บทที่ 6

อุปกรณ์และวิธีการดำเนินการวิจัย

ในบทนี้กล่าวถึงรายละเอียดของอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย การทำงานของระบบการทดลอง โปรแกรมตัวควบคุมฟัซซีลอจิกที่ได้สร้างขึ้น เงื่อนไขการใช้งานตลอดจนวิธีการใช้โปรแกรม และขั้นตอนการทดลอง

6.1 ระบบการทดลอง

งานวิจัยนี้มุ่งความสนใจไปที่การควบคุมกระบวนการแบบไม่เชิงเส้น โดยเป็นลักษณะของการควบคุมระดับของเหลวแบบแน่นอน (Tight liquid level control) ซึ่งใช้เป็นตัวแทนของกระบวนการจริงในอุตสาหกรรม ลักษณะของกระบวนการตัวอย่างนี้คือเป็นถังทรงกลมที่ต้องการควบคุมระดับน้ำภายในถังให้มีค่าที่แน่นอนที่สุด สามารถให้ผลตอบสนองที่ดีต่อการเปลี่ยนแปลงค่าเซ็ทพอยท์ มีความคงทนต่อต่อสิ่งรบกวน และการเปลี่ยนย่านปฏิบัติการในระบบ ระบบการทดลองแสดงในรูปที่ 6.1 การควบคุมทำโดยโปรแกรมตัวควบคุมจากคอมพิวเตอร์โดยรับสัญญาณระดับของเหลวจากตัววัด (LT) ในรูปของสัญญาณกระแส 4-12 มิลลิแอมป์ แล้วเปลี่ยนให้อยู่ในรูปของแรงดันไฟฟ้าขนาด 0-5 โวลท์ ด้วยตัวแปลงสัญญาณ

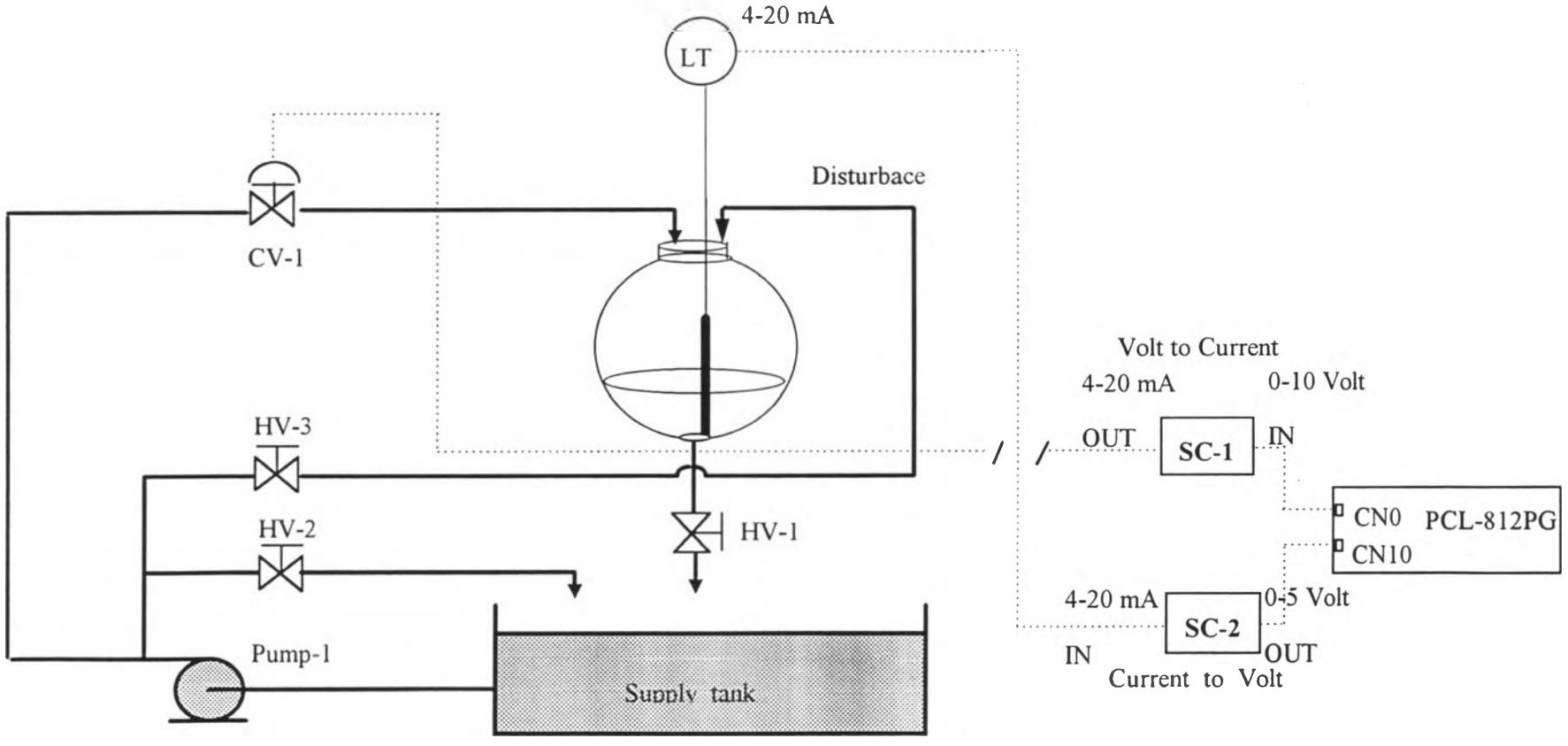
กระแสให้เป็นแรงดัน SC1 เพื่อใช้เป็นสัญญาณอินพุทของการ์ด PCL-812PG การ์ดนี้จะทำการเปลี่ยนสัญญาณที่ได้ในรูปสัญญาณอะนาล็อกให้อยู่ในรูปสัญญาณดิจิตัลขนาด 12 บิต เป็นสัญญาณอินพุทของโปรแกรมตัวควบคุม แล้วทำการคำนวณตามอัลกอริธึมของตัวควบคุมจนได้เป็นสัญญาณเอาท์พุท ซึ่งสัญญาณนี้จะถูกเปลี่ยนกลับให้อยู่ในรูปสัญญาณอะนาล็อกมีค่าระหว่าง 0-10 โวลท์อีกครั้งแล้วผ่านเข้าสู่ตัวแปลงสัญญาณแรงดันเป็นกระแส SC2 จะทำให้ได้สัญญาณเอาท์พุทมีค่า 4-20 มิลลิแอมป์ ใช้เป็นสัญญาณปรับวาล์วควบคุม CV1 ซึ่งทำหน้าที่ปรับเปลี่ยนอัตราการไหลของน้ำเข้าสู่ถัง ภายในวาล์วควบคุมจะมีตัวเปลี่ยนสัญญาณกระแสให้เป็นสัญญาณลมขนาด 3-15 psi เพื่อใช้เป็นตัวปิด/เปิดวาล์วตามสัญญาณที่ได้รับ น้ำในถังจะไหลออกด้านล่างด้วยแรงโน้มถ่วงผ่านวาล์ว HV1 ซึ่งเปิดไว้คงที่ ลงสู่ถังเก็บและถูกสูบวนกลับเข้าสู่กระบวนการอีกครั้งด้วยปั๊มพ์ P1 ปริมาณของน้ำบางส่วนจะถูกแบ่งกลับลงมาสู่ถังเก็บด้วยวาล์ว HV2 ซึ่งเปิดไว้คงที่ และปริมาณน้ำอีกส่วนหนึ่งจะใช้เป็นตัวรบกวนกระบวนการ โดยสามารถปรับเปลี่ยนอัตราการไหลได้ด้วยวาล์ว HV3 ซึ่งจะปิดในสภาวะปกติและจะเปิดเมื่อต้องการเพิ่มการรบกวนเข้าสู่กระบวนการ

6.2 อุปกรณ์การทดลองการทดลอง

รายละเอียดอุปกรณ์ต่างๆ ของระบบการทดลองมีดังนี้

ก.) กระบวนการทดลอง

กระบวนการทดลองที่ใช้เป็นตัวแทนของกระบวนการไม่เชิงเส้นในที่นี้คือ ถังพลาสติก

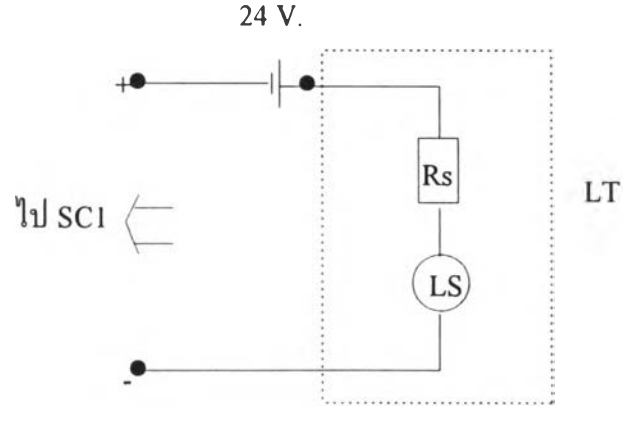


รูปที่ 6.1 แสดงระบบและอุปกรณ์การทดลอง

ใสทรงกลมมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 40 เซนติเมตร ส่วนบนมีช่องสำหรับน้ำไหลเข้าสู่ถังและด้านล่างเป็นช่องเพื่อปล่อยให้น้ำไหลออกด้วยแรงโน้มถ่วงของโลก

