



การควบคุมเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

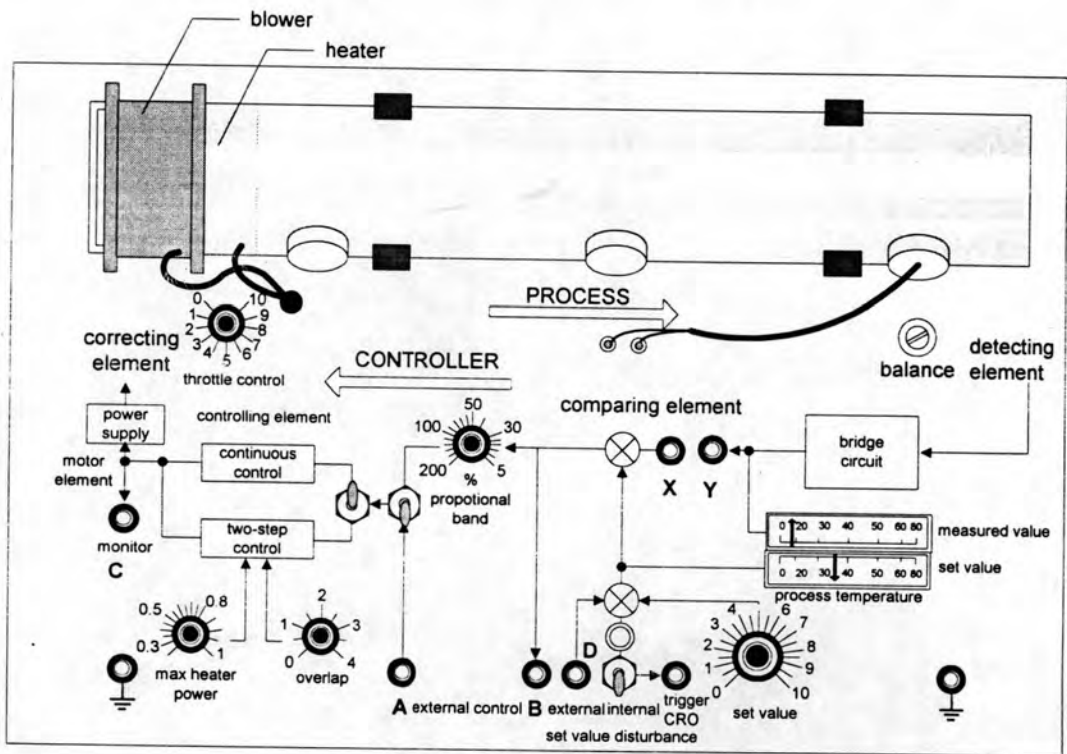
ปัจจุบันได้มีการประยุกต์ใช้การควบคุมแบบพีชชีกับกระบวนการหลายอย่างซึ่งประสบความสำเร็จ และได้มีผลึกพันธ์ซึ่งใช้การควบคุมแบบพีชชีจำหน่ายในท้องตลาด(Terai, et.al., 1991) จึงมีความเป็นไปได้อย่างยิ่งที่จะต้องศึกษาและทำความเข้าใจด้วยความมุ่งหมายเพื่อ (1) แสดงว่าการควบคุมแบบพีชชีสามารถใช้ได้ดีกับกระบวนการง่ายๆ และเปรียบเทียบสมรรถนะของการควบคุมแบบพีชชีกับการควบคุมแบบดั้งเดิม (2) บ่งชี้คุณลักษณะเฉพาะและแนวคิดในการประยุกต์การควบคุมแบบพีชชีเวลาจริงกับการควบคุมกระบวนการ ในงานวิจัยนี้ได้เลือกเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเป็นกระบวนการตัวอย่าง การควบคุมอุณหภูมิของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน โดยทั่วไปไม่เป็นเชิงเส้น เนื่องจากความแตกต่างในความเร็วของผลตอบสนองขณะเพิ่มหรือลดความร้อน ความมุ่งหมายของการควบคุมก็คือ เพื่อให้มีการควบคุมอุณหภูมิที่เสถียร และเรียบเหมือนกับการปฏิบัติการด้วยมือของผู้ปฏิบัติการที่ชำนาญ ตัวควบคุมแบบพีชชีและตัวควบคุมแบบพีไอดีเชิงเลข แบบดั้งเดิมจะถูกนำไปใช้กับเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ผลการทดลองจะถูกเปรียบเทียบและอธิบายต่อไป

ลักษณะสมบัติของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

อุปกรณ์การทดลองในรูปที่ 3.1 คือเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่มีระบบการทำความร้อน กระแสอากาศที่ประกอบด้วย เครื่องเป่าเป็นพัดลมทำหน้าที่พัดให้อากาศหมุนเวียนผ่านท่อที่ติดกัน ซึ่งเครื่องเป่านี้ขณะที่ปฏิบัติการจะตั้งให้อัตราเร็วคงที่ โดยสามารถปรับตั้งอัตราเร็วการไหลของอากาศนี้ได้ผ่านปุ่มปรับบนตัวเครื่องใกล้ๆเครื่องเป่านั่นเอง กระแสอากาศก็จะไหลผ่านเครื่องทำความร้อนไฟฟ้าที่คั่นอยู่ระหว่างเครื่องเป่าและท่อไปตามท่อ เครื่องทำความร้อนนี้มีไทรสเตอร์เป็นตัวขับเร็วซึ่งปรับกำลังที่ให้แก่เครื่องทำความร้อนไฟฟ้า ตามแต่สัญญาณควบคุมที่ส่งมาจากตัวควบคุมอีกทีหนึ่ง กระแสอากาศที่ไหลผ่านเครื่องทำความร้อนจะนำเอาความร้อนออกไปจนถึงตัวรับรู้ ซึ่งตัวรับรู้คือเทอร์มิสเตอร์ที่วัดอุณหภูมิของอากาศ และส่งสัญญาณออกเป็นแรงดันโดยการผ่านวีตส โคนบรีจค์เพื่อใช้ในการควบคุมต่อไป

แบบจำลองคณิตศาสตร์ของระบบประมาณได้เป็นระบบอันดับหนึ่งที่มีการถ่วงเวลา (delay) การถ่วงเวลาขึ้นกับระยะทางระหว่างตัวรับรู้และตัวขับเคลื่อนเป็นสิ่งสำคัญ คุณลักษณะความไม่เป็นเชิงเส้นในภาวะอยู่ตัว และความต่างของความเร็วของผลตอบสนองเมื่อเพิ่มหรือลดความร้อน เป็นข้อยุ่งยากในการควบคุม ดังนั้นอุปกรณ์การทดลองนี้เป็นตัวแทนของการประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมแบบง่ายๆ ซึ่งจะสามารถแสดงสมรรถนะของการควบคุมแบบพีซีซี

ในการทดลองที่จะเสนอต่อไปจะนำสัญญาณแรงดันไฟฟ้าจากจุดต่อ Y (รูปที่ 5.1) ไปใช้เป็นสัญญาณค่าวัดจากกระบวนการเข้าสู่ตัวควบคุม โดยนำไปใช้เปรียบเทียบกับค่าอ้างอิงในตัวควบคุมเอง เพื่อใช้ในขั้นตอนวิธีของระบบควบคุมต่อไป ซึ่งระบบควบคุมก็จะส่งค่าสัญญาณควบคุมกลับคืนสู่กระบวนการเป็นแรงดันไฟฟ้าเข้าที่จุดต่อ A



