การจำลองสมการคณิตศาสตร์ของกระบอกสูบลมแบบ 2 ทิศทาง

A Simulation Mathematical Model of Double Acting Pneumatic Cylinder

สุพิพัฒน์ พานิชธนาคม วศ.ม. (Supipat Panichtanakom, M.Eng.)[1]

บทคัดย่อ

บทความวิชาการนี้นำเสนอการศึกษาการจำลองสมการคณิตศาสตร์ของกระบอกสูบแบบ 2 ทิศทาง โดยได้ทำการศึกษาและเปรียบเทียบจากบทความวิจัยที่ผ่านมา ซึ่งแต่ละบทความจะใช้จำนวนตัวแปรที่ไม่เหมือนกัน ขึ้นอยู่กับการนำสมการคณิตศาสตร์ไปใช้งานในการควบคุมตัวแปรอะไร เช่น การควบคุมตำแหน่งการเคลื่อนที่ การควบคุมกำลังกดจากกระบอกสูบลม หรือการควบคุมความเร็วในการเคลื่อนของลูกสูบ ซึ่งตัวแปรสำคัญของการควบคุมจะมีจำนวนไม่เท่ากันและความต้องการความแม่นยำของการควบคุมก็เป็นอีกปัจจัยหนึ่ง ในการกำหนดจำนวนตัวแปร จากการศึกษาพบว่าสมการคณิตศาสตร์โดยหลักของกระบอกสูบลมแบบ 2 ทิศทางจะมีจำนวนตัวแปรที่เหมือนกันโดยจะประกอบด้วย ส่วนที่ 1 คือสมการแสดงอัตราการไหลเข้าและออกของลม ประกอบด้วยตัวแปรหลักคือ พื้นที่หน้าตัดของรูลม (A) และแรงดันลม (P) ส่วนที่เหลือก็เป็นค่าคงที่ของก๊าซ ส่วนที่ 2 คือสมการสะสมพลังงานในห้องลม จะประกอบด้วยปริมาตรห้องลม (V) และอัตราการไหลของลม (G) ซึ่งกระบอกสูบลมแบบ 2 ทิศทางจะประกอบด้วย 2 ห้องลม ดังนั้นสมการห้องลมทั้ง 2 จะถูกเชื่อมต่อด้วยสมการส่วนที่ 3 คือสมการการเคลื่อนที่ของลูกสูบโดยผลต่างของการสะสมพลังงานจะก่อให้เกิดแรงและการเคลื่อนที่ของกระบอกสูบลม

คำสำคัญ : สมการคณิตศาสตร์ กระบอกสูบลมแบบ 2 ทิศทาง

Abstract

This article presents a study of mathematical models of double acting pneumatic cylinders by the study and comparison research of the past. Every single article has different variables , it based on the conduction of mathematical equation used in controlling certain type of variables, such as positioning movement control, cylinder pressing control or piston speed control. The important variables in controlling are not equal and the precision of control is another factor in determining the number of variables. The study found that the mathematical principle of double acting pneumatic cylinder has equal number of variables that contain of three sections, first is the rate of air flow in and out which consists of sectional area of the air (A) and pressure (P), the rest of the gas is constant. Second is the equation collected of energy in the air chamber that contains volume embraced of air chamber (V) and the flow rate of air (G). Double acting pneumatic cylinder consists of 2 air chambers so that, the two air chambers are connected by the equation of section 3 which is the equation of piston motion with the difference of the energy collection that causes cylinder's air force and motion.

Keywords : Mathematical Model, Double Acting Pnuematic Cylinder

[1] อาจารย์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์

บทนำ

ปัจจุบันระบบนิวเมติกส์ได้ถูกนำมาใช้อย่างกว้างขวางในเรื่องของการช่วยอำนวยความสะดวก ช่วยทุ่นแรง รวมถึงเทคโนโลยีทางด้านหุ่นยนต์ ด้วยคุณสมบัติของระบบนิวเมติกส์ที่มีความเร็ว น้ำหนักเบา เป็นระบบที่สะอาด บำรุงดูแลรักษาง่าย และราคาไม่สูงมาก จึงเป็นที่สนใจของนักวิจัยหลายๆท่าน ดังจะได้เห็นจากบทความต่างประเทศหลายๆ บทความได้ศึกษาและทำการวิจัยเกี่ยวกับระบบนิวเมติกส์ในหลายๆรูปแบบการใช้งาน เช่น การควบคุมการเคลื่อนที่ การควบคุมความดันอากาศ แต่ด้วยข้อจำกัดและความซับซ้อนของตัวแปรในระบบนิวเมติกส์ จึงทำให้เกิดความยากลำบากในการควบคุมการทำงานของระบบนิวเมติกส์ให้มีความแม่นยำ

