การควบคุมของเหลวโดยใช้โปรแกรม LabVIEW

Liquid controller by using LabVIEW Program

ยุทธนา กันทะพะเยา[1*] และ เฉลิมพล เรืองพัฒนาวิวัฒน์[1]

Yutthana Kanthaphayao[1*] and Chalermpol Reaungepattnawiwat[1]

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาและสร้างระบบควบคุมของเหลวโดยใช้โปรแกรม LabVIEW เพื่อใช้ประกอบการเรียนการสอนในวิชาปฏิบัติการระบบควบคุม เป้าประสงค์เพื่อศึกษาการออกแบบระบบควบคุมวงรอบปิด ด้วยวิธีการของซิกเลอร์-นิโคลส์ สำหรับหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม การทดสอบการทำงานสามารถกำหนดคำสั่งการควบคุมได้บนโปรแกรม LabVIEW รวมถึงมีหน้าจอแสดงผล เพื่อตรวจสอบการทำงานของระบบ ผลการทดสอบพบว่าระบบควบคุมที่นำเสนอสามารถควบคุมระดับของเหลวได้ตามเงื่อนไขที่กำหนด เช่นเมื่อกำหนดคำสั่งควบคุมระดับของเหลวแบบ 1 ถังที่ระดับ 3 นิ้ว ด้วยตัวควบคุมแบบพีไอและแบบพีไอดีระบบควบคุมสามารถควบคุมระดับน้ำให้เข้าสู่สภาวะคงตัวด้วยเวลาเข้าที่น้อยกว่า 1 นาที ส่วนกรณีควบคุมของเหลวแบบ 2 ถัง ตัวควบคุมสามารถควบคุมระดับน้ำให้เป็นไปตามเงื่อนไขได้

คำสำคัญ : การควบคุมของเหลว โปรแกรม LabVIEW วิธีการของซิกเลอร์-นิโคลส์

Abstract

This paper presents a study and constructionof a liquid level control by using a LabVIEW program. This is used for the control system laboratoryeducation. For investigation and design of the closed loop control system purpose, Ziegler-Nichols technique is used to consider the parameter of the controller. Experiment to investigate, it is performed by setting a controlled command on a LabVIEW program and monitoring of the system operating. The experimental results, the proposed control system can be controlled the liquid level to tracking with the command. For example, setting a command of a one-tank at 3 inch with the PI and PID controller is used to control the system operation. The control system can be controlled a liquid level to the steady state with the settling time is less than 1 min. In the case of the two-tank control, the control system can be control the liquid level follow the command.

Keywords : Liquid level system, LabVIEW Program, Ziegler-Nichols technique

บทนำ

ด้วยเหตุที่การเรียนการสอนวิชาระบบควบคุมเนื้อหาสาระมีแต่สมการทางคณิตศาสตร์ เพื่อให้นักศึกษาเข้าใจเนื้อหาอย่างลึกซึ้ง ดังนั้นจึงจำเป็นต้องศึกษาภาคปฏิบัติควบคู่กันไป กอร์ปกับชุดทดลองที่ขายตามท้องตลาดนั้นมีราคาแพง ไม่คุ้มค่ากับการลงทุน เพราะว่าชุดทดลองดังกล่าวตอบโจทย์เนื้อหาทางด้านระบบควบคุมได้ไม่ตรงประเด็นนัก ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเล็งเห็นความสำคัญประเด็นดังกล่าว จึงทำการศึกษาและสร้างชุดทดลองการควบคุมของเหลวเพื่อใช้ประกอบการเรียนการสอนทั้งภาคทฤษฎีและภาคปฏิบัติของวิชาระบบควบคุม สำหรับการควบคุม

[1] สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ 7/1 ถ.นนทบุรี 1 ต.สวนใหญ่ อ.เมือง จ.นนทบุรี 11000

[1] Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering and Architecture, Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi, Nonthaburi, 11000 Thailand

* Corresponding author. E-mail: yutthana.k@rmutnb.ac.th

ของเหลวก็เป็นองค์ประกอบหนึ่งสำหรับกระบวนการผลิตทางด้านอุตสาหกรรม ดังนั้นชุดทดลองนี้จึงเป็นการฝึกทักษะทางด้านระบบควบคุมที่เกี่ยวข้องกับงานทางด้านอุตสาหกรรมจริง

การควบคุมของเหลวเป็นองค์ประกอบที่สำคัญของกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมหลายประเภท ยกตัวอย่างเช่น อุตสาหกรรมอาหารและยา อุตสาหกรรมสารเคมี อุตสาหกรรมการกลั่นน้ำมันและปิโตเคมี ได้กล่าวไว้ในYoungHoon Na Sin Kim Jinsu Kim and Jietae Lee หากกล่าวถึง ส่วนประกอบของระบบควบคุมของเหลว โดยพื้นฐานแล้วจะประกอบด้วย ถังเก็บของเหลว ปั๊มน้ำ ตัวตรวจจับสัญญาณป้อนกลับเพื่อควบคุมการทำงานของระบบ ดังแสดงรายละเอียดในMin Li Xing-wen Chen and Yan Liu.และSandip A. Mehta JatinKatrodiya and BhargavMankad สำหรับการออกแบบระบบควบคุมของเหลวประเด็นหลัก คือ การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์และการออกแบบตัวชดเชยค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้นในระบบ ในอดีตมีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับระบบควบคุมของเหลวดังได้อธิบายไว้ดังนี้ชัชวาล พรพัฒน์กุล และธวัชชัย จิตต์สนธิ์ ได้นำเสนอการควบคุมระดับและอัตราการไหลของน้ำสำหรับการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบไม่ได้นำมาออกแบบตัวชดเชยค่าความผิดพลาดของระบบแต่ใช้วิธีการซิกเลอร์-นิโคล (Ziegaler-Nichols)สำหรับการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการปฏิสัมพันธ์แบบ 2 ถัง ที่นำเสนอไว้ใน BI Shujiaoand DONG FengและMuhammad Usman Khalid and Muhammad Bilal Kadriนั้นการได้มาของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ค่อนข้องยุ่งยากและซับซ้อน