รูปที่ 5.1 อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่ใช้ในการทดลอง

ข้อกำหนดรายละเอียดของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

<u>ทั่วไป</u>	พิสัยแรงดันสัญญาณเข้าที่(จุดต่อ A)	0 ถึง +10V
	พิสัยแรงดันสัญญาณออก(จุดต่อ Y)	0 ถึง +10V
	โหลดต้านทานต่ำสุดบนช่องออกใดๆ	5k Ω
	เสถียรค่ากำหนดและค่าอากาศ	1 ถึง 10 ลบ.ฟุต/วินาที
	พิสัยกำลังของเครื่องวัด	0°ซ ถึง 80°ซ
<u>กระบวนการ</u>	พิสัยอัตราการไหลของตัวทำความร้อน	15 ถึง 80 วัตต์
	พิสัยอุณหภูมิของอากาศที่ควบคุม	30°ซ ถึง 60°ซ
	Distance/Velocity lag	0.18 วินาที

จุดมุ่งหมายของการควบคุม

เป้าหมายการควบคุมกระบวนการเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนนี้คือ ความพยายามรักษาอุณหภูมิด้านออกของกระบวนการให้คงที่ตามค่าตั้งไว้ นอกจากนี้หากมีการเปลี่ยนแปลงจุดทำงานเช่น ภาระของกระบวนการเปลี่ยนไปหรือมีการเปลี่ยนค่าตั้ง ระบบควบคุมที่ใช้ควรมีความสามารถในการจัดการให้ผลตอบของกระบวนการ กลับสู่สภาวะที่ต้องการได้รวดเร็ว และมีเสถียรภาพ

การออกแบบระบบควบคุมแบบพีซีซี

1. การกำหนดตัวแปรพีซีซีและค่าการเป็นสมาชิก

ตัวแปรสแตตที่เลือกใช้ในการควบคุมแบบพีซีซีนี้เป็นค่าความผิดพลาด ERR ซึ่งเป็นผลต่างระหว่างค่าที่ต้องการกับค่าสัญญาณออกจากกระบวนการ (SV-PV) และค่าการเปลี่ยนแปลงของค่าความผิดพลาด $CERR$ ซึ่งเท่ากับ $ERR_{รอบปัจจุบัน}$ ลบด้วย $ERR_{รอบก่อนหน้า}$ ตัวแปรที่ใช้ในกฎการควบคุมเป็นการเปลี่ยนแปลงของค่าสัญญาณควบคุม CU ตัวแปรที่ใช้ในการควบคุมจริง U ได้จากการนำค่าจาก CU มาบวกกับค่าของ U ในรอบการซักรตัวอย่างที่แล้ว

ในขั้นแรกของการออกแบบระบบควบคุมสำหรับกระบวนการนี้ ได้แบ่งบริเวณในโดเมนของแต่ละตัวแปรออกเป็น 7 บริเวณ และกำหนดชื่อเรียกแต่ละบริเวณให้สอดคล้องกับความหมายทางกายภาพ ซึ่งจะกล่าวถึงในการออกแบบกฎ ดังนี้

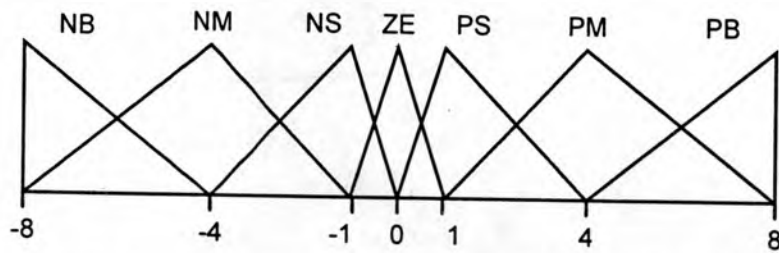
ค่าเป็นลบขนาดใหญ่(Negative Big)	เขียนแทนด้วย	NB
ค่าเป็นลบขนาดปานกลาง(Negative Medium)	เขียนแทนด้วย	NM
ค่าเป็นลบขนาดเล็ก(Negative Small)	เขียนแทนด้วย	NS
ค่าใกล้ศูนย์(Zero)	เขียนแทนด้วย	ZE

ค่าเป็นบวกขนาดเล็ก(Negative Small)	เขียนแทนด้วย	PS
ค่าเป็นบวกขนาดปานกลาง(Negative Medium)	เขียนแทนด้วย	PM
ค่าเป็นบวกขนาดใหญ่(Negative Big)	เขียนแทนด้วย	PB

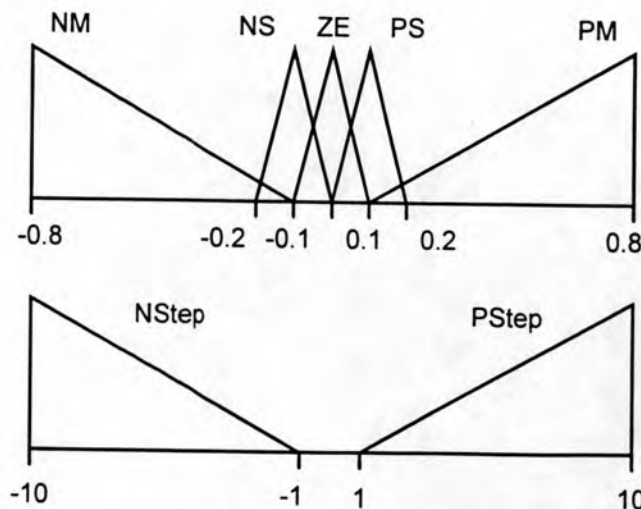
แต่เมื่อทดลองและปรับปรุงต่อมาได้มีการเปลี่ยนชื่อเรียกของบางบริเวณของตัวแปร CERR กับ U ให้เป็น

ค่าการเปลี่ยนแปลงแบบขั้นด้านลบ	เขียนแทนด้วย	NStep
ค่าการเปลี่ยนแปลงแบบขั้นด้านบวก	เขียนแทนด้วย	PStep
ค่าการเปลี่ยนแปลงแบบกระโดดด้านลบ	เขียนแทนด้วย	NJump
ค่าการเปลี่ยนแปลงแบบกระโดดด้านบวก	เขียนแทนด้วย	PJump