การทำวิจัยในระบบนิวเมติกส์มักจะใช้วิธีการจำลองการทำงานลงโปรแกรมคอมพิวเตอร์ก่อน เพื่อที่ใช้ในการพิจารณาค่าตัวแปรต่างๆและสามารถพยากรณ์ปรากฏการณ์ที่จะเกิดขึ้นได้ อีกทั้งยังสามารถประหยัดเวลาและป้องกันความเสียหายกับตัวอุปกรณ์และบุคคลได้ อุปกรณ์นิวเมติกส์โดยหลักประกอบด้วย แหล่งกำเนิดลม วาวล์บังคับทิศทาง ชุดขับเคลื่อนและอุปกรณ์เสริมอื่นๆ การวิจัยการทำงานของอุปกรณ์ในระบบนิวเมติกส์มักจะเน้นการทำงานของตัวขับเคลื่อนอันได้แก่ กระบอกสูบลม มอเตอร์ลม ซึ่งการจำลองตัวขับเคลื่อนนิวเมติกส์จะต้องกำหนดสมการตัวแทนทางคณิตศาสตร์ของอุปกรณ์ก่อนแล้วจึงนำไปแปลงลงในโปรแกรมการจำลองซึ่งจะมีค่าตัวแปรทางคณิตศาสตร์ของตัวขับเคลื่อนอุปกรณ์นิวเมติกส์มาก มีบทความวิจัยต่างประเทศหลายๆ ฉบับเกี่ยวกับการควบคุมระบบนิวเมติกส์ ได้กล่าวถึงการจำลองการทำงานของระบบนิวเมติกส์โดยใช้สมการทางคณิตศาสตร์ เช่น การควบคุมการเคลื่อนที่ของกระบอกสูบลม 2 ทิศทางก็จะต้องจำลองสมการคณิตศาสตร์ของกระบอกสูบลม 2 ทิศทาง ซึ่งถ้าลองพิจารณาเปรียบเทียบงานวิจัยในแต่ละเรื่องที่มีการควบคุมการเคลื่อนที่ของกระบอกสูบลมด้วยวิธีการต่างๆ ผู้วิจัยจะใช้สมการคณิตศาสตร์ของกระบอกสูบลม 2 ทิศทางที่ไม่เหมือนกัน หรือการควบคุมความดันอากาศในกระบอกสูบลม 2 ทิศทางก็เช่นกัน

ประเด็นอาจจะเกิดจากความถนัดในการใช้โปรแกรมการจำลองของผู้วิจัยแต่ละท่านไม่เหมือนกัน ดังนั้นก็อาจจะมีความแตกต่างกันในเรื่องของตัวสมการคณิตศาสตร์ หรือตัวแปรบางตัวที่ไม่มีอิทธิพลกับการควบคุมระบบนิวเมติกส์โดยตรงหรือมีอิทธิพลน้อยผู้วิจัยมักจะตัดทิ้งไปเหลือไว้เพียงตัวแปรที่สนใจเท่านั้น ผู้เขียนมีความต้องการนำเสนอการพิจารณาสมการคณิตศาสตร์ของกระบอกสูบลมแบบ 2 ทิศทางและนำไปสู่การแปลงสมการคณิตศาสตร์ของกระบอกสูบ 2 ทิศทางลงบนโปรแกรม Matlab Simulink เพื่อผู้ที่สนใจสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการวิจัยเกี่ยวกับการควบคุมการทำงานของกระบอกสูบ 2 ทิศทางได้ง่ายและถูกต้อง

การจำลองสมการคณิตศาสตร์ของกระบอกสูบลมแบบ 2 ทิศทาง

1. สมการคณิตศาสตร์กระบอกสูบลมแบบ 2 ทิศทาง

กระบอกสูบลมแบบ 2 ทิศทางประกอบด้วยห้องลม 2 ห้อง คือห้องลม 1 และห้องลม 2 ซึ่งกั้นด้วยลูกสูบที่มีพื้นที่หน้าตัดด้านห้องลม 1 เป็น A1 และพื้นที่หน้าตัดด้านห้องลม 2 เป็น A2 โดยลูกสูบด้านห้องลม 2 จะต่อเชื่อมกับแกนซึ่งใช้ในการขับเคลื่อนอุปกรณ์ ระหว่างห้องลม 1 และห้องลม 2 จะมีรูสำหรับให้ลมไหลเข้าและไหลออกได้เพื่อเป็นการสร้างแรงให้ลูกสูบเคลื่อนที่ไปในระยะต่างๆที่ต้องการโดยจะประกอบด้วยสมการทางคณิตศาสตร์ 3 ส่วน คือ 1) สมการแสดงอัตราการไหลเข้าและออกของลม 2) สมการสะสมและคายพลังงานในห้องลม 3) สมการการเคลื่อนที่หรือส่วนที่สร้างแรง

1.1 สมการแสดงอัตราการไหลเข้าและออกของลมของกระบอกสูบลมแบบ 2 ทิศทาง

สมการแสดงอัตราการไหลเข้าและออกของลมของกระบอกสูบลมแบบ 2 ทิศทาง Igor & German (2006) สมการแรกจะแสดงอัตราการไหลเข้าของลม

$$G_i^+ = A_{vi}^+ . P_S . \sqrt{\frac{2.k}{R.T.(k-1)}} . \varphi(\sigma) \quad (1)$$

