

ระบบคอมพิวเตอร์ควบคุมเครื่องเคลือบผิวเม็ดยา โดยใช้ฟัซซี่ลอจิก
TABLET COAT CONTROL SYSTEM USING FUZZY LOGIC



นายชิต มิตรานันท์
MR. CHID MITRANUN

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ
บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เลขที่.....
เลขทะเบียน..... 27117
วัน, เดือน, ปี 1 1 ก.พ. 2540

พ.ศ. 2539

ISBN 974-621-560-4

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TABLET COAT CONTROL SYSTEM USING FUZZY LOGIC



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE
MASTER OF SCIENCE PROGRAM IN COMPUTER SCIENCE
AND INFORMATION TECHNOLOGY
SCHOOL OF GRADUATE STUDIES
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

1996

ISBN 974-621-560-4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ระบบคอมพิวเตอร์ควบคุมเครื่องเคลือบผิวเม็ดยา โดยใช้ฟuzzyลอจิก
นักศึกษา	นายชิต มิตรานันท์
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	อาจารย์ถวิน สนธิเพิ่มพูน
ระดับการศึกษา	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
ภาควิชา	สาขาวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ คณิตศาสตร์และวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ.	2539

บทคัดย่อ

ในปัจจุบันวงการอุตสาหกรรมในประเทศไทยได้มีการนำเอาระบบคอมพิวเตอร์เข้ามามีบทบาทในการทำงานอย่างกว้างขวาง ไม่ว่าจะเป็นการนำเอาระบบคอมพิวเตอร์เข้ามามีใช้ในการควบคุมการทำงานของเครื่องจักรหรือการจัดการกับข้อมูลต่าง ๆ ในองค์กร ซึ่งในอุตสาหกรรมการผลิตเม็ดยาก็เช่นเดียวกัน ได้นำเอาระบบคอมพิวเตอร์เข้ามามีใช้ในการทำงาน โดยเฉพาะในส่วนของการเคลือบผิวเม็ดยา ซึ่งเป็นกระบวนการที่มีความจำเป็นในการที่จะทำให้เม็ดยามีสีอันสวยงาม น่ารับประทาน การนำเอาระบบคอมพิวเตอร์เข้ามาควบคุมเครื่องเคลือบผิวเม็ดยาก็เพื่อที่จะให้เม็ดยาที่ผ่านการเคลือบผิวมีคุณภาพ ไม่เกิดความเสียหาย เพื่อประโยชน์ในการลดต้นทุนการผลิต โดยที่ในส่วนของคุณสมบัติต่าง ๆ ที่ใช้ในการเคลือบผิวเม็ดยาแต่ละชนิดสามารถที่จะเก็บอยู่ในคอมพิวเตอร์โดยสามารถที่จะเรียกใช้ แก้ไข หรือเก็บข้อมูลเข้าไปใหม่ได้ ซึ่งจะก่อให้เกิดความสะดวกในการใช้งาน

ในส่วนของการควบคุมเครื่องเคลือบผิวเม็ดยาจะเป็นการควบคุมแบบอัตโนมัติ ซึ่งการทำงานทั้งหมดจะถูกควบคุมโดยคอมพิวเตอร์เพื่อความสะดวกของผู้ควบคุมเครื่อง สำหรับกระบวนการในการเคลือบผิวเม็ดยานั้น ขั้นตอนที่สำคัญคือการควบคุมอุณหภูมิให้ได้ตามที่กำหนด ซึ่งได้นำระบบฟuzzyลอจิกมาใช้ในการควบคุม โดยที่วิธีการนี้ผู้ออกแบบระบบควบคุมไม่จำเป็นที่จะต้องมีความรู้ทางด้านทฤษฎีการควบคุม ซึ่งลักษณะของระบบควบคุมจะมีลักษณะใกล้เคียงกับการตัดสินใจของมนุษย์ ซึ่งสามารถที่จะออกแบบได้โดยผู้เชี่ยวชาญของระบบนั้น โดยที่จะทำให้ความซับซ้อนในการออกแบบระบบน้อยลงและได้ผลในการควบคุมที่ดีตรงตามความต้องการของผู้ควบคุมระบบ ซึ่งจะช่วยให้เม็ดยาที่ผ่านการเคลือบผิวได้ผลที่ดี สามารถนำไปใช้งานได้ตามต้องการ

Thesis Title	Tablet coat control system using Fuzzy Logic
Student	Mr. Chid Mitranun
Thesis Advisor	Mr. Kawin Sontipuumpon
Level of Study	Master of Science Program in Computer Science and Information Technology
Department	Mathematics and Computer Science Faculty of Science King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Year	1996

ABSTRACT

Recently, the computer system has been widely used in many industry application. Not only for machine tool controlling, and information management system. The tablet manufacturing use the computer system for tablet coating. That process make the tablet more attractive, preservable, best quality which for reducing the manufacturing cost. All of the tablet coating information have been stored and can be retrieved, inquired, and updated that make it easy for used.

The tablet coating system is the automatic computer controlling system for the user friendly. The most important process of the tablet coating system is the temperature control in the define range which Fuzzy Logic Controller(FLC). In FLC, the system engineer does not necessary to have a knowledge of the control theory. FLC is like the human decision making process which can be designed by expert system. The system design complexity is reduce and the system engineer hence the effectiveness to control. The tablet coat will be best and enable to use following any requirement.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยดีเพราะได้รับความช่วยเหลือในการติดต่อสถานที่ในการทำการวิจัยจากอาจารย์กวิน สนธิเพิ่มพูน ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษา รวมทั้งยังช่วยให้ความกรุณาแนะนำแนวทางแก่ผู้วิจัยตลอดมา และดร.บุญธีร์ เครือตราซุที่ช่วยให้คำปรึกษาแก่ผู้วิจัย ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณบริษัท N.R. INDUSTRIES CO.,LTD. โดยเฉพาะอย่างยิ่งแผนกไฟฟ้าทุกท่านที่กรุณาให้ความร่วมมือ ช่วยเหลือในการจัดหาเครื่องมือวิจัย จนทำให้การวิจัยครั้งนี้เสร็จสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณบัณฑิตวิทยาลัย และคณะวิทยาศาสตร์ ที่ได้มอบทุนอุดหนุนการวิจัยจนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงด้วยดี

ขอขอบพระคุณเพื่อน รุ่นพี่และรุ่นน้อง ทุกท่านที่ช่วยเหลืองานด้านเอกสารให้เสร็จสิ้นโดยเรียบร้อย

สุดท้ายนี้ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ที่คอยสนับสนุนและให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยตลอดมาอย่างสม่ำเสมอ

ชิต มิตรานันท์

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VI
สารบัญภาพ.....	VII
คำนิยามศัพท์.....	X
บทที่	
1. บทนำ.....	1
ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	1
ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย.....	2
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
ขอบเขตของการวิจัย.....	4
เครื่องมือที่สำคัญสำหรับการวิจัย.....	4
2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	7
พีชชีเซต.....	7
พีชชีลอจิกและการประมาณเหตุผล.....	13
แนวคิดหลักของ FLC.....	14
วิธีการพีชชีพีเคชั่น.....	19
ฐานข้อมูล.....	20
กฎพื้นฐาน.....	25
ลอจิกทำการตัดสินใจ.....	32
วิธีการดีพีชชีพีเคชั่น.....	48
3. วิธีการวิจัย.....	50
วิธีการเลือกผิวเม็ดยา.....	50
การพัฒนาโปรแกรมสำหรับการควบคุมระบบงาน.....	50
การนำ FLC มาใช้ในกระบวนการควบคุมอุณหภูมิในเครื่องเคลือบผิวเม็ดยา.....	60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่หรือใช้งานด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
วิธีการทดลอง.....	66
4. สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	67
ผลการทดลอง.....	67
สรุปผลการวิจัย.....	71
ข้อเสนอแนะ.....	72
บรรณานุกรม.....	73
ภาคผนวก	
ก. การ์ดทำหน้าที่แปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัล.....	75
ข. การ์ดทำหน้าที่แปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นอนาล็อก.....	82
ค. ผังโปรแกรมโครงสร้างของโปรแกรม.....	88
ง. ผลงานทางวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์.....	106
ประวัติผู้เขียน.....	113

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1. พัฒนาการของระบบควบคุมพีซี.....	3
2. ควอนติเซชันและไพรมารีพีซีเซต โดยใช้ Numerical Definition.....	21
3. ควอนติเซชันและไพรมารีพีซีเซต โดยใช้ Functional Definition.....	22
4. รูปแบบของกฎควบคุมพีซีประกอบด้วยเทอมเซต {Negative, Zero, Positive}.....	28
5. การสนับสนุนกฎประกอบด้วยเทอมเซต {Negative, Zero, Positive}.....	29
6. รูปแบบของกฎควบคุมพีซีประกอบด้วยเทอมเซต {NB, NM, NS, ZE, PS, PM, PB}.....	29
7. การสนับสนุนกฎประกอบด้วยเทอมเซต {NB, NM, NS, ZE, PS, PM, PB}.....	30
8. Intuitive Criteria ที่สัมพันธ์กับ Pre1 และ Cons เพื่อให้ได้ Pre2 ใน GMP.....	33
9. Intuitive Criteria ที่สัมพันธ์กับ Pre1 และ Cons เพื่อให้ได้ Pre2 ใน GMT.....	33
10. สรุปผลการอนุมานสำหรับ GMP.....	38
11. สรุปผลการอนุมานสำหรับ GMT.....	38
12. การปฏิบัติของพีซีอิมพลีเม้นฟังก์ชันต่างๆ ภายใต้ Intutive Criteria.....	39
13. คู่ที่เหมาะสมของพีซีอิมพลีเม้นฟังก์ชันและการเชื่อม "also".....	41
14. แสดงกฎควบคุมพีซีสำหรับควบคุมกระบวนการ.....	64
15. LOOKUP TABLE.....	65
16. I/O Address Map ของ DAS-8PGA.....	76
17. Offset Binary Code.....	78
18. ช่วง Input (Gain).....	79
19. การเชื่อมต่อ MAIN I/O ของ DAS-8PGA.....	80
20. ช่วง output ที่สนับสนุนของ D/A.....	83
21. I/O MAP.....	84
22. Control Code.....	86

สารบัญญภาพ

หน้า

1. แสดงบล็อกโคอะแกรมของระบบ.....	6
2. แสดงฟังก์ชันการเป็นสมาชิกสำหรับคริสเซต C.....	8
3. แสดงฟังก์ชันการเป็นสมาชิกสำหรับฟัซซี่เซต F.....	8
4. แสดง support และจุด crossover ของฟัซซี่เซต.....	8
5. แสดง Core และ Boundary ของฟัซซี่เซต.....	9
6. แสดง normal ฟัซซี่เซต.....	9
7. แสดง non-normal ฟัซซี่เซต.....	10
8. แสดง convex ฟัซซี่เซต.....	10
9. แสดง non-convex ฟัซซี่เซต.....	10
10. แสดงผลผนวกของฟัซซี่เซต A และ B.....	11
11. แสดงผลตัดของฟัซซี่เซต A และ B.....	11
12. แสดงคอมพลิเมนต์ของฟัซซี่เซต A.....	12
13. แสดงเทอมฟัซซี่เซตของความเร็ว โดยที่ความเร็วคือตัวแปรภาษามนุษย์ประกอบด้วย 3 เทอม คือ "ช้า" "ปานกลาง" และ "เร็ว".....	13
14. แสดงส่วนประกอบหลักของ FLC.....	15
15. แสดงฟัซซี่พาร์ติชันประกอบด้วย 7 เทอม : NB: negative big NM: negative medium NS : negative small ZE : Zero PS : positive small PM : positive medium และ PB : positive big.....	22
16. แสดงตัวอย่างของ functional definition ของไพรมารีฟัซซี่เซต.....	24
17. แสดงระบบการตอบรับของกระบวนการที่ทำการควบคุม.....	28
18. แสดง fuzzy reasoning วิธีที่ 1.....	44
19. แสดง fuzzy reasoning วิธีที่ 2.....	44
20. แสดง fuzzy reasoning วิธีที่ 3.....	45
21. แสดง fuzzy reasoning วิธีที่ 5.....	46
22. แสดง Center z_i และพื้นที่ S_i ของ C'_i	47
23. แสดง fuzzy reasoning วิธีที่ 6.....	48
24. แสดงวิธีบรรทัดฐานค่าสูงสุด.....	48
25. แสดงวิธีค่าเฉลี่ยของค่าสูงสุด.....	49

สารบัญญภาพ (ต่อ)

	หน้า
26. แสดงวิธี ค่าศูนย์กลางพื้นที่.....	49
27. แสดงผังงานของเมนูหลัก.....	51
28. แสดงเมนูหลักของโปรแกรม.....	51
29. แสดงผังงานของ Load Proces.....	52
30. แสดงจอภาพของ Load Process.....	52
31. แสดงผังงานของ Run Process.....	53
32. แสดงจอภาพของ Run Process.....	54
33. แสดงผังงานของ Display Data.....	55
34. แสดงจอภาพของ Display Data.....	56
35. แสดงผังงานของ Update Data.....	57
36. แสดงจอภาพของ Update Data.....	58
37. แสดงผังงานของ Add New Product.....	59
38. แสดงจอภาพของ Add New Product.....	60
39. แสดงระบบการตอบรับที่เป็นไปได้ของกระบวนการควบคุม.....	61
40. แสดงพีชคณิตเซตต่างๆ สำหรับกฎควบคุมพีชคณิต.....	64
41. แสดงกราฟการแปลงค่าจาก LOOKUP TABLE ไปเป็นค่ากระแสไฟฟ้า 4 ถึง 20 mA.....	66
42. แสดงเม็ดยาที่ยังไม่ได้รับการเคลือบผิว.....	67
43. แสดงเม็ดยาที่ผ่านการเคลือบผิวแล้ว.....	68
44. แสดงกราฟในการควบคุมอุณหภูมิโดยใช้ FLC ในการทดลอง.....	69
45. แสดงการควบคุมในช่วง 300 วินาทีแรก.....	69
46. แสดงการควบคุมในช่วง 301 วินาทีถึง 1500 วินาที.....	70
47. แสดงการควบคุมในช่วง 5101 วินาทีถึง 6300 วินาที.....	70
48. แสดงรูปแบบข้อมูล A/D.....	77
49. แสดงข้อมูลสำหรับการอ่าน Status Register.....	78
50. แสดงข้อมูลสำหรับการเขียน Gain Control Register.....	79
51. แสดงรูปแบบข้อมูลการเขียนของ D/A.....	85
52. แสดง 37 pin D scale connector.....	87

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น เมื่อผู้ญาติเห็นาเบเซบระโยชนด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้า

53. แสดงผังโปรแกรมโครงสร้างของเมนูหลัก.....	89
54. แสดงผังโปรแกรมโครงสร้างของกิจกรรม load porcess.....	91
55. แสดงผังโปรแกรมโครงสร้างของกิจกรรมเลือกเพิ่มข้อมูล.....	92
56. แสดงผังโปรแกรมโครงสร้างของกิจกรรม run porcess.....	93
57. แสดงผังโปรแกรมโครงสร้างของกิจกรรม FLC.....	94
58. แสดงผังโปรแกรมโครงสร้างของกิจกรรมสร้าง LOOK UP TABLE.....	97
59. แสดงผังโปรแกรมโครงสร้างของกิจกรรม display data.....	99
60. แสดงผังโปรแกรมโครงสร้างของกิจกรรม update data.....	100
61. แสดงผังโปรแกรมโครงสร้างของกิจกรรม save update.....	102
62. แสดงผังโปรแกรมโครงสร้างของกิจกรรม add new product.....	103
63. แสดงผังโปรแกรมโครงสร้างของกิจกรรม save new data.....	105



คำนิยามศัพท์

1. เครื่องเคลือบผิวเม็ดยา หมายถึง เครื่องจักรที่ใช้สำหรับการเคลือบผิวเม็ดยา ซึ่งมีเส้นผ่าศูนย์กลาง ภายในห้องสำหรับเครื่องเคลือบผิวเม็ดยาขนาด 18 นิ้ว สามารถใช้เคลือบผิวเม็ดยาได้ครั้งละ 3-5 กิโลกรัม
2. เม็ดยา หมายถึง สารสกัดที่ได้จากแป้งที่ไม่มีผลในการรักษาทางการแพทย์ที่เรียกว่า Placebo มีรูปร่างลักษณะกลม นูน ไม่มีสัน ผิวเนียนเรียบ ซึ่งลักษณะภายนอกเหมือนเม็ดยาที่ใช้รักษาโรคทั่วไป



บทที่ 1

บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในการเคลื่อนผิวเม็ดยานั้น ปัญหาที่มักเกิดขึ้น คือ เม็ดยาที่ได้รับการเคลื่อนผิวแล้วมีผิวยาที่ไม่เนียนเรียบ สีไม่กลมกลืนสม่ำเสมอ ซึ่งทำให้ไม่สามารถนำเม็ดยาเหล่านี้ไปใช้งานได้ ทำให้สูญเสียงบประมาณต้นทุนในการผลิตโดยไม่จำเป็น ปัญหาที่เกิดขึ้นนี้มีสาเหตุเนื่องมาจากการกำหนดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ไม่สัมพันธ์กับลักษณะของเม็ดยาประการหนึ่ง และอีกประการหนึ่งที่เป็นปัญหาที่สำคัญคือการที่ไม่สามารถควบคุมอุณหภูมิตามพารามิเตอร์ที่กำหนดได้ ดังนั้นจึงได้ทำการพัฒนาระบบคอมพิวเตอร์ควบคุมเครื่องเคลื่อนผิวเม็ดยา โดยใช้พีซีลจอกขึ้นมาเพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าว

ระบบคอมพิวเตอร์ควบคุมเครื่องเคลื่อนผิวยา โดยใช้พีซีลจอก จะเป็นระบบควบคุมในลักษณะอัตโนมัติ (automatic control) ซึ่งขั้นตอนในการควบคุมทั้งหมดจะถูกควบคุมโดยคอมพิวเตอร์ โดยที่คอมพิวเตอร์จะทำงานตามพารามิเตอร์ที่ถูกกำหนดโดยเกสซกรหรือผู้เชี่ยวชาญที่รู้เรื่องเกี่ยวกับเม็ดยาและการทำงานของเครื่องเคลื่อนผิวอย่างดี ซึ่งพารามิเตอร์ต่างๆ จะถูกเก็บอยู่ในรูปของแฟ้มข้อมูล (file) ของเม็ดยาแต่ละชนิดแยกกันไปในส่วนของการควบคุมอุณหภูมิในเครื่องเคลื่อนผิวเม็ดยา ซึ่งกระบวนการที่สำคัญได้นำทฤษฎีพีซีลจอกมาประยุกต์ใช้ในการควบคุมอุณหภูมิในเครื่องเคลื่อนผิวเม็ดยา เพื่อให้ค่าความผิดพลาดของอุณหภูมิอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ ไม่ทำให้เม็ดยาที่ผ่านการเคลื่อนผิวแล้วเสียหาย สามารถนำไปใช้ได้ตามความต้องการ

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาลักษณะการทำงานของระบบควบคุมพีซี ที่นำไปใช้ในการควบคุมเครื่องเคลื่อนผิวเม็ดยา ซึ่งเป็นการทำงานในกระบวนการที่เกิดขึ้นจริง ว่ามีประสิทธิภาพในการควบคุมเป็นอย่างไร และมีปัญหาอย่างไร
2. เพื่อต้องการลดต้นทุนในการผลิต ถ้าสามารถทำให้เม็ดยาที่ผ่านการเคลื่อนผิวไม่เกิดการเสียหาย
3. เพื่อช่วยเหลือการทำงานของเกสซกร เนื่องจากระบบคอมพิวเตอร์ควบคุมเครื่องเคลื่อนผิวเม็ดยา โดยใช้พีซีลจอกจะเป็นระบบการควบคุมแบบอัตโนมัติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย

แนวคิดเกี่ยวกับการวิจัยทางการควบคุมฟัซซี่(Fuzzy Control) ได้เริ่มขึ้นตั้งแต่ Zadeh ได้เสนอทฤษฎีฟัซซี่เซต (Fuzzy Set) ขึ้นในปี ค.ศ. 1965 หลังจากนั้น Mamdani และผู้ร่วมงานของเขาได้เริ่มทำการวิจัยการควบคุมฟัซซี่ โดยใช้ลักษณะของภาษาที่ใกล้เคียงกับภาษามนุษย์ (Linguistic Approach) และการวิเคราะห์ระบบบนพื้นฐานของทฤษฎีฟัซซี่เซตของ Zadeh ตั้งแต่ปีค.ศ. 1974 เป็นต้นมา สำหรับตัวอย่างในการประยุกต์ใช้ระบบควบคุมฟัซซี่ได้แก่ กระบวนการทำน้ำสะอาด [22] ควบคุมปฏิกรณ์นิวเคลียร์ [3] ควบคุมกระจก 2 แก่นสำหรับส่องลำแสงเลเซอร์ให้ตรงแนว [17] ควบคุมการเคลื่อนย้ายของแขนหุ่นยนต์ [13] ควบคุมเครื่องกำเนิดพลังงานไฟฟ้า [12] ระบบควบคุมการบิน [2] และระบบควบคุมเซอร์โวลิตึมอเตอร์ (Servo DC Moter) [18] พัฒนาการของระบบควบคุมฟัซซี่อาจแสดงได้ดังตารางที่ 1 [14]

ฟัซซี่ลอจิก(Fuzzy Logic) เป็นลอจิกซึ่งเป็นหลักพื้นฐานของระบบควบคุมฟัซซี่ ซึ่งใกล้เคียงกับลักษณะการคิดของมนุษย์(Human Thinking) และภาษาธรรมชาติ (Natural Language) มากกว่าระบบลอจิกแบบเดิม ส่วนที่สำคัญของระบบควบคุมฟัซซี่ลอจิก (Fuzzy Logic Controller หรือ FLC) คือกลุ่มของกฎควบคุมภาษามนุษย์ (Linguistic Control Rules) ซึ่งเกี่ยวข้องกับ Fuzzy Implication และ Compositional Rule of Inference วิธีการของ FLC นำไปใช้มากเมื่อกระบวนการสำหรับการวิเคราะห์ โดยเทคนิคแบบธรรมดาที่มีความซับซ้อนมากหรือเมื่อแหล่งข้อมูลที่นำมาใช้มีการแสดงระดับมีความคลุมเครือหรือมีความไม่แน่นอน [14]

ดังนั้นในการวิจัยนี้จึงได้นำ FLC มาใช้ในการควบคุมเครื่องเคลือบผิวเม็ดยา ในส่วนของการควบคุมอุณหภูมิ ซึ่งการใช้วิธีการทางคณิตศาสตร์แบบธรรมดาที่ใช้มาไม่ให้ผลตามต้องการหรืออาจจะต้องใช้วิธีการทางคณิตศาสตร์ที่ซับซ้อนขึ้นเพื่อให้ผลที่ดีขึ้น ซึ่งการใช้ FLC จะเป็นวิธีการที่เหมาะสมและไม่ยุ่งยากในการออกแบบระบบควบคุม

ตารางที่ 1

พัฒนาการของระบบควบคุมฟัซซี่

1972	Zadeh	A rational for fuzzy control
1973	Zadeh	Linguistic approach
1974	Mamdani & Assilian	Steam engine control
1976	Rutherford et al.	Analysis of control algorithms
1977	Ostergaard et al.	Heat exchanger and cement kiln control
1977	Willaeys et al.	Optiomal fuzzy control
1979	Komolov et al.	Finite automaton
1980	Tong et al.	Wastewater treatment process
1980	Fukami, Mizumoto and Tanaka	Fuzzy conditional inference
1983	Hirota and Pedryez	Probabilistic fuzzy sets (control)
1983	Takagi and Sugeno	Derivation of fuzzy control rules
1983	Yasunobu, Miyamoto et al.	Predictive fuzzy control
1984	Sugeno and Murakami	Parking control of a model car
1985	Kiszka, Gupta et al.	Fuzzy system stability
1985	Togai and Watanabe	Fuzzy chip
1986	Yamakawa	Fuzzy controller hardware system
1988	Dubois and Prade	Approximate reasoning

ประโยชน์ที่จะได้รับจากการวิจัย

1. ได้เรียนรู้ลักษณะการทำงานของเครื่องเคลือบผิวเม็ดคยา โดยใช้ระบบควบคุมฟัซซี่เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาระบบงานนี้ต่อไปในอนาคต
2. เพื่อให้ได้เม็ดคยาที่ผ่านการเคลือบผิวเม็ดคยามีคุณภาพ ไม่เกิดความเสียหายทำให้สามารถลดต้นทุนการผลิตได้
3. สามารถช่วยเหลือการทำงานของเกษตรกร ในการเคลือบผิวเม็ดคยา เพราะการทำงานจะเป็นแบบอัตโนมัติ
4. เพื่อเป็นแนวทางในการทำวิจัยสำหรับผู้สนใจต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขอบเขตของการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้ได้ใช้เครื่องเคลือบผิวเม็ดยาของบริษัท N.R.INDUSTRIES CO.,LTD. ซึ่งได้ทำการพัฒนาโปรแกรมเพื่อควบคุมการทำงานของเครื่องเคลือบผิวเม็ดยาในส่วนต่างๆ คือ

1. ควบคุมการทำงานทั้งหมดของเครื่องเคลือบผิวเม็ดยา ยกเว้นแรงดันอากาศ (Compressed Air)
2. การควบคุมอุณหภูมิในเครื่องเคลือบผิวเม็ดยา จะใช้ระบบควบคุมพีซีใช้ในการควบคุม
3. ข้อมูลการทำงานของเครื่องเคลือบผิวเม็ดยาของแต่ละชนิดจะถูกเก็บไว้ในแฟ้มข้อมูล (File) ซึ่งสามารถเพิ่มชนิดของเม็ดยา แก้ไขหรือเรียกดูข้อมูลในแฟ้มได้

เครื่องมือที่สำคัญสำหรับการวิจัย

1. รายละเอียดทางด้าน Hardware

1.1 คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล (Personal Computer)

- IBM PC, XT, AT หรือเทียบเท่า (compatible)
- หน่วยความจำหลัก RAM ความจุอย่างน้อย 1 เมกกะไบต์
- จอภาพ (Monitor) และการ์ดสำหรับการแสดงผล(display card) สามารถแสดงความละเอียด (resolution) 1024x768 จุด 256 สี

1.2 อินเตอร์เฟซการ์ด (Interface Card)

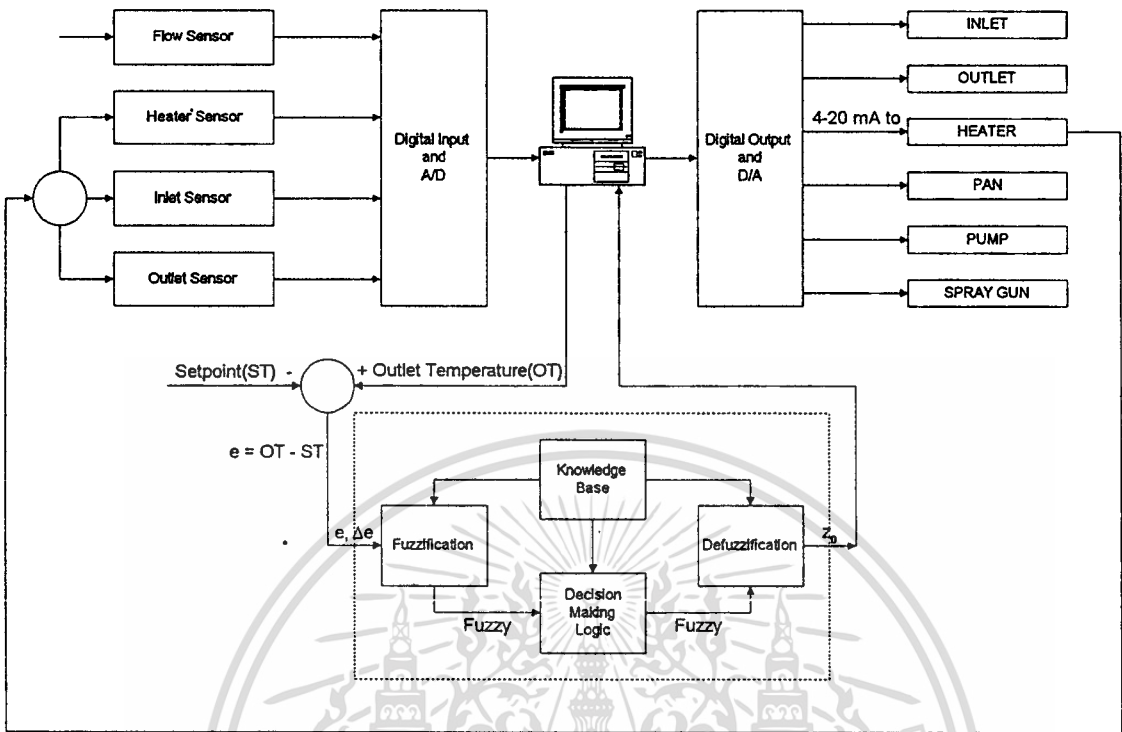
- การ์ดทำหน้าที่แปลงสัญญาณอนาลอก(A/D) ซึ่งมีช่องสำหรับสัญญาณอนาลอก 0 ถึง 10 VDC อย่างน้อย 3 ช่องสัญญาณ สำหรับการวิจัยนี้ได้ใช้การ์ด A/D ของบริษัท Keithley Metrabyte รุ่น DAS-8 PGA (รายละเอียดในภาคผนวก ก)
- การ์ดทำหน้าที่แปลงสัญญาณดิจิตอล (D/A) ซึ่งมีช่องสำหรับส่งสัญญาณดิจิตอลออกไปเป็นสัญญาณอนาลอก 4 ถึง 20 mA อย่างน้อย 1 ช่องสัญญาณ 0 ถึง 10 VDC อย่างน้อย 1 ช่องสัญญาณและ -10 ถึง 10 อย่างน้อย 1 ช่องสัญญาณ สำหรับการวิจัยนี้ได้ใช้การ์ด D/A ของบริษัท Keithley Metrabyte รุ่น DDA - 06 (รายละเอียดในภาคผนวก ข.)
- การ์ดทำหน้าที่รับส่งสัญญาณดิจิตอล (Digital I/O) ซึ่งมีช่องสำหรับรับสัญญาณอย่างน้อย 1 ช่องสัญญาณ และมีช่องสำหรับส่งสัญญาณอย่างน้อย 6 ช่องสัญญาณ สำหรับการวิจัยนี้ได้ใช้การ์ด A/D และ D/A ของบริษัท Keithley MetroByte รุ่น DAS - 8 PGA และ DDA-06 ซึ่งมีช่องสัญญาณดิจิตอลอยู่แล้ว
- การ์ดทำหน้าที่แปลงสัญญาณดิจิตอลจาก 5V เป็น 12V

1.3 เครื่องเคลือบผิวเม็ดยา ประกอบด้วยส่วนที่สำคัญ คือ

- เครื่องเป่าลม (Inlet Ventilator หรือ Blower) ควบคุมโดยการส่งสัญญาณดิจิตอลจากคอมพิวเตอร์ผ่านการ์ด D/A
- เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์ของสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา หากมีการนำไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- เครื่องดูดลม (Outlet Ventilator หรือ Exhaust Ventilator) ควบคุมโดยการส่งสัญญาณดิจิทัลจากคอมพิวเตอร์ผ่านการ์ด D/A
 - เครื่องทำความร้อน (Heater) ควบคุมโดยใช้แรงดันไฟฟ้า 0 ถึง 380 VAC ที่ส่งมาจาก Regulator ซึ่งถูกควบคุมโดยกระแสไฟฟ้า 4 ถึง 20 mA ที่ถูกส่งมาจากคอมพิวเตอร์ผ่านการ์ด D/A
 - PAN ควบคุมโดยใช้แรงดันไฟฟ้า 0 ถึง 10 VDC ที่ถูกส่งมาจากคอมพิวเตอร์ผ่านการ์ด D/A
 - PUMP ควบคุมโดยใช้แรงดันไฟฟ้า -10 ถึง 10 VDC ที่ถูกส่งมาจากคอมพิวเตอร์ผ่านการ์ด D/A
 - ปืนสำหรับฉีดน้ำยา (Spray Gun) ควบคุมโดยการส่งสัญญาณดิจิทัลจากคอมพิวเตอร์ผ่านการ์ด D/A
 - เครื่องปรับแรงดันลม
 - ถังเก็บน้ำยา
- 1.4 เครื่องมือที่ใช้ในการวัด
- ตัววัดอุณหภูมิ (Thermocouple) และตัวแปลงสัญญาณ (Transmitter) จากอุณหภูมิ 0 ถึง 200 องศาเซลเซียส ไปเป็น 0 - 10 VDC เพื่อส่งไปยังคอมพิวเตอร์ โดยผ่านการ์ด A/D จำนวน 3 ชุด
 - ตัววัดอัตราการไหลของน้ำ (Flow sensor) ซึ่งทำหน้าที่ส่งสัญญาณดิจิทัลไปยังคอมพิวเตอร์ผ่านทางการ์ด A/D จำนวน 1 ชุด
- โดยการอินเทอร์เฟสระหว่างคอมพิวเตอร์และเครื่องเคลือบผิวเม็ดยาผ่านการ์ด A/D และการ์ด D/A แสดงด้วยบล็อกไดอะแกรม (Block Diagram) ของระบบดังภาพที่ 1

ภาพที่ 1



แสดงบล็อกไดอะแกรมของระบบ

2. รายละเอียดทางด้านซอฟต์แวร์ (Software)

2.1 ระบบปฏิบัติการ (Operation System)

- MS-DOS เวอร์ชัน 5.0 ขึ้นไป

2.2 ภาษาที่ใช้ในการพัฒนาระบบงาน

- Turbo C เวอร์ชัน 2.0

2.3 ไดรฟ์เวอร์ (Driver) พิเศษสำหรับการแสดงผลทางจอภาพ

- SVGA.BGI

บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ฟัซซีเซต (Fuzzy Sets)

ให้ U เป็นกลุ่มของสิ่งต่าง ๆ ทั้งหมดซึ่งมีลักษณะเดียวกันแสดงด้วย $\{u\}$ ที่สามารถที่จะไม่ต่อเนื่อง (Discrete) หรือต่อเนื่อง (continuous) U จะเรียกว่าเซตจักรวาล (Universe of Discourse) และ u แสดงสมาชิก (element) ทั่วไปของ U

นิยาม 1 : ฟัซซีเซต: ฟัซซีเซต F ใน เซตจักรวาล U คือการแสดงลักษณะด้วยฟังก์ชันการเป็นสมาชิก (Membership Function) μ_F ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง $[0,1]$ กล่าวคือ

$$\mu_F : U \rightarrow [0,1]$$

ฟัซซีเซตอาจจะมองเหมือนแนวคิดทั่วไปของเซตโดยปกติ (Ordinary Set) ซึ่งฟังก์ชันการเป็นสมาชิกมีเพียง 2 ค่า $\{0,1\}$ ดังนั้น ฟัซซีเซต F ใน U อาจจะแทนด้วยเซตของคู่ลำดับ (order pairs) ของสมาชิกทั่วไป u และฟังก์ชันระดับการเป็นสมาชิก (Grade of Membership function) ของมันคือ

$$F = \{(u, \mu_F(u)) / u \in U\}$$

เมื่อ U ต่อเนื่อง ฟัซซีเซต F สามารถที่แสดงได้โดย

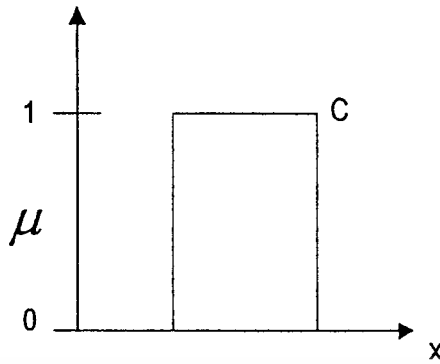
$$F = \int_U \mu_F(u) / u$$

เมื่อ U ไม่ต่อเนื่อง ฟัซซีเซต F สามารถแสดงได้โดย

$$F = \sum_{i=1}^n \mu_F(u_i) / u_i$$

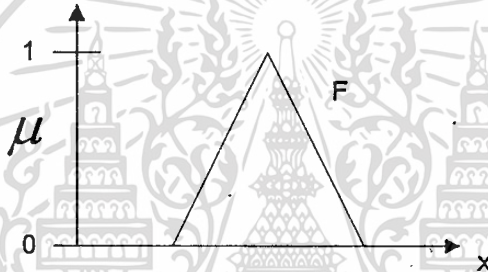
ซึ่งลักษณะการแมป (mapping) ของฟังก์ชันการเป็นสมาชิกสำหรับเซตโดยปกติหรือคริสเซต (crisp set) และฟัซซีเซต แสดงในภาพที่ 2 และ 3 ตามลำดับ

ภาพที่ 2



แสดงฟังก์ชันการเป็นสมาชิกสำหรับคริสเซต C

ภาพที่ 3



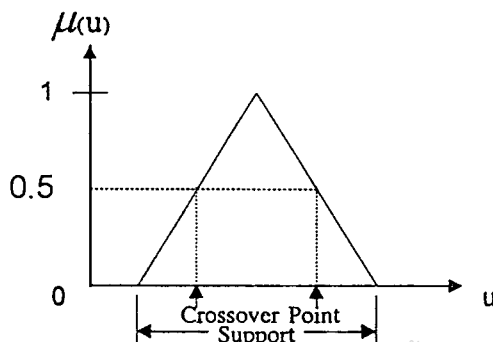
แสดงฟังก์ชันการเป็นสมาชิกสำหรับฟัซซี่เซต F

คุณสมบัติของฟังก์ชันการเป็นสมาชิก

นิยาม 2: Support จุด crossover และ Fuzzy Singleton : support ของฟัซซี่เซต F คือคริสเซตของ u ซึ่งเป็นจุดทั้งหมดใน U ที่ $\mu_F(u) > 0$ เฉพาะ u ใน U ที่ $\mu_F = 0.5$ จะเรียกว่าจุด crossover และฟัซซี่เซตใดก็ตาม support เป็นจุดเดียวใน U จะเรียกว่าเป็น fuzzy singleton

ในภาพที่ 4 จะแสดง support และจุด crossover ของฟัซซี่เซต

ภาพที่ 4

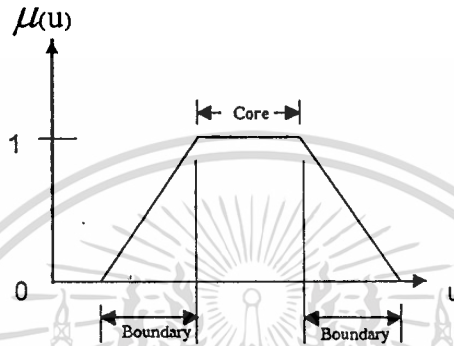


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ก่อนจะนำมาใช้หรือเผยแพร่ในรูปแบบใดก็ตามให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
แสดง support และจุด crossover ของฟัซซี่เซต
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นิยาม 3: Core และ Boundary : Core ของฟัซซี่เซต F คือคริสเซตของ u ซึ่งเป็นจุดทั้งหมดใน U เมื่อ $\mu_F(u) = 1$ และ Boundary ของฟัซซี่เซต F คือคริสเซตของ u ซึ่งเป็นจุดทั้งหมดใน U เมื่อ $0 < \mu_F(u) < 1$

ในภาพที่ 5 จะแสดง Core และ Boundary ของฟัซซี่เซต

ภาพที่ 5



แสดง Core และ Boundary ของฟัซซี่เซต

นิยาม 4 : จำนวนฟัซซี่ (Fuzzy Number) : จำนวนฟัซซี่ F ใน Universe U ที่ต่อเนื่อง จะเป็นฟัซซี่เซต F ใน U ซึ่งเป็น normal และ convex ดังนี้

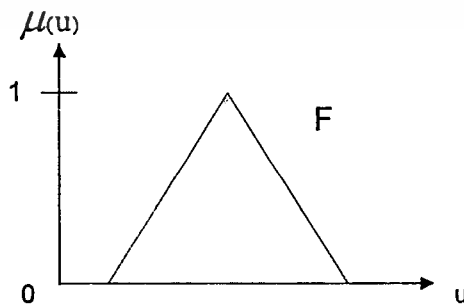
$$\max_{u \in U} \mu_F(u) = 1 \quad (\text{normal})$$

$$\mu_F(\lambda u_1 + (1-\lambda) u_2) \geq \min(\mu_F(u_1), \mu_F(u_2)) \quad (\text{convex})$$

เมื่อ $u_1, u_2 \in U, \lambda \in [0,1]$

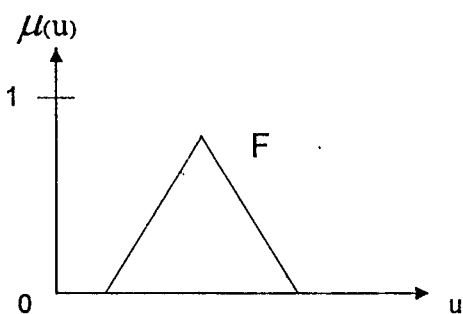
ในภาพที่ 6 และ 7 จะแสดง normal และ non-normal ฟัซซี่เซตตามลำดับ

ภาพที่ 6



แสดง normal ฟัซซี่เซต

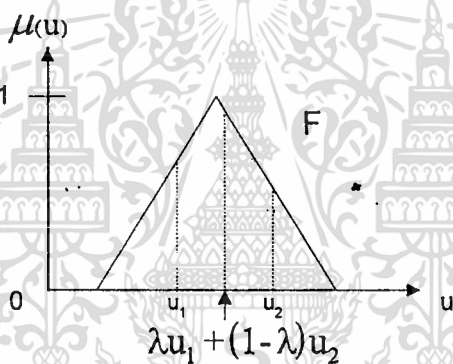
ภาพที่ 7



แสดง non-normal ฟัซซี่เซต

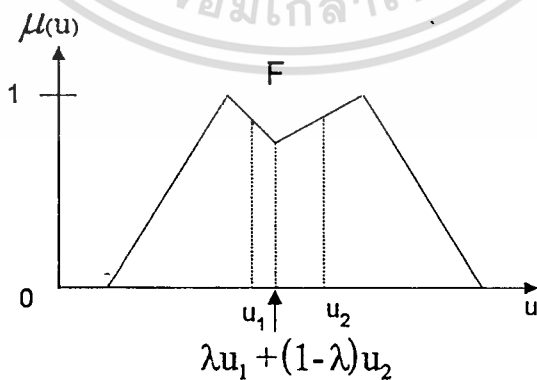
ในภาพที่ 8 และ 9 จะแสดง convex และ non-convex ฟัซซี่เซต