ข.) ตัววัดระดับของเหลว (LT)

ตัววัดระดับน้ำที่ใช้เป็นชนิดไฮโดรสแตติก มีช่วงการวัดอยู่ที่ระดับ 0-30 เซนติเมตร และให้สัญญาณเอาท์พุทมีค่า 4-12 มิลลิแอมป์ ส่วนประกอบที่สำคัญของตัววัดคือ หลอดวัด ซึ่งทำหน้าที่เก็บกักความดันอากาศที่เกิดจากระดับของน้ำภายในถัง และแผ่นไดอะแฟรม (Diaphram) ที่ทำหน้าที่เปลี่ยนความดันเป็นกระแสไฟฟ้า ระดับน้ำภายในถังที่เข้าไปในหลอดของตัววัดจะทำให้อากาศภายในหลอดเกิดการเปลี่ยนแปลงความดันซึ่งเป็นผลให้แผ่นไดอะแฟรมภายในตัววัดเกิดการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทาน ซึ่งถ้าตัววัดนี้อยู่ในวงจรไฟฟ้าก็จะทำให้กระแสที่ไหลในวงจรเกิดการเปลี่ยนแปลงไปตามปริมาณความดันที่ได้รับ ลักษณะของการต่อวงจรเพื่อใช้งานแสดงในรูปที่ 6.2



รูปที่ 6.2 การต่อวงจรใช้งานของตัววัดระดับของเหลว

จากรูป แหล่งจ่ายกระแสตรงภายนอกขนาด 24 โวลท์ จะทำหน้าที่จ่ายกระแสที่ผ่านเข้าสู่ตัววัด LS ซึ่งมีค่าความต้านทานที่เปลี่ยนแปลงไปตามความดันหรือระดับน้ำที่เข้ามาในหลอดวัด ทำให้กระแสที่ไหลในวงจรเกิดการเปลี่ยนแปลงตาม ค่ากระแสนี้จะถูกกำหนดด้วยความต้านทาน Rs ซึ่งใช้เป็นตัวปรับให้มีค่าในช่วง 4-12 มิลลิแอมป์ ในช่วงการวัด 0-100 % สัญญาณที่ได้จะเข้าสู่ SC1 เพื่อเปลี่ยนจากกระแส 4-12 มิลลิแอมป์ให้เป็นแรงดัน 0-5 โวลท์ เพื่อเข้าสู่ระบบคอมพิวเตอร์ต่อไป

ค.) วาล์วควบคุม (CV-1)

วาล์วควบคุมที่ใช้ในการทดลองนี้มีขนาด 1 นิ้ว ทำงานด้วยสัญญาณลมขนาด 3-15 psi การเชื่อมต่อสัญญาณระหว่างวาล์วกับตัวควบคุมทำได้ในลักษณะของสัญญาณกระแส 4-20 มิลลิแอมป์ สัญญาณนี้จะถูกเปลี่ยนเป็นแรงดันลม 3-15 psi ได้ด้วยตัวเปลี่ยนสัญญาณกระแส-แรงดันลมซึ่งมีอยู่ในชุดวาล์วโพสิชันเนอร์ (Valve positioner) ที่ประกอบมากับวาล์วควบคุม

ง.) โกลบวาล์ว HV-1, HV-2, HV-3

HV-1 ทำหน้าที่ปล่อยน้ำออกจากถังทรงกลมสู่ถังเก็บซึ่งอัตราการไหลออกของน้ำจะขึ้นกับระดับความสูงของน้ำภายในถัง

HV-2 ทำหน้าที่แบ่งน้ำบางส่วนไหลกลับเข้าสู่ถังเก็บเพื่อป้องกันความเสียหายของปัมพ์และระบบท่อในขณะที่วาล์วควบคุม CV-1 ปิดเต็มที่

HV-1 และ HV-2 มีขนาด 0.5 นิ้ว ในสภาวะปกติจะเปิดไว้เต็มที่เสมอ

HV-3 โกลบวาล์วขนาด 0.5 นิ้ว ทำหน้าที่ปิด/เปิดน้ำบางส่วนที่ไหลเข้าสู่กระบวนการเพื่อใช้เป็นตัวรบกวนระบบซึ่งจะเปิดประมาณ 80% เมื่อต้องการให้เกิดการรบกวนกับระบบ

จ.) ถังเก็บน้ำสแตนเลสขนาด 50 ลิตร

ฉ.) ปั๊มพ์น้ำสแตนเลสขนาด 0.5 แรงม้า มีอัตราสูบน้ำ 0-200 ลิตร/นาที

6.3 ระบบคอมพิวเตอร์ควบคุม

ระบบคอมพิวเตอร์ควบคุมประกอบด้วยส่วนของฮาร์ดแวร์คือส่วนของเครื่องคอมพิวเตอร์และส่วนของการอินเตอร์เฟซสัญญาณ และส่วนของซอฟท์แวร์คือโปรแกรมตัวควบคุมที่สร้างขึ้นซึ่งจะได้กล่าวภายหลัง รายละเอียดส่วนของฮาร์ดแวร์มีดังนี้

ก.) เครื่องคอมพิวเตอร์ที่มีหน่วยประมวลผลรุ่น 80386 DX มีหน่วยความจำแรมขนาด 4 เมกกะไบต์ มีเนื้อที่ฮาร์ดดิสก์ 120 เมกกะไบต์

ข.) ชุดแปลงสัญญาณ

ตัวแปลงสัญญาณกระแสเป็นแรงดัน (SC1) รับสัญญาณอินพุทเป็นกระแสในช่วง 4-20 มิลลิแอมป์ และให้สัญญาณเอาท์พุทเป็นแรงดันไฟฟ้ามีค่า 0-10 โวลท์

ตัวแปลงสัญญาณแรงดันเป็นกระแส (SC2) รับสัญญาณอินพุ ทเป็นแรงดันในช่วง 0-10 โวลท์ และให้สัญญาณเอาท์พุทเป็นกระแสมีค่าในช่วง 4-20 มิลลิแอมป์

ค.) การ์ดเก็บ-ส่งข้อมูลรุ่น PCL-PG ของ ADVANTECH

กระบวนการอินเตอร์เฟซสัญญาณของระบบการทดลองในส่วนสำคัญคือ การ์ดเก็บสัญญาณวัดจากกระบวนการในรูปสัญญาณอะนาล็อก แล้วเปลี่ยนให้อยู่ในรูปสัญญาณดิจิตัลเพื่อใช้ในโปรแกรมตัวควบคุม และแปลงจากดิจิตัลให้เป็นสัญญาณอะนาล็อกเพื่อเป็นเอาท์พุทของตัวควบคุม กระบวนการดังกล่าวนี้สามารถทำได้โดยการเรียกใช้งานการ์ด PCL-812PG เพียงตัวเดียว การใช้งานทำได้โดยการเรียกผ่านฟังก์ชันภายในไลบรารีของการ์ดจากโปรแกรมตัวควบคุม ซึ่งลักษณะและวิธีการใช้งานของการ์ดนี้ได้แสดงไว้ในภาคผนวก ก.

