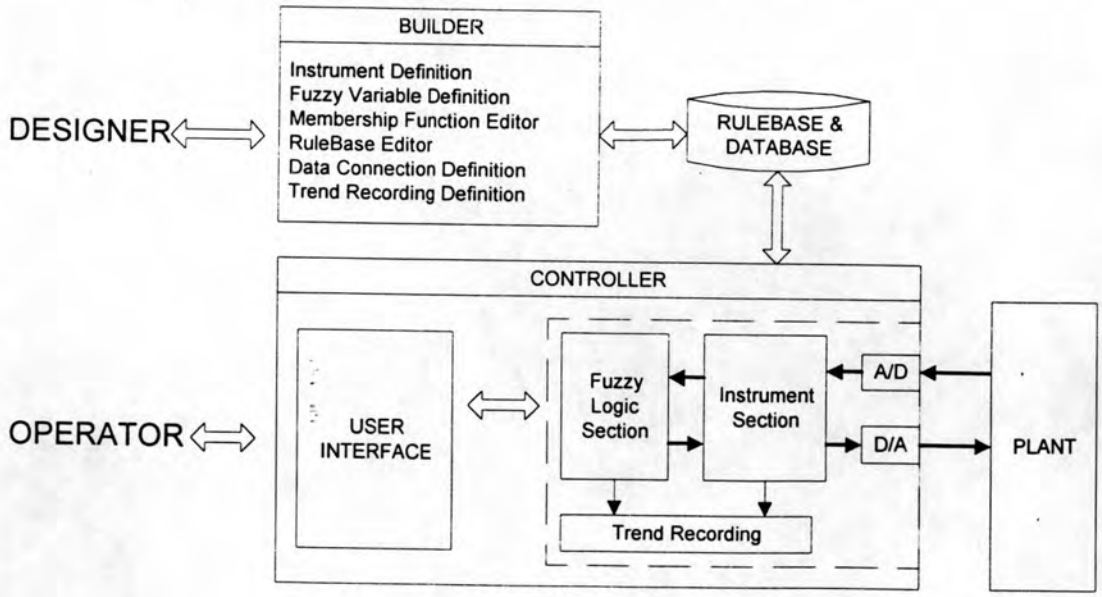
บทที่ 4

ระบบควบคุมฟัซซี

ระบบควบคุมฟัซซีที่จะกล่าวต่อไปในวิทยานิพนธ์นี้ประกอบด้วยเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ อุปกรณ์เชื่อมต่อสัญญาณจากกระบวนการเข้าสู่คอมพิวเตอร์ และโปรแกรมใช้งาน ซึ่งเป็นโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นมาเพื่อใช้งานเป็นตัวควบคุมกระบวนการทำงานในเวลาจริง ดังรูปที่ 4.1 โครงสร้างของระบบประกอบด้วยสองส่วนอิสระจากกัน ส่วนแรกเป็นส่วนการกำหนดรูปลักษณ์ของระบบรวมถึงกฎการควบคุมที่ใช้ เรียกส่วนนี้ว่า BUILDER อีกส่วนหนึ่งทำหน้าที่เป็นตัวควบคุมกระบวนการ ซึ่งรับข้อมูลจากกระบวนการมาประมวลการควบคุมโดยอาศัยข้อสนเทศที่เตรียมไว้จากส่วนของ BUILDER แล้วส่งค่าการควบคุมสู่กระบวนการ การทำงานส่วนนี้เป็นแบบเวลาจริง (real time) นอกจากนี้ยังมีส่วนติดต่อกับผู้ปฏิบัติการแบบหน้าต่างที่ค่อนข้างง่ายต่อการทำความเข้าใจ

คำอธิบายเกี่ยวกับวิธีใช้โปรแกรมโดยย่อกล่าวไว้ในภาคผนวก ข



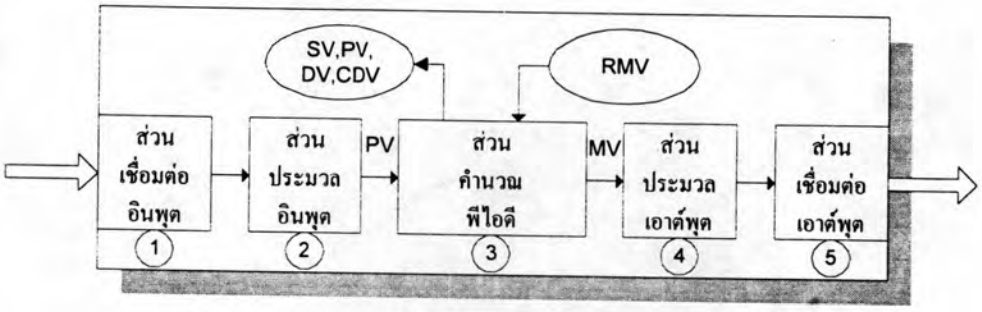
รูปที่ 4.1 โครงสร้างของระบบควบคุมฟัซซีที่ใช้