ภาพที่ 8



แสดง convex ฟัซซี่เซต

ภาพที่ 9



แสดง non-convex ฟัซซี่เซต

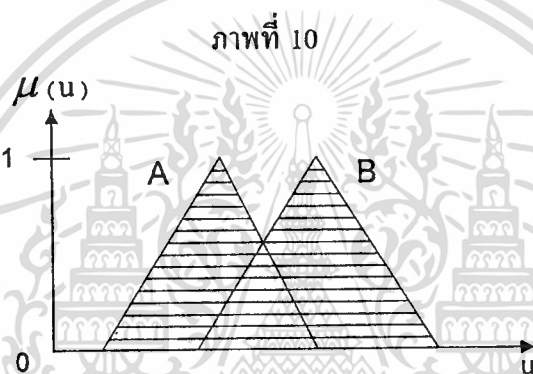
การดำเนินการสำหรับฟัซซี่เซต

ให้ A และ B เป็นฟัซซี่เซตใน U โดยมีฟังก์ชันการเป็นสมาชิก μ_A และ μ_B ตามลำดับ การดำเนินการเกี่ยวกับผลบวก (Union) ผลตัด (Intersection) และคอมพลิเมนต์ (Complement) สำหรับฟัซซี่เซตกำหนดผ่านทางฟังก์ชันการเป็นสมาชิกของมันดังต่อไปนี้

นิยาม 5: ผลบวก: ฟังก์ชันการเป็นสมาชิก $\mu_{A \cup B}$ ของผลบวก $A \cup B$ จะกำหนดสำหรับทุก $u \in U$ โดย

$$\mu_{A \cup B}(u) = \max \{ \mu_A(u), \mu_B(u) \}$$

ในภาพที่ 10 แสดงผลบวกของฟัซซี่เซต A และ B

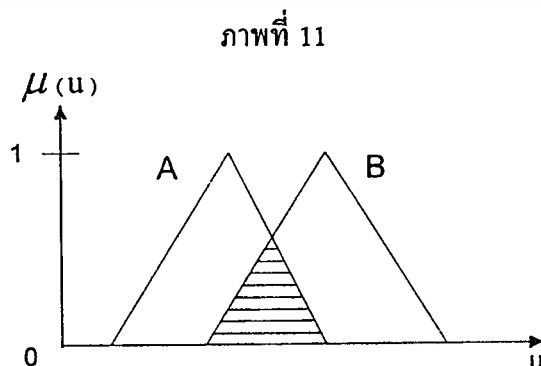


แสดงผลบวกของฟัซซี่เซต A และ B

นิยาม 6 : ผลตัด : ฟังก์ชันการเป็นสมาชิก $\mu_{A \cap B}$ ของผลตัด $A \cap B$ จะกำหนดสำหรับ $u \in U$ โดย

$$\mu_{A \cap B}(u) = \min \{ \mu_A(u), \mu_B(u) \}$$

ในภาพที่ 11 แสดงผลตัดของฟัซซี่เซต A และ B



แสดงผลตัดของฟัซซี่เซต A และ B

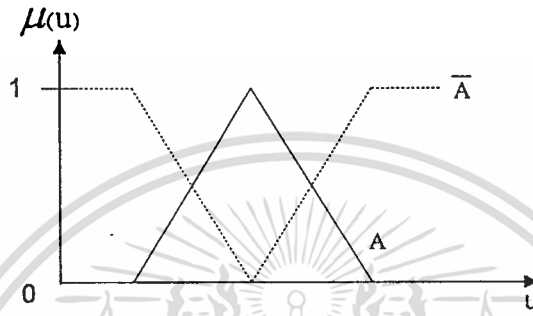
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นิยาม 7: คอมพลิเมนต์ : ฟังก์ชันการเป็นสมาชิก $\mu_{\bar{A}}$ ของคอมพลิเมนต์สำหรับฟัซซี่เซต A จะกำหนดสำหรับทุก $u \in U$ โดย

$$\mu_{\bar{A}}(u) = 1 - \mu_A(u)$$

ในภาพที่ 12 แสดงคอมพลิเมนต์ของฟัซซี่เซต A

ภาพที่ 12



แสดงคอมพลิเมนต์ของฟัซซี่เซต A

นิยาม 8 : ผลคูณคาร์ทีเซียน (Cartesian Product) : ถ้า A_1, \dots, A_n คือฟัซซี่เซตใน U_1, \dots, U_n ตามลำดับ ผลคูณคาร์ทีเซียนของ A_1, \dots, A_n คือฟัซซี่เซตในสเปซผลคูณ (Product Space) U_1, \dots, U_n ด้วยฟังก์ชันการเป็นสมาชิก

$$\mu_{A_1} \times \dots \times \mu_{A_n}(u_1, u_2, \dots, u_n) = \min\{\mu_{A_1}(u_1), \dots, \mu_{A_n}(u_n)\}$$

หรือ

$$\mu_{A_1} \times \dots \times \mu_{A_n}(u_1, u_2, \dots, u_n) = \mu_{A_1}(u_1) \cdot \mu_{A_2}(u_2) \cdot \dots \cdot \mu_{A_n}(u_n)$$

นิยาม 9: ความสัมพันธ์ฟัซซี่ (Fuzzy Relation) : ความสัมพันธ์ฟัซซี่ R เป็นฟัซซี่เซตใน $U_1 \times \dots \times U_n$ และแสดงได้ดังนี้

$$R_{U_1 \times \dots \times U_n} = \{((u_1, \dots, u_n), \mu_R(u_1, \dots, u_n)) / (u_1, \dots, u_n) \in U_1 \times \dots \times U_n\}$$

นิยาม 10 : การประกอบ Sup-Star : ถ้า R และ S เป็นความสัมพันธ์ฟัซซี่ใน $U \times V$ และ $V \times W$ ตามลำดับ การประกอบของ R และ S คือความสัมพันธ์ฟัซซี่แสดงด้วย $R \circ S$ และถูกกำหนดโดย

$$R \circ S = \left\{ (u, w), \sup_v (\mu_R(u, v) * \mu_S(v, w)) \right\}, u \in U, v \in V, w \in W$$

เมื่อ * สามารถที่จะเป็นตัวดำเนินการ (Operator) ต่างๆ ในรูปของ Triangular norms ตัวดำเนินการดังกล่าวคือน้อยที่สุด (Minimum) ผลคูณพีชคณิต (Algebraic Product) ผลคูณขอบเขต (Bounded Product) หรือผลคูณดราสติก (Drastic Product) ซึ่งจะกล่าวถึงต่อไป

ตัวแปรภาษามนุษย์ (Linguistic Variable) กับฟัซซีเซต

การใช้ฟัซซีเซตจะมีหลักเกณฑ์วิธีการสำหรับนำไปใช้กับระบบที่มีแนวคิดคลุมเคลือและไม่แน่นอน เราสามารถใช้ฟัซซีเซตเพื่อจะแทนตัวแปรภาษามนุษย์ ตัวแปรภาษามนุษย์สามารถที่จะมองได้เป็นตัวแปรซึ่งมีค่าเป็นจำนวนฟัซซีหรือตัวแปรซึ่งมีค่าที่ถูกกำหนดในภาษามนุษย์(Lee,1990a:406) ซึ่งจะพิจารณาดังต่อไปนี้

นิยาม 11 : ตัวแปรภาษามนุษย์ : ตัวแปรภาษามนุษย์จะมีลักษณะซึ่งแสดงด้วย $(x, T(x), U, G, M)$ ซึ่ง x คือชื่อของตัวแปร $T(x)$ คือเทอมเซต(term set) x ซึ่งคือเซตของชื่อตัวแปรภาษามนุษย์ x โดยแต่ละค่าจะเป็นจำนวนฟัซซีที่ถูกกำหนดโดย U G คือกฎวิธีสำหรับการทำให้เกิดชื่อของค่า x และ M คือกฎการแปลความหมาย(Semantic Rule) ที่เกี่ยวข้องกับความหมายแต่ละค่าของมัน สำหรับตัวอย่าง ถ้า "ความเร็ว" แทนตัวแปรภาษามนุษย์แล้วเทอมเซต $T(\text{ความเร็ว})$ ของมัน สามารถเป็น

$$T(\text{ความเร็ว}) = \{ \text{ช้า, ปานกลาง, เร็ว} \}$$

โดยที่แต่ละเทอมใน $T(\text{ความเร็ว})$ เป็นลักษณะที่แสดงโดยฟัซซีเซตใน เซตจักรวาล

$U = [0,100]$ เราอาจแสดงว่า

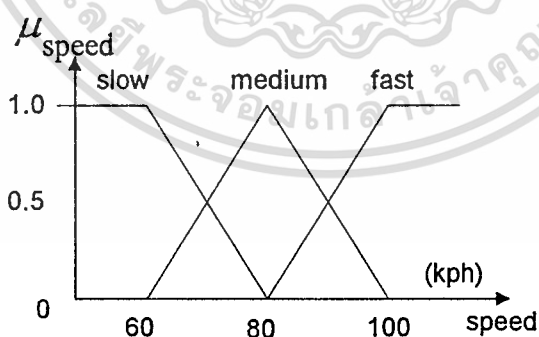
"ช้า" คือ "ความเร็วที่ต่ำกว่าประมาณ 60 กิโลเมตรต่อชั่วโมง"

"ปานกลาง" คือ "ความเร็วที่ใกล้เคียง 80 กิโลเมตรต่อชั่วโมง"

"เร็ว" คือ "ความเร็วที่สูงกว่าประมาณ 100 กิโลเมตรต่อชั่วโมง"

ซึ่งเทอมเหล่านี้สามารถที่จะแสดงเป็นฟัซซีเซตซึ่งฟังก์ชันการเป็นสมาชิกสามารถแสดงได้ดังภาพที่ 13

ภาพที่ 13



แสดงเทอมฟัซซีเซตของความเร็ว โดยที่ความเร็วคือตัวแปรภาษามนุษย์ประกอบด้วย

3 เทอม คือ "ช้า" "ปานกลาง" และ "เร็ว"

ฟัซซีลอจิก (Fuzzy Logic) และการประมาณเหตุผล (Approximate Reasoning)

ในฟัซซีลอจิกและการประมาณเหตุผล กฎการอนุมาน Fuzzy Implication แบ่งออกได้เป็น 2 แบบที่สำคัญคือ Generalized Modus Ponens (GMP) และ Generalized Modus Tollens (GMT): เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

premise 1 : x is A' ,

premise 2 : if x is A then y is B ,

consequence : y is B' (GMP)

premise 1 : y is B' ,

premise 2 : if x is A then y is B ,

consequence : x is A' (GMT)

การอนุมาน fuzzy implication จะอยู่บนพื้นฐานของ Compositional Rule of Inference สำหรับการประมาณเหตุผล ซึ่งคิดค้นโดย Zadeh [24] เราจะนำฟัซซี่เซต A, A', B, B' ผ่านตัวแปรภาษามนุษย์ x, y แทนที่คริสเซตในลอจิกแบบเก่า GMP ซึ่งจะเปลี่ยนเป็น "modus ponens" เมื่อ $A' = A$ และ $B' = B$ ซึ่ง GMP จะมีความสัมพันธ์ใกล้เคียงกับ forward data-driven inference ซึ่งจะใช้เฉพาะใน FLC ส่วน GMT ซึ่งจะเปลี่ยนเป็น "modus tollens" เมื่อ $B' = \text{not } B$ และ $A' = \text{not } A$ ซึ่งจะมีความสัมพันธ์ใกล้เคียงกับ backward goal-driven inference ซึ่งจะใช้ในระบบผู้เชี่ยวชาญทั่วไป โดยเฉพาะอย่างยิ่งในขอบเขตการวินิจฉัยทางการแพทย์ [14]

นิยาม 12 : Sup-Star Compositional Rule of Inference : ถ้า R คือความสัมพันธ์ฟัซซี่ใน $U \times V$ และ x คือฟัซซี่เซตใน U แล้ว "Sup-Star Compositional Rule of Inference" ยืนยันได้ว่าฟัซซี่เซต y ใน V ก่อให้เกิดโดย x ซึ่งสามารถแสดงได้โดย

$$y = x \circ R$$

เมื่อ $x \circ R$ คือการประกอบ Sup-Star ของ x และ R ถ้า Star แทนด้วยตัวดำเนินการน้อยที่สุดแล้ว การนิยามนี้สามารถเปลี่ยนให้อยู่ในรูปของ Compositional Rule of Inference ของ Zadeh [24]

แนวคิดหลักของ FLC

ในส่วนนี้จะแสดงแนวคิดหลักของ FLC ซึ่งในภาพที่ 14 ได้แสดงส่วนประกอบหลักของ FLC ซึ่งแบ่งออกเป็น 4 ส่วนหลัก คือฟัซซี่ฟิเคชันอินเตอร์เฟส (Fuzzification Interface) ฐานความรู้ (Knowledge Base) ลอจิกทำการตัดสินใจ (Decision-making Logic) และดีฟัซซี่ฟิเคชันอินเตอร์เฟส (Defuzzification Interface) [14]

1. ฟัซซี่ฟิเคชันอินเตอร์เฟส เกี่ยวข้องกับหน้าที่ต่อไปนี้

1.1 วัตถุประสงค์ของตัวแปรอินพุต (Input)

1.2 ทำมาตราส่วน (scale mapping) เพื่อที่จะทำการแปลงขอบเขตของค่าตัวแปรอินพุต

เข้าไปอยู่ในเซตจักรวาล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 ทำหน้าที่ฟัซซีฟิเคชัน เพื่อที่จะเปลี่ยนข้อมูลอินพุทไปเป็นค่าภาษามนุษย์ (Linguistic Value) ที่เหมาะสมซึ่งอาจจะหมายถึงเป็นชื่อของฟัซซีเซต

2. ฐานความรู้ ประกอบด้วยความรู้ของแอปพลิเคชันโดเมน (Application Domain) และ เป้าหมายควบคุมผลซึ่งตามมา ซึ่งมันจะประกอบด้วย "ฐานข้อมูล(data base)" และ "กฎพื้นฐานควบคุมภาษามนุษย์ (Linguistic (Fuzzy) Control Rule Base) " ดังนี้

2.1 ฐานข้อมูลจะเตรียมข้อกำหนดที่จำเป็น ซึ่งก็คือจะใช้เพื่อที่จะกำหนดกฎควบคุมภาษามนุษย์และการจัดการข้อมูลฟัซซี (Fuzzy data manipulation) ใน FLC

2.2 กฎพื้นฐาน(Rule Base) จะแสดงลักษณะเป้าหมายที่จะควบคุมและความฉลาดในการควบคุมของโดเมนผู้เชี่ยวชาญ (Domain Expert) โดยความหมายของเซตของกฎควบคุมภาษามนุษย์

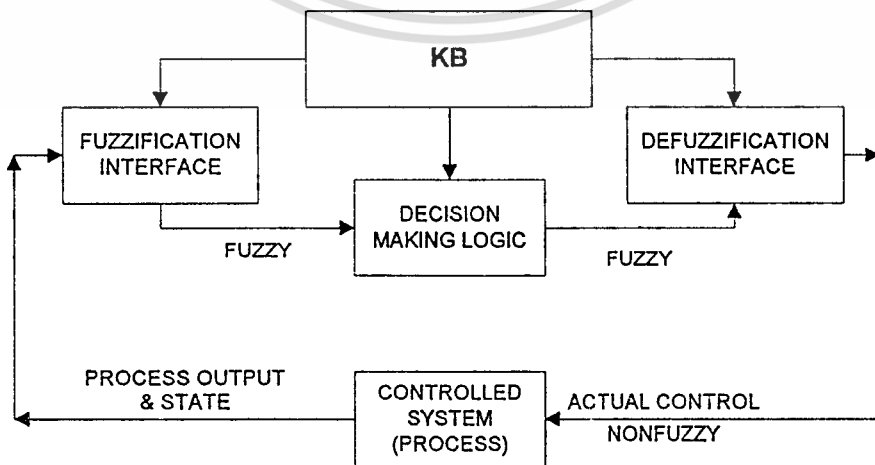
3. ลอจิกทำการตัดสินใจจะเป็นหัวใจของ FLC มันมีความสามารถในการเลียนแบบทำการตัดสินใจของมนุษย์(Human decision-making) ซึ่งอยู่บนพื้นฐานของแนวคิดฟัซซี (Fuzzy concept) และการวินิจฉัยการกระทำควบคุมฟัซซี(Fuzzy Control Actions) โดยการใช้ Fuzzy Implication และกฎการวินิจฉัย (Rule of Inference) ในฟัซซีลอจิก

4. ดิฟฟัซซีฟิเคชันอินเตอร์เฟส ประกอบด้วยหน้าที่ต่อไปนี้

4.1 มาตรการส่วนซึ่งจะทำการแปลงขอบเขตของค่าตัวแปรเอาต์พุท (Output) เข้าไปอยู่ในเซตจักรวาล

4.2 การดิฟฟัซซีฟิเคชัน ซึ่งจะให้ผลพฤติกรรมควบคุมมันฟัซซี (nonfuzzy control action) จากพฤติกรรมควบคุมฟัซซี

ภาพที่ 14



แสดงส่วนประกอบหลักของ FLC

เราจะอธิบายแนวความคิดภายใต้ FLC ในเทอมของฟัซซีลอจิก โครงสร้างพารามิเตอร์ที่มีส่วนเกี่ยวข้องในการออกแบบ FLC ดังต่อไปนี้

ฟัซซีคอนดิชันนอลสเตตเมนต์ (Fuzzy Conditional Statements) และกฎควบคุมฟัซซี (Fuzzy Control Rules)

ใน FLC พฤติกรรมไดนามิก (Dynamic behavior) ของระบบฟัซซีจะแสดงลักษณะโดยกลุ่มของภาษามนุษย์ ซึ่งอธิบายด้วยกฎพื้นฐานบนความรู้ผู้เชี่ยวชาญ ความรู้ของผู้เชี่ยวชาญโดยปกติจะอยู่ในรูปของ

IF (กลุ่มของเงื่อนไขที่แน่ใจ) THEN (กลุ่มของผลที่สามารถวินิจฉัยได้)

เมื่อส่วนของ IF เรียกว่า Antecedents และส่วนของ THEN เรียกว่า Consequents ของกฎ IF-THEN เหล่านี้จะมีส่วนสัมพันธ์กับแนวคิดฟัซซี (เทอมภาษามนุษย์) ซึ่งจะเรียกว่าฟัซซีคอนดิชันนอลสเตตเมนต์ ส่วนกฎควบคุมฟัซซีคือฟัซซีคอนดิชันนอลสเตตเมนต์ซึ่ง antecedents คือเงื่อนไขในแอปพลิเคชันโดเมน และ consequents คือพฤติกรรมควบคุมสำหรับระบบภายใต้การควบคุม กฎควบคุมฟัซซีจะเตรียมวิธีการที่ความสะดวกสำหรับการแสดงวิธีการควบคุมและโดเมนความรู้ ตัวแปรภาษามนุษย์ต่างๆ อาจจะไปสู่ antecedents และ consequents ของกฎนั้นๆ ในกรณีนี้ระบบจะมีการอ้างถึงเป็นระบบฟัซซีหลายอินพุทหลายเอาต์พุท (multi-input-multi-output หรือ MIMO) สำหรับตัวอย่างในกรณีของระบบ 2 อินพุท 1 เอาต์พุท (two-input-single-output หรือ MISO) กฎควบคุมฟัซซีจะมีรูปแบบควบคุมดังนี้

R_1 : if x is A_1 and y is B_1 then z is C_1 ,

R_2 : if x is A_2 and y is B_2 then z is C_2 ,

...

...

R_n : if x is A_n and y is B_n then z is C_n .

โดยที่ x, y และ z คือตัวแปรภาษามนุษย์แสดง 2 ตัวแปรสถานะกระบวนการ (Process state variable) และ 1 ตัวแปรควบคุม (Control variable) A_i, B_i และ C_i คือ ค่าภาษามนุษย์ของตัวแปรภาษามนุษย์ x, y และ z ในเซตจักรวาล U, V และ W โดยที่ $i = 1, 2, \dots, n$ ตามลำดับ และการเชื่อมประโยคอินพลิซิท (implicit sentence connective) จะเชื่อมโยงกฎเหล่านั้นเข้าด้วยกันเป็นกลุ่มกฎ (Rule Set) หรือก็คือกฎพื้นฐาน

กฎควบคุมฟัซซี เช่น "if (x is A_i and y is B_i) then (z is C_i)" เป็นการทำให้เกิดโดย fuzzy implication (ความสัมพันธ์ฟัซซี) R_i และกำหนดได้ดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned}\mu_{R_i} &\triangleq \mu_{(A_i \text{ and } B_i \rightarrow C_i)}(u, v, w) \\ &= [\mu_{A_i}(u) \text{ and } \mu_{B_i}(v)] \rightarrow \mu_{C_i}(w)\end{aligned}$$

โดยที่ A_i และ B_i คือฟัซซีเซต $A_i \times B_i$ ใน $U \times W$

$R_i \triangleq (A_i \text{ and } B_i) \rightarrow C_i$ คือ Fuzzy Implication (Relation) ใน $U \times V \times W$

และ \rightarrow แสดงฟัซซีอิมพลีเคชันฟังก์ชัน

ซึ่งวิธีการต่าง ๆ ในการกำหนด Fuzzy Implication จะแสดงไว้ในหัวข้อภายหลัง

ตัวดำเนินการฟัซซีฟิเคชัน (Fuzzification Operator)

ตัวดำเนินการฟัซซีฟิเคชันจะทำการแปลงข้อมูลคริป (Crisp data) เข้าไปอยู่ในฟัซซีเซตซึ่ง

แสดงโดย

$$x = \text{fuzzifier}(x_0)$$

โดยที่ x_0 คือค่าคริสตินพุทจากระบบการ

x คือ ฟัซซีเซต

และ fuzzifier แทนตัวดำเนินการฟัซซีฟิเคชัน

ตัวดำเนินการการเชื่อมประโยค (Sentence Connective Operators)

FLC จะประกอบด้วยกลุ่มของกฎควบคุมฟัซซีซึ่งสัมพันธ์กับแนวคิดของ Fuzzy Implication

และ Sup-Star Compositional Rule of Inference กฎควบคุมฟัซซีต่างๆ จะรวมกันโดยใช้การเชื่อม

ประโยค (Sentence Connective) and และ also เมื่อแต่ละกฎควบคุมฟัซซีจะถูกแทนโดยความ

สัมพันธ์ฟัซซี พฤติกรรมทั้งหมดของระบบฟัซซีจะแสดงลักษณะ โดยความสัมพันธ์ฟัซซีนี้ ระบบฟัซซี

สามารถที่จะแสดงลักษณะ โดยความสัมพันธ์ฟัซซีเดียวซึ่งเป็นการรวมกันของความสัมพันธ์ฟัซซีใน

กลุ่มกฎ การรวมกันนี้นำไปสู่การเชื่อมประโยค also ซึ่งแสดงโดย

$$R = \text{also} (R_1, R_2, \dots, R_i, \dots, R_n)$$

โดยที่ also แทนการเชื่อมประโยค

การวินิจฉัยเอาว์พุท z ที่ได้จากสถานะกระบวนการ x, y และความสัมพันธ์ฟัซซี R

Sup-Star Compositional Rule of Inference จะแสดงได้โดย

$$z = y \circ (x \circ R)$$

โดยที่ \circ คือการประกอบ Sup-Star

ตัวดำเนินการดีฟัซซิฟิเคชัน (Defuzzification Operator)

เอาว์พุทของกระบวนการวินิจฉัยเป็นเพียงฟัซซีเซต ในการควบคุมออนไลน์(ออนไลน์) ต้องการใช้นั้นฟัซซี(คริส) ดังนั้น ต้องทำการดีฟัซซิฟิเคชัน พหุติกรรมควบคุมฟัซซี (เอาว์พุท) ซึ่งได้จากอัลกอริทึมควบคุมฟัซซีมีดังนี้

$$z_0 = \text{defuzzifier}(z)$$

โดยที่ z_0 คือเอาว์พุทควบคุมนั้นฟัซซี และ defuzzifier คือตัวดำเนินการดีฟัซซิฟิเคชัน

การออกแบบพารามิเตอร์ของ FLC

หลักการออกแบบพารามิเตอร์สำหรับ FLC จะแสดงได้ดังนี้

1. วิธีการฟัซซิฟิเคชัน (Fuzzification Strategies) และการแสดงตัวดำเนินการฟัซซิฟิเคชัน (Fuzzifier)
2. ฐานข้อมูล
 - 2.1 คิสกรีไตเซชัน (Discretization) / นอร์มอลไลเซชัน (Normalization) ของ เซตจักรวาล
 - 2.2 ฟัซซีพาร์ติชัน (Fuzzy Partition) ของอินพุทและเอาว์พุทสเปซ (Input and Output Spaces)
 - 2.3 ความสมบูรณ์ (Completeness)
 - 2.4 การเลือกฟังก์ชันการเป็นสมาชิกของไพรมารีฟัซซีเซต (Primary Fuzzy Set)
3. กฎพื้นฐาน (Rule Base)
 - 3.1 การเลือกตัวแปรสถานะกระบวนการ และตัวแปรควบคุมของกฎควบคุมฟัซซี (Choice of Process State Variables and Control Variable of Fuzzy Control Rules)
 - 3.2 แหล่งกำเนิดและที่มาของกฎควบคุมฟัซซี (Source and Derivation of Fuzzy Control Rules)
 - 3.3 ชนิดของกฎควบคุมฟัซซี (Type of Fuzzy Control Rules)
 - 3.4 ความไม่ขัดแย้งกัน (Consistency) การกระทบกระทั่งกัน (Interactivity) และ ความสมบูรณ์ของกฎควบคุมฟัซซี
4. ลอจิกทำการตัดสินใจ
 - 4.1 ข้อกำหนดของ fuzzy Implication
 - 4.2 การแสดงการเชื่อมประโยค and
 - 4.3 การแสดงการเชื่อมประโยค also
 - 4.4 ข้อกำหนดของตัวดำเนินการการประกอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 กลไกการวินิจฉัย (Inference Mechanisms)

5. วิธีการดีฟัซซิฟิเคชัน (Defuzzification Strategies) และการแสดงตัวดำเนินการดีฟัซซิฟิเคชัน (Defuzzifier)

วิธีการฟัซซิฟิเคชัน

ฟัซซิฟิเคชันจะเกี่ยวเนื่องกับความคลุมเครือและความไม่แน่นอนในภาษาธรรมชาติ (Natural Language) ซึ่งจะประเมินค่าความคิด ซึ่งแปลงค่าที่วัดได้เข้าไปสู่การประเมินค่าของความคิด และด้วยเหตุนี้ทำให้สามารถที่จะแยกจากอินพุตสเปซไปยังฟัซซีเซตอินพุตที่แน่นอนในเซตจักรวาล ฟัซซิฟิเคชันจะมีบทบาทที่สำคัญในการจัดการเกี่ยวกับข้อมูลที่ไม่แน่นอนซึ่งอาจจะไม่เป็นความคิดหรือเป็นความคิดในธรรมชาติ [14]

ในโปรแกรมประยุกต์ควบคุมฟัซซี (Fuzzy Control Application) ข้อมูลที่นำมาใช้จะเป็นค่าคริส เมื่อการนำข้อมูลมาใช้ใน FLC จะอยู่บนพื้นฐานของทฤษฎีฟัซซีเซต ฟัซซิฟิเคชันจึงมีความจำเป็นในระหว่างขั้นตอนเริ่มต้น ประสบการณ์เกี่ยวกับการออกแบบ FLC ตามที่เสนอแนะดังต่อไปนี้ เป็นวิธีส่วนใหญ่ที่นำมาเอาไปใช้ในฟัซซิฟิเคชัน

1. วิธีการนี้เป็นวิธีที่ใช้ส่วนมากในแอปพลิเคชันควบคุมฟัซซี เนื่องจากเป็นธรรมชาติและง่ายในการนำไปใช้ มันจะแปลงอินพุต x_0 เป็นฟัซซีเซต A โดยฟังก์ชันความเป็นสมาชิก $\mu_A(x)$ จะเท่ากับ 0 ยกเว้น x_0 ซึ่ง $\mu_A(x_0)$ เท่ากับ 1
2. ข้อมูลถูกรบกวนด้วยสัญญาณรบกวนสุ่ม (Random Noise) ในกรณีนี้ตัวดำเนินการฟัซซิฟิเคชันจะแปลงข้อมูลที่น่าจะเป็นไปได้เป็นจำนวนฟัซซี ในวิธีนี้ประสิทธิภาพในการคำนวณจะเพิ่มขึ้น เนื่องจากการจัดการจำนวนฟัซซีจะง่ายกว่าตัวแปรสุ่ม สามเหลี่ยมหน้าจั่วจะถูกเลือกเป็นฟังก์ชันฟัซซิฟิเคชัน จุดยอดของสามเหลี่ยมจะเป็นค่าเฉลี่ย (Mean Value) ของกลุ่มข้อมูล ส่วนฐานจะเป็น 2 เท่าของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) ของกลุ่มข้อมูล ในวิธีนี้เราสร้างจำนวนฟัซซีสามเหลี่ยมซึ่งสะดวกที่จะนำไปใช้
3. ในระบบสเกลใหญ่ (Large Scale System) และแอปพลิเคชันอื่นๆ การปฏิบัติบางส่วนจะสัมพันธ์กับพฤติกรรมบนระบบที่ถูกต้องจริงๆ ส่วนอื่นๆ จะเป็นการวัดเพียงในความรู้สึกทางสถิติ และบางส่วนจะเป็น "hybrids" คือต้องการวิธีแสดงลักษณะทั้งความน่าจะเป็น (Probabilistic) และอาจจะเป็นไปได้ (Possibilistic) วิธีการฟัซซิฟิเคชันในกรณีนี้จะใช้แนวคิดของ "hybrid numbers" ซึ่งต้องใช้ทั้งความไม่แน่นอน (จำนวนฟัซซี) และการสุ่ม (จำนวนสุ่ม (random numbers))

ฐานข้อมูล

ฐานความรู้ของ FLC ประกอบด้วย 2 ส่วน คือ ฐานข้อมูลและกฎพื้นฐานควบคุมฟัซซี่ โดยในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงในส่วนของฐานข้อมูล และจะกล่าวถึงกฎพื้นฐานในส่วนต่อไป แนวคิดที่เกี่ยวข้องกับฐานข้อมูลก็คือการนำการแสดงลักษณะของกฎควบคุมฟัซซี่และการจัดการข้อมูลฟัซซี่มาใช้ใน FLC แนวคิดเหล่านี้เกิดจากความรู้สึคนึกคิดซึ่งอยู่บนพื้นฐานที่ได้จากประสบการณ์และผู้รอบรู้ทางวิศวกรรม เราจะพิจารณาส่วนที่สำคัญในการสร้างฐานข้อมูลใน FLC ดังต่อไปนี้ [14]

คิสกรีโตเซชัน / นอร์มอลไลเซชันของเซตจักรวาล

การแทนข้อมูลที่มีความไม่แน่นอนด้วยฟัซซี่เซตจะช่วยแก้ไขปัญหาข้อมูลที่เป็นอนาล็อกสำหรับการประมวลผลด้วยคอมพิวเตอร์ที่เป็นดิจิทัล โดยปกติการแทนจะขึ้นอยู่กับธรรมชาติของเซตจักรวาล ซึ่งใน FLC เป็นได้ทั้งต่อเนื่องหรือไม่ต่อเนื่อง ถ้าเซตจักรวาลเป็นไม่ต่อเนื่องอาจกำหนดรูปแบบโดยคิสกรีโตเซชันของเซตจักรวาลต่อเนื่อง (Continuous universe) ยิ่งกว่านั้นเซตจักรวาลต่อเนื่องอาจกำหนดเป็นนอร์มอลไลซ์ (Normalized) ซึ่งจะอธิบายดังต่อไปนี้

1. คิสกรีโตเซชันของเซตจักรวาลคือความถี่อย่างถึงเป็นควอนติเซชัน (Quantization) ในเซตจักรวาลไม่ต่อเนื่อง (Discrete Universe) ควอนติเซชันจะเป็นจำนวนของเซกเมนต์ (Segment) ที่แน่นอน (Quantization Levels) แต่ละเซกเมนต์จะเรียกว่าเป็นเจเนริกอีลีเมนต์ (Generic Element) ฟัซซี่เซตจะถูกกำหนดโดยระดับการเป็นสมาชิกไปยังแต่ละเจเนริกอีลีเมนต์ของเซตจักรวาลไม่ต่อเนื่องใหม่ Look-up table อยู่บนพื้นฐานของเซตจักรวาลไม่ต่อเนื่อง ซึ่งกำหนดเอาว์พุทของตัวควบคุมสำหรับการรวมกันของความเป็นไปได้ทั้งหมดของสัญญาณอินพุท สามารถที่จะนำไปใช้ได้โดยการประมวลผลแบบออฟ-ไลน์ เพื่อที่จะให้เวลาในการรัน (run) ของตัวควบคุมสั้นลง ในกรณีของ FLC โดยเซตจักรวาลต่อเนื่องจำนวนของควอนติเซชันเลเวลจะมีขนาดใหญ่พอที่จะวัดหาได้และยังเหลือหน่วยเก็บความจำเล็กๆ ที่สามารถจัดเก็บได้ การเลือกสรรควอนติเซชันเลเวลมีอิทธิพลที่สำคัญในการควบคุมอย่างไรที่สามารถให้ผลที่ดี

สำหรับความมุ่งหมายของคิสกรีโตเซชัน เราต้องการมาตราส่วนซึ่งช่วยในการแปลงตัวแปรที่วัดได้ไปเป็นค่าในเซตจักรวาลไม่ต่อเนื่อง การแม็บสามารถที่จะเป็น uniform (linear), nonuniform (nonlinear) หรือทั้ง 2 อย่าง การเลือกสรรควอนติเซชันเลเวลบางที่ต้องคำนึงถึงความรู้โดยวิธีพิจารณาจากหลักทั่วไปเพื่อไปสู่เรื่องเฉพาะ (a priori) ตัวอย่างของคิสกรีโตเซชันจะแสดงในตารางที่ 2 โดยที่เซตจักรวาลเป็นไม่ต่อเนื่องแบ่งเป็น 13 ระดับ โดยกำหนดเป็น 7 เทอม (ไพรมารีฟัซซี่เซต) โดยปกติการปฏิบัติที่เกิดจากคิสกรีโตเซชันของ FLC จะมีความรู้สึกไม่มากนักต่อการเบี่ยงเบนเล็กน้อยในค่าของตัวแปรสถานะกระบวนการ

ตารางที่ 2

ควอนตัมเลขชั้นและไพรมารีฟัซซี่เซต โดยใช้ Numerical Definition

Level No.	Range	NB	NM	NS	ZE	PS	PM	PB
-6	$x_0 \leq -3.2$	1.0	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
-5	$-3.2 < x_0 \leq -1.6$	0.7	0.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
-4	$-1.6 < x_0 \leq -0.8$	0.3	1.0	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0
-3	$-0.8 < x_0 \leq -0.4$	0.0	0.7	0.7	0.0	0.0	0.0	0.0
-2	$-0.4 < x_0 \leq -0.2$	0.0	0.3	1.0	0.3	0.0	0.0	0.0
-1	$-0.2 < x_0 \leq -0.1$	0.0	0.0	0.7	0.7	0.0	0.0	0.0
0	$-0.1 < x_0 \leq +0.1$	0.0	0.0	0.3	1.0	0.3	0.0	0.0
1	$+0.1 < x_0 \leq +0.2$	0.0	0.0	0.0	0.7	0.7	0.0	0.0
2	$+0.2 < x_0 \leq +0.4$	0.0	0.0	0.0	0.3	1.0	0.3	0.0
3	$+0.4 < x_0 \leq +0.8$	0.0	0.0	0.0	0.0	0.7	0.7	0.0
4	$+0.8 < x_0 \leq +1.6$	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	1.0	0.3
5	$+1.6 < x_0 \leq +3.2$	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.7	0.7
6	$3.2 \leq x_0$	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	1.0

2. นอร์มอลไลเซชันของเซตจักรวาลจำเป็นต้องใช้คิสกรีโตเซชันของเซตจักรวาลเป็นจำนวนจำกัด (finite number) ของเซกเมนต์ โดยที่แต่ละเซกเมนต์จะเิ่มเข้าไปยังเซกเมนต์ของเซตจักรวาล นอร์มอลไลซ์ที่เหมาะสม ฟัซซี่เซตจะถูกกำหนดโดย explicit function ไปยังฟังก์ชันการเป็นสมาชิกของมัน นอร์มอลไลเซชันของเซตจักรวาลต่อเนื่องต้องใช้ความรู้โดยวิธีพิจารณาจากหลักทั่วไปเพื่อไปสู่เรื่องเฉพาะของอินพุท/เอาต์พุทสเปซด้วย มาตรการส่วนสามารถที่จะเป็น uniform ,nonuniform หรือทั้ง 2 อย่าง สำหรับตัวอย่างแสดงในตารางที่ 3 โดยที่ เซตจักรวาล [-6.0,+4.5] จะถูกแปลงเป็น นอร์มอลไลซ์ช่วงปิด [-1,+1]

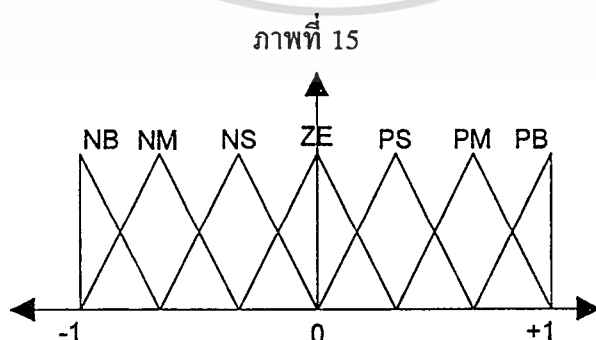
ตารางที่ 3

ควอนติเซชันและไพรมารีฟัซซี่เซตโดยใช้ Functional Definition

Normalized Universe	Normalized Segments	Range	u_f	σ_f	Primary Fuzzy Sets
	[-1.0,-0.5]	[-6.9,-4.1]	-1.0	0.4	NB
	[-0.5,-0.3]	[-4.1,-2.2]	-0.5	0.2	NM
	[-0.3,-0.0]	[-2.2,-0.0]	-0.2	0.2	NS
[-1.0,+1.0]	[-0.0,+0.2]	[-0.0,+1.0]	0.0	0.2	ZE
	[+0.2,+0.6]	[+1.0,+2.5]	0.2	0.2	PS
	[+0.6,+1.0]	[+2.5,+4.5]	0.5	0.2	PM
			1.0	0.4	PB

ฟัซซี่พาร์ติชันของอินพุตและเอาต์พุตสเปซ

ตัวแปรภาษามนุษย์ใน antecedent ของกฎควบคุมฟัซซี่จะอยู่ในรูปแบบฟัซซี่อินพุตสเปซ ในส่วนเซตจักรวาลโดยแน่นอน ขณะที่ใน consequent ของกฎจะอยู่ในรูปของฟัซซี่เอาต์พุตสเปซ โดยปกติตัวแปรภาษามนุษย์จะมีความสัมพันธ์กับเทอมเซต โดยแต่ละเทอมในเทอมเซตจะถูกกำหนดบนเซตจักรวาลเดียวกัน ฟัซซี่พาร์ติชันจะกำหนดว่ามีเทอมอยู่เท่าไรในเทอมเซต ซึ่งจะมีค่าเท่ากับจำนวนของไพรมารีฟัซซี่เซต (Linguistic Term) ซึ่งมักจะมีความหมาย เช่น NB: negative big NM: negative medium NS : negative small ZE : Zero PS : positive small PM : positive medium และ PB : positive big ดังตัวอย่างในภาพที่ 15 ซึ่งแสดงฟัซซี่พาร์ติชันในเซตจักรวาลนอร์มอลไลซ์ [-1, +1]



แสดงฟัซซี่พาร์ติชันประกอบด้วย 7 เทอม : NB: negative big NM: negative medium

NS : negative small ZE : Zero PS : positive small

PM : positive medium และ PB : positive big

ฟังก์ชันการเป็นสมาชิกจะมีรูปแบบที่ใช้เป็นฟังก์ชันรูปสามเหลี่ยม (Triangle-Shaped) และรูปสี่เหลี่ยมคางหมู (Trapezoid-shaped) เมื่อเซตจักรวาลนอร์มอลไลซ์แสดงความรู้ของอินพุท / เอาต์พุตพิเศษโดยผ่านมาตราส่วนที่เหมาะสม รูปแบบเทอมเซตที่ดีสามารที่จะใช้ได้โดยรูปแบบเหล่านี้ ถ้าในกรณีที่ใช้เซตจักรวาลนอร์มอลไลซ์ เทอมสามารถที่จะไม่สมดุทั้งสองด้าน (Asymmetrical) และกระจายไม่สม่ำเสมอ (unevenly distributed) ในเซตจักรวาล ยิ่งกว่านั้นจำนวนของเทอมเซตในฟังก์ชันอินพุตพิเศษจะกำหนดจำนวนสูงสุดของกฎควบคุมฟัซซี่ที่เราสามารถสร้างได้ในกรณีของระบบฟัซซี่ MISO ถ้าจำนวนของ $T(x)$ และ $T(y)$ คือ 3 และ 7 ตามลำดับ จำนวนกฎสูงสุดคือ 3×7 จะสังเกตได้ว่าฟัซซี่พาร์ติชันของฟังก์ชันอินพุท/เอาต์พุตพิเศษไม่สามารถกำหนดและมีวิธีแก้ปัญหาเพียงวิธีเดียว การไต่ร่องการเรียนรู้หรือการศึกษา (Heuristic Cut) และการทดลอง (Trial Procedure) มักจะจำเป็นในการหาฟัซซี่พาร์ติชันที่ดีที่สุด

