมาเปรียบเทียบนั้นจะเป็นสัญญาณค่าผิดพลาด (Error) เพื่อที่จะใช้เป็นสัญญาณป้อนกลับเข้าตัวควบคุม (Controller) ให้ตัวควบคุมนำไปสร้างสัญญาณควบคุมใหม่เพื่อลดความผิดพลาดที่เกิดขึ้นในระบบและทำให้เอาต์พุต ของระบบเข้าสู่ค่าที่เราต้องการ



ภาพที่ 2.35 บล็อกไดอะแกรมระบบควบคุมแบบปิด (Closed-Loop Control System)

PID Controller ประกอบด้วยภาคต่างๆ ดังนี้

Proportional-Action Controller (P-Controller) หรือที่เรียกว่า การควบคุมแบบสัดส่วน เป็นการควบคุมซึ่งมีการปฏิบัติการแก้ไขความผิดพลาดโดยให้สัญญาณที่เป็นสัดส่วนโดยตรงกับค่าความผิดพลาด เขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$m = K_p(e) \quad (2-2)$$

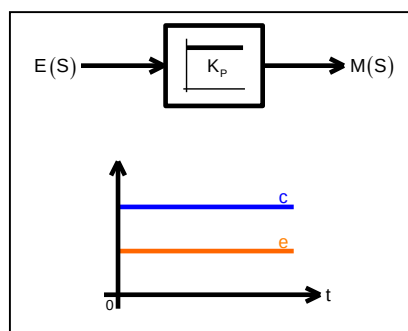
$$M(s) = K_p E(s) \quad (2-3)$$

โดยที่ m คือ ปริมาณที่เปลี่ยนแปลงที่ใช้แก้ไขความผิดพลาด (Manipulating Variable)

K_p คือ อัตราการขยายของตัวควบคุมแบบอัตราส่วน (Proportional Gain)

e คือ ค่าความผิดพลาดที่เปลี่ยนแปลง (Actuating Error)

จากสมการสามารถเขียนบล็อกไดอะแกรมได้ดังนี้



ภาพที่ 2.36 Time Diagram of Step Response (Proportional-Action)

คุณลักษณะที่สำคัญของการควบคุมแบบสัดส่วน (P-Controller) ก็คือ จะมีผลตอบสนองต่อสัญญาณอินพุต (Actuating Error; e) แบบทันทีทันใดขนาดของเอาต์พุต (Manipulating

variable; m) นอกจากจะขึ้นอยู่กับขนาดของสัญญาณอินพุตแล้วยังขึ้นกับอัตราการขยายของตัวควบคุมแบบอัตราส่วน (Proportional Gain; K_p)

จะเห็นว่าค่าของสัญญาณเอาต์พุตจะคงอยู่ได้ก็ต่อเมื่อมีสัญญาณอินพุตหรือค่าความผิดพลาดปรากฏอยู่ในสภาวะสม่ำเสมอเท่านั้น (Steady-State Error) ซึ่งเท่ากับ $e_{ss} = \frac{m_{ss}}{K_p}$

(Steady-State; ss) การควบคุมแบบสัดส่วนต้องการค่าความผิดพลาดเพื่อกำหนดสัญญาณเอาต์พุตสำหรับกระบวนการ (Process or Plant) ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่า การควบคุมแบบสัดส่วนไม่สามารถกำจัดค่าความผิดพลาดของระบบที่ถูกใช้ให้ควบคุมให้หมดได้ แต่เนื่องจากการควบคุมแบบสัดส่วนตอบสนองต่อสัญญาณอินพุตแบบฉับพลัน จึงทำให้มีความไวในการควบคุมระบบ ซึ่งถือได้ว่าเป็นคุณสมบัติเด่นของการควบคุมแบบสัดส่วน

Derivative-Action Controller (D-Controller) หรือที่เรียกว่า การควบคุมแบบอนุพันธ์ เป็นการควบคุมซึ่งมีการปฏิบัติการเพื่อแก้ไขความผิดพลาดโดยให้สัญญาณที่เป็นสัดส่วนโดยตรงกับการอนุพันธ์ของค่าความผิดพลาด (Time Integral of The Error) เขียนเป็นสมการทางคณิตศาสตร์ได้ดังนี้

$$m = K_d \left(\frac{de}{dt} \right) \quad (2-4)$$

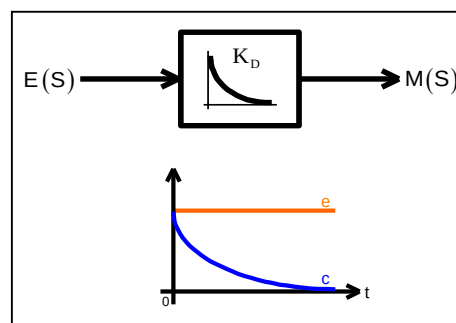
$$M(s) = K_d S \quad (2-5)$$

โดยที่ m คือ ปริมาณที่เปลี่ยนแปลงที่ใช้แก้ไขความผิดพลาด (Manipulation Variable)

K_d คือ อัตราการขยายของตัวควบคุมแบบอัตราส่วน (Derivative Gain)

e คือ ค่าความผิดพลาดที่เปลี่ยนแปลง (Actuating Error)

จากสมการสามารถเขียนบล็อกไดอะแกรมได้ดังนี้



ภาพที่ 2.37 Time Diagram of Step Response (Derivative-Action)

จากสมการ 2-10 จะเห็นว่าการแก้ไขค่าผิดพลาดเป็นอัตราของการเปลี่ยนแปลงความผิดพลาด ดังนั้นการควบคุมแบบอนุพันธ์ (D-Controller) จะให้สัญญาณเอาต์พุต (Manipulating Variable; m) ที่เกิดจากการตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณอินพุต (Actuating Error; e) เท่านั้น และจะไม่มีผลต่อสัญญาณอินพุตหรือค่าความผิดพลาดที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงหรืออยู่ในสภาวะคงที่ (Steady-State Error)

การควบคุมแบบอนุพันธ์ทำให้ระบบสามารถที่จะแก้ไขความผิดพลาดก่อนที่จะค่าความผิดพลาดจะมีมากขึ้น แต่จะไม่รับรู้การมีอยู่ของค่าความผิดพลาดที่อยู่ในสภาวะคงที่ ดังนั้นการควบคุมแบบอนุพันธ์เพียงอย่างเดียวจึงไม่เหมาะที่จะใช้ในการควบคุมระบบ การชดเชยข้อด้อยดังกล่าวทำได้โดยใช้การควบคุมแบบอนุพันธ์ร่วมกับการควบคุมแบบสัดส่วนและการควบคุมแบบปริพันธ์ เพื่อให้คุณสมบัติโดยรวมของการควบคุมดีขึ้น

Integral-Action Controller (I-Controller) หรือที่เรียกว่า การควบคุมแบบปริพันธ์ เป็นการควบคุมซึ่งมีการปฏิบัติการเพื่อแก้ไขความผิดพลาดโดยให้สัญญาณที่เป็นสัดส่วนโดยตรงกับการอินทิกรัล ของค่าความผิดพลาด (Time Integral of The Error) เขียนเป็นสมการทางคณิตศาสตร์ได้ดังนี้

$$m = K_i \left(\int e dt \right) \quad (2-6)$$

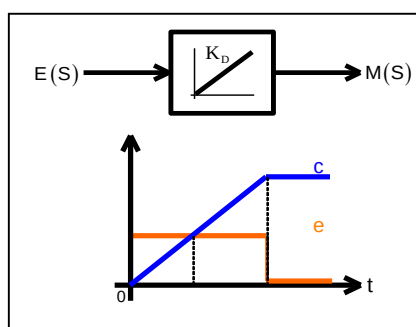
$$M(s) = K_i [E(s)] \quad (2-7)$$

โดยที่ m คือปริมาณที่เปลี่ยนแปลงที่ใช้แก้ไขความผิดพลาด (Manipulating Variable)

K_i คือ อัตราการขยายของตัวควบคุมแบบอินทิกรัล (Integral Gain)

e คือ ค่าความผิดพลาดที่เปลี่ยนแปลง (Actuating Error)

จากสมการสามารถเขียนบล็อกไดอะแกรมได้ดังนี้



ภาพที่ 2.38 Time Diagram of Step Response (Integral-Action)

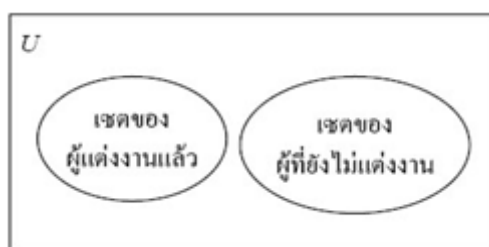
จากสมการ 2-12 จะเห็นว่าสัญญาณเอาต์พุต (Manipulating Variable; m) เป็นค่าสะสมของสัญญาณอินพุต (Actuating Error; e) ตรงกับใจที่ยังมีสัญญาณอินพุตหรือค่าความผิดพลาดปรากฏอยู่ ค่าของสัญญาณเอาต์พุตจะเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ค่าของสัญญาณเอาต์พุตจะหยุดเปลี่ยนแปลงและรักษาค่าให้คงที่ไว้เมื่อค่าความผิดพลาดเท่ากับศูนย์ (Error; $e = 0$) ความเร็วการเพิ่มขึ้นของสัญญาณเอาต์พุตนอกจากจะขึ้นอยู่กับขนาดของค่าความผิดพลาดแล้วยังขึ้นกับ Integral Reset Time ; T_i

คุณลักษณะสำคัญของการควบคุมแบบปริพันธ์หรือ (I-Controller) จะเห็นได้จากการอนุพันธ์สมการ B ซึ่งจะได้ $\left(\frac{dm}{dt}\right) = K_i(e)$ แสดงให้เห็นว่า อัตราการแก้ไขความผิดพลาดเป็นสัดส่วนกับค่าความผิดพลาด ดังนั้นตัวควบคุมแบบปริพันธ์จึงสามารถทำการแก้ไขความผิดพลาดของระบบจนกระทั่งไม่มีความผิดพลาดเหลืออยู่ แต่ในขณะเดียวกันก็ทำให้การตอบสนองของระบบช้าลง (Discussion) เมื่อเทียบกับการควบคุมแบบสัดส่วน (Proportional) แล้ว จะเห็นว่า การควบคุมแบบปริพันธ์ (I-Controller) มีคุณสมบัติของการหน่วงเวลา (Time Delay) รวมอยู่ด้วย

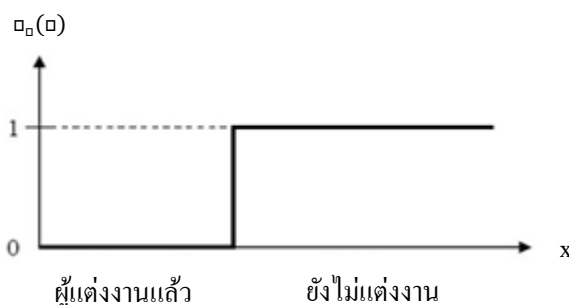
2.3 การควบคุมด้วยฟัซซี (Fuzzy Logic Controller)

2.3.1 เซตแบบฉบับ

ในเซตแบบฉบับ (Classical Set) หรือเซตทวินัย (Crisp Set) เป็นเซตที่มีค่าความเป็นสมาชิกเป็น 0 หรือ 1 $\{0, 1\}$ เท่านั้น เซตในทฤษฎีเซตแบบฉบับจะมีขอบเขตแบบแข็ง (Sharp Boundary) ซึ่งเป็นขอบเขตที่ตัดขาดจากกันแบบทันทีทันใดเซตแบบฉบับมีการกำหนดค่าความเป็นสมาชิกตามแนวคิดเลขฐานสอง โดยที่ตัวแปรหนึ่ง ๆ จะมีค่าความเป็นสมาชิกเพียงสองค่าคือ 0 ไม่เป็นสมาชิกและ 1 เป็นสมาชิก ตัวอย่างเช่น เซตของกลุ่มผู้แต่งงาน จะสามารถบอกได้ว่าอย่างแน่ชัดว่าเป็นกลุ่มผู้แต่งงานหรือไม่แต่งงาน



ภาพที่ 2.39 ตัวอย่างเซตแบบฉบับ



ภาพที่ 2.40 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกในเซตผู้ที่ไม่แต่งงาน

ภาพที่ 2.39 แสดงตัวอย่างของเซตย่อยสองเซต คือเซตของผู้ที่แต่งงานและเซตของผู้ที่ไม่แต่งงาน จะเห็นได้ว่าคนหนึ่งคนจะเป็นสมาชิกภาพได้เพียงเซตเดียวเท่านั้น แต่งงานหรือไม่แต่งงาน ในภาพที่ 2.40 แสดงฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของเซตผู้ที่ไม่แต่งงาน จากภาพจะเห็นได้ว่า ผู้ที่แต่งงานแล้วจะมีค่าความเป็นสมาชิกในเซตของผู้ที่ไม่แต่งงานเป็น 0 ส่วนผู้ที่ไม่แต่งงานมีค่าความเป็นสมาชิกภาพของเซตผู้ที่ไม่แต่งงานเป็น 1 ค่าความเป็นสมาชิกของทั้งสองเซตจะตัดขาดจากกันอย่างทันทีทันใด รูปแบบคณิตศาสตร์ของเซตแบบฉบับมีรูปดังนี้

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 1, & x \in A \\ 0, & x \notin A \end{cases} \quad (2-8)$$

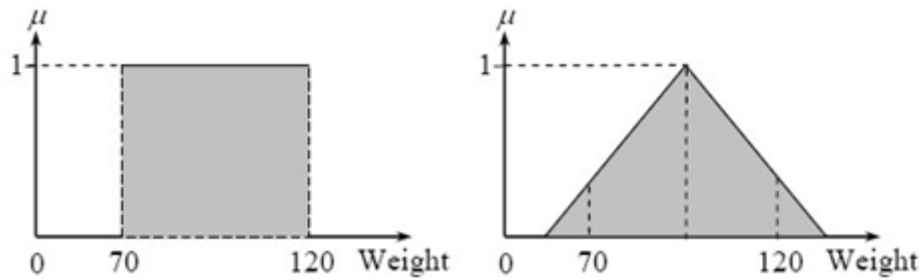
เมื่อ A เป็นเซตแบบฉบับหรือเซตแบบทวินัย X เป็นสมาชิกในเซต μ_A เป็นค่าความเป็นสมาชิกในเซต และ $\mu_A(x)$ เป็นฟังก์ชันความเป็นสมาชิกในเซต A

2.3.2 ฟัซซีเซต

ฟัซซีเซต (Fuzzy Set) เป็นเซตที่มีขอบเขตที่ราบเรียบ ทฤษฎีฟัซซีเซตจะครอบคลุมทฤษฎีเซตแบบฉบับ โดยฟัซซีเซตยอมให้มีค่าความเป็นสมาชิกของเซตระหว่าง 0 และ 1 ในโลกแห่งความเป็นจริงเซตไม่ใช่มีเฉพาะเซตแบบฉบับเท่านั้น จะมีเซตแบบฟัซซีด้วย ฟัซซีเซตจะมีขอบเขตแบบฟัซซีไม่ใช่เปลี่ยนแปลงทันทีทันใดจากขาวเป็นดำ ตัวอย่างเช่น เซตของกลุ่มแต่งงานที่มีความสุข จะเห็นได้ว่า

สมาชิกในเซตนี้จะไม่มีเฉพาะคู่แต่งงานที่มีความสุขระดับเดียวกันหมด บางคู่จะมีความสุขมาก บางคู่มีความสุขน้อย แตกต่างกันไป การใช้เซตแบบดั้งเดิมจึงไม่เหมาะสม

ยกตัวอย่างเกี่ยวกับความอ้วน นิยามคำว่าคนอ้วนในเซตทวินัยอาจกำหนดเป็นคนที่มีน้ำหนักตั้งแต่ 70 ถึง 120 กิโลกรัม โดยนิยามแบบฟัซซีเซตอาจกำหนดเป็นคนที่มีความอ้วนประมาณ 80 กิโลกรัม ซึ่งเป็นการให้นิยามที่ไม่แสดงถึงขอบเขตที่แน่นอน