องค์ประกอบที่สำคัญในระบบควบคุมฟัซซีที่ใช้

จากรูปที่ 4.1 พบว่าส่วนสำคัญที่สุดในการทำงานคือส่วนของตัวควบคุม โดยเฉพาะส่วนที่อยู่ภายในเส้นประ ซึ่งมีองค์ประกอบที่สำคัญต้องกล่าวถึงเป็นพิเศษคือ ส่วนของอุปกรณ์ วัดคุมซึ่งเป็นตัวควบคุมพีไอดีหรืออุปกรณ์แสดงค่ากระบวนการ และส่วนการประมวลฟัซซีลอจิก ดังจะกล่าวถึงโดยสรุปดังนี้

1. อุปกรณ์วัดคุมประเภทตัวควบคุมพีไอดี

เป็นอุปกรณ์วัดคุมที่สามารถส่งสัญญาณออกไปควบคุมกระบวนการภายนอกได้ โดยมีฟังก์ชันการทำงานหลักดังแสดงในรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 แผนภาพแสดงฟังก์ชันการทำงานของตัวควบคุมพีไอดี

1.1 ส่วนเชื่อมต่ออินพุต ทำหน้าที่อ่านค่าข้อมูลจากA/Dตามช่องสัญญาณที่กำหนด โดยอ่านค่ามาเป็นค่าสัญญาณแรงดันในช่วง -10 ถึง +10 โวลต์

1.2 ส่วนประมวลอินพุต นอร์แมลไลซ์ค่าแรงดันที่อ่านมาได้เป็นค่าในพิสัย 0 ถึง 1 ตามสมการ

$$AI_N = \frac{AI_P - AI_{LO}}{AI_{HI} - AI_{LO}}$$

โดยที่ AI_N เป็นค่านอร์แมลของอินพุตที่จะถูกใช้ในการคำนวณ

AI_P เป็นค่าอินพุตที่รับเข้ามา

AI_{HI} เป็นขีดจำกัดบนของพิสัยของอินพุต

AI_{LO} เป็นขีดจำกัดล่างของพิสัยของอินพุต

1.3 ส่วนคำนวณพีไอดี ทำการคำนวณค่าความผิดพลาดเท่ากับค่าตั้งลบด้วยค่าของกระบวนการ (DV=SV-PV) และการเปลี่ยนแปลงความผิดพลาด(CDV) เพื่อใช้ในการคำนวณต่อไป

ตัวควบคุมพีไอดีนี้สามารถกำหนดโหมดการทำงานได้ 3 โหมดคือ MAN AUT และ REM โดยที่แต่ละโหมดจะส่งสัญญาณควบคุม(MV)ออกมาแตกต่างกันดังนี้

1.3.1 MAN สัญญาณควบคุมถูกกำหนดโดยผู้ปฏิบัติการผ่านทางเครื่องคอมพิวเตอร์โดยตรง

1.3.2 AUT สัญญาณควบคุมถูกสร้างขึ้นตามสมการในภาคผนวก ก โดยที่อัตราขยายเชิงสัดส่วน K มีความสัมพันธ์กับ PB ซึ่งเป็น proportional band โดย $K=(100/PB)$

1.3.3 REM สัญญาณควบคุมถูกส่งมาจากส่วนการควบคุมแบบฟัซซี

1.4 ส่วนประมวลเอาต์พุต แปลงค่านอร์แมลที่ได้จากการคำนวณเป็นค่าตามหน่วยที่กำหนดตามสมการ

$$AO_P = (AO_{HI} - AO_{LO}) * AO + AO_{LO}$$

โดยที่ AO_P เป็นค่าของเอาต์พุตตามหน่วยที่กำหนด

AO เป็นค่านอร์แมลของเอาต์พุตจากส่วนคำนวณตรรกฟัซซี

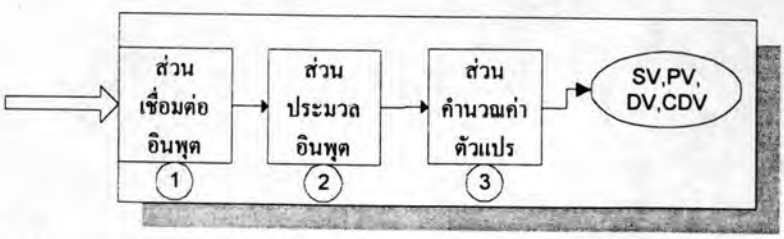
AO_{HI} เป็นขีดจำกัดบนของพิสัยของเอาต์พุต

