บทที่6
แนวคิดในการออกแบบโปรแกรมจำลองการทำแห้งจากผลการทดลองตอนที่ 1

ระบบควบคุมในอุตสาหกรรม

เครื่องควบคุมที่ใช้อยู่ทั่วไปแบ่งออกได้เป็นสามประเภทใหญ่ๆได้แก่ เครื่องควบคุมแบบสัดส่วน(Proportional Controller)เครื่องควบคุมแบบพีไอ(Proportional-Integral Controller) และเครื่องควบคุมแบบพีไอดี (Proportional-Integral-Derivative Controller) โดยเครื่องควบคุมจะทำหน้าที่ตรวจสอบสภาพของกระบวนการโดยใช้ค่าของตัวแปรต่างๆในกระบวนการผลิตที่วัดได้จากเครื่องวัดมาเปรียบเทียบกับเป้าหมายที่ต้องการควบคุมแล้วสร้างสัญญาณควบคุมเพื่อปรับสภาวะของกระบวนการให้เป็นไปตามกำหนดตามแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบที่กำหนดเอาไว้แล้วตั้งแต่ต้นโดยใช้ค่าความคลาดเคลื่อน(error)ในการตัดสินใจ โดยค่าความคลาดเคลื่อนกับสัญญาณควบคุมของเครื่องควบคุมจะมีลักษณะอย่างไรนั้นขึ้นกับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบชนิด และสมบัติของเครื่องควบคุม

แนวทางที่ใช้เพื่อศึกษาพฤติกรรมของกระบวนการ

การศึกษาและวิเคราะห์พฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงของกระบวนการเมื่อถูกรบกวนจากการเปลี่ยนแปลงของสภาพภายนอกหรือเมื่อได้รับการปรับเปลี่ยนจากอุปกรณ์ควบคุมต่างๆสามารถกระทำได้ 2 วิธีคือ

1.ศึกษาพฤติกรรมของกระบวนการโดยใช้ผลการทดลองโดยการป้อนสัญญาณควบคุมเข้า

ถ้าเป็นกระบวนการทำแห้ง อาจวัดอุณหภูมิที่ใช้ทำแห้ง อัตราการไหลของอากาศแห้งขาเข้า ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศแห้งขาเข้า ทดลองเปลี่ยนสัญญาณควบคุมขาเข้า และสังเกตผลจากการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณออกของกระบวนการและอุปกรณ์ต่างๆ เช่นอุณหภูมิของอากาศชื้นขาออก ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศขาออก ความชื้นของน้ำตาลทรายขาออก

การทดลองบันทึกข้อมูลการเดินเครื่องจริงในโรงงานนั้นไม่สามารถดำเนินการได้ตามความต้องการของผู้วิจัย เนื่องจากโรงงานต้องผลิตน้ำตาลตลอด 24 ชั่วโมง อีกทั้งการเดินเครื่องทำแห้งต้องใช้น้ำตาลจำนวนมากเพื่อป้อนเข้าไปในเครื่อง การปรับเปลี่ยนค่าต่างๆของเครื่องควบคุมขณะมีการผลิตจริงจึงไม่สมควรกระทำ ผู้ทดลองไม่สามารถศึกษาพฤติกรรมกระบวนการโดยวิธีการดังกล่าวได้ในทางปฏิบัติ

จากเหตุผลข้างต้น ในการทดลองตอนที่ 1 จึงได้ศึกษาพฤติกรรมของกระบวนการและความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรต่างๆในกระบวนการจากการวิเคราะห์ข้อมูลแบบอนุกรมเวลาที่ได้จากการสังเกตความเปลี่ยนแปลงของตัวแปรต่างๆจากเครื่องทำแห้งภายในช่วงเวลาหนึ่งที่มีการเดินเครื่องและถือได้ว่าอยู่ในสภาวะสมดุล เป็นเพียงการสังเกตและวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงต่างๆของกระบวนการจริงเท่านั้น แต่ไม่มีการทดลองป้อนสัญญาณควบคุมจากผู้วิจัย

ในทางปฏิบัตินั้น ภายในระยะเวลาที่สังเกต แม้จะถือได้ว่ากระบวนการทำแห้งที่สนใจอยู่ในสภาวะสมดุล แต่จะมีสิ่งรบกวนต่างๆเกิดขึ้นกับกระบวนการเป็นระยะ ตัวอย่างเช่นการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและความชื้นของอากาศขาเข้าอันเนื่องมาจากความร้อนที่แผ่ออกมาจากอุปกรณ์อื่นๆ และการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในช่วงเวลาต่างๆของวัน ความแปรปรวนของขนาดเม็ดน้ำตาลทราย และความชื้นขาเข้าของน้ำตาลทราย อัตราการป้อนน้ำตาลทรายเป็นต้น จึงพอที่จะสามารถสังเกตความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรต่างๆได้บ้างจากการทดลองตอนที่ 1 แต่เนื่องจากในงานวิจัยนี้ต้องการศึกษาผลการควบคุมของเครื่องควบคุมแบบฟัซซี่ลอจิกและเครื่องควบคุมแบบ PI ที่จะมีผลต่อการทำงานของเครื่องทำแห้ง ซึ่งกระทำไม่ได้ในทางปฏิบัติจึงต้องอาศัยการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงของกระบวนการดังหัวข้อที่ 2 ต่อไปนี้

2.<u>ศึกษาพฤติกรรมของกระบวนการโดยใช้วิธีวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์และการคำนวณโดยแสดงพฤติกรรมของอุปกรณ์และกระบวนการโดยใช้สมการทางคณิตศาสตร์ต่างๆ</u>

สร้างสมการต่างๆ เช่นสมการพีชคณิต สมการอนุพันธ์ และสมการแตกต่าง(difference equation) ตามความเหมาะสม เพื่อเป็นตัวแทนของระบบ แล้ววิเคราะห์พฤติกรรมของกระบวนการจากคำตอบของสมการต่างๆเหล่านี้ สมการเหล่านี้เรียกว่าแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของกระบวนการ เป็นสมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต้น (ตัวแปรแสดงการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณควบคุมเข้าและการรบกวนภายนอกซึ่งมีอิทธิพลให้สภาวะของกระบวนการเปลี่ยนแปลงตาม) และตัวแปรตาม หรือตัวแปรแสดงสภาพของกระบวนการที่เปลี่ยนแปลงเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรต้น ตัวอย่างเช่น อาจเป็นสัญญาณขาออกของกระบวนการที่วัดได้จากเครื่องวัด(sensors)ต่างๆของกระบวนการนั้นๆ

ในการทดลองตอนที่2 จะสร้างแบบจำลองคณิตศาสตร์ของเครื่องทำแห้งโดยพัฒนาจากสมการอนุรักษ์พื้นฐาน เพื่อศึกษาผลการควบคุมที่ได้จากสมการทางคณิตศาสตร์ของเครื่องควบคุมและจำลองผลการควบคุมที่ได้จากการคำนวณตามแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของเครื่องทำแห้งและของเครื่องควบคุมที่สร้างขึ้น โดยใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในการคำนวณ

2.1 <u>การสร้างแบบจำลองคณิตศาสตร์ของเครื่องทำแห้ง</u>

2.1.1 การพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของกระบวนการทำแห้ง

จากการวิเคราะห์ข้อมูลความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิในระดับชั้นต่างๆของเครื่องทำแห้งในการทดลองตอนที่ 1พบว่า การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในระดับชั้นต่างๆมีการเปลี่ยนแปลงไปในทิศทางเดียวกันในเวลาพร้อมๆกันซึ่งสามารถสรุปได้ว่าไม่มีความจำเป็นในการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์แสดงการเปลี่ยนแปลงเชิงพลวัตของเครื่องทำแห้งแยกกันในแต่ละระดับหรือแต่ละถาดเนื่องจากมีความแตกต่างกันน้อย จึงสามารถพิจารณากระบวนการโดยใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์แบบ Lumped ในการเขียนสมการเป็นสมการสมดุลมวลและพลังงานเบื้องต้น เพื่อลดความซับซ้อนในการคำนวณ

2.1.1.1 สมดุลมวล สามารถพิจารณามวลที่อยู่ในเครื่องทำแห้งแยกเป็นสองวัฏภาค

วัฏภาคไอ : $d M_{air} / dt = F_i - F_0$ ----------(6.1)

$d M_{vapor} / dt = X_i F_i - X_0 F_0 + W^*$ ----------(6.2)

วัฏภาคน้ำตาล + น้ำ : $d M sug. / dt = Fsugar_{IN} - F sugar_{OUT}$ ----------(6.3)

$d M water. / dt = M_i Fsugar_{IN} - M_0 Fsugar_{OUT} - W^*$ ----------(6.4)

2.1.1.2 สมดุลพลังงาน พิจารณาเป็นสองวัฏภาคได้เช่นเดียวกับสมดุลมวล

วัฏภาคไอ :

$d/dt\ (M_{air} Cpa + M_{vapor} Cpv)\ Tad = [\{FiCpa+(XiFi)Cpv\}Ta_{IN}+W^*\Delta Hv] - \{F_0Cpa+(X_0F_0)Cpv\}$ Tad ----------(6.5)

