บทที่ 5

การทดลองอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบงวดขนาดเล็ก

5.1 วัตถุดิบที่ใช้ในการทดลอง

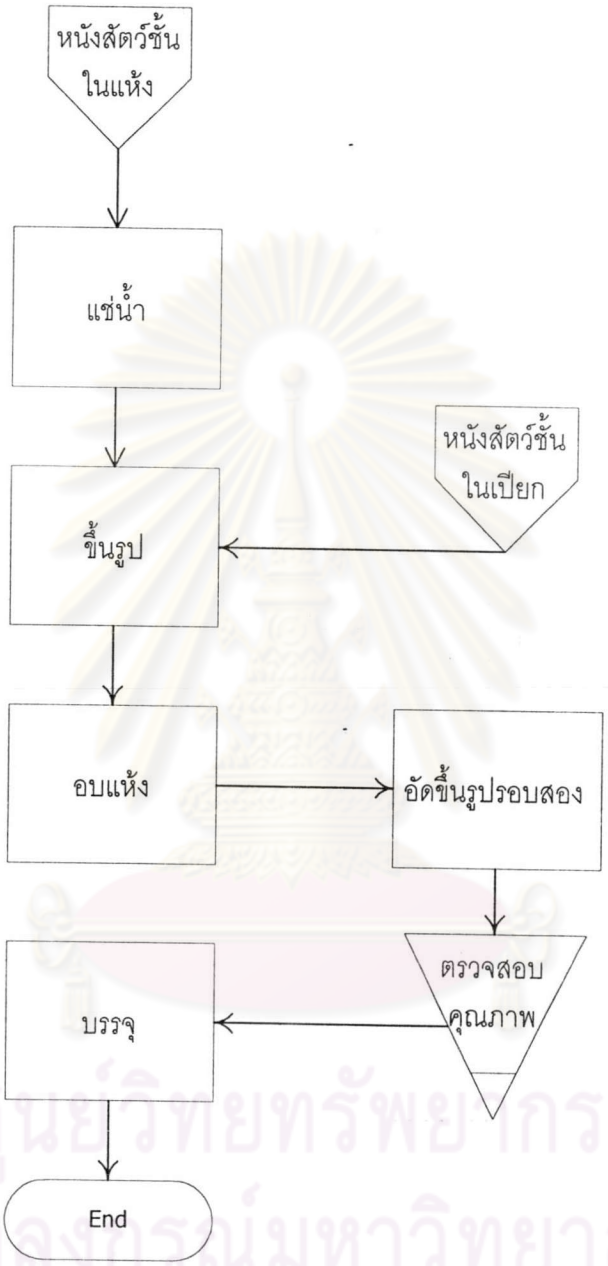
วัตถุดิบที่ใช้ในการทดลองแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทได้แก่ กระดูกอัด และ ชิ้นขบเคี้ยว ซึ่งแต่ละประเภทมีวิธีการเตรียมดังนี้

5.1.1 กระบวนการผลิตกระดูกอัด (Rawhide)

เริ่มจากการนำวัตถุดิบที่เป็นหนังสัตว์ (โคและกระบือ) ชั้นใน (ระหว่างชั้นนอกที่นำไปทำเครื่องหนังกับชั้นไขมัน) ซึ่งจะมาใน 2 แบบ คือ แบบเปียกและแบบแห้ง เริ่มจากนำหนังมาตัดตามแบบที่จะผลิต จากนั้นสำหรับแบบแห้งต้องผ่านกระบวนการแช่น้ำก่อนเพื่อทำให้หนังมีความอ่อนนุ่มและง่ายต่อการขึ้นรูป แล้วหนังเปียกและหนังแห้งที่ผ่านการแช่น้ำจะผ่านกระบวนการขึ้นรูป โดยการขึ้นรูปด้วยแม่แบบ (Mold) ที่อัดด้วยแท่นไฮดรอลิก หลังจากนั้นจะเข้าสู่กระบวนการอบแห้งซึ่งเป็นขั้นตอนที่ทำการวิจัยศึกษา หลังจากนั้นเมื่อกระดูกอัดได้ความชื้นตามมาตราฐาน (ร้อยละ17.65 dry basis) จะถูกอัดอีกครั้งเพื่อให้เข้ารูป เพราะหลังจากการอบแห้งผลิตภัณฑ์จะเกิดการคลายตัว แล้วจึงเข้าสู่กระบวนตรวจสอบคุณภาพและบรรจุ สรุปได้ดังรูปที่ 5.1