ในงานวิจัยนี้จึงนำเสนอการสร้างระบบควบคุมของเหลวโดยใช้โปรแกรม LabVIEW เพื่อใช้ประกอบการเรียนการสอนในวิชาปฏิบัติการระบบควบคุม สำหรับการหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม ไม่ต้องหาฟังก์ชันถ่ายโอนของระบบควบคุมของเหลว แต่จะใช้ขั้นตอนวิธีการของซิกเลอร์-นิโคล ซึ่งวิธีการที่นำเสนอนี้ไม่ยุ่งยากและซับซ้อน

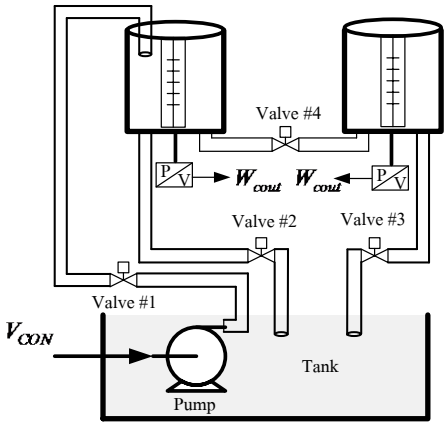


Figure 1 ระบบควบคุมของแหลว

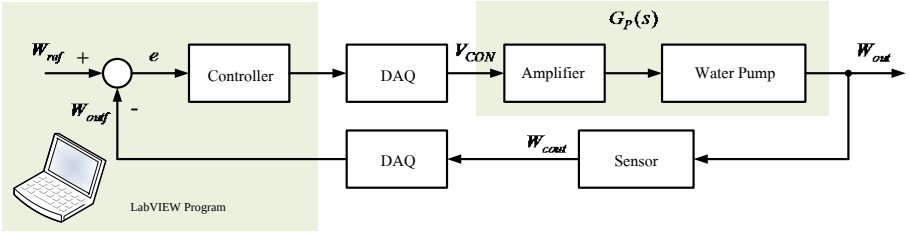


Figure 2 แผนภาพบล็อกระบบควบคุมของเหลว

ระบบการควบคุมของเหลวที่นำเสนอ

ระบบควบคุมของเหลวแสดงดังแผนภาพบล็อกแสดงดังรูปที่ 1 ระบบที่นำเสนอประกอบด้วย ถังบรรจุของเหลวจำนวน 2 ถัง พร้อมถังพักน้ำ ปั๊มน้ำ แหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้า และตัวตรวจจับระดับของเหลว เพื่อนำสัญญาณป้อนกลับไปควบคุมการทำงานของระบบโดยใช้ DAQ เบอร์ NI USB-6008 ซึ่งสามารถแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิตอล (ADC)ขนาด 8 บิต และ แปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นแอนะล็อก (DAC)ขนาด 8 บิต โดยคำสั่งการควบคุมจะใช้โปรแกรม LabVIEWสร้างคำสั่งการควบคุมสำหรับบล็อกการควบคุมแสดงดังรูปที่ 2

การออกแบบตัวชดเชยค่าความผิดพลาดของพลานต์

การออกแบบระบบควบคุมวงรอบปิดสำหรับหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม เพื่อขจัดค่าความผิดพลาดของระบบ นี้คืออีกวิธีการหนึ่งสำหรับการออกแบบระบบควบคุมวงรอบปิดนั้นคือการใช้ขั้นตอนวิธีการของซิกเลอร์-นิโคลส์แบบโปรเซสรีแอคชันเคิร์ฟ โดยMin Li Xing-wen Chen and Yan Liuได้อธิบายไว้สำหรับการหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม เพราะว่าวิธีการดังกล่าวไม่ยุ่งยากและซับซ้อน สำหรับการหาค่าอัตราขยายของตัวควบคุมซึ่งการหาค่าพารามิเตอร์สำหรับการปรับแต่งระบบควบคุมโดยวิธีของซิกเลอร์-นิโคลส์(Ziegler-Nichols) ของMin Li Xing-wen Chen and Yan Liu นี้เป็นวิธีการที่ง่ายไม่ซับซ้อนโดยมีรายละเอียดดังนี้