วัฏภาคน้ำตาล + น้ำ :

$d/dt\ (M\ sug.\ Cpsug + M\ water.\ Cpw)\ Tsd = [\{Fsugar_{IN}\ Cpsug + (MiFsugar_{IN})\ Cpw\}\ Ts_{IN}] - [\{Fsugar_{OUT} Cpsugar + (M_0 Fsugar_{OUT})Cpw\}Tsd] - W^*\Delta Hv$ ----------(6.6)

เมื่อ M_{air} = มวลอากาศแห้งในเครื่อง

M_{vapor} = มวลไอน้ำในเครื่อง

M sug. = มวลน้ำตาลในเครื่อง

M water. = มวลน้ำในเครื่อง

F = อัตราการไหลเชิงมวล

X = ความชื้นในอากาศ

M = ความชื้นของน้ำตาลทราย

W^* = อัตราการระเหยของน้ำออกจากน้ำตาล $= Q / \Delta Hv$

ΔHv = ความร้อนแฝงของการระเหย

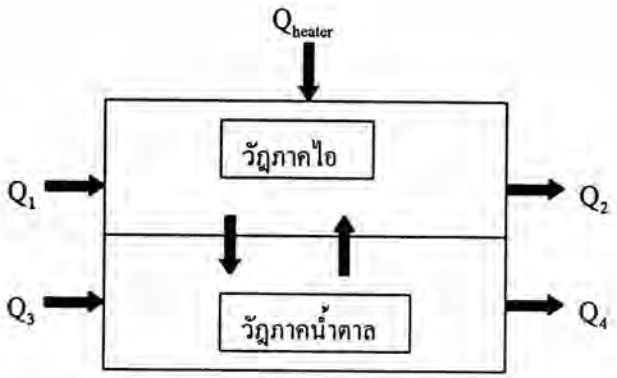
Tad = อุณหภูมิเครื่องทำแห้งในวัฏภาคไอ

Tsd = อุณหภูมิเครื่องทำแห้งในวัฏภาคน้ำตาลและน้ำ

Cpa, Cpv, Cpsug, Cpw = ค่าความจุความร้อนของอากาศ ไอน้ำ น้ำตาลและน้ำ ตามลำดับ และตัวห้อย IN และ OUT ในเทอมต่างๆหมายถึงขาเข้าและขาออกตามลำดับ

2.1.2 <u>การใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่สร้างขึ้นในการคำนวณ</u>

หากพิจารณาการถ่ายเทความร้อนในกระบวนการจะมีลักษณะดังรูป



รูปที่ 6.1 สมดุลพลังงานของเครื่องทำแห้งน้ำตาล

จากรูป

Q_1 คือ เอนทาลปีของอากาศภายนอกที่ไหลเข้าเครื่องทำแห้ง

Q_2 คือ เอนทาลปีของอากาศขาออกจากเครื่องทำแห้ง

Q_3 คือ เอนทาลปีของน้ำตาลทรายเปียกขาเข้า

Q_4 คือ เอนทาลปีของน้ำตาลทรายแห้งขาออก

Q_{heater} คือ เอนทาลปีที่อากาศในเครื่องได้รับจากไอน้ำร้อนที่ป้อนเข้าสู่เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนของเครื่องทำแห้ง

Q_{heater} ที่ได้จากไอน้ำจะถ่ายเทให้กับอากาศในเครื่องซึ่งจะทำให้

1.ความร้อนจากอากาศส่วนหนึ่งถ่ายเทให้กับวัฏภาคน้ำตาล

2.น้ำในน้ำตาลเปียกที่ได้รับความร้อนระเหยเป็นไอน้ำซึ่งพาความร้อนจำนวนหนึ่งขึ้นมาสู่วัฏภาคไอ

กระบวนการถ่ายเทความร้อนระหว่างวัฏภาคทั้ง 1. และ 2. แสดงเป็นลูกศร ดังรูปที่ 6.1โดยที่สภาวะสมดุล ปริมาณความร้อนของกระบวนการถ่ายเทความร้อน 1. และ 2. จะมีค่าเท่ากันและอุณหภูมิของวัฏภาคไอจะเท่ากับอุณหภูมิของวัฏภาคน้ำตาล

จากสมดุลพลังงาน และจากรูปที่ 6.1 สามารถพิจารณาสมการสมดุลพลังงานของสองวัฏภาคได้ดังนี้

พลังงานความร้อนในวัฏภาคไอ = $Q_1 + Q_{heater} - Q_2 + (2.) - (1.)$ ----------(6.7)

พลังงานความร้อนในวัฏภาคน้ำตาล = $Q_3 - Q_4 + (1.) - (2.)$ ----------(6.8)

เมื่อ

Q_1 = ความร้อนอากาศแห้งขาเข้า +ความร้อนของไอน้ำที่อากาศแห้งพาเข้ามาในเครื่องทำแห้ง + ความร้อนแฝงของการระเหยของไอน้ำที่อากาศแห้งพาเข้ามาในเครื่องทำแห้ง

Q_2 = ความร้อนอากาศแห้งขาออก + ความร้อนของไอน้ำที่อากาศแห้งขาออกพาออกไปจากเครื่องทำแห้ง + ความร้อนแฝงของการระเหยของไอน้ำที่อากาศแห้งขาออกพาออกไปจากเครื่องทำแห้ง

Q_{heater} = ความร้อนที่กระบวนการได้รับเพื่อใช้ในการระเหยน้ำปริมาณเท่าที่ต้องการออกจากวัฏภาคของน้ำตาลทราย

Q_3 = ความร้อนที่มีอยู่ในผลึกน้ำตาลทรายขาเข้า + ความร้อนของน้ำที่มีอยู่ในน้ำตาลทรายขาเข้า

Q_4 = ความร้อนที่มีอยู่ในผลึกน้ำตาลทรายขาออก + ความร้อนของน้ำคงเหลืออยู่ในน้ำตาลทรายขาออก

หากกระบวนการอยู่ในสภาวะสมดุล ในสมการที่ 6.7 และ 6.8 จะพบว่า 1. = 2. ทำให้ตัด 1. และ 2. ออกจากสมการได้ และเนื่องจากที่สมดุล อุณหภูมิของวัฏภาคไอจะเท่ากับอุณหภูมิของวัฏภาคน้ำตาล รวมทั้งในเครื่องทำแห้งจริง การวัดอุณหภูมิกระทำการวัดในวัฏภาคไอเป็นหลักโดยวัดที่ช่องอากาศไหลออก ดังนั้นการกำหนดสมการเพื่อใช้ทำนายอุณหภูมิของเครื่องทำแห้งในงานวิจัยนี้จึงพัฒนาขึ้นจากสมการที่ 6.7 โดยจะได้เป็น

พลังงานความร้อนในวัฏภาคไอ = $Q_1 + Q_{heater} - Q_2$ ----------(6.8)

สมการที่ 6.8 แสดงในรูปเทอมย่อยได้ตามสมการที่ 6.5 ดังนี้

$d/dt\ (M_{air}\ Cpa + M_{vapor}\ Cpv)\ Tad = [\{FiCpa+(XiFi)Cpv\}Ta_{IN}] + [W^*\Delta Hv] - [\{F_0Cpa+(X_0F_0)Cpv\}Tad]$

เมื่อ

เอนทาลปีทั้งหมดของอากาศขาเข้า = $\{FiCpa+(XiFi)Cpv\}Ta_{IN} = Q_1$

เอนทาลปีทั้งหมดของอากาศขาออก = $\{F_0Cpa+(X_0F_0)Cpv\}Tad = Q_2$

เอนทาลปีที่ไอน้ำถ่ายทอดให้กับอากาศ = $W^*\Delta Hv = Q_{heater}$

พลังงานความร้อนในวัฏภาคไอ = $(M_{air}\ Cpa + M_{vapor}\ Cpv)\ Tad$

ทั้งนี้ในการจำลองสภาพการควบคุมจะใช้สมการตัวแทนเครื่องควบคุมเพื่อคำนวณหาค่า Q_{heater} ที่เหมาะสมเพื่อป้อนให้สมการที่ 6.5 และทำการอินทิเกรทโดยใช้วิธี Euler แก้สมการเชิงอนุพันธ์ที่เกี่ยวข้อง ได้แก่สมการที่ 6.1 – 6.4 เพื่อหาค่ามวลอากาศแห้ง มวลไอน้ำ มวลน้ำตาล และมวลน้ำที่สะสมอยู่ในระบบที่เวลาใดๆ เพื่อนำค่าไปแทนในสมการ 6.5

กรณีที่ทราบอัตราการไหลเชิงปริมาตรของอากาศที่ไหลเข้า / ออก เครื่องอบแห้ง , อุณหภูมิของอากาศ และ ค่าร้อยละของความชื้นสัมพัทธ์ (% RH) เข้า / ออกเครื่องอบแห้ง มีวิธีการคำนวณค่าต่างๆในสมการที่ 6.1 – 6.4 ดังนี้

นิยาม 1. อากาศเข้า/อากาศออก หมายถึง อากาศที่ไหลเข้าเครื่องทำแห้งและอากาศที่ไหลออกจากเครื่องทำแห้ง ในที่นี้ทั้งอากาศเข้า และอากาศออก ถือเป็น “moist air” คืออากาศที่มีไอน้ำปนอยู่ซึ่งประกอบไปด้วยส่วนของไอน้ำ (vapor) และ ส่วนของอากาศแห้ง (dry air)

2. อากาศแห้ง (dry air) คืออากาศที่ไม่มีไอน้ำปะปนอยู่เลย

3. ไอน้ำ (vapor) คือ น้ำในเฟสไอที่ปะปนอยู่กับอากาศแห้ง และถูกพาเข้าออกจากเครื่องทำแห้งโดยอากาศแห้ง

สมการที่เกี่ยวข้องกับการคำนวณ

Antoine Equation

สมการนี้ ใช้คำนวณหา “ความดันไอ” (ความดันย่อยที่จุดอิ่มตัว) ของสารชนิดต่างๆ ณ ระดับอุณหภูมิที่กำหนด โดยมีรูปแบบดังนี้

$$\log_{10} P^o = A - \left(\frac{B}{T + C}\right) - - - - - - (6.9)$$

เมื่อ T = ระดับอุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)

P^0 = ความดันไอ (มิลลิเมตรปรอท , mmHg.)

