บทที่ 4

แบบจำลองกระบวนการผลิตน้ำแข็งซอง

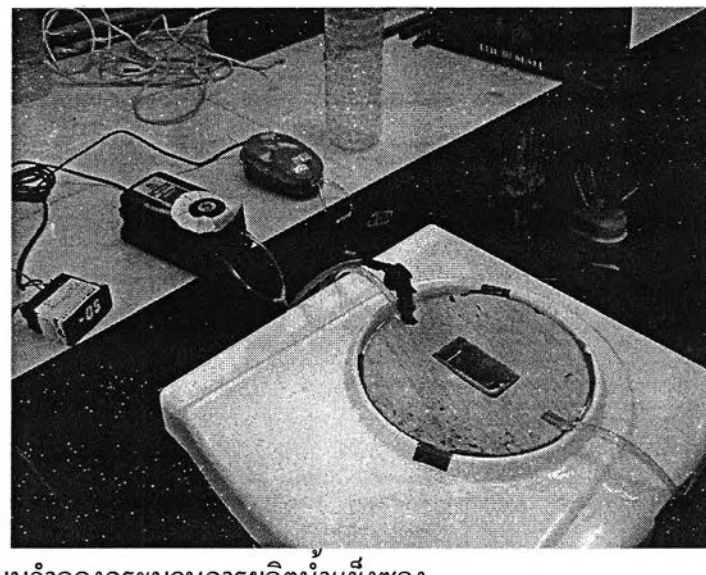
ในบทนี้จะกล่าวถึงรายละเอียดต่างๆ เกี่ยวกับแบบจำลองกระบวนการผลิตน้ำแข็งซอง ที่ใช้ในการศึกษาหาอิทธิพลของอัตราไหลของอากาศที่จ่ายผ่านท่อลงในซองน้ำแข็ง โดยเนื้อหาที่จะอธิบายในบทนี้แบ่งเป็นหัวข้อดังนี้ อุปกรณ์ที่สำหรับการจำลองกระบวนการผลิตน้ำแข็งซอง อุปกรณ์ในการวัดและบันทึกผลการทดลอง วิธีที่ใช้ในการวัด ขั้นตอนของการทำการทดลองและผลการทดลอง

4.1 อุปกรณ์ที่ใช้จำลองกระบวนการผลิตน้ำแข็งซอง

อุปกรณ์ที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองกระบวนการผลิตน้ำแข็งซอง แบ่งเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนของอุปกรณ์ที่ใช้ในระบบทำความเย็น และส่วนของอุปกรณ์ที่ใช้ในระบบจ่ายอากาศ

4.1.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในระบบทำความเย็น

ระบบทำความเย็นของแบบจำลองกระบวนการผลิตน้ำแข็งซอง ประกอบขึ้นจากการนำเครื่องทำความเย็นทั่วไปมาดัดแปลง เครื่องทำน้ำเย็นที่นำมาดัดแปลง คือ เครื่องของบริษัทเครื่องทำน้ำเย็น Kagawa รุ่น MC-30W ความลึกของบริเวณช่องทำความเย็น 21 เซนติเมตรและเส้นผ่านศูนย์กลางของช่องทำความเย็นมีขนาด 17 เซนติเมตร เครื่องทำน้ำเย็นมีระบบทำความเย็นแบบอัดไอทั่วไปเครื่องอัดไอมีกำลังประมาณ 88 วัตต์ หรือประมาณ 1/8 แรงม้า เครื่องทำน้ำเย็นที่ใช้มีลักษณะที่สำคัญที่ต้องดัดแปลง กล่าวคือ ไม่สามารถทำความเย็นให้น้ำมีอุณหภูมิต่ำกว่าจุดเยือกแข็งของน้ำ เพื่อป้องกันการขยายตัวของน้ำขณะเปลี่ยนสถานะเป็นน้ำแข็ง ซึ่งจะทำให้บริเวณช่องทำความเย็นเสียหาย การที่ไม่สามารถทำความเย็นให้น้ำมีอุณหภูมิต่ำว่าจุดเยือกแข็งของน้ำได้ เพราะตัว เทอร์โมสตัท(thermostat) ที่ติดตั้งมากับเครื่อง จึงเปลี่ยนจากเทอร์โมสตัทเดิมเป็นชุดอุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิระบบดิจิตอลของบริษัท Elewell รุ่น FK 151 ซึ่งมีช่วงอุณหภูมิที่สามารถควบคุมระหว่าง -50 ถึง 100 องศาเซลเซียส โดยเครื่องควบคุมสามารถตั้งค่าความละเอียดของอุณหภูมิช่อง

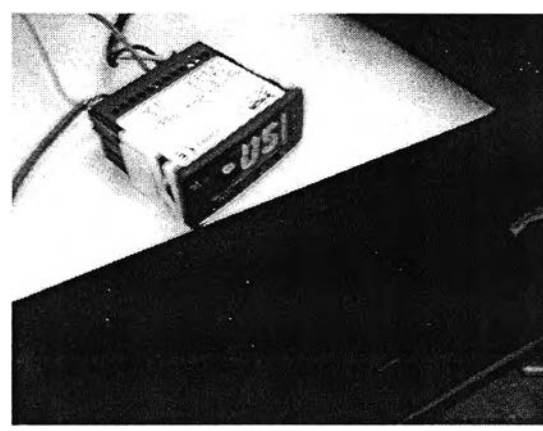


รูปที่ 4.1 แสดงแบบจำลองกระบวนการผลิตน้ำแข็งซอง

ทำความเย็นที่ควบคุมได้ ในการทดลองตั้งค่าความละเอียดของอุณหภูมิประมาณ 2 องศาเซสเซียส เพื่อป้องกันการเปิด-ปิดการทำงานของเครื่องอัดไอบ่อย ซึ่งจะทำให้เครื่องอัดไอเสียหาย