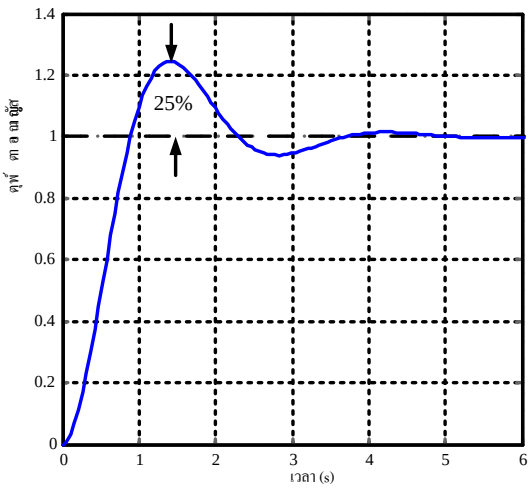


Figure 3 ผลตอบสนองของกระบวนการมีค่าพุ่งเกินไม่เกินร้อยละ 25

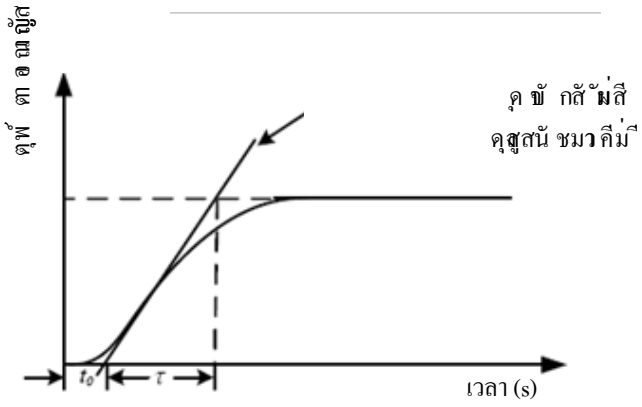


Figure 4 การหาค่าพารามิเตอร์ของตัวชดเชยด้วยวิธีโปรเซสรีแอคชันเคิร์ฟ

โดยจะพิจารณาจากคุณลักษณะของกระบวนการหรือผลตอบสนองของกระบวนการโดยการทดลองแสดงดังรูปที่ 3แล้วนำข้อมูลที่ได้จากการทดลองไปคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ของการควบคุมค่าพารามิเตอร์ของการควบคุมที่ได้จากวิธีนี้จะให้ผลตอบสนองของกระบวนการมีค่าพุ่งเกิน(Overshoot)ไม่เกินร้อยละ 25 แต่ในบางกระบวนการอาจจะต้องปรับค่าพารามิเตอร์เพิ่มเติมอีกเพื่อให้ได้ผลตอบสนองของกระบวนการต่อการควบคุมที่ดีและเหมาะสม

การหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมแบบพี พีไอ และ พีไอดี ซึ่งจะประกอบด้วยค่า K_p T_i และ T_d จะขึ้นอยู่กับลักษณะของผลตอบสนองชั่วครู่(Transient Response) ของกระบวนการที่ถูกควบคุม ซึ่งจะใช้วิธีการหาค่าพารามิเตอร์ในงานวิจัยนี้จะใช้วิธีการของ ซิกเลอร์-นิโคลส์ แบบโปรเซสรีแอคชันเคิร์ฟ การหาค่าพารามิเตอร์ของการควบคุมด้วยวิธีนี้จะต้องพิจารณาคุณลักษณะของกระบวนการด้วยวิธีทดสอบโดยเปลี่ยนระบบควบคุมเป็นวงรอบเปิด (Open Loop) จากนั้นป้อนสัญญาณทดสอบเป็นสัญญาณอินพุตแบบขั้น ผลลัพธ์ที่ได้รับสัญญาณด้านเอาต์พุตแสดงดังรูปที่ 4 สำหรับพิจารณาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมแต่ละแบบ

ในรูปที่ 4จะพิจารณาค่าคงที่ได้สองค่าคือค่าเวลาหน่วง (Delay Time, t_o) และค่าคงที่ทางเวลา (Time Constant, τ)ซึ่งหาได้โดยการลากเส้นตรงให้สัมผัสกับจุดที่มีความชันสูงสุดและจะได้เส้นตรงนี้ตัดกับแกนเวลาและแกนเอาต์พุตจากวิธีโปรเซสรีแอคชันเคิร์ฟสามารถคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ของตัวชดเชยแต่ละชนิดได้ตามตารางที่ 1

Table 1 การหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมแต่ละแบบ

ตัวควบคุม	K_P	T_i (s)	T_d (s)
แบบพี	$\frac{\tau}{t_o}$	-	-
แบบพีไอ	$0.9\frac{\tau}{t_o}$	$\frac{t_o}{0.3}$	-
แบบพีไอดี	$1.2\frac{\tau}{t_o}$	$2t_o$	$0.5t_o$

