

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของการวิจัย

การรักษาคุณภาพของผลิตผลทางการเกษตรภายหลังจากการเก็บเกี่ยว เพื่อให้มีคุณภาพสูงและเก็บไว้ได้นานเป็นสิ่งที่สำคัญมาก เพราะว่าผลิตผลส่วนใหญ่ต้องใช้เวลาในการขนส่งกว่าจะถึงมือผู้บริโภค จะทำให้ผลิตผลเหล่านั้นเสื่อมคุณภาพลงได้ หรือผลิตผลที่ขายอยู่นอกฤดูกาลย่อมขายได้ราคาดีกว่าขายในฤดูกาล จึงมีความจำเป็นมากในทางการค้าที่อาจจะส่งผลถึงกำไรมาก ถ้าไรน้อย หรือการขาดทุนของพ่อค้าได้ โดยเฉพาะผลิตผลทางการเกษตร จำพวกผักใบที่มีอัตราส่วนของพื้นที่ผิวต่อปริมาตรสูง เช่น ผักกาดหอม (Lettuce) ผักกระหล่ำปลี (Cabbage) และผักกาดขาวปลี (White Green) เป็นต้น จะไม่สามารถเก็บไว้ได้นานเพราะจะเกิดการเปลี่ยนแปลงสีผิว เน่าเสียได้ง่าย เนื่องมาจากผลิตผลเหล่านี้จะมีกลิ่นใบหรือก้านใบซ้อนกันเป็นชั้นหนา ทำให้การถ่ายเทความร้อนจากภายในผลิตผลออกไปได้ยาก จึงจำเป็นต้องมีการลดอุณหภูมิ (Precooling) เพื่อกำจัดความร้อนที่อยู่ภายในผลิตผลออกไป ซึ่งจะทำให้อุณหภูมิของผลิตผลลดลงได้

ปัจจุบันการทำความเย็นในทางการค้าสำหรับผลิตผลจำพวกผักใบจะนิยมใช้การเก็บไว้ในห้องลดอุณหภูมิ การทำความเย็นด้วยวิธีนี้จะนำเอาภาชนะที่บรรจุผลิตผลไปเก็บไว้ในห้องลดอุณหภูมิ ทำให้ความเย็นไม่ได้ไหลเข้าไปสัมผัสกับผลิตผลได้โดยตรง แต่ผลิตผลจะคายความร้อนออกมาด้วยการนำความร้อนออกต่อ ๆ กันไปสู่ผนังภาชนะ เพื่อทำให้อุณหภูมิของผลิตผลลดลงเท่ากับอุณหภูมิเก็บรักษา ถ้าอุณหภูมิห้องต่ำมาก ๆ เวลาในการลดอุณหภูมิจะนานมาก อาจจะมีมากกว่า 1 วัน และผลิตผลที่อยู่ใกล้กับผนังของภาชนะจะเย็นเร็วกว่าส่วนอื่น ๆ ทำให้ความเย็นไม่สม่ำเสมอ จึงไม่เหมาะกับผลิตผลที่เน่าเสียได้ง่าย ถ้าต้องการให้ระยะเวลาในการทำ ความเย็นสั้นลงจะต้องใช้กำลังของเครื่องทำความเย็นที่สูงมาก ยกตัวอย่าง เช่น การทำให้ผักกาดหอมจำนวน 100 กิโลกรัม ลดอุณหภูมิจาก 30°C เป็น 2°C ภายในเวลา 25 นาที จะต้องใช้กำลังของเครื่องทำความเย็นประมาณ 7.6 กิโลวัตต์ หรือประมาณ 2.2 ตันความเย็นขึ้นไป จึงจะสามารถลดอุณหภูมิของผักกาดหอมได้ภายในระยะเวลาที่กำหนด เครื่องทำความเย็นขนาดใหญ่จะมีราคาแพงและสิ้นเปลืองกระแสไฟฟ้าในการทำงานมาก และอีกประการหนึ่ง เมื่อเก็บรักษาผลิตผลไว้ในห้องลดอุณหภูมิที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าจุดแข็งตัวของน้ำ เช่น ที่อุณหภูมิของห้องเป็น -20°C จะทำให้ผลิตผลเกิดการแข็งตัว ซึ่งไม่ตรงตามวัตถุประสงค์ที่จะเก็บในรูปของผลิตผลสด ดังนั้นการเก็บรักษาผลิตผลไว้ในที่อุณหภูมิต่ำ ๆ จึงต้องผ่านขั้นตอนของการลดอุณหภูมิลงมาให้เท่ากับอุณหภูมิที่ต้องการเก็บรักษาลูกก่อน แล้วจึงนำผลิตผลมาเก็บไว้ในห้องเย็น ซึ่งจะทำหน้าที่เพียงการรักษารักษาอุณหภูมิที่ต้องการจะเก็บไว้เท่านั้น โดยไม่ต้องทำหน้าที่ในการลดอุณหภูมิ ทำให้มีความประหยัดมากเมื่อเทียบกับการทำความเย็นโดยไม่ผ่านขั้นตอนของการลดอุณหภูมิ

