

การพัฒนาแบบจำลองคณิตศาสตร์ของระบบถังความดันอากาศแบบปฏิสัมพันธ์
เพื่อการออกแบบตัวควบคุม
Developing Mathematical Model of Air Pressure Tanks Interaction System
for Controllers Design

สิทธิโชค สุขมี¹ และ วิริยะ กองรัตน¹

¹ภาควิชาวิศวกรรมการวัดและควบคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ที่อยู่ ถนน ฉลองกรุง เขต ลำผักชี แขวง ลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520
*ติดต่อ: sittichok_elec@hotmail.com, 082-3350223

บทคัดย่อ

บทความฉบับนี้ นำเสนอวิธีการสร้างแบบจำลองคณิตศาสตร์ของระบบถังความดันอากาศแบบปฏิสัมพันธ์เพื่อการออกแบบตัวควบคุม แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของถังความดันได้ถูกพัฒนาจากหลักการสมดุลมวลหรือพลังงานซึ่งแบบจำลองจะเป็นตัวแทนที่ดีสำหรับการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ของกระบวนการ สมดุลดังกล่าวของมวลถูกแทนด้วยสมการอนุพันธ์ พบว่าสมการดังกล่าวไม่เป็นเชิงเส้น ทำให้เป็นเชิงเส้นโดยใช้วิธีอนุกรมเทย์เลอร์ และแปลงให้อยู่ในรูปแบบโดเมนความถี่ โดย ลาปลาซ ซึ่งต่อไปจะเรียกว่าฟังก์ชันถ่ายโอน วิธีการการตรวจสอบความถูกต้องของฟังก์ชันถ่ายโอนโดยการจำลองสถานการณ์บนโปรแกรม (Simulink/MATLAB) นำมาเปรียบเทียบกับผลตอบสนองของระบบปฏิบัติการจริงเพื่อเปรียบเทียบและปรับแต่งฟังก์ชันถ่ายโอนให้เหมาะสม ภายหลังผ่านการตรวจสอบความถูกต้องแล้ว ดำเนินการวิเคราะห์ฟังก์ชันถ่ายโอนถึงความดันต่อไปเพื่อสังเคราะห์ตัวควบคุมแบบ พบว่าค่าสัมประสิทธิ์ที่ได้จากการสังเคราะห์ตัวควบคุม สามารถทำให้วงรอบการควบคุมสามารถเข้าสู่ค่าเป้าหมายได้ตามข้อกำหนดทั้งระบบปฏิบัติการจริงและโปรแกรมจำลอง ผลการทดลองแสดงให้เห็นถึงประโยชน์ของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้อธิบายกลไกของกระบวนการและนำมาเป็นหลักอ้างอิงการปรับแต่งค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม

คำหลัก: แบบจำลองคณิตศาสตร์, การทำให้เป็นเชิงเส้น, สมดุลมวล, การสังเคราะห์ตัวควบคุม

Abstract

This paper presents a mathematical model of the air pressure tanks interaction system for controller design. This mathematical model was developed from the mass or energy balance which is a good agent for analysis of process parameters. The mass balance conservation principle is represented by differential equations. Which was the nonlinear equations. Linearization is done using Taylor Series expansion. Finally, was converted to S-domain by Laplace transform and consequently, transfer function is formalized. The respectable transfer function was confirmed by the simulation program (Simulink/MATLAB) that compared results with actual air pressure tanks interaction. Transfer function analysis of pressure tanks was contributed to synthesized controllers. The tuning parameters of both simulation and actual made control loop response approach the specification target. The experiment results show that the mathematical model is useful for plants mechanism explanation and a better controller tuning reference.

Keywords: Mathematical Model, Linearization, Mass Balance, Controller Synthesis

1. บทนำ

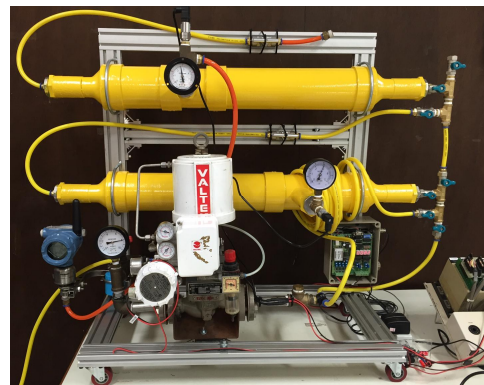
ปัจจุบันระบบควบคุมกระบวนการ ได้มีการพัฒนา รูปแบบและวิธีการใหม่ๆ มาใช้ในกระบวนการผลิต เพื่อช่วยให้การตอบสนองของกระบวนการเกิดขึ้นได้ตาม เป้าหมายรวดเร็วและแม่นยำมากยิ่งขึ้น ทั้งนี้แบบจำลอง จะช่วยในการป้องกันการเกิดความเสียหายแก่ ระบบปฏิบัติการจริงโดยเฉพาะอย่างยิ่งในกลุ่มโรงงาน อุตสาหกรรม แบบจำลองถึงความดันอากาศแบบ ปฏิสัมพันธ์เป็นระบบพื้นฐานที่ใช้เป็นตัวแทนของ กระบวนการในอุตสาหกรรม แบบจำลองถึงความดันมี ความยืดหยุ่นสามารถปรับพารามิเตอร์เพื่อให้ใช้แทนกับ กระบวนการที่หลากหลาย อีกทั้งสามารถใช้เพื่อการ ออกแบบตัวควบคุม

