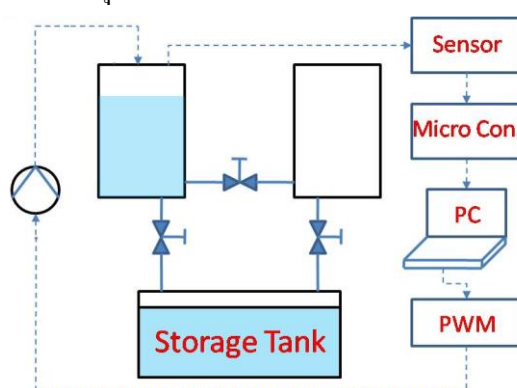


บทที่ 2

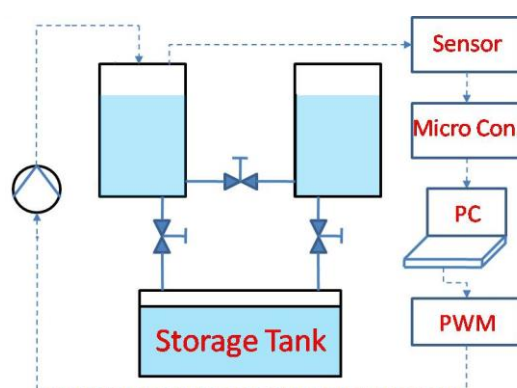
ทฤษฎีที่สำคัญและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 กระบวนการควบคุมระดับน้ำ

กระบวนการควบคุมระดับน้ำเป็นกระบวนการในการศึกษาและการทดลองซึ่งกระบวนการนี้ได้ถูกออกแบบมาเพื่อการอธิบายระบบตัวควบคุมแบบฟัซซี (Fuzzy Controller) โดยกระบวนการนั้นประกอบด้วยถังบรรจุ 2 ใบ และปั้มน้ำไฟฟ้าโดยใช้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง 1 ตัวซึ่งอินพุตที่เข้าสู่กระบวนการคือ แรงดันที่จ่ายให้กับปั้มน้ำไฟฟ้าโดยใช้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง และเอาต์พุตของกระบวนการคือ ระดับน้ำของถังบรรจุที่ 1 และ 2 เมื่อทำการวิเคราะห์แบบจำลองของกระบวนการควบคุมระดับน้ำแบบ 1 ถัง และ 2 ถังจะได้ดังรูปที่ 2.1 และ 2.2



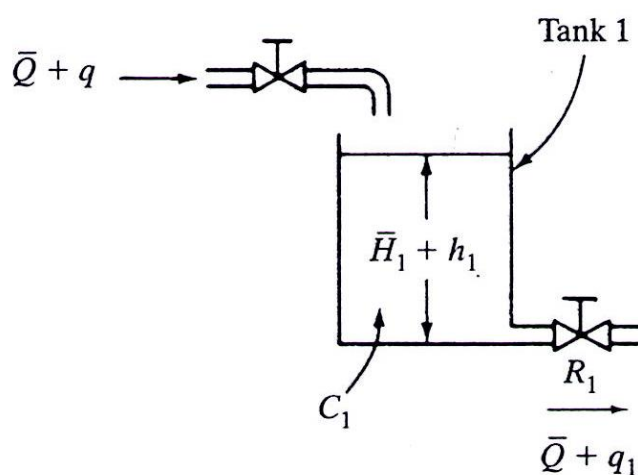
รูปที่ 2.1 กระบวนการควบคุมระดับน้ำแบบ 1 ถัง



รูปที่ 2.2 กระบวนการควบคุมระดับน้ำแบบ 2 ถัง

2.1.1 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของกระบวนการ

จากรูปที่ 2.1 และ 2.2 กระบวนการควบคุมระดับน้ำแบบ 1 ถึง และ 2 ถึง เป็นกระบวนการ (Process) ที่มีจุดประสงค์เพื่อควบคุมระดับน้ำในถังให้เป็นไปตามต้องการ ด้วยการควบคุมอัตราการไหลของของเหลวผ่านปั๊มมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง โดยสัญญาณ-พัลส์เบิ่ลยูเอม (PWM : Pulse Width Modulation) เป็นสัญญาณควบคุมจากตัวควบคุมพีซี เพื่อทำการปรับแต่งแรงดันไฟฟ้าซึ่งเป็นอินพุตให้แก่กระบวนการ และเอาต์พุตของระบบเป็นแรงดันไฟฟ้าจากเซนเซอร์ความดัน ทำการหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของชุดทดลองควบคุมระดับน้ำแบบ 1 ถึง และ 2 ถึง ได้ดังนี้



รูปที่ 2.3 แบบจำลองกระบวนการควบคุมระดับน้ำแบบ 1 ถึง

$\bar{H}$ คือ ระดับน้ำที่สภาวะคงตัว (Steady-State) มีหน่วยเป็นเมตร

h คือ ระดับน้ำที่เปลี่ยนแปลงเล็กน้อยจากสภาวะคงตัว มีหน่วยเป็นเมตร

$\bar{Q}$ คือ อัตราการไหลของน้ำที่สภาวะคงตัว (ก่อนเกิดการเปลี่ยนแปลง) มีหน่วยเป็นลูกบาศก์เมตรต่อวินาที

q_i คือ อัตราการไหลเข้าของน้ำที่เปลี่ยนแปลงเล็กน้อยจากสภาวะคงตัว มีหน่วยเป็นลูกบาศก์เมตรต่อวินาที

q_o คือ อัตราการไหลออกของน้ำที่เปลี่ยนแปลงเล็กน้อยจากสภาวะคงตัว มีหน่วยเป็นลูกบาศก์เมตรต่อวินาที

R คือ การเปลี่ยนแปลงระดับน้ำที่แตกต่างกัน มีหน่วยเป็นวินาทีต่อตารางเมตร

C คือ การเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำในถังน้ำ มีหน่วยเป็นตารางเมตร

จะได้ว่า

$$q_1 = \frac{h_1 - h_2}{R_1} \quad (2.1)$$

$$C_1 = \frac{dh_1}{dt} = q - q_1 \quad (2.2)$$

แทนสมการ (2.1) ลงใน (2.2) จะได้

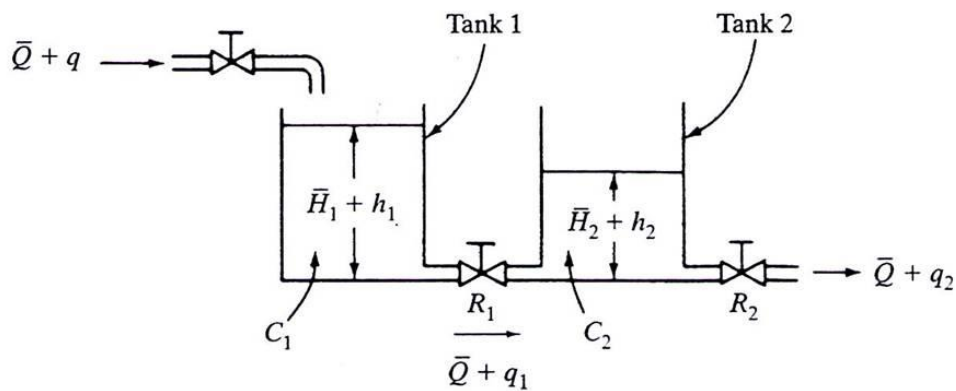
$$C_1 \frac{dh_1}{dt} + \frac{h_1}{R_1} = q + \frac{h_2}{R_1} \quad (2.3)$$

ทำการแปลงลาปลาซ (Laplace Transforms) จะได้

$$\left(C_1 s + \frac{1}{R_1} \right) H_1(s) = Q(s) + \frac{1}{R_1} H_2(s)$$

จัดรูปใหม่จะได้ฟังก์ชันถ่ายโอน (Transfer Function)

$$H_1(s) = \frac{R_1 Q(s) + H_2(s)}{R_1 C_1 s + 1} \quad (2.4)$$



รูปที่ 2.4 แบบจำลองกระบวนการควบคุมระดับน้ำแบบ 2 ถัง

ถึงน้ำ 1 จะได้ว่า

$$q_1 = \frac{h_1 - h_2}{R_1} \quad (2.5)$$

$$C_1 = \frac{dh_1}{dt} = q - q_1 \quad (2.6)$$

แทนสมการ (2.1) ลงใน (2.2) จะได้

$$C_1 \frac{dh_1}{dt} + \frac{h_1}{R_1} = q + \frac{h_2}{R_1} \quad (2.7)$$

ทำการแปลงลาปลาซจะได้

$$\left(C_1 s + \frac{1}{R_1} \right) H_1(s) = Q(s) + \frac{1}{R_1} H_2(s)$$

จัดรูปใหม่

$$H_1(s) = \frac{R_1 Q(s) + H_2(s)}{R_1 C_1 s + 1} \quad (2.8)$$

ดังนั้น 2 จะได้ว่า

$$q_2 = \frac{h_2}{R_2} \quad (2.9)$$

$$C_2 \frac{dh_2}{dt} = q_1 - q_2 \quad (2.10)$$

แทนสมการ (2.5) ลงใน (2.6) จะได้

$$C_2 \frac{dh_2}{dt} + \frac{h_2}{R_1} + \frac{h_2}{R_2} = \frac{h_1}{R_1} \quad (2.11)$$

ทำการแปลงลาปลาซจะได้

$$\left(C_2 s + \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) H_2(s) = \frac{1}{R_1} H_1(s) \quad (2.12)$$

แทนสมการ (2.4) ลงใน (2.8) จะได้

$$\left(C_2 s + \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) H_2(s) = \frac{1}{R_1} \frac{R_1 Q(s) + H_2(s)}{R_1 C_1 s + 1}$$

เมื่อ $H_2(s) = R_2 Q_2(s)$ จะได้ว่า

$$\left(C_2 s + \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) R_2 Q_2(s) = \frac{Q(s)}{R_1 C_1 s + 1} + \frac{R_2}{R_1} \frac{Q_2(s)}{R_1 C_1 s + 1} \quad (2.13)$$

จัดอยู่ในรูปฟังก์ชันถ่ายโอน

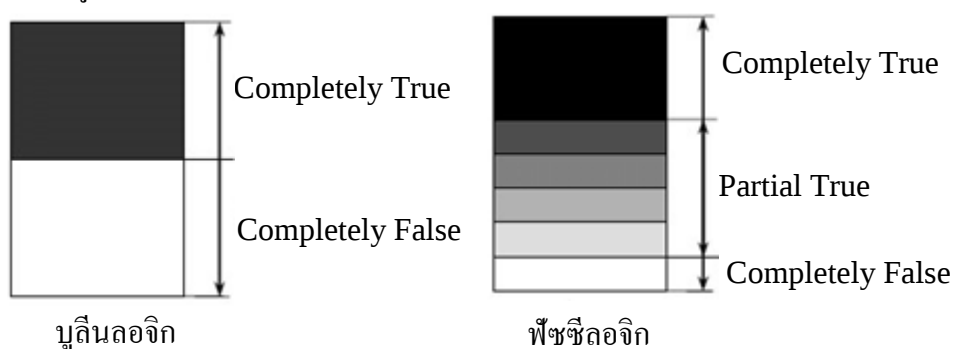
$$\frac{Q_2(s)}{Q(s)} = \frac{1}{R_1 C_1 R_2 C_2 s^2 + (R_1 C_1 + R_2 C_2 + R_2 C_1) s + 1} \quad (2.14)$$

2.2 ทฤษฎีฟัซซีลอจิก (Fuzzy Logic Theory)

ฟัซซีลอจิก (Fuzzy Logic) เป็นศาสตร์ด้านการคำนวณที่เข้ามามีบทบาทมากขึ้นในวงการวิจัยด้านคอมพิวเตอร์ และได้ถูกนำไปประยุกต์ใช้ในงานต่าง ๆ มากมาย เช่น ด้านการแพทย์ ด้านการทหาร ด้านธุรกิจ ด้านอุตสาหกรรม เป็นต้น มีความจำเป็นอย่างยิ่งที่นักศึกษาด้านวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ วิทยาการคอมพิวเตอร์ และเทคโนโลยีสารสนเทศ ควรจะได้ศึกษาเพื่อทำความเข้าใจในศาสตร์ฟัซซีลอจิกให้ลึกซึ้ง ทั้งนี้เพื่อนำไปประยุกต์ใช้งานด้านต่างๆ ซึ่งนับวันจะยังมีความต้องการระบบคอมพิวเตอร์ ที่มีความสามารถในการปรับเปลี่ยนระบบได้โดยอัตโนมัติตามสภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนไป มีการตัดสินใจแบบชาญฉลาดยิ่งมนุษย์ได้มากขึ้น ซึ่งมนุษย์สามารถแก้ปัญหาต่าง ๆ ที่ไม่เคยพบได้โดยอาศัยความรู้เท่าที่ได้เรียนรู้มาประยุกต์ในการแก้ปัญหาได้อย่างมีประสิทธิภาพ

2.2.1 แนวคิดพื้นฐานแนวคิดแบบฟัซซีลอจิก

ตรรกะแบบฟัซซีเป็นเครื่องมือที่ช่วยในการตัดสินใจภายใต้ความไม่แน่นอนของข้อมูลโดยยอมให้มีความยืดหยุ่นได้ โดยใช้หลักเหตุผลที่คล้ายการเลียนแบบวิธีความคิดที่ซับซ้อนของมนุษย์ ฟัซซีลอจิกมีลักษณะที่พิเศษกว่าตรรกะแบบจริงเท็จ (Boolean Logic) เป็นแนวคิดที่มีการต่อขยายในส่วนของความจริง (Partial True) โดยค่าความจริงจะอยู่ในช่วงระหว่างจริง (Completely True) กับเท็จ (Completely False) ส่วนตรรกศาสตร์เดิมจะมีค่าเป็นจริงกับเท็จเท่านั้น แสดงดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 ตรรกะแบบจริงเท็จ (บูลีนลอจิก) และตรรกะแบบฟัซซี (ฟัซซีลอจิก)

ความเป็นฟัซซี (Fuzziness) มีชื่อเรียกว่า มัลติวาลานซ์ (Multivalence) ซึ่งมีค่าที่เป็นสมาชิกมากกว่า 2 ค่า และแตกต่างกับไบวาลานซ์ (Bivalence) ที่มีความเป็นสมาชิกเพียง 2 ค่า ฟัซซีเซต (Fuzzy Set) เป็นเครื่องมือทางคณิตศาสตร์ที่สื่อถึง “ความไม่แน่นอน (Uncertainty)” ไม่ใช่เพียง 2 กรณี ซึ่งหากกำหนดว่า คนที่อ้วนคือคนที่มีน้ำหนักมากกว่า 75 กิโลกรัม คอมพิวเตอร์จะให้ผลว่าคนที่น้ำหนัก 74.50 กิโลกรัม ไม่จัดเป็นคนที่อ้วน จะสร้างและกำหนดรูปแบบ (Modeling) ของลักษณะความไม่แน่นอนที่เป็นความคลุมเครือ ความไม่ตายตัว รวมถึงความขาดข้อมูลบางส่วน โดยทฤษฎีของฟัซซีเซตจะใช้ลักษณะความหมายตัวแปร (Linguistic) มากกว่าปริมาณ (Quantitative) ของตัวแปร เช่น การหาความหมายของ “คนที่อ้วน” เราไม่สามารถนิยามค่าความอ้วนที่ตรงกันและระบุเป็นหนึ่งเดียว (Identical) สำหรับคนที่อ้วน นาย ก. จะให้ความหมายของ “คนอ้วน” หมายถึงคนที่มีน้ำหนักมากกว่า 70 กิโลกรัม นาย ข. ให้ความหมายว่าเป็นคนที่มีน้ำหนักมากกว่า 75 กิโลกรัม ซึ่งทั้งสองคนต่างแสดงความหมายของคำว่าคนที่อ้วนโดยเปรียบเทียบและในมุมมองของตัวเองตามน้ำหนักของตน ในการทำงานในมุมมองแบบฐานสอง (Binary Sense) จะได้ผลเป็น ใช่ หรือ ไม่ แต่จะเห็นว่าบุคคลนี้เป็นคนอ้วนน้ำหนักเกือบจะ 75 กิโลกรัม และถึงแม้ว่าบุคคลนี้จะมีน้ำหนัก 75 กิโลกรัม แต่หากพิจารณาจากกลุ่มคนที่มีน้ำหนักเฉลี่ย 90 กิโลกรัม บุคคลนี้ก็จะไม่จัดอยู่ในกลุ่มคนที่อ้วน แสดงให้เห็นว่า

