ผลและการวิจารณ์

การคำนวณหาอุณหภูมิเฉลี่ยในห้องแช่แข็ง

จากข้อมูลอุณหภูมิแช่แข็งทุเรียนภายในห้องแช่แข็งที่โปรแกรมบันทึกข้อมูลได้รับจากเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิที่ติดตั้งไว้ภายในห้อง ขณะเครื่องจักรทำการแช่แข็ง ในช่วงวันที่ 13 สิงหาคม พ.ศ. 2547 ถึง 19 กันยายน พ.ศ. 2547 เป็นเวลาประมาณ 1 เดือน ของบริษัท ซันชายน์ อินเตอร์เนชั่นแนล จำกัดทุกประมาณ 10 นาที มาหาค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิของห้องแช่แข็งเพื่อใช้ประกอบการคำนวณหาอัตราของความเข้มข้นสะสมของก๊าซแอมโมเนียภายในห้อง ซึ่งได้ค่าเฉลี่ยเท่ากับ -27.8 ^{o} ซ ค่าความแปรปรวน 2.8 ^{o} ซ (ดังข้อมูลในตารางผนวกที่ ก1 ในเอกสารภาคผนวก ก)

ซึ่งอุณหภูมิของห้องแช่แข็งที่วัดได้ใกล้เคียงตามที่ Donald and Clifford, 1957 ได้แนะนำอุณหภูมิสำหรับการใช้งานของห้องแช่แข็งไว้ในรายงานที่ -20° ฟ หรือประมาณ -28.8^{o} ซ และอุณหภูมิที่ได้รับจากเซ็นเซอร์ดังกล่าว มีค่าใกล้เคียงกับจุดเดือดของก๊าซแอมโมเนีย ที่อยู่ในระบบทำความเย็นที่ -28°ซ อุณหภูมิของห้องแช่แข็งเฉลี่ยที่แตกต่างจากอุณหภูมิจุดเดือดของก๊าซแอมโมเนียประมาณ -0.2^{o}ซ นั้น น่าจะเป็นการสูญเสียความเย็นออกไประหว่างเส้นทางเดินของท่อส่งสารทำความเย็น โดยการรับความร้อนจากอากาศภายนอกที่อยู่โดยรอบของท่อที่มีการหุ้มฉนวนไม่ดีพอ

จากภาพที่ 17 อุณหภูมิของห้องแช่แข็งเฉลี่ยสูงสุดที่สามารถทำได้ที่อุณหภูมิ -33° ซ นั้นตามหลักการของการเปลี่ยนสถานะของสารทำความเย็น Oliver (1990) อธิบายว่า การเปลี่ยนสถานะของสารทำความเย็นจะเกิดขึ้น เมื่อสารทำความเย็นได้รับความร้อน และมีความดันไอของสารทำความเย็นเท่ากับความดันภายในระบบของเครื่องทำความเย็น ดังนั้นเมื่อเพิ่มความดันในระบบทำความเย็นให้สูงกว่าจุดเดือดของสารทำความเย็นที่ใช้ในระบบทำความเย็นที่กำหนดให้สารทำความเย็นจะสามารถเปลี่ยนสถานะได้ที่อุณหภูมิสูงกว่าจุดเดือดปกติของสารทำความเย็น ดังนั้นอุณหภูมิ -33° ซ จึงมาจากการทำให้สารทำความเย็นเปลี่ยนสถานะได้ที่ความดันในระบบสูงกว่าปรกติเล็กน้อย

สำหรับอุณหภูมิของห้องแช่แข็งเฉลี่ยต่ำสุดเป็น -18.2^{o} ซ เนื่องจากเป็นการแช่แข็งผลิตภัณฑ์เนื้อทุเรียนแกะเมล็ดออก ซึ่งมีลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่มีขนาดของความหนาน้อยกว่าทุเรียนทั้งลูก รวมทั้งข้อจำกัดทางด้านผลิตภัณฑ์ที่ต้องดำเนินการแช่แข็งผลิตภัณฑ์ทุเรียนแกะเมล็ดภายหลังจากดำเนินการแกะเมล็ดแล้ว ทำให้ปริมาณที่ต้องการแช่แข็งอาจมีปริมาณไม่เท่ากันในทุกๆ วัน ดังนั้น

การใช้ระยะเวลาแช่แข็งในวันที่ 20 สิงหาคม พ.ศ. 2547 จึงสั้นกว่า และสอดคล้องกับผลการทดลองของ สมทรง (2547) ซึ่งทดลองแช่แข็งเนื้อทุเรียนแกะเมล็ดพันธ์ชะนี ด้วยวิธีการให้ความเย็น เปรียบเทียบกันระหว่างระบบไอ คิว เอฟ (IQF/ Individual Quick Freezing) ซึ่งใช้เวลา 40 นาที กับระบบคอนแทคฟรีซซิ่ง (Contact freezing) ที่ใช้เวลาถึง 4 ชั่วโมง ว่าขนาดหรือความหนาของผลิตภัณฑ์และวิธีการให้ความเย็นมีผลต่อระยะเวลาการแช่แข็ง ดังนั้นระยะเวลาของการแช่แข็งผลิตภัณฑ์ทุเรียนแกะเมล็ดจะใช้เวลาสั้นกว่าผลิตภัณฑ์ทุเรียนทั้งลูก ดังภาพแสดงระยะเวลาเฉลี่ยของการใช้ห้องแช่แข็งชนิด Air Blast A ที่แสดงไว้ในภาพที่ 18 และภาพแสดงระยะเวลาเฉลี่ยของการใช้ห้องแช่แข็งชนิด Air Blast B ที่แสดงไว้ในภาพที่ 19 นอกจากส่วนผสมหรือองค์ประกอบที่มีในผลิตภัณฑ์อาหารจะมีผลโดยตรงต่อระยะเวลาในการใช้แช่แข็งผลิตภัณฑ์แล้ว ยังมีปัจจัยอื่นๆ อีก คือ วิธีการหรืออุปกรณ์ที่ใช้ในการแช่แข็ง ขนาดหรือความหนาของผลิตภัณฑ์ และสำหรับผลไม้ ยังมีเรื่องของอัตราการหายใจของผลไม้แต่ละประเภท ดังที่ เบญจมาส (2547) ได้รายงานเรื่องของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิระหว่างการขนส่ง โดยการติดตามการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิของทุเรียนสดทั้งลูกที่มีการบรรจุกล่องและขนส่งในลักษณะแช่เย็นไปในตู้สินค้าประเภทมีระบบทำความเย็น ซึ่งพบว่าทุเรียนสดทั้งลูกมีอุณหภูมิสูงกว่าอากาศในตู้สินค้าประเภทมีระบบทำความเย็นประมาณ 1-4° ซ เนื่องจากทุเรียนยังคงมีการคายความร้อนออกมาตลอดเวลา ทั้งในขณะที่นำมารอเพื่อเรียงขึ้นตู้สินค้าประเภทมีระบบทำความเย็น และจากการที่ทุเรียนมีอุณหภูมิสูง จึงส่งผลต่อคุณภาพทุเรียน คือ ทุเรียนจะสุก และ/หรือเน่าเสียมากกว่าปกติ ดังนั้นหากระยะเวลาในการลำเลียงทุเรียนทั้งลูก เพื่อเข้าห้องแช่แข็งใช้เวลานาน ก็เป็นสาเหตุให้อุณหภูมิเริ่มต้นภายในห้องมีอุณหภูมิที่สูงกว่าปกติ อันเนื่องมาจากอัตราการคายความร้อนของลูกทุเรียนสดที่รอการแช่แข็ง

การคำนวณหาปริมาณแอมโมเนียที่รั่วไหล

กำหนดเงื่อนไขให้อุณหภูมิของห้องเท่ากับอุณหภูมิของไอแอมโมเนีย โดยสมมุติให้วัสดุโลหะที่ใช้เป็นคอล์ยให้ความเย็นมีค่าความต้านทานความร้อนเกือบเข้าใกล้ศูนย์ หรือกล่าวได้ว่าเป็นวัสดุตัวนำความเย็นได้ดีมากปราศจากการสูญเสียความเย็นไปในระหว่างการถ่ายเทความเย็นจากแอมโมเนียมาที่คอล์ยเย็นที่ติดตั้งอยู่ในชุดอุปกรณ์เครื่องต้มระเหย มาใช้เทียบเคียงกับตารางผนวกที่ ข2 แสดงคุณสมบัติความดันไอของแอมโมเนียที่อุณหภูมิต่างๆ ในภาคผนวก ข

