

การควบคุมความดันด้วยกระแสไฟฟ้า

The Pressure Control with Current

สมชาย ภิญโญ นริญ โชชัย มณฑล สีลาจินดาไกรฤกษ์

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพฯ

“สาขาวิศวกรรมศาสตร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเซนต์จอห์น

โทร. 3266052-100 EXT.2619 (ภาควิชาไฟฟ้า) E-Mail: Pinyo. Somchai @ kmitl.ac.th

บทคัดย่อ

ในบทความนี้นำเสนอการควบคุมความดันด้วยกระแสไฟฟ้า โดยใช้คุณสมบัติการสมดุลของแรงบิด ซึ่งถูกเปลี่ยนแปลง โดยสัญญาณกระแสไฟฟ้า จะให้เอาต์พุต เป็นสัญญาณความดันมาตรฐานที่ 0.2 ถึง 1 bar (3 ถึง 15 psi) สัญญาณความดันนี้ ยังสามารถนำไปใช้กับระบบการวัดระบบควบคุม และการทำงานขั้นสุดท้ายของกระบวนการผลิตทางอุตสาหกรรมหนัก

Abstract

This paper describes how to use current to control pressure by using the torque-balance principle. The I/P circuit converts current to standard pneumatic signal of 0.2 to 1 bar (3 to 15 psi). The pneumatic signal can be employed in pneumatic measuring instruments, controllers and final actuators in the heavy industries.

1. บทนำ

ในบทความจะเป็นการสร้างเครื่องควบคุมความดันด้วยกระแสไฟฟ้า วิเคราะห์เปรียบเทียบผลทางปฏิบัติและทางทฤษฎีของสมรรถนะการใช้งาน เครื่องควบคุมความดันด้วยกระแสไฟฟ้านี้ ประกอบด้วยกลไกการวัด และส่วนล่างของตัวเครื่อง ซึ่งกลไกการวัดนั้น จะถูกสร้างแยกออกมาต่างหาก และสามารถถอดออกได้ โดยที่จะต้องถอดเอาปลอกรัดท่อออกจากปากกระบอกหัวสูบ ระบบลมย้อนกลับเสียก่อน และกลไกการวัดนั้น ประกอบไปด้วย 1. แม่เหล็กไฟฟ้าถาวร 2. หลอดไฟ (braced balance) พร้อมกับระบบลูกสูบแบบขดลวดและแผ่นกระบัง 3. เป็นปรับช่วงพร้อมกับปลายกระบอกและ 4. สปริงขดเกลียวและสปริงแรงดันเพื่อปรับที่เลขศูนย์และจุดสุดท้าย ปากกระบอกจะถูกผูกติดกับเป็นปรับระดับ โดยที่ปลายกระบอกจะสามารถวางแนวขนานกับแผ่นกระบังเครื่อง I / P (Current to Pressure) มีวงจรป้องกันสวิตช์ไฟฟ้าที่จะทำการเปลี่ยนจากสูงเป็นต่ำจะอยู่ด้านข้างของหน่วยอิเล็กทรอนิกส์ สามารถใช้งานได้จากทางด้านหน้าและสวิตช์ที่ใช้เปลี่ยนขั้วอยู่ทางด้านหลังของแผงหน่วยอิเล็กทรอนิกส์เพื่อปรับคอยล์ของวงจรโดยตรง และเปลี่ยนกระแสไฟฟ้าของคอยล์ ส่วนล่างของตัวเครื่องมีขดลวดไฟฟ้า ซึ่งตั้งอยู่ช่องว่าง