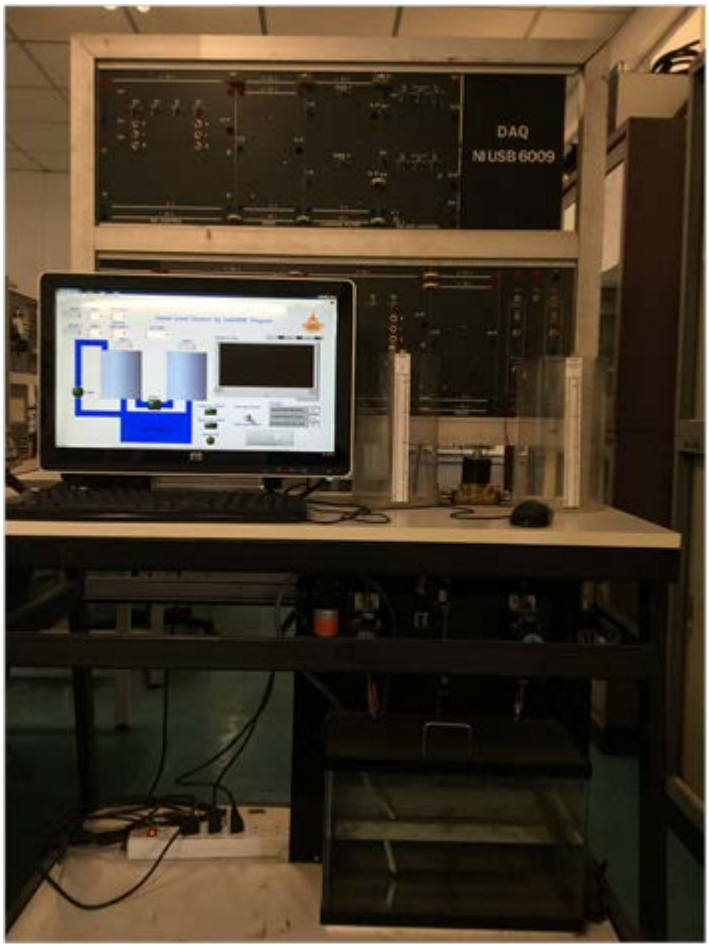


Figure 5 ระบบควบคุมของเหลวโดยใช้โปรแกรม LabVIEW

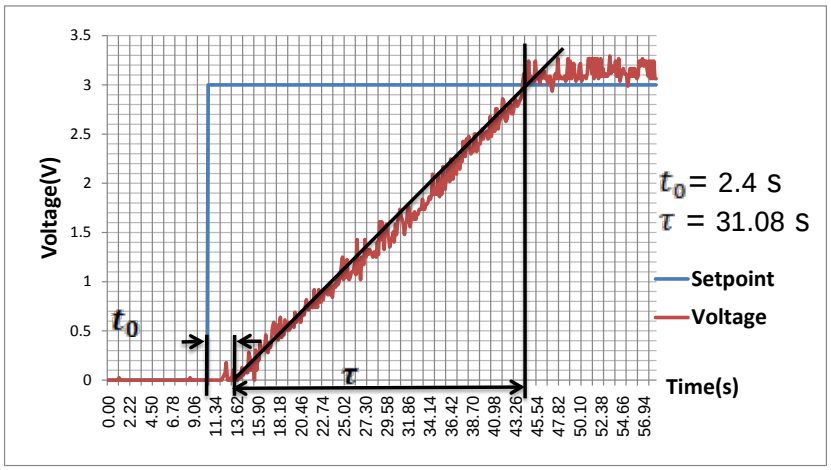


Figure 6 การหาค่าพารามิเตอร์ตัวควบคุมที่ระดับน้ำ 3 นิ้ว

ผลการศึกษา

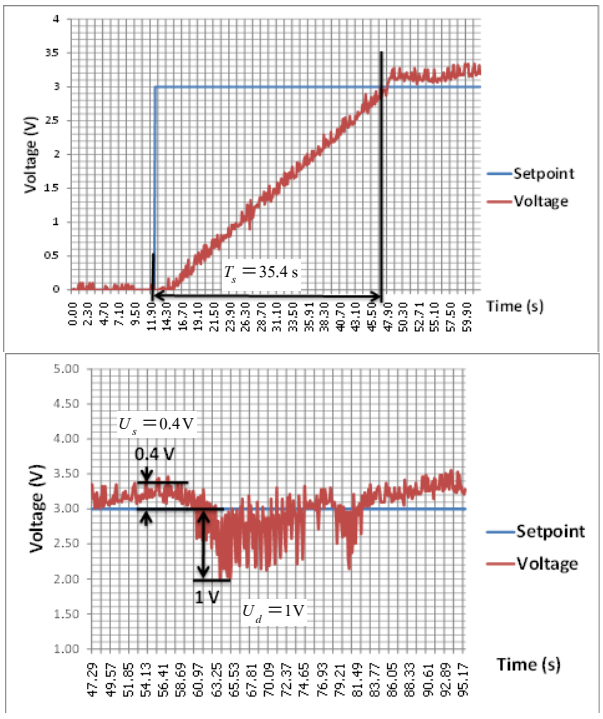
การทดสอบการทำงานของระบบต้นแบบจะทดสอบการควบคุมของเหลวแบบ 1 ถัง ที่ระดับ 3 นิ้ว และ แบบ 2 ถัง ควบคุมที่ระดับ 1 นิ้ว ระบบการควบคุมของเหลวที่ได้จัดสร้างแสดงดังรูปที่ 5 และรายละเอียดผลการทดสอบการควบคุมของเหลวแสดงดังต่อไปนี้

1. การควบคุมของเหลวแบบ 1 ถัง ที่ระดับ 3 นิ้ว

จากรูปที่ 6 ที่ระดับของเหลว 3 นิ้ว ทำการทดสอบตามขั้นตอนวิธีการของซิกเลอร์-นิโคลส์ แบบโปรเซสรีแอคชันเคิร์ฟ จากรูปสามารถอ่านค่าเวลาหน่วง t_o ได้เท่ากับ 2.4 s และค่าคงที่ทางเวลา τ ได้เท่ากับ 31.08 s ข้อมูลที่แสดงการคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ที่แสดงดังตารางที่ 1 สามารถคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมแสดงรายละเอียดดังตารางที่ 2 และผลทดสอบการชดเชยค่าความผิดพลาดของตัวควบคุมแต่ละแบบแสดงดังรูปที่ 7 ถึง 10 และสามารถสรุปผลการทดลองได้ดังตารางที่ 3