ความอ้วนไม่ได้มีลักษณะความไม่แน่นอนแบบสุ่ม จากการศึกษาปัญหาทั่ว ๆ ไปจะแสดงถึงรูปแบบลักษณะการกระจายของปัญหา

รูปที่ 2.6 เป็นการแสดงให้เห็นว่าแนวทางในการตัดสินใจของปัญหาทั้งหมดมีเพียงส่วนน้อยที่เป็นสิ่งที่แน่นอน (Certainty) ที่เหลือคือสิ่งที่ไม่แน่นอนซึ่งประกอบด้วยความไม่แน่นอนที่มีลักษณะแบบสุ่ม และความไม่แน่นอนที่มีลักษณะเป็นฟัซซี หรือคลุมเครือ ซึ่งมีมากกว่าร้อยละ 40 เพราะปัญหาส่วนมากเกี่ยวข้องกับการตัดสินใจของมนุษย์ซึ่งจะตัดสินใจตามพื้นฐานความคิดของตนเป็นหลัก

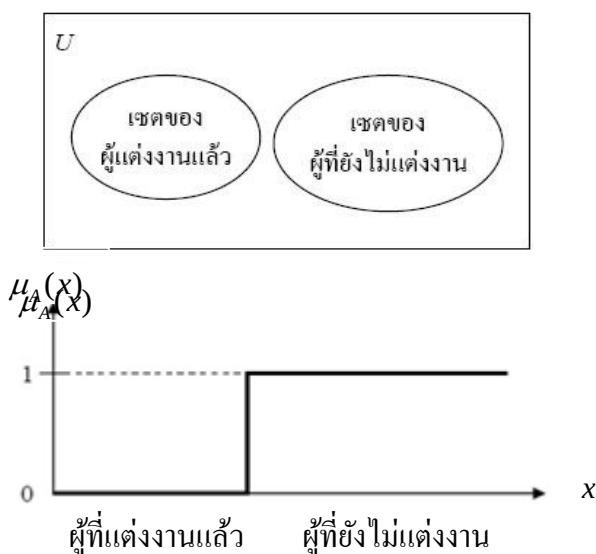


รูปที่ 2.6 ความไม่แน่นอน

ฟัซซีจะสร้างวิธีทางคณิตศาสตร์ที่แสดงถึงความคลุมเครือ ความไม่แน่นอนของระบบที่เกี่ยวข้องกับความคิดความรู้สึกของมนุษย์ เมื่อพิจารณาส่วนประกอบต่าง ๆ ในความไม่แน่นอนเพื่อกำหนดเงื่อนไขในการตัดสินใจ (Decision making) โดยอาศัยเซตของความไม่เป็นสมาชิก (Set-membership)

2.2.2 เซตแบบฉบับ (Classical Set)

ในเซตแบบฉบับหรือเซตทวินัย (Crisp Set) เป็นเซตที่มีค่าความเป็นสมาชิกเป็น 0 หรือ 1 $\{0, 1\}$ เท่านั้น เซตในทฤษฎีเซตแบบฉบับจะมีขอบเขตแบบแข็ง (Sharp Boundary) ซึ่งเป็นขอบเขตที่ตัดขาดจากกันแบบทันทีทันใด เซตแบบฉบับมีการกำหนดค่าความเป็นสมาชิกตามแนวคิดเลขฐานสอง โดยที่ตัวแปรหนึ่ง ๆ จะมีค่าความเป็นสมาชิกเพียงสองค่า คือ 0 ไม่เป็นสมาชิก และ 1 เป็นสมาชิก ตัวอย่างเช่น เซตของกลุ่มผู้แต่งงาน จะสามารถบอกได้อย่างแน่ชัดว่าเป็นกลุ่มผู้แต่งงานหรือไม่แต่งงาน



รูปที่ 2.7 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกในเซตผู้ที่ไม่ทำงาน

รูปที่ 2.7 แสดงตัวอย่างของเซตย่อยสองเซต คือเซตของผู้ที่ทำงานและเซตของผู้ที่ไม่ทำงาน จะเห็นได้ว่าคนหนึ่งคนจะเป็นสมาชิกภาพได้เพียงเซตเดียวเท่านั้น แต่งานหรือไม่ทำงาน ในรูปที่ 2.7 แสดงฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของเซตผู้ที่ไม่ทำงาน จากรูปจะเห็นได้ว่า ผู้ที่ทำงานแล้วจะมีค่าความเป็นสมาชิกในเซตของผู้ไม่ทำงานเป็น 0 ส่วนผู้ที่ไม่ทำงานมีค่าความเป็นสมาชิกภาพ ของเซตผู้ที่ไม่ทำงานเป็น 1 ค่าความเป็นสมาชิกของทั้งสองเซตจะตัดขาดจากกันอย่างทันทีทันใด รูปแบบคณิตศาสตร์ของเซตแบบฉบับมีรูปดังนี้

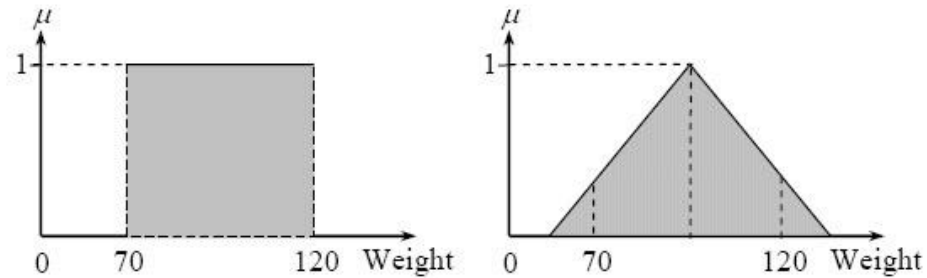
$$A = \{(x, \mu_A(x)) | x \in X\} \quad (2.15)$$

เมื่อ A เป็นเซตแบบฉบับหรือเซตแบบทวินัย x เป็นสมาชิกในเซต μ_A เป็นค่าความเป็นสมาชิกในเซตและ $\mu_A(x)$ เป็นฟังก์ชันความเป็นสมาชิกในเซต A

2.2.3 ฟัซซีเซต

ฟัซซีเซตเป็นเซตที่มีขอบเขตที่ราบเรียบ ทฤษฎีฟัซซีเซตจะครอบคลุมทฤษฎีเซตแบบฉบับ โดยฟัซซีเซตยอมให้มีค่าความเป็นสมาชิกของเซตระหว่าง 0 และ 1 ในโลกแห่งความเป็นจริงเซตไม่ใช่มีเฉพาะเซตแบบฉบับเท่านั้น จะมีเซตแบบฟัซซีด้วย ฟัซซีเซตจะมีขอบเขตแบบฟัซซีไม่ใช่เปลี่ยนแปลงทันทีทันใดจากขาคือเป็นค่า ตัวอย่างเช่น เซตของกลุ่มคนที่มีความสุข จะเห็นได้ว่าสมาชิกในเซตนี้จะไม่มีเฉพาะกลุ่มคนที่มีความสุขระดับเดียวกันหมด บางกลุ่มจะมีความสุขมาก บางกลุ่มมีความสุขน้อย แตกต่างกันไป การใช้เซตแบบดั้งเดิมจึงไม่เหมาะสม

ยกตัวอย่างเกี่ยวกับความอ้วน นิยามคำว่าคนอ้วนในเซตทวินัยอาจกำหนดเป็นคนที่น้ำหนักตั้งแต่ 70 ถึง 120 กิโลกรัม โดยนิยามแบบฟัซซีเซตอาจกำหนดเป็นคนที่มีความอ้วนประมาณ 80 กิโลกรัม ซึ่งเป็นการให้นิยามที่ไม่แสดงถึงขอบเขตที่แน่นอน



รูปที่ 2.8 การกำหนดค่าความเป็นสมาชิกของเซตทวินัยและเซตแบบฟัซซี

นิยามของฟัซซีเซต กำหนดให้ X เป็นเซตที่ไม่ว่าง ฟัซซีเซต A สามารถแสดงลักษณะเฉพาะได้จากฟังก์ชันความเป็นสมาชิก

$$\mu_A(x) : X \rightarrow [0,1] \quad (2.16)$$

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

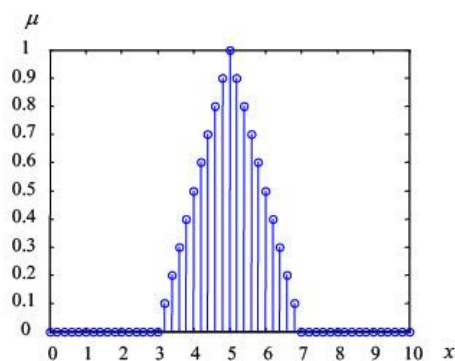
$$A = \{(x, \mu_A(x)) | x \in X\} \quad (2.17)$$

เมื่อ A หมายถึงฟัซซีเซต A , x หมายถึงสมาชิกของเซต (Set Membership) $\mu_A(x)$ หมายถึง ฟังก์ชันความเป็นสมาชิก (Membership Function) $\mu_A(x)$ บางครั้งแทนด้วย $A(x)$ X หมายถึงเอกภพสัมพัทธ์ (Universe) หรือประชากร

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

$$A = \left\{ \frac{\mu_A(x_1)}{x_1} + \frac{\mu_A(x_2)}{x_2} + \dots + \frac{\mu_A(x_n)}{x_n} \right\} = \left\{ \sum_{i=1}^n \frac{\mu_A(x_i)}{x_i} \right\} \quad (2.18)$$

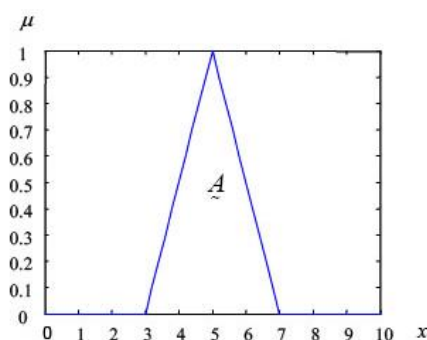
เมื่อพจน์ $\mu_A(x_i)/x_i, i=1, 2, \dots, n$ หมายถึง ค่าความเป็นสมาชิก $\mu_A(x_i)$ ของ x_i ในเซต A และเครื่องหมาย “+” หมายถึงยูเนียน (Union)



รูปที่ 2.9 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของฟัซซีเซตแบบวิยุต $\underline{A}$

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

$$\underline{A} = \left\{ \int \frac{\mu_{\underline{A}}(x)}{x} \right\} \quad (2.19)$$



รูปที่ 2.10 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของเซตฟัซซีแบบต่อเนื่อง $\underline{A}$

ทฤษฎีฟัซซีเซตสามารถแก้ปัญหาคำจำกัดของเซตแบบดั้งเดิมได้ โดยฟัซซีเซตยอมให้มีค่าหรือดีกรีของความเป็นสมาชิก (Degree of Membership) ซึ่งแสดงด้วยค่าตัวเลขระหว่าง 0 และ 1 หรือเขียนเป็นสัญลักษณ์ $[0, 1]$, โดย 0 หมายถึง 'ไม่เป็นสมาชิกในเซต' 1 หมายถึง 'เป็นสมาชิกในเซต' และค่าระหว่าง 0 กับ 1 เป็นสมาชิกบางส่วนในเซต การทำเช่นนี้ ทำให้เกิดความราบเรียบในการเปลี่ยนจากพื้นที่นอกเซตไปอยู่ในเซตของสมาชิกต่างๆ โดยมีฟังก์ชันสมาชิกเป็นฟังก์ชันจัดเทียบ (Mapping Function) วัตถุในโดเมนใด ๆ ให้เป็นค่าความเป็นสมาชิกในฟัซซีเซต ความเป็นสมาชิกสำหรับฟัซซีเซต มีจำนวนระดับความเป็นสมาชิกเป็นอนันต์ คือค่าต่อเนื่องในช่วงตั้งแต่ 0 ถึง 1 ซึ่งครอบคลุมการกำหนดสมาชิกแบบฉบับ และเซตแบบฉบับหรือเซตทวินัยจะกำหนดตามคำสั่งสมการที่ (2.20)

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 1, & x \in A \\ 0, & x \notin A \end{cases} \quad (2.20)$$

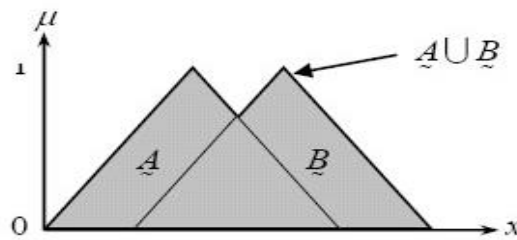
เมื่อ x หมายถึงสมาชิกในเซต (Set Member) $\mu_A(x)$ หมายถึงฟังก์ชันความเป็นสมาชิก และ A หมายถึง ฟัซซีเซต A

2.2.4 การดำเนินการทางฟัซซีเซต

การดำเนินการของฟัซซีเซตมีคุณสมบัติเหมือนกับเซตโดยทั่วไป มีการดำเนินการ (Operation) คือ ยูเนียน, อินเตอร์เซกชัน และ คอมพลิเมนต์

2.2.4.1 ยูเนียน (Union) ของฟัซซีเซต จะเป็นตัวดำเนินการอยู่ในสมการที่ 2.21 และ รูปที่ 2.11

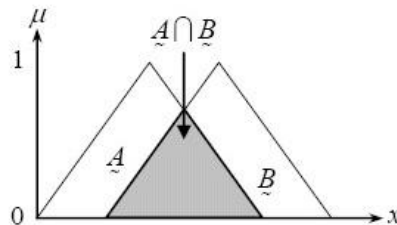
$$\begin{aligned} \mu_{A \cup B}(x) &= \mu_A(x) \vee \mu_B(x) \\ &= \max(\mu_A(x), \mu_B(x)) \end{aligned} \quad (2.21)$$



รูปที่ 2.11 ยูเนียนของฟัซซีเซต A และ B

2.2.4.2 อินเตอร์เซกชัน (Intersection) ของฟัซซีเซต จะเป็นตัวดำเนินการแอนด์ ดังสมการที่ 2.22 และรูปที่ 2.12

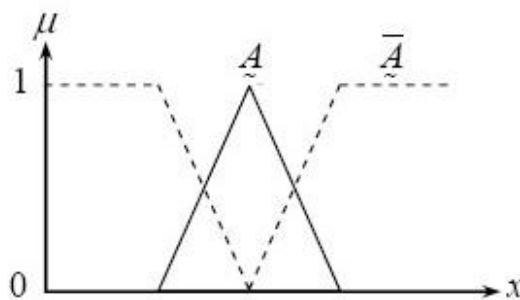
$$\begin{aligned} \mu_{A \cap B}(x) &= \mu_A(x) \wedge \mu_B(x) \\ &= \min(\mu_A(x), \mu_B(x)) \end{aligned} \quad (2.22)$$



รูปที่ 2.12 อินเตอร์เซกชันของฟัซซีเซต A และ B

2.2.4.3 คอมพลิเมนต์ (Complement) ของฟัซซีเซต ในสมการที่ 2.23 และรูปที่ 2.13

$$\mu_{\bar{A}}(x) = 1 - \mu_A(x) \quad (2.23)$$



รูปที่ 2.13 คอมพลิเมนต์ของฟัซซีเซต A

2.2.5 คุณสมบัติของเซตฟัซซี

เซตฟัซซีมีคุณสมบัติตามเซตแบบฉบับ ได้แก่

คุณสมบัติการสลับที่	$\underline{A} \cup \underline{B} = \underline{B} \cup \underline{A}$ $\underline{A} \cap \underline{B} = \underline{B} \cap \underline{A}$
Associativity	$\underline{A} \cup (\underline{B} \cup \underline{C}) = (\underline{A} \cup \underline{B}) \cup \underline{C}$ $\underline{A} \cap (\underline{B} \cap \underline{C}) = (\underline{A} \cap \underline{B}) \cap \underline{C}$
สมบัติการแจกแจง	$\underline{A} \cup (\underline{B} \cap \underline{C}) = (\underline{A} \cup \underline{B}) \cap (\underline{A} \cup \underline{C})$ $\underline{A} \cap (\underline{B} \cup \underline{C}) = (\underline{A} \cap \underline{B}) \cup (\underline{A} \cap \underline{C})$
Idemtnency	$\underline{A} \cup \underline{A} = \underline{A}$ และ $\underline{A} \cap \underline{A} = \underline{A}$
Identity	$\underline{A} \cup 0 = \underline{A}$ และ $\underline{A} \cap X = \underline{A}$ $\underline{A} \cap 0 = 0$ และ $\underline{A} \cup X = X$
Transitivity	ถ้า $\underline{A} \subseteq \underline{B}, \underline{B} \subseteq \underline{C}$ แล้ว $\underline{A} \subseteq \underline{C} = \underline{A} \subseteq \underline{A}$