งานวิจัยในหลายบทความได้นำเสนอวิธีการในการ สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของกระบวนการผลิต โดยการสังเกตปฏิกิริยาตอบสนองของกระบวนการจริง หรือใช้หลักการทางสถิติ และนำมาสังเคราะห์เป็นฟังก์ชัน คณิตศาสตร์และวิเคราะห์เปรียบเทียบกับโปรแกรม จำลองทางคณิตศาสตร์ อย่างไรก็ตาม แบบจำลองทาง คณิตศาสตร์จากงานวิจัยดังกล่าว ได้มาจากผลตอบสนอง ของกระบวนการ [1] และ [2] ซึ่งถ้าผลการทดสอบมี ความคลาดเคลื่อนไปจากความเป็นจริงแล้วก็ไม่สามารถ อธิบายสิ่งที่เกิดขึ้นหรือกลไกภายในกระบวนการได้ เทคนิคการสังเคราะห์ทางคณิตศาสตร์ที่มาจากหลักการ สมดุลมวล [3] และ [6] จะทำให้ได้แบบจำลองที่มาจาก หลักการทางทฤษฎี ซึ่งจะเป็อีกวิธีการหนึ่งในการ ดำเนินการวิจัย จึงเป็นที่มาของการนำเสนอแนวคิดนี้เพื่อ การศึกษากระบวนการที่มีความซับซ้อนมากยิ่งขึ้น โดย นำเสนอการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ของถึง ความดันอากาศแบบปฏิสัมพันธ์ เมื่อได้ฟังก์ชันถ่ายโอนที่ ปรับแต่งให้เข้ากับหุ่นจำลองดังกล่าวแล้ว จึงดำเนินการ สังเคราะห์ตัวควบคุมแบบ และหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสม กับการออกแบบแล้วนำค่าพารามิเตอร์ที่ได้ไปควบคุม ผลตอบสนองของความดันที่เกิดขึ้นกับระบบต่อไป

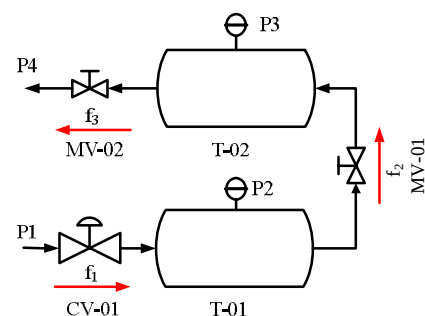
2. ลักษณะของระบบปฏิบัติการ

ระบบปฏิบัติการถึงเก็บความดันอากาศแบบ ปฏิสัมพันธ์เป็นระบบแบบเข้าออกทางเดียว (SISO) ประกอบด้วยการเชื่อมต่อของถึงเก็บความดันอากาศสอง ถึงเข้าด้วยกันเชื่อมต่อกันแบบอนุกรม แต่ละถึงจะมีขนาด ความยาว 35 นิ้ว และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 นิ้ว ทั้ง

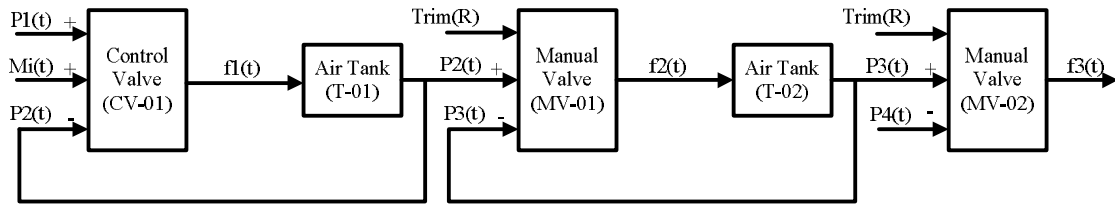
สองถึงมีการติดตั้งทรานสดิวเซอร์ความดัน (PT-01) และ (PT-02) ตามลำดับ เพื่อส่งสัญญาณไปยังอุปกรณ์รับส่ง ข้อมูล (DAQ) ใช้ในการสังเกตและวิเคราะห์ผลตอบสนอง ที่เกิดขึ้นกับระบบและยังทำหน้าที่ส่งสัญญาณที่เป็นข้อมูล ของตัวแปรความดันทั้งสองถึงไปยังอินพุตของตัวควบคุม ทั้งนี้ในถึงเก็บความดันทั้งสองถึงมีการติดตั้งมาตรวัดความ ดันทั้งสองถึง (PG-01) และ (PG-02) เพื่อการใช้ สังเกตการณ์ค่าความดันอากาศเบื้องต้นด้วยสายตาและ เพื่อการเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากทรานสดิวเซอร์ความ ดัน วาล์วควบคุม (CV-01) เชื่อมต่อเข้ากับถึงเก็บความ อากาศที่หนึ่ง (T-01) และทำหน้าที่ควบคุมความดัน อากาศที่ไหลเข้าระบบตามเอาต์พุตของตัวควบคุม ระหว่างถึงเก็บความดันอากาศสองถึงจะมีวาล์วปฏิบัติการ มือ (MV-01) เชื่อมต่ออยู่ระหว่างสองถึงทำหน้าที่ควบคุม ความดันอากาศที่ไหลออกจากถึงที่หนึ่ง (T-01) เข้าถึงที่ สอง (T-02) และ ถึงที่สองมีวาล์วปฏิบัติการมือ (MV-02) เชื่อมต่ออยู่ที่ด้านการไหลออกของถึงซึ่งทำหน้าที่ควบคุม ความดันที่ไหลออกจากถึงที่สองสู่บรรยากาศ ตามรูปภาพ ที่ 1 และ รูปภาพที่ 2