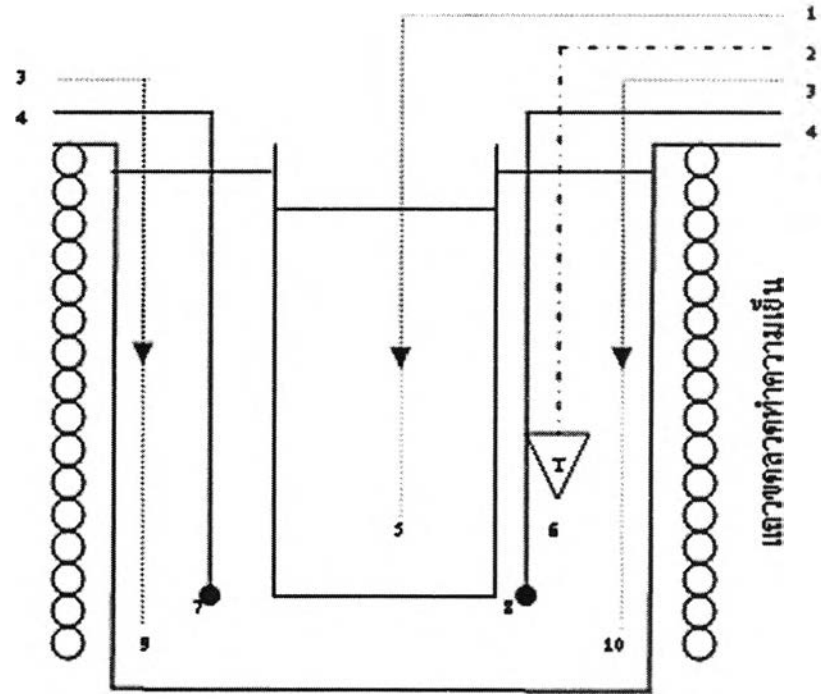
สารแลกเปลี่ยนความร้อนที่นำมาใช้ในจำลองกระบวนการผลิตน้ำแข็งซอง คือ น้ำเกลือ โดยจะใช้เกลือโซเดียมคลอไรด์ ที่มีความเข้มข้น 23% โดยน้ำหนักโดยตวงจากอุปกรณ์ชั่งตวงที่ได้มาตรฐาน น้ำเกลือเป็นสารละลายที่มีสมบัติทางความร้อนเหมาะสม กล่าวคือมีจุดเยือกแข็งประมาณ -20 องศาเซลเซียส การกระจายตัวของอุณหภูมิในบ่อน้ำเกลือไม่สม่ำเสมอทั่วบริเวณ จึงต้องทำการอัดอากาศผ่านทางท่อยางลงในบ่อน้ำเกลือเพื่อทำให้น้ำเกลือในบ่อมีการเคลื่อนไหวและถ่ายเทความร้อน โดยอากาศที่อัดจ่ายในอัตรา 5.53 ลิตรต่อนาที

ซองน้ำแข็งจำลองทำจากสังกะสี มีขนาด 28 x 56 x 150 มิลลิเมตร ซึ่งเป็นขนาดย่อส่วนมาจากซองน้ำแข็งขนาดมาตรฐานในโรงงาน 10 เท่า ซึ่งเป็นขนาดที่เหมาะสมกับขนาดของช่องทำความเย็นของเครื่องทำน้ำเย็น และมีฝาปิดซองน้ำแข็งไว้สำหรับป้องกันความร้อนจากแหล่งอื่นเข้ามารบกวนการทดลอง โดยฝาปิดซองน้ำแข็งที่จากพลาสติก



รูปที่ 4.2 แสดงอุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิของบริษัท Elewell

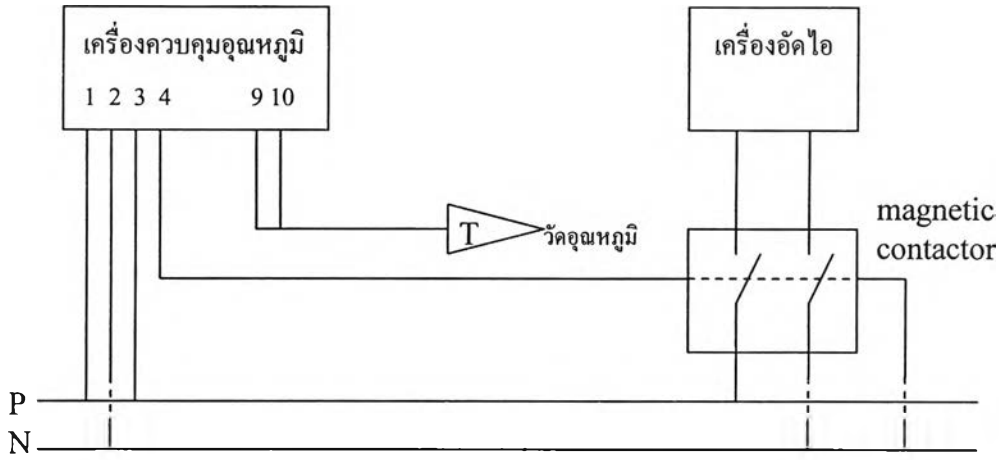
แผนภาพของการแสดงตำแหน่งที่วัดอุณหภูมิและจ่ายอากาศลงในซองน้ำแข็งและบ่อน้ำเกลือ แสดงไว้ในรูปที่ 4.3 โดยการต่อท่อลงในบ่อน้ำเกลือ เพื่อจ่ายอากาศทำให้น้ำเกลือมีการไหลเวียนและการกระจายอุณหภูมิที่สม่ำเสมอ



