บทที่ 2

ตัวควบคุม PID เชิงเลข

การควบคุมแบบ PID เป็นรูปแบบหนึ่งของการควบคุมแบบอัตโนมัติ โดยลักษณะการทำงานจะเป็นการประมวลผล เพื่อหาค่าของตัวแปรปรับโปรเซส MV (Manipulated Variable) โดยอาศัยความสัมพันธ์ของตัวแปรกระบวนการ PV (Process Variable) และตัวแปรค่าเป้าหมาย SV (Setpoint Variable) ภายใต้กฎเกณฑ์ของการควบคุมแบบ PID (Proportional Integral Derivative)

สำหรับตัวควบคุม PID เชิงเลข เป็นการนำเอาการควบคุมแบบ PID ไปใช้กับวงจรเชิงเลข ซึ่งภายในมีไมโครโปรเซสเซอร์เป็นส่วนสำคัญ ทำให้ขีดความสามารถของการควบคุมสูงกล่าวคือ นอกจากการทำการควบคุมแล้วยังสามารถทำงานอื่นๆได้ เช่น งานการบริการผู้ใช้ งานบริการการสื่อสาร ฯลฯ

สำหรับในบทนี้จะกล่าวถึงตัวควบคุมแบบ PID เชิงเลข โดยกล่าวถึงทฤษฎีและแนวทางการออกแบบตัวควบคุม PID เชิงเลข

2.1 โครงสร้างการคำนวณชนิดต่างๆ ของการควบคุมแบบ PID

โครงสร้างการคำนวณของการควบคุมแบบ PID จะเป็นความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณขาออกกับสัญญาณขาเข้าและค่าเป้าหมาย โดยทั่วไปโครงสร้างของการคำนวณจะมีอยู่ 4 รูปแบบ ซึ่งสามารถแสดงในรูปของสมการใน s-domain ดังสมการต่างๆ กัน ดังต่อไปนี้

$$MV(s) = \frac{100}{PB}\{1+\frac{1}{T_I s}+T_D s\}\,DV(s) \qquad (2.1)$$

$$MV(s) = \frac{100}{PB}(1+\frac{1}{T_I s})\frac{(1+T_D s)}{(1+(T_D s/N))}DV(s) \qquad (2.2)$$

$$MV(s) = \frac{100}{PB}\{PV(s) + \frac{DV(s)}{T_I s} + T_D s \frac{PV(s)}{(1+(T_D s/N))}\} \quad (2.3)$$

$$MV(s) = \frac{100}{PB}\{DV(s) + \frac{DV(s)}{T_I s} + T_D s \frac{PV(s)}{(1+(T_D s/N))}\} \quad (2.4)$$

โดยที่

$DV(s) = SV(s) - PV(s)$ หรือ $PV(s) - SV(s)$

จากสมการข้างต้น สมการ (2.1) จะเป็นสมการที่พบเห็นได้ในตำรา ซึ่งง่ายต่อการทำความเข้าใจการทำงานของการควบคุมแบบ PID สมการ (2.2) เป็นสมการที่พบเห็นได้ในตัวควบคุมแบบเชิงอุปมาน (Analog) ซึ่งในการปรับค่าพารามิเตอร์จะมีผลต่อกัน ส่วนในตัวควบคุม PID เชิงเลขส่วนใหญ่ [3,4,5] มักมีความสัมพันธ์ดังในสมการ (2.3) และสมการ (2.4) โดยในสมการ (2.3) เหมาะสำหรับการควบคุมที่เป้าหมายมีค่าคงที่ สัญญาณขาออกขึ้นอยู่กับสัญญาณขาเข้าเพียงอย่างเดียว ส่วนในสมการ (2.4) เหมาะสำหรับการควบคุมที่เป้าหมายมีค่าเปลี่ยนแปลงตามเวลา