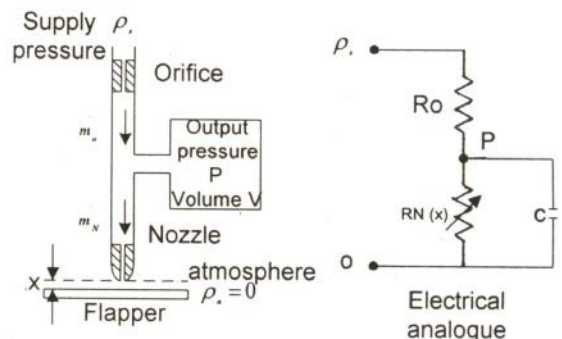
อากาศที่เข้าไป Restrictor, Flow Rectifier กับตัวส่งสัญญาณออกท่อว่างลวดไฟฟ้า ที่อากาศกลับที่อยู่ด้านหลัง จะถูกผนึกด้วยแผ่นเพลท ฉากหยาบที่ติดตั้งในอากาศติดต่อกัน NTP1/4 นิ้วถูกออกแบบเพื่อให้สามารถจับของสกปรก ชนิดหยาบ ๆ ได้ อากาศที่ถูกปล่อยออกมา สามารถทะลุผ่านรูทางออกที่ติดอยู่กับตอนปลายด้านนอกเพื่อเป็นตัวนำสายดิน (Earthed conductor) และตัวยึดให้เครื่องติดกับสึมนีบที่อยู่ด้านหลัง ถ้าติดกับกำแพงตัวหนีบจะไม่จำเป็นต้องใช้ ดังแสดงในหลักการทำงานของเครื่องหัวข้อที่ 3

2. ทฤษฎีและหลักการ

เครื่องควบคุมความดันด้วยกระแสไฟฟ้า เป็นระบบการวัดความดันของระบบลม (Pneumatic) ด้วยสัญญาณกระแสไฟฟ้าขนาด 4-20 mA มาตรฐานอัตราสัญญาณเอาต์พุต เป็น 0.2 ถึง 1.0 bar (1 bar เท่ากับ 10^5 Pa) เครื่องควบคุม I/P จะประกอบด้วยหัวฉีด หลักการของ Relay amplifier และเครื่องส่งแรงบิดสมดุล (Torque -balance transmitters) ดังนี้

2.1 หัวฉีด (Nozzle)

การวางรูปแบบเซ็นเซอร์หัวฉีด เป็นพื้นฐานของเครื่องควบคุม Pneumatic ทั้งหมด ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 หลักการของหัวฉีด

ซึ่งจะประกอบด้วย Restrictor ในการอนุกรมกันจะแปรเปลี่ยน Restrictor หัวฉีด การเปลี่ยนแปลงเป็นการแบ่งแยก ระยะ x ของหัวฉีด ซึ่งจะเปลี่ยนแปลงความดันเข้าที่พุท P ต่อการเพิ่มขึ้นในระยะของ x ทำให้เกิดการบั่นทอนในความดันทานและเกิดความดัน ปริมาตร V แสดงความจุของการต่อส่งเซ็นเซอร์ถึงเครื่องขับออก วงจรสมมูลไฟฟ้า (รูปที่ 1) เป็น Potentiometer จะประกอบด้วยความดันทานที่อยู่คงที่อนุกรมกับความดันทานที่เปลี่ยนแปลงและโหลดตัวเก็บประจุจะต่อคร่อมกับความดันทานที่เปลี่ยนแปลง

จากรูปที่ 1 สามารถให้สมการแสดงคุณสมบัติค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ดังนี้

$$\dot{m} = \dot{m}_o - \dot{m}_N \quad (1)$$

$$\dot{m} = \frac{wV}{1,000R\theta} \frac{dp}{dt} \quad (2)$$

$$\dot{m}_o = C_D \frac{\pi}{4} d_o^2 \sqrt{2\rho(P_s - P)} \quad (3)$$

$$\dot{m}_N = C_D \pi d_N x \sqrt{2\rho(P - P_a)} \quad (4)$$

พารามิเตอร์จะประกอบด้วย

น้ำหนักโมเลกุลของอากาศ $W = 29$

ปริมาตร $V = 3.2 \times 10^{-3} \text{ m}^3$ (100 m ของ $\frac{1}{4}$ นิ้ว (6.4mm) O.D. tubing)

ค่าคงที่ของแก๊สอุดมคติ $R = 8.314 \text{ JK}^{-1} \text{ mol}^{-1}$

อุณหภูมิรอบล้อมสัมบูรณ์ $\theta = 293 \text{ K}$

สัมประสิทธิ์ของการไหล $C_D = 0.6$

ความหนาแน่นของอากาศ $\rho = 1.0 \text{ kg/m}^3$

เส้นผ่าศูนย์กลางของ orifice $d_o = 2 \times 10^{-4} \text{ m}$

เส้นผ่าศูนย์กลางของ nozzle $d_N = 8 \times 10^{-4} \text{ m}$

แหล่งจ่ายความดัน $P_s = 1.4 \times 10^5 \text{ Pa}$ (14 kg)