จากข้อมูลค่าอุณหภูมิแช่แข็งเฉลี่ยที่ห้องแช่แข็งทำอุณหภูมิได้ เฉลี่ยอยู่ในช่วงอุณหภูมิที่ -18 °ซ ถึง -33 °ซ ซึ่งไอของแอมโมเนียมีความดันอยู่ในช่วง 14.9 ปอนด์ (แรง) ต่อตารางนิ้ว (psia) หรือ 0.2 ปอนด์ (แรง) ต่อตารางนิ้วความดันเกจ (psig) ถึง 30.03 ปอนด์ (แรง) ต่อตารางนิ้ว (psia) หรือ 15.6 ปอนด์ (แรง) ต่อตารางนิ้วความดันเกจ (psig) (เทียบค่าความดันจากตารางผนวกที่ ข2 ในส่วนภาคผนวก ข ซึ่งแสดงคุณสมบัติความดันไอของก๊าซแอมโมเนียที่อุณหภูมิต่างๆ) ผู้วิจัยเลือกช่วงของค่าความดันไอของแอมโมเนียในท่อ (P_0) ที่สัมพันธ์กับอุณหภูมิสัมบูรณ์ของแอมโมเนียในท่อ (T_0) ที่ค่าต่างๆ ตามลำดับ คือ

ความดัน (psig)	0.2	5	10	15
อุณหภูมิ (° ซ)	-33	-27	-22	-18

สำหรับใช้ในการคำนวณหาอัตราของปริมาณแอมโมเนียที่รั่วไหลออกจากช่องเปิดขนาดต่างๆ เพื่อคำนวณหาอัตราปริมาณแอมโมเนียที่รั่วไหลสูงสุด (Q_m) ใน 1 นาที จากสูตรคำนวณดังต่อไปนี้

$$Q_m = C_0 A_\phi P_0 \sqrt{\frac{\gamma g_c M}{R_g T_o}\left(\frac{2}{\gamma+1}\right)^{(\gamma+1)/(\gamma-1)}}$$

เมื่อกำหนดให้

Q_m = อัตราการปลดปล่อยหรืออัตราปริมาณแอมโมเนียที่รั่วไหลสู่บรรยากาศภายนอก มีหน่วยเป็นปอนด์ (มวล) ต่อนาที

C_0 = สัมประสิทธิ์ของการปลดปล่อย (Discharge coefficient) ไม่มีหน่วย มีค่าเป็น 1

A_ϕ = พื้นที่หน้าตัดของรูรั่ว มีหน่วยเป็น ตร.ฟุต

P_0 = ความดันของก๊าซในท่อ มีหน่วยเป็น ปอนด์ (แรง) ต่อตารางนิ้ว

γ = สัดส่วนของค่าความจุความร้อนจำเพาะ ไม่มีหน่วย

M = มวลโมเลกุลของก๊าซที่รั่วออกจากท่อ

g_c = ค่าคงที่ของแรงโน้มถ่วงจำเพาะ มีค่าเท่ากับ 32.174 ฟุตปอนด์ (มวล) ต่อปอนด์ (แรง) วินาที^{2}

R_g = ค่าคงที่ของแก๊สในอุดมคติ มีค่าเท่ากับ 1,545.3 ฟุตปอนด์ (แรง) ต่อปอนด์ (โมล) องศาแรงกินส์

T_0 = อุณหภูมิสัมบูรณ์ของก๊าซในท่อ มีหน่วยเป็น องศาแรงกินส์

<u>ขนาดของรอยรั่วและค่าความดันของแอมโมเนียที่ใช้ภายในระบบทำความเย็น</u>

พบว่า ในกรณีที่เกิดเหตุการณ์รั่วของแอมโมเนียซึ่งเป็นสารทำความเย็น ออกจากท่อในระบบเครื่องทำความเย็น ปริมาณของอัตราการปลดปล่อยของแอมโมเนียที่รั่วออกจากรอยรั่วที่ขนาดเท่ากันจะแปรผันตาม ค่าความดันของไอแอมโมเนียที่ใช้ภายในระบบทำความเย็น จากการสังเกตความชันของเส้นกราฟในภาพที่ 20 ที่แสดงปริมาณการคำนวณแอมโมเนียที่รั่วออกจากรอยรั่วที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 มม. 5 มม. 4 มม. 3 มม. 2 มม. 1 มม. 0.7 มม. และ 0.5 มม. ภายในเวลา 1 นาที โดยทำการเปรียบเทียบที่ระดับความดันของไอแอมโมเนียที่มีค่าตั้งแต่ระดับ 0.2, 5, 10 และ 15 ปอนด์ (แรง) ต่อตารางนิ้วความดันเกจที่ขนาดของรอยรั่วที่เท่ากัน แอมโมเนียที่รั่วออกมาที่ระดับความดันของไอแอมโมเนียที่ใช้ภายในระบบทำความเย็นที่มีรูรั่วเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 6 มม. ระดับความดัน 15 ปอนด์ (แรง) ต่อตารางนิ้วความดันเกจ จะมีค่าปริมาณของอัตราการปลดปล่อยก๊าซสูงสุดเท่ากับ 9.4×10^{-5} ปอนด์ (มวล) ต่อนาที ซึ่งเป็นค่าที่มากที่สุดในทุกขนาดของรอยรั่ว ส่วนรอยรั่วเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 6 มม. มีปริมาณของอัตราการปลดปล่อยแอมโมเนียที่รั่วออกมาอัตราน้อยที่สุดเท่ากับ 5.010×10^{-5} ปอนด์ (มวล) ต่อนาที และขนาดรอยรั่วเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5 มม. ระดับความดัน 15 ปอนด์ (แรง) ต่อตารางนิ้วความดันเกจ จะมีปริมาณของอัตราการปลดปล่อยแอมโมเนียที่รั่วออกมาเท่ากับ 6.528×10^{-7} ปอนด์ (มวล) ต่อนาที และปริมาณของอัตราการปลดปล่อยแอมโมเนียที่รั่วออกมาที่มีอัตราน้อยที่สุดมีค่าเท่ากับ 3.479×10^{-7} ปอนด์ (มวล) ต่อนาที ซึ่งเป็นค่าน้อยที่สุดในทุกขนาดของรอยรั่ว (ดังตารางผนวกที่ ค3)

ส่วนเส้นผ่านศูนย์กลางขนาดต่างๆ ของรอยรั่วที่ค่าความดันของไอแอมโมเนียที่ใช้ภายในระบบทำความเย็นเดียวกัน แต่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรอยรั่วมีขนาดแตกต่างกันไป ตามภาพที่ 19 ที่แสดงปริมาณการคำนวณแอมโมเนียที่รั่วออกจากรอยรั่วที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 มม. 5 มม. 4 มม. 3 มม. 2 มม. 1 มม. 0.7 มม. และ 0.5 มม. ภายในเวลา 1 นาที พบว่า ปริมาณของอัตราการปลดปล่อยของก๊าซแอมโมเนียที่รั่วออกจากรอยรั่วขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 มม. ที่ค่าความดันของก๊าซแอมโมเนียที่ใช้ภายในระบบทำความเย็น 15 ปอนด์ (แรง) ต่อตารางนิ้วความดันเกจ จะมีค่ามากที่สุด คือ 9.4×10^{-5}ปอนด์ (มวล) ต่อนาที และปริมาณของอัตราการปลดปล่อยของก๊าซแอมโมเนียที่รั่วออกจากรอยรั่วขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5 มม. ที่ค่าความดันของก๊าซแอมโมเนียที่ใช้ภายในระบบทำความเย็น 0.2 ปอนด์ (แรง) ต่อตารางนิ้วความดันเกจ จะมีค่าน้อยที่สุด คือ 3.479×10^{-7} ปอนด์ (มวล) ต่อนาที