AO_{LO} เป็นขีดจำกัดล่างของพิสัยของเอาต์พุต

1.5 ส่วนเชื่อมต่อเอาต์พุต ทำหน้าที่ส่งค่าจากการคำนวณที่ได้ไปยังอุปกรณ์วัดคุมที่กำหนดไว้ โดยหากตัวแปรฟัซซีเอาต์พุตนี้เป็นแบบตำแหน่ง(position) ก็จะส่งค่าเป็นสัญญาณควบคุมตามเดิม แต่หากกำหนดให้เป็นแบบส่วนที่เปลี่ยน(incremental)ก็จะนำค่าที่คำนวณได้ไปบวกกับค่าสัญญาณควบคุมเดิมในจังหวะเวลาการชักตัวอย่างที่แล้ว ได้เป็นค่าเป็นสัญญาณควบคุมใหม่ออกไป

2. <u>อุปกรณ์วัดคุมประเภทอุปกรณ์แสดงค่ากระบวนการ</u>

เป็นอุปกรณ์วัดคุมที่ไม่สามารถส่งสัญญาณออกไปควบคุมกระบวนการภายนอกได้ แต่ยังคงมีส่วนการคำนวณค่าตัวแปรที่สำคัญอยู่ โดยมีฟังก์ชันการทำงานหลักดังแสดงในรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 แผนภาพแสดงฟังก์ชันการทำงานของอุปกรณ์แสดงค่ากระบวนการ

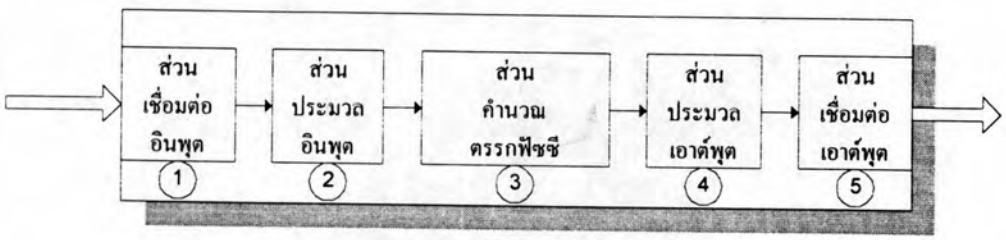
1.1 ส่วนเชื่อมต่ออินพุต ทำหน้าที่เหมือนในอุปกรณ์วัดคุมประเภทตัวควบคุมพีไอดี

1.2 ส่วนประมวลอินพุต ทำหน้าที่เหมือนในอุปกรณ์วัดคุมประเภทตัวควบคุมพีไอดี

1.3 ส่วนคำนวณค่าตัวแปร ทำการคำนวณค่าความคลาดเคลื่อน(DV=SV-PV)และการเปลี่ยนแปลงความคลาดเคลื่อน(CDV) เพื่อใช้ในการแสดงค่าหรือให้ตัวแปรฟัซซีมาอ่านค่าออกไปใช้งาน

3. <u>หน่วยการประมวลการควบคุมฟัซซี</u>

เป็นหน่วยการประมวลข้อมูลฟัซซีลอจิกเพื่อใช้ในการควบคุมกระบวนการ ฟังก์ชันการทำงานหลักดังสามารถแสดงได้ดังในรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 แผนภาพแสดงฟังก์ชันการทำงานของหน่วยการควบคุมฟัซซี

1.1 ส่วนเชื่อมต่ออินพุต ทำหน้าที่อ่านค่าข้อมูลจากอุปกรณ์วัดคุมที่กำหนดไว้ล่วงหน้า โดยอ่านค่ามาเป็นค่าจำนวนตามหน่วยที่กำหนด

