

บทที่ 4

อุปกรณ์และวิธีดำเนินการวิจัย

4.1 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ

โครงการวิจัยนี้เป็นการออกแบบระบบทำความเย็นด้วยสูญญากาศโดยใช้หัวฉีดไอน้ำ เพื่อนำมาประยุกต์ใช้ในการลดอุณหภูมิของผลิตภัณฑ์จำพวกผักไปให้มีอุณหภูมิต่ำลงตามที่ต้องการเก็บรักษา ก่อนที่จะนำไปเก็บรักษาไว้ในห้องเย็นต่อไป โดยจะอาศัยการระเหยกลายเป็นไอของน้ำที่อยู่ภายในผลิตภัณฑ์ความดันต่ำ จากการออกแบบและดำเนินการสร้างเพื่อใช้ในการทดสอบจะมีรายละเอียดและส่วนประกอบต่าง ๆ ของอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ ดังต่อไปนี้



รูป 4.1 ชุดทดสอบระบบทำความเย็นด้วยสูญญากาศโดยใช้หัวฉีดไอน้ำ

4.1.1 ถังบรรจุหรือถังสูญญากาศ เป็นส่วนที่ใช้สำหรับเก็บผลิตภัณฑ์ในขณะที่ทำการลดอุณหภูมิ

สามารถทนความดันจากภายนอก ทำจากเหล็กกล้าสเตนเลส ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.420 m ความสูง 0.650 m หนา 0.0048 m ปริมาตร 0.090 m³ โดยได้ทำการดัดแปลงโครงสร้างของถังที่มีอยู่แล้ว ให้สามารถใช้สำหรับ บรรจุน้ำที่ผลิตได้ และติดตั้งอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับเก็บข้อมูล เช่น เกจวัดความดันสูญญากาศ สายสัญญาณเทอร์โมคัปเปิล และเครื่องวัดอัตราการไหลของอากาศ



รูป 4.2 ถังบรรจุหรือถังสูญญากาศ

4.1.2 ชุดหัวฉีดไอน้ำ เป็นส่วนที่ทำหน้าที่ในการดูดอากาศออกจากถังบรรจุ เพื่อให้ความดันภายในถังบรรจุเป็นความดันสูญญากาศตามที่ได้ออกแบบไว้ ซึ่งจากการออกแบบจะต้องใช้หัวฉีดไอน้ำจำนวน 3 ชุด คือ