ความดันบรรยากาศ $P_a = 0$ (เกจ)

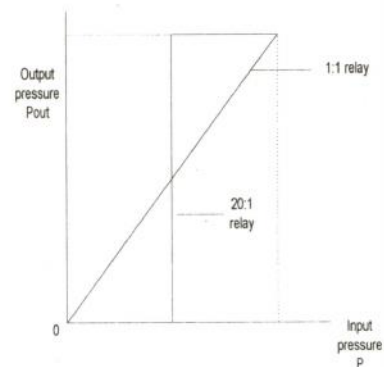
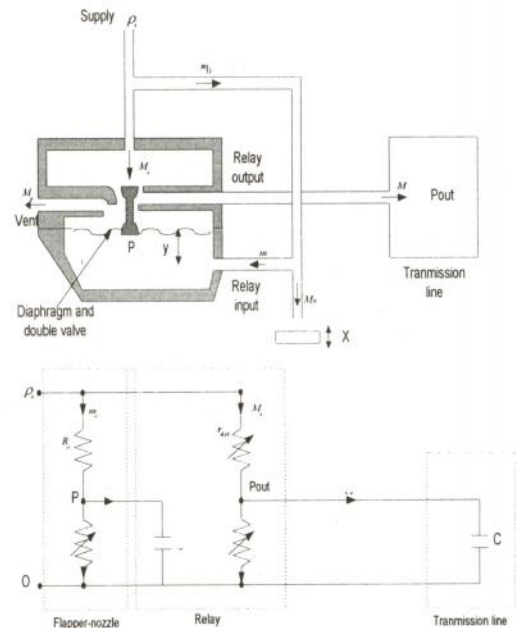
ในลำดับอุปกรณ์ Transfer Function จะพบความแตกต่างสำหรับฟังก์ชันลูกสูบจะอธิบายจากสมการที่ (1) ถึง (4) ดังนี้

$$C \frac{dp}{dt} = C_D \frac{\pi}{4} d_o^2 \sqrt{2\rho} \sqrt{(P_s - P)} - C_D \pi d_N x \sqrt{2\rho} \sqrt{P} \quad (5)$$

เมื่อ $C = (wV/1000R\theta)$ สมการที่ (5) ไม่เป็นเชิงเส้นเพราะตัวแปรต่างๆในสมการมีการเบี่ยงเบนออกจากค่าในสภาวะคงตัว

2.2 หลักการของอุปกรณ์ขยาย (Relay amplifier)

รูปที่ 2 เป็นการแสดงการต่อ Relay amplifier หัวฉีด ถึง Transmission line ความดันหลัง nozzle ลูกสูบ P คืออินพุทรีเลย์ และ Transmission line ต่อถึงรีเลย์ เอาท์พุท อากาศสามารถไหลจากแหล่งจ่ายถึง Transmission line ต่อไปทางวาล์วสองตัว ซึ่งสิ่งนี้เป็นการผ่านความดันทานต่ำซึ่งผ่านเลข orifice และขอบอัตรการไหลสูงของอากาศเข้าไปถึงในท่อ ที่นั่นเป็นการผ่านความดันทานต่ำด้วย นอกจากนั้นจะไปหา วาล์วทั้งสองและการติดต่อกับ Transmission line ถึงทางออก สิ่งนี้จะผ่านเลขลูกสูบและอัตรการไหลสูงทั้งหมดของอากาศออกจากท่อเมื่อท่อเป็นความดันต่ำ เก็บประจุในลูกสูบความดันกลับ P ทำให้เกิดจุดศูนย์กลางของไดอะแฟรมและวาล์วทั้งสองเคลื่อนที่ สิ่งนี้เกี่ยวข้องกับค่าของแหล่งจ่ายการไหล $\dot{M}_s$ และการไหลทางออก $\dot{M}_v$ ดังนั้นการเก็บประจุความดันเข้าที่พุทรีเลย์ P_{out} สำหรับตัวอย่างถ้า P เพิ่มขึ้น ไดอะแฟรมและวาล์วทั้งสองเคลื่อนที่ขึ้นสูงซึ่งนี้ลดทอน $\dot{M}_v$ แต่ $\dot{M}_s$ เพิ่มขึ้นและการไหลผลรวมสุทธิ $\dot{M}$ เข้าถึงท่อ ความดันออก P_{out} ขึ้นสูง จนกระทั่งสมดุลจนความดันตั้งขึ้นใหม่