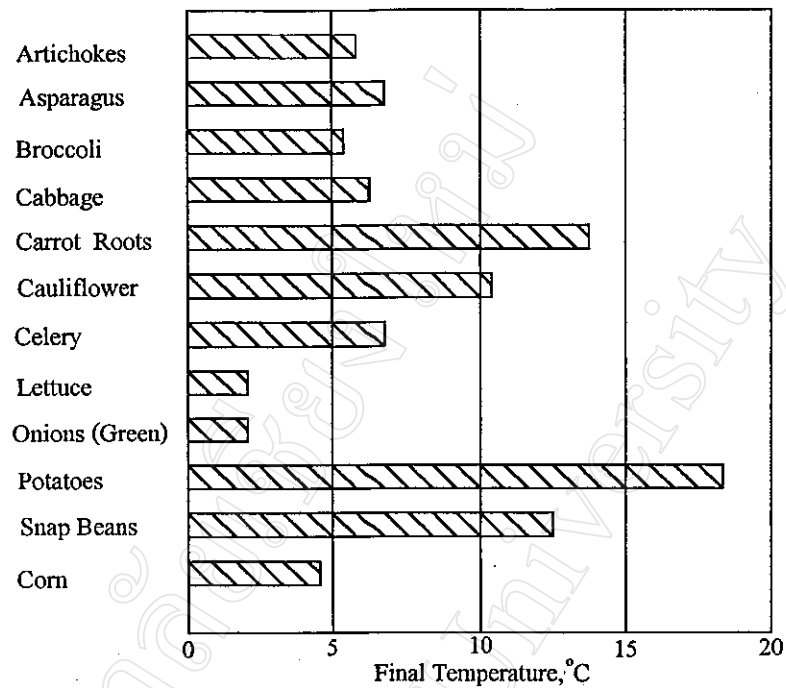
วิธีการหนึ่งที่ใช้ในการลดอุณหภูมิ ซึ่งเหมาะกับผลิตผลจำพวกผักใบที่มีอัตราส่วนของพื้นที่ผิวต่อปริมาตรสูงและเกิดการเน่าเสียได้ง่าย จะสามารถทำได้โดยประยุกต์การทำความเย็นด้วยสูญญากาศ (Vacuum Cooling) ซึ่งจะทำให้เกิดการเดือดของน้ำขึ้นภายในผลิตผล และจะระเหยออกจากผิวของผลิตผลภายใต้ความดันที่ต่ำ ทำให้เกิดความเย็นขึ้นอย่างรวดเร็วและสม่ำเสมอ ใช้ระยะเวลาในการลดอุณหภูมิ 2 - 3 ชั่วโมงหรือไม่ก็

นาที่เท่านั้นสำหรับผลิตผลบางชนิด วิธีการลดความดันที่นิยมใช้ คือการลดความดันโดยใช้ปั๊มสุญญากาศทางกล (Mechanical Vacuum Pump) หัวฉีดไอน้ำ (Steam Jet Ejector) และหัวฉีดน้ำ (Water Ejector) ซึ่งแต่ละวิธีก็มีข้อดี ข้อเสีย และข้อจำกัดในการใช้งานที่แตกต่างกันออกไป ในทางการค้า การเก็บรักษาผลิตผลจำพวกผักใบในหีองลดอุณหภูมิจะกระทำที่อุณหภูมิต่ำ แต่ไม่ควรเกินอุณหภูมิที่ทำให้เกิดการแข็งตัวของผลิตผล ซึ่งที่นิยมใช้ไม่ควรต่ำกว่า 2°C อุปกรณ์ที่ใช้ในการลดความดันจะต้องสามารถทำให้เกิดสุญญากาศที่ความดันสมบูรณ์ของการดูดประมาณ 5 torr จึงจะทำให้เกิดความเย็นขึ้นภายในผลิตผลที่อุณหภูมิ 2°C ตามที่ต้องการได้ ดังนั้นที่ความดันสมบูรณ์ของการดูดต่ำ ๆ อุปกรณ์ที่เหมาะสมในการสร้างสุญญากาศ คือ หัวฉีดไอน้ำหรือเรียกว่าอีเจ็คเตอร์ (Ejector) ส่วนมากจะใช้กับภาระการดูดที่มีความดันต่ำกว่า 10 torr มีข้อดีคือ โครงสร้างง่าย มีขนาดกระทัดรัด ไม่มีชิ้นส่วนที่เคลื่อนที่ การบำรุงรักษาจึงง่ายเมื่อเทียบกับปั๊มสุญญากาศทางกล และที่สภาวะความดันสมบูรณ์ของการดูดต่ำ ๆ จะทำให้มีน้ำระเหยกลายเป็นไอน้ำออกมาทำให้เกิดความเสียหายแก่ปั๊มสุญญากาศทางกล และจะต้องมีขนาดที่ใหญ่มาก เมื่อเปรียบเทียบกับความสามารถในการสร้างสุญญากาศที่ระดับความดันเดียวกัน

การศึกษาการทำความเย็นด้วยสุญญากาศในประเทศไทย ยังมีอยู่น้อยเมื่อเทียบกับต่างประเทศ ซึ่งวิธีการนี้จะมีใช้กันอย่างแพร่หลายในระบบอุตสาหกรรมการถนอมอาหาร หรือการลดอุณหภูมิของผลิตผลจำพวกผักและผลไม้ที่เน่าเสียได้ง่าย แต่จะมีราคาแพงมาก เพราะต้องทำให้ความดันภายในระบบลดต่ำกว่าบรรยากาศมาก ๆ เพื่อที่จะทำให้เกิดการเดือดของน้ำขึ้นภายในผลิตผล และระเหยออกจากผิวของผลิตผลเป็นผลให้เกิดความเย็นขึ้น โดยความดันที่ลดต่ำลงจะมีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิของผลิตผลที่ต้องการเก็บรักษา จากหลักการดังกล่าวจึงเป็นที่มาของโครงการวิจัยนี้ เพื่อทำการศึกษาและออกแบบระบบทำความเย็นด้วยสุญญากาศโดยใช้หัวฉีดไอน้ำ ซึ่งจะใช้หัวฉีดไอน้ำเป็นอุปกรณ์สำหรับลดความดันภายในระบบ เพื่อให้มีความดันต่ำลงตามที่ต้องการแบบไว้ การทดสอบจะใช้วิธีการจำลองสถานการณ์ของระบบ (System Simulation) เพื่อหาความสามารถในการสร้างสุญญากาศของหัวฉีดไอน้ำ หรือสมรรถนะของหัวฉีดไอน้ำที่ออกแบบ หาความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลา และปริมาณการระเหยของไอน้ำ (Water Vapor) ออกจากผลิตผลที่ภาระของการออกแบบ