2.2.6 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิก

ฟังก์ชันความเป็นสมาชิก เป็นฟังก์ชันที่มีการกำหนดระดับความเป็นสมาชิกของตัวแปรที่ต้องการใช้งาน โดยเริ่มจากการแทนที่กับตัวแทนที่มีความไม่ชัดเจน ไม่แน่นอน และคลุมเครือ ดังนั้นส่วนที่สำคัญต่อคุณสมบัติหรือการดำเนินการของฟัซซี เพราะรูปร่างของฟังก์ชันความเป็นสมาชิกมีความสำคัญต่อกระบวนการคิดและแก้ไขปัญหา โดยฟังก์ชันความเป็นสมาชิกจะไม่สมมาตรกันหรือสมมาตรกันทุกประการก็ได้

2.2.7 ชนิดของฟังก์ชันความเป็นสมาชิก

ชนิดของฟังก์ชันความเป็นสมาชิกที่ใช้งานทั่วไปมีหลายชนิด แต่ในที่นี้จะกล่าวถึงเพียงบาง 6 ชนิดดังนี้

2.2.7.1 ฟังก์ชันสามเหลี่ยม (Triangular Membership Function)

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

$$Triangular(x : a, b, c) = \begin{cases} 0 & x < a \\ (x-a)/(b-a) & a \leq x \leq b \\ (c-x)/(c-b) & b \leq x \leq c \\ 0 & x < c \end{cases} \quad (2.24)$$

2.2.7.2 ฟังก์ชันสี่เหลี่ยมคางหมู (Trapezoidal Membership Function)

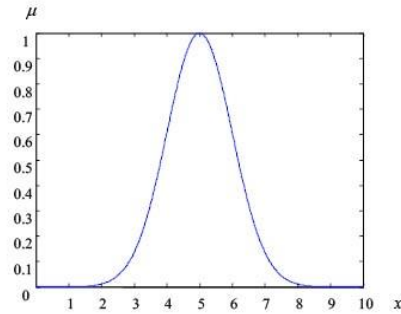
ฟังก์ชันสี่เหลี่ยมคางหมูมีทั้งหมด 4 พารามิเตอร์คือ

$$Trapezoidal(x : a, b, c, d) = \begin{cases} 0 & x < a \\ (x-a)/(b-a) & a \leq x < b \\ 1 & b \leq x < c \\ (d-x)/(d-c) & c \leq x < d \\ 0 & x \geq d \end{cases} \quad (2.25)$$

2.2.7.3 ฟังก์ชันเกาส์เซียน (Gaussian Membership Function)

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

$$Guassian(x : m, \sigma) = \exp\left(-\frac{x-m^2}{\sigma^2}\right) \quad (2.26)$$

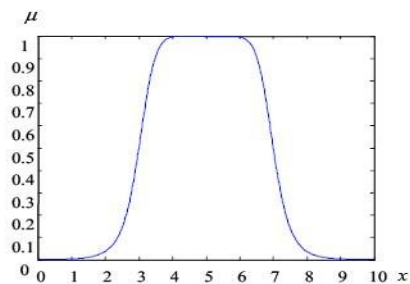


รูปที่ 2.14 ฟังก์ชันเกาส์เซียน

2.2.7.4 ฟังก์ชันระฆังคว่ำ (Bell-Shaped Membership Function)

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

$$Bell - Shape(x : a, b, c) = \frac{1}{1 + \left|\frac{x-c}{a}\right|^{2b}} \quad (2.27)$$



รูปที่ 2.15 กราฟของฟังก์ชันระฆังคว่ำ

2.2.7.5 ฟังก์ชันตัวเอส (Smooth Membership Function)

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

$$S(x : a, b) = \begin{cases} 0 & x < a \\ 2\left(\frac{x-b}{b-a}\right)^2 & a \leq x \leq \frac{a+b}{2} \\ 1 - 2\left(\frac{x-b}{b-a}\right)^2 & \frac{a+b}{2} \leq x < b \\ 1 & x \geq b \end{cases} \quad (2.28)$$

2.2.7.6 ฟังก์ชันตัวแซด (Z-Membership Function)

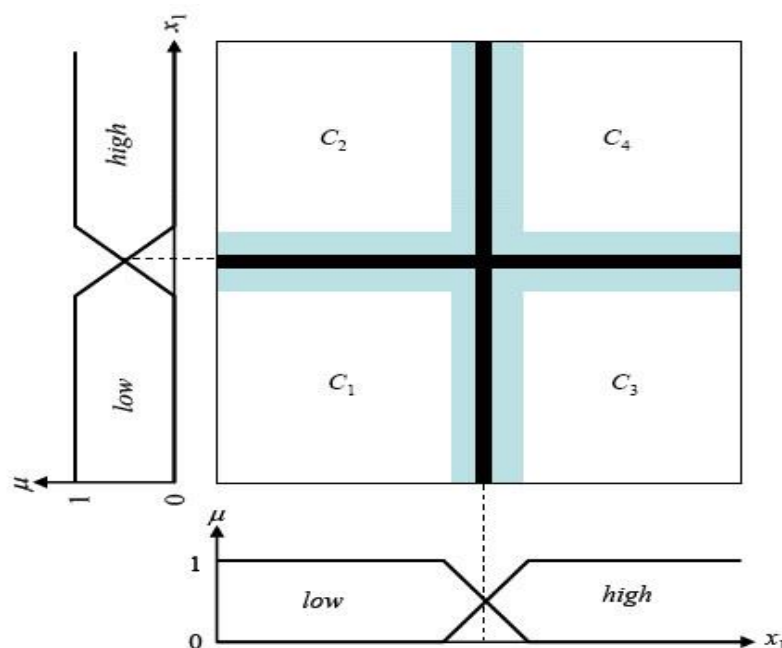
ฟังก์ชันรูปตัวเอสมีพารามิเตอร์ทั้งหมด 2 ค่าคือ $\{a, b\}$

$$Z(x : a, b) = \begin{cases} 1 & x < a \\ 1 - 2\left(\frac{x-b}{b-a}\right)^2 & a \leq x \leq \frac{a+b}{2} \\ 2\left(\frac{x-b}{b-a}\right)^2 & \frac{a+b}{2} \leq x < b \\ 0 & x \geq b \end{cases} \quad (2.29)$$

การเลือกฟังก์ชันของความเป็นสมาชิก จะต้องเลือกตามความเหมาะสมครอบคลุมข้อมูลที่จะรับเข้ามา โดยสามารถที่ทับซ้อนกันเพื่อให้การดำเนินงานราบเรียบ ซึ่งมีความเป็นสมาชิกหลายค่าได้ และฟังก์ชันความเป็นสมาชิกเปลี่ยนแปลงแก้ไขให้เหมาะกับงานที่กำลังปฏิบัติงานตามความต้องการ

2.2.8 กฎฟัซซี (Fuzzy Rules)

วิทยาการเกี่ยวกับฟัซซีลอจิกมีจำนวนมาก แต่ที่นิยมและการประยุกต์ใช้งานมากที่สุดเห็นจะได้แก่ กฎฟัซซีแบบถ้า-แล้ว (Fuzzy if-then Rule) ตัวอย่างการใช้กฎในการแยกกลุ่มจะได้ดังรูปที่ 2.16 แสดงปริภูมิรูปแบบ (Pattern Space) การจัดกลุ่มด้วยกฎฟัซซี



รูปที่ 2.16 ตัวอย่างปริภูมิรูปแบบการจัดกลุ่มด้วยกฎฟัซซี

จากรูปที่ 2.17 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 1, $1 = 1, 2, \dots, L$ เป็นลำดับของกฎ ให้ข้อมูลเป็น $x = [x_1, x_2, \dots, x_n]$ เมื่อ n เป็นจำนวนมิติของข้อมูล ให้ A_{li} เป็นพจน์ภาษาในกฎข้อที่ l มิติที่ i และให้กลุ่มข้อมูลเป็น C_k , $k = 1, 2, \dots, K$ รูปแบบทั่วไปของกฎฟัซซีสามารถเขียนได้ดังนี้

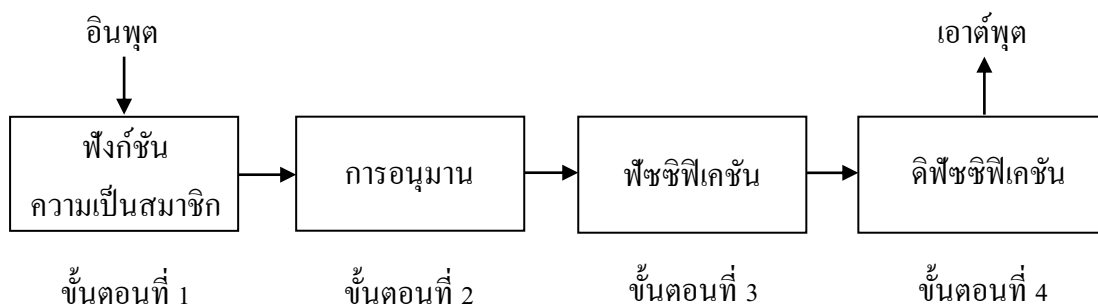
กฎข้อ 1: ถ้า x_1 มีค่า A_{11} และ x_2 มีค่า A_{12} และ ... และ x_n มีค่า A_{1n} แล้ว ข้อมูล x เป็นกลุ่ม C_1

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

กฎข้อ 1: ถ้า x_1 มีค่า A_{11} และ x_2 มีค่า A_{12} และ ... และ x_n มีค่า A_{1n} แล้ว ข้อมูล x เป็นกลุ่ม C_k

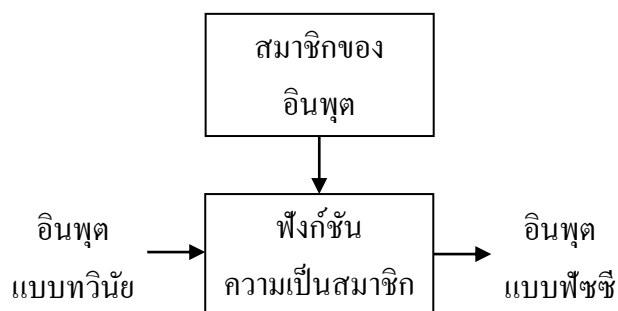
2.2.9 ตัวควบคุมฟัซซี

จากหัวข้อที่กล่าวในเรื่องของฟัซซีเซต จะถูกนำมาใช้ในการออกแบบจำลองฟัซซีโดยโครงสร้างของตัวควบคุมฟัซซีประกอบไปด้วย 4 ขั้นตอนดังนี้



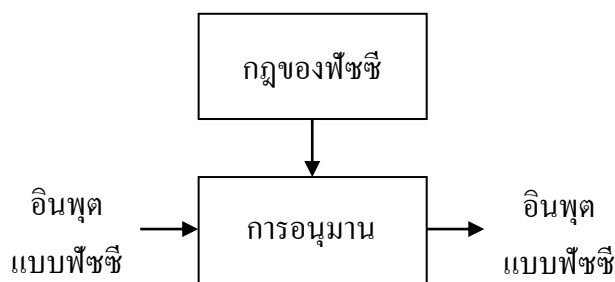
รูปที่ 2.17 ขั้นตอนการประมวลผลแบบฟัซซี

ขั้นตอนที่ 1 เป็นการแปลงอินพุตแบบทวินัยเป็นอินพุตแบบตัวแปรฟัซซี โดยจะสร้างฟังก์ชันความเป็นสมาชิก โดยไม่จำเป็นต้องมีลักษณะเดียวกัน ขึ้นอยู่กับคุณลักษณะของแต่ละอินพุตและเอาต์พุต โดยมีการแทนค่าเป็นตัวแปรภาษาเพื่อให้เป็นอินพุตแบบฟัซซี ดังรูปที่ 2.19



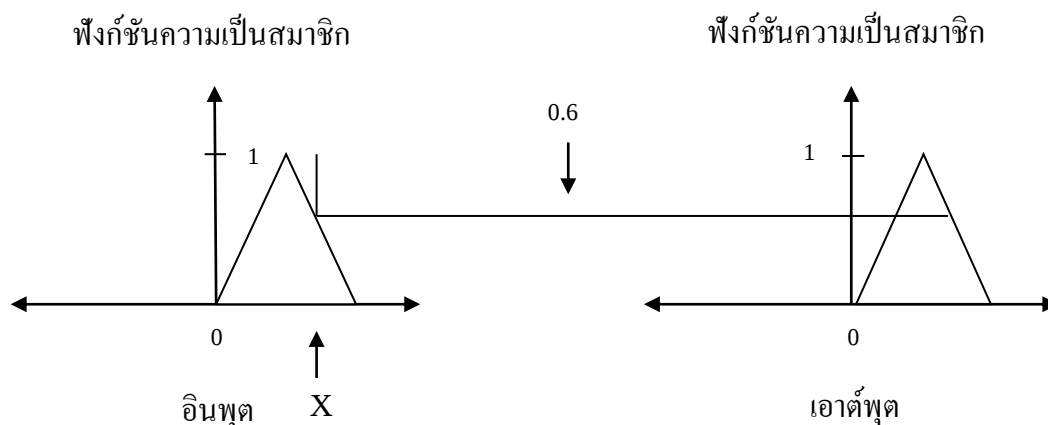
รูปที่ 2.18 ขั้นตอนที่ 1 ของการประมวลผลแบบฟัซซี

ขั้นตอนที่ 2 เป็นการสร้างความสัมพันธ์ระหว่างอินพุตกับเอาต์พุต โดยเขียนเป็นกฎการควบคุมระบบ ซึ่งจะมีลักษณะอยู่ในรูปแบบ ถ้า (If) และ (And) หรือ (Or) แล้วนำกฎทั้งหมดมาประมวลผลรวมกันเพื่อหาการตัดสินใจที่เหมาะสม ดังรูปที่ 2.20



รูปที่ 2.19 ขั้นตอนที่ 2 ของการประมวลผลแบบฟัซซี

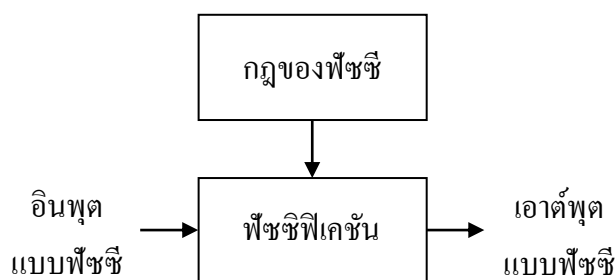
การอนุมาน (Inference) คือ กระบวนการในการหาข้อสรุปจากหลักฐาน (Premise) ซึ่งในกระบวนการอนุมานหลักฐานที่นำมาใช้จะได้มาจากส่วนของกฎการควบคุมที่ถูกกำหนดขึ้นมาจากความชำนาญ โดยในกระบวนการนี้จะทำการหาค่าเอาต์พุตของระบบฟัซซีจากค่าตัวแปรอินพุตแบบฟัซซี X เพื่อหาค่าระดับความเป็นสมาชิกของแต่ละกฎจากความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอินพุตแบบฟัซซี X กับฟัซซีเซตในส่วนเหตุของแต่ละกฎ แล้วจึงคำนวณหาค่าเอาต์พุตแบบฟัซซีจากระดับการเป็นสมาชิกกับฟัซซีเซตในส่วนผลของแต่ละกฎ