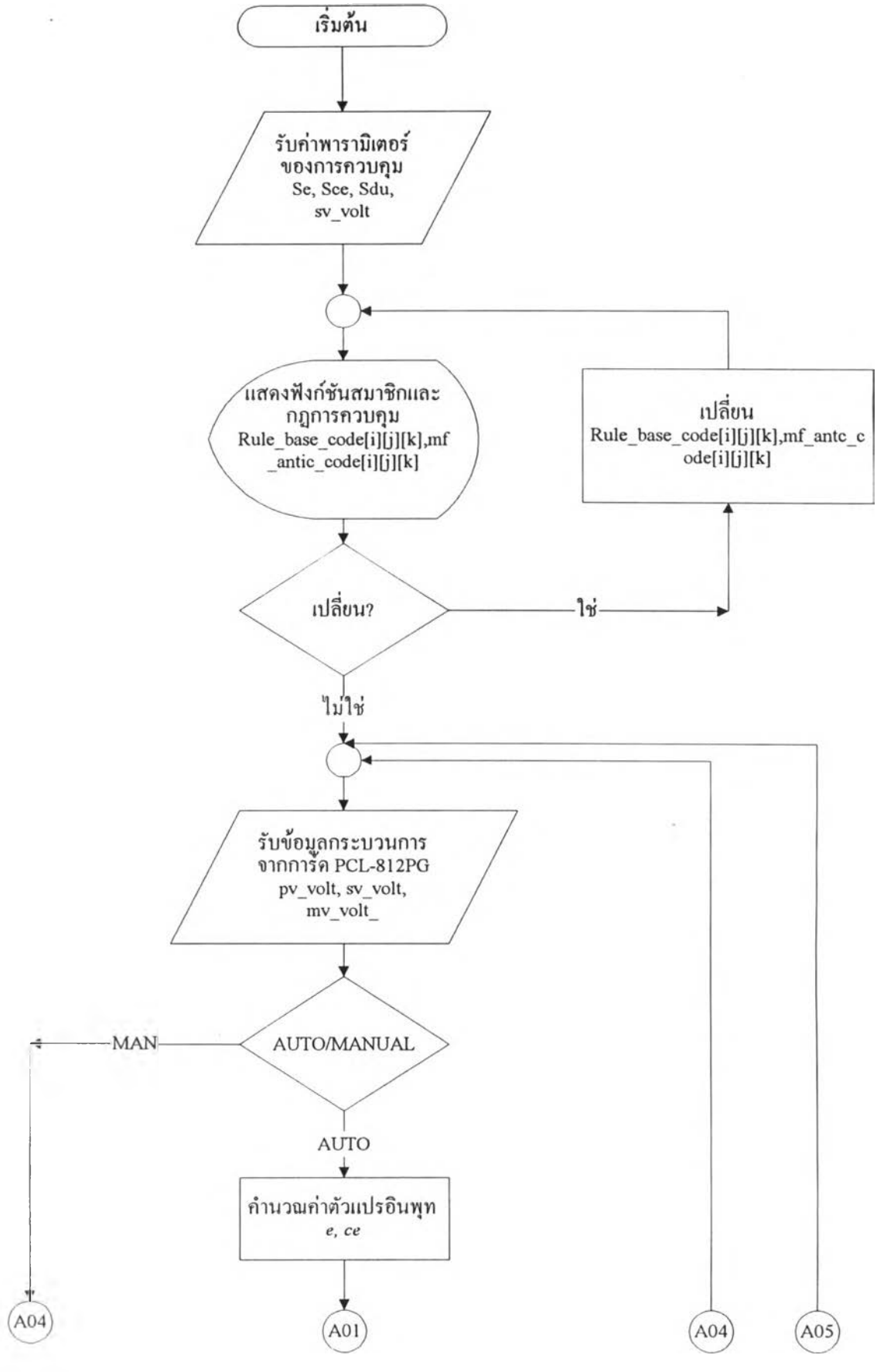
6.4 โปรแกรมตัวควบคุมแบบฟัซซีลอจิก

อัลกอริธึมของฟัซซีลอจิกทั้งหมดโดยรายละเอียดของการออกแบบตัวควบคุมในบทที่ 5 ได้ถูกนำมาเขียนเป็นโปรแกรมตัวควบคุมเพื่อใช้สาธิตการควบคุมระดับของเหลวในถังทรงกลม โดยมีลักษณะการออกแบบที่ง่ายต่อการใช้งาน การติดต่อกับผู้ใช้และการแสดงผลเป็นแบบกราฟฟิค ผู้ใช้สามารถปรับเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ปรับจูน รูปร่างฟังก์ชันสมาชิก กฎการควบคุม ค่าเซ็ทพอยท์ได้ในขณะโปรแกรมทำการควบคุม ด้วยการสั่งงานผ่านแป้นพิมพ์หรือใช้เมาส์ ผังการทำงานของโปรแกรมตัวควบคุมแสดงในรูปที่ 6.3 และ6.4

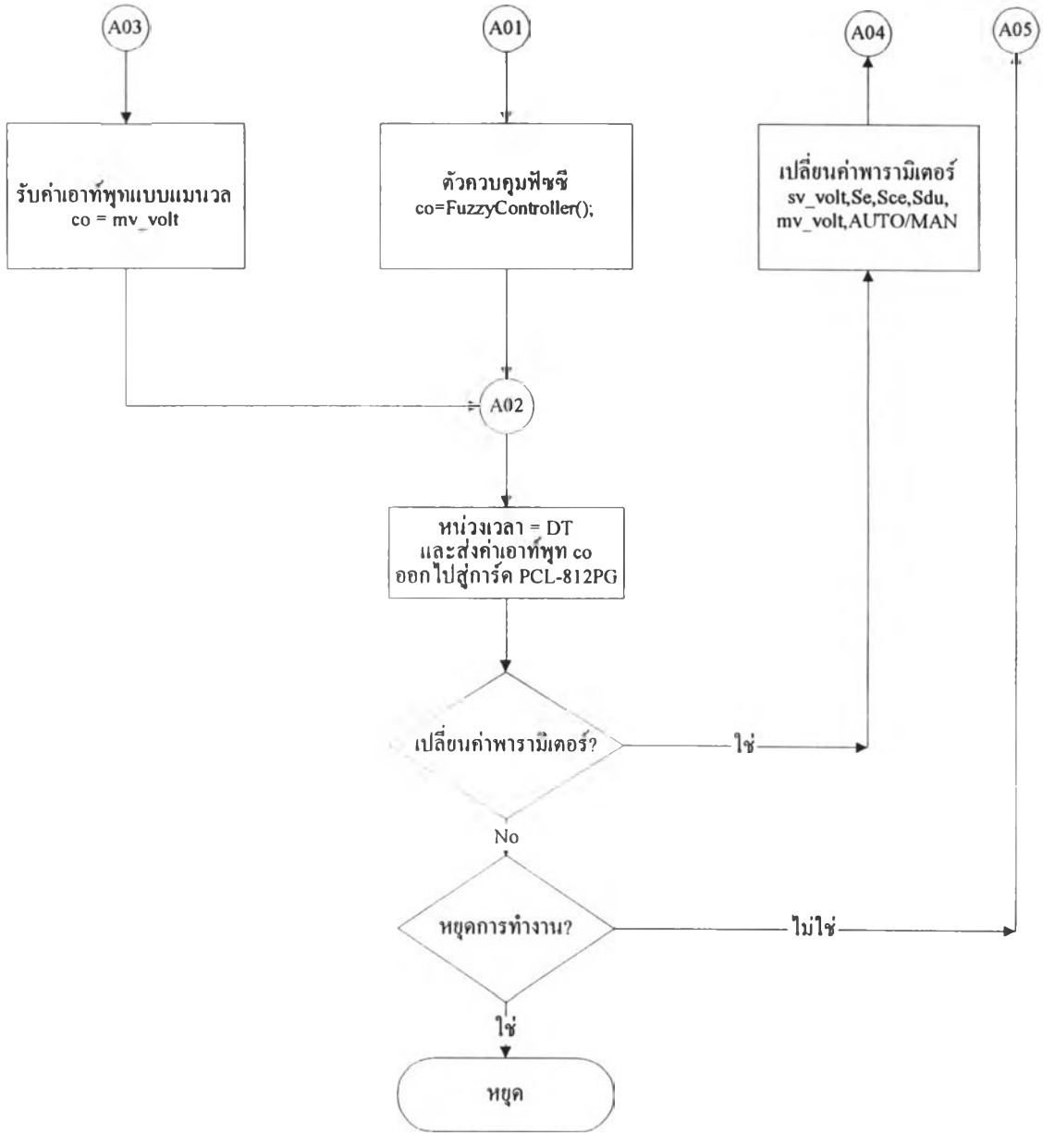
จากรูปที่ 6.3 และ 6.4 เป็นลำดับขั้นการทำงานของโปรแกรมตัวควบคุมฟัซซี เริ่มจากการรับค่าเริ่มต้นของพารามิเตอร์ฟัซซี เช่น พารามิเตอร์ปรับจูน ($S_e, S_{ce}, S_{\Delta u}$) ค่าเซ็ทพอยท์ (sv_volt) แล้วทำการแสดงกฎการควบคุมและฟังก์ชันสมาชิกออกทางหน้าจอ ซึ่งจะอนุญาติให้ผู้ใช้สามารถแก้ไขได้ จากนั้นเป็นการรับข้อมูลอินพุทจากการ์ดเก็บสัญญาณในรูปตัวแปรวัด

(pv_volt) แล้วเข้าสู่การเลือกโหมดซึ่งถ้าเป็นโหมดอัตโนมัติโปรแกรมจะเข้าสู่การคำนวณหาค่าตัวแปรอินพุทคือ *e*, *ce* เพื่อใช้เป็นอินพุทของอัลกอริธึมตัวควบคุมฟัซซี และทำการคำนวณได้ค่าเอาท์พุทเป็นสัญญาณควบคุม จากนั้นหน่วงเวลาของลูพจนครบช่วงเวลาเก็บข้อมูลจึงส่งค่าสัญญาณควบคุมออกสู่กระบวนการโดยผ่านการ์ดเก็บข้อมูล แล้ววนลูพกลับไปที่ขั้นตอนการรับข้อมูลอินพุทจากกระบวนการอีกครั้งจนกว่าจะสั่งให้หยุดการควบคุม