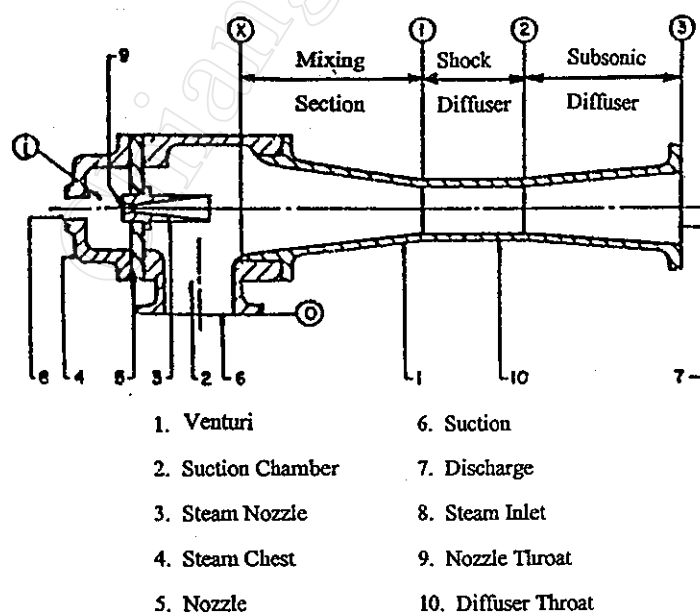
1.2 สรุปสาระสำคัญของเอกสารที่เกี่ยวข้อง

ASHRAE Handbook 1978 (8) วิธีการลดอุณหภูมิผลไม้และผักโดยใช้วิธีการทำความเย็นด้วยสุญญากาศในทางการค้า จากความดันบรรยากาศอุณหภูมิเริ่มต้นของผลิตผล $20^{\circ} - 22^{\circ}\text{C}$ ความดันในระบบจะถูกลดลงต่ำลงจนกระทั่งถึงความดันไออิ่มตัวประมาณ 4 - 4.6 torr ที่อุณหภูมิ $-1.7^{\circ} - 0^{\circ}\text{C}$ เวลาในการลดอุณหภูมิ 25 - 30 นาที ดังแสดงในรูป 1.1 แต่โดยส่วนมากการทำงานของระบบไม่ควรลดความดันต่ำกว่าอุณหภูมิที่ทำให้เกิดการแข็งตัว (Freezing Temperature) ของน้ำ เพราะจะทำให้ระบบทำงานหนัก ปริมาณความชื้นที่ระเหยออกจากผิวของผลิตผลในระหว่างการทำทำความเย็นด้วยสุญญากาศจะสัมพันธ์โดยตรงกับความร้อนจำเพาะของผลิตผลและอุณหภูมิที่ลดลง เช่น ผักกาดหอมซึ่งมีค่าความร้อนจำเพาะประมาณ $4 \text{ kJ/kg } ^{\circ}\text{C}$ ในทางทฤษฎีความชื้นที่สูญเสียไปทุก ๆ 1 % จะทำให้อุณหภูมิลดลง 6.2°C ในการศึกษาการทำความเย็นด้วยสุญญากาศของผัก Barger (8) ได้แสดงให้เห็นว่าความเย็นของผลิตผลจะเป็นสัดส่วนกับปริมาณของความชื้นที่ระเหยออกจากผลิตผล ซึ่งอุณหภูมิจะลดลงโดยเฉลี่ย $5 - 5.6^{\circ}\text{C}$ สำหรับแต่ละ 1 % ของน้ำหนักที่หายไป



รูป 1.1 อุณหภูมิสุดท้ายของผักชนิดต่าง ๆ ที่ผ่านการทำความเย็นด้วยสูญญากาศ (8)

ASHRAE Handbook 1979 (7) การทำความเย็นโดยใช้หัวฉีดไอน้ำ ซึ่งใช้เป็นอุปกรณ์สำคัญในการลดความดัน โดยพิจารณาการออกแบบลักษณะของรูปร่างและส่วนประกอบต่าง ๆ ของหัวฉีดไอน้ำ ดังแสดงในรูป 1.2 ซึ่งมีบทความมากมายที่ได้เขียนเกี่ยวกับการวิเคราะห์และการ



รูป 1.2 ส่วนประกอบต่าง ๆ ของหัวฉีดไอน้ำ (7)

ออกแบบหัวฉีดไอน้ำ โดยส่วนมากแล้วจะเป็นการวิเคราะห์ระหว่างอากาศกับอากาศ หรือไอน้ำ (Steam) กับอากาศ ข้อมูลโดยทั่ว ๆ ไป ที่ใช้เป็นพื้นฐานที่สำคัญสำหรับการออกแบบหัวฉีดไอน้ำ เพื่อให้ได้ผลตามต้องการ บริษัทผู้ผลิตหัวฉีดไอน้ำจะปกปิดข้อมูลการออกแบบ เนื่องจากต้องเสียค่าใช้จ่ายในการศึกษาค้นคว้า และทดสอบ จนกว่าจะได้ข้อมูลของการออกแบบที่เหมาะสมกับการทำงาน แต่ก็มีความที่ได้อมีส่วนช่วยในการออกแบบหัวฉีดไอน้ำได้แก่ของ Keenan , Neuman และ Lustwerki (13) โดยใช้การวิเคราะห์ในทางทฤษฎีเป็นแบบ 1 มิติ ซึ่งข้อมูลของการออกแบบส่วนประกอบต่าง ๆ ของหัวฉีดไอน้ำ ดังแสดงในรูป 1.2 ประกอบด้วย