ภาพที่ 2.41 การกำหนดค่าความเป็นสมาชิกของเซตทวินัยและเซตแบบฟัซซี

2.3.3 นิยามของฟัซซีเซต

กำหนดให้ X เป็นเซตที่ไม่ว่าง ฟัซซีเซต A สามารถแสดงลักษณะเฉพาะได้จากฟังก์ชันความเป็นสมาชิก

$$\mu_A(x): X \rightarrow [0,1] \quad (2-9)$$

เมื่อ $\mu_A(x)$ สามารถตีความเป็นค่าของความเป็นสมาชิกภาพของตัวประกอบ x ในฟัซซีเซต A สำหรับแต่ละ (อ่านว่า “ x เป็นสมาชิกของ X ”) ฟัซซีเซต สามารถเขียนเป็นเซตของคู่ลำดับ (tuples)

$$A = \{(x, \mu_A(x)) \mid x \in X\} \quad (2-10)$$

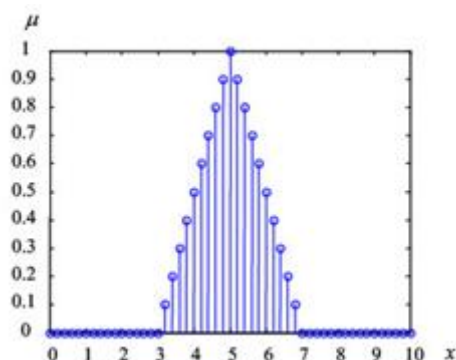
เมื่อ A หมายถึงฟัซซีเซต Ax หมายถึงสมาชิกของเซต (set membership) $\mu_A(x)$ หมายถึง ฟังก์ชันความเป็นสมาชิก (Membership Function) $\mu_A(x)$ บางครั้งแทนด้วย $\underline{A}(x)$ หมายถึงเอกภพ สัมพัทธ์ (Universe) หรือประชากร

ถ้า $X = \{x_1, x_2, x_3, \dots, x_n\}$ เป็นเซตจำกัด และ A เป็นฟัซซีเซตใน X ซึ่งเป็นชนิดวิฤต (Discrete) และจำกัด สัญกรณ์ (Notation) ของฟัซซีเซต เขียนได้เป็น

$$A = \left\{ \frac{\mu_A(x_1)}{x_1} + \frac{\mu_A(x_2)}{x_2} + \dots + \frac{\mu_A(x_n)}{x_n} \right\} = \left\{ \sum_{i=1}^n \frac{\mu_A(x_i)}{x_i} \right\} \quad (2-11)$$

เมื่อพจน์ $\mu_A(x_i)/x_i, i=1, 2, \dots, n$ หมายถึงค่าความเป็นสมาชิก $\mu_A(x_i)$ ของ x_i ในเซต

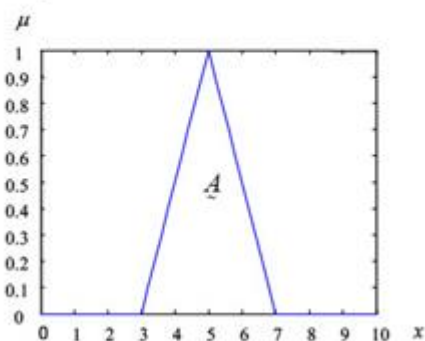
A และเครื่องหมาย “+” หมายถึงยูเนียน (Union)



ภาพที่ 2.42 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของเซตฟัซซีแบบวิยุค A

ถ้าเอกภพสัมพัทธ์ X เป็นต่อเนื่อง (Continuous) สัญกรณ์ (Notation) ของฟัซซีเซต $\underline{A}$ เขียนได้เป็น

$$\underline{A} = \left\{ \int \frac{\mu_{\underline{A}}(x)}{x} \right\}$$



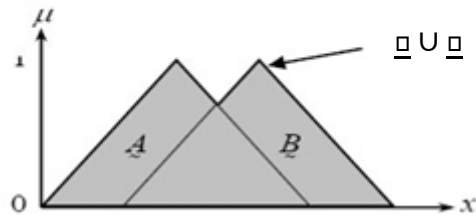
ภาพที่ 2.43 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของเซตฟัซซีแบบต่อเนื่อง $\underline{A}$

2.3.4 การดำเนินการทางฟัซซีเซต

การดำเนินการของฟัซซีเซตมีคุณสมบัติเหมือนกับเซตโดยทั่วไป มีการดำเนินการ (Operation) คือ Union Intersection และ Complement

2.3.4.1 ยูเนียน(Union)ของฟัซซีเซตจะเป็น OR Operation ในสมการและภาพที่ 2.44

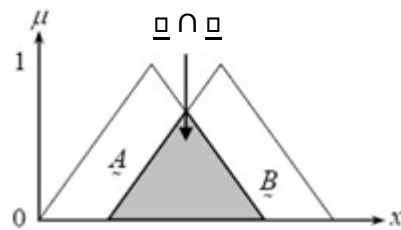
$$\begin{aligned}\mu_{A \cup B}(x) &= \mu_A(x) \vee \mu_B(x) \\ &= \max(\mu_A(x), \mu_B(x))\end{aligned}$$



ภาพที่ 2.44 ยูเนียนของฟัซซีเซต A และ B

2.3.4.2 อินเตอร์เซกชัน (Intersection) ของฟัซซีเซต จะเป็น AND Operation ในสมการ และภาพที่ 2.45

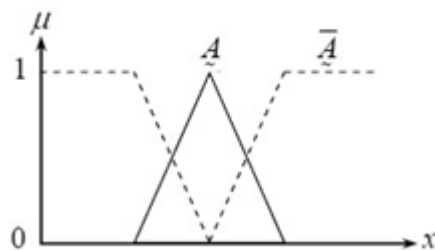
$$\begin{aligned}\mu_{A \cap B}(x) &= \mu_A(x) \wedge \mu_B(x) \\ &= \min(\mu_A(x), \mu_B(x))\end{aligned}$$



ภาพที่ 2.45 Intersection ของฟัซซีเซต A และ B

2.3.4.3 คอมพลิเมนต์ (Complement) ของฟัซซีเซต ในสมการและภาพที่ 2.46

$$\mu_{\bar{A}}(x) = 1 - \mu_A(x)$$



ภาพที่ 2.46 Complement ของฟัซซีเซต A

2.3.5 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิก

ฟังก์ชันความเป็นสมาชิก (Membership Function) เป็นฟังก์ชันที่มีการกำหนดระดับความเป็นสมาชิกของตัวแปรที่ต้องการใช้งาน โดยเริ่มจากการแทนที่กับตัวแทนที่มีความไม่ชัดเจน ไม่แน่นอน และคลุมเครือ ดังนั้นส่วนที่สำคัญต่อคุณสมบัติหรือการดำเนินการของฟัซซี เพราะรูปร่างของฟังก์ชันความเป็นสมาชิกมีความสำคัญต่อกระบวนการคิดและแก้ไขปัญหา โดยฟังก์ชันความเป็นสมาชิกจะไม่สมมาตรกันหรือสมมาตรกันทุกประการก็ได้

2.3.6 ชนิดของฟังก์ชันความเป็นสมาชิก

ชนิดของฟังก์ชันความเป็นสมาชิกที่ใช้งานทั่วไปมีหลายชนิด แต่ในที่นี้จะกล่าวถึงเพียงบาง 6 ชนิดดังนี้

2.3.6.1 ฟังก์ชันสามเหลี่ยม (Triangular Membership Function)

ฟังก์ชันสามเหลี่ยมมีทั้งหมด 3 พารามิเตอร์คือ $\{a, b, c\}$

$$\text{triangular}(x : a, b, c) = \begin{cases} 0 & x < a \\ (x - a) / (b - a) & a \leq x \leq b \\ (c - x) / (c - b) & b \leq x \leq c \\ 0 & x > c \end{cases} \quad (2-12)$$

2.3.6.2 ฟังก์ชันสี่เหลี่ยมคางหมู (Trapezoidal Membership Function)

ฟังก์ชันสี่เหลี่ยมคางหมูมีทั้งหมด 4 พารามิเตอร์คือ $\{a, b, c, d\}$

$$\text{trapezoidal}(x : a, b, c, d) = \begin{cases} 0 & x < a \\ (x - a) / (b - a) & a \leq x < b \\ 1 & b \leq x < c \\ (d - x) / (d - c) & c \leq x < d \\ 0 & x \geq d \end{cases} \quad (2-13)$$

2.3.6.3 ฟังก์ชันเกาส์เซียน (Gaussian Membership Function)

ฟังก์ชันเกาส์เซียนมีทั้งหมด 2 พารามิเตอร์คือ $\{m, \sigma\}$ ซึ่ง m หมายถึงค่าเฉลี่ย และ σ หมายถึง ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

$$\text{gaussian}(x : m, \sigma) = \exp\left(-\frac{(x - m)^2}{\sigma^2}\right) \quad (2-14)$$

2.3.6.4 ฟังก์ชันระฆังคว่ำ (Bell-Shaped Membership Function)

ฟังก์ชันรูประฆังคว่ำมีพารามิเตอร์ทั้งหมด 3 ค่าคือ $\{a, b, c\}$

$$bell - shaped(x : a, b, c) = \frac{1}{1 + \left| \frac{x - c}{a} \right|^{2b}} \quad (2-15)$$

2.3.6.5 ฟังก์ชันตัวเอส (Smooth Membership Function)

ฟังก์ชันรูปตัวเอสมีพารามิเตอร์ทั้งหมด 2 ค่าคือ $\{a, b\}$

$$S(x : a, b) = \begin{cases} 0 & x < a \\ 2 \left(\frac{x - b}{b - a} \right)^2 & a \leq x \leq \frac{a + b}{2} \\ 1 - 2 \left(\frac{x - b}{b - a} \right)^2 & \frac{a + b}{2} \leq x < b \\ 1 & x \geq b \end{cases} \quad (2-16)$$

2.3.6.6 ฟังก์ชันตัวแซด (Z-Membership Function)

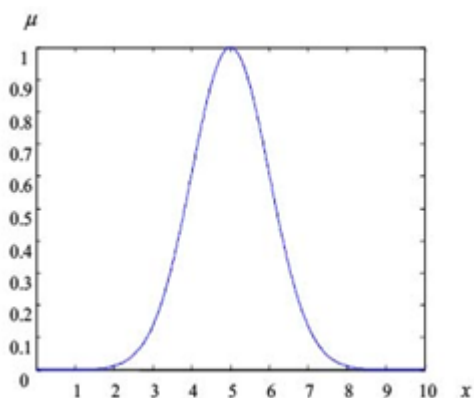
ฟังก์ชันรูปตัวเอสมีพารามิเตอร์ทั้งหมด 2 ค่าคือ $\{a, b\}$

$$Z(x : a, b) = \begin{cases} 1 & x < a \\ 1 - 2 \left(\frac{x - b}{b - a} \right)^2 & a \leq x \leq \frac{a + b}{2} \\ 2 \left(\frac{x - b}{b - a} \right)^2 & \frac{a + b}{2} \leq x < b \\ 0 & x \geq b \end{cases} \quad (2-17)$$

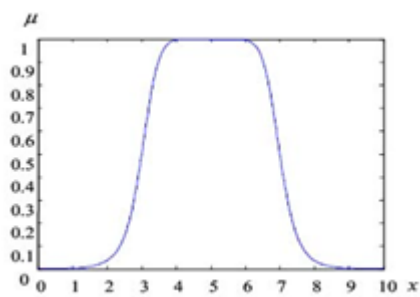
การเลือกฟังก์ชันของความเป็นสมาชิก จะต้องเลือกตามความเหมาะสมความครอบคลุมของข้อมูลที่จะรับเข้ามา โดยสามารถที่ทับซ้อนกันเพื่อให้การดำเนินงานราบเรียบ ซึ่งมีความเป็นสมาชิกหลายค่าได้ และฟังก์ชันความเป็นสมาชิกเปลี่ยนแปลงแก้ไขให้เหมาะกับงานที่กำลังปฏิบัติงานหรือตามความต้องการ

2.3.7 กฎฟัซซี (Fuzzy Rules)

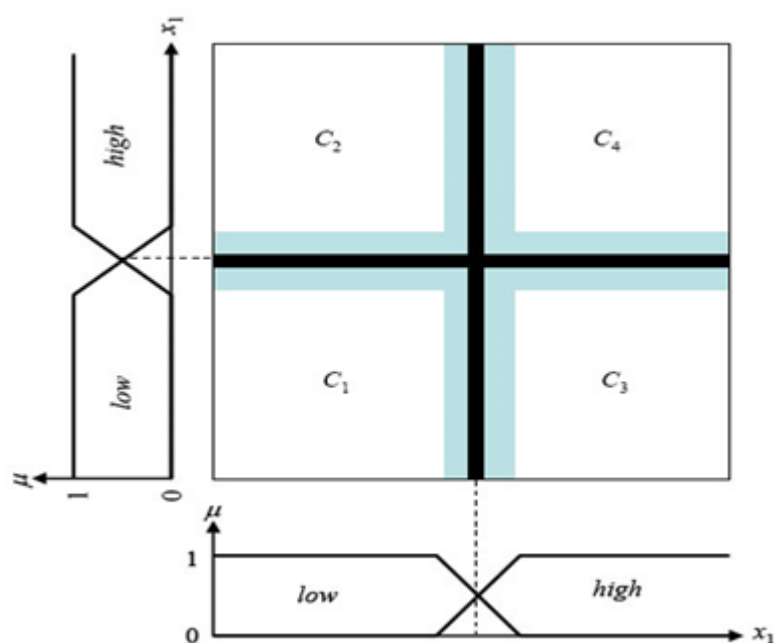
วิทยาการเกี่ยวกับฟัซซีลอจิกมีจำนวนมาก แต่ที่นิยมและการประยุกต์ใช้งานมากที่สุดเห็นจะได้แก่ กฎฟัซซีแบบถ้า-แล้ว (Fuzzy If-Then Rule) ตัวอย่างการใช้กฎในการแยกกลุ่มดังภาพที่ 2.47 ในภาพที่ 2.48 แสดงปริภูมิรูปแบบ (Pattern Space) การจัดกลุ่มด้วยกฎฟัซซี



ภาพที่ 2.47 ฟังก์ชันเกาส์เซียน



ภาพที่ 2.48 กราฟของฟังก์ชันระฆังคว่ำ



ภาพที่ 2.49 ตัวอย่างปริภูมิรูปแบบการจัดกลุ่มด้วยกฎฟัซซี

จากภาพที่ 2.49 สามารถเขียนเป็นกฎในรูปประโยคภาษาได้ดังนี้

- กฎข้อ 1: ถ้า x_1 มีค่า low และ x_2 มีค่า low แล้ว ข้อมูล (x_1, x_2) เป็นกลุ่ม C_1
- กฎข้อ 2: ถ้า x_1 มีค่า low และ x_2 มีค่า high แล้ว ข้อมูล (x_1, x_2) เป็นกลุ่ม C_2
- กฎข้อ 3: ถ้า x_1 มีค่า high และ x_2 มีค่า low แล้ว ข้อมูล (x_1, x_2) เป็นกลุ่ม C_3
- กฎข้อ 4: ถ้า x_1 มีค่า high และ x_2 มีค่า high แล้ว ข้อมูล (x_1, x_2) เป็นกลุ่ม C_4

เมื่อ x_1 เป็นตัวแปรภาษาในมิติที่ 1, x_2 เป็นตัวแปรภาษาในมิติที่ 2, low และ high เป็นพจน์ภาษา (linguistic Terms), ข้อมูล (x_1, x_2) เป็นคู่ลำดับของวัตถุที่ต้องการจัดกลุ่ม และ C_1, C_2, C_3 และ C_4 เป็นกลุ่มข้อมูล 1, 2, 3 และ 4

สมมติให้กฎข้อ $l, l = 1, 2, \dots, L$ เป็นลำดับของกฎ ให้ข้อมูลเป็น $\mathbf{x} = [x_1, x_2, \dots, x_n]$ เมื่อ n เป็นจำนวนมิติของข้อมูล ให้ A_{li} เป็นพจน์ภาษาในกฎข้อที่ l มิติที่ i และให้กลุ่มข้อมูลเป็น $C_k, k = 1, 2, \dots, K$ รูปแบบทั่วไปของกฎฟัซซีสามารถเขียนได้ดังนี้