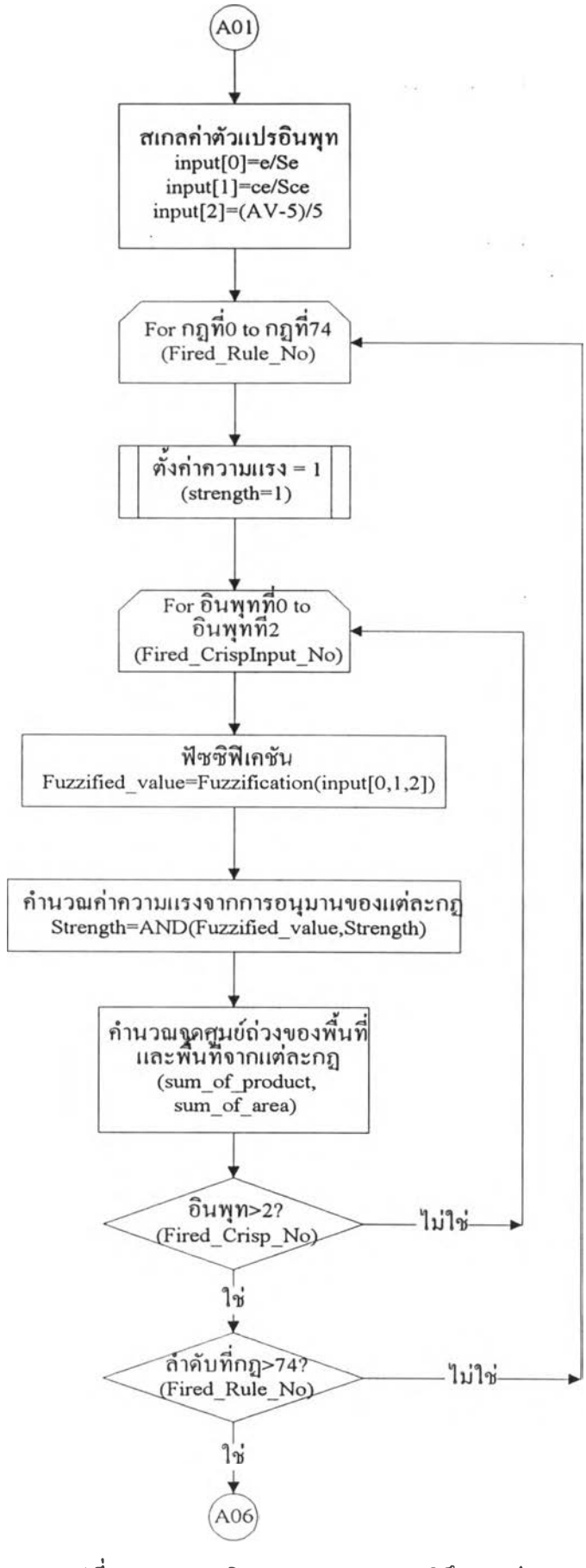
รูปที่ 6.4 เป็นอัลกอริธึมของฟัซซีลอจิก มีขั้นตอนการทำงานคือ ทำการสเกลค่าตัวแปรฟัซซีทั้งหมดที่อ่านได้จากกระบวนการ ให้อยู่ในรูปของตัวแปรใช้งาน (input[0], input[1], input[2]) จากนั้นตั้งค่าตัวแปรของกระบวนการดีฟัซซีคือ sum_of_prod และ sum_of_area ให้เป็น 0 (sum_of_prod คือ ผลรวมของ พื้นที่จากการดีฟัซซี*จุดศูนย์ถ่วง) จากนั้นเริ่มทำการอนุมานกฎที่ 1 ด้วยการเปลี่ยนตัวแปรใช้งานทุกตัวให้เป็นตัวแปรฟัซซีในกระบวนการดีฟัซซิฟิเคชันแล้วนำค่าความเป็นสมาชิกที่ได้จากตัวแปรอินพุททุกตัวมากระทำกันด้วยตัวดำเนินการ “AND” ซึ่งจะได้ค่า “ความแรง” (strength) ไปใช้ในการคำนวณหาพื้นที่และจุดศูนย์ถ่วงเพื่อใช้คำนวณหาผลคูณของพื้นที่กับจุดศูนย์ถ่วงของแต่ละกฎ จากนั้นวนกลับไปคำนวณแบบเดียวกันในกฎที่ 2, 3 ไปเรื่อยๆ จนครบทุกกฎ ผลลัพท์จากแต่ละกฎ คือผลรวมของผลคูณพื้นที่กับจุดศูนย์ถ่วง และผลรวมของพื้นที่ จะถูกนำมาคำนวณหาผลลัพท์รวมด้วยกระบวนการดีฟัซซีแล้วทำการสเกลค่าด้วย $S_{\Delta u}$ เป็นเอาท์พุทของตัวควบคุม



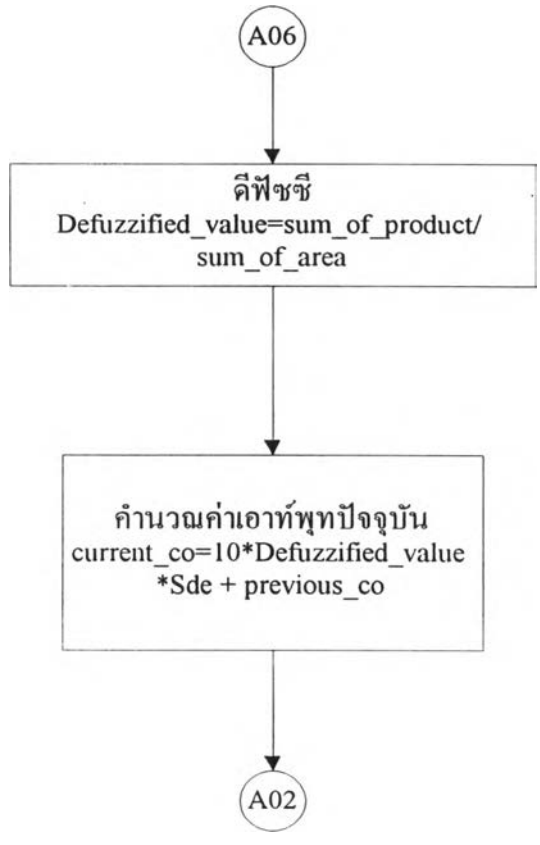
รูปที่ 6.3 แสดงแผนภูมิสายงานของโปรแกรมตัวควบคุมฟัซซีลอจิก



รูปที่ 6.3 (ต่อ) แสดงแผนภูมิสายงานของโปรแกรมตัวควบคุมฟัซซีลอจิก



รูปที่ 6.4 แผนภูมิสายงานของอัลกอริธึมฟัซซีลอจิก



รูปที่ 6.4 (ต่อ) แผนภูมิสายงานของอัลกอริธึมฟัซซีลอจิก

6.4.1 ข้อมูลจำเพาะของโปรแกรม

โปรแกรมตัวควบคุมฟัซซีลอจิกที่สร้างขึ้น มีข้อมูลจำเพาะดังนี้

ก.) สัญญาณอินพุท/เอาท์พุทของโปรแกรม

โปรแกรมนี้ออกแบบให้สามารถรับขนาดของสัญญาณอินพุทที่ได้จากตัววัดและตัวแปลงสัญญาณกระแสเป็นแรงดันที่มีขนาด 0-5 โวลท์ ซึ่งสอดคล้องกับช่วงของการวัดระดับของเหลวในช่วง 0-30 เซ็นติเมตร หรือ 0-100 % และให้สัญญาณเอาท์พุทมีค่า 0-10 โวลท์ ซึ่งเพียงพอที่จะใช้ขับอุปกรณ์ควบคุมต่างๆ ได้

ข.) ตัวแปรระบบ

ตัวแปรที่ใช้ในโปรแกรมได้ออกแบบโดยรายละเอียดในบทที่ 5 ซึ่งแบ่งได้เป็นตัวแปรอินพุท ตัวแปรช่วย และตัวแปรเอาท์พุท ตัวแปรอินพุทประกอบด้วย e ,ce ตัวแปรช่วย AV และตัวแปรเอาท์พุท Δu

ค.) จำนวนฟังก์ชันสมาชิก

ฟังก์ชันสมาชิกที่ใช้ในโปรแกรมจะแบ่งเป็นฟังก์ชันส่วนของตัวแปรอินพุท ตัวแปรช่วย และตัวแปรเอาท์พุท

ฟังก์ชันสมาชิกของตัวแปรอินพุท e และ ce จะมีจำนวนเท่ากันคือ 5 ฟังก์ชัน คือ

NB, NS, ZE, PS และ PB ซึ่งนิยามของฟังก์ชันดังกล่าวแสดงไว้แล้วในบทที่ 5

ฟังก์ชันสมาชิกของตัวแปรช่วย AV มีจำนวน 3 ฟังก์ชัน ตามจำนวนของย่านปฏิบัติการ 3 ย่าน คือ

NB, ZE และ PB

ฟังก์ชันสมาชิกของตัวแปรเอาท์พุท Δu มีจำนวณ 7 ฟังก์ชันคือ

NB, NM, NS, ZE, PS, PM และ PB

จ.) จำนวนกฎฟัซซี

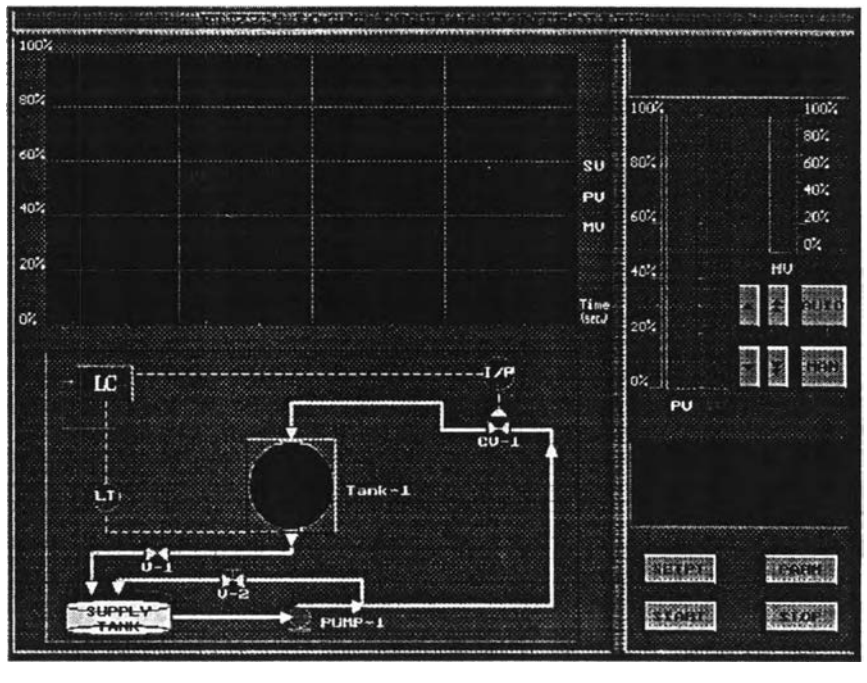
กฎฟัซซีทั้งหมดในโปรแกรมมีจำนวณ 75 กฎ โดยแบ่งออกเป็นย่านปฏิบัติการ 3 ย่านๆ ละ 25 กฎ ผู้ใช้สามารถปรับลดได้ตามความจำเป็นของการควบคุม ซึ่งวิธีในการปรับลดและ