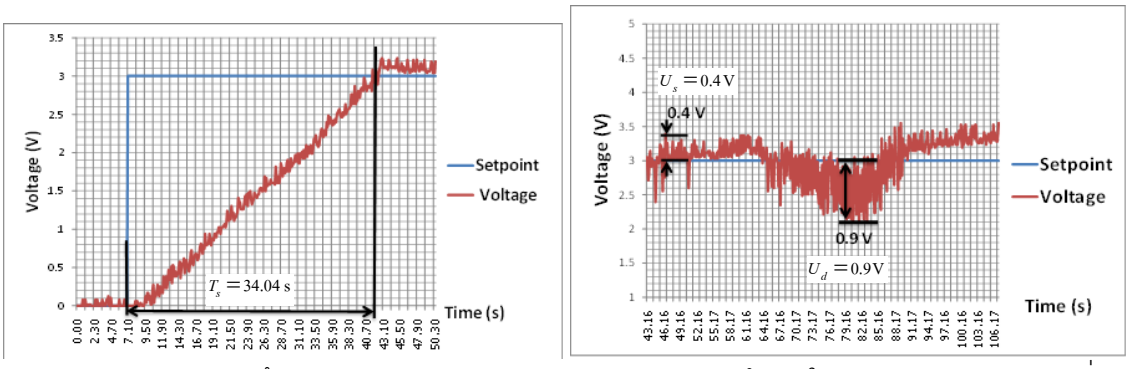
Table 2 ค่าพารามิเตอร์ตัวควบคุมของเหลวแบบ 1 ถัง ระดับ 3 นิ้ว

ตัวควบคุม	K_p	T_i	T_d
แบบพี	12.95	-	-
แบบพีไอ	11.655	0.133	-
แบบพีไอดี	15.54	0.08	0.02



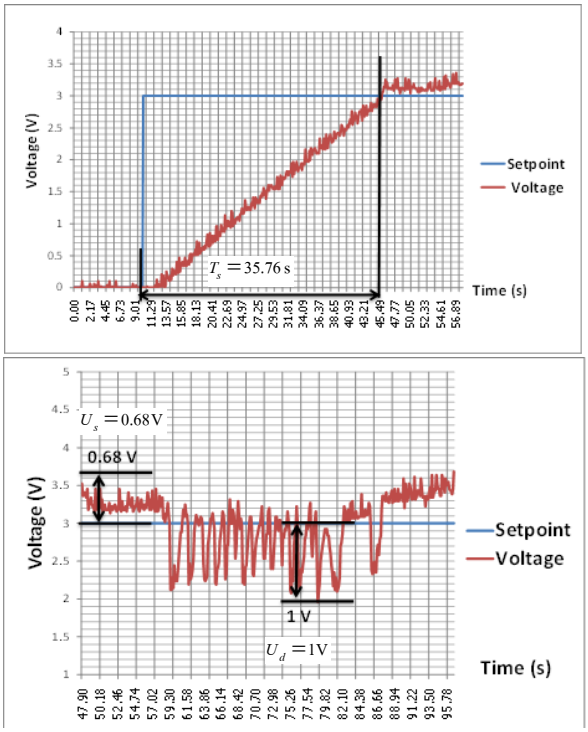
(ก) ช่วงเวลาเข้าสู่สภาวะคงตัว (ข) การทำงานในสภาวะผลการตอบสนองชั่วครู่

Figure 7 การควบคุมของเหลว 1 ถัง โดยใช้ตัวควบคุมแบบพี



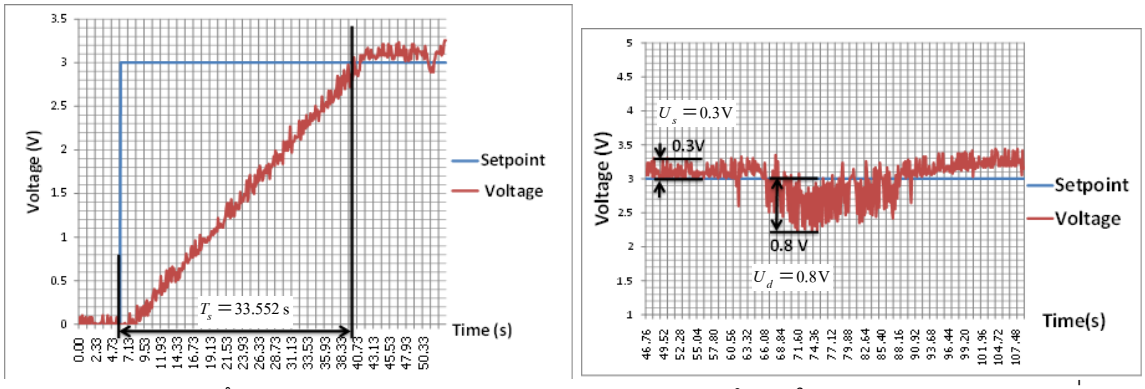
(ก) ช่วงเวลาเข้าสู่สภาวะคงตัว (ข) การทำงานในสภาวะผลการตอบสนองชั่วครู่

Figure 8 การควบคุมของเหลว 1 ถัง โดยใช้ตัวควบคุมแบบพีไอ



(ก) ช่วงเวลาเข้าสู่สภาวะคงตัว (ข) การทำงานในสภาวะผลการตอบสนองชั่วครู่

Figure 9 การควบคุมของเหลว 1 ถัง โดยใช้ตัวควบคุมแบบพีดี



(ก) ช่วงเวลาเข้าสู่สภาวะคงตัว (ข) การทำงานในสภาวะผลการตอบสนองชั่วครู่

Figure 10 การควบคุมของเหลว 1 ถัง โดยใช้ตัวควบคุมแบบพีไอดี

Table 3 ผลการทดสอบการควบคุมของเหลวแบบ 1 ถัง ระดับ 3 นิ้ว

ตัวควบคุม	การทำงานในช่วงเวลาเข้าสู่สภาวะคงตัว		การทำงานในสภาวะการตอบสนองชั่วครู่	
	T_s(s)	U_s(V)	T_{do}(s)	U_d(V)
แบบพี	35.4	0.4	30	1
แบบพีไอ	34.04	0.4	30	0.9
แบบพีดี	35.76	0.68	30	1
แบบพีไอดี	33.552	0.3	30	0.8