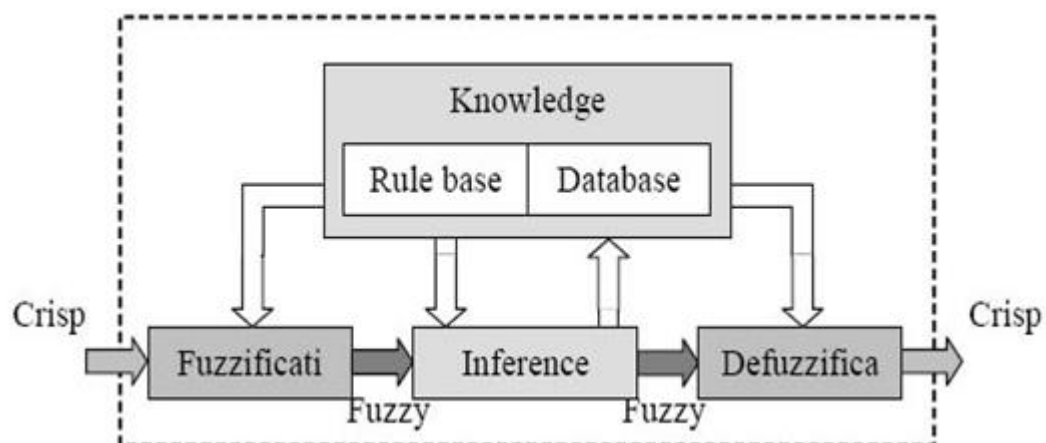
กฎข้อ 1: ถ้า x_1 มีค่า A_{11} และ x_2 มีค่า A_{12} และ $\dots$ และ x_n มีค่า A_{1n} แล้ว ข้อมูล x เป็นกลุ่ม C_1

กฎข้อ 2: ถ้า x_1 มีค่า A_{21} และ x_2 มีค่า A_{22} และ $\dots$ และ x_n มีค่า A_{2n} แล้ว ข้อมูล x เป็นกลุ่ม C_2

□ กฎข้อ l : ถ้า x_1 มีค่า A_{l1} และ x_2 มีค่า A_{l2} และ $\dots$ และ x_n มีค่า A_{ln} แล้ว ข้อมูล x เป็นกลุ่ม C_3

2.3.8 โครงสร้างพื้นฐานของการประมวลผลแบบฟัซซีลอจิก

โครงสร้างพื้นฐานของการประมวลผลแบบฟัซซี ซึ่งประกอบด้วยส่วนที่สำคัญ 4 ส่วน ดังนี้ ดังภาพที่ 2.50



ภาพที่ 2.50 โครงสร้างพื้นฐานของการประมวลผลแบบฟัซซี

ส่วนที่แปลงการอินพุตทั่วไปเปลี่ยนเป็นการอินพุตแบบตัวแปรฟัซซี (Fuzzification) หรือในรูปแบบเซตฟัซซีหรือเรียกว่าเป็นตัวแปรภาษา (Linguistic Variable)

ฐานความรู้ (Knowledge Base) เป็นส่วนที่จัดเก็บรวบรวมข้อมูลในการควบคุม ประกอบ 2 ส่วนคือ ฐานกฎ (Rule Base) และฐานข้อมูล (Data Base)

ฐานกฎ (Rule Base) ส่วนของการกำหนดวิธีการควบคุม ซึ่งได้จากผู้เชี่ยวชาญในรูปแบบของชุดข้อมูลแบบกฎของภาษา (Linguistic Rule)

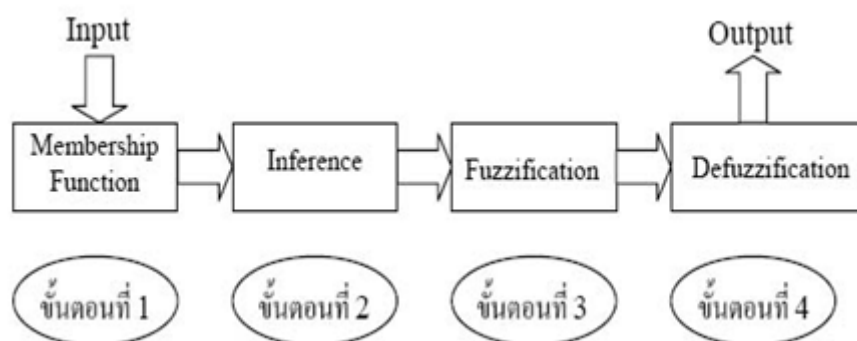
ฐานข้อมูล (Database) เป็นการจัดเตรียมส่วนที่จำเป็นเพื่อที่จะใช้ในการกำหนดกฎการควบคุม และการจัดการข้อมูลของตรรกศาสตร์ฟัซซี

เครื่องอนุมานหรือการตีความ (Inference Engine) เป็นส่วนที่ทำหน้าที่ตรวจสอบข้อเท็จจริงและกฎ เพื่อใช้ในการตีความหาเหตุผล เหมือนกลไกสำหรับควบคุมการใช้ความรู้ในการแก้ไขปัญหา รวมทั้งการกำหนดวิธีการของการตีความเพื่อหาคำตอบ

ส่วนที่แปลงการเอาต์พุตให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสม (Defuzzification) เป็นการทำการแปลงข้อมูลที่อยู่ในรูปแบบฟัซซีให้เป็นค่าที่สรุปผลหรือค่าการควบคุมระบบ

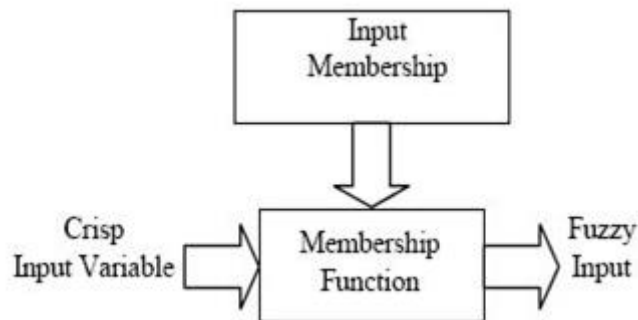
2.3.9 ขั้นตอนการประมวลผลแบบฟัซซีลอจิก

ขั้นตอนการประมวลผลแบบฟัซซีลอจิกมีรูปแบบการทำงานเป็น 4 ส่วนจะแสดงดังภาพที่ 2.51



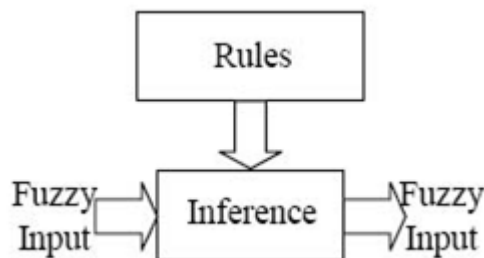
ภาพที่ 2.51 ขั้นตอนการประมวลผลแบบฟัซซีลอจิก

ขั้นตอนที่ 1 เป็นการแปลงการอินพุตแบบทวินัยเปลี่ยนเป็นการอินพุตแบบตัวแปรฟัซซี โดยจะสร้างฟังก์ชันความเป็นสมาชิก โดยไม่จำเป็นต้องมีลักษณะเดียวกัน ขึ้นกับคุณลักษณะของแต่ละการอินพุต (Input) และความสำคัญต่อการเอาต์พุต (Output) ที่น่าสนใจโดยฟังก์ชันจะมีลักษณะเป็นการกำหนดภาษาสามัญ เพื่อให้เป็นฟัซซีการอินพุต ดังภาพที่ 2.52



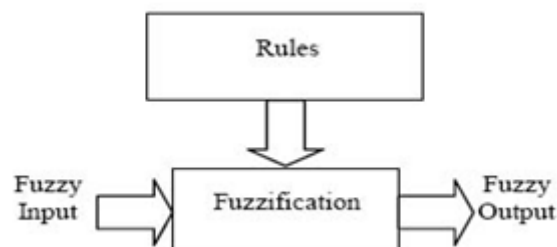
ภาพที่ 2.52 ขั้นตอนที่ 1 ของการประมวลผลแบบฟัซซีลอจิก

ขั้นตอนที่ 2 เป็นการสร้างความสัมพันธ์ระหว่างการอินพุตทั้งหมดที่เกี่ยวข้องกับเอาต์พุตที่อาศัยหลักการของการหาเหตุและผล อาจจะสร้างการเก็บข้อมูล การคาดการณ์จากการตัดสินใจของมนุษย์ หรือค่าจากการทดลอง โดยเขียนเป็นกฎการควบคุมระบบ ซึ่งจะมีลักษณะอยู่ในรูปแบบ ถ้า (If) และ (And) หรือ (Or) ซึ่งเป็นภาษาสามัญ นำกฎทั้งหมดมาประมวลผลรวมกัน เพื่อการหาตัดสินใจที่เหมาะสม ดังภาพที่ 2.53



ภาพที่ 2.53 ขั้นตอนที่ 2 ของการประมวลผลแบบฟัซซีลอจิก

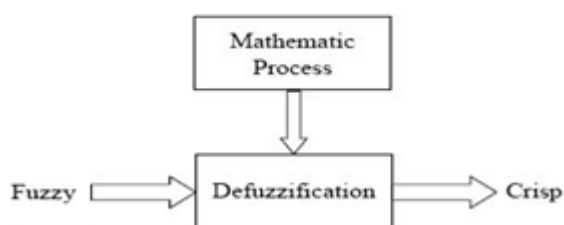
ขั้นตอนที่ 3 เป็นการหาฟัซซีเอาต์พุต โดยการนำกฎการควบคุมที่สร้างขึ้น ในขั้นตอนที่ 2 มาประมวลผลกับฟัซซีอินพุต โดยใช้วิธีการทางคณิตศาสตร์ เพื่อนำค่าที่ได้ประมวลผล ดังภาพที่ 2.54



ภาพที่ 2.54 ขั้นตอนที่ 3 ของการประมวลผลแบบฟัซซีลอจิก

วิธีการทำเป็นค่าคลุมเครือ (Fuzzification) วิธีการที่นิยมใช้ในการหาค่าความหาเหตุผลเลือกใช้ Max-Min Method และ Max-Dot Method

ขั้นตอนที่ 4 เป็นขั้นตอนสุดท้ายหรือขั้นตอนการสรุปเหตุผลฟัซซี โดยจะเปลี่ยนฟัซซีเอาต์พุตให้เป็นทวินัยเอาต์พุตตามภาพที่ 2.55 และด้วยวิธีทางคณิตศาสตร์ เช่น วิธีการหาจุดศูนย์กลางถ่วง (Central of Gravity) เพื่อนำค่าที่ได้มาใช้ในการตัดสินใจเพื่อควบคุมระบบในสถานการณ์นั้นๆ



ภาพที่ 2.55 ขั้นตอนที่ 4 ของการประมวลผลแบบฟัซซีลอจิก

วิธีการทำค่าฟัซซีให้เป็นค่าปกติ (Defuzzification) วิธีการที่เป็นเทคนิคการเลือกค่าสูงสุดหรือสรุปหาเหตุผลจากหลาย ๆ เซตมาเพียงค่าเดียว ซึ่งเป็นการใช้ค่าสูงสุดของค่าระดับการเป็นสมาชิกจากการกระทำหลายๆ แบบ และเลือกกระทำเพียงรูปแบบเดียว

วิธีการหาจุดศูนย์กลางถ่วง (Central of Gravity: COG) เป็นวิธีการเฉลี่ยผลที่ได้จากการหาค่าความหาเหตุผลที่นิยมใช้ในปัจจุบัน ค่าที่ได้จะคำนวณจุดศูนย์กลางถ่วงโดยรวมจะหาได้จากการประมาณค่าจากสมการ

$$COG = \frac{\sum_{i=1}^N \alpha_i w_i}{\sum_{i=1}^N \alpha_i} \quad (2-18)$$

โดยสมการ ได้กำหนดค่าของสมการดังนี้

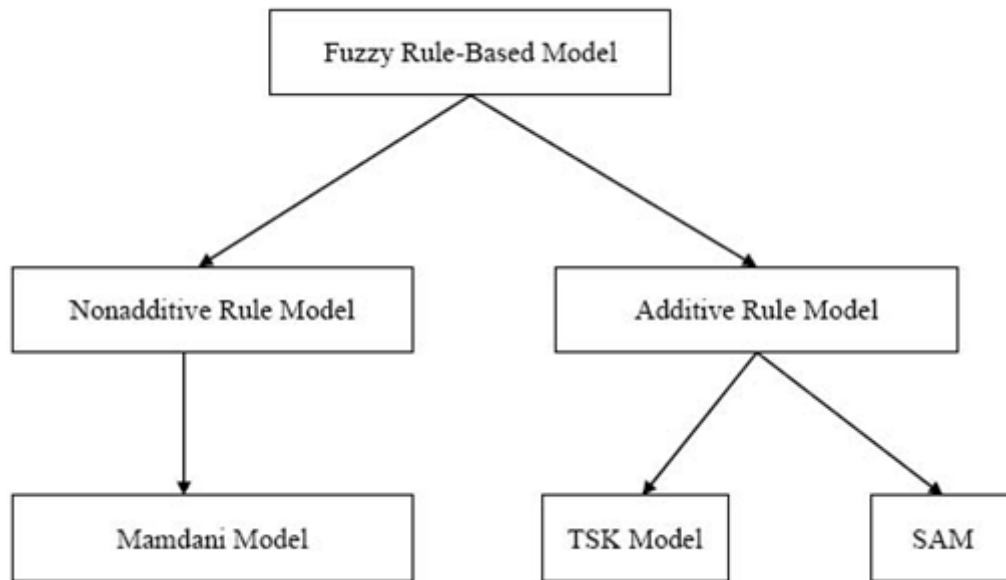
COG แทน ค่าของจุดศูนย์กลางถ่วง (Central of Gravity)

N แทน ค่าตั้งแต่ตำแหน่งที่ 1 ถึงตำแหน่งที่ i

α_i แทน ค่าฟัซซีของเอาต์พุตในเซตฟัซซีตำแหน่งที่ i

w_i แทน พื้นที่ใต้โค้งของเซตฟัซซีตำแหน่งที่ i

2.3.10 ชนิดของระบบกฎฟัซซี



ภาพที่ 2.56 กลุ่มของระบบกฎฟัซซี

ในการประมาณค่าฟังก์ชัน (Function Approximation) ระบบกฎฟัซซีที่ใช้มี 3 ชนิดใหญ่ ๆ ได้แก่ (1) รูปแบบ Mamdani (2) รูปแบบ Takagi-Sugeno-Kang (TSK) และ (3) รูปแบบ Standard Additive Model (SAM) รูปแบบ Mamdani รวมผลการอนุมาน (Inference) ของกฎโดยวิธีการซ้อนทับ (Superimposition) จากกฎหลาย ๆ ข้อ ซึ่งไม่เป็นแบบบวกกัน จึงเรียกระบบแบบนี้ว่าเป็น Nonadditive Rule Model แต่สำหรับ TSK และ SAM มีการอนุมานแบบรวมค่าน้ำหนัก (Weighted Sum) จากหลาย ๆ กฎ เพื่อรวมเป็นข้อสรุปสุดท้าย จึงเรียกระบบแบบนี้ว่า Additive Rule Model การจัดกลุ่มของระบบกฎแบบฟัซซีแสดงในภาพที่ 2.56

2.3.10.1 ระบบกฎฟัซซีของแมมดานี (Mamdani)

ระบบกฎฟัซซีแบบ Mamdani เป็นระบบที่มีความนิยมใช้มากที่สุดระบบหนึ่งในทางปฏิบัติ เป็นระบบที่ใช้ตัวแปรภาษาทั้งในข้อตั้งและข้อตามเพื่อจัดเทียบฟังก์ชันจาก เป็น $U_1 \times U_2 \times \dots \times U_n$ เป็น W

กฎที่ 1: $IF (x_1 \text{ is } A_{11}) AND (x_2 \text{ is } A_{12}) AND \dots AND (x_n \text{ is } A_{1n}) THEN y \text{ is } C_{11}$

กฎที่ 2: $IF (x_1 \text{ is } A_{21}) AND (x_2 \text{ is } A_{22}) AND \dots AND (x_n \text{ is } A_{2n}) THEN y \text{ is } C_{21}$

...