2.2 อัลกอริธึมของตัวควบคุม PID เชิงเลข

อัลกอริธึมของตัวควบคุม PID เชิงเลขที่สร้างขึ้นใช้สมการ (2.3) และสมการ (2.4) โดยสมการเขียนแยกได้เป็น 3 เทอมดังนี้

$$MV = PROP + INT + DER \quad (2.5)$$

ในการนำไปประยุกต์ใช้กับวงจรเชิงเลขสมการดังกล่าว จะต้องถูกปรับให้อยู่ในรูปของ Discrete form เสียก่อน โดยวิธีของ Bilinear transform [8] ซึ่งแทน s ด้วย

$$s = \frac{2(1-z^{-1})}{T_s(1+z^{-1})} \quad (2.6)$$

โดยที่

z^{-1} ตัวแปรอิสระของ Bilinear transform

T_S เวลาการสุ่ม (sampling time)

ดังนั้นสมการที่แปลงแล้วจะได้

$$PROP = k_P E_n \text{ or } k_P PV_n \tag{2.7}$$

$$INT = INT_{n-1} + k_I (DV_n + DV_{n-1}) \tag{2.8}$$

$$DER = k_{D1} DER_{n-1} + k_{D2} (PV_n - PV_{n-1}) \tag{2.9}$$

โดยที่

$$k_P = \frac{100}{PB} \tag{2.10}$$

$$k_I = \frac{k_P \cdot T_s}{2T_I} \tag{2.11}$$

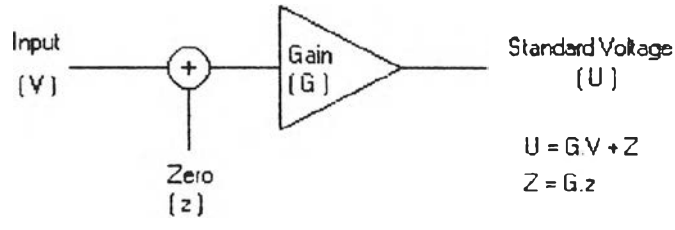
$$k_{D1} = \frac{(2\alpha\gamma - 1)}{(2\alpha\gamma + 1)} \quad ; \alpha = \frac{1}{N} = 0.1 \quad ; \gamma = \frac{T_D}{T_s} \tag{2.12}$$

$$k_{D2} = \frac{2\gamma k_P}{(2\alpha\gamma + 1)} \tag{2.13}$$

จากสมการดังกล่าว สมการที่ (2.10) - (2.13) สามารถคำนวณได้ก่อนและจะทำการคำนวณใหม่ก็ต่อเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ PB, T_I หรือ T_D ของการควบคุม PID ส่วน

2.3 การประมาณค่าแบบเชิงเส้นและการแปลงผันข้อมูลสำหรับอินพุตที่ได้จากเซนเซอร์

โดยปกติสัญญาณที่ได้จากเซนเซอร์เป็นสัญญาณที่ไม่เป็นระดับมาตรฐาน และเซนเซอร์บางชนิดมีลักษณะที่ไม่เป็นเชิงเส้น ในการปรับสัญญาณให้เป็นระดับมาตรฐานจะใช้วงจรภายนอกที่เรียกว่า Signal conditioner ดังแสดงในรูปที่ 2.1 ส่วนการปรับให้สัญญาณให้เป็นเชิงเส้นอาจกระทำได้โดยใช้ฮาร์ดแวร์หรือซอฟต์แวร์ผู้วิจัยเลือกใช้การปรับข้อมูลเป็นเชิงเส้นโดยซอฟต์แวร์ทั้งนี้เพราะให้ความสะดวกมากกว่า โดยค่าสัญญาณที่อ่านได้จากอินพุตจะถูกนำไปหาค่าโดยวิธีการประมาณค่าเชิงเส้น (Linear approximation) จากตารางที่เก็บเป็นข้อมูลภายในโปรแกรม วิธีการแปลงค่าข้อมูลมีขั้นตอนดังนี้



รูปที่ 2.1 แสดงหลักการของวงจร Signal conditioner

เซนเซอร์ที่ใช้เป็นเทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple)