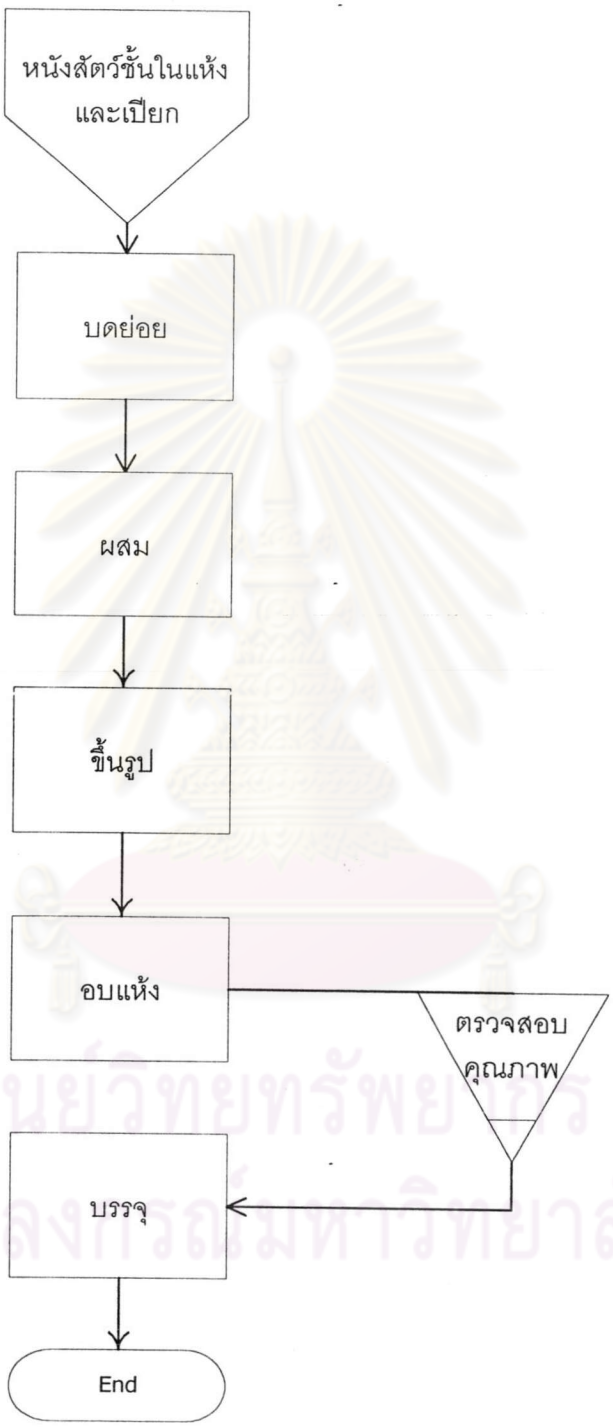
5.1.2 กระบวนการผลิตชิ้นขบเคี้ยว (Munchy)

กระบวนการในการผลิตจะมีขั้นตอน คือ เริ่มจากนำเศษที่เหลือจากการตัดแบบที่ทำกระดูกอัดนำมาบดย่อย จากนั้นนำหนังที่บดย่อยผสมกับแป้งมันที่ผ่านการต้มสุกและส่วนผสมอื่นๆ เช่น สี กลิ่น แล้วนำมาขึ้นรูปโดยชิ้นขบเคี้ยวแบบ 9-10 มิลลิเมตร และ 28-30 มิลลิเมตรจะขึ้นรูปโดยการใช้เครื่องฉีดแบบสกรู แต่ชิ้นขบเคี้ยวแบบวัฟเฟิลจะขึ้นรูปโดยใช้แม่แบบที่อัดด้วยแท่นไฮดรอลิก จากนั้นจะนำมาผ่านการอบแห้งซึ่งเป็นขั้นตอนที่ทำการวิจัย แล้วผลิตภัณฑ์จะถูกนำไปตัดแต่ง ตรวจสอบคุณภาพและบรรจุต่อไป สรุปได้ดังรูปที่ 5.2



รูปที่ 5.1 ผังกระบวนการผลิตกระดูกอัด (Rawhide)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5.2 ผังกระบวนการผลิตชิ้นขบเคี้ยว (Munchy)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

5.2.1 เครื่องวัดความเร็วลม (Air Velocity Measuring Instrument)

เครื่องวัดความเร็วลมรุ่น Testo 425 ในงานวิจัยนี้ใช้สำหรับการสอบเทียบกับชุดวัดอัตราการไหลของอากาศ จัดจำหน่ายโดยบริษัท เอ็นเทคเอชโซซิเอต จำกัด (ENTECH ASSOCIATE Co., Ltd.) ใช้ในการประเมินหาค่าความเร็วลมที่อยู่ในช่วง 0 – 20 เมตรต่อวินาที โดยอาศัยหลักการของการสูญเสียความร้อนที่เส้นลวด อนึ่งตัวเครื่องยังสามารถวัดค่าความเร็วสูงสุด ความเร็วลมเฉลี่ยในช่วงเวลาหนึ่งๆ และอุณหภูมิของลมได้ โดยมีข้อควรระวังในการใช้งานคือ อุณหภูมิของลมที่วัดควรอยู่ในช่วง –20 ถึง 70 องศาเซลเซียส

รูปที่ 5.3 เครื่องวัดความเร็วลม (Air Velocity Measuring Instrument)

5.2.2 ชุดวัดอัตราการไหลของอากาศ

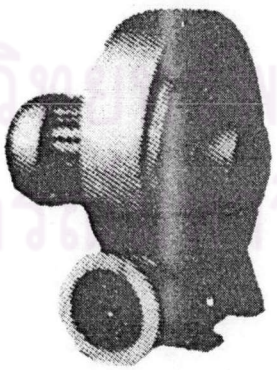
ใช้สำหรับปรับค่าอัตราการไหลของลมร้อนที่ผ่านชิ้นงาน ชุดวัดอัตราการไหลของอากาศอาศัยการวัดผลต่างของความดันคร่อมแผ่นออริฟิซ ซึ่งผลของความดันจะถูกวัดออกมาเป็นผลต่างของระดับน้ำในมาโนมิเตอร์ ที่ทำจากแท่งแก้วขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 6 มิลลิเมตร ภายในบรรจุด้วยน้ำกลั่น ค่าผลต่างของความสูงของระดับน้ำจะแปรผันโดยตรงกับกำลังสองของความเร็วลม ซึ่งจะถูกนำมาสร้างกราฟความสัมพันธ์ของความเร็วลมกับค่ารากที่สองของระดับน้ำ และนำมาใช้ปรับค่า