ตำแหน่งที่ 1 ท่อจ่ายอากาศลงซองน้ำแข็ง
ตำแหน่งที่ 2 เครื่องควบคุมอุณหภูมิ
ตำแหน่งที่ 3 ท่อจ่ายอากาศลงบ่อน้ำเกลือ
ตำแหน่งที่ 4 เครื่องวัดอุณหภูมิ
ตำแหน่งที่ 5 จุดจ่ายอากาศลงซองน้ำแข็ง
ตำแหน่งที่ 6 จุดวัดอุณหภูมิของเครื่องควบคุมอุณหภูมิ
ตำแหน่งที่ 7 จุดวัดอุณหภูมิของเครื่องวัด จุดที่ 1
ตำแหน่งที่ 8 จุดวัดอุณหภูมิของเครื่องวัด จุดที่ 2
ตำแหน่งที่ 9 จุดจ่ายอากาศลงบ่อน้ำเกลือ จุดที่ 1
ตำแหน่งที่ 10 จุดจ่ายอากาศลงบ่อน้ำเกลือ จุดที่ 2

รูปที่ 4.3 แสดงตำแหน่งการวัดค่าในการทดลอง

ส่วนการต่อกระแสไฟฟ้าของเครื่องอัดไอเข้ากับเครื่องควบคุมอุณหภูมิแบบดิจิตอล สำหรับการทดลองมีการต่อที่เฉพาะโดยมีอุปกรณ์เสริมในส่วนของระบบไฟฟ้า คือ magnetic contactor ซึ่งใช้ในการตัดต่อวงจรและป้องกันหน้าสัมผัสไหม้ โดยจะแสดงการต่อวงจรไฟฟ้าเพื่อควบคุมการทำงานของเครื่องอัดไอไว้ในรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 แสดงการต่อเครื่องควบคุมอุณหภูมิกับเครื่องอัดไอ

4.1.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในระบบการจ่ายอากาศ

ระบบการจ่ายอากาศลงในซองน้ำแข็งที่ใช้ในการทดลอง ใช้เครื่องจ่ายอากาศชนิดเล็กที่มีความสามารถจ่ายอากาศได้ในอัตรา 1 ถึง 3.5 ลิตรต่อนาที โดยอากาศที่จ่ายลงไปมีลักษณะต่อเนื่อง การจ่ายอากาศลงในซองน้ำแข็งสามารถปรับเพิ่มลดได้ตามที่ต้องการทดลอง โดยมีวาล์วขนาดเล็กต่อผ่านท่อยางขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 มิลลิเมตร ท่อยางจ่ายอากาศลงในซองน้ำแข็งตามแนวดิ่งบริเวณกลางซอง โดยเจาะรูผ่านฝาปิดซองน้ำแข็งลงไป

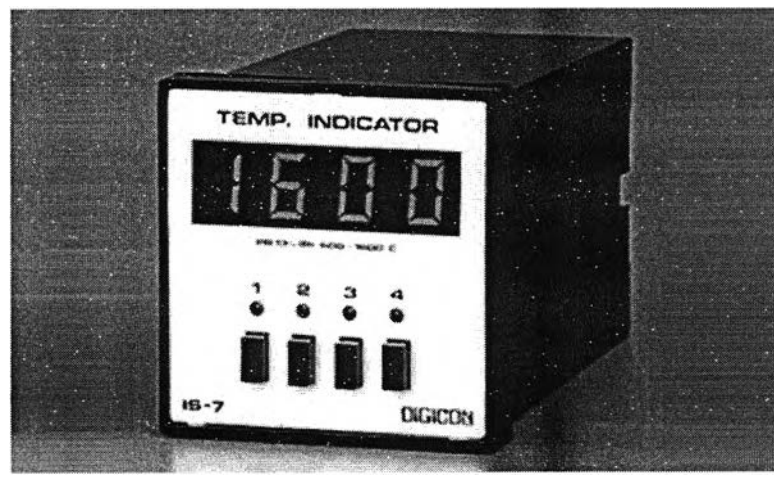
4.2 อุปกรณ์ในการวัดและบันทึกผลการทดลอง

อุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดและบันทึกข้อมูลจากการทดลองซึ่งเราจะทำการวัดค่าของอุณหภูมิของบ่อน้ำเกลือ , อัตราการเพิ่มความหนาของน้ำแข็ง , เวลาที่ใช้ในการผลิต และความขุ่นของน้ำแข็งทั้งหมดในการทดลอง

อุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดและบันทึกข้อมูลจากการทดลองมีดังต่อไปนี้

4.2.1 อุปกรณ์วัดอุณหภูมิแบบเทอร์โมคัปเปิ้ล (Thermocouple)