<u>อุณหภูมิกับความดัน</u>

จากข้อมูลค่าอุณหภูมิแช่แข็งเฉลี่ยที่ห้องแช่แข็งทำอุณหภูมิได้ ในช่วงอุณหภูมิที่ -18° ซ ถึง -33° ซ เมื่อนำไปเทียบค่าความดันจากตารางผนวกที่ ข2 ในส่วนภาคผนวก ข ซึ่งแสดงคุณสมบัติความดันไอของก๊าซแอมโมเนียที่อุณหภูมิต่างๆ พบว่า ค่าความดันของก๊าซแอมโมเนียจะแปรตามกับอุณหภูมิที่ใช้ในการแช่แข็ง กล่าวคือความดันของก๊าซแอมโมเนียที่อุณหภูมิ -33° ซ จะมีค่าเท่ากับ 0.2 ปอนด์ (แรง) ต่อตารางนิ้วความดันเกจ และความดันจะมีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 5, 10 และ 15 ปอนด์ (แรง) ต่อตารางนิ้วความดันเกจ เมื่ออุณหภูมิห้องแช่แข็งเพิ่มเป็น -27° ซ -22° ซ และ -18° ซ ตามลำดับ

ดังนั้น ยิ่งรอยรั่วมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่ขึ้น และค่าความดันของก๊าซแอมโมเนียจะมีค่าเพิ่มขึ้น โอกาสของปริมาณของก๊าซแอมโมเนียที่ปลดปล่อยออกจากรอยรั่วก็จะมีในปริมาณที่มากขึ้นตาม

<u>การคำนวณหาอัตราของความเข้มข้นสะสมของก๊าซแอมโมเนียภายในห้อง</u>

จากเอกสารข้อมูลความปลอดภัยเคมีภัณฑ์ (MSDS) ของศูนย์ข้อมูลวัตถุอันตราย และเคมีภัณฑ์ของกรมควบคุมมลพิษ ที่ทำการตีพิมพ์เผยแพร่คุณสมบัติทางด้านกายภาพ และความเป็นพิษของก๊าซแอมโมเนียไว้ พบว่าความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนียในระดับวิกฤติต่างๆ จะก่อให้เกิดปฏิกิริยาการระคายเคืองต่อระบบทางเดินหายใจ และผิวหนังในระดับที่เป็นอันตรายต่อมนุษย์ไม่เท่ากัน คือ

ที่ความเข้มข้น 5-25 พีพีเอ็ม จะร่ายกายจะเริ่มรับรู้กลิ่นของแอมโมเนียได้

ที่ความเข้มข้น 50-100 พีพีเอ็ม จะเริ่มรู้สึกแสบ ระคายเคืองจมูก

ที่ความเข้มข้น 400-700 พีพีเอ็ม ส่วนของระบบทางเดินหายใจช่วงต้น ตา จมูก และคอจะระคายเคือง แสบ

ที่ความเข้มข้น มากกว่า 1,000 พีพีเอ็ม เมื่อเริ่มสัมผัสจะมีอาการแสบตา จมูก คอ และส่วนของระบบทางเดินหายใจช่วงต้นทันที

ที่ความเข้มข้น สูงกว่า 2,000 พีพีเอ็ม ถ้าได้สัมผัสเป็นเวลานานจะหายใจติดขัด เจ็บหน้าอก หลอดลมบีบเกร็ง มีเสมหะและเสียชีวิตจากการทำงานของปอดล้มเหลวเนื่องจากเกิดน้ำท่วมปอด

ดังนั้น ผู้วิจัยจึงเลือกค่าความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนียในระดับวิกฤติที่มีผลต่อสุขภาพของมนุษย์ คือที่

ปฏิกิริยาของร่างกาย	ความเข้มข้นวิกฤติ (C_{ppm}, พีพีเอ็ม)
เริ่มรับรู้กลิ่นของแอมโมเนีย	25
เริ่มระคายเคือง แสบจมูก	75
เริ่มแสบตา จมูก คอ และระบบทางเดินหายใจ	400
เสียชีวิต (LC_{50})	2,800

โดยค่าความเข้มข้นวิกฤติดังกล่าวจะแทนด้วย C_{ppm} และใช้การคำนวณหาอัตราการสะสมของไอแอมโมเนียภายในห้องจากสมการ

$$kQ_v = \frac{Q_m R_g T}{C_{ppm} PM} \times 10^6$$

เมื่อ

C_{ppm} = ค่าความเข้มข้นของไอแอมโมเนียวิกฤติในห้องปิด ปริมาตร V มีหน่วยเป็น พีพีเอ็ม

Q_m = อัตราปริมาณแอมโมเนียที่รั่วไหลเข้าสู่ห้องปิด มีหน่วยเป็นปอนด์ (มวล) ต่อนาที

kQ_v = อัตราความเข้มข้นสะสมของไอแอมโมเนีย มีหน่วยเป็น ลบ.ฟุตต่อนาที

k = สัมประสิทธิ์ของการผสม ไม่มีหน่วย มีค่าอยู่ในช่วง 0.1-0.5

R_g = ค่าคงที่ของแก๊สในอุดมคติ มีค่าเท่ากับ 1,545.3 ฟุตปอนด์ (แรง) ต่อปอนด์ (โมล) องศาแรงกินส์

T = อุณหภูมิสัมบูรณ์ มีหน่วยเป็นองศาแรงกินส์

P = ความดันสัมบูรณ์ของห้องแช่แข็ง มีหน่วยเป็นความดันบรรยากาศ

M = มวลโลเลกุลของแอมโมเนียที่แพร่อยู่ในปริมาตรปิด มีค่าเท่ากับ 17

V = ปริมาตรของห้องปิด มีหน่วยเป็น ลบ.ฟุต

สามารถแสดงอัตราความเข้มข้นสะสมของไอของแอมโมเนียจนมีความเข้มข้นถึง 25 พีพีเอ็ม 75 พีพีเอ็ม 400 พีพีเอ็ม และ 2,800 พีพีเอ็ม ภายในระยะเวลา 1 นาทีดังภาพที่ 21 พบว่าที่ความเข้มข้นของไอแอมโมเนียที่ระดับความเข้มข้น 25 พีพีเอ็ม ซึ่งเป็นระดับความเข้มข้นที่ร่างกายจะเริ่มรับรู้กลิ่นของไอแอมโมเนียได้ มีอัตราความเข้มข้นสะสมของไอแอมโมเนีย (kQ_v) ที่ความดันของสารทำความเย็นประเภทไอของแอมโมเนียมีค่า 15 ปอนด์ (แรง) ต่อตารางนิ้ว ความดันเกจ อัตราความเข้มข้นสะสมของไอแอมโมเนียสูงสุด เท่ากับ 1.978 ลูกบาศก์เมตรต่อนาที ที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรอยรั่ว 6 มม. และต่ำสุดเท่ากับ 0.0137 ลูกบาศก์เมตรต่อนาที ที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง รอยรั่ว 0.5 มม. (ตารางผนวกที่ ง4 ตารางอัตราความเข้มข้นสะสมของไอแอมโมเนียออกจากห้องแช่แข็ง ที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรอยรั่ว และความดันระดับต่างๆ)

ส่วนที่ความเข้มข้นของไอแอมโมเนียที่ระดับความเข้มข้น 75 พีพีเอ็ม ซึ่งเป็นระดับความเข้มข้นที่มนุษย์เริ่มระคายเคือง แสบจมูก มีอัตราความเข้มข้นสะสมของไอแอมโมเนียภายในห้องแช่แข็ง (kQ_v) ที่ความดันของสารทำความเย็นประเภทไอของแอมโมเนีย 15 ปอนด์ (แรง) ต่อตารางนิ้ว ความดันเกจ อัตราความเข้มข้นสะสมของไอแอมโมเนียสูงสุด เท่ากับ 0.659 ลูกบาศก์เมตรต่อนาที ที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรอยรั่ว 6 มม. และต่ำสุดเท่ากับ 0.0046 ลูกบาศก์เมตรต่อนาที ที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรอยรั่ว 0.5 มม.

ความเข้มข้นของไอแอมโมเนียที่ระดับ 400 พีพีเอ็ม ซึ่งเป็นระดับความเข้มข้นที่ทำให้เกิดอาการส่วนของระบบทางเดินหายใจช่วงต้น ตา จมูก และคอจะระคายเคือง แสบ มีอัตราความเข้มข้นสะสมของไอแอมโมเนียภายในห้องแช่แข็ง (kQ_{v}) ที่ความดันของสารทำความเย็นประเภทไอของแอมโมเนีย 15 ปอนด์ (แรง) ต่อตารางนิ้ว ความดันเกจ อัตราความเข้มข้นสะสมของไอแอมโมเนียสูงสุดเท่ากับ 0.124 ลูกบาศก์เมตรต่อนาที ที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรอยรั่ว 6 มม. และต่ำสุดเท่ากับ 0.00086 ลูกบาศก์เมตรต่อนาที ที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรอยรั่ว 0.5 มม.