รูปที่ 2.20 การอนุมาน

จากรูปที่ 2.21 ถ้าส่วนกำหนดกฎการควบคุมกำหนดไว้ว่าถ้ามีข้อมูลอินพุตเข้ามาที่เซต x ค่าเอาต์พุตที่ได้จะต้องเป็นเซต Y ซึ่งจากหลักฐานนี้เองทำให้การอนุมานสามารถที่จะหาข้อสรุปออกมาได้โดยอินพุต x อยู่ในช่วงสมาชิกของเซต x จึงจะสามารถที่จะหาข้อสรุปออกมาได้โดยให้อินพุต x อยู่ในช่วงสมาชิกของเซต X จึงจะสามารถระบุได้เลยว่าข้อสรุปที่ได้จะต้องเป็นสมาชิกของเซต Y ซึ่งในรูปจะเห็นได้ว่าการที่สมาชิกแต่ละตัวมีระดับการเป็นสมาชิกไม่เท่ากัน จึงทำให้ข้อสรุปจะต้องขึ้นอยู่กับระดับการเป็นสมาชิกของเซตด้วย

ขั้นตอนที่ 3 เป็นการหาฟัซซีเอาต์พุต โดยการนำกฎที่สร้างขึ้นในขั้นตอนที่ 2 มาประมวลผลกับฟัซซีอินพุต โดยวิธีการทางคณิตศาสตร์ เพื่อนำค่าที่ได้มาประมวลผล ดังรูปที่ 2.22

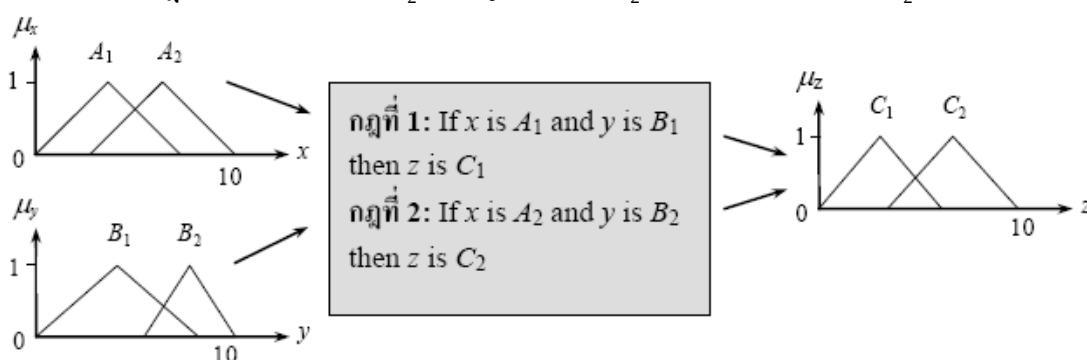


รูปที่ 2.21 ขั้นตอนที่ 3 ของการประมวลผลแบบฟัซซี

การฟัซซีฟิเคชัน (Fuzzification) วิธีที่นิยมใช้ในการตีความหาเหตุผลคือวิธีการหาค่าสูงสุด-ต่ำสุด (Max-Min Method) โดยตัวอย่างระบบดังรูปที่ 2.23 มีกฎการตีความหาเหตุผลแบบฟัซซี 2 กฎคือ

กฎที่ 1 ถ้า x เท่ากับ A_1 และ y เท่ากับ B_1 ดังนั้น z จะเท่ากับ C_1

กฎที่ 2 ถ้า x เท่ากับ A_2 และ y เท่ากับ B_2 ดังนั้น z จะเท่ากับ C_2



รูปที่ 2.22 กระบวนการที่ใช้กฎควบคุมการตัดสินใจ

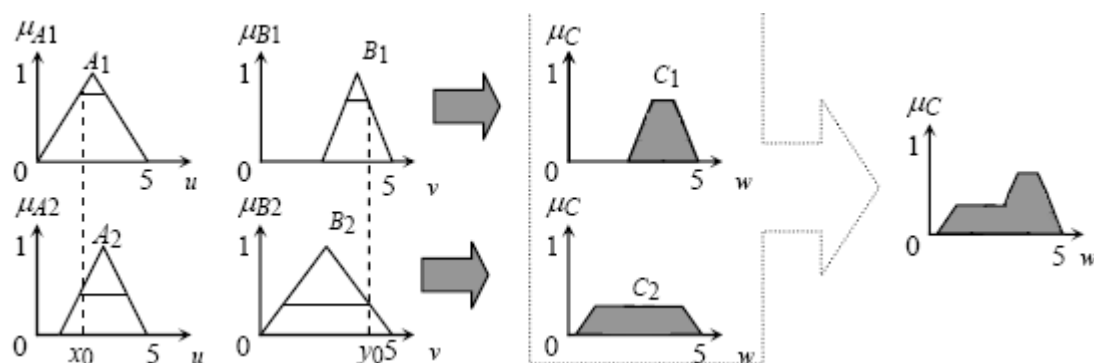
ตัวอย่างของกระบวนการตัดสินใจซึ่งจะกำหนดให้ α_1 และ α_2 เป็นผลลัพธ์ของความสัมพันธ์ของกฎข้อที่ 1 และข้อ 2 ตามลำดับจะได้ค่า α_1 และ α_2 สำหรับอินพุต x_0 และ y_0 จากกฎการตีความพื้นฐานดังนี้

ถ้า x เท่ากับ A_1 และ y เท่ากับ B_1 ดังนั้นจะได้ $\alpha_1 = \mu_{A_1}(x_0) \wedge \mu_{B_1}(y_0)$

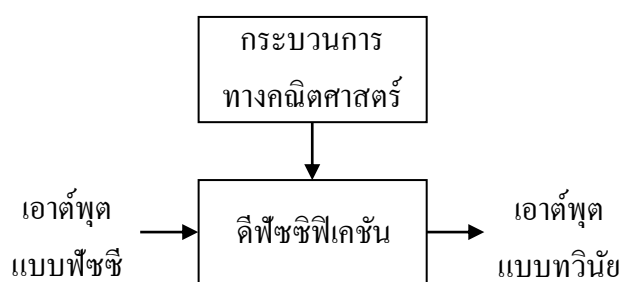
ถ้า x เท่ากับ A_2 และ y เท่ากับ B_2 ดังนั้นจะได้ $\alpha_2 = \mu_{A_2}(x_0) \wedge \mu_{B_2}(y_0)$

วิธีการแบบหาค่าสูงสุด-ต่ำสุด จะใช้กฎการหาค่าต่ำสุด (Minimum Operation Rule) ของกฎแบบแมมดานี (Mamdani) เป็นฟังก์ชันความเป็นสมาชิกสำหรับหาค่า โดยค่าความเป็นสมาชิกของผลลัพธ์ C จากกฎ 2 ข้อ มีลักษณะตามสมการที่ 2.30

$$\mu_C(w) = (\alpha_1 \wedge \mu_{C_1}(w)) \vee (\alpha_2 \wedge \mu_{C_2}(w)) \quad (2.30)$$



รูปที่ 2.23 การประมวลผลด้วยวิธีหาค่าสูงสุด-ต่ำสุด อนุมานกับค่าอินพุตเซตคั่นฉบับ x_0 และ y_0
 ขั้นตอนที่ 4 เป็นขั้นตอนสุดท้ายหรือขั้นตอนการสรุปเหตุผลแบบฟัซซี โดยจะเปลี่ยนเอาต์พุตแบบฟัซซีให้เป็นเอาต์พุตแบบทวินัยตามรูปที่ 2.25 ด้วยวิธีทางคณิตศาสตร์ เช่น วิธีหาจุดศูนย์กลางของพื้นที่ (Centre of Gravity Method) เพื่อนำค่าที่ได้มาใช้ในการตัดสินใจในการควบคุมระบบในสถานการณ์นั้นๆ

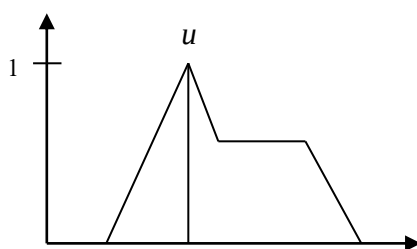


รูปที่ 2.24 ขั้นตอนที่ 4 ของการประมวลผลแบบฟัซซี

การดีฟัซซิฟิเคชัน คือ กระบวนการหาค่าเอาต์พุตเพียงค่าเดียวที่เหมาะสมที่สุดเพื่อเป็นตัวแทนของฟัซซีเอาต์พุต โดยค่าที่ได้จะกระจายอยู่บนเอกภพสัมพัทธ์ของเอาต์พุต หรือจะกล่าวอีกลักษณะหนึ่ง คือการแปลงค่าตัวแปรทางฟัซซีให้เป็นค่าจำนวนจริงเพื่อที่จะนำไปควบคุมกระบวนการต่อไปโดยการดีฟัซซิฟิเคชันจะสามารถกระทำได้หลายวิธีดังต่อไปนี้

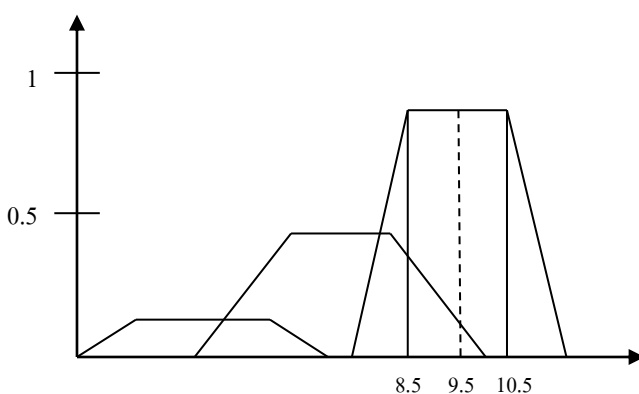
การหาค่าระดับการเป็นสมาชิกสูงสุด (Max – Membership Procedure)
 การดีฟัซซิฟิเคชันด้วยวิธีการหาค่าระดับการเป็นสมาชิกสูงสุด เป็นการหาค่าเอาต์พุตที่มีค่าระดับความเป็นสมาชิกสูงสุดเพียงค่าเดียว ซึ่งอธิบายได้ดังรูปที่ 2.25 โดยแสดงถึงเซตเอาต์พุตที่ได้จากการอนุมานจะเห็นได้ว่าค่าเอาต์พุตที่มีระดับการเป็นสมาชิกสูงสุด คือค่า u ซึ่งก็คือค่าที่เป็นตัวแทนเอาต์พุตนั่นเอง

ฟังก์ชันความเป็นสมาชิก

**รูปที่ 2.25** การดีฟัซซิฟิเคชันโดยการหาค่าระดับความเป็นสมาชิกสูงสุด

การหาค่ากลางสูงสุด (Mean of Max Procedure) การดีฟัซซิฟิเคชันด้วยวิธีการหาค่ากลางของค่าสูงสุดของระดับความเป็นสมาชิกที่มีตำแหน่งสูงสุด ซึ่งการดีฟัซซิฟิเคชันด้วยวิธีนี้จะเป็นการแก้ปัญหาที่เกิดจากการที่เซตที่จะนำมาทำการดีฟัซซิฟิเคชันมีค่าระดับความเป็นสมาชิกสูงสุดอยู่หลายค่าซึ่งการดีฟัซซิฟิเคชันด้วยวิธีการหาค่าสูงสุดไม่สามารถกระทำได้

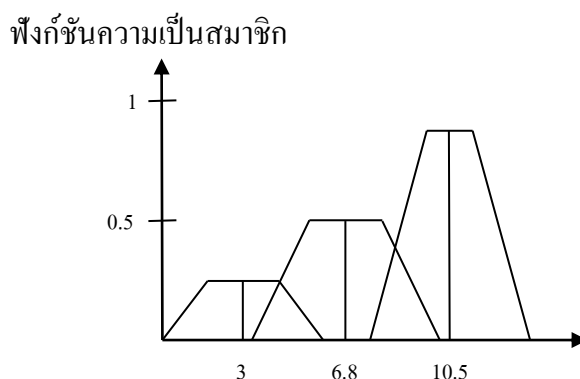
ฟังก์ชันความเป็นสมาชิก

**รูปที่ 2.26** การดีฟัซซิฟิเคชันโดยการหาค่ากลางสูงสุด

จากรูปที่ 2.26 จะพบว่าเซตที่มีค่าระดับความเป็นสมาชิกสูงสุดอยู่หลายค่าจึงต้องใช้วิธีการหาค่าสูงสุดมาทำการดีฟัซซิฟิเคชันซึ่งในการหาค่ากลางจะหาค่าเฉพาะช่วงที่มีค่าสูงสุดตามเส้นประที่ลากลงมาดังในรูปซึ่งจะทำให้ได้ค่าการดีฟัซซิฟิเคชันออกมา

การหาค่าเฉลี่ยของน้ำหนัก (Weighted Average Method) การดีฟัซซิฟิเคชันโดยวิธีการหาค่าเฉลี่ยของน้ำหนักเป็นวิธีการหาค่าเอาต์พุตที่เหมาะสมโดยการหาค่าเอาต์พุตเฉลี่ยซึ่งหาได้จากสมการ (2.31)

$$v_o = \frac{\sum \mu_B(v) \cdot v}{\sum \mu_B(v)} \quad (2.31)$$



รูปที่ 2.27 การดีฟัซซิฟิเคชันโดยการหาค่าเฉลี่ยของน้ำหนัก

ในขั้นตอนแรกจะต้องทำการแยกกลุ่มเซตเอาต์พุตที่จะนำมาทำการดีฟัซซิฟิเคชันว่าประกอบด้วยเซตใดบ้าง จากรูปที่ 2.27 เซตเอาต์พุตประกอบด้วย 3 เซต ขั้นตอนต่อไปทำการหาค่ากลางที่ได้คู่กับค่าระดับความเป็นสมาชิกของค่ากลางเซตนั้นๆ แล้วจึงนำค่าที่ได้ของแต่ละเซตมาบวกเข้าด้วยกันแล้วจึงนำผลบวกที่ได้มาหารด้วยผลรวมของระดับความเป็นสมาชิกที่ตำแหน่งค่ากลางของทุกเซต ซึ่งจากรูปค่ากลางของแต่ละเซต คือ 3 ,6.8 ,10.5

การหาค่าจุดศูนย์กลางของพื้นที่ การดีฟัซซิฟิเคชันด้วยการหาจุดศูนย์กลางของพื้นที่เป็นวิธีการหาจุดศูนย์กลางของพื้นที่ที่ได้กราฟของฟังก์ชันความเป็นสมาชิก เพื่อใช้เป็นตัวแทนของฟัซซีเอาต์พุต ซึ่งทำได้โดยการแบ่งพื้นที่ที่ได้กราฟของฟังก์ชันความเป็นสมาชิกออกเป็น 2 ส่วนเท่ากันโดยในรูปที่ 2.28 คำตอบของการดีฟัซซิฟิเคชันที่ได้คือ Z โดยที่จะสามารถหาค่า Z ได้จากสมการ (2.32)

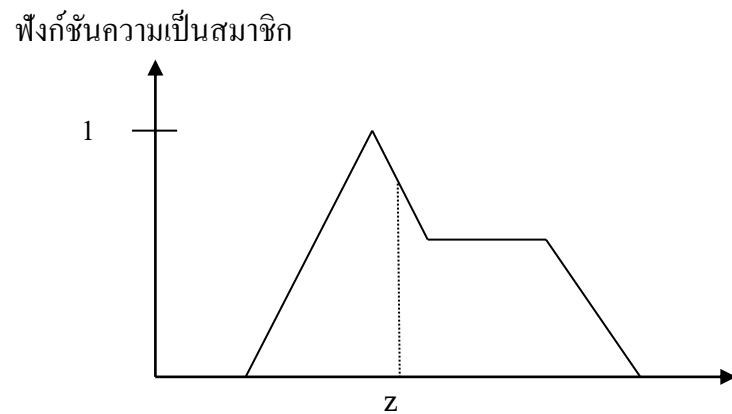
$$Z = \frac{\int \mu_c(u) \cdot u \, du}{\int \mu_c(u) \, du} \quad (2.32)$$