A , B , C เป็นค่าคงที่เฉพาะของแต่ละสารที่นำมาคำนวณ โดยสำหรับน้ำมีค่าดังนี้

ที่ 0-60 ^{0}C A = 8.10765 , B = 1750.286 , C = 235

ที่ 60-150 ^{0}C A = 7.96681 , B = 1668.21 , C = 228

จากการวัดอุณหภูมิของอากาศขาเข้า และอากาศขาออก เราสามารถคำนวณค่า P^0 ได้จากสมการ (6.9) เพื่อนำไปใช้คำนวณหาค่า Pv จากสมการ 6.10

<u>ค่าร้อยละของความชื้นสัมพัทธ์</u> (% RH)

% RH (หรือ ϕ) = $(Pv / P^0) \times 100 = (m_v / m_{sat}) \times 100$ ---------- (6.10)

เมื่อ P_v = ความดันย่อย ของไอน้ำ ที่อยู่ในอากาศ ณ อุณหภูมิที่กำหนด

P^0 = ความดันไอของน้ำ ณ อุณหภูมินั้น

(หน่วยความดันเป็น บรรยากาศ หรือ หน่วยอื่นๆ)

* จากค่า % RH ที่วัดได้ และค่า P^0 จากสมการ (6.9) จะหา P_V ได้จากสมการ (6.10)

<u>ค่า Humidity</u>

(ในที่นี้ P = 1 atm. และ $P_A = P_V$) จากสมการ 6.10 เมื่อคำนวณค่า P_V ได้แล้วจึงนำมาหาค่า humidity ซึ่งมีหน่วยเป็น Kg น้ำ /Kg อากาศแห้ง

$$Humidity = \frac{M_A P_A}{M_B (P - P_A)} = \frac{0.622\ P_V}{(1 - P_V)} \text{------(6.11)}$$

<u>ปริมาตรอากาศชื้น</u> (Humid Volume , V_H)

ค่าปริมาตรอากาศชื้นหรือ V_H คือ ปริมาตรของ "อากาศ" ("อากาศ" คือ อากาศแห้ง + ไอน้ำ) ต่อ 1 หน่วยมวลของอากาศแห้งที่มีอยู่ในปริมาตรนั้นๆ ณ อุณหภูมิที่กำหนด ที่ความดัน 1 บรรยากาศ โดย

$$V_H = \frac{0.0224\ T}{273}\left(\frac{1}{M_B} + \frac{Humidity}{M_A}\right) \text{---------(6.12)}$$

V_H มีหน่วย m^3/ กรัมของอากาศแห้ง

T คือ อุณหภูมิในหน่วยเคลวิน

M_B คือ มวลโมเลกุลของก๊าซ (อากาศแห้ง) = 28.9

M_A คือ มวลโมเลกุลของไอ (ไอน้ำ) = 18

<u>อัตราการไหลเชิงมวล ของอากาศแห้ง เข้า / ออก</u>

*เมื่อทราบค่า $V_{IN/OUT}$ หรือ <u>*อัตราการไหลเชิงปริมาตร*</u> *ของอากาศเข้า / ออก เครื่องอบแห้ง* ในหนึ่งหน่วยเวลา จึงนำมาหารด้วยค่า V_H ที่คำนวณได้เพื่อหา<u>*อัตราการไหลเชิงมวล*</u> *ของอากาศแห้ง เข้า / ออก*ได้ ดังต่อไปนี้

มวลอากาศแห้งเข้า/ออก $V_{IN/OUT} / V_H = m^3 / (m^3/gdryair) = g\ dryair.$ ----------(6.13)

โดย สำหรับ V_{IN} ในกรณีที่ศึกษาจะต้องคำนวณจากค่าอัตราการไหลของอากาศผ่านท่ออากาศเข้าทั้งสองท่อนำมารวมกันเนื่องจากเครื่องทำแห้งที่ศึกษามีท่ออากาศเข้าสองท่อ และสำหรับการคำนวณเพื่อจำลองผลการควบคุม เพื่อให้ง่ายต่อการคำนวณจึงมีเงื่อนไขว่าจะต้องไม่มีอากาศรั่วไหลออกจากตัวถังของเครื่องทำแห้งและอากาศไม่มีทางออกอื่นนอกจากบริเวณท่ออากาศไหลออกเท่านั้น และเดินเครื่องที่ความดันบรรยากาศคงที่ ซึ่งจากเงื่อนไขนี้จะทำให้ค่ามวลอากาศแห้งขาเข้ามีค่าเท่ากับมวลอากาศแห้งขาออก

จากนั้นแปลงหน่วยที่ได้ จากกรัมอากาศแห้งเป็นกิโลกรัมอากาศแห้ง

<u>มวลของไอน้ำในอากาศขาเข้า</u>

เมื่อคำนวณได้ค่ามวลของอากาศแห้งเป็นกิโลกรัมแล้วจึงนำมาคำนวณหามวลของไอน้ำในอากาศโดย

มวลของไอน้ำในอากาศ (kg. น้ำ) = Humidity (kg . น้ำ / kg อากาศแห้ง) X มวลอากาศแห้ง (kg อากาศแห้ง) ----------(6.14)

<u>ปริมาณน้ำที่อยู่ในน้ำตาลทรายขาเข้าและขาออก</u>

ปริมาณน้ำ(หน่วยเป็นกิโลกรัม) = (ความชื้นเป็นร้อยละ/100) X มวลของน้ำตาลทราย

อนึ่ง ในการคำนวณค่าต่างๆเบื้องต้นในการจำลองผลการควบคุม จะคำนวณเป็นอัตราการไหลต่อนาทีทั้งหมด

<u>อัตราการระเหยของน้ำออกจากน้ำตาล (W*)</u>

W* = Q / ΔHv = ปริมาณน้ำที่อยู่ในน้ำตาลทรายขาเข้า - ปริมาณน้ำที่อยู่ในน้ำตาลทรายขาออก

<u>มวลของไอน้ำในอากาศขาออก</u>

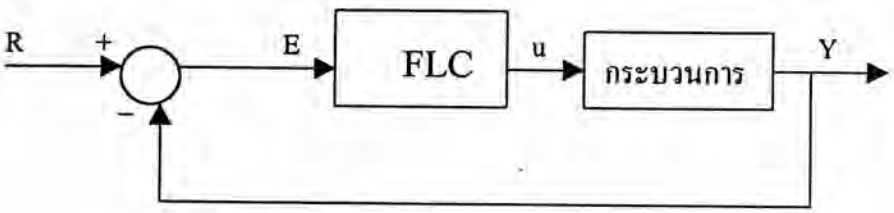
มวลของไอน้ำในอากาศขาออก = มวลของไอน้ำในอากาศขาเข้า + มวลของไอน้ำที่ระเหยออกจากน้ำตาลทราย

จากนั้นเมื่อได้ค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงหรืออัตราการไหลต่อนาทีของเทอมต่างๆในสมการที่ 6.1 – 6.4 รวมทั้งค่ามวลของน้ำ ไอน้ำ อากาศแห้ง และน้ำตาล ที่สะสมอยู่ในเครื่องทำแห้ง และค่า Q_{heate} ที่คำนวณได้จากแบบจำลองคณิตศาสตร์ของเครื่องควบคุมแบบ FLC หรือ PI จึงนำค่าต่างๆที่

คำนวณได้ มาแทนลงในสมการที่ 6.5 และใช้วิธี Euler Integration แก้สมการที่ 6.5 เพื่อหาอุณหภูมิของเครื่องทำแห้ง T_{ad} ในเฟสไอที่เวลาใดๆ เป้าหมายของการควบคุมคือการควบคุมค่า Q_{heater} เพื่อให้ค่า T_{ad} มีค่าเท่ากับอุณหภูมิที่ set point ซึ่งถือว่าเหมาะสมในการกำหนดระดับความชื้นของน้ำตาลทรายขาออก