4.1.2.1 ชุดหัวฉีดไอน้ำชุดที่ 1



รูป 4.3 ส่วนประกอบต่างๆ ของชุดหัวฉีดไอน้ำสแตจที่ 1

4.1.2.2 ชุดหัวฉีดไอน้ำสแตจที่ 2



รูป 4.4 ส่วนประกอบต่างๆ ของชุดหัวฉีดไอน้ำสแตจที่ 2

4.1.2.3 ชุดหัวฉีดไอน้ำสเตจที่ 3

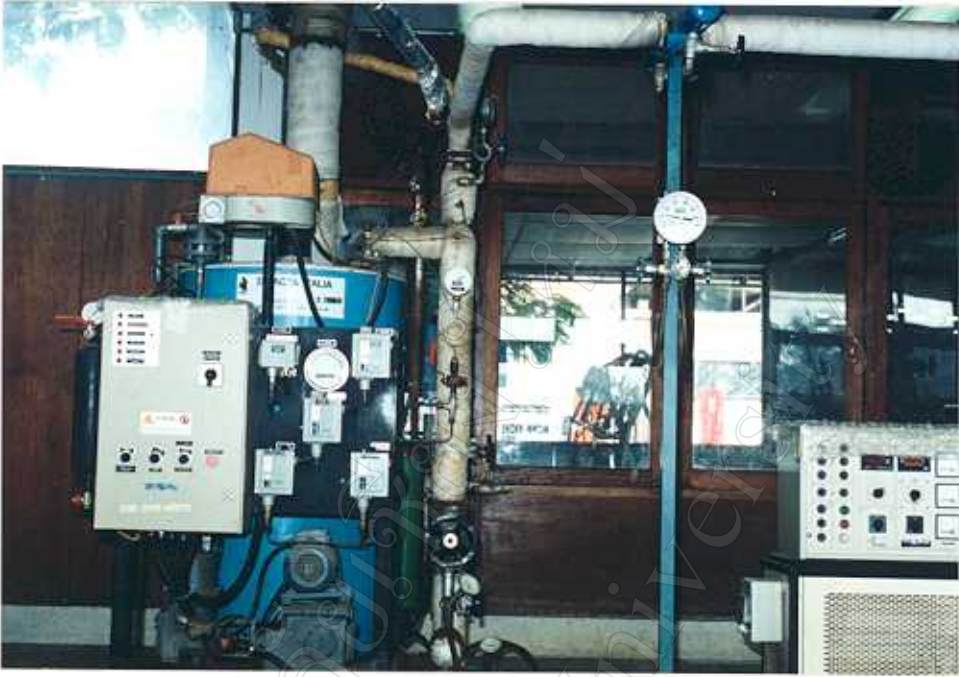


รูป 4.5 ส่วนประกอบต่าง ๆ ของชุดหัวฉีดไอน้ำสเตจที่ 3

4.1.3 เครื่องกำเนิดไอน้ำ เป็นส่วนที่ทำหน้าที่สำหรับจ่ายไอน้ำให้กับหัวฉีดไอน้ำทั้งสามสเตจ ซึ่งใช้ไอน้ำแห้งอิ่มตัว ที่ความดันเกจ 10 bar อุณหภูมิไอน้ำแห้งอิ่มตัว 184°C ปริมาณไอน้ำที่ผลิตได้ปัจจุบัน 150 kg/hr ของบริษัท Didacta Italia รุ่น FB 20

ตาราง 4.1 ข้อมูลทางด้านเทคนิคของเครื่องกำเนิดไอน้ำ รุ่น FB 20

Steam production	kg/h	200
Capacity	kcal/h	120,000
Consumption	Diesel oil kg/h	14
Heated Surface	m^2	7.5
Efficiency	%	88
Steam Intake	inch	$1 \frac{1}{4}$
Chimney	mm	120
Weight	Kg	600
Dimensions	Length , mm	1,250
	Width , mm	800
	Height , mm	1,600



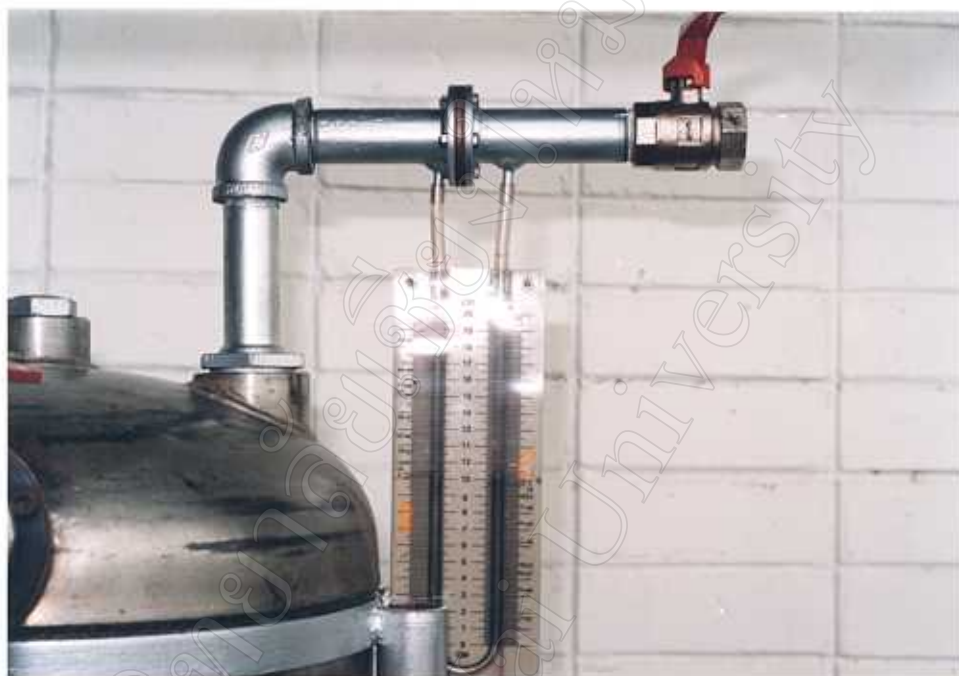
รูป 4.6 เครื่องกำเนิดไอน้ำที่ใช้ในการทดสอบ

4.1.4 ผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในการทดสอบประกอบด้วย ผักกาดหอม ผักกระหล่ำปลี และผักกาดขาวปลี



รูป 4.7 ผลิตภัณฑ์จากผักที่ใช้ในการทดสอบ

4.1.5 เครื่องวัดอัตราการไหลแบบหัวฉีด เป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับวัดอัตราการไหลของอากาศตามสภาวะอากาศทางด้านดูดของหัวฉีดไอน้ำ โดยสร้างตามมาตรฐานของ ASME Power Test Code รายละเอียดการออกแบบและหาค่าอัตราการไหลของอากาศแห่งทางด้านดูด แสดงอยู่ในภาคผนวก ก