กำหนดให้

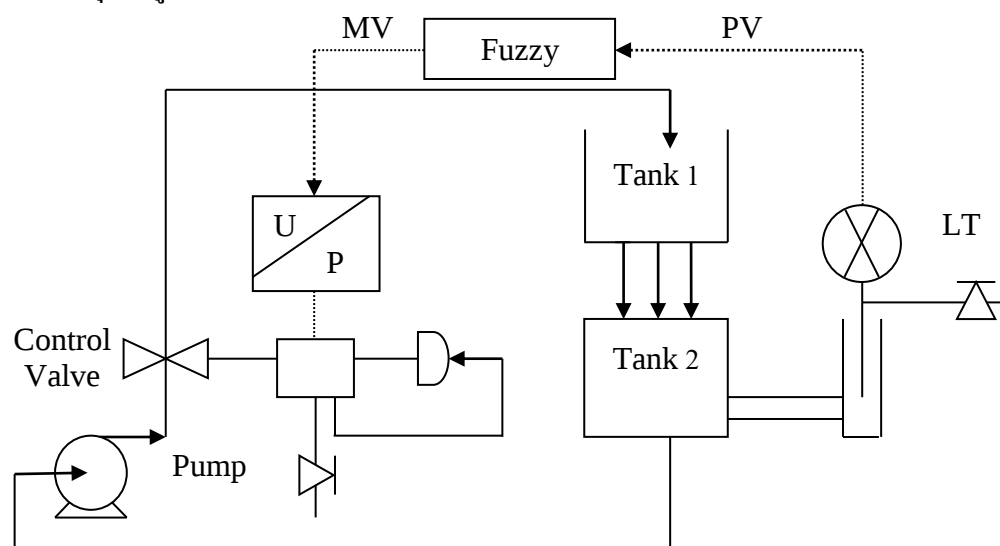
C คือ เซตเอาต์พุต

μ คือ สมาชิกของเอกภพสัมพัทธ์ทางเอาต์พุต

Z คือ ค่าที่ได้จากดีฟัซซิฟิเคชัน



รูปที่ 2.28 การดีฟัซซิฟิเคชันโดยการหาค่าจุดศูนย์กลางถ่วงของพื้นที่
ตัวอย่างแบบจำลองของฟัซซีลอจิกที่ใช้ควบคุมระดับของน้ำในถังซึ่งมีแผนผัง
การควบคุมดังรูปที่ 2.29

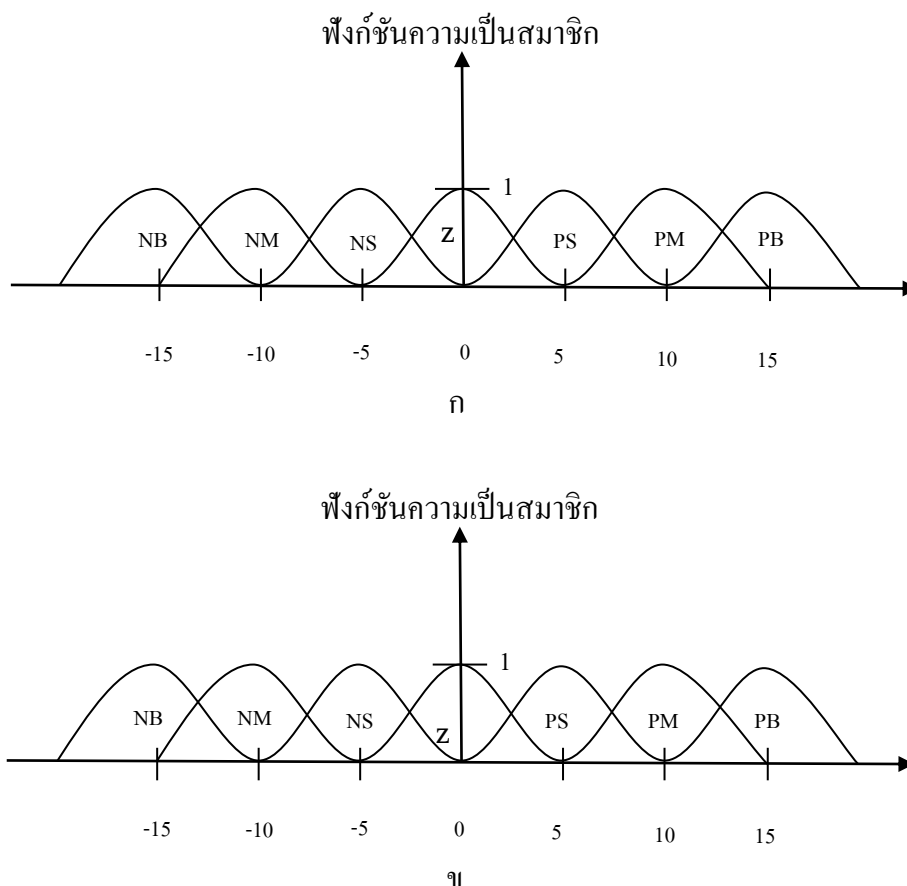


รูปที่ 2.29 แผนผังการควบคุมระดับของน้ำในถัง



รูปที่ 2.30 แผนภาพบล็อกการควบคุมระดับน้ำโดยใช้ตัวควบคุมแบบฟัซซี

จากแผนภาพบล็อกของกระบวนการควบคุมระดับของน้ำในถัง อินพุตของแบบจำลองฟัซซีลอจิกมีตัวแปรสองตัวคือค่าผิดพลาด (E : Error) และ ค่าความผิดพลาดที่เปลี่ยนแปลง (DE : Delta Error) ส่วนเอาต์พุตมีตัวแปรหนึ่งตัว คือการเปิด-ปิดวาล์วควบคุม กำหนดให้ตัวแปรของอินพุตของแต่ละตัวจะมีเทอมเซตอย่างละ 7 เทอม คือ {NB,NM,NS,Z,PS,PM,PB} ในรูปที่ 2.31 แสดงเทอมเซตของตัวแปรของทั้งสองอินพุต



รูปที่ 2.31 เทอมเซตของตัวแปรอินพุต (ก) ค่าผิดพลาด และ (ข) ค่าผิดพลาดที่เปลี่ยนแปลง

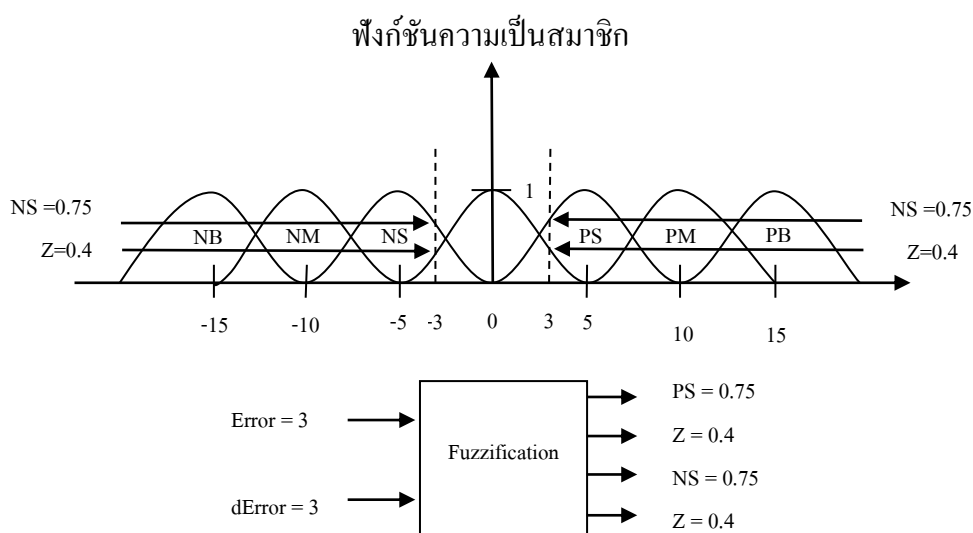
ในส่วนของเทอมเซตเอาต์พุตได้ทำการออกแบบเป็นฟัซซีซิงเกิลตัน และเมื่อนำแต่ละเทอมเซตของตัวแปรมาเขียนเพื่อกำหนดกฎการควบคุมทั้งหมด 49 กฎโดยสามารถนำมาเขียนเป็นเมตริกซ์ที่แสดงถึงความสัมพันธ์ร่วมกันของตัวแปรได้ดังรูปที่ 2.32

ซึ่งเมตริกซ์จะถูกเรียกว่า Fuzzy Associative Memory (FAM) โดย FAM จะมีมิติเท่ากับจำนวนตัวแปรของอินพุต ซึ่งในตัวอย่างนี้ก็มีสองตัวแปรดังนั้น FAM จะมีเมตริกซ์เป็นสองมิติเท่ากับจำนวนตัวแปรของอินพุตขนาด $M \times N$ เมื่อ M แทนจำนวนของเทอมเซตตัวแปรค่าผิดพลาด และ N เป็นจำนวนเทอมเซตของตัวแปรค่าผิดพลาดที่เปลี่ยนแปลง และสมาชิกของเมตริกซ์นี้คือค่าของตัวแปรเอาต์พุตซึ่งเป็นแบบซิงเกิลตัน

		ค่าความผิดพลาดที่เปลี่ยนแปลง						
		NP	NM	NS	Z	PS	PM	PB
ค่าความผิดพลาด	NB	-50	-50	-50	-40	-50	-50	-50
	NM	-45	-45	-45	-35	-45	-45	-45
	NS	-40	-40	-40	-40	-40	-41	-41
	Z	-36	-31	-27	-27	-27	-28	7
	PS	10	10	14	18	20	31	31
	PM	34	34	34	34	34	34	34
	PB	40	40	40	50	50	50	50

รูปที่ 2.32 เมตริกซ์ FAM ของระบบควบคุมระดับน้ำในถัง

สมมติค่าความผิดพลาดที่วัดได้ที่เวลา t เท่ากับ 3 ของกฎฟัซซีเทอมเซตของ PS และ Z จะถูกนำมาพิจารณา ซึ่งค่าที่ได้ มีค่าเท่ากับ 0.75 และ 0.4 ในกรณีเดียวกันค่าความผิดพลาดที่เปลี่ยนแปลงที่วัดได้ที่เวลา t เดียวกันมีค่าเท่ากับ -3 เทอมเซตที่ได้คือ NS และ Z ซึ่งค่าที่ได้มีค่าเท่ากับ 0.75 และ 0.4 ตามลำดับซึ่งกระบวนการดังกล่าวนี้เรียกว่ากระบวนการฟัซซีฟิเคชัน โดยแสดงให้เห็นดังรูปที่ 2.33



รูปที่ 2.33 การทำฟัซซีฟิเคชันของระบบควบคุมระดับน้ำในถัง

การทำงานของกฎอนุมานที่มีหน้าที่ในการตัดสินใจที่จะทำการเลือกค่าเอาต์พุตโดยจะเลือกตามกฎการควบคุมที่กำหนดไว้ในตารางกฎการควบคุมโดยจะนำค่าที่ได้จากการฟัซซีฟิเคชันมาทำการเปรียบเทียบจากตัวอย่างค่าที่ได้ เซตของชุดค่าผิดพลาด คือค่า $PS = 0.75$, $Z = 0.4$ และ

ในส่วนของเขตชุดค่าผิดพลาดที่เปลี่ยนแปลง คือค่า $NS = 0.75$, $Z = 0.4$ โดยค่าที่ได้จะถูกนำไปเลือกกฎการควบคุมดังรูปที่ 2.34

		ค่าความผิดพลาดที่เปลี่ยนแปลง						
		NP	NM	NS	Z	PS	PM	PB
ค่าความผิดพลาด	NB	-50	-50	-50	-40	-50	-50	-50
	NM	-45	-45	-45	-35	-45	-45	-45
	NS	-40	-40	-40	-40	-40	-41	-41
	Z	-36	-31	-27	-27	-27	-28	7
	PS	10	10	14	18	20	31	31
	PM	34	34	34	34	34	34	34
	PB	40	40	40	50	50	50	50

รูปที่ 2.34 การอนุมานของระบบควบคุมระดับน้ำในถัง

เขต Z,NS จะเลือกกฎ 27

เขต Z,Z จะเลือกกฎ -27

เขต PS,NS จะเลือกกฎ 14

เขต PS,Z จะเลือกกฎ 18

ตารางที่ 2.1 การดีฟัซซิฟิเคชันของระบบควบคุมระดับน้ำในถัง

เขต (ค่าความผิดพลาด,ค่าความผิดพลาดที่เปลี่ยนแปลงไป)	เอาต์พุต	ฟังก์ชันความเป็นสมาชิก
Z,NS	-27	0.4
Z,Z	-27	0.4
PS,NS	14	0.75
PS,Z	18	0.4

$$\text{เอาต์พุต} = \frac{(-27 \times 0.4) + (-27 \times 0.4) + (14 \times 0.75) + (18 \times 0.4)}{(0.4 + 0.4 + 0.75 + 0.4)}$$

การกำหนดหน่วยดีฟัซซิฟิเคชันในส่วนของการหาค่าเอาต์พุตของตัวควบคุมแบบฟัซซี หรือการแปลงตัวแปรแบบฟัซซีมาเป็นตัวแปรของกระบวนการในหน่วยดีฟัซซิฟิเคชันนี้จะใช้วิธีการของการหาค่าเฉลี่ยของน้ำหนัก โดยจะนำค่าเขตของเอาต์พุตที่ได้จากการอนุมานมาคำนวณ เช่น เขต Z, NS ได้ค่าเอาต์พุตเท่ากับ -27 และมีระดับการเป็นสมาชิก 2 ค่าคือ 0.4 และ 0.75 แต่การดีฟัซซิฟิเคชันด้วยวิธีนี้จะใช้การเลือกค่าระดับความเป็นสมาชิกที่ต่ำกว่า ดังนั้น ค่าระดับ

ความเป็นสมาชิกของเงื่อนไขอินพุตนี้ คือ ค่า 0.4 ในทำนองเดียวกับค่าเงื่อนไขอินพุตที่เหลืออีก 3 เงื่อนไข ก็จะใช้หลักการเดียวกับตารางที่ 2.1 แสดงค่าเอาต์พุตที่ต้องใช้ในการคำนวณของระบบดีฟัซซิฟิเคชัน

การควบคุมด้วยฟัซซีลอจิกเป็นวิธควบคุมสมัยใหม่อีกวิธีหนึ่งที่อาศัยรูปแบบการแก้ปัญหาหรือการให้เหตุผลของมนุษย์เป็นแนวทางในการวิเคราะห์ และทำการควบคุมระบบ โดยการอาศัยการดำเนินการเชิงตรรกะแบบฟัซซีเป็นเครื่องมือ ซึ่งมีลักษณะการควบคุมแบบฟัซซีนี มีลักษณะเป็นตัวประมาณค่าตัวแปรที่ต้องการควบคุม โดยไม่จำเป็นต้องใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบทำให้สามารถใช้กับระบบที่ไม่เป็นเชิงเส้น หรือระบบที่ยากต่อการหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ได้ดี อีกทั้งยังสามารถใช้ได้กับระบบที่มีหลายอินพุตหลายเอาต์พุตได้อีกด้วย ซึ่งแนวทางของทฤษฎีระบบควบคุมของฟัซซีนีสามารถแก้ปัญหาที่เคยเกิดขึ้นกับระบบควบคุมแบบเดิมได้ และเนื่องจากฟัซซีลอจิกไม่ต้องใช้คณิตศาสตร์ที่ซับซ้อนในการคำนวณ ทำให้สามารถพัฒนาระบบให้ทำงานแบบทันทีได้โดยไม่ยากนัก ทั้งนี้แนวโน้มการเติบโตของการควบคุมระบบฟัซซียังคงมีต่อไป ดังในปัจจุบันกำลังมีการวิจัยค้นคว้าเกี่ยวกับระบบฐานกฎของฟัซซี, ระบบ Nuero Fuzzy ที่มีลักษณะการผสมผสานกันของฟัซซีลอจิกกับโครงข่ายประสาท (Nueral Network) หรือแม้กระทั่งระบบฟัซซีแบบปรับตัวที่สามารถปรับการควบคุมตามพฤติกรรมของระบบได้ดียิ่งขึ้นอีกด้วย

2.3 ตัวควบคุมแบบพีไอดี (PID Controller)