หัวฉีด (Nozzle) มีลักษณะรูปร่างแบบลู่เข้า - บานออก (Convergent-Divergent Nozzle) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางคอขวดจะกำหนดตามสภาวะและปริมาณไอน้ำที่ทางเข้า ในส่วนของหัวฉีดที่บานออกซึ่งมีรูปร่างทรงกรวย อัตราส่วนของพื้นที่ในทางทฤษฎี ซึ่งเป็นอัตราส่วนของพื้นที่ออกต่อพื้นที่คอขวดจะยึดตามสมการของการไหลแบบความเร็วเหนือเสียง (Supersonic Flow Equation) มุมรวมทรงกรวยที่บานออกจะอยู่ในช่วง 8 - 15 องศา แต่ที่นิยมใช้มากที่สุดประมาณ 10 - 12 องศา ในการติดตั้งแกนของหัวฉีดจะต้องทับกับแกนหลักของหัวฉีดไอน้ำ และสามารถเปลี่ยนแปลงตำแหน่งหัวฉีดได้เพื่อให้การทำงานที่ดีที่สุด การใช้ไอน้ำที่เป็นไอน้ำ (Superheated Steam) จะเป็นสาเหตุให้ประสิทธิภาพของหัวฉีดไอน้ำลดลง ขณะที่ไอน้ำแห้งอิ่มตัว (Dry and Saturated Steam) ทำให้การทำงานของหัวฉีดไอน้ำได้ผลตามต้องการมากที่สุด แต่ก็ยากต่อการควบคุมเพราะทำให้เกิดการสูญเสียความร้อน ทำให้เกิดไอน้ำเปียก (Wet Steam) อันเป็นสาเหตุทำให้เกิดการกัดกร่อนหัวฉีดและชิ้นส่วนของหัวฉีดไอน้ำ เนื่องมาจากเกิดการปะทะกันด้วยความเร็วที่สูงมาก ดังนั้นจะต้องเพิ่มไอน้ำเป็นไอน้ำประมาณ 2 - 3 องศา เพื่อลดการเกิดการกัดกร่อนของหยดน้ำ แต่ในการใช้งาน การกัดกร่อนจะไม่เกิดขึ้นถ้ามีการหุ้มฉนวนท่อไอน้ำอย่างดี และในทางปฏิบัติควรติดตั้งอุปกรณ์ดักไอน้ำ (Steam Trap) ซึ่งจะช่วยลดการกัดกร่อนลงได้

ช่วงการผสม (Mixing Section) ซึ่งมีลักษณะรูปร่างเป็นทรงกรวย โดยมุมของกรวยมากที่สุดที่ตำแหน่ง x และมุมปลายกรวยเล็กที่สุดที่ตำแหน่งที่ 1 ความยาวของช่วงผสมจะแสดงในเทอมของเส้นผ่านศูนย์กลางของคอขวด (ตำแหน่ง 1 - 2) ในทางปฏิบัติผู้สร้างหัวฉีดไอน้ำจะออกแบบให้ความยาวของช่วงผสมประมาณ 6 - 10 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางคอขวด โดยเฉลี่ยประมาณ 7 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางคอขวด สำหรับมุมรวมของกรวยช่วงผสมที่ทางเข้าประมาณ 7 - 12 องศา (ตำแหน่ง x) และมุมรวมที่ปลายของกรวย 3 - 4 องศา (ตำแหน่ง 1) ถ้ามุมรวมของกรวยมากเกินไปจะเป็นผลให้ประสิทธิภาพของหัวฉีดไอน้ำลดลง และมุมเล็กเกินไปจะมีผลทำให้หัวฉีดไอน้ำไม่สามารถอัดไอน้ำทางด้านจ่ายถึงความดันที่ออกแบบได้

ช่วงพื้นที่คงที่ (Constant Area Section) คือตำแหน่ง 1 - 2 เป็นช่วงที่ทำให้เกิดการช็อคเหนือเสียง (Supersonic Shock) ซึ่งจะทำให้เกิดความดันเพิ่มสูงขึ้นเมื่อผ่านช่วงนี้ ในทางปฏิบัติเส้นผ่านศูนย์กลางคอขวดของการออกแบบจะขึ้นอยู่กับปริมาณของไอผสม โดยออกแบบให้มีความยาวประมาณ 3 - 5 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางคอขวด

ตัวกระจาย (Diffuser) ออกแบบให้มีความเร็วต่ำกว่าเสียง (Subsonic Diffuser) มีรูปร่างเป็นทรงกรวย มุมรวมของกรวยประมาณ 5 - 12 องศา ในทางปฏิบัตินิยมออกแบบมากที่สุด 8 - 10 องศา ความยาวของตัวกระจายประมาณ 5 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางคอขวด

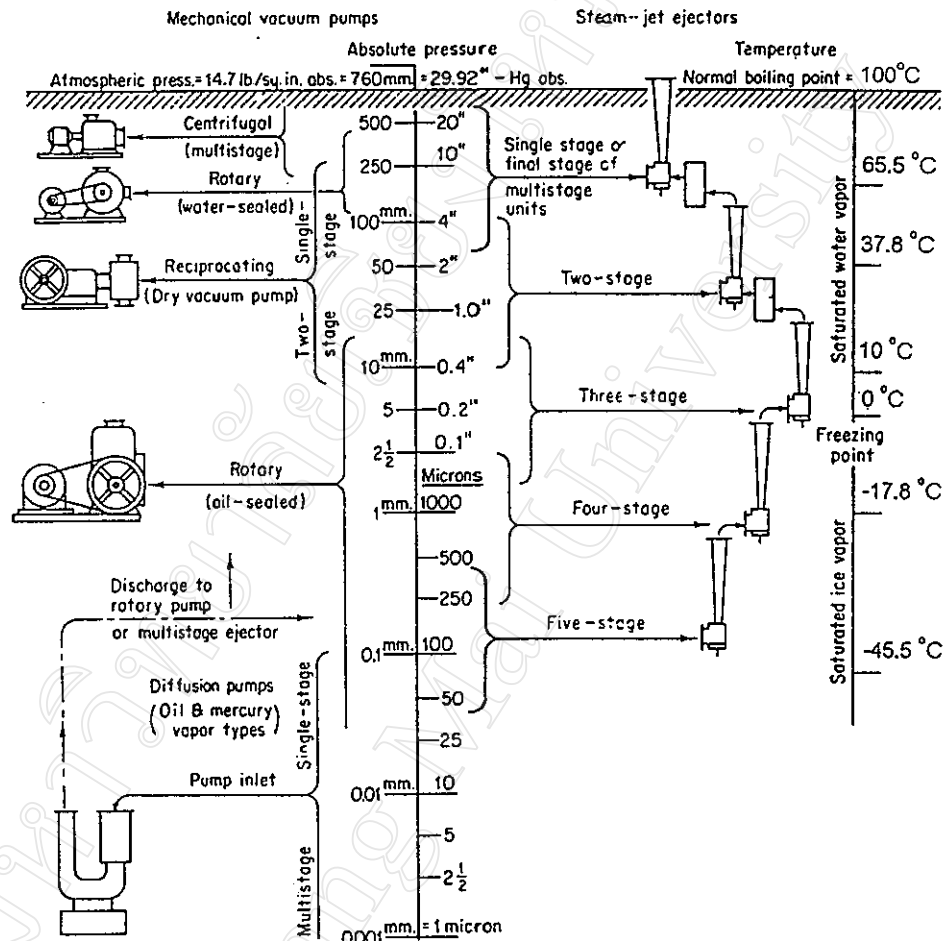
Lewis M. J. (14) การทำความเย็นด้วยสูญญากาศ จะเก็บผลิตผลไว้ในถังสูญญากาศ และจะถูกลด