ปรับเปลี่ยนจะได้กล่าวถึงในหัวข้อต่อไป (กฎการควบคุมทั้งหมดแสดงไว้แล้วในบทที่ 5)

6.4.2 การใช้งานโปรแกรม FLC

โปรแกรมตัวควบคุมแบบฟัซซีลอจิกได้ถูกสร้างขึ้นโดยมีลักษณะของการติดต่อกับผู้ใช้และแสดงผลของการทำงานแบบกราฟฟิค ผู้ใช้จะสามารถแก้ไขหรือเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ได้ตลอดการทำงานโดยการใช้เมาส์คลิกส์ไปที่ปุ่มต่างๆ บนหน้าจอ หรืออาจใช้การกดอักษรย่อของปุ่มด้วยแป้นพิมพ์ก็ได้ วิธีการใช้งานโปรแกรมแสดงเป็นขั้นตอนดังนี้

1.) เรียกโปรแกรมตัวควบคุมแบบฟัซซีลอจิกโดยพิมพ์ FLC.BAT รอจนหน้าจอปรากฏดังรูปที่ 6.5 แล้วกด <ENTER> หนึ่งครั้งโปรแกรมจะเริ่มทำงาน



รูปที่ 6.5 แสดงหน้าจอเริ่มต้นของโปรแกรมตัวควบคุม

รูปที่ 6.5 เป็นหน้าจอของตัวควบคุมฟัซซีซึ่งการสั่งงานของผู้ใช้ทำได้ด้วยการคลิกเมาส์ที่ปุ่มฟังก์ชันต่างๆ หรืออาจเลือกตัวอักษรย่อจากแป้นพิมพ์ หน้าที่ของปุ่มฟังก์ชันต่างๆ มีดังนี้

AUTO: โหมดการควบคุมแบบอัตโนมัติ เมื่อเลือกปุ่มนี้จะทำให้การทำงานของตัวควบคุมเป็นแบบอัตโนมัติคือมีการรับข้อมูลกระบวนการเข้ามาทำการคำนวณหาค่าตัวแปรปรับกระบวนการด้วยอัลกอริธึมของตัวควบคุม

MAN: โหมดการควบคุมแบบแมนวล เมื่อเลือกปุ่มนี้จะทำให้การทำงานของตัวควบคุมเป็นแบบแมนวลซึ่งอนุญาติให้ผู้ใช้สามารถกำหนดค่าของเอาท์พุทจากตัวควบคุมได้โดยตรง

UP/DOWN ARROW: ใช้ในการปรับเปลี่ยนค่าเซ็ทพอยท์ในกรณีการควบคุมอัตโนมัติ และใช้เปลี่ยนแปลงค่าเอาท์พุทของตัวควบคุมในกรณีทำการควบคุมแบบแมนวล

SETPT: ปุ่มเปลี่ยนค่าเซ็ทพอยท์ ใช้ในกรณีต้องการเปลี่ยนค่าเซ็ทพอยท์เมื่ออยู่ในโหมดการควบคุมแบบอัตโนมัติ

PARAM: ปุ่มเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์การควบคุมอันได้แก่ พารามิเตอร์ปรับจูน กฎการควบคุม ฟังก์ชันสมาชิก ช่วงเวลาการเก็บข้อมูล

START: ปุ่มเริ่มการทำงาน เมื่อคลิกปุ่มนี้ตัวควบคุมจะเข้าสู่ลูพการควบคุมทันที

STOP: ปุ่มหยุดการทำงาน เมื่อคลิกปุ่มนี้ตัวควบคุมจะหยุดการทำงานและออกจากโปรแกรม

สัญลักษณ์ของตัวแปรได้แก่

PV: ค่าตัวแปรกระบวนการหรือตัวแปรควบคุมในที่นี้หมายถึงระดับของน้ำภายในถังทรงกลม

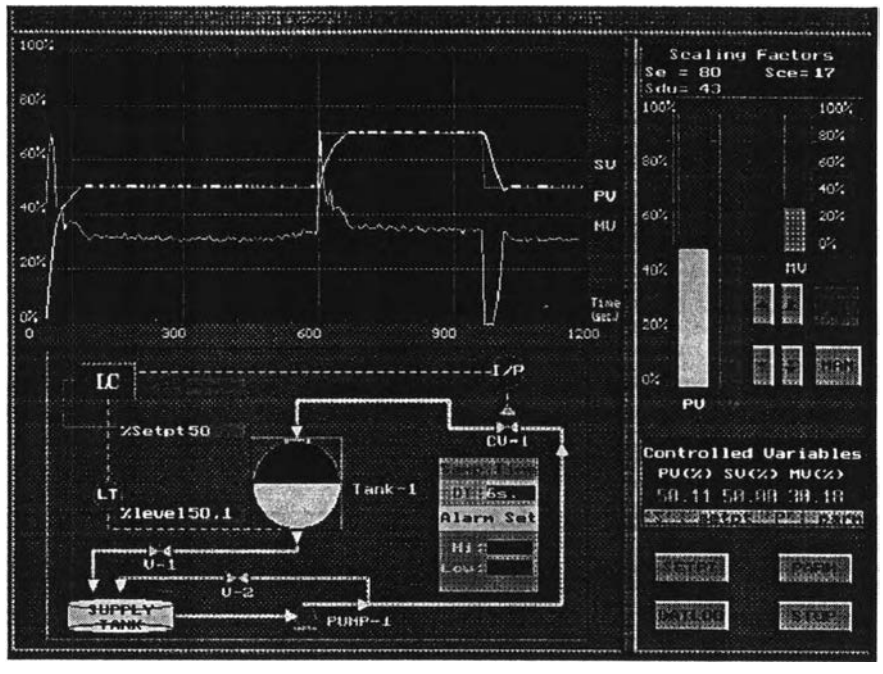
SV: ค่าเซ็ทพอยท์

MV: ค่าตัวแปรปรับกระบวนการซึ่งก็คือเอาท์พุทของตัวควบคุมหรือตำแหน่งของวาล์วควบคุม

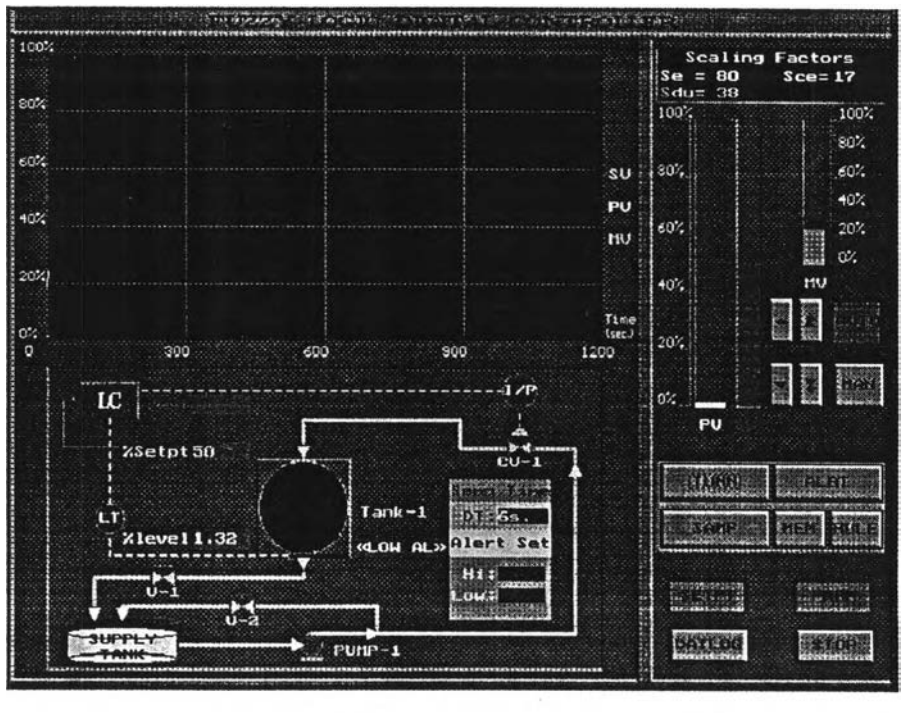
2.) ใส่ค่าพารามิเตอร์ที่จำเป็นตามขั้นตอนของโปรแกรมจนปรากฏคำว่า "Ok !I am ready now!" ให้กด <ENTER> หรือ อักษร "A" จากแป้นอักษรโปรแกรมจะเข้าสู่ลูพการควบคุมทันที รูปที่ 6.6 แสดงหน้าจอการควบคุมซึ่งจะเป็นหน้าจอหลัก