จากชื่อจะเห็นได้ว่ามีส่วนสองส่วน คือ คอนโทรลเลอร์ และ พีไอดี ส่วนคอนโทรลเลอร์คือ อุปกรณ์ควบคุมระบบตามที่ต้องการโดยจะมีการตั้งค่า SP (Set Point : จุดกำหนด) ไว้ และนำมาเปรียบเทียบกับค่า PV (Process Variable : ตัวแปรกระบวนการหรือค่าจริงที่เกิดจากผลการทำงานของระบบ) เพื่อให้ได้ค่า Error แล้วคอนโทรลเลอร์จะนำค่าผิดพลาด (Error) นั้นมาทำการปรับแต่งค่าเอาต์พุตหรือ MV (Manipulated Variable : ตัวแปรที่ถูกควบคุม) เพื่อลดค่าผิดพลาดให้ได้ต่ำที่สุด ส่วน PID ย่อมาจาก Proportional-Integral-Derivative โดย

2.3.1 เทอมสัดส่วน (Proportional)

เป็นส่วนปฏิกิริยาต่อค่าผิดพลาด ณ ขณะนั้น (Current Error) เทอมของตัวควบคุมแบบสัดส่วนเปลี่ยนแปลงตามอัตราส่วนของค่าผิดพลาด ปัจจุบัน ซึ่งค่า P_{out} สามารถคำนวณได้โดยการนำค่าผิดพลาด มาคูณกับค่าคงที่ K_p

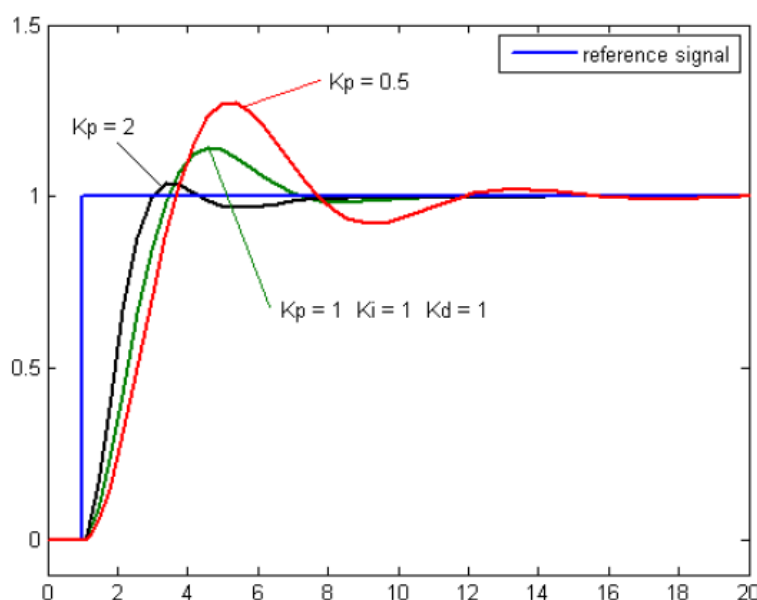
$$P_{out} = K_p e(t) \quad (2.33)$$

P_{out} คือ ปริมาณที่เปลี่ยนแปลงที่ใช้แก้ไขความผิดพลาด

K_p คือ อัตราการขยายของตัวควบคุมแบบอัตราส่วน

$e(t)$ คือ ค่าความผิดพลาดที่เปลี่ยนแปลง

ค่า K_p สูงจะเป็นผลให้ค่าเอาต์พุตมากขึ้นตามไปด้วย หากค่า K_p มากเกินไประบบอาจจะไม่เสถียรได้ ในทางตรงกันข้ามหากค่า K_p น้อยเกินไปอาจทำให้ระบบตอบสนองช้าเกินไป ซึ่งในกรณีนี้เป็นไปได้ว่าการตอบสนองดังกล่าวอาจจะถูกรบกวน (Disturbance) ในระบบได้ไม่ทันการ เช่น ในการเร่งรอบเครื่องยนต์ เมื่อมีโหลดมากกระทบบกับเครื่อง หากตัวควบคุมเร่งรอบเครื่องช้าไม่ทันกับโหลดที่เพิ่มขึ้นมาทันที รอบเครื่องจะค่อยๆ ตกลง และเครื่องจะดับในที่สุด ผลของการเปลี่ยนค่า K_p ของระบบแสดงดังรูปที่ 2.35



รูปที่ 2.35 แสดงผลของการเปลี่ยนแปลงค่า K_p ของระบบ (โดยที่ค่า K_i และ K_d คงที่)

2.3.2 เทอมปริพันธ์ (Integral)

เป็นส่วนปฏิกิริยาที่เกิดจากผลรวมของ ค่าผิดพลาดที่ผ่านมามีค่าสุด (Sum of Recent-Errors) เทอมปริพันธ์เป็นอัตราส่วนของค่าผิดพลาด สะสมในหนึ่งช่วงเวลา (ปัจจุบันย้อนกลับไปในอดีต) ค่า I_{out} เกิดจากผลคูณของค่าคงที่ K_i กับผลรวมของ $e(t)$ ซึ่งเป็นค่าสะสมของค่าผิดพลาด ที่ควรจะต้องถูกแก้ไขมาก่อนหน้านี้

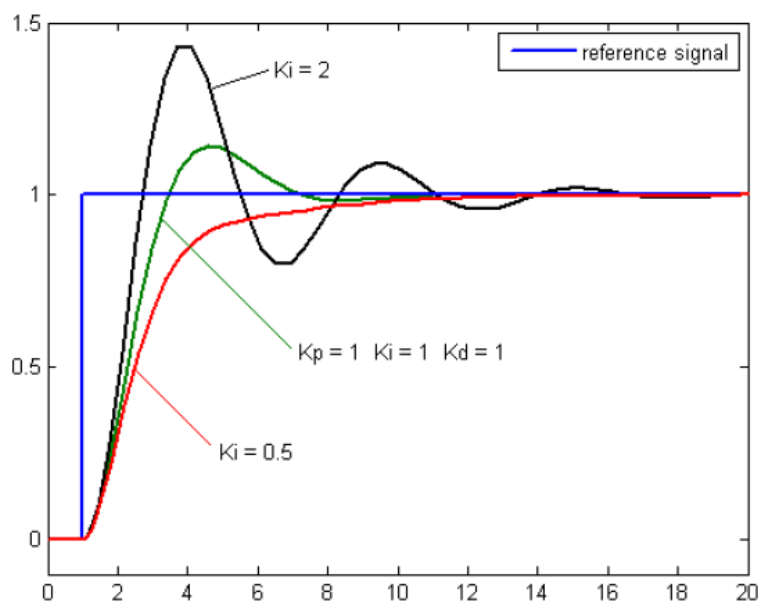
$$I_{out} = K_i \int_0^t e(t) dt \quad (2.34)$$

I_{out} คือ ปริมาณที่เปลี่ยนแปลงที่ใช้แก้ไขความผิดพลาด

K_i คือ อัตราการขยายของเทอมปริพันธ์

$e(t)$ คือ ค่าความผิดพลาดที่เปลี่ยนแปลง

เทอมปริพันธ์เมื่อใช้ร่วมกับเทอมสัดส่วนจะช่วยเร่งให้ระบบวิ่งเข้าหาจุดกำหนดเร็วขึ้น และช่วยลดค่าผิดพลาดที่เกิดจากการใช้เทอมสัดส่วนอย่างเดียว อย่างไรก็ตามเนื่องจากว่าเทอมปริพันธ์นั้นเกิดจากการคำนวณโดยรวมค่าผิดพลาดที่เกิดขึ้นในอดีตด้วย อาจจะทำให้เกิดการพุ่งเกิน (Overshoot) ค่ากำหนดในค่าปัจจุบันด้วย ผลของการเปลี่ยนแปลงค่า K_i ของระบบแสดงดังรูปที่ 2.36



รูปที่ 2.36 แสดงผลของการเปลี่ยนแปลงค่า K_i ของระบบ (โดยที่ค่า K_p และ K_d คงที่)

2.3.3 เทอมอนุพันธ์ (Derivative)

เป็นส่วนปฏิกิริยาที่เกิดจากอัตราการเปลี่ยนแปลงของค่าผิดพลาด อัตราการเปลี่ยนแปลงของระบบนั้นคำนวณได้ด้วยความชัน (Slope) ของกราฟค่าผิดพลาดเทียบกับเวลาซึ่งก็คืออนุพันธ์แรกเทียบกับเวลา และคูณค่าความชันนี้กับค่าคงที่ K_d ก็จะได้เทอมอนุพันธ์

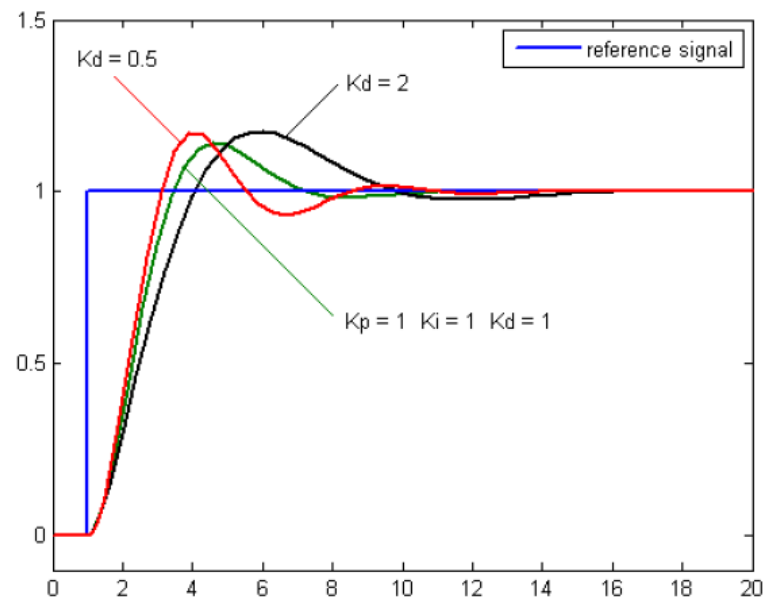
$$D_{out} = K_d \frac{de(t)}{dt} \quad (2.35)$$

D_{out} คือ ปริมาณที่เปลี่ยนแปลงที่ใช้แก้ไขความผิดพลาด

K_d คือ อัตราการขยายของเทอมอนุพันธ์

$e(t)$ คือ ค่าความผิดพลาดที่เปลี่ยนแปลง

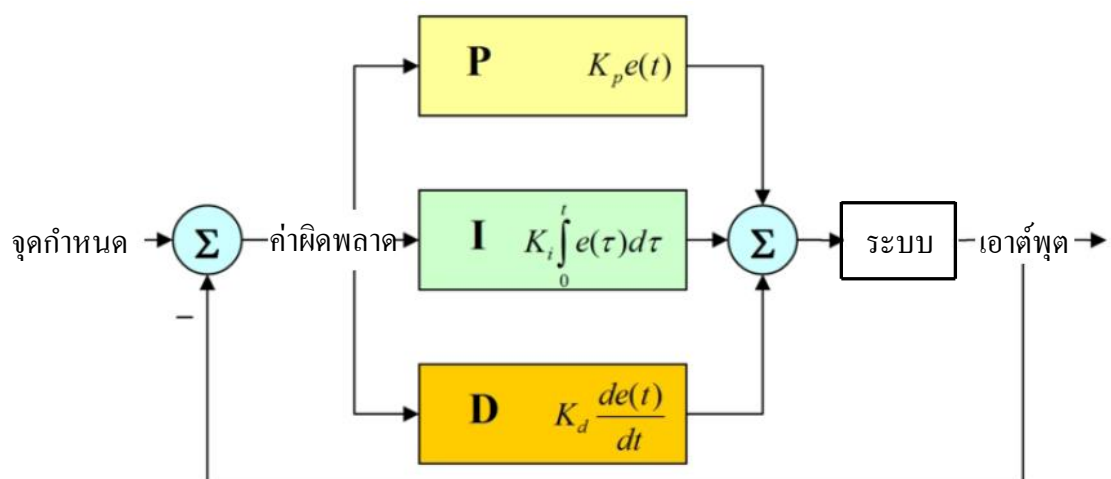
เทอมอนุพันธ์จะช่วยดึงเอาดีฟูดจากคอนโทรลเลอร์ให้ช้าลง ซึ่งจะเห็นผลได้ชัดเมื่อระบบเข้าใกล้จุดกำหนด เทอมอนุพันธ์จะช่วยลดอาการพุ่งเกิน ซึ่งเกิดจากเทอมปริพันธ์ และช่วยปรับปรุงเสถียรภาพของระบบโดยรวม อย่างไรก็ตามค่า K_d นั้นหากมีค่ามากเกินไปจะทำให้ระบบช้าเกินไปได้ ผลของการเปลี่ยนแปลงค่า K_d ของระบบแสดงดังรูปที่ 2.37



รูปที่ 2.37 แสดงผลของการเปลี่ยนแปลงค่า Kd ของระบบ (โดยที่ค่า Kp และ Ki คงที่)

เมื่อรวมทั้งสามเทอมเข้าด้วยกันจะได้เอาต์พุตจากตัวควบคุมแบบพีไอดี ดังสมการที่ 2.36 และแสดงแผนภาพบล็อกได้ดังรูปที่ 2.38

$$MV(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(\tau) d\tau + K_d \frac{de(t)}{dt} \quad (2.36)$$



รูปที่ 2.38 แสดงแผนภาพบล็อกของตัวควบคุมแบบพีไอดี

โดยค่าพารามิเตอร์ต่างๆคือ

ค่าอัตราขยายแบบสัดส่วน (Proportional Gain, Kp) ค่าที่มากขึ้น หมายถึง การตอบสนองที่เร็วขึ้นเพราะค่าผิดพลาดยิ่งมาก ค่าชดเชยจากเทอมนี้ก็จะยิ่งมากขึ้นตาม ค่าอัตราขยายที่มากเกินไปจะทำให้ระบบเกิดการพุ่งเกินและเกิดการแกว่งได้ (Oscillation)

ค่าอัตราขยายแบบปริพันธ์ (Integral Gain, K_i) ค่าที่มากขึ้นจะทำให้ค่าผิดพลาดแบบคงตัว (Steady State Error) จะถูกกำจัดได้เร็วขึ้น ข้อเสียคืออาจทำให้เกิดการพุ่งเกิน

ค่าอัตราขยายแบบอนุพันธ์ (Derivative Gain, K_d) ค่าที่มากขึ้นหมายถึงขนาดการพุ่งเกินที่ลดลงแต่อาจทำให้ระบบตอบสนองช้าลงบ้าง หากมากเกินไปจะทำให้ระบบไม่เสถียรได้

ผลรวมของค่าอัตราขยายทั้งสามซึ่งปรับแต่งโดยค่าคงที่ K_p , K_i , K_d เพื่อให้ได้การตอบสนองของระบบที่ต้องการจะถูกนำไปใช้ในการควบคุมระบบต่างๆ โดยทั่วไปค่าอัตราขยาย บางค่าสามารถเป็น 0 ก็ได้ ซึ่งตัวควบคุมแบบพีไอดี นั้นจะกลายมาเป็นตัวควบคุมแบบ พีไอ, พีดี, พี หรือ ไอ ขึ้นอยู่กับว่าเทอมไหนหายไป

2.3.4 การปรับแต่งด้วยวิธีซีเกลอร์-นิโคลส์ (Ziegler – Nichols)

2.3.4.1 แบบวัฏจักรท้ายสุด (Ultimate Cycle Method)

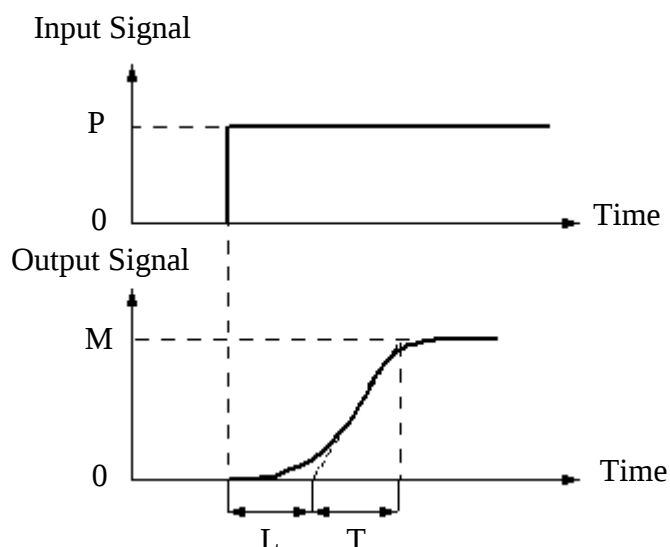
เริ่มจากการปรับค่า K_i และ K_d เป็นศูนย์จากนั้นเพิ่มค่า K_p จนถึงค่า K_c (Critical Gain) ของระบบแล้วเพิ่มค่า K_p ต่อจนทำให้ระบบเกิดการแกว่ง ให้วัดคาบของการแกว่งที่คงที่ P_c และใช้ตารางที่ 2.2 เพื่อหาค่าอัตราขยายอื่นๆ