ความดันลงจนกระทั่งมาถึงความดันไออิ่มตัว (Saturated Water Vapor Pressure) ของผลิตภัณฑ์ที่ต้องการเก็บรักษา ที่จุดนี้น้ำจะถูกระเหยออกจากผิวของผลิตภัณฑ์ พลังงานที่ให้กับผลิตภัณฑ์จะทำให้เกิดกระบวนการของการระเหย กลายเป็นไอ เป็นผลให้เกิดความเย็นขึ้น ในการหาปริมาณของไอน้ำที่ระเหยออกจากผิวของผลิตภัณฑ์จะหาได้จาก ความร้อนที่สูญเสียออกจากผิวของผลิตภัณฑ์ ซึ่งจะเท่ากับความร้อนที่ต้องการทำให้น้ำระเหย ยกตัวอย่างเช่น ถ้าความดันในระบบถูกลดต่ำลงประมาณ 4.6 torr อุณหภูมิของผลิตภัณฑ์จะเป็น 0°C โดยอุณหภูมิที่ลดลงจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงความร้อนสัมผัส ในการสูญเสียปริมาณน้อย ๆ ไปส่วนหนึ่ง จะทำให้ผลิตภัณฑ์เริ่มต้นแข็งตัว ซึ่งวิธีการนี้จะถูกนำมาประยุกต์ใช้ในการลดอุณหภูมิของผลิตภัณฑ์ จำพวกผักและผลไม้จากไร่โดยตรง สำหรับผลิตภัณฑ์โดยทั่วไป ถ้าอุณหภูมิถูกลดลงมาถึง 20°C จะขจัดน้ำออกได้ประมาณ 2–4 % ดังนั้นจึงสามารถลดน้ำลงบนผลิตภัณฑ์ล่วงหน้าเพื่อช่วยในการทำความเย็นได้ โดยขอบเขตของการทำความเย็นหรือการแข็งตัว สามารถควบคุมได้โดยการปรับสภาวะสุญญากาศ ถ้าต้องการให้อุณหภูมิของผลิตภัณฑ์ความดันบรรยากาศลดลงเป็น 2°C จะต้องปรับค่าความดันในระบบให้มีความสัมพันธ์กับความดันไออิ่มตัวประมาณ 5 torr และรักษาระดับความดันนี้ไว้ซึ่งวิธีการนี้จะไม่ทำให้อุณหภูมิลดต่ำกว่านี้ได้อีก การทำความเย็นด้วยวิธีการนี้จะทำให้ทุกส่วนของใบที่เป็นกามีอุณหภูมิลดลงอย่างสม่ำเสมอ ซึ่งมีการทดลองพบว่า ถ้าความดันลดลงประมาณ 0.006 เท่าของบรรยากาศ จะสามารถลดอุณหภูมิของผักกาดหอมให้ต่ำลงถึง 2°C ภายในเวลาเพียง 30 นาที ที่อุณหภูมิเริ่มต้น 20°C ข้อดีของการลดอุณหภูมิด้วยวิธีนี้ก็คือ มีความรวดเร็ว สามารถใช้ได้กับผลิตภัณฑ์ที่บรรจุอยู่ในภาชนะ เช่น ถัง หรือกล่อง ซึ่งจะทำให้จุลินทรีย์ไม่แพร่กระจายในระหว่างการลดอุณหภูมิ ข้อเสียก็คือ การลงทุนครั้งแรกจะสูง จะใช้ได้กับผลิตภัณฑ์บางชนิดเท่านั้นและผลิตภัณฑ์อาจจะเสียน้ำหนัก ซึ่งจะเหมาะกับการลดอุณหภูมิของผลิตภัณฑ์ครั้งละมาก ๆ เท่านั้น