ความสมบูรณ์

อัลกอริทึมควบคุมฟัซซี่สามารถที่จะวินิจฉัยพฤติกรรมการควบคุมที่ถูกต้องสำหรับสถานะของกระบวนการเสมอ คุณสมบัตินี้เรียกว่า "ความสมบูรณ์ (Completeness)" ความสมบูรณ์ของ FLC จะเกี่ยวข้องกับฐานข้อมูล กฎพื้นฐานหรือทั้ง 2 อย่าง

1. วิธีการทางฐานข้อมูล (Data Base Strategy) จะเกี่ยวกับ support ต่างๆ บนไพรมารีฟัซซี่เซตที่กำหนด ผลผนวกของ support เหล่านี้จะครอบคลุมเซตจักรวาลที่เกี่ยวข้องกันในความสัมพันธ์กับบาง level set ε คุณสมบัติของ FLC นี้เรียกว่า ε -Completeness โดยปกติเราจะเลือกระดับ ε ที่จุด crossover ดังแสดงในภาพที่ 15 ซึ่งหมายความว่าเราจะมีเชื่อได้เต็มที่ในความรู้สึกแน่ใจว่ากฎควบคุมฟัซซี่ซึ่งมีความสัมพันธ์กับ FLC จะมีกฎที่เป็นส่วนสำคัญอยู่เสมอและมีความสัมพันธ์กับระดับความเชื่อที่มากกว่า 0.5 ในกรณีที่เป็นอาจจะมีกฎที่เป็นส่วนสำคัญ 2 กฎที่มีค่าความเชื่อเท่ากับ 0.5

2. วิธีการทางกฎพื้นฐาน (Rule Base Strategy) จะทำโดยกฎควบคุมฟัซซี่เอง คุณสมบัติของความสมบูรณ์คือการรวมกันเป็นกฎควบคุมฟัซซี่โดยประสบการณ์การออกแบบและความรู้ทางวิศวกรรม การเพิ่มกฎคือการเพิ่มเมื่อใดก็ตามที่เงื่อนไขฟัซซี่ (Fuzzy Condition) ไม่รวมอยู่ในกฎพื้นฐานหรือเมื่อใดก็ตามที่ระดับของบางส่วน โดยเปรียบเทียบระหว่างบางอินพุตและเงื่อนไขฟัซซี่ที่กำหนดมาก่อนมีค่าต่ำกว่าบางระดับคือ 0.5

ฟังก์ชันการเป็นสมาชิกของไพรมารีฟัซซี่เซต

มีอยู่ 2 วิธีที่ใช้สำหรับการกำหนดฟัซซี่ขึ้นอยู่กับเซตจักรวาลว่าเป็นไม่ต่อเนื่องหรือต่อเนื่องคือ numerical และ functional ไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. Numerical Definition ในกรณีนี้ฟังก์ชันระดับความเป็นสมาชิกของฟัซซี่เซต ซึ่งแสดงด้วยระยะและทิศทางของจำนวนซึ่งขนาดขึ้นกับระดับบาง ดิสกรีโตเซชัน ดังแสดงตัวอย่างในตารางที่ 2 ในกรณีนี้ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของแต่ละ ไพรมารีฟัซซี่เซต จะมีรูปแบบดังนี้

$$\mu_f(u) = \sum_{i=1}^5 a_i / u_i$$

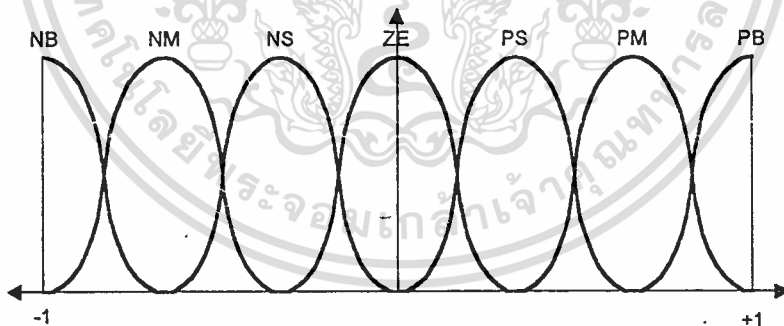
โดยที่ $a = [0.3, 0.7, 1.0, 0.7, 0.3]$

2. Functional Definition แสดงฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของฟัซซี่เซตในรูปของฟังก์ชัน ตัวอย่างเช่นฟังก์ชันรูประฆัง (Bell-Shaped Function) ฟังก์ชันรูปสามเหลี่ยม(Triangle-Shaped Function) ฟังก์ชันรูปสี่เหลี่ยมคางหมู(Trapezoid-Shaped Function) เป็นต้น ฟังก์ชันเหล่านี้จะใช้ในรูป FLC เพราะมันสามารถที่จะนำไปจัดการโดยใช้คณิตศาสตร์ฟัซซี่ (fuzzy arithmetic) Function Definition สามารถเตรียมพร้อมที่จะทำให้เหมาะสมกับการเปลี่ยนแปลงใน นอร์มอลไลเซชัน ของเซตจักรวาล ตารางที่ 3 และภาพที่ 16 แสดงตัวอย่างของ Functional Definition ซึ่งแสดงโดย

$$\mu_f(u) = \exp\left\{-\frac{(x - \mu_f)^2}{2\sigma_f^2}\right\}$$

สังเกตว่าถ้าเซตจักรวาลนอร์มอลไลซ์มีการเปลี่ยนแปลง พารามิเตอร์ μ_f, σ_f จะต้องเปลี่ยนแปลงตาม

ภาพที่ 16



แสดงตัวอย่างของ functional definition ของไพรมารีฟัซซี่เซต

ทั้ง numerical definition หรือ functional definition อาจจะใช้เพื่อกำหนดระดับของความเป็นสมาชิกให้แก่ไพรมารีฟัซซี่เซต การเลือกของระดับของความเป็นสมาชิกอยู่บนพื้นฐานของบรรทัดฐานความนึกคิดในการตัดสินใจ โดยเฉพาะข้อมูลที่วัดได้อาจจะถูกรบกวนโดยสัญญาณรบกวน (noise) ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกจะต้องมีความกว้างพอเพียงที่จะลดสัญญาณรบกวน

กฎพื้นฐาน

ระบบฟuzzyคือการแสดงลักษณะ โดยกลุ่มของข้อความกึ่งภาษามนุษย์ (linguistic statements) บนพื้นฐานของความรู้ผู้เชี่ยวชาญ ซึ่งมักจะอยู่ในรูปของกฎ "if-then" ซึ่งง่ายในการนำไปใช้โดยฟuzzyคอนดิชันนอลสเตตเมนต์ในฟuzzyลอจิก กลุ่มของกฎควบคุมฟuzzyจะแสดงเป็นฟuzzyคอนดิชันนอลสเตตเมนต์ในรูปของกฎพื้นฐานหรือกลุ่มกฎของ FLC ในส่วนนี้จะพิจารณาเรื่องที่เกี่ยวข้องกับกฎควบคุมฟuzzyดังต่อไปนี้ [14]

การเลือกตัวแปรสถานะกระบวนการและตัวแปรควบคุมของกฎควบคุมฟuzzy

กฎควบคุมฟuzzyจะมีความสะดวกในการกำหนดเป็นเทอมภาษามนุษย์มากกว่าเทอมในทางจำนวน (numerical terms) การเลือกตัวแปรสถานะกระบวนการและตัวแปรควบคุมที่ถูกต้องจะมีความสำคัญในการที่จะแสดงลักษณะการดำเนินการของระบบฟuzzy ยิ่งกว่านั้นการเลือกตัวแปรภาษามนุษย์จะมีผลต่อการปฏิบัติของ FLC ในสถานะเริ่มต้นประสบการณ์และความรู้ทางวิศวกรรมจะแสดงบทบาทสำคัญในระหว่างการเลือกสถานะนี้ ในรายละเอียดการเลือกตัวแปรภาษามนุษย์และฟังก์ชันการเป็นฟังก์ชันการเป็นสมาชิกมีอิทธิพลอย่างมากต่อ โครงสร้างภาษามนุษย์ (linguistic structure) ของ FLC ตัวอย่างตัวแปรภาษามนุษย์ใน FLC คือสถานะ (state) สถานะความผิดพลาด (state error) สถานะการเปลี่ยนแปลงความผิดพลาด (state error derivative) สถานะการรวมความผิดพลาด (state error integral) เป็นต้น

ที่มาและแหล่งกำเนิดของกฎควบคุมฟuzzy

มีอยู่ 4 โหมดจากแหล่งกำเนิดของกฎควบคุมฟuzzy ซึ่งไม่ได้แยกออกจากกันและดูเหมือนว่าการรวมกันของทั้ง 4 โหมดนี้จะมีความจำเป็นในการที่จะสร้างวิธีการที่ได้ผลสำหรับแหล่งกำเนิดของกฎควบคุมฟuzzy

1. ประสบการณ์ผู้เชี่ยวชาญและความรู้ด้านวิศวกรรมควบคุม (Expert Experience and Control Engineering Knowledge) กฎควบคุมฟuzzyมีรูปแบบที่ประกอบด้วยฟuzzyคอนดิชันนอลสเตตเมนต์ที่เกี่ยวข้องกับตัวแปรสถานะต่างๆ ใน antecedent และตัวแปรควบคุมสถานะต่างๆ ใน consequents ในเรื่องนี้จะสังเกตได้ว่าในชีวิตประจำวันของเราข้อมูลส่วนใหญ่บนการตัดสินใจของเราอยู่บนพื้นฐานเป็นภาษามนุษย์มากกว่าในทางคำนวณ โดยธรรมชาติ กฎควบคุมฟuzzyจะจัดการโครงสร้างตามธรรมชาติ (Natural Framework) สำหรับการแสดงลักษณะของพฤติกรรมมนุษย์ (Human Behavior) และวิเคราะห์การตัดสินใจ (Decision Analysis) ผู้เชี่ยวชาญทั้งหลายพบว่ากฎควบคุมฟuzzyจะจัดหาวิธีที่สะดวกในการที่จะแสดงโดเมนความรู้ (Domain Knowledge) ของตัวเอง การกำหนดกฎควบคุมฟuzzyสามารถที่จะสำเร็จโดยความมุ่งหมายของการแก้ปัญหาแบบศึกษาดำเนินการ (Heuristic) เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การสนับสนุนกฎควบคุมฟัซซี่ (Justification of Fuzzy Control Rules)

มีอยู่ 2 หลักวิธีการนำไปสู่แหล่งกำเนิดของกฎควบคุมฟัซซี่ วิธีการแรกคือวิธีการที่ใช้ประสบการณ์และกฎเกณฑ์ทางด้านปฏิบัติ (Heuristic Method) ซึ่งในกลุ่มของกฎควบคุมฟัซซี่จะอยู่ในรูปแบบโดยการวิเคราะห์พฤติกรรมของกระบวนการควบคุม กฎควบคุมที่ได้มาโดยวิธีนี้นั้นการเบี่ยงเบนจากสถานะที่ต้องการสามารถที่จะถูกต้องได้และทำให้วัตถุประสงค์การควบคุมสามารถที่จะได้รับความสำเร็จ แหล่งกำเนิดคือประสบการณ์และกฎเกณฑ์ทางด้านปฏิบัติที่แท้จริงและเชื่อมั่นได้บนความรู้ของพฤติกรรมกระบวนการที่มีคุณภาพ วิธีการที่สองเป็นพื้นฐานวิธีการกำหนดซึ่งระบบสามารถที่จะกำหนดโครงสร้างภาษามนุษย์และ/หรือพารามิเตอร์ของกฎควบคุมฟัซซี่ ซึ่งเป็นไปตามวัตถุประสงค์และข้อบังคับการควบคุม [22]

สำหรับตัวอย่างในภาพที่ 17 แสดงระบบการตอบรับของกระบวนการที่ทำการควบคุม โดยที่ตัวแปรอินพุทของ FLC ก็คือค่าความผิดพลาด (E) และการเปลี่ยนแปลงของค่าความผิดพลาด (DE) เอาว์พุทคือการเปลี่ยนแปลงอินพุทของกระบวนการ(CI) เราจะกำหนดเทอมเซตของตัวแปรอินพุท/เอาว์พุทมีอยู่ 3 เทอมประกอบด้วยเทอม (negative, zero, positive) ต้นแบบของกฎควบคุมฟัซซี่แสดงในตารางที่ 4 และการสนับสนุนกฎควบคุมฟัซซี่จะเพิ่มในตารางที่ 5 กฎของส่วน region i สามารถที่จะกำหนดเป็นกฎ R_i และมีผลทำให้ rise time ลดลง กฎ R_i สำหรับ region ii จะลด overshoot ของการตอบรับของระบบลง ซึ่งกฎ R_i และ R_{ii} แสดงได้ดังนี้

R_i : if (E is positive and DE is negative)

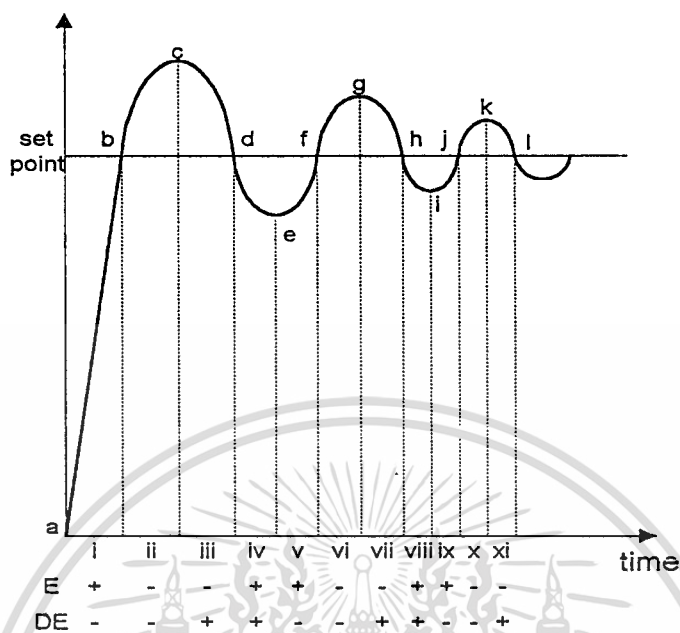
then CI is positive

R_{ii} : if (E is negative and DE is negative)

then CI is negative

การทำการควบคุมให้ดีขึ้นสามารถทำได้โดยการใช้ ฟัซซี่พาร์ติชันed Subspaces ที่ละเอียดขึ้นสำหรับตัวอย่างโดยใช้เทอมเซต { NB, NM, NS, ZE, PS, PM, PB } ต้นแบบและการสนับสนุนกฎควบคุมฟัซซี่จะแสดงในตารางที่ 6 และตารางที่ 7

ภาพที่ 17



แสดงระบบการตอบรับของกระบวนการที่ทำการควบคุม

ตารางที่ 4

รูปแบบของกฎควบคุมพีซีที่ประกอบด้วยเทอมเซต {Negative, Zero, Positive}

Rule No.	E	DE	CI	Reference Point
1	P	Z	P	a,e,i
2	Z	N	N	b,f,j
3	N	Z	N	c,g,k
4	Z	P	P	d,h,l
5	Z	Z	Z	set point

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5

การสับสุมนกฎประกอบด้วยเทอมเซต {Negative, Zero, Positive}

Rule No.	E	DE	CI	Reference Point
6	P	N	P	i(rise time),v
7	N	N	N	ii(overshoot),vi
8	N	P	N	iii,vii
9	P	P	P	iv,viii
10	P	N	Z	ix
11	N	P	Z	xi

ตารางที่ 6

รูปแบบของกฎควบคุมพีซที่ประกอบด้วยเทอมเซต {NB, NM, NS, ZE, PS, PM, PB}

Rule No.	E	DE	CI	Reference Point
1	PB	ZE	PB	a
2	PM	ZE	PM	e
3	PS	ZE	PS	i
4	ZE	NB	NB	b
5	ZE	NM	NM	f
6	ZE	NS	NS	j
7	NB	ZE	NB	c
8	NM	ZE	NM	g
9	NS	ZE	NS	k
10	ZE	PB	PB	d
11	ZE	PM	PM	h
12	ZE	PS	PS	l
13	ZE	ZE	ZE	set point

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 7

การสนับสนุนกฎประกอบด้วยเทอมเซต (NB, NM, NS, ZE, PS, PM, PB)

Rule No.	E	DE	CI	Reference Point
14	PB	NS	PM	i(rise time)
15	PS	NB	NM	ii(overshoot)
16	NB	PS	NM	iii
17	NS	PB	PM	iv
18	PS	NS	ZE	ix
19	NS	PS	ZE	xi

ชนิดของกฎควบคุมฟัซซี่ (Types of Fuzzy Control Rules)

โดยธรรมชาติแล้วกฎควบคุมฟัซซี่มีอยู่ 2 ชนิดที่ปัจจุบันใช้ในการออกแบบ FLC คือ

1. State Evaluation Fuzzy Control Rules: FLC ส่วนมากจะมี State Evaluation Fuzzy Control Rules ซึ่งในกรณีของระบบ MISO จะแสดงลักษณะเป็นกลุ่มของกฎในรูปแบบ

$$R_1 : \text{if } x \text{ is } A_1, \dots, \text{ and } y \text{ is } B_1 \text{ then } z \text{ is } C_1$$

$$R_2 : \text{if } x \text{ is } A_2, \dots, \text{ and } y \text{ is } B_2 \text{ then } z \text{ is } C_2$$

...

...

$$R_n : \text{if } x \text{ is } A_n, \dots, \text{ and } y \text{ is } B_n \text{ then } z \text{ is } C_n$$

โดยที่ x, \dots, y และ z คือตัวแปรภาษามนุษย์ซึ่งแทนตัวแปรสถานะกระบวนการและตัวแปรควบคุม A_i, \dots, B_i และ C_i คือค่าภาษามนุษย์ของตัวแปรภาษามนุษย์ x, \dots, y และ z ในเซตจักรวาล U, \dots, V และ W ตามลำดับ $i = 1, 2, \dots, n$

โดยทั่วไปส่วนใหญ่แล้ว consequent จะแทนฟังก์ชันของตัวแปรสถานะกระบวนการ x, \dots, y ดังนี้

$$R_i : \text{if } x \text{ is } A_i, \dots, \text{ and } y \text{ is } B_i \text{ then } z = f_i(x, \dots, y)$$

กฎควบคุมฟัซซี่ชนิดนี้ซึ่งอ้างถึงเป็น "State Evaluation Fuzzy Control Rules" จะหาค่า (Evaluate) สถานะกระบวนการ (เช่น state, state error, state integral) ที่เวลา t และคำนวณการกระทำ การควบคุมฟัซซี่ที่เวลา t ตามฟังก์ชันของ (x, \dots, y) และกฎควบคุมในกลุ่มกฎ

2. Object Evaluation Fuzzy Control Rules : อัลกอริทึมซึ่งทำนาย (Predicts) ปัจจุบันและอนาคตการทำการควบคุมและหาค่าวัตถุประสงค์การควบคุม มันจะเรียกว่า "Object Evaluation

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะโดยทางตรงหรือทางอ้อม และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Fuzzy control" หรือ "Predictive Fuzzy Control" กฎต่างๆที่ได้จากการไต่ถาม ซึ่งได้มาจาก ประสิทธิภาพของผู้ดำเนินการที่มีความชำนาญจะเรียกว่าเป็น "Object Evaluation Fuzzy Control Rules" ซึ่งกฎชนิดนี้จะแสดงเป็น

$$R_i : \text{if } (u \text{ is } C_i \rightarrow (x \text{ is } A_i \text{ and } y \text{ is } B_i)) \text{ then } u \text{ is } C_i$$

คำสั่งควบคุม (Control Command) จะวินิจฉัยจากการหาค่าวัตถุประสงค์ของผลควบคุมฟัซซี่ ซึ่งเป็นไปตามสถานะและวัตถุประสงค์ที่ต้องการ คำสั่งควบคุม u เป็นค่าคริสเซต และ x, y คือ ธรรมชาติการปฏิบัติ (Performance Index) สำหรับการหาค่าของกฎที่ i ค่าต่างๆ ที่นำมาใช้เช่น "ดี" หรือ "เลว" กฎควบคุมส่วนมากเป็นการเลือกโดยการทำนายผล (x, y) ตามทุกๆ คำสั่งควบคุม C_i

ในทอมนภาษามนุษย์กฎจะแสดงได้เป็น "ถ้าธรรมชาติการปฏิบัติ x เป็น A_i และธรรมชาติ y เป็น B_i เมื่อคำสั่งควบคุม u เป็นการเลือกเป็น C_i แล้วกฎนี้จะถูกเลือกและคำสั่งควบคุม C_i จะนำไปเป็น เออร์พุทของตัวควบคุม"

ระบบต่าง ๆ จะประสบความสำเร็จยากลำบากในการควบคุมในการปฏิบัติตามหลายธรรมชาติการปฏิบัติในเวลาเดียวกันและในการควบคุมให้ได้ความถูกต้องแน่นอนในระบบที่มีการถูกรบกวนอยู่ในเหตุการณ์เช่นนี้การควบคุมฟัซซี่จะเตรียม โครงร่างที่ได้ผลสำหรับการแก้ปัญหา อย่างไรก็ตามการหาค่าสถานะการควบคุมฟัซซี่ไม่ได้ทำการหาค่าการกระทำการควบคุมการคำนวณเช่นเดียวกับมนุษย์ผู้ปฏิบัติการทำ ในทางตรงกันข้ามการทำนายการควบคุมฟัซซี่จะจัดหากกลไก (Mechanism) สำหรับการหาค่าสถานะตามที่ต้องการและวัตถุประสงค์การควบคุมที่สามารถที่จะ ได้รับความสำเร็จโดยง่าย

คุณสมบัติของความไม่ขัดแย้งกัน การกระทบกระทั่งกันและความสมบูรณ์

1. ความสมบูรณ์ ได้กล่าวถึงไปแล้วในหัวข้อฐานข้อมูล

2. จำนวนของกฎควบคุมฟัซซี่ ไม่มีวิธีดำเนินการทั่วไปสำหรับการตัดสินใจในเรื่องจำนวนที่ดีที่สุดของกฎควบคุมฟัซซี่ โดยเมื่อจำนวนของตัวประกอบต่างๆ (Factors) จะเป็นการนำไปสู่ในการตัดสินใจ เช่น การปฏิบัติตัวควบคุม ประสิทธิภาพของการคำนวณ พฤติกรรมของมนุษย์ผู้ปฏิบัติ การเลือกตัวแปรภาษามนุษย์ต่างๆ

3. ความไม่ขัดแย้งกันของกฎควบคุมฟัซซี่ ถ้าแหล่งกำเนิดของกฎควบคุมฟัซซี่อยู่บน ประสิทธิภาพของมนุษย์ผู้ปฏิบัติ การกฎต่างๆ อาจจะได้จากเกณฑ์การปฏิบัติที่แตกต่างกัน ในทางปฏิบัติมันเป็นส่วนสำคัญในการที่จะตรวจสอบบนความ ไม่ขัดแย้งกันของกฎควบคุมฟัซซี่เพื่อที่จะมีความขัดแย้งที่อาจจะเกิดขึ้นได้น้อยที่สุด

4. การกระทบกระทั่งกันของกฎควบคุมฟัซซี่ การสันนิษฐานไว้ก่อนว่ากลุ่มของกฎควบคุมฟัซซี่จะมีรูปแบบ

$$R_i : \text{if } x \text{ is } A_i \text{ then } z \text{ is } C_i, \text{ is } 1, \dots, n$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้าอินพุท x_0 เป็น A_i เราจะคาดหมายว่าการกระทำควบคุม z เป็น C_i อันที่จริงการกระทำ ควบคุม z อาจจะเป็นซับเซต (Subset) หรือซูเปอร์เซต (Superset) ของ C_i ขึ้นอยู่กับการกำหนด ของ Fuzzy Implication และการประกอบ Sub-star ซึ่งอาจจะเกิดมีผลกระทบกระทั่งซึ่งกันและกัน ขึ้นระหว่างกฎต่าง ๆ

ปัญหาของผลกระทบกระทั่งซึ่งกันและกันเป็นการซับซ้อนและไม่สามารถเข้าใจได้ง่าย แต่สามารถที่จะควบคุมโดยการเลือก Fuzzy Implication และการประกอบ Sup-Star ความไม่ขัดแย้ง กันของกฎต่าง ๆ อาจจะแก้ไขโดยการใช้แนวคิดของการรวมเป็นกลุ่มของกฎควบคุมฟัซซี่ ในเรื่องนี้ การใช้เหตุผลและอัลกอริทึมของ Sugeno ซึ่งเตรียมการแก้ปัญหาอีกทางหนึ่งให้แก่ปัญหาเหล่านี้ [22]

ล่อจิกทำการตัดสินใจ

FLC อาจจะมองได้เหมือนกันว่าเป็นความมุ่งหมายในการเลียนแบบมนุษย์ผู้ดำเนินการที่มีความชำนาญ การใช้ FLC อาจจะยังมีขั้นตอนอื่นในแนวทางของการสร้างรูปแบบจำลองการทำการตัดสินใจของมนุษย์ (Human Decisionmaking) ภายในโครงร่างเชิงมโนภาพ (Conceptual Framework) ของฟัซซี่ล่อจิกและการประมาณเหตุผล ในเรื่องนี้ forward data-driven inference (GMP) จะมีบทบาท ที่สำคัญเป็นพิเศษ ซึ่งมีแนวคิดที่เกี่ยวข้องกับล่อจิกทำการตัดสินใจของ FLC ดังต่อไปนี้ [15]

ฟัซซี่อิมพลิเคชันฟังก์ชัน (Fuzzy Implication Functions)

โดยทั่วไปแล้วกฎควบคุมฟัซซี่คือความสัมพันธ์ฟัซซี่ซึ่งเป็นการแสดงโดย Fuzzy Implication ในฟัซซี่ล่อจิกนั้นมีอยู่หลายวิธีในการที่จะกำหนด Fuzzy Implication การกำหนด Fuzzy Implication อาจจะแสดงได้โดยฟัซซี่อิมพลิเคชันฟังก์ชัน การเลือกฟัซซี่อิมพลิเคชันฟังก์ชันไม่เพียงคำนึงถึง บรรทัดฐานซึ่งเกิดขึ้นในใจ (Intuitive Criteria) สำหรับ Implication แต่คำนึงถึงผลของตัวเชื่อม also อีกด้วย

1. คุณสมบัติพื้นฐานของฟัซซี่อิมพลิเคชันฟังก์ชัน : การเลือกฟัซซี่อิมพลิเคชันฟังก์ชันต้องใช้ บรรทัดฐาน (Criteria) จำนวนหนึ่ง ดังที่กล่าวไปแล้วว่ามีอยู่ 2 ส่วนที่สำคัญของการอนุมาน Fuzzy Implication ในการประมาณเหตุผลคือ GMP และ GMT ซึ่งแสดงได้ดังนี้

premise 1 : x is A' ,

premise 2 : if x is A then y is B .

consequence : y is B'

(GMP)

premise 1 : y is B' ,

premise 2 : if x is A then y is B ,

consequence : x is A'

(GMT)

โดยที่ A, A', B และ B' คือ fuzzy predicates ข้อความที่อยู่เหนือเส้นคือหลักฐาน (Premise) และข้อความที่อยู่ใต้เส้นคือข้อสรุป (Consequence) ข้อความบรรทัดฐานจะแสดงได้เป็นหัวข้อในตารางที่ 8 และตารางที่ 9 ซึ่งจะสังเกตได้ว่าถ้าความสัมพันธ์เกี่ยวกับเหตุผลระหว่าง " x is A " และ " y is B " ไม่สนับสนุนใน fuzzy implication แล้ว มันจะยอมให้เป็นไปตาม criterion 2-2 และ criterion 3-2 ใน criterion 4-2 สามารถที่จะแสดงได้เป็น if x is A then y is B , else y is not B แม้ว่าความสัมพันธ์นี้จะไม่ถูกต้องในฟอร์มอลลอจิก (formal logic) เรามักจะทำการแสดงเหตุผลเช่นนี้ในทุกๆ วันเหมือนกับที่ใช้ใน criterion 8

ตารางที่ 8

Intuitive Criteria ที่สัมพันธ์กับ Pre1 และ Cons เพื่อให้ได้ Pre2 ใน GMP

	x is A' (Pre1)	y is B' (Cons)
Criterion 1	x is A	y is B
Criterion 2-1	x is very A	y is very B
Criterion 2-2	x is very A	y is B
Criterion 3-1	x is more or less A	y is more or less B
Criterion 3-2	x is more or less A	y is B
Criterion 4-1	x is not A	y is unknown
Criterion 4-2	x is not A	y is not B

ตารางที่ 9

Intuitive Criteria ที่สัมพันธ์กับ Pre1 และ Cons เพื่อให้ได้ Pre2 ใน GMT

	y is B' (Pre1)	x is A' (Cons)
Criterion 5	y is not B	x is not A
Criterion 6	y is not very B	x is not very A
Criterion 7	y is not more or less B	x is not more or less A
Criterion 8-1	y is B	x is unknown
Criterion 8-2	y is B	x is A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิพนธ์ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ตระกูลของฟัซซีอิมพลีเคชันฟังก์ชัน : Zadeh [24] กล่าวถึง Compositional Rule of Inference ในการประมาณเหตุผล งานวิจัยจำนวนหนึ่งได้มีการเสนอ implication functions ต่าง ๆ ซึ่งใน antecedents และ consequents ประกอบด้วยตัวแปรฟัซซี โดยทั่วไปแล้วสามารถที่จะจำแนกออกเป็น 3 ประการหลัก คือ fuzzy conjunction , fuzzy disjunction และ fuzzy implication หลังจากพิจารณาถึง triangular norms และ triangular co-norms แล้วเราจะให้นิยามของ fuzzy conjunction, fuzzy disjunction และ fuzzy implication

นิยาม 13: Triangular Norms: triangular norm * เป็นการส่ง 2 ฟังก์ชัน (two-place function) จาก $[0,1] \times [0,1]$ ไปยัง $[0,1]$ คือ $*$: $[0,1] \times [0,1] \rightarrow [0,1]$ ซึ่งประกอบด้วยผลตัด ผลคูณพีชคณิต ผลคูณขอบเขต และผลคูณคราสติก ส่วนใหญ่ triangular norm เป็นผลตัดและส่วนน้อยเป็นผลคูณคราสติก การดำเนินการที่เกี่ยวข้องกับ triangular norms จะกำหนดสำหรับทุก $x, y \in [0,1]$ ดังนี้

ผลตัด	$x \wedge y = \min\{x,y\}$
ผลคูณพีชคณิต	$x \cdot y = xy$
ผลคูณขอบเขต	$x \odot y = \min\{0, x + y - 1\}$
ผลคูณคราสติก	$x \circlearrowleft y = \begin{cases} x & y = 1 \\ y & x = 1 \\ 0 & x, y < 1 \end{cases}$

นิยาม 14: Triangular Co-Norms: triangular co-norms + เป็นการส่ง 2 ฟังก์ชันจาก $[0,1] \times [0,1]$ ไปยัง $[0,1]$ คือ $+$: $[0,1] \times [0,1] \rightarrow [0,1]$ ซึ่งประกอบด้วยผลผนวก ผลบวกพีชคณิต (Algebraic Sum) ผลบวกขอบเขต (Bounded Sum) ผลบวกคราสติก (Drastic Sum) และผลบวกคิสจอยท์ (Disjoint Sum) การดำเนินการที่เกี่ยวข้องกับ triangular co-norms จะกำหนดสำหรับทุก $x, y \in [0,1]$ ดังนี้

ผลผนวก	$x \vee y = \max\{x,y\}$
ผลบวกพีชคณิต	$x \hat{+} y = x+y-xy$
ผลบวกขอบเขต	$x \oplus y = \min\{1, x + y\}$
ผลบวกคราสติก	$x \cup y = \begin{cases} x & y = 0 \\ y & x = 0 \\ 1 & x, y > 0 \end{cases}$
ผลบวกคิสจอยท์	$x \Delta y = \max\{\min(x,1-y), \min(1-x,y)\}$

triangular norms เป็นการใช้สำหรับการกำหนดและ (Conjunction) ในการประมาณเหตุผล ส่วน triangular co-norms ใช้ในหน้าที่เดียวกันสำหรับหรือ (Disjunction) กฎควบคุมฟัซซี "if x then y is B" เป็นการแทนโดยฟัซซีอิมพลีเคชันฟังก์ชันและใช้แสดงโดย $A \rightarrow B$ โดยที่ A และ B คือฟัซซี

เซตในเซตจักรวาล U และ V ซึ่งมีฟังก์ชันการเป็นสมาชิก μ_A และ μ_B ตามลำดับไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นิยาม 15: Fuzzy Conjunction: fuzzy conjunction เป็นการกำหนดสำหรับทุก $u \in U$ และ $v \in V$ โดย

$$\begin{aligned} A \rightarrow B &= A \times B \\ &= \int_{U \times V} \mu_A(u) * \mu_B(v) / (u, v) \end{aligned}$$

โดยที่ * คือตัวดำเนินการแทน triangular norm

นิยาม 16: Fuzzy Disjunction: fuzzy disjunction เป็นการกำหนดสำหรับทุก $u \in U$ และ $v \in V$ โดย

$$\begin{aligned} A \rightarrow B &= A \times B \\ &= \int_{U \times V} \mu_A(u) + \mu_B(v) / (u, v) \end{aligned}$$

โดยที่ + คือตัวดำเนินการแทน triangular co-norm

นิยาม 17: Fuzzy Implication : fuzzy implication จะเกี่ยวข้องกับการใช้ 5 ตระกูลของพีชชี

อิมพลีเคชันฟังก์ชัน โดยที่ * คือ triangular norm และ + คือ triangular co-norm

1. Material implication:

$$A \rightarrow B = (\text{not } A) + B$$

2. Propositional calculus:

$$A \rightarrow B = (\text{not } A) + (A * B)$$

3. Extended proposition calculus:

$$A \rightarrow B = (\text{not } A \times \text{not } B) + B$$

4. Generatization of modus ponens:

$$A \rightarrow B = \sup\{c \in [0,1], A * c \leq B\}$$

5. Generatization of modus tollens:

$$A \rightarrow B = \inf\{t \in [0,1], B + t \leq A\}$$

บนพื้นฐานของนิยามเหล่านี้พีชชีอิมพลีเคชันฟังก์ชันต่างๆ อาจเกิด โดยการใช้ triangular norms และ co-norms สำหรับตัวอย่างโดยการใช้นิยามของ fuzzy conjunction แล้ว mini-fuzzy implication ของ Mamdani(R_c) เป็นการใช้ตัวดำเนินการผลตัด ส่วน product fuzzy implication ของ Larsen(R_p) เป็นการใช้ผลคูณพีชคณิต ยิ่งกว่านั้น R_{bp} R_{dp} เป็นการใช้ผลคูณขอบเขตและผลคูณคราสตีกตามลำดับ ซึ่ง fuzzy implication ดังต่อไปนี้ มักจะใช้ใน FLC คือ

Mini-operation rule of fuzzy implication [Mamdani]:

$$\begin{aligned} R_c &= A \times B \\ &= \int_{U \times V} \mu_A(u) \wedge \mu_B(v) / (u, v) \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

R_{Δ} มีการแสดงข้อบกพร่อง โดยรวมทั้งหมด R_S จะให้ผลต่าง ๆ ที่สมควรและด้วยเหตุนี้มันจึงเป็นทางเลือกที่สมควรที่จะใช้ในการประมาณเหตุผล

การแสดงการเชื่อมประโยค "and, also"

ในส่วนใหญ่การคงอยู่ของ FLC การเชื่อมประโยค "and" โดยปกติเป็นการนำไปใช้ตาม fuzzy conjunction ในสเปซผลคูณคาร์ทีเซียน ซึ่งในตัวแปรที่อยู่ภายใต้ต่าง ๆ ต้องมีค่าในเซตจักรวาลที่ต่างกัน ดังที่เป็นตัวอย่างใน "if (A and B) then C" Antecedent จะแสดงเป็นฟัซซี่เซตในสเปซผลคูณ $U \times V$ โดยที่ฟังก์ชันการเป็นสมาชิกแสดงโดย

$$\mu_{A \times B}(u, v) = \min\{\mu_A(u), \mu_B(v)\}$$

หรือ

$$\mu_{A \times B}(u, v) = \mu_A(u) \cdot \mu_B(v)$$

โดยที่ U และ V คือเซตจักรวาลที่เกี่ยวข้องกับ A และ B ตามลำดับ

เมื่อระบบฟัซซี่เป็นการแสดงลักษณะโดยกลุ่มของกฎควบคุมฟัซซี่ ลำดับของกฎต่างๆ จะไม่มีความสำคัญ การเชื่อมประโยค "also" จำเป็นที่จะต้องมีความสมบัติการสลับที่ (Commutativity) และการเปลี่ยนกลุ่มได้ (Associativity) ในเรื่องนี้จะสังเกตได้ว่าตัวดำเนินการต่างๆ ใน triangular norms และ co-norms มีความสมบัติเหล่านี้และด้วยเหตุนี้จึงทำให้สามารถใช้สำหรับการแสดงการเชื่อม "also" ได้ โดยทั่วไปเราใช้ triangular co-norms ในส่วนที่เกี่ยวข้องกับ fuzzy conjunction และ disjunction และ triangular norms ในส่วนที่เกี่ยวข้องกับ fuzzy implication

การศึกษาฟัซซี่อิมพลีเคชันฟังก์ชันและการเชื่อมประโยค "also" สามารถนำไปสู่บางความเห็นเบื้องต้น ที่สำคัญที่สุดการเชื่อม "also" มีอิทธิพลหลักบนลักษณะของแบบจำลองฟัซซี่ตามที่เราอาจจะสามารถคาดหมายได้ ฟัซซี่อิมพลีเคชันฟังก์ชันเช่น R_S , R_{Δ} และ R_{α} โดยการเชื่อม "also" กำหนดตามตัวดำเนินการผลตัด และ R_C , R_P , R_{bp} และ R_{dp} กำหนดตามผลผนวกแล้วจะให้ผลเป็นที่น่าพอใจ ฟัซซี่อิมพลีเคชันฟังก์ชันเหล่านี้จะแตกต่างกันในหลายการดำเนินการทางคณิตศาสตร์ซึ่งเป็นที่ต้องการสำหรับการนำไปใช้งานโดยคอมพิวเตอร์ ตารางที่ 13 จะสรุปคู่ที่เหมาะสมส่วนมากสำหรับ FLC ของฟัซซี่อิมพลีเคชันฟังก์ชันและการเชื่อม "also"

ตารางที่ 13

คู่ที่เหมาะสมของฟัซซี่อิมพลีเคชันฟังก์ชันและการเชื่อม "also"

Implication Rule	Connective Also
$R_c R_p R_{bp} R_{dp}$	$\cup \hat{+} \oplus \cup \Delta$
R_a	$\cap \cdot \odot \cap$
R_m	—
$R_s R_\Delta R_g$	$(\cap \cdot \odot \cap$
R_b	$\cdot \odot \cap$

จากแง่คิดในทางปฏิบัติ วิธีวิธีการทางคอมพิวเตอร์ของ FLC ต้องการอัลกอริทึมการควบคุมฟัซซี่ที่ง่าย วิธีการของ Mamdani(R_c) และของ Larsen(R_p) โดยการเชื่อม "also" ตามตัวดำเนินการผลคูณจะปรากฏการใช้ที่เหมาะสมสำหรับการสร้างแบบจำลองฟัซซี่มากกว่าวิธีการอื่นๆ

ตัวดำเนินการการประกอบ

ในรูปแบบทั่วไปตัวดำเนินการการประกอบอาจจะแสดงเป็นการประกอบ sup-star โดยที่ "star" ใช้แทนตัวดำเนินการคือ min, product เป็นต้น ซึ่งเป็นการเลือกให้เหมาะสมตามชนิดของโปรแกรมประยุกต์ ตัวดำเนินการการประกอบ 4 ชนิดซึ่งสามารถที่จะใช้ใน Compositional Rule of Inference กล่าวคือ

การดำเนินการ sup-min [Zadeh]

การดำเนินการ sup-product [Kaufmann]

การดำเนินการ sup-bounded-product [Mizumoto]

การดำเนินการ sup-drastic-product [Mizumoto]

ในโปรแกรมประยุกต์ FLC ตัวดำเนินการการประกอบ sup-min และ sup-product จะใช้บ่อยมาก เหตุผลจะเห็นได้ชัดเมื่อพิจารณาวิธีการทางคอมพิวเตอร์ของ FLC การวินิจฉัยผลโดยใช้ตัวดำเนินการการประกอบอื่นอาจจะดีกว่าการใช้ตัวดำเนินการ sup-min การศึกษาต่อไปของตัวดำเนินการเหล่านี้ในสิ่งแวดล้อมของความละเอียดของแบบจำลองฟัซซี่อาจจะให้ผลที่น่าสนใจได้

กลไกการวินิจฉัย

กลไกการวินิจฉัยที่ใช้ใน FLC โดยปกติจะง่ายกว่าที่ใช้ในระบบผู้เชี่ยวชาญแบบธรรมดา โดยเหตุที่ใน FLC นั้น consequent ของกฎจะไม่ใช้เป็น antecedent ของกฎอื่นหรืออีกนัยหนึ่งใน FLC จะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไม่ใช่กลไกการวินิจฉัยเชื่อมโยง โดยเหตุที่การกระทำการควบคุมอยู่บนพื้นฐานของ one-level forward data-driven inference (GMP)

กฎพื้นฐานของ FLC โดยปกติได้มาจากความรู้ผู้เชี่ยวชาญ กฎพื้นฐานของระบบ MIMO มีรูปแบบดังนี้

$$R = \{R_{MIMO}^1, R_{MIMO}^2, \dots, R_{MIMO}^n\}$$

โดยที่ R_{MIMO}^i แทนกฎ: if (x is A_i and ..., y is B_i) then (z_1 is C_i , ..., z_q is D_i) Antecedent ของ R_{MIMO}^i เป็นรูปฟัซซี่เซต $A_i \times \dots \times B_i$ ใน product space $U \times \dots \times V$ Consequent คือผลผนวกของการกระทำการควบคุมที่ไม่เกี่ยวข้องกัน q ด้วยเหตุนี้กฎ R_{MIMO}^i ที่ i อาจจะแทนเป็น fuzzy implication $R_{MIMO}^i: (A_i \times \dots \times B_i) \rightarrow (z_1 + \dots + z_q)$

เราจะพิจารณารูปแบบทั่วไปของ MISO กฎควบคุมฟัซซี่ในกรณีของระบบฟัซซี่ 2 อินพุต / 1 เอาท์พุท คือ

input : x is A' and y is B'

R_1 : if x is A_1 and y is B_1 then z is C_1

also R_2 : if x is A_2 and y is B_2 then z is C_2

...