ที่ความเข้มข้นของไอแอมโมเนียที่ระดับวิกฤติ 2,800 พีพีเอ็ม ซึ่งเป็นระดับความเข้มข้นที่ทำให้เกิดการเสียชีวิต เนื่องจากการทำงานของปอดล้มเหลวจากการเกิดอาการน้ำท่วมปอด มีอัตราการระบายไอของแอมโมเนียออกจากห้องแช่แข็ง (kQ_{v}) ที่ความดันของสารทำความเย็นประเภทไอของแอมโมเนีย 15 ปอนด์ (แรง) ต่อตารางนิ้ว ความดันเกจ อัตราความเข้มข้นสะสมของไอแอมโมเนียสูงสุด เท่ากับ 0.01731 ลูกบาศก์เมตรต่อนาที ที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรอยรั่ว 6 มม. และต่ำสุดเท่ากับ 0.00012 ลูกบาศก์เมตรต่อนาที ที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรอยรั่ว 0.5 มม.

จากอัตราการระบายไอของแอมโมเนียที่ความเข้มข้นทั้ง 4 ระดับ ซึ่งมีผลต่อสุขภาพมนุษย์ที่ระดับความเข้มข้น 25 พีพีเอ็ม ขนาดของรอยรั่ว 6 มม. และมีความดันของสารทำความเย็น 15 ปอนด์ (แรง) ต่อตารางนิ้ว ความดันเกจ จะมีอัตราการระบายไอของแอมโมเนียที่สูงสุด เนื่องจากสูตรที่ใช้การคำนวณหาอัตราการสะสมของไอแอมโมเนียภายในห้องเกี่ยวข้องกับปัจจัย 2 ประการ คือ เรื่องอัตราการปลดปล่อยไอแอมโมเนียจากรอยรั่วออกสู่บรรยากาศภายนอก (Q_m) ภายใน 1 นาที ซึ่งอัตราการปลดปล่อยดังกล่าว แปรผันตามกับขนาดของพื้นที่รอยรั่ว และความเข้มข้นที่ส่งผลต่อสุขภาพ โดยที่ความเข้มข้นที่ต่ำจะส่งผลให้อัตราการระบายไอของแอมโมเนียมีค่าสูงกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับความเข้มข้นที่ส่งผลต่อสุขภาพที่ค่าสูงกว่า ที่ขนาดพื้นที่รอยรั่วเท่ากัน เนื่องจากภายในเวลา 1 นาทีของการรั่วไหล ปริมาณการสะสมของไอดังกล่าวจะใช้เวลาในการสะสมถึงจุดความเข้มข้นต่ำก่อนไปสู่ความเข้มข้นสูงเมื่อมีการรั่วไหลในพื้นที่ซึ่งมีขนาดของปริมาตรเท่ากัน

<u>การคำนวณหาช่วงเวลาที่ความเข้มข้นของแอมโมเนียสะสม ในปริมาตรของห้อง จนมีความเข้มข้นถึงระดับรับรู้กลิ่นของไอแอมโมเนียได้ (25 พีพีเอ็ม) และระดับเริ่มเป็นพิษต่อร่างกาย (75 พีพีเอ็ม)</u>

จากอัตราของความเข้มข้นสะสมของไอแอมโมเนียภายในห้อง (kQ_v) ภายในระยะเวลา 1 นาที มีหน่วยเป็นปริมาตรต่อนาที ผู้วิจัยพบว่าความเข้มข้นสะสมของไอแอมโมเนียจะใช้เวลาในการสะสมถึงจุดความเข้มข้นต่ำเร็วกว่าความเข้มข้นสูงเมื่อมีการรั่วไหลในพื้นที่ ซึ่งมีขนาดของปริมาตรเท่ากัน ดังนั้นผู้ที่ปฏิบัติงานอยู่ภายในห้องแช่แข็งที่ปริมาตรของห้องขนาดเล็กจะมีแนวโน้มจากการได้รับอันตรายจากไอของแอมโมเนียได้สูงกว่า ผู้ที่ปฏิบัติงานอยู่ภายในห้องแช่แข็งที่ปริมาตรของห้องขนาดใหญ่ ผู้วิจัยจึงทำการคำนวณเพิ่มเติมเพื่อหาช่วงระยะเวลาการสะสมของไอแอมโมเนียที่รั่วออกจากช่องเปิดขนาดต่างๆ และมีการสะสมอยู่ภายในปริมาตรห้องแช่แข็ง จนมีค่าความเข้มของไอแอมโมเนีย ที่ร่างกายจะเริ่มรับรู้กลิ่นของไอแอมโมเนียได้ ตามปริมาตรของห้องแช่แข็งขนาดเล็ก ขนาดกลาง และขนาดใหญ่ ที่ระดับความเข้มข้น 25 พีพีเอ็ม ในภาพที่ 22 และคำนวณหาระยะเวลาการสะสมของก๊าซแอมโมเนียที่รั่วออกจากช่องเปิดขนาดต่างๆ และเกิดการสะสมอยู่ภายในปริมาตรห้องแช่แข็ง จนมีค่าความเข้มของก๊าซแอมโมเนีย ที่ระดับเริ่มระคายเคืองต่อจมูก และทางเดินหายใจที่ระดับความเข้มข้น 75 พีพีเอ็ม ตามปริมาตรของห้องแช่แข็งขนาดต่างๆ ในภาพที่ 23 ตามเงื่อนไขดังนี้

ปริมาตรห้องแช่แข็ง (m^3)	ขนาดเล็ก				ขนาดกลาง		ขนาดใหญ่
	30	75	120	300	500	5,000	10,000
ขนาดห้องแช่แข็ง (กว้าง×ยาว×สูง) (m)	5×2×3	5×5×3	5×8×3	5×20×3	5×10×10	10×50×10	20×50×10

<u>ช่วงเวลาการสะสมไอของแอมโมเนียกับขนาดของห้อง</u>

พบว่า ช่วงเวลาสำหรับการสะสมของไอแอมโมเนียเพื่อให้มีความเข้มข้นถึงระดับที่ร่างกายจะเริ่มรับรู้กลิ่นของแอมโมเนียได้ และระดับที่เริ่มระคายเคืองต่อจมูกและทางเดินหายใจ คือ ที่ระดับความเข้มข้น 25 พีพีเอ็ม และ 75 พีพีเอ็ม ตามลำดับนั้น ใช้เวลามากขึ้นเมื่อขนาดของห้องแช่แข็งมีขนาดใหญ่ขึ้น หรือช่วงเวลาสำหรับการสะสมไอของแอมโมเนียเพื่อให้มีความเข้มข้นถึง ระดับที่ร่างกายจะเริ่มรับรู้กลิ่นของแอมโมเนีย และระดับที่เริ่มระคายเคืองต่อจมูกและทางเดินหายใจ แปรผัน

ตามกับขนาดของห้องแช่แข็ง เมื่อเปรียบเทียบกันระหว่างปริมาตรของห้องแช่แข็งขนาดเล็ก 30 ลูกบาศก์เมตร 75 ลูกบาศก์เมตร 300 ลูกบาศก์เมตร ปริมาตรของห้องแช่แข็งขนาดกลาง 500 ลูกบาศก์เมตร และปริมาตรห้องแช่แข็งขนาดใหญ่ 10,000 ลูกบาศก์เมตร ที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรอยรั่ว 6 มม. ความดัน 15 ปอนด์ (แรง) ต่อตารางนิ้วความดันเกจ ห้องแช่แข็งขนาดเล็กจะใช้เวลาสำหรับการสะสมของไอแอมโมเนีย เพื่อให้มีความเข้มข้นถึง ระดับความเข้มข้น 25 พีพีเอ็ม ตามที่กำหนดด้วยเวลาสั้นที่สุด คือ 15 นาทีที่ขนาดห้อง 30 ลูกบาศก์เมตร 38 นาทีที่ขนาดห้อง 75 ลูกบาศก์เมตร 61 นาทีที่ขนาดห้อง120 ลูกบาศก์เมตร 152 นาที ที่ขนาดห้อง 300 ลูกบาศก์เมตร ห้องแช่แข็งขนาดกลางจะใช้เวลาสำหรับการสะสมของก๊าซฯ เพื่อให้มีความเข้มข้นถึงระดับที่กำหนดด้วยเวลา 253 นาที ส่วนห้องแช่แข็งขนาดใหญ่จะใช้เวลาสำหรับการสะสมของก๊าซฯ เพื่อให้มีความเข้มข้นถึง ระดับที่กำหนดด้วยเวลาที่นานที่สุด คือ 5,055 นาที เมื่อมีขนาดรอยรั่ว และความดันที่เท่ากัน