Rerry R.H. et al. (17) หัวฉีดไอน้ำเป็นปั๊มสุญญากาศที่มีราคาถูกและไม่มีชิ้นส่วนเคลื่อนที่ ของไหลทำงานจะไหลผ่านหัวฉีดด้วยความเร็วสูงมากและเหนียวนำเอาของไหลที่เป็นภาระที่จะดูดเข้าไปในเวนจูรี (Venturi) จะทำให้การไหลของผสมที่ทางออกของเวนจูรีช้าลงแต่ความดันที่ทางออกจะเพิ่มขึ้น โดยเปลี่ยนพลังงานที่อยู่ในรูปของความเร็วไปเป็นพลังงานที่อยู่ในรูปของความดันที่ถูกปล่อยออกมา ของไหลทำงานที่เป็นไอน้ำ เช่น ไอน้ำ สามารถควบแน่นได้ในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนหลังจากผ่านหัวฉีดไอน้ำแต่ละสเตจ ซึ่งเป็นการลดภาระให้กับหัวฉีดไอน้ำในสเตจถัดไป ทำให้มีขนาดที่เล็กลงและปริมาณของไหลทำงานก็จะน้อยลง ประสิทธิภาพการอัดทางเทอร์โมไดนามิกส์สำหรับหัวฉีดไอน้ำจะแสดงอยู่ในรูปของอัตราส่วนของพลังงานที่ต้องการสำหรับการอัดแบบอเดียเบติก (Adiabatic) ต่อพลังงานความร้อนของของไหลทำงานที่ใช้ ซึ่งประสิทธิภาพการอัดทางเทอร์โมไดนามิกส์สำหรับหัวฉีดไอน้ำจะต่ำประมาณ 20–30 % เท่านั้น โดยพบว่าประสิทธิภาพของหัวฉีดไอน้ำที่เหมาะสมที่สุด ถ้าสร้างให้มีอัตราส่วนการอัด (ความดันด้านจ่ายต่อความดันด้านดูด) น้อยกว่า 10 : 1 และในทางปฏิบัติจะติดตั้งหัวฉีดไอน้ำต่อกันแบบอนุกรม เพื่อที่จะทำให้มีความดันทางด้านดูดต่ำลงตามที่ต้องการ การใช้งานในระบบสุญญากาศส่วนใหญ่จะอยู่ในช่วง 1–760 torr ดังนั้นการต่อกันของระบบจะเป็นแบบ 1, 2, 3 และ 4 สเตจ หัวฉีดไอน้ำจะมีข้อดีทางธรรมชาติบางประการ ซึ่งจะเป็นปัจจัยสำคัญในการตัดสินใจว่า เมื่อไรจึงจะเหมาะสมที่จะใช้ ส่วนมากจะใช้กับการระเหยที่ต่ำตั้งแต่ 10 torr ขึ้นไป ซึ่งจะต้องพิจารณาถึงความสำคัญเกี่ยวกับการบำรุงรักษา และราคาของพลังงาน เช่น ราคาของไอน้ำ เป็นต้น

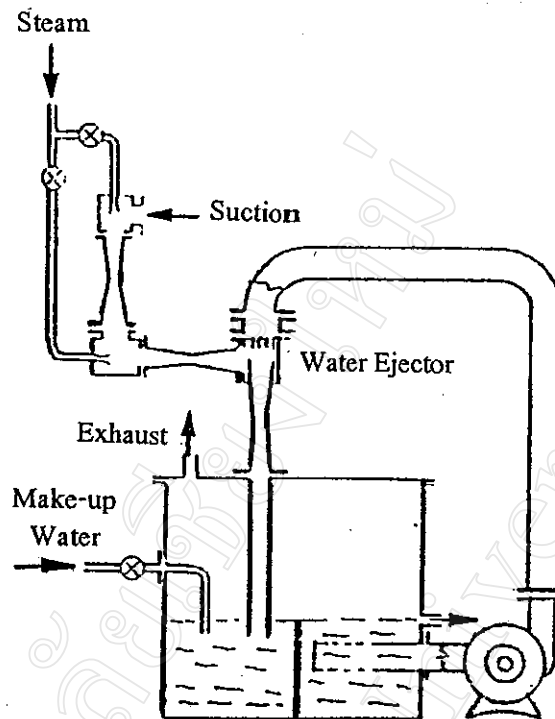
หัวฉีดไอน้ำทำงานด้วยพลังงานจลน์ ดังนั้นจึงไม่ต้องเสียค่าใช้จ่ายในการให้งานกับการไหลที่มี

ปริมาตรสูง ๆ ที่ความดันต่ำ เมื่อเปรียบเทียบกับปั๊มสุญญากาศทางกล ซึ่งจะต้องมีขนาดใหญ่กว่าที่ความดันการดูดต่ำ ๆ แม้ว่าใช้การระเหยที่น้อยก็ตาม การแบ่งระดับของการสร้างสุญญากาศที่ถูกจ่ายออกที่ความดันบรรยากาศ $14.7 \text{ Psia} = 760 \text{ torr (mm Hg)} = 1.013 \text{ bar} = 29.92 \text{ inch Hg abs}$ ดังแสดงในรูป 1.3



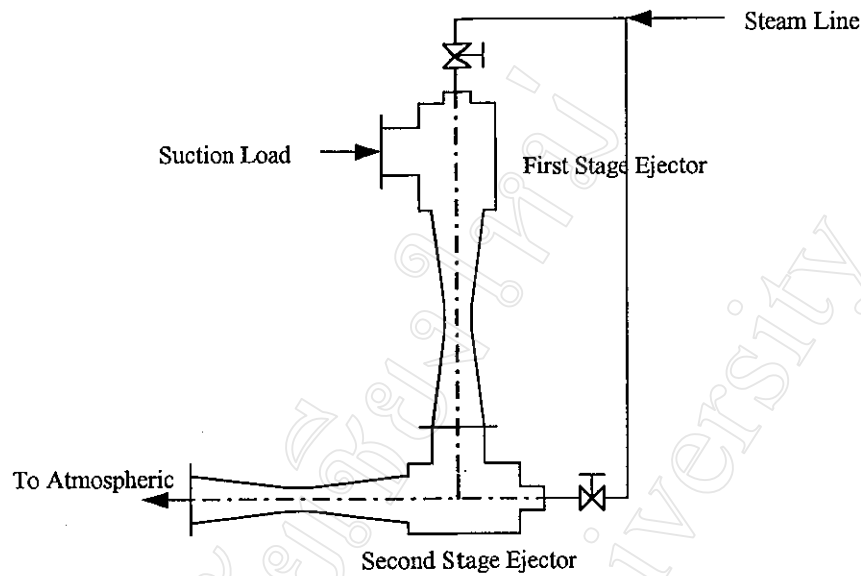
รูป 1.3 ระดับของการสร้างสุญญากาศที่ทำได้ซึ่งจะเปลี่ยนแปลงไปตามชนิดของอุปกรณ์ (17)