...

also R_n : if x is A_n and y is B_n then z is C_n

z is C'

โดยที่ x, y และ z เป็นตัวแปรภาษามนุษย์ซึ่งแทนด้วยตัวแปรสถานะกระบวนการและตัวแปรควบคุมตามลำดับ A_i , B_i และ C_i เป็นคำภาษามนุษย์ของตัวแปรภาษามนุษย์ x, y และ z ในเซตจักรวาล U, V และ W ตามลำดับ โดย $i = 1, 2, \dots, n$

กฎควบคุมฟัซซี่ "if (x is A_i and y is B_i) then (z is C_i)" จะนำเอาไปใช้โดย fuzzy implication (relation) R_i และกำหนดเป็น

$$\begin{aligned} \Delta \\ \mu_{R_i} &= \mu_{(A_i \text{ and } B_i \rightarrow C_i)}(u, v, w) \\ &= [\mu_{A_i}(u) \text{ and } \mu_{B_i}(v)] \rightarrow \mu_{C_i}(w) \end{aligned}$$

โดยที่ " A_i and B_i " คือฟัซซี่เซต $A_i \times B_i$ ใน $U \times V$

Δ
 $R_i = (A_i \text{ and } B_i) \rightarrow C_i$ คือ fuzzy implication(relation) ใน $U \times V \times W$

และ \rightarrow ใช้แสดง ฟัซซี่อิมพลีเคชันฟังก์ชัน

consequence C' พิจารณาเหตุผลจาก sup-star Compositional Rule of Inference โดยการใช้

นิยามของ ฟัซซี่อิมพลีเคชันฟังก์ชัน และการเชื่อม "and" และ "also"

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับในการพิจารณาแบบง่าย ๆ สมมุติว่าเรามีกฎควบคุมฟัซซี่ 2 กฎ ดังต่อไปนี้

R_1 : if x is A_1 and y is B_1 then z is C_1 ,

R_2 : if x is A_2 and y is B_2 then z is C_2 .

ในกระบวนการแบบออนไลน์(On-Line) สถานะของระบบควบคุมจะมีบทบาทที่สำคัญในการกระทำการควบคุมต่าง ๆ อินพุตต่าง ๆ โดยปกติวัดได้จาก sensors และเป็นค่าคริส ในบางกรณีมันอาจจะเป็นหนทางที่คิดที่จะแปลงข้อมูลอินพุตเข้าไปในฟัซซี่เซต อย่างไรก็ตามโดยทั่วไปค่าคริสอาจจะทำเป็น fuzzy singleton ดังนั้น weighting factor(firing strength) α_1 และ α_2 ของกฎที่ 1 และ 2 อาจจะแสดงโดย

$$\alpha_1 = \mu_{A_1}(x_0) \wedge \mu_{B_1}(y_0)$$

$$\alpha_2 = \mu_{A_2}(x_0) \wedge \mu_{B_2}(y_0)$$

โดยที่ $\mu_{A_1}(x_0)$ และ $\mu_{B_1}(y_0)$ แสดงบทบาทของระดับของบางส่วนของข้อมูลผู้ใช้ (User-Supplied Data) และข้อมูลในกฎพื้นฐาน ความสัมพันธ์นี้จะมีบทบาทที่สำคัญใน Fuzzy Reasoning ซึ่ง Fuzzy Reasoning ที่ใช้ในแอปพลิเคชัน FLC ในปัจจุบันมีอยู่ 6 วิธี ซึ่งจะอธิบายดังต่อไปนี้

1. Fuzzy Reasoning วิธีที่ 1 - Mandani's น้อยที่สุด Operation ตาม Fuzzy Implication

Function: Fuzzy Reasoning วิธีที่ 1 นี้จะเกี่ยวข้องกับการใช้กฎการดำเนินการน้อยที่สุดของ Mamdani (R_C) ตาม ฟัซซี่อิมพลีเคชันฟังก์ชัน ในวิธีการนี้กฎที่ i จะนำไปสู่การตัดสินใจควบคุม(control decision)

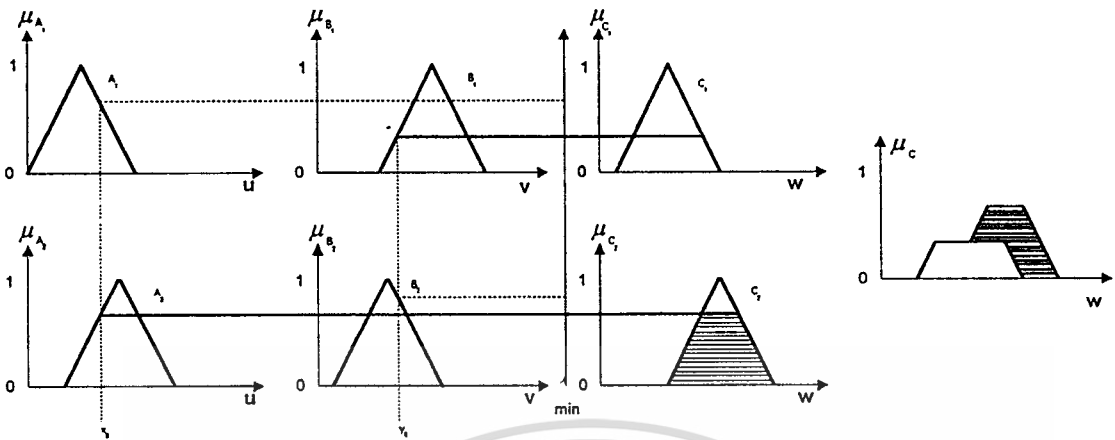
$$\mu_{C'_i}(w) = \alpha_i \wedge \mu_{C_i}(w)$$

ซึ่งหมายความว่าฟังก์ชันการเป็นสมาชิก μ_C ของการวินิจฉัย consequence C จะกำหนดได้โดย

$$\begin{aligned} \mu_C(w) &= \mu_{C'_1} \vee \mu_{C'_2} \\ &= [\alpha_1 \wedge \mu_{C_1}(w)] \vee [\alpha_2 \wedge \mu_{C_2}(w)] \end{aligned}$$

เพื่อที่จะหาการกระทำการควบคุมให้เป็นผลสำเร็จจึงต้องการวิธีดิฟฟิเคชัน ซึ่งจะอธิบายในภายหลัง กระบวนการ Fuzzy Reasoning วิธีนี้จะแสดงในภาพที่ 18

ภาพที่ 18



แสดง fuzzy reasoning วิธีที่ 1

2. Fuzzy Reasoning วิธีที่ 2 - Larson's Product Operation Rule ตามพีชชีอิมพลีเคชั่นฟังก์ชัน

: Fuzzy Reasoning วิธีที่ 2 นี้อยู่บนพื้นฐานการใช้กฎการดำเนินการ product ของ Larsen ตามพีชชีอิมพลีเคชั่นฟังก์ชัน ในกรณีนี้กฎที่ i จะนำไปสู่การตัดสินใจควบคุม

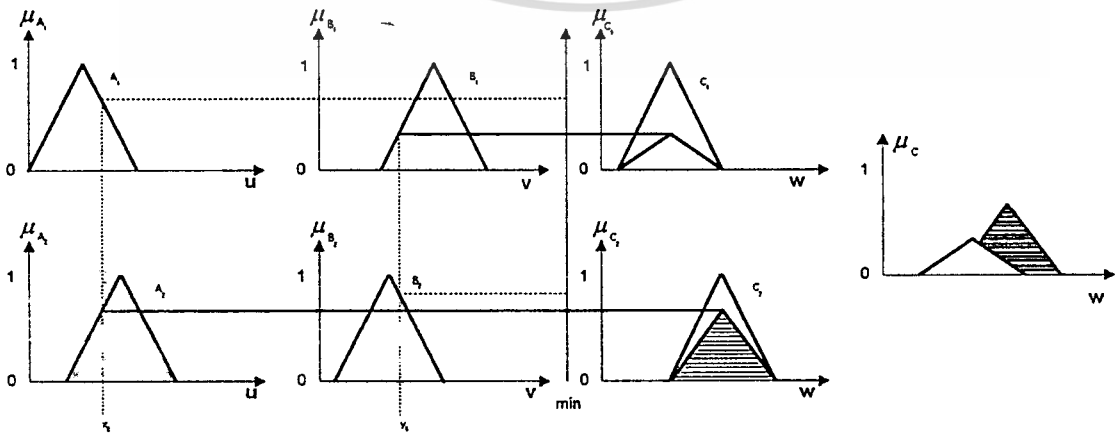
$$\mu_{C_i'}(w) = \alpha_i \cdot \mu_{C_i}(w)$$

ดังนั้นฟังก์ชันการเป็นสมาชิก μ_C ของการวินิจฉัย consequence C จะกำหนดโดย

$$\begin{aligned} \mu_C(w) &= \mu_{C_1'} \vee \mu_{C_2'} \\ &= [\alpha_1 \cdot \mu_{C_1}(w)] \vee [\alpha_2 \cdot \mu_{C_2}(w)] \end{aligned}$$

จาก C ค่าคริซของการกระทำการควบคุมที่สามารถที่จะพิจารณาเหตุผลโดยการใช้ตัวดำเนินการพีชชีพีเคชั่น กระบวนการ Fuzzy Reasoning วิธีนี้จะแสดงในภาพที่ 19

ภาพที่ 19



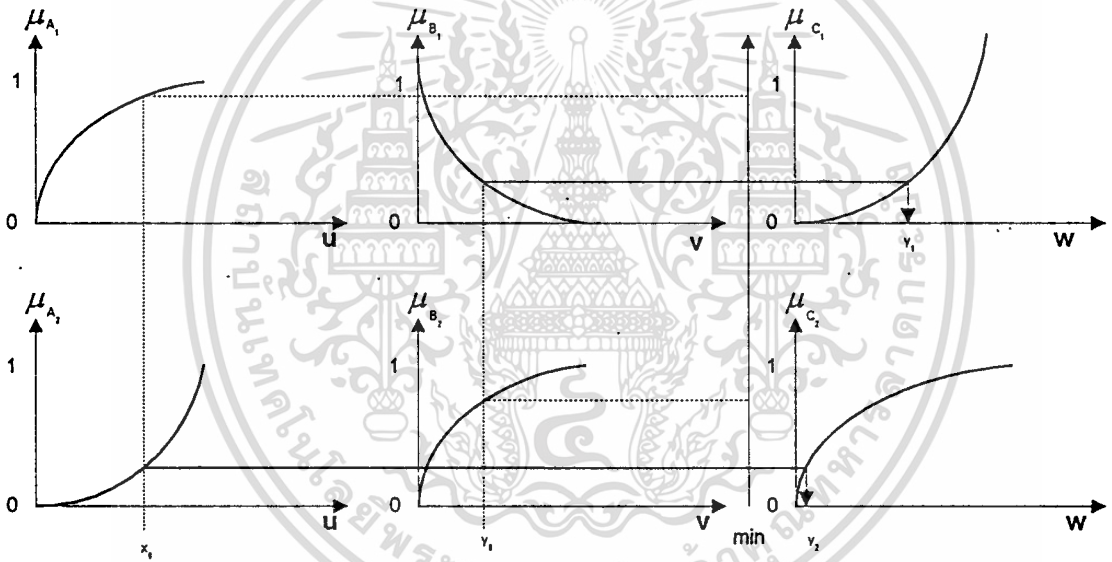
แสดง fuzzy reasoning วิธีที่ 2

3. Fuzzy Reasoning วิธีที่ 3 - วิธีการแบบ Tsukamoto ในเทอมภาษามนุษย์ตามฟังก์ชันการเป็นสมาชิก Monotonic: วิธีการนี้เสนอโดย Tsukamoto มันเป็นวิธีการที่ง่ายบนพื้นฐาน Fuzzy Reasoning ของวิธีที่ 1 ซึ่งฟังก์ชันการเป็นสมาชิกของฟัซซีเซต A_i, B_i และ C_i เป็น monotonic อย่างไม่ก็ตาม A_i และ B_i ไม่จำเป็นที่จะต้องเป็น monotonic แต่ C_i ต้องเป็น

ในวิธีการของ Tsukamoto ผลการวินิจฉัยจากกฎที่ 1 เป็น α_1 โดยที่ $\alpha_1 = C_1(y_1)$ ผลการวินิจฉัยจากกฎที่ 2 เป็น α_2 โดยที่ $\alpha_2 = C_2(y_2)$ ค่าคริสของการกระทำการควบคุมอาจจะแสดงโดยการรวมน้ำหนัก (Weighted Combination) ดังภาพที่ 20 ซึ่งแสดงได้โดยสมการดังนี้

$$z_0 = \frac{\alpha_1 y_1 + \alpha_2 y_2}{\alpha_1 + \alpha_2}$$

ภาพที่ 20



แสดง fuzzy reasoning วิธีที่ 3

4. Fuzzy Reasoning วิธีที่ 4 - Consequence ของกฎเป็นฟังก์ชันของตัวแปรภาษามนุษย์อินพุท : วิธีการนี้เสนอโดย Takagi และ Sugeno Fuzzy reasoning วิธีที่ 4 นี้กฎควบคุมฟัซซีที่ i จะอยู่ในรูปแบบ

$$R_i: \text{if } (x \text{ is } A_i, \dots, \text{ and } y \text{ is } B_i) \text{ then } z = f_i(x, \dots, y)$$

โดยที่ x, \dots, y และ z คือตัวแปรภาษามนุษย์ซึ่งแทนด้วยตัวแปรสถานะกระบวนการและตัวแปรควบคุมตามลำดับ A_i, \dots, B_i คือตัวแปรภาษามนุษย์ x, \dots, y ในเซตจักรวาล U, \dots, V ตามลำดับ โดยที่ $i = 1, 2, \dots, n$ และ f_i คือฟังก์ชันของตัวแปรสถานะกระบวนการ x, \dots, y ซึ่งกำหนดในอินพุทซัพเซต

สำหรับในการพิจารณารูปแบบง่าย ๆ สมมติว่าเรามีกฎควบคุมฟัซซี่ 2 กฎ ดังต่อไปนี้

$$R_1: \text{if } x \text{ is } A_1 \text{ and } y \text{ is } B_1 \text{ then } z = f_1(x,y)$$

$$R_2: \text{if } x \text{ is } A_2 \text{ and } y \text{ is } B_2 \text{ then } z = f_2(x,y)$$

ค่าการวินิจฉัยของการกระทำการควบคุมจากกฎแรกคือ $\alpha_1 f_1(x_0, y_0)$ ค่าการวินิจฉัยของการกระทำการควบคุมจากกฎที่ 2 คือ $\alpha_2 f_2(x_0, y_0)$ ดังนั้นค่าคริสของการกระทำการควบคุมจะกำหนดโดย

$$z_0 = \frac{\alpha_1 f_1(x_0, y_0) + \alpha_2 f_2(x_0, y_0)}{\alpha_1 + \alpha_2}$$

5. Fuzzy Reasoning วิธีที่ 5 - Yager's level Set Method: วิธีการนี้เสนอโดย Yager

Fuzzy Reasoning วิธีที่ 5 นี้ฟังก์ชัน C_i^* เป็นการกำหนดโดยการหาค่าเฉลี่ยที่ระดับ τ_i ซึ่งจะใช้เป็นสัญลักษณ์แทน α_i ของ C_i นั่นคือ

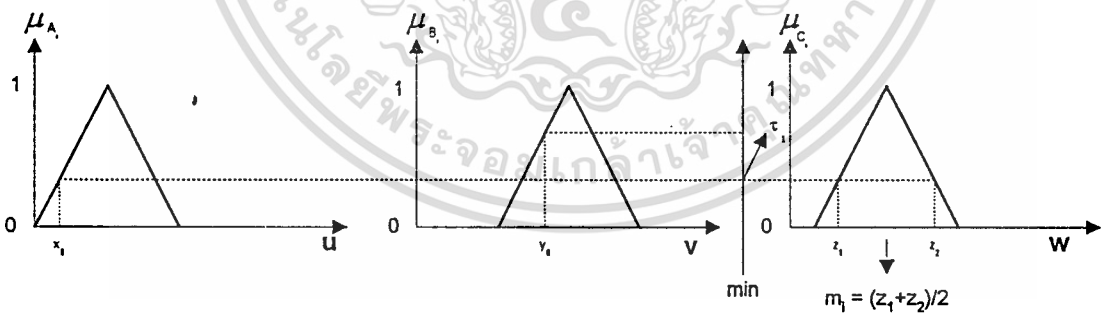
$$C_i^*(\tau_i) = \frac{z_1 + z_2}{2} = m_i$$

โดยที่ z_1 และ z_2 คือค่าของ τ_i level set ของ C_i

สำหรับกฎที่ 1 ค่าที่ได้จากกฎนี้คือ m_1 กฎที่ 2 ค่าที่ได้จากกฎนี้คือ m_2 ดังนั้นค่าคริสของการกระทำการควบคุมจะแสดงได้โดยภาพที่ 21 และสมการดังต่อไปนี้

$$z_0 = \frac{m_1 \tau_1 + m_2 \tau_2}{\tau_1 + \tau_2}$$

ภาพที่ 21



แสดง fuzzy reasoning วิธีที่ 5

6. Fuzzy Reasoning วิธีที่ 6 - Product-Sum-Gravity Method : วิธีการที่เสนอโดย Mizumoto

Fuzzy Reasoning วิธีที่ 6 นี้จะใช้ผลคูณที่ขคณิตแทน min และ sum (+) แทน max ใน Fuzzy Reasoning วิธีที่ 1 ในวิธีการนี้ผลการวินิจฉัย C_i' จากกฎที่ i จะกำหนดเป็น

$$\mu_{C_i'}(z) = \mu_{A_i}(x_0) \cdot \mu_{B_i}(y_0) \cdot \mu_{C_i}(z_0)$$

consequence C' ได้มาจากการรวมกันของ C_i' และ C_j' โดยการใช้ sum ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$C' = C'_1 + C'_2$$

กล่าวคือ

$$\mu_{C'}(z) = \mu_{C'_1}(z) + \mu_{C'_2}(z)$$

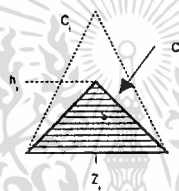
การหาค่าคริซของการกระทำการควบคุมของ C' ทำได้โดยการใช้วิธีการ center of gravity ในกรณีของ product-sum-gravity method นั้น จะพิจารณาได้ดังนี้ ให้ z_i เป็น center of gravity ของ ผลการวินิจฉัย C'_1 และ S_i เป็นพื้นฐานของ C_i ดังภาพที่ 22 ดังนั้น

$$z_i = \frac{\int z \cdot \mu_{C'_i}(z) dz}{\int \mu_{C'_i}(z) dz} = \frac{\int z \cdot \mu_{C_i}(z) dz}{S_i}$$

ซึ่งจะนำไปสู่

$$\int z \cdot \mu_{C_i}(z) dz = S_i z_i$$

ภาพที่ 22



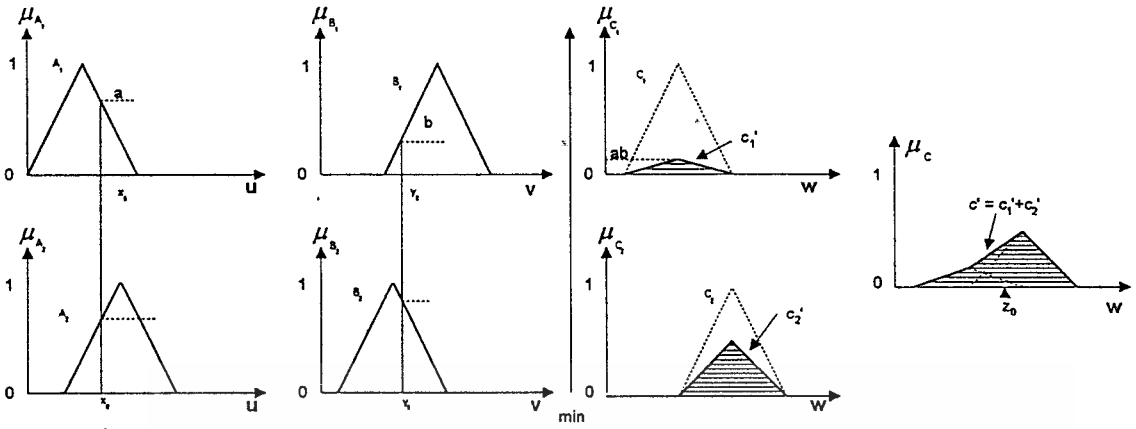
แสดง Center z_i และพื้นที่ S_i ของ C'_i

ดังนั้นค่าคริซของการกระทำการควบคุมของ C' สามารถกำหนดได้โดย

$$\begin{aligned} z_0 &= \frac{\int z \cdot \mu_{C'}(z) dz}{\int \mu_{C'}(z) dz} = \frac{\int z \cdot [\mu_{C'_1}(z) + \mu_{C'_2}(z)] dz}{\int [\mu_{C'_1}(z) + \mu_{C'_2}(z)] dz} \\ &= \frac{\int z \cdot \mu_{C'_1}(z) dz + \int z \cdot \mu_{C'_2}(z) dz}{\int \mu_{C'_1}(z) dz + \int \mu_{C'_2}(z) dz} \\ &= \frac{S_1 z_1 + S_2 z_2}{S_1 + S_2} \end{aligned}$$

ดังนั้น center of gravity z_0 สามารถกำหนดได้โดยการเฉลี่ยน้ำหนัก(weighted average) ของ z_i (center of gravity ของ C'_i) ด้วย S_i (พื้นที่ของ C'_i) วิธีการนี้บางที่เรียกว่า "Area Methods" กระบวนการ Fuzzy Reasoning วิธีนี้จะแสดงในภาพที่ 23

ภาพที่ 23



แสดง fuzzy reasoning วิธีที่ 6

วิธีการดิฟฟิวซิฟิเคชัน

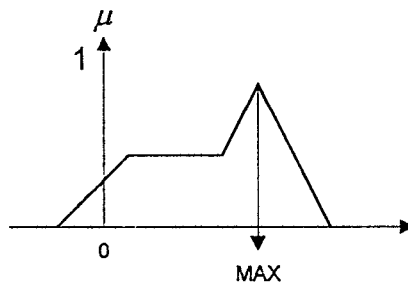
ดิฟฟิวซิฟิเคชันคือการเริ่มจากสเปซของการกระทำควบคุมฟัซซี่ซึ่งกำหนดบนเอาว์พุทของเซตจักรวาลเข้าไปในสเปซของการกระทำการควบคุม nonfuzzy (crisp) ซึ่งในทางปฏิบัติโปรแกรมประยุกต์ต่าง ๆ ต้องการค่าคริสสำหรับการกระทำการควบคุม

วิธีดิฟฟิวซิฟิเคชันมีความมุ่งหมายที่จะทำให้ได้การกระทำควบคุม nonfuzzy ที่ดีที่สุดจากการวินิจฉัยการกระทำควบคุมฟัซซี่ แต่ไม่มีหลักเกณฑ์วิธีการใดในการที่จะเลือกวิธีการดิฟฟิวซิฟิเคชัน ในปัจจุบันวิธีการที่ใช้กันโดยทั่วไปมีอยู่ด้วยกัน 3 วิธี ดังที่จะอธิบายดังต่อไปนี้

วิธีบรรทัดฐานค่าสูงสุด (max criterion)

บรรทัดฐานค่าสูงสุดเกิดจากจุดที่มีค่าฟังก์ชันการเป็นสมาชิกของการกระทำการควบคุมที่ค่าสูงสุด ดังแสดงในภาพที่ 24

ภาพที่ 24



แสดงวิธีบรรทัดฐานค่าสูงสุด

วิธีค่าเฉลี่ยของค่าสูงสุด (Mean of Maximum หรือ MOM)

วิธี MOM ก่อให้เกิดการกระทำการควบคุมซึ่งได้จากค่าเฉลี่ยของการกระทำควบคุมพีชซึ่งฟังก์ชันการเป็นสมาชิกมีค่าสูงสุด ในกรณีของเซตจักรวาลไม่ต่อเนื่อง การกระทำการควบคุมอาจจะแสดงได้โดยภาพที่ 25 และสมการดังต่อไปนี้

$$z_0 = \frac{\sum_{j=1}^l w_j}{1}$$

โดยที่ w_j คือค่า support ซึ่งฟังก์ชันการเป็นสมาชิกมีค่าสูงสุดคือ $\mu_z(w_j)$

และ 1 คือจำนวนของค่า support ทั้งหมด



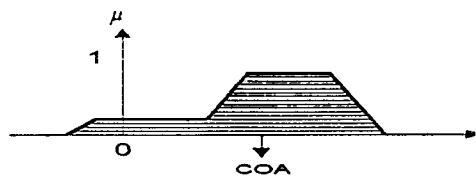
วิธีค่าศูนย์กลางพื้นที่ (Center of Area หรือ COA)

โดยส่วนใหญ่จะใช้วิธี COA ซึ่งเกิดจาก center of gravity ของฟังก์ชันการเป็นสมาชิกของการกระทำการควบคุม ในกรณีของเซตจักรวาลไม่ต่อเนื่องวิธีการนี้จะแสดงได้โดยภาพที่ 26 และสมการดังต่อไปนี้

$$z_0 = \frac{\sum_{j=1}^n \mu_z(w_j) \cdot w_j}{\sum_{j=1}^n \mu_z(w_j)}$$

โดยที่ n คือจำนวนของ ควอนติเซชัน level ของเอาว์พุท

ภาพที่ 26



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับ **แสดงวิธีค่าศูนย์กลางพื้นที่** นั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีการวิจัย

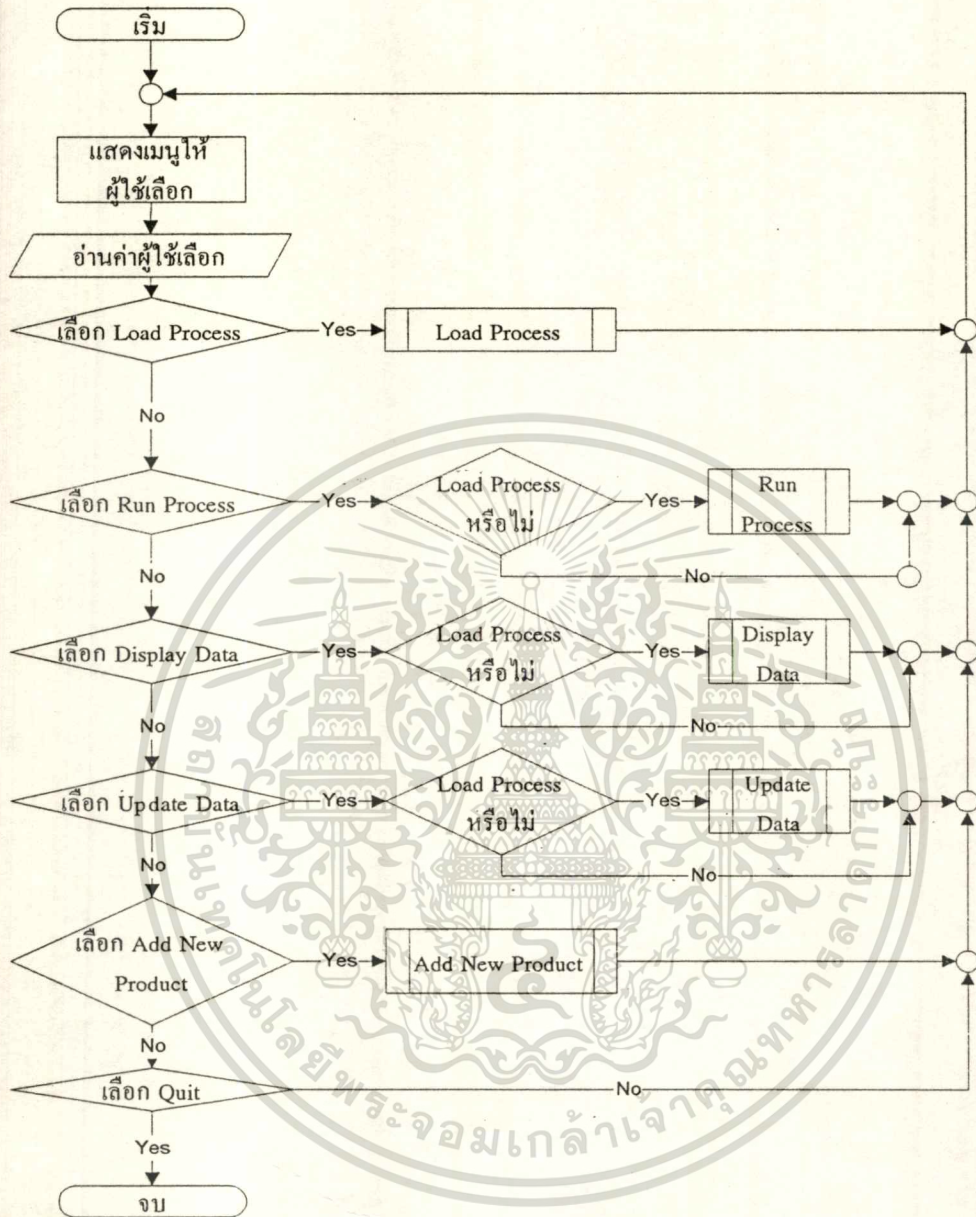
วิธีการเคลือบผิวเม็ดยา

การเคลือบผิวเม็ดยาจะมีอยู่ด้วยกัน 3 ช่วง คือ Preheating หรือ Prewarming, Spraying และ Drying ในช่วงแรก คือ Preheating นั้นเครื่องเป่าลมจะทำการปล่อยลมออกมาโดยที่จะมีเครื่องทำความร้อนเพื่อนำลมที่ถูกปล่อยออกมานั้นเป็นลมร้อน โดยที่ลมร้อนนี้จะถูกดูดเข้าไปยังห้อง(room) และจะถูกดูดออกไปโดยเครื่องดูดลม สำหรับขั้นตอนการทำงานในช่วงนี้ PAN จะทำการหมุนและหยุดไปเรื่อย ๆ ตามค่าที่ตั้งไว้ โดยที่จะเรียกว่าการ jog เพื่อที่จะทำให้เม็ดยาที่อยู่ในห้องสามารถรับลมร้อนได้โดยทั่วถึง การทำงานในขั้นตอนนี้จะสิ้นสุดเมื่ออุณหภูมิซึ่งทำการวัดได้ที่ตำแหน่งปากทางออกที่อยู่ติดกับห้องมีค่าขึ้นไปถึงค่าที่กำหนดไว้ (setpoint) จากนั้นก็จะเข้าสู่ช่วง Spraying ซึ่งเป็นช่วงที่สำคัญ ในช่วงนี้จำเป็นต้องทำการควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ในค่าที่กำหนด สำหรับขั้นตอนการทำงานในช่วงนี้ PAN จะทำการหมุนไปตามระบุที่กำหนด ส่วน PUMP จะทำการดูดน้ำยาขึ้นมาจากถังเก็บน้ำยาตามรอบที่กำหนดไปยังปืนสำหรับฉีดน้ำยาเพื่อที่จะฉีดน้ำยาเข้าไปในห้องตามแรงดันลมที่ตั้งไว้ การทำงานในขั้นตอนนี้จะสิ้นสุดเมื่อน้ำยาในถังเก็บน้ำยาหมดลง จากนั้นก็จะเข้าสู่ช่วงสุดท้ายคือช่วง Drying ซึ่งเมื่อน้ำยาในถังหมดลงปืนสำหรับฉีดน้ำยาและ PUMP จะยุติการทำงาน หลังจากเวลาผ่านไปตามเวลาที่กำหนดตั้งแต่เข้าสู่ช่วง Drying การทำงานของ PAN ก็จะสิ้นสุดเช่นเดียวกับเครื่องทำความเย็น เครื่องดูดลมและเครื่องเป่าลมก็จะสิ้นสุดการทำงานตามเวลาที่กำหนดตั้งแต่เข้าสู่ช่วง Drying ตามลำดับ เมื่อสิ้นสุดการทำงานในช่วง Drying แล้วก็จะสิ้นสุดการทำงานที่สมบูรณ์ของระบบทั้งหมด ซึ่งก็จะทำให้ได้เม็ดยาที่ผ่านการเคลือบผิวโดยเรียบร้อยและสมบูรณ์ตามต้องการ

การพัฒนาโปรแกรมสำหรับการควบคุมระบบงาน

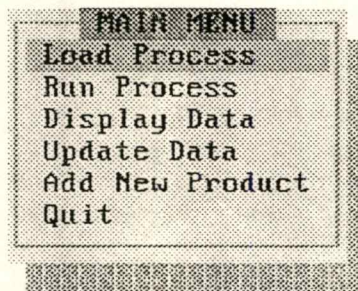
การพัฒนาโปรแกรมประกอบไปด้วย 5 ส่วนหลัก คือการเลือกอินพุทของกระบวนการ การรันกระบวนการ การแสดงข้อมูลอินพุท การแก้ไขข้อมูลและการเพิ่มข้อมูลใหม่ ซึ่งในภาพที่ 27 แสดงผังงาน (Flowchart) ของเมนูหลัก และในภาพที่ 28 แสดงเมนูหลักของโปรแกรม

ภาพที่ 27



แสดงผังงานของเมนูหลัก

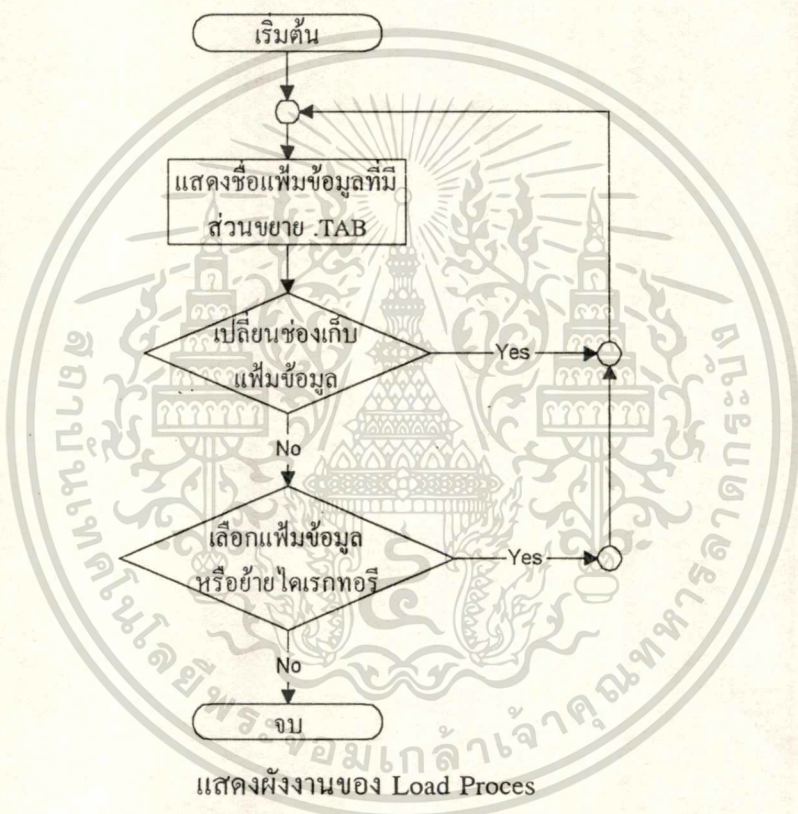
ภาพที่ 28



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเลือกอินพุทของกระบวนการทำได้โดยการเลือก Load Process ซึ่งจะแสดงชื่อแฟ้มข้อมูล ซึ่งมีส่วนขยาย .TAB ในไดเรกทอรีปัจจุบัน ซึ่งสามารถทำการเลือกแฟ้มข้อมูลหรือย้ายไดเรกทอรีได้โดยการเลื่อนแถบข้อความโดยใช้ลูกศรขึ้น ลง ซ้ายและขวา และสามารถเปลี่ยนช่องเก็บแฟ้มข้อมูลได้โดยใช้ F3 โดยที่จะแสดงช่วงเก็บแฟ้มข้อมูลทั้งหมดที่สามารถเปลี่ยนแปลงได้ โดยใช้ลูกศรซ้ายและขวา ในภาพที่ 29 แสดงผังงานของ Load Process และในภาพที่ 30 แสดงจอภาพที่เกิดขึ้น โดยการเลือก Load Process จากเมนูหลัก

ภาพที่ 29

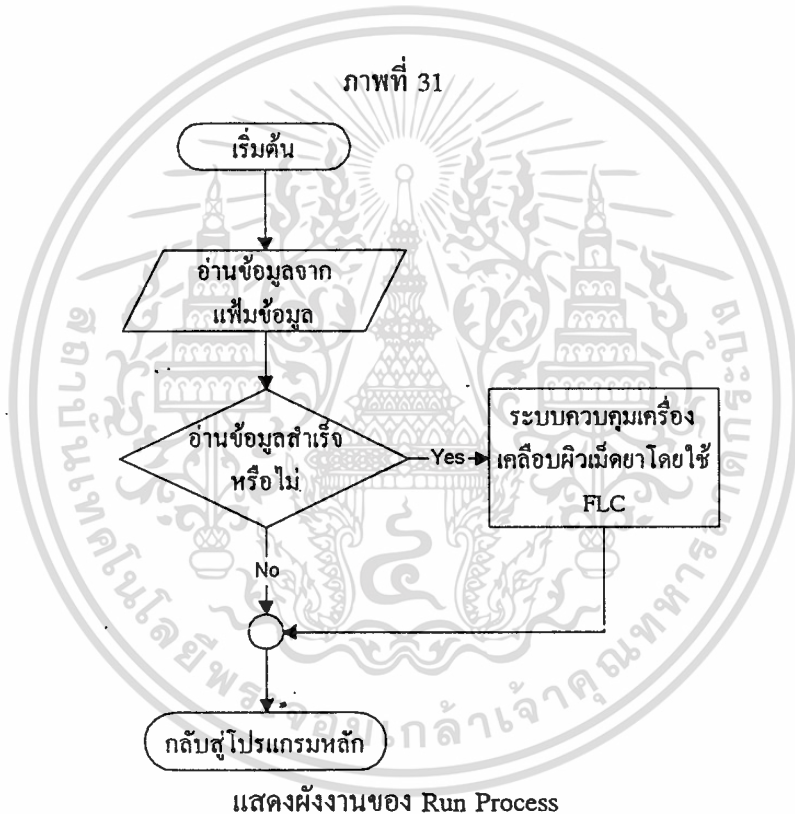


ภาพที่ 30



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับควรใช้เฉพาะเพื่อการศึกษองเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 แสดงจอภาพของ Load Process
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

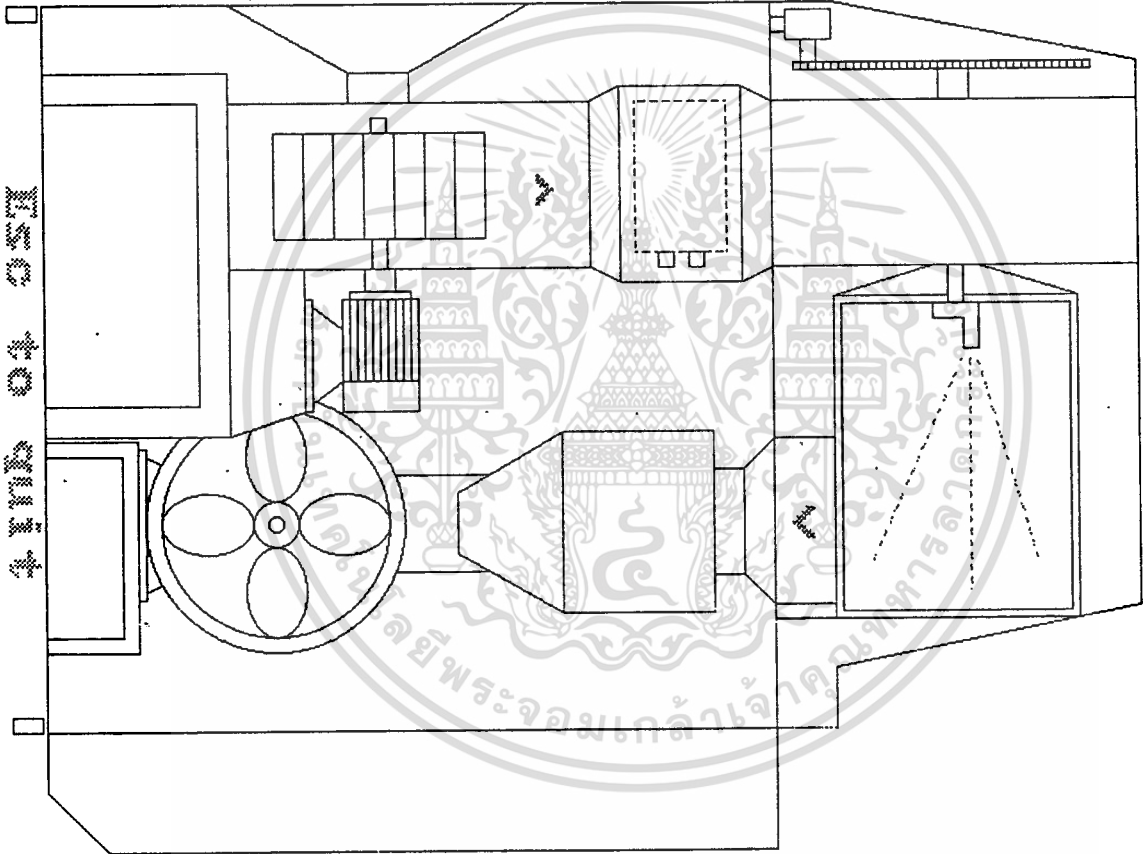
การรันกระบวนการทำได้โดยการเลือก Run Process จากเมนูหลัก ซึ่งจะทำการควบคุมการทำงาน of เครื่องเคลือบผิวเม็ดยาตามพารามิเตอร์ที่กำหนดไว้ในเพิ่มข้อมูลที่ถูกเลือกจาก Load Process ซึ่งกระบวนการหนึ่งที่มีความสำคัญในการควบคุมการทำงานของเครื่องเคลือบผิวเม็ดยา คือ การควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ในค่าที่กำหนดไว้ตามพารามิเตอร์ ซึ่งกระบวนการนี้จะใช้ FLC เมื่อทำการควบคุม ซึ่งจะกล่าวถึงเกี่ยวกับการนำ FLC มาใช้ในกระบวนการควบคุมอุณหภูมินี้ในหัวข้อถัดไป ในการแสดงผลทางจอภาพนั้นจะเป็นการแสดงผลแบบ Real-time Graphic ซึ่งจะแสดงการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิทุกๆ 1 วินาที โดยในภาพที่ 31 แสดงผังงานของ Run Process และภาพที่ 32 แสดงจอภาพของ Run Process