ตารางที่ 2.2 แสดงการหาค่าอัตราขยายต่างๆโดยใช้วิธีซีเกลอร์-นิโคลส์ แบบวัฏจักรท้ายสุด

วิธีซีเกลอร์-นิโคลส์แบบวัฏจักรท้ายสุด			
ชนิดตัวควบคุม	K_p	K_i	K_d
พี	$0.50 K_c$	-	-
พีไอ	$0.45 K_c$	$1.2 K_p / P_c$	-
พีไอดี	$0.60 K_c$	$2.0 K_p / P_c$	$K_p K_c / 8$

2.3.4.2 แบบปฏิกิริยาของกระบวนการ (Process Reaction Method)

เริ่มจากการป้อนอินพุตเป็นฟังก์ชันขั้น (Unit Step Function) ให้กับระบบแบบลูปเปิด (Open Loop) แล้วทำการวัดค่าตัวแปรต่างๆจากผลการตอบสนองของกระบวนการแสดงดังรูปที่ 2.33 จากนั้นนำค่าตัวแปรที่ได้ไปหาค่าอัตราขยายอื่นๆต่อไปตามตารางที่ 2.3



รูปที่ 2.39 แสดงค่าตัวแปรต่างๆที่ได้จากการตอบสนองของกระบวนการ

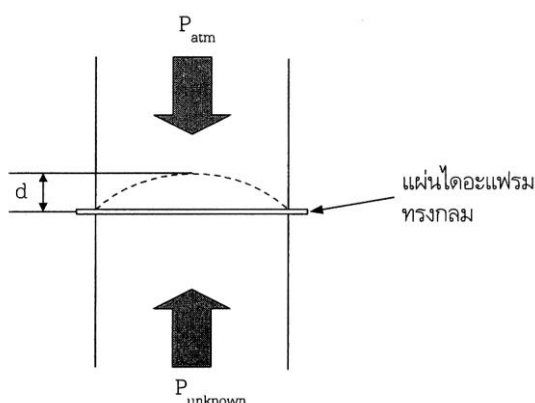
จากรูปที่ 2.39 เส้นสัมผัสกราฟสัญญาณเอาต์พุต (Output Signal) นั้นให้เลือกเส้นสัมผัสกราฟที่มีความชันสูงที่สุด (R) มีค่าเท่ากับ M/T

ตารางที่ 2.3 แสดงการหาค่าอัตราขยายต่างๆโดยใช้วิธีซีเกลอร์-นิโคลส์ แบบปฏิบัติการของกระบวนการ

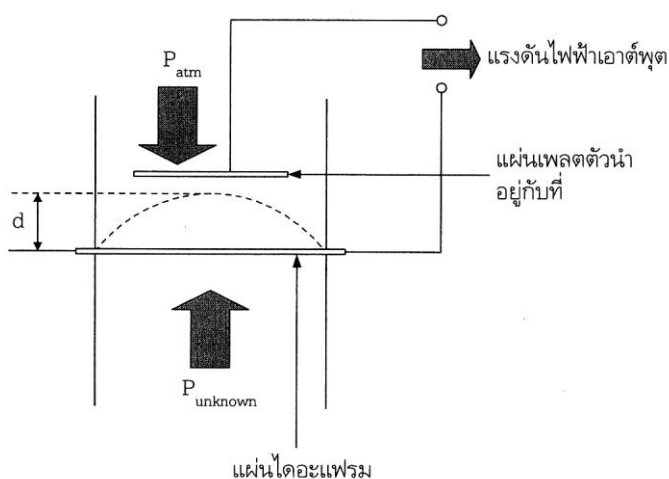
วิธีซีเกลอร์-นิโคลส์แบบปฏิบัติการของกระบวนการ			
ชนิดตัวควบคุม	K_p	K_i	K_d
พี	P/RL	-	-
พีไอ	$0.9 P/RL$	$1 / 3.33 L$	-
พีไอดี	$1.2 P/RL$	$1 / 2 L$	$0.5 L$

2.3 เซนเซอร์ความดันแบบแผ่นไดอะแฟรม

แผ่นไดอะแฟรมมีลักษณะเป็นแผ่นเพลตทรงกลมบางทำจากโลหะผสม เช่น เหล็กสแตนเลส หรือ ทองเหลืองยึดติดไว้ภายในท่อทรงกระบอก ดังรูปที่ 2.40 เป็นเซนเซอร์ที่ใช้สำหรับตรวจวัดความดันแบบผลต่าง เพราะต้องอ้างอิงกับความดันบรรยากาศ ระยะขจัด d ในการเคลื่อนที่ของแผ่นไดอะแฟรม อันเกิดจากความดันที่ไม่ทราบค่า $P_{unknown}$ มีค่าขึ้นอยู่กับขนาด รูปแบบ ความหนา และชนิดของวัสดุที่ใช้ทำแผ่นไดอะแฟรม ทำให้ความสัมพันธ์ระหว่างความดันที่ทำการวัดกับระยะขจัดที่เกิดขึ้นแปรผันไปตามลักษณะการออกแบบแผ่นไดอะแฟรม ซึ่งปกติแล้วพบว่าระยะขจัด d ที่ได้จากแผ่นไดอะแฟรมนี้จะมีขนาดเล็ก ทั่วไปมีค่าเป็นเศษส่วนของมิลลิเมตรเท่านั้น



รูปที่ 2.40 แผ่นไดอะแฟรม



รูปที่ 2.41 การต่อแผ่นไดอะแฟรมขนานกับแผ่นเพลตตัวนำเพื่อใช้งานเป็นตัวเก็บประจุไฟฟ้า

หากนำแผ่นเพลตตัวนำอีกแผ่นหนึ่งมาต่อขนานกับแผ่นโลหะไดอะแฟรม ดังรูปที่ 2.42 ก็จะได้คุณสมบัติของตัวเก็บประจุทางไฟฟ้า ที่มีอากาศเป็นไดอิเล็กทริก สำหรับลักษณะของการแปรค่าความจุไฟฟ้าที่ได้จากตัวเก็บประจุแบบนี้ จะอาศัยการเปลี่ยนแปลงระยะห่างระหว่างแผ่นเพลตตัวนำกับแผ่นไดอะแฟรม (d) เป็นตัวแปรค่าความจุไฟฟ้าที่เกิดขึ้น ซึ่งระยะห่าง d ที่เปลี่ยนไปเกิดจากระยะขจัดของแผ่นไดอะแฟรมที่เปลี่ยนไป เนื่องจากผลของความดันอากาศที่มากกระทำโดยอาศัยคุณสมบัติค่าความจุไฟฟ้า C ของตัวเก็บประจุที่จะแปรค่าเป็นส่วนกลับของระยะห่างระหว่างแผ่นเพลตตัวนำทั้งสอง หรือ เขียนได้ว่า

$$C \propto \frac{1}{d} \quad (2.37)$$

นั่นคือ สัญญาณไฟฟ้าเอาต์พุตที่ต่อระหว่างแผ่นเพลตตัวนำทั้งสองของตัวเก็บประจุ มีค่าแปรผันไปตามระยะห่าง d หรือมีค่าแปรผันไปตามความดันอากาศที่กำลังตรวจวัดอยู่ ดังนั้น

เมื่อสัญญาณเอาต์พุตออกมาอยู่ในรูปของแรงดันไฟฟ้าแล้ว จึงเป็นการง่ายที่จะนำเอาไปปรับแต่งและปรับเทียบให้แสดงผลในเทอมของความดัน

ในการประยุกต์ใช้งานเซนเซอร์ตรวจวัดความดันชนิดนี้ นิยมใช้ในการตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงของความดันที่มีขนาดต่ำๆ เช่น การตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลในท่อส่งก๊าซ หรือ ท่อส่งน้ำ เป็นต้น

2.4 โปรแกรมแลปวิว (LabVIEW)

แลปวิวเป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่สร้างขึ้นมาใช้ในการด้านการวัดและเครื่องมือวัดสำหรับงานทางด้านวิศวกรรม LabVIEW ย่อมาจาก Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench ซึ่งหมายความว่า เป็นโปรแกรมที่สร้างเครื่องมือวัดเสมือนจริงในห้องปฏิบัติการทางวิศวกรรม ดังนั้นจุดประสงค์หลักของการทำงานของโปรแกรมนี้คือ การจัดการในด้านเครื่องมือวัดอย่างมีประสิทธิภาพ และในตัวของโปรแกรมจะประกอบไปด้วยฟังก์ชันที่ช่วยในการวัดมากมาย และแน่นอนที่สุดโปรแกรมนี้จะมีประโยชน์อย่างสูงเมื่อใช้ร่วมกับเครื่องมือวัดทางวิศวกรรมต่างๆ

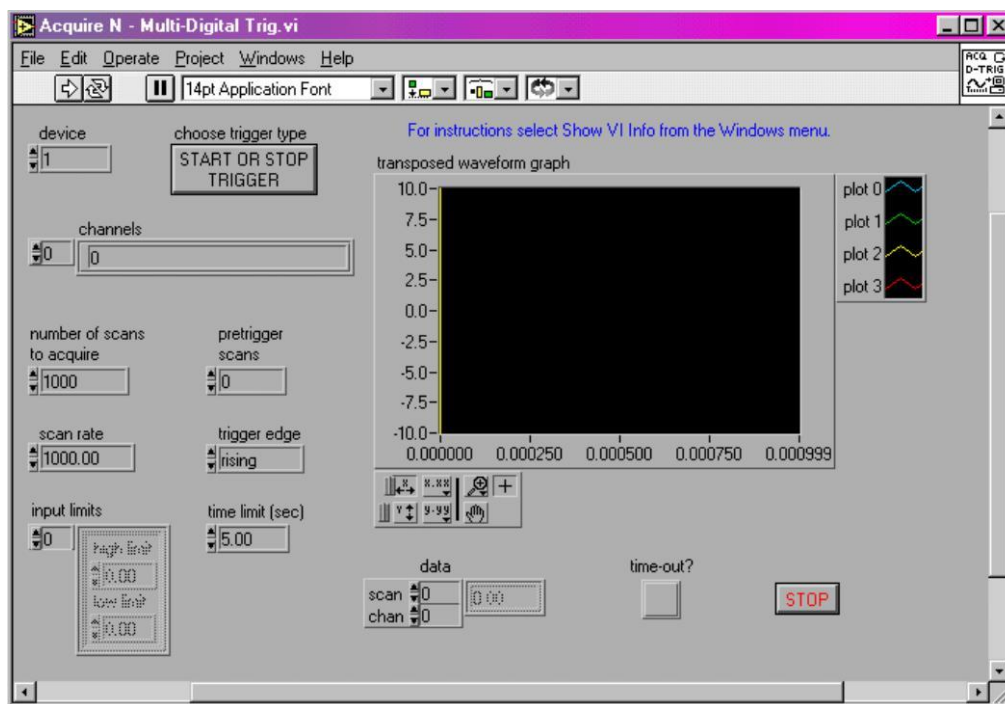
แลปวิวเป็นโปรแกรมประเภท GUI (Graphic User Interface) โดยสมบูรณ์ นั่นคือเราไม่จำเป็นต้องเขียนโค้ดหรือคำสั่งใดๆทั้งสิ้น ภาษาที่ใช้ในแลปวิวเป็นภาษาภาพเรียกว่าเป็นภาษา G (Graphical Language) ซึ่งแทนที่จะเขียนโปรแกรมด้วยภาษา C, Basic หรือภาษาอื่นก็ใช้รูปภาพหรือสัญลักษณ์แทนทั้งหมด แม้ว่าในเบื้องต้นเราอาจจะสับสนกับการจัดเรียงหรือเขียนโปรแกรมบ้างแต่เมื่อเราคุ้นเคยจะพบว่าแลปวิวเป็นโปรแกรมที่มีความสะดวกและลดเวลาเขียนโปรแกรมลงไปได้มากโดยเฉพาะในงานเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์เชื่อมต่อกับอุปกรณ์อื่นๆ เช่นการรับส่งข้อมูลผ่านทางพอร์ตหรือการ์ดต่างๆ

โปรแกรมที่เขียนขึ้นมาโดยแลปวิวเราจะเรียกว่า VI (Virtual Instrument) เพราะลักษณะที่ปรากฏออกทางจอภาพเมื่อใช้งานจะเหมือนกับเครื่องมือหรืออุปกรณ์วัดทางวิศวกรรมในขณะเดียวกันหลังจากของอุปกรณ์เสมือนจริงเหล่านั้นจะเป็นการทำงานของฟังก์ชัน, Subroutines และโปรแกรมหลักเหมือนโปรแกรมทั่วไปสำหรับ VI หนึ่งๆจะประกอบด้วยส่วนประกอบสำคัญสามส่วนคือ

2.4.1 Front Panel หรือหน้าปัทม์

จะเป็นส่วนที่ใช้สื่อความกันระหว่างผู้ใช้กับโปรแกรม (หรือที่นิยมเรียกว่า User-Interface) โดยทั่วไปจะมีลักษณะเหมือนกับหน้าปัทม์ของเครื่องมือวัดต่างๆไปประกอบด้วย สวิตช์เปิด-ปิด, ปุ่มบิด, ปุ่มกด จอแสดงผล ดังนั้นสำหรับผู้คุ้นเคยกับการเขียนโปรแกรมประเภท

Visual ทั้งหลายคงใจเข้าใจถ้าบอกว่า Front Panel เปรียบเสมือน GUI ของโปรแกรมนั่นเอง ลักษณะของ Front Panel แสดงดังรูปที่ 2.42

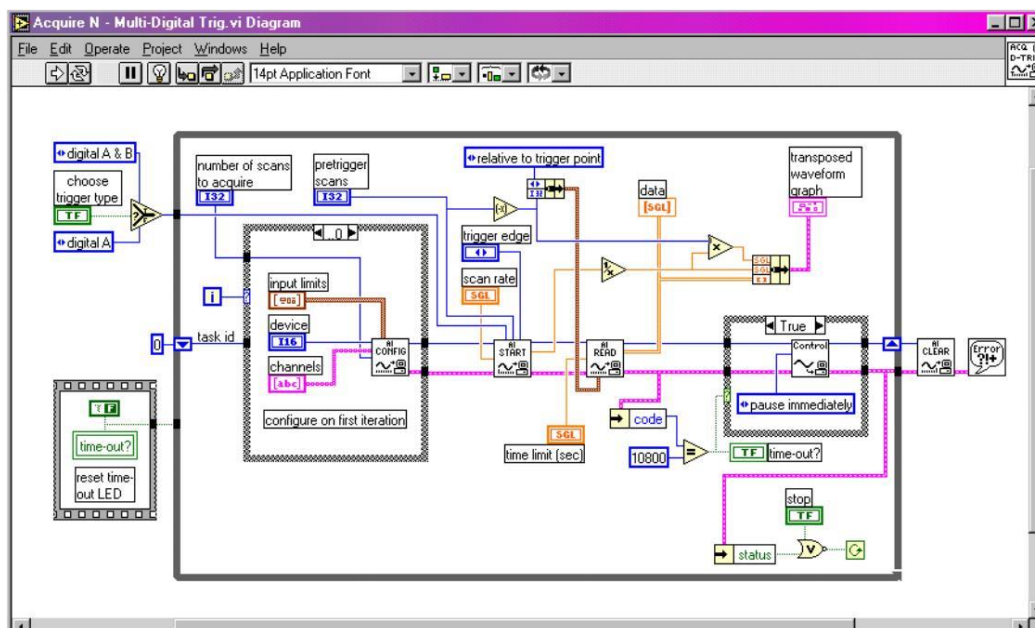


รูปที่ 2.42 แสดงลักษณะของ Front Panel

2.4.2 แผนภาพบล็อก

เพื่อให้เกิดความเข้าใจที่ง่ายยิ่งขึ้นเราอาจมองแผนภาพบล็อกนี้เป็นเสมือนกับ Source-Code ของ VI ที่อยู่ในรูปของภาษา G ข้อดีของแลปวิวในการเขียน โปรแกรมคือ จะมีการตรวจสอบความผิดพลาดของโปรแกรมอยู่ตลอดเวลา ทำให้โปรแกรมจะทำงานได้ก็ต่อเมื่อไม่มีข้อผิดพลาดในโปรแกรมเท่านั้น โดยผู้ใช้งานที่สามารถที่จะดูรายละเอียดของความผิดพลาดได้ตลอดเวลา ทำให้การเขียนโปรแกรมนั้นง่ายขึ้นมาก