รูป 4.8 เครื่องวัดอัตราการไหลของอากาศแห่งแบบหัวฉีด

4.1.6 อุปกรณ์ส่วนควบ ซึ่งประกอบด้วย ท่อไอน้ำ, วาล์วไอน้ำแบบโกลบวาล์ว (Globe Valve), บอลวาล์ว (Ball Valve) ขนาด 3/8 inch และ 1/2 inch, ข้อต่อแบบยูเนียน (Union Joint), ข้อลดจาก 1/2 inch เป็น 3/8 inch และตัวกรอง (Strainer) ที่ความดันใช้งาน 10 bar เป็นต้น

4.1.7 ชุดเก็บข้อมูล

ในการเก็บข้อมูลการออกแบบระบบทำความเย็นด้วยสูญญากาศโดยใช้หัวฉีดไอน้ำจะมีการเก็บข้อมูลอยู่ 2 แบบ คือเก็บข้อมูลเกี่ยวกับการออกแบบหัวฉีดไอน้ำที่ใช้สำหรับลดความดันภายในระบบ และเก็บข้อมูลเกี่ยวกับการลดอุณหภูมิของผลิตภัณฑ์ โดยมีอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับเก็บข้อมูลประกอบด้วย

4.1.7.1 เครื่องวัดอุณหภูมิ เป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับวัดอุณหภูมิของผลิตภัณฑ์ ซึ่งใช้ตัวเซนเซอร์ของเทอร์โมคัปเปิล ชนิด K แบบโคเมียม - อลูมิเนียม ของ Floke ข่ายของการวัดอุณหภูมิ -5 ถึง 50°C ความละเอียดของการวัด 0.1°C

4.1.7.2 เกจวัดสูญญากาศ เป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับวัดความดันด้านดูดและด้านจ่ายของหัวฉีดไอน้ำ ซึ่งเป็นแบบบูร์ดองเกจ (Bourdon Gage) สเกล 0 ถึง -1 bar สามารถแบ่งสเกลอ่านค่าได้ละเอียดถึง 0.001 bar สำหรับด้านดูด และสเกล -1 ถึง 3 bar สำหรับด้านจ่าย



รูป 4.9 เครื่องวัดอุณหภูมิและเทอร์โมคัปเปิล



รูป 4.10 เกจวัดความดันสุญญากาศแบบบูร์ดอง

4.1.7.3 เครื่องชั่งน้ำหนัก เป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับชั่งน้ำหนักของผลิตผลทั้งก่อนและหลังการลดอุณหภูมิ เพื่อหาปริมาณน้ำที่ระเหยกลายเป็นไอออกจากผลิตผล ของ Ohaus สามารถอ่านค่าได้ละเอียดถึง 0.001 kg



รูป 4.11 เครื่องชั่งน้ำหนัก

4.1.7.4 เครื่องวัดความชื้นสัมพัทธ์ เป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับวัดเปอร์เซ็นต์ ความชื้นสัมพัทธ์ของสภาวะอากาศขณะที่ทำการทดสอบ รุ่น DM - 750 การวัดความชื้นใช้ตัวเซนเซอร์แบบ Thin - Film Capacitance ย่านการวัด 10 - 95 % ความละเอียดของการวัด 0.1 %

4.1.7.5 สายเซนเซอร์เทอร์โมคัปเปิลแบบวัดที่ผิว (Surface Temperature) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับวัดอุณหภูมิของไหลผสมที่ออกจากหัวฉีดไอน้ำในแต่ละสเกจ เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการคำนวณหาประสิทธิภาพหัวฉีดไอน้ำ ของ Omega ย่านของการวัด -10 ถึง 350°C

4.1.7.6 นาฬิกา เป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับดูเวลาขณะที่ทำการลดอุณหภูมิของผลิตผลลดลงทุกๆ 5 นาที สามารถวัดอุณหภูมิและความดันบรรยากาศทำการทดสอบ ของ Casio รุ่น 1170 DI ย่านของการวัดอุณหภูมิ -10 ถึง 60°C ความละเอียดของการวัด 0.1°C และย่านของการวัดความดันบรรยากาศ 61 ถึง 110 kPa หรือ 458 ถึง 825 torr