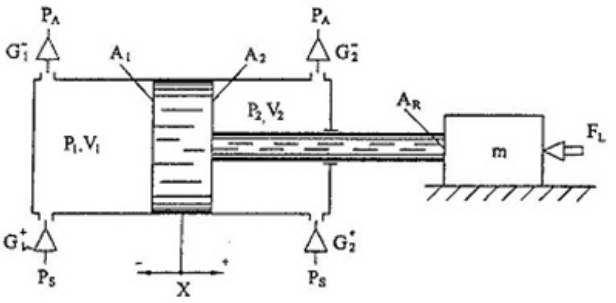
และ สมการส่วนของแสดงอัตราการไหลของลมออก

$$G_i^- = A_{vi}^- . P_i . \sqrt{\frac{2.k}{R.T_S.(k-1)}} . \varphi\left(\frac{\sigma_A}{\sigma_1}\right) \quad (2)$$

โดย

$$\sigma = \frac{P_i}{P_S} \quad \text{และ} \quad \sigma_A = \frac{P_A}{P_S}$$

เมื่อ P_S คือความดันของแหล่งกำเนิดและ P_A คือ ความดันบรรยากาศ



รูปที่ 1 แผนผังกลไกของกระบอกสูบลม 2 ทิศทางแบบมาตรฐาน

และสำหรับ Qian, Ruan & Li (2006) สมการแสดงอัตราการไหลเข้าและออกของลมสำหรับห้องลม A หรือห้องลมที่ 1

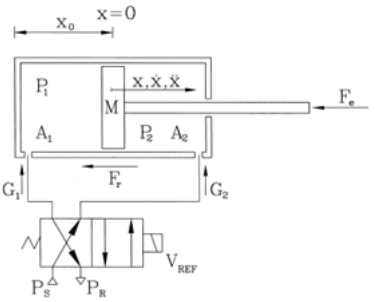
$$Q_{mA} = \begin{cases} \frac{C_c A_1 p}{\sqrt{RT_1}} \sqrt{\frac{2k}{k-1}\left[\left(\frac{p_A}{p}\right)^{\frac{2}{k}} - \left(\frac{p_A}{p}\right)^{\frac{1+k}{k}}\right]} & \left(0.528 \le \frac{p_A}{p} \le 1\right) \\ \frac{C_c A_1 p}{\sqrt{RT_1}} \sqrt{\frac{2k}{k+1}}\left(\frac{2}{k+1}\right)^{\frac{1}{k+1}} & \left(0 \le \frac{p_A}{p} \le 0.528\right) \end{cases} \quad (3)$$

$$Q_{mB} = \begin{cases} \frac{C_c A_2 p_B}{\sqrt{RT_2}} \sqrt{\frac{2k}{k-1}\left[\left(\frac{p_O}{p_B}\right)^{\frac{2}{k}} - \left(\frac{p_O}{p_B}\right)^{\frac{1+k}{k}}\right]} & \left(0.528 \le \frac{p_O}{p_B} \le 1\right) \\ \frac{C_c A_2 p_B}{\sqrt{RT_2}} \sqrt{\frac{2k}{k+1}}\left(\frac{2}{k+1}\right)^{\frac{1}{k+1}} & \left(0 \le \frac{p_O}{p_B} \le 0.528\right) \end{cases} \quad (4)$$

Sorli, Gastaldi,Codina & De las Heras (1999) กล่าวถึงสมการแสดงอัตราการไหลเข้าและออกของ

$$G = \rho_{ANR} P_u C \sqrt{\frac{T_{ANR}}{T_S}} \left(\frac{P_d}{P_u} \le b\right) \quad (5)$$

$$G = \rho_{ANR} P_u C \sqrt{\frac{T_{ANR}}{T_S}} \sqrt{1 - \left(\frac{P_d/P_u - b}{1-b}\right)^2} \left(\frac{P_d}{P_u} > b\right) \quad (6)$$



รูปที่ 2 กระบอกสูบลมแบบ 2 ทิศทาง

Kazerooni (2004) กล่าวถึงสมการแสดงอัตราการไหลเข้าและออกของลม

$$\dot{m}_1 = \gamma_1 . \sqrt{\frac{k}{RT_o}} . P_o . A_T$$

$$\text{if } P_1 > 0.53P_o (under - choked), then$$

$$\gamma_1 = \sqrt{\frac{2}{k-1}} . \left(\frac{P_1}{P_o}\right)^{\frac{k+1}{2k}} \left(\left(\frac{P_1}{P_o}\right)^{\frac{1-k}{k}} - 1 \right)^{\frac{1}{2}}$$

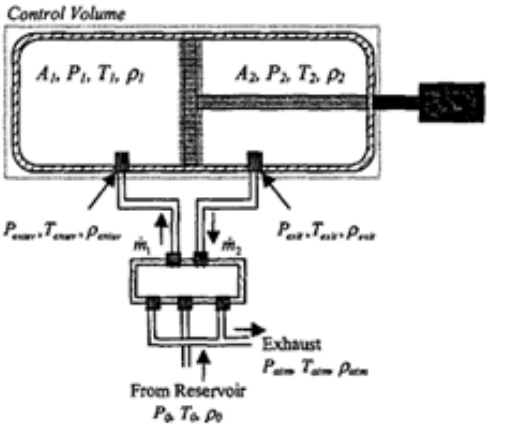
$$\text{if } P_1 \leq 0.53P_a (choked), then\ \gamma_1 = 0.58 \qquad (7)$$