กฎที่ L: $IF (x_1 \text{ is } A_{L1}) AND (x_2 \text{ is } A_{L2}) AND \dots AND (x_n \text{ is } A_{Ln}) THEN y \text{ is } C_{L1}$

เมื่อ $x_j, j = 1, \dots, n$, เป็นตัวประกอบที่ j ของตัวแปรอินพุต x, y เป็นตัวแปรเอาต์พุต, A_{ij} เป็นพจน์ภาษาของข้อตั้ง (Consequence Linguistic Term) หรือเป็นฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของข้อตั้ง (Antecedent Membership Function) ในกฎที่ $i, i = 1, \dots, L, C_i$ เป็นพจน์ภาษาของข้อตามหรือฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของข้อตาม (Consequent Membership Function) ของกฎที่ i

กำหนดให้ A^s เป็นฟัซซีเซตใหม่ สำหรับกฎข้อที่ $i, i = 1, \dots, L$

$$A_{i1}^s = A_{i1} \cap A_{i2} \cap \dots \cap A_{in} \quad (2-19)$$

แสดงในรูปฟังก์ชันความเป็นสมาชิกได้เป็น

$$\mu_{A_{i1}^s}(x) = \min(\mu_{A_{i1}}(x_1), \mu_{A_{i2}}(x_2), \dots, \mu_{A_{in}}(x_n)) \quad (2-20)$$

ถ้าหากมีอินพุตเข้ามาในรูป

$$(x_1 = x_1'), (x_2 = x_2'), \dots, (x_n = x_n') \quad (2-21)$$

โดยที่ $x_1', x_2', \dots, x_n'$ เป็นค่าอินพุตใด ๆ จะได้ค่าฟัซซีในส่วนข้อตั้งเป็น

$$\alpha_i = \min(\mu_{A_{i1}}(x_1'), \mu_{A_{i2}}(x_2'), \dots, \mu_{A_{in}}(x_n')) \quad (2-22)$$

ค่าเอาต์พุตของกฎแต่ละข้อของระบบฟัซซีแบบ Mamdani ที่ เป็นค่าฟัซซีสามารถหาได้จากสมการ

$$\mu_{C_i}(y) = \alpha_i \wedge \mu_{C_i}(y) \quad (2-23)$$

ค่าเอาต์พุตของระบบเป็นผลรวมจากเอาต์พุตจากกฎแต่ละข้อโดยใช้สมการ

$$\mu_C(y) = \max(\mu_{C_1}(y), \mu_{C_2}(y), \dots, \mu_{C_L}(y)) \quad (2-24)$$

ฟัซซีเอาต์พุตสามารถแปลงเป็นค่าปกติได้โดยวิธี Defuzzification แบบเฉลี่ยน้ำหนัก

$$y^* = \frac{\sum \mu_C(\bar{y}) \times \bar{y}}{\sum \mu_C(\bar{y})} \quad (2-25)$$

เมื่อ $\bar{y}$ เป็นค่า Centriod ของฟังก์ชันความเป็นสมาชิกที่สมมาตร

วิธีการอนุมานแบบ Mamdani

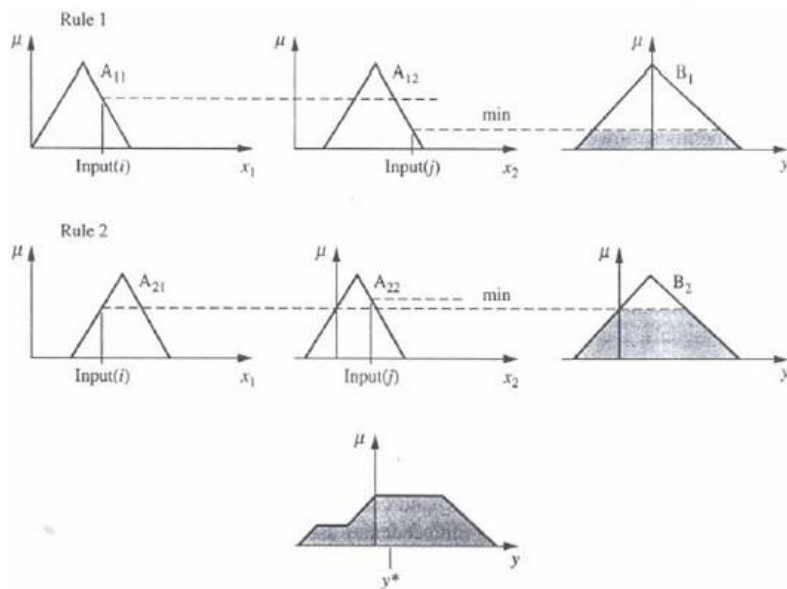
กำหนดให้ ระบบฟัซซีแบบ Mamdani มี 2 อินพุต x_1 และ x_2 (Antecedent) และ 1 เอาต์พุต y (Consequent) ซึ่งมีกฎฟัซซีเป็น

$$IF x_1 \text{ is } A_{k1} \text{ and } x_2 \text{ is } A_{k2} \text{ THEN } y \text{ is } B_k \text{ สำหรับ } k = 1, 2, \dots, r$$

ผลรวมเอาต์พุตหาได้ โดยใช้วิธีการจัดองค์ประกอบแบบค่าสูงสุด-ต่ำสุด (Max-Min Composition) และวิธีการจัดองค์ประกอบแบบค่าสูงสุด-ผลคูณ (max-product composition)

วิธีการจัดองค์ประกอบแบบค่าสูงสุด-ต่ำสุด

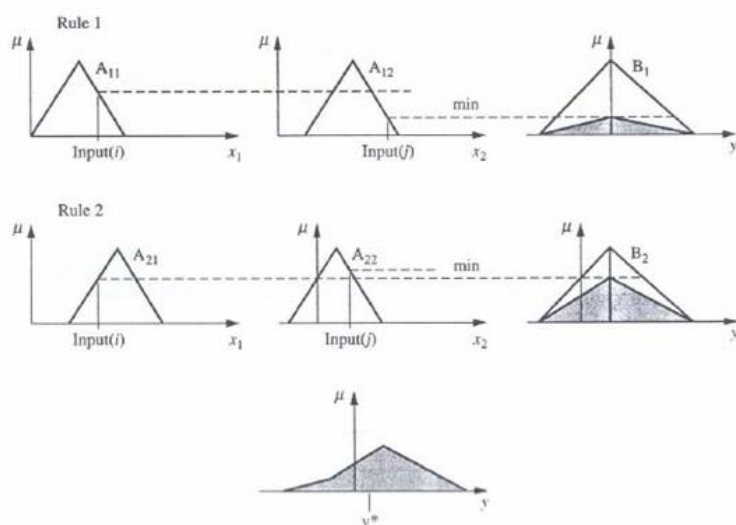
$$\mu_{B_k}(y) = \max \left[\min(\mu_{A_{k1}}(\text{Input}(i)), \mu_{A_{k2}}(\text{Input}(j))) \right] \text{ สำหรับ } k = 1, 2, \dots, r$$



ภาพที่ 2.57 กราฟวิธีการอนุมานแบบ Mamdani (Max-Min)

วิธีการจัดองค์ประกอบแบบค่าสูงสุด-ผลคูณ

$$\mu_{o_k}(o) = \max(\mu_{o_{k1}}(\text{oooo}(o)) \cdot \mu_{o_{k2}}(\text{oooo}(o))) \quad k=1,2,\dots,r$$



ภาพที่ 2.58 กราฟวิธีการอนุมานแบบ Mamdani (Max-Product)

2.3.10.2 ระบบกฎฟัซซีแบบ TSK (Takagi-Sugeno-Kang)

ระบบกฎฟัซซีแบบ TSK ซึ่งนำเสนอโดย Takagi และ Sugeno ในปีค.ศ. 1984 และต่อมา Sugeno และ Kang ได้วิจัยต่อมา ระบบกฎฟัซซีแบบ TSK จะอยู่ในรูป

กฎที่ 1 : $IF(x_1 \text{ is } A_{11}) AND (x_2 \text{ is } A_{12}) AND \dots AND (x_n \text{ is } A_{1n})$

$$THEN y_1 = f_1(x_1, x_2, \dots, x_n) = b_{10} + b_{11}x_1 + \dots + b_{1n}x_n$$

กฎที่ 2 : $IF(x_1 \text{ is } A_{21}) AND (x_2 \text{ is } A_{22}) AND \dots AND (x_n \text{ is } A_{2n})$

$$THEN y_2 = f_2(x_1, x_2, \dots, x_n) = b_{20} + b_{21}x_1 + \dots + b_{2n}x_n$$

...

กฎที่ L : $IF(x_1 \text{ is } A_{L1}) AND (x_2 \text{ is } A_{L2}) AND \dots AND (x_n \text{ is } A_{Ln})$

$$THEN y_L = f_L(x_1, x_2, \dots, x_n) = b_{L0} + b_{L1}x_1 + \dots + b_{Ln}x_n$$

เมื่อ $x_j, j=1, \dots, n$, เป็นตัวประกอบที่ j ของตัวแปรอินพุต X, y เป็นตัวแปรเอาต์พุต, A_{ij} เป็นพจน์ภาษาของข้อตั้ง (Consequence Linguistic Term) หรือเป็นฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของข้อตั้ง (Antecedent Membership Function) ในกฎที่ $i, i=1, \dots, L$, f_i เป็นสมการเชิงเส้นของข้อตาม (Consequent Linear Function) ของกฎข้อที่ i

ถ้าหากมีอินพุตเข้ามาในรูป

$$(x_1 = x_1'), (x_2 = x_2'), \dots, (x_n = x_n') \quad (2-26)$$

โดยที่ $x_1', x_2', \dots, x_n'$ เป็นค่าอินพุตใด ๆ จะได้ค่าฟัซซีในส่วนของข้อตั้งเป็น

$$\alpha_i = \min(\mu_{A_{i1}}(x_1'), \mu_{A_{i2}}(x_2'), \dots, \mu_{A_{in}}(x_n')) \quad (2-27)$$

ค่าเอาต์พุตของกฎแต่ละข้อของระบบฟัซซีแบบ TSK สามารถหาได้จากสมการ

$$y_i = b_{i0} + b_{i1}x_1 + \dots + b_{in}x_n \quad (2-28)$$

ค่าเอาต์พุตของระบบเป็นผลรวมจากเอาต์พุตจากกฎแต่ละข้อโดยใช้สมการ

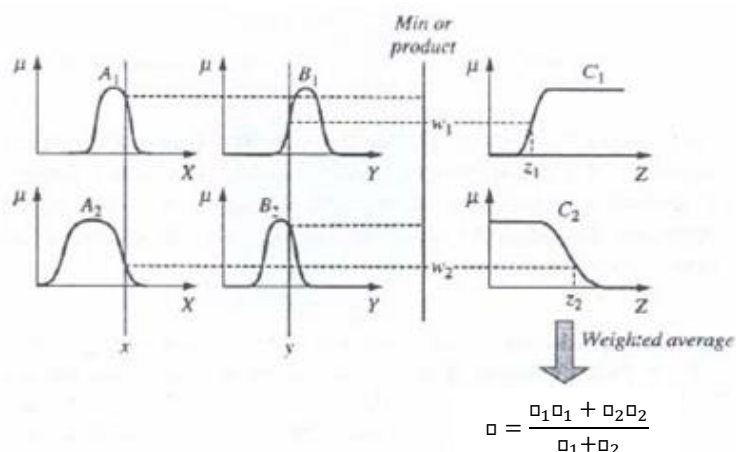
$$y = \frac{\sum_{i=1}^L \alpha_i \times y_i}{\sum_{i=1}^L \alpha_i} \quad (2-29)$$

2.3.10.3 ระบบฟัซซีแบบบวกมาตรฐาน (Standard Additive Model: SAM)

ระบบฟัซซีแบบบวกมาตรฐาน เช่น ระบบฟัซซีแบบซูกาโมโตะ หรือ Tsukamoto's Fuzzy System (Tsukamoto, 1979) ในระบบนี้ส่วนข้อตั้งและข้อตามจะเป็นพจน์ภาษาคัลยกับ ระบบฟัซซีของ Mamdani แต่ส่วนของข้อตาม (Consequent) ของกฎฟัซซีจะถูกแสดงเป็นฟัซซีเซตซึ่งมีฟังก์ชันสมาชิกแบบทางเดียว (Monotonic Membership Function) ดังภาพที่ 2.59 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกแบบทางเดียวบางครั้งเรียกว่า Shoulder Function เป็นค่าอนุমানเอาต์พุตของแต่ละกฎที่เป็นค่าธรรมดาทั่วไป (Crisp Value) ผลเอาต์พุตทั้งหมด (ดังภาพที่ 2.59) สามารถคำนวณได้จากค่าเฉลี่ยน้ำหนักของเอาต์พุตจากแต่ละกฎ ดังสมการ

$$z = \frac{\sum_{i=1}^L w_i \times z_i}{\sum_{i=1}^L w_i} \quad (2-30)$$

เนื่องจากกฎแต่ละข้อมีค่าเอาต์พุตเป็นค่าใช้งานทั่วไปแล้ว ระบบจะรวมเอาต์พุตทั้งหมดได้อย่างรวดเร็วไม่ต้องอาศัยวิธีการแปลงค่าฟัซซีเป็นค่าธรรมดา (Defuzzification) ดังนั้นจึงประหยัดเวลามากขึ้น



ภาพที่ 2.59 Tsukamoto Fuzzy Model

2.3.11 กระบวนการหาเหตุผลแบบฟัซซี่

2.4.11.1 การหาเหตุผลแบบฟัซซี่ทั่วไป

กำหนดให้ระบบฟัซซี่หนึ่งมี n อินพุต และ 1 เอาต์พุต ประกอบด้วยกฎดังนี้กฎ

ที่ 1 : $IF x_1 is A_{11} AND x_2 is A_{12} AND ... AND x_n is A_{1n} THEN y is B_1$

กฎที่ 1 : $IF x_1 is A_{21} AND x_2 is A_{22} AND ... AND x_n is A_{2n} THEN y is B_2$

...

กฎที่ L : $IF x_1 is A_{L1} AND x_2 is A_{L2} AND ... AND x_n is A_{Ln} THEN y is B_L$

เมื่อ $\mathbf{x} = [x_1, x_2, \dots, x_n]^T$ เป็นตัวแปรอินพุต และ y เป็นตัวแปรเอาต์พุตของ

ระบบ เป็นพจน์ภาษา (Linguistic Terms) ของข้อตั้ง (Antecedent) เมื่อ i เป็นกฎที่ i , $i = 1, \dots, L$, และ j เป็นมิติที่ $j = 1, \dots, n$, และให้ เป็นพจน์ภาษา (Linguistic Terms) ของข้อตาม (Antecedent) ijA_iB

จากรูปประโยค IF-THEN สามารถตีความโดยแยกเป็นส่วน ๆ ซึ่งประกอบด้วย ตัวเชื่อมตรรกะ “And or” ตัวอนุมาน “Then” ตัวจัดองค์ประกอบ ° อินพุตใด ๆ สามารถสรุปผลได้จากระบบฟัซซี่ดังกล่าว ตัวอย่างเช่น ถ้ามีอินพุตที่ต้องการหาข้อสรุปผล

$$x_1 = x'_1, x_2 = x'_2, \dots, x_n = x'_n \quad (2-31)$$

จากกฎฟัซซี่ข้างต้น สามารถสรุปผลได้ว่า

$$y = B \quad (2-32)$$

กฎข้อที่ i จากระบบฟัซซี่นี้

$$Rule_i : IF x_1 is A_{i1} AND x_2 is A_{i2} AND ... AND x_n is A_{in} THEN y is B_i \quad (2-33)$$

มีความสัมพันธ์ฟัซซี R_i ตามสมการ

$$\begin{aligned} R_i(x_1, x_2, \dots, x_n, y) &= (A_{i1} \times A_{i2} \times \dots \times A_{in} \rightarrow B_i)(x_1, x_2, \dots, x_n, y) \\ &= (A_{i1}(x_1) \wedge A_{i2}(x_2) \wedge \dots \wedge A_{in}(x_n)) \rightarrow B_i(y) \end{aligned} \quad (2-34)$$

จากอินพุต $x_1 = x_1', x_2 = x_2', \dots, x_n = x_n'$ สามารถสรุปหา $y = B$ โดยหาเอาต์พุตของกฎแต่ละข้อ

$$\begin{aligned} B_i' &= (\mu(x_1') \times \mu(x_2') \times \dots \times \mu(x_n')) \circ R_i \\ B_i' &= (A_{i1}(x_1') \wedge A_{i2}(x_2') \wedge \dots \wedge A_{in}(x_n')) \rightarrow B_i(y) \end{aligned} \quad (2-35)$$