รูป 4.12 เครื่องวัดความชื้นสัมพัทธ์



รูป 4.13 สายเซนเซอร์ของเทอร์โมกันเปิลแบบวัดที่ผิว



รูป 4.14 นาฬิกาเวลาและใช้วัดความดันบรรยากาศ

4.2 วิธีดำเนินการวิจัย

ขั้นตอนดำเนินการวิจัย มีดังนี้

4.2.1 ศึกษาทฤษฎี และสาระสำคัญจากเอกสารที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย ในเรื่องที่เกี่ยวข้อง การทำความเข้าใจด้วยสัญญาณโดยใช้หัวฉีดไอน้ำ การออกแบบหัวฉีดไอน้ำ และวิธีการลดอุณหภูมิของผลิตภัณฑ์จำพวกผักใบ

4.2.2 ศึกษาข้อมูลที่ใช้ในการออกแบบและสร้างชุดหัวฉีดไอน้ำ เพื่อนำข้อมูลไปใช้ในการออกแบบและดำเนินการสร้าง โดยยึดตามหลักเกณฑ์การออกแบบของ Power R. B. (16) ในการหาปริมาณไอน้ำที่ต้องการ ตามอัตราส่วนการอัดที่ออกแบบของแต่ละสแตจ แล้วคำนวณหาขนาดต่าง ๆ ของหัวฉีดไอน้ำ ซึ่งประกอบด้วย ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางคอคอดหัวฉีด คอคอดตัวกระจาย และข้อต่อด้านสุด สำหรับค่าต่าง ๆ ของการออกแบบลักษณะรูปร่างของหัวฉีดไอน้ำ (ดูรูปที่ 1.2 ประกอบ) ได้ยึดตามค่าที่ผู้ผลิตนิยมใช้ในการออกแบบดังนี้

ก. หัวฉีด ซึ่งมีลักษณะรูปร่างเป็นแบบลู่เข้า - บานออก ออกแบบให้มุมรวมของกรวยในส่วนที่ลู่เข้าประมาณ 20 องศา และส่วนที่บานออกประมาณ 12 องศา

ข. ช่วงผสม ซึ่งมีลักษณะรูปร่างเป็นทรงกรวยลู่เข้า ออกแบบให้มุมรวมของกรวยที่ทางเข้าประมาณ 12 องศา และมุมรวมที่ปลายของกรวย 4 องศา โดยที่ความยาวของช่วงผสมจะอยู่ในเทอมของเส้นผ่านศูนย์กลางคอคอดของตัวกระจาย ออกแบบให้ความยาวของช่วงผสมประมาณ 7 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางคอคอดตัวกระจาย

ค. คอคอดตัวกระจาย ซึ่งมีพื้นที่คงที่ ออกแบบให้ความยาวคอคอดประมาณ 3 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางคอคอดตัวกระจาย

ง. ตัวกระจาย ซึ่งมีลักษณะรูปร่างเป็นทรงกรวยบานออก ออกแบบให้มุมรวมของกรวยที่บานออกประมาณ 10 องศา และความยาวของตัวกระจายประมาณ 5 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางคอคอดตัวกระจาย

4.2.3 จำนวนและออกแบบหัวฉีดไอน้ำ ซึ่งมีขั้นตอนการคำนวณและออกแบบดังนี้

ก. จำนวนหาภาระทางด้านจุด เมื่อต้องการลดอุณหภูมิของผลิตภัณฑ์จาก 100°C คือ ผักกาดหอม ผักกระหล่ำปลี และผักกาดขาวปลี ให้ได้ครั้งละประมาณ 30 kg โดยมีสภาวะของการออกแบบตามสถานที่ทดสอบ คือ จังหวัดนครราชสีมา สามารถวัดความดันบรรยากาศได้สูงสุด 99.8 kPa หรือ 748 torr ความชื้นสัมพัทธ์ 70 % ออกแบบให้อุณหภูมิเริ่มต้นของผลิตภัณฑ์ 30°C ต้องการลดอุณหภูมิเพื่อเก็บรักษาไว้ที่ 2°C ใช้เวลาในการทำความเย็น 30 นาที (รายละเอียดของการคำนวณและออกแบบแสดงอยู่ในบทที่ 3 หัวข้อ 3.1.2)