รูปภาพที่ 1 ระบบปฏิบัติการถึงเก็บความดันอากาศ



รูปภาพที่ 2 การไหลของความดันในกระบวนการ



รูปภาพที่ 3 ความสัมพันธ์ของตัวแปรในระบบปฏิบัติการถังเก็บความดันอากาศแบบปฏิสัมพันธ์

3. การจำลองรูปแบบทางคณิตศาสตร์

3.1 การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

สำหรับกระบวนการนี้ใช้หลักการสมดุลมวลของแต่ ละถังความดันโดยพิจารณาการไหลของความดันอากาศที่ ผ่านวาล์วควบคุม, ถังเก็บความดัน และ วาล์วปฏิบัติการ มือ มีความสัมพันธ์ดังนี้

สมการการไหลที่ผ่านวาล์วควบคุม (CV-01) กำหนดให้

$$f_1(t) = \frac{e^{\ln \alpha m_i(t)}}{\alpha} \frac{\sqrt{p_1(t)(p_1(t) - p_2(t))}}{\sqrt{TGg}} \quad (1)$$

สมการการไหลที่ผ่านวาล์วปฏิบัติการด้วยมือ (MV-01) กำหนดให้

$$f_2(t) = Gp_2(t) \left(1 - \frac{2(p_2(t) - p_3(t))}{3p_2(t)}\right) \sqrt{\frac{p_2(t) - p_3(t)}{TCgp_2(t)}} \quad (2)$$

สมการการไหลที่ผ่านวาล์วปฏิบัติการด้วยมือ (MV-02) กำหนดให้

$$f_3(t) = Gp_3(t) \left(1 - \frac{2(p_3(t) - p_4(t))}{3p_3(t)}\right) \sqrt{\frac{p_3(t) - p_4(t)}{TCgp_3(t)}} \quad (3)$$

อัตราโมลในถังเก็บความดันอากาศสามารถอธิบายได้จาก สมการแก๊สในอุดมคติ ถังเก็บความดัน (T-01)

$$p_2(t)V_1 = n_1(t)RT \quad (4)$$

ถังเก็บความดัน (T-02)

$$p_3(t)V_2 = n_2(t)RT \quad (5)$$

ตารางที่ 1 ค่าตัวแปรของกระบวนการ

ตัวแปร	ค่า	หน่วย
α	50	---
Mi	70	%
T	520	°R
Gg	1	---
Cv (MV)	1.05	---
P1	50	psia
P2	26	psia
P3	17.64	psia
P4	14.7	psia
R	10.73	psia-ft ³ /lbmoles-°R
V1, V2	0.2473	ft ³
$\bar{\rho}$	0.00263	lbmoles/scf

จากสมการ (1), (2), (3), (4) และ (5) นำมาเขียนให้อยู่ใน รูปสมดุลมวล โดยจะพิจารณาในแต่ละถังเก็บความดัน

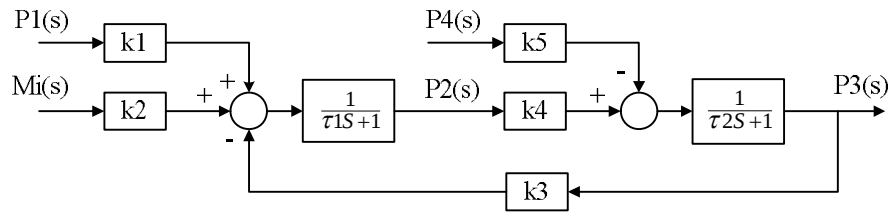
Rate of moles into of tank - Rate of moles out of tank = Rate of accumulation of moles in tank (6)

จากหลักการทฤษฎีสมดุลในสมการ (6) จะได้ ถังที่หนึ่ง (T-01)

$$\bar{p}f_1(t) - \bar{p}f_2(t) = \frac{dn_1(t)}{dt} = \frac{V_1}{\rho RT} \frac{dp_2(t)}{dt} \quad (7)$$