จากนั้นรวม B_i จากกฎแต่ละข้อเข้าด้วยกัน ด้วยการยูเนียน ดังสมการ

$$B(y) = \bigcup_{i=1}^L B_i(y) = B_1'(y) \vee B_2'(y) \vee \dots \vee B_L'(y) \quad (2-36)$$

ดังนั้นฟัซซีเซตเอาต์พุต จะหาได้จาก

$$\begin{aligned} B(y) &= [(A_{11}(x_1') \wedge A_{12}(x_2') \wedge \dots \wedge A_{1n}(x_n')) \rightarrow B_1(y)] \vee \\ &[(A_{21}(x_1') \wedge A_{22}(x_2') \wedge \dots \wedge A_{2n}(x_n')) \rightarrow B_2(y)] \vee \\ &\dots \vee [(A_{L1}(x_1') \wedge A_{L2}(x_2') \wedge \dots \wedge A_{Ln}(x_n')) \rightarrow B_L(y)] \end{aligned} \quad (2-37)$$

สรุปขั้นตอนการประมวลผลเพื่อหาเหตุผลแบบฟัซซี

1. รับข้อมูลอินพุต $x_1 = x_1', x_2 = x_2', \dots, x_n = x_n'$
2. ทำการแปลงค่าอินพุต เป็นค่าฟัซซี $\mu(x_1'), \mu(x_2'), \dots, \mu(x_n')$
3. หาค่าฟัซซี (firing strength) จากข้อตั้งของกฎแต่ละข้อ

$$A_{i1}(x_1') \wedge A_{i2}(x_2') \wedge \dots \wedge A_{in}(x_n')$$

4. คำนวณค่าฟัซซีเอาต์พุตจากกฎแต่ละข้อ

$$B_i'(y) = (A_{i1}(x_1') \wedge \dots \wedge A_{in}(x_n')) \rightarrow B_i(y)$$

5. คำนวณค่าฟัซซีเอาต์พุตรวมจากทุกกฎในระบบ

$$B(y) = B_1'(y) \vee B_2'(y) \vee \dots \vee B_L'(y)$$

2.3.11.2 การหาเหตุผลแบบฟัซซีตามวิธี Mamdani

เพื่อความเข้าใจง่าย จะยกตัวอย่างกฎฟัซซี IF-THEN สองกฎที่อยู่ในรูป

Rule₁: if x is A₁ and y is B1 then z is C₁

Rule₂: if x is A₂ and y is B2 then z is C₂

สำหรับอินพุตใด ๆ x is x₀ and y is y₀ ดังนั้นผลสรุป z is C

การหาผลสรุปฟัซซีในรูปแบบ Mamdani เป็นการใช้ตัวดำเนินการค่าต่ำสุด (Minimum operator) สำหรับการเชื่อมประโยคแบบ “And” และใช้ตัวดำเนินการค่าสูงสุดสำหรับการเชื่อมประโยคแบบ “Or”

ระดับค่าฟัซซีของกฎแต่ละข้อในส่วนข้อตั้ง หาได้โดยการคำนวณจากสมการ

$$\begin{aligned}\alpha_1 &= A_1(x_0) \wedge B_1(y_0) \\ \alpha_2 &= A_2(x_0) \wedge B_2(y_0)\end{aligned}\quad (2-38)$$

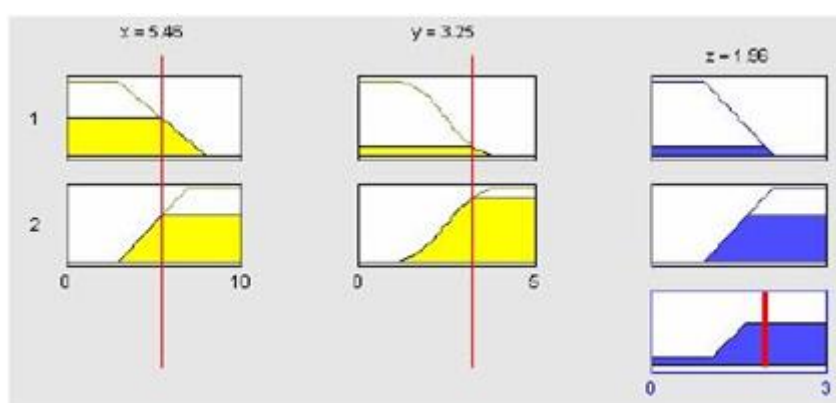
เอาต์พุตของกฎแต่ละข้อ สามารถคำนวณได้จาก

$$\begin{aligned}C_1'(w) &= (\alpha_1 \wedge C_1(w)), \\ C_2'(w) &= (\alpha_2 \wedge C_2(w))\end{aligned}\quad (2-39)$$

ผลรวมของเอาต์พุตฟัซซีทั้งหมดหาได้จากการยูเนียนผลลัพธ์จากแต่ละกฎ

$$C(w) = C_1'(w) \vee C_2'(w) = (\alpha_1 \wedge C_1(w)) \vee (\alpha_2 \wedge C_2(w)) \quad (2-40)$$

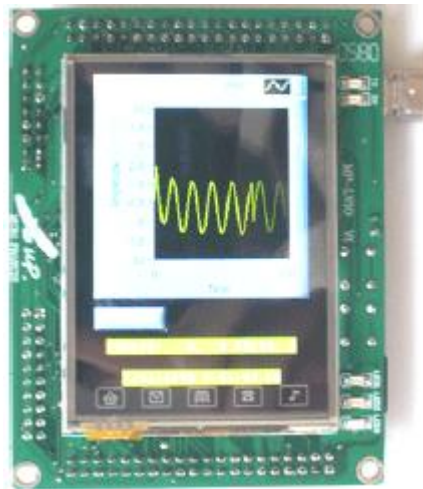
สุดท้าย หากต้องการผลเอาต์พุตที่เป็นค่าทั่วไป สามารถหาโดยวิธีการแปลงค่าฟัซซีเป็นค่าทั่วไป (Defuzzification Method)



ภาพที่ 2.60 การอนุมานผลระบบฟัซซีแบบ Mamdani

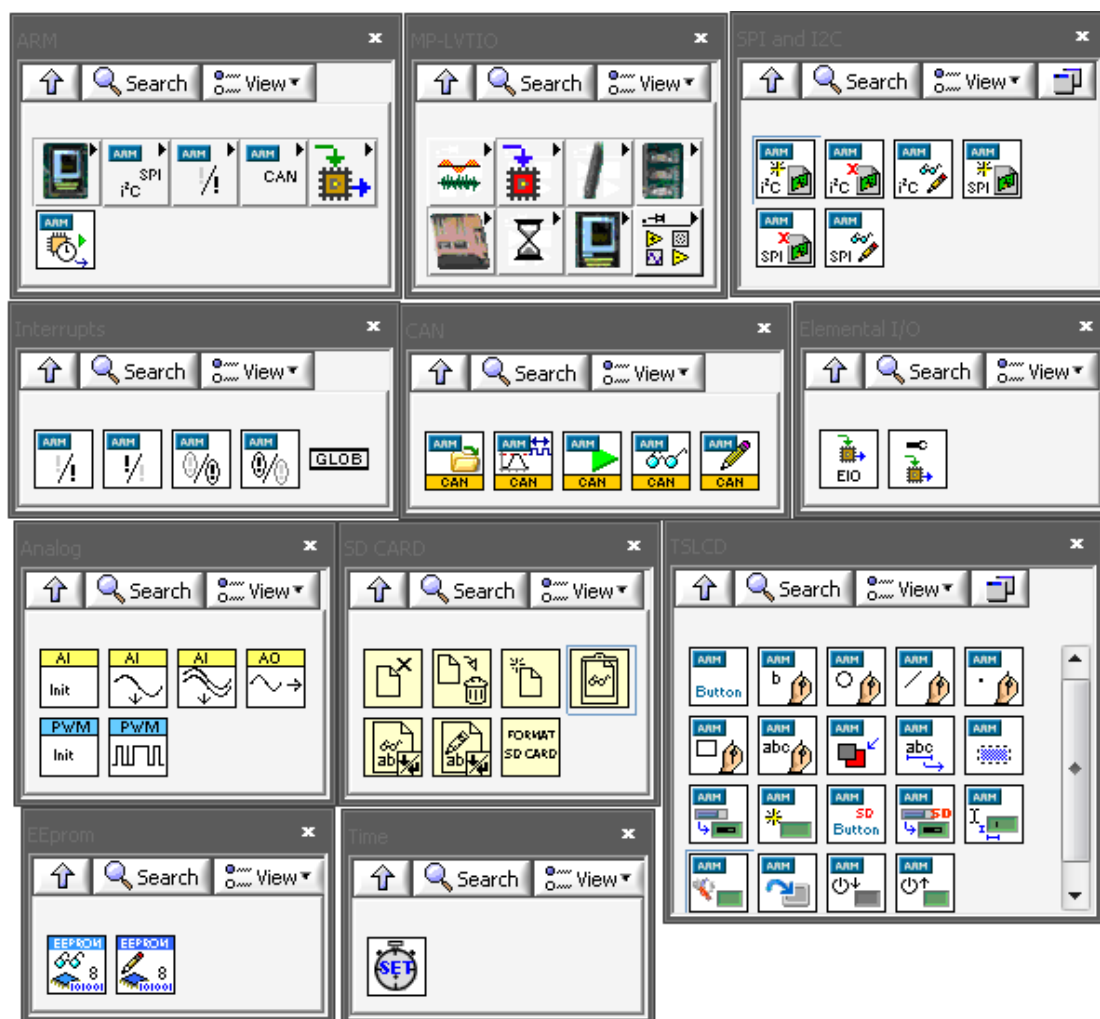
2.4 ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller)

บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้ในโครงงานนี้อีกบอร์ดหนึ่งก็คือ LabVIEW Touch Screen I/O Board (MP-LVTIO) เป็นบอร์ดที่เราสามารถเขียนโปรแกรมควบคุมการทำงานด้วย LabVIEW ผ่าน LabVIEW Embedded Module for ARM Microcontrollers แล้วทำการโปรแกรมลงบนตัวบอร์ดเพื่อให้บอร์ดทำงานตามคำสั่งที่เขียนขึ้นมาด้วย LabVIEW ซึ่งทำให้เราลดความยุ่งยากในการเขียนโปรแกรมด้วยภาษา C หรือ Assembly



ภาพที่ 2.61 บอร์ด LabVIEW Touch Screen I/O Board (MP-LVTIO)

การใช้งานบอร์ด MP-LVTIO สำหรับการเขียนโปรแกรมด้วย LabVIEW นั้นจะใช้ Driver Toolkit ที่สร้างขึ้นมาเพื่อให้ผู้ใช้งานง่ายต่อการเขียนโปรแกรม LabVIEW ARM เพื่อควบคุมอุปกรณ์บนบอร์ดและติดต่อกับฮาร์ดแวร์ภายนอกโดย LabVIEW Embedded Module for ARM Microcontroller จะทำการเปลี่ยนโปรแกรม LabVIEW Code ที่เราเขียนขึ้นมาในรูปแบบของกราฟฟิกโปรแกรมมิ่งไปเป็นภาษา C ของ Keil หลังจากนั้น Keil Compiler จะทำการเปลี่ยน C Code ไปเป็น binary file สำหรับโปรแกรมลงบนบอร์ด MP-LVTIO อีกที



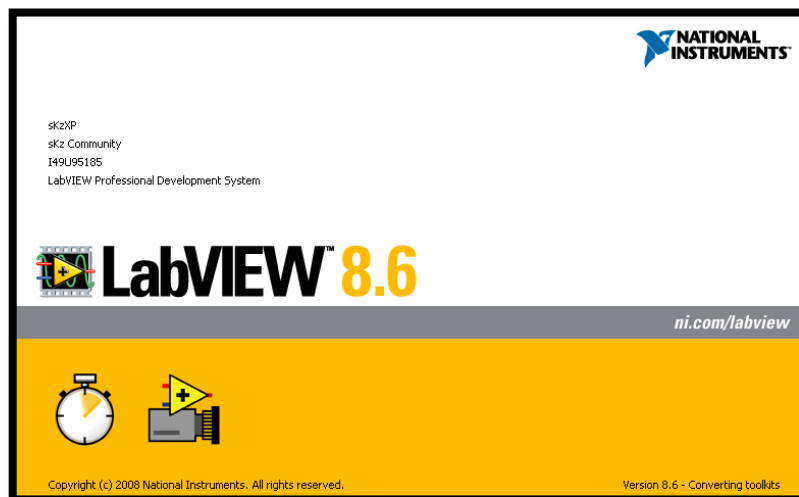
ภาพที่ 2.62 Driver Toolkit สำหรับ LabVIEW Touch Screen I/O Board

คุณสมบัติทั่วไปของบอร์ด

- Touch Screen 2.8 นิ้ว พร้อม Driver LabVIEW Toolkit
- มี Driver Function ของ LabVIEW สำหรับ SD Card, Touch Screen, I2C, SPI, PWM, ADC, Analysis Tools และ Serial Communication Tools
- สามารถต่อบอร์ด MP-LVTIO เข้ากับคอมพิวเตอร์ได้ผ่านทาง USB to RS232 ซึ่งมี hardware รองรับอยู่บนบอร์ด
- สามารถ download firmware ด้วย USB และ ULINK JTAG
- มี I/O จำนวน 71 port, 6 PWM, 1 Ch 10bits DAC และ 8 Ch 10bits ADC port

2.5 โปรแกรมแลบวิว (LabVIEW)

LabVIEW จัดเป็นซอฟต์แวร์ประเภท Programming Language คล้ายกับ Visual Basic หรือ Visual C++ แต่แตกต่างกันตรงที่ LabVIEW เป็นการสร้างโปรแกรมโดยใช้ภาษารูปภาพ (Graphical (G) Programming Language) คือจะใช้บล็อกฟังก์ชันซึ่งแทนด้วยรูปไอคอน (Icon) แทนการเขียนโปรแกรมย่อย (Subroutine) และใช้เส้นเชื่อมต่อระหว่างบล็อกฟังก์ชันแทนการไหลของข้อมูลระหว่างโปรแกรมย่อยนั้นๆ คล้ายกับการเขียนโฟลชาร์ต (Flow Chart) หรือ บล็อกไดอะแกรม (Block-Diagram) ของโปรแกรม สิ่งที่ทำให้ LabVIEW ต่างจากซอฟต์แวร์สำหรับการพัฒนาโปรแกรมอื่นทั่วไปอีกอย่างหนึ่งคือ ความสามารถในการพัฒนาโปรแกรมใช้งานทางด้านงานวัดและงานควบคุมอัตโนมัติ ซึ่งถือเป็นเป้าหมายสำคัญของ LabVIEW โดยจะมี เครื่องมือ (Tool) และไลบรารี (Library) ที่สนับสนุนการใช้งานทางด้านนี้ไว้อย่างมากมาย ให้ผลลัพธ์ออกมาในรูปแบบของเครื่องมือเสมือนจริง (Virtual Instrument หรือ VI)



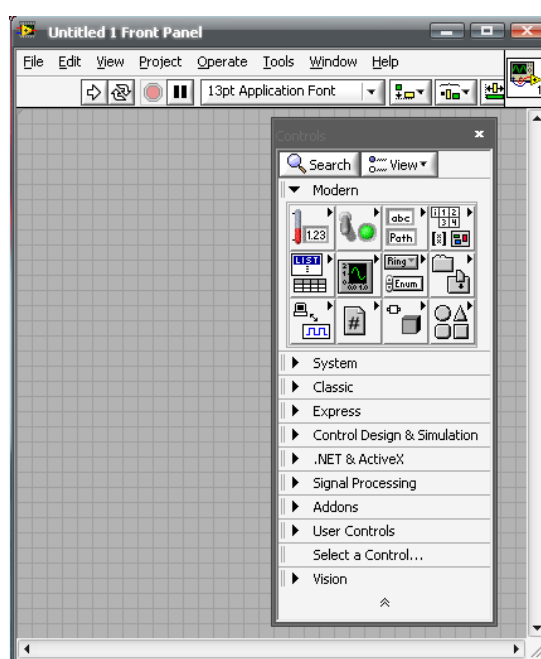
ภาพที่ 2.63 หน้าจอของ LabVIEW 8.6

2.5.1 การออกแบบโปรแกรมโดยใช้ LabVIEW

LabVIEW เป็นซอฟต์แวร์ภาษาอย่างหนึ่งที่ใช้พัฒนาโปรแกรมใช้งานอื่น ๆ โดยเน้นไปทางด้านการใช้งานในงานวัดและควบคุมอัตโนมัติ โปรแกรมที่ได้จากการพัฒนาโดยใช้ LabVIEW นี้เรียกว่า VI (Virtual Instrument) คือการจำลองรูปแบบของส่วนต่างๆ ในเครื่องมือที่ใช้งานวัดคุม เช่น มิเตอร์, บาร์สเกล, กราฟ, สวิตช์และปุ่มมาไวบนคอมพิวเตอร์เพื่อทำการควบคุมและแสดงผลข้อมูลจุดเด่นในการออกแบบโปรแกรมด้วย LabVIEW คือ