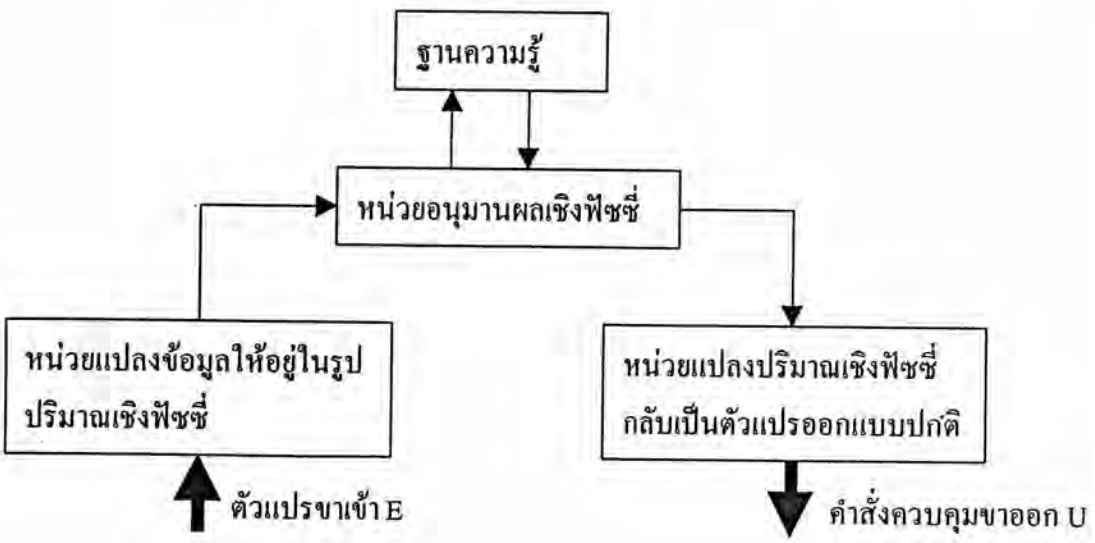
ขั้นตอนการคำนวณสมการสมดุลมวลและพลังงานที่ได้ และการใช้ออยเลอร์อินทิเกรชันในการทำนายค่าต่างๆ เมื่อเขียนเป็นบรรทัดคำสั่งภาษา C++ แล้วจะได้เป็นโปรแกรม simulate.cpp ดังแสดงไว้ในภาคผนวก

<u>การออกแบบแบบจำลองคณิตศาสตร์ของระบบควบคุมแบบฟัซซี่ลอจิกในงานวิจัย</u>



รูปที่ 6.2 ระบบควบคุมแบบฟัซซี่ลอจิกโดยทั่วไป

เครื่องควบคุมแบบฟัซซี่ลอจิกสามารถประกอบขึ้นเป็นระบบควบคุมแบบ closed-loop ดังรูปที่ 6.2 ซึ่งในงานวิจัยจะเป็นการจำลองผลการทำงานโดยใช้คอมพิวเตอร์คำนวณขึ้นทั้งหมด



รูปที่ 6.3 ส่วนประกอบพื้นฐานของระบบควบคุมแบบฟัซซี่ลอจิก

ในส่วนเครื่องควบคุมหรือ FLC (Fuzzy Logic Controller) นั้นแบ่งออกเป็นส่วนประกอบหลักต่างๆดังรูปที่ 6.3 คือ

1. หน่วยแปลงข้อมูลให้อยู่ในรูปปริมาณเชิงฟัซซี่ (Fuzzification Unit) หรือหน่วยแปลงตัวแปรเข้าแบบปกติให้เป็นตัวแปรเข้าแบบฟัซซี่ ทำหน้าที่เปลี่ยน(map)ตัวแปรสถานะที่วัดได้ของระบบซึ่งเป็นค่าปกติ (crisp value) เข้าไปเป็นค่าแบบฟัซซี่ (fuzzy linguistic value) ที่จะใช้เป็นตัวแปรป้อนเข้าแบบฟัซซี่ให้กับกระบวนการหาเหตุผลแบบฟัซซี่

2. ฐานความรู้(Knowledge Base) เป็นที่รวบรวม "ชุดของกฎ" (expert control rules) หรือ "ความรู้" (knowledge) ที่จำเป็นสำหรับใช้เพื่อให้ได้มา ซึ่งผลในการควบคุมที่ดี

3. หน่วยอนุมานผลเชิงฟัซซี่ (Fuzzy Logic Inferencing Unit) หรือ หน่วยหาเหตุผลเชิงฟัซซี่ (Fuzzy Logic Reasoning Unit) หน่วยประเมินผลโดยการหาเหตุผลแบบฟัซซี่ ทำหน้าที่ใช้ฟัซซี่ลอจิกเพื่อตัดสินตัวแปรการควบคุมแบบฟัซซี่ที่เหมาะสมสำหรับตัวแปรป้อนเข้าแบบฟัซซี่ค่าหนึ่งๆ โดยทำงานร่วมกับส่วน knowledge base

4. หน่วยแปลงปริมาณเชิงฟัซซี่กลับเป็นตัวแปรออกแบบปกติ (Defuzzification Unit) คือ หน่วยแปลงตัวแปรป้อนออกแบบฟัซซี่ให้เป็นตัวแปรออกแบบปกติที่ใช้สำหรับเป็นคำสั่งควบคุมระบบ (crisp control value)

ตัวแปรเข้า สำหรับข้อมูลป้อนเข้าแบบชัดเจน(crisp values) นั้นวิธีการทำ fuzzification มีดังนี้

1.รับข้อมูลที่เป็นค่าแบบชัดเจน(crip values)ของตัวแปรป้อนเข้า(input variables)

2.ทำการเปลี่ยน(mapping)ค่าแบบชัดเจนของตัวแปรป้อนเข้าเหล่านั้นให้เข้าไปอยู่ใน universes of discourse ที่มีความสัมพันธ์กัน

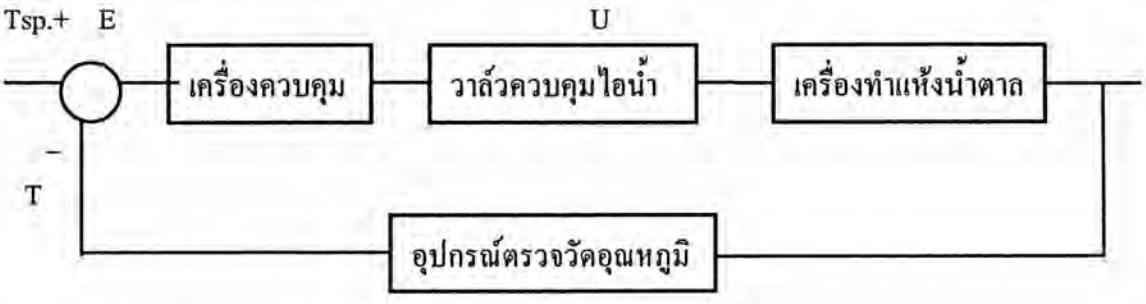
3.ถ้าต้องการ(ในบางกรณี)ก็เปลี่ยนข้อมูลที่ถูกเปลี่ยนมาแล้ว(mapped data) ให้อยู่ในรูป fuzzy singletons * หรือมิฉะนั้นเปลี่ยนข้อมูลแต่ละตัว ให้เป็นพจน์ในเชิงภาษาพูด (linguistic terms) ที่เหมาะสมซึ่งบ่งถึงฟัซซี่เซต ที่ถูกกำหนดไว้สำหรับตัวแปรตัวนั้นๆ

ตัวแปรออก กระบวนการเปลี่ยนตัวแปรฟัซซี่กลับเป็นตัวแปรแบบปกติ (defuzzification) จะมีความยุ่งยากซับซ้อนมากกว่าและโดยทั่วไปจะเป็นส่วนหนึ่งของ ขั้นสุดท้ายของการทำการอนุมานแบบฟัซซี่ (fuzzy inferencing) ในขั้นตอนนี้จะมีความเกี่ยวพันกับการให้น้ำหนัก(weighting)และการประมวลผลฟัซซี่เซตต่างๆ (fuzzy inference process) ในการคำนวณเพื่อจะกำหนดค่าปกติ(crisp value) ให้กับตัวแปรป้อนออก(แบบฟัซซี่)แต่ละตัว

ในส่วนที่เป็น "ชุดของกฎ" (rule base)ประกอบด้วยกฎเกณฑ์แบบฟัซซี่ต่างๆซึ่งแสดงความสัมพันธ์เกี่ยวกับตัวแปรต่างๆในการควบคุมกฎเหล่านี้มักแสดงในรูปแบบของ IF-THEN rule