รูปที่ 2 รีเลย์ วงจรสมมูลและกราฟคุณลักษณะสภาวะอยู่ตัว

2.3 เครื่องส่งแรงบิดสมมูล

รูปที่ 3 แสดงลูกสูบและรีเลย์รวมเข้าด้วยกันเข้าถึงพื้นฐานเครื่องส่งแรงบิดสมมูล เครื่องส่งเป็น อุปกรณ์ negative feedback และการให้สัญญาณ Pneumatic ออกในสัญญาณมาตรฐาน แปรผันตามแรงดันอินพุท จึงทำให้หมุนในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา และการลดทอนระยะลูกสูบของการแบ่งระยะ X ทำให้เกิดการเพิ่มขึ้นในแรงดัน P กลับเข้าลูกสูบและแรงดันออกกรีเลย์ P_{out} การเพิ่มขึ้นในความดันเป็นการป้อนเข้า Transmission line แต่ลูกสูบป้อนกลับเข้าด้วย การทำให้เกิดแรงเพิ่มขึ้นในแรงป้อนกลับ $A_B P_{out}$ เป็นการให้การเพิ่มขึ้นของโมเมนต์ตามเข็มนาฬิกาต่อการเพิ่มขึ้นของโมเมนต์ทวนเข็มนาฬิกาของแรง F ทั้งคู่ คานจะหมุนรอบและความดันออกจะเก็บประจุจนกระทั่งตามเข็มนาฬิกาและทวนเข็มนาฬิกาเท่ากันอีกครั้งหนึ่งลูกสูบและรีเลย์หมุนเวียนน้อยลงของคานทั้งคู่จนถึงไม่สมดุลย์บ้างของแรงบิดจากรูปจะได้

$$\text{โมเมนต์ทวนเข็มนาฬิกา } T_{ACM} = Fb + F_o a$$

$$\text{โมเมนต์ตามเข็มนาฬิกา } T_{CM} = P_{out} A_B a$$

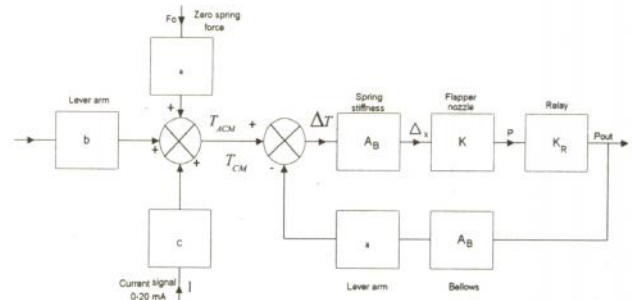
แรงบิดสมมูล จะได้

$$P_{out} A_B a = Fb + F_o a \quad (6)$$

รูปแบบตัวอย่างของเครื่องส่งแรงบิดพื้นฐานจะได้

$$Pout = \frac{b}{aA_B} F + \frac{F_o}{A_B} \quad (7)$$

ดังนั้นความดันออกเป็นการได้สัดส่วนกันถึงแรงเข้าสอดคล้องถึงทฤษฎีเป็นตัวอย่างสิ่งนี้ ความไวของเครื่องส่งเป็น $b / (aA_B)$ ตัวอย่างความไวเป็นผลมาแต่บนอัตราส่วนคานวัดกระเดื่อง $b, b/a$ พื้นที่สูบลมที่ป้อนกลับ A_B ดังนั้นความไวไม่ขึ้นอยู่กับลูกสูบและคุณลักษณะรีเลย์และแหล่งจ่ายความดัน เครื่องส่งโดย $b, b/a = 1, A_B = 5 \times 10^{-4} \text{ m}^2$ (ลูกสูบเข้ากลมประมาณเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 นิ้ว) และ จะให้แรง 1 bar สำหรับแรงเข้า 0 และ 40 N การปรับตำแหน่งของอัตราส่วน การเปลี่ยนแกน b/a และความไวของเครื่องส่ง สิ่งนี้แสดงว่าที่นั่นมันคือ อาจจะเป็นไปได้ถึงการปรับอัตราแท่งของเครื่องส่งระยะเวลาขณะหนึ่งกำลังดำเนินอัตราเข้าที่พุทของ 0.2 ถึง 1 bar ดังนั้นอัตราของเครื่องส่งสูงกว่า สามารถเป็นการประจุจาก 0 ถึง 40 N โดยการเพิ่ม อัตราส่วน b/a จาก 1 ถึง 10