T_{max} , T_{min} : เป็นอุณหภูมิสูงสุด ต่ำสุดของช่วงการทำงานที่ผู้ใช้กำหนด

V_{max}, V_{min} : คุณลักษณะทางแรงดันของเซนเซอร์

T, V : อุณหภูมิและคุณลักษณะทางแรงดัน ณ อุณหภูมิใดๆ

U : เป็นแรงดันระดับมาตรฐานที่ได้จากเอาต์พุตของ Signal conditioner โดยที่มีค่าเชิงเลขของแรงดัน 1 และ 5 โวลต์ ของวงจรแปลงผัน A/D ขนาด 12 บิต เป็น 819.2 และ 4096 ตามลำดับ

Z : ค่าศูนย์ (zero) หรือค่าออฟเซต ของสมการเชิงเส้น

G : อัตราขยายของวงจร Signal conditioner

จากรูปที่ 2.1 วัดอุณหภูมิ T ใดๆ จะได้ว่า

$$V = (U-Z)/G \tag{2.14}$$

$$G = \frac{4096 - 819.2}{(V_{max} - V_{min})} = \frac{3276.8}{(V_{max} - V_{min})} \tag{2.15}$$

$$Z = 4096 - GV_{max} \tag{2.16}$$

จากค่า V ที่ได้จากสมการที่ (2.14) นำไปเปรียบเทียบในตารางเพื่อหาค่า T ที่สมนัยกัน

ให้

P : เป็นค่าเปอร์เซนต์ของค่าเต็มสเกลที่สมนัยกับอุณหภูมิ T

R : เป็นค่าสัมประสิทธิ์ของการแปลงผันจากอุณหภูมิเป็นเปอร์เซนต์ของค่าเต็มสเกล

โดยที่

$$P = R(T - T_{min}) \tag{2.17}$$

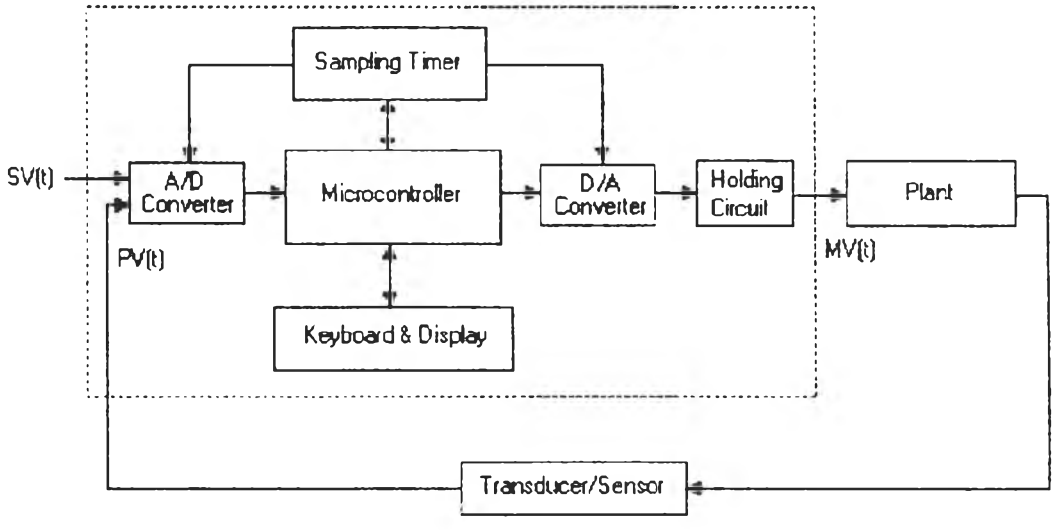
$$R = \frac{100}{T_{max} - T_{min}} \tag{2.18}$$

จากสมการดังกล่าว สมการที่ (2.15), (2.16) และ (2.18) สามารถหาค่าได้ก่อนเมื่อผู้ใช้มีการเปลี่ยนช่วงของอุณหภูมิ ส่วนสมการที่ (2.14) และ (2.17) จะนำไปหาค่าของสัญญาณอินพุตโดยตรง