1.2 ส่วนประมวลอินพุต นอร์แมลไลซ์ค่าแรงดันที่อ่านมาได้เป็นค่าในพิสัย 0 ถึง 1 ตามสมการ

$$AI_N = \frac{AI_P - AI_{LO}}{AI_{HI} - AI_{LO}}$$

โดยที่ AI_N เป็นค่านอร์แมลของอินพุตที่จะถูกใช้ในการคำนวณ

AI_P เป็นค่าอินพุตที่รับเข้ามา

AI_{HI} เป็นขีดจำกัดบนของพิสัยของอินพุต

AI_{LO} เป็นขีดจำกัดล่างของพิสัยของอินพุต

1.3 ส่วนคำนวณตรรกฟัซซี ทำการคำนวณตรรกฟัซซี โดยการอนุมานกฎในฐานกฎเทียบกับสภาวะของกระบวนการที่รับเข้ามาทางอินพุต โดยใช้การแจงเหตุสู่ผลแบบmin กฎการอนุมานผลประกอบmax-min และดีฟัซซิฟีเคชันด้วยวิธีจุดศูนย์ถ่วง รายละเอียดในบทที่ 2

1.4 ส่วนประมวลเอาต์พุต แปลงค่านอร์แมลที่ได้จากการคำนวณเป็นค่าตามหน่วยที่กำหนดตามสมการ

$$AO_P = (AO_{HI} - AO_{LO}) * AO + AO_{LO}$$

โดยที่ AO_P เป็นค่าของเอาต์พุตตามหน่วยที่กำหนด

AO เป็นค่านอร์แมลของเอาต์พุตจากส่วนคำนวณตรรกฟัซซี

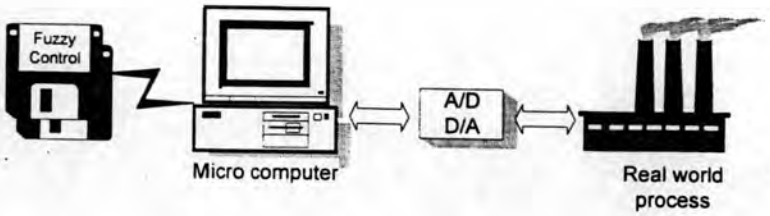
AO_{HI} เป็นขีดจำกัดบนของพิสัยของเอาต์พุต

AO_{LO} เป็นขีดจำกัดล่างของพิสัยของเอาต์พุต

1.5 ส่วนเชื่อมต่อเอาต์พุต ทำหน้าที่ส่งค่าจากการคำนวณที่ได้ไปยังอุปกรณ์วัดคุมที่กำหนดไว้ โดยหากตัวแปรฟัซซีเอาต์พุตนี้เป็นแบบตำแหน่ง(position) ก็จะส่งค่าเป็นสัญญาณควบคุมตามเดิม แต่หากกำหนดให้เป็นแบบส่วนที่เปลี่ยน(incremental)ก็จะนำค่าที่คำนวณได้ไปบวกกับค่าสัญญาณควบคุมเดิมในจังหวะเวลาการชักตัวอย่างก่อนหน้านี้ แล้วจึงส่งค่าเป็นสัญญาณควบคุมใหม่ออกไป

<u>ลักษณะสมบัติของระบบควบคุมแบบฟัซซีที่ใช้ในงานวิจัย</u>

ระบบควบคุมแบบฟัซซีที่ใช้ในการศึกษานี้ ทำงานด้วยเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์แบบ PC/AT ซึ่งมีหน่วยประมวลผลกลาง 80486 ที่มีหน่วยประมวลผลร่วมคณิตศาสตร์ในตัว ภายใต้ระบบปฏิบัติการ MS-DOS รุ่น6.0 และไมโครซอฟต์วินโดวส์ รุ่น3.1 นอกจากนี้ยังต้องการแผ่นวงจรที่ทำหน้าที่แปลงสัญญาณเชิงอุปมาเป็นเชิงเลขและเชิงเลขเป็นเชิงอุปมา (A/D-D/A Card) ใช้เป็นทางเข้า/ออกของสัญญาณระหว่างกระบวนการที่ถูกควบคุมกับระบบควบคุมคอมพิวเตอร์ดังรูปที่4.5 ซึ่งในงานวิจัยนี้ใช้อุปกรณ์เชื่อมต่อระหว่างกระบวนการและคอมพิวเตอร์เป็นแผ่นวงจร AT-MIO16-L9 ของบริษัท National Instrument, USA. ซึ่งสามารถรับสัญญาณเข้าเชิงอุปมาได้ในช่วง-10ถึง+10โวลต์ กระแสตรงแปลงเป็นสัญญาณเชิงเลขฐานสองได้ละเอียด 12 บิต จำนวน 8 ช่อง และสามารถแปลงสัญญาณเลขฐานสองที่ความละเอียด 12 บิต กลับเป็นสัญญาณเชิงอุปมาในช่วง-10ถึง+10โวลต์ กระแสตรงได้จำนวน 2 ช่อง โปรแกรมย่อยควบคุมอุปกรณ์ที่ใช้เป็นโปรแกรมย่อยในชุด NI-DAQ Driver ซึ่งบริษัทผู้ผลิตแผ่นวงจรดังกล่าวให้มาพร้อมกับกับอุปกรณ์อยู่แล้ว หากต้องการใช้แผ่นวงจรแปลงสัญญาณอื่นก็ต้องใช้โปรแกรมย่อยควบคุมอุปกรณ์ที่เหมาะสมกับอุปกรณ์นั้นแล้วแปลโปรแกรมใหม่ก่อนใช้งาน