รูปที่ 3 บล็อกไดอะแกรมของเครื่องส่งแรงบิดสมมูลพื้นฐาน

จากรูปที่ 3 แสดงบล็อกไดอะแกรมของระบบ ซึ่งจะเป็นความแตกต่างของ ΔT ระหว่างตามเข็มนาฬิกา และโมเมนต์ทวนเข็มนาฬิกา K_B เป็นความหนาแน่น ของแผ่นคานกระโดด ตัวอย่างการเก็บประจุในลูกสูบแบ่งระยะ x สำหรับหน่วยประจุในแรงบิด K เป็นความไวของลูกสูบที่เงื่อนไขการทำงาน การได้เปรียบและ K_R เป็นความไวกรีเลย์ จากสมการ 3 จะได้

$$T_{ACM} = bF + aF_o$$

$$T_{CM} = aA_B Pout$$

$$\Delta T = T_{ACM} - T_{CM}$$

$$Pout = K_B K K_R \Delta T \quad (8)$$

รูปแบบแน่นอนสำหรับเครื่องส่งแรงบิดสมมูล

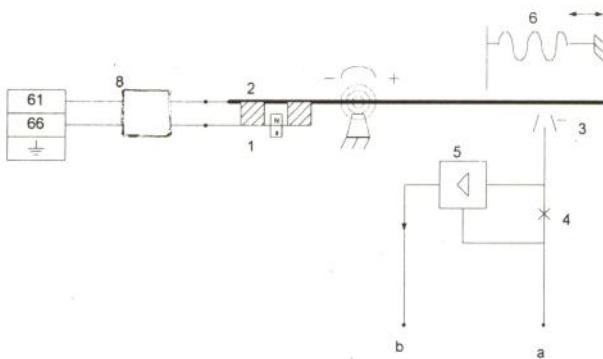
$$Pout = \frac{K_B K K_R}{1 + K_B K K_R a A_B} (bF + aF_o) \quad (9)$$

จากสมการ (9) จะเป็นรูปแบบแน่นอนของความดันเข้าที่พุทบนความไวลูกสูบ K และเพราะฉะนั้นบนแหล่งจ่ายความดัน P_s ค่าคือ $K_B = 6 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{N}$, $K A_B = 5 \times 10^{-9} \text{ Pam}^{-1}$, $K_R = 20$, $a = b = 5 \times 10^{-2} \text{ m}$, $A_B = 5 \times 10^{-4} \text{ m}^2$, $F_o = 10 \text{ N}$ ตัวอย่าง $K_B K K_R a A_B = 150$ ในเมื่อ $K_B K K_R a A_B$ เป็นการเปรียบเทียบกับ 1 ทำให้เกิดผลของแหล่งจ่ายความดันแตกต่างกันน้อย ต่อตามแบบอย่างการเพิ่มขึ้นในแหล่งจ่ายความดันของ 10^4 Pa (1.5 psi) ทำให้เกิดการเพิ่มขึ้นในความดันเอาท์พุท 0.2 เปอร์เซนต์เท่านั้น