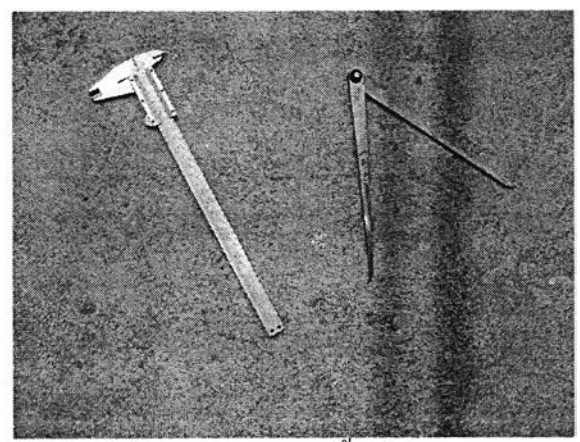
อุปกรณ์วัดอุณหภูมิแบบเทอร์โมคัปเปิ้ล ใช้อุปกรณ์ของบริษัท Digicon รุ่น Precision IS-7 ซึ่งมีย่านการวัดค่าอุณหภูมิอยู่ที่-100 ถึง199 องศาเซลเซียส หัว probe ที่ใช้คือชนิด Pt 100 มีความละเอียดในการวัด 0.1 องศาเซลเซียส โดยจะนำมาใช้ในการบันทึกค่าอุณหภูมิของน้ำเกลือในช่องทำความเย็น



รูปที่4.5 แสดงลักษณะของเครื่องวัดอุณหภูมิ Digicon Precision IS-7

4.2.2 อุปกรณ์วัดความหนาของน้ำแข็ง

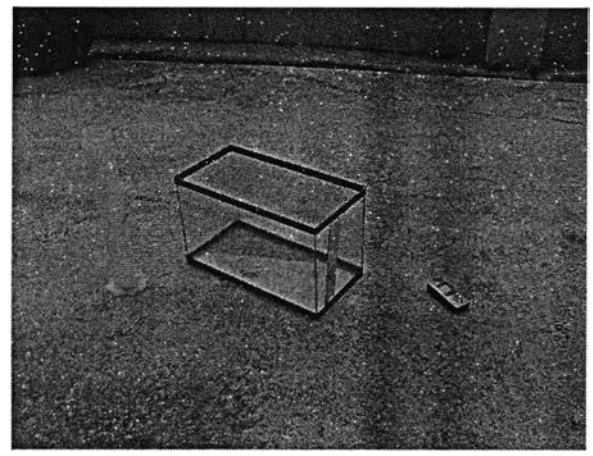
อุปกรณ์วัดความหนาของน้ำแข็งใช้อุปกรณ์วัดเวอร์เนีย (Vernier caliper) ใช้ร่วมกับอุปกรณ์วัดระยะห่างภายในซึ่งอุปกรณ์ชนิดนี้มีลักษณะคล้ายวงเวียน



รูปที่ 4.6 แสดงลักษณะของอุปกรณ์วัดความหนาของน้ำแข็ง

4.2.3 อุปกรณ์วัดอัตราการไหลของอากาศที่จ่ายลงซอง

อุปกรณ์วัดอัตราการไหลของอากาศที่จ่ายลงซอง ใช้กระบอกตวงน้ำชนิดมีขีดบอกปริมาตร โดยกระบอกตวงน้ำที่นำมาใช้ในการทดลองมีปริมาตร 500 มิลลิลิตร มีขีดขั้นความละเอียด 5 มิลลิลิตร อ่างน้ำขนาดใหญ่สำหรับใส่กระบอกตวง และเครื่องมือจับเวลาที่สามารถจับเวลาให้ความละเอียดระดับวินาที



รูปที่ 4.7 แสดงลักษณะของอุปกรณ์การวัดอัตราการไหลของอากาศที่จ่ายลงซอง

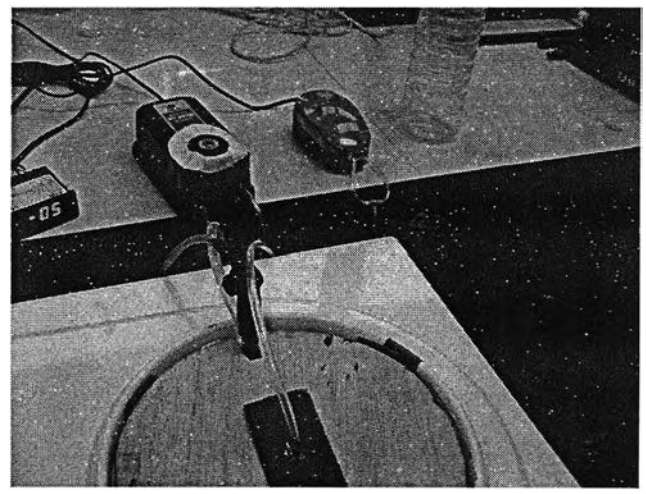
4.2.4 อุปกรณ์บันทึกภาพ

อุปกรณ์บันทึกภาพ ใช้กล้องดิจิตอลของบริษัท Canon รุ่นIXUS มีความละเอียดในการบันทึกภาพ 2.1 ล้านจุด เพื่อการบันทึกภาพน้ำแข็งซองที่ได้จากแบบจำลองเพื่อเปรียบเทียบความขุ่นที่เกิดในกรณีที่จ่ายอากาศในอัตราการไหลต่ำ

รูปที่ 4.8 แสดงลักษณะของกล้องดิจิตอลของบริษัท Canon รุ่นIXUS

4.3 วิธีการวัดและบันทึกข้อมูลจากการทดลอง

ในการวัดค่าจากการทดลอง เพื่อต้องการให้ได้ข้อมูลที่มีความน่าเชื่อถือ จำเป็นต้องใช้อุปกรณ์การวัดที่แม่นยำและวิธีการวัดที่ยอมรับได้ ในส่วนนี้จะกล่าวถึงวิธีการวัดและบันทึกข้อมูลจากการทดลอง