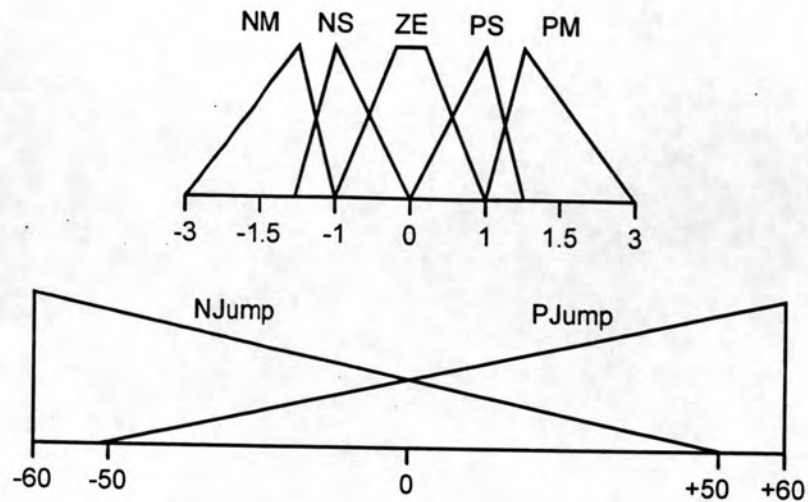
ในแต่ละบริเวณของตัวแปรสแตตที่ถูกแบ่งจะกำหนดด้วยฟังก์ชันการเป็นสมาชิกที่กำหนดให้เฉพาะในโดเมนที่พิจารณา และค่าระดับการเป็นสมาชิกสูงสุดของแต่ละฟังก์ชันเป็น 1.0 ซึ่งในที่สุดสามารถกำหนดฟังก์ชันการเป็นสมาชิกของแต่ละตัวแปรได้เป็นดังนี้



รูปที่ 5.2 ฟังก์ชันการเป็นสมาชิกของตัวแปรฟัซซี ERR(โวลต์)

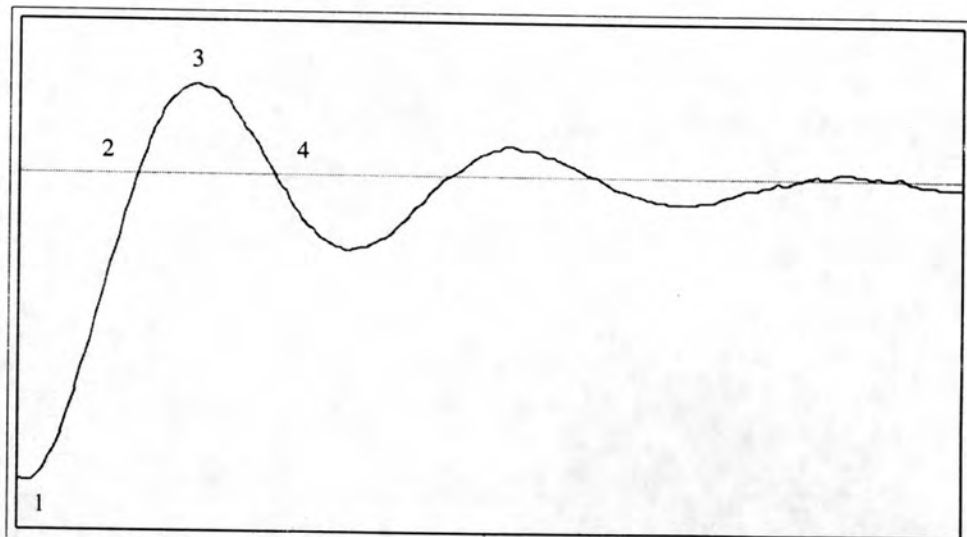


รูปที่ 5.3 ฟังก์ชันการเป็นสมาชิกของตัวแปรฟัซซี CERR(โวลต์/การชักตัวอย่าง)



รูปที่ 5.4 ฟังก์ชันการเป็นสมาชิกของตัวแปรฟัซซี $CU(\%)$

2. การกำหนดกฎการควบคุมฟัซซี



รูปที่ 5.5 ตัวอย่างลักษณะผลตอบจากการควบคุม

แนวความคิดการออกแบบกฎการควบคุมแบบฟัซซีที่แสดงนี้เป็นการพิจารณาว่า ตัวควบคุมควรส่งการควบคุมอย่างไรในแต่ละสภาพของกระบวนการ ในตอนเริ่มแรกเราเริ่มจากความคิดเบื้องต้นว่า ตัวแปรเสตคที่ใช้เป็นความผิดพลาด ERR กับการเปลี่ยนแปลงค่าความผิดพลาด $CERR$ และการควบคุมเป็นแบบเพิ่มค่าสัญญาณการควบคุม CU จากรอบการควบคุมที่แล้ว จากรูปที่ 5.5

ลักษณะผลตอบแทนของกระบวนการมีรูปแบบคล้ายๆกัน จึงจะยกตัวอย่างรูปแบบในรอบแรกแล้วดัดแปลงให้เหมาะสมสำหรับรอบถัดไป

ที่จุดหมายเลข(1) ค่าความผิดพลาดของกระบวนการมีค่ามาก แต่เนื่องจากกระบวนการยังปรับตัวไม่ทันค่าการเปลี่ยนแปลงของความผิดพลาด *CERR* จึงมีค่าใกล้ศูนย์ ในภาวะการณ์เช่นนี้ การเปลี่ยนแปลงค่าสัญญาณควบคุม *CU* ควรมีค่าเป็นบวกค่ามากเพื่อเร่งผลตอบแทนให้เร็วขึ้นดังนั้นกฎจึงเป็น

IF *ERR* is *PB* AND *CERR* is *ZE* THEN *CU* is *PB*

ที่จุดหมายเลข(2) ค่าความผิดพลาดของกระบวนการ *ERR* มีค่าใกล้ศูนย์ แต่การเปลี่ยนแปลงของความผิดพลาด *CERR* จึงมีค่าเป็นลบมาก เพื่อที่จะยังการพุ่งเกินด้านบวกของกระบวนการ ค่าการเปลี่ยนแปลงสัญญาณควบคุม *CU* ควรมีค่าเป็นลบมาก กฎจึงเป็น

IF *ERR* is *ZE* AND *CERR* is *NB* THEN *CU* is *NB*

ที่จุดหมายเลข(3) ค่าความผิดพลาดของกระบวนการ *ERR* มีค่าเป็นลบขนาดใหญ่ แต่การเปลี่ยนแปลงของความผิดพลาด *CERR* จึงมีค่าใกล้ศูนย์เป็นลบมาก ที่จุดนี้ต้องให้ค่าการเปลี่ยนแปลงสัญญาณควบคุม *CU* เป็นค่าลบมาก เพื่อที่จะดึงค่าผลตอบแทนของกระบวนการลง กฎการควบคุมจึงเป็น

IF *ERR* is *NB* AND *CERR* is *ZE* THEN *CU* is *NB*

ที่จุดหมายเลข(4) ค่าความผิดพลาดของกระบวนการ *ERR* มีค่าใกล้ศูนย์อีกครั้ง แต่การเปลี่ยนแปลงของความผิดพลาด *CERR* จึงมีค่าเป็นบวกมาก เพื่อที่จะยังการพุ่งเกินด้านลบของกระบวนการ ค่าการเปลี่ยนแปลงสัญญาณควบคุม *CU* ควรมีค่าเป็นบวกมาก กฎจึงเป็น