ข. จำนวนหาจำนวนหัวฉีดไอน้ำ ตามหลักเกณฑ์การออกแบบหัวฉีดไอน้ำของ Power R. B. (16) ซึ่งมีอัตราส่วนการอัดแต่ละสแตจอยู่ระหว่าง 5 : 1 ถึง 8 : 1 โดยคำนึงถึงความสิ้นเปลืองไอน้ำที่ใช้จะต้องไม่เกิน 150 kg/h เนื่องจากเครื่องกำเนิดไอน้ำที่ใช้ในการทดสอบสามารถผลิตไอน้ำได้สูงสุด 150 kg/h เท่านั้น ที่สภาวะของการออกแบบต้องการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ไว้ที่อุณหภูมิ 2°C ดังนั้นระบบที่ออกแบบจะต้องสามารถสร้างสุญญากาศเพื่อทำให้เกิดความดันของไออิ่มตัวขึ้นประมาณ 5 torr ซึ่งสัมพันธ์กับอุณหภูมิที่ต้องการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ โดยจะทำให้ไอน้ำที่อยู่ภายในผลิตภัณฑ์ระเหยกลายเป็นไอที่ความดันต่ำ และจะพาความร้อนออกมาในรูปความร้อนแฝง ทำให้เกิดความเย็นขึ้นภายในผลิตภัณฑ์ ซึ่งเป็นหลักการที่ใช้ในการออกแบบระบบทำความเย็นด้วยสุญญากาศโดยใช้หัวฉีดไอน้ำ ดังนั้นเมื่อรู้ความดันสมบูรณ์ด้านจุดก็จะสามารถกำหนดความดันสมบูรณ์ด้านจ่ายได้ตามอัตราส่วนการอัดของแต่ละสแตจตามที่ออกแบบไว้ (รายละเอียดของการคำนวณและออกแบบแสดงอยู่ในบทที่ 3 หัวข้อ 3.1.3)

ค. จำนวนหาขนาดต่าง ๆ ของหัวฉีดไอน้ำในแต่ละสแตจ (รายละเอียดของการคำนวณและออกแบบแสดงอยู่ในบทที่ 3 หัวข้อ 3.1.3)

4.2.4 สร้างหัวฉีดไอน้ำให้มีขนาดต่าง ๆ ตามที่ได้ออกแบบ โดยเลือกใช้วัสดุเป็นเหล็กกล้าผสม (AISI 1020) ซึ่งมีคุณสมบัติเหนียวสามารถขึ้นรูปได้ง่าย โดยได้ทำการสร้างหัวฉีดไอน้ำสแตจที่ 3 ขึ้นมาก่อน เพราะว่าเป็นหัวฉีดไอน้ำที่ออกแบบให้ความดันสมบูรณ์ทางด้านจ่ายมากกว่าความดันบรรยากาศ จึงสามารถจ่ายออกที่บรรยากาศได้โดยตรง โดยไม่ต้องคำนึงถึงความดันที่ด้านจ่ายเหมือนกับสแตจที่ 1 และ 2 ซึ่งจะต้องทำให้ความดันด้านจ่ายเป็นความดันสุญญากาศตามที่ออกแบบไว้

4.2.5 ทำการทดสอบเบื้องต้นของหัวฉีดไอน้ำสแตจที่ 3 ตามภาระทางด้านจุดของอากาศแห้งที่ค่าต่างๆ โดยใช้เครื่องวัดอัตราการไหลแบบหัวฉีดวัดภาระอากาศแห้งทางด้านจุดที่ค่าต่าง ๆ ดังนี้ 45, 40, 37, 30, 25, 20, 15, 10, 5, และ 0 kg/h ในการทดสอบจะต้องปรับค่าตำแหน่งการติดตั้งระหว่างปลายหัวฉีดกับปากทางเข้าของกรวยเวนจูรี โดยใช้ปะเก็นหรือตัวรอง เพื่อหาความสามารถในการสร้างสุญญากาศที่ดีที่สุด ซึ่งจะทำให้ทราบค่าเบื้องต้นต่าง ๆ เพื่อใช้เป็นแนวทางในการออกแบบหัวฉีดไอน้ำสแตจที่ 1 และ 2 ต่อไป

4.2.6 สร้างหัวฉีดไอน้ำสแตจที่ 2 และทำการทดสอบเช่นเดียวกับหัวฉีดไอน้ำสแตจที่ 3 โดยนำมาต่อ

อนุกรมกับสแดงที่ 3 เพื่อทำให้ความดันด้านจ่ายของสแดงที่ 2 มีค่าความดันสูญญากาศตามที่ออกแบบไว้

4.2.7 สร้างหัวฉีดไอน้ำสแดงที่ 1 และทำการทดสอบเช่นเดียวกับหัวฉีดไอน้ำสแดงที่ 2 และ 3 โดยนำมาต่ออนุกรมกับสแดงที่ 2 และ 3 เพื่อทำให้ความดันด้านจ่ายของสแดงที่ 1 มีค่าความดันสูญญากาศตามที่ออกแบบไว้