ส่วนประกอบภายในแผนภาพบล็อกนี้ประกอบด้วย ฟังก์ชัน ,ค่าคงที่ ,โปรแกรมควบคุมการทำงานหรือโครงสร้าง จากนั้นแต่ละส่วนเหล่านี้ จะปรากฏในรูปของบล็อกที่ได้รับการต่อสาย (Wire) เข้ากับบล็อกอื่นๆ เพื่อกำหนดลักษณะการไหลของข้อมูลระหว่างบล็อกเหล่านั้น ทำให้ข้อมูลได้รับการประมวลผลตามที่ต้องการและแสดงผลให้แก่ผู้ใช้ต่อไป ลักษณะของแผนภาพบล็อก แสดงดังรูปที่ 2.43



รูปที่ 2.43 แสดงลักษณะของแผนภาพบล็อก

2.4.3 ไอคอน (Icon) และตัวต่อ (Connector)

เปรียบเสมือนโปรแกรมย่อย Subroutine ในโปรแกรมปกติทั่วไปโดยไอคอน หมายถึง แผนภาพบล็อกตัวหนึ่งที่มีการส่งข้อมูลเข้าและออกผ่านทางตัวต่อซึ่งในแลปวิวเราจะเรียก Subroutine ว่า Sub VI ข้อดีของการเขียนโปรแกรมด้วยภาษา G อีกประการคือ สามารถสร้าง VI ที่ละส่วนขึ้นมาให้ทำงานด้วยตัวเองได้อย่างอิสระหากภายหลังเราต้องการเรียกใช้ก็สามารถเขียน โปรแกรมอื่นขึ้นมาเพื่อเลือกใช้งาน VI ที่เคยใช้งานก่อนหน้านี้ได้ ซึ่งทำให้ตัว VI ที่เราทำขึ้นก่อน กลายเป็น Sub VI ไปการเขียนลักษณะนี้เรียกว่าการเขียนเป็นโมดูล (Module)

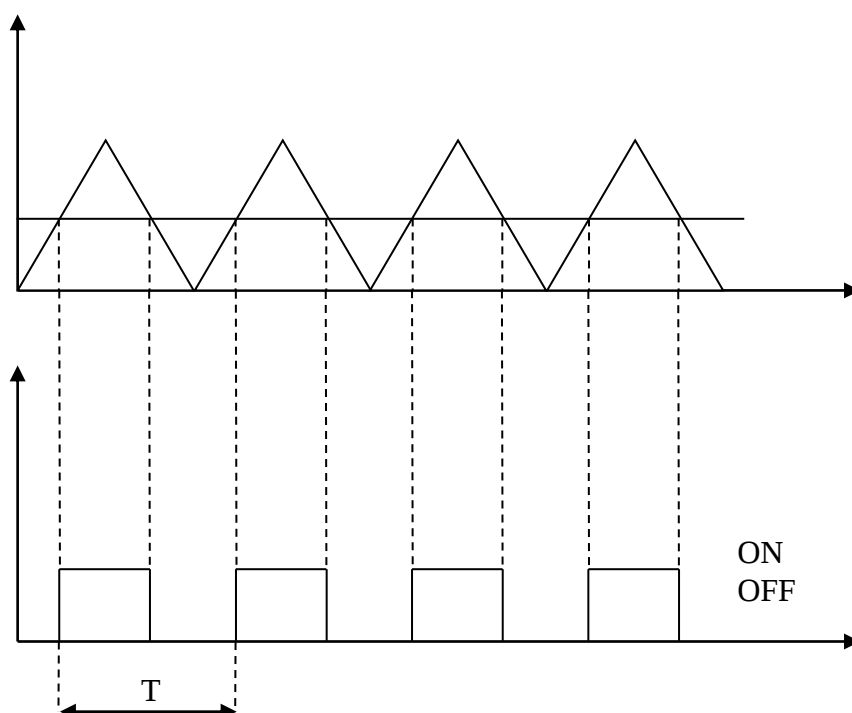
ลักษณะทั่วไปของไอคอน และตัวต่อจะแสดงในรูปต่อไปนี้เราจะเห็นว่าเมื่อเราแสดง ภาพของตัวต่อเราจะพบว่ามีช่องต่อเข้าข้อมูลหรือเรียกว่าขั้วต่อ (Terminal) ให้เห็นดังรูปที่ 2.45



รูปที่ 2.44 แสดงลักษณะของไอคอน และตัวต่อ

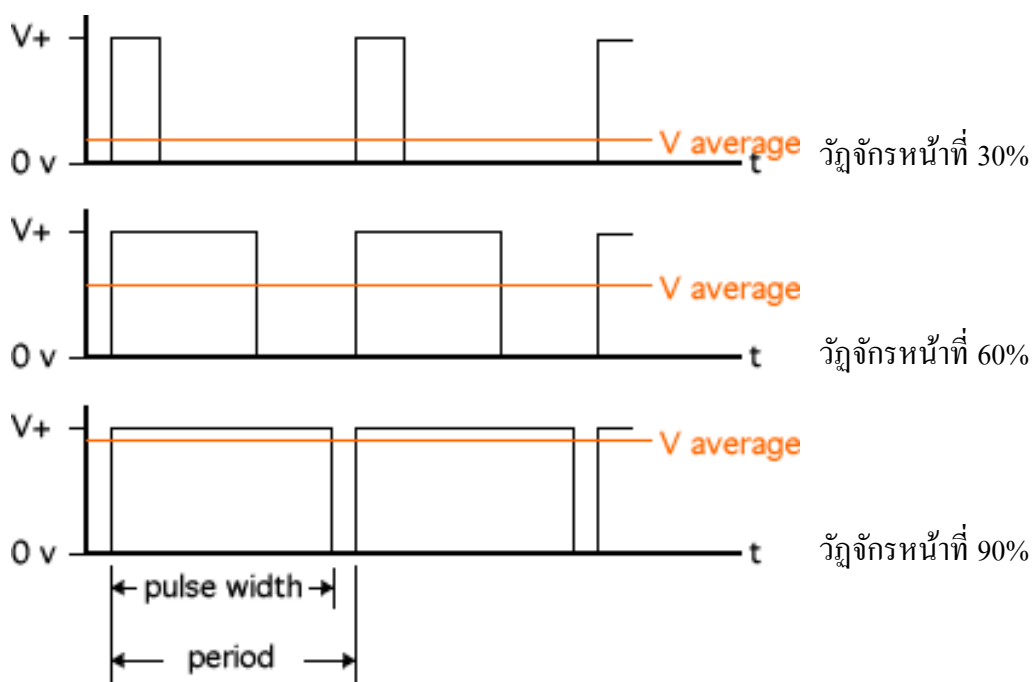
2.5 พัลส์เบิ่ลยูเอม (PWM : Pulse Width Modulation)

พัลส์เบิ่ลยูเอม คือ การมอดูเลทความกว้างของพัลส์ เกิดจากการนำสัญญาณสองสัญญาณมาเปรียบเทียบกัน คือสัญญาณสามเหลี่ยมกับสัญญาณที่เราต้องการปรับความกว้างพัลส์ ยกตัวอย่างในที่นี้หมายถึงสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรง เมื่อนำสัญญาณมาเปรียบเทียบกันจะได้สัญญาณที่มีความกว้างพัลส์คงที่ดังรูปที่ 2.45 สัญญาณที่ได้นี้สามารถนำไปควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆได้ เช่น มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง



รูปที่ 2.45 แสดงสัญญาณพัลส์เบิ่ลยูเอม

จะเห็นได้ว่าสัญญาณพัลส์เบิ่ลยูเอม ในรูปที่ 2.45 ภายในช่วงหนึ่งคาบเวลาจะมีส่วนที่สัญญาณเปิด และปิด ซึ่งอัตราส่วนของสัญญาณที่เปิด ภายในหนึ่งคาบเวลาหมายถึง %วัฏจักรหน้าที่ (Duty-Cycle) นั่นเอง จากรูปที่ 2.46 สัญญาณพัลส์เบิ่ลยูเอมจะมี %วัฏจักรหน้าที่เท่ากับ 50% เพราะสัญญาณที่เปิดจะมีระยะเวลาเป็นครึ่งหนึ่งของคาบเวลา การเปลี่ยนแปลง %วัฏจักรหน้าที่ที่มีผลทำให้แรงดันเฉลี่ยเปลี่ยนแปลงไปดังรูปที่ 2.46 จากรูปจะเห็นได้ว่าหาก %วัฏจักรหน้าที่เพิ่มมากขึ้นจะทำให้แรงดันเฉลี่ยมากขึ้นตามไปด้วย หลักการนี้เองที่ทำให้สัญญาณพัลส์เบิ่ลยูเอมสามารถควบคุมความเร็วของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงได้



รูปที่ 2.46 แสดงความสัมพันธ์ของ %วัฏจักรหน้าที่กับแรงดันเฉลี่ย

2.6 ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller)

ไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้ในโครงงานและชุดทดลองนี้คือรุ่น PIC18F4550 ซึ่งมีข้อมูลในการใช้งาน คือ RA0 และ RA1 จะใช้ □ งานเป็ □ นขาอินพุตของสัญญาณอนาล็อกจากเซนเซอร์ ส่วน RC2 เป็นขาใช้งานโมดูล CCP1 ทำหน้าที่ส่งออกสัญญาณพีดับเบิลยูเอ็ม

2.6.1 คุณสมบัติเด่นของส่วนติดต่อพอร์ต USB

2.6.1.1 รองรับทั้ง USB1.0/1.1 และ 2.0

2.6.1.2 รองรับการถ่ายทอดข้อมูลความเร็วต่ำ 1.5 เมกะบิตต่อวินาที และความเร็วเต็มที่ 12 เมกะบิตต่อวินาที

2.6.1.3 รองรับการถ่ายทอดข้อมูลในแบบคอนโทรล (Control), อินเตอร์รัปต์ (Interrupt), ไอโซโครนัส (Isochronous) และบัลค์ (Bulk)

2.6.1.4 รองรับอุปกรณ์ถึง 32 เอนด์พอยต์ (16 เอนด์พอยต์ ในกรณี 2 ทิศทาง)

2.6.1.5 หน่วยความจำแรม 1 กิโลไบต์ สำหรับส่วนติดต่อ USB เข้าถึงได้แบบคู่ (Dual Access)

2.6.1.6 บรรจุตัวรับส่งข้อมูล USB และวงจรควบคุมแรงดันคงที่

2.6.1.7 ไปใช้เป็นส่วนเชื่อมต่อพอร์ต USB ให้แก่อุปกรณ์ที่ไม่มีส่วนติดต่อพอร์ต USB

2.6.1.8 สามารถจัดการข้อมูลพอร์ตขนานเพื่อถ่ายทอดในรูปแบบการจัดการข้อมูลของ USB

2.6.2 คุณสมบัติเด่นของวงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกา

มี 4 โหมด รวมทั้งวงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกาด้วยคริสตอลแบบเฟสล็อกดูปลความเที่ยงตรงสูงสำหรับส่วนติดต่อพอร์ต USB ซึ่งเมื่อใช้งานกับพอร์ต USB ต้องเลือกใช้โหมดของสัญญาณนาฬิกาโหมดนี้

2.6.2.1 สามารถเลือกใช้สัญญาณนาฬิกาภายนอกได้ 2 โหมดความถี่สูงถึง 48 เมกะเฮิร์ตซ์

2.6.2.2 วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกาที่รองรับไทมเมอร์ 1 ความถี่ 32 กิโลเฮิร์ตซ์

2.6.2.3 สามารถเลือกสัญญาณนาฬิกาของการทำงานปกติของไมโครคอนโทรลเลอร์กับโมดูล USB ให้มีความถี่แตกต่างกันได้

2.6.3 คุณสมบัติของโมดูลเพอร์เฟอรัล

2.6.3.1 High-Current Sink/Source 25 mA/25 mA

2.6.3.2 รับสัญญาณอินเทอร์รัปต์ภายนอกได้ 3 ช่องทาง

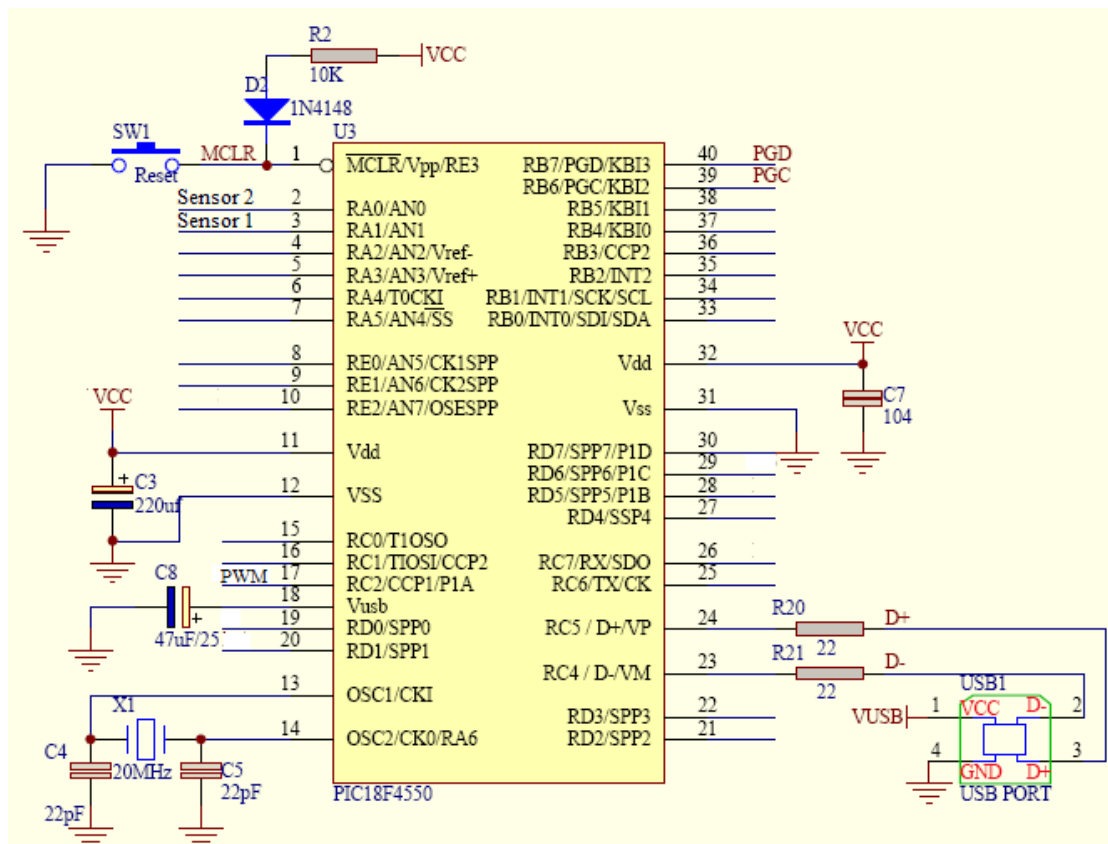
2.6.3.3 มี Timer Modules ใช้งาน 4 โมดูล (Timer0 ถึง Timer3)

2.6.3.4 มี Capture/Compare/PWM (CCP) Modules 2 ช่อง

2.6.3.5 โหมด Capture มีขนาด 16-bit และมีความละเอียดสูงสุด 6.25 ns

ก) โหมด Compare มีขนาด 16-bit และมีความละเอียดสูงสุด 100 ns

ข) พิตช์เบิ้ลยูอิมเอาต์พุตสามารถปรับความละเอียดได้ตั้งแต่ (1 ถึง 10-bit)



รูปที่ 2.47 วงจรใช้งานของ PIC18F4550