2.4 แนวคิดการออกแบบฮาร์ดแวร์ของเครื่องตัวควบคุมแบบ PID เชิงเลข

รูปที่ 2.2 แสดงโครงสร้างพื้นฐานของตัวควบคุมเชิงเลข ประกอบด้วยตัวประมวลผลทำหน้าที่ประมวลผลการทำงานของระบบ ในการติดต่อกับระบบภายนอกตัวควบคุมจะรับและส่ง

สัญญาณการควบคุมกับระบบภายนอกโดยอาศัยวงจรแปลงผัน A/D และ D/A ตามลำดับ สำหรับการติดต่อกับผู้ใช้งานจะผ่านส่วนของคีย์บอร์ด และส่วนแสดงผล การทำงานของวงจรดังกล่าวจะถูกควบคุมด้วยไทม์เมอร์ (Timer) ที่กำเนิดเวลาการสุ่ม (Sampling time)



รูปที่ 2.2 แสดงโครงสร้างพื้นฐานของตัวควบคุมเชิงเลข

การพิจารณาในส่วนต่างๆของฮาร์ดแวร์ที่ใช้งานเป็นดังนี้

2.4.1 ความละเอียด (Resolution) ของวงจรแปลงผัน A/D และ D/A

ตัวควบคุมโดยทั่วไปวงจรแปลงผัน A/D จะมีขนาด 12 บิต ส่วนวงจรแปลงผัน D/A จะมีขนาด 10 บิต [8]

2.4.2 ตัวประมวลผล (CPU)

เพื่อเป็นการลดขนาดของฮาร์ดแวร์ และเป็นการเพิ่มความน่าเชื่อถือ (Reliability) ของตัวควบคุมผู้วิจัยเลือกใช้ตัวประมวลผลตระกูล MCS-51 เบอร์87C51FB [7,8] ซึ่งเป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller) ขนาด 8 บิต ที่ภายในนอกจากจะมีซีพียูเป็นแกน (Core) แล้วยังมีอุปกรณ์รอบนอก (Peripheral) อันได้แก่ พอร์ต จำนวน 4 พอร์ต ไทม์เมอร์ จำนวน 3 ตัว ช่องทางการสื่อสารแบบอนุกรม (Serial port) และ PCA (Programmable Counter Array) 1 ชุด

การทำงานของตัวประมวลผลจะทำงานด้วยความถี่ 12 เมกะเฮิรตซ์

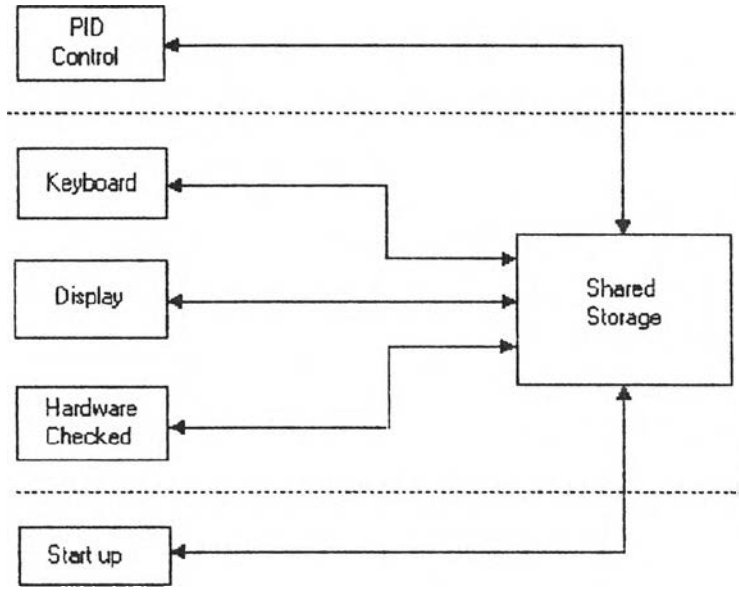
2.4.3 แหล่งเก็บข้อมูล

ผู้วิจัยได้ออกแบบให้ตัวควบคุม สามารถเก็บสถานะของการควบคุมได้เพื่อการเปิดเครื่องในครั้งต่อไป ผู้ใช้งานไม่จำเป็นต้องตั้งค่าพารามิเตอร์ของการควบคุมใหม่ ผู้วิจัยเลือกหน่วยความจำประเภท RAM เป็นแหล่งเก็บข้อมูลดังกล่าวที่ไม่สูญสลายเมื่อปิดเครื่อง