BLOWER ON
 EXHAUST ON
 HEATER ON
 PAN ON
 PUMP ON
 SPRAY ON

 MANUAL ON/OFF
 F5 BLOWER
 F6 EXHAUST
 F7 HEATER
 F8 PAN
 F9 PUMP&SPRAY

SETPOINT
 40.0



HEATER
 51.6

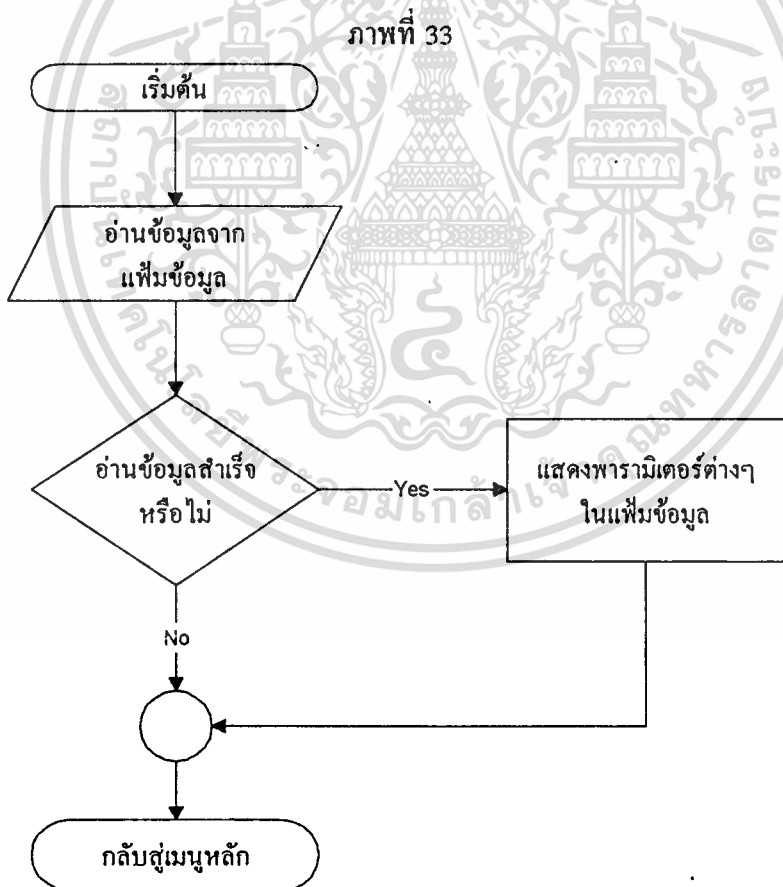
INLET
 51.1

OUTLET
 40.0

แสดงจอภาพของ Run Process

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การแสดงผลข้อมูลอินพุททำได้โดยการเลือก Display Data จากเมนูหลัก หลังจากทำการเลือก แล้วจอภาพจะแสดงข้อมูลพารามิเตอร์ต่างๆ ที่เก็บอยู่ในแฟ้มข้อมูลที่ได้ทำการเลือกจาก Load Process ก่อนหน้านี้ ซึ่งพารามิเตอร์ต่างๆ จะประกอบไปด้วยค่าอุณหภูมิที่ใช้สำหรับการเคลือบผิวเม็ดคยาหรือ Setpoint หน่วยเป็นองศาเซลเซียส ($^{\circ}\text{C}$) ความเร็วในการ jog ของ PAN ในช่วง Preheating หน่วยเป็นรอบต่อนาที (RPM) เวลาที่ทำการ jog หน่วยเป็นวินาที เวลาที่หยุดทำการ jog หน่วยเป็นวินาที ความเร็วในการหมุนของ PAN ในช่วง Spraying หน่วยเป็น RPM ความเร็วในการหมุนของ PUMP หน่วยเป็น RPM เวลาในการหยุดหมุน PAN เมื่อเข้าสู่ช่วง Drying หน่วยเป็นวินาที เวลาในการหยุดการทำงานของเครื่องทำความร้อนเมื่อเข้าสู่ช่วง Drying หน่วยเป็นวินาที เวลาในการหยุดการทำงานของเครื่องดูดลมเมื่อเข้าสู่ช่วง Drying หน่วยเป็นวินาที และเวลาในการหยุดการทำงานของเครื่องเป่าลมเมื่อเข้าสู่ช่วง Drying หน่วยเป็นวินาที ซึ่งในภาพที่ 33 แสดงผังงานของ Display Data และในภาพที่ 34 แสดงจอภาพของ Display Data ซึ่งประกอบไปด้วยพารามิเตอร์ต่างๆ ดังที่กล่าวไปแล้ว



แสดงผังงานของ Display Data

ภาพที่ 34

DISPLAY DATA

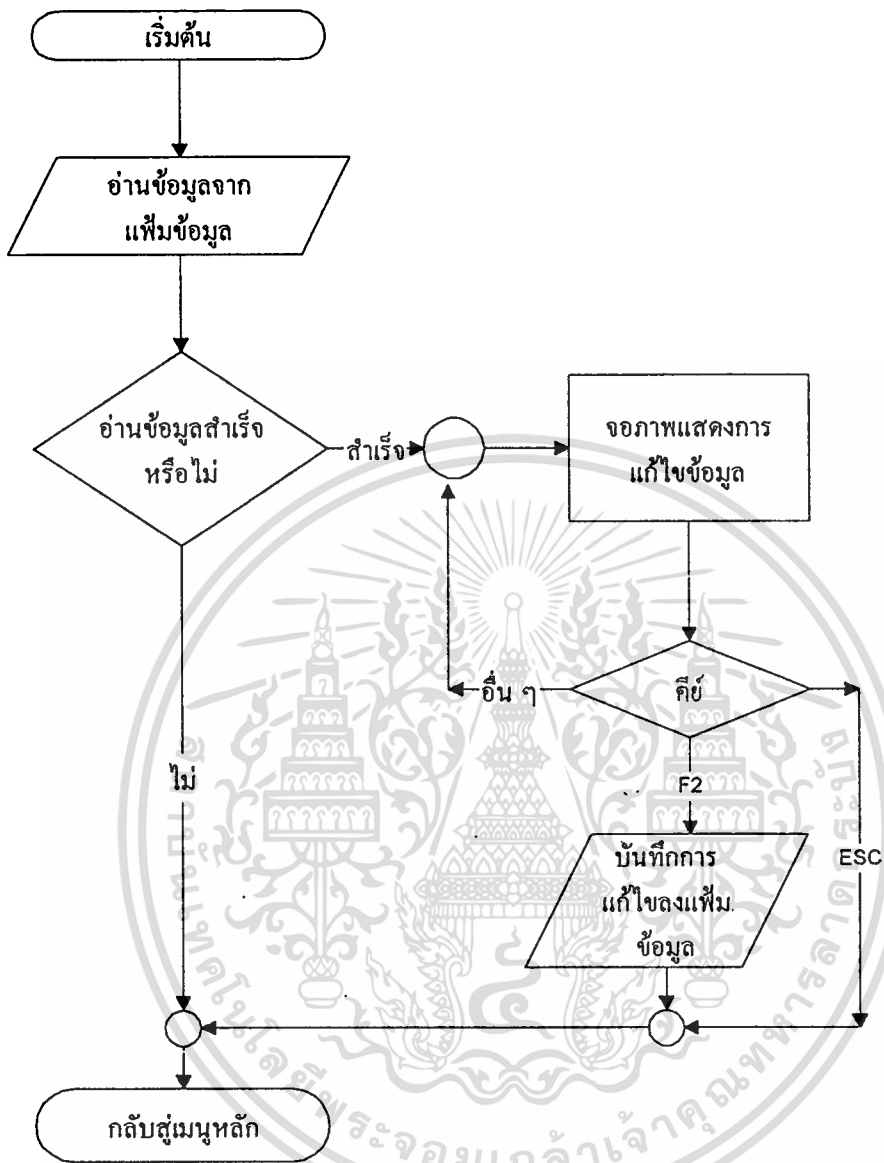
Setpoint? 40 Celcius
 Rotate speed of jog on? 5 RPM
 Time of jog on? 30 Seconds
 Time of jog off? 30 Seconds
 Rotate speed of pan? 5 RPM
 Rotate speed of pump? 5 RPM
 Time of pan after pump off? 600 Seconds
 Time of heater after pump off? 600 Seconds
 Time of exhaust after pump off? 700 Seconds
 Time of blower after pump off? 700 Seconds

Please any key to return to MAIN MENU.

แสดงจอภาพของ Display Data

การแก้ไขข้อมูลทำได้โดยการเลือก Update Data จากเมนูหลัก โดยที่จอภาพจะแสดงพารามิเตอร์ต่าง ๆ ในแฟ้มข้อมูลที่เราเลือกจาก Load Process ซึ่งเราสามารถทำการแก้ไขพารามิเตอร์เหล่านี้ได้โดยการเลื่อนแถบตัวอักษรขึ้นลงโดยใช้คีย์ลูกศรขึ้นและลง ซึ่งพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่เก็บอยู่ในแฟ้มข้อมูลได้กล่าวถึงไปแล้ว ในการแสดงข้อมูลอื่นๆ เมื่อทำการแก้ไขข้อมูลเรียบร้อยแล้วสามารถที่จะบันทึกการเปลี่ยนแปลงในแฟ้มข้อมูลได้โดยใช้คีย์ F2 ในภาพที่ 35 แสดงผังงานของ Update Data และภาพที่ 36 แสดงจอภาพของ Update Data

ภาพที่ 35



แสดงผังงานของ Update Data

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 36

UPDATE DATA

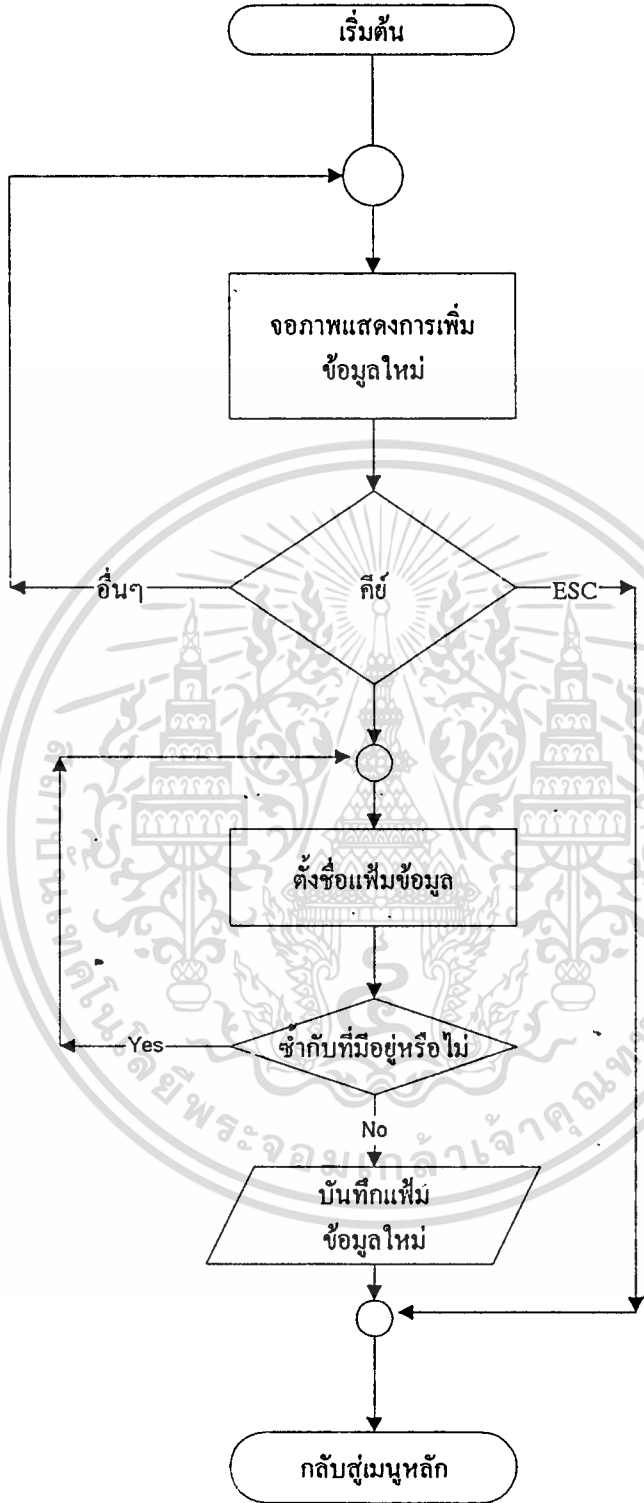
Setpoint? 70 Celcius
 Rotate speed of jog on? 5 RPM
 Time of jog on? 30 Seconds
 Time of jog off? 30 Seconds
 Rotate speed of pan? 5 RPM
 Rotate speed of pump? 5 RPM
 Time of pan after pump off? 600 Seconds
 Time of heater after pump off? 600 Seconds
 Time of exhaust after pump off? 780 Seconds
 Time of blower after pump off? 780 Seconds

If input incorrect sound will be beep! F2 to Save.

แสดงจอภาพของ Update Data

การเพิ่มข้อมูลทำได้โดยการเลือก Add New Product จากเมนูหลัก ซึ่งจะเป็นการเพิ่มข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับเม็ดยาชนิดใหม่เพื่อเข้าไปไว้ในแฟ้มข้อมูลใหม่โดยที่พารามิเตอร์ต่างๆ ได้ก่่าวถึงไปแล้ว ในการแสดงข้อมูลอินพุตลักษณะการทำงานของ Add New Product จะคล้ายกับ Update Data ก็จะใช้คีย์ลูกศรขึ้นและลง เพื่อทำการใส่ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ และเมื่อทำการใส่พารามิเตอร์จนครบเรียบร้อยแล้วก็สามารถทำการบันทึกลงในแฟ้มข้อมูลใหม่ได้โดยใช้คีย์ F2 เช่นเดียวกัน ซึ่งอยู่ในภาพที่ 37 แสดงผังงานของ Add New Product และภาพที่ 38 แสดงจอภาพของ Add New Product

ภาพที่ 37



แสดงผังงานของ Add New Product

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 38

ADD NEW PRODUCT

Setpoint? Celcius
 Rotate speed of jog on? RPM
 Time of jog on? Seconds
 Time of jog off? Seconds
 Rotate speed of pan? RPM
 Rotate speed of pump? RPM
 Time of pan after pump off? Seconds
 Time of heater after pump off? Seconds
 Time of exhaust after pump off? Seconds
 Time of blower after pump off? Seconds

If input incorrect sound will be beep! F2 to Save.

แสดงจอภาพของ Add New Product

ในส่วนของรายละเอียดของโปรแกรมจะแสดงโดยใช้ผังโปรแกรมโครงสร้าง (Structured Flowchart) ซึ่งอยู่ในภาคผนวก ก.

การนำ FLC มาใช้ในกระบวนการควบคุมอุณหภูมิในเครื่องเคลือบผิวเม็ดยา

การนำ FLC มาใช้ในการควบคุมอุณหภูมิในเครื่องเคลือบผิวเม็ดยานี้ ได้กำหนดตัวแปรภาษามนุษย์ในการควบคุมกระบวนการดังนี้ โดยอินพุทของกระบวนการคือ error(e) และ change of error (Δe) ซึ่งได้จากค่าอุณหภูมิที่ได้รับเข้ามา โดยที่

$$e = \text{อุณหภูมิที่วัดได้} - \text{ค่าที่ตั้งไว้ (setpoint)}$$

$$\Delta e = e_n - e_{n-1}$$

โดยที่ e_n คือ ค่า error ที่หาได้ครั้งปัจจุบัน

และ e_{n-1} คือ ค่า error ที่หาได้ครั้งที่ผ่านมา โดยในครั้งแรก e_{n-1} มีค่าเท่ากับ 0

เอาว์พุทของกระบวนการคือค่าตัวแปรควบคุม z ซึ่งจะนำไปเปลี่ยนเป็นค่ากระแสไฟฟ้า 4 ถึง 20 mA เพื่อส่งไปยัง Regulator เพื่อแปลงเป็นแรงดันไฟฟ้า 0-380 VAC เพื่อนำไปควบคุมเครื่องทำความร้อน

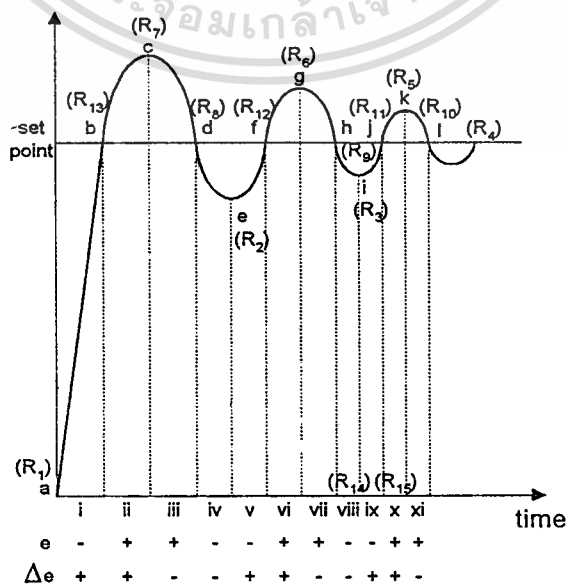
สำหรับกฎฟuzzyที่ใช้ในการควบคุมกระบวนการนี้แสดงได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- R_1 : if e is NB and Δe is ZO then z is PB
 R_2 : if e is NM and Δe is ZO then z is PM
 R_3 : if e is NS and Δe is ZO then z is PS
 R_4 : if e is ZO and Δe is ZO then z is ZO
 R_5 : if e is PS and Δe is ZO then z is NS
 R_6 : if e is PM and Δe is ZO then z is NM
 R_7 : if e is PB and Δe is ZO then z is NB
 R_8 : if e is ZO and Δe is NB then z is PB
 R_9 : if e is ZO and Δe is NM then z is PM
 R_{10} : if e is ZO and Δe is NS then z is PS
 R_{11} : if e is ZO and Δe is PS then z is NS
 R_{12} : if e is ZO and Δe is PM then z is NM
 R_{13} : if e is ZO and Δe is PB then z is NB
 R_{14} : if e is NS and Δe is NS then z is PM
 R_{15} : if e is PS and Δe is PS then z is NM

โดยที่มาจากกฎควบคุมที่ซี้แต่ละกฎจะพิจารณาได้จากกราฟของระบบตอบรับที่เป็นไปได้ของกระบวนการควบคุมดังภาพที่ 39 ซึ่งสามารถอธิบายความสัมพันธ์กับกฎต่าง ๆ ได้ดังนี้

ภาพที่ 39



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนแสดงระบบการตอบรับที่เป็นไปได้ของกระบวนการควบคุม ใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

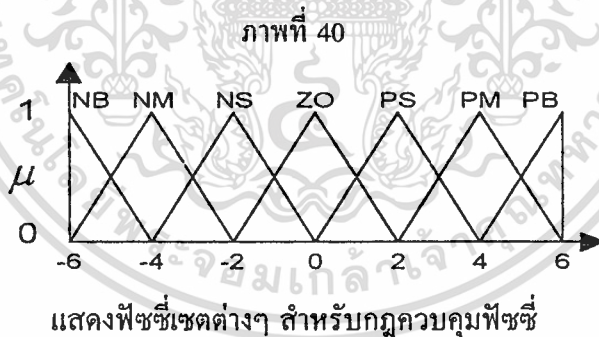
- กฎที่ 1 พิจารณาที่จุด a โดยค่า error ที่ตำแหน่งนี้จะมีค่าเป็นลบมาก และค่า change of error มีค่าเป็น 0 ดังนั้นที่จุดนี้ควรจะให้ค่าที่ไปควบคุมมีค่าเป็นบวกมาก ๆ ซึ่งสามารถเขียนเป็นกฎควบคุมได้ดังนี้คือ “ถ้า error เป็นลบมาก และ change of error เป็น 0 แล้วค่าที่ไปควบคุมเป็นบวกมาก” โดยจะเขียนแทนได้ด้วย R_1
- กฎที่ 2 พิจารณาที่จุด e โดยค่า error ที่ตำแหน่งนี้จะมีค่าเป็นลบไม่มากและน้อยเกินไป และค่า change of error มีค่าเป็น 0 ดังนั้นที่จุดนี้ควรจะให้ค่าที่ไปควบคุมมีค่าเป็นบวกปานกลาง ซึ่งสามารถเขียนเป็นกฎควบคุมได้ดังนี้คือ “ถ้า error เป็นลบปานกลาง และ change of error เป็น 0 แล้วค่าที่ไปควบคุมเป็นบวกปานกลาง” โดยจะเขียนแทนได้ด้วย R_2
- กฎที่ 3 พิจารณาที่จุด i โดยค่า error ที่ตำแหน่งนี้จะมีค่าเป็นลบไม่มาก และค่า change of error มีค่าเป็น 0 ดังนั้นที่จุดนี้ควรจะให้ค่าที่ไปควบคุมมีค่าเป็นบวกน้อย ๆ ซึ่งสามารถเขียนเป็นกฎควบคุมได้ดังนี้คือ “ถ้า error เป็นลบน้อย และ change of error เป็น 0 แล้วค่าที่ไปควบคุมเป็นบวกน้อย” โดยจะเขียนแทนได้ด้วย R_3
- กฎที่ 4 พิจารณาที่จุด setpoint โดยค่า error ที่ตำแหน่งนี้จะมีค่าเป็น 0 และค่า change of error มีค่าเป็น 0 ดังนั้นที่จุดนี้ควรจะให้ค่าที่ไปควบคุมมีค่าเป็น 0 ซึ่งสามารถเขียนเป็นกฎควบคุมได้ดังนี้คือ “ถ้า error เป็น 0 และ change of error เป็น 0 แล้วค่าที่ไปควบคุมเป็น 0” โดยจะเขียนแทนได้ด้วย R_4
- กฎที่ 5 พิจารณาที่จุด k โดยค่า error ที่ตำแหน่งนี้จะมีค่าเป็นบวกไม่มาก และค่า change of error มีค่าเป็น 0 ดังนั้นที่จุดนี้ควรจะให้ค่าที่ไปควบคุมมีค่าเป็นลบน้อย ๆ ซึ่งสามารถเขียนเป็นกฎควบคุมได้ดังนี้คือ “ถ้า error เป็นบวกน้อย และ change of error เป็น 0 แล้วค่าที่ไปควบคุมเป็นลบน้อย” โดยจะเขียนแทนได้ด้วย R_5
- กฎที่ 6 พิจารณาที่จุด g โดยค่า error ที่ตำแหน่งนี้จะมีค่าเป็นบวกไม่มากและน้อยเกินไป และค่า change of error มีค่าเป็น 0 ดังนั้นที่จุดนี้ควรจะให้ค่าที่ไปควบคุมมีค่าเป็นลบปานกลาง ซึ่งสามารถเขียนเป็นกฎควบคุมได้ดังนี้คือ “ถ้า error เป็นบวกปานกลาง และ change of error เป็น 0 แล้วค่าที่ไปควบคุมเป็นลบปานกลาง” โดยจะเขียนแทนได้ด้วย R_6
- กฎที่ 7 พิจารณาที่จุด c โดยค่า error ที่ตำแหน่งนี้จะมีค่าเป็นบวกมาก และค่า change of error มีค่าเป็น 0 ดังนั้นที่จุดนี้ควรจะให้ค่าที่ไปควบคุมมีค่าเป็นลบมาก ๆ ซึ่งสามารถเขียนเป็นกฎควบคุมได้ดังนี้คือ “ถ้า error เป็นบวกมาก และ change of error เป็น 0 แล้วค่าที่ไปควบคุมเป็นลบมาก” โดยจะเขียนแทนได้ด้วย R_7
- กฎที่ 8 พิจารณาที่จุด d โดยค่า error ที่ตำแหน่งนี้จะมีค่าเป็น 0 และค่า change of error มีค่าเป็นลบมาก ดังนั้นที่จุดนี้ควรจะให้ค่าที่ไปควบคุมมีค่าเป็นบวกมาก ซึ่งสามารถเขียนเป็นกฎควบคุมได้ดังนี้คือ “ถ้า error เป็น 0 และ change of error เป็นลบมาก แล้วค่าที่ไปควบคุมเป็นบวกมาก” โดยจะเขียนแทนได้ด้วย R_8

- กฎที่ 9 พิจารณาที่จุด h โดยค่า error ที่ตำแหน่งนี้จะมีค่าเป็น 0 และค่า change of error มีค่าเป็นลบปานกลาง ดังนั้นที่จุดนี้ควรจะให้ค่าที่ไปควบคุมมีค่าเป็นบวกปานกลาง ซึ่งสามารถเขียนเป็นกฎควบคุมได้ดังนี้คือ “ถ้า error เป็น 0 และ change of error เป็นลบปานกลาง แล้วค่าที่ไปควบคุมเป็นบวกปานกลาง” โดยจะเขียนแทนได้ด้วย R_9
- กฎที่ 10 พิจารณาที่จุด l โดยค่า error ที่ตำแหน่งนี้จะมีค่าเป็น 0 และค่า change of error มีค่าเป็นลบน้อย ดังนั้นที่จุดนี้ควรจะให้ค่าที่ไปควบคุมมีค่าเป็นบวกน้อย ซึ่งสามารถเขียนเป็นกฎควบคุมได้ดังนี้คือ “ถ้า error เป็น 0 และ change of error เป็นลบน้อย แล้วค่าที่ไปควบคุมเป็นบวกน้อย” โดยจะเขียนแทนได้ด้วย R_{10}
- กฎที่ 11 พิจารณาที่จุด j โดยค่า error ที่ตำแหน่งนี้จะมีค่าเป็น 0 และค่า change of error มีค่าเป็นบวกน้อย ดังนั้นที่จุดนี้ควรจะให้ค่าที่ไปควบคุมมีค่าเป็นลบน้อย ซึ่งสามารถเขียนเป็นกฎควบคุมได้ดังนี้คือ “ถ้า error เป็น 0 และ change of error เป็นบวกน้อย แล้วค่าที่ไปควบคุมเป็นลบน้อย” โดยจะเขียนแทนได้ด้วย R_{11}
- กฎที่ 12 พิจารณาที่จุด f โดยค่า error ที่ตำแหน่งนี้จะมีค่าเป็น 0 และค่า change of error มีค่าเป็นบวกปานกลาง ดังนั้นที่จุดนี้ควรจะให้ค่าที่ไปควบคุมมีค่าเป็นลบปานกลาง ซึ่งสามารถเขียนเป็นกฎควบคุมได้ดังนี้คือ “ถ้า error เป็น 0 และ change of error เป็นบวกปานกลาง แล้วค่าที่ไปควบคุมเป็นลบปานกลาง” โดยจะเขียนแทนได้ด้วย R_{12}
- กฎที่ 13 พิจารณาที่จุด b โดยค่า error ที่ตำแหน่งนี้จะมีค่าเป็น 0 และค่า change of error มีค่าเป็นบวกมาก ดังนั้นที่จุดนี้ควรจะให้ค่าที่ไปควบคุมมีค่าเป็นลบมาก ซึ่งสามารถเขียนเป็นกฎควบคุมได้ดังนี้คือ “ถ้า error เป็น 0 และ change of error เป็นบวกมาก แล้วค่าที่ไปควบคุมเป็นลบมาก” โดยจะเขียนแทนได้ด้วย R_{13}
- กฎที่ 14 พิจารณาที่ช่วง $viii$ โดยค่า error ในช่วงนี้จะมีค่าเป็นลบน้อย ๆ และค่า change of error มีค่าเป็นลบน้อยเช่นเดียวกัน ดังนั้นในช่วงนี้ควรจะให้ค่าที่ไปควบคุมมีค่าเป็นบวกปานกลาง ซึ่งสามารถเขียนเป็นกฎควบคุมได้ดังนี้คือ “ถ้า error เป็นลบน้อย และ change of error เป็นลบน้อย แล้วค่าที่ไปควบคุมเป็นบวกปานกลาง” โดยจะเขียนแทนได้ด้วย R_{14}
- กฎที่ 15 พิจารณาที่ช่วง x โดยค่า error ในช่วงนี้จะมีค่าเป็นบวกน้อย ๆ และค่า change of error มีค่าเป็นบวกน้อยเช่นเดียวกัน ดังนั้นในช่วงนี้ควรจะให้ค่าที่ไปควบคุมมีค่าเป็นลบปานกลาง ซึ่งสามารถเขียนเป็นกฎควบคุมได้ดังนี้คือ “ถ้า error เป็นบวกน้อย และ change of error เป็นบวกน้อย แล้วค่าที่ไปควบคุมเป็นลบปานกลาง” โดยจะเขียนแทนได้ด้วย R_{15}
- โดยกฎควบคุมพีชคณิตที่ใช้ในการควบคุมกระบวนการนี้ แสดงได้ดังตารางที่ 14

ตารางที่ 14
แสดงกฎควบคุมฟัซซี่สำหรับควบคุมกระบวนการ

$e/\Delta e$	NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB
NB				PB			
NM				PM			
NS			PM	PS			
ZO	PB	PM	PS	ZO	NS	NM	NB
PS				NS	NM		
PM				NM			
PB				NB			

โดยที่ค่าของตัวแปรอินพุทและตัวแปรเอาต์พุทคือฟัซซี่เซตในเซตจักรวาล $[-6,6]$ ซึ่งแสดงในภาพที่ 40 โดยเทอมเซตของแต่ละตัวแปรฟัซซี่คือ $\{NB, NM, NS, ZO, PS, PM, PB\}$ โดยที่ NB คือ "Negative Big" NM คือ "Negative medium" NS คือ "Negative Small" ZO คือ "Zero" PS คือ "Positive Small" PM คือ "Positive medium" และ PB คือ "Positive Big"



เมื่อเราได้ค่า error และ change of error จากกระบวนการ ก็จะนำไปทำการแปลงมาตราส่วนให้อยู่ในช่วง $[-6,6]$ เพื่อที่จะมาเทียบกับค่าใน LOOKUP TABLE ดังตารางที่ 15 ซึ่งได้มาจากฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของ error และ change of error ผ่านการวินิจฉัยกฎโดยใช้ Fuzzy Reasoning ซึ่งในวิทยานิพนธ์นี้จะใช้วิธีการของ Mandani คือ "min-max-gravity method" และใช้ defuzzification โดยวิธี COA ซึ่ง LOOKUP TABLE จะแบ่งออกเป็นตารางหยาบและตารางละเอียด โดยที่เมื่อค่า error มีค่าต่ำกว่าค่า fine error ที่กำหนดก็จะใช้เทียบกับค่าในตารางละเอียด นอกนั้นจะใช้เทียบค่าในตารางหยาบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะโดยวิธีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 15

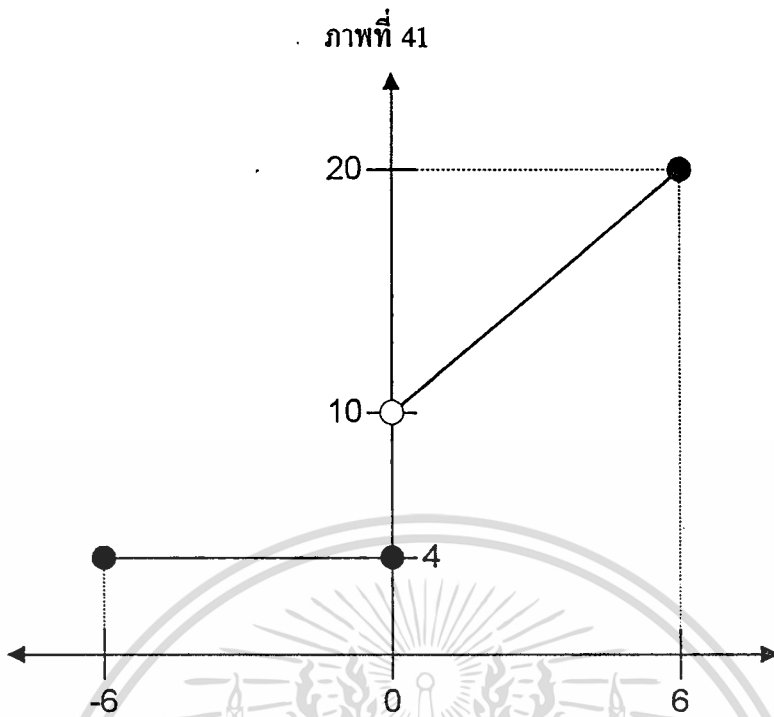
LOOKUP TABLE

$e/\Delta e$	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6
-6	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.50	5.67	5.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
-5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.50	4.50	4.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
-4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.00	4.00	4.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
-3	0.00	0.00	0.00	4.00	4.00	3.00	3.00	3.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
-2	0.00	0.00	0.00	4.00	4.00	3.00	2.00	2.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
-1	5.50	4.50	4.00	3.00	3.00	2.00	1.00	0.00	-2.00	-3.00	-4.00	-4.50	-5.50
0	5.67	4.50	4.00	3.00	2.00	1.00	0.00	-1.00	-2.00	-3.00	-4.00	-4.50	-5.67
1	5.50	4.50	4.00	3.00	2.00	0.00	-1.00	-2.00	-3.00	-3.00	-4.00	-4.50	-5.50
2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-2.00	-2.00	-3.00	-4.00	-4.00	0.00	0.00	0.00
3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-3.00	-3.00	-3.00	-4.00	-4.00	0.00	0.00	0.00
4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-4.00	-4.00	-4.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-4.50	-4.50	-4.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
6	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-5.50	-5.67	-5.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

เมื่อได้ค่าจาก LOOKUP TABLE ก็จะทำให้การแปลงมาตรฐานเป็นค่ากระแสไฟฟ้า 4-20 mA เพื่อไปควบคุม Regulator เพื่อส่งแรงดันไฟฟ้า 0-380 VAC ไปยังเครื่องทำความร้อน เพื่อที่จะควบคุมอุณหภูมิให้ได้ตามค่าที่กำหนดไว้ โดยถ้าค่าที่ได้จาก LOOKUP TABLE มีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 0 ก็จะทำให้การแปลงเป็นค่ากระแสไฟฟ้า 4 mA และถ้าค่าที่ได้จาก LOOKUP TABLE มีค่ามากกว่า 0 ก็จะทำให้การแปลงเป็นค่ากระแสไฟฟ้าในช่วง 10 ถึง 20 mA ซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$\text{current} = \begin{cases} 4 & ; z_0 \leq 0 \\ 10/6 \times z_0 + 10 & ; z_0 > 0 \end{cases}$$

โดยสมการนี้สามารถแสดงด้วยกราฟได้ดังภาพที่ 41



แสดงกราฟการแปลงค่าจาก LOOKUP TABLE ไปเป็นค่ากระแสไฟฟ้า 4 ถึง 20 mA

วิธีการทดลอง

ในการทดลองได้ใช้เม็ดขยาจำนวน 3 กิโลกรัม โดยใช้ น้ำยา 2 ลิตร ซึ่งได้ทำการเคลือบผิวเม็ดขยา
 ดังนั้นตามที่กล่าวถึงไปแล้วในวิธีการเคลือบผิวเม็ดขยาโดยใช้พารามิเตอร์ในการควบคุมดังต่อไปนี้

ค่าอุณหภูมิที่ใช้สำหรับการเคลือบผิวเม็ดขยา 40 °C

ความเร็วในการ jog ของ PAN ในช่วง Preheating 5 RPM

เวลาที่ทำการ jog 30 วินาที

เวลาที่หยุดทำการ jog 30 วินาที

ความเร็วในการหมุนของ PAN ในช่วง Spraying 5 RPM

ความเร็วในการหมุนของ PUMP ในช่วง Sparying 5 RPM

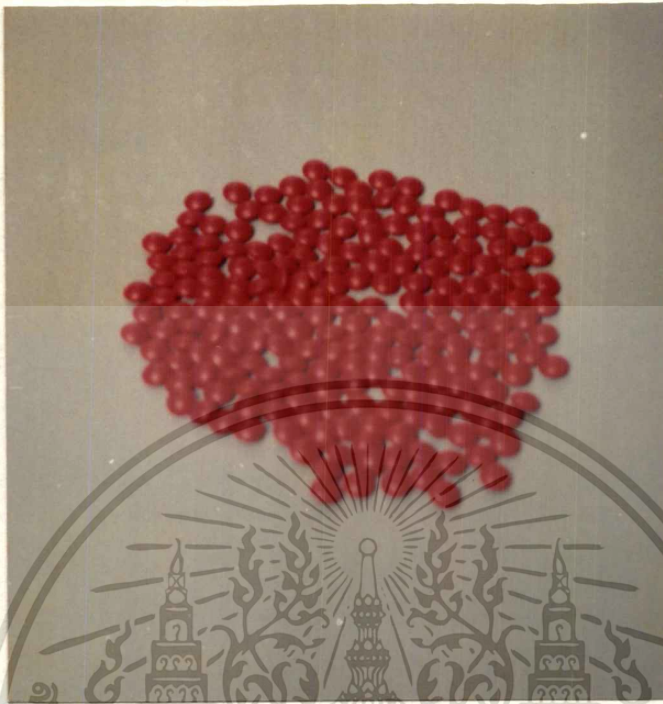
เวลาในการหยุดหมุนของ PAN เมื่อเข้าสู่ช่วง Drying 600 วินาที

เวลาในการหยุดการทำงานของเครื่องทำความร้อนเมื่อเข้าสู่ช่วง Drying 600 วินาที

เวลาในการหยุดการทำงานของเครื่องดูดลมเมื่อเข้าสู่ช่วง Drying 780 วินาที

เวลาในการหยุดการทำงานของเครื่องเป่าลมเมื่อเข้าสู่ช่วง Drying 780 วินาที

ภาพที่ 43



แสดงเมล็ดยาที่ผ่านการเคลือบผิวแล้ว

โดยที่ระหว่างการทดลองนั้น กระบวนการควบคุมอุณหภูมิโดยใช้ FLC สามารถที่จะควบคุมอุณหภูมิโดยรวมให้อยู่ในช่วงของค่าอุณหภูมิที่กำหนดเอาไว้ในช่วงของการ Spraying คือประมาณ ± 1 องศาเซลเซียส ดังแสดงด้วยกราฟในภาพที่ 44 แต่จะมีบางช่วงที่อุณหภูมิในการควบคุมเกินกว่าค่าอุณหภูมิที่กำหนดมากกว่า 1 องศาเซลเซียสแต่ไม่เกิน 2 องศาเซลเซียส ซึ่งไม่มีผลทำให้เมล็ดยาที่ทำการเคลือบผิวเกิดความเสียหาย โดยกราฟในช่วงดังกล่าวนี้แสดงในภาพที่ 46 และ 47 ซึ่งตรงกับช่วง B และ C ในภาพที่ 44 ตามลำดับ ส่วนกราฟในภาพที่ 45 จะแสดงการควบคุมอุณหภูมิในช่วงเริ่มต้น 5 นาทีแรก หรือ 300 วินาทีซึ่งตรงกับช่วง A ในภาพที่ 44 จากกราฟในภาพที่ 44 จะพบว่าจะมีบางขณะที่อุณหภูมิขึ้นสูงหรือตกลงต่ำอย่างกะทันหัน ซึ่งสาเหตุเกิดจากสัญญาณรบกวน (noise) ใน line การควบคุมหรือสัญญาณควบคุมจากระบบวัดอุณหภูมิ แต่จะไม่มีผลกระทบมากต่อระบบควบคุมโดยรวม