ความเร็วลมเพื่อให้ได้ค่าตามต้องการ ซึ่งค่าความเร็วลมสามารถถูกแปลงเป็นอัตราการไหลโดยนำมาคูณกับพื้นที่หน้าตัด

5.2.3 เครื่องชั่งน้ำหนัก

เครื่องชั่งน้ำหนักแบบ Compact Balances รุ่น EK-6000H สามารถชั่งน้ำหนักได้สูงสุด 6000 กรัม ความละเอียด 0.1 กรัม ผลิตโดยบริษัท A&D Company Ltd. และจัดจำหน่ายโดยบริษัท Diethelm Co., LTD.

รูปที่ 5.4 เครื่องชั่งน้ำหนัก



รูปที่ 5.5 เครื่องกำเนิดลม

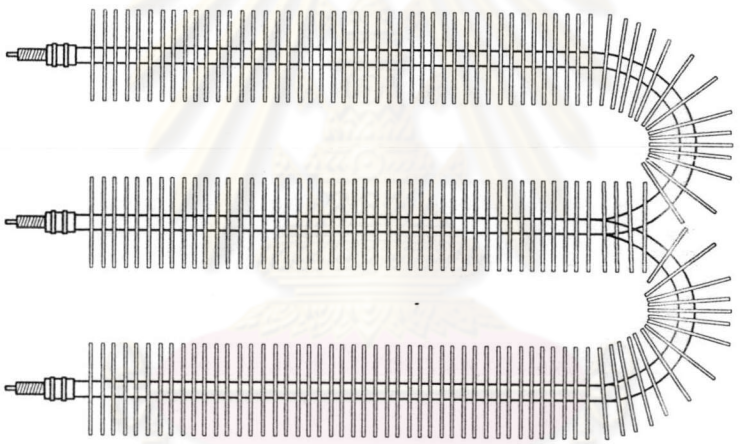
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5.2.4 เครื่องกำเนิดลม

เครื่องกำเนิดลมแบบแรงดันสูงใช้เป็นแหล่งกำเนิดลมสำหรับชุดอุปกรณ์อบแห้งที่จัดสร้างขนาด 3 แรงม้า ผลิตและจำหน่ายโดยบริษัท สงวนการไฟฟ้า จำกัด โครงสร้างภายนอกทำด้วยอลูมิเนียมหล่อ ส่วนใบพัดทำด้วยอลูมิเนียม เป็นเครื่องกำเนิดลมแบบมอเตอร์ขับตรง (ไม่มีการใช้สายพาน) สามารถกำเนิดลมได้ถึง 40 ลูกบาศก์เมตรต่อนาที ที่ความดันสูงสุด 190 มิลลิเมตรน้ำ

5.2.5 แหล่งกำเนิดความร้อน

ประกอบด้วยแท่งให้ความร้อน (Heater) เพื่อใช้ในการเพิ่มอุณหภูมิของอากาศจำนวน 3 ชุด แต่ละชุดประกอบแท่งความร้อนจำนวน 2 แท่ง ขนาด 4500 วัตต์ แท่งให้ความร้อนมีลักษณะเป็นรูปตัวดับเบิลยู (W shape) ดังรูปที่ 5.6



รูปที่ 5.6 แท่งให้ความร้อนรูปตัวดับเบิลยู

5.2.7 ชุดควบคุมอุณหภูมิของอากาศ

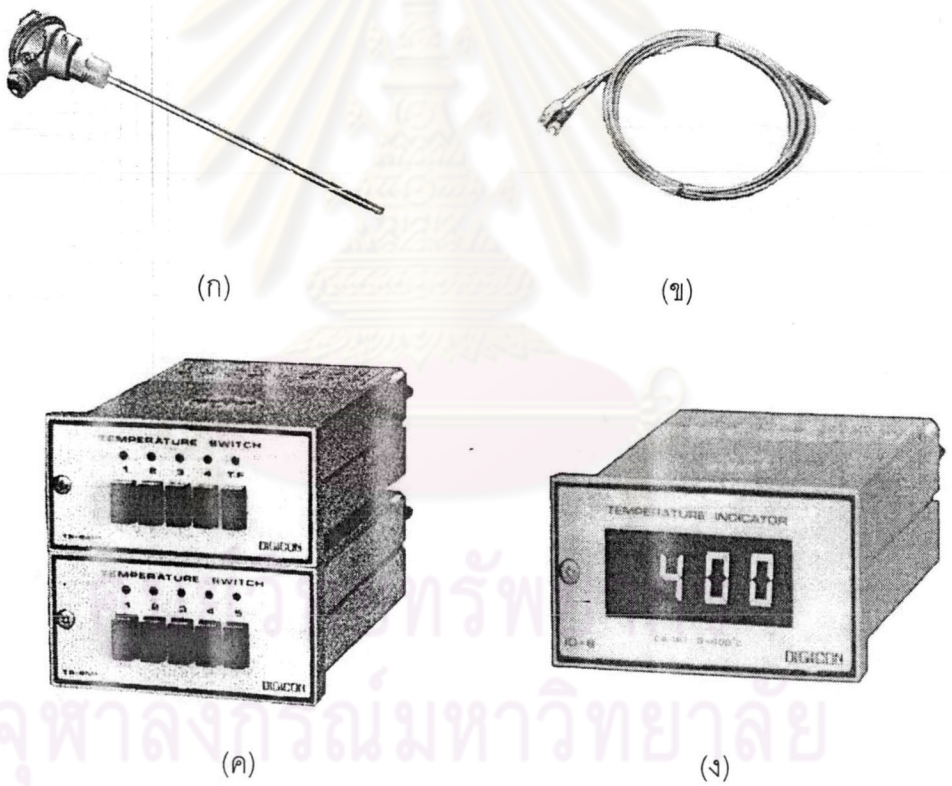
การตั้งค่าและการควบคุมอุณหภูมิของอากาศที่ต้องการใช้ในการอบแห้งจะใช้ชุดควบคุมที่ประกอบด้วย