IF *ERR* is *ZE* AND *CERR* is *PB* THEN *CU* is *PB*

เนื่องจากขนาดของค่าความผิดพลาดมีขนาดเล็กลงหลังจากเวลาผ่านไปรอบแรก ให้เปลี่ยนกฎที่ใช้จากสัญญาณค่าประเภท “มาก” เป็นค่า “ปานกลาง” และ “เล็ก” ในรอบเวลาถัดไปตามลำดับ สามารถสรุปออกมาเป็นกฎได้ดังในตาราง

CE/E	NB	NM	NS	ZE	PS	PM	PB
PB				PB			
PM				PM			
PS				PS			
ZE	NB	NM	NS	ZE	PS	PM	PB
NS				NS			
NM				NM			
NB				NB			

ตารางที่ 5.1 กฎการควบคุมครั้งที่ 1

บริเวณของสถานะของกระบวนการที่กฎไม่ได้ถูกกำหนดไว้จะมีอยู่ 2 ลักษณะคือ แบบแรกมีกฎข้างเคียงช่วยตัดสินใจให้ได้ เนื่องจากการซ้อนเกกันของฟังก์ชันการเป็นสมาชิกบริเวณที่แบ่งทำให้เกิดการใช้เหตุผลของกฎข้างเคียงได้ผลในลักษณะสอดคล้องตามกฎโดยรวม แบบที่สองในกรณีที่ไม่มีกฎใดที่กำหนดไว้ใช้ในการตัดสินใจควบคุมกระบวนการที่สถานะนั้นได้เสีย ในกรณีนี้ต้องอาศัยค่าโดยปริยาย(default)เช่นในงานวิจัยนี้หากตัวแปรพีชชีเอาต์พุตเป็นแบบตำแหน่ง ค่าโดยปริยายคือค่าสัญญาณควบคุมค่าต่ำที่สุดที่กำหนดพิสัยไว้ หรือถ้าตัวแปรพีชชีเอาต์พุตเป็นแบบเพิ่มค่า ค่าโดยปริยายเป็นการคงค่าสัญญาณควบคุมไว้เท่าเดิมตามที่เป็นอย่างอยู่ในรอบการชักตัวอย่างก่อนหน้า

จากกฎข้างต้นผลคอบของระบบยังคงขึ้นอยู่กับค่าปริยายเพียงรักษาค่าสัญญาณควบคุมไว้ที่เดิมในกรณีที่ไม่มีกฎใดตัดสินใจให้ได้ จึงพยายามเติมกฎที่เหมาะสมเพื่อช่วยให้การทำงานได้ดีขึ้นโดยอ้างอิงจากรูปที่ 5.5 เช่น

ในบริเวณใกล้จุดหมายเลข(1) ค่าความผิดพลาดของกระบวนการยังคงมีค่ามาก แต่ค่าการเปลี่ยนแปลงของความผิดพลาด $CERR$ เริ่มมีค่าเป็นลบขนาดเล็ก เพื่อที่จะเร่งให้ผลคอบเร็วขึ้นจึงใส่กฎที่ให้ค่าการเปลี่ยนแปลงสัญญาณควบคุม CU เป็นค่าบวกขนาดปานกลาง เขียนเป็นกฎได้

IF ERR is PB AND $CERR$ is NS THEN CU is PM

กฎข้างต้นอาจช่วยเร่งให้ผลตอบเพิ่มเร็วขึ้นแต่อาจทำให้เกิดการพุ่งเกินสูง ค่าลบ
ปานกลางสำหรับค่าการเปลี่ยนแปลงสัญญาณควบคุม CU ที่ก่อนบริเวณจุดหมายเลข(2) ควรเพิ่มเข้ามา

IF ERR is PS AND $CERR$ is NB THEN CU is NM

เพื่อที่จะให้ช่วงเวลาเข้าที่สั้น เพิ่มกฎที่จะคงค่าสัญญาณควบคุมใกล้ค่าตั้งนั้นคือ

IF ERR is PS AND $CERR$ is NS THEN CU is ZE

จากความพยายามพิจารณาหากกฎเกณฑ์ที่จะใช้ในการควบคุม หากเติมตารางให้เต็มจน
ได้กฎการควบคุมที่มีลักษณะคล้ายตัวควบคุมแบบพีไอ ดังตารางที่ 5.2

CEVE	NB	NM	NS	ZE	PS	PM	PB
PB	ZE	PS	PM	PB	PB	PB	PB
PM	NS	ZE	PS	PM	PB	PB	PB
PS	NM	NS	ZE	PS	PM	PB	PB
ZE	NB	NM	NS	ZE	PS	PM	PB
NS	NB	NB	NM	NS	ZE	PS	PM
NM	NB	NB	NB	NM	NS	ZE	PS
NB	NB	NB	NB	NB	NM	NS	ZE

ตารางที่ 5.2 กฎการควบคุมพีซีแบบคล้ายพีไอ

แม้ว่าจะได้เติมกฎในการตัดสินใจทุกสถานะแล้วผลการทำงานยังไม่ได้ให้ผลที่
แตกต่างจากตัวควบคุมพีไอนักเมื่อเทียบผลตอบต่อการเปลี่ยนค่าตั้งแบบขั้น แต่จากการสังเกต
การทำงานของควบคุมกระบวนการนี้ โดยสังเกตจากเมื่อมีการเปลี่ยนค่าตั้งแบบขั้นแล้วตัวแปรพีซี $CERR$
สามารถตรวจจับได้เนื่องจากมีค่ามากกว่าในภาวะการทำงานสภาวะปกติมากและเกิดขึ้นช่วงเวลาสั้นมาก
เช่นกัน จึงอาศัยข้อสังเกตนี้ในการปรับปรุงเพิ่มกฎขึ้นมาอีก 2 ข้อ(ด้านบวกและลบ)ซึ่งเป็นเสมือน
การปรับแก้เทอมอินทิกรัลซึ่งเป็นส่วนสำคัญในการแก้ออฟเซตของกระบวนการทำให้การทำงานให้
เร็วขึ้นได้ โดยปรับแก้การกำหนดฟังก์ชันการเป็นสมาชิกเล็กน้อย

IF ERR is NSTEP THEN CU is NJump

IF ERR is PSTEP THEN CU is PJump

และใช้กฎในส่วนที่เหลือเป็นลักษณะคล้ายตัวควบคุมพีไอของเดิมโดยปรับปรุงกฎอีกเล็กน้อยเพื่อประวิงผลตอบมิให้เกิดการพุ่งเกินสูงและลดการแกว่งมากที่สภาวะอยู่ตัว มีผลในลักษณะที่ทำให้แบนด์วิดท์ของตัวควบคุมแคบลงในภาวะที่ความผิดพลาดมีขนาดเล็ก ซึ่งเป็นลักษณะไม่เชิงเส้นของตัวควบคุมแบบพีซีซี นอกเหนือจาก 2 กฎสุดท้ายที่กล่าวถึงแล้ว กฎการควบคุมพีซีซีที่ใช้ทดสอบในรายงานนี้เป็นดังตารางที่ 5.3

CE/E	NB	NM	NS	ZE	PS	PM	PB
PM	NS	ZE	PS	PM	PM	PM	PM
PS	NM	ZE	ZE	PS	PS	PM	PM
ZE	NM	NS	NS	ZE	PS	PM	PM
NS	NM	NM	NS	NS	ZE	ZE	PM
NM	NM	NM	NM	NM	NS	ZE	PS