รูปที่ 4.5. ระบบควบคุมแบบฟัซซี

ในส่วนชุดคำสั่งซึ่งเป็นหัวใจหลักของการควบคุมนี้เขียนด้วยภาษา C++ พัฒนาโดยใช้ Borland C++ รุ่น 4.0 และใช้งานบนไมโครซอฟต์วินโดวส์รุ่น3.1 โปรแกรมที่สร้างขึ้นนี้ประกอบด้วยสองส่วน ในส่วนแรกเป็นโปรแกรมที่ทำงานอยู่บนไมโครซอฟต์วินโดวส์ทำหน้าที่เป็นเครื่องมือที่จะช่วยในการกำหนดรูปลักษณ์(cofiguration)และกฎการควบคุมของระบบควบคุมแบบฟัซซี ในรูปแบบที่ง่ายต่อการใช้งาน เนื่องจากใช้ส่วนติดต่อกับผู้ใช้ผ่านระบบเมนูและหน้าต่าง และอีกส่วนหนึ่งทำงานบนระบบปฏิบัติการดอส เป็นส่วนที่ใช้ในการควบคุมกระบวนการจริง โดยอาศัยข้อมูลระบบที่กำหนดสร้างมาจากในส่วนแรก

เครื่องมือในการสร้างระบบควบคุมแบบฟัซซีนี้ประกอบด้วย ส่วนกำหนดตัวแปรอินพุต/เอาต์พุต ส่วนกำหนดฟังก์ชันการเป็นสมาชิก และ ส่วนกำหนดกฎการควบคุม

ส่วนที่ใช้ในการควบคุมกระบวนการจริง เป็นส่วนที่นำผลจากการทำงานในส่วนเครื่องมือก่อนหน้านี้มาใช้ในลักษณะเวลาจริง โดยมีส่วนแสดงผลเป็นรูปกราฟบนจอภาพแสดงผลการทำงานของระบบควบคุมที่กำลังปฏิบัติอยู่ และยังสามารถบันทึกผลการทำงานลงแฟ้มข้อมูล เพื่อนำไปวิเคราะห์หรือใช้อ้างอิงได้ต่อไป

<u>ขีดจำกัดของระบบควบคุมแบบฟัซซีที่พัฒนา</u>

1. จำนวนอินพุตที่รับมาจากกระบวนการได้ไม่เกิน 8 สัญญาณ พิสัยของสัญญาณเป็นช่วง -10 ถึง +10 โวลต์กระแสตรง และถูกแปลงเป็นสัญญาณเชิงเลข 12 บิตใช้ในการคำนวณ

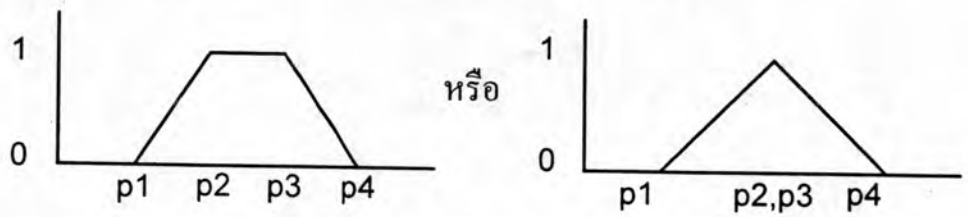
2. จำนวนเอาต์พุตที่ส่งกลับไปสู่กระบวนการได้ไม่เกิน 2 สัญญาณ พิสัยของสัญญาณเป็นช่วง -10 ถึง +10 โวลต์กระแสตรง และถูกแปลงเป็นสัญญาณเชิงเลข 12 บิตใช้ในการคำนวณ