2.5 แนวคิดการออกแบบซอฟต์แวร์ของตัวควบคุมแบบ PID เชิงเลข

โดยทั่วไปวงจรเชิงเลขเป็นวงจรที่มีสมรรถนะสูงเมื่อนำมาประยุกต์ใช้กับการควบคุมแบบ PID นอกจากที่มันจะทำงานในการคำนวณการควบคุมแบบ PID แล้วยังสามารถทำงานอื่นๆ ได้หลายอย่าง สำหรับแนวคิดในการออกแบบซอฟต์แวร์มีหลักในการพิจารณาดังนี้

2.5.1 โครงสร้างของงาน (Task) ของตัวควบคุม PID



รูปที่ 2.3 แสดงจำนวนงานของตัวควบคุม PID

จากรูปที่ 2.3 ใน 1 รอบการทำงานของตัวควบคุม จะประกอบด้วยงานการควบคุมแบบ PID ซึ่งมีความสำคัญที่สุดส่วนงานรอง ได้แก่ การบริการการรับข้อมูลปุ่มกดจากผู้ใช้ (Keyboard) งานการแสดงผล (Display) และงานการวินิจฉัยฮาร์ดแวร์ (Hardware checked) สำหรับงานขณะเริ่มต้น (Startup) จะเป็นงานที่กระทำเพียงครั้งเดียวขณะเริ่มเปิดเครื่อง

จากโครงสร้างในรูปดังกล่าวจะพบว่า งานทุกๆ งานจะใช้แหล่งเก็บข้อมูลแหล่งเดียวกัน (Data storage) ซึ่งงานหนึ่งๆ อาจเรียกใช้ตัวแปรร่วมกับงานอื่นๆ ได้

2.5.2 ลักษณะของวิธีการทำงาน

สำหรับวิธีการทำงานของซอฟต์แวร์ มีวิธีการที่เป็นไปได้อยู่ 3 วิธี [1] ได้แก่

2.5.2.1 วิธีการทำงานแบบโปรแกรมเดี่ยว (Single program approach)

2.5.2.2 วิธีการทำงานแบบโปรแกรมเบื้องหน้าเบื้องหลัง (Foreground/ Background program approach)

2.5.2.3 วิธีการทำงานแบบพหุคูณ (Multi-tasking program approach)

ผู้วิจัยเลือกใช้วิธีการที่ 2.5.2.2 ทั้งนี้เพื่อแบ่งงานที่มีข้อจำกัดทางเวลามาก (Hard time constraint) ได้แก่ งานการควบคุมแบบ PID ให้เป็นอิสระออกจากการทำงานของงานที่มีข้อจำกัดทางเวลาน้อย (Soft time constraint)

2.5.3 การออกแบบโปรแกรมการทำงาน

จากการพิจารณาในข้อ 2.5.2 โปรแกรมของตัวควบคุมแบ่งออกได้เป็น 2 แบบ คือ

2.5.3.1 โปรแกรมอินเทอร์รัพต์ (Interrupt program)

เป็นโปรแกรมในลักษณะของโปรแกรมเบื้องหน้า (Foreground program) ที่รวมงานที่มีข้อจำกัดทางด้านเวลามาก โดยการทำงานจะถูกควบคุมด้วยอินเทอร์รัพต์ที่เกิดจากไทม์เมอร์ (Timer) ของเวลาการสุ่ม (Sampling time) ซึ่งจะไปขัดจังหวะการทำงานของงานที่มีข้อจำกัดทางเวลาน้อย

2.5.3.2 โปรแกรมหลัก (Main program)