$$\dot{m}_2 = \gamma_2 . \sqrt{\frac{k}{RT_2}} . P_2 . A_T$$

$$\text{if } P_{atm} > 0.53P_2 (under - choked), then$$

$$\gamma_2 = \sqrt{\frac{2}{k-1}} . \left(\frac{P_{atm}}{P_2}\right)^{\frac{k+1}{2k}} \left(\left(\frac{P_{atm}}{P_2}\right)^{\frac{1-k}{k}} - 1 \right)^{\frac{1}{2}}$$

$$\text{if } P_{atm} \leq 0.53P_2 (choked), then\ \gamma_2 = 0.58 \qquad (8)$$



รูปที่ 3 กระบอกสูบลมแบบ 2 ทิศทาง

Tressler, Clement, Kazerooni & Lim (2002) กล่าวถึงสมการแสดงอัตราการไหลเข้าและออกของลม เหมือนกับ Kazerooni (2004) ส่วน Wang, Wang, Moore & Pu (2001) กล่าวถึงสมการแสดงอัตราการไหลเข้าและออกของลม

$$m_a = q_a(x_a, P_a) \tag{9}$$

$$m_b = q_b(x_b, P_b) \tag{10}$$

$$m = C_d C_o w X P_u \tilde{f}(P_r)/T_u^{\frac{1}{2}} \tag{11}$$

$$\tilde{f}(P_r) = \begin{cases} 1 & \frac{P_{atm}}{P_u} < p_r \leq C_r \\ C_k\left[p_r^{2/k} - p_r^{(k+1)/k}\right]^{\frac{1}{2}} & C_r < P_r < 1 \end{cases} \tag{12}$$

1.2 สมการสะสมและคายพลังงานในห้องลม

สมการที่กล่าวถึงความสัมพันธ์ของตัวแปรที่สะสมความดันอากาศไว้ในห้องลมของกระบอกสูบลมแบบ 2 ทิศทางทั้งสองด้านโดย Igor & German (2006)ได้กล่าวไว้ว่า

$$\dot{P}_1 = \frac{1}{V_{01} + A_1.(0.5.L_s + x)}.(G_1^+.R.T_s - G_1^-.R.T_s - P_1.A_1.\dot{x}) \tag{13}$$

$$\dot{P}_2 = \frac{1}{V_{02} + A_2.(0.5.L_s - x)}.(G_2^+.R.T_s - G_2^-.R.T_s - P_2.A_2.\dot{x}) \tag{14}$$

ดังแสดงไว้ในรูปที่ 1 และQian, Ruan & Li (2006)ได้กล่าวถึงสมการสะสมและคายพลังงานไว้ว่า

$$Q_{mA} = \rho_A A_{p1} \frac{dx_p}{dt} + \frac{\rho_A V_A}{E_a} \frac{dP_A}{dt} \tag{15}$$

$$Q_{mB} = \rho_B A_{p2} \frac{dx_p}{dt} + \frac{\rho_B V_B}{E_b} \frac{dP_B}{dt} \tag{16}$$

ส่วน Sorli, Gastaldi,Codina & De las Heras (1999)ได้กล่าวถึงสมการสะสมและคายพลังงานไว้ว่า (ดังรูปที่ 2)

$$\frac{dP_j}{dt} = \frac{nRT_{ji}}{A_j(x_o \pm x + x_{mj})(P_j/P_{ji})^{1/n-1}} G_j \mp \frac{nP_j}{(x_o \pm x + x_{mj})} \frac{dx}{dt} \tag{17}$$

Kazerooni (2004) และTressler, Clement, Kazerooni & Lim (2002)ได้กล่าวถึงสมการสะสมและคายพลังงานเหมือนกันโดยดังรูปที่ 3

$$\dot{m}_1(RT_0) - \dot{m}_2(RT_2) = \left(\frac{1}{k}\right)(\dot{P}_1 A_1 - \dot{P}_2 A_2)X + \left(\frac{1}{k}\right)\dot{P}_2 A_2 L + (P_1 A_2 - P_2 A_2)\dot{X} \tag{18}$$

และ Wang, Wang, Moore & Pu (2001)

$$\dot{P}_a = -\frac{k\dot{V}_a}{V_a} P_a + \frac{k}{V_a} R T_s C_d C_o w_a X_a f(P_a, P_s, P_e) \tag{19}$$

$$\dot{P}_b = -\frac{k\dot{V}_b}{V_b} P_b + \frac{k}{V_b} R T_s C_d C_o w_a X_a f(P_b, P_s, P_e) \tag{20}$$

1.3 สมการการเคลื่อนที่หรือส่วนที่สร้างแรง

สมการส่วนสุดท้ายจะเป็นส่วนทางกลเมื่อกระบอกสูบได้รับอัตราการไหลของลมเข้าสู่ห้องลมเพื่อเก็บสะสมความดันอากาศจนทำให้เกิดแรงทำให้ลูกสูบสามารถเคลื่อนที่และส่งแรงออกมาโดย Igor & German (2006) ได้กล่าวไว้ว่า

$$m.\ddot{x} + b_v.\dot{x} + F_F + F_L = P_1.A_1 - P_2.A_2 - P_A.A_R \quad (21)$$