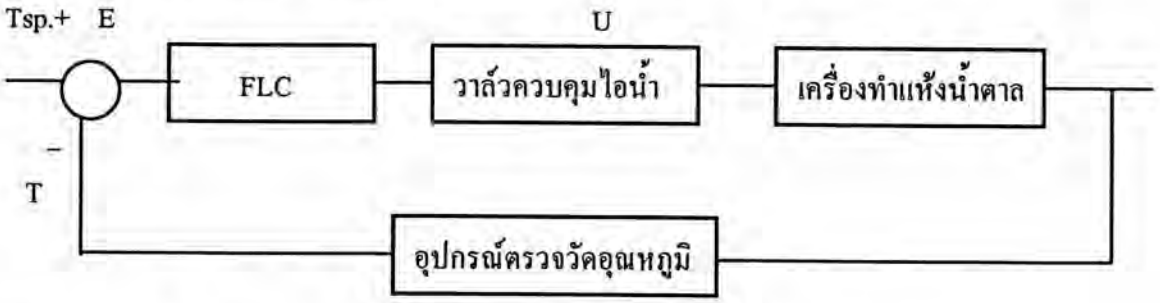
กลวิธีที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองแบบฟัซซี่มีหลายแบบได้แก่ Linguistic Model (LM),Learning of LM Based on Fuzzy relational equations,Template-Based Fuzzy System Modelling,Template Fuzzy Modelling Via Belief Structure,Learning Fuzzy Model Parameter Via Back-Propagation,LMS Method and Widrow-Hoff Rule for learning Consequents,Kalman Filter Method of Learning Consequents,The Mountain-Clustering Method โดยทุกวิธีที่กล่าวยกเว้น Mountain-Clustering Method จะเป็นการสร้างแบบจำลองแบบฟัซซี่ โดยการพยายามสร้างแบบจำลองของระบบขึ้นมาจากวิธีการที่ผู้เชี่ยวชาญ ผู้ควบคุมเครื่องจักรที่มีประสบการณ์ หรือวิศวกรในสาขานั้นๆใช้อธิบาย คิด และทำการควบคุมการทำงานของระบบ นั่นคือในการพยายามสร้างแบบจำลองฟัซซี่ขึ้นมา จะต้องอาศัยความรู้จากผู้เชี่ยวชาญที่เป็นมนุษย์ด้วย ซึ่งความรู้เหล่านี้จะอยู่ในรูปของกฎเกณฑ์การตัดสินใจ IF-THEN rule ในฐานความรู้ และการประมาณค่าแบบหยาบๆที่ใช้ในวิธี Template ส่วนวิธี Mountain Clustering นั้นจะใช้เมื่อไม่มีความรู้จากผู้เชี่ยวชาญเหล่านี้และมีเพียงค่าต่างๆที่เป็นข้อมูลของสภาวะระบบป้อนเข้ากับค่าสภาวะระบบป้อนออกที่วัดได้จากระบบเท่านั้นโดยทำการรวมกลุ่ม(clustering)กลุ่มข้อมูลของสภาวะระบบป้อนเข้าและสภาวะระบบป้อนออกที่วัดได้ เพื่อจำลองโครงสร้างของระบบที่ต้องการควบคุมวิธีการทำ clustering มีหลายแบบแต่จะไม่กล่าวโดยละเอียด ณ ที่นี้(Yager,and Filev,1994)

การนำเครื่องควบคุม มาควบคุมกระบวนการทำแห้งน้ำตาลในโรงงานอุตสาหกรรมน้ำตาลทรายอาจเขียนได้เป็น



รูปที่ 6.4 บล็อคไดอะแกรมแสดงการควบคุมเครื่องทำแห้ง

และเมื่อนำระบบการควบคุมแบบฟัซซี่ลอจิกมาใช้ในการควบคุมเครื่องทำแห้งน้ำตาลทรายแล้วอาจเขียนเป็น Block Diagram ได้ดังนี้



รูปที่ 6.5 บล็อคไดอะแกรมแสดงการควบคุมเครื่องทำแห้งโดยใช้เครื่องควบคุมแบบ FLC

จากผลการวิเคราะห์อนุกรมเวลาในการทดลองตอนที่ 1 ทำให้ทราบว่าน่าจะมีตัวแปรขาเข้าอยู่หลายตัวแปรที่สมควรจะนำมาประมวลผลเพื่อสรุปหาตัวแปรควบคุมขาออก เช่น อุณหภูมิการทำแห้ง %RH ของอากาศขาเข้า และขาออก ความแปรปรวนของขนาดเม็ด ฯลฯ ซึ่งตัวแปรขาเข้าแต่ละตัวนั้น หากจะนำมาใช้ จะต้องมีชุดของกฎแต่ละชุดของตนเองมารองรับเพื่อจะใช้ในการคำนวณหาผลรวมที่เป็นค่าสัญญาณควบคุมขาออก

แต่ในการวิจัยจะพิจารณาเลือกตัวแปรขาเข้าที่จะใช้เป็นข้อมูลในการอนุมานหาคำสั่งควบคุมที่เหมาะสมเพียงสองตัวแปร เพื่อลดความยุ่งยากในการคำนวณ การกำหนดฟังก์ชันการเป็นสมาชิกของเซตฟัซซี่ และเวลาที่ใช้ในการพัฒนาโปรแกรมที่ใช้ในการจำลองผลการควบคุม โดยมีหลักต่างๆที่ใช้ประกอบในการพิจารณาเลือกตัวแปรคือ

1.เลือกตัวแปรที่มีผลต่อความชื้นของน้ำตาลทรายขาออกอย่างชัดเจน

2.เลือกตัวแปรที่สามารถกระทำการวัดได้โดยตรง และมีอุปกรณ์ตรวจวัดแบบอัตโนมัติที่สามารถใช้วัดค่าตัวแปรนั้นได้ในทันทีมารองรับ เพื่อความถูกต้องแม่นยำของการควบคุม และเพื่อความสะดวกในการปรับปรุงกระบวนการทำแห้งที่มีอยู่ หากมีการนำเครื่องควบคุมแบบฟัซซี่ลอจิกไปใช้งานจริงในภายหลัง

อุณหภูมิของเครื่องทำแห้งในวัฏภาคไอ และ ความชื้นของน้ำตาลทรายขาออกจึงเป็นสิ่งที่เลือกมาเป็นตัวแปรขาเข้าสำหรับประมวลผลหาคำสั่งควบคุม หรือปริมาณความร้อนที่จะจ่ายให้กับกระบวนการเพื่อจำลองผลการควบคุมแบบลูปปิดโดยใช้เครื่องควบคุมแบบฟัซซี่ลอจิก

เมื่อเลือกตัวแปรที่สนใจได้แล้วจึงสร้าง ฟัซซี่เซตสำหรับตัวแปรต่างๆสำหรับใช้ในขั้นตอนการคำนวณ fuzzification และ defuzzification

<u>แนวทางที่ใช้กำหนดค่าฟังก์ชันการเป็นสมาชิกของฟัซซี่เซตและการสร้างฟัซซี่เซต</u>

มีหลายแนวทางในการกำหนดรูปแบบของฟังก์ชันการเป็นสมาชิกสำหรับตัวแปรที่สนใจเพื่อพัฒนาเครื่องควบคุมแบบฟัซซี่ลอจิก (Yan, Ryan and Power, 1994), (Yager and Filev, 1994), (Zhang and Litchfield, 1991) ทั้งโดยวิธีที่ใช้การเก็บและวิเคราะห์สถิติข้อมูลของตัวแปรที่สนใจ (Zhang and Litchfield, 1991) และการกำหนดรูปแบบฟังก์ชันการเป็นสมาชิกโดยใช้รูปแบบฟังก์ชันการเป็นสมาชิกมาตรฐานที่นิยมใช้ทั่วไปสำหรับพัฒนาฟัซซี่เซตสำหรับใช้กับเครื่องควบคุมแบบฟัซซี่ลอจิก ฟัซซี่เซตต่างๆเหล่านี้ได้แก่ (Yager and Filev, 1994), (Zhang and Litchfield, 1991)