3.) การเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ระหว่างการทำงานสามารถทำได้โดยเลื่อนเมาส์ไปที่ปุ่ม "PARAM" ที่หน้าจอหลัก แล้วคลิกที่ปุ่มซ้าย 1 ครั้ง หรือเลือก " P " จากแป้นพิมพ์ จะเข้าสู่เมนูการเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ต่างๆ คือ พารามิเตอร์ปรับจูน ("TUN") ช่วงเวลาเก็บข้อมูล ("SAMP") การเตือน ("ALRM") ฐานกฎ ("RULE") ฟังก์ชันสมาชิก ("MEM") ดังแสดงในรูปที่ 6.7 ตัวอย่างการเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ปรับจูนทำได้โดยเลือก "TUN" หน้าจอจะแสดงในรูปที่ 6.8 ผู้ใช้สามารถเปลี่ยนแปลงค่าดังกล่าวได้โดยใช้แป้นพิมพ์ ซึ่งจะมีค่าได้ในช่วง >0 ถึง 100 ภายหลังการเปลี่ยนค่าแล้ว โปรแกรมจะกลับเข้าสู่ลูพการควบคุมโดยอัตโนมัติ

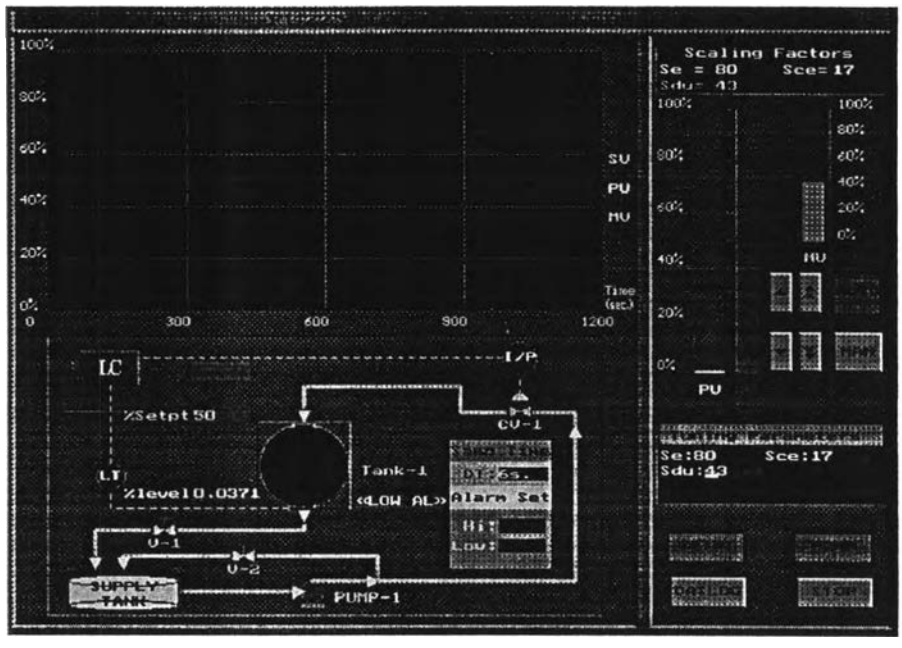
4.) การเปลี่ยนแปลงค่าเซ็ทพอยท์ทำได้โดยเลื่อนเมาส์ไปที่ปุ่ม "SETPT" แล้วคลิก 1 ครั้ง หรือโดยการเลือก "S" จากแป้นพิมพ์ โปรแกรมจะขึ้นกรอบสำหรับเปลี่ยนค่าเซ็ทพอยท์ดังแสดงในรูปที่ 6.9 ผู้ใช้สามารถกำหนดค่าเซ็ทพอยท์ใหม่ได้จากแป้นพิมพ์โดยจะต้องมีค่าอยู่ภายในช่วง 0-100%ในกรณีที่ต้องการเปลี่ยนค่าเซ็ทพอยท์ช่วงละ 10% สามารถทำได้โดยคลิกเมาส์ไปที่ ⩓ในกรณีของการเพิ่มและ ⩔ในกรณีต้องการลดค่า และถ้าต้องการเปลี่ยนช่วงละ 1% ก็ทำได้โดยคลิกเมาส์ที่ △เมื่อต้องการเพิ่มค่าและ ▽ เมื่อต้องการลดค่า



รูปที่ 6.6 หน้าจอหลักของตัวควบคุม



รูปที่ 6.7 หน้าจอแสดงการเปลี่ยนพารามิเตอร์



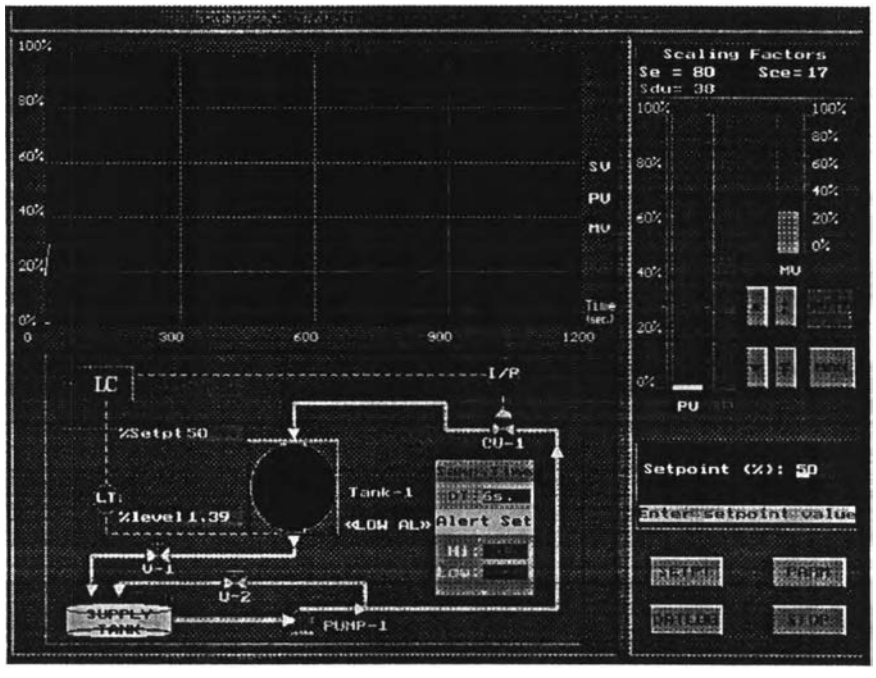
รูปที่ 6.8 หน้าจอแสดงการเปลี่ยนพารามิเตอร์ปรับจูน

5.) การแก้ไขกฎฟัซซีทำได้เมื่ออยู่ในโหมดของการเปลี่ยนพารามิเตอร์ แล้วคลิกเมาส์ไปที่ปุ่ม “RULE” หรือเลือก “R” จากแป้นอักษร หน้าจอจะเปลี่ยนไปดังรูปที่ 6.10 แล้วคลิกเมาส์ไปที่ปุ่ม “EDIT” เพื่อแก้ไขกฎต่างๆหรือ ปุ่ม “OK” เพื่อกลับไปหน้าจอหลัก กฎฟัซซีที่ออกแบบในงานวิจัยนี้จะมีได้ทั้งหมด 75 กฎ แต่ละกฎจะแสดงในรูปของคู่ลำดับของ *e* และ *ce* ในย่านการทำงานต่างๆ เช่นกฎที่ 1 จะหมายถึง

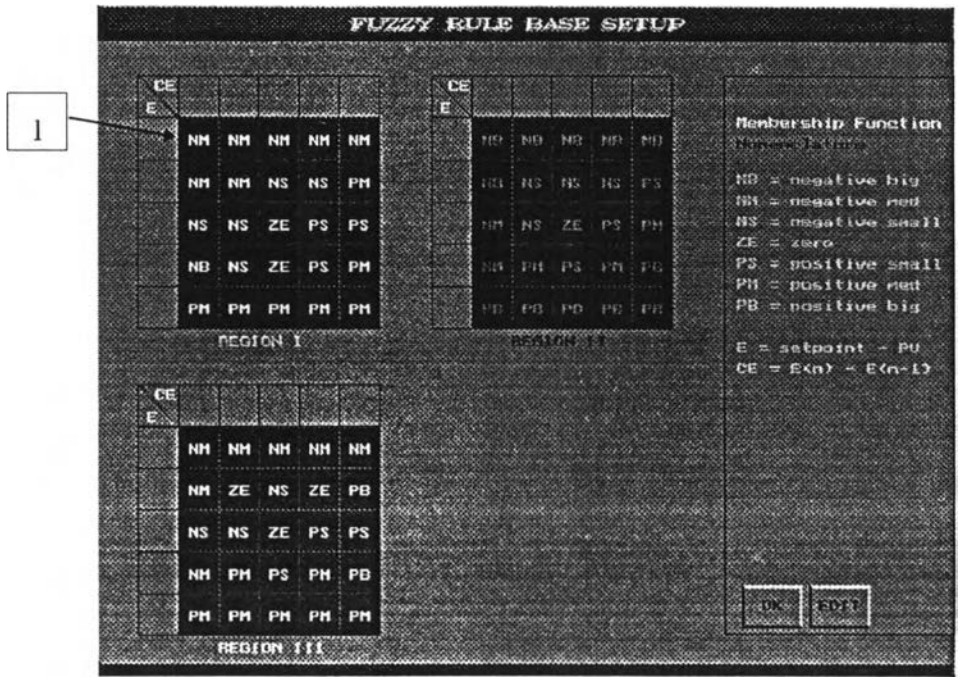
IF *e* is NB AND *ce* is NB AND AV is PB THEN *co* is NM เป็นต้น