ถังที่สอง (T-02)

$$\bar{p}f_2(t) - \bar{p}f_3(t) = \frac{dn_2(t)}{dt} = \frac{V_2}{\rho RT} \frac{dp_3(t)}{dt} \quad (8)$$



รูปภาพที่ 4 บล็อกไดอะแกรมระบบปฏิบัติการถังเก็บความดันอากาศแบบปฏิสัมพันธ์

เมื่อพิจารณาสมการที่ (1), (2) และ (3) แล้วพบว่าสมการดังกล่าวเป็นสมการไม่เป็นเชิงเส้น ดังนั้นจึงจำเป็นต้องทำให้เป็นเชิงเส้น (Linearization) เพื่อที่สามารถที่จะแก้สมการเหล่านี้ได้ด้วยการใช้การแปลงลาปลาซ (Laplace Transform) ในขั้นต่อไป โดยใช้อนุกรมเทย์เลอร์ (Taylor Series) เข้ามาช่วยในการทำให้เป็นเชิงเส้น สมการไหลที่ 1 (f_1)

$$f_1(t) \approx \bar{f}_1 + \left. \frac{\partial f_1(t)}{\partial p_1(t)} \right|_{ss} [p_1(t) - \bar{p}_1] + \left. \frac{\partial f_1(t)}{\partial p_2(t)} \right|_{ss} [p_2(t) - \bar{p}_2] + \left. \frac{\partial f_1(t)}{\partial mi(t)} \right|_{ss} [mi(t) - \bar{mi}] \quad (9)$$

สมการไหลที่ 2 (f_2)

$$f_2(t) \approx \bar{f}_2 + \left. \frac{\partial f_2(t)}{\partial p_2(t)} \right|_{ss} [p_2(t) - \bar{p}_2] + \left. \frac{\partial f_2(t)}{\partial p_3(t)} \right|_{ss} [p_3(t) - \bar{p}_3] \quad (10)$$

สมการไหลที่ 3 (f_3)

$$f_3(t) \approx \bar{f}_3 + \left. \frac{\partial f_3(t)}{\partial p_3(t)} \right|_{ss} [p_3(t) - \bar{p}_3] + \left. \frac{\partial f_3(t)}{\partial p_4(t)} \right|_{ss} [p_4(t) - \bar{p}_4] \quad (11)$$

เมื่อทำให้เป็นเชิงเส้นในสมการที่ (9), (10), และ (11) เป็นที่เรียบร้อยแล้วแทนในสมการสมดุล (7) และ (8) สามารถแปลงลาปลาซและจัดให้อยู่ในรูปฟังก์ชัน เอสได้ดังนี้

$$K_1 P_1(s) + K_2 Mi(s) - K_3 P_3(s) = (\tau_1 S + 1) P_2(s) \quad (12)$$

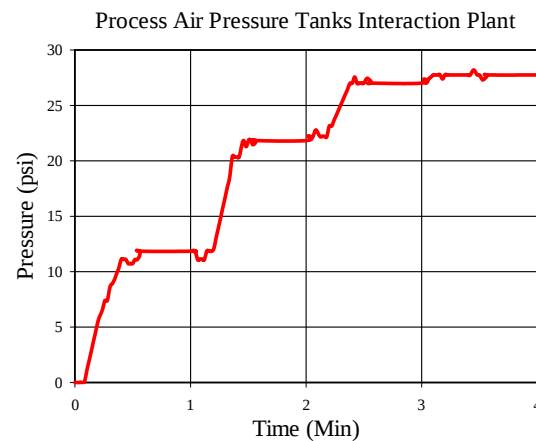
$$K_4 P_2(s) - K_5 P_4(s) = (\tau_2 S + 1) P_3(s) \quad (13)$$

นำสมการ (12) และ (13) เขียนบล็อกไดอะแกรมได้ตามรูปภาพที่ 4 เนื่องจากจะนำเสนอการควบคุมความดันในถังที่สอง (T-02) เราจะหาความสัมพันธ์ของเอาต์พุตและอินพุตของระบบ (Transfer Function) ได้ดังนี้

$$G(s) = \frac{P_3(s)}{Mi(s)} = \frac{9.458}{2.345S^2 + 28.455S + 0.367} \quad (14)$$

3.2 การตรวจสอบแบบจำลองคณิตศาสตร์

การทดสอบผลตอบสนองของระบบปฏิบัติการถังเก็บความดันอากาศ โดยกำหนดให้ ความดันที่ไหลเข้าระบบ 50 psi เปิดวาล์วปฏิบัติการด้วยมือ (MV-01 และ MV-02) ทั้งสองตัวที่ 50% ตลอดการทดสอบ และควบคุมให้วาล์วควบคุม (CV-01) เปิดจาก 60% ไปถึง 80%