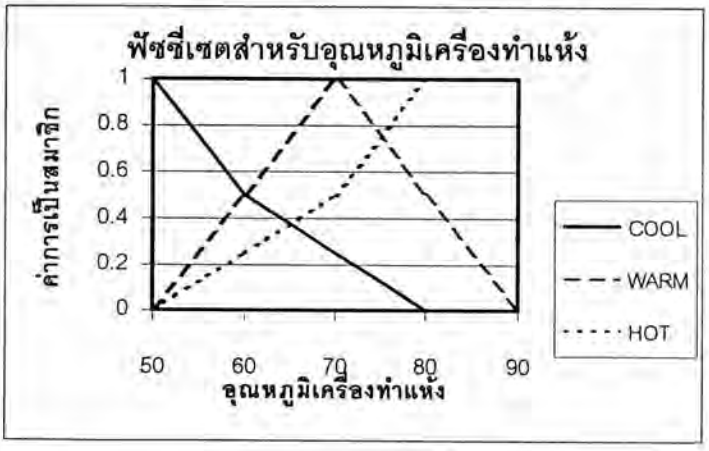
1. S-function ใช้สำหรับกรณีที่ค่าการเป็นสมาชิกของฟัซซี่เซตที่กำหนด ในช่วงค่าสูงสุดหรือต่ำสุดของตัวแปรหนึ่งๆ มีค่าต่างจากค่าการเป็นสมาชิกของตัวแปรนั้นในช่วงค่าอื่นๆอย่างชัดเจน
2. π-function ใช้หลักการกระจายค่าแบบปกติ (normal distribution) ในการกำหนดลักษณะของฟังก์ชัน กราฟที่ได้จะมีลักษณะเป็นรูประฆังคว่ำ เหมาะสำหรับใช้กำหนดค่าการเป็นสมาชิกในกรณีทั่วไป
3. Triangular form หรือ T-function มีลักษณะกราฟเป็นรูปสามเหลี่ยมจากการนิยามค่าการเป็นสมาชิกแบบเชิงเส้น ใช้ในกรณีที่ตัวแปรสำหรับเครื่องควบคุมแบบฟัซซี่ลอจิกที่สนใจมีค่าที่เหมาะสมเพียงค่าเดียวในระหว่างช่วงของค่าตัวแปรที่สนใจ ที่นำมานิยามฟัซซี่เซตนั้นๆ
4. Trapezoid form ลักษณะการนิยามจะคล้ายกับกรณีของ T-function กล่าวคือการเพิ่มหรือลดค่าการเป็นสมาชิกที่ค่าต่างๆของตัวแปรที่สนใจจะมีลักษณะเป็นเชิงเส้น โดยต่างจาก T-function คือมีลักษณะรูปกราฟเป็นสามเหลี่ยมยอดตัด หรือสี่เหลี่ยมคางหมู ใช้ในกรณีที่ตัวแปรสำหรับเครื่องควบคุมแบบฟัซซี่ลอจิกที่สนใจมีค่าการเป็นสมาชิกที่เหมาะสมเป็นช่วงกว้าง ในระหว่างช่วงของค่าตัวแปรที่สนใจ ที่นำมานิยามฟัซซี่เซตนั้นๆ
5. Exponential form การเพิ่มหรือลดของค่าการเป็นสมาชิก ที่ค่าต่างๆของตัวแปรที่สนใจมีลักษณะเป็นเอกซ์โพเนนเชียล

ในงานวิจัยเลือกใช้รูปแบบฟังก์ชันการเป็นสมาชิกทั้งในแบบ Triangular form Trapezoid form มาใช้ในการนิยามฟัซซี่เซตสำหรับตัวแปรต่างๆของโปรแกรมเครื่องควบคุมเนื่องจากกระบวนการที่ศึกษาเป็นกระบวนการที่ไม่ซับซ้อนมาก และการนิยามฟังก์ชันการเป็นสมาชิกเป็นเชิงเส้นทำให้ง่ายต่อการจัดรูปเป็นอาเรย์ และการคำนวณ ดังตัวอย่างบรรทัดคำ

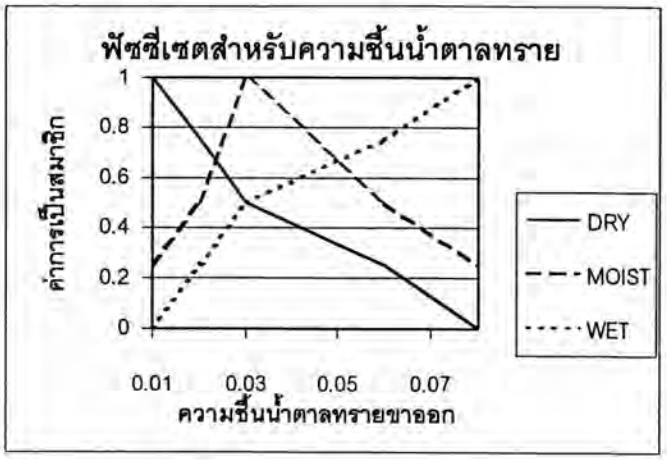
สั่งบางส่วนของโปรแกรมเครื่องควบคุม ที่แสดงการนิยามฟัซซี่เซตต่างๆสำหรับตัวแปรที่สนใจ ดังนี้

```
/* 1.Dryer Temperature (Using Exhaust Air Temperature to calculate */
        float   T[N_ELEM] = { 50,  60,  70,  80,  90};
        float COOL[N_ELEM] = { 1.0,  0.5,  0.25,  0,   0};
        float WARM[N_ELEM] = { 0,  0.5,  1.0,  0.5,  0};
        float  HOT[N_ELEM] = {  0,  0.25,  0.5,  1.0, 1.0};
  /* 2.Humidity(moisture) of dried sugar output */
        float   H[N_ELEM] = { 0.01, 0.02, 0.03, 0.06, 0.08};
        float  DRY[N_ELEM] = { 1.0,  0.75,  0.5,  0.25,  0};
        float MOIST[N_ELEM] = { 0.25,  0.5,  1.0,  0.5,  0.25};
        float  WET[N_ELEM] = {  0,  0.25,  0.5,  0.75,  1.0};
/* 3.Amount of Heat supplied to the dryer */
        float       Q[N_ELEM]  =  {  0,  2898133,  3622666.25,  4347199.5,
        5071732.75 };
        float  LOW[N_ELEM] = { 1.0,  0.75,  0.5,  0,  0};
        float  MED[N_ELEM] = { 0, 1.0, 0.5, 0,  0};
        float HIGH[N_ELEM] = {  0,  0.5,  0.75,  1.0,  1.0};
```

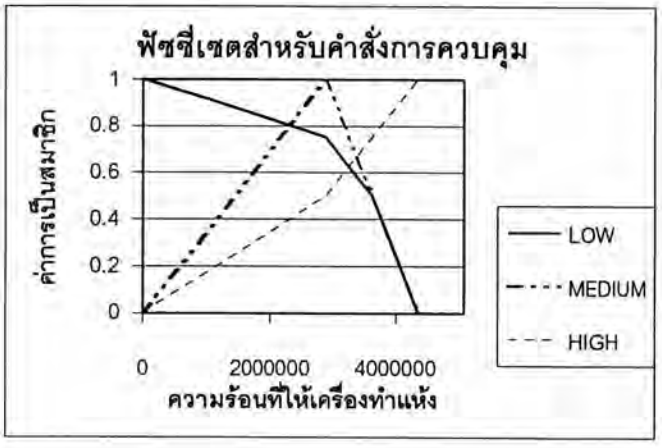
ซึ่งเมื่อแสดงในรูปกราฟจะมีลักษณะดังนี้



รูปที่ 6.6 ฟัซซี่เซตสำหรับอุณหภูมิเครื่องทำแห้ง



รูปที่ 6.7 ฟัซซี่เซตสำหรับความชื้นน้ำตาลทราย



รูปที่ 6.8 ฟัซซี่เซตสำหรับคำสั่งการควบคุม

การกำหนดช่วงค่าของตัวแปรต่างๆทั้งสามตัวแปรและแนวทางที่ใช้ประกอบการพิจารณาเพื่อนิยามฟังก์ชันการเป็นสมาชิกของฟัซซี่เซตในรูปที่ 6.6 – 6.8 สำหรับการทำ fuzzification นั้นได้มาจากการพิจารณาข้อมูลจริงที่บันทึกได้จากโรงงานน้ำตาลท่ามะกา หรือสภาวะการทำแห้งน้ำตาลทรายที่เหมาะสม ที่ได้จากทฤษฎี ดังนี้

<u>สำหรับอุณหภูมิการทำแห้ง</u>

พิจารณาได้จาก ค่าตัวเลขแสดงช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมที่ใช้ในการทำแห้งน้ำตาลทรายที่แสดงอยู่ใน Cane Sugar Handbook (Chen, 1993) ช่วงของข้อมูลด้านอุณหภูมิการทำแห้งที่บันทึกข้อมูลได้จริง และค่าอุณหภูมิ set point ที่ทางโรงงานใช้อยู่จริง (70 - 75 องศาเซลเซียส) โดย

ประมาณช่วงค่าอุณหภูมิให้ครอบคลุมค่าอุณหภูมิในช่วงกว้างกว่าข้อมูลที่ได้เล็กน้อยเพื่อป้องกันความผิดพลาดในการประมวลผลหากค่าอุณหภูมิเกิดการแกว่งขึ้นลงมากกว่าค่าที่ได้บันทึกเอาไว้

สำหรับความชื้นน้ำตาลทรายขาออก

พิจารณาช่วงค่าความชื้นน้ำตาลทรายแห้งขาออกที่ควรจะเป็นจากข้อมูลที่บันทึกได้จากโรงงาน โดยประมาณช่วงค่าความชื้นให้ครอบคลุมค่าความชื้นในช่วงกว้างกว่าข้อมูลที่ได้เล็กน้อยเพื่อป้องกันความผิดพลาดเช่นกัน และค่าความชื้นขาออกของน้ำตาลทรายแห้งที่เหมาะสมจะพิจารณาทั้งจากข้อมูลที่บันทึกไว้และจากค่าที่แสดงอยู่ใน Cane Sugar Handbook (Chen, 1993)

สำหรับพลังงานความร้อนที่จ่ายให้กระบวนการ

ในทางปฏิบัติ ค่าปริมาณพลังงานความร้อนที่ให้กับเครื่องทำแห้งจะต้องมีการกำหนดอีกครั้งเพื่อความเหมาะสมกับสภาพของเครื่องทำแห้งอื่นๆ ที่จะนำแบบจำลองเครื่องควบคุมแบบฟัซซี่ลอจิกที่ได้จากงานวิจัยนี้ไปทำการควบคุม โดยในทางปฏิบัติอาจกำหนดเป็นค่าที่เป็นตัวเลขของสัญญาณควบคุมที่เป็น ความดัน(psi) หรือ ค่ากระแสไฟ(mA) (ขึ้นกับว่าใช้วาล์วชนิดใด)ที่จะไปสั่งการให้เปิดวาล์วจ่ายไอน้ำให้ความร้อนกับระบบให้เปิดมาก หรือเปิดน้อยตามต้องการ