ตารางที่ 5.3 ตัวอย่างกฎการควบคุมพีซีซีที่ใช้ในงานวิจัยนี้

การทดลองควบคุมกระบวนการ

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการทดลองเปรียบเทียบการควบคุมด้วยตัวควบคุมแบบพีซีซีลอจิก ซึ่งปรับตั้งตามตอนข้างต้น กับ ตัวควบคุมพีไอเชิงเลขแบบดั้งเดิม ซึ่งปรับจูนเริ่มต้นด้วยวิธีการของ Ziegler-Nichols ความถี่การซีกตัวอย่างตั้งไว้คงที่ที่ 40 มิลลิวินาที พารามิเตอร์ของตัวควบคุมทั้งสองแบบเมื่อปรับจูนแล้วไม่เปลี่ยนแปลงตลอดการทดลอง การทดลองแบ่งเป็น 3 ลักษณะดังนี้

1. ผลของการรบกวนค่าตั้งแบบขั้น

ผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าตั้งแบบขั้น โดยการเปลี่ยนค่าตั้งจาก 4 เป็น 6 โวลต์และในทางกลับกันทุกๆ 12 วินาที ผลการทดลองเป็นดังรูปที่ 5.6 ซึ่งแสดงให้เห็นได้ชัดเจนว่า ช่วงเวลาขึ้น

(rise time)ของทั้งสองวิธีมีขนาดใกล้เคียงกัน แต่การพุ่งเกินและเวลาการเข้าสู่ภาวะอยู่ตัวของการควบคุมแบบพีไอดีมีสูงกว่า

ต่อมาเปลี่ยนค่าตั้งระหว่าง 4 ถึง 7 โวลต์ ผลการทดลองเป็นดังรูปที่ 5.7 ผลการทดลองก็เป็นในทำนองเดียวกันกับการทดลองก่อนหน้านี้นี้ โดยการควบคุมแบบพีซีซียังคงให้ผลตอบที่มีลักษณะดีกว่าแบบพีไอดี สังเกตได้ว่าผลตอบของระบบควบคุมด้วยพีไอดีมีลักษณะเช่นเดียวกับในการทดลองแรกเนื่องจากการควบคุมแบบเชิงเส้น ในขณะที่ระบบควบคุมแบบพีซีซีให้ผลตอบที่แตกต่างกันไป อันเนื่องมาจากลักษณะไม่เชิงเส้นของการควบคุมนั่นเอง

2. ผลของการรบกวนภาระแบบขั้น

ผลตอบเมื่อมีการเปลี่ยนภาระแบบขั้น เป็นการเพิ่มภาระให้กระบวนการที่สภาวะอยู่ตัว โดยเปิดให้ปริมาณการไหลเข้าของอากาศมากขึ้น แล้วดูความสามารถในการควบคุมให้สัญญาณออกของกระบวนการกลับสู่ค่าที่ตั้งกำหนดไว้ และผลตอบของการเปลี่ยนค่าตั้งในสภาวะที่ภาระเปลี่ยนไปนี้สุดท้ายปรับปริมาณการไหลของอากาศกลับสู่ภาวะทำงานปกติ ผลการควบคุมแสดงดังรูปที่ 5.8

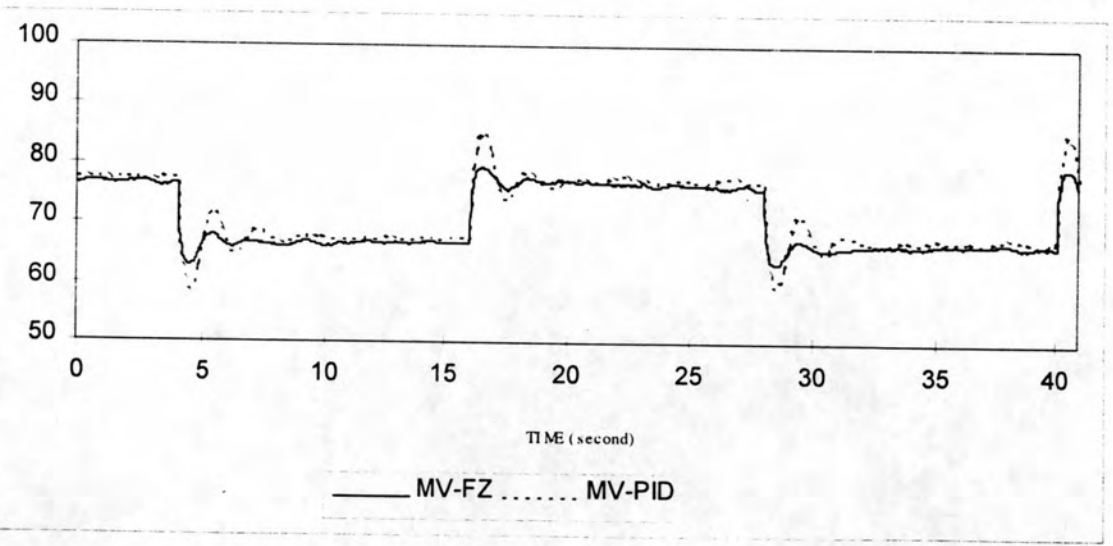
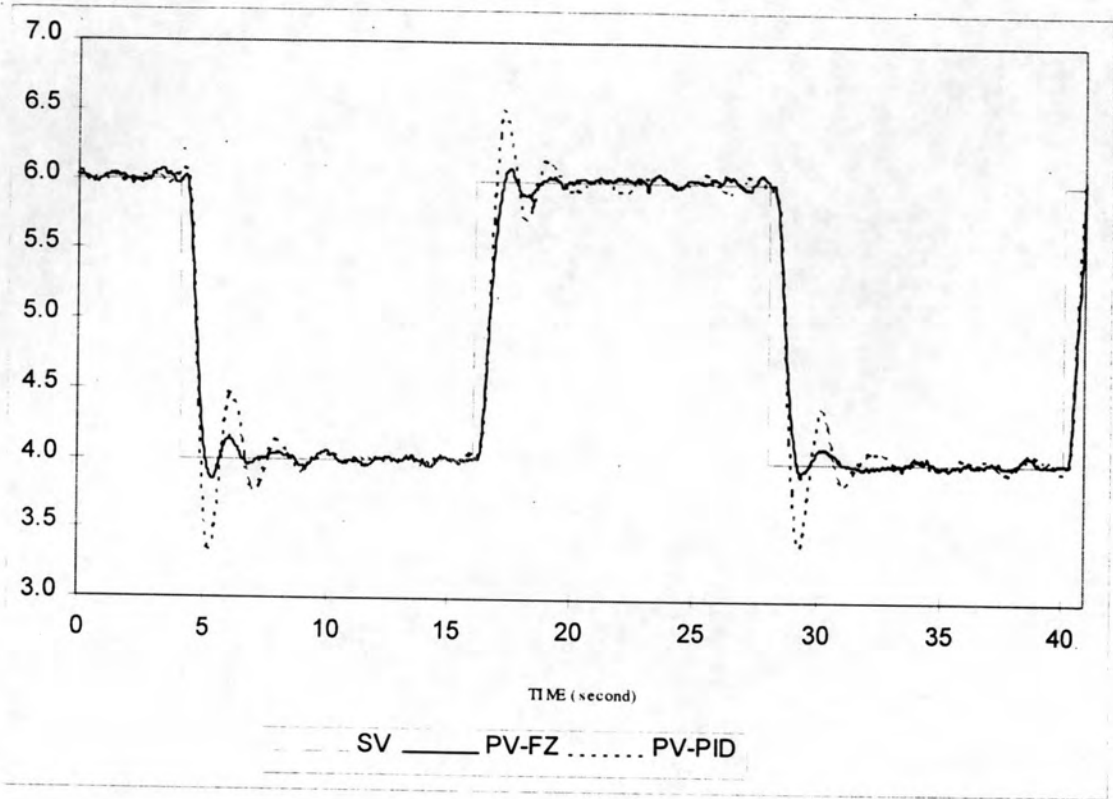
จากรูปแม้ว่าผลของการรบกวนภาระในการทดลองนี้จะแสดงถึงความสามารถในการควบคุมที่รักษาเสถียรภาพของระบบและ ขับดันให้ผลตอบของกระบวนการกลับสู่สภาวะอยู่ตัวตามที่ต้องการได้ ผลตอบของตัวควบคุมแบบพีซีซีมีลักษณะที่เปลี่ยนแปลงน้อยกว่าวิธีของตัวควบคุมพีไอดี