รูปภาพที่ 5 ผลตอบสนองของความดันอากาศถังที่สองของระบบปฏิบัติการ

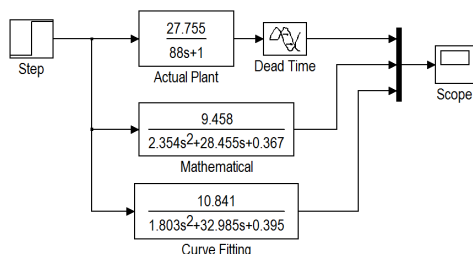
จากผลตอบสนองของระบบปฏิบัติการในรูปภาพที่ 5 ใช้การประมาณค่า Process Reaction โดยวิธีกราฟพบว่ามีความดังต่อไปนี้ Process Gain (Kp) : 27.755

psi/%opening, Time Constant (τ) : 88 seconds
และ Dead Time : 7 seconds จากวิธีการดังกล่าว
สามารถจัดให้อยู่ในรูปฟังก์ชันถ่ายโอนแบบ First order
ที่มี Dead Time ได้ในสมการที่ 15 เพื่อใช้เป็นตัวแทน
ของระบบปฏิบัติการในการนำมาอ้างอิงในการตรวจสอบ
แบบจำลองคณิตศาสตร์และการปรับแต่งแบบจำลอง

$$\frac{Y(s)}{X(s)} = \frac{27.755e^{-7s}}{88s + 1} \quad (15)$$

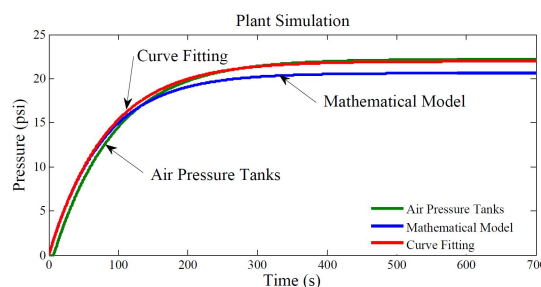
การตรวจสอบแบบจำลองคณิตศาสตร์ที่ได้ในสมการ
ที่ (14) เปรียบเทียบกับฟังก์ชันถ่ายโอนที่ได้จากการ
ประมาณค่า Process Reaction ของระบบปฏิบัติการใน
สมการที่ (15) โดยการจำลองสถานการณ์การทำงานใน
กรณีที่เป็นระบบเปิด โดยกำหนดให้อินพุตแบบขั้นบันได
(Step input) เปรียบเสมือนตัวแปรตำแหน่งการเปิดปิด
ของวาล์วควบคุม (CV-01) มีค่าจาก 60% ถึง 80% ใน
รูปภาพที่ 7 แสดงให้เห็นผลตอบสนองของแบบจำลอง
คณิตศาสตร์ที่ได้จากการจำลองสถานการณ์มีความ
ใกล้เคียงกับผลตอบสนองของฟังก์ชันถ่ายโอน
ระบบปฏิบัติการถึงเก็บความดันอากาศและผลดังกล่าวก็
แสดงให้เห็นว่าหลักการสมดุลมวลและความสัมพันธ์ของ
ตัวแปรที่กำหนดสามารถสร้างแบบจำลองคณิตศาสตร์ได้
และความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นสามารถอนุมานได้ว่าอาจ
เกิดจากตัวแปรที่ไม่สามารถควบคุมได้เช่น ความดัน
อากาศที่นำมาจ่ายให้ระบบมีความไม่เสถียร ความแม่นยำ
ของตัวอุปกรณ์เครื่องมือวัดของระบบ อื่นๆ

เพื่อที่สามารถออกแบบตัวควบคุมให้มีประสิทธิภาพ
ต่อระบบปฏิบัติการ นำแบบจำลองคณิตศาสตร์มาปรับค่า
พารามิเตอร์เพื่อให้ได้แบบจำลองที่มีความใกล้เคียงกับ
ผลตอบสนองของระบบปฏิบัติการให้มากที่สุด ผลจาก
ปรับค่าพารามิเตอร์ได้แบบจำลองในสมการที่ (16)



รูปภาพที่ 6 การจำลองสถานการณ์การทำงาน
แบบจำลองคณิตศาสตร์

$$G(s) = \frac{10.841}{1.803s^2 + 32.985s + 0.395} \quad (16)$$



รูปภาพที่ 7 การเปรียบเทียบผลตอบสนองของ
แบบจำลองกับระบบปฏิบัติการ

4 การสังเคราะห์ตัวควบคุมและการควบคุม

4.1 การสังเคราะห์ตัวควบคุมจากแบบคณิตศาสตร์

การสังเคราะห์ตัวควบคุมของกระบวนการอันดับ
สอง จากทฤษฎีการสังเคราะห์ตัวควบคุมไม่สามารถสร้าง
ตัวควบคุมที่มีเอาต์พุตเท่ากับค่าเป้าหมายได้ทุกช่วงเวลา
ตัวควบคุมจะใช้เวลาช่วงหนึ่งเพื่อเข้าสู่ค่าเป้าหมาย หรือที่
เรียกว่า ค่าคงที่เวลา τ_c ที่นำเสนอโดย Dahlin (1968)
จากกระบวนการอันดับสอง

$$G(s) = \frac{K}{(\tau_1 s + 1)(\tau_2 s + 2)} \quad (17)$$

$$G_c(s) = \frac{K}{(\tau_1 s + 1)(\tau_2 s + 2)} \cdot \frac{1}{\tau_c s} \quad (18)$$