สำหรับในขั้นตอนของงานวิจัยนี้ เพื่อให้ง่ายต่อการคำนวณและแสดงผล จึงแทนค่าเป็นตัวเลขแสดงปริมาณความร้อนเป็นแคลอรีโดยตรง โดยปริมาณความร้อนที่นำมากำหนดฟัซซี่เซตนั้นจะอยู่ในช่วงของค่าที่ได้จากการคำนวณหาปริมาณความร้อนที่ต้องการเพื่อระเหยน้ำออกจากน้ำตาลเปียกเพื่อให้มีความชื้นตามที่กำหนดโดยคำนวณจากสมดุลมวลและพลังงาน

โดยอาศัยข้อมูลจำพวก ความจุของเครื่องทำแห้ง พื้นที่แลกเปลี่ยนความร้อนของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน อัตราการไหลของมวลทั้งวัฏภาคไอและวัฏภาคน้ำตาล ที่ได้จากการสอบถามข้อมูลจากทางโรงงาน รวมทั้งช่วงของข้อมูลด้านความชื้นของน้ำตาลทรายที่บันทึกได้

ในการปรับปรุงโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นเพื่อปรับแต่งหาลักษณะการนิยามฟังก์ชันการเป็นสมาชิกที่เหมาะสมที่สุดสำหรับแต่ละตัวแปรนั้น กระทำได้โดยการปรับเปลี่ยนค่าการเป็นสมาชิกในอาเรย์ที่กำหนดไว้ในบรรทัดคำสั่งภาษา C++ แล้วทดลองใช้โปรแกรมคำนวณจนกว่าจะได้คำตอบที่น่าพอใจ สำหรับประสิทธิภาพของการควบคุมที่จะได้ เพราะการนิยามจากทฤษฎีทั้งหมด ในทางปฏิบัติจะเป็นไปไม่ได้เพราะเครื่องทำแห้งแต่ละเครื่องจะมีสภาวะการทำแห้งที่เหมาะสมสำหับแต่ละเครื่องอยู่ ซึ่งการใช้วิธี trial and error ในการนี้แม้ไม่ใช่วิธีที่สุดในการกำหนดรูปแบบของฟังก์ชันการเป็นสมาชิก แต่ง่ายที่สุดและได้ผลดีพอสมควร โดยมีผู้วิจัยอื่น(Rhinehart, Li, and Murugan, 1996)ได้เคยใช้วิธีนี้อย่างได้ผลมาแล้ว อย่างไรก็ดีในทางทฤษฎี (Yan, Ryan and Power, 1994) นั้นระบบควบคุมฟัซซี่ลอจิกชนิดที่ปรับตนเองได้โดยมีฐานความรู้แบบปรับเปลี่ยนได้นั้นมีวิธีในการคำนวณอยู่หลายวิธีเพื่อปรับเปลี่ยนฟังก์ชันการเป็นสมาชิกให้เหมาะกับเงื่อนไขของ

กระบวนการที่เปลี่ยนไปได้ซึ่งหากมีการขยายขอบเขตของการวิจัยออกไปจะเป็นแนวทางที่น่าจะนำมาใช้งาน สำหรับในขั้นตอนการทำ fuzzification ในงานวิจัยนี้จะใช้วิธีรับค่าตัวแปรที่สนใจหนึ่งๆ เข้ามาและคำนวณค่าการเป็นสมาชิกจากค่าที่นิยามไว้ในรูปที่ 6.6 – 6.8 แล้วจัดให้ตัวแปรนั้นเป็นสมาชิกของฟัซซี่เซตที่ให้ค่าการเป็นสมาชิกสูงที่สุดสำหรับค่าของตัวแปรในขณะนั้น

แนวทางการกำหนดส่วน fuzzy knowledge base เป็น fuzzy control rules (ชุดของกฎควบคุม)

ชุดกฎการควบคุมแบบฟัซซี่ที่ใช้เป็นหลักในการเขียนโปรแกรมเครื่องควบคุมมีลักษณะดังนี้

Rule 1 IF H = WET THEN Q = HIGH

Rule 2 IF T = COOL AND H = DRY THEN Q = MED

Rule 3 IF T = COOL AND H = MOIST THEN Q = HIGH

Rule 4 IF T = WARM AND H = DRY THEN Q = MED

Rule 5 IF T = WARM AND H = MOIST THEN Q = HIGH

Rule 6 IF T = HOT AND H = DRY THEN Q = LOW

Rule7 IF T = HOT AND H = MOIST THEN Q = LOW

ทั้งนี้อาจกำหนดชุดของกฎควบคุมเพิ่มจากนี้ได้อีก ทั้งนี้แล้วแต่ผู้พัฒนาระบบควบคุม

นอกเหนือจากการกำหนดฟังก์ชันการเป็นสมาชิกที่เหมาะสมแล้ว ประสิทธิภาพของเครื่องควบคุมแบบฟัซซี่ลอจิกจะยังขึ้นกับลักษณะของชุดของกฎควบคุมที่เหมาะสมด้วย โดยในการวิจัยขั้นนี้เพียงแต่พัฒนากฎควบคุมขึ้นมาเพียง 7 ข้อโดยอิงกับตรรกะของการควบคุมที่น่าจะเป็น ขณะที่ผู้ควบคุมเครื่องกำลังกระทำการควบคุมเครื่องทำแห้งอยู่

วิธีกระทำการอนุมานเชิงฟัซซี่เพื่อหาค่าคำสั่งการควบคุมขาออกที่เหมาะสม

เมื่อรับตัวแปรขาเข้าแล้วระบบควบคุมจะทำการอนุมานผลแบบฟัซซี่ (fuzzy inference) เพื่อหารูปแบบตัวแปรควบคุมขาออกแบบฟัซซี่ที่เหมาะสมซึ่งอาศัยการประเมินรวมผลที่คำนวณได้จากกฎการควบคุมทั้งหมดในชุดของกฎควบคุมที่มีอยู่แล้วกระทำขั้นตอน defuzzification เพื่อหาค่าความร้อนที่จะป้อนให้กับกระบวนการ ในการวิจัยนี้จะใช้การคำนวณแบบ MAX DOT เพื่ออนุมานหาคำสั่งการควบคุมที่เหมาะสมขาออก ซึ่งในการวิจัยนี้กำหนดเป็นค่าความร้อน Q ที่จ่ายให้กับระบบ

ในการหาเหตุผลเชิงฟัซซี่แบบ MAX--DOT จะใช้ Larsen's product operation rule Rp สามารถอ่านรายละเอียดเพิ่มเติมในส่วนวารสารปริทัศน์

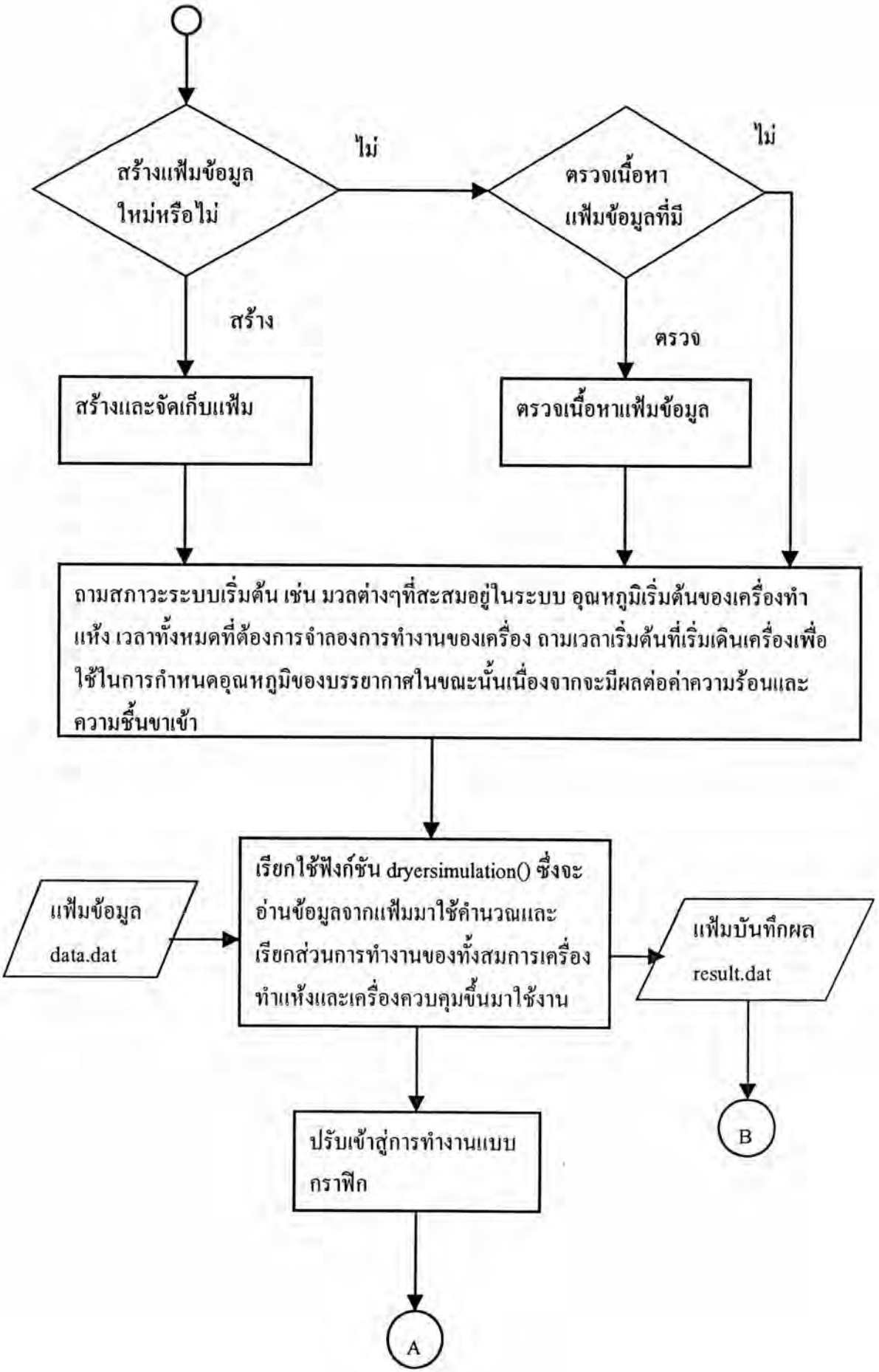
วิธีกระทำการ defuzzification เพื่อหาผลรวมของคำสั่งการควบคุมที่เหมาะสมขาออก