ก) อาร์ทีดี (RTD) ทำหน้าที่เป็นตัววัดอุณหภูมิของอากาศ และส่งสัญญาณอุณหภูมิไปยังตัวควบคุม โดยอาร์ทีดีใช้หลักการที่ค่าความต้านทานของลวดโลหะที่เปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิ

ข) ตัวควบคุม (Controller) ซึ่งในที่นี้ใช้ตัวควบคุมแบบ PID โดยมีหลักการทำงาน คือ รับค่าอุณหภูมิของอากาศที่ต้องการควบคุมจากอาร์ทีดี จากนั้นตัวควบคุมจะทำการเปรียบเทียบค่าที่วัดได้กับค่าที่ตั้งไว้แล้วส่งสัญญาณออกไปเพื่อปรับค่ากระแสที่เข้าสู่แท่งความร้อนเพื่อปรับค่าอุณหภูมิของอากาศให้ได้ตามที่ตั้งค่าไว้

5.2.7 เครื่องวัดอุณหภูมิและความชื้น

ใช้สำหรับวัดอุณหภูมิและความชื้นของอากาศภายในเครื่องอบแห้ง โดยความชื้นจะใช้หลักการวัดแบบกระเปาะเปียกกระเปาะแห้ง ประกอบด้วยชุดเทอร์โมคัปเปิล Type K 4 อัน สวิทช์วัดอุณหภูมิหลายจุด และจอแสดงผล



(ก) (ข)

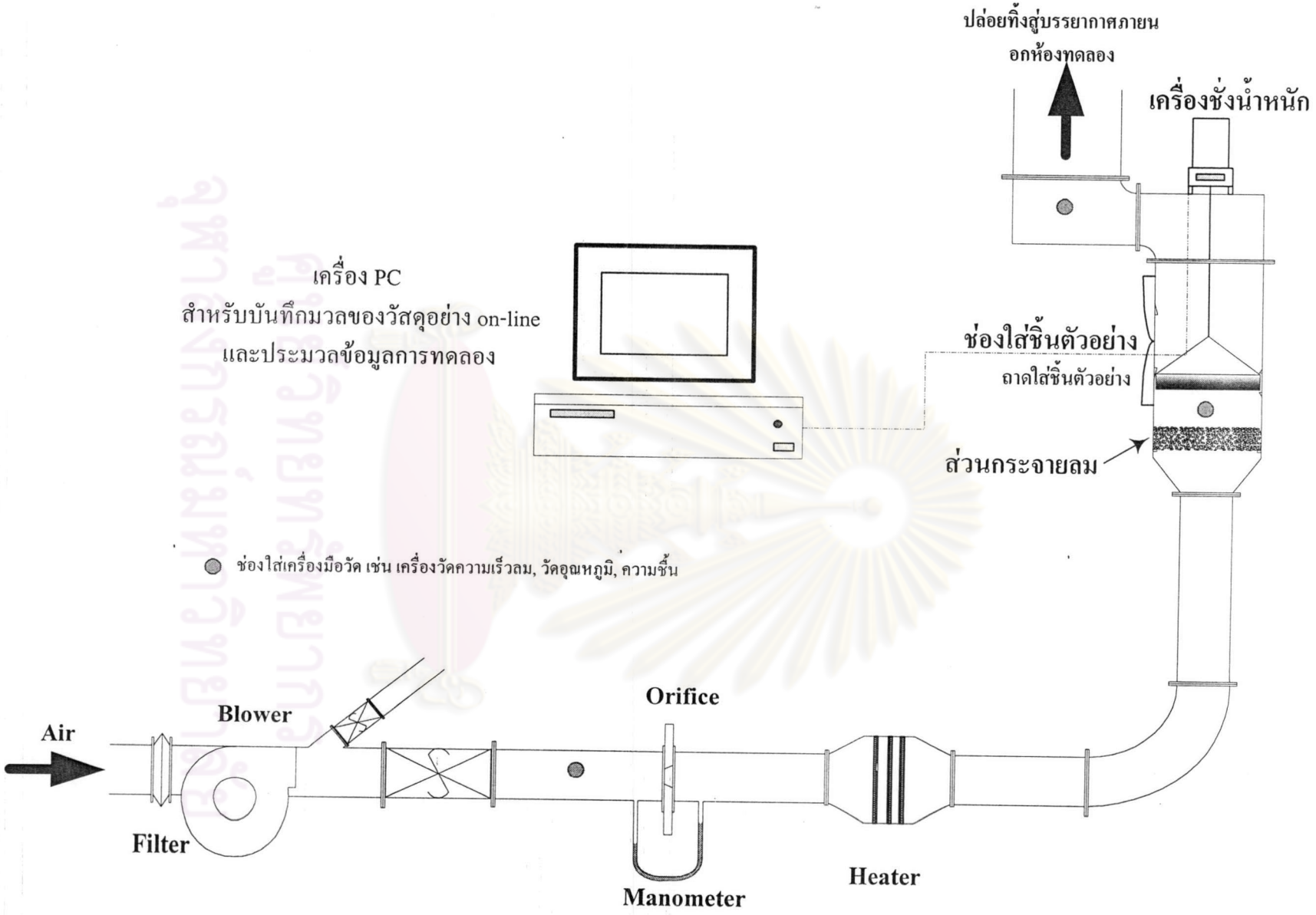
(ค) (ง)