Power B. D. (15) แสดงผลการออกแบบระบบทำความเย็นด้วยสุญญากาศโดยใช้หัวฉีดไอน้ำจำนวน 2 ชุดต่ออนุกรมร่วมกับหัวฉีดน้ำ ดังแสดงในรูป 1.4 ไอน้ำที่ออกจากหัวฉีดไอน้ำแสดงที่ 2 มีสภาวะเป็นไอเปียก เมื่อผสมกับน้ำที่ออกจากแสดงที่ 3 ซึ่งเป็นแบบหัวฉีดน้ำ สามารถควบแน่นเป็นน้ำและไหลเข้าสู่ถังเก็บโดยออกแบบให้ระบบเป็นวงจรปิด ซึ่งจะมีน้ำสำหรับเติมเข้าสู่ถังเก็บและน้ำล้นไหลออกจากถังเก็บตลอดเวลา เพื่อระบายความร้อน โดยสามารถดูดอากาศจากแหล่งที่ต้องการทำความเย็นด้วยอัตราการไหลของอากาศ $9.35 \text{ m}^3/\text{min}$ ที่ความดันสมบูรณ์ด้านดูด 5 torr ภาระอากาศ 4.54 kg/h (10 ppb) ปริมาณไอน้ำที่ใช้ประมาณ 66 kg/h อัตราการไหลของน้ำที่ต้องใช้ในการระบายความร้อน $0.095 \text{ m}^3/\text{min}$ (25 GPM) อุณหภูมิน้ำหล่อเย็น 26.6°C โดยใช้ปั๊มน้ำแบบหอยโข่ง มอเตอร์ขนาด 3 แรงม้า

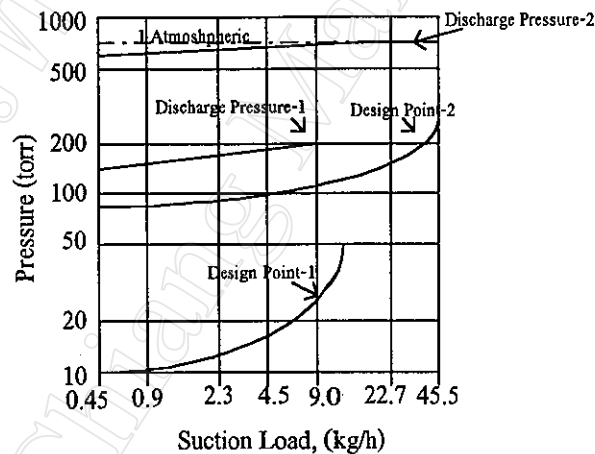


รูป 1.4 ระบบการทำความเย็นด้วยสูญญากาศโดยใช้หัวฉีดไอน้ำ
 ต่ออนุกรมร่วมกับหัวฉีดน้ำ (15)

Power R. B. (16) ได้แสดงวิธีการออกแบบหัวฉีดไอน้ำจำนวน 2 สเตจ ไม่มีการควบแน่น (Two Stage Non - condensing) โดยที่ภาระของอากาศและไอน้ำที่ออกจากหัวฉีดไอน้ำสเตจที่ 1 จะเข้าสู่สเตจที่ 2 โดยตรงก่อนถูกจ่ายออกที่ความดันบรรยากาศ ในการออกแบบสิ่งที่จะต้องรู้คือ ภาระของอากาศแห้งด้านดูด ความดันด้านดูดและความดันด้านจ่ายสมบูรณ์ในแต่ละสเตจ และความดันไอน้ำที่ใช้ เพื่อนำไปคำนวณหาปริมาณไอน้ำที่ใช้ในแต่ละสเตจ ดังแสดงในรูป 1.5 โดยออกแบบให้หัวฉีดไอน้ำเป็นแบบ 2 สเตจ มีความดันสมบูรณ์ด้านดูด 30 torr ภาระอากาศแห้ง 9 kg/h ใช้ไอน้ำแห้งอิ่มตัวความดันเกจ 10 bar และออกแบบความดันสมบูรณ์ด้านจ่าย 813 torr ออกแบบให้มีความดันสมบูรณ์ระหว่างสเตจที่ 1 และ 2 เป็น 200 torr ซึ่งมีอัตราส่วนการอัดที่เหมาะสมของสเตจที่ 1 และ 2 คือ 6.67 และ 4.05 ตามลำดับ ดังนั้นสเตจที่ 1 จะอัดอากาศทางด้านดูดจากความดัน 30 torr จ่ายออกที่ 200 torr จะต้องใช้ไอน้ำประมาณ 23 kg/h สเตจที่ 2 จะอัดของผสมระหว่างอากาศและไอน้ำทางด้านดูดจากความดัน 200 torr จ่ายออกที่บรรยากาศด้วยความดันสมบูรณ์ 813 torr จะต้องใช้ไอน้ำประมาณ 102 kg/h การเลือกความดันระหว่างสเตจที่แตกต่างจากค่าที่กล่าวมาแล้ว จะทำให้ปริมาณไอน้ำที่ใช้เปลี่ยนแปลงไปด้วย การออกแบบหัวฉีดไอน้ำจะได้ผลตามต้องการหรือไม่จะต้องนำไปทดสอบหาสมรรถนะการทำงานของหัวฉีดไอน้ำในแต่ละสเตจ ซึ่งแสดงด้วยเส้นสมรรถนะ (Performance Curve) โดยจะประกอบไปด้วยเส้นความดันด้านดูดสมบูรณ์ และเส้นความดันด้านจ่ายสมบูรณ์ โดยที่เส้นด้านดูดจะแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันด้านดูดและภาระอากาศแห้งในช่วงของการทำงาน และเส้นด้านจ่ายจะแสดงความดันด้านจ่ายที่ออกจากหัวฉีดไอน้ำที่ภาระอากาศแห้งเดียวกัน ดังแสดงในรูป 1.6