รูปที่ 4.9 แสดงการวัดอุณหภูมิในบ่อน้ำเกลือ

4.3.1 วิธีการวัดค่าอุณหภูมิในบ่อน้ำเกลือ

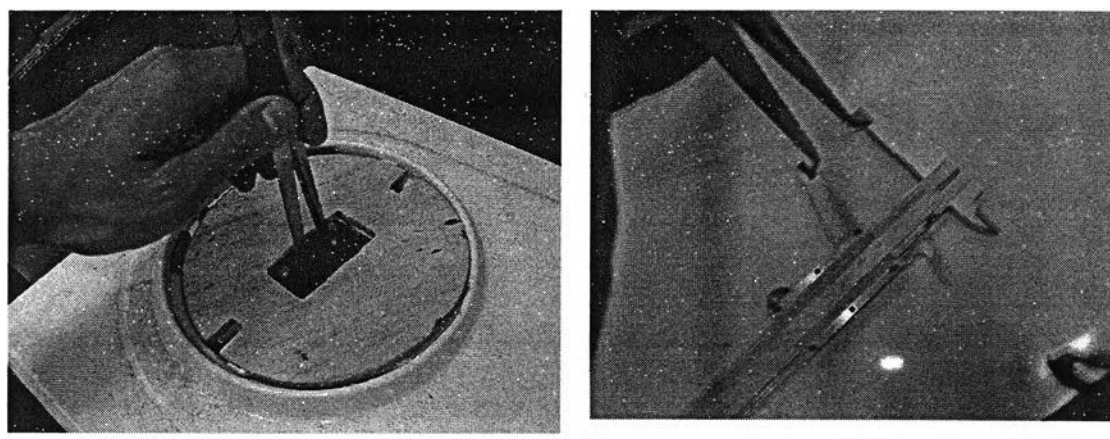
การวัดและบันทึกข้อมูลอุณหภูมิแบ่งออกเป็น การวัดอุณหภูมิของบ่อน้ำเกลือเพื่อตรวจสอบช่วงของอุณหภูมิขณะดำเนินการทดลองที่เครื่องควบคุมแบบดิจิตอลสามารถควบคุมได้ และ การวัดอุณหภูมิของน้ำในซอง

การวัดอุณหภูมิในบ่อน้ำเกลือใช้อุปกรณ์วัดอุณหภูมิแบบเทอร์โมคัปเปิ้ล การวัดแต่ละครั้งใช้เวลาประมาณ 20-30 วินาที ทำการวัดโดยแบ่งการวัดเป็น 2 จุดจากด้านตรงข้ามกันของบ่อน้ำเกลือ หาค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิบ่อน้ำเกลือที่วัดแล้วบันทึก การวัดอุณหภูมิบ่อน้ำเกลือทำโดยเว้นระยะเวลาครั้งละ 10 นาที ตลอดช่วงการทดลอง โดยทั่วไปสังเกตพบว่าค่าที่ได้ในช่วงเวลาเดียวกันมักจะเท่ากันเนื่องจากน้ำเกลือในบ่อเมื่อมีการเคลื่อนไหวของน้ำเกลือ อุณหภูมิในบ่อน้ำเกลือจะกระจายสม่ำเสมอ

การวัดอุณหภูมิในซองน้ำเกลือใช้อุปกรณ์วัดอุณหภูมิเทอร์โมคัปเปิ้ล การวัดแต่ละครั้งใช้เวลาประมาณ 20-30 วินาที ทำการวัดอุณหภุมิของน้ำในซองเพื่อหาเวลาที่เครื่องทำความเย็นใช้ในการทำความเย็นน้ำให้มีอุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียสเพื่อเปรียบเทียบกับการวิเคราะห์แบบจำลองความจุความร้อน

4.3.2 วิธีการวัดค่าความหนาของน้ำแข็ง

การวัดความหนาของน้ำแข็งที่เกิดขึ้นในแต่ละช่วงเวลา จำใช้อุปกรณ์วัดระยะห่างภายในมาประยุกต์ใช้ โดยกางขาของเครื่องวัดออกทาบกับผิวหน้าของน้ำแข็ง แล้วจึงนำเวอร์เนียมาทาบเพื่อวัดระยะห่างของผิวหน้าน้ำแข็งดังแสดงไว้ในรูป 4.10 ค่าที่อ่านได้เมื่อนำมาหักลบออกจากขนาดของซองน้ำแข็งแล้วนำมาหารสองจะได้ความหนาเฉลี่ยของผิวหน้าน้ำแข็งที่เกิดขึ้น การวัดความหนาของน้ำแข็งทำโดยเว้นระยะเวลาครั้งละ 10 นาที ตลอดช่วงการทดลอง



(ก) (ข)

รูปที่ 4.10 (ก)-(ข) แสดงวิธีการวัดความหนาของน้ำแข็ง

4.3.3 วิธีการวัดอัตราการไหลของอากาศ

การวัดอัตราการไหลของอากาศที่จ่ายลงในซองน้ำแข็งใช้อุปกรณ์กระบอกตวงอ่างน้ำขนาดใหญ่ และเครื่องมือจับเวลา แสดงไว้ในรูปที่ 4.11 โดยมีขั้นตอนการวัดดังนี้