ตัวอย่างการแก้ไขกฎฟัซซีแสดงในรูปที่ 6.11 เมื่อเลือก “EDIT” โปรแกรมจะเข้าสู่โหมดการแก้ไขกฎ การปรับเปลี่ยนกฎทำโดยแก้ไขสัญลักษณ์ตัวย่อของฟังก์ชันสมาชิกต่างๆ ที่ได้นิยามไว้ เช่น NM หมายถึงเป็นลบปานกลาง NS หมายถึงเป็นลบน้อย เป็นต้น และในกรณี

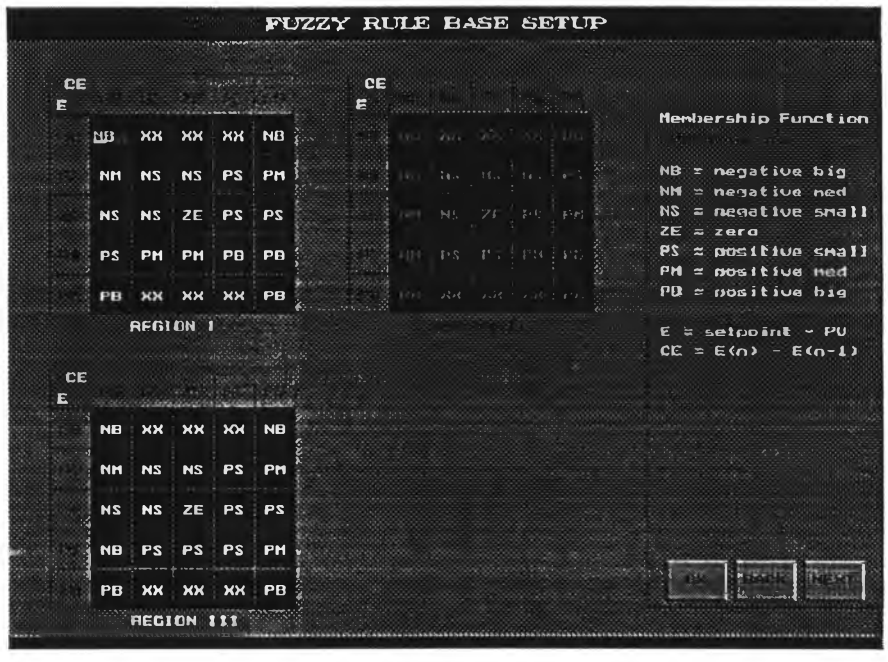
ที่ไม่ต้อง การกฎนั้นๆ ให้พิมพ์ XX ซึ่งหมายถึงไม่นิยามกฎนั้นๆ



รูปที่ 6.9 หน้าจอแสดงการเปลี่ยนเซ็ทพอยท์



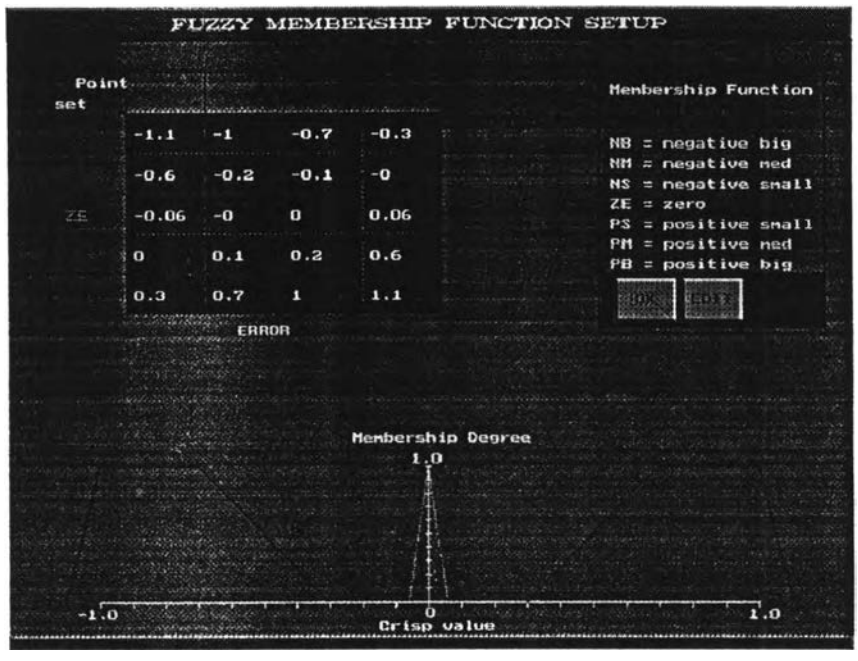
รูปที่ 6.10 หน้าจอแสดงกฎฟัซซี



รูปที่ 6.11 การแก้ไขกฎฟัซซี

6.) การแก้ไขฟังก์ชันสมาชิกทำโดยการคลิกเมาส์ที่ปุ่ม “MEM” หรือ เลือก “M” จากแป้นพิมพ์เมื่ออยู่ในโหมดของการเปลี่ยนพารามิเตอร์ หน้าจอจะเปลี่ยนไปดังรูปที่ 6.12 แล้วคลิกเมาส์ที่ปุ่ม “EDIT” หรือเลือก “E” จากแป้นพิมพ์เพื่อแก้ไขรูปร่างของฟังก์ชันสมาชิก หรือเลือกปุ่ม “OK” หรือ เลือก “O” จากแป้นพิมพ์เพื่อผ่านไปยังหน้าจอถัดไป

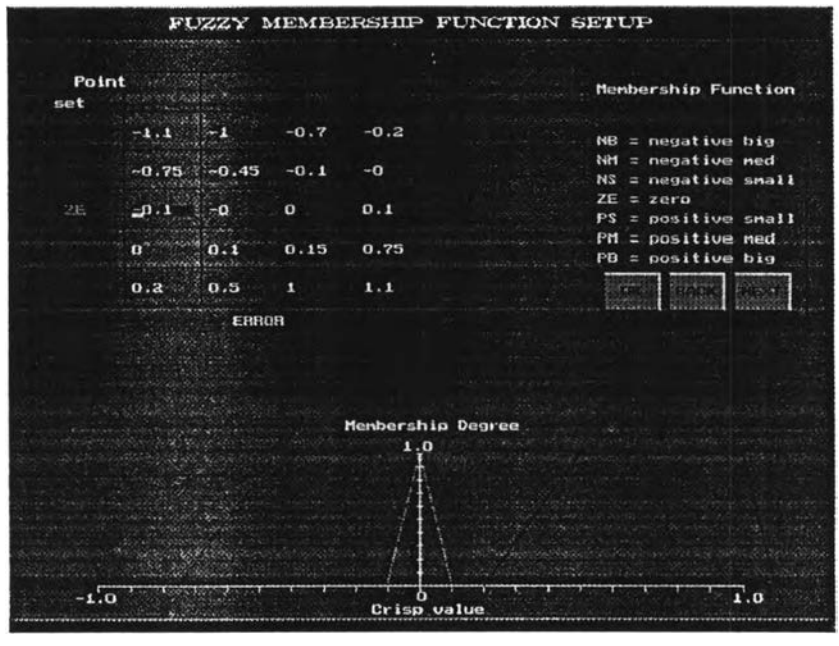
วิธีในการปรับรูปร่างฟังก์ชันสมาชิก จะสามารถทำได้โดยการปรับค่าตัวแปรโครงสร้าง 4 จุดคือ point1, point2, point3, point4 โดยมีเงื่อนไขคือ point1 $\leq$ point2 $\leq$ point3 $\leq$ point4 หลังจากกำหนดค่าสุดท้ายแล้วโปรแกรมจะทำการเปลี่ยนรูปร่างฟังก์ชันสมาชิกให้โดยอัตโนมัติ



รูปที่ 6.12 หน้าจอแสดงฟังก์ชันสมาชิก

ตัวอย่างการปรับเปลี่ยนตำแหน่งฟังก์ชันสมาชิกแสดงในรูปที่ 6.13 เมื่อเลือก “EDIT” โปรแกรมจะเข้าสู่โหมดการแก้ไขซึ่งเป็นการเปลี่ยนค่าของพารามิเตอร์โครงสร้างของฟังก์ชันสมาชิกต่างๆ ที่กล่าวมาแล้วข้างต้น ค่าของพารามิเตอร์ตัวใดที่ไม่ต้องการแก้ไขให้กด <ENTER> ผ่านไป เมื่อแก้ไขเสร็จแล้วเลือกปุ่ม “OK” โปรแกรมจะกลับเข้าสู่ลูพการควบคุมทันที