ส่วนที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรอยรั่ว 6 มม. ความดัน 15 ปอนด์ (แรง) ต่อตารางนิ้วความดันเกจ ห้องแช่แข็งขนาดเล็กจะใช้เวลาสำหรับการสะสมของไอแอมโมเนีย เพื่อให้มีความเข้มข้นถึงระดับความเข้มข้น 75 พีพีเอ็ม ตามที่กำหนดด้วยเวลา 45 นาทีที่ขนาดห้อง 30 ลูกบาศก์เมตร 114 นาที ที่ขนาดห้อง 75 ลูกบาศก์เมตร 182 นาที ที่ขนาดห้อง120 ลูกบาศก์เมตร 455 นาที ที่ขนาดห้อง 300 ลูกบาศก์เมตร ห้องแช่แข็งขนาดกลางจะใช้เวลาสำหรับการสะสมของก๊าซฯ เพื่อให้มีความเข้มข้นถึงระดับที่กำหนดด้วยเวลา 758 นาที ส่วนห้องแช่แข็งขนาดใหญ่จะใช้เวลาสำหรับการสะสมของก๊าซฯ เพื่อให้มีความเข้มข้นถึงระดับที่กำหนดด้วยเวลาที่นานที่สุด คือ 15,164 นาที เมื่อมีขนาดรอยรั่ว และความดันที่เท่ากัน (ตารางผนวกที่ จ5 ระยะเวลาการสะสมของไอแอมโมเนียที่รั่วออกจากช่องเปิดเส้นผ่านศูนย์กลางขนาดต่างๆ จนมีความเข้มข้นถึงระดับ 25 พีพีเอ็ม และ 75 พีพีเอ็ม ที่ปริมาตรห้องขนาดต่างๆ)

<u>ช่วงเวลาการสะสมไอของแอมโมเนียกับความดันของสารทำความเย็น</u>

พบว่า ช่วงเวลาสำหรับการสะสมไอของแอมโมเนียเพื่อให้มีความเข้มข้นถึงระดับที่ร่างกายจะเริ่มรับรู้กลิ่นของแอมโมเนียได้ และระดับที่เริ่มระคายเคืองต่อจมูกและทางเดินหายใจ คือ ที่ระดับความเข้มข้น 25 พีพีเอ็ม และ 75 พีพีเอ็ม ตามลำดับนั้น ใช้เวลาลดลงเมื่อความดันของสารทำความเย็นมีค่ามากขึ้น หรือช่วงเวลาสำหรับการสะสมของก๊าซแอมโมเนียเพื่อให้มีความเข้มข้นถึงระดับที่ร่างกายจะเริ่มรับรู้กลิ่นของแอมโมเนีย และระดับที่เริ่มระคายเคืองต่อจมูกและทางเดินหายใจ แปรผันกลับกันกับความดันของสารทำความเย็น

สำหรับช่วงเวลาการสะสมของแอมโมเนียเพื่อให้มีความเข้มข้นถึงระดับที่ร่างกายจะเริ่มรับรู้กลิ่นของแอมโมเนียได้ คือ ที่ระดับความเข้มข้น 25 พีพีเอ็ม จะแปรผันแบบเป็นสัดส่วนกลับกันกับขนาดของความดันของสารทำความเย็นที่ใช้ในระบบทำความเย็น โดยใช้ช่วงเวลาในการสะสมไอของแอมโมเนียลดลง เมื่อขนาดของความดันของสารทำความเย็นเพิ่มขึ้น โดยการเปรียบเทียบกันในปริมาตรของห้องแช่แข็งขนาดเท่ากัน เมื่อความดันของสารทำความเย็นเพิ่มขึ้นจาก 0.2 ปอนด์ (แรง) ต่อตารางนิ้วความดันเกจ เป็น 15 ปอนด์ (แรง) ต่อตารางนิ้วความดันเกจ ที่ขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางรอยรั่ว 6 มม. เท่าเดิม ห้องแช่แข็งขนาดเล็กใช้เวลาสำหรับการสะสมไอของแอมโมเนียเพื่อให้มีความเข้มข้นถึงระดับ 25 พีพีเอ็ม ที่ขนาดห้อง 30 ลูกบาศก์เมตรใช้เวลา 30 นาที และลดเวลาสั้นลงเหลือ 15 นาที เมื่อความดันของสารทำความเย็นเพิ่มขึ้น ที่ขนาดห้อง 75 ลูกบาศก์เมตรใช้เวลา 76 นาที และลดเวลาสั้นลงเหลือ 38 นาที เมื่อความดันของสารทำความเย็นเพิ่มขึ้น ที่ขนาดห้อง 120 ลูกบาศก์เมตร ใช้เวลา 121 นาที และลดเวลาลงเหลือ 61 นาที เมื่อความดันของสารทำความเย็นเพิ่มขึ้น ที่ขนาดห้อง 300 ลูกบาศก์เมตร ด้วยเวลา 302 นาที และลดเวลาลงเหลือ 152 นาที เมื่อความดันของสารทำความเย็นเพิ่มขึ้น ส่วนห้องแช่แข็งขนาดกลางใช้เวลาสำหรับการสะสมไอของแอมโมเนียเพื่อให้มีความเข้มข้นถึง ระดับที่กำหนดด้วยเวลา 504 นาที และลดเวลาลงเป็น 253 นาที เมื่อความดันของสารทำความเย็นเพิ่มขึ้น ที่ขนาดของรอยรั่วเท่ากัน ส่วนห้องแช่แข็งขนาดใหญ่ใช้เวลาสำหรับการสะสมไอของแอมโมเนีย เพื่อให้มีความเข้มข้นถึงระดับที่กำหนดด้วยเวลาที่นานที่สุด คือ 10,071 นาที และใช้เวลาลดลงเหลือ 5,055 นาที เมื่อความดันของสารทำความเย็นเพิ่มขึ้นจาก 0.2 ปอนด์ (แรง) ต่อตารางนิ้วความดันเกจ เป็น 15 ปอนด์ (แรง) ต่อตารางนิ้วความดันเกจ ที่ขนาดของรอยรั่ว 6 มม. เท่ากัน

ส่วนช่วงเวลาการสะสมไอของแอมโมเนียเพื่อให้มีความเข้มข้นถึง ระดับที่ความเข้มข้น 75 พีพีเอ็ม ห้องแช่แข็งขนาดเล็กใช้เวลาสำหรับการสะสมไอของแอมโมเนียเพื่อให้มีความเข้มข้นถึงระดับที่กำหนด เมื่อความดันของสารทำความเย็นเพิ่มขึ้นจาก 0.2 ปอนด์ (แรง) ต่อตารางนิ้วความดันเกจ เป็น 15 ปอนด์ (แรง) ต่อตารางนิ้วความดันเกจ ที่ขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางรอยรั่ว 6 มม. เท่าเดิม ที่ขนาดห้อง 30 ลูกบาศก์เมตรใช้เวลา 91 นาที และลดเวลาสั้นลงเหลือ 45 นาที เมื่อความดันของสารทำความเย็นเพิ่มขึ้น ที่ขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางรอยรั่ว 6 มม. เท่าเดิม ที่ขนาดห้อง 75 ลูกบาศก์เมตรใช้เวลา 227 นาที และลดเวลาสั้นลงเหลือ 114 นาที เมื่อความดันของสารทำความเย็นเพิ่มขึ้น ที่ขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางรอยรั่ว 6 มม. เท่าเดิม ส่วนที่ห้องขนาด 120 ลูกบาศก์เมตรใช้เวลา 363 นาที และลดเวลาสั้นลงเหลือ 182 นาที เมื่อความดันของสารทำความเย็นเพิ่มขึ้น ที่ขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางรอยรั่ว 6 มม. เท่าเดิม และที่ขนาดห้อง 300 ลูกบาศก์เมตรใช้เวลา 906 นาที