3. หลักการทำงานของเครื่อง

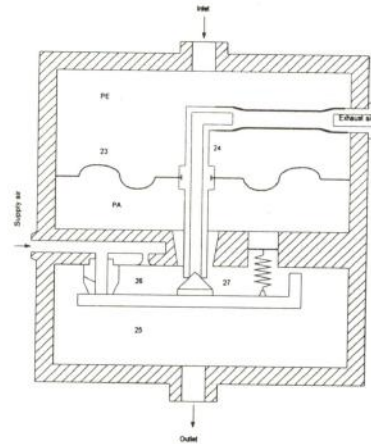
เครื่องควบคุม I/P นี้ จะประกอบด้วย (1) ระบบลูกสูบแบบ ขด (2) ระบบคานสมดุล (balanced – beam) (3) หัวฉีด (Nozzle) (4) Restrictor (5) Flow amplifier (6) สปริงปรับที่ “ 0 ” อย่างหยาบ (7) สปริงปรับที่ “ 0 ” อย่างละเอียด (8) วงจรเพื่อความปลอดภัยสำหรับการ จู่ระเบิด (explosion proof) อุปกรณ์การทำงานต่าง ๆ จะทำงานคล้ายกับ การทำงานของลูกสูบเพลาชนิดที่ทำงานสมดุลกันด้วย balanced-beam ถ่วงกับระบบลูกสูบย้อนกลับความดันที่เกิดจากระบบย้อนกลับของลูกสูบ จะผ่านไปที่ amplifier ให้ออกมาเป็นความจุอากาศขนาดสูง

จากผลการทดลองรูปที่ 6 และรูปที่ 7 เมื่อ Curve ตกลงมาให้ ทำการปรับใหม่ ที่สปริงหมายเลข 6 (ตามรูปที่ 4) และปรับสวิตช์เพื่อ กลับทางของ electrical connections สำหรับที่ใช้แรงระเบิด (explosion - proof) สปริงหมายเลข 6 ใช้เพื่อปรับให้อยู่ที่ศูนย์แบบหยาบๆ เมื่อต้องการ ปรับแบบละเอียดให้ใช้หมายเลข 7 ส่วนช่วงของตัวเลขใช้ลูกสูบหมายเลข 3



รูปที่ 4 หลักการทำงานของเครื่อง I / P

Flow amplifier จะแสดงแบบแผนการทำงานแสดงไว้ในรูปที่ 5 Flow amplifier สามารถปรับแรงดันปากกระบอก (Pe) เข้าไปที่แรงดันเข้าที่พุท (Pa) ในอัตราส่วน 1 : 1 แรงดันปากกระบอก Pe ผ่านเข้าไปในช่อง (22) ซึ่งผนึกไว้ด้วยแผ่นกั้นไดอะแฟรม (23) ตรงส่วนกลาง ที่คงที่เหมาะสมพอดีสำหรับแผ่นไดอะแฟรมนี้คือ ส่วนของท่อ (24) ซึ่งเมื่อ $P_e > P_a$ ก็จะเกิดการยกขึ้นของแผ่นปิดปากกาวล์ (25) เปิดทางช่องปากกระบอก (26) ทำให้อากาศสามารถไหลเข้าไปได้จนกระทั่ง $P_e = P_a$ ในทางตรงกันข้ามถ้า $P_e < P_a$ ส่วนของท่อ (24) จะถูกยกขึ้นเปิดกรวย (27) ของแผ่นปิดปากกาวล์ ทำให้อากาศไหลออกสู่ภายนอกจนกระทั่ง $P_e = P_a$ อย่างเช่นที่ เมื่อแรงดันที่ไม่เท่ากัน จะถูกปรับให้อีกครั้งหนึ่ง



รูปที่ 5 ไดอะแกรมของ Flow amplifier

จากรูปที่ 5 ส่วนประกอบของไดอะแกรมของ Flow amplifier ประกอบด้วย

- (22) ช่องว่าง (Chamber)
- (23) แผ่นไดอะแฟรม (Diaphragm)
- (24) ส่วนที่เป็นท่อ (Pipe section)
- (25) แผ่นปิดปากกาวล์ (Baffle plate)
- (26) ทางเข้าปากกาวล์ (Inlet nozzle)
- (27) กรวย Pe ความดันปากกาวล์ (ความดันเข้า) และ Pa ความดันออก