เป็นโปรแกรมในลักษณะของโปรแกรมเบื้องหลัง (Background program) ที่รวมงานที่มีข้อจำกัดทางด้านเวลาน้อย ลักษณะโปรแกรมหลักแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท

ก. โปรแกรมที่ทำงานเพียงครั้งเดียว

เป็นโปรแกรมที่ทำงานขณะเริ่มเปิดเครื่อง (Power on) เพื่อกำหนดสถานะการทำงานของตัวควบคุม โดยกำหนดสถานะของฮาร์ดแวร์ที่โปรแกรมได้

และตัวแปรในแหล่งเก็บข้อมูล ฯลฯ

ข. โปรแกรมที่ทำงานแบบวนรอบ

เป็นโปรแกรมที่ใช้เวลาในส่วนที่เหลือจากการทำโปรแกรมอินเทอร์รัพต์ ซึ่งประกอบด้วย งานรับข้อมูลจากผู้ใช้ งานการแสดงผล งานการวินิจฉัยฮาร์ดแวร์

รายละเอียดของซอฟต์แวร์ของตัวควบคุมจะกล่าวถึงโดยละเอียดใน บทที่ 4

2.6 แนวคิดการออกแบบการใช้งานแผงหน้าปัด

แผงหน้าปัดของตัวควบคุมเป็นส่วนที่ใช้ติดต่อกับผู้ใช้ประกอบด้วย ส่วนของการรับข้อมูลและส่วนของการแสดงผล สำหรับในบทนี้จะกล่าวถึงการใช้งานปุ่มกดของแผงหน้าปัด ส่วนการออกแบบโครงสร้างของแผงหน้าปัดจะได้กล่าวถึงในบทต่อไป

การออกแบบการใช้งานของแผงหน้าปัด เพื่อให้เหมาะที่จะเป็นผลิตภัณฑ์ในท้องตลาด การพิจารณาจึงคำนึงถึงผู้ใช้เป็นหลัก โดยการออกแบบพิจารณาดังนี้

2.6.1 จำนวนพารามิเตอร์ที่ผู้ใช้กำหนดให้กับเครื่อง จากการพิจารณาแบ่งออกได้เป็น 5 กลุ่มดังนี้

2.6.1.1 กลุ่มตัวแปรของโปรเซส ได้แก่ SV, PV, DV และ MV

2.6.1.2 กลุ่มตัวแปรพารามิเตอร์ของการควบคุม ได้แก่ PB, T_I, T_D

2.6.1.3 กลุ่มตัวแปรการเตือนที่ใช้กำหนดช่วงการทำงานของ PV ได้แก่ AL, AH, LL, HH

2.6.1.4 กลุ่มกำหนดลักษณะและชนิดของอินพุตที่เป็นเซนเซอร์ ได้แก่ T_MIN และ T_MAX

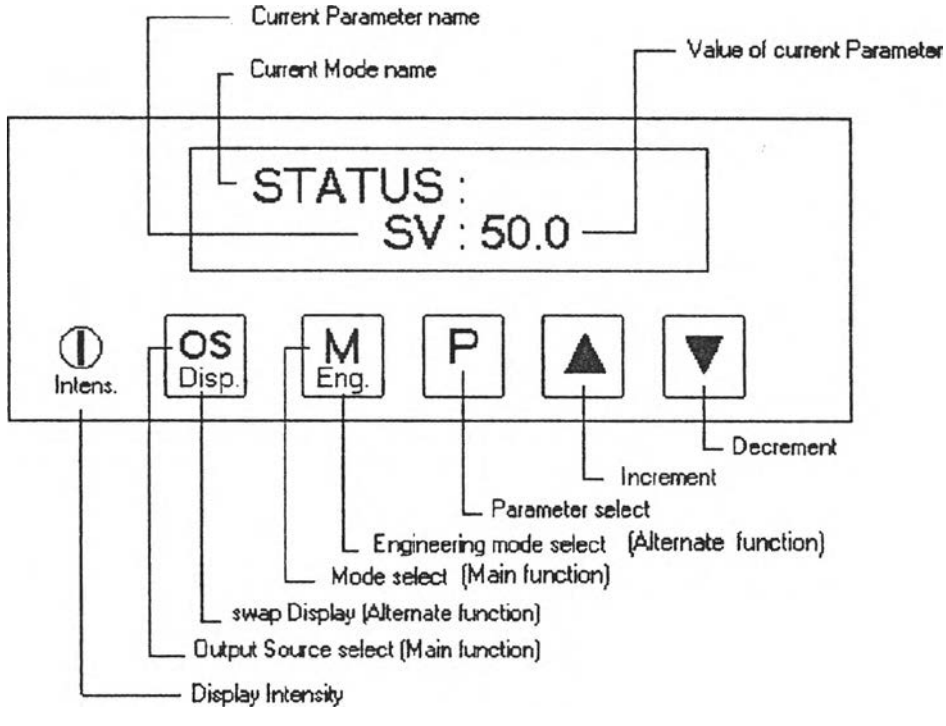
2.6.1.5 กลุ่มกำหนดช่วงการทำงานของเอาต์พุต ได้แก่ OP_0 และ OP_100