ดังรูปประกอบที่ 1 และ Qian, Ruan & Li (2006) ได้กล่าวถึงเรื่องเดียวกันไว้ว่า

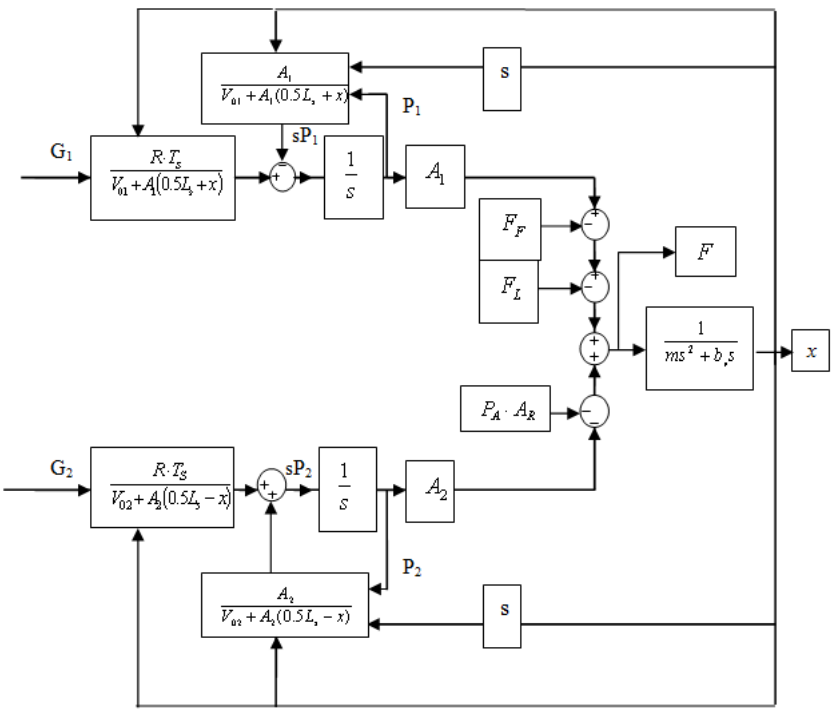
$$p_A A_{p1} - p_B A_{p2} = m\frac{d^2x_p}{dt^2} + \beta_a\frac{dx_p}{dt} + Kx_p \quad (22)$$

และ Sorli, Gastaldi,Codina & De las Heras ได้กล่าวถึงสมการทางกลของกระบอกสูบแบบ 2 ทิศทางไว้ว่า

$$(P_1 - P_A)A_1 - (P_2 - P_A)A_2 - F_e - F_r - M\ddot{x} = 0 \quad (23)$$

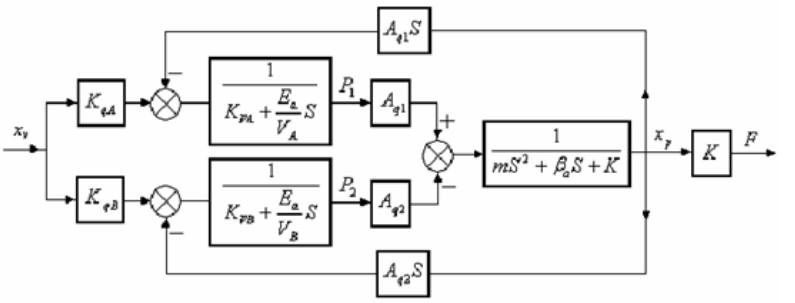
2. กล่องแสดงความสัมพันธ์ของตัวแปรกระบอกสูบลมแบบ 2 ทิศทาง

เมื่อกล่าวถึงสมการทั้งสามส่วนของกระบอกสูบลมแบบ 2 ทิศทางแล้วนักวิชาการหรือนักวิจัยมักจะนำสมการทั้งสามมาเขียนเพื่อแสดงความสัมพันธ์ของการทำงานและสามารถพยากรณ์การควบคุมค่าตัวแปรต่างๆได้โดย ผู้เขียนเขียนกล่องแสดงความสัมพันธ์ของตัวแปรโดยอ้างอิงจากสมการของ Igor & German (2006) ได้ดังรูปที่ 4



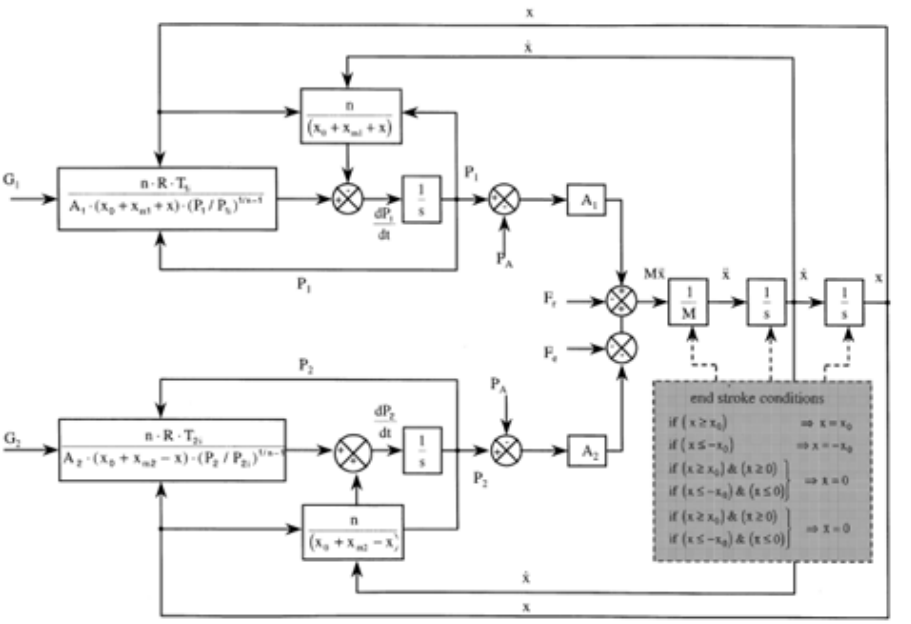
รูปที่ 4 กล่องแสดงความสัมพันธ์ของสมการทั้งสามของกระบอกสูบลมแบบ 2 ทิศทาง