รูปที่ 5.7 เครื่องวัดอุณหภูมิ (ก คือ หัววัด, ข คือ สายเทอร์โมคัปเปิล, ค คือ สวิทช์หลายจุด ง คือ จอแสดงผล)

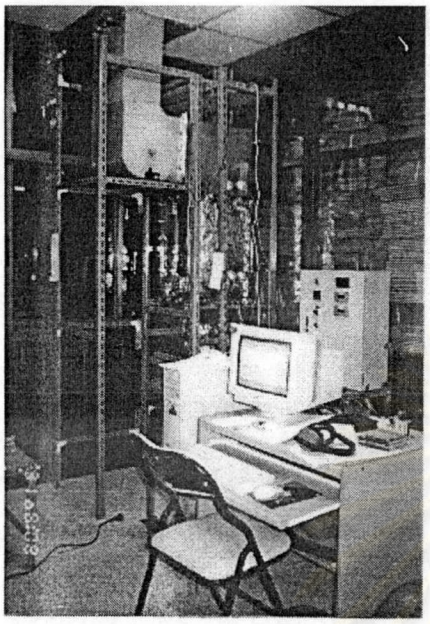
5.2.8 **ชุดอุปกรณ์อบแห้ง**

ชุดอุปกรณ์ดังกล่าวจัดสร้างขึ้นเพื่อใช้เป็นอุปกรณ์ทดสอบหาเส้นลักษณะเฉพาะของของขบเคี้ยวสำหรับสุนัข (HVAC System Duct Design, 1990 / อุปกรณ์การผลิตในอุตสาหกรรมเคมี, 2538) ทำด้วยวัสดุสแตนเลสเกือบทั้งหมด เพื่อป้องกันการเกิดสนิมประกอบด้วยท่อเส้นผ่านศูนย์กลาง 15.4 เซนติเมตรเป็นส่วนใหญ่ ส่วนของการอบแห้งเป็นท่อพื้นที่หน้าตัด 40x40 เซนติเมตร และส่วนสร้างลมร้อนมีลักษณะเป็นท่อพื้นที่หน้าตัดขนาดเท่ากับส่วนอบแห้ง ภายในท่อประกอบด้วยแผ่นกระจายลมร้อนที่ทำจากแผ่นเหล็กเจาะรูว่างสลับกับแท่งความร้อนจำนวนสามชุด และจะมีส่วนที่ทำหน้าที่กระจายลมเพื่อให้ความเร็วลมตลอดพื้นที่หน้าตัดมีความสม่ำเสมอก่อนที่จะถึงส่วนที่อบแห้ง ประกอบด้วยลูกแก้วขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5 เซนติเมตร ที่บรรจุอยู่บนแตะแกรงเหล็ก โดยในระหว่างการทดลองของขบเคี้ยวของสุนัขจะถูกวางอยู่บนตะแกรงที่แขวนอยู่บนเครื่องชั่งน้ำหนัก และน้ำหนักที่ชั่งได้จะถูกส่งข้อมูลผ่านสาย RS232 ไปยังเครื่องคอมพิวเตอร์เพื่อทำการบันทึกค่าน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงไป ซึ่งในการวิจัยนี้จะทำการบันทึกทุกทุกวินาที ซึ่งจะนำค่าที่ได้ไปวิเคราะห์เพื่อสร้างเส้นลักษณะเฉพาะของการอบแห้งต่อไป

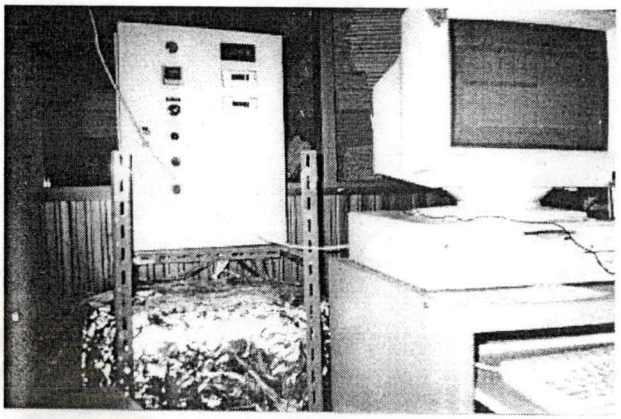
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