รูป 1.5 ลักษณะการจัดวางหัวฉีดไอน้ำแบบ 2 สเตจ ที่ไม่มีการควบแน่น (16)



รูป 1.6 เส้นสมรรถนะการทำงานของหัวฉีดไอน้ำแบบ 2 สเตจที่ไม่มีการควบแน่น (16)

ไพรัชต์ รุ่งเรืองชนาผล และ เรืองศิลป์ ปาโกวงศ์ (5) ได้ศึกษาและออกแบบการลดอุณหภูมิโดยการลดความดัน โดยใช้ปั๊มสุญญากาศที่มีอัตราการดูด $14.3 \text{ m}^3/\text{h}$ เพื่อดูดอากาศจากถังบรรจุปริมาตร 0.05 m^3 ซึ่งทดลองกับผักกาดหอมจำนวน 1 หัว ที่ความดันบรรยากาศอุณหภูมิ 22.5°C จนกระทั่งถึงความดันไออิ่มตัวที่ 5 torr อุณหภูมิ 2°C ใช้เวลา 17 นาที แต่ต้องมีชุดทำความเย็นบรรจุอยู่ภายในถังด้วย เพื่อให้ให้น้ำที่ระเหยออกมาจากผักความดันที่คอยล์เย็น ซึ่งจะช่วยป้องกันไม่ให้ปั๊มสุญญากาศเสียหายในขณะที่ทำงาน

จิรวุฒิ ทองใบ และ ชัยรัตน์ แซ่ลือ (2) ได้ศึกษาและออกแบบเครื่องทำความเย็นโดยใช้หัวฉีดน้ำจำนวน 1 สเตจ ดูดอากาศออกจากถังบรรจุ ปริมาตร 0.05 m^3 โดยทดลองกับผักกาดหอมจำนวน 1 หัวสามารถลดอุณหภูมิได้โดยเฉลี่ย 8.66°C มีความดันสมบูรณ์ภายในถังบรรจุ 80 torr ใช้เวลา 60 นาที

บริษัท Sunpluss ประเทศญี่ปุ่น (19) ได้ออกแบบเครื่องทำความเย็นด้วยสูญญากาศโดยใช้หัวฉีดน้ำสามารถช่วยลดอุณหภูมิให้กับอาหารที่บรรจุอยู่ในถังปิดสนิท ปริมาตร 0.78 m^3 จากอุณหภูมิเริ่มต้น 90°C ที่ความดันบรรยากาศ จนกระทั่งอุณหภูมิลดลง 15°C ภายในเวลา 15 นาที จะเห็นว่าการทำความเย็นด้วยสูญญากาศโดยใช้หัวฉีดน้ำสเตจเดียว อุณหภูมิยังไม่ต่ำพอที่จะนำมาใช้กับการลดอุณหภูมิให้กับผักที่มีกลิ่นหรือกาบใบซ้อนกันเป็นชั้นหนา ๆ ได้ ซึ่งต้องการเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิประมาณ 2°C

1.3 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 1.3.1 เพื่อศึกษาถึงหลักการสร้างสูญญากาศโดยใช้หัวฉีดไอน้ำ
- 1.3.2 เพื่อศึกษาและออกแบบหัวฉีดไอน้ำ สามารถนำมาประยุกต์ใช้กับระบบทำความเย็นด้วยสูญญากาศ
- 1.3.3 เพื่อทดสอบหาสมรรถนะและประสิทธิภาพของหัวฉีดไอน้ำที่ได้ออกแบบ
- 1.3.4 เพื่อทดสอบหาความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลาของการลดอุณหภูมิของระบบทำความเย็นด้วยสูญญากาศ
- 1.3.5 เพื่อทดสอบหาปริมาณการระเหยของไอน้ำ ที่ออกจากผิวผลิตภัณฑ์และอุณหภูมิที่ลดลง
- 1.3.6 เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในทางเศรษฐศาสตร์ของวิธีการลดอุณหภูมิผลิตภัณฑ์โดยใช้ระบบทำความเย็นด้วยสูญญากาศกับระบบทำความเย็นโดยใช้ห้องลดอุณหภูมิ

1.4 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย

- 1.4.1 สามารถนำไปพัฒนาระบบการลดอุณหภูมิด้วยเทคนิคการลดความดันโดยใช้หัวฉีดไอน้ำ
- 1.4.2 สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับอุตสาหกรรมการทำความเย็น เช่น การลดอุณหภูมิให้กับผักหรือผลไม้ที่มีอัตราส่วนพื้นผิวต่อปริมาตรสูงและเกิดการเน่าเสียได้ง่าย
- 1.4.3 สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับอุตสาหกรรมที่ต้องการลดอุณหภูมิของผลิตภัณฑ์อย่างรวดเร็ว และต้องการแยกน้ำออกจากผลิตภัณฑ์

1.5 ขอบเขตของการวิจัย

โครงการวิจัยนี้จะทำการศึกษาและออกแบบหัวฉีดไอน้ำโดยใช้ไอน้ำแห้งอิ่มตัวที่ความดันใช้งาน 10 bar (gage) ออกแบบให้สามารถลดความดันภายในถังบรรจุผลิตภัณฑ์จากผักกาดใบที่มีกาบใบซ้อนกันเป็นชั้นหนา ๆ เช่น ผักกาดหอม ผักกระหล่ำปลี และผักกาดขาวปลี ได้ครั้งละประมาณ 30 kg เพื่อทำให้เกิดสูญญากาศขึ้นที่ความดันสมบูรณ์ภายในถังบรรจุผลิตภัณฑ์ประมาณ 5 torr ซึ่งจะทำให้เกิดความเย็นขึ้นภายในผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิประมาณ 2°C โดยออกแบบให้ระยะเวลาการทำความเย็นประมาณ 25 - 30 นาที