และ Qian, Ruan & Li (2006) แสดงไว้ดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 กล่องแสดงความสัมพันธ์ของสมการทั้งสามของกระบอกสูบลมแบบ 2 ทิศทาง

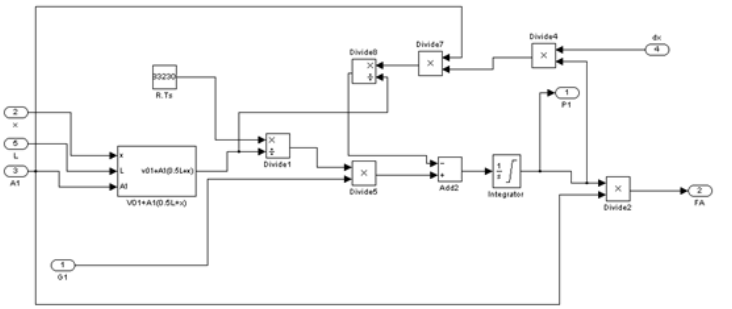
และ Sorli, Gastaldi,Codina & De las Heras (1999) ได้เขียนกล่องแสดงความสัมพันธ์ของสมการทั้งสามดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 กล่องแสดงความสัมพันธ์ของสมการทั้งสามของกระบอกสูบลมแบบ 2 ทิศทาง

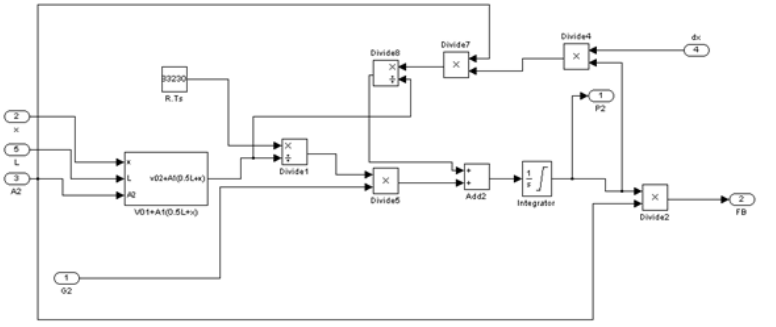
3. การจำลองสมการคณิตศาสตร์ของกระบอกสูบลมแบบ 2 ทิศทางโดยโปรแกรม Matlab Simulink

จากกล่องแสดงความสัมพันธ์ของตัวแปรได้ทดลองนำแผนผังมาจำลองลงบนโปแกรม Matlab Simulink เพื่อศึกษาถึงการทำงานที่เหมือนกับอุปกรณ์กระบอกสูบแบบ 2 ทิศทางจริง โดยได้ทำการเขียนโปรแกรมการจำลองดังรูปที่ 7 และทดลองจำลองเปรียบเทียบกับการทดลองในห้องปฏิบัติการ



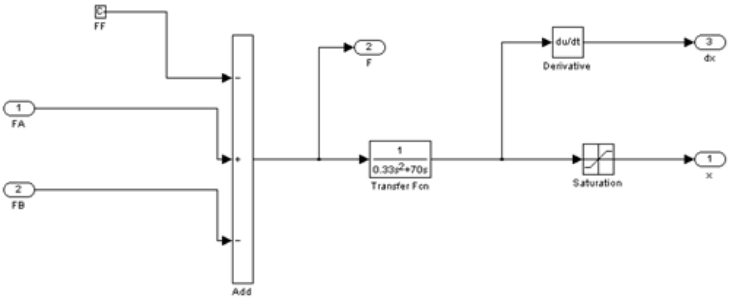
รูปที่ 7 ส่วนประกอบภายของห้องลม 1

การเขียนชุดคำสั่งของสมการคณิตศาสตร์กระบอกสูบลมสำหรับห้องลมที่ 1 โดยโปรแกรม Matlab Simulink