7.) การเก็บข้อมูลลงไฟล์ในระหว่างการควบคุมทำได้โดยการคลิกปุ่ม “DATLOG” หรือเลือก “D” จากแป้นพิมพ์ในหน้าจอของการควบคุม จากนั้นให้ใส่ชื่อไฟล์ที่ใช้ในการเก็บข้อมูลแล้วกด <ENTER> ข้อมูลที่ได้จากการควบคุมจะถูกเก็บลงในไฟล์ดังกล่าวโดยอัตโนมัติ การสิ้นสุดการเก็บข้อมูลทำได้โดยการคลิกที่ปุ่ม “DATLOG” อีกครั้ง



รูปที่ 6.13 แสดงการแก้ไขรูปร่างฟังก์ชันสมาชิก NS

8.) การออกจากโปรแกรมทำได้โดยการคลิกที่ปุ่ม “STOP” หรือเลือกอักษร “T” จากแป้นพิมพ์ จะเป็นการออกจากโปรแกรมการควบคุม

6.5 ขั้นตอนการทดลอง

การทดลองทั้งหมดจะเป็นการทดสอบตัวควบคุมฟัซซีลอจิกที่สร้างขึ้น เพื่อดูถึงสมรรถนะในการควบคุมกระบวนการตัวอย่างโดยการทดสอบแบ่งเป็น 2 กรณีคือ ทดสอบการรักษาค่าเซ็ทพอยท์ทั้งในกรณีการเปลี่ยนแปลงค่าเซ็ทพอยท์และกรณีการเปลี่ยนแปลงของตัวรบกวนที่เข้ามาในระบบ และทดสอบความทนทานของการควบคุมทั้งในกรณีเปลี่ยนย่านปฏิบัติการและกรณีที่พารามิเตอร์ปรับจูนมีค่าที่ผิดพลาด

6.5.1 การทดสอบการรักษาเซ็ทพอยท์

วัตถุประสงค์ของการทดลองนี้เพื่อดูถึงสมรรถนะของการควบคุมโดยตัวควบคุมฟัซซีลอจิกเปรียบเทียบกับตัวควบคุมพีไอดีและพีไอดีแบบกำหนดเกนต่างๆ กัน ซึ่งตัวควบคุมที่ดีนั้นควรจะให้ผลการควบคุมที่สามารถเข้าสู่ค่าเซ็ทพอยท์ใหม่ได้อย่างรวดเร็วและแม่นยำในกรณีที่มีการเปลี่ยนค่าเซ็ทพอยท์ หรือนำกระบวนการเข้าสู่ค่าเซ็ทพอยท์ให้เร็วที่สุดเมื่อมีการรบกวนเกิดขึ้นกับระบบ

ก.) การตอบสนองของระบบควบคุมต่อการเปลี่ยนค่าเซ็ทพอยท์

(1) ปรับจูนตัวควบคุมทั้งหมดให้ได้ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุด

(2) ทำการควบคุมด้วยตัวควบคุมฟัซซีแล้วปรับการควบคุมเป็นแบบอัตโนมัติ ที่ระดับความสูงปฏิบัติการเซ็ทพอยท์ 50%

(3) ปรับเปลี่ยนค่าเซ็ทพอยท์แบบสเต็พขึ้น-ลงภายในช่วงเวลา 300 วินาทีด้วยค่าการเปลี่ยนแปลง 10 และ 20% บันทึกผลการควบคุมที่ได้

(4) เปลี่ยนเป็นตัวควบคุมพีไอดีและพีไอดีแบบกำหนดเกนต่างๆ กัน ตามลำดับ แล้วทำซ้ำขั้นตอนที่ 2 และ 3

(5) เปรียบเทียบผลการควบคุมของตัวควบคุมทั้งหมดด้วยเกณฑ์อินทีกรัลความผิดพลาด ตัวควบคุมที่สมรรถนะดีที่สุดจะให้ค่าอินทีกรัลนี้ต่ำที่สุด

ข.) การตอบสนองของตัวควบคุมต่อการเปลี่ยนแปลงของตัวรบกวน

(1) ทำการควบคุมแบบอัตโนมัติที่ระดับความสูงปฏิบัติการเซ็ทพอยท์ 50%

(2) ปรับ HV-3 ในชุดทดลองอย่างรวดเร็วให้เปิดประมาณ 80% ในช่วงเวลา 300 วินาที แล้วปิดทันที บันทึกผลการควบคุมที่ได้

(3) เปลี่ยนเป็นตัวควบคุมพีไอดีและพีไอดีแบบกำหนดเกนต่างๆ กัน ตามลำดับ แล้วทำซ้ำขั้นตอนที่ 1 และ 2

(4) เปรียบเทียบผลการควบคุมของตัวควบคุมทั้งหมดด้วยเกณฑ์อินทีกรัลความผิดพลาด ตัวควบคุมที่ดีจะให้ค่าอินทีกรัลความผิดพลาดต่ำที่สุด

6.5.2 การทดสอบความทนทานของตัวควบคุม (Robustness)

วัตถุประสงค์ของการทดลองนี้เพื่อทดสอบสมรรถนะของตัวควบคุมฟัซซีลอจิกเปรียบเทียบกับตัวควบคุมพีไอดีและพีไอดีแบบมีค่าเกนต่างๆ สำหรับกระบวนการไม่เชิงเส้น ซึ่งแบ่งการทดสอบออกเป็น 2 ส่วนคือ ความทนทานเมื่อเปลี่ยนแปลงย่านการควบคุม หมายถึงการเปลี่ยนเกนของกระบวนการจากย่านเกนต่ำไปสู่ย่านเกนสูง ในขั้นตอนนี้จะดูถึงผลของเกนกระบวนการที่มีอิทธิพลต่อการควบคุม ซึ่งตัวควบคุมที่ดีจะต้องสามารถให้ผลการควบคุมที่ใกล้เคียงกับการควบคุมในย่านปฏิบัติการปกติมากที่สุด ในส่วนที่สองจะเป็นการทดสอบความทนทานของตัวควบคุมฟัซซีต่อความผิดพลาดของพารามิเตอร์ปรับจูน คือแฟคเตอร์การสเกล ส่วนนี้จะดูถึงสมรรถนะของตัวควบคุมฟัซซีที่ปรับจูนผิดพลาดเปรียบเทียบกับตัวควบคุมพีไอดีและพีไอดีแบบกำหนดเกนต่างๆ กัน ที่จูนอย่างถูกต้องเพื่อดูว่าตัวควบคุมฟัซซีจะยังสามารถให้ผลการควบคุมที่น่าพอใจหรือไม่เป็นการพิจารณาถึงความเหมาะสมในการใช้งาน

ก.) การทดสอบความทนทานเมื่อเปลี่ยนย่านปฏิบัติการ

(1) ปรับการควบคุมเป็นแบบอัตโนมัติที่ระดับความสูงปฏิบัติการเซ็ทพอยท์ 80%

(2) เปลี่ยนค่าเซ็ทพอยท์แบบสเต็พขึ้น-ลง เช่นเดียวกันกับหัวข้อ 6.5.1 ก.

(3) เปรียบเทียบผลการควบคุมของตัวควบคุมทั้งหมดด้วยเกณฑ์อินทีกรัลความผิดพลาด ตัวควบคุมที่ดีจะสามารถให้ค่าอินทีกรัลที่ต่ำและใกล้เคียงกับค่าในย่านปฏิบัติการปกติ (50%) มากที่สุด

(4) เปลี่ยนย่านปฏิบัติการลงมาที่ระดับความสูง 30% แล้วทำการทดลองซ้ำในข้อ 2 และ 3

ข.) การทดสอบความทนทานของตัวควบคุมฟัซซีต่อความผิดพลาดของพารามิเตอร์ปรับจูน

(1) ปรับการควบคุมเป็นแบบอัตโนมัติที่ระดับความสูงปฏิบัติการ 50%

(2) กำหนดความผิดพลาดของพารามิเตอร์ปรับจูนทั้งหมดของตัวควบคุมฟัซซีเป็น +50%

(3) เปลี่ยนค่าเซ็ทพอยท์แบบสเต็พขึ้น-ลง เช่นเดียวกับหัวข้อ 6.5.1 ก.

(4) เปรียบเทียบผลการควบคุมของตัวควบคุมฟัซซีกับตัวควบคุมพีไอดีและพีไอดีแบบกำหนดเกนต่างๆ กัน ที่ปรับจูนอย่างถูกต้องด้วยเกณฑ์อินทีกรัลความผิดพลาด แล้วดูว่าตัวควบคุมฟัซซีในกรณีนี้ยังสามารถให้ผลการควบคุมที่ดีหรือไม่

(5) ทำซ้ำในหัวข้อ 3 และ 4 โดยกำหนดความผิดพลาดของพารามิเตอร์ปรับจูนเป็น -50% +30%, -30% ตามลำดับ

(6) ทำการทดสอบซ้ำโดยเปลี่ยนจากการทดสอบการเปลี่ยนเซ็ทพอยท์เป็นการเปลี่ยนแปลงของตัวรบกวนในหัวข้อ 6.5.1 ข.