4.2.8 ทดสอบการทำงานของหัวฉีดไอน้ำทั้งสามสแดง เพื่อหาเส้นสมรรถนะ และประสิทธิภาพของหัวฉีดไอน้ำที่ออกแบบในแต่ละสแดง ตามวิธีการทดสอบการลดความดันหัวฉีดไอน้ำ

4.2.9 ทดสอบการลดอุณหภูมิของผลิตภัณฑ์ เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลาของการลดอุณหภูมิ และปริมาณของไอน้ำที่ระเหยออกจากผิวผลิตภัณฑ์ ซึ่งการทดสอบจะใช้วิธีจำลองสถานการณ์ของระบบทำความเย็นด้วยสูญญากาศที่สร้างขึ้นมา

4.2.10 วิเคราะห์ผลที่ได้จากการทดสอบ ในการลดความดันของหัวฉีดไอน้ำ และการลดอุณหภูมิของผลิตภัณฑ์

4.2.11 วิเคราะห์ค่าความเป็นไปได้ในทางเศรษฐศาสตร์ โดยเปรียบเทียบจากค่าใช้จ่ายรวมรายปีของระบบการทำความเย็นด้วยสูญญากาศกับระบบการทำความเย็นโดยใช้ห้องลดอุณหภูมิ ซึ่งมีสภาพการทำงานที่เหมือนกัน

4.2.12 ทำการวิเคราะห์สรุปผลการทดสอบ ข้อเสนอแนะ และเขียนวิทยานิพนธ์

4.3 วิธีการทดสอบ

การทดสอบผลจากการออกแบบระบบทำความเย็นด้วยสูญญากาศโดยใช้หัวฉีดไอน้ำแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ การทดสอบการลดความดันของหัวฉีดไอน้ำ และการทดสอบการลดอุณหภูมิของผลิตภัณฑ์สภาวะการออกแบบ

4.3.1 วิธีการทดสอบการลดความดันของหัวฉีดไอน้ำ

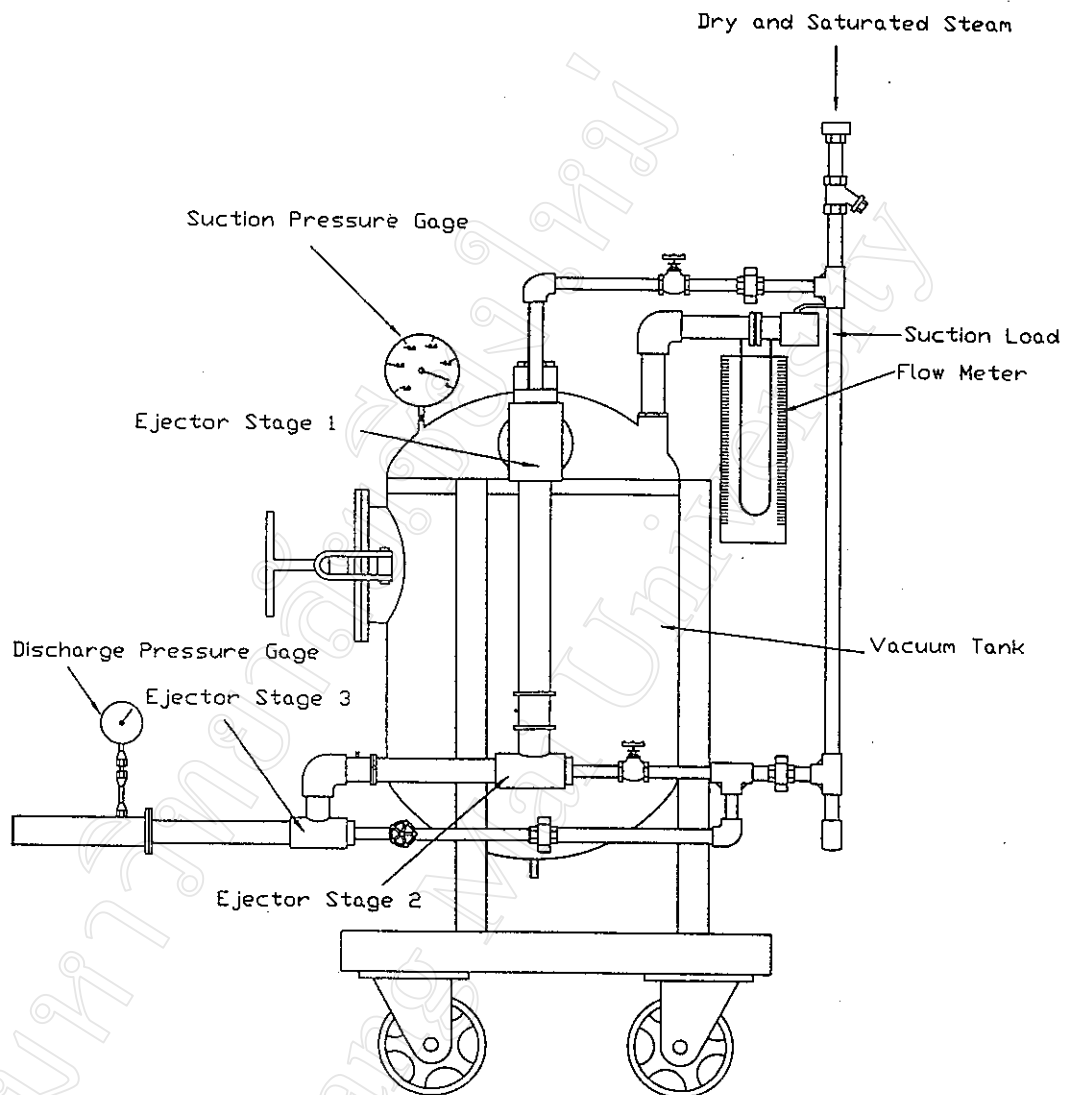
ในการทดสอบการลดความดันของหัวฉีดไอน้ำ เพื่อหาเส้นสมรรถนะการทำงาน และประสิทธิภาพของหัวฉีดไอน้ำที่ออกแบบในแต่ละสแดง ได้จัดวางหัวฉีดไอน้ำทั้งสามสแดงที่ใช้ในการทดสอบ ดังแสดงในรูป 4.15