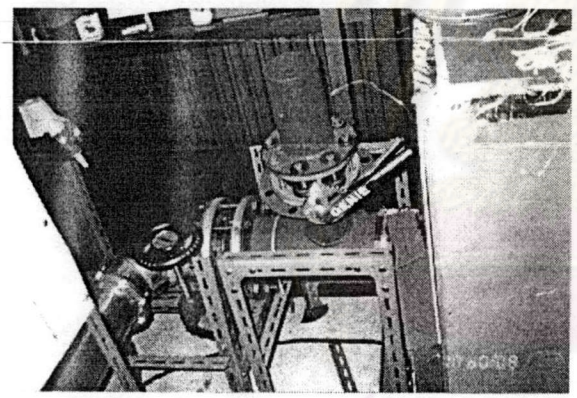
รูปที่ 5.8 ไดอะแกรมของเครื่องอบแห้งแบบอยู่นิ่งขนาดเล็ก



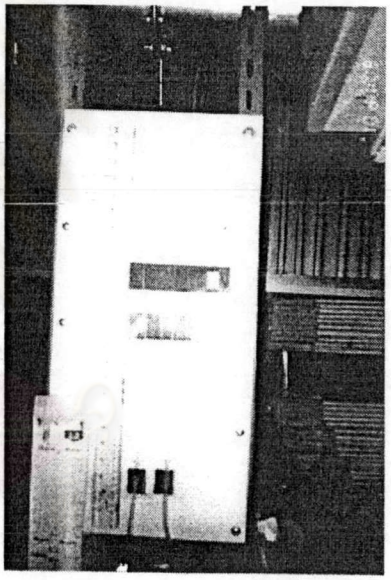
(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 5.9 ภาพถ่ายของเครื่องอบแห้งแบบอยู่นิ่งขนาดเล็ก (ก คือ ส่วนอบแห้งและคอมพิวเตอร์, ข คือ ส่วนให้ความร้อน, ค คือ วาล์วปรับความเร็วลม และ ง คือ มาโนมิเตอร์)

5.3 สภาวะในการทดลอง

ในการทดลองเพื่อหาเส้นลักษณะเฉพาะของของขบเคี้ยวสำหรับสุนัข มีตัวแปร 3 ตัวแปรที่ทำในการวิจัยครั้งนี้ คือ ชนิดของผลิตภัณฑ์ ความเร็วลม และอุณหภูมิของลมร้อน

5.3.1 **ชนิดของผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในการทดลอง** มีทั้งหมด 5 ชนิด คือ ชิ้นขบเคี้ยว 9-10 มิลลิเมตร ชิ้นขบเคี้ยวแบบวัฟเฟิล ชิ้นขบเคี้ยว 28-30 มิลลิเมตร กระดูกอัด 4 นิ้ว และกระดูกอัด 12 นิ้ว

5.3.2 **ความเร็วอากาศที่ใช้ในการอบแห้ง** สำหรับความเร็วอากาศที่ใช้ในการอบแห้ง ในการทดลองจะอาศัยการลองผิดลองถูก ในช่วงที่มีการใช้กันอุตสาหกรรม คือ 0.3-1.5 เมตรต่อวินาที โดยในการทดลองจะเลือกค่าที่ 0.3, 1.0 และ 1.5 เมตรต่อวินาที เพื่อให้ครอบคลุมช่วงดังกล่าว

5.3.3 **อุณหภูมิอากาศที่ใช้ในการอบแห้ง** สำหรับอุณหภูมิอากาศที่ใช้ในการอบแห้งจะอาศัยการลองผิดลองถูก ซึ่งอุณหภูมิสูงสุดที่ใช้จะขึ้นกับชนิดของผลิตภัณฑ์แต่ละชนิดด้วย