จากตารางที่ 3 เมื่อกำหนดให้ T_s คือ ช่วงเวลาที่เข้าสู่สภาวะคงตัว U_s คือ ค่าความผิดพลาดของการควบคุมในสภาวะคงตัว T_{do} คือ ช่วงเวลาเข้าสู่สภาวะคงตัวเมื่อมีการตอบสนองชั่วครู่ ด้วยการปล่อยน้ำทิ้งออกจากถัง และ U_d คือ ค่าความผิดพลาดของการควบคุมในสภาวะการตอบสนองชั่วครู่ สำหรับตัวตรวจจับระดับน้ำ 1 V จะเท่ากับระดับน้ำสูง 1 นิ้ว จากผลการทดสอบในตารางที่ 3 จะเห็นได้ว่าค่าพารามิเตอร์ที่ได้รับจากการออกแบบสามารถนำมาควบคุมการทำงานของระบบควบคุมของเหลวได้ จากผลการทดสอบจะพบว่าตัวควบคุมแบบพีไอดี สามารถควบคุมระดับของเหลวได้เร็วที่สุดโดยใช้เวลาเข้าสู่สภาวะคงตัว 33.552 s และมีค่าความผิดพลาดเพียง 0.3 V (0.3 นิ้ว) และเช่นเดียวกันเมื่อจำลองให้ระบบทำงานในสภาวะผลการตอบสนองชั่วครู่ โดยการเปิดน้ำทิ้งแล้วปิดจะเห็นได้ว่าตัวควบคุมแบบพีไอดีสามารถควบคุมให้ระบบควบคุมของเหลวให้สู่เป้าหมายเดิมโดยใช้เวลาเข้าที่เพียง 30 s

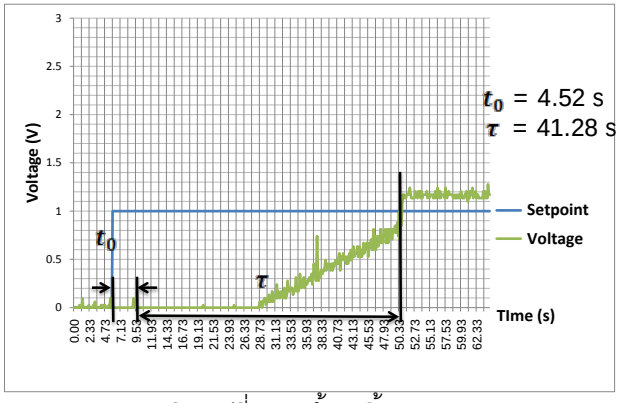
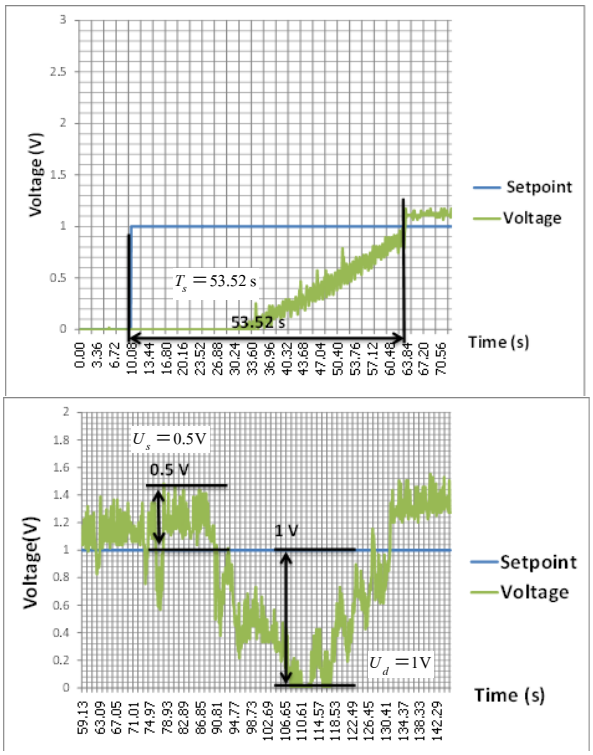