ขั้นตอนดำเนินการทดสอบมีดังนี้

4.3.1.1 บันทึกค่าของความดัน อุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ที่ความดันบรรยากาศขณะที่ทำการทดสอบ

4.3.1.2 เดินเครื่องกำเนิดไอน้ำจนกระทั่งสามารถผลิตไอน้ำเป็นไอน้ำแห้งอิ่มตัว ที่ความดันเกจ 10 bar อุณหภูมิ 184°C

4.3.1.3 เปิดวาล์วไอน้ำที่ทางเข้าหัวฉีดไอน้ำสแดงที่ 3 ออกจนสุด ไอน้ำจะถูกปล่อยออกทางด้านจ่ายที่บรรยากาศ แล้วรอสักครู่ เพื่อให้สภาวะไอน้ำเป็นปกติโดยสังเกตจากเกจวัดความดันไอน้ำและอุณหภูมิที่เครื่องผลิตไอน้ำจะต้องอยู่สภาวะเดิม



รูป 4.15 แสดงการจัดวางหัวฉีดไอน้ำของชุดทดสอบ

4.3.1.4 เปิดวาล์วเชื่อมต่อทางด้านดูดออกจนสุด แล้วทำการควบคุมภาระของอากาศที่ไหลเข้าเครื่องวัดอัตราการไหลให้มีความดันแตกต่าง ตามภาระของอากาศแห่งที่ใช้ในการทดสอบดังนี้ 45, 40, 37, 35, 30, 25, 20, 15, 10, 5 และ 0 kg/h ซึ่งสามารถอ่านค่าได้จาก U - tube Manometer ของเครื่องวัดอัตราการไหลแบบหัวฉีด

4.3.1.5 ปรับอัตราการไหลของอากาศ ซึ่งเป็นภาระของอากาศแห่งทางด้านดูดของหัวฉีดไอน้ำให้มีภาระทางด้านดูดจากค่าสูงสุดคือที่ 45 kg/h จนกระทั่งภาระทางด้านดูดเป็นศูนย์ (ปิด) ขณะเดียวกันก็อ่านค่าความดันด้านดูด ความดันด้านจ่ายจากเกจวัด อ่านเกจวัดความเปลี่ยนแปลงของไอน้ำ และวัดอุณหภูมิของทางด้านจ่ายของแต่ละสภาวะ แล้วบันทึกค่าการทดสอบ

4.3.1.6 ต่อจากนั้นก็ทำการทดสอบการลดความดันของหัวฉีดไอน้ำสเตจที่ 2 และ 1 เหมือนกับหัวฉีดไอน้ำสเตจที่ 3 โดยลดภาระอากาศแห้งทางด้านดูดเป็น 30 kg/h และ 25 kg/h จนกระทั่งถึงภาระอากาศเป็นศูนย์ ตามลำดับ ผลการทดสอบแสดงอยู่ในตาราง ค.1 และ ค.2 ในภาคผนวก ค