3. จำนวนอุปกรณ์วัดคุมที่สามารถกำหนดได้ในระบบควบคุมทั้งสิ้นไม่เกิน 8 ตัว อุปกรณ์วัดคุมแต่ละตัวสามารถรับข้อมูลที่ได้จากช่องเข้าของแผ่นวงจรA/Dตามที่กำหนดไว้ ซึ่งประเภทของอุปกรณ์วัดคุมที่กำหนดได้เป็น *อุปกรณ์แสดงค่ากระบวนการ (Process Indicator)* หรือ *ตัวควบคุมพีไอดี(PID Controller)* โดยที่สามารถกำหนดให้เป็นตัวควบคุมพีไอดีได้เพียงไม่เกิน 2 ตัว

4. จำนวนตัวแปรฟัซซีอินพุต(ตัวแปรเชิงภาษา)สามารถกำหนดได้สูงสุดจำนวน 8 ตัว แต่ละตัวสามารถกำหนดฟัซซีเซต(ค่าเชิงภาษา; ฟังก์ชันการเป็นสมาชิก)ได้สูงสุด 7 เซต ค่าของสัญญาณได้จากการอ่านค่าตัวแปร *ค่าตั้ง*(SV), *ค่ากระบวนการ*(PV), *ค่าความผิดพลาด*(DV) หรือ *ค่าการเปลี่ยนแปลงความผิดพลาด*(CDV) จากอุปกรณ์วัดคุมที่กำหนดไว้ก่อน

5. จำนวนตัวแปรฟัซซีเอาต์พุตสามารถกำหนดได้ไม่เกิน 2 ตัว แต่ละตัวสามารถกำหนดฟัซซีเซตได้สูงสุด 7 เซต ค่าของสัญญาณจะส่งออกสู่กระบวนการโดยผ่านค่า MV ของตัวควบคุมพีไอดีที่กำหนดไว้(ในโหมด REM) โดยสามารถเลือกกำหนดได้ว่าให้สัญญาณออกแบบตำแหน่ง หรือ แบบเพิ่มค่า

6. ฟังก์ชันการเป็นสมาชิกที่กำหนดได้สำหรับแต่ละตัวแปรฟัซซี ถูกจำกัดให้อยู่ในแบบสี่เหลี่ยมคางหมูหรือสามเหลี่ยม ที่มีค่าระดับการเป็นสมาชิกสูงที่สุดเป็น 1 ซึ่งกำหนดด้วยพารามิเตอร์ 4 ตัวที่บอกตำแหน่งของจุดปลายของแต่ละช่วงเชิงเส้น (ดูรูปที่ 4.6 ประกอบ)



รูปที่ 4.6 แสดงพารามิเตอร์ที่ใช้กำหนดฟังก์ชันการเป็นสมาชิก

7. ชื่อของอุปกรณ์วัดคุม ตัวแปรเชิงภาษา และค่าเชิงภาษา ที่กำหนดในระบบควบคุมที่ใช้สามารถกำหนดเป็นตัวอักษรภาษาอังกฤษยาวไม่เกิน 8 ตัวอักษร

8. กฎที่กำหนดได้อยู่ในรูปแบบ **IF** x_1 is A_1 **AND** ... **AND** x_8 is A_8 **THEN** y is B โดยที่ x_i เป็นตัวแปรฟัซซีอินพุต y เป็นตัวแปรฟัซซีเอาต์พุต A_i และ B เป็นฟัซซีเซตที่กำหนดไว้สำหรับแต่ละตัวแปรฟัซซี จำนวนกฎที่กำหนดได้ไม่เกิน 128 กฎ

9. การอนุมานกฎในฐานกฎใช้วิธีการอนุมานทีละกฎ โดยกฎแต่ละข้อใช้กฎการอนุมานผลประกอบ max-min จากการแจงเหตุสู่ผลวิธี min และกฎทั้งหมดในฐานกฎจะถูกประเมินพร้อมกันในแต่ละรอบการชักตัวอย่าง ดังนั้นลำดับของกฎไม่มีความสำคัญ

10. ดีฟัซซิฟิเคชั่นใช้วิธีจุดศูนย์ถ่วง

11. คาบเวลาการชักตัวอย่างกำหนดไว้ที่ 40 มิลลิวินาที

12. จำนวน Trend สำหรับบันทึกค่าเพื่อดูภายหลังกำหนดได้4 ชุดๆละ4 ตัวแปรข้อมูล