Figure 7 การหาค่าพารามิเตอร์ที่ระดับน้ำ 1 นิ้ว การควบคุมของเหลวแบบ2 ถัง

2. การควบคุมของเหลวแบบ 2 ถัง ที่ระดับ 1 นิ้ว

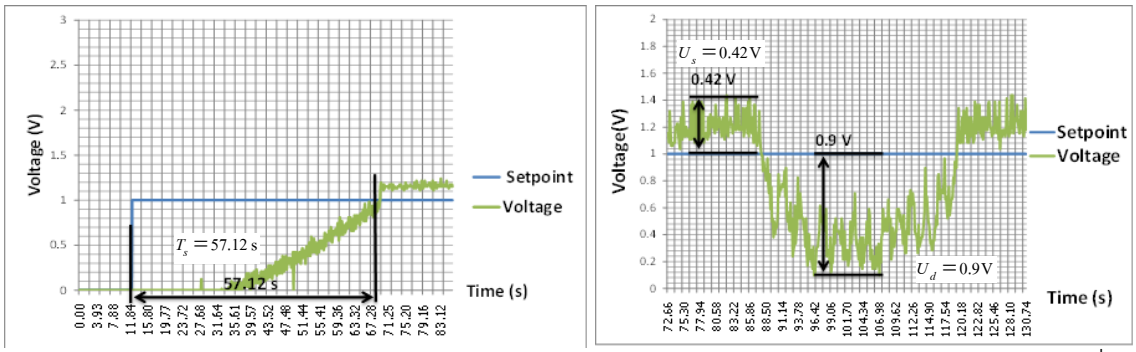
การหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมที่ระดับน้ำ 1 นิ้ว แสดงดังรูปที่ 11 อ่านค่าเวลาหน่วง t_o ได้ค่าเท่ากับ 4.52 sและค่าเวลาคงที่ τ ได้ค่าเท่ากับ 41.28 วินาที ดังนั้นสามารถคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมแต่ละแบบได้ดังตารางที่ 4 และผลการทดสอบของการควบคุมเมื่อใช้ตัวชดเชยแต่ละแบบแสดงผลการทดสอบดังรูปที่ 12 ถึง 16 สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 5 โดยหลักการแล้วระบบควบคุมของเหลวแบบ 1 ถัง เมื่อสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์แล้วจะเป็นระบบอันดับที่หนึ่งแต่เมื่อนำมาต่อแบบคาสเกดกันแล้ว (การควบคุมของเหลวแบบ 2 ถัง) ระบบควบคุมจึงกลายเป็นระบบอันดับสอง สำหรับการใช้ตัวควบคุมแบบพีสามารถควบคุมให้ของเหลวเข้าสู่

เป้าหมายโดยใช้เวลา 53.52 sและในสภาวะผลการตอบสนองชั่วครู่ตัวควบคุมสามารถควบคุมระดับของเหลวให้เข้าสู่เป้าหมายโดยใช้เวลาประมาณ 30 s



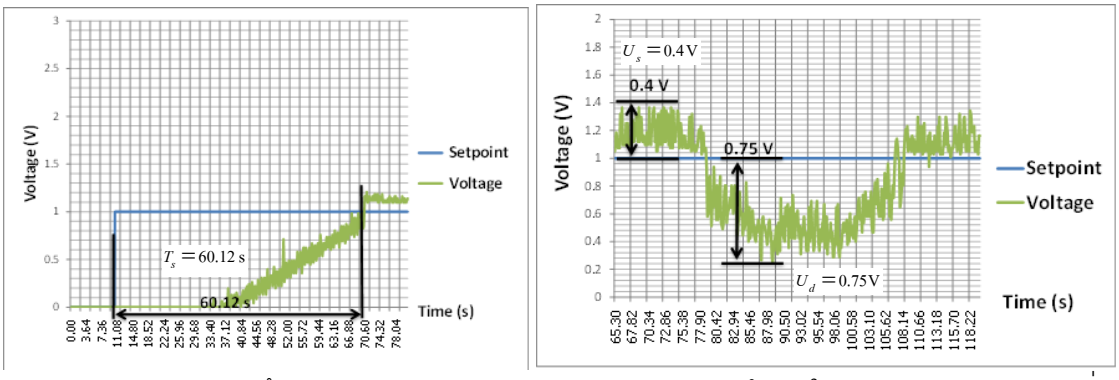
(ก) ช่วงเวลาเข้าสู่สภาวะคงตัว (ข) การทำงานในสภาวะผลการตอบสนองชั่วครู่

Figure 12 การควบคุมของเหลว 2 ถัง โดยใช้ตัวควบคุมแบบพี



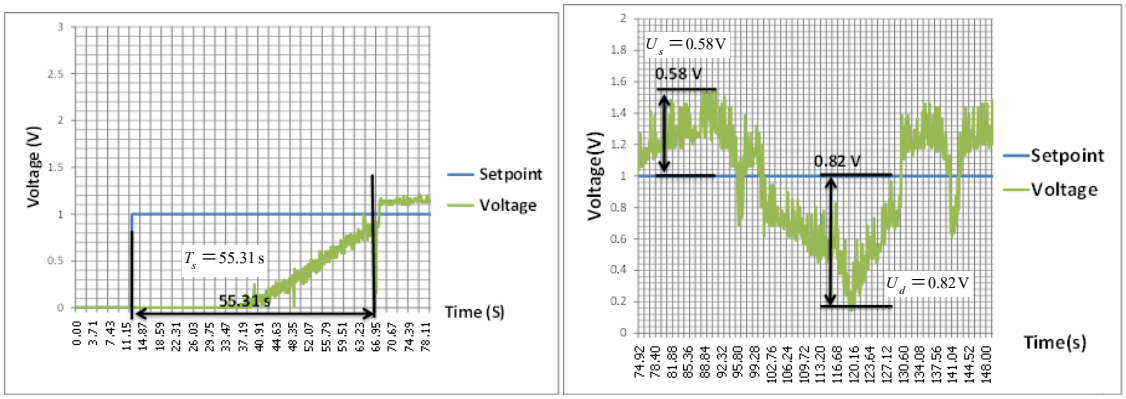
(ก) ช่วงเวลาเข้าสู่สภาวะคงตัว (ข) การทำงานในสภาวะผลการตอบสนองชั่วครู่