1. เติมน้ำเต็มกระบอกตวง คว่ำปากกระบอกลงในอ่างน้ำ โดยไล่อากาศออกจากกระบอกให้หมดก่อนการวัด
2. ปรับวาล์วเพื่อเพิ่ม-ลด อัตราการไหลของอากาศที่ต้องการวัด
3. นำปลายท่อยางที่จ่ายอากาศไปจ่อที่ปากกระบอกตวง
4. เปิดสวิตซ์ พร้อมกับกดปุ่มจับเวลา
5. อ่านค่าปริมาตรอากาศในกระบอกตวงที่แทนที่น้ำ บันทึกปริมาตรอากาศ และเวลาที่ใช้
6. ทำการวัดซ้ำหลายครั้งเพื่อหาความถูกต้องที่วัดได้จากอุปกรณ์

เนื่องจากวิธีการวัดอัตราการไหลของอากาศโดยวิธีนี้ไม่ใช่วิธีวัดจากอุปกรณ์โดยตรง เพราะอัตราการไหลค่อนข้างต่ำ และปลายท่อจ่ายเล็ก จึงไม่สามารถวัดได้จากอุปกรณ์วัดอัตราไหลโดยตรงได้ เมื่อบันทึกผลการวัดโดยวิธีการวัดอัตราการไหลของอากาศที่จ่ายลงในซองน้ำแข็ง จึงควรนำข้อมูลที่วัดมาทำการวิเคราะห์หาความแม่นยำของการวัด โดยอัตราการไหลของอากาศสามารถเขียนได้ดังความสัมพันธ์

$$\dot{V} = \bar{\dot{V}} + d\dot{V} \tag{4.1}$$

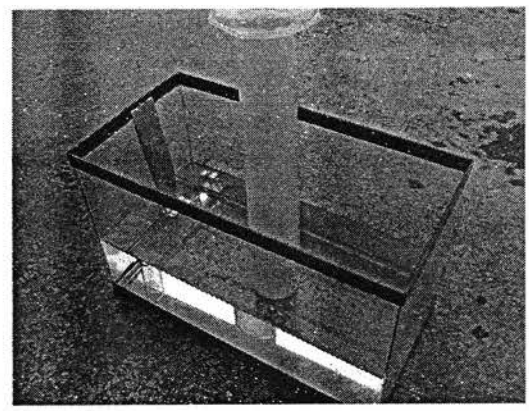
เมื่อ $\bar{\dot{V}}$ คือ ค่าเฉลี่ยของอัตราการไหลของอากาศในท่อจากการวัด

$$\bar{\dot{V}} = \frac{\bar{V}}{\bar{t}}$$

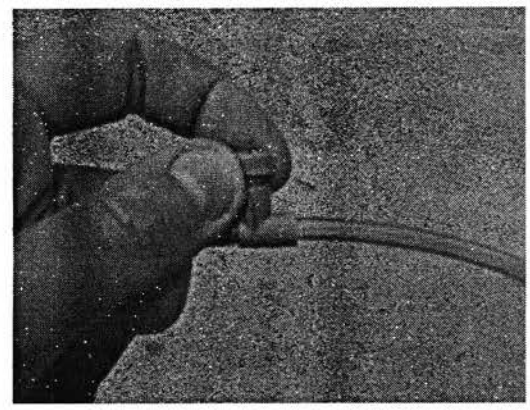
$d\dot{V}$ คือ ค่าความคลาดเคลื่อนของอัตราการไหลของอากาศในท่อ

$$d\dot{V} = \left|\frac{\partial \dot{V}}{\partial V} dV\right| + \left|\frac{\partial \dot{V}}{\partial t} dt\right|$$

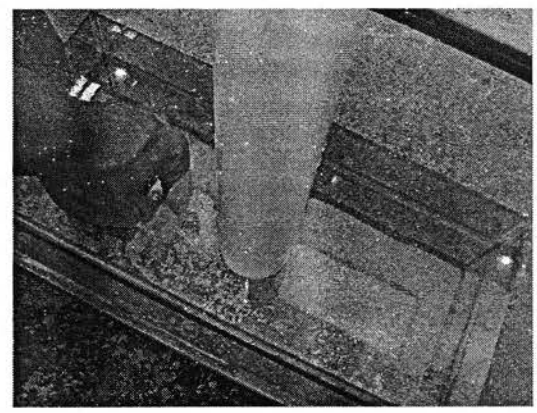
$$\frac{\partial \dot{V}}{\partial V} = \frac{1}{t} \qquad \text{และ} \qquad \frac{\partial \dot{V}}{\partial t} = -\frac{V}{t^2}$$



(ก)



(ข)



(ค)

(ง)

รูปที่ 4.11 (ก)-(ง) แสดงขั้นตอนการวัดอัตราการไหลของอากาศที่จ่ายลงซอง

สำนักงานวิทยทรัพยากร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.4 ขั้นตอนของการทดลอง

การออกแบบการทดลองเพื่อหาอิทธิพลของอัตราการอากาศที่จ่ายลงในซองน้ำแข็ง จะทดลองจ่ายอากาศที่อัตราการไหล 1 , 1.5 , 2 , 2.5 , 3 และ 3.5 ลิตรต่อนาที และไม่มีการจ่าย อุณหภูมิในบ่อน้ำเกลือที่ต้องการควบคุมอยู่ที่ -10 ถึง -8 องศาเซลเซียส โดยมีขั้นตอนการทดลอง ดังนี้