2.5.1.1 Front Panel

โปรแกรม VI ที่สร้างโดย LabVIEW จะเรียกส่วนติดต่อกับผู้ใช้งาน (User Interface) ว่า Front Panel ซึ่งประกอบด้วยส่วนรับคำสั่งควบคุม เช่น การป้อนข้อมูล, ปุ่ม, สวิตช์และส่วนแสดงผลข้อมูล เช่น มิเตอร์, บาร์สเกลและกราฟ เป็นต้น ส่วนต่างๆ เหล่านี้สามารถเลือกได้จากกรุปไอคอนใน Control Palette แล้วนำมาวางประกอบกันเป็น Front Panel ผู้ใช้สามารถควบคุมการทำงานของโปรแกรมที่สร้างขึ้นผ่าน Front Panel นี้ เช่น การกดปุ่ม, เลื่อนแถบสไลด์หรือป้อนข้อมูลทางคีย์บอร์ดพร้อมทั้งยังสามารถดูผลข้อมูลได้

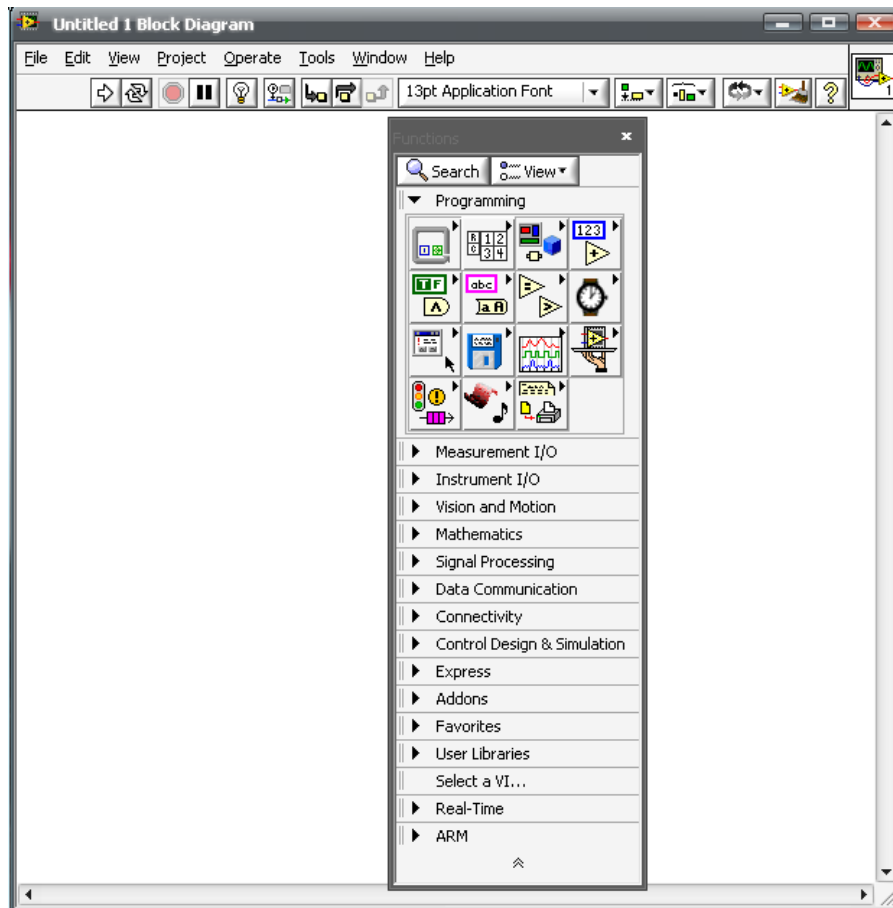


ภาพที่ 2.64 หน้าจอ Front Panel และชุด Controls

2.5.1.2 Graphical Block Diagram

การสร้างโปรแกรม VI บน LabVIEW ทำได้โดยการสร้างบล็อกไดอะแกรม ซึ่งประกอบด้วยรูปไอคอนของบล็อกฟังก์ชันต่างๆ ที่ใช้แทนโปรแกรมย่อย โดยไม่ต้องกังวลเรื่องการใช้ภาษามากมายเหมือนกับการเขียนโปรแกรมด้วยข้อความแบบเดิมๆ สามารถเลือกบล็อกฟังก์ชันต่างๆ ได้จาก Functions Palette มาวางและเชื่อมโยงบล็อกต่างๆ เข้าด้วยกันเพื่อระบุว่ามี การส่งข้อมูลจากบล็อกใดไปยังบล็อกใด

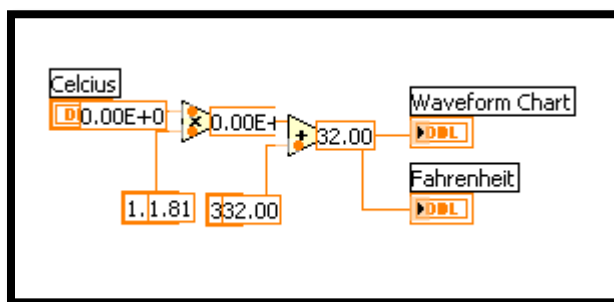
ฟังก์ชันการทำงานของบล็อกต่างๆ ที่มีให้เลือกใช้มีตั้งแต่ฟังก์ชันการคำนวณธรรมดาไปจนถึงฟังก์ชันการวิเคราะห์ข้อมูลขั้นสูง รวมถึงฟังก์ชันการควบคุมอุปกรณ์อินพุตเอาต์พุต การปฏิบัติการเกี่ยวกับไฟล์ข้อมูลและอื่น ๆ อีกมากมาย



ภาพที่ 2.65 หน้าจอ Block Diagram และชุด Functions

2.5.1.3 Dataflow Programming

โปรแกรม VI ที่สร้างด้วย LabVIEW มีรูปแบบการทำงานในลักษณะของ Dataflow Programming คือการทำงานขึ้นอยู่กับกาลไหลของข้อมูลระหว่างบล็อกฟังก์ชันต่าง ๆ ในลักษณะที่ทำงานพร้อมกัน (Simultaneous and Multithreaded Systems) นอกจากนี้ยังสามารถติดต่อกับโปรแกรม VI อื่น ๆ เพื่อรับส่งข้อมูลได้



ภาพที่ 2.66 ลักษณะการทำงานแบบ Dataflow ของโปรแกรมแลบวิว

2.5.1.3 Data type

เนื่องจากข้อมูลในแลบวีนนั้นมีหลายแบบ คือ เลขทศนิยม, เลขจำนวนจริง, ตัวอักษร หรือค่าจริง-เท็จ (Boolean) ดังนั้นเพื่อแสดงถึงความแตกต่างของข้อมูลแต่ละแบบ LabVIEW จึงได้กำหนดให้ลักษณะของ Wires สำหรับข้อมูลแต่ละแบบมีลักษณะของเส้นและสีที่แตกต่างกัน นอกจากนั้นข้อมูลแต่ละแบบดังกล่าวยังอาจมีลักษณะเป็น scalars, 1-D array, 2-D array ได้ซึ่งลักษณะของเส้นของข้อมูลแต่ละแบบก็จะแตกต่างออกไปอีก

ตารางที่ 2.2 แสดงลักษณะของเส้น (wire) ข้อมูลแต่ละชนิดในแลบวิว

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

2.5.2 พีโอซีในโปรแกรมแลบวิว (PID Controller)

พีโอซีในโปรแกรมแลบวิวจะหาค่าผิดพลาด (E) จากการเปรียบเทียบค่าแตกต่าง ระหว่างค่าที่จุดกำหนด (SP) และค่าประมวลผล (PV)

$$e = SP - PV \quad (2-41)$$

ดังนั้น พีโอซีจะคำนวณหาค่าเอาต์พุต ($u(t)$) โดยที่ K_c คืออัตราขยายในการควบคุม

$$u(t) = K_c \left(e + \frac{1}{T_i} \int_0^t e dt + T_d \frac{de}{dt} \right) \quad (2-42)$$

ถ้าค่าผิดพลาด (Error) และค่าเอาต์พุตอยู่ในช่วง -100%-100% ค่าที่ส่งออกเอาต์พุตจะเป็นค่ากลับกันในช่วงของ ค่า Proportional (K_p) T_i คือค่าอินทิกรัลของเวลาในนาที (Integral Time in Minutes) เรียกว่า รีเซตไทม์ (Reset Time) T_d คือค่าความแตกต่างของเวลาในนาที (Derivative Time in Minutes) เรียกว่า เรทไทม์ (Rate Time)

สูตรการคำนวณหาค่าของ Proportional คือ

$$u_p(t) = K_c e \quad (2-43)$$

สูตรการคำนวณหาค่าของ Integral คือ

$$u_i(t) = \frac{K_c}{T_i} \int_0^t e dt \quad (2-44)$$

สูตรการคำนวณหาค่าของ Derivative คือ

$$u_d(t) = K_c T_d \frac{de}{dt} \quad (2-45)$$

สัญญาณที่ส่งออกมาที่พุทของพีไอดี

เป็นผลรวมระหว่างค่า Proportional, Integral และ Derivative ดังแสดงในสูตร

$$u(k) = u_p(k) + u_i(k) + u_d(k) \quad (2-46)$$

ค่าจำกัดเอาต์พุตของพีไอดี

แท้จริงแล้วเอาต์พุตของการควบคุมแบบพีไอดีในแลบวิวขึ้นการกำหนดค่าสูงสุด-ต่ำสุดของค่าที่จะส่งออกไปเพื่อควบคุมค่าที่ส่งออกไป

$$\text{ถ้า } u(k) \geq u_{max} \text{ ดังนั้นให้ } u(k) = u_{max}$$

และ

$$\text{ถ้า } u(k) \leq u_{min} \text{ ดังนั้นให้ } u(k) = u_{min}$$

ดังนั้นสูตรที่แท้จริงในการคำนวณหาเอาต์พุตในรูปแบบของพีไอดีในแลบวิว คือ

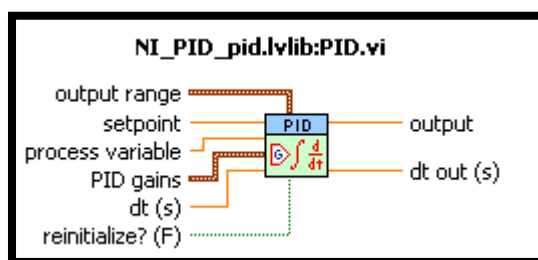
$$u(t) = K_c \left[(SP - PV) + \frac{1}{T_i} \int_0^t (SP - PV) dt - T_d \frac{dPV_f}{dt} \right] \quad (2-47)$$

บล็อกไดอะแกรมลำดับการประมวลผลเอาต์พุตของฟังก์ชันพีไอดีในแลบวิว

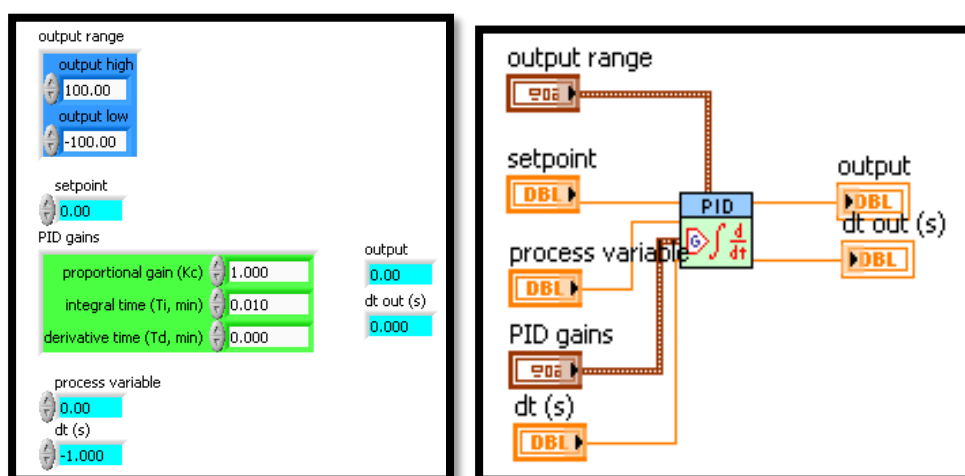


ภาพที่ 2.67 การประมวลผลของพีไอดีกำหนดจุดและหน่วยเวลาในแลบวิว

ฟังก์ชันพีไอดีในแลบวิว มีการต่อใช้งานดังแสดงในภาพที่ 2.69 และ 2.70 และในส่วนของหมายเลข 1 จะเป็นส่วนของการควบคุม หรือการกำหนดค่าต่าง ๆ ซึ่งเป็นเงื่อนไขของโปรแกรม ส่วนหมายเลข 2 คือ ส่วนเอาต์พุตหรือการแสดงผลตอนรันโปรแกรม



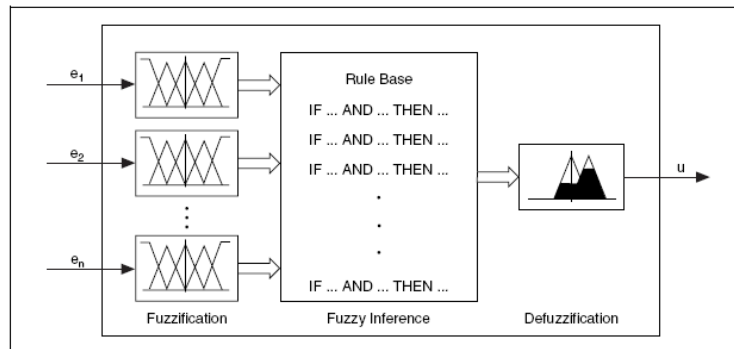
ภาพที่ 2.68 ฟังก์ชันพีไอดีและการต่อใช้งานในแลบวิว



ภาพที่ 2.69 ตัวอย่างฟังก์ชันพีไอดีและการต่อใช้งานในแลบวิว

2.5.2 Fuzzy Logic Control ในโปรแกรมแลบวิว

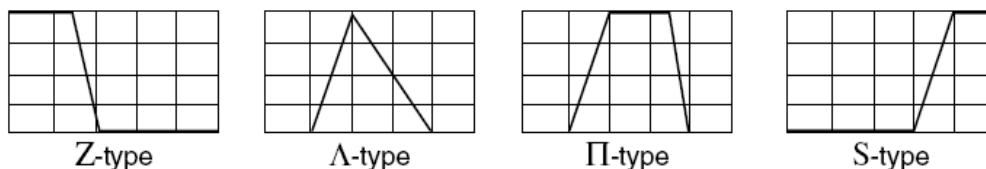
โครงสร้างฟัซซีในแลบวิวก็เหมือนกับการการควบคุมด้วยฟัซซีทั่วไป คือ มีการกำหนดสมาชิกของฟังก์ชัน (Membership) การกำหนดค่าฟัซซี (Fuzzy-Set) และการกำหนดกฎ (Rule Base) ในการส่งค่าเอาต์พุต หลักในการกำหนดกฎ (Rule Base) ต่าง ๆ ในแลบวิวจะใช้หลักการ คือ ถ้า ... และ... ดังนั้น... (IF...AND...THEN)



ภาพที่ 2.70 โครงสร้างภายในของฟัซซีคอนโทรลเลอร์ในโปรแกรมแลบวิว

ค่าตัวแปรที่เป็นไปได้ตามหลักการของฟัซซีจะมีข้อตกลงในการกำหนดค่าให้ประมวลผลทางทฤษฎีของฟัซซีจะต้องกำหนดค่าเพื่อสื่อความหมาย และจะถูกเรียกเป็นตัวแปร เช่น ถ้าต้องการให้ยานพาหนะเคลื่อนที่ไปยังจุด X โดยปกติจะต้องวัดระยะทางมีหน่วยเป็นเมตร นอกจากนี้ยังสามารถใช้ภาษาในการสื่อสารได้ดังนี้ ซ้าย ซ้ายกลาง กลาง ขวากลาง และขวายานพาหนะก็สามารถไปยังตำแหน่ง X ได้เช่นกัน