Figure 13 การควบคุมของเหลว 2 ถัง โดยใช้ตัวควบคุมแบบพีไอ



(ก) ช่วงเวลาเข้าสู่สภาวะคงตัว (ข) การทำงานในสภาวะผลการตอบสนองชั่วครู่

Figure 14 การควบคุมของเหลว 2 ถัง โดยใช้ตัวควบคุมแบบพีดี



(ก) ช่วงเวลาเข้าสู่สภาวะคงตัว (ข) การทำงานในสภาวะผลการตอบสนองชั่วครู่

Figure 15 การควบคุมของเหลว 2 ถัง โดยใช้ตัวควบคุมแบบพีไอดี

Table 4 ค่าพารามิเตอร์ตัวควบคุมของเหลวแบบ 2 ถัง ระดับ 1 นิ้ว

ตัวควบคุม	K_p	T_i	T_d
แบบพี	9.132	-	-
แบบพีไอ	8.219	0.251	-
แบบพีไอดี	10.959	0.150	0.038

Table 5 ผลการทดสอบการควบคุมของเหลวแบบ 2 ถัง ระดับ 1 นิ้ว

ตัวควบคุม	การทำงานในช่วงเวลาเข้าสู่สภาวะคงตัว		การทำงานในสภาวะการตอบสนองชั่วครู่	
	T_s(s)	U_s(V)	T_{do}(s)	U_d(V)
แบบพี	53.52	0.5	30	1
แบบพีไอ	57.12	0.42	30	0.9
แบบพีดี	60.12	0.4	30	0.75
แบบพีไอดี	55.31	0.58	30	0.82

อภิปรายผล

จากผลการทดสอบจะเห็นได้ว่าเวลาเข้าที่ค่อนข้างช้าและยังมีค่าความผิดพลาดโดยเฉพาะการควบคุมของเหลวแบบ 2 ถัง ดังนั้นในงานวิจัยในอนาคตควรจะเลือกตัวตรวจจับของเหลวที่มีความแม่นยำ ซึ่งในงานวิจัยนี้ใช้ตัวตรวจจับระดับน้ำรุ่น EL-PWLS039XX-VPXXX อาศัยหลักการเปลี่ยนความดันน้ำให้ออกมาในรูปแบบแรงดันเซนเซอร์วัดความดันที่สามารถวัดความดันตั้งแต่ 0 กิโลบาร์ ถึง 3.29 กิโลบาร์ และระดับน้ำที่ 0 เซนติเมตร ถึง 39 เซนติเมตร ความละเอียดที่ 1 มิลลิเมตร ใช้แรงดันที่ 4.75 V ถึง 5.25 V ซึ่งให้แรงดันเอาต์พุตที่ได้ระหว่าง 0.5 V ถึง 4.5 V

สรุป

จากผลการทดสอบการควบคุมของเหลวทั้งแบบ 1 ถัง และ 2 ถังจะพบว่าตัวพารามิเตอร์ของตัวควบคุมที่ออกแบบด้วยวิธีการของ ซิกเลอร์-นิโคลส์ แบบโปรเซสรีแอคชันเคิร์ฟสามารถนำค่าพารามิเตอร์มาป้อนเข้าไปในตัวควบคุมแต่ละแบบ เพื่อควบคุมระดับของเหลวให้เป็นไปตามเงื่อนไขที่กำหนดได้ ดังนั้นผลงานวิจัยที่ได้จัดทำขึ้นจึงสามารถนำไปใช้กับการเรียนการสอนวิชาปฏิบัติระบบควบคุม โดยใช้เป็นชุดสาธิตการออกแบบระบบควบคุมวงรอบปิด ผลที่ได้นักศึกษาสามารถเข้าใจเนื้อหาสาระในการเรียนรู้กระบวนการของระบบควบคุมที่ได้

คำขอบคุณ

ขอขอบคุณสถาบันวิจัยและพัฒนาที่ให้ทุนอุดหนุนการทำวิจัย และนายเทอดศักดิ์ รุ่งรังษี และ นายกมล บัวลอย ที่ช่วยประกอบชุดทดสอบ

เอกสารอ้างอิง

YoungHoon Na Sin Kim Jinsu Kim and Jietae Lee, “Development of Liquid Level Control System Using Web Cam,” International Conference on Control Automation and Systems, 2011, pp. 1527-1528.

Min Li Xing-wen Chen and Yan Liu. “Realization of Liquid Level Real-time Control System Based on LabVIEW,” International Conference on Information Engineering and Computer Science 2009, pp 1-4.

Sandip A. Mehta JatinKatrodiya and BhargavMankad, “Simulation, Design and Practical Implementation of IMC tuned Digital PID controller for liquid level control system,” International Conference on Electronics Communications and Control, 2011, pp. 1-5.

ชัชวาล พรพัฒน์กุล และธวัชชัย จิตต์สนธิ์, “การควบคุมระดับอัตราการไหลของน้ำแบบคาสเคดด้วยระบบสื่อสารแบบฟิลด์บัส,” การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้ามหาวิทยาลัยราชมงคล ครั้งที่ 5, 2556, หน้า 273-276.

BI Shujiaoand DONG Feng, “Modeling for Liquid-Level Control System in Beer Fermentation Process,”Proceedings of the 31st Chinese Control Conference, 2012, pp. 1739-1744.

Muhammad Usman Khalid and Muhammad Bilal Kadri, “Liquid Level Control of Nonlinear Coupled Tanks,” Emerging Technologies (ICET) 2012 International Conference on System using Linear Model Predictive Control, 2012, pp.1-5.