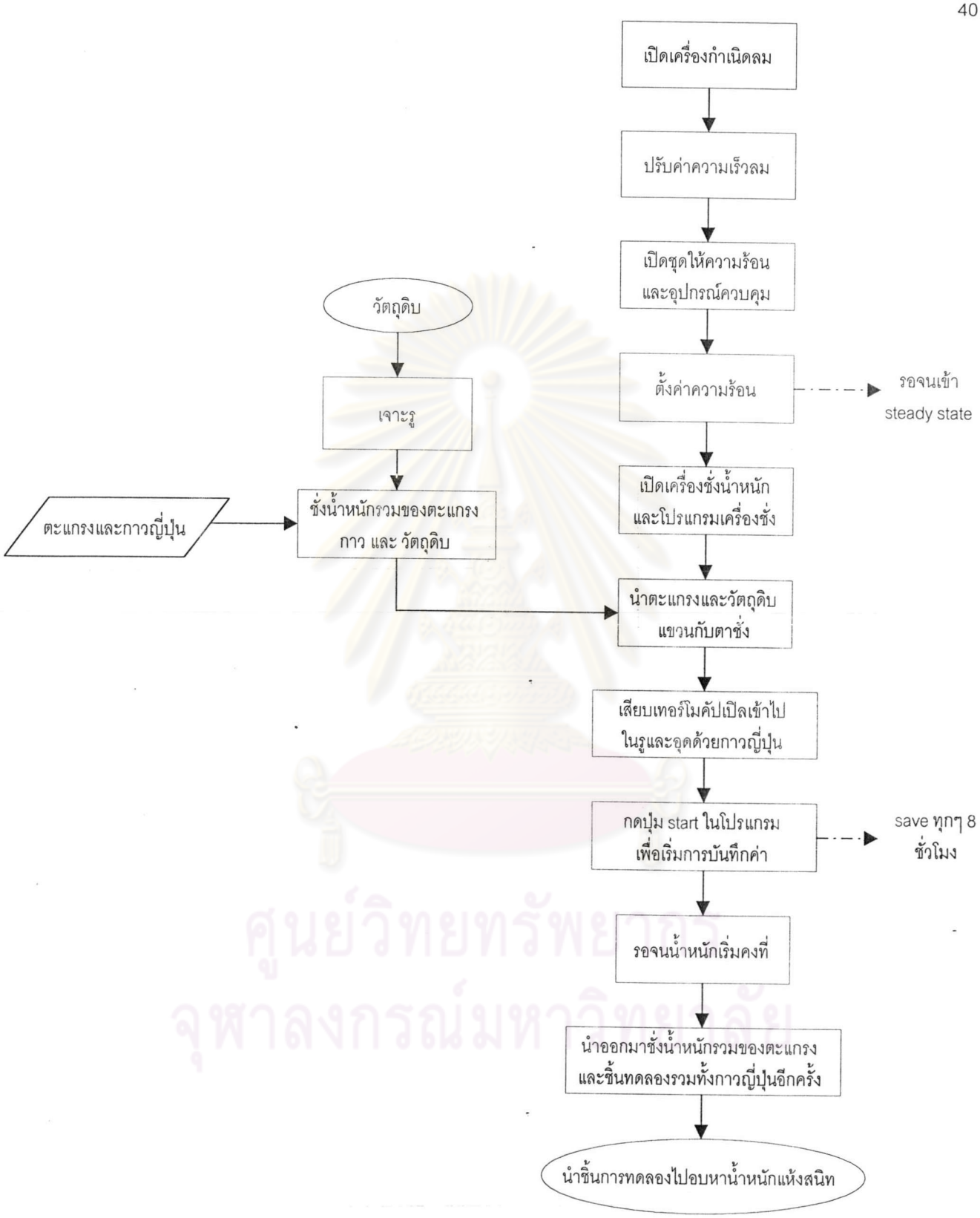
5.4 ขั้นตอนการทดลอง

1) นำชิ้นทดลองที่จะทำการอบชั่งน้ำหนักเริ่มต้น (รวมน้ำหนักตะแกรงที่จะแขวนด้วยและกาวญี่ปุ่นที่ใช้สำหรับอุดรู) และเจาะรูชิ้นทดลองเพื่อจะทำการสอดเส้นเทอร์โมคัปเปิ้ลเพื่อวัดอุณหภูมิในชิ้นทดลอง
2) เปิดเครื่องกำเนิดลมและตั้งค่าความเร็วลมโดยสังเกตจากมาโนมิเตอร์ตามค่าที่จะทำการทดลอง
3) เปิดชุดควบคุมอุณหภูมิและตั้งค่าอุณหภูมิที่จะทำการทดลอง รอจนกระทั่งทุกอย่างเข้าสู่สภาวะคงที่ (Steady state) (คอยสังเกตค่าความเร็วที่มาโนมิเตอร์และปรับวาล์วให้มีค่าคงที่เป็นระยะๆ)
4) เปิดเครื่องชั่งน้ำหนักและโปรแกรมเครื่องชั่ง (AMD1.0) (ก่อนใส่ชิ้นตัวอย่างควรทำการทดสอบการส่งข้อมูลเข้าสู่โปรแกรมโดยกดปุ่ม start แล้วสังเกตว่าโปรแกรมมีการรับข้อมูลตามที่ตั้งค่าไว้หรือเปล่า และเมื่อการรับข้อมูลเป็นไปตามที่ตั้งค่าแล้วให้ทำการหยุดโปรแกรมโดยการกดปุ่มหยุด (stop) แล้วปิดโปรแกรม จากนั้นทำการเปิดโปรแกรมขึ้นใหม่)

5) เปิดฝาช่องใส่ชิ้นตัวอย่างและทำการแขวนตะแกรงและชิ้นทดลองจากนั้นนำเทอร์โมคัปเปิลเสียบเข้ารูและใช้กาวญี่ปุ่นอุดรู
6) ปิดฝาช่องใส่ชิ้นตัวอย่างและกดปุ่มเริ่มต้น (start) ที่โปรแกรมเครื่องชั่ง
7) อ่านและบันทึกค่าอุณหภูมิกระเปาะเปียกกระเปาะแห้งที่ตำแหน่งก่อนอบและหลังอบและค่ากระเปาะเปียกและแห้งภายในห้องตามระยะเวลาที่เตรียมไว้ รวมทั้งอุณหภูมิของวัสดุ
8) ทำการบันทึก (save) โปรแกรมทุกๆ 8 ชั่วโมง (ในการ save โปรแกรมให้ทำดังนี้ คือ เปิดโปรแกรมขึ้นมาอีกหน้าต่างหนึ่งจากนั้นทำการกดหยุด (stop) ที่หน้าต่างเก่า และกดเริ่ม (start) ที่หน้าต่างใหม่อย่างรวดเร็วหน้าต่างใหม่ก็จะเริ่มบันทึกต่อเนื่องต่อไป ส่วนหน้าต่างเก่าให้ทำการกดปุ่มบันทึกเป็น (save as) และตั้งชื่อของข้อมูลแล้วกดปุ่มตกลง (OK) จากนั้นจึงทำการปิดหน้าต่างเก่าได้)
9) หลังจากน้ำหนักเริ่มคงที่ จึงนำตะแกรงและชิ้นทดลองออกมาชั่งน้ำหนักสุดท้ายอีกครั้ง
10) บันทึก (save) ข้อมูลและปิดโปรแกรมและเครื่องชั่งน้ำหนัก
11) ปิดชุดให้ความร้อนและควบคุมอุณหภูมิ ทิ้งไว้ประมาณ 20 นาทีจึงทำการปิดเครื่องกำเนิดลมร้อน
12) เมื่อชั่งน้ำหนักสุดท้ายแล้วจะนำชิ้นทดลองไปอบแห้งในตู้ขนาดเล็กที่อุณหภูมิประมาณ 50 องศาเซลเซียสจนน้ำหนักคงที่เพื่อจะหาค่าน้ำหนักแห้งสนิทต่อไป