3. ผลของการรบกวนค่าตั้งแบบไซน์

ผลตอบเมื่อเปลี่ยนค่าตั้งเป็นสัญญาณรูปไซน์ ขนาดแอมพลิจูด 4 โวลต์ยอดถึงยอดที่ความถี่ 0.1 และ 1.0 Hz. ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 5.9 และ 5.11 ตามลำดับ

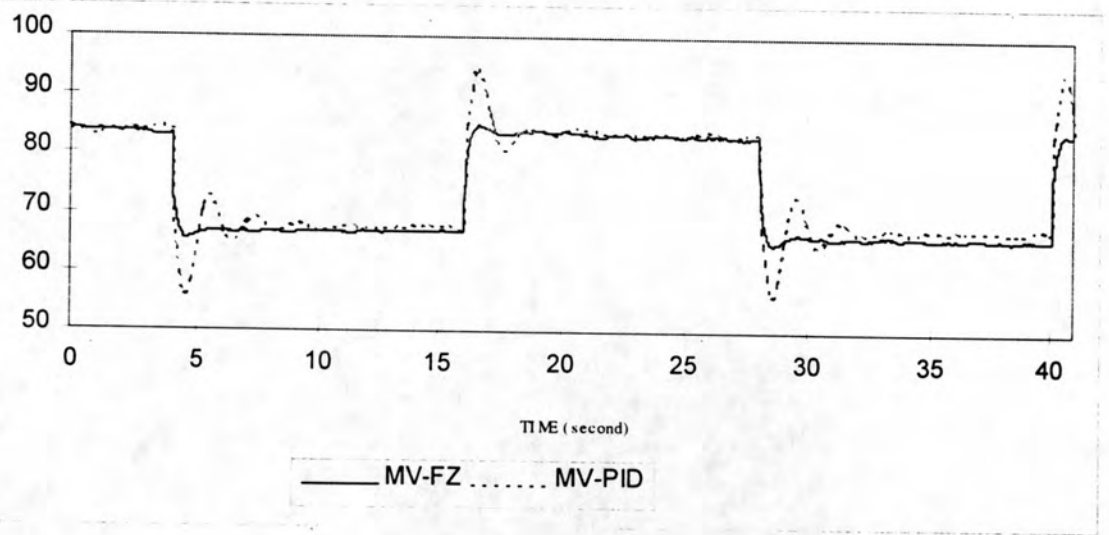
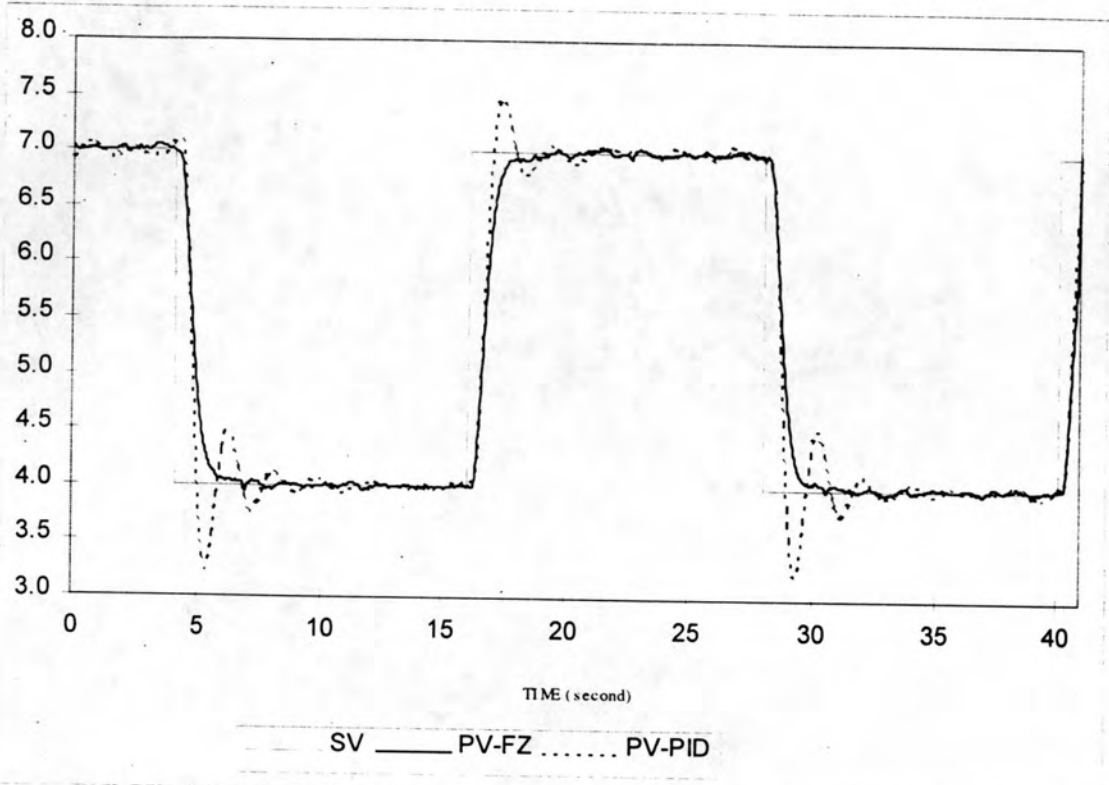
จากรูปที่ 5.9 เมื่อกำหนดค่าตั้งเป็นสัญญาณไซน์ที่ความถี่ต่ำ การติดตามค่าตั้งของทั้งสองเป็นไปด้วยดีโดยที่มีความแตกต่างเพียงเล็กน้อย