ได้ตัวควบคุม PID จากกการสังเคราะห์กระบวนการ
อันดับสอง

$$G_c(s) = \frac{\tau_1}{K\tau_c} \left(1 + \frac{1}{\tau'_1 s} \right) (\tau_2 s + 1) \quad (19)$$

โดยปกติ ตัวควบคุมแบบ PID ที่เป็นรูปแบบพื้นฐาน
โดยทั่วไปสมการที่ (19) ไม่สามารถใช้งานได้ในทุกๆ
กระบวนการ เพื่อให้ตัวควบคุมมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้นของ
ได้มีการปรับปรุงโหมดอนุพันธ์ โดยให้ค่าเกณฑ์ร่วมกับ
สมการค่าคงที่เวลา จะได้ $\alpha \tau'_D s + 1$ ซึ่งเรียกว่า ตัว
กรอง โดย α จะมีค่าในช่วง 0.05 ถึง 0.2 ซึ่งจะได้ตัว
ควบคุม PID ตามสมการ ที่ (20)

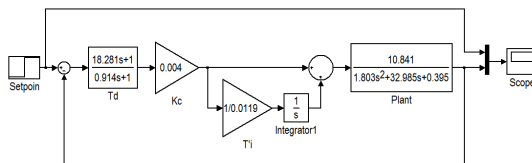
$$G_c(s) = K'_c \left(1 + \frac{1}{\tau'_1 S} \right) \left(\frac{\tau'_D S + 1}{\alpha \tau'_D S + 1} \right) \quad (20)$$

ค่าสัมประสิทธิ์ในการปรับแต่งสำหรับตัวควบคุม PID สำหรับแบบจำลองคณิตศาสตร์ในสมการที่ (16) สามารถคำนวณค่าสัมประสิทธิ์ได้ในตารางที่ 2 ดังนี้

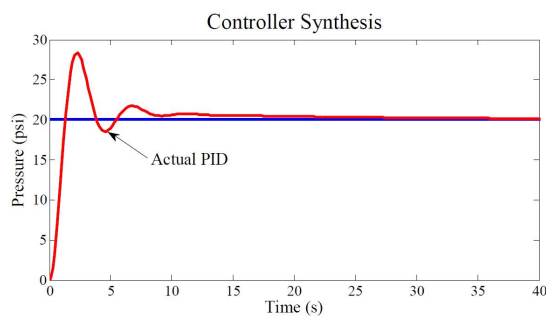
ตารางที่ 2 ค่าสัมประสิทธิ์ตัวควบคุม PID สังเคราะห์ กระบวนการอันดับสอง

ตัวควบคุม	ค่าสัมประสิทธิ์ในการปรับแต่ง	
P	$K'_c = \frac{\tau_1}{K \tau_c}$	0.004
I	$\tau'_1 = \tau_1$	0.0119
D	$\tau'_D = \tau_2$	18.282

เมื่อ $\alpha = 0.05$ และ $\tau_c = 0.49$ (มาจากการปรับแต่ง)



รูปภาพที่ 8 ระบบควบคุมของแบบจำลองเมื่อมี PID จากการสังเคราะห์ (Actual Controller)



รูปภาพที่ 9 ผลตอบสนองของระบบควบคุมของแบบจำลองเมื่อมี PID จากการสังเคราะห์

จากผลตอบสนองของระบบควบคุมตามรูปภาพที่ 9 แสดงให้เห็นว่าตัวควบคุม PID ที่มาจากการสังเคราะห์จากแบบจำลองคณิตศาสตร์สามารถควบคุมให้เข้าสู่เป้าหมาย

ได้ตามความต้องการสำเร็จ โดยมี เปอร์เซ็นต์การพุ่งเกินเท่ากับ (%OS)=40% และให้เวลาในการตอบสนองในการเข้าสู่ค่าเป้าหมายที่ 32.5 วินาที

4.2 การสังเคราะห์ตัวควบคุมกระบวนการอันดับหนึ่งที่มี Dead Time

ในส่วนนี้จะนำเสนอการการสังเคราะห์ตัวควบคุมในกระบวนการอันดับหนึ่งที่มี Dead Time เพื่อนำค่าสัมประสิทธิ์ที่ได้จากการสังเคราะห์มาทดสอบในโปรแกรมจำลองสถานการณ์การทำงานและปรับแต่งให้มีความเหมาะสมไปนำไปควบคุมระบบปฏิบัติการต่อไป กระบวนการอันดับหนึ่งที่มี Dead Time