และลดเวลาสั้นลงเหลือ 455 นาที เมื่อความดันของสารทำความเย็นเพิ่มขึ้น ที่ขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางรอยรั่ว 6 มม. เท่าเดิม ส่วนห้องแช่แข็งขนาดกลางใช้เวลาสำหรับการสะสมของไอแอมโมเนียเพื่อให้มีความเข้มข้นถึง ระดับที่กำหนดด้วยเวลา 1,511 นาที และลดเวลาลงเป็น 758 นาที ที่ขนาดของรอยรั่วเท่ากัน ส่วนห้องแช่แข็งขนาดใหญ่ใช้เวลาสำหรับการสะสมไอของแอมโมเนีย เพื่อให้มีความเข้มข้นถึงระดับที่กำหนดด้วยเวลาที่นานที่สุด คือ 30,212 นาที และใช้เวลาลดลงเหลือ 15,164 นาที เมื่อความดันของสารทำความเย็นเพิ่มขึ้นจาก 0.2 ปอนด์ (แรง) ต่อตารางนิ้วความดันเกจ เป็น 15 ปอนด์ (แรง) ต่อตารางนิ้วความดันเกจ ที่ขนาดของรอยรั่วเท่ากัน (ตารางผนวกที่ จ5 ระยะเวลาการสะสมของไอแอมโมเนียที่รั่วออกจากช่องเปิดเส้นผ่านศูนย์กลางขนาดต่างๆ จนมีความเข้มข้นถึงระดับ 25 พีพีเอ็ม และ 75พีพีเอ็ม ที่ปริมาตรห้องขนาดต่างๆ)

<u>ช่วงเวลาการสะสมไอของแอมโมเนียกับขนาดของรอยรั่ว</u>

นอกจากช่วงเวลาสำหรับการสะสมไอของแอมโมเนียเพื่อให้มีความเข้มข้นถึงระดับที่ร่างกายจะเริ่มรับรู้กลิ่นของแอมโมเนียได้ และระดับที่เริ่มระคายเคืองต่อจมูกและทางเดินหายใจ คือที่ระดับความเข้มข้น 25 พีพีเอ็มและ 75 พีพีเอ็ม ตามลำดับนั้น จะแปรผันแบบเป็นสัดส่วนกลับกันกับขนาดของความดันของสารทำความเย็นที่ใช้ในระบบทำความเย็นแล้ว ขนาดของรอยรั่วยังแปรผันเป็นสัดส่วนกลับกับช่วงเวลาสำหรับการสะสมไอของแอมโมเนียด้วยเช่นกัน เมื่อเปรียบเทียบที่ระดับความเข้มข้น 25 พีพีเอ็ม ระหว่างเส้นผ่านศูนย์กลางรอยรั่ว 5 มม. และเส้นผ่านศูนย์กลางรอยรั่ว 6 มม. ในปริมาตรของห้องแช่แข็ง และที่ความดัน 15 ปอนด์ (แรง) ต่อตารางนิ้วความดันเกจเท่ากัน ห้องแช่แข็งขนาด 30 ลูกบาศก์เมตร จะใช้เวลาสำหรับการสะสมไอของแอมโมเนียเพื่อให้มีความเข้มข้นถึงระดับที่กำหนดด้วยเวลา 22 นาที และใช้เวลาลดลงเป็น 15 นาที ห้องแช่แข็งขนาด 75 ลูกบาศก์เมตร จะใช้เวลาสำหรับการสะสมไอของแอมโมเนียเพื่อให้มีความเข้มข้นถึง ระดับที่กำหนดด้วยเวลา 55 นาที และใช้เวลาลดลงเป็น 38 นาที ห้องแช่แข็งขนาด 120 ลูกบาศก์เมตร จะใช้เวลาสำหรับการสะสมไอของแอมโมเนียเพื่อให้มีความเข้มข้นถึง ระดับที่กำหนดด้วยเวลา 87 นาที และใช้เวลาลดลงเป็น 61 นาที และห้องแช่แข็งขนาด 300 ลูกบาศก์เมตร จะใช้เวลาสำหรับการสะสมไอของแอมโมเนียเพื่อให้มีความเข้มข้นถึงระดับที่กำหนดด้วยเวลา 218 นาที และใช้เวลาลดลงเป็น 152 นาที ส่วนห้องแช่แข็งขนาดกลางจะใช้เวลาสำหรับการสะสมไอของแอมโมเนีย เพื่อให้มีความเข้มข้นถึงระดับที่กำหนดด้วยเวลา 364 นาที ที่ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางรอยรั่ว 5 มม. และใช้เวลาลดลงเหลือ 253 นาที เมื่อขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางรอยรั่วเพิ่มขึ้นเป็น 6 มม. ที่ระดับความดันของสารทำความเย็นเท่ากัน และห้องแช่แข็งขนาดใหญ่จะใช้เวลาสำหรับการสะสมไอของแอมโมเนียเพื่อให้มีความเข้มข้นถึง

ระดับที่กำหนดด้วยเวลาที่นานที่สุด คือ 7,275 นาที ที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรอยรั่ว 5 มม. และใช้ลดลงเป็น 5,055 นาที เมื่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรอยรั่วเพิ่มขึ้นเป็น 6 มม. ที่ระดับความดันของสารทำความเย็นเท่ากัน

สำหรับช่วงเวลาการสะสมไอของแอมโมเนียเพื่อให้มีความเข้มข้นถึงระดับที่ความเข้มข้น 75 พีพีเอ็ม ระหว่างเส้นผ่านศูนย์กลางรอยรั่ว 5 มม. และเส้นผ่านศูนย์กลางรอยรั่ว 6 มม. ในปริมาตรของห้องแช่แข็ง และที่ความดัน 15 ปอนด์ (แรง) ต่อตารางนิ้วความดันเกจเท่ากัน ห้องแช่แข็งขนาด 30 ลูกบาศก์เมตร จะใช้เวลาสำหรับการสะสมไอของแอมโมเนียเพื่อให้มีความเข้มข้นถึงระดับที่กำหนดด้วยเวลา 65 นาที และใช้เวลาลดลงเป็น 45 นาที ห้องแช่แข็งขนาด 75 ลูกบาศก์เมตร จะใช้เวลาสำหรับการสะสมไอของแอมโมเนียเพื่อให้มีความเข้มข้นถึง ระดับที่กำหนดด้วยเวลา 164 นาที และใช้เวลาลดลงเป็น 114 นาที ห้องแช่แข็งขนาด 120 ลูกบาศก์เมตร จะใช้เวลาสำหรับการสะสมไอของแอมโมเนียเพื่อให้มีความเข้มข้นถึง ระดับที่กำหนดด้วยเวลา 262 นาที และใช้เวลาลดลงเป็น 182 นาที และห้องแช่แข็งขนาด 300 ลูกบาศก์เมตร จะใช้เวลาสำหรับการสะสมไอของแอมโมเนียเพื่อให้มีความเข้มข้นถึง ระดับที่กำหนดด้วยเวลา 655 นาที และใช้เวลาลดลงเป็น 455 นาที ส่วนห้องแช่แข็งขนาดกลางจะใช้เวลาสำหรับการสะสมไอของแอมโมเนีย เพื่อให้มีความเข้มข้นถึงระดับที่กำหนดด้วยเวลา 1,091 นาที ที่ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางรอยรั่ว 5 มม. และใช้เวลาลดลงเหลือ 758 นาที เมื่อขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางรอยรั่วเพิ่มขึ้นเป็น 6 มม. ที่ระดับความดันของสารทำความเย็นเท่ากัน และห้องแช่แข็งขนาดใหญ่จะใช้เวลาสำหรับการสะสมไอของแอมโมเนียเพื่อให้มีความเข้มข้นถึงระดับที่กำหนดด้วยเวลาที่นานที่สุด คือ 21,826 นาที ที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรอยรั่ว 5 มม. และใช้ลดลงเป็น 15,164 นาที เมื่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรอยรั่วเพิ่มขึ้นเป็น 6 มม. ที่ระดับความดันของสารทำความเย็นเท่ากัน(ตารางผนวกที่ จ5 ระยะเวลาการสะสมของไอแอมโมเนียที่รั่วออกจากช่องเปิดเส้นผ่านศูนย์กลางขนาดต่างๆ จนมีความเข้มข้นถึงระดับ 25 พีพีเอ็ม และ 75 พีพีเอ็ม ที่ปริมาตรห้องขนาดต่างๆ)