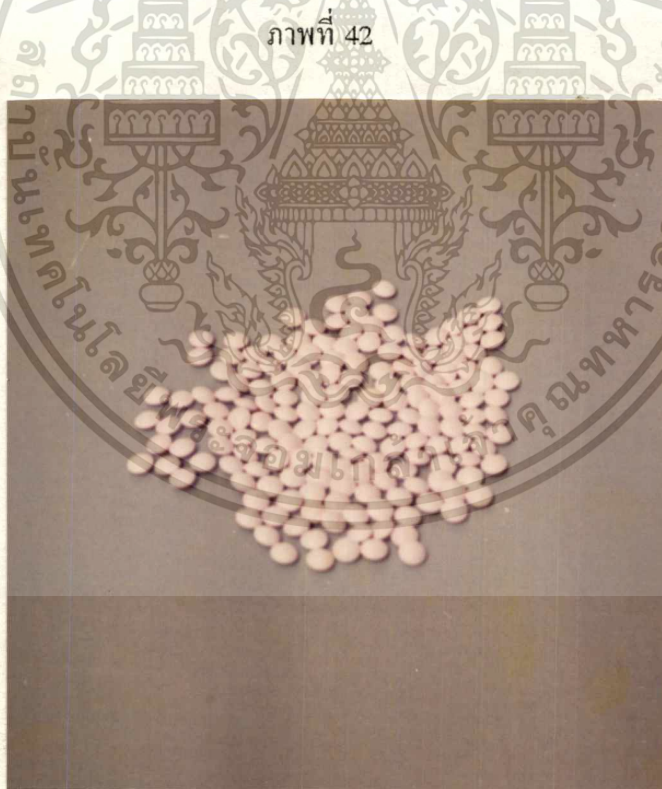
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

ผลการทดลอง

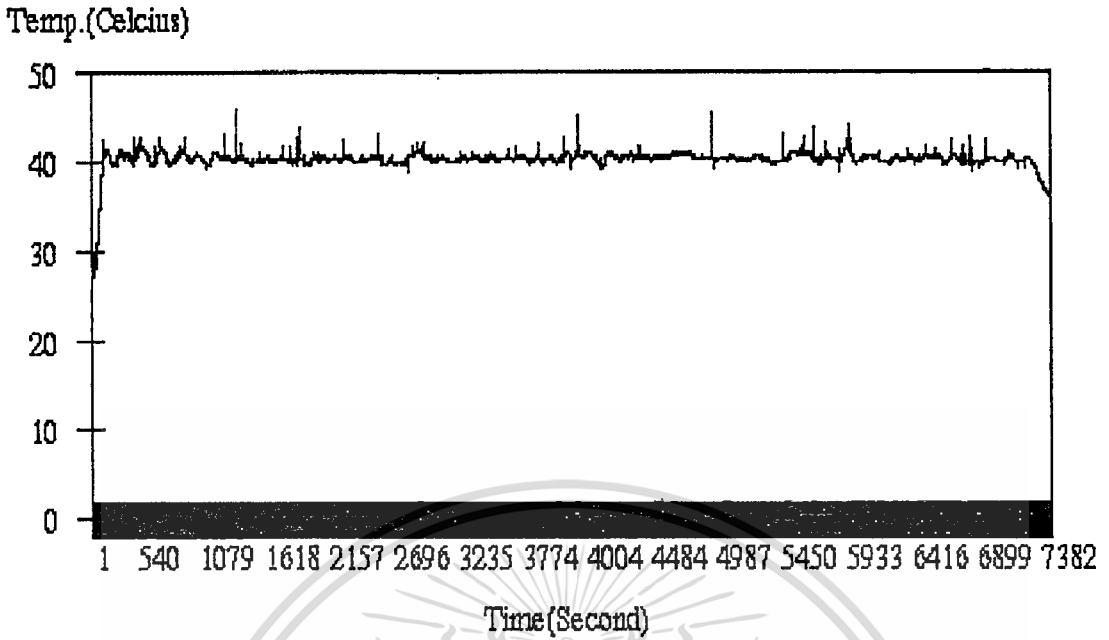
จากการทดลองเคลือบผิวเม็ดยาโดยใช้พารามิเตอร์ต่างๆ ดังที่กล่าวไปแล้ว ผลที่ได้รับนั้นเม็ดยาที่ผ่านการเคลือบผิวแล้วจะมีลักษณะก็คือผิวเนียนเรียบ สีของเม็ดยากลมกลืนตลอดทั้งเม็ดยาโดยที่ไม่มีรอยค่าง ซึ่งเป็นเม็ดยาที่มีคุณสมบัติตามที่ต้องการ ซึ่งในภาพที่ 42 จะแสดงเม็ดยาก่อนทำการเคลือบผิว และภาพที่ 43 แสดงเม็ดยาที่ผ่านการเคลือบผิวเรียบร้อยแล้ว



แสดงเม็ดยาที่ยังไม่ได้รับการเคลือบผิว

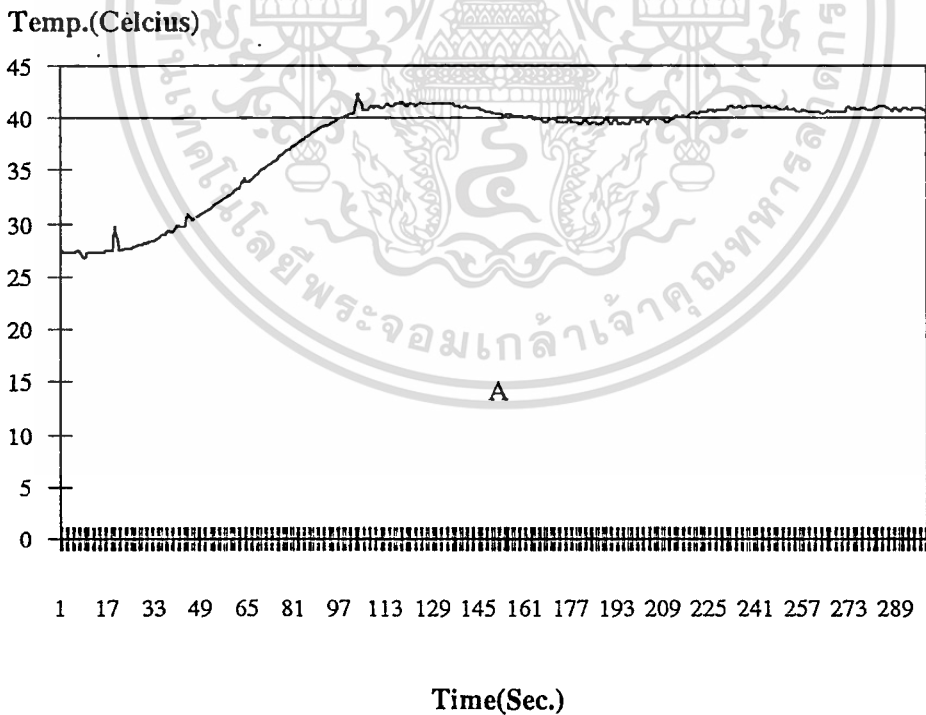
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 44



แสดงกราฟในการควบคุมอุณหภูมิโดยใช้ FLC ในการทดลอง

ภาพที่ 45

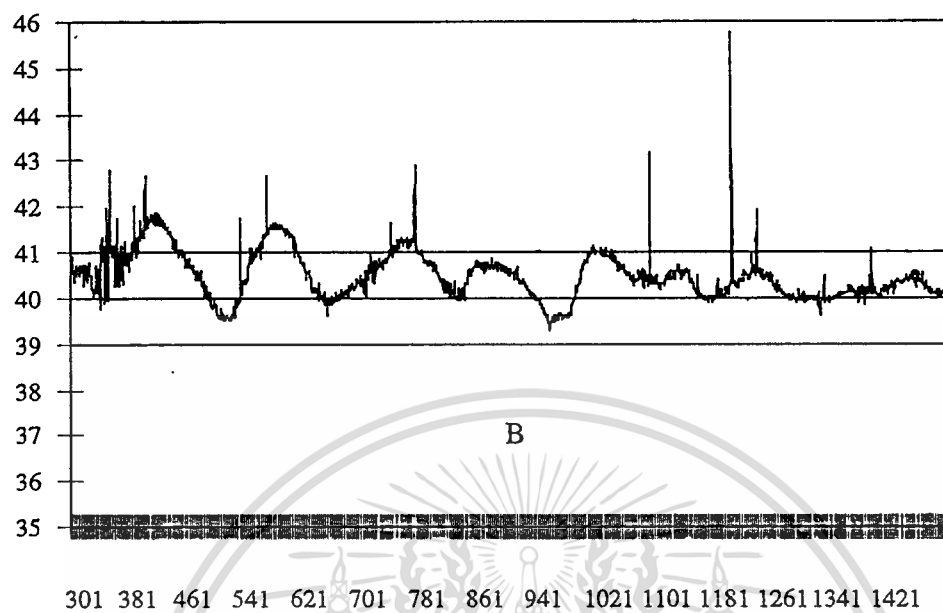


แสดงการควบคุมอุณหภูมิในช่วง 300 วินาทีแรก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 46

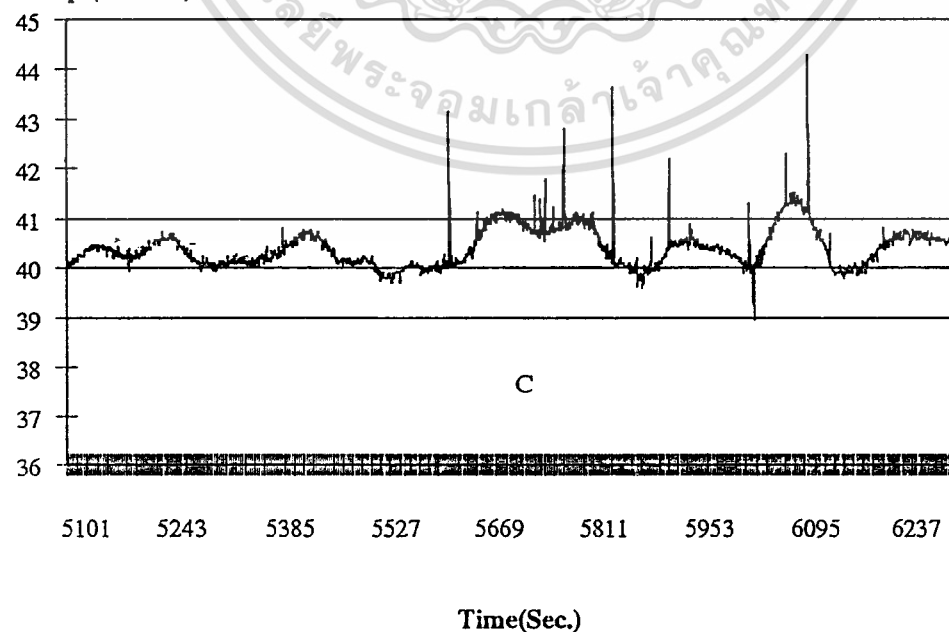
Temp.(Celcius)



แสดงการควบคุมอุณหภูมิในช่วง 301 วินาทีถึง 1500 วินาที

ภาพที่ 47

Temp.(Celcius)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 แสดงการควบคุมอุณหภูมิในช่วง 5101 วินาทีถึง 6300 วินาที
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปผลการวิจัย

ในการสรุปผลการวิจัยจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนของการวิจัยโดยรวม และส่วนของกระบวนการควบคุมอุณหภูมิซึ่ง ในส่วนของการวิจัยโดยรวมนั้น สิ่งที่สำคัญที่สุดก็คือการกำหนดพารามิเตอร์ในการควบคุมการเคลือบผิวเม็ดยา ซึ่งในส่วนนี้มาจากความรู้ความชำนาญของเภสัชกรหรือผู้ทำการควบคุมการเคลือบผิวเม็ดยา และพารามิเตอร์บางอย่างอาจมีความจำเป็นที่จะต้องได้มาจากการทดลองหาค่าที่เหมาะสม ซึ่งในการวิจัยนี้ก็ได้อาศัยทั้ง 2 วิธีนี้ ยกตัวอย่างเช่น ค่าอุณหภูมิที่กำหนดและความเร็วในการหมุนของ PAN และ PUMP จะได้จากการตามเภสัชกรและผู้ที่มีประสบการณ์ในการควบคุมเครื่องเคลือบผิวเม็ดยา ส่วนพารามิเตอร์เกี่ยวกับเวลาในช่วง Drying นั้นได้มาจากการทดลอง ในส่วนของการควบคุมอุณหภูมิโดยใช้ FLC นั้น จะสรุปได้ดังนี้

1. จำนวนของกฎควบคุมฟัซซีนั้น ควรจะพิจารณาเฉพาะกฎที่ใช้เท่านั้น ซึ่งอาจจะเริ่มโดยการใช้กฎควบคุมฟัซซีจำนวนน้อยๆ ก่อน แล้วจึงค่อยๆ เพิ่มกฎที่มีความจำเป็นในการควบคุมกระบวนการเข้ามา เพราะว่าถ้าจำนวนของกฎควบคุมฟัซซีมีจำนวนมากเกินไป จะทำให้การทำงานและตัวควบคุมนั้นใช้เวลามากขึ้นโดยไม่มีประสิทธิภาพ ดังนั้น จึงควรที่จะกำหนดกฎควบคุมฟัซซีที่จำเป็นที่ต้องใช้เท่านั้น ซึ่งในการวิจัยนี้ใช้กฎควบคุมฟัซซีทั้งหมด 15 กฎ ซึ่งสามารถทำการควบคุมได้ดี

2. ผลตอบสนองที่ได้จาก FLC จะพบว่าเมื่อควบคุมอุณหภูมิเข้าสู่สภาวะคงที่ (steady state) จะไม่ได้มีลักษณะเรียบคงที่ แต่จะมีการแกว่งด้วยช่วงความกว้างของคลื่น (amplitude) ขนาดเล็กๆ เป็นรูป sine curve เนื่องจาก FLC พยายามที่จะปรับให้ผลตอบสนองอยู่ในค่าที่กำหนดให้ได้

3. การควบคุมโดยใช้ FLC นั้นจะได้มาจากการประสบการณ์ของผู้ออกแบบกฎควบคุมฟัซซีและฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของตัวแปรอินพุทและเอาต์พุท ซึ่งไม่จำเป็นต้องมีความรู้ด้านทฤษฎีการควบคุมมากนัก แต่จำเป็นที่จะต้องมีความรู้หรือความเชี่ยวชาญในระบบนั้น ซึ่งอาจจะได้มาจากการทดลองและเรียนรู้ ซึ่งในการวิจัยนี้จำเป็นที่จะต้องเรียนรู้การทำงานของเครื่องทำความร้อน โดยจากการทดลองพบว่าเครื่องทำความร้อนมีกำลังไม่มากและมีความตอบสนองช้า ซึ่งถ้าใช้โมเดลทางคณิตศาสตร์มาทำการควบคุมอาจจะทำได้ลำบากและมีความซับซ้อนมาก แต่โดยการใช้ FLC จะทำให้เกิดการออกแบบระบบควบคุมทำได้ง่ายกว่า และให้ผลที่ดี

4. เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นกับระบบอย่างรวดเร็ว โดยไม่ทราบล่วงหน้า เช่นเกิดสัญญาณรบกวนในบางขณะ FLC สามารถที่จะแก้ไขกับปัญหานี้ได้

5. ลักษณะของกฎควบคุมฟัซซีมีลักษณะคล้ายกับภาษามนุษย์ ซึ่งง่ายในการเข้าใจและสะดวกในการออกแบบกฎ โดยผู้เชี่ยวชาญซึ่งอธิบายเป็นภาษามนุษย์มากกว่าคณิตศาสตร์ที่ซับซ้อน

6. การใช้ FLC ในการควบคุมจะมีความเหมาะสมเฉพาะแต่ละระบบเท่านั้น ในการที่จะนำเอา FLC ไปใช้ในระบบอื่นจำเป็นที่จะต้องมีการปรับเปลี่ยนกฎควบคุมฟัซซีและฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของอินพุทและเอาต์พุทหรืออาจจำเป็นที่จะต้องมีการออกแบบระบบควบคุมใหม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อเสนอแนะ

1. ในการวิจัยและพัฒนาต่อไปอาจต้องมีการแก้ปัญหาระบบควบคุมและระบบวัดอุณหภูมิโดยใช้หลักการของ Digital Filter เข้ามาช่วยและ/หรือแก้ปัญหาโดยการแก้ไขอุปกรณ์บางส่วน ซึ่งจะต้องศึกษาหาสาเหตุที่ถูกต้องของผลกระทบดังกล่าวของระบบ
2. สามารถที่จะนำเอาแอปพลิเคชันไปสร้างเป็นฮาร์ดแวร์สำหรับควบคุมได้ต่อไป
3. ในการพัฒนาซอฟต์แวร์ในการควบคุมการทำงานและเครื่องเคลื่อนผิวเม็ดยาในการวิจัยครั้งนี้ ลักษณะการเก็บข้อมูลของพารามิเตอร์ต่างๆ เป็นแบบเพิ่มข้อมูล ซึ่งสามารถพัฒนาส่วนของฐานข้อมูลเพื่อใช้ในการเก็บข้อมูลแทนได้
4. ในการพัฒนาระบบควบคุมที่มีความซับซ้อนมาก ซึ่งเมื่อใช้รูปแบบทางคณิตศาสตร์แล้วทำได้ยากหรือไม่สามารถให้ผลที่ดี พืชซึ่งล่อจิกเป็นทางเลือกวิธีหนึ่งที่สามารถแก้ปัญหาเหล่านี้ให้สำเร็จลุล่วงได้ โดยผู้ที่จะออกแบบระบบโดยใช้ FLC นี้จำเป็นที่จะต้องมีความเชี่ยวชาญและประสบการณ์ในระบบนั้นอย่างดี จึงจะทำให้ผลที่ได้รับเป็นที่น่าพอใจ



บรรณานุกรม

- [1] เอกสารสัมมนาทางวิชาการโดยคณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยกับ YOKOGAWA ELECTRIC CORPORATION (JAPAN), "Fuzzy Control Theory and its application".
- [2] Baker, C. "Fuzzy Logic Control in Flight Control systems," in *Fuzzy Logic and Control*, M. Jamshidi, N. Vadiiee and T. J. Ross, Eds. New Jersey: PTR Prentice-Hall, 1993, pp. 363-373.
- [3] Bernard, J. A. "Use of a Rule-Based System for Process Control," *IEEE Contr. Syst. Mag.*, vol. 8, no. 5, pp. 3-13, October 1988.
- [4] Borland International, "Turbo C User Guide".
- [5] Borland International, "Turbo C Reference Guide".
- [6] Cox, E. "Fuzzy fundamentals," *IEEE Spectrum*, pp. 58-61, October 1992.
- [7] Cox, E. "Adaptive fuzzy systems," *IEEE Spectrum*, pp. 27-31, February 1993.
- [8] Figueiredo, M., Gomide, F., Rocha, A. and Yager, R. "Comparison of Yager's Level Set Method for Fuzzy Logic Control with Mamdani's and Larsen's Methods," *IEEE Transaction on Fuzzy Systems*, vol. 1, no. 2, pp. 156-189, May 1993.
- [9] Gupta, M. M., Trojan, G. M. and Kiszka, J. B. "Controllability of Fuzzy Control Systems," *IEEE Trans. Syst. Man Cybern.*, vol. SMC-16, no. 4, pp. 576-582, July/August 1986.
- [10] Keithley MetraByte Corp., "DAS-8, DAS-8PGA, & DAS-8/AO USER GUIDE," 1985.
- [11] Keithley MetraByte Corp., "DDA-06 MANUAL," 1985.
- [12] Kristjansson, E., Barak, D. and Plummer, K. "Use of Fuzzy Logic Control in Electrical Power Generation," in *Fuzzy Logic and Control*, M. Jamshidi, N. Vadiiee and T. J. Ross, Eds. New Jersey: PTR Prentice-Hall, 1993, pp. 149-170.
- [13] Kumbla, K. K., Moya, J. and Baird, R. "Fuzzy Control of Robotic Manipulator," in *Fuzzy Logic and Control*, M. Jamshidi, N. Vadiiee and T. J. Ross, Eds. New Jersey: PTR Prentice-Hall, 1993, pp. 292-328.
- [14] Lee, C. C. "Fuzzy Logic in Control Systems: Fuzzy Logic Controller-Part I," *IEEE Trans. Syst. Man Cybern.*, vol. 20, no. 2, pp. 404-418, March/April 1990.
- [15] Lee, C. C. "Fuzzy Logic in Control Systems: Fuzzy Logic Controller-Part II," *IEEE Trans. Syst. Man Cybern.*, vol. 20, no. 2, pp. 419-435, March/April 1990.

- [16] Mamdani, E. H. "Application of Fuzzy Logic to Approximate Reasoning Using Linguistic Synthesis," *IEEE Transaction on Computers*, vol. C-26, no. 12, pp. 1102-1191, December 1977.
- [17] Marchbanks, R. D. "A Fuzzy Two-Axis Mirror Controller for Laser Beam Alignment," in *Fuzzy Logic and Control*, M. Jamshidi, N. Vadiie and T. J. Ross, Eds. New Jersey: PTR Prentice-Hall, 1993, pp. 149-170.
- [18] McCauley, J. J. "A Fuzzy-Logic Torque Servo," *The C Users Journal*, pp. 47-64, March 1994.
- [19] Mizumoto, M. "Fuzzy Controls Under Product-Sum-Gravity Methods and New Fuzzy Control Methods," in *Fuzzy Control Systems*, A. Kandel and G. Langholz, Eds. Florida: Boca Raton: CRC Press, 1994, pp. 275-294.
- [20] Rutherford, D. A. and Bloore, G. C. "The Implementation of Fuzzy Algorithm for Control." *Proceeding of The IEEE*, pp. 572-573, April 1976.
- [21] Schwartz, D. G. and Kilr, G. J. "Fuzzy logic flowers in Japan;" *IEEE Spectrum*, pp. 32-35, July 1992.
- [22] Takagi, T. and Sugeno, M. "Fuzzy Identification of Systems and ITs Applications to Modeling and Control," *IEEE Trans. Syst. Man Cybern.*, vol. SMC-15, no. 1, pp. 116-132, Jan./Feb. 1985.
- [23] Tang, K. L. and Mulholland, R. J. "Comparing Fuzzy Logic whith Classical Controller Designs," *IEEE Trans. Syst. Man Cybern.*, vol. SMC-17, no. 6, pp. 1085-1087, Nov./Dec. 1987.
- [24] Zadeh, L. A. "Outline of a New Approach to the Analysis of Complex Systems and Decision Processess," *IEEE Trans. Syst. Man Cybern.*, vol. SMC-3, no. 1, pp. 28-44, January 1973.
- [25] Zadeh, L. A. "Fuzzy Logic," *IEEE Computer*, pp. 83-93, April 1988.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การ์ดทำหน้าที่แปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัลใช้การ์ดของบริษัท Keithley MetraByte Corporation รุ่น DAS-8PGA ซึ่งสามารถทำการเขียนโปรแกรมเพื่อใช้งานได้โดยที่จะต้องมีความเข้าใจในเรื่องดังต่อไปนี้ (จะอธิบายเฉพาะที่นำไปใช้ในการวิจัยเท่านั้น สำหรับรายละเอียดดูได้จากบรรณานุกรมในเรื่อง "DAS-8, DAS-8PGA, & DAS-8/AO USER GUIDE")

I/O Address Map ของ DAS-8PGA

ตารางที่ 16 นี้จะแสดง I/O Address Map ของ DAS-8PGA

ตารางที่ 16

I/O Address Map ของ DAS-8PGA

ADDRESS	READ	WRITE
BASE ADDRESS+0	A/D Lo byte	Start 8 bit A/D conversion
+1	A/D Hi byte	Start 12 bit A/D conversion
+2	STATUS register	CONTROL register
+3	Status & Gain	Gain Control Register
+4	Read Counter 0	Load Counter 0
+5	Read Counter 1	Load Counter 1
+6	Read Counter 2	Load Counter 2
+7	-	Counter control

โดยที่ BASE ADDRESS ทำได้โดยการ DIP switch ที่การ์ด ซึ่งวิธีการในการ DIP switch และการเลือก BASE ADDRESS ที่เหมาะสม สามารถดูได้จาก "DAS-8, DAS-8PGA, & DAS-8/AO USER GUIDE" สำหรับในการวิจัยนี้ใช้ BASE ADDRESS &H310

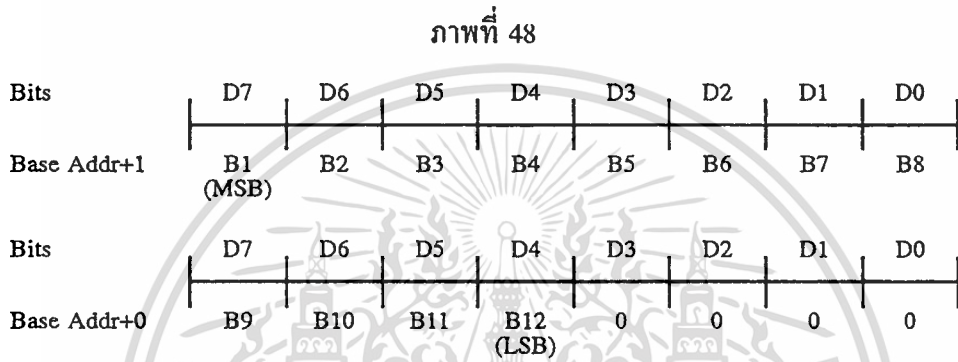
การเริ่มต้นการแปลง A/D

การแปลง A/D จะเริ่มต้นโดยการเขียนที่ตำแหน่ง BASE ADDRESS+0 หรือ BASE ADDRESS+1 ถ้าเขียนที่ BASE ADDRESS+1 การแปลง A/D จะใช้ 12-bit เต็ม แต่ถ้าเขียนที่ BASE ADDRESS+0 จะเป็นการแปลง 8-bit การแปลง 12-bit จะทำการแปลงให้สมบูรณ์ใช้เวลาสูงสุดไม่เกิน 35 microseconds และการแปลง 8-bit จะใช้เวลาในการแปลงสูงสุดน้อยกว่า 25 microseconds สำหรับในการวิจัยนี้ใช้การแปลง 12-bit ซึ่งสามารถเขียนแสดงได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกับ `outputb(BASADR+1, 0);` ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปแบบข้อมูล A/D

สุดท้ายของกระบวนการแปลง ข้อมูลจาก A/D อาจจะอ่านจากตำแหน่ง BASE ADDRESS+0 และ BASE ADDRESS+1 ข้อมูลจะเป็นไปตามการทำตามลำดับ Intel Low Byte/High Byte BASE ADDRESS+1 ประกอบด้วย most significant 8 bits (MSB) จากการแปลง และ Least Significant 4 bits (LSB) ตามด้วยศูนย์ 4 bit ซึ่งอ่านได้จาก BASE ADDRESS+0 ดังแสดงในภาพที่ 48



แสดงรูปแบบข้อมูล A/D

ข้อมูลของ A/D bit B1-B12 จะตรงกับ offset binary code ดังแสดงในตารางที่ 17

ตารางที่ 17

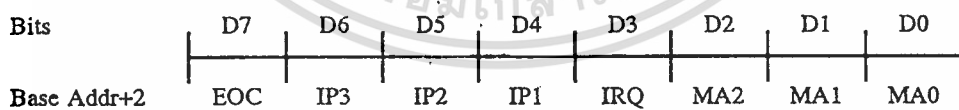
Offset Binary Code

BINARY	HEX	ANALOG INPUT VOLTAGE
0000 0000 0000	000	-5.0000 V (-Full scale)
0000 0000 0001	001	-4.9976 V
...
0100 0000 0000	400	-2.5000 V
...
1000 0000 0000	800	±0V (zero)
1000 0000 0001	801	+0.0024 V
...
1100 0000 0000	C00	+2.5000 V (+1/2 scale)
...
1111 1111 1111	FFF	+4.9976 V (+Full scale)

DAS-8PGA Status Register (อ่านเพียงอย่างเดียว)

Status Register นี้เป็น Register ที่อ่านเพียงอย่างเดียว ซึ่งเป็นการเตรียมการปฏิบัติการข้อมูลของ DAS-8PGA ซึ่งจะแสดงได้ดังภาพที่ 49

ภาพที่ 49



แสดงข้อมูลสำหรับการอ่าน Status Register

BASE ADDRESS bit ต่าง ๆ เฉพาะที่ใช้มีความหมายดังนี้

EOC หมายถึง การสิ้นสุดการแปลง (End of conversion) ถ้า EOC เป็น Logic 1 ข้อมูลจะไม่ถูกอ่านในเงื่อนไขนี้เพราะมันจะไม่ถูกต้อง ซึ่งจะคอยจนกว่า EOC เป็น Logic 0 จึงจะได้ข้อมูลที่ถูกต้องในการนำไปใช้

IP3-IP1 หมายถึง bit เหล่านี้ตรงกับ Digital Input Port IP3, IP2 และ IP1 โดยอาจจะใช้

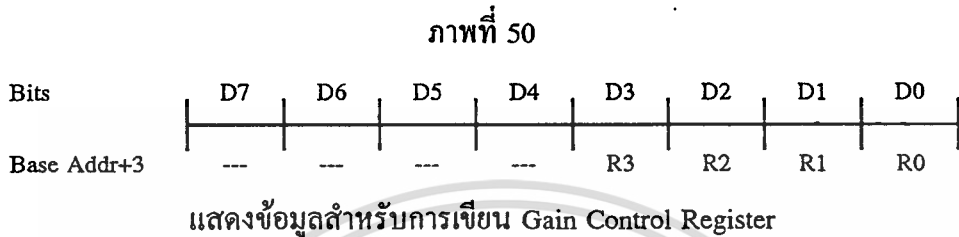
สำหรับข้อมูลที่เป็น Digital Input ต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DAS-8PGA Gain Control Register (เขียน)

Gain Control Register เป็นการกำหนด Programmable Gain Amplifier สำหรับ DAS-8PGA สำหรับการวิจัยจะทำการเขียน register เพื่อกำหนดช่วง Input (Gain) ที่ตำแหน่ง BASE ADDRESS+3 ซึ่งรูปแบบข้อมูลแสดงดังภาพที่ 50



โดยที่ R3-R0 สามารถเลือกช่วง Input ดังตารางที่ 18

ตารางที่ 18
ช่วง Input (Gain)

R3	R2	R1	R0	RANGE
0	0	0	0	±5V (Bipolar)
1	0	0	0	±10V (Bipolar)
1	0	0	1	+10V (Unipolar)
1	0	1	0	±0.5V (Bipolar)
1	0	1	1	+1V (Unipolar)
1	1	0	0	±0.05V (Bipolar)
1	1	0	1	+0.1V (Unipolar)
1	1	1	0	±0.01V (Bipolar)
1	1	1	1	+0.02V (Unipolar)

การเชื่อมต่อ MAIN I/O ของ DAS-8PGA

การเชื่อมต่อ MAIN I/O ของ DAS-8PGA สามารถทำได้โดยดูจากตารางที่ 19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 19

การเชื่อมต่อ MAIN I/O ของ DAS-8PGA

PIN	NAME	FUNCTION
01	+12 V	+12 V from PC Buss Power Supply
02	CLK 0	8254 Counter 0 clock input
03	OUT 0	8254 Counter 0 output
04	CLK 1	8254 Counter 1 clock input
05	OUT 1	8254 Counter 1 output
06	OUT 2	8254 Counter 2 output
07	OP1	Digital output 1
08	OP2	Digital output 2
09	OP3	Digital output 3
10	OP4	Digital output 4
11	DIGITAL COMMON	Digital Common
12	IN7-	Channel 7 Analog Input (-)
13	IN6-	Channel 6 Analog Input (-)
14	IN5-	Channel 5 Analog Input (-)
15	IN4-	Channel 4 Analog Input (-)
16	IN-	Channel 3 Analog Input (-)
17	IN2-	Channel 2 Analog Input (-)
18	IN1-	Channel 1 Analog Input (-)
19	IN0-	Channel 0 Analog Input (-)
20	-12 V	-12 V from PC Buss Power Supply
21	GATE0	8254 Counter 0 gate input.
22	GATE1	8254 Counter 1 gate input
23	GATE2	8254 Counter 2 gate input
24	INT IN	Interrupt input ("+" edge triggered)
25	IP1	Digital input 1
26	IP2	Digital input 2
27	IP3	Digital input 3

ตารางที่ 19

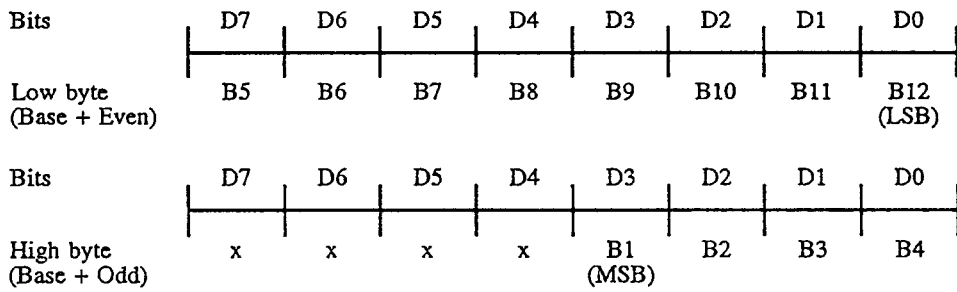
การเชื่อมต่อ MAIN I/O ของ DAS-8PGA (ต่อ)

PIN	NAME	FUNCTION
28	DIGITAL COMMON	Digital Common
29	+5 V	+5 V from PC Buss Power Supply
30	IN7+	Channel 7 Analog Input (+)
31	IN6+	Channel 6 Analog Input (+)
32	IN5+	Channel 5 Analog Input (+)
33	IN4+	Channel 4 Analog Input (+)
34	IN3+	Channel 3 Analog Input (+)
35	IN2+	Channel 2 Analog Input (+)
36	IN1+	Channel 1 Analog Input (+)
37	IN0+	Channel 0 Analog Input (+)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 51



แสดงรูปแบบข้อมูลการเขียนของ D/A

โดยที่ MSB = Most significant bit

LSB = Least significant bit

X = ไม่สนใจ

สำหรับ unipolar (0 ถึง Full Scale(F.S)) แสดงโดยเลขฐานสองได้ดังนี้

0000 0000 0000 ศูนย์
 1000 0000 0000 1/2 scale
 1111 1111 1111 + F.S. (ลบ 1 bit)

สำหรับ bipolar(-F.S.E ถึง +F.S.) แสดงโดยเลขฐานสองได้ดังนี้

0000 0000 0000 -F.S.
 1000 0000 0000 ศูนย์
 1111 1111 1111 +F.S.(ลบ 1 bit)

การอ่านและเขียนไปยัง digital I/O port

อันดับแรกต้องเขียนไปยัง control register เพื่อกำหนด port configuration สำหรับตารางที่ 22

แสดง control code ที่เขียนไปยัง control register(BASE +F)

ตารางที่ 22

Control Code

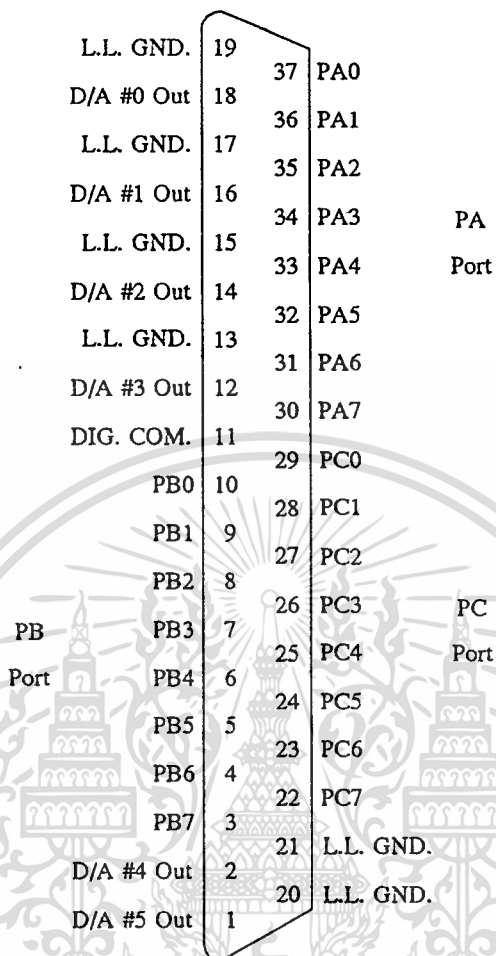
PA	PB	PC	Control Code (Hex)
Input	Input	Input	9B
Input	Input	Output	92
Input	Output	Input	99
Input	Output	Output	90
Output	Input	Input	8B
Output	Input	Output	82
Output	Output	Input	89
Output	Output	Output	80

สำหรับการวิจัยจะใช้ในการเขียนไปยัง digital I/O port โดยกำหนด control code เป็น 80 ฐานสิบหก

การกำหนดการเชื่อมต่อ

ภาพที่ 52 แสดง 37 pin D connector ตัวผู้ ซึ่งแสดงการเชื่อมต่อที่สามารถทำได้

ภาพที่ 52



แสดง 37 pin D scale connector

การ์ดทำหน้าที่แปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นอนาลอกใช้การ์ดของบริษัท Keithley Metrabyte Corporation รุ่น DDA-06 ซึ่งสามารถที่จะทำการเขียนโปรแกรมเพื่อใช้งานได้โดยจะต้องมีความเข้าใจในเรื่องต่อไปนี้ (จะอธิบายเฉพาะที่ใช้ในการวิจัยเท่านั้น สำหรับรายละเอียดดูได้จากบรรณานุกรมในเรื่อง "DDA-06 MANUAL")

การกำหนดเอาต์พุตของ D/A

D/A มีทั้งหมด 6 channels ซึ่งแต่ละ Channel สามารถที่จะกำหนดเอาต์พุตได้เป็น Voltage(V) และ current(I) โดยการใช้ jumper และสามารถกำหนดช่วงของเอาต์พุตได้โดยการ DIP switch โดยที่ช่วงของเอาต์พุตที่สนับสนุนกำหนดไว้ในตารางที่ 20 ในส่วนของรายละเอียดในการกำหนด jumper และการ DIP switch สามารถดูได้จาก "DDA-06 MANUAL"

ตารางที่ 20

ช่วง output ที่สนับสนุนของ D/A

RANGE	SLIDER A	SLIDER B	SLIDER C
0 - +5v	Left	Right	Left
0 - + 10v	Left	Left	Left
-2.5 - +2.5v	Left	Right	Right
-5 - +5v	Left	Left	Right
-10 - +10v	Right	Left	Right
4 - 20mA	Left	Right	Left

I/O MAP

DDA-06 ใช้ 16 address ที่ต่อเนื่องกันใน IBM PC I/O address Base หรือ starting address จะเลือก BASE ADDRESS ได้โดยการ dipswitch (รายละเอียดดูได้จาก "DDA-06 MANUAL") ซึ่งในตารางที่ 21 จะแสดงตำแหน่งและหน้าที่ของแต่ละ I/O ADDRESS สำหรับในการวิจัยนี้ใช้ BASE ADDRESS &H300

ตารางที่ 21

I/O MAP

I/O ADDRESS (Hex)	FUNCTION
Base + 0	D/A 0 Low byte (W)
Base + 1	D/A 0 High byte (W)
Base + 2	D/A 1 Low byte (W)
Base + 3	D/A 1 High byte (W)
Base + 4	D/A 2 Low byte (W)
Base + 5	D/A 2 High byte (W)
Base + 6	D/A 3 Low byte (W)
Base + 7	D/A 3 High byte (W)
Base + 8	D/A 4 Low byte (W)
Base + 9	D/A 4 High byte (W)
Base + A	D/A 5 Low byte (W)
Base + B	D/A 5 High byte (W)
Base + C	PA port (R/W)
Base + D	PB port (R/W)
Base + E	PC port (R/W)
Base + F	Control (W)