นอกจากนี้ยังสามารถประยุกต์รูปแบบการใช้งานสมาชิกของฟัซซีสำหรับรูปแบบ ที่เป็นระบบมาตรฐาน คือ Z-Type (แบบรูปตัว Z), A-Type (แบบรูปสามเหลี่ยม), M-Type (แบบรูปสี่เหลี่ยมคางหมู), และแบบ S-Type (แบบรูปตัว S)



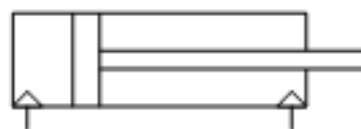
ภาพที่ 2.71 รูปแบบมาตรฐานของสมาชิกในฟัซซีคอนโทรลเลอร์

2.6 ชุดประลองไฮดรอลิก

2.6.1 กระบอกสูบสองทิศทาง กระบอกสูบจะทำงานในลักษณะการเคลื่อนที่เชิงเส้นตรง สัญลักษณ์ของกระบอกสูบจะมีส่วนประกอบคือ กระบอกสูบ ลูกสูบ และ ก้านสูบ จากภาพที่ 2.72 สามารถเขียนสัญลักษณ์กระบอกสูบไฮดรอลิกได้ตามภาพที่ 7.73 นอกจากนี้ยังมีกระบอกสูบอื่นๆ เช่นกระบอกสูบแบบทำงานทางเดียวอาจใช้แทนอุปกรณ์ทำงานแบบไดอะแฟรม (Diaphragm) หรือเชิงเส้น อื่นๆเช่นกระบอกสูบแบบทำงานสองทางมีก้านสูบเดียว,กระบอกสูบแบบทำงานสองทางมีสองก้านสูบ กระบอกสูบแบบมีชุดกันกระแทกอยู่ภายใน,กระบอกสูบมีชุดกันกระแทกปรับค่าได้และกระบอกสูบ แบบทำงานสองทางก้านสูบขนาดใหญ่ เป็นต้น



ภาพที่ 2.72 กระบอกสูบสองทิศทาง

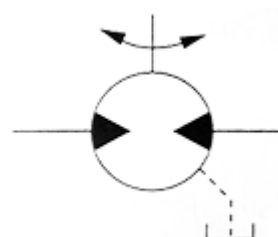


ภาพที่ 2.73 สัญลักษณ์กระบอกสูบสองทิศทาง

2.6.2 มอเตอร์ไฮดรอลิก (Hydraulic Motors) คืออุปกรณ์ที่เปลี่ยนพลังงานของไหลให้เป็นพลังงานกลในแนวหมุน (Rotary) เพื่อให้เกิดแรงบิด (Torque) และอัตราการไหล (Flow) มอเตอร์ไฮดรอลิกทำงานได้จากการไม่สมดุลของชุดหมุนซึ่งแต่ละชนิดจะแตกต่างกัน



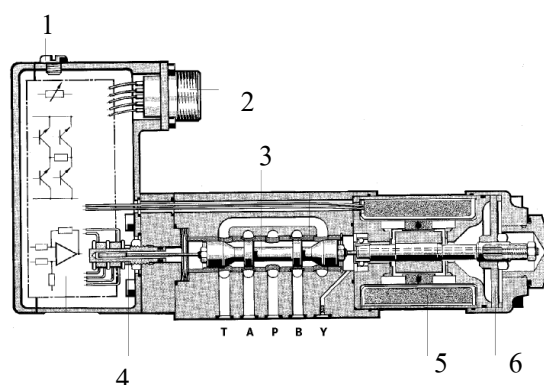
ภาพที่ 2.74 มอเตอร์ไฮดรอลิก



ภาพที่ 2.75 สัญลักษณ์มอเตอร์ไฮดรอลิก

2.6.3 4/3-Way Regulating Valve

2.6.3.1 โครงสร้างของ 4/3-Way Regulating Valve



ภาพที่ 2.76 โครงสร้างของ 4/3-Way Regulating Valve

หมายเลข 1. Plug Screw for Zero Setting หมายถึงสกรูที่ทำหน้าที่ตั้งค่า จานแปลงรหัสตำแหน่งให้ค่าตำแหน่ง เป็นศูนย์

หมายเลข 2. Extension Plug หมายถึงจุดเชื่อมต่อสายสัญญาณต่างๆที่จะนำไปใช้งาน รวมถึงไฟ ที่จะใช้เลี้ยงวงจรภายใน

หมายเลข 3. Control Sleeve หมายถึง แกนหรือแขนควบคุมรูด้านน้ำมันของตัววาล์ว

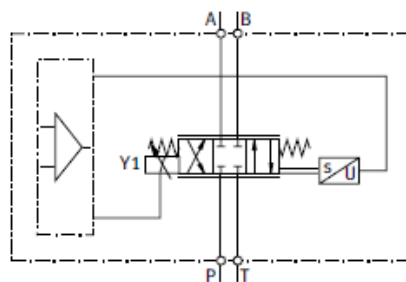
หมายเลข 4. จานแปลงรหัสตำแหน่ง หมายถึง เซนเซอร์ หรือ ตัววัดตำแหน่งชนิดหนึ่ง ที่ทำหน้าที่วัดตำแหน่งของลิ้นวาล์วเพื่อค่าป้อนกลับไปควบคุมตำแหน่งลิ้นวาล์วอีกที

หมายเลข 5. มอเตอร์เชิงเส้น หมายถึง มอเตอร์ ที่มีการเคลื่อนที่เป็นเส้นตรง โดยสามารถเคลื่อนที่เดินหน้า หรือถอยหลังตามขั้วไฟที่จ่าย ในที่นี้ทำหน้าที่ขับเคลื่อนลิ้นวาล์วให้เดินหน้าหรือถอยหลัง

หมายเลข 6. สปริงเริ่มใหม่ หมายถึง สปริงที่ทำหน้าที่คืนตัวกลับสู่ตำแหน่งเดิม โดยในที่นี้จะทำหน้าที่คืนตำแหน่งของลิเนียร์มอเตอร์



ภาพที่ 2.77 4/3-Way Servo Valve



ภาพที่ 2.78 สัญลักษณ์ของ 4/3-Way Servo Valve

2.6.3.2 หลักการทำงานของ 4/3-Way Servo Valve การควบคุมสัญญาณทางไฟฟ้า จะส่งไปยังตัวควบคุมตำแหน่ง (Integrated) มอเตอร์เชิงเส้นจะถูกควบคุมผ่านสัญญาณ PWM

(Pulse- Width Modulation : PWM) จากวงจรไคร์ฟ (Drive Electronics) ในส่วนของมอเตอร์เชิงเส้น นั้นจะมีแกนเหล็กยึดติดกับลูกสูบ (Piston) ทำให้เลื่อนเมื่อตัวมอเตอร์ทำงาน สัญญาณที่ได้ นั้น จะถูกส่งกลับไปยังตัวควบคุมและเปรียบเทียบกับค่าที่ตั้งไว้ (Set Point) ในส่วนมอเตอร์เชิงเส้น ก็จะทำงานจนกว่าตัวควบคุมจะเปรียบเทียบกับค่าที่ตั้งไว้ การควบคุมตำแหน่งของลูกสูบจะเป็นสัดส่วนกับสัญญาณไฟฟ้า อัตราการไหลไม่เพียงขึ้นอยู่กับสัญญาณไฟฟ้า แต่ยังขึ้นอยู่กับ การควบคุมของบุคคล หรือความดันตก (Pressure Drop) จากสายเคเบิล (Cable) ตามสมการที่ (2-48)

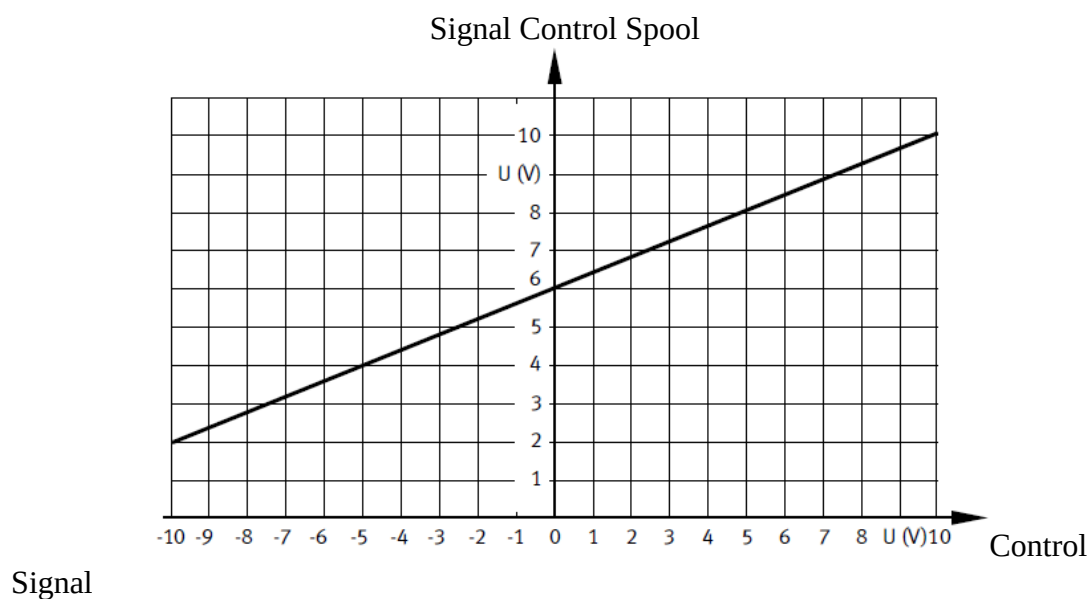
$$q = q_N \sqrt{\frac{\Delta q}{\Delta q_N}} \quad (2-48)$$

q คือ อัตราการไหลของปริมาตรที่เป็นจริงต่อการควบคุมที่ขอบที่ Δq หน่วย ลิตร/นาทึ

q_N คือ อัตราการไหลของปริมาตรที่กำหนดต่อการควบคุมที่ขอบที่ Δq_N หน่วย ลิตร/นาทึ

Δq คือ ความดันตกที่เกิดขึ้นจริงต่อขอบการควบคุม หน่วย ลิตร/นาทึ

Δq_N คือ ความดันตกต่อการควบคุมที่กำหนดขอบ หน่วย ลิตร/นาทึ



ภาพที่ 2.79 ความดัน/สัญญาณลักษณะเฉพาะ

การกำหนดค่าของสายสัญญาณเพื่อให้ง่ายต่อการใช้งานจะกำหนดแต่ละค่าตามตารางที่ 2-1

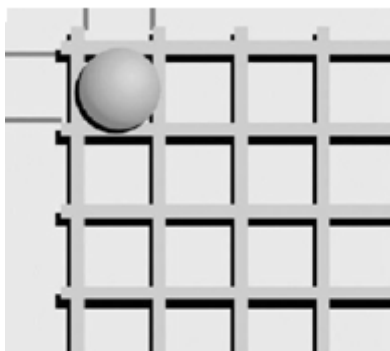
ตารางที่ 2.3 การกำหนดขา

No. Plug	designation		Color Plug
1	Supply+	24 V	red
2	Supply-	0 V	blue
3	Set point value +	0 - ± 10 V	Black
4	Set point value -	0 - ± 10 V	White
5	Signal of control piston	4 - 24mA	(coupling)

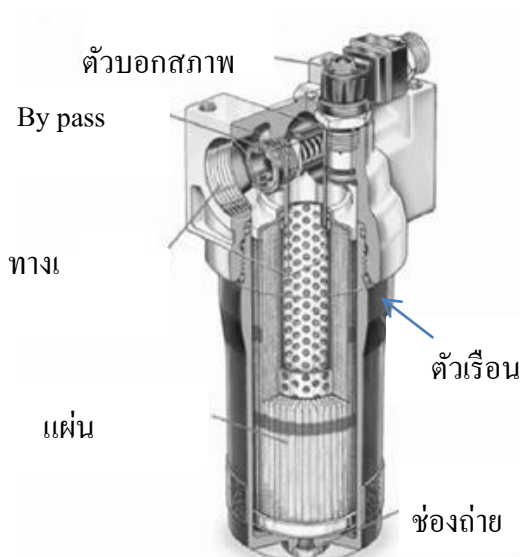
2.6.4 ฟิลเตอร์หรือไส้กรองไฮดรอลิก (Hydraulic Filter) ไส้กรองเป็นอุปกรณ์ที่สำคัญมาก ในระบบไฮดรอลิกแต่ส่วนมากเราจะมองข้ามหรือไม่ค่อยให้ความสำคัญ กับอุปกรณ์ชิ้นนี้กันมากนัก หน้าที่ของกรองก็คือการดักเอาอนุภาคเจือปน (Contamination) ออกจากน้ำมัน โดยการดักอนุภาค สิ่งเจือปนเหล่านั้นให้ติดไว้กับแผ่นกรองโดยที่ แผ่นกรองแบบพื้นฐานนั้นจะมีลักษณะเป็นแผ่น ลักษณะเป็นตาข่ายหรือคล้ายๆกัน ในส่วนของความหยาบหรือละเอียดในการกรองนั้นจะขึ้นอยู่กับ ความถี่หรือห่างของ วัสดุที่นำมาทำเป็นกรองนั้นๆ ดังภาพที่ 2.81 เป็นตัวอย่างแผ่นกรองอย่าง ง่าย ตัวแผ่นกรองสามารถทำมาจากวัสดุหลายแบบเช่น ลวดถัก ผ้า เส้นใยหรืออื่นๆ ซึ่งก็ขึ้นอยู่กับ ลักษณะการใช้งาน และราคาของผู้ผลิตและผู้ใช้ต้องการ สิ่งที่เกิดขึ้นเมื่อเราใส่กรองเข้ากับระบบก็คือ แรงดันตกคร่อมที่เกิดขึ้น กับตัวกรอง ดังนั้นเราจะเห็นว่ารูปแบบของกรองแบบต่าง ๆ นั้นผู้ผลิต พยายามให้มีพื้นที่กรองให้มากที่สุดเพื่อที่จะให้มีพื้นที่กรอง มากซึ่งจะส่งผลต่อประสิทธิภาพของ กรองและลดแรงดันตกคร่อม ที่เกิดขึ้นให้ได้ มากที่สุดสำหรับ กรองที่ทำจากลวดถักซึ่งมีความ ละเอียดน้อยซึ่งจะใช้สำหรับดักอนุภาคขนาดใหญ่ เรียกว่ากรองหยาบ (Strainer) ส่วนกรองที่มี ความละเอียดสูงส่วนมากจะทำมาจากกระดาษหรือวัสดุอื่น ๆ ใช้สำหรับดักอนุภาคขนาดเล็ก ๆ เรา จะเรียกว่ากรองละเอียด.