ดังนั้น ช่วงเวลาสำหรับการสะสมไอของแอมโมเนียจนมีความเข้มข้นถึง ระดับที่ร่างกายจะเริ่มรับรู้กลิ่นของแอมโมเนียได้ คือที่ระดับความเข้มข้น 25 พีพีเอ็ม และระดับที่เริ่มระคายเคืองต่อจมูกและทางเดินหายใจ คือที่ระดับความเข้มข้น 75 พีพีเอ็ม ที่ปริมาตรห้องขนาดต่างๆ จะสั้นลงเมื่อความดันของสารทำความเย็นที่ใช้ในระบบทำความเย็นเพิ่มขึ้น และขนาดของรอยรั่วใหญ่ขึ้น แต่ช่วงเวลาสำหรับการสะสมไอของแอมโมเนียจนมีความเข้มข้นถึงระดับ 25 พีพีเอ็ม และ 75 พีพีเอ็ม จะใช้เวลานานขึ้นเมื่อขนาดห้องใหญ่ขึ้น ดังนั้นหากต้องการให้ผู้ปฏิบัติงานใช้เวลาในการอพยพได้อย่าง

ปลอดภัยสอดคล้องกับข้อมูลที่คำนวณได้ จำต้องมีการแจ้ง หรือฝึกซ้อมให้ผู้ปฏิบัติงานที่ปฏิบัติงานทราบถึงข้อมูลเรื่องระยะเวลาของการสะสมของไอของแอมโมเนียในพื้นที่ปฏิบัติงานจนมีความเข้มข้นถึง ระดับที่ร่างกายจะเริ่มรับรู้กลิ่นของแอมโมเนียได้ คือที่ระดับความเข้มข้น 25 พีพีเอ็ม และระดับที่เริ่มระคายเคืองต่อจมูกและทางเดินหายใจ คือ ที่ระดับความเข้มข้น 75 พีพีเอ็ม นอกจากนี้ยังสามารถป้องกันการรั่วไหลของไอแอมโมเนียด้วยการดูแลชุดอุปกรณ์วาล์วลดความดันของสารทำความเย็นที่ทำหน้าที่ในการควบคุมขนาดของแรงดันให้ทำงานได้เป็นปกติ

จากข้อมูลของระยะเวลาการสะสมของไอแอมโมเนียที่รั่วออกจากช่องเปิดขนาดต่างๆ จนมีความเข้มข้นถึงระดับรับรู้กลิ่นได้ (25 พีพีเอ็ม) และระยะเวลาการสะสมของไอแอมโมเนียที่รั่วออกจากช่องเปิดขนาดต่างๆ จนมีความเข้มข้นถึงระดับที่เริ่มระคายเคืองต่อจมูก และทางเดินหายใจ (75 พีพีเอ็ม) ที่ปริมาตรของห้องขนาดเล็ก ได้แก่ขนาด 30 ลบ.ม. 75 ลบ.ม. 120 ลบ.ม. และ300 ลบ.ม. จะมีเวลาสั้น กว่าห้องขนาดกลาง และห้องขนาดใหญ่ ซึ่งผลต่างของช่วงเวลาสำหรับระยะเวลาการสะสมของไอแอมโมเนียจากระดับที่ความเข้มข้นถึง 25 พีพีเอ็ม จนกระทั่งมีความเข้นข้นถึงระดับ 75 พีพีเอ็ม ช่วงเวลาดังกล่าวจะเป็นช่วงเวลาสำหรับการอพยพกรณีสารทำความเย็นรั่วไหลภายในโรงงานห้องเย็นที่ความดัน และรอยรั่วที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาดต่างๆ สำหรับผู้ปฏิบัติงานที่อยู่ภายในห้องแช่แข็งดังตารางที่ 7 เมื่อเกิดการรั่วไหลของไอแอมโมเนียขึ้น

<u>ตารางที่ 7</u> ช่วงเวลาสำหรับการอพยพกรณีสารทำความเย็นประเภทแอมโมเนียรั่วไหลภายในโรงงานห้องเย็น ที่ความดัน และรอยรั่วที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาดต่างๆ

(หน่วย: นาที)

	ห้องแช่แข็งขนาด 30 m^3				ห้องแช่แข็งขนาด 75 m^3				ห้องแช่แข็งขนาด 120 m^3				ห้องแช่แข็งขนาด 300 m^3			
Pressure (psig) (T, ^{O}C)	1 mm.	2 mm.	4 mm.	6 mm.	1 mm.	2 mm.	4 mm.	6 mm.	1 mm.	2 mm.	4 mm.	6 mm.	1 mm.	2 mm.	4 mm.	6 mm.
0.2 psig (-33 ^{O}C)	2,175	544	136	60	5,438	1,360	340	151	8,701	2,175	544	242	21,753	5,438	1,360	604
5 psig (-27 ^{O}C)	1,645	411	103	46	4,113	1,028	257	114	6,581	1,645	411	183	16,453	4,113	1,028	457
10 psig (-22 ^{O}C)	1,312	328	82	36	3,281	820	205	91	5,249	1,312	328	146	13,122	3,281	820	365
15 psig (-18 ^{O}C)	1,091	273	68	30	2,728	682	171	76	4,365	1,091	273	121	10,913	2,728	682	303

	ห้องแช่แข็งขนาด 500 m^3				ห้องแช่แข็งขนาด 5,000 m^3				ห้องแช่แข็งขนาด 10,000 m^3			
Pressure (psig) (T, ^{O}C)	1 mm.	2 mm.	4 mm.	6 mm.	1 mm.	2 mm.	4 mm.	6 mm.	1 mm.	2 mm.	4 mm.	6 mm.
0.2 psig (-33 ^{O}C)	36,255	9,064	2,266	1,007	362,546	90,637	22,659	10,071	725,092	181,273	45,318	20,141
5 psig (-27 ^{O}C)	27,421	6,855	1,714	762	274,210	68,553	17,134	7,617	548,420	137,105	34,276	15,234
10 psig (-22 ^{O}C)	21,870	5,468	1,367	608	218,702	54,675	13,609	6,075	437,400	109,315	27,338	12,150
15 psig (-18 ^{O}C)	18,188	4,547	1,137	505	181,883	45,471	11,368	5,055	363,767	90,942	22,738	10,109

<u>การคำนวณหาขนาดพื้นที่ของประตูห้องแช่แข็งที่เหมาะสมสำหรับการอพยพจากอัตราของความเข้มข้นสะสมของแอมโมเนียภายในห้องปิด</u>

สมการที่ใช้คำนวณหาขนาดพื้นที่ของประตูขั้นต่ำที่เหมาะสำหรับห้องแช่แข็ง เพื่อใช้สำหรับการอพยพพนักงานกรณีเกิดการรั่วไหลของไอแอมโมเนียภายในห้องปิดมีความเข้มข้นตามที่กำหนด (สมการที่ 16)

$$\sum A = \frac{kQ_v}{v} \qquad (16)$$

โดยใช้ภาวะเงื่อนไขดังนี้

kQ_v = อัตราของความเข้มข้นสะสมของไอแอมโมเนียภายในห้อง มีหน่วยเป็นลูกบาศก์เมตรต่อนาที (m^3/min)

$\sum A$ = ผลรวมของพื้นที่ของช่องเปิดต่างๆ ที่มีในปริมาตรห้องปิด มีหน่วยเป็นตารางเมตร

v = อัตราความเร็วของลมเย็นภายในห้องปิด หรือคิดเป็นการแพร่ของลมที่ออกสู่ภายนอกปริมาตรห้องปิด มีหน่วยเป็นเมตรต่อวินาที

โดยกำหนดอัตราของความเข้มข้นสะสมของแอมโมเนียภายในห้องไว้ตามเอกสารข้อมูลความปลอดภัยเคมีภัณฑ์ของกรมควบคุมมลพิษ ที่ระดับความเข้มข้นที่สามารถรับรู้กลิ่นของก๊าซแอมโมเนียได้ (25 พีพีเอ็ม) และกำหนดความเร็วของลมเย็นที่พัดภายในห้องปิดตามประเภทของเครื่องแช่แข็งดังนี้

ประเภทของเครื่องแช่แข็ง	Air blast freezer	Tunnel freezer	Spiral freezer
ความเร็วของลมเย็นที่พัด	1,066.8 $m/\min$ หรือ 3,500 $ft/\min$	36.576 $m/\min$ หรือ 120 $ft/\min$	304.8 $m/\min$ หรือ 1,000 $ft/\min$

ผู้วิจัยได้ศึกษาขนาดของประตูมาตรฐานที่มีการผลิตจำหน่ายอยู่ในปัจจุบันจากบริษัท Square Panel System จำกัด ทั้งในรูปแบบชนิดประตูเลื่อนตามรางของประตู (Sliding Door) และแบบชนิดบานพับเปิด-ปิด (Swing Door) มีขนาดพื้นที่เท่ากัน คือ 1.44 ตารางเมตร (กว้าง 0.8 เมตร และสูง 1.8