2.6.2 รูปแบบการแสดงผล

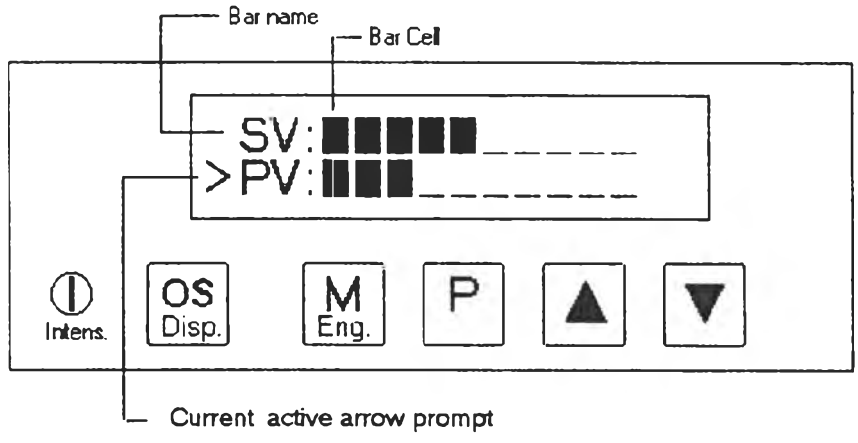
ตัวควบคุม PID เชิงเลขโดยทั่วไป นอกจากจะแสดงค่าพารามิเตอร์ต่างๆ เพื่อตอบสนองการใช้งานของผู้ใช้แล้วผู้ใช้งานยังต้องการทราบขนาดโดยประมาณของตัวแปรในโปรเซส

จากข้อกำหนดดังกล่าว ผู้วิจัยได้ออกแบบแผงหน้าปัดที่ประกอบด้วยส่วนรับข้อมูล จำนวน 5 ปุ่ม โดยแต่ละปุ่มจะประกอบด้วยฟังก์ชันหลัก ฟังก์ชันพิเศษ และส่วนแสดงผลที่แสดงได้ 2 แบบ คือ แสดงค่าข้อมูลเพื่อการสังเกตหรือแก้ไข และการแสดงผลแบบกราฟแท่งของตัวแปรในโปรเซส โดยมีลักษณะของแผงหน้าปัดและแสดงลักษณะการแสดงผลทั้ง 2 แบบ ได้ดังรูปที่ 2.4

สำหรับการใช้งานแผงหน้าปัดดูได้ที่คู่มือการใช้งานเครื่อง ท้ายเล่มวิทยานิพนธ์



รูปที่ 2.4 ก) แสดงแผงหน้าปัดในรูปแบบการแสดงข้อมูลเป็นตัวเลข



รูปที่ 2.4 ข) แสดงผลหน้าปัดในรูปแบบการแสดงข้อมูลเป็นกราฟแท่ง (Bar graph)

รูปที่ 2.4 แสดงแผงหน้าปัดของเครื่องควบคุม PID เชิงเลข