4. ผลการทดสอบ

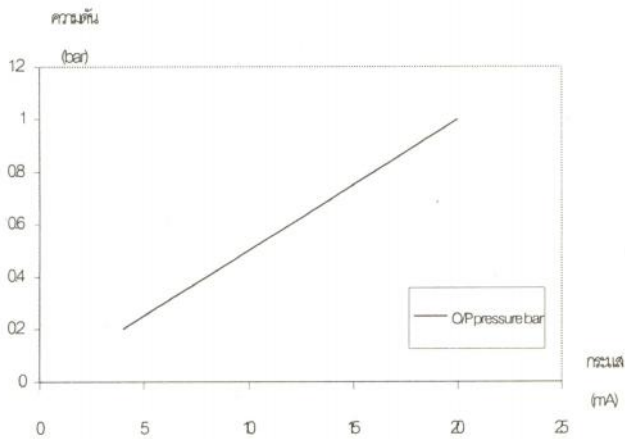
4.1 ผลที่ได้จากการบันทึกทดสอบเมื่อป้อนกระแสจาก

0 ถึง 20 mA

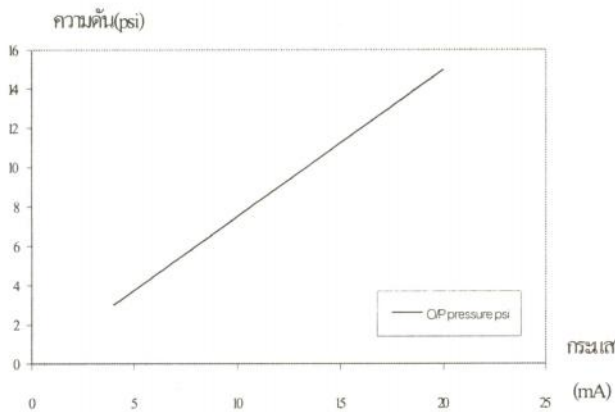
ตารางที่ 1 ตารางบันทึกผล o/p pressure

I / P Current (mA)	O/P pressure	
	bar	psi
4	0.2	3
5.6	0.28	4.2
7.2	0.36	5.4
8.8	0.44	6.6
10.4	0.52	7.8
12.0	0.60	9.0
13.6	0.68	10.2
15.2	0.76	11.4
16.8	0.84	12.6
18.4	0.92	13.8
20	1.00	15

4.2 กราฟที่ได้จากการบันทึกข้อมูล



รูปที่ 6 เปรียบเทียบกระแสและความดัน bar



รูปที่ 7 เปรียบเทียบกระแสและความดัน psi

5. สรุปผลการทดลอง

จากผลที่ได้จากการทดสอบเครื่องควบคุมความดันด้วยกระแสไฟฟ้า จะเห็นได้ว่าผลการตอบสนองของ เอ้าท์พุท ที่ออกมาเมื่อเทียบกับ อินพุท 4-20 mA. จะให้ผลการทดลองเป็นเส้นตรง ซึ่งเป็นไปตามหลักการทั้งหมด แต่ในช่วงอินพุท 0-4 mA. จะไม่มีผลการตอบสนองของเอ้าท์พุท เนื่องจากอยู่ในช่วงของการสมดุลระหว่าง ทั้ง 3 อินพุท (level arms , Zero Spring , Current Signal.) และเพื่อป้องกันการเกิดปัญหาสัญญาณรบกวนจากสนามไฟฟ้าจากภายนอก

เครื่องควบคุมความดันด้วยกระแสไฟฟ้านี้ ยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานกับงานทั่วไป แต่ที่เหมาะสมที่สุด คือ นำไปควบคุมการทำงานของเครื่องโมหิน เครื่องบดอาหาร หรือในงานอุตสาหกรรมหนัก

6. กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบพระคุณต่อบุคคลท่านต่อไปนี้ คุณรัชพล จันทธำรงวัฒน์ นักศึกษาปริญญาโท สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้คำแนะนำและคำปรึกษา จนทำให้งานสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

- [1] John P.Bentley " Principles of measurement systems"2nd edition , pp. 330-344 , 1979.
- [2] Rohmann C.P. and Grogan E.C. " On the dynamics of pneumatic transmission line " , Transactions of the A.S.M.E. Cleveland , Ohio , 1956 , p.866
- [3] Schinsky F.C. " Process Control Systems " 2nd edition , pp. 38-9 Mc Graw - Hill , New York , 1979
- [4.] Van Aavgen "Machinefabrick , Netherlands "., 1986.