เมตร) ซึ่งพบว่าเมื่อทำการเปรียบขนาดของพื้นที่ประตูที่ได้ค่าจากการใช้วิธีคำนวณตามสมการที่ (16) กับขนาดของรูรั่วสำหรับห้องที่มีการติดตั้งระบบทำความเย็นประเภท Air Blast freezer Tunnel freezer และ Spiral freezer ดังตารางการเปรียบเทียบข้อมูลขนาดพื้นที่ของประตูที่มีการผลิตจำหน่ายทั่วไป กับพื้นที่ของประตูห้องแช่แข็งระบบต่างๆ ในตารางที่ 8 พบว่า ขนาดพื้นที่ของประตูที่มีจำหน่ายอยู่มีขนาดใหญ่กว่าขนาดพื้นที่ของประตูที่ได้จากการคำนวณ ซึ่งหมายความว่าขนาดของประตูที่มีการออกแบบ จำหน่าย และติดตั้งอยู่ในปัจจุบันมีขนาดเพียงพอสำหรับการอพยพกรณีเกิดเหตุการณ์ฉุกเฉินสารทำความเย็นประเภทแอมโมเนียรั่วไหลภายในอาคารผลิต

<u>การคำนวณหาช่วงเวลาในการเคลื่อนที่ออกจากห้องของผู้ปฏิบัติงานในห้องแช่แข็ง</u>

จากสมการที่ 17 ซึ่งเป็นการคำนวณหาความเร็วของการเคลื่อนที่ของฝูงชน (v) ผ่านประตูทางหนีไฟ ช่องทางหนีไฟ ชานบันไดพักในทางหนีไฟ และบันไดหนีไฟที่มีความกว้างเท่ากันดังสมการ

$$v = V_{\mathrm{O}} D^{-0.8} \qquad (17)$$

เมื่อ

v = ความเร็วของการเคลื่อนที่ของฝูงชน มีหน่วยเป็น เมตรต่อวินาที

V_{O} = ค่าคงที่ของความเร็วภายใต้สภาวะการไหลแบบอิสระ มีค่าเท่ากับ 1.3 เมตรต่อวินาที

D = ความหนาแน่นของประชากรต่อตารางเมตร ผู้วิจัยจึงกำหนดจำนวนคนไม่เกิน 30 คน เนื่องจากเป็นห้องแช่แข็งสินค้าไม่มีพนักงานปฏิบัติงานประจำอยู่ภายใน

เมื่อทำการเปรียบช่วงในการเคลื่อนที่ออกจากห้องของผู้ปฏิบัติงานในห้องแช่แข็งที่ได้มาจากวิธีคำนวณตามสมการที่ (17) กับห้องขนาดต่างๆ ตามตารางที่ 9 พบว่า เวลาในการเคลื่อนที่ออกจากห้องของผู้ปฏิบัติงานในห้องแช่แข็งขนาด 10, 50, 500 และ 1,000 ตร.ม. จะใช้เวลา 5, 9, 6 และ 5 วินาที ตามลำดับ ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับช่วงเวลาสำหรับการสะสมของแอมโมเนียจนมีความเข้มข้นถึงระดับที่ร่างกายจะเริ่มรับรู้กลิ่นของแอมโมเนียได้ คือ ที่ระดับความเข้มข้น 25 พีพีเอ็ม และระดับที่เริ่มระคายเคืองต่อจมูกและทางเดินหายใจ คือ ที่ระดับความเข้มข้น 75 พีพีเอ็ม ที่ปริมาตรห้องขนาดต่างๆ กับช่วงเวลาการเคลื่อนที่ออกจากห้องของผู้ปฏิบัติงานในห้องแช่แข็งขนาดต่างๆ

<u>ตารางที่ 8</u> การเปรียบเทียบข้อมูลขนาดพื้นที่ของประตูที่มีการผลิตจำหน่ายทั่วไปกับพื้นที่ของประตูห้องแช่แข็งระบบต่างๆ และขนาดของรูรั่ว

ความดัน (psig)	ขนาดของประตูที่มีจำหน่าย (Area, m^2)		ขนาดของรอยรั่ว (มม.)								
			0.5			0.7			1		
	Swing door	Slide door	Air Blast	Tunnel Freezer	Spiral freezer	Air Blast	Tunnel Freezer	Spiral freezer	Air Blast	Tunnel Freezer	Spiral freezer
0.2	1.44 (0.8x1.8)	1.44 (0.8x1.8)	0.000006	0.000189	0.000023	0.00001	0.00037	0.00004	0.00003	0.00073	0.00009
5			0.000009	0.000249	0.000030	0.00002	0.00049	0.00006	0.00003	0.00100	0.00012
10			0.000011	0.000312	0.000037	0.00002	0.00061	0.00007	0.00004	0.00125	0.00015
15			0.000013	0.000375	0.000045	0.00003	0.00074	0.00009	0.00005	0.00150	0.00018

ความดัน (psig)	ขนาดของประตูที่มีจำหน่าย (Area, m^2)		ขนาดของรอยรั่ว (มม.)								
			2			3			4		
	Swing door	Slide door	Air Blast	Tunnel Freezer	Spiral freezer	Air Blast	Tunnel Freezer	Spiral freezer	Air Blast	Tunnel Freezer	Spiral freezer
0.2	1.44 (0.8x1.8)	1.44 (0.8x1.8)	0.0001	0.0030	0.0004	0.0002	0.0068	0.0008	0.0004	0.0123	0.0015
5			0.0001	0.0040	0.0005	0.0003	0.0090	0.0011	0.0006	0.0161	0.0019
10			0.0002	0.0050	0.0006	0.0004	0.0112	0.0013	0.0007	0.0202	0.0024
15			0.0002	0.0060	0.0007	0.0005	0.0134	0.0016	0.0008	0.0243	0.0029

ความดัน (psig)	ขนาดของประตูที่มีจำหน่าย (Area, m^2)		ขนาดของรอยรั่ว (มม.)					
			5			6		
	Swing door	Slide door	Air Blast	Tunnel Freezer	Spiral freezer	Air Blast	Tunnel Freezer	Spiral freezer
0.2	1.44 (0.8x1.8)	1.44 (0.8x1.8)	0.0006	0.0189	0.0023	0.0009	0.0271	0.0033
5			0.0009	0.0249	0.0030	0.0012	0.0359	0.0043
10			0.0011	0.0312	0.0037	0.0015	0.0450	0.0054
15			0.0013	0.0375	0.0045	0.0019	0.0541	0.0065

ผู้วิจัยพบว่า ผู้ปฏิบัติงานภายในพื้นที่ห้องแช่แข็งมีช่วงเวลาเพียงพอในการหลบออกจากพื้นที่ที่เกิดการรั่วไหลของไอของแอมโมเนียภายหลังจากการรับรู้กลิ่นของไอแอมโมเนียที่ความเข้มข้น 25 พีพีเอ็ม ได้ทันเวลาเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกับช่วงเวลาสำหรับการอพยพกรณีสารทำความเย็นประเภทแอมโมเนียรั่วไหลภายในโรงงานห้องเย็น ที่ความดัน และรอยรั่วที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาดต่างๆ ในตารางที่ 9

<u>ตารางที่ 9</u> การเปรียบเทียบช่วงเวลาในการเคลื่อนที่ออกจากห้องขนาดต่างๆของผู้ปฏิบัติงาน

ปริมาตรห้องแช่แข็ง (m^3)	ขนาดเล็ก				ขนาดกลาง	ขนาดใหญ่
ขนาดพื้นที่ห้องแช่แข็ง (ตร.ม.) (กว้าง×ยาว)	10 ตร.ม. (2×5)	25 ตร.ม. (5×5)	40 ตร.ม. (5×8)	100 ตร.ม. (5×20)	500 ตร.ม. (10×50)	1,000 ตร.ม. (20×50)
ระยะทางไกลที่สุดในการเคลื่อนที่ (เมตร)	7	10	13	25	60	70
จำนวนพนักงานที่ปฏิบัติงาน (คน)	5	5	5	5	20	30
ความหนาแน่นประชากรต่อตารางเมตร	0.5	0.2	0.125	0.05	0.04	0.03
ช่วงเวลาในการเคลื่อนที่ออกจากห้องของผู้ปฏิบัติงาน (นาที)	0.05	0.4	0.3	0.3	0.06	0.05