4.1.3.7 ทดสอบการทำงานของหัวฉีดไอน้ำทั้งสามสเตจพร้อมกัน เพื่อหาประสิทธิภาพของหัวฉีดไอน้ำที่ภาระด้านดูดที่จุดออกแบบ 5 kg/h โดยทำการวัดความดัน และอุณหภูมิด้านจ่ายทั้งสามสเตจ ผลการทดสอบแสดงอยู่ในตาราง ค.3 ในภาคผนวก ค

4.3.2 วิธีการทดสอบการลดอุณหภูมิของผลิตภัณฑ์

ผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในการทดสอบจะประกอบไปด้วย ผักกาดหอม ผักกระหล่ำปลี และผักกาดขาวปลี โดยทำการทดสอบครั้งละ 1 kg เพื่อที่จะหาเวลาที่ใช้ในการลดอุณหภูมิของผลิตภัณฑ์ (Cooling Time) และปริมาณของไอน้ำที่ระเหยออกจากผลิตภัณฑ์สภาวะการออกแบบ ขั้นตอนดำเนินการทดสอบมีดังนี้

4.3.2.1 ชั่งน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ที่จะนำมาทดสอบให้ได้ 1 kg

4.3.2.2 นำผลิตภัณฑ์เสียบเข้ากับหัววัดอุณหภูมิแล้ววางภายในถังให้เรียบร้อย แล้วปิดฝาดังล็อกให้แน่น

4.3.2.3 บันทึกค่าอุณหภูมิเริ่มต้นของผลิตภัณฑ์จากเครื่องวัดอุณหภูมิ

4.3.2.4 เดินเครื่องกำเนิดไอน้ำจนกระทั่งสามารถผลิตไอน้ำแห้งอิ่มตัว ที่มีความดันเกจ 10 bar อุณหภูมิ 184°C

4.3.2.5 เปิดวาล์วไอน้ำที่ทางเข้าหัวฉีดไอน้ำสเตจที่ 3, 2 และ 1 ตามลำดับ รอจนกระทั่งสภาวะการทำงานของเครื่องกำเนิดไอน้ำเป็นปกติ

4.3.2.6 เปิดวาล์วทางข้อต่อด้านดูด ซึ่งความดันภายในถังบรรจุจะถูกลดลงอย่างต่อเนื่อง

4.3.2.7 บันทึกค่าอุณหภูมิที่ลดลงทุก ๆ 5 นาที จนกระทั่งครบ 30 นาที

4.3.2.8 นำผลิตภัณฑ์ออกจากถังบรรจุ และชั่งน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ที่ลดลง

4.3.2.9 เปลี่ยนชนิดของผลิตภัณฑ์ แล้วทำการทดสอบเหมือนกับที่ได้กล่าวมาแล้วผลการทดสอบแสดงอยู่ในตาราง ค.5 , ค.6 และ ค.7 ในภาคผนวก ค

หมายเหตุ

เพื่อป้องกันปัญหาจากการเกิดความดันย้อนกลับเข้าสู่ระบบ จะต้องควบคุมให้อากาศจากภายนอกเข้าสู่ระบบ ขณะทำการทดสอบการลดอุณหภูมิของผลิตภัณฑ์

4.4 วิเคราะห์ข้อมูลจากการทดสอบ

ในการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการทดสอบ ในงานวิจัยมีดังนี้

4.4.1 วิเคราะห์ข้อมูลจากการทดสอบการลดความดันของหัวฉีดไอน้ำ ได้จาก

4.4.1.1 ผลการทดสอบหัวฉีดไอน้ำ

4.4.1.2 กราฟแสดงเส้นสมรรถนะการทำงานของหัวฉีดไอน้ำ

4.4.1.3 ประสิทธิภาพของหัวฉีดไอน้ำในแต่ละสเตจ

4.4.2 วิเคราะห์ข้อมูลจากการทดสอบการลดอุณหภูมิของผลิตภัณฑ์ ได้จาก

4.4.2.1 ผลของการลดอุณหภูมิ และปริมาณไอน้ำที่ระเหยออกจากผิวของผลิตภัณฑ์เวลาของการ
ออกแบบ 30 นาที

4.4.3 วิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์ โดยเปรียบเทียบจากค่าใช้จ่ายรวมรายปีของระบบทำความเย็นด้วย
สูญญากาศกับระบบทำความเย็นโดยใช้ห้องลดอุณหภูมิ ซึ่งมีสภาพการทำงานที่เหมือนกัน