รูปที่ 5.10 เมื่อความถี่ของการรบกวนสูงขึ้นจะเห็นได้ถึงคุณสมบัติเชิงความถี่ของตัวควบคุมทั้งสองแบบ ซึ่งตัวควบคุมแบบพีซีซีในช่วงนี้มีลักษณะของการกรองผ่านค่าที่มีแบนด์วิดท์แคบกว่าตัวควบคุมพีไอดี



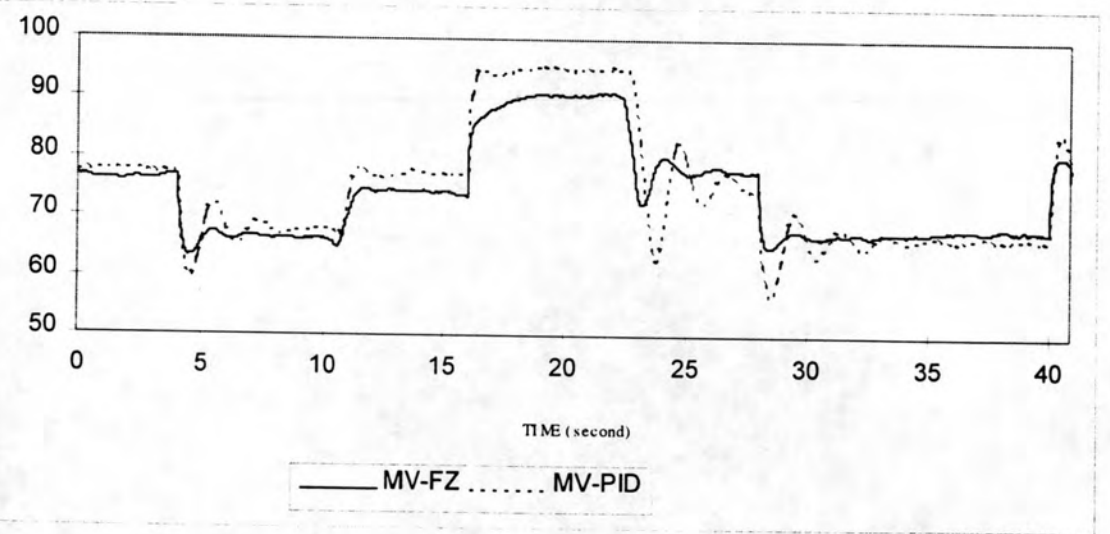
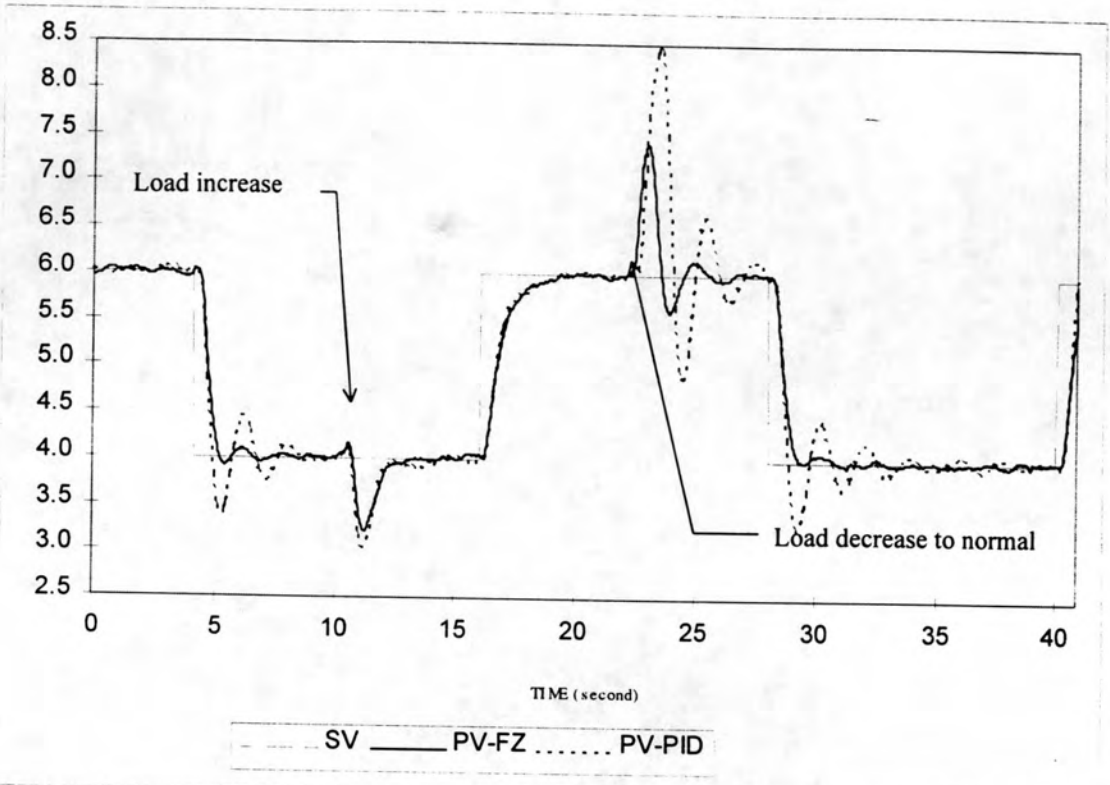
	Fuzzy	PID
% overshoot	8	33
t_s (second)	3.3	5

รูปที่ 5.6 ผลตอบการควบคุมเมื่อเปลี่ยนค่าตั้งแบบขั้นขนาดเล็ก



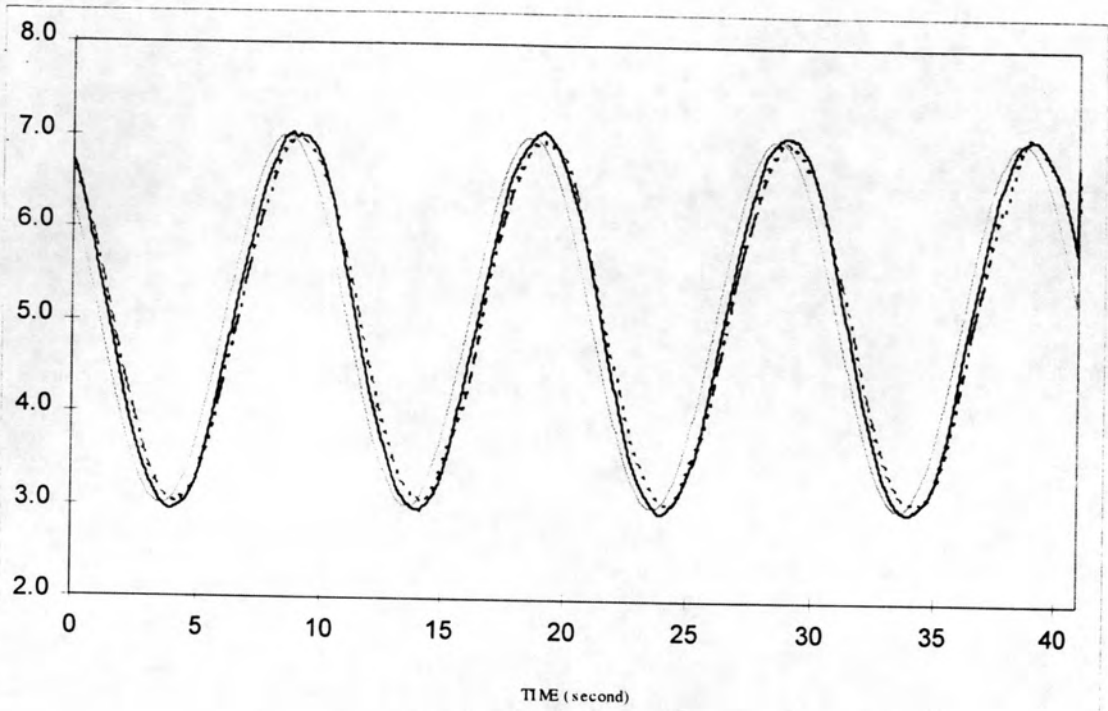
	Fuzzy	PID
% overshoot	2	26
t_s (second)	3.8	7.2