1. เปิดเครื่องทำน้ำเย็น ตวงน้ำเกลือให้ได้ความเข้มข้นตามที่กำหนดลงในช่องทำความเย็นและรอเครื่องทำความเย็นทำน้ำเกลือจนได้อุณหภูมิที่ต้องการทดลอง
2. ตวงน้ำที่จะนำมาใช้ทำทดลองผลิตน้ำแข็งลงซอง
3. นำซองน้ำแข็งใส่ลงในบ่อน้ำเกลือ
4. นำท่อยางจ่ายอากาศลงที่เจาะรูผ่านฝาปิดซองน้ำแข็งจ่ายลงซองน้ำแข็ง
5. นำท่อยางจ่ายอากาศออกเมื่อผิวหน้าน้ำแข็งเริ่มมีความหนาเพิ่มขึ้น
6. เมื่อครบกระบวนการผลิตน้ำแข็งซอง จะทำการย้ายน้ำแข็งออกจากซองโดยแช่ซองน้ำแข็งลงในน้ำอุณหภูมิปกติ
7. จดบันทึกข้อมูลที่ได้จากการทดลอง และทำการปรับวาล์วเปลี่ยนอัตราการไหลเมื่อต้องการทำการทดลองที่อัตราการไหลอื่น

4.5 การวิเคราะห์ผลการทดลอง

จากการทดลองเพื่อหาอิทธิพลของอัตราการไหลของอากาศที่จ่ายลงในซอง จะทำการวัดอุณหภูมิบ่อน้ำเกลือ, อัตราการไหลของอากาศที่จ่ายลงในซอง , อัตราการเพิ่มของความหนาของน้ำแข็ง , และบันทึกภาพความขุ่นของน้ำแข็งซอง โดยแบ่งเงื่อนไขการทดลองไว้ดังนี้

1. อิทธิพลของอัตราการไหลของอากาศที่จ่ายลงซองน้ำแข็งที่มีต่อความขุ่นของน้ำแข็ง ทดลองเพื่อหาแนวโน้มของการเกิดความขุ่นของน้ำแข็งโดยหาช่วงของอัตราการจ่ายที่ไม่ทำให้น้ำแข็งขุ่น
2. อิทธิพลของอัตราการไหลของอากาศที่จ่ายลงซองน้ำแข็งที่มีต่อเวลาที่ใช้ในการผลิตน้ำแข็ง ทดลองเพื่อหาเวลาที่ใช้ในการผลิตน้ำแข็งในกรณีที่จ่ายอากาศลงซองน้ำแข็งที่อัตราการไหลของอากาศต่างกัน

4.6 ผลการทดลอง

ผลการทดลองจากแบบจำลองกระบวนการผลิตน้ำแข็งซอง เพื่อหาอิทธิพลของอัตราการไหลของอากาศที่จ่ายลงซองต่อความขุ่นของน้ำแข็งและเวลาที่ใช้ในการผลิตน้ำแข็ง จะนำเสนอผลการทดลองในรูปแบบของกราฟและตารางไว้ในภาคผนวก ก. โดยการวิเคราะห์ผลการทดลอง มีรายละเอียดผลการวิเคราะห์แบ่งออกเป็นหัวข้อย่อย ได้ดังนี้

4.6.1 ผลการวิเคราะห์ผลจากการวัดค่าอุณหภูมิในบ่อน้ำเกลือ

จากการดำเนินการทดลอง โดยการวัดและบันทึกค่าอุณหภูมิของบ่อน้ำเกลือรอบซองน้ำแข็งซองละ 2 จุด จากแบบจำลองกระบวนการผลิตน้ำแข็งซอง เพื่อหาอุณหภูมิเฉลี่ยของบ่อน้ำเกลือ ภายในช่วงเวลาที่ใช้ในการผลิตน้ำแข็งซอง ซึ่งใช้เวลาในการวัดประมาณ 120 นาที แบ่งการวัดห่างกันครั้งละ 10 นาที จากกราฟระหว่างเวลากับอุณหภูมิที่แสดงในรูปที่ ก.1 - ก.2 พบว่าอุณหภูมิของบ่อน้ำเกลือมีช่วงอุณหภูมิที่แคบและมีความใกล้เคียงกับอุณหภูมิที่ควบคุมไว้โดยชุดอุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิระบบดิจิตอล ที่ตั้งค่าไว้ที่ -10 องศาเซลเซียส อุณหภูมิเมื่อเปรียบเทียบกันในทุกกรณีของอัตราการไหลของอากาศที่จ่ายลงซองต่างๆ มีค่าใกล้เคียงกัน เนื่องจากการทำน้ำเกลือให้เคลื่อนไหวมากเพียงพอที่จะทำให้การกระจายตัวของอุณหภูมิสม่ำเสมอ และอุณหภูมิเฉลี่ยรวมของบ่อน้ำเกลือมีค่า -9.67 องศาเซลเซียส