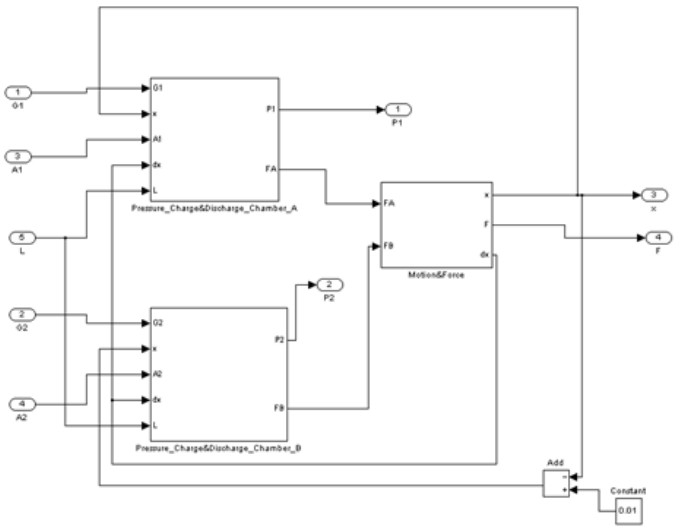
รูปที่ 8 ส่วนประกอบภายของห้องลม 2

การเขียนชุดคำสั่งของสมการคณิตศาสตร์กระบอกสูบลมสำหรับห้องลมที่ 2 โดยโปรแกรม Matlab Simulink



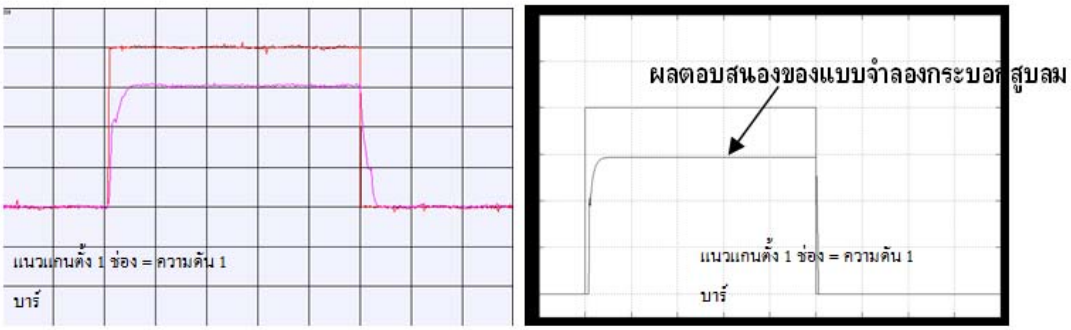
รูปที่ 9 ส่วนประกอบภายในของสมการการเคลื่อนที่ของลูกสูบ

การเขียนชุดคำสั่งของสมการการเคลื่อนที่ของลูกสูบโดยจะเชื่อมต่อกับสมการคณิตศาสตร์ของห้องลมทั้งสอง



รูปที่ 10 ส่วนประกอบภายในของกระบอกสูบลม 2 ทิศทาง

ชุดคำสั่งการเชื่อมต่อของสมการทั้งสามส่วนได้แก่ สมการคณิตศาสตร์ของห้องลม 1 และห้องลม 2 ต่อร่วมกับสมการการเคลื่อนที่ของลูกสูบ



รูปที่ 11 ผลการเปรียบเทียบการทดลองจำลองโปรแกรมกับทดสอบในห้องปฏิบัติการ

ตารางที่ 1 คำอธิบายตัวแปร

ตัวแปร	ความหมาย
G^+, G^-	ปริมาณการไหลของลมเข้าและลมออกจากกระบอกสูบ
X	ระยะที่ลูกสูบเคลื่อนออกไป
A_1, A_2	พื้นที่หน้าตัดลูกสูบด้านห้องลม 1 และห้องลม 2 ของกระบอกสูบ
V_{01}, V_{02}	ปริมาตรของช่องว่างสำหรับห้องลม 1 และห้องลม 2 ขณะยังไม่เคลื่อนที่
P_1, P_2	ค่าความดันภายในห้องลม 1 และห้องลม 2 ของกระบอกสูบ
T_1, T_2, T	อุณหภูมิของก๊าซในห้องลม1 และห้องลม 2 ของกระบอกสูบ
p_S , p_A	ค่าแรงดันจากแหล่งกำเนิดลม และค่าแรงดันบรรยากาศ
R , k ,C_C	ค่าคงที่ของก๊าซ
L_S	ความยาว ของกระบอกสูบ
m_V	สัมประสิทธิ์ของมวล
b_V	สัมประสิทธิ์ของแรงเสียดทาน
F_F ,F_L	แรงเสียดทาน และแรงต้านทานจากภาระภายนอก
ρ	ความหนาแน่นของมวลอากาศ
$\dot{m}$, m	อัตราการไหลของมวลอากาศ

สรุป

จากการที่ได้นำเสนอบทความวิจัยหลายๆบทความเกี่ยวกับสมการคณิตศาสตร์ของกระบอกสูบลมแบบ 2 ทิศทาง พบว่า สมการคณิตศาสตร์ของกระบอกสูบลมแบบ 2 ทิศทางจะประกอบด้วยสมการที่สัมพันธ์ 3 ส่วน คือ