รูปที่ 5.7 ผลตอบการควบคุมเมื่อเปลี่ยนค่าตั้งแบบขั้นขนาดใหญ่

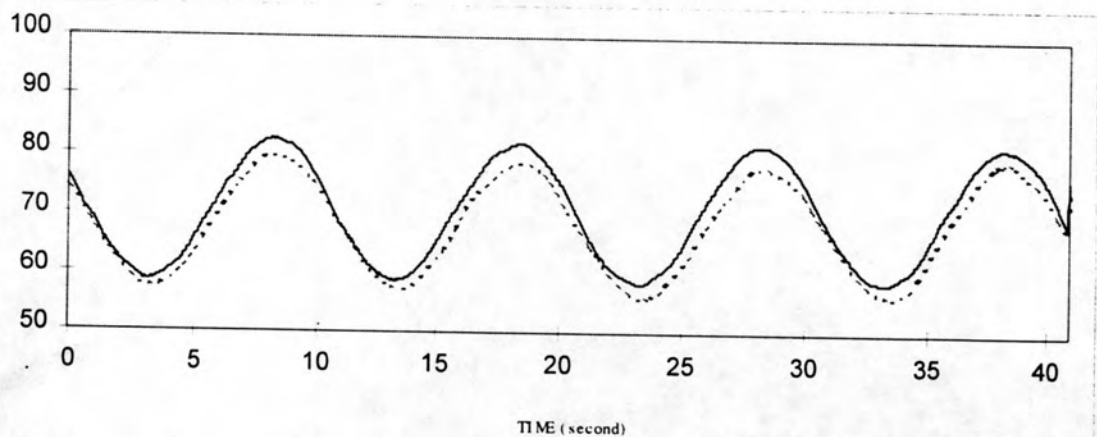


	Fuzzy	PID
% overshoot	47	83
t_s (second)	3	5

รูปที่ 5.8 ผลตอบการควบคุมเมื่อมีการเปลี่ยนภาระ

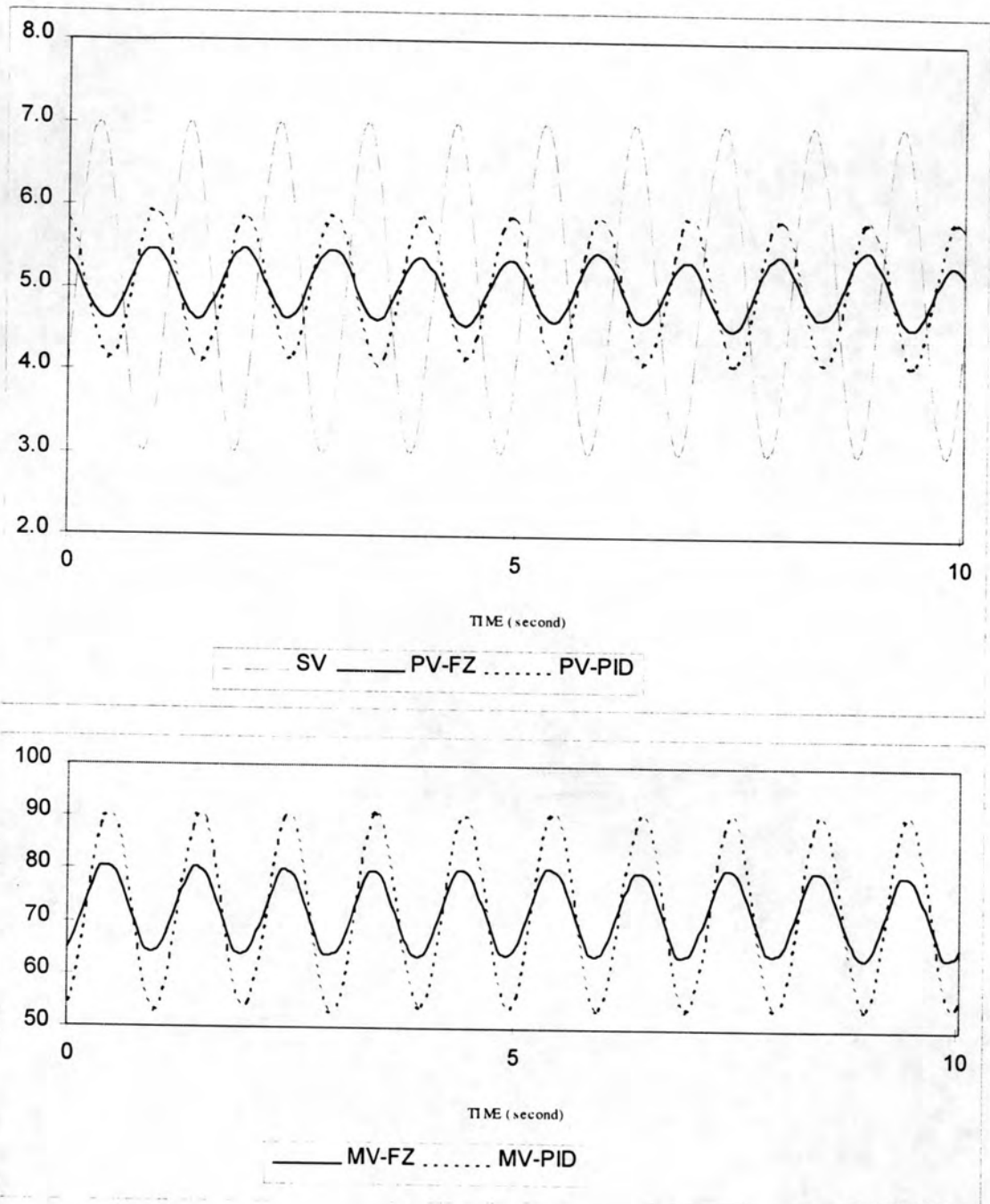


— SV — PV-FZ PV-PID



— MV-FZ MV-PID

รูปที่ 5.9 ผลตอบการควบคุมเมื่อมีการเปลี่ยนค่าตั้งเป็นสัญญาณไซน์ความถี่ 0.1Hz



รูปที่ 5.10 ผลตอบการควบคุมเมื่อมีการเปลี่ยนค่าตั้งเป็นสัญญาณไซน์ความถี่ 1.0 Hz