โดยชนิดของหน้าที่ Register จะแสดงได้ดังนี้

(R) - อ่านอย่างเดียว

(W) - เขียนอย่างเดียว

(R/W) - อ่านและเขียน

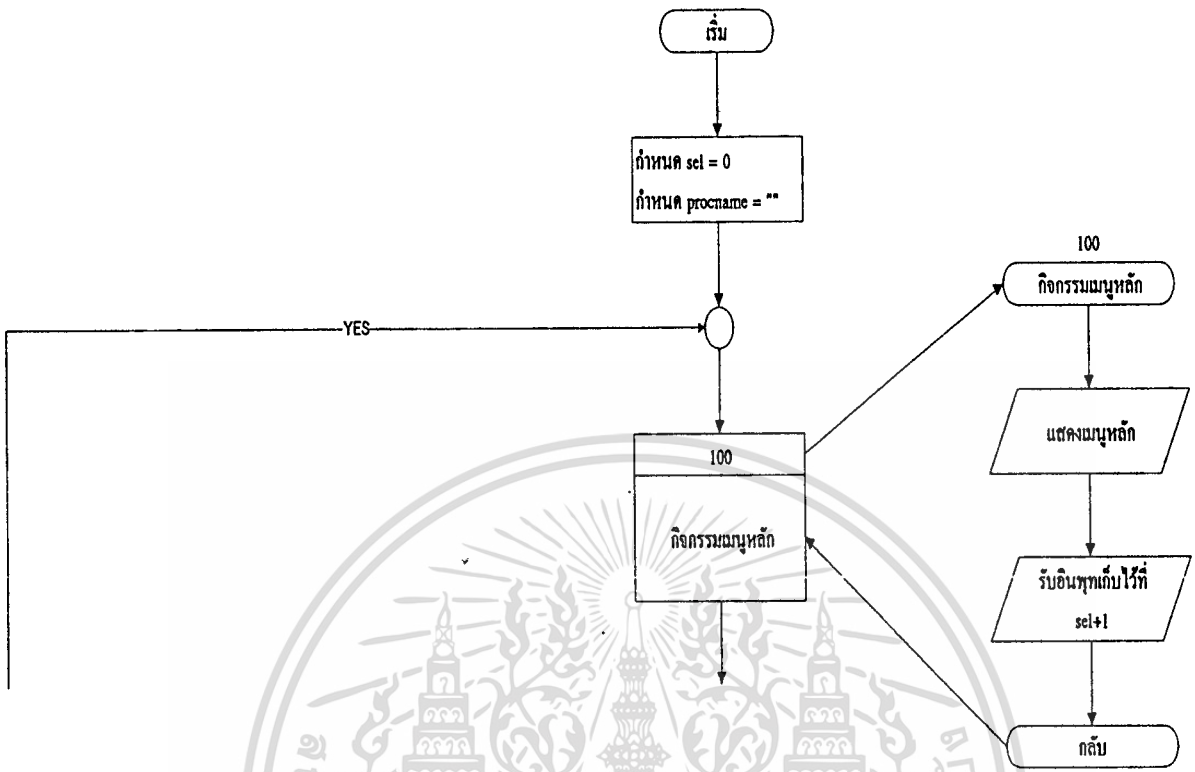
รูปแบบข้อมูล

ข้อมูลที่เขียนไปยัง D/A จะอยู่ในรูปแบบที่แสดงได้ดังภาพที่ 51



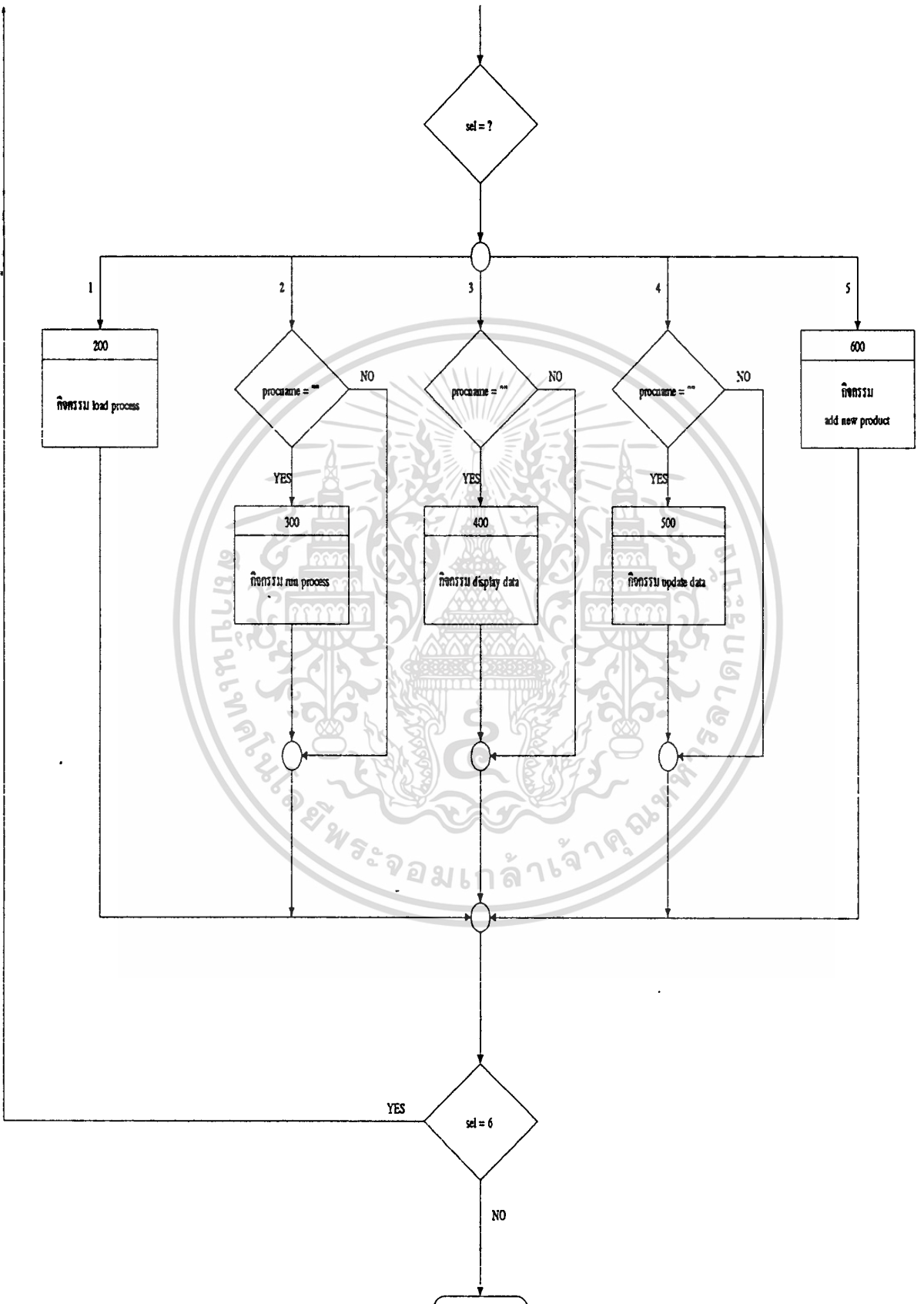
ภาคผนวก ก.
ผังโปรแกรมโครงสร้างของโปรแกรม

ภาพที่ 53



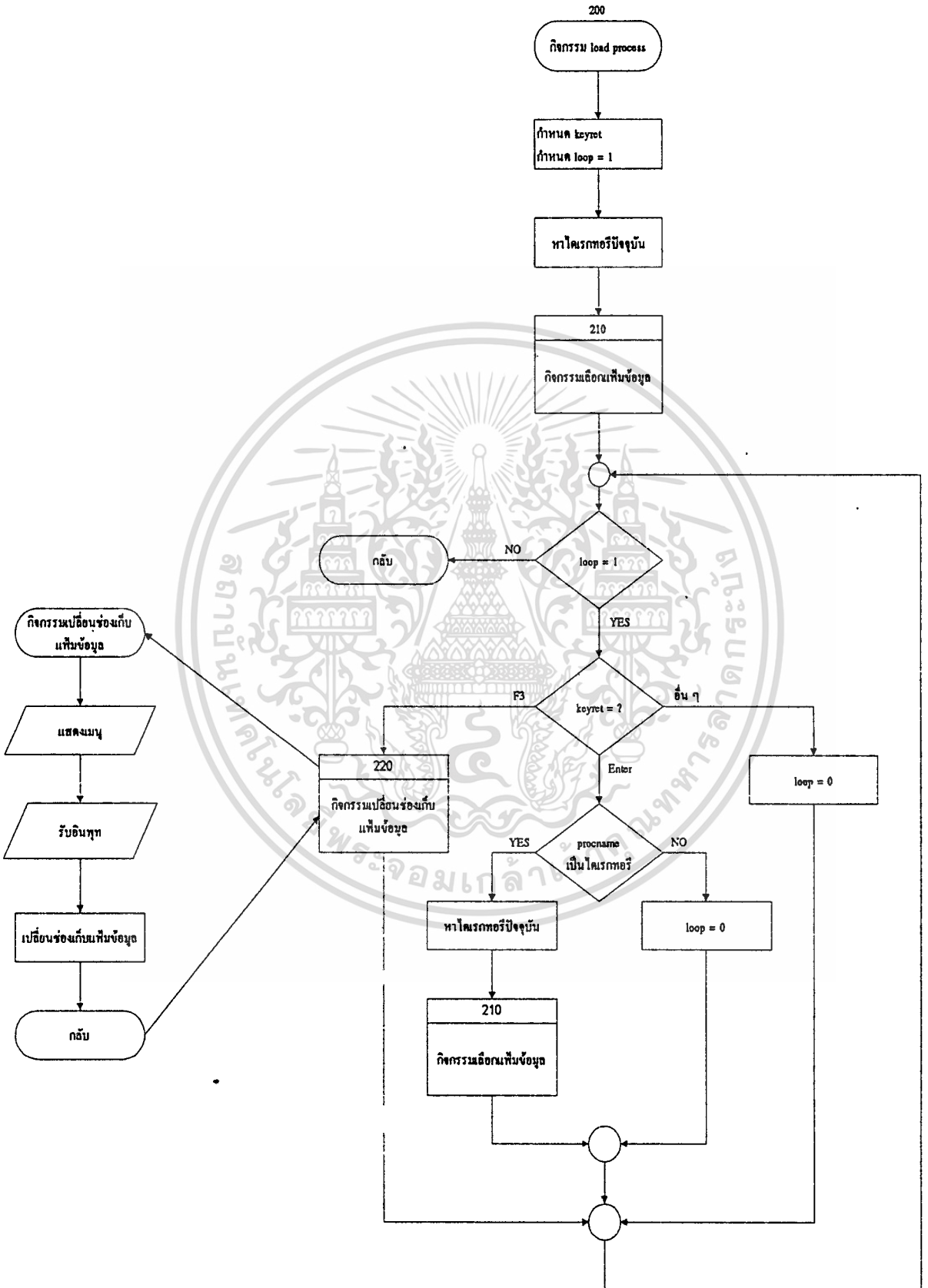
แสดงผังโปรแกรมโครงสร้างของเมนูหลัก

ภาพที่ 53



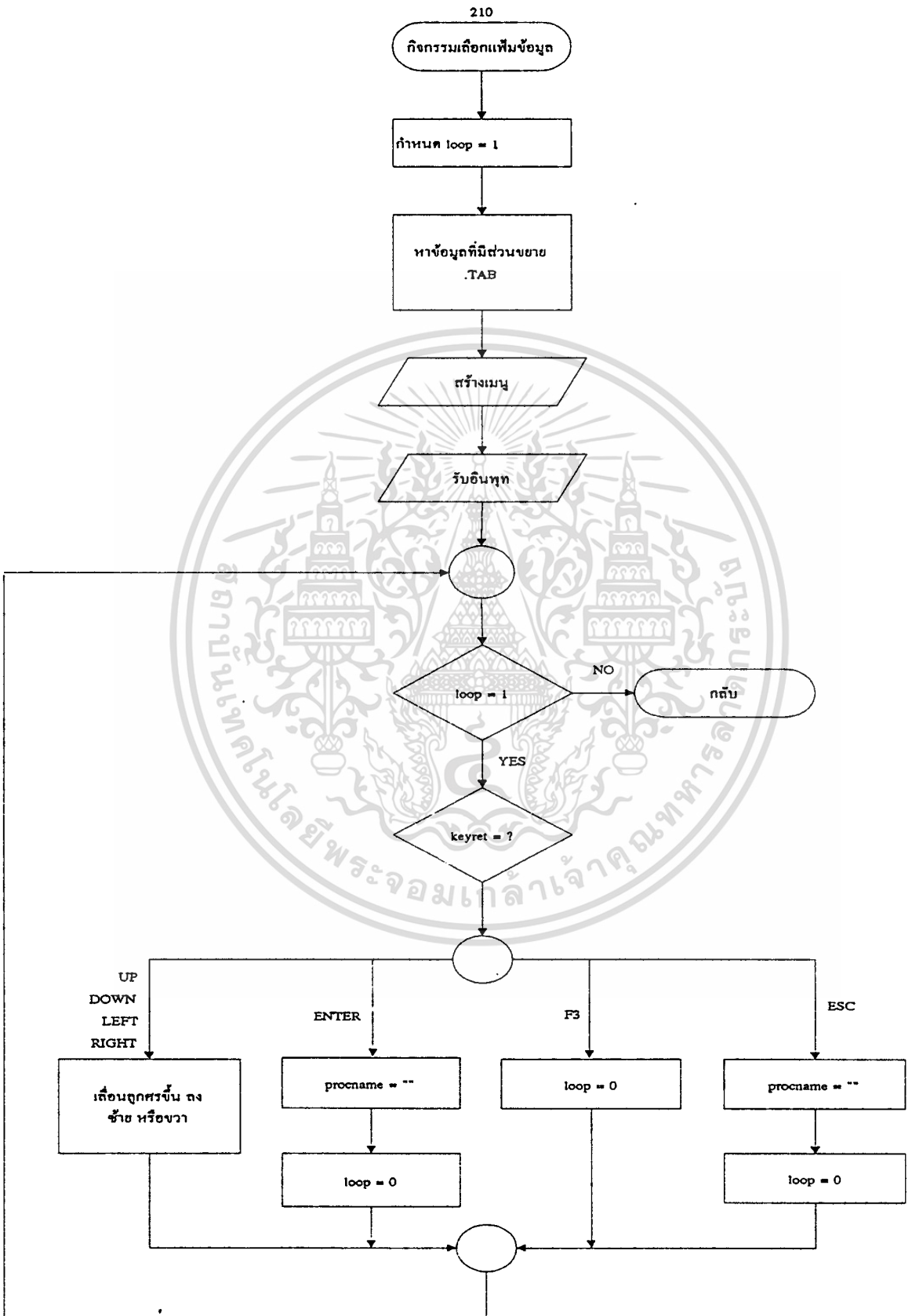
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
แสดงผังโปรแกรมโครงสร้างของเมนูหลัก (ต่อ)
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดเบงงเนื้อหา และต้องอยู่ ใงองถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 54



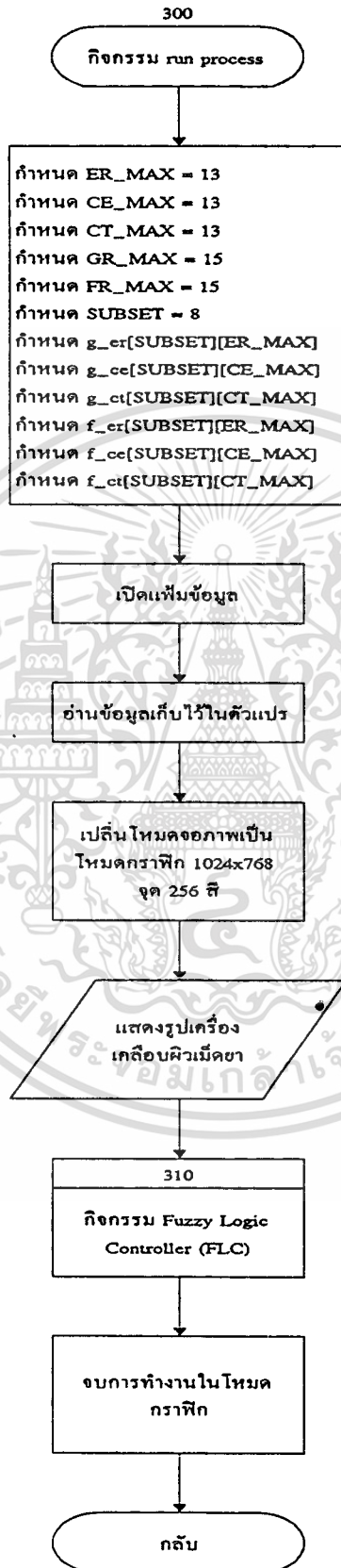
เอกสารนี้เป็นเอกสารแสดงผังโปรแกรมโครงสร้างของกิจกรรม load process ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 55



เอกสารนี้เป็นเอกสารแสดงผังโปรแกรมโครงสร้างของกิจกรรมเลือกเพิ่มข้อมูล หน้าไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

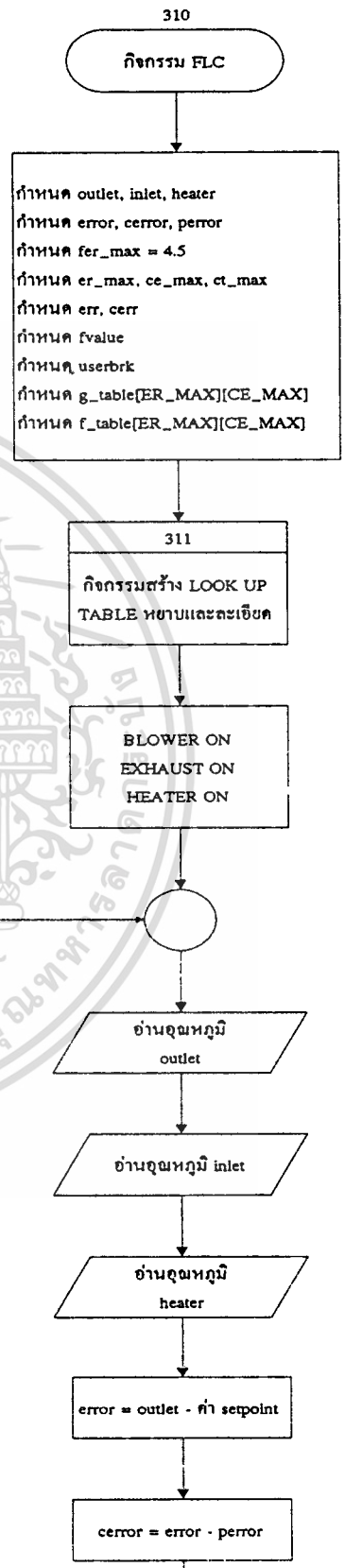
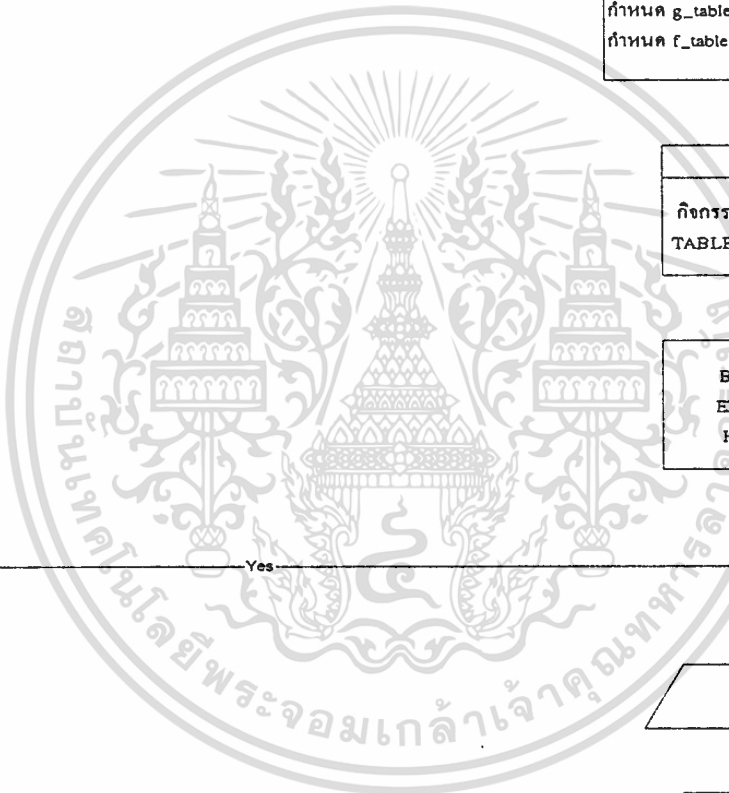
ภาพที่ 56



แสดงผังโปรแกรมโครงสร้างของกิจกรรม run process

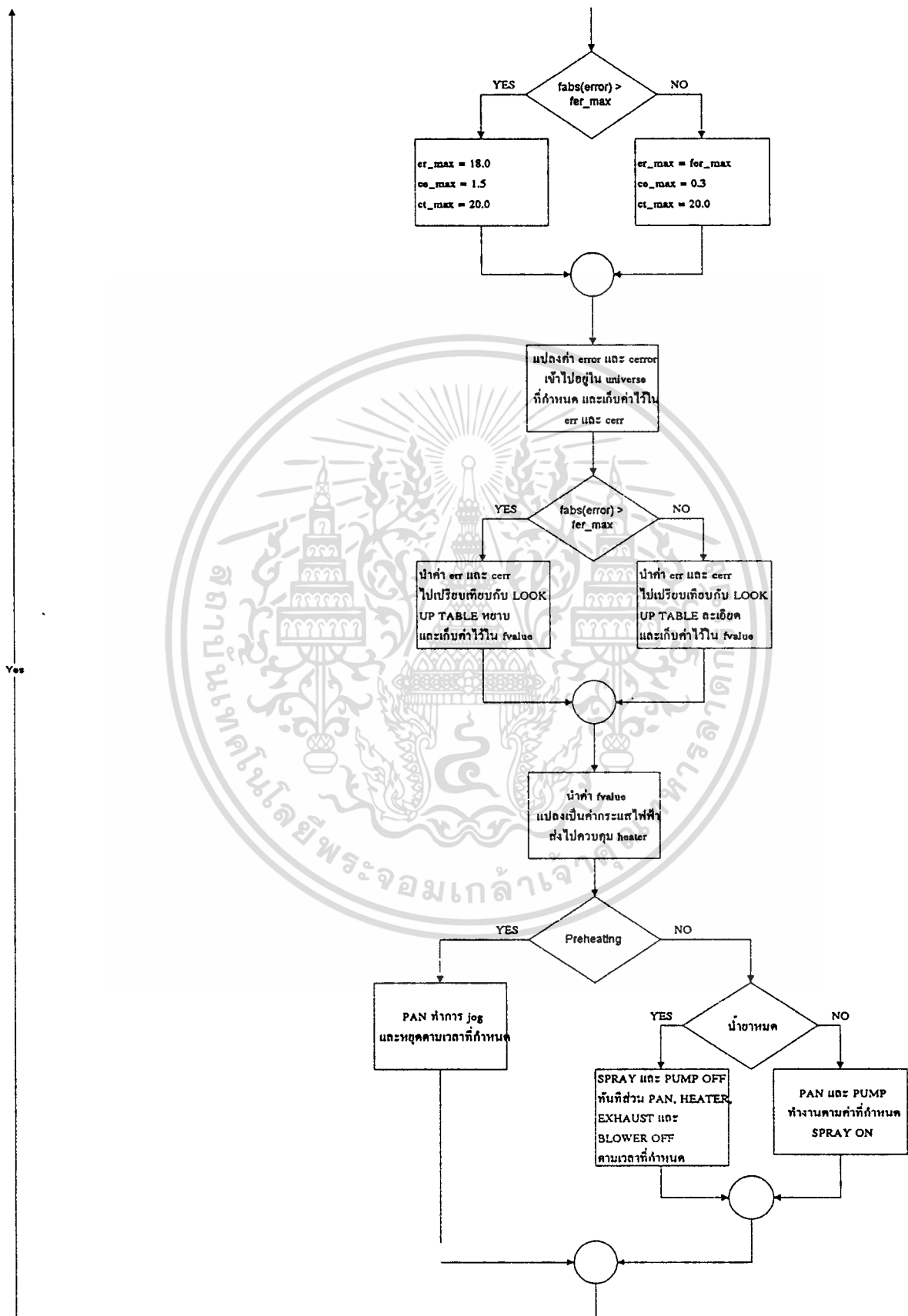
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 57



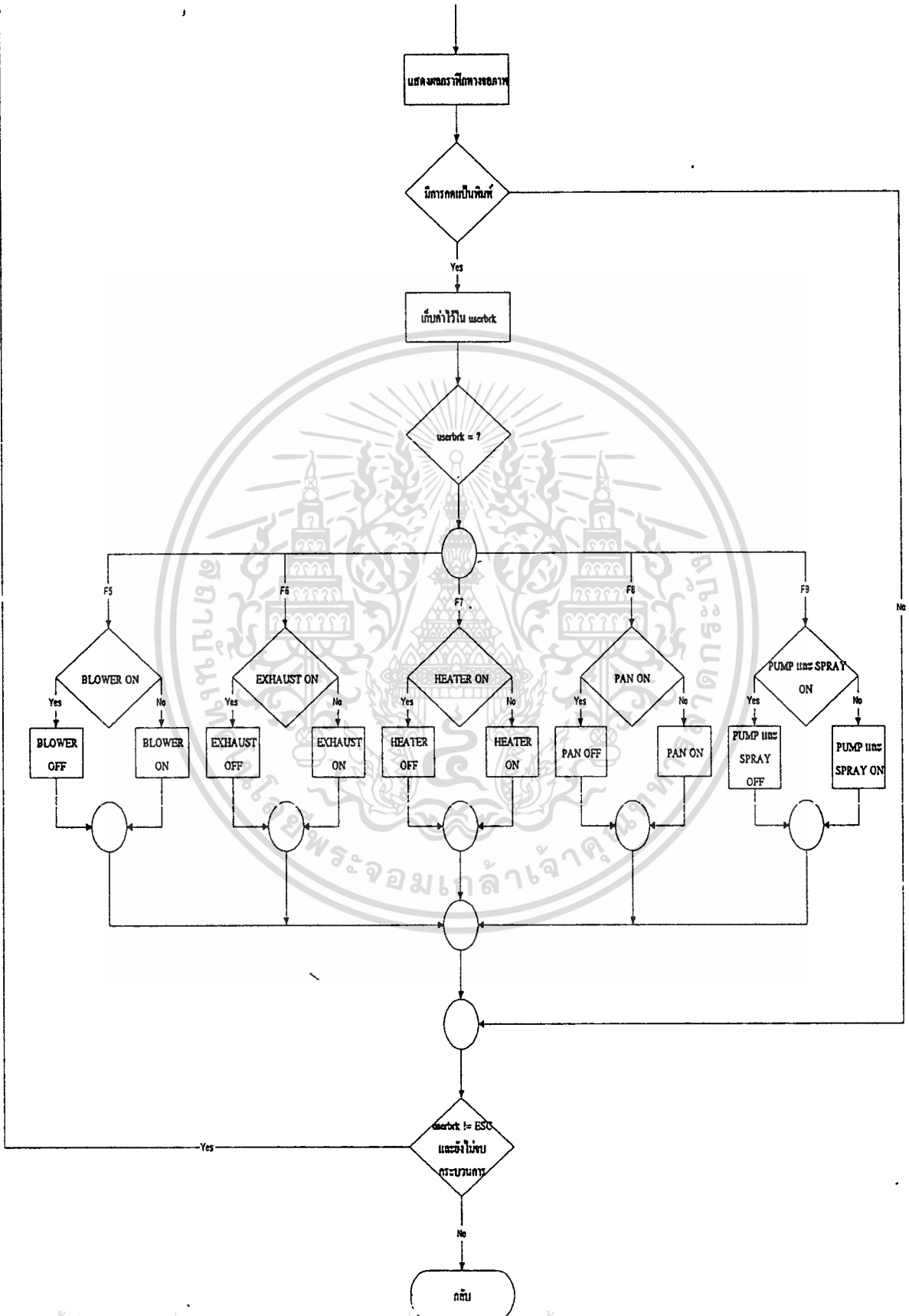
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
แสดงผังโปรแกรมโครงสร้างของกิจกรรม FLC
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 57



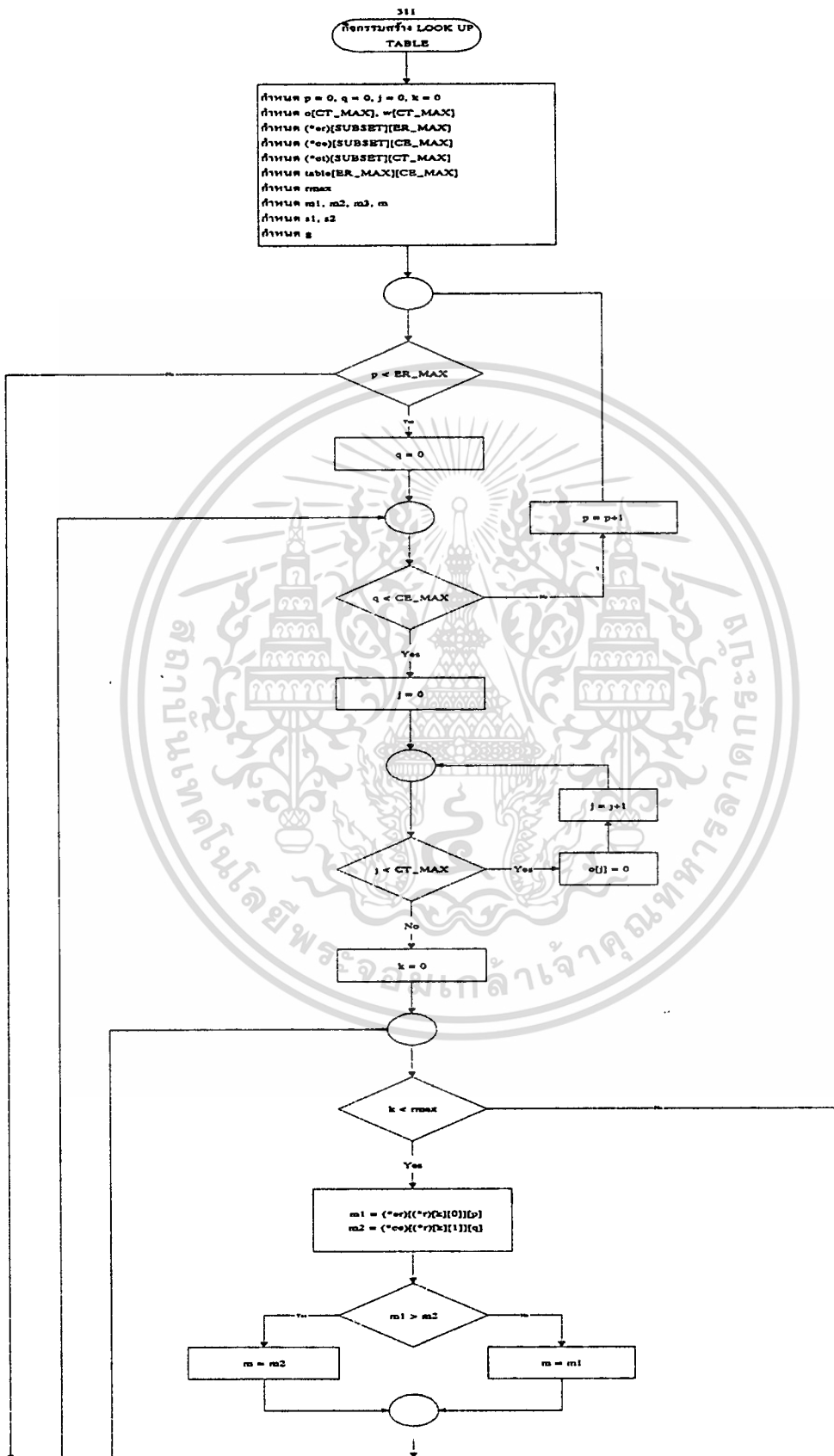
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์และจะใช้งานเพื่อการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
แสดงผัง โปรแกรม โครงสร้างของกิจกรรม FLC (ต่อ)
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 57



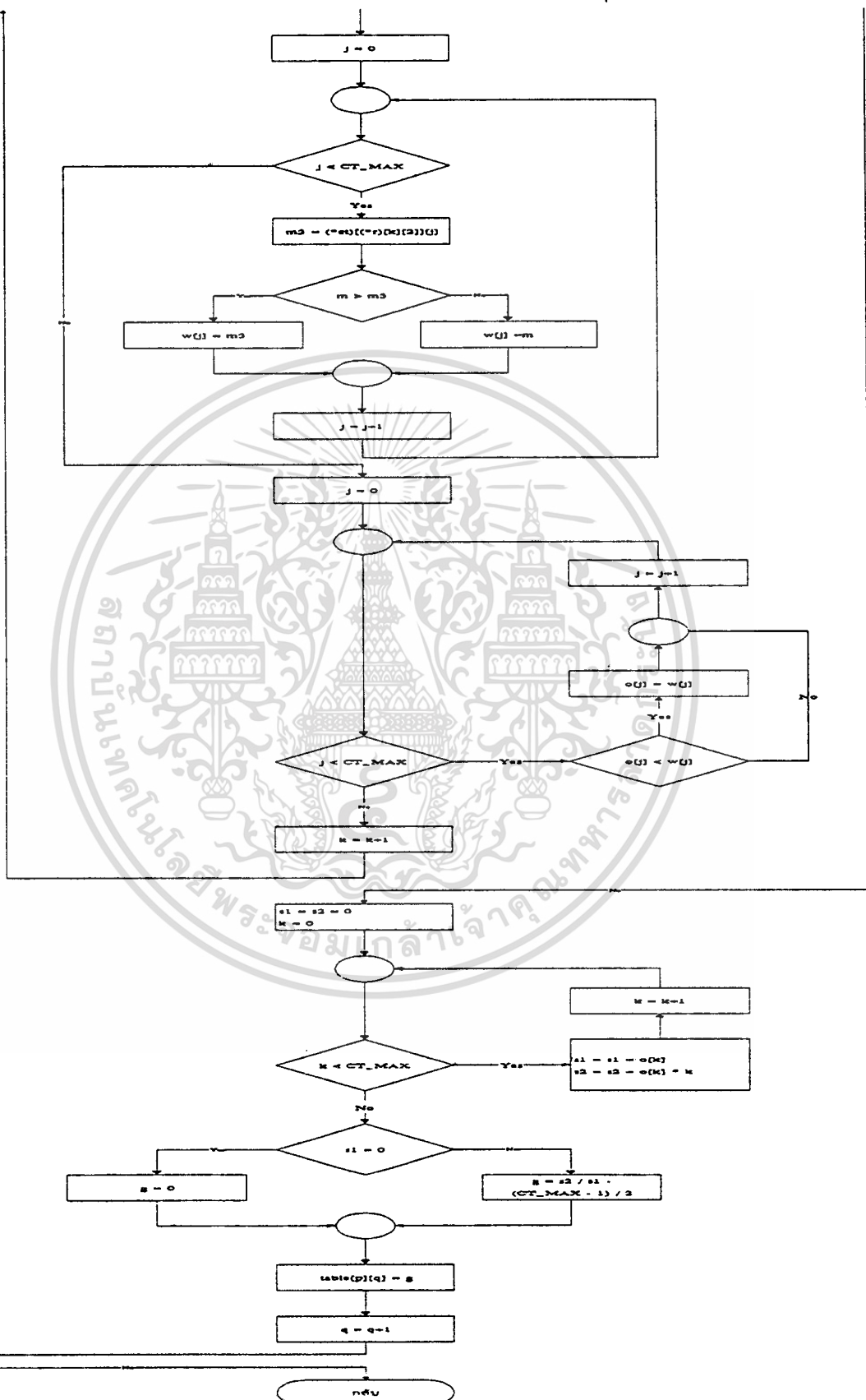
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในการดำเนินงานเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
แสดงผัง โปรแกรม โครงสร้างของกิจกรรม FLC (ต่อ)
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 58



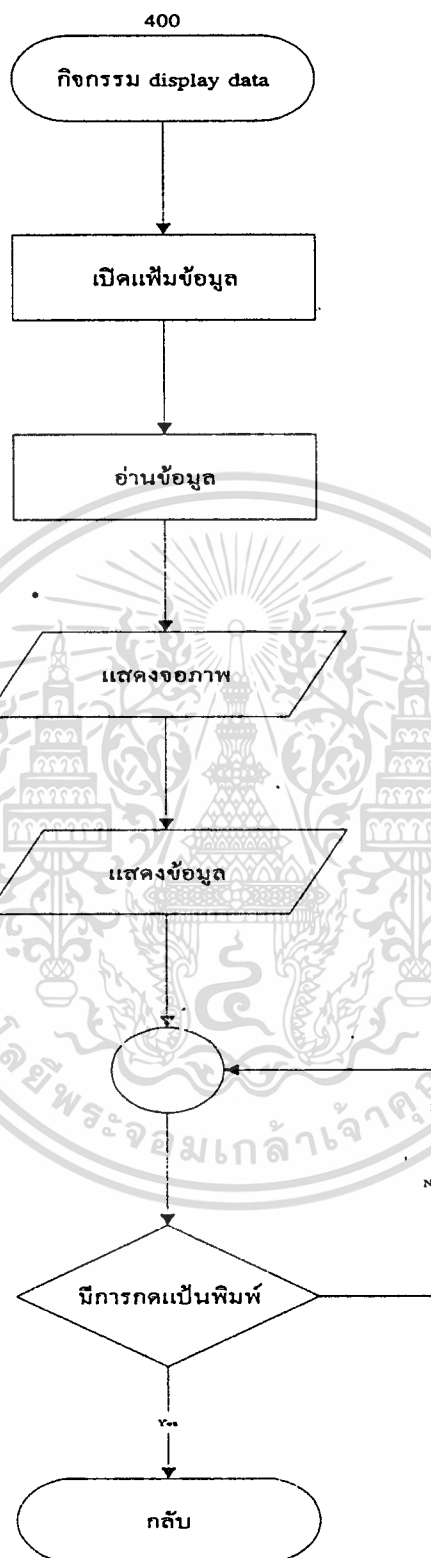
เอกสารนี้เป็นเอกสารแสดงผังโปรแกรมโครงสร้างของกิจกรรมสร้าง LOOK UP TABLE ใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 58



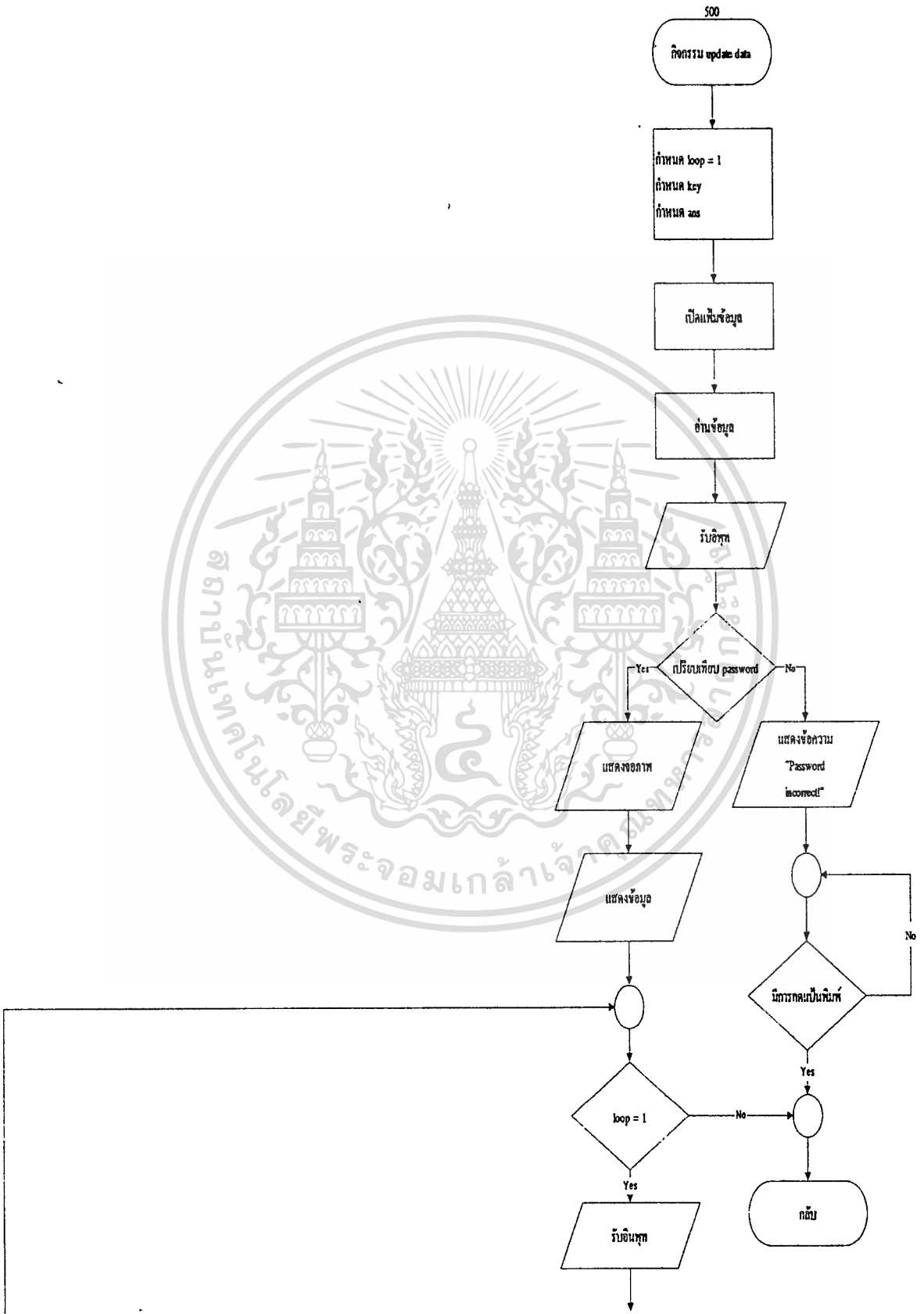
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการดำเนินงานของกรมส่งเสริมการค้าระหว่างประเทศ กระทรวงพาณิชย์ ไม่สามารถนำข้อมูลไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 59



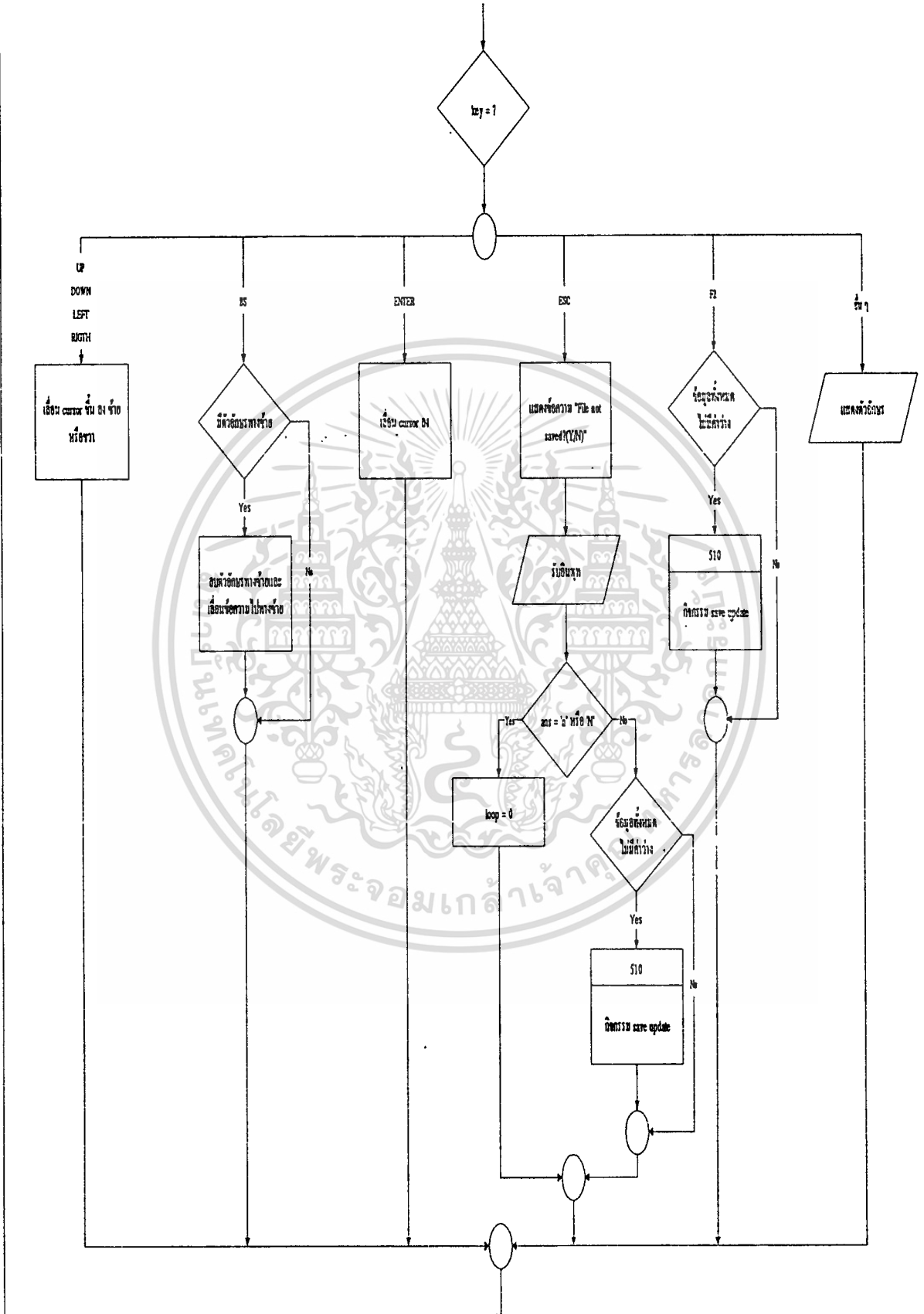
แสดงผังโปรแกรมโครงสร้างของกิจกรรม display data