4.6.2 ความขุ่นของน้ำแข็งซอง

จากการดำเนินการทดลองและบันทึกภาพถ่ายของน้ำแข็งที่ผลิตได้ จากแบบจำลองกระบวนการผลิตน้ำแข็งซอง การประเมินและวิเคราะห์ภาพถ่ายเพื่อเปรียบเทียบความขุ่นของน้ำแข็งเมื่อเปรียบเทียบกันในทุกกรณีอัตราการไหลของอากาศที่จ่ายลงซองต่างๆ ในช่วงอัตราการจ่ายระหว่าง 1.0 ถึง 3.5 ลิตรต่อนาที และไม่มีการจ่ายอากาศ ดังที่แสดงภาพถ่ายไว้ในรูปที่6.1(ก)-(ช) โดยจากรูปพบว่าน้ำแข็งที่เกิดขึ้นในกรณีที่มีการจ่ายอากาศในอัตราการไหล 1 ลิตรต่อนาทีและไม่มีการจ่ายอากาศดังแสดงในรูป 6.1(ก) และ 6.1(ข) ก้อนน้ำแข็งจากแบบจำลองมีลักษณะขุ่น และการเปรียบเทียบภาพถ่ายของน้ำแข็งเมื่อมีการปรับอัตราการไหลของอากาศที่จ่ายลงซองน้ำแข็งเพิ่มเป็น 1.5-3.5 ลิตรต่อนาที ดังแสดงในรูป 6.1(ค)-(ช) ก้อนน้ำแข็งที่ได้จากแบบจำลองจะมีความใสเพิ่มขึ้น อากาศที่จ่ายลงในซองน้ำแข็งเพิ่มการเคลื่อนที่ของน้ำในซองน้ำแข็งขณะที่กำลังทำความเย็นเพื่อผลิตน้ำแข็ง อัตราการไหลของอากาศที่จ่ายลงในซองจึงมีผลต่อแนวโน้มของการเกิดความขุ่นของน้ำแข็งซอง

4.6.3 อัตราการเพิ่มของความหนาของน้ำแข็งและเวลาที่ใช้ในการผลิตน้ำแข็ง

การดำเนินการทดลอง จากแบบจำลองกระบวนการผลิตน้ำแข็งซองเพื่อหาอิทธิพลของอัตราไหลของอากาศที่จ่ายลงซองน้ำแข็งต่ออัตราการเพิ่มของความหนาของน้ำแข็งและเวลาที่ใช้ในการผลิตน้ำแข็งซอง ความหนาของน้ำแข็งซองที่วัดจากแบบจำลองตลอดช่วงเวลาที่ใช้ในการทดลองประมาณ 120 นาที แสดงไว้ในรูปที่ ก.9 จากรูปแสดงความหนาของน้ำแข็งที่เกิดในช่วงเวลาการผลิต ซึ่งวัดในกรณีการจ่ายอากาศที่อัตราการไหลต่างๆ และ กรณีที่ไม่มีการจ่ายอากาศลงซองน้ำแข็ง พบว่าอัตราการการเพิ่มของความหนาของน้ำแข็งจากแบบจำลองมีลักษณะใกล้เคียงกัน คือ เติบโตเร็วในช่วงแรกและช้าลงในช่วงที่ความหนาของน้ำแข็งเพิ่มขึ้นเนื่องจากค่าความต้านทานความร้อนของน้ำเมื่อเปลี่ยนสถานะเป็นน้ำแข็งจะมีค่าสูงขึ้น การทำน้ำแข็งซองจากแบบจำลองจะพบว่ากรณีที่มีการจ่ายอากาศลงซองน้ำแข็งเพิ่มขึ้น จะทำให้เวลาที่ใช้ในการผลิตน้ำแข็งซองเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย เนื่องจากอากาศมีการถ่ายเทความร้อนลงสู่ซองน้ำแข็ง ซึ่งจะทำการวิเคราะห์อิทธิพลของอากาศที่จ่ายโดยใช้แบบจำลองความจุความร้อน ไว้ในภาคผนวก

4.7 สรุปและอภิปรายผลการทดลอง

การทดลองโดยแบบจำลองกระบวนการผลิตน้ำแข็งซองเพื่อหาอิทธิพลของอัตราการไหลของอากาศที่จ่ายลงในซองน้ำแข็งต่อความขุ่นที่เกิดและเวลาที่ใช้ในการผลิตน้ำแข็งมีผลสรุปจากการทดลอง ดังนี้

1. อุณหภูมิของบ่อน้ำเกลือที่วัดได้จากแบบจำลองมีช่วงแคบ เนื่องจากการควบคุมอุณหภูมิในบ่อน้ำเกลือด้วยเครื่องควบคุมอุณหภูมิแบบดิจิตอลสามารถควบคุมให้บ่อน้ำเกลือมีอุณหภูมิที่ต้องการและการทำให้น้ำเกลือไหลเวียนจะทำให้อุณหภูมิมีลักษณะสม่ำเสมอ
2. อัตราการไหลของอากาศที่จ่ายลงในซองน้ำแข็งมีผลต่อความขุ่น โดยการจ่ายอากาศในปริมาณน้อยทำให้น้ำแข็งที่ผลิตได้จากแบบจำลองมีลักษณะขุ่น หากจ่ายอากาศในอัตราการไหลเพิ่มขึ้นจะทำให้น้ำแข็งมีความใสมากขึ้น ทำให้ทราบแนวโน้มของการผลิตน้ำแข็งซองเพื่อให้ได้น้ำแข็งที่มีลักษณะใสได้จากการเพิ่มอัตราการจ่ายอากาศ
3. อัตราการไหลของอากาศที่จ่ายลงในซองน้ำแข็งมีผลต่อเวลาที่ใช้ในการผลิตน้ำแข็งเล็กน้อย โดยอากาศจะถ่ายเทความร้อนเข้าสู่น้ำในซองในอัตราเล็กน้อยเมื่อเทียบกับอัตราการทำความเย็นของระบบทำความเย็นของเครื่องทำน้ำเย็นที่ใช้ในการทดลอง ซึ่งส่งผลต่ออัตราการเพิ่มความหนาของน้ำแข็งและเวลาที่ใช้ในการผลิตเล็กน้อย