$$G(s) = \frac{K e^{-t_0 S}}{\tau_1 S + 1} \quad (21)$$

$$G_c(s) = \frac{\tau S + 1}{K e^{-t_0 S}} \cdot \frac{1}{\tau_c S} \quad (22)$$

ได้ตัวควบคุม PID จากการสังเคราะห์กระบวนการอันดับหนึ่งที่มี Dead Time

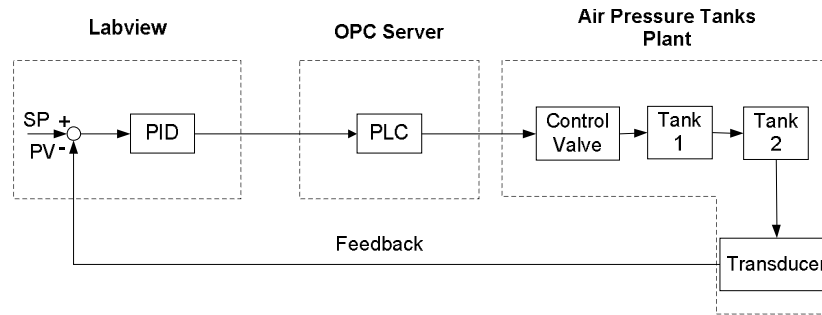
$$G_c(s) = \frac{\tau}{K(\tau_c + t_0)} \left(1 + \frac{1}{\tau S} \right) e^{-0.5 t_0 S} \quad (23)$$

จากการศึกษาทฤษฎีต่างๆในระบบควบคุมมักจะประสบปัญหาในการควบคุมเมื่อกระบวนการเหล่านั้นมี Dead Time เกิดขึ้นกับระบบ เราจะใช้การประมาณ First-Order Pade นำมาแก้ปัญหาดังกล่าว

$$e^{-0.5 t_0 S} = \left(\frac{1 - \frac{t_0}{2} S}{1 + \frac{t_0}{2} S} \right) \quad (24)$$

จะได้การประมาณ First-Order Pade ร่วมกับตัวควบคุมการสังเคราะห์

$$G_c(s) = \frac{\tau}{K(\tau_c + t_0)} \left(1 + \frac{1}{\tau S} \right) \left(\frac{1 - \frac{t_0}{2} S}{1 + \frac{t_0}{2} S} \right) \quad (25)$$



รูปภาพที่ 10 ระบบควบคุมของระบบปฏิบัติการ

เมื่อ

$$\tau' = \frac{\tau_c t_0}{2(\tau_c + t_0)} \quad (26)$$

ค่าสัมประสิทธิ์ในการปรับแต่งสำหรับตัวควบคุม PID สำหรับกระบวนการอันดับหนึ่งที่มี Dead Time ในตารางที่ 3 และ เพื่อการตรวจสอบความสามารถของ ตัวควบคุมในแต่ละวิธีการ เราจะใช้วิธีการสังเคราะห์ใน แบบหนึ่ง คำนวณค่าสัมประสิทธิ์ได้ในตารางที่ 4

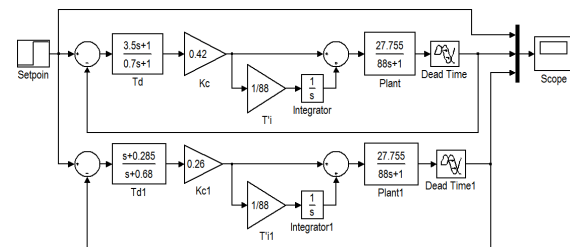
ตารางที่ 3 ค่าสัมประสิทธิ์ตัวควบคุม PID แบบ
Synthesized Controller อ้างอิงสมการ
ที่ (25)

ค่าตัวแปร	ค่าสัมประสิทธิ์ในการปรับแต่ง
K	27.755
τ	88
t_0	3.5
τ_C	5

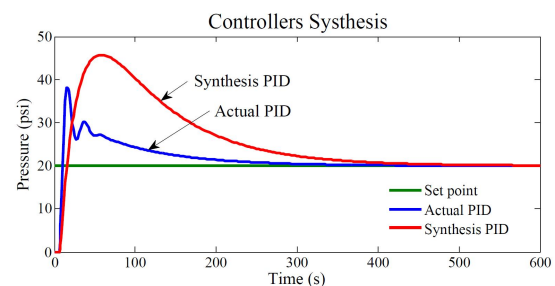
ตารางที่ 4 ค่าสัมประสิทธิ์ตัวควบคุม PID แบบ Actual Controller อ้างอิงสมการที่ (20)

ตัวควบคุม	ค่าสัมประสิทธิ์ในการปรับแต่ง	
P	$K'_c = \frac{\tau}{K(\tau_C + t_0)}$	0.42
I	$\tau'_1 = \tau$	88
D	$\tau'_D = \frac{\tau_0}{2}$	3.5

เมื่อ $\alpha = 0.2$ และ $\tau_c = 0.5$



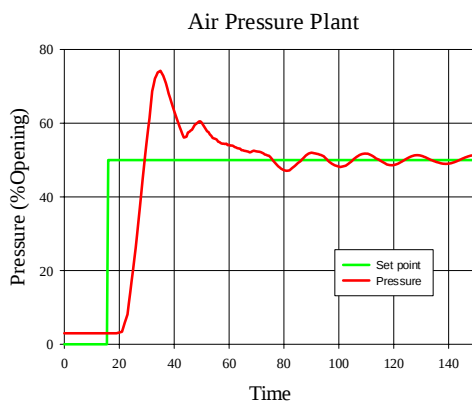
รูปภาพที่ 11 ระบบควบคุมของกระบวนการอันดับหนึ่ง
ร่วมกับความล่าช้าเวลาเมื่อมี PID จากการ
สังเคราะห์ทั้งสองแบบ