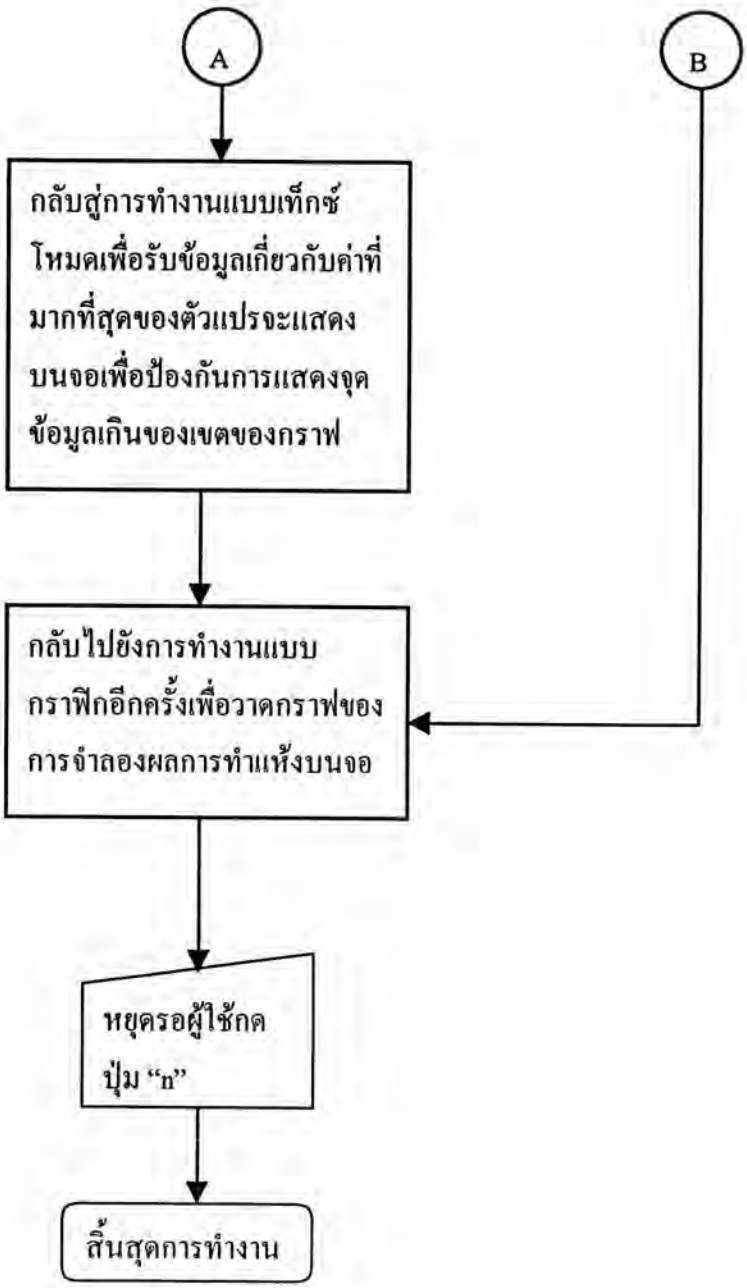
ในงานวิจัยใช้วิธี Center of Gravity หรือที่รู้จักในชื่อ Mean of Maximum (MOM) ในการแปลงและรวมค่าที่ได้ออกมาเป็นคำสั่งควบคุม วิธีนี้จะทำให้เกิดคำสั่งการควบคุมที่แสดงถึงค่าเฉลี่ยของคำสั่งการควบคุมทุกๆ ข้อที่ฟังก์ชั่นในการเป็นสมาชิกของมันมีค่าถึงจุดสูงสุด สามารถอ่านรายละเอียดทางทฤษฎีเพิ่มเติมในส่วนวารสารปริทัศน์

การทำงานของโปรแกรมหลัก

กรณีที่ใช้สำหรับการคำนวณสามารถเพิ่มได้ไม่จำกัดหากต้องการ แต่ในงานวิจัยได้ทำตัวเลือกไว้ 5 ชนิดได้แก่ กรณีที่ไม่มีเครื่องควบคุม กรณีที่ใช้เครื่องควบคุมแบบ FLC กรณีที่ใช้เครื่องควบคุมแบบ PI โดยกรณีที่มีเครื่องควบคุมทั้งสองกรณียังสามารถเลือกให้แสดงหรือไม่แสดงผลการคำนวณของแต่ละรอบของการคำนวณขึ้นมาให้เห็นบนหน้าจอได้

สำหรับกรณีที่ใช้เครื่องควบคุมคือกรณีที่ 2 - 5 เมื่อเลือกการประมวลผลในกรณีใดกรณีหนึ่งแล้ว ต่อจากนั้นจะมีขั้นตอนในการประมวลผลที่เหมือนกันทุกประการในแต่ละกรณี ซึ่งแตกต่างกันเฉพาะฟังก์ชันของเครื่องควบคุมที่ใช้ และการเลือกว่าจะแสดงผลการคำนวณแต่ละรอบบนจอหรือไม่ เท่านั้น จึงสามารถสรุปผังงานทั่วไป สำหรับลักษณะการประมวลผลในกรณีต่างๆออกมาได้ดังนี้


สร้างแฟ้มข้อมูล
ใหม่หรือไม่
ไม่
ตรวจเนื้อหา
แฟ้มข้อมูลที่มี
ไม่
สร้าง
ตรวจ
สร้างและจัดเก็บแฟ้ม
ตรวจเนื้อหาแฟ้มข้อมูล
ถามสภาวะระบบเริ่มต้น เช่น มวลต่างๆที่สะสมอยู่ในระบบ อุณหภูมิเริ่มต้นของเครื่องทำแห้ง เวลาทั้งหมดที่ต้องการจำลองการทำงานของเครื่อง ถามเวลาเริ่มต้นที่เริ่มเดินเครื่องเพื่อใช้ในการกำหนดอุณหภูมิของบรรยากาศในขณะนั้นเนื่องจากจะมีผลต่อค่าความร้อนและความชื้นขาเข้า
แฟ้มข้อมูล
data.dat
เรียกใช้ฟังก์ชัน dryersimulation() ซึ่งจะอ่านข้อมูลจากแฟ้มมาใช้คำนวณและเรียกส่วนการทำงานของทั้งสมการเครื่องทำแห้งและเครื่องควบคุมขึ้นมาใช้งาน
แฟ้มบันทึกผล
result.dat
B
ปรับเข้าสู่การทำงานแบบกราฟิก
A



รูปที่ 6.9 ผังงานแสดงขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมหลัก

โปรแกรมที่พัฒนาขึ้น เขียนด้วยภาษา C++ โดยใช้โปรแกรมคอมไพเลอร์บอร์แลนด์ C++ 5.0 ในการพัฒนา โปรแกรมทำงานบนระบบปฏิบัติการดอส โดยทำเป็นแฟ้มโปรเจ็กต์ไฟล์ชื่อ dryer.ide ซึ่งประกอบด้วยแฟ้มย่อย 11 แฟ้มได้แก่ simulate.h, simulate.cpp, graphini.inc, simgraph.h, simgraph.cpp, myheader.h, maindry.cpp, airtemp.h, airtemp.cpp, datinout.h, datinout.cpp ซึ่งแสดงจะรายละเอียดของทุกแฟ้มไว้ในภาคผนวก