1. สมการแสดงอัตราการไหลเข้าและออกของลม โดยมีตัวแปรหลักๆคือ พื้นที่หน้าตัดของช่องลม (A) กับความดันอากาศ(P)ส่วนค่าคงที่ก็จะเป็นค่าสัมประสิทธิ์ของก๊าซ (R) , อุณหภูมิของอากาศ (T) ภายใต้เงื่อนความดันที่แตกต่างกันระหว่างภายในกับภายนอกห้องลมซึ่งจะมีอิทธิพลความสม่ำเสมอของการไหล โดยเมื่ออัตราความแตกต่างของความดันอากาศของภายในและภายนอกมากค่าของอัตราการไหลก็จะมาก

2. สมการสะสมและคายพลังงานในห้องลม เป็นสมการที่แสดงถึงอัตราส่วนของแรงดันอากาศกับเวลาภายในห้องลมที่ 1 หรือที่ห้องลมที่ 2 โดยสมการแสดงถึงสัดส่วนของอัตราการไหลเข้า ออกของอากาศและแรงที่เกิดขึ้นภายในห้องลมส่วนด้วยปริมาตรของห้องลม สมการนี้จะสัมพันธ์กับสมการแสดงอัตราการไหลเข้าและออกของลมที่กล่าวก่อนหน้านี้

3. สมการการเคลื่อนที่หรือส่วนที่สร้างแรงเป็นส่วนสัมพันธ์กับสมการสะสมและคายพลังงานในห้องลม โดยเมื่อมีความแตกต่างกันของอัตราของความดันอากาศของการสะสมหรือคายความดันอากาศของห้องลมทั้งสองที่อยู่ติดกันคั่นกลางโดยลูกสูบที่สามารถเคลื่อนที่ได้ จะก่อให้เกิดแรงทำให้ลูกสูบเคลื่อนไปในทิศทางเดียวกันกับห้องลมที่ความดันอากาศมาก ส่วนตัวแปรที่มีอิทธิพลในสมการนี้ก็จะเป็นแรงเสียดทานภายในกระบอกสูบลม และแรงต้านการเคลื่อนที่จากด้านนอก

ระบบนิวเมติกส์เป็นระบบที่อาศัยความดันอากาศในการทำงานมีข้อดีคือเป็นระบบที่สะอาด ทำงานเร็ว โครงสร้างการทำงานของระบบไม่ซับซ้อน ข้อเสียคือเรื่องเสียง และการควบคุมการทำงานให้เกิดความแม่นยำทำได้ยากด้วยคุณสมบัติของอุปกรณ์ที่ทำงานแบบไม่เป็นเชิงเส้น อย่างไรก็ดียังมีการนำระบบนิวเมติกส์มาใช้ในสายงานการผลิตกันอย่างแพร่หลายในโรงงานอุตสาหกรรม และในอนาคตข้างหน้าผู้เขียนมีความคิดเห็นว่าระบบนิวเมติกส์จะมีการนำใช้ในอุตสาหกรรมอื่นๆมากขึ้นและรูปแบบการควบคุมระบบนิวเมติกส์จะมีหลากหลายมากขึ้น ดังนั้นการจำลองสมการคณิตศาสตร์ของอุปกรณ์นิวเมติกส์จึงมีความสำคัญในการที่จะใช้พยากรณ์หรือทดลองการทำงานของอุปกรณ์จริงเพื่อเป็นการลดเวลาและความเสียหายอันเกิดมาจากอุปกรณ์และจะถูกนำมาใช้มากขึ้น

ข้อเสนอแนะ

ปกติแล้วเรามักจะใช้กระบอกสูบลมควบคู่กับวาล์วบังคับทิศทาง ซึ่งจะใช้ค่าตัวแปรที่คล้ายกันและทำงานสัมพันธ์กัน เมื่อนำอุปกรณ์ทั้ง 2 มาจำลองร่วมกันระบบการทำงานของนิวเมติกส์จะมีความสมบูรณ์มากขึ้นและ สามารถนำไปใช้ร่วมกับการควบคุมแบบใหม่ๆตามแนวคิดที่นำเสนอในบทความวิจัยที่ผ่านมาได้

รายการอ้างอิง

Qian, N., Ruan, J. & Li, W. (2006). Study of Pneumatic Servo Loading System in Double-Side Polishing. **Journal of Physics. Internation Symposium on Instrument Science and Technology. Conference Series, 48**, 1238-1242.

Igor, L. K. & German, V. K. (2006). **Pneumatic Actuating Systems for Automatic Equipment.** Taylor & Francis Group.

Kazerooni, H. (2004). Pneumatic Force Control for Robotic Systems. Mechatronic 2004 ICM 04, **Proceeding of the IEEE Internation Conference**, 231-236.

Tressler, J.M.,Clement, T., Kazerooni, H. & Lim M. (2002). Dynamic Behavior of Pneumatic Systems for Lower Extremity Extenders. **Proceeding of the IEEE 2002 International Conference on Robotics and Automation, 3**, 3248-3253.

Wang, J., Wang, D.J.D., Moore, P.R. & Pu, J. (2001). Modelling study,analysis and robust servocontrol of pneumatic cylinder actuator systems. **Control Theory and applications. IEEE proceedings, 148,** 35-42.

Sorli, M., Gastaldi, L.,Codina, E. & De las Heras, S. (1999). Dynamic Analysis of Pneumatic Actuators. **Simulation Practice and Theory, 7**, 587 – 602.