ภาพที่ 60



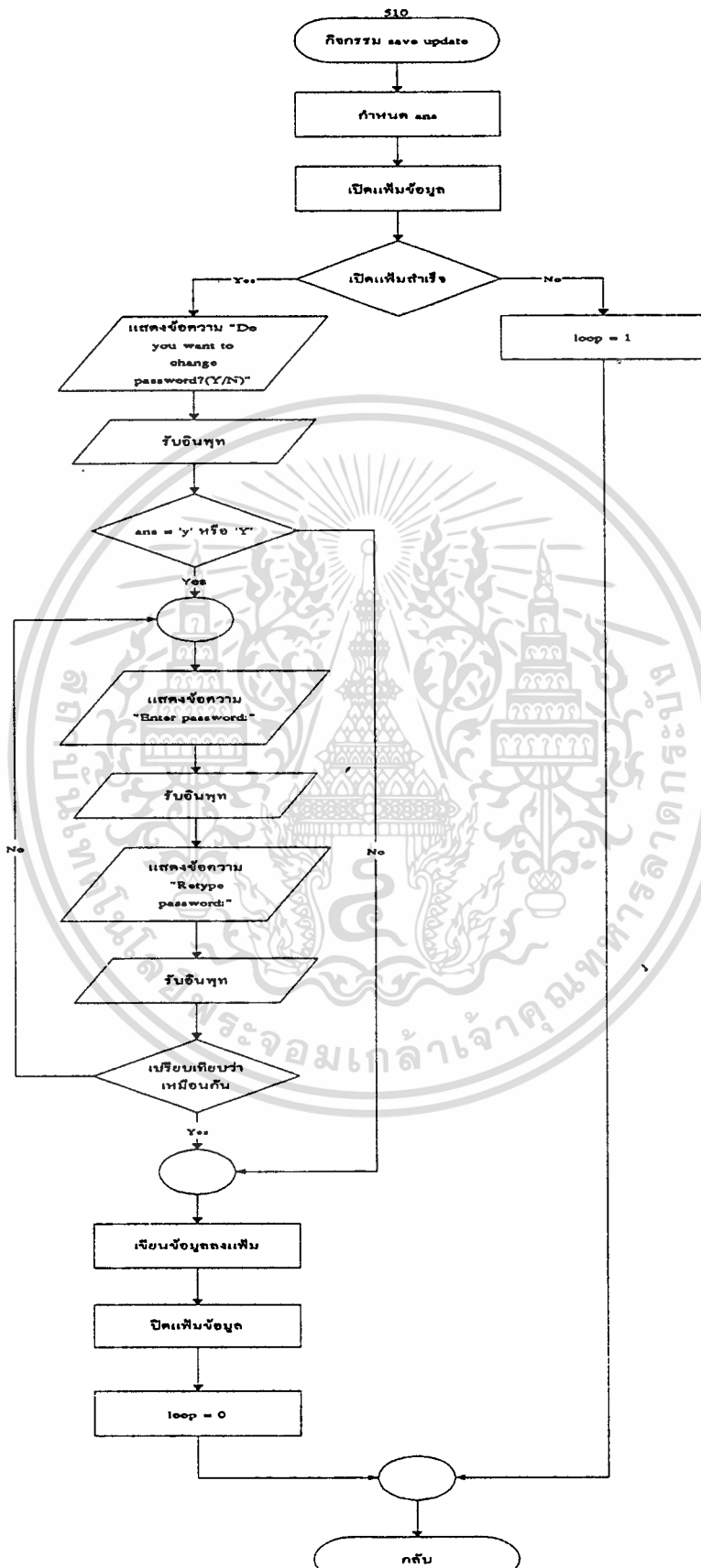
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่แสดงผังโปรแกรมโครงสร้างของกิจกรรม update data ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 60



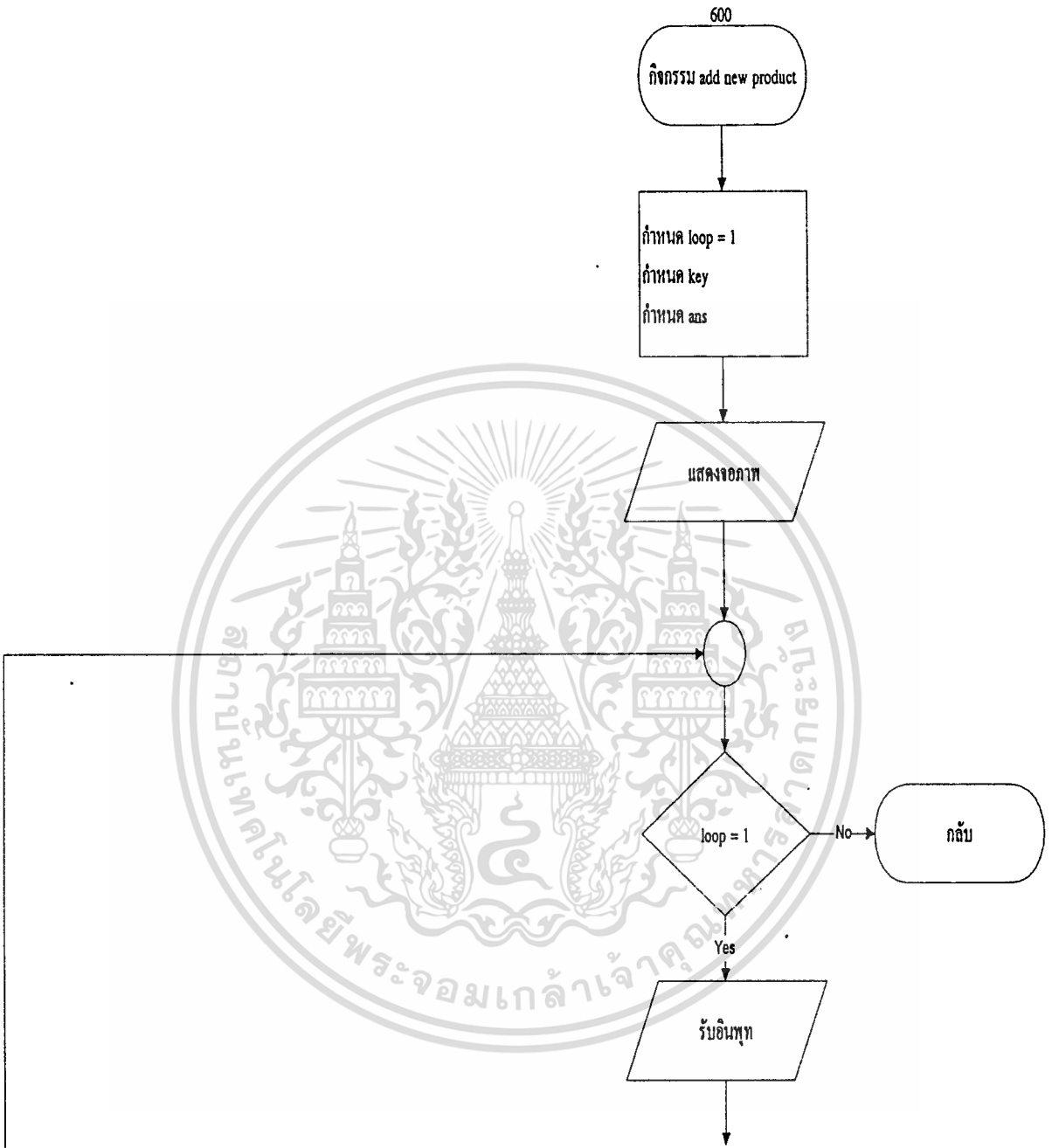
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการใช้งานขององค์กรเพียงเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 แสดงผังโปรแกรมโครงสร้างของกิจกรรม update data (ต่อ)
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 61



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
แสดงผังโปรแกรมโครงสร้างของกิจกรรม save update
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

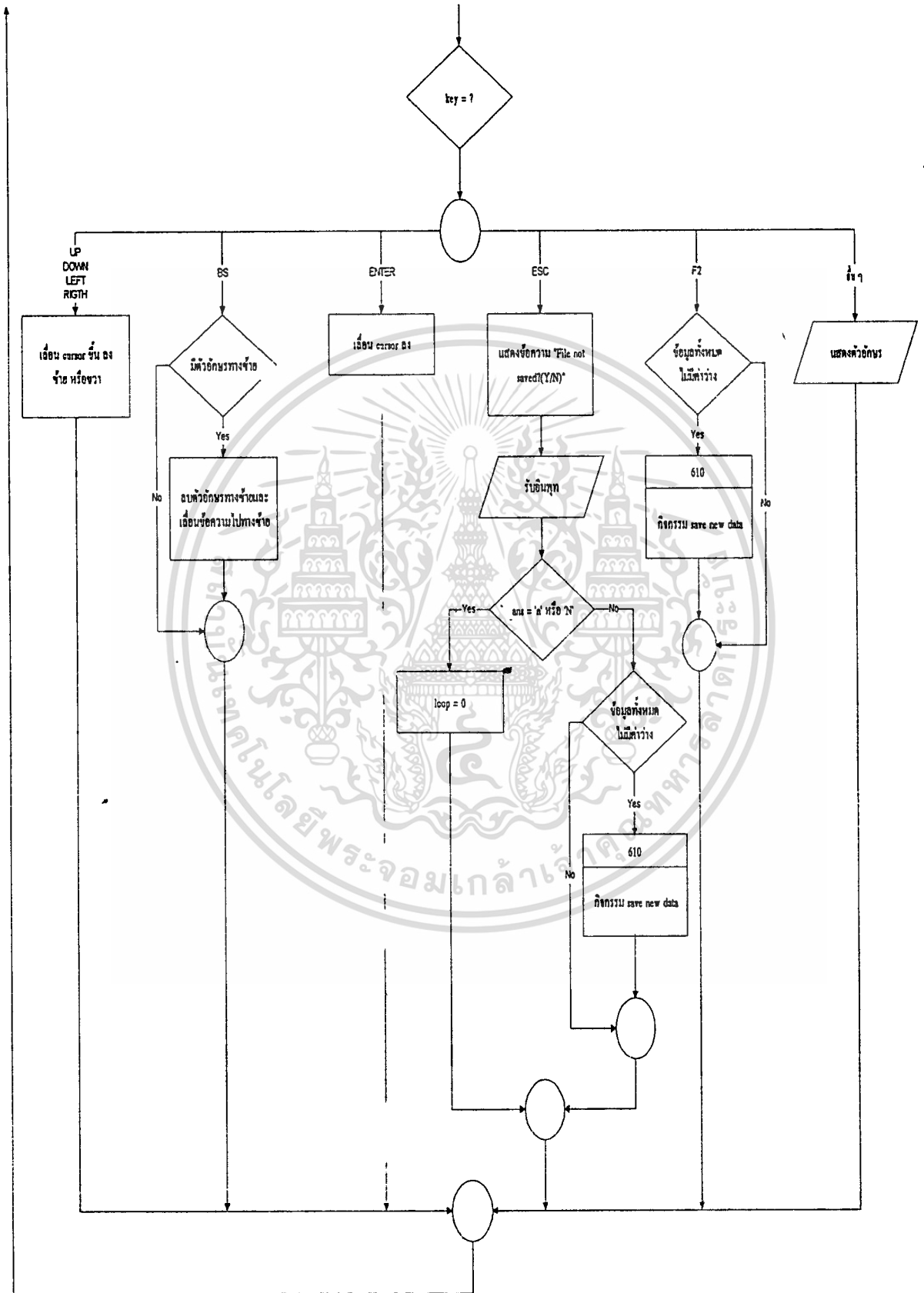
ภาพที่ 62



แสดงผังโปรแกรมโครงสร้างของกิจกรรม add new product

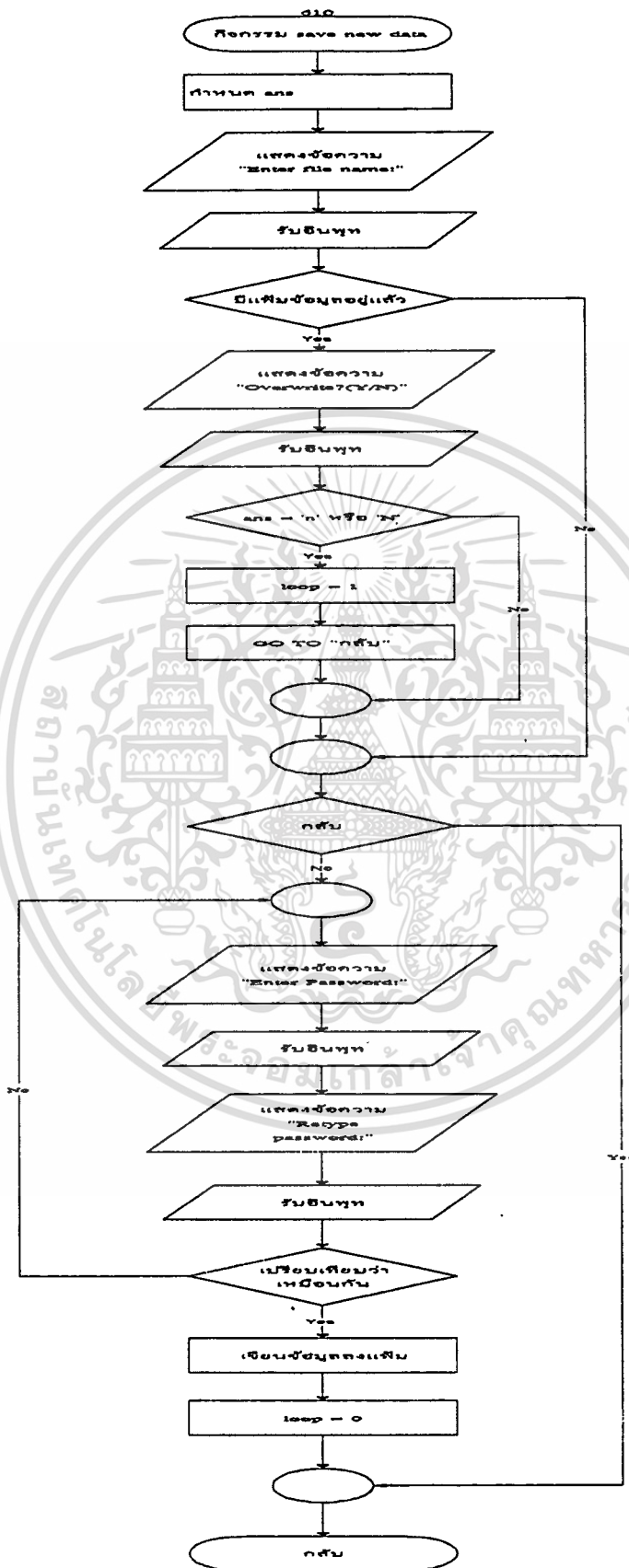
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 62



เอกสารนี้เป็นเอกสารแสดงผังโปรแกรมโครงสร้างของกิจกรรม add new product (ต่อ) ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 63



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่แสดงผังโปรแกรมโครงสร้างของกิจกรรม save new data
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



บันทึกข้อความ

ส่วนราชการ งานส่งเสริมการวิจัย กองบริการการศึกษา โทร.304

ที่ _____ วันที่ 13 ตุลาคม ๒๕๓๘

เรื่อง ตอบรับต้นฉบับ ครั้งที่ 2

เรียน คุณศรี อิศรา นรินทร์

เนื่องจากกองบรรณาธิการวารสารพระจอมเกล้าลาดกระบัง ได้รับต้นฉบับ

ผลงานวิจัย

บทความ

เรื่อง การควบคุมคุณภาพในตัวอย่างสินค้าโดยวิธีทางสถิติ

จากท่านแล้วเมื่อวันที่ ๕ เดือน ตุลาคม พ.ศ. ๒๕๓๘

ต้นฉบับนี้

จะลงพิมพ์ในวารสารพระจอมเกล้าลาดกระบัง ฉบับที่ 1 ปีที่ 4 ..
เดือน พฤศจิกายน พ.ศ. ๒๕๓9

ขอให้แก้ไขเพิ่มเติมดังต่อไปนี้

กรุณาส่งต้นฉบับ ฉบับแก้ไขเพื่อลงพิมพ์ในวารสารพระจอมเกล้าลาดกระบัง
ฉบับที่ ... ปีที่ ... เดือน พ.ศ. ภายในวันที่

ทางกองบรรณาธิการขอขอบพระคุณท่านเป็นอย่างยิ่ง ที่ท่านได้ให้ความสนใจ
และสนับสนุนวารสารพระจอมเกล้าลาดกระบัง หวังว่าคงได้รับการสนับสนุนจากท่านอีก
ในโอกาสต่อไป

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รวิวรรณ ชินะตระกูล)
บรรณาธิการวารสารพระจอมเกล้าลาดกระบัง

การควบคุมอุณหภูมิในเครื่องเคลือบผิวเม็ดยา โดยใช้ฟัซซีลอจิก Temperature Control In Tablet Coat Machine Using Fuzzy Logic

กวิน สนธิเพิ่มพูน^{*}

Kawin Sontipuumoon

ชิต มิตรานันท์^{**}

Chid Mitranun

^{*} อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์

^{**} นักศึกษาปริญญาโท หลักสูตรวิทยาการคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ

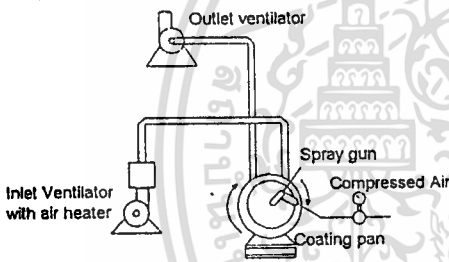
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บทคัดย่อ. บทความนี้เป็นงานนำเสนอการประยุกต์ใช้ทฤษฎีฟัซซีลอจิกในการควบคุมอุณหภูมิในเครื่องเคลือบผิวเม็ดยา ในระบบควบคุมเครื่องเคลือบผิวเม็ดยานั้น กระบวนการที่มั่งคั่งที่สุดคือการควบคุมอุณหภูมิให้ได้ตามที่กำหนด ซึ่งถ้าไม่สามารถควบคุมอุณหภูมิได้ จะทำให้เม็ดยาที่ได้รับการเคลือบผิวไม่มีคุณภาพ ดังนั้นกระบวนการในการควบคุมอุณหภูมิจึงมีความสำคัญมาก สำหรับการทดลองในบทความนี้ได้ทำการทดลองควบคุมอุณหภูมิที่ 40 - 70 องศาเซลเซียส โดยแต่ละครั้งจะใช้อุณหภูมิต่างกัน 5 องศาเซลเซียส เพื่อทดสอบการควบคุมอุณหภูมิที่อุณหภูมิแตกต่างกัน ซึ่งจากการทดลองปรากฏผลว่า สามารถให้ผลการทดลองเป็นที่น่าพอใจ สามารถควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ในช่วงที่กำหนดได้คือประมาณ $\pm 1 - 2$ องศาเซลเซียส ซึ่งสามารถนำไปใช้ในระบบเครื่องเคลือบผิวเม็ดยาได้

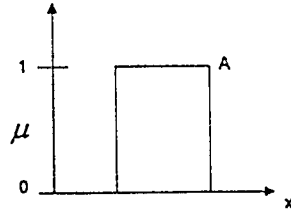
Abstract. This paper present fuzzy logic theory applying for temperature control in tablet coat machine. The most important process in tablet coat control system is that controlling temperature efficiently. If process can not control temperature, coated tablet is no quality so that temperature control is the most important process. For experiment in this paper, temperature control testing is on 40 - 70 °C ,by each time, using difference temperature about 5 °C for test difference temperature control. The result from testing show that satisfying-result by controllable temperature approximate is $\pm 1 - 2$ °C in specific range, that can available in tablet coat system.

1. บทนำ

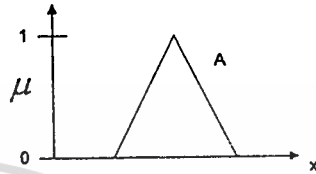
การควบคุมอุณหภูมิในเครื่องเคลือบผิวเม็ดยา ตำแหน่งที่จะทำการควบคุมอุณหภูมิคือบริเวณปากทางออกเครื่องดูดลม (Outlet Ventilator หรือ Exhaust Ventilator) ซึ่งอยู่ติดกับห้อง (Room) ที่ทำการเคลือบผิวเม็ดยา ที่ตำแหน่งนี้จะมีตัววัดอุณหภูมิ(Thermocouple) ซึ่งเมื่อวัดอุณหภูมิได้แล้ว จะส่งไปยังตัวแปลงสัญญาณ(Transmitter) เพื่อแปลงอุณหภูมิจาก 0 - 200 องศาเซลเซียสไปเป็นสัญญาณอนาล็อก 0 - 10 VDC เพื่อส่งไปยังการ์ด A/D ที่เครื่องคอมพิวเตอร์ การ์ด A/D จะทำการแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัล เพื่อทำการแปลงกับเป็นอุณหภูมิอีกครั้งหนึ่ง โดยอุณหภูมิที่วัดได้มาจากความร้อนที่ส่งมาจากเครื่องทำความร้อน (Heater) ซึ่งเกิดจากกระแสไฟฟ้า 4 - 20 mA ซึ่งถูกควบคุมโดยระบบพีซีลอจิก ซึ่งจะส่งค่าออกไปยังการ์ด D/A ที่เครื่องคอมพิวเตอร์ไปยัง Regulator เพื่อเปลี่ยนเป็นแรงดันไฟฟ้า 3 เฟส 0 - 380 VAC เพื่อไปควบคุมเครื่องทำความร้อน เพื่อให้ได้กความร้อน โดยที่ความร้อนจะถูกส่งออกไปยังห้องโดยเครื่องเป่าลม (Inlet Ventilator หรือ Blower) และจะถูกดูดออกไปโดยเครื่องดูดลม ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 แสดงส่วนประกอบที่สำคัญของเครื่องเคลือบผิวเม็ดยา



รูปที่ 2-1 แสดงความเป็นสมาชิกของคริสเซต A



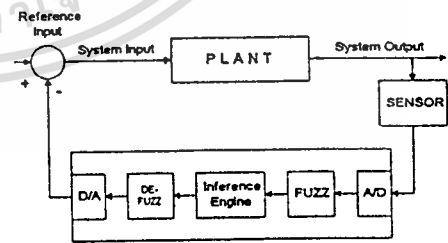
รูปที่ 2-2 แสดงความเป็นสมาชิกของฟัซซีเซต A

2.2 ฟัซซีลอจิก(Fuzzy Logic)

ฟัซซีลอจิกเป็นลอจิกที่แตกต่างจากลอจิกดั้งเดิม (Classical Logic) ซึ่งมีเพียง 2 สถานะ คือ 0 และ 1 หรือ เท็จ และ จริง ฟัซซีลอจิกอาจจะเป็นเท็จหรือจริงทั้งหมด ซึ่งสถานะของลอจิกจะเป็นระดับความเป็นสมาชิกของฟัซซีเซต [2],[1],[7] สำหรับรายละเอียดและการปฏิบัติกรใดๆ กับฟัซซีเซตและฟัซซีลอจิก สามารถศึกษาได้จากเอกสารอ้างอิง [2],[4],[6],[7]

2.3 ระบบควบคุมฟัซซี (Fuzzy Control System)

ระบบควบคุมฟัซซีคือระบบกฎพื้นฐาน (Rule-Based Systems) ประกอบด้วยกลุ่มของกฎฟัซซี (Fuzzy Rules) ซึ่งเป็นกระบวนการควบคุมการตัดสินใจของระบบแทนความสามารถในการปฏิบัติกรของมนุษย์ [2] กระบวนการของระบบควบคุม ฟัซซีมีส่วนประกอบสำคัญอยู่ 3 กระบวนการ ดังแสดงในรูปที่ 3 คือ



รูปที่ 3 แสดงกระบวนการของระบบควบคุมฟัซซี

2.3.1 กระบวนการฟัซซีฟิเคชัน (Fuzzification Process)

กระบวนการฟัซซีฟิเคชันเป็นกระบวนการซึ่งทำการแปลงค่าข้อมูลเข้าไปเป็นค่าความเป็นสมาชิกของฟัซซีเซต

2. ทฤษฎี

2.1 ฟัซซีเซต (Fuzzy Set)

ในทฤษฎีเซตโดยทั่วไปหรือคริสเซต (Classical Set หรือ Crisp Set) การเป็นสมาชิกของเซต จะมีเพียงเป็นสมาชิกและไม่เป็นสมาชิก ซึ่งค่าความเป็นสมาชิกถูกแทนด้วย 1 และ 0 ตามลำดับ แต่สำหรับฟัซซีเซตจะมีการกำหนดระดับความเป็นสมาชิก (Grade of Membership หรือ Degree of Membership) ซึ่งไม่ได้มีค่าความเป็นสมาชิก เพียงแค่ 0 และ 1 โดยใช้สัญลักษณ์ μ แทนค่าระดับความเป็นสมาชิก ซึ่งมีค่าระหว่าง 0 ถึง 1 [2],[3],[6] ถ้า x เป็นสมาชิกของฟัซซีเซต A แล้วการจับคู่(Mapping) จะแสดงได้ดังนี้

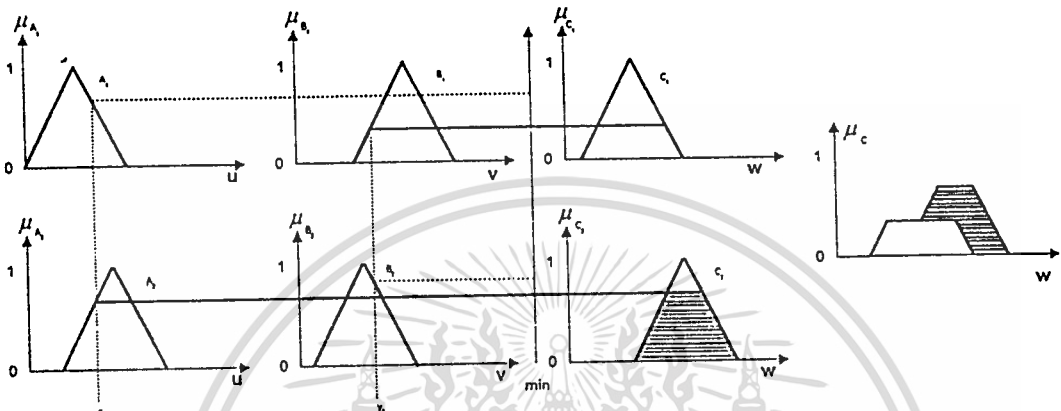
$$\mu_A(x) \in [0,1]$$

$$A = \{x, \mu_A(x) \mid x \in X\} \quad (1)$$

ซึ่งลักษณะการจับคู่นี้แสดงในรูป 2-1 และ 2-2 สำหรับคริสเซตและฟัซซีเซต

2.3.2 Inference Mechanisms หรือ Inference Engine

Inference Mechanisms คือการวินิจฉัยกฎพื้นฐาน เพื่อนำไปสู่เอาต์พุต(Output) ที่ต้องการ ซึ่งลักษณะของกฎฟัซซี่ จะอยู่ใน รูปแบบ "IF....THEN....." คล้ายกับในระบบผู้เชี่ยวชาญ (Expert Systems) [2] โดยกลุ่มของส่วน IF เรียกว่า antecedents และส่วนของ THEN เรียกว่า consequents โดยที่การออกแบบกฎนั้นได้มาจากประสบการณ์ของผู้เชี่ยวชาญ ในระบบนั้นหรือได้จาก การทดลองค่าที่ได้จาก กระบวนการฟัซซี่เทคนิคจะนำเข้าสู่กฎพื้นฐานเพื่อให้ได้เอาต์พุตออกมา โดยใช้ Fuzzy Reasoning ซึ่งมีอยู่ด้วยกัน หลายวิธีการ (ดู [1], [2],[4],[5],[8]) แต่สำหรับในบทความนี้จะใช้วิธีการของ Mamdani หรือ "min-max-gravity method" ซึ่งแสดงเป็น ไดอะแกรมดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 แสดงไดอะแกรมแทน Fuzzy Reasoning โดยวิธีการของ Mamdani

จากรูปที่ 4 สมมติว่ามีกฎควบคุมฟัซซี่ดังนี้

$$R_1 : \text{if } x \text{ is } A_1 \text{ and } y \text{ is } B_1 \text{ then } z \text{ is } C_1$$

$$R_2 : \text{if } x \text{ is } A_2 \text{ and } y \text{ is } B_2 \text{ then } z \text{ is } C_2$$

...

...

$$R_n : \text{if } x \text{ is } A_n \text{ and } y \text{ is } B_n \text{ then } z \text{ is } C_n$$

(2)

Fuzzy Reasoning โดยวิธีการ min-max-gravity method เมื่อใช้ Operation min จะได้ดังนี้

$$\mu_{C_i}(w) = \mu_{A_i}(u) \wedge \mu_{B_i}(v) \wedge \mu_{C_i}(w)$$

(3)

สุดท้ายเมื่อหา $\mu_C(w)$ โดยใช้ Operation max จะได้ดังนี้

$$\mu_C(w) = \mu_{C_1}(w) \vee \mu_{C_2}(w) \vee \dots \vee \mu_{C_n}(w)$$

(4)

2.3.3 กระบวนการดีฟัซซี่ฟิเคชัน(Defuzzification Process)

กระบวนการดีฟัซซี่ฟิเคชันคือกระบวนการแปลงค่าเอาต์พุต ซึ่งเป็นค่าฟัซซี่ซึ่งได้จากการวินิจฉัยกฎพื้นฐาน เพื่อเปลี่ยนไปเป็นค่า คริส (crisp) หรือค่าตัวเลขที่นำไปควบคุมระบบได้ โดยที่วิธีการดีฟัซซี่ฟิเคชันมีหลายวิธีด้วยกัน (ดู [1],[2],[4],[5]) แต่ในบทความนี้จะใช้วิธีการที่ เรียกว่า Center of Gravity หรือ Center of Area (COA) ซึ่งแสดงเป็นสมการได้ดังนี้

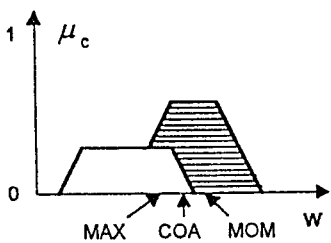
$$z_0 = \frac{\sum_{j=1}^n \mu_c(w_j) \cdot w_j}{\sum_{j=1}^n \mu_c(w_j)}$$

(5)

โดยที่ w_j คือค่าที่ตำแหน่งค่า $\mu_c(w_j)$ สูงสุด

n คือจำนวนกฎที่มีค่ามากกว่า 0

วิธีการนี้ให้ผลค่อนข้างดีกว่าวิธีอื่นและนิยมใช้กันทั่วไป
 ดังแสดงเป็นไดอะแกรมในรูปที่ 5



รูปที่ 5 แสดงไดอะแกรมแทนวิธีการต่างๆ ของวิธีการตีฟัซซีเคชัน

R₁ : if e is NB and Δ e is ZO then z is PB

R₂ : if e is NM and Δ e is ZO then z is PM

.....

R₁₅ : if e is NS and Δ e is NS then z is PM (6)

ตารางที่ 1 แสดงกฎฟัซซีสำหรับควบคุมระบบ

e/Δ e	NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB
NB							PB
NM						PM	
NS				PM	PS		
ZO	PB	PM	PS	ZO	NS	NM	NB
PS					NS	NM	
PM						NM	
PB							NB

3. ขั้นตอนการนำทฤษฎีมาใช้ในการงานวิจัย

ในบทความข้างต้นได้กล่าวถึงกระบวนการทำงานของเครื่องเคลือบผิวเม็ดยา ซึ่งเกี่ยวข้องกับการควบคุมอุณหภูมิมาพอสั่งเซป ในส่วนนี้จะขอกล่าวถึงการนำทฤษฎีมาใช้ในการควบคุมอุณหภูมิในเครื่องเคลือบผิวเม็ดยา ในบทความนี้ได้กำหนดอินพุท (Input) และเอาวิพุท(Output) ของระบบดังต่อไปนี้

อินพุทของระบบคือ error(e) และ change of error (Δ e)

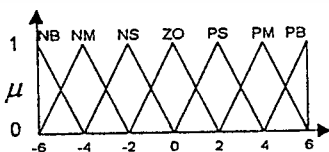
ซึ่งได้จากค่าอุณหภูมิที่ได้รับเข้ามา โดยที่

$$e = \text{อุณหภูมิที่วัดได้} - \text{ค่าที่ตั้งไว้(setpoint)}$$

$$\Delta e = e_n - e_{n-1}$$

เอาวิพุทของระบบคือค่ากระแสไฟฟ้าที่จะนำไปใช้ควบคุม Regulator เพื่อนำไปควบคุมเครื่องทำความร้อน

ลำดับต่อไปจะเป็นกระบวนการ Fuzzification ซึ่งจะทำการแปลงอินพุทและเอาวิพุทของระบบให้ไปเป็นค่าระดับความเป็นสมาชิกในฟัซซีเซต ซึ่งในระบบนี้ได้กำหนดฟัซซีเซตออกเป็น 7 ฟัซซีเซต คือ NB,NM,NS,ZO,PS,PM และ PB โดยที่ NB ใช้เรียกชื่อแทน "เป็นลบมาก (Negative big)" NM แทน "เป็นลบปานกลาง(Negative medium)" ตามลำดับ ฟัซซีเซตเหล่านี้จะใช้เป็นฟัซซีเซตของอินพุทและเอาวิพุทของระบบดังรูปที่ 6

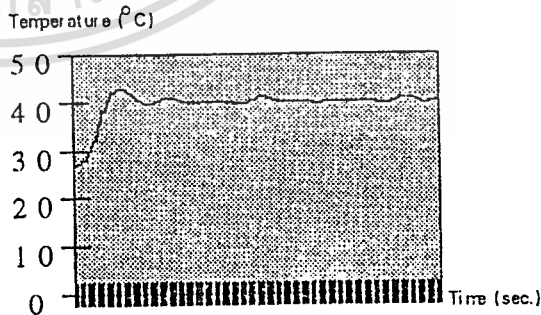


รูปที่ 6 แสดงฟัซซีเซตของระบบ

เมื่อนำอินพุทของระบบที่ได้จากกระบวนการฟัซซีฟิเคชันเข้าไปยังกลุ่มกฎควบคุมฟัซซีแล้ว เมื่อผ่านการวินิจฉัยกฎโดยใช้ Fuzzy Reasoning ด้วยวิธีการ "min-max gravity method" ใน (3) และ (4) จะได้เอาวิพุทซึ่งเป็นค่าฟัซซีอยู่ จึงต้องนำมาเข้ากระบวนการตีฟัซซีเคชันด้วยวิธีการ COA ใน (5) เพื่อเปลี่ยนเป็นค่าเอาวิพุทที่สามารถไปควบคุม Regulator เพื่อไปควบคุมเครื่องทำความร้อนได้

4. ผลการทดลอง

จากการทดลองโดยควบคุมอุณหภูมิที่ 40 - 70 องศาเซลเซียส โดยแต่ละครั้งอุณหภูมิต่างกัน 5 องศาเซลเซียส เมื่อทำการควบคุมที่อุณหภูมิที่อุณหภูมิไม่สูงมากคือตั้งแต่ 40 - 50 องศาเซลเซียส สามารถที่จะควบคุมอุณหภูมิได้ดี คือ จะอยู่ในช่วง ± 1 องศาเซลเซียส



รูปที่ 7 แสดงกราฟในการควบคุมอุณหภูมิที่ 40 องศาเซลเซียส

ค่าหับกฎฟัซซีที่ใช้ในการควบคุมระบบนี้ แสดงไว้ในตารางที่ 1 ซึ่งสามารถเขียนแยกเป็นกฎได้ดังนี้

เมื่อควบคุมที่อุณหภูมิสูงขึ้นมาคือตั้งแต่ 55-60 องศาเซลเซียส จะสามารถควบคุมอุณหภูมิในช่วง ± 1.5 องศาเซลเซียส ซึ่งถือว่าน่าพอใจ เมื่อควบคุมอุณหภูมิที่ 65 - 70 องศาเซลเซียส สามารถควบคุมอุณหภูมิในช่วง ± 2 องศาเซลเซียส ซึ่งยังถือว่าใช้ได้ในการการเคลือบผิวเม็ดยา สาเหตุที่ทำให้เมื่อควบคุมที่อุณหภูมิสูงขึ้นมาให้ช่วงห่างมากขึ้น เนื่องมาจากกำลังของเครื่องทำความร้อนและเครื่องทำความร้อนมีการตอบสนองช้าคือ เมื่อปล่อยกระแสไฟฟ้าเพื่อไปควบคุมเครื่องทำความร้อนแล้ว เครื่องทำความร้อนยังไม่ร้อนในทันที แต่จะใช้เวลาระยะหนึ่งเพื่อให้ตัวเองร้อน เมื่อควบคุมที่อุณหภูมิสูงความร้อนจะตกลงมาเร็ว เมื่อกำลังเครื่องทำความร้อนไม่พอและเครื่องทำความร้อนตอบสนองช้า ดังนั้นต้องใช้เวลาในการควบคุมอุณหภูมิให้กลับเข้าสู่ setpoint จึงทำให้ช่วงในการควบคุมกว้างมากขึ้น

5.สรุป

การควบคุมอุณหภูมิในเครื่องเคลือบผิวเม็ดยา โดยใช้พีซีอิเล็กทรอนิกส์สามารถให้ผลที่น่าพอใจ คือสามารถควบคุมอุณหภูมิได้ ไม่มีค่าความผิดพลาดมาก สามารถนำไปใช้ในการเคลือบผิวเม็ดยาได้โดยที่ไม่ทำให้เม็ดยาได้รับความเสียหาย และได้เม็ดยาที่ผ่านการเคลือบผิวที่มีคุณภาพดีตามต้องการ

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] M. Figueiredo, F. Gomide, A. Rocha and R. Yager, "Comparison of Yoger's Level Set Method for Fuzzy Logic Control with Mamdani's and Larser's Methods", *IEEE Transaction on Fuzzy Systems*, Vol.1, no 2, p. 156-189, May 1993
- [2] M. Jamshidi, N. Vadiee and T.J. Ross, "Fuzzy Logic and Control", Prentice Hall (1993)
- [3] C. C. Lee, "Fuzzy Logic in Control Systems: Fuzzy Logic Controller-Part I", *IEEE Trans. Systems, Man and Cybernetics*, Vol 20, No.2, p.404-418, March/April 1990
- [4] C. C. Lee, "Fuzzy Logic in Control Systems: Fuzzy Logic Controller-Part II", *IEEE Trans. Systems, Man and Cybernetics*, Vol 20, No 2, p.419-435, March/April 1990
- [5] M. Mizumoto, "Fuzzy controls under products-sum-gravity methods and new fuzzy control methods" in *Fuzzy Control Systems*, A. Kandel and G. Langholz, Eds. Florida: Boca Raton: CRC Press, 1994, p.275-294
- [6] L. A. Zadeh, "Outline of a New Approach to the Analysis of Complex Systems and Decision Process", *IEEE Trans.*

Systems, Man and Cybernetics, Vol. SMC - 3, No. 1, p.28 - 44, January 1973

[7] L. A. Zadeh, "Fuzzy Logic", *IEEE Computer*, p.88-93, April 1988

[8] เอกสารสัมมนาทางวิชาการโดยคณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยกับ YOKOGAWA ELECTRIC CORPORATION (JAPAN), "Fuzzy Control theory and its application"

ประวัติผู้เขียน

ชื่อผู้เขียน	นายชิต มิตรานันท์
วันเดือนปีเกิด	วันที่ 16 เมษายน พ.ศ. 2512
สถานที่เกิด	จังหวัดกรุงเทพมหานคร
วุฒิการศึกษาระดับปริญญาตรี	วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาคณิตศาสตร์
สถานที่สำเร็จการศึกษา	มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ สงขลา
ปีที่สำเร็จการศึกษา	ปีการศึกษา 2534
ผลงานทางวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์	การควบคุมอุณหภูมิในเครื่องเคสสี่เหลี่ยมด้วย โดยใช้พีซีล่อจิก
ประสบการณ์การทำงาน	System Programmer บริษัทดาต้าเมท จำกัด (มหาชน) ตั้งแต่วันที่ 1 เมษายน พ.ศ. 2536 ถึงวันที่ 30 กันยายน พ.ศ. 2537 ผู้ช่วยวิจัย สำนักวิจัยและบริการคอมพิวเตอร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง ตั้งแต่วันที่ 1 ตุลาคม พ.ศ. 2537 ถึงวันที่ 30 กันยายน พ.ศ. 2538