รูปภาพที่ 12 ผลตอบสนองของระบบควบคุม
กระบวนการอันดับที่มี Dead
Time

จากผลตอบสนองของระบบควบคุมในรูปภาพที่ 12 แสดงให้เห็นว่าตัวควบคุม PID ทั้งสองแบบที่มาจากการสังเคราะห์จากกระบวนการอันดับหนึ่งร่วมกับ Dead time สามารถควบคุมให้เข้าสู่เป้าหมายได้ตามต้องการได้สำเร็จ โดยแบบ Actual Controller มีเปอร์เซ็นต์การพุ่งเกินเท่ากับ (%OS)=90% และให้เวลาในการตอบสนอง

ในการเข้าสู่ค่าเป้าหมายที่ 320 วินาที และแบบ Synthesized Controller มีเปอร์เซ็นต์การพุ่งเกินเท่ากับ (%OS)=130% และให้เวลาในการตอบสนองในการเข้าสู่ค่าเป้าหมายที่ 480 วินาที สรุปได้ว่าตัวควบคุมแบบ Actual Controller แบบประสิทธิภาพมากกว่าแบบ Synthesized Controller ดังนั้นเราจะนำค่าสัมประสิทธิ์ที่ได้จากแบบ แบบ Actual Controller มาควบคุมกับระบบปฏิบัติการตามรูปภาพที่ 10



รูปภาพที่ 13 ผลตอบสนองของระบบควบคุมระบบปฏิบัติการ

จากผลตอบสนองของระบบควบคุมแสดงในรูปภาพที่ 13 ให้เห็นว่าตัวควบคุม PID แบบ Actual Controller สามารถนำควบคุมระบบปฏิบัติการสามารถควบคุมให้เข้าสู่เป้าหมายได้ตามต้องการได้ การสังเคราะห์ดังกล่าวแสดงให้เห็นถึงความง่ายตายในการปรับแต่งค่าพารามิเตอร์และการนำมาใช้งานจริง

5. สรุป

ในการดำเนินการสำหรับการสร้างแบบจำลองคณิตศาสตร์และการประยุกต์ใช้ตัวควบคุมแบบ PID ได้แสดงให้เห็นว่าแบบจำลองนี้เหมาะสมแก่การนำมาทดสอบเพื่อสังเกตผลตอบสนอง และนำผลมาวิเคราะห์ในสถานการณ์ที่อาจเกิดขึ้นกับระบบปฏิบัติการจริง เพื่อศึกษาและให้เกิดความเข้าใจในกลไกภายในและสามารถอธิบายพลวัตของระบบ การสังเคราะห์ตัวควบคุมแบบ PID ที่ได้จากแบบจำลองคณิตศาสตร์เห็นได้ว่าสามารถนำมาเป็นหลักการพื้นฐานในการสร้างตัวควบคุมและง่ายต่อการปรับแต่งค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมและนำไปใช้งานกับระบบปฏิบัติการได้อย่างมีประสิทธิภาพ

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณภาควิชาการวัดและควบคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่เอื้อเฟื้อสถานที่และสนับสนุนทุนในการวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- [1] Anish Mathew K. (2012). Internal Model Control of Pressure Process Using ARM Microcontroller, International Conference on Computing Electronics and Electrical Technologies, March 2012, pp. 351-353.
- [2] Nordin Saad and Mohd Syahrul Ridhwan Zailani. (2007). Industrial PC Control Implementation on PID controllers : Application to Pressure Control System, International Conference on Intelligent and Advanced Systems, Nov. 2007, pp. 1007-1012.
- [3] C. E. Long, J. D. Miles, C. E. Holland and E. P. Gatzke. (2003). A Flexible Multivariable Experimental Air Tank System For Process Control Education, American Control conference, vol. 1, June 2003, pp. 688-693.
- [4] Flowserve corporation. (2002). Sizing and Selection. Flowserve corporation, Flow control division SS004. Rev9/2002
- [5] Swagelok Company. (2007). Valve Sizing Technical Bulletin, Swagelok-TM R4 MS-06-84-E
- [6] Carlos A. Smith and Armando B. Corripio. (1997). Principles and Practice of Automatic Process Control. John Wiley and Sons, Ins. United States of America,
- [7] MathWorks. (2015). Matlab&Simulink, UTL: http://www.mathworks.com/help/pdf_doc/simulink/sl_gs.pdf, access on 10/05/2015.
- [8] A.B. Campo. (2012), PID Control Design, DOI: 10.5772/48497, MATLAB - A Fundamental Tool for Scientific Computing and Engineering Applications - Volume 1, UTL: <http://dx.doi.org/10.5772/48497>, access on 25/07/2