ภาพที่ 2.80 ฟิลเตอร์แผ่นกรองอย่างง่าย



ภาพที่ 2.81 ตัวอย่าง



ภาพที่ 2.82 เรือนกรอง

สำหรับรูปแบบของเรือนกรองนั้นจะมีรูปร่างตาม การออกแบบและจุดที่ติดตั้งซึ่งใน ภาพที่ 2.82 เป็นเรือนกรองของกรองทางกลับ (Return Line Filter) ซึ่งโดยทั่วไปจะสามารถรับแรงดันได้ ประมาณ 34 บาร์ สำหรับเรือนกรองรูปแบบอื่น ๆ เช่นกรองในระบบ (Pressure or Inline Filter) โดยทั่วไป จะสามารถรับแรงดันได้สูงถึง 133 ถึง 400 บาร์

2.6.5 เซนเซอร์วัดตำแหน่ง (Liner Potentiometer Sensor) มีช่วงชัก (Stroke Rang) ที่ 200 มิลลิเมตร โดยที่มีกล่องไฟเลี้ยง 24 โวลต์ เป็นไฟเลี้ยงในตัว เซนเซอร์ สามารถวัดตำแหน่ง ออกมาเป็นไฟ 0-10 โวลต์ โดยที่สามารถนำสัญญาณไฟ 0-10 โวลต์ มาใช้ได้ที่กล่องไฟเลี้ยง กล่องไฟเลี้ยงสามารถให้ไฟเลี้ยงแก่ เซนเซอร์ ในเวลาเดียวถึง 4 ตัว หลักการทำงานของเซนเซอร์วัดตำแหน่ง คล้ายกับตัวต้านทานแบบปรับค่าได้ (Variable Resistor) โดยที่ขณะช่วงชักเปลี่ยนไปค่า ความต้านทานก็จะไปเปลี่ยนไปและจึงทำให้แรงดันไฟฟ้า (Voltage) เปลี่ยนไปตามสมการที่ 2-49

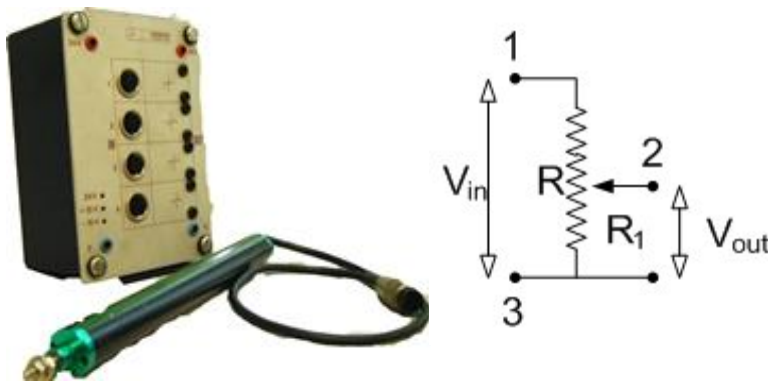
$$V_{out} = \frac{R_1}{R} \cdot V_{in} \quad (2-49)$$

V_{out} คือ แรงดันที่เอาต์พุตจากวงจร หน่วยเป็น โวลต์

V_{in} คือ แรงดันที่จ่ายเข้าวงจร หน่วยเป็น โวลต์

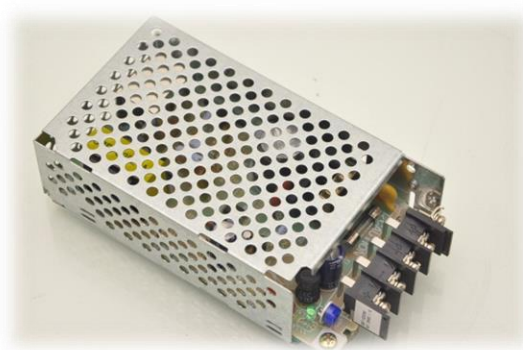
R_1 คือ ความต้านทานที่เปลี่ยนไป หน่วยเป็น โอห์ม

R คือ ความต้านทานรวมในวงจร หน่วยเป็น โอห์ม



ภาพที่ 2.83 เซนเซอร์วัดตำแหน่ง

2.6.6 แหล่งจ่ายไฟ 24 โวลต์ ทำหน้าที่สำหรับจ่ายไฟเข้าสู่ควบคุมอิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ โดยมีไฟบวก ไฟลบ และกราวด์



ภาพที่ 2.84 แหล่งจ่ายไฟ

2.6.7 การใช้งานเชื่อมต่อกับพีซีไอ (Peripheral Component Interconnect : PCI)

พีซีไอคือกระบวนการอ่านค่าสัญญาณ ทางไฟฟ้าแบบอัตโนมัติ แล้วนำมาเก็บไว้บนคอมพิวเตอร์เพื่อการวัด การวิเคราะห์ จัดเก็บ หรือแสดงผลด้วยซอฟต์แวร์ สัญญาณทางไฟฟ้ามีสองประเภทคือ สัญญาณอนาล็อก และสัญญาณดิจิทัล

2.6.7.1.1 สัญญาณแบบอนาล็อก จะคงอยู่ในรูปแบบของแรงดันไฟฟ้าหรือกระแสไฟฟ้า (Current) แบบต่อเนื่อง ถ้าสัญญาณนั้นมีการเปลี่ยนแปลงระดับไปมาอย่างรวดเร็ว จะเรียกว่า สัญญาณแบบไฟสลับ (Alternating Current: AC) และสัญญาณที่มีระดับคงที่หรือเปลี่ยนแปลงช้าลงจะเรียกว่า สัญญาณแบบไฟตรง (Direct Current: DC)

2.6.7.1.2 สัญญาณแบบดิจิทัล คือสัญญาณแรงดันไฟฟ้าที่มีค่าอยู่สองระดับคือระดับต่ำ 0 โวลต์ กับระดับสูงโดยสัญญาณดิจิทัลแบบลอจิก TTL/CMOS จะใช้แรงดันระดับสูงเป็นแบบ 5 โวลต์ และมีลอจิกแบบอื่นๆ ที่ใช้ในอุตสาหกรรมอีก เช่น 12 โวลต์, 24 โวลต์ และ 60 โวลต์ เป็นต้น

2.6.7.2 หน้าที่ของพีซีไอ

อุปกรณ์ฮาร์ดแวร์พีซีไอ แบบพื้นฐานจะสามารถทำงานได้หลายหน้าที่พร้อมกัน โดยมีหน้าที่หลักสี่อย่างคือ

2.6.7.2.1 อนาล็อก อินพุต (Analog Input) สำหรับสัญญาณอนาล็อก ซึ่งพีซีไอ จะรับได้หลายช่องสัญญาณพร้อมกันตั้งแต่ไม่กี่ช่องจนถึงหลายร้อยช่อง ซึ่งใช้ในการวัดค่าสัญญาณแรงดันจากเซนเซอร์ต่างๆ เป็นต้น ปกติจะวัดได้ตั้งแต่ -10 โวลต์ จนถึง +10 โวลต์ แต่ก็มีรุ่นพิเศษที่สามารถวัดได้มากกว่านั้น

2.6.7.2.1 อนาล็อก เอาท์พุต (Analog Output) สำหรับสร้างสัญญาณอนาล็อก ทั้งแบบดิซีและเอซี ที่เป็นรูปคลื่น (Waveform)

2.6.7.2.3 ดิจิตอล ไอโอ (Digital I/O) ใช้ทำหน้าที่ในการรับหรือสร้างสัญญาณดิจิทัล หรือทำงานร่วมกับอุปกรณ์ภายนอกอย่างเช่น สวิตช์ หรือ รีเลย์ เป็นต้น

2.6.7.2.4 เคาน์เตอร์ ไอโอ (Counter I/O) ทำหน้าที่สำหรับใช้วัดสัญญาณจากเอ็นโค้ด หรือสร้างสัญญาณ พัลส์



ภาพที่ 2.85 อุปกรณ์ฮาร์ดแวร์ PCI (Peripheral Component Interconnect)

2.7 โครงการงานหรืองานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.7.1 นางสาวณารักษ์ ทรัพย์ซ้อน (2545) ได้ทำการประยุกต์และสร้างฮาร์ดแวร์สำหรับควบคุมแขนกล คาร์ทีเซียนน้ำหนักเบาชนิดสามแกน โดยใช้ระบบควบคุมที่นำมาประยุกต์เป็นตัวควบคุมแบบฟัซซีพีไอพลัสดี (Fuzzy PI+D Control) โดยสั่งงานผ่านคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลจากโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นด้วยภาษาซี พลัส พลัส (C++) ผลการทดลองแสดงสำรวจ ควบคุมกับชุดควบคุมที่ใช้ระบบควบคุมแบบพีไอดีและระบบควบคุมแบบ พีไอพลัสดี โดยแสดงให้เห็นว่าโปรแกรมควบคุมทั้งสามแบบให้ผลสัมฤทธิ์ ในการควบคุมได้ดี แต่สำหรับสภาวะการทำงานที่ต้องรับภาระที่มากขึ้นนั้น การควบคุมแบบฟัซซีพีไอพลัสดีให้ผลดีโดยสามารถทำงานได้ดีกว่าตัวควบคุมแบบพีไอดีและตัวควบคุม แบบพีไอพลัสดี ซึ่งผลที่ได้แสดงขีดความสามารถที่จะนำระบบที่ออกแบบและสร้างขึ้นนี้ มาใช้งานได้จริงและสามารถพัฒนาเพื่อให้ใช้แทนเครื่องจักรซีเอ็นซี (Computerized- Numerical Control: CNC) ที่ต้องนำเข้าจาก ต่างประเทศได้อีกด้วย

2.7.2 นายเจษฎา สมใจ, นายเทียนชัย สุขศรี, นายบัญชา มงคลอินทร์ (2543) ได้นำเสนอการออกแบบฟัซซีในการควบคุมกระบวนการทางอุตสาหกรรมที่สามารถปรับแต่งพารามิเตอร์ด้วยตนเอง โดยการเรียนรู้จากผลการควบคุมตัวควบคุมที่สร้างขึ้นดังกล่าวสามารถควบคุมกระบวนการจริง ที่ไม่ทราบฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์ของระบบการออกแบบตัวควบคุมฟัซซีจะใช้องค์ประกอบหลัก เป็นส่วนของฟัซซีประกอบด้วยฟัซซีฟิเคชัน, ฟัซซีอินเฟอเรนซ์, กฎฐานการควบคุมฟัซซี, ดีฟัซซีฟิเคชัน และใช้โครงข่ายประสาท (Neural Network) ในส่วนวิธีการของแบ็คพรอปะเกชัน (Back- Propagation) ในการปรับปรุงพารามิเตอร์ส่วนของ Antecedent คือ ค่ากลาง (Center) และความกว้าง (Width) ของฟังก์ชันการเป็นสมาชิกแบบ เกาส์เซียน (Gaussian) และพารามิเตอร์ในส่วน of Consequent คือ ค่าของจำนวนจริงของฟัซซี ส่วนของผลตอบสนองเอาต์พุตในเรื่องเวลาไรส์ไทม์ (Rise Time) และ โอเวอร์ชูต (Overshoot) ค่าผิดพลาดที่สภาวะคงตัวใช้เปลี่ยนแปลงค่า

Scaling Factor ตามจังหวะที่เหมาะสม ตัวควบคุมที่นำเสนอนี้ใช้ควบคุมกระบวนการควบคุมระดับน้ำ

2.7.3 นายกฤษณะ นวลตา, นายณัฐวิ นารักษ์ (2547) ได้สร้างโปรแกรมควบคุมหุ่นยนต์โดยใช้ตัวควบคุมแบบพีซีให้หุ่นยนต์เลียนแบบพฤติกรรม การเดินเรียบตามฝาผนัง การควบคุมจะเป็นแบบอัตโนมัติโดยการควบคุมแบบไร้สาย แสดงผลผ่านทางเครื่องคอมพิวเตอร์ การดำเนินงาน โดยที่จัดทำโปรแกรมควบคุมหุ่นยนต์เคลื่อนที่ (Mobile Robot) โดยใช้ระบบควบคุมแบบ พีซีลอจิก ใช้เลียนแบบพฤติกรรมมนุษย์โดยเดินเรียบตามผนังหรือเรียกว่าหุ่นยนต์เคลื่อนที่เดินเรียบตามฝาผนังโดยใช้ระบบ ควบคุมแบบพีซีลอจิกใช้ควบคุมความเร็วเชิงเส้นและความเร็วเชิงมุมในการขับเคลื่อนของหุ่นยนต์ ด้วยการใช้อัลตราโซนิก (Ultrasonic) เป็นตัววัดระยะระหว่างหุ่นยนต์กับผนังเพื่อนำไปใช้กำหนดเงื่อนไขการเดินเรียบตามฝาผนังของหุ่นยนต์ และการออกแบบระบบควบคุมเป็นแบบอัตโนมัติโดยมีการแสดงผลบนหน้าจอคอมพิวเตอร์ โดยที่ผลการดำเนินงาน หุ่นยนต์สามารถเคลื่อนที่เดินเรียบตามฝาผนัง แบบอัตโนมัติตามลักษณะที่ต้องการ และแสดงผลการทำงานบนหน้าจอคอมพิวเตอร์ได้

2.7.4 นาย อนันต์ ทองทา (2548) ได้ทำการทดสอบเปรียบเทียบระบบควบคุมอัตโนมัติแบบพีซีลอจิก กับระบบควบคุม แบบดั้งเดิมในการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นให้เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของเชื้อรา *A. oryzae* โดยการหมักในถังหมักแบบหมุนขนาด 200 ลิตร สภาวะที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของเชื้อรา *A. oryzae* คือ อุณหภูมิอยู่ในช่วง 34-38 องศาเซลเซียส ปริมาณความชื้น ในอาหารเลี้ยงเชื้อร้อยละ 40-50 ของน้ำหนักแห้ง ช่วงระยะเวลาที่สำคัญที่มีการเจริญเติบโตมากที่สุด คือช่วงระยะเวลาชั่วโมงที่ 20-36 ชั่วโมง เชื้อรา *A. oryzae* จะเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วและผลิต ความร้อนออกมามาก จนอุณหภูมิของ อาหารเลี้ยงเชื้อในถังหมักสูงขึ้น เมื่ออุณหภูมิในระบบมีค่าสูงเกินกว่า 40 องศาเซลเซียส เชื้อรา *A. oryzae* จะไม่สามารถเจริญเติบโตได้ จึงต้องมีการควบคุมอุณหภูมิและปริมาณความชื้นในถังหมักให้เหมาะสม โดยเพิ่มความเร็วของอากาศเข้าสู่ถังหมัก การให้น้ำเข้าสู่ ถังหมัก และเพิ่มความเร็วรอบใน การหมุนถังไปพร้อมๆ กัน ซึ่งการออกแบบระบบควบคุมพีซีลอจิกนั้นได้เลือกใช้ฟังก์ชันการเป็น สมาชิกแบบสามเหลี่ยม ชนิด 3 ฟังก์ชันการเป็นสมาชิกใน 1 พารามิเตอร์ การควบคุมระบบการหมักนี้ ใช้พารามิเตอร์ ทั้งหมด 7 พารามิเตอร์ในการควบคุมระบบการหมักโดย ได้แบ่งฟังก์ชันการเป็นสมาชิก ของแต่ละพารามิเตอร์ออกเป็นดังนี้ พารามิเตอร์ Air Velocity, %O₂, Substrate Temperature, Time, Rotation Speed และ Water Injection Rate เลือกฟังก์ชันการเป็นสมาชิกแบบค่าใกล้ศูนย์ แบบเป็นบวก ขนาดเล็ก และแบบเป็นบวกขนาดใหญ่ ส่วนพารามิเตอร์ %CO₂ นั้นเลือกฟังก์ชันการเป็นสมาชิกแบบ ค่าใกล้ศูนย์ แบบเป็นลบขนาดเล็ก และแบบเป็นลบขนาดใหญ่ ในการคำนวณเพื่อ

ควบคุมระบบการ หมัก จากการทดลองพบว่าระบบควบคุมอัตโนมัติพีซีลอจิกสามารถควบคุม อุณหภูมิและปริมาณ ความชื้นให้เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของเชื้อรา *A. oryzae* ได้ดีกว่า การ ควบคุมระบบแบบดั้งเดิม

2.7.5 นาย ธีราช สืบสนิท (2546) ทำการสร้างการรู้จำตัวพิมพ์ภาษาไทยโดยใช้พีซีเซต และราฟเซต (Raff set) ซึ่งพีซีเซตและราฟเซตจะช่วยจัดการกับความคลุมเครือและความไม่ แน่นนอนของ ข้อมูลในระบบปัญญาประดิษฐ์ ระบบการรู้จำตัวอักษรนี้ได้ประยุกต์ใช้พีซีเซตและ ราฟเซตในการสร้างกฎการ ตัดสินใจสำหรับการจำแนกตัวอักษร ในส่วนของกระบวนการรู้จำ แบ่งเป็นสี่ขั้นตอนคือ ขั้นตอนแรกหาลักษณะเด่นของตัวอักษร เพื่อนำไปสร้างข้อมูลสำหรับ ขั้นตอนถัดไป ขั้นตอนที่สอง แบ่งช่วงลักษณะเด่นที่มีความต่อเนื่องของข้อมูล โดยใช้พีซีเซต ขั้นตอนที่สามนำแอตทริบิว (Attribute) ของข้อมูลที่ได้มาลดข้อมูลที่ไม่จำเป็นสำหรับการ อธิบาย ลักษณะของตัวอักษร แต่จะยังคงความสามารถในการรู้จำและขั้นตอนสุดท้ายสร้างกฎสำหรับการ จำแนกตัว อักษร จากการทดสอบ ความถูกต้องของการรู้จำ, ระบบการรู้จำนี้สามารถจำแนก ตัวอักษรได้ถูกต้อง 96.34%