หมายเหตุ

1) ในระหว่างทำการทดลองคอยสังเกตระดับของมาโนมิเตอร์ทุกๆ ชั่วโมง เพื่อทำการปรับวาล์วตัวที่ต่อตรงกับท่อ (ส่วนวาล์วที่ใช้ปรับอัตราการไหลของลมทิ้ง (by pass) จะเปิดที่ระดับเดิมของตอนเริ่มต้นตลอดการทดลอง) ให้ได้อัตราการไหลคงที่
2) ในการทดลองแต่ละครั้งจะทำการตั้งค่าความถี่ในการเก็บข้อมูลทุกๆ 1 วินาทีและเก็บข้อมูลอย่างต่อเนื่อง (ไม่ต้องเลือกชนิดของข้อมูลให้เป็นแบบส่งค่าที่ ● steady)
3) โปรแกรมเครื่องชั่งน้ำหนักจะทำการตั้งอัตราการส่งข้อมูลเป็น 2400 บิทต่อวินาที (bps)



รูปที่ 5.10 ขั้นตอนการทดลองอบแห้ง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5.5 ขั้นตอนการวิเคราะห์ผลการทดลอง

1. ปรับค่าน้ำหนักที่บันทึกโดยเครื่องชั่งซึ่งบันทึกขณะที่มีลมพัดให้เป็นน้ำหนักที่สภาวะไม่มีลม คือ นำน้ำหนักรวมของตะแกรงชิ้นทดลองและกาวญี่ปุ่นที่ชั่งไว้ตอนเริ่มต้นและน้ำหนักรวมที่ชั่งตอนน้ำหนักคงที่เป็นค่าในแกน y และน้ำหนักเฉลี่ยของ 2 นาทีที่เริ่มต้นกับ 2 นาทีสุดท้ายที่ได้จากโปรแกรมเครื่องชั่งน้ำหนัก (สภาวะที่มีลมไหลผ่าน) จะได้สมการความสัมพันธ์เชิงเส้นของสภาวะที่มีลมไหลผ่านกับไม่มีลมไหลผ่าน นำความสัมพันธ์ดังกล่าวไปเปลี่ยนค่าจากโปรแกรมเป็นแบบไม่มีลมไหลผ่าน
2. นำน้ำหนักที่ได้จากกรณีไม่มีลมไหลผ่านลบออกด้วยน้ำหนักของตะแกรงและน้ำหนักของกาวญี่ปุ่นเพื่อให้เหลือเฉพาะน้ำหนักของสุทธิชิ้นทดลอง
3. นำค่าน้ำหนักที่ได้มาหาค่าเฉลี่ยทุกๆ 5 นาทีเพื่อปรับความเรียบของกราฟให้ดีขึ้น เนื่องจากค่าที่ได้จากการเก็บทุกๆ 1 วินาทีจะมีการแกว่งของข้อมูลค่อนข้างมาก
4. ทำการหาความสัมพันธ์ของข้อมูลที่ได้จากการเฉลี่ยทุกๆ 5 นาทีกับเวลาด้วยโปรแกรมเอกซ์เซลล์ (excel) โดยใช้สมการกำลังสอง โดยจะ fit เป็นช่วงๆ ตามความเหมาะสม (R^2 มีค่าเข้าใกล้ 1)
5. หลังจากได้ความสัมพันธ์ของน้ำหนักกับเวลามาแล้วจะนำมาสร้างกราฟระหว่างน้ำหนักกับเวลาได้ตามต้องการ ซึ่งกราฟที่ได้จะมีความเรียบสูง
6. นำสมการความสัมพันธ์ของน้ำหนักกับเวลามาหาอนุพันธ์จะสามารถหาค่าอัตราการอบแห้งที่เวลาต่างๆ ได้
7. นำน้ำหนักที่เวลาต่างๆ มาเปลี่ยนเป็นค่าอัตราส่วนความชื้น คือ

$$\text{อัตราส่วนความชื้น (X)} = \frac{\text{น้ำหนักของชิ้นทดลอง ณ เวลานั้น} - \text{น้ำหนักชิ้นทดลองแห้งสนิท}}{\text{น้ำหนักชิ้นทดลองแห้งสนิท}}$$

8. นำค่าอัตราส่วนความชื้นที่เวลานั้นๆ มาสร้างกราฟความสัมพันธ์กับอัตราการอบแห้งที่เวลานั้นๆ จะได้เส้นลักษณะเฉพาะของการอบแห้งที่สภาวะหนึ่งๆ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย